

可塑状グラウト増深工法の実岸壁への適用と 夾雑物除去工法の開発

小笠原 哲也¹・合田 和哉²・和田 眞郷²・三枝 弘幸³・
壹岐 直之⁴・橋本 健⁵

¹正会員 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)
E-mail: tetsuya.ogasawara@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 東洋建設(株)土木事業本部土木技術部
(〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地)

³正会員 東亜建設工業(株)技術研究開発センター
(〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1丁目3)

⁴正会員 若築建設(株)建設事業部門技術部(〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18)

⁵正会員 あおみ建設(株)土木事業本部土木技術部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田二丁目2番3号)

既存係船岸を対象として開発された可塑状グラウトを用いた増深工法の社会実装を目的として、川崎港の実岸壁(水深-4.5 m)に現場適用した。また捨石の間隙内に夾雑物(砂, 粘土, 貝殻など)が多く存在する場合はグラウト注入を阻害するため、本増深工法を適用する上で課題としていたが、夾雑物の除去工法を適用し工法の適用拡大を図った。夾雑物除去では、小型実験から現場実験まで段階的に検証してウォータージェットを併用した除去方法が効率的なことを見だし、実岸壁においても夾雑物除去が可能であることを確認した。実岸壁の夾雑物除去後、岸壁下の改良範囲に可塑状グラウトを注入し、前面の捨石を掘削するという一連の施工を行い、実構造物で増深工法が適用可能であることを確認した。

Key Words : gravity quay wall, deepening, rubble, impurity, plastic grout

1. はじめに

貨物船や客船の大型化が近年の国際的動向である一方で、既存施設の戦略的維持管理や有効活用が求められており、船舶の大型化に対しても既存の係船岸を増深する工法を検討する事例が増えている。重力式係船岸の安定を確保しつつ増深するには、前面海域に新規棧橋を構築するなど構造形式を変更して増深する工法を採用することが多く、このような従来工法では、前面海域に余裕がない場合や隣接バースと法線を合わせる必要がある場合では、法線を大きく変更できないため工法の適用自体が難しい。さらに増深にあたって、岸壁法線を大きく変更すると、岸壁上に設置されたガントリークレーンなどを再設置することとなり、大きな費用が発生することとなる。また既設岸壁を共用しながら増深する必要がある場合にも、従来工法の適用は難しい。

そのため岸壁法線を変更せずに、さらに共用しながら重力式係船岸を2~3 m増深できる工法を、(国研)港湾空港技術研究所および(一社)日本埋立浚渫協会が共同

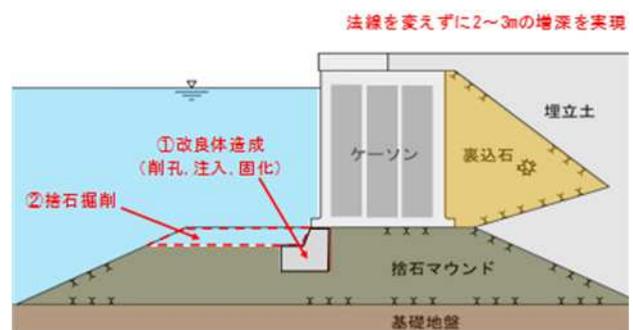


図-1 本工法のイメージ図

で開発した(図-1)¹⁾。本工法は、ケーソン直下の捨石部に可塑状グラウトを注入・固化して改良体を形成し、ケーソンの安定を図った上で、前面の捨石を掘削して増深する工法である。京浜港ドックにて、実際に使用される捨石を用いて実物大の施工実験を行った²⁾が、その後実施は行われていなかった。本稿は、川崎港東扇島の実岸壁にて現場実証を行って、工法の有効性を確認するとともに、工法の適用拡大のために、新たに捨石間隙内の夾雑物除去を行った結果を報告するものである。

2. 全国の岸壁調査結果

本研究開発は、(国研)港湾空港技術研究所から2020年に公募された革新的社会資本整備研究開発推進事業において採択され、実施したものである。この事業において、全国の岸壁を調査し実証する現場を選定した。

本工法では、改良体を浮き基礎(捨石マウンドの高さ全てを改良しない)とすることが望ましいため、現場を選定する条件を捨石マウンドの厚みが4m以上の重力式岸壁とした。適合する岸壁のうち横浜港、下関港、川崎港など複数の岸壁において、潜水士または水中カメラにより捨石マウンドの状況を調査した。その結果、船舶の荷役などの支障がない川崎港東扇島の船溜岸壁(水深4.5m)を選定した。

また捨石マウンドの調査により、いくつかの岸壁の捨石マウンド上に砂、粘土、貝殻などが厚く堆積していることが確認された。それらの堆積物は、捨石間隙内に自由落下して侵入し夾雑物となることが想定され、この夾雑物が可塑状グラウト注入時の支障になる可能性が考えられた。選定した川崎港東扇島においても、捨石マウンド上に1m以上の堆積物が確認されていることや、本工法の適用拡大を図るためにも、捨石間隙内の夾雑物除去工法を開発して適用することとした。

3. 夾雑物除去工法の開発と現場実証の概要

前章に示すように川崎港東扇島の船溜岸壁(水深4.5m)を選定し、そのうちのケーソン1函分(10m)を対象とした。増深の深さを2.35mとし、港空研資料No.1277¹⁾の検討手順に従って決定した増深および改良体の形状を図-2、図-3に示す。改良体の必要強度は約4MPaとなった。

夾雑物除去工法を含めて増深工法の現場実証を図-4の手順で行った。なお捨石間の夾雑物除去については、基礎捨石内に吸引管を設置し、吸引管を通して夾雑物を吸引除去する方法で計画した³⁾。これまでに実績の無い工法であることから、現場実証の前にSTEP1:小型実験を行って、夾雑物除去が可能であることを確認し、効率的な方法を検討した。次にSTEP2:実物大規模の大型実験を陸上ヤードで行い、ポンプなどの機械やホースの仕様を検証した。その上でSTEP3:川崎港東扇島の捨石マウンド法肩で現場実験を行ってから実岸壁に適用した。

さらに陸上ヤードで実物大の捨石を用いた可塑状グラウト注入の予備実験を行った⁴⁾。これにより施工実験で使用した配合²⁾で注入可能と判断し、また図-2、図-3に示すように、注入する可塑状グラウトの球の直径を2mとし、1断面に3球、5列の配置とした。

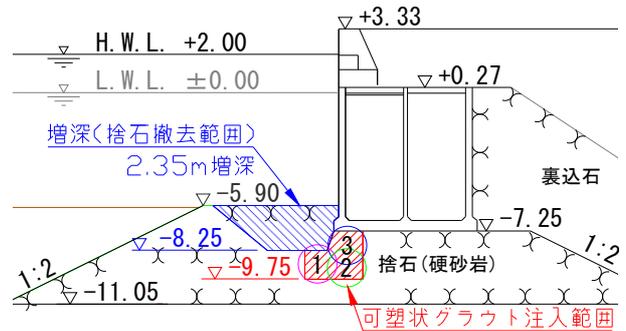


図-2 増深断面と改良体の範囲(断面図)

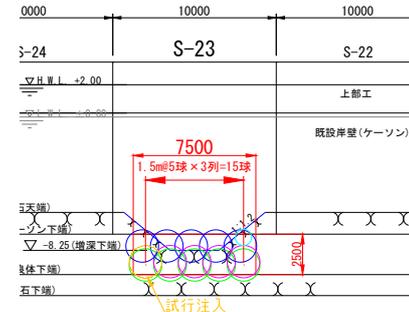


図-3 増深断面と改良体の配置(正面図)

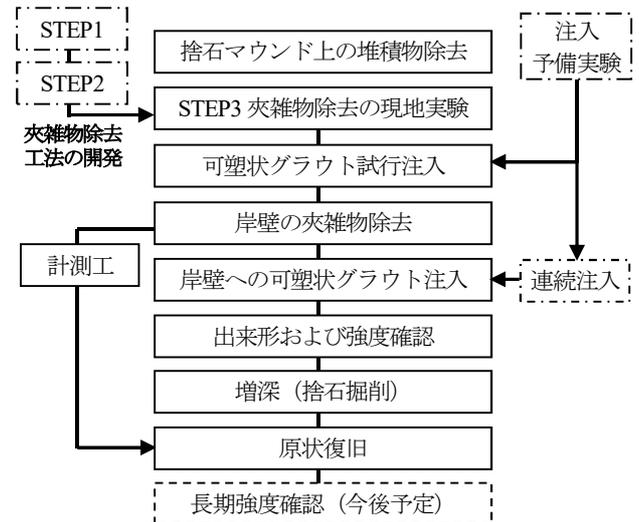


図-4 可塑状グラウト増深工法の現場実証の手順

表-1 夾雑物除去STEP1の実験条件など³⁾

供試体容器	アクリル製透明水槽 (長さ86cm×幅41cm×高さ44cm)		
捨石	割栗石50~150mm (空隙率40%を目標に作成)		
吸引ポンプ	真空ポンプ(到達圧力-98kPa)		
吸引管	VP25(内径25mm)		
実験ケース 右の条件の 組合せを 変えて 実施	夾雑物の種類	珪砂6号, 山砂, 笠岡粘土, 貝殻	
	吸引管 設置 条件	角度	鉛直下向き, 斜め45° 下向き
		高さ	容器下端から10cm, 30cm
補助装置	ウォータージェット		

4. 夾雑物除去工法の開発

(1) STEP1 予備実験およびSTEP2 大型実験³⁾

夾雑物除去方法の原理は、捨石内に吸引管を設置し、吸引管から海水とともに周辺の夾雑物を吸引するもので



写真-1 STEP1における夾雑物除去状況³⁾
(ウオータージェット併用時)

ある。STEP1として基礎捨石の間隙に夾雑物が存在する模擬供試体を作製し、吸引管を通して夾雑物を吸引除去できるかを検証した。実験条件と実験ケースを表-1に示す。夾雑物の吸引除去状況を可視化するため、供試体の容器として透明水槽を使用し、夾雑物の種類、吸引管設置条件、補助装置条件を変えた実験ケースを実施した。

実験の結果、写真-1に示すとおり夾雑物を吸引除去できる可能性があるとして唆された。吸引経過を観察すると、吸引管の先端の吸引口から夾雑物を吸引するにつれ上部の夾雑物が崩れて下方へ落下し、吸引口付近に集まった夾雑物が吸引されていく状況が見てとれた。この落下する範囲は、吸引管の吸引力（水流）では無く夾雑物自体の安定性（安息角）に大きく左右されるようであった。そのため吸引管の設置角度の影響は無く、下方に配置する方が吸引範囲は広がった。補助装置としては、吸引口付近でウオータージェット（以下 WJ と略す）を吐出して周囲の夾雑物を崩すと、吸引範囲が広がった。STEP2以降では WJ を併用することとした。

STEP2 大型実験では、水位を調整できる大型の実験池を陸上に構築し、吸引除去できる機器仕様を検討し、STEP3の現場実験に使用する吸引システム（表-2）を選定した。WJ ではジェット管先端の吐出口数を横方向に8孔程度とし、全周囲に吐出できるようにしたが、孔数を多くしたため水圧を高くできなかった。水位を低下させて確認した吸引出来形は数10cmの範囲であり、より広範囲の吸引とすることが課題となった。

(2) STEP3 川崎港東扇島における現場実験

実岸壁の夾雑物除去を行う前に、STEP3として岸壁から離れた捨石マウンドの法肩で夾雑物除去の現場実験を行った。吸引範囲を広げる目的で吐出口数を2孔として表-2のノズル径により WJ の水圧を上げ、ジェット管を機械により回転させて全周囲に吐出することとした（写真-2）。捨石マウンド内への吸引管の設置にあたっては、SEP 台船上からロータリーパーカッションドリルを用いて削孔を行い、孔内に吸引管を挿入した。吸引管理では、配管途中の透明管で吸引物の濁度を目視確認し（写真-3）、吸引物の濁度が透明になり、かつ吸引中に測定する夾雑物重量が変化しなくなることを主な判断材料として、最

表-2 夾雑物除去 STEP3 の実験条件など³⁾

捨石	50~100 kg
夾雑物	細粒分混じり砂質礫（礫は貝殻）
吸引ポンプ	横型サンドポンプ（22 kW）
吸引管	SGP90A（内径93.2 mm） ウオータージェット管SGP20A内装 設置下端高さ-10.05 m
実験ケース	ノズル孔径（ポンプ圧力） ケース1：φ4 mm(4 MPa) ケース2：φ2 mm(20 MPa)

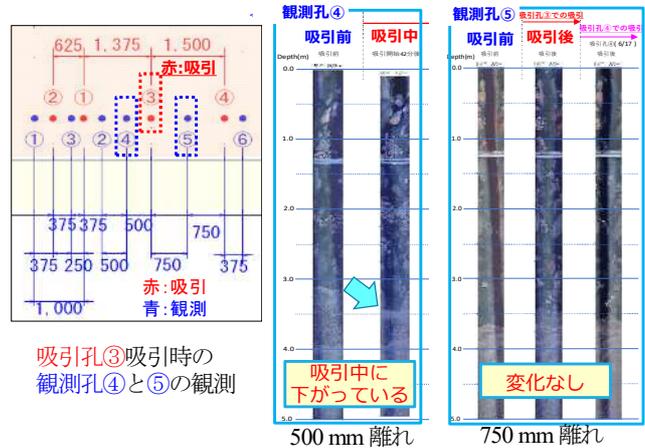


図-5 夾雑物除去現地実験の観測孔の結果



写真-2 ジェット水の噴出（海上での試行）

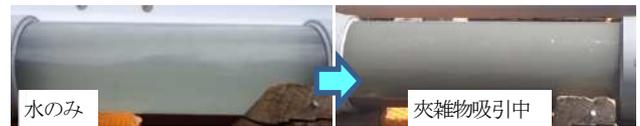


写真-3 透明管での夾雑物除去の管理

終重量も参考にして吸引完了を判断した。また吸引に先立ち捨石マウンド内に観測孔を設け、ボアホールカメラで吸引前後の捨石と夾雑物の状況を確認した（図-5）。図-5のように、WJ ノズル孔径φ4 mm(4 MPa)とした吸引孔③での観測孔④⑤の観察結果から、吸引範囲は半径500mm程度（直径1m）と推定した。吸引孔③で吸引した夾雑物の測定重量から換算した夾雑物の体積は約0.9m³であり、半径500mmの円筒形（捨石天端まで高さ3,000mm）を吸引範囲として、捨石間隙率40%²⁾を乗じた体積0.94m³と概ね合致した。一方で供試体の強度試験結果³⁾から、捨石間隙のグラウト充填率が80%程度以上あれば必要強度を満足すると考えており、実際の吸引体積と想定した吸引範囲の比較から、当該岸壁では捨石マウンド間隙の夾雑物を表-2の吸引システムで概ね除去できると考えられた。なおノズル径φ2 mm(20 MPa)では半径375mm程度であり、φ2 mmでは径が小さくなるため圧力が上がっても吐出流量が下がってしまい吸引範囲が狭くなったと考えられる。実岸壁ではノズル径φ4 mmの1孔とし、吸引管間隔を安全側に75cmとし、かつポンプ仕様を大きくして圧力を上げることとした。

5. 実岸壁における現場実証

(1) 可塑状グラウトの試行注入

捨石間隙に存在する夾雑物が可塑状グラウト注入の支障となるかを確認すること、岸壁箇所の捨石マウンド内の夾雑物の状況を把握する目的で、夾雑物除去を行わずに可塑状グラウトの試行注入を行った。注入した箇所は、**図-3**の5列の外側である増深に関係ない場所とし、ケーソンより少し前側の捨石である。

注入した結果、注入量が約900ℓの時に注入圧力が急激に増加し、かつ注入量が減少したので注入できないと判断し中止した。後述するように2,050ℓ（直径2mの改良体）を所定量としていたが、約44%の注入量であった。捨石間に存在する夾雑物が注入の支障になったと考えられる。ただし、ある程度の注入はできたことから、STEP3での捨石法肩付近と異なり、岸壁近くの捨石間隙内では、夾雑物が完全に詰まっているわけではないと考えられる。

(2) 夾雑物除去～可塑状グラウトの試行注入

夾雑物除去から可塑状グラウト注入までの一連の施工が可能かを確認するため、岸壁の一部で夾雑物除去を行った後、可塑状グラウトの試行注入を行った。実岸壁における夾雑物除去の間隔を750mm、グラウトの注入間隔を1,500mmとした平面配置を**図-6**に示す。AB列の2～4の箇所（計6ヶ所）で夾雑物除去を行い、その後1球の可塑状グラウト注入を行った。なお夾雑物除去やグラウト充填の状況を確認するため、観測孔①～④を設けた。

ポンプ圧力は、現場に持ち込んだポンプ仕様とノズル孔数1孔、孔径φ4mmの条件で試行し15MPaとした。除去の管理は現場実験と同様とした。配合は**表-3**であり、後述する岸壁への注入も同様の配合である。グラウトの品質管理はフロー値130±15mm（15打）とし、注入管理を注入量と注入圧力により行った。注入量は、直径2mの球において、捨石間の空隙率40%、ロス率20%として2,050ℓを注入量とした。グラウトの予備実験⁴⁾では、注入管先端のパッカーの有無で出来形に差は無かったが、漏出リスク低減を目的としてパッカーを使用した。**図-7**に観測孔①～④でのボアホールカメラの結果を示す。**図-7**の計画した注入範囲において、除去前と比較して夾雑物除去後では石が観察され、グラウト注入後では石が見えなくなりグラウトが注入されたと確認できた。以上により、当該岸壁において、試行した方法で夾雑物除去から可塑状グラウト注入の施工が可能と判断した。

(3) 岸壁の夾雑物除去

試行注入の結果より、吸引管間隔750mmのまま、ノズル孔とポンプ圧力も同じ仕様で夾雑物除去を行った。**図-6**中のA列の海から陸へ向かって除去し、A列⇒B列

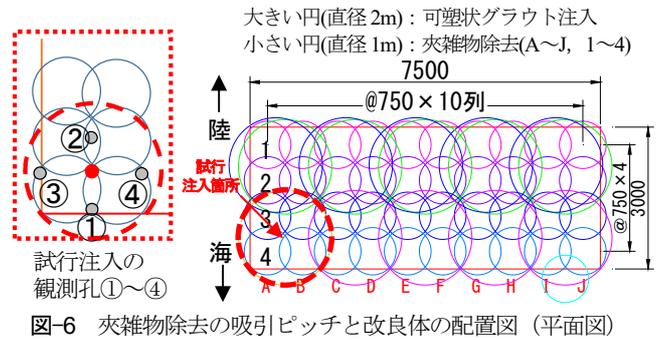


図-6 夾雑物除去の吸引ピッチと改良体の配置図（平面図）

表-3 可塑状グラウトの配合

基材		可塑材					圧縮強度 N/mm ²
セメント kg	水 kg	減水剤 kg	可塑剤A (凝集剤) kg	可塑剤B (促進剤) kg	可塑剤C (不分離剤) kg	水 kg	
1212	485	6.06	0.61	6.06	2.50	121	24以上

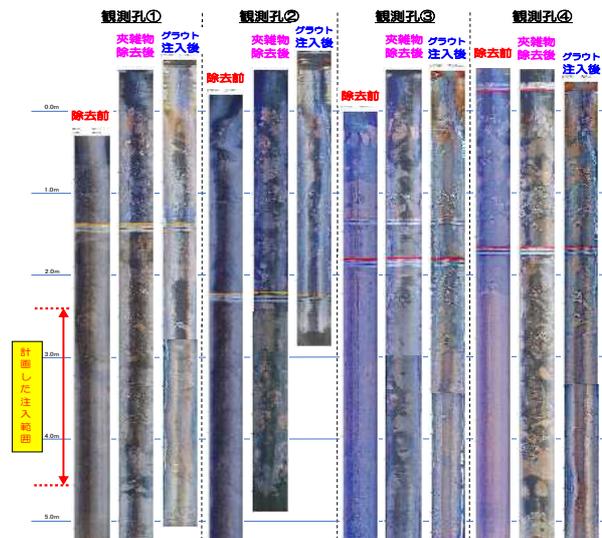


図-7 試行注入におけるボアホールカメラ結果



写真-4 夾雑物除去の作業状況（削孔）

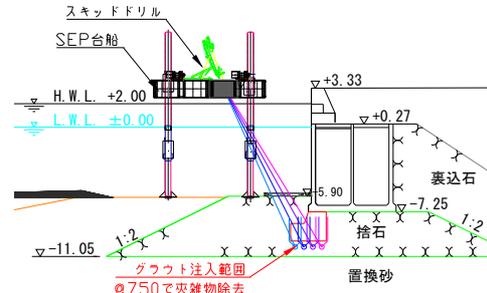


図-8 夾雑物除去の作業状況図

方向に順次移ることを基本とした。作業状況を**写真-4**に、作業状況図を**図-8**に示す。**表-4**に示す除去重量の結果（平均：赤破線枠内）のように、陸側の箇所となるにつれて吸引量が少なくなる傾向であった。これは捨石上の堆積物が自由落下して捨石間の夾雑物になるというメカ

表-4 夾雑物除去重量の結果

夾雑物除去重量(kg)	表-4 夾雑物除去重量の結果											
↑ 陸	1	310	160	210	0	390	0	240	60	260	90	172
	2	450	300	520	0	0	0	180	50	200	70	177
	3	890	10	390	130	40	0	160	300	130	26	231
↓ 海	4	880	250	830	360	400	0	0	250	390	180	354
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均

ニズムによるものでケーソン下には入りにくい結果によると示唆された。また、A列の次のB列の除去量が少なく、C列の次のD列の除去量が少ない傾向があるなど、現場実験より圧力を上昇した効果により直径1m以上の除去範囲となる可能性があるとして示唆された。なお、F列での吸引量が0kgであるが、これは岸壁の現場実証を行う前の捨石マウンド調査の際に、潜水士により約1.2m深さのツボ掘りを行った箇所であり、潜水士の視界の確保と捨石のハンドリングを向上するため、大量のジェット水を吐出した箇所である。ただし、その影響によるものは明確ではない。試行注入に示したように、捨石間隙内に夾雑物が詰まっていなかったとも考えられる。

(4) 岸壁への可塑状グラウト注入

夾雑物の除去後、図-2の1断面3球のうち1,2のすべてを注入後、3を注入する順序で可塑状グラウトを注入した。これは3注入時に1,2より削孔角度が緩くなるのでSEP台船と岸壁を大きく離すこととなり足場等を変える必要があったためである。法線方向の注入順序は図-6の夾雑物除去Aの位置からJの方向である。試行注入時と同様に、削孔後、パッカー付きの注入管を挿入し岸壁上からグラウトホースを潜水士により接続してグラウトを注入した(写真-5, 写真-6)。配合は試行注入時と同様に表-3の配合である。フレッシュ性状の例を写真-7に示す。注入量を30~50 l/分、岸壁上の注入圧力0.8~1 MPa程度(注入管接続部までの圧力損失: 約0.7 MPa)で安定状態であることを管理し、球直径2 m、捨石間隙率40%とした所定量2,050 l(ロス率20%)を概ね注入できた。注入量と注入圧の管理状況の例を図-10に示す。

(5) 可塑状グラウトの出来形および強度確認

鉛直コアボーリングおよび水中での水平コアボーリングにより、捨石間隙内のグラウト注入状況を確認した。写真-8に示すように、捨石間の小さな間隙にも可塑状グラウトが十分充填されていた。採取した鉛直コア、水平コアに対して圧縮強度試験を行った。直径約100 mmの供試体であり、JIS A 1107に準拠して供試体長が短い場合は補正係数により強度を低減した。供試体の選定にあたっては、参考文献⁹⁾によりグラウトと石の表面積の比率が1.0以上となるようにした。鉛直コア、水平コアともに表-5のように約7 MPaの圧縮強度を示した。当該岸壁での増深時に必要な圧縮強度約4 MPaを十分満足した。



写真-5 可塑状グラウト注入状況 (全景)

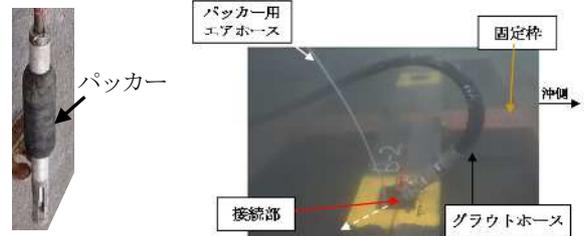


写真-6 a) パッカー (膨張時) b) ホースと注入管の接続状況 (海中) とパッカー (膨張時)



写真-7 a) 静止時フロー b) 15打フロー

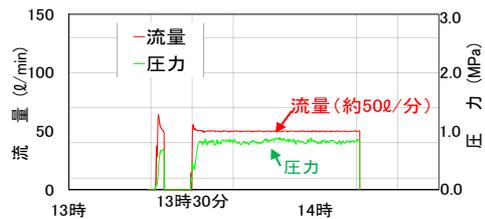


図-10 可塑状グラウト注入管理図の例

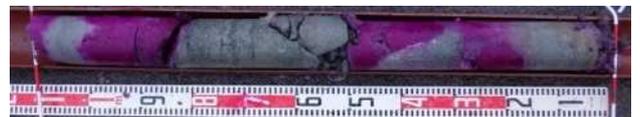


写真-8 採取したコアのグラウト充填状況

表-5 コア供試体の圧縮強度試験結果

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	h/d	補正係数	補正強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)	補正強度の平均値 (N/mm ²)
鉛直コア	7.13	1.83	0.986	7.03	4370	6.96
	(2.79)	1.91	0.993	—	(2510)	
	5.63	1.20	0.918	5.17	1570	
	9.39	1.23	0.925	8.69	3280	
水平コア	(21.7)	0.97	—	—	(7480)	7.53
	9.76	1.06	0.884	8.63	2210	
	6.43	2.07	1	6.43	3500	
	—	—	—	—	—	

(6) 増深 (掘削)

ケーソン前面の捨石をオレンジバケットにより掘削し、ケーソン近傍の捨石は潜水士により崩してワイヤーモックで移動した。ナローマルチ測量により、図-2に示す捨石撤去範囲を概ね計画どおりに増深 (掘削) できたことを確認した (図-11, 図-12)。

(7) 計測工

夾雑物除去から増深完了まで光波測距儀と変位計により動態観測を行ったが、施工によるケーソン変位は観察されなかった。また、ひずみ計を取り付けた異形鉄筋をグラウト注入前に改良体内部に設置した (図-13)。

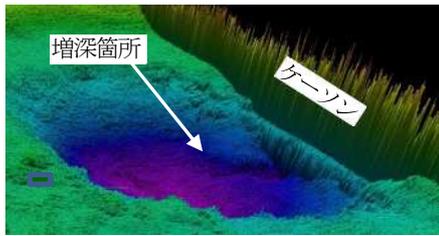


図-11 増深形状 (ナローマルチによる測量結果)

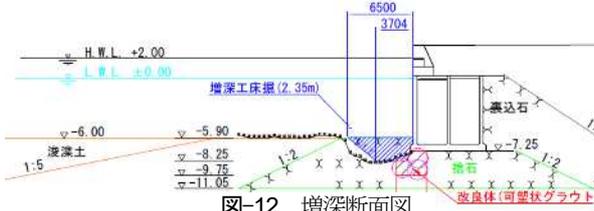


図-12 増深断面図

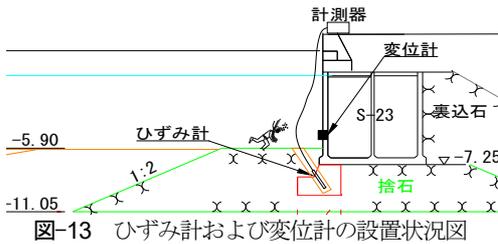


図-13 ひずみ計および変位計の設置状況図

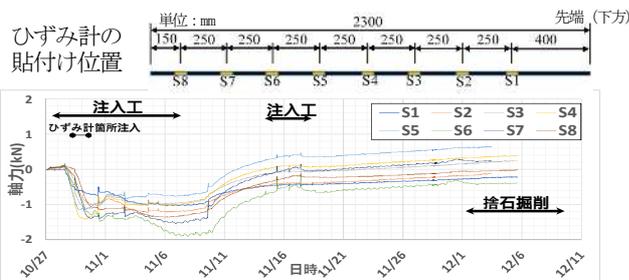


図-14 ひずみ計の測定結果

図-14のように軸力1~2kN(応力0.01~0.02MPa)程度であり、改良体の設計基準強度4MPaに対して非常に小さく、大きな応力は作用しなかったと言える。

6. おわりに

本研究では、川崎港東扇島の船溜岸壁(水深4.5m)にて、夾雑物除去を含めて増深工法を適用し、実岸壁で増

深工法を適用可能なことを実証した。今後、本工法の社会実装を目指す。なお当該岸壁の夾雑物は細粒分混じり砂質礫(礫は貝殻)であり、夾雑物によっては吸引ピッチ等が変わる可能性がある。今後データを蓄積していく必要があり、場合によっては事前実験をする必要がある。

本研究は、(国研)港湾空港技術研究所から公募された「革新的社会資本整備研究開発推進事業」に対して、五洋・東洋・東亜・若築・あおみ・本間・みらい・りんかいの8社で行ったものの一部である。

謝辞: ご協力いただいた国土交通省港湾局, 各地方整備局, 川崎市港湾局, (国研)港湾空港技術研究所, (一社)日本埋立浚渫協会その他関係者に深く感謝の意を表す。

REFERENCES

- 1) 水谷崇亮, 森川嘉之, 渡部要一, 菊池喜昭, 合田和哉, 加藤繁幸, 小笠原哲也: 重力式係船岸の新しい増深工法の開発, 港湾空港技術研究所資料 No1277, 2013.12.
- 2) 小笠原哲也, 和田真郷, 野口孝俊, 菅 崇: 京浜港ドックにおける重力式係船岸増深工法の実用化に向けた実証試験, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 74.No.2, pp. I_390-I_395, 2018.7
- 3) 橋本健, 小笠原哲也, 三枝弘幸, 合田和弘: 可塑状グラウト増深工法の開発—その4 捨石間の夾雑物除去—, 第78回土木学会年次学術講演会, 第VI部門, 2023.9 (投稿中)
- 4) 壹岐直之, 小笠原哲也, 橋本健, 田中良典, 山本高士: 可塑状グラウト増深工法の開発—その3 実物大充填実験の報告—, 第78回土木学会年次学術講演会, 第VI部門, 2023.9 (投稿中)
- 5) 和田真郷, 合田和哉, 小笠原哲也, 三枝弘幸: 礫材の空隙に可塑状グラウトを充填した改良体の強度変形特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 75.No.2, pp. I_851-I_856, 2019.7
- 6) 菅野雄一, 遠藤敏雄, 中川大, 本田和也, 水野匠, 渡邊真悟, 藤井照久: 重力式係船岸増深工法の品質確認調査手法の検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol. 74.No.2, pp. I_396-I_401, 2018.7

(Received February 9, 2023)

(Accepted May 11, 2023)

APPLICATION OF PLASTIC GROUT FILLING METHOD TO ACTUAL GRAVITY QUAY WALL AND DEVELOPMENT OF METHOD FOR REMOVING IMPURITY MATERIALS

Tetsuya OGASAWARA, Kazuya GODA, Masato WADA, Hiroyuki SAEGUSA, Naoyuki IKKI and Tsuyoshi HASHIMOTO

The method was applied to the actual gravity quay wall at the Port of Kawasaki for the purpose of social implementation of the deepening method using plastic grout. In addition, impurity materials removal method was developed to expand the application of the deepening increase method. The method using a water jet was efficient. Plastic grout was injected under the gravity quay wall, and it was confirmed that the method could be applied to the actual structure.