

外港防波堤被覆工事における問題点と対策・工夫について

【 工事概要 】

- 〈 工 事 名 〉 令和2年度清水港外港防波堤（改良）被覆工事
- 〈 発 注 者 〉 国土交通省 中部地方整備局 清水港湾事務所
- 〈 施工箇所 〉 静岡市清水区 清水港内 [外港防波堤]  
静岡市清水区貝島地区 （ブロック製作ヤード）
- 〈 工 期 〉 令和3年3月19日 ～ 令和4年2月10日
- 〈 請負金額 〉 ￥22,220,000.- （税込）
- 〈 工事内容 〉 被覆・根固工
 

捨石	50~200kg/個	380m <sup>3</sup>
間詰石均し	±30cm	2,962m <sup>2</sup>
被覆ブロック製作	4t型	400個
被覆ブロック据付	4t型	650個

〈工事の目的〉 現在、清水港においては、東日本大震災教訓と、激甚化する災害に備え、清水港を津波から守る全長1.3kmにわたる外港防波堤を「粘り強い構造」にする、改良工事を進めている。本工事は、越波により背後地が崩壊し防波堤が倒壊しないよう背後地の基礎マウンドを予め投入してあった間詰石で均等に均し、捨石保護のための被覆ブロックを設置する工事である。

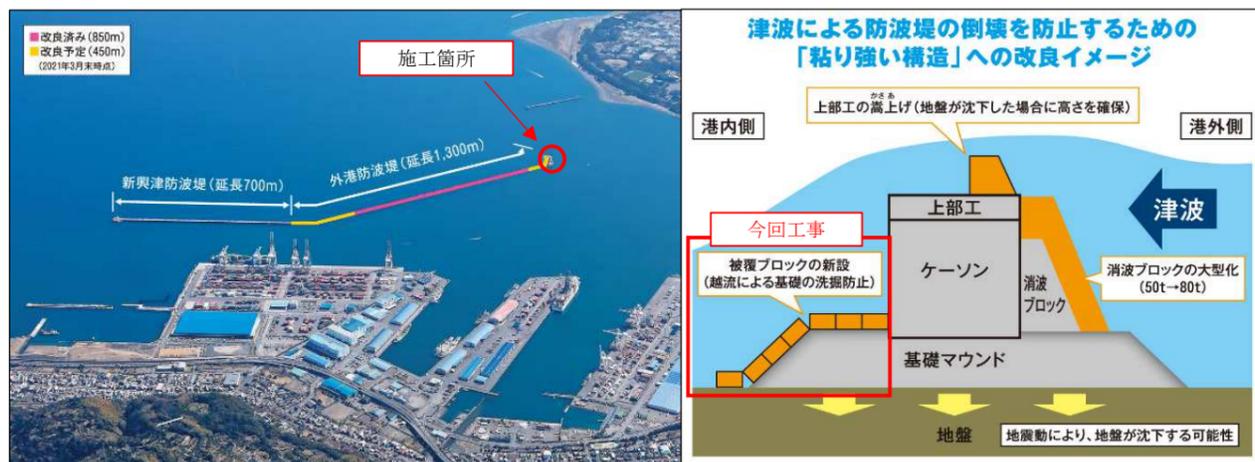


図1 清水港 防波堤の改良工事説明図（国土交通省 清水港湾事務所ホームページより引用）

〈 清水港航空写真 及び 現場平面図、標準断面図 〉

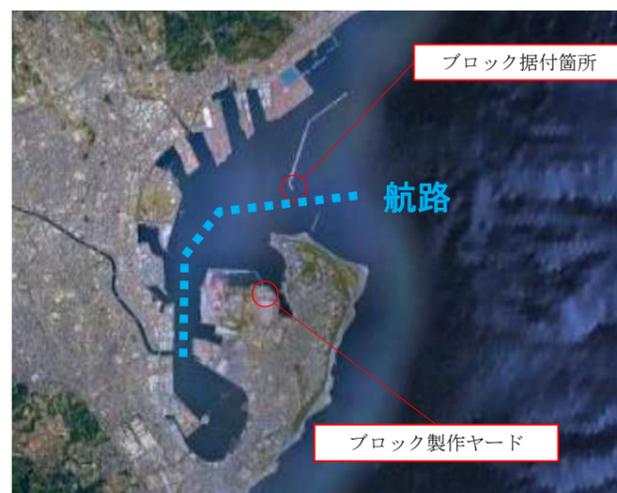


図2 清水港航空写真(現場位置図)

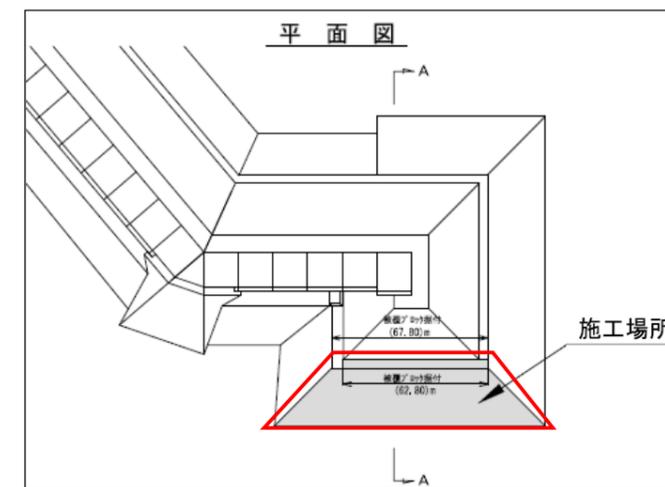


図3 現場平面図

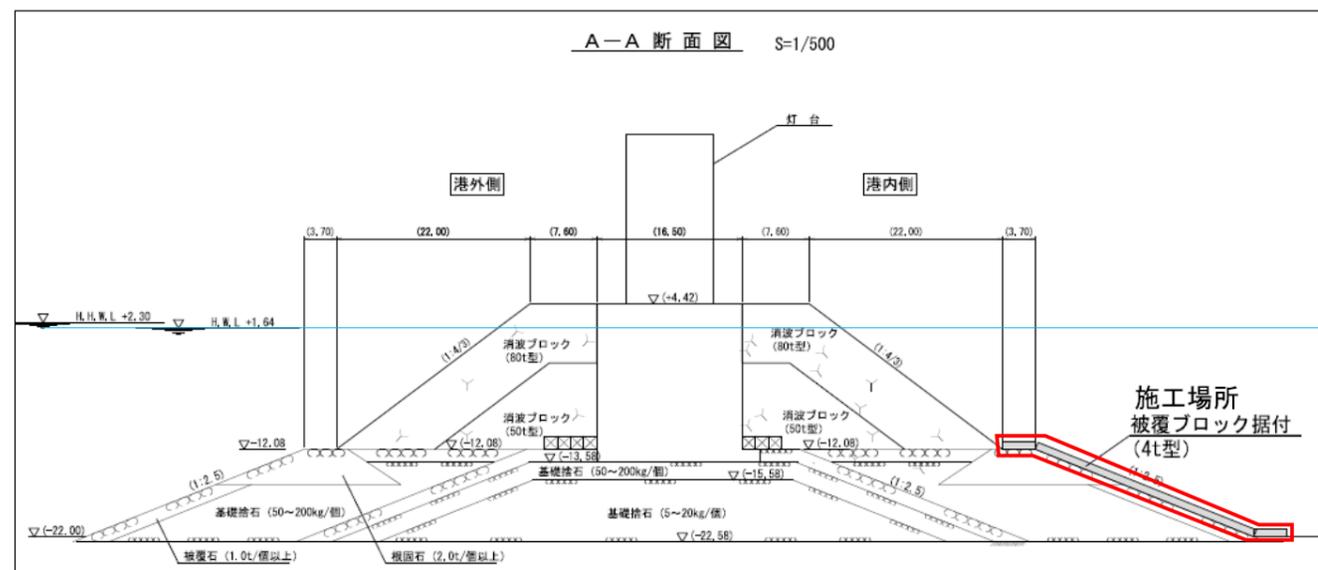


図4 標準断面図

【 施工方法 】

〈施工フロー〉

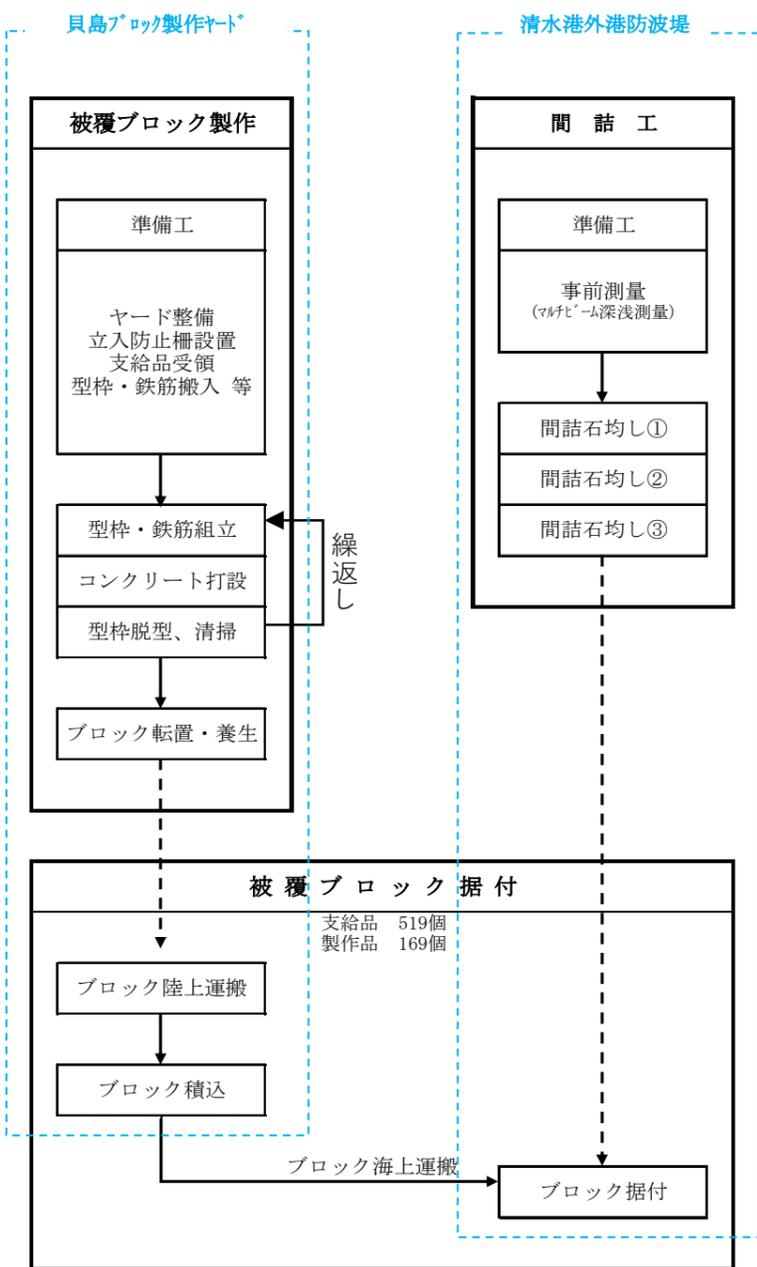


図5 施工フロー図

※：間詰石は石材の規格として捨石(50kg-200kg/個)を使用しています。このため、本工事では投入する捨石と均しを行う間詰石は同じものになります。

〈施工状況写真〉

①被覆ブロック (ペルメックス4t型)製作 400個：貝島地区(ブロックヤード)



①-1 ブロック製作状況(1)



①-2 ブロック製作状況(2)



①-3 ブロック製作完了



①-4 被覆ブロック全景

②捨石投入、間詰石均し：外港防波堤



②-1 捨石投入状況



②-2 間詰石均し状況



②-3 間詰石均し状況



②-4 間詰石均し完了

③被覆ブロック陸上運搬、起重機船への積込：貝島ブロック製作ヤード→貝島積出岸壁



③-1 ブロック積込



③-2 ブロック陸上運搬

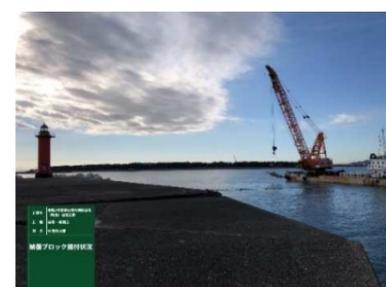


③-3 起重機船へ積込

④被覆ブロック据付：外港防波堤



④-1 ブロック据付状況(1)



④-2 ブロック据付状況(2)



④-3 ブロック据付完了:天端部



④-4 ブロック据付完了:法面部

※今回、特に施工条件の厳しかった海上(潜水)作業における問題点と対応策、施工上の工夫について次ページ以降に記載する。

【 問題点と対応策・工夫 】

1. 法尻部の腐泥堆積による被覆ブロック安定性の確保

〈問題点〉

本工事の設計では、基礎マウンド法尻側の現況地盤にも最低2列の被覆ブロックを据え付けることになっていた。しかし、潜水士により行った施工箇所の事前調査の結果、法尻付近の現況地盤には腐泥が堆積していた。この影響で、法尻部分は十分な支持力が得られず据付けたブロックが安定しないため、検討する必要がある。

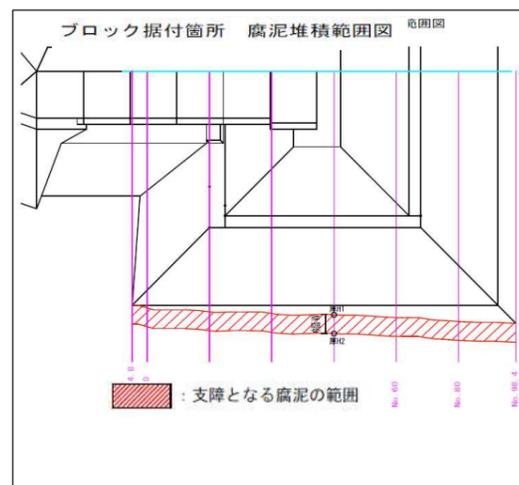


図6 腐泥堆積範囲図

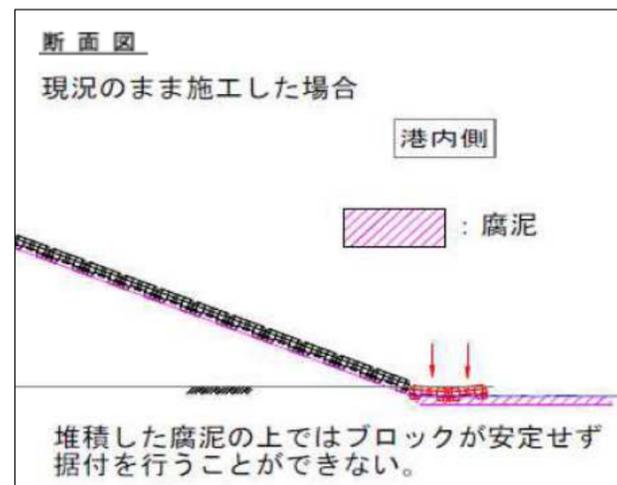


図7 腐泥堆積状況断面図

〈対応策〉

下図に示すように腐泥堆積箇所に捨石を投入し、支持地盤とすることでブロックを安定させることにした。

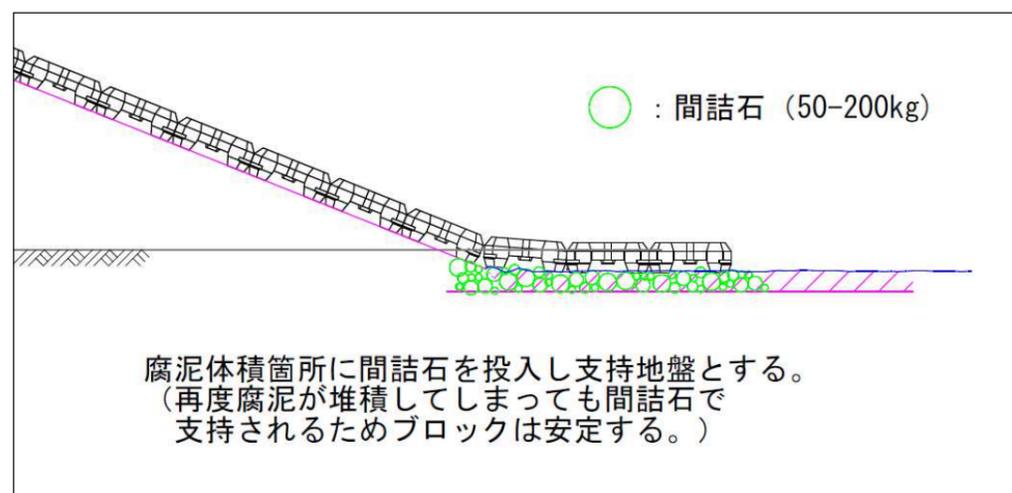


図8 腐泥体積箇所 対応策

捨石を投入するのに先立ち、まずは検尺棒（ピンポール）により腐泥厚の確認を行った。腐泥厚は700mm～900mm程度であった。

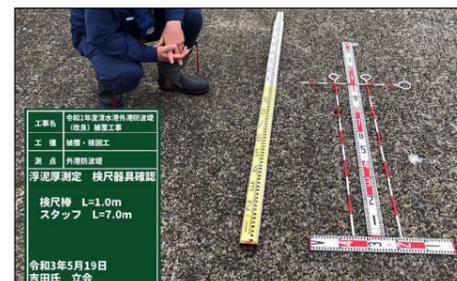


写真1 腐泥測定用検尺棒



写真2 腐泥厚測定状況-1



写真3 腐泥厚測定状況-2

次に、捨石が必要な範囲と厚さの検討を行った。検討結果は以下の通りである。

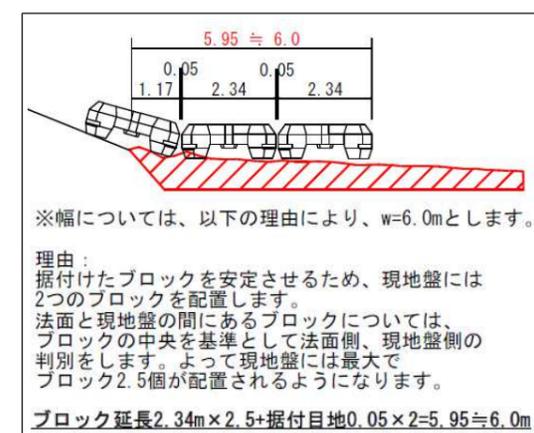


図9 捨石投入幅に対する検討結果

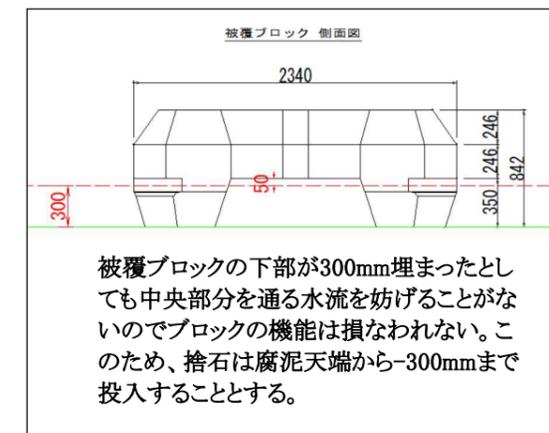


図10 捨石投入厚に対する検討結果

以上の結果を踏まえ、搬入する捨石の数量を確定し、該当箇所への投入を行った。結果、法尻部に据えた被覆ブロックは、据付後の状況確認でも埋没や不当沈下等を起こしておらず、安定していることが確認できた。



写真4 捨石の搬入検査状況

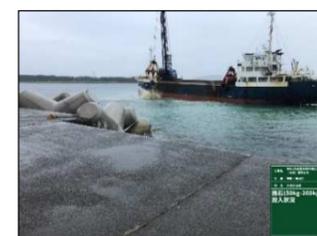


写真5 捨石投入状況



写真6 腐泥堆積部(法尻部分)の据付状況

2. 基礎マウンドの形状と間詰石の投入状況について

〈問題点〉

本工事は、基礎マウンドに被覆ブロックを設置するものである。基礎マウンド表面は1t以上の被覆石により覆われているため、マウンド表面には間隙があり凹凸も大きく、このままでは被覆ブロックを設置することはできない。そのため、設計では別件工事（過年度工事）で投入された50-200kg/個の捨石で表面を均し間隙を無くすことで平坦性を確保し、据付けることになっている。

ここで問題となったのは、既設の基礎マウンドが設計通りの形状で施工されているか(本工事の間詰石均しは規格値が±30cmであったため、その範囲内に収まっているか)と、捨石がどの範囲にどのように投入されているか確認できないことであった。

〈対応策〉

現況を確認するため、マルチビーム深淺測量を実施し、3Dデータ化した。また、発注者より施工箇所の捨石投入前の3DCADデータを頂いた。これらの情報を整理し、今後の施工方法や施工手順を検討した。

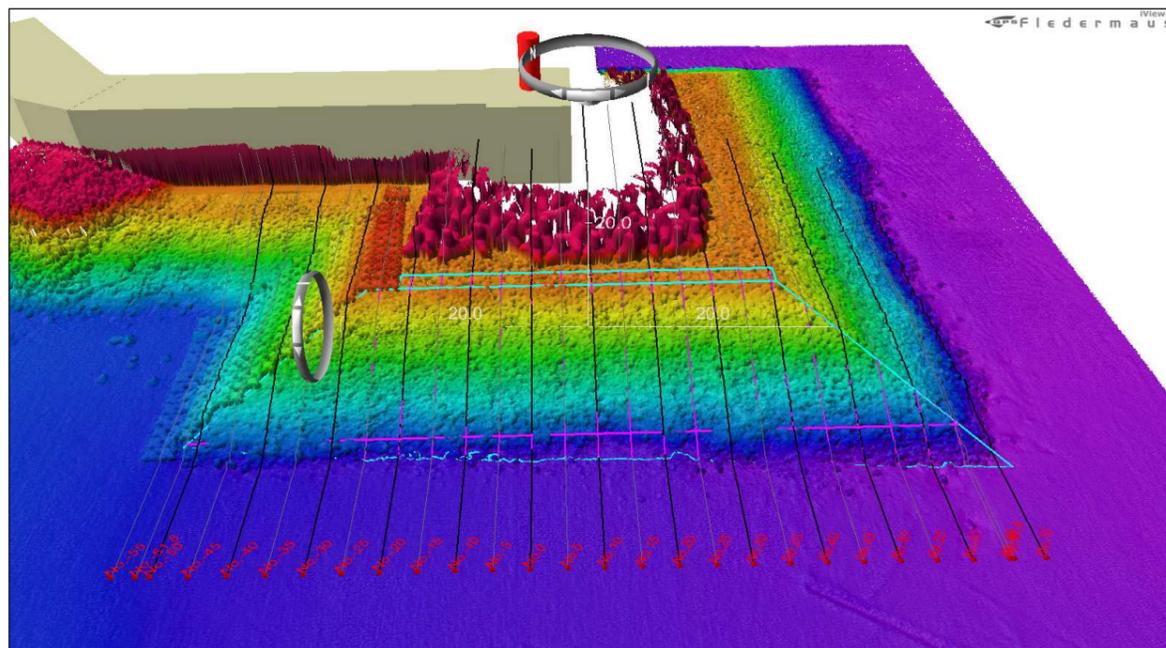


図11 マルチビーム深淺測量結果(正面図)：2021年4月19日測定

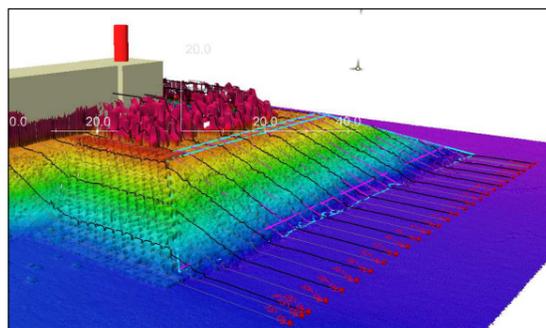


図12 マルチビーム深淺測量結果(起点側より)

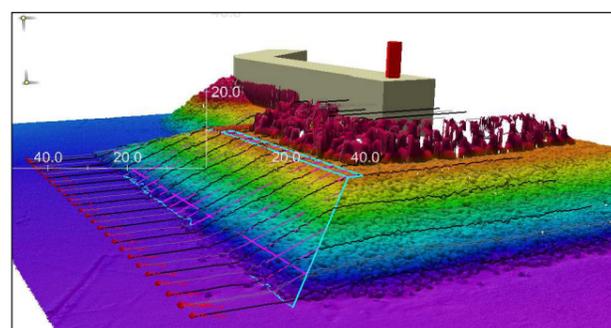


図13 マルチビーム深淺測量結果(終点側より)

捨石投入前、投入後のそれぞれの3Dモデルに設計面を描画し、設計面に対し高い箇所、低い箇所の確認を行った。結果は下図に示すとおりであり、設計面は薄い白色で描画している。設計面より高い部分はそのまま地盤が表示されており、低い部分は設計面（白色）で表示されている。2021年4月の測量結果より、多少の凹凸はあるものの、基礎マウンドはおおよそ規格値内に収まっていた。また、投入前後で変化した箇所をヒートマップにて表示し、捨石の投入箇所の確認を行った。

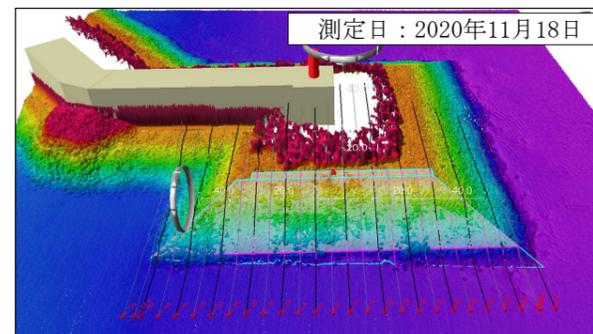


図14 捨石投入前の現況(設計との差)

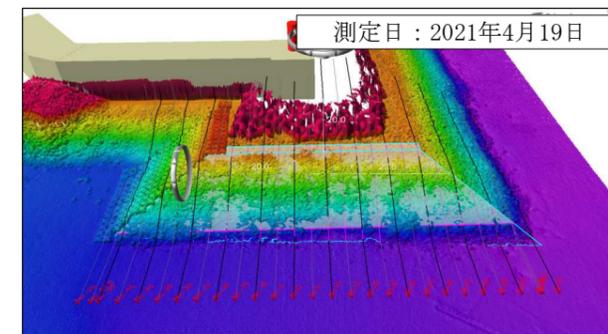


図15 捨石投入後の現況(設計との差)

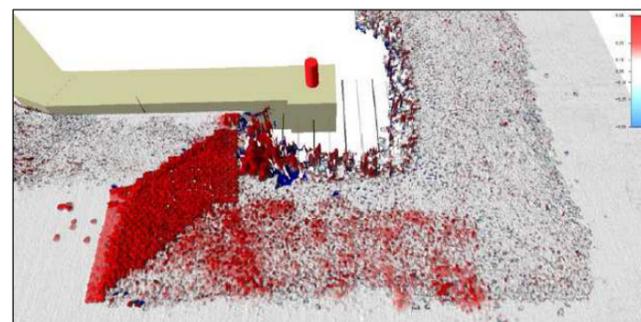


図16 捨石投入前後での変化箇所ヒートマップ

ヒートマップは前回より高くなっている箇所(捨石投入箇所)が赤色で表示されている。図からも分かる通り過年度工事では万遍なく丁寧な投入が行われていることが確認できた。

ヒートマップから捨石が多く投入された場所が分かるため、捨石を移動する際の参考にした。

大部分が規格値内に収まっていることは確認できたが、ブロックの据付には平坦性も重要になる。そこで、均し作業を行う際、捨石が不足して平坦性が確保できない場合は、図16をもとにして、下図の通り捨石の投入が多い箇所から少ない箇所へ捨石を移動して対応することにした。捨石の移動方法は次項目「3. 高水深による…」に記載する。

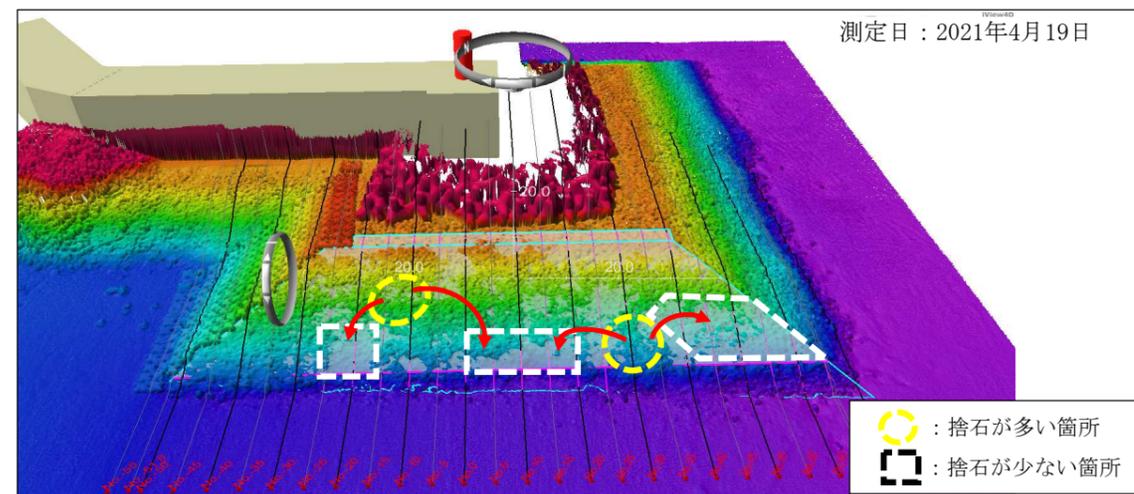


図17 捨石の移動計画図

測定日：2021年4月19日

●：捨石が多い箇所  
□：捨石が少ない箇所

### 3. 高水深による潜水作業時間制限に対する工夫

#### 〈問題点〉

施工水深が-12m~-24mと深く、高圧作業となり潜水士が1回に潜水できる時間が短いため(最深部で30分程度/回)いかに効率よく作業するかが、工程の確保、コスト削減の面からも重要であった。以下に施工効率を上げるために実施した工夫について記載する。

#### 3-① 間詰石均し時のバケットの使用

間詰石の均し作業は通常、下写真のように人力、もしくは潜水士船に備え付けられているウインチを利用してチェーンで吊って行う。この方法だと1個ずつしか施工できないため間詰石の移動距離が長い場合、時間が掛かってしまう。

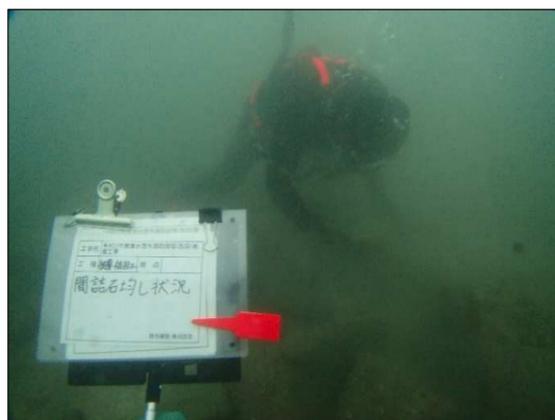


写真7 人力による間詰石の移動状況



写真8 チェーンを使用した間詰石の移動状況

均し作業着手前に、前項の3Dデータによる測量結果や図16のヒートマップを使用して潜水士に現況の説明及び打合せを行ったうえで、施工箇所付近全体の様子を潜水調査した。調査の結果、図17の捨石移動計画をもとにして、施工箇所航路側など間詰石が足りない箇所は、間詰石の多い場所からまとめて移動し、全体のバランスを取ってから均し作業を行うことにした。間詰石の移動には、潜水士船のチェーンに替えて、バケットを使用した。潜水士船にバケットを装着し、石の少ない場所へまとめて移動することで施工効率の改善を図った。



写真9 石材移動に使用したバケット

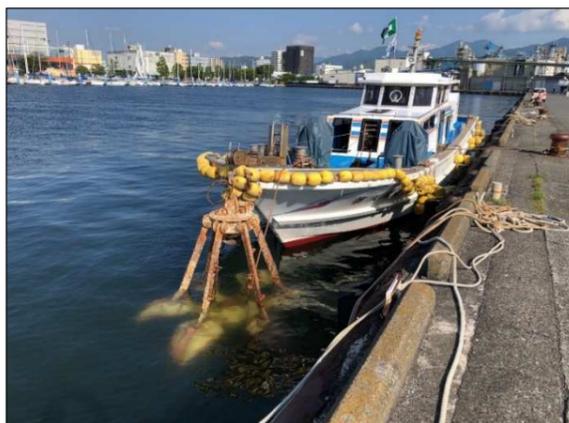


写真10 潜水士船へのバケットの装着状況



写真11 バケット使用状況(間詰石移動元)



写真12 バケット使用状況(間詰石移動先)

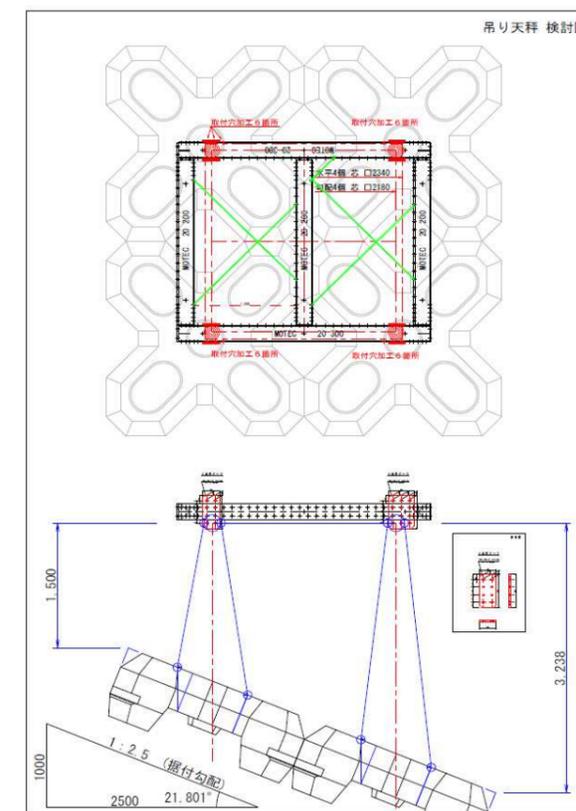
#### 3-② 被覆ブロック据付時の吊具の工夫

通常は、写真13のようにブロックは1つずつ吊って据付けるが、この方法では、3人の潜水士が交替で施工しても1日当り20~25個程度しか据え付けられないと考えられた。これでは、荒天による不稼働日も考慮すると据付だけで2か月程度かかってしまい、その分、起重機船も拘束されることから工程的にもコスト的にも厳しいものであった。

そこで、1回の吊荷作業で4つのブロックを同時に吊ることが出来る吊具を作成し、これを使用することで据付ペースの向上を図った。吊具は山留材をベースとして、これに専用の吊ピースを作成し固定する構造にした。(吊具の検討図は下図18の通り)



写真13 一般的な被覆ブロック(ペルメックス4t型)の据付状況(写真はブロックのカタログより抜粋)



※吊具は山留材に吊ピースを固定する構造にした。据付箇所は勾配がついているため、ワイヤーの長さを変えることでそれに対応した。吊ピースはボルトで固定する構造であるため、ボルト穴をずらすことで微調整が可能であった。ワイヤーの長さ調整はシャックルやレバーブロックを使用することにした。

図18 4個吊 吊具の検討図

専用の吊具による据付作業に先立って、被覆ブロックの配置図から1個吊で据付ける箇所と4個吊で据付ける箇所を決めた割付図を作成し、これに合わせて施工した。

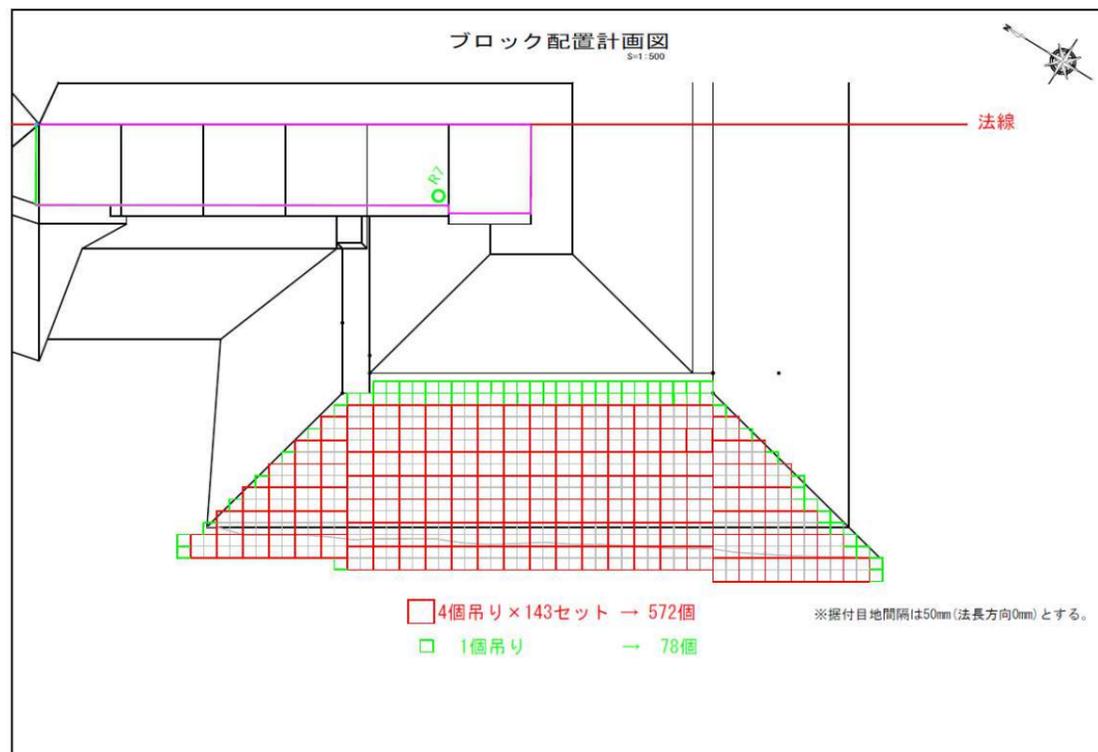


図19 ブロック配置(据付)計画図



写真14 4個吊吊具

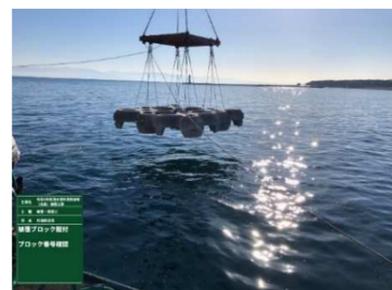


写真15 4個吊吊具使用状況  
(平場部吊荷状況)



写真16 4個吊吊具使用状況  
(法面部吊荷状況)



写真17 4個吊吊具による据付状況  
(外港防波堤より撮影)

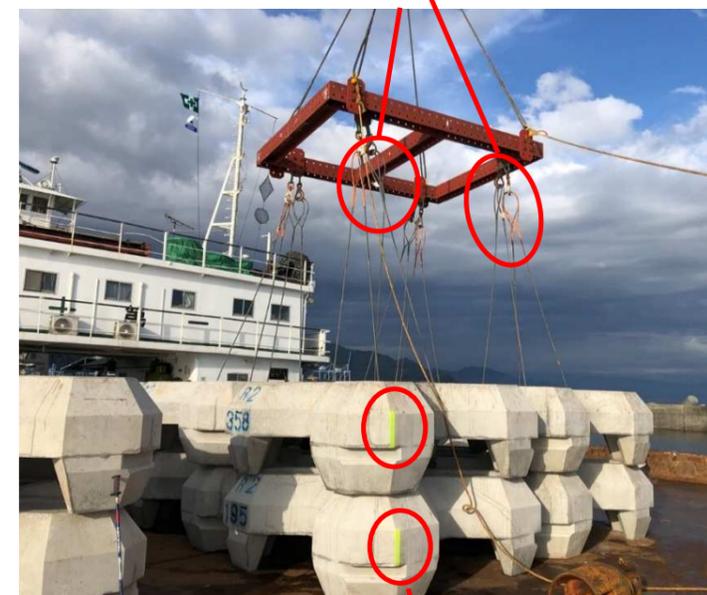


写真18 4個吊吊具による据付状況  
(起重機船上より撮影)

・4個吊 吊具使用時の工夫

視界の悪い水中で4個吊吊具をより効率的に使用できるよう、さらに以下のような視覚的工夫を行った。

使用しているワイヤーが多く、水中では視界が悪いので、ヒューマンエラーをなくす目的で、設置後に玉外しするワイヤーのアイ部を蛍光塗料で明示した。  
(オレンジは外すワイヤーで色なしはそのまま)



斜面部では、吊った際にその向き(上下)が水中でも容易に分かるよう、下側になるブロックの角を蛍光塗料で明示した。

据付の初日と二日目午前中は吊具の調整がうまくいかず、すべて1個ずつしか据付けできなかった。ブロックは法尻側から据付けるため、当初4個吊で計画していた箇所を1個ずつ据付けたため、計画より1個吊の箇所が多くなってしまった。二日目午後からは、4個吊の吊具を使用することが出来るようになった。現場実績より、1個吊をした箇所と4個吊をした箇所の1潜水当たり(30分当り)の据付数量は以下の通りである。

4個吊吊具の使用・・・3～4スイング：12個～16個 (実績548個据付：計画572個)  
1個吊吊具の使用・・・5～6スイング：5個～6個 (実績102個据付：計画78個)

4個吊吊具を使用したことで倍以上のペースで据付を行うことができ、施工は1か月弱(17稼働日)で完了した。当初2か月で計画していた工程も大幅に短縮でき、工程の面でもコスト削減の面でも大きな効果があった。

【安全管理について】

1. 高水深に対応した潜水作業時の安全管理について

減圧が必要となる高水深での潜水作業においては、減圧症予防のため潜水時間や減圧時間の管理が重要となる。特に、本工事は-12mから-22mと施工水深に差があり、最深部と最浅部では潜水可能時間や減圧時間が大きく異なるため、潜水作業時の安全管理が重要であった。以下に潜水作業時に実施した安全対策について記載する。

1-① 最大水深に合わせた潜水作業計画の作成

本工事では、施工箇所ほとんどが基礎マウンドの法面であり、潜水作業時の水深が一定にはならない。そこで、水深については、どの水深で作業する場合でも条件の一番厳しい最深部の-22mの設定で潜水計画を作成した。潜水時間については、身体への負担がなるべく少なくなるよう、また、極力動けない減圧中の有事に備え減圧時間が最小になるよう潜水時間の設定をした。

作業計画日		作業実施日		潜水作業計画・記録 (★空気潜水・空気減圧用)		印刷
令和 3年 5月 15日	令和 3年 5月 20日	令和 3年 5月 15日	令和 3年 5月 20日			
事業者名	有限会社 中野潜水工業所	工事名	令和2年度 潜水機外防波堤(改良)補修工事	潜水作業	(種)・種	実況
潜水士名	林 真次	所属会社名	有限会社 中野潜水工業所	潜水作業	(種)・種	実況
職務	潜水作業 管理員、指導員 (潜水士)	作業場・場所	清水港	潜水作業	(種)・種	実況
送気員	阿部真由	船名	潜水機	潜水作業	(種)・種	実況
潜水機	東京山本力産	潜水機型式	ヘルメット (フーラー) スクーバー、有線・無線・兼用	潜水作業	(種)・種	実況

時刻	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
水深 (m)				22	12	12	12	12	12	12	12	12	12
潜水時間 (分)				30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

計画を黒線、実施を赤線で記載

図20 ある作業日の潜水作業計画・実施記録

水深22mでは、1回の作業時間は30分であった。200分のインターバルを取り1人当たり1日2回潜水作業を行うこととした。上記潜水作業計画は1人目の潜水士による計画・実施記録である。2人目は9:30頃から作業開始、というように2~3人の潜水士で順番に作業をしていった。ヒューマンエラーを無くすため作業の順番等、朝礼時の周知を徹底した。



写真19, 20 朝礼時の潜水計画周知状況

1-② アラームタイマーによる潜水時間管理及びホワイトボードによる「見える化」

通常、潜水作業における潜水時間や減圧時間の管理は、船上の潜水世話役から潜水士へ水中有線電話通信により行う。今回工事は高水深ということもあり、時間管理のミスや通信設備のトラブルが大きな災害に繋がってしまう可能性があった。そこで、通常の有線電話による管理に加え、勘違いやヒューマンエラーをなくすため、船上ではアラームタイマーを使用し、水中ではダイブコンピューター（一般社団法人日本潜水協会が推奨する減圧表に準拠したもの）を使用することで、2重の管理体制により潜水時間管理を行い事故防止を図った。また、船上では、ホワイトボードに潜水開始時間等を記載し、安全管理の「見える化」を行った。これにより、船上の作業員全員が潜水時間や浮上時間を共有することで個人個人の安全意識向上を図った。

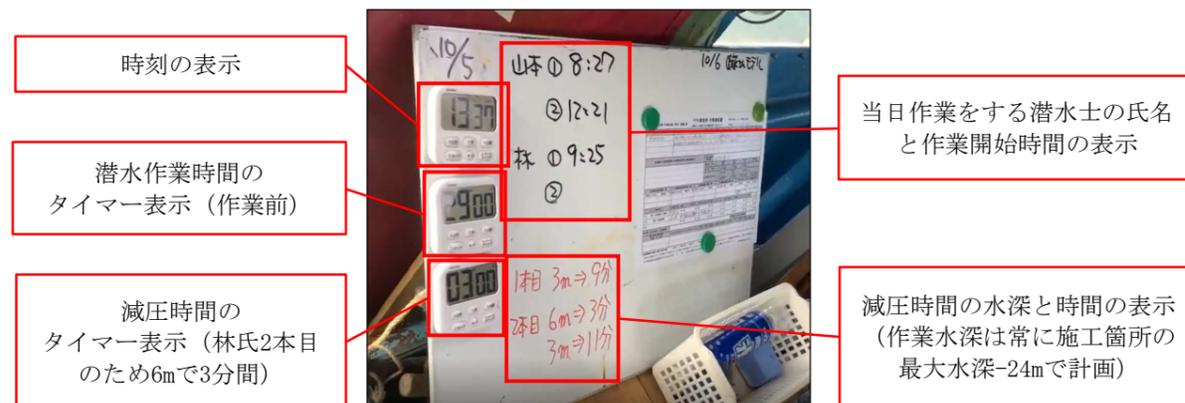


図21 潜水士船上での潜水時間管理

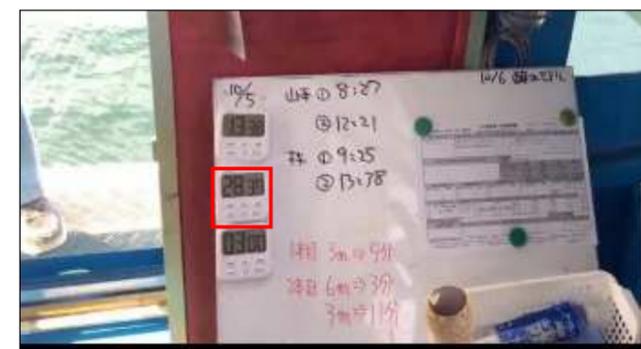


写真21 林氏 2本目の潜水開始



写真22 作業終了、6m⇒3分の減圧開始 3m⇒11分のアラーム準備



写真23 ダイブコンピューター



写真24 ダイブコンピューターの携帯状況



写真25 ダイブコンピューターの携帯状況

※ダイブコンピューターは腕に付けていると間詰石均し作業時に石材やチェーンと接触し破損してしまうため、身体近くの送気ホースに固定しております。

2. 起重機船航行時のワイヤレスカメラの使用

起重機が航行するとき、押船の操舵室からはクレーン部が障害となり前方正面部分が死角となってしまう。その対策として、通常は、見張り員を前方に配置し障害物や小型船舶、プレジャーボート等で航行に影響がある場合は船長に無線で誘導を行う。今回はそれに加えワイヤレスカメラを併用し、操舵室からモニターで前方死角部分を映像で直接確認できるようにし、安全性の向上を図った。



図22 起重機船操舵室からの死角イメージ図



図22 起重機船前方へのワイヤレスカメラ設置状況



図23 操舵室へのモニター設置状況  
(モニターは固定式ではないため必要な場合は動かして画面を確認することが可能)



図24 操舵室モニターの接写

前方については今まで見張り員からの連絡のみを頼りにして操船していたため、実際の状況が見えることでより安心して操船できる、と船長からも好評であった。

【地域への貢献活動】

1. 親子現場見学会の実施

興津中町町内会の方を対象として「清水港における公共事業の説明」と「建設業の担い手育成」を目的として、複数現場共同（清水港において弊社が施工している3現場）で親子現場見学会を実施した。見学会は港湾工事をより身近に感じてもらうため遊覧船で海上から行った。



写真26 使用した遊覧船：バイプロムナード号  
(富士山清水港クルーズ(株)様ホームページより引用)

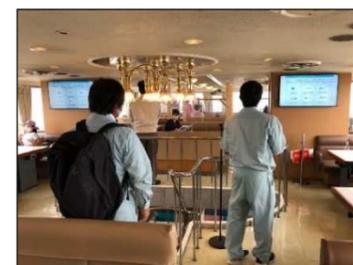


写真27 遊覧船内での現場説明状況



写真28, 29 現場見学状況

見学会に使用した現場説明資料

★清水港外港防波堤被覆工事

どんな工事をしているの？  
コンクリートで作ったブロックを防波堤のまわりにならべて、津波などの災害から防波堤を守ります。水深（水の深さ）12メートルから25メートルで作業をしています。

どうやってつくるの？  
水中で潜水士さん（水の中作業する人）がブロックを並べる場所を準備しています。  
別の場所でブロックを作ります。  
ブロックの大きさ：幅240cm 高さ：約4,000㎜

クレーン船でブロックを吊って水中で潜水士さんが据え付けます。（イメージ図）  
水中でのブロックの様子（イメージ図）

図25 見学会で使用した現場説明資料

普段あまり見ることが出来ない海上施工での現場見学会を、遊覧船により清水港をクルーズしながら開催したことで、「公共事業の重要性」や「担い手育成」だけでなく建設業へのイメージアップ効果も期待した。参加した皆様が楽しそうに過ごされていたことで、見学会は成功であったと感じている。

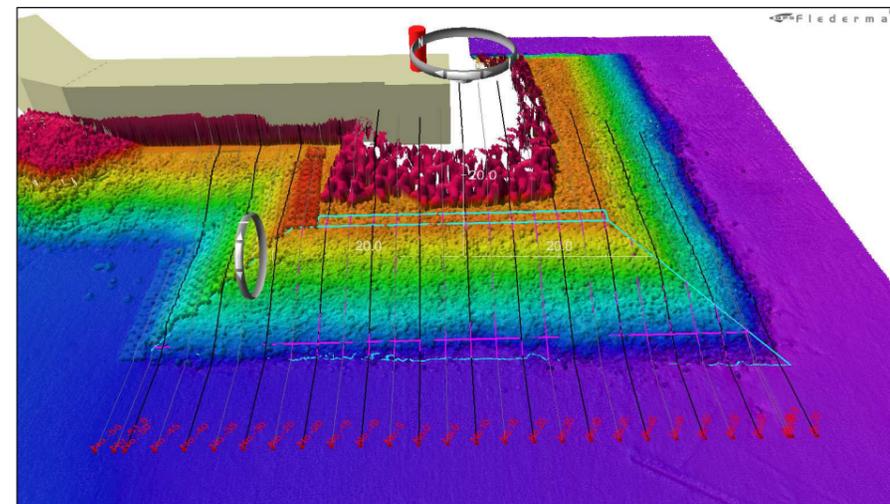
【 終わりに 】

本工事は、最大で22mの「高水深での作業」が最大の要所であった。安全を第一に考えて潜水作業計画を立案した。これにより潜水作業時間は非常に短くなったが、少しでも施工効率が良くなる方法を検討し、様々な工夫を行うことで工程の確保を図った。

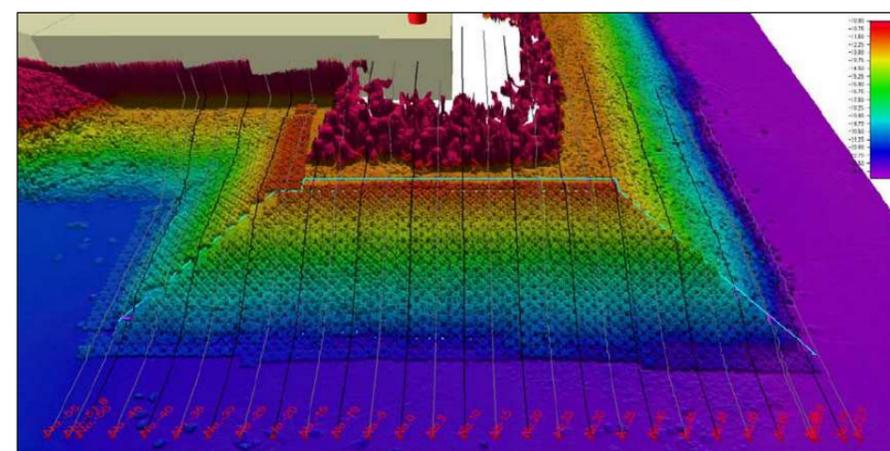
また、現場は主に水中での施工ということもあり、潜水士以外は現場の状況を見ることが出来なかった。そこで、安全管理や進捗管理等、様々な内容で現場での「見える化」に取り組み、施工に関わる全員が共通の認識を持てるよう心掛けた。これにより現場での意思統一が出来たことも安全管理、工程管理、品質管理の向上に繋がったと感じている。

現場での意思統一「携わる全員が共通の認識を持つこと」が現場を運営するうえで重要であると今回改めて認識した。

最後に、工事にご協力頂いた発注者様をはじめ、関係機関や協力業者の皆様方に心より感謝申し上げます。



着手前 3Dモデル



完成 3Dモデル

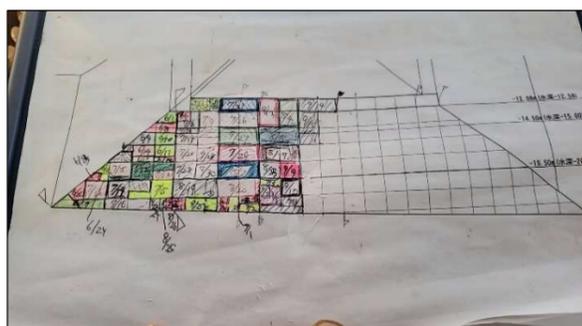


図26 間詰均しの進捗管理図

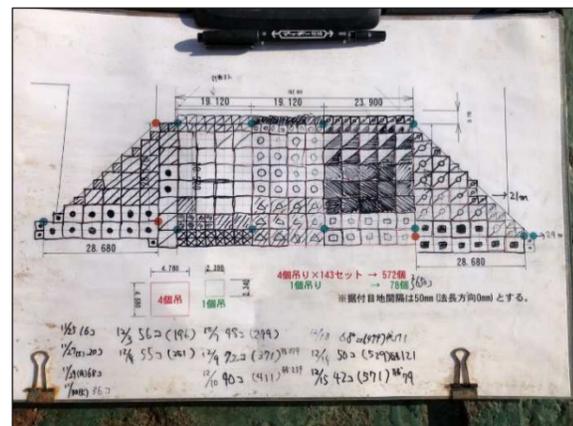
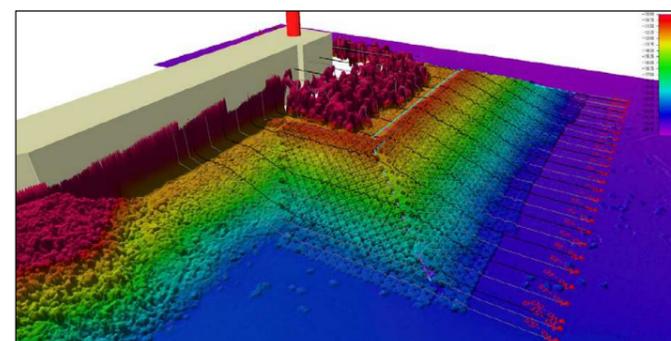
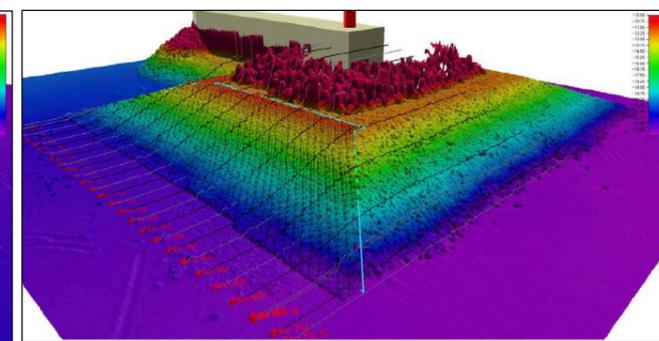


図27 被覆ブロック据付の進捗管理図



完成 3Dモデル (起点側より)



完成 3Dモデル (終点側より)