Supported by 日本財団 THE NIPPON FOUNDATION

2013 年度

大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究

報　告　書

2014 年 4 月

公益社団法人　日本海難防止協会

ま　え　が　き

この報告書は、当協会が日本財団の助成金を受け、海難防止事業の一環として、2013 年度に実施した「大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究」事業の内容を取りまとめたものである。

調査実施にあたり、ご協力をいただいた関係各位に深く謝意を表する次第である。

2014 年 4 月

公益社団法人　日本海難防止協会

目　　次

第Ⅰ編　調査概要

1　調査目的 1

2　調査内容 1

3　調査方法 1

4　調査の経過 4

5　委員会、作業部会の構成 6

5.1 委員会 6

5.2 作業部会 8

第Ⅱ編　調査結果

1　平成 24 年度調査検討の概要 11

2　係留・係駐限界シミュレーションの整理・検討 17

2.1 津波に対する係留限界検討 17

2.1.1 検討目的 17

2.1.2 検討方法 17

2.1.3 検討条件 20

2.1.4 検討結果 37

2.1.5 まとめ（津波波形によるシミュレーション） 71

2.1.6 正弦波形による係留限界検討 77

2.1.7 係留限界のまとめ 101

2.2 津波に対する係駐限界検討 103

2.2.1 検討目的 103

2.2.2 検討内容 103

2.2.3 検討結果 109

2.2.4 まとめと考察 113

2.2.5 参考 115

3　操船シミュレーションの整理・検討 119

3.1 検討目的 119

3.2 検討条件 122

3.2.1 大型危険物積載船の緊急離桟検討 122

3.2.2 モデル港における津波来襲中の緊急離桟検討 130

3.3 大型危険物積載船の実験結果 139

3.3.1 整理方針と実験結果 139

3.3.2 LNG 船 141
3.3.3 VLCC 182
3.4 モデル港における実験結果 202
3.4.1 整理方針と実験結果 202
3.4.2 大型コンテナ船及び貨物船（3,000 トン、500 トン） 204
3.5 操船実験で確認された事項 241
3.5.1 大型危険物積載船の緊急離桟について 241
3.5.2 モデル港における緊急出港について 243
3.6 まとめ 246
3.6.1 大型危険物積載船の緊急離桟 246
3.6.2 モデル港における緊急離桟 248
3.7 緊急離桟操船方法 250
3.7.1 出船左舷（LNG 船、タグボート無し、スラスター有り） 251
3.7.2 入船右舷（LNG 船、タグボート有り、スラスター無し） 252
3.7.3 出船左舷（VLCC、タグボート有り、スラスター無し） 253
3.7.4 入船左舷（LNG 船、タグボート有り、スラスター有り） 254
3.8 モデル港の津波流況図 255

4 大型危険物積載船の安全防災対策 265
4.1 目的 265
4.2 大型危険物積載船の安全防災対策 265
4.2.1 現状の大型危険物積載船の地震・津波対策 265
4.2.2 東日本大震災を踏まえた大型危険物積載船の地震・津波対策 266

5 モデル港（清水港）における対応策の検討 281
5.1 目的 281
5.2 津波シミュレーションによる想定津波の清水港への影響 281
5.2.1 モデル港（清水港）の津波影響の概要 281
5.2.2 清水港の津波影響の特徴 291
5.3 避難経路と避難海域の検討 292
5.3.1 避難経路の検討 292
5.3.2 避難海域の検討 292
5.4 地震発生時の初動措置 294
5.4.1 地震・津波情報の収集 294
5.4.2 荷役・作業中止 294
5.4.3 避難判断 295
5.4.4 係留船舶への津波避難措置 297
5.5 各船型毎の避難措置の検討 300
5.5.1 大型コンテナ船等の港外避難の可能性と必要な措置 301
5.5.2 港内係留避泊の可能性と必要な措置 323

5.5.3 港内投錨避泊の可能性と必要な措置 328
5.5.4 小型船舶の避難措置の検討 335
5.6 清水港において取るべき対応策 344
5.6.1 事前の取り決め 344
5.6.2 各船舶毎の対応策 345
5.6.3 津波来襲後の避難船舶の対応 351
6　まとめ 353

第Ⅲ編　議事概要

1　第１回委員会議事概要 363
2　第２回委員会議事概要 369
3　第３回委員会議事概要 381
4　作業部会議事概要 393
5　第４回委員会議事概要 407

第Ⅰ編　調査概要

1　調査目的

平成23年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う大津波により、多数の船舶が被災した。そして、30 年以内に高い確率で首都直下型地震、東海地震、東南海地震、南海地震、更には、これらが連動して発生することが懸念されており、多くの海事関係者をはじめ各方面から船舶の安全確保対策の確立が叫ばれているところである。

こうした状況を踏まえて、本調査研究は、東日本大震災を受けて平成 23 年度に日本海難防止協会が実施したアンケート・ヒアリング調査「東北地方太平洋沖地震に伴う津波来襲時の船舶の避難行動と被災状況等に係るアンケート調査」等の結果をもとに、平成 24 年度においては、これまでの津波対策や航行安全対策の見直し、清水港をモデル港とした津波シミュレーションを行い、モデル港で取り得る対応策の検討等を行った。平成 25 年度においては、係留限界、錨泊限界の調査、モデル港における津波シミュレーション結果を踏まえた緊急離桟の操船シミュレーション等により、①大型危険物積載船等各種船舶の安全対策の検討、②モデル港（清水港）における対応策の検討、③港内津波対策検討の手引き（平成 15 年度）の見直しを行い、今後想定される大地震発生時あるいは大津波来襲時における船舶被害の未然防止及び被害の局限化に資することを目的とした。

2　調査内容

（1）仮想桟橋係留の大型危険物積載船（VLCC、LNG）において、津波高、流速の組み合わせによる係留限界シミュレーションを行い、係留限界を把握した。

（2）岸壁係留の一般船舶において、津波高、流速の組み合わせによる係留限界シミュレーションを行い、係留限界を把握した。

（3）大型危険物積載船（VLCC、LNG）及び一般船舶において、津波流による錨泊限界を調査し、錨泊避泊の可能性を把握した。

（4）仮想桟橋係留の大型危険物積載船（VLCC、LNG）において、着桟別等（出船・入船、右舷・左舷、タグなし・タグ１隻）における緊急離桟の操船シミュレーション（外力なし）を行い、大型危険物積載船の係留のあり方を検討した。

（5）津波シミュレーションによる津波をもとに操船シミュレーションを行い、緊急離桟・港外退避の可能性を調査・検討した。

（6）上記の検討を踏まえ、大型危険物積載船等各種船舶の安全対策の検討、モデル港（清水港）における対応策の検討、平成 15 年度「津波が予想される場合の船舶安全確保に関する調査研究報告書」の見直しを行った。

3　調査方法

（1）委員会による検討

学識経験者、海事関係者、関係官公庁で構成される委員会を設置し、調査方針の検討、調査結果の検討および報告取り纏め等を行った。

（２）意見聴取及び調整

津波対策、船舶航行安全対策等の検討に当たっては、海事関係者・関係機関等に十分説明すると共に意見等を聴取して検討・調整を進めた。

（３）係留限界、操船シミュレーション等による検討

一般船舶及び大型危険物船において係留限界・操船シミュレーション等を行い、係留限界を把握するとともに、緊急離桟・港外退避の可能性と必要な措置等を検討した。

＜調査・検討のフロー＞

第 1 回委員会

1. 調査計画の検討
2. 昨年度調査結果の概要
3. 係留限界シミュレーション手法等の検討

↓

係留限界シミュレーション、錨泊限界の調査

↓

第 2 回委員会

1. 係留限界シミュレーション等調査結果の検討・整理
2. 係留強化及び錨泊避難の可能性と必要な措置の検討
3. 操船シミュレーション手法の検討

↓

操船シミュレーション

↓

第 3 回委員会

1. 大型危険物積載船舶の安全対策の検討
2. 緊急離桟・港外退避の可能性と必要な措置の検討
3. モデル港（清水港）における対応策の検討
4. 平成 15 年度「津波が予想される場合の船舶安全確保に関する調査研究報告書」の見直し

↓

第 4 回委員会

1. 報告書(案)の検討

4　調査の経過

本調査の検討経過は、以下のとおりである。

2013 年

4.1 第 1 回委員会

6 月 18 日（火）14 時 00 分～15 時 40 分

於：「日本財団　１～４会議室」

議事内容

・調査計画について

・平成 24 年度調査検討の概要について

・津波に対する係留限界及び係駐限界の検討について

4.2 第 2 回委員会

9 月 12 日（木）14 時 00 分～16 時 40 分

於：「日本財団　１～４会議室」

議事内容

・津波に対する係留限界検討結果

・津波に対する係駐限界検討結果

・津波に対する緊急離桟操船検討

・大型危険物積載船等の安全防災対策

4.3 第 3 回委員会

12 月 6 日（金）14 時 00 分～16 時 40 分

於：「日本財団　１～４会議室」

議事内容

・操船シミュレーションの結果について

・大型危険物積載船の安全防災対策について

・モデル港（清水港）における対応策の検討

・作業部会の設置について

2014 年

4.4 作業部会

1 月 17 日（金）14 時 00 分～16 時 20 分

於：「日本財団　１～４会議室」

議事内容

・津波に対する係留限界検討結果

・緊急離桟操船実験結果

4.5 第 4 回委員会

2 月 24 日（月）14 時 00 分～17 時 30 分

於：「東海大学校友会館　富士の間」

議事内容

・報告書（案）の検討

・その他

5　委員会、作業部会の構成

委員会及び作業部会の名称、構成は次のとおりである。

5.1 委員会

「津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究委員会」

＜委員長＞

今津　隼馬	東京海洋大学　名誉教授

＜委員＞（順不同、敬称略、（ ）は前任者を示す）

渡邉　　豊	東京海洋大学　海洋工学部　教授
津金　正典	元東海大学　教授
佐竹　健治	東京大学地震研究所　地震火山情報センター　センター長・教授
道田　　豊	東京大学大気海洋研究所　国際連携研究センター　所長補佐・教授
田中　隆博	海上保安大学校　准教授
富田　孝史	独立行政法人港湾空港技術研究所 アジア・太平洋沿岸防災研究センター　副センター長
小山　仁明 （山内　章裕）	(一社)日本船主協会　海務部課長
楠元　達也	外国船舶協会（ﾉｰｽ ｳｴｽﾄ ｼｪﾙﾌ ｼｯﾋﾟﾝｸﾞ ｻｰﾋﾞｽ ｶﾝﾊﾟﾆｰ PTY.LTD ﾃﾞﾋﾟｭﾃｨｰ ﾏﾈｰｼﾞｬｰ ﾉｰｽｱｼﾞｱ）
大西　正則	日本内航海運組合総連合会　審議役
齊藤　廣志	全国内航タンカー海運組合　海工務部長
加藤　勝則 （稲垣　拡夫）	(一社)日本旅客船協会 （商船三井フェリー株式会社　取締役 安全統括管理者）
小島　　茂	(一社)日本船長協会　会長
岡野　良成	日本水先人会連合会　専務理事
立川　博行	全日本海員組合　国際・国内政策局長
木上　正士	(一社)大日本水産会　事業部部長
高浜　　彰	全国漁業協同組合連合会　漁政部 部長
齋田　泰志	外航船舶代理店業協会　専務理事
木本　弘之	(一財)海上災害防止センター　調査研究室長
中村　容透	(一社)日本造船工業会（川崎重工業株式会社 船舶海洋カンパニー技術本部技師長、工学博士）
河原　　健	(一社)日本港湾タグ事業協会　専務理事
濵田　高志	(一社) 日本海事検定協会　安全技術サービスセンター 調査研究チーム　チームリーダー
田和　健次	石油連盟　技術環境安全部長
岩田　誠一	日本 LP ガス協会　事務局長
土井　純二	(一社) 日本ガス協会　技術部製造技術グループマネージャー

岩場　　新	電気事業連合会　企画部副長
（田中　浩介）	
櫻井　　洋	(公社)東京湾海難防止協会　理事・調査研究部長

＜関係官庁＞（順不同、敬称略、（ ）は前任者、前組織を示す）

木島　利通	水産庁 漁港漁場整備部　防災漁村課長
芳鐘　　功	国土交通省 海事局　総務課危機管理室長
加藤　光一	国土交通省 海事局　安全政策課長 （国土交通省 海事局　安全・環境政策課長）
黒川　和浩	国土交通省 港湾局　海岸・防災課 広域連携推進官
長谷川洋平	気象庁 地震火山部　地震津波監視課長
森　　宏之	海上保安庁 警備救難部　環境防災課長
（七尾　英弘）	
楠　　勝浩	海上保安庁 海洋情報部　海洋調査課海洋防災調査室長
住本　　靖	海上保安庁 交通部　安全課長
（鈴木　弘二）	
豊藏　俊雄	海上保安庁 交通部　安全課航行指導室長
加賀谷俊和	国土交通省中部地方整備局　清水港湾事務所長
花村　幸宏	第三管区海上保安本部　交通部長
長谷川秀巳	清水海上保安部長
西園　勝秀	静岡県交通基盤部港湾局　局長

＊上記委員等のほか、次の諸氏にご協力をいただいた。(順不同、敬称略)

檜垣　　漸	清水水先区水先人会　会長
松村　泰材	日本水先人会連合会　常務理事
江森慎太郎	日本水先人会連合会　業務部業務課主任
浦　　隆幸	全日本海員組合　総合政策部長
笠井　良真	国土交通省 海事局　総務課危機管理室専門官
金子　純蔵	国土交通省 海事局　安全政策課危機管理室長
松本　和之	国土交通省 海事局　安全政策課危機管理室企画係
中村　浩二	気象庁 地震火山部　地震津波監視課津波予測モデル開発推進官
石上幾久夫	海上保安庁 警備救難部　環境防災課専門官
堀ノ内宏行	海上保安庁 警備救難部　環境防災課防災係長
笹原　　昇	海上保安庁 海洋情報部　海洋調査課上席海洋防災調査官
赤松　宏樹	海上保安庁 交通部　安全課航行安全企画官
冨田　英利	海上保安庁 交通部　安全課航行安全企画官
福田　幸二	海上保安庁 交通部　安全課航行指導室専門官
山田　　誠	国土交通省中部地方整備局　清水港湾事務所副所長
小川　　孝	静岡県交通基盤部港湾局　技監

＜事務局＞

渡部　典正	(公社)日本海難防止協会　専務理事
小川　泰治	(公社)日本海難防止協会　常務理事
中嶋　雄一	(公社)日本海難防止協会　調査役
大内　勝美	(公社)日本海難防止協会　企画国際部　部長
畑瀬　崇順	(公社)日本海難防止協会　海上交通研究部　部長
土田　英幸	(公社)日本海難防止協会　上席研究員
山口　　繁	(公社)日本海難防止協会　主任研究員
吉村　杏奈	(公社)日本海難防止協会　研究員
白井　友子	(公社)日本海難防止協会　研究員

＜シミュレーション委託＞

津波シミュレーション	(一財)日本気象協会
操船・係留動揺シミュレーション	(株)日本海洋科学

5.2 作業部会

「津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究委員会」作業部会

＜委員長＞

今津　隼馬	東京海洋大学　名誉教授

＜委員＞（順不同、敬称略）

渡邉　　豊	東京海洋大学　海洋工学部　教授
津金　正典	元東海大学　教授
佐竹　健治	東京大学地震研究所　地震火山情報センター　センター長・教授
道田　　豊	東京大学大気海洋研究所　国際連携研究センター　所長補佐・教授
田中　隆博	海上保安大学校　准教授
小山　仁明	(一社)日本船主協会　海務部課長
楠元　達也	外国船舶協会（ﾉｰｽ ｳｴｽﾄ ｼｪﾙﾌ ｼｯﾋﾟﾝｸﾞ ｻｰﾋﾞｽ ｶﾝﾊﾟﾆｰ PTY.LTD ﾃﾞﾋﾟｭﾃｨｰ ﾏﾈｰｼﾞｬｰ ﾉｰｽｱｼﾞｱ）
大西　正則	日本内航海運組合総連合会　審議役
齊藤　廣志	全国内航タンカー海運組合　海工務部長
加藤　勝則	(一社)日本旅客船協会 （商船三井フェリー株式会社　取締役 安全統括管理者）
小島　　茂	(一社)日本船長協会　会長
岡野　良成	日本水先人会連合会　専務理事

＜関係官庁＞（順不同、敬称略）

木島　利通	水産庁 漁港漁場整備部　防災漁村課長
加藤　光一	国土交通省 海事局　安全政策課長
黒川　和浩	国土交通省 港湾局　海岸・防災課 広域連携推進官
長谷川洋平	気象庁 地震火山部　地震津波監視課長
森　　宏之	海上保安庁 警備救難部　環境防災課長
楠　　勝浩	海上保安庁 海洋情報部　海洋調査課海洋防災調査室長
住本　　靖	海上保安庁 交通部　安全課長
豊藏　俊雄	海上保安庁 交通部　安全課航行指導室長
加賀谷俊和	国土交通省中部地方整備局　清水港湾事務所長
花村　幸宏	第三管区海上保安本部　交通部長
長谷川秀巳	清水海上保安部長
西園　勝秀	静岡県交通基盤部港湾局　局長

＊上記委員等のほか、次の諸氏にご協力をいただいた。(順不同、敬称略)

檜垣　　漸	清水水先区水先人会　会長
田中　俊弘	(一社)日本船主協会　海務部長
中村　浩二	気象庁 地震火山部　地震津波監視課津波予測モデル開発推進官
山内　明彦	海上保安庁 海洋情報部　海洋調査課海洋防災調査室主任海洋調査官
杉山　雄二	静岡県交通基盤部港湾局　港湾企画課技監

＜事務局＞

渡部　典正	(公社)日本海難防止協会　専務理事
小川　泰治	(公社)日本海難防止協会　常務理事
中嶋　雄一	(公社)日本海難防止協会　調査役
大内　勝美	(公社)日本海難防止協会　企画国際部　部長
畑瀬　崇順	(公社)日本海難防止協会　海上交通研究部　部長
土田　英幸	(公社)日本海難防止協会　上席研究員
白井　友子	(公社)日本海難防止協会　研究員

第Ⅱ編　調査結果

1　平成 24 年度調査検討の概要

本調査委員会は、平成23年3月に発生した東日本大震災を踏まえ、内閣府中央防災会議において検討されている南海トラフの巨大地震よる津波モデルの被害想定をもとに、これまでの津波対策や航行安全対策の見直し、検討を行うとともに、大型危険物積載船の津波影響評価により、今後想定される大地震発生時あるいは大津波来襲時における船舶被害の未然防止及び被害の極小化に資することを目的として所要の調査検討を行った。

平成 24 年度の調査検討結果を以下に整理した。なお、調査結果概要図を添付する。

■　東日本大震災での被害状況の概要把握

東北地方太平洋沖地震・津波の概要について、中央防災会議等の調査結果を整理するとともに、当協会が東日本大震災の被災地におけるアンケート及びヒアリング調査によりまとめた「平成 23 年度震災報告書（津波影響による船舶避難行動と被災状況等に係る基礎調査）」から得られた教訓や課題等について概要を整理した。

被災地の港湾においては、地震直後の停電による電源喪失、電話回線の混雑による連絡不能という二大障害が発生し、これにより荷役設備の切り離しが出来ず緊急離桟の障害になった事例、電話と FAX が使えず船陸間の連絡が取れなかった事例などが生じたことが明らかとなった。

■　現状の津波対策・航行安全対策の収集・整理

津波災害の防止措置についての関係法令、関係行政機関等による地震・津波情報等の伝達及び船舶津波対策等を調査したところ、各行政機関とも東日本大震災の教訓を踏まえて、ソフト・ハード両面より様々な津波対策の改善が行われていることが判明した。

津波警報等の伝達については、気象庁の津波警報等の情報文の改善をはじめ、携帯電話会社による緊急速報「エリアメール」の配信の導入、市町村による MCA 無線を用いた一斉通信の導入が行われていることが明らかになった。

■　見直し、検討が必要な津波対策・航行安全対策の抽出・検討

平成 23 年度震災報告書及びこれまでの海事関係者へのヒアリング調査等を基にし、現状の津波対策、航行安全対策等で見直し、検討が必要な以下の事項について抽出し、考え方を整理した。

①　電源及び通信手段の確保
②　津波来襲時の自主的な避難
③　避難における陸上、洋上支援のあり方
④　安全な避難海域の把握
⑤　危険物積載船の避難
⑥　危険物積載船以外の避難

⑦　津波来襲後の被災船舶等への情報提供

■　モデル港の選定と状況調査

これまでの津波対策の検討経緯や地元関係者の協力を踏まえ、平成 15 年度の研究に続き、今回も清水港をモデル港として選定し検討することとした。

清水港の現状の津波対策についてヒアリング調査を行ったところ、関係行政機関における事前の取り決めが以下のとおり定められていることが明らかとなった。

①　静岡県は、大規模地震対策特別措置法に基づく地震防災対策強化地域に指定されており、東海地震が予知されることを前提とした「清水港地震災害対策マニュアル」が作成されている。大規模地震の発生が予想される段階から地震発生後約 2 週間の応急復旧までの期間の作業を想定し、事業者毎に具体的な役割分担が定められている。

②　また、清水港においては、東海地震の予知型以外の突発的な災害に対応するための海事・港湾関係者で構成される「清水港台風・津波対策協議会」が設置されている。津波注意報または津波警報（津波・大津波）発表時をもって、港長から勧告が発せられたものとし、係留強化や港外退避などの所要の対応を取る旨の事前取決めを行っている。

■　モデル港（清水港）における津波シミュレーションによる影響調査

中央防災会議の被害想定をもとに、清水港で想定される津波の状況について津波シミュレーションにより影響調査を実施した。

南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高については、中央防災会議において、東日本大震災の教訓を踏まえた新しい考え方、すなわち、津波地震や広域破壊メカニズムなど、あらゆる可能性を考慮した最大クラスのものとして推計されている。これらの中で検討されている津波断層モデル 11 ケースのうち、静岡市清水区で最大となるケース⑧（10.9m）を想定地震断層モデルとして採用した。

この結果、以下のことが判明した。

①　地震発生とともに清水港周辺では、陸地、海底ともに約 3m 地盤が隆起する。

②　津波第一波は、地震発生後約 2 分後に押し波（TP 約+4.5m）が、地震発生後約 5 分後に引き波（TP 約－3.0m）がそれぞれ港口に到達する。

③　津波第二波は、地震発生後約 14 分後に押し波（TP 約+5m）が、地震発生後約 27 分後に引き波（TP 約－2.5m）がそれぞれ港口に到達する。津波は押し引きを繰り返しながら減衰していく。

④　港内の津波高は TP+4～+7m となり、一部の埠頭は津波の遡上及び岸壁越流により浸水する。

⑤　引き波時の最低水位は TP－3～－6m となり、各船溜まりの一部及び折戸湾等で海底が露出する。

⑥　防波 堤付近、本港航路付近等においては、引き波時に流速 5m/s 以上の港外向けの強い流れが発生する。

この他、清水港付近 46 地点における津波高さ、流速等を調査した。

■ モデル港（清水港）で取り得る対応策の検討

これまでの調査を踏まえて、清水港で取り得る対応策について検討したところ、以下のことが望まれるとの考えが示された。

① 港長勧告を伝達する手段の多重化を図ること。
② 在泊船舶と事業者間の連絡手段の確保、荷役設備・係留設備の非常用電源を整備すること。
③ 船舶の避難判断等の事前取決めをしておくこと。
④ 安全な避難海域についての情報を共有しておくこと。
⑤ 外国人船員への啓蒙・周知を行うこと。
⑥ 被災・避難船舶への分かり易い情報提供を行うこと。
⑦ 清水港における大型船、中型船の初動対応は、係留強化して津波に備えること。
⑧ 津波により係留索が切断され船体漂流することも考えられることから、着岸時においては常に主機関の起動及び投錨の準備をしておくこと。

■ 係留大型危険物積載船の津波影響評価

大型危険物積載船の津波による係留限界を調査するため、仮想桟橋を設定し、30 万 DWT の VLCC 及び 21 万㎥級メンブレン型 LNG 船の係留動揺シミュレーションを実施した。

調査の結果、VLCC においては津波高 1.5m、流速 2.1 ノットで、LNG 船においては津波高 2.5m、流速 3.3 ノットで係留索が破断することを確認した。

今年度の検討を踏まえ、今後、モデル港内に在泊している船舶の船長が、大地震発生時或いは大津波来襲時に取るべき最善の方策を検討する上で、一般船舶も含めた係留限界及び錨泊限界の調査等を行う必要がある。

また、これらの検討に併せ、船舶避難時における対応策、大型危険物積載船の安全対策及び港内津波対策検討の手引き（平成 15 年度「津波が予想される場合の船舶安全確保に関する調査研究報告書」）の見直しなどを検討することとしている。

平成24年度 大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究 調査結果概要図

○東日本大震災での被害状況の概要把握 ［Ⅰ-2］
- ✓ 中央防災会議調査結果整理
- ✓ 平成23年度震災報告書（津波影響による船舶避難行動と被災状況等に係る基礎調査）より得られた教訓、課題等の整理

◆東北地方太平洋沖地震及び南海トラフの巨大地震の概要［Ⅱ-1］
◆東日本大震災の被害状況の概要［Ⅱ-2. Ⅲ-1］

○係留大型危険物積載船の津波影響評価（係留限界評価）［Ⅰ-2］
- ✓ 仮想桟橋における、VLCC、LNG船の船体動揺ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ調査

○係留動揺シミュレーション条件
- ➢ 船種・船型（VLCC30万DWT, LNG21万㎥）
- ➢ 仮想バースの設定
- ➢ 係留索の配置
- ➢ 外力条件（津波のみ、津波＋通常波浪）
- ➢ 評価基準（OCIMFによる安全率を考慮）

◆係留動揺シミュレーション調査結果［Ⅱ-6］
- ➢ VLCC（30万DWT）
  - ・係留索破断限界：津波高1.5m，流速2.1knot（津波方向：正横）
- ➢ LNG船（21万㎥）
  - ・係留索破断限界：津波高2.5m，流速3.3knot（津波方向：船首，船尾，正横）

○見直し、検討が必要な津波対策・航行安全対策の抽出・整理・検討［Ⅰ-2］
- ✓ 現状の津波来襲時等の津波対策・航行安全対策の収集・整理
- ✓ 見直し、検討が必要な対策の抽出・検討
- ✓ モデル港における状況調査（ケーススタディー）

◆現状の津波対策・航行安全対策［Ⅱ-3. Ⅲ-2］
- ➢ 災害対策基本法等による地震津波対策
- ➢ 津波情報文の改善、緊急地震速報、津波監視体制強化（気象庁）
- ➢ VHF、NAVTEX等による津波情報伝達、港長勧告の運用（海上保安庁）
- ➢ 漁業地域の減災計画策定（水産庁）
- ➢ 三大湾等における総合的な地震・津波対策、可動式津波防波堤等（港湾局）
- ➢ 旅客船の津波対策（海事局）
- ➢ 地域防災計画・石油ｺﾝﾋﾞﾅｰﾄ等防災計画（自治体）
- ➢ 緊急速報（ｴﾘｱﾒｰﾙ）の配信（携帯電話会社）

○モデル港（清水港）における状況調査（ｹｰｽｽﾀﾃﾞｨｰ）
- ✓ 現状の津波対策ﾋｱﾘﾝｸﾞ調査
- ✓ 津波影響調査（津波ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ）
- ✓ モデル港で取り得る対応策の検討

◆現状の津波対策ﾋｱﾘﾝｸﾞ調査結果［Ⅱ-4. Ⅲ-3］
- ➢ 清水港地震災害対応マニュアル（静岡県）
- ➢ 海事・港湾関係者による事前取決め（清水港台風・津波対策協議会）
- ➢ 人命第一とした避難行動
- ➢ 船舶情報センターによる支援　等

◆モデル港における津波シミュレーションによる影響調査結果　［Ⅱ-5］
（南海トラフ巨大地震津波断層モデルによる）
- ➢ 地殻変動により約3mの地盤隆起
- ➢ 津波第一波：2分後押し波、5分後引き波
- ➢ 津波第二波：14分後押し波、27分後引き波
- ➢ 港内の津波高：TP+4～7m（一部岸壁越流）
- ➢ 最低水位：TP-3～6m（一部海底露出）
- ➢ 引き波時に流速5m/s以上の強い流れが発生
- ➢ 地域特性により影響の小さい地域あり

◆見直し、検討が必要な津波対策・航行安全対策の抽出・検討［Ⅱ-7］

≪課題抽出⇒対応策（課題の考え方）≫
- ➢ 電源及び通信手段の確保　⇒ 予備電源確保、伝達手段多重化等
- ➢ 津波来襲時の自主的な避難　⇒ 津波警報時の避難行動等の事前取決め
  - ⇒ 外国船員の啓蒙・周知等
- ➢ 避難時の陸上・洋上支援のあり方
  - ⇒ 水先人、タグ等支援なしでの対応の検討
- ➢ 安全な避難海域の把握　⇒ 安全な避難エリアの情報共有
- ➢ 危険物積載船の避難　⇒ 一定以上の地震発生時の荷役中止等準備の検討
  - ⇒ 地域特性を踏まえた出船着桟の検討
  - ⇒ 入船着桟時の離桟時間短縮の検討
  - ⇒ 船体動揺ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝによる係留限界条件解析
- ➢ 危険物積載船以外の避難　⇒ 危険物積載船に準じた検討
- ➢ 津波来襲後の被災船舶への情報提供
  - ⇒ 航行警報、ｲﾝﾀｰﾈｯﾄによる分かりやすい情報提供
  - ⇒ 外国船への配慮

◆モデル港で取り得る対応策［Ⅱ-8］
- ➢ 港長勧告伝達手段の多重化
- ➢ 船舶と事業者間の連絡手段の確保、荷役・係留設備の非常用電源の確保
- ➢ 船舶避難判断の事前取決め
- ➢ 避難海域の情報共有
- ➢ 外国人船員への啓蒙・周知
- ➢ 被災・避難船舶への分かりやすい情報提供
- ➢ 大型船・中型船の係留強化（初動対応）、着岸時の主機関・投錨準備　等

≪平成25年度の検討≫
- ✓ モデル港において船長が取るべき最善の対応策の検討
- ✓ 大型危険物積載船等各種船舶の安全対策の検討
- ✓ 港内津波対策検討の手引き（H15年度）の見直し

係留限界、錨泊限界の調査
緊急離桟操船の調査

凡例
- ○：調査計画
- ◆：調査検討結果

2　係留・係駐限界シミュレーションの整理・検討

2.1 津波に対する係留限界検討

2.1.1 検討目的

本検討は、係留動揺シミュレーション手法により、仮想桟橋に係留する大型危険物積載船（VLCC／LNG 船）並びに仮想岸壁に係留する一般船舶（3,000DWT／10,000DWT）に対する津波の高さ、流速ごとの係留限界について検討するものである。

2.1.2 検討方法

今回の検討手法として用いる係留動揺シミュレーションは、外力（風、波浪、潮流、津波等）に対する係留中の船体動揺量（6 モード：Surge/Sway/Heave/Roll/Pitch/Yaw）を運動方程式を解くことにより求めるものである。

船舶のような浮体は、静水中で重力と浮力が互いに作用することによってバランスを保っているが、風や波といった外力が作用した場合には、力のバランスが崩れるために動揺する。ここで対象としている係留中の船舶においては、船体が動揺することによって船体自身の浮力による復原力と係留装置による係留力が生じるため、船体動揺を解析するにあたっては次頁に示すような運動方程式（右辺は船体に与える外力、左辺は船舶運動に係わる式）を立てる必要がある。なお、外力により船体が動揺することによって新たに発生する流体力をラディエーション流体力と呼んでおり、概念図は図 2.1.2に示すとおりである。

今回の係留動揺シミュレーションによる一連の検討フローは、図 2.1.3に示すとおりである。

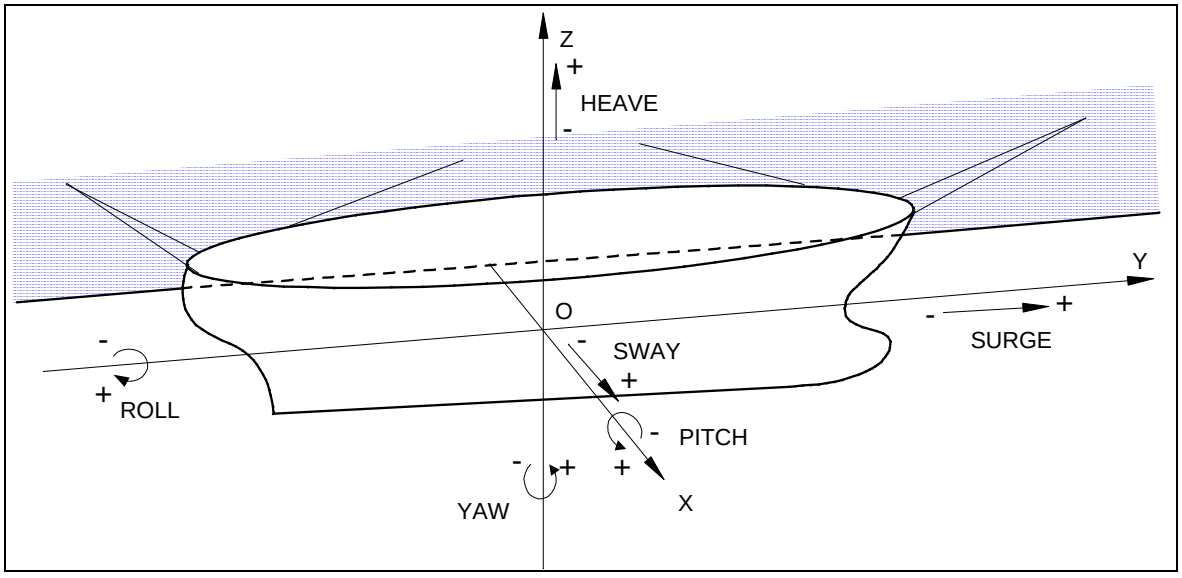


図 2.1.1　船体動揺の 6 モード

《運動方程式》

$$\sum_{j=1}^{6}\left(M_{ij}+m_{ij}(\infty)\right)\ddot{X}_j(t)+\sum_{j=1}^{6}\left\{\int_{-\infty}^{t}\dot{X}_j(\tau)L_{ij}(t-\tau)d\tau+D_{ij}\dot{X}_j(t)\right\}+\sum_{j=1}^{6}\left(C_{ij}X_j(t)\right)+G_i=F_i(t)$$

ここで、 $X_j(t)$ ：船体動揺の変位または回転角

M_{ij} ：船体の質量および慣性モーメント

$m_{ij}(\infty)$ ：不変付加質量および不変付加慣性モーメント

L_{ij} ：メモリー影響関数

D_{ij} ：粘性減衰係数（粘性減衰力は Sway、Surge、Yaw）

C_{ij} ：静的復原力係数

G_i ：非線形係留力ベクトル

F_i ： 外力項（波浪強制力 F_{ei}、風圧力 F_{wi}）

t ：経過時間

τ ：積分変数

添え字 ij ：j モードの運動による i モードの運動への寄与を表す（i、j=1～6 は運動モード Sway、Surge、Heave、Pitch、Roll、Yaw）

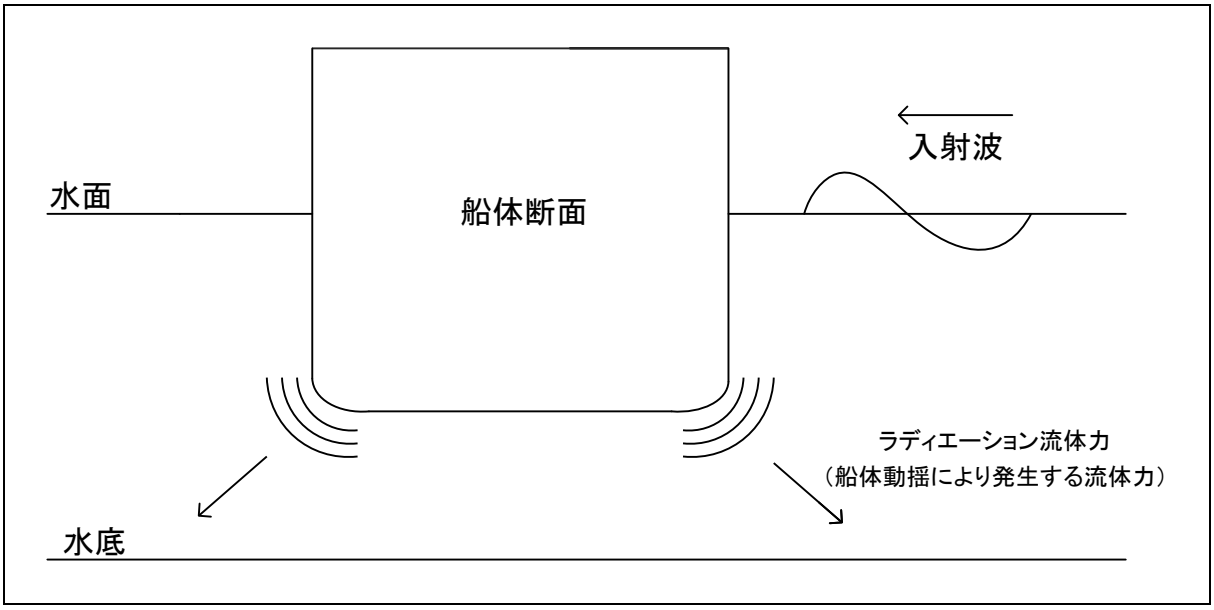


図 2.1.2　ラディエーション流体力の概念図

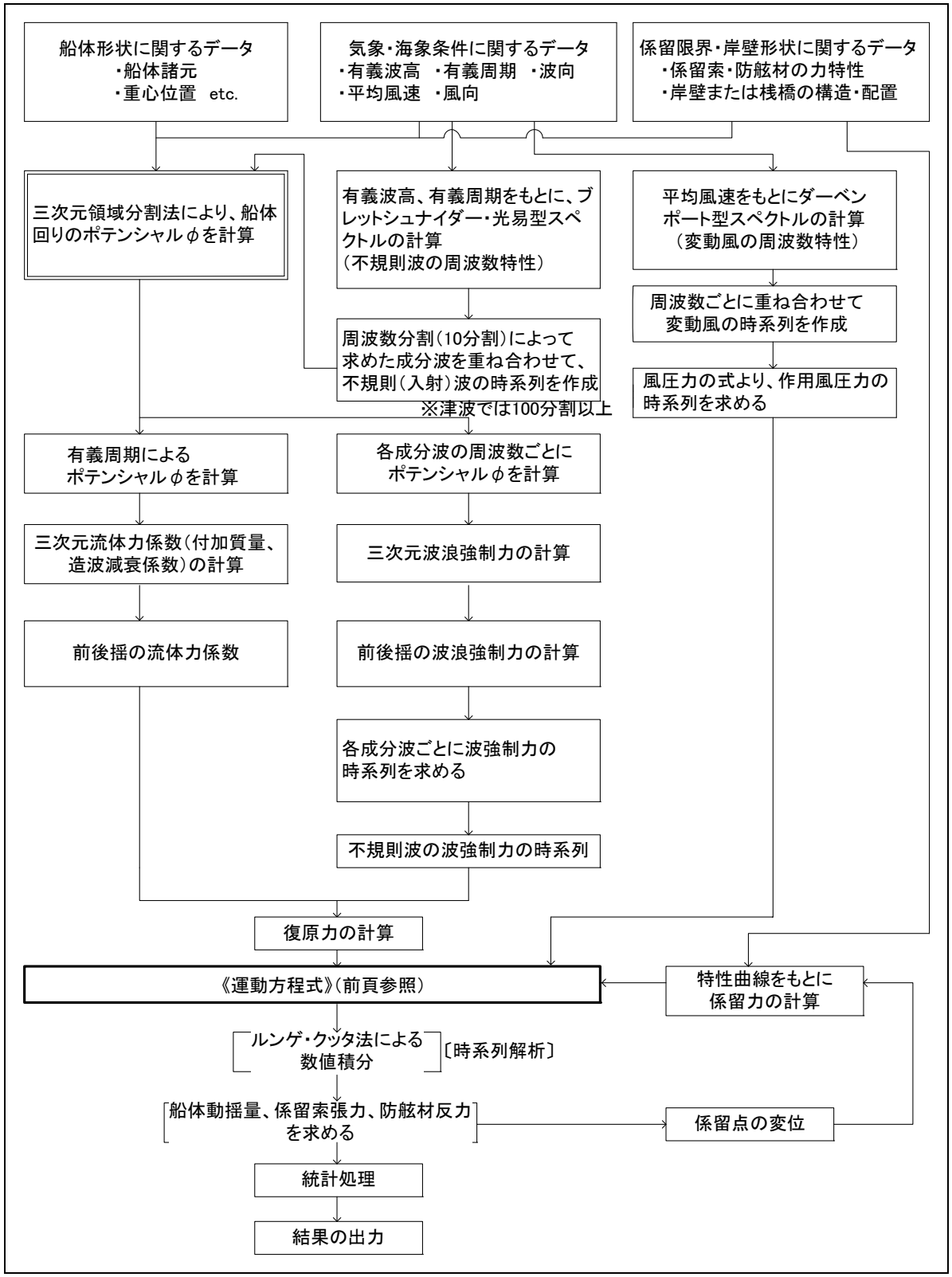


図 2.1.3　係留動揺シミュレーションの検討フロー

2.1.3 検討条件

2.1.3.1 対象船舶

本検討における対象船舶は、過年度検討した大型危険物積載船（VLCC／LNG 船）に加えて、内航船を想定した一般船舶（3,000DWT／10,000DWT）を選定した。なお、係留動揺シミュレーションにおける喫水の設定は、津波の影響をより強く受ける流圧面積の大きな満載状態（重たい状態）を想定する。

(1) VLCC（大型危険物積載船）

VLCC の主要目を表 2.1.1に示し、側面図及び平面図を図 2.1.4、図 2.1.5に示す。

表 2.1.1　VLCC の主要目

主要目	諸元
全長	333.0 m
垂線間長	324.0 m
型幅	60.0 m
型深	29.0 m
喫水（満載）	20.5 m
載荷重量	300,000 DWT
総トン数	160,000 GT
満載排水量	342,000 t

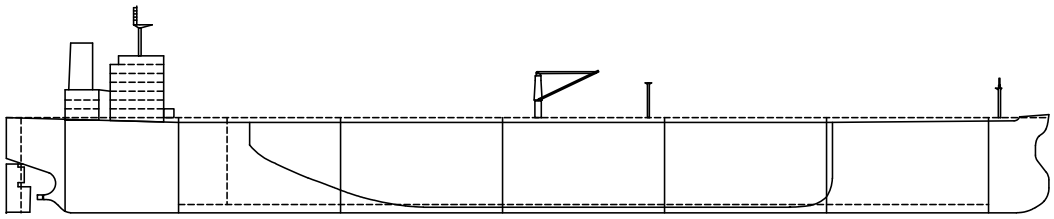


図 2.1.4　VLCC（側面図）

図 2.1.5　VLCC（平面図）

(2) LNG 船（大型危険物積載船）

LNG 船の主要目を表 2.1.2に示し、側面図及び平面図を図 2.1.6、図 2.1.7に示す。

表 2.1.2　LNG 船の主要目

主要目	諸元
全長	315.0 m
垂線間長	302.0 m
型幅	50.0 m
型深	27.0 m
喫水（満載）	12.0 m
載荷重量	102,000 DWT
総トン数	135,000 GT
満載排水量	143,400 t

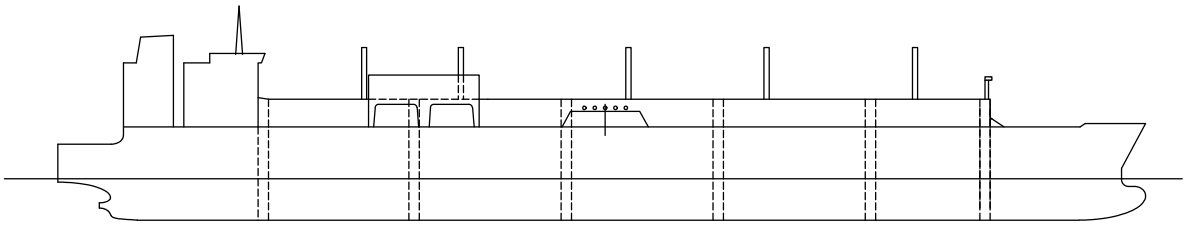


図 2.1.6　LNG 船（側面図）

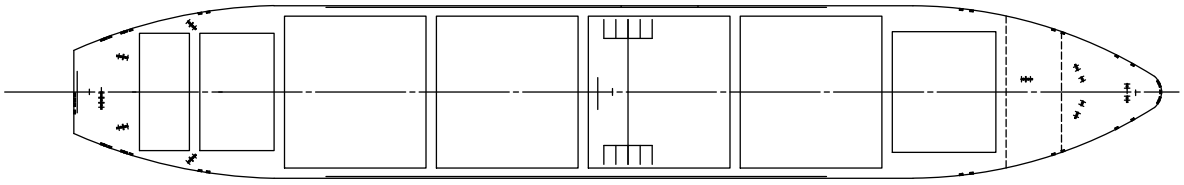


図 2.1.7　LNG 船（平面図）

(3) 3,000DWT（一般船舶）

3,000DWT の主要目を表 2.1.3に示し、側面図及び平面図を図 2.1.8、図 2.1.9に示す。

表 2.1.3　3,000DWT の主要目

主要目	諸元
全長	80.0 m
垂線間長	75.0 m
型幅	13.0 m
型深	6.0 m
喫水（満載）	5.0 m
載荷重量	3,000 DWT
総トン数	1,600 GT
満載排水量	3,700 t

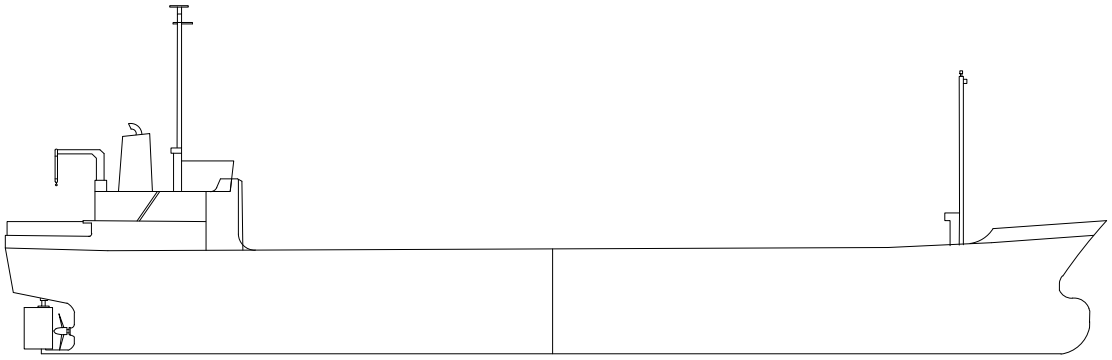


図 2.1.8　3,000DWT（側面図）

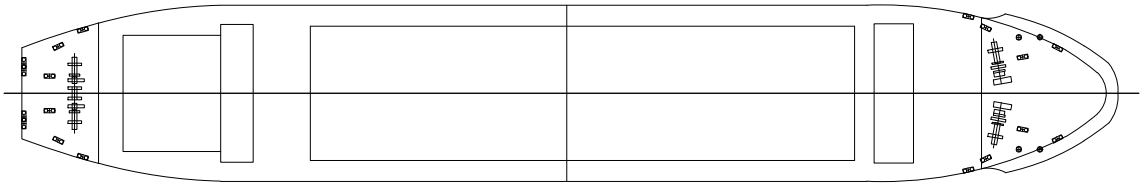


図 2.1.9　3,000DWT（平面図）

(4) 10,000DWT（一般船舶）

10,000DWT の主要目を表 2.1.4に示し、側面図及び平面図を図 2.1.10、図 2.1.11に示す。

表 2.1.4　10,000DWT の主要目

主要目	諸元
全長	113.0 m
垂線間長	107.0 m
型幅	19.0 m
型深	10.0 m
喫水（満載）	8.0 m
載荷重量	10,000 DWT
総トン数	6,000 GT
満載排水量	13,500 t

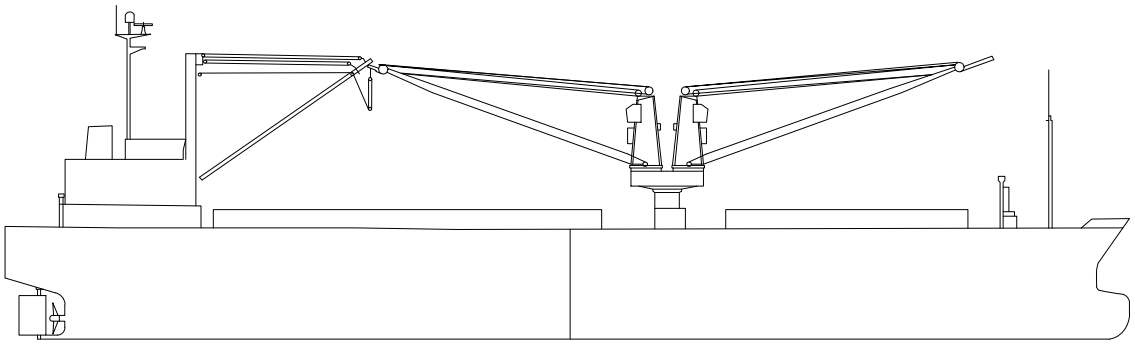


図 2.1.10　10,000DWT（側面図）

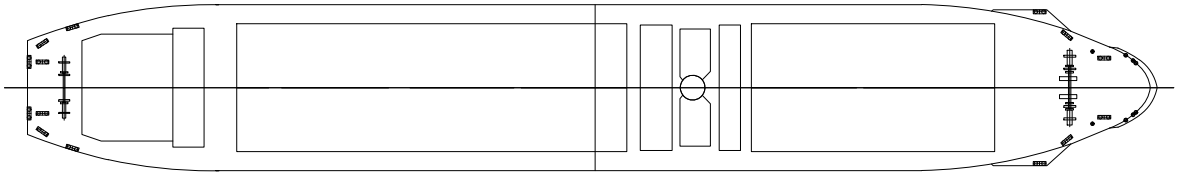


図 2.1.11　10,000DWT（平面図）

2.1.3.2 係留バース

本検討では、対象船舶の係留バースとして、仮想桟橋（VLCC／LNG 船）及び仮想岸壁（3,000DWT／10,000DWT）を設定する。ただし、これらの係留バースの寸法、係留設備位置等については、現存する桟橋及び岸壁の諸元を参考にして設定することとした。

(1) 仮想桟橋（VLCC 用）

VLCC のバースは、その係留方式によって一点係留ブイ、岸壁構造、桟橋構造、海上での桟橋構造（シーバース方式）などがあるが、ここでは、シーバース方式を想定する。

なお、シーバースの立地場所は、周辺の港湾施設等により全く遮蔽されていないオープン水域のバースであるため、津波・波浪に対して、係留船舶は岸壁からの反射波等の影響は受けにくいが、湾内に流入・流出する流れの影響は受けやすい環境であるといえる。

図 2.1.12に VLCC 用の仮想桟橋を示し、当該桟橋に設定する係留設備を表 2.1.5に示す。

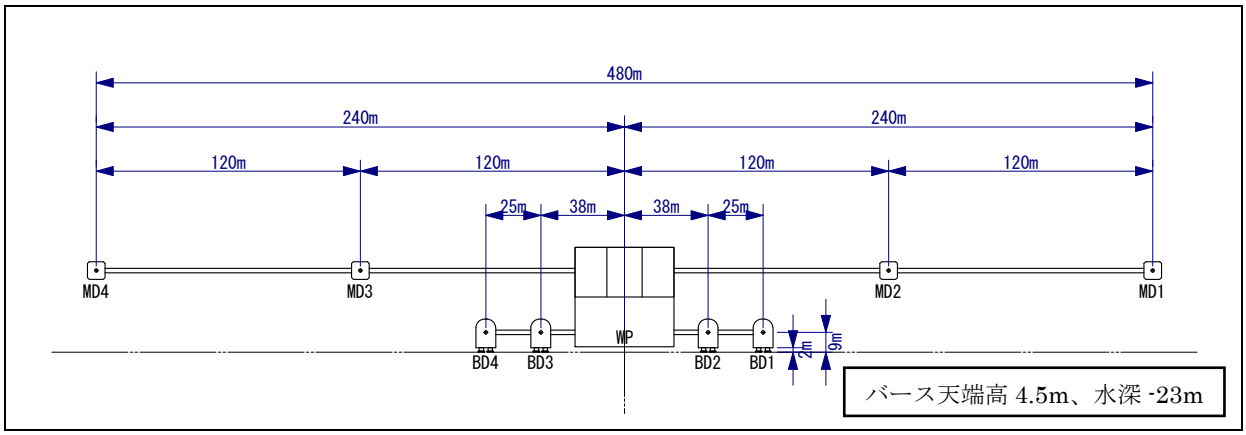


図 2.1.12　仮想桟橋の概要図（VLCC 用）

表 2.1.5　仮想桟橋の係留設備（VLCC 用）

	接岸ドルフィン				綱取ドルフィン			
	BD1	BD2	BD3	BD4	MD1	MD2	MD3	MD4
防舷材 【セル型 C2,000H（Ro）】	2 基	2 基	2 基	2 基	－	－	－	－
クイック・リリースフック 【100tf×2 フック】	1 基	1 基	1 基	1 基	2 基	2 基	2 基	2 基

(2) 仮想桟橋（LNG 船用）

LNG 船のバースは、国内において一般的な桟橋構造を想定する。

図 2.1.13に LNG 船用の仮想桟橋を示し、当該桟橋に設定する係留設備を表 2.1.6に示す。

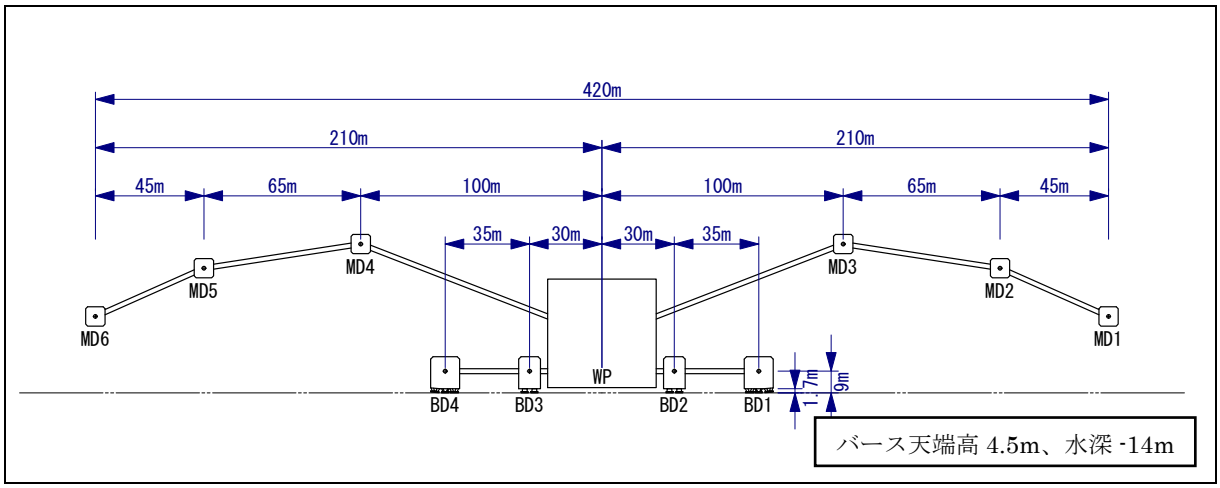


図 2.1.13　仮想桟橋の概要図（LNG 船用）

表 2.1.6　仮想桟橋の係留設備（LNG 船用）

	接岸ドルフィン				綱取ドルフィン					
	BD1	BD2	BD3	BD4	MD1	MD2	MD3	MD4	MD5	MD6
防舷材 【セル型 1,700H】	3 基	2 基	2 基	3 基	－	－	－	－	－	－
クイック・リリースフック 【100tf×3 フック】	1 基	1 基	1 基	1 基	1 基	1 基	1 基	1 基	1 基	1 基

(3) 仮想岸壁（一般船舶用）

一般船舶（3,000DWT、10,000DWT）のバースに設置する岸壁ビット及び防舷材の設置間隔及び仕様については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（公益社団法人 日本港湾協会）」の技術基準（表 2.1.7）の下、既設岸壁の設置状況を参考にして、以下のとおり設定した。

図 2.1.14に一般船舶用の仮想岸壁を示し、当該岸壁に設定する係留設備を表 2.1.8に示す。

表 2.1.7　岸壁ビット（曲柱）及び防舷材の配置（技術基準）

対象船舶の総トン数（GT）	曲柱の最大間隔（m）	1バース当たりの最低設置個数(個)
2,000 未満 ※1	10～15	4
2,000 以上　5,000 未満	20	6
5,000 以上　20,000 未満 ※2	25	6
20,000 以上　50,000 未満	35	8
50,000 以上　100,000 未満	45	8
※　防舷材の配置については、船舶が岸壁に直接接触することの無い様に設置することが求められており、一般的に 5～20m 間隔に取り付けられている。		

※1　3,000DWT の一般船舶に相当する　　※2　10,000DWT の一般船舶に相当する

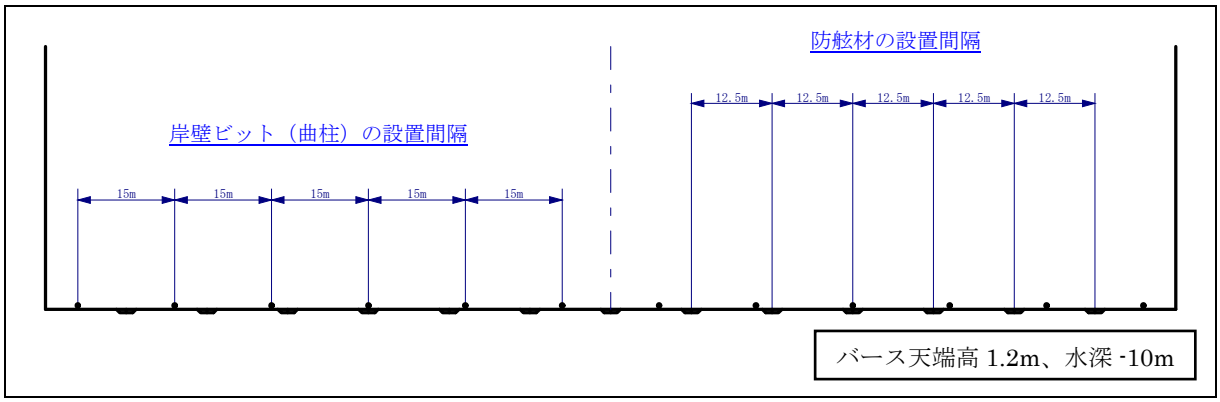


図 2.1.14　仮想岸壁の概要図（一般船舶用）

表 2.1.8　仮想岸壁の係留設備（一般船舶用）

	仮想岸壁
防舷材 【V 型 500H×2000L】	12.5m の設置間隔で防舷材を岸壁に設定 （対象船舶のパラレルボディに 4 箇所程度タッチする状況を想定）
岸壁ビット（曲柱） 【50tf】	15.0m の設置間隔でビットを岸壁に設定

2.1.3.3 係留索配置

対象船舶の係留索配置については、国内における大型危険物積載船（VLCC／LNG 船）及び一般船舶（3,000DWT／10,000DWT）の標準的な索配置を参考とした。

(1) VLCC（大型危険物積載船）

VLCC の係留索配置は、表 2.1.9及び図 2.1.15に示すとおり合計 20 本設定する。

表 2.1.9　VLCC の係留索の配索条件

係留索		本数	索番号
船首側	ヘッドライン	4 本	①、②、③、④
	ブレストライン	4 本	⑤、⑥、⑦、⑧
	スプリングライン	2 本	⑨、⑩
船尾側	スプリングライン	2 本	⑪、⑫
	ブレストライン	4 本	⑬、⑭、⑮、⑯
	スターンライン	4 本	⑰、⑱、⑲、⑳

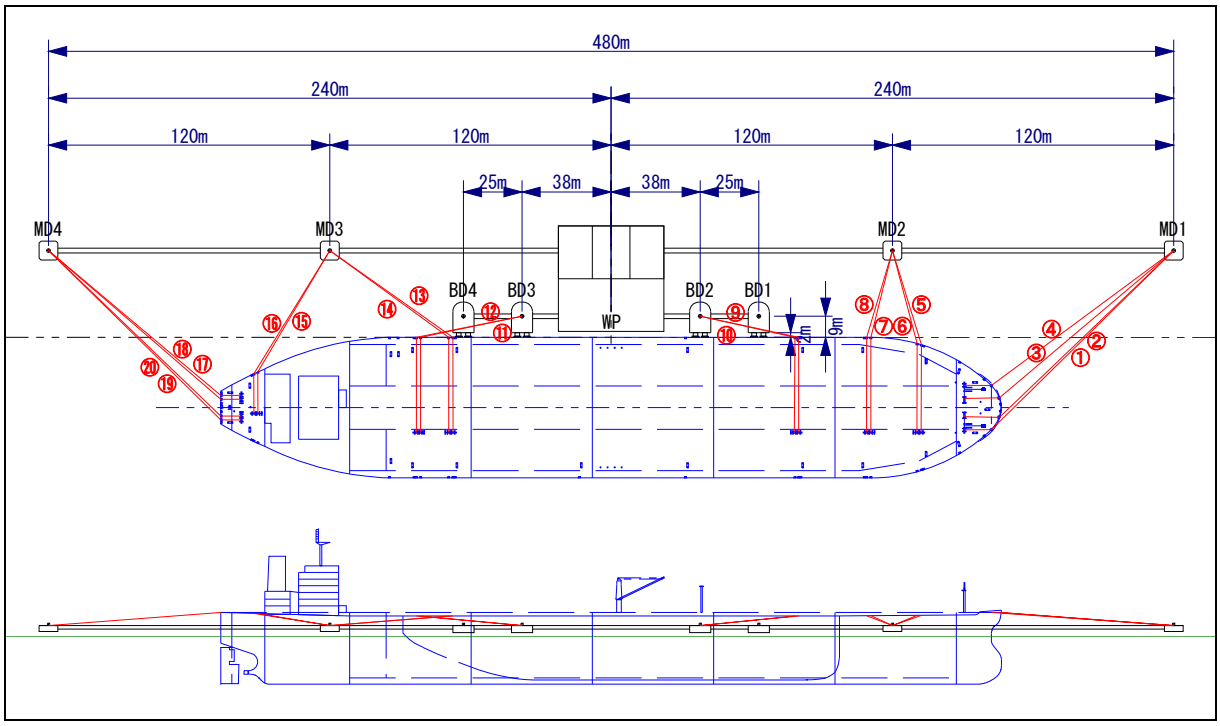


図 2.1.15　VLCC の係留配索図（VLCC 用の仮想桟橋）

(2) LNG 船（大型危険物積載船）

LNG 船の係留索配置は、表 2.1.10及び図 2.1.16に示すとおり合計 16 本設定する。

表 2.1.10　外航 LNG 船の係留索の配索条件

係留索		本数	索番号
船首側	ヘッドライン	3 本	①、②、③
	ブレストライン	3 本	④、⑤、⑥
	スプリングライン	2 本	⑦、⑧
船尾側	スプリングライン	2 本	⑨、⑩
	ブレストライン	3 本	⑪、⑫、⑬
	スターンライン	3 本	⑭、⑮、⑯

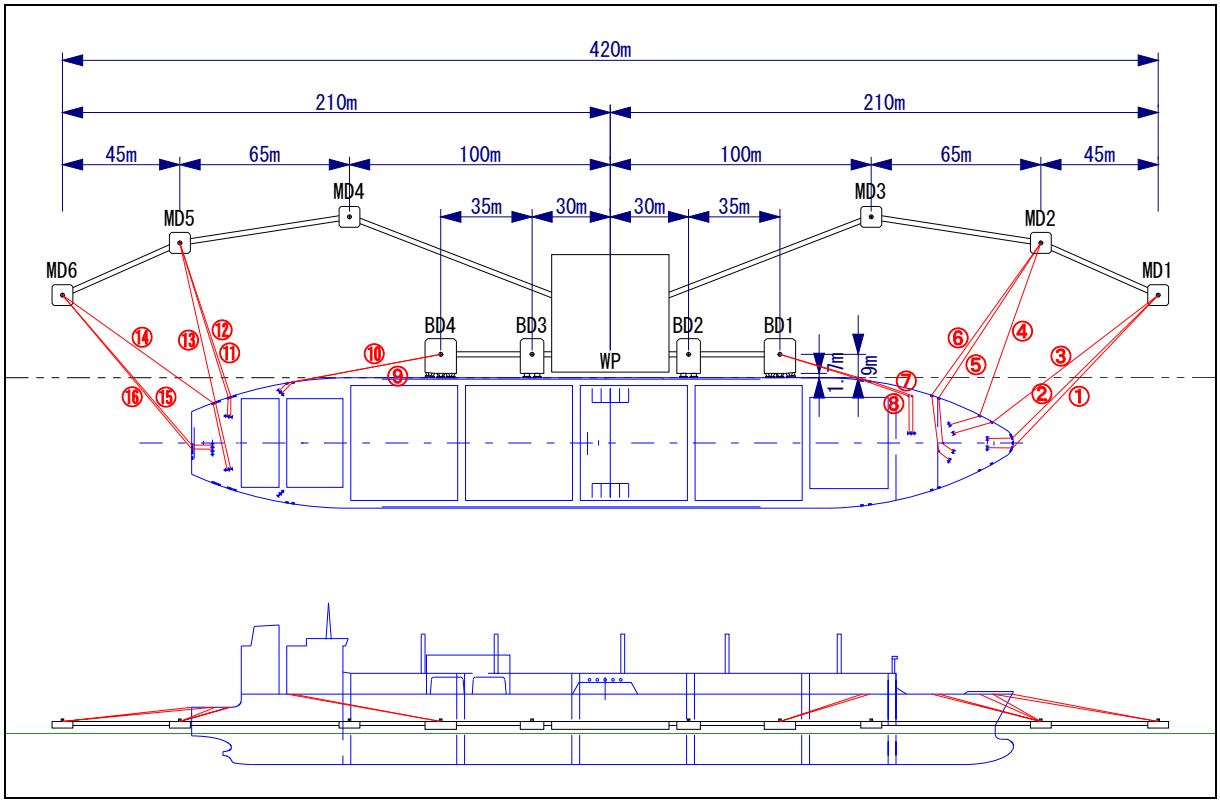


図 2.1.16　LNG 船の係留配索図（LNG 船用の仮想桟橋）

(3) 3,000DWT（一般船舶）

3,000DWT の係留索配置は、表 2.1.11及び図 2.1.17に示すとおり合計 6 本設定する。

表 2.1.11　3,000DWT の係留索の配索条件

係留索		本数	索番号
船首側	ヘッドライン	1 本	①
	ブレストライン	1 本	②
	スプリングライン	1 本	③
船尾側	スプリングライン	1 本	④
	ブレストライン	1 本	⑤
	スターンライン	1 本	⑥

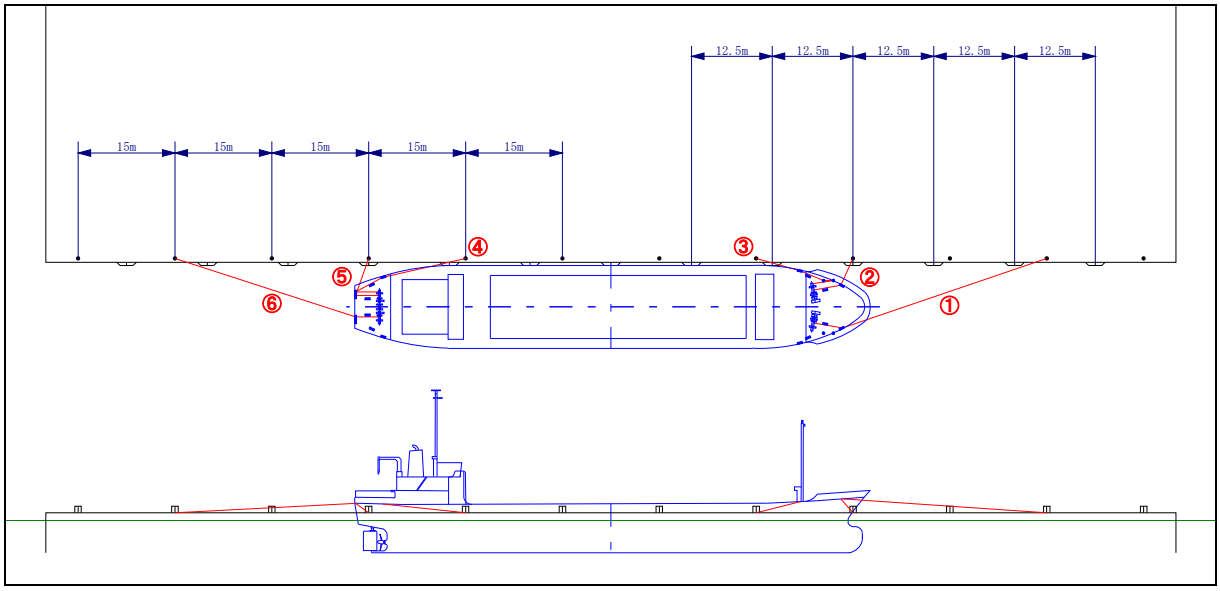


図 2.1.17　3,000DWT の係留配索図（一般船舶用の仮想岸壁）

(4) 10,000DWT（一般船舶）

10,000DWT の係留索配置は、表 2.1.12及び図 2.1.18に示すとおり合計 8 本設定する。

表 2.1.12　10,000DWT の係留索の配索条件

係留索		本数	索番号
船首側	ヘッドライン	2 本	①、②
	ブレストライン	1 本	③
	スプリングライン	1 本	④
船尾側	スプリングライン	1 本	⑤
	ブレストライン	1 本	⑥
	スターンライン	2 本	⑦、⑧

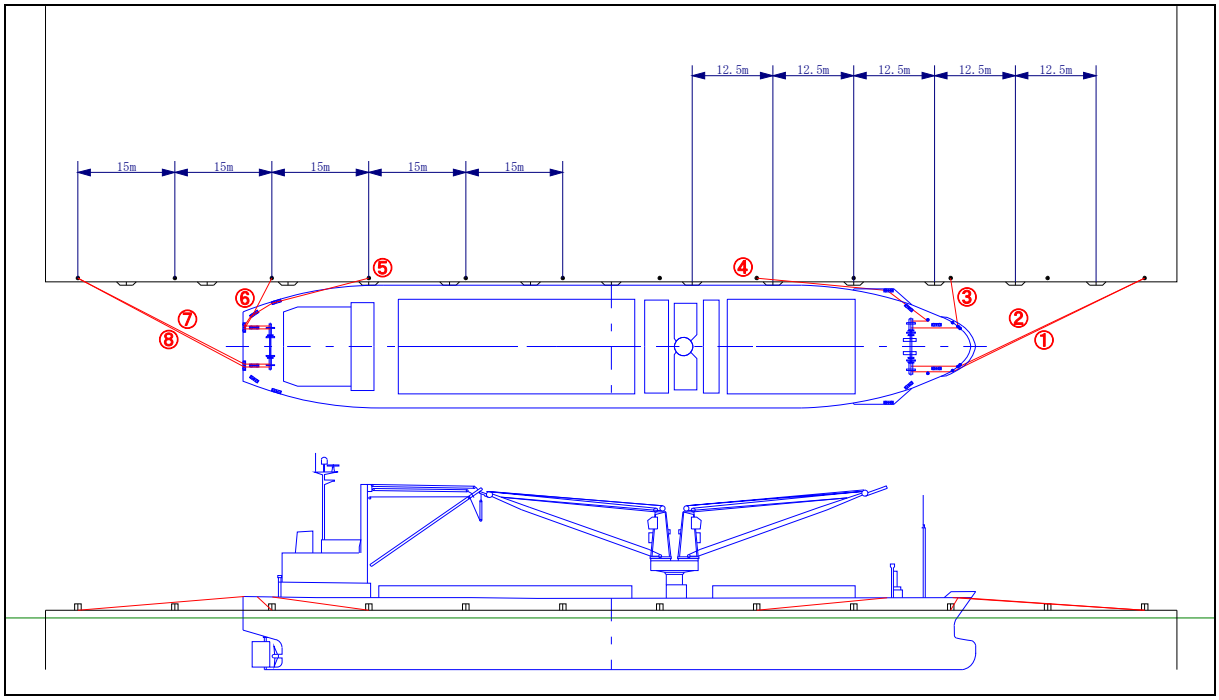


図 2.1.18　10,000DWT の係留配索図（一般船舶用の仮想岸壁）

2.1.3.4 係留索及び防舷材の仕様・評価基準

(1) 係留索

対象船舶に装備する係留索の仕様は、実態を踏まえ、表 2.1.13に示すとおり設定する。

係留索の張力に対する評価は、通常は索の破断荷重に対して安全率（OCIMF[1]提唱の安全率）を考慮した許容荷重（SWL）が一般的に用いられる。

しかしながら、津波来襲という極めて希な状態においては索が破断するまでの荷重についても考慮に入れて評価するのが適当と考えられる。そこで、ここでは、許容荷重（SWL）のほかに、ウィンチのブレーキ力についても評価に加えることとし、OCIMF によるウィンチのブレーキ力の設計荷重は、主索の「破断荷重（MBL）」の 80%が一般的であり、運用上は同荷重の 60%に調整すべき、との提言があり、これを受けて、通常の LNG 船では、破断荷重の 60%程度にブレーキ力が調整されている事が多い。

表 2.1.13　係留索の仕様

要目	危険物積載船				一般船舶	
	LNG 船		VLCC		3,000DWT	10,000DWT
	主索	ﾃｰﾙﾛｰﾌﾟ	主索	ﾃｰﾙﾛｰﾌﾟ	主索	主索
索径	44mm	110mm	42mm	105mm	45mm	60mm
材質	UHMWPE	NYLON	WIRE（鋼材）	NYLON	POLY PROPYLENE	POLY PROPYLEN
破断荷重	1,245kN	1,842kN	1,147kN	1,640kN	187kN	319kN
MBL	1,245kN		1,147kN		187kN	319kN
安全率	2.0	2.75	1.82	2.5	2.0	2.0
許容荷重	623kN	670kN	630kN	656kN	94kN	160kN
SWL	623kN		630kN		94kN	160kN
ウィンチブレーキ運用荷重 60%MBL	747kN		688kN		112kN	191kN
ウィンチブレーキ設計荷重 80%MBL	996kN		918kN		150kN	252kN

※　評価に使用する索の荷重は、主索及びテールロープのうち、値の低いほうを設定する。

[1] Oil Company International Marine Forum（石油会社国際海事評議会）の略称

(2) 防舷材

仮想桟橋及び仮想岸壁に設置する防舷材の仕様は、実態を踏まえ、表 2.1.14に示すとおり設定する。

防舷材の評価基準として、各防舷材の最大吸収エネルギーに対し、性能交差-10%を考慮した吸収エネルギーにおける許容歪量を示す。

表 2.1.14　仮想バースに設置する防舷材の仕様

仮想バース	防舷材	最大歪量	許容歪量※	最大吸収エネルギー	許容吸収エネルギー※
仮想桟橋（VLCC 用）	セル型 2,000H（Ro）	52.5 %	47.5 %	1,540 kN･m	1,386 kN･m
仮想桟橋（LNG 船用）	セル型 1,700H（Ro）	52.5 %	47.5 %	948 kN･m	853 kN･m
仮想岸壁（一般船舶用）	V 型 500H×2000L	45.0%	42.5%	123 kN･m	111 kN･m

※　性能公差-10%を考慮する。

(3) 乗揚げ及び着底

係留中の船舶は、津波水位の変動により船体の岸壁への乗揚げ、若しくは海底への着底が想定される。本検討では、以下の条件により乗揚げ及び着底の判定を行った。

なお、係留動揺シミュレーションは、乗揚げ及び着底した時点で終了するものとした。

① 乗揚げ

船体乗揚げの概念図は図 2.1.19に示すとおりであり、津波の水位上昇により、自船の船底が岸壁の天端高を超える状況を乗揚げ状態と判定することとした。

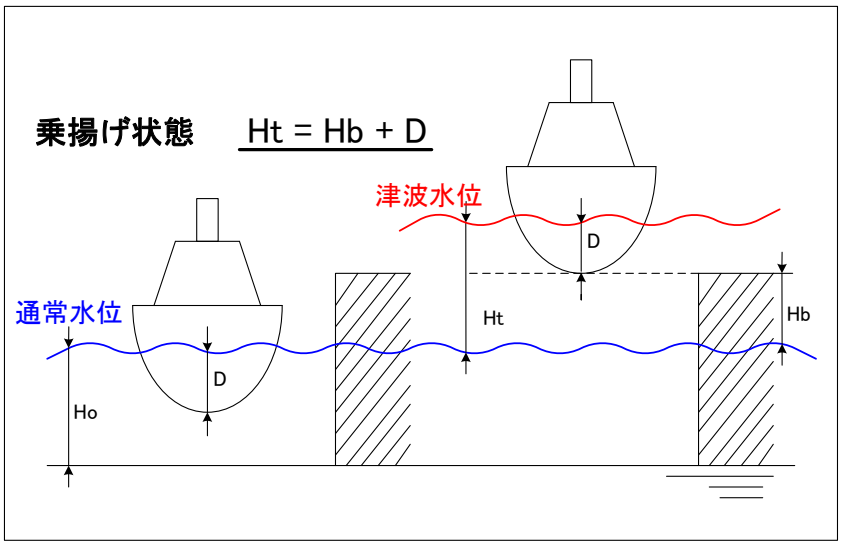


図 2.1.19　乗揚げ状態の概念図

② 着底

船体着底の概念図は図 2.1.20に示すとおりであり、津波の水位下降により、自船の船底が海底に着地する状況を着底状態と判定することとした。

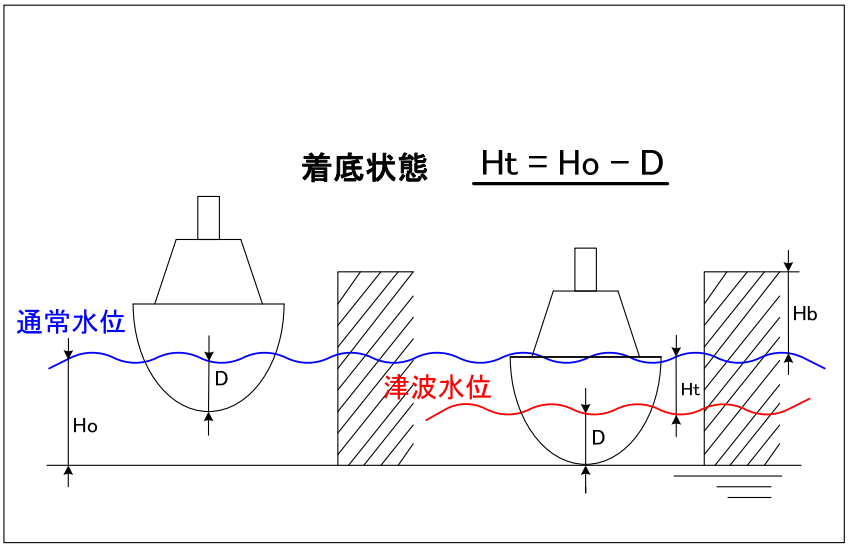


図 2.1.20　着底状態の概念図

2.1.3.5 外力条件

(1) 検討方針

係留動揺シミュレーションにおける外力条件は、津波外力のみ（通常外力なし）の場合を想定し、津波高さと津波流速との組合せに対する対象船舶の係留限界を算出することとした。なお、津波高さと流速の値は、整数値で与えるものとする。（参照：表 2.1.15）

表 2.1.15　津波の外力条件（基本案）

	津波流速 1 ノット	津波流速 2 ノット	津波流速 3 ノット	・・・
津波高さ 1m	○	○	○	
津波高さ 2m	○	○	○	
津波高さ 3m	○	○	○	
津波高さ 4m	○	○	○	
・・・				

(2) 設定条件

① 津波モデル

津波の成分は、本検討において実施したモデル港（清水港）における津波シミュレーション結果データ（P283 図 5.2.2の「調査地点位置図」ポイント 15 の津波波形（2012 年度報告書 P217 参照））を参考とした。

津波の波形は、港湾や想定津波等の条件によって異なるため、本検討では波形の違いを考慮して係留限界の検討に適する部分（津波シミュレーションの前半と後半）を抽出し、それぞれに対して津波高さと津波流速のパターンを作成した。なお、図 2.1.21及び図 2.1.22には、前半の津波波形により津波高さ 1～5m（最大値）、津波流速 1～5 ノット（最大値）を設定した例を示している。

津波の前半と後半の特性は、以下のとおりである。

- 津波波形の前半部分：選定した波形は、津波シミュレーションのうち、開始から 0～120 分のデータを用いており、初期の水位変動（プラス方向の津波高さ）は 15 分程度（0～15 分）の時間で発生している。津波波形の前半部分は、後半部分と比べて、単位時間あたりの水位変動が大きなモデルとなっている。
- 津波波形の後半部分：選定した波形は、津波シミュレーションのうち、開始から 120～240 分のデータを用いており、初期の水位変動（プラス方向の津波高さ）は 30 分程度（120～150 分）の時間で発生している。津波波形の後半部分は、前半部分と比べて、単位時間あたりの水位変動が小さなモデルとなっている。

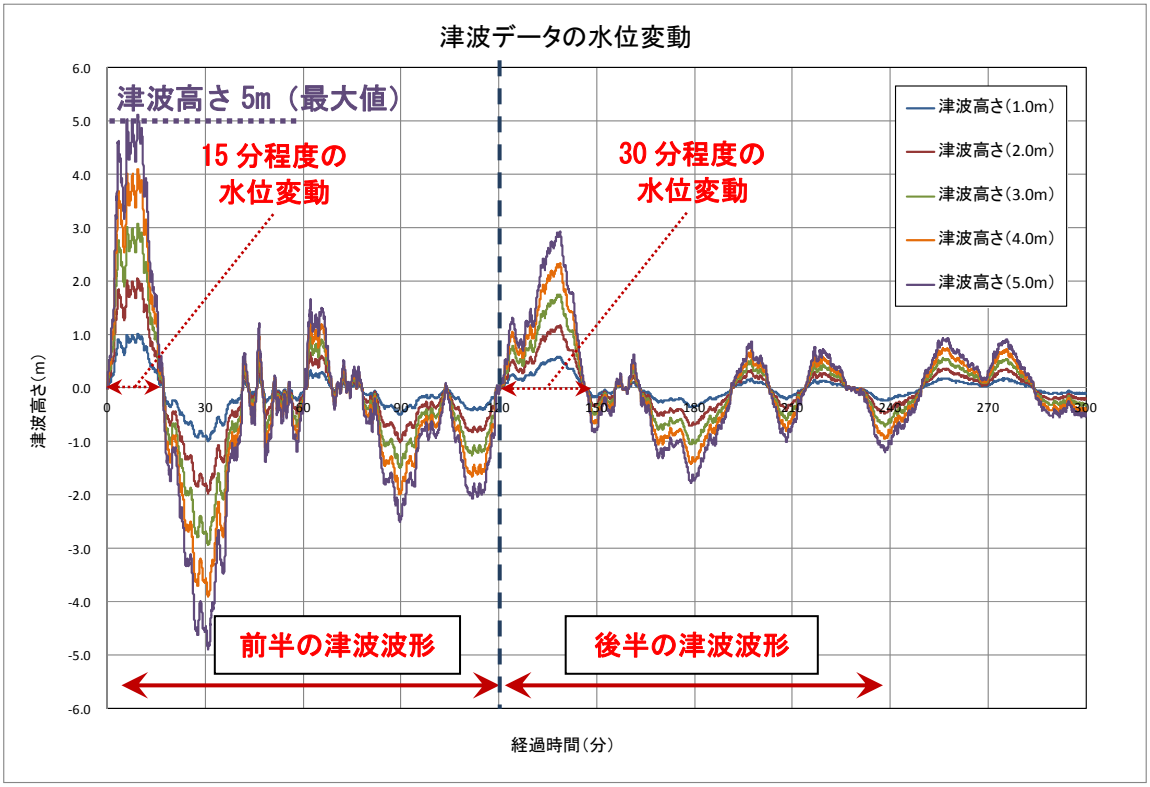
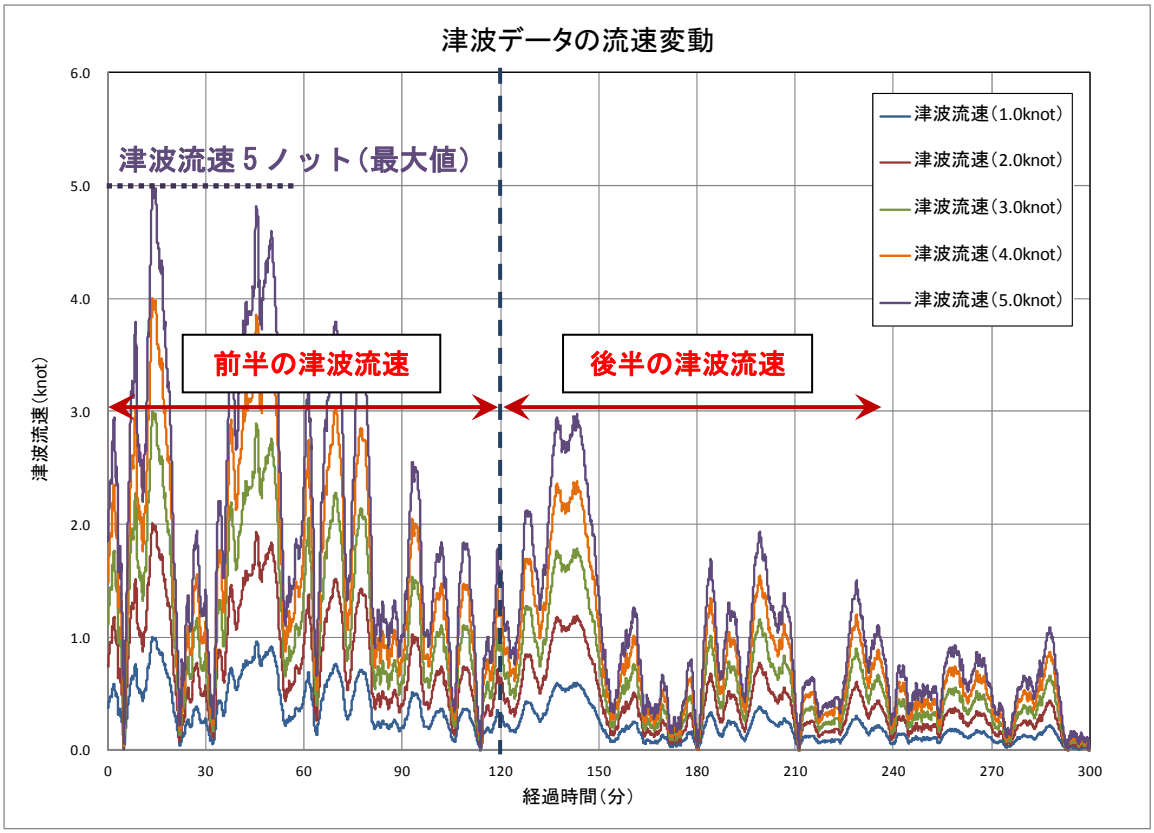


図 2.1.21　津波データの水位変動（津波モデル：前半の津波波形で津波高さを設定した例）



※　流速の値は絶対値で表示している。

図 2.1.22　津波データの流速変動（津波モデル：前半の津波波形で津波流速を設定した例）

② 津波の進入方向

a) 船舶に対する進入方向

船舶に対して設定する津波の進入方向（波向）は、仮想桟橋では船首、船尾、正横（離岸方向）の 3 方向とし、仮想岸壁では船首、船尾の 2 方向とした。（参照：図 2.1.23、図 2.1.24）

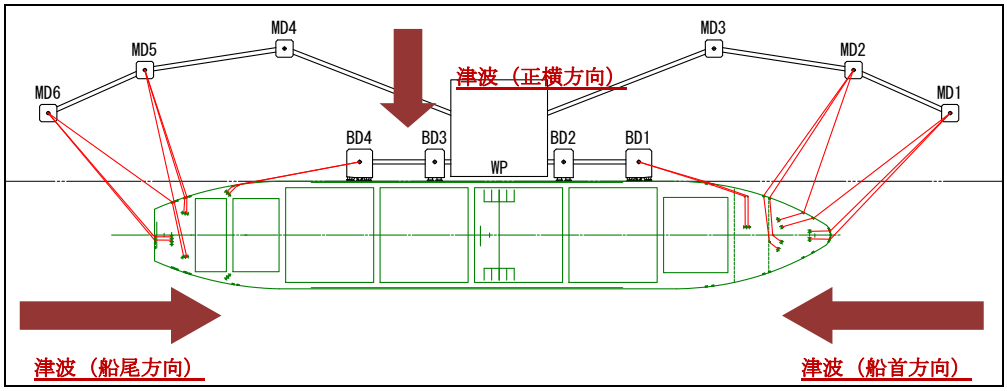


図 2.1.23　津波の設定方向（仮想桟橋）

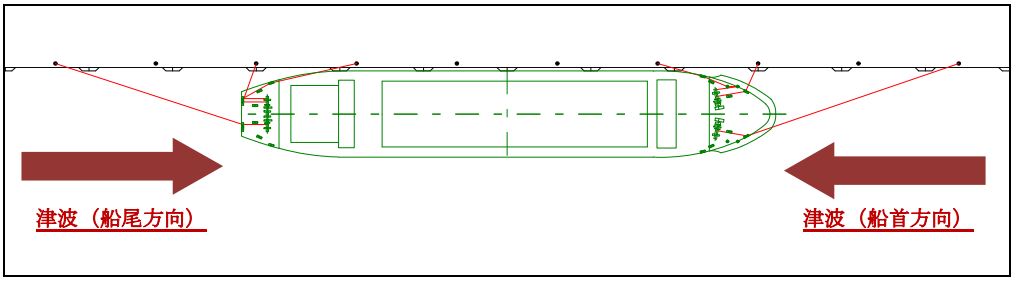


図 2.1.24　津波の設定方向（仮想岸壁）

b) 津波モデルの流向

津波モデルの流向は、押し波や引き波の流れの中で時々刻々変化していくものである。

本検討では、清水港の津波データを基に設定する。なお、この時間帯の津波の流速の中で、速度が最も速くなるのが 900 秒あたり（図中青い矢印）である。（参照：図 2.1.25）

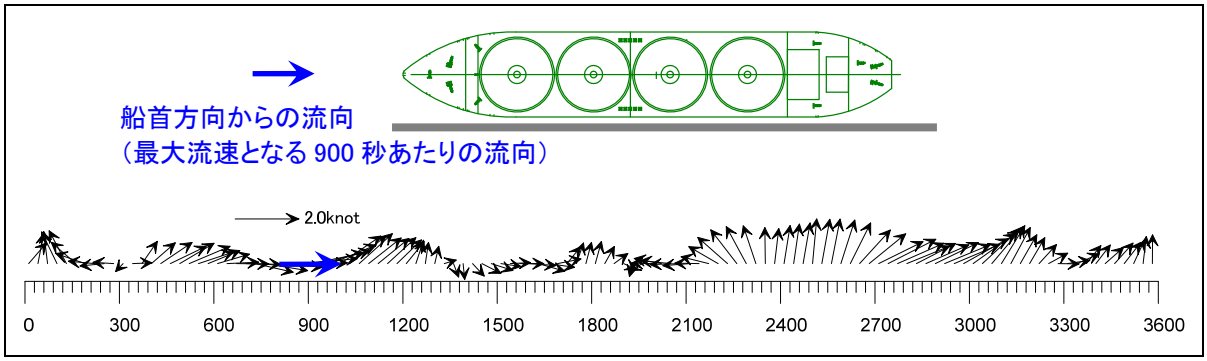


図 2.1.25　津波モデルの流向の変化（津波データ 0 秒から 3600 秒に対する船舶の設定例）

2.1.4 検討結果

係留動揺シミュレーションの実験結果について、船型ごとに以下に整理した。

なお、船体動揺の状態について、シミュレーション計算実施中の最大（PEAK）、最小（BOTTOM）及び平均（MEAN）の概念図を図 2.1.26に示す。

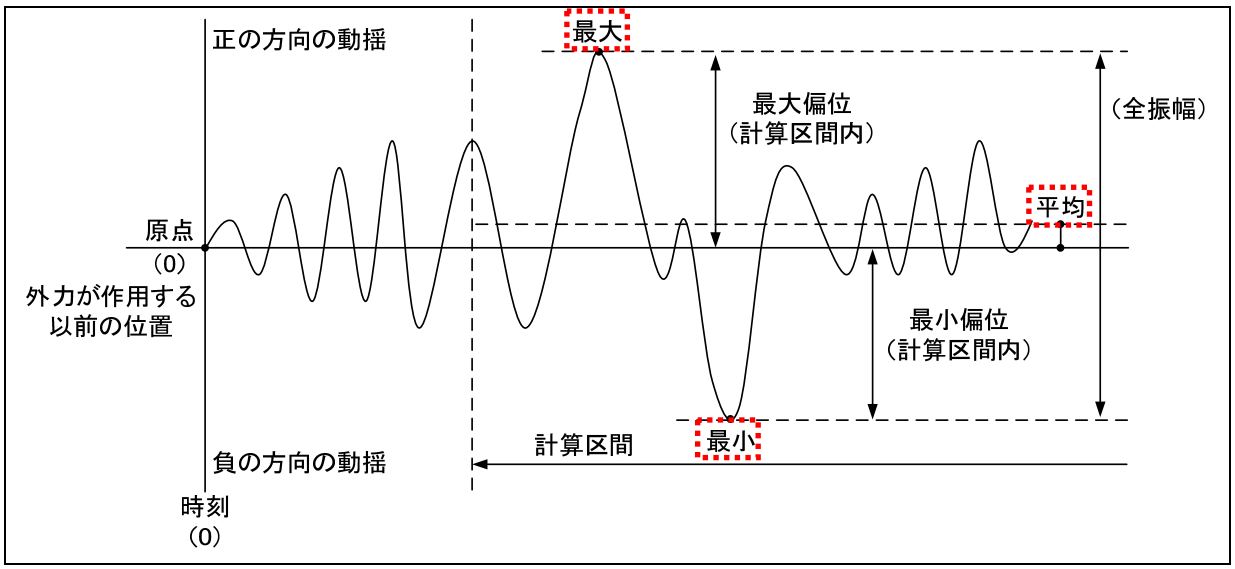


図 2.1.26　シミュレーション結果の最大、最小、平均の概念図

2.1.4.1 VLCC（大型危険物積載船）

(1) 津波外力の設定条件

VLCC の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波外力の設定方向については、船舶に与える津波の波向を船首方向とした場合（参照：図 2.1.27）及び左舷方向とした場合（参照：図 2.1.28）について以下に整理する。

なお、船首方向及び左舷方向から与える津波高さ（最大）、津波流速（最大）は以下のとおりである。

- ◆ 船首方向からの津波の想定【津波高さ 1m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】
- ◆ 左舷方向からの津波の想定【津波高さ 1m（最大）・津波流速 2 ノット（最大）】

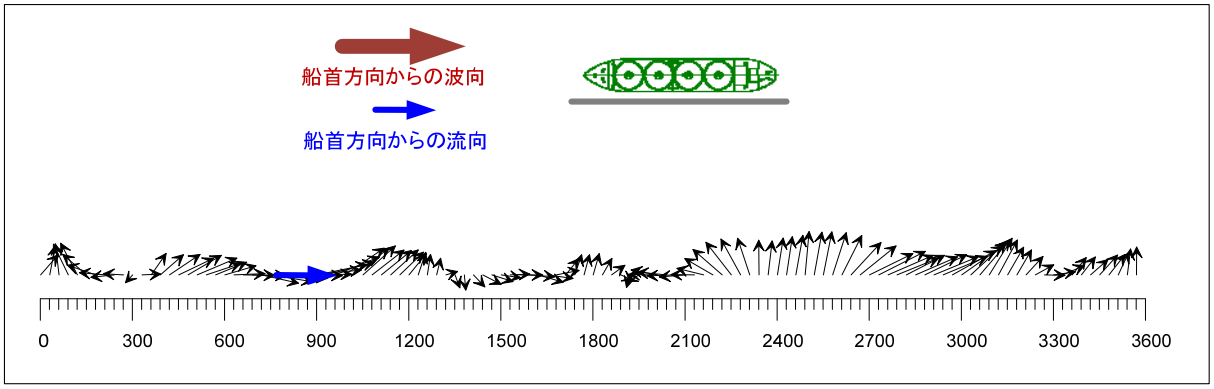


図 2.1.27　津波の進入する波向を船首方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

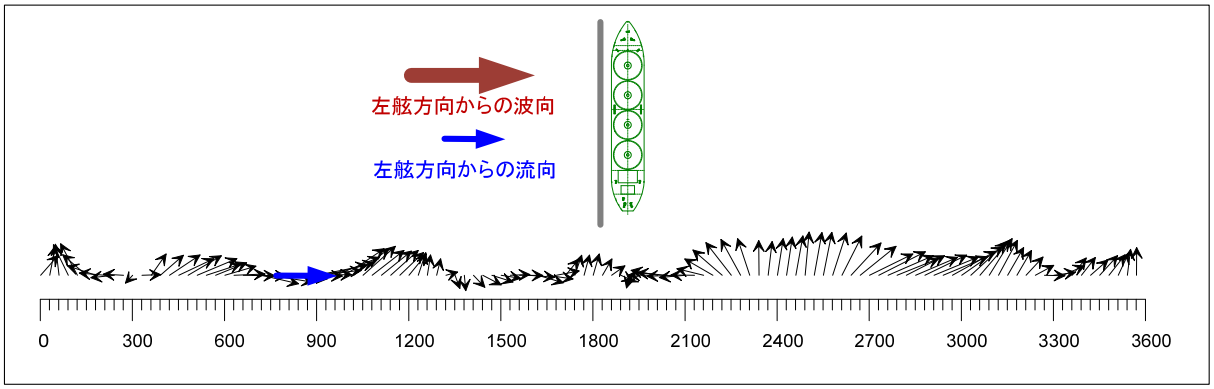


図 2.1.28　津波の進入する波向を左舷方向から設定した場合（船型はイメージ）

(2) シミュレーション結果

VLCC の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波方向別の例示として、船首方向からの津波（津波高さ 1m、津波流速 3 ノット）を想定した場合の波高及び流速の変動、船体動揺量、係留索張力を図 2.1.29～図 2.1.31に、左舷方向からの津波（津波高さ 1m、津波流速 2 ノット）のものを図 2.1.32～図 2.1.34にそれぞれ示す。

また、津波外力（波高、流速）の組合せに対する係留限界の結果一覧について、津波シミュレーションの前半部分（水位変動の大きい）の波形モデルで実施した場合を表 2.1.16に、後半部分（水位変動の小さい）で実施した場合を表 2.1.17にそれぞれ示す。なお、表中では、水色（許容荷重～ウィンチの運用荷重）、黄色（ウィンチの運用荷重～ウィンチの設計荷重）、オレンジ色（ウィンチの設計荷重～係留索の破断荷重）、灰色（破断荷重以上）とし、評価基準により色分けをしている。

【津波流向による影響】

津波流向（来襲する方向）よる比較を行うために、以下では船首方向及び左舷方向（離桟方向）からの係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波の主波向（津波の卓越流向）を船首方向からとした場合、船体が船尾側に流されてヘッドライン及び船尾スプリングラインの索張力が大きくなった。

津波の主波向を左舷方向（離桟方向）からとした場合、船体が桟橋から離れるにつれて横方向の係留力を確保する船首及び船尾ブレストラインの索張力が大きくなっている。なお、ヘッドライン及びスターンラインも船体の離桟運動に従って索の値が大きくなるものの、ブレストラインの張力を超えることはなかった。

【津波波形による影響】

津波シミュレーションの前半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の大きい）及び後半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の小さい）による係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波方向が左舷正横からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 1.0m・津波流速 3 ノットで係留索（船尾ブレストライン）の破断荷重に達し、後半の津波波形の場合、津波高さ 1.0m・津波流速 5 ノットで同索の破断荷重に達した。

また、津波方向が船首からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 3.0m・津波流速 1 ノットで係留索（船尾スプリングライン）の破断荷重に達し、後半の津波波形の場合、津波高さ 5.0m・津波流速 1 ノットで同索の破断荷重に達した。

船体状態については、前半の津波波形では津波高さ 3.0m で船体着底が発生したが、後半の津波波形では津波高さ 3.0m でも水位の下降側の変動が少なく船体着底は発生しなかった。なお、今回実施した津波外力の範囲内では、仮想桟橋への船体乗揚げは無かった。

① 船首方向からの津波の想定（VLCC、津波高さ 1m・津波流速 3 ノット）

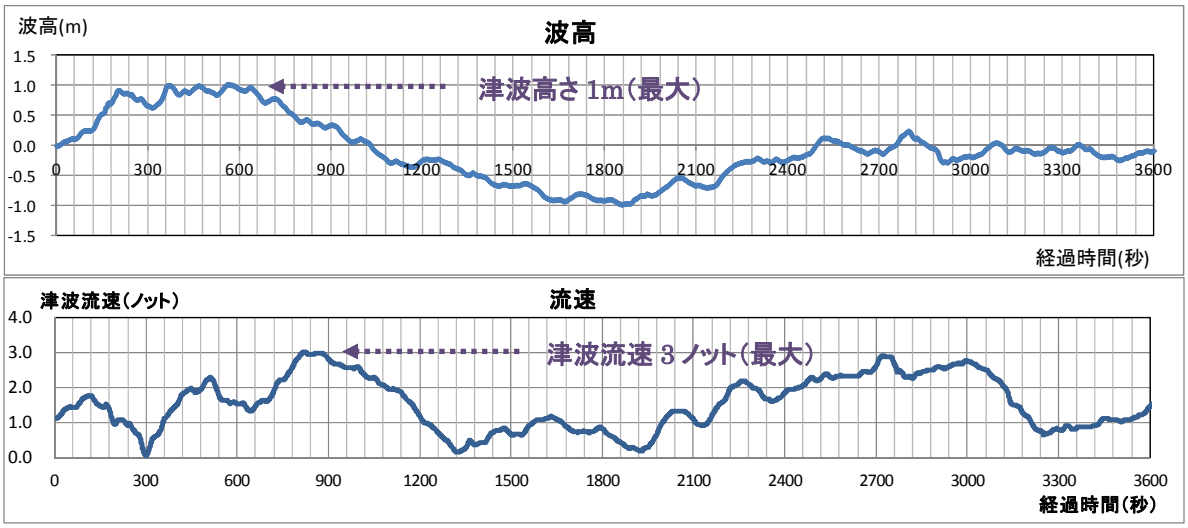


図 2.1.29　津波データの波高及び流速の変動

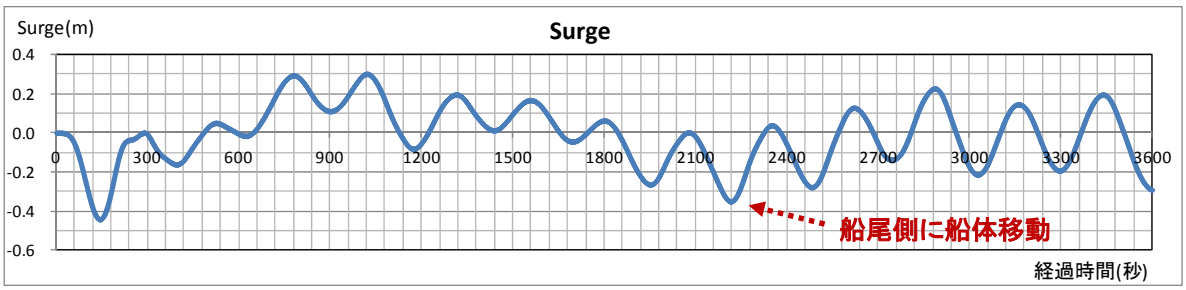


図 2.1.30　VLCC の船体動揺量（SURGE：前後運動）

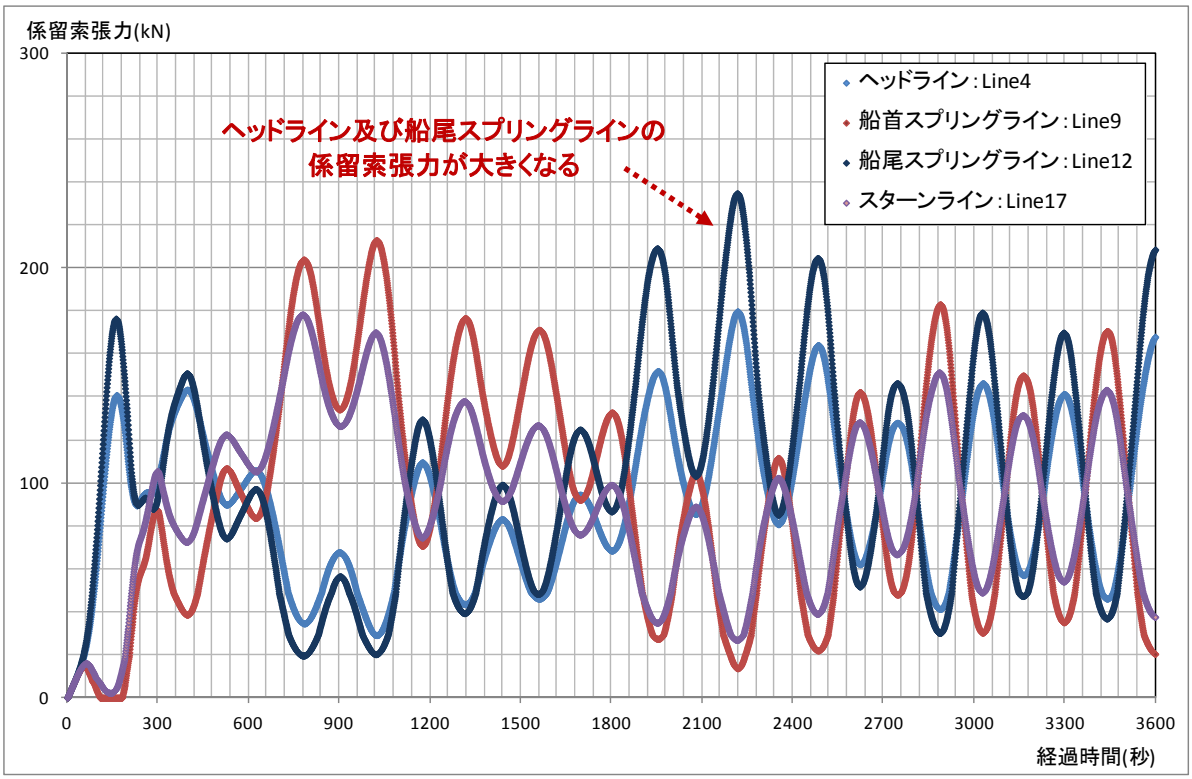


図 2.1.31　VLCC の係留索張力

② 左舷方向からの津波の想定（VLCC、津波高さ 1m・津波流速 2 ノット）

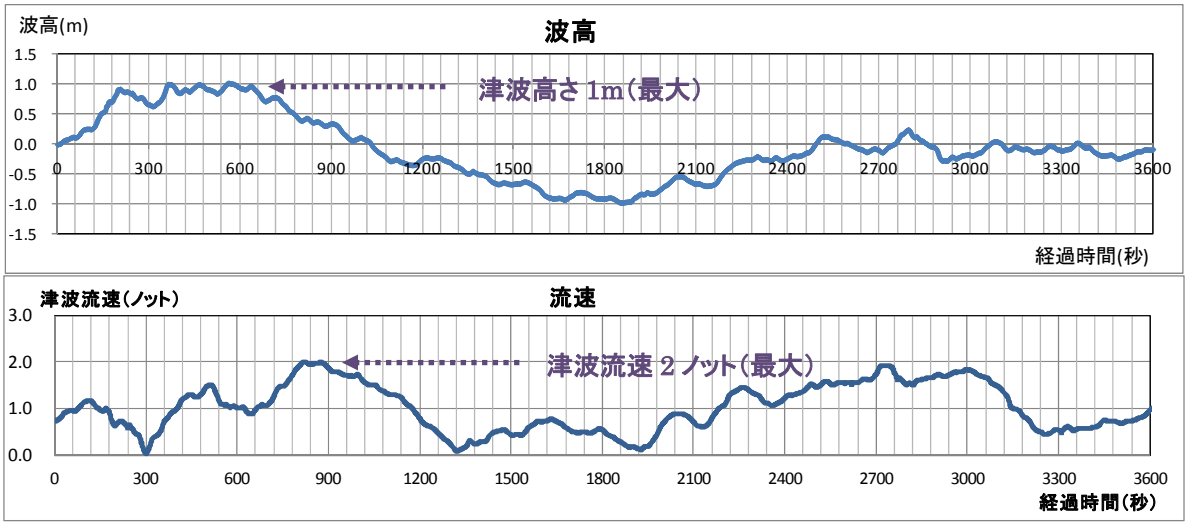


図 2.1.32　津波データの波高及び流速の変動

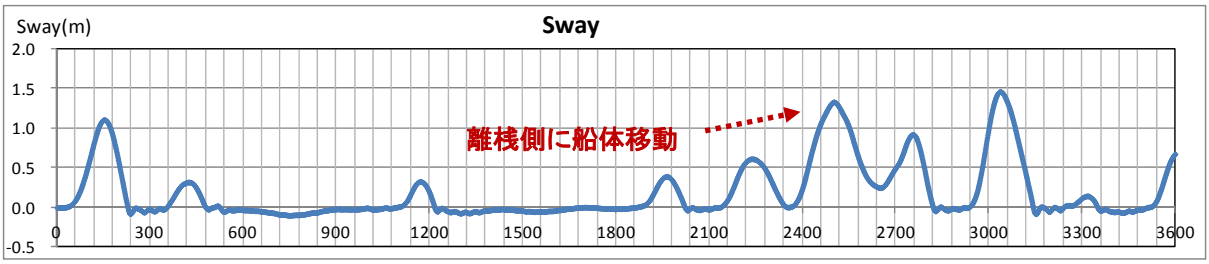


図 2.1.33　VLCC の船体動揺量（SWAY：左右運動）

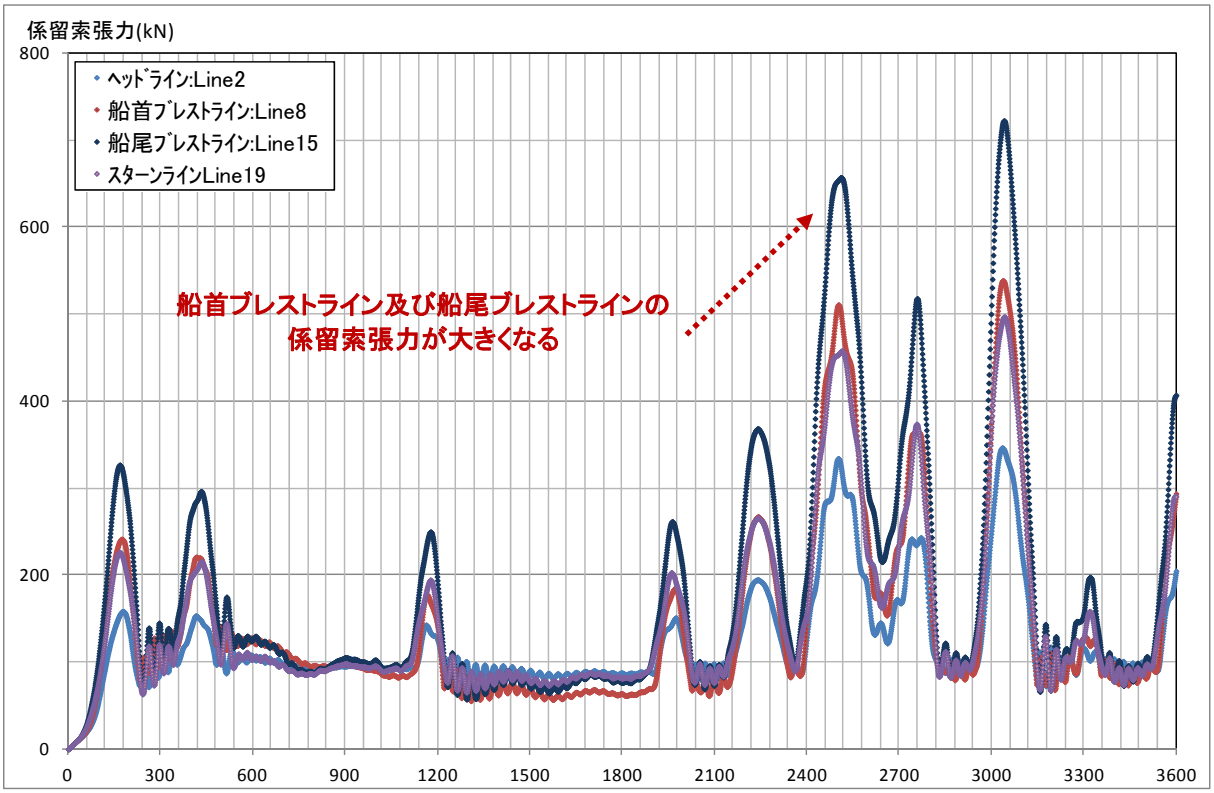


図 2.1.34　VLCC の係留索張力

表 2.1.16　係留動揺シミュレーション結果一覧（VLCC、前半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ヘッドライン				船首ブレストライン				船首スプリングライン		船尾スプリングライン		船尾ブレストライン				スターンライン				フェンダー								着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8	Line9	Line10	Line11	Line12	Line13	Line14	Line15	Line16	Line17	Line18	Line19	Line20	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4	FEND5	FEND6	FEND7	FEND8		
					(m)			(度)			(kN)																				(%)									
1	VLCC満載	船首 1.0m	風:なし 波浪:なし	1ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	164	162	171	180	138	136	134	134	207	207	233	235	190	191	160	162	178	176	171	167	2.1	2.1	1.9	1.9	1.6	1.7	1.7	1.8	○	○
2				2ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	163	162	171	180	138	136	134	134	209	209	233	235	190	191	159	162	178	176	171	167	2.1	2.1	1.9	1.9	1.6	1.7	1.7	1.8	○	○
3				3ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	163	162	171	180	138	136	134	134	213	213	233	235	191	191	159	162	178	176	171	167	2.1	2.1	1.9	1.9	1.6	1.7	1.7	1.8	○	○
4				4ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	163	162	171	180	138	136	133	133	218	218	233	235	191	191	159	162	179	176	172	168	2.1	2.1	1.9	1.9	1.6	1.7	1.7	1.8	○	○
5				5ノット	0.0	−0.3	0.9	0.0	0.1	0.0	163	162	171	180	138	137	133	133	225	224	233	234	192	192	159	162	179	177	172	168	2.1	2.1	1.9	1.9	1.6	1.7	1.7	1.8	○	○
6		船尾 1.0m		1ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	172	172	183	192	128	128	138	138	213	213	228	230	169	169	187	188	163	161	158	153	2.4	2.3	2.1	2.0	1.5	1.5	1.6	1.6	○	○
7				2ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	172	172	183	192	128	128	138	138	213	213	230	232	169	169	187	188	163	161	158	153	2.4	2.3	2.1	2.0	1.5	1.5	1.6	1.6	○	○
8				3ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	173	172	183	192	128	128	138	138	213	212	234	236	169	169	188	188	163	161	158	153	2.4	2.3	2.1	2.0	1.5	1.5	1.6	1.6	○	○
9				4ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	173	173	184	193	127	128	138	138	212	212	240	241	169	169	188	188	163	161	158	153	2.4	2.3	2.1	2.0	1.5	1.5	1.6	1.6	○	○
10				5ノット	0.0	−0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	177	176	187	196	127	127	138	138	212	212	246	249	169	169	188	189	162	161	157	153	2.4	2.3	2.1	2.0	1.5	1.5	1.6	1.6	○	○
11		左舷正横 1.0m		1ノット	0.6	−0.1	0.9	0.0	0.1	0.1	214	213	214	212	272	275	298	298	111	112	188	189	216	217	394	393	273	276	283	281	4.2	4.2	4.2	4.2	4.4	4.4	4.5	4.5	○	○
12				2ノット	1.5	−0.1	0.9	0.0	−0.1	0.1	343	346	346	340	488	493	538	539	141	143	288	288	373	380	722	721	481	481	497	493	4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	○	○
13				3ノット	2.4	−0.1	0.9	0.0	−0.2	0.0	510	513.9	509.6	497.8	788.2	793.5	854	855.3	209	213	399	397	564.9	575.4		1146	725	726.9	749.3	746.4	4.5	4.5	4.4	4.3	4.2	4.3	4.8	4.9	○	○
14				4ノット																																	○	○
15				5ノット																																	○	○
16		船首 2.0m		1ノット	−0.1	−1.9	1.9	0.1	0.1	0.0	491	497	530	571	255	248	271	271	583	584	802	800	444	443	460	461	405	401	377	371	4.8	4.7	4.1	4.0	3.6	3.7	4.3	4.4	○	○
17				2ノット	−0.1	−1.9	1.9	0.1	0.1	0.0	491	497	530	571	255	248	271	271	585	586	802	800	445	443	460	461	406	402	378	372	4.8	4.7	4.1	4.0	3.6	3.7	4.3	4.4	○	○
18				3ノット	−0.1	−1.9	1.9	0.1	0.1	0.0	491	497	530	571	255	248	271	271	588	589	802	800	445	444	460	461	407	404	380	374	4.8	4.7	4.1	4.0	3.6	3.7	4.3	4.5	○	○
19				4ノット	−0.1	−1.9	1.9	0.1	0.1	0.0	491	497	530	571	255	248	270	270	593	593	802	800	448	446	460	461	410	406	383	376	4.8	4.7	4.1	4.0	3.6	3.7	4.4	4.5	○	○
20				5ノット	−0.1	−1.9	1.9	0.1	0.1	0.0	491	497	530	570	255	248	270	270	598	599	802	800	451	449	459	461	413	410	386	380	4.8	4.7	4.1	4.0	3.6	3.8	4.4	4.5	○	○
21		船尾 2.0m		1ノット	−0.1	1.6	1.9	−0.1	0.1	0.0	401	408	434	461	280	274	246	246	709	711	625	624	522	519	406	406	477	472	445	438	4.4	4.3	3.8	3.7	4.0	4.1	4.8	4.9	○	○
22				2ノット	−0.1	1.6	1.9	−0.1	0.1	0.0	401	408	434	461	280	274	246	246	709	710	627	626	522	519	406	406	477	472	445	438	4.4	4.3	3.8	3.7	4.0	4.1	4.8	4.9	○	○
23				3ノット	−0.1	1.6	1.9	−0.1	0.1	0.0	402	409	434	462	280	274	246	246	709	710	631	630	521	519	406	406	477	472	445	438	4.4	4.3	3.8	3.7	4.0	4.1	4.8	4.9	○	○
24				4ノット	−0.1	1.6	1.9	−0.1	0.1	0.0	404	410	435	463	280	273	246	246	709	710	635	635	521	519	406	407	477	472	445	438	4.4	4.3	3.8	3.7	4.0	4.1	4.8	4.9	○	○
25				5ノット	−0.1	1.6	1.9	−0.1	0.1	0.0	408	414	439	467	280	273	247	247	709	710	641	641	521	519	407	407	477	472	445	438	4.4	4.3	3.8	3.7	4.0	4.1	4.8	4.9	○	○
26		左舷正横 2.0m		1ノット	3.4	−0.2	1.9	0.0	0.4	0.3	469.2	473.8	463.7	455.5	847.1	851.3	849.7	849.8	245	249	411	409	549.2	559.1		1146	732.4	734.6	758.8	756.1	11.3	11.4	11.5	11.6	16.0	16.2	17.5	17.7	○	○
27				2ノット																																	○	○
28				3ノット																																	○	○
29				4ノット																																	○	○
30				5ノット																																	○	○
31		船首 3.0m		1ノット	0.1	−3.5	2.4	0.1	0.2	0.2	724	739	797	861	292	286	479	479	510	510		1144	444	442	707	707	409	404	384	378	12.1	11.5	8.4	7.8	7.7	8.2	10.4	10.9	×	○
32				2ノット	0.1	−3.5	2.4	0.1	0.2	0.2	724	739	797	861	292	286	479	479	510	510		1144	444	442	707	707	409	404	384	378	12.1	11.5	8.4	7.8	7.7	8.2	10.4	10.9	×	○
33				3ノット	0.2	−3.5	2.4	0.1	0.3	0.2	708	722	781	847	294	289	464	464	505	505		1144	453	452	719	720	419	415	394	388	12.9	12.1	8.4	7.8	8.7	9.2	12.1	12.6	×	○
34				4ノット	0.1	−3.5	2.4	0.1	0.3	0.2	716	731	790	854	291	285	472	472	503	503		1145	448	446	715	716	412	408	387	381	12.5	11.9	8.5	7.9	8.2	8.7	11.3	11.7	×	○
35				5ノット																																	×	○
36		船尾 3.0m		1ノット	−0.1	3.4	2.9	−0.2	0.3	−0.2	709	722	779	843	495	481	430	430	1134	1136		1144.1	896	894	681	682	797	786	730	718	9.5	9.2	7.8	7.5	6.4	6.6	9.8	10.4	×	○
37				2ノット	−0.1	3.4	2.5	−0.2	0.3	−0.3	406	414	439	466	498	483	298	298	1145		584	584	903	901	439	440	803	792	735	724	11.7	11.3	9.2	8.9	6.4	6.5	10.0	10.8	×	○
38				3ノット	−0.1	3.4	2.5	−0.2	0.3	−0.3	406	414	439	466	498	483	298	298	1145		584	584	903	901	439	440	803	792	735	724	11.7	11.3	9.2	8.9	6.4	6.5	10.0	10.8	×	○
39				4ノット	−0.1	3.4	2.5	−0.2	0.3	−0.3	406	414	439	466	498	483	298	298	1145		584	584	903	901	439	440	803	792	735	724	11.7	11.3	9.2	8.9	6.4	6.5	10.0	10.8	×	○
40				5ノット	−0.1	3.4	2.5	−0.2	0.3	−0.3	406	414	439	466	498	483	298	298	1145		584	584	903	901	439	440	803	792	735	724	11.7	11.3	9.2	8.9	6.4	6.5	10.0	10.8	×	○
41		左舷正横 3.0m		1ノット																																	×	○
42				2ノット																																	×	○
43				3ノット																																	×	○
44				4ノット																																	×	○
45				5ノット																																	×	○

●主索：WIRE42mm（破断張力1,147kN、許容荷重630kN）
●テールロープ：ナイロン105mm（破断張力1,640kN、許容荷重656kN）
●主索の安全率は1.82、テールロープの安全率は2.5とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：688kN　設計荷重(80%MBL)：917kN
●水深(23.0m) − 喫水(20.5m) − 水位下降量(m) ＜ 0 の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(20.5m) + 天端高(4.5m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

表 2.1.17　係留動揺シミュレーション結果一覧（VLCC、後半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ヘッドライン				船首ブレストライン				船首スプリングライン		船尾スプリングライン		船尾ブレストライン				スターンライン				フェンダー								着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8	Line9	Line10	Line11	Line12	Line13	Line14	Line15	Line16	Line17	Line18	Line19	Line20	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4	FEND5	FEND6	FEND7	FEND8		
					(m)			(度)			(kN)																				(%)									
1				1ノット	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	126	125	130	135	111	111	115	115	156	157	153	153	144	144	136	138	139	138	136	133	1.9	1.9	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	○	○
2				2ノット	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	126	125	130	135	111	111	115	115	157	157	152	152	144	145	136	138	139	138	137	133	1.9	1.9	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	○	○
3		船首 1.0m		3ノット	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	126	125	130	135	112	111	115	115	157	158	152	152	145	145	136	138	139	139	137	133	1.9	1.9	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	○	○
4				4ノット	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	126	125	130	135	112	111	115	115	158	159	152	152	146	146	136	138	140	139	138	134	1.9	1.9	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	○	○
5				5ノット	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	126	125	130	134	112	111	115	115	160	160	152	152	146	147	136	138	141	140	138	135	1.9	1.9	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4	○	○
6				1ノット	0.0	−0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	137	136	141	148	111	111	116	116	137	137	174	176	132	132	143	146	128	127	126	123	1.9	1.9	1.7	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	○	○
7				2ノット	0.0	−0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	137	136	141	148	111	111	116	116	136	136	175	176	132	132	143	146	128	127	126	123	1.9	1.9	1.7	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	○	○
8		船尾 1.0m		3ノット	0.0	−0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	138	137	142	149	111	111	116	116	135	136	177	178	132	132	144	147	127	126	125	123	1.9	1.9	1.7	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	○	○
9				4ノット	0.0	−0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	138	137	142	149	111	111	116	116	135	136	177	178	132	132	144	147	127	126	125	123	1.9	1.9	1.7	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	○	○
10				5ノット	0.0	−0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	139	137	143	150	111	111	116	116	135	136	178	180	132	132	144	147	127	126	125	123	1.9	1.9	1.7	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	○	○
11				1ノット	0.1	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	109	109	110	112	106	106	118	118	94	94	126	126	111	112	166	168	131	131	136	133	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	○	○
12				2ノット	0.5	−0.1	0.6	0.0	−0.1	0.1	180	179	182	181	222	224	245	245	97	98	170	170	190	192	338	337	237	239	245	244	3.0	2.9	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	○	○
13		左舷正横 1.0m		3ノット	1.3	−0.1	0.6	0.0	0.1	0.1	307	309	310	305	435	439	478	478	129	131	262	262	334	341	644	644	434	435	447	444	3.5	3.5	3.2	3.2	3.0	3.1	3.4	3.4	○	○
14				4ノット	2.3	−0.1	0.6	0.0	−0.2	0.2	494	498	494	483	760	765	824	825	200	205	385	383	545	554	1098	1097	696	698	719	717	3.8	3.8	3.4	3.3	3.5	3.5	3.9	4.0	○	○
15				5ノット																																	○	○
16				1ノット	0.0	−0.7	1.2	0.0	0.1	0.0	242	243	254	272	160	158	157	157	255	253	366	367	222	220	240	241	205	203	196	193	2.9	2.8	2.4	2.4	1.9	1.9	2.1	2.1	○	○
17				2ノット	0.0	−0.7	1.2	0.0	0.1	0.0	241	242	253	271	160	158	157	157	256	254	365	366	222	220	240	241	205	203	196	193	2.9	2.8	2.4	2.4	1.9	1.9	2.1	2.1	○	○
18		船首 2.0m		3ノット	0.0	−0.7	1.2	0.0	0.1	0.0	240	242	252	270	160	159	156	156	257	255	363	364	222	221	240	240	205	203	196	193	2.9	2.8	2.4	2.4	1.9	1.9	2.1	2.1	○	○
19				4ノット	0.0	−0.7	1.2	0.0	0.1	0.0	239	240	251	269	161	159	156	156	258	256	361	362	222	221	239	239	205	203	196	193	2.9	2.8	2.4	2.3	1.9	1.9	2.1	2.1	○	○
20				5ノット	0.0	−0.7	1.2	0.0	0.1	0.0	238	239	249	267	161	159	156	156	259	257	358	360	223	222	239	239	206	204	197	194	2.8	2.8	2.4	2.3	1.9	1.9	2.1	2.1	○	○
21				1ノット	0.0	0.6	1.2	0.0	0.1	0.0	200	200	211	223	164	161	159	159	326	325	281	283	256	253	217	217	237	237	226	223	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.1	2.4	2.4	○	○
22				2ノット	0.0	0.6	1.2	0.0	0.1	0.0	200	201	211	223	164	161	159	159	325	325	281	283	255	253	217	217	236	236	226	223	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.1	2.4	2.4	○	○
23		船尾 2.0m		3ノット	0.0	0.6	1.2	0.0	0.1	0.0	201	201	212	224	164	160	159	159	324	323	282	284	255	252	218	217	236	235	225	222	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.1	2.4	2.4	○	○
24				4ノット	0.0	0.6	1.2	0.0	0.1	0.0	202	202	213	225	164	160	159	159	322	322	284	286	254	252	218	218	235	234	224	221	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.1	2.4	2.4	○	○
25				5ノット	0.0	0.6	1.2	0.0	0.1	0.0	202	203	213	226	163	160	159	159	320	319	285	287	254	251	218	218	233	233	223	220	2.7	2.7	2.3	2.3	2.0	2.1	2.4	2.4	○	○
26				1ノット	1.0	−0.1	1.2	0.0	0.4	0.2	307	308	307	297	406	409	433	434	132	134	241	242	295	300	579	581	408	409	422	420	7.8	7.9	8.6	8.7	11.4	11.6	12.5	12.7	○	○
27				2ノット	1.3	−0.1	1.2	0.0	0.3	0.2	346	349	347	338	470	474	510	510	141	143	281	281	349	356	695	693	473	474	490	486	6.2	6.4	7.6	7.9	12.2	12.4	13.7	14.0	○	○
28		左舷正横 2.0m		3ノット	1.8	−0.1	1.2	0.0	0.3	0.2	432	435	433	425	616	619	667	668	160	164	338	337	431	438	861	862	561	563	581	580	6.6	6.6	7.5	7.7	12.2	12.5	13.9	14.2	○	○
29				4ノット	2.4	−0.1	−0.6	0.0	−0.2	0.2	506.4	510.2	507	496.8	759.9	765.3	835	836.3	190.77	195.98	415.12	412.52	544.8	554.4		1145	708.4	710.7	734.3	731.7	4.3	4.3	4.2	4.2	3.8	3.7	3.6	3.6	○	○
30				5ノット																																	○	○
31				1ノット	−0.1	−1.4	1.8	0.1	0.1	0.0	395	401	425	453	211	204	211	211	505	506	614	613	387	387	380	381	354	352	330	325	4.0	3.9	3.5	3.4	3.1	3.1	3.6	3.7	○	○
32				2ノット	−0.1	−1.4	1.8	0.1	0.1	0.0	394	400	425	452	211	205	210	210	506	507	612	612	388	388	379	380	355	352	331	325	4.0	3.9	3.5	3.4	3.1	3.1	3.7	3.8	○	○
33		船首 3.0m		3ノット	−0.1	−1.4	1.8	0.1	0.1	0.0	393	399	423	450	212	205	210	210	508	508	610	610	389	389	378	379	356	353	332	326	4.0	3.9	3.5	3.4	3.1	3.1	3.7	3.8	○	○
34				4ノット	−0.1	−1.4	1.8	0.1	0.1	0.0	391	397	421	448	212	206	209	209	511	511	607	606	390	390	376	377	357	354	333	327	4.0	3.9	3.5	3.4	3.1	3.2	3.7	3.8	○	○
35				5ノット	−0.1	−1.4	1.8	0.1	0.1	0.0	388	395	419	445	213	206	209	209	514	514	603	603	392	392	374	375	359	356	334	329	4.0	3.9	3.5	3.4	3.1	3.2	3.7	3.8	○	○
36				1ノット	−0.1	−1.2	1.8	−0.1	0.1	0.0	362	368	393	418	221	213	208	208	543	543	567	566	422	421	354	354	389	386	363	357	3.9	3.8	3.3	3.2	3.5	3.6	4.1	4.2	○	○
37				2ノット	−0.1	−1.2	1.8	−0.1	0.1	0.0	362	369	393	418	221	213	208	208	541	542	568	567	422	421	354	355	389	385	362	356	3.9	3.8	3.3	3.2	3.4	3.6	4.1	4.2	○	○
38		船尾 3.0m		3ノット	−0.1	−1.3	1.8	−0.1	0.1	0.0	363	369	394	419	220	213	208	208	540	540	570	569	421	420	355	356	388	385	361	356	3.9	3.8	3.3	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	○	○
39				4ノット	−0.1	−1.3	1.8	−0.1	0.1	0.0	365	371	396	421	220	212	208	208	538	538	573	572	420	419	356	357	387	384	361	355	3.9	3.8	3.4	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	○	○
40				5ノット	−0.1	−1.3	1.8	−0.1	0.1	0.0	366	373	397	422	219	212	208	208	536	536	576	575	418	417	358	359	386	382	359	353	3.9	3.8	3.4	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	○	○
41				1ノット	2.3	−0.1	1.8	0.0	0.6	0.3	466	469	468	460	698	704	775	776	183	186	403	401	531	540	1125	1124	704	706	730	727	12.1	12.1	12.3	12.4	15.4	15.7	17.3	17.7	○	○
42				2ノット	2.4	−0.1	−0.9	0.0	−0.2	0.2	499.8	503.5	500.4	490	758.2	763.7	831.3	832.7	194.99	199.73	409.83	407.44	550.2	560		1146	715.6	717.7	741.1	738.4	4.0	3.9	3.7	3.7	5.3	5.5	6.4	6.6	○	○
43		左舷正横 3.0m		3ノット	2.5	−0.1	−0.9	0.0	−0.2	0.2	545.4	550	544.2	531.3	827.6	832.9	894.6	895.8	213.31	217.22	411.06	408.46	563	573.3		1145	711.6	713.5	736	733.1	5.3	5.3	5.0	4.9	5.1	5.2	5.9	6.0	○	○
44				4ノット																																	○	○
45				5ノット																																	○	○
31				1ノット	−0.1	−2.5	2.3	0.1	0.2	−0.1	630	639	681	740	355	343	373	373	769	769	1049	1045	599	598	601	605	524	518	486	478	7.5	7.3	6.1	5.8	6.0	6.2	7.5	7.7	○	○
32				2ノット	−0.1	−2.5	2.3	0.1	0.2	−0.1	629	638	681	739	355	344	373	373	770	770	1047	1043	599	598	601	604	525	518	486	478	7.5	7.3	6.1	5.8	6.0	6.2	7.5	7.7	○	○
33		船首 4.0m		3ノット	−0.1	−2.5	2.3	0.1	0.2	−0.1	628	637	679	737	355	344	373	373	771	771	1045	1041	600	600	600	603	525	519	486	478	7.5	7.2	6.1	5.8	6.0	6.2	7.5	7.7	○	○
34				4ノット	−0.1	−2.5	2.3	0.1	0.2	−0.1	626	635	677	735	356	344	373	373	772	773	1042	1038	601	601	598	602	526	520	486	478	7.5	7.2	6.1	5.8	6.0	6.2	7.5	7.7	○	○
35				5ノット	−0.1	−2.5	2.3	0.1	0.2	−0.1	624	633	675	732	356	345	373	373	774	775	1037	1033	602	602	596	600	528	521	486	478	7.5	7.2	6.0	5.8	6.0	6.2	7.5	7.7	○	○
36				1ノット	−0.1	2.3	2.3	−0.1	0.2	−0.1	520	528	563	605	392	379	289	289	980	981	839	836	719	716	511	512	649	643	602	595	6.1	6.0	5.2	5.1	6.4	6.6	7.8	8.0	○	○
37				2ノット	−0.1	2.3	2.3	−0.1	0.2	−0.1	520	528	563	605	392	379	289	289	979	979	839	836	719	715	511	513	648	642	601	594	6.2	6.0	5.2	5.1	6.4	6.6	7.8	8.0	○	○
38		船尾 4.0m		3ノット	−0.1	2.3	2.3	−0.1	0.2	−0.1	520	528	563	605	392	379	289	289	976	977	839	837	717	713	512	513	647	641	600	593	6.2	6.0	5.2	5.1	6.4	6.6	7.8	8.0	○	○
39				4ノット	−0.1	2.3	2.3	−0.1	0.2	−0.1	520	528	563	605	391	378	290	290	973	974	839	837	715	711	513	515	645	639	599	592	6.2	6.0	5.3	5.1	6.4	6.6	7.8	8.0	○	○
40				5ノット	−0.1	2.3	2.3	−0.1	0.2	−0.1	520	528	563	605	391	378	291	291	969	969	839	837	712	709	514	516	643	637	597	590	6.2	6.0	5.3	5.1	6.4	6.6	7.8	8.0	○	○
41				1ノット																																	○	○
42				2ノット																																	○	○
43		左舷正横 4.0m		3ノット																																	○	○
44				4ノット																																	○	○
45				5ノット																																	○	○
31				1ノット	−0.1	−2.7	−1.5	0.2	−0.1	0.1	654	663	715	780	183	177	327	327	385	387		1146	277.9	276	677.3	679	244.4	244.1	231.2	228.2	6.6	6.3	4.9	4.7	4.0	4.0	3.9	4.0	○	○
32				2ノット	−0.1	−2.7	−1.5	−0.1	−0.1	0.1	653	663	714	779	183	177	327	327	386	388		1145	278	277	677	679	245	245	232	229	6.6	6.3	4.9	4.7	4.0	4.0	3.9	4.0	○	○
33		船首 5.0m		3ノット	−0.1	−2.7	−1.5	0.2	−0.1	0.1	652	662	713	778	184	178	326	326	387	390		1144	279.3	277.5	676.7	678.4	245.6	245.3	232.2	229.2	6.6	6.3	4.9	4.7	4.0	4.0	3.9	4.0	○	○
34				4ノット	−0.1	−2.7	−1.5	0.2	−0.1	0.1	654	664	716	781	185	179	327	327	389	392			280.6	278.9	679.1	680.7	246.8	246.5	233.1	230.1	6.6	6.3	4.9	4.7	4.0	4.0	3.9	4.1	○	○
35				5ノット	−0.1	−2.7	−1.5	0.2	−0.1	0.1	653	662	714	779	185	180	326	327	391	394		1146	282.2	280.6	678.5	680.1	248.2	247.9	234.3	231.3	6.6	6.3	4.9	4.7	4.0	4.0	4.0	4.1	○	○
36				1ノット	−0.1	2.6	−1.5	−0.2	−0.1	−0.1	270	271	290	310	405	389	122	122			453	452	825.2	821.8	298	298.9	739.8	730.8	678.9	670	3.6	3.5	2.8	2.6	5.8	6.0	7.0	7.2	○	○
37				2ノット	−0.1	2.6	−1.5	−0.2	−0.1	−0.1	270	272	291	311	403	386	123	123	1147		454	452	824.3	820.9	296.7	297.7	740	731	679.2	670.4	3.6	3.5	2.8	2.7	5.8	6.0	7.0	7.2	○	○
38		船尾 5.0m		3ノット	−0.1	2.6	−1.5	−0.2	−0.1	−0.1	271	273	292	312	402	385	123	123	1145		455	453	823.1	819.7	297.4	298.3	739	730.1	678.5	669.7	3.6	3.5	2.8	2.7	5.8	6.0	7.0	7.2	○	○
39				4ノット	−0.1	2.6	−1.5	−0.2	−0.1	−0.1	272	274	293	313	403	386	123	123			456	455	825.7	822.3	298.3	299.2	741.6	732.6	680.5	671.7	3.6	3.5	2.8	2.7	5.8	6.0	7.0	7.2	○	○
40				5ノット	−0.1	2.6	−1.5	−0.2	−0.1	−0.1	273	275	294	315	402	385	124	124	1146		458	457	823.7	820.3	299.4	300.4	739.9	730.9	679.2	670.4	3.7	3.5	2.9	2.7	5.8	6.0	7.0	7.2	○	○
41				1ノット																																	○	○
42				2ノット																																	○	○
43		左舷正横 5.0m		3ノット																																	○	○
44				4ノット																																	○	○
45				5ノット																																	○	○

●主索：WIRE42mm（破断張力1,147kN、許容荷重630kN）
●テールロープ：ナイロン105mm（破断張力1,640kN、許容荷重656kN）
●主索の安全率は1.82、テールロープの安全率は2.5とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：688kN　設計荷重(80%MBL)：917kN
●水深(23.0m) − 喫水(20.5m) − 水位下降量(m) ＜ 0 の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(20.5m) + 天端高(4.5m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に（同時に）破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

2.1.4.2 LNG 船（大型危険物積載船）

(1) 津波外力の設定条件

LNG 船の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波外力の設定方向については、船舶に与える津波の波向を船尾方向とした場合（参照：図 2.1.35）及び左舷方向とした場合（参照：図 2.1.36）について以下に整理する。

なお、船尾方向及び左舷方向から与える津波高さ（最大）、津波流速（最大）は以下のとおりである。

- ◆ 船尾方向からの津波の想定【津波高さ 2m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】
- ◆ 左舷方向からの津波の想定【津波高さ 2m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】

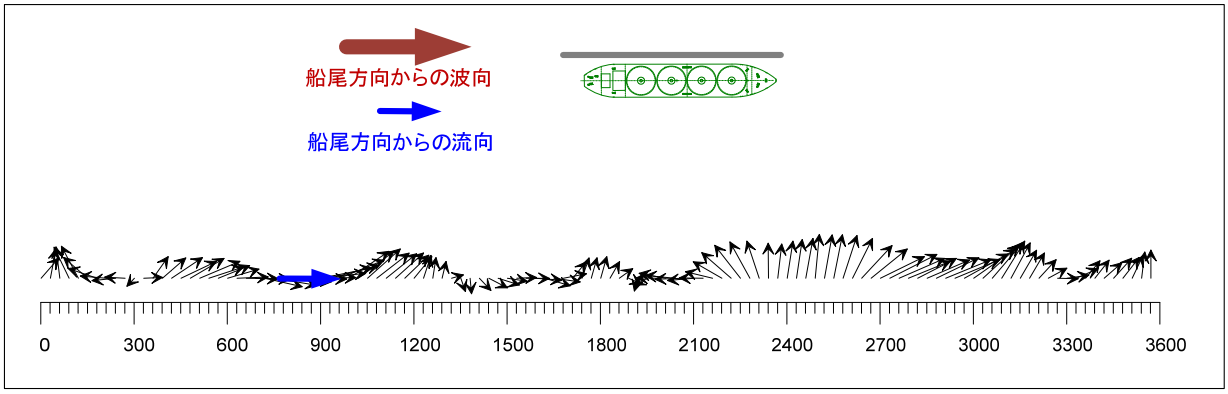


図 2.1.35　津波の進入する波向を船尾方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

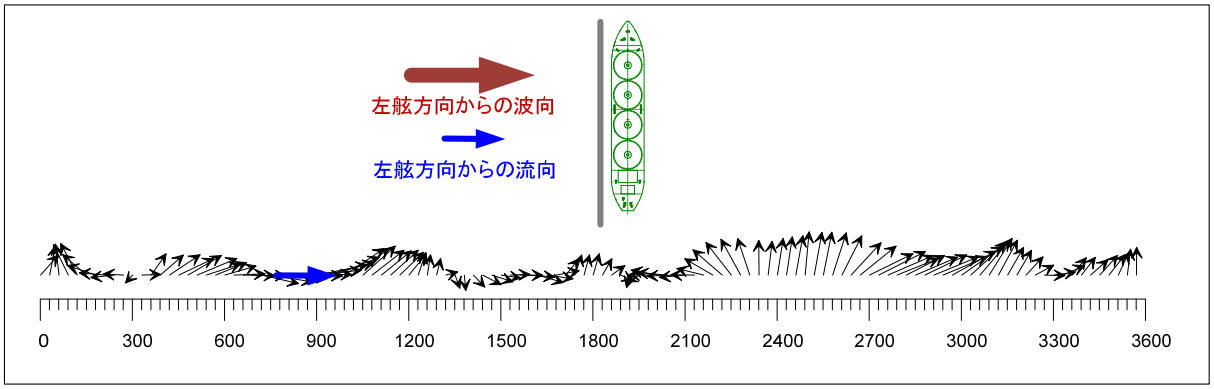


図 2.1.36　津波の進入する波向を左舷方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

(2) シミュレーション結果

LNG 船の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波方向別の例示として、船尾方向からの津波（津波高さ 2m、津波流速 3 ノット）を想定した場合の波高及び流速の変動、船体動揺量、係留索張力を図 2.1.37～図 2.1.39に、左舷方向からの津波（津波高さ 2m、津波流速 3 ノット）のものを図 2.1.40～図 2.1.42にそれぞれ示す。

また、津波外力（波高、流速）の組合せに対する係留限界の結果一覧について、津波シミュレーションの前半部分（水位変動の大きい）の波形モデルで実施した場合を表 2.1.18に、後半部分（水位変動の小さい）で実施した場合を表 2.1.19にそれぞれ示す。なお、表中では、水色（許容荷重～ウィンチの運用荷重）、黄色（ウィンチの運用荷重～ウィンチの設計荷重）、オレンジ色（ウィンチの設計荷重～係留索の破断荷重）、灰色（破断荷重以上）とし、評価基準により色分けをしている。

【津波流向による影響】

津波流向（来襲する方向）よる比較を行うために、以下では船尾方向及び左舷方向（離桟方向）からの係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波の主波向（津波の卓越流向）を船尾方向からとした場合、船体が船首側に流されてスターンライン及び船首スプリングラインの索張力が大きくなった。

津波の主波向を左舷方向（離桟方向）からとした場合、船体が桟橋から離れるにつれて横方向の係留力を確保する船首及び船尾ブレストラインの索張力が大きくなっている。なお、ヘッドライン及びスターンラインも船体の離桟運動に従って索の値が大きくなるものの、ブレストラインの張力を超えることはなかった。

【津波波形による影響】

津波シミュレーションの前半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の大きい）及び後半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の小さい）による係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波方向が左舷正横からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 1.0m・津波流速 5 ノットで係留索の破断荷重に達し、後半の津波波形の場合、津波高さ 3.0m・津波流速 5 ノットで破断荷重に達した。

また、津波方向が船尾からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 3.0m・津波流速 1 ノットで係留索の破断荷重に達し、後半の津波波形の場合、津波高さ 4.0m・津波流速 1 ノットで破断荷重に達した。

船体状態については、前半の津波波形では津波高さ 3.0m で船体着底が発生したが、後半の津波波形では津波高さ 3.0m でも水位の下降側の変動が少なく船体着底は発生しなかった。なお、今回実施した津波外力の範囲内では、仮想桟橋への船体乗揚げは無かった。

① 船尾方向からの津波の想定（LNG 船、津波高さ 2m・津波流速 3 ノット）

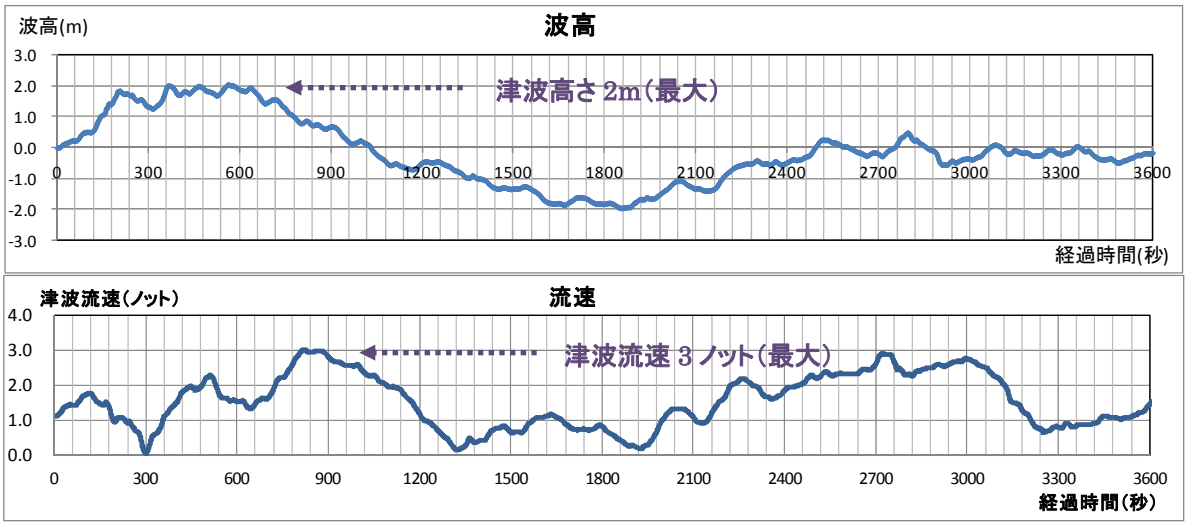


図 2.1.37　津波データの波高及び流速の変動

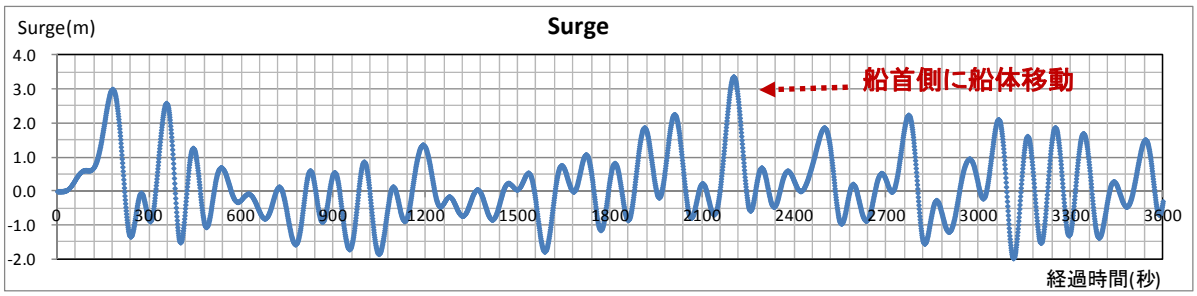


図 2.1.38　LNG 船の船体動揺量（SURGE：前後運動）

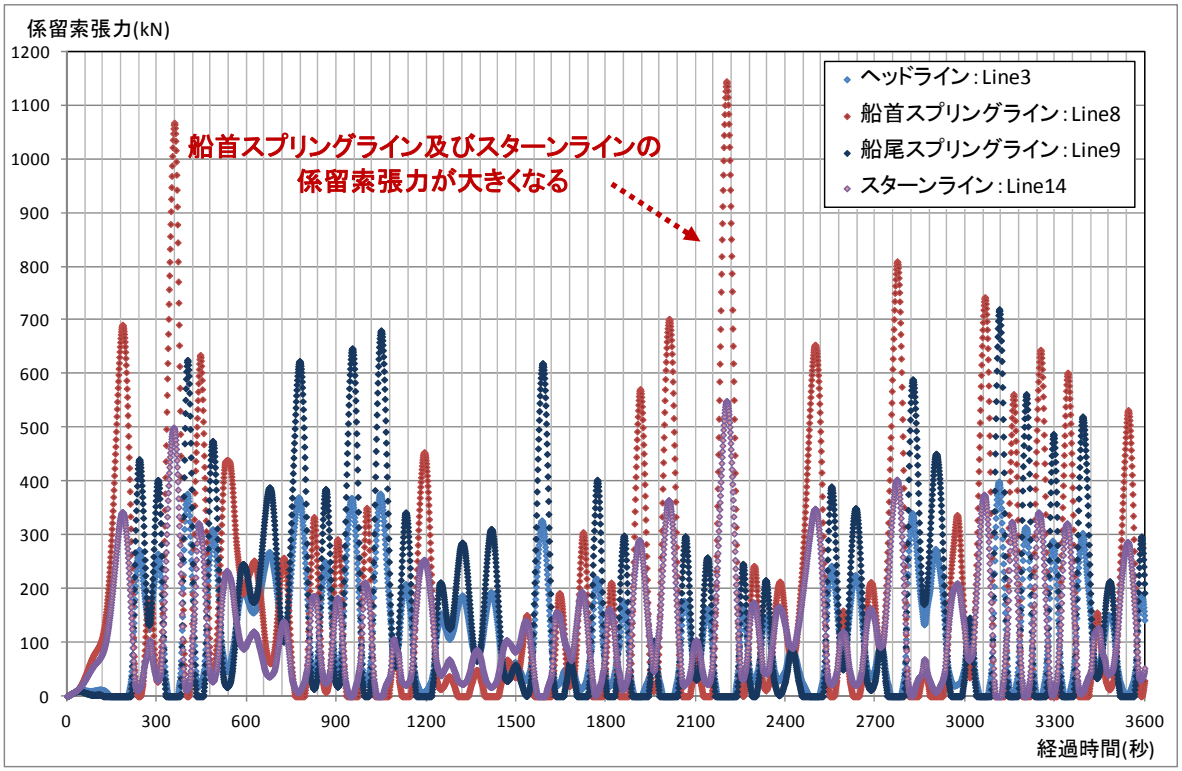


図 2.1.39　LNG 船の係留索張力

② 左舷方向からの津波の想定（LNG 船、津波高さ 2m・津波流速 3 ノット）

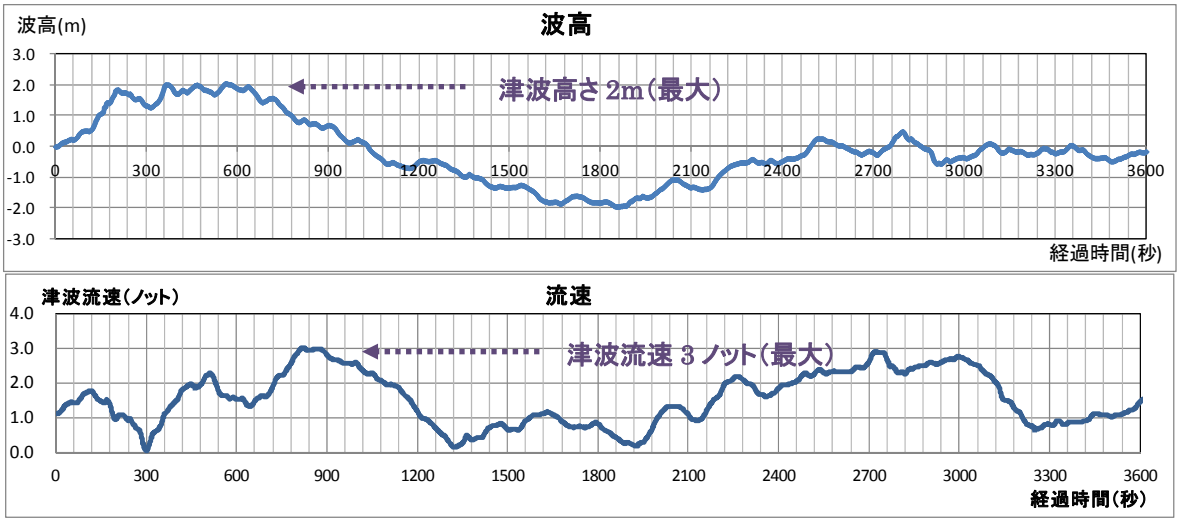


図 2.1.40　津波データの波高及び流速の変動

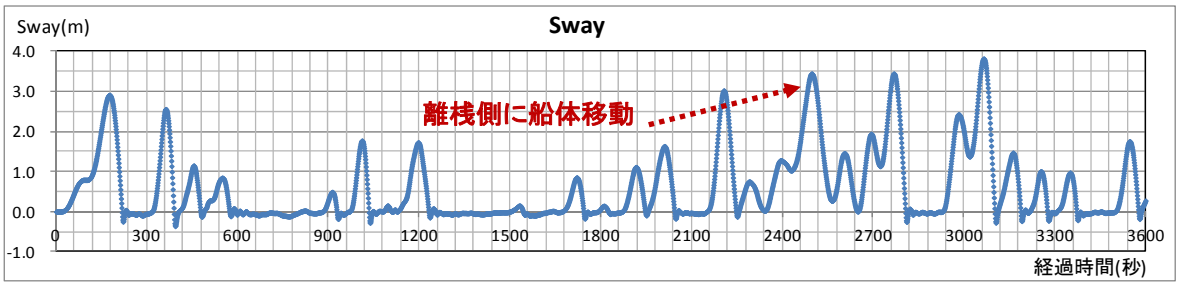


図 2.1.41　LNG 船の船体動揺量（SWAY：左右運動）

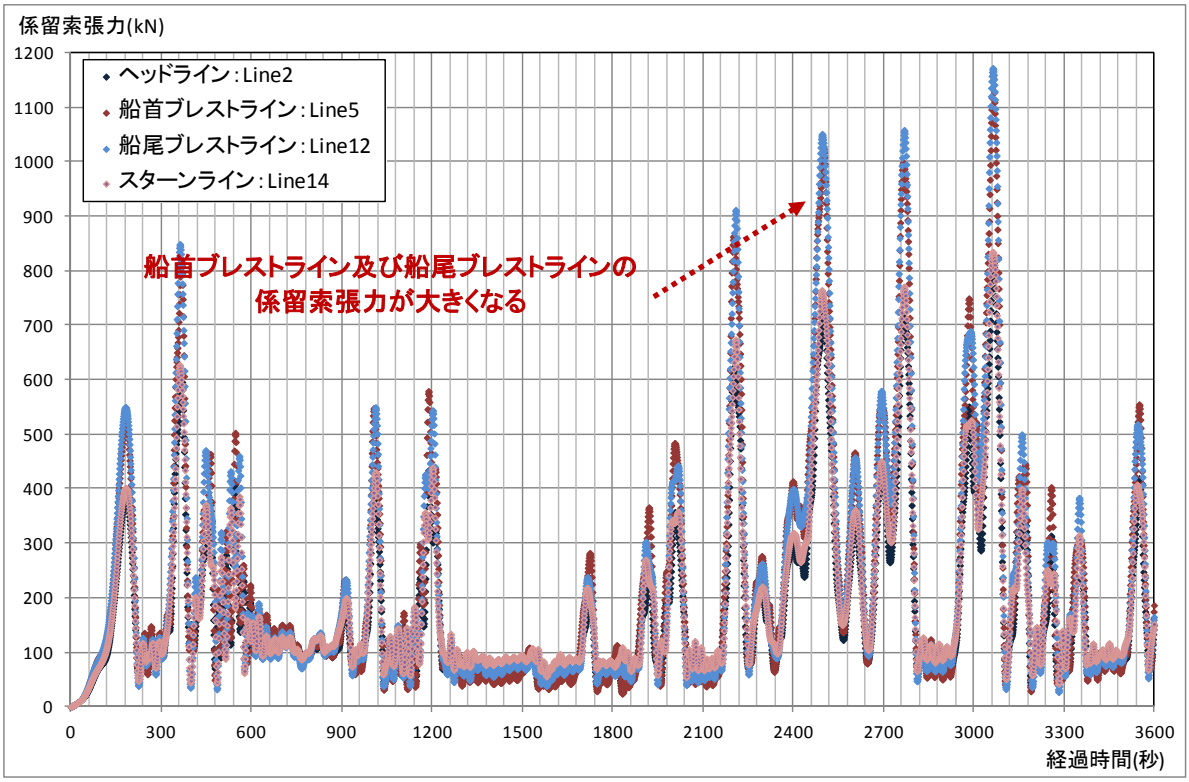


図 2.1.42　LNG 船の係留索張力

表2.1.18　係留動揺シミュレーション結果一覧（LNG船、前半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ヘッドライン			船首ブレストライン			船首スプリングライン		船尾スプリングライン		船尾ブレストライン			スターンライン			フェンダー									着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8	Line9	Line10	Line11	Line12	Line13	Line14	Line15	Line16	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4	FEND5	FEND6	FEND7	FEND8	FEND9	FEND10		
					(m)			(度)			(kN)																(%)											
1	Qflex 満載	船首 1.0m	風：なし 波浪：なし	1ノット	0.0	0.8	1.0	0.1	−0.2	−0.1	175	180	184	143	153	169	301	295	262	261	132	140	119	194	192	190	2.6	2.6	2.5	2.1	2.0	2.2	2.3	3.3	3.4	3.7	○	○
2				2ノット	0.0	0.8	1.0	0.1	−0.2	−0.1	175	180	184	143	153	169	301	295	261	261	132	140	119	194	192	190	2.6	2.6	2.5	2.1	2.0	2.2	2.3	3.3	3.5	3.7	○	○
3				3ノット	0.0	0.8	1.0	0.1	−0.2	−0.1	175	180	184	143	153	169	301	296	261	261	133	140	119	194	192	190	2.6	2.6	2.5	2.1	2.0	2.2	2.3	3.3	3.5	3.7	○	○
4				4ノット	0.0	0.8	1.0	0.1	−0.2	−0.1	175	180	184	143	153	169	301	296	261	261	134	140	119	196	194	192	2.6	2.6	2.5	2.1	2.0	2.2	2.3	3.3	3.5	3.8	○	○
5				5ノット	0.0	0.8	1.0	0.1	−0.2	−0.1	175	180	184	143	153	169	302	297	261	261	135	140	119	199	197	195	2.6	2.6	2.5	2.1	2.0	2.2	2.3	3.4	3.6	3.8	○	○
6		船尾 1.0m		1ノット	0.0	1.0	1.0	−0.1	−0.2	−0.1	172	176	180	138	148	164	319	347	241	239	140	142	123	218	215	212	2.5	2.4	2.4	2.0	1.9	2.2	2.2	3.7	4.1	4.5	○	○
7				2ノット	0.0	1.0	1.0	−0.1	−0.2	−0.1	172	176	180	138	148	164	319	347	241	239	140	142	123	218	215	212	2.5	2.4	2.4	2.0	1.9	2.2	2.2	3.7	4.1	4.5	○	○
8				3ノット	0.0	1.0	1.0	−0.1	−0.2	−0.1	172	177	180	138	148	164	319	347	241	239	140	142	123	218	215	212	2.5	2.4	2.4	2.0	1.9	2.2	2.2	3.7	4.1	4.5	○	○
9				4ノット	0.0	1.0	1.0	−0.1	−0.2	−0.1	172	177	180	138	148	164	319	347	241	240	140	142	123	218	215	212	2.5	2.4	2.4	2.0	1.9	2.2	2.2	3.7	4.1	4.5	○	○
10				5ノット	0.0	1.0	1.0	−0.1	−0.2	−0.1	172	176	180	138	148	164	319	347	243	241	140	142	123	218	215	212	2.5	2.4	2.4	2.0	1.9	2.2	2.2	3.7	4.1	4.5	○	○
11		左舷正横 1.0m		1ノット	0.8	0.2	1.0	0.0	−0.5	−0.1	225	227	221	295	292	240	239	222	136	136	282	275	249	230	230	230	4.3	4.3	4.5	4.6	5.0	5.0	5.2	5.2	5.3	5.3	○	○
12				2ノット	1.2	0.2	1.0	0.0	−0.5	−0.1	295	298	292	389	387	320	247	288	139	140	390	391	353	313	312	312	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.4	5.4	5.6	5.6	5.6	○	○
13				3ノット	2.2	0.2	1.0	0.0	−0.5	−0.1	473	475	466	636	633	517	371	448	175	176	636	639	569	489	488	485	6.6	6.5	6.4	5.8	5.7	4.8	4.8	5.0	5.0	5.0	○	○
14				4ノット	3.5	0.2	1.0	0.0	−0.7	−0.1	714	715	704	1002	1000	796	544	678	248	245	1036	1042	906	760	757	753	5.9	5.8	5.8	5.5	5.4	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	○	○
15				5ノット																															○	○
16		船首 2.0m		1ノット	0.2	2.7	2.0	0.2	−0.5	−0.3	440	453	475	260	310	408	803	902	913	909	224	217	178	451	438	426	8.3	7.6	7.0	5.2	4.9	4.4	4.5	7.7	8.4	9.3	○	○
17				2ノット	0.2	2.7	2.0	0.2	−0.5	−0.3	440	453	475	260	310	408	806	905	913	909	225	217	178	452	439	427	8.3	7.6	7.0	5.2	4.9	4.4	4.5	7.7	8.4	9.3	○	○
18				3ノット	0.2	2.7	2.0	0.2	−0.5	−0.3	440	453	475	260	310	407	811	911	913	909	226	218	178	454	441	429	8.3	7.6	7.0	5.2	4.9	4.4	4.5	7.7	8.5	9.4	○	○
19				4ノット	0.2	2.7	2.0	0.2	−0.5	−0.3	440	453	475	260	310	407	818	920	912	909	227	218	178	457	444	432	8.3	7.6	7.0	5.2	4.9	4.4	4.5	7.7	8.5	9.4	○	○
20				5ノット	0.2	2.7	2.0	0.2	−0.5	−0.3	439	453	475	260	309	407	827	931	912	908	229	218	178	461	448	436	8.3	7.6	7.0	5.2	5.0	4.4	4.5	7.7	8.5	9.4	○	○
21		船尾 2.0m		1ノット	0.2	3.4	2.0	−0.2	−0.6	−0.3	369	380	397	230	261	326	1068	1145	716	711	270	265	182	550	534	517	7.5	7.2	6.8	5.1	4.8	4.5	4.8	8.2	9.3	10.7	○	○
22				2ノット	0.2	3.4	2.0	−0.2	−0.6	−0.3	370	381	398	230	261	327	1068	1145	718	713	270	265	182	550	534	517	7.5	7.2	6.8	5.1	4.8	4.6	4.8	8.2	9.3	10.7	○	○
23				3ノット	0.2	3.4	2.0	−0.2	−0.6	−0.3	371	382	399	230	261	328	1068	1145	720	716	270	265	182	549	534	517	7.5	7.2	6.8	5.1	4.8	4.6	4.8	8.2	9.3	10.7	○	○
24				4ノット	0.2	3.4	2.0	−0.2	−0.6	−0.3	373	384	401	231	262	330	1067	1144	724	720	270	265	182	549	534	516	7.5	7.2	6.8	5.1	4.8	4.6	4.8	8.2	9.3	10.7	○	○
25				5ノット	0.2	3.4	2.0	−0.2	−0.6	−0.3	375	386	403	231	263	332	1067	1144	729	724	270	265	182	549	534	516	7.5	7.2	6.8	5.0	4.8	4.6	4.8	8.2	9.3	10.7	○	○
26		左舷正横 2.0m		1ノット	3.0	0.3	2.0	0.0	−1.7	−0.2	631	632	620	884	879	693	650	643	300	298	902	890	781	662	662	659	23.3	23.3	23.3	23.3	23.4	25.0	25.2	27.3	27.6	27.9	○	○
27				2ノット	3.0	0.3	2.0	0.0	−1.6	−0.2	627	628	617	877	873	690	663	659	304	302	913	900	790	668	668	665	22.1	22.1	22.1	22.2	22.3	23.9	24.1	25.8	26.1	26.4	○	○
28				3ノット	3.8	0.3	2.0	0.0	−1.6	0.2	822	824	813	1159	1160	921	685	799	311	308	1154	1172	1012	835	831	827	20.4	20.4	20.4	20.8	20.8	22.4	22.5	24.0	24.3	24.5	○	○
29				4ノット																															○	○
30				5ノット																															○	○
31		船首 3.0m		1ノット																															×	○
32				2ノット																															×	○
33				3ノット																															×	○
34				4ノット																															×	○
35				5ノット																															×	○
36		船尾 3.0m		1ノット																															×	○
37				2ノット																															×	○
38				3ノット																															×	○
39				4ノット																															×	○
40				5ノット																															×	○
41		左舷正横 3.0m		1ノット																															×	○
42				2ノット																															×	○
43				3ノット																															×	○
44				4ノット																															×	○
45				5ノット																															×	○

●主索：UHMWPE44mm（破断張力1,245kN、許容荷重623kN）
●テールロープ：ナイロン110mm（破断張力1,842kN、許容荷重670kN）
●主索の安全率は2.0、テールロープの安全率は2.75とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：747kN　設計荷重(80%MBL)：996kN
●水深(14.0m) − 喫水(12.0m) − 水位下降量(m) ＜ 0 の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(12.0m) + 天端高(4.5m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55−60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60−80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80−100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

表 2.1.19　係留動揺シミュレーション結果一覧（LNG 船、後半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波 方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ヘッドライン			船首ブレストライン			船首スプリングライン		船尾スプリングライン		船尾ブレストライン			スターンライン			フェンダー										着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8	Line9	Line10	Line11	Line12	Line13	Line14	Line15	Line16	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4	FEND5	FEND6	FEND7	FEND8	FEND9	FEND10		
					(m)			(度)			(kN)																(%)											
1				1ノット	0.0	0.3	0.7	0.0	−0.2	0.0	130	133	134	117	120	126	220	205	161	162	110	119	109	143	141	141	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	1.7	1.8	2.2	2.3	2.3	○	○
2				2ノット	0.0	0.3	0.7	0.0	−0.2	0.0	130	132	133	116	120	126	220	205	161	162	110	119	109	143	141	141	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.8	2.2	2.3	2.3	○	○
3		船首 1.0m		3ノット	0.0	0.3	0.7	0.0	−0.2	0.0	130	132	133	116	119	126	220	205	160	161	110	119	109	143	141	142	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.8	2.2	2.3	2.3	○	○
4				4ノット	0.0	0.3	0.7	0.0	−0.2	0.0	129	132	133	116	120	125	221	206	160	161	111	119	109	143	142	142	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.8	2.2	2.3	2.3	○	○
5				5ノット	0.0	0.4	0.7	0.0	−0.2	0.0	129	132	133	116	119	125	221	206	159	160	111	119	109	144	142	142	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.7	1.8	2.2	2.3	2.4	○	○
6				1ノット	0.0	0.4	0.7	0.0	−0.2	0.0	130	133	134	118	122	128	215	201	158	158	116	117	108	149	147	147	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.8	1.8	2.4	2.5	2.6	○	○
7				2ノット	0.0	0.4	0.7	0.0	−0.2	0.0	131	133	134	118	122	129	215	200	158	159	116	116	108	149	147	147	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.7	1.8	2.4	2.5	2.6	○	○
8		船尾 1.0m		3ノット	0.0	0.4	0.7	0.0	−0.2	0.0	131	133	135	118	122	129	214	200	158	159	116	116	108	148	146	146	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.7	1.8	2.4	2.5	2.6	○	○
9				4ノット	0.0	0.4	0.7	0.0	−0.2	0.0	131	134	135	118	122	129	213	200	158	159	116	116	108	148	146	146	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.7	1.8	2.4	2.5	2.6	○	○
10				5ノット	0.0	0.4	0.7	0.0	−0.2	0.0	131	134	135	118	123	129	212	199	159	160	115	116	108	148	146	146	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.7	1.8	2.4	2.5	2.6	○	○
11				1ノット	0.0	0.1	0.7	0.0	−0.2	0.0	105	105	106	109	109	107	183	157	103	103	102	111	108	112	112	112	1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7	○	○
12				2ノット	0.3	0.1	0.7	0.0	−0.3	0.0	137	138	135	162	161	143	187	169	103	102	168	171	159	158	158	159	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	○	○
13		左舷正横 1.0m		3ノット	0.9	0.1	0.7	0.0	−0.5	0.0	242	245	240	313	313	263	246	264	124	125	309	319	287	259	259	259	4.2	4.3	4.3	4.4	4.4	4.7	4.7	4.9	4.9	4.9	○	○
14				4ノット	1.7	0.1	0.7	0.0	−0.6	−0.1	390	392	385	515	514	425	347	393	163	164	527	536	478	420	418	418	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	○	○
15				5ノット	2.7	0.2	0.7	0.0	−0.7	−0.1	582	585	576	798	797	643	480	572	214	213	808	821	720	615	614	612	3.7	3.8	3.8	3.9	4.0	4.3	4.3	4.5	4.6	4.6	○	○
16				1ノット	0.0	−1.2	1.4	0.1	−0.2	−0.1	262	271	280	168	187	237	382	405	462	461	149	153	125	243	239	235	4.4	4.2	4.0	2.6	2.4	2.4	2.5	4.1	4.4	4.7	○	○
17				2ノット	0.0	−1.2	1.4	0.1	−0.2	−0.1	262	271	280	168	187	236	382	405	461	459	149	154	125	243	239	235	4.4	4.2	4.0	2.6	2.4	2.4	2.5	4.1	4.4	4.7	○	○
18		船首 2.0m		3ノット	0.0	−1.2	1.4	0.1	−0.2	−0.1	262	270	279	168	187	236	382	405	460	458	149	154	125	243	239	235	4.4	4.1	3.9	2.6	2.4	2.4	2.5	4.1	4.4	4.7	○	○
19				4ノット	0.0	−1.2	1.4	0.1	−0.2	−0.1	261	269	278	168	186	235	385	405	457	455	149	154	126	243	239	235	4.3	4.1	3.9	2.6	2.4	2.4	2.5	4.1	4.4	4.7	○	○
20				5ノット	0.0	−1.2	1.4	0.1	−0.2	−0.1	259	268	276	168	186	234	387	405	454	452	149	155	126	243	239	235	4.3	4.1	3.9	2.6	2.4	2.4	2.5	4.1	4.4	4.7	○	○
21				1ノット	0.1	1.7	1.4	−0.1	−0.3	−0.2	223	230	235	161	178	207	553	600	356	355	171	164	131	314	306	298	3.9	3.8	3.6	3.0	2.9	2.4	2.7	5.4	6.1	6.8	○	○
22				2ノット	0.1	1.7	1.4	−0.1	−0.3	−0.2	223	230	235	161	177	207	551	598	356	355	170	164	131	313	305	298	3.9	3.8	3.6	3.0	2.9	2.4	2.7	5.4	6.1	6.8	○	○
23		船尾 2.0m		3ノット	0.1	1.7	1.4	−0.1	−0.3	−0.2	223	230	235	161	177	207	549	596	356	355	170	164	131	312	304	297	3.9	3.8	3.6	3.0	2.9	2.4	2.7	5.4	6.1	6.8	○	○
24				4ノット	0.1	1.7	1.4	−0.1	−0.3	−0.2	223	230	235	161	177	207	546	592	356	355	169	163	131	311	303	295	3.9	3.8	3.6	3.0	2.9	2.4	2.7	5.4	6.0	6.7	○	○
25				5ノット	0.1	1.7	1.4	−0.1	−0.3	−0.2	223	230	236	161	177	207	542	588	356	355	169	163	131	309	301	294	3.9	3.8	3.6	2.9	2.9	2.4	2.7	5.4	6.0	6.7	○	○
26				1ノット	1.4	0.2	1.4	0.0	−1.1	0.1	325	328	323	428	428	357	301	329	150	150	445	447	404	357	356	357	10.2	10.2	10.2	10.4	10.4	11.1	11.1	11.7	11.7	11.8	○	○
27				2ノット	1.7	0.2	1.4	0.0	−1.4	0.1	361	364	357	476	476	395	343	358	163	162	515	518	465	407	405	406	10.1	10.1	10.1	10.3	10.4	10.9	11.0	11.4	11.5	11.5	○	○
28		左舷正横 2.0m		3ノット	2.1	0.1	1.4	0.0	−1.1	−0.1	458	460	452	613	610	500	409	444	192	192	641	645	574	494	493	490	11.8	11.8	11.8	11.9	11.9	12.2	12.2	12.4	12.4	12.5	○	○
29				4ノット	2.7	0.1	1.4	0.0	−0.8	−0.1	581	585	578	791	791	643	520	588	228	226	811	818	720	611	611	609	11.6	11.6	11.7	11.8	11.8	12.5	12.5	13.0	13.1	13.2	○	○
30	Qflex 満載		風：なし 波浪：なし	5ノット	3.4	0.2	1.4	0.0	−0.9	−0.1	727	729	720	1013	1014	812	626	725	274	272	1040	1063	927	777	775	771	9.6	9.7	9.7	10.0	10.0	10.6	10.7	11.0	11.1	11.1	○	○
31				1ノット	0.1	−2.4	2.0	0.2	−0.6	0.2	431	444	464	232	274	384	663	671	875	870	200	206	158	356	347	340	7.8	7.3	6.8	5.3	5.0	5.2	5.5	7.5	7.8	8.3	○	○
32				2ノット	0.1	−2.3	2.0	0.2	−0.6	0.2	431	443	464	232	274	384	664	673	874	869	200	206	158	356	347	340	7.8	7.3	6.8	5.3	5.0	5.2	5.5	7.5	7.8	8.3	○	○
33		船首 3.0m		3ノット	0.1	−2.3	2.0	0.2	−0.6	0.2	430	442	463	232	274	384	666	675	872	867	200	206	158	357	348	341	7.8	7.2	6.8	5.3	5.0	5.2	5.5	7.5	7.8	8.3	○	○
34				4ノット	0.1	−2.3	2.0	0.2	−0.6	0.2	429	441	462	232	274	382	669	678	869	864	201	207	158	359	350	342	7.7	7.2	6.8	5.3	5.0	5.2	5.5	7.5	7.8	8.4	○	○
35				5ノット	0.1	−2.3	2.0	0.2	−0.5	0.2	428	440	460	231	274	381	672	681	865	860	201	207	158	361	351	344	7.7	7.2	6.8	5.3	5.0	5.2	5.5	7.5	7.8	8.4	○	○
36				1ノット	0.1	3.1	2.0	−0.2	−0.5	−0.3	354	365	381	213	248	322	1010	1112	655	651	260	243	164	536	521	505	7.5	7.1	6.8	5.2	4.9	4.6	5.0	8.5	9.5	10.6	○	○
37				2ノット	0.1	3.1	2.0	−0.2	−0.5	−0.3	354	365	381	213	248	322	1009	1110	655	651	259	243	164	536	521	504	7.5	7.1	6.8	5.2	4.9	4.6	5.0	8.5	9.5	10.6	○	○
38		船尾 3.0m		3ノット	0.1	3.1	2.0	−0.2	−0.5	−0.3	354	365	382	213	248	322	1006	1107	656	652	259	242	164	534	519	503	7.5	7.1	6.8	5.2	4.9	4.6	5.0	8.5	9.4	10.5	○	○
39				4ノット	0.1	3.1	2.0	−0.2	−0.5	−0.3	355	365	382	213	248	323	1002	1103	657	653	258	241	164	532	518	501	7.5	7.1	6.8	5.2	5.0	4.6	5.0	8.5	9.4	10.5	○	○
40				5ノット	0.1	3.1	2.0	−0.2	−0.5	−0.3	355	366	382	212	248	323	1002	1103	657	653	258	241	164	532	518	501	7.5	7.1	6.8	5.2	5.0	4.6	5.0	8.5	9.4	10.5	○	○
41				1ノット	2.6	0.2	2.0	0.0	−1.9	−0.2	581	585	578	791	793	645	512	579	225	223	812	816	721	618	619	617	23.7	23.7	23.8	24.6	24.7	28.2	28.6	31.9	32.4	32.9	○	○
42				2ノット	2.9	0.2	2.0	0.0	−2.2	−0.2	614	617	610	838	840	681	528	601	241	238	882	887	783	663	663	661	23.0	23.1	23.2	24.1	24.3	28.0	28.3	31.5	32.0	32.5	○	○
43		左舷正横 3.0m		3ノット	3.3	0.2	2.0	0.0	−2.6	−0.2	669	671	663	919	920	741	620	655	259	257	1009	1013	887	744	743	740	27.2	26.9	26.7	24.7	24.4	26.6	27.0	30.1	30.5	31.0	○	○
44				4ノット	3.9	0.2	2.0	0.0	−2.5	−0.3	834	839	831	1145	1149	918	724	809	339	337	1205	1237	1076	903	901	898	31.1	30.8	30.4	28.2	27.8	24.3	24.6	27.1	27.4	27.8	○	○
45				5ノット																															○	○
46				1ノット																															○	○
47				2ノット																															○	○
48		船首 4.0m		3ノット																															○	○
49				4ノット																															○	○
50				5ノット																															○	○
51				1ノット																															○	○
52				2ノット																															○	○
53		船尾 4.0m		3ノット																															○	○
54				4ノット																															○	○
55				5ノット																															○	○
56				1ノット																															○	○
57				2ノット																															○	○
58		左舷正横 4.0m		3ノット																															○	○
59				4ノット																															○	○
60				5ノット																															○	○

●主索：UHMWPE44mm（破断張力1,245kN、許容荷重623kN）
●テールロープ：ナイロン110mm（破断張力1,842kN、許容荷重670kN）
●主索の安全率は2.0、テールロープの安全率は2.75とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：747kN 設計荷重(80%MBL)：996kN
●水深(14.0m) − 喫水(12.0m) − 水位下降量(m) ＜ 0 の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(12.0m) + 天端高(4.5m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

＊水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
＊黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
＊オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
＊赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
＊灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

2.1.4.3 3,000DWT（一般船舶）

(1) 津波外力の設定条件

3,000DWT の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波外力の設定方向については、船舶に与える津波の波向を船首方向とした場合（参照：図 2.1.43）及び船尾方向とした場合（参照：図 2.1.44）について以下に整理する。

なお、船首方向及び船尾方向から与える津波高さ（最大）、津波流速（最大）は以下のとおりである。

◆ 船首方向からの津波の想定【津波高さ 3m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】

◆ 船尾方向からの津波の想定【津波高さ 3m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】

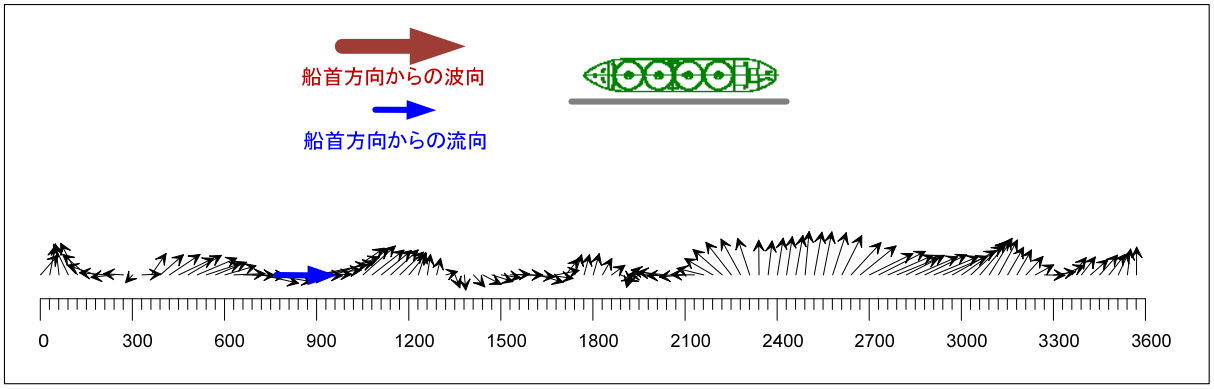


図 2.1.43　津波の進入する波向を船首方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

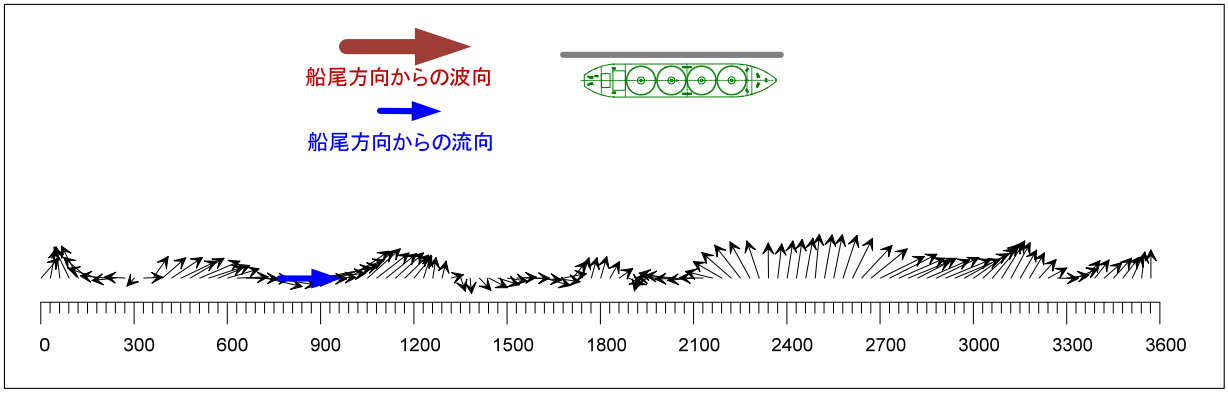


図 2.1.44　津波の進入する波向を船尾方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

(2) シミュレーション結果

3,000DWT の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波方向別の例示として、船首方向からの津波（津波高さ 3m、津波流速 3 ノット）を想定した場合の波高及び流速の変動、船体動揺量、係留索張力を図 2.1.45～図 2.1.47に、船尾方向からの津波（津波高さ 3m、津波流速 3 ノット）のものを図 2.1.48～図 2.1.50にそれぞれ示す。

また、津波外力（波高、流速）の組合せに対する係留限界の結果一覧について、津波シミュレーションの前半部分（水位変動の大きい）の波形モデルで実施した場合を表 2.1.20に、後半部分（水位変動の小さい）で実施した場合を表 2.1.21にそれぞれ示す。なお、表中では、水色（許容荷重～ウィンチの運用荷重）、黄色（ウィンチの運用荷重～ウィンチの設計荷重）、オレンジ色（ウィンチの設計荷重～係留索の破断荷重）、灰色（破断荷重以上）とし、評価基準により色分けをしている。

【津波流向による影響】

津波流向（来襲する方向）よる比較を行うために、以下では船首方向及び船尾方向からの係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波の主波向（津波の卓越流向）を船首方向からとした場合、船体が船尾側に流されてヘッドライン及び船尾スプリングラインの索張力が大きくなった。

一方、津波の主波向を船尾方向からとした場合、船体が船首側に流されてスターンライン及び船首スプリングラインの索張力が大きくなった。

なお、津波シミュレーションの初期段階（津波水位が最も高くなった時点）では、岸壁と船体とを繋ぐ係留索の長さが短い船首尾ブレストラインにおいて索張力が大きくなる傾向が見られた。

【津波波形による影響】

津波シミュレーションの前半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の大きい）及び後半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の小さい）による係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波方向が船首からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 6.0m・津波流速 1 ノットで係留索の破断荷重に達したが、後半の津波波形の場合、同外力条件においても破断荷重に達することは無かった。

また、津波方向が船尾からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 6.0m・津波流速 1 ノットで係留索の破断荷重に達したが、後半の津波波形の場合、同外力条件においても破断荷重に達することは無かった。

船体状態については、前半の津波波形では津波高さ 6.0m で船体着底が発生したが、後半の津波波形では津波高さ 6.0m でも水位の下降側の変動が少なく船体着底は発生しなかった。なお、今回実施した津波外力の範囲内では、仮想桟橋への船体乗揚げは無かった。

① 船首方向からの津波の想定（3,000DWT、津波高さ 3m・津波流速 3 ノット）

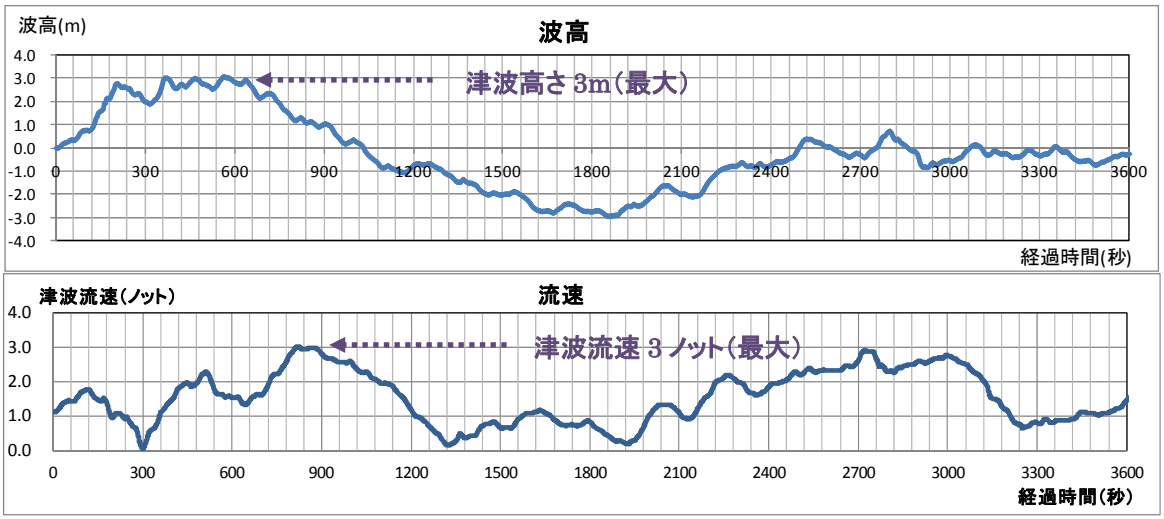


図 2.1.45　津波データの波高及び流速の変動

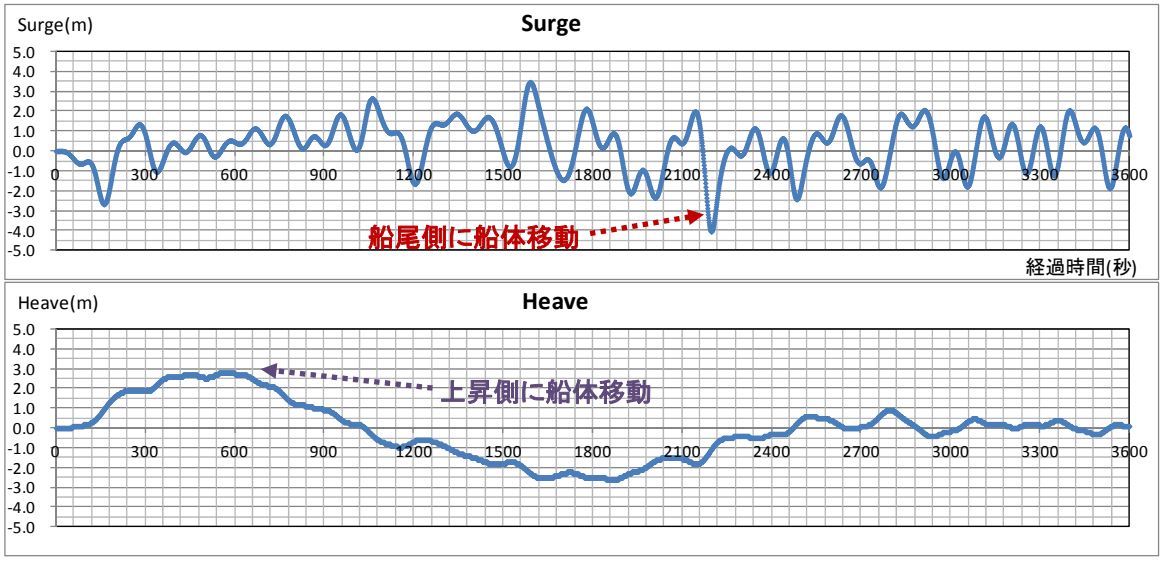


図 2.1.46　3,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

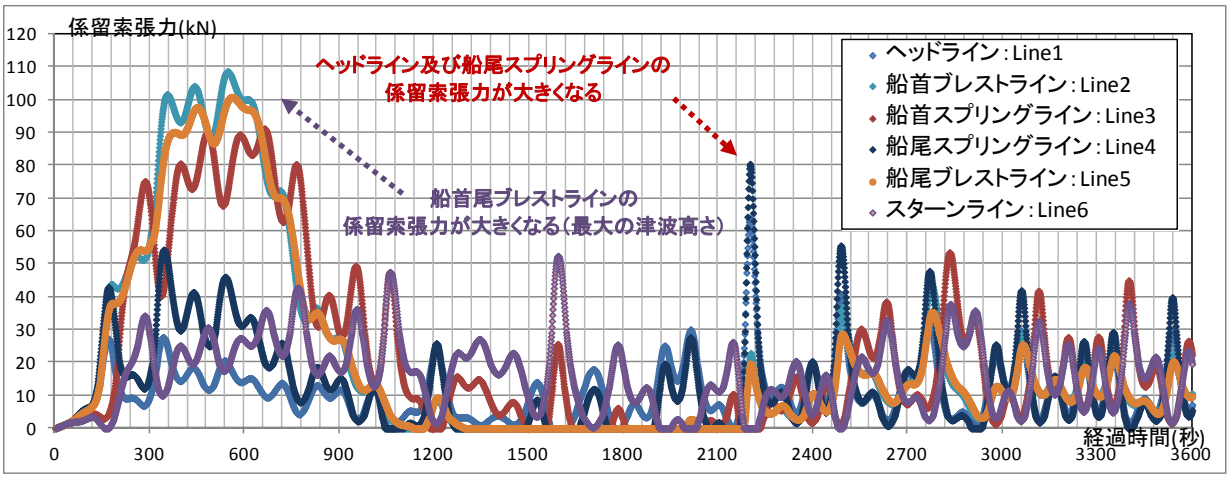


図 2.1.47　3,000DWT の係留索張力

② 船尾方向からの津波の想定（3,000DWT、津波高さ 3m・津波流速 3 ノット）

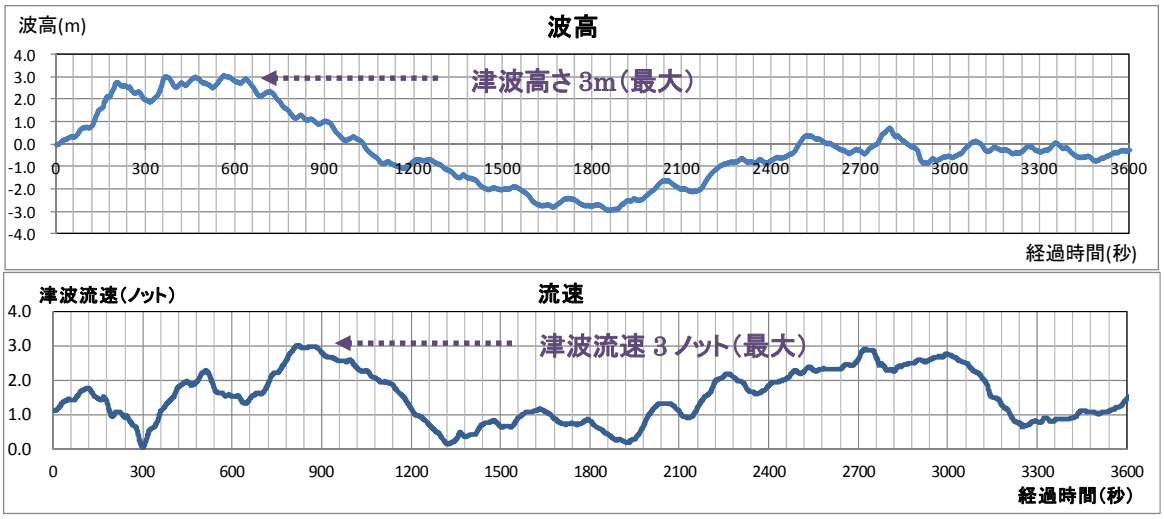


図 2.1.48　津波データの波高及び流速の変動

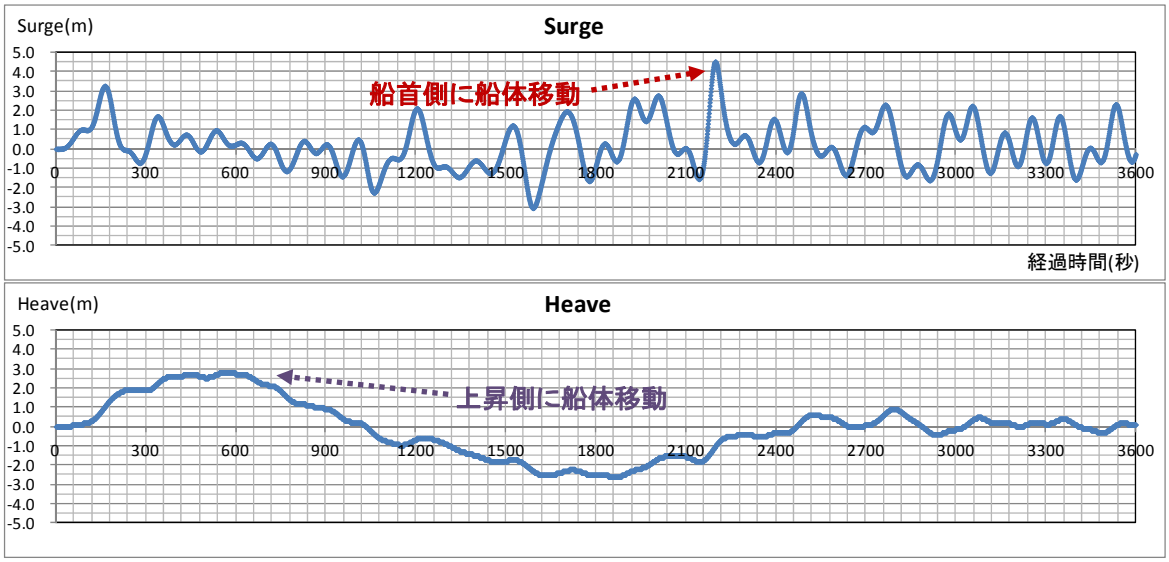


図 2.1.49　3,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

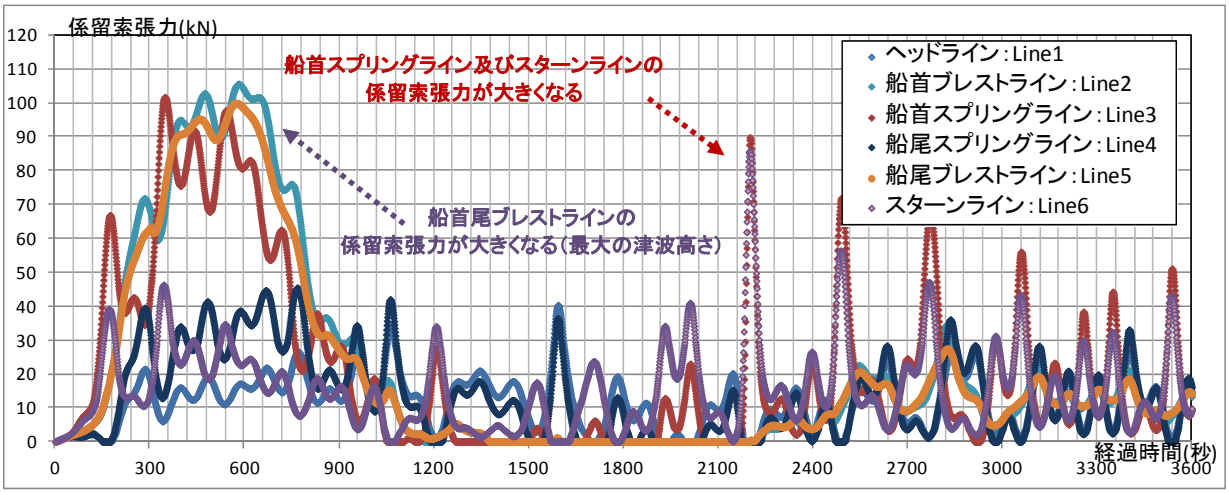


図 2.1.50　3,000DWT の係留索張力

表2.1.20　係留動揺シミュレーション結果一覧（3,000DWT、前半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ヘッドライン	船首ブレストライン	船首スプリングライン	船尾スプリングライン	船尾ブレストライン	スターンライン	フェンダー				着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4		
					(m)			(度)			(kN)						(%)					
1	3,000DWT満載	船首 1.0m	風：なし 波浪：なし	1ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	29	17	26	20	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
2				2ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	28	17	27	19	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
3				3ノット	−0.2	0.7	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	28	17	27	19	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
4				4ノット	−0.2	0.7	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	28	17	27	18	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
5				5ノット	−0.2	0.7	0.9	−0.1	−1.5	0.0	15	29	27	17	27	18	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
6		船尾 1.0m		1ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	30	17	26	18	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
7				2ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	30	17	26	18	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
8				3ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	14	28	30	16	26	18	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
9				4ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	13	28	31	16	26	19	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
10				5ノット	−0.2	0.8	0.9	−0.1	−1.5	0.0	13	27	32	16	26	19	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
16		船首 2.0m		1ノット	−0.5	−2.0	1.9	−0.2	−3.0	0.0	28	65	59	32	60	29	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
17				2ノット	−0.5	−2.0	1.9	−0.2	−3.0	0.0	28	65	59	32	61	29	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
18				3ノット	−0.5	−1.9	1.9	−0.2	−3.0	0.0	28	65	59	32	61	28	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
19				4ノット	−0.5	−1.9	1.9	−0.2	−3.0	0.0	28	65	58	32	61	28	0.5	0.4	0.4	0.4	○	○
20				5ノット	−0.5	−1.9	1.9	−0.2	−3.0	0.0	27	66	58	32	61	27	0.5	0.4	0.4	0.4	○	○
21		船尾 2.0m		1ノット	−0.5	2.4	1.9	−0.2	−3.0	0.0	22	64	63	29	59	40	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
22				2ノット	−0.5	2.4	1.9	−0.2	−3.0	0.0	21	63	63	29	59	40	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
23				3ノット	−0.5	2.4	1.9	−0.2	−3.0	0.0	21	63	63	28	59	39	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
24				4ノット	−0.5	2.3	1.9	−0.2	−3.0	0.0	20	63	63	27	59	39	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
25				5ノット	−0.5	2.3	1.9	−0.2	−3.0	0.0	20	63	64	26	59	38	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
31		船首 3.0m		1ノット	−0.7	−4.1	2.8	0.3	−4.8	−0.3	64	108	92	81	101	53	2.1	1.4	1.0	1.7	○	○
32				2ノット	−0.7	−4.1	2.8	0.3	−4.8	−0.3	64	109	91	81	101	53	2.1	1.4	1.0	1.7	○	○
33				3ノット	−0.7	−4.0	2.8	0.3	−4.8	0.3	64	109	91	81	101	52	2.0	1.3	1.0	1.7	○	○
34				4ノット	−0.7	−4.0	2.8	0.3	−4.8	0.3	64	109	91	80	101	52	2.0	1.3	1.0	1.7	○	○
35				5ノット	−0.7	−4.0	2.8	0.3	−4.8	0.3	63	109	91	79	101	52	2.0	1.3	0.9	1.6	○	○
36		船尾 3.0m		1ノット	−0.7	4.5	2.8	−0.3	−4.8	0.4	41	106	102	46	100	86	1.8	1.0	1.3	1.7	○	○
37				2ノット	−0.7	4.5	2.8	−0.3	−4.8	0.4	41	106	102	46	100	86	1.8	1.0	1.2	1.7	○	○
38				3ノット	−0.7	4.5	2.8	−0.3	−4.8	0.4	40	105	102	45	100	86	1.8	1.0	1.2	1.7	○	○
39				4ノット	−0.7	4.5	2.8	−0.3	−4.8	0.4	40	105	102	45	100	85	1.8	0.9	1.3	1.7	○	○
40				5ノット	−0.7	4.5	2.8	−0.3	−4.8	0.4	40	105	102	44	100	85	1.8	0.9	1.3	1.8	○	○
41		船首 4.0m		1ノット	−1.0	5.2	3.8	0.4	−6.5	1.2	80	150	135	109	139	90	4.2	2.4	2.3	3.7	○	○
42				2ノット	−1.0	5.2	3.8	0.4	−6.5	1.1	80	150	134	109	139	90	4.2	2.2	2.2	3.7	○	○
43				3ノット	−1.0	5.2	3.8	0.4	−6.5	1.1	80	150	134	109	139	89	4.2	2.6	2.5	3.7	○	○
44				4ノット	−1.0	5.2	3.8	0.4	−6.5	1.1	79	150	134	109	139	89	4.3	3.1	1.9	3.9	○	○
45				5ノット	−1.0	5.2	3.8	0.4	−6.5	1.1	79	150	134	109	139	89	4.1	2.6	2.7	3.7	○	○
46		船尾 4.0m		1ノット	−1.0	5.3	3.8	−0.6	−6.4	0.8	69	144	153	81	136	104	2.9	1.4	1.5	5.0	○	○
47				2ノット	−1.0	5.3	3.8	−0.6	−6.4	0.8	69	144	153	81	136	104	2.9	1.4	1.4	5.0	○	○
48				3ノット	−1.0	5.3	3.8	−0.6	−6.4	0.8	69	144	153	80	136	103	2.9	1.3	1.5	5.0	○	○
49				4ノット	−1.0	5.3	3.8	−0.6	−6.4	0.8	68	144	153	80	136	103	3.0	1.3	1.4	5.0	○	○
50				5ノット	−1.0	5.3	3.8	−0.6	−6.4	0.8	68	144	153	80	135	102	3.1	1.4	1.5	5.0	○	○
51		船首 5.0m		1ノット	−1.2	6.2	4.7	0.5	−7.6	1.6	98	164	153	122	158	111	5.4	3.0	4.0	8.0	○	○
52				2ノット	−1.2	6.2	4.7	0.5	−7.6	1.7	97	164	153	122	158	111	5.4	3.1	4.0	8.0	○	○
53				3ノット	−1.2	6.2	4.7	0.5	−7.6	1.6	97	164	152	122	158	111	5.4	4.3	4.1	8.2	○	○
54				4ノット	−1.2	6.2	4.7	0.5	−7.6	1.6	97	164	152	122	158	110	5.4	4.1	4.1	8.2	○	○
55				5ノット	−1.2	6.2	4.7	0.5	−7.7	1.6	97	164	152	122	158	110	6.2	4.9	4.1	8.2	○	○
56		船尾 5.0m		1ノット	−1.1	6.3	4.7	−0.6	−7.6	1.1	88	162	164	99	156	123	4.3	3.2	2.9	6.8	○	○
57				2ノット	−1.1	6.3	4.7	−0.6	−7.6	1.1	88	162	164	99	156	123	4.2	3.2	2.9	6.8	○	○
58				3ノット	−1.1	6.3	4.7	−0.6	−7.6	1.1	87	162	164	99	156	123	4.2	3.2	2.9	6.8	○	○
59				4ノット	−1.1	6.3	4.7	−0.6	−7.6	1.1	87	161	164	99	156	123	4.3	3.2	2.9	6.8	○	○
60				5ノット	−1.1	6.3	4.7	−0.6	−7.6	1.1	87	161	164	98	156	122	4.3	3.2	2.8	6.8	○	○
61		船首 6.0m		1ノット																	×	○
62				2ノット																	×	○
63				3ノット																	×	○
64				4ノット																	×	○
65				5ノット																	×	○
66		船尾 6.0m		1ノット																	×	○
67				2ノット																	×	○
68				3ノット																	×	○
69				4ノット																	×	○
70				5ノット																	×	○

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

●主索：POLYPROPYLEN45mm（破断張力187kN、許容荷重94kN）
●主索の安全率は2.0とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：112kN　設計荷重(80%MBL)：150kN
●水深(10.0m) − 喫水(5.0m) − 水位下降量(m) ＜ 0の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(5.0m) + 天端高(1.0m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

表2.1.21　係留動揺シミュレーション結果一覧（3,000DWT、後半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ﾍｯﾄﾞﾗｲﾝ	船首ﾌﾞﾚｽﾄﾗｲﾝ	船首ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞﾗｲﾝ	船尾ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞﾗｲﾝ	船尾ﾌﾞﾚｽﾄﾗｲﾝ	ｽﾀｰﾝﾗｲﾝ	フェンダー				着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4		
					(m)			(度)			(kN)						(%)					
1	3,000DWT 満載	船首 1.0m	風：なし 波浪：なし	1ﾉｯﾄ	−0.2	0.6	0.6	0.0	−1.1	0.0	12	19	22	14	19	17	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
2				2ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.1	0.0	12	20	22	14	19	17	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
3				3ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.1	0.0	12	20	21	14	19	16	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
4				4ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.1	0.0	13	20	20	16	20	16	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
5				5ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.2	0.0	14	21	18	17	20	16	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
6		船尾 1.0m		1ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.1	0.0	13	19	22	13	18	17	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
7				2ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.1	0.0	12	19	23	13	18	17	0.2	0.2	0.2	0.2	○	○
8				3ﾉｯﾄ	−0.2	0.5	0.6	0.0	−1.1	0.0	12	19	24	13	18	17	0.2	0.2	0.2	0.1	○	○
9				4ﾉｯﾄ	−0.2	0.6	0.6	0.0	−1.1	0.0	12	19	26	12	18	18	0.2	0.2	0.2	0.1	○	○
10				5ﾉｯﾄ	−0.2	0.7	0.6	0.0	−1.2	0.0	12	18	28	11	17	19	0.2	0.2	0.2	0.1	○	○
11		船首 2.0m		1ﾉｯﾄ	−0.3	0.9	1.1	−0.1	−1.8	0.0	17	37	37	20	34	21	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
12				2ﾉｯﾄ	−0.3	0.9	1.1	−0.1	−1.8	0.0	17	37	36	20	34	21	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
13				3ﾉｯﾄ	−0.3	0.8	1.1	−0.1	−1.8	0.0	17	38	35	20	34	20	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
14				4ﾉｯﾄ	−0.3	0.8	1.1	−0.1	−1.8	0.0	17	38	33	22	35	20	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
15				5ﾉｯﾄ	−0.3	0.8	1.1	−0.1	−1.9	0.0	17	39	31	23	36	19	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
16		船尾 2.0m		1ﾉｯﾄ	−0.3	1.2	1.1	−0.1	−1.8	0.0	15	36	39	20	33	23	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
17				2ﾉｯﾄ	−0.3	1.2	1.1	−0.1	−1.8	0.0	15	36	39	19	32	23	0.3	0.3	0.3	0.2	○	○
18				3ﾉｯﾄ	−0.3	1.1	1.1	−0.1	−1.8	0.0	15	35	41	19	32	23	0.3	0.3	0.2	0.2	○	○
19				4ﾉｯﾄ	−0.3	1.1	1.1	−0.1	−1.8	0.0	14	35	42	18	31	23	0.4	0.3	0.2	0.2	○	○
20				5ﾉｯﾄ	−0.3	1.1	1.1	−0.1	−1.8	0.0	14	34	44	17	31	23	0.4	0.3	0.2	0.2	○	○
21		船首 3.0m		1ﾉｯﾄ	−0.4	1.6	1.7	−0.1	−2.7	0.0	23	59	54	27	54	27	0.4	0.4	0.4	0.3	○	○
22				2ﾉｯﾄ	−0.4	1.6	1.7	0.1	−2.7	0.0	23	59	53	28	55	26	0.4	0.4	0.4	0.3	○	○
23				3ﾉｯﾄ	−0.4	1.6	1.7	0.1	−2.7	0.0	23	60	52	28	55	26	0.4	0.4	0.4	0.3	○	○
24				4ﾉｯﾄ	−0.4	1.5	1.7	0.1	−2.7	0.0	22	60	51	29	56	26	0.4	0.4	0.4	0.3	○	○
25				5ﾉｯﾄ	−0.4	1.5	1.7	0.1	−2.7	0.0	22	61	49	31	56	26	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
26		船尾 3.0m		1ﾉｯﾄ	−0.4	1.8	1.7	−0.1	−2.7	0.0	20	57	58	26	54	31	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
27				2ﾉｯﾄ	−0.4	1.8	1.7	−0.1	−2.7	0.0	20	57	59	26	53	31	0.5	0.4	0.4	0.3	○	○
28				3ﾉｯﾄ	−0.4	1.8	1.7	−0.1	−2.7	0.0	19	57	60	25	53	30	0.5	0.4	0.3	0.3	○	○
29				4ﾉｯﾄ	−0.4	1.8	1.7	−0.1	−2.7	0.0	19	56	61	24	53	30	0.5	0.4	0.3	0.3	○	○
30				5ﾉｯﾄ	−0.4	1.7	1.7	−0.1	−2.7	0.0	19	56	64	23	52	30	0.5	0.4	0.3	0.3	○	○
31		船首 4.0m		1ﾉｯﾄ	−0.6	−2.0	2.2	−0.2	−3.7	0.0	32	83	73	42	75	35	0.5	0.5	0.5	0.4	○	○
32				2ﾉｯﾄ	−0.6	−2.0	2.2	−0.2	−3.7	0.0	32	83	72	42	75	35	0.5	0.5	0.5	0.4	○	○
33				3ﾉｯﾄ	−0.6	−2.0	2.2	−0.2	−3.7	0.0	32	83	71	42	76	34	0.5	0.5	0.5	0.4	○	○
34				4ﾉｯﾄ	−0.6	−2.0	2.2	−0.2	−3.7	0.0	32	84	69	42	76	34	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
35				5ﾉｯﾄ	−0.6	−2.0	2.2	−0.2	−3.7	0.0	32	85	67	43	77	34	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
36		船尾 4.0m		1ﾉｯﾄ	−0.6	2.5	2.2	−0.2	−3.6	0.0	25	79	79	36	74	46	0.5	0.5	0.4	0.4	○	○
37				2ﾉｯﾄ	−0.6	2.5	2.2	−0.2	−3.6	0.0	25	79	80	36	74	46	0.5	0.5	0.4	0.4	○	○
38				3ﾉｯﾄ	−0.6	2.5	2.2	−0.2	−3.6	0.0	25	79	81	35	73	45	0.5	0.5	0.4	0.4	○	○
39				4ﾉｯﾄ	−0.6	2.5	2.2	−0.2	−3.6	0.0	25	78	83	34	73	45	0.6	0.5	0.4	0.4	○	○
40				5ﾉｯﾄ	−0.6	2.5	2.2	−0.2	−3.6	0.0	25	78	85	32	72	45	0.6	0.5	0.4	0.4	○	○
41		船首 5.0m		1ﾉｯﾄ	−0.7	−3.1	2.8	−0.3	−4.8	0.0	51	107	99	67	102	49	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
42				2ﾉｯﾄ	−0.7	−3.1	2.8	−0.3	−4.8	0.0	51	108	98	67	102	49	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
43				3ﾉｯﾄ	−0.7	−3.1	2.8	−0.3	−4.8	0.0	51	108	98	67	103	48	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
44				4ﾉｯﾄ	−0.7	−3.1	2.8	−0.3	−4.8	0.0	51	108	96	67	103	47	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
45				5ﾉｯﾄ	−0.7	−3.1	2.8	−0.3	−4.8	0.0	51	109	95	67	104	46	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
46		船尾 5.0m		1ﾉｯﾄ	−0.7	3.6	2.8	−0.3	−4.7	0.0	33	107	112	55	99	68	0.9	0.6	0.5	0.7	○	○
47				2ﾉｯﾄ	−0.7	3.6	2.8	−0.3	−4.7	0.0	32	107	112	54	99	68	0.9	0.6	0.5	0.7	○	○
48				3ﾉｯﾄ	−0.7	3.6	2.8	−0.3	−4.7	0.0	32	107	113	53	99	68	0.9	0.6	0.5	0.7	○	○
49				4ﾉｯﾄ	−0.7	3.6	2.8	−0.3	−4.7	0.0	31	106	114	52	99	68	0.9	0.6	0.5	0.7	○	○
50				5ﾉｯﾄ	−0.7	3.6	2.8	−0.3	−4.7	0.0	30	106	115	51	98	68	0.9	0.6	0.5	0.7	○	○
51		船首 6.0m		1ﾉｯﾄ	−0.9	−4.1	3.3	0.4	−5.7	−0.1	70	126	109	99	122	57	1.3	0.8	0.8	1.3	○	○
52				2ﾉｯﾄ	−0.9	−4.1	3.3	0.4	−5.7	−0.1	70	126	109	99	122	57	1.3	0.8	0.8	1.3	○	○
53				3ﾉｯﾄ	−0.9	−4.1	3.3	0.4	−5.7	−0.1	70	126	108	99	122	57	1.3	0.8	0.8	1.3	○	○
54				4ﾉｯﾄ	−0.9	−4.1	3.3	0.4	−5.7	−0.1	70	126	107	99	123	57	1.3	0.8	0.8	1.3	○	○
55				5ﾉｯﾄ	−0.9	−4.1	3.3	0.4	−5.7	−0.1	70	127	106	99	123	56	1.4	0.8	0.8	1.3	○	○
56		船尾 6.0m		1ﾉｯﾄ	−0.9	4.7	3.3	−0.4	−5.7	−0.1	38	125	124	63	121	98	2.4	1.3	1.4	1.9	○	○
57				2ﾉｯﾄ	−0.9	4.7	3.3	−0.4	−5.7	−0.1	38	125	124	62	121	98	2.4	1.3	1.4	1.9	○	○
58				3ﾉｯﾄ	−0.9	4.7	3.3	−0.4	−5.7	−0.1	38	125	123	62	121	98	2.4	1.3	1.4	1.9	○	○
59				4ﾉｯﾄ	−0.9	4.7	3.3	−0.4	−5.7	−0.1	38	125	123	62	121	98	2.4	1.3	1.4	1.9	○	○
60				5ﾉｯﾄ	−0.9	4.7	3.3	−0.4	−5.7	−0.1	37	124	123	61	120	98	2.3	1.3	1.3	1.9	○	○

●主索：POLYPROPYLEN45mm（破断張力187kN、許容荷重94kN）
●主索の安全率は2.0とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：112kN　設計荷重(80%MBL)：150kN
●水深(10.0m) − 喫水(5.0m) − 水位下降量(m) ＜ 0の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(5.0m) + 天端高(1.0m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

2.1.4.4 10,000DWT（一般船舶）

(1) 津波外力の設定条件

10,000DWT の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波外力の設定方向については、船舶に与える津波の波向を船首方向とした場合（参照：図 2.1.51）及び船尾方向とした場合（参照：図 2.1.52）について以下に整理する。

なお、船首方向及び船尾方向から与える津波高さ（最大）、津波流速（最大）は以下のとおりである。

- ◆ 船首方向からの津波の想定【津波高さ 3m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】
- ◆ 船尾方向からの津波の想定【津波高さ 3m（最大）・津波流速 3 ノット（最大）】

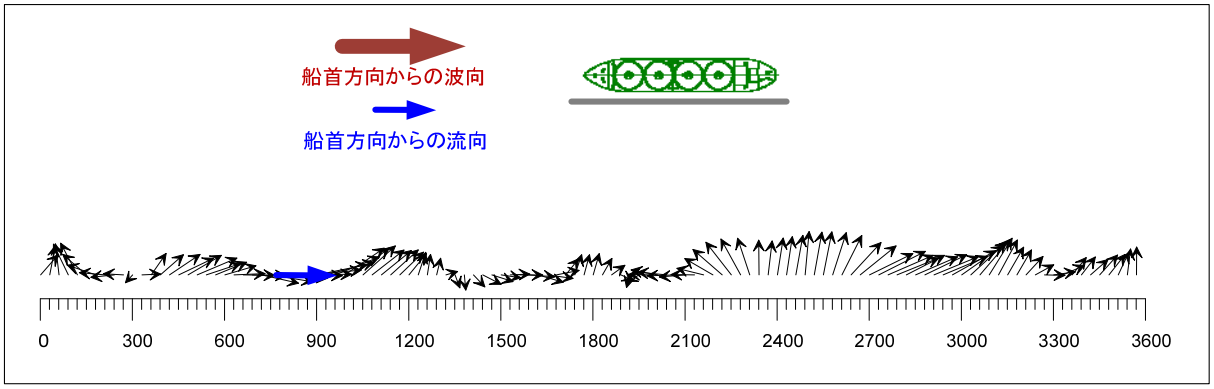


図 2.1.51　津波の進入する波向を船首方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

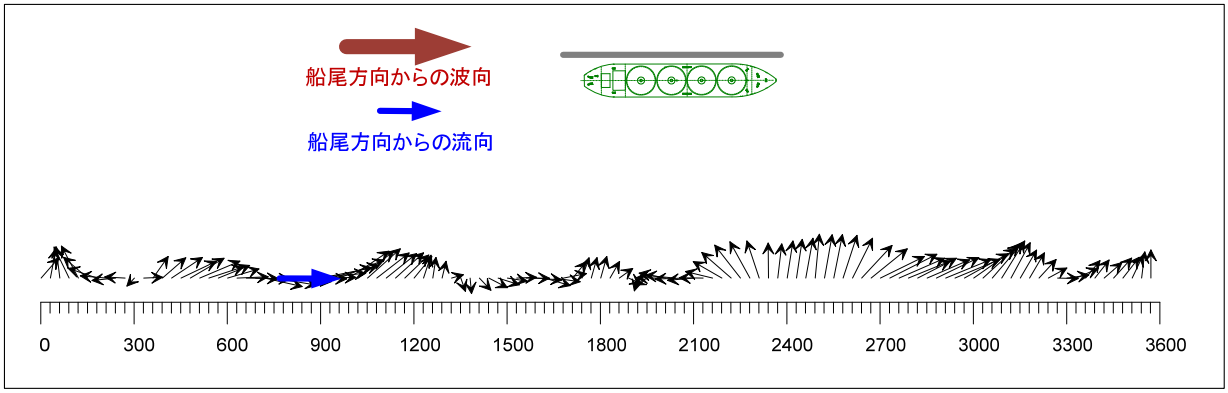


図 2.1.52　津波の進入する波向を船尾方向から設定した場合の状況図（船型はイメージ）

(2) シミュレーション結果

10,000DWT の係留動揺シミュレーション結果のうち、津波方向別の例示として、船首方向からの津波（津波高さ 3m、津波流速 3 ノット）を想定した場合の波高及び流速の変動、船体動揺量、係留索張力を図 2.1.53～図 2.1.55に、船尾方向からの津波（津波高さ 3m、津波流速 3 ノット）のものを図 2.1.56～図 2.1.58にそれぞれ示す。

また、津波外力（波高、流速）の組合せに対する係留限界の結果一覧について、津波シミュレーションの前半部分（水位変動の大きい）の波形モデルで実施した場合を表 2.1.22に、後半部分（水位変動の小さい）で実施した場合を表 2.1.23にそれぞれ示す。なお、表中では、水色（許容荷重～ウィンチの運用荷重）、黄色（ウィンチの運用荷重～ウィンチの設計荷重）、オレンジ色（ウィンチの設計荷重～係留索の破断荷重）、灰色（破断荷重以上）とし、評価基準により色分けをしている。

【津波流向による影響】

津波流向（来襲する方向）よる比較を行うために、以下では船首方向及び船尾方向からの係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波の主波向（津波の卓越流向）を船首方向からとした場合、船体が船尾側に流されてヘッドライン及び船尾スプリングラインの索張力が大きくなった。

一方、津波の主波向を船尾方向からとした場合、船体が船首側に流されてスターンライン及び船首スプリングラインの索張力が大きくなった。

なお、津波シミュレーションの初期段階（津波水位が最も高くなった時点）では、岸壁と船体とを繋ぐ係留索の長さが短い船首尾ブレストラインにおいて索張力が大きくなる傾向が見られた。

【津波波形による影響】

津波シミュレーションの前半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の大きい）及び後半の津波波形（単位時間あたりの水位変動の小さい）による係留船舶への影響の違いについて整理する。

津波方向が船首からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 6.0m・津波流速 1 ノットで係留索（船尾ブレストライン）の破断荷重に達したが、後半の津波波形の場合、同外力条件においても破断荷重に達することは無かった。

また、津波方向が船尾からのケース比較では、前半の津波波形の場合、津波高さ 6.0m・津波流速 1～5 ノット程度では係留索張力がウィンチブレーキの設計荷重は超えるものの、破断荷重に達することは無かった。一方、後半の津波波形の場合、同外力条件においては索張力がウィンチブレーキの運用荷重を超えるのみで、破断荷重に達することは無かった。

船体状態については、前半の津波波形では津波高さ 3.0m で船体着底が発生したが、後半の津波波形では津波高さ 3.0m でも水位の下降側の変動が少なく船体着底は発生しなかった。なお、今回実施した津波外力の範囲内では、仮想桟橋への船体乗揚げは無かった。

① 船首方向からの津波の想定（10,000DWT、津波高さ 3m・津波流速 3 ノット）

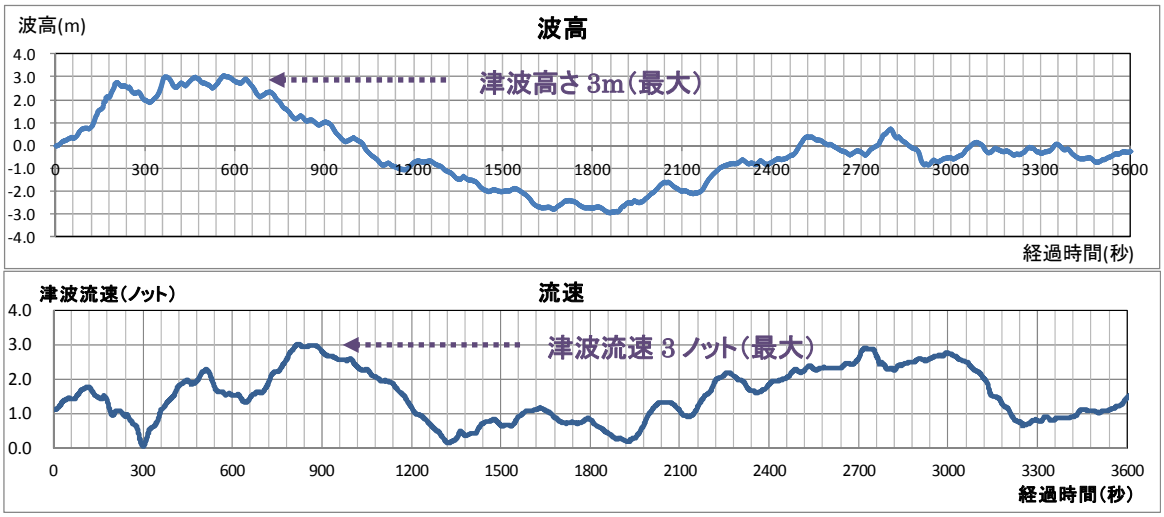


図 2.1.53　津波データの波高及び流速の変動

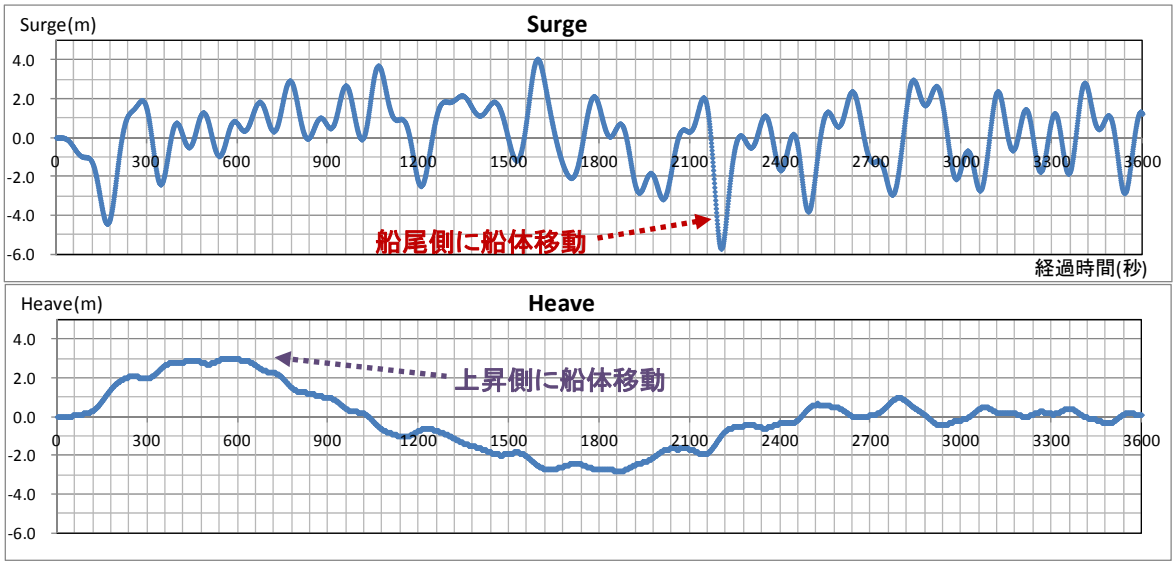


図 2.1.54　10,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

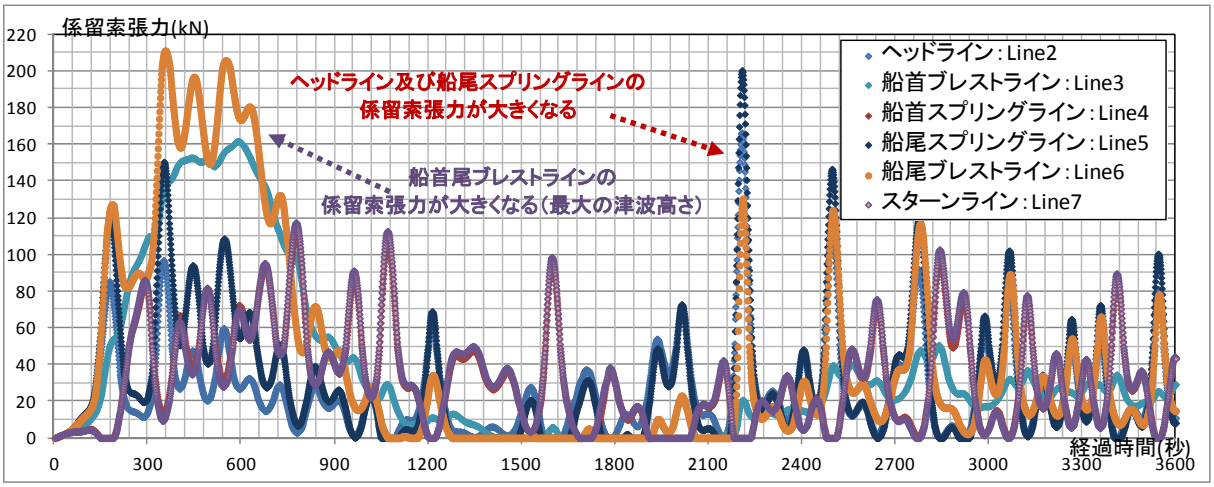


図 2.1.55　10,000DWT の係留索張力

② 船尾方向からの津波の想定（10,000DWT、津波高さ 3m・津波流速 3 ノット）

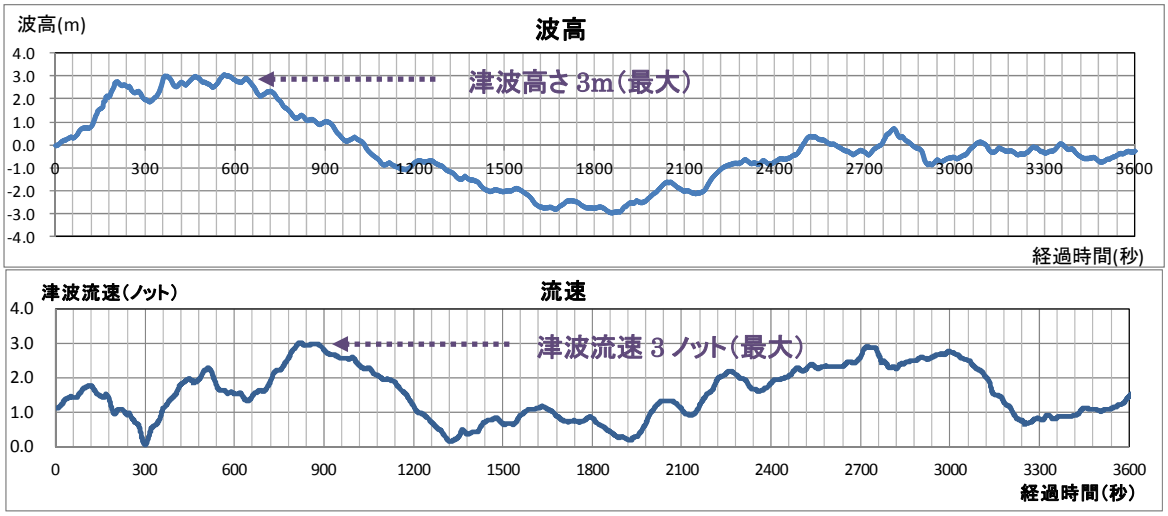


図 2.1.56　津波データの波高及び流速の変動

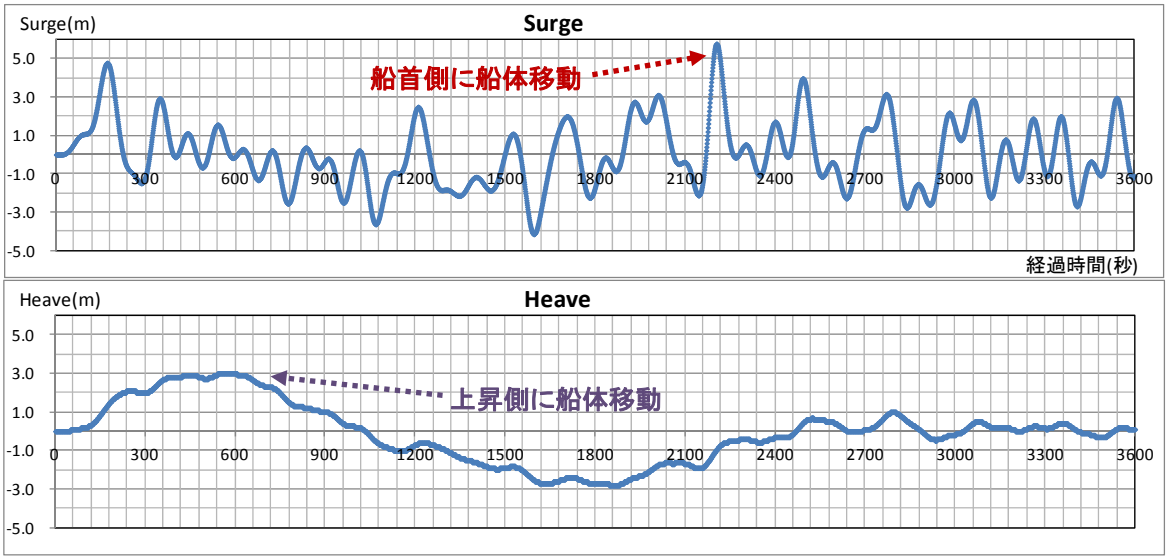


図 2.1.57　10,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

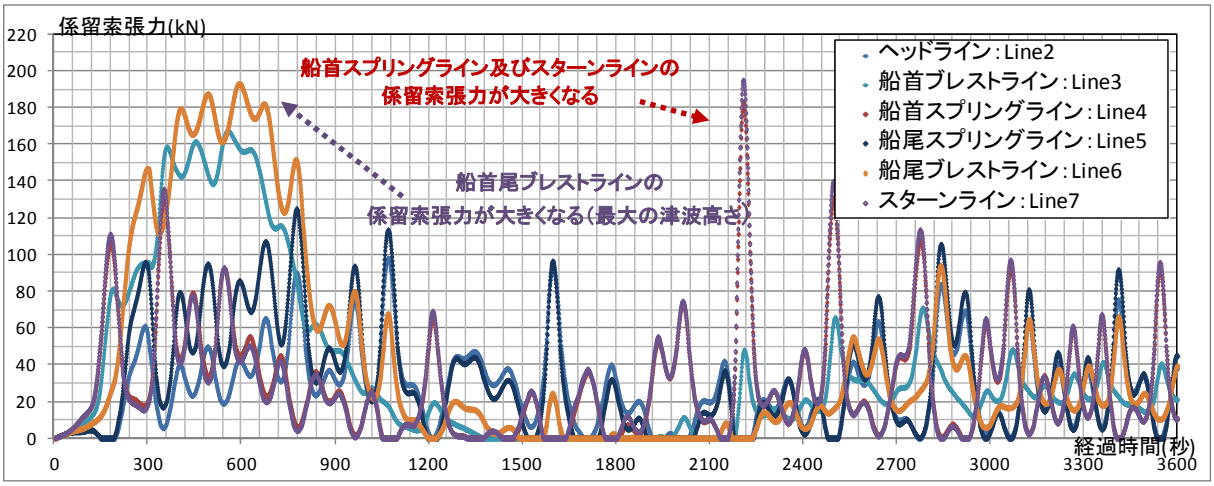


図 2.1.58　10,000DWT の係留索張力

表 2.1.22　係留動揺シミュレーション結果一覧（10,000DWT、前半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波 方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ﾍｯﾄﾞﾗｲﾝ		船首 ﾌﾞﾚｽﾄﾗｲﾝ	船首 ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞﾗｲﾝ	船尾 ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞﾗｲﾝ	船尾 ﾌﾞﾚｽﾄﾗｲﾝ	ｽﾀｰﾝﾗｲﾝ		フェンダー						着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4	FEND5	FEND6		
					(m)			(度)			(kN)								(%)							
1	10,000DWT 満載	船首 1.0m	風:なし 波浪:なし	1ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	31	31	47	39	36	55	40	39	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
2				2ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	31	31	47	38	37	55	39	39	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
3				3ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	31	31	47	38	37	55	38	38	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
4				4ノット	−0.1	−0.8	1.0	−0.1	−0.6	0.0	31	31	47	36	37	56	37	37	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
5				5ノット	−0.1	−0.8	1.0	−0.1	−0.6	0.0	32	32	47	35	37	56	36	35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
6		船尾 1.0m		1ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	33	33	48	35	40	52	35	35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
7				2ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	33	33	48	35	40	51	35	35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
8				3ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	32	32	48	35	39	51	35	35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
9				4ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	31	31	48	36	37	50	35	35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
10				5ノット	−0.1	0.9	1.0	−0.1	−0.6	0.0	30	30	48	36	36	49	36	35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	○	○
11		船首 2.0m		1ノット	−0.2	−3.0	2.0	0.2	−1.0	−0.1	77	77	98	70	90	127	74	73	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.3	○	○
12				2ノット	−0.2	−3.0	2.0	0.2	−1.0	−0.1	77	77	98	70	90	127	73	72	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.3	○	○
13				3ノット	−0.2	−3.0	2.0	0.2	−1.0	−0.1	76	77	98	69	90	127	72	71	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.3	○	○
14				4ノット	−0.2	−3.0	2.0	0.2	−1.0	−0.1	76	76	98	68	90	127	71	70	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.3	○	○
15				5ノット	−0.2	−2.9	2.0	0.2	−1.0	−0.1	75	75	97	66	90	127	69	68	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.3	○	○
16		船尾 2.0m		1ノット	−0.2	3.0	2.0	−0.2	−1.0	0.1	56	56	103	81	79	117	86	85	1.3	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	○	○
17				2ノット	−0.2	3.0	2.0	−0.2	−1.0	0.1	55	56	103	81	78	117	86	85	1.3	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	○	○
18				3ノット	−0.2	3.0	2.0	−0.2	−1.0	0.1	54	55	103	80	77	116	86	84	1.3	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	○	○
19				4ノット	−0.2	2.9	2.0	−0.2	−1.0	0.1	53	54	103	80	75	116	85	84	1.3	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	○	○
20				5ノット	−0.2	2.9	2.0	−0.2	−1.0	0.1	51	52	103	79	73	116	84	83	1.3	0.8	0.8	0.9	1.0	1.3	○	○
21		船首 3.0m		1ノット	−0.2	−4.5	2.9	0.3	−1.5	0.0	97	98	141	112	144	195	118	116	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2	1.5	×	○
22				2ノット	−0.2	−4.5	2.9	0.3	−1.5	0.0	97	98	141	112	144	195	117	115	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2	1.5	×	○
23				3ノット	−0.2	−4.5	2.9	0.3	−1.5	0.0	97	98	141	111	144	195	116	114	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2	1.5	×	○
24				4ノット	−0.2	−4.5	2.9	0.3	−1.5	0.0	97	98	141	110	144	195	115	113	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2	1.5	×	○
25				5ノット	−0.2	−4.5	2.9	0.3	−1.5	0.0	97	98	141	108	144	195	113	111	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2	1.5	×	○
26		船尾 3.0m		1ノット	−0.2	4.8	2.9	0.3	−1.4	0.0	98	98	147	127	125	160	132	130	1.3	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	×	○
27				2ノット	−0.2	4.8	2.9	0.3	−1.4	0.0	98	98	147	127	124	160	132	130	1.3	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	×	○
28				3ノット	−0.2	4.8	2.9	0.3	−1.4	0.0	97	98	148	127	123	160	132	130	1.3	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	×	○
29				4ノット	−0.2	4.8	2.9	0.3	−1.4	0.0	97	97	148	127	121	159	132	130	1.3	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	×	○
30				5ノット	−0.2	4.8	2.9	0.3	−1.4	0.0	96	96	148	127	119	159	132	130	1.3	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	×	○
31		船首 4.0m		1ノット	−0.4	−5.8	3.9	0.6	−2.5	−0.1	216	217	221	174	262	289	187	184	3.2	2.7	2.2	1.8	2.0	2.2	×	○
32				2ノット	−0.4	−5.8	3.9	0.6	−2.5	−0.1	216	217	221	174	262	289	186	183	3.2	2.7	2.2	1.8	2.0	2.2	×	○
33				3ノット	−0.4	−5.8	3.9	0.6	−2.5	−0.1	216	217	221	173	262	289	185	182	3.2	2.7	2.2	1.8	2.0	2.2	×	○
34				4ノット	−0.4	−5.8	3.9	0.6	−2.5	−0.1	216	217	221	172	262	289	184	181	3.2	2.7	2.2	1.8	2.0	2.2	×	○
35				5ノット	−0.4	−5.8	3.9	0.6	−2.5	−0.1	216	217	221	171	262	289	182	179	3.2	2.7	2.2	1.8	2.0	2.2	×	○
36		船尾 4.0m		1ノット	−0.4	6.4	3.9	−0.5	−2.4	0.0	140	141	253	247	197	248	254	253	2.1	1.9	1.7	2.1	2.4	2.7	×	○
37				2ノット	−0.4	6.4	3.9	−0.5	−2.4	0.0	139	141	253	247	197	248	254	253	2.1	1.9	1.7	2.1	2.4	2.7	×	○
38				3ノット	−0.4	6.4	3.9	−0.5	−2.4	0.0	138	140	253	247	196	248	254	253	2.1	1.9	1.7	2.1	2.4	2.7	×	○
39				4ノット	−0.4	6.4	3.9	−0.5	−2.4	0.0	137	138	253	248	196	248	254	253	2.1	1.9	1.7	2.1	2.4	2.7	×	○
40				5ノット	−0.4	6.4	3.9	−0.5	−2.4	0.0	135	137	253	248	195	248	254	253	2.1	1.9	1.7	2.1	2.4	2.7	×	○
41		船首 5.0m		1ノット	−0.4	−6.5	4.8	0.8	−3.7	0.4	239	241	267	198	280	318	208	206	21.2	10.7	7.9	5.7	5.2	16.2	×	○
42				2ノット	−0.4	−6.5	4.8	0.8	−3.7	0.4	239	241	267	198	280	318	207	206	21.2	10.7	7.9	5.7	5.2	16.2	×	○
43				3ノット	−0.4	−6.5	4.8	0.8	−3.7	0.4	239	241	267	198	280	318	207	205	21.2	10.7	7.9	5.7	5.2	16.2	×	○
44				4ノット	−0.4	−6.5	4.8	0.8	−3.7	0.4	239	241	267	198	280	318	206	204	21.2	10.7	7.9	5.7	5.3	16.2	×	○
45				5ノット	−0.4	−6.5	4.8	0.8	−3.7	0.4	240	241	267	198	280	318	205	203	21.2	10.7	7.9	5.7	5.3	16.2	×	○
46		船尾 5.0m		1ノット	−0.4	7.3	4.8	−0.6	−2.7	−0.1	172	173	279	265	228	276	271	270	2.8	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	×	○
47				2ノット	−0.4	7.3	4.8	−0.6	−2.7	−0.1	172	173	279	265	228	276	271	270	2.7	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	×	○
48				3ノット	−0.4	7.3	4.8	−0.6	−2.7	−0.1	171	172	279	265	228	276	271	270	2.7	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	×	○
49				4ノット	−0.4	7.3	4.8	−0.6	−2.7	−0.1	171	172	279	265	227	276	271	270	2.7	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	×	○
50				5ノット	−0.4	7.3	4.8	−0.6	−2.7	0.0	170	171	279	265	227	276	271	270	2.7	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	×	○
51		船首 6.0m		1ノット	−0.5	−7.2	4.8	1.5	−4.7	−0.5	261	263	293	175	286		180	177	3.6	3.0	2.4	1.8	6.5	16.6	×	○
52				2ノット	−0.5	−7.2	4.8	1.5	−4.7	−0.5	262	263	293	175	286		180	177	3.6	3.0	2.4	1.8	6.5	16.6	×	○
53				3ノット	−0.5	−7.3	5.0	1.6	−4.9	−0.5	267	268	305	175	288		180	177	3.6	3.0	2.4	1.8	6.5	21.4	×	○
54				4ノット	−0.5	−7.3	5.0	1.5	−4.6	−0.4	266	267	302	175	288		180	177	3.6	3.0	2.4	1.8	6.5	18.2	×	○
55				5ノット	−0.4	−7.0	4.7	0.8	−3.1	0.0	247	248	273	175	281		180	177	3.6	3.0	2.4	1.8	2.1	2.4	×	○
56		船尾 6.0m		1ノット	−0.5	9.5	5.9	−1.0	−4.1	0.3	214	215	317	299	265	314	314	312	22.7	10.1	5.7	6.8	9.2	14.0	×	○
57				2ノット	−0.5	9.5	5.9	−1.0	−4.1	0.3	214	214	317	299	265	314	314	312	22.7	10.1	5.7	6.8	9.2	14.0	×	○
58				3ノット	−0.5	9.5	5.9	−1.0	−4.1	0.3	213	214	317	299	265	314	314	312	22.7	10.1	5.7	6.8	9.2	14.0	×	○
59				4ノット	−0.5	9.5	5.9	−1.0	−4.1	0.3	212	213	317	299	264	314	314	312	22.7	10.1	5.7	6.8	9.2	14.0	×	○
60				5ノット	−0.5	9.5	5.9	−1.0	−4.1	0.3	211	212	318	299	264	313	314	312	22.7	10.1	5.7	6.8	9.2	13.9	×	○

●主索：POLYPROPYLEN60mm（破断張力319kN、許容荷重160kN）
●主索の安全率は2.0とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：191kN　設計荷重(80%MBL)：255kN
●水深(10.0m) − 喫水(8.0m) −水位下降量(m) ＜ 0の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(8.0m) + 天端高(1.3m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

表 2.1.23　係留動揺シミュレーション結果一覧（10,000DWT、後半の津波波形モデル、船体動揺量・係留索張力・防舷材歪量の最大値）

ケース番号	載貨状態	津波方向・波高	一般外力	流速	船体動揺量						ヘッドライン		船首ブレストライン	船首スプリングライン	船尾スプリングライン	船尾ブレストライン	スターンライン		フェンダー						着底	乗揚げ
					SWAY	SURGE	HEAVE	PITCH	ROLL	YAW	Line1	Line2	Line3	Line4	Line5	Line6	Line7	Line8	FEND1	FEND2	FEND3	FEND4	FEND5	FEND6		
					(m)			(度)			(kN)								(%)							
1		船首 1.0m		1ノット	−0.1	0.6	0.6	0.0	−0.4	0.0	27	27	35	31	31	38	31	31	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
2				2ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	27	27	35	30	31	39	30	30	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
3				3ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	27	27	34	29	31	39	29	29	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
4				4ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	28	28	34	28	32	41	28	28	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
5				5ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	29	29	34	27	34	43	27	27	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
6		船尾 1.0m		1ノット	−0.1	−0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	28	28	35	31	30	37	31	31	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
7				2ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	28	28	36	31	30	37	31	31	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
8				3ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	26	27	36	31	28	36	31	31	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
9				4ノット	−0.1	0.5	0.6	0.0	−0.4	0.0	26	26	36	32	27	35	31	31	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
10				5ノット	−0.1	0.6	0.6	0.0	−0.4	0.0	25	25	37	34	26	33	33	33	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	○	○
11		船首 2.0m		1ノット	−0.1	−1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	39	39	58	44	46	73	44	44	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
12				2ノット	−0.1	−1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	39	39	57	43	46	74	44	43	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
13				3ノット	−0.1	−1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	39	39	57	42	47	75	43	42	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
14				4ノット	−0.1	−1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	39	39	56	41	47	77	41	41	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
15				5ノット	−0.1	−1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	39	39	56	39	49	79	39	39	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
16		船尾 2.0m		1ノット	−0.1	1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	36	36	61	44	46	69	45	44	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
17				2ノット	−0.1	1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	35	35	61	44	45	68	45	44	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
18				3ノット	−0.1	1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	34	34	62	44	44	67	45	44	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
19				4ノット	−0.1	1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	33	33	62	45	42	65	45	45	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	○	○
20				5ノット	−0.1	1.3	1.2	−0.1	−0.5	0.0	32	32	63	46	41	63	46	45	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	○	○
21		船首 3.0m		1ノット	−0.1	−2.2	1.8	0.2	−0.7	0.0	60	60	91	59	71	116	62	61	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	○	○
22				2ノット	−0.1	−2.2	1.8	0.2	−0.7	0.0	59	60	90	58	71	116	61	60	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	○	○
23				3ノット	−0.1	−2.2	1.8	0.2	−0.7	0.0	59	60	90	56	71	118	59	58	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	○	○
24				4ノット	−0.1	−2.2	1.8	0.2	−0.7	0.0	59	60	90	54	73	120	56	55	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	○	○
25				5ノット	−0.1	−2.2	1.8	0.2	−0.7	0.0	59	60	89	53	76	122	56	55	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	○	○
26		船尾 3.0m		1ノット	−0.1	2.3	1.8	−0.1	−0.7	0.0	49	49	94	66	64	105	70	69	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	○	○
27				2ノット	−0.1	2.3	1.8	−0.1	−0.7	0.0	49	49	94	66	62	104	70	69	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	○	○
28				3ノット	−0.1	2.3	1.8	−0.1	−0.7	0.0	48	48	95	66	61	103	70	69	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	○	○
29				4ノット	−0.1	2.3	1.8	−0.1	−0.7	0.0	47	47	95	66	59	102	70	69	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	○	○
30	10,000DWT 満載		風：なし 波浪：なし	5ノット	−0.1	2.2	1.8	−0.1	−0.7	0.0	47	47	96	67	56	100	70	69	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	○	○
31		船首 4.0m		1ノット	−0.1	−3.0	2.4	0.2	−0.8	0.0	85	85	122	87	103	165	92	91	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	○	○
32				2ノット	−0.1	−3.0	2.4	0.2	−0.8	0.0	85	85	122	86	103	166	91	90	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	○	○
33				3ノット	−0.1	−3.0	2.4	0.2	−0.8	0.0	85	85	121	85	103	167	89	88	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	○	○
34				4ノット	−0.1	−3.0	2.4	0.2	−0.8	0.0	85	85	121	83	103	169	87	86	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	○	○
35				5ノット	−0.1	−3.0	2.4	0.2	−0.8	0.0	85	85	120	80	103	172	84	83	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	○	○
36		船尾 4.0m		1ノット	−0.1	3.1	2.4	−0.2	−0.8	0.0	71	72	128	95	96	148	99	98	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	○	○
37				2ノット	−0.1	3.1	2.4	−0.2	−0.8	0.0	71	71	128	94	95	147	99	98	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	○	○
38				3ノット	−0.1	3.1	2.4	−0.2	−0.8	0.0	69	70	129	94	93	146	99	98	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.4	○	○
39				4ノット	−0.1	3.1	2.4	−0.2	−0.8	0.0	67	68	130	94	91	145	99	98	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.4	○	○
40				5ノット	−0.1	3.1	2.4	−0.2	−0.8	0.0	67	68	131	94	88	143	99	98	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.4	○	○
41		船首 5.0m		1ノット	−0.2	−4.3	3.0	0.3	−1.0	0.0	122	123	161	108	158	211	111	110	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	○	○
42				2ノット	−0.2	−4.3	3.0	0.3	−1.0	0.0	122	123	161	108	158	211	110	109	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	○	○
43				3ノット	−0.2	−4.3	3.0	0.3	−1.0	0.1	122	123	161	106	157	212	109	108	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	○	○
44				4ノット	−0.2	−4.3	3.0	0.3	−1.0	0.1	122	123	161	105	157	212	107	106	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	○	○
45				5ノット	−0.2	−4.3	3.0	0.3	−1.0	0.1	122	122	160	102	157	213	105	104	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	○	○
46		船尾 5.0m		1ノット	−0.2	4.4	3.0	−0.3	−1.0	0.1	82	82	165	140	121	193	148	146	1.4	1.1	1.1	1.3	1.5	2.0	○	○
47				2ノット	−0.2	4.4	3.0	−0.3	−1.0	0.1	81	82	165	140	120	192	148	146	1.4	1.1	1.1	1.3	1.5	2.0	○	○
48				3ノット	−0.2	4.4	3.0	−0.3	−1.0	0.1	81	81	165	140	118	191	148	146	1.4	1.1	1.1	1.3	1.5	2.0	○	○
49				4ノット	−0.2	4.4	3.0	−0.3	−1.0	0.1	80	81	166	140	116	190	148	146	1.4	1.1	1.1	1.3	1.5	2.0	○	○
50				5ノット	−0.2	4.4	3.0	−0.3	−1.0	0.1	79	80	166	140	114	188	148	145	1.4	1.1	1.1	1.3	1.5	2.0	○	○
51		船首 6.0m		1ノット	−0.2	−5.8	3.6	0.5	−1.2	−0.2	182	184	197	141	220	230	147	144	3.5	1.9	1.7	1.7	1.8	2.9	○	○
52				2ノット	−0.2	−5.8	3.6	0.5	−1.2	−0.2	182	183	197	141	220	230	146	144	3.5	1.9	1.7	1.7	1.8	2.9	○	○
53				3ノット	−0.2	−5.8	3.6	0.5	−1.2	−0.2	182	183	196	141	220	230	146	143	3.5	1.9	1.7	1.7	1.8	2.9	○	○
54				4ノット	−0.2	−5.8	3.6	0.5	−1.2	−0.2	182	183	196	140	220	230	145	143	3.4	1.9	1.7	1.7	1.8	2.9	○	○
55				5ノット	−0.2	−5.8	3.6	0.5	−1.2	−0.2	182	183	196	139	220	231	144	142	3.4	1.9	1.7	1.7	1.8	2.9	○	○
56		船尾 6.0m		1ノット	−0.2	6.0	3.6	−0.4	−1.3	0.3	108	109	201	206	158	219	213	211	3.3	1.5	1.4	1.5	2.1	5.1	○	○
57				2ノット	−0.2	6.0	3.6	−0.4	−1.3	0.3	108	109	201	206	158	219	213	211	3.3	1.5	1.4	1.5	2.1	5.1	○	○
58				3ノット	−0.2	6.0	3.6	−0.4	−1.3	0.3	108	109	201	206	157	218	213	211	3.3	1.5	1.4	1.5	2.1	5.1	○	○
59				4ノット	−0.2	6.0	3.6	−0.4	−1.3	0.3	107	108	201	206	157	218	213	211	3.3	1.5	1.4	1.5	2.1	5.1	○	○
60				5ノット	−0.2	6.0	3.6	−0.4	−1.3	0.3	107	107	202	206	156	217	212	211	3.3	1.5	1.4	1.5	2.1	5.1	○	○

●主索：POLYPROPYLEN60mm（破断張力319kN、許容荷重160kN）
●主索の安全率は2.0とした
●ウインチブレーキ 運用荷重(60%MBL)：191kN　設計荷重(80%MBL)：255kN
●水深(10.0m) − 喫水(8.0m) −水位下降量(m) ＜ 0の場合は着底とする。着底するケースでは、着底時までのデータで評価を行う。（着底しなかったケース：○、着底したケース：×）
●喫水(8.0m) + 天端高(1.3m) ＜ 波高(m)の場合は乗揚げとする。乗揚げするケースでは、乗揚げ時までのデータで評価を行う。（乗揚げなかったケース：○、乗揚げたケース：×）

*水色の網掛け部分は、許容荷重以上(MBLの55-60%)を示す
*黄色の網掛け部分は、運用荷重以上(MBLの60-80%)を示す
*オレンジの網掛け部分は、設計荷重以上(MBLの80-100%)を示す
*赤色の網掛け部分は、係留索が最初に破断荷重に達したものを示す。
*灰色の網掛け部分は、係留索が破断荷重に達し、シミュレーションが途中終了したものを示す。

2.1.5 まとめ（津波波形によるシミュレーション）

2.1.5.1 今回の想定による係留限界条件

(1) 対象船舶の係留限界条件

対象船舶の係留限界条件について、津波波形の前半部分（水位変動の大きい）と後半部分（水位変動の小さい）とに分けて、表 2.1.24に示すとおり整理した。

以下では、船舶の物理的な係留限界である破断荷重を評価基準とし、対象船舶ごとに取り纏めた。

① VLCC（大型危険物積載船）

VLCC の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、左舷からは津波高さ 1m（流速 3 ノット）となった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 5m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 5m（流速 1 ノット）、左舷からは津波高さ 1m（流速 5 ノット）となった。

② LNG 船（大型危険物積載船）

LNG 船の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、左舷からは津波高さ 1m（流速 5 ノット）となった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 4m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 4m（流速 1 ノット）、左舷からは津波高さ 3m（流速 5 ノット）となった。

③ 3,000DWT（一般船舶）

3,000DWT の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 6m（流速 1 ノット）となった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）、船尾からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）でも破断荷重に達することは無かった。

④ 10,000DWT（一般船舶）

10,000DWT の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 1 ノット）で破断荷重に達したものの、船尾からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）でも破断荷重に達することは無かった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）、船尾からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）でも破断荷重に達することは無かった。

表 2.1.24　係留限界条件の結果一覧

想定津波		津波波形の前半部分				津波波形の後半部分			
対象船舶		3,000DWT	10,000DWT	LNG 船	VLCC	3,000DWT	10,000DWT	LNG 船	VLCC
津波高さ 1.0m	波向：船首	○	○	○	○	○	○	○	○
	波向：船尾	○	○	○	○	○	○	○	○
	波向：左舷	－	－	× (5 ノット)	× (3 ノット)	－	－	△	× (5 ノット)
津波高さ 2.0m	波向：船首	○	○	△	△	○	○	○	○
	波向：船尾	○	○	△	△	○	○	○	○
	波向：左舷	－	－	× (4 ノット)	× (1 ノット)	－	－	△	× (4 ノット)
津波高さ 3.0m	波向：船首	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	○	○	△	○
	波向：船尾	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	○	○	△	○
	波向：左舷	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)	－	－	× (5 ノット)	× (2 ノット)
津波高さ 4.0m	波向：船首	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	○	△	× (1 ノット)	△
	波向：船尾	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	○	△	× (1 ノット)	△
	波向：左舷	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)
津波高さ 5.0m	波向：船首	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)
	波向：船尾	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)
	波向：左舷	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)
津波高さ 6.0m	波向：船首	× (1 ノット)	× (1 ノット)	× (1 ノット)	× (1 ノット)	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)
	波向：船尾	× (1 ノット)	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)	△	△	× (1 ノット)	× (1 ノット)
	波向：左舷	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)	－	－	× (1 ノット)	× (1 ノット)

○：索張力が許容荷重未満、△：索張力が許容荷重以上 破断荷重未満、×：索張力が破断荷重以上

(2) 対象船舶の比較

今回対象とした 4 船型の津波（津波波形の前半部分・船首方向からの津波）に対する限界条件の比較を行う。

係留限界条件の結果一覧（表 2.1.24）によると、索張力が許容荷重未満（表中○）で評価した場合、VLCC 及び LNG 船の大型危険物積載船では津波高さ 1m だったのに対し、3,000DWT 及び 10,000DWT の一般船舶では津波高さ 2m となった。索張力が許容荷重以上 破断荷重未満（表中△）で評価した場合は、VLCC 及び LNG 船が津波高さ 2m だったのに対し、3,000DWT 及び 10,000DWT では津波高さ 3m となった。更に、索張力が破断荷重以上（表中×）で評価した場合では、VLCC 及び LNG 船では津波高さ 3m だったのに対し、3,000DWT 及び 10,000DWT では津波高さ 6m となった。

以上のことより、VLCC 及び LNG 船の大型危険物積載船は、3,000DWT 及び 10,000DWT の一般船舶に比べて、想定される津波外力に対して係留限界になりやすい傾向が分かる。

(3) 船体動揺に影響を与える津波外力

① 解析条件

船体動揺に影響に与える津波外力の成分について、今回外力の組合せとして検討条件とした津波高さ及び津波流速の成分を対象として分析を行った。

なお、分析の対象範囲については、船舶の索張力が船体動揺を受けて発生するため、ここでは津波外力が直接影響を与える船体動揺との関係において整理した。（参照：図 2.1.59）

以下では、例示として次の 2 ケースを分析した。

- 船尾方向からの津波の想定（LNG 船、津波高さ 2m・津波流速 3 ノット）
- 左舷方向からの津波の想定（LNG 船、津波高さ 2m・津波流速 3 ノット）

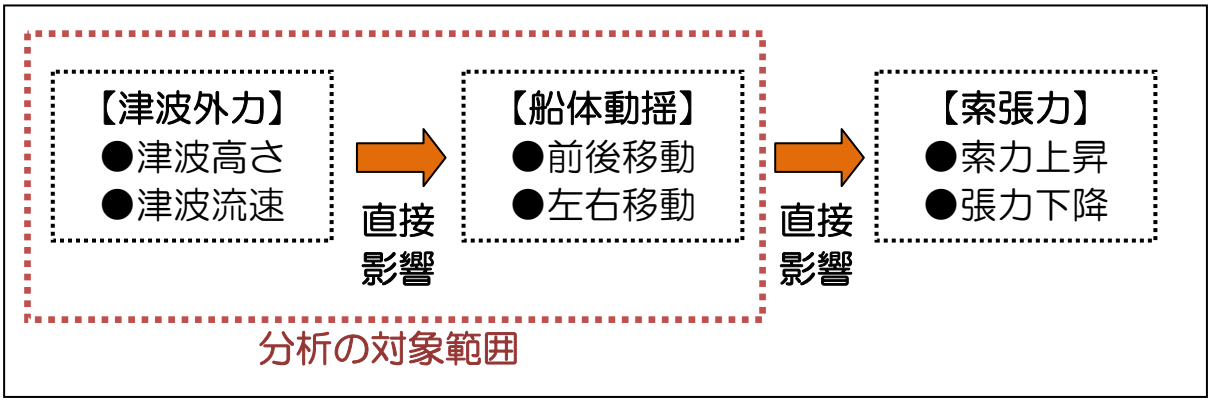


図 2.1.59　津波外力の影響関係

② 解析結果

船尾方向からの津波を想定した場合について、船体に対する津波の波向・流向の設定状況、津波高さの変動状況、津波流速の変動状況、船体動揺量を図 2.1.60から図 2.1.63に示し、左舷方向からの津波を想定した場合の各図について、図 2.1.64から図 2.1.67にそれぞれ示す。

これによると、津波の波向※1（船尾方向及び左舷方向）により、船体動揺量の傾向に違いは見られるものの、船体動揺量が大きくなるタイミングは、津波高さ（津波水位）が急激に上昇する（波力が急減に大きくなる）タイミング（図中赤丸）と重なっていることが分かる。

また､津波流速は 900 秒あたりが最大となり､流速による流圧力は大きくなるものの、この時間帯は津波高さ（津波水位）が急激に下降する（波力が急激に小さくなる）タイミング（図中青丸）と重なっているため、流圧力成分を上回る（打ち消す）波力成分により、船体動揺量が小さくなっている。

なお、津波の流向※2 による船体動揺への影響の程度について、船体に大きな流圧力が発生する左舷方向からの流れに対しては、津波高さ 2m・津波流速 3 ノットで最大 3.8m（離桟方向）発生しており、津波高さ 2m・津波流速 2 ノットの最大 3.0m と比較しても 0.8m 分の動揺量の増加（参照：表 2.1.18）が見られる。一方、船尾方向からの流れに対しては、津波高さ 2m・津波流速 3 ノットで最大 3.4m（船首方向）が発生しているが、津波高さ 2m・津波流速 2 ノットでも同様の値となっており、船首尾方向の流速による差については影響は少ない結果（参照：表 2.1.18）となっている。（船首尾方向については流速より波力による影響の方が圧倒的に優っている。）

以上のことより、津波来襲時に船体動揺量に与える外力成分（津波高さ、津波流速）の影響については、船体の正横方向及び船首尾方向ともに津波高さ（津波水位）の急激な変化による波力が強く支配しており、津波流速については正横方向の場合は影響が見られるものの、船首尾方向については相対的に影響が小さい結果となった。

※1 波向は、津波の水位変動に伴う津波高さのエネルギー（波力）を与える方向である。

※2 流向は、津波の流速変動に伴う津波流速のエネルギー（流圧力）を与える方向である。

【分析ケース 1】船尾方向からの津波の想定（LNG 船、津波高さ 2m・津波流速 3 ノット）

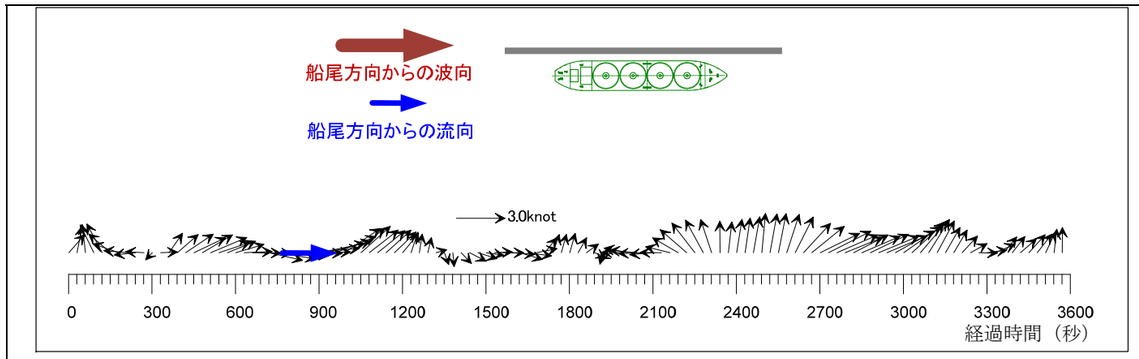


図 2.1.60　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

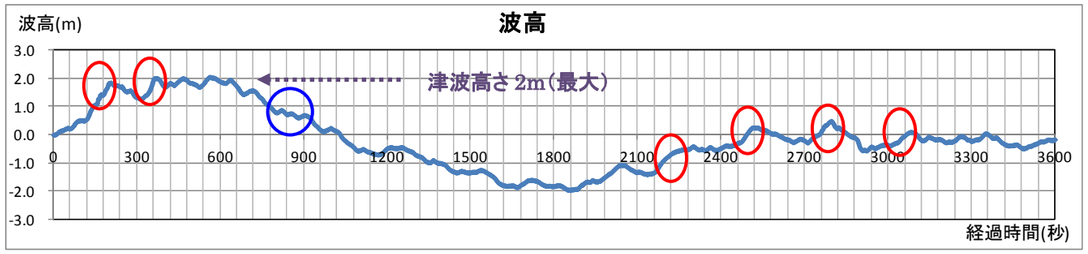


図 2.1.61　津波データの津波高さの変動状況

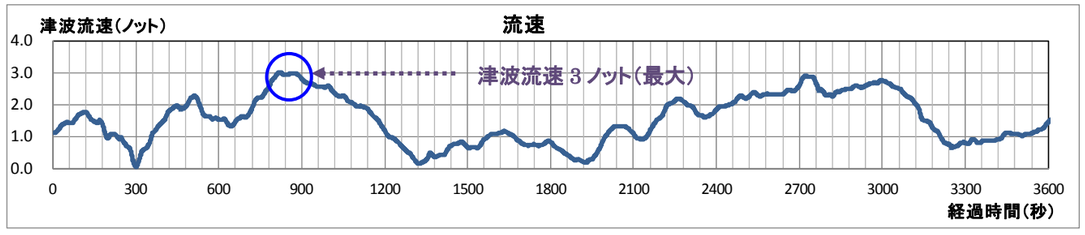


図 2.1.62　津波データの津波流速の変動状況

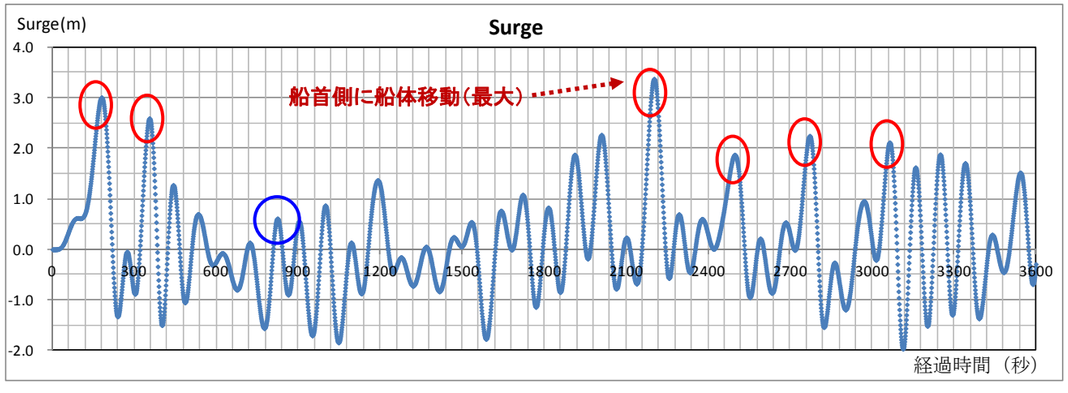


図 2.1.63　LNG 船の船体動揺量（SURGE：前後運動）

【分析ケース 2】左舷方向からの津波の想定（LNG 船、津波高さ 2m・津波流速 3 ノット）

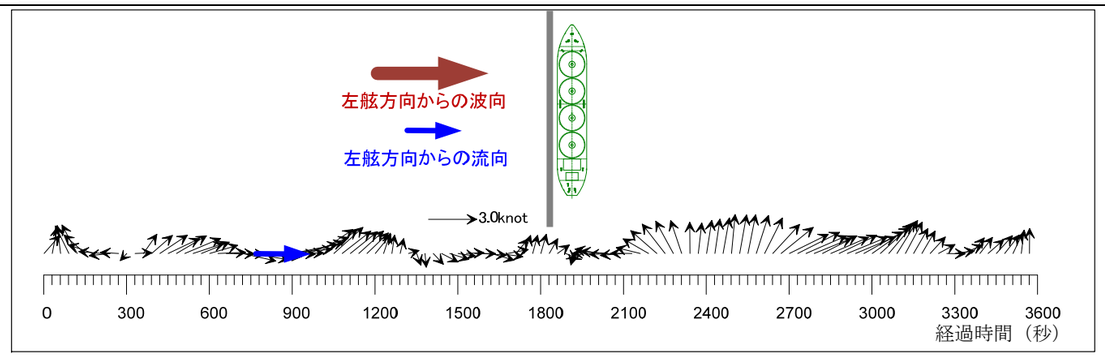


図 2.1.64　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

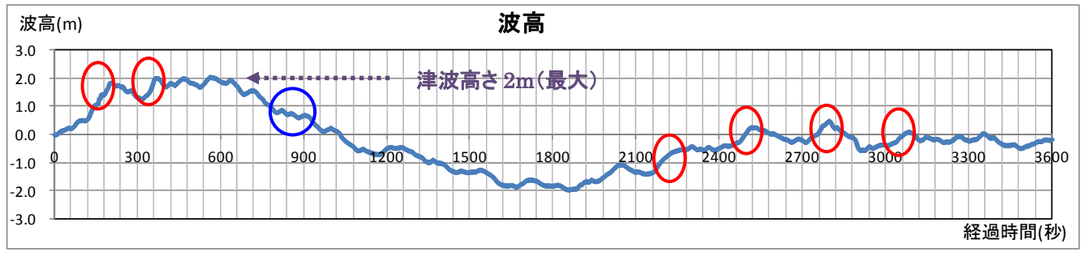


図 2.1.65　津波データの津波波高の変動状況

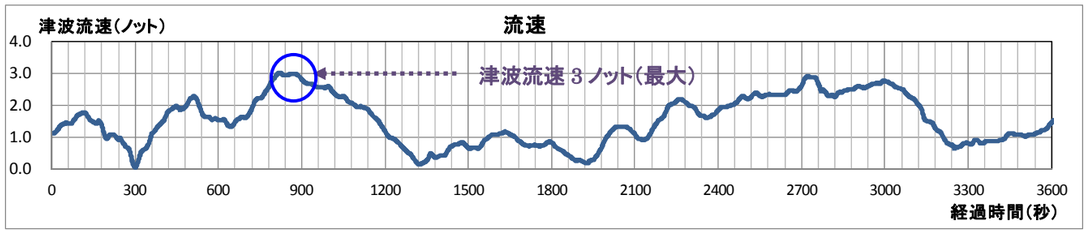


図 2.1.66　津波データの津波流速の変動状況

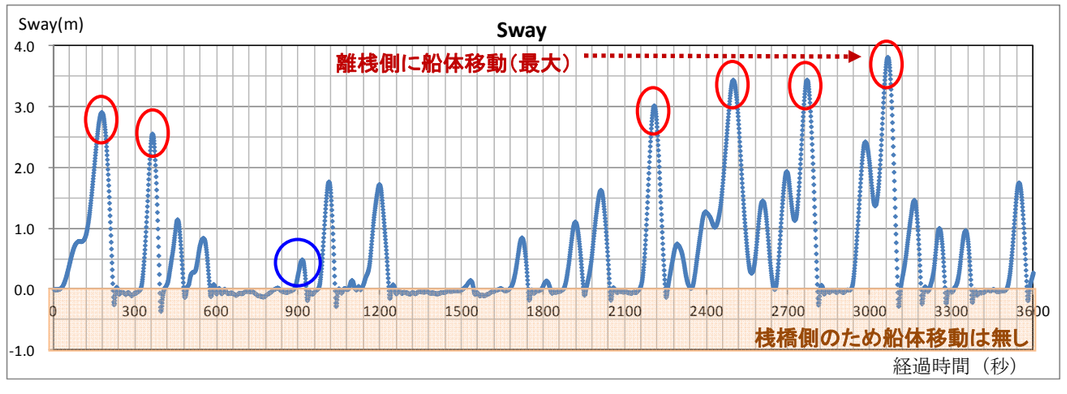


図 2.1.67　LNG 船の船体動揺量（SWAY：左右運動）

2.1.6 正弦波形による係留限界検討

2.1.6.1 検討目的

津波外力として設定した津波モデル(清水港)は、南海トラフの巨大地震想定を想定し、清水港の地形条件を基にシミュレーションした想定津波データである。

津波の波形は、想定する地震モデルにより異なり、また同じ港内であっても場所（地形、水深等）によって違うため、津波対策の検討において、全国の全ての港に共通する理想となる様な一般的な波形を設定する事は困難である。

したがって、本項では、「正弦波の波形」による津波（波高、流速、周期）を想定し、係留中の対象船舶に対して係留限界の傾向を把握することとした。

2.1.6.2 検討条件

「正弦波の波形」に関する各条件設定については、清水港の津波モデルと同様に、以下のものとした。

(1) 対象船舶

対象船舶は、VLCC、LNG 船、3,000DWT、10,000DWT の 4 船型とした。（参照：20 頁～23 頁）

(2) 対象岸壁

対象岸壁は、VLCC 及び LNG 船については専用の仮想桟橋、10,000DWT 及び 3,000DWT については仮想岸壁とした。（参照：24 頁～26 頁）

(3) 係留配置

係留配置は、清水港の津波モデル検討と同様に設定した。（参照：27 頁～30 頁）

(4) 外力条件

津波の外力条件は、図 2.1.68に示すとおり「正弦波の波形」による津波を想定して、以下の値を設定した。

① 津波周期

津波周期は、周期 5 分（300 秒）、10 分（600 秒）、15 分（900 秒）の 3 周期を設定した。

② 津波高さ

津波高さは、清水港の津波モデル検討の結果を参考に、VLCC 及び LNG 船については 1～3m 程度、10,000DWT 及び 3,000DWT については 1～6m 程度を設定した。

なお、本検討では、水深との関係で正弦波の波形が崩れること、また本船が岸壁に乗揚げたり、着底するという事象は起きないものとして計算することとした。

③ 津波流速

通常、波は波動流としてとらえられており、流速振幅（波動流速のピーク値）は平均水面からの変位、波高、周期、位相角によって定まるものである。したがって、本来は、ある波長（津波周期）、波高（津波高さ）の正弦波を設定すると、この流速振幅は一義的に定まるものである。ただし、本検討では、波力及び流圧力に対する係留限界傾向を求めるため、流圧力の計算においては流速振幅に係わらず、別途設定した仮想流速値（定常値）にて検証することとした。

なお、津波流速は、東日本大震災時の津波流速に関する報告等を基に、1～20 ノットの範囲で設定した。

④ 津波流向

津波流向は、清水港の津波モデル検討と同様に、桟橋構造を想定した VLCC 及び LNG 船については船首、船尾、正横方向からの 3 流向とし、岸壁構造を想定した 10,000DWT 及び 3,000DWT については船首、船尾からの 2 流向を設定する。

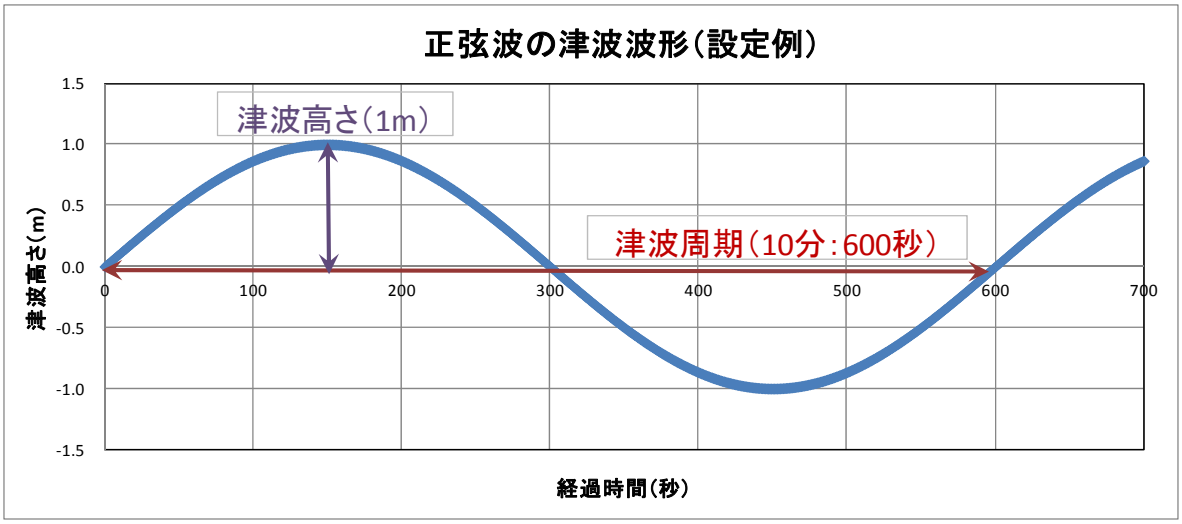


図 2.1.68　正弦波の津波波形（設定例：津波高さ 1m、津波周期 10 分）

2.1.6.3 検討結果

(1) 正弦波形に対する係留動揺特性（船首方向）

正弦波の津波波形に対する船舶の船体動揺及び係留索張力の特性について、10,000DWT を例として、船首方向からの津波（津波高さ 2m、津波流速 1 ノット）に対する津波周期 5 分、10 分、15 分のものを、以下に比較整理する。

なお、津波周期 5 分の津波波高、船体動揺量（SURGE、HEAVE）、係留索張力（例：船尾スプリングライン）の時系列変化を図 2.1.69～図 2.1.72に、津波周期 10 分のものを図 2.1.73～図 2.1.76に、津波周期 15 分のものを図 2.1.77～図 2.1.80にそれぞれ示す。

① 船体動揺量の特性

津波周期に対する船体動揺量の特性については、船体の前後運動（SURGE）の場合、周期 5 分では船尾方向に最大 4.5m 程度、周期 10 分では最大 2.5m 程度、周期 15 分では最大 2.0m 程度移動しており、周期が短くなるほど動揺量が大きくなる傾向があった。また、動揺量が最大となる時機は、単位時間当たりに急激な水位上昇が起こる時機と重なっている。

船体の上下運動（HEAVE）の場合、いずれの津波周期についても、津波高さが 2m の場合は船体も 2m 上昇し、津波高さが-2m の場合は船体も 2m 下降し、船体の上下動は津波高さに連動して発生する傾向があった。

② 係留索張力の特性

津波周期に対する係留索張力の特性については、いずれの周期についても、船体の前後運動（SURGE）の船尾方向の動揺が大きくなる時機（単位時間当たりに急減な水位上昇が起こる時機）に係留索張力（船尾ブレストライン）が大きくなる傾向があった。係留索張力は、周期 5 分では最大 230kN 程度、周期 10 分では最大 120kN 程度、周期 15 分では最大 80kN 程度となっており、周期が短くなるほど索張力が大きくなる傾向があった。

船首方向からの津波想定（10,000DWT、津波高さ 2m・津波流速 1 ノット・津波周期 5 分）

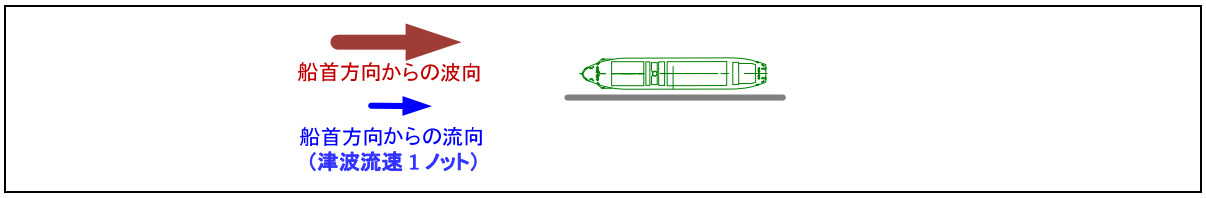


図 2.1.69　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

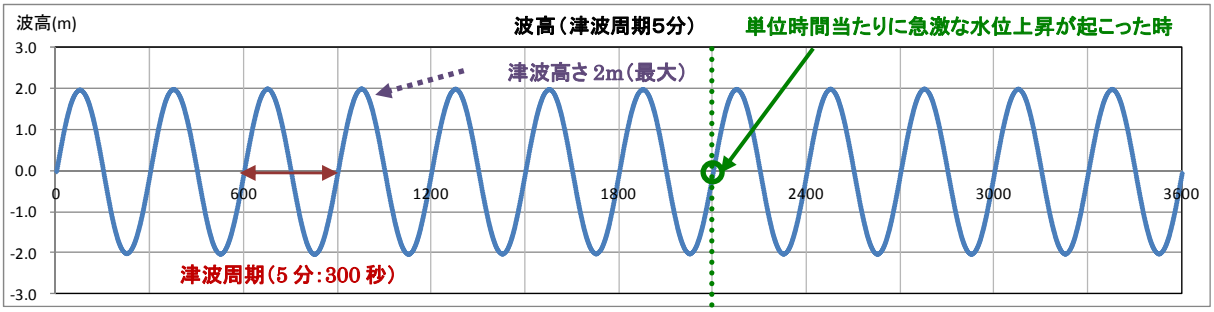


図 2.1.70　津波データの波高の変動（津波周期 5 分）

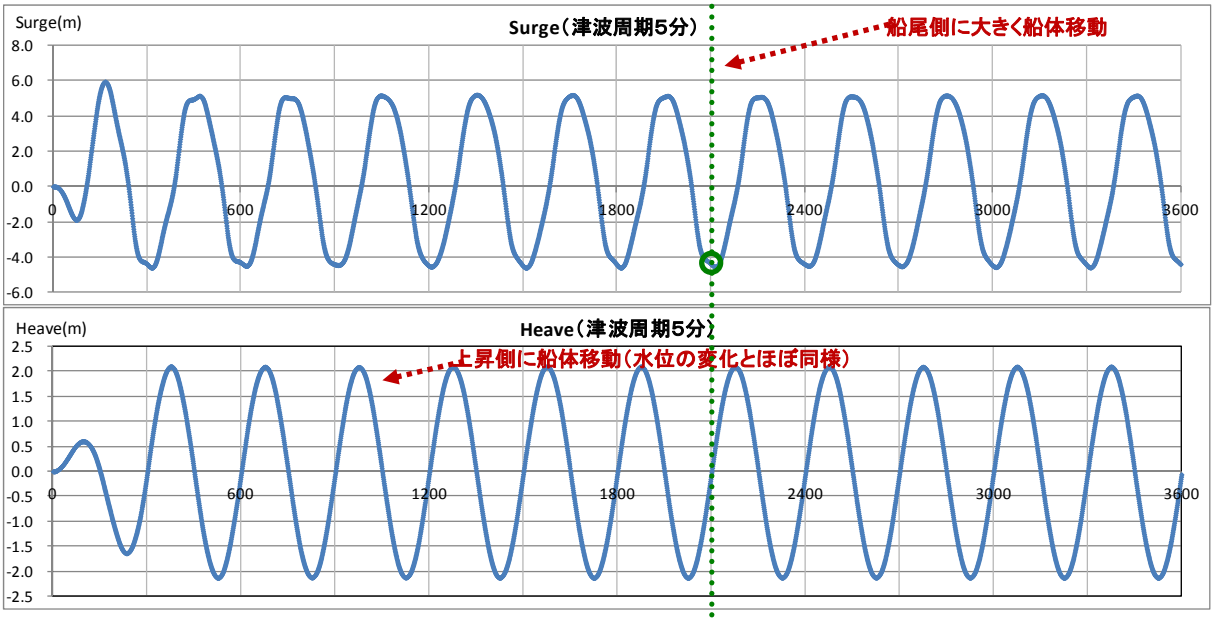


図 2.1.71　10,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

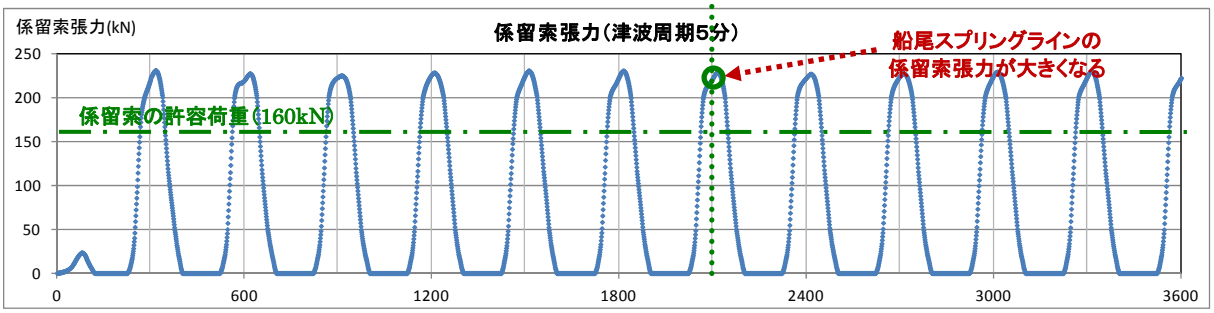


図 2.1.72　10,000DWT の係留索張力（例：船尾スプリングライン Line5）

船首方向からの津波想定（10,000DWT、津波高さ 2m・津波流速 1 ノット・津波周期 10 分）

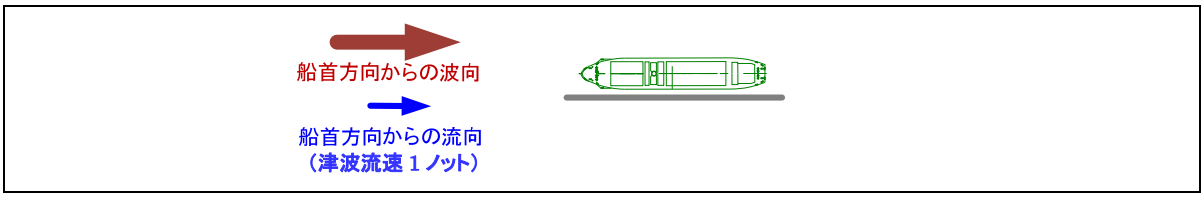


図 2.1.73　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

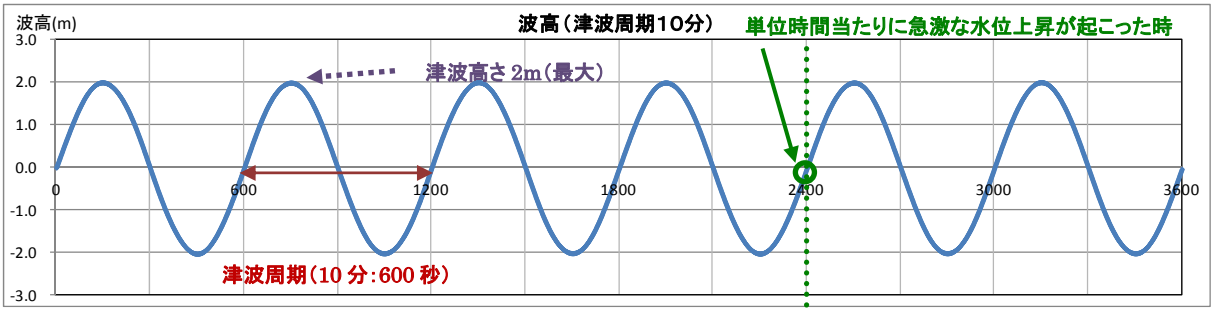


図 2.1.74　津波データの波高の変動（津波周期 10 分）

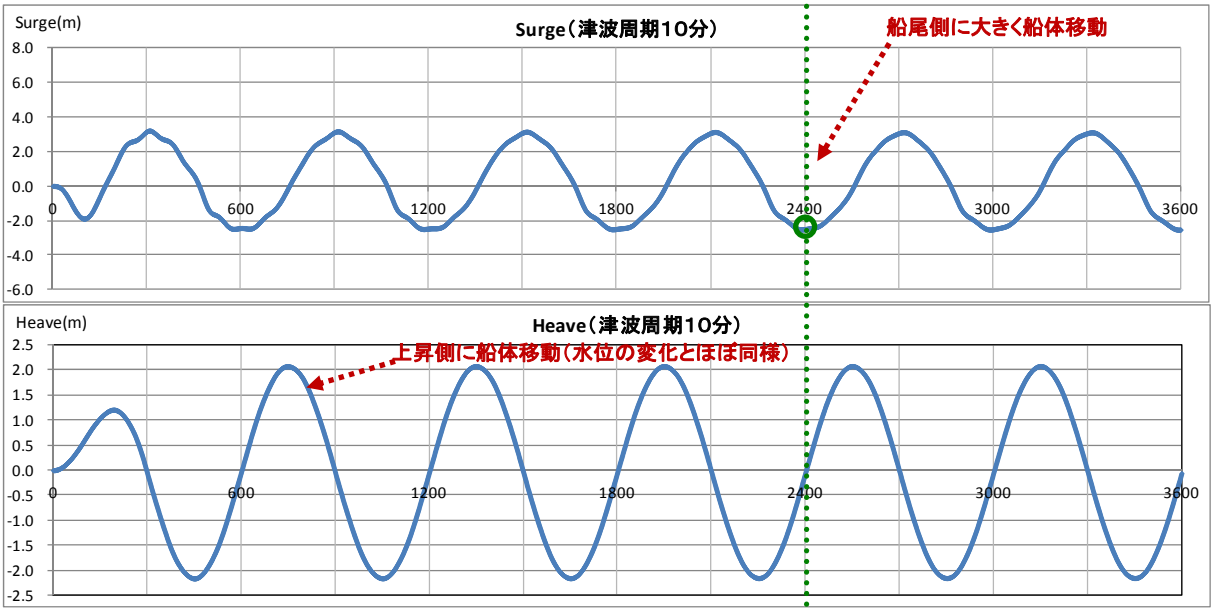


図 2.1.75　10,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

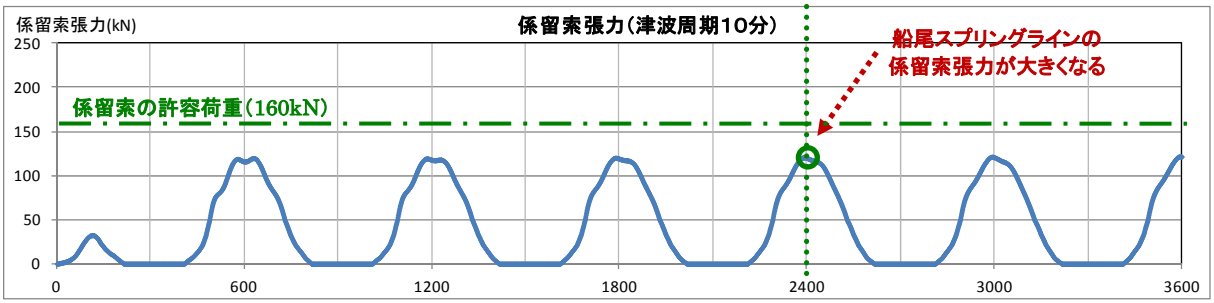


図 2.1.76　10,000DWT の係留索張力（例：船尾スプリングライン Line5）

船首方向からの津波想定（10,000DWT、津波高さ 2m・津波流速 1 ノット・周期 15 分）

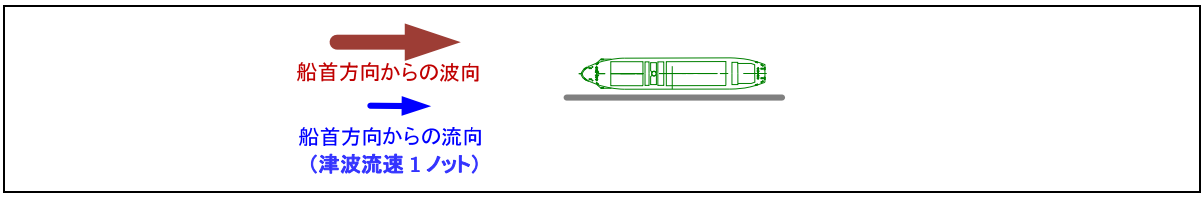


図 2.1.77　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

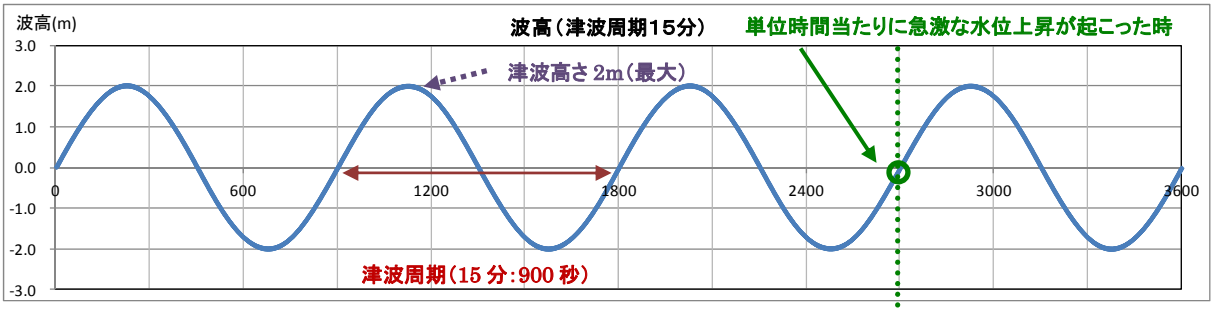


図 2.1.78　津波データの波高の変動（津波周期 15 分）

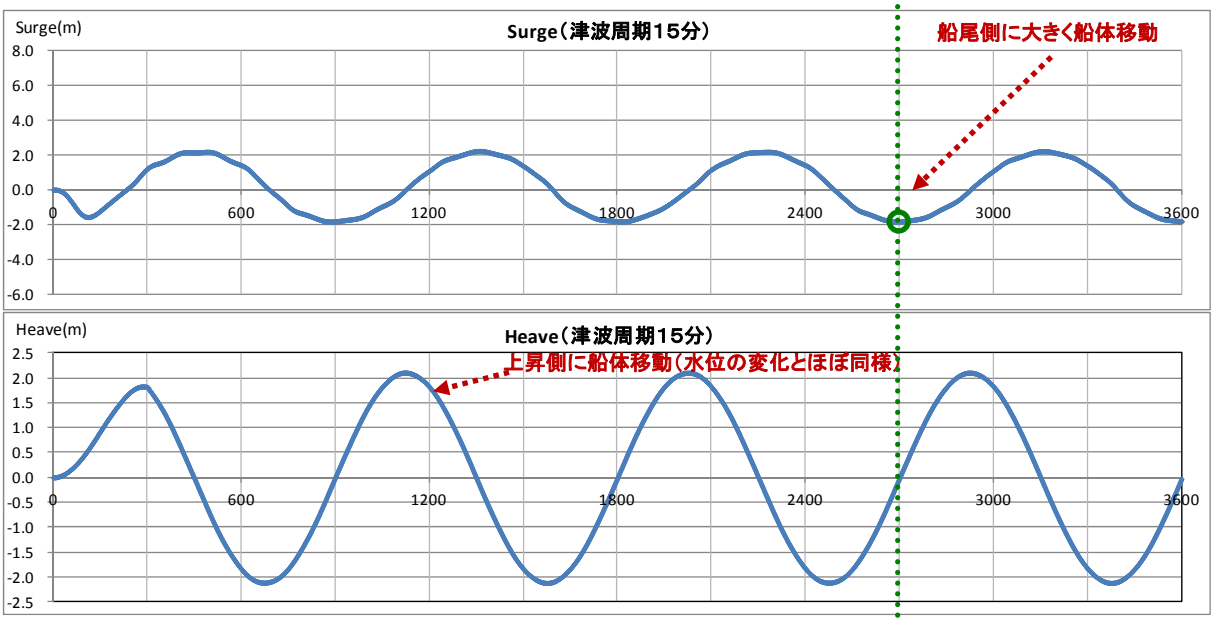


図 2.1.79　10,000DWT の船体動揺量（SURGE：前後運動、HEAVE：上下運動）

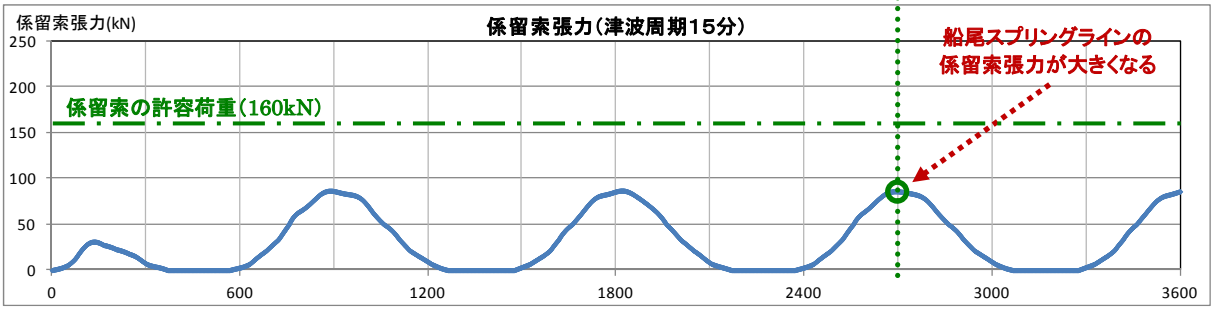


図 2.1.80　10,000DWT の係留索張力（例：船尾スプリングライン Line5）

(2) 正弦波形に対する係留動揺特性（正横方向）

正弦波の津波波形に対する船舶の船体動揺及び係留索張力の特性について、LNG 船を例として、左舷正横方向からの津波（津波高さ 1m、津波流速 1 ノット）に対する津波周期 5 分、10 分、15 分のものを、以下に比較整理する。

なお、津波周期 5 分の津波波高、船体動揺量（SWAY、HEAVE）、係留索張力（例：船尾ブレストライン）の時系列変化を図 2.1.81～図 2.1.84に、津波周期 10 分のものを図 2.1.85～図 2.1.88に、津波周期 15 分のものを図 2.1.89～図 2.1.92にそれぞれ示す。

① 船体動揺量の特性

津波周期に対する船体動揺量の特性については、船体の左右運動（SWAY）の場合、周期 5 分では離桟方向に最大 3.8m 程度、周期 10 分では最大 1.5m 程度、周期 15 分では最大 0.8m 程度移動しており、周期が短くなるほど動揺量が大きくなる傾向があった。また、動揺量が最大となる時機は、単位時間当たりに急激な水位上昇が起こる時機と重なっている。

船体の上下運動（HEAVE）の場合、いずれの津波周期についても、津波高さが 1m の場合は船体も 1m 上昇し、津波高さが-1m の場合は船体も 1m 下降し、船体の上下動は津波高さに連動して発生する傾向があった。

② 係留索張力の特性

津波周期に対する係留索張力の特性については、いずれの周期についても、船体の左右運動（SWAY）の離桟方向の動揺が大きくなる時機（単位時間当たりに急減な水位上昇が起こる時機）に係留索張力（船尾ブレストライン）が大きくなる傾向があった。係留索張力は、周期 5 分では最大 1200kN 程度、周期 10 分では最大 400kN 程度、周期 15 分では最大 300kN 程度となっており、周期が短くなるほど索張力が大きくなる傾向があった。

左舷方向からの津波想定（LNG 船、津波高さ 1m・津波流速 1 ノット・津波周期 5 分）

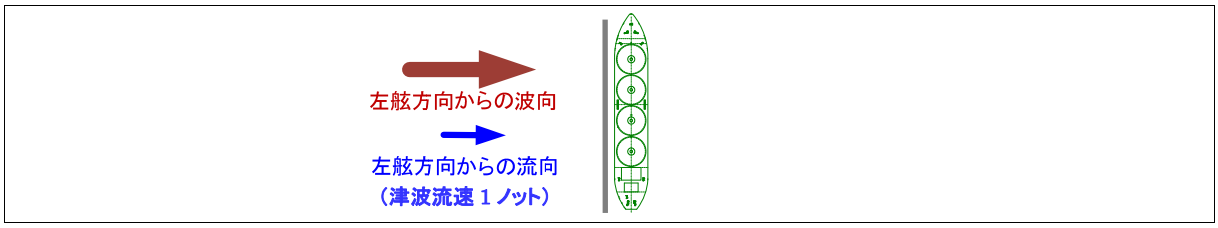


図 2.1.81　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

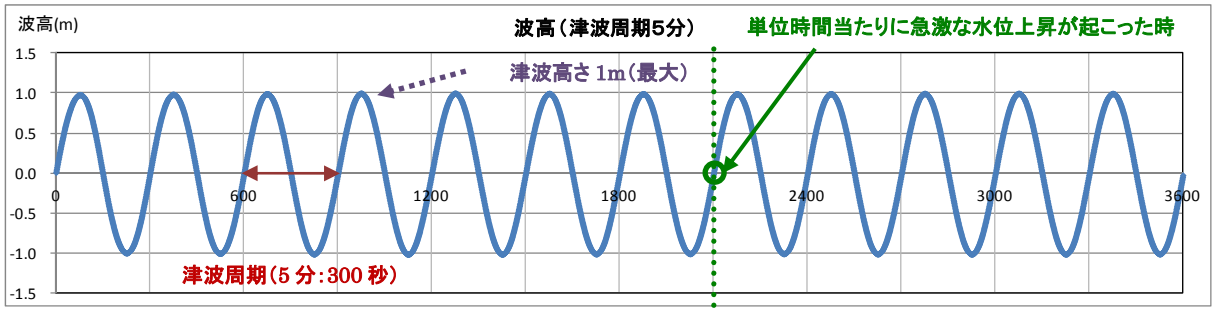


図 2.1.82　津波データの波高の変動（津波周期 5 分）

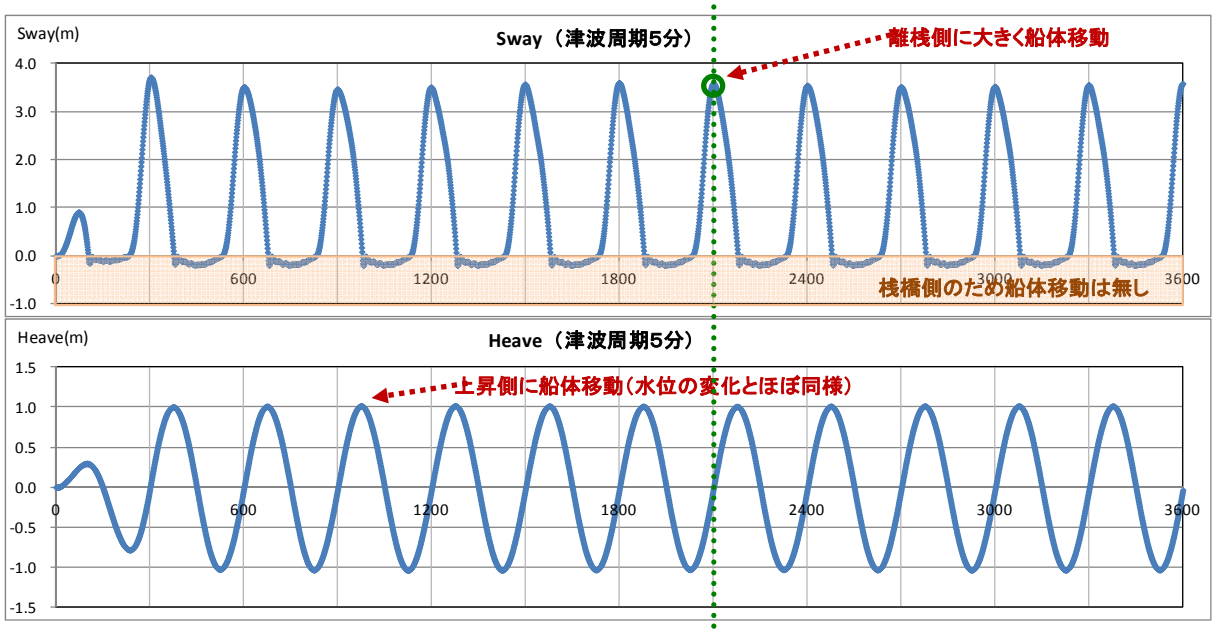


図 2.1.83　LNG 船の船体動揺量（SWAY：左右運動、HEAVE：上下運動）

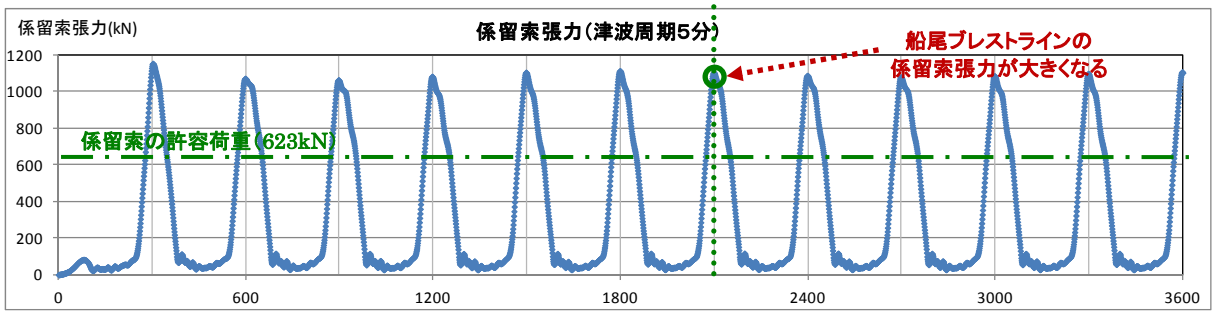


図 2.1.84　LNG 船の係留索張力（例：船尾ブレストライン Line12）

左舷方向からの津波想定（LNG 船、津波高さ 1m・津波流速 1 ノット・津波周期 10 分）

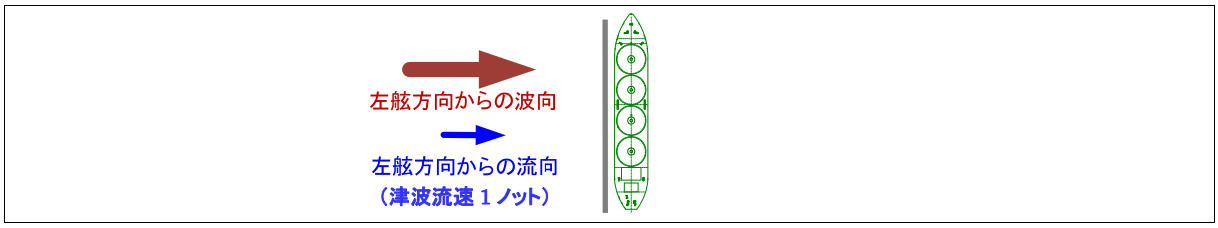


図 2.1.85　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

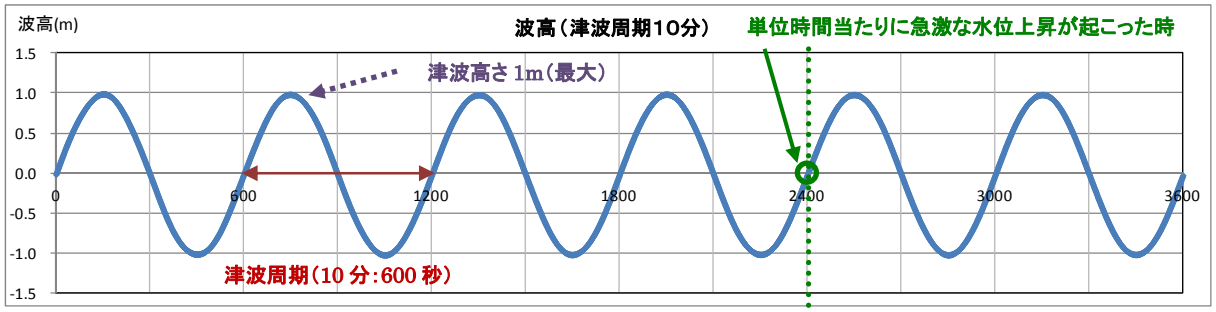


図 2.1.86　津波データの波高の変動（津波周期 10 分）

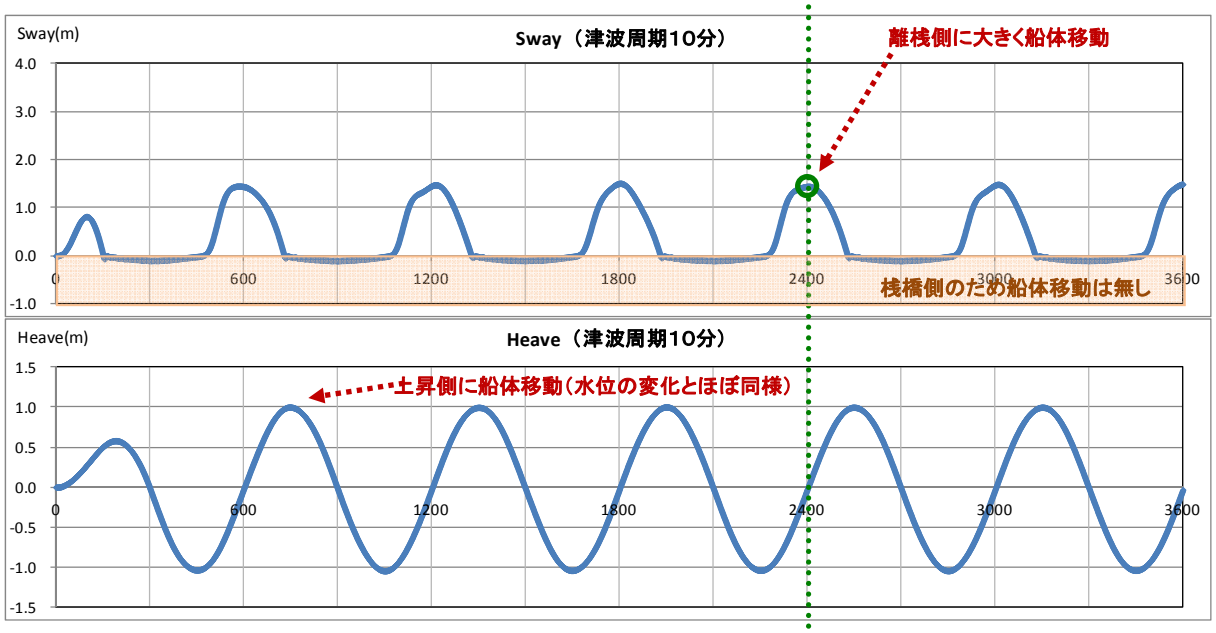


図 2.1.87　LNG 船の船体動揺量（SWAY：左右運動、HEAVE：上下運動）

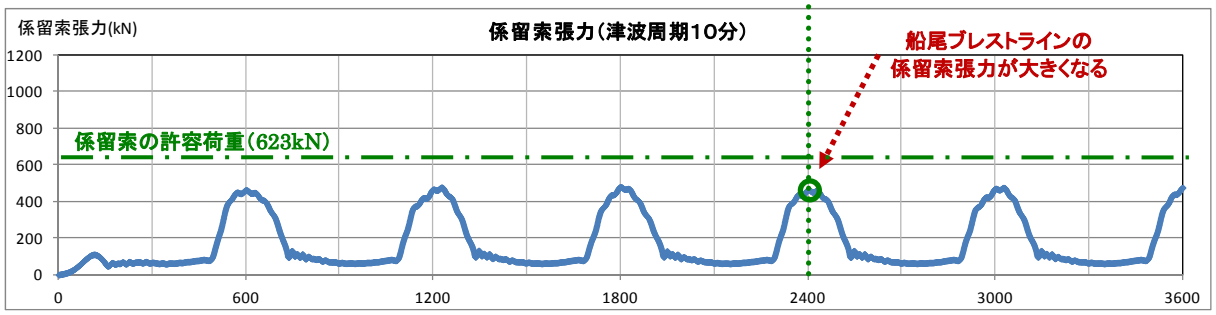


図 2.1.88　LNG 船の係留索張力（例：船尾ブレストライン Line12）

左舷方向からの津波想定（LNG 船、津波高さ 1m・津波流速 1 ノット・周期 15 分）

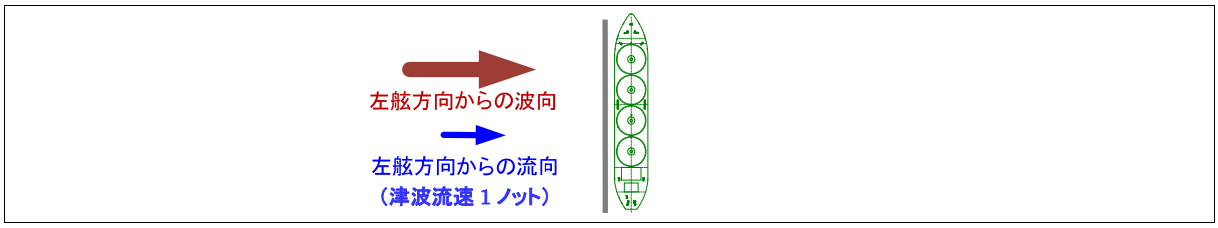


図 2.1.89　船体に対する津波の波向・流向の設定状況

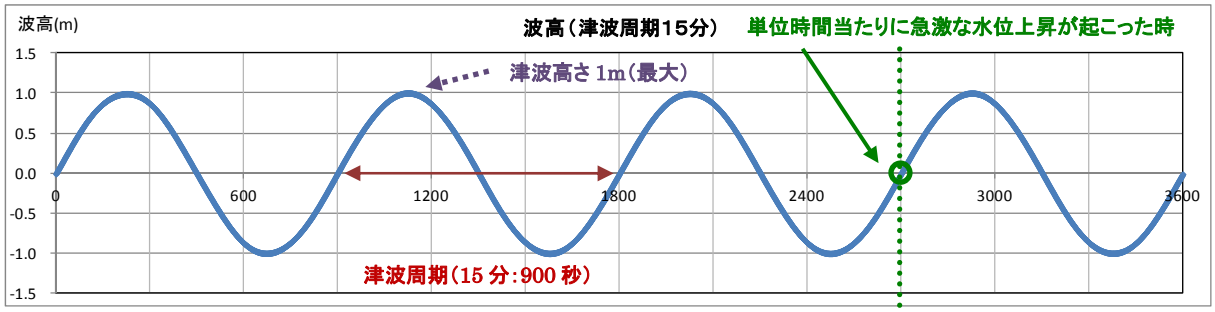


図 2.1.90　津波データの波高の変動（津波周期 15 分）

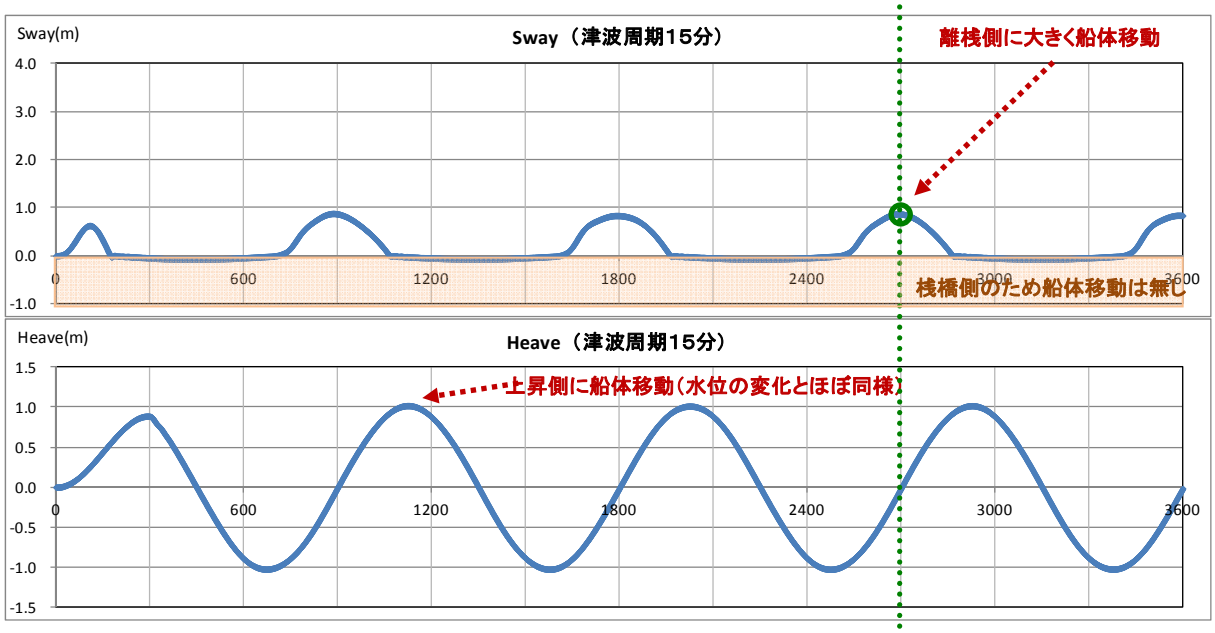


図 2.1.91　LNG 船の船体動揺量（SWAY：左右運動、HEAVE：上下運動）

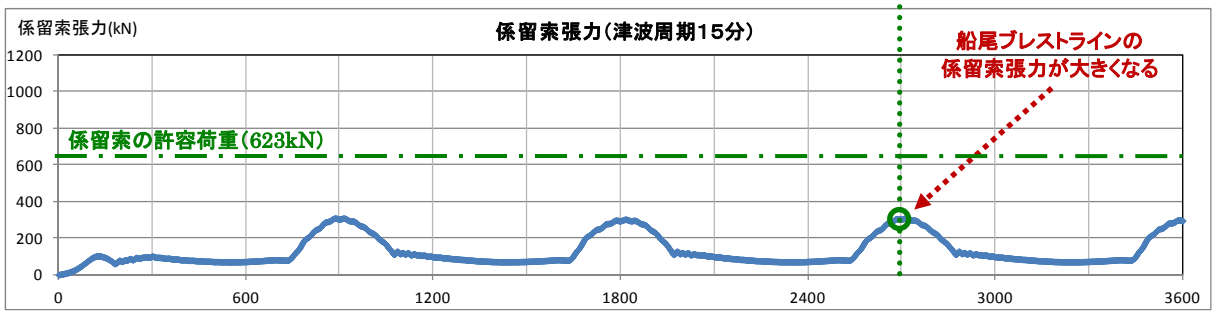


図 2.1.92　LNG 船の係留索張力（例：船尾ブレストライン Line12）

(3) 結果一覧

正弦波形の津波モデルによる対象船舶の係留限界評価一覧について、VLCC のものを表 2.1.25に、LNG 船のものを表 2.1.26に、3,000DWT のものを表 2.1.27に 10,000DWT のものを表 2.1.28にそれぞれ示す。

なお、表中では、×は索の破断荷重を超えたもの、△は索の許容荷重を超えたもの、○はいずれの基準も超えないものを示す。

表 2.1.25　係留限界評価一覧（VLCC、正弦波形モデル）

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
1	1m	5分	船首	0ノット	×
2			左舷正横	0ノット	×
3			船尾	0ノット	×
4		10分	船首	0ノット	△
5				1ノット	△
6				2ノット	△
7				3ノット	△
8				4ノット	△
9				5ノット	△
10				6ノット	△
11				7ノット	△
12				8ノット	△
13				9ノット	×
14			左舷正横	0ノット	△
15				1ノット	×
16			船尾	0ノット	○
17				1ノット	○
18				2ノット	○
19				3ノット	△
20				4ノット	△
21				5ノット	△
22				6ノット	△
23				7ノット	△
24				8ノット	△
25				9ノット	×
26		15分	船首	0ノット	○
27				1ノット	○
28				2ノット	○
29				3ノット	○
30				4ノット	○
31				5ノット	△
32				6ノット	△
33				7ノット	△
34				8ノット	△
35				9ノット	△
36				10ノット	△
37				11ノット	×
38			左舷正横	0ノット	△
39				1ノット	△
40				2ノット	△
41				3ノット	×
42			船尾	0ノット	○
43				1ノット	○
44				2ノット	○
45				3ノット	○
46				4ノット	○
47				5ノット	○
48				6ノット	△
49				7ノット	△
50				8ノット	△
51				9ノット	△
52				10ノット	△
53				11ノット	△
54				12ノット	×
55	2m	5分	船首	0ノット	×
56			左舷正横	0ノット	×
57			船尾	0ノット	×
58		10分	船首	0ノット	×
59			左舷正横	0ノット	×
60			船尾	0ノット	×
61		15分	船首	0ノット	△
62				1ノット	△
63				2ノット	△
64				3ノット	△
65				4ノット	△
66				5ノット	×
67			左舷正横	0ノット	×
68			船尾	0ノット	△
69				1ノット	△
70				2ノット	△
71				3ノット	△
72				4ノット	△
73				5ノット	△
74				6ノット	△
75				7ノット	×
76	3m	5分	船首	0ノット	×
77			左舷正横	0ノット	×
78			船尾	0ノット	×
79		10分	船首	0ノット	×
80			左舷正横	0ノット	×
81			船尾	0ノット	×
82		15分	船首	0ノット	×
83				0ノット	×
84				0ノット	×

※　表中において、×は索の破断荷重を超えたもの、△は索の許容荷重を超えたもの、○はいずれの基準も超えないもの

表 2.1.26　係留限界評価一覧（LNG 船、正弦波形モデル）

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
1	1m	5分	船首	0ノット	×	68	2m	5分	船首	0ノット	×	112	3m	5分	船首	0ノット	×
2			左舷正横	0ノット	△	69			左舷正横	0ノット	×	113			左舷正横	0ノット	×
3				1ノット	△	70			船尾	0ノット	×	114			船尾	0ノット	×
4				2ノット	×	71		10分	船首	0ノット	△	115		10分	船首	0ノット	×
5			船尾	0ノット	×	72				1ノット	△	116			左舷正横	0ノット	×
6		10分	船首	0ノット	○	73				2ノット	△	117			船尾	0ノット	×
7				1ノット	○	74				3ノット	△	118		15分	船首	0ノット	×
8				2ノット	○	75				4ノット	△	119			左舷正横	0ノット	×
9				3ノット	○	76				5ノット	△	120			船尾	0ノット	×
10				4ノット	○	77				6ノット	△						
11				5ノット	○	78				7ノット	×						
12				6ノット	△	79			左舷正横	0ノット	△						
13				7ノット	△	80				1ノット	△						
14				8ノット	△	81				2ノット	△						
15				9ノット	△	82				3ノット	×						
16				10ノット	△	83			船尾	0ノット	△						
17				11ノット	△	84				1ノット	△						
18				12ノット	×	85				2ノット	△						
19			左舷正横	0ノット	○	86				3ノット	×						
20				1ノット	○	87		15分	船首	0ノット	△						
21				2ノット	△	88				1ノット	△						
22				3ノット	△	89				2ノット	△						
23				4ノット	△	90				3ノット	△						
24				5ノット	×	91				4ノット	△						
25			船尾	0ノット	○	92				5ノット	△						
26				1ノット	○	93				6ノット	△						
27				2ノット	○	94				7ノット	△						
28				3ノット	△	95				8ノット	△						
29				4ノット	△	96				9ノット	△						
30				5ノット	△	97				10ノット	×						
31				6ノット	△	98			左舷正横	0ノット	△						
32				7ノット	△	99				1ノット	△						
33				8ノット	△	100				2ノット	△						
34				9ノット	△	101				3ノット	△						
35				10ノット	×	102				4ノット	×						
36		15分	船首	0ノット	○	103			船尾	0ノット	△						
37				1ノット	○	104				1ノット	△						
38				2ノット	○	105				2ノット	△						
39				3ノット	○	106				3ノット	△						
40				4ノット	○	107				4ノット	△						
41				5ノット	○	108				5ノット	△						
42				6ノット	△	109				6ノット	△						
43				7ノット	△	110				7ノット	△						
44				8ノット	△	111				8ノット	×						
45				9ノット	△												
46				10ノット	△												
47				11ノット	△												
48				12ノット	×												
49			左舷正横	0ノット	○												
50				1ノット	○												
51				2ノット	○												
52				3ノット	△												
53				4ノット	△												
54				5ノット	△												
55				6ノット	×												
56			船尾	0ノット	○												
57				1ノット	○												
58				2ノット	○												
59				3ノット	○												
60				4ノット	○												
61				5ノット	○												
62				6ノット	△												
63				7ノット	△												
64				8ノット	△												
65				9ノット	△												
66				10ノット	△												
67				11ノット	×												

※　表中において、×は索の破断荷重を超えたもの、△は索の許容荷重を超えたもの、○はいずれの基準も超えないもの

表 2.1.27　係留限界評価一覧（3,000DWT、正弦波形モデル）

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価	ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
1	1m	5分	船首	0ノット	○	87	2m	5分	船首	0ノット	○	162	3m	5分	船首	0ノット	×	217	4m	5分	船首	0ノット	×	267	5m	5分	船首	0ノット	×	313	6m	5分	船首	0ノット	×
2				1ノット	○	88				1ノット	○	163			船尾	0ノット	×	218			船尾	0ノット	×	267			船尾	0ノット	×	314			船尾	0ノット	×
3				2ノット	○	89				2ノット	△	164			船首	0ノット	○	219				0ノット	△	268				0ノット	△	315		10分	船首	0ノット	×
4				3ノット	○	90				3ノット	△	165				1ノット	○	220				1ノット	△	269				1ノット	△	316			船尾	0ノット	×
5				4ノット	○	91				4ノット	△	166				2ノット	○	221				2ノット	△	270				2ノット	△	317		15分	船首	0ノット	×
6				5ノット	○	92				5ノット	△	167				3ノット	○	222				3ノット	△	271				3ノット	△	318			船尾	0ノット	×
7				6ノット	○	93				6ノット	△	168				4ノット	△	223				4ノット	△	272				4ノット	△						
8				7ノット	○	94				7ノット	△	169				5ノット	△	224				5ノット	△	273				5ノット	△						
9				8ノット	○	95				8ノット	△	170				6ノット	△	225				6ノット	△	274				6ノット	△						
10				9ノット	△	96				9ノット	△	171				7ノット	△	226				7ノット	△	275				7ノット	△						
11				10ノット	△	97				10ノット	△	172				8ノット	△	227				8ノット	△	276				8ノット	△						
12				11ノット	△	98				11ノット	△	173				9ノット	△	228				9ノット	△	277				9ノット	△						
13				12ノット	△	99				12ノット	×	174				10ノット	△	229				10ノット	△	278				10ノット	△						
14				13ノット	△	100			船尾	0ノット	△	175				11ノット	△	230				11ノット	△	279				11ノット	△						
15				14ノット	×	101				1ノット	△	176				12ノット	△	231				12ノット	△	280				12ノット	×						
16			船尾	0ノット	○	102				2ノット	△	177				13ノット	×	232				13ノット	×	281				0ノット	△						
17				1ノット	○	103				3ノット	△	178			船尾	0ノット	△	233				0ノット	△	282				1ノット	△						
18				2ノット	○	104				4ノット	△	179				1ノット	△	234				1ノット	△	283				2ノット	△						
19				3ノット	○	105				5ノット	△	180				2ノット	△	235				2ノット	△	284				3ノット	△						
20				4ノット	△	106				6ノット	△	181				3ノット	△	236				3ノット	△	285				4ノット	△						
21				5ノット	△	107				7ノット	×	182				4ノット	△	237				4ノット	△	286				5ノット	△						
22				6ノット	△	108		10分	船首	0ノット	○	183				5ノット	△	238				5ノット	△	287				6ノット	△						
23				7ノット	△	109				1ノット	○	184				6ノット	△	239				6ノット	△	288				7ノット	×						
24				8ノット	△	110				2ノット	○	185				7ノット	△	240				7ノット	×	289				0ノット	△						
25				9ノット	△	111				3ノット	○	186				8ノット	△	241				0ノット	△	290				1ノット	△						
26				10ノット	×	112				4ノット	○	187				9ノット	×	242				1ノット	△	291				2ノット	△						
27		10分	船首	0ノット	○	113				5ノット	○	188				0ノット	○	243				2ノット	△	292				3ノット	△						
28				1ノット	○	114				6ノット	○	189				1ノット	○	244				3ノット	△	293				4ノット	△						
29				2ノット	○	115				7ノット	○	190				2ノット	○	245				4ノット	△	294				5ノット	△						
30				3ノット	○	116				8ノット	△	191				3ノット	○	246				5ノット	△	295				6ノット	△						
31				4ノット	○	117				9ノット	△	192				4ノット	○	247				6ノット	△	296				7ノット	△						
32				5ノット	○	118				10ノット	△	193				5ノット	△	248				7ノット	△	297				8ノット	△						
33				6ノット	○	119				11ノット	△	194				6ノット	△	249				8ノット	△	298				9ノット	△						
34				7ノット	○	120				12ノット	△	195				7ノット	△	250				9ノット	△	299				10ノット	△						
35				8ノット	○	121				13ノット	△	196				8ノット	△	251				10ノット	△	300				11ノット	△						
36				9ノット	△	122				14ノット	×	197				9ノット	△	252				11ノット	△	301				12ノット	△						
37				10ノット	△	123			船尾	0ノット	○	198				10ノット	△	253				12ノット	△	302				13ノット	×						
38				11ノット	△	124				1ノット	○	199				11ノット	△	254				13ノット	△	303				0ノット	△						
39				12ノット	△	125				2ノット	○	200				12ノット	△	255				14ノット	△	304				1ノット	△						
40				13ノット	△	126				3ノット	○	201				13ノット	△	256				15ノット	×	305				2ノット	△						
41				14ノット	△	127				4ノット	○	202				14ノット	△	257				0ノット	△	306				3ノット	△						
42				15ノット	×	128				5ノット	△	203				15ノット	△	258				1ノット	△	307				4ノット	△						
43			船尾	0ノット	○	129				6ノット	△	204				16ノット	△	259				2ノット	△	308				5ノット	△						
44				1ノット	○	130				7ノット	△	205				17ノット	×	260				3ノット	△	309				6ノット	△						
45				2ノット	○	131				8ノット	△	206			船尾	0ノット	○	261				4ノット	△	310				7ノット	△						
46				3ノット	○	132				9ノット	△	207				1ノット	○	262				5ノット	△	311				8ノット	△						
47				4ノット	○	133				10ノット	×	208				2ノット	○	263				6ノット	△	312				9ノット	×						
48				5ノット	○	134		15分	船首	0ノット	○	209				3ノット	○	264				7ノット	△												
49				6ノット	○	135				1ノット	○	210				4ノット	△	265				8ノット	△												
50				7ノット	△	136				2ノット	○	211			船尾	5ノット	△	266				9ノット	×												
51				8ノット	△	137				3ノット	○	212				6ノット	△																		
52				9ノット	△	138				4ノット	○	213				7ノット	△																		
53				10ノット	△	139				5ノット	○	214				8ノット	△																		
54				11ノット	△	140				6ノット	○	215				9ノット	△																		
55				12ノット	×	141				7ノット	○	216				10ノット	×																		
56		15分	船首	0ノット	○	142			船首	8ノット	△																								
57				1ノット	○	143				9ノット	△																								
58				2ノット	○	144				10ノット	△																								
59				3ノット	○	145				11ノット	△																								
60				4ノット	○	146				12ノット	△																								
61				5ノット	○	147				13ノット	△																								
62				6ノット	○	148				14ノット	△																								
63				7ノット	○	149				15ノット	×																								
64				8ノット	○	150			船尾	0ノット	○																								
65				9ノット	○	151				1ノット	○																								
66				10ノット	○	152				2ノット	○																								
67				11ノット	△	153				3ノット	○																								
68				12ノット	△	154				4ノット	○																								
69				13ノット	△	155				5ノット	○																								
70				14ノット	△	156				6ノット	△																								
71				15ノット	△	157				7ノット	△																								
72				16ノット	×	158				8ノット	△																								
73			船尾	0ノット	○	159				9ノット	△																								
74				1ノット	○	160				10ノット	△																								
75				2ノット	○	161				11ノット	×																								
76				3ノット	○																														
77				4ノット	○																														
78				5ノット	○																														
79			船尾	6ノット	△																														
80				7ノット	△																														
81				8ノット	△																														
82				9ノット	△																														
83				10ノット	△																														
84				11ノット	△																														
85				12ノット	△																														
86				13ノット	×																														

※　表中において、×は索の破断荷重を超えたもの、△は索の許容荷重を超えたもの、○はいずれの基準も超えないもの

表 2.1.28　係留限界評価一覧（10,000DWT、正弦波形モデル）

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
1	1m	5分	船首	0ノット	○
2				1ノット	○
3				2ノット	○
4				3ノット	△
5				4ノット	△
6				5ノット	△
7				6ノット	△
8				7ノット	△
9				8ノット	△
10				9ノット	△
11				10ノット	△
12				11ノット	×
13			船尾	0ノット	○
14				1ノット	○
15				2ノット	○
16				3ノット	○
17				4ノット	○
18				5ノット	○
19				6ノット	○
20				7ノット	○
21				8ノット	△
22				9ノット	△
23				10ノット	△
24				11ノット	△
25				12ノット	△
26				13ノット	△
27				14ノット	△
28				15ノット	×
29		10分	船首	0ノット	○
30				1ノット	○
31				2ノット	○
32				3ノット	○
33				4ノット	○
34				5ノット	○
35				6ノット	○
36				7ノット	○
37				8ノット	△
38				9ノット	△
39				10ノット	△
40				11ノット	△
41				12ノット	△
42				13ノット	×
43			船尾	0ノット	○
44				1ノット	○
45				2ノット	○
46				3ノット	○
47				4ノット	○
48				5ノット	○
49				6ノット	○
50				7ノット	○
51				8ノット	○
52				9ノット	○
53				10ノット	△
54				11ノット	△
55				12ノット	△
56				13ノット	△
57				14ノット	△
58				15ノット	△
59				16ノット	×
60		15分	船首	0ノット	○
61				1ノット	○
62				2ノット	○
63				3ノット	○
64				4ノット	○
65				5ノット	○
66				6ノット	△
67				7ノット	△
68				8ノット	△
69				9ノット	△
70				10ノット	△
71				11ノット	△
72				12ノット	△
73				13ノット	×
74			船尾	0ノット	○
75				1ノット	○
76				2ノット	○
77				3ノット	○
78				4ノット	○
79				5ノット	○
80				6ノット	○
81				7ノット	○
82				8ノット	○
83				9ノット	○
84				10ノット	△
85				11ノット	△
86				12ノット	△
87				13ノット	△
88				14ノット	△
89				15ノット	△
90				16ノット	△
91				17ノット	×

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
92	2m	5分	船首	0ノット	△
93				1ノット	△
94				2ノット	△
95				3ノット	△
96				4ノット	△
97				5ノット	△
98				6ノット	△
99				7ノット	△
100				8ノット	×
101			船尾	0ノット	△
102				1ノット	△
103				2ノット	△
104				3ノット	△
105				4ノット	△
106				5ノット	△
107				6ノット	△
108				7ノット	△
109				8ノット	△
110				9ノット	△
111				10ノット	×
112		10分	船首	0ノット	○
113				1ノット	○
114				2ノット	○
115				3ノット	△
116				4ノット	△
117				5ノット	△
118				6ノット	△
119				7ノット	△
120				8ノット	△
121				9ノット	△
122				10ノット	△
123				11ノット	×
124			船尾	0ノット	○
125				1ノット	○
126				2ノット	○
127				3ノット	○
128				4ノット	○
129				5ノット	○
130				6ノット	○
131				7ノット	○
132				8ノット	○
133				9ノット	△
134				10ノット	△
135				11ノット	△
136				12ノット	△
137				13ノット	△
138				14ノット	△
139				15ノット	×
140		15分	船首	0ノット	○
141				1ノット	○
142				2ノット	○
143				3ノット	○
144				4ノット	○
145				5ノット	○
146				6ノット	○
147				7ノット	△
148				8ノット	△
149				9ノット	△
150				10ノット	△
151				11ノット	△
152				12ノット	△
153				13ノット	×
154			船尾	0ノット	○
155				1ノット	○
156				2ノット	○
157				3ノット	○
158				4ノット	○
159				5ノット	○
160				6ノット	○
161				7ノット	○
162				8ノット	○
163				9ノット	△
164				10ノット	△
165				11ノット	△
166				12ノット	△
167				13ノット	△
168				14ノット	△
169				15ノット	△
170				16ノット	×

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
171	3m	5分	船首	0ノット	△
172				1ノット	△
173				2ノット	△
174				3ノット	△
175				4ノット	△
176				5ノット	△
177				6ノット	△
178				7ノット	△
179				8ノット	×
180			船尾	0ノット	△
181				1ノット	△
182				2ノット	△
183				3ノット	△
184				4ノット	△
185				5ノット	△
186				6ノット	△
187				7ノット	△
188				8ノット	△
189				9ノット	△
190				10ノット	×
191		10分	船首	0ノット	○
192				1ノット	○
193				2ノット	○
194				3ノット	△
195				4ノット	△
196				5ノット	△
197				6ノット	△
198				7ノット	△
199				8ノット	△
200				9ノット	△
201				10ノット	△
202				11ノット	×
203			船尾	0ノット	○
204				1ノット	○
205				2ノット	○
206				3ノット	○
207				4ノット	○
208				5ノット	○
209				6ノット	○
210				7ノット	○
211				8ノット	○
212				9ノット	△
213				10ノット	△
214				11ノット	△
215				12ノット	△
216				13ノット	△
217				14ノット	△
218				15ノット	×
219		15分	船首	0ノット	○
220				1ノット	○
221				2ノット	○
222				3ノット	○
223				4ノット	○
224				5ノット	○
225				6ノット	○
226				7ノット	△
227				8ノット	△
228				9ノット	△
229				10ノット	△
230				11ノット	△
231				12ノット	△
232				13ノット	△
233				14ノット	△
234				15ノット	×
235			船尾	0ノット	○
236				1ノット	○
237				2ノット	○
238				3ノット	○
239				4ノット	○
240				5ノット	○
241				6ノット	○
242				7ノット	○
243				8ノット	○
244				9ノット	△
245				10ノット	△
246				11ノット	△
247				12ノット	△
248				13ノット	△
249				14ノット	△
250				15ノット	×
251		10分	船首	0ノット	○
252				1ノット	○
253				2ノット	○
254				3ノット	○
255				4ノット	○
256				5ノット	○
257				6ノット	○
258				7ノット	○
259				8ノット	○
260				9ノット	△
261				10ノット	△
262				11ノット	△
263				12ノット	△
264				13ノット	△
265				14ノット	△
266				15ノット	×
267			船尾	0ノット	○
268				1ノット	○
269				2ノット	○
270				3ノット	○
271				4ノット	○
272				5ノット	○
273				6ノット	○
274				7ノット	△
275				8ノット	△
276				9ノット	△
277				10ノット	△
278				11ノット	△
279				12ノット	△
280				13ノット	△
281				14ノット	△
282				15ノット	×
283		15分	船首	0ノット	○
284				1ノット	○
285				2ノット	○
286				3ノット	○
287				4ノット	○
288				5ノット	○
289				6ノット	○
290				7ノット	○
291				8ノット	○
292				9ノット	△
293				10ノット	△
294				11ノット	△
295				12ノット	△
296				13ノット	△
297				14ノット	△
298				15ノット	×
299			船尾	0ノット	○
300				1ノット	○
301				2ノット	○
302				3ノット	○
303				4ノット	○
304				5ノット	○
305				6ノット	○
306				7ノット	○
307				8ノット	○
308				9ノット	△
309				10ノット	△
310				11ノット	△
311				12ノット	△
312				13ノット	△
313				14ノット	△
314				15ノット	△
315				16ノット	△
316				17ノット	×

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
317	5m	5分	船首	0ノット	×
318				1ノット	×
319				2ノット	×
320				3ノット	△
321				4ノット	△
322				5ノット	△
323				6ノット	△
324				7ノット	△
325				8ノット	△
326				9ノット	△
327				10ノット	△
328				11ノット	△
329				12ノット	△
330				13ノット	△
331				14ノット	△
332				15ノット	×
333			船尾	0ノット	△
334				1ノット	△
335				2ノット	△
336				3ノット	△
337				4ノット	△
338				5ノット	△
339				6ノット	△
340				7ノット	△
341				8ノット	△
342				9ノット	△
343				10ノット	△
344				11ノット	△
345				12ノット	△
346				13ノット	△
347				14ノット	△
348				15ノット	×
349		10分	船首	0ノット	△
350				1ノット	△
351				2ノット	△
352				3ノット	△
353				4ノット	△
354				5ノット	△
355				6ノット	△
356				7ノット	△
357				8ノット	△
358				9ノット	△
359				10ノット	△
360				11ノット	△
361				12ノット	△
362				13ノット	△
363				14ノット	△
364				15ノット	×
365			船尾	0ノット	△
366				1ノット	△
367				2ノット	△
368				3ノット	△
369				4ノット	△
370				5ノット	△
371				6ノット	△
372				7ノット	△
373				8ノット	△
374				9ノット	△
375				10ノット	△
376				11ノット	△
377				12ノット	△
378				13ノット	△
379				14ノット	△
380				15ノット	×
381		15分	船首	0ノット	△
382				1ノット	△
383				2ノット	△
384				3ノット	△
385				4ノット	△
386				5ノット	△
387				6ノット	△
388				7ノット	△
389				8ノット	△
390				9ノット	△
391				10ノット	△
392				11ノット	△
393				12ノット	△
394				13ノット	△
395				14ノット	△
396				15ノット	×
397			船尾	0ノット	△
398				1ノット	△
399				2ノット	△
400				3ノット	△
401				4ノット	△
402				5ノット	△
403				6ノット	△
404				7ノット	△
405				8ノット	△
406				9ノット	△
407				10ノット	△
408				11ノット	△
409				12ノット	△
410				13ノット	△
411				14ノット	△
412				15ノット	×

ケース番号	波高	周期	波向流速向き	流速	係留限界評価
413	6m	5分	船首	0ノット	×
414				1ノット	×
415				2ノット	×
416				3ノット	×
417				4ノット	×
418				5ノット	×
419				6ノット	×
420				7ノット	×
421				8ノット	×
422				9ノット	×
423				10ノット	×
424				11ノット	×
425				12ノット	×
426				13ノット	×
427				14ノット	×
428				15ノット	×
429		10分	船首	0ノット	×
430				1ノット	×
431				2ノット	×
432				3ノット	×
433				4ノット	×
434				5ノット	×
435				6ノット	×
436				7ノット	×
437				8ノット	×
438				9ノット	×
439				10ノット	×
440				11ノット	×
441				12ノット	×
442				13ノット	×
443				14ノット	×
444				15ノット	×
445			船尾	0ノット	×
446				1ノット	×
447				2ノット	×
448				3ノット	×
449				4ノット	×
450				5ノット	×
451				6ノット	×
452				7ノット	×
453				8ノット	×
454				9ノット	×
455				10ノット	×
456				11ノット	×
457				12ノット	×
458				13ノット	×
459				14ノット	×
460				15ノット	×
461		15分	船首	0ノット	×
462				1ノット	×
463				2ノット	×
464				3ノット	×
465				4ノット	×
466				5ノット	×
467				6ノット	×
468				7ノット	×
469				8ノット	×
470				9ノット	×
471				10ノット	×
472				11ノット	×
473				12ノット	×
474				13ノット	×
475				14ノット	×
476				15ノット	×
477			船尾	0ノット	×
478				1ノット	×
479				2ノット	×
480				3ノット	×
481				4ノット	×
482				5ノット	×
483				6ノット	×
484				7ノット	×
485				8ノット	×
486				9ノット	×
487				10ノット	×
488				11ノット	×
489				12ノット	×
490				13ノット	×
491				14ノット	×
492				15ノット	×

※　表中において、×は索の破断荷重を超えたもの、△は索の許容荷重を超えたもの、○はいずれの基準も超えないもの

2.1.6.4 まとめ（正弦波形によるシミュレーション）

正弦波の津波波形に対する対象船舶の係留限界傾向は、図 2.1.93に示すとおりであり、縦軸を周期別、横軸を船型別で整理し、各該当条件における津波流向・流速・高さの組合せに対する係留限界を示している。

正弦波の津波波形に対する係留限界の傾向を全体と船型とに分けて、以下に整理する。

(1) 全体の係留限界傾向

全体に対する係留限界傾向として、以下のものがあげられる。

① 津波周期が短いほど、係留限界となる津波高さは低くなる。

各船型とも、津波周期が 15 分、10 分、5 分と短くなるにつれて、係留限界となる津波高さも低くなる傾向がある。同様に、津波周期が長くなるにつれて、係留限界となる津波高さは高くなる。

② 津波周期が短いほど、係留限界となる津波流速は小さくなる。

各船型とも、津波周期が 15 分、10 分、5 分と短くなるにつれて、係留限界となる津波流速も小さくなる傾向がある。同様に、津波周期が長くなるにつれて、係留限界となる津波流速は大きくなる。

③ 津波流速が大きいほど、係留限界となる津波高さは低くなる。

各船型とも、津波流速が大きくなるにつれて、係留限界となる津波高さは低くなる傾向がある。同様に、津波流速が小さくなるにつれて、係留限界となる津波高さは大きくなる。

④ 津波高さに対する係留限界は、津波流向（船首・船尾・正横）で大きな差はない。

各船型とも、津波流向に対する津波高さ（津波流速 0 ノット）の係留限界は、津波周期による違いはあるものの、船首方向、船尾方向・正横方向による違いは殆どない。

⑤ 津波流速に対する係留限界は、津波流向の正横で小さく、船首・船尾で大きい。

各船型とも、津波流向に対する津波流速（津波高さ 1m）の係留限界は、水面下の流圧面積の小さな（流圧力が小さくなる）船首方向及び船尾方向で津波流速が大きくなり、流圧面積の大きな（流圧力が大きくなる）正横方向で津波流速が小さくなる傾向（例：VLCC の津波周期 15 分・津波高さ 1m の場合、船首で 11 ノット、船尾で 12 ノット、正横で 3 ノットとなる）がある。

(2) 船型による係留限界傾向

船型の大小に対する係留限界傾向として、以下のものがあげられる。

① 船型が大型化するにつれて、係留限界となる津波高さが低くなる。

船型が大型化するにつれて、係留限界となる津波高さが低くなる傾向がある。同様に、船型が小型化するにつれて、係留限界となる津波高さは高くなる。

② 船型が大型化するにつれて、係留限界となる津波流速が小さくなる。

船型が大型化するにつれて、係留限界となる津波流速が小さく傾向がある。同様に、船型が小型化するにつれて、係留限界となる津波流速は大きくなる。

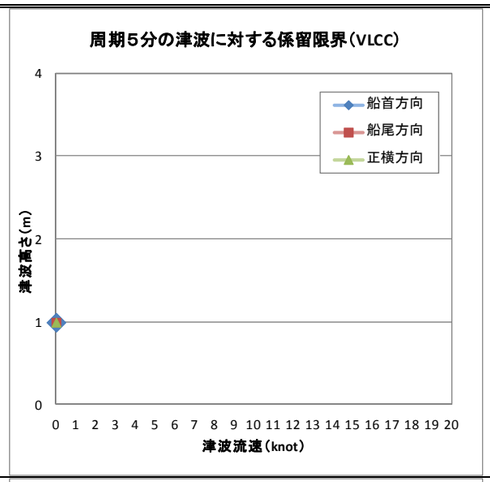
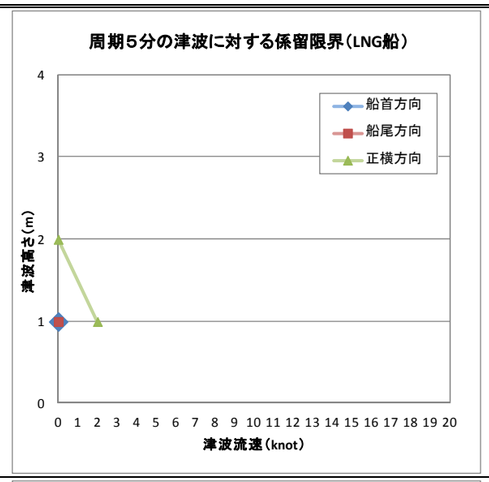
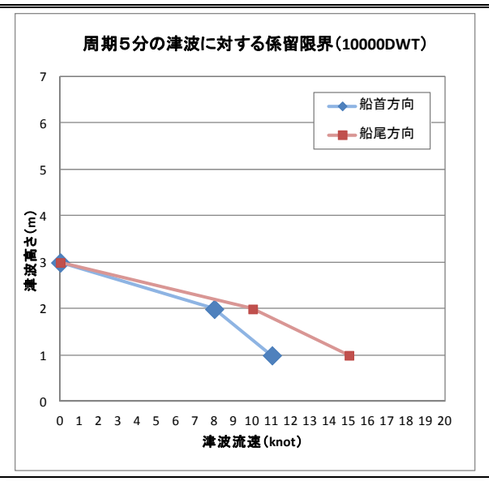
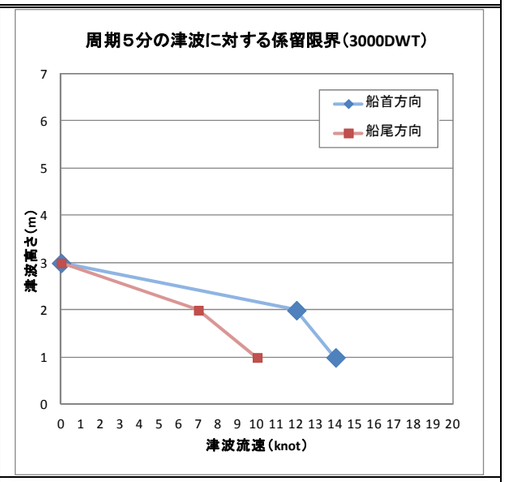
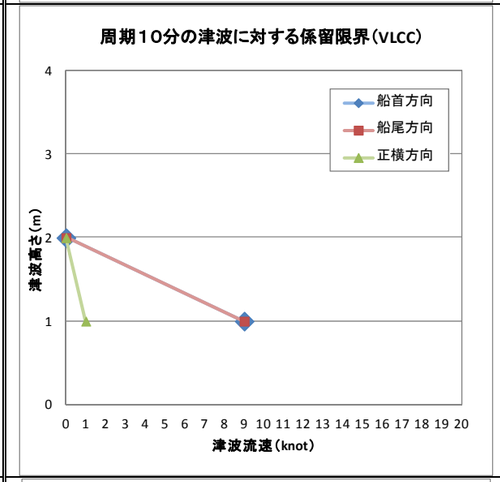
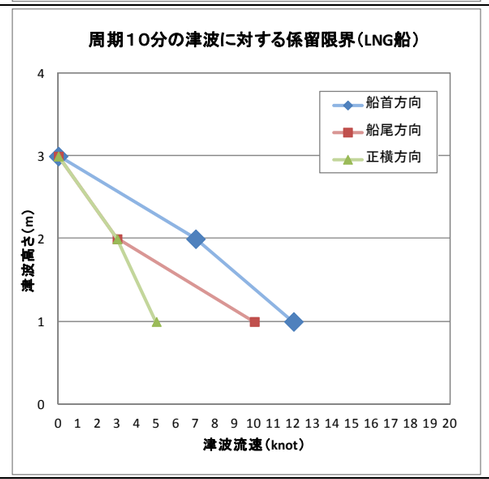
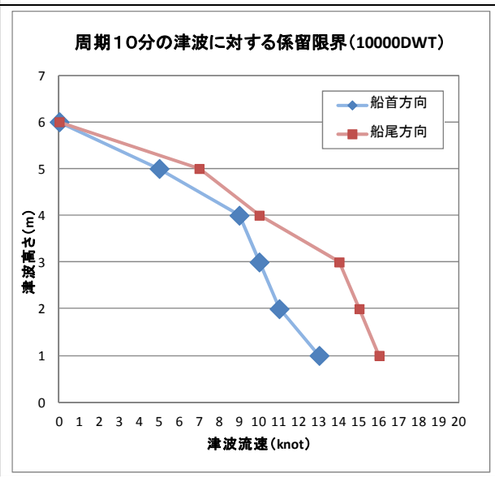
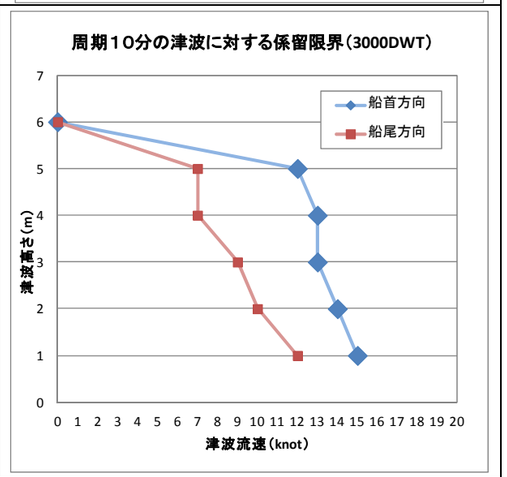
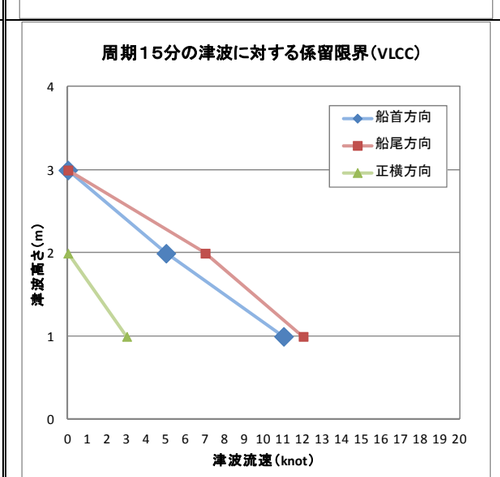
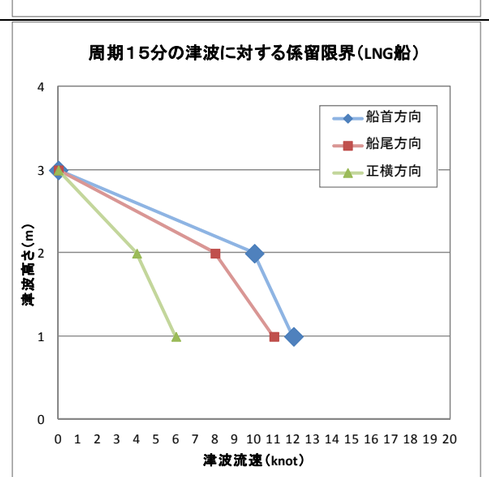
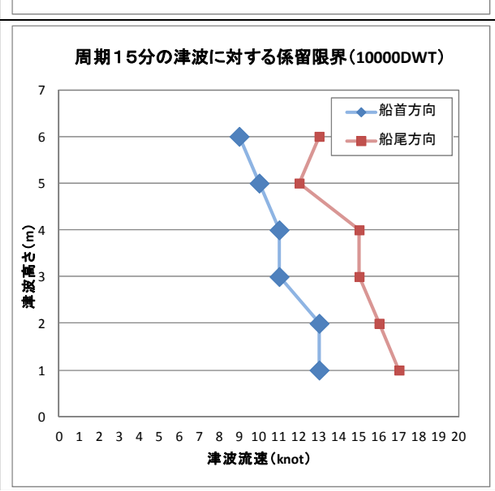
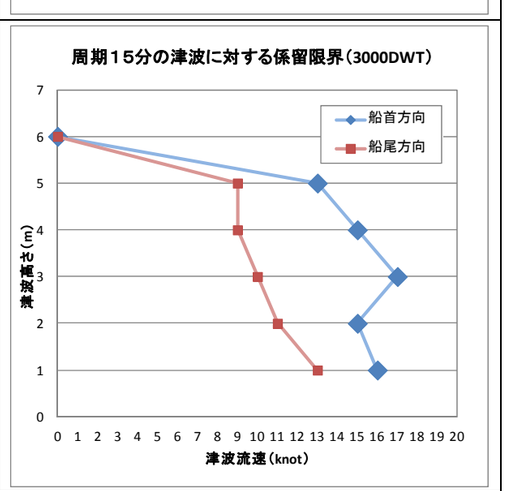
	VLCC	LNG 船	10000DWT	3000DWT
津波周期5分				
津波周期10分				
津波周期15分				

図 2.1.93　正弦波の津波波形に対する対象船舶の係留限界傾向

- 本検討では、水深との関係による正弦波の波形の崩れ、また本船が岸壁に乗揚げたり、着底するという事象は起きないものとして計算することとした。
- 本検討では、流圧力の計算においては流速振幅に係わらず、別途設定した仮想流速値（定常値）にて計算することとした。

2.1.7 係留限界のまとめ

今回の津波波形及び正弦波形による係留動揺シミュレーション結果により、津波に対する対象船舶の係留限界傾向については、概ね以下のとおり把握する事ができた。

なお、正弦波形の設定は、現実の津波（津波周期、津波高さ、津波流速等）とは異なる仮想条件にて行われた結果であることに留意する必要がある。

今回得られた結果は、係留限界の目安であり、各港湾等において予想される津波のシミュレーションを行い、予想される津波高さのみならず、単位時間当たりの水位上昇及び流速も含め把握し検討しておくことが望ましい。

また、本シミュレーションは通常の係留状態での係留限界を求めたものであるので、係留索の増し舫い、特にブレストライン、スプリングラインの増し取りやブレーキドラムの増し締めは、係留限界を高めるために効果が期待できる。

2.1.7.1 津波高さ

今回の津波波形及び正弦波形による係留動揺シミュレーションにおいて、津波高さに対する係留限界については、VLCC 及び LNG 船では概ね 1～3m 程度まで、10,000DWT 及び 3,000DWT の船舶では概ね 3～6m 程度までとなった。

津波高さに対する係留限界については、単位時間当たりの水位変動に応じて変化する傾向があり、短時間で急激に水位上昇する（周期が短い）場合は、船体動揺量並びに係留索張力も同調して大きくなり、結果として津波高さが低い時機（津波高さのピークではない時）でも係留限界に達することとなった。一方、長時間に亘り徐々に水位上昇する（周期が長い）場合では、船体動揺量及び係留索張力にも急激な変化（上昇）は発生せず、係留限界に達しにくい結果となった。

このことから、津波高さによる係留限界については、津波高さがピークとなる時機ばかりでなく、高さが急激に変化（上昇）していく時機（波浪強制力が大きくなる時機）においても発生しており、津波高さ（最大値）が小さい場合においても、急激に水位上昇する場合は限界となる可能性がある。

津波の周期は、一般に数分ないし数 10 分である。通常、震源に近い程短く（水位上昇が急激になる）、これから遠ざかるにつれて長くなる（水位上昇が緩やかになる）傾向がある。

例えば、南海トラフによる地震津波の場合、三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）は、震源から遠くなり周期が長くなる（＝水位上昇が緩やかになる）ことから、係留限界が上記の値より大きくなると推測される。

2.1.7.2 津波流速

津波高さに津波流速の影響が加わると、係留限界の津波高さは低くなる。

流向が船首尾方向の場合は、VLCC 及び LNG 船では、概ね 9～11 ノット程度の津波流速において、津波高さ 1ｍで係留限界となり、10,000DWT 及び 3,000DWT の船舶では、概ね 12～13 ノット程度の津波流速において、津波高さ 1ｍで係留限界となる。

また、流向が正横方向の場合は、VLCC では 1～3 ノット程度、LNG 船では 5～6 ノット程度になれば、津波高さ 1mでも係留限界となる。

津波流速に対する流向ごとの係留限界の傾向については、船体の水面下の流圧面積が大きな正横方向で流圧力が大きくなるために流速限界も低くなり、流圧面積が小さな船首尾方向では流圧力が小さくなるために流速限界も大きくなる。なお、大型船の場合は船首尾で流向が異なることも考えられるので留意する必要がある。

また、通常、津波流速のピーク（最大値）は、津波高さのピーク（最大値）と同じ時機に発生する訳ではなく、津波高さの上昇下降の変化の過程において流体が移動して流速が大きくなり、津波の昇降が一時的に止まる時機（押し波及び引き波が転じる時機）では流速が小さくなる。

このことから、津波流速は津波高さの係留限界に影響を及ぼす。係留限界は流速が大きくなる押し波（港内の水位が上昇していく）の時機及び引き波（港内の水位が下降していく）の時機において発生しやすくなり、この流れを船体正横方向から受ける場合は小さい流速で限界となる可能性がある。

2.2 津波に対する係駐限界検討

2.2.1 検討目的

本検討は、港内錨泊中の船舶が津波の来襲を受けた場合の係駐限界について、津波の外力（流速）と船舶の錨による係駐力の関係から把握することを目的とする。

2.2.2 検討内容

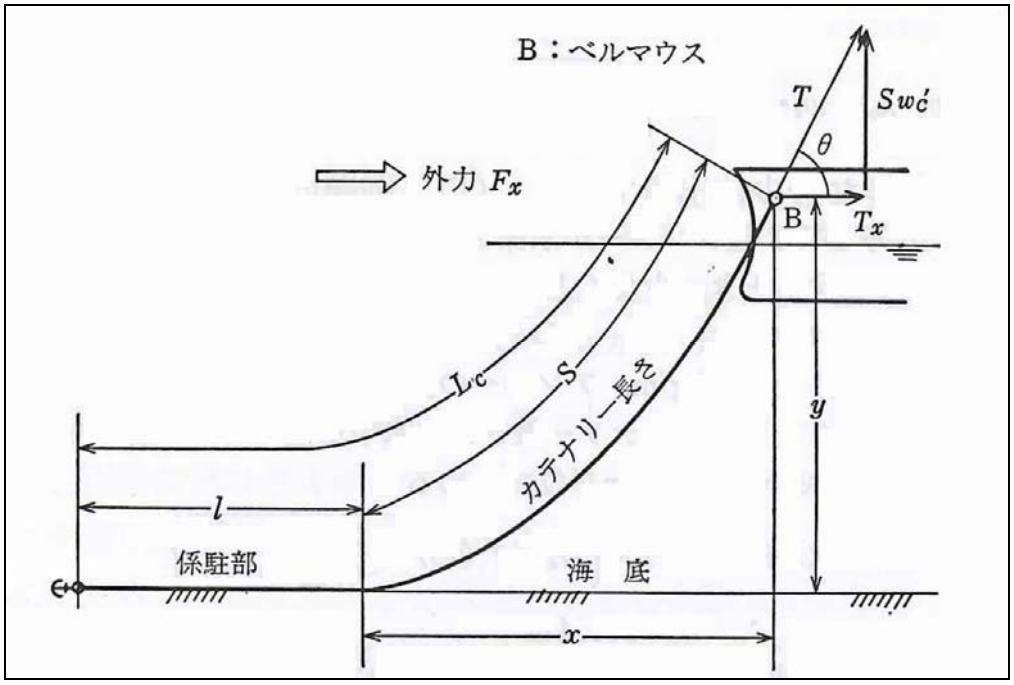
(1) 津波による検討（検討項目 1）

① 検討方針

津波による検討では、基本的には津波流による船体への流圧力と船舶の錨によって保持する係駐力を求めることによって係駐限界を把握するものである。ただし、津波が来襲した際には水位上昇による係駐力の低下も考えられることから、ここでは津波高さ 0m（通常時水位）と津波高さ 5m（異常時水位）に分けて係駐限界を求めることとする。

② 検討方法

係駐力は下式により、対象船舶が係駐限界となる津波外力 Fx（津波流速 V）を逆算して求めこととする。なお、想定する津波高さ 5m は、水深（通常時水位）に加えるものとする。



出典：操船通論（本田啓之輔）

図 2.2.1　錨泊中の係駐状態の概念図

【係駐力の関係式】

$$P=\omega_a \cdot \lambda_a+\omega_c \cdot \lambda_c \cdot l$$

P（トン）：船の係駐力（=Fx となる津波流速 V を逆算する）

ωa（トン）：アンカーの重さ

λa：アンカーの把駐係数

ωc（トン/m）：錨鎖 1m あたりの重さ

λc：錨鎖の摩擦抵抗係数

l（m）：海底に横たわる錨鎖の長さ

出典：操船通論（本田啓之輔）

【流圧力の関係式】

$$Fx=C_{xc} \cdot （\rho_c／7600） \cdot Lpp \cdot D \cdot V^2$$

Fx（トン）：船体の正面にかかるの津波の流圧力

C_{xc}：船体の縦方向流圧力係数

ρ_c（kg・sec²/m⁴）：海水の密度（＝0.1248）

Lpp（m）：垂線間長

D（m）：喫水

V（m/sec）：津波流速（=係駐限界となる流速）

出典：Prediction of Wind and Current Loads On VLCCs（OCIMF）

③ 検討条件

検討条件は、表 2.2.1に示すとおり、対象船舶は 500DWT から 300,000 DWT までの 8 船型とし、船舶の喫水条件は、津波の影響をより強く受ける流圧面積の大きい満載状態を想定する。また、舶用アンカーは、JIS 型（図 2.2.2）と AC14 型（図 2.2.3）を想定し、錨鎖の長さは 3D+90（D：水深）を基に設定する。なお、水深に加える津波水位は、0m（通常時水位）及び 5m（異常時水位）とし、海底の底質は泥及び砂を選定する。

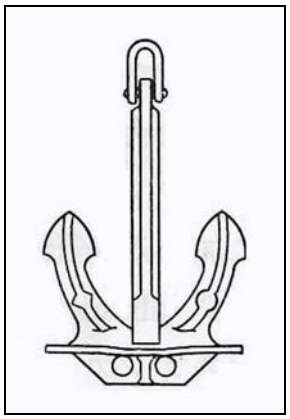


図 2.2.2　舶用アンカー（JIS 型）

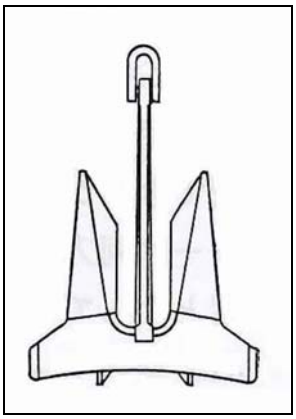


図 2.2.3　舶用アンカー（AC14 型）

出典：操船通論（本田啓之輔）

表 2.2.1　検討条件一覧

対象船型（DWT）	500	3,000	10,000	30,000	60,000	200,000	100,000	300,000
船舶の種類	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG 船）	危険物積載船舶（VLCC）
全長（m）	50	80	113	170	200	300	315	333
垂線間長（m）	45	75	107	164	190	292	302	324
型幅（m）	11	13	19	27	32	50	50	60
型深（m）	5	6	10	14	18	24	27	29
ベルマウス高さ（m）※1	1	0.5	1	2	2.5	3	7.5	4.3
満載喫水（m）	3	5	8	10	13	18	12	20.5
総トン数（GT）	460	1,600	6,000	18,000	35,000	102,000	135,000	160,000
満載排水量（MT）	1,100	3,700	13,500	36,800	51,700	235,600	143,400	342,000
縦方向流圧係数※2	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
JIS 型錨の重さ（kg）※3	900	1,920	3,540	6,000	7,800	16,900	12,900	23,000
AC14 型錨の重さ（kg）※3	675	1,440	2,655	4,500	5,850	12,675	9,675	17,250
錨鎖の重さ（kg/m）※4	12.6	25.3	46.3	78.8	101.3	219.0	165.8	299.8
JIS 型錨の把駐係数（砂/泥）※5	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0	3.5 / 3.0
AC14 型錨の把駐係数（砂/泥）※5	7 / 10	7 / 10	7 / 10	7 / 10	7 / 10	7 / 10	7 / 10	7 / 10
錨鎖の摩擦抵抗係数（砂/泥）※6	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0	0.75 / 1.0
錨鎖の長さ※7（m）	135	135	150	150	180	180	180	180
水深（m）	15	15	20	20	30	30	30	30
水深喫水比（満載喫水/水深）	5.0	3.0	2.5	2.0	2.3	1.7	2.5	1.5

※1　（型深－満載喫水）／2 として仮定した。

※2　OCIMF における相対流向 0 度（船首方向から）の縦方向流圧係数の値を参照した。

※3　NK 鋼規則 C27.1 の値を参照した。なお、AC14 型錨は高把駐力アンカーとして規定値（JIS 型錨）の 75%重量とした。

※4　NK 鋼規則 C27.1 より錨の呼び径 d_c を参照し、チェーン規格（JISF3303）における錨鎖単位重量（kg/m）の算定式をもとに算出した。《 $W = 0.0219 \cdot d_c^2$ ：錨鎖単位重量 W（kg/m）、錨鎖の呼び径 d_c（m）》

※5　操船通論における各錨型の標準把駐係数の値を参照した。

※6　操船通論における係止中の砂及び泥の摩擦抵抗係数の値を参照した。

※7　操船通論における錨泊地の標準的な錨鎖伸出量 S（m）の算定式をもとに算出した。《 $S = 3D + 90$ ：錨鎖伸出量 S（m）、水深 D（m）》

(2) 振れ回りによる検討（検討項目 2）

① 検討方針

振れ回り（単錨泊）による検討は、津波の流向に対して船体が振れ回り角度 θ をもった場合（船体の流圧力がより大きくなる）の係駐限界を求めることとする。

② 検討方法

検討方法は、係駐力 P を振れ回り角度 θ に応じて船首尾方向 Fx、正横方向 Fy の流圧力成分に分解し、この流圧力に達する津波の係駐限界流速 V を求めることとする。

なお、今般の東日本大震災によると、津波来襲時に錨泊中（走錨に至っていない）の船舶の振れ回り角度 θ は、概ね「6～8 度」程度であったと報告※されている。

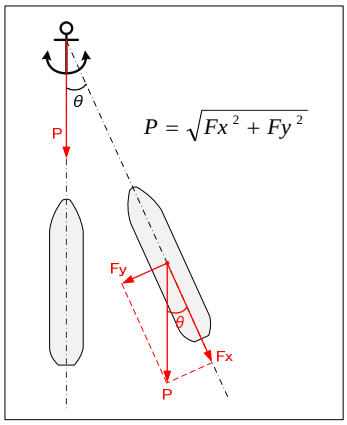


図 2.2.4　振れ回り（単錨泊）の検討条件

【流圧力の関係式】

$$Fx = C_{xc} \cdot （\rho_c / 7600） \cdot Lpp \cdot D \cdot V^2$$
$$Fy = C_{yc} \cdot （\rho_c / 7600） \cdot Lpp \cdot D \cdot V^2$$

Fx（トン）：船体の正面（船首尾方向）にかかるの津波の流圧力

Fy（トン）：船体の側面（正横方向）にかかるの津波の流圧力

C_{xc}：船体の縦方向（船首尾方向）流圧力係数

C_{yc}：船体の横方向（正横方向）流圧力係数

ρ_c（kg・sec²/m⁴）：海水の密度（＝0.1248）

Lpp（m）：垂線間長

D（m）：喫水

V（m/sec）：津波流速（=係駐限界となる流速）

出典：Prediction of Wind and Current Loads On VLCCs（OCIMF）

※「関東地方整備局東京湾口航路事務所」による東京湾中ノ瀬に錨泊中の船舶の解析結果より

③ 検討条件

検討条件は、表 2.2.1に示すとおり、対象船舶は500DWTから300,000 DWTまでの8船型とし、船舶の喫水条件は、津波の影響をより強く受ける流圧面積の大きい満載状態を想定する。また、舶用アンカーは、JIS型（図 2.2.2）とAC14型（図 2.2.3）を想定し、錨鎖の長さは 3D+90（D：水深）を基に設定する。なお、水深に加える津波の水位は5mとし、海底の底質は泥及び砂を選定する。

船体の振れ回り角度θ（図 2.2.4）は、津波の来襲する方向に対して船首方向を0度、5 度、10 度、15 度と段階的に変化させて設定する。なお、船体の縦方向の流圧力係数C_{xc}及び横方向の流圧力係数C_{yc}は、津波の船体に対する相対流向によって異なるため、本検討では該当するOCIMFの流圧力係数を選定して算出することとする。

2.2.3 検討結果

2.2.3.1 津波による検討結果（検討項目 1）

津波高さを 0m、5m と変化させた場合の対象船舶の係駐限界流速は、表 2.2.2のとおりである。

船型による限界流速の違いについては、津波高さ 0m・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.62 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.28 ノットとなり、津波高さ 5m・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.51 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.23 ノットとなった。このことより、係駐限界流速は、概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）方が大きくなる傾向となった。

津波高さ 0m（通常時水位）とした場合の係駐限界流速は、概ね 3 ノットから 6 ノット程度、津波高さ 5m（異常時水位）の限界流速についても概ね 3 ノットから 6 ノット程度の値となった。

また、津波高さ 0m（通常時水位）に対する津波高さ 5m（異常時水位）の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 0.1 ノット程度（限界流速は 3 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。

その他として、係駐限界流速に与える影響については、アンカーによる違いでは AC14 型が JIS 型より限界流速が大きくなり、底質による違いでは AC14 型では泥の方が、JIS 型では砂の方の限界流速が大きくなる傾向があった。

表 2.2.2　津波による係駐限界流速

単位：ノット

			500DWT	3,000DWT	10,000DWT	30,000DWT	60,000DWT	200,000DWT	100,000DWT	300,000DWT
			一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG船）	危険物積載船舶（VLCC）
津波高さ0m	JIS型	泥	4.62	4.02	3.60	3.38	3.15	3.17	3.28	3.28
		砂	4.83	4.21	3.77	3.54	3.29	3.32	3.45	3.43
	AC14型	泥	（6.70）	5.87	5.24	4.91	4.53	4.57	4.75	4.73
		砂	（5.72）	5.00	4.47	4.20	3.89	3.92	4.08	4.06
津波高さ5m	JIS型	泥	4.51	3.93	3.53	3.31	3.10	3.12	3.23	3.23
		砂	4.74	4.14	3.72	3.49	3.25	3.28	3.41	3.39
	AC14型	泥	（6.59）	5.77	5.16	4.84	4.48	4.51	4.70	4.67
		砂	（5.63）	4.93	4.41	4.14	3.85	3.88	4.04	4.02

※　表中の（　）は、他の条件との比較のために対象船舶 500DWT、AC14 型の錨の組合せの値を示しているが、一般的に 500DWT クラスで AC14 型の錨を装備している船舶は少ない。

2.2.3.2 振れ回りによる検討結果（検討項目 2）

津波の流向に対する船体の振れ回り角度を 0 度、5 度、10 度、15 度と変化させた場合の対象船舶の係駐限界流速は、表 2.2.3のとおりである。

船型による限界流速の違いについては、振れ回り角度 5 度・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.20 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.00 ノットとなり、振れ回り角度 15 度・津波高さ 5m・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 2.98 ノット、大型船（300,000DWT）では 2.14 ノットとなった。このことより、係駐限界流速は、概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）方が大きくなる傾向となった。

船体の振れ回り角度を 0 度（船首方向からの津波）とした場合の係駐限界流速は、概ね 3 ノットから 6 ノット程度となり、振れ回り角度を 15 度とした場合では概ね 2 から 4 ノット程度となった。

また、津波流向に対して船体の振れ回りを 0 度（船首方向）から 15 度まで変化させた場合の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 1.0 ノットから 2.0 ノット程度（係駐限界流速 2 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。

その他、係駐限界流速に与える影響については、アンカーによる違いでは AC14 型が JIS 型より限界流速が大きくなり、底質による違いでは AC14 型では泥の方が、JIS 型では砂の方の限界流速が大きくなる傾向があった。

表 2.2.3　振れ回りによる係駐限界流速

単位：ノット

			500DWT	3,000DWT	10,000DWT	30,000DWT	60,000DWT	200,000DWT	100,000DWT	300,000DWT
			一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG船）	危険物積載船舶（VLCC）
振れ回り0度	JIS型	泥	4.51	3.93	3.53	3.31	3.10	3.12	3.23	3.23
		砂	4.74	4.14	3.72	3.49	3.25	3.28	3.41	3.39
	AC14型	泥	（6.59）	5.77	5.16	4.84	4.48	4.51	4.70	4.67
		砂	（5.63）	4.93	4.41	4.14	3.85	3.88	4.04	4.02
振れ回り5度	JIS型	泥	4.20	3.66	3.29	3.08	2.88	2.90	3.01	3.00
		砂	4.41	3.85	3.46	3.25	3.03	3.05	3.17	3.16
	AC14型	泥	（6.14）	5.37	4.81	4.51	4.17	4.21	4.38	4.35
		砂	（5.25）	4.59	4.11	3.86	3.58	3.61	3.76	3.74
振れ回り10度	JIS型	泥	3.54	3.08	2.77	2.60	2.43	2.45	2.53	2.53
		砂	3.72	3.25	2.91	2.73	2.55	2.57	2.67	2.66
	AC14型	泥	（5.17）	4.52	4.05	3.80	3.51	3.54	3.69	3.67
		砂	（4.42）	3.86	3.46	3.25	3.02	3.04	3.17	3.15
振れ回り15度	JIS型	泥	2.98	2.60	2.34	2.19	2.05	2.06	2.14	2.14
		砂	3.14	2.74	2.46	2.31	2.15	2.17	2.26	2.25
	AC14型	泥	（4.36）	3.82	3.42	3.20	2.97	2.99	3.11	3.09
		砂	（3.73）	3.26	2.92	2.74	2.55	2.57	2.68	2.66

※　表中の（　）は、他の条件との比較のために対象船舶 500DWT、AC14 型の錨の組合せの値を示しているが、一般的に 500DWT クラスで AC14 型の錨を装備している船舶は少ない。

2.2.4 まとめと考察

2.2.4.1 係駐限界結果

(1) 船型別による検討

船型による係駐限界流速の違いについては、津波高さ 0m・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.62 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.28 ノットとなり、他の津波高さ条件と比較しても概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）方が、限界流速が大きくなる傾向となった。

また、振れ回り角度 5 度・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.20 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.00 ノットとなり、他の振れ回り角度条件と比較しても概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）方が、限界流速が大きくなる傾向となった。

なお、その他の共通した結果として、アンカーによる違いでは AC14 型が JIS 型より限界流速が大きくなり、底質による違いでは AC14 型では泥の方が、JIS 型では砂の方の限界流速が大きくなる傾向があった。

(2) 津波高さによる検討

津波高さによる係駐限界流速の違いについては、津波高さ 0m（通常時水位）では概ね 3 ノットから 6 ノット程度、津波高さ 5m（異常時水位）でも概ね 3 ノットから 6 ノット程度の値となった。

また、津波高さ 0m（通常時水位）に対する津波高さ 5m（異常時水位）の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 0.1 ノット程度（限界流速は 3 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。

(3) 振れ回りによる検討

船体の振れ回り角度による係駐限界流速の違いについては、船体の振れ回り角度を 0 度（船首方向からの津波）とした場合では概ね 3 ノットから 6 ノット程度となり、振れ回り角度を 15 度とした場合では概ね 2 から 4 ノット程度となった。

また、船体の振れ回りを 0 度（船首方向）から 15 度まで変化させた場合の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 1.0 ノットから 2.0 ノット程度（係駐限界流速 2 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。

2.2.4.2 係駐限界の要因

これまでの結果により、係駐限界流速は、津波高さを 0m から 5m に変化させた場合では最大 0.1 ノット程度減少し、津波流向に対する船体振れ回り角度を 0 度から 15 度まで変化させた場合では最大 2.0 ノット減少した。

以上のことより、津波来襲時の船舶の係駐限界に与える影響は、船体の振れ回りによる変化が最も大きく、次いで津波高さの変化という結果となった。

【必要となる対策】

地震発生後、津波の来襲が予想される様な状況下では、錨が十分掻いた状態で、錨鎖長を可能な限り伸出して係駐力を確保し、津波の来襲により船体が振れ回る様な状況下では、推進機関（主機関及びスラスター等）を使用して、津波の流向に対して可能な限り船首を向ける対策を講じることが望ましい。

2.2.5 参考

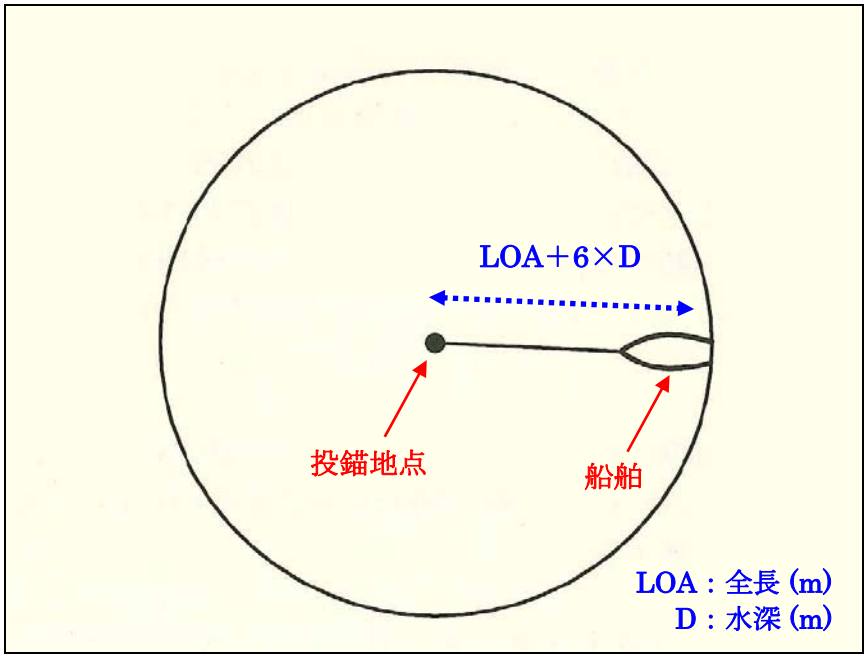
2.2.5.1 技術基準の泊地規模による検討

(1) 検討方針

港湾の施設の技術上の基準・同解説※1（以下、「技術基準」とする。）によると、錨泊中（単錨泊）の船舶の泊地規模は、錨鎖の回転中心（投錨地点）から船尾までの距離が「LOA＋6×D」（LOA：全長、D：水深）を参考にできるとされている。（参照：図 2.2.5）

本検討では、技術基準の泊地規模の条件下における係駐限界流速を求めることとする。

なお、今般の東日本大震災によると、津波来襲時に錨泊中の船舶の泊地規模（投錨した後に、錨鎖のカテナリーが一杯に引張られた状態で、走錨せずに錨泊している最大半径の円の規模）は、概ね「全長＋6×水深」の範囲内であったと報告※2されている。



出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説（公益社団法人 日本港湾協会）

図 2.2.5　錨泊中（単錨泊）の錨泊規模の概念図

※1 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」は港湾の設計にあたり必要となる設計手順・基準等が示された専門書

※2 「関東地方整備局東京湾口航路事務所」による東京湾中ノ瀬に錨泊中の船舶の解析結果より

(2) 検討方法及び条件

検討方法は、錨鎖の回転中心から船尾までの距離が「LOA＋6×D」（LOA：全長、D：水深）の条件の下、伸出した錨鎖長のカテナリーを直線として近似（参照：図 2.2.6、水平距離を 6D、垂直距離を D）し、この錨鎖長に対する津波の係駐限界流速 V を求めることとする。

その他、検討条件は、表 2.2.1に示すとおり、対象船舶は 500DWT から 300,000 DWT までの 8 船型とし、船舶の喫水条件は、津波の影響をより強く受ける流圧面積の大きい満載状態を想定する。また、舶用アンカーは、JIS 型（図 2.2.2）と AC14 型（図 2.2.3）を想定する。なお、水深に加える津波水位は、0m（通常時水位）及び 5m（異常時水位）とし、海底の底質は泥及び砂を選定する。

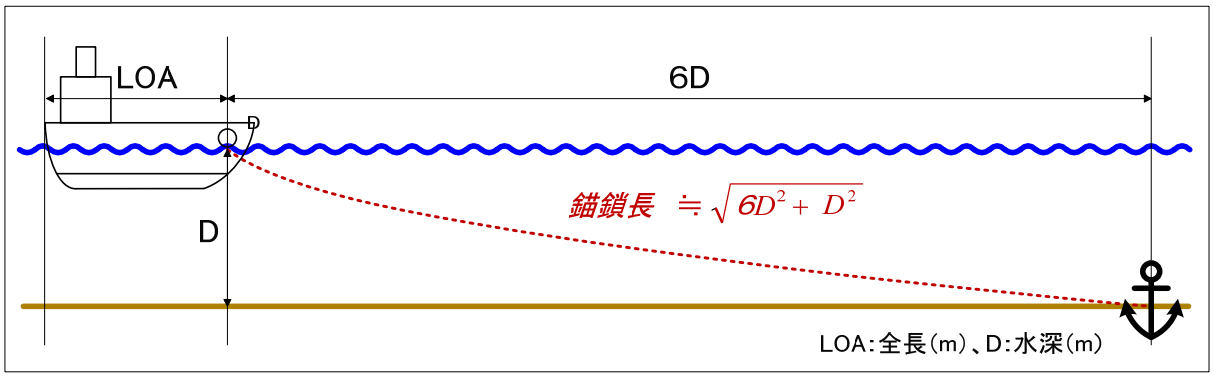


図 2.2.6　錨泊中（単錨泊）の錨鎖長の検討条件（仮定条件）

(3) 検討結果

錨泊規模「LOA＋6×D」の条件の下、錨鎖長を表 2.2.4に示すとおり伸出し、津波高さを 0m、5m とした場合の対象船舶の係駐限界流速は表 2.2.5のとおりである。

船型による限界流速の違いについては、津波高さ 0m・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.27 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.28 ノットとなり、津波高さ 5m・JIS 型アンカー・泥の底質条件の下では小型船（500DWT）では 4.16 ノット、大型船（300,000DWT）では 3.24 ノットとなった。このことより、係駐限界流速は、概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）方が大きくなる傾向となった。

津波高さ 0m（通常時水位）とした場合の係駐限界流速は、概ね 3 ノットから 6 ノット程度、津波高さ 5m（異常時水位）の限界流速についても概ね 3 ノットから 6 ノット程度の値となった。

また、津波高さ 0m（通常時水位）に対する津波高さ 5m（異常時水位）の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 0.1 ノット程度（限界流速は 3 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。

その他として、係駐限界流速に与える影響については、アンカーによる違いでは AC14 型が JIS 型より限界流速が大きくなり、底質による違いでは AC14 型では泥の方が、JIS 型では砂の方の限界流速が大きくなる傾向があった。

表 2.2.4　技術基準の泊地規模の条件下における錨鎖伸出量（仮定条件）

	500DWT	3,000DWT	10,000DWT	30,000DWT	60,000DWT	200,000DWT	100,000DWT	300,000DWT
	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG船）	危険物積載船舶（VLCC）
水深（m）	15	15	20	20	30	30	30	30
錨鎖長（m）	91	91	122	122	182	182	182	182

表 2.2.5　技術基準の泊地規模による係駐限界流速

単位：ノット

			500DWT	3,000DWT	10,000DWT	30,000DWT	60,000DWT	200,000DWT	100,000DWT	300,000DWT
			一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG船）	危険物積載船舶（VLCC）
津波高さ0m	JIS型	泥	4.27	3.73	3.44	3.22	3.16	3.18	3.29	3.29
		砂	4.57	4.00	3.65	3.42	3.30	3.33	3.46	3.44
	AC14型	泥	（6.46）	5.66	5.12	4.80	4.54	4.58	4.76	4.74
		砂	（5.50）	4.82	4.37	4.10	3.90	3.93	4.09	4.07
津波高さ5m	JIS型	泥	4.16	3.64	3.37	3.15	3.11	3.13	3.24	3.24
		砂	4.48	3.92	3.59	3.37	3.26	3.29	3.42	3.40
	AC14型	泥	（6.34）	5.56	5.04	4.73	4.49	4.52	4.71	4.68
		砂	（5.41）	4.74	4.31	4.04	3.86	3.89	4.05	4.02

※　表中の（　）は、他の条件との比較のために対象船舶 500DWT、AC14 型の錨の組合せの値を示しているが、一般的に 500DWT クラスで AC14 型の錨を装備している船舶は少ない。

2.2.5.2 錨泊中の錨の特性

錨泊中の錨の特性については、錨に関する研究によると以下の現象が報告されている。

- 舶用アンカー（JIS 型）は、研究報告[1]によると、爪の長さの 10～20 倍程度の距離を海底移動した場合、アンカーが引っ繰り返って爪が上を向いてしまい、アンカーの把駐力係数が減少して走錨状態になりやすい。
- 舶用アンカー（AC14 型）等、適度な大きさのスタビライザーを有したアンカーでは、研究報告[2]によると、アンカーがいかなる姿勢で海底上にあっても、爪の長さの 6 倍程度の距離を海底移動した場合、錨が海底に容易に貫入して安定し、最大把駐力状態が実現する。
- 舶用アンカーの把駐力は、研究報告[3]によると、底質の種類及び強度にもよる。例えば、砂質の海底はアンカーに対してごく常識的な低い最大把駐力を与えるにすぎず、粘底質の海底では土の締まり具合により力学的な特性が大きく変わり、極端に効いたり、効かなかったりすることがある。

≪参考文献≫

(1) 浦　環、山本善之：アンカーの安定性に関する基礎的研究、日本造船学会論文集 Vol.140、1976 年、p.279-285
(2) 浦　環、山本善之：アンカーの安定性に関する基礎的研究（第 3 報）、日本造船学会論文集 Vol.146、1978 年、p.196-200
(3) 浦 環：はたしてアンカーは効くのか（第 1 回）、海技と受験 No.1、1981 年、p.34-39

3　操船シミュレーションの整理・検討

3.1 検討目的

本検討は、以下 2 点を検討目的とする。

(1) 大型危険物積載船の緊急離桟検討

津波来襲前の緊急離桟を想定し、大型危険物積載船（VLCC／LNG 船）のタグ支援条件、着桟条件（入船／出船）の違いによる離桟可能性、離桟時間、必要操船水域等について検証し整理した。なお、係留桟橋は仮想桟橋を想定した。

(2) モデル港における津波来襲中の緊急離桟検討

過年度、津波シミュレーションを実施したモデル港（清水港）を対象に、津波が来襲する中で緊急離桟する場合の離桟可能性、操船方法等について検討した。

対象船舶は大型コンテナ船とし、係留岸壁は清水港の新興津埠頭コンテナバースを想定した。また、港外への出港局面の検討については、3,000 総トン及び 500 総トン貨物船も合わせて実施することとした。

上記 2 点の検討は、図 3.1.1に示すように実船の船橋を模した操船シミュレータシステムを用いて検討した。

【操船シミュレータシステムの概要】

操船シミュレータは実船の船橋を模した室内において、前面の広角度円筒形スクリーンに投影した 3D 地形モデルの映像を見ながら、あたかも実船の船橋内で操船しているかのような状況下で模擬操船を行うことができるシステムであり、船橋内には、主機テレグラフ、操舵スタンド、サイド・スラスター等の操船デバイスの他、レピータ・ジャイロコンパス、主機回転計、速力計、舵角指示器、回頭角速度計等の計器類、さらには、ARPA/RADAR、ECDIS 等の各種航海計器類が配置されている。

投影される 3D 地形モデルは操船者の視点からの正しい角度、大きさで描かれるので、臨場感のある操船現場が再現できる。

船体の運動は数学的理論に基づいたものであり、主機、舵等の効果及び船体に作用する風潮流等の外力を精緻に計算しており、ほぼ実船と同じ運動状態が再現される。

操船者は船橋内で主機、舵、サイド・スラスターを操作し、あるいはトランシーバによりタグボート（オペレータ）に指示を行うことにより、これらの操船手段が船体に動きを与え、それに伴って刻々変化する周辺の景観映像をリアルタイムに前面スクリーン上に投影する。

図 3.1.1　操船シミュレータシステムの概要

表 3.1.1　操船シミュレータ装置の構成

模擬船橋部の構成	○　ARPA/RADAR シミュレータ ○　ECDIS（電子海図情報表示装置） ○　操舵スタンド ○　レピータ・ジャイロコンパス ○　2 軸用主機遠隔操縦ハンドル ○　CPP 制御ダイアル ○　サイド・スラスター制御ダイアル ○　双眼鏡型表示装置 ○　VHF、船内電話、汽笛 ○　主機回転計、速力計、舵角指示器 ○　回頭角速度計、風向/風速計 ○　チャートテーブル、時計 ○　マルチファンクションディスプレイ

模擬船橋部の構成	○　ARPA/RADAR シミュレータ ○　ECDIS（電子海図情報表示装置） ○　操舵スタンド ○　レピータ・ジャイロコンパス ○　2 軸用主機遠隔操縦ハンドル ○　CPP 制御ダイアル ○　サイド・スラスター制御ダイアル ○　双眼鏡型表示装置 ○　VHF、船内電話、汽笛 ○　主機回転計、速力計、舵角指示器 ○　回頭角速度計、風向/風速計 ○　チャートテーブル、時計 ○　マルチファンクションディスプレイ
運用操作部の構成	○　システム制御コンソール ○　船橋内監視装置 ○　VHF、船内電話 ○　景観映像モニター ○　レーダ、ECDIS モニター ○　出力用プリンター
映像投影部の構成	○　高性能 DLP ビデオプロジェクタ（解像度　SXGA+） ○　一体型円筒形スクリーンソフト（H:3,000mm　W:19,200mm） ○　水平視野角：230 度（視点切替スイッチ 360 度カバー） ○　垂直視野角：31 度 ○　視点中心からの距離：5,500mm
システムの特徴	○　高精度船体運動計算 ○　任意の外力設定（変動風、潮流、波、水深） ○　最大 6 隻のタグボートによる離着桟支援 ○　外部から操船可能な多種多様の他船を 100 隻以上発生可能 ○　航行中の自他船の動揺や航跡波をリアルに表現 ○　任意周期、高さの波浪やうねりをダイナミックに表現 ○　高度な再現機能による多面的な評価検証

3.2 検討条件

3.2.1 大型危険物積載船の緊急離桟検討

3.2.1.1 対象船舶

本検討における大型危険物積載船は、VLCC 及び LNG 船（17 万 m^3 級モス型）を対象とする。なお、想定喫水は、津波の影響をより強く受ける流圧面積の大きい満載状態（重たい状態）とする。

(1) VLCC

VLCC の主要目を表 3.2.1に示し、側面図及び平面図を図 3.2.1、図 3.2.2に示す。

表 3.2.1　VLCC の主要目

主要目	諸元
全長	337.0 m
垂線間長	320.0 m
型幅	60.0 m
型深	28.6m
喫水（満載）	19.2 m
載荷重量	280,000 DWT
総トン数	150,000 GT
満載排水量	298,299 t
主機関	27,160KW
舵・推進器	1 軸・固定ピッチプロペラ
バウスラスター	－

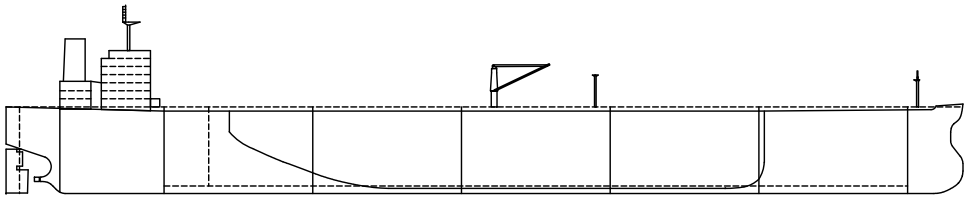


図 3.2.1　VLCC（側面図）

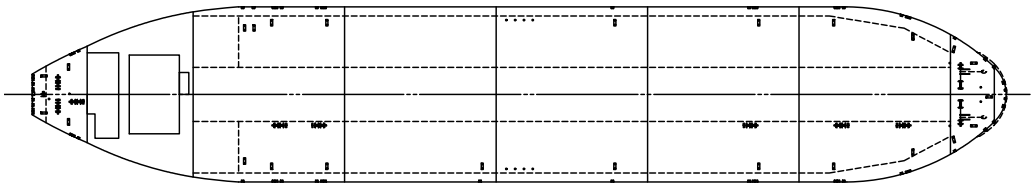


図 3.2.2　VLCC（平面図）

(2) LNG 船

LNG 船の主要目を表 3.2.2に示し、側面図及び平面図を図 3.2.3、図 3.2.4に示す。

表 3.2.2　LNG 船の主要目

主要目	諸元
全長	300.0 m
垂線間長	286.5 m
型幅	52.0 m
型深	28.0 m
喫水（満載）	11.5 m
載荷重量	85,000 DWT
総トン数	143,000 GT
満載排水量	123,400 t
主機関	29,800KW
舵・推進器	1 軸・固定ピッチプロペラ

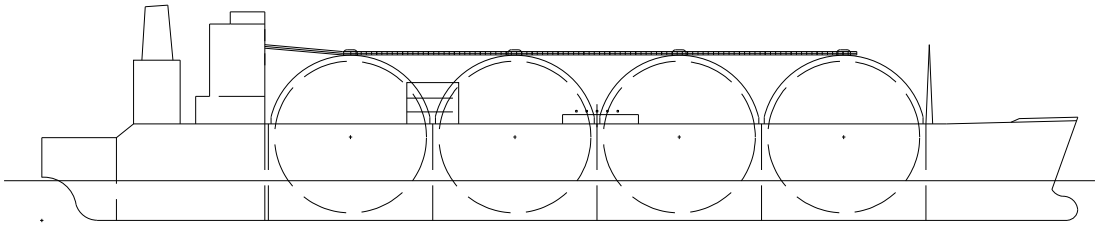


図 3.2.3　LNG 船（側面図）

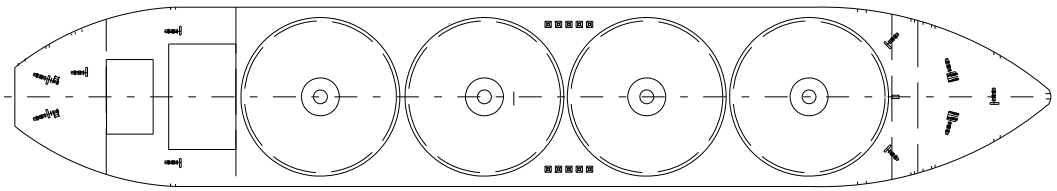


図 3.2.4　LNG 船（平面図）

3.2.1.2 係留桟橋

本検討では仮想桟橋を想定し、桟橋の寸法、係留設備については、現存する桟橋諸元を参考に設定した。

(1) VLCC を対象とした仮想桟橋

VLCC はその係留方式によって一点係留ブイ、岸壁構造、桟橋構造、海上での桟橋構造（シーバース方式）などがあるが、ここでは、シーバース方式を想定した。

なお、シーバースの立地場所は、周辺の港湾施設等により全く遮蔽されていないオープン水域のバースであるため、津波・波浪に対して、係留船舶は岸壁からの反射波等の影響は受けにくいが、湾内に流入・流出する流れの影響は受けやすい環境であるといえる。

図 3.2.5に VLCC を対象とした仮想桟橋の平面図を示し、図 3.2.6に当仮想桟橋の外観図を示す。

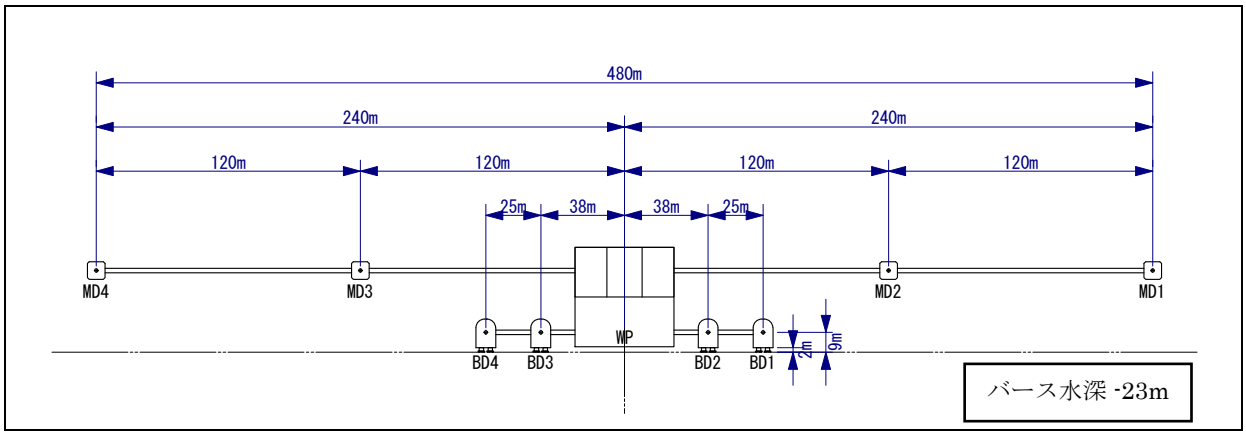


図 3.2.5　仮想桟橋の平面図（VLCC 用）

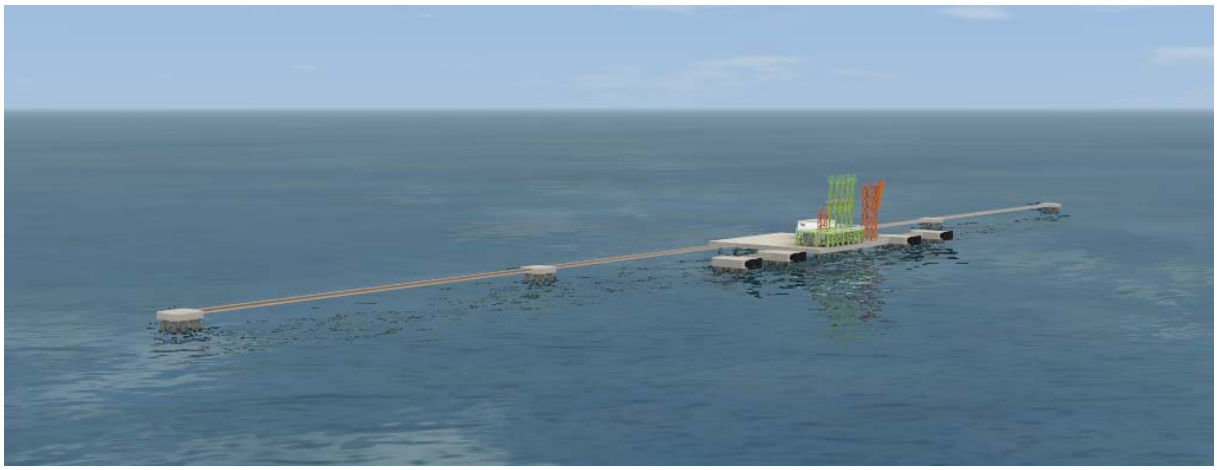


図 3.2.6　仮想桟橋の外観図（VLCC 用）

(2) LNG 船を対象とした仮想桟橋

LNG 船の係留桟橋は、国内においては桟橋構造が一般的である。

図 3.2.7に LNG 船を対象とした仮想桟橋の平面図を示し、図 3.2.8に当仮想桟橋の外観図を示す。

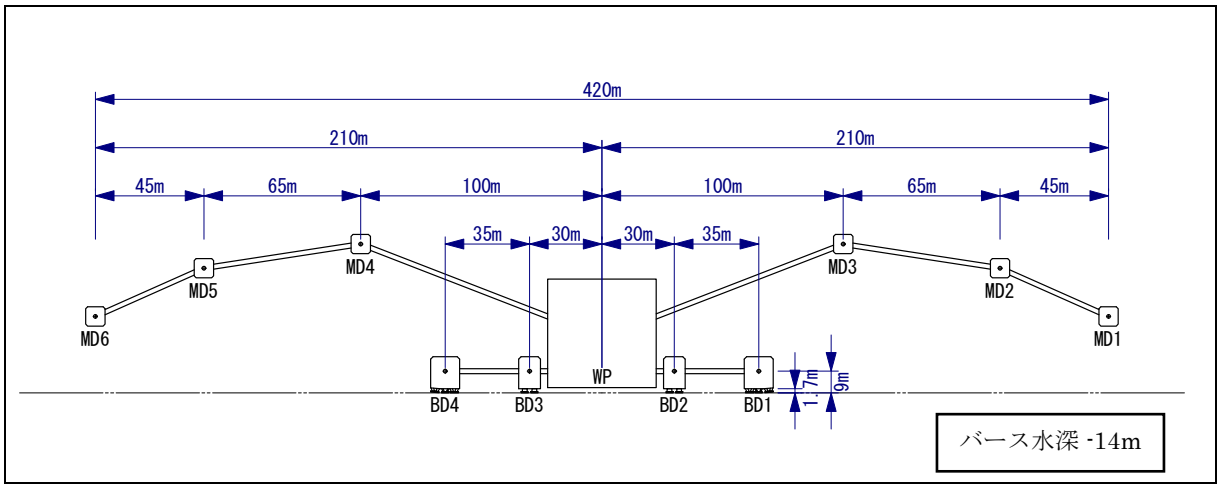


図 3.2.7　仮想桟橋の平面図（LNG 船用）

図 3.2.8　仮想桟橋の外観図（LNG 船用）

3.2.1.3 外力条件

本検討では、外力条件として、風速 5m/sec の向岸風、波高 0.5m・周期 4 秒の波浪（波向は風向と同一）を設定した。なお、津波来襲前の緊急離桟を想定するため、津波条件については設定しない。

3.2.1.4 操船支援条件

(1) バウスラスターの装備

LNG 船は、バウスラスターを装備した条件で実施するが、すべての船舶において装備されている訳ではないので、スラスター使用の有無の違いを比較検証することとした。

なお、VLCC は、一般的にスラスターは装備されていない。

(2) タグボートの配備

緊急離桟に伴いタグボートの支援がない場合（0 隻）及び消防警戒に常駐するタグボート 1 隻（3,600 馬力級）による支援を想定した。

3.2.1.5 操船方法（基本）

仮想桟橋からの緊急離桟ついては、国内の一般的な係留方法である入船着け（港口が船尾側になる）を基本として、左舷着け及び右舷着けを設定した。

また、出船着け（港口が船首側になる）の係留状況を想定し、出船左舷着けを実施する。（※なお、「出船左舷着け」からの緊急離桟は、「出船右舷着け」と比べて、一軸船では操縦性能の特性により後進時に船首が右回頭し、船体が再度桟橋に近づきやすいため、操船の難易度が高い。）

タグボートの支援が得られない場合と得られた（1 隻）場合について行う。また、緊急離桟操船は、離桟開始してから設定した港域線（仮想）を航過するまで実施した。

緊急離桟操船方法（基本）のうち、図 3.2.9に入船左舷着け／タグ支援無し、図 3.2.10に入船左舷着け／タグ支援有りを示し、図 3.2.11に入船右舷着け／タグ支援無し、図 3.2.12に入船右舷着け／タグ支援有りを示す。また、図 3.2.13に出船左舷着け／タグ支援無し、図 3.2.14に出船左舷着け／タグ支援有りを示す。

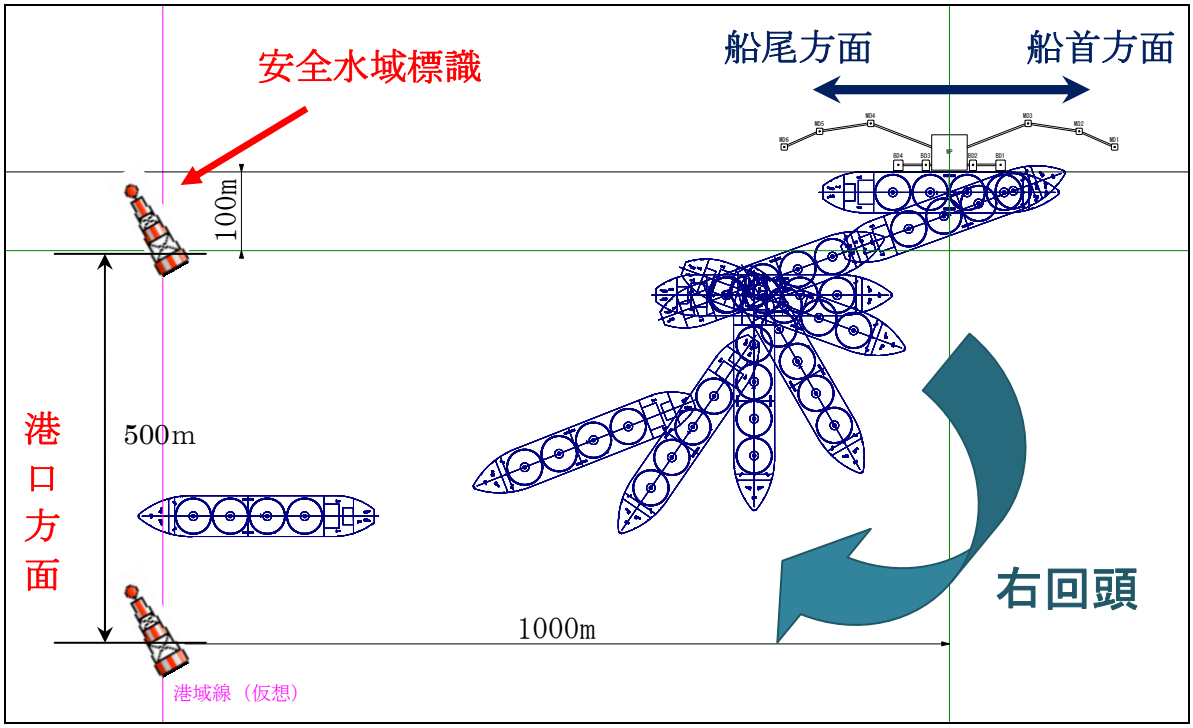


図 3.2.9　仮想桟橋からの緊急離桟（入船左舷着け・タグボート無し）

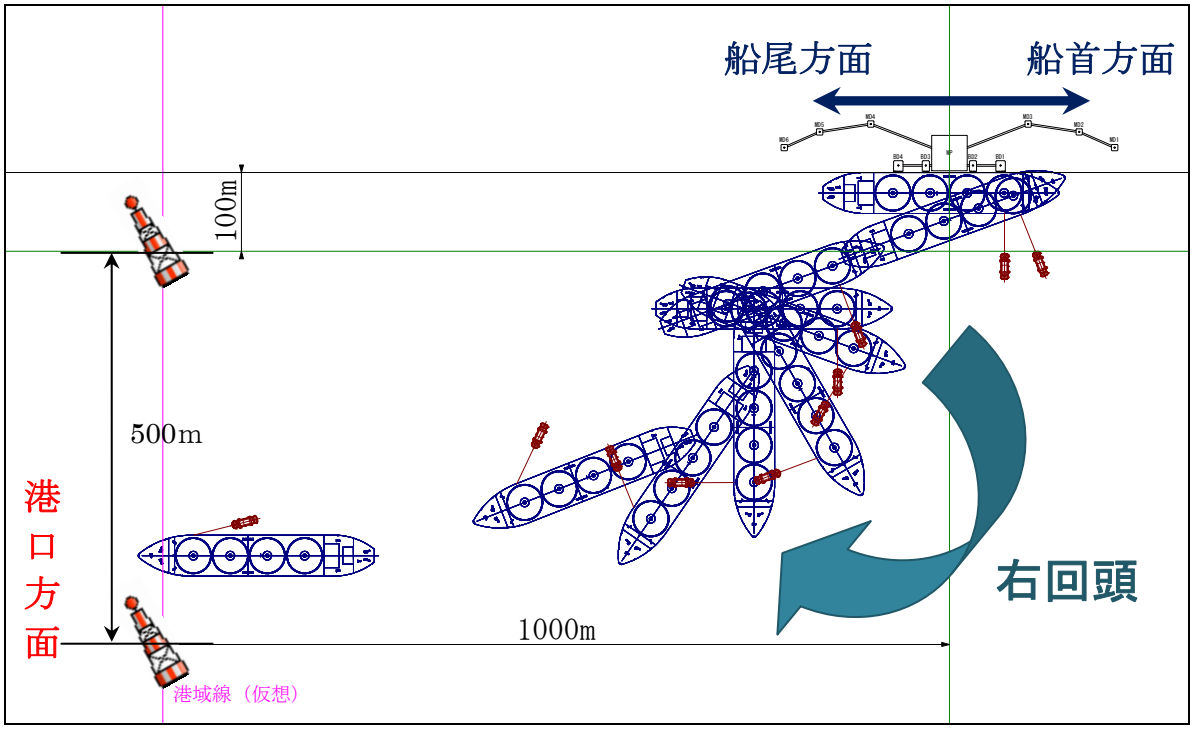


図 3.2.10　仮想桟橋からの緊急離桟（入船左舷着け・タグボート有り）

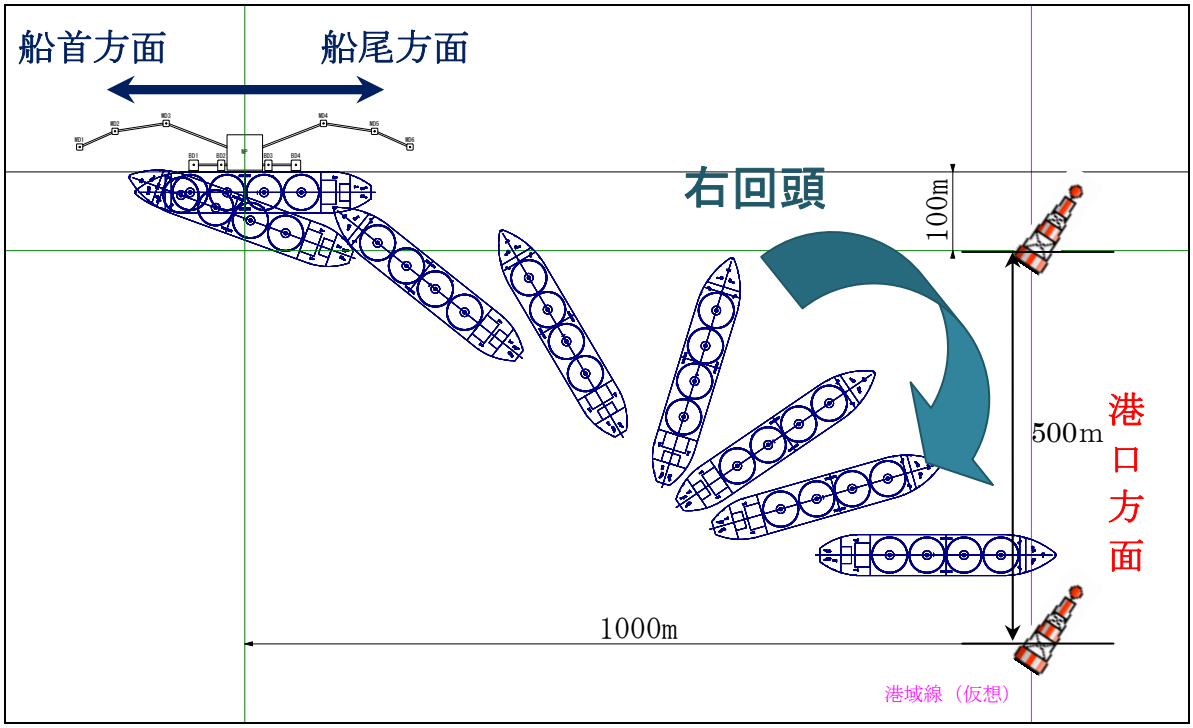


図 3.2.11　仮想桟橋からの緊急離桟（入船右舷着け・タグボート無し）

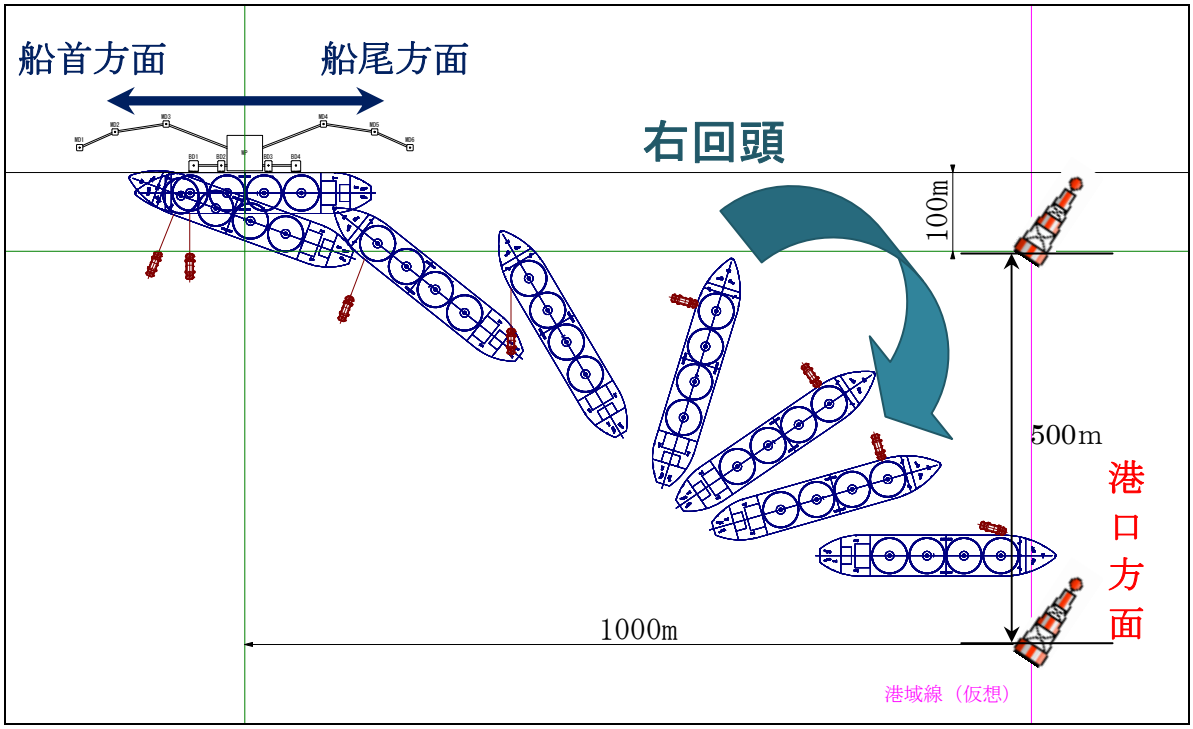


図 3.2.12　仮想桟橋からの緊急離桟（入船右舷着け・タグボート有り）

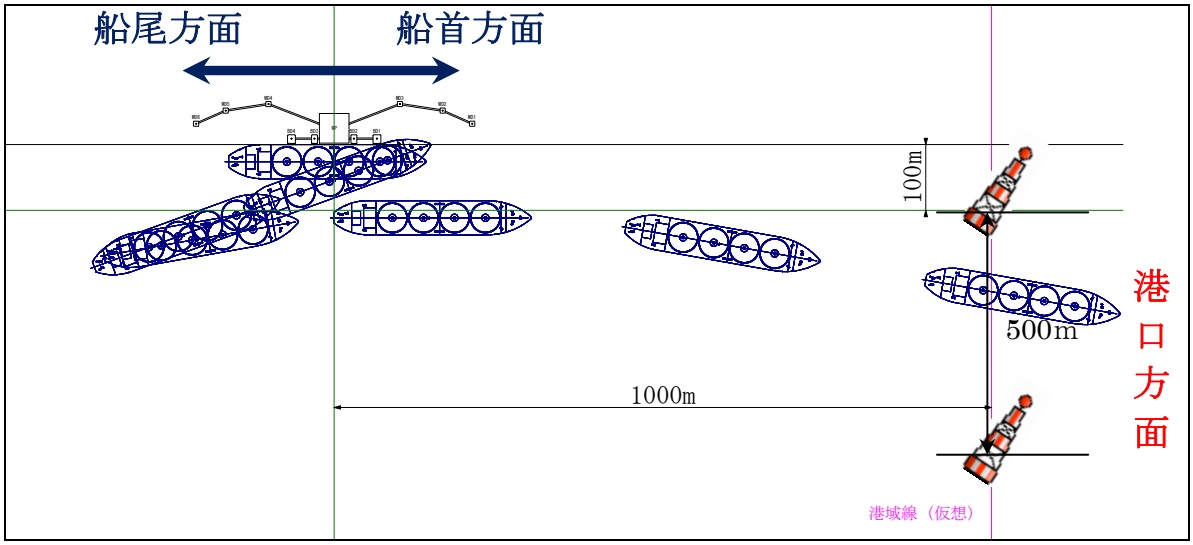


図 3.2.13　仮想桟橋からの緊急離桟（出船左舷着け・タグボート無し）

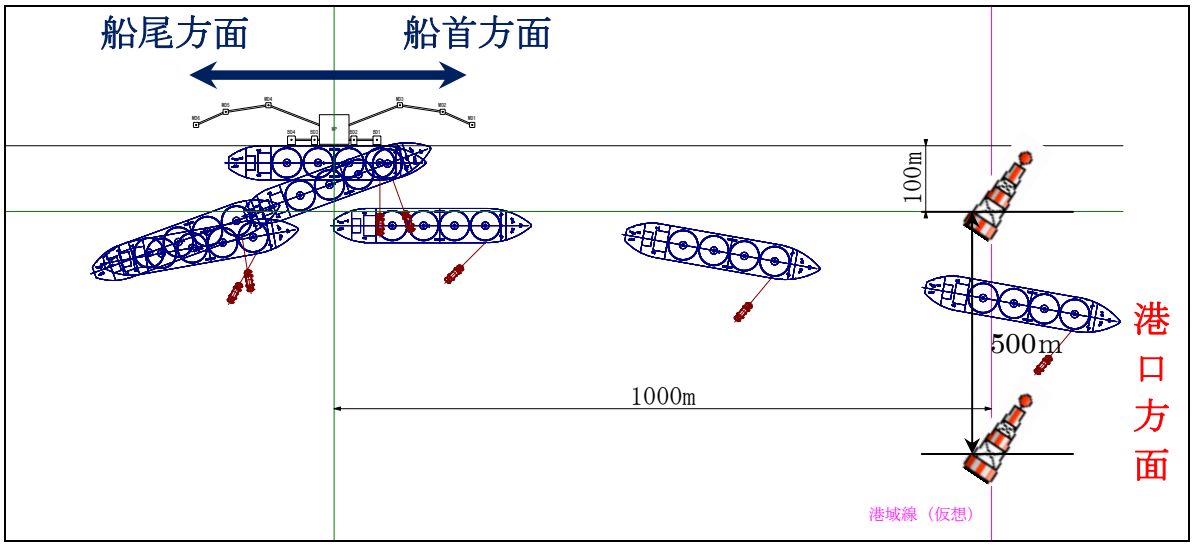


図 3.2.14　仮想桟橋からの緊急離桟（出船左舷着け・タグボート有り）

3.2.2 モデル港における津波来襲中の緊急離桟検討

3.2.2.1 対象船舶

(1) 外航大型コンテナ船

係留岸壁からの緊急離岸については、清水港（モデル港）に入港する最大級の外航大型コンテナ船を対象とした。対象船舶の主要目を表 3.2.3に示し、側面図及び平面図を図 3.2.15、図 3.2.16にそれぞれ示す。

表 3.2.3　外航大型コンテナ船の主要目

主要目	諸元
全長	300.0 m
垂線間長	287.0 m
型幅	40.0 m
型深	24.0 m
喫水（満載）	13.2 m
載荷重量	82,000 DWT
総トン数	76,800 GT
満載排水量	112,000 t
主機関	29,800KW
舵・推進器	1 軸・固定ピッチプロペラ
バウスラスター	1,600KW×2 基

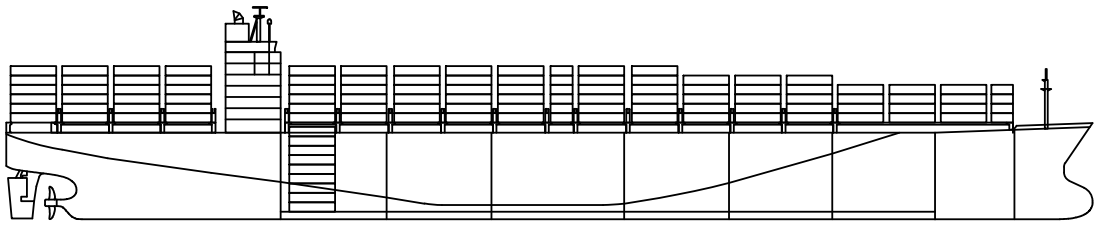


図 3.2.15　外航大型コンテナ船（側面図）

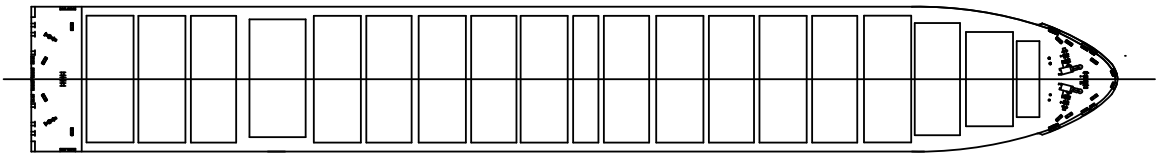


図 3.2.16　外航大型コンテナ船（平面図）

(2) 一般貨物船

緊急離岸及び港内航行を前提として、一般貨物船 3,000 総トン型、500 総トン型の港外退避の可能性等について、出港局面（港口航過）の検討を実施した。

① 貨物船 3,000 総トン

貨物船 3,000 総トンの主要目を表 3.2.4に示し、側面及び平面図を図 3.2.17、図 3.2.18にそれぞれ示す。

表 3.2.4　貨物船 3,000 総トンの主要目

主要目	諸元
全長	93.3 m
垂線間長	88.0 m
型幅	15.6 m
喫水（満載）	6.4 m
総トン数	3,000 GT
満載排水量	6,770 t

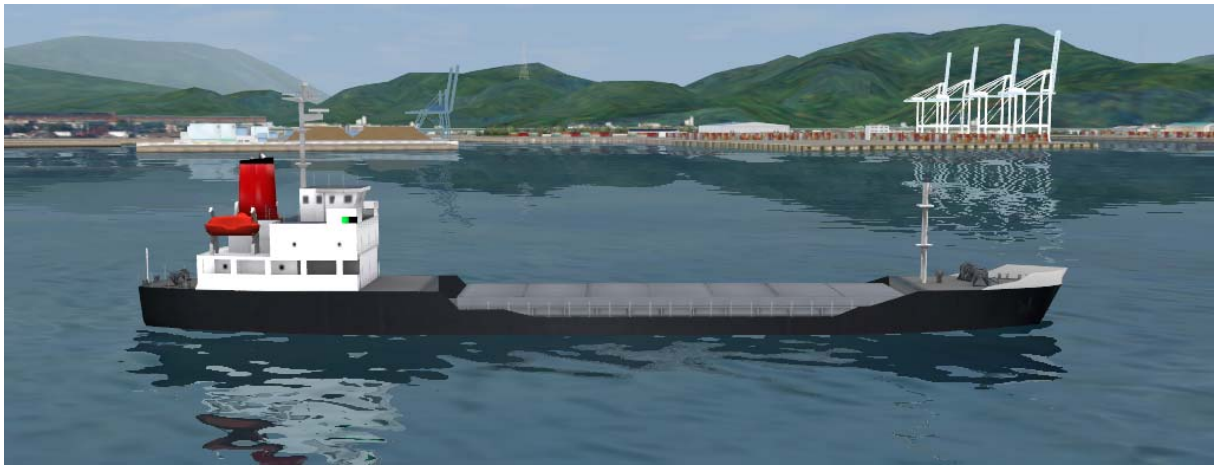


図 3.2.17　貨物船 3,000 総トン（側面図）

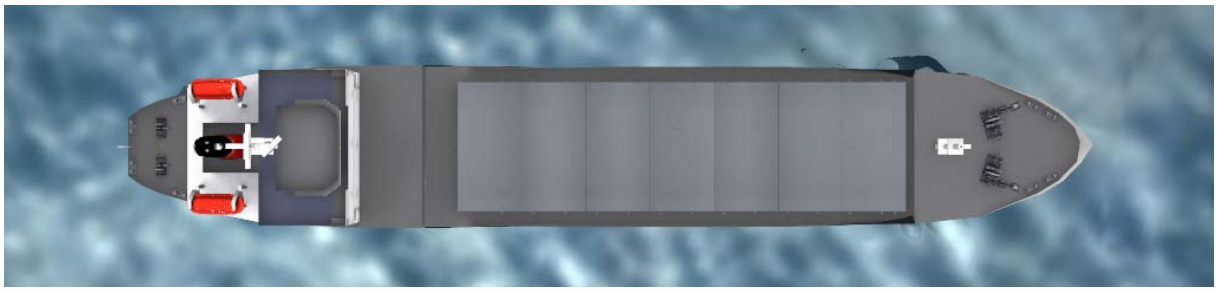


図 3.2.18　貨物船 3,000 総トン（平面図）

② 貨物船 500 総トン

貨物船 500 総トンの主要目を表 3.2.5に示し、側面図及び平面図を図 3.2.19、図 3.2.20にそれぞれ示す。

表 3.2.5　貨物船 500 総トンの主要目

主要目	諸元
全長	62.0 m
垂線間長	57.0 m
型幅	10.8 m
喫水（満載）	3.7 m
総トン数	499 GT
満載排水量	1,940 t

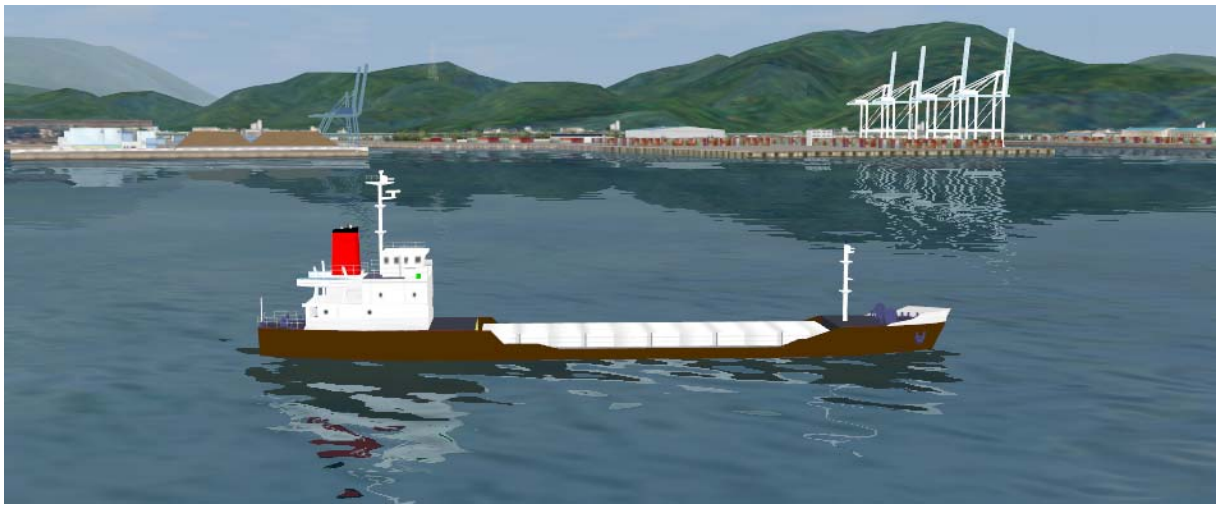


図 3.2.19　貨物船 500 総トン（側面図）

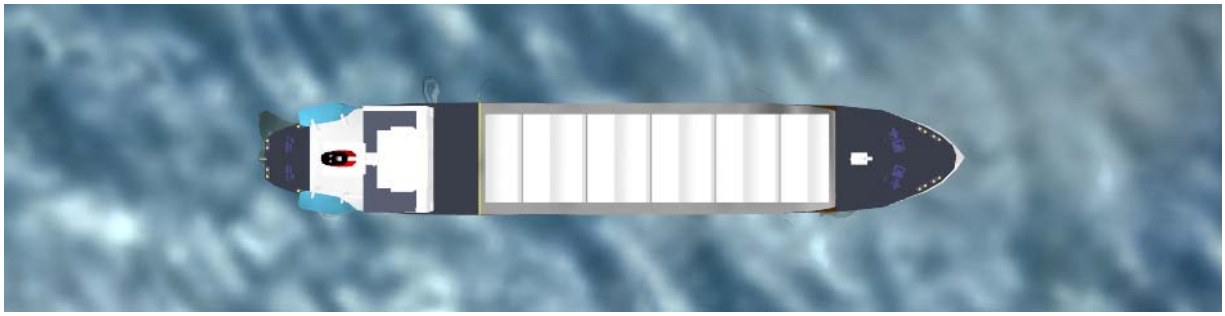
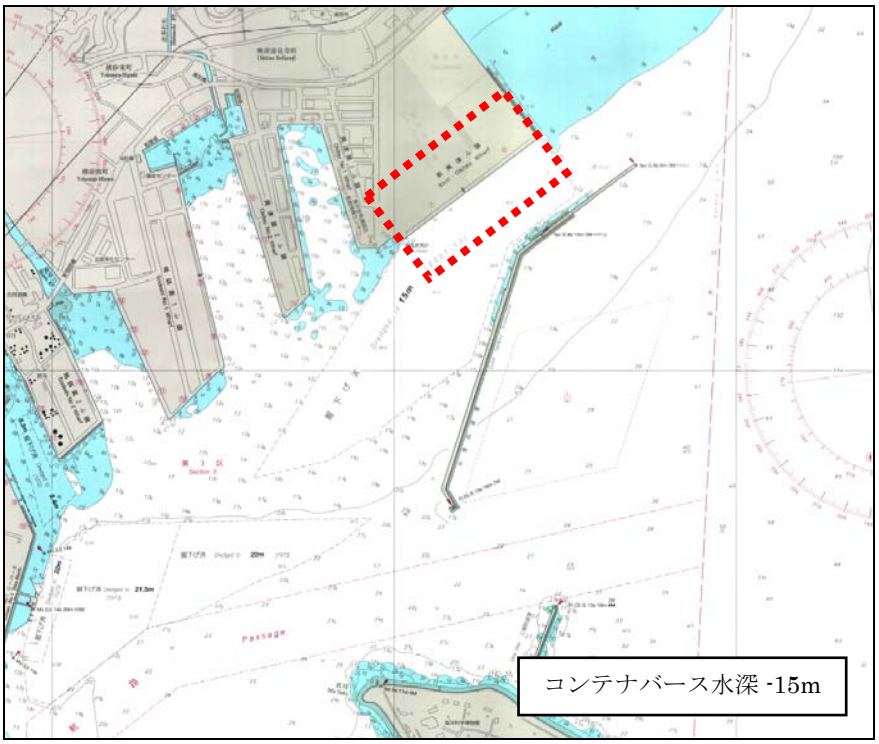


図 3.2.20　貨物船 500 総トン（平面図）

3.2.2.2 係留岸壁

外航大型コンテナ船の対象バースは、モデル港（清水港）におけるコンテナバースのうち、今回検討対象となる全長 300m 級のコンテナ船が入港する新興津埠頭コンテナバースを選定した。外航大型コンテナ船用のコンテナバースの位置図を図 3.2.21に、外観図を図 3.2.22示す。



（出典：海図 W89 複写）

図 3.2.21　コンテナバースの拡大図（外航大型コンテナ船用）

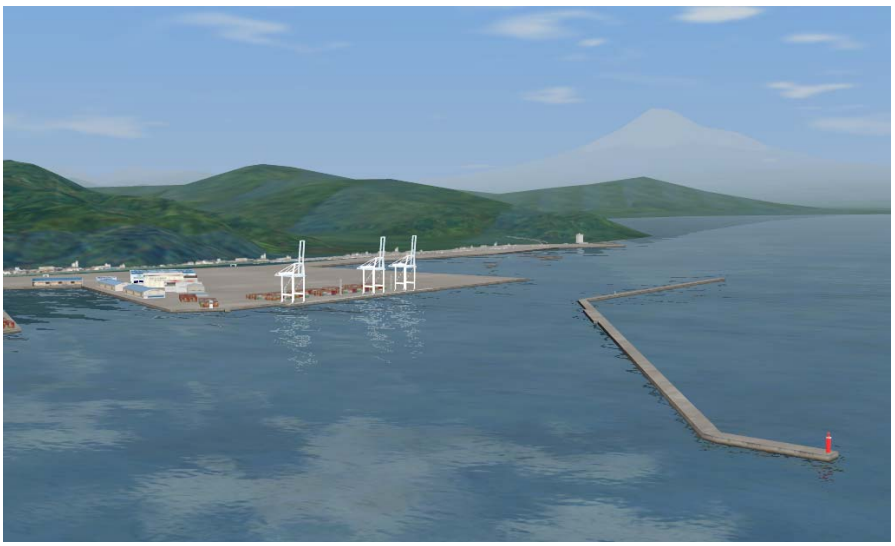


図 3.2.22　コンテナバースの外観図（外航大型コンテナ船用）

3.2.2.3 外力条件

(1) 自然条件（風、波浪等）

① 風況

風況は、清水港（国土交通省清水港湾事務所）の観測結果から、全風速に対する卓越風向 NE を選定し、風速は出現頻度の高い 5m/sec を設定した。

② 波浪

波浪は、清水港（国土交通省清水港湾事務所）の波浪観測結果から、卓越波向 SSE を設定し、波高は出現頻度の高い 1.0m、周期 6sec を設定した。

(2) 津波条件

津波は、本検討において実施されたモデル港（清水港）の津波シミュレーション結果を使用し時系列的に流向、流速のみを変化させた。（津波高は変化しない。）

対象となる新興津埠頭コンテナバース前面の津波シミュレーション結果（水位変動、流向変動）を図 3.2.23に、凡例を図 3.2.24に示す。これによると、新興津埠頭コンテナバースに対し、第一波の南西流（離岸流）は 5 分以降、第三波の南西流は 40 分以降及び 70 分以降、第四波の南西流は 130 分以降に発生している。

地震発生後、外航大型コンテナ船では、緊急荷役停止並びに緊急離桟のスタンバイを行い、離桟開始するまでに 30 分程度の時間を要する。

したがって、本検討では、現実的に離桟可能となる第三波の南西流（40 分以降）、第三波の南西流（70 分以降）、第四波の南西流（130 分以降）を操船開始時間として設定した。

なお、操船局面ごとに分けて実施したシミュレーションについては、回頭局面及び出港局面における津波外力の設定は、「引き波」「押し波」及び「大渦※」とするため、各津波外力の設定における流向、流速は時系列的に変化させずに一定として津波流況を設定した。

※大渦の津波外力の設定は、出港局面（港口通過）のみで行った。

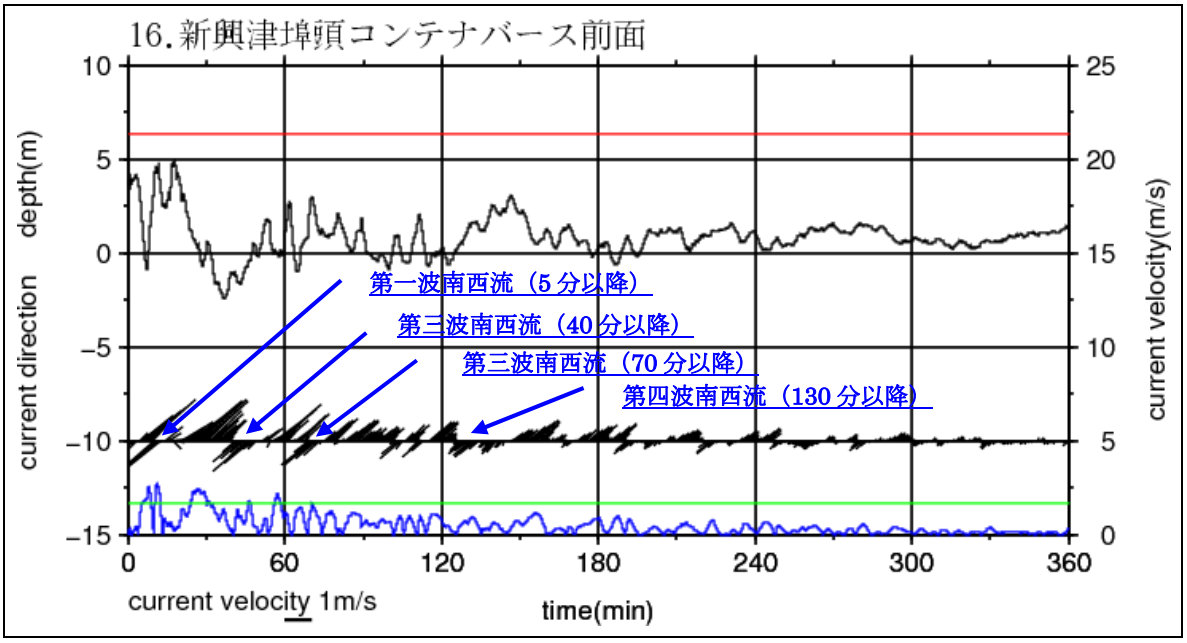


図 3.2.23　コンテナバース前面の津波シミュレーション結果

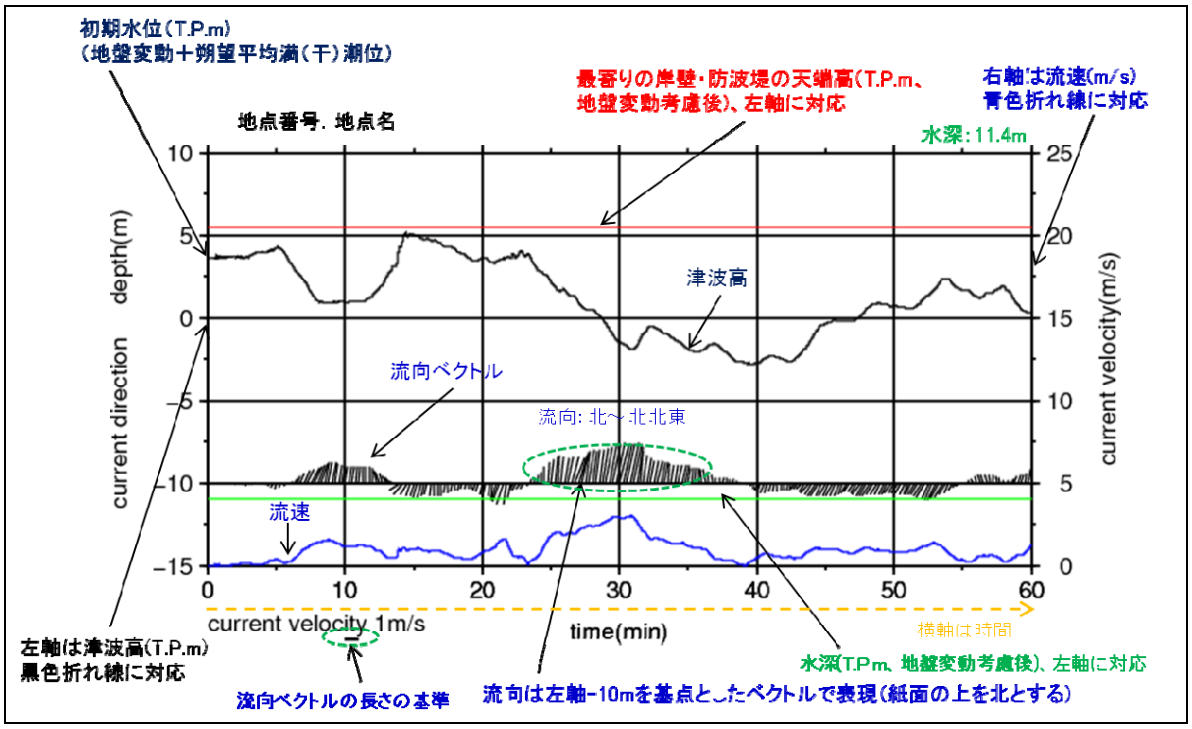


図 3.2.24　津波シミュレーション結果の凡例

3.2.2.4 操船支援条件

(1) バウスラスターの装備

外航大型コンテナ船には、一般的にバウスラスターが装備されていることから、ここではスラスター（3,200KW）の装備を想定した。

(2) タグボートの配備

モデル港である清水港のコンテナバースにおける運用基準は、風速 10m/sec 未満では 3,600 馬力級タグボート 1 隻（本船のバウスラスターを使用）、風速 10m/sec 以上では 3,600 馬力級タグボート 2 隻を配備することが条件となっている。

ただし、緊急離桟時においては、このようなタグボートの支援が十分に得られないことが想定される。本検討では原則として自船のみによる離桟操船を行うことを前提とし、結果に応じて一部タグボート 1 隻を配備した場合の緊急離桟操船についても実施した。

3.2.2.5 操船方法（基本）

外航大型コンテナ船の緊急離桟操船方法のうち、図 3.2.25にタグボート支援が得られない場合の操船イメージを示し、図 3.2.26にタグボート支援 1 隻を有する場合について示す。

コンテナバースからの緊急離桟については、モデル港（清水港）の現況に合わせて入船コンテナバースからの緊急離桟については、モデル港（清水港）の現況に合わせて入船左舷着け（港口が船尾側にある）の係留状況を想定した。タグ支援は緊急離桟を想定し、支援が得られない状況を前提とし、一部のケースにおいてはタグ 1 隻の支援を有する場合について実施した。また、緊急離桟操船は、離桟開始してからモデル港（清水港）の港域線を航過するまで実施した。

なお、回頭局面の検討では、港口付近を開始位置としてサイドスラスター、主機関及び舵により津波外力に対抗する応急操船を基本とした。

また、出港局面の検討では、図 3.2.27に示すとおり、コンテナ船、3,000 総トン及び 500 総トン貨物船の最大速力を確保できるような港内の航路帯を開始位置として、主機関及び舵により津波外力に対抗する応急操船を基本とした。

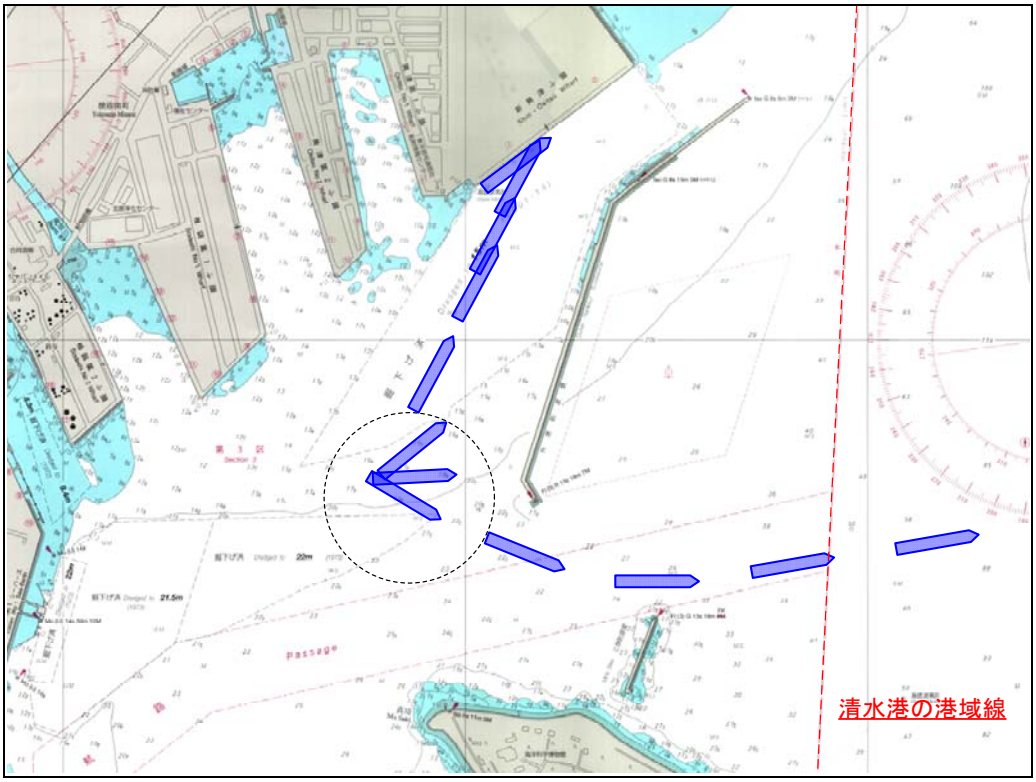


図 3.2.25　コンテナバースからの緊急離桟（タグボート無し）

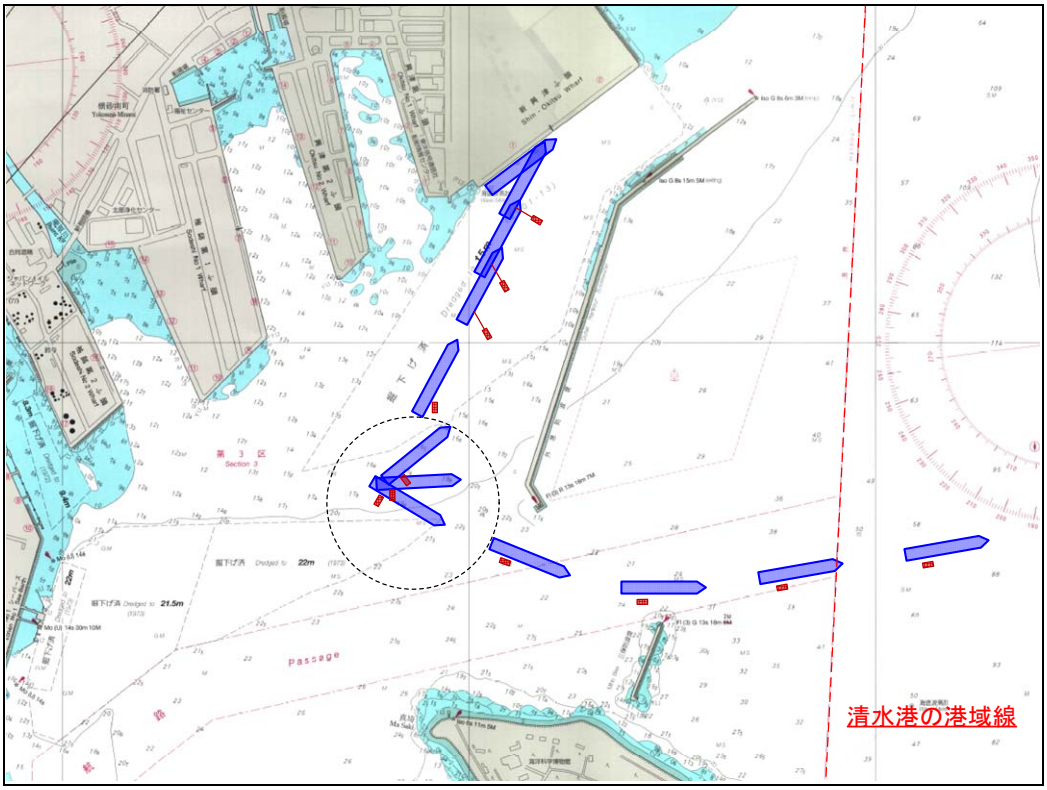


図 3.2.26　コンテナバースからの緊急離桟（タグボート有り）

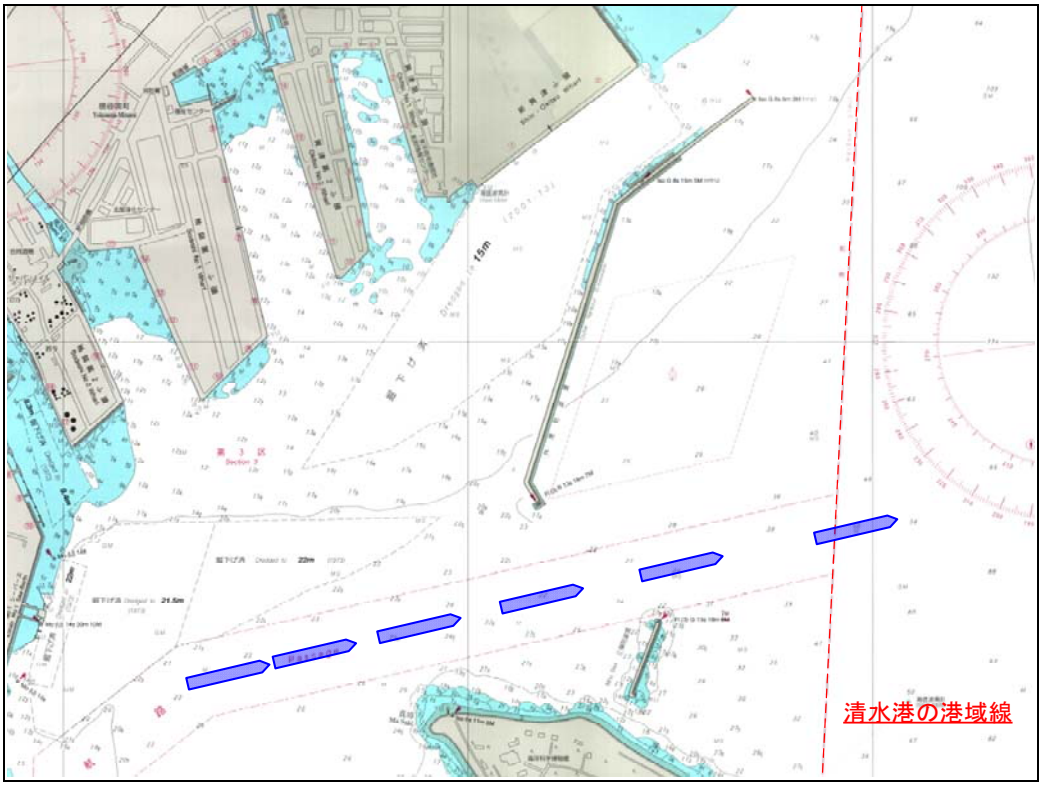


図 3.2.27　港奥航路中央からの出港

3.3 大型危険物積載船の実験結果

3.3.1 整理方針と実験結果

大型危険物積載船（LNG 船及び VLCC）の緊急離桟シミュレーションについては、緊急離桟開始から港域線通過までに要した時間を基本的な評価基準として取り纏め、各実験条件（入船・出船、右舷・左舷、タグボートの有無、スラスターの有無、損傷不可※・許容による操船方法等）を比較整理した。

また、実験参加者へのアンケート調査により、各シナリオの操船局面ごとに 5 段階の主観的評価（容易、やや容易、普通、やや困難、困難）を実施した。アンケートに対する総合評価については、参加者の評価及びコメント内容により、○は普通～容易側の評価、△は普通～困難側の評価、×は困難の評価（コメント）が多かったケースとして整理した。

なお、LNG 船用の仮想桟橋に設置した防舷材（想定：セル型 1700H）の設計限界反力は 137 トン、VLCC 用の防舷材（想定：セル型 2000H）の設計限界反力は 189 トンであり、これを超える反力が発生した場合は、防舷材は損傷したものと判断される。また、一般的なセル型防舷材において、鉛直方向の力に対してはこの設計限界反力までが許容限界の目安と考えられるが、横に擦る状況や船体との接触面に角度がついた状況では損傷しやすくなることに注意が必要である。今回の実験参加者へのアンケート結果については、防舷材の許容限界が周知されていない段階のものである。

実験結果一覧（LNG 船及び VLCC）を表 3.3.1に示す。

※ 損傷不可は、防舷材を極力損傷させないことを操船意図として実施したものである。

表 3.3.1　実験結果一覧（LNG 船及び VLCC）

【LNG船及びVLCCの追加検討】

実験ケース	対象船舶	係留方法	通常外力	タグ支援	スラスター	係留索	備考	防舷材反力（トン）	所要時間（分）	アンケート総合評価
LV-1	LNG	入船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（269）	○（42）	△
LV-2	LNG	入船左舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷不可・後進制限なし	○（43）	○（45）	△
LV-3	LNG	入船左舷	向岸風・風速5m/s	有	有	無	損傷不可・後進制限なし	○	○（25）	○
LV-4	LNG	入船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	有	損傷不可・船首スプリング使用	×（142）	○【12】	○
LV-5	LNG	入船右舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（145）	○（34）	△
LV-6	LNG	入船右舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷不可・後進制限なし	○（29）	○（36）	－
LV-7	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（217）	○（30）【18】	△
LV-8	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（225）	○（22）	○
LV-9	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限あり	×（455）	×	×
LV-10	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷許容・後進制限あり	○（36）	○（22）	×
LV-11	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	有	無	損傷不可・後進制限あり	×（179）	○（40）	△
LV-12	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷許容・前進離桟	△（101）	○（15）	×
LV-13	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	有	無	損傷許容・前進離桟	○（29）	○（14）	○
LV-14	LNG	出船左舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷許容・前進離桟	○（34）	○（15）	△
LV-15	LNG	出船右舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（156）	○（22）	－
LV-16	VLCC	入船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（932）	○（69）	－
LV-17	VLCC	入船左舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷不可・後進制限なし	○	○（41）	△
LV-18	VLCC	入船右舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（655）	○（53）	－
LV-19	VLCC	入船右舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷不可・後進制限なし	○	○（43）	－
LV-20	VLCC	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（741）	○（21）	△
LV-21	VLCC	出船左舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷不可・後進制限なし	○	○（16）	○
LV-22	VLCC	出船左舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷許容・前進離桟	△（20）	○（17）	×
LV-23	VLCC	出船左舷	向岸風・風速5m/s	有	無	無	損傷許容・前進離桟	○	○（19）	－
LV-24	VLCC	出船右舷	向岸風・風速5m/s	無	無	無	損傷不可・後進制限なし	×（781）	○（23）	－

※防舷材反力の値は、防舷材に発生した最大反力（垂直方向）を示している。防舷材の設計限界反力（LNG船：137トン、VLCC：189トン）を基準として、○は損傷無し、×は損傷有り

※所要時間の記載のうち、（ ）で示した値は、港域線通過までに要した時間（通過してない場合は推定時間）。【 】で示した値は、離岸局面だけに要した時間。○は出港可能、×は出港不可

アンケート有り

※実験参加者へのアンケートによる操船局面の評価及びコメント内容により、概ね、○は普通～容易側の評価、△は普通～困難側の評価、×は困難の評価（コメント）が多かったもの。なお、LV-10においてはフェンダー損傷の懸念、離桟「困難」の評価から×となった。

※LNG船用の仮想桟橋に設置した防舷材（想定：セル型1700H）の設計限界反力は137トン、VLCC用の防舷材（想定：セル型2000H）の設計限界反力は189トンであり、これを超える反力が発生した場合は、防舷材は損傷したものと判断される。
また、一般的なセル型防舷材において、鉛直方向の力に対してはこの設計限界反力までが許容限界の目安と考えられるが、横に擦る状況や船体との接触面に角度がついた状況では損傷しやすくなることに注意が必要である。

3.3.2 LNG 船

3.3.2.1 入船と出船の比較

(1) 入船左舷と出船右舷

① 操船結果と考察

- 入船左舷と出船右舷を比較すると、途中、出船は回頭局面が無い分、入船より早く出港することが出来た。
- 入船と出船の港域線までの時間差は、20 分程度となっている。

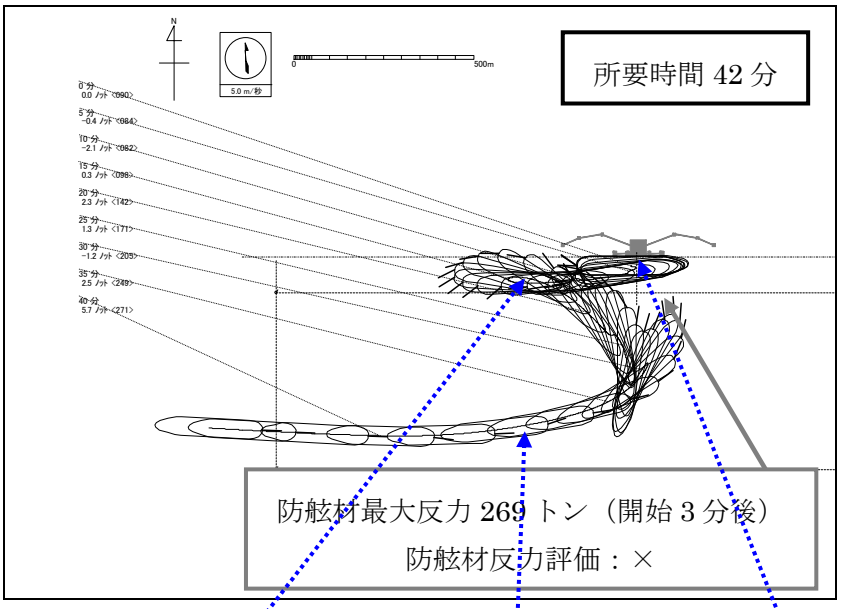


図 3.3.1 入船左舷（LNG 船）【ケース LV-1】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち右回頭させる

- 船尾が左舷桟橋に接近したため、エンジンを前進として船尾を引き離し、右回頭した

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

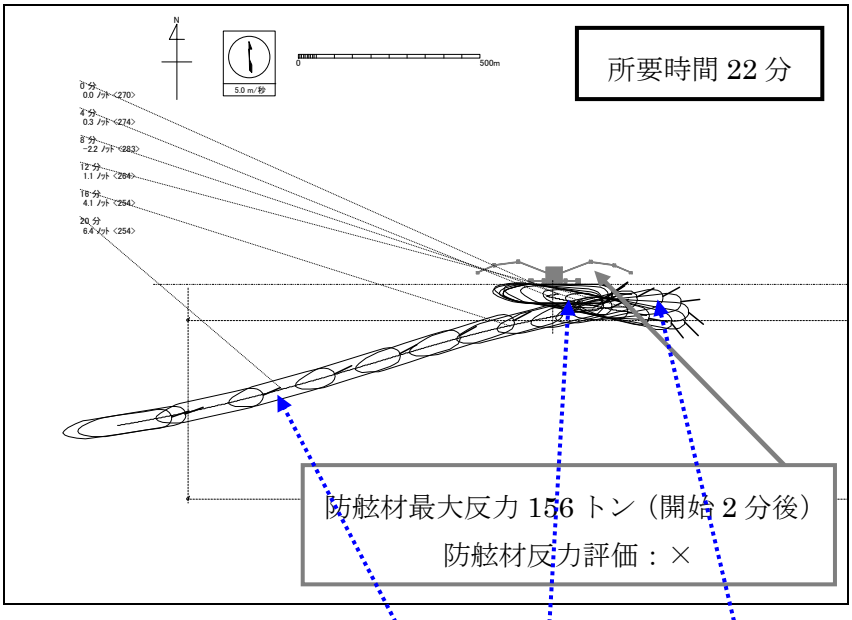


図 3.3.2　出船右舷（LNG 船）【ケース LV-15】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Half Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

② 操船評価

入船左舷（LNG 船）【ケース LV-1】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により出港出来たものの、出港に時間を要したことや、離岸時の防舷材の負荷、後進時の桟橋への再接近から『困難』との評価もあった。

（総合評価：△）

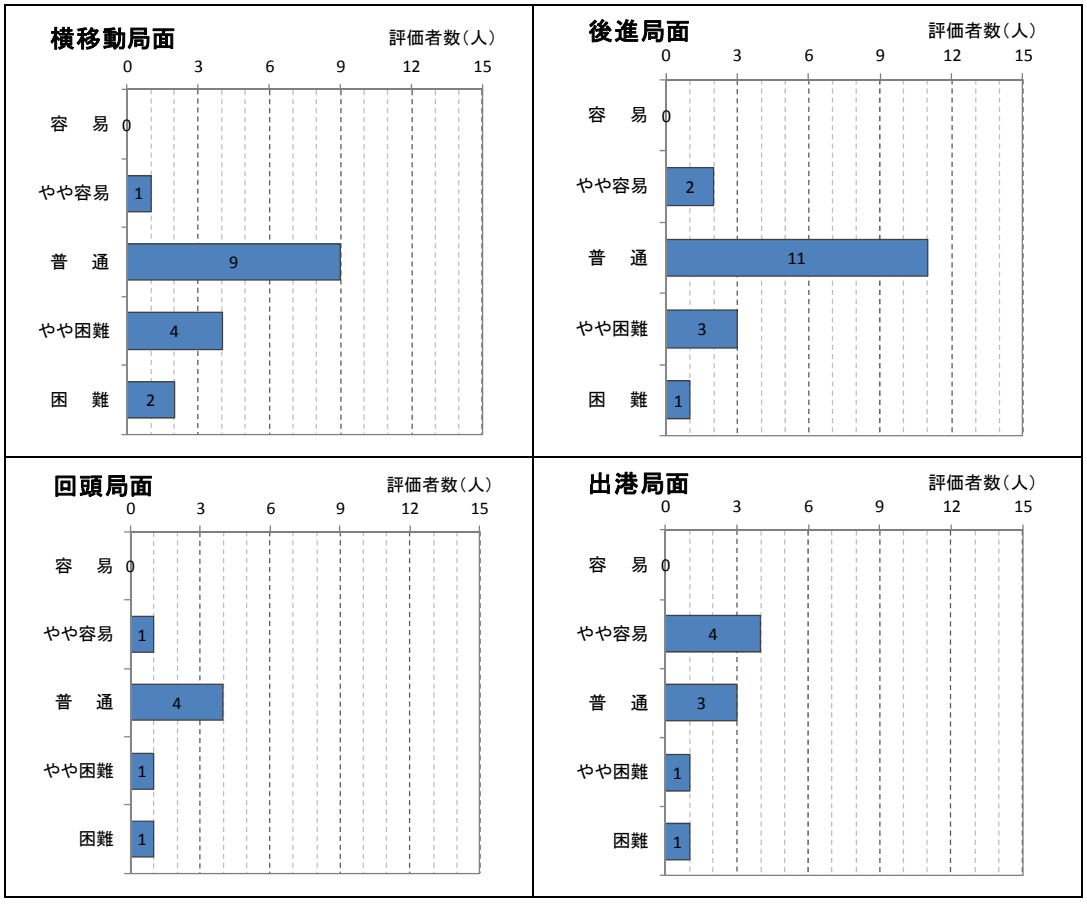


図 3.3.3　入船左舷（LNG 船）【ケース LV-1】の安全評価

表 3.3.2　入船左舷（LNG 船）【ケース LV-1】のコメント

【代表的なコメント】

- 船首を船首側の防舷材に押し付ける時の負荷が心配。
- 長時間かければ回頭できたと思うが、現実的ではないと考える。
- 離桟及び回頭時において船長の経験の影響が大きいように感じた。
- 離桟時にもう少し船尾を開く方が、回頭局面での船尾キックと風圧力の影響で桟橋に最接近するのを防げる。

(2) 入船右舷と出船左舷

① 操船結果と考察

- 入船右舷と出船左舷を比較すると、途中、出船は回頭局面が無い分、入船より早く出港することが出来た。
- 入船と出船の港域線までの時間差は、4 分程度となっている。

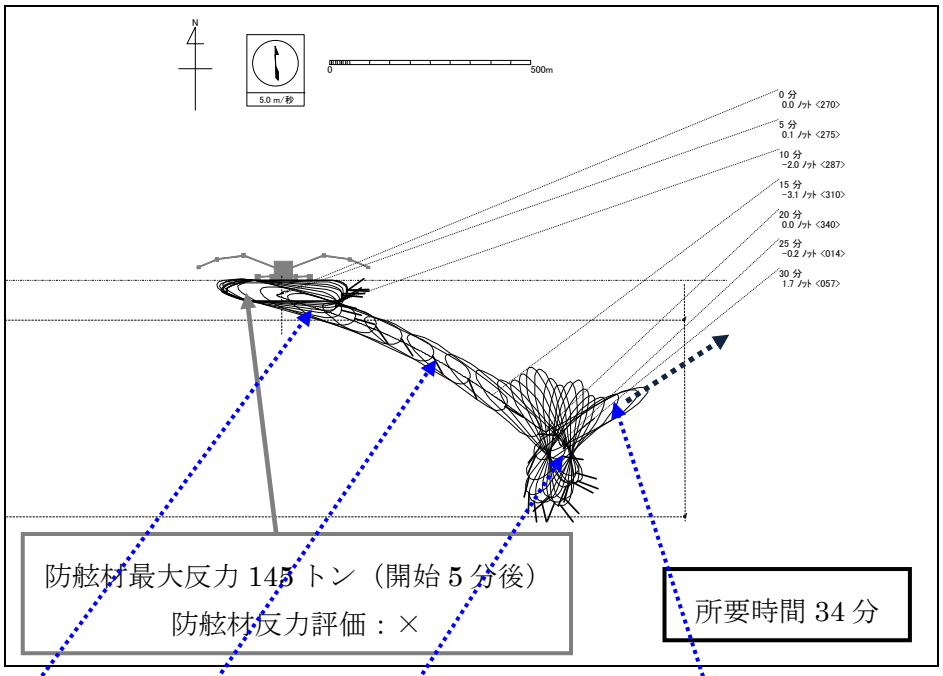


図 3.3.4　入船右舷（LNG 船）【ケース LV-5】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる
- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する
- 右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整しながら、最大「S/B Full Ahead」まで上げた）

④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

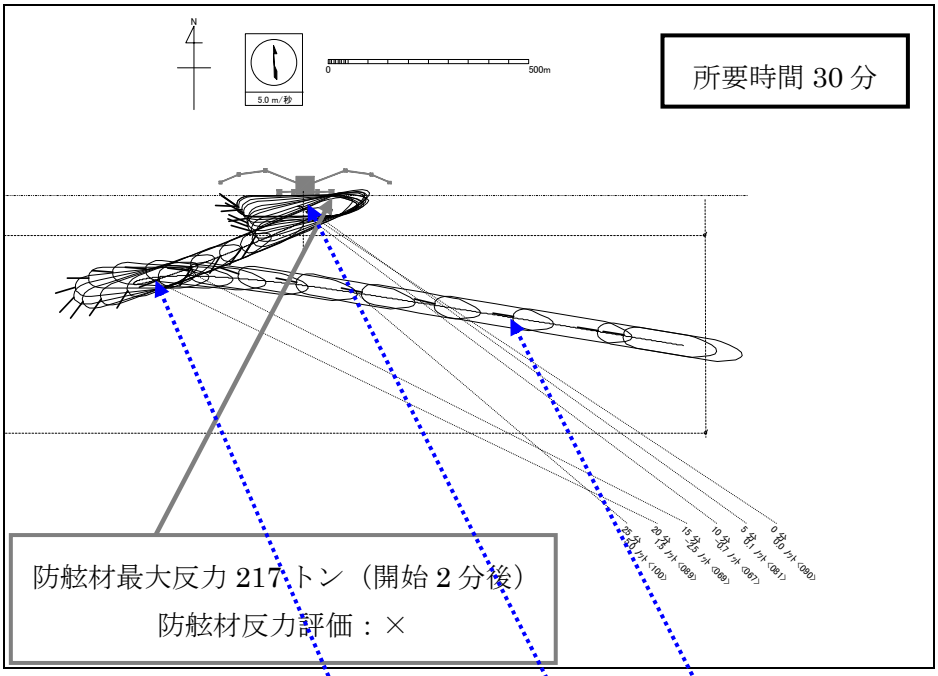


図 3.3.5　出船左舷（LNG 船）【ケース LV-7】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

② 操船評価

入船右舷（LNG 船）【ケース LV-5】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により出港出来たものの、離岸時の防舷材の負荷、後進時の桟橋への再接近から『やや困難』との評価もあった。

（総合評価：△）

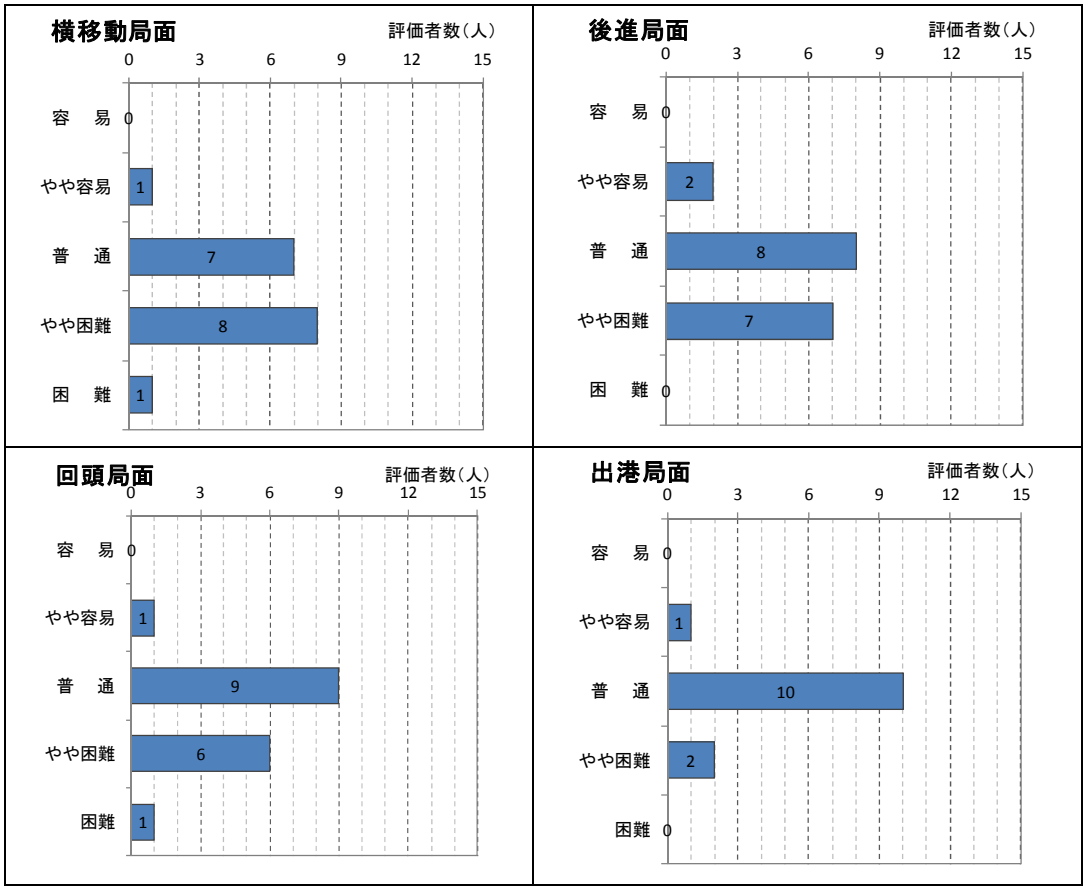


図 3.3.6　入船右舷（LNG 船）【ケース LV-5】の安全評価

表 3.3.3　入船右舷（LNG 船）【ケース LV-5】のコメント

【代表的なコメント】

- 離岸時に岸壁からの離岸距離を如何に取るかが重要で、フェンダーの反発力を使用される等工夫されていた。ただし、離岸距離は船首側 10mくらいから後進局面に移行せざるを得ず、緊急対応ということ以外であれば、避けるオペレーションと考える。
- 後進時にブレスティングドルフィン、チクサンアームに近づき、やや危険が感じられた（LNG 船という意味で）。
- 回頭時に左舷錨を使用すれば（ドレッジング）はもう少し短時間に回頭ができたと思う。

出船左舷（LNG 船）【ケース LV-7】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により出港出来たものの、離岸時には桟橋との距離を近く感じ、横移動速度の支援装置が必要であるとの意見もあり、『やや困難』との評価もあった。
- 後進終了時の回頭局面では桟橋から十分離れていることもあり、操船については『やや容易』の評価もあった。

（総合評価：△）

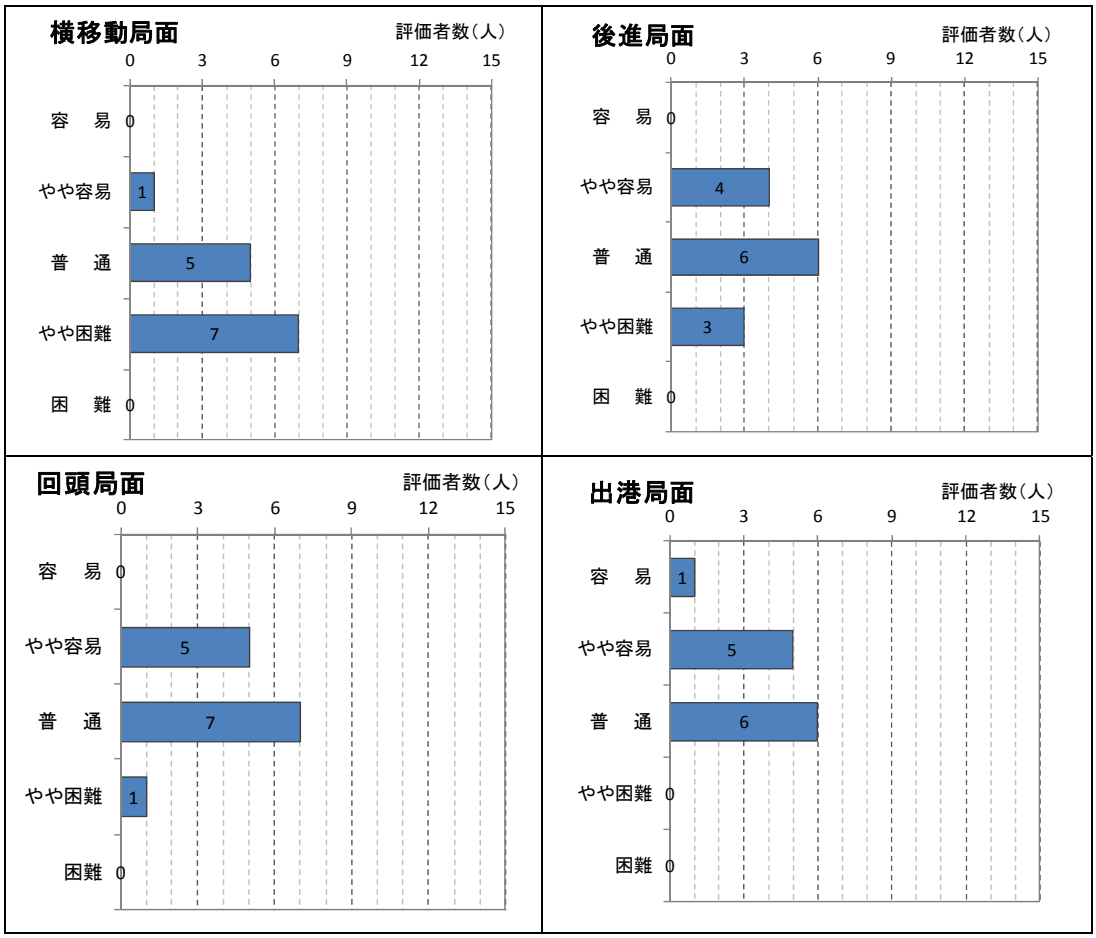


図 3.3.7　出船左舷（LNG 船）【ケース LV-7】の安全評価

表 3.3.4　出船左舷（LNG 船）【ケース LV-7】のコメント

【代表的なコメント】

- 離岸時、船尾横力が弱く、岸壁からの距離が近く感じた。50m 以上は必要である。
- 離岸時、船首尾のドプラー等、横移動速度を計測する援助装置が必要と考える。
- 後進時、約 500m 程度下がったが、その後に余裕を持って港口に向首（回頭局面）できた。

3.3.2.2 右舷と左舷の比較

(1) 入船左舷と入船右舷

- 入船左舷と入船右舷を比較すると、左舷着けの方が右舷着けより離桟出港に時間を要しており、港域線までの時間差では 8 分程度となっている。
- キック操船により桟橋から離し後進した際、左舷着けでは桟橋に再接近した。

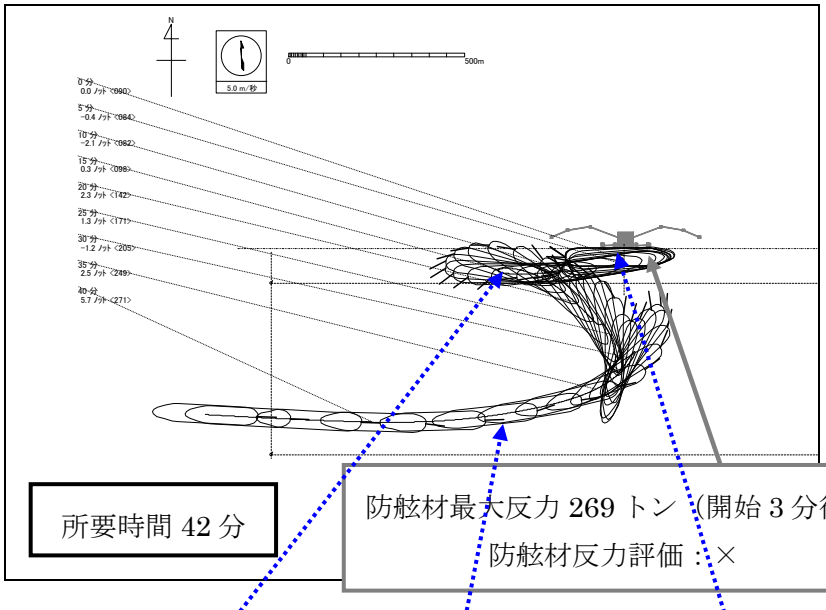


図 3.3.8 入船左舷（LNG 船）【ケース LV-1】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち右回頭させる
- 船尾が左舷桟橋に接近したため、エンジンを前進として船尾を引き離し、右回頭した

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

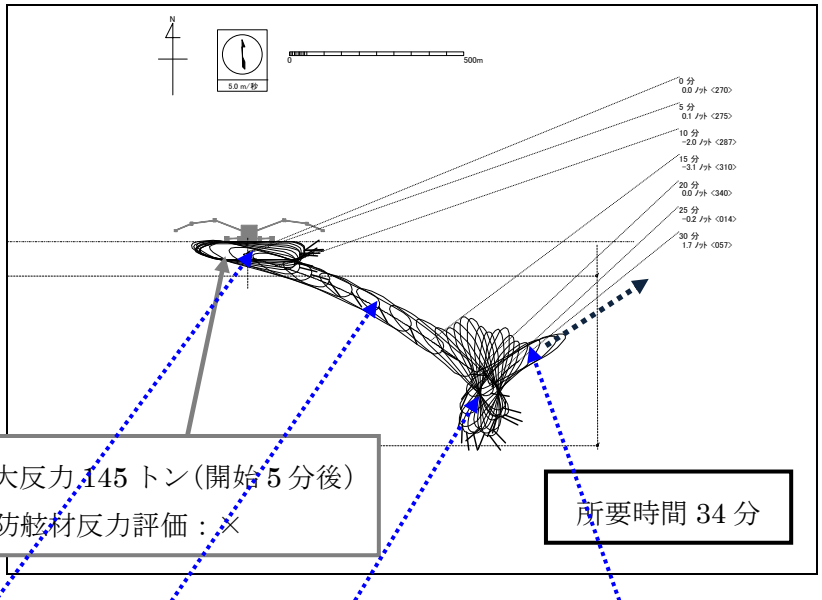


図 3.3.9　入船右舷（LNG 船）【ケース LV-5】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に、桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する

- 右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整しながら、最大「S/B Full Ahead」まで上げた）

④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

(2) 出船左舷と出船右舷

- 出船左舷と出船右舷を比較すると、港域線までの時間は、左舷着けからの出港の方が時間を要しているが、これはより離隔距離を確保するため多く後進したことから時間差が生じたものと考えられる。

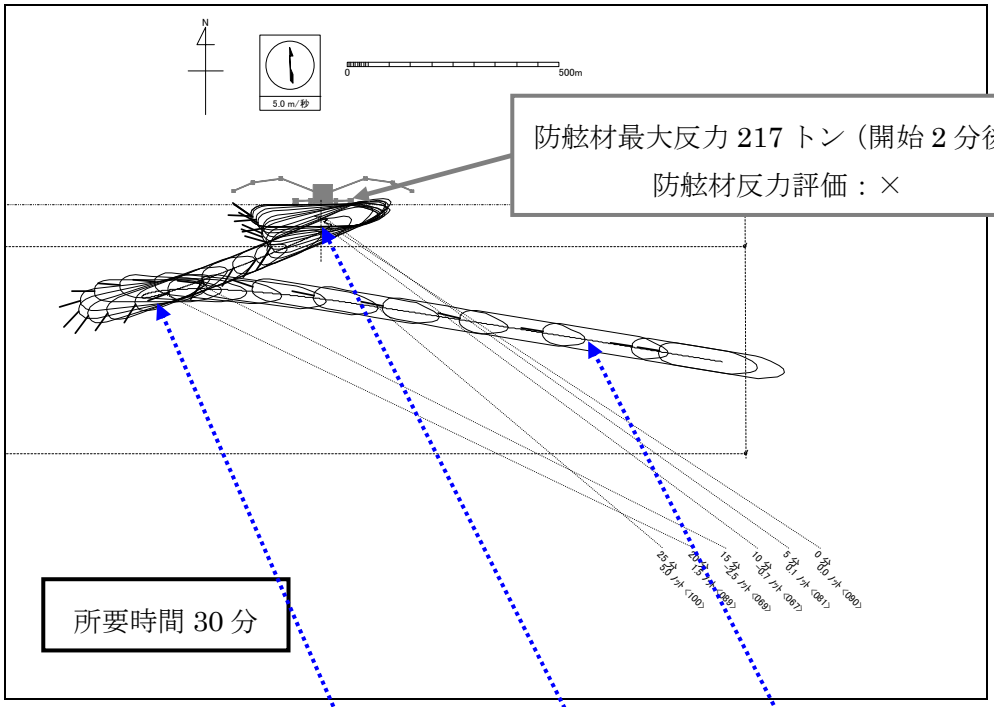


図 3.3.10　出船左舷（LNG 船）【ケース LV-7】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる
- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

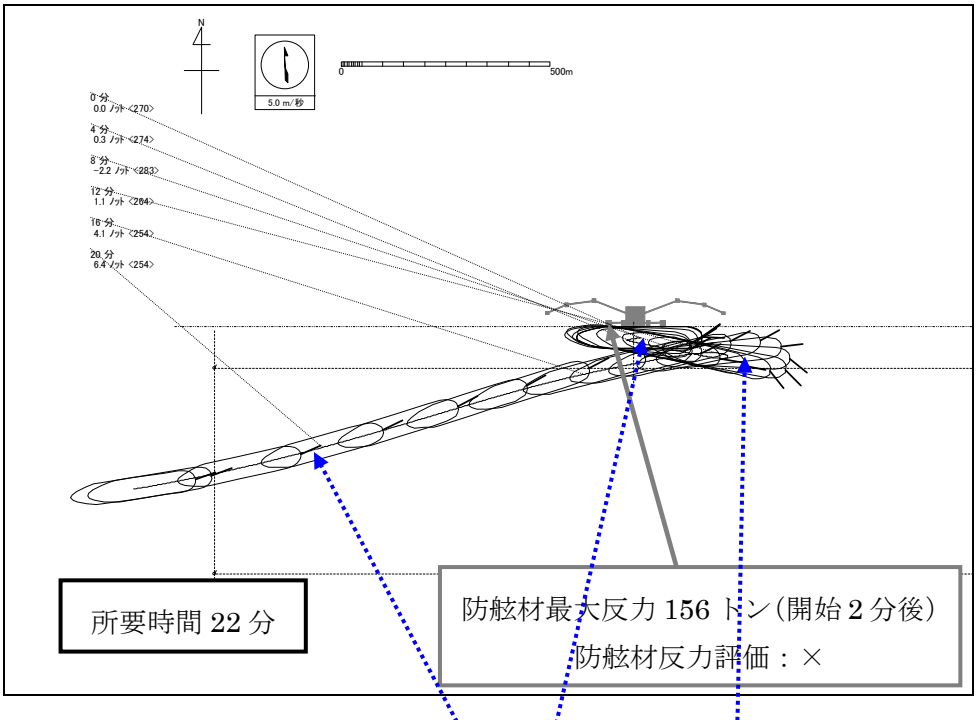


図 3.3.11　出船右舷（LNG 船）【ケース LV-15】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Half Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

3.3.2.3 係留索有無の比較

① 操船結果と考察

離桟出港時に自力出港した場合と係留索（船首スプリングライン）を使用した場合とを比較した。なお、係留索を使用したケースでは、離桟局面まで（前進出港を開始するまで）しか実施していないが、係留索の効果は離桟時のものであるため、自力出港したケースの離桟局面のみで比較することとした。

- 離桟時に船首スプリングを使用した場合と使用しない場合を比較すると、離桟局面では船首スプリングラインを使用した方がより早く（8 分程度）桟橋から離れることが出来た。
- キック操船の際、船首スプリングラインは、前進を抑える効果があり、その場回頭がより容易になると考えられる。

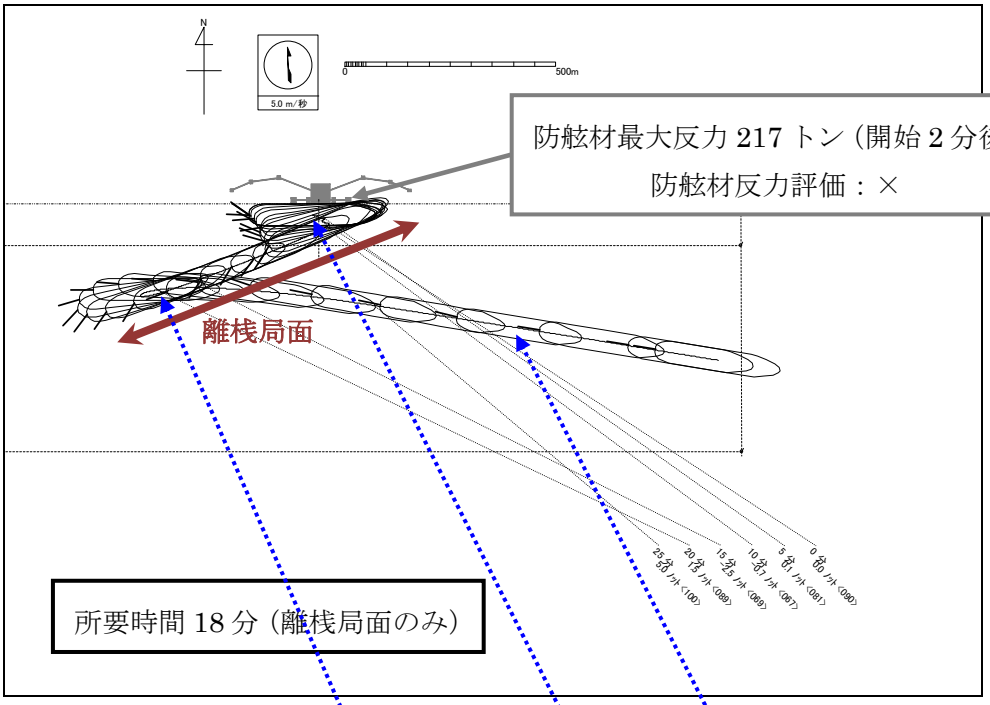


図 3.3.12　出船左舷・係留索無し（LNG 船）【ケース LV-7】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる
- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

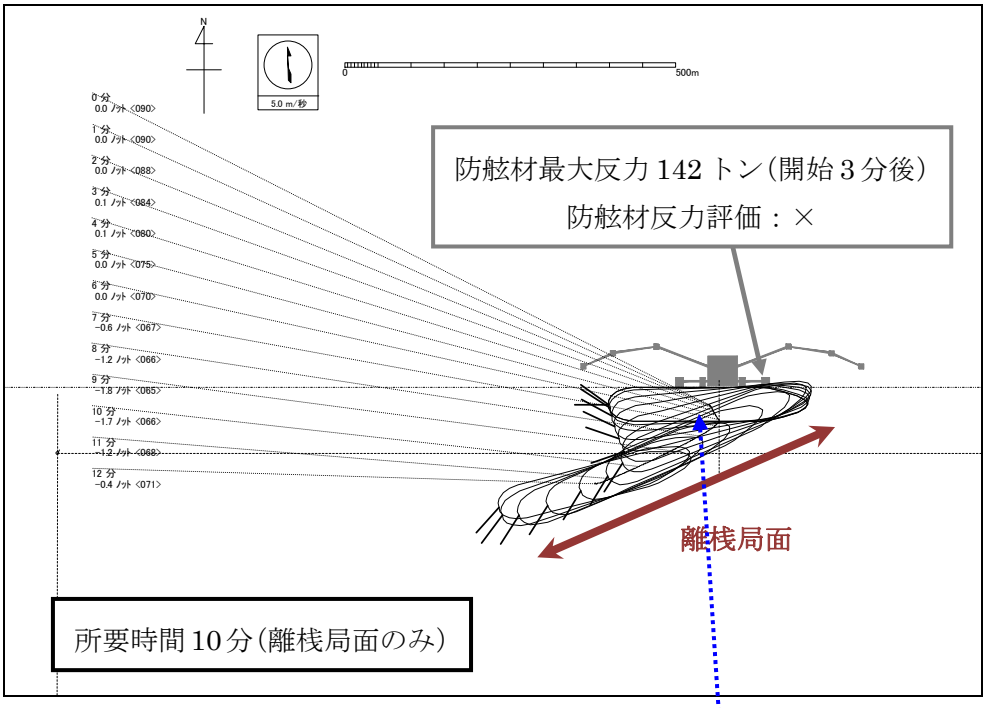


図 3.3.13　出船左舷・係留索有り（LNG 船）【ケース LV-4】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：船首スプリングラインを使用し、船尾キック（エンジン前進）による前進行脚を抑え、船首側の防舷材を基点として回頭しやすくする。
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す
- 後進時のエンジンは最大「Half Astern」まで上げた

② 操船評価

出船左舷・係留索有り（LNG 船）【ケース LV-4】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 係留索を使用した自力出港のケースだが、船首スプリングを使用する事で離岸操船がスムーズになり、横移動局面では『やや容易』の評価もあった。
- 係留索を切断しない様に、機関の出力操作を行う事が重要となる。

（総合評価：○）

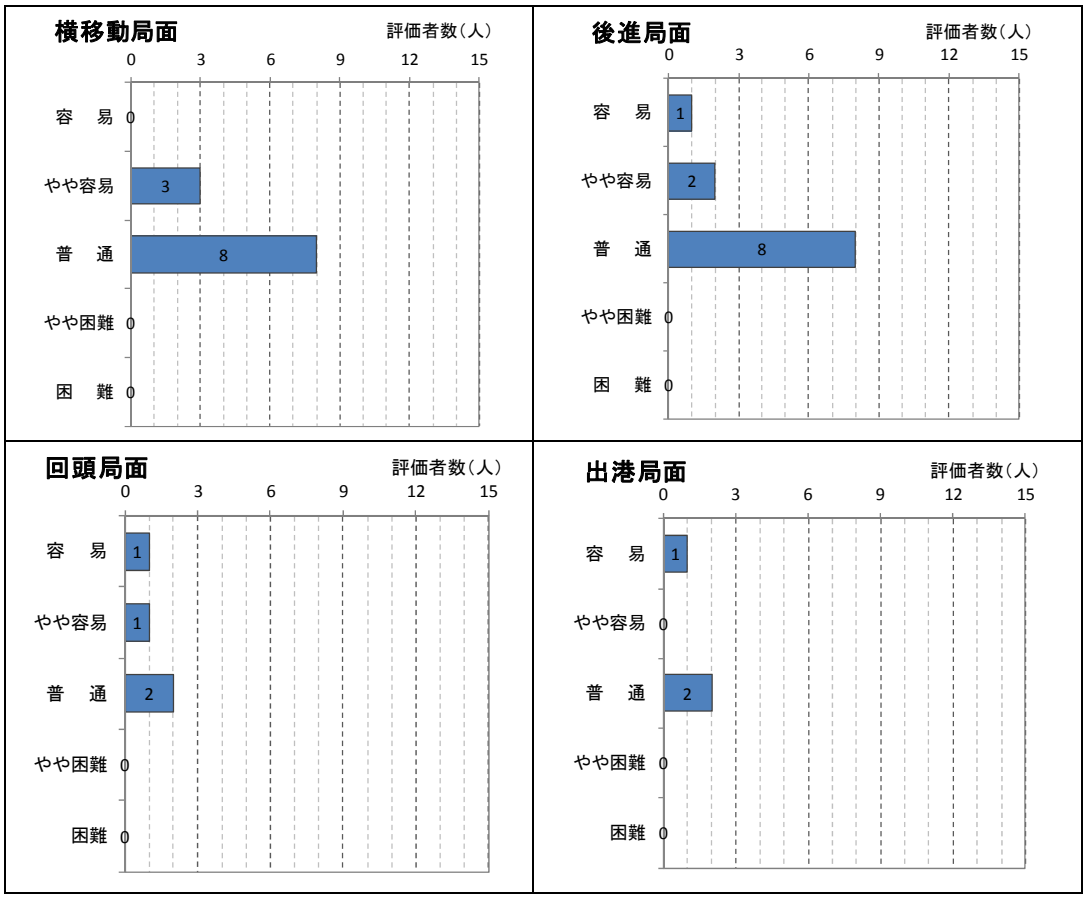


図 3.3.14　出船左舷・係留索有り（LNG 船）【ケース LV-4】の安全評価

表 3.3.5　出船左舷・係留索有り（LNG 船）【ケース LV-4】のコメント

【代表的なコメント】

- 船首スプリングがあり、安心感が生まれ、スムーズな操船になったと思われる。
- 船首スプリングが切断しないよう、機関操作に十分注意する必要があると考える。
- 後進時、少し下り過ぎたが、回頭開始しても船尾側は十分余裕あるので不安はなかった。

3.3.2.4 スラスター有無の比較

(1) 出船左舷でのスラスターの有無

① 出船左舷（前進離桟・損傷許容）におけるスラスターの有無

a) 操船結果と考察

- 出船左舷（前進離桟・損傷許容）におけるスラスターの有無を比較すると、1 分程度であるが、スラスターを使用した場合の方が早く出港出来ている。
- 前進離桟とした場合の操船方法は、防舷材を損傷許容としたことで、スラスター無しの場合（岸壁から離隔距離無し）でも前進操船により、短い時間で出港している。なお、陸上側の施設を損傷させずに安全に自力出港を行うという観点では、スラスター有りの方が有効であると考えられる。

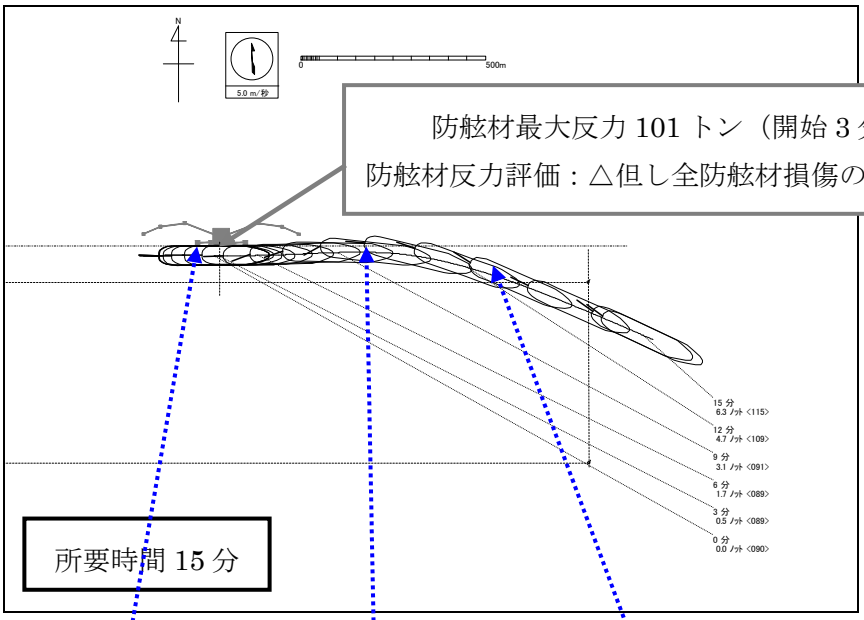


図 3.3.15　出船左舷・スラスター無し・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-12】

①操船意図は、前進してそのまま離桟する

- 桟橋の全ての防舷材の損傷を許容する
- 接岸ドルフィン及び係留索ドルフィンを通過するまで、なるべく前進操船とした

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法により船体がバース法線の近傍であるので船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

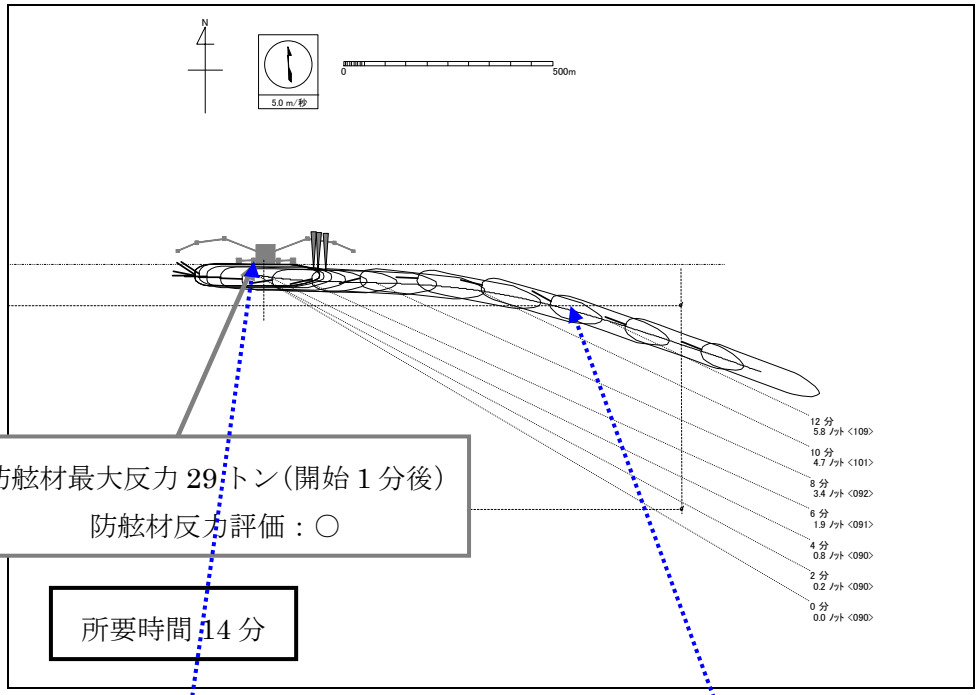


図 3.3.16　出船左舷・スラスター有り・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-13】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船首側：船首スラスターを最大「Full To Starboard」まで使用
- 船尾側：左舵一杯にて、エンジン前進（船首側の平行移動とのバランス）

②操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・スラスター無し・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-12】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により前進出港出来たものの、前進・離岸時の船体船尾のムアリングドルフィンへの接近、船体と防舷材、ローディングアーム等への接触・損傷の可能性から『困難』との評価もあった。

（総合評価：×）

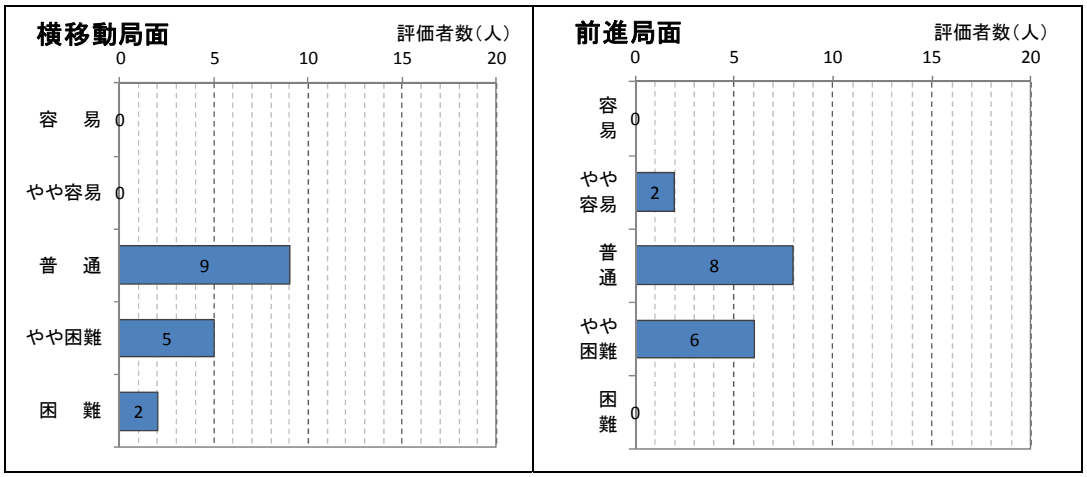


図 3.3.17　出船左舷・スラスター無し・前進離桟（LNG 船）【ケース LV-12】の安全評価

表 3.3.6　出船左舷・スラスター無し・前進離桟（LNG 船）【ケース LV-12】のコメント

【代表的なコメント】

- ぎりぎりの離桟出港であった。向岸風 5m/s が限界と思われる。
- 実行可能と思われるが、ドルフィンと船体にどこまでダメージが許容されるかが問題。
- 前進 1.3kt ほどでフェンダーと接触（危険な状況と考える）。離岸風で安全水域を考慮しない場合（バースから直進が可能な場合）に限定しない限り、採用不可と考える。
- 全般に速い出港と言えるが、船尾とムアリングドルフィンとの接近が気になり、離隔距離 10m で交わすことに不安が残る。
- 停電等によりローディングアームが完全に上がりきらないことを想定されるところ。同アームとの接触の可能性も高くなるものと思料する。

出船左舷・スラスター有り・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-13】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- スラスターを使用した自力出港のケースだが、船首スラスターと船尾キックを併用することにより、桟橋に対して並行に横移動でき、防舷材を損傷することも無かった。

（総合評価：○）

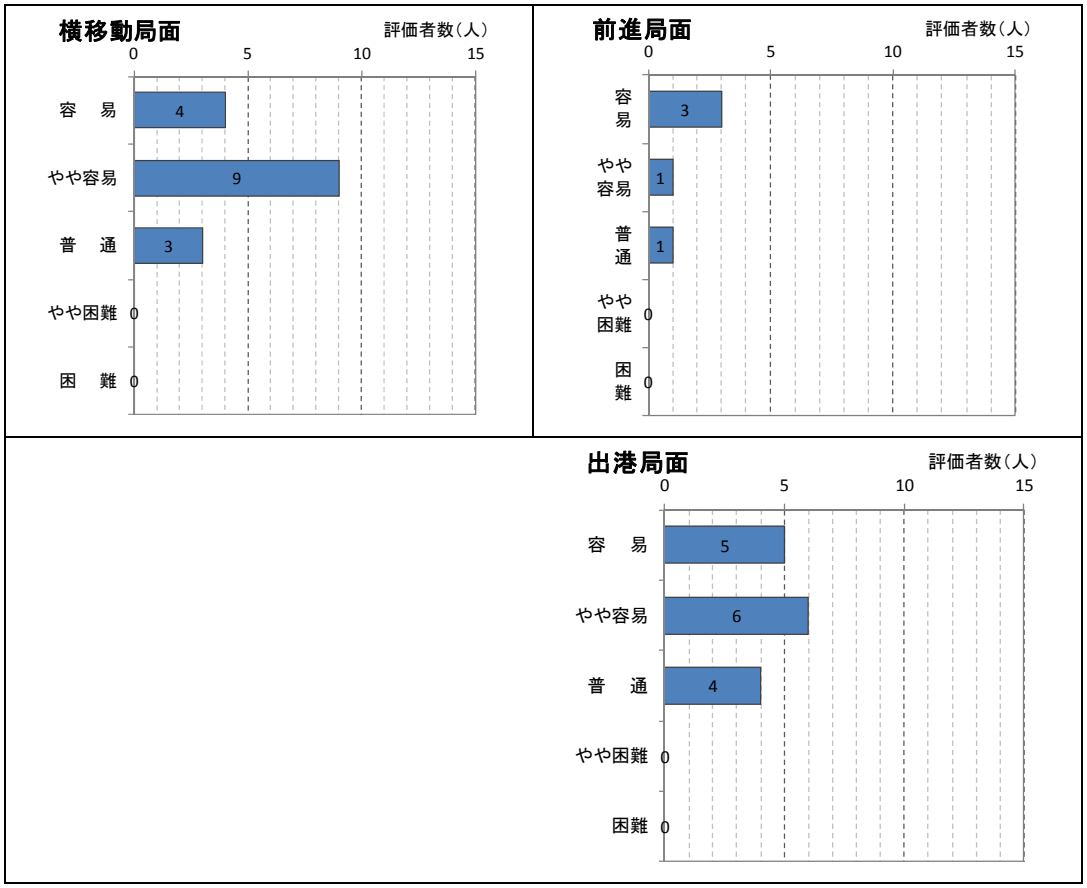


図 3.3.18　出船左舷・スラスター有り・前進離桟（LNG 船）【ケース LV-13】の安全評価

表 3.3.7　出船左舷・スラスター有り・前進離桟（LNG 船）【ケース LV-13】のコメント

【代表的なコメント】

- スラスターとキックを使用することで、ドルフィン前の横移動は比較的容易だったように思う。ドルフィン前面で船首尾ともに 10m 前後のクリアランスができたことで、フェンダーを損傷させることもなく、その後のオペレーションが可能であった。
- 大型危険物積載船（LNG、LPG、VLCC)の緊急離桟時にあって、タグ等の支援が期待できないことを考えると、自船で設備可能なスラスターの整備の検討が必要と思われる。
- 緊急時には、回頭水域をもって他船の出港の妨げとなることもなく、短時間で離桟することができた。

② 出船左舷（後進制限有り）におけるスラスターの有無

a) 操船結果と考察

- 後進制限有りにおけるスラスターの有無を比較すると、港域線までの時間は、スラスター無し（ただし損傷許容）の場合は 22 分、スラスター有り（ただし損傷不可）の場合は 40 分となっており、スラスター有りの場合は離桟時に船体を横移動させてから前進操船に移行した分、時間を要した。
- スラスター無しの場合（岸壁から離隔距離無し）の離桟操船は、後進制限有りでも防舷材を損傷許容としたことで、前進操船により短い時間で出港出来ている。なお、陸上側の施設を損傷させずに安全に自力出港を行うという観点では、スラスター有りの方が有効であると考えられる。

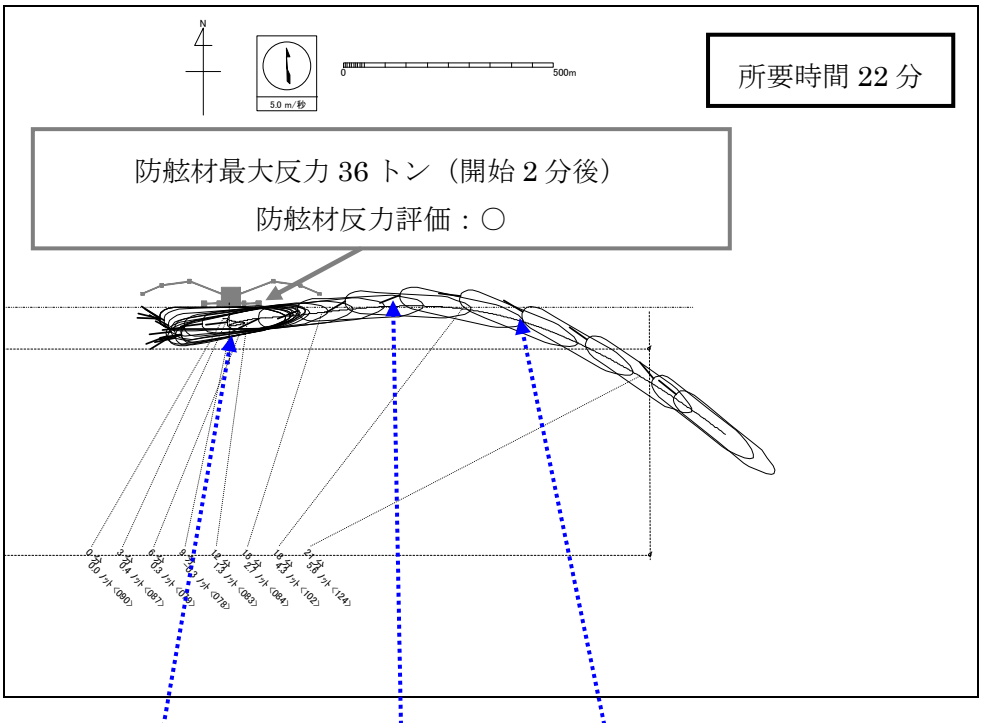


図 3.3.19　出船左舷・スラスター無し・後進制限有り・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-10】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に前進する

- 船首側：船首側の防舷材の損傷は許容する
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法により船体がバース法線の内側まで接近したために船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

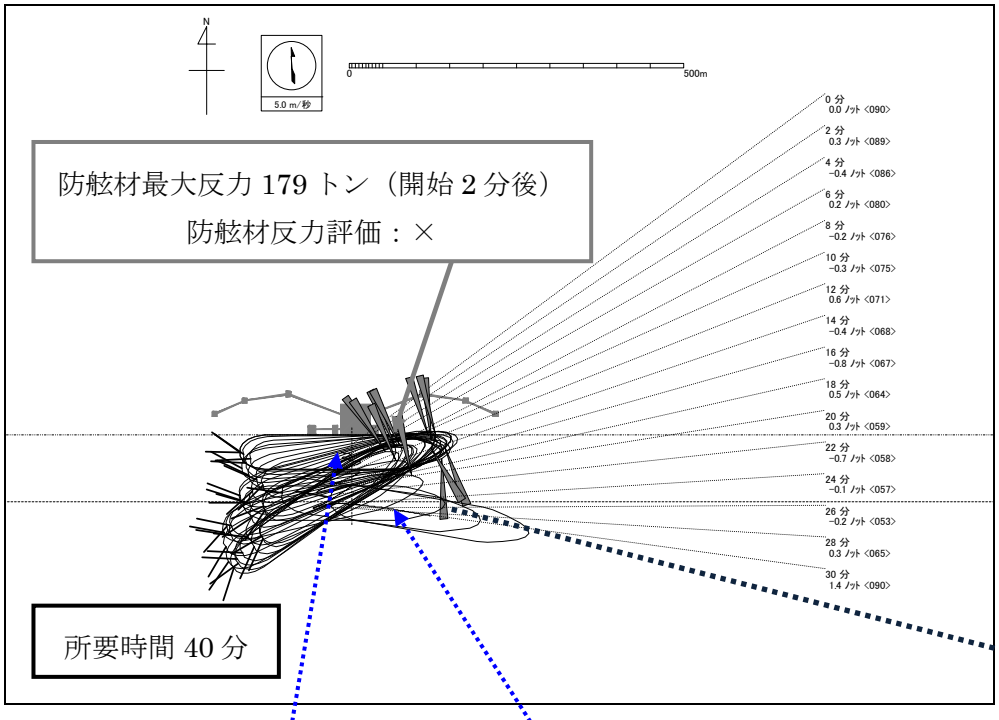


図 3.3.20　出船左舷・スラスター有り・後進制限有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-11】

①操船意図は、離桟時に前進出港可能なエリアまでバース法線に対してなるべく平行に横移動する

- 船首側：船首スラスターを最大「Full To Starboard」まで使用
- 船尾側：左舵一杯にて、エンジン前進（船首側の平行移動とのバランスをとりながら、最大「Half Ahead」まで使用）にて船尾キックを行う

②操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・スラスター無し・後進制限有り・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-10】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により出港出来たものの、風の影響を受けやすい LNG 船であることと、危険物船であるため防舷材への損傷も懸念するコメントもあり、離桟『困難』の評価もあった。
（総合評価：×）

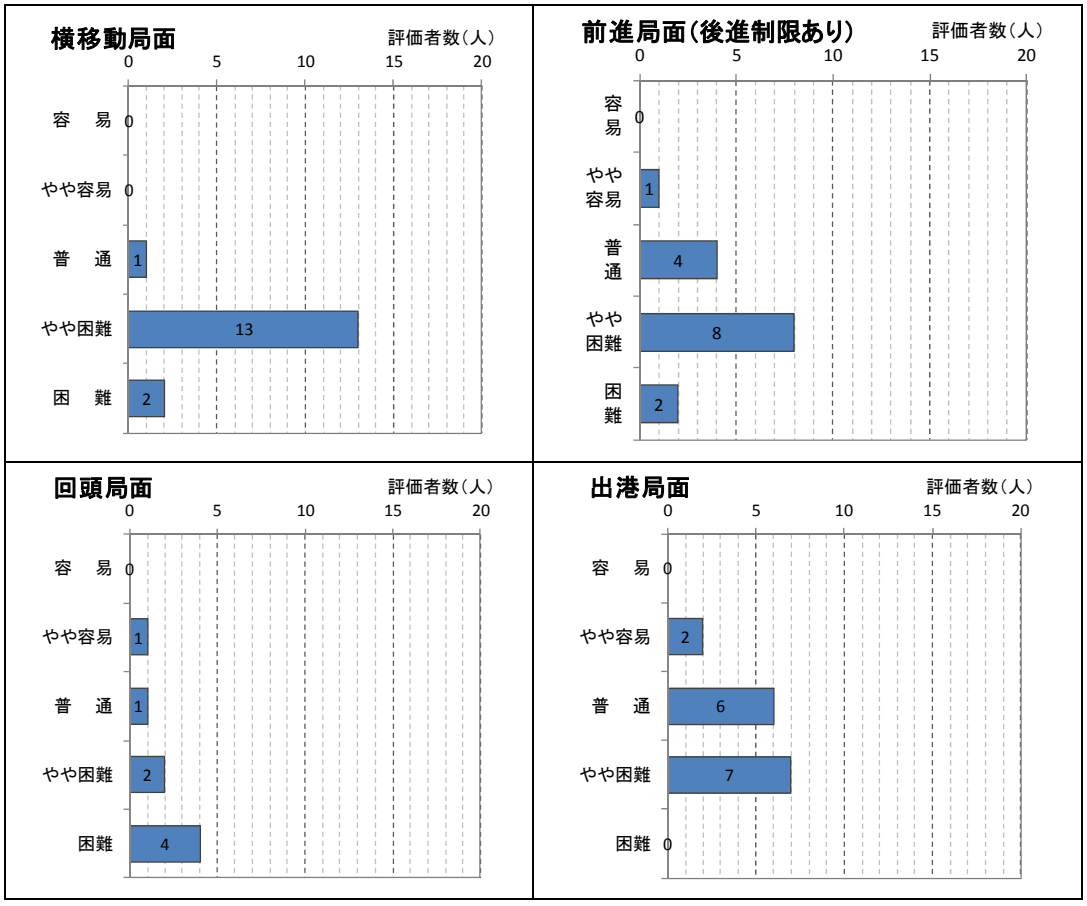


図 3.3.21　出船左舷・スラスター無し・後進制限有り（LNG 船）【ケース LV-10】の安全評価

表 3.3.8　出船左舷・スラスター無し・後進制限有り（LNG 船）【ケース LV-10】のコメント

【代表的なコメント】

- もう少し後進が使える海面が欲しい。
- LNG 船ということを考慮すれば、危険であると考える。フェンダー接触（ゆっくり横方向に押し付ける場合と異なり、前進時の接触）は無視できない。
- このケースではドルフィン損傷許容ではあるが、他のケースでは後進制限に加えて、ドルフィンの中に入らないように前進にも制限（気配り）があり、条件（制限）が一つ増すことにより、操船の困難さが一段と上がるように思える。
- LNG 船は、VLCC に比べて風の影響が多いため、離桟局面において不安を感じた。

出船左舷・スラスター有り・後進制限有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-11】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- スラスターにより自力出港出来たものの、後進制限された海域での離岸操船の難しさを示すケースであり、横移動局面では『困難』との評価もあった。

（総合評価：△）

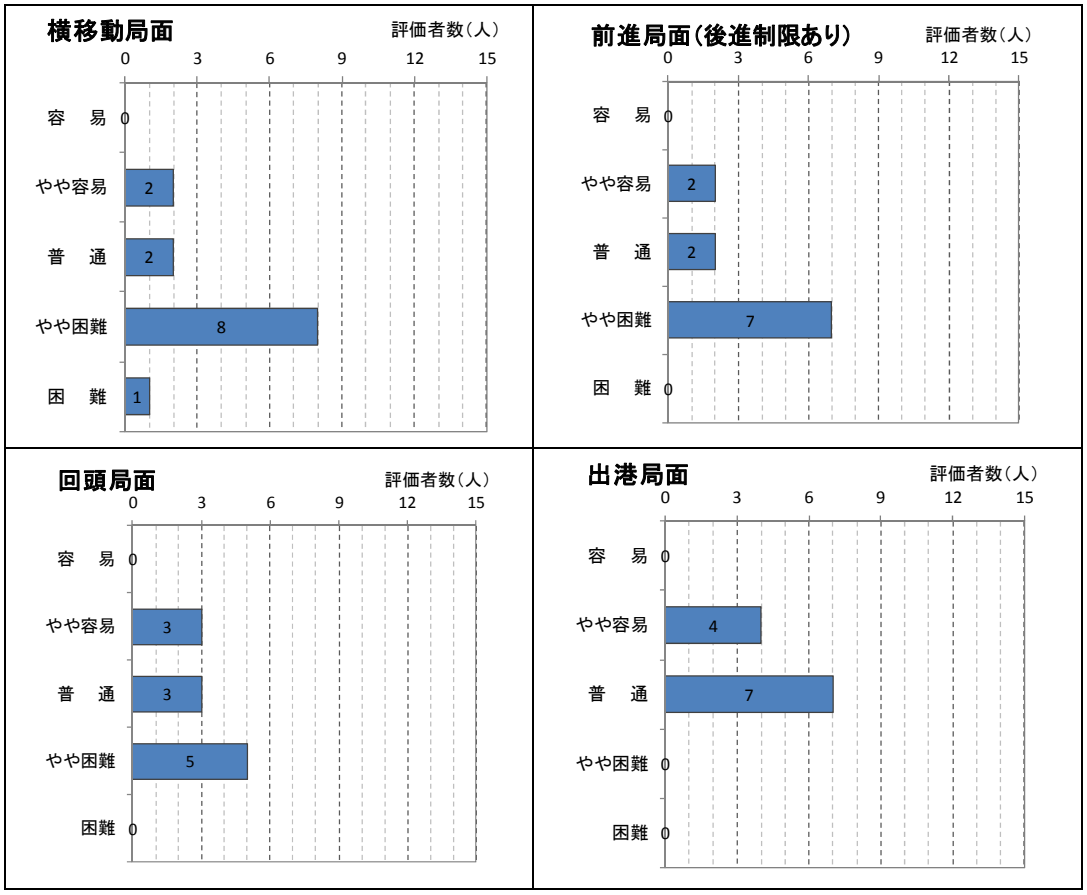


図 3.3.22　出船左舷・スラスター有り・後進制限有り（LNG 船）【ケース LV-11】の安全評価

表 3.3.9　出船左舷・スラスター有り・後進制限有り（LNG 船）【ケース LV-11】のコメント

【代表的なコメント】

- スラスターを使用することで離桟はできたが、後方水域に制限がある中では余裕は感じられなかった。
- スラスターの効果は大きいと思われるが、後方水域の広さや前左舷の水深の確保の影響の方がより大きいと感じた。
- やや難しいものの対応可能としているが、緊急離桟のための迅速な行動にはタグの支援が好ましいと感じた。

3.3.2.5 タグボート有無の比較

(1) 入船右舷におけるタグボートの有無

- 入船右舷におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 34 分、タグボート有りの場合は 36 分となった。離桟時にタグボートで横移動させて引き出した分、タグボート有りの方が操船時間を要した。タグボート有りの場合、防舷材への応力が少なかった。

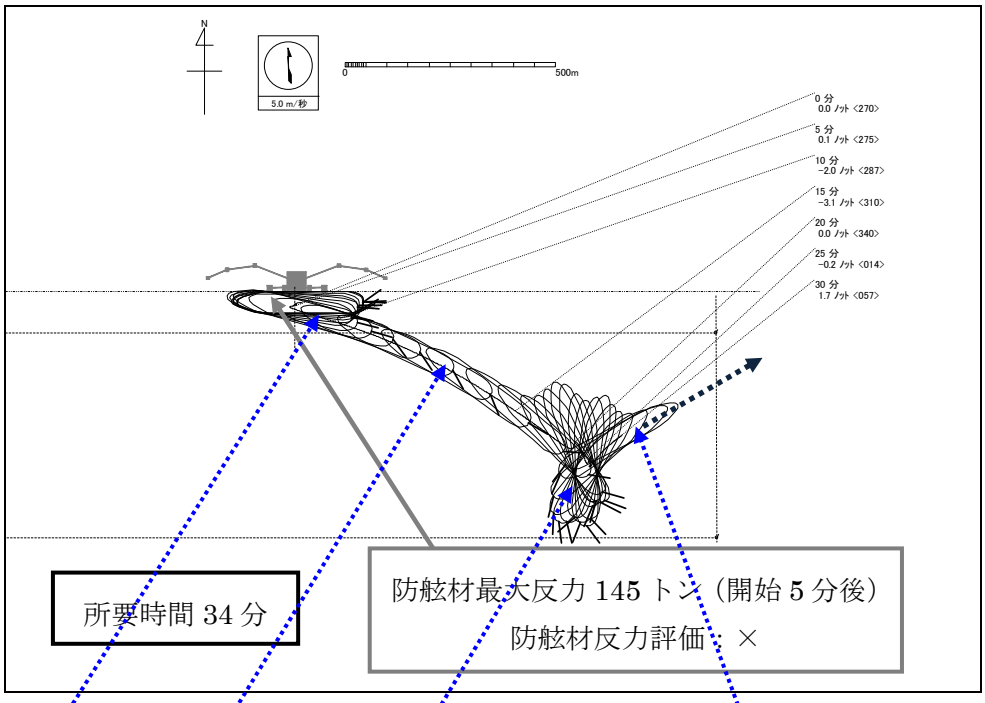


図 3.3.23 入船右舷・タグボート無し（LNG 船）【ケース LV-5】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に、桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する

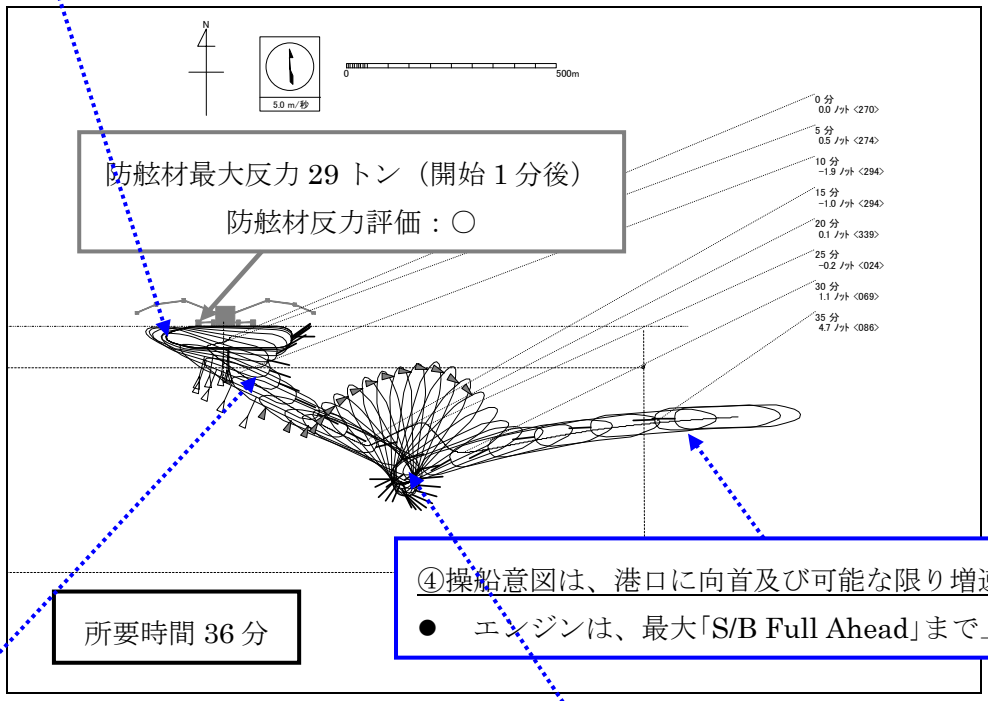
- 右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整しながら、最大「S/B Full Ahead」まで上げた）

④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

①操船意図は、離桟時になるべく船尾を離して次の後進操船に備えるとともに、船首側の防舷材との接触をなるべく抑える

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（9 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：右舵一杯にて、エンジン前進（船首側の防舷材に接触しないように調整）



④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

図 3.3.24　入船右舷・タグボート有り（LNG 船）【ケース LV-6】

②操船意図は、可能な限り早く、真っ直ぐに後進する

- エンジンは、最大「Half Astern」にまで上げ、舵は中央に戻して後進

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する

- 船首側：タグボートにより船体方向（3 時方向）に「Full 押し」
- 船尾側：右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整）

(2) 入船左舷におけるタグボートの有無

a) 操船結果と考察

- 入船左舷におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 42 分、タグボート有りの場合は 45 分となった。、離桟時にタグボートで横移動させて引き出した分、タグボート有りの方が操船時間を要した。タグボート有りの場合、防舷材への応力が少なかった。
- タグボート無しの場合では横移動が出来ず、桟橋との離隔距離を確保するために一度後進を実施しなければならなかった。その結果、一軸船の特性として船尾が桟橋側に再接近することとなった。タグボート有りの場合では横移動ができ、再接近することはなかった。

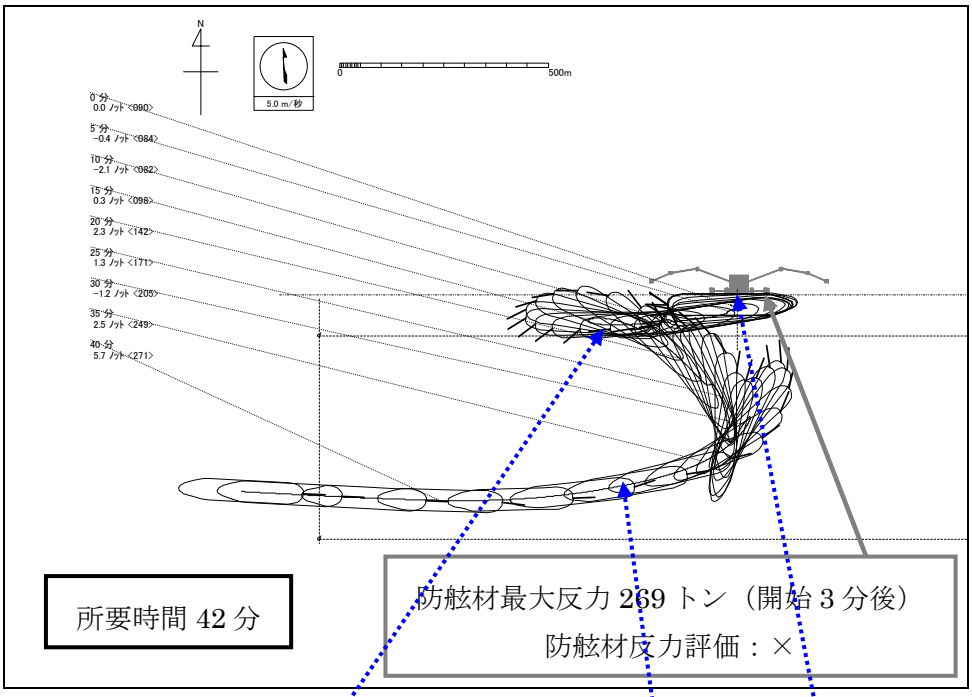


図 3.3.25　入船左舷・タグボート無し（LNG 船）【ケース LV-1】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち右回頭させる

- 船尾が左舷桟橋に接近したため、エンジンを前進として船尾を引き離し、右回頭した

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

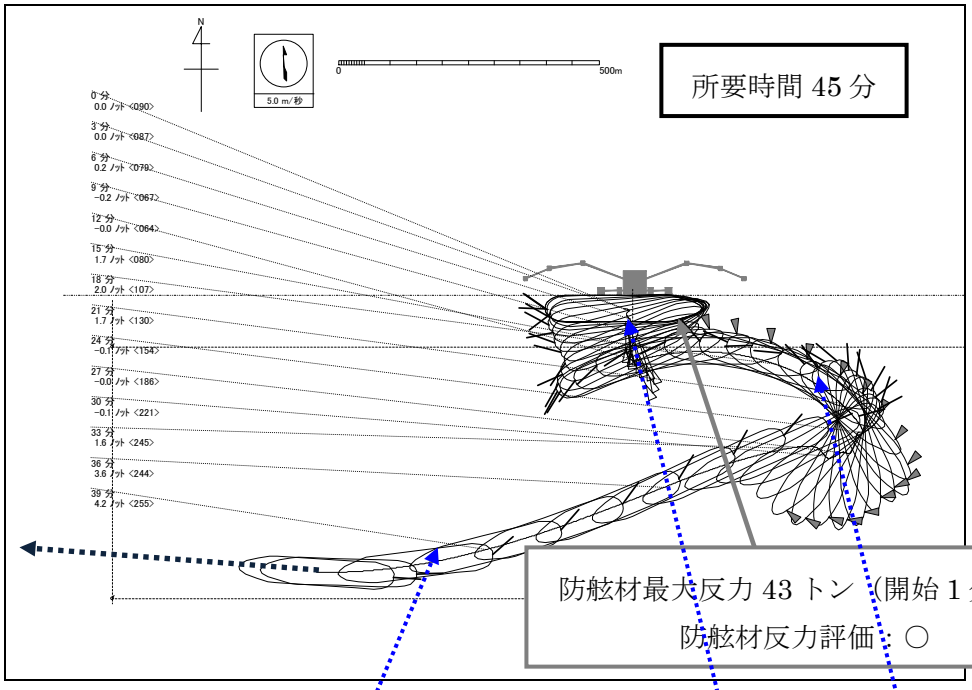


図 3.3.26　入船左舷・タグボート有り（LNG 船）【ケース LV-2】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち、右回頭させる

- 船首側：11 時の位置に移動したタグボートにより船体方向（3 時方向）に「Full 押し」にして、右回頭を支援することとした。
- -右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整）

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

入船左舷・タグボート有り（LNG 船）【ケース LV-2】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- タグボートを使用することにより、入船からの出港がより容易になった。一部、回頭局面の終盤で、風の影響によって右回頭が難しくなったことにより、『困難』の評価もあったが、タグボートの支援効果により、各局面とも概ね『普通』の評価が多かった。

（総合評価：△）

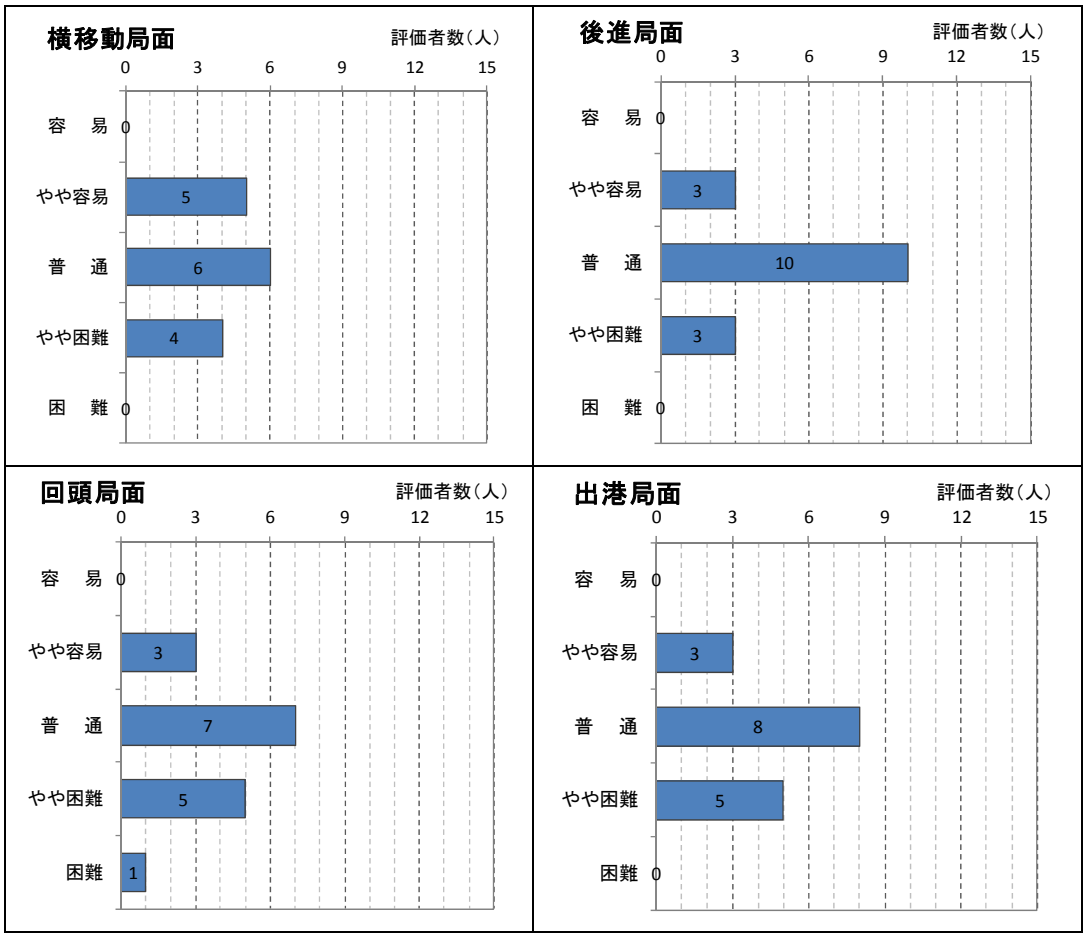


図 3.3.27　入船左舷・タグボート有り（LNG 船）【ケース LV-2】の安全評価

表 3.3.10　入船左舷・タグボート有り（LNG 船）【ケース LV-2】のコメント

【代表的なコメント】

- 回頭終盤で風向が左舷正横近くなってから、右回頭が困難となった。もう少し長くタグを置いておくべきだった。
- 出港時、安全標識ブイに近づいたが、特に問題とは感じなかった。
- タグボートを使用することにより、回頭利用水域の縮小になると考える。

(3) 出船左舷におけるタグボートの有無

① 出船左舷（損傷不可）におけるタグボートの有無

a) 操船結果と考察

- 出船左舷（損傷不可）におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 30 分、タグボート有りの場合は 22 分となった。桟橋との離隔距離を確保するため、タグボート無しでは一旦後進を行ったのに対し、タグボート有りでは着桟位置から横移動により離桟可能であった。

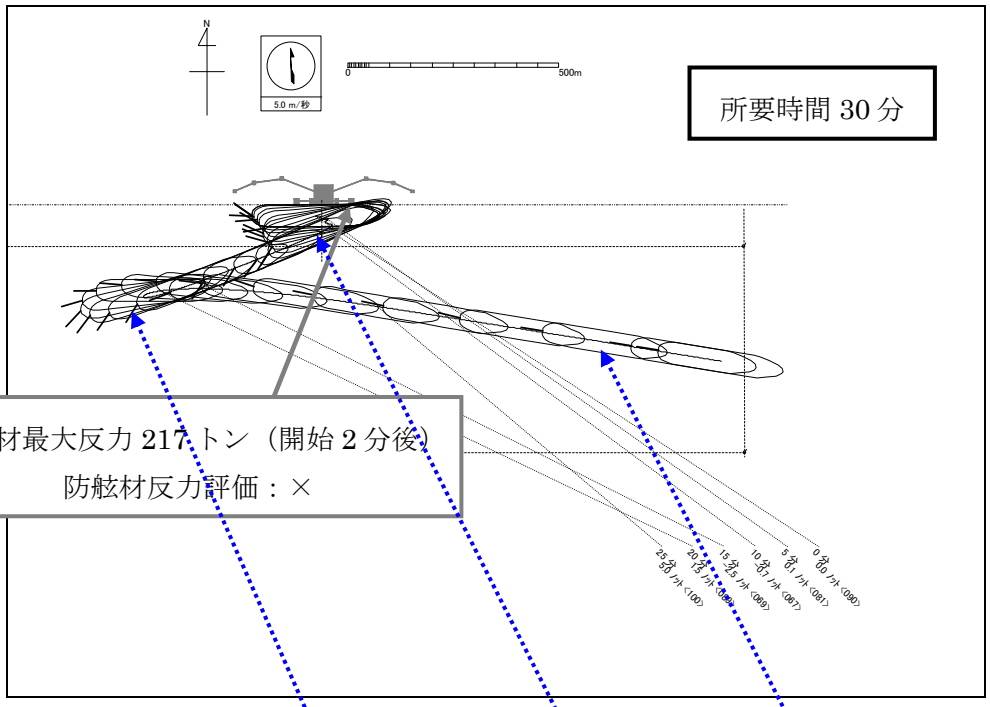


図 3.3.28　出船左舷・タグボート無し・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-7】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる
- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

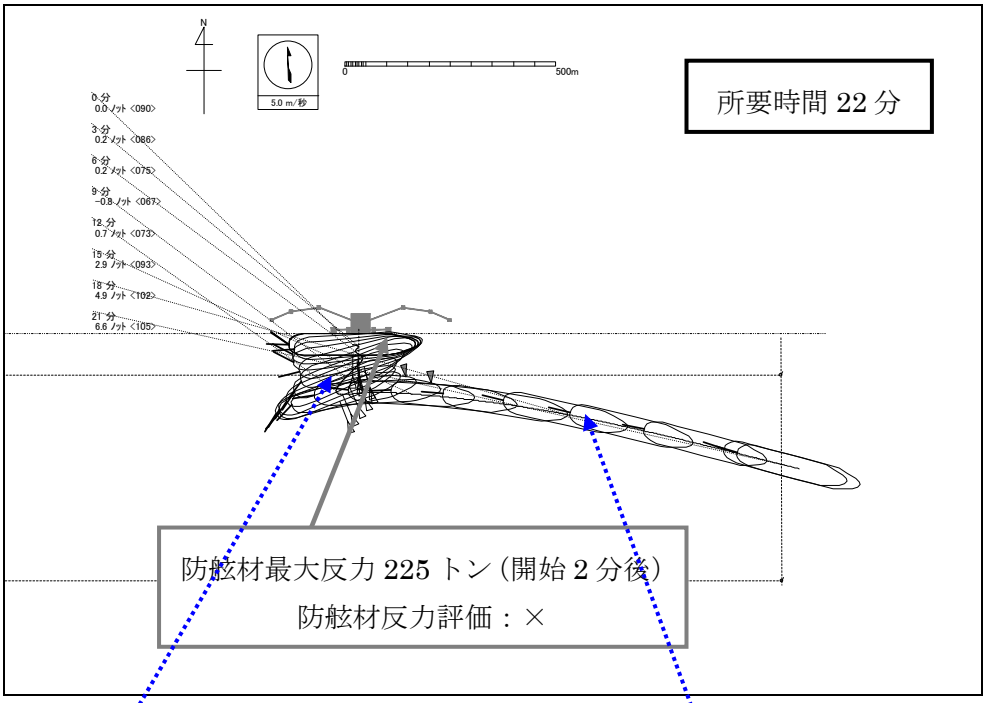


図 3.3.29　出船左舷・タグボート有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-8】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：左舵一杯、エンジン前進（船首側の平行移動とのバランス）により船尾キック

②操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・タグボート有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-8】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- タグボート 1 隻を使用して離岸したことにより、タグボート無しのケースと比べて、船体制御がしやすくなり、概ね各局面とも『容易』及び『やや容易』との評価を得た。

（総合評価：○）

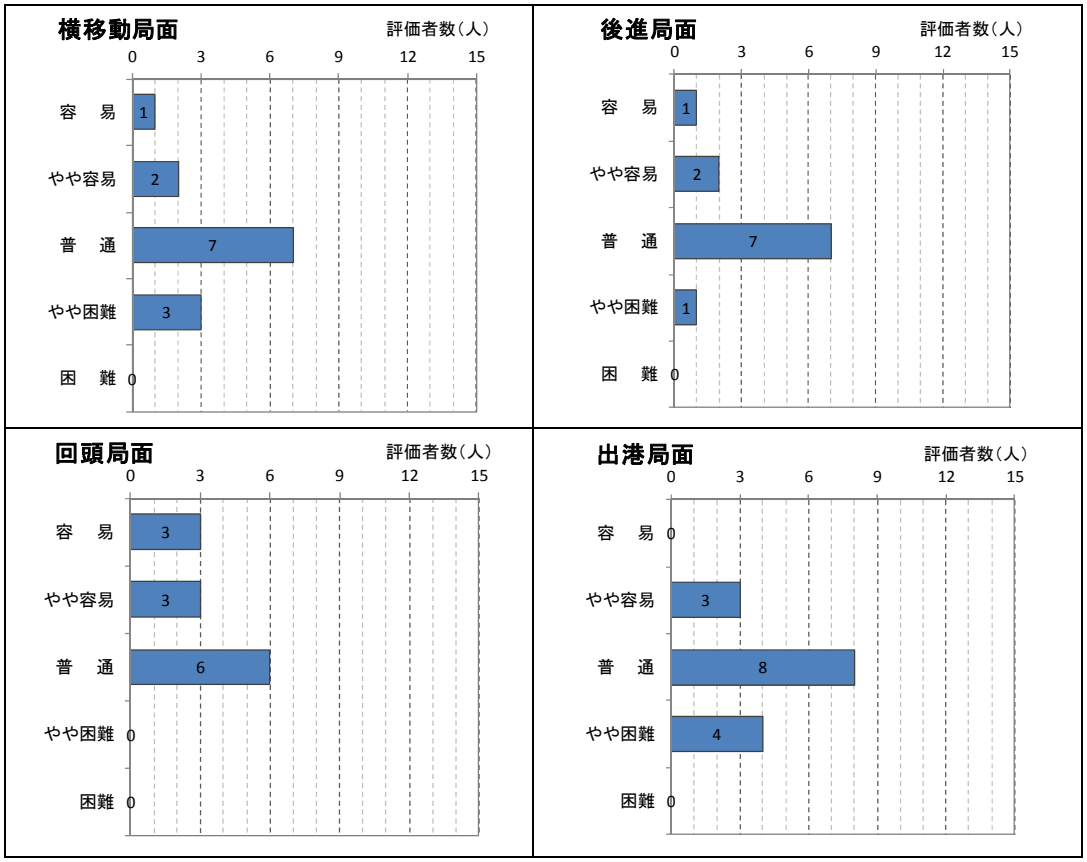


図 3.3.30　出船左舷・タグボート有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-8】の安全評価

表 3.3.11　出船左舷・タグボート有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-8】のコメント

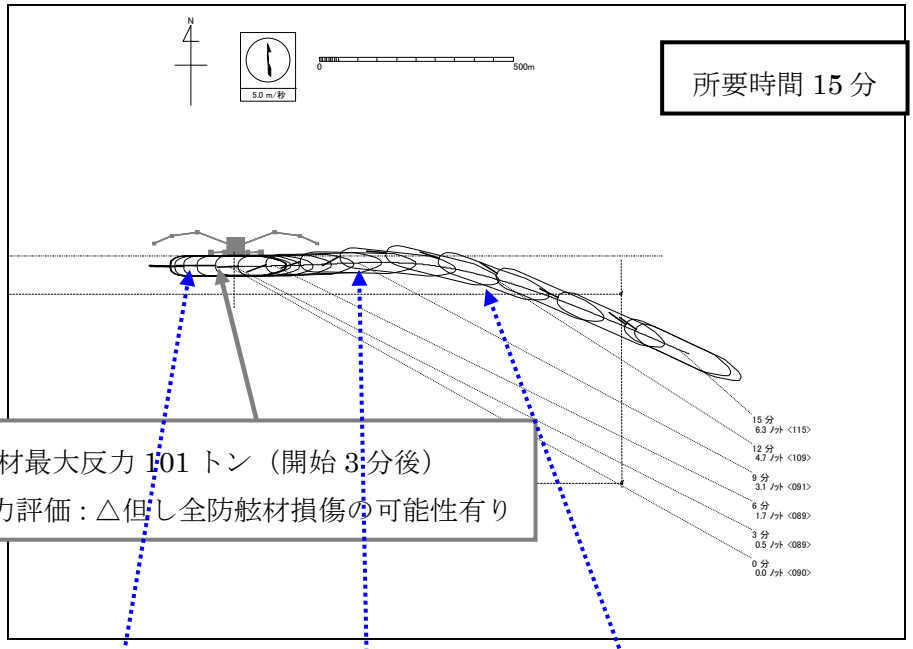
【代表的なコメント】

- タグなしのケースと比較して、離岸がスムーズになり、タグ 1 隻で状況は相当に好転した。後方に下がる距離もコントロール出来て、かなり余裕があるように感じた。
- タグを真横に取ったが、船首に取って、船尾キックとを併用しながら離桟する方法も考えられる。

② 出船左舷（前進離桟・損傷許容）におけるタグボートの有無

a) 操船結果と考察

- 出船左舷（前進離桟・損傷許容）におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合で 15 分、タグボート有りの場合も 15 分となっており、時間差は生じていない。これは、タグボートによる操船支援の有無に係らず、防舷材の損傷許容を前提とし、同じ操船方法でそのまま前進出港したためと考えられる。



防舷材最大反力 101 トン（開始 3 分後）
防舷材反力評価：△但し全防舷材損傷の可能性有り

図 3.3.31　出船左舷・タグボート無し・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-12】

①操船意図は、前進してそのまま離桟する
- 桟橋の全ての防舷材の損傷を許容する
- 接岸ドルフィン及び係留索ドルフィンを通過するまで、なるべく前進操船とした

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法により船体がバース法線の近傍であるので船体を法線から引き離す
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

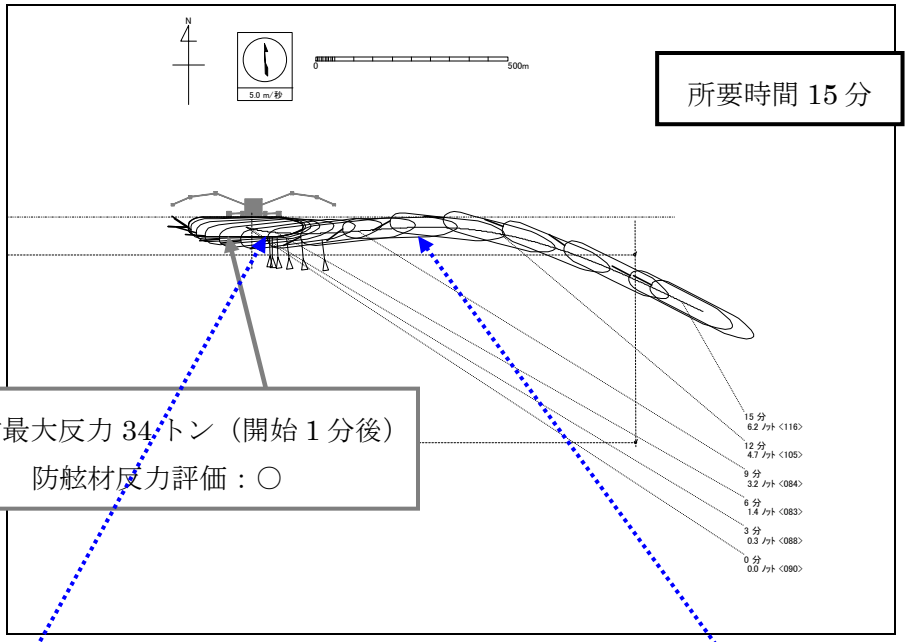


図 3.3.32　出船左舷・タグボート有り・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-14】

①操船意図は、離桟時に前進操船しながらも、タグボート及び舵により桟橋から引き離す

- 船首側：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：左舵一杯にて、エンジン前進（船首側の平行移動とのバランス）

②操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・タグボート有り・前進離桟・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-14】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- タグボートの支援により、バースから横移動で離れて前進出港可能であった。なお、出港局面では、向岸風の影響によりバース法線沿いから直ぐに離れる事が出来なかった分、『困難』であるとの評価も受けている。

（総合評価：△）

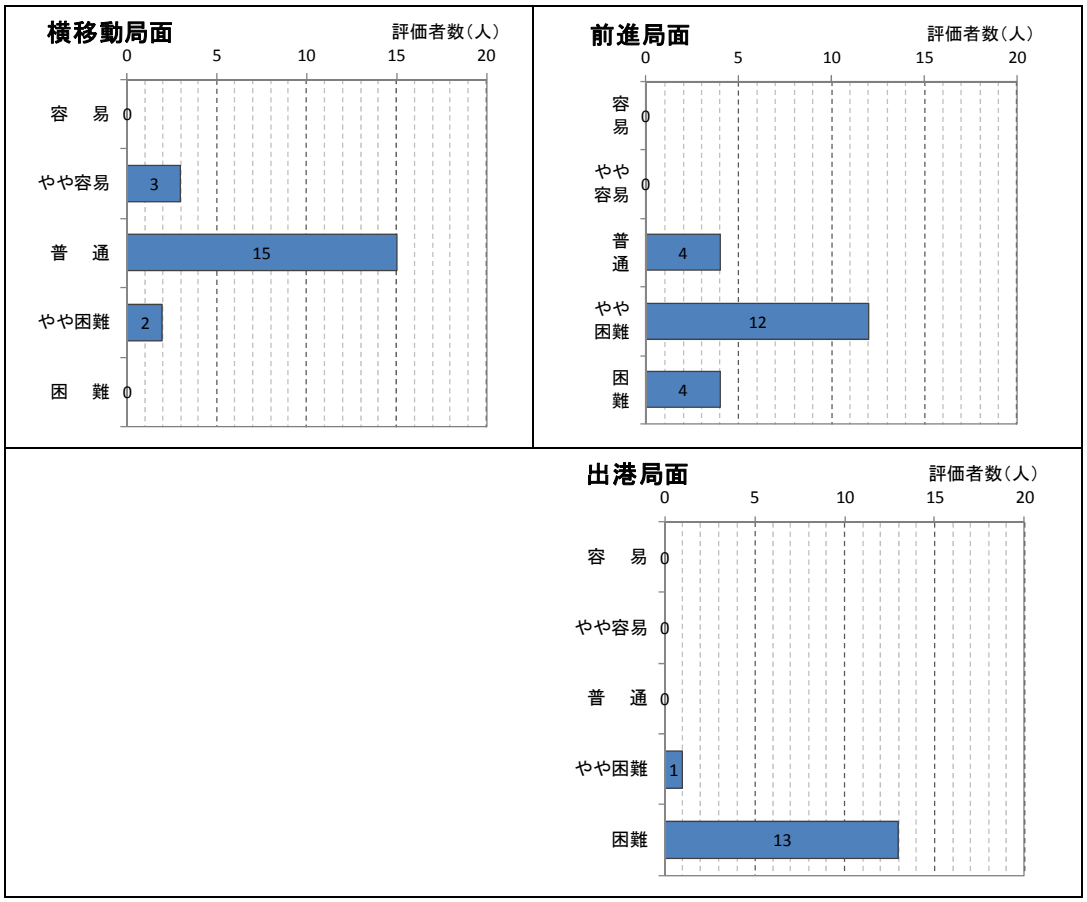


図 3.3.33　出船左舷・タグボート有り・前進離桟（LNG 船）【ケース LV-14】の安全評価

表 3.3.12　出船左舷・タグボート有り・前進離桟（LNG 船）【ケース LV-14】のコメント

【代表的なコメント】

- タグボートを使用し、スラスターと同じ程度に離桟することができた。どちらかがあると操船に十分余裕を持てる。
- 桟橋前面で十分なクリアランスが持てるので、その後の操船が安心して見ることができる。
- 離岸後、バースへの再接近等の不測の事態にタグ支援が得られることは重要。
- 大型船舶（LNG、LPG、VLCC、コンテナ等）緊急離桟には、常時タグの支援が受けられることが望ましい。

3.3.2.6 出船左舷（後進制限あり）における防舷材損傷不可と損傷許容の比較

a) 操船結果と考察

- 出船左舷（後進制限あり）における防舷材損傷の許容の有無を比較すると、港域線までの時間は、損傷不可とした場合は 32 分間操船するものの離桟不可であり、損傷許容とした場合は 22 分で出港出来た。
- 後進制限有り・損傷不可とした場合では、船尾キックにより船体を引き離すものの、船首側を防舷材損傷不可のために防舷材に強く当てることも難しく、また後進制限有り、横移動推力（タグボート、スラスター等）無しのために船首と桟橋との離隔距離を十分に確保する事も困難であり、自力出港は不可能であった。
- 防舷材（係留設備）を損傷許容とした場合の離桟方法については、短い時間で離桟出港を可能とする利点があるものの、陸側、船側共に接触面に過大な負荷がかかることにより、損傷が発生する可能性があり、状況によっては係留設備の使用不可、船体修理等が必要な場合が想定される。したがって、大津波等の来襲までの時間（想定）が短く、来襲により更に大きな損害の発生が予想される場合については、減災の観点から、この様な緊急操船方法の選択も必要となると思料される。

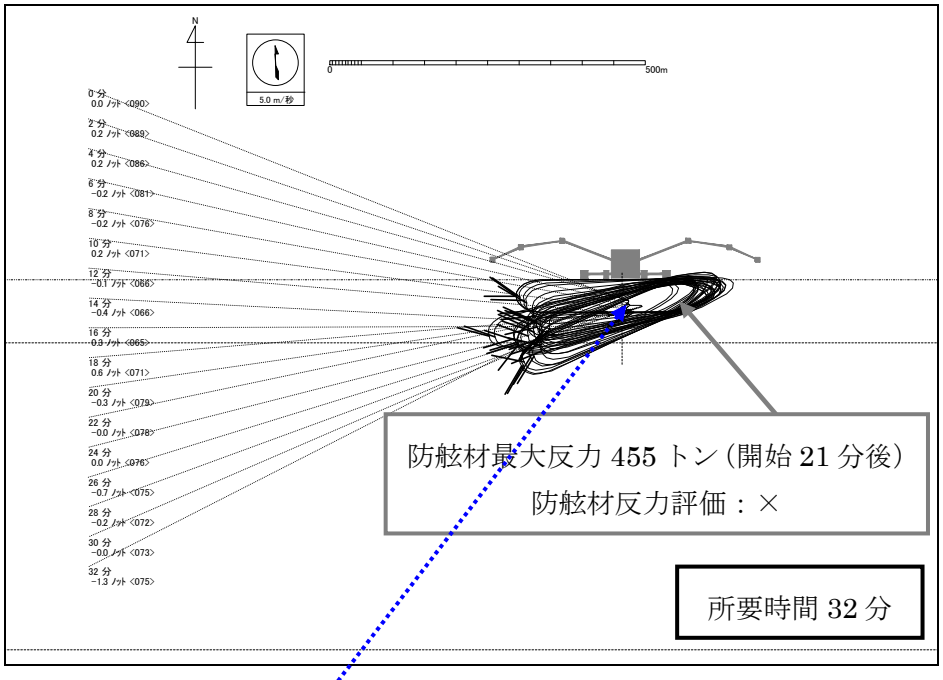


図 3.3.34　出船左舷・後進制限有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-9】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に前進離桟する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す
- 後進制限有りのため後進による離桟出港が難しく、船尾キックにより船首側が桟橋に最接近するため前進による離桟出港が難しく、結果として離桟を断念した

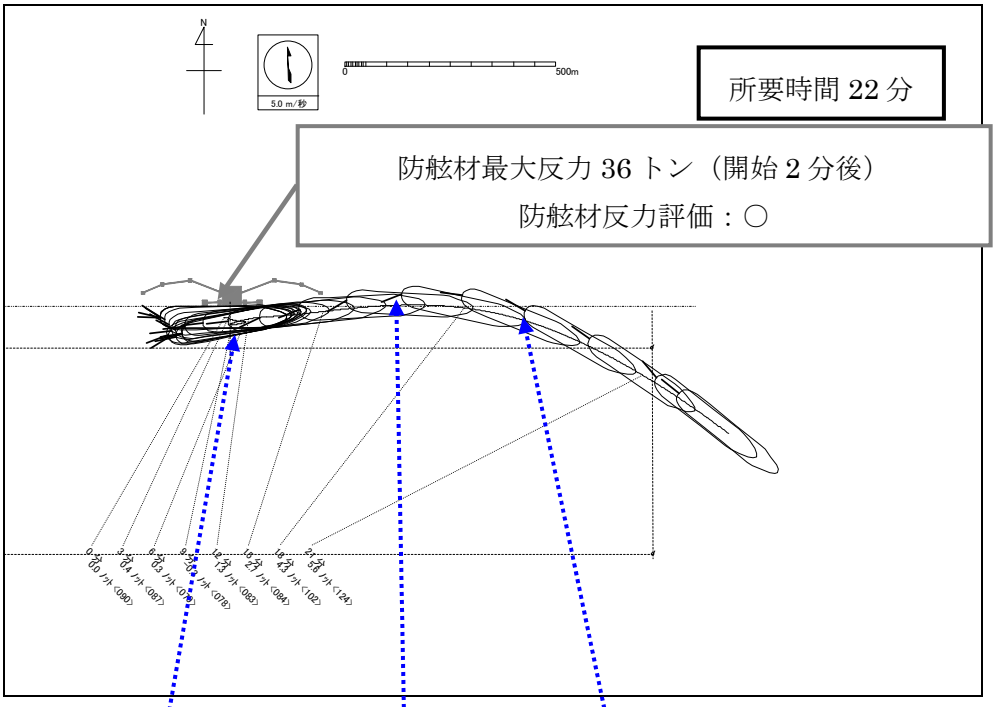


図 3.3.35　出船左舷・後進制限有り・損傷許容（LNG 船）【ケース LV-10】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に前進する

- 船首側：船首側の防舷材の損傷は許容する
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法により船体がバース法線の内側まで接近したために船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・後進制限有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-9】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 船首がバース法線の内側に入らぬよう、また船尾側に後進エリアが殆どない状況を想定して実施したが、自力による操船だけ（スラスター無し、タグボート無し）では、桟橋から離すことが出来ず、出港不可能であった。

（総合評価：×）

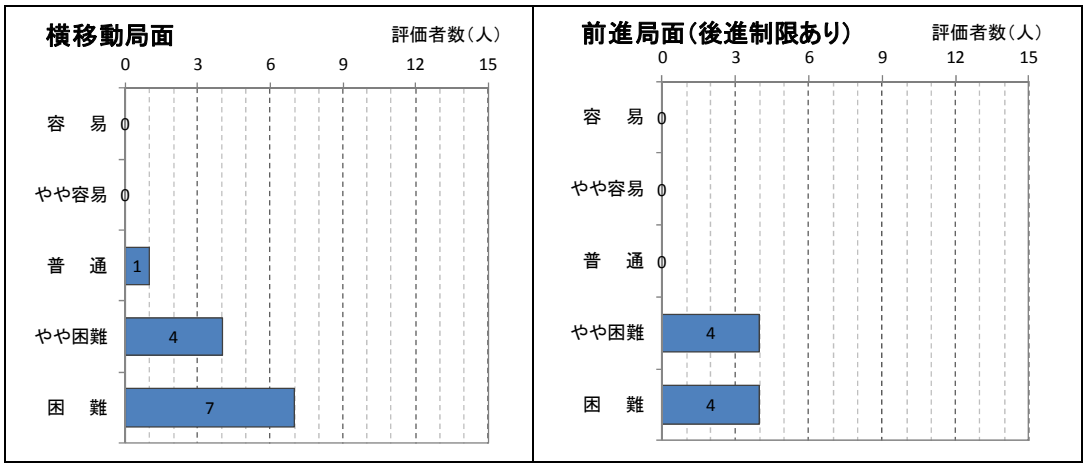


図 3.3.36　出船左舷・後進制限有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-9】の安全評価

表 3.3.13　出船左舷・後進制限有り・損傷不可（LNG 船）【ケース LV-9】のコメント

【代表的なコメント】

- 船首の左への突っ込み及び後進水域を気にして十分離すことが出来なかった。
- 船首がバース法線の内側に入らないよう、且つあまり後進できない場合を想定したたため、離桟が出来なかった。
- 後方の航行エリアを制限されたことで、後進機関を用いた船首の右振りが出来なくなった。結果、前後進の機関を用いても船のポジションが変わらず、大変難しいシミュレーションとなった。非常に限られた手段一つが欠けてもオペレーションが成立しないことを示している。
- 後進エリアに余裕がなく、少なくとも全長Ｌ程度欲しい。もう少し後進できれば問題ないと思われる。

3.3.2.7 入船左舷におけるタグボート・スラスターの有無

① 操船結果と考察（航跡図）

- 入船左舷におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 42 分、タグボート有りの場合は 45 分となっており、離桟時にタグボートで横移動させて引き出した分、タグボート有りの方が操船時間を要している。
- 入船左舷（タグボート有り）におけるスラスターの有無を比較すると、港域線までの時間は、スラスター無しの場合は 45 分、スラスター有りの場合は 25 分となった。タグボートあり、スラスターありの場合にはフェンダーとの接触がなかった。
- 離桟の際、タグボート無しでは横移動を行うことが難しく、後進した場合は一軸船の特性から船尾が桟橋に再接近することとなった。また、タグボートを使用した場合では横移動を行うことができ、桟橋への再接近も抑える事ができた。さらにスラスターを使用した場合は短時間に出港できた。

a) 入船左舷（タグボート無し、スラスター無し）

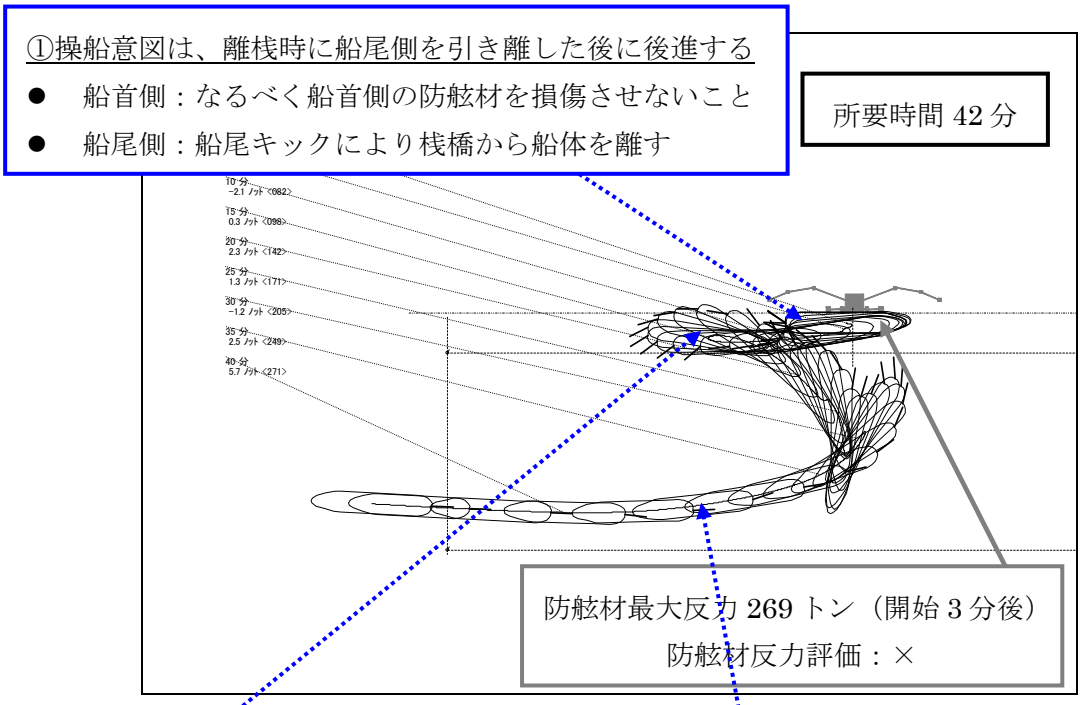


図 3.3.37　入船左舷・単独離桟（LNG 船）【ケース LV-1】

b) 入船左舷（タグボート有り、スラスター無し）

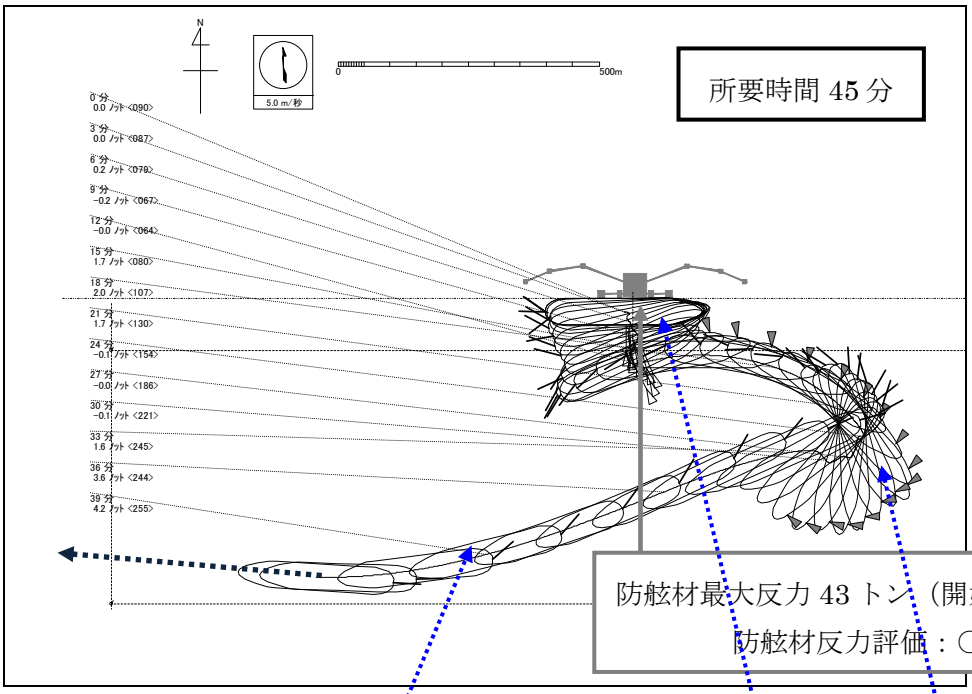


図 3.3.38　入船左舷・タグボート有り・スラスター無し（LNG 船）【ケース LV-2】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち、右回頭させる

- 船首側 : 11 時の位置に移動したタグボートにより船体方向（3 時方向）に「Full 押し」にして、右回頭を支援することとした。
- -右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整）

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

c) 入船左舷（タグボート有り、スラスター有り）

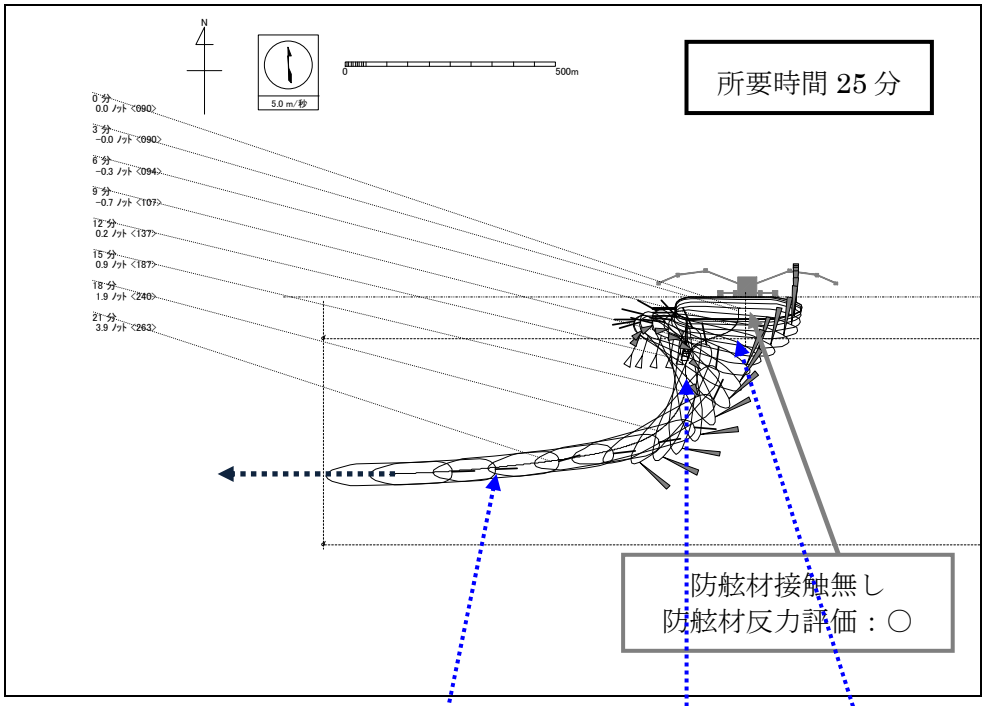


図 3.3.39　入船左舷・タグボート有り・スラスター有り（LNG 船）【ケース LV-3】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船首側：船首スラスターを最大「Full To Starboard」まで使用
- 船尾側：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち、なるべく船首側で右回頭させる

- 船首側：船首スラスターを最大「Full To Starboard」で常時使用
- 船尾側：回頭前半は、タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」を継続して、船尾が桟橋に最接近する事を抑える。回頭後半は、桟橋との離隔距離の確保を確認した上で、タグボートを船体方向（9 時方向）に「Full 押し」に変更して、右回頭を支援することとした。
- -右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように、また船尾が桟橋に最接近しないように調整）

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

② 操船結果と考察（回頭角速度）

入船左舷からの LNG 船の回頭局面について、単独離桟【ケース LV-1】、タグボート有り・スラスター無し【ケース LV-2】、タグボート有り・スラスター有り【ケース LV-3】の支援力の異なる各ケースで、回頭角速度の発生傾向を比較した。

- 入船左舷からの単独による回頭局面では、エンジン及び舵のみを使用し、回頭開始から最大角速度に到達するまでに約 8 分間（11 分～19 分）を要し、最大 10deg/min 程度の回頭角速度により回頭した。【ケース LV-1】
- 入船左舷からのタグボート有り（スラスター無し）の場合の回頭局面では、回頭開始から最大角速度に到達するまでに約 5 分間（11 分～16 分）を要し、最大で 10deg/min 程度の回頭角速度により回頭した。【ケース LV-2】
- 入船左舷からのタグボート有り・スラスター有りの場合の回頭局面では、回頭開始から最大角速度に到達するまでに約 5 分間（8 分～13 分）を要し、最大で 20deg/min 程度の回頭角速度により回頭した。【ケース LV-3】
- 出港時に行う回頭局面では、単独による回頭操船（エンジン及び舵のみ）と比較し、操船支援力（タグボート、スラスター）を追加することに、より短時間で最大角速度に到達し、最大角速度の値も増加する傾向がみられた。

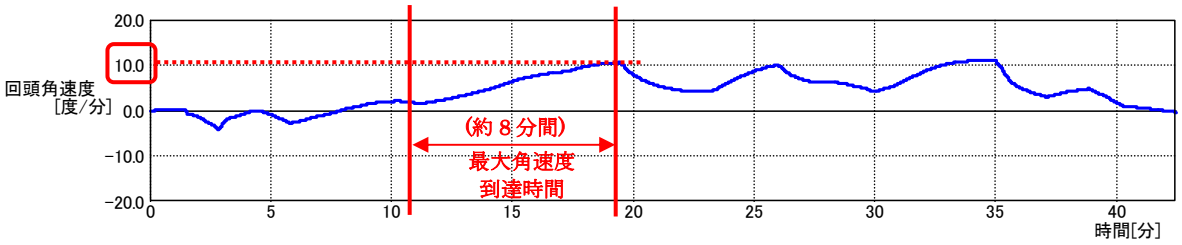


図 3.3.40　入船左舷・単独離桟（LNG 船）【ケース LV-1】

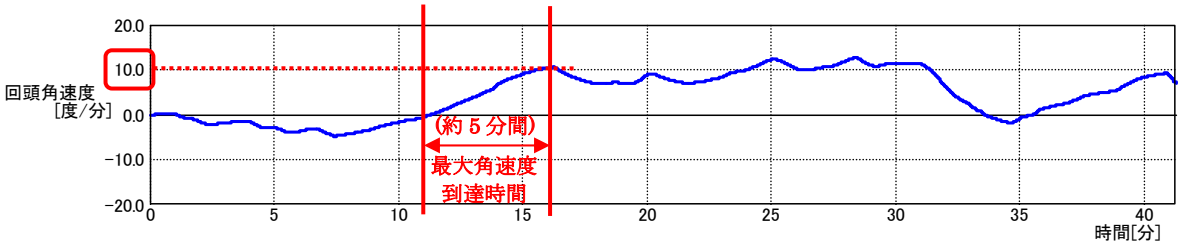


図 3.3.41　入船左舷・タグボート有り・スラスター無し（LNG 船）【ケース LV-2】

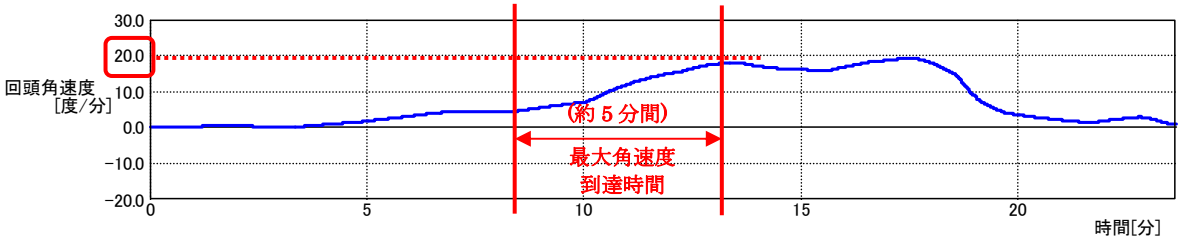


図 3.3.42　入船左舷・タグボート有り・スラスター有り（LNG 船）【ケース LV-3】

③ 操船評価

入船左舷・タグボート有り・スラスター有り（LNG 船）【ケース LV-3】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- タグボート及びスラスターを用いて出港することにより、防舷材を損傷させることもなく、操船面、時間面ともに効果があった。

（総合評価：○）

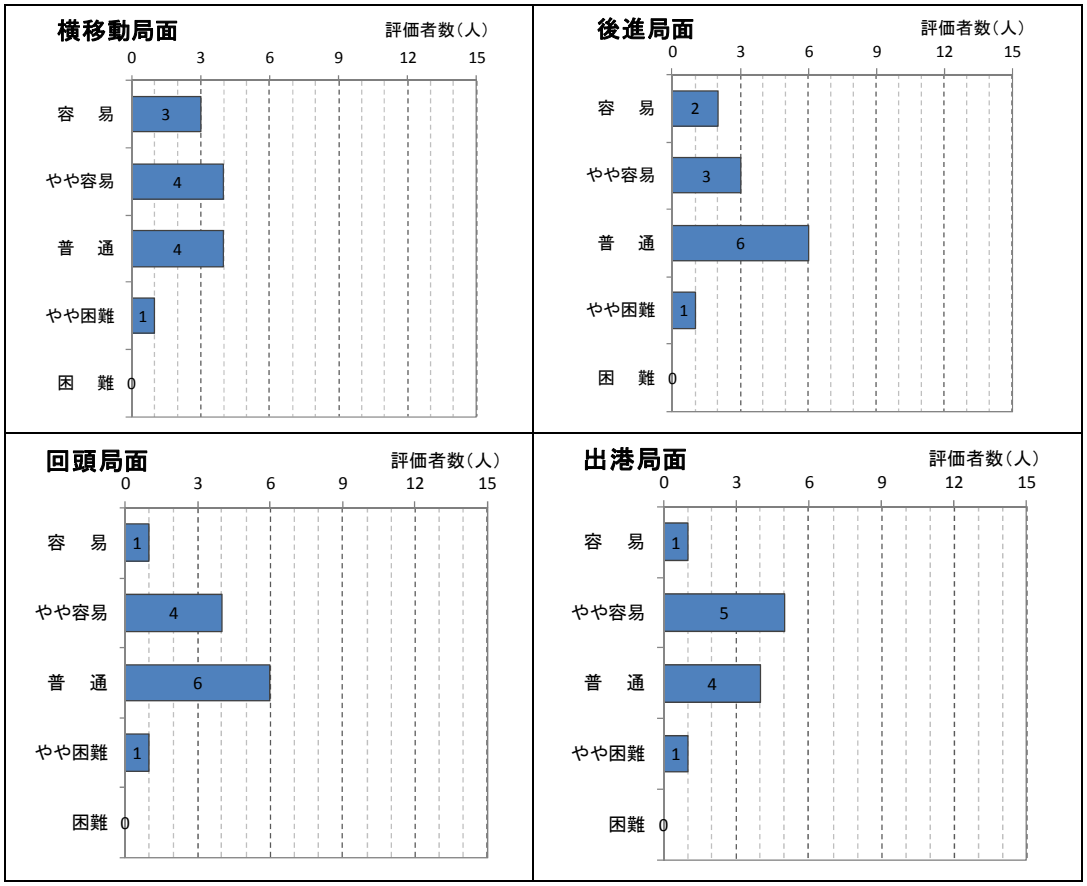


図 3.3.43　入船左舷・タグボート有り・スラスター有り（LNG 船）【ケース LV-3】の安全評価

表 3.3.14　入船左舷・タグボート有り・スラスター有り（LNG 船）【ケース LV-3】のコメント

【代表的なコメント】

- タグボートとスラスターが使えると、スムーズな操船が出来ていた。所要時間（防舷材を損傷許容としない場合）も最短の目安になるのでは。
- タグボート＋スラスターの効果は、操船に対しても、時間に対しても効果あり。

3.3.3 VLCC

3.3.3.1 入船と出船の比較

(1) 入船左舷と出船右舷

- 入船左舷と出船右舷を比較すると、港域線までの時間は、入船の場合は 69 分、出船の場合は 23 分となっており、出船では回頭局面が無い分、入船より早く出港することが出来た。
- 入船と出船の港域線までの時間差は、VLCC では 46 分程度となっており、同条件の LNG 船の 20 分と比較しても、より排水量の大きな VLCC の方が大きくなる傾向があるものと思料される。

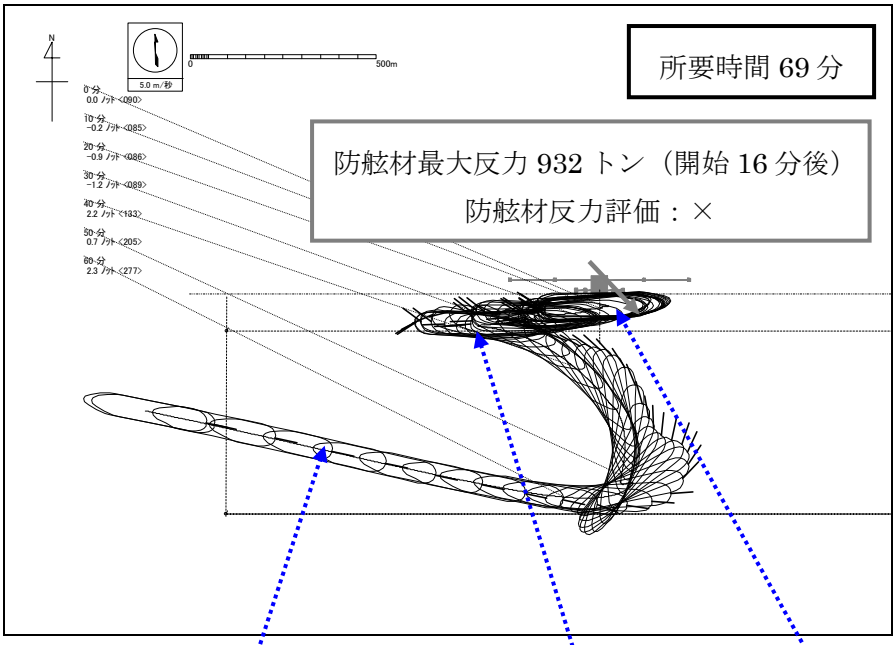


図 3.3.44　入船左舷（VLCC）【ケース LV-16】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち右回頭させる
- 船尾が左舷桟橋に接近したため、エンジンを前進として船尾を引き離し、右回頭した

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

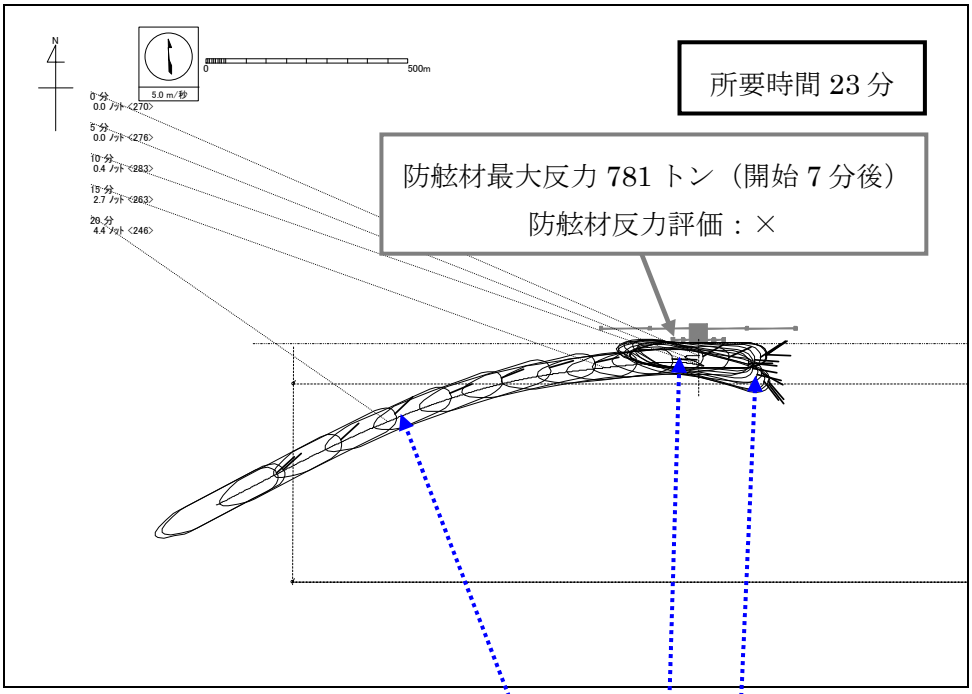


図 3.3.45　出船右舷（VLCC）【ケース LV-24】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

(2) 入船右舷と出船左舷

a) 操船結果と考察

- 入船右舷と出船左舷を比較すると、港域線までの時間は、入船の場合は 53 分、出船の場合は 21 分となっており、出船では回頭局面が無い分、入船より早く出港することが出来た。

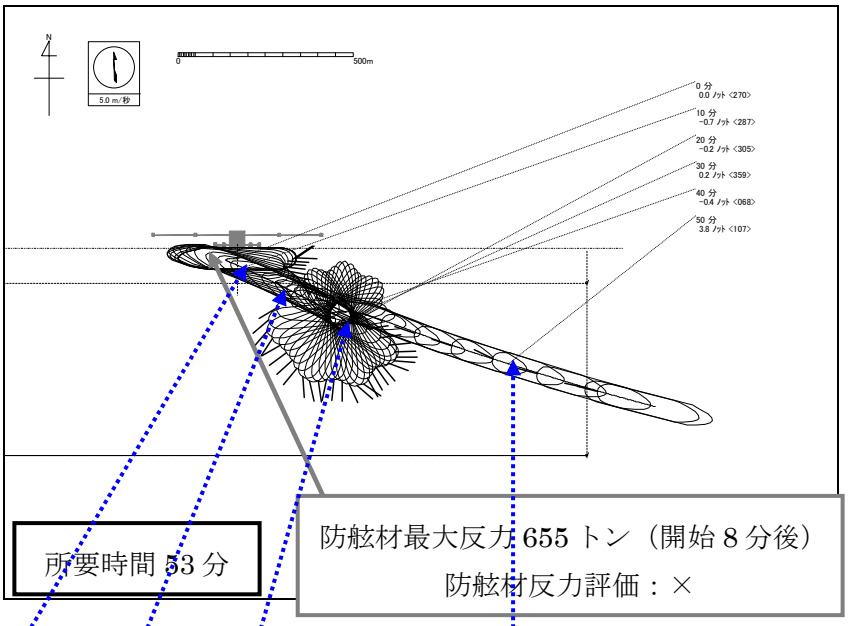


図 3.3.46　入船右舷（VLCC）【ケース LV-18】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に,桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる
- エンジンは、最大「Half Astern」まで上げた

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する
- 右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整しながら、最大「Half Ahead」まで上げた）

④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

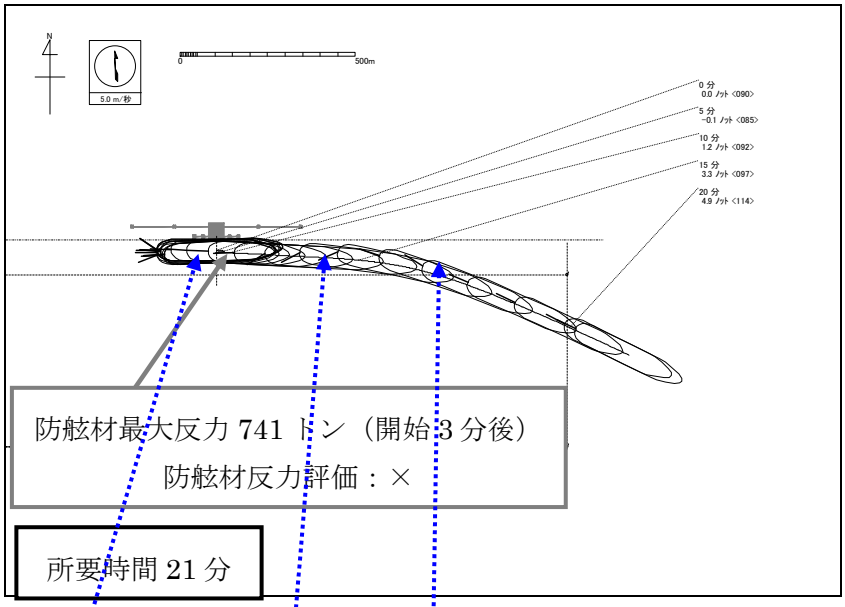


図 3.3.47　出船左舷（VLCC）【ケース LV-20】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法でも船体がバース法線から十分離れることがなかったので船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷（VLCC）【ケース LV-20】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により出港出来たものの、桟橋への最接近及び防舷材への損傷リスクについてのコメントもあった。

（総合評価：△）

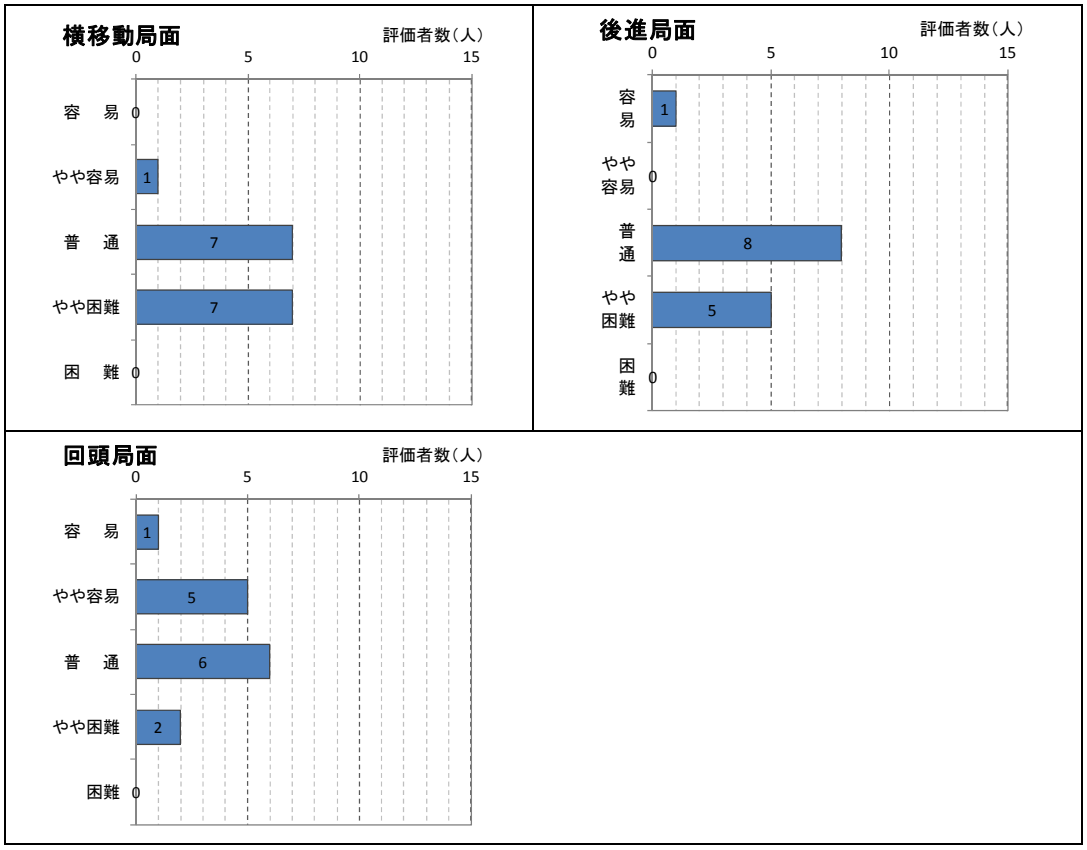


図 3.3.48　出船左舷（VLCC）【ケース LV-20】の安全評価

表 3.3.15　出船左舷（VLCC）【ケース LV-20】のコメント

【代表的なコメント】

- 1 回のキックでフェンダーを利用して離れることができた操船モデルとして使えると思う。
- 横移動が非常に重いものの、この外力条件であれば離桟は可能と考えられる。
- モス型 LNG 船に比べて風圧力の影響は少ない。前進離桟のリスクは、前方ムアリングドルフィンにいかに接触しないよう（船首がブレスティングドルフィンと前方ムアリングドルフィンの間に入らないよう）操船することがポイントと考えられる。
- 緊急時対応なので止むを得ないが、通常のオペレーションとはかなり異なるものであった。
- フェンダー荷役設備の損傷とのバランスが重要。企業としては、バースが損傷することは、その後の業務に大きな影響が出るので、バースの損傷を最小限にぜひ前提として頂きたい。

3.3.3.2 右舷と左舷の比較

(1) 入船左舷と入船右舷

- 入船左舷と入船右舷を比較すると、左舷着けの方が右舷着けより離桟出港に時間を要しており、港域線までの時間差では 16 分程度となっている。
- キック操船により桟橋から離し後進した際、左舷着けでは桟橋に再接近した。

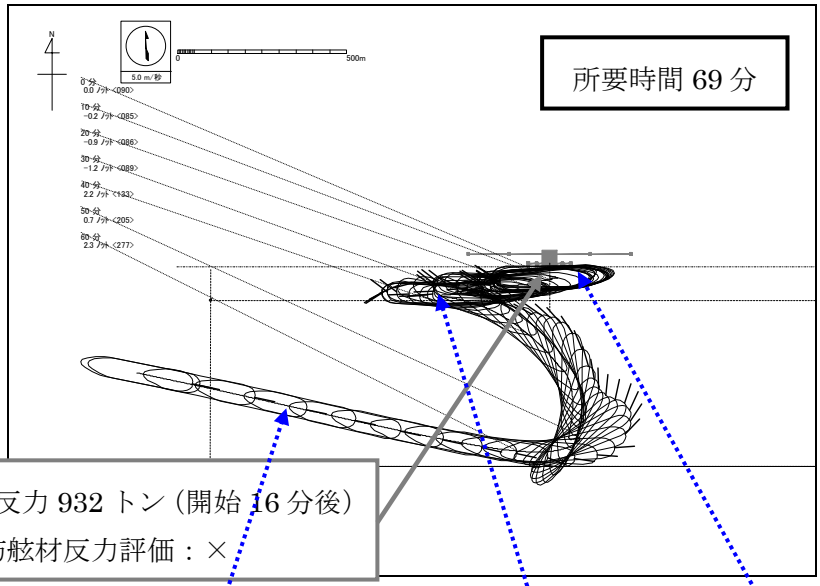


図 3.3.49　入船左舷（VLCC）【ケース LV-16】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち右回頭させる
- 船尾が左舷桟橋に接近したため、エンジンを前進として船尾を引き離し、右回頭した

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

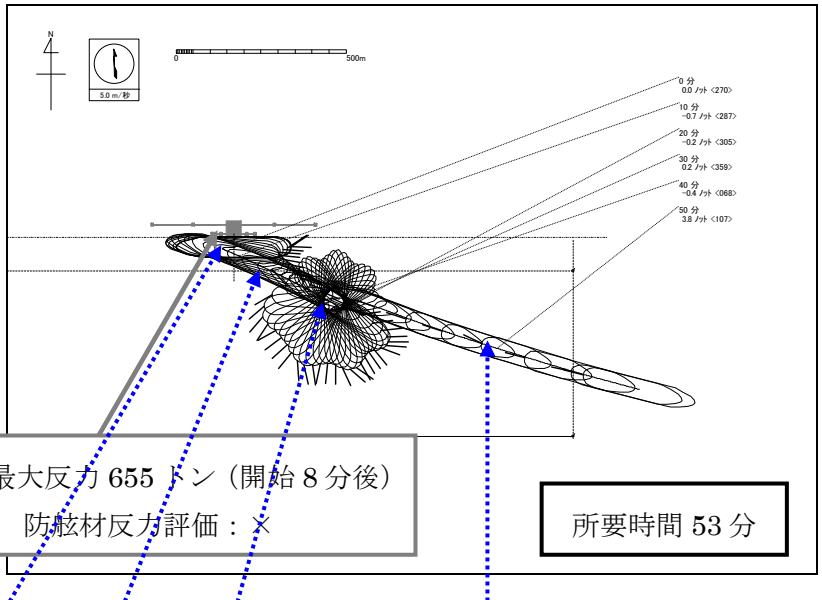


図 3.3.50　入船右舷（VLCC）【ケース LV-18】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に,桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Half Astern」まで上げた

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する

- 右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整しながら、最大「Half Ahead」まで上げた）

④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

(2) 出船左舷と出船右舷

- 出船左舷と出船右舷の出港までの時間差を比較すると、右舷着けからの出港の方が 2 分程度多く時間を要した。

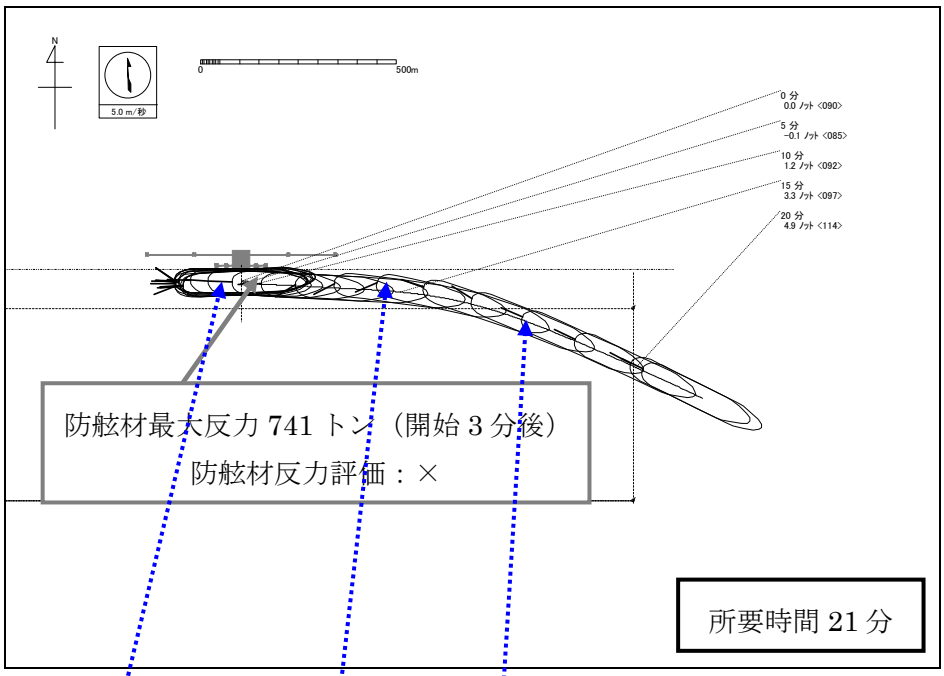


図 3.3.51　出船左舷（VLCC）【ケース LV-20】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法でも船体がバース法線から十分離れることがなかったので船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

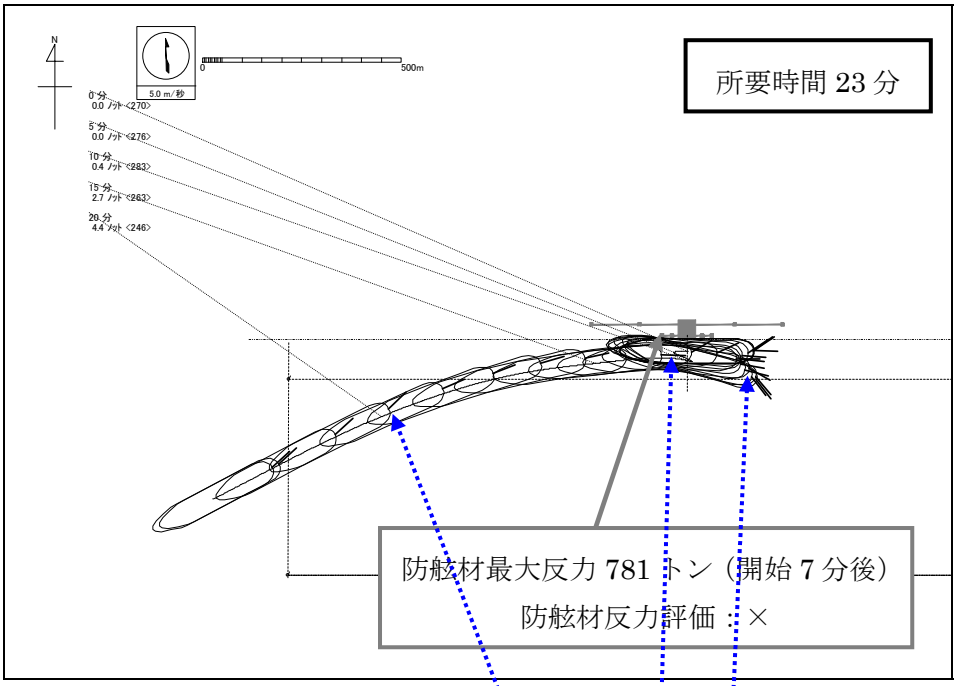


図 3.3.52　出船右舷（VLCC）【ケース LV-24】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる

- エンジンは、最大「Full Astern」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

3.3.3.3 タグボート有無の比較

(1) 入船右舷におけるタグボートの有無

- 入船右舷におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 53 分、タグボート有りの場合は 43 分となった。
- タグボート有りの方が、より短時間で桟橋との横方向の離隔距離を確保することが出来た。

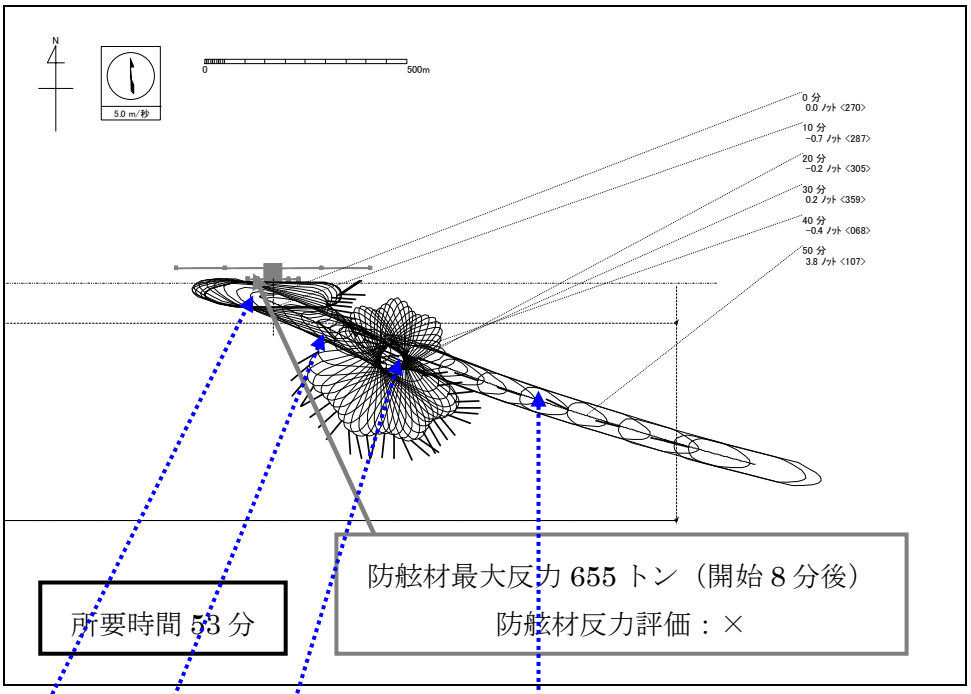


図 3.3.53　入船右舷・タグボート無し（VLCC）【ケース LV-18】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風により船体が桟橋に再接近することのない様に,桟橋との離隔距離を保てる回頭エリアまで、なるべく早く後進させる
- エンジンは、最大「Half Astern」まで上げた

③操船意図は、可能な限り早く、その場で右回頭する
- 右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整しながら、最大「Half Ahead」まで上げた）

④操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

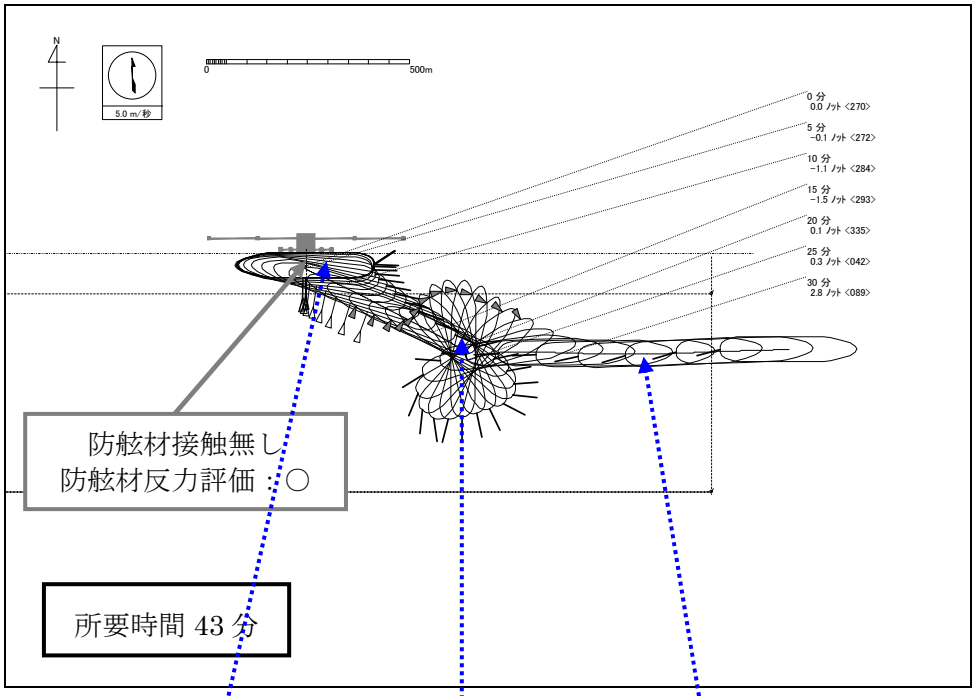


図 3.3.54　入船右舷・タグボート有り（VLCC）【ケース LV-19】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（9 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち、右回頭させる

- 船首側：11 時の位置に移動したタグボートにより船体方向（3 時方向）に「Full 押し」にして、右回頭を支援することとした。
- -右舵一杯にて、エンジン前進（前進行脚が付き過ぎないように調整）

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

(2) 入船左舷におけるタグボートの有無

a) 操船結果と考察

- 入船左舷におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 69 分、タグボート有りの場合は 41 分となった。
- タグボート無しの場合は横移動が困難であり、桟橋との離隔距離を確保するため、キック操船により船尾を離した後、後進を実施しなければならない。その結果、一軸船の特性として、船尾が桟橋側に再接近することとなった。タグボート有りの場合では、横移動が出来るため再接近はなかった。

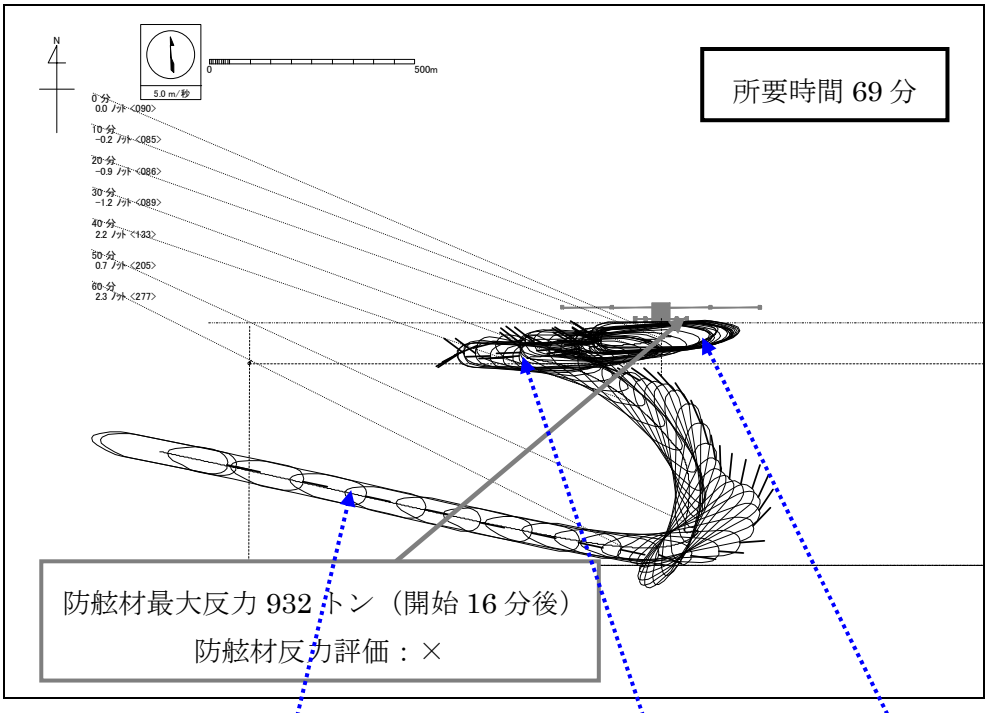


図 3.3.55　入船左舷・タグボート無し（VLCC）【ケース LV-16】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する
- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、船尾が桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち右回頭させる
- 船尾が左舷桟橋に接近したため、エンジンを前進として船尾を引き離し、右回頭した

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する
- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

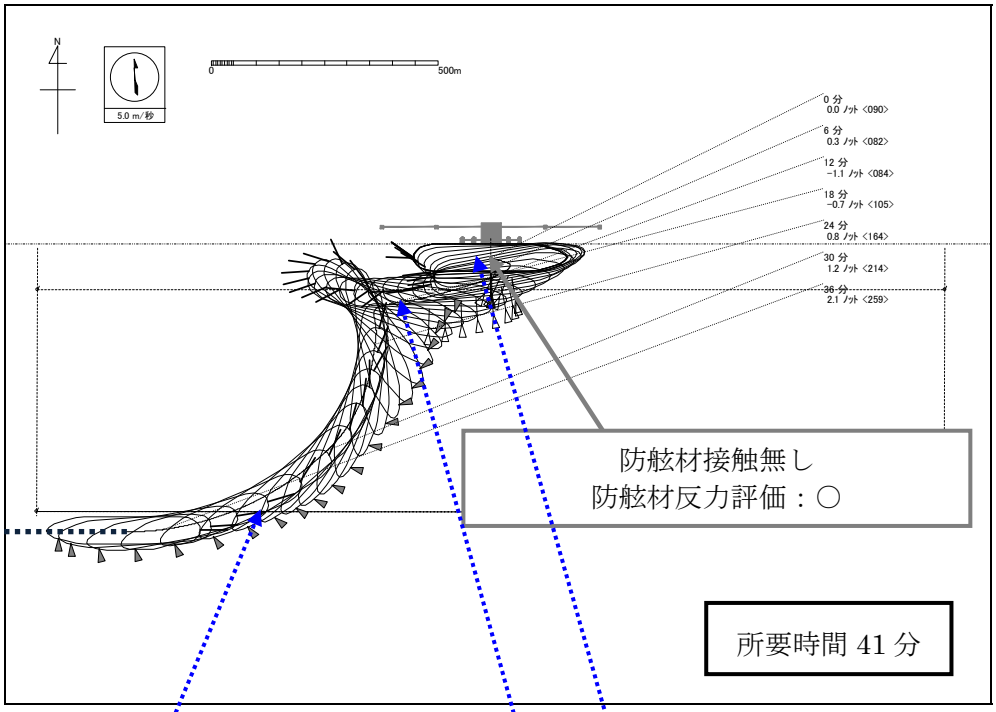


図 3.3.56　入船左舷・タグボート有り（VLCC）【ケース LV-17】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、桟橋に再接近することのない様に離隔距離を保ち、右回頭させる

- 船首側：11 時の位置に移動したタグボートにより船体方向（3 時方向）に「Full 押し」にして、右回頭を支援することとした。
- -右舵一杯にて、エンジン前進（船尾が桟橋に近づき過ぎないように調整）

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

入船左舷・タグボート有り（VLCC）【ケース LV-17】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- タグボート 1 隻の支援により、離岸・回頭・出港出来た。後進時に 1 軸船の特性として桟橋に最接近したことや、回頭時にややエリアを逸脱して南下したことが『やや困難』との評価になったが、回頭制御は可能であったとのコメントがあった。

（総合評価：△）

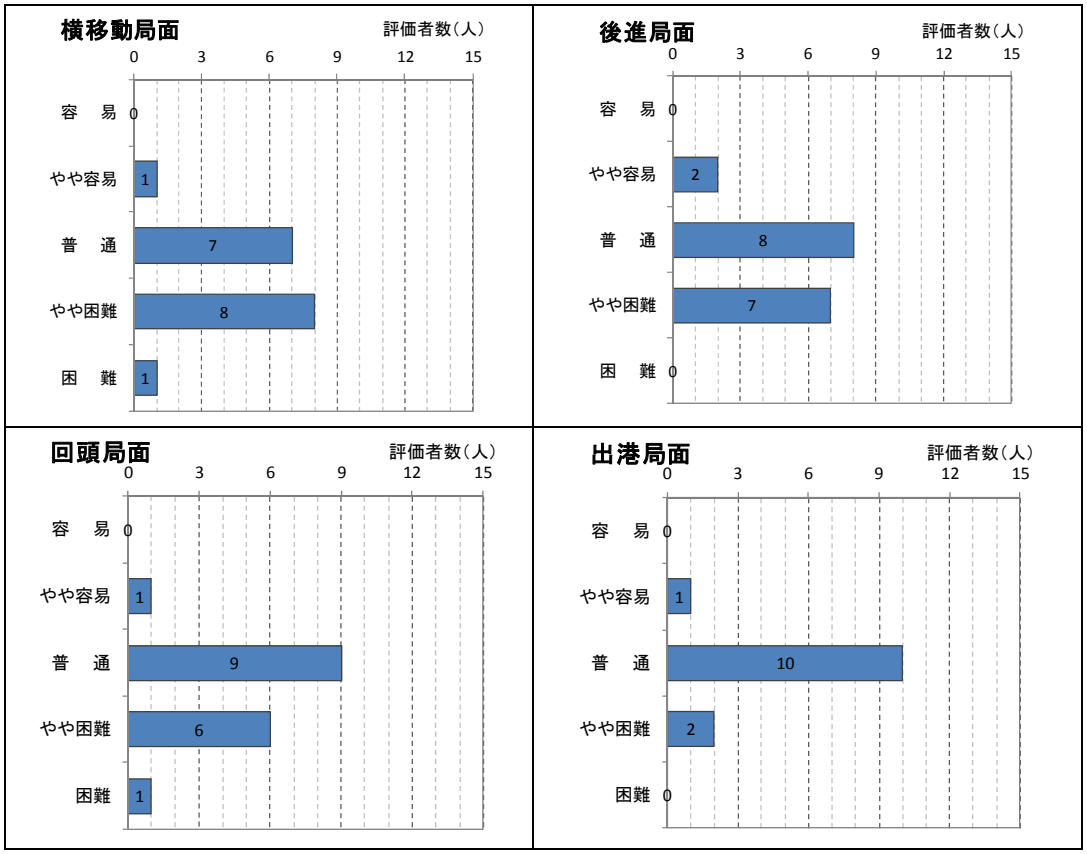


図 3.3.57　入船左舷・タグボート有り（VLCC）【ケース LV-17】の安全評価

表 3.3.16　入船左舷・タグボート有り（VLCC）【ケース LV-17】のコメント

【代表的なコメント】

- 離桟時のタグボートの効果が見えた。回頭局面では水域にもう少し余裕があるのが望ましい。
- 回頭時、船尾がドルフィンに近づいたように感じられた
- タグボートによりコンパクトに船の向きを変えられるのかと思ったが、予想以上に広い水域を有した。重量の影響大か。
- 出港時に港域線に設置した安全標識ブイに近づいたが、これは接近しないようにすることは可能であったと思う。

(3) 出船左舷におけるタグボートの有無

① 出船左舷（損傷不可）におけるタグボートの有無

a) 操船結果と考察

- 出船左舷（損傷不可）におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合は 21 分、タグボート有りの場合は 16 分となった。離桟時間の短縮に効果がある。桟橋との離隔距離を確保するため、タグボート無しではキック操船により一旦船尾を桟橋から離し、続いて後進操船を行った。タグボート有りでは、キック操船を行って桟橋から船尾を引き離し、船首側もタグボートで引き離したため、そのまま前進操船で出港することが出来た。

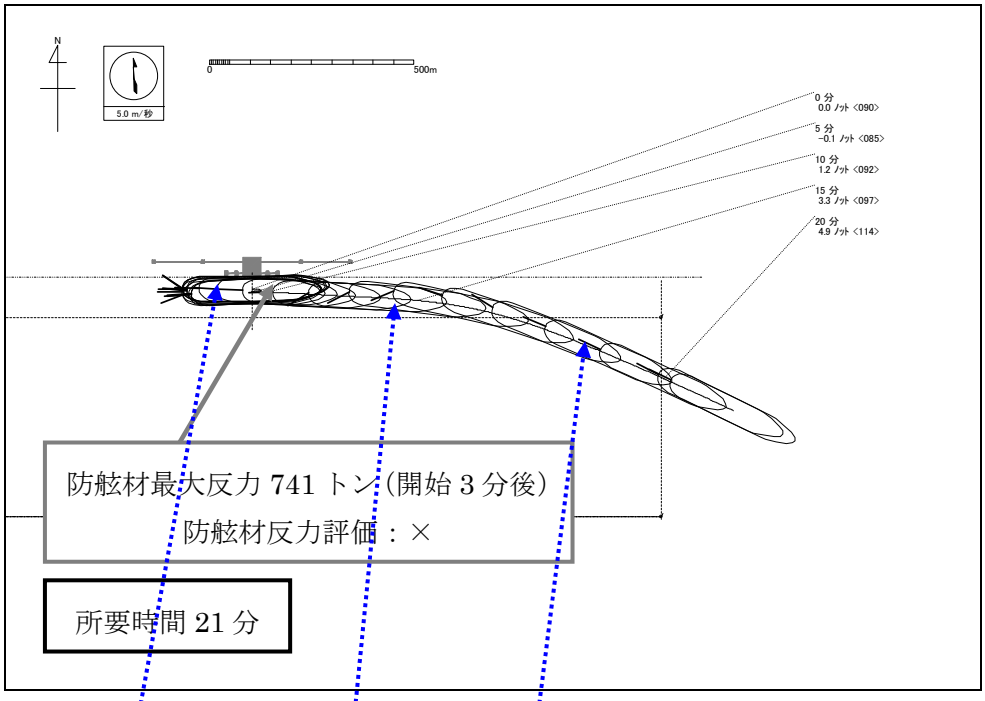


図 3.3.58 出船左舷・タグボート無し・損傷不可（VLCC）【ケース LV-20】

①操船意図は、離桟時に船尾側を引き離した後に後進する

- 船首側：なるべく船首側の防舷材を損傷させないこと
- 船尾側：船尾キックにより桟橋から船体を離す

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法でも船体がバース法線から十分離れることがなかったので船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「S/B Full Ahead」まで上げた

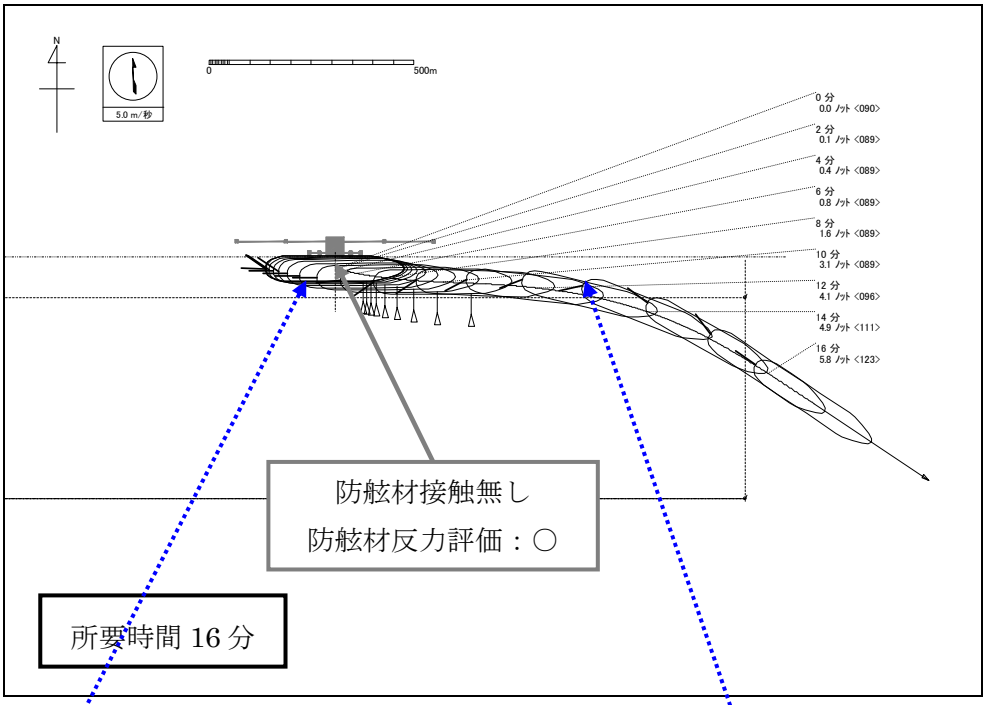


図 3.3.59　出船左舷・タグボート有り・損傷不可（VLCC）【ケース LV-21】

①操船意図は、離桟時にバース法線に対して平行横移動させる

- 船首側：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」
- 船尾側：左舵一杯にて、エンジン前進（船首側の平行移動とのバランス）

②操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「Nav. Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・タグボート有り・損傷不可（VLCC）【ケース LV-21】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- タグボート 1 隻の支援により、防舷材が損傷することもなく、各局面とも比較的スムーズに離岸・出港することが出来た。また、VLCC が LNG 船と比較して、風の影響を小さく感じるとのコメントも得ている。

（総合評価：○）

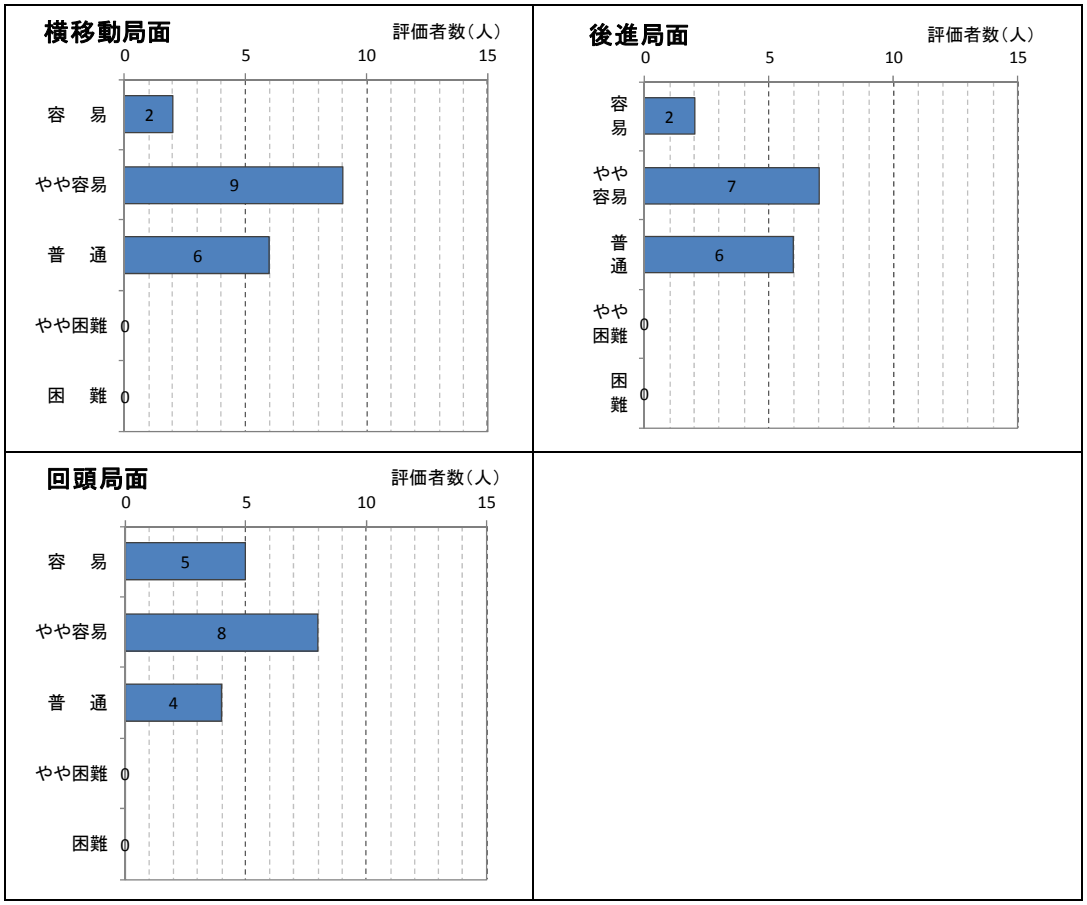


図 3.3.60　出船左舷・タグボート有り・損傷不可（VLCC）【ケース LV-21】の安全評価

表 3.3.17　出船左舷・タグボート有り・損傷不可（VLCC）【ケース LV-21】のコメント

【代表的なコメント】

- タグボートと船尾キックで十分に離桟することができた。問題ない操船であった。
- 桟橋とのクリアランスは小さいものの、なんとか制御。特段の危険は感じず、比較的スムーズに制御できた。
- タグの支援があれば特段の問題なく緊急離桟は可能であると感じる。
- VLCC では、風圧面積の大きな LNG 船に比べて、風の影響が少ないのが感じられた。

② 出船左舷（前進離桟・損傷許容）におけるタグボートの有無

a) 操船結果と考察

- 出船左舷（前進離桟・損傷許容）におけるタグボートの有無を比較すると、港域線までの時間は、タグボート無しの場合で 17 分、タグボート有りの場合で 19 分となった。
- タグボート無しでは実験開始とともに前進操船のみとしたのに対し、タグボート有りでは船体が桟橋からある程度離れた後に前進としたため、その分だけ時間がかかったものと考えられる。

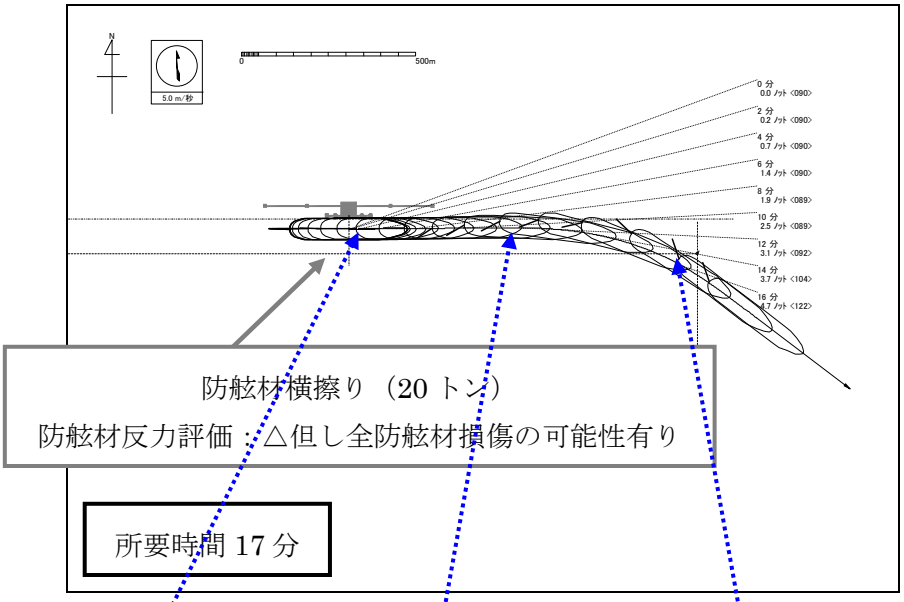


図 3.3.61　出船左舷・タグボート無し・前進離桟・損傷許容（VLCC）【ケース LV-22】

①操船意図は、前進してそのまま離桟する

- 桟橋の全ての防舷材の損傷を許容する
- 接岸ドルフィン及び係留索ドルフィンを通過するまで、なるべく前進操船とした

②操船意図は、向岸風及び直前の操船方法により船体がバース法線の近傍であるので船体を法線から引き離す

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

③操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げた

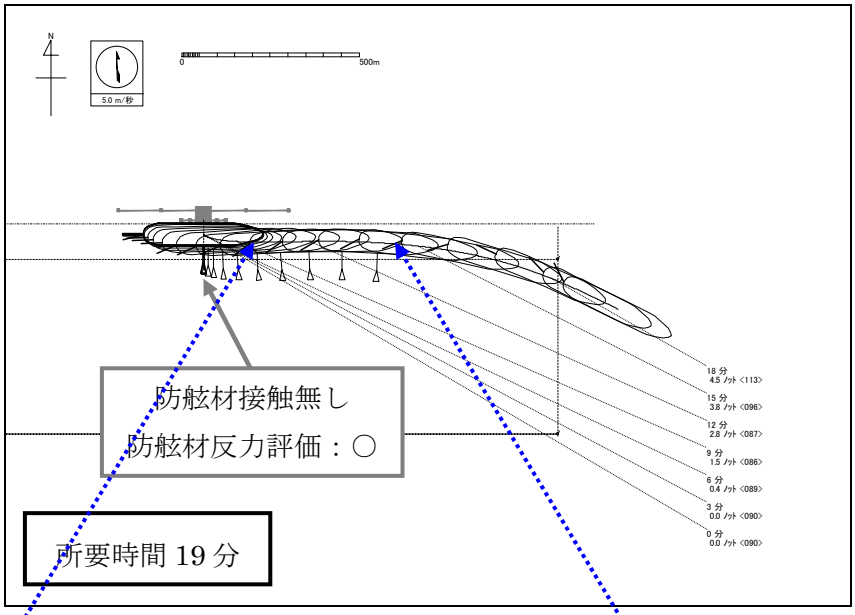


図 3.3.62　出船左舷・タグボート有り・前進離桟・損傷許容（VLCC）【ケース LV-23】

①操船意図は、離桟時に前進操船しながらも、タグボートにより桟橋から引き離す

- 船体中央部：タグボートにより離岸方向（3 時方向）に「Full 曳き」

②操船意図は、港口に向首及び可能な限り増速する

- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

b) 操船評価

出船左舷・タグボート無し・前進離桟・損傷許容（VLCC）【ケース LV-22】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により前進出港出来たものの、防舷材及び船体への損傷を考慮すると現実的に困難な操船方法であるのではとのコメントがあった。

（総合評価：×）

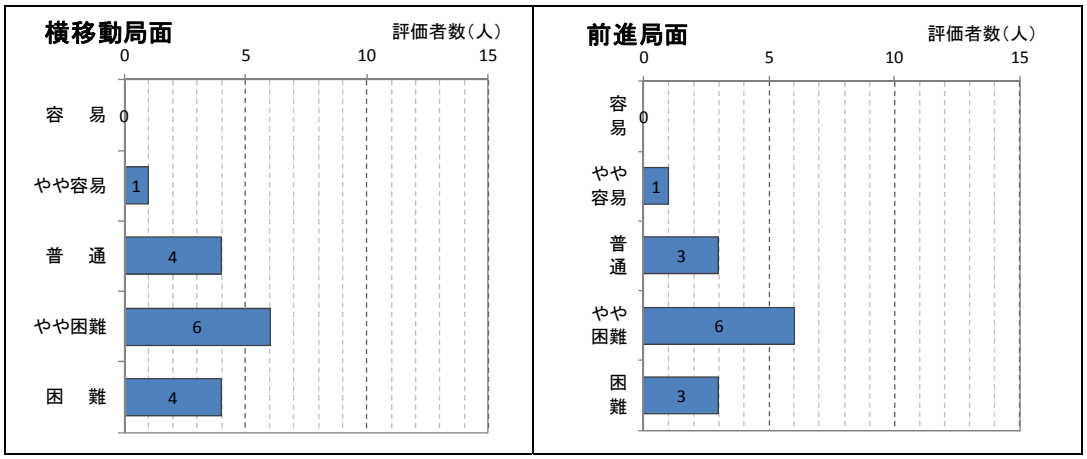


図 3.3.63　出船左舷・タグボート無し・前進離桟（VLCC）【ケース LV-22】の安全評価

表 3.3.18　出船左舷・タグボート無し・前進離桟（VLCC）【ケース LV-22】のコメント

【代表的なコメント】

- 操船シミュレータ上は実行可能であったものの、船体へのダメージを考慮すると容易ではないと考える。
- 絶対にやってはいけない方法と考える。前進速力がある状態での接触は、損傷覚悟の前提と言えども、危険ではないかと考える。
- 桟橋とのクリアランスが足りず、他バース施設にもダメージが発生する状態で、実際には不可能なオペレーションであった。
- タグボートまたはスラスターがなければ、前進離岸と言えど、困難だと理解できた。
- フェンダー等への接触が危惧されるが、緊急時の離桟においてはやむをえないが、最善の操船（他の援助がない）になると思料。

3.4 モデル港における実験結果

3.4.1 整理方針と実験結果

モデル港における操船シミュレーションについては、コンテナバースからの離桟出港が可能か否かを基本的な判定基準とし、各実験条件（入船・出船、タグボートの有無、津波条件等）を比較整理した。

大型コンテナ船においては、連続操船は津波シミュレーションにおける地震発生後 40 分、70 分、130 分の離岸開始で、タグボートの有無で検討を行った。局面操船は、離岸、回頭、出港の各局面に区分し検討した。

また、貨物船（3,000 トン、500 トン）について、押し波、引き波等での出港局面において検討を行った。

また、実験参加者へのアンケート調査により、各シナリオの操船局面ごとに 5 段階の主観的評価（容易、やや容易、普通、やや困難、困難）を実施した。アンケートに対する総合評価については、参加者の評価及びコメント内容により、〇は安全に出港出来たもの、△は出港出来たものの困難と評価されたもの、×は出港不可能なものとして整理した。

実験結果一覧（大型コンテナ船、貨物船 3,000 トン、500 トン）を表 3.4.1に示す。

表 3.4.1　実験結果一覧（大型コンテナ船、貨物船 3,000 トン、500 トン）

【大型コンテナの追加検討】

実験ケース	対象船舶	係留方法	通常外力	津波外力	タグ支援	スラスター	備考	出港可否（分）	アンケート総合評価
CT-1	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（40分以降）	有	有	津波時間40分後（離岸流）、入船着けからの出港	×	×
CT-2	大型コンテナ船	出船右舷	風向NE・風速5m/s	南西流（40分以降）	有	有	津波時間40分後（離岸流）、出船着けからの出港（1回目）	○（31）	△
CT-3	大型コンテナ船	出船右舷	風向NE・風速5m/s	南西流（40分以降）	有	有	津波時間40分後（離岸流）、出船着けからの出港（2回目）	×	―
CT-4	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（70分以降）	無	有	津波時間70分後（離岸流）、入船着けからの出港	○（37）	△
CT-5	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	北東流（80分以降）	無	有	向岸流の自力離岸	×	×
CT-6	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	北東流（80分以降）	無	有	向岸流の自力離岸（船首スプリング使用、回頭場所港奥）	○（36）	―
CT-7	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（130分以降）	無	有	津波時間130分後（離岸流）、入船着けからの出港	×	×
CT-8	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（130分以降）	無	有	港内投錨	○（21）	△
CT-9	大型コンテナ船	回頭局面	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	有	回頭エリアの引き波局面での回頭操船	○（14）	―
CT-10	大型コンテナ船	回頭局面	風向NE・風速5m/s	押し波（70分後）	無	有	回頭エリアの押し波局面での回頭操船	○（19）	―
CT-11	大型コンテナ船	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	無	港口エリアの引き波局面での出港操船	○（8）	―
CT-12	大型コンテナ船	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	押し波（50分後）	無	無	港口エリアの押し波局面での出港操船	○（8）	―
CT-13	大型コンテナ船	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	港口大渦（60分後）	無	無	港口エリアの大渦局面での出港操船	○（10）	―
CT-14	貨物船3000トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	無	港口エリアの引き波局面での出港操船	○（10）	―
CT-15	貨物船3000トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	押し波（50分後）	無	無	港口エリアの押し波局面での出港操船	○（10）	―
CT-16	貨物船3000トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	港口大渦（60分後）	無	無	港口エリアの大渦局面での出港操船	○（9）	―
CT-17	貨物船500トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	無	港口エリアの引き波局面での出港操船	○（7）	―
CT-18	貨物船500トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	押し波（50分後）	無	無	港口エリアの押し波局面での出港操船	○（13）	―
CT-19	貨物船500トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	港口大渦（60分後）	無	無	港口エリアの大渦局面での出港操船	○（7）	―

※出港可否の記載のうち、（ ）で示した値は、港域線通過までに要した時間（通過してない場合は推定時間）。○は出港可能、×は出港不可

※実験参加者へのアンケートによる操船局面の評価及びコメント内容により、○は安全に出港出来たもの、△は出港出来たものの困難と評価されたもの、×は出港不可能なもの。

アンケート有り

3.4.2 大型コンテナ船及び貨物船（3,000 トン、500 トン）

【連続操船】

3.4.2.1 離岸時機の比較（コンテナ船）

(1) 40 分離岸開始（タグボート有り）

① 操船結果と考察

- 地震発生 40 分後に離岸開始をした場合、離岸出来たものの、後進中に防波堤への強い押し波（地震発生後約 60 分あたりの流況図）により圧流され、続いて回頭エリア付近で港内への強い押し波（地震発生後約 70 分あたりの流況図）のため、タグボートとスラスターを最大限使用するものの、港内の浅瀬に圧流され、座礁する結果となった。
- 地震発生 40 分後の岸壁前面の離岸流（南西流）で離岸可能であっても、この時間帯の港内の津波の流況は非常に強く、例えタグボートを使用したとしても、港外まで安全に出港する事は物理的に困難であると考えられる。

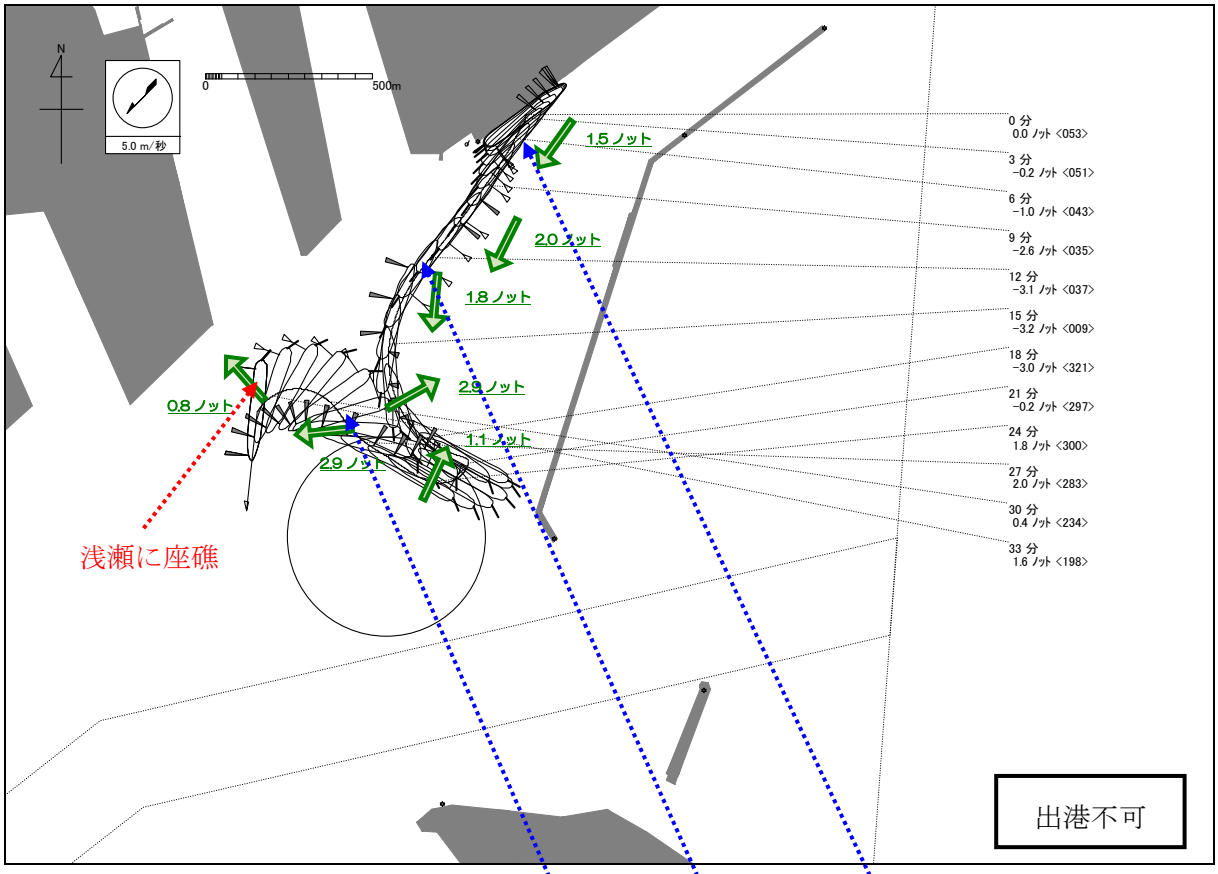


図 3.4.1　入船左舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-1】

①操船意図は、岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard」）
- 船尾側：タグボート（5 時の位置）により離岸させる（最大「Full 曳き」）

②操船意図は、後方の回頭エリアに向かって後進する

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard / Port」）
- 船尾側：タグボートにより船体姿勢制御（最大「Full 曳き / 押し」）
- エンジンは、最大「Half Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

③操船意図は、港口付近の引き波により船体が防波堤側に圧流されたので、体勢を整えるために一旦前進して、左回頭をする

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Port」）
- 船尾側：タグボート（5 時の位置）により船体姿勢制御（最大「Full 曳き」）
- 左舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

② 操船評価

入船左舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-1】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 離岸時は潮の流れ（離岸流）を確認して離岸出来るものの、その後の各局面では、時々刻々と津波が変化しており、その後の通航ルート上の流れの予想が困難なので、津波来襲中（津波の影響がまだ強い中）に出港させる事は現実的に困難である。

（総合評価：×）

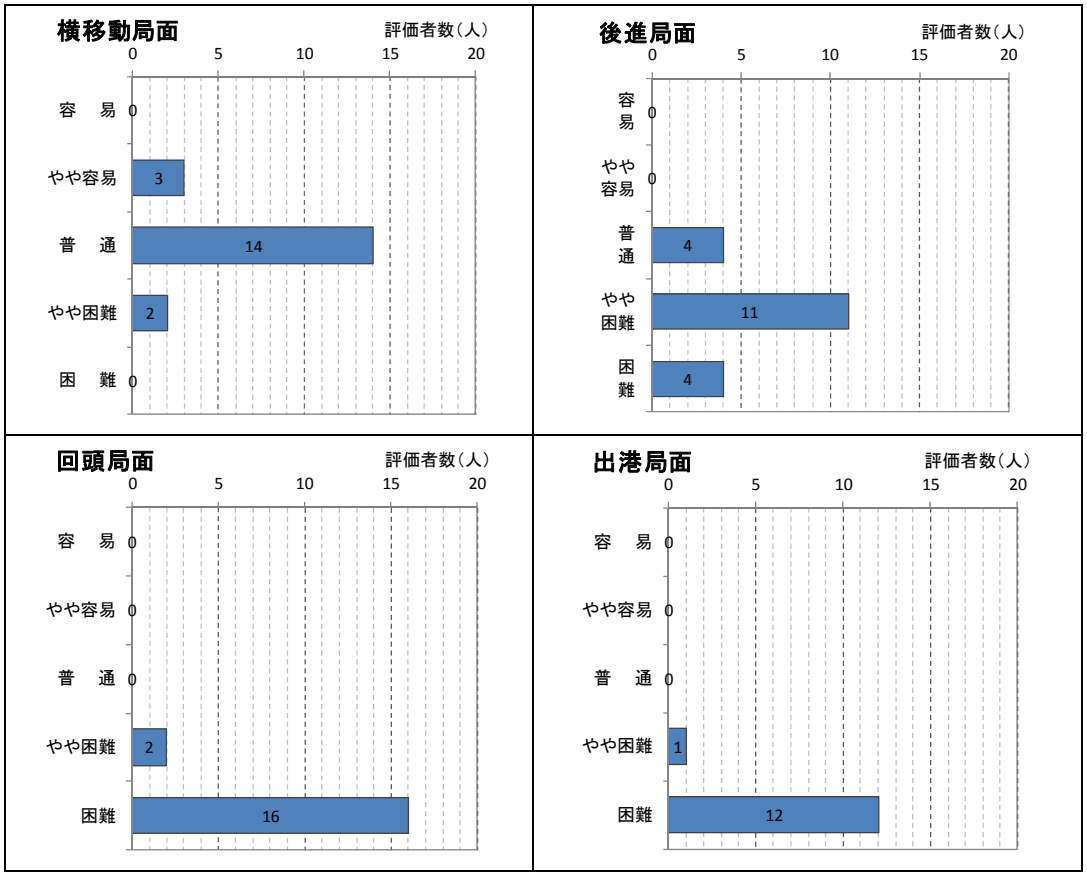


図 3.4.2　入船左舷・40 分離岸開始・タグボート有り【ケース CT-1】の安全評価

表 3.4.2　入船左舷・40 分離岸開始・タグボート有り【ケース CT-1】のコメント

【代表的なコメント】

- 後進までは良かったが、回頭する局面では流向の変化等により回頭ができなかった。回頭場所として、他の場所にすることも考えることが必要かもしれない。
- 防波堤に接近する前の回頭の制御が不能となった時点で、アンカーを投入する選択もあったかもしれないが、実際の場面で判断することは困難と考えられる。タグ 1 隻では必要な支援力は得られない。
- 潮の流れの現状とその後の流況を把握しつつ操船は困難なので、如何に到達させて潮の影響を受けにくい場所での操船を考える必要がある。

(2) 70 分離岸開始（タグボート無し）

① 操船結果と考察

- 地震発生 70 分後に離岸開始をした場合、離岸、後進し、回頭時に回頭エリア付近の渦（地震発生後 100 分あたりの流況図）で一時港内へ圧流されたものの、その後は港内への押し波（地震発生後約 110 分あたりの流況図）に対抗し、エンジンを最大推力（Nav.Full）に上げて出港することが出来た。
- 地震発生 70 分後の岸壁前面の離岸流（南西流）で離岸した場合、その後の緊急離桟ルート上における津波の流況（現実的には予測困難）との遭遇状況によって、出港の可否が決まると考えられる。

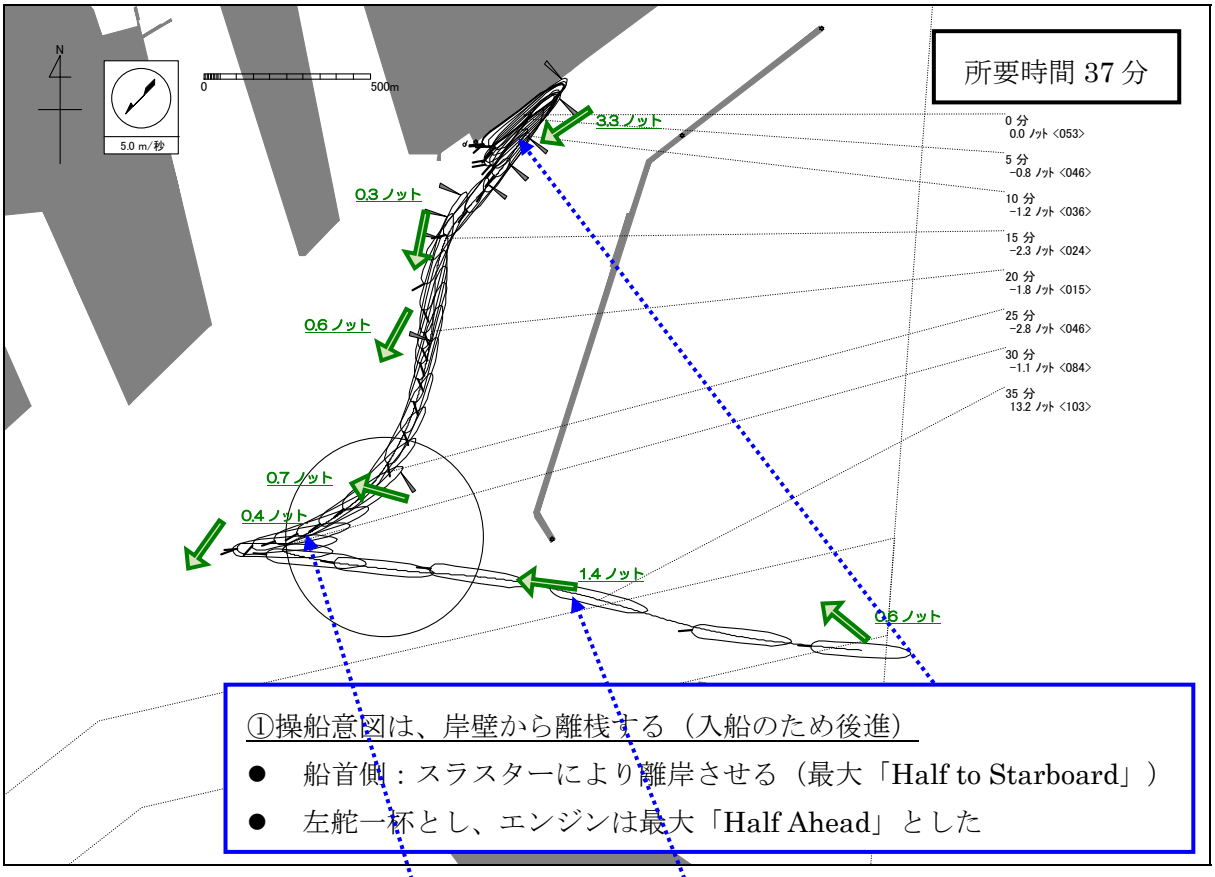


図 3.4.3　入船左舷・70 分離岸開始・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-4】

②操船意図は、押し波により船体姿勢がくずれ港内に圧流されたので、港口への向首及び出港を行う

- 右舵一杯まで使用し、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」を使用した

③操船意図は、港口付近の押し波に対抗して出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げた

② 操船評価

入船左舷・70 分離岸開始・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-4】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により出港出来たものの、離岸後の通航ルート上での流れの予測が不可能な事が『困難』の評価となった。一方、Nav.Full まで使用すれば津波に対抗できる事は把握できた。

（総合評価：△）

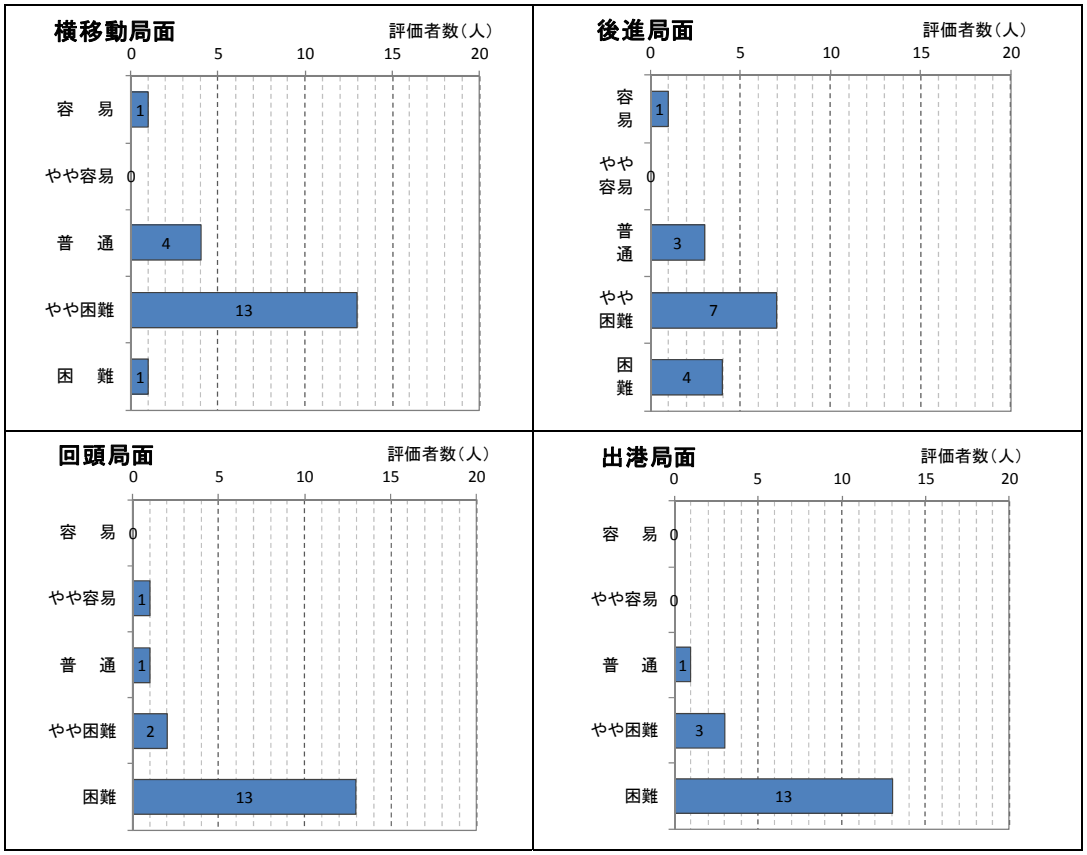


図 3.4.4　入船左舷・70 分離岸開始・タグボート無し【ケース CT-4】の安全評価

表 3.4.3　入船左舷・70 分離岸開始・タグボート無し【ケース CT-4】のコメント

【代表的なコメント】

- 流向、流速が 40 分の時に比べ弱く、制御できる状況になった。Nav.Full で進めたことで、少々の流速流向にも対応できた。船首を港口に向けることと、Nav.Full で速力を上げることができれば、数ノットの流向流速変動に対向できそうであった。
- 離岸流のタイミングで離桟できたとしても、流況の変化が激しく安全に出港できる可能性は低い。防波堤付近で Nav.Full を使う判断によって、外力の影響を制御できていたが、実際にこのように思い切った判断が現場で出来るかは疑問。
- 離岸時に後方の浅瀬があるので離しながら左回頭と非常に神経と時間を使う操船となった。回頭局面、出港局面共に潮流が良い条件下で行うことができたが、運次第であり、コメントをすることができない。

(3) 130 分離岸開始（タグボート無し）

① 操船結果と考察

- 地震発生 130 分後に離岸開始をした場合、離岸、後進は出来たものの、回頭エリア付近で大きな渦が発生（地震発生後約 150 分あたりの流況図）しており、スラスター、エンジン・舵を使用して右回頭を試みるも、圧流により左回頭して港口に向首できず、出港することが不可能であった。
- 地震発生 130 分後の離岸出港は、40 分後、70 分後に比べて相対的に流況の影響は少なくなってきているものの、緊急離桟ルート上の流況の予測が困難であることと、大渦の様に複雑で強い流れの中で、低速航行時での船体制御は難しいと考えられる。

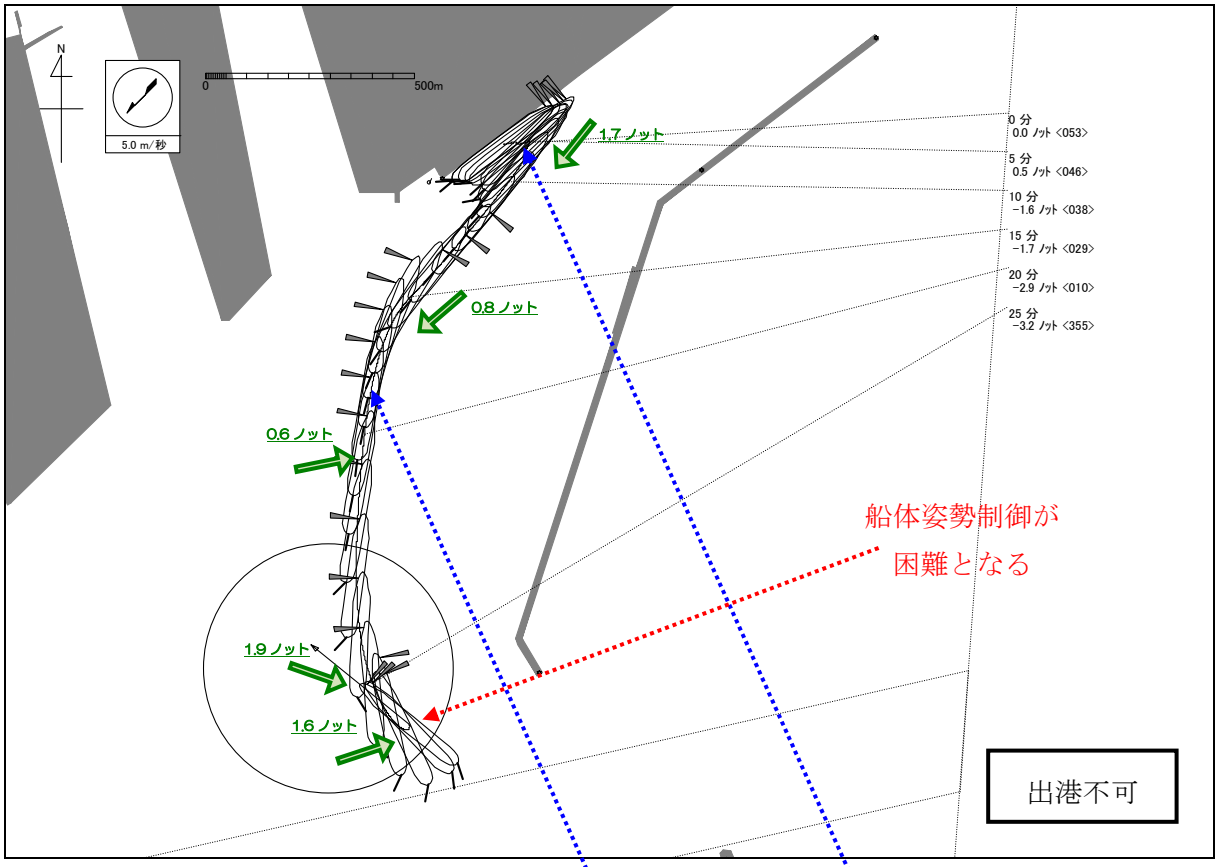


図 3.4.5　入船左舷・130 分離岸開始・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-7】

①操船意図は、岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard」）
- 左舵一杯とし、エンジン最大「Half Ahead」として船尾キックする

②操船意図は、後方の回頭エリアに向かって後進する

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard / Port」）
- エンジンは、最大「Half Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

② 操船評価

入船左舷・130 分離岸開始・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-7】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 自力により離岸出来たものの、地震発生後 130 分が経過していても、場所・操船タイミングによっては津波の影響が強く、船体制御が物理的に『困難』の評価であった。

（総合評価：×）

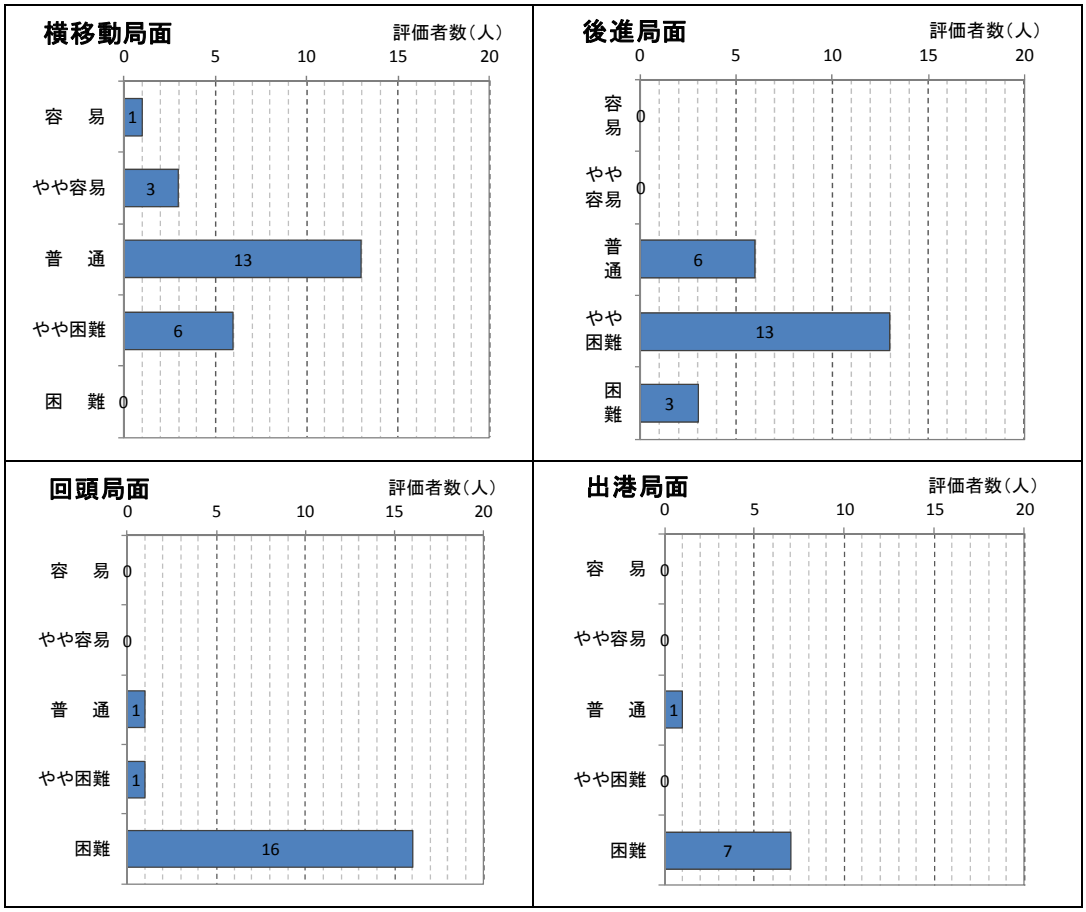


図 3.4.6　入船左舷・130 分離岸開始・タグボート無し【ケース CT-7】の安全評価

表 3.4.4　入船左舷・130 分離岸開始・タグボート無し【ケース CT-7】のコメント

【代表的なコメント】

- コンテナバース左後方の浅瀬に近づきすぎたようにも感じた。通常の回頭水域付近は、潮流が渦を巻いている状況では操船支援のタグ無しでは困難と感じる。
- 離岸時の横移動は可能。やはり後進局面の操船要領をマスターすることがポイント（通常の操船要領でないので、出たとこ勝負のように見える。運が良ければ）。
- 離岸から船尾が開くまでは思ったよりスムーズにできた。避険線などで陸側に寄れる限界をしっかり見極めながら後進し、潮流の影響が少ないところに進出できることが重要。潮流の影響が強い防波堤近くに寄ることを避けることが必要。その意図を持った操船が必要。

3.4.2.2 離岸方法の比較（コンテナ船）

(1) スラスター装備

- 今回対象とした大型コンテナ船は、船首スラスターが搭載されており、津波流速が 2 ノット程度を超えると、船体正横方向からの流向については、制御することは困難であった。

(2) 入船左舷及び出船右舷（40 分離岸開始・タグボート有り）

① 操船結果と考察

- 入船状態から離岸開始をした場合（地震発生 40 分後）、離岸出来たものの、後進中に防波堤への強い引き波（地震発生後約 60 分あたりの流況図）により圧流され、続いて回頭エリア付近で港内への強い押し波（地震発生後約 70 分あたりの流況図）のため、タグボートとスラスターを最大限使用するものの、港内の浅瀬に圧流され座礁する結果となった。
- 出船状態から離岸開始をした場合（地震発生 40 分後）、【１回目】入船状態より簡単に離岸出来たものの、港奥に向かうために航進するも、前進中に防波堤への強い押し波（地震発生後約 60 分あたりの流況図）により左舷側の防波堤に圧流され、防波堤と船体との離隔距離が船幅もない程度で航過し（かろうじて衝突せず）、その後、エンジンを最大推力（Nav.Full）とし、港口の押し波に対抗しながら、なんとか出港できた。【２回目】また、同様の条件で再度実施したが、今度は港口付近で津波に圧流されて、船体制御不能のまま港外横方向に流される結果となった。
- 入船出港と出船出港を比較すると、出船出港の方が離岸し易くなる利点はあったが、非常に強い津波の流況下では入船同様に圧流され、共に船体制御が非常に困難であったものと思料される。また、港口に向首するために、一時的に船速を落として回頭や変針をしなければならない場合、津波流況の強い場所では外力に対抗する事が困難であると考えられる。

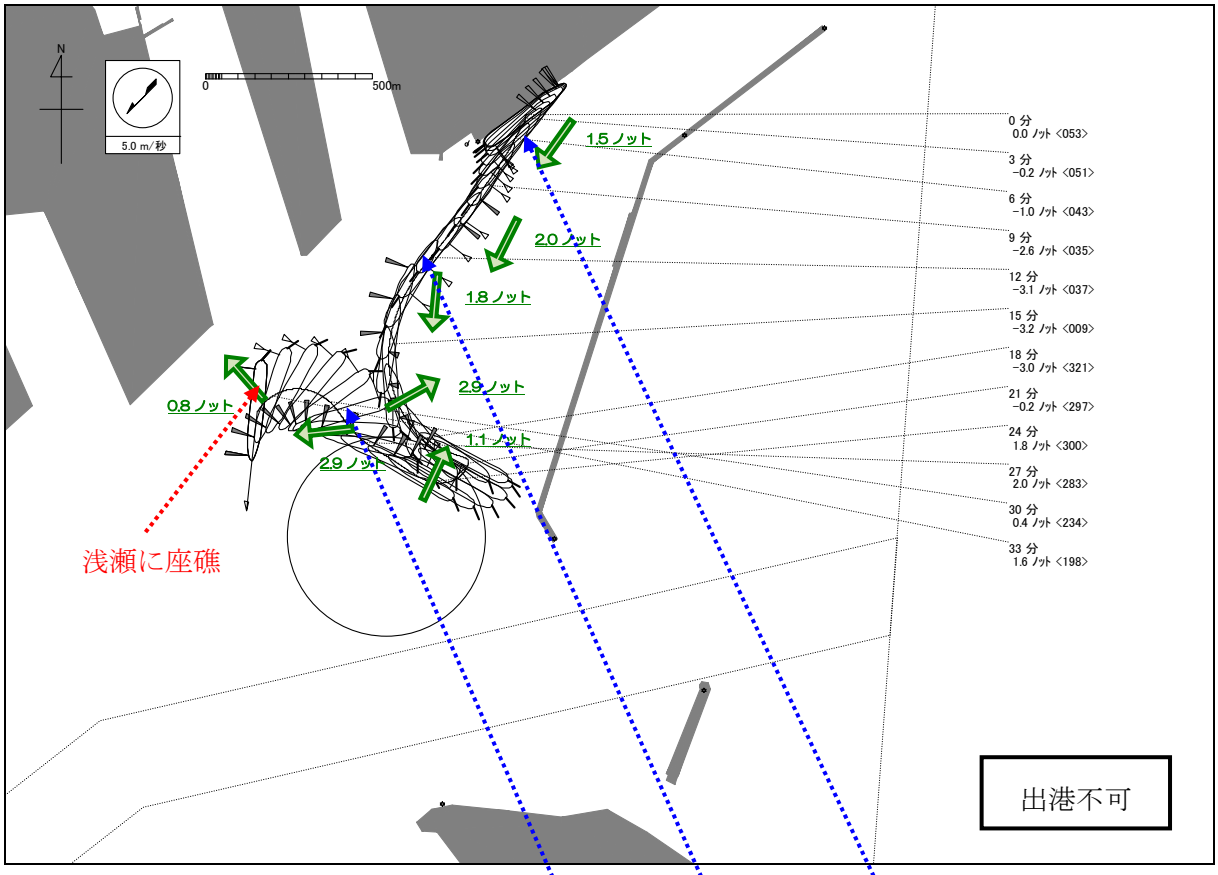


図 3.4.7　入船左舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-1】

①操船意図は、岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard」）
- 船尾側：タグボート（5 時の位置）により離岸させる（最大「Full 曳き」）

②操船意図は、後方の回頭エリアに向かって後進する

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard / Port」）
- 船尾側：タグボートにより船体姿勢制御（最大「Full 曳き / 押し」）
- エンジンは、最大「Half Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

③操船意図は、港口付近の引き波により船体が防波堤側に圧流されたので、体勢を整えるために一旦前進して、左回頭をする

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Port」）
- 船尾側：タグボート（5 時の位置）により船体姿勢制御（最大「Full 曳き」）
- 左舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで上げた

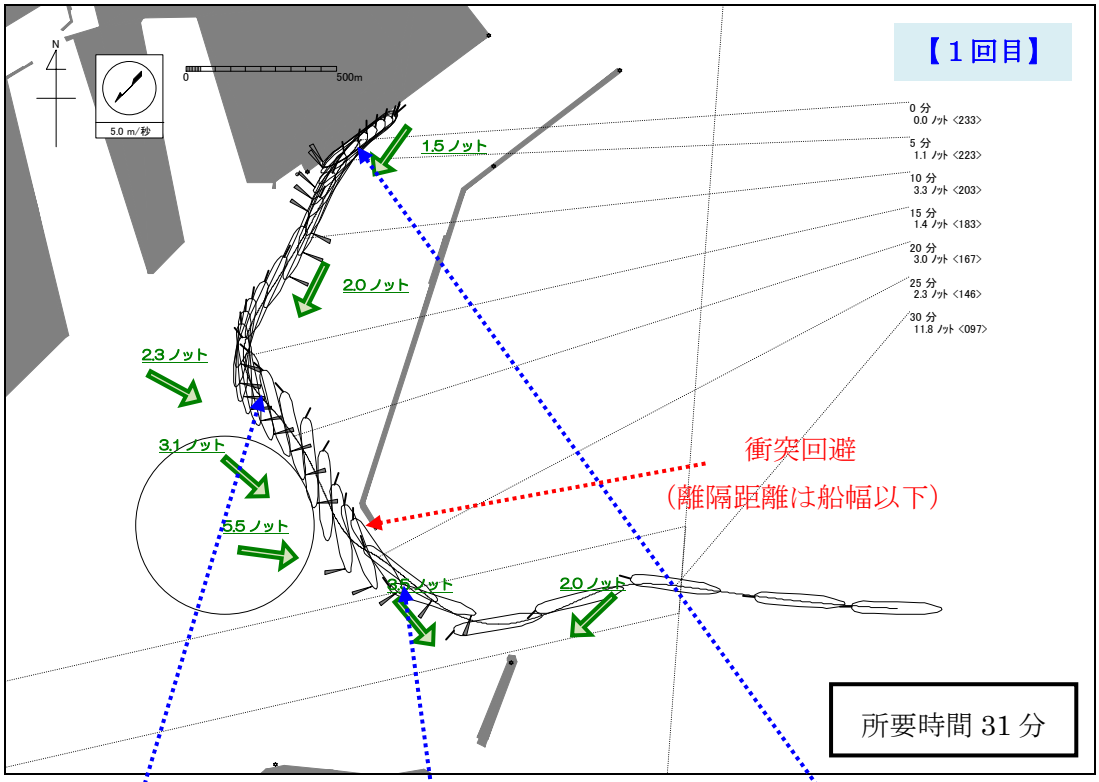


図 3.4.8　出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り※（コンテナ船）【ケース CT-2】

①操船意図は、岸壁から離桟する（出船のため前進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Port」）
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「Half Ahead」として船尾キック

②操船意図は、一旦港奥を目指すも、引き波により防波堤側に圧流されたため、衝突回避の操船を行う

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard」）
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで使用し舵効きを高める

③操船意図は、防波堤との衝突を回避した後、港口周辺の圧流に対抗し出港させる

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Port」）
- 左舵一杯とし、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」まで上げた

※ 出船右舷からの出港ケースでは、タグボート有りだが使用しなかった。

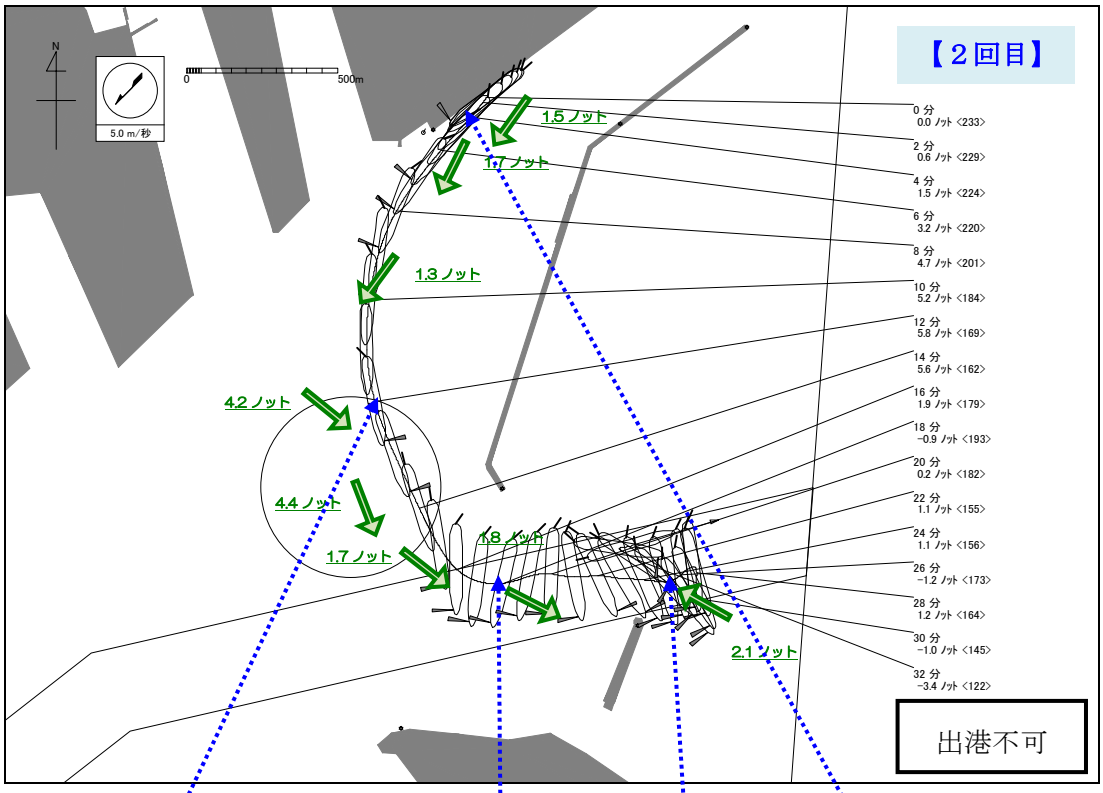


図 3.4.9　出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り※（コンテナ船）【ケース CT-3】

①操船意図は、岸壁から離桟する（出船のため前進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Port」）
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「Half Ahead」として船尾キック

②操船意図は、一旦港奥を目指すも、引き波により防波堤側に圧流されたため、衝突回避の操船を行う

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard」）
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」まで使用し舵効きを高める

③操船意図は、防波堤との衝突を回避した後、出港を試みるも、港口周辺の圧流により船体姿勢制御が困難になったため、防波堤との衝突回避及び浅瀬への乗揚げ回避の操船を行う

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御を（最大「Full to Port」）試みる
- 左舵一杯とし、エンジンは最大「Nav.Full Ahead～Full Astern」まで使用する

④操船意図は、引き波により圧流されながらも港外に出たが、その後、津波の流れが押し波に転じたため、港内への圧流を防ぐ操船を行う

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御を（最大「Full to Port」）試みる
- 左舵一杯とし、エンジンは最大「Nav.Full Ahead～Full Astern」まで使用する

※ 出船右舷からの出港ケースでは、タグボート有りだが使用しなかった。

② 操船評価

出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-2】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 離岸局面（横移動局面）では、タグボートを使用しなくても、出船により自船のスラスターのみで離岸出来たが、港口付近の強い流況により船体が圧流され、防波堤と船幅もない距離まで接近して、かろうじて出港したことから、安全な出港ではなかった。

（総合評価：△）

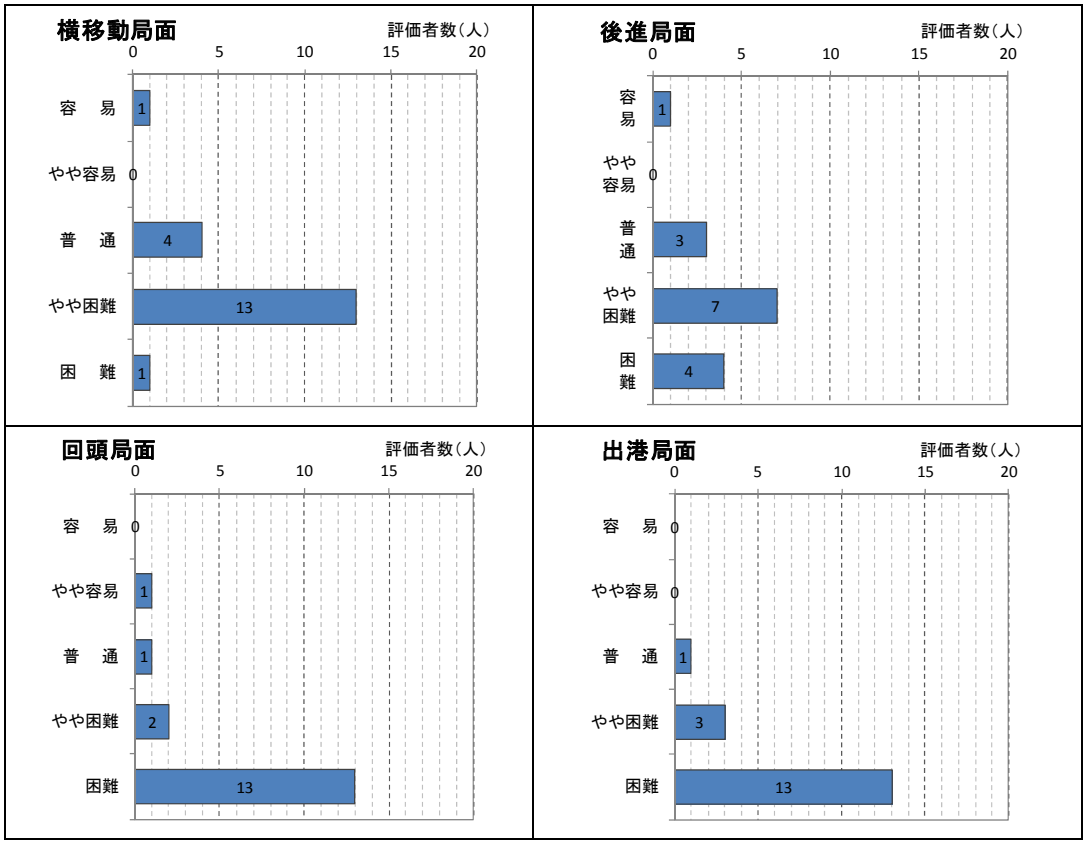


図 3.4.10　出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り【ケース CT-2】の安全評価

表 3.4.5　出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り【ケース CT-2】のコメント

【代表的なコメント】

- 清水の浅瀬に近づかぬため、短時間の緊急離岸の場合、フェンダー接触はやむなし。
- 順流 6 ノット近い中での湾口向けの船首向針は、いかなる船体姿勢でも困難と思われる。出船離岸そのものは、入船離岸に比べ、より簡単かつ短い時間でできる。
- 入船に比べ、回頭の必要がない出船なので途中までは十分余裕があった。ただ、奥まで行けなかったのは、港口に近づいた時の流向流速変動が大きくなったことによると思う。港口の時の潮が問題であろう。
- 結果として出港出来たものの、流況のタイミングが少しでも違えば、出港できなかったと考えられる。

3.4.2.3 回頭場所の比較（コンテナ船）

(1) 港口付近及び港奥付近

- 港口付近で回頭操船をした場合、離岸、後進は出来たものの、港口付近周辺における津波の強い流況のため、防波堤方向に圧流されたり、回頭出来ずに船首を港口に向ける事が不可能であったり、また浅瀬方向に圧流されて座礁するケースもあった。
- 港奥を回頭場所とした場合では、離岸後、押し波により港内に圧流されながらも後進し、港奥ので回頭し、港口に向けて最大推力（Nav.Fu.ll）にて全力前進とした。途中、港口付近の強い渦のため防波堤方面に圧流されるものの、最大推力により速力及び舵効きを確保して出港出来た。
- 回頭場所による違いを比較すると、通常の港口付近の回頭場所では津波の流れも強く、且つ船速があまり上がっていない状態のために、船体が大きく圧流された。一方、港奥を回頭場所とした場合では、周辺の流況も比較的緩やかであるために比較的回頭しやすく、また港口付近を航過する場合も、最大推力により船速が出ており、津波に対抗して出港する事が出来た。

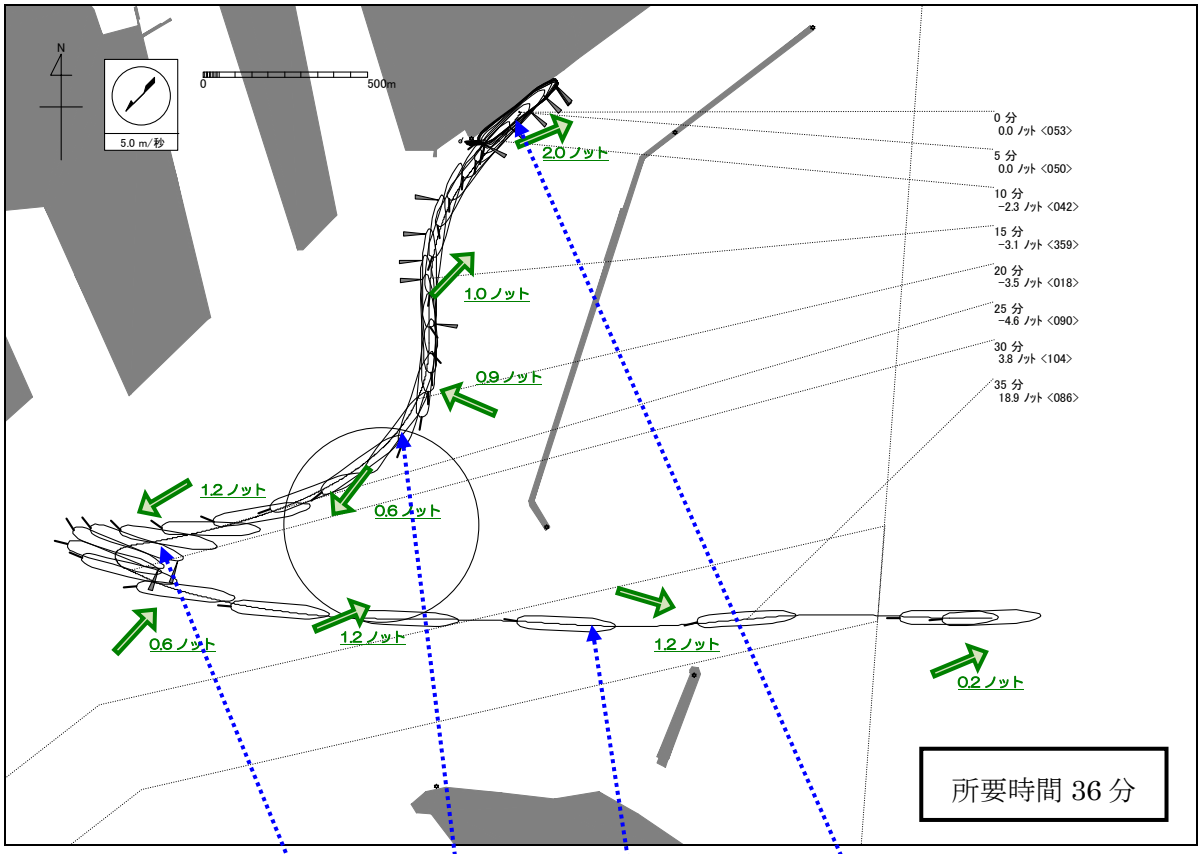


図 3.4.11 入船左舷・80 分離岸開始・回頭港奥・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-6】

①操船意図は、船尾からの向岸流に対抗しながら岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Port」）
- 船首スプリングラインを使用し（前進行脚を抑える）、左舵一杯とし、エンジンは「Slow Ahead」として船尾キックを行った

②操船意図は、押し波に対抗しながら後進し港奥を目指す

- 船首側：スラスターによ船体姿勢制御（最大「Full to Starboard / Port」）
- エンジンは、最大「Full Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

③操船意図は、押し波により船体姿勢がくずれ港内に圧流されたので、港口への向首及び出港を行う

- 右舵一杯まで使用し、エンジンは最大「S/B Full Ahead」を使用した

④操船意図は、港口付近の引き波に乗って出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ、舵効きを確保した

3.4.2.4 港内投錨（コンテナ船）

(1) 緊急離桟（130 分離岸開始）・港内投錨

① 操船結果と考察

- 緊急離桟（地震発生 130 分後）を試みた場合、離桟し後進で回頭エリアへ向かったが工口付近で大きな渦が発生（地震発生後約 150 分あたりの流況図）しており、圧流され港外退避することが不可能だったので投錨した。
- 緊急離桟（地震発生 130 分後）を試みた場合、離岸、後進、移動を行い、予め設定した錨地に投錨することが出来た。
- 緊急離桟若しくは港内投錨を行うかの判断については、その後の緊急通航ルート上の津波流況が予想し難いため、正確な判断は困難であるが、津波の影響が大きな段階では無理に出港せず、港内投錨を選択する事も考えられる。この場合、事前に避泊場所について選定しておき、対象緊急泊地までの通航ルート、ルート上で予想される状況（流況、他船）について事前検討を行うことが必要であると思料される。

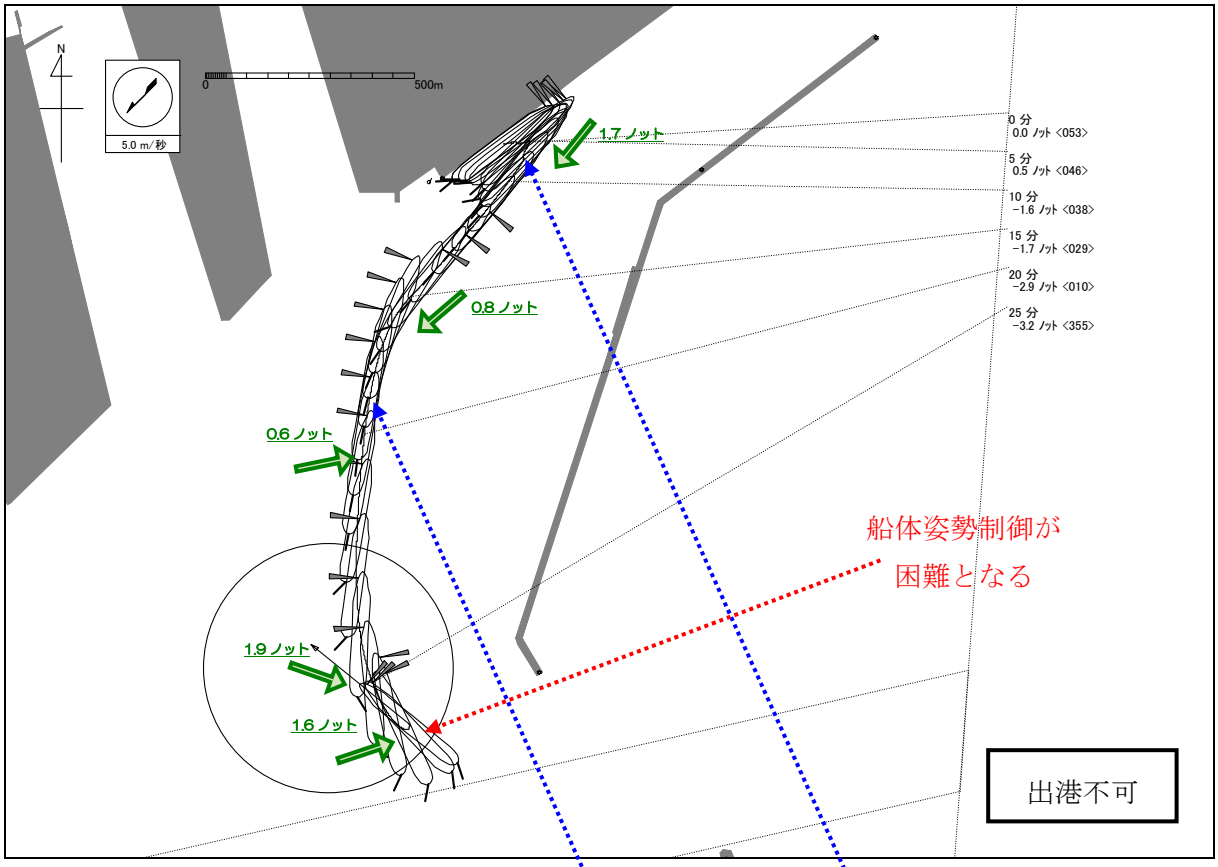


図 3.4.12　入船左舷・130 分離岸開始・緊急離桟（コンテナ船）【ケース CT-7】

①操船意図は、岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard」）
- 左舵一杯とし、エンジン最大「Half Ahead」として船尾キックする

②操船意図は、後方の回頭エリアに向かって後進する

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard / Port」）
- エンジンは、最大「Half Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

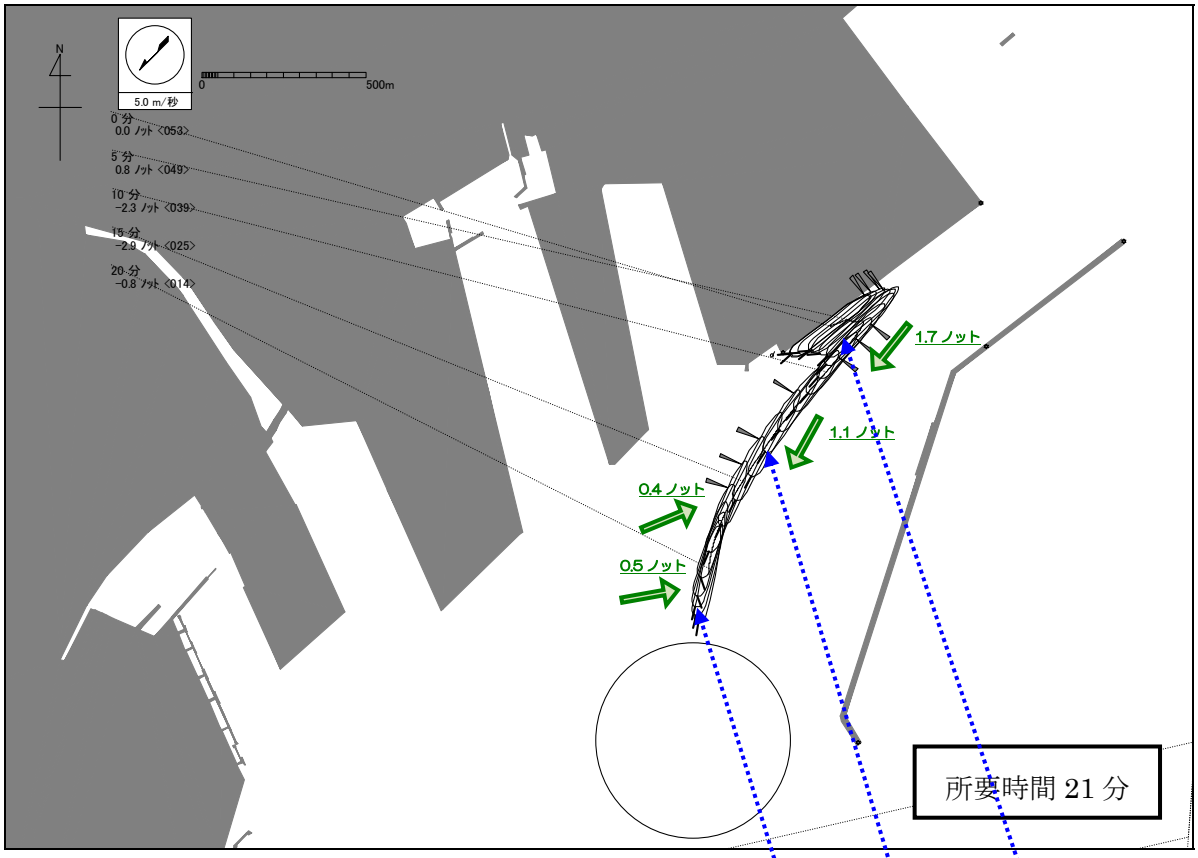


図 3.4.13　入船左舷・130 分離岸開始・港内投錨（コンテナ船）【ケース CT-8】

①操船意図は、岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard」）
- 左舵一杯とし、エンジン最大「Half Ahead」として船尾キックする

②操船意図は、後方の投錨エリアに向かって後進する

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard」）
- エンジンは、最大「Half Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

③操船意図は、投錨エリアに到着後、投錨を行う

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Starboard」）
- エンジンを最大「Half Ahead」まで使用して、船舶の行脚を止める。

② 操船評価

入船左舷・130 分離岸開始・緊急避泊（コンテナ船）【ケース CT-8】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 今回設定した緊急避泊錨地まで移動できたが、他の場所であれば津波の影響により到達出来るか難しい。また、他の船舶の妨げとならない場所を選定する必要もある。

（総合評価：△）

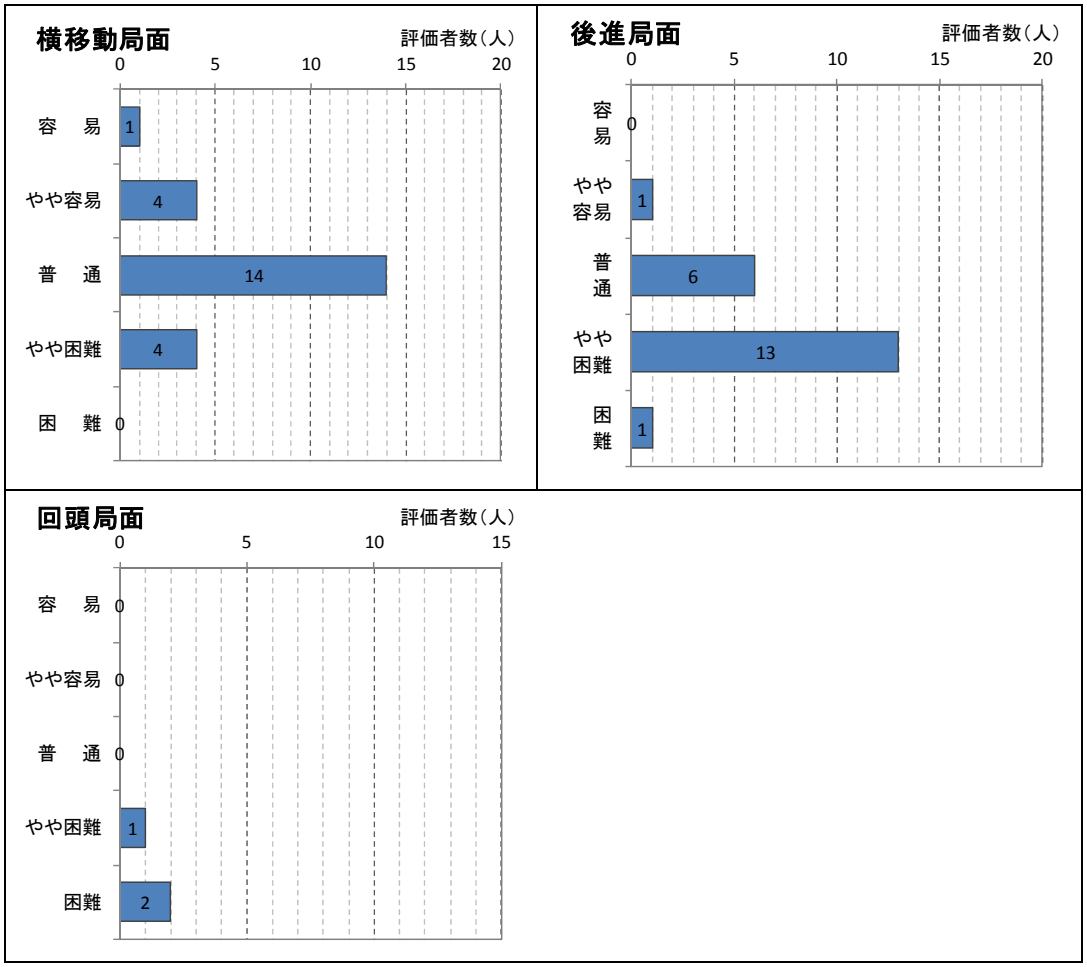


図 3.4.14　入船左舷・130 分離岸開始・緊急避泊【ケース CT-8】の安全評価

表 3.4.6　入船左舷・130 分離岸開始・緊急避泊【ケース CT-8】のコメント

【代表的なコメント】

- 後進時の左回頭に対する姿勢制御は不可（難しい）と思えた。
- 投錨ポイントまでタイミング良くうまく後退できれば、最終手段としては考え得る方策。振れ回りを考えてもベストに近い場所に投錨できた。
- 今回はシミュレータであり、津波の流向と流速を適時掴みながら操船できたが、実際の目視でどの程度まで把握できるか。
- 錨泊地点については、他船との関係が問題になってくると思われる。

【局面操船】

3.4.2.5 離岸局面の比較（コンテナ船）

(1) 向岸流と離岸流（タグ無し）

- 離岸流（南西流）時に離岸開始した場合（例：地震発生 70 分後）では、タグボート無しでも自船のスラスター及びエンジン・舵により離岸・後進し、船体を岸壁から離す事が出来、その後の出港に向けた操船局面に移る事が可能であった。
- 向岸流（北東流）時に離岸開始した場合（例：地震発生 80 分後）では、船尾からの津波の圧流により、タグボート無しの条件の下では、自船のスラスター及びエンジン・舵を使用しても、離岸・後進の出港は困難であった。
- 津波来襲中の離岸開始時機の判断は、押し波と引き波の流況の変化の中、自船の周辺の津波流況を目視により確認して行う必要があるが、自船にとって津波が支援力となる離岸流の時機（離岸流に転じる時機）に開始することが望ましいと思料される。

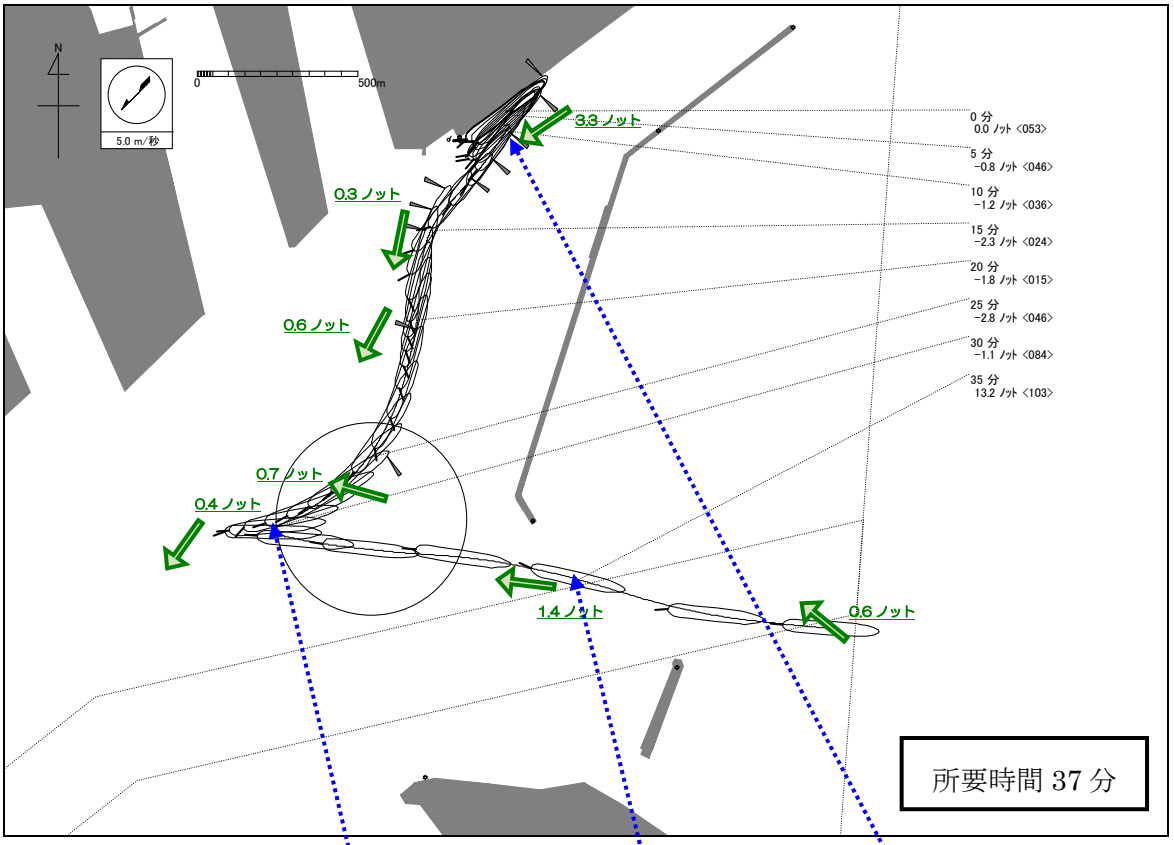


図 3.4.15　入船左舷・離岸流（70 分離岸開始）（コンテナ船）【ケース CT-4】

①操船意図は、岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Half to Starboard」）
- 左舵一杯とし、エンジンは最大「Half Ahead」とした

②操船意図は、押し波により船体姿勢がくずれ港内に圧流されたので、港口への向首及び出港を行う

- 右舵一杯まで使用し、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」を使用した

③操船意図は、港口付近の押し波に対抗して出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げた

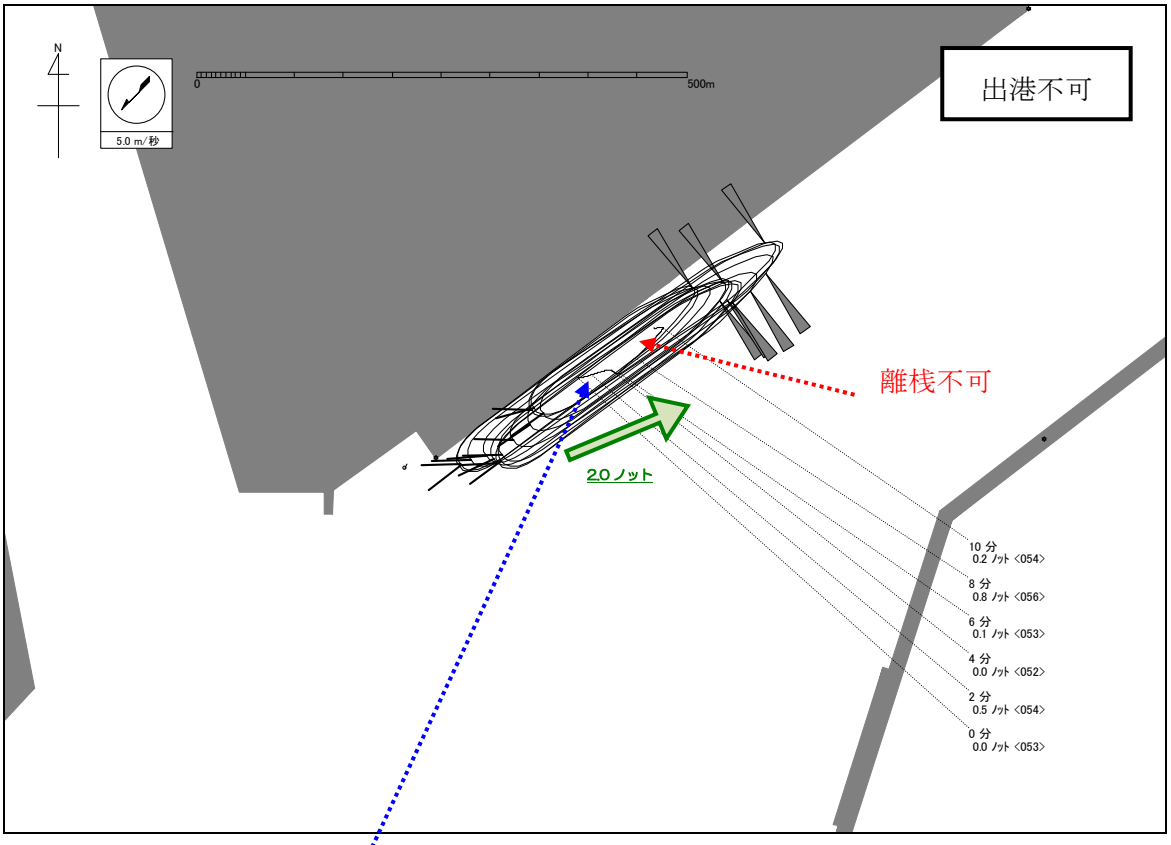


図 3.4.16　入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）（コンテナ船）【ケース CT-5】

①操船意図は、船尾からの向岸流に対抗しながら岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard / Port」）
- 左舵一杯とし、エンジンは「D.Slow Ahead～Full Astern」まで使用した

(2) 向岸流時の操船方法（船首スプリングの有無）

① 操船結果と考察

- 向岸流（北東流）時に自力により離岸開始した場合（地震発生 80 分後）では、船尾からの津波の圧流により、タグボート無しの条件の下、自船のスラスター及びエンジン・舵により、離岸・後進し、出港することは困難であった。
- 向岸流（北東流）時においても、船首スプリングラインを使用して離岸開始した場合（地震発生 80 分後）では、係留索を繋いだ状態で、キック操船により船尾を左舷岸壁から引き離し、船尾方向から来襲する津波の流れを岸壁と船舶との間に入れて更に船尾を開き、その後、船首スプリングラインを解除し、後進を開始することが出来た。
- 向岸流時に、自力により離岸する事は困難であるが、船首スプリングラインを使用する事で、離岸できる可能性が大きくなる。なお、緊急離岸時における係留索の解除方法については、地震発生時、陸上関係者も避難等により支援出来ない可能性が高いため、自力による索解除方法について事前に検討を行う必要があると考えられる。

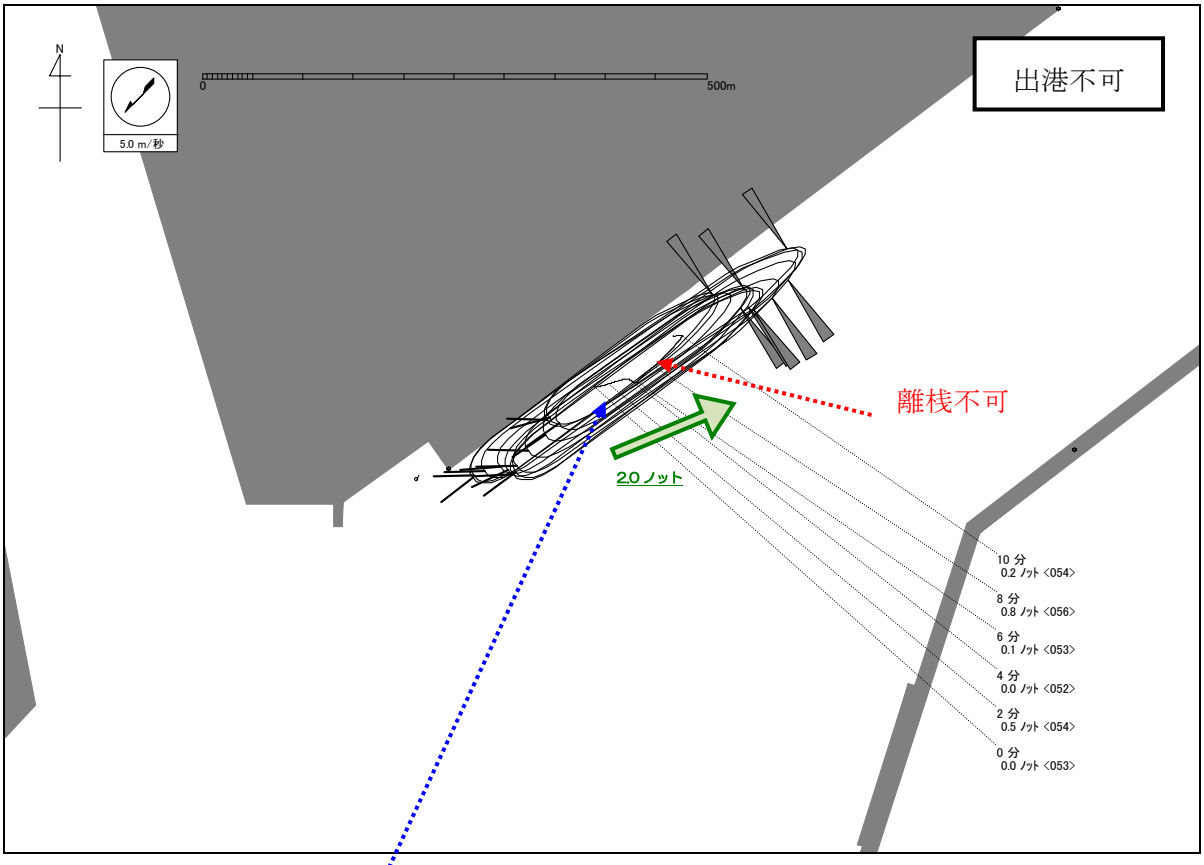


図 3.4.17 入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）・スプリング無し（コンテナ船）【ケース CT-5】

①操船意図は、船尾からの向岸流に対抗しながら岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Starboard / Port」）
- 左舵一杯とし、エンジンは「D.Slow Ahead～Full Astern」まで使用した

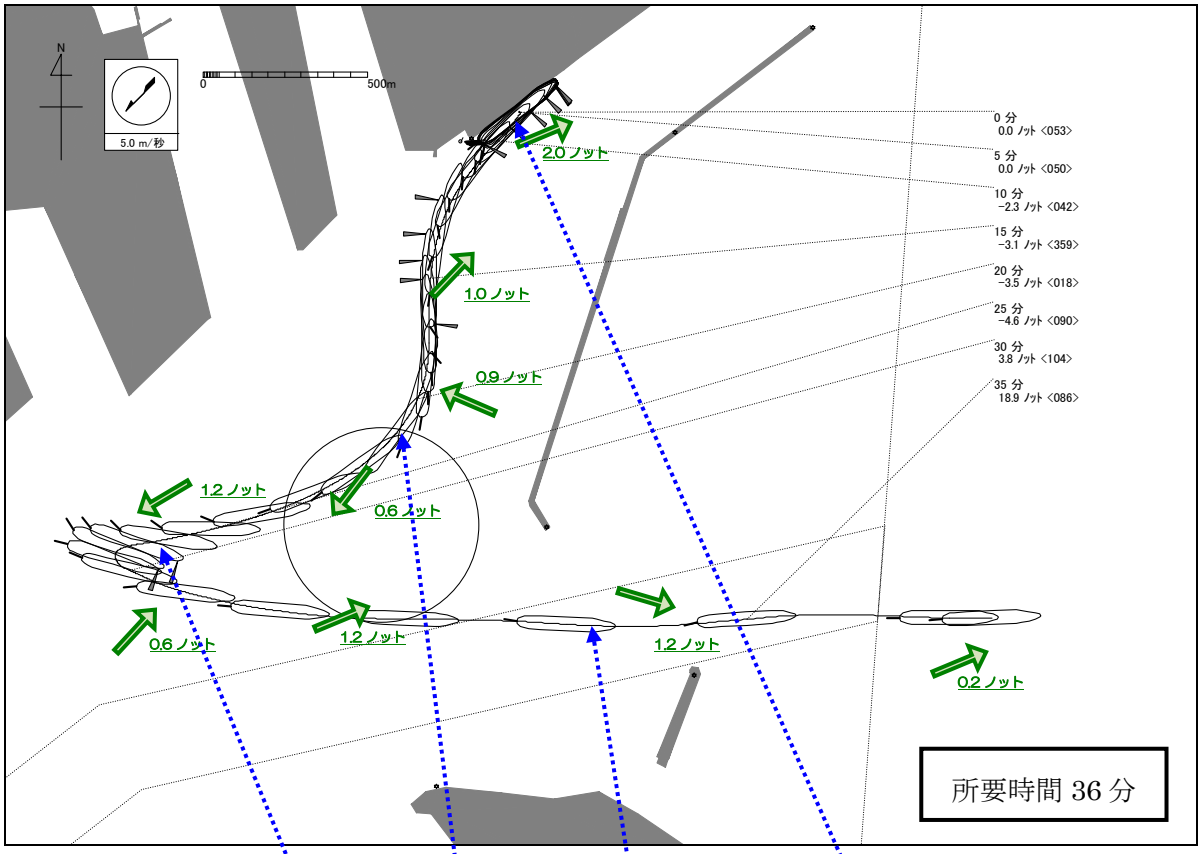


図 3.4.18 入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）・スプリング有り（コンテナ船）【ケース CT-6】

①操船意図は、船尾からの向岸流に対抗しながら岸壁から離桟する（入船のため後進）

- 船首側：スラスターにより離岸させる（最大「Full to Port」）
- 船首スプリングラインを使用し（前進行脚を抑える）、左舵一杯とし、エンジンは「Slow Ahead」として船尾キックを行った

②操船意図は、押し波に対抗しながら後進し港奥を目指す

- 船首側：スラスターによ船体姿勢制御（最大「Full to Starboard / Port」）
- エンジンは、最大「Full Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

③操船意図は、押し波により船体姿勢がくずれ港内に圧流されたので、港口への向首及び出港を行う

- 右舵一杯まで使用し、エンジンは最大「S/B Full Ahead」を使用した

④操船意図は、港口付近の引き波に乗って出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ、舵効きを確保した

② 操船評価

入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）・スプリング無し（コンテナ船）【ケース CT-5】について、実験参加者の安全評価及びコメントを示す。

- 船尾からの向岸流時に、タグボート無し、スラスター無し、係留索無しの条件では、物理的に離岸困難であった。

（総合評価：×）

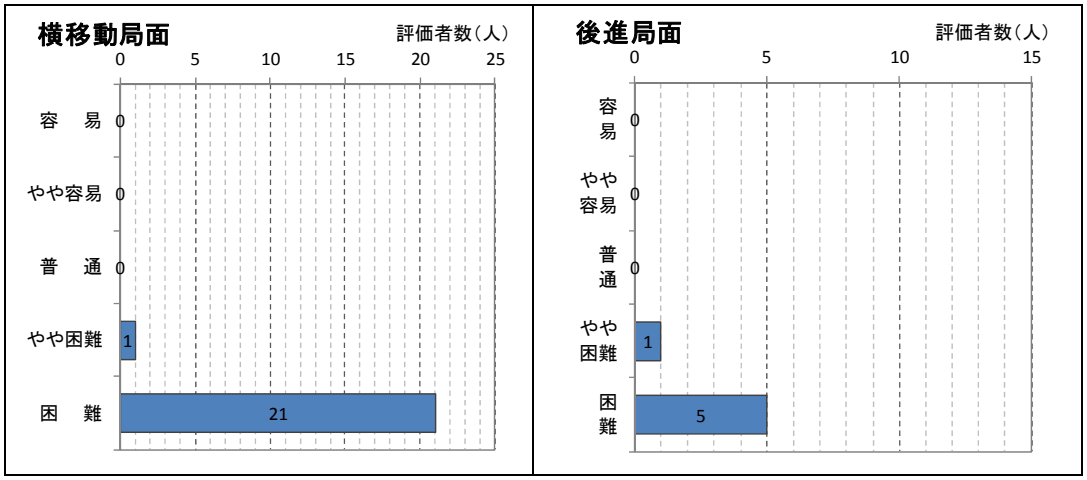


図 3.4.19　入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）・スプリング無し【ケース CT-5】の安全評価

表 3.4.7　入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）・スプリング無し【ケース CT-5】のコメント

【代表的なコメント】

- Full Ast.でも後進離岸できず、操船不能状態。
- 船尾からの向岸流（2 ノット）により、タグなしでは離岸不可。難しい局面である。
- 船尾からの流れのため、舵効が悪いと思われる。
- 船尾からの流れにより、一旦離れても船尾が戻ってしまった。船首をフェンダーに当てるくらいで先に船尾を離し、津波の流れを入れれば船尾は開いて行ったかもしれないが、陸のガントリークレーンに注意しなければならない。
- 船体を岸壁に接触させても、船首スプリングを効かすなどの緊急操船方法を検討する必要がある。（後日、ケース CT-6 として実施し、出港できた）

3.4.2.6 回頭局面の比較（コンテナ船）

(1) 引き波と押し波

- 引き波時に回頭操船した場合（地震発生 120 分後）では、まず後進による回頭場所へのアプローチ時に、左舷船尾から圧流する港外への引き波により船首が左回頭し、船体全体が右舷側に圧流される結果となった。なお、港奥の回頭場所に移動する事は実質困難であったが、その場回頭操船ではスラスターとエンジン・舵を最大限使用する事により右回頭し、出港することが出来た。
- 押し波時に回頭操船した場合（地震発生 70 分後）では、まず後進による回頭場所へのアプローチ時に、右舷船尾から圧流する港内への押し波により船首が右回頭し、船体全体が左舷側に圧流される結果となった。なお、港奥の予定回頭場所よりやや港内浅瀬側に圧流されたものの、その場回頭操船ではスラスターとエンジン・舵を使用する事により右回頭し、出港することが出来た。
- 押し波と引き波の回頭操船は、いずれも津波の強い流況により圧流されることとなった。どちらの流れが回頭操船に対して有効かについては、港口方向や周辺の水域環境によって異なるものと考えられるが、仮に回頭中に圧流されて船体制御が困難となっても、水域に余裕がある方が望ましいものと思料される。

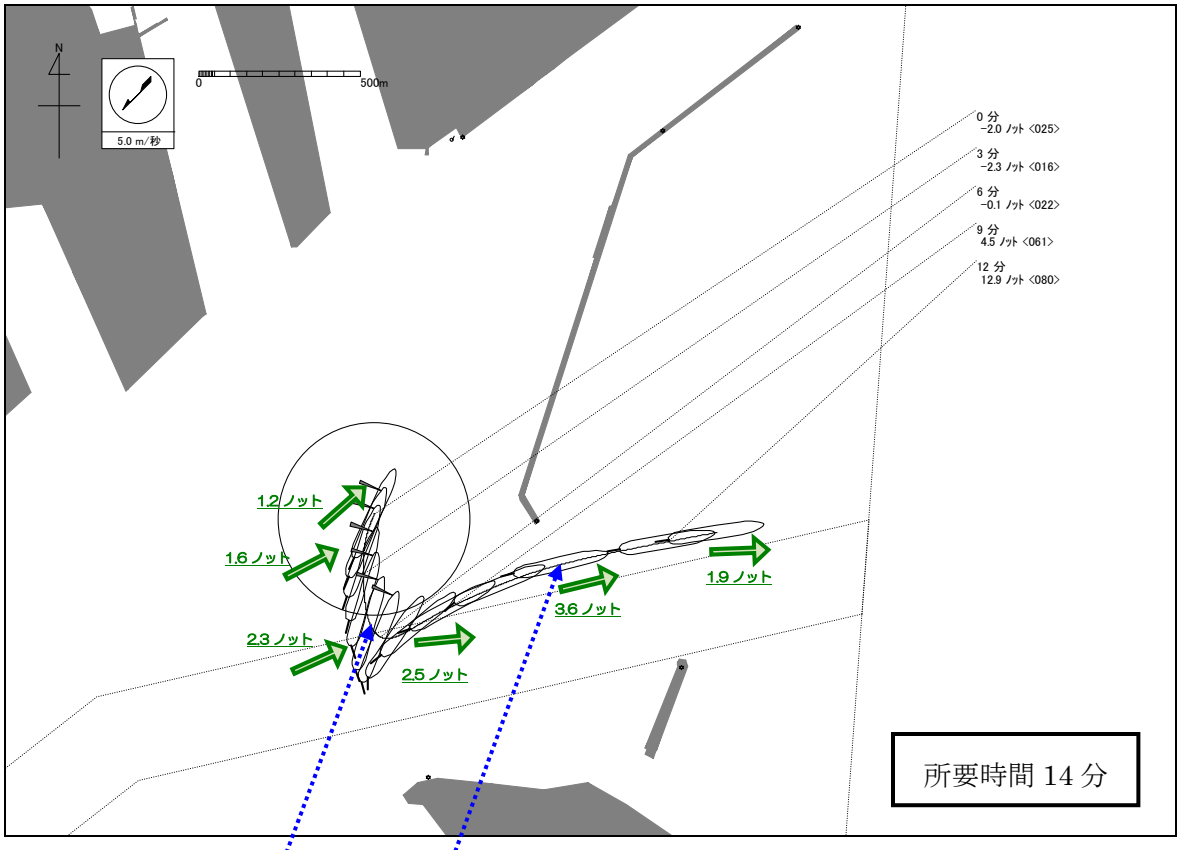


図 3.4.20　引き波（120 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-9】

①操船意図は、引き波（左舷船尾からの圧流により船体は左回頭しやすくなる）に対抗しながら港口に向けて向首（右回頭）する

- 船首側：スラスターにより右回頭させる（最大「Full to Starboard」）
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」とする

②操船意図は、港口付近の引き波に乗って出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ、舵効きを確保した

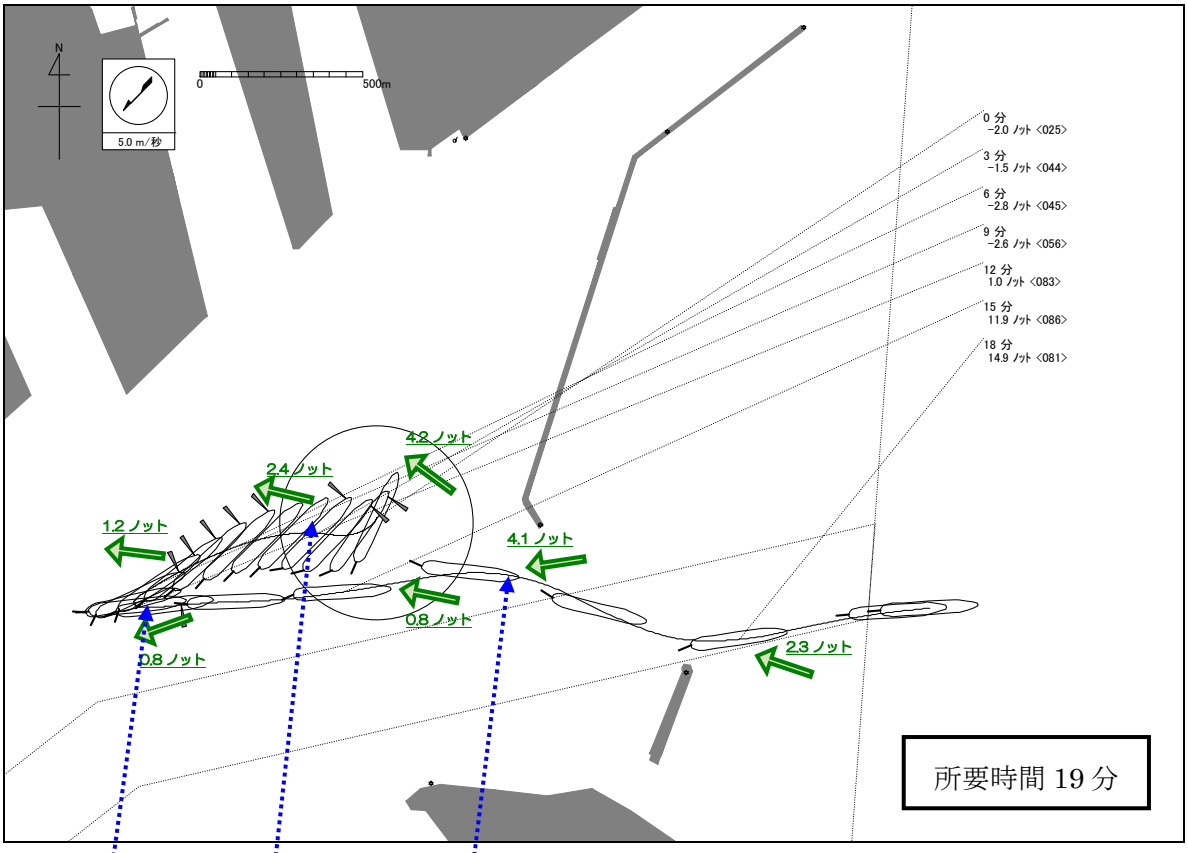


図 3.4.21　押し波（70 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-10】

①操船意図は、押し波（右舷船尾からの圧流により船体は右回頭しやすくなる）に対抗しながら後進する

- 船首側：スラスターにより船体姿勢制御（最大「Full to Port」）
- エンジンは、最大「Half Astern」を使用し、船首スラスターが使用可能な後進速度 2～3 ノット程度を維持

②操船意図は、引き波（左舷船尾からの圧流により船体は左回頭しやすくなる）に対抗しながら港口に向けて向首（右回頭）する

- 船首側：スラスターにより右回頭させる（最大「Full to Starboard」）
- 右舵一杯とし、エンジンは最大「S/B Full Ahead」とする

③操船意図は、港口付近の押し波に対抗しながら出港する

- 舵は船体姿勢制御のため左舵一杯まで使用し、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

3.4.2.7 出港局面の比較（コンテナ船、3,000 トン貨物船、500 トン貨物船）

(1) 押し波の状況

- 押し波時に港奥から出港した場合（地震発生 50 分後）、操船実験を実施した三船型（コンテナ船、3,000 トン、500 トン）の場合では、港口付近で船首から圧流されるものの、最大推力（Nav.Full）までを使用し、出港することが出来た。
- 地震発生後、係留中の船舶のエンジンの起動・暖気等の所要時間も踏まえ、緊急離桟後、港口付近において最大推力（Nav.Full）程度までエンジンを使用出来るかが出港の可否の判断基準になるものと思料される。

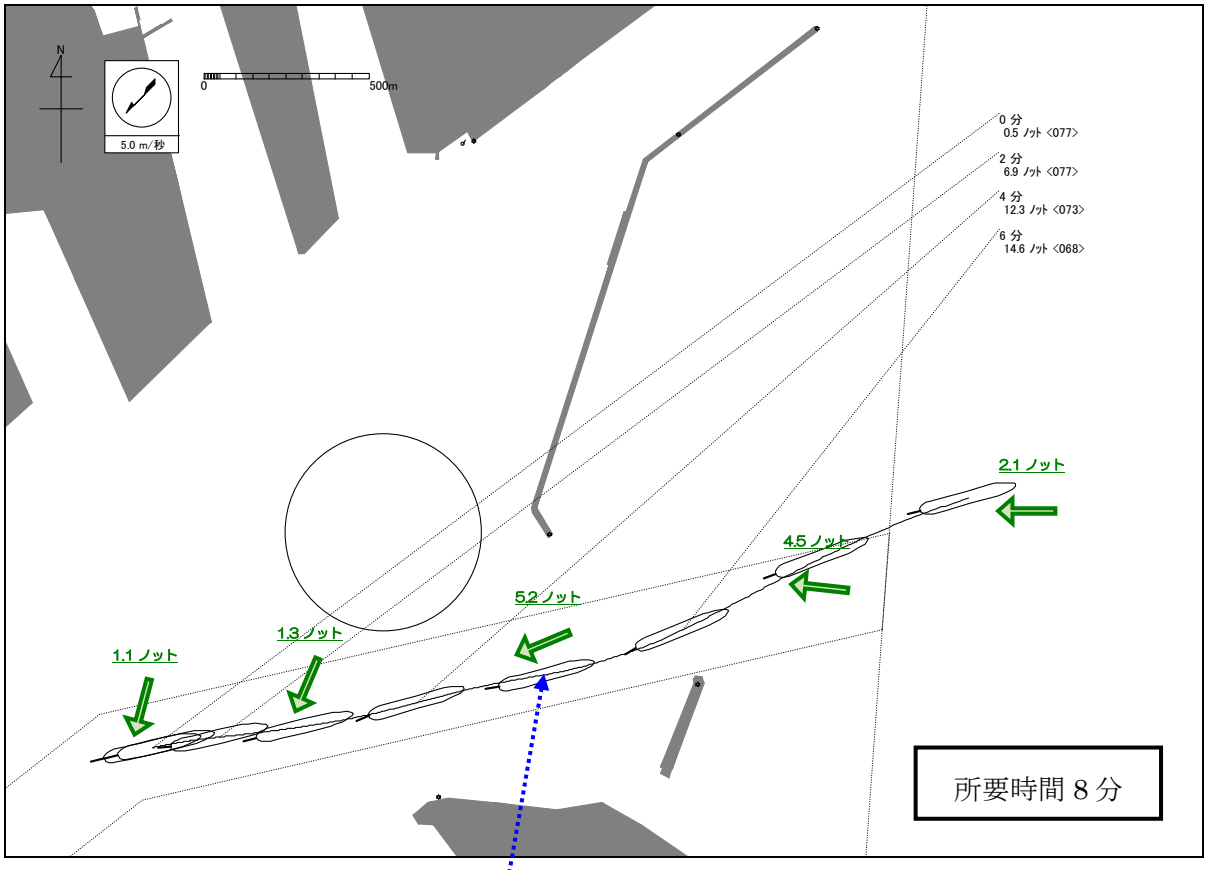


図 3.4.22　押し波（50 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-12】

①操船意図は、港口付近の押し波に対抗しながら出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

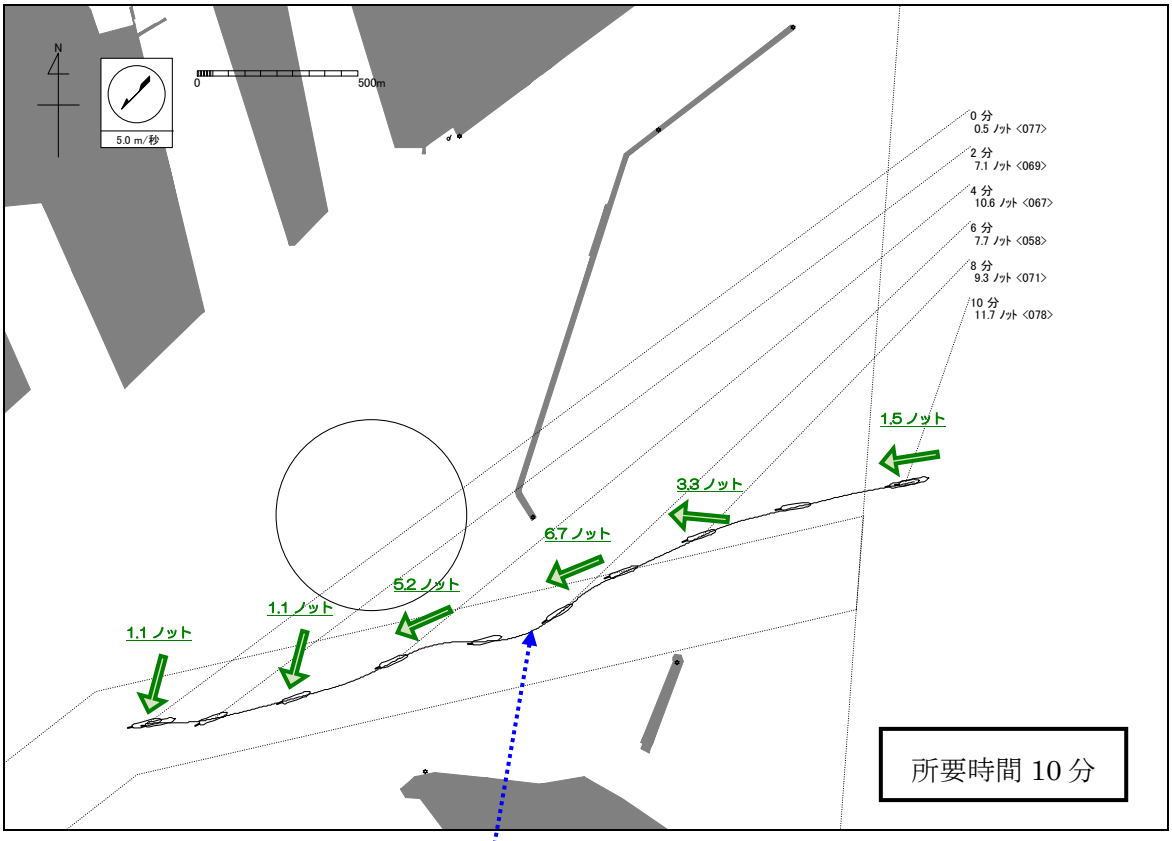


図 3.4.23　押し波（50 分の津波流況）（3,000 トン貨物船）【ケース CT-15】

①操船意図は、港口付近の押し波に対抗しながら出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

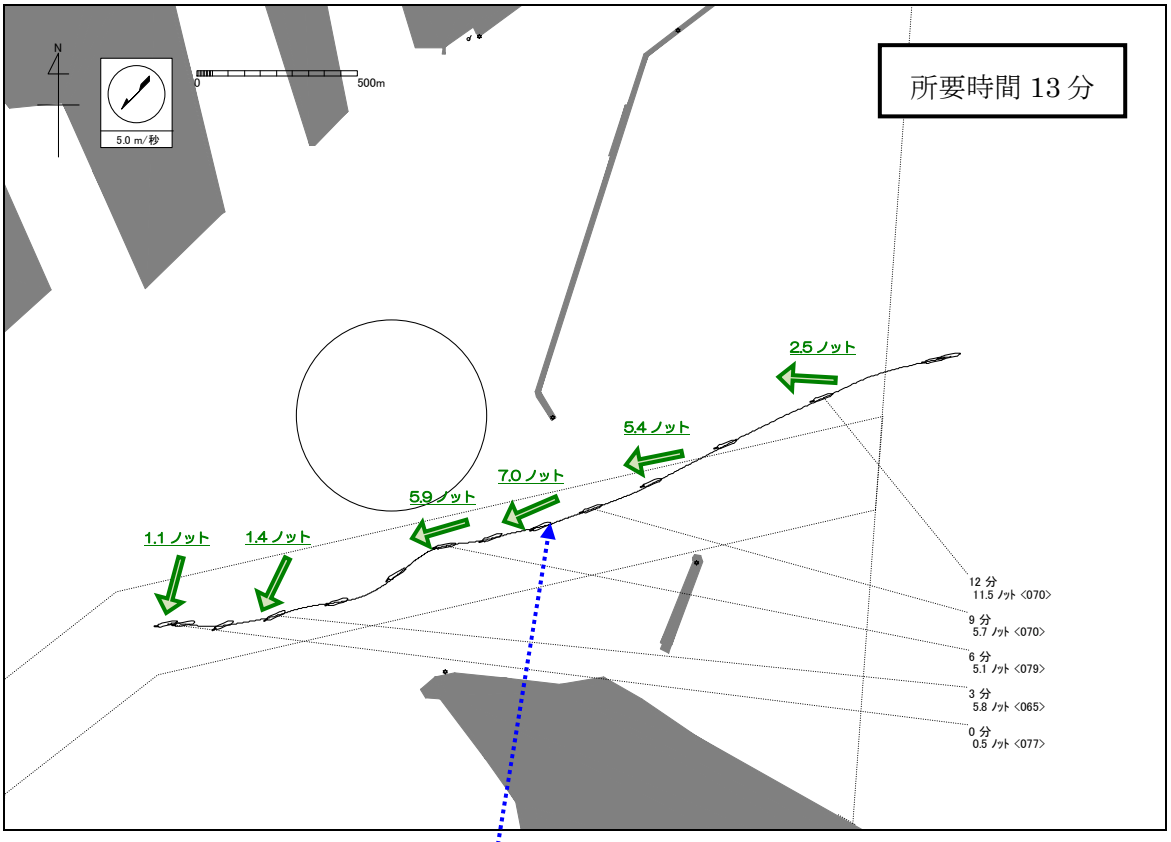


図 3.4.24　押し波（50 分の津波流況）（500 トン貨物船）【ケース CT-18】

①操船意図は、港口付近の押し波に対抗しながら出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

(2) 引き波の状況

- 引き波時に港奥から出港した場合（地震発生 120 分後）、操船実験を実施した三船型（コンテナ船、3,000 トン、500 トン）の場合では、港口付近で船尾から圧流されるものの、最大推力（Nav.Full）までを使用し、出港することが出来た。
- 地震発生後、係留中の船舶のエンジンの起動・暖気等の所要時間も踏まえ、緊急離桟後、港口付近において最大推力（Nav.Full）程度までエンジンを使用出来るかが出港の可否の判断基準になるものと思料される。

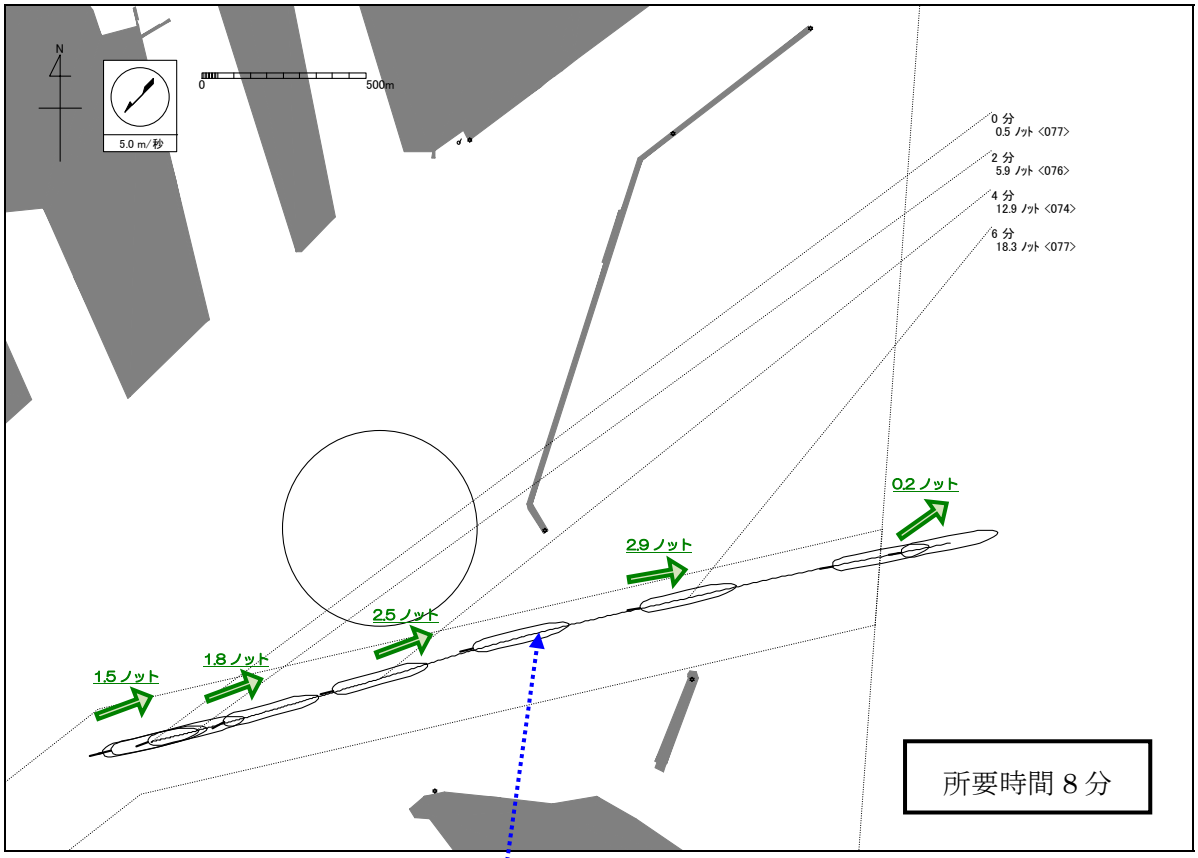


図 3.4.25　引き波（120 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-11】

①操船意図は、港口付近の引き波に乗って出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

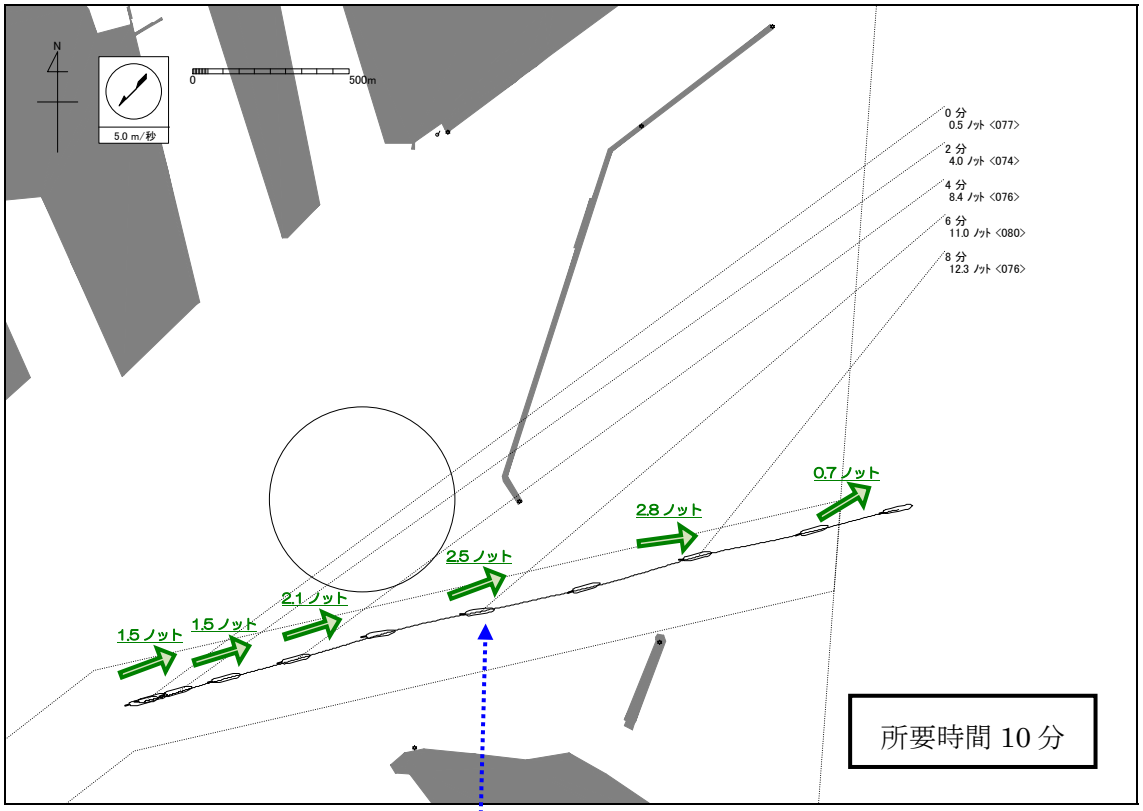


図 3.4.26　引き波（120 分の津波流況）（3,000 トン貨物船）【ケース CT-14】

①操船意図は、港口付近の引き波に乗って出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

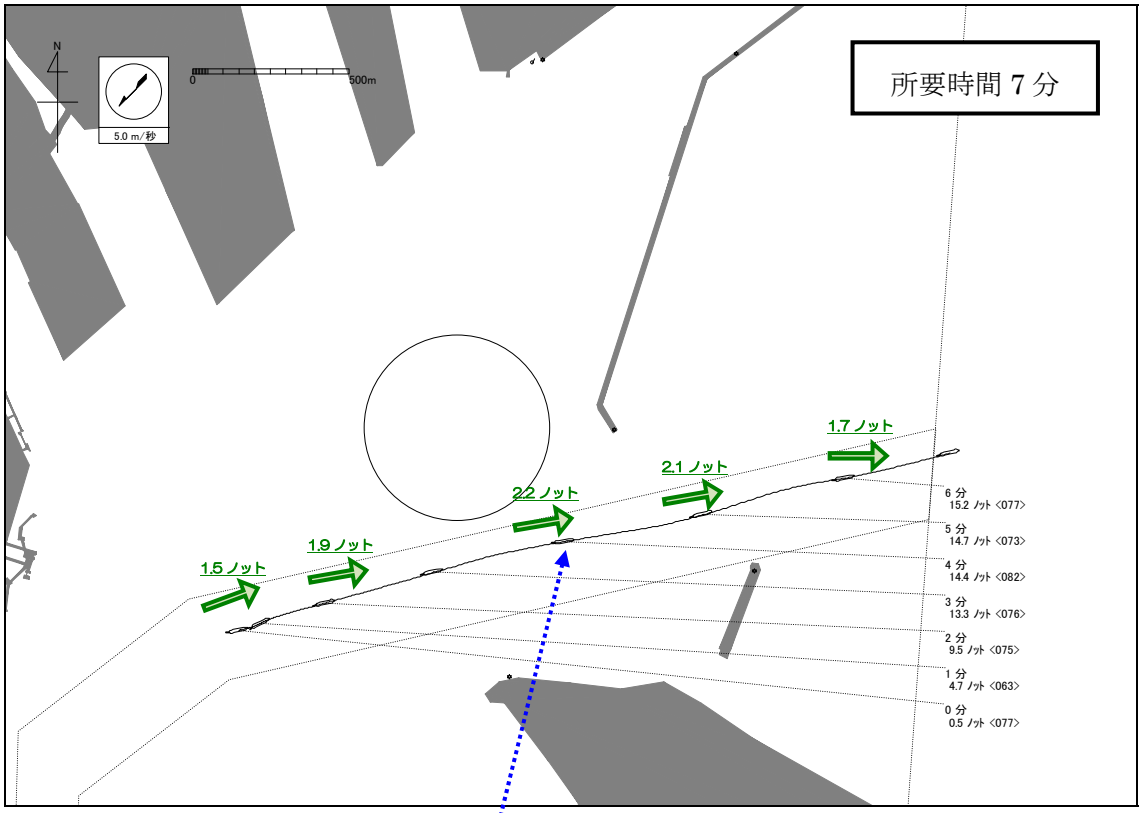


図 3.4.27　引き波（120 分の津波流況）（500 トン貨物船）【ケース CT-17】

①操船意図は、港口付近の引き波に乗って出港する

- エンジンは、最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

(3) 大渦の状況

- 港口付近での大渦発生時に港奥から出港した場合（地震発生 60 分後）、操船実験を実施した三船型（コンテナ船、3,000 トン、500 トン）の場合では、港口付近で大渦の影響により右舷側及び左舷側から圧流されるものの、最大推力（Nav.Full）までを使用し、出港することが出来た。
- 地震発生後、係留中の船舶のエンジンの起動・暖気等の所要時間も踏まえ、緊急離桟後、港口付近において最大推力（Nav.Full）程度までエンジンを使用出来るかが出港の可否の判断基準になるものと思料される。

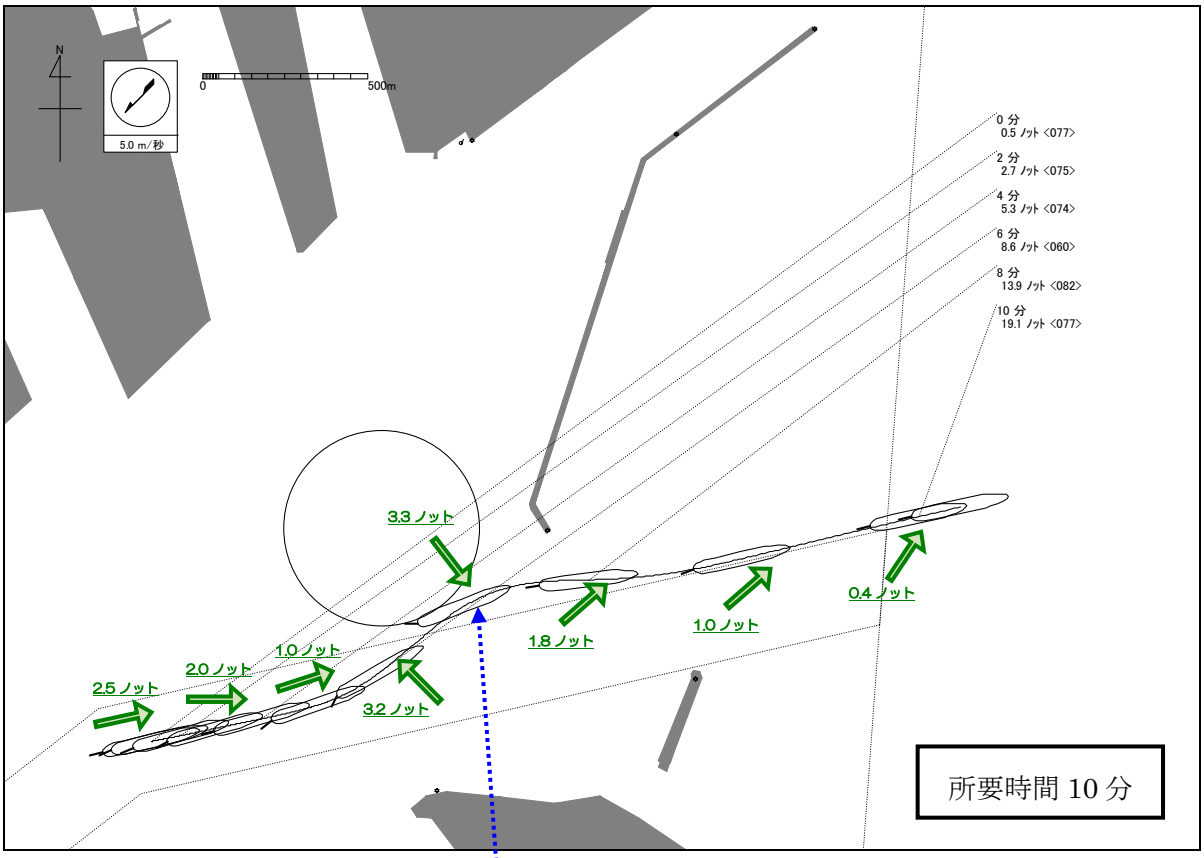


図 3.4.28　大渦の流況（60 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-13】

①操船意図は、港口付近の大渦に対抗しながら出港する

- 舵は左舵一杯及び右舵一杯までを使用し、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

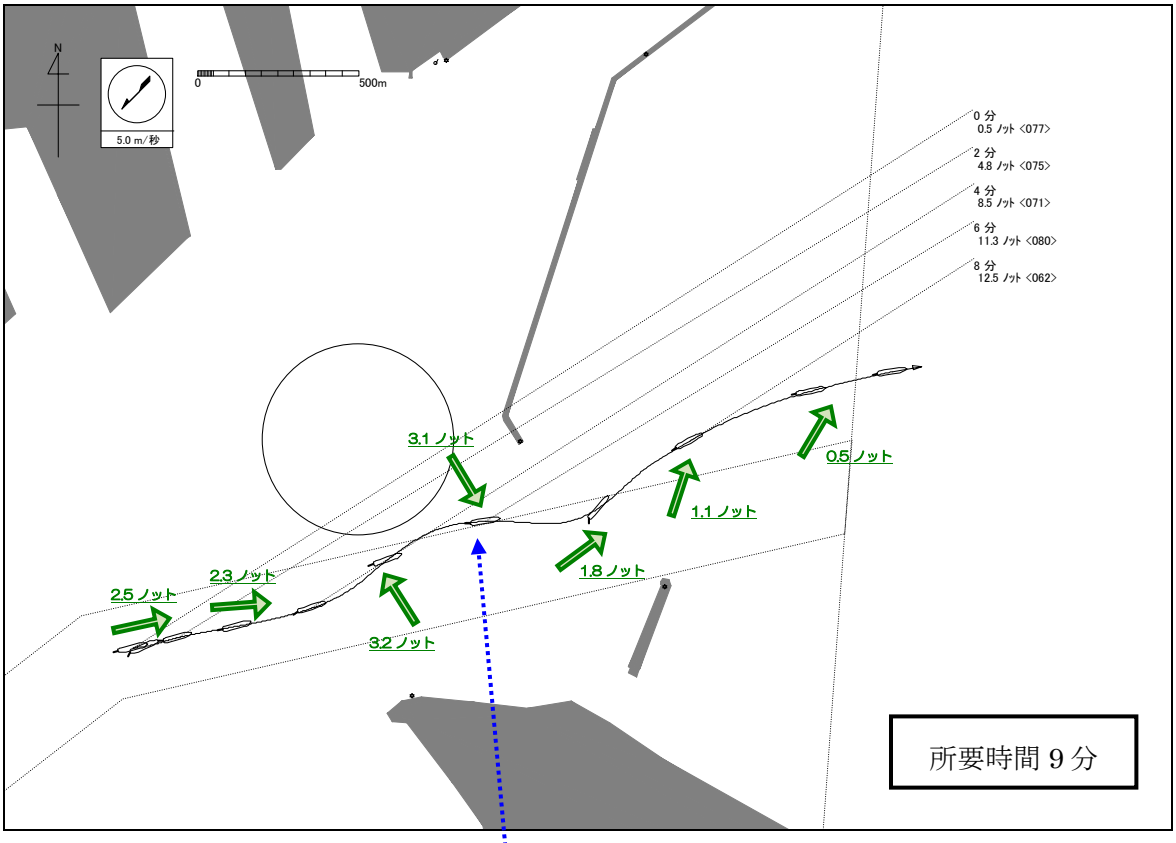


図 3.4.29　大渦の流況（60 分の津波流況）（3,000 トン貨物船）【ケース CT-16】

①操船意図は、港口付近の大渦に対抗しながら出港する

- 舵は左舵一杯及び右舵一杯までを使用し、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

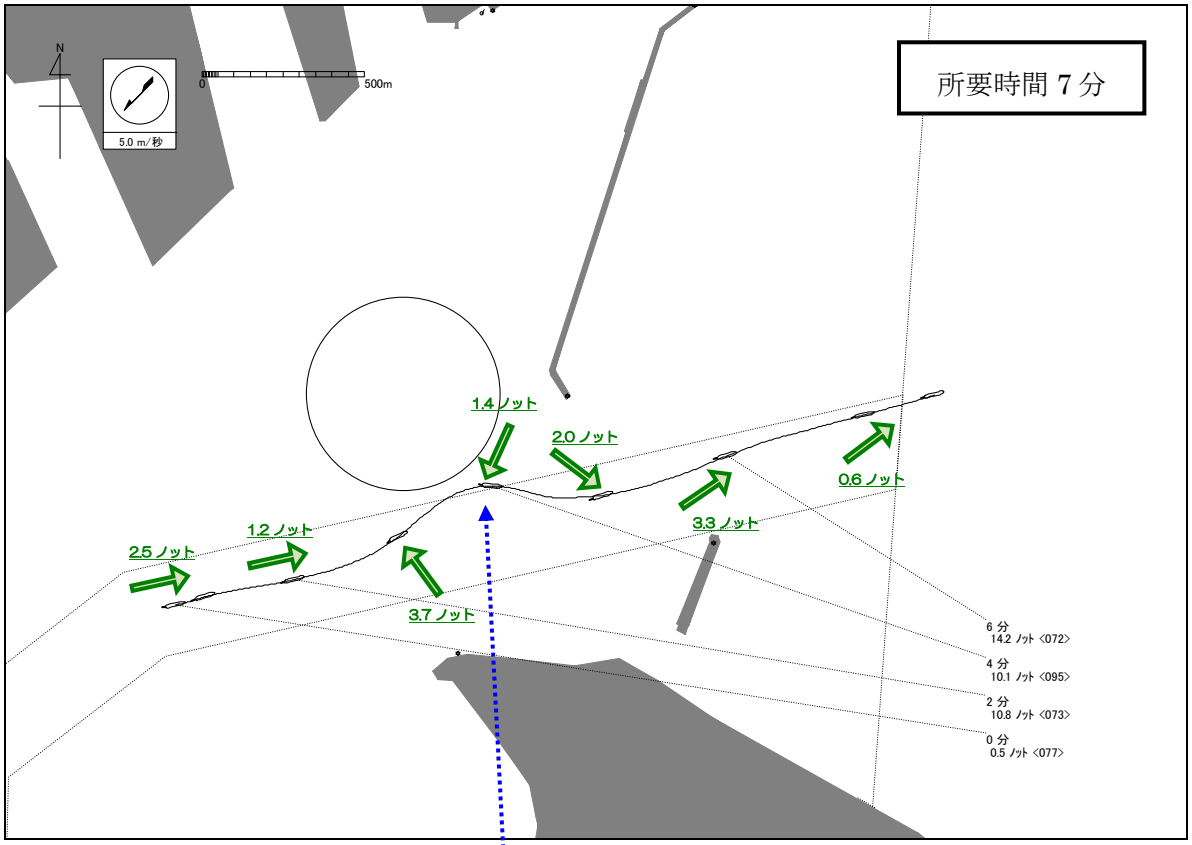


図 3.4.30　大渦の流況（60 分の津波流況）（500 トン貨物船）【ケース CT-19】

①操船意図は、港口付近の大渦に対抗しながら出港する

- 舵は左舵一杯及び右舵一杯までを使用し、エンジンは最大「Nav.Full Ahead」まで上げ舵効きを確保した

3.5 操船実験で確認された事項

3.5.1 大型危険物積載船の緊急離桟について

今回の大型危険物積載船（VLCC 及び LNG 船）の実験により、従来実施されていなかった緊急離桟時における入船着桟と出船着桟との所要時間の比較等について、以下のとおり基本的事項を確認することができた。

3.5.1.1 入船着桟と出船着桟の比較

入船着桟及び出船着桟からの離桟出港にかかる所要時間の比較については、表 3.5.1に示すとおりである。いずれのケースにおいても、出船着桟からの緊急離桟の方がより短時間で行うことが出来た。この時間差は、出船着桟の場合には回頭操船を行う必要がないため、その分の操船時間が短くなることから生じるものである。

表 3.5.1　入船着桟と出船着桟からの離桟出港にかかる所要時間の比較

実験ケース	対象船舶	タグボート支援	係留方法	所要時間(分)	時間差(分)
LV-1	LNG 船	タグボート無し	入船左舷	42	20
LV-15			出船右舷	22	
LV-2		タグボート有り	入船左舷	45	23
LV-8			出船左舷	22	
LV-16	VLCC	タグボート無し	入船左舷	69	46
LV-24			出船右舷	23	
LV-17		タグボート有り	入船左舷	41	25
LV-21			出船左舷	16	

3.5.1.2 右舷着けと左舷着けの比較

右舷着け及び左舷着けからの離桟操船については、出船着桟の場合は大きな時間差は生じていない。

入船着桟の場合においては、左舷着けの方が操船時間が長くなる。これはタグボート無し・スラスター無しの条件下（自力離桟）では、離桟局面でキック操船により船尾を桟橋から離した後に後進する場合において、一軸船では船尾が左舷側に寄るため桟橋に再接近することとなり、桟橋との安全な離隔距離を保つために慎重な操船が求められるためである。

3.5.1.3 係留索の使用

自力離桟において、桟橋から離すためエンジンを前進とし船尾キックをした場合、前進行脚がつく。この場合に船首スプリングラインを活用することは、前進行脚を抑えつつ回頭作用を発生させることができ有効であった。

3.5.1.4 スラスターの使用

スラスターが搭載されている場合、エンジン・舵との併用で横移動がより容易となり、防舷材及び船体を損傷させる可能性も少なくなる。また、入船着桟からの離桟出港における回頭操船においても、スラスターを使用すればエンジン・舵のみによる回頭より角速度が得やすく、より短時間で出港できるものと考えられる。

3.5.1.5 タグボートの使用

タグボートが配備（今回の操船実験では 1 隻配備）されている場合、エンジン・舵との併用で横移動がより容易となり（入船左舷着けからの自力離桟における後進中に桟橋に再接近するおそれも少なくなる）、防舷材及び船体を損傷させる可能性も少なくなる。また、入船着桟からの離桟出港における回頭操船においても、タグボートを使用すればエンジン・舵のみによる回頭より角速度が得やすく、より短時間で出港できるものと考えられる。

3.5.1.6 回頭角速度の比較

出港時に行う回頭局面では、表 3.5.2に示すとおり、単独による回頭操船（エンジン及び舵のみ）と比較し、操船支援力（タグボート、スラスター）を追加するごとに、より短時間で最大角速度に到達し、最大の回頭角速度も増加する傾向がみられた。

表 3.5.2　回頭角速度の比較

実験ケース	回頭局面での操船支援力	回頭開始から最大角速度に到達する時間	最大の回頭角速度
LV-1	エンジン及び舵のみ	約 8 分	10deg/min
LV-2	タグボート有り	約 5 分	10deg/min
LV-3	タグボート及びスラスター有り	約 5 分	20deg/min

3.5.1.7 防舷材損傷を許容した操船

ある程度の防舷材の損傷を許容するとした前提での緊急離桟については、通常の離桟と異なり、桟橋から横移動することなく前進離桟することにより短時間で離桟出港することができた。

ただし、防舷材のみならず船体を損傷する可能性もあることから、損傷を極力少なくするには、少なくともタグボート1隻の配備が望ましい。また、LNG船において、スラスターの装備があり、さらにタグボート 1 隻の配備があれば、操船がより容易になるとともに損傷も少なくなると考えられる。

3.5.2 モデル港における緊急出港について

今回のモデル港における津波来襲中の緊急離桟の実験結果では、以下の知見を得ることが出来た。

【連続操船】

3.5.2.1 離桟時機

今回、南海トラフを想定したモデル港（清水港）における津波シミュレーション結果を基に、緊急離桟実験を実施したが、離岸を可能とした時間は、いずれも岸壁前面が離岸流となる（津波の流向が自船にとって支援力となる）時機（地震発生 40 分後、70 分後、130 分後）であった。

3.5.2.2 入船着桟と出船着桟の比較

津波来襲中の入船着桟及び出船着桟の出港操船については、離岸局面の条件下の場合、出船着桟からの緊急出港では前進出港となるため、離岸及び後進を行う入船着桟の場合より、短時間で容易に行うことが可能であった。

3.5.2.3 スラスターの使用

今回対象とした大型コンテナ船は、船首スラスターが搭載されており、船速が 3 ノット程度までの範囲であれば、離岸局面、後進局面、回頭局面、出港局面に関わらず、船首の回頭をある程度制御することは可能であった。ただし、津波来襲中に津波の流況の影響が大きな段階（概ね 2 ノット程度）では、スラスターを使用した場合でも船体制御は不可であった。

3.5.2.4 タグボートの使用

今回の操船実験により、津波来襲中に津波の流況の影響が大きな段階（正横から概ね 2 ノット程度）では、タグボートを使用した場合でも船体制御が非常に困難となる事が分かった。

3.5.2.5 回頭場所

回頭場所を通常使用する港口付近とした場合、津波の流れも強く（概ね 2 ノット程度）、船速があまり上がっていないこともあり、船体は大きく圧流され船体制御が困難となった。

一方、港奥に回頭場所を設定した場合では、周辺の流況も比較的緩やかであるために比較的容易に回頭でき、また港口付近を航過する場合も、最大推力（Nav.Full）により船速が確保できており、津波に対抗して出港する事が出来た。

3.5.2.6 港内投錨

今回の操船実験により、緊急出港が物理的に不可能なケースについても、付近の錨地まで移動して港内投錨を行う事が出来た。このことから、港内で津波の影響が大きな段階では、無理に出港をせず、港内投錨を選択する事も考えられる。

【局面操船】

3.5.2.7 離岸局面

各実験ケースの津波の流向は岸壁法線と平行方向であり、南西流（離岸流）1.5~3.3 ノット及び北東流（向岸流）2.0 ノットであった。

自力離桟を可能としたケースは、いずれも岸壁前面の津波流向が自船の進行方向に支援力となる南西流（離岸流）となるケースであった。

北東流（向岸流）のケースでは、一旦はキック操船により船尾が岸壁から開くものの、船尾方向からの津波外力及び一軸右回り船の後進時の船尾左転特性により船尾が岸壁側に接近し、自力による離桟は困難であった。（ケース CT-5 参照）

なお、北東流（向岸流）のケースでは、船首スプリングラインを使用してキック操船を行うことで離桟は可能となった。（ケース CT-6 参照）

3.5.2.8 後進局面

離桟後、岸壁付近の浅瀬との離隔距離を保ちつつ、津波外力に対して、船首サイドスラスター、タグボート、主機関及び舵により船体制御しつつ回頭水域まで低速力で後進することとなるが、時々刻々と変化する津波外力の流向、流速に対して適切に船体制御することは難しく、一定以上の津波外力（概ね 2 ノット程度）を船体正横方向より受ける場合では船体制御が困難となり船体は津波に圧流された。

3.5.2.9 回頭局面

回頭場所を通常使用する港口付近とした場合、津波の流れも強く（概ね 2 ノット程度）、船速があまり上がっていないこともあり、船体は大きく圧流され船体制御が困難となった。

一方、港奥に回頭場所を設定した場合では、周辺の流況も比較的穏やかであるために比較的容易に回頭することができた。

また、津波の流向流速を時系列的に一定として、押し波及び引き波の状況下で港口付近における回頭操船を行った実験では、津波により船体が圧流されたが、船首サイドスラスター、主機関及び舵を最大限使用する事により回頭は可能であった。

3.5.2.10 出港局面

後進及び回頭局面において、津波により船体制御が困難となった場合では、港口の防波堤に著しく接近することとなり危険な状態となった。

回頭水域を港奥とした場合では、港口付近を航過する最大推力（Nav.Full）により船速が確保できており、津波に対抗して出港することが出来た。

また、津波の流向流速を時系列的に一定として、押し波、引き波及び大渦の状況下で大型コンテナ船、3,000 トン貨物船及び 500 トン貨物船の出港の実験を行ったが、津波により船体が圧流されるものの、いずれのケースについても最大推力（Nav.Full）により船速が確保できており、津波に対抗して出港することが出来た。

3.6 まとめ

3.6.1 大型危険物積載船の緊急離桟

3.6.1.1 VLCC 及び LNG 船共通

(1) タグボートまたはスラスター無しでの離桟(以下「自力離桟」という。)は向岸風(5m/sec)では困難である。

船尾キックを利用した離桟方法では、ほぼ全てのケースにおいて防舷材は限界反力を上回り、桟橋はもとより船体の損傷の危険性があることから、自力による緊急離桟は困難と判断される。

なお、今回のシミュレーション実験においては、防舷材を損傷不可（防舷材を極力損傷させないことを操船意図とした）として実施したケースもあったが、結果として限界反力を上回ることとなった。操船者が、防舷材の限界反力を事前に把握したとしても、防舷材接触時の反力の値を時々刻々と計測しながら離桟操船を行うことは困難と考えられる。

また、前進離桟をしたケースでは、限界反力は上回りはしなかったものの、防舷材を横方向に擦りながらの離桟となり、防舷物の損傷、更には船体の損傷が発生する危険性は高いものと考えられる。

以上のことから、緊急離桟を全くの自力で行うことを前提とした対策は望ましくなく、後述のとおり、少なくともタグボート 1 隻若しくはスラスターを使用した対策を検討する必要がある。

ただし、発災時の風向や潮流等によっては、自力離桟が可能となる状況も考えられることから、どのような状況下であれば自力離桟が可能となるか、シミュレーション等により事前に検討しておくことは有効である。

(2) タグボートが 1 隻あれば向岸風（5m/sec）での緊急離桟は可能である。

今回のシミュレーション実験により、タグボート 1 隻あれば、船尾側はキック操船、船首側はタグボートによる曳きとし、船舶の桟橋からの横移動が可能となり、防舷材及び船体を損傷させる可能性も少なくなり、また回頭局面においても有効な支援力となることが把握出来た。

なお、地震発生後、津波来襲前の緊急時に外部からタグボートを新たに緊急手配する事は、港内の他の大型船からの要請とも重なり、またタグボート自身の操船安全上の観点等からも実際には困難と考えられる。

以上のことから、大型危険物積載船の荷役中に配備されている警戒船が曳航能力を有する場合は、緊急離桟に有効である。

(3) 迅速な緊急離桟に出船着桟は有効である。

通常、日本に入港する大型危険物積載船は、船体制御の難しい満載状態での入港であり、

またバース周辺の地理的環境、バース周辺の通航船舶等の関係から、そのまま入船着桟させることが多い。

一方、今回のシミュレーション実験から、出船着桟の方が回頭を要しないことから、より短時間で離桟が可能であった。

緊急時において、安全（回頭を要しない）・迅速に離桟するためには出船着桟が有効であると考えられるが、個々のバースにおける着桟方式については、周辺の港湾施設の状況、可航水域広さ等の環境、通航船の状況、気象・海象の地域特性等を勘案して検討し、決定することが望ましい。

3.6.1.2 LNG 船

(1) スラスター装備船であれば向岸風（5m/sec）での緊急離桟は可能である。

今回のシミュレーション実験により、スラスターが装備されていれば、船尾側はキック操船、船首側はバウスラスターによる離桟とし、船舶の桟橋からの横移動が可能となり、防舷材及び船体を損傷させる可能性も少なくなり、緊急離桟が可能となることが示された。

また、タグボート 1 隻とスラスターを併用した場合では、離桟局面での操船がより容易になるだけでなく、回頭局面においても、より短時間で、より大きな回頭角速度を得る事が出来た。

以上のことから、LNG 船においては、スラスターの装備が緊急離桟に有効であり、さらにタグボート 1 隻の配備があれば、操船が容易になるとともに損傷も少なくなる。

3.6.2 モデル港における緊急離桟

3.6.2.1 大型コンテナ船が、時々刻々と変化する津波外力に対抗して緊急離桟、回頭及び出港の一連の操船を確実に行うことは困難である。

(1) 離桟局面

- ✓ 津波の流向が自船にとって支援力となる離岸流（南西方向）の時間帯（地震発生 40 分、70 分、130 分後）では離桟が可能となる。
- ✓ 津波の流向が向岸流（北東方向）2 ノットの場合は離桟が困難となる。ただし、船首スプリング索を使用して、キック操船により船尾を降り出すことで離桟が可能となる。

(2) 後進局面

- ✓ 離桟後の回頭水域までの後進局面では、船速が小さいため、港口付近で発生する強い津波外力に対して船体制御することが難しく、ひとたび船体制御不能となった場合には、港内の浅瀬への乗揚げや防波堤との衝突の危険性がある。
- ✓ 船体制御が困難となる津波外力は船体正横方向から概ね流速 2 ノット程度である。

(3) 回頭局面

- ✓ 通常回頭水域としている港口付近では、津波の流れが強く、後進局面において船体制御不能となった場合は回頭水域での回頭は困難である。
- ✓ 後進局面で圧流されずに、比較的流況が穏やかな港奥まで移動できる場合は、回頭が容易となる。

(4) 出港局面

- ✓ 港口を航路帯に沿って、最大推力程度まで主機を使用して舵効きを確保できれば安全な出港が可能となる。
- ✓ 最大推力により引き波時に港口航過する場合、押し波及び大渦時の出港に比べて、保針性がよく斜航も小さくなる。

(5) 港内投錨

- ✓ 離桟が可能となった場合は、港内投錨することも可能となるので、予め、避泊可能な水域の選定や投錨準備をすることも必要である。

3.6.2.2 3,000総トン型、500総トン型貨物船が津波来襲時に港口を航過して港外に避難することは可能である。

航路航行船の出港局面における航行可能性は以下のとおりであり、主機最大推力により舵効きを確保するため、港口接近までに可能な限り速力を上げることが必要となる。

- ✓ 押し波時（地震発生 50 分）の港口の流れは船首から約 6.7 ノットであり、両船型とも押し波による減速、斜航が発生するが、主機最大推力による舵効きを確保することにより出港が可能となる。
- ✓ 大渦時（地震発生 60 分）の港口防波堤内側付近の流れは、両舷正横より約 3 ノット超であり、圧流により大きく蛇行するが主機最大推力による舵効きを確保する

ことにより出港が可能となる。

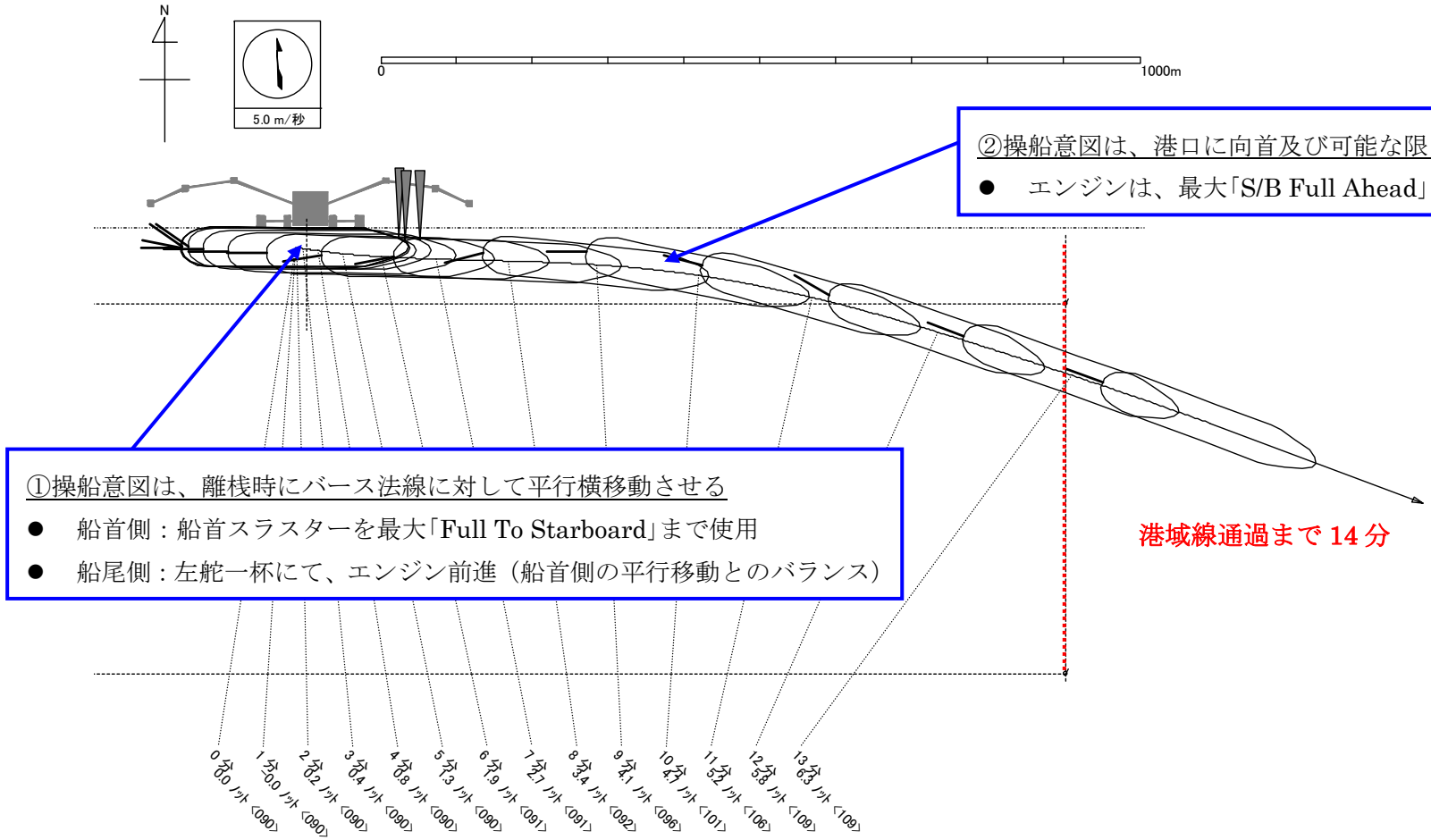
- ✓ 最大推力により引き波時（地震発生 120 分）に港口航過する場合、港口防波堤航過時に約 3 ノット弱の流速を船尾よりうけるが、押し波及び大渦時の出港に比べて、保針性がよく斜航も小さくなる。

3.7 緊急離桟操船方法

今回実施した緊急離桟操船において、防舷材を損傷させることもなく、比較的スムーズに離桟出港できたケースについては、標準操船方法として参考にできる。

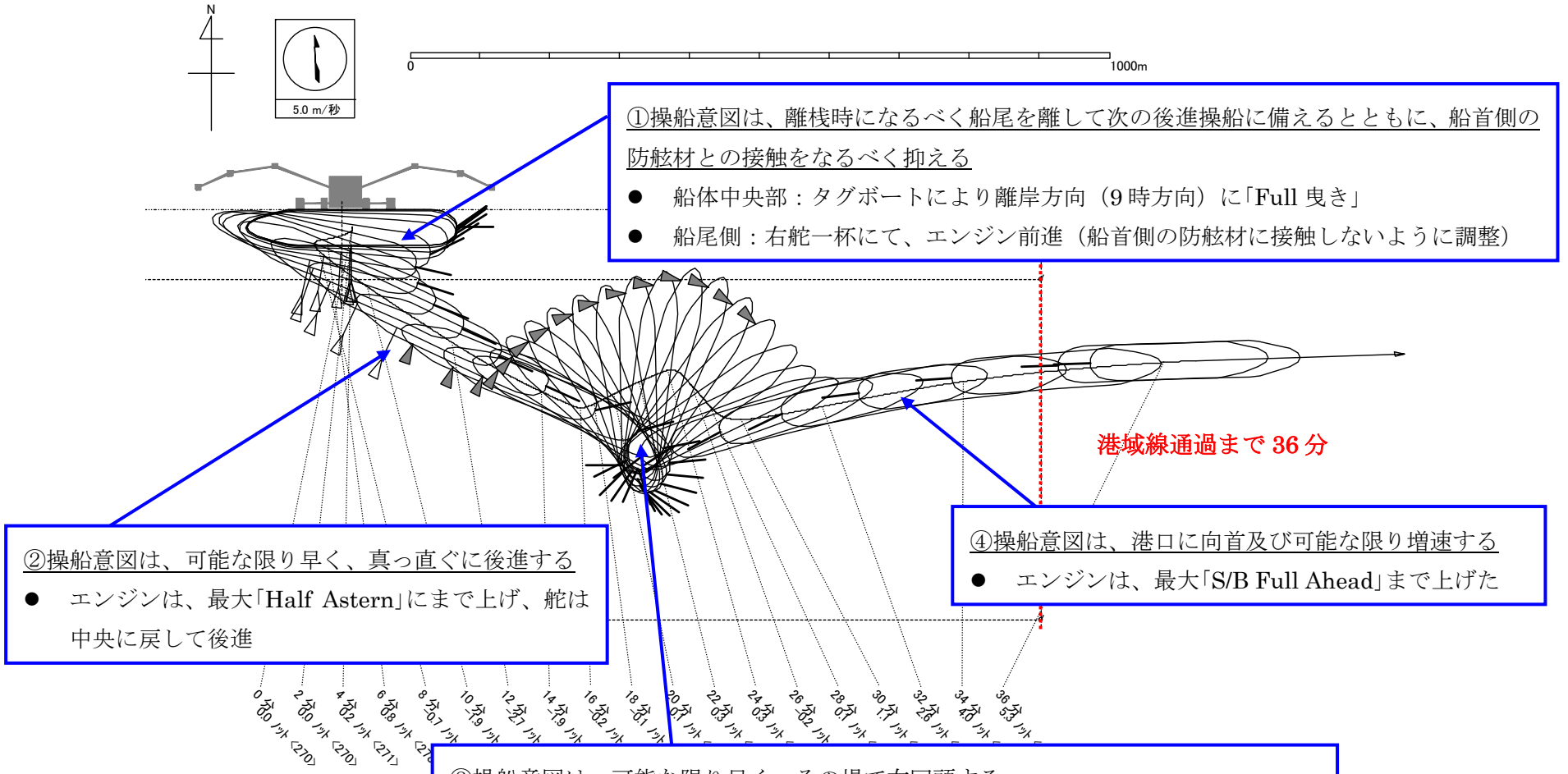
以下に、代表的な操船ケースを示す。

3.7.1 出船左舷（LNG 船、タグボート無し、スラスター有り）



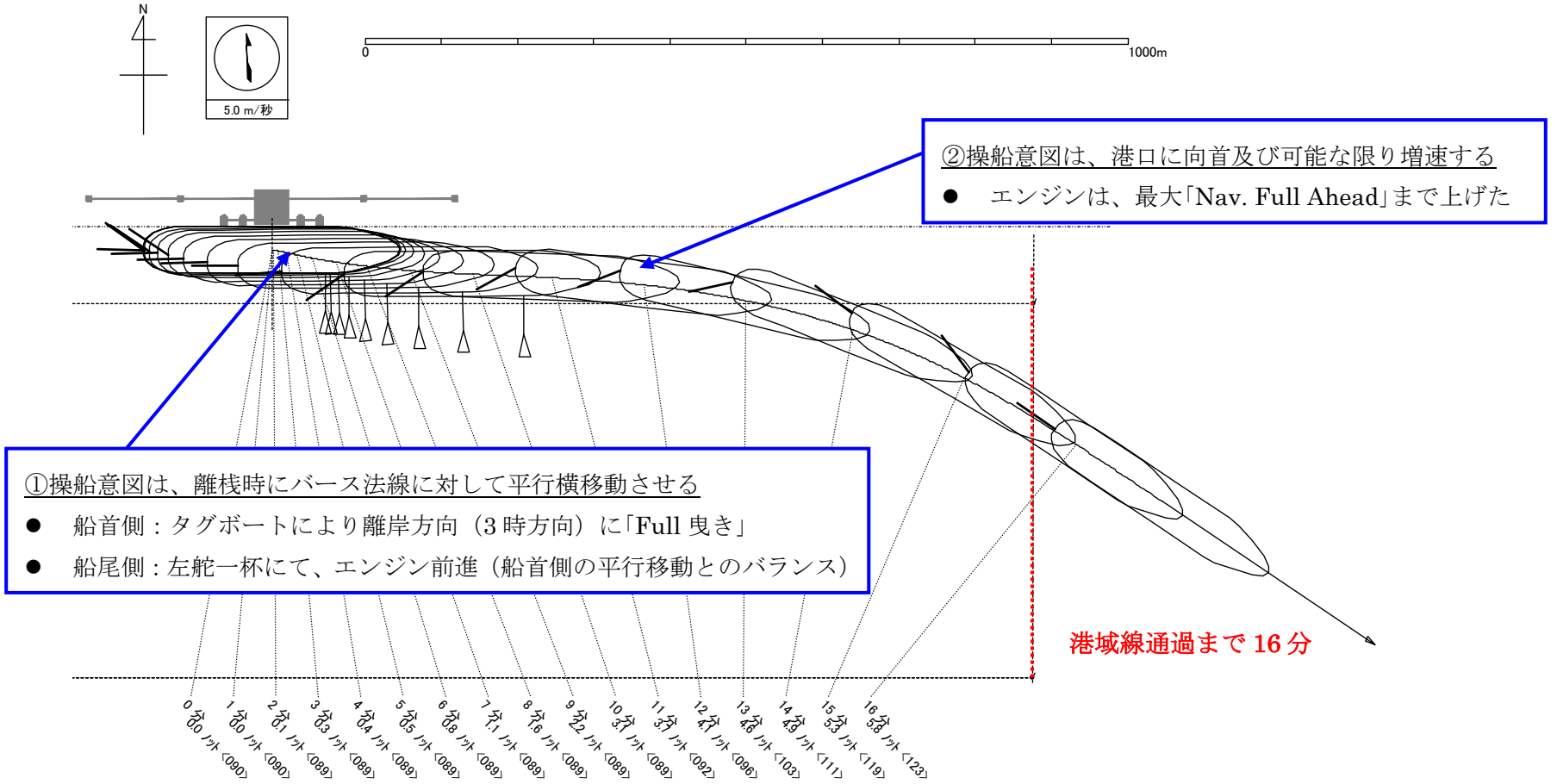
【LV-13】

3.7.2 入船右舷（LNG 船、タグボート有り、スラスター無し）



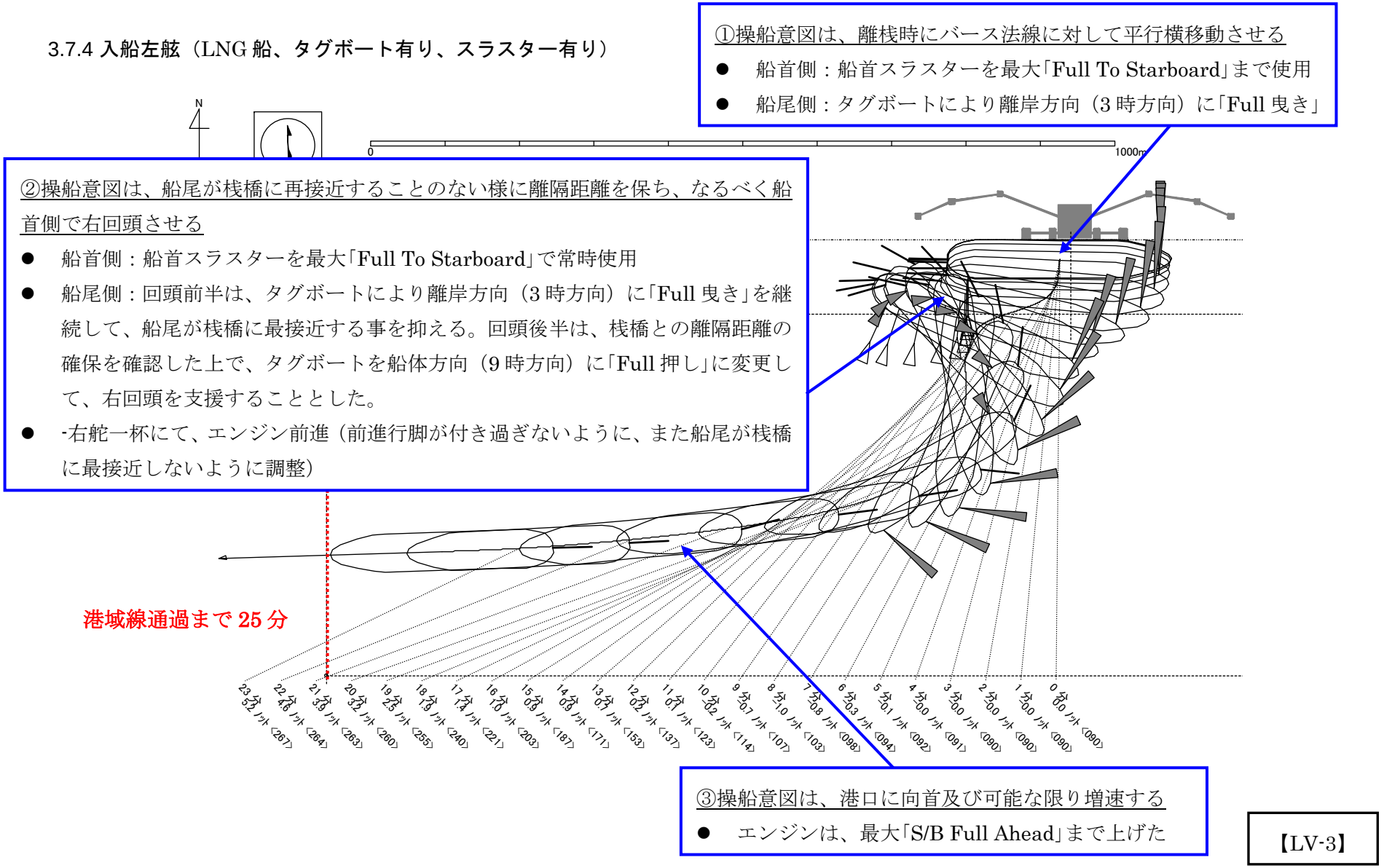
【LV-6】

3.7.3 出船左舷（VLCC、タグボート有り、スラスター無し）



【LV-21】

3.7.4 入船左舷（LNG 船、タグボート有り、スラスター有り）



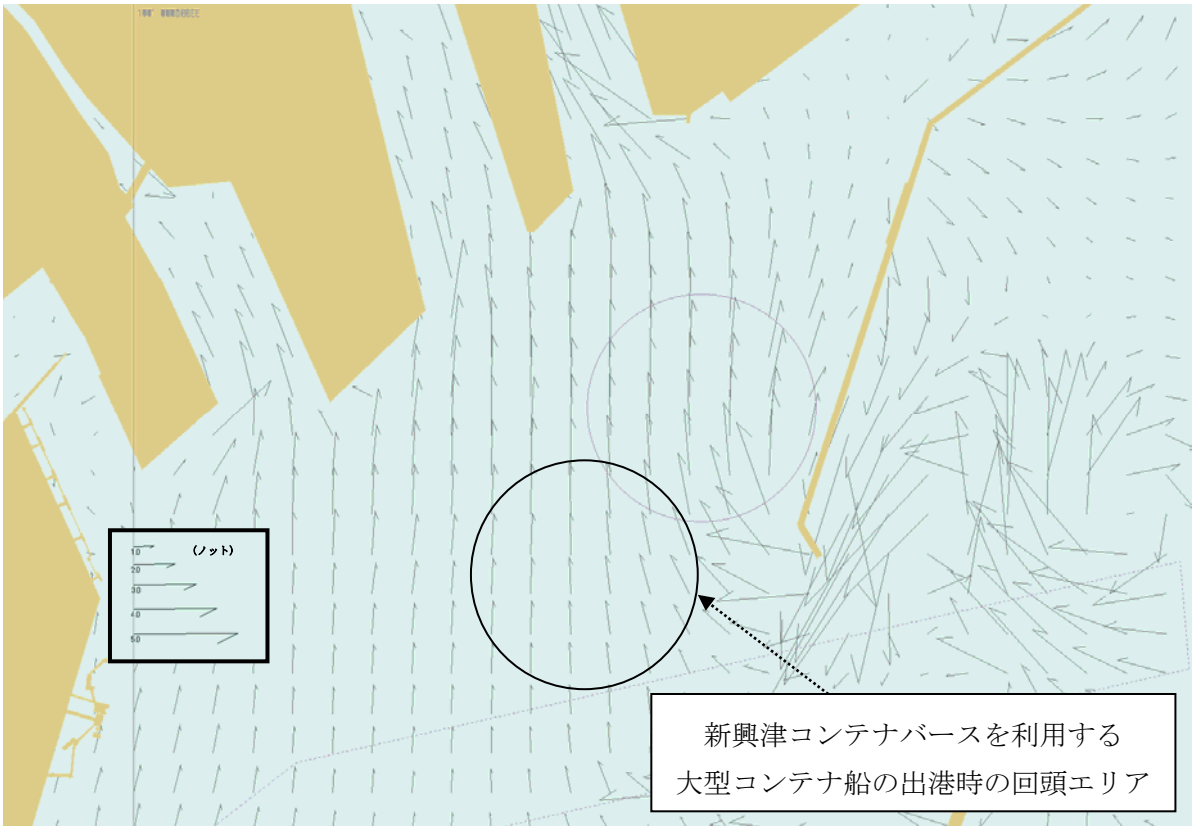
【LV-3】

3.8 モデル港の津波流況図

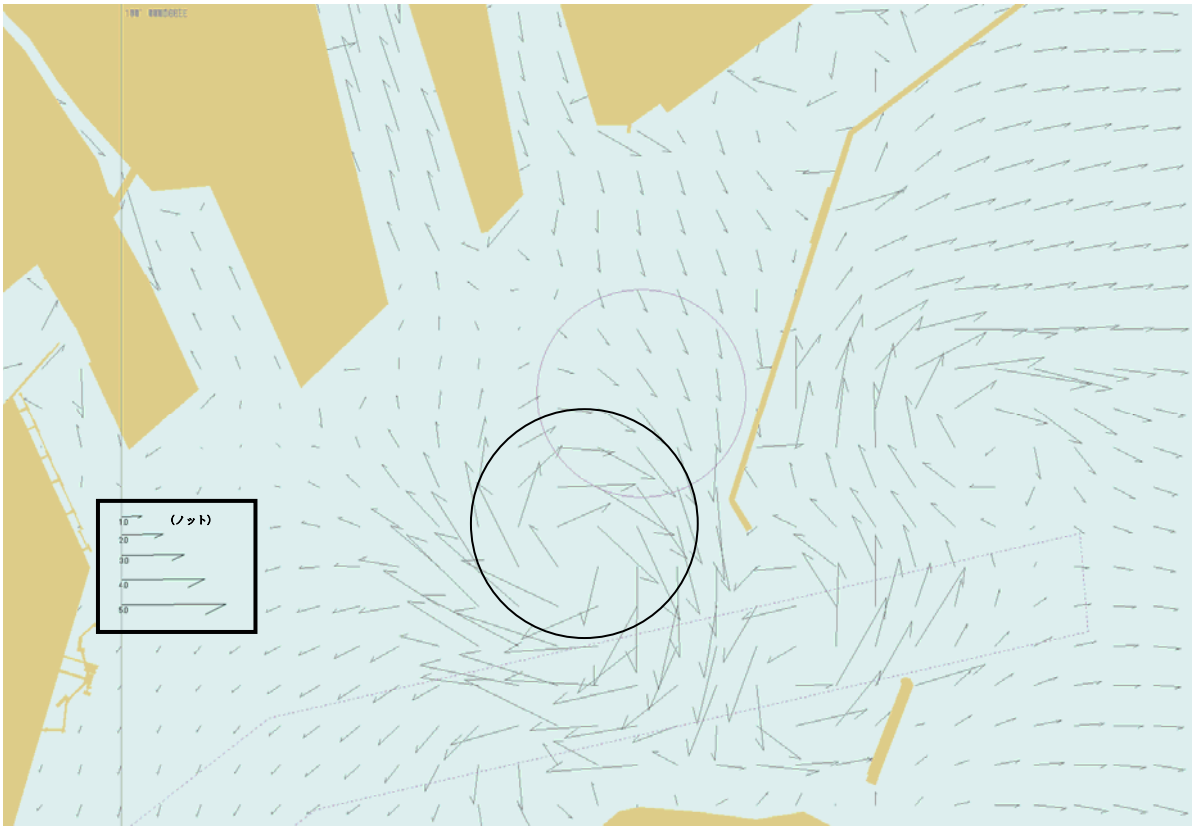
モデル港における津波シミュレーションによる津波流況図を以下に示す。

なお、津波流況図は、平成 24 年度、中央防災会議で検討された南海トラフ巨大地震の津波断層モデル 11 ケース（第 1 次報告）のうち、静岡市清水区で津波が最大となるケースを想定地震断層モデルとして設定し、過年度清水港の津波シミュレーションを実施し、港内の津波影響について調査した結果である。

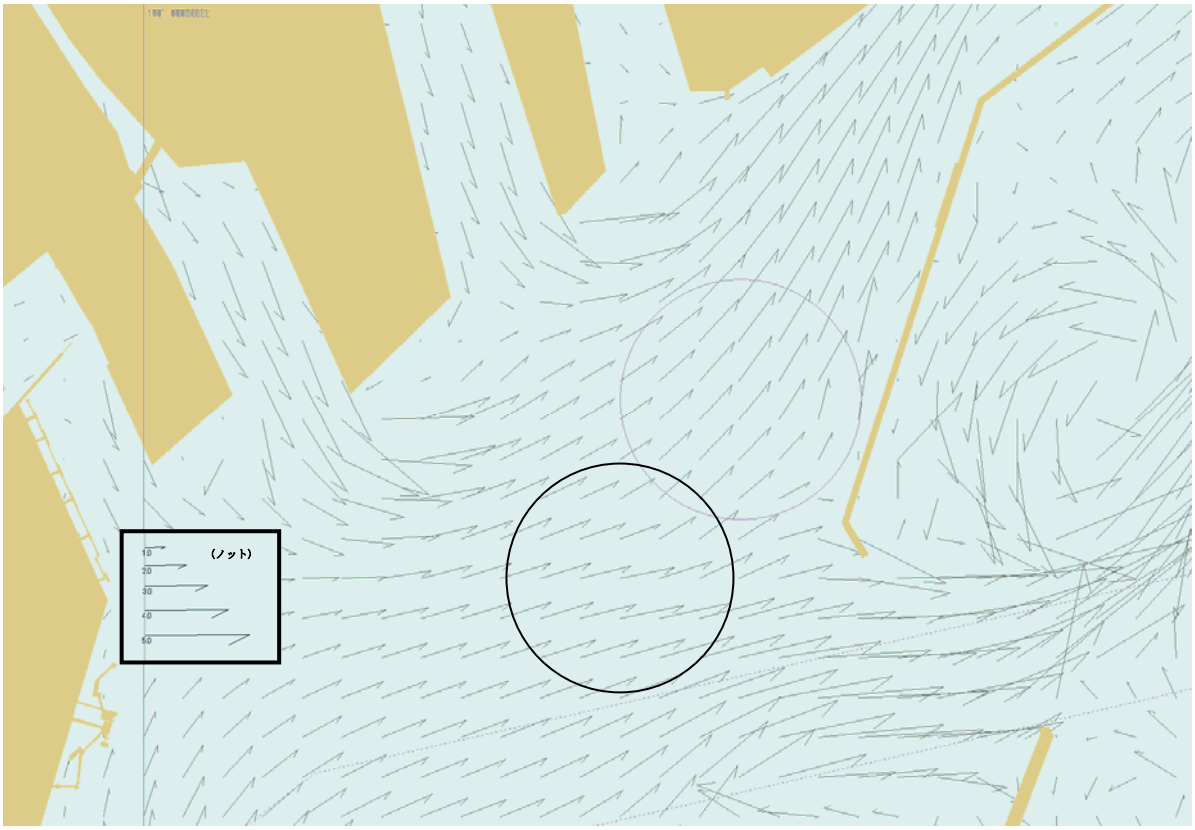
(1) 津波流況図（地震発生後 10 分）



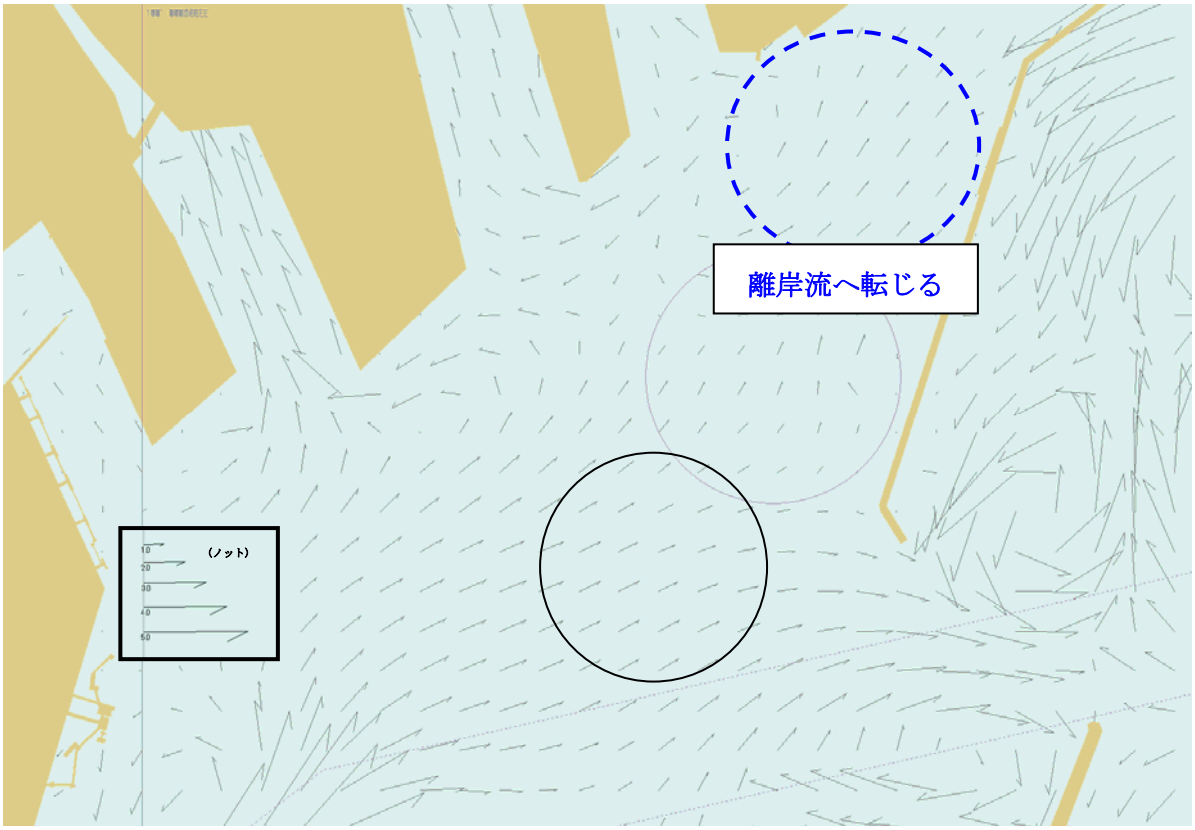
(2) 津波流況図（地震発生後 20 分）



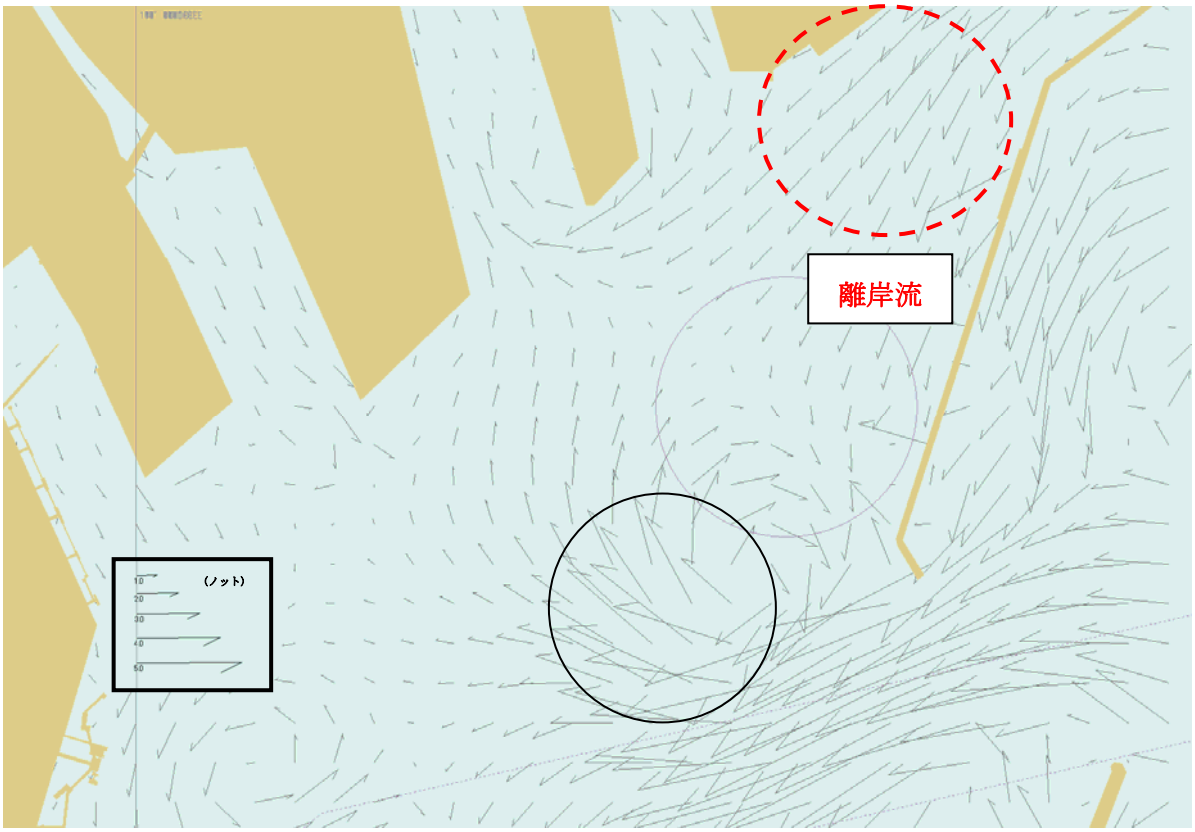
(3) 津波流況図（地震発生後 30 分）



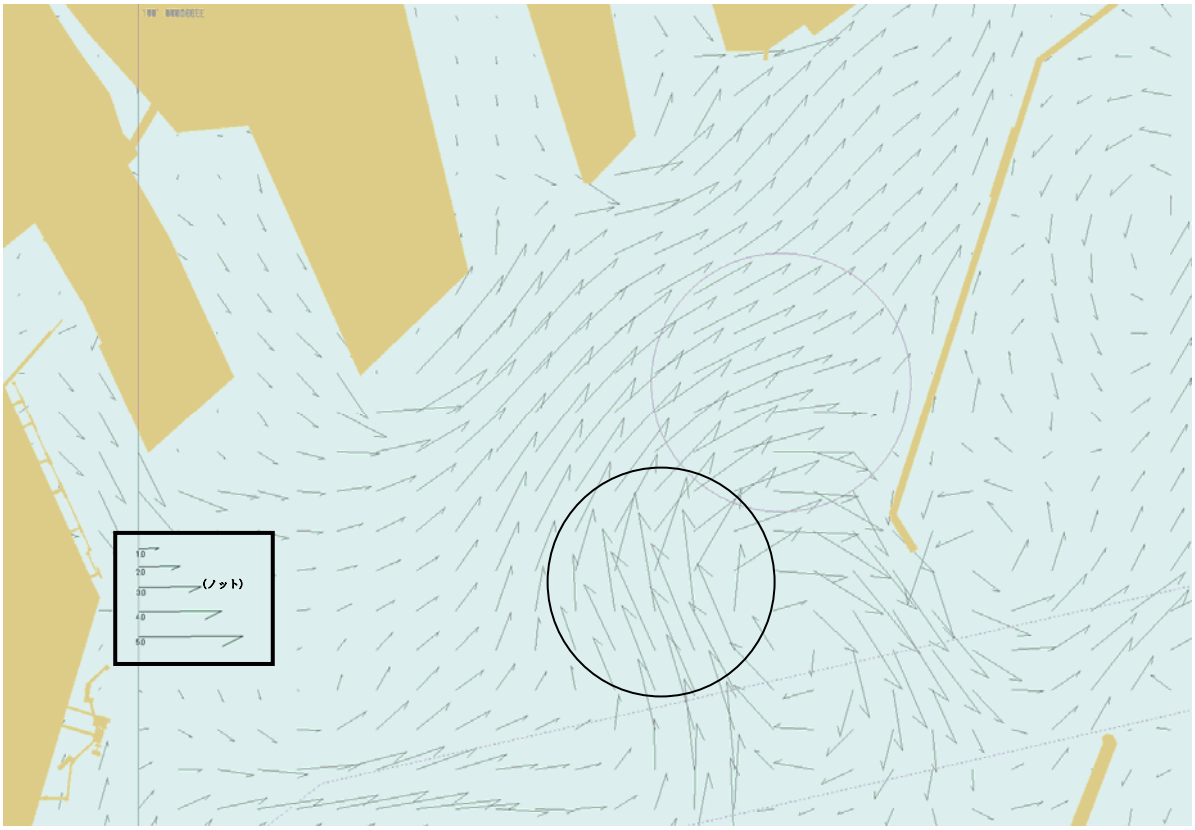
(4) 津波流況図（地震発生後 40 分）



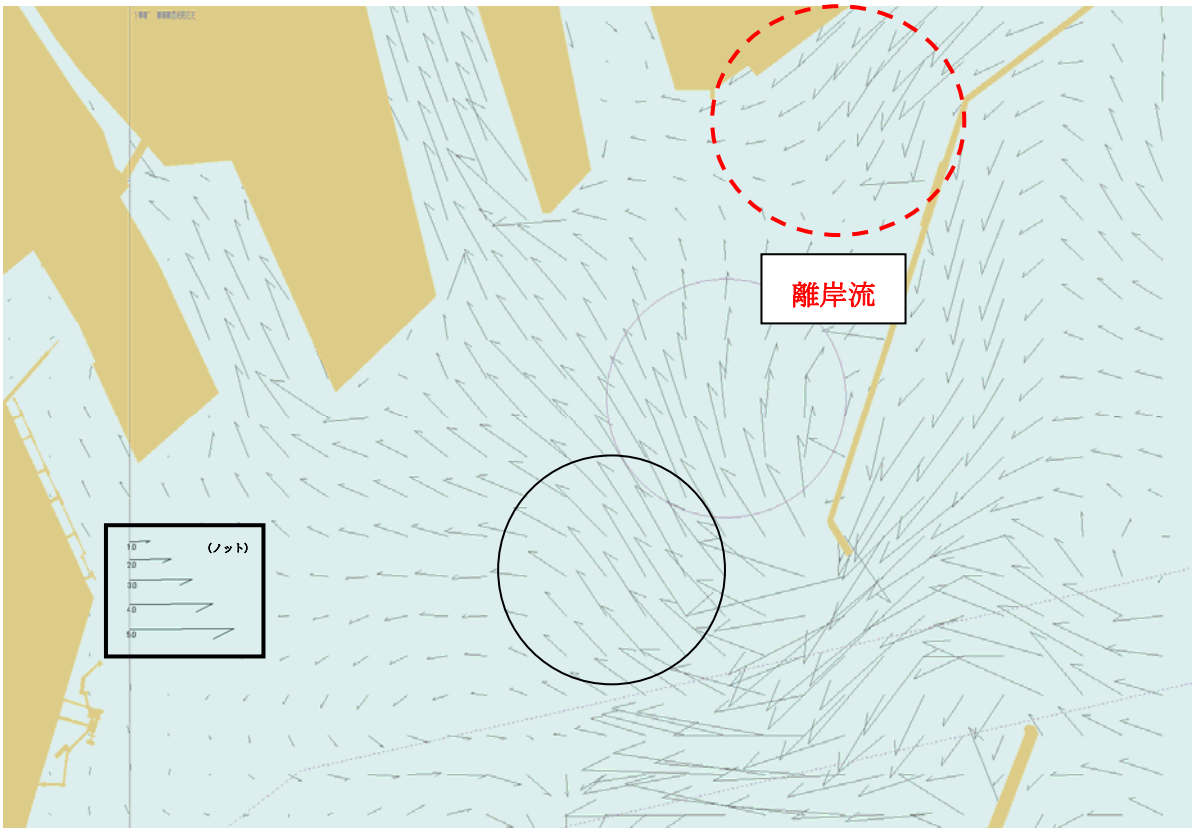
(5) 津波流況図（地震発生後 50 分）



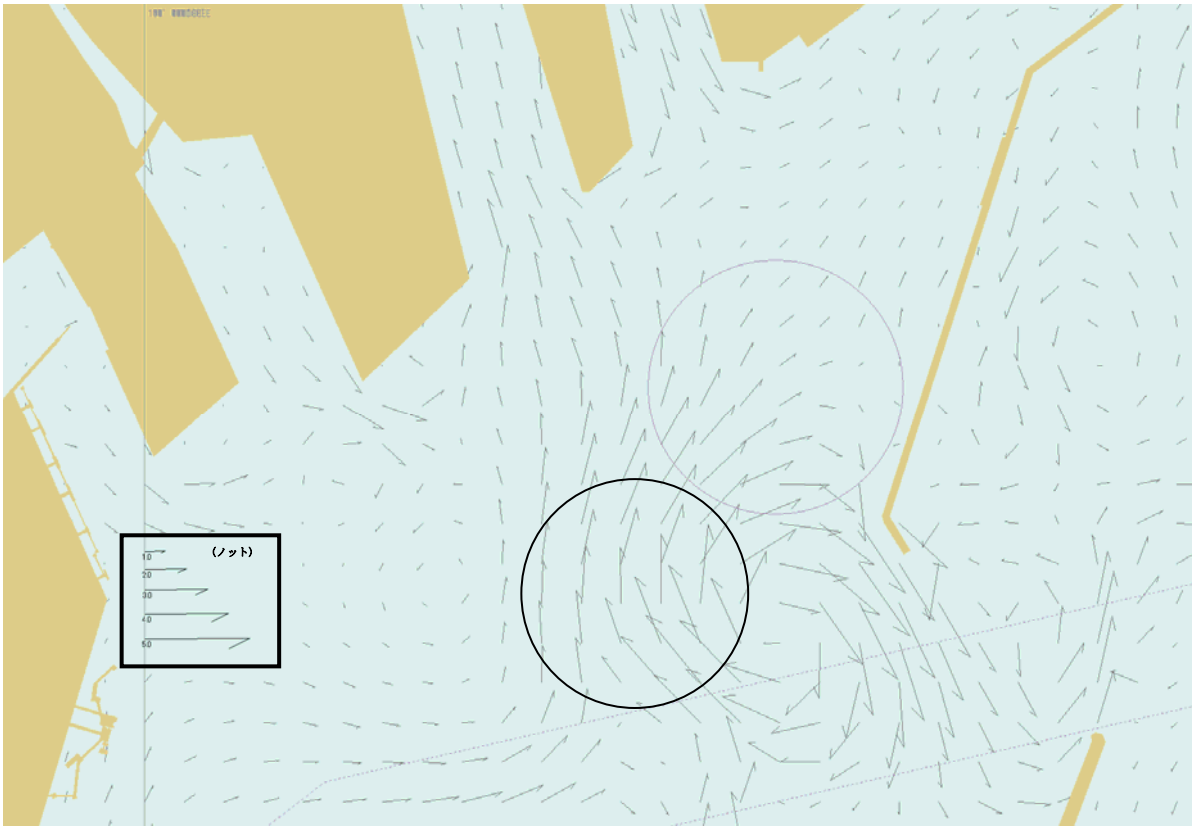
(6) 津波流況図（地震発生後 60 分）



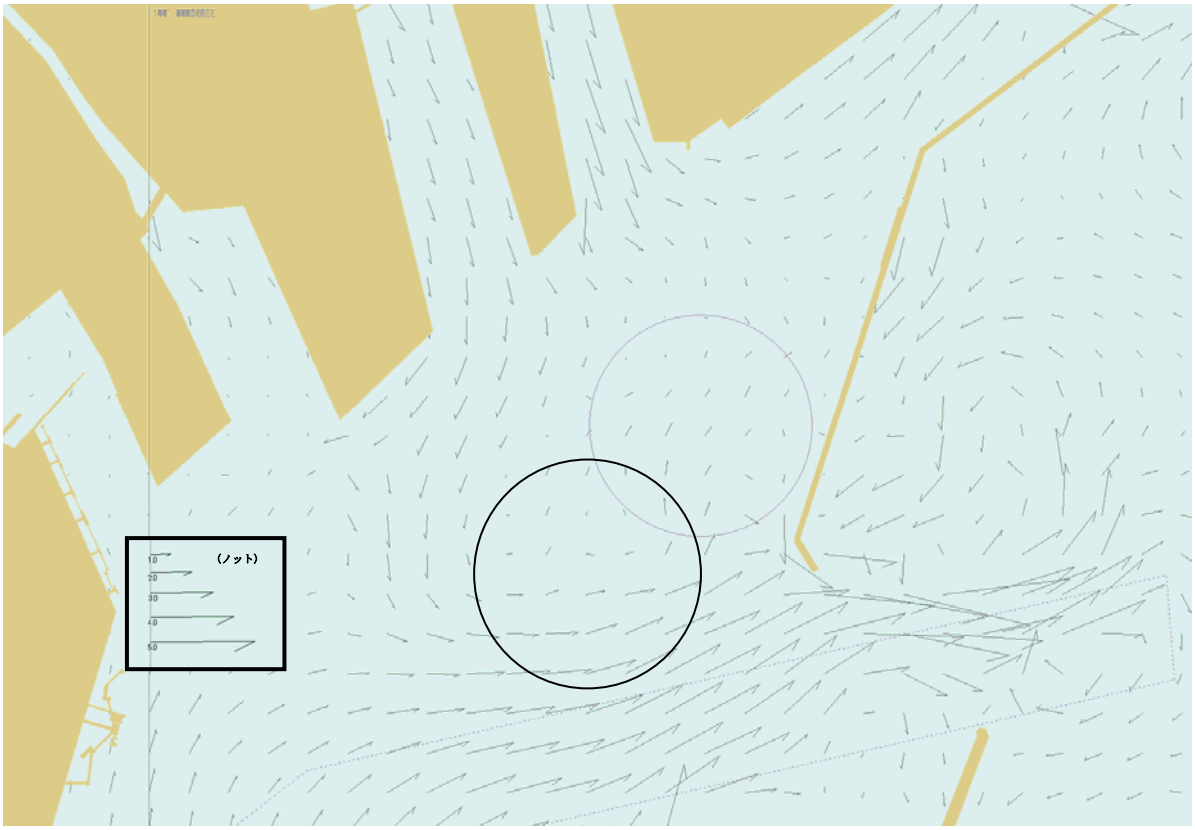
(7) 津波流況図（地震発生後 70 分）



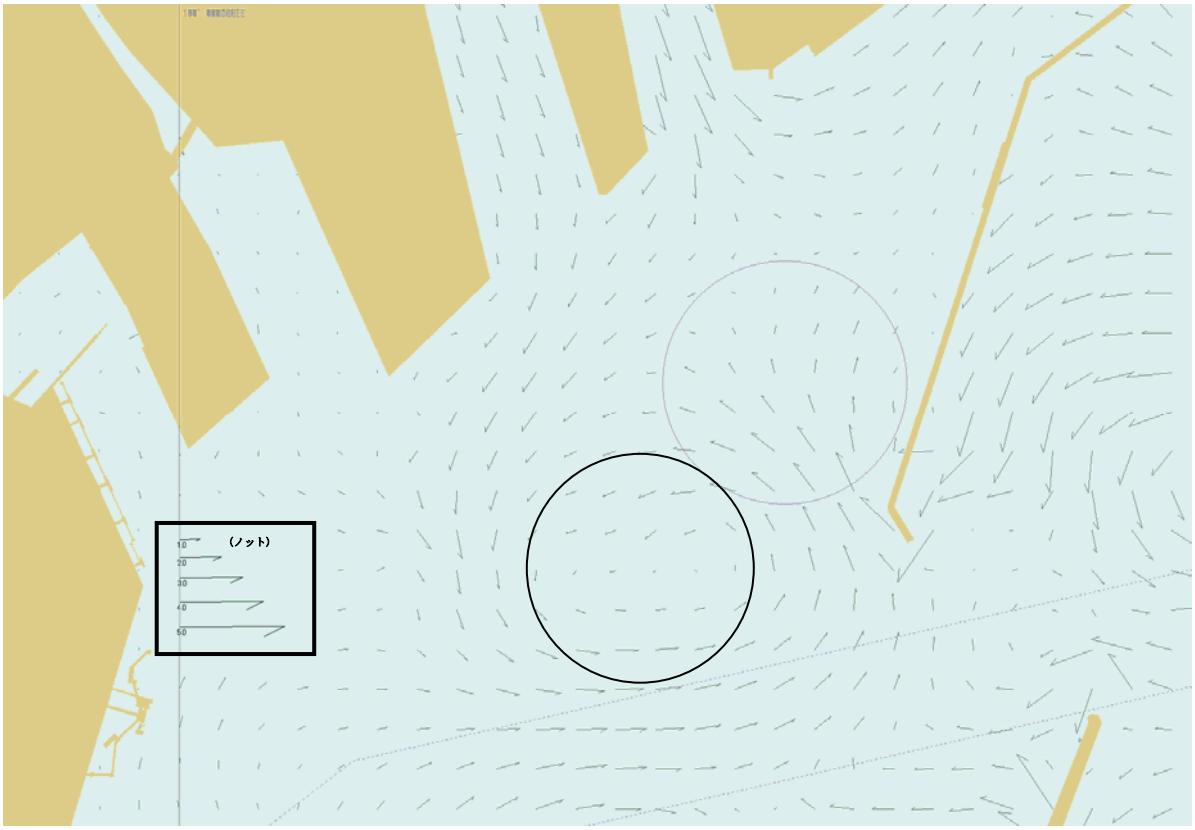
(8) 津波流況図（地震発生後 80 分）



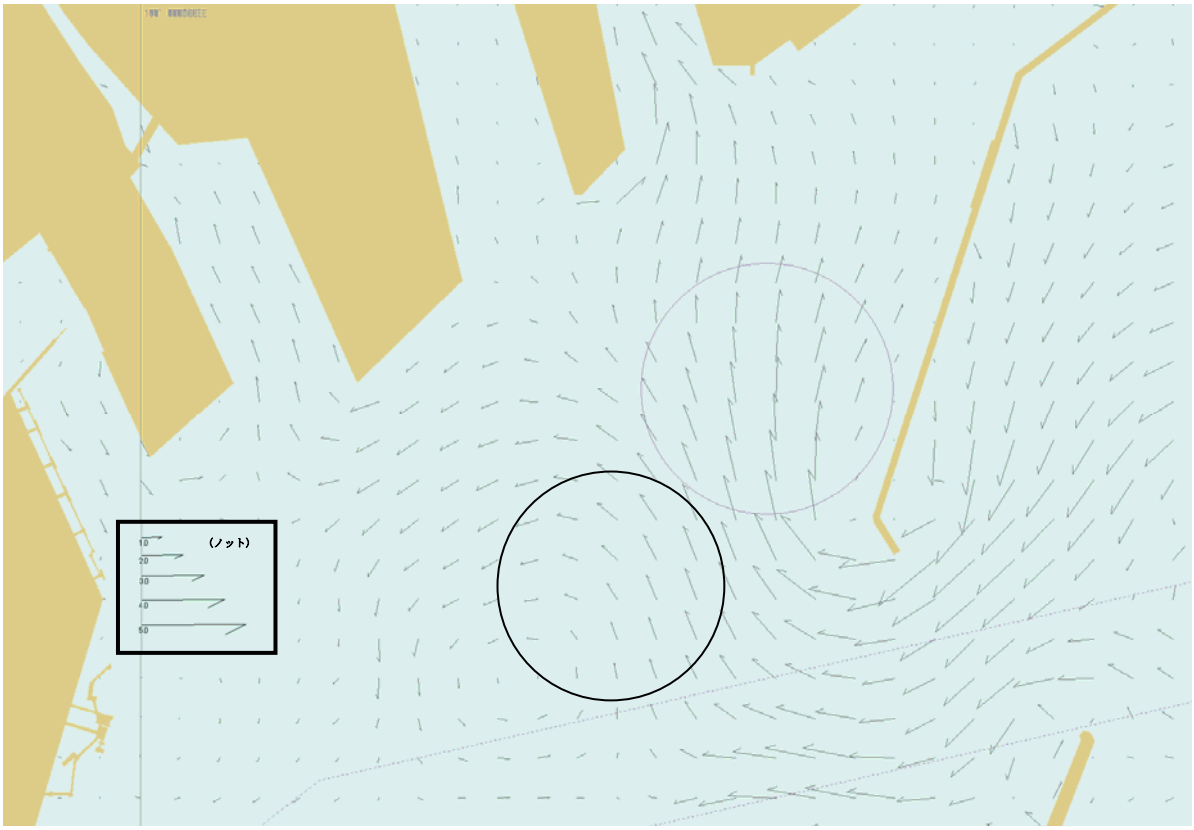
(9) 津波流況図（地震発生後 90 分）



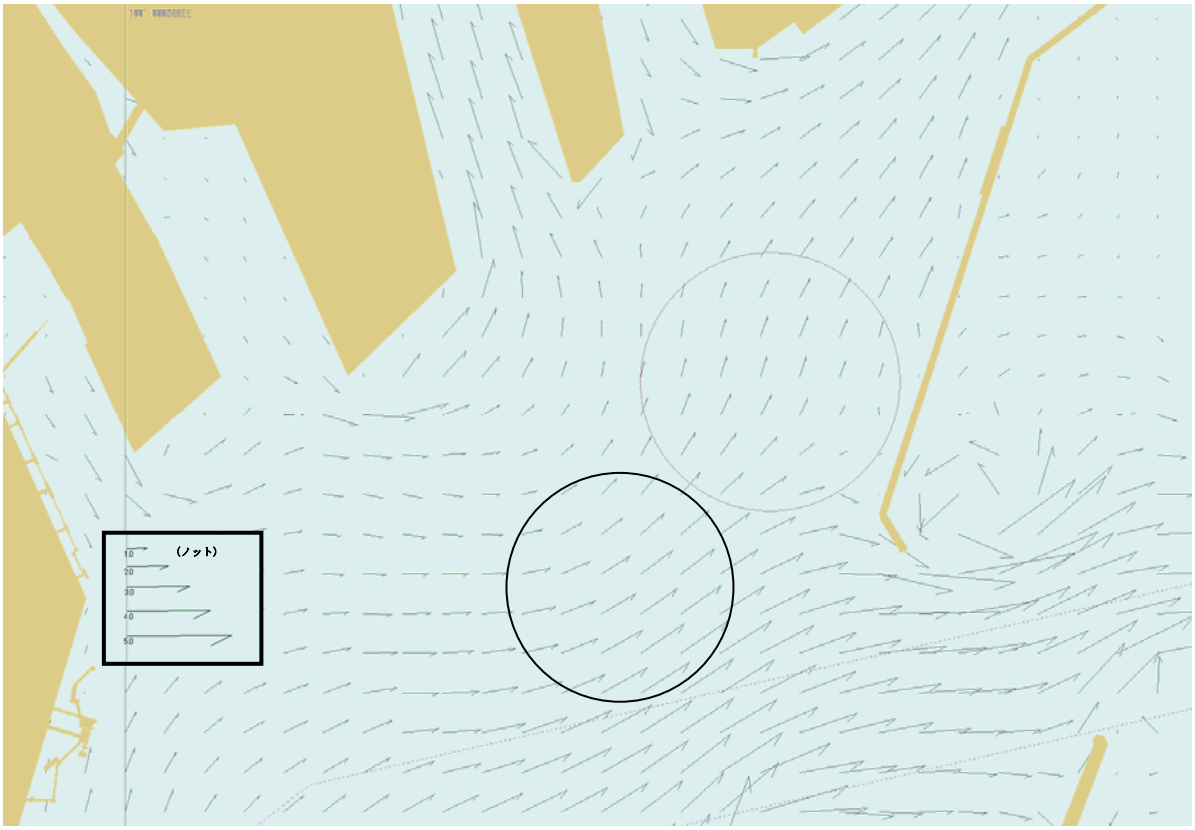
(10) 津波流況図（地震発生後 100 分）



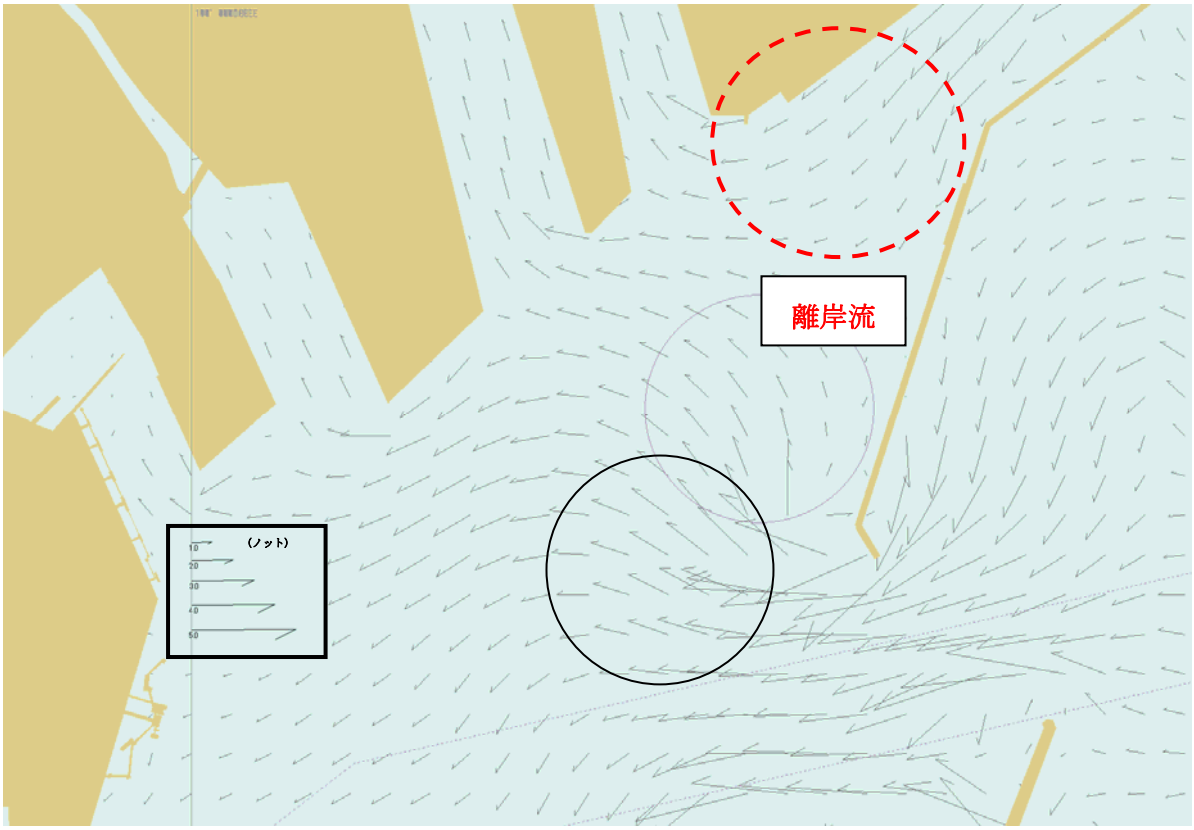
(11) 津波流況図（地震発生後 110 分）



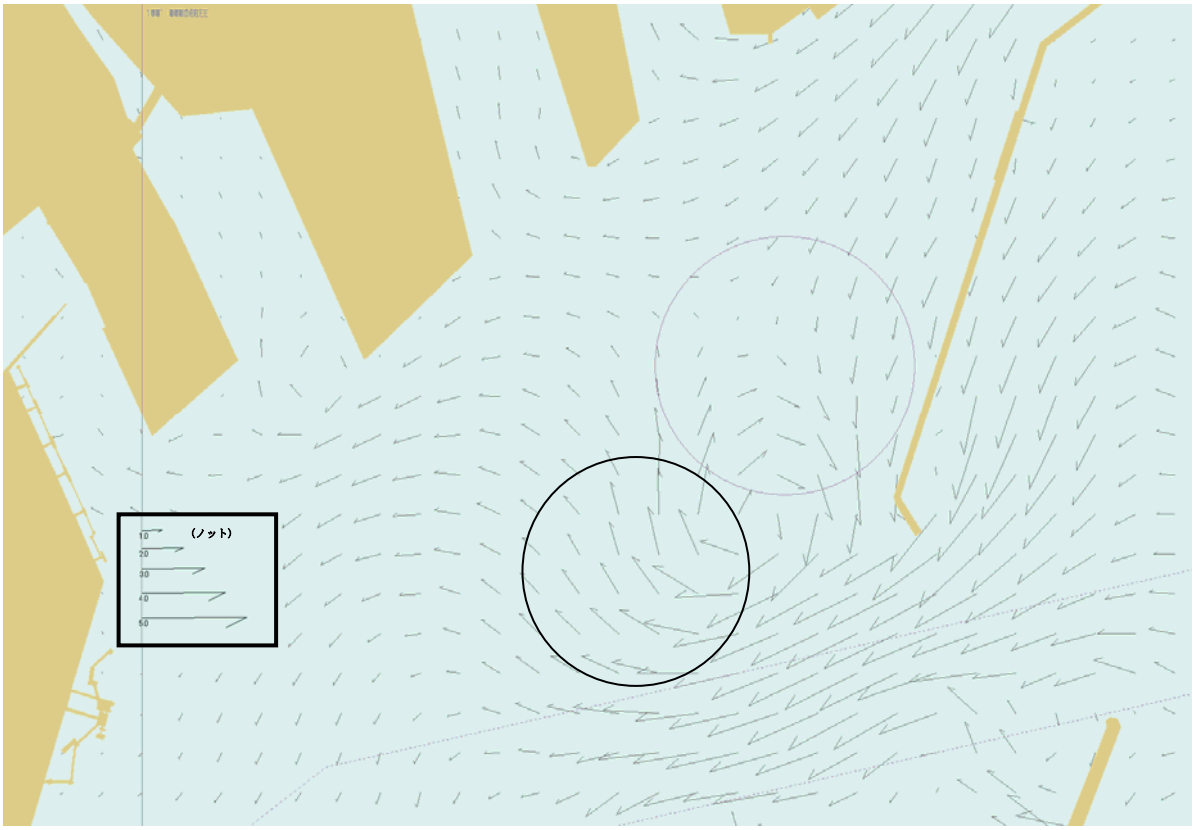
(12) 津波流況図（地震発生後 120 分）



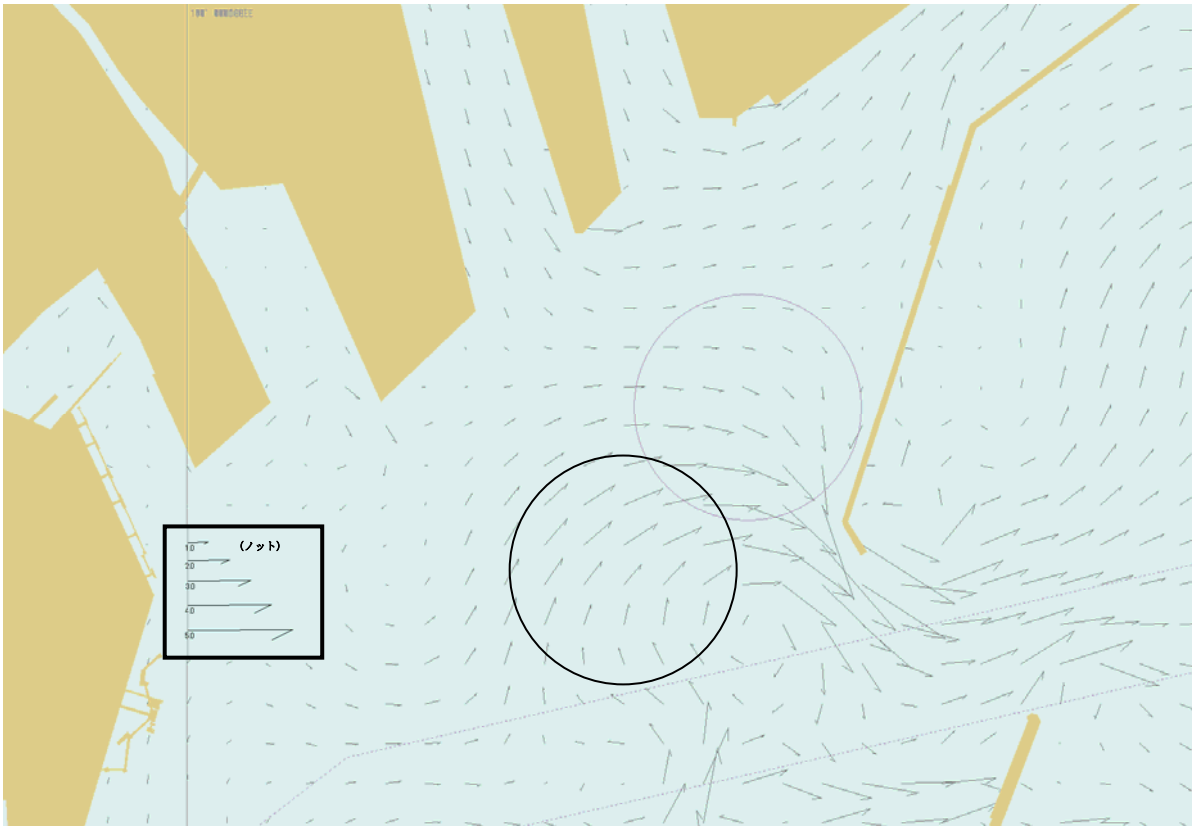
(13) 津波流況図（地震発生後 130 分）



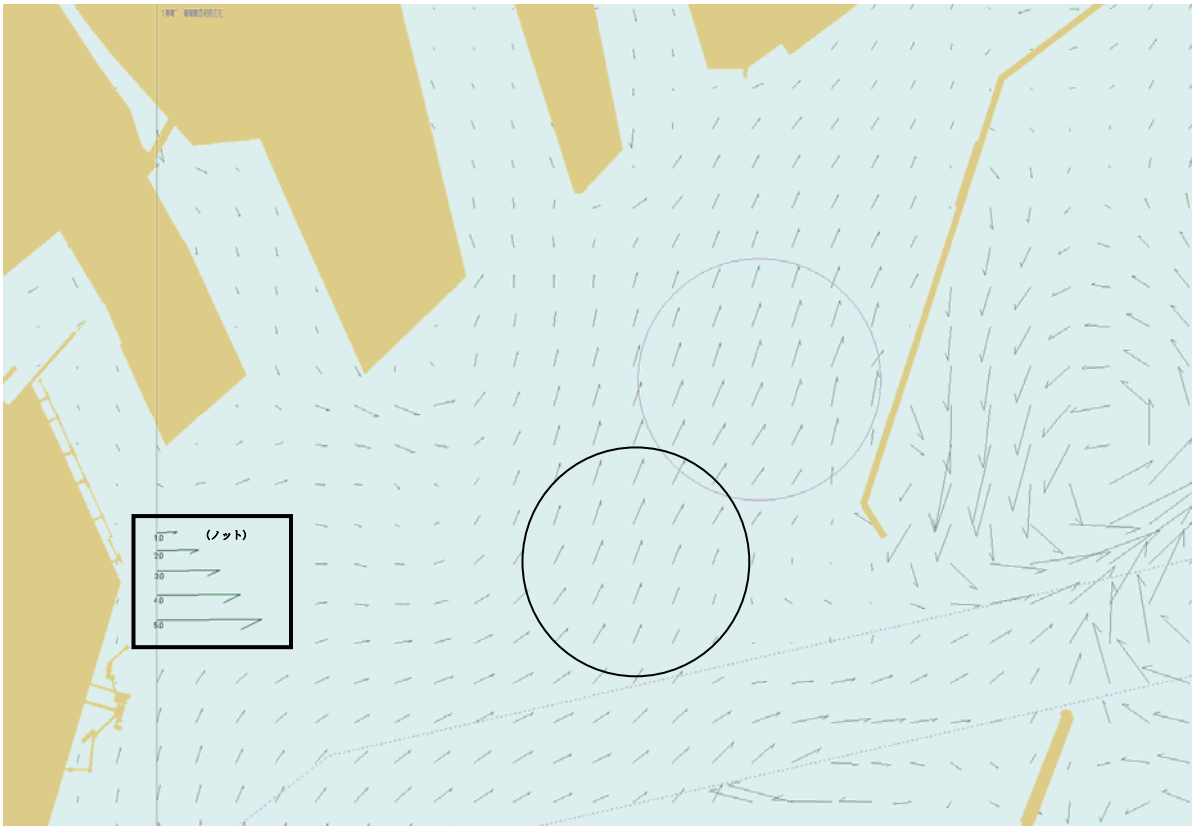
(14) 津波流況図（地震発生後 140 分）



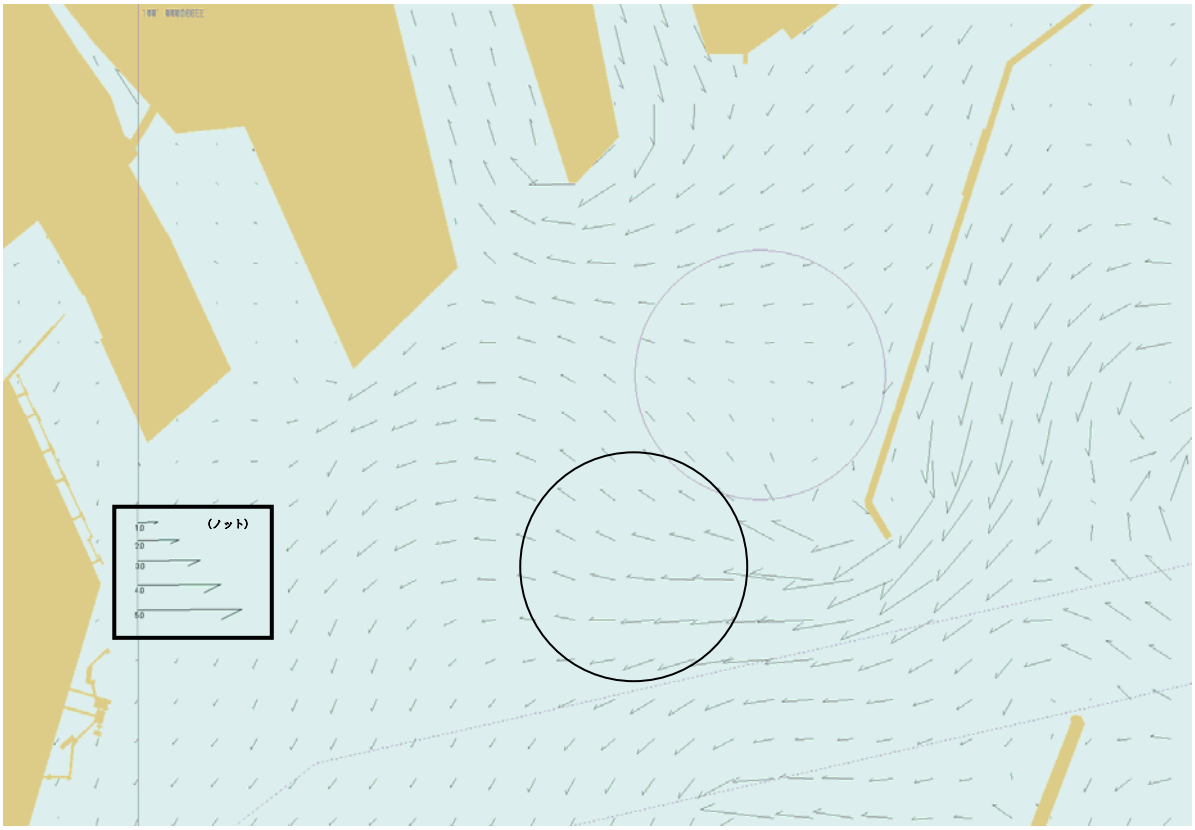
(15) 津波流況図（地震発生後 150 分）



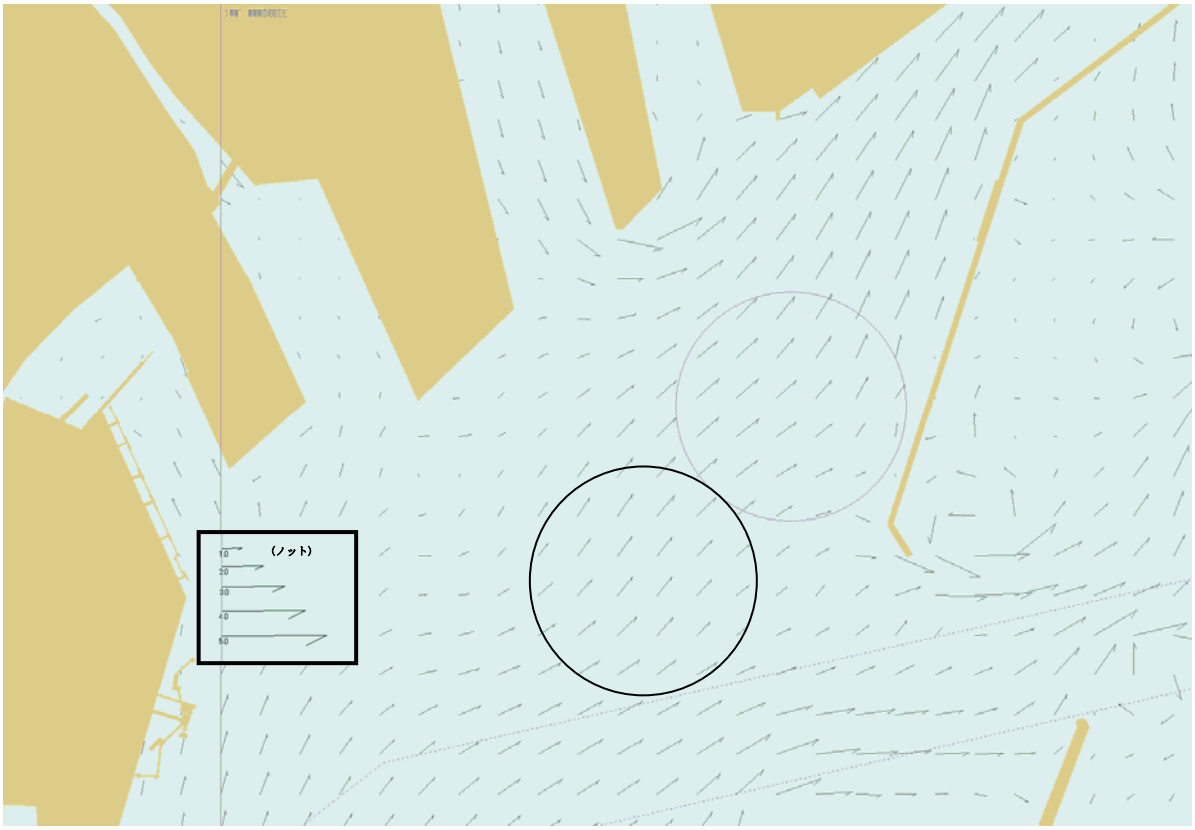
(16) 津波流況図（地震発生後 160 分）



(17) 津波の流況図（地震発生後 170 分）



(18) 津波の流況図（地震発生後 180 分）



4　大型危険物積載船の安全防災対策

4.1 目的

大型危険物積載船の安全防災対策については、これまで緊急離桟等の安全対策が講じられているが、東日本大震災の教訓を踏まえた安全防災対策の見直しについて検討する。

なお、東日本大震災における石油コンビナート施設等の甚大な災害を踏まえ、陸上サイドにおいては、消防法等に基づいて、新たに津波対策が規定され見直しが行われる等、地震・津波対策の検討が行われている。

4.2 大型危険物積載船の安全防災対策

4.2.1 現状の大型危険物積載船の地震・津波対策

海上保安庁が定めた「大型タンカー及び大型タンカーバースの安全防災対策基準（H23・1・17　行政指導指針）」により、一定以上の大きさのタンカー及び同タンカーが荷役に供するバースを対象として、入出港時及び荷役時の安全防災対策が規定されている。

また、液化ガスバースのうち液化天然ガス(LNG)バースについては、海上災害防止センターの勧告内容を積極的に取り入れた緊急遮断システム等が整備されている。

4.2.1.1 大型タンカー及び大型タンカーバースの安全防災対策基準

(1) 対象船舶及び対象バース

① 載貨重量トン数 5 万トン以上の油タンカー及び同タンカーの荷役の用に供されるバース

② 総トン数 2 万 5 千トン以上の液化（石油、天然）ガスタンカー及び同タンカーの荷役に供されるバース

(2) 緊急離桟にかかる安全防災対策基準

安全防災対策基準は大型危険物積載船の入出港、荷役等における技術基準であり、その内容は設備基準、運用基準等多岐に及んでいる。地震・津波対策にかかる緊急離桟に関連した規定は以下のとおりである。

なお、安全防災対策基準の概要を表 4.2.1に示す。

① 設備

緊急時の離桟を容易にするため、出来る限り、十分な強度を有するクイックリリースフックを設備すること。

② 離着桟及び荷役作業に関するマニュアル等の整備とその励行

離着桟及び荷役作業に関するマニュアル並びに各種作業に関するチェックリストを

作成しておき、これを確実に励行すること。

③ 緊急時の荷役停止の手段についての合意

緊急時に安全に荷役を停止し、アーム又はホースを切り離す手順について、バース側とタンカー側であらかじめ確認すること。

④ 異常気象・海象対策

津波警報又は大規模地震の警戒宣言が発令された場合は、直ちに荷役を中止し、原則として、港外の安全な場所に避泊させる。

なお、津波対策協議会等により船舶ごとに取るべき対応策が定められている場合は、これによる。

4.2.1.2 LNG バースの安全防災対策

LNG バースについては、個々のバースにおいて、海上災害防止センターの勧告内容を積極的に取り入れ、油タンカーバースの安全防災対策に加え、緊急離桟に関連する以下の安全対策が講じられている。

① 緊急遮断システム(ESDS；Emergency Shut Down System)

荷役時における異常事態発生時に、自動又は手動で荷役ポンプを緊急停止させるとともに、緊急遮断弁を閉止する装置

② 緊急切り離しシステム（ERS；Emergency Release System）

荷役時における異常事態発生時に、遠隔操作によりローディングアームを切離す装置

③ アーム角度異常警報設備

ローディングアームの異常角度を検出し ESDS・ERS を作動させる設備

④ 係留索荷重監視装置

クイックリリースフックに設置されたセンサーにより係船索の荷重を検出し監視する装置

4.2.2 東日本大震災を踏まえた大型危険物積載船の地震・津波対策

4.2.2.1 東日本大震災における大型危険物積載船の被災状況

(1) 仙台塩釜港

VLCC（15 万 DWT：荷役中）

緊急離桟作業中に津波に圧流され係留索が切断し、緊急投錨するも津波に翻弄される。他船と接触しつつも自力操船により港外避難した。

なお、地震発生後の危険物施設の緊急停止操作中に、津波により人的被害（4 名）が発生している。これは、非常用バッテリーの容量不足により放送設備が使用できず、桟橋で

タンカー離桟作業を行っていた作業員へ引き上げ指示（大津波警報を受けたもの）の伝達が遅れたことによる。

（参考１）

総務省消防庁では、このような津波警報発令時下における緊急時の対応についての危険性を踏まえて消防法令の改正が行われ、津波による浸水の可能性がある施設については、津波の到達時間を考慮した緊急停止措置や従業員の安全確保等について、予防規程に追加することが定められた（平成 24 年 8 月 21 日、消防危第 197 号）。

（参考２）

仙台塩釜港（仙台港区）で観測された津波（国交省港湾局資料）

最大波　　+7.7m

(2) 小名浜港

VLCC（10 万 DWT：荷役中）

チクサンアームなどの荷役施設を接続したままの状態で被災するも、原油桟橋に係留したまま津波を凌いだ。

また、陸上から離れたシーバース上であったことから、係留、荷役作業に従事していた作業員は、バースマスターの機転で全員本船上に避難して無事であった。

（参考）

小名浜で観測された津波(気象庁)

第一波　15 時 8 分　+2.6m

最大波　15 時 39 分　+3.3m

(3) 鹿島港

VLCC（16 万 DWT：荷役中）

津波により圧流され係留索が切断したが、自力操船により港外避難した。

LPG（4 万 7 千 GT：揚げ荷役準備中）

津波により係留索が切断したが、自力操船により港外避難した。

（参考）

鹿島港で観測された津波（国交省港湾局資料）

最大波　　+5.7m

4.2.2.2 東日本大震災の教訓

平成 24 年度、東日本大震災を踏まえ、これまでの報告書、海事関係者へのヒアリング調査等を基に、現行の津波対策で見直しが必要と思われる事項をについて抽出し考え方を整理した表 4.2.2から、大型危険物積載船に係る事項を教訓として整理する。

- 非常時における桟橋設備の非常・予備電源の確保及び船舶との効果的な通信手段を確保しておくこと。

- 津波来襲時の避難判断について関係者との事前取り決めをしておくこと。
- 陸上、洋上支援が十分得られない状況で避難をしなければならないこと。
- 津波の影響が少ない安全な避難エリアについての情報を共有しておくこと。
- 危険物積載船の避難について

  ・港内での二次災害が発生した場合、影響が極めて大きいことを踏まえ、津波来襲までの時間と安全な水域までの退避に要する時間を考慮して、港外退避などの方策を選択する。

  ・基本的には出船着桟が望ましい。

4.2.2.3 東日本大震災を踏まえた大型危険物積載船の安全防災対策

大型危険物積載船の避難のあり方については、次の基本的な考え及び操船シミュレーションを踏まえ、安全対策を見直すこととする。

- 大量の引火性危険物積載による甚大な二次災害発生のリスク
- 原則、港外避難
- 緊急離桟のためのハード、ソフト面の対策の強化

津波により、原油、液化ガスを大量に積載している大型タンカーが港内において衝突、乗揚げ等をした場合は、水域の閉塞による港湾機能の喪失のおそれがあるのみならず、積荷の流出や引火による火災等、大規模な二次災害を引き起こす可能性がある。

これらの二次災害を防止し、災害の局限化を図る観点から、大型タンカーについては迅速な対応が求められ、いち早く、安全な海域に避難することが求められる。

現在、大型タンカーの安全対策については、前述のとおり、緊急離桟のための安全対策が講じられているが、東日本大震災の教訓を踏まえた以下の対策が必要である。

(1) バース管理者の対応

① 大型危険物積載船の係留のあり方

係留のあり方については、出船着桟の有効性を踏まえバース状況に応じた検討をすることが必要である。

他方、バースの状況如何では、入船着桟の方が安全かつ迅速に離桟できるケースも考えられる。

このようなことから、係留のあり方については、以下の点等を考慮のうえ、離桟所要時間のほか離着桟時における安全性や操船の難易性等を総合的に評価し決定する必要がある。

- バース周辺の港湾施設の配置
- 港口の方向
- 可航水域の広さ、形状及び水深
- 確保可能な曳船の隻数及び性能

- 水先人確保の可能性
- 本船のスラスターの有無
- バース及び本船の荷役設備の配置
- 気象・海象の地域特性
- バース周辺の船舶通航量

以上のことから、今後新規のバース建造に際しては、出船着桟の有効性を踏まえ検討するほか、既存バースについてもバースの大規模改修やそれに伴う運用変更等の機会を捉え同様の検討をすることが必要である。

なお、入船着桟、出船着桟いずれの着桟であっても、安全かつ迅速に離桟するためには、タグボートの配備又はスラスター設備が有効である。

② 桟橋設備

a) クイックリリースフック

東日本大震災を踏まえ、非常用発電機等によりできる限り電源を二重化するとともに、製油所の桟橋でタンカーの離桟作業を行っていた作業員が津波により被害に遭われたこと、また、作業員が確保できない場合もあることを踏まえ、できる限り、遠隔操作ができるものを設置することが望ましい。

b) ESDS、ERS

緊急離桟を迅速、かつ、容易に行うことを可能とする設備として有効であり、設置することが望ましい。設置する場合は非常用発電機等により電源を二重化しておくことが望ましい。

VLCC における ERS については、切り離した際の流出油の発生が懸念されていたが、窒素パージを行う装置を付加することで、ERS を手動操作した場合は流出を防ぐことができる。

なお、係留索が切断され船体が移動するなどにより ERS が自動作動した場合は、タンカーの離桟速度によるが、ある程度の流出油が発生するすることがある。

写真１　ERS

写真２　3.11 実際に切り離された ERS

写真３　3.11 実際に切り離された ERS(船側)

＊　写真１－３は、中部電力提供

c) 一斉連絡装置

東日本大震災を踏まえ非常用発電機等により電源を二重化しておく必要がある。

③ 荷役中止

気象庁の大津波警報、津波警報又は津波注意報の情報を入手した場合は、荷役を中止する必要がある。

また、沿岸に近い地点で地震が発生した場合には、気象庁が津波警報等を発表する前に津波が来襲する状況も発生し得ることから、強い地震（震度 4 程度以上）を感じた時や、弱い地震であっても長い時間ゆっくりとした揺れを感じた時は、直ちに情報収集等に努める必要がある。

④ オイルフェンス

東日本大震災において、油タンカーの緊急離桟に際しオイルフェンスの撤去を行う必要があったが、作業船が近づけなかったので、陸側から開放作業を行うもかなり難航した事例があった。

オイルフェンスは、緊急離桟時の障害とならないように、速やかに収納できる体制等を整備することが必要である。

また、オイルフェンスは、流出等により船舶交通の障害とならないよう措置しておく必要がある。

⑤ 緊急時マニュアル

緊急荷役停止や緊急離桟の緊急時対応については、マニュアルを整備しておくとともに定期的に訓練を実施することが必要である。

訓練の手順例を以下に示す。

a) （地震・津波発生）情報収集　被害状況等調査

b) 情報伝達

c) 関係者協議

d) 協議決定事項の伝達

e) 荷役停止・主機準備

f) ローディングアーム切り離し（ERS 作動）

g) 離桟

h) 安全水域到着

なお、東日本震災を踏まえ、停電、通信の輻輳により船陸間の連絡が取れなかったことを踏まえ a)から d)については、連絡等が取れなかった場合における「事前取決め」

による訓練も実施しておくことが肝心である。

(2) 船側の対応

① 係留避泊

物理的な障害や安全面での支障等により、緊急離桟ができない場合も考えられることから、係留避泊する場合における係留強化等の手順を、あらかじめ定めておく必要がある。

② メンブレン型 LNG 船の緊急離桟

メンブレン型 LNG 船は、タンク内にある LNG の量によっては、スロッシングによるタンク損傷リスクがある。モス型 LNG 船ではこのリスクは殆どない。

台風接近時など時間的余裕がある場合は、タンク間移送を行うなど禁止液位にならないよう調整しているが、荷役中に津波、火災などの緊急事態発生により緊急離桟を余儀なくされた場合などにおいては、タンクレベルに関わらず離桟したうえで、津波や風浪・うねりに対しては動揺を極力軽減させるよう操船するとともに、積付け許容範囲となるよう可能な範囲でカーゴシフトを行うことが現実的な対応と考えられる。

（参考１）

スロッシングとは、航行中など、船体動揺等によりタンク内 LNG の動きと船体の運動が同調し、タンク壁を LNG が激しく打ちたたく現象である。

(参考２）

LNG 船は、国際的には IGC コード（International Gas Carrier Code 液化ガスのばら積み輸送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則）に基づいてタンク構造が設計されている。IGC コードに基づいたタンク構造の船舶は、IGC コードの要件を満たす荷役オペレーションをすることになる。安全管理システムである ISM コード（International Safety Management Code　国際安全管理規則）は、この IGC コードの要件を満たす運航がなされるよう手順書の策定を義務付けている。

ライセンサーである GTT 社（ガストランスポート・アンド・テクニガス社）は、スロッシングによる損傷を防止するため、航海時の積み付け禁止液位（例えば、タンク高さの 10%から 70%の範囲）を定めている。

船舶管理会社は、ライセンサーからの貨物格納設備に関する技術資料、船級協会指針、造船所技術仕様、オペレーター会社操船指針などを参照し手順書を作成する。ISM の確認は旗国の海事機関（日本では JG（国土交通省検査官）または NK（日本海事協会））が行っている。津波来襲時の港外への避難操船においては、船速が速くないことなどを勘案し、適宜、制限を盛り込んだ手順書の作成が求められる。

(3) 支援体制

① 水先人の手配

緊急時に備え、水先人の手配について、水先人会と事前に申合せを行っておくことが有効である。

また、水先人が手配できない場合の緊急離桟について、その手順について検討しておくとともに、桟橋管理者は船長と十分に協議しておく必要がある。

② タグボートの手配

タグボートは、可能な限り平時と同等の勢力を確保することを目指す必要があり、船側と連携して事前に事業者等と申合せを行っておくことが有効である。

申合せは、津波来襲までの時間の余裕の多寡や予想される津波の高さに応じ、ケース分けして調整しておくと、現実に即した対応が可能となる。

（例）

- ○分以上の余裕があるときは○隻対応可
- 余裕○分以下、予想津波高さ○m 以下であるときは○隻対応可
- 余裕○分以下、予想津波高さ○m 以上であるときは対応不可

十分な曳船を確保できない状況が想定される場合には、その想定（○隻は確保可能、確保不可能等）に基づいた対応（離桟方法や所要時間等）について、事前に検討しておく必要がある。検討に際しては、既往調査結果が参考となるほか、個々のバースにおいてシミュレーションを実施することが望ましい。

また、大型危険物積載船の荷役中に配備されている警戒船又は消防船が曳航能力を有する場合は、緊急時に有効である。

表 4.2.1　大型タンカーバースの安全防災対策の概要

※1「大型タンカー及び大型タンカーバースの安全防災対策について（平成23年1月17日／保警環第73号・保交安第78号）」
※2 海上災害防止センター（MDPC）による個別のLNG基地を対象とした海上防災対策に関する調査研究（委託業務）結果

大項目	中項目	小項目	内容	海上保安庁通達（※1）に基づく安全防災対策		MDPC要請（※2）に基づくLNGバースの追加設備等
				油タンカーバース（5万DWT以上）	液化ガスタンカー LPG・LNGバース（2.5万GT以上）	
1 バースの設備	(1)一般設備	クイックリリースフック	緊急時の離桟を容易にするための設備、できる限り設置	○	○	
		電気、照明設備等	適切な防爆性能　火花を発するおそれのある設備等が対象	○	○	
		海底送油管	立上り部分を窒素ガス等で置換できる構造、新設又は大改造を行うシーバースが対象	○	－	
		風向風速計	ドルフィン式又は桟橋式バースが対象	○	○	
		着桟速度計	ドルフィン式又は桟橋式バースが対象 10万DWT未満の油バースはできる限り設置	○	○	
		緊急警報装置	ドルフィン式又は桟橋式バースが対象	○	○	
		波高計	外洋に面したブイ式バースが対象、できる限り設置 離着桟等の是非を判断するため設置を要請（LNGバースに対するMDPC要請）	○	－	○
		緊急遮断（ESD）システム	荷役の危険を事前察知、速やかに荷役を中止する装置			○
		緊急切離しシステム（ERS）	ローディングアームの許容量異常の移動を察知、損傷防止のため切離す装置			○
		アーム角度異常警報設備	ローディングアームの異常角度を検出、ESD・ERSを作動させる設備			○
		係留索荷重監視装置	クイックリリースフックに設置されたセンサーにより係船索の荷重を検出、監視する装置			○
		絶縁フランジ	ローディングアーム接続部の電位差に伴う火花発生を防止するフランジ			○
		電気照明設備	港湾施設の技術上の基準を定める省令に基づく電気照明設備 ローディングアーム接続時については作業面照度の強化を要請			○
	(2)消防設備	泡消火設備	泡放水能力　12A（※）リットル／分 泡原液保有量　9Aリットル（3%原液）・18A（6%原液） ※A・・・係留タンカーの隣接する2個のサイドタンクの合計表面積の最大値（㎡）	○	－	
		消火用ノズル	係留最大タンカーの空船時における消火作業に有効な高さ	○	－	
		陸上消火用ノズル（固定式）	係留最大タンカーの全タンクを有効にカバーできるよう設置 消防船を配備する場合は除外	○	－	
		ウォーターカーテン装置	火災による火熱を防止する必要のある箇所（油バース）、アーム又はホースの接続部付近（液化ガスバース） ドルフィン式又は桟橋式バースが対象（油バース）	○	○	
		粉末消火設備	2t以上のドライケミカルを放出できる装置、アーム又はホースの接続部付近に設置	－	○	
		消防船	2t以上のドライケミカルを放出できる消防船、着桟から離桟までの間に配備	－	○	
		火災警報器	事故の未然防止・早期発見のため設置			○
		消火器	アーム又はホースの付近などに可搬式・小型のものを設置	○	○	
		水消火栓	プラットフォームなどに配管・機器冷却用に設置			○
	(3)資機材等	資機材等の確保	オイルフェンス、油処理剤、油吸着材等の適切な確保	○	－	
		資機材等の保管	桟橋付近、警戒船等、速やかに使用できる場所に保管 ブイ式バースではできる限り船上保管	○	－	
		回収油の受入施設等の確保	受入可能な企業、施設等の把握	○	－	
2 離着桟（標）時の安全対策		夜間の離着桟（標）	安全上支障がないと確認できる場合に実施	○	○	
		安全な着桟速度	設計条件を考慮した十分安全な着桟速度の維持 ドルフィン式又は桟橋式バースが対象（油バース）	○	○	
		離着桟（標）基準	風速15m／秒又は波高1.5mを越えない範囲で基準設定	○	○	
		タグボートの使用	十分な馬力を有するものを必要な隻数使用	○	○	
3 荷役時の事故防止対策	(1)荷役安全管理体制の整備		体制及び責任分担の明確化	○	○	
	(2)荷役時の事前打合せ等		事前打合せの励行、荷役関係者への周知徹底、マニュアル等の整備と励行 使用する泡消火剤の種類についての情報共有（油バース） 緊急時の荷役停止の手段についての合意	○	○	
	(3)荷役時における監視・警戒体制	警戒船の配備	荷役中等に常時1隻以上配備 油排出事故時の応急措置に必要な防除資機材を搭載（油バース） 十分な照明設備を保有（油・液化ガスバース） 消防船を配備し上記設備等を有している場合は除外（油・液化ガスバース）	○	○	
		監視員の配置	所要の場所に配置し適宜巡回 アーム又はホースの接続部は確実に配置	○	○	
		通信装置等の整備	バース側・タンカー側・警戒船・監視員、相互に即時連絡可能な通信装置の保有 荷役関係者に即時連絡可能な通報装置をバース及び陸上にできる限り導入	○	○	
	(4)異常気象・海象対策	荷役中止・切離し基準	荒天による荷役中止及びアーム又はホースの切り離し基準について風速15m／秒又は波高1.5mを越えない範囲で設定	○	○	
		台風等荒天時の港外避泊	台風等の荒天が予想されるときは、十分早目に港外の安全な場所に避泊 台風対策委員会等により対応策が定められている場合は、これによる 荒天の基準は20m／秒を越えない範囲で設定	○	○	
		津波警報等	津波警報・大規模地震の警戒宣言発令時には、原則として、港外の安全な場所に避泊 津波対策協議会等により対応策が定められている場合は、これによる	○	○	
	(5)荷役時の諸制限	補油作業	荷役中は他船からの燃料等の移送その他荷役の安全を害する作業を禁止 特段の安全対策が講じられている場合は除外	○	○	
		オートスピニング装置対策	荷役中の同装置の使用禁止 主機タービンの局部冷却防止のためのタービンの微速回転の禁止	○	○	
		立入制限	荷役中は関係者以外の立入を禁止	○	○	
	(6)荷役時におけるオイルフェンスの事前展張等	オイルフェンスの事前展張	油の性状、荷役形態、バース形状等に応じた適切な方法で展張	○	－	
		オイルフェンスの効果が期待できない場合の対応	警戒船のほか、防除資機材を搭載した作業船を常時1隻以上配備	○	－	
	(7)主要バルブの開閉確認	主要バルブの操作	タンカー側とバース側の荷役作業責任者が立会い、確認	○	－	
		巡回点検	主要バルブの状態が適切かどうかを一定の時間間隔で巡回し点検	○	－	
	(8)船体姿勢の維持		荷役中の風浪影響を少なくするための喫水調整等による安全な船体姿勢の維持	○	○	
	(9)タンカー側と意思疎通を図るための措置		業務上の意思疎通が可能な言語を使用できる者の配置 打合せ会議における英文等による安全チェックリスト、マニュアル等の配布説明 必要な事項の船内放送による周知徹底	○	○	
	(10)船陸間の電位差に対する措置		絶縁や十分な電気的接続を図る等の措置	○	○	
	(11)その他	ガス検知警報装置の点検等	監視員が配置されている場所に警報器を設置、警報装置の作動点検を強化 監視員の配置場所に特定せず設置を要請（LNGバースに対するMDPC要請）	○	○	○
		照明の強化	ブイ式バースでは照明を強化	○	－	
4 事故即応体制等	(1) 連絡通報体制の確立		荷役関係者相互間の即時連絡通報体制を確立	○	○	
	(2)要員・資機材等の動員体制の確立		火災事故、油排出事故に備えた防災要員、船艇、資機材の動員体制の確立（油バース） 事故等に備えた防災要員、船艇、資機材の動員体制の確立（液化ガスバース） 海上災害防止センター、近隣の同種事業所等との連携	○	○	
	(3)油濁防止緊急措置手引書の周知徹底／海上防災マニュアルの作成		油濁防止緊急措置手引書について関係者への周知徹底（油バース） 事故発生時に適切な措置が講じられるよう海上防災マニュアルを作成（液化ガスバース）	○	○	
	(4)防災要員の教育・訓練		排出油等防除協議会等が行う合同訓練への参加 油濁防止緊急措置手引書（油バース）、又は海上防災マニュアル（液化ガスバース）に基づく訓練をできる限りタンカー側と一体となって実施 海上災害防止センターの研修・訓練への極力参加	○	○	
	(5)具体的な防除戦術		排出油による影響を受ける漁業施設等の脆弱性の事前把握、具体的な防除戦術等の作成	○		
	(6)バース側とタンカー側の体制の連携		双方が連携して直ちに防除・消火作業等を行う体制整備	○	○	
5 バース建造等に先立つ海上保安部署長への資料の提出	(1)建造届の提出	記載内容	10万DWT以上の油バース／2.5万GT以上の液化ガスバースの建造時、改築時、船型大型化の場合に建造届（既提出の場合は変更届）を提出 1）建造理由 ・・・経緯、タンカー配船計画、出荷計画等 2）建造計画 ・・・バースの概要、最大離着桟（標）船舶の要目、荷役設備・能力、係留設備、消防設備等 3）防災資機材等配備計画（油バース）／消防船、警戒船配備計画（液化ガスバース） 4）離着桟（標）時の安全対策 ・・・着桟（標）時間帯、方法、離着桟（標）時の使用タグボート 5）荷役時の事故防止対策（油バース）／異常気象・海象対策（液化ガスバース） 6）事故処理体制 ・・・処理責任者、処理方法	○	○	
	(2)マニュアル及び手引書の添付		離着桟（標）マニュアル、荷役作業に関するマニュアル、油濁防止緊急措置手引書（油バース）、海上防災マニュアル（液化ガスバース）	○	○	
	(3)建造位置等の基準		船舶交通の状況、気象・海象条件、地理的条件等を考慮 シーバースについては付近に他船が頻繁に錨泊しない場所で、原則として、航路筋から1,000m以上離れ、かつ、付近を航行する船舶が少ないこと シーバースについては必要に応じ付近の交通実態調査を実施 シーバースについては低速で操船不自由な状態のタンカーが航路筋を横切らない場所 海底送油管は船舶が投錨するおそれの少ない場所であって、船舶が投錨しても差し支えないように設置（油バース）	○	○	

表 4.2.2　見直しが必要な津波対策・航行安全対策（その 1）

項目	見直しが必要な事項（課題）	背　景　と　理　由	課　題　の　考　え　方
1　電源及び通信手段の確保	⑴桟橋設備の電源の確保	✓ 停電により荷役設備が停止し、荷役設備の切り離しが出来ず緊急離桟の障害となった。 ✓ ある船は、アンローダが上がっていれば津波来襲まで 40 分程の余裕があり離桟する事はできたが、電源喪失により何も出来なかった。	✓ 非常時における予備電源及び効果的な通信連絡手段を確保しておくことが必要である。
	⑵船舶との通信手段の確保	✓ 電源喪失を前提とした津波対策を立てていた事業者はほとんどなかった。 ✓ 技術的に可能ならば、船側の発電機等の電力を使用すると云う方策もある。	✓ 電源及び通信手段が確保できない場合を想定した事業者ごとのマニュアルを整備するとともに定期的な訓練を実施することが必要である。
		✓ 停電、電話回線の混雑により電話、FAX が使えず、船陸間の連絡は取れなくなった。 ✓ 船舶間において VHF は有効に機能していた。 ✓ 船陸間では、業務用無線機（トランシーバ）が有効であった。 ✓ MCA 無線の活用は有効であった。 ✓ 情報収集については電池式のラジオが役立った。	✓ 通信インフラ障害に備え、ファックスや電話以外の勧告等の代替伝達手段を確保するため、伝達手段の多重化が必要である。
		✓ テレビの地上デジタル放送化に伴い、洋上で受信しづらくなり、津波情報、被災情報等が入手できなかった。	✓ 船舶の受信設備を改善するとともに、放送事業者等に受信範囲の拡大を要望していくことが必要である。 また BS 放送の受信環境を整備することも有効である。
		✓ 震災を受け、今後の津波対策として、アンローダに非常電源を整備したり、高所に設置し直したりした事業者や震災を踏まえて衛星電話を設置する代理店もある。	
2　津波来襲時の自主的な避難について	⑴津波警報及び避難勧告の確実な伝達ができない場合の事前取決め	✓ 発信元の海上保安部が被災（停電・浸水等）し、代理店等も停電により伝達手段（VHF、電話、FAX）が喪失・不通になり、津波情報、避難勧告が伝達されなかった。	✓ 津波警報が出された場合には、避難勧告が発令された場合と同様の行動をとるなどの事前取決めが必要である。
	⑵避難判断における事前の取決め	✓ 船側でも陸側の停電・通信混雑等により、荷主、代理店と連絡が出来なくなった。	✓ 荷主、代理店と船側においても、津波警報が出された場合には、連絡なくして避難することなどの事前取決めが必要である。 ✓ 岸壁上の作業員や船舶乗組員の避難についても、津波対策協議会等の自主的安全対策として位置づけることが必要である。 岸壁上の作業員の避難方法について、本船への避難の可能性を含め検討しておくことが必要である。
	⑶多数の船舶の円滑な避難	✓ 沖合に避難する際、防波堤入口に多くの船が一斉に出てきて混雑した。 水路が合流する部分で、双方から来る船舶同士が VHF により交信を行い、順次整列して合流する事が出来た。 ✓ 予知地震・津波においては避難順序を事前に取り決めている港湾がある。	✓ 津波到達まで時間的余裕がない場合においては、無理な沖出しが事故につながることも考えられるため、港内着岸中の小型船については、避難の対象としないことも含めた検討が必要である。 ✓ 緊急離桟して、沖合避難する際においては港内が混雑することが予想されることから、避難に係る関係者の取り決めを検討しておく必要がある。
	⑷外国人船員への津波警報等発表時の対応の周知	✓ 外国人船員は何が起こり、何をしてよいかわからなかった。	✓ 外国人船員に対して津波の概要やその対策について啓蒙、周知しておくことが大切である。

表4.2.2　見直しが必要な津波対策・航行安全対策（その２）

項目	見直しが必要な事項（課題）	背　景　と　理　由	課　題　の　考　え　方
３　避難における陸上、洋上支援のあり方	タグ､水先人の支援のない状況下での避難	✓　津波来襲時において、水先人、タグボート及び綱取りの手配は困難であった。 ✓　タグボート数隻が、港内から津波により漂流されながら港外退避しようとしていた大型危険物積載船を支援しようとしたが無力であった。	✓　これまでは、水先人、タグボート及び綱取りの手配が出来ている状況下で沖合避難の検討がなされていたが､何も手配できない状況下での対応方法も検討しておくことが必要である。 ✓　緊急時に手配可能なタグの性能、隻数について把握しておくとともに、これら勢力による離桟方法について検討しておくことが必要である。 ✓　緊急時における対応及び連絡体制について､事前にタグ業者や水先人会と申し合わせを行っておくことが望ましい。
４　安全な避難海域の把握	安全な港外避難エリアについての情報提供	✓　港外避難について、どの付近まで避難すれば安全なのか分からなかった。	✓　予め船型毎に､津波の影響が少ない安全な避難エリアについての情報を共有しておくことが必要である。
５　危険物積載船の避難について	⑴荷役中止基準	✓　現状では地震発生後、約３分を目途に津波予報が出される。 ✓　事業所においては、法令等によりポンプの停止、緊急しや断弁の閉鎖等の震度が定められているところがある。	✓　一定以上の地震発生した段階で、津波予報の発表を待つことなく荷役を中止し、津波来襲に備えた準備に入ること等の検討が必要である。 ✓　地震発生時における荷役中止基準について､船陸間で事前に打ち合わせておくことが必要である。
	⑵避難のあり方（港外退避、錨泊避難、係留強化、陸上避難）	✓　津波来襲までの時間と安全な水域までの退避に要する時間から、港外退避、錨泊避難、係留強化、陸上避難の取るべき方策を選択する。 ✓　危険物積載船は港内で二次災害が発生した場合、航行の安全に及ぼす影響が極めて大きい。 ✓　緊急離桟の際は陸上側の停電による電源喪失、水先人、タグボート及び綱取り等の支援は期待できない。 ✓　錨泊避難については、津波来襲前にあらかじめ錨泊していた船舶は被害が少ない。 ✓　係留強化する際は増舫いを取るとともに主機を起動しておくことが大事である。 ✓　離桟に際し、オイルフェンスの撤去を行う必要があったが、作業船が近づけなかったので、陸側から開放作業に移るも、接続部に張力がかかり難航し、最後はナイフで切断した。	✓　係留強化については、船体動揺解析シミュレーションにより係留限界の評価を行い、対応を検討する。 ✓　錨泊避難、港外退避においては、来襲する津波が船舶に与える影響を考慮して対応を検討する必要がある。 ✓　オイルフェンスが､緊急離桟時の障害とならないように､速やかに収納できる体制整備することが必要である。 ✓　緊急荷役停止や緊急離桟の緊急時対応については､マニュアルを整備しておくとともに定期的に訓練を実施することが必要である。

表 4.2.2　見直しが必要な津波対策・航行安全対策（その 3）

項目	見直しが必要な事項（課題）	背　景　と　理　由	課　題　の　考　え　方
5　危険物積載船の避難について	(3)大型危険物積載船の係留方法のあり方	✓　港外退避に要する時間の短縮を考慮する。 ✓　自力による緊急離桟を想定する。 ✓　製油所において、緊急停止操作中に津波により人的被害が発生した。	✓　港外退避に要する時間の短縮を図り、自力による緊急離桟を容易にするため、基本的には出船着桟が望ましいと考えられるが、その決定に際しては、係留場所を取り巻く付近海域の広さ・深さ、船舶交通の輻輳度合、荷役設備の状況、気象・海象等の地域特性や船舶の状態等を踏まえ個別に検討する必要がある。入船着桟する場合においては、必要に応じ、タグの配備、クイックリリース装置の設置（遠隔操作ができるもの）等、離桟時間の短縮を図る方策を別途考えておく必要がある。荷役中、緊急離桟するための装置として ESDS、ERS 等がある。 ✓　操船シミュレーションを行い検討する。
6　危険物積載船以外の船舶の避難について	(1)荷役中止基準（旅客船・ＰＢ等を除く）	✓　危険物積載船に同じ	✓　危険物積載船に準じて検討する必要がある。
	(2)避難のあり方（港外退避、錨泊避難、係留強化、陸上避難）	✓　危険物積載船に同じ。	✓　危険物積載船に準じた検討に加え、船種や船の大きさに応じた適切な避難のあり方を検討する。
	(3)大型船舶の係留方法のあり方	✓　危険物積載船に同じ。	✓　危険物積載船に準じて検討する必要がある。
7　津波来襲後の被災船舶等への情報提供について	(1)被災船舶、避難船舶が必要とする情報	✓　代理店等が被災したり、または停電等により、港湾のインフラの使用可能状況や水路の啓開など港内の状況の情報が全く入手できず､港に戻ってよいか判断に困った。 ✓　港内及び沿岸海域における漂流物の状況も入手できなかった。 ✓　海上保安部から航行安全情報が出されていたが、位置情報が緯度経度表示で判りづらく、「どこから何度何マイル」と言って貰った方が分かり易い。	✓　港湾のインフラの使用可能状況や水路・水深など港内の状況及び沿岸海域の漂流物の状況について、分かり易い情報の提供が望まれる。
	(2)情報提供手段	✓　関係省庁では、震災関連の情報をインターネットに掲載していたが、被災船舶、避難船舶まで情報が行き亘らなかった。 ✓　海洋情報部においても、津波の被害を受けた沖合における漂流物の状況等に関する航行警報を図示化した情報をホームページに掲載していた。 ✓　インターネットに接続できる一般船舶はまだ少なく、代理店等を経由して FAX 等により入手するしかなかった。	✓　洋上の避難船舶等への情報提供方策については、航行警報やインターネットが中心となるが、より分かりやすく提供されることが望まれる。 ✓　外国船に対してこれらの情報が理解できるようにする必要がある。

5　モデル港（清水港）における対応策の検討

5.1 目的

これまでの調査を踏まえて、想定地震・津波発生時においてモデル港（清水港）で船長が取るべき対応策について検討する。

5.2 津波シミュレーションによる想定津波の清水港への影響

平成 24 年度、中央防災会議で検討された南海トラフ巨大地震の津波断層モデル 11 ケース（第 1 次報告）のうち、静岡市清水区で津波が最大となるケースを想定地震断層モデルとして設定し、清水港の津波シミュレーションを実施し、港内への津波影響についての検討を実施した。（港内データは 10m メッシュとした）

5.2.1 モデル港（清水港）の津波影響の概要

津波シミュレーションによる清水港内への津波影響の概要は以下のとおり。

① 地震発生とともに清水港周辺では、陸地、海底ともに約 3m 地盤が隆起する。

② 津波第一波は、地震発生後約 2 分後に押し波（T.P.約+4.5m）が、地震発生後約 5 分後に引き波（T.P.約－3.0m）がそれぞれ港口に到達する。

③ 津波第二波は、地震発生後約 14 分後に押し波（T.P.約+5m）が、地震発生後約 27 分後に引き波（T.P.約－2.5m）がそれぞれ港口に到達する。津波は押し引きを繰り返しながら減衰していく。

④ 港内の津波高は T.P.+4～+7m となり、一部の埠頭は津波の遡上及び岸壁越流により浸水する。

⑤ 引き波時の最低水位は T.P.－3～－6m となり、各船溜まりの一部及び折戸湾等で海底が露出する。

⑥ 防波堤付近、本港航路付近等においては、引き波時に流速 5m/s 以上の港外向けの強い流れが発生する。

津波シミュレーション計算結果による各地域の津波影響を以下の図表に示す。

- 清水港概要図　図 5.2.1
- 調査地点位置図　図 5.2.2
- 調査地点の緯度経度　表 5.2.1
- 各地域の津波影響　表 5.2.2
- 最大津波波高・浸水深分布　図 5.2.3
- 最大流速分布　図 5.2.4
- 津波シミュレーション計算結果平面分布図 0 分～60 分　図 5.2.5

（海上保安庁海図 89 を基に作成）

図 5.2.1　清水港概要図

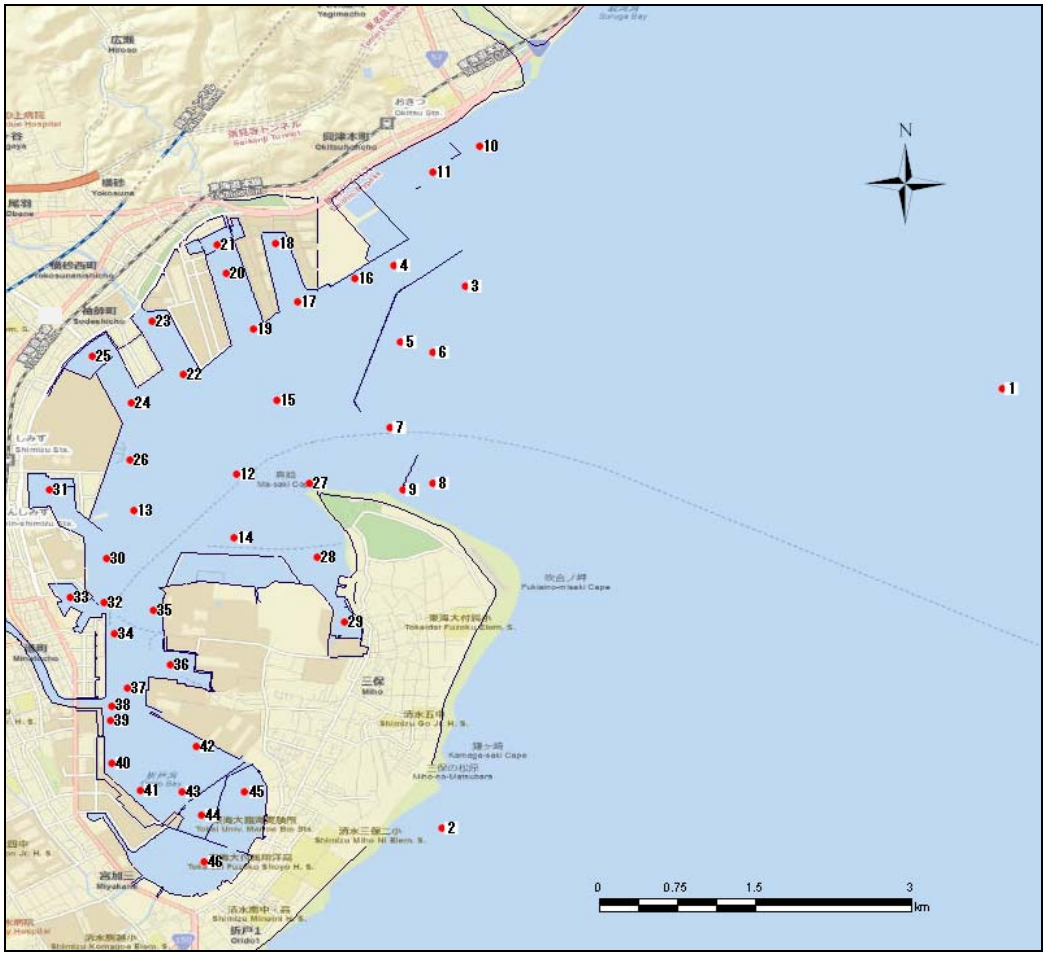


図 5.2.2　調査地点位置図

表 5.2.1　調査地点の緯度経度

調査地点名	緯度			経度			調査地点名	緯度			経度		
	度	分	秒	度	分	秒		度	分	秒	度	分	秒
① 清水港口沖合(港口沖約4.8km)	35	1	47	138	34	31	㉔ 袖袖師第2埠頭、事業所専用岸壁間スリット入口	35	1	42	138	29	59
② 鎌埼沖(羽衣の松沖)	34	59	29	138	31	36	㉕ 袖師船溜まり	35	1	57	138	29	47
③ 外港防波堤(防波堤外側)	35	2	19	138	31	43	㉖ 事業所シーバース前面	35	1	24	138	29	59
④ 外港防波堤(防波堤内側)	35	2	25	138	31	21	㉗ 真崎沖	35	1	17	138	30	55
⑤ 外港防波堤(防波堤外側・検疫錨地)	35	2	1	138	31	23	㉘ 三保真崎海水浴場前面	35	0	54	138	30	57
⑥ 外港防波堤(検疫錨地)	35	1	58	138	31	33	㉙ 三保船溜まり	35	0	34	138	31	6
⑦ 港口	35	1	35	138	31	20	㉚ 江尻船溜まり入口	35	0	54	138	29	52
⑧ 三保防波堤(防波堤外側)	35	1	17	138	31	33	㉛ 江尻船溜まり	35	1	15	138	29	34
⑨ 三保防波堤(防波堤南側水路)	35	1	15	138	31	24	㉜ 清水船溜まり入口	35	0	40	138	29	51
⑩ 興津海岸沖	35	3	2	138	31	48	㉝ 清水船溜まり	35	0	41	138	29	40
⑪ 興津海岸沖	35	2	54	138	31	33	㉞ 日の出埠頭前面	35	0	30	138	29	54
⑫ 航路・泊地	35	1	20	138	30	32	㉟ 事業所専用岸壁前面	35	0	38	138	30	6
⑬ 航路・泊地	35	1	9	138	30	0	㊱ 事業所専用岸壁前面	35	0	20	138	30	12
⑭ 航路・泊地(廃棄物処理場前面)	35	1	0	138	30	31	㊲ 航路・泊地	35	0	13	138	29	58
⑮ 航路・泊地(興津、袖師埠頭前面)	35	1	43	138	30	45	㊳ 巴川河口付近	35	0	8	138	29	53
⑯ 新興津埠頭コンテナバース前面	35	2	21	138	31	9	㊴ 富士見埠頭鉄道岸壁前面	35	0	3	138	29	53
⑰ 興津第1埠頭、興津第2埠頭間スリット入口	35	2	14	138	30	51	㊵ 富士見埠頭前面	34	59	50	138	29	53
⑱ 興津第1埠頭、興津第2埠頭間スリット奥側	35	2	32	138	30	44	㊶ 富士見埠頭前面	34	59	41	138	30	2
⑲ 興津第2埠頭、袖師第1埠頭間スリット入口	35	2	5	138	30	37	㊷ 事業所専用岸壁前面	34	59	55	138	30	20
⑳ 興津第2埠頭、袖師第1埠頭間スリット奥側	35	2	23	138	30	29	㊸ 折戸湾貯木場入口	34	59	41	138	30	15
㉑ 興津船溜まり	35	2	32	138	30	26	㊹ 折戸湾第二水面貯木場	34	59	34	138	30	21
㉒ 袖師第一埠頭、袖師第二埠頭間スリット入口	35	1	51	138	30	15	㊺ 折戸湾木材整理場	34	59	41	138	30	35
㉓ 袖師第一埠頭、袖師第二埠頭間スリット奥側	35	2	8	138	30	6	㊻ 折戸湾第一水面貯木場	34	59	19	138	30	22

表 5.2.2　各地域の津波影響

地域		概要（※）	津波到達時間（※）（地震発生後：分）上段：押し波極値 下段：引き波極値 第1波	第2波	第3波	第4波	水位（単位：T.P.m）左側：最大波高（朔望平均満潮位）右側：最低水位（朔望平均干潮位）	地殻変動量（地盤隆起量）単位：m	最大流速 単位：m/s 太字：5m/s以上	調査地点
港外	港外 ・港口沖合（約4.8km沖合） ・鎌埼沖(羽衣の松沖)	≪港口沖合≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～5mとなる。 〇最大流速は、第1波の引き波時に0～0.5m/sとなる。 〇概ね港外の水深200mより深い海域では、最大流速は0.5m/s以下となる。	① 0分 4分	① 12分 33分	① 70分 95分	① 143分 184分	① 4.64　−3.53	① 3.78	① 0.23	①
		≪鎌埼沖≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、第1波の引き波時に10m/s超となる。 〇水深20mより浅い海域で津波の影響が大きい。	② 2分 5分	② 9分 34分	② 70分 94分	② 145分 182分	② 6.76　−4.13	② 3.09	② **11.43**	②
外港地区（第3区）	港口 ・外港防波堤周辺 ・三保防波堤周辺 ・検疫錨地	≪外港・三保防波堤周辺≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、空間的な差が大きく、外港防波堤南端付近及び三保防波堤南北両端付近においては、流速10m／sを超える流れが生じる。 〇外港防波堤と三保防波堤では、一部越流が生じる。 〇外港防波堤と三保防波堤の流れが収束する港口については渦流が生じる。	⑦ 2分 5分	⑦ 14分 27分	⑦ 70分 98分	⑦ 143分 186分	③ 4.82　−4.22 ④ 4.90　−3.93 ⑤ 5.90　−6.41 ⑦ 4.91　−4.78 ⑧ 5.63　−5.43 ⑨ 5.51　−9.01	③ 3.18 ④ 3.07 ⑤ 3.08 ⑦ 3.05 ⑧ 3.12 ⑨ 3.07	③ 2.54 ④ 3.46 ⑤ 2.74 ⑦ **7.15** ⑧ 1.85 ⑨ **13.77**	③ ④ ⑤ ⑦ ⑧ ⑨
		≪検疫錨地≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に2～4m/sとなる。外港防波堤南端に近いほど流れが強く、引き波時に渦流が発生する。	⑥ 2分 4分	⑥ 18分 39分	⑥ 70分 97分	⑥ 142分 185分	⑤ 5.90　−6.41 ⑥ 5.27　−4.99	⑤ 3.08 ⑥ 3.13	⑤ 2.74 ⑥ 2.43	⑤ ⑥
	港内航路・泊地	≪港内航路≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～5mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に1～3m/sとなる。外港防波堤内側の航路では、第2波の押し波時に渦流が発生する。 ≪泊地≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に、興津、袖師埠頭前面では4～5m、廃棄物処理場前面では5～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に1～3m/sとなる。	⑫ 3分 10分 ⑮ 3分 9分	⑫ 15分 41分 ⑮ 16分 40分	⑫ 74分 99分 ⑮ 75分 99分	⑫145分 189分 ⑮147分 189分	⑫ 4.76　−3.92 ⑬ 4.97　−4.13 ⑭ 4.98　−4.34 ⑮ 4.48　−3.97	⑫ 2.86 ⑬ 2.80 ⑭ 2.87 ⑮ 2.92	⑫ 1.72 ⑬ 2.51 ⑭ 1.09 ⑮ 2.24	⑫ ⑬ ⑭ ⑮
	新興津・興津地区 ・興津海岸 ・新興津埠頭 ・興津第一埠頭 ・興津第二埠頭 ・興津船溜まり	≪興津海岸≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に7～10mとなり、海岸線の一部で10m超となる。 〇最大流速は、第1波の引き波時に5～10m/sとなる。 〇海岸堤防では越流が発生し、海岸では0～1m浸水する。 〇第2波の引き波時に海底が一時露出する。 〇水深20mより浅い海域で津波の影響が大きい。	⑪ 2分 7分	⑪ 10分 37分	⑪ 69分 107分	⑪140分 186分	⑩ 6.58　−3.51 ⑪ 8.48　−3.32	⑩ 3.12 ⑪ 3.05	⑩ **5.34** ⑪ **6.03**	⑩ ⑪
		≪新興津埠頭≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～7mとなる。 〇最大流速は、2～8m/sとなり岸壁の北東端付近では流れが強く6～8m/sとなる。 〇新興津埠頭は、東部で越流が発生し、埠頭のほぼ全域が浸水する。	⑯ 3分 7分	⑯ 18分 37分	⑯ 70分 99分	⑯ 147分 187分	④ 4.90　−3.93 ⑯ 5.04　−3.99	④ 3.07 ⑯ 3.02	④ 3.46 ⑯ 2.31	④ ⑯
		≪興津埠頭≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、第1波の引き波時に2～3m/sとなる。 〇興津埠頭は、第1、第2とも越流が発生し、埠頭のほぼ全域が浸水する。	⑰ 4分 7分 ⑲ 4分 10分	⑰ 18分 38分 ⑲ 20分 37分	⑰ 71分 95分 ⑲ 72分 99分	⑰ 146分 188分 ⑲ 147分 188分	⑰ 5.53　−4.39 ⑱ 5.92　−5.62 ⑲ 4.84　−4.24 ⑳ 5.90　−4.41	⑰ 2.95 ⑱ 2.90 ⑲ 2.88 ⑳ 2.85	⑰ 2.73 ⑱ 2.32 ⑲ 2.62 ⑳ 1.98	⑰ ⑱ ⑲ ⑳
		≪興津船溜まり≫ 〇第2波の押し波で浸水するとともに、第1波、第2波の引き波時に海底が一時露出する。	㉑ 5分 9分	㉑ 14分 35分	㉑ 73分 118分	㉑ 149分 190分	㉑ 6.30　海底露出	㉑ 2.86	㉑ 4.03	㉑
	袖師地区 ・袖師第一埠頭 ・袖師第二埠頭 ・袖師船溜まり ・事業所専用岸壁	≪袖師埠頭≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、興津第2埠頭と袖師第1埠頭の間、および袖師第1埠頭と第2埠頭の間で2～3m/sとなる。 〇袖師埠頭は、第1、第2とも越流が発生し、埠頭の北部が広く浸水する。	㉒ 4分 10分	㉒ 16分 37分	㉒ 74分 99分	㉒ 146分 190分	⑲ 4.84　−4.24 ⑳ 5.90　−4.41 ㉑ 6.30　海底露出 ㉒ 5.27　−4.34 ㉓ 5.83　−5.11 ㉔ 5.07　−4.22 ㉕ 4.64　1.76	⑲ 2.88 ⑳ 2.85 ㉑ 2.86 ㉒ 2.81 ㉓ 2.81 ㉔ 2.79 ㉕ 2.76	⑲ 2.62 ⑳ 1.98 ㉑ 4.03 ㉒ 2.05 ㉓ 2.26 ㉔ 1.69 ㉕ 0.73	⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕
		≪袖師船溜まり≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～5mとなる。 〇最大流速は、大部分が0～3m/sとなるが、船溜まりの出入り口付近で流れが強く、局所的に8～10m/sとなる。 〇最低水位は−1m～0となる。	㉕ 6分 13分	㉕19分 −	㉕ − −	㉕ − −	㉕ 4.64　1.76	㉕ 2.76	㉕ 0.73	㉕
		≪事業所専用岸壁≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、引き波時に0.5～2m/sとなる。	㉖ 4分 8分	㉖ 15分 41分	㉖ 73分 100分	㉖ 145分 190分	㉔ 5.07　−4.22 ㉕ 4.64　1.76 ㉖ 5.07　−4.05	㉔ 2.79 ㉕ 2.76 ㉖ 2.80	㉔ 1.69 ㉕ 0.73 ㉖ 0.92	㉔ ㉕ ㉖
	三保地区 ・三保真崎海水浴場 ・三保船溜まり	≪三保真崎海水浴場≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～7mとなる。 〇最大流速は、真崎沖で流れが強く、第1波の引き波時に局所的に8～10m/sとなる。 〇海岸線では、引き波時に海底が露出する。 〇小型船係留施設付近で一部越流が発生し、0～1mの浸水となる。	㉘ 4分 11分	㉘ 15分 41分	㉘ 74分 100分	㉘ 144分 191分	㉗ 4.70　海底露出 ㉘ 5.14　−5.22	㉗ 2.96 ㉘ 2.96	㉗ **5.77** ㉘ 1.55	㉗ ㉘
		≪三保船溜まり≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～5mとなる。 〇最大流速は、第1波の引き波時に1～3m/sとなる。	㉙ 6分 14分	㉙ 18分 −	㉙ − −	㉙ − −	㉙ 4.64　2.16	㉙ 2.97	㉙ 1.55	㉙
内港地区（第1区、第2区）	港内航路	≪港内航路≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に6～8m/sとなる。 〇港内1区、2区の航路では、押し波、引き波時に強い南北流となる。	㊲6分 14分	㊲23分 35分	㊲79分 126分	㊲141分 191分	㊲ 5.36　−4.90	㊲ 2.81	㊲ **6.25**	㊲
	江尻地区 ・江尻船溜まり	≪江尻船溜まり≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、船溜まりでは1～3m/s、船溜まりの出入り口付近では流れが強く3～8m/sとなる。 〇岸壁はほとんど越流し、0～2mの浸水となる。	㉛ 6分 12分	㉛ 18分 46分	㉛ 78分 104分	㉛ 146分 194分	㉚ 4.91　−4.23 ㉛ 5.26　−2.18	㉚ 2.78 ㉛ 2.75	㉚ 2.88 ㉛ 3.58	㉚ ㉛
	日の出地区 ・日の出埠頭 ・清水船溜まり	≪清水船溜まり≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～5mとなる。 〇最大流速は、船溜まりの奥では1～2m/s、出入り口付近では流れが強く3～6m/sとなる。 〇大部分で海底が露出する。 〇岸壁は全て越流し、船溜まり周辺の陸地は0～1mの浸水となる。	㉝ 7分 12分	㉝ 18分 39分	㉝78分 103分	㉝ 144分 192分	㉜ 4.40　−4.51 ㉝ 4.81　海底露出	㉜ 2.79 ㉝ 2.76	㉜ 3.50 ㉝ 1.68	㉜ ㉝
		≪日の出埠頭≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に3～5m/sとなる。 〇岸壁はほとんどの部分で越流し、周辺の陸地は0～1mの浸水となる。	㉞ 6分 10分	㉞ 23分 40分	㉞ 75分 99分	㉞ 142分 190分	㉞ 5.04　−4.41	㉞ 2.79	㉞ 3.72	㉞
	貝島地区 ・事業所専用岸壁	≪事業所専用岸壁≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に2～5m/sとなる。 〇岸壁前面付近は、第2波の引き波時にほぼ全域で海底が露出する。	㉟ 6分 10分	㉟ 23分 40分	㉟ 55分 125分	㉟ 142分 191分	㉟ 4.60　−4.29 ㊱ 5.72　海底露出	㉟ 2.81 ㊱ 2.81	㉟ 3.24 ㊱ 4.45	㉟ ㊱
	塚間地区 ・事業所専用岸壁	≪事業所専用岸壁≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、引き波時に2～4m/sとなる。 〇岸壁前面付近は、第2波の引き波時に海底が露出する。	㊷ 8分 16分	㊷ 22分 43分	㊷ 80分 129分	㊷ 139分 188分	㊱ 5.72　海底露出 ㊲ 5.36　−4.90 ㊷ 5.89　−4.84	㊱ 2.81 ㊲ 2.80 ㊷ 2.83	㊱ 4.45 ㊲ **6.25** ㊷ 1.94	㊱ ㊲ ㊷
	富士見地区 ・巴川河口 ・鉄道岸壁 ・富士見埠頭	≪巴川河口≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に6～8m/sとなる。	㊳ 7分 15分	㊳ 23分 43分	㊳ 79分 127分	㊳ 140分 187分	㊳ 5.41　−4.76	㊳ 2.80	㊳ **6.25**	㊳
		≪鉄道岸壁・富士見埠頭≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、第2波の引き波時に1～5m/sとなる。 〇岸壁では一部越流が発生し、0～2mの浸水となる。	㊵ 8分 15分	㊵ 21分 39分	㊵ 79分 128分	㊵ 139分 187分	㊴ 5.39　−4.74 ㊵ 5.68　−4.72 ㊶ 5.74　−4.89	㊴ 2.80 ㊵ 2.81 ㊶ 2.82	㊴ 4.57 ㊵ 1.52 ㊶ 1.52	㊴ ㊵ ㊶
	折戸地区 ・折戸湾貯木場入口 ・第一水面貯木場 ・第二水面貯木場 ・木材整理場	≪折戸湾貯木場入口≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に5～7mとなる。 〇最大流速は、貯木場入口付近で第2波の引き波時に6～10m/sとなる。 〇第2波の引き波時に一部海底が露出する。	㊸ 8分 16分	㊸ 21分 41分	㊸ 80分 129分	㊸ 139分 187分	㊸ 5.74　海底露出	㊸ 2.83	㊸ 4.48	㊸
		≪第一、第二水面貯木場・木材整理場≫ 〇最大津波高は、第2波の押し波時に4～5mとなる。 〇最大流速は、0～3m/sとなるところが多い。第二水面貯木場の出入り口付近では流れが強く3～6m/sとなる。 〇木材整理場、第一水面貯木場では、潮位変動、流速ともに小さい。 〇水深の浅い海域では海底が露出する。	㊹ 9分 18分	㊹ 21分 −	㊹ − −	㊹ − −	㊹ 4.46　−0.06 ㊺ 4.43　−0.03 ㊻ 4.59　−0.03	㊹ 2.87 ㊺ 2.88 ㊻ 2.85	㊹ 1.68 ㊺ 0.72 ㊻ 0.68	㊹ ㊺ ㊻

※ 注１）　概要欄の津波高、浸水深、最低水位及び流速の数値は、その地域における分布範囲を示す。

※ 注２）　津波到達時間は各観測地点の津波高の極値（ピーク値）の到達を示すものであり、港外と港内の到達時間は時系列的に前後する場合がある。

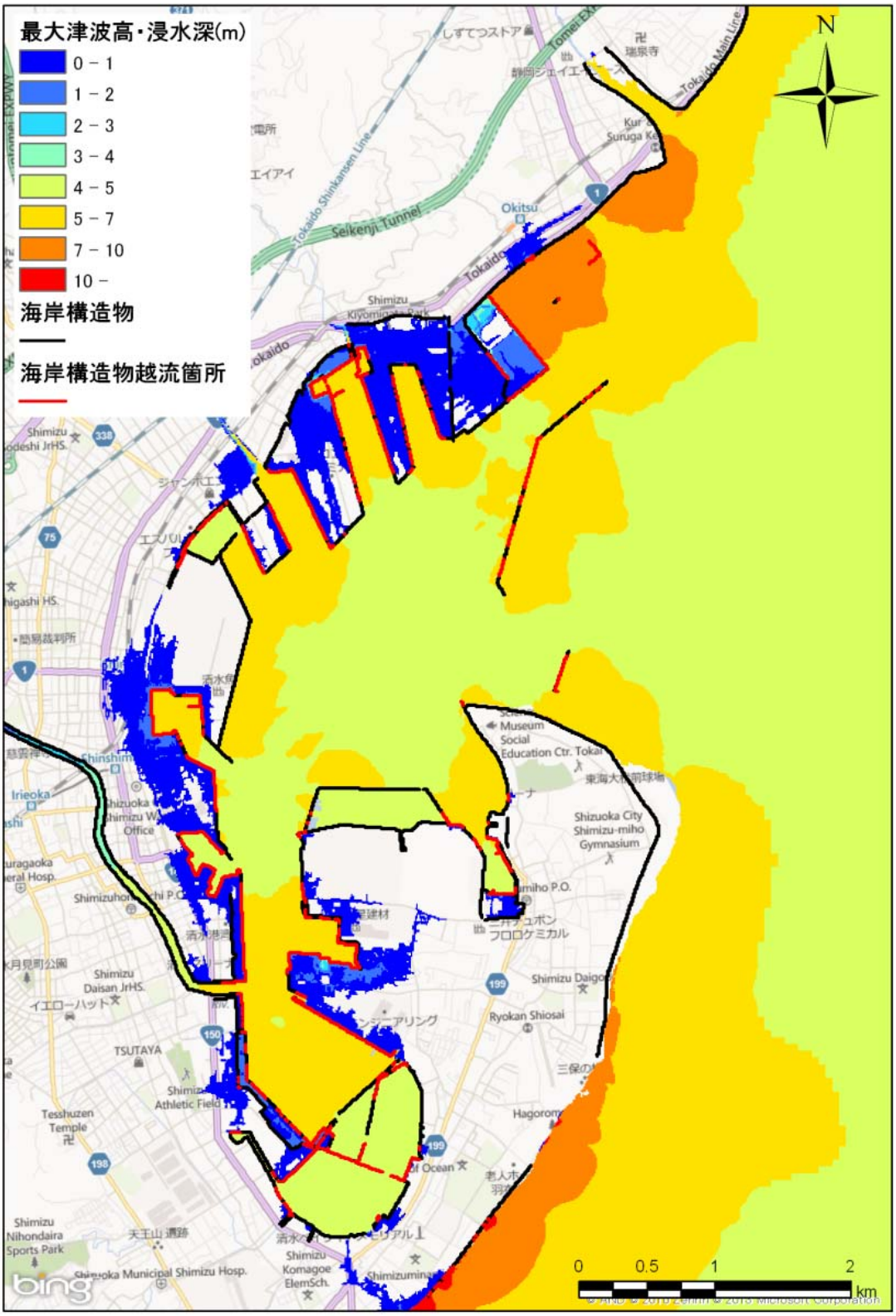


図 5.2.3　最大波高・浸水深分布（朔望平均満潮位）

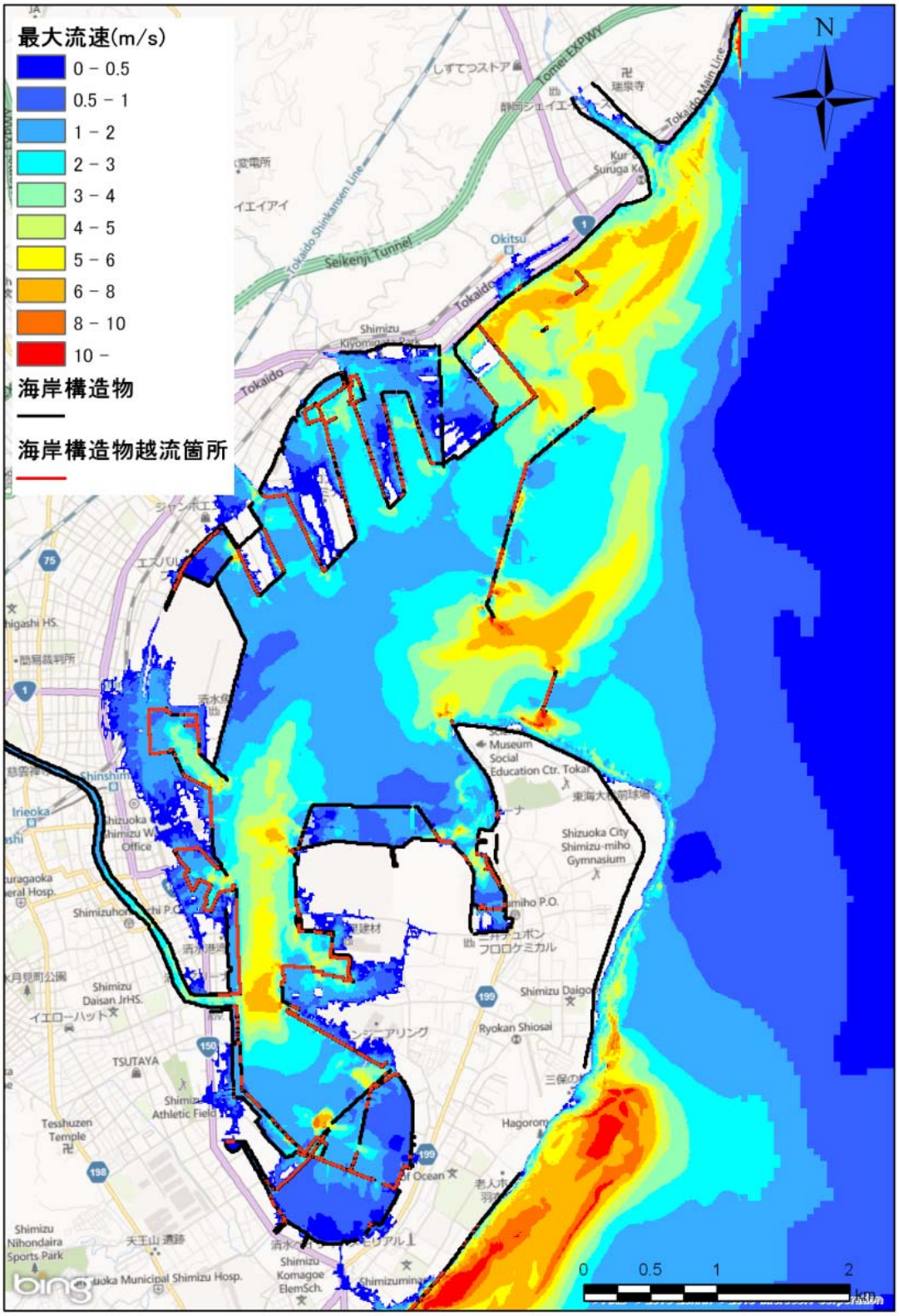


図 5.2.4　最大流速分布（朔望平均満潮位）

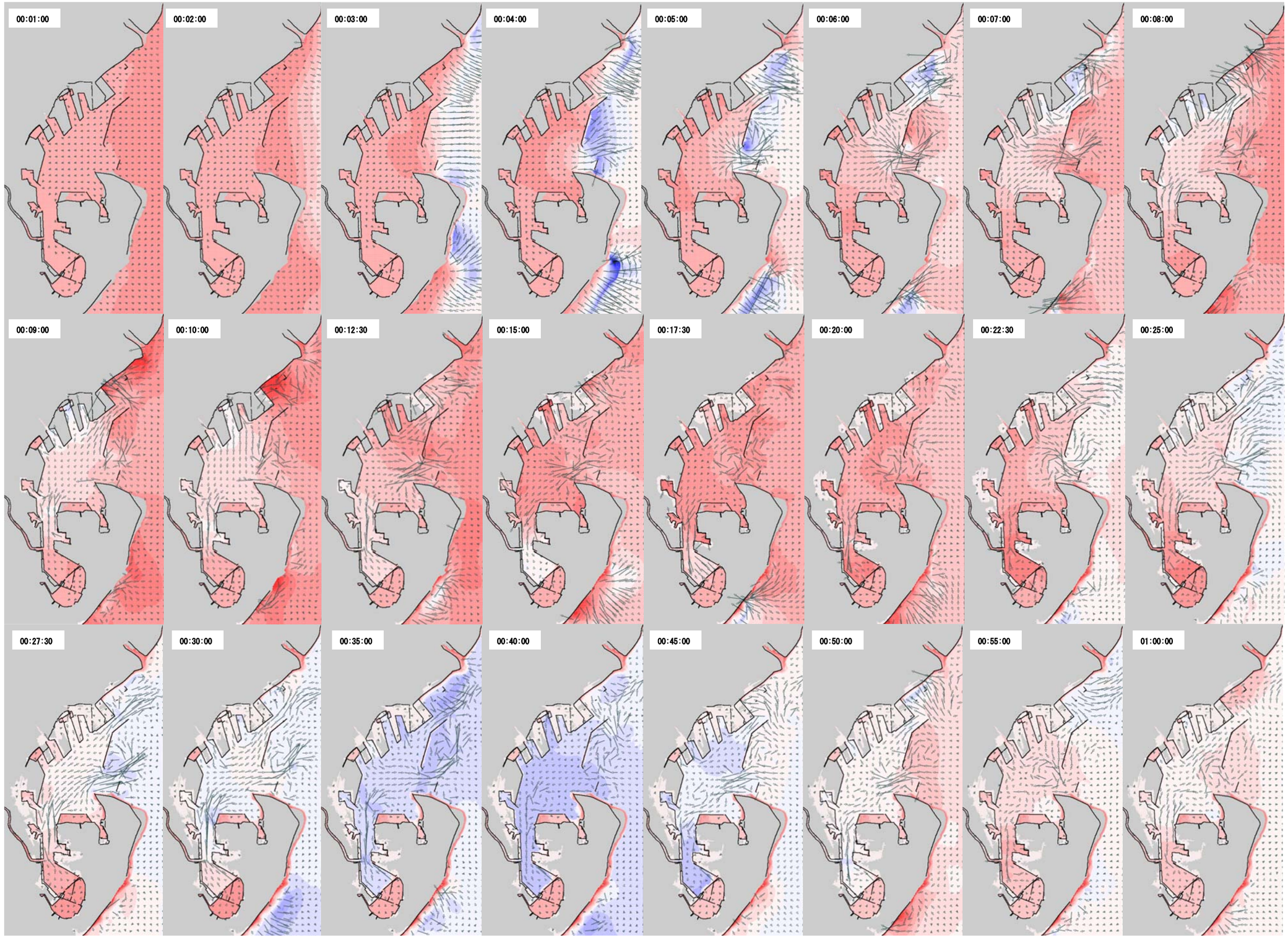


図 5.2.5　津波シミュレーション計算結果平面分布図（0～60 分）

5.2.2 清水港の津波影響の特徴

(1) 地盤隆起の影響

清水港は地震により、地盤が約 3m 隆起することが想定されており、港外と港内の地盤隆起量の差により、周期の短い津波の第一波が地震発生後数分で来襲する。

地盤隆起により、港内における見かけの津波高は、T.P.（東京湾平均水面）を基準とする津波高より地盤隆起量を引いた津波高となるほか、港内の水深は地盤隆起分の減少が生じ、一部の係留施設では津波の引き波時に海底が露出する。

(2) 津波影響の地域特性

港の地形、水深、防波堤や岸壁の形状等の諸条件により、港内において津波の影響の地域的な差が生じる。以下に顕著な地域特性を示す。

① 強い流れが発生する水域

津波は地震発生から 3 時間の時間帯で 4 波が来襲し、津波高や流向・流速が大きく変化する。

第一波又は第二波直後の引き波時には、港外の羽衣の松沖、外港防波堤及び三保防波堤の各港口付近、興津海岸沖、新興津埠頭北東端、真崎沖、本港航路、江尻船溜まり入口、清水船溜まり入口、三保船溜まり入口、巴川河口及び貯木場入口付近において、流速 5m/s を超える強い流れが発生する。

特に、港外の羽衣の松沖、外港防波堤南端付近及び三保防波堤南北両端付近においては、一時的に流速 10m/s を超える流れが生じる。また、外港防波堤と三保防波堤間の流れの収束する港口においては、渦流が生じる。

② 水位変動及び流速が小さい水域

折戸湾南部に位置し多重の防波堤が設置されている水域である折戸湾木材整理場、折戸第一水面貯木場では水位変動（4～5m程度）、流速（1m/ｓ程度）ともに小さい。

(3) 清水港沖の津波影響

清水港沖は水深が急激に深くなっており、港口沖約 2km 付近に 200m 等深線が南北に分布する海域となっている。

概ね水深 200m を超えるこれらの海域では、水位変動はあるが、流速が 0.5m/s（約 1 ノット）以下であり、津波影響が小さい。

5.3 避難経路と避難海域の検討

5.3.1 避難経路の検討

津波情報に基づき船舶が港外避難する場合は、津波来襲前に港外の安全な海域へ避難することが前提となるが、清水港においては、地震発生直後に津波が来襲することとなり、津波来襲前の港外避難は困難である。

津波が清水港に来襲した場合、清水港入出港中の船舶や緊急離桟した船舶、津波により港内漂流した船舶は、直ちに津波の影響を受けることとなり、これらの船舶は直ちに、港外へ向けて避難するか港内の津波影響の小さい水域で可能な限り応急操船による船体制御を実施して津波の影響を凌ぐこととなる。

清水港において、港外避難する場合の避難経路は、海岸線乗揚げ回避、航路幅、水深及び津波の流速を踏まえると、外港防波堤と三保防波堤間の航路帯に沿って防波堤を航過し、そのまま東航して避難するルートを主避難経路とし、当該避難経路を航行できない場合は外港防波堤北側を航過して南東方向へ避難するルートを副避難経路とすることが望ましい。

なお、外港防波堤と三保防波堤間の周辺水域は津波の流れが収束し流速が大きくなるほか頻繁に流向が変化し、渦流が発生する等津波の影響が大きい水域であるので、同水域の航過の可否については、船舶の船型、操縦性能、津波の波高、流向、流速等を踏まえた判断が必要となる。

また、外港防波堤と新興津埠頭間の周辺水域も流れが収束し流速が大きくなるほか、水深が浅く、船舶の喫水により航過できる船舶が限られることに留意する必要がある。

5.3.2 避難海域の検討

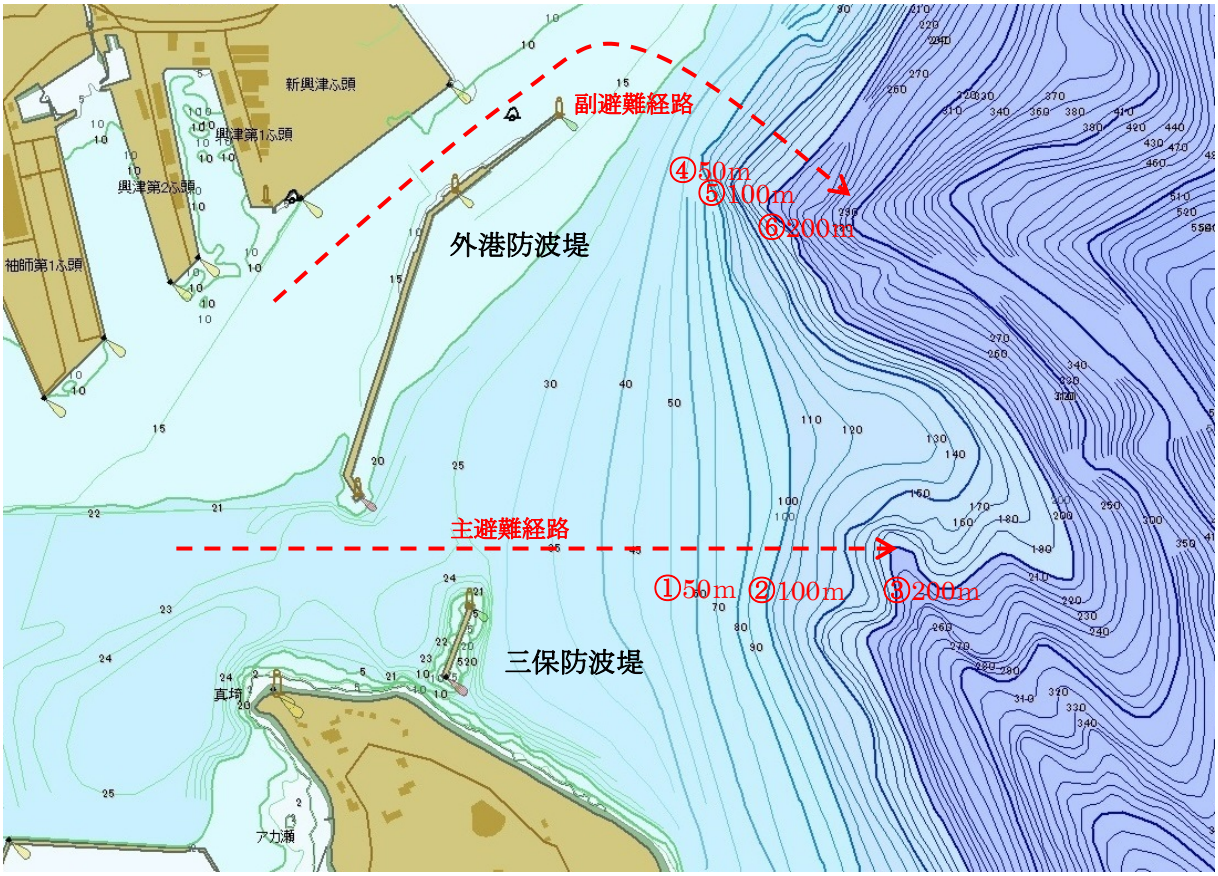
避難海域については、港外の三保防波堤沖水深 200mの海域で、水位変動は約 6.5m（T.P.＋4.61m~T.P.－1.89m）あるが、流速が 0.5m/s（約 1 ノット）以下であり、津波の影響が小さいので、これらの水深 200m 以深の海域とすることが望ましい。

清水港外の水深と避難経路の津波影響を図 5.3.1に、避難経路の水深 50、100、200m地点の最大流速値を津波シミュレーショの計算結果より抽出し表 5.3.1に示す。

表 5.3.1　避難経路の最大流速値

	水深５０m	水深１００m	水深２００m
三保防波堤沖	3.4ﾉｯﾄ （3分11秒）	1.8ﾉｯﾄ （2分31秒）	0.9ﾉｯﾄ （2分11秒）
外港防波堤沖	6.4ﾉｯﾄ （41分5秒）	2.3ﾉｯﾄ （42分45秒）	0.95ﾉｯﾄ （2分27秒）

括弧内：最大流速値の地震発生後経過時間



（資料：日本水路協会航海用電子チャート new pec を基に作成）

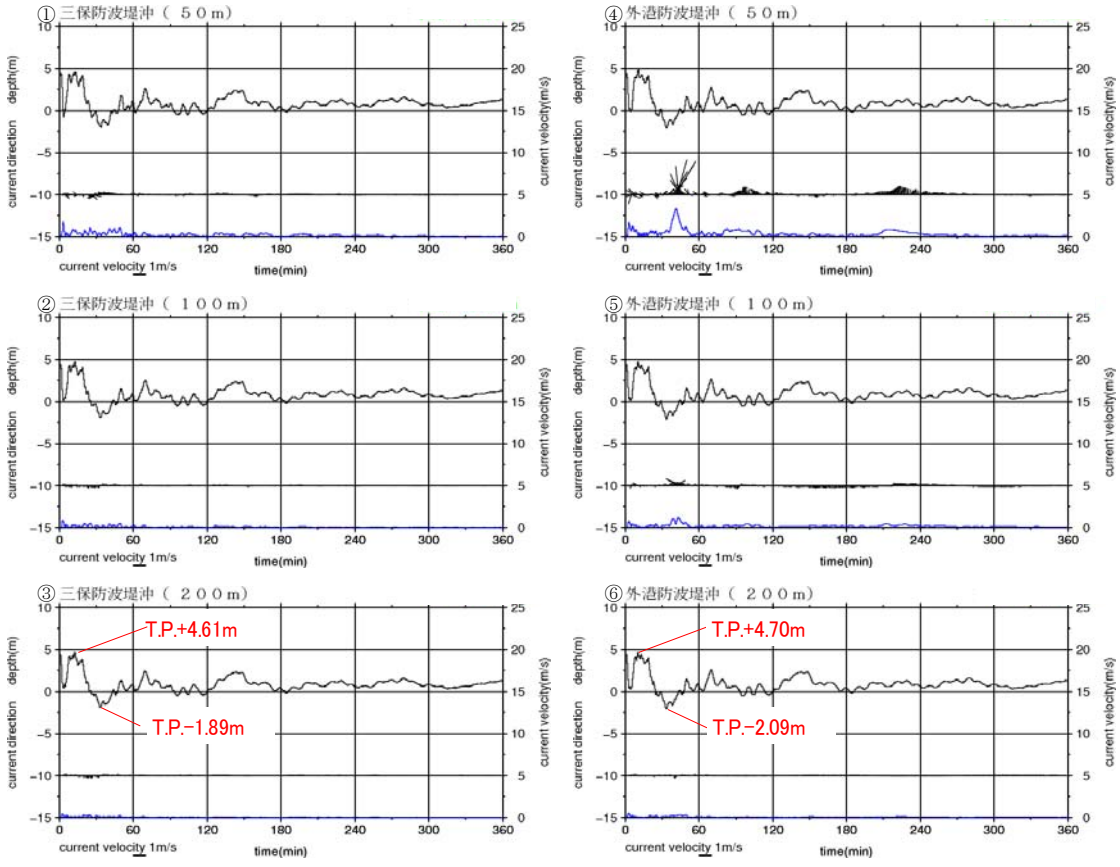


図 5.3.1　清水港外の水深と避難経路の津波影響

5.4 地震発生時の初動措置

5.4.1 地震・津波情報の収集

船舶の船長は地震が発生した場合には、直ちに地震・津波情報の収集にあたる必要がある。地震・津波情報等の速報の入手は、以下の手段で入手可能である。

(1) 船舶設備による手段

- ✓ 国際 VHF による緊急放送の受信
- ✓ NAVTEX による地震発生情報、津波警報の受信（和文、英文）
- ✓ 巡視船との通信
- ✓ 清水船舶情報センター（ポートラジオ）との通信
- ✓ 漁業無線局との通信

(2) その他の手段

- ✓ 携帯電話エリアメールによる緊急地震速報、津波警報の受信
- ✓ テレビ・ラジオによる緊急警報放送の受信
- ✓ 陸側荷役責任者との業務用無線による通信
- ✓ SOLAS 設備の放送機能による周知
- ✓ リアルタイム検潮データ（5 分毎）
- ✓ ナウファス（1 分毎）潮位実況（日、英、中国語版）
  - ・清水港　（海底設置式波浪計）
  - ・御前崎港（海底設置式波浪計）
  - ・静岡御前崎港沖（GPS 波浪計）

5.4.2 荷役・作業中止

港内で荷役・作業中の船舶の船長は、気象庁の大津波警報、津波警報又は津波注意報の情報を入手した場合は、荷役・作業を中止する必要がある。

危険物積載船は危険物荷役作業の事前打ち合わせにおいて、荷役の緊急停止、荷役装置の離脱要領について十分に確認することが必要である。

また、アンローダー、ガントリークレーン等の陸上荷役施設により荷役している船舶は、地震による電源喪失により荷役装置の収納が困難となることも考えられるので、強い地震又は長時間の揺れを感知した場合は、陸上側荷役責任者と荷役中止措置について協議することが望ましい。

5.4.3 避難判断

船舶の津波に対する避難判断は、「船舶の避難海域又は避難岸壁までに要する時間」と「津波到達時間」とを比較し、避難の可否の判断をすることになる。

清水港では、想定地震・津波の発生時において、津波が到達する前に船舶が港外避難することは困難であることから、陸上避難、係留避泊又は緊急離桟後の港内投錨避泊等により津波の来襲に備えることとなる。

ただし、津波来襲後、港内においては地震・津波により、漂流物等による水路閉塞のおそれや浮遊物、漂流物への延焼による海上火災のおそれがあること、更に、余震による津波発生のおそれもあることから、災害の局限化を図る観点より、船舶は本船の安全を確保しつつ、機会を捉えて港外避難することが望ましい。

避難判断にあたっては、次の事項について、事前把握や発災時の情報収集により適切に行わなければならない。

(1) 緊急離桟に要する所要時間等の事前把握

- ✓ 荷役作業中止に要する時間
- ✓ 係留索解らんに要する時間
- ✓ 避難水域までに要する時間（参照：清水港出港船の航行実態調査）
- ✓ 水先人、タグの支援の可否
- ✓ ハザードマップ等による津波の影響

(2) 地震・津波情報

- ✓ 地震の規模、震源地の把握
- ✓ 津波到達時刻の把握
- ✓ 港外避難船舶との通信による津波情報の把握
- ✓ ナウファス潮位実況情報による津波情報の把握

(3) 港内航行安全情報

- ✓ 船舶間通信による他船の動静把握
- ✓ 航路障害物の把握

【参考】

◎清水港出港船の航行実態調査

・緊急避難時の航行管理に関する研究≪高嶋恭子・津金正典≫（日本航海学会第 127 回講演会資料抜粋）

3. 清水港の航行実態調査

清水港の航行実態の調査には、陸上に設置したAIS受信機で受信されたデータを使用した。収集したデータを使用目的ごとに分類し、データベースを作成してバースから防波堤付近へ航行する所要時間の差異について、バース位置、係留状況に分けて調査を行った。

3.1 収集データとデータ処理手順

緊急時の航行管理を検討する上で必要な実船の出港操船状況を収集するため、2010 年~2012 年の 3 年にわたり主に昼間、AIS 受信機を用いて清水港内の AIS データの受信を行った。収集したデータのうち出港船のみ抽出を行い、その数は約 400 隻であった。抽出したそれぞれの出港船データの針路、速力データより、これらに変化が生じ始めた時刻をこの船舶の離桟時刻とした。また、向首方向より、係留状態が入船であるのか出船であるのかの判断を行なった。

清水港の防波堤入口から港内側の約 500mの水域は、最終的に航行船が集中し航行管理が必要となる水域と考え、この水域のことを航行管理水域（Traffic control water）と呼ぶこととし、Fig.2 に全抽出船の出港バースとともに示す。出港バースについては抽出した出港船の緯度・経度情報から停泊バースを推定したもので、図中に●印で示す。

以上の手順で処理した各船舶の出港データをバース別に分け、各バースから航行管理水域までの所要時間を求めた。また出港データを船舶別に分け、係留方法の違いによる航行管理水域までの所要時間の差について検討を行った。

3.2 バースから航行管理水域までの所要時間

停泊バースを離桟してから航行管理水域までの所要時間は、船舶・航行時間・気象条件が異なるため、停泊バースごとの平均値を求めた。Fig.3 に停泊頻度の高い 40 バースから航行管理水域までの航行時間を示す。出船係留および入船係留が行われているバースについてはそれぞれの航行時間に比較を行い、その結果を Fig.4 に示す。

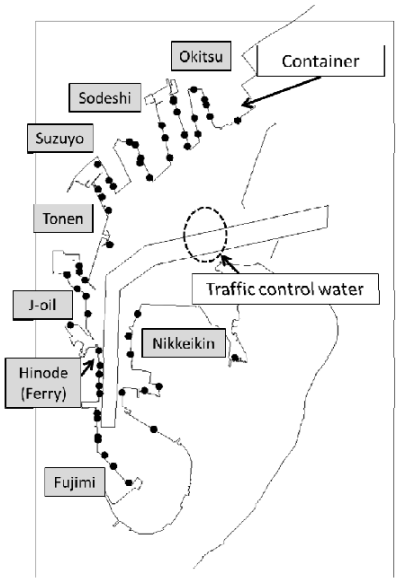


Fig. 2　Location of berth

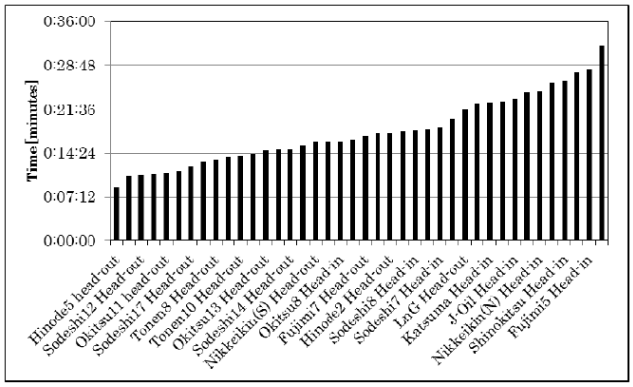


Fig. 3　Minutes underway to traffic control water

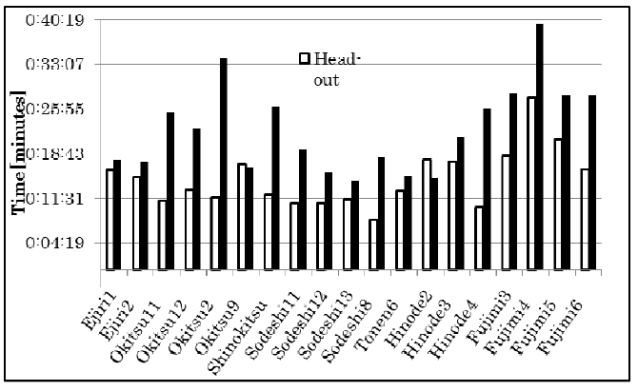


Fig. 4　Difference of minutes underway

5.4.4 係留船舶への津波避難措置

5.4.4.1 港湾の津波避難対策の検討状況

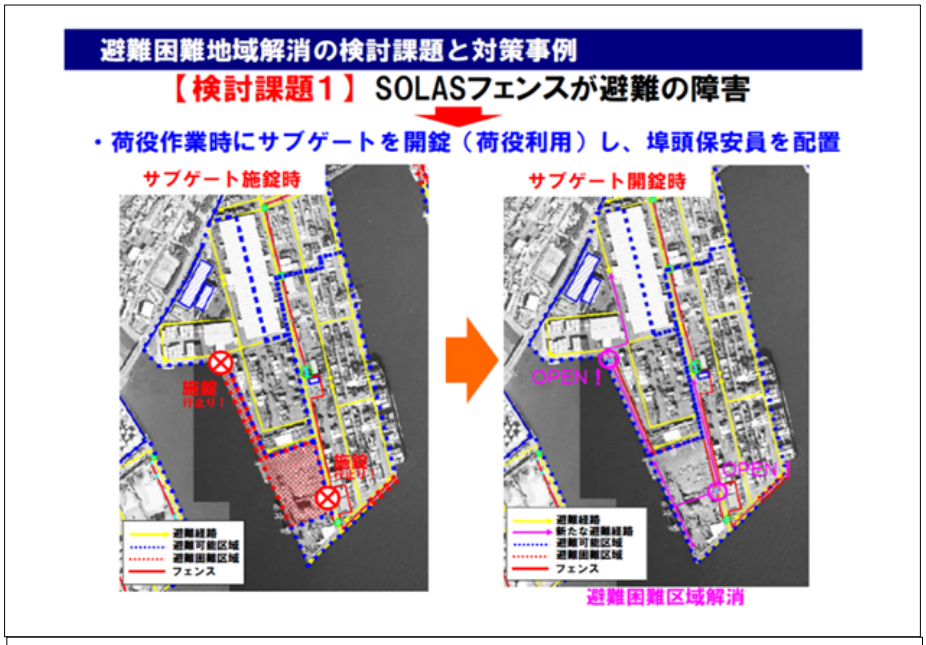
静岡県は、これまでに第 3 次地震被害想定に基づく港湾の津波避難対策として、荷役作業時の SOLAS ゲートに埠頭保安員配置、津波避難施設の設置及び SOLAS 放送設備の活用等により避難困難地域の対策を行っている。

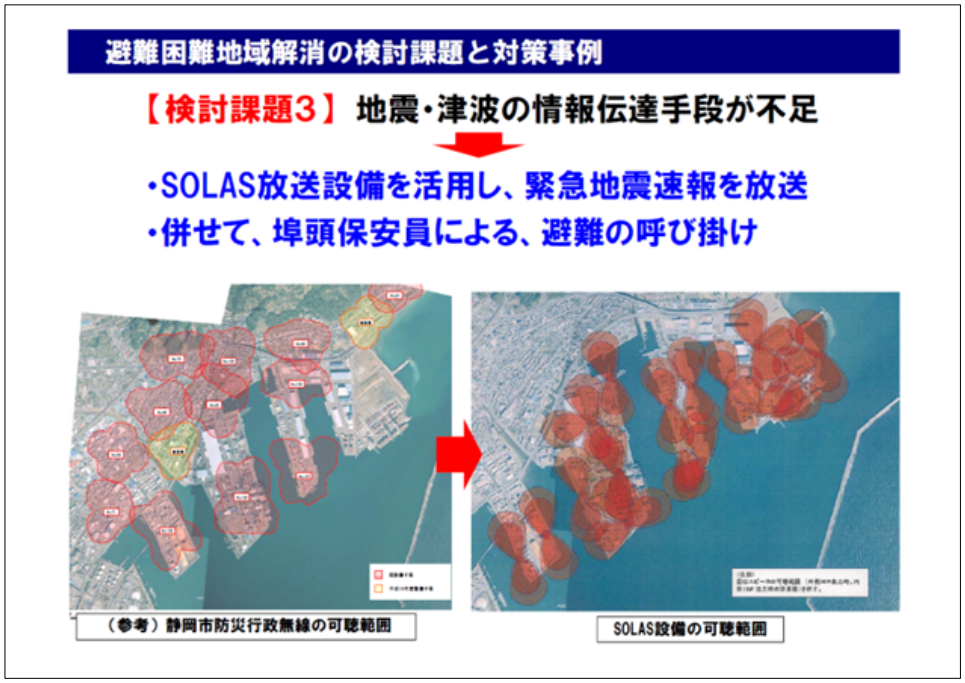
また、新たに想定された、南海トラフ巨大地震による最大クラスの津波（静岡県第 4 次想定：レベル 2 津波）に対する避難誘導計画の課題として「係留船舶への避難の検討」等が課題として挙げられている。

【参考】

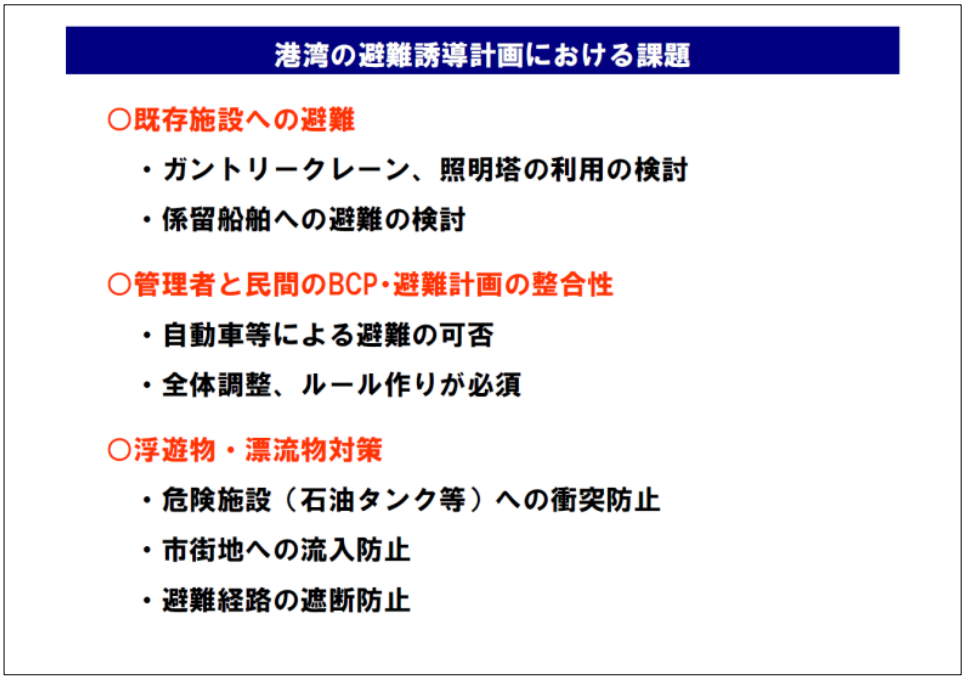
◎静岡県の避難対策について（資料：港湾の避難対策に関するガイドライン検討委員会資料抜粋）

○清水港における津波避難対策の取組事例（第 3 次想定）





○最大クラスの津波（第４次想定：レベル２津波）に対する避難誘導対策と検討課題



5.4.4.2 係留船舶への津波避難措置

(1) 東日本大震災における係留大型船舶の被災事例

東日本大震災では、仙台新港で大型タンカーの離桟作業に従事していた陸上作業員 4 名が逃げ遅れて津波に流された。タンカーはその後、津波に圧流されながらも、自力での港外避難に成功した。

一方、小名浜港では陸上から離れたシーバースに係留していた大型タンカーにおいて、係留・荷役作業に従事していた作業員をバースマスターが全員タンカー上に避難させて作業員は無事であった。タンカーは原油桟橋に係留したまま津波を凌いでいる。

また、石巻港では造船所の作業員が艤装中の大型貨物船（流出後に座礁）に避難した事例や、八戸港では地球深部探査船（流出後に港内投錨避泊）を乗船見学中の小学生を船長の判断により船内で保護した事例がある。

なお、一定以上の大型船舶では漂流した後、港内の岸壁に乗揚げたケースや浅瀬に座洲し船体が座屈したケースがあったが、幸いにも死傷者は報告されていない。

(2) 係留船舶への津波避難措置の検討

一般的に船舶は、浮揚安定性及び耐波性を有しており、航海上通常生じることが予想される気象海象等の変化に耐え安全に航行することができる堪航性と人命の安全を確保するための必要な設備等を有していることから、港内に在泊する船舶においても一定限度の津波外力に対して対抗できる能力があり、人命確保の観点において安全性を有しているととらえることができる。特に外洋を航海する大型船舶の堪航性は小型船舶に比べて勝っており、港内における津波外力に対抗する能力も高いと言える。

また、船舶は衝突や座礁等の海難を想定して、船体を二重構造にする等の安全設計思想が取り入れられており、船舶が衝突、荒天等により航海中に浸水や荷崩れが発生した場合には、転覆を避けるため、致命的な船体破壊が発生しないことを前提として船体を浅瀬に任意座礁させ、人命の安全確保と海洋汚染の防止のための緊急措置をとる場合がある。

一方で、船舶は多種多様の貨物や多くの燃料を積載しており、異常現象である津波に対しては、予期できない危険事象の発生リスクがあり人命への危険性も懸念される。

港内に在泊する大型船舶の避難場所としての安全性とリスクを考慮すると、陸上作業員等の船舶への津波避難については、一律にあらかじめ一定の基準に基づいて設定される陸上の避難施設と同等の位置づけとすることは困難であるが、緊急避難的な避難場所として位置づけることは妥当であると考えられる。

清水港においては、船長は津波来襲に際して、船舶運航支援者、係留・荷役作業員等の避難が遅れ陸上避難施設に避難する暇がないと判断される場合は、緊急の避難場所として大型船舶にこれらの作業員等を避難させることを考慮する必要がある。

5.5 各船型毎の避難措置の検討

清水港において想定される最大レベルの津波の来襲を受ける場合は、地震発生後の第一波の津波到達時間が港口で約 2 分後であり、地震発生から 3 時間の時間帯で 4 波が来襲し、津波高や流向・流速が大きく変化する。

港内着岸中の船舶は、地震発生後直ちに緊急離桟したとしても、津波到達までに港外の安全な海域に避難することは困難である。

本章では、津波来襲時の港外避難の可能性、避難時に津波の来襲を受けた場合の操船方法等について検討するとともに、緊急離桟及び港外避難できない場合の、係留避泊、港内投錨避泊の対応について検討する。

5.5.1 大型コンテナ船等の港外避難の可能性と必要な措置

大型コンテナ船及び貨物船（3,000 トン 500 トン）の津波来襲時の港外避難の可能性及び津波影響に対する操船方法等ついて操船シミュレーターシステムを用いて検討した。

以下に検討の概要を示す。

5.5.1.1 大型コンテナ船の実験設定

(1) 対象船舶

操船実験の対象船舶は清水港に入港する最大級の外航コンテナ船を想定し実験をおこなった。表 5.5.1に対象船舶の要目を示し、図 5.5.1図 5.5.2に側面図及び平面図を示す。

表 5.5.1　外航大型コンテナ船の主要目

主要目	諸元
全長	300.0 m
垂線間長	287.0 m
型幅	40.0 m
型深	24.0 m
喫水（満載）	13.2 m
載荷重量	82,000 DWT
総トン数	76,800 GT
満載排水量	112,000 t
主機関	29,800KW
舵・推進器	1 軸・固定ピッチプロペラ
バウスラスター	1,600KW×2 基

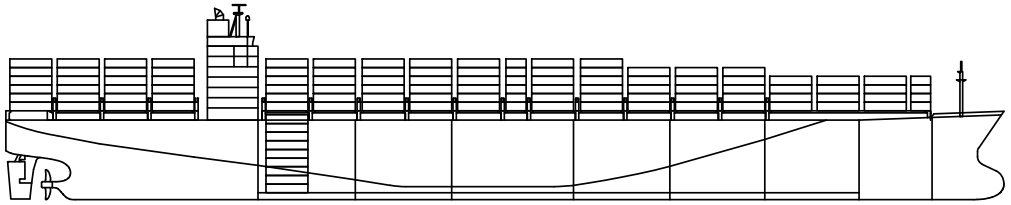


図 5.5.1　外航大型コンテナ船（側面図）

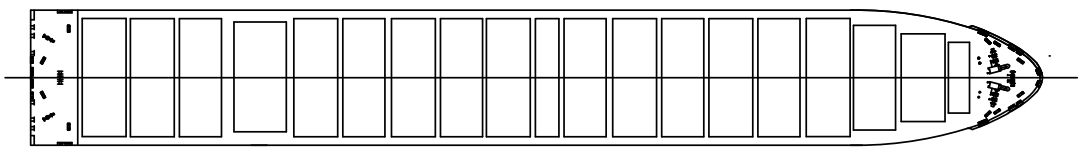


図 5.5.2　外航大型コンテナ船（平面図）

(2) 係留岸壁

外航大型コンテナ船の対象バースは、清水港におけるコンテナバースのうち、今回検討対象となる全長 300m 級のコンテナ船が入港する新興津埠頭コンテナバースを選定した。外航大型コンテナ船用のコンテナバースの位置図を図 5.5.3に、外観図を図 5.5.4に示す。

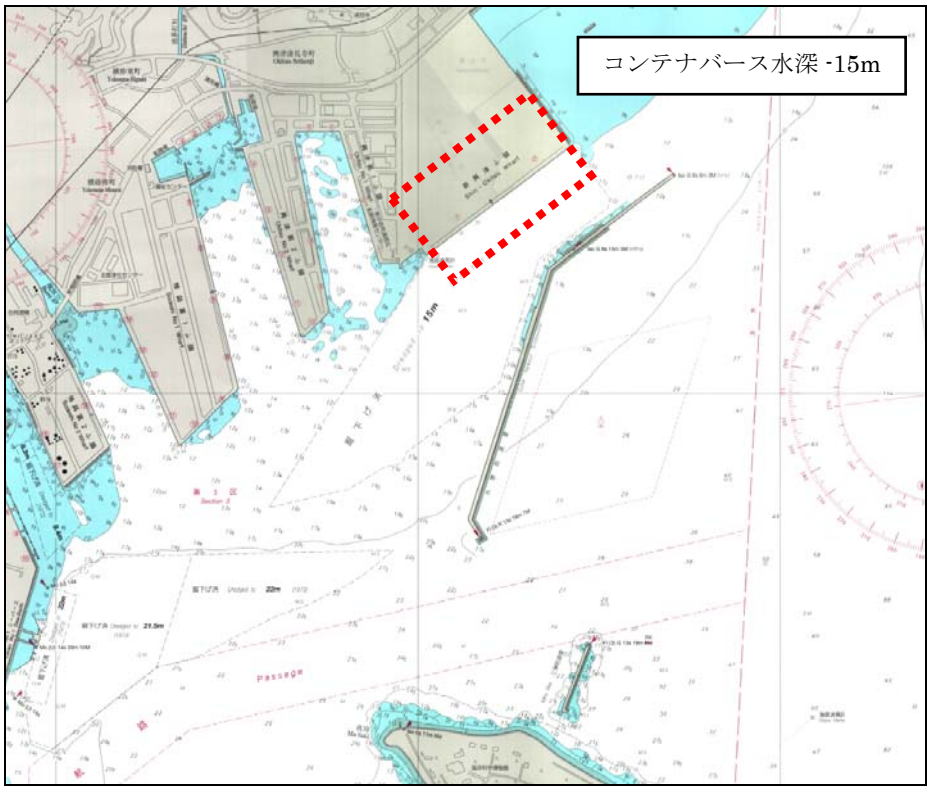


図 5.5.3　コンテナバースの位置図（外航大型コンテナ船用）

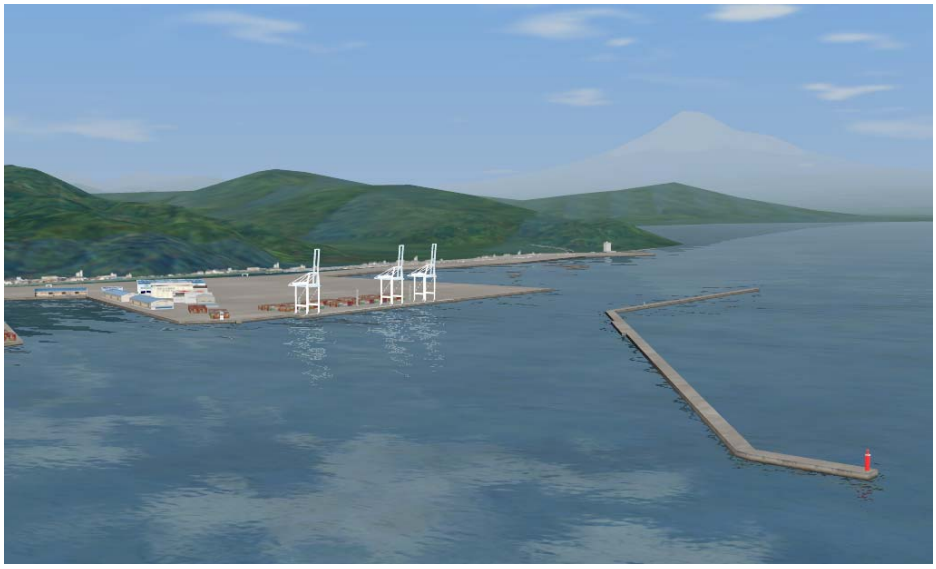


図 5.5.4　コンテナバースの外観図（外航大型コンテナ船用）

(3) 外力条件

① 自然条件（風、波浪等）

ｲ) 風況

卓越風向 NE を選定し、5m/sec（0.3～5m/sec）の風速を設定した。

ﾛ) 波浪

卓越波向 SSE を設定し、波高は出現頻度の高い 1.0m、周期 6sec を設定した。

② 津波条件

津波は、本検討において実施されたモデル港（清水港）の津波シミュレーション結果を使用し時系列的に流向、流速のみを変化させた。（津波高は変化しない。）

地震発生後、外航大型コンテナ船では、緊急荷役停止並びに緊急離桟のスタンバイを行い、離桟開始するまでに 30 分程度の時間を要する。

したがって、本検討では、現実的に離桟可能となる第二波の引き波（地震発生後約 40 分）以降の津波来襲時を操船開始時間として設定した。

なお、回頭局面及び出港局面における津波外力の設定は、「引き波」「押し波」及び「大渦※」とするため、各津波外力の設定における流向、流速は時系列的に変化させずに一定として津波流況を設定した。

※：大渦の津波外力の設定は回頭局面を除く

(4) 操船支援条件

① バウスラスターの装備

外航大型コンテナ船には、一般的にバウスラスターが装備されていることから、ここではスラスター（3,200KW）の装備を想定した。

② タグボートの配備

モデル港である清水港のコンテナバースにおける運用基準は、風速 10m/sec 未満では 3,600 馬力級タグボート 1 隻（本船のバウスラスターを使用）、風速 10m/sec 以上では 3,600 馬力級タグボート 2 隻を配備することが条件となっている。

ただし、緊急離桟時においては、このようなタグボートの支援が十分に得られないことが想定される。本検討では原則として自船のみによる離桟操船を行うことを前提とし、結果に応じて一部タグボート 1 隻を配備した場合の緊急離桟操船についても実施した。

(5) 操船方法

コンテナバースからの緊急離桟については、モデル港（清水港）の現況に合わせて入船左舷着け（港口が船尾側にある）の係留状況を想定した。タグ支援は緊急離桟を想定し、支援が得られない状況を前提とし、一部のケースにおいてはタグ 1 隻の支援を有する場合について実施した。また、緊急離桟操船は、離桟開始してからモデル港（清水港）の港域

線を航過するまで実施した。

なお、回頭局面の検討では、港口付近を開始位置としてバウスラスラスター、主機関及び舵により津波外力に対抗する応急操船を基本とした。

また、出港局面の検討では、図 5.5.7に示すとおり、コンテナ船の最大速力を確保できるような港内の航路帯を開始位置として、主機関及び舵により津波外力に対抗する応急操船を基本とした。

外航大型コンテナ船の緊急離桟操船方法のうち、図 5.5.5にタグボート支援が得られない場合の操船イメージを示し、図 5.5.6にタグボート支援 1 隻を有する場合について示す。

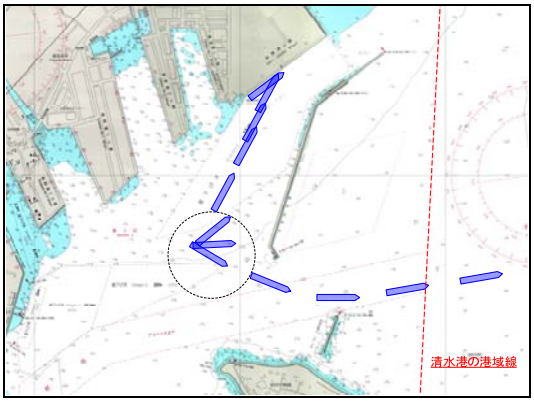


図 5.5.5　コンテナバースからの緊急離桟（タグボート無し）

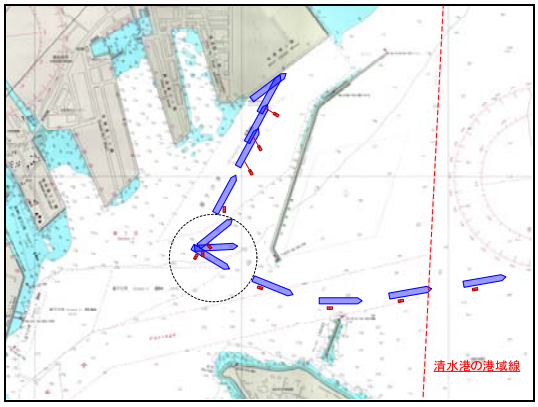


図 5.5.6　コンテナバースからの緊急離桟（タグボート有り）

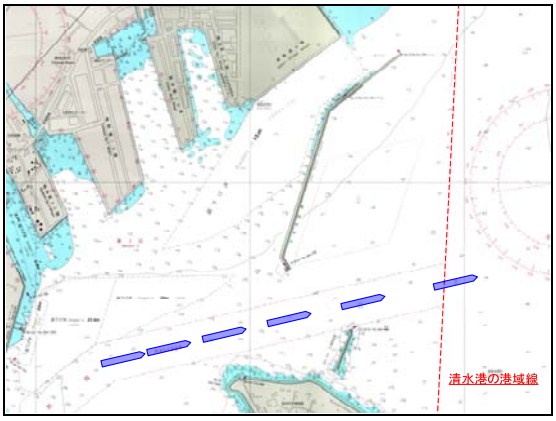


図 5.5.7　港奥航路中央からの出港

5.5.1.2 貨物船（3,000 トン 500 トン）の実験設定

緊急離桟及び港内航行を前提として、貨物船 3,000 トン型、500 トン型の港外避難の可能性等について出港局面（港口航過）の追加検討を以下の条件で実施した。

(1) 対象船型

① 貨物船 3,000 総トン

貨物船 3,000 総トンの主要目を表 5.5.2に示し、側面図及び平面図を図 5.5.8、図 5.5.9 に示す。

表 5.5.2　3,000 総トンの主要目

主要目	諸元
全長	93.3 m
垂線間長	88.0 m
型幅	15.6 m
喫水（満載）	6.4 m
総トン数	3,000 GT
満載排水量	6,770 t

図 5.5.8　3,000 総トン（側面図）

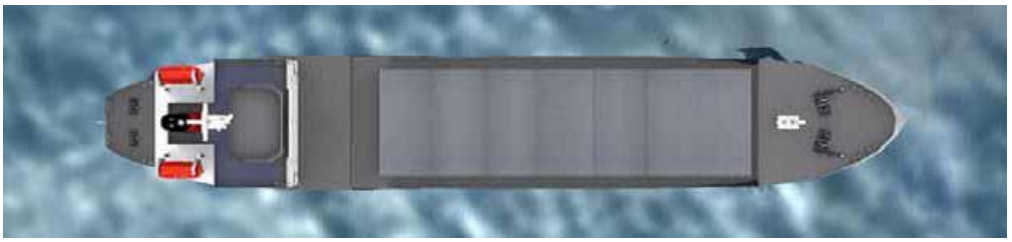


図 5.5.9　3,000 総トン（平面図）

② 貨物船 500 トン

貨物船 500 総トンの主要目を表 5.5.3に示し、側面図及び平面図を図 5.5.10、図 5.5.11 に示す。

表 5.5.3　500 総トンの主要目

主要目	諸元
全長	62.0m
垂線間長	57.0m
型幅	10.8m
喫水（満載）	3.7m
総トン数	500GT
満載排水量	1,940 t

図 5.5.10　500 総トン（側面図）

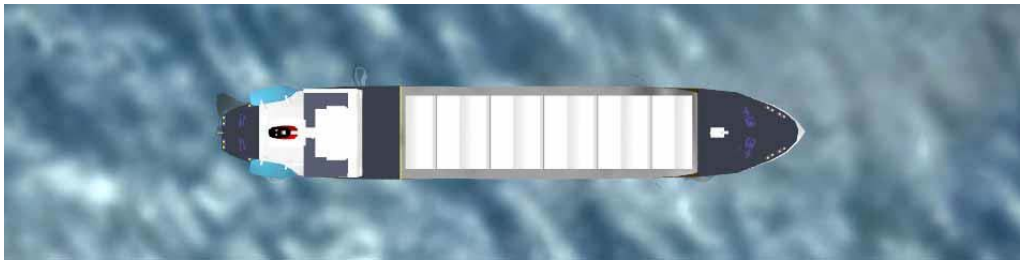


図 5.5.11　500 総トン（平面図）

(2) 外力条件

① 自然条件（風、波浪等）

ｲ) 風況

卓越風向 NE を選定し、5m/sec（0.3～5m/sec）の風速を設定した。

ﾛ) 波浪等

卓越波向 SSE を設定し、波高は出現頻度の高い 1.0m、周期 6sec を設定した。

② 津波条件

出港局面における津波外力の設定を、「引き波」「押し波」及び「大渦」とするため、各津波外力の設定における流向、流速は時系列的に変化させずに一定として津波流況を設定した。

(3) 操船方法

出港局面において、図 5.5.12に示すように、各船型の最大速力を確保できるような港内の航路帯を開始位置として、主機関及び舵により津波外力に対抗する応急操船を基本とした。

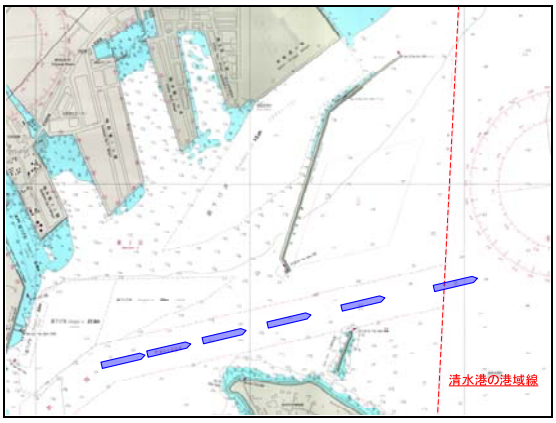


図 5.5.12　港奥航路中央からの出港

5.5.1.3 操船シミュレーション実験結果

操船シミュレーションにより、津波来襲時の港外避難の可能性について、離桟から出港までの一連の実験並びに回頭局面及び出港局面の実験等を行った。

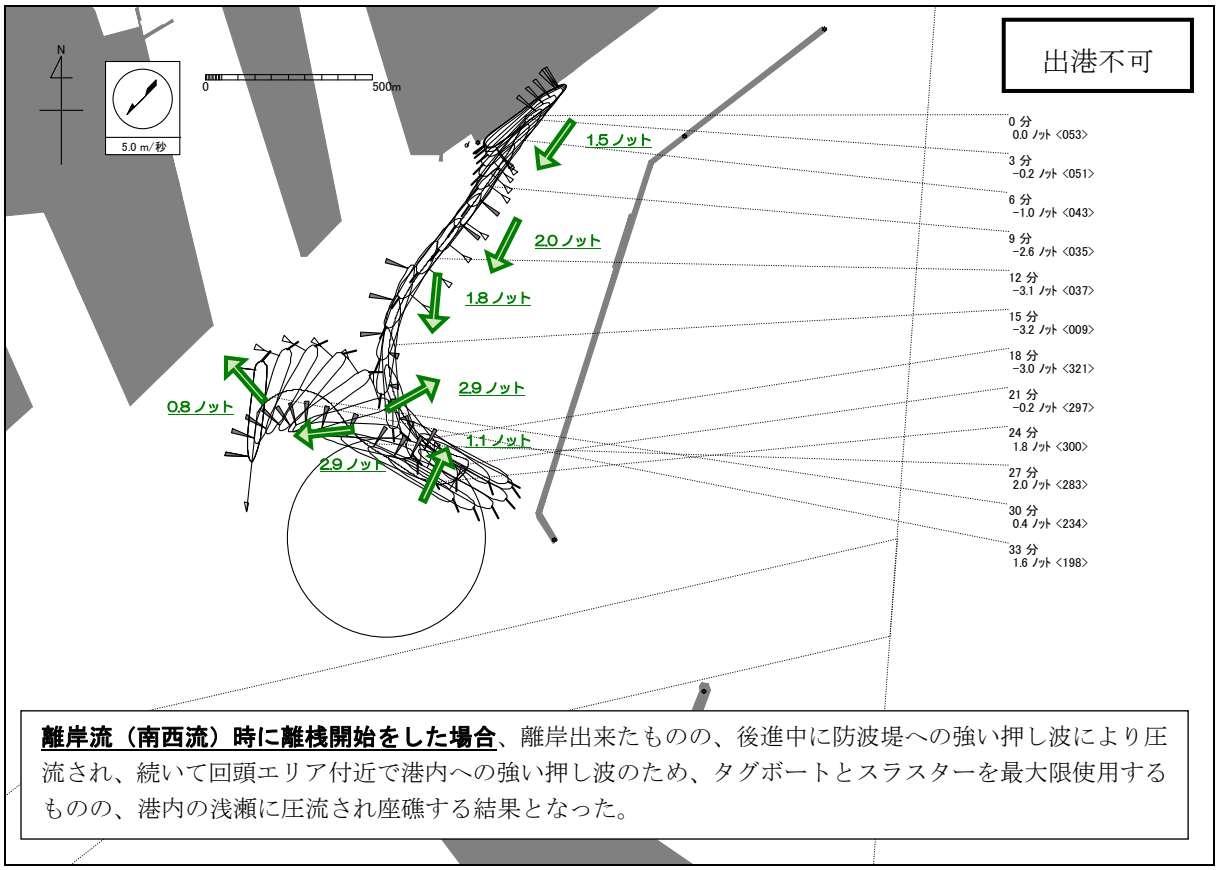
操船シミュレーション実験結果一覧を表 5.5.4に示す。

また、操船結果を図 5.5.13～図 5.5.31に示す。

表 5.5.4　実験結果一覧（大型コンテナ船、貨物船 3,000、500 ﾄﾝ）

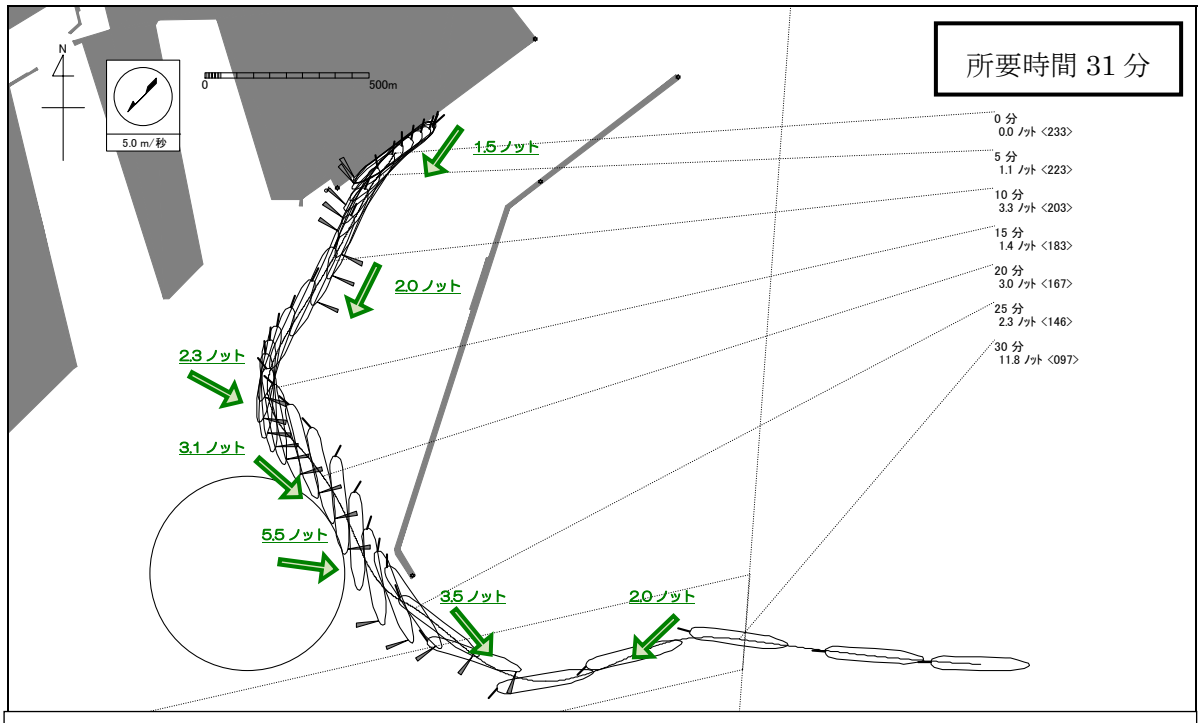
実験ケース	対象船舶	係留方法	通常外力	津波外力	タグ支援	スラスター	備考	出港可否（分）
CT-1	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（40分以降）	有	有	津波時間40分後（離岸流）、入船着けからの出港	×
CT-2	大型コンテナ船	出船右舷	風向NE・風速5m/s	南西流（40分以降）	有	有	津波時間40分後（離岸流）、出船着けからの出港（1回目）	○（31）
CT-3	大型コンテナ船	出船右舷	風向NE・風速5m/s	南西流（40分以降）	有	有	津波時間40分後（離岸流）、出船着けからの出港（2回目）	×
CT-4	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（70分以降）	無	有	津波時間70分後（離岸流）、入船着けからの出港	○（37）
CT-5	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	北東流（80分以降）	無	有	向岸流の自力離岸	×
CT-6	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	北東流（80分以降）	無	有	向岸流の自力離岸（船首スプリング使用、回頭場所港奥）	○（36）
CT-7	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（130分以降）	無	有	津波時間130分後（離岸流）、入船着けからの離桟・投錨	×
CT-8	大型コンテナ船	入船左舷	風向NE・風速5m/s	南西流（130分以降）	無	有	港内避泊	○（21）
CT-9	大型コンテナ船	回頭局面	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	有	回頭エリアの引き波局面での回頭操船	○（14）
CT-10	大型コンテナ船	回頭局面	風向NE・風速5m/s	押し波（70分後）	無	有	回頭エリアの押し波局面での回頭操船	○（19）
CT-11	大型コンテナ船	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	無	港口エリアの引き波局面での出港操船	○（8）
CT-12	大型コンテナ船	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	押し波（50分後）	無	無	港口エリアの押し波局面での出港操船	○（8）
CT-13	大型コンテナ船	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	港口大渦（60分後）	無	無	港口エリアの大渦局面での出港操船	○（10）
CT-14	貨物船3000トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	無	港口エリアの引き波局面での出港操船	○（10）
CT-15	貨物船3000トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	押し波（50分後）	無	無	港口エリアの押し波局面での出港操船	○（10）
CT-16	貨物船3000トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	港口大渦（60分後）	無	無	港口エリアの大渦局面での出港操船	○（9）
CT-17	貨物船500トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	引き波（120分後）	無	無	港口エリアの引き波局面での出港操船	○（7）
CT-18	貨物船500トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	押し波（50分後）	無	無	港口エリアの押し波局面での出港操船	○（13）
CT-19	貨物船500トン	泊地から防波堤航過	風向NE・風速5m/s	港口大渦（60分後）	無	無	港口エリアの大渦局面での出港操船	○（7）

※出港可否の記載のうち、（ ）で示した値は、港域線通過までに要した時間（通過してない場合は推定時間）。○は出港可能、×は出港不可



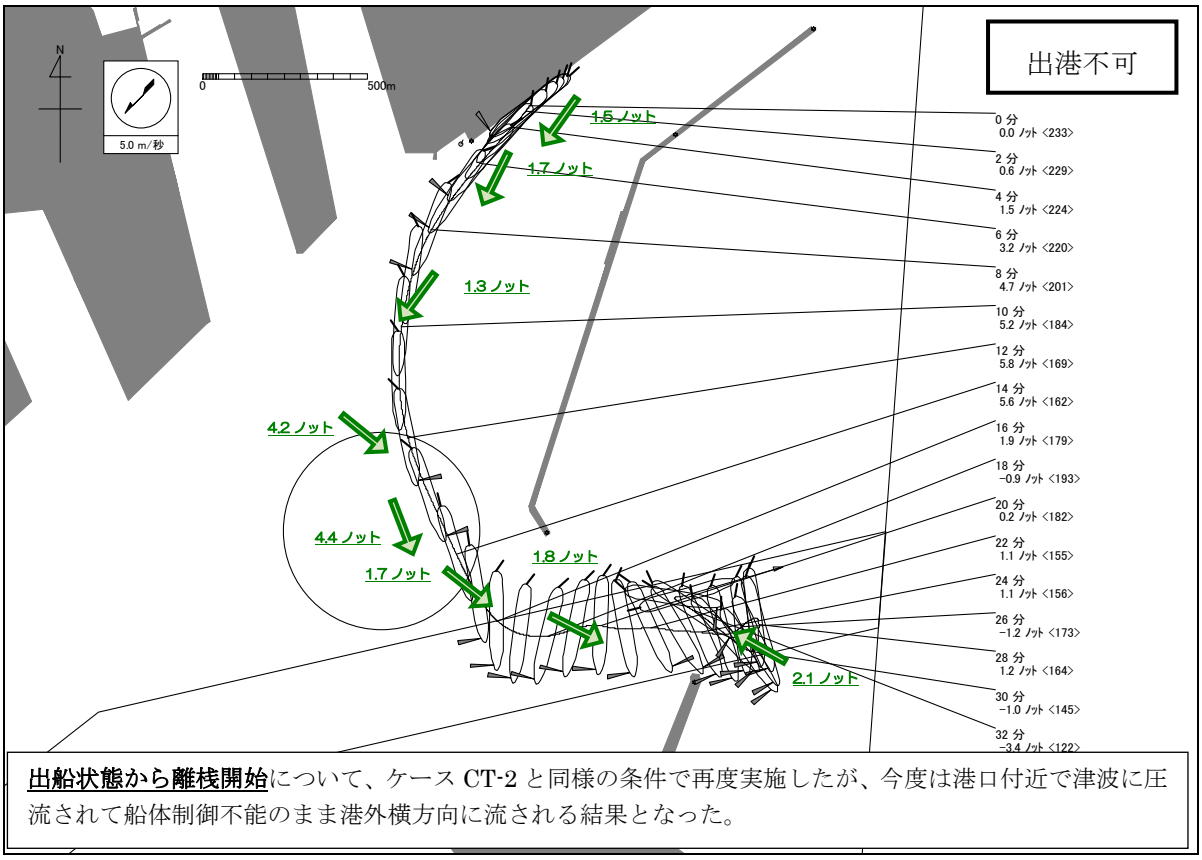
離岸流（南西流）時に離桟開始をした場合、離岸出来たものの、後進中に防波堤への強い押し波により圧流され、続いて回頭エリア付近で港内への強い押し波のため、タグボートとスラスターを最大限使用するものの、港内の浅瀬に圧流され座礁する結果となった。

図 5.5.13　入船左舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-1】



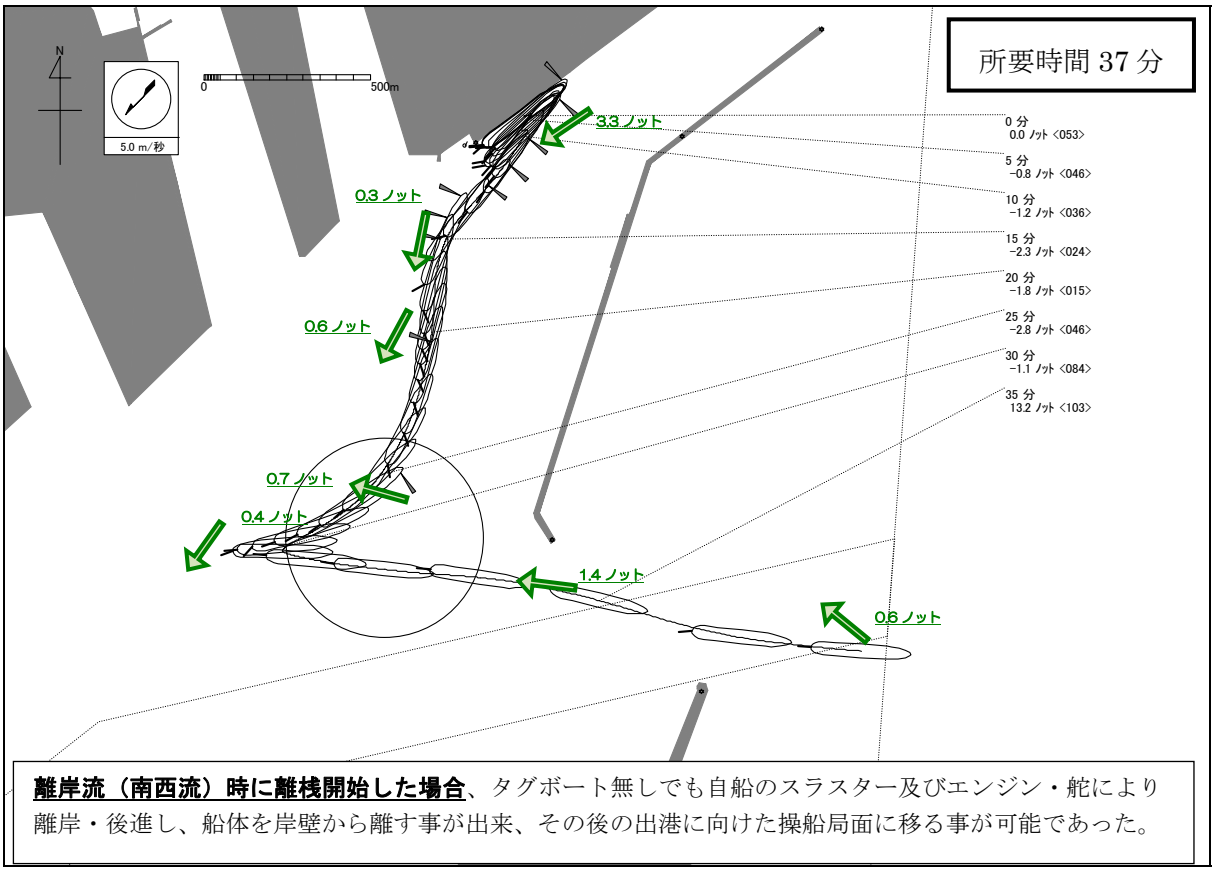
離岸流（南西流）時に出船状態から離桟開始をした場合、入船に比べ容易に離岸出来たものの、港奥に向かうために航進するも、前進中に防波堤への強い押し波により左舷側の防波堤に圧流され、防波堤と船体との離隔距離が船幅もない程度で航過し（かろうじて衝突せず）、その後、エンジンを最大推力（Nav.Full）とし、港口の押し波に対抗しながら、なんとか出港できた。（タグを配置するも使用せず）

図 5.5.14　出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-2】



出船状態から離桟開始について、ケース CT-2 と同様の条件で再度実施したが、今度は港口付近で津波に圧流されて船体制御不能のまま港外横方向に流される結果となった。

図 5.5.15　出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）【ケース CT-3】



離岸流（南西流）時に離桟開始した場合、タグボート無しでも自船のスラスター及びエンジン・舵により離岸・後進し、船体を岸壁から離す事が出来、その後の出港に向けた操船局面に移る事が可能であった。

図 5.5.16　入船左舷・70 分離岸開始・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-4】

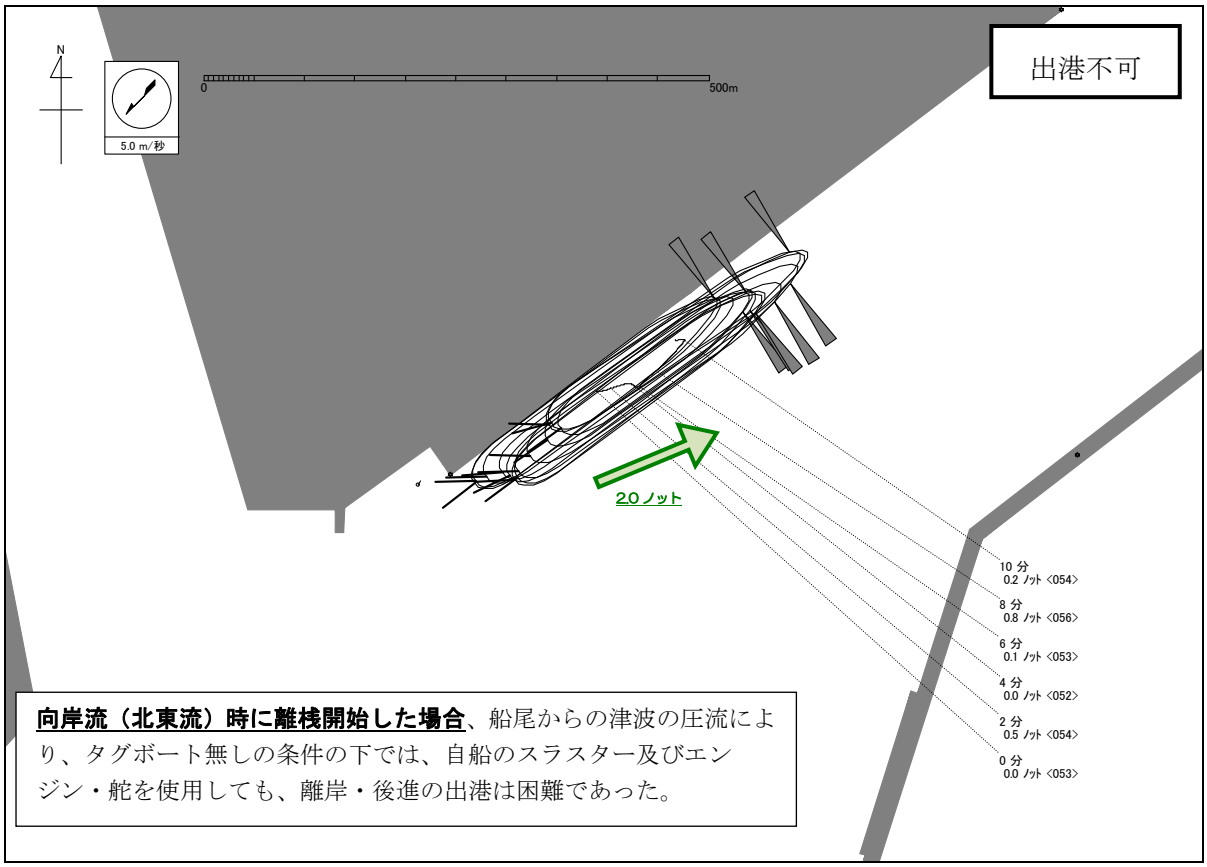


図 5.5.17　入船左舷・向岸流（80 分離岸開始）（コンテナ船）【ケース CT-5】

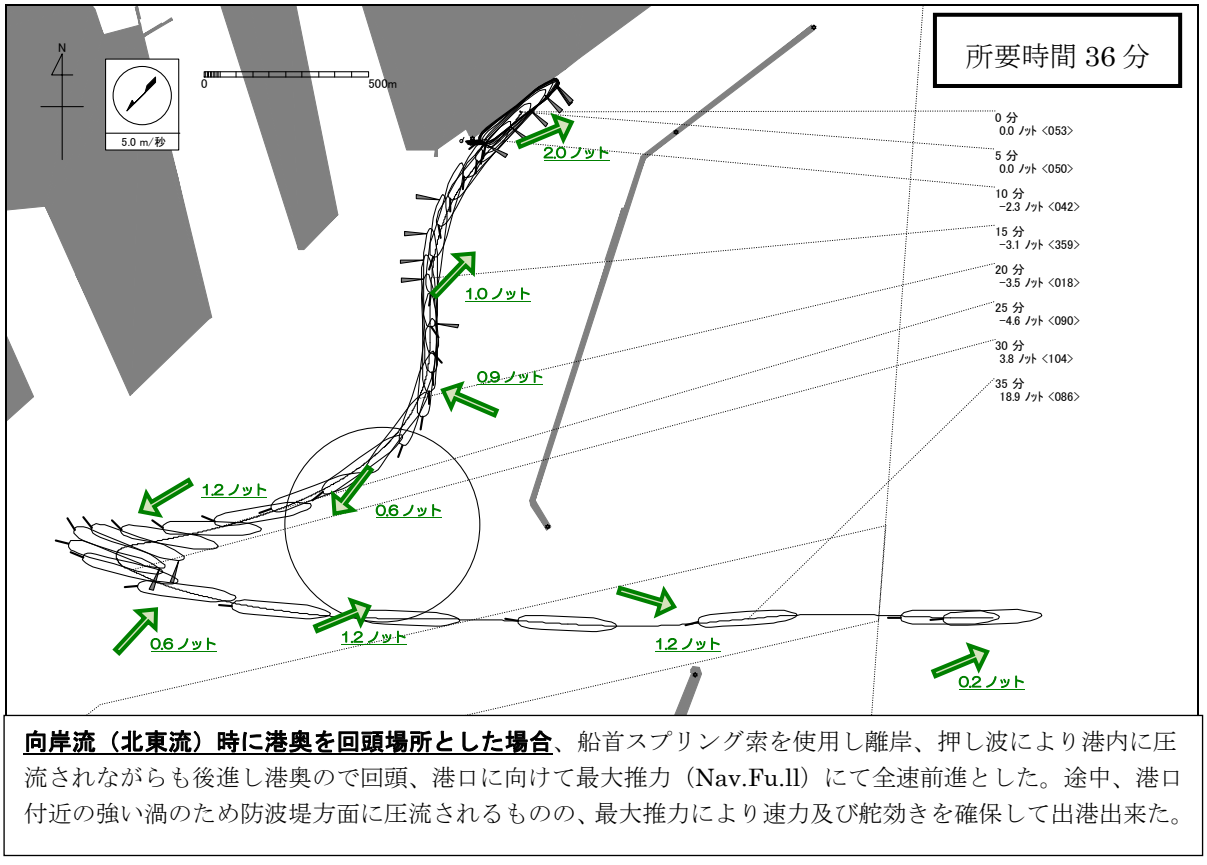


図 5.5.18　入船左舷・80 分離岸開始・回頭港奥付近・船首スプリング索使用・タグ無（コンテナ船）【ケース CT-6】

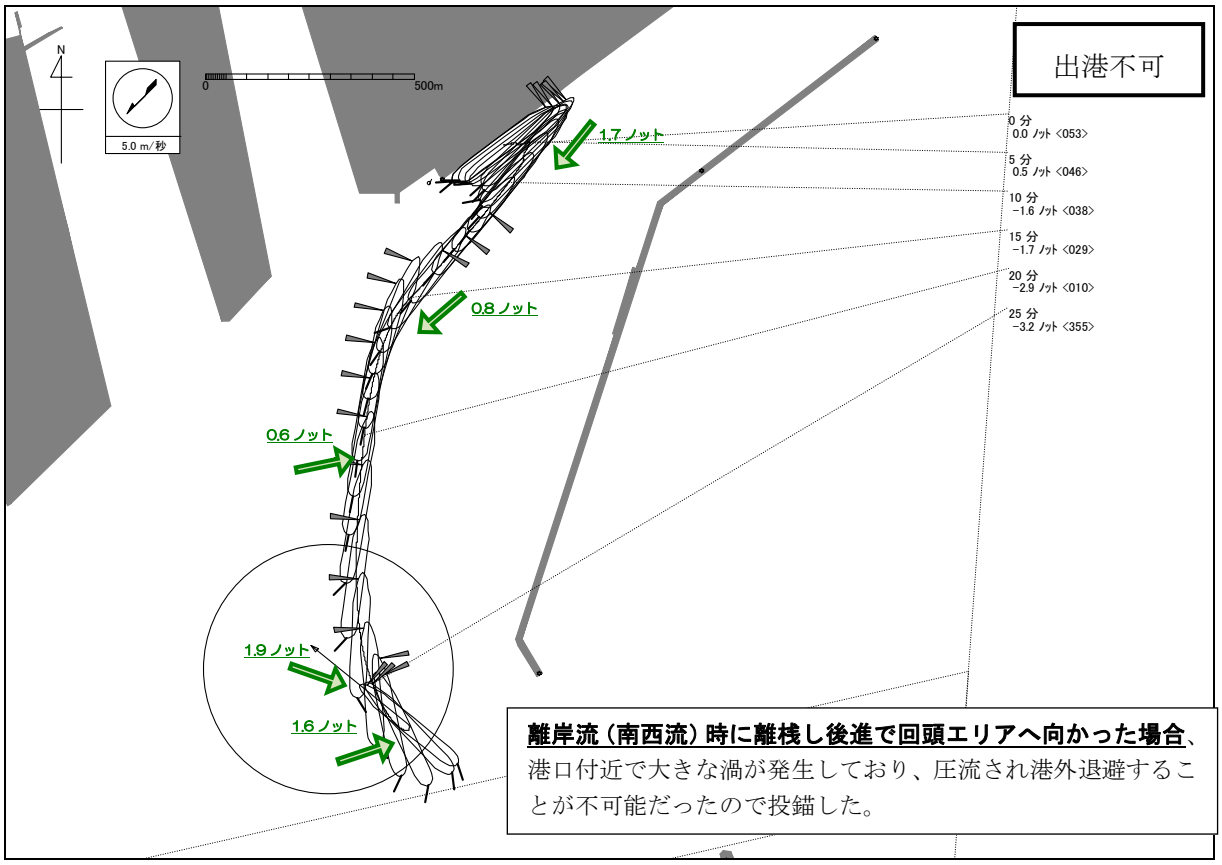


図 5.5.19　入船左舷・130 分離岸開始・タグボート無し（コンテナ船）【ケース CT-7】

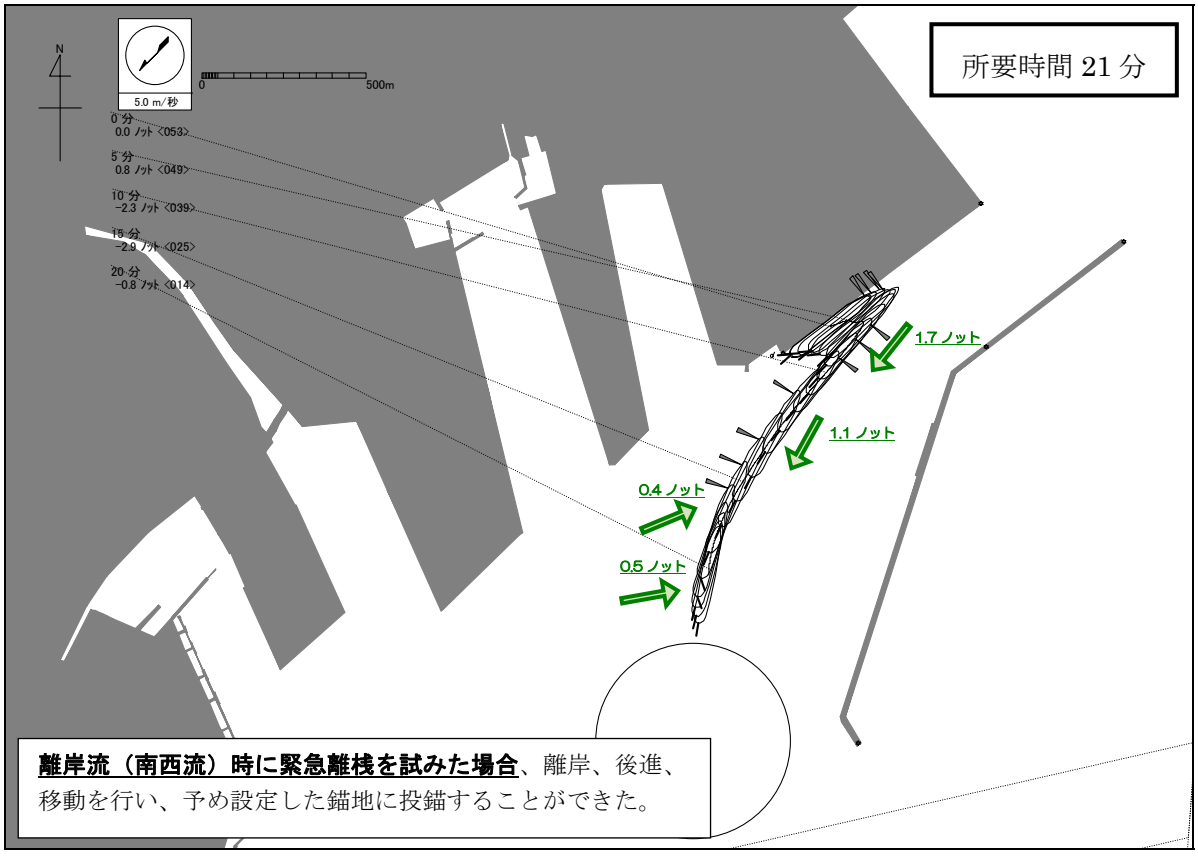


図 5.5.20　入船左舷・130 分離岸開始（コンテナ船）港内投錨【ケース CT-8】

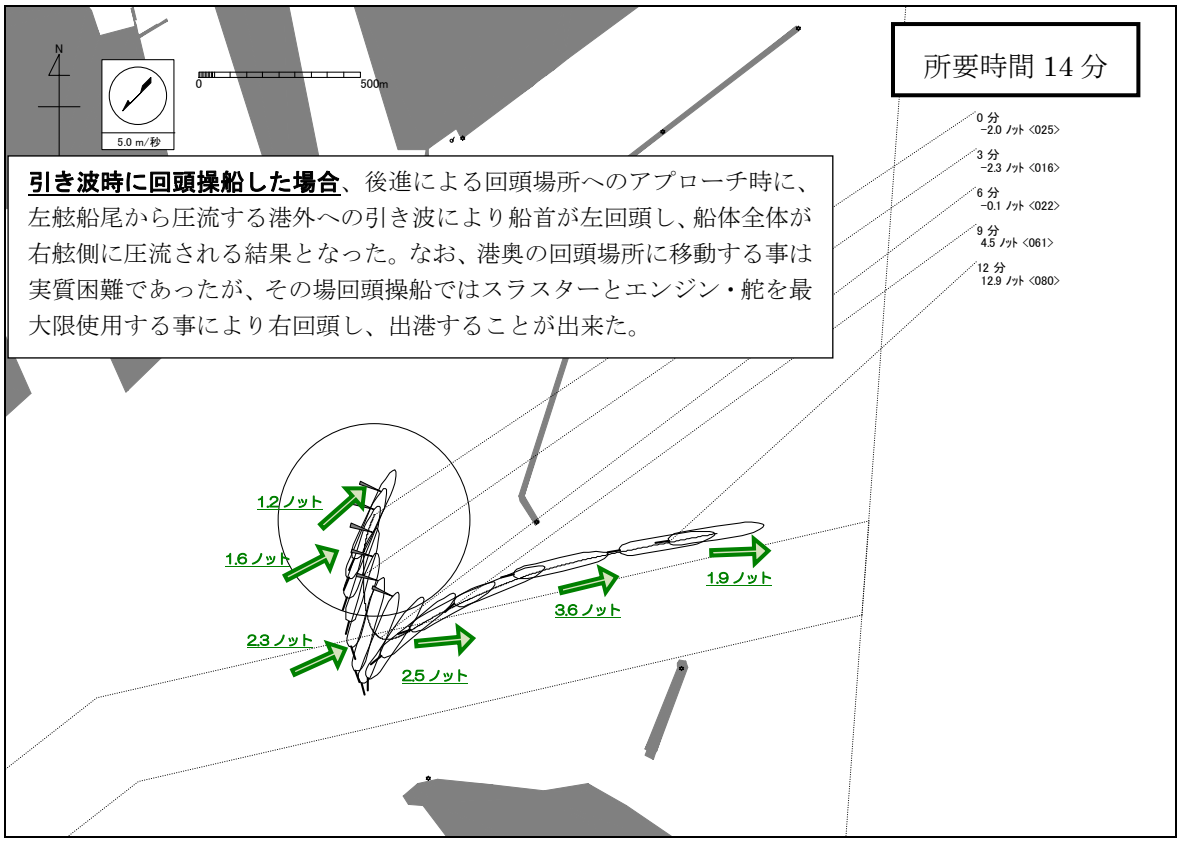


図 5.5.21　引き波（120 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-9】

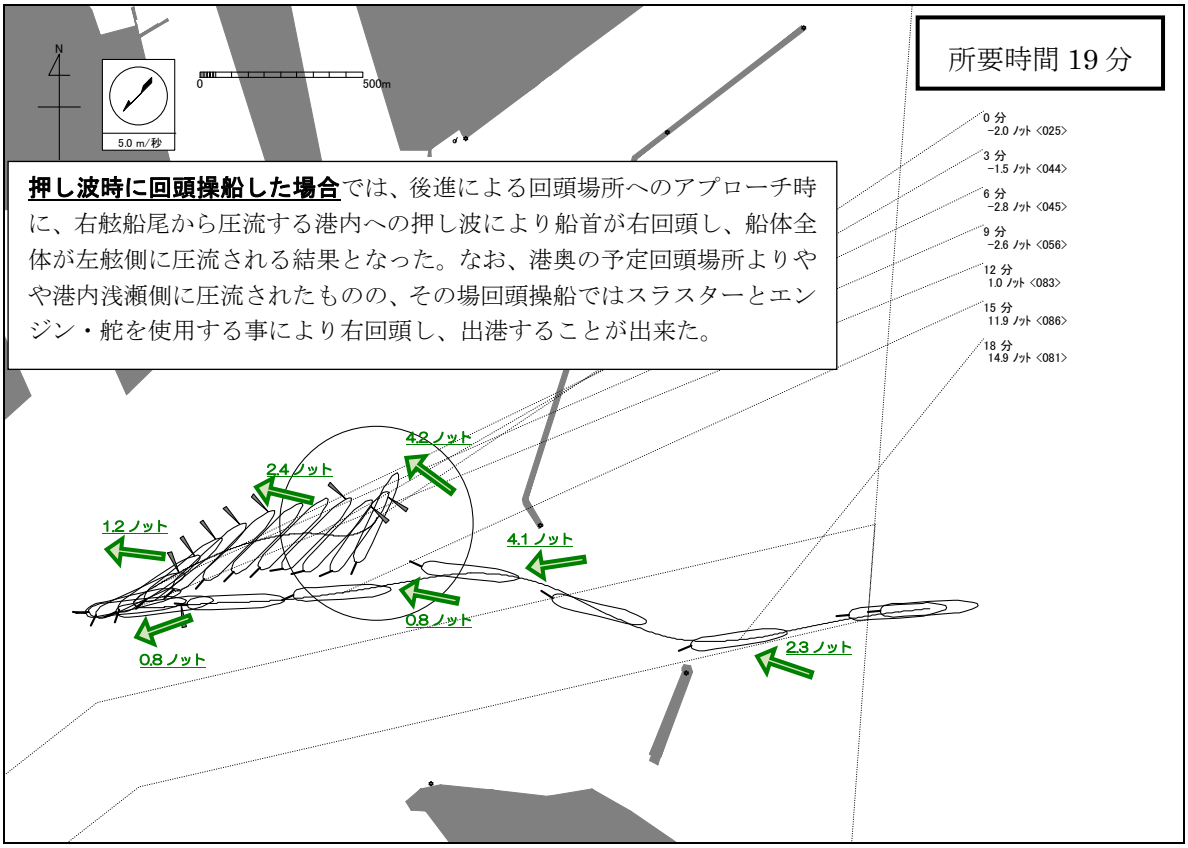


図 5.5.22　押し波（70 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-10】

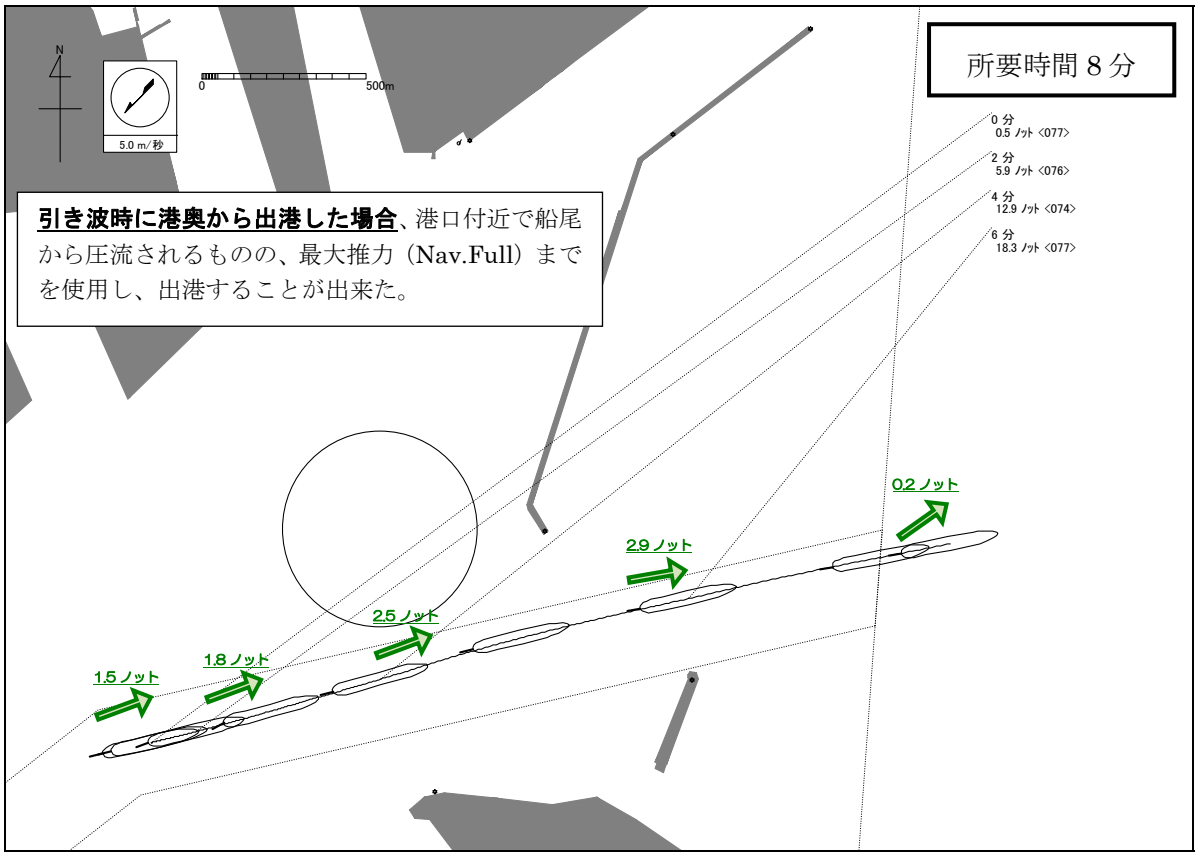


図 5.5.23　引き波（120 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-11】

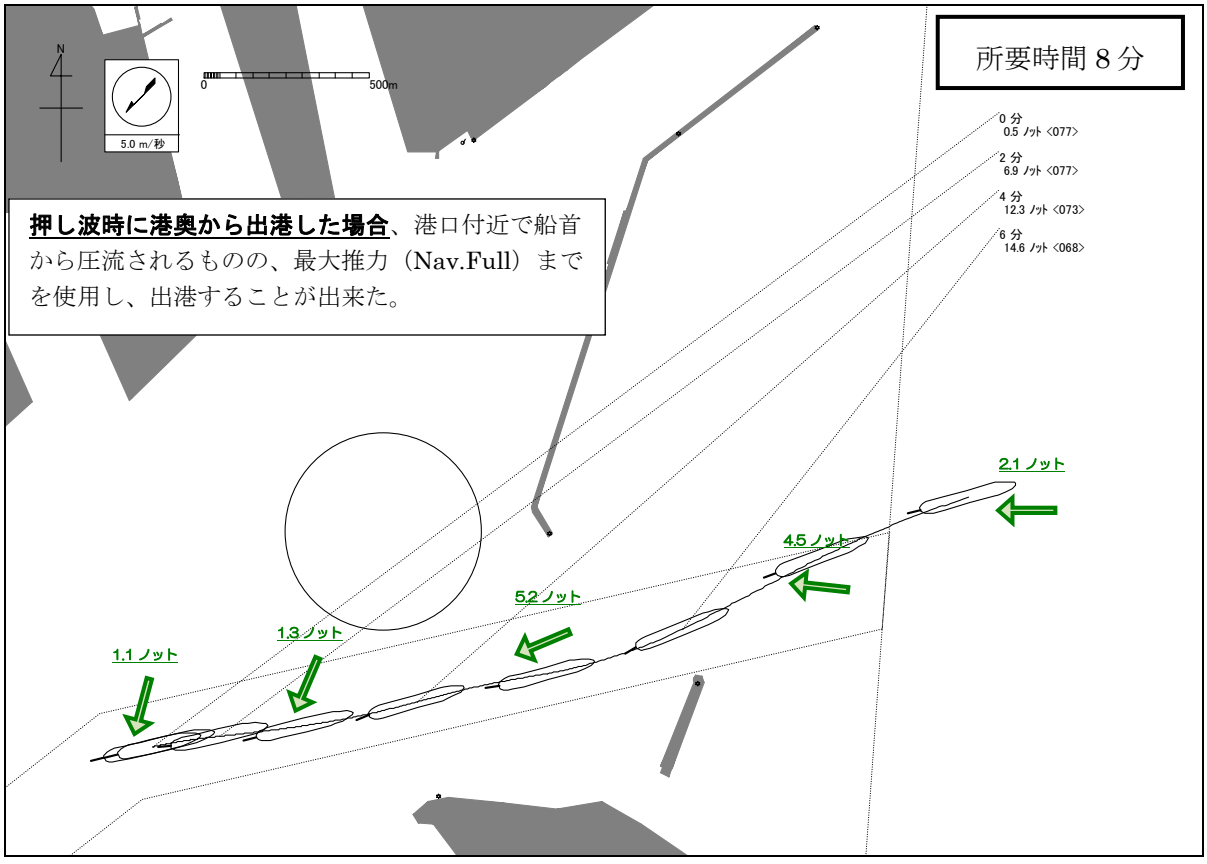


図 5.5.24　押し波（50 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-12】

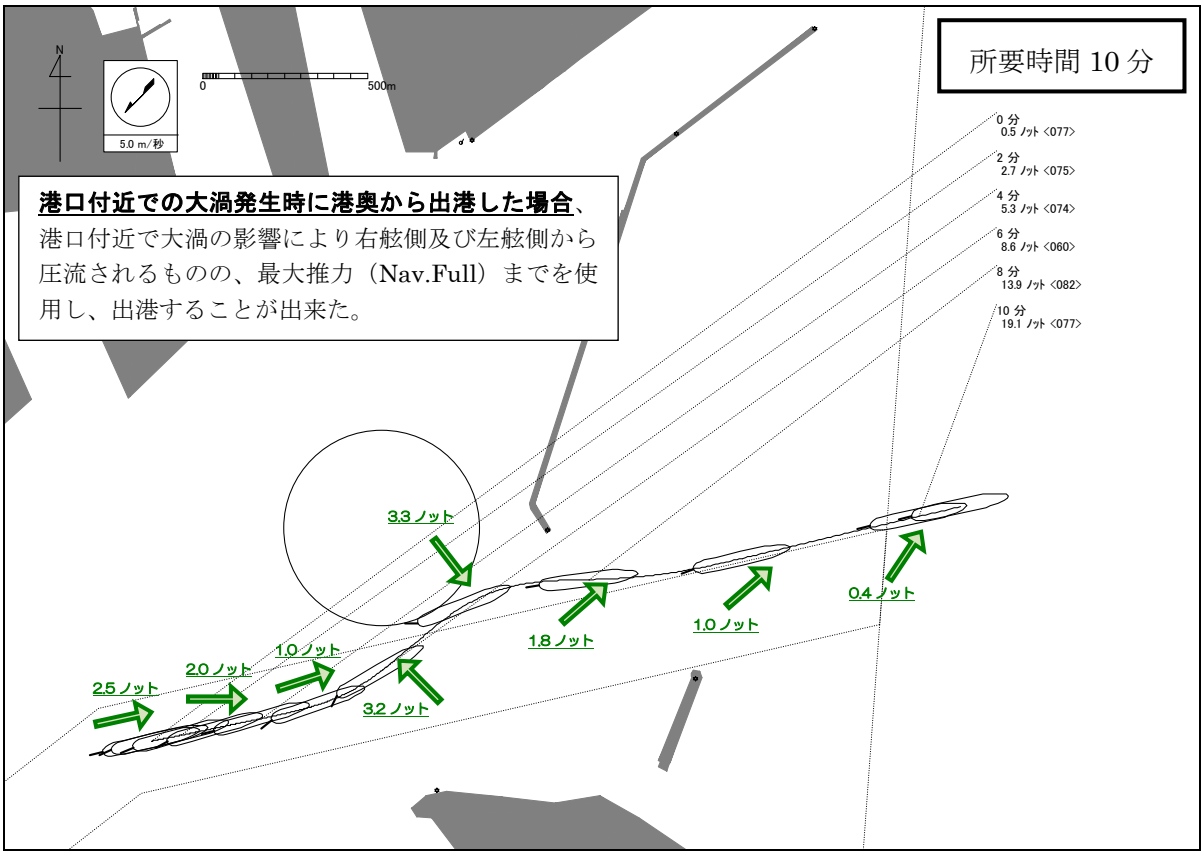


図 5.5.25　大渦の流況（60 分の津波流況）（コンテナ船）【ケース CT-13】

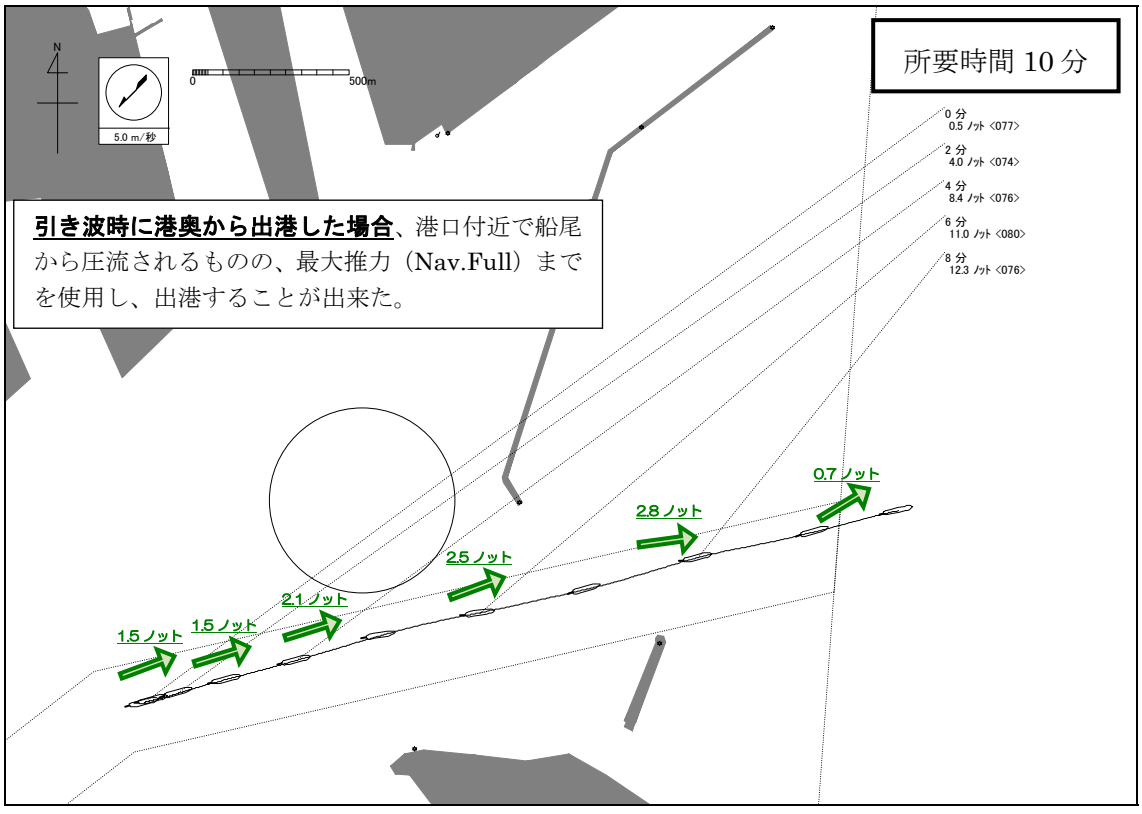


図 5.5.26　引き波（120 分の津波流況）（3,000 トン貨物船）【ケース CT-14】

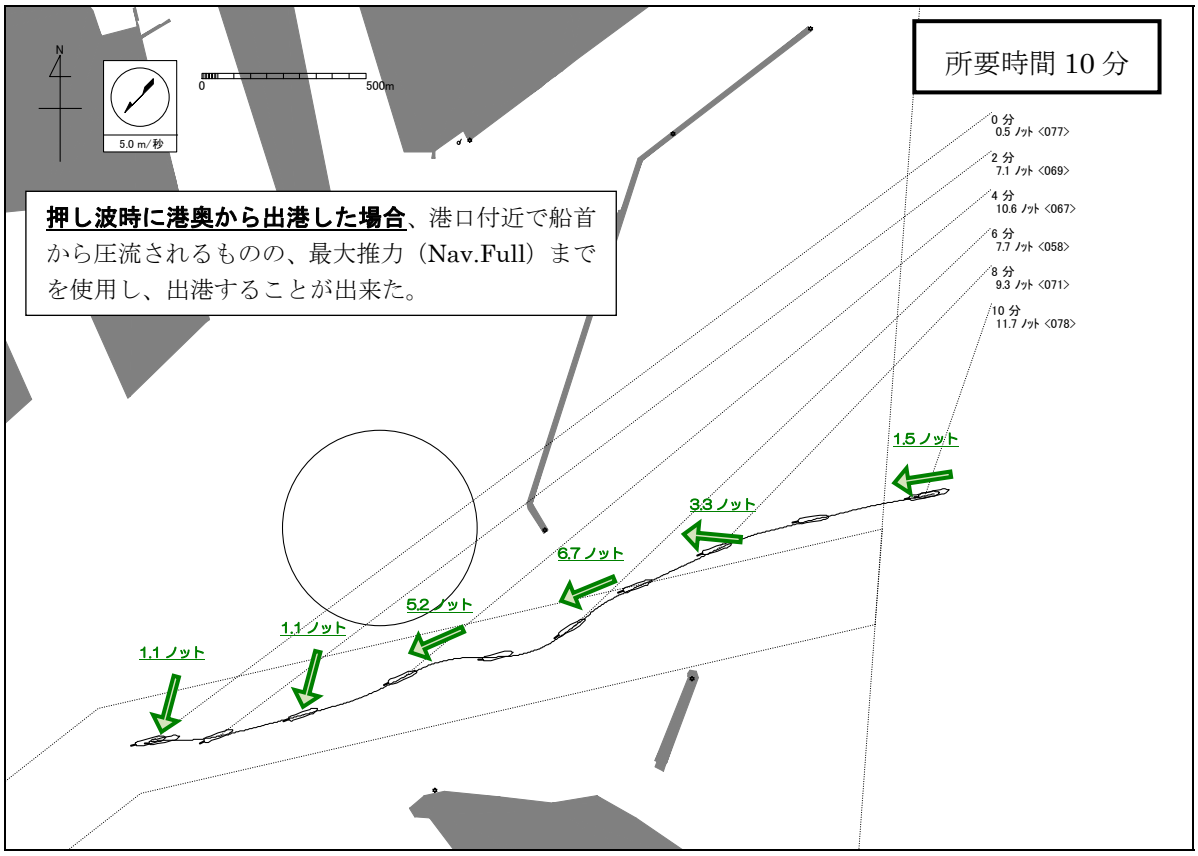


図 5.5.27　押し波（50 分の津波流況）（3,000 トン貨物船）【ケース CT-15】

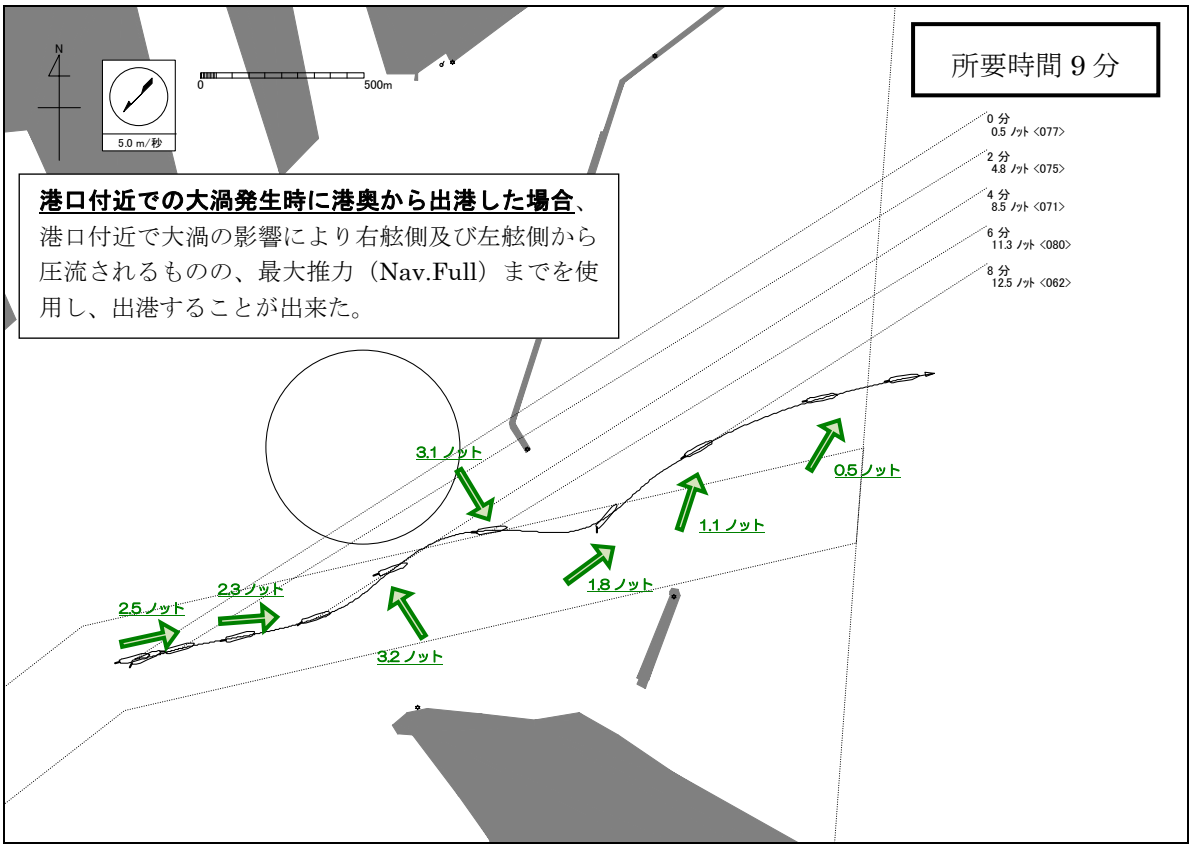


図 5.5.28　大渦の流況（60 分の津波流況）（3,000 トン貨物船）【ケース CT-16】

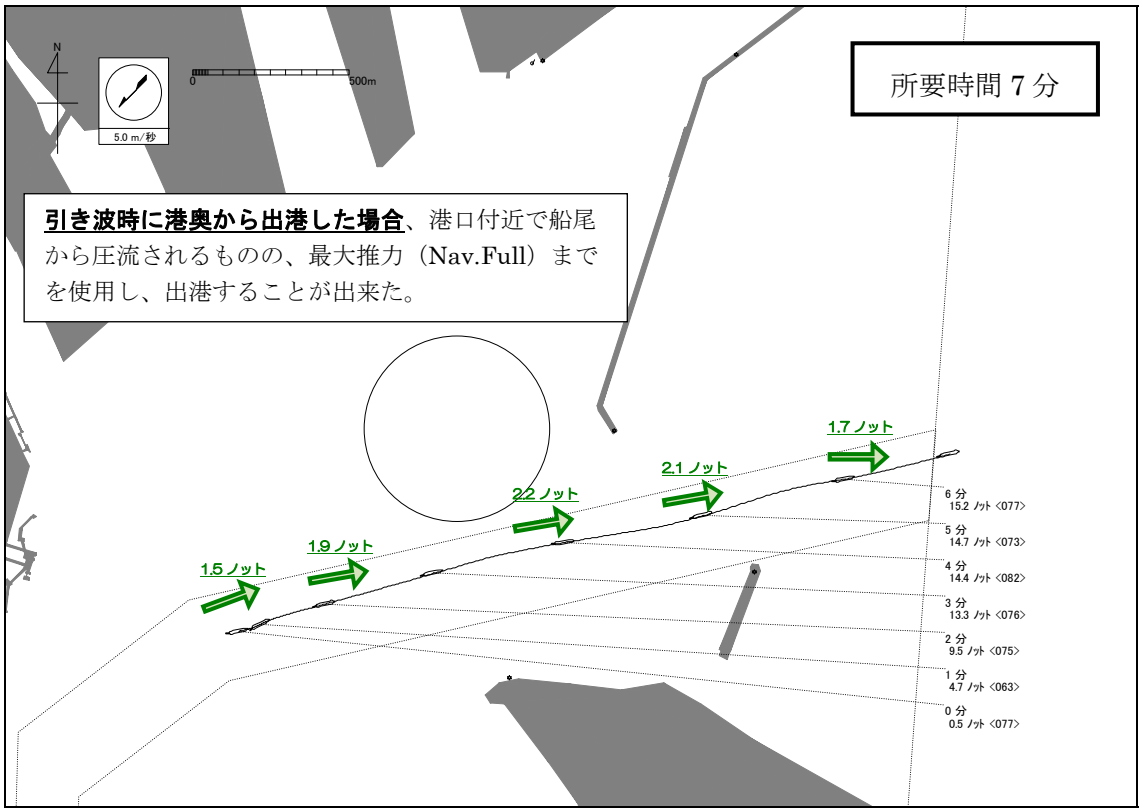


図 5.5.29　引き波（120 分の津波流況）（500 トン貨物船）【ケース CT-17】

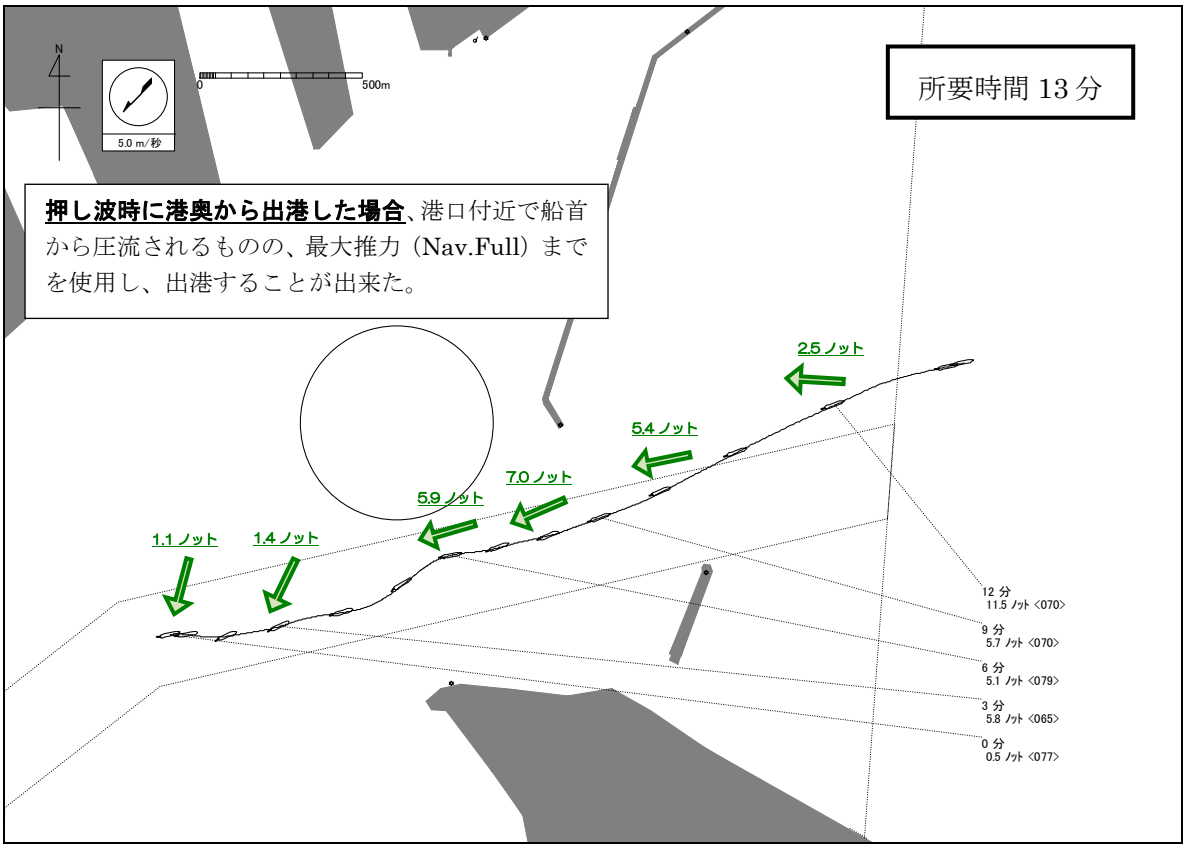


図 5.5.30　押し波（50 分の津波流況）（500 トン貨物船）【ケース CT-18】

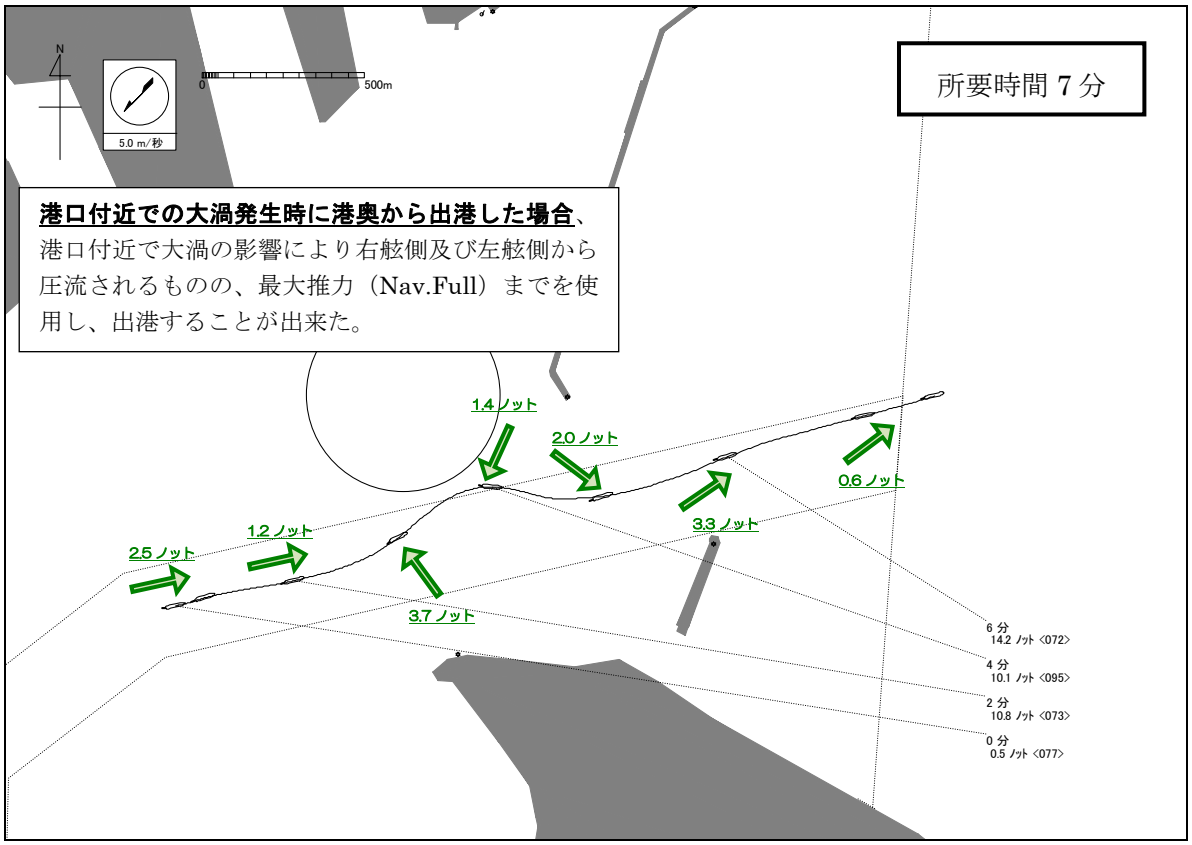


図 5.5.31　大渦の流況（60 分の津波流況）（500 トン貨物船）【ケース CT-19】

5.5.1.4 操船シミュレーション検討概要

(1) 離桟局面について

各実験ケースの津波の流向は岸壁法線と平行方向であり、南西流（離岸流）1.5~3.3 ノット及び北東流（向岸流）2.0 ノットであった。

自力離桟を可能としたケースは、いずれも岸壁前面の津波流向が自船の進行方向に支援力となる南西流（離岸流）のケースであった。

北東流（向岸流）のケースでは、一端、キック操船により岸壁から開いた船尾が後進時に船尾方向からの津波外力及び一軸右回り船の後進時の船尾左転特性により船尾を開くことができず、自力による離桟は困難であった。（ケース CT-5 参照）

なお、北東流（向岸流）のケースでは、船首スプリングラインを使用した場合は、キック操船を行うことで離桟は可能となった。（ケース CT-6 参照）

(2) 後進局面について

離桟後、岸壁付近の浅瀬との離隔距離を保ちつつ、津波外力に対して、バウスラスター、タグボート、主機関及び舵により船体制御し回頭水域まで低速力で後進することとなるが、時々刻々と変化する津波外力の流向、流速に対して適切に船体制御することは難しく、一定以上の津波外力（概ね 2 ノット程度）を船体正横方向より受ける場合では船体制御が困難となり船体は津波に圧流された。

(3) 回頭局面について

回頭場所を通常使用する港口付近とした場合、津波の流れも強く（概ね 2 ノット程度）、船速があまり上がっていないこともあり、船体は大きく圧流され船体制御が困難となった。

一方、港奥に回頭場所を設定した場合では、周辺の流況も比較的穏やかであるために比較的容易に回頭することができた。

また、津波の流向流速を時系列的に一定として、押し波及び引き波の状況下での港口付近における回頭操船では、津波により船体が圧流されたが、バウスラスター、主機関及び舵を最大限使用する事により回頭は可能であった。

(4) 出港局面について

後進及び回頭局面において、津波により船体制御が困難となった場合では、港口の防波堤に著しく接近することとなり危険な状態となった。

回頭水域を港奥とした場合では、港口付近を航過する最大推力（Nav.Full）により船速が確保できており、津波に対抗して出港することができた。

また、津波の流向流速を時系列的に一定として、押し波、引き波及び大渦の状況下での大型コンテナ船、3,000 トン貨物船及び 500 トン貨物船の出港の実験を行ったが、津波により船体が圧流されたが、いずれのケースについても最大推力（Nav.Full）により船速が確保できており、津波に対抗して出港することができた。

5.5.1.5 津波来襲時の港外避難の可能性と必要な措置

(1)大型コンテナ船が、時々刻々と変化する津波外力に対抗して緊急離桟、回頭及び出港の一連の操船を確実に行うことは困難である。

① 離桟局面

- ✓ 津波の流向が自船にとって支援力となる離岸流（南西方向）の時間帯（地震発生 40 分、70 分、130 分後）では離桟が可能となる。
- ✓ 津波の流向が向岸流（北東方向）2 ノットの場合は離桟が困難となる。ただし、船首スプリング索を使用して、キック操船により船尾を降り出すことで離桟が可能となる。

② 後進局面

- ✓ 離桟後の回頭水域までの後進局面では、船速が小さいため、港口付近で発生する強い津波外力に対して船体制御することが難しく、ひとたび船体制御不能となった場合には、港内の浅瀬への乗揚げや防波堤との衝突の危険性がある。
- ✓ 船体制御が困難となる津波外力は船体正横方向から概ね流速 2 ノット程度である。

③ 回頭局面

- ✓ 通常回頭水域としている港口付近では、津波の流れが強く、後進局面において船体制御不能となった場合は回頭水域での回頭は困難である。
- ✓ 後進局面で圧流されずに、比較的流況が穏やかな港奥まで移動できる場合は、回頭が容易となる。

④ 出港局面

- ✓ 港口を航路帯に沿って、最大推力程度まで主機を使用して舵効きを確保できれば安全な出港が可能となる。
- ✓ 最大推力により引き波時に港口航過する場合、押し波及び大渦時の出港に比べて、保針性がよく斜航も小さくなる。

⑤ 港内投錨

- ✓ 離桟が可能となった場合は、港内投錨することも可能となるので、予め、避泊可能な水域の選定や投錨準備をすることも必要である。

(2)3,000 総トン型、500 総トン型貨物船が津波来襲時に港口を航過して港外に避難することは可能である。

航路航行船の出港局面における航行可能性は以下のとおりであり、主機最大推力による舵効きを確保するため、港口接近までに可能な限り速力を上げることが必要となる。

- ✓ 押し波時（地震発生 50 分）の港口の流れは船首から約 6.7 ノットであり、両船型とも押し波による減速、斜航が発生するが、主機最大推力による舵効きを確保することにより出港が可能となる。
- ✓ 大渦時（地震発生 60 分）の港口防波堤内側付近の流れは、渦流により両舷正横より約 3 ノット超であり、大きく蛇行するが、主機最大推力による舵効きを確保す

ることにより出港が可能となる。

- ✓ 最大推力により引き波時（地震発生 120 分）に港口航過する場合、港口防波堤航過時に約 3 ノット弱の流速を船尾より受けるが、押し波及び大渦時の出港に比べて、保針性がよく斜航も小さくなる。

5.5.2 港内係留避泊の可能性と必要な措置

港外避難の検討おいて、操船シミュレーション実験を用いた検討を行った結果、大型コンテナ船が係留中に津波の来襲を受けた場合には、離桟できたとしても津波により圧流され船体制御ができなくなることが明らかとなった。

清水港では、地震発生後まもなく津波が来襲することから、多くの船舶は係留したまま津波に対抗することになる。

係留動揺シミュレーションによるこれまでの調査結果から、清水港に係留する船舶の係留の可能性と必要な措置について検討した。

5.5.2.1 係留動揺シミュレーション結果

津波の外力設定について清水港津波シミュレーション結果により得られた津波波形を用いて、津波高さと流速の組み合わせを増やして係留動揺シミュレーション実験により係留限界条件を調査したところ、各船型毎の係留限界条件は以下のとおりとの結論が得られた。

(1) VLCC（大型危険物積載船）

VLCC の係留限界条件については、津波波形の前半部分（水位変動が大きい）で評価した場合、船首からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、左舷正横からは津波高さ 1m（流速 3 ノット）となった。

一方、津波波形の後半部分（津波変動が小さい）で評価した場合、船首からは津波高さ 5m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 5m（流速 1 ノット）、左舷正横からは津波高さ 1m（流速 5 ノット）となった。

(2) LNG 船（大型危険物積載船）

LNG 船の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 3m（流速 1 ノット）、左舷正横からは津波高さ 1m（流速 5 ノット）となった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 4m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 4m（流速 1 ノット）、左舷正横からは津波高さ 3m（流速 5 ノット）となった。

(3) 3,000DWT（一般船舶）

3,000DWT の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 1 ノット）、船尾からは津波高さ 6m（流速 1 ノット）となった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）、船尾からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）でも破断荷重に達することは無かった。

(4) 10,000DWT（一般船舶）

10,000DWT の係留限界条件については、津波波形の前半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 1 ノット）で破断荷重に達したものの、船尾からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）でも破断荷重に達することは無かった。

一方、津波波形の後半部分で評価した場合、船首からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）、船尾からは津波高さ 6m（流速 5 ノット）でも破断荷重に達することは無かった。

5.5.2.2 大型 LNG 船の係留避泊の検討

(1) LNG 船係留桟橋付近の津波影響

平成２４年度に実施した津波シミュレーションにより、大型ＬＮＧ船が係留する桟橋付近の津波影響は次のとおりである。LNG 船係留桟橋付近の経時変化図（朔望平均満潮位、360 分、60 分）を図 5.5.32に示す。

① 津波高さ（水位変化）

地震に伴う地盤隆起量を考慮した初期水位を基準とした水位変化は次のとおり。

❶初期水位　±　0m　：　0 分時（T.P.＋3.64m）
❷第一波押し＋0.60m　：　4 分時（T.P.＋4.24m）
❸第一波引き－2.48m　：　8 分時（T.P.＋1.16m）
❹第二波押し＋1.43m　：15 分時（T.P.＋5.07m）最大津波高さ
❺第二波引き－6.20m　：41 分時（T.P.－2.56m）最小津波高さ

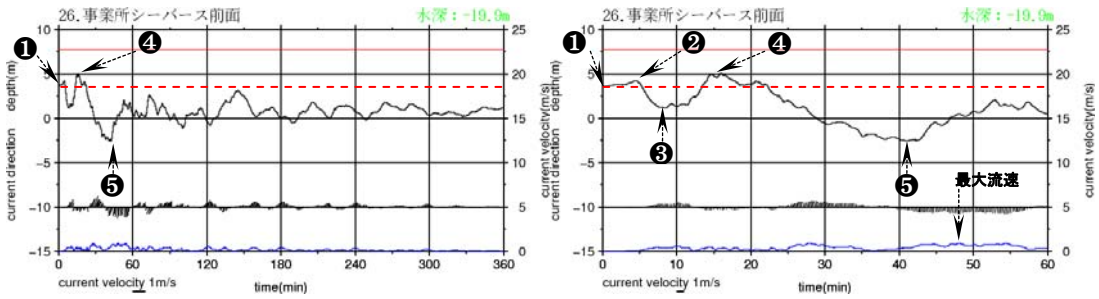


図 5.5.32　ＬＮＧ係留桟橋付近の経時変化図（朔望平均満潮位、360 分、60 分）

② 津波流速

最大流速：第三波押し 0.92m/ｓ（約 1.7 ノット）48 分時

③ 津波流向

津波の卓越流向は北北東及び南南西方向で係留桟橋法線に沿った流向となっており LNG 船に対して船首尾方向となる。

(2) 仮想桟橋における LNG 船の係留限界条件

清水港の津波波形に基づく仮想桟橋における LNG 船の係留動揺シミュレーション調査結果より、卓越流向が船首尾方向である場合の係留限界は、津波高さ 3m（流速１ノット）であった。

また、津波高さ 2mの場合は計算設定上限の流速 5 ノットでは、係留索は破断張力に達しないことが確認された。

(3) LNG 船の係留避泊の可能性

LNG 船係留桟橋付近の津波高さは、地盤隆起量を含んだ水位となっているため、地盤隆起量を除算した場合の最大津波高さは 1.43m、最大流速約 1.7 ノットであり、清水港の津波波形に基づく仮想桟橋による LNG 船の係留動揺シミュレーション実験で求められた係

留可能な津波高さ及び流速（津波高さ 2m、流速 5 ノット）の範囲内となる。

なお、清水港における第 2 波引き波の時間帯（15 分時から 41 分時）において、26 分間で水位下降量は 7.63m となるが、係留動揺シミュレーション実験の分析より、水位下降局面で津波の周期が長いこの時間帯の係留索に大きな張力は発生していない。

これらのことから LNG 船の係留桟橋における係留は可能であると考えられる。

5.5.2.3 3,000DWT 貨物船の係留避泊の検討

(1) 3,000DWT 貨物船の津波影響

津波シミュレーションにより、3,000DWT 貨物船が着岸する岸壁付近の津波影響は次のとおりである。日の出埠頭の付近の経時変化図（朔望平均満潮位、360 分、60 分）を図 5.5.33 に示す。

① 津波高さ（水位変化）

地震に伴う地盤隆起量を考慮した初期水位を基準とした水位変化は次のとおり。

❶初期水位　±　0m　：　0 分時（T.P.＋3.63m）
❷第一波押し＋0.54m　：　6 分時（T.P.＋4.17m）
❸第一波引き－2.71m　：10 分時（T.P.＋0.92m）
❹第二波押し＋1.41m　：23 分時（T.P.＋5.04m）最大津波高さ
❺第二波引き－6.55m　：40 分時（T.P.－2.92m）最小津波高さ

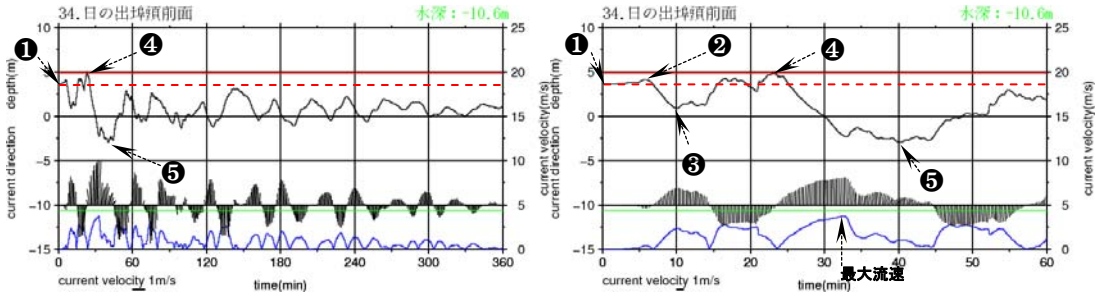


図 5.5.33　日の出埠頭前面付近の経時変化図（朔望平均満潮位、360 分、60 分）

② 津波流速

最大流速：第二波引き 3.72m/s（約 6.9 ノット）32 分時

③ 津波流向

津波の卓越流向は北及び南方向で係留岸壁法線に沿った流向となっており貨物船に対して船首尾方向となる。

(2) 仮想岸壁における 3,000DWT 貨物船の係留限界条件

清水港の津波波形に基づく仮想岸壁における 3,000DWT 貨物船の係留動揺シミュレーション実験結果より、卓越流向が船首尾方向である場合の係留限界は津波高さ 6m（流速 1 ノット）であった。

また、津波波形を正弦波とした津波高さと流速の組み合わせによる係留限界シミュレーション実験結果より、津波高さ 2m における係留限界流速は、流向船首で 15 ノット、流向船尾で 11 ノットであった。

(3) 3,000DWT 貨物船の係留避泊の可能性

日の出埠頭前面付近の津波高さは、地盤隆起量を含んだ水位となっているため、地震発生時の水位を初期水位とした場合の最大津波高さは 1.41m、最大流速は約 6.9 ノットであり、津波波形を正弦波として津波高さと流速の組み合わせに基づき仮想岸壁による 3,000DWT 貨物船の係留動揺シミュレーション実験で求められた津波高さ及び流速（津波高さ 2m、流向船首 15 ノット・流向船尾 11 ノット）の範囲内となる。

なお、清水港における第 2 波引き波の時間帯（23 分時から 40 分時）において、17 分間で水位下降量は 7.96mとなるが、係留動揺シミュレーション実験の分析より、水位下降局面で津波の周期が長いこの時間帯の係留索に大きな張力は発生していない。

これらのことから 3,000DWT 貨物船の日の出埠頭岸壁における係留は可能であると考えられる。

5.5.2.4 港内係留避泊の可能性と必要な措置

清水港内における津波高さは、地震発生時の地盤隆起量約 3m を考慮すると最大津波高さは検討対象船舶の係留範囲内となることから、津波来襲時の係留は可能であると考えられる。

係留避泊することを判断した船舶は、以下の措置により係留強化、流出防止を行う必要がある。

- ✓ 係留索の増し取り及び材質等の改善による係留力の強化
- ✓ 係留ドラムのブレーキの増し締め
- ✓ 緊急離桟準備　等

5.5.3 港内投錨避泊の可能性と必要な措置

5.5.3.1 津波に対する係駐限界

錨泊中の船舶が津波の来襲を受けた場合の係駐限界を把握するため、各船型毎に、津波の高さを変化させた場合の係駐限界流速及び津波の流向に対する船体の振れ回り角度を変化させた場合の係駐限界流速をそれぞれ算出した。

(1) 津波による検討結果

津波高さを 0m、5m と変化させた場合の対象船舶の係駐限界流速は、表 5.5.5のとおりであり、概要は以下のとおり。

- ✓ 船型による限界流速の違いについては、概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）の方が大きくなる傾向となった。
- ✓ 津波高さ 0m（通常時水位）とした場合の係駐限界流速は、概ね 3 ノットから 6 ノット程度、津波高さ 5m（異常時水位）の限界流速についても概ね 3 ノットから 6 ノット程度の値となった。
- ✓ 津波高さ 0m（通常時水位）に対する津波高さ 5m（異常時水位）の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 0.1 ノット程度（限界流速は 3 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。
- ✓ 係駐限界流速に与える影響については、アンカーによる違いでは AC14 型が JIS 型より限界流速が大きくなり、土質による違いでは AC14 型では泥の方が、JIS 型では砂の方の限界流速が大きくなる傾向があった。

表 5.5.5　津波による係駐限界流速

単位：ﾉｯﾄ

			500DWT	3,000DWT	10,000DWT	30,000DWT	60,000DWT	200,000DWT	100,000DWT	300,000DWT
			一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG船）	危険物積載船舶（VLCC）
津波高さ0m	JIS型	泥	4.62	4.02	3.60	3.38	3.15	3.17	3.28	3.28
		砂	4.83	4.21	3.77	3.54	3.29	3.32	3.45	3.43
	AC14型	泥	(6.70)	5.87	5.24	4.91	4.53	4.57	4.75	4.73
		砂	(5.72)	5.00	4.47	4.20	3.89	3.92	4.08	4.06
津波高さ5m	JIS型	泥	4.51	3.93	3.53	3.31	3.10	3.12	3.23	3.23
		砂	4.74	4.14	3.72	3.49	3.25	3.28	3.41	3.39
	AC14型	泥	(6.59)	5.77	5.16	4.84	4.48	4.51	4.70	4.67
		砂	(5.63)	4.93	4.41	4.14	3.85	3.88	4.04	4.02

※表中の( )は､他の条件との比較のために対象船舶 500DWT､AC14 型の錨の組合せの値を示しているが､一般的に 500DWT クラスで AC14 型の錨を装備している船舶は少ない。

(2) 振れ回りによる検討結果

津波の流向に対する船体の振れ回り角度を 0 度、5 度、10 度、15 度と変化させた場合の対象船舶の係駐限界流速は、表 5.5.6のとおりであり概要は以下のとおり。

- ✓ 船型による限界流速の違いについては、概して大型船（300,000DWT）より小型船（500DWT）の方が大きくなる傾向となった。
- ✓ 船体の振れ回り角度を 0 度（船首方向からの津波）とした場合の係駐限界流速は、概ね 3 ノットから 6 ノット程度となり、振れ回り角度を 15 度とした場合では概ね 2 から 4 ノット程度となった。
- ✓ 津波流向に対して船体の振れ回りを 0 度（船首方向）から 15 度まで変化させた場合の係駐限界流速は、対象船舶、舶用アンカー、底質による違いはあるものの、概ね 1.0 ノットから 2.0 ノット程度（係駐限界流速 2 ノットから 6 ノット程度の範囲）減少する結果となった。
- ✓ 係駐限界流速に与える影響については、アンカーによる違いでは AC14 型が JIS 型より限界流速が大きくなり、土質による違いでは AC14 型では泥の方が、JIS 型では砂の方の限界流速が大きくなる傾向があった。

表 5.5.6　振れ回りによる係駐限界流速

単位：ﾉｯﾄ

			500DWT	3,000DWT	10,000DWT	30,000DWT	60,000DWT	200,000DWT	100,000DWT	300,000DWT
			一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	一般船舶	危険物積載船舶（LNG船）	危険物積載船舶（VLCC）
振れ回り0度	JIS型	泥	4.51	3.93	3.53	3.31	3.10	3.12	3.23	3.23
		砂	4.74	4.14	3.72	3.49	3.25	3.28	3.41	3.39
	AC14型	泥	(6.59)	5.77	5.16	4.84	4.48	4.51	4.70	4.67
		砂	(5.63)	4.93	4.41	4.14	3.85	3.88	4.04	4.02
振れ回り5度	JIS型	泥	4.20	3.66	3.29	3.08	2.88	2.90	3.01	3.00
		砂	4.41	3.85	3.46	3.25	3.03	3.05	3.17	3.16
	AC14型	泥	(6.14)	5.37	4.81	4.51	4.17	4.21	4.38	4.35
		砂	(5.25)	4.59	4.11	3.86	3.58	3.61	3.76	3.74
振れ回り10度	JIS型	泥	3.54	3.08	2.77	2.60	2.43	2.45	2.53	2.53
		砂	3.72	3.25	2.91	2.73	2.55	2.57	2.67	2.66
	AC14型	泥	(5.17)	4.52	4.05	3.80	3.51	3.54	3.69	3.67
		砂	(4.42)	3.86	3.46	3.25	3.02	3.04	3.17	3.15
振れ回り15度	JIS型	泥	2.98	2.60	2.34	2.19	2.05	2.06	2.14	2.14
		砂	3.14	2.74	2.46	2.31	2.15	2.17	2.26	2.25
	AC14型	泥	(4.36)	3.82	3.42	3.20	2.97	2.99	3.11	3.09
		砂	(3.73)	3.26	2.92	2.74	2.55	2.57	2.68	2.66

※表中の（）は、他の条件との比較のために対象船舶 500DWT、AC14 型の錨の組合せの値を示している一般的に 500DWT クラスで AC14 型の錨を装備している船舶は少ない。

5.5.3.2 港内航路・泊地等の津波影響

清水港内で大型船舶、中型船舶が錨泊できる水域は外港地区（第 3 区）及び折戸湾（第 1 区）であり、これらの航路・泊地等の津波シミュレーションによる調査結果は以下のとおりである。

最大流速分布を図 5.5.34に、港内航路・泊地等調査地点の経時変化図を図 5.5.35に、同調査地点の最大流速値を表 5.5.7に示す。

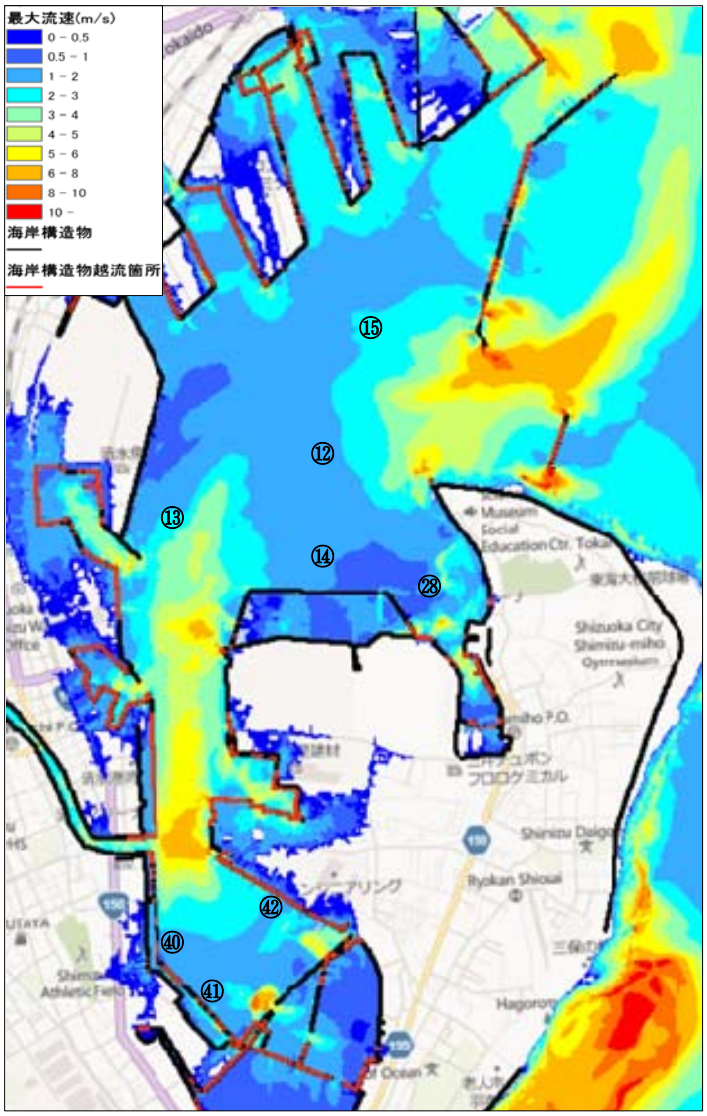


図 5.5.34　最大流速分布（朔望平均満潮位）

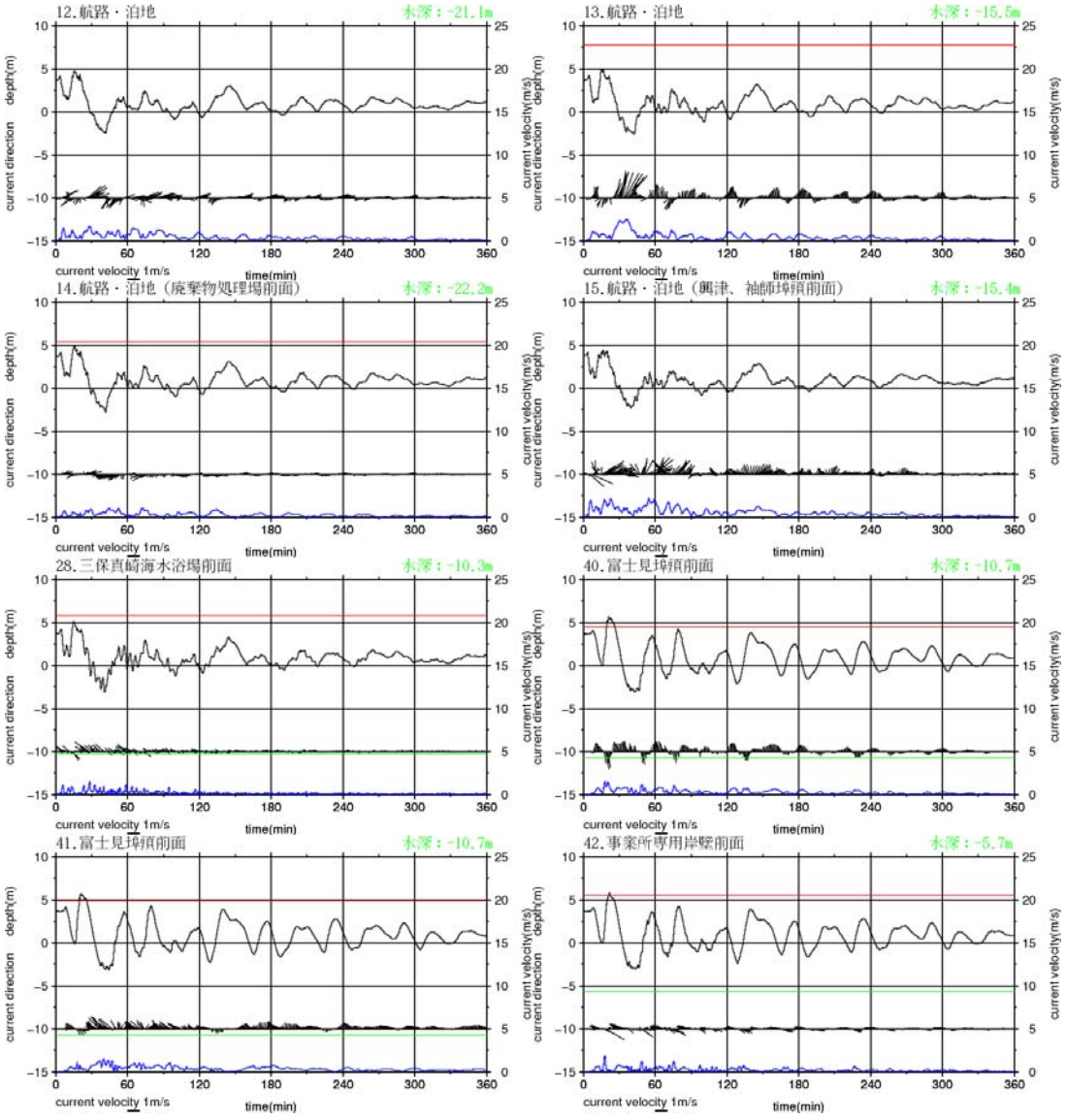


図 5.5.35　港内航路・泊地等調査地点の経時変化図

表 5.5.7　港内航路・泊地等調査地点の最大流速値

調査地点	底質	経過時間 (分:秒)	最大流速値 (m/s)	最大流速値 (ノット)
⑫　航路・泊地	砂まじりの泥	28:06	1.72	3.2
⑬　航路・泊地	泥	35:29	2.51	4.6
⑭　航路・泊地（廃棄物処理場前）	泥	44:26	1.09	2.0
⑮　航路・泊地（興津、袖師埠頭前面）	砂まじりの泥	22:29	2.24	4.1
㉘　三保真崎海水浴場前面	泥	28:21	1.55	2.9
㊵　富士見埠頭前面	泥	17:55	1.52	2.8
㊶　富士見埠頭前面	泥	39:48	1.52	2.8
㊷　事業所専用岸壁前面	泥	17:51	1.94	3.6

5.5.3.3 東日本大震災における港内投錨避泊事例

東日本大震災では、多くの船舶が港内係留中に津波により係留索が切断され、係留施設から流出し陸上へ乗り揚げたり浅瀬に座礁した。

一方で、地震発生後直ちに荷役を中止し緊急離桟した船舶などが、港内で投錨避泊して津波を凌いでいる事例がある。

(1) 大船渡港

大船渡港では緊急離桟したセメント船 2 隻が港内に投錨し主機、バウスラスターを使用して津波に船首方向を向首することにより、津波（引き波時約 6 ﾉｯﾄ）を凌いでいる。

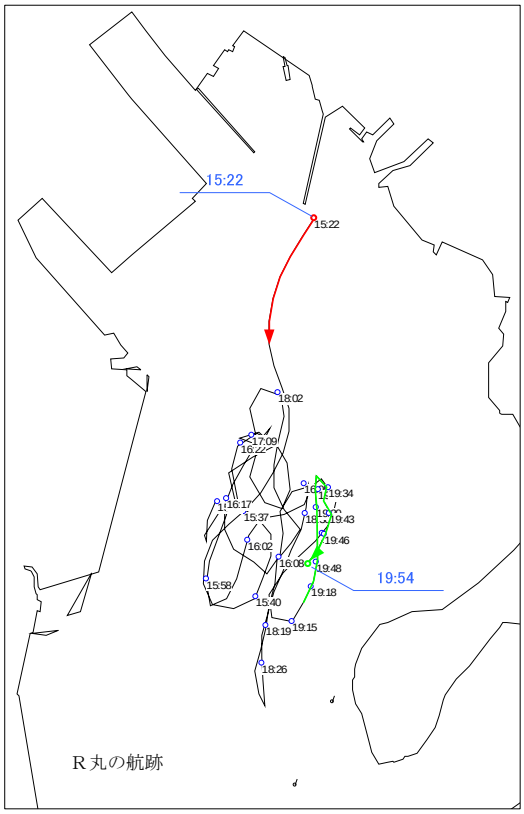
①セメント船Ｒ丸（総トン数約 7,000 トン）（図 5.5.36参照）

・地震感知後直ちに緊急自力離桟（11/1510）

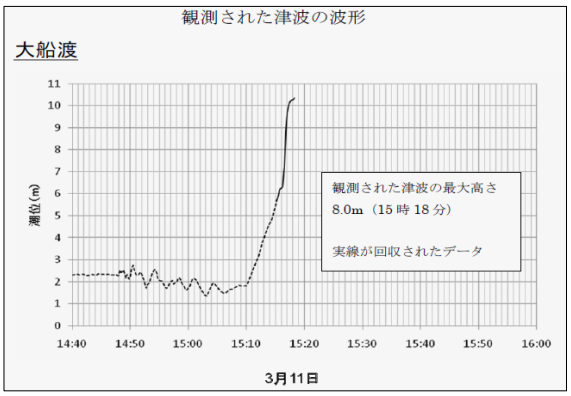
・右錨 3 節によるアンカードレッジング（水深約 15m、底質：泥）、機関全速、スラスターにより押し波に対抗

・引き波に併せて左回頭し、左錨 3 節投錨し 2 錨泊、機関全速により引き波に対抗

・押し波、引き波を約 6 回繰り返したのち、絡み錨を解除し港内中央に転錨（11/2120）



（資料：3.11 忘れない FNN 東日本大震災アーカイブ）



（資料：H23.3.23 気象庁報道発表資料）

図 5.5.36　大船渡港港内避泊事例

②セメント船 K 丸（総トン数約 5,000 トン）

・地震後、緊急自力離桟（11/1515）

・湾内に投錨（錨鎖 3 節）（11/1545）

・投錨後も走錨が繰り返され、機関、船首・船尾スラスターにより船体制御

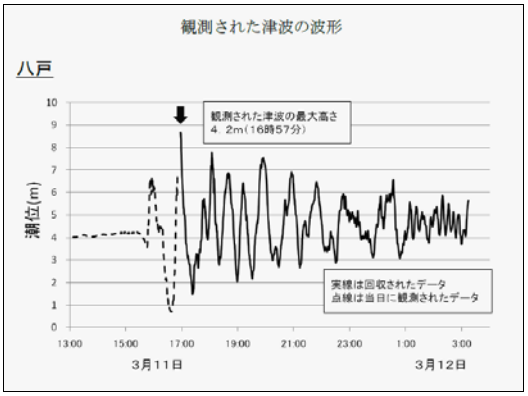
(2) 八戸港

八戸港では大型船舶 3 隻（貨物船 2、地球深部探査船 1）が係留中に津波の来襲を受け、係留索が切断し船体が流出した。このうち貨物船 2 隻は乗揚げ等の被害を生じたが、海底資源掘削船は錨と推進器により港内で船体制御し、左舷プロペラ等を損傷したが津波を凌いだ。

①地球深部探査船Ｃ号（総トン数約 57,000 トン）（図 5.5.37参照）

- 1505　ローデイングホースを切り離し荷役中止
- 1550　津波第 1 波到達、推進器（船尾アジマスラスター2、船首サイドスラスター1）により船体制御
- 1608　係留索切断のため、全索巻出し切り離し
- 1616　左舷錨投錨（3 節）（水深 13m　底質：泥）
- 1643　再度津波到達、錨鎖追加伸出、ブレーキ能力を超え錨鎖全量伸出
- 1647　船速最大 5 ノット超を観測、右舷錨 2 節伸出
- 1650　船体後部が護岸壁とテトラポットに接触、ボイドスペースに破口及び左舷プロペラ損傷
- 1651　港内潮流で船体運動の制御困難となる。
- 1856　船体は港内中央で静定、その位置で巻き込み左舷錨 5 節、右舷錨 2 節とする両舷錨に加え既存のサイドスラスターと右舷後部のスラスターで位置保持を継続

（資料：海上保安庁）



（資料：H23.5.27 気象庁報道発表資料）

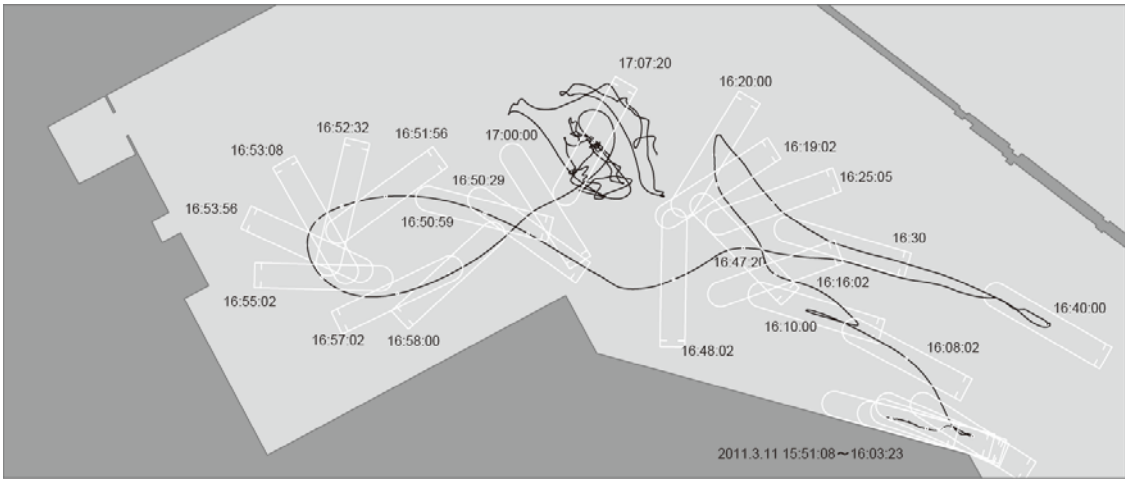


図 5.5.37　八戸港港内避泊事例　（資料：月報 Captain 第 403 号）

5.5.3.4 港内投錨避泊の可能性と必要な措置

(1) 単錨泊による投錨避泊の可能性

清水港内の大型船舶、中型船舶の泊地となる外港地区（第 3 区）及び折戸湾（第 1 区）の最大流速分布は 1～3m/ｓ（約 1.9～5.6 ﾉｯﾄ）の範囲であり、調査地点における流況は外港地区の航路・泊地中央付近、地点⑫で最大流速 3.2 ノット、折戸湾の泊地付近、地点㊷で最大流速 3.6 ノットとなる。

また、港口に近い地点⑮では最大流速 4.1 ノットとなり流向が著しく変化し渦流の影響が大きいほか、地点⑬では最大流速 4.6 ノットとなる。

一方、係駐限界の検討によれば、最も条件の悪い、JIS 型アンカーで、振れ回り角度 15 度の場合は、係駐限界流速は 2～3 ノットであり、清水港内の泊地付近の単錨泊での避泊は走錨の可能性が高いと考えられる。

(2) 港内投錨港内避泊の必要な措置

港内で避泊する場合は、流速が大きい港口や狭水路付近を避け、水深が深く流速が比較的小さい外港地区（第 3 区）の泊地に航路帯を避けて錨泊することが望ましい。

東日本大震災の事例では、ドレッジングアンカー、主機関、バウスラスター等により船首方位及び船位を制御することにより、津波に対抗している事例がある。

清水港においても港内避泊する場合は、単錨泊での避泊は走錨の可能性が高いことから、主機関やバウスラスターを併用して津波に対抗する必要がある。

また、単錨泊における錨鎖の延長や両舷錨を使用した２錨泊を行い、船体動揺の緩和や把駐力を向上させることも検討する必要がある。

なお、他船や岸壁等との衝突を避けるために捨錨の準備をすることも必要である。

(3) 港内避泊の留意事項

- ✓ 漂流物による舵、推進器等の損傷に注意する。
- ✓ 船舶間の距離の維持に努める。
- ✓ ２錨泊の場合は、絡み錨解除に備えて船体回頭の状況を記録する。
- ✓ 岸壁の浸水や崩壊により岸線のレーダー反射不全となる場合がある。

5.5.4 小型船舶の避難措置の検討

5.5.4.1 小型船舶係留施設の津波影響

清水港内で小型船舶の係留する主な係留施設は、港内の各船溜まり、巴川、貯木場となっている。主な小型船舶の係留施設及び各船溜まり周辺の津波影響を図 5.5.38～図 5.5.44に示す。

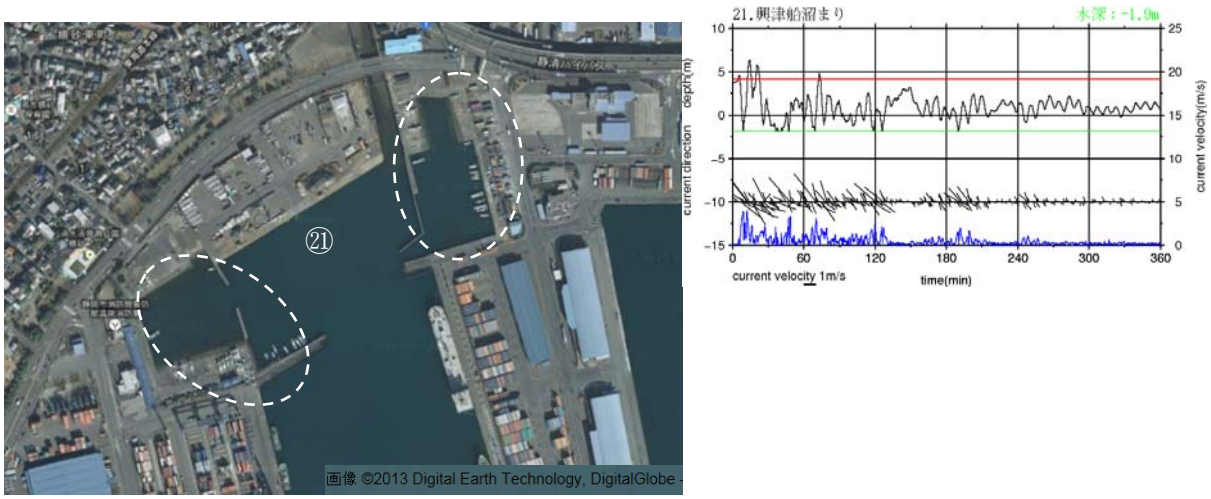


図 5.5.38　興津船溜まり小型船舶津波影響

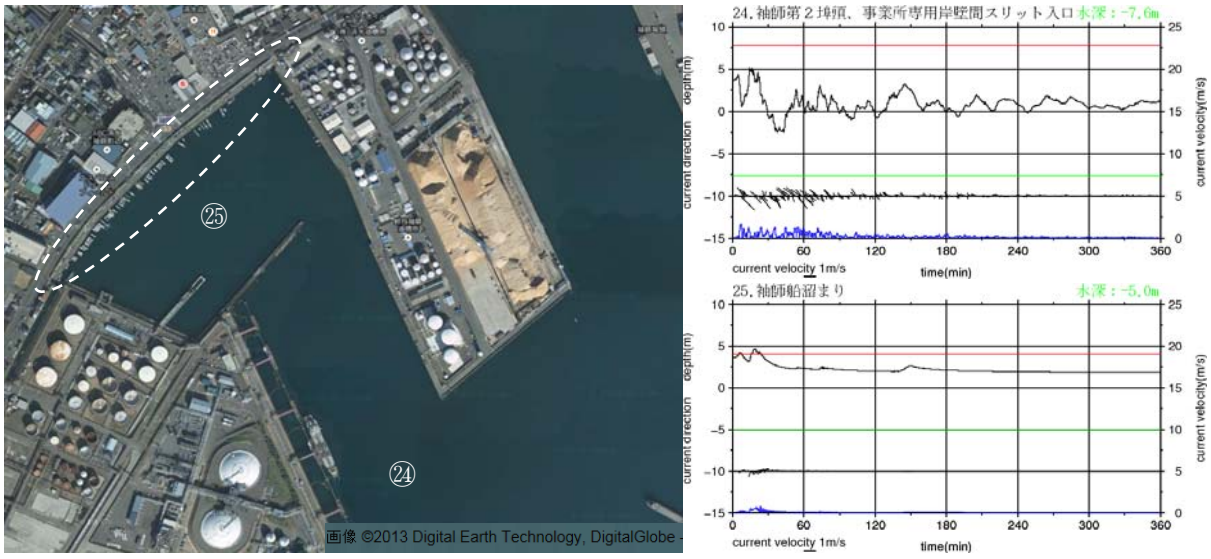


図 5.5.39　袖師船溜まり小型船舶津波影響

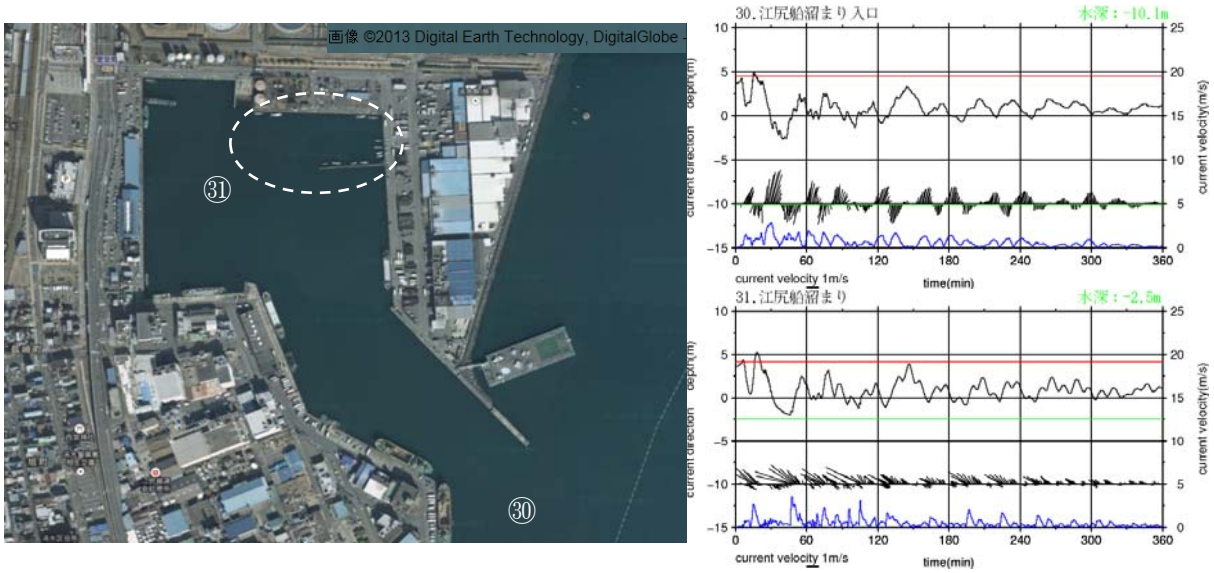


図 5.5.40　江尻船溜まり小型船舶津波影響

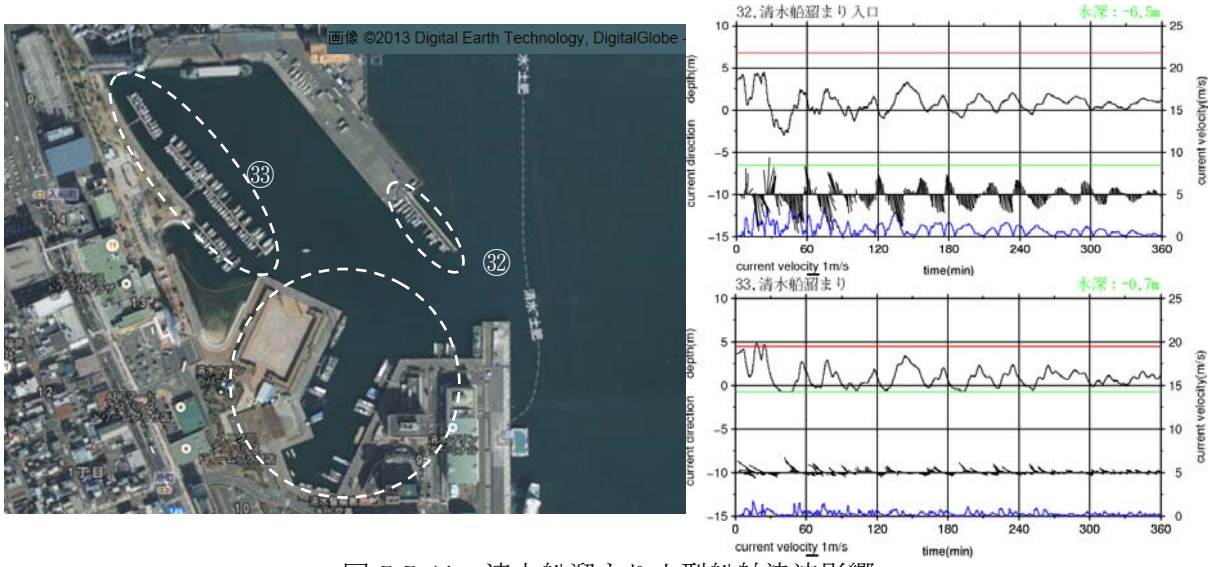


図 5.5.41　清水船溜まり小型船舶津波影響

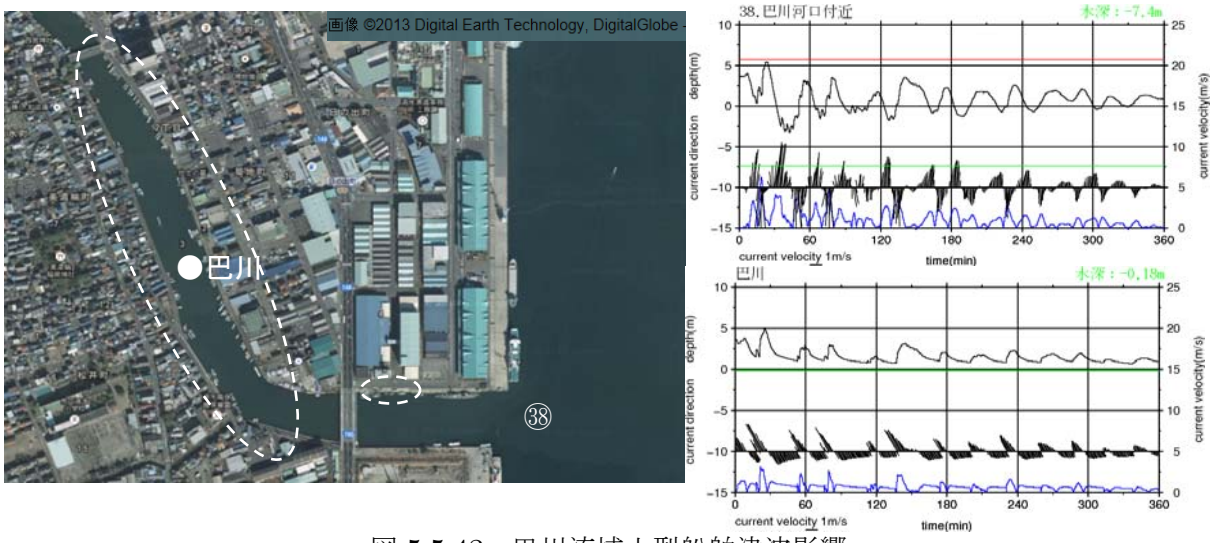


図 5.5.42　巴川流域小型船舶津波影響

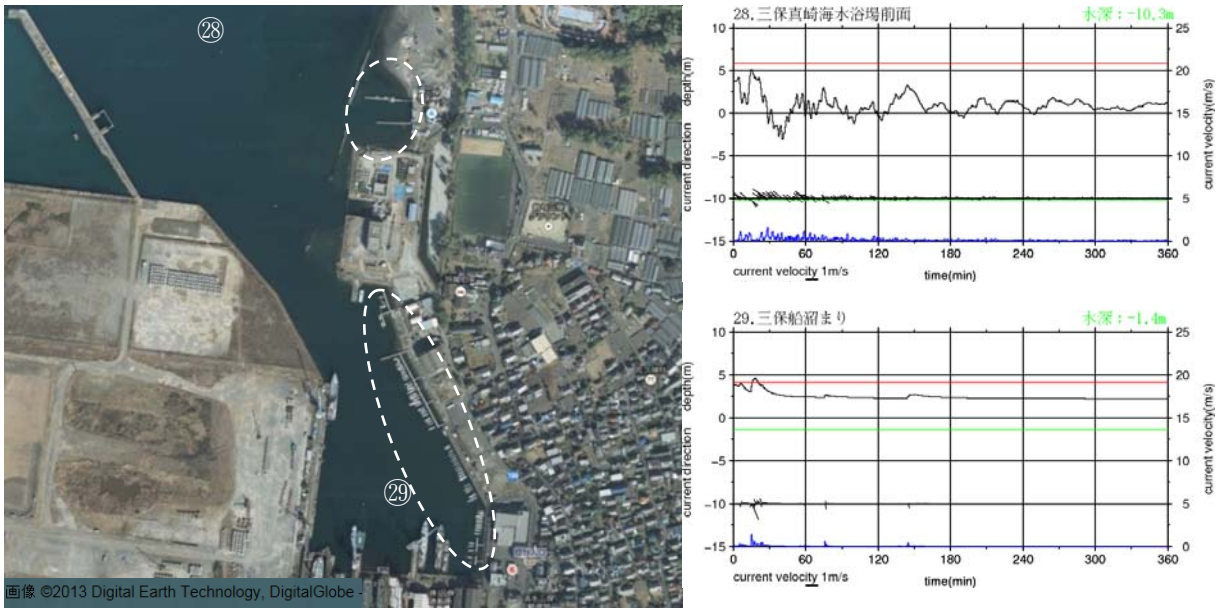


図 5.5.43　三保船溜まり小型船舶津波影響

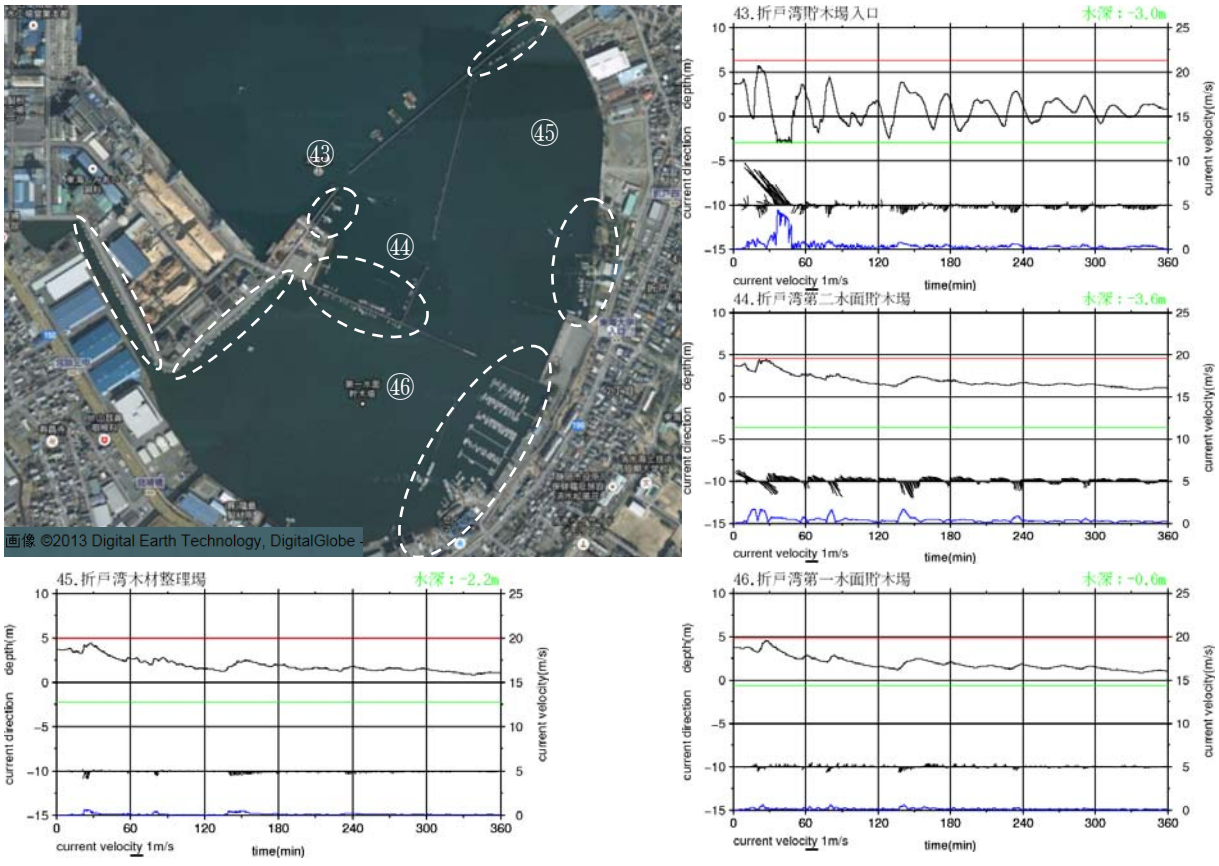


図 5.5.44　折戸湾貯木場小型船舶津波影響

5.5.4.2 小型船舶の避難

係留中の小型船の港外避難については、各船溜まりの入口付近、巴川河口付近及び港口での津波影響により、離岸できたとしても港外の安全な海域に到達することは困難である。

想定地震・津波への小型船舶の対応については、地震・津波の規模、津波到達時間、避難ルートの水位変動及び流速を踏まえると、津波による浸水、転覆、衝突等の危険性が高く港外へ避難する場合の人命への危険性が極めて高い。

また、津波影響を踏まえると、折戸湾奥の貯木場への津波影響は港口に比べて小さく、貯木場に係留中の小型船舶が港外へ避難することは人命の危険性を増大させる可能性がある。

これらの状況を踏まえ、小型船舶の対応は陸上避難とすることが望ましい。

5.5.4.3 危険回避応急操船

小型船舶が港内航行中に地震が発生し、陸上の安全な場所に逃げる時間的余裕がなく、港内で津波の来襲を受ける場合は、流速が速いと予測されている水域を避け、可能な限り津波来襲方向に船首を向けて船体制御することが望ましい。（参照：東日本大震災避難漁船の証言）

港外へ向けて航行している際に津波の来襲を受けた場合は、船体傾斜による転覆を避けるために、船首を津波に向け、船速を調整することで津波に対抗できる場合がある。

ただし、津波が短周期の連続波や砕波である場合は、波力による船体の大傾斜、甲板への海水の打ち込み、プロペラの空転などが発生し船体に重大な損傷が生じるおそれがあることを考慮しなければならない。

久慈港内小型漁船避難事例を以下に示す。

○定置網漁船Ｒ丸（総トン数 19 トン、長さ約 20m、850 馬力）（図 5.5.45参照）

・乗組員 3 名で出港し全速で港外に向かう
・港外向け航行中に津波（約 8～9m）が来襲
・津波の衝撃を船体に受けるも、津波を乗り切る
・津波を乗り切る際は、エンジン低速としプロペラ空転を避け津波に対抗
・建設中の沖防波堤ケーソンブロック、転覆漁船が港内を漂流
・強い引き波（10 ﾉｯﾄ以上）が発生
・沖合で漂流物を避け翌朝帰港

（資料：東北地方整備局震災伝承館）

図 5.5.45　久慈港内小型漁船避難事例

5.5.4.4 砕波乗り切りの目安と対応※

砕波を乗り切る限度については、横から砕波を受けるものとした実験で、転覆しない限界砕波波高（谷から山の高さ）は、船の幅程度としている。小型船の L／B は６程度であるから、船の長さの 0.2 倍程度の砕波高が限度ということである。

実際には、砕波を乗り切ろうとして向かって行く船は、初めから砕波を横から受ける操船はしないから、経験則としていわれている 0.5L の砕波高が妥当な限度の目安であろう。

漁船の L、B、GT の相関の回帰式 $L=10{,}000GT^{0.277}$、$B=1{,}712GT^{0.272}$、により求めた 2.5～25 トンの漁船の総トン数、長さ、幅の関係は表 5.5.8のようになる。

表 5.5.8　漁船の総トン数、長さ、幅の関係

総トン数（GT）	L （m）	B （m）	L／B
2.5	12.9	2.2	5.9
5	15.6	2.7	5.8
10	18.9	3.2	5.9
15	21.2	3.6	5.9
20	22.9	3.9	5.9
25	24.4	4.1	6.0

0.5Ｌの砕波高が限界とすると 2.5 トンの漁船で約 6m、20 トンの漁船で約 12mの高さの砕波まで凌げそうであるが、津波の流速を上回る船速が必要である。

※　平成 15 年度 津波が予想される場合の船舶安全確保に関する調査研究報告書

【参考】

◎東日本大震災避難漁船の証言

○津波との格闘（大船渡港）（ＮＡ：ナレーション）

（資料：ＮＨＫ東日本大震災アーカイブス　証言 Web ドキュメント http://www9.nhk.or.jp/311shogen/）

Ｔ氏：津波に巻き込まれて、棒立ちになった船は、沈んだですね。見たときにぞっとしたですよ。こりゃ、とんでもないことになるなと思ってね。

こりゃもう、とにかく急いで帰らなきゃ駄目だ、ということでね。そう思ってフルスピードで帰ったんですよ。

ＮＡ：岩手県大船渡市の漁師、Ｔさん。船を津波から守ろうと、大船渡湾の外を目指しますが、間に合わず、津波に翻弄され続けました。地震が起きたとき、自宅にいた津間さんは、すぐに港へ向かい、船を出しました。

Ｔ氏：とにかくこの船、何とか安全な場所に持って行こうという考えだけでね。津波の怖さっていうのは、頭の中にはなかったです。

ＮＡ：船を守るため、安全といわれている、沖を目指したＴさん。しかし、すでに津波は、大船渡湾に達していました。Ｔさんが見たのは、津波に船が飲み込まれていく光景でした。

Ｔ氏：あの辺、真っ白くなってね。ものすごいしぶきを上げたんですよ。それで船が１そう、棒立ちになったので、とてもこの船では、こっちの方は危険だと思ってね、それで引き返したんです。津波に巻き込まれて、棒立ちになった船は、沈んだですね。見たときにぞっとしたですよ。こりゃもう、とにかく急いで帰らなきゃ駄目だっていうことでね。そう思ってフルスピードで帰ったんですよ。

ＮＡ：沖に出るのをあきらめたＴさんは、津波の猛威から逃れようと、湾内にある島の陰に隠れました。

Ｔ氏：この島はね、津波が来て当たってもね、波が静かになると思ったんですよ。それでもやっぱり、島を巻いてきてしまってね、同じぐらいなんですよ。だから、島陰がいいかと思えば、あの大きな津波では、そうでもなかったですね。

ＮＡ：島の陰に隠れたものの、津波の勢いは衰えず、船は翻弄され続けました。

Ｔ氏：行ったり来たりしたんですよ。波に押されてきたら、また前進して波に向けてね。引き波のときは、また逆に船を向けて。

ＮＡ：さらに、湾内を覆う、がれきによって、船を思うように操れませんでした。

Ｔ氏：養殖の施設が、どんどん流れてきたんですよ。だから流れ物に巻き込まれないように頑張ったです。

ＮＡ：津波に耐え続けたＴさんの船。水や食料は積んでいませんでした。

Ｔ氏：水を飲みたいとか、腹が減ったとかっていうのはなかったですね。一番こたえたのが寒さです。寒いのが一番にこたえたですね。

ＮＡ：雪も降ってきました。Ｔさんは寒さをしのぐため、やむをえず船のエンジンルームに入りました。

Ｔ氏：（エンジンの）ベルトが回っていてね、危ないものだけども、もう寒さに耐えきれないから、ここに入ったです。風上の方にこの蓋でね、防御していたんです。風が吹くんでね。

ＮＡ：大津波警報は、翌日午後８時まで、解除されませんでした。Ｔさんは、大船渡湾を漂い続け、港に戻ることができたのは、２日後の３月１３日でした。

Ｔ氏：どうしても船を安全な場所にするには、沖の方がいいっていう話があるんです。まあ出ていったのが良かったんだか、悪かったんだかね、ちょっとあれ（分かりません）ですけど、こうやって船を無事に持ってきているし、結果的には良かったんじゃないかなと思っています。

5.5.4.5 小型漁船の避難対策

漁船は、漁業者にとって事業活動を継続して行う上で不可欠なものであることから、津波来襲の可能性が高い場合、漁船を沖に避難させる傾向が強く、過去の津波災害においては、漁船の避難に伴い転覆し人的被害が生じる等の被害が多く発生している。

水産庁では漁業地域の防災対策に関する考え方を取りまとめた「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」を策定しており、漁船等の船舶の避難行動の基本的なルールを示している。

清水港周辺海域で活動する漁船の避難については、その操業形態により操業時間や場所が異なるとともに、船型によって速力や堪航性も異なることから、水産庁のガイドラインを基本とし、本検討における津波影響を踏まえて地元協議会等において避難計画を漁業者自らが参画して作成し、実行性のある避難体制を構築することが望ましい。

【参考】

◎災害に強い漁業地域づくりガイドラインにおける漁船等の避難の考え方

（水産庁「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」より抜粋）

漁船等の船舶の避難について、国内で発生した地震により短時間で津波の到達が予想される近地津波の場合は以下を基本として、地理的条件等各地域の実情を勘案して漁業地域防災協議会において十分協議し、避難のルール化を図る。特に、地域情報を避難漁船へ伝達する有力な情報手段である漁業無線の無線局の耐震化・耐浪化についても漁業地域防災協議会において、十分協議し、検討する。

漁船等の船舶の避難行動は基本的に次のように考える。

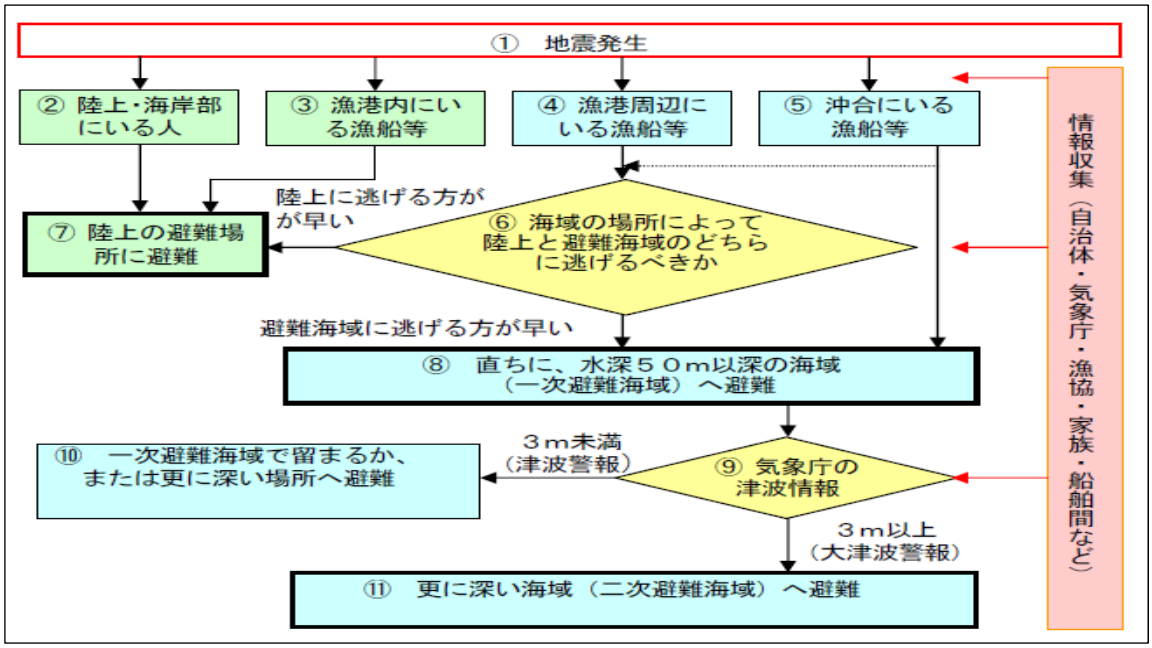
① 漁港周辺もしくは沖合にいる漁船等の船舶は、まず津波に関する情報を入手する。

② 漁港周辺にいる漁船等の船舶で避難海域に逃げる方が早い場合、または沖合にいる漁船等の船舶は、直ちに概ね水深 50m 以深の海域（一次避難海域）へ避難する。一次避難海域に避難するまでの間に気象庁から津波情報を入手し、「大津波警報（3m 以上）」が出された場合、更に水深の深い海域（二次避難海域）へ避難する。避難海域においては、津波来襲時に転覆や圧流されないように十分に操船に留意する。なお、沖合であっても、海底地形、港形によって沖への避難が困難な地域では、陸上へ避難を検討する。

③ 沖へ避難した漁船等の船舶は、自己判断で避難を解除せず、津波警報、津波注意報が解除されるまで岸や港へ近づかず、避難海域で待機する。

④ 港内で作業中（係留中）に津波警報、津波注意報が発表された場合、直ちに陸上の避難場所へ避難する。

⑤ 港内泊地や港口部など漁港周辺を航行中の場合については、避難海域までの移動時間と帰港・係留作業に要する時間を比較検討し、陸上へ避難するか又は沖合へ避難するかを漁業地域防災協議会で事前に協議しておくことが重要である。



5.5.4.6 小型船舶の流出防止対策

小型船舶の避難にあたっては、地震・津波情報により船体の係留強化又は船体の流出防止対策を行う必要がある。（十分な時間的な余裕がある場合に限る。）

船長は、係留施設の津波対策の施設整備状況に応じて、平素より流出防止対策をとることが望ましい。

小型船舶の流出防止対策としては、以下の対策が考えられる。

- ✓ 陸上保管船舶の固縛
- ✓ 海上係留船舶の係留索の増し取り
- ✓ 浮桟橋への係留　（参照： 図 5.5.46）
- ✓ 他船との接舷係留
- ✓ 錨、沈錘による係留強化

（資料：海上保安庁）

図 5.5.46　浮桟橋

5.6 清水港において取るべき対応策

平成 24 年度、中央防災会議で検討された南海トラフ巨大地震の津波断層モデル 11 ケース（第1次報告)のうち、静岡市清水区で津波が最大となるケースを想定地震断層モデルとして設定し、清水港の津波シミュレーションを実施し、当該最大津波に対する各船型毎の避難措置について、東日本大震災の教訓も踏まえて検討を行った。

清水港においては、本検討が南海トラフ巨大地震に伴う最大級の津波に対する船舶避難計画の検討に活用されることが望まれる。

なお、船舶避難計画の検討にあたっては、港湾全体で検討される港湾 BCP における避難計画等と整合性のとれた対策であることが必要である。

5.6.1 事前の取り決め

地震・津波発生時に船舶の船長が適切な避難判断を行なえる様に、関係者において事前の取り決めが必要である。

(1) 避難経路と避難海域

津波シミュレーションによる津波の影響評価を行い避難経路、避難海域の検討を行うことが望ましい。

(2) 荷役・作業中止

気象庁が大津波警報、津波警報又は津波注意報を発表した場合は、船舶の船長は荷役・作業を中止することを港湾関係者で事前に取り決めを行うことが望ましい。

(3) 危険物積載船の措置

危険物積載船については、大量の危険物を積載していることから、地震・津波災害発生時の初動措置を迅速に実施することは極めて重要である。このため、危険物積載船の着桟する係留施設においては、事業者側が予めマニュアルを整備し定期的に訓練をすることが望ましい。

なお、大型危険物積載船については、緊急離桟における操船手法の検討を事前に検討しておくことが望ましい。

(4) 船舶避難における支援体制

船舶が緊急離桟等の避難判断をするにあたって、水先人、水先艇、タグボート及び係留索を取扱うラインマン等の支援が得られるか否かは重要な判断要素となるので、港湾関係者間での事前の取り決めを行っておくことが望ましい。

また、これらの関係者間の発災時の連絡体制及び避難を優先すべき船舶の取り決めも行っておくことが望ましい。

(5) 外国船舶に対する情報提供

外国船舶の船長が地震発生時の初動措置や津波来襲時の対策が的確に実施できるように、以下の事前情報をパンフレット等により周知徹底することが望ましい。

- ✓ 地震・津波情報等の入手手段
- ✓ ハザードマップ
- ✓ 港における初動措置、津波対応要領及び避難海域等の事前取り決め内容
- ✓ 港長勧告　　等

5.6.2 各船舶毎の対応策

清水港内における各船舶毎の想定地震・津波に対する対応策について、以下のとおり取りまとめる。

5.6.2.1 大型船舶、中型船舶（漁船を含む）の対応

(1) 地震発生時の初動措置

① 地震・津波情報の収集

船舶の船長は地震が発生した場合には、直ちに地震・津波情報の収集にあたる必要がある。地震・津波情報等の速報の入手は、以下の手段で入手可能である。

- ✓ 船舶設備：国際 VHF、NAVTEX　等
- ✓ その他　：携帯電話、業務用無線、ナウファス潮位実況　等

② 荷役・作業中止

港内で荷役・作業中の船舶の船長は、気象庁の大津波警報、津波警報又は津波注意報の情報を入手した場合は、荷役・作業を中止する必要がある。

③ 避難判断

船舶の津波に対する避難判断は、「船舶の避難海域又は避難岸壁までに要する時間」と「津波到達時間」とを比較し、避難の可否の判断をすることになる。

地震発生時の避難判断にあたっては、次の事項について、事前把握や発災時の情報収集により適切に行わなければならない。

ｲ) 緊急離桟に要する所要時間等の事前把握

- ✓ 荷役作業中止に要する時間
- ✓ 係留索解らんに要する時間
- ✓ 避難水域までに要する時間
- ✓ 水先人、タグの支援の可否
- ✓ ハザードマップ等による津波の影響

ﾛ) 地震・津波情報

- ✓ 地震の規模、震源地の把握
- ✓ 津波到達時刻の把握
- ✓ 港外避難船舶との通信による津波情報の把握
- ✓ ナウファス潮位実況情報による津波情報の把握

ﾊ) 港内航行安全情報

- ✓ 船舶間通信による他船の動静把握
- ✓ 航路障害物の把握

(2) 避難対応要領

清水港においては、想定地震発生直後に津波が来襲することから船舶の運航状況に応じて避難対応をすることとなる。以下に一般船舶の避難対応の要領と必要な措置を示す。

① 陸上避難

- ✓ 船舶に在船することが危険であると判断し、陸上の安全な場所に逃げる暇があると判断した場合は、燃料弁閉鎖、水密措置等の必要な措置を行い陸上に避難する。

② 係留避泊

- ✓ 避難判断において港外の避難海域等へ避難する暇がないと判断した場合には、係留強化を行い係留避泊する。
- ✓ 係留強化においては、津波の流向が岸壁法線に沿った流れとなる傾向があることから、特に船首尾のスプリング索の増し取りすることに考慮する。
- ✓ 主機関の起動及び投錨の準備をしておく。
- ✓ 喫水の深い船舶は引き波時の水深減少による座礁に留意する必要がある。
- ✓ 情報収集を行い港外避難に備える。
- ✓ 逃げ遅れた陸上作業員等の乗船避難について配慮する。

③ 緊急離桟

- ✓ 避難判断において港外避難又は港内投錨を判断した場合は緊急離桟する。
- ✓ 離桟操船においては以下に留意する。
  - ・津波の流向が岸壁法線に沿って流れとなる傾向がある。
  - ・自力離桟する場合はスプリング索によるキック操船が有効である。
  - ・大型船がキック操船により自力離桟する場合は、岸壁等の防舷物を損傷するおそれがある。

④ 港内避泊

- ✓ 避難判断において港内避泊を判断した場合は港内投錨し避泊する。
- ✓ 他や岸壁との衝突回避のために捨錨の準備を行う。
- ✓ 情報収集を行い港外避難に備える。
- ✓ 港内避泊においては以下に留意し避泊する。
  - ・主機関、舵及びスラスターを使用し津波に向首する。
  - ・錨鎖の伸長、2 錨泊により把駐力を確保する。
  - ・回頭の状況を把握しておき絡み錨解除に備える。
  - ・陸上物標のトランジットにより走錨監視を行う。
  - ・津波の水位変化、流況及び漂流物の監視を強化する。
  - ・岸壁の浸水や崩壊により岸線のレーダー反射不全となる場合がある。

⑤ 港外退避

- ✓ 避難判断において港外退避を判断した場合は港外の安全な海域に避難する。
- ✓ ハザードマップ等により避難経路及び避難海域を確認しておく。
- ✓ 港外退避に際しては以下に留意し応急操船を行う。
  - ・微速航行時では津波外力により船体制御不能となる。
  - ・津波外力が大きい港口付近を航行する際は、津波外力の小さい水域から最大速力により舵効きを維持して航行することで、津波の圧流影響を小さくできる。
  - ・引き波時に出港することで、圧流による減速、斜航の影響を小さくできる。
  - ・津波の水位変化、流況及び漂流物監視を強化する。

(3) 危険物積載船の避難対応

一般船舶の避難対応に加えて、以下の対応を迅速に行う。

① 危険物積載船の避難

- ✓ 緊急荷役停止や緊急離桟の緊急時対応について、迅速な措置を行う。
- ✓ 係留避泊する場合の係留索の増し取り、増し締め等の係留強化を迅速に行う。
- ✓ オイルフェンスが避難の障害とならないように収納を迅速に行う。

② 大型危険物積載船の避難

- ✓ 大型危険物積載船の荷役・作業中止、緊急離桟時の以下の措置を迅速に行う。
  - ・ESDS、ERS による荷役停止、荷役装置の緊急離脱
  - ・クイックリリースフックの遠隔操作による係留索の解らん
- ✓ メンブレン型 LNG 船の緊急離桟については、タンク内にある LNG の量によっては、スロッシングによるタンク損傷のリスクがあるので、船体動揺を可能な限り軽減させるよう操船するとともに、避難後は積付け許容範囲となるよう可能な範囲でカーゴシフトを行う。

5.6.2.2 大型船舶、中型船舶の避難対応要領

大型船舶及び中型船舶の避難対応要領フロー図を図 5.6.1に示す。

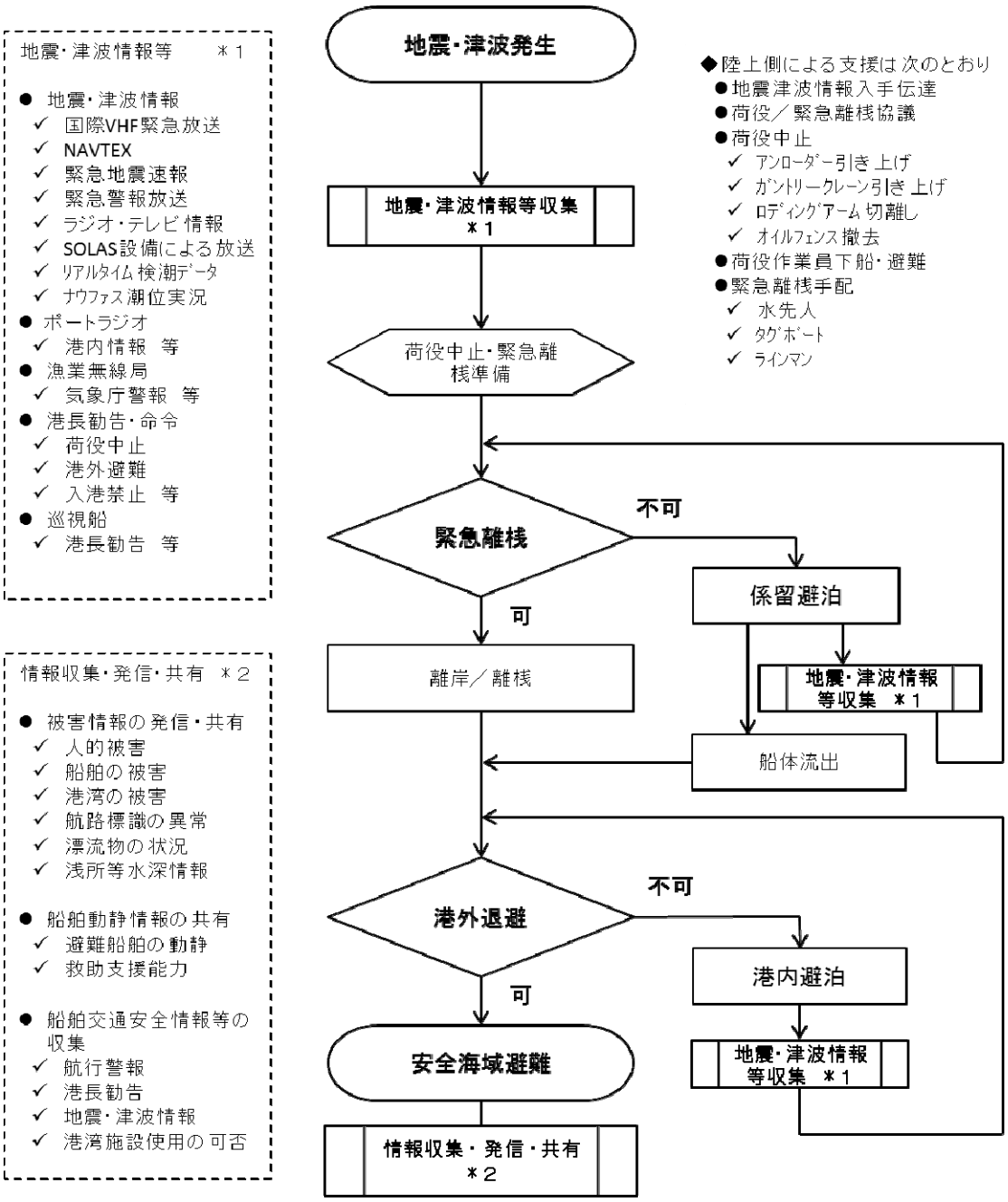


図 5.6.1　大型船舶及び中型船舶の避難対応要領フロー図

5.6.2.3 小型船舶の対応

小型船舶の対応は概ね以下のとおり。

(1) 事前対策

① 係留強化

小型船舶は、一般的に軽量であり乾舷も低いため、津波来襲時には、容易に漂流し浸水、転覆することとなる。このため、平素より係留保管、陸上保管する場合には、津波による流出等を最小限にとどめるため、係留を強化する必要がある。

対策は係留施設の流出対策の整備状況に併せて行う必要があるが、係留索の材質、本数、係留索の取り方など、独自で強化できるものは対策をとるべきである。

② 非常食等の備蓄

小型船舶が沖合に避難した場合、津波影響や漂流物等により長時間の沖合待機を強いられることになる。このため、通常時より非常食、飲料水、防寒具等を備蓄するとともに、携帯電話、ラジオ等を携帯することが望ましい。

(2) 地震発生時の初動措置

① 地震・津波情報の収集

地震が発生した場合には、地震、津波情報の収集にあたる必要がある。

小型船舶の場合は主に以下の手段で情報収集することが考えられる。

- ✓ マリンＶＨＦによる緊急放送の受信
- ✓ 漁業無線局との通信
- ✓ 巡視船、漁業指導船等との通信
- ✓ 携帯電話エリアメールによる緊急地震速報、津波警報の受信
- ✓ ラジオによる緊急放送受信

② 避難判断

- ✓ 避難判断

  津波到達時間に対して港外に避難する余裕がないことから、各係留施設から港外避難することは危険であり、陸上避難が望ましい。
- ✓ 港内航行船の対応

  岸壁付近を航行している場合は、直ちに着岸し陸上の高台に避難する。

  港口付近を航行している場合は、直ちに港外の安全な海域に避難する。

  港外に避難する時間的余裕がない場合は、港内避泊する。

(3) 避難対応要領

① 危険回避応急操船

- ✓ 陸上避難が困難となり港内航行中において津波の来襲を受けた場合は、港内の流速の弱い水域で船体制御する。
- ✓ 港口付近等で津波の来襲を受けた場合には、船体傾斜による転覆を避けるため

に、速力を調整し津波の来襲方向に船首を向け津波に対抗する。

② 留意事項。

- ✓ ハザードマップ等により港内の津波影響を把握しておき、検討された避難経路及び避難海域へ避難する。
- ✓ 津波の水位変化、流況、漂流物の監視を強化する。

5.6.3 津波来襲後の避難船舶の対応

津波来襲後、津波による被害を回避し港外等に避難した船舶は、港湾機能の損害、航路障害物による水路閉塞等により再入港が困難となるとともに、港外に流出した瓦礫や漂流物により沿岸の航行が危険な状況となる。

船舶は港外等への避難後の安全運航についても、適時に船舶交通安全情報等の情報を収集し安全運航に努める必要がある。

なお、避難に際して入手した港湾や沿岸部における人的、物的被害情報及び避難船舶動静等の情報は、発災時の災害応急対策に重要な情報となるほか、自船のみならず他船の避難行動や早期の運航再開に役立つものであるので、船舶は入手情報の関係機関への通報や船舶間での共有に努めることが望ましい。

これらの避難船舶が発信・共有すべき情報及び収集すべき情報と入手手段は、概ね以下のとおりである。

(1) 被害情報等の発信・共有

関係機関への通報又は船舶間で共有すべき被害情報等の情報は以下のとおり。

- ✓ 人的被害、船舶被害、港湾被害、航路標識の異常、浅所等水深情報
- ✓ 避難船舶の動静、自船の救助支援能力

5.6.3.2 新たな地震・津波情報

港外等へ避難した船舶であっても、引き続く余震や津波による被害を防ぐため、地震・津波情報の入手に努める。入手手段は以下のとおり。

- ✓ 国際 VHF による緊急放送
- ✓ NAVTEX による地震・津波情報
- ✓ 携帯電話及びインターネットによる地震・津波情報、潮位情報　等

5.6.3.3 港長等による勧告、航行規制情報

港長等が発出する緊急船舶以外の船舶に対する入出港自粛等の勧告や航行規制情報の入手に努める。入手手段は以下のとおり。

- ✓ AIS（船舶自動識別装置）による情報
- ✓ MICS（沿岸域情報提供システム）による情報
- ✓ ポートラジオによる情報
- ✓ 巡視船艇、航空機による情報　等

5.6.3.4 航路標識の異常、漂流物情報

灯台等の航路標識の異常や沿岸海域の漂流物等の船舶交通安全情報の入手に努める。入手手段は以下のとおり。

- ✓ NAVTEX 航行警報、地域航行警報及び日本航行警報

✓　インターネットによる航行警報情報（海保）　等

5.6.3.5 港湾施設の使用可否情報

使用可能な港湾・岸壁の情報、水路の啓開状況、港内水深情報等の情報の入手に努める。入手手段は以下のとおり。

✓　港湾管理者等が発表する港湾の復旧情報
✓　ポートラジオによる情報
✓　MICS（沿岸域情報提供システム）による情報

6　まとめ

本章は、平成 23 年度に日本海難防止協会が実施した「東日本大震災にかかるアンケート・ヒアリング調査」並びに平成 24 年度及び平成 25 年度に実施した「大地震及び大津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究」の検討結果の概要を取りまとめたものである。

平成 23 年度の調査は、専ら平成 23 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震が発生した際に影響のあった港に在泊していた船舶の乗組員やその港の関係団体・関係者を対象に実施し取りまとめた。

平成 24 年度の調査研究は、中央防災会議の調査結果及び前年の調査より得られた教訓や課題を整理して東日本大震災での被害状況の概要を把握すると共に、現状の津波対策・航行安全対策について収集・整理し、見直し・検討が必要な津波対策・航行安全対策の課題を抽出して考え方を整理した。併せて、清水港をモデル港として選定し、同港の現状の津波対策を調査すると共に、南海トラフ巨大地震津波断層モデルによる同港の津波シミュレーション影響調査を行い、同港で取り得る対応策について検討を行った。また、大型危険物積載船（VLCC、LNG）の津波による係留限界を調査するため、船体動揺シミュレーションによる津波影響評価を行った。

平成 25 年度においては、大型危険物積載船・一般船舶(3,000DWT、10,000DWT)についての係留・係駐限界を検討すると共に、仮想桟橋における大型危険物積載船の緊急離桟の操船シミュレーション、モデル港における津波シミュレーションの津波外力の中での大型コンテナ船の緊急離桟、貨物船（3,000 総トン、500 総トン）の出港局面の操船シミュレーションを行い、大型危険物積載船等の安全防災対策とモデル港における対応策について検討を行った。

本委員会での検討結果や基本的な考え、知見等については、(別冊)「港内津波対策の手引き」に反映させており、同手引きは、各港における津波対策策定や見直しに有益なものになる。

それぞれの対策における役割分担については、各港での津波対策の策定や見直しの際に、船舶津波対策協議会の場等において協議しておく必要がある。

(1) 電源及び通信手段の確保

停電時の緊急離桟に支障が無いよう荷役設備・係留設備の非常用電源等を整備しておくことが望まれる。

東日本大震災においては、地震による停電により荷役設備が停止し、荷役設備の切り離しができず緊急離桟の障害となる事例があった。ある船は、アンローダーが上がっていれば津波来襲まで 40 分程の余裕があり離桟することはできたが、電源喪失により何もできなかった。

また、非常用電源等が地上階等に設置されている場合は、津波による浸水で使用できなくなる可能性があり、階上に設置するなどの浸水対策をとることが望ましい。

通信インフラの障害時に備え、電話・FAX 以外の伝達手段の多重化を行っておくことが望まれる。

伝達手段の多重化として、衛星携帯電話や一部の事業者が利用している MCA 無線[注)] の整備が考えられるほか、港長からの避難勧告等の周知を、ポートラジオなどに依頼することも多重化の一つと思われる。

注）MCA 無線：複数の通信チャンネルを多数の利用者が共用する業務用移動通信システムで、市町村の防災行政無線の代通信システムとしての利用が認められている。通信エリアが沿岸海域に及んでおり船舶においても利用されている。

(2) 事前取り決め

① 避難勧告が伝達されない場合の事前取り決め

津波警報等が出された場合には、避難勧告が発令された場合と同様の行動をとるなどの事前取り決めが必要である。

東日本大震災においては、発信元の海上保安部が被災（停電・浸水等）し、代理店も停電により伝達手段（VHF、電話、FAX）が喪失・不通になり、津波情報、避難勧告が伝達されず、迅速・的確な対応がとれなかった事例があった。

② 船舶の避難判断等の事前取り決め

津波警報等が出された場合に、津波来襲時に船側がとるべき行動について、船長が適切な判断を行ない、迅速・的確な対応をとることができるよう、船舶避難方法決定プロセスや対応可能な支援等についての事前取り決めを行っておくことが望まれる。

東日本大震災においては、陸側の停電・通信混雑等により、荷主、船舶運航者及び代理店等と連絡がとれず、船舶としての全ての行動が船長一人の判断に委ねられる事例が多かった。

③ 船舶避難における支援体制の事前取り決め

船舶が緊急離桟等の避難判断をするにあたって、水先人、タグボート及び綱取り等の支援が得られるか否かは重要な判断要素となるので、関係者間での事前の取り決めを行っておくことが望ましい。

東日本大震災では、甚大な被害が発生した港湾においては、緊急離桟に際して、水先人、タグボート、綱取り等の支援が得られた事例はほとんど無かった。

④ 沖合避難に係る関係者の取り決め

緊急離桟して沖合避難する際には、港内が混雑することが予想されることから、避難に係る関係者の取り決めを検討しておく必要がある。

東日本大震災では、沖合に避難する際、防波堤入口に多くの船が一斉に出てきて混雑した。

また、水路が合流する部分で、双方から来る船舶同士が VHF により交信し、順次整列して避難することができた事例があった。

(3) 外国人船員に対する津波の概要等の啓蒙、情報の周知

外国人船員対する津波の概要やその対策について啓蒙をしておくことが大切である。

東日本大震災においては、外国人船員は何が起こり、何をしてよいか分か

らなかった。

外国人の船長が、地震発生時の初動措置や津波来襲時の対策が的確に実施できるように、予め、以下の事前情報をパンフレット等により幅広く周知徹底することが望ましい。

・寄港地周辺で想定される地震の情報（発生確率、大きさ等）
・地震・津波発生時の情報等の入手手段
・ハザードマップ
・港における初動措置、津波対応要領及び避難海域等の事前取り決め内容
・港長勧告　　等

(4) 安全な避難海域の情報の共有

予め船型毎に、津波の影響が少ない安全な避難エリアについての情報を共有しておくことが必要である。

津波シミュレーションを行い、沖合避難や待機する場合の海域の津波影響について船舶や関係者間で情報を共有しておくことが望まれる。

清水港における津波シミュレーションにおいては、概ね水深200ｍを超える沖合水域では、水位変動はあるが流速は0.5m/s(約１ﾉｯﾄ）以下であり、津波影響が小さいことが判明した。

(5) 係留限界及び係駐限界

モデル港（清水港）における津波シミュレーションの津波波形及び正弦波形による係留動揺シミュレーションにおいて、津波高さに対する係留限界は、VLCC 及び大型 LNG 船では概ね１～３ｍ程度まで、10,000DWT 及び 3,000DWT の船舶では概ね３～６ｍ程度であった。

清水港における津波シミュレーションの津波波形及び正弦波形（周期5分、10分及び15分）を用いて、津波高さと津波流速の組合せにより係留動揺シミュレーションを行い求めたところ、

(イ)津波高さに津波流速の影響が加わると、係留限界の津波高さは低くなる。
(ロ)周期が短い程、係留限界の値が小さくなり、津波高さのみならず急激な水位上昇が係留限界に影響していることが判明した。

VLCC 及び大型 LNG 船において、津波波形では船首尾方向 3m、正横方向１ｍで係留限界となり、正弦波形では周期5分で1m、周期10分で2m、周期15分で3mが係留限界となった。

10,000DWT 及び 3,000DWT において、津波波形では船首尾方向6ｍで係留限

界となり、正弦波形では、周期 5 分で 3m、周期 10 分、15 分で 6mが係留限界となった。

津波の周期は、一般に数分ないし数 10 分であり、通常、震源に近い程短く（水位上昇が急激になる）、これから遠ざかるにつれて長くなる（水位上昇が緩やかになる）傾向がある。

例えば、南海トラフによる地震津波の場合、三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）は、震源から遠くなり周期が長くなる（＝水位上昇が緩やかになる）ことから、係留限界が上記の値より大きくなると推測される。

また、本シミュレーションは通常の係留状態での係留限界を求めたものであるので、係留索の増し舫い、特にブレストライン、スプリングラインの増し取りや係留ドラムのブレーキの増し締めは、係留限界を高めるために効果が期待できる。

錨泊中の船舶が津波の来襲を受けた場合の係駐限界の流速は、概ね３ﾉｯﾄから 6 ﾉｯﾄ程度、振れ回りが 15 度とした場合では概ね２ﾉｯﾄから４ﾉｯﾄ程度であった。

JIS 型及び AC14 型錨での単錨泊、底質は泥及び砂とし、500DWT から 30 万 DWT までの船型により、水深を 15m（500DWT 及び 3,000DWT）、20m（1 万 DWT 及び 3 万 DWT）及び 30m（6 万 DWT、20 万 DWT 及び 30 万 DWT）、錨鎖伸出量は S（m）＝3D＋90（D は水深m）として計算した結果、上記の結果が得られた。

(6) 大型危険物積載船の緊急離桟の可能性

仮想桟橋からの大型危険物積載船（VLCC28 万 DWT 及び LNG 船 17 万 m3 級モス型）の緊急離桟シミュレーション（出船・入船、タグボートの有無、スラスターの有無等）を行ったところ、

タグボートが 1 隻あれば向岸風（5m/sec）での緊急離桟は可能である。

(イ)向岸風（5m/sec）、タグボートまたはスラスター無しで、船尾キックを利用した離桟方法では、桟橋はもとより船体の損傷の危険性があることから、自力による緊急離桟は困難であった。

(ロ)タグボートが 1 隻あれば、船尾側はキック操船、船首側はタグボートによる曳きとし、船舶の桟橋からの横移動が可能となり、防舷材及び船体を損傷させる可能性も少なくなり、また、回頭局面においても有効な支援力となった。

大型 LNG 船において、スラスターが装備されていれば向岸風（5m/sec）での緊急離桟は可能である。

(イ)LNG 船においては､スラスターが装備されていれば､船尾側はキック操船、船首側はバウスラスターによる離桟とし、船舶の桟橋からの横移動が可能となり、防舷材及び船体を損傷させる可能性も少なくなり、緊急離桟が可能となった。

(ロ) タグボート１隻とスラスターを併用した場合では、離桟局面での操船がより容易になるだけでなく、回頭局面においても、短時間で、より大きな回頭角速度を得ることができた。

(7) 荷役中止

気象庁の大津波警報、津波警報又は津波注意報の情報を入手した場合は荷役を中止する必要がある。

沿岸に近い場所で地震が発生した場合､気象庁が津波警報等を発表する前に沿岸に津波が来襲することがある。

強い地震（震度４程度）を感じた時や、弱い地震であっても長い時間ゆっくりとした揺れを感じた時は、情報収集等に努める必要がある。

(8) 避難（港外退避、港内避泊、係留避泊、陸上避難）のあり方

津波来襲までの時間と安全な水域までの避難に要する時間との関係から、港外退避、港内避泊、係留避泊、陸上避難等の取るべき方策を選択する。

東日本大震災においては、錨を使用した港内避泊については、津波来襲前にあらかじめ錨泊していた船舶は被害が少なかった。

係留強化し係留避泊する際は、係留索の増し取り、係留ドラムのブレーキの増し締めとともに主機関の起動及び投錨の準備をしておくこと。

大型船においては、緊急離桟に際し、タグボートまたはスラスターがない場合は、桟橋または船体を損傷することが考えられる。

(9) 大型危険物積載船の安全防災対策

① 桟橋管理者の対応

係留のあり方については、出船着桟の有効性を踏まえたうえで、バースの状況に応じ総合的に検討する必要がある。

緊急時において安全・迅速に離桟するためには出船着桟が有効であると考えられるが、個別のバースにおける着桟方式については、離桟所要時間のほか、通常の離着桟時における安全性や操船の難易性等も含め、総合的に検討のうえ決定する必要がある。

なお、入船着桟、出船着桟いずれの着桟であっても、安全かつ迅速に離桟するためには、タグボートの配備又はスラスター設備が有効である。

桟橋設備として、遠隔操作が可能なクイックリリースフック、ESDS、ERS の設置が望ましい。

(イ)クイックリリースフックについては、東日本大震災において、製油所の桟橋でタンカーの離桟作業を行っていた作業員が津波により被害に遭ったこと、また、作業員を確保できない場合もあることを踏まえ、できる限り、遠隔操作ができるものを設置することが望ましい。

(ロ)ESDS や ERS については、緊急離桟を迅速、かつ、容易に行うことを可能とする設備として有効であり、非常電源等と共に設置することが望ましい。

油タンカー等において荷役開始に先立ち展張されるオイルフェンスは、緊急離桟時の障害とならないように、速やかに収納できる体制等を整備等することが必要である。

また、オイルフェンスは、流出等により船舶交通の障害とならないよう措置しておく必要がある。

東日本大震災においては、油タンカーの緊急離桟に際しオイルフェンスの撤去を行う必要があったが、作業船が近づけなかったので、陸側から開放作業を行うもかなり難航した事例があった。

緊急荷役停止や緊急離桟の緊急時対応については、マニュアルを整備しておくとともに定期的に訓練を実施することが必要である。

机上訓練、立て付け訓練や通常の離桟出港の機会を捉え訓練を行うなど、船側と一体となって工夫して行うことにより実効が上がる。

② 船側の対応

物理的な障害や安全面での支障等により、緊急離桟ができない場合も考えられることから、係留避泊する場合における係留強化等の手順を、桟橋管理者と連携し、あらかじめ定めておく必要がある。

メンブレン型 LNG 船の緊急離桟においては、タンクレベルに関わらず離桟したうえで、津波や風浪・うねりに対しては動揺を極力軽減させるよう操船するとともに、積付け許容範囲となるよう可能な範囲でカーゴシフトを行うことが現実的な対応と考えられる。

メンブレン型 LNG 船は、タンク内にある LNG の量によっては、スロッシングによるタンク損傷リスクがある。スロッシングとは、航行中など、船体動揺等によりタンク内 LNG の動きと船体の運動が同調し、タンク壁を LNG が激しく打ちたたく現象である。

③ 支援体制

緊急時に備え、水先人の手配について、水先人会と事前に申合せを行っておくことが有効である。

水先人が手配できない場合の緊急離桟について、その手順について検討しておくとともに、桟橋管理者は船長と十分に協議しておく必要がある。

タグボートは、可能な限り平時と同等の勢力を確保することを目指す必要があり、船側と連携して事前に事業者等と申合せを行っておくことが有効である。

申合せは、津波来襲までの時間の余裕の多寡や予想される津波の高さに応じ、ケース分けして調整しておくと、現実に即した対応が可能となる。

（例）

- ○分以上の余裕があるときは○隻対応可
- 余裕○分以下、予想津波高さ○m 以下であるときは○隻対応可
- 余裕○分以下、予想津波高さ○m 以上であるときは対応不可

大型危険物積載船の荷役中に配備されている警戒船又は消防船が曳航能力を有する場合は、緊急離桟時に有効である

(10) モデル港（清水港）における緊急離桟

モデル港（清水港）の津波シミュレーションにおいて、津波の来襲中に緊急離桟、回頭及び出港の一連の操船を確実に行うことは困難であった。

モデル港（清水港）における津波シミュレーション結果による津波が来襲する中で、大型コンテナ船が緊急離桟する場合の離桟可能性、操船方法等について操船シミュレーションにより検討したところ、

(イ) 津波の流向が向岸流の場合は離桟が困難で、離岸流では離桟が可能であった。

(ロ) 船速があまり上がっていない状況下では、概ね 2 ﾉｯﾄ以上の津波流速により船体制御が困難となる可能性があり、ひとたび船体制御不能となった場合には、浅瀬への乗揚げや、岸壁、防波堤との衝突の危険性があった。

(ハ) 比較的流況が穏やかなところまで移動できれば回頭が容易となり、最大推力程度まで主機を使用して舵効きを確保したうえで安全な出港が可能となる場合があった。

(二) 離桟が可能となった場合は、港内投錨することも可能であった。予め、避泊可能な水域の選定や投錨準備をしておくことも必要である。

3,000 総トン型、500 総トン型貨物船が津波来襲時に港口を航過して港外に避難することは可能であった。

3,000 総トン型、500 総トン型貨物船が、港奥から航路帯に沿って、押し波、引き波及び大渦時に出港可能か、操船シミュレーションにより検討したところ、

(イ)最大推力程度まで主機を使用して舵効きを確保できれば、出港が可能であった。

(ロ)最大推力により引き波時に港口を航過する場合は、押し波及び大渦時の出港に比べて保針性がよく、また、斜航も小さく安定した航行が可能であった。

(11) 津波来襲後の情報提供等

洋上の避難船舶等に対して、港湾のインフラの使用可能状況や水路・水深など港内の状況及び沿岸海域の漂流物の状況について、分かり易い情報の提供が望まれる。

東日本大震災においては、代理店等が被災し、または停電等により、港湾のインフラの使用可能状況や水路の啓開など港内の状況、港内及び沿岸海域における漂流物の状況等の情報が全く入手できず、港に戻ってよいか判断に困った事例や、テレビの地上デジタル放送化に伴い、洋上で津波情報、被災情報等が入手できなかった事例が多くあった。

船舶の受信設備を改善するとともに、放送事業者等に受信範囲の拡大を要望していくことが必要である。また BS 放送の受信環境を整備することも有効である。

特に、洋上の避難船舶等への情報提供については、航行警報やインターネットが中心となるところ、外国船に対してこれらの情報が理解できるようにしておくことが必要である。

一方、洋上に避難した船舶は、付近海域の状況等についての情報を関係機関に通報するとともに、避難船舶同士において情報交換することも望まれる。

第Ⅲ編　議事概要

1　第１回委員会議事概要

１．日時：平成 25 年 6 月 18 日（火）14 時 00 分～15 時 40 分

２．場所：日本財団 2F　1～4 会議室

３．議題
（１）調査計画について
（２）平成 24 年度調査検討の概要について
（３）津波に対する係留限界及び係駐限界の検討について

４．出席者（順不同、敬称略）
（１）委員
今津隼馬（委員長）、渡邉豊、津金正典、佐竹健治、道田豊、田中隆博、山内章裕、楠元達也、大西正則、齊藤廣志、稲垣拡夫、小島茂、岡野良成（代理 松村泰材）、立川博行、木上正士、齋田泰志、木本弘之、中村容透、河原健、濵田高志、田和健次、岩田誠一、土井純二、田中浩介、櫻井洋
（２）関係官庁
木島利通、芳鐘功（代理 笠井良真）、黒川和浩、長谷川洋平、七尾英弘（代理 石上幾久夫）、楠勝浩、鈴木弘二（代理 冨田英利）、豊藏俊雄、加賀谷俊和（代理 山田誠）、花村幸宏、長谷川秀巳、西園勝秀（代理 小川孝）
（３）事務局
渡部典正、小川泰治、大内勝美、畑瀬崇順、甲斐文雄、中嶋雄一、土田英幸、山口繁、吉村杏奈、白井友子

５．配布資料：
（１）委員会資料　TNAV25-1-1 調査計画書（案）
（２）委員会資料　TNAV25-1-2 平成 24 年度調査検討の概要
（３）委員会資料　TNAV25-1-3 津波に対する係留限界検討及び係駐限界検討の実施方案
参考資料１　委員名簿
参考資料２　平成 15 年度　津波が予想される場合の船舶安全確保に関する調査研究報告書（抜粋版）

６．開会等
（１）挨拶
（公社）日本海難防止協会 専務理事から開会の挨拶があった。

（２）委員等の紹介

参考資料１　委員名簿に基づき、委員、関係官庁からの出席者が紹介された。

（３）委員長の選出

本年度委員会の委員長として東京海洋大学 今津名誉教授が選出された。以後、今津委員長により議事が進行された。

７．議事概要

（１）調査計画について

資料 TNAV25-1-1 調査計画書（案）に基づき、事務局から説明され、承認された。

（２）平成 24 年度調査検討の概要について

TNAV25-1-2 平成 24 年度調査検討の概要に基づき、平成 24 年度調査検討の概要について事務局が説明を行い、承認された。

質疑応答の内容は以下のとおりである。

【今津委員長】

清水の例を見ていると、独特の部分があるため、港ごとで検討する際は当てはめ方についても検討する必要があると思う。本委員会では、他港に当てはめるのに使い勝手の良いものを作るのが重要である。

【土井委員】

今回の係留限界の評価は、清水港での仮想桟橋をモデルにして評価しているが、実際には波の形や上昇・下降速度によっても結果は大きく変わってくるため、今年度さらに深掘りして細かく評価する意味が果たしてあるのか疑問に思っている。今回の仮想条件の結果をどうやって活用するのか？一般化するのは難しいのではないかと感じる。

【今津委員長】

土井委員の質問は次の議題の内容と重なる部分があるので、議題（３）の内容を踏まえて事務局に説明をお願いすることとしたい。

（３）津波に対する係留限界及び係駐限界の検討について

資料 TNAV25-1-3 津波に対する係留限界検討及び係駐限界検討の実施方案に基づき、事務局から説明され、以下の質疑応答の内容を踏まえ、承認された。

質疑応答の内容は以下のとおりである。

【土井委員】

本検討は、最終的には一般化された絶対値の議論になるのか、それとも傾向の分析になるのか。

【事務局】

全ての港に適用可能なシミュレーションを行うのが理想だが、外力条件（津波高さ、津波流速）が港ごとに異なるため、一般化された絶対値を導く事は困難である。今回は、

船側の視点に立って、ある仮想条件（津波外力・対象桟橋・対象船舶）の下に算出された係留限界の傾向を分析するものである。ただし、この傾向は、ある程度の目安となり、今後の係留の安全対策を検討する上での基礎資料になると考える。

【土井委員】

一般化された絶対値の話になると、数字が一人歩きしてしまいかねないので、情報の取り扱いには注意して頂きたい。

【土井委員】

錨泊の係駐限界について、対象船舶を 6 船型に選定しているが、VLCC、LNG 船など船種の設定はあるのか。

【事務局】

選定した対象船舶は、ある特定の船種（危険物積載船の VLCC、LNG 船等）にこだわったものではなく、世界で広く運航されている船舶の安全指針となりうるような基礎資料を目指しており、なるべく一般的な船舶（貨物船）の値を意識して設定した。

【田中（隆）委員】

19ｐの錨鎖の長さについて、正しくは、s＝4H+145 で計算した値になっているのではないか。参考では 3H+90 と書いてある。

【事務局】

錨鎖の長さについては、通常時の投錨ではｓ＝3H+90 の値が使われるが、荒天時などでは s＝4H+145 の値が使われる。ご指摘の点は、単純な記載ミスである。今回は、津波来襲時（緊急時）を想定しており、予め荒天が予想される時のように余裕を持って周辺の船舶に配慮しながら投錨（荒天時投錨）する状況とは異なるものと考える。今回の設定は、想定される状況のうち、より危険サイド（より係駐力の弱い）に立った条件を考えているので、s＝3H+90 の値を選定することとしたい。

【田中（隆）委員】

17ｐ1.6 の 3 行目に津波高さは考慮しないと書いてあるが、考慮できるのではないか？例えば 3H+90 としたところに、5ｍの津波が来た場合だと、若干係駐力が減衰するということになる。そういう変動部分を考慮することはできないのか？

【事務局】

今回は津波の流速に対する係駐限界（目安）を求めるためのものであるが、数式上の工夫は出来ると思う。津波の高さが影響をあたえるのか、流速が影響与えるのかについての厳密な検討を追加で行う必要があるか、また、計算条件として、投じた錨鎖の長さに予め津波の高さ分を含めるのか又は錨鎖の長さに津波分の高さを加えるのか、委員の皆様のご意見を伺いたい。

【田中（隆）委員】

おそらく先ほどの説明を聞いていると、定常の状態で錨泊していて、そこに津波がくるという設定ということだが、錨鎖の長さは通常時のものに設定し、そこに津波の高さを含めた評価を行うという形で整理してはどうか。

【事務局】

田中委員の意見を踏まえて、ご指摘の様にしたい。

【櫻井委員】

錨鎖の長さに関連して、先般の大地震の際の十数隻の錨泊状況の検証を実施したところ、実際に押し寄せた津波とその後のデータを AIS 情報から解析した結果、概ねLOA+6ｄ（ｄ:水深）という半径の中で振れ回っていたということが実態として判明した。s＝3H+90 のみによって計算するのではなく、LOA+6ｄの二種類の数式を用いることを検討されてはいかがか。

【今津委員長】

津波が来るとわかっていた時、錨鎖を伸ばしておいたほうが効果かどうかについても調べる必要がある。錨鎖が長い時、短い時の数値も出して頂きたい。

【事務局】

櫻井委員の提案に沿って、二通りの式で計算を行うこととしたい。

【中村委員】

従来の船体動揺シミュレーションでは潮流も評価するが、従来係留索にかかる力は風速を基準に計算しているはずである。しかし、津波の影響についてはこれまで検証された例はない。台風などの風力に対しては、ウィンチを6割8割で止めておこうというのは人間が学び取ってきた知識だが、津波に対しては、許容値を上げてもいいのではないか。

小さな波でも船体が同調すれば、係留索が切れることがありうる。同調しなかった場合では、ロープに荷重がかからないこととなるが、そのあたりをどう計算し、結果としてどう使っていくかということを予め考えておいたほうがいいのでは。流速で切れるのか、若しくは波高で切れるのか、ということがわかるような結果の表し方を考えておく必要がある。

【今津委員長】

アイデアは理解が出来るが、具体的な方法はあるのか。

【中村委員】

波高ならば波高、流速ならば流速で計算し、また二つを合わせたシミュレーションを行なってそれぞれの結果を比較することでできるのではないか。

【津金委員】

係留動揺シミュレーションについて、どの外力がどれだけ影響を与えるのかがわかるように、外力を仕分けして計算したほうが良いのではないか。実際にシミュレーションをする時に、実際に乗り上げてしまうのか着底するのかは天端高と水面がどこにあるのかということによって決まる。水深が 10ｍとなっているが、天端高が 1ｍしかない状態でシミュレーションをやるのかどうかなどを明確にする必要がある。

さらに、錨泊限界の検討では、ふれ回りによる衝撃力を追加することも必要なので

はないか。1ｐの運動方程式で遠心力や推進力が示されているが、本委員会では船が動き出した時にエンジンを使った場合はどうなるのかということまでは検討を行わないのではないか。

【今津委員長】

提案として、外力を分割して計算出来ないかということが挙げられた。しかし、分割したことによって、合成ができなくなるのも困る。外力を分割して出した場合は、それらを合成する作業も必要となる。

【事務局】

この動揺シミュレーションは、波の成分を 200 くらいに分けたものを合成し、流向と流れを別の力として計算して波を作っている。したがって、流向と流速を 0 にすれば 200 程度の成分をあわせた波だけの力、潮位変動が結果として出てくる。したがって、中村委員が指摘したような流れが主体なのか、波浪強制力が主体なのかということは、流れが 0 の状態でシミュレーションすれば、潮位変動による力がどのくらいかということがわかる。そして、それに流れを加えて結果を見るということができる。一般的に言えば、流れが船首方向にくれば大きな影響はないが、横方向に流れがあると係留索に力がかかってくる。それから、ブレーキ力については、係留索が一回でもスラックする（ゆるむ）と、船が安全に係留できなくなる。それ故、係留限界はブレーキ力に相当する破断張力の 6～8 割ということになる。

潮位変動が地域によって違えば、係留限界も異なるということは理解できるが、今回は清水港における津波波形をモデルとして例示的な検討を行い、その結果から一般論として津波対策に資するような検証を行いたい。各委員のご意見を踏まえて事務局サイドで計算するようにしたい。

【今津委員長】

シミュレーションの出力の仕方には工夫して貰いたい。また、この委員会では、検討に資する材料を提出するようにして検討して貰いたい。

【小島委員】

アンカーについて、通常の把駐力だけでなく、アンカーがひっくり返った場合の逆の把駐力についても検討して貰いたい。

【今津委員長】

ありとあらゆるケースに対応できるわけでなく、限界があるということを念頭におかなければならない。アンカーがひっくり返るということは、また別のパターンとして考えたほうが良いのではないか。

【津金委員】

振れ回りについては、どの程度反転の危険性があるのか既往データ等からを検討すべきではないか。

【今津委員長】

事務局は、本件に関連する資料を集めること。その上で対応を考えることとしたい。

【事務局】

了解した。

【渡邉委員】

参考情報として、三陸の被災地で得た情報をお知らせしたい。三陸では水深がかなり深い所でも、第一波の状態で水底はかき乱れた状態だったという証言が地元から出ている。テレビ等の報道でも第一波で黒い波が来襲したことが確認できるが、これは、水底が乱れていたためと考えられる。つまり、海底に渦のような強い流れが起こった時に、p1 の式が成り立たなくなる可能性がある。誤差のないシミュレーションがないことは理解しているが、できるだけ津波の実態に近付けたシミュレーションとなるよう努めて頂きたい。

そして、この委員会の最終目的を確認したい。船舶の航行のためにというのは理解できるが、例えば危険物積載船、特に大型船の場合で本船の被災が避けられない場合に、船体の安全よりも、いかに漏洩を少なくするのかという減災の観点が重要なのではないか。

【今津委員長】

考慮できることもできないことも含めて、事務局にはデータの収集に努めて頂きたい。その上で渡邉委員が指摘したような対策が取れるかどうか、取れない場合には、個々の港で対策を検討してもらうということで対応することとしたい。現在はモデルがないため、十分な指標が作れるかどうかは現時点ではわからないが、ある程度の指標を出すための努力は行っているので、何らかの形で対応することが不可能ではないと考える。

【田和委員】

係留と係駐で検討する船舶の船型に方向性の違いを感じる。危険物船はバースにずっとくっついているというわけではないので、実際に津波警報が出た時に、津波警報が出た場合に錨をおろすということもありうるということを考えると、船型が揃っていないことに違和感を覚える。船型の設定の考え方をお聞かせ頂きたい。

【今津委員長】

係留と係駐で比較するためにも揃えておいたほうが良いのではないか。

【事務局】

委員長の仰るように実施したい。

【今津委員長】

今年度、検討を行っていく上で、事務局に検討の資料となるデータを提出してもらいたい。その際に、波の高さや速さの設定には組み合わせ方を検討して貰いたい。そして、シミュレーションを実施する際には、船型を揃えて頂きたいということと、係駐についていえば、実際の海域である程度のデータがあるということなので、そういったデータから係駐にどういった傾向があるのかということを踏まえて計算して頂きたい。

8．その他

第 2 回委員会は、2014 年 9 月 12 日、14:00 から日本財団ビル 2F にて開催する予定。

以　上

2　第２回委員会議事概要

１．日時：平成 25 年 9 月 12 日（木）14 時 00 分～16 時 40 分

２．場所：日本財団 2F　第 1～4 会議室

３．議題
（１）津波に対する係留限界検討結果
（２）津波に対する係駐限界検討結果
（３）津波に対する緊急離桟操船検討
（４）大型危険物積載船等の安全防災対策

４．出席者（順不同、敬称略）
（１）委員
今津隼馬（委員長）、津金正典、佐竹健治、道田豊、田中隆博、富田孝史、
山内章裕、楠元達也、齊藤廣志、加藤勝則、小島茂、岡野良成（代理 江森慎太郎）、
立川博行（代理 浦隆幸）、木上正士、齋田泰志、木本弘之、中村容透、田和健次、
岩田誠一、土井純二、田中浩介、櫻井洋
（２）関係官庁
加藤光一（代理 金子純蔵）、黒川和浩、長谷川洋平、森宏之（代理 石上幾久夫）、
楠勝浩（笹原昇）、住本靖（代理 赤松宏樹）、豊藏俊雄、加賀谷俊和（代理 山田
誠）、花村幸宏、長谷川秀巳、西園勝秀（代理 小川孝）
（３）その他協力者、関係者
檜垣　漸
（４）事務局
渡部典正、小川泰治、大内勝美、畑瀬崇順、中嶋雄一、土田英幸、山口繁、
白井友子

５．配布資料：
（１）委員会資料　TNAV-2-1 津波に対する係留限界検討結果
（２）委員会資料　TNAV-2-2 津波に対する係駐限界検討結果
（３）委員会資料　TNAV-2-3 津波に対する緊急離桟操船検討
（４）委員会資料　TNAV-2-4 大型危険物積載船等の安全防災対策

6．開会等

（1）挨拶

（公社）日本海難防止協会 専務理事から昨年度の報告書の訂正についてお詫びの挨拶があった。

（2）配布資料の確認

議事に先立ち、事務局が配布資料の確認を行った。

（3）議事概要（案）の承認

平成 25 年度 津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究委員会 第 1 回委員会 議事概要（案）について、特段の質疑なく、承認された。

7．議事概要

（1）津波に対する係留限界検討結果について

資料 TNAV-2-1 津波に対する係留限界検討結果に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【富田委員】

係留中に船舶が水平方向に 3.0m 動くと、係留索が切れるということであるが、鉛直方向に動いたとしても切れるのか。

【事務局】

本資料においては水平方向の船体動揺量（Sway,Surge）のみを例として記載しているが、鉛直方向の船体動揺量（Heave）も含めて評価した結果である。当然、船体が鉛直方向に動き、係留索の破断張力を超えれば切れる。

【富田委員】

例えば津波高さ 6mの波が来た場合、水位上昇により船体も上昇し、係留索が切れてしまうのではないかと考えているがいかがか。

【事務局】

同じ津波の高さでも徐々に水位が変化していく場合と、急激に水位が変化する場合で評価が変わる。単位時間あたりの水位変化量によって係留索が破断する津波高さは異なるため、単純に津波高さだけが係留限界に影響を与えているわけではないことがわかった。

【富田委員】

そういうことであれば、船体の持つ固有周期などは検討されているのか。

【事務局】

検討している。例えば VLCC の船体動揺量（P.23 図 1.4.5）と LNG 船の船体動揺量（P.31 図 1.4.13）を比較すると、津波外力の設定条件は異なるが、LNG 船より VLCC の方がゆっくりとした周期で動揺していることがわかる。VLCC の排水量は LNG 船の 2 倍以上あり、船の長さなどからも、VLCC の方が固有周期が長い。

外力の周期に対してLNG船の方が比較的同調しやすい傾向が表れている。

【富田委員】

津波の高さではなく、動揺に対しては固有周期の影響を考えなければならないということであるが、鉛直方向の動揺だけで考えた場合は全体の津波高さが重要となるのではないか。

【事務局】

係留索（ブレストライン）の長さが十分に長くとれていない3,000DWT一般船舶の結果と十分にとれているVLCCの結果を比較すると､係留索の長さが十分あれば、鉛直方向の動揺を吸収しやすいことがわかる。係留索の取り方によってもHeaveへの影響は異なる。200 ぐらいの周波数成分にわけて、どの周波数成分が大きな影響を与えるのか別途検討している。周期の長い波ほど大型の船に影響を与えやすいことがわかっている。本検討では10分かけて何メートル水位が変化するといった、潮位変動のような外力を与えているが、ご指摘の通り単純に津波高さだけではなく、波の周期が係留限界に与える影響も大きい。

【土井委員】

P.33,34のLNG船の係留動揺シミュレーション結果を見ると、波高1.0m流速5ノットが限界となっているが、このような外力は現実に起こり得るのか。また、昨年度の計算結果では波高2.5m流速3.3ノットが係留限界であったが、今回の結果との整合性を伺いたい。

【事務局】

津波高さと流速の組み合わせが物理的に正しいかということではなく、仮にそのような外力がある場合を想定して、津波高さと流速のどちらが船舶の係留状態に影響を与えているのか明らかにすることを目的としている。昨年度の津波外力設定は清水港をモデルにしており、例えば津波高さが2倍になれば、流速も2倍になるように設定しており、つまり、位置エネルギーが2倍になれば、運動エネルギーも2倍になるというような理論で係数を与えた。今年度は津波高さと流速の組合せを増やし、仮の外力として与えることで、大まかな傾向を把握できるような津波外力を設定した。

なお、昨年度は、小数点以下の外力条件（津波高さcm単位まで、流速0.1ノット単位まで）で設定して求めた係留限界であるが、今年度は組合せ数が多いので、外力条件は整数値までとして求めている。有効桁数に違いがあるものの、係留限界の傾向に整合性はある。

【土井委員】

係留限界の結果をシミュレーション前半部分（水位変動の大きい）と後半部分（水位変動の小さい）にわけて示しているが、昨年度は例えばどちらの津波外力を設定したのか。

【事務局】

昨年度は前半、後半にわけて結果をまとめていないだけであり、前半と後半の全ての波についてシミュレーションを行っている。評価が厳しい部分は今年度と同様、前半部分の波である。

【土井委員】

最も厳しい波で評価されているということか。

【事務局】

厳しい部分で評価している。

【津金委員】

P.59 に「今回の係留動揺シミュレーションでは、モリソンの式を用いて…」とあるが、P.2 に記載されているように、津波の流速に対する船体の流圧力に対してのみモリソン式を用いている。「流圧力についてはモリソン式を用いて…」という表現にしていただきたい。モリソン式を波力として取り入れるためには、慣性力も考慮しなければならない。実際ここで行っているシミュレーションは、速度ポテンシャルから船体にどれだけの波力がかかるかということをフルードクリロフ力とディフラクション流体力、ラディエイション流体力で算出しているので修正していただきたい。

固有周期のことであるが、係留索の本数や取り方、材質によって変化する。波形データをスペクトル解析して、成分波についてそれぞれ評価し、大型船は 1 分ぐらいのゆっくりとした固有周期をもっているため、Surge は固有周期に近い周波数成分のときに大きくなる傾向がある。

【事務局】

P.59 の表現を訂正させていただく。

【今津委員長】

本研究では清水港をモデルとしているが、他の港での傾向もつかめるように正弦波を津波波形モデルとしたシミュレーションを行っている。

【土井委員】

正弦波の波形設定で、津波周期を 10 分（600 秒）としている理由を伺いたい。

【事務局】

平成 15 年度「津波が予想される場合の船舶安全確保に関する調査研究報告書」（社団法人 日本海難防止協会）の P.52 を参考にしている。過年度との整合性も加味して周期を設定したが、案に過ぎない値である。

【津金委員】

東海地震を想定した過年度のシミュレーションでは、津波周期 10 分程度の波が卓越していたため、この数値を導入した。今年度は南海トラフ地震を想定しており、P.18 の図 1.3.18 には 30 分程度、15 分程度の周期が見られため、これらに追加す

る意味もあり、10 分の周期を設定したということであるか。

【事務局】

昭和 56 年の調査研究では、東海地震の津波周期は 10～20 分程度とみられていたため、津波周期 10 分という条件で平成 15 年にシミュレーションを行った。最近の気象庁のデータによると東海地震の津波周期は 5～10 分、他の地震でも数 10 分程度と考えられており、まずは 10 分から解析を行った。

【今津委員長】

今、事務局では津波周期を 10 分としているが、ご意見があれば事後の検討に反映していただこうと思う。

【道田委員】

何かを想定しなければ計算できないため、妥当ではないかと思うが、係留限界は固有周期とも関係がある。それをどのように正弦波でのシミュレーションに加味するのか。正弦波を用いてシミュレーション実験をすることで参考になる情報は得られると思うが、固有周期で係留限界が決まってしまうのであればもう少し工夫が必要である。

【事務局】

正弦波でシミュレーションを行えば、厳しい結果が出ることが予想される。理由は、波力が大きくなるためである。南海トラフ地震等で想定される津波データは様々な周波数成分の波を合成しており、これをベースに津波波高 1m や 3m といった係留限界を算出している。この結果を得たことで、当初の目的はある程度達成できていると思う。過年度に検討していた経緯もあり、正弦波でも検証してみようと考えた。固有周期の問題もあるが、正弦波の波形設定の組合せを無制限に増やすことはできない。様々な周波数成分の波を合成している清水港の結果は一般解に近いと考えられる。正弦波の結果と清水港の結果では似たような傾向が見られており、比較検討に用いることはできるだろう。そのため、もう少し正弦波の外力設定の組合せを増やして検討したいと考えている。

【中村委員】

津波周期や、対象船型の選択は非常に良い。全国各港で地形は異なり、津波の高さや周期もそれぞれ違う。津波周期の設定を 5,10,15 分などに増やしていただきたい。また、係留限界が船舶の固有周期に依存することは今回よくわかったので、大中小３つぐらいに船舶の大きさを区分けしてシミュレーションケースを設定してはいかがか。例えば、大きな船は周期 15 分で船体動揺が大きく、係留限界に達し、中型の船舶は 10 分、小型の船舶は 5 分などの傾向がみられると良いと思う。その結果をもとに、自船はどういう周期の津波に注意しなければならないのか、また、その周期の津波が多く観測されている港はどこかなど、運航者がそれぞれ考えることができると望ましい。

【事務局】
今のご意見を踏まえて、正弦波を用いたシミュレーションについては船の大きさと津波周期の組合せを増やすことを検討したい。
【富田委員】
津波外力設定について、津波流速は一定値を用いているということか。
【事務局】
清水港をモデル港とした今回のシミュレーションでは、流向流速は一定値でなく時々刻々変化する設定であり、その最大値を津波の外力条件として記載した。正弦波を用いたシミュレーションについては現実にはないかもしれないが、流向流速を一定値としている。
【富田委員】
正弦波を用いたシミュレーションについて、流圧力も振動させなければ、船体固有周期への影響がわからないため、過少評価になってしまうのではないかと懸念している。
【事務局】
P.57,58 からもわかるように、船体の動揺量は流速や水位変化量にもよる。そのため、流速や流向を動的ではなく静的な一定値で入力することで過小評価になることも考えられるが、単純な外力条件での結果としては有効なデータであろうと考えている。
【今津委員長】
正弦波形よりいいモデルがあればご意見をいただきたい。
【富田委員】
進行波などが数式で示されているがいかがか。
【事務局】
そういう設定にすると、清水港をモデル港としたシミュレーションに近づいていくのではないかと思う。

【中村委員】
P.25,26 の表について、例えばケース 16～20 の船尾スプリングライン（Line11）の係留索張力を見ると、流速が 1 ノットから 5 ノットに増加しているにもかかわらず、張力は 802 という値に変化がみられない。こういった結果が他にもいくつかある。つまり、流速が変わったとしても係留索にかかる張力は変化しないということか。
【事務局】
P.57,58 を見るとわかりやすいが、この例は津波流速 3 ノットであるが、図 1.5.2 に示すように時々刻々と流向流速は変化する設定である。Surge の動揺量が大きくなっている部分を赤い円で囲んでいるが、その時に必ず津波流速が大きいわけではない。また、青い円で囲んでいる部分が最大流速の 3 ノットになっている時間であるが、その時も Surge の動揺量は少なくなっている。

【中村委員】
流速が張力に与える効果がほとんどないということが明らかになったことはすばらしい成果である。
【事務局】
P.57,58 の左半分は船尾方向からの津波であるが、右半分は左舷方向からの津波の解析結果である。左舷方向からの津波についても、Sway 方向の動揺量が大きくなっている部分を赤い円で囲んでいるが、この時の流速を見ると最大流速ではないが、大きい値になっている。そのため船の横方向からの津波を想定した場合、流速の影響があるということがわかる。
【中村委員】
それをわかりやすく結論に書いていただきたい。
【事務局】
まとめさせていただく。正弦波の津波モデルは現実に則していないかもしれないが、清水港をモデル港とした津波モデルとの比較の一つに用いたい。
【富田委員】
今の説明で意図が良くわかったので、解析していただきたい。

【海上保安庁 海洋情報部 海洋調査課海洋防災調査室】
モデル港となっている清水港以外の港でも参考にできるようにまとめていただきたい。また、運用者にもわかりやすく、各船長の判断基準となるようにしていただきたい。
【事務局】
今回､波高や流速だけでなく水位の変化率も重要であることがわかってきたので、できる限りわかりやすく一般化できるよう、追加検討し取り纏めさせていただく。

【津金委員】
各ケースの流速を最大値で記載しているがこれを 3 分の 1 の有義値に変更していただきたい。
【小島委員】
P.56～58 のまとめからもわかってきたが、仙台では東日本大震災の時に水位が上昇した後に、船体が動揺したということがあった。バースごとに船の係留している向きなどは異なる。港内で最も津波の影響を受けるところに焦点をあてながら、検討していただきたい。
【今津委員長】
清水港をモデルとしながら、できる限り一般化できるような実験、解析を行いたいということで、外力条件の組合せはほとんど無限大に考えられる。大雑把かもしれないがいくつかの組合せを行い、ある程度清水港の結果と近似できるのであれば、この正弦波を用いた結果から指標となるものを検討していきたい。この指標をもとに、各港で津波の影響を検討していただきたい。

（２）津波に対する係駐限界検討結果について

資料 TNAV-2-2 津波に対する係駐限界検討結果に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【田中（隆）委員】

P.11,12 について、最大何ノットまでは耐えられるというような、具体的な目標値を設定してまとめてはいかがか。P.12 では「錨鎖長を可能な限り伸出して…」と抽象的な表現で書かれており、具体的にどこまで伸ばせば耐えうるのかという観点でまとめていただきたい。また、検討項目 2 では係駐限界流速を算出しているが、この時も P.14 の図 1.5.2 と同様、カテナリー部のみで係駐部の無い状態で算出しているのか。

【事務局】

検討項目 2 は、基本的には操船通論の算定式にもとづいて係駐限界を算出している。流速が増すと、錨から離れる方向に船体が移動し、錨鎖が張ってくるため、海底に横たわる錨鎖長が短くなり、投錨ポイントを中心とした泊地半径が最大となる。今回、この時の錨鎖長を与条件としているが、操船通論の算定式に則っているため、係駐限界時には錨鎖が海底に横たわっている係駐部が全くなくなるわけではない。少なくとも D（水深）～2D 程度は横たわった状態である。

【田中（隆）委員】

錨鎖を伸ばせば、係駐限界流速が 3 ノットではなくもう少し大きくなるということか。

【事務局】

係駐部の摩擦力により生じる錨鎖の把駐力は、錨の把駐力と比べると小さなものなので、極端に係駐限界流速が変化するとは考えられない。

【田中（隆）委員】

係駐限界流速が想定される最大流速である 3.5 ノット程度になるような数字を示せるよう、錨鎖長が長いケースについても算出してはいかがか。

【今津委員長】

錨鎖を伸ばせば、どれだけ係駐力が増すのかということである。錨鎖と錨の把駐力をわけて示すことはできるか。

【事務局】

与条件としての錨鎖長と、算出された限界把駐力が分かれば、その内、海底にどれぐらいの錨鎖が横たわっていたのかということは逆算すれば求められ、錨鎖分の把駐力は分かり、残りの錨の部分も分かると思う。

【今津委員長】

錨鎖を長くした場合のケースも比較のため、計算していただきたい。

【事務局】

錨鎖の伸出量はどのような条件がよいかご意見をいただきたい。例えば、非常時には周囲の船舶との距離なども考慮しながら錨鎖伸出量を決定しなければならない。

【今津委員長】

現在、錨鎖伸出量を 3D（水深）＋90 メートルとしているのであれば、その何倍というような数値でいかがか。

【事務局】

荒天時の一般的な錨鎖伸出量である 4D＋145 メートルを追加させていただく。

【津金委員】

東京湾などでは錨泊隻数の問題もあり、錨鎖を長くすることで泊地規模も大きくなるため、そういったことも別に考慮していただきたい。

【今津委員長】

有効な海域を一隻が占める割合は錨鎖を伸ばすほど広がるため、それについても考える必要はあるが、対策を纏めるときに考えることとしたい。錨鎖の長さがどの程度係駐限界流速に影響するのか把握するために、荒天時（4D＋145 メートル）と通常時（3D＋90 メートル）の両方の結果を次回までにまとめていただきたい。

【小島委員】

一度数値として係駐限界流速を示すことはいいことであると思う。津波の大きさや港の地形によっても変化するが、どれぐらいの津波流速が考えられるか。また、実際は流速に応じて錨鎖伸出量を決めるのではなく、主に風速や喫水を考慮して錨鎖伸出量を決めていくことになる。

【今津委員長】

資料 TNAV-2-1 の P.21 に清水港の試算は 3 ノットとしているが、南海トラフ地震を想定した清水港での津波モデルは最大津波流速 3 ノットであったか。

【事務局】

港内泊地の津波流速は 2～5 ノット程度である。

【今津委員長】

その辺りが指標ではないか。そういった指標についても記述していただきたい。

（3）津波に対する緊急離桟操船検討について

資料 TNAV-2-3 津波に対する緊急離桟操船検討に基づき、事務局から説明され、以下の質疑応答の内容を踏まえ、承認された。

質疑応答の内容は以下のとおりである。

【楠元委員】

1.2.3 外力条件について、外力条件は設定しないということであるが、風の方向や

風圧面積の大きさによって操船内容も変わってくる。例えば風速 5m/s、離岸風などの条件でシミュレーション実験を行うことはできないか。

【事務局】

ご指摘の通りである。予備実験から緊急離桟では離岸風より向岸風の方が難しいことが知見として得られている。具体的には LNG 船が緊急離桟する時、5m/s,8m/s,10m/s などの向岸風が設定されていると難しくなる。今回、時間の許す限りシミュレーションケースの追加を検討したい。

【楠元委員】

ぜひお願いしたい。東京湾は入船左舷付けが多いが、例えば伊勢湾は 4 つある LNG 基地のうち 3 つは入船右舷付け、大阪では 4 つの LNG 基地のうち 2 つは入船右舷付けとなっており、半々とまでは言わないが、入船右舷付けのケースが多い。それも勘案していただきたい。また、シミュレーション実験で実際に操船する方か伺いたい。

【事務局】

日本では入船が一般的であり、左舷・右舷付けは各バースにより異なる。操船は清水水先人会の水先人にご協力いただく予定である。実際の緊急離桟では各船の船長が操船することになるだろう。

【今津委員長】

所要時間や必要な海域の広さ等を評価の対象とし、他にご意見があればシミュレーション実験の時にお願いしたい。今のところは本資料に則った評価方法でよろしいか。時間が限られた中で、このようなシミュレーション実験と知見を得るための予備実験を行っているが、結果の取り纏めは次回の委員会に間に合うか。

【事務局】

できる限り努力する。

（4）大型危険物積載船等の安全防災対策について

資料 TNAV-2-4 大型危険物積載船等の安全防災対策に基づき、事務局から説明され、以下の質疑応答の内容を踏まえ、承認された。

質疑応答の内容は以下のとおりである。

【楠元委員】

私は LNG 船の運航をしている会社に所属しているが、LNG 船の行く港は中国や韓国にもある。2011 年の東日本大震災の津波の経験から、韓国では桟橋の設計段階から原則として出船着桟とするように設計している。昨年、既存の桟橋についても桟橋所有者や水先人などと検討し、短期間で桟橋と船の物理的な整合性をとり、出船着桟に変更した。特に難しいシミュレーションを行うこともなく、緊急離桟では出船着桟が良いということで、すぐに対応していただいた。P.15-16 の「5 危険物

積載船の避難について」の「課題の考え方」の列では「基本的には出船着桟が望ましいと考えられるが…」という表現になっている。LNG 船用のバースではバース建造届などの提出義務があり、入船着桟とかタグボート使用状況が明確に記載されている。委員会の最終報告までに本資料の中で、出船着桟に対する前向きな検討が行われることを希望している。来年、その結果を踏まえて地方で対応することになるだろう。

【事務局】

緊急離桟シミュレーション実験の結果を踏まえて検討していきたい。

【津金委員】

タンカーと LNG 船の船陸間の移動手段であるワークラダーの電源が落ちてしまい、乗下船できなくて困ったという事例がある。そういう時の安全対策が LNG 船には ESDS や ERS があるが、タンカーに対しての対策あるいはワークラダーに対する対策についても今回検討するのか。

【事務局】

荷役中に緊急離桟するための装置は ESDS、ERS 等が有効である。

【今津委員長】

この委員会で詳細な検討ができるかどうかは別として、見直しが必要な項目の一つに追加した方が良い。

【楠元委員】

LNG 基地は、ワークラダー電源の二重化を行っているところもある。出船着桟の大きな問題点は、ワークラダーは LNG 船の決まった場所に取り付ける設備であるため、その位置を変える必要が生じることである。しかし、着桟舷を反対にすることは多少のコストがかかるが、物理的にはそれほど難しいことではない。3 分の 1 ぐらいの LNG 基地ではワークラダーの一部改造を行うことで出船着桟に対応できるというシミュレーション結果が出ている。そういうことも含めて検討していただきたい。

【中村委員】

日本は出船着桟でも入船着桟でもワークラダーの位置を考慮すればどちらでも良いという理解でよろしいか。

【楠元委員】

全ての基地、船ではない。係留索やワークラダーを受ける設備の位置などによるが、LNG 基地の場合はドルフィンバースで、左右対称に造られているバースが多い。どの船のどの基地が対応できるかということは、その都度検討が必要である。

【中村委員】

LNG 船では、カーゴマニホールドの位置は、設計段階から、荷役バースとの諸取合につき、用意周到に検討・決定されている。ある荷役バースにおいて、想定した

着桟舷から、その反対側の舷に、変更して、着桟させようとする場合、船側のカーゴマニホールドの位置と陸側のカーゴマニホールドの位置とは、当然、船の前後方向で一致させ、着桟させることから、船体の艫艄部にて、陸側フェンダーへの当たり方や、係留索の張り方、角度等で問題が発生することがある。そのような場合には、船側のカーゴマニホールドの位置を、適宜、必要な距離、移動させるなどの対策・改造工事が必要になることがあるので、このことを、認識しておく必要があろう。

【楠元委員】

船・陸のデザインは基地ごとに異なる。先ほどの話は自社が運航している LNG 船について検討して得られた知見である。

【国土交通省 港湾局 海岸・防災課 広域連携推進官】

P.11-12 赤字で記載されている「岸壁上の作業員の避難方法について、本船への避難の可能性を含め検討しておくことが必要である」について、この調査の中で具体的に何か対策が講じられるのか伺いたい。

【事務局】

高台などの避難場所が無い場合、本船に避難する可能性も考える必要があるということである。

【今津委員長】

項目があげられているが、これを詳細に検討し、ある程度の方向性を示すのかという質問である。

【事務局】

こういう課題を提言していきたいということで、記載している。

8．その他

○海上保安庁 交通部 安全課より、一元的な海上交通管制の構築について説明があった。

○第 3 回委員会は、2013 年 12 月 6 日 14:00 から日本財団ビル 2F にて開催する予定。

以上

3　第３回委員会議事概要

１．日時：平成 25 年 12 月 6 日（金）14 時 00 分～16 時 40 分

２．場所：日本財団 2F　第 1～4 会議室

３．議題
（１）操船シミュレーションの結果について
（２）大型危険物積載船の安全防災対策について
（３）モデル港において取るべき対応策の検討について
（４）作業部会の設置について

４．出席者（順不同、敬称略）
（１）委員
今津隼馬（委員長）、津金正典、佐竹健治、道田豊、田中隆博、小山仁明、楠元達也、加藤勝則、小島茂、岡野良成（代理 江森慎太郎）、立川博行、木上正士、齋田泰志、木本弘之、中村容透、田和健次、岩田誠一、土井純二、岩場新、櫻井洋
（２）関係官庁
加藤光一（代理 松本和之）、黒川和浩、長谷川洋平、森宏之（代理 堀ノ内宏行）、楠勝浩（代理　笹原昇）、豊藏俊雄（代理　福田幸二）、加賀谷俊和、花村幸宏、長谷川秀巳
（３）その他協力者、関係者
檜垣漸
（４）事務局
渡部典正、小川泰治、大内勝美、畑瀬崇順、中嶋雄一、土田英幸、白井友子

５．配布資料：
（１）委員会資料　TNAV25-3-1 緊急離桟操船実験結果(速報版)
（２）委員会資料　TNAV25-3-2 大型危険物積載船の安全防災対策
（３）委員会資料　TNAV25-3-3 モデル港において取るべき対応策の検討
（４）委員会資料　TNAV25-3-4 作業部会の設置について

６．開会等
（１）挨拶
（公社）日本海難防止協会 専務理事から操船シミュレーション実験についてお詫びの挨拶があった。

（２）配布資料の確認

議事に先立ち、事務局が配布資料の確認を行った。

（３）議事概要（案）の承認

平成 25 年度 津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究委員会 第 2 回委員会議事概要（案）について、特段の質疑なく、承認された。

７．議事概要

（１）操船シミュレーションの結果について

資料TNAV25-3-1 緊急離桟操船実験結果(速報版)に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【今津委員長】

操船シミュレーション実験の結果をまとめている。これは速報版であり、実験ではアンケートも行っているため、そのデータも参考にしながら判断しなければならない。アンケートの解析には時間を要するため、今回は船体運動のデータについてのみ紹介していただいた。

【田中委員】

P.3 の表 1 実験結果一覧（LNG 船及び VLCC）について、VLCC の防舷材反力が過大になっており、船体が破損する場合もあると考えられる。この表から仮に港内に VLCC が存在している場合、タグボートを最優先で利用する方が良いという見方もできるのではないか。また、LNG 船については防舷材反力を見る限り、例えば防舷材の設計限界反力を 1.5 倍にする等の対策も今後考え得るのか。

【事務局】

VLCC はタグボート無しで、向岸風（船体がフェンダーに押し付けられる風）という設定でシミュレーションを行った。平時であれば、向岸風の時に巨大な VLCC が油を積んだ状態でタグボート無しで離桟できるとは考えない。緊急時に一つのフェンダーを損傷してでも出港できるか実験を行い、シミュレータ上ではいわゆるキック操船によって一つのフェンダーを損傷する程度で出港できた。防舷材反力の大きさから見ても、常識的ではないことがわかる。事務局としては、タグボート無しでフェンダーを強化して緊急離桟するという理解にはならないと考えている。本資料をアンケート結果も含めて纏めると、少なくともタグボートが 1 隻あれば、5m/sec の向岸風でも VLCC を離桟できる可能性があるだろうということが示されるだろう。

LNG 船についても基本的には同じであり、タグボート 1 隻あればフェンダーを損傷することなく 5m/sec の向岸風でも離桟することができている。タグボートとスラスターがあれば、さらにスムーズに離桟でき、なおかつ離桟に要する時間も非常に短い。現実的に言えば、タグボート 1 隻が最低限で、さらにスラスターがあれば水先人無しでの緊急離桟の可能性が出てくると言えるだろう。そしてもう

一つ重要なポイントは入船付けと出船付けを比較すると、時間で言えば 20 分違うことが明確にわかった。ただし、出船の場合はフェンダーを擦って行くため、全フェンダーに損傷を与える可能性はある。フェンダーを強化して緊急離桟することは現実的ではなく、少なくともタグボート 1 隻の支援が無ければ緊急離桟することができないという結果が得られた。

【田中委員】

あくまでも支援が必要ということで理解した。

【中村委員】

P.43 の図の見方について教えていただきたい。図 2.2.5 と図 2.2.6 は、出船右舷・40 分離岸開始・タグボート有り（コンテナ船）という同条件下での結果を示している。ただ、1 回目と 2 回目という部分が違う。操船者や、その時々の判断の違い等からこういった航跡の違いが現れたという例示として理解して良いのか。

【事務局】

地震発生 40 分後の同じ時間帯から離岸開始しているが、離桟に要する時間やそのタイミングによって生じる多少の時間差で津波の流向が変わってしまうという特性が原因となっている。その例として示した。

【中村委員】

地震発生 40 分後、70 分後、130 分後といった設定それぞれに対して、シミュレーション実験を行ったが、全てこのように 1 回目と 2 回目、3 回目で航跡や結果が異なることを示しているのか。

【事務局】

同じ時間に開始しても若干の時間の差によってこのように変わってしまうことを理解していただきたい。

【土井委員】

P.3 で防舷材反力の値が、損傷許容のケースの方が小さくなっていることについて理由をもう少し説明していただきたい。

【事務局】

当初は損傷しないように操船したつもりであったが、結果的には許容量を超えてしまった。損傷許容の時にそのまま前進した場合について、防舷材反力は垂直方向しか算出できていないため、横に擦った場合に生じるような、水平方向の反力は考慮できていない。次の作業部会で検討していただきたい。損傷しないように操船したつもりで、防舷材反力が大きくなってしまった結果と、損傷を許容したが横に擦っているため、防舷材が損傷している可能性もあると考えられる結果を記している。

【今津委員長】

防舷材反力のトン数で示している数値が状況を正確に示しているわけではない。

垂直方向の力だけが算出されており、擦った様な横方向の力はわからない。横方向の力が算出できれば、損傷している可能性があるが、それはわからないということである。

【津金委員】

P.51 以降の押し波時に湾奥から出港した場合について、地震発生 50 分後と書かれているが、湾奥から出てきて 50 分という設定なのか。それともある領域に達した時に 50 分という設定なのか。

【事務局】

出港局面の場合について、50 分後というのは 50 分の時点での潮を常時設定しているという意味である。離岸局面では津波シミュレーションの外力を時間の経過とともに変化させているが、回頭局面と出港局面では 50 分後の流況をずっと再現している。本来ならば、時々刻々と変化させるべきであるが、押し波と引き波を連続させるために、ある時点での津波の外力を連続してかけている。

【今津委員長】

ほんのわずかな差が結果に大きな影響を及ぼしていることが、シミュレーション実験でわかった。最初は離岸から出港まで連続的に見て評価を行っていた。途中でアンカーを入れるのであれば離岸・回頭・出港局面にわけて対応することができるかもしれない。今の時点では何とも言えないが、局面毎にどこまで対応できるのか評価することが可能となるかもしれない。今回まだデータが揃っていないため、アンケート結果も揃えて問題点をはっきりさせ、工夫していく必要がある。これらについては作業部会を設けて検討したいと考えている。次回の委員会が最終であるため、それまでにこのデータを活かして纏めたいと思っている。

（２）大型危険物積載船の安全防災対策について

資料 TNAV25-3-2 大型危険物積載船の安全防災対策に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【第三管区海上保安本部 交通部長】

P.4 の 2.2.3 東日本大震災を踏まえた大型危険物積載船の安全防災対策、「(1) バース管理者の対応」、「①大型危険物積載船の係留のあり方」に記載されている着桟舷について伺いたい。「このようなことから、係留のあり方については、出船着桟によることを基本に、以下の点等を考慮のうえ、離桟所要時間のほか離着桟時における安全性や操船の難易度等を総合的に評価する必要がある。」と記載されている。シミュレーション結果から出船着桟の方が 20 分早く出港できるということもあり、防災面から見れば確かにその通りであるが、離着桟時における安全性や操船の難易度等を総合的に評価しても基本は出船着桟の方が良いということか。もっといろいろ考慮した上で、着桟舷を決めるべきだという表現にならざるを得ないと思っていた。出船着桟を基本と明記するのであれば、出船着桟の方が良い

という理解で皆さんがご納得いただいているのか確認できているのか。
【事務局】
操船シミュレーションでのアンケート結果を踏まえていないため、事務局として考えられる案として、このように記載している。港の形状等、状況に応じて入船付けでしか着桟できないバースもあるため、基本は出船付けであるが、入船付けにせざるを得ない場合もあると考える。いずれにしても、今後の作業部会を踏まえて変更の余地を持たせて記載している。
【第三管区海上保安本部 交通部長】
シミュレーション結果を見ればこういう書きぶりになってもおかしくはないと思う。危険物を満載にして入港する船が、常時出船で着桟することの危険性を考慮しても出船着桟が良いのか。あるいは二港積みが前提となっている船も出船着桟が良いのか。もう少し慎重に考えるべきではないか。「どちらでも検討すべき」という書き方の方が良いのではないか。
【今津委員長】
シミュレーション結果の一部が今回提示できただけであり、これだけで結論ではない。今のご意見を踏まえて、書きぶりについて練ってみようと思う。離桟に要する時間が短くなることは、防災上は優位であろう。ただし、平時における管理や港毎の事情についての検討は今回あまり行っていないため、それを踏まえた上で纏めていきたい。

【田和委員】
シミュレーションでは着桟している船が離桟するケースであったが、船が着桟する時の操船の難易度の違いはあるのか。沖の方で危険物満載の状態で航行している場合や、着桟する場合も何かしら危険があるのかどうか考えていただきたい。
【今津委員長】
ここで考えているのは津波来襲時なので、来襲するのが着桟時なのか、離桟時なのかはケースによってわかれると思う。今回のシミュレーション実験はあくまでも離桟するという設定である。質問されたことを踏まえた上で答えが出せないのであれば、検討項目として挙げておかなければならない。

【土井委員】
出船付けと入船付けで LNG 船の場合、緊急離桟に要する時間が約 20 分も違うという説明があった。今回のシミュレーションではこのような結果が導き出されているが、港口と桟橋配置との関係もあり、港によって異なるため必ずしも 20 分とは言い切れない。また、実際に津波が来襲するまでの時間がどれぐらいあるのかということも含めて検討するべきであり、一般化して全ての港にあてはめて議論することはできないのではないか。

【今津委員長】
地震が発生して、津波が来るまでの時間が正確にわかると良いが、残念ながらモデル港としている清水港では津波が来てからわかるというイメージがある。いろんな港に適応しようとする場合、自ずと違いが生じるため、その違いに対してどのような検討を行うかといった項目は必要であると思う。

【岩場委員】
土井委員と同じく基地を持っている立場から話すと、前回の委員会で出船着桟の話が議論されたと聞いており、その後加盟会社に状況を聞いてみた。少なくとも既設のところでは出船着桟への対応は難しいという話があり、新設のところもこれからいろんな要素を含めて検討していくということであった。津波に対する備えから言えば、出船付けが良いことは理解できるが、日本全体で毎年延べ千隻以上の LNG 船が入ってくることから、着桟時も含めた全体的な安全性の向上が必要と考える。個別の港でバースをつくる時に、航行安全委員会等で検討されて、入船付けが望ましいという結論が出ているところもある。そういうところも考慮していただいて、報告書の表現を考えていただきたい。
【今津委員長】
先ほどの発言で言い忘れていたが、入港と出港の大きな違いであるが、津波が来る時、入港する場合は少なくとも体制としては最良の体制に近い。出港する場合には支援がほとんど期待できない。入港の場合は、沖合でパイロットを乗せ、タグボートを用意してから着岸に向かっていくため、体制としては望ましい状態である。緊急時に出港する場合、体制が整うまで何もしないというようなことはできない。そこが最大の違いであると思う。

【津金委員】
(1)「大型タンカー及び大型タンカーバースの安全防災対策基準（H23・1・17 行政指導指針)」を見ても、油タンカーと液化ガスではだいぶグレードが違う。津波対策の観点から、特に油タンカーバースの見直しを考えるのか。津波対策の項目は抽象的に書かれているが、もう少し具体的に踏み込んで考えるのか。それが行政指導の改正につながるのか。
(2)P.6 支援体制の部分で、実際に水先人の手配や、曳船の手配は船社が頼むのか。事前に打合せすることが大事であることは十分承知しているが、バースの管理者と船長、どなたが水先人会と話し合いをするのか決めておいた方が良い。
(3)P.7 に「検討に際しては、既往調査結果が参考となるほか、個々のバースにおいてシミュレーションを実施することが望ましい。」と書かれている。ぜひやっていただきたいが、係留シミュレーション及び操船シミュレーションを個々のバース全てにおいて実施するのかどうかがこれだけではわかりにくい。
(4)P.8「造船所からの仕様書等を踏まえ、安全管理会社はこれらの制限を盛り込み

仕様書を作成する。」と書かれているが、安全管理会社とはどういう位置づけになるのか、理解できない。船舶管理会社のことなのか、説明していただきたい。

【事務局】

(1)LNG 船と VLCC で区別するのかという質問かと思うが、安全対策については VLCC も LNG 船も一緒に考えている。

(2)水先人会との申合せについての記述の仕方は事務局で検討したい。

(3)「個々のバースにおいてシミュレーションを実施することが望ましい。」という記述の仕方については検討したい。

(4)国際安全管理規則（ISM コード）解釈通達から引用した。会社に必要な機能として船舶運航管理、保守管理、及び船員管理があり、この場合においては船舶管理会社としたい。

【今津委員長】

あまりにも漠然とした纏め方であると、使いにくいということが根底にある。具体的にすればするほど役に立つだろう。

【楠元委員】

出船着桟が基本的には望ましいというような表現について、全く異存はない。今まで何回か出船着桟について諸外国の例を挙げて説明させていただいた。ある意味日本がガラパゴス化という状態にならないためにも、今回の委員会をきっかけにしたい。諸外国の緊急体制に対する考え方や減災のために必要な手段を考慮した上で、出船着桟は非常に有効である。ロシアの船舶交通の安全を司る機関で、危険物の積み出し基地は全て出船着桟のデザインでつくることが規則で決められている。他国で津波を前提にしていなくとも、危険物を扱う基地、バースにおいては船舶の速やかな離桟を考慮した出船着桟がほとんどである。平時のリスクという話があったが、今日の意見でもあるように LNG 船と油タンカーでは排水量が大きく異なる。1 つに扱うことはできないと思う。LNG 船は水面下の影響よりも水面上の風などの影響を受けやすいところが油タンカーとは大きく異なる。満載、空載による操縦性能の違いもあり、一概に油タンカーと同じように扱うことはできないと思う。また、既存のバースにおいても船の種類によってはわずかな変更で出船着桟ができるところもあると認識している。あとは水先人に対する着桟時のシミュレーション等による訓練や、バースの受け入れ体制の構想などを含めて前向きに検討していくことが重要ではないか。

【土井委員】

入船付けから出船付け対応に既存のバースを変更する場合、わずかな変更で可能なケースがあるという話があった。前回もギャングウェイの改造だけで対応可能という話があったが、業界内の既存の LNG バースについて調べたところ、防舷材や係留装置等も整合していない桟橋が数多くあった。ギャングウェイの改造だけで対応できる状態ではないということが事実である。

【木本委員】

外国の例を調べて検討することには賛成であるが、私が知る限りでは日本のLNG 基地については非常に限られた水域の中で操船している。広い水域を確保できるところは良いと思うが、そういうところばかりではない。瀬戸内海ではカキ筏の間を入っていく様なところもあり、出船付けが不可能なところもある。P.4 に「可航水域の広さ、形状及び水深」が考慮事項の一つに記載されているが、この制約があるところはたくさんある。資料 TNAV25-3-1 の P.13 に後進制限有りというシミュレーションを行っているが、このシナリオでは離桟できないということであろう。こういった条件のところでは、出船付けは不可能であり、入船付けしかできないと思う。可航水域、港域の広さ、後進制限がある場合など、細かく現場ごとに見ていかなければならないと思う。先ほど、第三管区海上保安本部交通部長さんの発言にもあった通り、津波のことを考えれば原則としては出船付けということで良いと思うが、個々の港の状況を見て、ほんとうに実務者が了解できるような検討をしていただきたい。

【中村委員】

P.7 の最後「ライセンサーである GTT 社（ガストランスポート・アンド・テクニガス社）は、スロッシングによる損傷を防止するため、積み付け禁止液位（例えば 10%から 70%のタンク高さ)を定めている。造船所からの仕様書等を踏まえ、安全管理会社はこれらの制限を盛り込み手順書を作成する。」の「造船所からの仕様書」の部分についてコメントさせていただきたい。

LNG 船は、メンブレン型とモス型で大きく異なり、モス型の場合、タンクはアルミ板で出来ており、その板厚が 30～60mm と厚いことから、このスロッシングに耐える能力を有する。一方、メンブレン型の場合は、タンク板は、厚さ；1mm 内外のメンブレン（薄膜）で出来ており、スロッシングによるインパクトプレッシャーを受けた際、そのメンブレンを支えている防熱部が損傷することがある。現在では、GTT 社にて、スロッシング対策としての防熱部補強が施され、損傷が起きないように改善されて来ている。これらを踏まえ、積み付け禁止液位が定められているが、防熱部材は、元来、優しい柔い素材でなければ防熱効果が引き出せないため、強度を十分に上げ切ることも、ままならぬため、インパクトプレッシャーが予想外に過大になった場合には、損傷する可能性を否定できない。GTT 社は、その辺りを良く心得て、改善努力を重ねており、メンブレン型 LNG 船の建造造船所は、GTT 社提示の技術仕様並びに施工要領等に基づいて防熱部の製作、メンブレンの取付工事を行っている。「造船所からの仕様書等を踏まえ」と記載して頂いただけでは、上述の部分をカバーしたことにはなっていない。付け加えれば、船長の勘や経験、オペレーター会社の操船指針なども影響する。巡航船速で大海原を航行しているときと、津波来襲時に港外へ避難しようしているときとでは、船速が異なり、船体動揺の大きさも変わるので、この船体動揺と同調して起

きるスロッシング現象の様相も変わる筈である。どういう船体動揺がどういう港のどういう津波の時に起きるかは、把握し切れてない面があるので、船を実際にオペレートする船長の勘・技に委ねられる部分も大きいと言わざるを得ない。造船所の仕様書だけでカバーし切れないのが現実である。ここの書きぶりをもう少し丁寧に書いていただきたい。

【今津委員長】

できれば文章を送っていただきたい。

中村委員より文章案を送っていただきました。

「ライセンサーである GTT 社（ガストランスポート・アンド・テクニガス社）は、スロッシングによる損傷を防止するため、航海時の積み付け禁止液位（例えば、タンク高さの 10%から 70%の範囲）を定めている。

安全管理会社は、ライセンサーからの貨物格納設備に関する技術資料、船級協会指針、造船所技術仕様、オペレーター会社操船指針などを参照しながら、津波来襲時の港外への避難操船においては、船速が速くないことなどを勘案し、適宜、制限を織り込んだ手順書を作成する。」

（３）モデル港において取るべき対応策の検討について

資料 TNAV25-3-3 モデル港において取るべき対応策の検討に基づき、事務局から説明され、以下の質疑応答の内容を踏まえ、承認された。

質疑応答の内容は以下のとおりである。

【第三管区海上保安本部 交通部長】

(1)係留船舶への緊急避難措置ということで、陸上の施設と同等の扱いをすることは難しいが、一時的な避難場所として船を位置づけるのは良い。巡視船に乗っていると荒天航海が仕事のようなところもあり、天井や船橋の各部に手すりを付け、それで保身する。民間の船舶の場合、そういう措置があまりない。作業員の方や、あまり船をご存知ない方が乗ってもそういう物があれば非常に安全であるということをご紹介させていただきたい。

(2)P.26 で単錨泊から２錨泊を試みて、最終的にはエンジンも使った船の事例がある。絡み錨になりながらも助かったということであるが、絡み錨となっても２錨泊の方がやはり係駐力があるのか、それとも単錨泊で走錨した方が良いのか教えていただきたい。

【今津委員長】

(1)情報としてご紹介していただいた。

(2)２錨泊について情報はあるか。絡んでいても単錨泊より係駐力が大きいのかどうか。あまり論文等でも見たことがない。

【津金委員】

荒天時に２錨泊を行ったとしても、通常は振れ回らないようにエンジンを使い、絡み錨を避ける。今回の大船渡の場合は流れが急激に発生してしまったため、どうしても絡んでしまった。ただし、絡んでも後で解きやすくするために回った回数をカウントするという船長の機転があった。絡んでしまったら仕方がないが、最初に係駐力を確保するために２錨泊という措置は取れ得ると思う。

【小島委員】

今､船長協会にて絡み錨の外し方の DVD を作成している。２錨泊は商船の場合、台風が来るような時に１つは長く、もう１つは短めに横の振れ回りを小さくするために投錨するような２錨泊が多く、両方長くとるような２錨泊は最近少ない。仙台の港の場合、両方とも長くとり、絡んだまま引き摺って港外へ出て、絡みをとったということである。この例は岸壁に寄せられた時に１つ投錨し、引き波の時にも１つ投錨したと思う。防波堤にぶつかりそうなギリギリで出ていっているが、錨はある程度の制御にはなっていたと思う。２つがいいか１つがいいかは経験則でしかないため、これからデータが集まると良い。

【事務局】

個人的な見解になるが、船長としては単錨泊であればその後も対応できるであろうが、２錨泊で絡んでしまうとその後の対応が難しいということをまず考えるのが８割ぐらいの船長の考え方であると思う。計算上では２錨泊の方が係駐力は大きいが、本船の主機、舵等を使えば津波に耐え得るだろうと考えれば、単錨泊を原則というふうに考えた方が良いのではないかと個人的には思う。

【今津委員長】

今いくつかの意見があった。質問に対する的確な答えであるかは別として、絡んだ後の作業のしにくさがあるということは常識として知っている。やむを得ず２つ投錨するのは構わないが、後が大変である。係駐力が増したとかどうかは津波で渦を巻いて、頻繁に向きが変わるときは何とも言えないと思う。1 方向からの力がかかる状態であれば２錨泊にすると係駐力も大きくなるとは思う。

【田和委員】

石油業界として表現を考えていただきたいところがある。P.15「ただし、津波来襲後、港内においては地震・津波により可燃性危険物の流出による海上火災や漂流物等による水路閉塞のおそれがあること、更に、余震による津波発生のおそれもあることから、災害の局限化を図る観点より、船舶は本船の安全を確保しつつ、機会を捉えて港外避難することが望ましい。」の部分について、某大学の先生が東京湾火の海ということを言っておられ、センセーショナルになっており、こういう表現は他でもたくさんでてきている。ほんとうに可能性としてどうなのか。可能性が 0 であるかと言われると､0 ではないかもしれないと正直に答えられるが、漂流物による水路閉塞と比べると、業界人としてはそれより可能性が低いと考え

ている。石油タンクは消防法により新基準並みに改修してきており、本体の耐震性及び基礎地盤の液状化への耐性は修復してきているので、表現を考えていただきたい。

また、P.19 (2)「また、船舶は衝突や座礁等の海難を想定して、船体を二重構造にする等の安全設計思想が取り入れられており、船舶が衝突、荒天等により航海中に浸水や荷崩れが発生した場合には、転覆を避けるため、致命的な船体破壊が発生しないことを前提として船体を浅瀬に任意座礁させ、人命の安全確保と海洋汚染の防止のための緊急措置をとる場合がある。一方で、船舶は多種多様の貨物や燃料を大量に積載しており、異常現象である津波に対しては、予期できない危険事象の発生リスクがあり、危険物等を大量に積載しているタンカーにおいては積荷の流出、火災等における人命の危険性も極めて大きい。」と書かれている。安全対策をしているのに危険性が極めて高いというのは矛盾していると思う。地震や津波で何が起こるかわからないということであるが、それならばここにLPG船やLNG船の火災、爆発も入れていただきたい。原油タンカーだけ記載するというのも公平ではない。業界エゴかもしれないが、お願いしたい。

【事務局】

ご指摘について検討し、変更する。

【津金委員】

P.38～40で「大型船舶、中型船舶の対応」と「小型船舶の対応」で分けており、大型危険物積載船という分類はあるが、小型危険物積載船はない。小型船についてもその様な区分けをし、更なる注意喚起があっても良いのではないか。

【事務局】

清水港の具体的な対応ということで、小型危険物積載船も存在するため、ご意見を踏まえて書き方を検討する。

【今津委員長】

小型船の人は陸上に逃げた方が良いと先ほど聞いたが、小型危険物積載船については別の扱いになる。

【事務局】

ここでの小型船の定義は、陸上に揚げられる様な、プレジャーボートや小型漁船を指している。危険物積載船は199型といったものからかなり大型ものまであり、小型船として扱っていない。

【今津委員長】

危険物積載船等の分類で記載しても良いのではないか。

【事務局】

検討させていただく。

【今津委員長】

全体の纏め方について、一番後ろが事前の取り決めになっている。順番としていかがなものか。

【事務局】

検討させていただく。

（4）作業部会の設置について

資料 TNAV25-3-4 作業部会の設置について に基づき、事務局から説明され、以下の質疑応答の内容を踏まえ、承認された。

質疑応答の内容は以下のとおりである。

【櫻井委員】

第 1 回委員会での調査計画では、第 3 回委員会で海上保安庁が出した平成 15 年の船舶対応関連の考え方を提案する予定になっていたと記憶しているが、この作業部会の中で検討する事項の一つに入れないのか。

【事務局】

平成 15 年の津波の対応表のことかと思うが、係留限界及び操船シミュレーションの整理がつかなければ、作成できない。並行して事務局は進めているが、最終的には係留限界及び操船シミュレーション検討結果の了承を得てから纏めさせていただきたい。事務局としては進めているが、作業部会では提出できないだろう。

【今津委員長】

遅かれ早かれ最終的には出さなければならないが、遅れ気味である。最終委員会の前に作業部会結果を含めた資料を提示するという対応でいかがか。

【事務局】

努力させていただく。最終委員会の事前に見ていただきたい。

【今津委員長】

3 回目の分がこのままいくと 4 回目になってしまう。すると 4 回目では検討する時間があまりなくなってしまうので 3 回目の分を 4 回目の少し前に提示する必要があるのではないか。

【事務局】

第 4 回委員会の事前にメールもしくは郵送にて提出させていただきたい。

【今津委員長】

作業部会での検討は難しいが、事務局で今進めているので第 4 回委員会の事前に提示させていただくとのことである。

8．その他

①作業部会は、2014 年 1 月 17 日 14:00 から日本財団ビル 2F にて開催する予定。

②最終委員会の日程は追って連絡させていただく。　以上

4　作業部会議事概要

1．日時：平成 26 年 1 月 17 日（金）14 時 00 分～16 時 20 分

2．場所：日本財団 2F　第 1～4 会議室

3．議題

（1）津波に対する係留限界検討結果

（2）緊急離桟操船実験結果

4．出席者（順不同、敬称略）

（1）委員

今津隼馬（委員長）、渡邉豊、津金正典、佐竹健治、道田豊、小山仁明（代理 田中俊弘）、楠元達也、小島茂、岡野良成

（2）関係官庁

黒川和浩、長谷川洋平（代理 中村浩二）、楠勝浩（代理 山内明彦）、豊藏俊雄、花村幸宏、長谷川秀巳、西園勝秀（代理 杉山雄二）

（3）その他協力者、関係者

檜垣漸

（4）事務局

渡部典正、小川泰治、大内勝美、畑瀬崇順、中嶋雄一、土田英幸、林健一郎、白井友子

5．配布資料：

（1）作業部会資料　TNAV-SB-1 津波に対する係留限界検討結果

（2）作業部会資料　TNAV-SB-2 緊急離桟操船実験結果

（3）参考資料（緊急離桟操船実験結果航跡図及び操船状態図）

6．開会等

（1）配布資料の確認

議事に先立ち、事務局が配布資料の確認を行った。

7．議事概要

（1）津波に対する係留限界検討結果について

資料 TNAV-SB-1 津波に対する係留限界検討結果に基づき、事務局が説明を行った。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【道田委員】

第 3 回委員会で示されたように、正弦波の実験でも単位時間あたりの水位変化量の激しい時に係留限界に達することが確認できたという説明であった。周期の設定を 5 分、10 分、15 分と変えることにより、結果に大きな影響を与えているということである。周期の設定が運動方程式のどの項に影響しているのか伺いたい。徐々に水位が変化する場合と、急に水位が変化する場合で、運動が大きく変わるということである。パラメータのどれかに変化が表れていると思う。P.2 の運動方程式のどのパラメータに大きな変化があるのか。

【事務局】

基本的には加速度成分であると思うが、いろいろ複合されている。P.2 にはX方向の運動方程式を示しているが、この式で言えば速度成分である$\dot{X}$やそれをさらに微分した加速度成分$\ddot{X}$の部分だろう。張力はバネ形式になっており、基本的には加速度成分が大きい時に大きくなる。現実には共振現象などもあるが、正弦波で言えば、波の上昇に従って船体も同じように上昇するため、単位時間あたりの水位変化量が張力にも影響を及ぼしている。したがって、船体が急激に上昇する時に、張力が限界に達しているということである。

【道田委員】

そうであると思うが、それ程影響を及ぼすのか。どこかの時間微分に対する係数が変われば、随分変わるのではないかと思うが如何か。

【事務局】

応答特性をもとめる方法は、運動方程式の一部を実船でもとめ、大型船での実験データはあまりないため、一部は模型試験でもとめている。これは津波に対してのみではなく、一般に船体の動揺を調べる場合でも同様であり、模型試験や実船試験でもとめている。運動方程式で計算した結果と、津波来襲時の実際の船体運動との整合性は、一部の研究者（津金委員等）によって日本航海学会で発表されている。仙台港の被災事例などで実験結果との検証を行っている。概ね再現できているということが示されていると思う。

【津金委員】

運動方程式の左辺について説明があったが、少なくとも右辺の外力項の波浪強制力の周期が 5 分、10 分、15 分と変わることで波力が大きく違うと聞いている。右辺の外力項への影響が大きく、そこからポテンシャルエネルギーをもとめ、流体力の係数や単位時間あたりの波力を計算している。周期が変われば違いが出てくるようになっている。

【渡邉委員】

P.64 以降に波形で結果が示されているが、特に HEAVE と波高の位相に差がないように見える。すごく長い周期であれば波の変化と同時に船体が動くと思うが、周

期が 5 分程度であれば相当急速な波高変化になり、大きな船体の場合は変動量と波高周期に位相の差が生じるのではないかと思う。東日本大震災の映像で、大型船が流されている映像もあり、ちょうど転流時の様子が見えた。大きな船は津波が来てもすぐには動かず、徐々に動かされていった。これが位相の差である。そういう結果が出ていないのが不思議である。

【事務局】

見ていただくと、位相の差は生じていると思う。位相のピーク時を線で追うと、波高のピークと HEAVE のピークは少し時間差がある。実際と比べてどのぐらいの位相の差があるかということもあるが、通常の複数周波数の波を合成したものとは違う、正弦波のような波での船体上下運動については比較的近い値が出ている。この図の横軸は秒単位であるが、シミュレーション結果ではこのようになった。

【渡邉委員】

P.64 の図 1.6.4 に赤字で「上昇側に船体移動（水位の変化と同様）」と書かれているので、読んだ人が誤解することもあるだろう。視認しにくい差であれば文言で何か記載してはいかがか。

【今津委員長】

もし位相の差があるということであれば、図 1.6.4 に「水位の変化と同様」とまで書くのは難しいと思う。「位相に差があり、どれぐらいの差である」等といった記載をした方が良い。

【今津委員長】

P.85 の 1.7.2 津波流速についてご意見いただきたい。

【佐竹委員】

正弦波のシミュレーションは、水位は時間的（周期的）に変化するが、流れは一様で与えているということである。一様である外力の影響を分けて見ることができる。実際には水位が周期的に変化すれば、流速も周期的に変化する。実際とは異なるにも関わらず、高さと流速をまとめの部分に数字で記載しまって良いのか。もちろん、正弦波での実験は周期の影響と一様な部分の影響を別けて見ることができ、非常に良いと思うが、数字をそのまま使って良いのか気になる。

【今津委員長】

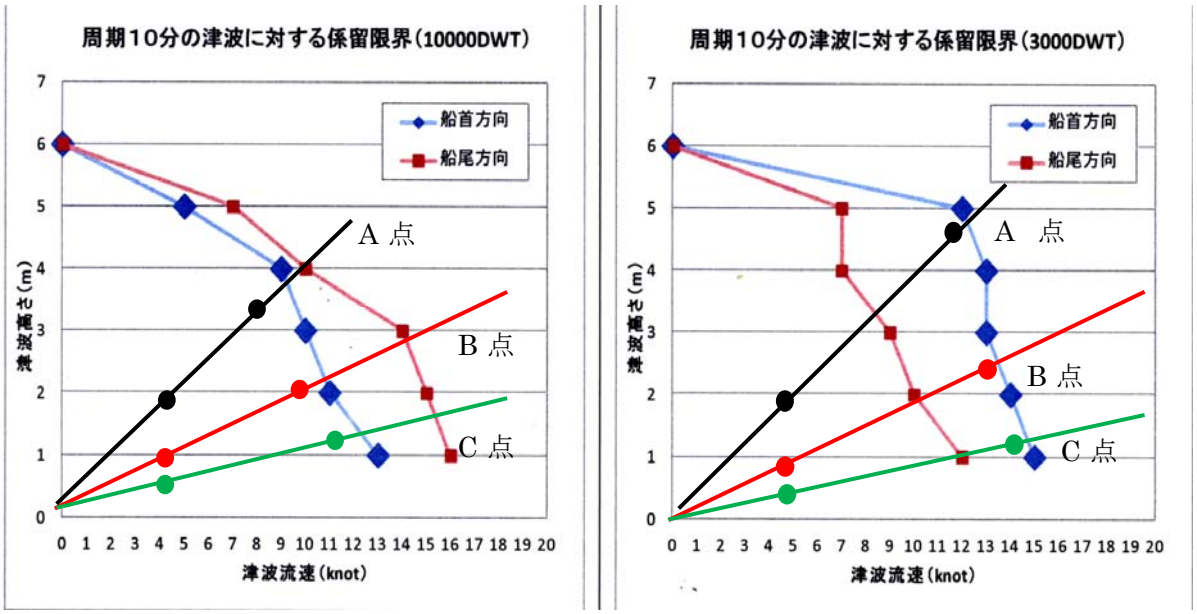
実際は高さが変わる時に流速も変化するだろう。そういうことを考え、ここに記載されている数値を言い切ることができるのかというご質問である。注意しなければならないということも加筆した方が良いと思う。「一様な流速であれば、このように言えるが変化する流速に対しては今回もとめていない」ということで良いか。

【津金委員】

こういう見方は如何か。例えば P.83,84 に周期別の流速と高さの図が書かれている。これは正弦波であるが、実際には場所によって波高と津波流速の関係は変わっ

てくる。

例えばある地点について、流速は波高で一義的に決まるので、地点別（A、B、C点）に下図の様な斜めの線が引ける。そこで、これらの図を係留可能範囲を推定するのに使うことができるのではないか。例えばある地点では津波高と流速の関係が波高 2m で流速は 5knot（黒線の関係）あり、またある地点では波高 1m で流速は 5knot（赤の関係）の関係が、またある地点では波高 0.5m で流速は 5knot（緑の関係）あるとすると津波高-流速の関係直線と図 1.6.26 の係留限界傾向を示すラインに交わる点までの波高と流速の範囲で係留可能と考えられるのではないか。



津金委員のイメージ図（船首方向の津波時の係留可能範囲）

同じ LNG 船でも桟橋によって流速が変わるため、そんなふうにこの図を利用できるのではないかと私は思う。

【今津委員長】

例えば流速 5knot というのは高さで言うと 3m ぐらいの影響があるのではないかということか。

【津金委員】

P.83,84 に係留限界のカーブが示されている。本来ならば階段の様になると思う。場所によって、津波の流速と高さの関係はある程度一義的に決まる。上図（津金委員のイメージ図）のような線になるのではないかと思う。また、違う地点に行けばもう少し寝たような線で流速と高さの関係があるのではないか。場所によって違うため、全ての場所でこの係留限界が適用されるわけではない。各地点での流速と高さの関係が分かれば、このグラフのどこにあたるのかわかるのではないか。また、若干の目安になるのではないか。

【今津委員長】

今、質問の内容は流速の変化についてである。

【津金委員】

流速は時系列的に変化するというシミュレーションを行っていないと理解している。

【事務局】

正弦波のシミュレーションにはたくさんの前提条件があるため、それを明確にしておかなければならない。まず、前提条件として P.62 の③津波流速に記載しているが、本来波形が崩れない波であれば、流速振幅は波高周期が決まれば、一義的に決まるものである。水槽で波を起こす時を想像していただきたいが、低い波で速い動きの波を造ることはできないので、実際の波は崩れなければ一義的に決まる。実際の津波はきれいな正弦波ではなく、崩れており、東日本大震災でも川の様な流れを経験している方がいる。今回のシミュレーション結果の見方について、P.69 をご覧いただきたい。図 1.6.21 はブレストラインの張力を示している。ピークで山のようになっているのは、波によって張力がかかっているところである。特に HEAVE（上下運動）による。図 1.6.21 に下駄を履かせたように、下に一律にある係留索張力が、流れによる力である。波による波力ではなく、一様に設定した流れは常に一定の張力をかけている。10knot,11knot という津波流速の設定値の場合は、この一律の下駄の高さが上がり、1m の波高であれば、この図のようにピーク（山）ができるというイメージである。実際の流速と波高の組合せがあるが、それぞれを独立して見た場合、流速の影響である下駄の部分と波高の影響である山の部分について、目安として P.85 にまとめさせていただいた。

実際の津波来襲時については前回委員会で示させていただいたが、P.59,60 を見ていただきたい。これは気象協会の行った津波のシミュレーションの結果であるが、流速と船体動揺量のピークは変わってくる。波高がピークの時、図 1.5.5 で張力に相当する SURGE 運動は一番大きくなっている。しかし、流速が大きくなっているのは、波高が低くなっていく時である。流速が大きくなった時に SURGE も少し動くが、波高の影響の方が大きい。実際はここで示すように複雑で、波高と流速というのは必ずしも一致しない。全くガイドラインの様なものを出せなくなってしまうため、正弦波で定常的な波を与えた。その結果のまとめが P.85 に書かれている。P.85 の数値はそういう前提条件があるということである。その前提条件について、P.85 上から 3 行目に「現実の津波とは異なる仮想条件にて行われた結果である」と記載した。そういう経緯で今回まとめており、複雑になっているが膨大なケースのシミュレーションを行った結果を知見としてまとめている。

【今津委員長】

波高の変化による船体動揺量の変化分と、流速の変化による変化分を切り出せる

かというと、少し難しいところである。1.7.2 では「程度」としか数値は書かれていない。津波波形によるシミュレーションでは流れによって係留索が切れなかったのか。

【事務局】

実際の津波では波高のピークと流速のピークは異なり、また、水位が下がる時に流速が増す。流れを仮想的に速くしても、船体の上下運動に影響を与えるのは波の成分（波力）の方が大きい。津波波形によるシミュレーションでは仮想的に一律に流速を上げても船体の上下運動量に違いがない。正弦波のシミュレーションでは一定な流れで仮想的に計算した。仮想的に計算した理由は、イメージとして川の様な流れになってしまったところだと 2,3 ノットで係留限界に達するのか 10 ノットなのか、目安をつけるためである。実際はさらに動揺があるだろうと考えられ、その場合さらに張力は大きくなる。動揺量の増加も加味して、P.85 にまとめている。委員の方からのご提案もあり、整理した。前提条件があるが、流速の影響がどの程度か、目安として見ていただければと思う。

【佐竹委員】

正弦波のシミュレーションも妥当であると思うが、P.85 の「津波流速が加わると、」と書かれている。実際には高さが大きくなれば流速も当然大きくなる。「津波流速が加わると」という表現にしてしまうと津波流速が加わらない場合があるような捉え方をしてしまうのではないか。

【今津委員長】

「前提条件で流速を一定として加えると、」というのが実際のシミュレーション設定である。そう記載すれば間違いはない。実際の津波に則した様な流速を加えたかというと、それはわからない。非常にシンプルな流速を加えている。そういうシンプルな流速が加われば、係留限界に達するということでいかがか。

【佐竹委員】

実際には一様な流速を加えたということである。

【道田委員】

津波波形によるシミュレーションでは、流速と津波高さの位相に差があるので、流れの効果はあまりないということがわかった。しかし、原因はわからないが、川の様な何らかの流れがあった場合は、より危ないということを示しているのが、正弦波のシミュレーション結果である。そういうことを注意喚起したという整理をすると、良いのではないか。

【津金委員】

そういう事は 56 年当時に検討した。波力まで考慮していないが、水位の位相と流速の位相をずらし、一番厳しい条件で評価している。位相をずらしたのは流速が変わるのではないかという問題があり、行った経緯もあったようである。今回は正弦波でこの波形に応じた流速の変動を取り込めなかったため、こういう結果になった

かと思う。

【今津委員長】

正弦波のシミュレーションは津波高さと流速が、同時に大きくなると、それだけ危険が生じるというまとめである。その旨でまとめる必要がある。それがわかるように 1.7.2 では一様な流速を加えたということを記載し、その流速が何 knot になると、津波高さが小さくても係留索が切れるという書きぶりでお願いしたい。

【事務局】

承知した。

【今津委員長】

5 分、10 分、15 分の周期でシミュレーションを行った場合、周期が短いほど係留索が切れやすいという結果が出て、震源地に近いほどすぐに係留索が切れてしまうという感じがする。ある程度震源地から離れていれば長周期になるので切れにくくなるということが一つの知見として得られた。清水港がもし震源に非常に近ければ、周期の短い波が来る可能性がある。そうすると、係留索が切れる可能性が高い。

（２）緊急離桟操船実験結果について

資料 TNAV-SB-2 緊急離桟操船実験結果に基づき、事務局が説明を行った。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【第三管区海上保安本部 交通部長】

P.135 の(3)迅速な緊急桟橋に出船着桟は有効である という項目について、前回いろいろ議論はあったが、苦労して上手くまとめていただいた。

【海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長】

P.23 の一覧表の欄外の注意書きで、一番下の※に防舷材の設計限界反力についての記載があるが、安全率が加味されているのか。それとも、この許容限界に達したら壊れてしまうということか。

【事務局】

今回は VLCC と LNG 船それぞれ仮想桟橋からの緊急離桟を想定したものである。操船実験の仮想桟橋に付けられた防舷材は、係留動揺シミュレーションで設定したものをそのまま利用している。仮想桟橋に付けられている防舷材の仕様に関しては、資料 TNAV-SB-1 の P.16 に記載されている。ここでは吸収エネルギーのみの記載で、設計限界反力そのものを記載していないが、例えば VLCC 用のセル型 2,000H(R_o)、LNG 船用のセル型 1,700H(R_o)が示されている。今回はこの防舷材の安全率を加味しない設計限界反力を防舷材が損傷する一つの目安として評価した。

【海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長】

資料 TNAV-SB-2 の P.23 の表に書かれている設計限界反力は、この値になるとこの防舷材は破損するということで、資料 TNAV-SB-1 の P.16 の方に性能公差が

10%と書いてあるが、せいぜい誤差があってもこの程度という理解で良いか。

【事務局】

国内で一般的に付けられている防舷材のうち、概ね平均的な仕様のものを設定している。バースによる差はあるかと思うが、概ねこの設計限界反力を超えれば何らかの損傷があると考えられる。性能公差 10%を加味した反力との差はその程度である。

【今津委員長】

設計限界反力と許容限界は同じ値と考えて良いのか。

【津金委員】

防舷材がパンクもしくは潰れてしまうところが設計限界である。公差 10%というのは危ない方向にとるので、最大歪量の時、反力には 10%加えて、吸収エネルギーには 10%減じる運用限界（許容限界）であると思う。最大歪量がいわゆる設計限界反力何トンという数字と関係するのではないかと思うが、そこをはっきりさせていただきたい。

仮に許容歪量の場合では、メーカーが推奨する通常使って良い範囲の値である。設計限界というより運用限界という言葉の方が適切ではないか。完全に壊れてしまうところで評価しているかどうかということである。

【事務局】

確認して適切な表現に修正させていただく。

【今津委員長】

P.23 は設計限界反力ではなく、運用限界反力にするということか。

【津金委員】

最大歪量が通常 52.5%とかであるならば、この設計限界反力は運用限界であるように思う。実際には壊れるわけではない。

【今津委員長】

もし許容歪量を指すのであれば、設計限界ではなく運用限界ではないか。

【事務局】

確認させていただく。

委員会後に P.23 の「設計限界反力」の値の内容について確認しました。

「設計限界反力」は、メーカーが示している設計限界歪量（歪量は 55.0%）の反力値であり、その値を超えた場合は、防舷材は損傷するものと推察されます。
「運用限界反力」は、メーカーが示している設計標準歪量（歪量は 52.5%）の反力値に性能公差＋10%を考慮した場合の反力（吸収エネルギーの場合は性能公差－10%を考慮）になり、防舷材は損傷しません。
今回は、津波来襲という特殊条件下における防舷材の物理的限界「設計限界反力」を基準（係留索では「破断荷重」を基準）として評価しております。

【事務局】

P.139 以降に緊急離桟操船で比較的スムーズに出港できたケースを標準操船方法として、代表的な操船ケースを示している。

【今津委員長】

そこで説明を中断したので、後で説明すると思っていた。

【事務局】

失礼しました。

【今津委員長】

P.137 の 6 行目「津波外力が船体運動を支援する方向に働く場合」という表現には違和感がある。何を支援するのか。要するに、出港しやすくなるような方向に外力が働くと良いということである。

【事務局】

表現を考え直させていただく。

【今津委員長】

時機を見て出港するという様な内容が、現場にいる人たちから見ると、どうしていいかわからない。トライ＆エラーの様なところがあるが、そういうわけにはいかない。

【事務局】

出港できる可能性がある場合には、出港するのではないか。緊急離桟操船実験より、津波外力の下で緊急離桟した事例で、出港することが困難ということがわかった。危険物船は原則港外退避という協議会での検討があった。方策を検討している段階であり、個人的な見解ではあるが、係留強化などに改めようかと考えている。

【今津委員長】

係留限界、緊急離桟の資料が揃い、方策は双方を考慮したものとなる。最終委員会の時に提出するということか。

【事務局】

それらを踏まえて検討している。

【今津委員長】

今日のところは係留限界と緊急離桟について個別に話をしている。

【海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長】

最終的な方策は緊急離桟の結果と、係留限界の結果を兼ね合わせてまとめるという話であった。資料 TNAV-SB-1 に戻っていただきたいが、津波周期を短くするほど、すぐに係留索が破断してしまうということが良くわかった。裏を返すと、周期が長いほど、係留限界に達しにくいということである。緊急離桟で出港できないような場合もあり得る中で、周期の条件だけで評価してしまうとこれが独り歩きして

しまうのではないか。震源が近い場所であれば、周期の短い津波も来襲するだろうが、例えば南海トラフ地震での内閣府が想定した東京湾内の津波周期は 5 分や 10 分ではなかったと思う。資料の前半で津波波形によるシミュレーションを行った場合も、P.19 の図 1.3.18 から最初の波の周期はだいたい 45 分ぐらいであることがわかる。あらゆる港湾に当て嵌めるための参考として検証した正弦波のシミュレーションについては、「周期が長ければもう少し大丈夫だ」という様な注意書きの文言を入れた方が良いのではないか。海上保安庁としては安全サイドに言わなければならないが、一方で絶望的な状況になってしまう様な、離岸もできず係留索も切れるという報告は如何かと思う。検討していただきたい。

【今津委員長】

確かに周期が短いと危険であることはシミュレーションから分かったが、一般的に震源から近い所や遠い所の傾向があるならば、それを踏まえたコメントを追記しては如何か。

【事務局】

正弦波でシミュレーションを行った結果、単位時間あたりの水位変化量が大きい時に係留索が切れるという事が検証できた。震源地が近い程津波周期は短くなる。単位時間あたりの水位変化量は各港で津波シミュレーションを行わなければわからないということを踏まえて厳しい報告となった。個別に行わなければ周期や津波高の予想はわからないが、最悪の場合を想定して記載した。

【今津委員長】

最悪の場合と、最悪でない場合で幅を持たせた書き方が必要である。ここでは清水港をベースとしているが、どちらかというと最悪に近い場所であった。

図 1.3.18 から周期が 45 分ということではない。いろいろな周期の波を合成したものである。単位時間あたりの水位変化量が大きい時は気をつける、小さい時には係留索は破断しにくい。これらを踏まえて、最悪のケースだけを記載するのではなく、最終的には場所によって調査すべきということになると思うが、傾向としては幅があるということを触れておく必要がある。

【事務局】

承知した。

【津金委員】

資料 TNAV-SB-2 の緊急離桟について、シミュレーション実験を見ていて、何分後に出港するというケースで、経過時間を変えて実験を行った。何分後が出港しやすい等について、まとめの中で P.137 の(2)で「津波来襲時に港口を航過して」と漠然と書かれているが、もう少し各船共通の話として付け加えては如何か。

【今津委員長】

大きなうねりのある時は難しいが、引き波や押し波、出港しやすい時機をある程

度推奨してはどうかということである。

【津金委員】

推奨もさることながら、それが各港によって異なる。できれば各港で津波シミュレーションを行い、港内流速の特性について事前に検討し、準備時間や他の制約もあるが、それを参考に出港する時間を観点の一つとして記載しても良いのではないか。

【今津委員長】

港口における流れの影響は船の性能から見ると共通してくる。連れ潮が良いのか逆潮が良いのか実験結果から言えることがあれば記載した方が良い。

【佐竹委員】

P.145 からモデル港の津波流況図として、シミュレーションの流速分布が記載されているが、これはあくまで震源地が最も近い地震を想定した場合である。清水港でいつもこういう地震が起きるわけではない。注意として、どういう地震を仮定した場合にはこういう流況になるということを記載していただかなければならない。清水港でいつもこのような流況になると思われてしまう。

【事務局】

承知した。

【小島委員】

P.135、136 に VLCC、LNG 船のまとめについては記載されているが、コンテナ船のまとめはどうなっているのか。

【今津委員長】

P.137 の 6.2 に入っている。

【静岡県 交通基盤部 港湾局 局長】

南海トラフ地震という、最大クラスの地震を想定している。2012 年の中央防災会議のモデルであると思うが、2013 年の新しいモデルが出ると聞いている。これは最大クラスの地震を条件としたモデルであり、いつもこの地震が起きるわけではない。条件を明示する必要がある。策定した途端に、また新たな条件ができると、一般的なことを書くのであれば良いが、清水港をモデル港とした結果を参考資料として添付すると思う。新しいモデルができるが、旧バージョンの想定で策定した事になると思う。

【今津委員長】

先ほど佐竹委員から清水港がいつもこのような地震・津波となるわけではないという話があった。ここで検討した清水港での条件は明示し、限らせていただこうと思っている。今のモデルで最も厳しい条件であると思われるモデルを利用して緊急離桟等について調べてみた。その結果、難しいケースと何とかなるケースがあった。条件が変われば結果は変わる。

【静岡県 交通基盤部 港湾局 局長】

取り纏めの書きぶりであるが、各港でシミュレーションを行えば良いが、予算も限られている。具体的な表現は地震のモデルにより全て異なるため、一般的ではなく限定的になる。ガイドラインを作成されると思うが、そういう盛り込みはなかなか困難ではないか。

【津金委員】

南海トラフの津波シミュレーションの結果を説明いただいた時に、昔の東海地震と比較して港内の流れや波の高さが多少異なるが、傾向的には大きく変わっていない。例えば日の出ふ頭付近では流れが強く、LNG 船バース付近では弱いなどの傾向はあまり変わらない。私は今の津波シミュレーションの知見によれば、ある程度の精度のものではないかと思う。

【静岡県 交通基盤部 港湾局 局長】

それほど差はないと聞いてはいる。ただ、前提となるのが 2012 年のモデルを使っていて、もうすぐ 2013 年のモデルが出るということを聞いているため、少し変わってくる可能性もあると思う。新しく実験する予算もないだろう。このケースの場合はこうだという明示が必要である。

【佐竹委員】

2012 年のモデルも 11 ケースぐらいあり、その中で最悪のケースを選んだ。2013 年のモデルで既往最大のモデルが中央防災会議で出されている。自治体へは既に提出されていると思う。ただ、最新のモデルであってもそのとおりになるわけではない。あくまで、最悪のケースということで捉えれば良いのではないか。最悪というのは、まず津波が早く来襲するということと、津波が大きいということである。津波来襲後どうなるかということは、例えば波源がどこまで伸びているか等によって変わる。津波が早く来るとか、津波高さについては最悪を想定していると思うが、40 分後、70 分後については最悪ということではない。

【今津委員長】

今いただいたコメントを前提条件として記載していただきたい。

モデル港を使って、いろいろ検討したが、共通項を導き出したいというのが最大の目的である。個々のものについては、当て嵌め方によっては再調査してもらう必要がある。津波に対する心がけや、準備できることは何があるかという共通項を導き出そうとした調査である。入船が良いか出船が良いか、係留索を普通にとるとどんなふうに切れるのか。係留索が切れることに対する対策について、注意しなければならない項目がいくつか挙がってきた。これらが共通項である。次回委員会では対策として考えなければならない。時間が限られてどこまで到達するかはわからないが、次の委員会までには案を出す。その案に対して委員の方々の知見をもとにコメントいただき、最終報告書としたいと考えている。

【岡野委員】

なかなか難しい内容になるため、前広に資料を頂戴したい。本日の資料について、いくつか文言の修正がある様なので、再度読んで確認させていただきたい。

【今津委員長】

今日は作業部会であるため、委員会の前段階であり、シミュレーション結果を報告し、纏める方向性の案である。最終委員会の時でもぜひコメントいただきたい。

【第三管区海上保安本部 交通部長】

出港操船で出船、入船でどれくらいの時間の差であるか議論になったところであるが、可能であれば報告書の中に、VLCC あるいはコンテナ船、普通の貨物船が出港する時に何の準備にどれぐらい時間がかかるのか、また、荷役中であれば緊急遮断弁がある場合とない場合での出港準備にかかる標準的な時間等を載せていただきたい。これらの作業に意外と時間がかかるということを理解しておく必要があると考える。

【今津委員長】

今の情報が手に入るか。また、資料をいつ頃委員の方々にお届けできるのか。

【事務局】

次の委員会は 2 月 24 日の 14 時から霞が関ビルの東海大学校友会館にて行う予定である。委員長への事前説明を 2 月 10 日に予定している。その週にはお渡しできるよう、努力している。できる限り前広に提案させていただきたい。

【今津委員長】

2 月 10 日の後、すぐにでもお手元に届くよう、努力したいということである。1 週間、10 日ぐらいは時間を要するかもしれない。緊急離桟するとしても、その手続きに時間がかかることについては如何か。

【事務局】

何か所か緊急離桟の見学に行き、資料をいただいているが、その資料を提出できるかどうか再度確認させていただきたい。

【事務局】

作業部会であるため、ご参考までに。昨年度末に日本航海学会が同じような検討をしており、データを公表している。具体的には、緊急離桟をする際に要する時間は LNG 船で最短 40 分という内容であった。また、LNG 船、LPG 船は緊急離桟し、スラスターを付けるべきで、VLCC やコンテナ船は比較的難しいということもあり、LNG 船、LPG 船を最優先し、係留限界は 2,3m という報告であった。それに対応するために学会では、係留索の初期張力やブレーキ力を高めるという安全対策が提言されている。一般論として公表されており、電力会社やガス会社は既に対策を行っている。実船実験も既に行っているという報告がある。緊急離桟に要する時間は 40 分であると、電力会社が自主的に調査した結果として学会で報告されている。それは公表されているので、引用可能であると思う。

【津金委員】

私も少し調べた。日本海難防止協会の昔の資料であるため、今そのまま使えるかわからないが、日本海地震の時や太平洋側の地震の時にどれぐらいで準備を終えて出港したか等記載されており、私もそれを引用させてもらった。アンケート調査で各基地へ行って調べた中にも、何分程度で出港できたという記述がいくつかあった。そういうものを参考にすれば良いのではないか。

【今津委員長】

事務局でいくつか調べたものはある。それを公表できるかどうかは調べた相手に聞かなければわからない。一般論としての話なので、平均値等になるのではないか。事務局にその辺りは任せて、記載していただきたい。

８．その他

第 4 回委員会は、2014 年 2 月 24 日 14:00 から霞が関ビルの東海大学校友会館にて開催する予定。

以上

5　第４回委員会議事概要

１．日時：平成 26 年 2 月 24 日（月）14 時 00 分～17 時 30 分

２．場所：東海大学校友会館 富士の間

３．議題
（１）報告書(案)の検討
（２）その他

４．出席者（順不同、敬称略）
（１）委員
今津隼馬（委員長）、津金正典、道田豊、田中隆博、富田孝史、小山仁明、楠元達也、大西正則、加藤勝則、小島茂、岡野良成、立川博行、齋田泰志、河原健、田和健次、岩田誠一、土井純二、岩場新、櫻井洋
（２）関係官庁
加藤光一（代理 松本和之）、黒川和浩、長谷川洋平(代理 中村浩二)、
森宏之（代理 石上幾久夫）、楠勝浩、豊藏俊雄、加賀谷俊和、花村幸宏、長谷川秀巳、西園勝秀（代理 杉山雄二）
（３）その他協力者、関係者
檜垣漸
（４）事務局
小川泰治、中嶋雄一、大内勝美、畑瀬崇順、土田英幸、白井友子

５．配布資料：
（１）委員会資料　TNAV25-4-1 平成 24 年度調査検討の概要
（２）委員会資料　TNAV25-4-2 係留・係駐限界シミュレーションの整理・検討
（３）委員会資料　TNAV25-4-3 操船シミュレーションの整理・検討
（４）委員会資料　TNAV25-4-4 大型危険物積載船の安全防災対策
（５）委員会資料　TNAV25-4-5 モデル港(清水港)における対応策の検討
（６）委員会資料　TNAV25-4-6 まとめ
（７）委員会資料　TNAV25-4-7 別編 港内津波対策の手引き
（８）参考資料　　報告書の構成(案)

６．開会等
（１）配布資料の確認
議事に先立ち、事務局が配布資料の確認を行った。

（２）議事概要（案）の承認

平成 25 年度 津波来襲時の航行安全対策に関する調査研究委員会 第 3 回委員会 議事概要（案）及び作業部会 議事概要（案）について、特段の質疑なく、承認された。

７．議事概要

（１）報告書(案)の検討

(ア) 資料 TNAV25-4-1 平成 24 年度調査検討の概要に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【岡野委員】

① P.1 の 1 行目に「中央防災会議による被害想定をもとに、…」と記載されているが、何の想定のもとか。

② 「平成 23 年度震災報告書」という言葉が出てくるが、どこの報告書か記載した方が丁寧ではないか。

【事務局】

① 被害想定の前に「・・南海トラフの巨大地震による津波モデルの被害想定」と追記する。

② 平成 24 年の第 1 回委員会で「平成 23 年度震災報告書」を委員の方々に配布したが、その概要版も平成 24 年度の報告書の巻末に参考資料として載せている。その旨も追記したい。

【土井委員】

2 点確認したい。

③ P.1 の上から 5 行目に「今年度の調査検討結果…」と記載されているが、平成 25 年度の報告書の一部になると思うので「平成 24 年度の調査検討結果」とした方が良いと思う。P.3 も同様である。

④ P.3 の「⑧津波により係留索が切断され…主機関の起動及び投錨の準備をしておく」は記載されているとおりであると思うが、第 5,6 章を拝見する限りこういった記述はされていない。オートスピニング時の主機停止などに関わってくると思うので、後の章でも明確に記載していただきたい。

【事務局】

③ 他の資料でも「今年度」を「平成 24 年度」と訂正したい。

④ 後の章で出てくるが、同様の記述にしたい。

【富田委員】

⑤ 「中央防災会議による被害想定」と記載されているが、被害そのものではなく地震と津波のモデルを利用している。誤解のない様に訂正した方が良い。

【事務局】

⑤ ご指摘のとおり訂正する。

（イ）資料 TNAV25-4-2 係留・係駐限界シミュレーションの整理・検討に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【岡野委員】

⑥ P.85 の 1.7.2 津波流速では、流向についても記載されている。流向が船首尾方向の場合と、正横方向の場合について記載されているが、長さ数百メートルある大型船では船首と船尾で流向が反対になるということもあった。そのことについても追記した方が良いのではないか。

【事務局】

⑥ その旨記載させていただく。

【岡野委員】

⑦ P.98 下から 4 行目に「錨を海底にきちんと設置した上で…」という表現があるが、馴染みのない表現である。表現を変えた方が良いのではないか。その他の私が気づいた助詞等の指摘は、後で事務局にお知らせするということでよろしいか。

【事務局】

⑦ 「錨が十分掻いた状態で・・」とうい表現に訂正したい。

【土井委員】

⑧ P.18 の① 津波モデルで、モデル港のシミュレーションであると記載しているが、前提条件が清水港のどの位置の波形であるか明示していただきたい。

【事務局】

⑧ 昨年度の報告書を引き継いで記載している。確認して追記したい。

【今津委員長】

⑧ 確実に条件を明示するということである。

【富田委員】

⑨ 前にも発言したが、係留系の固有振動周期はわからないのか。それがわかると現象がわかると思う。

【津金委員】

⑨ 重さ、バネ常数及び索の本数で、ある程度固有周期は計算できる。必要であればそういうふうにしていただいてはどうか。

【富田委員】

⑨ 今回の検討では、周期が短くなるほど動揺量が大きくなるということで、固有周期と関係しているように思う。文書では水位の変化量と書かれていたが、係留系なので固有振動数が大きく影響した現象なのではないか。

【津金委員】

⑨ 正弦波での 5 分、10 分、15 分の違いは波力の大きさ、つまり外力項の違い

が出ている。ラインが短いところは急激に水位が上昇することで、急に索に張力がかかり、大きな値が出て限界値に達しやすくなってしまうという話が作業部会であった。固有周期が目安として必要であるということであれば、計算していただけば良いのではないか。

【今津委員長】

⑨　本実験では、固有周期周辺の正弦波周期で解析をしていない。合うかどうかは固有周期を算出してみなければ答えようがない。ただ、津金委員からもあったように係留索が切れるというのは、波力の影響であるということで作業部会では承諾いただいた。固有周期の影響について検討することはやぶさかではないが、今回の結論と結びつくかどうかは何とも言えない。事務局で預からせていただいて、採用するか否か検討させていただくということでよろしいか。

【富田委員】

⑨　結構である。

【今津委員長】

⑨　津金委員と相談し、数値的な解析を加え、採用できるようであれば文書の中に記述するように。

津金委員から以下の計算結果の提出があり、今回の動揺シミュレーションでは、有意な固有周期の影響はないと考えられる。

固有動揺周期の計算結果（初期張力時）

船型	係留索	テールロープ	索数	初期張力（ｋN）	Sway バネ常数和（ｋN/m）	Sway 固有周期（秒）	Surge バネ常数和（ｋN/m）	Surge 固有周期（秒）
VLCC	ワイヤー 42mm	ナイロン 105mm	２０	９８	６３３．６	１８７	２３４．１ －２５９．７	２５２ ２３９
大型 LNG 船	ダイニーマ 44mm	ナイロン 110mm	１６	９８	３７６．３	１５０	１６１．５ －７５．１	１９６　＊１ ２８８　＊１
3,000DWT 船型	パイレン 45mm	－	６	１２．１	９６．０	５３	１４５．７ －６４．９	３３　＊２ ５０　＊２
10,000DWT 船型	パイレン 60mm	－	８	２１．６	５２．８	１３５	５１．１ －４８．５	１０７ １１０

固有動揺周期の計算式

T＝２π・√（付加質量係数＊満載排水量 / バネ常数和）

ここに

付加質量係数（Sway）：　1+π/(2＊Cb)＊(d/B)

付加質量係数（Surge）：　1.10

バネ常数：初期張力/伸び量（ｋN/m）

＊１　前後の固有周期の違いは、スプリングライン用ウインチの設置位置が異なり、索長が異なるため。

＊２　前後の固有周期の違いは、係留索配置の前後非対称性によるため。

（ウ）資料 TNAV25-4-3 操船シミュレーションの整理・検討に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【津金委員】

⑩ P.23 の表 3.1.1 実験結果一覧について、例えば LV-10 で防舷材反力及び所要時間が○（まる）と評価されているが、アンケート総合評価が×（ばつ）という評価になっている。そういう評価になった理由があるだろうと考えられるので、脚注に記載してはいかがか。

【事務局】

⑩ その旨記載させていただく。

【岡野委員】

⑪ P.136 の上から 6 行目「出船着桟が有効であると考えられるが、…」と記載されている。本資料の前の方では「有効である」と記載されているのに、ここでは「有効であると考えられる」と書かれている。取り纏めに苦労されたこともあり、「考えられる」と記載したのだろうと思うが、「出船着桟が有効であるが、…」として「考えられる」は削除して良いと思う。

【事務局】

⑪ 限定された条件下のシミュレーション結果であり、港湾内でのバースの配置や港口の方向などを考慮のうえ所要時間、操船の難易性などを総合的に判断する必要があることからこのように記載した。ご了承願いたい。

【富田委員】

まず、シミュレーションを見学させていただき、とても良い実験であったと思う。3 点ある。

⑫ P.135 の(1)のタイトルに「タグボート及びスラスター無し」とあるが、「及び」は「または」の間違いではないか。13 行目には「少なくともタグボート 1 隻若しくはスラスターを使用した」と書かれているのでタイトルと異なる。

⑬ (1)は「自力離桟」で、(2)は「緊急離桟」になっている。「自力」が大きなポイントなのかそれとも「緊急」で統一することができるのか。

⑭ (2)は「タグボートが 1 隻あれば」と書かれているが、「スラスターがあれば」に書きかえることも可能なのか。

【事務局】

⑫ 「タグボートまたはスラスター」に訂正させていただく。

⑬ タグボートもスラスターも無いという意味での自力離桟である。表現については、はっきりするよう訂正したい。

⑭ VLCC 及び LNG 船の共通事項として記載している。スラスターがついているのは LNG 船しかない。そのため、P.136 で LNG 船のスラスターについて記載している。

【田和委員】

⑮ P.131 の 5.2.2 には「津波来襲中の入船着桟及び出船着桟の出港操船については、…（省略）…短時間で容易に行うことが可能であった。」とあるのに対し、P.135 の(1)のタイトルでは「…自力離桟は困難である」とか、P.137 の(1)のタイトルでは「…一連の操船を確実に行うことは困難である。」というふうに述べられている。どういう関係になっているのかわからないので、教えていただきたい。

【今津委員長】

⑮ この辺りは着桟条件と、離岸条件が混ざっている。離岸できるか否かは入船出船に関係無いが、波向等によっては離岸できない状態がある。離岸できて、なお且つ出港する場合には、出船の方が短時間で行うことができるという結論である。それが混同してしまい、打消している一方で認めている様に読まれているのだと思う。事務局でもう一度見直して、誤解の無い様にさせていただくということでよろしいか。

【田和委員】

⑮ はい。

(エ) 資料 TNAV25-4-4 大型危険物積載船の安全防災対策に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【土井委員】

⑯ P.5「既存バースについてもバースの改修や使用船舶の変更等の機会を捉え…」について、バース改修にも種類がある。「大規模改修」等にしていただきたい。また、「使用船舶の変更」についてもスポット船もあるため、表現を見直していただきたい。

⑰ P.7「(2)支援体制」の中で、「①水先人の手配」、「②曳船の手配」について記載し、次に「(3)船側の対応」とある。構成の問題であるが、水先人や曳船が陸側の対応の様に感じるので工夫していただきたい。

⑱ P.7 の上から 5 行目「また、水先人が手配できない場合の緊急離桟についてその可否や手順について検討しておくとともに、…」は、現行の水先法では認められていない。水先法の改正が前提、課題となっていることを追記する必要がある。

⑲ P.7「②曳船の手配」について、「…警戒船が曳航能力を有する場合は、緊急時に有効である。」とあるが、曳航能力を有する消防船もある。「警戒船または消防船が曳航能力を有する場合は…」に変えていただきたい。

【事務局】

⑯ 意見を踏まえ検討したい。

⑰ 「(2)支援体制」と「(3)船側の対応」を入れ替えることにしたい。

⑱ 本研究では水先法について検討していないため、水先人が手配できない場合

も想定し、検討しておく必要があるという意味である。「その可否や」の「可否」は削除する。法的な議論ではなく、実質的な対応について記載したものであり了承願いたい。

⑲　「警戒船または消防船」と訂正したい。

【岩場委員】

⑳　P.4 から P.5 にかけて係船のあり方について考慮する点が 9 つ箇条書きされているが、「・着桟方式を見直す場合におけるバースの設備配置及び着桟能力」を追加していただきたい。既存のバースについては着桟方式の変更により着桟エネルギーが変わるため、既存のバース設計の許容範囲を超える場合もある。フェンダー配置等との整合性の確認も必要であると思うので加えていただきたい。

⑯ P.5「既存バースについてもバースの改修や使用船舶の変更等の機会を捉え…」の「バース改修」、「使用船舶の変更」について土井委員の意見と同様、表現が適当ではないと考える。「バースの大規模改修やそれに伴う運用変更等の機会を捉え…」という様な表現に変更していただきたい。

㉑　P.5「a)クイックリリースフック」、「b)ESDS、ERS」の双方で「電源の二重化」について記載しているが、「できる限り」等の表現を加えてほしい。言い切っているように捉えられる表現がある。また、二重化には手段がたくさんあるため「非常用発電機等により」という例示をしてはいかがか。

㉒　P.6「④オイルフェンス」の 4 行目「速やかに収納できる体制」という言葉がわかりにくい。趣旨はオイルフェンスが離桟するときの障害にならないようにしておくことであると思う。そういう趣旨が書いてあれば良いのではないか。

㉓　P.7「②曳船の手配」の「申合せは、津波来襲までの時間の余裕の多寡や予想される津波の高さに応じ、ケース分けして調整しておくと、…」とあるが、津波の高さは地震が起きてすぐ正確にわかるのかという疑問がある。「地震の規模」でケース分けするのが現実的ではないか。

【今津委員長】

⑳、⑯　土井委員の意見と重複している点もあるので合わせてどう対応するか答えていただきたい。⑳と⑯は似て非なるものである。既存バースについても⑯で記載しているような機会のある時には、⑳の箇条書き事項を考慮してほしいという関係である。

【岩場委員】

⑳、⑯　まず、どういう時に検討するのかというのが第一段階にあり、次に実際に検討する時にどういう項目を検討していくかということになると思うので、箇条書きの項目の追加をご提案させていただいた。

【今津委員長】

⑳　着桟方式の変更について箇条書きの項目の中に入れるのはいかがなものか。方式の変更というのは改修ではないか。

【岩場委員】

⑳　箇条書きの項目に入れてはいかがかと申した理由は、既存のバースで大規模改修等があり、着桟方式の見直しの検討をするならば、その時には設備の配置や着桟能力を考慮すべきではないかという意味である。

【今津委員長】

⑳　既存のバースで着桟方式の変更以外に大規模改修をすることがあり得るということであるか。

【岩場委員】

⑳　既存のバースを着桟舷の変更以外の理由で改修することもある。

【今津委員長】

⑳　箇条書きの部分に追加する必要はあるか。

【岩場委員】

⑳　我々が検討する時には、当然検討するので、追記してはいかがかということである。

【事務局】

⑯　意見を踏まえ「バースの大規模改修やそれに伴う運用変更等の機会を捉え…」と訂正させて頂く。

⑳　着桟舷を変更できないのであれば検討の対象にならないと思う。

㉑　「できる限り」、「非常用発電機等により」という表現を追記させていただく。

㉒　「速やかに収納できる体制」とは、緊急時の役割分担を決めておくなどの措置をとっておくという趣旨である。なお、これ以外の方策として巻取機などを設置しておくことも考えられる。「速やかに収納できる体制等」に訂正する。

【津金委員】

㉑　二重化の問題だが、緊急離桟をする時に ESDS が作動するのと同じレベルで係留索を外せるようにしておかなければ意味がないと思う。クイックリリースフックだけ、できる限り二重化するという趣旨のようであるが、いかがか。

【岩場委員】

㉑　クイックリリースフックも ESDS、ERS いずれの施設についても二重化することが望ましいことは間違いない。本報告書で義務化するところまで書くのはいかがかということである。

【今津委員長】

㉑　「望ましい」と記載されているが。

【岩場委員】

㉑　日本語の問題である。

【事務局】

㉑　趣旨がはっきりするように二重化と遠隔操作を並列にして記載したい。

【道田委員】

㉓　どれぐらい正確な情報が出るかというのは別の問題であるが、地震の規模で分けるのは現実的ではないと思う。津波に対する対策を決めている。地震の規模イコール津波の規模ではない。警報が出て、津波の高さはそんなに外れないという想定の下で予め準備しておくのが趣旨であると思う。「津波来襲までの時間の余裕の多寡や予想される津波の高さ」で妥当であると思う。

【事務局】

㉓　原案のままとしたい。

【田和委員】

㉓　「ケース分けして調整しておくと、現実に即した対応が可能」ということだが、ケース分けすることがどれだけ現実的なのか。たとえ、10 分後や、1 時間後に津波が来るとしても、津波来襲時に海上に出ている人は命の危険に晒される。それをこういった取り決めで決められるのか。港内にあるタグボートの隻数は限られている。全てのバースでこのようなことをした場合、タグボートを持っている船会社はどう優先順位を決めるのか。それを事業者に委ねるのは酷な話であると思う。もう少し考えた方が良いのではないか。

【今津委員長】

㉓　ここで全てを決めるという話ではなく、こういうことを検討する必要があるという指針を書き、各港で改めて具体的な策を検討願うということにしている。そのため、優先順位等までは触れる必要がないのではないか。ケース分けが現実的かどうかという問題はある。

【田和委員】

㉓　個々の事業者というよりも、港湾計画の中でどう捉えていくかという視点から考えていくべきではないか。個々の事業者同士で検討していても港湾全体で見た場合、整合しないと思う。この部分については港湾管理者の責務が大きく出てくるのではないかと考えている。

【今津委員長】

㉓　話し合わなければならないことである。船会社だけが対策として決めればできるものでもない。事務局もその辺りはわかっており、具体的な対策に対応する責任者を 3 つに分けて後の第 6 章に表でまとめている。ただし、ここでの記載に問題が無いわけではない。事務局で「津波の高さに応じて対応可能とすることが必要である」という様なことまでは言えるが、ケース分けまで言えるかというと難しい。具体にするには関係者で集まって、作ってもらわなければならない。

【第三管区海上保安本部 交通部長】

㉒ P.6「④オイルフェンス」について、緊急離桟の障害にならないということが一番大事なことだが、その後漂流して大変な事態にならないということも大事である。「収納」は書き直していただくとしても、漂流しないことを念頭に表現を再考していただきたい。

【事務局】

㉒ 了解した。「オイルフェンスは、流出等により船舶交通の障害とならないよう措置しておく」旨追記したい。

【河原委員】

㉓ 田和委員から発言があったように、東日本大震災で会員が 6 社被災した。その経験から我々の対応もある程度変わってきたということはご存知だと思うが、タグボートは民間が運営しており、法律的に強要できない。津波来襲時に、タグ会社が存在していても、タグボートが無い場合や乗組員がいない場合等に皆様のご希望に沿えるかどうかわからない。タグボートが召集されても、地震の規模や津波の高さ、余裕時間が明確にわからなければならず、乗組員の命を危険に晒すことはできないというのが会員の考え方である。一度にタグボートを持って来いと言われても、タグボートをたくさん持っている地域では可能かもしれないが、そういう地域には必ず船もたくさんあり、対応に限界がある。協会の会員としては、タグボートが無傷で、乗組員がいる場合、希望に沿えるよう最大限の努力をする。しかし、希望に沿えない場合の手順が存在するかわからないが、そういった手順があるならばそれに従っていく。こういう事を前提に考えていただき、各地方で指示をいただかなければならないだろう。海上保安庁からタンカー側とタグボート業者等で事前の申合せを行いなさいという案文が公表されているという情報を得た。契約や事前の申合せができたとしても、対応できることに限界があるということはご了解いただかなければならない。

【今津委員長】

㉓ 事前に決めたとおり実行できるかというのは別の話で、緊急事態というのはそういうものである。対応を事前に調整しておくことは大切であるということに触れておき、その調整については各関係者で話し合っていただきたいという趣旨でお願いしたい。

【岡野委員】

㉔ P.7 下から 5 行目「二港揚げ、台風接近時など時間的余裕がある場合」とあるが、台風接近時は観測体制が整っていて、接近を前広に把握できるから時間的余裕があると理解できる。二港揚げはどのように時間的余裕ができるのか。

【事務局】
㉔　ある程度計画的なものであると思い記載した。「二港揚げ」を削除したい。

【国土交通省 港湾局 海岸・防災課 広域連携推進官】
㉕　P.3「(2)小名浜港」に「係留、荷役作業に従事していた作業員は、バースマスターの機転で全員本船上に避難して無事であった。」という記述がある。これに対する対応があると良いと思った。
【今津委員長】
㉕　綱取り等の作業員が危険である場合、本船に収容するというような対応についてもどこかに記載していなかったか。
【事務局】
㉕　作業員が陸上避難に間に合わない場合、船内避難した方が良いという内容を報告書のどこかに記載している。
【今津委員長】
㉕　後で確認していただきたい。
（第 4 章の P11 に「岸壁上の作業員の避難方法について、本船への避難の可能性を含め検討しておくことが必要である。」旨記載。）

(オ) 資料 TNAV25-4-5 モデル港(清水港)における対応策の検討に基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。
【静岡県 交通基盤部港湾局 局長】
㉖　港湾管理者であるが、シミュレーション条件について伺いたい。コンテナ船が離桟する時に興津にあるコンテナ等の状況は加味されているのか。
【事務局】
㉖　陸上からの漂流物については、今回のシミュレーションでは、設定していない。
【静岡県 交通基盤部港湾局 局長】
㉖　仙台塩釜ではたくさんのコンテナが航路、泊地に流出し、時間がかかった。シミュレーションの避難開始時刻が、津波発生 30 分後等になっている。清水港には第1波が2～5分後に来襲し、引き波時にはコンテナが航路や泊地に流出するのではないか。大型コンテナ船は離桟が難しいという結論になっているが、コンテナ船もすぐに出られないのではないか。場合によっては係留したままの方が安全なのではないか。
㉗　係留する場合は係留索を強化するという表現があるが、作業員がいてラインを締め直すのか。どういう状況か伺いたい。
【事務局】
㉖　今回のシミュレーションでは、漂流物を設定していない。
㉗　係留索の増し取り、増し締めと書いているが、大型船の例で言うと係留索は

係留ドラムに巻かれた状態になっており、このブレーキ力を強化することによって増し締めできる。対応に時間がない場合、増し取りは難しいケースもあるが、余裕がある場合は係留索の増し取りも念頭に入れるという意味で記載している。

【静岡県 交通基盤部港湾局 局長】

㉗ 関係者を集めて港湾 BCP を進めているが、津波が発生した場合は最大クラスかどうかわからないため、まずは避難するということが前提である。時間に余裕がある場合の作業員の対応を想定しているならば、「～の場合」などの条件を明確に記述していただきたい。港湾管理者と船側で協議する場が必要になると思うので、条件をもう少し書いていただけたら助かる。

【事務局】

㉗ この地震動のモデルは、最悪の津波を想定している。係留索の増し取りが可能であるかという観点からもう少し前提について、「南海トラフ巨大地震の津波断層モデルで清水区の津波が最大となるケースを採用、船舶避難計画の検討当たっては港湾 BCP と整合性のとれた対策が必要となる・・・」旨の記載をしたい。

【今津委員長】

㉗ 今のコメントを踏まえ、関係する箇所は加筆するように。

【田和委員】

㉘ 強い地震を震度 4 以上としているが、なぜ震度 4 なのかわからない。

㉙ P.17 上から 6 行目「また、新たに想定された、最大クラスの津波（第 4 次想定：レベル 2 津波）」は具体的にどれぐらいの規模なのか。

㉚ P.65「(3) 危険物積載船の措置」で「事業者側が予めマニュアルを整備し定期的に訓練をすることが望ましい。」とある。「望ましい」と記載されてあり、強制しているわけではないので良いとは思うが、スポット船等があるため、船は一定しない。着桟する船全てが練度を上げるために訓練を行うとしたら、配船料だけでも事業者に多額の負担がかかる。スポット船の場合、船員も入れ替わるので訓練しても効果があるのか。「望ましい」ということなので良いのではないかとは思うが、考えていただきたい。

【事務局】

㉘ 関係省庁が「津波に対する心得」というものを申合せており、これは広く周知されている。その中で震度 4 程度以上の揺れを感じた場合または弱い地震であっても長い時間ゆっくりとした揺れを感じた場合についての対応が記載されている。関係省庁の申合せでは震度 4 程度となっている。また、資料 TNAV25-4-4 の P.6「③荷役中止基準」（参考）でも記載しているとおり、消防法では震度 5 弱以上の地震への対応が施行規則に規定されている。

【田和委員】

㉘　それを注釈等で追記してもらいたい。

【事務局】

㉘　承知した。

㉙　南海トラフ巨大地震を想定しているので、説明を追記する。

㉚　現状でも海上保安庁からマニュアル等を作成するように指導されていると伺っている。そのため、「望ましい」ということで記載させていただいた。

【岩場委員】

㉘　資料 TNAV25-4-4 の P.6「③荷役中止基準」（参考）を見ると、震度 4 の場合は情報収集をして必要に応じてポンプの停止等を行い、震度 5 弱以上の場合は荷役を中止するということである。これを記載しながら、他の部分で震度 4 以上の時は荷役を中止する必要があると記載するのは混乱を招くのではないか。消防法の規則と違うことを記載するのであれば、何らかの根拠が示されていなければならないのではないか。

【事務局】

㉘　先ほどの行政申合せについては資料 TNAV25-4-7 の P.68 に「津波に対する心得」を記載している。これを資料 TNAV25-4-4 の P.6③荷役中止基準（参考）に記載し、消防法の記述を削除させていただきたい。

【岩場委員】

㉘　消防法に定められている内容以上のことをもとめるということか。消防法では震度 4 と震度 5 弱以上で対応のレベルが異なる。震度 4 以上で一律に荷役中止するのは消防法と合致していないのではないか。

【事務局】

㉘　平仄が合っていないため、先ほどの資料 TNAV25-4-7 の P.68 の記載に変更したい。

【津金委員】

㉘　消防法は陸上の規定であり、船舶の規定として考えるということではないのか。消防法に定められている移送取扱所というのは陸上に対する対応ではないか。

【今津委員長】

㉘　消防法に依存する場合は陸上規則である消防法を船の方に適応することになり、「津波に対する心得」に依存するのであれば、各省庁間の申合せ内容を適応することとなる。事務局案ではバラつきがあるが、事務局としては「津波に対する心得」を船に適応したいという話である。そうすると消防法を参考にしながら荷役中止について記載していたが、消防法は削除するということになる。

【静岡県 交通基盤部港湾局 局長】

㉘　震度いくつの時に荷役を中止するというのは、それぞれ関係者と話合うので

あって、この場で話す必要はない。あくまで船舶をどういう場合に避難させるかという検討である。荷役の基準は個々の港の管理者によって変わってくるのではないか。

【今津委員長】

㉘ おっしゃるとおりであるが、国の基準があれば、どの港でも共通である。基準があるならばそれに従うということである。個々に話し合う内容は個々で話合う。資料 TNAV25-4-7 の P.68 がどの程度のものなのかよくわからない。

【小島委員】

㉘ 実際に地震が起きて、震度 4 であるかどうかはテレビ等の情報がなければ、自分自身ではわからない。震度 4 がどれくらいのものかわかりにくい。ただ、すぐに荷役を中止しなければならないかどうかの判断は、これ以上荷役を続けていては危ないという感覚ではないか。

【事務局】

㉘ 各事業所において、地震計を設置するなど、個別に規制が設けられているのが実態である。事業所が止めているのに船が荷役を続けるという状況は考えられないので、船陸間で事前に打ち合わせておくというのが趣旨である。資料 TNAV25-4-4 の P.6「③荷役中止基準」は残し、船側については「津波に対する心得」に震度 4 程度以上で港外退避という申合せがあり、この程度の地震が荷役を中止する震度かと思うが、事業所ごとに変わる場合もある。

【海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長】

㉘ そもそも津波が来るという警報が発されるのは地震が発生してから数分のはずである。揺れてから、ポンプ停止のボタンを押すかどうか議論している間に警報が出るだろう。したがって、ここでは「大きく揺れたらあらゆる情報を収集しましょう。」程度の内容にしたほうが良いのではないか。各港で事情も異なる。

【今津委員長】

㉘ 現実的にはそうである。震度何以上という線を引くのはこの時点では難しいようであるが、津波警報が出れば即座に荷役を中止するという共通認識はあるようである。

【土井委員】

㉘ 資料 TNAV25-4-7 の P.15 下から 4 行目にも同様の記載があり、ここでは震度 4 程度以上の場合は荷役の緊急停止及び荷役装置の緊急離脱となっている。別編以外の第 6 章までには緊急離脱について書かれておらず、当然強い地震があれば荷役の緊急停止は状況に応じてすることになるが、緊急離脱となると、ハードルが変わってくる。その時の状況に応じて緊急離脱することとなる。ご検討いただきたい。

【今津委員長】

㉘　実際は港の関係者が集まってマニュアルを作るが、それぞれの地方の特徴を活かせる様な書きぶりでお願いしたい。

【事務局】

㉘　皆さんの意見を踏まえ、津波警報、津波注意報で荷役中止とし、強い地震などがあった場合は情報収集に努めるという内容に訂正する。

（カ）資料 TNAV25-4-6 まとめに基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【今津委員長】

ここにはこれまでの資料をまとめているが、ご意見をいただきそれを踏まえるとこの中もいくつか書き直さなければならない。コメントいただいたことの修正を加えるという説明であった。

【岡野委員】

⑪　P.5 の一番上の四角、出船着桟については、さきほど資料 TNAV25-4-4 で申し上げたとおりである。

⑱ P.7 の水先人に関する記載について、四角の中に記述されている内容と、その下の記述内容の意味が全く違う。土井委員からも意見があったが、強制水先の話にも関わっている。四角内の記述は「水先人会と事前に申合せを行って…」とあり、どんな申合せになるかわからないが、少なくとも有効であるだろう。しかし、その下に「水先人が手配できない場合の緊急離桟について、その可否や手順について検討しておくとともに…」とあり、強制水先の水先法の話にまで関わっているイメージがある。記述を工夫していただきたい。

【事務局】

⑪　先程、説明したとおりであり了承願いたい。

⑱ これも先程の説明したとおり同様の趣旨であり、第 4 章と同様に訂正したい。

【土井委員】

4 点ある。まとめの資料そのものは報告書の最後に添付されると思うが、場合によってはこの章だけピックアップし、ご覧になられる方がいるかもしれない。

㉛　P.1(1)「荷役設備・係留設備の非常用電源を整備しておくこと」について、バースの全設備を対象として、非常用電源を整備せよとも捉えられる。停電時に緊急離桟を円滑にできるようにという趣旨だろうと思う。具体的に荷役設備が ESDS や ERS を対象としていて、係留設備はクイックリリースフックを対象としているということを明記していただきたい。第 4 章でも記載されており、そこではESDSやERS、クイックリリースフックに限定した表現となっているので整合してほしい。

㉜　P.3(5)の四角の枠の中だけを見ると、VLCC 及び LNG 船は 1～3m 程度が限

界であると読めてしまう。第 2 章に津波の高さや流速よりも水位の変化量が急激である場合の影響が大きいと書かれている。ある条件下では1～3m程度ということである。1～3m と書いてしまうと、1m で限界に達すると読めてしまうので、できれば「概ね 3m 以下で」という表現にしていただくか、1mというのは限定された条件だと思うので、それがわかる表現になおしていただきたい。条件もモデル港の津波波形と書いていただければ、本章だけを切り離されたとしても正確な情報として伝わると思う。

㉝ 小型の LNG 船は今回検討されていないため、あくまで大型の LNG 船であることを明記していただきたい。あるいは大型危険物積載船としての LNG 船であると記載していただきたい。

⑰ P.7「②支援体制」が「③船側の対応」の前段にあり、陸側の対応という位置づけになっているので構成を工夫していただきたい。

【事務局】

㉛ 分かりやすく「緊急離桟に支障のないよう」という説明を追記する。

㉝ 「大型 LNG 船」と記載する。

⑰ 先程と同様、「(2)支援体制」と「(3)船側の対応」を入れ替えることにしたい。

【今津委員長】

㉜ 「概ね 3m 以下で」に変更するという提案については、1～3m という数字がでてきた条件を間違わない程度に捉えられるように書きぶりを改めるという対応で十分か、再度検討していただきたい。

【事務局】

㉜ 「モデル港（清水港）の津波波形」と記載し、前提条件もはっきり、詳細に記載したい。

【海上保安庁 交通部 安全課 航行指導室長】

㉛ P.1 の非常用電源の話だが、危険物バースについては ESDS 等であると思うが、東日本大震災で、アンローダーが停電により動かせなくなり、離桟できず津波に流された石炭船があった。3 つの装置に限定して書くのではなく、もっと広く読める様に書いた方が良いと思う。危険物積載船だけの話ではない。

【岩場委員】

㉞ 同じく P.1 の非常用電源について、津波が来襲する前に停電により荷役設備が停止し、緊急離桟の障害となった事例から、非常用電源は津波の影響を受けにくい階上に設置することが望ましいとなっている。階上にあった方が良いのは間違いないと思うが、論理的につながっていない気がする。津波が来襲する前に停電になってしまった事例への解決策が、津波が来襲した時のために階上に設置するということになっている。

【事務局】

㉞　平成 23 年度のヒヤリング調査で、1 階に非常用電源設備があったが、浸水して使えなくなったという事例があった。それを踏まえて記載した。

【今津委員長】

㉞　津波が来る前の話であるにも関わらず、津波が来てからの対応も書かれているということである。津波が来るから非常用電源が必要となるのか。津波が来る前だけ、停電にならなければ良いのか。どちらであるのか。

【事務局】

㉞　津波が来襲する前に準備をしておく必要があるという意味である。

【今津委員長】

㉞　津波が来襲した後も電源の確保が必要であるということを書くのであるならば、この書きぶりは違うのではないか。津波が来た後も電源は必要であるということも含めて検討しなさい。

【津金委員】

㉞　例えばコンテナ船のガントリークレーンは地震が起きると自動的にストップする。下に降りて作動しなければ、上では電源を入れられないという仕組みになっている。アンローダーやガントリークレーンもすぐ上げる等、船が逃げやすい様に緊急事態でも使える非常用電源を考えておくべきではないかという原則論である。特に細かい話としてこういう事例があったと捉えたが、いかがか。

【今津委員長】

㉞　委員から質問があったということは、ここは二重の捉え方ができるということでもある。津波対策で電源は必要であり、荷役設備や係留設備に限らず電源の確保が必要である。

【事務局】

㉞　承知した。分かり易く記載したい。

【田和委員】

㉞　電動に拘る必要はあるのか。物によっては空気式や機械式の遠隔操作もあると思う。全て電動でなければならないわけではない。設備ごとに違う。非常用電源と言い切ってしまうのは言い過ぎではないか。

㉟　簡潔に書こうとするあまり、主語がわからなくなっているものもある。例えば P.2(3)外国人船員に対する啓蒙を誰がするのか。P.3(4)避難エリアについての情報を誰が共有するのか。(7)訓練については「望ましい」ではなく、「必要である」になっているので「望ましい」にしていただきたい。P.7「③船側の対応」で、「係留強化等の手順をあらかじめ定めておく」という事であるが、バースのボラード強度も関係するので、係留だけ強化しても桟橋が壊れてしまう可能性もあるのでそれも合わせて検討する必要がある。P.9 の四角の枠内「分かり易い情報の提供が望まれる」というのは、だれが提供するの

か。主体を明確化した方が良いのではないか。

【今津委員長】

㉟ 例えば、電源や通信が必要であれば、電源確保について検討するというイメージである。「～ねばならない」というのを今ここで全ての港に共通して決めるのは行き過ぎたところもある。「必要であれば」ということを踏まえ、関係者の集まる協議会等で決める事項は前広にしなければならない。まとめの冒頭に、そういう内容であることを踏まえて以下を読んでいただきたいということを記載すること。

【田和委員】

㉟ 今回の検討いただいた中で出てきた内容は気づきの事項であると思う。港毎に港湾管理者や、事業者、船の関係者といろいろ考える時にこういった気づき事項があったという確認であると思う。そのように纏めていただきたい。

【今津委員長】

㉟ 気づいた中でもウエイトがあり、これはぜひやってほしいということもある。

(キ) 資料 TNAV25-4-7 別編 港内津波対策の手引きに基づき、事務局が説明を行い、承認された。質疑応答の内容は以下のとおりである。

【津金委員】

㊱ P.24 に船舶対応表について、着岸船で一般船舶であるが先ほどもいろいろ対策の中で主語がはっきりせず、船がやるのか陸がやるのか双方で打合せする必要があると思う。

㊲ P.9 に船会社でも対応マニュアルを作るという記述があった。P.9 の 2 行目「社内の緊急時マニュアル等に定める津波来襲時の対応」である。P.24 の表に船側でも地震津波対策のマニュアルを作成することが望ましいと記載していただきたい。

【事務局】

㊱ 委員からのご指摘のとおり、まとめの冒頭に、役割分担について協議しておく旨記載したい

㊲ 着岸船の一般船舶にもマニュアルを作成するのが望ましいということを追記する。

【土井委員】

手引き資料も単独で公表されるものであると認識している。先ほどのコメントと重なるところもある。

㉛ P.9 下から 5 行目荷役設備・係留設備の定義をもう少し明確に。

㊳ P.10 下から 6 行目「自力離桟が困難な船舶は、着桟したまま係留索の増し取り等の係留強化で対処することも安全サイドに立った判断といえる。」の条件は「（ハ）港外退避に際して余裕時間が少ない場合」ということである。

これ以外のケースで航路が非常に混雑している状況において、離桟するのが必ずしも適切であるかどうかという判断もあると思う。混雑状況によっては、安全性を検討して係留強化で対処することも安全サイドに立った判断であるということをどこかに追記していただきたい。また、P.15 に「①積荷の危険物による…（省略）…港外退避を基本とすることが望ましい。」とあるが、混雑状況等によっては望ましいかどうかわからない。港湾あるいは航路の安全性を確認の上、退避するのが望ましいという文言を追記いただきたい。

㊴ 港外退避という言葉は港の外に出る事を指しているのか。港の中であっても、広い港で安全水域への退避も含まれるのではないか。港外退避ではなく安全水域への退避という表現も検討していただきたい。P.24 にも表があるので注釈を書いていただきたい。

㉘ P.15「②一般船舶の…」「イ）強い地震…緊急離脱」まで書かれているのでこれまでの文言と統一していただきたい。

㊵ P.15「②一般船舶の…」「二）メンブレン型大型液化ガスタンカーのスロッシング防止措置」について、スロッシング防止のためにカーゴシフトする等の対策が考えられるが、それと緊急離桟のどちらを優先するのか。例えば第 4 章 P.7 下から 3 行目では「タンクレベルに関わらず離桟したうえで、…動揺を極力軽減させるよう操船するとともに…」と書かれているので、これと整合するためには緊急離桟を優先するように書いていただくか、検討していただきたい。

㉜ P.46 も VLCC 及び LNG 船は 1～3m 程度が限界であるというふうに読めてしまう。

㉝ P.46LNG 船は大型である。

㉝ P.47 も LNG 船は大型である。また表のタイトルを、あくまで正弦波のシミュレーションであるのでわかるように記載していただきたい。

【事務局】

㉛ 先程の説明同様、記載したい。

㊳ 避難判断の項目に「航路等の状況」を追記する。係留避泊の判断は他の要因も含めて総合的に判断されると思料される。

基本的には先ほど申した様に、これまでの章の修正と整合するよう修正させていただく。

㊴ 余裕ある場合は港外退避が基本。なお、港外退避中に航行困難となった場合は、港内避泊となる。（表 2-5 脚注参照）

㊵ 第 4 章と同様、緊急離桟を優先した記載にする。

㉘、㉜、㉝、㉝ 先程の説明のとおりである。

【今津委員長】

いただいたコメントを纏めるにあたって、特に第 6 章のまとめに反映され、この結果、手引きに反映されると思う。資料 TNAV25-4-6 については、議事概要の

照会に併せ委員の方々にお目通し願うということにしたい。
できれば3月中旬にお手元に届くようにしてほしい。
【事務局】
了解した。
（2）その他
（公社）日本海難防止協会 常務理事から最終委員会にあたり挨拶があった。

以上

2013 年度大地震及び大津波来襲時の
航行安全対策に関する調査研究報告書

発　行 2014 年 4 月
公益社団法人 日本海難防止協会
東京都港区虎ノ門一丁目 1 番 3 号
〒105-0001　　磯村ビル 6 階
TEL 03-3502-2231
FAX 03-3581-6136