

巨大津波後の港湾啓開 の効率性に関する研究

計画マネジメント 皆川研究室

1481711 鈴木俊一

背景

2011年3月11日 東日本大震災 発生

巨大な津波

港湾施設の機能停止 原発事故 建物の崩壊 等

甚大な被害

迅速な港湾啓開作業

迅速な港湾啓開の
重要性

一度に大量の物資を運搬できる
⇒コストパフォーマンスが良い

大型の特殊船舶の使用
⇒より多くのがれきりや重量
物を撤去できる

津波警報による行動制限
⇒作業実施に遅れが必須

効率的な作業

迅速な対応

目的

①東日本大震災の実例
短期的なスパンにおける港湾啓開作業の実績調査

②作業効率低下の要因について
様々な仮定の下、シミュレーションにより影響度を数値化

港湾啓開における啓開作業実績

- ・ 水路測量 喫水確保 測量 応急復旧レベル ...

船舶の作業能力

- ・ 有効実績 作業内容 能力 数 ...

効率の低下度

- ・ 港湾啓開作業に与える影響

- ・ 事実情報
- ・ 事実を基にした仮説
条件

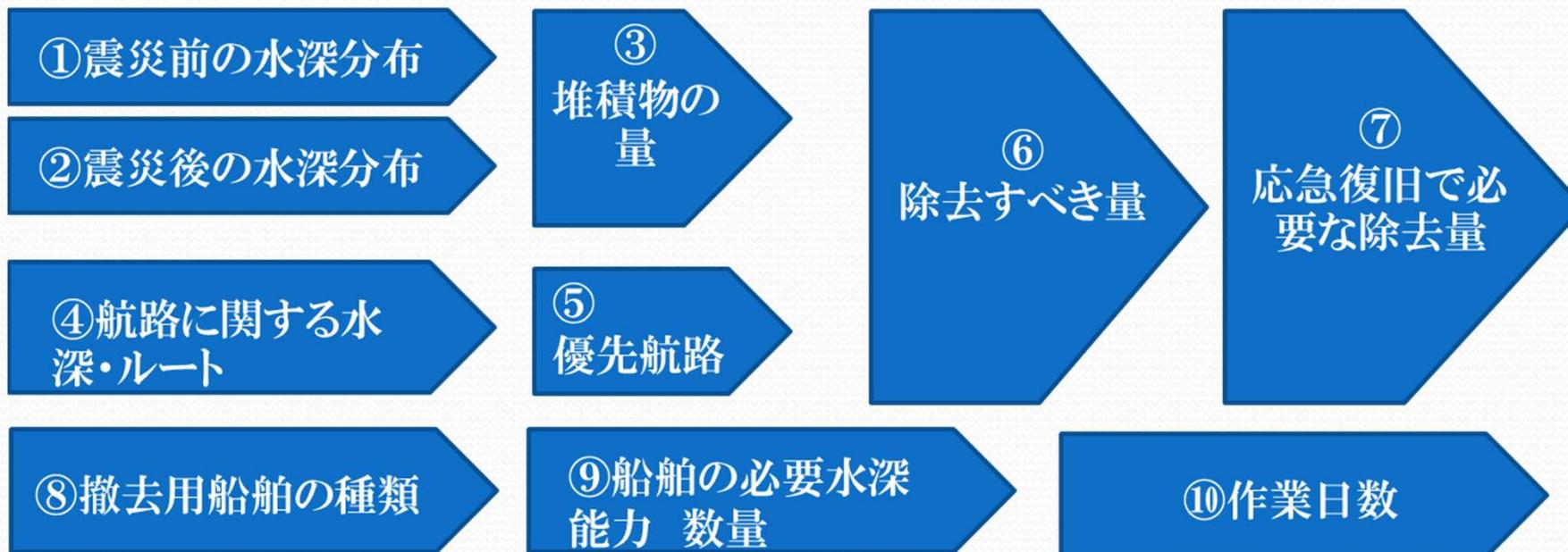
シミュレーションに反映

対象港湾の選定

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

対象港湾
仙台塩釜港
(仙台港区)



啓開作業実績

| 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 |
|-----------------|---------------|-----|---------------|-----------------|-------------|
| 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 |

| 14日 | 15日 | 16日 | 17日 | 18日 | 19日 | 20日 |
|------------|----------|-----|-----------|----------------------|-----|-----|
| ← 航路啓開作業 → | | | | | | |
| | ← 水路測量 → | | | | | |
| | | | 第1船 入港 | 一部供用開始 高松埠頭(-12m) | | |

企業へのヒアリング調査

- 水深による作業時間の変化

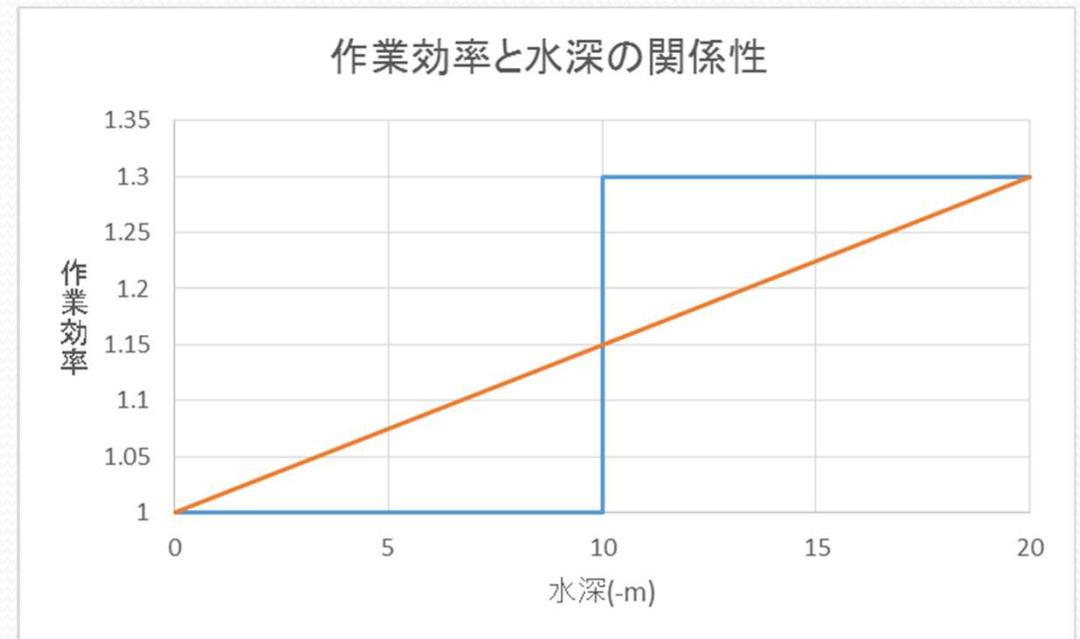
水深－10mまでは作業時間は一律

－10m以降は潜水士による作業効率が30%低下



-10mを境界とする階段状の変動になる

情報を元に、作業効率と水深の
関係性を一次関数で示す

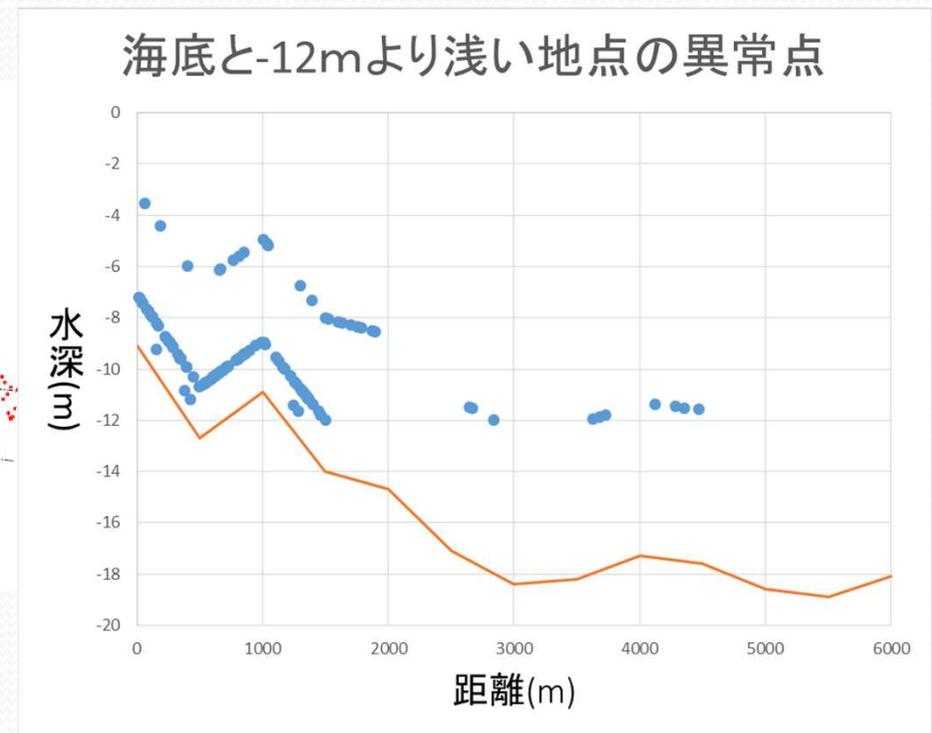


啓開作業 異常点撤去のシミュレーション

- 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



赤い点が異常点
(日本埋立浚渫協会)



海底水深断面図

シミュレーション方法

目的

ヒアリングで得た情報を元に、異常点の水深による作業時間の変動を観察

情報

- ①港湾の対象幅 岸壁から沖合6000m
6000m×乱数によって異常点をランダム発生
- ②一日の作業時間 12時間(仮定)
- ③異常点数 全342点 (高さ コンテナ2m, 車両1m)
コンテナ, 車両1つの撤去時間=1時間
- ④作業船舶数 4船団
- ⑤水深による作業低下率 ヒアリング調査より
- ⑥一部供用開始時の水深 -12m

条件

- ①一部供用開始時の水深を変更
- ②水深による作業効率の低下率を変更
- ③異常点1つあたりの撤去時間を変更

情報・条件の組み合わせにより、全24パターンの試行結果
実際の日数とシミュレーションの日数を比較し、考察

パターン分け詳細

| パターン分け | |
|--------|--------|
| 水深限度 | 8m |
| | 10m |
| | 12m |
| | 14m |
| | 16m |
| | 18m |
| 作業効率係数 | 0.015 |
| | 0.0175 |
| | 0.02 |
| | 0.0225 |
| | 0.0225 |

水深限度

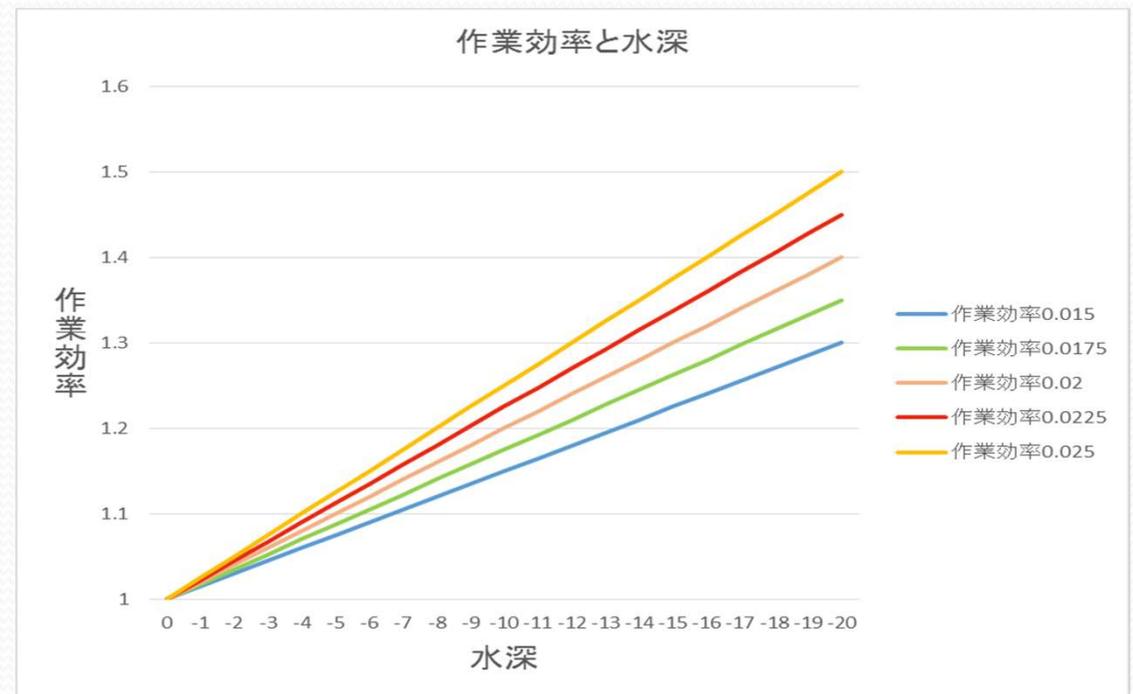
その水深より深い位置の異常点は撤去しない

作業効率直線の傾き

傾き = 作業効率係数

作業時間 = (作業効率係数 × 水深 × 撤去時間) + 1

組み合わせ(水深限度, 傾き)
 (-8m, 0.015) (-8m, 0.0175) (-8m, 0.02)
 (-8m, 0.0225)
 (-10m, 0.015) (-10m, 0.0175)
 (-10m, 0.02) (-10m, 0.0225)



実際の異常点分布による撤去結果算出

実際の異常点分布の情報と海図を照らし合わせる

条件

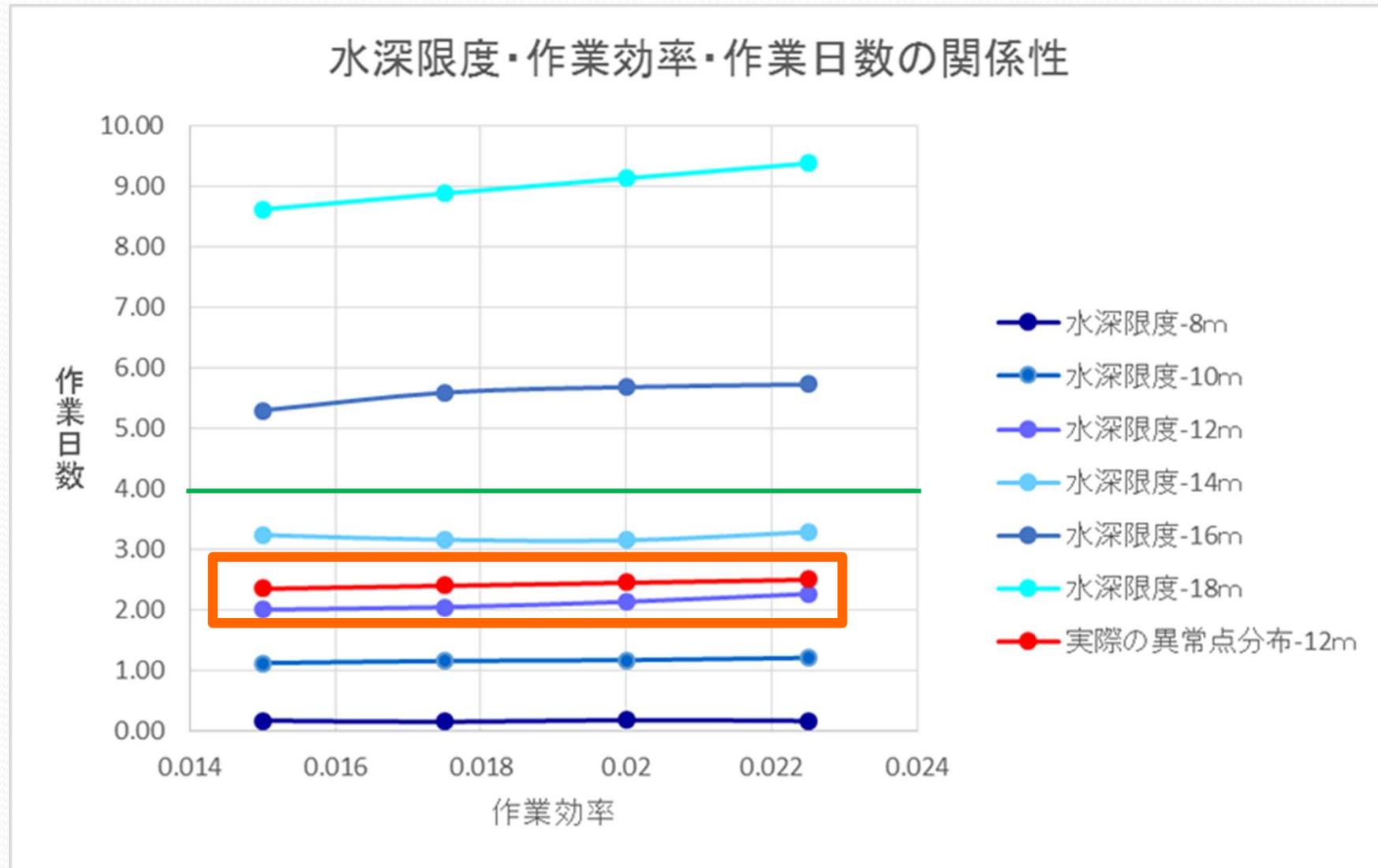
水深限度は高松埠頭一部供用開始時の-12m

海図と異常点分布から、異常点の存在深さを読み取る

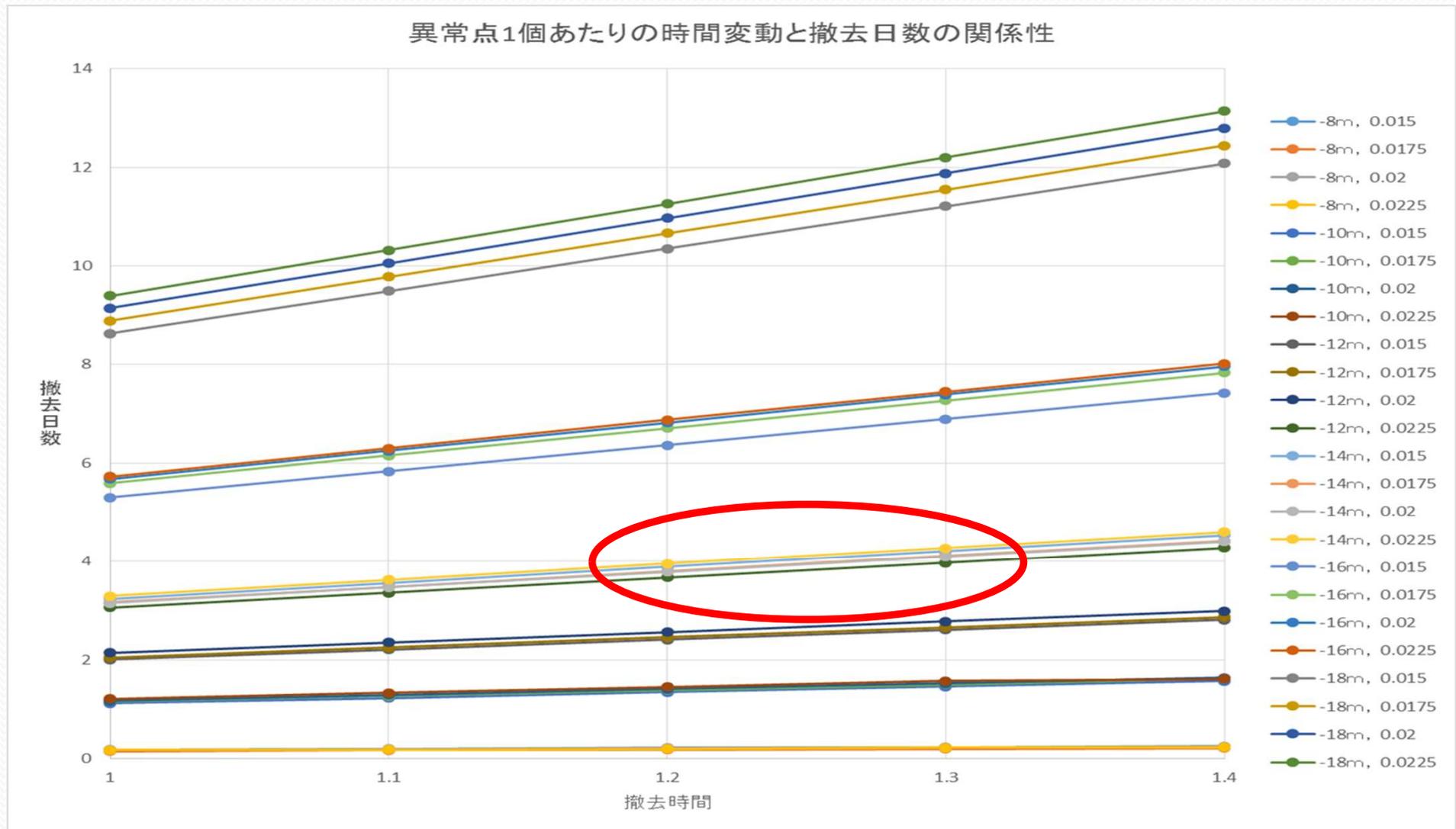
作業

作業時間 = 作業効率係数 × 深さ × 撤去時間 + 1 の数式に異常点深さを
入力

全24パターンと実際の異常点分布の 作業日数

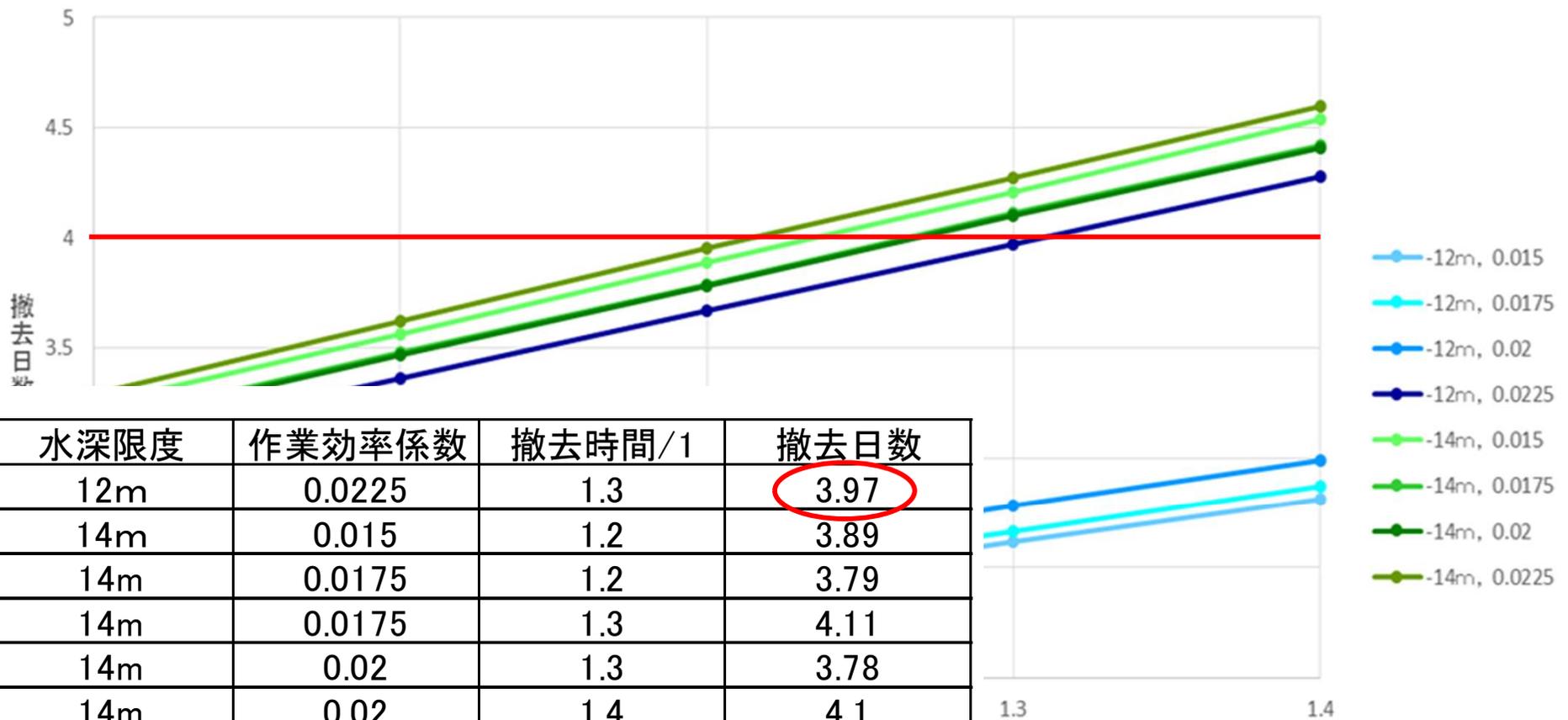


異常点の撤去時間の変動結果



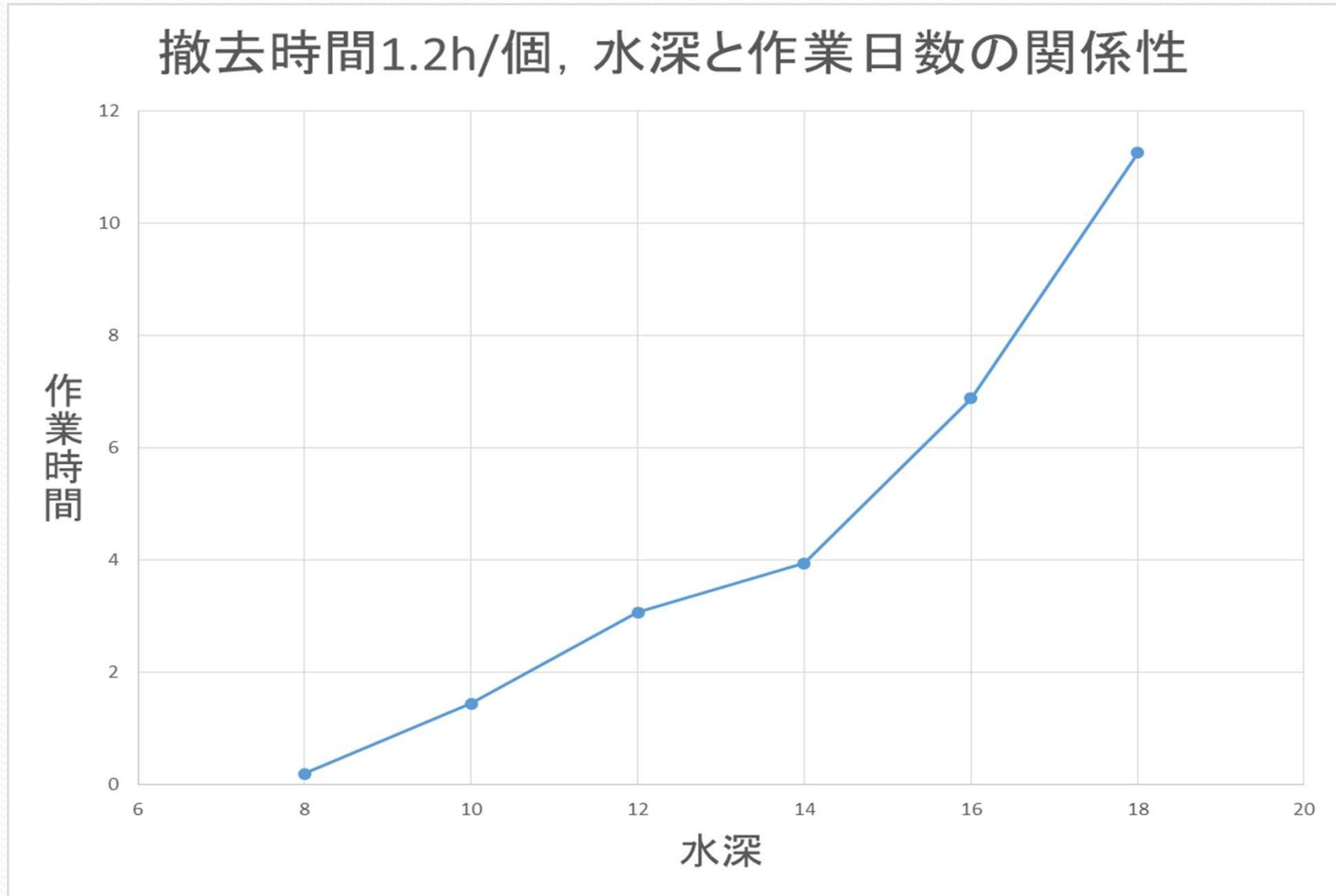
異常点の撤去時間の変動結果

異常点1個あたりの時間変動と撤去日数の関係性(一部抜粋)



| 水深限度 | 作業効率係数 | 撤去時間/1 | 撤去日数 |
|------|--------|--------|------|
| 12m | 0.0225 | 1.3 | 3.97 |
| 14m | 0.015 | 1.2 | 3.89 |
| 14m | 0.0175 | 1.2 | 3.79 |
| 14m | 0.0175 | 1.3 | 4.11 |
| 14m | 0.02 | 1.3 | 3.78 |
| 14m | 0.02 | 1.4 | 4.1 |
| 14m | 0.0225 | 1.2 | 3.95 |

水深と作業時間の関係性



結果と考察①

同条件下における実際の異常点分布と乱数による異常点分布の比較

条件 水深限度-12m, 作業効率係数「0.015」「0.0175」「0.02」「0.0225」

結果を比較すると, どの条件パターンでも誤差は±0.35日以内となった

考察

○誤差が±0.35日以内という結果から, 乱数を伴うシミュレーションとしての精度は低くない。

○水深による作業効率低下の影響のみを考えた場合(1日の作業時間=12時間)

→約2日で作業が終了する

つまり, その他要因の影響が残り約2日分ある。

結果と考察②

水深限度-12mにおけるシミュレーション結果

東日本大震災時の実績より，一部供用開始時の水深-12mの条件下
作業効率係数0.0225，異常点1つの撤去時間1.3時間の場合，**3.97日**
→実績の作業時間4日に最も近い値

考察

○水深による作業効率低下度が作業効率係数0.0225で表わされる時，水深を含む作業効率低下の全要因を踏まえると，平均で異常点1つ撤去する際に1.3時間の要することになる。

○その他要因として考えられるもの
遺体の撤去作業，陸路との連携，測量作業，車両などの所有者確認，通信障害...

結果と考察③

異常点1つあたりの撤去時間を変更した場合

水深-12mで作業効率0.0225の場合と、水深-14mで作業効率4パターンについて、作業日数4日に近い値が算出された。

考察

○水深-12m, 作業効率0.0225の場合, 異常点1つあたりの作業時間が約1.3hの時, 作業日数は4日になる。

○水深-14m, 作業効率0.0225の場合, 異常点1つあたりの作業時間が1.2h強の時, 作業日数は4日になる。

結論

- ▶ 精度の低くないシミュレーションの作成に成功した
- ▶ ヒアリング調査に基づく作業効率係数と水深限度-12m時の作業日数は約2日となった
- ▶ 異常点1つあたりの撤去時間を変動させ、実際の作業時間と同値になる条件を算出できた
- ▶ 異常点が存在する水深が深いほど、右上がりに作業時間が増加していく

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
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/seto1.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/daikibosaigaigisanpakukatuyokentoukaihokoku.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



ご清聴ありがとうございました



以下補足資料

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

港湾啓開作業実施上のポイント

1. 指揮命令系統の確立

- ・ 誰から指示を受けるのか
- ・ 誰が判断するのか
- ・ バックアップ組織は？

2. 啓開岸壁の明確化

- ・ どの岸壁に向かって啓開するのか？

3. 作業船舶の調達

- ・ 船舶の調達
- ・ 燃料の確保
- ・ 作業員宿舎の確保
- ・ 食料の確保

4. 資機材調達・その他

- ・ 通信手段の確保
- ・ 陸上物資輸送
- ・ 建設重機、車両の調達

ヒアリング

- **水深による作業時間の変化**

水深－10mまでは作業時間は一律。－10m以降は潜水士が潜る時間が30%程度伸びる

- **作業効率について**

各船舶に一日どれだけの物を撤去できるかの能力はあるが、撤去したものを陸のルートで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、海上での作業も滞る。

- **車両(所有物)の引き上げについて**

車両に遺体があった場合、遺体回収してからでないとも車両を引き上げられない。

遺体が見つかった場合、保安部(警察や海上保安庁)が作業。その後、業者が車両を引き上げ。

また、車両などは所有物であるため、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。確認作業は役所が行う。

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
- 深淺測量
- 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

作業船の必要水深

啓開作業に従事した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 | 2 |

※実際に啓開作業に従事した船舶の一部を抜粋

喫水の浅い小型船舶の早期出港が早期啓開のカギとなる

異常点撤去の実績

コンテナ 318点

自動車 24点

その他 74点

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

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 |

全24パターンの結果

| 水深限度-8m | | 作業時間 | | 作業日数 (4船団) | 水深限度-10m | | 作業時間 | | 作業日数 (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 | | 作業時間 | | 作業日数 (4船団) | 水深限度-14m | | 作業時間 | | 作業日数 (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 | | 作業時間 | | 作業日数 (4船団) | 水深限度-18m | | 作業時間 | | 作業日数 (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 |

実際の異常点分布における作業日数

| 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 | 113.004 | 115.338 | 117.672 | 120.006 |
| 分散 | 0.00015525 | 0.000211312 | 0.000276 | 0.000349312 |
| 作業日数(4船団) | 2.35 | 2.40 | 2.45 | 2.50 |

実際の異常点分布と 同条件下のシミュレーションの比較

シミュレーション結果

| 水深限度-12m | | 作業時間 | | 作業日数 (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 |

| 結果の差 | |
|--------|-------|
| 0.015 | 0.34日 |
| 0.0175 | 0.35日 |
| 0.02 | 0.21日 |
| 0.0225 | 0.23日 |

実際の異常点分布による結果

| 水深限度-12m | | 作業時間 | | 作業日数 (4船団) |
|----------|--------|--------|------|---------------|
| | | 平均 | 分散 | |
| 作業 効率 | 0.015 | 113.00 | 0.00 | 2.35 |
| | 0.0175 | 115.34 | 0.00 | 2.40 |
| | 0.02 | 117.67 | 0.00 | 2.45 |
| | 0.0225 | 120.00 | 0.00 | 2.50 |

結果の大小
シミュレーション < 実際の異常点分布