

寄稿

平成30年台風第21号の高潮被害と対策

平成30年台風第21号の高潮被害と対策

熊谷 兼太郎

国土交通省 国土技術政策総合研究所
沿岸海洋・防災研究部 津波・高潮災害研究官

はじめに

平成30年9月4日14時前、台風第21号（世界気象機関台風委員会によるアジア名はチェービー。以下、特に記載のない限り単に「台風」と言います。）が兵庫県神戸市付近に上陸しました¹⁾。

台風は「非常に強い」勢力を保ったまま上陸しましたが、これは平成5年台風第13号以来の25年ぶりの現象でした。ここで、「非常に強い」とは中心付近の10分間平均風速が44 m/s以上（54 m/s未満）であることを指し²⁾、風が強かった台風であったことが特徴と言えます。例えば、関西国際空港では最大瞬間風速が46.5 m/s（13時47分発生、方位は南南西）となり、観測史上1位を更新しました³⁾。

台風に伴う強風、高潮及び高波により、大阪府など5府県で14人の死者が発生するとともに、住宅・建物の損壊、ライフライン・交通機関の途絶、土砂災害の発生などの被害が生じました⁴⁾。生活・経済の復旧には時間を要し、先ほど例に挙げた関西国際空港の旅客便数がほぼ従前の水準となったのは9月21日以降⁴⁾となりました。

本稿は、特に高潮による被害とその対策に着目して、国土技術政策総合研究所（国総研）が行っている活動について述べます。具体的には、1.災害発生直後の現地調査、2.国、自治体、民間企業などで構成されている委員会への参加、3.高潮対策に関する研究について、それぞれご紹介します。

1 災害発生直後の現地調査

国総研は、平成30年9月～12月に3府県（兵庫県、大阪府及び和歌山県）の6港湾（神戸港、尼崎西宮芦屋港、大阪港、阪南港、堺泉北港及び和歌山下津港）とその周辺地域において、高潮の規模と被害を把握する

ための現地調査を行いました。調査は国総研と国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所との共同で実施しており、そのうち国総研からは沿岸海洋・防災研究部及び港湾研究部に所属するメンバーが延べ12日・28人という体制で参加しました。

1) 調査の手法

まず、港湾の主要なふ頭などにおいて浸水痕跡に基づいて、測量機材を用いて高潮の浸水高・遡上高を測定します。浸水痕跡とは、土砂、植物の切れ端などを含んだ海水が高潮で運ばれ汚れとなって建物壁面などに水平方向に帯状に残っているものであり、その場所における最大水位などを知る手がかりとなります（**図表1**）。波や飛沫の影響を除外するため、出来る限り建物の内部、波が直接あたらない場所などに残されたものを探します。ただし、波浪の影響を含む情報しか得られない場合は、そのことを付記して記録することもあります。また、目撃者の証言をもとに高潮の規模を推定して記録することもあります。なお、日数が経過したり復旧作業のために洗浄されたりするとこうした浸水痕跡は判別が困難になりますので、災害発生直後に調査することが重要です。

次に、高潮などによる被害を把握します。すなわち、上屋・フェンスの損壊、荷役機械の故障、貨物の水濡れ、漂流物の発生などについてそれぞれ、強風による作用、高潮による作用、高波による作用などと出来る限り区分して記録します。

高潮の規模と被害を調べる理由について述べます。高潮の再現計算のために数値シミュレーションを用いますが、シミュレーションの結果と実際に生じた現象とを比較・検証することにより、シミュレーションの精度を向上することが出来ます。また、一般的には高潮の規模と被害の大きさの間には相関がありますか

ら、災害の規模と被害との関係を詳しく調べることで、将来発生すると考えられる被害をある程度の精度で推定することが出来ます。なお、被害が発生したという情報に注目が集まるのは当然ですが、「被害なし」という情報も重要です。仮に、高潮が発生し、周辺では被害が発生しているにも拘らずある特定の地点では被害なしという事象があった場合は、どんな要素が防災上の効果を発揮したのかという分析を加えられる可能性があり、災害調査という観点からは興味深い事象と言えます。

2) 得られた成果

調査で得られた成果のうち主なものとして、神戸港の六甲アイランドで1.0 mを超える浸水深が発生し、ふ頭とその周辺に蔵置されていたコンテナ、車などの資産が被害を受けている状況を把握しました。また、高波により堤外地の商業施設も被害を受けている状況を把握しました。一方、電源機能を高い位置に配置していた一部の荷役機械は比較的被害が小さく、被災直後の早い段階で復旧したことも分かりました。

大阪港の南港地区では、ふ頭上で0.6 m程度の浸水が発生していた地点について調べ、コンテナの海上への流出、倉庫に保管されていた物品の浸水被害、風によるテントの損壊などの状況を把握しました。この他、複数のフェリーふ頭において、ボーディングブリッジ

の倒壊や旅客用エスカレーターの故障など、旅客施設についても被害が発生していました。

また、神戸港や大阪港に比べると大阪府南部～和歌山県の沿岸部の具体的な被害状況に関する情報が不足していたことから、国総研では堺泉北港、阪南港及び和歌山下津港についての調査も重点的に行っています。

3) 成果の共有

2)は重要な成果と考えていますが、時間的・人的な制約により、限られた地点についての情報となっています。被害の全体像を把握するためには、より多くの地点の情報を知る必要があります。また、得られた情報は共有知として社会に還元していく必要があります。そこで、土木学会海岸工学委員会に設置された「2018年台風21号Jebi沿岸災害調査団」(団長：京都大学防災研究所 森信人教授)⁵⁾に参加しています。具体的には、測定した高潮の浸水高などの情報の共有を行っています。

同調査団のとりまとめ結果は、土木学会海岸工学委員会のホームページ⁵⁾で公開されています。速報値ではありますが、例えば高潮の規模について、いずれも波浪の影響が含まれているという条件付きで淡路島南、和歌山港付近で4mを超える浸水高、大阪港で3.5～4.0m位(最大5m以上)の浸水高、西宮～神戸で2.0

図表1 高潮の浸水痕跡(神戸市東灘区向洋町東)



～3.0m位の浸水高といった包括的な知識が得られています。なお、2011年東日本大震災の津波についても同様の取り組みが行われてきました⁶⁾。このように、被害が広範に及ぶ大規模な災害に対して、関係者の皆さんのご尽力により知識が共有できる仕組みが構築されてきています。

2 委員会への参加

国総研は、「港湾における高潮リスク低減方策検討委員会」をはじめとして国土交通省港湾局及び関東・中部・近畿の各地方整備局が設置した委員会（**図表2**）にそれぞれ委員として参画し、技術的助言を行っています。その内容は、現地調査に基づく被害状況の報告、関連する研究上の知見の提供、数値シミュレーション結果の提供などです。

1) 高潮対策のガイドライン

今回の台風による被害が発生する以前の平成30年3月に策定された「港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策ガイドライン」⁷⁾は、港湾の堤外地等において人命と資産に関する高潮リスクを低減するため、管理者、民間事業者の方などが講じる対策の指針としてまとめられたものです（以下、単に「ガイドライン」と言います）。ガイドラインは「堤外地の人命を守る」ことに加えて、社会・経済活動への影響を最小限にするために「堤外地の資産の被害を低減すること」を目標として掲げています。このように社会・経済活動への影響も考慮の対象としている点は、ガイドラインの特

色の一つと言えます。

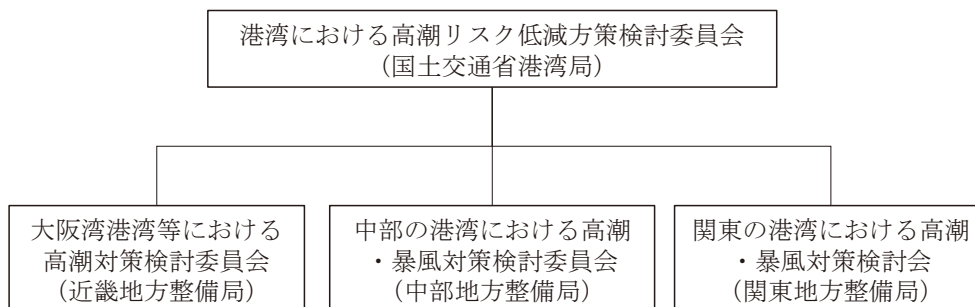
2) フェーズ別高潮対応計画

ガイドラインで示された対策の一つに、「フェーズ別高潮対応計画」の策定があります。同計画は、堤外地の就労者等の避難、貨物の高台への移動、コンテナの固縛などの予め取るべき防災行動を、強風注意報といった気象情報などを契機として実行に移せるように事前計画という形で整理しておくものです。同計画を策定したうえで、円滑に行動できるように体制や方法を事前に検討しておくことが求められます。現在、まずは三大湾の港湾管理者を中心にそれぞれ同計画の策定が進められています。今後は、民間事業者、三大湾以外で高潮リスクが懸念される港湾の管理者などについても、策定が進むことが期待されます。

3) エリア減災計画

ガイドラインでは「エリア減災計画」の策定も示しています。同計画は、特に港湾機能や産業機能が集積し高潮による被害が大きいと考えられる地域について、行政機関、民間事業者などが連携し、避難誘導計画の共有、止水対策の充実などを地域で一体とした視点で講じることを目指しています。すなわち、先ほどのフェーズ別高潮対応計画でカバーしている取り組み（就労者等の避難、貨物の移動など）を、個別機関・事業者の枠を越えて連携・共有します。また、フェーズ別高潮対応計画で想定しているいわば運用面を中心とした対策に加え、止水対策の充実など構造物の整備も

図表2 高潮対策に関する委員会



※「大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会」の資料を一部変更して作成

あわせて行うことにより、堤外地の被害低減を図る考えです。なお、港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策検討委員会の資料⁷⁾によれば、止水対策の充実などに関連する施設としては、電源をかさ上げ・耐水化した施設、漂流物防護施設、情報提供施設及び道路状況監視カメラが例示されています。

3 高潮対策に関する研究

高潮対策のうち、ここでは漂流物による被害の低減を目指した研究について紹介します。

港湾のふ頭には、国際貨物コンテナ（以下、単にコンテナと言います。）が段積みの状態で蔵置されています。今回の台風により、段積みされた多数のコンテナが強風で崩れました。また、高潮で浸水して浮力が作用したコンテナの一部は、ふ頭内を移動しただけでなく漂流物となって海上に流出しました。^{*1}

コンテナが流出すると、輸送容器としてのコンテナ自体の価値が失われてしまうのはもちろんのこと、内蔵していた貨物も水濡れ・損壊する被害が発生します（**図表3**）。流出先から引き揚げ・輸送するための回収費用も発生します。さらに、コンテナが航路上などの海域に沈没している可能性がある場合は、深浅測量船を用いた障害物探査などを行って捜索する必要があります。所定の水深が確保されているとの安全性確認がなされるまでの間は、その海域の船舶航行は制限され

ます。例えば神戸港では、台風が通過した直後からほぼ全域にわたって航行が制限され、順次解除されましたが、一部の水域は最大約4日間にわたり航行が制限されました⁸⁾。生活・経済の速やかな復旧のために、このような状況は障害となってしまいます。

以上のようなリスクを考慮すると、高潮の漂流物による被害の低減を目指した研究に取り組む必要があると考えています。

なお、コンテナの仕様には規格があり、例えば長さは20フィート（約6 m）または40フィート（約12 m）と規定されています⁹⁾。20フィートコンテナと40フィートコンテナとでは、仮に強風による風抗力、高潮による浮力などの作用する外力が同じでもそれに対する挙動は厳密には異なります。また、常温輸送に用いられるドライコンテナと冷凍・冷蔵装置を装備して定温輸送に用いられるリーファーコンテナとでは、貨物空載時の自重は異なり、高潮で浮遊を開始する限界水深が変わります。しかし以下では、簡潔に述べるために、形状、自重などの違いを区別せず単純に個数に基づいて整理した結果を紹介しています。

1) コンテナ流出の状況

漂流物となって海上に流出したコンテナは、神戸港及び大阪港において合計約70個でした。

そのうち、大阪港南港地区からは複数のふ頭から約

図表3 ふ頭から流出して損壊したコンテナ



（コンテナの固有番号を隠す画像処理をしています）

30個が流出しました。最終的には、流出元のふ頭のすぐ前面の比較的狭い水域で捕捉されたもの、南港地区を離れた対岸の安治川河口に到達したもの、及び、築港地区南岸に到達したものがありません。往復運動をしたり途中で障害物にぶつかって回り込んだり複雑な動きをしていた可能性があることに留意が必要ですが、流出元のふ頭と最終的な到達場所とを単純に直線で結ぶと、移動距離は最大で約5,200 mでした。

また、流出元のふ頭から見て真北を0度とし時計回りの座標系をとったとき、移動方向は27～54度の範囲(概ね北北東～北東の方向)でした。ふ頭浸水が始まったのは、ヒアリング結果や地盤高さの測量結果から14:00～14:30ごろと考えられます。コンテナが漂流物となって移動したのはそれ以降ということになります。また、移動に要した時間の長さについて詳しい情報は得られていませんが、直線的な移動距離が最大で5 km程度であることから、早ければ移動開始から数時間のうちには最終的な到達場所の周辺にあった可能性があります。図表4は、14:00以降の3時間のあいだの気象観測所(大阪府中央区大阪城内)における風向・風速の10分ごと観測値¹⁰⁾です。それによると、表中のほとんどの時間で風向が南南西(SSW)となっています。先述の座標系でいえば南南西の風は22.5度

にあたりますので、コンテナの移動方向は風下の方向と比べてやや東寄りであるものの概ね一致する結果となっています。なお、やや東寄りになった理由として、陸地の存在によってコンテナが移動方向に制約を受けたこと、南港地区と気象観測所との間が10 kmほど離れているため両者の風向・風速に違いがあることなどが考えられます。今後、詳しい検討が必要です。

神戸港六甲アイランド地区からは、約40個が漂流物となって海上に流出しました。多くは、対岸の神戸市東灘区から西宮市までの範囲の沿岸海域・水路に漂着または陸上に打ち上げられました。一部は、六甲アイランドと対岸の間の海域に沈没したり、いったん海上に流出したものの同じ六甲アイランド内の別のふ頭に打ち上げられたりしました。また、1個が所在不明となっています。現段階では十分な情報が得られていないため、移動距離・方向を全てのコンテナについて追跡することは出来ていませんが、可能な限り検討を加える予定です。

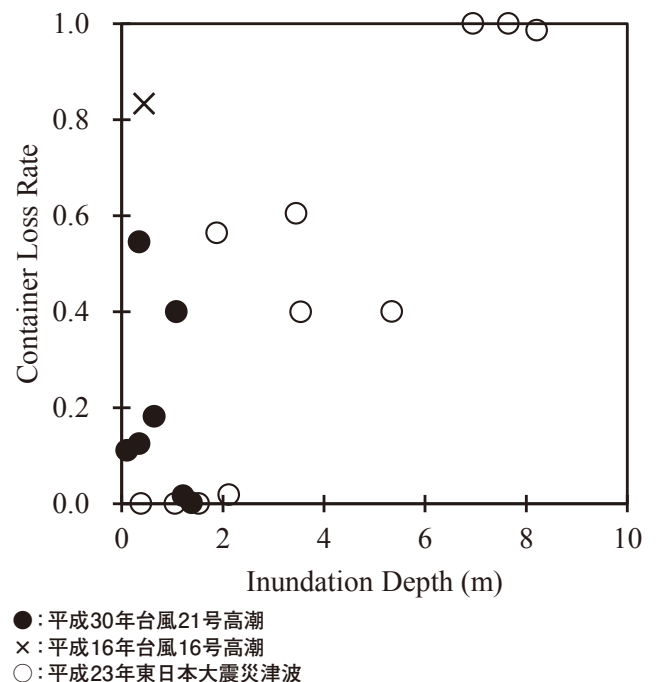
2) 流出リスク評価と流出防止対策

災害発生前の事前の対策として、埠頭から流出するリスクを評価するとともに流出防止の対策を講じるこ

図表4 風向・風速の10分ごと観測値¹⁰⁾

時刻	風速(平均, 単位: m/s)	風向(平均)
14:00	20.9	S
14:10	27.3	SSW
14:20	21.2	SSW
14:30	17.4	SSW
14:40	15.2	SSW
14:50	16.0	SSW
15:00	12.7	SSW
15:10	13.3	SSW
15:20	13.5	SSW
15:30	11.3	SSW
15:40	10.4	SSW
15:50	10.4	SSW
16:00	8.5	SSW
16:10	9.6	SW
16:20	8.0	SSW
16:30	7.5	SSW
16:40	7.2	SSW
16:50	5.8	SSW
17:00	7.1	SSW

図表5 浸水深と流出率の関係



とが考えられます。

図表5は、横軸にふ頭上での浸水深を、縦軸にコンテナの流出率を示しています。流失率とは、高潮発生の際のふ頭内の蔵置数に対する、海上への流出数の割合として定義しています。黒丸印は、今回の台風についてふ頭単位で実績値をプロットしています。なお、浸水の高さのデータは一部、速報値に基づくものも含んでおり、今後確定値を反映した場合に修正される可能性があります。高潮によるコンテナの海上への流出は過去にも発生しており、例えば平成11年台風第18号による北九州港の高潮¹¹⁾、及び、平成16年台風第16号による水島港の高潮の事例があります。×印は、そのうち比較的詳細なデータが得られている水島港の事例についてプロットしています。また、白丸印は、平成23年東日本大震災の津波により合計3,018個のコンテナが流出した事例¹²⁾を参考としてプロットしています*2。

プロットした結果によると、白丸印で示した津波の事例は浸水深と流出率との間に概ね正の相関がみられます。それに対して、黒丸印及び×印で示した高潮の事例は、浸水深が小さい範囲のデータが中心であり流出率は大きなばらつきをもっているという特徴があります。すなわち、浸水深が比較的大きいにも関わらず流失率がほぼゼロの事例や、浸水深は比較的小さいにも関わらず流出率が大きい事例が含まれています。その理由の一つとして、津波と高潮とではコンテナに作用する外力に違いがあることが考えられます。すなわち、鉛直方向には、重力と海水を押しつけた分の浮力がコンテナに作用するという点でどちらも同じです。しかし水平方向には、津波では流れによる流れ抗力が主に作用するのに対し、高潮では強風による風抗力が主に作用するという違いが考えられます。ふ頭に立って海を見たときに台風の風を背後から受けるような立地条件の場合は風抗力によってコンテナが海上に流出しやすく、浸水深が比較的小さくても流出率が大きくなるということが定性的には考えられます。ただし、現段階では時間的な制約があり十分な検討が加えることが出来ていませんので、今後に発表される予定の浸水の高さの確定値などをふまえて調査結果の精査を行い、よりリスク評価の精度を上げていく必要があります。

す。

なお、ふ頭上に蔵置してあるコンテナに作用する浮力が重力を下回っていて浮遊していなくても、水平方向に移動を開始することがあります。平成21年の三河港の高潮では、コンテナは海上には流出しませんでした。しかしふ頭内で陸域方向に大きく移動しました。その際、ふ頭の舗装上に引き摺り痕が発見されています¹³⁾。この事実は、コンテナが完全に浮遊せずに風抗力などの作用により水平方向に引き摺られるように移動する場合もあることを示しています。

流出防止の対策としては、国土交通省港湾局の資料¹⁴⁾によれば、台風の接近に備えたコンテナの段積み数の低減、コンテナ同士をワイヤー、金具などで固縛すること、及び、岸壁付近に設置する移動式の流出防止柵の導入が例示されています。今後、風洞を使った模型実験などによる効果の把握が必要です。

3) 回収体制の整備

災害発生後の事後の対策として、ふ頭から流出したコンテナを迅速に回収する体制を予め整備しておくことも重要と考えられます。

コンテナは、防水性に関する規格が定められています¹⁵⁾。しかしこの規格は、コンテナをふ頭に蔵置している際や船積みされている際の風雨密性を保証するために定められているものであり、海上へ浮遊したコンテナの内部への浸水を防ぐことを想定していません。また、躯体に何らかの損傷がある場合などはそこから内部に容易に浸水すると考えられます。沈没場所の予測にあたって、浮遊開始から完全に水面下に沈没してしまうまでの浮遊限界時間の把握は重要です。躯体の損傷度などの条件によって大きく変わるものと考えられますが、一般には、漂流を開始してから時間の経過とともに内部に海水が浸水していきます。例えば通常の使用状態の20フィートドライコンテナを静穏な海域に浮遊させて沈没する様子を測定した実験では、1日程度で水没したという知見が得られています¹⁶⁾。

流出したコンテナを速やかに回収するためには、回収方法・連絡手段を事前に検討しておいたり、回収にあたって必要な重機などの利用に関する協定を関係者

間で結んでおいたりする必要があります。その際には、数値シミュレーションを用いてふ頭から流出したコンテナの到達範囲・経路を予測した結果を活用することも研究テーマの一つと考えられます。関連する取り組みとしては、例えば富田・千田(2016)¹⁷⁾の研究が参考となります。

おわりに

本稿は、高潮による被害とその対策に着目して、国土技術政策総合研究所が行っている活動についてご紹介しました。

補注

*1 一般的に「コンテナ」と呼ばれているものには、国際貨物コンテナ以外にも、長さ12フィートの内貿易用コンテナなどの多くの種類がありますが、本稿は国際貨物コンテナと、内貿易用コンテナのうち国際貨物コンテナと同等な規格のものを対象として整理を行いました。

*2 平成23年東日本大震災の津波の事例では陸域も含めふ頭外に出たものを広義の「流出」と定義しています¹²⁾。それに対して、今回の台風については高潮で移動したコンテナの多くはふ頭の周囲を囲む金属製フェンスで補足され陸域方向にはほとんど乗り越えないものとして、海上に出たものにのみ着目して「流出」と定義しました。そのような違いを考慮して、「参考として」との表現を用いました。

謝辞

神戸港、大阪港をはじめ各港の港湾管理者、港湾運送事業者及びふ頭の利用企業の皆様に、調査にご協力を頂きました。国土交通省近畿地方整備局の皆様に、調査の受入れ・調整にご尽力を頂きました。また、京都大学防災研究所・森信人教授に、調査成果の共有にあたりご指導を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考資料

1) 気象庁：台風位置表

<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1821.pdf> 2018年12月1日閲覧

2) 気象庁：台風の強さと大きさ

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/typhoon/1-3.html> 2018年12月1日閲覧

3) 気象庁：災害をもたらした気象事例・台風第21号による暴風・高潮等

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180911/jyun_sokuji20180903-0905.pdf 2018年12月1日閲覧

4) 内閣府：平成30年台風第21号に係る被害状況等について http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon21/pdf/301003_typhoon21_01.pdf 2018年12月1日閲覧

5) 土木学会海岸工学委員会：台風21号Jebi沿岸災害調査団 <http://www.coastal.jp/ja/index.php> 2018年12月1日閲覧

6) 土木学会海岸工学委員会：東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ

<http://www.coastal.jp/tjtt/> 2018年12月1日閲覧

7) 国土交通省：港湾の堤外地等における高潮リスク低減方策検討委員会

http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr7_000071.html 2018年12月1日閲覧

8) 国土交通省近畿地方整備局：台風21号にともなう被害と対応、大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会 資料-4 <http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/information/takasiotaisaku.html> 2018年12月1日閲覧

9) 日本工業標準調査会：国際貨物コンテナ外のり寸法及び最大総質量 日本工業規格JIS Z 1614 pp 1 2017

10) 気象庁：過去の気象データ検索

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> 2018年12月1日閲覧

11) 国土交通省：「地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方」答申 参考資料pp 3 2009 http://www.mlit.go.jp/report/press/port07_hh_000015.html 2018年12月1日閲覧

12) Kumagai K.: Tsunami-induced debris of freight containers due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake JSCE Disaster FactSheets 25 p 2013

13) 熊谷兼太郎・河合弘泰・浅見靖伸：三河港における平成21年台風第18号高潮によるコンテナ漂流被害調査、第

65回年次学術講演会講演概要集 土木学会 II pp 141-142
2010

14) 国土交通省港湾局：港湾における高潮リスク低減方策
検討委員会(第2回)資料 pp 7-13 2018

15) 日本工業標準調査会：国際一般貨物コンテナ 日本工業
規格 JIS Z 1618 7 p 1994

16) 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹：コンテナ沈没挙動測
定の現地実験と港湾における漂流数値シミュレーション
海岸工学論文集 土木学会 55(1) pp 271-275 2008

17) 富田孝史・千田優：震災漂流物の漂流推定手法と津波火
災の発生推定手法の開発 土木学会論文集B2 (海岸工学)
72(2) pp I_421-I_426 2016