

神戸港浚渫附帯施設における工事施工について

竹田 裕亮

近畿地方整備局 神戸港湾事務所 第一建設管理官室 (〒651-0082兵庫県神戸市中央区小野浜町7番30号)

神戸港は国内有数の港湾として、我が国の経済を支えてきた。2010年に「国際コンテナ戦略港湾」に指定され、国際競争力の強化を目指す神戸港において六甲アイランド地区コンテナターミナルは中核施設であり、更なる船舶の大型化や取扱貨物量の増大に対応するため、航路・泊地等の拡幅・増深工事を進めている。

このうち、浚渫附帯施設においては開口部の締め切りに伴い、バージアンローダによる揚土に施工法を変更しており濁りに対する技術検討も実施している。また動態観測を行い維持管理に努めている施設である。本報告では、設計・施工・安全面の知見を報告するものである。

キーワード 維持管理, 環境, 関係者調整

1. はじめに

(1) 背景

国際コンテナ戦略港湾である神戸港は、国際競争力強化と安定的な輸送サービスを確保するためコンテナターミナルの能力強化及び航路・泊地等の拡幅増深工事を進めている。

神戸港浚渫附帯施設（以下、附帯施設）は航路・泊地等の拡幅・増深工事で発生した土砂を受け入れる施設として整備され第七防波堤の南側に位置し、東側護岸と西側護岸及び南側護岸の3つの護岸からなる施設である。

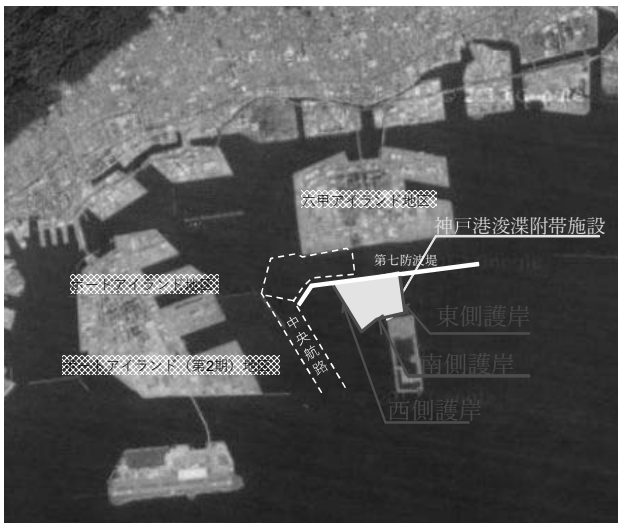


図-1 神戸港浚渫附帯施設位置図

2016年度までは、東側護岸の一部に開口部を設け、底開式土運船にて土砂運搬・受入を行っていたが、神戸港における事業の進捗に伴い開口部の締め切りを実施した。

締め切りにより、附帯施設外より土運船の船倉に注水し土砂を攪拌混合し揚土ポンプにて吸い上げ附帯施設に排送するバージアンローダ船による揚土に切り替えることとなった。バージアンローダ揚土は、海水と土砂を攪拌混合するため濁り粒子の沈降までに時間を要し排出時の濁りが拡散するため、濁りの附帯施設外への流出、拡散防止のための対策断面について検討、施工そしてバージアンローダ揚土による土砂の受け入れを行った。

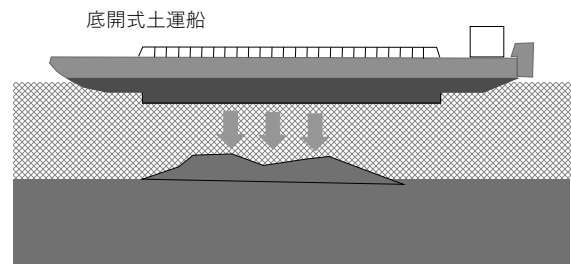


図-1 底開式土運船による土砂投入状況 (イメージ)



写真-1 底開式土運船による土砂投入状況

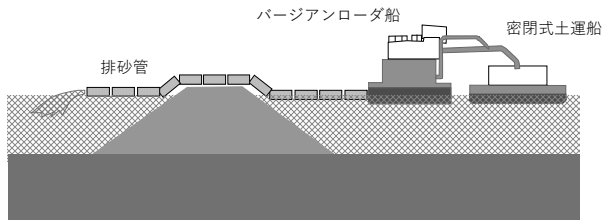


図-3 バージアンローダ船による揚土状況 (イメージ)



写真-2 バージアンローダ船による揚土状況



写真-3 バージアンローダ船による攪拌混合の状況

2. 濁り対策の検討について

(1) 附帯施設の構造

附帯施設は大きく西・南側断面、東側断面の2断面に分けられる。どちらの断面も地盤改良を行わずに築造され、圧密沈下が今後も継続的に進む施設であり、天端高が+1.7m~+2.9m程度の捨石を主体としている。西側断面は天端及び堤体に8t型の袋型根固に被覆がされており東側断面については被覆材を設置していない構造となっており、土砂の流出対策として堤内側法面に防砂シートを設置している。

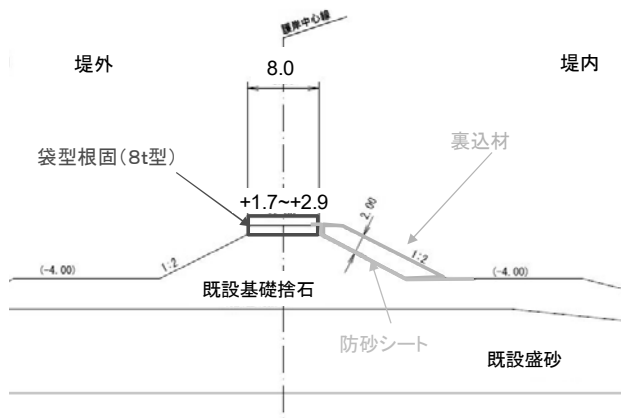


図-3 附帯施設濁り対策前の断面図 (西・南側護岸)

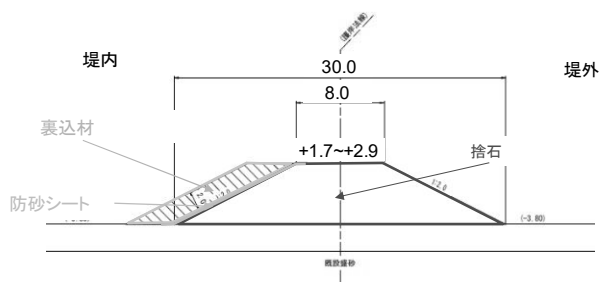


図-4 附帯施設濁り対策前の断面図 (東側護岸)

(2) 濁り対策の検討

濁り対策として神戸港中期計画より対策工事後3年間で満杯となる計画として継続的に沈下の進む施設においてバージアンローダ揚土における濁りの流出を防ぐための濁り防止対策の検討を行った。

濁りの発生要因としてバージアンローダ揚土に伴う排砂管からの排出の要因、浅層部に浮遊する濁りの粒子が現況の附帯施設高さの不足により流出する附帯施設の構造による要因、附帯施設の沈下に伴い波浪等への天端高さ不足のための自然条件による要因と、濁りの要因に対する対策について比較検討を行い、水面に近い浅層部分の濁り粒子を堤外への流出拡散を防止することとし、附帯施設そのものを嵩上げし堤外への濁りの流出を防ぐこととした。

表-1 汚濁防止対策の比較検討

工法	沈降剤の利用	嵩上げ	汚濁防止膜
	濁り粒子の径を大きくし沈降を促進、浮遊拡散および捨石層からの透過を防止。	嵩上げにより越波・オーバーフロー等を防止。浅層部の濁り粒子の堤外へ流出・拡散を物理的に防止	堤外に汚濁防止膜を張出し、濁りを遮断。
工法概要			
メリット	・水面近くの浅層部からの濁り拡散には効果的。	・水面近くの浅層部の濁り粒子はほぼ確実に堤外への拡散を防止可能。 ・沈下高確認以外の維持管理が不要。	・最も一般的な濁り対策であり、種類や実績も豊富。
デメリット	・揚土時は常時添加が必要でありストックが必要。 ・添加のタイミングによって効果が発揮。 ・排出位置に合わせ添加位置も移動が必要。 ・附帯施設沈下、水位上昇等は別途対策必要。	・嵩上げ部材により、嵩上げ部材について透過する濁り粒子について別途対策必要。 ・沈下量、水位上昇を見越した高さ設定必要。	・荒天時は養生必要、濁り拡散についての効果が減少。 ・張設場所が堤外。
概算費用	3,080,000千円(添加剤のみ:4,000,000m ³ 受入)	嵩上:765,145千円	西・南設置・維持管理3年:1,002,000千円
比較	×	○	△

3. 附帯施設の構造検討について

(1) 嵩上方法の検討

汚濁防止対策として選定された附帯施設の嵩上げに対して、現地の状況による施工性、コスト等を考慮し東側護岸については捨石、被覆石、西側護岸においては袋型根固による嵩上げを行い、濁りの流出防止として防砂シートを設置を行うこととした。

表-2 附帯施設の嵩上げ方法の比較

工法	嵩上げ 西・南側護岸：袋型根固 東側護岸：捨石・被覆材	嵩上げ 西・南側護岸：袋型根固・固化処理 東側護岸：固化処理土	嵩上げ 西・南側護岸：袋型根固・捨石 東側護岸：捨石
濁り対策	防砂シート 嵩上げ部に防砂シートを設置し濁り拡散を防止。	防砂対策 固化処理土による嵩上げを実施し、濁り拡散を防止。	濁り対策 可量吹グラウト 可量吹グラウトで壁を形成し、濁り拡散を防止。
断面イメージ(西側護岸)			
メリット	・沈下に対する追従性が高い ・既設護岸と同様の濁り対策であり実績がある。 ・3案の中で最も安価	・沈下に対する追従性が高い	・沈下に対する追従性が高い
デメリット	・東側護岸は防砂シート敷設前に石材の均しが必要	・嵩上げ、盛土、固化処理となり施工に時間を要する。 ・固化処理時に汚濁対策が別途必要 ・固化処理部は不透水層となり、排水効果が期待できない	・嵩上げ、掘削、グラウト注入となり施工に時間を要する。 ・グラウト注入部は不透水層となり、排水効果が期待できない ・3案の中で最も高価
比較	○	△	×

(2) 要求性能及び性能規定

附帯施設は前述のとおり地盤改良を実施せずに築造され、今後も継続的に圧密沈下が進んでいく施設である。当該施設は土砂を受け入れる暫定施設として、バージアンロード揚土への変更に対して土砂を漏出防止を要求性能として附帯施設の性能規定を以下の様に設定した。

- ・波の作用に対して、被覆材の安定性が確保されること
- ・潮位に対して土砂が堤外に漏出しない天端高であること
- ・自重及び水圧の作用に対して、嵩上げ時の円弧滑りの安定性が確保されること。

(3) 構造検討

附帯施設の構造検討は、求められる性能を満足するよう、波の作用に対する被覆材の安定性の検討を実施し必要な被覆材の重量を決定し、潮位に対する漏出対策の検討にて必要天端高さの決定を行った。その後、決定された被覆材及び嵩上げ高さにおける断面に対して嵩上げに伴う安定性の照査を実施した。決定断面は図-5、6に示すとおり。

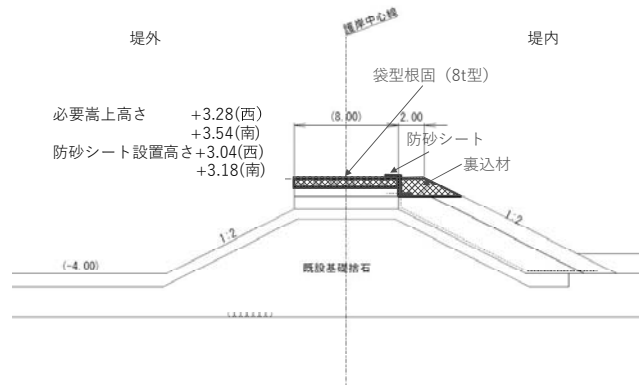


図-5 附帯施設の断面検討結果(西・南側護岸)

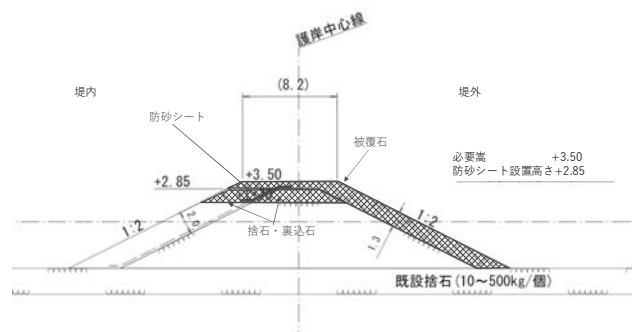


図-6 附帯施設の断面検討結果(東側護岸)

a) 波の作用に対する、被覆材の安定性の検討

波力を受ける附帯施設の堤外側法面の被覆材の所定質量は、式(1a)に示す安定定数(Ns)によるハドソン式¹⁾より算定し東側護岸について600~1,000kg/個の被覆石を選定した。

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (1a)$$

- M: 捨石の所要重量 (t)
- ρ_r : 捨石の密度 (t/m³)
- H: 安定計算に用いる波高
- Ns: 安定定数
- Sr: 捨石の水に対する比重

b) 潮位に対する漏出対策

潮位に対する漏出対策として、圧密沈下解析を行い必要天端高さの検討を行った。濁り対策を確実に実施するため、防砂シートの必要設置高さは、高潮位における濁り流出を防止できるよう、沈下後に+2.0mを確保できる高さと設定し、附帯施設の必要天端高は袋型根固工および被覆材のかみ合わせ、厚さを考慮し防砂シートの必要設置高さを担保できるような天端高さに設定した。

圧密沈下解析の結果は表-3に示すとおりである。

表-3 圧密沈下解析に基づく天端高さ

工区	対策時点	1年後	2年後	3年後
西側護岸	DL+3.28m 【1段階上げ】	DL+3.1m (-0.1m)	DL+3.0m (-0.3m)	DL+2.9m >DL+2.7m (-0.4m)
南側護岸 (標準部)	DL+3.54m 【1段階上げ】	DL+3.4m (-0.1m)	DL+3.2m (-0.3m)	DL+3.1m >DL+2.7m (-0.4m)
南側護岸 (取付部)	DL+3.54m 【1段階上げ】	DL+3.4m (-0.1m)	DL+3.3m (-0.2m)	DL+3.2m >DL+2.7m (-0.4m)
東側護岸 (標準部)	DL+3.50m	DL+3.3m (-0.2m)	DL+3.1m (-0.4m)	DL+3.0m >DL+2.7m (-0.5m)
東側護岸 (開口部)	DL+3.50m	DL+3.2m (-0.3m)	DL+3.0m (-0.5m)	DL+2.9m >DL+2.7m (-0.6m)
備考				

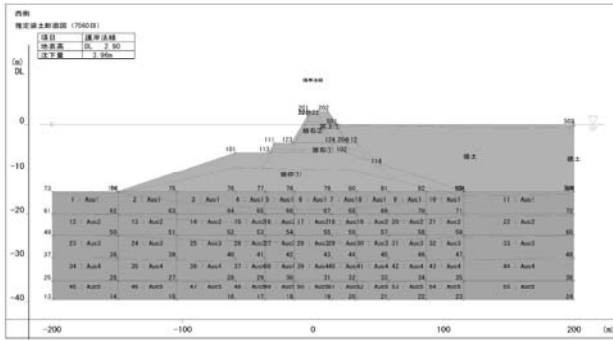


図-7 圧密沈下解析結果(西側断面)

c) 安定性の照査

決定された被覆材の重量及び天端高さにおいて、地盤改良を実施せずに築造された附帯施設を嵩上げた際の安定性照査を行った。安定性の照査については円形滑りの照査を行い安定性を確認した。

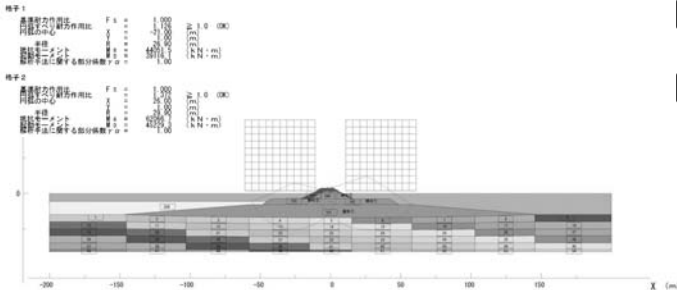


図-8 安定性の照査状況(東側護岸)

表-4 東側護岸の安定性照査結果

検討ケース	計算手法	円形すべりの結果 (安全率法)	備考
東側護岸	修正フェレニウス法	1.166 > 1.0	OK
東側護岸	簡易ピシヨップ法 (平均値)	1.797 1.48 > 1.1	OK

4. 附帯施設の嵩上

附帯施設の嵩上は2017年度後半に予定されている浚渫工事において12月より土砂の受け入れが可能となるように、2017年度前半に施工が行われた。

施工は西・南側3工区、東側2工区の5工区に分けて工事が行われた。附帯施設において同時期に施工が行われたため限られた区域内での船舶の輻輳等生じる恐れがあり神戸港工事安全連絡協議会を設置し安全に施工できるよう、作業状況の把握や工程調整・関係者調整等を実施

し施工を行った。

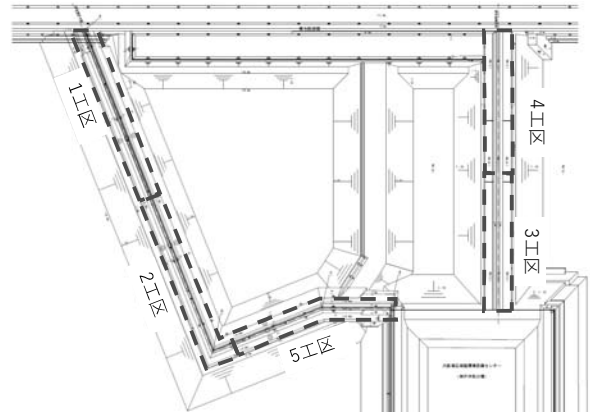


図-9 附帯施設施工の工区分け

(1) 西・南側護岸の施工

西・南側は袋型根固陸上で作成を行い海上運搬の上据え付けを行い、その後堤内側天端より防砂シートを敷設し、背後に裏込材の投入を実施した。施工フローは図-10 施工状況は写真-4に示すとおり。

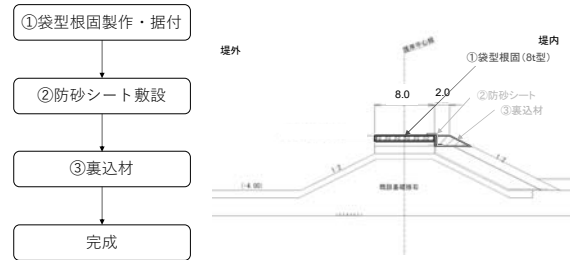


図-10 西・南側護岸の施工フロー



写真-4 西・南側護岸(1, 2, 5工区) 施工状況

(2) 東側護岸の施工

東側護岸は、捨石による嵩上げ及び防砂シート敷設面、天端面に均しを実施し、防砂シートの敷設堤内側に裏込材を投入後天端面の均しを実施し、被覆材となる被覆石の投入及び均しを実施した。施工フロー及び施工状況は図-11、写真-5に示すとおり。

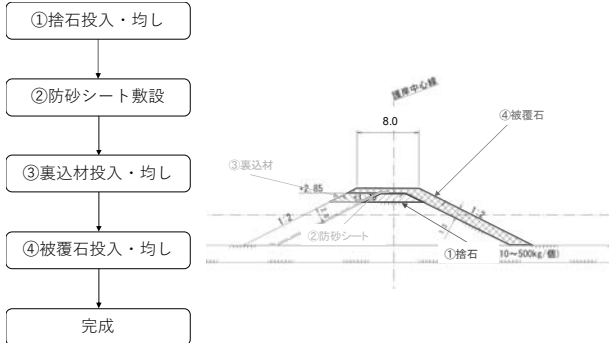


図11-東側護岸の施工フロー



写真-5 東側護岸 (3, 4工区) 施工状況

5. 浚渫土砂の受け入れ

2017年度の浚渫工事は神戸港中央航路及び六甲アイランド地区航路・泊地にて行われ、約80万m³の土砂が発生した。土砂運搬に際して両地区で発生する土砂を輻輳なく安全に運搬できるよう、中央航路は東側護岸、六甲アイランド地区航路・泊地については第七防波堤より揚土した。

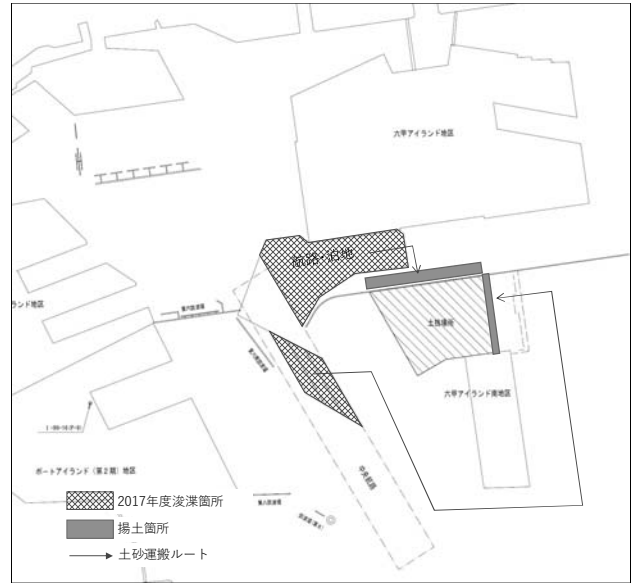


図-12 2017年度工事における浚渫箇所、揚土箇所及び土砂運搬ルート

(3) バージアンローダ揚土による附帯施設

附帯施設への揚土は2017年12月より開始し、2018年3月まで行われた。揚土期間中は、附帯施設外の表層及び底層と神戸港内の代表地点 (BG地点) で濁度 (換算SS) より算出された管理基準値との比較を行い、濁り等の監視を行った。その結果、施工期間中において管理基準を超過するような事象は確認されなかった。

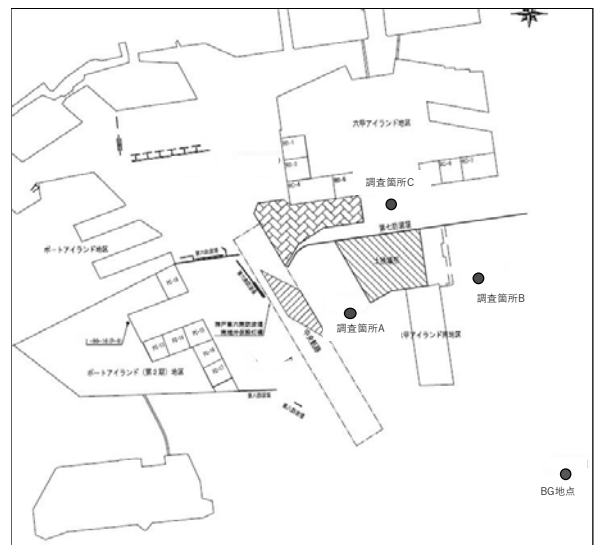


図-13 揚土期間中における濁度測定箇所

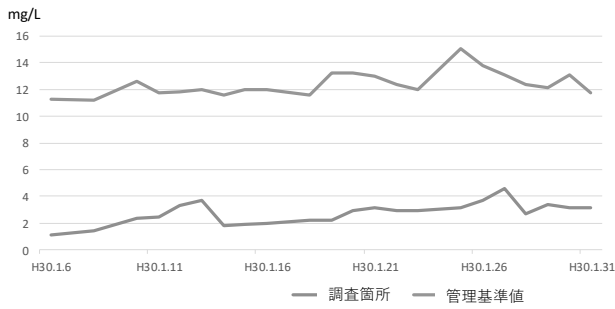


図-14 揚土期間中の調査箇所Aにおける濁度測定箇所 (1月期, 表層)

また、浚渫工事実施期間中にドローンによる空撮での濁り流出の監視を実施したが附帯施設外への濁りの漏出は確認されなかった。



写真-6 揚土期間中の附帯施設の状況

6. 今後の課題

バージアンローダ揚土への切り替えに伴う濁り流出対策については一定の効果を得られることが出来た。しかしながら本施設は地盤改良を実施せず築造された施設であるため、今後も安全に土砂の受け入れを行っていくためには、経年で実施している動態観測による変位状況の把握や、台風等の異常気象時における被災の有無の把握等適切な管理が必要である。

7. 参考文献

- 1) (社)日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月