

# 「見えない岩盤を見て掘る」砕岩浚渫について ～日高港泊地浚渫～

藤本 瑛治<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 海岸課 (〒640-8404和歌山市湊薬種畑の坪1334)

和歌山県の日高港では、海底地形探知ソナー施工管理システムを活用した砕岩浚渫を行っている。砕岩浚渫は砕岩と浚渫を繰り返すため非常に時間がかかり、かつ海底面が岩盤であるため精度の高い出来形の確保が困難である。本システムにより海底面付近の岩盤の掘跡及び海底地形をリアルタイムに確認しながら施工を行ったことで、効率よく施工することができ、また精度の高い出来形を確保することができた。本稿ではICTを活用した砕岩浚渫の実施状況を紹介します。活用による効果及び今後の課題を考察する。

キーワード 日高港、砕岩浚渫、海底地形探知ソナー施工管理システム、ICT浚渫

## 1. はじめに

和歌山県御坊市と美浜町に位置する日高港では、地域産業の発展のため3万トン級の大型の外貿船が直接入港できるよう、平成21年度より泊地の増深（水深10m（暫定）→水深12m）を行っている（図-1）。令和3年度においても日高港泊地の浚渫を行った。

日高港泊地の土層構成としては粘性土、砂質土、礫質土及び岩盤（軟質、中質、硬質）（図-2）であり、近畿地方では事例が少ない岩盤（硬質）の砕岩浚渫を行っている。

浚渫の施工手順は、起工測量後に硬土盤グラブを用いて粘性土、砂質土、礫質土、岩盤（軟質、中質）を浚渫する。岩盤（中質）までの浚渫が完了し硬土盤グラブで浚渫ができなくなった後、砕岩棒を海底面に自由落下させ海底の岩盤（硬質）を破碎し、硬土盤グラブによる砕岩後浚渫を実施する（図-3）。令和3年度の浚渫工事においては、スパット式グラブ浚渫船（硬土盤用、ヘビー級9m3級）及び砕岩棒（重量50t）を使用した（図-4）。

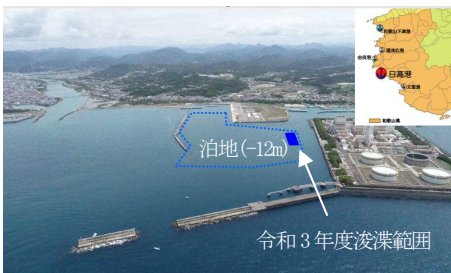


図-1 日高港上空写真

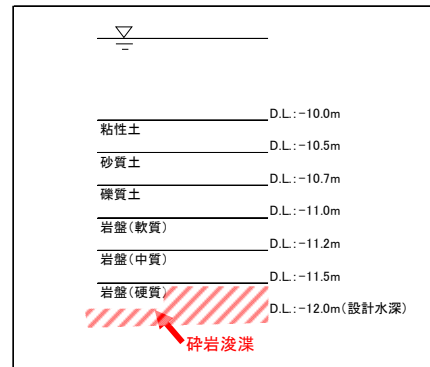


図-2 日高港の土層構成模式図

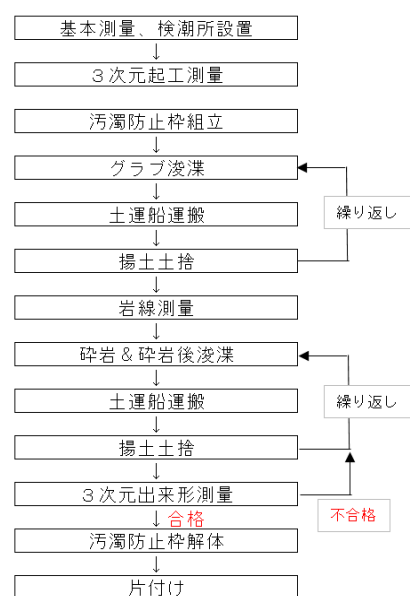


図-3 浚渫工事の施工フロー

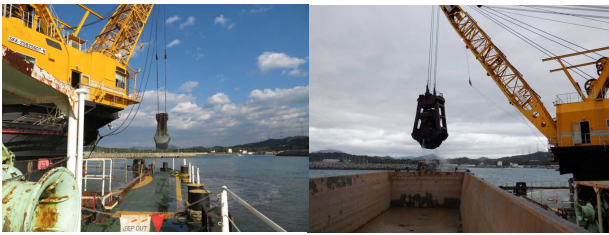


図4 砕岩（左）と砕岩後浚渫（右）の状況

砕岩浚渫においては、岩盤（硬質）の砕岩作業及び砕岩棒と硬土盤グラブの付け替えに時間がかかるなど、実作業以外の部分で工程遅延の原因となる作業を含んでいる。また、砕岩した岩盤（硬質）は1つ1つが大きな岩塊となることから、設計水深に対する精度の高い出来形の確保が難しい（図-5）。そのため、海底状況を常に確認し計画的かつ効率的に浚渫することが、工程遅延の防止及び出来形精度の確保において重要となる。

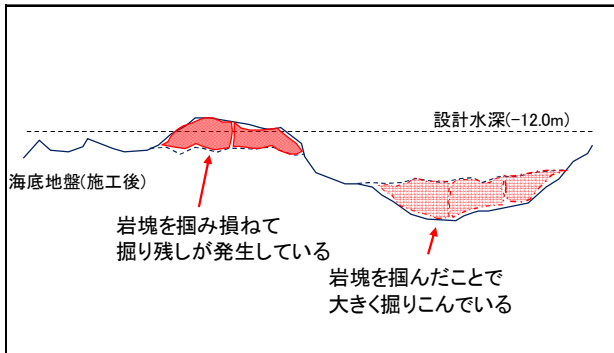


図-5 砕岩浚渫における出来形確保に対する課題

## 2. 砕岩浚渫におけるICTの活用

近年、国土交通省では土木の建設現場での働き方改革や今後のさらなる労働力不足に対し、生産性の向上や企業の経営環境の改善、安全性の確保を図るため、「ICTの全面的な活用」に向けてICTを建設現場へ円滑に導入し、その普及を図るための取り組みを推進している。そのうち、浚渫工事においてもICTの全面的な活用を進めているところである<sup>1)</sup>。

日高港泊地浚渫においては砕岩浚渫の施工効率化を目的として、ICTの1つである海底地形探知ソナー施工管理システムを使用した。海底地形探知ソナー施工管理システムとは、港湾や河川の浚渫（床掘）工事におけるグラブ浚渫（床掘）工において、マルチビームソナー（送受波器）を活用することで海底形状を測深し、浚渫（床掘）精度を上げることを目的とする施工管理システムである（図-6）。従来はレッドを用いて1点

ごとに施工中の海底水深を確認していたが、本システムを用いることによって、浚渫作業中に作業範囲内の海底地盤の形状を面的に確認することが可能となる。また、操舵室にGPS施工管理装置も装備されているため、マルチビームソナーによる測深結果と同時に船体位置や掘削位置を確認することが可能である。

本システムの適用範囲を表-1に示す。浚渫船に装備する形式であり、船底あるいは船首に送受波器を設置し、送受波器の設置位置から計測画面を表示するブリッジ（操舵室）等に、電気信号を伝送するケーブルを敷設することで使用することが可能となる<sup>2)</sup>（図-7）。

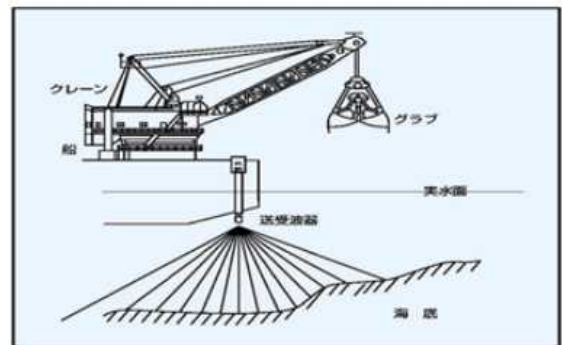


図-6 海底地形探知ソナー施工管理システムのイメージ

表-1 海底地形探知ソナー施工管理システムの適用範囲

①適用可能な範囲
グラブ浚渫船等において、送受波器の装備位置から水深3m～30m
送受波器を装備した位置から、俯仰（垂直方向） $\pm 90$ 度、旋回（水平方向） $\pm 120$ 度の範囲方向に障害物がないこと。
送受波器の装備位置にて、水圧 5気圧以下であること。
②特に効果の高い適用範囲
測深の距離分解能1cmであるため、浚渫（床掘）工における測深精度が期待できるため、高い深度管理を求められる工事。
水温計による音速補正をリアルタイムで実施するため、水温変化のある水域での工事。
③適用できない範囲
気泡及び濁り濃度の高い水域での作業。
上記以外の水深における測深。
送受波器の装備箇所が振動、衝撃のひどい場所。

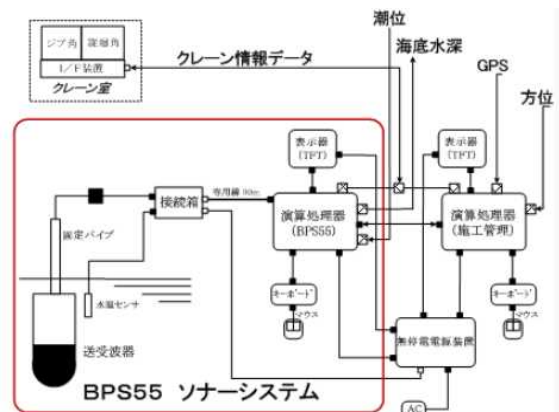


図-7 ソナーシステム図

### 3. ICTの活用による効果

海底地形探知ソナー施工管理システムを用いて設計水深(-12m)付近の浚渫掘跡及び水深を常に確認しながら施工を行ったところ、砕岩浚渫時の法面部の砕岩及び仕上げ掘りにおいて顕著に効果を発揮することが確認された。

#### (1) 仕上げ掘り施工における効率化

水深(-12m)付近の岩盤(硬質)の仕上げ掘りを行う際の、海底地形探知ソナー施工管理システムの画面表示を図-8に示す。送受波器の位置を中心に浚渫作業範囲の海底地盤面が赤く表示される。また、マルチビームソナーから発射される音波の俯仰角及び旋回角を、施工者の操作により自由に変えることが可能であり、海底地盤の各地点を自由に確認することができる。また、設計水深や余掘水深、グラブ位置を同一画面上に表示することが可能である。

広い施工範囲において計画水深-12mを確保するために、砕岩後の硬岩の大きさ(砕岩により浚渫した硬岩は大きいもので1辺1m程(図-9))や硬土盤グラブの爪長(約40cm)等を考慮し、本浚渫では目標水深-12.5mと設定し浚渫を行った。

また、浚渫時の掘跡履歴状況の画面表示を図-10に示す。施工範囲や現在の浚渫船・汚濁防止枠・グラブの位置、クレーンの旋回角度に加え、以前に掘削した箇所を日ごとに表示し確認することができる。

底面の砕岩については、過年度工事での施工実績から、砕岩棒の落下地点がおおよそ2~3mピッチとなるよう計画を立て、落下地点を画面上に表示し確認しながら砕岩を行った。



図-9 岩盤(硬質)の揚土状況

加えて、グラブバケットを閉じる際にワイヤーを自動で調整し掘り跡を平坦に仕上げる「水平制御掘削機能」を使用し、余掘り土量を減らすよう努めた。

これらの結果、計画的に砕岩及び浚渫を行うことが可能となり、設計水深に対して過剰な余掘りが発生させることなく、かつ本システムの画面上で掘り残し箇所を随時確認したことにより、水路測量(出来形深淺測量)後の手戻り(再浚渫)を防止することができた。特に海底地盤が岩盤の場合は、硬土盤グラブが付近の岩塊を引き起こすことで海底面に起伏を生じる場合があり、しばしば出来形測量後に再浚渫が必要となる場合があるが、本システムにより海底地盤をリアルタイムで可視化・確認して施工することで、手戻りの防止を図ることができた等、底面部の仕上げ掘りにおいてICTを活用するメリットは非常に大きかったといえる。

一方で、マルチビームソナーから発射される音波の俯仰角及び旋回角を施工者の手動で操作しており、施工の効率化に対して改善の余地があると考える。

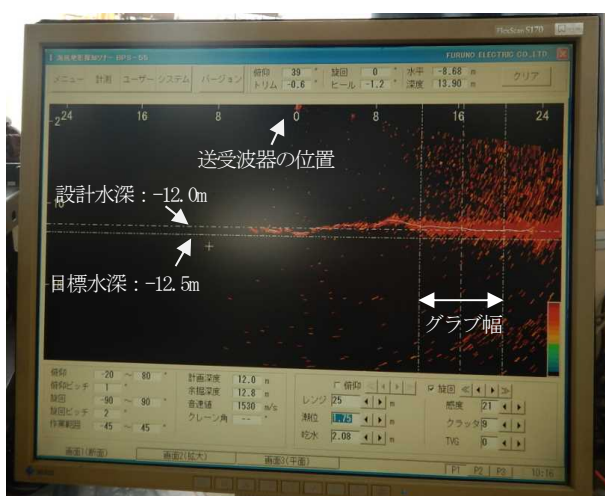


図-8 仕上げ掘り状況

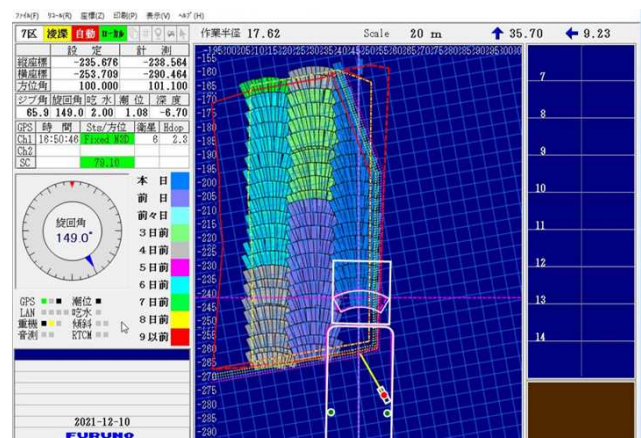


図-10 浚渫の掘跡履歴



(2) 法面の砕岩における効率化

施工箇所の法面（岩盤の法面勾配 1:1）の施工では、砕岩棒の幅（約 1.5m）を考慮し、1~1.5m ピッチで砕岩するよう砕岩棒の落下地点の計画を立てた（図-11）。その後、法尻から法肩に向けて砕岩を行った。底面の砕岩については、砕岩の状況をシステムの画面で判断することができず、砕岩棒の落下直後のワイヤーの緩み等から施工者が主観的に判断していたが、法面については、砕いた岩盤が法尻側に転がり、その状況をシステムの画面上で視覚的に確認することができた（図-12）。本システムを使用し、砕岩棒の落下位置及び法面の砕岩状況を視覚的に把握することにより、手戻りのない施工及び精度の高い法面部の砕岩を実施することができた（図-13）。

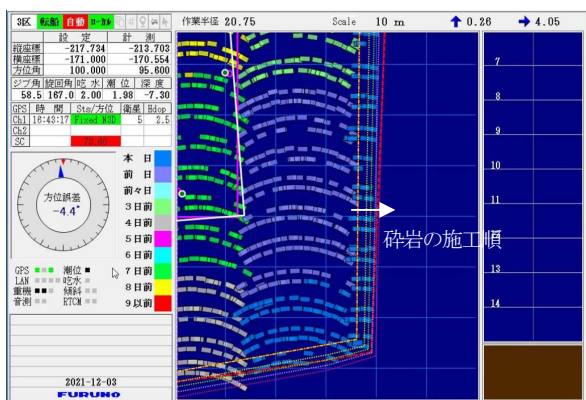


図-11 砕岩棒の落下履歴

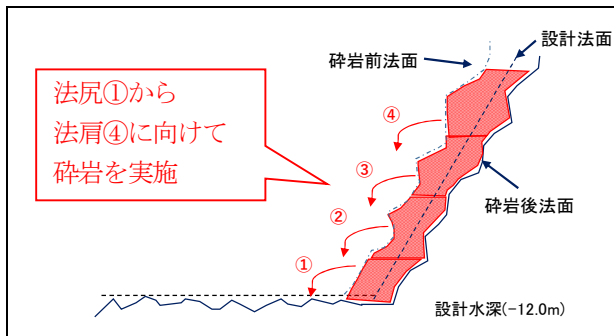


図-12 砕岩の施工順序

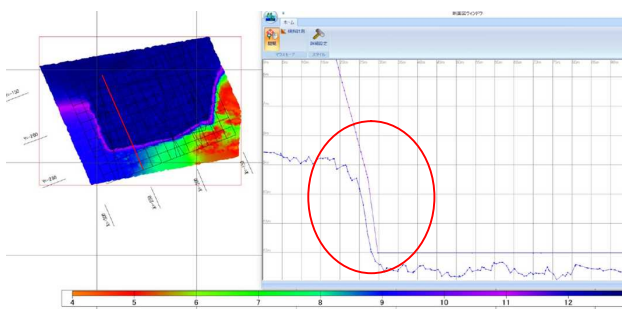


図-13 法面の出来形 (X=250)

加えて、日高港の過年度工事では1度の砕岩でおよそ1mの層厚を砕くことができていた実績から、層厚約1mごとに砕岩し浚渫を行った。施工範囲の岩線測量後の最浅値は7.6mであり、硬岩の層厚が最大4.4mであったため、計画では5回のサイクルでの施工を想定していたが、実際はグラブと砕岩棒の付け替えは4回（4回のサイクル）に抑えられた。計画より少ないサイクルで施工できたことは、本システムにより各サイクルごとに海底地盤を随時確認し、計画的に砕岩及び砕岩後浚渫を行ったことによる結果であると考えられる。

(3) 浚渫工事の出来形

令和3年度の浚渫工事における施工範囲の出来形測量結果を図-14に示す。出来形管理基準が-12.0mに対し、出来形の水路測量結果は-12.22mであり（図-15），設計浚渫土量に対する浚渫土砂処分量の比率は1.19であった。砕岩後浚渫における底面余掘りの標準的な層厚0.5mに比べ、本施工においては大きく掘りこむことなく精度よく浚渫することができた。本システムにより海底地盤をリアルタイムで確認して施工したこと及び水平制御掘削機能を活用したことによる効果といえる。

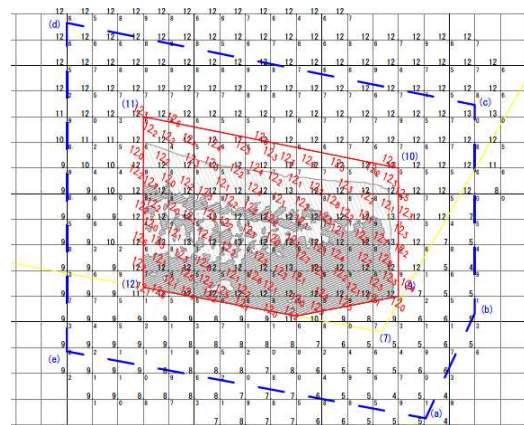


図-14 施工範囲の出来形測量結果（最浅値）（令和3年12月）

データの個数	71
平均値 (m)	-12.22
最大値 (m)	-12.00
最小値 (m)	-12.6
標準偏差	0.136

深浅値 (m)	度数 (個)	出現率 (%)	累計 (%)
-12.0	6	8.45%	8.45%
-12.1	16	22.54%	30.99%
-12.2	24	33.80%	64.79%
-12.3	15	21.13%	85.92%
-12.4	5	7.04%	92.96%
-12.5	3	4.23%	97.18%
-12.6	2	2.82%	100.00%
-12.7	0	0.00%	100.00%
-12.8	0	0.00%	100.00%
合計	71		

図-15 出来形測量深浅値管理結果

(4) 施工実績に基づくICTの活用に伴う施工の効率化

海底地形探知ソナー施工管理システムの活用による効果を定量的に検証するため、本システムを使用した令和3年度工事の実績能力を積算基準等に基づく標準的な能力と比較した。実績能力については、施工者の作業記録から硬岩浚渫にかかった作業時間と日々の浚渫土量を集計し、1日（運転時間8時間）当り能力に換算した。

施工能力の比較の結果を表-2に示す。また令和3年度工事の砕岩後浚渫の作業実績を表-3に示す。標準的な能力と比較し、仕上げ掘りを含む砕岩後浚渫能力は下回り、仕上げ掘りを含まない能力は上回る結果となった。

表-2 砕岩後浚渫の施工能力の比較

	標準的な能力	令和3年度施工実績		
		仕上げ掘りを含む能力	仕上げ掘りを含まない能力	仕上げ掘りのみの能力
1日当り浚渫 (m3/日)	669	487.8	728.4	411.4

表-3 砕岩後浚渫の作業実績 (令和3年)

砕岩後浚渫		
	浚渫量 (m3)	時間 (h)
11月12日	502	5
11月12日	919	2.5
11月15日		8
11月16日	357	3
11月17日	436	6.5
11月19日	630	4.5
11月19日	372	1
11月20日		4
11月20日	596	4.5
11月24日	150	4
12月3日	431	2.5
12月4日		8
12月6日	449	3
12月6日	398	5
12月7日		3.5
12月9日	383	8
12月10日	338	3
12月13日	481	8.5
12月14日		6
12月15日		6.5
12月10日	666	8
12月11日		2.5
12月16日		2.5
12月16日	361	3.5
12月19日		3.5
12月20日		5.5

※ハッチングは仕上げ掘り

本工事の施工範囲は岩盤の平均層厚が約1mと薄くかつ広範囲に分布していたため、仕上げ掘り（設計水深-12.0m付近の浚渫）（表-3のハッチング）の日数が多くなった。したがって仕上げ掘りを含む砕岩後浚渫能力は標準的な能力に比べ小さくなったと考える。

硬岩の固さや岩盤の厚さ、岩盤の分布状況や深度、砕岩棒やグラブの規格、揚土場所までの距離や揚土条件等、様々な条件により実施工における能力は異なるため、積算基準等に基づく標準的な能力との単純な比較はできない。しかし、本工事は4週8休を確保し工期に余裕を持って施工することができた。これは本システムを用いて海底状況を確認しながら計画的に施工した結果といえる。

4. まとめ

砕岩浚渫は、岩盤（硬質）の砕岩作業や砕岩棒と硬土盤グラブの付け替えに時間を要するため、計画的かつ効率的に作業を進めないと工程遅延を招く恐れがある。また、砕岩した岩盤（硬質）は1つ1つが大きな岩塊であることから掘り残しが発生しやすく、設計水深に対する精度の高い出来形の確保も難しい。

そこで日高港の砕岩浚渫においては、ICTの1つである海底地形探知ソナー施工管理システムを活用し、海底地盤をリアルタイムに確認しながら施工を行った。

本システムは仕上げ掘り及び法面の砕岩作業において特に効果を発揮した。その結果、4週8休を確保することができ、かつ精度の高い出来形を得ることができた。

一方で、砕岩棒による底面部の砕岩においては、砕岩棒の落下後のワイヤーの緩みや動き方を見て、砕岩状況を施工者が主観的に判断しており、法面の砕岩とは異なり本システムで砕岩状況を視覚的に確認できていない点が課題として挙げられる。また、マルチソナーの俯仰角や旋回角は施工者が手動で操作する必要があり、これらの効率化についても課題である。

これらの解決策として、砕岩時のワイヤーの緩みを自動で検知し岩盤がどれだけ砕けたかを自動判定するシステムや、水中赤外線カメラを用いて砕岩状況を常に検知するシステムの構築が挙げられる。海底面の砕岩状況を確認することができれば、効率的に砕岩浚渫を行うことができると考える。また、設計水深に満たない箇所を自動的に検出し、自動で角度を調整する仕組みを海底地形探知ソナー施工管理システムに搭載できれば、仕上げ掘り時の掘り残しをさらに減らすことができ、オペレータの作業時間を低減できると考える。

さらに、起工測量の3次元データを本システムに取り込み、施工範囲における最適な浚渫手順を自動で判断し、施工も自動で行うシステムの構築を図ることで、さらなる効率化・省力化につながると考える。

今後、生産年齢人口がますます減少することが予想されており、建設現場の生産性の向上が課題となる中、岩盤浚渫工事においてもこれらの課題を解決しさらなる生産性の向上を追求すべきである。

謝辞：本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様にご感謝を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：建設施工・建設機械：ICTの全面的な活用
- 2) 国土交通省：NETIS
- 3) 新技術情報提供システム