

報告

大津波災害時における代替輸送港湾の漂流物対策について Countermeasures against Flotsam at Channels and Basins of Alternative Ports after a Large-scale Tsunami Disaster

平澤 充成*・善 功企**・笠間 清伸**・中川 康之***
Mitsunari HIRASAWA, Kouki ZEN, Kiyonobu KASAMA
and Yasuyuki NAKAGAWA

要旨: 港湾に大津波が襲来した場合、岸壁、荷役機械等の利用が可能であっても、航路や泊地に発生した漂流物等の障害物を撤去する啓開作業が完了しないと船舶航行は再開できない。しかしながら大津波の影響範囲が極めて広域にわたる場合、啓開作業に必要な作業船隻数の調達が困難となり、港湾BCPの目標時期までに船舶航行を再開できない恐れがある。そのような時に被災港に代わって重要物資を被災地に届ける方法として、津波の影響が相対的に小さな他港湾を活用した代替輸送が考えられる。本稿は大津波災害時に代替輸送を確実に実施するため、代替輸送の実施港湾に到達する津波により発生する漂流物に注目し、想定される津波規模に応じた漂流物の対応方策について、対応の選択判断に必要な指標とともに検討したものである。

キーワード: 大津波, 代替輸送, 港湾, 漂流物, 啓開作業

1. 序論

世界有数の地震国である我が国は、これまで幾度となく大津波による被害を受けてきた。その被災範囲は比較的短い間隔での津波発生履歴を有する東北、東海や南海といった太平洋側沿岸に限らず、日本海側さらには琉球列島など我が国のあらゆる沿岸に及んでいる¹⁾。大津波が発生し、港湾の重要な機能が著しく低下すると、市民生活はもとより被災地域や我が国全体の経済・産業活動に大きな支障を与えることになる。国土交通省は国土強靱化政策の一環として、地震等の自然災害の発生に伴い港湾に危機的事象が発生した場合でも

当該港湾の重要機能を最低限維持することを目的として「港湾の事業継続計画ガイドライン²⁾」を策定し、個別港湾の事業継続計画（以下、港湾BCP）の策定や改善を促し、危機的事象発生時における港湾の対応能力を強化することで、港湾の機能継続能力の向上に努めている。この取り組みにより危機的事象が発生した場合でも、従前より格段の確実性、速度で個別港湾に関する機能の確保、復旧が期待される。ただし大津波の襲来を受けた場合については、岸壁、荷役機械等は利用可能な状態であっても航路や泊地に漂流物や海底障害物が発生する可能性が高く、起重機船やガット

* 正会員 元九州大学 大学院工学研究院, ** 非会員 九州大学 大学院工学研究院,

*** 正会員 九州大学 大学院工学研究院

船等の作業船によってそれらの障害物を撤去する啓開作業が終了し、海上保安庁が船舶の航行を許可しない限り船舶による物資輸送は再開できない。このため発生が懸念されている南海トラフ巨大地震のように大津波の影響範囲が極めて広域にわたる場合には、同様に被災した他地域から作業船を調達することは困難になることが想定され、船舶航行の再開目標時期までに航路等の啓開作業を完了させるために必要な作業船隻数が確保できない恐れがある。そのような時に被災港に代わって被災地域や我が国の経済・産業活動等にとって重要な物資を被災地に届ける方法として、津波の影響が相対的に小さな他港湾を活用した代替輸送が考えられる。本稿では、以降、このようにある港湾が被災して重要な貨物を取り扱えなくなった時に緊急的に他の港湾で当該貨物を受け入れ、そこから被災地などの目的地まで陸送して物資の供給不足を補うことを代替輸送、代替輸送に関わる港湾を代替輸送港湾と称するが、赤倉ら³⁾は外貿コンテナ輸送を対象に、港湾の取扱能力と輸送に要する費用と時間から構成される犠牲量⁴⁾に基づいた港湾選択モデルを活用して大津波後の代替輸送港湾の推計方法について提案している。しかしながらそのような方法により選択された代替輸送港湾に関する伝達津波の影響は、大津波による直接的な被災が想定される被災港よりも相当に小さいとしながらも、僅かな漂流物等が航路・泊地に発生した場合でも、それらを撤去しなければ代替輸送を開始できない可能性がある。このため代替輸送港湾を選択する場合には取扱能力、犠牲量に加えて伝達津波による漂流物等の発生可能性についても考慮することが重要になるが、この点に関する研究はこれまでほとんど行われていない。

本稿は大津波発生時における代替輸送を確実に実施するため、代替輸送を実施しようとする港湾に到達する津波により発生する可能性がある漂流

物に注目し、想定される津波規模に応じた漂流物の対応方策について、対応の選択判断に必要なとなる指標とともに検討したものである。

2. 代替輸送港湾の類型化

東日本大震災では大津波が東北地方太平洋側の港湾に襲来し、東北地方における飼料供給の主要な窓口である八戸港、石巻港等の港湾とともに背後の配合飼料工場が被災したため、畜産農家に対する通常ルートでの配合飼料供給が出来なくなった。畜産農家における配合飼料の在庫量は通常2日分程度であるため⁵⁾、一部でブロイラー約300万羽の早期処理が行われるなど⁶⁾東北地方の畜産業は極めて厳しい状況に追い詰められた状態であったことから、全国の飼料工場で配合飼料を緊急増産し、海路および陸路で東北地方に緊急輸送する措置が実施されている。この時に東北地方における海上輸送の受け入れ口である代替輸送港湾となったのが、通常時は配合飼料を取り扱っていない秋田港、能代港、酒田港等の日本海側の港湾であった。

この東日本大震災時の配合飼料輸送の事例からも、赤倉ら³⁾の指摘のように輸送船舶の受け入れが可能な仕様（水深、延長等）を有する岸壁、荷役機械台数、保管場所や作業人員等が確保できるといった取扱能力に関わる要素と、物資の供給地までの陸送距離など犠牲量に関わる要素が災害時における代替輸送港湾の選択における重要な判断要素になると考えられる。ただし大津波災害の場合については、伝達津波により航路や泊地に漂流物や海底障害物が発生すると代替輸送港湾の期待される取扱能力が発揮できず、啓開作業によりそれらを撤去しなければ代替輸送を開始すらできない状況も考えられる。このため大津波災害に関しては、犠牲量とともに期待する取扱能力確保の前提となる伝達津波による漂流物等発生の有無が代

代替輸送港湾の選択に関わる重要な要素になると考慮される。表1は漂流物等の発生有無と選択された港湾で輸送した場合の犠牲量の大きさから代替輸送港湾を類型化したものである。また図1は被災港と類型化した代替輸送港湾の位置関係を示したものである。パターン1は犠牲量を最小とするとともに、陸域の遮蔽効果等により到達津波による漂流物等の発生がない、または発生しても極わずかで、迅速に代替輸送を開始できる港湾を示す。東日本大震災時に配合飼料の代替輸送が行われた秋田港等は、このパターンに該当すると考えられる。またパターン2は犠牲量については最小であるが、代替輸送を迅速に開始するには漂流物対策を講じておくことが必要な港湾を示す。一方、パターン3は、パターン2の港湾への漂流物対策を講じていなかったことで不足する取扱能力を補うため、犠牲量を追加して選択する港湾である。このため大津波災害発生時までにパターン2に該当する港湾の漂流物対策が講じられていない場合は、犠牲量を追加してパターン3の港湾も活用して代替輸送を行うか、被災地域の需要量を下回らざるを得ないがパターン1による代替輸送だけに留めるか、判断を迫られることになる。

なお図1は被災港1港の特定の貨物に対する代替輸送港湾のイメージを示すものである。複数の被災港やコンテナ、バルクなど複数の荷姿、品目に対する代替輸送港湾を選択しようとする場合には、対象毎の検討が必要となる。

3. 代替輸送港湾における漂流物対策

3.1 漂流物等の発生と岸壁天端高の関係

東日本大震災では東北地方から北関東地方の太平洋側の港湾で津波襲来により漂流物や海底障害物が発生し、その除去作業に10～48日を要している。一方、高さ2.1mの津波が襲来した苫小牧港西港区では、災害発生から2日後には被災地

表1 代替輸送港湾のパターン

		漂流物・海底障害物の発生	
		無	有
犠牲量	最小	パターン1 (P1)	パターン2 (P2)
	追加	パターン3 (P3)	

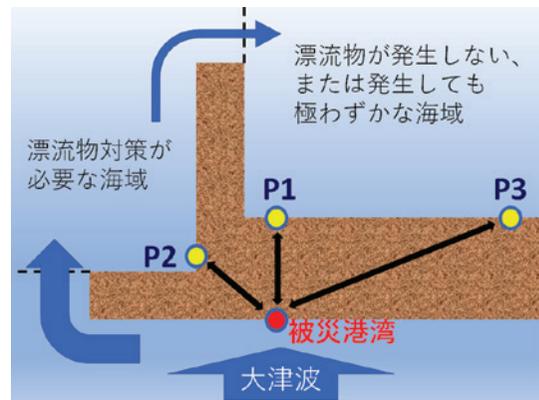


図1 代替輸送港湾のパターンイメージ

支援に向けてフェリーが出航している。苫小牧港西港区で早期にフェリー運航が再開できた大きな要因として、フェリー運航に関わる港口付近の航路・泊地に対する大規模な啓開作業が不要であったことがあげられる。ただし掘り込み水路最奥部に位置する内航コンテナ取扱岸壁では、その背後に蔵置していた空コンテナの一部が水路に流出し、漂流する状況が確認されている(図2参照)。東日本大震災時の被災各港におけるコンテナの移動状況については Kumagai⁸⁾が空コンテナと実入コンテナに分けて浸水深との関係を分析しており、移動した空コンテナ周辺はその重量を上回る浮力を発生させる浸水深となっていたことを明らかにしている。苫小牧港の内航コンテナ岸壁背後においては、岸壁天端高(基本水準面CDL+3.5m)より1.07m高い位置での津波痕跡が確認されており、これは空コンテナの浮上限界水深を上回るものであった。この浸水深より到達津波高は約3.7m

と推測されることから、津波はその高さを増幅させながら掘り込み水路を伝播して最奥部に至ったと考えられる。一方、港口付近の岸壁天端高もCDL+3.5mで設計されているが、津波高2.1mに対して海面から岸壁天端までの高さは約2.6mあったと推測されるため、岸壁からの浸水を逃れ、航路等に大規模な啓開作業が必要となるような漂流物等が発生しなかったと考えられる。これらのことから苫小牧港の場合は、概ね2.5～3.0mの間に漂流物等が発生し始める限界津波高があったと考えられる。

一般に水深4.5m以上の岸壁天端高は、瀬戸内海や有明海など潮位差が3.0mを越える海域を除いて、朔望平均満潮面HWLを基準として+1.0～2.0mの範囲で決定される⁹⁾。例えば上記の苫小牧港も位置する太平洋沿岸の大潮差は1.0～1.5m程度であることから¹⁰⁾、天文潮により変動する海面から岸壁天端までの高さは概ね2.0～3.5mの範囲になる。このため高さ3～4mの津波襲来が予測される太平洋側港湾については、岸壁からの浸水により航路・泊地に漂流物等が発生する可能性を有すると考えられる。

3.2 代替輸送港湾の漂流物対策

図3は代替輸送港湾における漂流物の発生可能性に応じて講ずべき漂流物対策をまとめたものである。特にパターン2が該当する到達津波で航路・泊地に漂流物が発生可能性を有する港湾（図中左側フロー）については、代替輸送の開始期限までに漂流物や海底障害物を撤去可能な作業船規模を確実に確保できるか否かの状況に応じて適切な対応方法を選択することが重要である。必要な作業船規模が確実に確保できる場合は、漂流物等の発生後、その処理を実施するという事後対応の選択が可能である。一方、十分な作業船の規模が見込めない場合には、コンテナや木材など漂流し



図2 苫小牧港西港区における漂流物発生状況

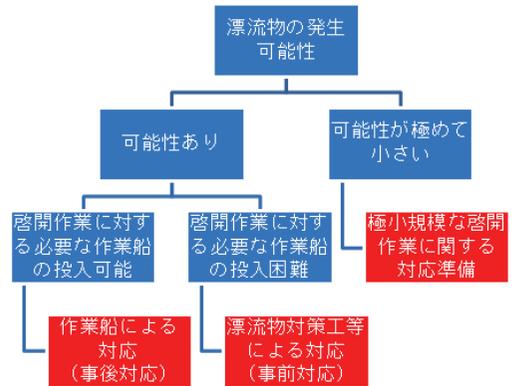


図3 代替輸送港湾における漂流物対策



写真1 漂流物対策工例（須崎港）

やすい貨物等が蔵置されているヤード周辺に予め写真1に示すような漂流物対策工を設置して、確

保できる作業船規模の啓開作業能力で対応が可能なレベルまで漂流物の発生を抑制する漂流物対策工などの事前対応を講じておく必要がある。なお、一般的に漂流物対策工の設置は想定津波高が大きい港湾ほど、その優先順位が高くなると考えられるが、大津波災害を想定する場合については代替輸送も念頭に置いて設置計画を立てることが重要である。

4. 作業船団の啓開作業能力指標

このように代替輸送港湾の漂流物対策として事前対応と事後対応があるが、その選択に当たっては津波発生後に確保可能な作業船規模で代替輸送の開始期限までに航路等の啓開作業を終えられるか否かを判断するための指標が必要である。大野ら⁷⁾は東日本大震災時の実際の現場対応事例から大津波時の航路等啓開作業を円滑に進めるために必要な機材の種類や量に関する基礎情報を取りまとめている。本稿では代替輸送港湾において事前対応あるいは事後対応を選択するための判断指標を得るため、大野らによる東日本大震災時の航路等啓開作業データ（津波高は高橋¹¹⁾による）から整理した表2の情報により、海底障害物箇所数と航路・泊地の啓開作業面積に着目して航路等啓開作業の完了日数と作業船団との関係について検討を行った。航路等啓開作業の対象面積は、海底障害物の探査や水深の変化状況を調べるため啓開作業に先行して行われたマルチビーム測定の調査面積に一致すると仮定した。これはマルチビーム測量を実施した調査水域は緊急物資輸送等のために優先的に啓開作業を実施する必要があった水域であり、海底障害物がなかった範囲についても漂流物については撤去する必要があったと考えられることによる。なお作業船団数についても大野ら⁷⁾の考え方に倣い、起重機船団数とガット船隻数の合計とした。

表2 東日本大震災時の航路等啓開作業状況

港名	津波高 (m)	海底障害物箇所数	啓開作業対象面積 (ha)	作業船団数	啓開作業日数
八戸	6.2	938	244.3	5	27
久慈	8.6	40	79.9	3	10
宮古	7.3	134	92.9	4	20
釜石	8.1	54	43.6	3	12
大船渡	9.5	236	9.2	4	14
石巻	7.7	6	141.6	4	43
塩釜	4.9	66	139.2	7	30
仙台	7.2	493	408.1	5*	48
相馬	8.9	213	202.9	3	20
小名浜	3.3	208	552.5	4	18

※) 塩釜港と2隻重複

4.1 海底障害物箇所数と啓開作業日数

東日本大震災では海底障害物として、浸水した津波の引き波に伴い陸上より航路・泊地に運ばれて沈んだコンテナや自動車、家屋の瓦礫等や小型船、消波ブロック等が見られた。図4は1船団当たりの海底障害物の処理箇所数と啓開作業日数の関係を示したものである。両者間に明確な関係性は見られない。海底障害物の撤去方法としては、玉掛けした障害物を起重機船で釣り上げる方法とオレンジバケットを装着した起重機船やガット船で掴みあげる方法がとられていた⁷⁾¹²⁾。このため海底障害物が任意の箇所に集中している場合とばらついている場合では作業効率に大きな差が発生していたと考えられる。海底障害物の処理箇所数と啓開作業日数の間に関係性が見られなかった理由の一つとして、海底障害物の分散程度が各港で異なっていたことがあげられる。

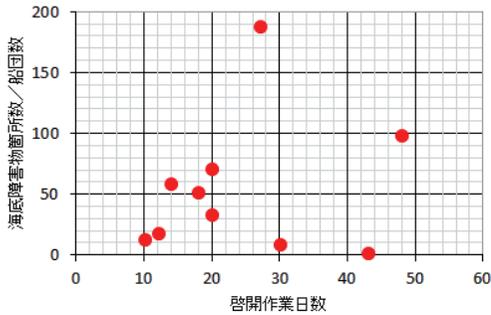


図4 海底障害物箇所数と啓開作業日数

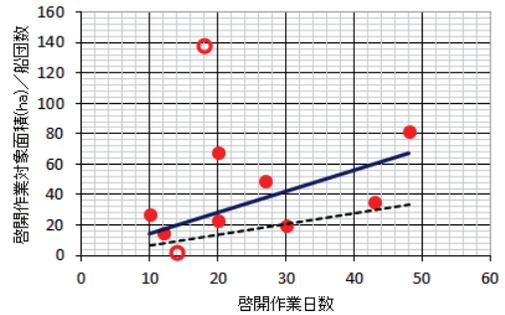


図5 啓開作業対象面積と啓開作業日数

4.2 啓開作業対象面積と啓開作業日数

図5に示すように、1船団当たりの啓開作業対象面積が増えると啓開作業日数も増加傾向を示すことが分かる。ただし小名浜港の1船団当たり面積については、啓開作業日数が同程度の他港に比較して大きくなっている。この要因として、小名浜港に襲来した津波高3.3mが前述した漂流物発生日安の津波高にほぼ一致することから、津波高が概ね5mを越えた他港に比べて漂流物の発生量が少なかった可能性が考えられる。このため図5に○印で示した小名浜港と測量調査面積を岸壁前面の限られた水域とした大船渡港¹²⁾を除いて原点を通る単回帰分析を行い、図中に実線で示す次の回帰式を得た。

$$S_{psn} = \alpha \cdot N_d \quad (1)$$

ここで S_{psn} : 1船団当たりの啓開作業対象面積 (ha/船団),

N_d : 啓開作業日数,

α : 回帰係数 (=1.4084)

1船団当たりの啓開作業対象面積と啓開作業日数の関係が右肩上がりになる理由として、潮流や風向の変化により移動を繰り返す漂流物を作業船団が追跡しながら撤去作業を行う手間が啓開作業対象面積に応じて掛かっていたことが考えられる。

起重機船やガット船の作業能力や作業船団の構成の相違、漂流物の撤去作業を効率化するためシルトプロテクターを活用した港湾があるなど啓開作業条件は港湾毎に一律ではないため式(1)による直線を挟んで各港湾のデータにばらつきは見られるが、東日本大震災で大津波により被災した各港における1船団当たりの航路等啓開作業面積は平均で1日当たり約1.4haであったことが分かる。また併せて図5中に原点を通る傾き0.7、すなわち1船団の1日当たり航路等啓開作業面積を0.7haとした場合の直線を点線で記入している。この直線は各港湾データの概ね下限を表している。これらより東日本大震災の実績から求めた1船団当たりの啓開作業能力は次のように整理できる。

平均値 : 1.4ha/日/船団

下限値 : 0.7ha/日/船団

これらの指標を用いて確保可能な作業船団数から期待される啓開作業日数の平均値と最大値の概数を求めることができる。これらの値を代替輸送の開始期限と比較することで、啓開作業日数が最大値に近づくリスクを踏まえた上で、事前対応あるいは事後対応の選択を判断することが可能になると考えられる。

5. 作業船団投入に関わる地域内合意形成

津波災害が発生すると、大規模な被害を受けた港湾の重要機能を復旧させるため、作業船団をこれらの被災港湾に重点的に派遣して航路・泊地の啓開作業を実施することになる。ただし、想定される南海トラフ巨大地震のように大津波による被害が極めて広域にわたる場合、港湾BCPで設定した船舶航行の再開目標時期までに航路等の啓開作業を完了させるのに要する作業船団数を確保するために他地域からの調達を期待することは困難が想定される。そのような場合においては、日頃から経済的、行政的に結びつきの強い地域内において、使用可能な限られた作業船を代替輸送港湾に優先的に投入して代替輸送の開始期限までに啓開作業を完了させ、被災地に対する重要物資の供給を開始することを域内の関係者間で選択肢の一つに位置付けておくことが重要である。このような地域の空間スケールとしては、概ね広域的な海上輸送の継続計画等の策定が進められている湾周辺エリア¹³⁾から地方整備局等管轄エリア¹⁴⁾までの範囲になると考える。このため極めて広域的な津波災害に備えて、大規模な被害が想定される港湾に加えて代替輸送港湾も含めた視点から、地域内で作業船団の投入方法について検討、協議し、合意形成を図っておくことが重要である。

6. 結論

本稿では大津波発生時に必要となる代替輸送を確実に実施させるため、代替輸送の実施港湾に到達する津波が発生させる漂流物に注目して、想定される津波規模に応じた漂流物の対応方策について、対応の選択判断に必要な指標とともに提案を行った。本稿の結論は、以下の通りである。

- (1) 漂流物や海底障害物の発生の有無と輸送に要する費用と時間から構成される犠牲量から、大津波災害時における代替輸送港湾は3つの

パターンに類型化できる。

- (2) 到達津波により航路・泊地に漂流物が発生する可能性のある代替輸送港湾については、代替輸送の開始期限までに漂流物等を撤去できる作業船規模を確実に確保できるか否かにより事前対応（漂流物対策工の設置）と事後対応（作業船団による啓開作業）を適切に選択することが重要である。
- (3) 東日本大震災の対応事例から、作業船団による航路・泊地の啓開作業能力として平均値1.4ha/日/船団、下限値0.7ha/日/船団が得られた。これらの値と確保可能な作業船団数から求められる啓開作業日数（平均値及び最大値）は、事前対応あるいは事後対応の選択を検討する際の有用な判断材料になると考えられる。
- (4) 極めて広域的な津波災害に備えて、大規模な被害が想定される港湾に加えて代替輸送港湾も含めた視点から、日頃から経済的、行政的に結びつきの強い地域内で作業船団の投入方法について検討、協議し、合意形成を図っておくことが重要である。

南海トラフ巨大地震をはじめ我が国各地で発生が懸念される大津波災害の対応方策を検討する際に、本稿を参考としていただければ幸いである。

なお、本稿は九州大学と九州地方整備局他による共同研究の成果から整理したものである。

引用・参考文献

- 1) 藤井敏嗣・額額一起：地震・津波と火山の事典，東京大学地震研究所監修，丸善出版株式会社，2008.3
- 2) 国土交通省港湾局：港湾の事業継続計画策定ガイドライン，2015.3
- 3) 赤倉康寛・小野憲司・渡部富博・川村浩：広

域港湾BCPのための大規模地震・津波後の代替港湾の推計, 土木学会論文集 B3, Vol. 71, No. 2, pp. I_689-I_694, 2015

- 4) 井山繁・渡部富博・後藤修一：犠牲量モデルを用いた国際海上コンテナ貨物流動分析モデルの構築, 土木学会論文集 B3, Vol. 68, No. 2, pp. I_1181-I_1186, 2012
- 5) 大久保寛通：東日本大震災に伴う飼料供給の被害状況と復旧対策, 東北地区産学会誌, Vol. 62, No. 3, pp. 31-35, 2012. 8
- 6) 斎藤吉則：東日本大震災から「南海トラフ巨大地震」への備えとBCPを考える, 海事交通研究(年報), 第63集, pp. 13-22, 2014. 11
- 7) 大野正人・宮本卓次郎・志村浩美・米原吉彦：大津波災害後の港湾における航路等の啓開作業の方法と必要な機材に関する研究, 沿岸域学会誌, Vol. 27, No. 1, pp. 37-48, 2014. 6
- 8) Kumagai, K. : Tsunami-induced Debris of Freight Containers due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, JSCE Disaster Fact Sheet, FS2013-T-0003, pp. 1-25, 2013
- 9) 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007
- 10) 合田良實：わかり易い土木講座 17 海岸・港湾, 土木学会編集, 彰国社, 107pp., 2000
- 11) 高橋秀彰：東日本大震災における港湾の被災状況と復旧状況, 建設マネジメント技術, pp. 37-42, 2011
- 12) 国土交通省九州地方整備局：平成 24 年度大規模災害時における港湾施設の復旧検討調査報告書, 2013. 2
- 13) 例えば, 伊勢湾BCP協議会：緊急確保航路等航路啓開計画, 2016. 2
- 14) 例えば, 東北広域港湾防災対策協議会：東北広域港湾BCP, 2015. 2

著者紹介

平澤 充成 (正会員)



北海道開発局港湾空港部(札幌市北区北8条西2丁目), 昭和37年生まれ, 昭和61年3月北海道大学工学部土木工学科卒, 同年4月北海道開発庁に入庁, 平成26年九州大学大学院工学研究院教授, 現在北海道開発局港湾空港部港湾建設課長, 博士(工学), 土木学会会員。
E-mail: hirasawa-m22aa@mlit.go.jp

善 功企 (非会員)

九州大学大学院工学研究院(福岡市西区元岡744), 昭和48年3月九州大学大学院工学研究科水工土木専攻修士課程修了, 同年4月運輸省採用 港湾技術研究所配属, 平成10年九州大学教授, 現在同大学特任教授, 博士(工学), 土木学会フェロー会員。
E-mail: zen@civil.kyushu-u.ac.jp

笠間 清伸 (非会員)

九州大学大学院工学研究院(福岡市西区元岡744), 平成10年3月九州大学大学院工学研究科建設システム工学専攻修士課程修了, 平成11年九州大学工学部助手, 現在同大学准教授, 博士(工学), 土木学会会員。
E-mail: kasama@civil.kyushu-u.ac.jp

中川 康之 (正会員)

九州大学大学院工学研究院(福岡市西区元岡744), 平成5年3月東京工業大学理工学研究科土木工学専攻修士課程修了, 同年4月運輸省採用 港湾技術研究所配属, 平成29年九州大学教授, 博士(工学), 土木学会会員。
E-mail: y.nakagawa@civil.kyushu-u.ac.jp

Countermeasures against Flotsam at Channels and Basins of Alternative Ports after a Large-scale Tsunami Disaster

Mitsunari HIRASAWA, Kouki ZEN, Kiyonobu KASAMA
and Yasuyuki NAKAGAWA

ABSTRACT : If a large-scale tsunami disaster damages a wide area, there is a strong possibility that important functions of ports located in the area are not restored within a short time because of shortage of floating cranes and grab dredgers to clear flotsam at channels and basins of ports. In such a case, it is useful to transport important cargoes by using other ports. However, it is quite likely that a relatively small amount of flotsam appears at these ports. This paper discusses countermeasures against the flotsam.

KEYWORDS : *large-scale tsunami, alternative transport, port, flotsam, channel clearing operation*