

巨大津波後の港湾啓開の 効率性に関する研究

鈴木俊一

東京都市大学大学院 工学研究科 都市工学専攻 計画マネジメント 皆川研究室

(〒158-0087 東京都世田谷区玉堤1-28-7)

E-mail:g1481711@tcu.ac.jp

我が国は地震が頻発する環境にあり、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月に発生した東日本大震災は、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に被害をもたらした。近年の研究では、30年以内に東南海地震が発生すると予想されており、その規模は東日本大震災と同等以上とされている。

本研究では、東日本大震災時の港湾啓開に関して調査し、その効率性を東日本大震災時の実績をもとに評価する。

Key Words :Great East Japan Earthquake , Tounankai Earthquake , Early Carve out , Efficiency , Port

1. はじめに

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沖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年の間に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日に発生した東日本大震災があげられ、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。

近年の研究では今後30年以内に発生するとされている大地震がいくつか予想されており、南関東の大地震(M6.7~7.2程度)が70%、南海地震(M8.4前後)が60%、東南海地震(M8.1前後)が70~80%、東海地震(M8程度)が88%の発生確率となっている。東海・東南海・南海地震が連動して発生した場合のマグニチュードは9.1と予想され、東日本大震災のマグニチュード9.0を上回るとされている。また、地震によって引き起こされる津波に関して大きな懸念が抱かれている。

東日本大震災発生以降、我が国ではより一層地震災害に対する防災・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、東日本大震災時に問題となった港湾啓開の遅れに関する、小野らの「東日本大震

災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。

また、東日本大震災後、各機関による津波防災・減災対策においては様々な取り組みが行われているが、発災後の航路・港湾啓開に関しては未だに進んでいないと思われる。今後起こりうる大規模な震災によって再度予想を上回る被害が出ないとも言い切れない為、被害が出てしまった後の対策に着目することが重要であると考えられる。

そこで本論では、東日本大震災による巨大津波後の港湾啓開の効率性を、東日本大震災の実績から評価し、港湾啓開の効率性における課題を抽出する。

2. 東日本大震災について

(1) 津波による被害

東日本大震災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-1に示す。図-1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

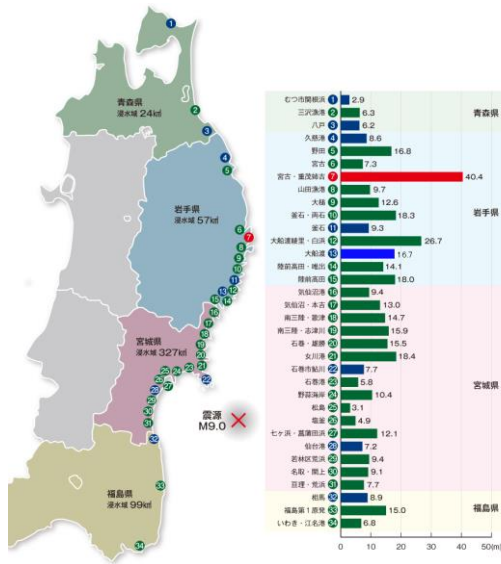


図-1 東日本大震災時の津波高さ²⁾

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、港湾につい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³⁾

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、復旧が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、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、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. 研究目的

本論では、東日本大震災時の港湾啓開の初期初動に関して調査を進めていく。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」においては、長期的なスパンにおける港湾啓開の実績を元に、南海トラフ地震の際の高知県須崎港の啓開モデルを提唱している。しかし、東日本大震災時の港湾啓開における具体的な作業や初期初動における対策については触れられていない。そのため、本研究では短期的なスパンにおける港湾港湾啓開の実績を調査すると同時に、課題を抽出し効率性の考察を行う。

また、効率性を評価するにあたって作業日数と作業内容から理論値を算出し、実際の作業日数と比較して評価する方法をとる。

4. 研究方法

本研究では調査すべき項目を10個に絞り、対象港湾も宮古港、石巻港、仙台塩釜港の3つに絞る。対象港湾の選定にあたって、一つ目に重要港湾であること、もしくはそれに匹敵する規模の港湾であること、二つ目に情報量が多く存在する事に着目して選定を行った。

まず、調査すべき項目に関する図を図-2に示す。

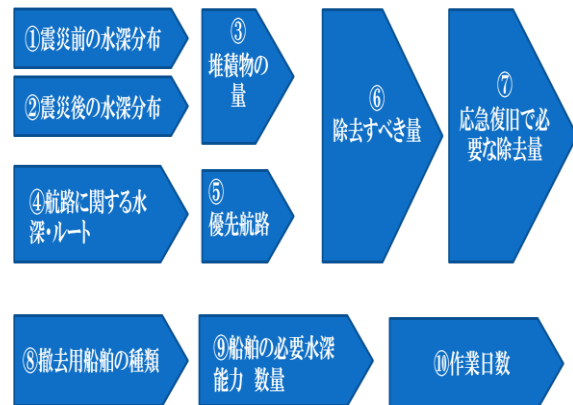


図-2 調査対象の10項目

5. 既往の研究

(1)山内らの研究⁴⁾

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。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浸漬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、作業従事ができない船舶が多い中、一般社団法人日本埋立浸漬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。

また、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. 航路啓開の実施港
- II. 資機材などの調達

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	
茨城港(常陸那珂)	釜石港 小名浜港	宮古港	仙台塩釜港(仙台)	鹿島港 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)

- 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

(2) 小野・赤倉らの研究⁵⁾

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。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)についても示している。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。

全体の平均は、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。

6. 船舶について⁶⁾

(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浅測量を行う。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、スクリュー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押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開装置を備え、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、オイルフェンス展開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、以下のようになげられる。

- ・ドラグサクシオン浚渫船
- ・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。

表-3 作業船のステータス

	測量船	潜水土船	ガット船	起重機船	クレーン付き台船	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

(2) 作業船のステータス⁶⁾

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。

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 作業船舶の出处

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

(3) 啓開作業に従事した船舶の数⁷⁾

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处を表-5に示す。宮古港では、起重機船2隻、グラブ船1隻が啓開作業に従事した。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

航路啓開作業と測量の日程

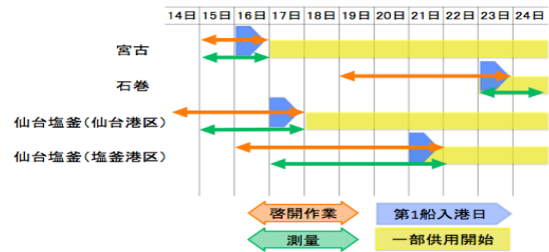


図-3 航路啓開作業と測量の日程

表-6 作業船の津波漂流物の除去能力⁸⁾

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

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、港湾工学論文集第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。

7. 港湾啓開⁹⁾

宮古港、石巻港、仙台塩釜港(仙台港区・塩釜港区)における航路啓開作業と測量の日程の図-3に示す。

(1) 宮古港¹⁰⁾

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。

(2) 石巻港¹¹⁾

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。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。

(3) 仙台塩釜港(仙台港区)¹¹⁾

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。一部供用開始となったのは、3月16日時点の水深-7.5mまでであり、その後3月24日に水深-12mまで制限が解除された。

(4) 仙台塩釜港(塩釜港区)¹¹⁾

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いため、測量に時間がかかったと考えられる。

8. ヒアリング調査

港湾啓開作業を実施した企業の工事担当部署の技術者にヒアリングを実施した。その結果を以下に示す。

(1) 初期初動について

ヒアリングに協力して頂いた企業に関しては、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、岸壁のほ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などの撤去を行う。撤去作業を行う際、遺体があった場合は民間の企業が遺体の引き上げを行うわけではなく、保安部(警察や海上保安庁)が遺体の引き上げを行う。その作業が終了した後、撤去作業を行う。東日本大震災で起きた事例では、車両の中に遺体があり、保安部が動くという事例があった。

また、車両の撤去を行う際は、その所有者に引き上げの可否を確認しなければならないため、作業の遅延に繋がることが考えられる。引き上げの可否の確認は役所が行う。

(3) 作業効率について

作業船が啓開作業を行う際の作業効率は、表-6に示した通りである。しかし、撤去したものを陸に運搬し運び出さなければならない。そのため、陸のルートが滞ると海上での作業も滞ってしまう。

また、水深-10mより深い場所のもの(コンテナや車両)を撤去する場合、潜水士が潜る時間が約30%程度増加する。

(4) 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・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

例 仙台港の場合、車両やコンテナが多い

釜石港の場合、ケーソンの被害が大きい

・支援物資は各団体や企業が独自で運搬した。

・ヒアリングに協力して頂いた企業では、5～6隻の船舶の派遣を行った。

9. 啓開作業のシミュレーション

(1) 対象港湾の選定

啓開作業シミュレーションを作成するにあたって、対象港湾を決定する。対象港湾は第1章で述べた通り、宮古港、釜石港、仙台塩釜港の3港から選定する。本研究では、調査の結果、仙台塩釜港(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。



図-4 仙台塩釜港における実際の異常点分布図

表-7 シミュレーションの流れ

①	②	③
Xmax	乱数	異常点の距離
6000m	0~1	Xmax*表-6
④	⑤	⑥
異常点のある水深	異常点の水深	作業効率
図-5からよりプロット	④の値+(1or2)m	図-6から読取
⑦	⑧	
作業時間	作業時間の合計	
作業効率*(表-3-4)	⑦の合計	

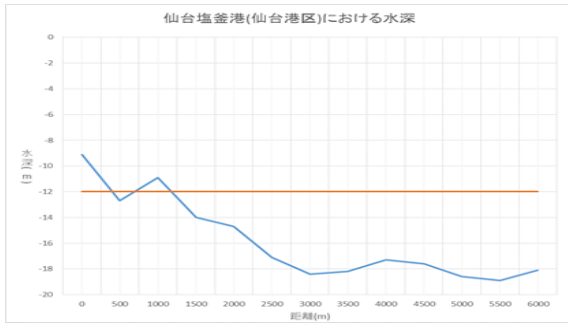


図-5 仙台塩釜港の海底グラフと水深-12m

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

表-8 水深限度と作業効率直線の傾きのパターン分け

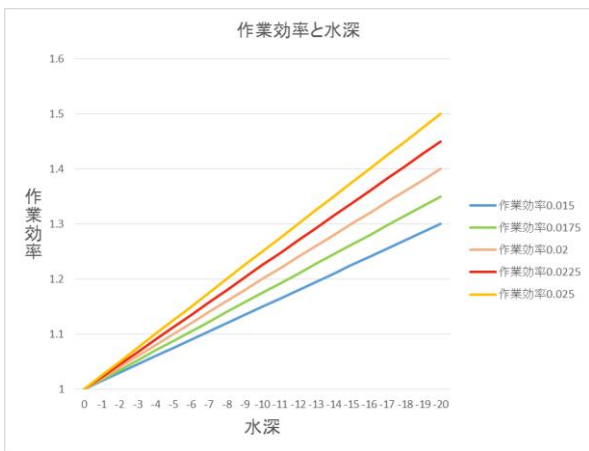


図-6 作業効率と水深の関係性

(2) シミュレーション概要

仙台塩釜港仙台港区における啓開作業のシミュレーションを行う。シミュレーションをするにあたって、大まかな流れを表-7にまとめる。また、仙台塩釜港(仙台港区)の海底水深を表したグラフを図-5に示し、作業効率と水深の関係を表したグラフを図-6に示す。本シミュレーションは二次元モデルで行う。

まず、対象港湾に中心線を引き、その中心線上の水深が対象港湾全体の水深と仮定して異常点全342点を乱数によって分布させる。港湾の対象距離はおおよそその中心線の始点から6000m(Xmax)を終点とし、0~1の乱数を発生させ、Xmaxと乱数の積を異常点の岸壁(始点)からの距離とする。

次に図-5からXmaxと乱数によって算出された距離における水深を読み取る。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¹²⁾。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。

算出された異常点水深に対応する作業効率を図-6の作業効率直線のグラフから読み取る。該当する読み取った作業効率と表-3-4のコンテナ、車両を1つ引き上げる際の時間の積を実際の作業時間とする。最後に、撤去すべき全ての異常点における実際の作業時間の和を作業時間の合計として算出する。

算出された作業時間と1日の作業時間(12時間と仮定する)の商が作業船舶一隻の場合の作業日数として求められる。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。4船団について、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。

(3) シミュレーションの条件設定

表-7の④の項目において、条件設定を行う。撤去すべき異常点を選出するために、水深限度を設けている。水深限度とは、その水深より浅い異常点を撤去する時の最深値を表す。この条件設定により、水深限度で定められた水深で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、水深限界を

表-9 シミュレーションの各パターンの作業日数

	作業時間		作業日数 (4船団)		作業時間		作業日数 (4船団)
	平均	分散			平均	分散	
水深限度-8m				水深限度-10m			
作業効	0.015	8.23	4.73	0.015	53.86	33.86	1.12
率	0.0175	7.25	4.22	0.0175	55.57	22.45	1.16
	0.02	8.63	3.60	0.02	56.24	18.79	1.17
	0.0225	7.95	6.62	0.0225	58.02	41.70	1.21
水深限度-12m				水深限度-14m			
作業効	0.015	96.26	139.30	2.01	0.015	155.49	88.84
率	0.0175	98.23	93.49	2.05	0.0175	151.70	87.47
	0.02	102.56	63.84	2.14	0.02	151.34	204.57
	0.0225	108.77	41.14	2.27	0.0225	157.84	84.54
水深限度-16m				水深限度-18m			
作業効	0.015	254.42	177.94	5.30	0.015	414.00	0.43
率	0.0175	268.54	188.78	5.59	0.0175	426.59	1.26
	0.02	272.87	72.05	5.68	0.02	438.88	0.86
	0.0225	275.02	62.86	5.73	0.0225	450.50	0.48

表-10 実際の異常点分布の作業日数

水深限度-12m	0.015	0.0175	0.02	0.0225
1	112.9905	115.32225	117.654	119.98575
2	113.0055	115.33975	117.674	120.00825
3	113.0055	115.33975	117.674	120.00825
4	112.9905	115.32225	117.654	119.98575
5	113.0205	115.35725	117.694	120.03075
6	113.0055	115.33975	117.674	120.00825
7	113.0205	115.35725	117.694	120.03075
8	112.9905	115.32225	117.654	119.98575
9	112.9905	115.32225	117.654	119.98575
10	113.0205	115.35725	117.694	120.03075
平均の作業時間	113.005	115.338	117.672	120.006
分散	0.00015525	0.000211312	0.000276	0.000348312
作業日数(4船団)	2.35	2.40	2.45	2.50

8m,10m,12m,14m,16m,18mの6パターンで検証する。

また、作業効率直線の傾きの条件を設定する。ヒアリングで得られた結果から求められた傾きは0.015であるが、その条件より厳しい状況の場合の作業効率直線を設ける。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。

水深限度と作業効率直線の傾きの条件を表-8に示す。表-8に示した水深限度と作業効率直線の傾きの組み合わせ全24パターンにおける作業時間を乱数により10データずつとり、その平均の作業時間と実際の作業時間を比較する。

(4) 解析結果と考察・結論

シミュレーションにおける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試行分平均した結果を表-9に示す。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、作業効率係数ごとの作業日数の結果を表-10に示す。

表-9より、東日本大震災時の仙台塩釜港(仙台港区)における港湾の一部供用開始までの期間は4船団で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3.29日であった。また、表-10について、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、水深限度-12m、作業効率係数0.0225の場合の2.50日となった。実際の異常点分布においては、一部供用開始の際の水深が-12mであったため、水深限度は-12mのみのデータとなっている。この条件をシミュレーションに適応し、シミュレーション中の水深限度-12mの場合と比

較する。

表-9における水深限度-12mの場合の作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。この誤差の原因は、乱数による異常点数の差と考えられる。その真偽を明確にするためには、シミュレーションによるデータの母数を増加させて、異常点数をある値に収束させる必要がある。

また、表-9及び表-10において、東日本大震災時の仙台塩釜港(仙台港区)における港湾の一部供用開始までの期間は4船団で4日という実績に近づかなかった原因を考察する。表-9及び表-10のデータ収集の際の条件設定に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(12時間と仮定した)の二つである。実際の啓開作業では、遺体収集や陸路との連携、連絡の手間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、作業日数に差が生じたと考えられる。

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で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。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. まとめ

本研究におけるシミュレーションにより、水深による作業効率の低下は約2日分であることが知見として得られた。また、一日の作業時間を仮定する際に実際の作業工程表のようなものが存在すれば参照可能であるが、入手が困難であった。水深以外の作業効率低下の要因については、どのような要因があり、各要因について作業効率低下度を把握しなければならない。そのため、その他の要因については、今後の課題とする。

11. 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 高知工科大学大学院 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
- 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/daikibosaigaigisanpakukatuyokentoukaihoukoku.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

Efficiency of the restoration work of the port after the huge tsunami

Shunichi SUZUKI , supervised by Masaru MINAGAWA

Japan is a large environmental conditions very earthquake enough to be referred to as the earthquake-prone. In recent years, the Great East Japan Earthquake that occurred on March 11, 2011 to the disaster, was severely damaged. Damage caused by the earthquake is not only the collapse of the building by shaking, was greater damage caused by the tsunami triggered from there. In recent years of research, it has been a concern that there is a high possibility that the major earthquake that is comparable to future earthquake occurs, has deepened the concern about the damage caused by the same time a huge tsunami.

Research purpose of this study was to focus on the initial initial in the restoration of the port at the time of the Great East Japan Earthquake, it is to perform the research study. In the history of research, it has been proposed for the measures of the harbor AkiraHiraku viewed in a long-term span based on the example of the Great East Japan Earthquake. However, the efficiency and the specific content of the initial initial in port AkiraHiraku not been touched. Therefore, in this study to create a simulation based on the example and experience of the Great East Japan Earthquake, go close to the examples in a variety of conditions. Port to create a simulation to model the selection was Sendai Shiogama Port from more than one port.