

津波発生時の船舶航行実態分析と緊急避難円滑化 に向けた視点

安部智久*・篠永龍毅**

要 旨

津波発生時に船舶が港湾内で漂流した場合、他船との衝突や岸壁への乗り上げ等により港湾内での被害が増大する可能性がある。このため、地震後に津波来襲が予想される場合には、船舶の緊急避難が必要であり、船舶の緊急避難を円滑化する観点からの水域施設（航路・泊地）に関する検討が必要である。

本研究は、今後各地で実施される緊急避難円滑化のための取り組みの参考情報を提供することを目的に、東日本大震災発生時の船舶航行実態を分析するとともに、これまでに実施された研究のレビューや専門家へのヒアリングを踏まえ、緊急避難の円滑化の観点から水域施設の整備・運用に関する検討の視点を示すものである。

キーワード：津波、緊急避難、水域施設

* 港湾研究部 港湾計画研究室 室長

** 港湾研究部 港湾計画研究室 研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 東日本大震災時の船舶・港湾被害の状況	1
2.1 文献整理の概要	1
2.2 船舶・港湾被害の状況	1
3. 東日本大震災発生時の船舶避難に関する分析	1
3.1 分析の方法と視点	1
3.2 鹿島港	3
3.3 苫小牧港	8
3.4 東京港	13
3.5 横浜港（北側）	17
3.6 横浜港（南側）	21
3.7 川崎港	24
3.8 千葉港（中央地区）	27
3.9 千葉港（八幡・五井地区）	30
3.10 千葉港（姉崎・袖ヶ浦地区）	34
3.11 木更津港	37
3.12 緊急避難の状況に関する考察	40
3.13 緊急避難時の水域利用実態についての分析	41
3.14 本章のまとめ	44
4. 想定津波に関するデータ分析	44
4.1 分析の概要	44
4.2 分析の結果と考察	44
5. 津波発生時の緊急避難円滑化に関する検討	47
5.1 文献収集と整理	47
5.2 ヒアリングの実施	47
6. 緊急避難円滑化に向けた視点	49
7. まとめ	51
謝辞	51
参考文献	52

1. はじめに

津波発生時に船舶が港湾内で漂流した場合、他船との衝突や岸壁への乗り上げ等により港湾内での被害が増大する可能性がある。このため地震後に津波が予想される場合には、船舶の緊急避難や係留強化が必要となる。このような問題意識から、国土交通省は2021年3月に「海・船の視点からみた港湾強靭化Ver.1」を公表し今後の取り組みの方向性を示した¹⁾。この中で、船舶の緊急避難を円滑化するための水域施設（航路・泊地）に関する検討の必要性が示されている。

本研究は、今後各地で実施される緊急避難円滑化をはじめとした取り組み（リスク評価や港湾BCPの改訂等）の参考情報を提供することを目的に、東日本大震災発生時の船舶航行実態を分析するとともに、これまでに実施された検討のレビューや専門家へのヒアリングを踏まえ、緊急避難促進の観点から水域施設の整備・運用に関する対応の視点を検討することを目的とする。

本資料の構成は以下のとおりである。第2章において東日本大震災発生時の船舶・港湾被害について文献整理を行い、第3章においてAIS（Automatic Identification System）データを用いた東日本大震災発生時の船舶避難ならびに水域利用実態を緊急避難の観点から示し考察する。

今後の対応を検討する観点から、第4章において想定津波に関する情報収集と分析を行い、津波による水位変動やその発現時間等について考察する。第5章では津波発生時の船舶の安全確保のための方策について、船舶運航者側の視点による検討をレビュー・整理するとともに、水域施設の整備・運用のあり方に関し船舶運航に関する専門家に対し行ったヒアリング結果を示す。これらの検討を踏まえ、第6章で緊急避難円滑化の視点による水域施設の整備・運用に関する対応の視点を示す。

本研究では、水域施設の第一義的な利用者である船舶運航者側の視点を重視した検討を行うことに留意した。

2. 東日本大震災発生時の船舶・港湾被害の状況

2.1 文献整理の概要

東日本大震災発生時には、東日本太平洋岸の港湾において船舶も被害を受けた。当時船舶運航者等が取った行動や船舶への被害についてヒアリングやアンケート調査が実施され、取りまとめられている^{2) 3) 4)}。この情報を表-2.1にまとめた。なお、当時港湾内に存在したすべての船舶についての情報が網羅的に示されているものではない点に留意が必要である。

2.2 船舶・港湾被害の状況

表-2.1に取りまとめた情報から、緊急避難の状況について考察する。津波の来襲が予想された際、船舶の運用状態は様々であり、速やかに離岸し避難を行った船舶がある一方、荷役やその他の作業のため離岸を断念せざるを得なかった場合もある。離岸の際には、荷役機械稼動等のための電源や人員が必要であるが、これらが確保できない場合に避難が困難となった。

避難が困難な場合については、津波の規模が大きく港湾内の流速が一定程度あったことから係留索が切断され、船舶が漂流した例が複数報告されている。このような船舶は浅瀬での座礁、防波堤への衝突の他、岸壁への乗り上げに至っており、いずれの場合も被災後の港湾の復旧を長期化させる一因となったことが推察される。

離岸を行うことができた場合でも、防波堤の外まで緊急避難できた場合もある一方、港湾内での錨泊中に津波の圧流に流された例がある。このほか、油タンクやフローティングドックの流失、コンテナ、自動車、漁具、瓦礫等の流出により港湾内の航行に関して危険性が高まったことが報告されている。

津波の高さや来襲までの時間は、港湾毎に状況が異なるが、概ね地震発生から30分～1時間程度で押し波が来襲している。これまでの間に離岸することができれば防波堤の外まで安全に避難できる可能性があるが、船舶の運用状態や船舶の規模によってその実行可能性は異なるものと考えられる。

3. 東日本大震災発生時の船舶避難に関する分析

3.1 分析の方法と視点

2011年3月11日の東日本大震災発生後に、各港湾で緊急避難を試みた船舶があり、この際の船舶行動ならびに港湾利用状況についてAISデータによる分析を行った。分析対象は、苦小牧港、鹿島港、東京湾における諸港であり、いずれの港湾・水域においても大津波警報または津波警報が発令され、津波が観測されている。なお東日本大震災発生時直後の停電により、仙台港等の震源に近い港湾でのデータは保存されておらず分析できなかった。

またAISデータによる分析では以下に留意が必要である。

第一にAISの積載義務は一定規模以上の船舶のみにあるため、その以下の小型の船舶は捕捉されていない場合が多い。ただし小型船は水深等の港湾内の航行に関する制約は少なく、比較的緊急避難は容易であったと推察される。

第二にタグボートが捕捉されている例があるが、全数と

表-2.1 東日本大震災発生時の船舶・港湾への被害

	津波の状況	船舶の避難・港湾被害に関する状況	その他の状況
八戸港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:22 第1波来襲 -0.8m (引波) 15:51 第2波来襲 +2.3m (押波) 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急離桟し岸壁から約200mの位置に錨泊したが、津波に流されて左舷後部の船底が岸壁に接触 (探査船/約57,000トン) . 船倉にブルドーザー9台を残し、緊急離桟しようとしたが、津波に流され係留索が切断し、防波堤内側に乗揚げ (貨物船/約20,000トン) . 津波に圧流され係留索が切断し船首が岸壁に乗り上げ (ケミカル船/約8,000トン) . 15:00に緊急離桟し港外へ退避 (フェリー/6,558GT) . 15:10に自力による緊急離桟により港外退避 (自動車専用船/約6,000トン) . 緊急離桟により港外退避 (コンテナ船/約800トン) . 	<ul style="list-style-type: none"> 港内はコンテナ、自動車、漁網など様々な物の流出により船舶の航行が危険な状態。
宮古港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:12 第1波来襲 岸壁を洗う程度の押波 15:21 第2波来襲 強烈な押波 	<ul style="list-style-type: none"> 起重機船、油タンク、フローティングドッグなどが流出。 起重機船 (約1,000GT)、観光船 (約100GT) など多数の船が陸上に乗り上げ。 	
釜石港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 14:45 引潮の発生 15:12 第1波来襲 15:16 湾口防波堤を超えて津波の港内へ浸入 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急離桟を検討したが停電のため離桟困難となり、乗員および作業員などは係留したまま高台に避難、船体は津波に流され係留索が切断し岸壁に乗揚げ (貨物船/約5,000トン) . 緊急離桟により港外退避 (巡視船/約500トン) . 	
大船渡港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 14:46 発災直後 直ちに潮が引く 	<ul style="list-style-type: none"> 15:05 緊急離桟の準備完了、その後離桟 (貨物船/6,544トン) . 15:05 緊急離桟を決定 15:15 緊急離桟を実施 15:45 大船渡湾内に投錨 (セメント専用船/4,906GT) 	
石巻港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:47 第1波来襲 防波堤を超えて侵入 	<ul style="list-style-type: none"> 艦装中に発炎、作業員は船の中の方が安全と判断し船内に待機、船体は津波に流れ浅瀬に乗揚げ (貨物船/約20,000トン) . 出港準備中であったが乗員は津波到達時間が迫っていたため、係留したまま付近の建物に退避、船体は港内を漂流したのち浅瀬に乗揚げ (貨物船/約20,000トン) . 出港準備中であったが、乗員は津波到達時間が迫っていたため、係留したまま付近の建物に退避、船体は港内を漂流したのち浅瀬に乗揚げ (貨物船/約400トン) . 	<ul style="list-style-type: none"> 港内はコンテナ、ロープ、家屋など様々な物の流出により船舶の航行が危険な状態。
仙台港 (塩釜港区)	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:35 引潮の発生 15:49 第1波来襲 	<ul style="list-style-type: none"> 津波により漂流、緊急投錨したが漂流物などにより航行不能となった (貨物船/約6,000トン) 乗員は、係留したまま避難、船体は津波に流され係留索が切断し、岸壁に乗揚げ (貨物船/約6,000トン) 緊急離桟により港外退避 (タンカー/約2,000トン) 津波に圧流され係留索が切断し、港内を漂流したのち、沖合の浅瀬に乗揚げ (巡視船/約1,500トン) 	<ul style="list-style-type: none"> 養殖漁具、漁網など様々な物の流出、また水路周辺灯浮標の移動、流出により船舶の航行が危険な状態。
仙台港 (仙台港区)	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:35 引潮の発生 15:49 第1波来襲 	<ul style="list-style-type: none"> バイロットの手配不可との連絡あったが15:51に離桟、港内で津波による渦に巻き込まれまた他船とも接触したが、17:24に防波堤の外へ避難、(VLCC/154,000GT) . 15:00に離岸 (タグボートなしでその場回頭)、15:45に航路ブイ外へ退避 (フェリー/13,937GT) . 15:30に離岸し16:00に港外へ退避 (セメント専用船/11,736GT) . 15:05に離岸、港湾外へ避難 (内航タンカー/1,821GT) . 発災直後に沖合退避 (貨物船/約499トン) . 	<ul style="list-style-type: none"> 養殖漁具、漁網など様々な物の流出により船舶の航行が危険な状態。
小名浜港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 14:52 第1波来襲 +1.0m (押波) 15:35 徐々に潮位の上昇 15:36 第2波来襲 +3.3m (押波) 	<ul style="list-style-type: none"> 14:49に大津波警報が発令され、その10分後には港内ほんどの船舶が避難行動を開始し、40分後にはそれらのほとんどが沖合に避泊完了。 荷役中の船舶は動作開始まで早くても30分を要していた。 	<ul style="list-style-type: none"> 津波により自動車、ガレキなどが流出し、船舶の航行が危険な状態。
大洗港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:15 第1波 +1.8m 押波 15:43 第2波 +3.9m 押波 16:52 第3波 +4.9m 押波 	<ul style="list-style-type: none"> 下船荷役中であり15:00に船長判断で緊急離岸・出港 (大型カーフェリー/13,816GT) . 	
鹿島港	<ul style="list-style-type: none"> 津波到達時刻と津波高さ 15:32 第1波 +1.5m (押波) 16:40 最大波 +3m程度 (押波) M9.0の東日本大震災と連動して同日15:15に茨城沖で発生したM7.7の地震津波による影響もあったとみられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 15:20に離岸・沖出し、東京港へ向かう (貨物船/約499トン) . 15:30頃に3回目の引き波に合わせて離岸、港外で錨泊 (貨物船/約499トン) . 船員を避難させ係留で対応 (複数の貨物船) . 	<ul style="list-style-type: none"> 先ず引潮が発生し海底が見え、夕方までに4波までの押波が確認された。

出典：各文献を元に筆者らが作成

は限らない。

第三にAISデータの捕捉は受信状況にもよるため、すべての船舶の航跡が完全に得られるわけではなく、以下は取得できた情報に基づく分析結果である。

分析の視点は以下のとおりである。

- ・地震発生時の港湾内の状況（港湾内の船舶隻数等）
- ・緊急避難できた船舶や津波によって被害を受けた船舶の状況
- ・地震発生後の時間経過と緊急避難との関係
- ・緊急避難を行った船舶の係留状態、特に出船係留と入船係留の相違。ここに「出船係留」とは出航時に回頭を要しない係留形態を示す。本研究では入港時に回頭してから着岸する場合と、入港時の航行方向と同一方向に離岸する場合が含まれる。一方「入船係留」とは入港時に回頭をせずそのまま着岸し係留した後、出航時に回頭が必要となる係留形態を指す。
- ・水域施設の利用状況、特に回頭時の水域規模、泊地・航路の輻輳状況

3.2 鹿島港

1) 港湾全体の状況

鹿島港では東日本大震災時大津波警報が発令され（15:14）少なくとも3m以上の高さの津波があったとされている。図-3.2.1に示すように地震発生時には24隻の船舶が港内で停泊していた（うちタグボートが4隻）。

船舶の状況を時系列でみると以下の通りである。

- ・15:30頃、3隻の船舶が港外へ避難（図-3.2.2）、その5分後さらに4隻の避難がしている（図-3.2.3）。
- ・15:55頃、5隻の船舶が避難（図-3.2.4）、その5分後の16:00頃には引き波によるものとみられる船舶の漂流がみられる（図-3.2.5）。
- ・16:15頃、押し波によるものとみられる船舶の漂流がみられる（図-3.2.6）、16:20には4隻が港湾内の方向へ流れている（図-3.2.7）。
- ・その後、引き波と押し波が交互に来襲し船舶の漂流が続く（図-3.2.8、図-3.2.9）。
- ・20:10頃には、大型船が防波堤に近い水域で座礁している。この時刻からタグボートによる支援が開始され、タグボート3隻が大型船を再係留のため支援している状況がみられる（図-3.2.10）。

このように、緊急避難が可能であったのは地震発生後概ね1時間程度までであり、一旦津波が港湾内に入った後は引き波・押し波が交互に押し寄せ、避難が困難であったことが推察される。

他方、防波堤の外へ避難した船舶については、港湾の沖

合で待機している状況がみられる。図-3.2.11は地震発生翌日までの船舶の航跡であるが、陸域から概ね5~10kmの水域にとどまっていた状況が確認される。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

上記のように、緊急避難までの時間が重要であることから、個別船の緊急避難時間に着目した分析を行った。この際、回頭に一定の時間を要することから、出船係留・入船係留の別の相違について着目した。図-3.2.12は、横軸に船舶の規模（全長）、縦軸に地震発生後の時間をとり、船舶ごとに避難航行開始時間をプロットしたものである。ここで避難航行開始時間を「地震発生から船舶が離岸し港湾外の方向に航行し始めるまでの時間」と定義する。なお、避難航行開始時間の判定は目視で行い、またAISの受信状況や判定の精度を考慮し分析は15分を1単位としている（縦軸の数値1が15分に相当）。

分析において船舶の避難区分を以下の4区分とした。

区分1：出船係留から自力で離岸し避難

区分2：入船係留から自力で離岸・回頭し避難

区分3：タグボートの支援により避難（区分3の多くは入船係留であるが、大型船の場合出船係留でもタグボートの支援が必要な場合がある）

区分4：避難が確認されなかったもの（係留を維持した船舶と漂流した船舶が含まれる）。グラフ上では縦軸の数字はゼロとしている。

一度漂流した船舶については、その後に港湾外に避難した場合でも区分4としている。

図-3.2.12の通り、鹿島港の場合には緊急避難ができたのは全長が110m以下の船舶であり、また地震発生後概ね1時間内に限定される。タグボートの支援により避難したとみられる船舶は1隻であり、他は自力回頭で避難したとみられる。全長が150mを超える船舶の緊急避難は確認できていない。避難できなかった船舶については、係留で耐えられず漂流した船舶が多い。東日本大震災の本震の規模が大きかったことに加え、本震から約30分後に発生した茨城県沖の地震とその後の津波による影響もあったとみられる。



図-3.2.1 鹿島港での船舶分布



図-3.2.2 鹿島港での避難状況 1



図-3.2.3 鹿島港での避難状況 2



図-3.2.4 鹿島港での避難状況3



図-3.2.5 鹿島港での避難状況4



図-3.2.6 鹿島港での避難状況5





図-3.2.10 鹿島港での避難状況 9

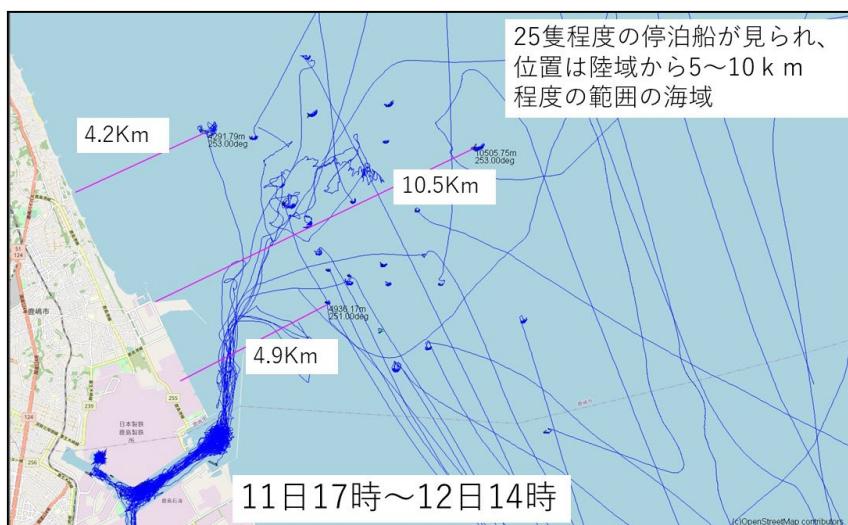


図-3.2.11 鹿島港沖合での避難状況

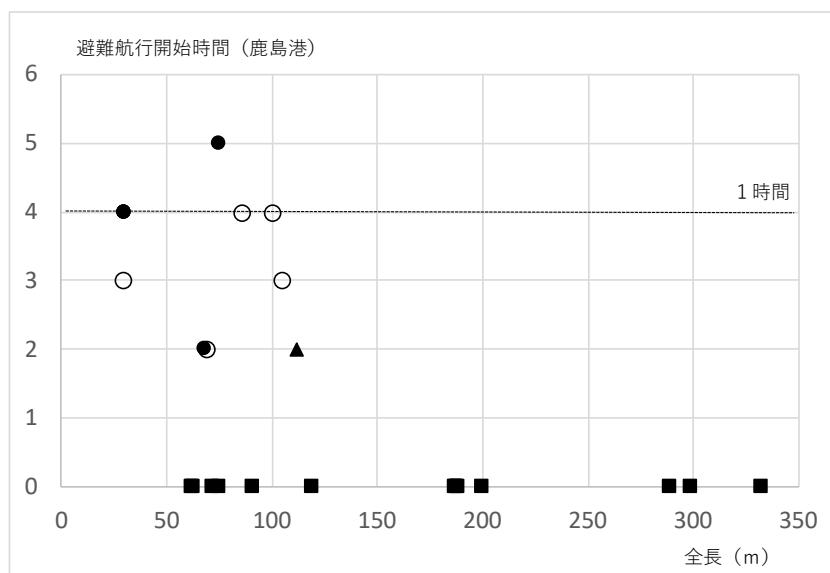


図-3.2.12 地震発生から避難航行開始までの時間（鹿島港）

縦軸の4単位が1時間に相当

3.3 苦小牧港

1) 港湾全体の状況

苦小牧港では、当初津波警報が発令（15:14）されたのち、大津波警報に変更された（15:30）。16時過ぎに第一波が観測され、その後引き波2m（17:00）、押し波2m（17:30）と繰り返し来襲を受けている。図-3.3.1に示すように地震発生時には21隻の船舶が港湾内に停泊していた（うちタグボートが2隻）。船舶の状況を時系列でみると以下の通りである。

- ・15:15頃、3隻の船舶が港外へ避難するのが確認される（図-3.3.2）。これらは出船係留船またはフェリー（スラスターによる自力回頭）である。大津波警報発令前の避難である。
- ・15:30頃、さらに4隻の船舶が港外へ避難するのが確認される（図-3.3.3）。これらは出船係留船またはフェリー（スラスターによる自力回頭）である。
- ・15:35頃、さらに3隻の船舶が港外へ避難するのが確認される（図-3.3.4）。この時点では、複数の船舶が一定の間隔で避難している状況がみられる。
- ・15:45頃、湾口の1隻が自力で回頭するとともに、タグボートが港内へ向かっている（図-3.3.5）。この時点でも、複数の船舶が航路上を一定の間隔で避難している状況がみられる。
- ・15:50頃、RORO船2隻が自力で回頭（スラスターによる自力回頭）している（図-3.3.6）。この時点でも、複数の船舶が航路上を一定の間隔で避難している状況がみられる。
- ・16:00頃、湾口の1隻が離岸した他の1隻はタグボートの支援で回頭している。この時点では係留状態にあるのは4隻であるが、入船係留船または大型の船舶である（図-3.3.7）。
- ・16:05頃、湾口のRORO船1隻が自力で回頭するとともに、別の1隻がタグボートの支援で回頭している（図-3.3.8）。
- ・16:50頃、貨物船1隻が回頭するが、タグボートの支援は確認できないため自力での回頭とみられる（図-3.3.9）。

・17:30頃、港湾内の船舶は避難を終えているが、最後に避難した船舶が防波堤付近でやや流されている（図-3.3.10）。この時間は押し波（高さ2m、17:30）の時間と一致しており、津波による流速の影響をうけたとみられる。

- ・17:40頃、最後まで係留していた大型船をタグボートが支援する一方、津波により漂流したとみられる船舶についてもタグボートが体勢の立て直しを支援している状況がみられる（図-3.3.11）。
- ・17:50頃、最後まで係留していた大型船が離岸を断念し、その他の船舶は緊急避難を終えた（図-3.3.12）。

苦小牧港では航路等の水域の輻輳等の混乱はなく、地震後約3時間で避難を終えた。避難中に防波堤付近で漂流したとみられる船舶は1隻あるが、座礁等の事態には至らず防波堤外へ避難している。最終的に係留継続を選択した船舶は、当時港湾内に所在した最大の船舶（全長約200m）であり、その後も係留を継続できた。この要因として鹿島港と比較し津波の規模が小さかったことが考察される。またタグボートによる支援を受けた船舶が数隻みられるが、タグボートが船舶に到着するまでの時間分、避難開始までの時間は遅くなる傾向にある。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.3.13は、避難航行開始時間の分析結果である。地震発生後1時間～1時間半程度で離岸・避難開始できた船舶が多いが、これは苦小牧港では出船係留船ならびに通常時から自力回頭を行うフェリー・RORO船が多かったためであるとみられる。タグボートの支援による避難にはやや時間を要している。全長が200m程度の船舶まで避難を行っているが、全長の長い船舶がやや避難に時間を要している傾向がみられる。



図-3.3.1 苦小牧港での船舶分布



図-3.3.2 苫小牧港での避難状況 1



図-3.3.3 苫小牧港での避難状況 2



図-3.3.4 苫小牧港での避難状況 3



図-3.3.5 苫小牧港での避難状況4



図-3.3.6 苫小牧港での避難状況5



図-3.3.7 苫小牧港での避難状況6



図-3.3.8 苫小牧港での避難状況 7



図-3.3.9 苫小牧港での避難状況 8



図-3.3.10 苫小牧港での避難状況 9



図-3.3.11 苫小牧港での避難状況 10



図-3.3.12 苫小牧港での避難状況 11

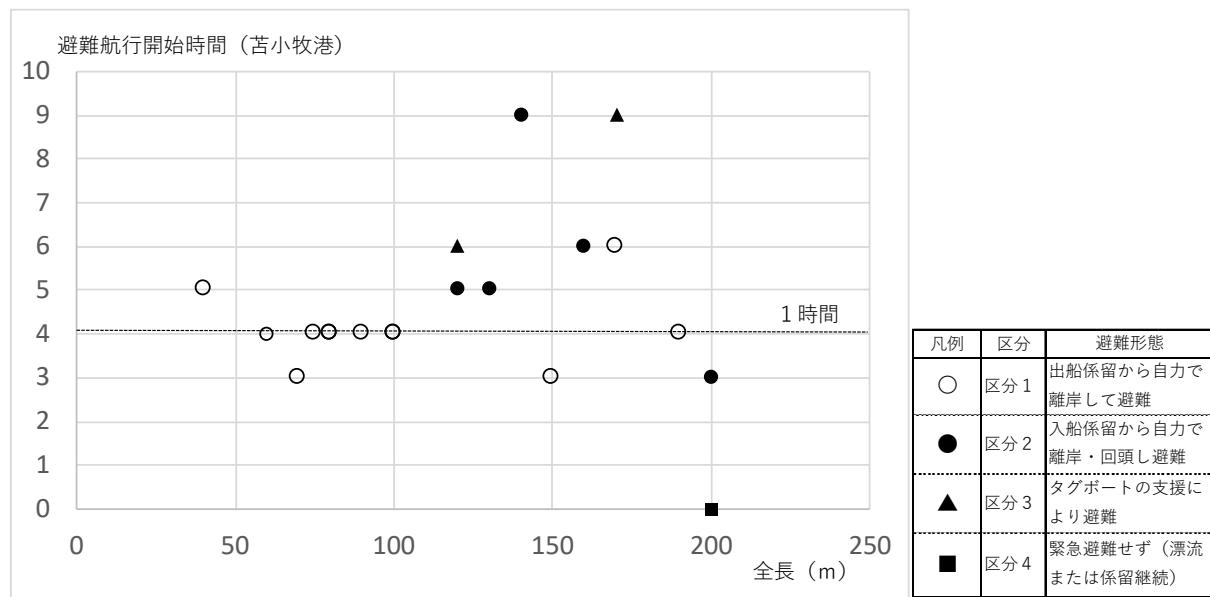


図-3.3.13 地震発生から避難航行開始までの時間（苫小牧港）

縦軸の4単位が1時間に相当

3.4 東京港

1) 港湾全体の状況

東京湾地域においても、例えば横浜港において津波注意報（15:14）の後に津波警報（15:30）が発令され、16時半以降津波が観測された。17:40に最大1.75mの津波が観測されている。安部ら（2014）⁵⁾が示すように、東京湾内各港に所在していた船舶の多くは港湾外に避難・錨泊したが、押し波・引き波による流れによりこれら錨泊船は一定の水域内で流された。津波警報は翌12日13:50まで継続された。

東京港では、地震発生時に20隻船舶が存在し（図-3.4.1）、その後15:30頃に大型のコンテナ船が着岸した。コンテナターミナルを有することから大型の船舶が存在することが特徴であり、コンテナ船を中心に緊急避難の状況を分析した。

- ・15:30頃、タグボートが2隻を支援するため到着している。うち1隻は着岸位置からコンテナ船とみられるが、諸元は不明である。大型のコンテナ船（全長300m）が着岸している（図-3.4.2）。
- ・16:10頃、15:30に着岸したコンテナ船を支援するためタグボートが到着し直ちに離岸している。荷役等の作業前であり、迅速な対応が可能であったとみられる。このほか、2隻が自力で離岸している（図-3.4.3）。
- ・16:35頃、中央防波堤内側のターミナルに着岸していた船舶をタグボートが支援している（図-3.4.4）。当該船舶は、岸壁前で回頭を行わず、そのまま直進することで港湾外へ避難した（区分3）。
- ・16:50頃、大井・青海地区のターミナルにタグボート2隻が到着し、コンテナ船の離岸を支援している。また中央防波堤内側のターミナルに着岸していた船舶が自力で離岸している（図-3.4.5）。当該船舶は、岸壁前で回頭を行わず、そのまま直進することで港湾外へ避難した（区分1）。
- ・17:20頃、さらに大井・青海地区のターミナルにタグボート2隻が到着し、コンテナ船の離岸を支援している。また他のコンテナ船1隻も離岸しているが、タグボートの支援は確認できず、自力での離岸・回頭とみられる（図-3.4.6）。
- ・17:45頃、大井地区のターミナルでタグボート支援が継続されるとともに、別のコンテナ船が自力で離岸・回頭したとみられる（図-3.4.7）。
- ・19:10頃、この時刻までにほとんどの船舶は緊急避難を終えている。大井地区の1隻は係留を継続したが、その後漂流には至っていない（図-3.4.8）。

東京港においては地震後約4時間半（津波警報発令後4時間弱）にて避難を終えている。大井・青海地区に係留していたコンテナ船についてはタグボートが順次避難を支援し、また他の地区においても、ROROによる自力での離岸・回頭がみられた。また、中央防波堤内側のターミナルに着

岸していた船舶2隻は入船着岸であったが、回頭を行うことなくそのまま離岸・直進することで港湾外へ避難した。船舶の輻輳は確認されなかった。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.4.9は、避難航行開始時間の分析結果である。自力回頭を行った船舶（区分1ならびに区分2）は、概ね全長が150m程度までの船舶である。このうち避難が比較的早かったのはRORO船である。全長が大きい船舶ほどタグボートの支援を受けている。タグボートが順番に大型の船舶を支援したが、船舶側からみると緊急避難を開始できる時間はタグボート到着までの時間に影響を受ける。全般的に苦小牧港よりも避難に時間を要しているが、全長300mの船舶2隻を含め、漂流した船舶はみられない。

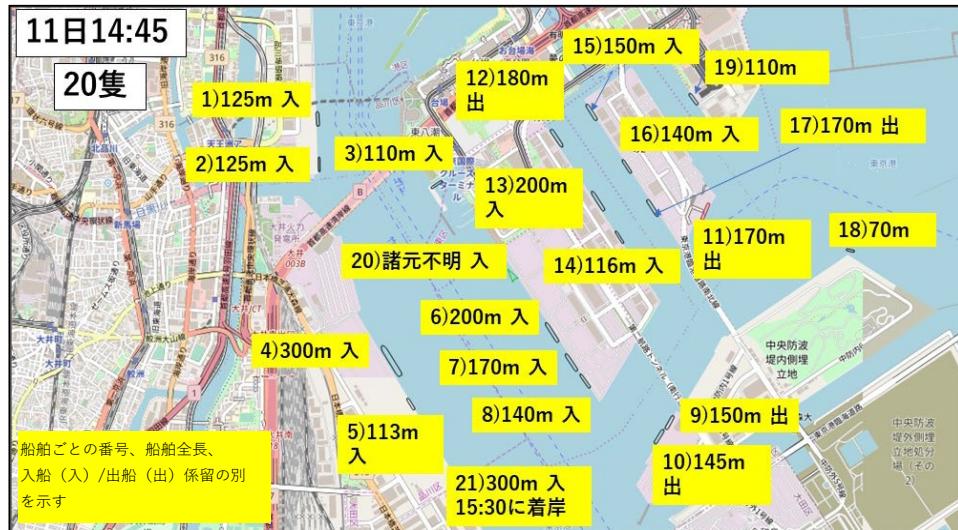


図-3.4.1 東京港での船舶分布



図-3.4.2 東京港での避難状況 1



図-3.4.3 東京港での避難状況 2



図-3.4.4 東京港での避難状況3



図-3.4.5 東京港での避難状況4



図-3.4.6 東京港での避難状況5



図-3.4.7 東京港での避難状況 6



図-3.4.8 東京港での避難状況 7

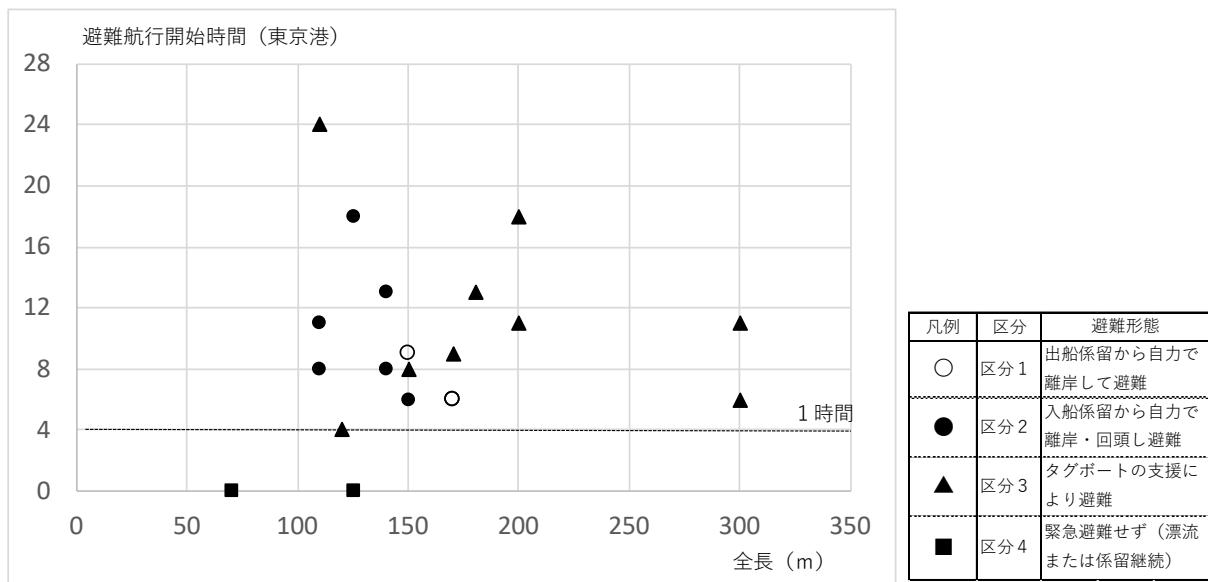


図-3.4.9 地震発生から避難航行開始までの時間 (東京港)

3.5 横浜港（北側）

1) 港湾全体の状況

横浜港においては津波注意報（15:14）の後に津波警報（15:30）が発令され、16時半以降津波が観測された。17:40に最大1.75mの津波が観測された。津波警報は翌12日13:50まで継続された。

横浜港の北側（本牧地区以北）では、地震発生時に20隻船舶が存在し（図-3.5.1）、うち1隻は15:00頃に着岸したコンテナ船である。この隻数には入っていないが横浜港ではタグボートとみられる小型の船舶も確認される。係留形態の特徴として入船係留が多く出船係留は2隻である。

- ・15:00頃、タグボートが貨物船1隻を支援するため到着している。また本牧地区にコンテナ船（全長280m）が着岸している（図-3.5.2）。
- ・15:45頃、貨物船5隻に対してタグボートが支援のため到着している。うち大黒地区の2隻はコンテナ船である。タグボート2隻により支援される船舶もみられる（図-3.5.3）。
- ・16:40頃、貨物船2隻に対し、タグボート支援するため到着している。うち大黒地区の1隻はコンテナ船である。この他自力で回頭している船舶がみられる（図-3.5.4）。
- ・17:00頃、大黒地区の別のコンテナ船1隻にタグボート2隻が到着し支援しようとする状況がみられる（図-3.5.5）。

17時以降数時間は船舶の動きはみられない。17:40が最大の津波発生時刻でありこの時間帯を避けた可能性もある。

・19:00頃、貨物船の動きはみられないが、タグボートとみられる小型船の船舶が岸壁付近に待機（円内）している状況がみられる（図-3.5.6）。

- ・20:15頃、タグボート1隻が本牧地区のコンテナ船（全長280m）を支援するため到着している（図-3.5.7）。
- ・21:00頃、タグボート1隻が大黒地区の貨物船を支援するため到着している（図-3.5.8）。これ以降本牧地区を中心に貨物船は係留の継続を選択したが（図-3.5.9）、漂流には至っていない。

横浜港の北側においては、地震後約2時間半（津波警報発令後2時間）までが避難のピークとなっており、この間タグボートが順次船舶を支援した。2隻のタグボートにより支援される船舶がみられた。タグボートの拠点（山下地区）に近く比較的支援を受けやすかった状況であったものと推察される。船舶の輻輳は確認されなかった。

避難を行わず、係留を継続した船舶もある。本牧地区は複数のコンテナ船がこのような判断をしたが、漂流等の被害は発生していない。予想される津波高さを勘案し、この判断をしたものと推察される。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.5.10は、避難航行開始時間の分析結果である。多くの船舶がタグボートの支援により避難を行っている。自力回頭を行った船舶は1隻とみられる。出船係留を行っていた船舶のうち1隻は係留を継続した。



図-3.5.1 横浜港（北側）での船舶分布



図-3.5.2 横浜港（北側）での避難状況 1



図-3.5.3 横浜港（北側）での避難状況2



図-3.5.4 横浜港（北側）での避難状況 3



図-3.5.5 横浜港（北側）での避難状況4

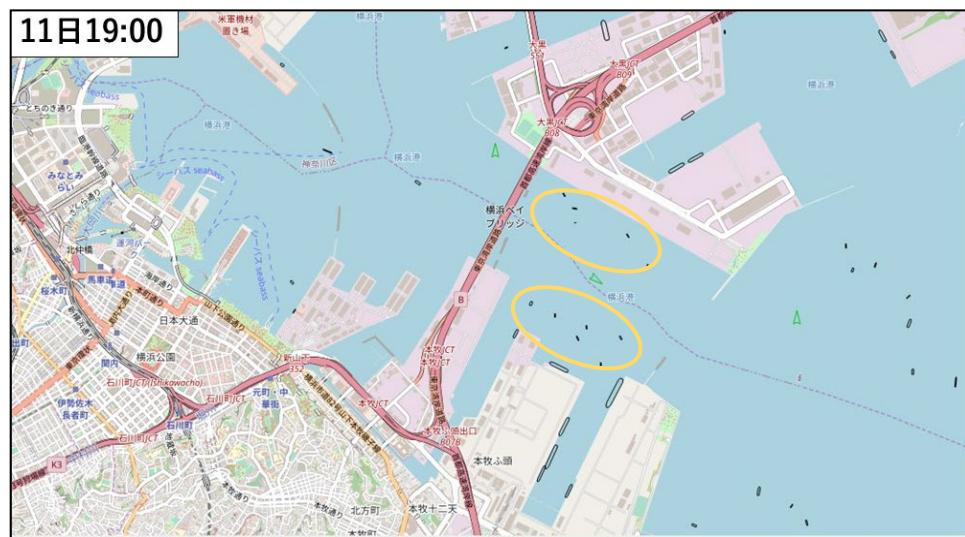


図-3.5.6 横浜港（北側）での避難状況5



図-3.5.7 横浜港（北側）での避難状況6

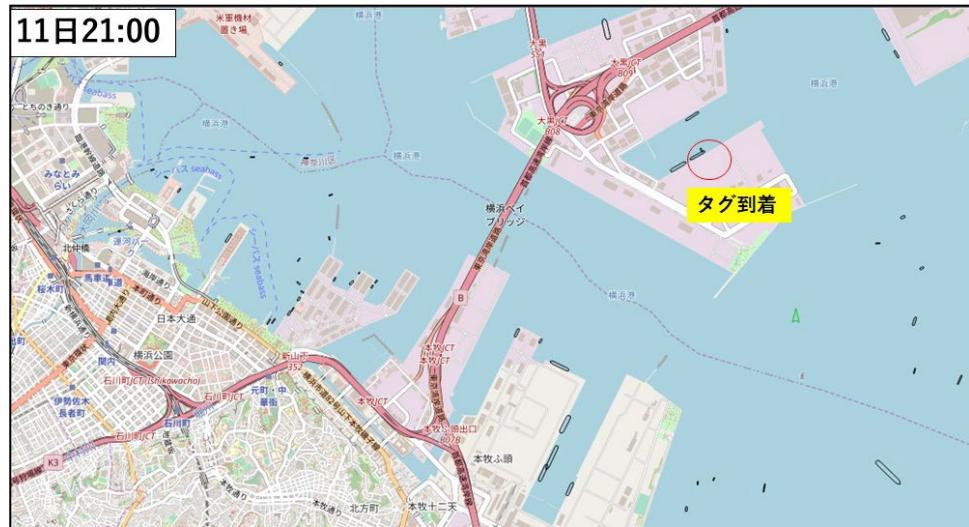


図-3.5.8 横浜港（北側）での避難状況7



図-3.5.9 横浜港（北側）での避難状況8

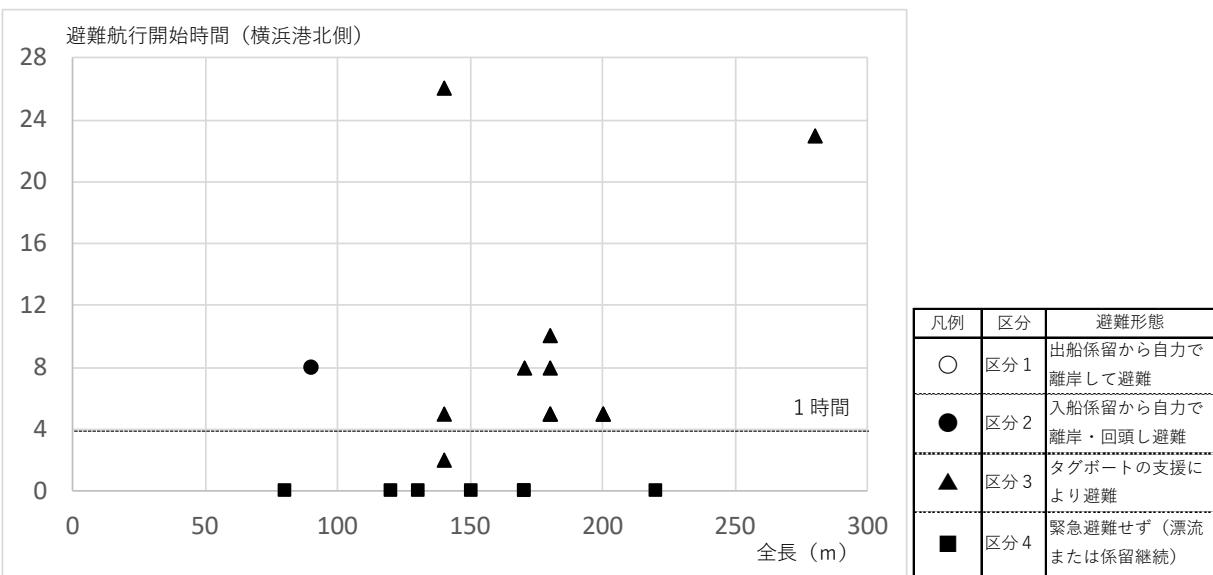


図-3.5.10 地震発生から避難航行開始までの時間（横浜港北側）

3.6 横浜港（南側）

1) 港湾全体の状況

横浜港の南側（南本牧地区以南）では、地震発生時に10隻の船舶が存在し（図-3.6.1），うち1隻は全長300mを超える危険物運搬船である。この他の多くは全長100m以下の貨物船である。

- ・15:05頃、貨物船1隻が自力回頭により避難を開始している（図-3.6.2）。この後、16:30頃まで、複数の貨物船による自力での離岸・回頭が散発的に行われている（図-3.6.3, 図-3.6.4）。
- ・16:40頃、全長300mを超える危険物運搬船がタグボート2隻の支援により離岸している（図-3.6.5）。

・17:15頃、別の危険物運搬船がタグボート1隻の支援により離岸している（図-3.6.6）。

・19:00までに概ね避難を終えており、1隻が係留継続を選択したが、漂流には至っていない（図-3.6.7）。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.6.8は、避難航行開始時間の分析結果である。漂流した場合のリスクが高いと考えられる危険物船（2隻）は概ね地震発生後から2時間半までにタグボートの支援により避難している。この他の全長100m以下の貨物船については出船係留ないしは入船係留から自力回頭・離岸を行い、地震発生後2時間までに緊急避難を終えている。リスクの高い船舶に対するタグボート支援の重要性が推察される。



図-3.6.1 横浜港（南側）での船舶分布



図-3.6.2 横浜港（南側）での避難状況1



図-3.6.3 横浜港（南側）での避難状況 2



図-3.6.4 横浜港（南側）での避難状況 3



図-3.6.5 横浜港（南側）での避難状況 4



図-3.6.6 横浜港（南側）での避難状況5



図-3.6.7 横浜港（南側）での避難状況6

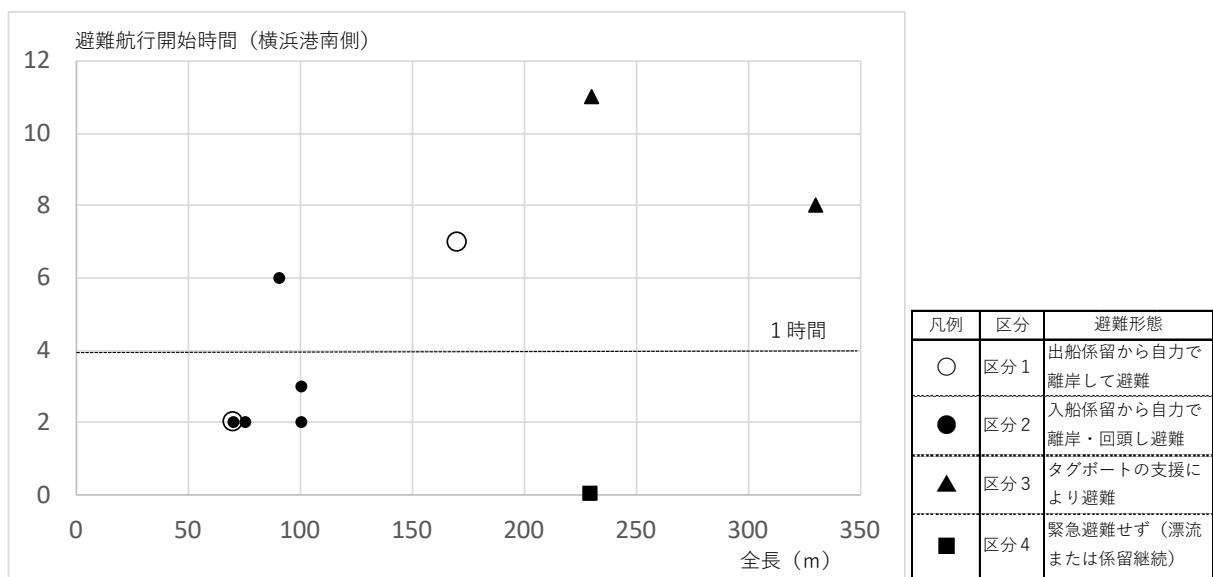


図-3.6.8 地震発生から避難航行開始までの時間（横浜港南側）

3.7 川崎港

1) 港湾全体の状況

- 川崎港では、地震発生時に27隻船舶が港湾全域に存在し（図-3.7.1），多くは全長120m以下の貨物船であるが、全長が200mを越える船舶も数隻存在した。コンテナ船1隻（全長200m）は地震発生時刻に着岸（番号7）している。
- ・15:00頃、自力回頭での離岸がみられる。同時に全長200mのコンテナ船がタグボートの支援で離岸しているが、地震発生時刻に到着した船舶であり、荷役等を行わずそのまま離岸したものとみられる（図-3.7.2）。
 - ・15:30頃、自力での回頭・離岸がみられる（4隻）（図-3.7.3）。
 - これ以降も、自力での回頭・離岸が順次行われている（図-3.7.4、図-3.7.5）。
 - ・16:30頃、タグボートによる支援がみられる（図-3.7.6）。

これ以降19:30頃まで、タグボート支援による回頭・離岸が順次行われている（図-3.7.7、図-3.7.8）。

- ・その後は緊急避難に向けた対応は確認できず、20:00の時点で、14隻が係留継続を選択したものとみられるが、漂流には至っていない（図-3.7.9）。予想される津波高さを勘案し、このような判断をしたものと推察される。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.7.10は、避難航行開始時間の分析結果である。入船・出船係留とともに、全長120m以下の貨物船は概ね地震発生後約2時間程度で避難し、その後にタグボートによる支援がなされている。タグボートによる支援を得るまでの時間にはばらつきがみられる。係留継続を選択した船舶が全体の約5割となっている。



図-3.7.1 川崎港での船舶分布



図-3.7.2 川崎港での避難状況 1



図-3.7.3 川崎港での避難状況 2



図-3.7.4 川崎港での避難状況 3



図-3.7.5 川崎港での避難状況 4



図-3.7.6 川崎港での避難状況 5



図-3.7.7 川崎港での避難状況 6



図-3.7.8 川崎港での避難状況 7



図-3.7.9 川崎港での避難状況 8

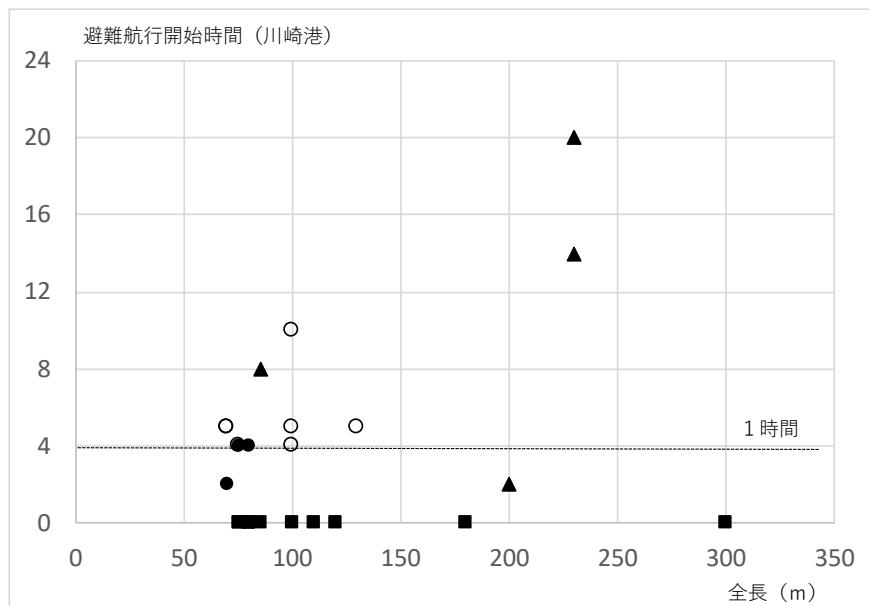


図-3.7.10 地震発生から避難航行開始までの時間 (川崎港)

凡例	区分	避難形態
○	区分1	出船係留から自力で離岸して避難
●	区分2	入船係留から自力で離岸・回頭し避難
▲	区分3	タグボートの支援により避難
■	区分4	緊急避難せず (漂流または係留継続)

縦軸の4単位が1時間に相当

3.8 千葉港（中央地区）

1) 港湾全体の状況

千葉港（中央地区）では、地震発生時に15隻船舶が存在し（図-3.8.1）、多くは全長120m以下の貨物船であるが、全長を250m越える貨物船も2隻存在した。

- 15:15頃、自力回頭での離岸がみられる（図-3.8.2）。これ以降、17:30頃まで散発的に自力での避難がみられる（図-3.8.3、図-3.8.4）。
- 18:45頃、タグボート支援による離岸・回頭がみられる（図-3.8.5）。以降、残りの船舶は係留継続し、またタグボート等の小型の船舶が沖合に退避している状況がみられる（図-3.8.6）。係留を継続した船舶について、漂流はみられない。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.8.7は、避難航行開始時間の分析結果である。地震発生後3時間までに比較的小型の船舶が自力で避難しているが、避難せず係留継続を選択した船舶が全体の6割と多い。



図-3.8.1 千葉港（中央地区）での船舶分布



図-3.8.2 千葉港（中央地区）での避難状況1



図-3.8.3 千葉港（中央地区）での避難状況2



図-3.8.4 千葉港（中央地区）での避難状況3



図-3.8.5 千葉港（中央地区）での避難状況4



図-3.8.6 千葉港（中央地区）での避難状況5

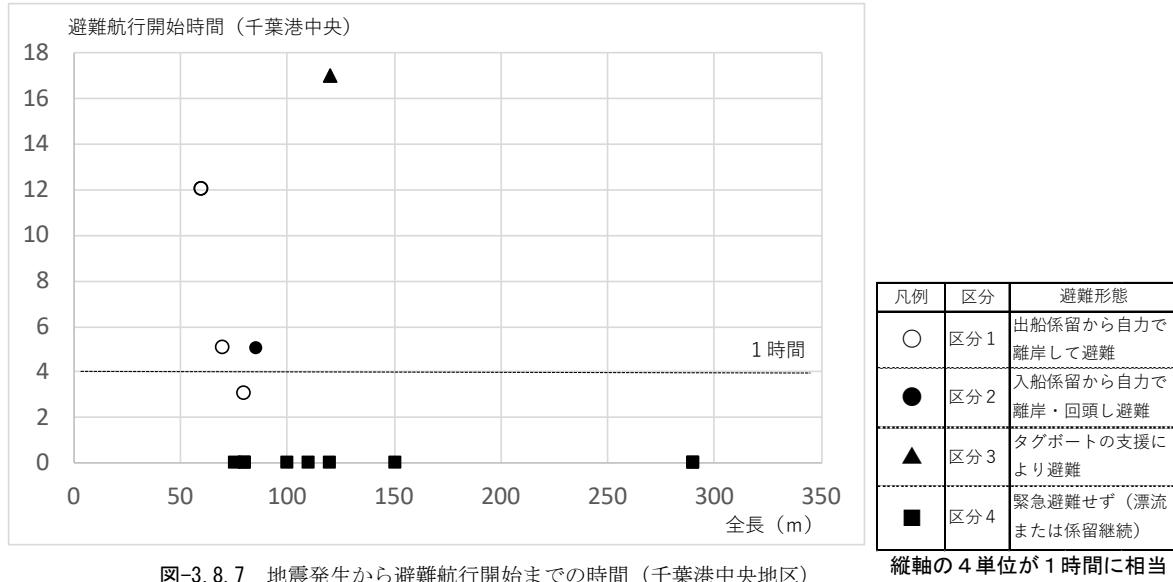


図-3.8.7 地震発生から避難航行開始までの時間（千葉港中央地区）

3.9 千葉港（八幡・五井地区）

1) 港湾全体の状況

千葉港（八幡・五井地区）では、地震発生時に15隻船舶が存在し（図-3.9.1），多くは全長120m以下の貨物船である。うち1隻は15:05頃に着岸したものである。

・15:05頃、自力回頭での離岸がみられる（図-3.9.2）。その後、15:40頃までの間に順次自力での離岸・回頭がなされた（図-3.9.3～図-3.9.7）。この際、当該地区西側の同じ水域から全長100m程度の船舶6隻が一定の間隔を空けて緊急避難した状況がみられる。

・15:50頃、タグボート支援による離岸・回頭がみられる（図-3.9.8）。その後は船舶の動きはなく3隻が係留継続を選択し、これらは漂流に至っていない（図-3.9.9）。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.9.10は、避難航行開始時間の分析結果である。タグボート支援を受けた船舶も含め、地震発生後概ね1時間程度で避難している。全長150mの船舶はRORO船であり、自力で回頭をしているが比較的避難が早い。

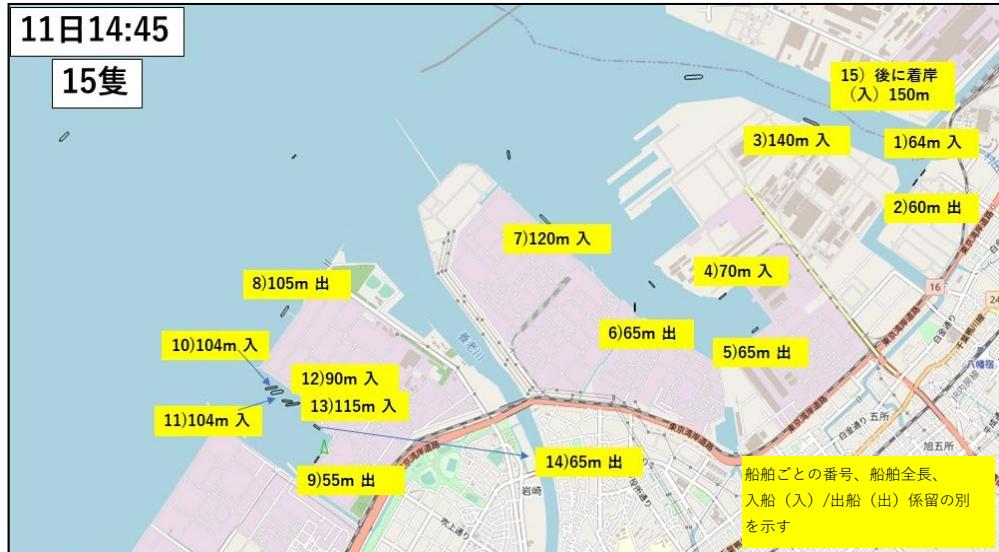


図-3.9.1 千葉港（八幡・五井地区）での船舶分布

11日15:05

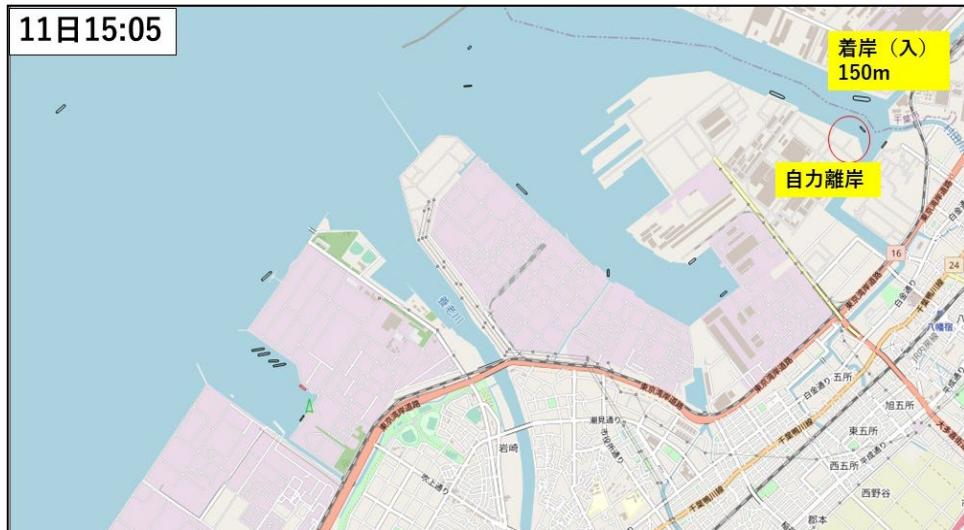


図-3.9.2 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況1

11日15:10



図-3.9.3 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況2

11日15:25



図-3.9.4 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況3



図-3.9.5 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況 4

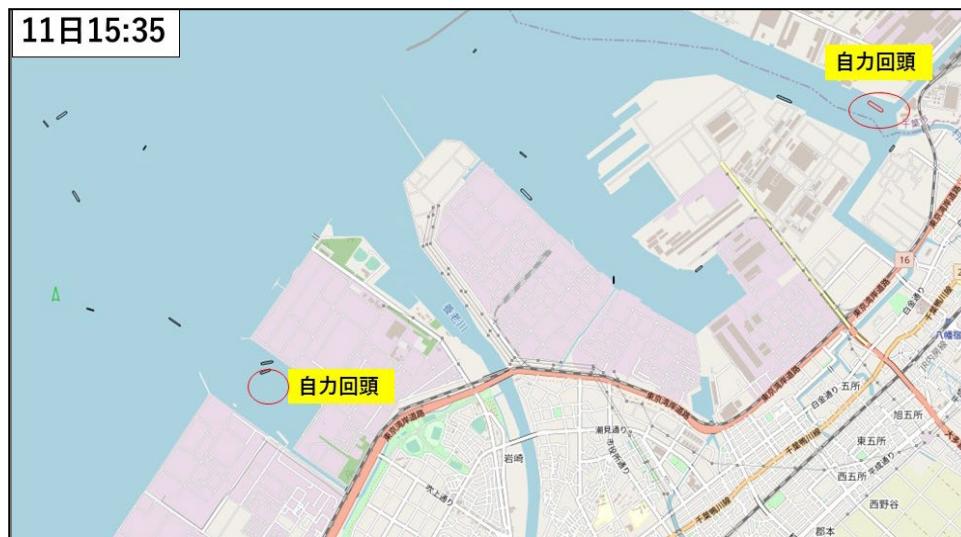


図-3.9.6 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況 5



図-3.9.7 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況 6



図-3.9.8 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況 7



図-3.9.9 千葉港（八幡・五井地区）での避難状況 8

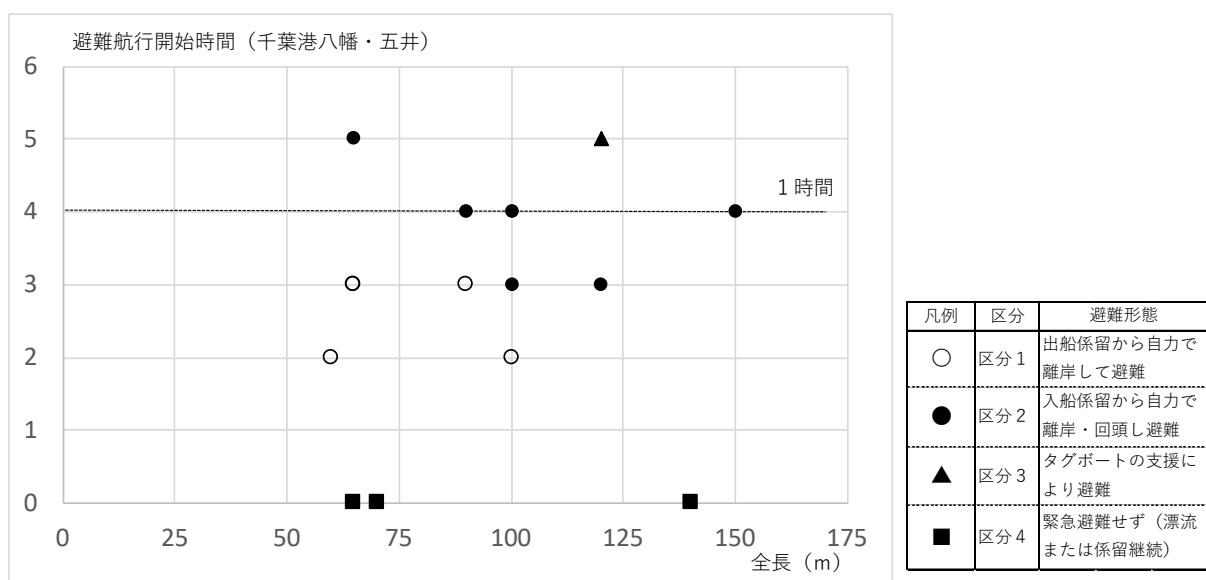


図-3.9.10 地震発生から避難航行開始までの時間（八幡・五井地区）

3.10 千葉港（姉崎・袖ヶ浦地区）

1) 港湾全体の状況

千葉港（姉崎・袖ヶ浦地区）では、地震発生時に20隻船舶が存在し（図-3.10.1），多くは全長100m以下の貨物船であるが，全長を250m程度の貨物船も2隻存在した。小さい船舶は櫛型岸壁の内側の水域に係留している。

・15:15頃，自力回頭での離岸がみられる（図-3.10.2）。その後，16:00頃までの間に順次自力での離岸・回頭がなされた（図-3.10.3～図-3.10.6）。この際，当該地区北側の船あまりから，全長100m程度の船舶が一定の間隔を空けて緊急避難している状況がみられる。

・16:50頃からタグボートによる支援がなされ，18時頃までに3隻がタグボート支援により離岸・回頭した（図-3.10.7～図-3.10.9）。当該地区ではすべての船舶が避難した。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.10.10は，避難航行開始時間の分析結果である。全長100m以下の貨物船の大半は地震発生後概ね1時間程度で避難している。全長100mを超える船舶については，タグボートによる支援を受けさらに1時間以上の時間を要した。当該地区については全船舶が避難を行った。



図-3.10.1 千葉港（姉崎・袖ヶ浦地区）での船舶分布



図-3.10.2 千葉港（姉崎・袖ヶ浦地区）での避難状況 1



図-3.10.3 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況2



図-3.10.4 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況3



図-3.10.5 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況4



図-3.10.6 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況5



図-3.10.7 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況6



図-3.10.8 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況7



図-3.10.9 千葉港（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）での避難状況8

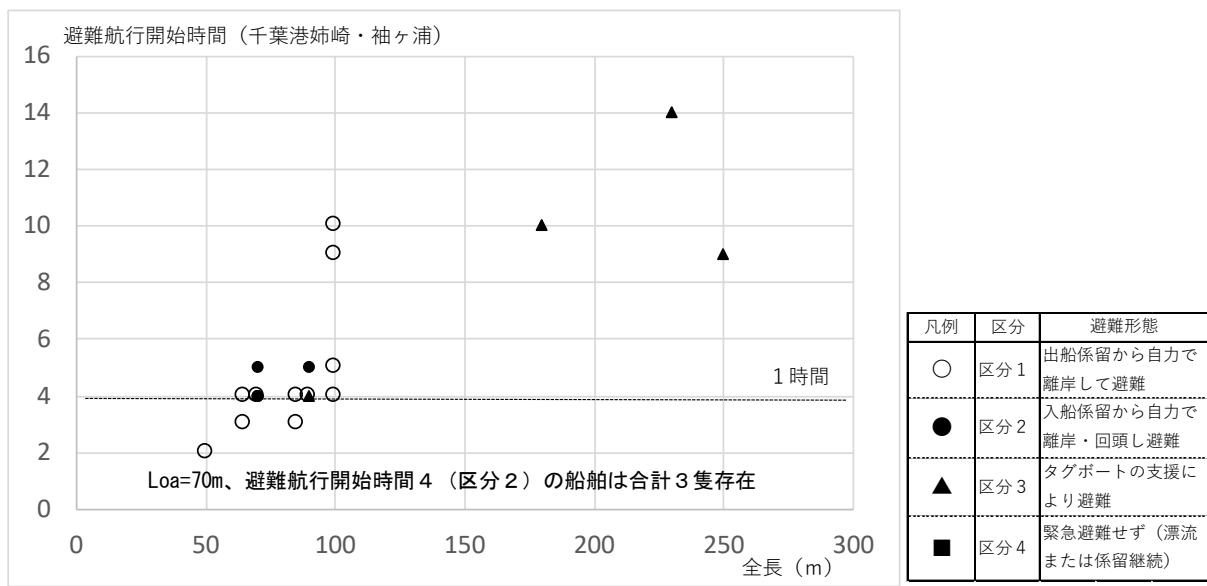


図-3.10.10 地震発生から避難航行開始までの時間（姉ヶ崎・袖ヶ浦地区）

縦軸の4単位が1時間に相当

3.11 木更津港

1) 港湾全体の状況

- 木更津港では、地震発生時に17隻船舶が存在していた（図-3.11.1）。
- 15:15頃、自力での離岸がみられる（図-3.11.2）。その後、17:40頃まで順次自力での離岸・回頭がなされた（図-3.11.3～図-3.9.5）。また、16:10以降はタグボートとみられる船舶が沖合で待機している状況がみられる。
 - 18:20頃からタグボートによる支援がなされたが、タグボート支援は1隻のみである（図-3.11.6）。これ以降、船舶の動きはみられない。係留継続を行った船舶が多い（図-3.11.7）、漂流等の事態には至っていない。

2) 船舶緊急避難時間に関する分析

図-3.11.8は、避難航行開始時間の分析結果である。約7割の船舶が係留継続を選択したが、その後漂流には至っていない。避難を行った船舶は地震後90分程度までの比較的早く避難したものと、3時間以上後に避難したものに分かれる。

当該地区では半数以上の船舶が係留継続を選択しているが、その後漂流には至っていない。タグボートとみられる船舶が待機している様子もみられ、津波の状況をみながら対応しようとしていた可能性もある。

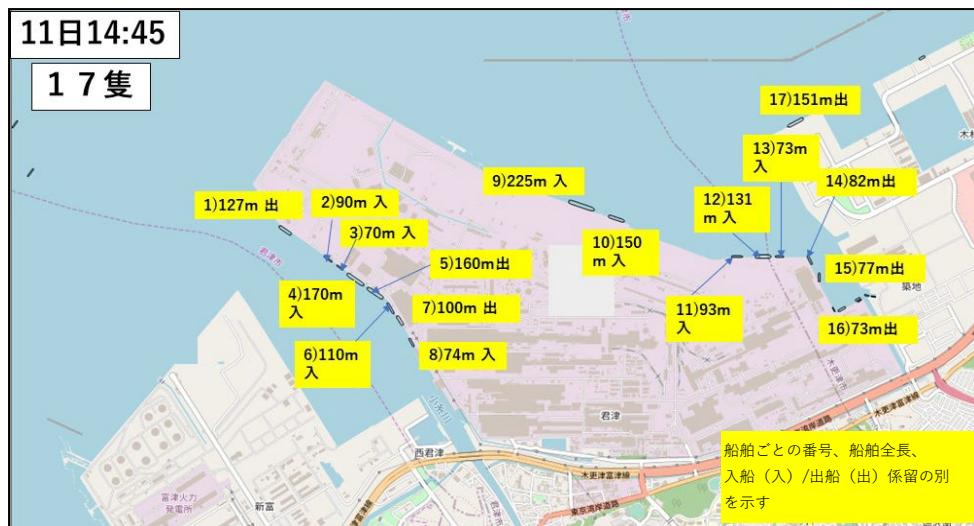


図-3.11.1 木更津港での船舶分布



図-3.11.2 木更津港での避難状況 1



図-3.11.3 木更津港での避難状況 2



図-3.11.4 木更津港での避難状況3



図-3.11.5 木更津港での避難状況4



図-3.11.6 木更津港での避難状況5



図-3.11.7 木更津港での避難状況 6

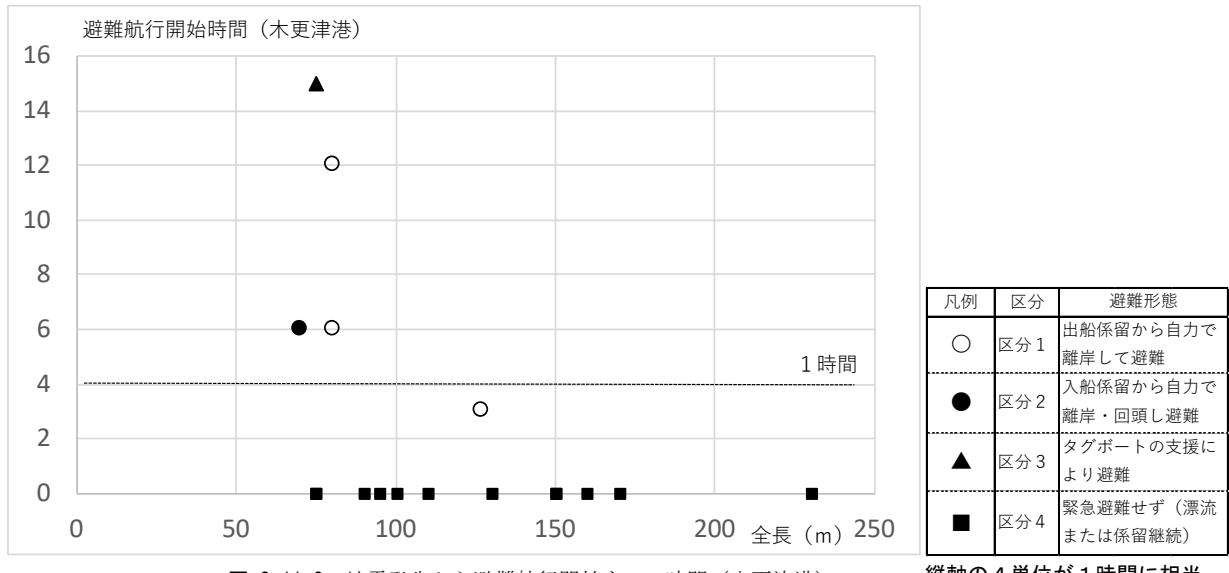


図-3.11.8 地震発生から避難航行開始までの時間（木更津港）

縦軸の4単位が1時間に相当

3.12 緊急避難の状況についての考察

図-3.12.1は今回分析対象とした船舶の全数（187隻）について区分別に全長と避難航行開始時間との関係を示したものである。概ね全長150mまでの船舶については自力で離岸・回頭することで避難航行開始時間が2時間半くらいまでとなっている船舶が多い。全長が200mを超えると、タグボートによる支援が必要であることから避難航行開始が遅くなる。この間の全長150m～200m程度の船舶について自力回頭がみられるが、この多くはRORO船とフェリーでありスラスターを使用しているとみられる。

表-3.12.1に区分毎の避難航行開始時間等を集計した。区分1は出船係留のため避難航行開始時間の平均値が最も小さく、全長の平均値も小さい。入船係留の区分2は区分1より避難航行開始時間はやや遅くなるが全長の平均値はやや大きくなる。

RORO船とフェリーについては自力回頭の能力が高いため、状況によって出船係留と入船係留を使い分けることができる。この他の貨物船については、入港時に満載であることが多く、船舶の重量が重いため回頭にエネルギーを要することから、一般的には入船係留が行われる。出船係留は、回頭時の負担が小さい規模の小さい船舶で行われることが多い（区分2）。

大型の貨物船については避難の際にタグボート支援が必要である（区分3）。全長が200mを超えると、タグボートによる支援が前提となる。また区分3の避難航行開始時間が長くまた標準偏差が大きいが、これはタグボートによる支援を得られるまでの時間にばらつきがあることを示唆している。避難を行っていない区分4は全体の約3割を占め、船舶の全長分布に特段の特徴はみられない。

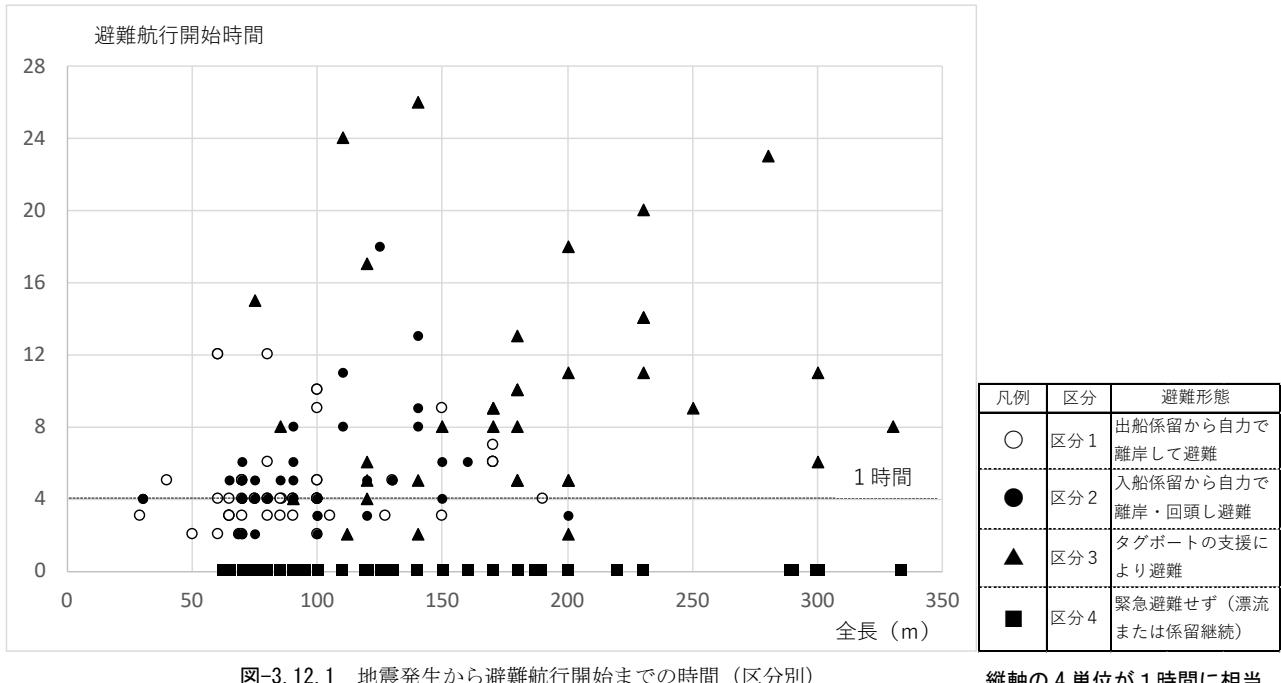


図-3.12.1 地震発生から避難航行開始までの時間（区分別）

縦軸の4単位が1時間に相当

表-3.12.1 区別の避難航行開始時間の代表値

	船舶緊急避難時間(分換算)			船舶全長 (m)			隻数・割合	
	平均	最大	標準偏差	最大	最小	平均	該当隻数	割合
区分 1	72	180	38.8	190	29	93	52	28%
区分 2	79	270	47.8	200	30	108	39	21%
区分 3	150	390	93.9	330	75	180	36	19%
区分 4				333	62	138	60	32%

3.13 緊急避難時の水域利用実態についての分析

1) 水域における船舶の輻輳

東京湾のように船舶の密度が高い水域では、津波警報の発令とともに、複数の船舶が一斉に緊急避難することにより、航路・泊地の輻輳（船舶同士間の接近による速度低下や互いの接触）が予想される。本研究において船舶の輻輳は明白に確認することはできなかったが、AIS分析を行った範囲では、川崎港、横浜港、千葉港における3ケースで航路内を2隻の船舶が併走する状況のみがみられた（図-3.13.1～図-3.13.3）。

港湾の施設の技術上の基準と同解説（2019）⁶⁾において航路計画の第2区分が示され、追い越しに対応した航路幅員の計画手法が示されている。2船が同方向に航行する際に互いに近づきすぎた場合には、互いに引き寄せられる力が働き衝突の危険性があるため、一定の離隔距離を設けることとされている。第2区分の算定手法に従い上記3ケースについて必要な必要最低限の離隔距離を算定し、実際にAISで観測された2船間距離と比較した。

この結果、いずれのケースでも実際の2船間距離は第2区分による必要離隔距離よりも大きかった。東京湾においては、緊急避難の際に船舶輻輳による航行の大きな支障はなかったものと考察される。また苫小牧港の事例でみられたように、船舶が前後の距離を保つつつ、順番に港湾外へ航行する状況もあった他、千葉港においては、船だまり等に係留されていた複数の船舶が一定の順序で緊急避難していたが、船舶による輻輳は確認されていない。

2) 航路内での斜航

津波による流れにより、航路航行中の船舶が進行方向に対して大きく傾いて航行（斜航）することにより、防波堤等の航路側壁への衝突の危険性が生ずる。航路計画の第2区分における航路幅算定では風と潮流による斜航を考慮しているが、津波による斜航は考慮されていない。今回のAISデータによる分析では、津波の規模が大きかった鹿島港と苫小牧港において斜航がみられた。鹿島港においては、多くの船舶が漂流し操船不能となつたが、このような中で、一定の操船性を保つつつ港湾外へ避難した事例を示す（



図-3.13.1 避難時の2船の併走事例（川崎港）

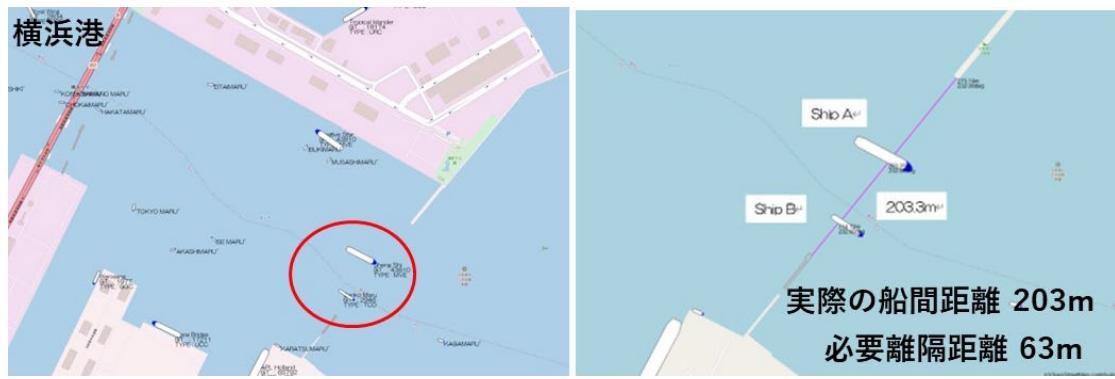


図-3.13.2 避難時の2船の併走事例（横浜港）

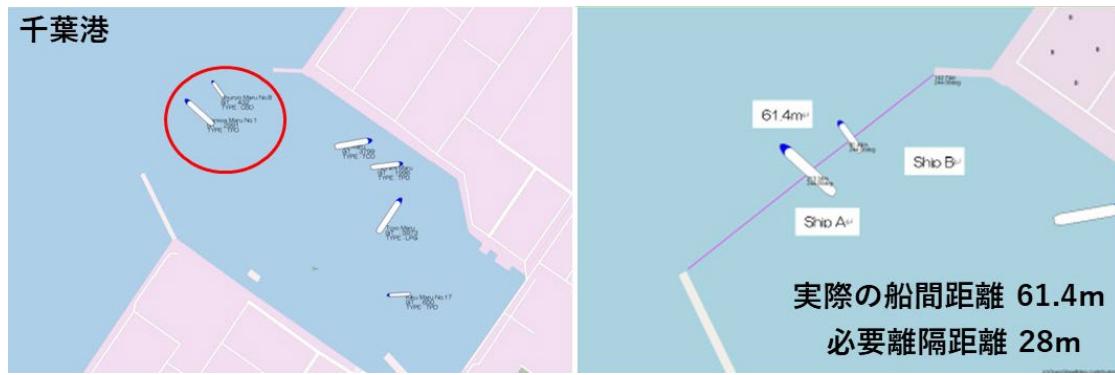


図-3.13.3 避難時の2船の併走事例（千葉港）

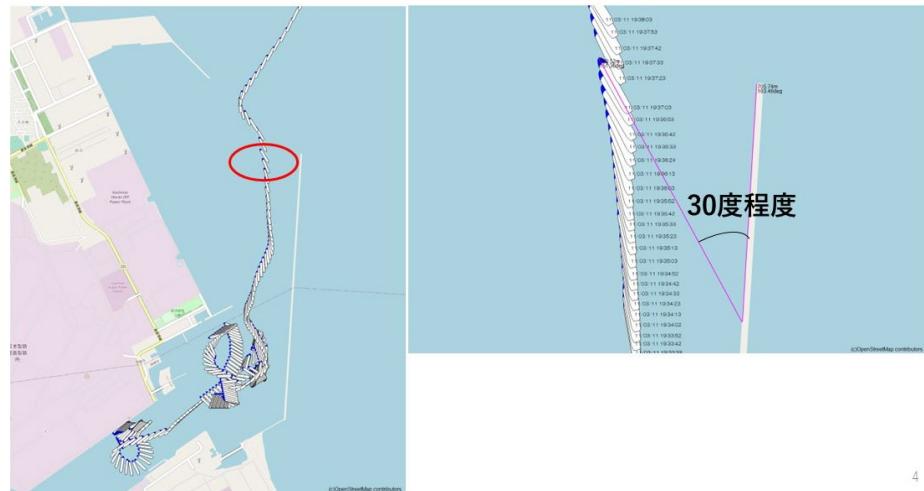


図-3.13.4 航路内航行中の斜航事例（鹿島港）

図-3.13.4). この船舶は港湾内で一旦漂流した後に避難を開始し、津波による流れの中を斜航しつつ航行を維持したとみられ、この際の航路法線との角度は最大で約30度であった。また、苫小牧港では港湾外へ避難しようとした最後の船舶が津波の流れによる影響を受けたが(図-3.3.10), タグボートの支援で態勢を立て直したとみられる(図-3.3.11)。

いずれの場合も、航路側壁への衝突や座礁には至っていないが、船舶が航路上で操船不能となった場合には緊急避難自体が困難となり、また港湾施設や他船に影響が及ぶ可能性がある。斜航の程度ならびに操船性の維持は緊急避難において配慮が必要な要素と考えられる。

3) 緊急避難における自力回頭時の泊地規模

入船係留から離岸・回頭する場合、①スラスターまたはタグボートによる航行支援を受ける場合と、②それ以外の場合に分けられる。現行の技術基準では、回頭に必要な泊地の規模として①について直径 $2L$ の円、②については同 $3L$ との数字が記載されている(L は船の全長)。

今回、船種から判断してスラスター・タグボートによらないとみられる自力回頭の航跡を確認した。図-3.13.5～図-3.13.7は津波が迫る中で自力回頭を行ったとみられる船舶の航跡(鹿島港)である。最大で全長150m以上の事例もみられ(図-3.13.7)、いずれも回頭円の規模としては直径 $3L$ 程度となっていた。

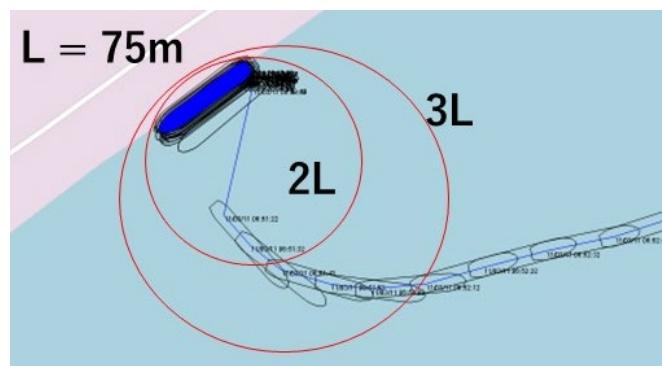


図-3.13.5 岸壁前面での回頭事例(鹿島港)

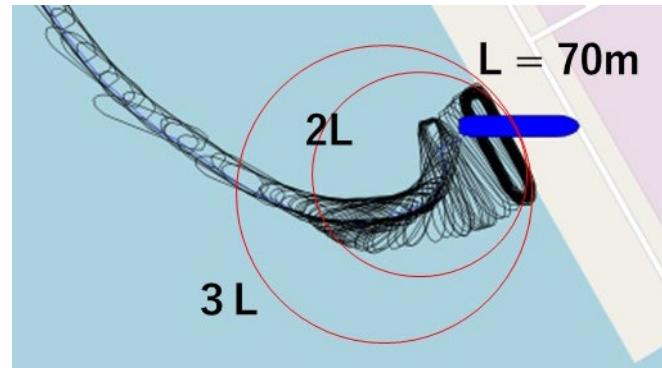


図-3.13.6 岸壁前面での回頭事例(鹿島港)

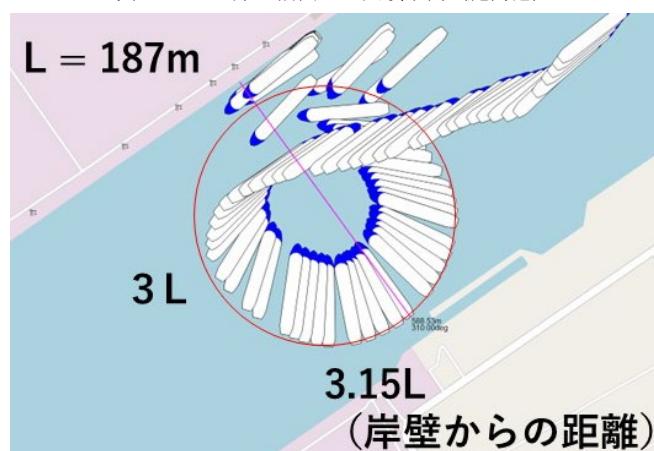


図-3.13.7 岸壁前面での回頭事例(鹿島港)

3.14 本章のまとめ

以上の分析結果をまとめる。

第一に、船舶の緊急避難について、津波規模に応じた対応を想定する必要がある。本資料のAISデータの分析においても、以下に述べるように、津波の状況の相違により緊急避難の状況に差異がみられた。鹿島港については、津波規模が大きくまた来襲までの時間は短時間であり、大型の船舶も含めて確実に避難を行うことは容易ではなかった。また、係留継続が難しく漂流した船舶がみられた。苦小牧港については、津波規模は2m程度で、来襲までの時間も一定程度あった。一部の船舶が、湾口で津波の流速の影響を受けた他は、押し波の来襲までに避難できている。東京湾内の港湾については、さらに津波の規模は小さくまた避難時間もあった。係留維持を選択した船舶も多いが、漂流には至っていない。緊急避難を行うかどうか、判断が難しいケースであったと考えられる。

第二に、緊急避難の円滑化のためには出船係留が有利であるが、実際には大型の船舶については入船係留が多い。タグボート支援の可否が、円滑な緊急避難の一因となっている。危険物船へのタグ支援の事例も見られた。

第三に、水域の利用実態に関して、入港数が多いと考えられる東京湾において航路幅轍は確認されなかった。他方、斜航がみられた事例があり（鹿島港、苦小牧港）、これは水域の計画・利用において配慮すべき事項と考えられる。また、概ね全長150m程度までの船舶についてスラスター・タグボートの支援によらない自力回頭の事例がみられたが、その際の回頭規模は概ね3Lであった。

4. 想定津波に関するデータ分析

4.1 分析の概要

津波来襲時には、押し波と引き波が発生し、水位変動が発生する。特に水位低下は緊急避難におけるリスク要因である。AISデータでは水位変動を分析・評価することはできないため、本研究では海上保安庁が公表しているデータを用いた分析と考察を行った。

使用データは、海上保安庁が作成・公表している津波防災情報図⁷⁾である。当該情報図は、将来発生が想定される地震について津波シミュレーションを行うことで作成されており、港湾の複数の地点での津波波形が掲載されている。この地点については航路内や岸壁前面等異なる水域施設がカバーされるよう配慮されているが、予め設定された代表点のみのシミュレーション結果が示されており、港湾内の任意の地点を選択することはできない。船舶運航者は、予

め利用港湾について当該図を参照し、津波への対応を想定することが推奨されている。

本研究では公表されている津波波形から、津波発生時の水位変動とそれらが発現する地震発生後の時刻について読み取ることでデータ化し分析に用いた。データ作成上の配慮事項等は以下の通りである。

- ・最低水面を基準とした津波波形図（水位変動データ）を用いた。
- ・全国の18港（表-4.1）について、航路内や岸壁前面等の地点を数点選定した。
- ・水位変動が小さい波形図は対象外とした。この結果、多くの港湾において南海トラフ地震を想定した津波波形が対象となつたが、一部他の想定地震（明治三陸沖地震や南海東南海地震等）も含まれる。
- ・波形図から数値を読み取るため、水位変動の大きさは最小単位を50cmとした。また緊急避難は地震発生後数時間内に実施することから、地震発生後3時間までの水位変動データを対象とした。

以上により、合計で約60ケースの水位変動に関するデータを作成し分析に用いた。

図-4.1は、当該情報図を参考に典型的な津波波形を示したものである。地震発生後に引き波が発生はじめの水位低下の極大値が出現する。その後はじめの押し波が来襲し水位が上昇、極大値が出現する。その後も水位変動が繰り返され、水位変動量がさらに大きくなる場合もある。図-4.1は、あくまでも典型的な波形を示したものであり、地震発生後に水位低下（引き波）がなく、水位が上昇するケースもあることに留意が必要である。

4.2 分析の結果と考察

図-4.2.1は、縦軸はじめの水位低下の極大値（絶対値）、横軸にその発現時間を波形図から読み取ってプロットしたものである。はじめの水位低下の極大値の発現時間は10分から120分程度と幅があり、またその大きさについては最大2m程度となっている。引き波の後に押し波が来襲する場合が多いと考えられるが、押し波の来襲前に緊急避難を行うことを想定した場合、最大2m程度の水位低下に備える必要がある。この極大値の出現時間に幅はあるが、危険側を想定すれば緊急避難の際には最大の水位低下を想定すべきと考えられる。

図-4.2.2は、横軸に押し波によって発生する水位上昇の最大値（地震発生後3時間以内）、縦軸はじめの水位低下の極大値（絶対値）をプロットしたものである。水位上昇は最大で8~10mとなっているが、この場合でも水位低下の極大値は2m程度の範囲内となっている。これは、水位低

表-4.1 対象港湾

1 仙台塩釜港仙台港区
2 小名浜港
3 鹿島港
4 東京港
5 横浜港
6 清水港
7 名古屋港北部
8 衣浦港
9 下津港
10 和歌山港
11 堺泉北港
12 大阪港
13 徳島港
14 高知港
15 須崎港
16 別府港
17 宮崎港
18 志布志港

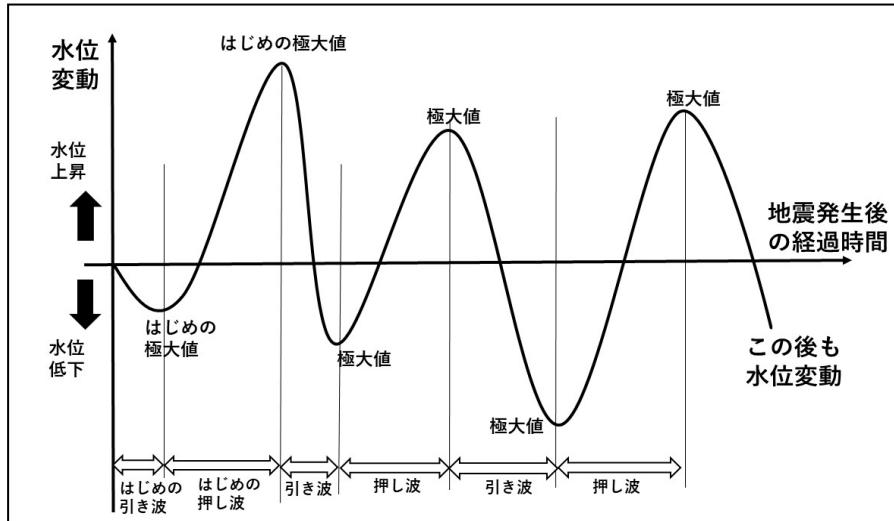


図-4.1 典型的な港湾での水位変動

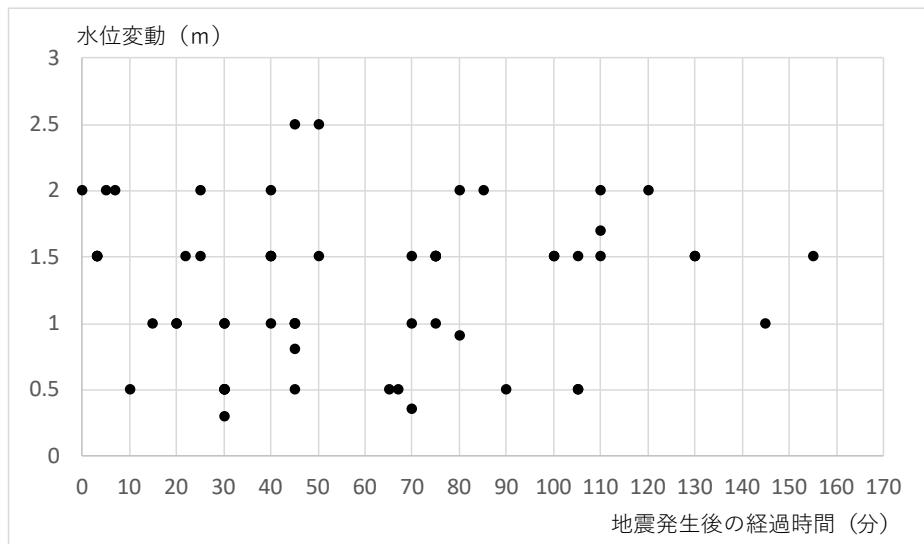


図-4.2.1 はじめの引き波による水位変動極大値の発現時間（横軸）とその絶対値（縦軸）

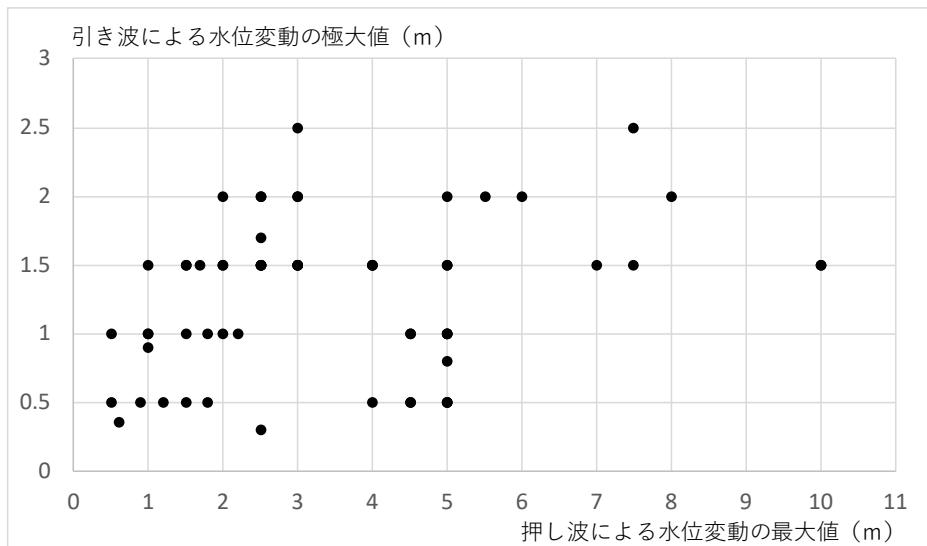


図-4.2.2 押し波による水位変動の最大値（横軸）とはじめの引き波による水位変動の極大値（縦軸）

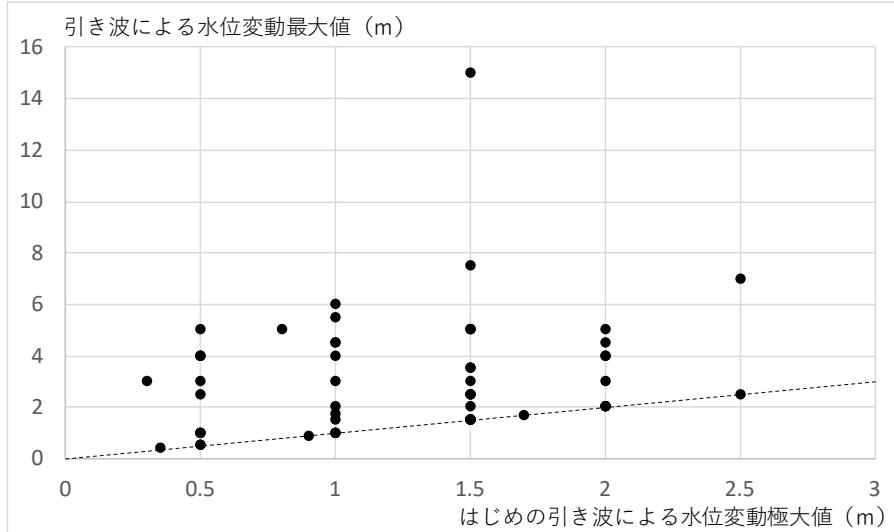


図-4.2.3 はじめの引き波による水位変動極大値（横軸）とその後の引き波による水位変動最大値（縦軸）

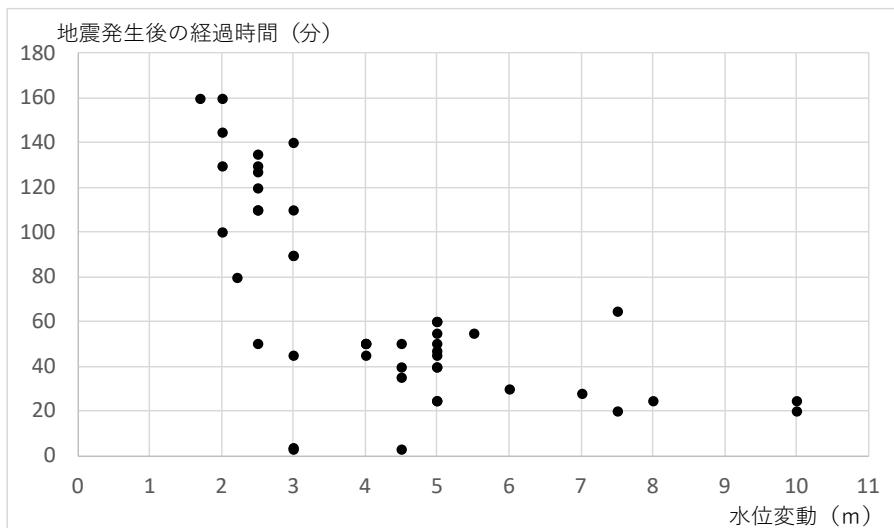


図-4.2.4 押し波による水位変動の最大値（横軸）とその際の水位上昇 2m の発現時間（縦軸）

下による航行リスクはあるものの、押し波の来襲によって水位が大きく上昇し港湾内の流速が大きくなる前の方が緊急避難の実現性が高まる可能性があることを示唆している。

図-4.2.3は、横軸にはじめの水位低下の極大値（絶対値）、縦軸にそれ以降の引き波による水位低下のうち最大値の絶対値（地震発生後3時間以内）をプロットしたものである。はじめの水位低下の極大値に比して、その後発生する水位低下の最大値は大きくなる傾向にある。これははじめの引き波の段階で緊急避難することが、水域施設の水深管理上有利であることを示唆している。

図-4.2.4は、横軸に押し波によって発生する水位上昇の最大値（地震発生後3時間以内）、縦軸にはじめの押し波によって水位上昇2mが発現する時間をプロットしたものである。横軸の数値は津波規模の目安、縦軸の数値は緊急避難を阻害する押し波の発現時間（緊急避難を行なうべき目安

となる時間）としてこれらの数値を採用した。図-4.2.4から津波規模が大きいほど、来襲時間が短くなるという傾向がみられる。緊急避難の可能性を考える上では、津波の規模4m程度が閾値とみられる。津波の規模4m程度以上では水位上昇2m来襲までの時間は60分未満が多くなり、鹿島港の事例のように避難可能な船舶が限定的となる。津波規模が3m以下であれば、水位上昇2m来襲までの時間は遅くなり80分以上の場合が多くなる。ただし津波の規模は相対的に小さくなり、緊急避難とともに係留を継続するという選択も考えられる。

以上の分析結果をまとめる。

第一に、地震後はじめの引き波では最大2m程度の水位低下が生じえるが、その後は大きな押し波が来襲する可能性もあることから、はじめの引き波による水位低下の段階で緊急避難することで、緊急避難の実現性が高まる。第二に、

津波規模が4mよりも大きい場合、緊急避難の時間的余裕が低下する可能性がある。

本分析は、津波発生時の水位変動や発現時間について大まかな傾向を把握するために行ったものである。そのため今後の個別港湾でのリスク評価においては、波形を把握する地点の設定や津波シミュレーションについて、必要に応じさらに精緻に行う必要がある。

5. 津波発生時の緊急避難円滑化に関する検討

5.1 文献収集と整理

東日本大震災以降、船舶運航関係者においても、津波発生時の船舶の安全確保に関する検討が実施されている。本研究では、船舶運航側から見た港湾からの緊急避難等に関する文献を収集・整理した。主要な文献についての主な結論と指摘事項を表-5.1に示す。同表ならびに以下に示す概要は筆者らが整理したものである。

久保（2021）⁸⁾は、津波発生時の緊急避難の重要性と緊急避難を円滑化する方策について指摘している。具体的には、出船係留への転換や、港湾外へ避難する経路（航路）の複線化、入港時の回頭支援のための泊地の増深等を指摘している。

榎原ら（2017）⁹⁾は、東日本大震災発生時の津波特性や係留・避難の行動を分析している。結論として、津波高さが4mを超えると係留継続は困難であり、また津波高さが2mを下回る場合には一定の安全性が確保できるとの考察等を示している。

榎原ら（2012）¹⁰⁾は、津波発生時の船体動揺についてシミュレーションにより評価し、津波によって船体のピッティング角が最大で2度程度になりえるという結果等を示している。

邦船社（2012）¹¹⁾は、津波発生時の船舶対応について検討している。この中では係留継続の目安となる津波高さが示されているほか、大型の船舶について緊急出港の際の離岸・回頭の条件（風速やタグボートの有無等）が検討されている。また沖合避難時の船体のピッティング角の目安が示されている。

日本海難防止協会（2012）²⁾は、津波発生時に船舶が緊急避難できる条件を示している。時間的余裕、人員確保、荷役状態、船体の状態等を挙げている。

日本航海学会は、2011年から2013年の間に東日本大震災講演会を3回開催し、津波発生時の船舶の対応について提言を行っている⁴⁾。結論として、漂流した場合のリスクが高い危険物船に対する離岸・回頭対策の必要性や、貨物船

の自力離岸・回頭の可能性評価結果、係留限界の目安等が示されている。この講演会においては、津波発生時に漂流等をした場合のリスクが高い危険物船（LNG船）について緊急避難の実行可能性に関する検討が電力会社により実施されている。また矢吹らはその他の貨物船（バルク船、コンテナ船、PCC）について自力での離岸・回頭のための操船方法を示した上で、この実行可能性を検証している。

日本海難防止協会（2014）¹²⁾は大地震及び大津波来襲時の航行安全対策について検討を行い、その中で津波来襲前の緊急離岸の可能性に関する操船シミュレーション、並びに津波来襲後の港湾内での避難の可能性についてのシミュレーション等を行っている。

松田・富田（2012）¹³⁾は東日本大震災発生時の鹿島港内での船舶挙動をAISデータにより分析している。一定規模以上の船舶の大半が漂流している実態や、漂流時の操船の有無に着目した分析を行っている。

以上のように、船舶運航側も、津波発生時の緊急避難の実行可能性を問題意識とした検討を実施している。特に、係留維持の可能性評価、自力での離岸・回頭の実行可能性、出船係留への転換可能性が主要な検討課題とされている。

5.2 ヒアリングの実施

1) 論点整理

ヒアリングに先立ち、分析結果や文献収集整理から得た知見を元に以下の通り論点整理を行った。

①航路水深について

航路計画の第2区分においては、航路水深は喫水のほか、航走による船体沈下、ならびにうねりによる船体動揺を考慮することとされている。緊急避難時には、これらに加え引き波ないしは押し波による水位変動と船体動揺（ピッティング）の可能性がある。そのため、津波来襲時を想定した必要水深に関する検討の考え方等についてヒアリングした。

②航路幅について

緊急避難時において、航路の輻輳がある場合には船舶の航行に影響が出る可能性があり、また津波の流速を受けて航行する場合に斜航の程度が大きければ航路内で航行不能となる可能性がある。そのため、航路内での船舶輻輳の可能性、航路内での操船可能な斜航の程度など、航路幅に関する検討の考え方についてヒアリングした。

③回頭泊地について

タグボートの確保に時間を要する場合、自力回頭を行うことができれば緊急避難が容易となり得る。そのため、自力回頭が可能な条件（船舶の規模や航行条件）と必要な水域規模の目安についてヒアリングした。

表-5.1 船舶運航関係者等による既往の検討

文献名	対象施設	主な結論と指摘事項
久保(2021)「津波が船舶を被害者・加害者に変える」総 津波からいのちを守るために 国際津波・沿岸防災技術啓発事業組織委員会(編集) P63	全般	<ul style="list-style-type: none"> ・津波発生時に港湾内では波高が高くなりリスクが高くなり得るため、港湾外への避難が必要。 ・津波襲来時の緊急出航のための方策について指摘。 ①出船係留への転換 ②單一港口を二港口に転換 ③防波堤と岸壁の間の水域について十分な距離を確保し回頭を支援 ④泊地の増深による入港時の回頭(出船係留への転換)の支援
榎原ら(2017)「東日本大震災における津波観測および港内係留船の被災実態調査に基づく係留限界津波高さの推定」日本航海学会論文集No.136	全般	<ul style="list-style-type: none"> ○東日本大震災発生時の津波特性、係留・避難の行動を分析し以下の指摘を行っている。 ・津波高さが4m以上の場合は係留継続は不可、2m未満なら一定の安全性が確保できると推定されるが、港湾内の津波特性等についてさらなる検討が必要。 ・震源から300km以内の港湾では60分位で津波が到達する。 ・10,000GT以上の船は係留保持の場合が多く、また港湾外へ避難した船舶は出船係留が多いという特徴があった。
榎原ら(2012)「東北地方太平洋沖地震津波来襲時の係留VLCCの挙動再現について」日本航海学会第126回講演会	航路水深	<ul style="list-style-type: none"> ○係留船(VLCC)について船体動揺を評価。 ・津波発生時の船体動揺のシミュレーションを行い、船体のピッティング角が最大約2度になるという結果を得ている。
邦船社(2012)によるガイドライン	全般	<ul style="list-style-type: none"> ○東日本大震災の状況を踏まえ、津波来襲の情報を入手した場合の対応を検討している。 ・係留限界の目安は津波高さ3m。 ・コンテナ船について、緊急出航の可能性を風向・風速を変えて評価している。入船左舷付の場合にはスラスターのみで出航可能。出船右舷付の場合、操船時に防舷材への接触がある。同様の評価をPCCについて実施。バルカーはスラスターがないため、タグボートがなければ、向岸風の状況では出航が困難。 ・沖合においてはピッティングによる船体運動に配慮し、安全水深を設定する必要がある。
日本海難防止協会「海と安全」2012年春号 No. 552 P67	全般	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急避難できる条件について整理している:時間的余裕、人員確保、荷役状態、船体の状態(トリム、貨物の固縛状況)、給油状態、タグボートの確保、安全な水域までの距離・避難見通し、停電の有無、天候
日本航海学会 「東日本大震災検討会講演資料集」 2011年～2013年に3回実施された講演会資料集	全般	<p>【講演会全体を通じての結論】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リスクが高い危険物船の避難のため、タグを常時待機させるか、スラスターの装備を考える必要がある。 ・貨物船について、自力での離桟について緊急時の操船方法により可能性があるが、限界となる条件がある。 ・一般的な大型船について係留の限界は、津波高さ3m、流速3ノット程度までが目安となる。 ・港湾内で適切な水域があれば避泊できる可能性がある。
	泊地	<p>【東京海洋大学 矢吹らによる検討(2013年11月)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○自力での避難のための操船方法について検討とともにその実行可能性・条件をMMG型操縦モデルに基づくシミュレーションで評価。風速を与える、潮流は考慮していない。 ・パナマックスバルカー、コンテナ船、PCCについて後退しながらの自力離岸操船は有効。一定程度の風速下で可能。本研究では、パナマックスバルカーについては54,000DWT (Loa=209m)、コンテナ船については4,000TEUクラス (Loa=290m)、6,000台積PCC (Loa=200m) を対象にシミュレーションで検証。いずれもバウスラスターの利用が有効。 ・LNG船 (Loa=283m) については、警戒船(タグ)1隻による支援の下での検証を実施。一定程度の風速下で緊急避難が可能。 ・上記の操船を行う際には、一定の広さの水域が必要。
泊地	泊地	<p>【東京電力による検討(2013年11月)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○東京湾を対象にLNG船の緊急避難について検討。 ・岸壁から一定距離離した後に回頭させる方法とし、警戒船(タグボート)による支援(1～2隻)を前提とする。一定の風速を与える。 ・シミュレーターにより、操船可能性を検証。ブイ通過まで30～45分を要する。
	泊地	<p>【中部電力による検討(2013年11月)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○伊勢湾を対象にLNG船の緊急避難について操船ガイドラインを検討。 ・警戒船(タグボート)支援(1隻)の下でのキック操船とする。一定風速を与える。 ・シミュレーターにより操船可能性と所要時間を検証。緊急離桟準備に約40分、離桟・回頭に約20分を要する。
	泊地・航路	<p>【日本海洋科学 中村らによる検討(2011年5月)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○LNG船の緊急避難に関する検討を行っている。 ・緊急避難時の操船性確保の条件として、速力は津波の流速より2ノット以上大きくすること、斜行角は30度を超えないことが必要。 ・出船係留への変更については、着岸時の操船の困難化、係留索配置変更、着桟時の所要時間増大(約15分)が課題。
日本海難防止協会(2014)「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」	泊地	<ul style="list-style-type: none"> ○操船シミュレーションを実施し以下ケースについて緊急離桟の可能性を確認。 ・LNG船(Loa=300m)、大型タンカー(Loa=337m)について、津波来襲前を対象に一定の風向・風速下で評価。入船・出船、タグ支援の有無、スラスター有無を条件として与え、防舷材への反力(損傷)、避難の所要時間等を評価。 ・コンテナ船(Loa=300m)、貨物船(Loa=90m, 60m)について津波来襲中の緊急離桟の可能性を評価。第二波の引き波以降を対象とした。津波による流向・流速を可変としている。条件によっては港湾外への避難ができない場合がある。
松田・富田(2012)「鹿島港における津波来襲時の船舶避難行動分析」日本船舶海洋工学会講演会論文集 第15号	全般	<ul style="list-style-type: none"> ○東日本大震災発生時の鹿島港での船舶動向をAISで分析している。 ・鹿島港においては津波痕跡高が港外の海岸で約5mであった。 ・10,000GT以上の船舶について、港外避難が少なく大半が漂流している。 ・上記の他、避難に要した時間、漂流時の操船有無について分析。

出典：各文献を元に筆者らが作成

④その他

上記の他、緊急避難を円滑化するための配慮事項等についてヒアリングした。

2) ヒアリングの実施

ヒアリングは、2021年11月に船舶運航関係の専門家5名に対して実施した。5名の構成は船長経験者ならびに造船や操船、津波防災を専門とする学識経験者である。ヒアリングで頂いた意見やコメントを表-5.2に示す。また、論点に対し得られた知見を以下にまとめる。

①航路水深について

- ・波長が長い引き波中の航行を想定する場合には、航路水深へのピッティングの考慮は不要である。
- ・水位変動によりUKC (Under Keel Clearance) が満載喫水の10%を下回る際には、操船性が低下する可能性がある。
- ・押し波下の航行についてはその波の形状等を勘案し、ピッティングを評価する必要がある。

②航路幅について

- ・斜航角が一定の程度を超えると航行不能になる可能性があるが、この程度については、流速や船速等の詳細な航行条件を考慮して評価する必要がある。
- ・通常時でも20度程度斜航することはある。
- ・船舶が併走する場合の離隔距離は、操船の立場からはそれぞれの船舶の全長の合計値程度あることが望ましい。
- ・大型船は湾口で回頭することが多いが、緊急避難が円滑にできない場合には他船の航行（緊急避難）に影響を与える可能性がある。

③回頭泊地について

- ・自力回頭の可否は主機（プロペラの可変ピッチの有無他）の特性に依存する。通常と異なる操船方法による回頭となり、一定の条件が整った場合において可能である。

④その他配慮事項

- ・施設のみでなく管制や外国人船員への情報周知など、水域施設の運用面も重要である。
- ・船舶の大型化や津波発生による緊急避難の頻度等を踏まえ、対策における経済性への配慮が必要である。

6. 緊急避難円滑化に向けた視点

以上の分析と考察から、水域施設に関連したリスク評価等の今後の取り組みの視点を整理した。以下に各項目の考え方を、中長期的に必要な取り組みとあわせて示す。

1) 基本的な方針

第一に、大きな津波が短時間で来襲する場合、緊急避難を確実とすることは難しい。緊急避難が想定できる津波を

対象とした取り組みを行うことが必要となる。この際押し波が来襲してからの緊急避難には、航路内での操船性の維持にリスクが生じることに留意が必要である。

第二に、津波発生の頻度を踏まえた経済性への配慮が必要である。この対応例として、危険物取扱施設や耐震性強化岸壁等の重要性の高い施設に関連した検討・対策を優先的に行うなどの配慮が考えられる。

第三に、水域施設の整備とともに、その運用面からも緊急避難の促進策を考慮することが有益である。例えば、航路の幅轍が想定される場合でも、船舶の避難順の設定を行うことでこれを軽減できる可能性がある。このためには船舶運航の関係者との連携が重要である。

第四に、津波の規模が比較的小さい場合には、緊急避難と係留継続の適切な使い分けを考慮することが有益である。例えば港湾の形状から航路が長く港湾外までの避難に時間を要する場合には、係留を強化することで船舶の漂流を防止できる可能性が高まる。

中長期的には、港湾計画の段階から、港湾全体において船舶緊急避難円滑化に配慮していくことが必要と考えられる。従来は水域施設の計画・整備において船舶緊急避難は考慮されていない。例えば、現在タグボート支援により回頭している船舶が緊急時に自力回頭を試みる場合、回頭のための泊地規模は直径2Lとされることが多いため、自力回頭に必要な規模の水域が確保できるとは限らない。また、津波からの緊急避難という通常時の航行と異なる状況下での操船状況を想定した対応の検討が必要である。

2) 航路水深の運用・整備

波長の長い引き波の間に緊急避難する場合には、引き波による水位低下のみを考慮して航路水深を評価することができる。ただしこの際港湾全域での増深には費用を要するため、増深箇所の優先度の設定が必要と考えられる。

はじめの引き波による水位低下は2m程度と予想されるが、これは低水位面を基準としていることから、潮位を見込むことで、実際のUKC減少は2mよりも小さくなる可能性がある。また満載状態でない船舶もあることから、2mの増深を直ちに行わざ暫定的な増深を行う場合でも、一定数の船舶の緊急避難を支援できる可能性がある。

中長期的な課題として暫定的な増深量の評価のため、引き波によるUKCの低下が操船性に及ぼす影響の評価が挙げられる。

3) 航路幅の運用・整備

船舶が円滑に航路内を航行できるか、以下の視点から確認する必要がある。

- ・港湾の利用状況から、船舶の幅轍の可能性について確認する。

表-5.2 船舶運航関係者による主なコメント

関連施設	主要な内容・指摘事項
航路水深	<ul style="list-style-type: none"> 航路水深の算定においては一般的に船体沈下とピッチング等による船体動搖を考える必要があるが、津波の引き波は波長が長いため引き波時の航行においてピッチングを考慮する必要はない。 大きな押し波中のピッチングについては、船舶速力、波形勾配、波の先端形状の影響を考慮する必要がある。船長と同じ波長の波がきたときに船体動搖が大きい。 航路の距離を勘案すると港湾内では船速をそれほど上げられないため、段波上の津波が来襲した場合の避難は容易ではない。 UKCについては着岸時では10%、港内の航路では15%、東京湾口のような港湾外の航路では20%程度必要。 引き波時にUKCが10%確保できないほど大きく下がった場合には、舵効きの悪化により操船性が低下する懸念がある。
航路幅	<ul style="list-style-type: none"> 船舶が併走する場合の離隔距離について、操船の立場からはそれぞれの船舶の全長の合計値程度あることが望ましい。 港湾外へ退避する際、港湾出口の形状や航路法線方向によっては操船の際に舵を取られるなど操船が難しい場合がある。 近年のGPS、ECDIS等の操船支援機器の進展により、斜行角20度程度までは通常でも航行可能となっている。 斜行角30度程度の状態での航行可能性については、船速や津波の速度を踏まえ詳細な評価を行うことが必要である。 大型船が港湾の入口で回頭する場合、他の船舶の航行に影響することもあり得る（例：座礁した場合には航行をふさぐ可能性）。
回頭泊地	<ul style="list-style-type: none"> 自力回頭の可否は主機（プロペラの可変ピッチの有無）の特性に依存する。 大型タンカーや大型バルカーなどスラスターを有しない船舶の自力回頭は難しい。 津波来襲まで数時間ありまた多少の岸壁へのダメージも容認するのであればタグボートの支援なしでの回頭は可能である。 バウスラスターを設備していれば、入船係留でも離岸し後進のまま防波堤通過あるいは十分な広さがある回頭水域まで移動させることは可能。 バウスラスターがない場合は船首やフレアを岸壁にぶつけながらキックを利用して船尾をまず岸壁から離し、その後キックを繰り返して回頭することは可能。この際船の全長の3倍程度の水域が必要であり、また向岸風がないことが条件である。 満載で入港した船舶は付加質量が大きくタグボート支援の下でも回頭は容易ではない。このため特定のエリアだけ増深することで回頭を容易にさせることで出船着岸を誘導することが考えられる。
全般	<ul style="list-style-type: none"> 水域が輻輳する場合、円滑な港外退避について航路のコントロールが重要となる。 3.11の苦小牧西港で秩序よく避難した要因にはフェリー等が多いことがあるのではないか。頻繁に入出港しており、入出港に慣れているため緊急時の対応が可能であったと考えられる。一方外国人乗組員が多い船舶が増加しており、このような円滑な出港ができるかについて検討することが望ましい。 震源に近い港湾では乗組員の確保が課題になる。タグボート支援が不要な船舶では退避は容易であるが、タグボート支援を前提としているLNG船などの避難には課題がある。 緊急避難に出船係留は有効ではあるが、発生頻度の低い津波来襲と毎日行う着岸との経済的な比較が課題。 船舶が大型化しており、水域施設の拡充については経済性の面での検討も必要。 日本の港湾の場合、港湾側の荷役開始時間帯に素早く着岸する必要があるため入船着岸（特に外航船）が選択されている。

出典：ヒアリングでの意見を元に筆者らが作成

・津波による流速中を避難することが想定される場合には、斜航等により操船が影響されないか確認する。

東日本大震災時の東京湾諸港において2船間の併走が一部でみられたが、併走した事例は限定的であり、またこれらの船間の距離は一定程度確保できていたことから、船舶の輻輳は、多くの船舶が狭い水域を利用する場合等に限定されるものと考えられる。航路の輻輳が軽度であれば、緊急避難時の際の船舶の避難順の設定を行うことでこれを軽減できる可能性がある。また押し波が来襲する前の、津波による流速が小さい状況下で緊急避難を行うことで、斜航等による影響を避けることもできると考えられる。

湾口において大型船が回頭する場合、その円滑な回頭・緊急避難ができないければ他船による緊急避難に影響を与える可能性がある。大型船について離岸・回頭が円滑にでき、他船の緊急避難に影響しないことを確認する必要がある。

中長期的な課題としては、緊急避難時の航路内の船舶の輻輳や津波による流れの中を航行する場合の斜航の程度についての評価手法の検討が挙げられる。

4) 回頭泊地の運用・整備

緊急避難を行う場合、船舶が安全に離岸・回頭できることが必要である。タグボート支援を必要とする船舶について、離岸・回頭が円滑にできることを確認する必要がある。例えば、リスクの高い船舶に対して優先的にタグボート支援を割り当てるといった対応も検討に値する。

また、自力回頭が可能な船舶が多いほうが円滑な緊急避難に繋がり得るため、通常はタグボート支援を受ける船舶について、自力回頭の能力評価を行うことが有益であると考えられる。本研究におけるAISデータの分析から、現状では全長150m程度までの船舶について、スラスターを使用しない自力回頭が実施されているものと考えられ、この際の

水域規模は概ね直径3L程度と考えられる。これを超える規模の船舶については、緊急避難時の航行ならびに操船条件（船種、船型、風速条件、岸壁へのダメージの可否等）を考慮し、緊急避難時の回頭の操船の実施可能性や必要水域規模に関する評価を行うことが必要である。

中長期的な課題としては、緊急避難時に回頭を要しない出船係留への転換が望ましいことから、これに対応した回頭泊地のあり方の検討が挙げられる。

7. まとめ

本研究では、津波発生時の船舶避難を円滑化する観点から、東日本大震災発生時の船舶の緊急避難の実態についてのAISデータによる分析、津波予測データに関する分析、船舶運航の関係者が実施した既存の検討資料の収集・整理、専門家へのヒアリングを行い、水域施設に関連したリスク評価等の今後の取り組みにおける視点を検討した。主要な結論を以下に示す。

東日本大震災発生時の船舶の避難実態について、鹿島港では船舶の多くが漂流した一方、苫小牧港では一定時間内で船舶は一定の間隔を空けて避難できていた。東京湾諸港において船舶の輻輳等はみられず、多くの船舶が自力ないしはタグボートの支援により避難を行っていた。係留を継続した船舶も見られたが、漂流には至らなかった。また、一定規模以上の船舶の緊急避難時間については、タグボートの確保までの時間が一要因となっていた。

津波発生時の水深に関する情報を得るため、海上保安部による津波情報を分析した。その結果、はじめの引き波による水位低下は津波の規模によらず最大で2m程度であること、また津波の規模が一定程度を超えた場合、来襲までの時間が短くなり確実な緊急避難が困難となり得ることを考察した。

東日本大震災を受け、船舶運航側も津波発生時の緊急避難の可能性を問題意識とした検討を実施している。特に係留維持の可能性、自力での離岸（離桟）・回頭の実行可能性、出船係留への転換可能性について検討がされている。

船舶運航関係の専門家5名に対してヒアリングを実施し、緊急避難に関する知見を得た。具体的には、波長が長い引き波下での航行ではピッティングによる船体動搖は考慮不要であること、大型船が湾口で回頭する場合の他船の航行可能性に留意すべきであること、また津波の頻度を考慮し対策を行う場合の経済性に配慮すべきであること等の指摘を得た。

以上の分析や考察等を踏まえ、水域施設に関連したリス

ク評価の視点を整理した。基本的な方針として、緊急避難が現実的に対応可能な津波を対象とすべきこと、対策の経済性に配慮し優先的に取り組む箇所を設定すべきこと、水域の整備・運用の両面から対策を考慮すべきこと、緊急避難と係留継続を適切に使い分けるべきこと等を指摘した。また、航路水深、航路幅、回頭泊地それぞれについて、リスク評価の視点について、リスク要因とそれを緩和する対応の両面から考察した。中長期的に必要な技術的検討事項について整理した。

本研究に関して今後の課題を以下に示す。

第一に、本研究は現段階での知見に基づくリスク評価の視点を示したものである。今後港湾の実態に即したリスク評価を行うことにより、リスク評価の方法を深めるとともに、緊急避難が困難と判断される場合の対応について検討する必要がある。東日本大震災時に風速が緊急避難の妨げになった状況は本研究では確認されていないが、この点も考慮することが望ましい。また近年超大型のクルーズ船の入港も増えるなど当時とは異なる状況もあり、リスク要因は変化し得ることに留意が必要である。

第二に、船舶の緊急避難については、船舶運航者側からの視点を考慮することが重要であり、船舶運航の関係者と連携しつつ、リスク評価等の今後の対応に関する検討を行うことが必要である。

第三に、本研究では地震発生後、岸壁から離岸・回頭して避難に向けた航行を開始するまでの時間について分析したが、防波堤の外に出るまでの避難時間は分析していない。港湾内での航行速度等も踏まえ、港湾外に至るまでの時間についても分析が必要である。また、回頭に要した時間の分析も課題であり、これらの情報は今後の緊急避難に関する想定の参考情報になるものと考えられる。

第四に、UKCが低下した場合の操船性や津波内の航行時の斜航の程度、一定規模以上の船舶の自力回頭能力等、緊急避難時を想定した船舶航行に関する性能について理解し、今後の水域施設の整備に反映させていくことが必要である。

第五に、現在自動運航船等の技術開発が行われている。例えばタグボートが自動化・遠隔操作化できれば緊急避難の円滑化にも繋がり得ることから、この技術開発も視野にいれた検討が必要である。

本資料については、国総研のホームページでカラー版PDFがダウンロード可能である。

謝辞

本研究のヒアリングにおいては、操船や造船関係の学識者の皆様、船長経験者の皆様から、貴重なご意見を頂きました。ここに謝意を表します。

（2022年6月2日受付）

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局 (2021) : 海・船の視点からみた港湾
強靭化Ver. 1.
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001396703.pdf>
2022年5月20日アクセス.
- 2) 日本海難防止協会 (2012) : 海と安全 2012年春号
No.552.
https://nikkaibo.or.jp/pdf/552_2012.pdf
2022年5月20日アクセス.
- 3) 近畿運輸局 (2012) : 津波に遭遇した船の行動事例集.
<https://www.mlit.go.jp/common/000212285.pdf>
2022年5月20日アクセス.
- 4) 日本航海学会 東日本大震災検討会講演資料集.
同学会から入手可能.
- 5) 安部ら (2014) : 東京湾における津波来襲時の避難水域
規模推計に関する研究, 国総研資料 No. 782.
- 6) 日本港湾協会 (2019) : 港湾の施設の技術上の基準と同
解説.
- 7) 海上保安庁海洋情報部 津波防災情報図.
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAIYO/tsunami/index.html>
- 8) 久保 (2021) : 「津波が船舶を被害者・加害者に変える」,
糸 津波からいのちを守るために, 国際津波・沿岸防災技
術啓発事業組織委員会.
- 9) 榊原ら(2017) : 東日本大震災における津波観測および港
内係留船の被災実態調査に基づく係留限界津波高さの推
定, 日本航海学会論文集 No.136.
- 10) 榊原ら(2012) : 東北地方太平洋沖地震津波来襲時の係留
VLCC の挙動再現について, 日本航海学会第 126 回講演
会.
- 11) 邦船社が作成した停泊中船舶の津波対応ガイドライン.
同社の HP から 2012 年にアクセス.
- 12) 日本海難防止協会 (2014) : 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.
https://nikkaibo.or.jp/pdf/25_09.pdf
2022年5月20日アクセス.
- 13) 松田・富田 (2012) : 鹿島港における津波来襲時の船舶
避難行動分析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集第 15 号.