

# 下関港西山地区の岸壁改良の完了について

小松 大介<sup>1</sup>・中村 泰貴<sup>2</sup>・後藤 清<sup>1</sup>・藤本 孝浩<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 下関港湾事務所 工務課 (〒750-0066 山口県下関市東大和町 2-29-1)

<sup>2</sup>九州地方整備局 下関港湾事務所 保全課 (〒750-0066 山口県下関市東大和町 2-29-1)

2021年3月25日に下関港西山地区岸壁-12m改良のプロジェクトが完了した。本プロジェクトは、2014年4月から下関港湾事務所による予防保全事業として実施したものであり、背後地に木質バイオマス発電所が新規立地することからも、供用に遅れがないように進捗を図ることが求められた。

岸壁改良の工種は地盤改良が主であったが、土中部に多くの転石が出現したことから、改良工法の選定に苦慮したが、施工を続けるなかで見出した改善策により、問題を解決しながら進めることができ、供用目標年次に完了させることができた。

キーワード：地盤改良，深層混合処理，支障物，攪拌翼，企業進出

## 1. プロジェクト概要

下関港西山地区は、下関市南西端の彦島に位置しており、前面は関門航路と接続していることから物流拠点として重要な役割を果たしてきた。周辺には69haの工業用地を有し、三井化学系の化学工場や三井金属関連会社の彦島精練所などが立地しており、1979年から1988年にかけて岸壁(-12m)、岸壁(-5.5m)(-4.5m)、木材用野積場(5.3ha)を有する「物資別専用埠頭」として整備された(図-1)。

2005年～2008年は年間約5万tの原木・製材の取扱があったが、木材輸送形態の変化により取扱が減少し、下

関市貯木場利用協同組合は2010年3月に解散となった。本地区の岸壁は供用後26年経過して、エプロン部のひび割れや陥没が多数確認され、岸壁利用に一部制限を設けている状況であった(図-2)。

本プロジェクトは、2014年度より岸壁の老朽化対策、延命化によるLCCの削減を目的に実施している。



図-2 老朽化状況 (ひび割れ・陥没)



図-1 西山地区

## 2. 新たな企業の立地

2015年の「パリ協定」で長期目標として掲げられた「脱炭素化」の実現に向け、再生可能エネルギーの導入が国内でも進められ、本地区の背後にも、九州電力グループの「下関バイオマスエナジー合同会社」（出資者：九州みらいエナジー(株)、九電産業(株)、西日本プラント工業(株)によるSPC)が2018年2月に国内最大級(発電出力約74,980kW(14万世帯相当)、取扱貨物量(予定)約30万トン)の本質バイオマス発電事業に進出を表明(総事業費約300億円)し、2019年6月本工事着工、2021年5月試運転、2022年1月運転開始という計画が動き出した(図-3)。



図-3 完成予想図

## 3. 岸壁老朽化のメカニズムと対策工法の選定

老朽化の原因究明のため、空洞化調査と試掘調査が行われた。その結果、エプロン沈下・舗装ひび割れ発生の原因は、防砂シート破損部からの裏埋土吸い出しであると想定された(図-4)。

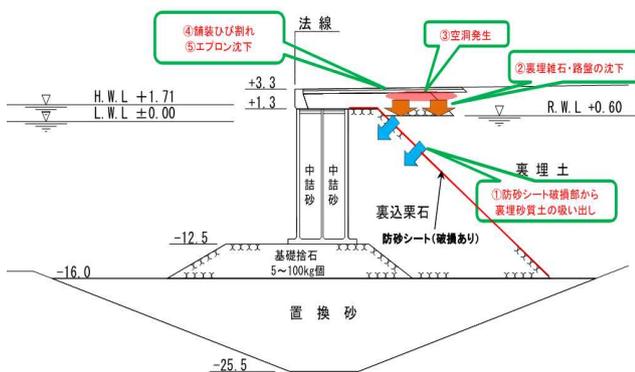


図-4 老朽化のメカニズム

この施設の機能を回復するため、裏埋土吸い出し防止のための改良工法は、当岸壁における適用性から、「裏込石背後に吸い出し防止層を形成する工法」として、経済性、施工性等を考慮して、総合的に優位と判断される

「深層混合処理工法」が選定された(図-5)。

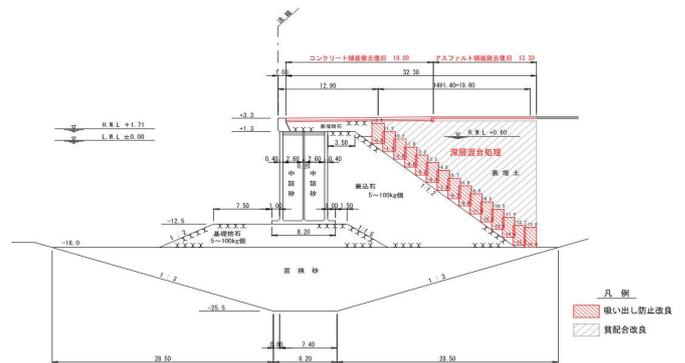


図-5 深層混合処理施工断面

本プロジェクトでは、深層混合処理工法のなかでも機械攪拌式による大径化・高速化を可能としたCI-CMC工法が採用された。CI-CMC工法とは、エアを用いてスラリーを霧状に吐出する「エジェクター吐出」、攪拌翼を上下動させる「デュアルウェイミキシング」、粘性土などに練りだし効果のある「オープン翼」といった要素技術により、大量施工を可能にした工法である(図-6)。

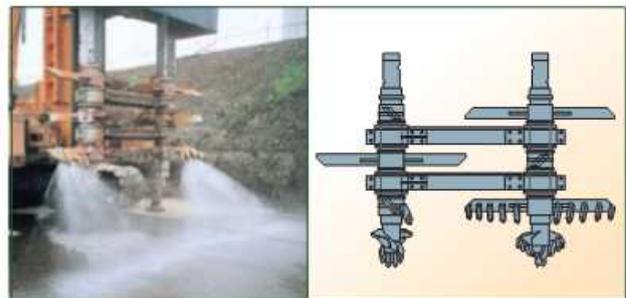


図-6 2軸翼とエジェクター吐出(カタログ参照)

## 4. 西側工事での問題発生と工法見直し

### (1) 支障物による高止まりの発生

供用中の岸壁エプロンを改良する工事のため、全長約240mに対して、東側と西側の約120m毎に完了させる施工計画とし、2015年度～2019年度に西側エリアの施工を実施した(図-7)。

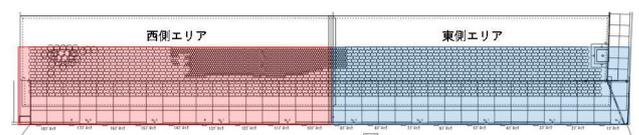


図-7 施工計画配置図

施工の流れは、①既設舗装・路盤撤去→②掘削(高さをD.L.+2.0mでフラット化)→③地盤改良(CI-CMC)→

④排水工→⑤埋戻し→⑥新設舗装工→⑦完了の手順である。なお、CI-CMC改良体は、不陸のある裏込石に沿って施工することから掘削深度が変わるなかで、ラップ長を確保するために海側(浅い深度)から陸側(深い深度)へ引いていくように施工するため、A~P列の計16列の改良体を要した(図-8)。

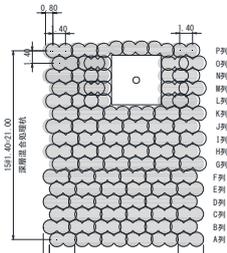


図-8 CI-CMC 施工配置図

しかし、2015年6月、これから地盤改良に着手しようとした矢先に、試験的に実施したキャリブレーションの段階で、目的深度まで到達しない高止まりが生じた。合計6箇所の試掘(空掘り)を実施したが、海側のG列では想定より70cm高い程度であったものの、陸側のJ列からP列の3箇所については、大幅に浅い位置で高止まりした。

J列	想定深度	-10.1m	高止まり位置	-6.6m
M列	"	-13.0m	"	-5.1m
P列	"	-16.0m	"	-4.5m

高止まりの原因を確認するため、調査ボーリングを実施すると、高止まりした深度で転石が確認された。その下に砂質土を挟んで、新たに転石が確認され、-11.5m付近からは粘土混じりの砂礫・砂が確認された(図-9)。

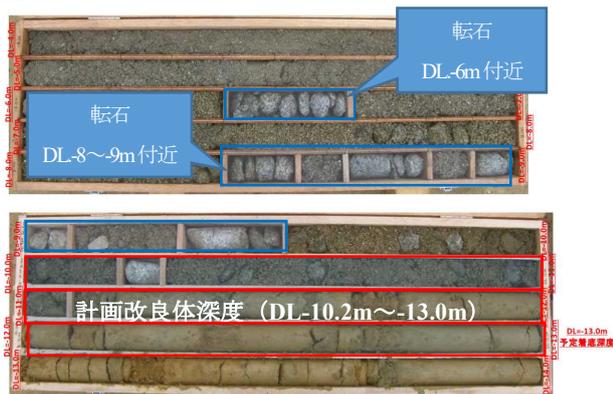


図-9 調査ボーリングのコア写真

## (2) 支障物の除去

2015年度に実施した工事では、転石の出現に規則性が無いことから高止まりを許容し貫入できる範囲まで実施することとし、支障物以深の土層も吸出しを受ける粘土混じりの砂礫・砂であることから、その後の追加的処置を並行して検討することとなった。

2016・2017年度工事では、さらに浅い位置で転石が発

生じたことから、地盤改良の施工範囲全域を施工基準面から-3.0mの位置まで事前にバックホウで掘削して転石を撤去することとした(図-10)。

約1,828m<sup>2</sup>の掘削範囲に対して、直径1m程度の巨石; 約113m<sup>3</sup>と基礎捨石; 約263m<sup>3</sup>が除去されたが、既設の係船直柱の基礎周辺では基礎捨石と思われる転石が多く発生し、CI-CMCの高止まりが目立った。



図-10 支障物除去と計測

## (3) 工法の見直し1 (高圧噴射攪拌工法)

2018年度工事では、高止まり箇所に対して、攪拌翼のない高圧噴射攪拌工法を採用した。同工法は、セメントスラリーをエア一等により供給し、強制的に地盤と攪拌混合する工法であるため、転石が多発するところでの施工が可能か検証する必要が生じた。検証するに当たりA5, B2, E10の3箇所で試験施工を試みた(図-11)。

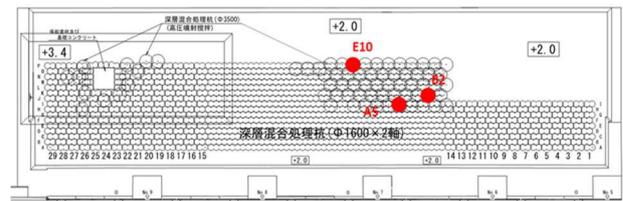


図-11 高圧噴射工の施工平面図

試験施工は、施工ステップ1として模擬固化材(着色粘性水)を使用した「噴射の到達範囲」および「裏込層から海への濁水の流出の有無」を検証し、施工ステップ2として実際の固化材を使用した「改良体の構築状況」を検証することとした。ステップ1の到達範囲の確認では観測孔を別途設け「振動計」を設置し、ステップ2の改良体構築の確認でも同様に観測孔を別途設け「温度計」を設置することとした。改良深度及び計測機器の設置箇所は、以下のとおりである(図-12, 13)。

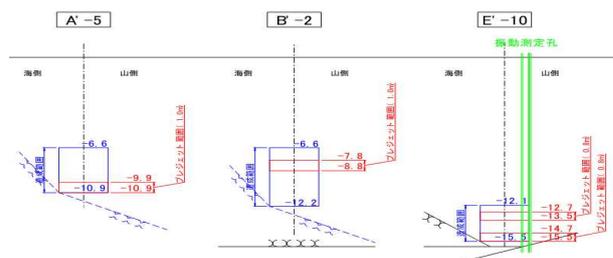


図-12 試験施工箇所の断面図

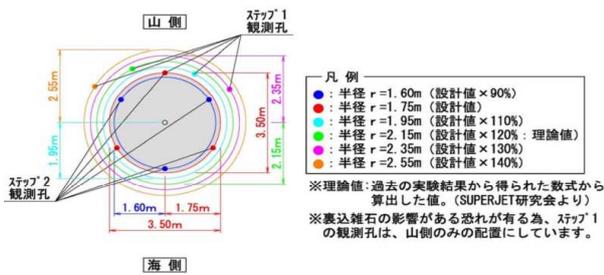


図-13 観測孔配置図

### ステップ1の検証結果

設計値の120%の径までは噴射エネルギーが観測孔の管を振動させる力が強いが、140%の径の位置になれば、ほぼ噴射エネルギーが届いておらず、減少することがわかった。なお、100%の径の位置については、最も近い位置にも関わらず振動エネルギーが少ない結果となっているが、これは観測孔の管の接続が建て込み時に緩み、振動を十分に伝えることができなかったためと考えられる(図-14, 15)。

また、濁水の海への流出結果は、岸壁前面での濁度計測と目視を約6時間行ったが、模擬固化材の海への流出は確認されず、固化剤の流出の恐れは低いことが分かった。



図-14 振動計設置・測定状況

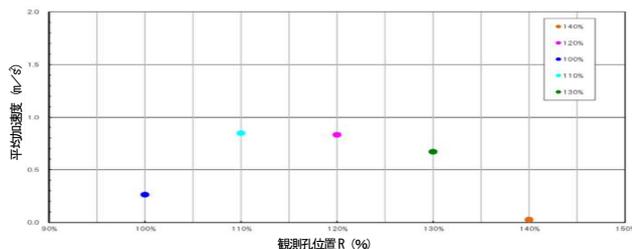


図-15 観測孔位置—平均振動レベル相関図

別の問題点として、A5, B2 では設計量の5~7倍の排泥量が排出され、現場施工にあたって大きな支障となることが発覚した。この要因は大量の海水が排泥に混ざっていたためであり、排泥の濃度や排泥ピットに溜まった砂分沈降状態を見ると非常に薄い(ほぼ海水)ことがわかった。一般的に、地下水の流動(地盤の透水係数)が小さい地盤であれば排泥は設計量相当に収まる傾向があるが、当該箇所では、転石層を含む範囲に対して高圧噴射を行ったため、この転石層が非常に透水性の高い水みちであったと考えられる(図-16)。



図-16 排泥状況(左; E10、右; A5)

### ステップ2の検証結果

ステップ1を踏まえて、排泥量の多さから、試験施工箇所をA5とE10の2箇所に絞った。

温度測定を行うことから、原水の海水(約15°C)と差をつけるため、ブルーシート・ジェットヒーター・断熱パネル等を用いて、練り混ぜ時の温度を30°C程度にしたうえで噴射した。

結果として、「E10」では排泥量が一般的であり、どの観測孔においても、高圧噴射到達時の温度上昇、及びその後の水和熱の発現を捉えることができた。

練り上がった固化材をバケツに取り、ロー横で温度測定を行った結果、練り上がりの温度(35.8°C)を捉えた後、水和熱よりも寒い大気中にさらされて熱が奪われていく影響のほうが大きく、時間とともに温度が下がることとなった(図-17)。

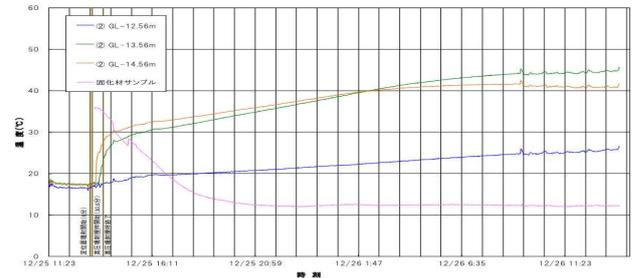


図-17 温度変化経時グラフ(E10; 観測孔100%)

「A5」では、排泥量が多量且つ多くの海水を吸い上げている状態であり、どの観測孔においても、高圧噴射到達時の温度上昇、及びその後の硬化熱の発現を明確に捉えることができなかった。すなわち、高圧噴射が温度測定管に届き温度を伝える以上に、周囲からの海水の流入が大きく、温水固化材の温度を検知することができなかったと考えられる。そして、著しく流入する海水によって固化材は希釈・流亡したと考えられる(図-18)。

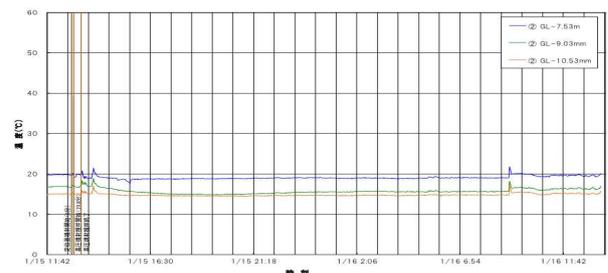


図-18 温度変化経時グラフ(A3; 観測孔100%)

温度測定の結果、「A5」は改良体ができていないと判断し、圧縮試験は「E10」のみ実施することとした。結果、指定強度の100kN/m<sup>2</sup>は満足した(表-1)。

表-1 圧縮強度試験結果

No.	深度(m)	一軸圧縮強さ(kN/m <sup>2</sup> )	備考
1	GL-12.15~GL-12.29	3,540.92	
2	GL-13.42~GL-13.56	546.57	
3	GL-14.29~GL-14.43	1,119.21	

### 高圧噴射攪拌工法の評価)

今回の試験施工により、海への流出はなかったものの、転石層が改良深度にある場合には、高圧噴射攪拌工法は適用できないと判断した。なお、係船直柱基礎周りは、転石層による高止まりでなく、基礎部の捨石によるものと考えられていたことから、高圧噴射攪拌工法で実施した。ただし、土層にN値5以上の粘土層があること、レキ質土層があることから、改良径を3.5m→3.2mに見直した。その結果、異常な排泥量が排出されることなく係船直柱基礎周りを完成させることができた(表-2)。

表-2 圧縮強度試験結果

No.	深度(m)	一軸圧縮強さ(kN/m <sup>2</sup> )	備考
1	GL-12.41~GL-12.55	2,322.11	
2	GL-13.74~GL-13.88	2,801.40	
3	GL-14.37~GL-14.51	1,987.42	

### (4) 工法の見直し2(薬液注入工法)

転石層による高止まり箇所に対して、コストの観点より次の候補であった薬液注入工法を採用することとした。

薬液は溶液型恒久グラウトであるパーマロックを採用し、施工方法は転石層を抜くためロータリーパーカッションドリルで先行削孔したうえで二重管ストレーナによる注入とした。指定強度は、土木学会論文集 No.728で示された波圧による吸出しの影響を受けない45kN/m<sup>2</sup>とした。

2019年度の工事では、次年度から始まる背後の木質バイオマス発電所の新規立地に伴う海上からの資材搬入が計画されていたため、年度内の確実な西側エリアの完成が必須となった。そのため、薬液注入工事を最大3件同時に施工し工期短縮を図った(図-19)。

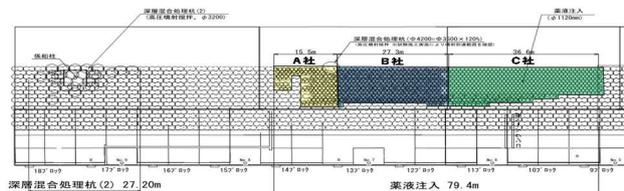


図-19 2019年度薬液注入工実施平面図

薬液注入工は事前配合試験により、その現場での最適な薬液濃度と注入量を確認することとなった。各工事それぞれ、1件目では濃度4%で注入率48.0%を159本の実施、2件目では薬液がエコシリカ(パーマロックと同

等以上)を採用し濃度7%で注入率45.5%を538本の実施、3件目では濃度8%で注入率55.4%を415本の実施となった。特に、3件目が高濃度の値となった要因は、過年度に実施した高圧噴射攪拌の試験施工近辺を対象に配合試験を実施したことと推測される。

施工では、特に2件目のエリアで多発した事象として、先行削孔したにもかかわらず、ストレーナ管設置時にボーリングで再削孔しなければならない現象が生じた。これは、このエリアが唯一これまでの地盤改良工法を行っていないことから、土中部の転石が動きやすい状態にあり、次々に削孔するパーカッションドリルで転石の角度・位置を動かしたものと考えられる。

効果の確認は、各工事それぞれ3地点;計9地点の三軸圧縮強度試験及びシリカ含有量の確認を行った結果十分な値を示した。

以上より、全地点で指定強度以上の値を確認することができ、西側の地盤改良を終え、計画通り2019年度中に舗装までを完了させ、2020年度から前面の岸壁を利用した資材搬入が開始された。

## 4. 東側工事での施工効率化

上記の取組により、令和元年度中に西側エリアの暫定供用を実現した。残る東側エリアは令和2年度内完成が要請された。

東側エリアの施工方法は、西側エリアでの施工経験を活かして、まずは安価なCI-CMC工法を実施し、高止まったところは薬液注入工法を追加的に行うこととした。なお、予め前年度工事にて東側でのCI-CMC工法で施工できるのかを検証するため、3列のみを試行的に実施し、所定深度まで改良可能であることを確認している。

年度内の完成を目指すため、594本;改良面積2,367m<sup>2</sup>をCI-CMC機2台で同時施工し工期短縮を図った。

また、2020年度の工事では、これまでの施工実績を踏まえた受注者からの提案で、CI-CMC機の攪拌翼のピッチを従来の50cmから100cmに改良した機械を使用し(図-20)、且つ全エリア地表から2m程度の転石をバックホウにて除去することとした。事前の掘削時には場所によっては多量の転石等が発生した(図-21)。



図-20 攪拌翼のピッチ改良



図-21 事前掘削による転石等除去状況

この効果は絶大であり、攪拌翼を地表から 2m 程度土中への挿入が可能であれば、その後の掘進であらかたの障害物が存在しても、掘り進めることができた。その結果、6本/594本の高止まりのみとなった。

ただし、高止まりは6箇所のみを抑えることが出来たが、実際には他の箇所にも転石が点在していたと考えられる。それは、施工機の部品の破損・取替が多発し、日々の攪拌翼の点検、整備、予備の攪拌翼の準備が必要な状況であったためである(図-22)。



図-22 攪拌翼の破損・修理状況

なお、6本の高止まり箇所は、係船直柱まわりで確認されたが、係船直柱に損傷を与えないように、障害物を取り除ききれなかったことが原因だったと考えられる。

高止まった改良体の下端が吸出しを受けない土層の可能性もあるため、急遽ボーリング調査を実施したが、砂層であったことから、薬液注入工の追加を要した。事前の配合試験より、濃度 6%で注入率 48.5%となり、計 36本；約 32m<sup>2</sup>を実施した。

結果、CI-CMC・薬液注入ともに指定強度を満たし、予定通りの 2020 年度中の完成を無事迎えることができた。また、老朽化の著しかった防舷材、車止め、縁金物の取り換えと係船柱の塗装塗り替えも行ったことで、係留施設全体のリニューアルが図られた(図-23)。



図-23 プロジェクト前後の岸壁状況

## 5. まとめ

施工における一番の障害となった土中部の転石の存在について、西山地区岸壁の歴史について当時の関係者より話を伺った。

本埠頭は、1980年1月に設計され、1988年に供用開始した。1980～1983年度に岸壁が完成し、1984～1985年度で前面泊地をポンプ浚渫船で浚渫し、その土砂で埋め立てをしている。その際に、防砂シートの浮き上がりを抑制するため、転石で抑えた経緯があることが明らかになった。

このような設計図書とは異なる現場レベルの些細な行為を変更として捉えずに完成図面に反映しなかったことで、正確に引き継がれていなかったことが、単純な地盤改良工事を一筋縄でいかにしてしまったといえる。また、石はシートの真上だけではなく、至るところに点在していたことから、浚渫時に発生した石も土砂と一緒に投入されたものと考えられる。

これらより、老朽化した施設の改良工事を行う際には当時の施工担当者へのヒアリングによる実施状況の確認、設計図書とは異なる行為について引き継ぐことが重要であるといえる。

一時期は老朽化・陳腐化が進み貨物利用も低迷していた本地区も、本プロジェクト進展とともに、新たな企業進出・物流倉庫の立地を可能とした。その結果、過去とは用途を変え、一般家庭の約 14 万世帯分に相当する年間約 5 億キロワット時の発電量で、20 年間で 200 億円の地域への経済効果が見込まれている(図-24)。



図-24 完成写真 (R3.3 撮影)

謝辞：本プロジェクトを進めるにあたって、受注業者・専門施工業者の皆様が大変な苦勞をともにしていただき、重要なプロジェクトの完了を計画通りに迎えることができました。ここに記して、深くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 平成 30 年度下関港（西山地区）岸壁（-12m）（改良）工事：地盤改良工 深層混合処理工（高圧噴射攪拌）試験施工報告書、2019.1