

浅水域における軟弱地盤の圧密促進について —フロート式プラスチックボードドレーン工法の施工と管理—

室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 工務課 ○久恒 一人
五洋建設株式会社 林 聖淳
東亜建設工業株式会社 井上 慶彦

苫小牧港東港区浜厚真地区における岸壁の拡張整備に伴い、軟弱地盤対策として、ドレーン打設および盛土載荷による圧密沈下の促進と地盤強度の増加を図った。

本対策の実施にあたっては、浅水域でも施工可能なフロート式プラスチックボードドレーン工法（P D F工法）を採用した。本稿では、北海道で初となるP D F工法の施工とその管理について報告する。

キーワード：地盤改良、浅水域、プラスチックボードドレーン、施工管理

1. はじめに

苫小牧港は、北海道の政治、経済の中心である札幌圏に太平洋岸で最も近い港湾であり、交通の要衝でもあることから、フェリー、RORO船、コンテナ船による国内外との定期航路が週100便以上就航している。港湾取扱貨物量は北海道全体の5割以上を占め、内貿貨物量は23年連続で全国一であるなど、北海道のみならず我が国の産業・経済を支える北日本最大の海上輸送拠点として大きな役割を果たしている。

現在、苫小牧港の東港区では「苫小牧港東港区浜厚真地区複合一貫輸送ターミナル整備事業」を進めている。本事業は、我が国の「食」を支える北海道の農水産品や加工食品等の安定供給に加え、トラックドライバーの不足や労働環境改善に対応するためのフェリー輸送網の強化、製鉄業に不可欠なバルク貨物の安定供給、大規模災害発生時の緊急物資輸送や被災者支援の確実性向上を目的としている。

令和4年に着工し、4年目となる令和7年度は、主に岸壁背面の地盤改良を行っており、フロート式プラスチックボードドレーン工法（以下、P D F工法）を採用している。本稿では、北海道で初となるP D F工法の施工とその管理について報告する。

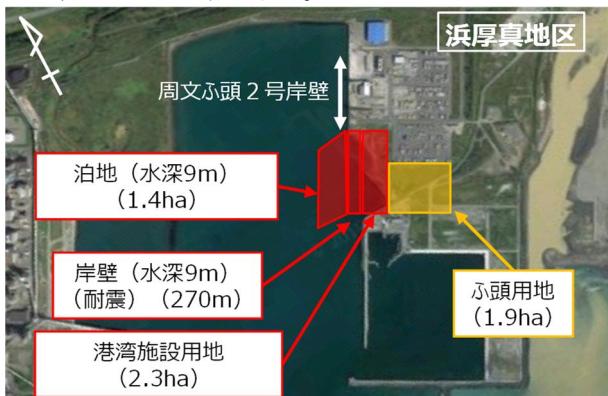


写真-1 苫小牧港東港区浜厚真地区

2. 岸壁構造とP D F工法の概要

(1) 整備箇所

整備箇所は、東港区浜厚真地区の周文ふ頭で、既設の2号岸壁の南側に、延長270m、水深9mの岸壁を耐震強化岸壁として新たに建設する。岸壁に加え、岸壁前面の泊地（水深9m）と岸壁背後の港湾施設用地を国が整備し、ふ頭用地を港湾管理者が整備を行う計画となっている。

（写真-1）

(2) 岸壁構造

岸壁建設箇所は、厚真川の旧河口にあたる箇所に位置し、粘性土が厚く堆積している。特に、DL-2mから-22m程度までのIIc層、IIIc層はN値1～2程度の軟弱地盤となっている。その下のDL-33m程度までのIVc層はN値7程度、DL-50m程度までのVc層、VIc層はN値10を超える粘性土層となっており、それぞれの層に薄く砂質土層が挟在している。

岸壁構造は、経済性、施工性などの総合比較の結果、控え直杭式鋼管矢板構造を採用した。岸壁前面の地盤は、レベル2地震動に対する液状化対策と強度増加のため、サンドコンパクションパイル工法（S C P工法）により改良（改良率78.5%）を行っている。一方、岸壁背面の地盤の改良は、圧密沈下対策と強度増加のため、バーチカルドレーン工法を採用し、次節の理由からP D F工法を選定した。（図-1）

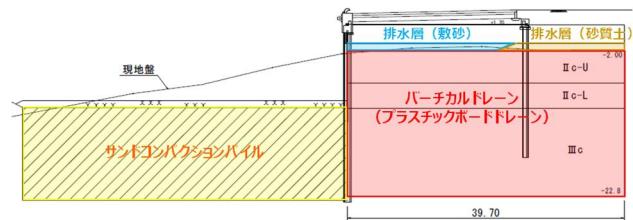


図-1 岸壁標準断面図

(3) 工法の選定

岸壁建設箇所は、写真-2のとおり自然の海浜であり、岸壁法線の背面に位置する砂浜から前面の航路（-9m）にかけて急勾配の海底地形となっている。このため、岸壁法線の背面では水深が浅く、大型作業船や引船の喫水が確保できない。よって、バーチカルドレン工法として最も一般的なサンドドレン（以下、SD）工法による海上施工が困難であった。

一方、岸壁背面の埋め立てを先行し、陸上からSDを打設する方法も検討したが、埋め立てに使用する現地発生土（浚渫土砂等）が想定以上に軟弱であることが確認され、施工性や経済性から陸上機械（重機）を用いた施工も困難と判断された。

プラスチックボードドレン（以下、PD）工法は、軟弱地盤の圧密促進を目的としたバーチカルドレン工法の一つで、軟弱地盤中に鉛直にドレン材を打設し、その排水効果を高め、地盤の圧密沈下を促進する工法である。ドレン材は工業製品であるため品質が均一であり、軽量であることから取扱いも容易で施工性にも優れている。

PDF工法は、PDの打設機を台船上に設置することで海上施工を行う工法であり、台船の喫水が浅いことから、大型作業船の入域が困難な浅水域や閉水域など、従来は困難であった現場条件下においても施工を可能とした工法である。道外では海面土砂処分場や海上空港などの人工島用地の造成等において施工実績を有している。

上述のとおり、周文ふ頭の現場条件は浅水域であり、さらに後述するように閉水域となることも考慮し、北海道で初となるPDF工法を選定することとした。



写真-2 岸壁建設箇所

3. PDF工法の施工

(1) ドレン材の配置とサンドマットの敷設

PDF工法の対象土層は軟弱な粘性土層であるIIc層およびIIIc層とし、改良深度は、これらの層を網羅するよう、上端をDL-2.0m、下端はDL-22.8mとした。断面方向の改良範囲は、岸壁構造に影響を与える範囲（幅）を考慮し、岸壁法線から39.7mとした。

ドレン材の打設間隔は、後工程の載荷盛土の放置期間などにも関連することから、事業全体の工程への影響

や経済性などを総合的に勘案して1.2m間隔の正方形配置とした。これにより、合計8,178本のドレン材を打設することとなる。

ドレン材による改良層の上層には1m厚の排水層を確保する。排水層は鉛直上向きに吸い上げられた間隙水を水平方向に誘導し改良範囲外へ排出する役割がある。

なお、改良幅の陸側（断面方向海浜側）では、IIc層の上層に砂質土層が堆積しており、透水性に優れていることが確認されたため、そのまま排水層として利用する。一方、海側についてはIIc層の上層にサンドマット（敷砂）を敷設する。（図-1）

サンドマットには、苫東厚真火力発電所から排出される石炭灰（フライアッシュ）を原料とした骨材を活用する。軽量かつ内部摩擦角が確保され、透水性も良好であり、リサイクル材の有効利用の観点からも採用した。

(2) PDF台船の艤装

PDF工法では、港湾工事で一般的に使用される台船上に、陸上機械（PD打設機）をはじめ、ワインチ、スパット、横行レールなどの各種設備を設置（艤装）し、PDF台船として仕立てる。特殊かつ大型の専用船を要するSDの海上施工に比べ、使用船舶の規模が小さく、喫水も浅いことから、浅水域や閉水域での施工が可能となる。（写真-3）



写真-3 PDF台船の艤装状況

(3) 施工計画

a) 仮設鋼矢板の設置

PDF工法の施工後、圧密促進のためDL+7.0mまで載荷盛土を行う計画である。

しかし、岸壁法線まで盛土を行うと、法面が航路（-9m）側に張り出すことになる。

これによる周辺海域への濁りの拡散や、港内波による法崩れが航行船舶へ支障を及ぼす懸念があった。

そこで、岸壁法線から海側へ15mの位置に仮設鋼矢板を打設し、工事水域の間仕切りおよび盛土の法止めを行った。（図-2）

なお、この仮設鋼矢板により工事水域内は閉水域となり、波浪に対する静穏性が確保されたため、PDF工法の施工効率が大きく向上するという効果も得られた。

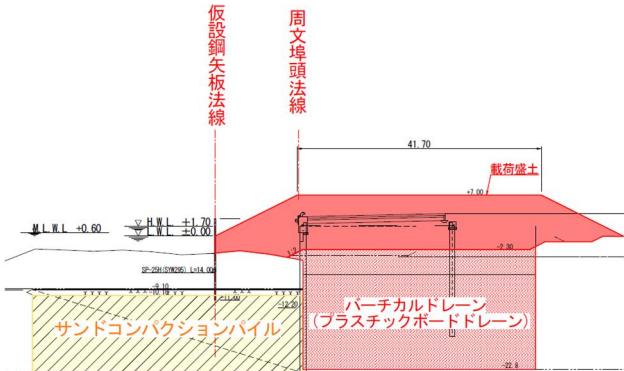


図-2 載荷盛土と仮設鋼矢板

b) 工区割とブロック割

サンドマットの敷設から、P D F工法、載荷盛土へと続く一連の工程は、事業全体のスケジュールを左右する重要な工程となっている。

このため、P D F工法の施工を北工区と南工区の2工区に分け、2隻のP D F台船による同時並行作業を行うこととした。また、P D F台船の干渉（近接施工による施工制限等）を回避するため、北工区を6分割、南工区を14分割にブロック割（小割）して、施工待ちや能力低下が生じないよう計画した。（図-3）

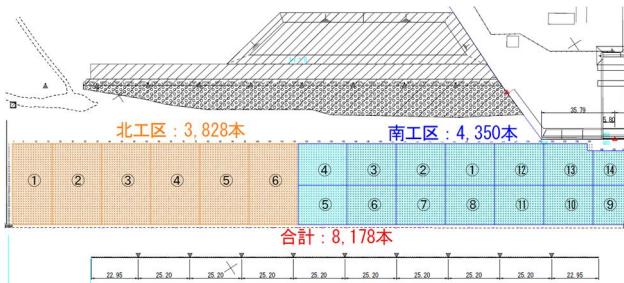


図-3 工区割とブロック割

(4) 施工方法

本施工に先立ち、キャリブレーションを実施する。所定の位置および設計深度まで正確に打設するための事前準備であり、打設位置や自動記録計の整合性を確認するものである。

具体的な手順としては、GNSS測位システム（図-4）の確認を行うとともに、ケーシングに設計深度のマーキングを行い、打ち込んだ際にマーキングの位置と操縦席のモニター上の深度表示が一致しているかを確認する。

キャリブレーション後、得られた情報の精度が出来形基準を満足していることを確認した上で本施工へと移行する。

本施工の基本サイクルを図-5に示す。P D F台船を施工範囲にセットした後、ドレーン杭の位置決めを行い、ドレーン材への先端アンカー取付を行った上でケーシングを貫入させる。（写真-4）

ケーシングの貫入が完了後、ケーシングの引抜を行うが、この時、ドレーン材の共上がりが無いことを確認す

る必要がある。ケーシングの引抜完了後、ドレーン材を切断して打設完了（1サイクル）となる。

これを台船上での打設機のレール移動と台船自体の海上移動を合わせて繰り返し行い、1日当たり80本程度の打設を行う。

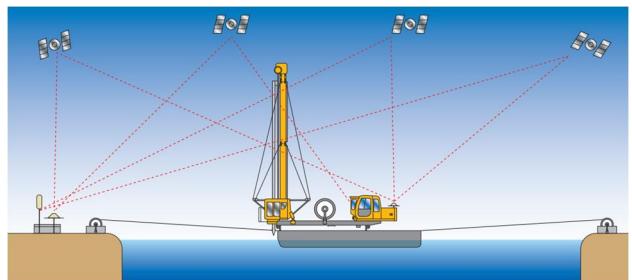


図-4 GNSS測位イメージ図

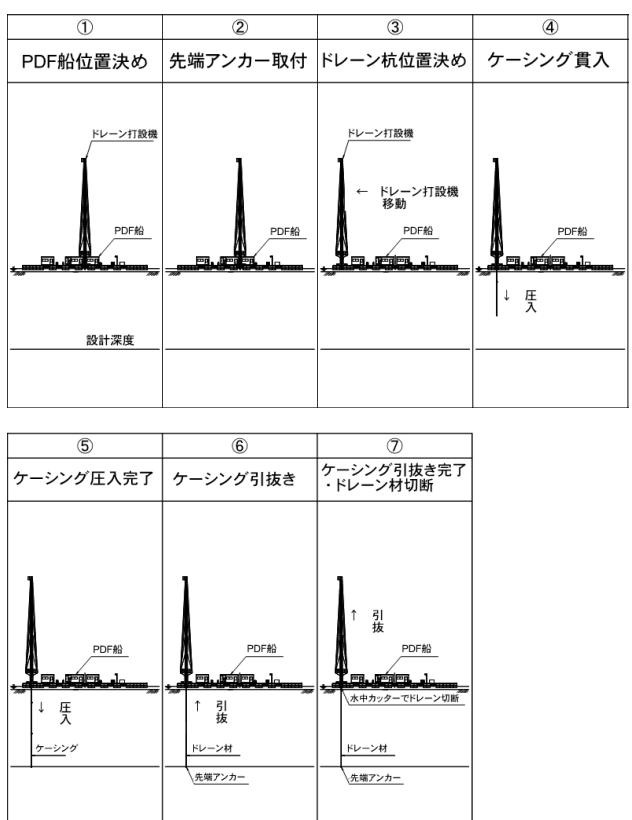


図-5 施工サイクル図



写真-4 ドレーン材（左）と先端アンカー取付状況

4. PDF工法の管理

(1) 施工管理計画

施工管理は、港湾・漁港工事仕様書（北海道開発局）を基本としつつ、これまでのPDF工法の実績なども踏まえて設定した。

出来形管理項目を表-1、ドレーン材の品質管理項目を表-2に示す。

表-1 出来形管理項目一覧

管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	結果の整理方法	許容範囲
位置	自動位置決めシステムによる	全数	1cm	測定表及び出来形管理図	±10cm
天端高	打込記録による	全数	10cm	測定表及び出来形管理図	+：規定しない -：許容しない
先端深度	打込記録による	全数	10cm	測定表及び出来形管理図	+：規定しない -：許容しない
ドレーン材の打込長	打込記録による	全数	10cm	測定表及び出来形管理図	規定しない

表-2 品質管理項目

管理項目	管理内容	品質規格	測定密度	結果の整理方法
材質	種類	芯体：合成樹脂 フィルター：合成繊維	施工中適宜	試験成績表
	品質		搬入前に1回	試験成績表
寸法	幅・厚さ	製造工場規格許容値以内 (換算径は5cm以上とする)	施工中適宜	試験成績表
引張強度	乾燥状態 湿潤状態	2.5kN/製品幅以上		試験成績表
透水計数		垂直方向：1.00cm/sec以上 水平方向：0.01cm/sec以上		試験成績表

(2) 施工管理方法

ドレーン材の打設中は、操作室のモニター画面に打設深度、油圧圧力、油圧抵抗値、ケーシングの前後左右の傾斜値がリアルタイムで表示される。これにより、オペレーターは、波浪による船体の動搖や地中の障害物などを常に確認しながら打設機の操作を行うことが可能となり、その結果、精度の高い出来形を確保できた。

また、打設機は自己記録装置を有しており、速やかに打設記録をとりまとめることができた。（写真-5）

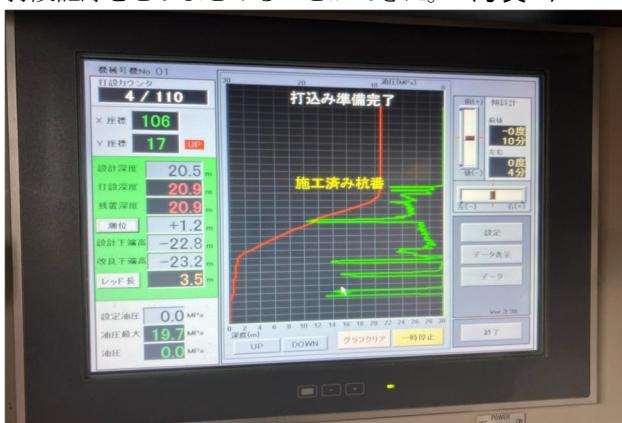


写真-5 操作室モニター状況

5. 課題およびその対応

(1) 工程管理

既述のとおり、PDF工法の施工範囲を2工区に分割し、2隻のPDF台船で同時施工を行うことにより工期短縮を図る。

PDF台船は、アンカーワイヤーによって係留し、ワインチの操作によって船体を移動させる。PD打設時の鉛直方向の偏心に許容値があることから、船体の動搖を最小限に抑えるため、台船から4方向にアンカーを伸ばして対応する必要があり、係留ピースの取り合いやアンカーの干渉が生じる可能性があった。

このため、計画したブロック毎の施工順序を予め設定することで、施工待ちなどが生じないようにした。海象条件等により双方の進捗にズレが生じた場合は、綿密な協議により係留計画を再調整し、工事が停滞することのないよう工程管理を行った。（図-6）

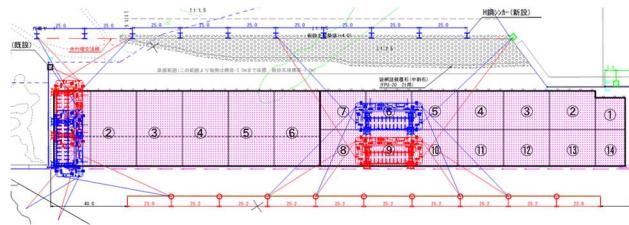


図-6 PDF台船のアンカー配置計画

(2) 支障物除去

PD打設範囲の一部には、近接する既設護岸の被覆ブロック等が存在しており、打設の支障となることから、打設前に撤去する必要があった。しかし、護岸（鋼矢板式）は老朽化（腐食）が進行しており、安全性の確保が課題となっていた。

この対応として、支障物の撤去に先立ち、護岸背後の埋土を一部撤去し土圧軽減を図ることで、護岸の倒壊等が防止され、安全な状況での支障物撤去とPD打設が可能となった。

(3) 打設方法

ドレーン材の打設には、ボーリング調査結果（N値）と施工の効率性を考慮し、ウォータージェット（以下、WJ）を併用する。また、サンドマット（敷砂）の敷設範囲については、未敷設範囲（砂質土を排水層とする範囲）と比較してケーシング貫入時の抵抗が大きくなることから、油圧により強力な貫入を可能とし、強固な地盤に対しても有効な「パワーブースト（PWB）」を用いることとした。

(4) 環境への配慮

施工箇所は、供用中のフェリーターミナル、漁業関係施設および航路に隣接する。PDF工法は、打設機によるケーシングの圧入によって打設を行うため、他工法と

比べて振動や海中の濁りが発生しにくい特長があり、環境への負荷が小さいものの完全に防止することは困難である。

また、仮設鋼矢板により隣接する航路や周辺海域と間仕切りを行っているが、P D F台船の入域、出域のため南北に1箇所ずつ開口部を設けている。この開口部からの濁り等の拡散を防止するため、P D F台船の入域後は汚濁防止膜を設置することで対応した。

なお、P D F台船は本施工の開始前に入域し、全本数の打設完了までの間、仮設鋼矢板内の閉水域に留まる。

(5) 共上がり防止

P D打設後、ケーシングを引き抜く際には、ドレーン材の共上がり防止が必要である。

今回の施工では、打止め深度の軟弱シルト層における共上がり対策として、抵抗板付きの特殊アンカーを採用した。これにより、共上がりに起因する不具合杭の発生数を通常アンカー使用時よりも低く抑え、施工品質を確保した。

また、キャリブレーション時に共上がり量を計測し、その量を加算して打ち込み長を設定することで確実かつ効果的な施工を行った。

(6) 高止まり

P D打設時にケーシングが地盤の硬度や支障物等により設計深度まで到達せず、高止まりが発生することがある。この場合、高止まり発生位置の近くにP D F台船をセットし直して再打設を試みる。(図-7)

ドレーン材の配置間隔は1.2mピッチであるが、位置をずらすことでピッチ間隔が不足し、改良率を満たさなくなることから、ピッチが開いた反対側にさらに1本の増し打ちを行う。(図-8)

本工事では高止まりが発生した打設箇所の左右に0.6mずらして増し打ちを行うこととした。増し打ちも打設困難であった場合は、打設機のオシログラフに表示される圧入器の油圧抵抗値と当該箇所の地盤情報を照らし合わせ、改良対象層の下層であるIIIc層の下端に到達したと判断し、打設を完了した。

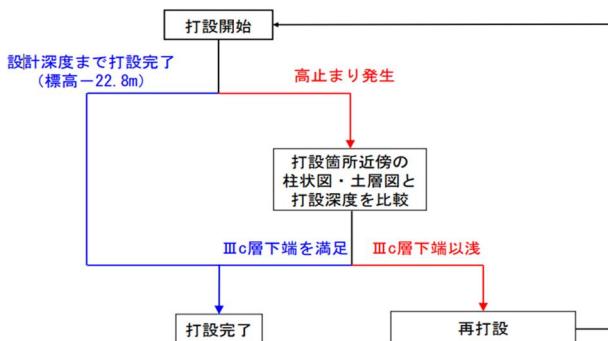


図-7 高止まりと再打設・増し打ちのフロー

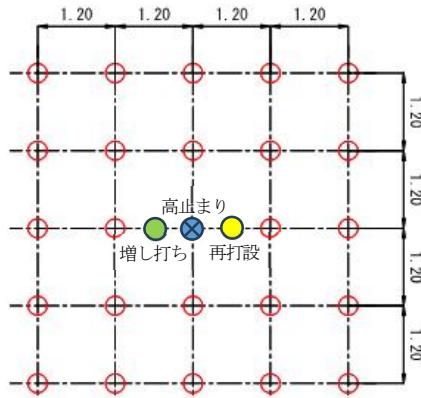


図-8 再打設・増し打ちの配置イメージ

(7) 気象海象の把握と中止判断

P D打設箇所は仮設鋼矢板に囲まれているが、P D F台船の出入域のための開口部が設けられており、波浪の影響を少なからず受ける。

特に周期の長いねり性の波によってローリングやピッキングなどの現象が起きることで、ケーシングの曲がりや破損が懸念された。また、ケーシングタワーが高いことから、風の影響を大きく受ける。ケーシングは本工法用の特殊品であり、替えが利かないことから、気象海象の把握や中止判断が極めて重要であり、短期・長期の波浪予測を活用し工程計画を立てるほか、天候の急変にも対応できるよう、常時、気象海象情報を入手しながら、適切に工事の進捗・中止を管理した。

(8) モニタリング

バーチカルドレーン工法は、ドレーン材の打設をもって完成でなく、その後の載荷重による圧密促進と地盤の強度増加が目的である。今後の管理として、沈下板の設置と間隙水圧計によるモニタリングを予定している。

沈下板は、載荷盛土の断面方向に対して、法肩に2箇所、中央部1箇所の3箇所に設置する。この断面を延長方向に3断面設け、合計9箇所に設置する。

沈下板の計測頻度は、道路土工要綱の軟弱地盤対策工指針により設定し、後発工事に引き継いで計測を行っていく。

沈下量については、観測結果から双曲線法等を用いて今後の沈下予測と最終沈下量の予測を行い、残留沈下量が許容値を満足するか確認した上で除荷の判断を行う。

間隙水圧計は、ドレーン材の打設に通常のケーシングを使用する場合、計器をケーシング内に挿入し、ドレーン材の打設と同時に埋設することができる。しかし、当現場で使用しているケーシングはWJの噴射が可能な特殊仕様であり、ドレーン材打設時の同時埋設ができない。一方、海上ボーリング台船による埋設も検討したが、台船の脚（スパッド）が打設後のドレーン材を乱してしまうおそれがある。このため、打設位置の座標情報を後発工事へ引き継いだ上で、載荷盛土の完了後に陸上ボーリ

ングにより3箇所へ間隙水圧計を設置することとした。

また、圧密沈下が想定どおりに進まない場合の対策として、強制排水のための揚水井戸を3箇所に設けることとした。

圧密による地盤の強度増加の評価としては、CU（非排水せん断強度）を用いる。しかし、CU試験（簡易CU試験）は結果が得られるまでに期間を要し、待ちが生じてしまうことから、この解消のため、現地試験により即時に強度を把握する方法として、以下により評価を行うこととした。

①載荷盛土の放置期間中に、簡易CU試験と三成分コーン試験（サウンディング）を実施する。

②簡易CU試験による非排水せん断強度と三成分コーン試験結果から推定した非排水せん断強度の関係を把握する。

③以降の判断は三成分コーン試験結果からの非排水せん断強度の推定値を用い、目標値を上回ることを確

認した上で盛土の除去（載荷の除荷）を開始する。

6. おわりに

本事業では、一般的な岸壁建設の現場と比較して浅水域であるなどの特異な現場条件（写真-6）であったことから、北海道では初めてとなるPDF工法を採用した。事前に検討を行っていた課題以外にも様々な状況が発生したが、本稿に示した対応などによって大きなトラブルや手戻りが発生することなく工事を終えられた。

今後の載荷盛土やその後の各工程の施工においても現場条件に適した工法の採用や綿密な施工計画などにより、本事業をスケジュールどおりに完成させ、我が国の課題解決や発展に貢献していきたい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、ご指導・ご意見をいただいた株式会社不動テトラ様並びに関係者の皆様に感謝の意を表します。



写真-6 閉水域（仮設鋼矢板内）でのPDF台船2隻による同時施工状況