

東北地方太平洋沖地震における 港湾啓開の効率性の評価

大関 千悠¹・皆川 勝²

東京都市大学 工学部 都市工学科 計画マネジメント 皆川研究室
(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)
E-mail:g118023@tcu.ac.jp

我が国日本は地震が頻繁に発生する環境にあり、現在に至るまでに様々な防災対策に取り組んでいる。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、予想をはるかに上回る規模の地震で、東北地方を含めて広範囲に甚大な被害をもたらした。また、それに伴い大規模な津波や原子力発電事故などの二次災害による被害も甚大であった。

本研究では、東北地方太平洋沖地震における港湾啓開の実例を元に緊急物資輸送船の航行の安全を阻害しない程度を目的とした港湾啓開の経過について、効率性を追求し、評価することを目的とする。

Key Words : great east japan earthquake, Early carve out, efficiency, port

1. 序論

(1) 背景

我が国日本は地震大国と言われるほど非常に地震の多い環境条件である。歴史をたどれば関東大震災をはじめ、阪神淡路大震災や新潟県中越地震など大きな被害をもたらした大地震が名を連ねており、それ以外にもマグニチュード7.0を超える地震はここ100年間に100件以上発生している。記憶に新しい大地震では2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震があげられ、地震の被害は建造物の倒壊のみではなく、そこから誘発される二次災害も大きな被害をもたらす原因とされている。

東北地方太平洋沖地震以降、我が国ではより一層地震被害に対する防災・減災の意識が高まり、様々な研究が行われている。その中の一つとして、東北地方太平洋沖地震時に問題となった港湾啓開の遅れに関する小野らの「東北地方太平洋沖地震における港湾物流へのインパクトと海運・港湾部門のレジリエンス機能」や山内らの「大規模地震発生時における地方の港湾機能回復に関する研究」などの研究論文がある。大量の支援物資を長距離運送するためには、航路の確保が必要となってくるため、港湾の早期啓開は非常に重要な復旧作業といえる。

(2) 研究目的

本論では、東北地方太平洋沖地震において、甚大な津波被害を受けた港湾、重要港湾もしくはそれに相当する重要な港湾、災害時の活動情報が多く残っていると考えられる港湾重要港に該当する、宮古

港・石巻港・仙台塩釜港の3港湾の事例を元に調査

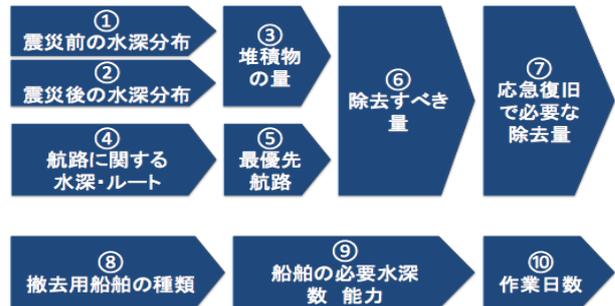


図-1 港湾早期啓開の追求における重要項目

を進め、最終的には仙台塩釜港仙台港区を対象にデータを取りまとめていく。港湾早期啓開の追求における重要項目(図-1)を絞り、東北地方太平洋沖地震での港湾啓開作業の実例調査結果を項目分けし、それを元に本研究では短期的なスパンにおける港湾啓開の実績を調査すると同時に、対象港湾を選定して作業時間のシミュレーションを行い、作業効率を数値で表して可視化する。

2. 東北地方太平洋沖地震による被害

(1) 津波による被害

東北地方太平洋沖地震によって引き起こされた津波の高さを各地域ごとに表した図を図-2に示す。図-2中における青色のデータ値は気象庁による発表、緑色のデータ値は東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる発表である。赤色のデータ値は岩手県宮古・重茂姉吉における津波の遡上高を表しており、40.4mとなっているが、その他のデータと同様

の条件で評価すると津波高さは19.0mと推測される。遡上高が40.4mであるということは、少なく

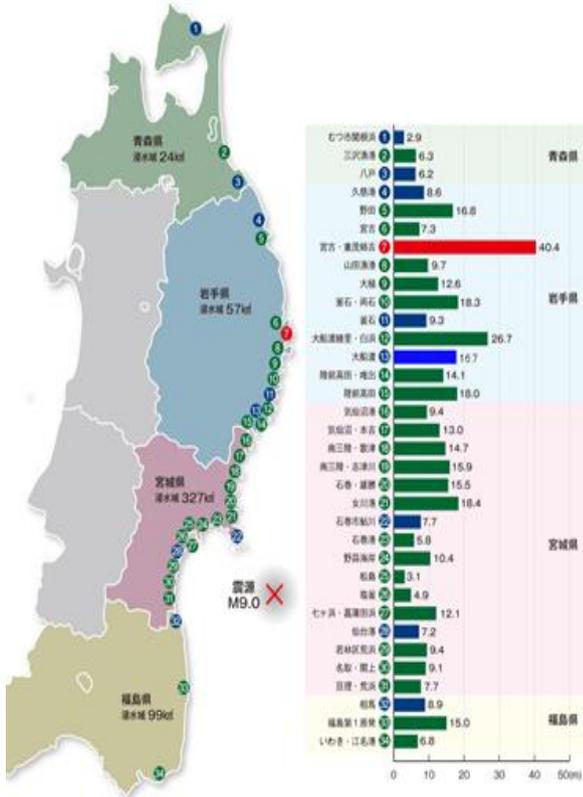


図-2 東北地方太平洋沖地震時の津波高さ

ともその高さ以上の高台に避難する必要があるということである。

以上のような大規模な津波によって、多数の施設や家屋の全壊を招き、港湾に関しても大きな被害を受けることとなった。また、電力稼働する施設の復旧も困難を強いられ、状況の把握が難しかったことが問題として挙げられていた。

(2) 港湾の被災状況

東日本大震災では、まず地震動による液状化現象及び津波による洗掘などにより港湾施設が破壊された。このため、第一線防波堤としての機能を停止した。津波によるエプロン沈下や土砂の流出、漂流物が原因とされている。また、係留施設や荷役施設の破壊により、港湾活動及び復旧活動に大きな支障をきたした。係留が行えない状況下では沿岸部からの支援の望みは薄く、復旧に遅れが生じたと考えられる。

港湾管理施設の被害によって、港湾管理能力が喪失したことや、港湾関連就労者自身の被害も港湾復旧の遅れの原因と考えられる。

(3) 初期初動

震災後、各港湾にて防犯カメラによる被災状況の確認を行ったが、東北地方整備局における防犯カメラは通信の不通により確認不可能であった。そのため、翌日に防災ヘリによる被災状況の調査を開始し

た。さらに、海上保安庁・自衛隊だけでなく、各港湾局・東北地方整備局や、民間会社などと協定を締結している社団法人日本埋立浚渫協会などが協力して、関東地方を初めとする全国各地からの起重機船、ガット船等の作業船53隻が続々入港し、東北管内の在場船（78隻、15船団）と合わせて37船団で各港湾での啓開作業にあたった。中でも特に活躍した作業船が測量船・クレーン付台船・起重機船・ガット船である。全国の地方整備局や国土技術政策総合研究所、港湾空港技術研究所からも緊急災害派遣隊(TEC-FORCE)が派遣され、被災状況の確認、点検及び技術支援を進めた。

3. 山内らの研究

(1) 研究概要

山内らは東日本大震災によって引き起こされた巨大津波後の港湾啓開の実績に着目し、今後起こりうる外規模震災後の巨大津波後の効率的な港湾啓開について研究を行った。対象港湾は高知県の須崎港とし、巨大地震後の重要港湾における啓開作業モデルとして取り上げている。

(2) 啓開作業実績

港湾啓開作業を実施するにあたって、東北地方整備局と日本浚渫教会東北支部が平成16年7月に締結した「災害時における東北地方整備局管轄区域の災害応急対策に関する協定」に基づき、震災翌日に協力を要請した。東北地方の作業船舶が多く被災し、作業従事者ができない船舶が多い中、一般社団法人日本埋立浚渫協会などのネットワークによって、津波警報解除後の3月14日には近畿地方からの船団が東北被災港湾に向けて出港した。その後、関東地方をはじめとする全国各地からの起重機船、ガット船、測量船などの作業船53隻が続々と入港し、東北管内の在場船(78隻、15船団)と合わせて37船団体制で各港湾の啓開作業を行った。緊急物資輸送のための航路や港湾啓開の実績を表-1に示す。

表-1から東北地方近辺の主要港湾において、3月24日までに緊急物資輸送のための航路が一部供用開始されていることがわかる。迅速な港湾啓開の作業実施が、早期の海上輸送の回復や救援活動に効果を発揮した。しかし、一部供用のレベルとしては、吃水の浅い船舶に限られ、大量の救援物資や燃焼などの資材の運搬は十分ではなかった。

表-1 各港湾の一部供用開始時について

3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24
釜石港 茨城港 (常陸那珂)	小名浜港	宮古港	鹿島港 仙台塩釜港 (仙台)	相馬港 八戸港	茨城港 (久慈、 日立)	仙台塩釜港 (塩釜)	大船渡港	石巻港	茨城港 (大洗)

(3) ヒアリング調査

釜石港、大船渡港の作業実績に関して、全14区分23項目のヒアリングを行っている。以下に14項目を示す。

- I. 航路啓開の実施策
- II. 資機材などの調達
- III. 作業員の確保
- IV. 作業船停泊港
- V. 通信機器
- VI. 指示命令系統
- VII. 情報収集
- VIII. 調整会議
- IX. 事前調整
- X. 作業許可手続き
- XI. 緊急物資輸送
- XII. 職員健康管理
- XIII. 作業船舶機器の維持管理
- XIV. 課題点抽出

釜石港において、資機材などの調達の項目にて得られた結果を表-2に示す。起重機船は北日本海事から160t吊り、及川工務店から250t吊りが導入された。引船は北日本海事から1700PSの船舶、及川工務店から720PSの船舶が導入された。ガット船は服部回漕店から499tの船舶が導入された。監視船規格は釜石港保有の190PSの船舶を導入した。測量船は東洋建設から880PSの船舶が導入され、測深機はナローマルチビームを搭載。音響探査機器のナローマルチビームに関しては、日本ジタンからの協力によるものである。

事前調整の項目では次のような結果が得られた。漂流区分において撤去された漂流物の種類は、木材、船舶、家屋、イカダ、大敷網である。また、水没物区分で撤去されたがれき等は、港湾構造物被覆ブロック、消波ブロック、基礎捨石、船舶、家屋、自動車である。

課題点としては、水、食料、燃料の確保が非常に困難であったことがあげられる。

表-2 資機材などの調達項目の結果(釜石)

○起重機船
160t吊り北日本海事(八戸港)
250t吊り及川工務店(釜石港)

○引船
1700PS北日本海事
720PS及川工務店

○ガット船
499t服部回漕店(千葉)

○監視船規格
190PS山本(釜石港)

○測量船
880PS東洋建設
測深機器名:ナローマルチビーム

○音響探査機器
ナローマルチビーム 日本ジタン

4. 小野・赤倉らの研究

(1) 研究概要

小野らの研究では、東日本大震災後の船舶寄港の復活の特性について分析を行っている。被災地の企業が操業を再開した際の物流需要にフェリーやRo-Ro船がいち早く対応したことに注目し、埠頭機能施設を必要としない簡易的なマルチモーダル輸送機関(フェリーなど)について、今後の広域災害時における戦略的活用の可能性についての考察を行っている。

(2) 重要港湾における暫定復旧率

東北地方整備局管轄の重要港湾8港(八戸港、久慈港、宮古港、釜石港、大船渡港、石巻港、仙台塩釜港、相馬港、小名浜港)における港湾の復旧ペースを示した図を図-2-1に示す。また、各港湾の暫定復旧バース数と震災前バースに対する比率(暫定復旧率)の図を図-2-2に示す。図-2-1について横軸が経過日数、縦軸が各港湾における復旧したバース数を表している。図-2-2は横軸が経過日数、縦軸が震災前後のバース数の比率を表している。相馬港と釜石港以外の7港は経過日数250日程度で復旧率が80%を超えている。また、一番被害が少なかった港湾は八戸港で、一番被害が大きかった港湾は釜石港である。初期段階における復旧ペースが速い港湾は仙台塩釜港である。

全体の平均を見ると、250日以降の復旧ペースは横ばいになっている。このことについて、ある程度の復旧で供用開始をし、港湾啓開作業以外の作業に人員を割くためではないかと考えられる。

5. 啓開作業において活躍した主な船舶について

(1) 港湾啓開において活躍した作業船について

東日本大震災時に活躍した作業船について以下に示す。

a) 測量船

測量船は沿岸・海底地形の測量や、船舶に提供す

る海流・海況情報の収集を主務とした船舶である。災害時には、発災の事前事後においてマルチビームソナーなどを用いて深淺測量を行う。東日本大震災では、海上保安庁が保有する「昭洋」や「明洋」などが被災地へ向けて出港し、現地の測量を行った。

b) クレーン付き台船

クレーン付き台船は、非自走式の台船上に移動式クレーンを搭載し、比較的計量物の揚重作業に使用され船舶である。比較的小型の船舶も存在するため、狭い場所や喫水の浅い海域でも適応が可能で、初期段階から活躍が期待される。

c) 起重機船

起重機船は、海底に沈んだ重量物の吊り上げを行う船舶である。港湾啓開作業には旋回式を使用する。自航式と非自航式があり、起重機船の能力によっては400t吊りもあり、航路や湾内の障害物や沈殿物の揚収に使用される。

d) グラブ船(ガット船)

グラブ船はグラブバケットを装着した船舶であり、通常は捨石や砂の運搬・投入に使用される船舶である。しかし、災害時には被災水域における障害物撤去作業において活躍することができる。

e) 潜水土船

潜水土船は、潜水作業に必要なコンプレッサ等の諸器具を装備し潜水土や連絡員などを乗船させて、潜水作業を行う船舶である。潜水土の商工のような梯子の取り付けや、潜水用ホースの推進器への巻き込み防止のため、スクリュウ覆い等を装備している。潜水土船は小型であるため、吃水が浅い海域にも適応できる。

f) 押し船

押し船は、台船や土運船等の非自航式運搬船や作業台船などの船尾に連結して一体型の船のようにして推し進める船舶である。運搬船との連結装置の種類により、ロープ式、ピン式、固定式などに分類される。クレーン付き台船などを導入するにあたっては、必須の船舶となる。

g) 引船

引き船は船舶の入港後、離接岸時の補助作業や非自航作業船の曳航、各種浮体等の曳航などに使用する船舶である。本来の作業のほか消防装置やオイルフェンス展張装置を備え、防災船として活用されるものも存在する。推進器の種類により、固定ピッチ、可変ピッチ、ZDP(ゼット・ドライブペラ)、VSP(ヴォイトシュナイダーペラ)、DP(ダックペラ)、RP(レックスペラ)などに分類される。押し船同様、非自航式の船舶を運用するには必須の船舶となる。また、オイルフェンス展張装置による流出油の回収は啓開作業の初期段階に当たるものであるため、スピーディな出港が望まれる。

h) 浚渫船

浚渫船は、河川や港湾などの浚渫作業を行う作業船舶である。浚渫する場所の土質・水深・地形などで用途別の船舶が使い分けられる。浚渫船の種類は、以下のように分けられる。

- ・ドラグサクション浚渫船
- ・ポンプ浚渫船
- ・カッターレスポンプ浚渫船
- ・バケット浚渫船
- ・ディッパー浚渫船
- ・バックホウ浚渫船
- ・グラブ浚渫船
- ・軟泥浚渫船

東日本大震災時はグラブ浚渫船の「第28五大」や大型グラブ式浚渫船兼砕岩船の「真洋」などが導入された。

(2) 作業船のステータス

港湾啓開作業に従事した作業船のステータスを表-3に示す。ただし、各船舶の一部を抜粋し、すべての船舶がこのようなステータスではない。

表からわかるように、大型の船舶になるにつれて吃水が深くなる。そのため、大型の船舶を使用して大規模な啓開作業を行うためには、より深い吃水を確保しなければならないため、初期段階における漂流物の撤去やがれきの撤去の効率性が重要となってくる。また、大型船による緊急物資の搬入も十分な吃水が必要である。

(3) 啓開作業に従事した船舶の数

宮古港、石巻港、仙台塩釜港において啓開作業に従事した船舶の数を表-4に示す。また、啓開作業に従事した船舶の出処を表-5に示す。宮古港では、起重機船2隻、グラブ船は1隻が啓開作業に従事した。

表-3 作業船一覧及びそれぞれのデータ

	測量船	潜水土船	ガット船	起重機船	クレーン付台船	押し船	浚渫船
長さ(m)	60	10.5	62	70	45	25	27
幅(m)	10	2.9	13	24	16	8	9
吃水(m)	3.1	1.8	3.6	3.8	1.2	0.8~2	4

表-4 作業に従事した船舶数

港名	クレーン付台船	起重機船	グラブ船	合計
宮古港		2隻	1隻	3隻
石巻港		4隻		4隻
仙台塩釜港		11隻	1隻	12隻

表-5 作業船舶の出処

港名	在港	東北管内応援	東北管外応援	合計
宮古港	1隻		2隻	3隻
石巻港	2隻		2隻	4隻
仙台塩釜港	2隻	3隻	7隻	12隻

表-6 航路啓開の作業能力

津波流出物	除去方法・使用船舶	除去能力
船舶	タグボートによる曳航	1.2隻/時
コンテナ	起重機船による引き上げ	1個/時
原木	作業船による陸揚げ	10本/時
自動車	起重機船による引き上げ	1隻/時
家屋残骸物	作業船による陸揚げ	75m ³ /時・2隻

そのうち、在港船は1隻で、東北管轄外からの応援船が2隻となっている。石巻港では、起重機船が4隻啓開作業に従事し、在港船が2隻、東北管轄外からの応援船が2隻となっている。仙台塩釜港では、起重機船が11隻、グラブ船1隻が啓開作業に従事し、そのうち、在港船が2隻、東北管轄内の応援船が3隻、東北管轄外からの応援船が7隻となっている。

仙台塩釜港においては、啓開作業範囲が広域であったことによって多くの船舶が啓開作業に従事せざるを得なかった。

また、東北管轄外からの応援船が多いことから、在港船の被災が著しく、応援要請をせざるを得なかった状況であったと考えられる。

(4) 船舶の作業能力

作業船による各津波漂流物の除去能力を表-6に示す。表-6は、港湾工学論文第54巻(2007)に記載されている作業船舶の除去能力を一時間あたりに換算した表である。

津波によって漂流した船舶は、タグボートによる曳航で除去し、その除去能力は1.2隻/時となっている。コンテナに対する除去は起重機船にて行われ、除去能力は1個/時となっている。原木の除去は作業船によって陸揚げし、その作業能力は10本/時となっている。自動車の除去は起重機船によって行われ、その作業能力は1隻/時となっている。家屋などの残骸の撤去は作業船によって陸揚げされ、その作業能力は75m³/時・2隻となっている。

6. 港湾啓開の作業工程について

東北地方太平洋沖地震時における港湾啓開では、まず測量船のマルチビームなどにより、航路障害物を調査し、起重機船などによるがれき撤去作業が行われた。その後順次測量船の水路測量による水深最終確認が行われ、続々と緊急輸送船など第1船が入港することとなった。各港湾における東北地方太平洋沖地震時での実際の啓開作業・測量の日程のデータを表-7、図-3に示す。

(1) 宮古港

宮古港について、航路啓開作業着手は3月15日からで、水路測量は3月15日～16日の2日間で行われた。第1船の入港日は3月16日で、運搬物資は救援物資であった。また、3月17日には一部供用開始となった。第1船の入港日は3月23日で、運搬物資は救援物資であった。また、3月23日には一部供用開始となった。

(2) 石巻港

石巻港について、航路啓開作業着手は3月19日からで、水路測量は3月23日～24日の2日間で行われた。救援物資輸送船の入港日、並びに岸壁の一部供用し始めたのが、選定した4港の中で最も遅いことの原因としては、津波被害も大きく、重要港湾に相当する港湾ではあるが、国が指定する重要港湾に指定さ

表-7 啓開作業日数

港湾名	水路測量	航路啓開作業着手日	第1船入港日	一部供用開始日
宮古港	3月15日～16日	2日間	3月16日 (救援物資)	3月17日
石巻港	3月23日～24日	2日間	3月23日 (救援物資)	3月23日
仙台塩釜港(仙台港区)	3月15日～17日	3日間	3月17日 (救援物資)	3月18日
仙台塩釜港(塩釜港区)	3月17日～21日	5日間	3月21日 (燃料)	3月21日

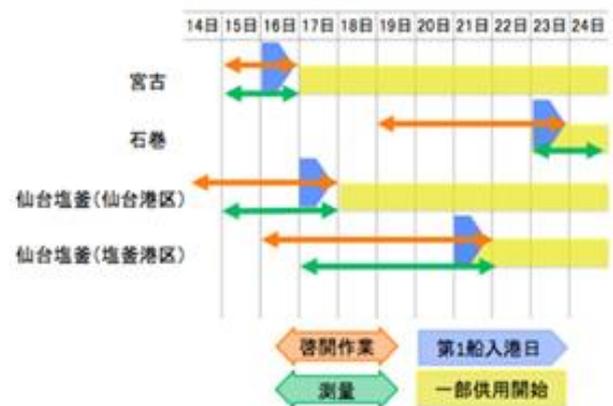


図-3 航路啓開作業と測量の日程

れた港湾ではないために、優先順位が4港の中で下位になり、復旧が遅れたと考えられる。

(3) 仙台塩釜港(仙台港区)

仙台塩釜港(仙台港区)について、航路啓開作業着手は3月14日からで、水路測量は3月15日～17日の3日間で行われた。第1船の入港日は3月17日で、運搬物資は救援物資であった。また、3月18日には一部供用開始となった。

(4) 仙台塩釜港(塩釜港区)

仙台塩釜港(塩釜港区)について、航路啓開作業着手は3月16日からで、水路測量は3月17日～21日の5

日間で行われた。第1船の入港日は3月21日で、運搬物資は燃料であった。また、3月21日には一部供用開始となった。仙台塩釜港は啓開域が広いので、測量に時間がかかったと考えられる。

7. 各港湾における被害

(1) 宮古港

浮遊物撤去において、起重機船(2船団)、ガット船(1隻)で従事し、宮古港に精通した職員を配置し、水深が確保できる航路を作業員に教育し作業に徹した。具体的にはシルトプロテクターによる封じ込めを行い、風による浮遊物の拡散移動防止も図った。また陸上機械(バックホウ、タイヤローラー)により海上浮遊物の撤去、作業通路の確保を行った。異常点は全134か所、予め潜水士による異常物の確認を行ったが、海水が濁っており手探りの状態で確認しなければならない状況にあった。課題としては木材などが流出し漁網に絡まるなどして、浮遊物が多く航行の障害となった。

(2) 石巻港

起重機船団を稼働させる人員確保が非常に厳しい状況であった。というのも、そもそも作業に徹する船団は、地元の起重機船団の協力が必要不可欠だが、数日間連絡がつかず、また船員が被災・避難していたためだ。よって東京湾及び大阪湾から起重機船団等を手配せざる負えなくなった。最優先であった釜地区を短期間で供用開始するため、シルトプロテクターを展張し、浮遊する原木を水路内に封じ込める対策を講じた。全異常点は6か所。

(3) 仙台塩釜港(塩釜港区)

他港湾に比べ施工範囲が広域であり、起重機船全4船団で作業に取り掛かった。養殖棚、漁網などの漂流物、漁船、プレジャーボートが多く点在した。震災瓦礫等の全異常点は66か所。

(4) 仙台塩釜港(仙台港区)

起重機船4船団で作業に取り掛かった。障害物として最も多いのはコンテナ(315個)であった。揚収物の大半がコンテナであったため、潜水士による玉かけに時間を要した。他に車(27台)、コンテナキャリア、船舶等の浮遊物を揚収した。救援物資船の入港が非常に多く、また随時車両運搬船等の入港による経済活動の再開により、揚収時間が制限を受けた。震災瓦礫等の全異常点は493か所。

8. 啓開作業実施関連会社へのヒアリング

(1) 初期初動について

震災当日から調査を開始していた。調査内容としては、自社製品の被害状況調査や周辺の被害状況の確認、情報収集などを行った。海上での作業は津波警報が発令されていたため、津波警報が解除された

3月13日以降となった。

(2) 啓開作業について

実際の啓開作業の流れは、岸壁のはらみ出し調査や航路の水深測量を行った後、漂流物や海底のがれき等の撤去を行う。

(3) 潜水士による作業と時間の関係

堆積物内に人の存在の有無を確認する作業が行われた。存在があれば、救助・遺体撤去作業を行う。人体の有無に関わらず、潜水士が一回一回潜水する作業自体にかなりの時間を要した。

また、水深が10mを超える場合、酸素ポンベの利用可能時間が変わってくることもわかった。水深10m以内に比べ、水深10m以降となると、潜水士による作業効率が30%おちる。

(4) 堆積物撤去と所有者許可の関係

堆積物を撤去するにも、本人所有者の許可確認を必要とするため、これも時間がかかってしまう要因の一つである。しかし、この作業に関しては、招集後、陸においての撤去作業課題になる。本研究では海上における啓開作業の効率性評価を目的としているため、研究課題からは除外する。

しかし、堆積物に関しては、車やコンテナだけでなく、厳密な所要時間・コストを割り出すことは困難と言える。また瓦礫や砂などで揚収物が埋まってしまう状況もありえる。それらのことを踏まえても、本研究においてこういった具合に条件設定をしていくかがポイントになるとも言える。

(5) その他実績や経過など

漂流物の撤去に関して、本来自治体が行う作業のため、民間企業に委託された場合、積算見積書の項目には残らない。啓開作業を行うにあたって、通常の基準に従って作業を行うため、各民間企業が自主的に啓開作業を行い後に精算ということはない。

作業工程表を作成して作業を行うわけでないため、作業工程表は存在しない。

港によって被害状況が違う。

9. 港湾啓開作業のシミュレーション

港湾啓開作業のシミュレーションを行う。対象港湾は1.(2)研究目的で述べた通り、重要港湾もしくはそれに相応の港湾である宮古港、釜石港、仙台塩釜港(仙台港区・塩釜港区)の3港から選定する。本研究では、調査の結果、仙台塩釜港のなかでも仙台港区における情報が最も多く存在したため、仙台塩釜港(仙台港区)を選定する。図-4に仙台塩釜港(仙台港区)の異常点分布図を示す。赤い丸点が異常点を示している。本研究ではそれぞれの港湾を調査し、港湾啓開作業において最も撤去数の多かった撤去物がコンテナ及び車であったことから、堆積物(異常点)はコンテナと車とし、コンテナ318個・車24台、

異常地点計342地点で算出していく。



図-4 仙台塩釜港仙台港の異常点分布図

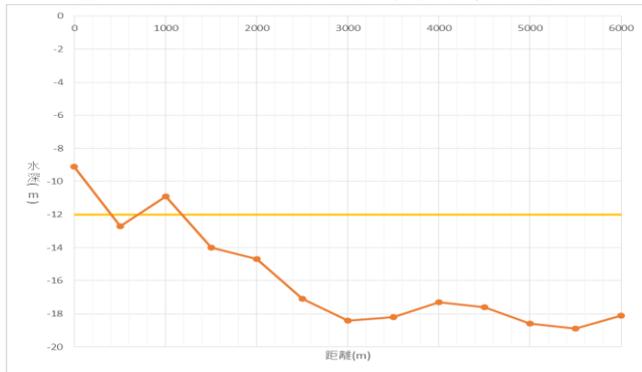


図-5 仙台港区の海底水深

(1) 啓開作業シミュレーションの段階・概要

仙台塩釜港仙台港区における啓開作業シミュレーションを行う。海上保安庁からの仙台港区の海図をもとに航路の中心に直線を引き、対象距離を6000m(Xmax)とした。500mごとの水深を記録し仙台港区の2D海底水深を示すグラフが図-5である。

次にXmaxに0~1の乱数を発生させ、Xmaxと乱数の積を算出し、異常点の岸壁からの距離をランダムに算出する。そしてこの距離における水深を図-5から読み取る。さらに読み取った異常点が存在する点の水深の値に車の場合は+1m、コンテナの場合は+2mを加算する。加算した値を異常点水深とする。加算値について、ISO規格による海上コンテナの寸法は高さがおおよそ2mであることがわかっている。海底にてコンテナが直立する可能性は低いと考えられるため、本シミュレーションではすべて倒れているとし、2mと仮定する。車両の場合、撤去された車両の車種が明確ではない為、すべて乗用車と仮定し1mとした。

次に作業効率係数を設定しグラフ化し、そのグラフから異常点水深に対応する作業効率を読み取る。このグラフに関しては次の8.(2)のシミュレーションの条件設定で詳細に触れる。そして、表-6からコンテナ・車両を1つ引き上げるのにかかる時間と読み取った作業効率の積を全作業時間として算出する。

作業船舶一隻当たりの作業日数は、算出した作業

時間と一日の作業時間の商で求まる。この一日の作業時間に関しては、暗闇での作業が困難であることから、日中の12時間を1日当たりの作業時間とし、図-3、表-7から仙台港区では供用開始まで4日間港湾啓開作業を実施したことから48時間かかったと仮定した。文献調査により、仙台塩釜港(仙台港区)では4船団が作業に従事した実績があることから、前述の商と4で除法を行い4船団で作業した場合の作業日数を求める。船団については複数の船舶を1船団と呼称するが、例としてコンテナを揚収する起重機船とコンテナにワイヤーをかける作業を行う潜水士を運搬する潜水士船の2隻で作業する必要がある場合があるため、コンテナ1つを揚収するために1船団必要という解釈で本シミュレーションを解析する。

(2) シミュレーションの条件設定

撤去すべき異常点を選出するために、水深限度を設けた。ここでいう水深限度とは、異常点を撤去するときの最深の水深値のことである。この条件設定により水深限度で定められた水深以下に異常点を撤去し供用開始するまでの時間を算出することができる。本シミュレーションでは水深限度を8m, 10m, 12m, 14m, 16m, 18mの6パターンで検証をしていく。実際の啓開作業においては、文献調査から水深限度を-12mとして設定し、啓開作業に当たったことがわかっている。また、本シミュレーションにおける作業効率直線の傾きを設定する。7.(1)でのヒアリング結果より作業効率直線の傾きは0.015であったが、本シミュレーションでは作業効率直線の傾きを0.015, 0.0175, 0.02, 0.0225の4パターンの条件を設定する。それら作業効率と水深の関係を示したグラフが図-6である。

水深限度と作業効率直線の傾きのパターン分けを示したのが表-8である。

水深限度と作業効率直線の傾きの組み合わせ前24パターンにおける作業時間を乱数により10ずつとり、その平均の作業時間を算出し、実際にかかった作業時間と比較していく。実際に仙台港区において作業

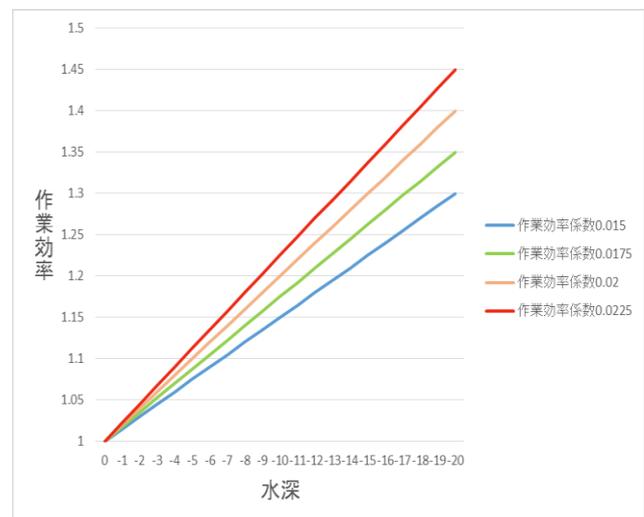


図-6 作業効率と水深の関係

表-8 設定水深限度と設定作業効率直線の傾き

水深限度 6パターン	8m
	10m
	12m
	14m
	16m
	18m
作業効率 直線の傾き 4パターン	0.015
	0.0175
	0.02
	0.0225

表-9 平均作業時間算出の一例 (0.015, -12m)

作業効率	距離変動	水深	作業時間	撤去数
1.107473389	9	-7.16	1.11	1
1.10798397	14	-7.20	101.91	2
1.1093323	26	-7.29	103.02	3
1.110905484	41	-7.39	104.13	4
1.111788212	49	-7.45	105.24	5
~				
1.173675906	1432	-11.58	106.41	83
1.176309041	1460	-11.75	107.59	84
1.176713689	1465	-11.78	108.77	85
1.177217487	1309	-11.81	109.94	86
1.179986631	1500	-12.00	111.12	87
合計経過時間				111.12
作業日数(経過時間/1日の作業時間/4船団)				2.32

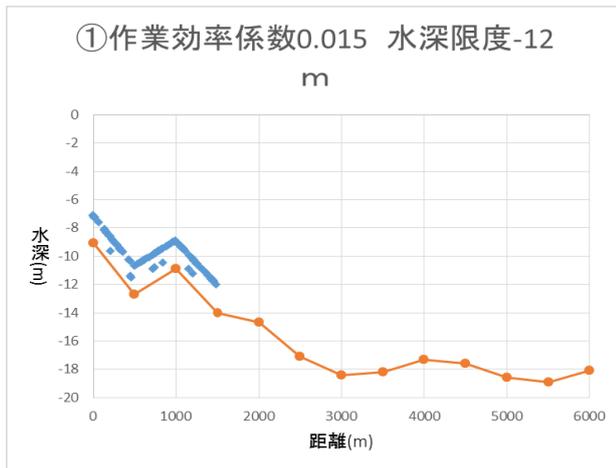


図-7 異常点分布図(一例)

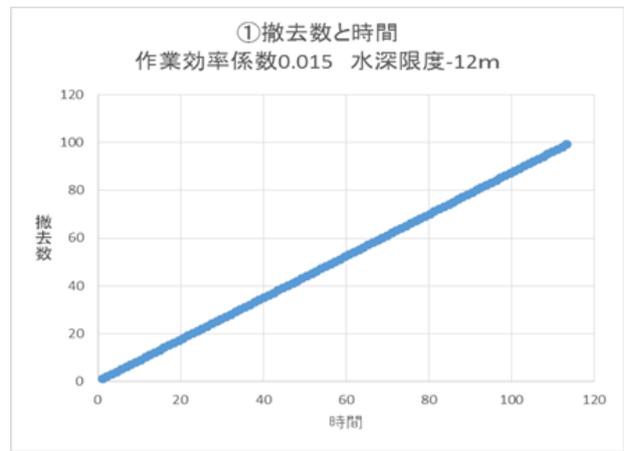


図-8 撤去数と時間の関係(一例)

時間の算出において用いる水深限度は-12mである。

(3) 解析結果と考察・結論

例として、(水深限度, 作業効率係数)が(-12m, 0.015)のパターン時の1試行分のシミュレーション結果を表-9に示した。データ量が多いため、途中省略している。またこれらの値の関係を距離と水深から異常点分布図としてグラフ化したものを図-7、撤去数と時間の関係グラフにしたものを図-8に示す。そして、シミュレーションにおける設定した水深限度と作業効率係数による各パターンの平均作業時間を10試行し、それらの平均値から導いた作業日数の全結果を表-10に示す。

表-10より東北地方太平洋沖地震時の仙台塩釜港の仙台港区において全4船団で取り組んだ港湾の一部供用開始までの啓開初期作業時間が4日という実績に最も近い数値を示したパターンは、水深限度-14m, 作業効率係数0.0225の場合の所要日数(4船団)3.29日であると言える。

次に、実際の海図と照らし合わせて異常点の分布状況をプロットし、各作業効率係数ごとの作業日数の結果を算出した。その結果が表-11である。これは8.(2)で説明したように水深限度-12mを用いた結果である。表-11において、実際の海図と照らし合わせて異常点の分布状況をプロットした場合に同実績の期間に最も近い数値は、水深限界-12m, 作業効率係数0.0225の場合の2.50日となった。

次に表-11の結果を本シミュレーションに適合させ、シミュレーション中の水深限度-12mの場合と比較する。表-10における水深限度-12mの場合の作

表-10 各パターン作業日数シミュレーション結果

水深限度-8m		所要時間		所要日数 (/4船団)
		平均	分散	
作業効率	0.015	8.23	4.73	0.17
	0.0175	7.25	4.22	0.15
	0.02	8.63	3.60	0.18
	0.0225	7.95	6.62	0.17
水深限度-10m		所要時間		所要日数 (/4船団)
		平均	分散	
作業効率	0.015	53.86	33.86	1.12
	0.0175	55.57	22.45	1.16
	0.02	56.24	18.79	1.17
	0.0225	58.02	41.70	1.21
水深限度-12m		所要時間		所要日数 (/4船団)
		平均	分散	
作業効率	0.015	96.26	139.30	2.01
	0.0175	98.23	93.49	2.05
	0.02	102.56	63.84	2.14
	0.0225	108.77	41.14	2.27
水深限度-14m		所要時間		所要日数 (/4船団)
		平均	分散	
作業効率	0.015	155.49	88.84	3.24
	0.0175	151.70	87.47	3.16
	0.02	151.34	204.57	3.15
	0.0225	157.84	84.54	3.29
水深限度-16m		所要時間		所要日数 (/4船団)
		平均	分散	
作業効率	0.015	254.42	177.94	5.30
	0.0175	268.54	188.78	5.59
	0.02	272.87	72.05	5.68
	0.0225	275.02	62.66	5.73
水深限度-18m		所要時間		所要日数 (/4船団)
		平均	分散	
作業効率	0.015	414.00	0.43	8.63
	0.0175	426.59	1.26	8.89
	0.02	438.68	0.86	9.14
	0.0225	450.50	0.48	9.39

表-11 実際の異常点分布における
各作業効率係数ごとの作業日数結果

水深限度-12m	0.015	0.0175	0.02	0.0225
1	112.99	115.32	117.65	119.99
2	113.01	115.34	117.67	120.01
3	113.01	115.34	117.67	120.01
4	112.99	115.32	117.65	119.99
5	113.02	115.36	117.69	120.03
6	113.01	115.34	117.67	120.01
7	113.02	115.36	117.69	120.03
8	112.99	115.32	117.65	119.99
9	112.99	115.32	117.65	119.99
10	113.02	115.36	117.69	120.03
平均の作業時間	113.00	115.34	117.67	120.01
作業日数(/4船団)	2.35	2.40	2.45	2.50

業日数は作業効率係数が0.015, 0.0175, 0.02, 0.0225の順に, 2.01日, 2.05日, 2.14日, 2.27日となっている。一方, 実際の異常点分布による作業日数は作業効率係数が0.015, 0.0175, 0.02, 0.0225の順に, 2.35日, 2.40日, 2.45日, 2.50日となっている。この作業日数に生じた誤差は, 乱数による異常点数の差と考えられる。この真意を明確にするには, シミュレーションにおけるデータの母数を増加させ, 異常点数をある値に収束させる必要があると考える。

次に表-10の水深限度-12mの場合と表-11のデータにおいて, 東北地方太平洋沖地震時の仙台港区における港湾の一部供用開始時までの期間は4日/4船団という実績調査データに誤差が生じた原因を考察する。表-10及び表-11のデータ作成の際, 条件設定時において作業効率を低下させる要因は, 異常点の水深と, 一日の作業時間を12時間と仮定設定した, 二つである。しかし, 実際の啓開作業においては, 遺体収集や陸路との連携, 連絡の手間, 作業員と負傷など作業効率を低下させる要因が多々存在する。そのため, それらの要因が作業日数に誤差を生じさせる原因となったと考えられる。

以上の解析結果を簡潔にまとめ, シミュレーションの結果の日数と実際にかかった作業日数を比較する。シミュレーション上の作業効率係数0.015の場合, 作業日数は2.01日であり, 実際の異常点をプロットした時の作業効率係数は0.015の場合, 作業日数は2.35日である。加えて, 4日で作業が完了する時の様々な要因を含んだ作業効率係数の値に目途をつける。そのために, シミュレーション上にて作業効率係数を徐々に増加させていき, 乱数により更新される作業日数の平均が約4日になる作業効率係数を見つける。その結果, 作業効率係数0.13という値で30試行の平均をとった際に, 平均作業日数が4日に近づいた。得られた30試行分のデータとそこから得られた平均作業日数を表-12に示す。この作業効率係数は, 本シミュレーションで作業効率低下に影響している異常点の水深と一日の仮定作業時間以外の作業効率低下要因をすべて含めた時の作業効率係数である。ただし, この条件下で算出された作業効率係数は, 水深による作業効率の低下度の割合とそ

表-12 作業効率係数0.13から得た平均作業日数

作業日数 (経過時間/ 1日の作業時間/ 4船団)	3.48	4.01	4.08
	4.49	3.9	4.04
	4.66	3.49	3.96
	3.31	4.12	3.49
	4.14	4.46	3.95
	3.98	3.92	3.69
	4.18	3.65	4.2
	4.27	3.82	3.1
	3.16	4.15	3.8
	4.47	3.87	4.83
平均作業日数			3.955667

の他の要因の作業の低下度の割合が同じであると仮定した場合の値である。

この結果から, 作業効率係数が0.015で2.01日の場合と, 作業効率係数が0.13で4日の場合の双方を比較したとき, 作業効率係数は約8.7倍の値になり, 日数の倍率と比べても異常値であると考えられる。この値になった原因として, 本来日数は(水深の関数による日数) +(その他要因ごとの関数による日数) で算出されるべきであることから, 水深の関数と同様の作業効率で日数を算出したことが原因であ

る。本研究では、その他要因ごとの関数を一つずつ作成するのは所有情報上不可能であるため、水深以外の要素がどのような関数で作業効率が低下するかを求めることは今後の課題となる。

一日の作業時間を仮定する際に本研究では12時間と仮定したが、この仮定時間を変更するとする。その時に起こる現象として、①仮定時間を12時間より短くした場合、作業日数は延びる。つまり、作業効率が悪くなるため、作業効率係数が増加する。②過程時間を12時間より長くした場合、作業時間は縮む。つまり、作業効率が良くなるため、作業効率係数は減少する。本研究では、一日の作業時間が何時間であったかの実績を得ることができなかったため、作業時間の仮定方法は今後の課題となる。

10. 参考文献

- 1) 国土交通省 平成 23 年 8 月 1 日
平成 23 年度港湾防災対策会議資料 2-1 「東日本大震災の被害」
最終閲覧日 2015.8.10
- 2) 東北学院大学 東日本大震災の津波高さ
http://www.tohoku-gakuin.ac.jp/about/sinsai/record/chap_7/chap07_07.html
最終閲覧日 2015.6.11
- 3) 国土交通省東北地方整備局 仙台港湾航空技術調査事務所
「東日本大震災における港湾被害状況及び復旧・復興について」
平成 23 年 9 月 29 日 最終閲覧日 2015.9.22
- 4) 2013 年度修士論文 高知工科大学 山内啓嗣
「大規模地震発生後における地方の港湾機能回復に関する研究」
最終閲覧日 2015.11.5
注 1 「大規模地震発生後における地方の港湾機能回復に関する研究」 要旨
- 5) 京都大学防災研究所年報 第 56 号 B 平成 25 年 6 月 小野憲司・赤倉康寛
「東日本大震災における港湾物流へのインパクト」
最終閲覧日 2015.9.24
- 6) 一般社団法人 日本作業船協会
<http://www.s-jwa.or.jp/workvessels/set01.html>
最終閲覧日 2014.11.15
- 7) 大規模災害時の船舶の活用等に関する調査検討会
http://www.kanships.sakura.ne.jp/daikibosaigaigisan_pakukatuyokentoukaihokoku.pdf
最終閲覧日 2015.11.5
- 8) 海岸港湾論文集第 54 巻(2007)
東南海・南海地震発生時の港湾機能を活用した緊急輸送戦略
最終閲覧日 2015.1.20
- 9) 平成 26 年 3 月 国土交通省海事局内航課
大規模災害時の船舶の活用などに関する調査検討会
最終閲覧日 2015.6.2
- 10) 国土交通省東北地方整備局 釜石港湾事務所
<http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/port/miyako-port/>
最終閲覧日 2015.9.26
- 11) 国土交通省東北地方整備局 塩釜港湾・空港整備事務所
<http://www.pa.thr.mlit.go.jp/shiogama/>
最終閲覧日 2015.9.26
- 12) MOL Logistics ホームページ
<https://www.mol-logistics-group.com/index.html>
最終閲覧日 2015.12.1
- 13) 仙台塩釜港仙台港区
海防海上保安庁 平成 25 年 11 月 7 日刊行

EXAMINATION ABOUT THE EFFECTIVENESS OF EARLY CARVE OUT OF THE SUFFERING HARBOR THROUGH THE EAST JAPAN GREAT EARTHQUAKE DISASTER

Chiharu OOZEKI

Our country is working on various disaster prevention measures before I come at present in the environment that an earthquake occurs frequently. But the eastern Japan great earthquake which occurred in March, 2011 was an earthquake of the scale in which expectation is easily exceeded and brought damage to wide range enormously including Tohoku-district. Its scale is expected that the southeast sea earthquake occurs within 30 years by recent years' study, and it's said to be beyond an eastern Japan great earthquake and equality. It takes time for harbor development by an eastern Japan great earthquake, and the research paper for Ono and others and Yamauchi and others who made the problem a theme is announced.

The theoretical value of time opening work takes even in the part using starting by an eastern Japan great earthquake is taken out by this research as well as the consideration it takes for the efficiency from its price is done.