

港湾施設における 台風時の浸水深の推定について

杉浦 正和¹

¹ 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所 技術開発課
(〒457-0833 名古屋市南区東又兵衛町 1-57-3)

2019 年 10 月に来襲した台風 19 号により清水港をはじめとした沿岸部において高潮・高波による岸壁等への浸水被害が発生した。近年、気候変動の影響による台風の強大化に伴い、港湾施設の高潮・高波対策の必要性が高まっていることから、2020 年に開発した台風来襲時における防波堤の安定性照査を行う「港湾・海岸保全施設波浪被害予測システム」に、岸壁や護岸背後の浸水深等を推定する機能を追加することとした。このシステム改良により、台風来襲前にコンテナの固縛を行う等の事前対策への活用や、台風による浸水被害の程度を事前に推定することが可能となり、今後の港湾における減災対策や被災時の早期復旧に寄与できるものと期待している。

キーワード 台風、港湾施設、港湾・海岸保全施設波浪被害予測システム、浸水深の推定

1. はじめに

近年、気候変動の影響による台風の強大化¹⁾に伴い高潮・高波は増大傾向にあり、沿岸に位置する港湾施設の高潮・高波対策は喫急な課題になっている。特に、防波堤が高潮・高波により被災した場合は沖合から押し寄せる高波を防ぐことができなくなることから、港湾荷役等に支障をきたし海上物流に大きな影響を与える。当所では 2020 年度に台風通過後の速やかな防波堤等の調査・復旧体制構築を目的として「港湾・海岸保全施設波浪被害予測システム」²⁾（以下、予測システムという）を開発した。

一方、防波堤で遮蔽された港内においても高潮・高波による港湾構造物の被災や浸水被害が全国的に発生している。2019 年 10 月には来襲した台風 19 号（以下、台風 19 号という）により高潮・高波が発生し、清水港をはじめとした沿岸部において浸水、建物損傷などの被害が発生³⁾しており、港湾貨物の固縛等、台風来襲前の事前対策の必要性も高まっている。そこで、2022 年度に予測システムを改良（以下、予測システム改良版という）し、港内の浸水深等を推定する機能を追加した。本稿では、予測システム改良版の概要及び予測システム改良版による台風 19 号の再現計算結果を報告する。

2. 予測システム改良版の概要

(1) 予測システムの特徴

2020 年度に開発した予測システムは、気象庁発表の台風情報から防波堤前面における高潮・高波の変化を予測し、得られた波浪条件により防波堤等の安定性を照査し、被災の有無を推定するものである。本来の高潮・高波の算出方法は、台風によって発生する海上風推算、高潮推算、沖波推算、波浪変形計算などを対象海域に応じた数値計算モデルで詳細に計算するため、各々の計算に数時間程度を要する。そのため、本来の算出方法を差し迫る台風に対する事前対策へ活用することは困難であり、さらに刻々と変化する台風情報に対応する必要があることから、短時間で推定結果を更新する必要がある。そのため、予測システムでは、比較的計算時間が短い沖波推算モデルを採用すると共に、事前に過去の気象擾乱を参考にした数種類の沖波波向による港外波浪変形計算を実施し、得られた防波堤前面波高と沖波波高との比（以下、波高比とする）をデータベース化することにより港外波浪変形計算を省いて沖波波高から波高比を用いて防波堤前面波高を算定できるようにした。これらの工夫により、短時間で推定結果を得られるように構築されている。

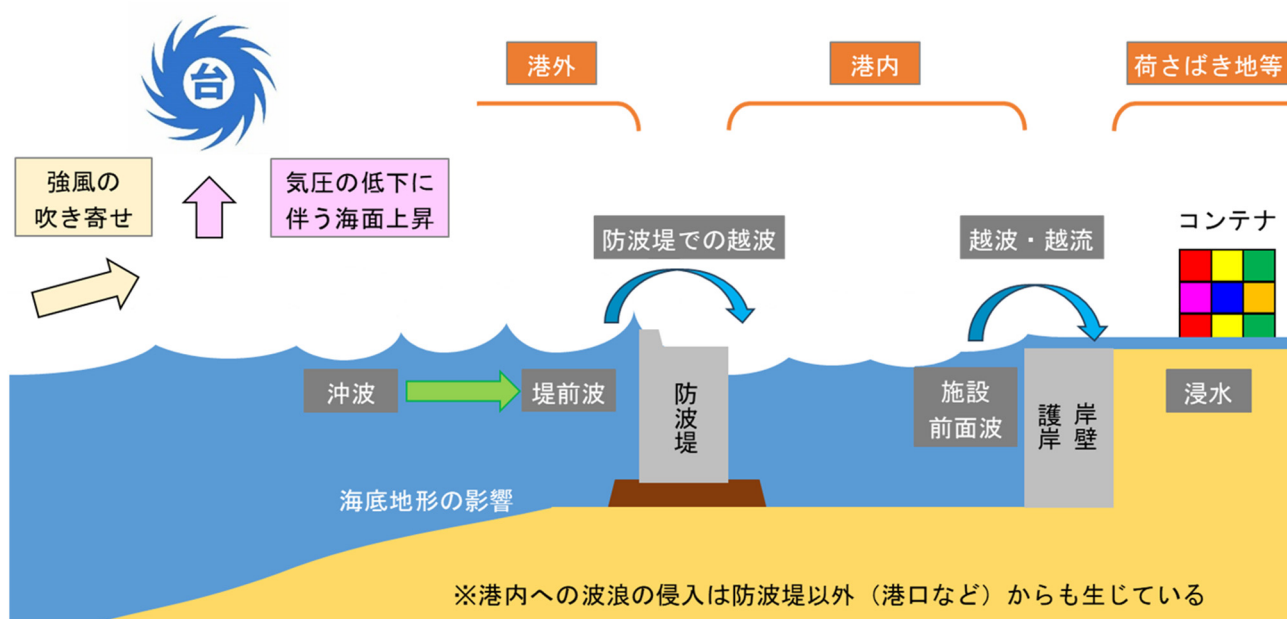


図-1 高潮・高波による港内の港湾構造物背後の浸水のイメージ

(2) 2022 年度の改良内容

a) 概要

2022 年度の改良では、岸壁や護岸への高潮・高波による影響を把握するため、岸壁や護岸背後への浸水深の推定機能を追加した。

b) 高潮・高波による浸水のイメージ

高潮・高波による岸壁や護岸背後への浸水のイメージを図-1 に示す。台風による気圧の低下により、海面上昇が発生する。また、台風による強風で発生した沖波は、海底地形の影響を受け波高等が変化しながら港湾へ到達する。防波堤を越えた波浪や港口部などから侵入した波浪は、やがて港内の岸壁や護岸に到達（施設前面波）する。この到達した施設前面波が岸壁や護岸を超えて（越波）背後に流れ込む（越流）と背後の荷さばき地等は浸水する。予測システム改良版ではこの一連の流れを再現している。

c) 対象港湾・浸水深の推定箇所

今回の改良では、管内の港湾のうち清水港を対象に浸水深の推定機能を追加した。清水港を選定した理由は、台風 19 号によって浸水被害等が発生し、被害の程度や要因等を解明するために現地調査や浸水状況の再現計算などが行われており、予測システム改良版による推定結果を検証することができるためである。浸水深の推定箇所は、図-2 に示す台風 19 号で浸水深の痕跡値がある箇所及び清水港の主要な 11 施設（岸壁）とした。

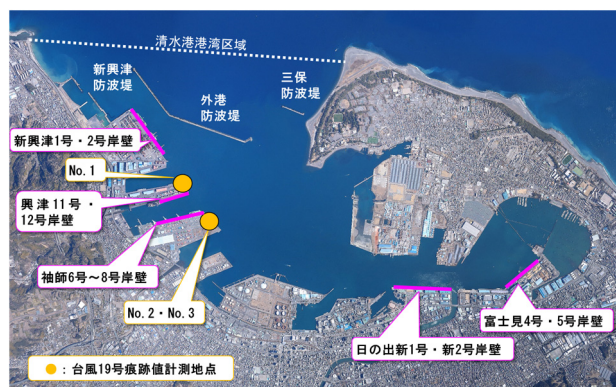
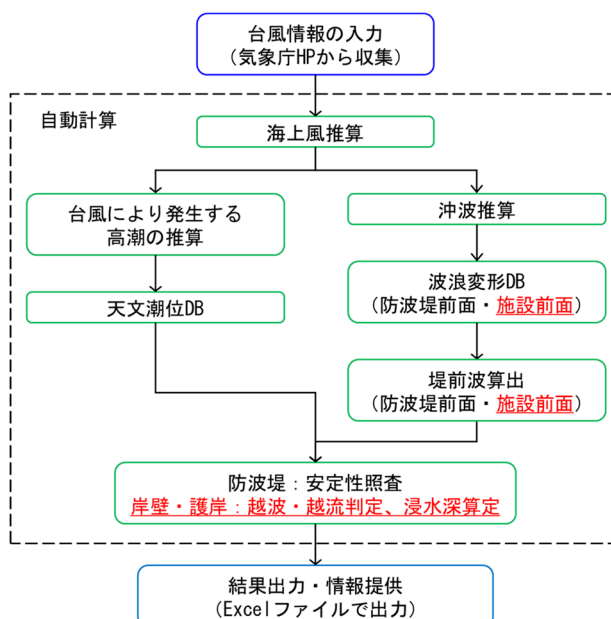


図-2 浸水深の推定箇所（清水港）



赤字：2022年度機能追加

図-3 予測システム改良版のフロー

(3) 予測システム改良版のフロー

予測システム改良版のフローを図-3 に示す。今回追

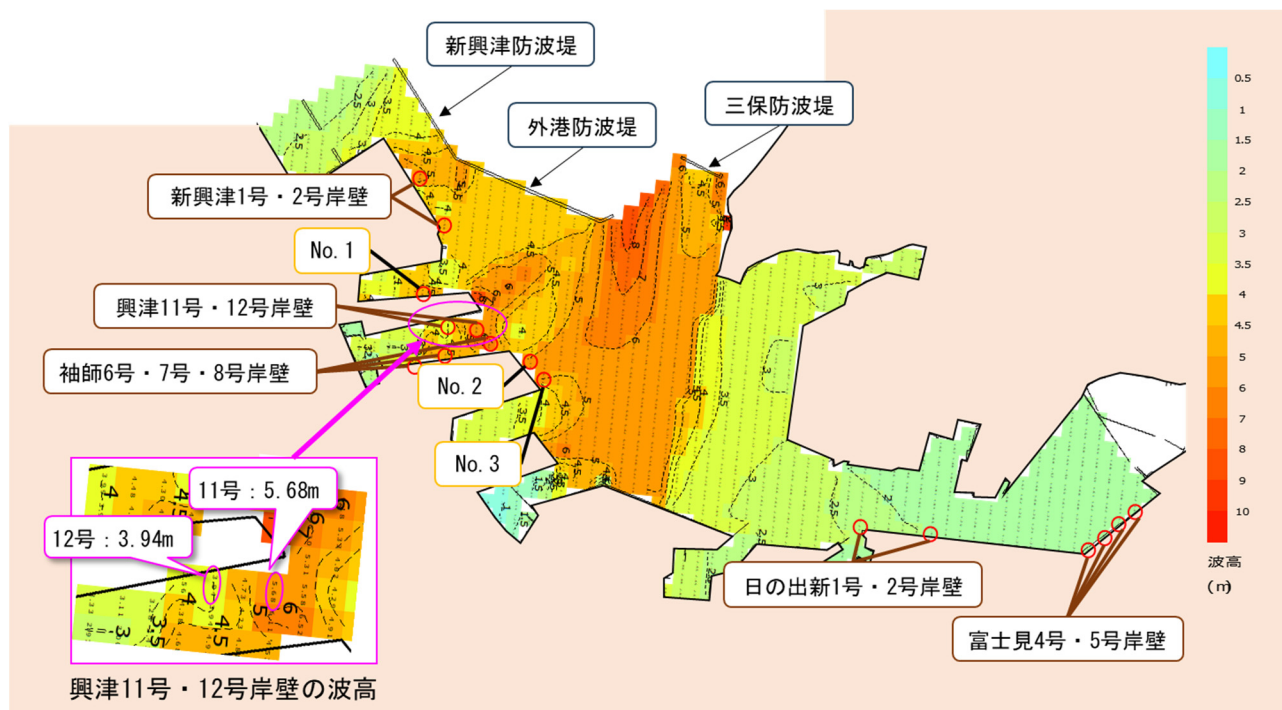


図-4 高山法による港内波高の計算結果の一例

加した機能は、フローに赤字で示した。予測システム改良版は、気象庁 HP から収集した時刻、中心気圧、移動速度等の台風情報を入力すると、自動で台風による波浪や高潮の推算、各データベース（以下、DB という）による施設前面波等の算定、防波堤の安定性照査、岸壁や護岸背後への越波・越流判定や浸水深の推定を行い、Excel ファイルで結果を出力するものである。追加機能の詳細を以下に示す。

a) 施設前面波の算出

施設前面波高は、通常、沖波を算定した位置から防波堤前面等まで波浪変形計算を行い、更にその位置から港内施設前面まで波浪変形計算を行うことで算定できる。しかし通常の方法では時間を要することから、予測システムでは過去の気象擾乱を元に波浪変形計算を行い、予め沖波代表地点と防波堤前面の波高比を波向、周期別に整理した DB として整理することで計算時間の短縮を図っている。予測システム改良版でも同様に、沖波代表地点と港内側にある岸壁等の前面の波高比を波浪変形 DB（施設前面）として整理した。沖波代表地点から防波堤前面等までの波浪変形計算はエネルギー平衡方程式を用い、岸壁等の前面の波高は高山法を用いている。高山法は、清水港のように港内の水深が比較的变化しない等、港内の海底地形による波浪変形を無視できる場合に用いる計算方法⁴⁾である。高山法による波高の計算結果の一例を図-4 に示す。この図から港内側にある岸壁等の前面の波高を読み取り、沖波波高で除することで波高比とした。これにより、台風で発生する沖波を算定できれば、沖波の波高に波高比を乗することで、計算等を繰り返し

行わなくとも岸壁等の前面の波高を直ちに算定することが可能となった。

b) 越波・越流量評価、浸水深算定

越波・越流量の評価は、過去に同様の検討を行った文献において提案されている越波・越流結合推定式⁵⁾を用いた。また、浸水深は、越流公式を援用した計算式⁶⁾を用いて算定を行った。

3. 予測システム改良版の精度検証の実施

(1) 目的

予測システム改良版の精度検証を実施するため、清水港に浸水被害をもたらした台風 19 号による再現計算を行い、台風 19 号による浸水深の痕跡値との比較を実施した。

(2) 再現計算の条件

台風データは、気象庁が発表した台風 19 号の台風位置表⁷⁾を用いた。予測システム改良版に入力した台風データで描画した台風経路図を図-5 に示す。また、再現計算では、過年度業務⁸⁾において整理された異常潮位（22cm）を加味することとした。

(3) 再現計算の結果

予測システム改良版の出力結果を図-6 に示す。上段に示す表では各施設で発生する最大浸水深の算定結果や発生時刻等を一覧表形式にて示し、下段の図では各施設

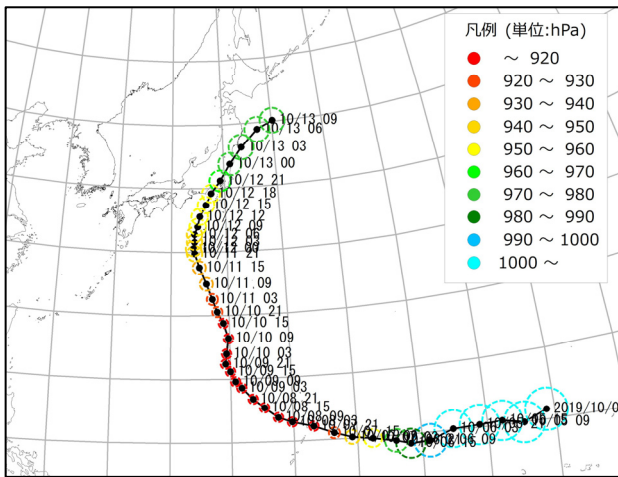


図-5 台風19号の経路図

で発生する最大浸水深を示したものである。なお、台風19号の痕跡値計測地点や波浪観測地点は出力結果に図示されないため追記した。また、最大浸水深の図は、本論文で見やすいように文字サイズや配置等を修正した。

(4) 再現計算の精度検証

再現計算の精度検証は、以下の2項目で行った。

a) 最大浸水深の発生日時の検証

今回の出力結果において、最大浸水深の発生日時は2019年10月12日18時だった。これは、清水港の沖合に

設置されている波浪観測地点において観測された最大波の時刻18時20分⁹⁾とほぼ一致した。このことから、最大浸水深の再現時刻は概ね妥当と考えられる。

b) 浸水深の検証

再現計算で算定した浸水深（以下、再現計算値とする）と台風19号で発生した浸水深の痕跡値¹⁰⁾との比較を行った。痕跡値と同場所の再現計算値を表-1に示す。No.1地点では、痕跡値と再現計算値はほぼ同じ結果となった。しかしながら、No.2地点及びNo.3地点は痕跡値に比べ再現計算値は大きく下回る結果となった。要因として、No.2地点及びNo.3地点は港口部の延長線上に位置しており、防波堤による波浪の遮蔽効果が表れにくい場所であるため、港口部から直接進入する波浪の影響が顕著に表れているものと推察される。台風19号で発生した高波が威力を保持した状態で港口部から港内に侵入¹¹⁾したことで、痕跡値は再現計算値よりも大きな値になったと考えられる。

表-1 痕跡値と再現計算値の比較

痕跡値地点 No.	痕跡値 (m)	再現計算値 (m)
No.1	0.49	0.45
No.2	1.64	0.27
No.3	1.02	0.28

※痕跡値、再現計算値は地盤上からの高さ

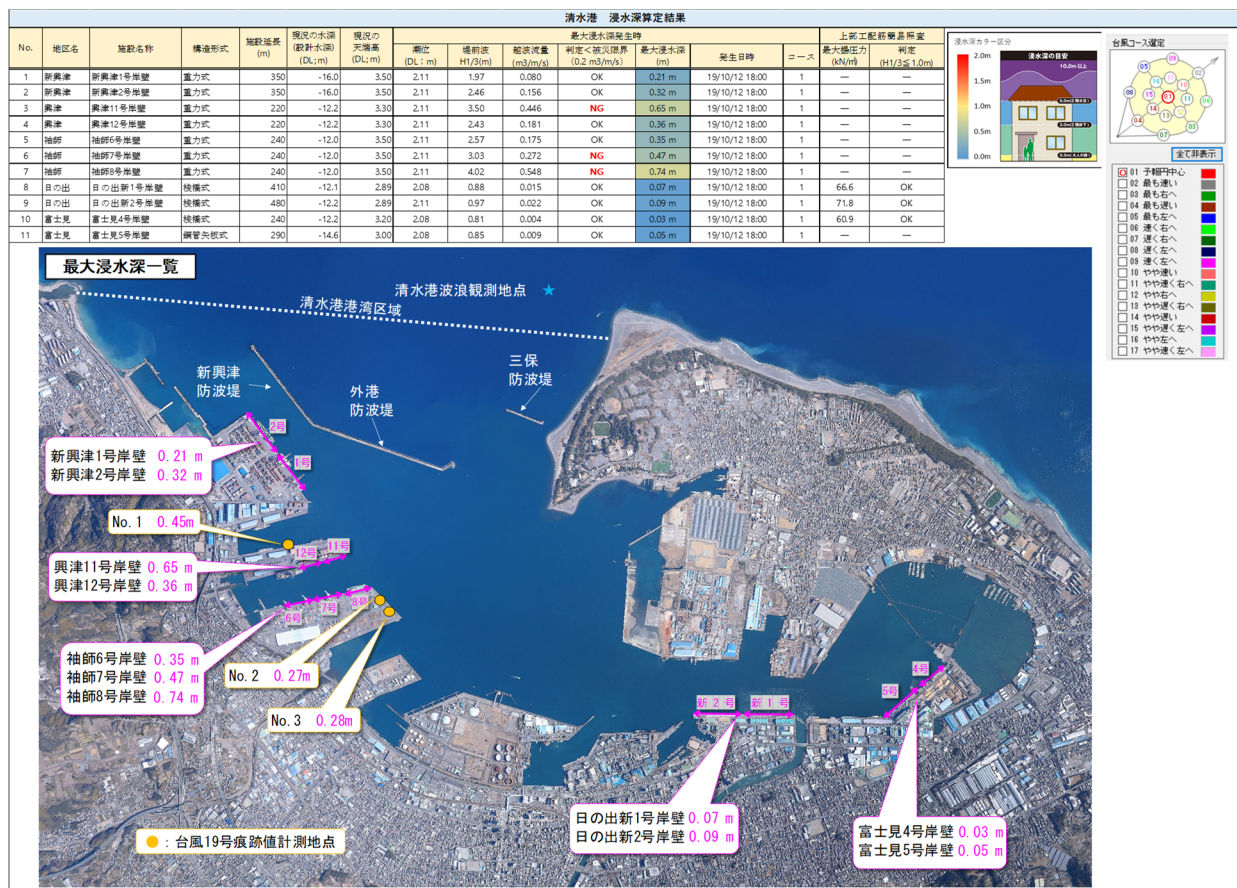


図-6 予測システム改良版の出力結果

4. まとめ

本論文では、予測システム改良版の概要及び予測システム改良版による台風 19 号の再現計算の結果を示した。今回の改良において高潮・高波による港内の岸壁の越波・越流判定と浸水深推定が一部条件下を除き概ね可能となった。

台風 19 号の再現計算の結果、最大浸水深の再現時刻は清水港の波浪観測地点において観測された最大波の時刻とほぼ同時刻だった。また、3 地点の再現計算値の内 1 地点は痕跡値とほぼ同じ値となった。他の 2 地点については再現計算値よりも痕跡値が大きな値となっていたが、これは港口部の延長線上に位置していたため波浪の影響が顕著に表れているものと推察される。引続き、防波堤の遮蔽効果が表れにくい条件下における推算精度向上を図る必要があると考えている。

5. おわりに

港湾施設においてあらかじめ浸水リスクの発生が想定された場合、図-7に示す空コンテナの固縛¹²⁾などの事前対策を実施して被害を回避もしくは軽減する方法が提案されている。一般的にコンテナの固縛等には相応の作業員と費用が必要となるとともに、荷役作業に一定の制約となることから、事前対策要否の的確な判断や具体的な対策箇所の選定などに予測システム改良版を活用することで、従来よりも効率的な事前対策が可能になると考えている。また、防災計画等で想定されている台風が来襲した場合の岸壁等背後の浸水状況の把握にも活用できることから、被災後の早期復旧対策や減災対策等の事前検討にも寄与できるものと考えられる。その一方、予測システム改良版は気象庁が発表する情報を使って台風による浸水深を推定するシステムであるため、気象庁の予報情報が無い段階ではシステムを稼働させるこ

とはできない。従って、予報情報の入手方法は今後の課題である。2023 年度においては、港内の浸水深等の算定を名古屋港など清水港以外の港湾でも対応できるように改良する計画である。また、更なる精度向上の検討を進めるとともに、台風の予報情報の確実な入手方法についても検討を進めたいと考えている。

謝辞：本論文の執筆に当たり、ご指導・ご協力頂いた方々に深く感謝し、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：令和 5 年版国土交通白書，pp.193，2023.
- 2) 板倉颯・松永洋明：台風来襲時における港湾施設の安定性検討について，令和 3 年度 中部地方整備局管内事業研究発表会，2021.
- 3) JEON Jonghyeok，富田孝史，中村友昭，堀池昌生，市野智一：清水港および焼津漁港における台風 Hagibis による高潮・高波被害に関する現地調査，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.76，No.2，pp.1_983-1_988，2020.
- 4) 日本港湾協会編：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，pp.185，2018.
- 5) 田中陽二，鈴山勝之，樋口直人，柴木秀之：堤前波高を用いた越波モデルの改良と越波越流統合モデルの作成，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.74，No.1，2018.
- 6) 高山知司：沿岸防災技術研究所の活動について（平成 29 年度），沿岸技術研究センター論文集，No.18，2018.
- 7) 気象庁：台風位置表，2023.
- 8) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所：令和 4 年度 越波・越流による浸水深推定システム開発検討業務報告書，pp.5-22，2023.
- 9) 川口浩二，吉田勘一郎，藤木 峻，田村 仁：全国港湾海洋波浪観測年報（NOWPHAS 2019），港湾空港技術研究所資料 1381，pp.72，2021.
- 10) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所：令和 2 年度 管内港湾施設浸水検討業務報告書，pp.2-11，2021.
- 11) 桐山友香理：清水港の防災・減災力強化に向けた検討～大型台風への備えた対策の方向性について～，令和 3 年度 中部地方整備局管内事業研究発表会，2021.
- 12) 国土交通省近畿地方整備局港湾空港部：台風時の事前対策について，第 2 回大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会，資料-3，pp.4-8，2018



図-7 空コンテナ固縛による事前対策¹²⁾