

ケーソン式防波堤の予防保全（長寿命化）工事について

On preventive maintenance (extension of service life) construction of caisson type breakwater

福田 典紀*

Noriki Fukuda

高橋 祐貴*

Yuuki Takahashi

伊東 孝起*

Takaoki Ito

要 約

当該工事は、平成 28 年 8 月に発生した台風 10 号により被災したむつ小川原港外港地区防波堤（東）の災害復旧工事である。港外側に設置されたケーソン式防波堤は、想定以上の高波浪の影響によりケーソン側壁に穴あき現象等の損傷が発生し、中詰土が流出する被害を生じていた。本工事は、今後同様の被害の発生を抑制するため、側壁の復旧とケーソン隔室内に地盤改良体を造成することにより、ケーソン式防波堤の予防保全（長寿命化）を図るものである。本稿では、全国的に適用事例の少ない高圧噴射攪拌工法による中詰改良工および袋詰コンクリート工について報告する。

目 次

§ 1. はじめに

§ 2. 工事概要

§ 3. 中詰改良工

§ 4. 袋詰コンクリート工

§ 5. まとめ

(4) 工 期：平成 29 年 7 月 26 日～平成 31 年 3 月 8 日

(5) 工事内容：袋詰コンクリート工 486 m³，
高圧噴射攪拌工 170 本他

§ 3. 中詰改良工

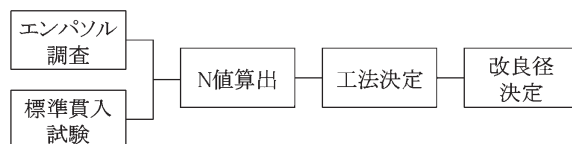
本工事における中詰改良工は、ケーソン隔室内の中詰土を高圧噴射攪拌工法により切削・排泥し、ケーソン隔室内に地盤改良体を造成するものである。

以下より、中詰改良工の施工方法および課題に対する工夫・成果を述べる。

3-1 調査および施工方法

中詰改良工のフロー図を図一に示す。中詰改良工の施工に先立ち、NETIS 登録されているエンパソル調査を隔室内毎に 1 箇所（合計 14 箇所）実施した。エンパソル調査は、ロータリーパーカッションを用いて中詰土を削孔し、削孔中の送水圧力・荷重・削孔時間等のデータを計測するものであり、通常の標準貫入試験よりも短時間で測定できるメリットがある。

エンパソル調査実施後、エンパソル調査を実施した近傍において標準貫入試験を合計 2 箇所実施し、N 値とエンパソル調査結果の相関関係を分析し、相関関係がある



図一 中詰改良工フロー図

§ 1. はじめに

むつ小川原港は青森県の太平洋中央部に位置し、むつ小川原総合開発の中核となる港湾として、昭和 52 年に重要港湾の政令指定を受け建設された¹⁾。

港外側には、ケーソン式防波堤が建設されているが、平成 28 年 8 月に発生した台風 10 号の影響により、ケーソン側壁に穴あき等の損傷が発生した。

本稿では、むつ小川原港外港地区防波堤（東）におけるケーソンの災害復旧工事のうち、全国的に適用事例の少ない高圧噴射攪拌工法による中詰改良工および袋詰コンクリート工について報告する。

§ 2. 工事概要

(1) 工事件名：むつ小川原港外港地区防波堤（東）

（災害復旧）改良外工事

(2) 発注者：国土交通省 東北地方整備局

(3) 工事場所：青森県上北郡六ヶ所村むつ小川原港内

* 北日本（支）むつ小川原港（出）

ことを確認した。図-2 にエンパソルの調査結果を示す。本工事の中詰土には砂と亜鉛鉱滓の2種類が使用されており、試験結果より砂の最大N値は30程度、亜鉛鉱滓の最大N値は50程度であることが判明した。

本工事では、エンパソル調査により推定されたN値を用いて高圧噴射攪拌工法の適用工法および改良径の比較検討を実施した。

当初設計の中詰改良工は、JSG工法により実施する計画であった。

図-3 にJSG工法の概略図を示す。JSG工法は回転する二重管ロッドから空気を伴った超高压硬化剤を横方向に噴射（噴射口は1方向）することで地盤を切削し、スライムを地表に排出させると同時に円柱状の改良体を造成する工法²⁾である。切削圧力は20MPa、硬化剤噴射吐出量は60ℓ/分である。図-4 にMegaジェット工法の概略図を示す。Megaジェット工法は、JSG工法と同様の機構により地盤改良体を造成する工法であるが、超高压硬化剤の噴射口が二方向のためJSG工法よりも、地盤改良体の造成速度が速くなる。また、Megaジェット工法は、JSG工法よりも大型の超高压コンプレッサーによって空気を圧送することで、JSG工法よりも、大口径の改良体を造成可能である。切削圧力は40MPa、硬化剤噴射吐出量は95ℓ/分×2方向である。

Megaジェット工法には、汎用機械と狭隘地仕様の2種類のプラントタイプがある。汎用機械の必要な施工ヤードは、約20m×15mに対して、狭隘地仕様の施工ヤードは10m×15mと省スペースで施工可能である。本工事では、施工ヤードがケーソンの上部と制約があったことから、改良径が50%程度小さくなるが、狭隘地仕様のプラントタイプを選定した。

JSG工法とMegaジェット工法の比較表を表-1に示す。

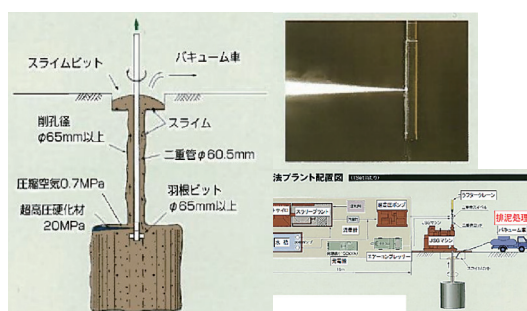


図-3 JSG工法概略図

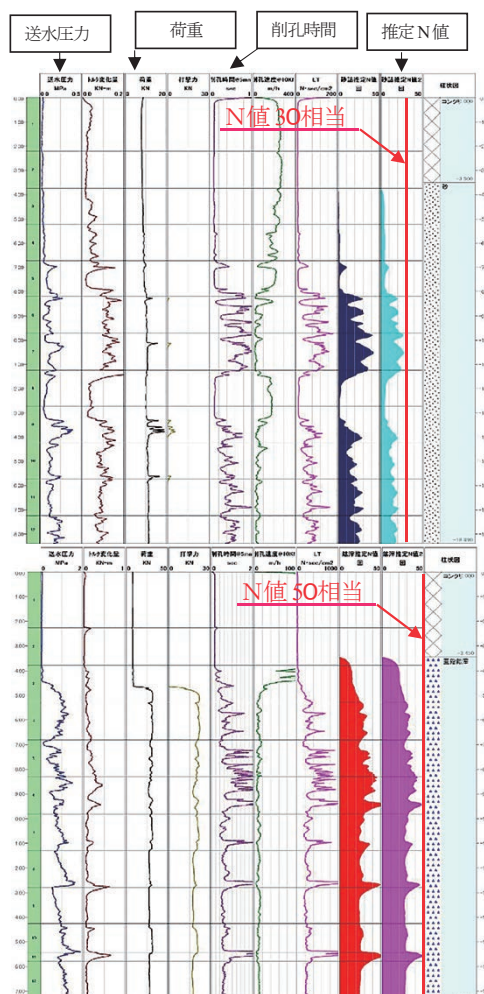


図-2 エンパソル結果（上：砂，下：亜鉛鉱滓）

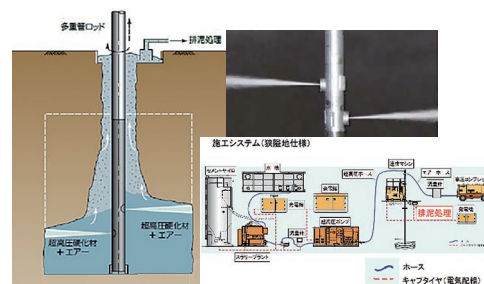


図-4 Megaジェット工法概略図

表-1 工法比較表

	J S G工法		M e g aジェット工法	
中詰土種類	砂 (N値30)	亜鉛鉱滓 (N値50)	砂 (N値30)	亜鉛鉱滓 (N値50)
改良径	1.6m	1.0m	2.5m	2.3m (2.0m)
1隔室当りの本数	9本	20本	4本	6本
噴射圧	20MPa	20MPa	40MPa	40MPa
吐出量	60ℓ/分	60ℓ/分	95ℓ/分×2口	95ℓ/分×2口
改良速度	30分/m	17分/m	9分/m	9分/m
施工性	施工機械・プラントがコンパクトにできる		汎用機械では施工機械・プラントが大きくなる (狭隘地仕様により対応)	
経済性	○		◎	

なお、Mega ジェット工法を採用したことにより、 $\phi 2.5 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ の改良体（中詰土：砂）を135分（JSG工法：450分）で施工可能となり、1日の施工サイクルで1本の地盤改良体の造成が可能となった。

3-2 課題

当初設計ではケーソンの中詰土を砂と設定していたが、現地に使用されている中詰め土を調査した結果、**写真-1**に示すような石や礫（約5～15 cm程度）が混入していることが確認された。Mega ジェット工法は、Mega ジェットマシンにより $\phi 90 \text{ mm}$ 程度の削孔を行い $\phi 60.5 \text{ mm}$ のロッドを挿入し、地盤改良体を造成する工法である。孔壁とロッドの隙間は約15 mmとなり、この隙間に石や礫が詰まることにより、ロッドが閉塞して稼動しなくなる懸念された。

また、排泥はバキュームポンプにより吸引する計画であったが、バキュームポンプに石や礫が詰まることにより、排泥に支障が生じた場合、ケーソン内部の圧力が上昇し、ケーソンが破壊に至る可能性があることが懸念された。

このため、ロッドの閉塞防止およびスムーズな排泥を実現するための対策工を確立させる必要が生じた。

3-3 課題に対する工夫・成果

(1) ロッドの閉塞対策

本工事では、Mega ジェットマシンよりも削孔径の大きい、ドリリングマシンにより $\phi 133 \text{ mm}$ の先行削孔を行い孔壁とロッドの隙間を約36 mmに拡大した。**図-5**に概略図を示す。孔壁とロッドの隙間を拡大したことにより、実施工においてロッドの閉塞を抑制した。

また、孔壁内に増粘剤（ホレール（**写真-2**））を 1 m^3 あたり500 cc添加した水を 0.5 m^3 注水することにより、孔壁内部の泥水に粘性を寄与し、泥水の潤滑性を向上させたことにより石や礫によるロッドの閉塞を抑制した。日常の増粘水の粘性管理はファンネル粘性試験（**写真-3**）により実施した試験により確認された泥水の流出時間は25 secと静水の流出時間19 secの約1.3倍となった。

(2) バキュームの詰まり対策・排泥量管理

本工事では、バキュームポンプの排出口にエアーを圧送するための鞘管（**写真-4, 5**）を取り付け、圧力7 Mpaのエアーにより排泥の排出を補助し、バキュームポンプの詰まりを抑制した。また、排泥処理方法をバキュームポンプにより、隔室内から直接吸引する方法とした（**写真-6**）。

上部コンクリートには、地盤改良のため4箇所の削孔を行っていたが、地盤改良体が上部に達する段階において、削孔箇所から排泥が自噴する現象が生じた。そこで、造成箇所を除いた3箇所の削孔部を開放後、ドラム缶を加工した養生蓋を設置し、ドラム缶内に自噴した排泥の

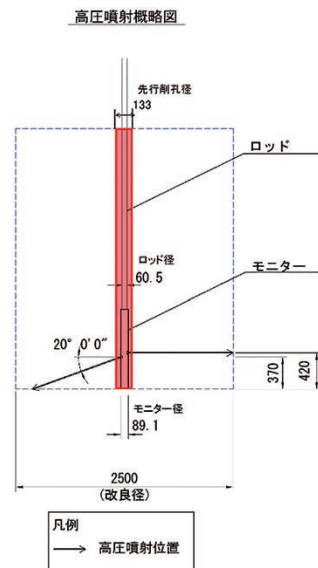


図-5 高圧噴射攪拌工概略図



写真-1 隔室内混入石



写真-2 使用増粘剤



写真-3 ファンネル粘性試験

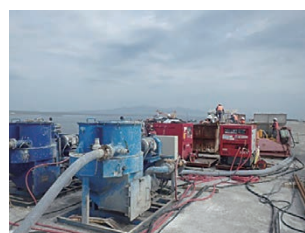


写真-4 排泥処理状況



写真-5 鞘管設置



写真-6
バキュームによる直接吸引



写真-7
ケーソン上での排泥処理

石や礫を人力により除去することで、バキュームポンプの詰まりを抑制した。写真―7に施工状況を示す。

以上の結果、ロッドの閉塞防止およびスムーズな排泥が可能となり、1日の施工サイクルで1本の地盤改良体の造成を実現した。

§ 4. 袋詰コンクリート工

本工事における袋詰コンクリート工は、ケーソン港外側の中詰土が流出した側壁の穴あき部の閉塞のため袋詰コンクリートを打設するものである。

以下に、袋詰コンクリート工の施工方法および課題に対する工夫・成果を述べる。

4-1 調査および施工方法

当初設計では、穴あき部の寸法が0.5 m×0.5 m程度と想定されていた。穴あき部の閉塞は、生コンクリートを打設した大型土嚢を上部コンクリートに設けた開口部から隔室内部に投入し、港外側の側壁の穴あき部を閉塞後、普通コンクリートを打設する計画であった。

ケーソン隔室内を水中カメラにより調査した結果、写真―8に示すように穴あき部の寸法が4 m×2 mと想定以上に大きく、かつ、中詰土が2/3程度流出している箇所が確認された。

4-2 課題

水中カメラにより確認された穴あき部の寸法が、想定以上に大きいことから、大型土嚢では波浪の影響により港外側に流出する可能性があり閉塞が厳しいと判断した。図―6にケーソン隔室内の調査結果を反映したNo.19号函の断面図を示す。

また、穴あき部は写真―8に示すように、鉄筋が切断され突出している箇所が確認され、鉄筋が突出した状態においても穴あき部を閉塞可能な対策工を確立させる必要が生じた。

4-3 課題に対する工夫・成果

波浪の影響を抑制するため波除鋼材を製作し、港外側の穴あき部に設置することとした。

また、コンクリートは、特殊袋体による布製型枠を使用して打設する計画とした。

以下に、波除鋼材および特殊袋体による布製型枠の仕様と施工方法、成果について述べる。

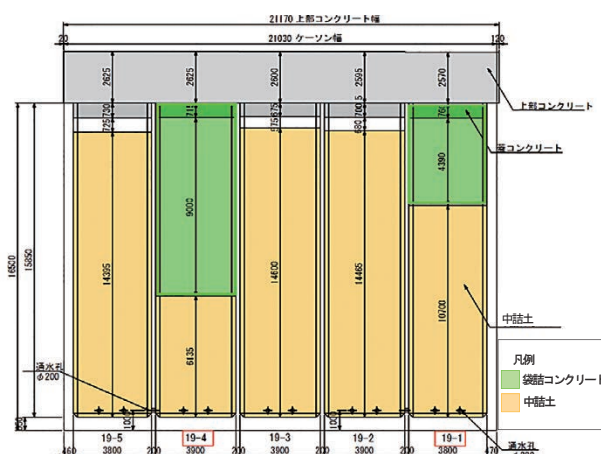
(1) 波除鋼材

穴あき部のある港外側側壁は、港内側と異なり、港外側から波浪が直接作用する厳しい施工条件である。

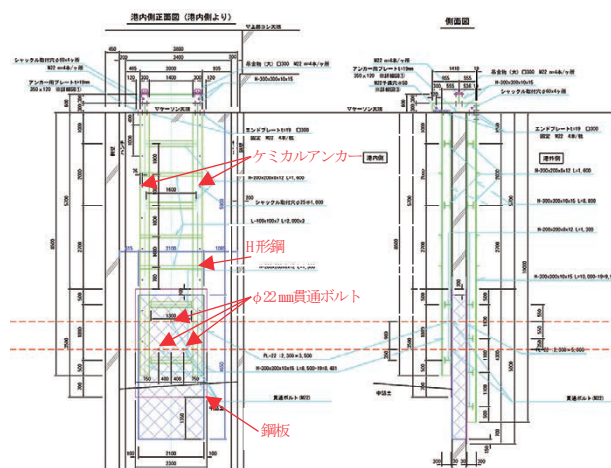
穴あき部の寸法は、4 m×2 mと大きく波浪の影響により海水の流出が発生し、布製型枠が揺動することによるコンクリート面における摩擦および突出した鉄筋等の



写真―8 ケーソン側壁破損状況



図―6 ケーソン現況断面図 (No. 19号函)



図―7 波除鋼材構造図



写真―9 波除鋼材蓋全景

影響により、布製型枠が破損することが懸念された。そこで、港外側からの波浪の影響を抑制するため、波除鋼材を製作し、港外側の穴あき部に設置した。

波除鋼材は、穴あき部の寸法を測定し、穴あき部をカバーできるように鉄板とH形鋼を加工して作成した。図一七に波除鋼材の構造図を示す。また、図一七に示すように波除鋼材は、穴あき部を挟み込む形で設置し、港外側と隔壁側の鉄板をφ22mmの貫通ボルト3本で締め付けることにより突出した鉄筋を波除鋼材内に挟み込み固定する構造とした。

また、港外側からは1.0m間隔でケミカルアンカーを打設し、側壁との一体性を向上させ、高波浪時における波除鋼材の安定性を確保する構造とした。

成果として、波除鋼材の設置目的は、港外側からの波浪の影響を抑制することであったため、止水ゴム等を設置していなかったことから、完全な止水はできなかったが、海水の流出入の影響による布製型枠の揺動を抑制することができた。

また、隔壁側に突出していた鉄筋は、波除鋼材内に挟み込み固定されていたため、布製型枠が鉄筋により破損することを抑制した。

写真一九に製作した波除鋼材、写真一〇に波除鋼材の設置状況を示す。

今後同種の施工において、隔壁内への波浪等の影響を抑制するためには、穴あき部に波除鋼材を設置することが、効果的であると考えられる。

ただし、破損した穴あき部の寸法が大きすぎる場合には、波除鋼材の仕様も大きくなるため、使用材料・施工方法等については、更なる改良が必要である。

(2) 特殊袋体による布製型枠

写真一〇に特殊袋体による布製型枠を示す。特殊袋体は、高強力ポリエステル繊維糸を使用したパブリックシートを採用した。

パブリックシートの特徴として、以下の点が挙げられる。

- ・パブリックシートは重量が軽く、大型サイズでも持ち運びが容易である。
- ・柔構造の為、ケーソン隔壁内に不陸があってもなじむ特性がある。
- ・高波浪の条件では、パブリックシートが揺動してコンクリート面における摩擦等の影響によりパブリックシートが破損する可能性がある。

コンクリート面における摩擦等の影響によるパブリックシートの破損を抑制するため、図一八に示すようにパブリックシートの設置枚数を増加した。

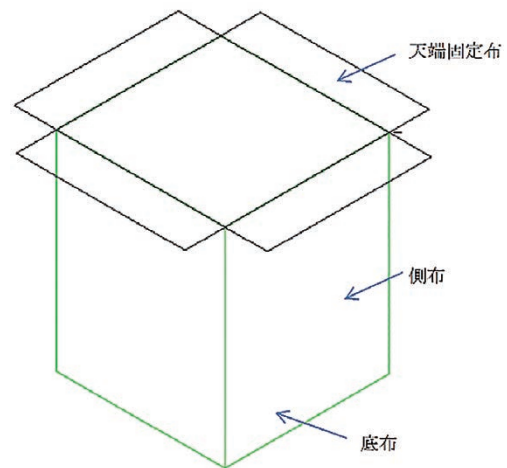
穴あき部のある港外側の側壁はパブリックシートを3枚重ね（外：中：内＝＃100：＃150：＃100）、その他の側面は2枚重ね（外：内＝＃100：＃150）とし、コンクリート面における摩擦等の影響によるシートの破損を



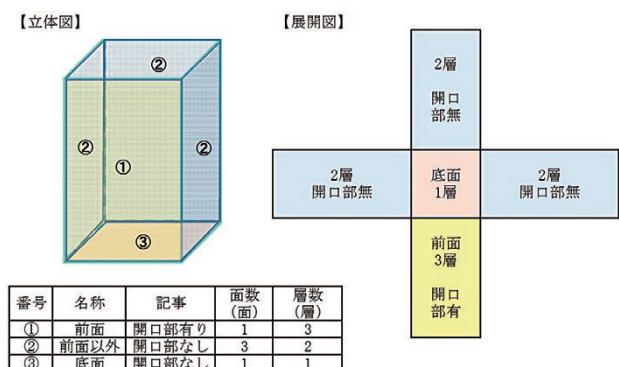
写真一〇 波除鋼材設置状況



写真一〇 布製型枠全景



図一八 布製型枠概略図



図一八 布製型枠構成図

抑制する対策を実施した。

実施工において使用した布製型枠は、調査結果から得られたケーソン内空高さに合わせてパブリックシートを縫製加工して作成した。図—9に布製型枠の概略図を示す。布製型枠は隔壁の天端部分に布製型枠を固定するための鋼製枠を設置後、錘を用いて隔室内に沈設した。布製型枠を沈設後、写真—12に示すように隔室内の海水を排水し、普通コンクリートを隔壁天端まで打設した。

成果として、パブリックシートの設置枚数を増加した布製型枠を使用したことにより生コンクリートの港外側への流出、コンクリート面における摩擦等の影響によるパブリックシートの破損を抑制し、破損した開口部を無事閉塞することができた。

写真—12、13に布製型枠を使用した袋詰コンクリート打設状況を示す。

なお、本施工では、布製型枠の寸法をケーソン隔室と同寸法にしたため布製型枠に余裕が無く、ケーソン隔室の隅に隙間が生じたため、布製型枠コンクリート打設後、隙間に再度コンクリートを打設する必要が生じた。

今後同種の施工の際には、布製型枠の寸法に余裕を持たせ、隔室の隅に隙間が生じないように留意する必要がある。

§5. まとめ

中詰改良工については、高圧噴射攪拌工法によるケーソン中詰改良の適用事例が少ないなかで、ケーソン隔室からの排泥排出方法、排泥処理方法およびポンプの詰まり抑制方法を確立させたことで、1日1本の地盤改良体の造成を実現した。

波除鋼材を製作・設置することにより、波浪の影響による布製型枠の揺動を抑制し、コンクリート面における摩擦および突出した鉄筋等の影響による布製型枠の破損を防止した。

また、袋詰コンクリートについては、パブリックシートを層状加工した特殊袋体による布製型枠を製作・設置することで、港外側へ生コンクリートを流出させることなく穴あき部の閉塞を完了した。

以上の内容について、改良点・課題点は残るが、他の地域における防波堤等の復旧工事に活かされることを期待する。

最後に本工事において、ご指導、ご教示いただきました発注者、本社・支社・支店の皆様に感謝を申し上げます。



写真—12 袋詰コンクリート打設状況



写真—13 打設状況全景

参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局 八戸港湾空港整備事務所 HP
- 2) ジェットグラウト工法技術資料第24版, 2016, JJGA 日本ジェットグラウト協会
- 3) Mega ジェット工法 技術・標準積算資料第5版, 2016, Mega ジェット工法研究会