

# 軟泥浚渫土の有効活用に向けた検討について — 釧路港西港区島防波堤背後盛土における事例 —

釧路開発建設部 釧路港湾事務所 計画・保全課 ○山内 弘明  
石山 祐司  
大西 文雄

釧路港島防波堤は、従来の防波堤構造に背後盛土を設けることにより、本来の目的である港内静穏度向上に加え、水生生物の新たな生育環境の創出を期待するほか、堤体幅の縮小や浚渫土の有効活用による建設コスト縮減など多様な効果を期待する構造である。しかしながら、近年発生する浚渫土の性状は軟質な土砂であるため、背後盛土材として必要な土質性状の確認、固化処理材の選定や施工方法について検討する必要が生じた。本報告は検討に際して実施した現地実証実験の内容と検討結果について報告するものである。

キーワード：軟泥浚渫土、固化処理材、自然環境、リサイクル

## 1. はじめに

釧路港島防波堤は、平成10年6月、旧運輸省から直轄事業として全国初の「エコポートモデル事業」として認定され、同年に現地着工し、現在も鋭意整備中である。

本防波堤は、従来の重力式防波堤の構造に背後盛土を設けることで、本来の目的である西港区の港内静穏度の向上に加えて、主に以下の建設効果を期待している。

### (1) 堤体幅のスリム化

波力に対する滑動抵抗力となることから、防波堤の堤体幅は、背後盛土がない場合と比べると2割程度スリム化され、建設コストの縮減が図られる。

### (2) 浚渫土の有効活用

泊地浚渫に伴い大量に発生する浚渫土は、ふ頭用地の埋立材に使用するほかは陸上処分する必要があったが、背後盛土において約100万m<sup>3</sup>を盛土材として有効活用することが可能となることから、陸上処分による環境負荷の回避と処分コストの縮減が図られる。

### (3) 新たな水生生物の生育環境の創出

水深約15mの海域に浅場ができることで、これまでは生育できなかったコンブ等の海藻類が定着するとともに、藻場形成に伴い、新たな水生生物の生育環境創出が図られる。

しかしながら、近年浚渫された土砂は、当初想定していた砂質土ではなく、シルト分を多く含んだ軟泥が発生しており、背後盛土材として必要な土質性状の確認、土砂改良の際の固化処理材の選定、海域環境や経済性を考慮した施工方法などについて検討する必要が生じた。

本報告では、軟泥浚渫土を背後盛土材に使用することによって行なった設計施工の検討と、検討に際して実施した現地実証実験の内容及びその結果について報告する。

Hiroaki Yamauchi, Yuuji Ishiyama, Fumio Oonishi



写真-1 釧路港（西港区）全景

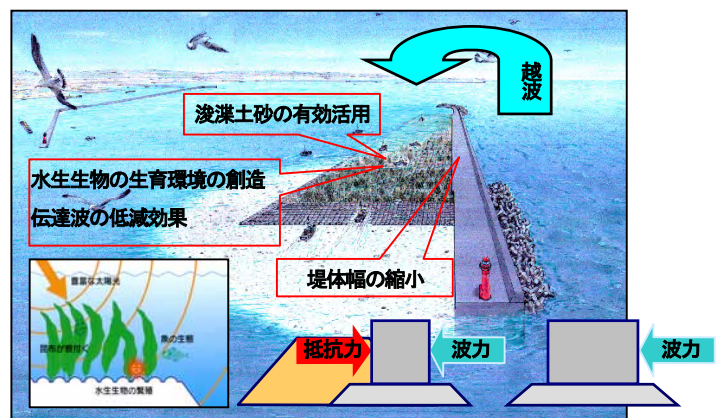


図-1 島防波堤 建設効果イメージ

## 2. 島防波堤の構造と現状

島防波堤は、計画延長2,500mのうち本体1,660m、背後盛土は藻場調査の試験施工区間として100mが完成している。図-2に島防波堤の標準断面図を示す。背後盛土の基本構造は、幅100mのうち越波した波の影響を減じる

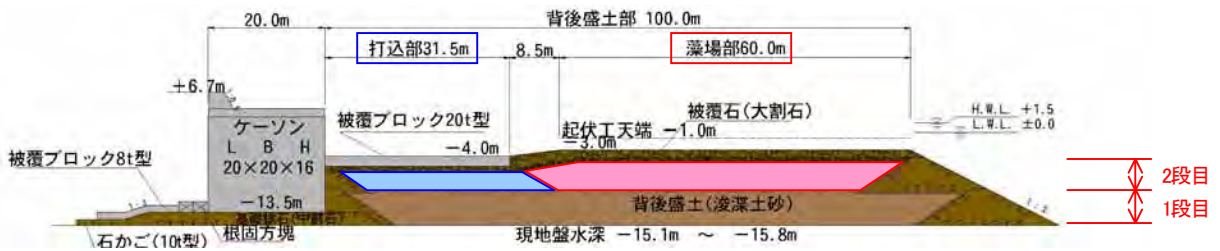


図-2 島防波堤 標準断面図

打込部31.5mと、伝達波低減効果及び藻場効果を有する藻場部60.0mに大別され、段階的な施工が可能となる2段式としている。平成21年度末時点で試験施工区間を除いては1段目の土砂投入を終え、2段目に着手したところである。平成17年度に完成した試験施工区間では、毎年継続的に藻場が形成及び維持されており、それに伴い多種多様な水生生物の生息が確認されている(写真-2)。



写真-2 試験施工区間に生息する生物

### 3. 過年度の検討経緯と結果

#### (1) 軟泥浚渫土の改良強度の設定

改良浚渫土が起伏工あるいは被覆ブロックと割石重量を支える支持地盤と想定し、その支持力から強度を設定した。支持力計算は「港湾の施設の技術上の基準・同解説(H19)P570～」に示されている「浅い基礎～粘性土地盤における基礎の支持力計算式」を用いた。その結果、改良浚渫土の必要強度は $qu=22.0(kN/m^2)$ となり、これを基に配合を検討することとした。

#### (2) 改良浚渫土の投入範囲の設定

島防波堤は、前述のとおり背後盛土の滑動抵抗力により安定性が確保され、当初設計時の想定以外の土砂を投入することにより堤体が不安定となる懸念があることから、改良浚渫土の強度を $qu=22.0(kN/m^2)$ とした場合の土砂の性状を仮定し、構造物全体の安定性を確認することで投入可能範囲の検討を行なった。

その結果を表-1に示す。支持力で設定した改良浚渫土を用いた場合、構造物の安定性が確保されないことから、滑動抵抗力として見込まれる打込部については当初設計と同等の土砂(砂質土)を投入するものとし、改良浚渫土については、藻場部2段目を投入範囲とした。

表-1 堤体の滑動安定性の検討結果

施設位置	島防波堤A部	島防波堤B部	島防波堤D部	
検討条件	完成時	完成時	完成時	
当初設計	浚渫土性状	$\gamma=10kN/m^3, \phi=32^\circ$	$\gamma=10kN/m^3, \phi=32^\circ$	$\gamma=10kN/m^3, \phi=25^\circ$
	滑動(背後盛土無)	$1.003 \geq 1.0$	$1.007 \geq 1.0$	$1.007 \geq 1.0$
	滑動(背後盛土有)	$1.429 \geq 1.2$	$1.442 \geq 1.2$	$1.323 \geq 1.2$
	滑り面傾斜角	$\theta=29^\circ$	$\theta=29^\circ$	$\theta=30^\circ$
改良処理土	浚渫土性状(上段) $\gamma=2.9kN/m^3, \phi=0^\circ$			
	浚渫土性状(下段)	$\gamma=10kN/m^3, \phi=32^\circ$	$\gamma=10kN/m^3, \phi=32^\circ$	$\gamma=10kN/m^3, \phi=25^\circ$
	滑動(背後盛土有)	$1.123 \geq 1.2$	$1.132 \geq 1.2$	$1.103 \geq 1.2$
	滑り面傾斜角	$\theta=29^\circ$	$\theta=29^\circ$	$\theta=32^\circ$

#### (3) 浚渫土の改良工法の選定

改良工法選定の前提条件として、①投入後の地盤強度 $qu=22(kN/m^2)$ 以上を確保すること、②粘性土の浚渫土砂に対応可能であること、③周辺海域の環境の影響、④施

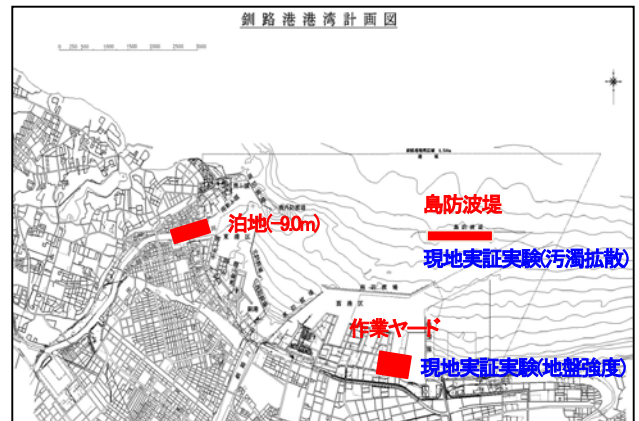


図-3 検討対象位置図

工実績・作業能力・汎用性などを考慮した施工性、⑤経済性をクリアする必要がある。

表-2に示すとおり、施工実績があり、かつ経済性を重視して選定した結果、仮置場において固化改良後にクラムシェルにより投入する工法を採用し、実海域での投入実験により環境に与える影響を確認することとした。

表-2 改良工法の選定比較表

	C-1 仮置場固化処理技術		C-2 プラント固化処理技術		C-3 管中混合処理技術	C-5 高度安定処理技術	C-6 造粒固化処理技術
	C-1-1 硬化前投入	C-1-2 硬化後投入	C-2-1 海上施工	C-2-2 陸上施工			
海水汚濁防止	▲	▲	▲	▲	▲	◎	◎
施工実績	○	○	○	○	○	○	▲
投入後地盤	○	▲	○	○	○	◎	◎
作業能力	○	○	○	○	◎	▲	▲
土質適応性	○	○	◎	◎	○	○	○
設備・機械の確保	◎	◎	▲	▲	◎	×	▲
荒天時対応	◎	◎	▲	◎	▲	◎	◎
工程管理	▲	◎	▲	▲	▲	○	○
経済性	◎	◎	▲	○	▲	▲	▲
総合評価	○	◎	▲	○	▲	×	▲



#### 4. 固化処理材の検討

##### (1) 室内配合試験

軟泥浚渫土の固化処理材として「普通ポルトランドセメント」の実績が多いが、混合することにより強度発現を期待する添加材として、鈎路管内で生産される「エコドライボール(以下、EDB)」と「石炭灰」がある。

EDBは、紙の生産過程で発生するペーパースラッジ灰の有効活用を考慮したもので、主に北海道内では凍上抑制材や軽量性に着目した盛土材として使用実績があり、「NETIS」にも登録がされている。

一方、石炭灰は、石炭をボイラーで燃焼した後、集塵装置で集められたフライアッシュと呼ばれるもので、セメントの材料として汎用性がある。

これらの添加材としての適用性について確認するため、表-3に示す仕様で室内配合試験を実施した。

表-3 室内配合試験の配合

試料調整含水比	養生日数	セメント	セメント添加量:50、75、100kg/m <sup>3</sup>				
			エコドライボール		石炭灰		
100% 150%	σ7	50、75、100kg/m <sup>3</sup>	5%	10%	50kg/m <sup>3</sup>	75kg/m <sup>3</sup>	100kg/m <sup>3</sup>
	σ14						
	σ28						

試験結果の一部を図4~6に示す。目標とする一軸圧縮強度は、固化処理場内の運搬及びトラフィカビリティの確保のため $q_u=100(\text{kN/m}^2)$ とし、室内目標強度は「事前混合処理工法技術マニュアル(H11)P.205~」より、セメント安定処理工法で用いる割増係数1.43を用いて現場強度の1.43倍となる $q_{uf}=143(\text{kN/m}^2)$ とした。

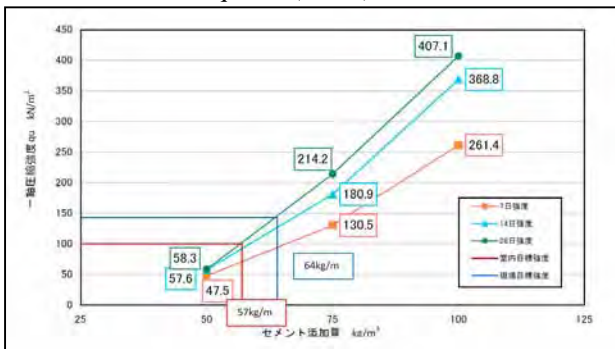


図-4 セメント単独添加、調整含水比 100%の場合

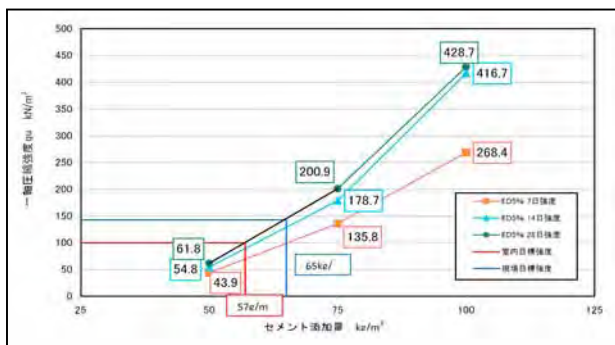


図-5 セメント+EDB5%、調整含水比 100%の場合

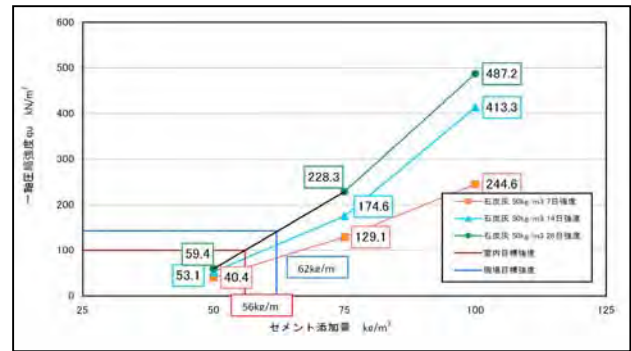


図-6 セメント+石炭灰 50kg/m<sup>3</sup>、調整含水比 100%の場合

図4~6と同じ要領で、表-3に示す全12ケースについて検討を行なった結果、現場強度 $q_{uf}=100(\text{kN/m}^2)$ の確保に必要な、室内目標強度 $q_{uf}=143(\text{kN/m}^2)$ とする場合の固化材添加量は表-4のとおりとなる。

表-4 σ28 目標強度とセメント添加量

目標強度	試料調整含水比	セメント添加量(kg/m <sup>3</sup> )					
		セメント単体	エコドライボール 5%	エコドライボール 10%	石炭灰 50 (kg/m <sup>3</sup> )	石炭灰 75 (kg/m <sup>3</sup> )	石炭灰 100 (kg/m <sup>3</sup> )
現場強度 $q_{uf}=100(\text{kN/m}^2)$	100%	64	65	70	62	65	67
	150%	72	67	72	68	70	70

また、28日強度の一覧図を図7~8に示す。これらからセメント単独添加と、EDB又は石炭灰の添加強度の差はほとんどないことが分かる。

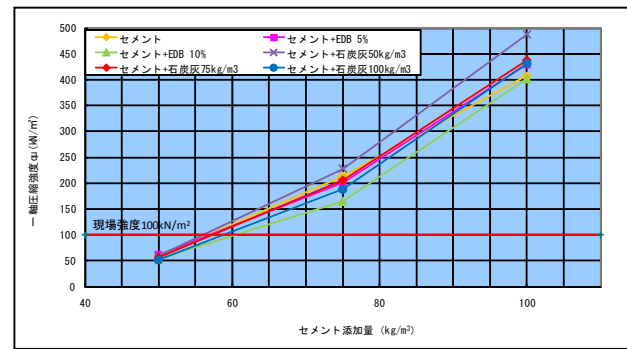


図-7 σ28 強度とセメント添加量(調整含水比 100%)

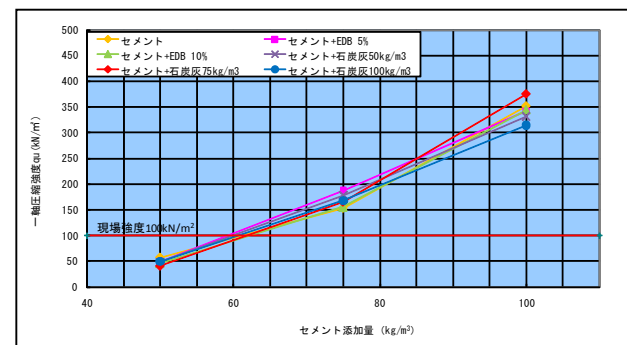


図-8 σ28 強度とセメント添加量(調整含水比 150%)

(2)現地実証実験

室内配合試験により得られた結果を基に、固化処理添加材の有効性を確認するため、現地実証実験を実施した。

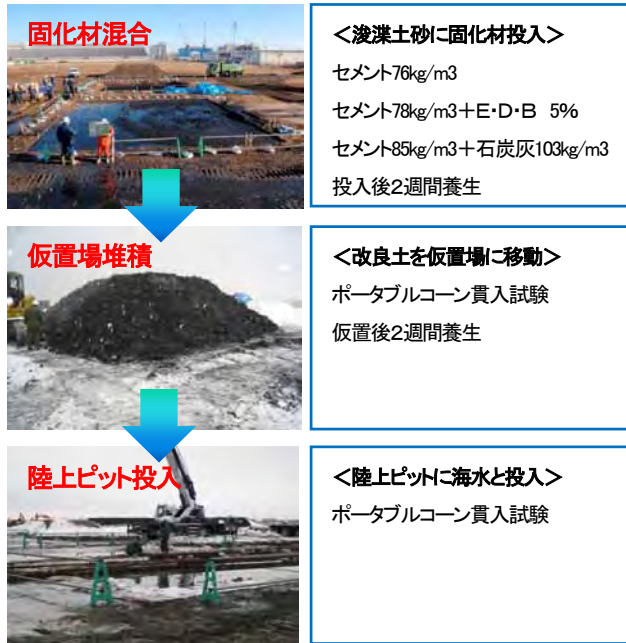


図-9 固化処理材 現地実証実験フロー

実験結果を表-5に示す。地点により値にバラツキが見られるものの、コーン貫入抵抗 $q_c$ 及びそれから換算した一軸圧縮強度 $q_u$ とも全地点において必要強度を満足した。

表-5 陸上ピットにおける  $q_c, q_u (0.2 \times q_c)$  値

観測No.	セメント単体			エコドライボール			石炭灰		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
コーン貫入抵抗 平均 $q_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	290.0	349.5	295.5	602.0	788.5	498.5	230.0	494.0	363.0
盛土必要強度 $q_u=22$ (kN/m <sup>2</sup> )	58.0	69.9	59.1	120.4	157.7	99.7	46.0	98.8	72.6

(3)固化処理材の選定

前項における配合試験結果からの必要量、経済性及び施工性を含め検討を行なった。前提条件として一日当たり浚渫土量は2,000m<sup>3</sup>/日、また、事業者ヒアリングより、一日当たり固化材供給可能量はEDBが80t/日、石炭灰が60t/日であることから、これに基づく検討結果を表-6に示す。

表-6 固化処理添加材別の検討結果

		調整含水比100%			調整含水比150%		
		エコドライボール		セメント	エコドライボール		セメント
		石炭灰	セメント	石炭灰	セメント		
投入量	セメント	130t	120t	134t	136t	146t	
	固化処理材	124t	100t	124t	100t	-	
概算工費		2,041千円	1,644千円	2,096千円	2,178千円	2,000千円	
固化材供給可能量		80t/日	60t/日	80t/日	60t/日		

表-6によると、調整含水比に関わらず、両方ともセメント単体が安価となる。また、1日当たり浚渫土量から必要固化材量はEDBが124t/日、石炭灰が100t/日となり、供給可能量を上回ることから、セメント単体による固化処理を最適と判断した。

Hiroaki Yamauchi, Yuuji Ishiyama, Fumio Onishi

5. 工事に伴う周辺海域の環境

軟泥浚渫土の活用にあたり、投入時の汚濁拡散を事前に把握し、対策を講じる必要がある。このため実施工を考慮した施工規模( $v=2,000m^3$ )で現地実証実験を実施した。

(1)施工方法

過年度に選定されたクラムシェルによる投入工法とし、汚濁防止対策として実績のある汚濁防止枠を使用した。



写真-3 クラムシェルによる積込・投入状況

(2)調査方法

図-10に調査位置、表-7に調査仕様を示す。なお、濁度連続観測及び浮泥調査については、実験時の流況に応じて調査位置を変更することとした。また、濁度及び流況の連続観測については、投入前日から観測を実施した。

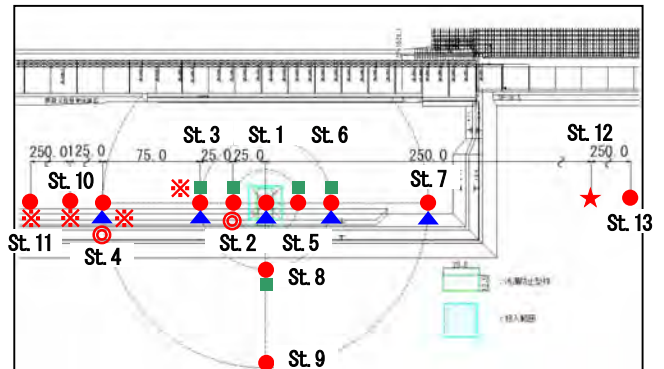


図-10 調査位置図

表-7 調査仕様表

凡例	調査項目	観測層	観測インターバル						備考
			投入前	投入中 1hr毎	投入直後	投入後2hr	投入後4hr ※日没	1日後	
★	流況観測	連続・底層	○						工事後1ヶ月まで
		瞬時・4層	○	○	-	○	○	○	上層・下層・中層・海底
●	瞬時濁度観測	1m毎	○	△	○	○	○	○	△: 可能な範囲で実施
○	連続濁度観測	2層	○						中層・底層(4日)
■	投入中濁度	3層	-	○	-	-	-	-	
▲	採水(SS,pH)	3層	○	-	○	○	○	-	
※	浮泥調査	底層	○	-	-	-	-	○	投入後1ヶ月後も実施
-	写真撮影	表層	○	○	○	○	○	○	高所から撮影
観測計画			7:20	8:20~11:20 (4回)	12:20	14:20	16:20	12:20 (翌日)	9回

工事影響の評価指標として、水産用水基準（A類型）により評価した(表-8)。濁りの指標はss、pHのほか、当該海域に生息する水生生物の光合成に与える影響も考慮した。また、堆砂については、ワカメの着生・発芽に与える影響も考慮した。

表-8 影響評価指標

項目	影響	指標	備考(関連法規等)
汚濁拡散	汚濁拡散した浮遊物が水産生物他への影響	・懸濁物質SS(人為的負荷量2mg/l以下)	水産用水基準(A類型)
		・pH:7.8~8.4生息する生物に悪影響を及ぼす程pHの急激な変化がないこと	
堆砂(沈降)	堆砂により着定基質表面の海藻付着に影響	・海藻類の繁殖に必要な照度に影響	水産用水基準(A類型)
		・懸濁物質SSが光合成に影響(ヒトケサ、アマリ)10mg/l	

(3)SSの拡散状況

SSについては、図-11に示すとおり、西側(st.7)は風に伴う流れの影響で上層が、東側(st.11)は潮流により底層が上昇し、500m程度の拡散が確認されたが、全地点において翌日には水産用水基準(2mg/l)を下回っている。

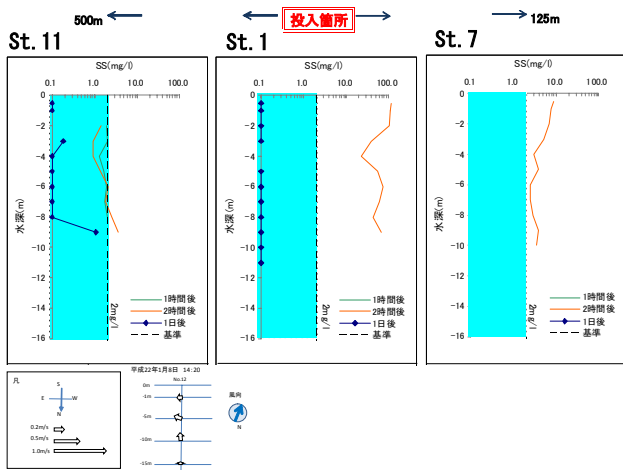


図-11 SSの拡散状況と風況・流況

(4)pHの拡散状況

pHについては、図-12に示すとおり、土砂投入により各地点にて若干の変化が確認されたが、変動幅は小さく、水産用水基準(7.8~8.4)を大きく超えることはなかった。

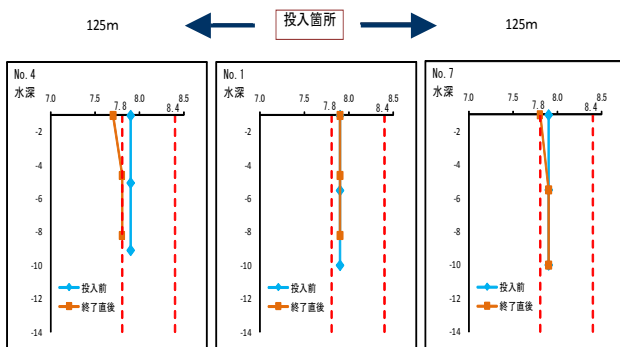


図-12 pHの拡散状況

(5)工事影響の継続時間

図-13に示すとおり、st.2(投入地点から25m)、st.4(投入地点から125m)両地点とも投入直後には時間差が見られるものの、数時間で、ほぼ同様な傾向でSS濃度が低下していく。なお、その継続時間は、光合成指標(10mg/l)まで7時間、人為的負荷指標(2mg/l)まで9時間継続した。また、投入前の濃度まで低下するには約12時間要した。

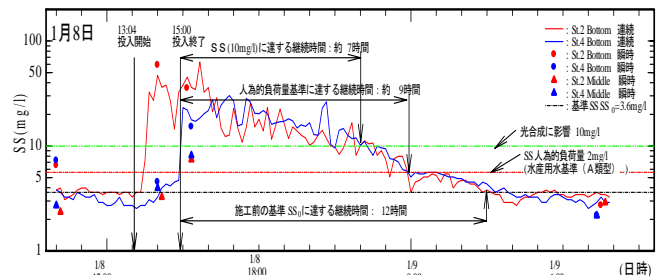


図-13 SS濃度の時間変化

(6)工事による堆砂影響

ダイバーによる堆砂状況を確認した結果、投入前の1月8日は前日まで波高が高かったため(図-15)、浮遊砂が見られる。投入から1日後及び1ヶ月後を比較しても底質は粒子の細かい砂やシルトであり、土砂投入の前後における底質の違いは見られなかった。また、投入箇所から500m離れた藻場調査の試験施工区間においても堆砂は見られず海藻が着生していた(写真-4)。

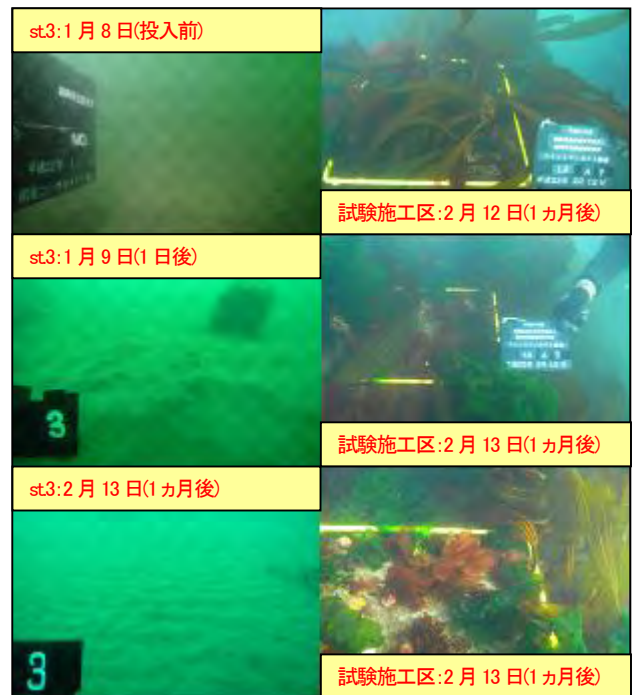


写真-4 st. 3の堆砂状況と試験施工区間

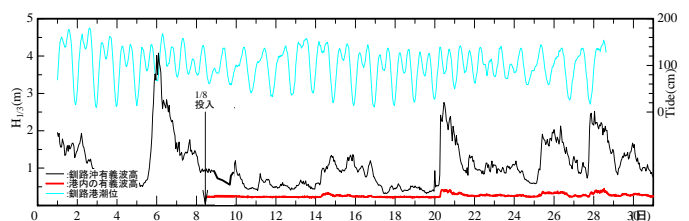


図-14 実験時の海象条件(港外波・港内波・潮位)



(7)実証実験結果からの考察

これまでの検討より、改良から投入にいたる一連の施工においては、土砂投入後において一時的な濁度の増加が見られるが、その継続時間は12時間程度で長期的な汚濁発生の可能性は低いと考えられる。

表-9 影響評価指標との対比

項目	指標	備考(関連法規等)
汚濁拡散	・SS(人為的負荷量2mg/l以下)	①SSは風や流れの影響により拡散し、影響は最大500m程度である。
	・懸濁物質SSが光合成に影響(トコゲサ、アマリ)10mg/l	②SSの影響は(1)人為的負荷指標で9時間程度、(2)光合成指標で7時間程度、(3)投入前のSSIに低下するまで12時間程度継続する。
	・pH: 7.8~8.4	③土砂投入に伴うpHの上昇は僅かであり、水産用水基準を大きく超えるものではない。
堆砂(沈降)	・ワカメ0.3mm以下で着生・発芽	現地実証実験の前後における潜水目視調査の結果では、工事に伴う周辺における堆砂の影響は確認されなかった。

6. 適切な改良背後盛土材の仕様

(1)改良浚渫土の投入範囲

打込部については、波浪による滑動に対する安定性が確保されないことから当初設計と同等の土砂を投入するものとし、改良浚渫土は藻場部に投入する。

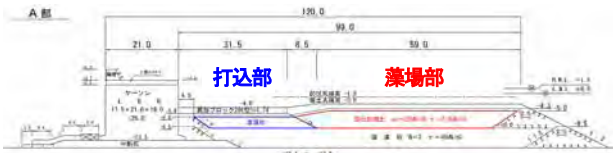


図-15 改良浚渫土の投入範囲

(2)浚渫土の改良工法の選定

固化処理混合方式は、既に釧路港での実績があり、既存の作業ヤードを使用できるなど汎用性が高い原位置固化処理工法とし、投入については改良と工程を区別でき、施工計画が立て易いクラムシェルにより投入する方式とする。また、投入時には汚濁防止対策として汚濁防止枠を設置することにより、翌日には汚濁の拡散が低減され、周辺海域環境への影響は少なくなると考えられる。

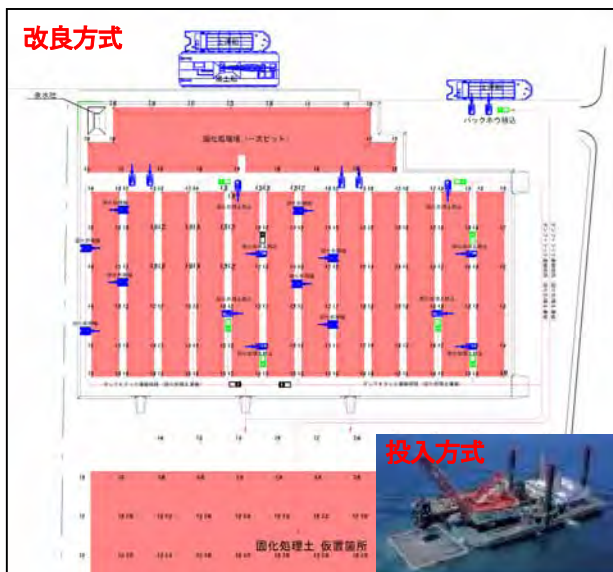


図-16 改良方式及び投入方式イメージ

(3)固化処理材の配合について

固化材は経済的であり、施工の制約も少ないセメントを単体で用いることとし、また、背後盛土材として必要とする強度 $q_u=22\text{kN/m}^2$ を確保するとともに土砂運搬作業等に必要な現場強度 $q_u=100\text{kN/m}^2$ を確保するため、以下の値を配合目標値とする。

表-10 含水比別セメント配合量の目標値

目標強度	試料調整含水比	セメント単体
現場強度 $q_u = 100 (\text{kN/m}^2)$	100 (%)	64kg/m <sup>3</sup>
	150 (%)	72kg/m <sup>3</sup>

7. おわりに

今回の検討により、釧路港において大量に発生が見込まれる軟泥浚渫土の有効活用は可能であると判断した。

しかしながら、これまで陸上で一度固化した改良浚渫土を距離の離れた箇所の海中に大量に投入し、所定の強度を確保するという工法が殆どない現状である。

今後、これまでに得た知見により、実施工に入るが施工に際してもモニタリングを継続し「エコポート事業」として環境に配慮する必要があるものとする。

また、現時点で検証し切れていない課題についても実施工にてデータを蓄積することで、より適切な施工方法について検討していく必要がある。具体的には、浚渫土の性状変化に応じたセメント配合量の設定や、投入後あるいは割石投入時の汚濁拡散傾向などが考えられる。

本施工のように、浚渫工事により発生する「建設副産物」を、いかに「低コスト」で「自然環境」に与える影響を最小限に抑え「リサイクル」していくかが、地球環境保全のキーワードとなり、今後、公共事業に求められるテーマではないかと考える。

参考文献

- 1) 北原繁志・根本任宏・丸山修治：釧路港島防波堤背後盛土の物理環境と海藻被度に関する研究(第2報)、平成19年度北海道開発局技術研究発表会
- 2) 本間大輔・石山祐司・森 義和：釧路港西港区島防波堤の施工について-軟泥浚渫土を島防波堤背後盛土に活用するための検討-、平成21年度北海道開発局技術研究発表会
- 3) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、(社)日本港湾協会、2007.07
- 4) 事前混合処理工法技術マニュアル、(財)沿岸開発技術研究センター、1999.04