

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

計画マネジメント 皆川研究室

1118023 大関 千悠



はじめに

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震発生

二次災害

余震

津波

原発事故

⇒防災・減災意識の高まり

津波による被害が甚大



津波

港湾啓開は
どのように行
われたのか

背景

防災・減災対策

発災後の航路啓開

効率的な
港湾啓開
の重要性

早期の航路確保

大型緊急輸送船舶の利
用が可能

一度に大量の緊急支援物資を搬入
することを可能とし、早期復旧に貢
献する

港湾の早期啓開は重要な復旧事業と言える

目的

- 短期的なスパンにおける港湾啓開の実績調査
- 啓開作業の効率性の評価・検討

効率性

各港湾における啓開作業実績

水路測量や喫水確保、測量等

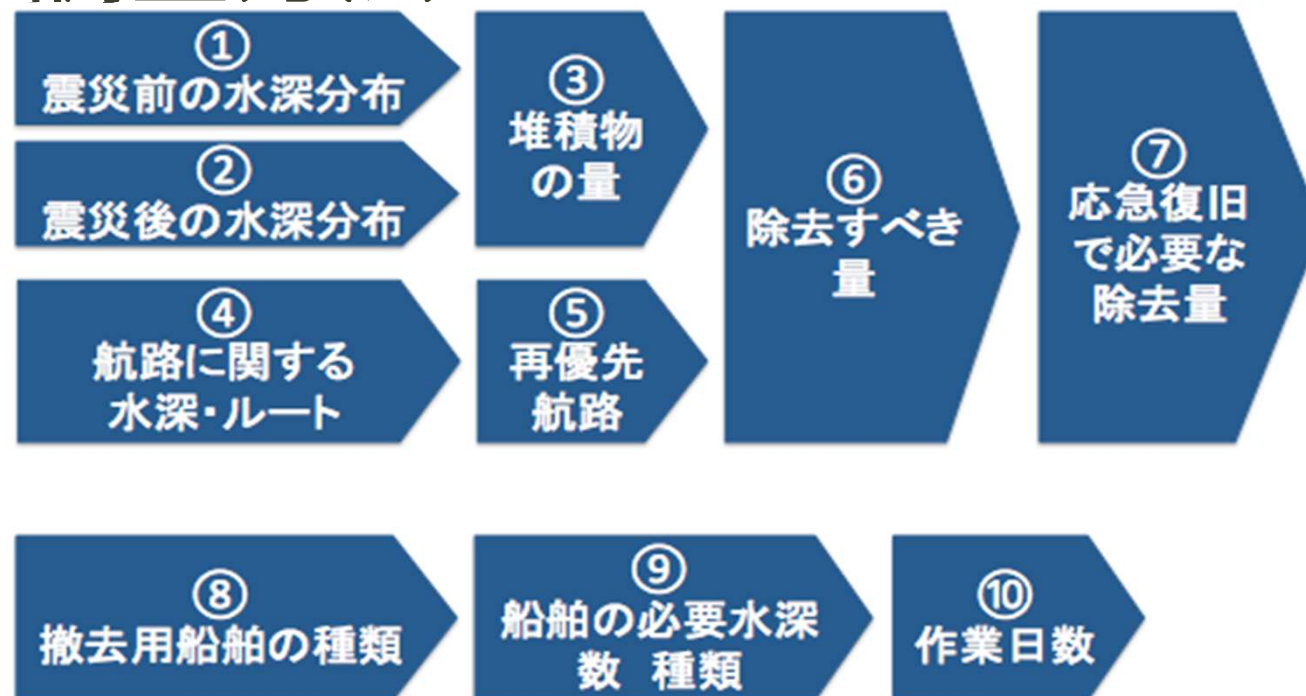
応急復旧のレベル

岸壁の一部供用開始等

各船舶の実績 能力 数

各船舶の入港実績や作業内容、能力等

調査方法



対象港湾：宮古港，石巻港，仙台塩釜港

対象港湾の
選定方法

- 1.東日本大震災において、甚大な津波被害を受けた港湾
- 2.重要港湾、もしくはそれに相当する重要な港湾
- 3.災害時の活動情報が多く残っていると考えられる港湾

作業に従事した船舶の数

港名	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

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

港湾啓開作業において活躍した主な作業船種類



測量船

- 海底地形などの測量
- 深浅測量
- マルチビームソナー等を搭載



クレーン付台船

- 非自航式台船上に移動式クレーンを搭載
- 比較的軽量物の揚重
- 比較的小型なため、狭い場所でも適応可能



起重機船

- 旋回式
- 各種重量物の吊り上げ
- 自航式、非自航式
- 障害物や沈殿物の揚収
- 400t吊りの大型も存在



グラブ船 (ガット船)

- 通常は捨石や砂の運搬、投入に使用
- 災害時は水域の障害物撤去に使用

作業船の作業能力

流出対象物	除去方法	除去能力
船舶	タグボート等による曳航	1隻/50分1隻
コンテナ	起重機船による引き上げ	1個/1時間1隻
原木	作業船による陸揚げ	10本/1時間1隻
自動車	起重機船による引き上げ	1隻/1時間1隻
家屋残骸物	作業船による陸揚げ	75m ³ /時・2隻

一時間あたりの除去能力に
換算すると

東日本大震災発生時の港湾機能を活用した緊急輸送戦略

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

啓開作業実績

東北地方整備局

日本浚渫協会東北支部

平成16年7月締結 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

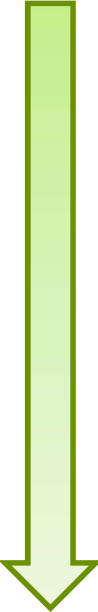
これに基づき、津波警報解除後、3月14日より作業開始

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)

3/24までに主要港湾すべてにおいて
一部の岸壁が利用可能に

(例)仙台塩釜港の啓開作業(仙台港区)

○区間を限定⇒段階的に航路啓開

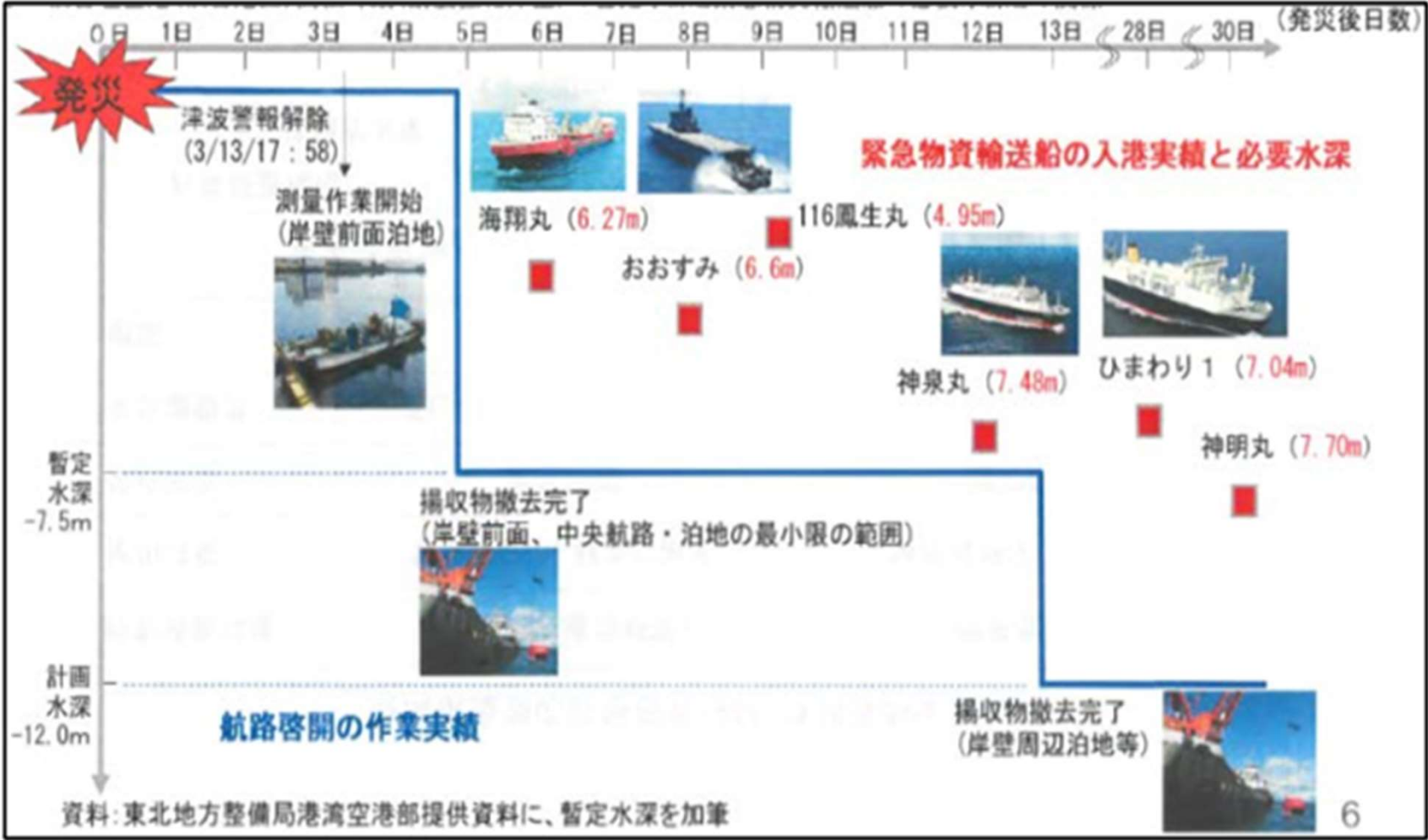


3/14	海底状況の確認調査開始
3/15	航路啓開作業に着手 高松埠頭岸壁前面の音速深浅測量実施 ナローマルチビームによる海域地形測量実施
3/18	高松埠頭(-12m)1バースが解放 引き続き、航路啓開作業及び海域地形測量実施
8/23	公共岸壁(-4.5m以上)13バースが解放(一部暫定)

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15日～	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19日～	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14日～	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16日～	3月21日 (燃料)	3月21日

仙台塩釜港の啓開作業



がれきの撤去状況(5/21 終了)

特徴

- 他港に比べて広域
- ナローマルチシステムとサイドスキャンソナーを使用
→広域な範囲の異常点を把握
- 起重機船4船団で作業
- 浮遊物と航路啓開を同時進行
- 漁網—20t以上を撤去
- ブイの絡まり—撤去、再設置
- 9mの位置に車両
- 漁船、ボートが多い
- 潮位、潮流により、撤去完了範囲に再度漂流物

コンテナ 335点

自動車 26点

その他 74点

参考 仙台塩釜港塩釜港区
230地点(4/18 完了)

啓開作業工程

異常点調査
水深調査

- 潜水士による車などの堆積物に人がいないかの確認
- ナローマルチ測深機による水深調査並びに、異常点の有無と座標の確認

異常点撤去

- GPSを用いて位置出し
- 潜水士による異常点の確認、玉掛け作業
- 遺体確認の場合、公安部が遺体撤去
- 各企業が起重機船による異常点撤去

事後調査
水深確認

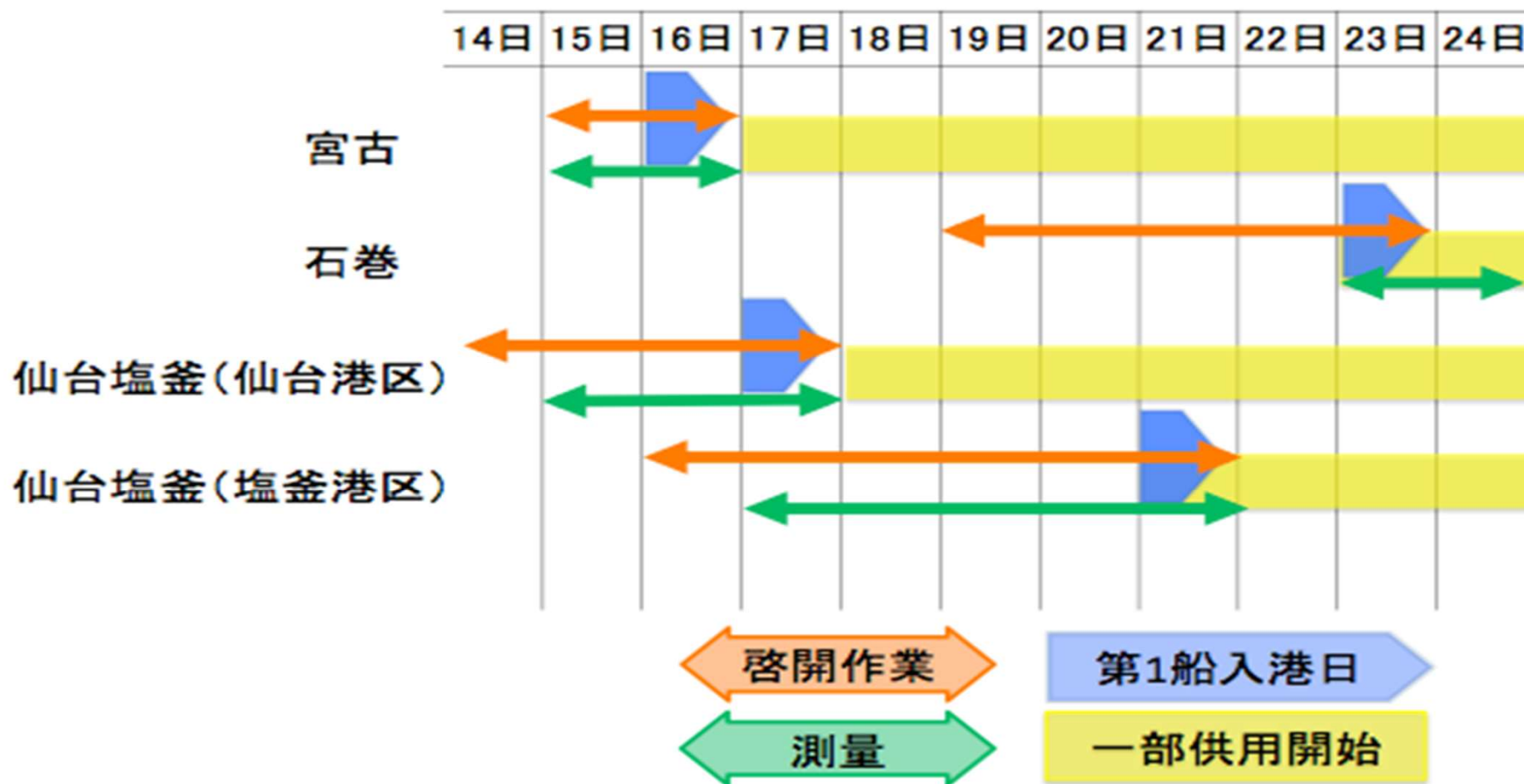
- ナローマルチ測深機による再調査

供用開始

- 緊急物資輸送船入港

海上保安庁
自衛隊
日本浚渫協会
国土交通省
各港湾局
東北地方整備局

航路啓開作業と測量の日程



前スライドの啓開作業工程に対し
 測量(異常点調査水深調査)と啓開作業(異常点撤去)が
 並行で行われているとも見て取れる。

五洋建設へのヒアリング

- 初期初動について
- 啓開作業の流れについて
- 堆積物撤去と所有者許可の関係

- 潜水士による作業と時間の関係

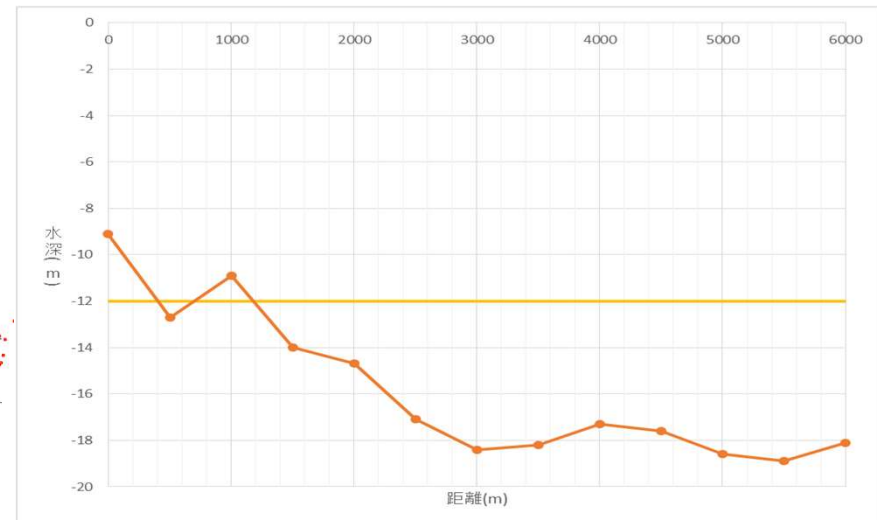
水深10m以内に比べ、水深10m以降となると、潜水士による作業効率が30%おちる。

啓開作業 異常点撤去シミュレーション

- 対象港湾: 仙台塩釜港 仙台港区
- 全異常点: 342地点 (コンテナ318個, 車24台)
- 啓開作業船団数: 4船団



(日本埋立浚渫協会)



海底水深断面図

シミュレーション概要

異常地点設定

全長6000mの航路に乱数を発生させ、
岸壁からの距離をランダムに設定する

水深の読み取り

設定した異常地点の水深を海底水深断面図から読み取る

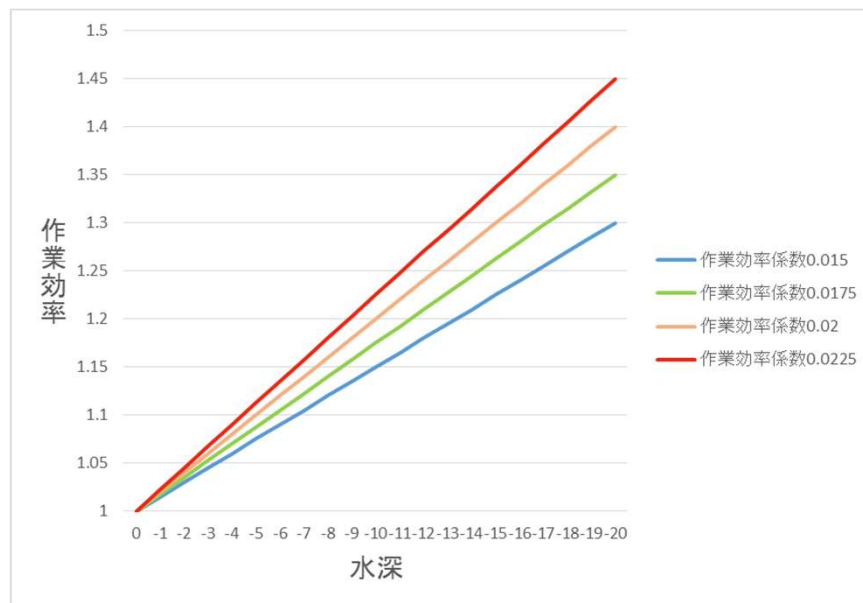
作業効率係数・水深限度の設定

作業効率係数4パターン・水深限度6パターン
計24パターンでの場合分け

作業日数の算出

24パターンの作業日数の算出
実録(異常地点)を基にした作業日数の算出

作業効率係数・水深限度の設定



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

パターン分けをすることで、
どのように作業日数に影響を与えてくるかを図る

作業日数の算出(24パターン)

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

水深限度-12mにおける作業日数比較

実録異常地点(-12m) 作業日数算出結果

水深限度-12m	0.015	0.0175	0.02	0.0225
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

水深限度-12m (/24パターン)				
所要日数	2.01	2.05	2.14	2.27

作業日数に生じた誤差

作業日数に生じた誤差は、乱数による異常点数の差
⇒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

4日/4船団という実績調査データに誤差が生まれた原因

条件設定時において作業効率を低下させる要因として
ランダム設定した異常点の水深、一日の作業時間(12時間)の仮定設定

実績日数データと シミュレーションデータ結果との比較

測量(異常点・水深調査)と啓開作業(異常点撤去)が
同時進行で行われているかの事実確認なし

同時進行 異常点撤去にかかる日数4日

作業効率係数値を増加させ
30試行分の作業日数平均値から
所要日数4日を満たす作業効率係数値を算出した

作業効率係数	所要日数(日/4船団)
0.015	2.01 +2日
~	~
0.13	3.96

作業日数	3.48	4.01	4.08
	4.49	3.9	4.04
	4.66	3.49	3.96
	3.31	4.12	3.49
(経過時間/ 1日の作業時間/ 4船団)	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

~~同時進行~~ 異常点撤去にかかる日数2日 ±0日正誤性あり

同時進行の場合における考察

所要作業日数に生じた誤差

- 作業船の作業能力記録が、実績を基にした数値ではない
- 1を基準にして設定した作業効率値でしかシミュレーションを実施していない

作業効率係数値に生じた誤差

- 一日の作業時間(12時間)の仮定設定
- 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

理想の作業日数算出方法

(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)

⇔水深の関数と同様の作業効率で日数を算出

まとめ

作業船の除去能力値の厳密化もしくは実績値のデータ取得

作業効率値のパターン分けをし、データを具現化する

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、水深の関数だけでなく、その他要因ごとの関数を用いたシミュレーションの試行

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、作業時間の設定方法・仮定方法の検討

仮定時間を12時間より・・・

短くした場合、作業日数は延びる⇒作業効率が悪くなる、作業効率係数が増加
長くした場合、作業時間は縮む⇒作業効率が良くなる、作業効率係数は減少

参考文献

- 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
- 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
- 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
- 2013年度修士論文 高知工科大大学院 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
- 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
- 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
- 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/daikibosaigaigisanpakukatuyokentoukaihokoku.pdf>
最終閲覧日 2015.11.5
- 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
- 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
- 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
- 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
- MOL Logistics ホームページ
<https://www.mol-logistics-group.com/index.html>
最終閲覧日 2015.12.1
- 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



ご清聴ありがとうございました