

# 敦賀港浚渫工事における現場制約条件下での 冬期施工に関する課題解決の取組について

田中 和彦<sup>1</sup>・安野 浩正<sup>1</sup>・篠田 凌太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>敦賀港湾事務所 保全課 (〒914-0065 住所 敦賀市松栄町7-28 敦賀地方合同庁舎3階 )

敦賀港鞠山南地区における内航RORO船（九州航路）の大型化に対応するため、岸壁(-9m)（耐震）整備事業において、作業ヤードの制限や浚渫土砂の受入条件による固化改良の実施、冬期風浪や降雪に伴う影響による浚渫作業及び浚渫土砂の陸上運搬に伴う制限等に関する、課題解決に向けた取組の事例について報告する。

キーワード 浚渫、固化改良、ICT、冬期施工

## 1. はじめに

### (1) 敦賀港の概要

敦賀港は、敦賀湾の奥部に位置する重要港湾であり、国際コンテナ、国際RORO船航路の寄港地となっており、福井県の国際物流拠点として機能している。また、北海道・九州方面へのフェリー、RORO船航路の寄港地であることから、敦賀港の背後圏は北陸・関西・中京圏にわたり、国内物流拠点としても重要な役割を担っている。

鞠山北地区には石炭火力発電所が立地し、福井県はもとより石川県・富山県へ電力を供給し、隣接してセメント工場が立地しており、国内外に供給している。

敦賀港の背後には、バイオマス発電所も立地しており、燃料としての木材チップも取り扱っている。

本稿では、敦賀港浚渫工事における現場制約条件及び冬期施工による制限での課題解決に向け、ICT施工や三次元データを用いた取組について報告する。（図-1）



図-1 敦賀港平面図

### (2) 整備事業の概要

内航RORO船（敦賀-博多航路）の大型化に対応するとともに、ユニットロード貨物を鞠山南地区に集約し、ふ頭再編を行う。また、耐震強化岸壁として整備することにより、サプライチェーンの強靭化及び災害対応力の強化を図るため、水深9mの岸壁（耐震）220mと背後用地を新たに造成し、ふ頭用地48,000m<sup>2</sup>の整備を行う。

なお、岸壁法線（水際線）から50mの背後用地（港湾施設用地）は国が、それ以降は港湾管理者がふ頭用地の埋立造成を行う。（図-2）



図-2 整備事業の概要について

本事業完了後には、内航RORO船（北海道航路）と大型化する内航RORO船（九州航路）との接続貨物の荷役作業が効率化し、輸送コストの削減が図られることで、北海道-九州間を最速でつなぐ日本海側における海上輸送網が強化される。

また、外航RORO船の貨物も集約することで背後企業の競争力強化及び国内外への安定的な供給が可能となる。さらに、災害発生時においても耐震強化岸壁を活用した海上輸送が可能となり、社会・経済活動が維持されるとともに緊急物資輸送も可能となることで、地域の安全・安心を確保することが期待される。

### (3) 整備施設の構造

主要施設である水深9m岸壁(耐震)の施設延長は、250.0 m (うち取付部30.0 m) である。本岸壁は、港内静穏度に極力影響を与えない構造とする必要がある。

比較検討の結果、PC桟橋式、ジャケット桟橋式を比較し、隣接するケーソン式岸壁との境界位置に土留めが必要となることやCDM改良地盤に先行掘削を行い、杭の打設も不要となる点や経済性を踏まえて、岸壁の構造形式は重力式 (スリットケーソン式) を採用した。(図-3)

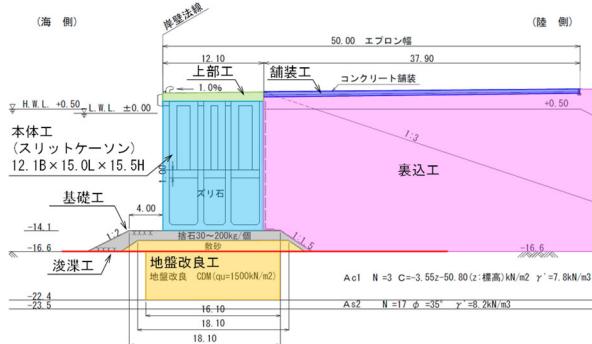


図-3 水深9m岸壁(耐震) 標準断面図

## 2. 工事概要

本事業の整備区域は第2次世界大戦時の機雷投下区域であり、現地施工前に磁気探査を行ったが、当該区域は機雷の潜り込み深度が大きかったため、施工を行う前に探査が必要であることが判明した。再度探査を実施するに当たり、1回目の磁気探査完了後に現地盤の浚渫作業（施工水深 -16.3 m、法勾配 1:2、浚渫土量 13,085 m<sup>3</sup>）を実施した。(図-4)

浚渫した土砂については、粘性土のため固化改良を行い改良した土砂を処分場及び土砂仮置場まで運搬した。

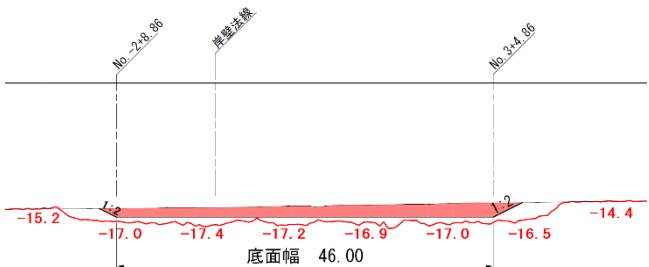
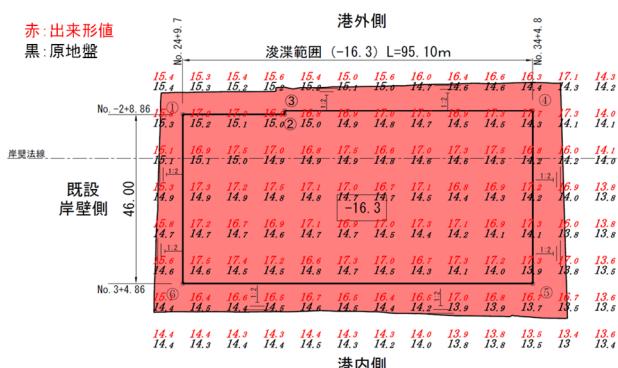


図-4 浚渫範囲平面図・断面図

## 3. 浚渫工事における現場制約条件及び課題

### (1) 浚渫作業での課題

浚渫工事を施工していく中で、敦賀港周辺は作業用地が少なく、発注時点で発生した浚渫土砂を揚土する場所の確保が課題であった。

2023年11月に鞠山南地区 岸壁(水深14 m)の供用が開始し、内航RORO船(北海道航路)が鞠山北地区から鞠山南地区へ移転することとなり、移転後の跡地は一時的に利用者がいない状況であった。このため、港湾関係者と調整を行い鞠山北地区のふ頭用地を作業ヤードとして利用することが可能となったが、内航RORO船の移転が2024年8月に完了し、その後ヤードの原型復旧作業が10月に完了したため10月以降の着手となつた。

また、2025年度からは港湾荷役が予定されていたため、浚渫工事でふ頭用地を作業ヤードとして利用できる期間は2024年10月から2025年3月迄であるため、5ヶ月間で工事を完了させる必要があった。

加えて、本工事は作業ヤードの使用時期の関係から浚渫作業及び土砂の搬出作業が冬期にかかる工事であり、風浪の影響による海上作業の中止、降雪の影響による作業ヤードの除雪対応や土砂搬出の際の制限が発生した。(図-5)

また、当該施工区域は船舶が頻繁に航行する箇所であるため、浚渫船及び土運船の曳航とセメント船や石炭船の入出港が重なる際にも、作業の中止が発生した。

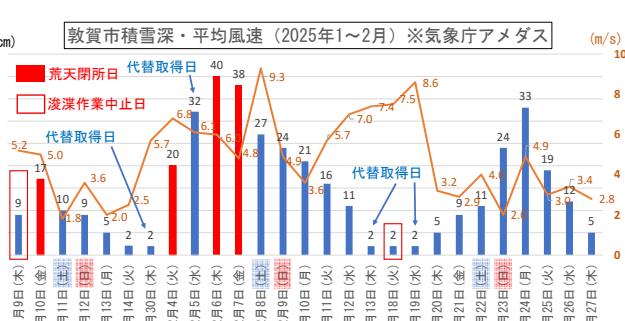


図-5 冬期間の積雪深・平均風速状況

## (2) 土砂搬出に関する課題

本工事では浚渫した土砂を処分する計画であるが、敦賀市周辺にある処分場では、土砂受入後に整地作業を行うため、軟弱土(コーン指数300 kN/m<sup>2</sup>未満)及び木くず・紙くず等産業廃棄物が混入する土砂の受入が不可能であり、浚渫した土砂については、固化改良及び混入物の除去を実施する必要があった。

また、浚渫土砂の処分を進める中で、降雪の影響による処分場内の除雪作業や処分場までの山道でスリップが発生する恐れがあるため車両の通行制限により、処分場が土砂の受入を2月4日から2月16日の期間中止した。そのため、2月17日から受入が再開した場合においても、降雪による受入先からの台数制限や車両の通行制限が設けられると、工期内の施工が難しくなることから受入用地の確保が必要となった。(図-6)



図-6 処分場の積雪状況

## 4. 課題解決に向けた取組

浚渫土砂の受入条件や作業時の現場条件等に関する課題解決の取組内容については、以下のとおりである。

### (1) 浚渫土砂の受入に向けた取組

処分場の土砂受入条件について、軟弱土(コーン指数300kN/m<sup>2</sup>未満)の受入ができないことから、室内配合試験にて固化材添加量を40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, 120 kg/m<sup>3</sup>, 180 kg/m<sup>3</sup>の4種類で検討を行った。

固化材添加量については、最低値が50 kg/m<sup>3</sup>であるが、相関関係を確認するために40 kg/m<sup>3</sup>を追加した。

試験を行うにあたり、当初想定していた「締固めた土のコーン指数試験」では、福井県内及び隣県に対応できる設備を有している試験場が無いことから「土の一軸圧縮試験」に試験内容を変更することとした。

今回の必要改良強度は、コーン指数( $q_c$ )300 kN/m<sup>2</sup>以上であり、必要とされる一軸圧縮強度( $q_u'$ )は次の式(1a)より、60 kN/m<sup>2</sup>となる。<sup>①</sup>

算出した一軸圧縮強度( $q_u'$ )について、現場添加量は、固化材の添加方法及び施工機械により混合度合の相違があるため、算出した強度に対して(現場/室内)強さ比、を用いて決定することとした。

今回用いる(現場/室内)強さ比は、本工事で施工機械に自走式土質改良機を使用することから(0.7~0.9)が適用され、今回の試験では中間値である(0.8)を採用して算出することとした。<sup>②</sup>

次の式(1b)より、室内配合目標強度( $q_u$ )を75 kN/m<sup>2</sup>とした。(図-7)

$$q_c = 5q_u' \quad (1a)$$

$$q_u = q_u' / 0.8 \quad (1b)$$

固化材添加量 — 一軸圧縮強度関係図

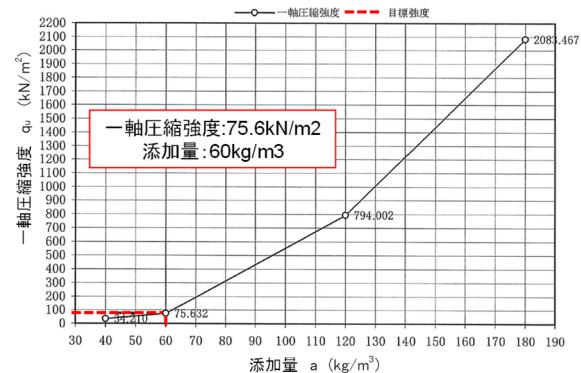


図-7 室内配合試験結果

各添加量で検討を行った結果、添加量60 kg/m<sup>3</sup>で目標強度の75 kN/m<sup>2</sup>が確保されたため、固化材添加量を60 kg/m<sup>3</sup>として受入条件の強度を確保するよう作業を行った。

また、木くず・紙くず等産業廃棄物の混入する土砂に関する制限については、スケルトンバケットによる混入物の除去を実施することにより、並行して作業を行うことができたため、遅滞なく土砂改良作業を進めることができた。(図-8)



図-8 浚渫土砂改良状況

## (2) ICT活用による取組

### a) 浚渫作業時における取組

浚渫作業については、水中での作業のため、グラブバケットの状態や水深の確認が難しいほか、降雪等の荒天による影響により、視界の悪い中での作業であった。

このため、「グラブ位置・開閉状態可視化機能」を活用することとした。

本機能は、3D作業船位置管理支援システムに付加することで、浚渫船やグラブバケットの位置だけでなく、リアルタイムにグラブバケットの開閉状態を確認できることやグラブバケットの鉛直方向の位置情報が可視化されたことにより、目標水深までの浚渫作業が分かりやすくなった。

また、3D作業船位置管理支援システムと併用することにより、浚渫した箇所が水深に合わせて着色されていくため、浚渫作業の進捗確認やモニター上で掘り残しの有無を確認することが可能となった。

これにより、水中の作業や降雪等による視界が悪い場合においても、グラブバケットの状態や浚渫状況が可視化された事により、出来形が確保され確実に作業完了する事ができた。(図-9)

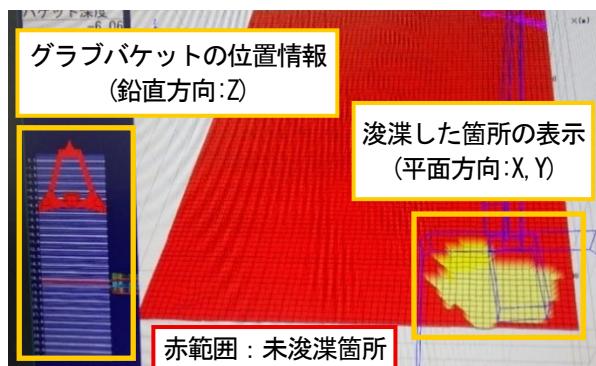


図-9 ICT活用状況

### b) 測量作業時における取組

浚渫作業前の起工測量及び作業完了後の出来形測量では、ナローマルチビームを使用した。

従来の音響測深機による方法では測量したデータの表示が断面でのみ表示されるため、掘残しがあった場合でもおおよその位置を把握できるのみであった。

今回ナローマルチビームを使用したことにより、測量した範囲が3次元モデルで表示されるため、従来の方法よりも正確な位置や深度を把握することができ、出来形の確認を行う上で効果的であった。

搬出された浚渫土砂及び流用土砂については、搬出数量を把握するため早急に測量を行い土量算出する必要があったが、従来の平均断面積法による算出では、時間と労力を費やす必要があった。

以上を踏まえて、今回の測量ではUAV（無人航空機）

を使用した空撮測量を実施した。(図-10)

空撮測量を実施した結果、測量日数が0.5日/箇所×2箇所、土量算出作業が0.5日/箇所×2箇所の計2日間で搬出数量を算出することが可能となった。

これらの取組により、測量を実施する際の作業量の省略化や作業時間の短縮を図った。

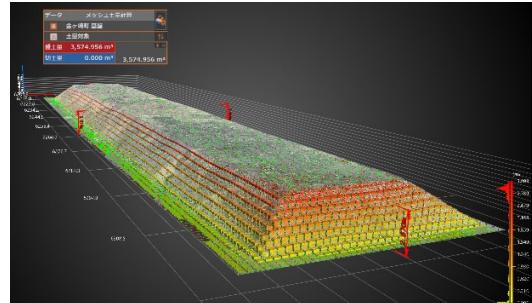


図-10 UAVを使用した土量算出

### (3) 関係者調整による運搬先の確保

2月4日からの土砂受入中止により、新たな受入用地の確保が必要となった。

実施した対応としては、敦賀市内及び周辺の市町村の土砂処分場にヒアリングを行い受入可能な処分場の確認を実施した。ヒアリングの結果、許容量に制限があることや改良土の受入不可という回答があったため、敦賀市内で土砂の搬出が可能な土地を検討し、土砂を仮置できる場所の確認を行った。

近隣で仮置が可能と思われる土地を検討したところ、民有地での利用が可能であることが判明し、所有者と調整を行い土地を確保することができた。(図-11)

以上の対応により、土砂受入の中止や台数の制限が無くなり、工事を進めることができた。



図-11 土砂搬出先位置図

## 5. 課題解決のための取組の評価

本工事の確実な年度内の完成を目指し、以上の取組を行った。取組別の評価は以下のとおりである。

### (1) 浚渫土砂の受入に向けた取組の実施について

浚渫土砂の固化材添加量を検討し固化改良を実施することにより、処分場の受入条件を満足し搬出が可能となった。また、スケルトンバケットを使用することにより混入物を除去することができ、円滑に改良作業を進める上で効果的であった。

### (2) ICT活用による取組について

ICTを活用した取組を実施したことにより、作業時間の短縮や作業量の省略化を行うことができたため、工期短縮及び生産性の向上に繋がることが確認できた。

### (3) 関係者調整による運搬先の確保について

敦賀市内外周辺の土砂処分場へのヒアリング及び関係者との調整を行い、土砂の仮置場所を確保したことにより、工期内に作業を全て完了できた。

改良土砂の搬出作業については、作業ヤードの使用期限があったため、追加で土砂仮置場を確保することにより、工期内の作業完了及び利用者へふ頭用地を引き渡すことができ、港湾荷役に支障が無く効果的であった。

## 6. まとめ

敦賀港浚渫工事における浚渫作業での課題や土砂搬出に関する課題に対して、ICT及び3次元データを活用することにより、少人数での効率的な作業の実施やより正確性のあるデータを用いて作業を進めることができた。これにより、全体として生産性の向上に効果的であったことが確認できた。

また、冬期施工のため風浪・降雪等の影響を受けることから、気象・海象情報を毎日確認し作業を進めていた。その結果、荒天時には荒天閉所日として天候の良い別日に振替作業を行うことができたため、休日確保の取組に効果的であり、働き方改革に繋がることが確認できた。

上記の課題に対する取組により、事故無く工期内に工事を完了することができた。

**謝辞**：本論文をとりまとめるにあたり、本工事に関わった全ての工事関係者の皆様には感謝と尊敬の意を申し上げます。

## 参考文献

- 1) (公社) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説
- 2) (一社) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル