

耐震性向上を目的とした荷揚岸壁補強工事実績

四国電力(株) 正会員 下口裕一郎 萩山和樹 宇高幸生
鹿島建設(株) 正会員 ○藤崎勝利 正会員 門脇 要 正会員 吉田 浩
鹿島建設(株) 正会員 直井智治 正会員 吉迫和生

1. はじめに

筆者らは、平成19年7月に発生した新潟県中越沖地震において得られた知見を踏まえ、自主保安の観点から発電所施設の一般土木建築設備に対して耐震性向上工事を実施した。一般土木建築設備のうち、通常時は資機材などの荷揚げに使用している荷揚岸壁は、災害時には緊急資機材の搬入拠点としての機能も担う重要設備である。荷揚岸壁はケーソンと背面の裏込栗石で構成されているが、大地震時においてケーソンの変状（沈下または海側への移動）やケーソン背面地盤の液状化による地盤変状などが生じ、その機能を喪失した場合には、復旧に長期間を要することが懸念される。このため、荷揚岸壁の耐震性向上を目的としたケーソン背面埋立土の地盤改良およびケーソンへの補強杭施工などを行った。

本文では、一連の施工実績について報告する。



写真-1 荷揚岸壁全景（補強工事着手前）

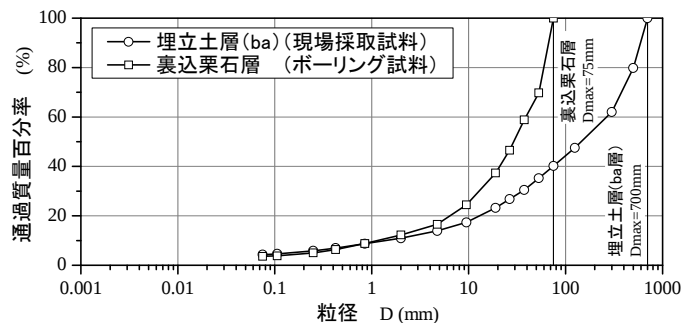


図-1 埋立土および裏込栗石の粒径加積曲線

2. 工事概要

1) 荷揚岸壁

荷揚岸壁は、捨石マウンド上に設置された13函のケーソン（7.0m×12.0m×H12.7m、上部工含む）および背面の裏込栗石で構成される一般的な重力式係船岸壁である。岸壁延長は約130m、エプロン部標高はE.L+4.5mであり、ケーソン背面の埋立土には発電所建設時に発生した硬岩ずりが用いられている。補強工事着手前の荷揚岸壁全景を写真-1に、埋立土および裏込栗石の粒径加積曲線を図-1に示す。埋立土には最大粒径700mmの岩塊が含まれており、裏込栗石の粒度構成は埋立土とほぼ同等である（図-1中の裏込栗石はボーリング試料であるため、最大粒径が小さくなっている）。

2) 設計概要

ケーソン背面の埋立土は、図-1に示すように礫質地盤であり、一般には液状化し難い地盤であるが、大地震時において液状化した場合を想定すると、液状化土

圧がケーソンに作用し、その安定性が低下することが懸念された。そこで、荷揚岸壁の耐震性能を兵庫県南部地震（1995年）でも機能を維持した耐震強化岸壁相当に向上させることとし、耐震強化岸壁に適用される設計水平震度（ $k_h=0.25$ ）を作用させた場合でもケーソンの安定性（滑動・転倒・支持力）が十分に確保されることを目標とした¹⁾。

この耐震性能を実現するために、以下の対策工を実施することとした。

①地盤改良による土圧負担壁の造成

大地震時においてケーソンに作用する液状化土圧軽減を目的に、ケーソン背面埋立土を対象に地盤改良（高圧噴射攪拌工）を行い、ケーソンの地震時変形を抑制する。

②ケーソンへの補強杭の施工

ケーソンの滑動抵抗力増加を目的に、ケーソンを貫通する補強杭を施工する。

キーワード 岸壁，ケーソン，耐震性向上，地盤改良，補強杭

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株)土木管理本部土木技術部 TEL 03-5544-0642

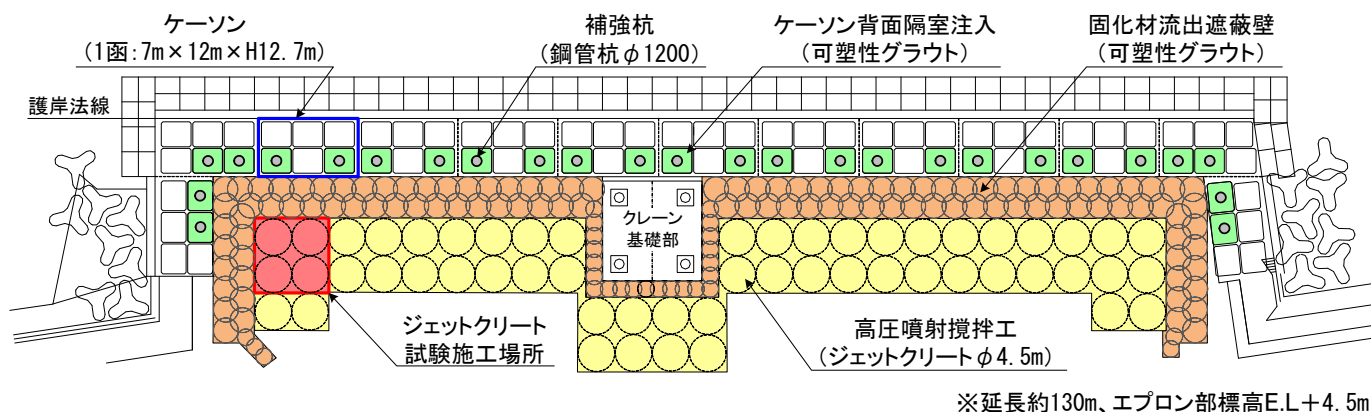


図-2 全体平面図

3) 工事概要

本工事の全体平面図を図-2に、標準断面図を図-3に示す。図-3に示すように、高圧噴射攪拌工部とケーソンの間には、高圧噴射攪拌工施工時の固化材などの海域への流出防止を目的とした可塑性グラウトによる遮蔽壁を施工した。また、ケーソンに作用する外力を補強杭に伝達させるために、補強杭を施工するケーソン背面隔室内の中詰栗石にも可塑性グラウトを注入した。

主要工事フローを図-4に、数量を以下に示す。

- ①固化材流出遮蔽壁工：8,093 m^3
- ②高圧噴射攪拌工：8,579 m^3
- ③ケーソン背面隔室注入工：26箇所
- ④補強杭施工（φ1,200mm，L=16.5～30m）：26本
- ⑤エプロン部埋戻工（排泥有効利用）：4,173 m^3

3. 可塑性グラウトによる固化材流出遮蔽壁工

1) 可塑性グラウト

可塑性グラウトは水中不分離性を有し、ゲル化してから硬化するまで数時間粘性を保つ材料であり、シールドトンネルの裏込め材やトンネル空洞充填材などに活用されてきた。可塑性グラウトのフロー試験（JHS A 313 シリンダー法による測定）状況および水中での間隙充填イメージを写真-2に示す。可塑性グラウトのゲルタイムは10秒前後の場合が多く、これを地下水流がある空洞などに使用すると、通常の薬液注入材料のように拡散する恐れがなく、範囲を限定した注入が期待できる。しかし、間隙がそれほど大きくない地盤を対象に可塑性グラウトを適用した事例は少ないため、事前に室内試験と試験施工を行って、配合や施工方法、要求品質と効果確認方法などを入念に検討した²⁾。

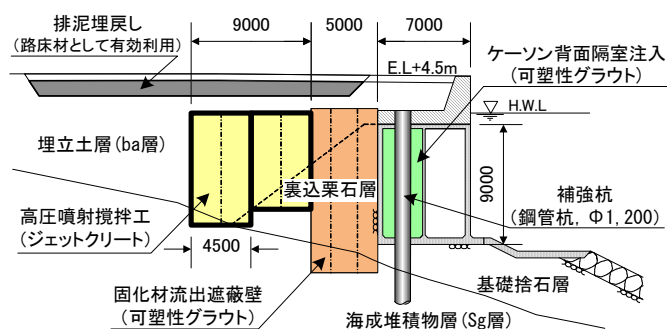


図-3 標準断面図

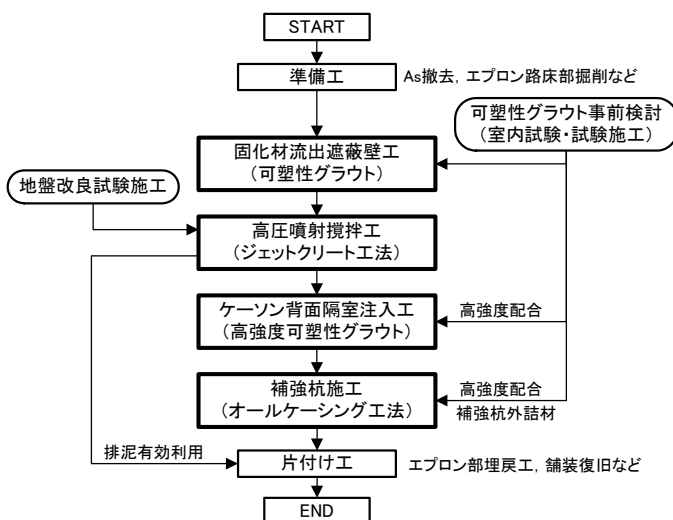


図-4 主要工事フロー

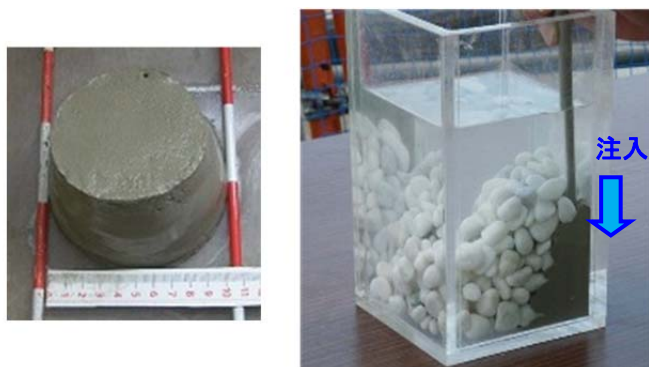


写真-2 可塑性グラウトの性状

2) 目標品質

固化材流出遮蔽壁（図-3 参照）の目的は、高圧噴射攪拌工施工時のケーソンの目地や基礎捨石層などからの固化材などの流出防止である。ケーソン背面の裏込栗石層と基礎捨石層の注入前の透水係数は、それぞれ $1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 程度、 $8 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^0 \text{cm/s}$ 程度であった。一方、F.Mohr の研究を紹介した書籍³⁾によると、透水係数が $1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ より小さい地盤へのセメント注入は不可能であるとされている。このことから、固化材流出遮蔽壁の目標品質は透水係数 $1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 以下とした。

3) 室内充填試験による配合の選定

可塑性グラウトの配合選定および地盤への充填性の確認、評価を目的として、図-5 に示すような硬質塩化ビニル管（内径 286mm × 長さ 1500mm ）内部に作製した模擬地盤を対象に室内充填試験を実施した。なお、模擬地盤は、現地の地盤と透水係数がほぼ同等になるように作製した。室内充填試験では、まず碎石で作製した模擬地盤を対象とした予備試験で可塑性グラウトの配合を選定し、その後現地採取土で作製した模擬地盤を対象に試験を行って選定配合の充填性を確認した。なお、模擬地盤は飽和条件とした。

予備試験に供した可塑性グラウトは、フロー値（JHS A 313）の異なる A 配合（フロー値：90～140mm）、B 配合（フロー値：140～200mm）、C 配合（フロー値：280～300mm）の3種類とした。予備試験の結果、フロー値が大きい B 配合ならびに C 配合は碎石による模擬地盤中を均一に充填できず、A 配合（フロー値：90～140mm）

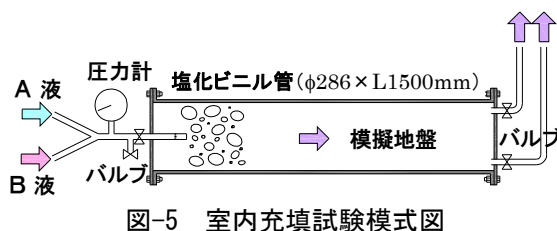


図-5 室内充填試験模式図



写真-3 可塑性グラウトの充填状況（硬配合）

が最も良好に充填できた。この結果に基づいて、A 配合を現地採取土による模擬地盤を対象とした試験に供した。充填試験前後の硬質塩化ビニル管を切断した状況である写真-3 に示すように、A 配合は現地採取土による模擬地盤を対象にした場合でも端部まで密実に充填していた。さらに、飽和のために充填した間隙水量と可塑性グラウト注入量がほぼ等しくなったことから、模擬地盤中の間隙は十分に充填したと判断した。これらの結果から、A 配合で半径 1.5m まで良好に充填できると判断し、これを用いて現場試験施工に臨むこととした。なお、A 配合の材料強度（材齢 28 日）は 2N/mm^2 程度であった。

4) 現場試験施工

現場試験施工における注入平面図と効果確認ボーリング配置図である図-6 に示すように、可塑性グラウトの注入半径を 1.5m と仮定し、4 本の注入を行った。なお、裏込栗石層の間隙が比較的小さく、吐出量を多くすると注入圧力が上昇し、ケーソンが変位することが懸念された。このため、吐出量を 9L/分 と小さく設定でき、かつ注入深度を限定できる二重管ダブルパッカ工法を採用した。可塑性グラウトの注入状況は、予めボーリング 9 孔（図-6 参照）に熱電対（1 箇所／ $0.5 \sim 1 \text{m}$ 深度毎に設置）を埋め込んで監視した。注入は可塑性グラウトが半径 1.5m まで到達したと判断した時点、または注入圧力が管理圧力以上になった場合に次の深度へ移ることとした。管理圧力は注入ホース類の耐圧力から設定し、初期圧力からの圧力上昇が 1.0MPa 以下、かつ注入圧力が最大 2.5MPa 以下とした。

現場試験施工の結果、注入率は裏込栗石層で 30.3%，

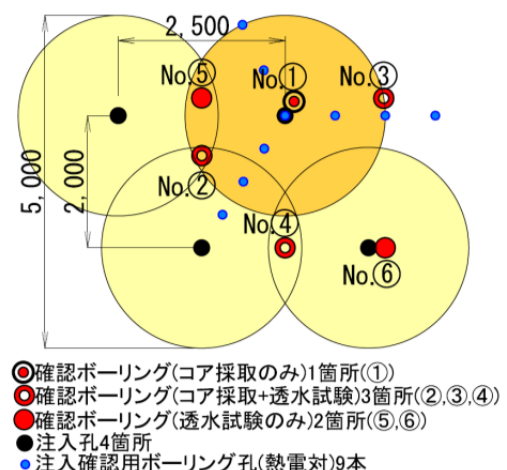
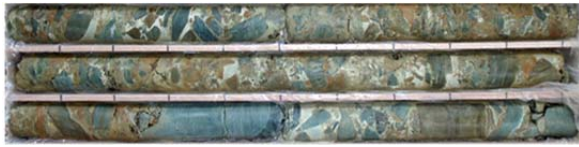


図-6 可塑性グラウト注入平面図および効果確認ボーリング配置図



a) No. 2 孔 G. L.-8. 2~11. 2m



b) No. 3 孔 G. L.-9. 7~12. 7m

写真-4 可塑性グラウト注入確認ボーリングコアの例

基礎捨石層で 45.9%となった。また 1 本目の注入で、可塑性グラウトは注入位置よりも上方に広がる傾向が確認されたため、残り 3 本は上方から下方に段階的に注入するステップダウン方式を採用した。

ボーリングによるコア採取は、注入後 2 週間経過時に着手し、その後、ボーリング孔を利用した透水試験 (JGS 1314) や PS 検層 (JGS 1122, ダウンホール方式) などを順次実施した (図-6 参照)。コアを観察した結果、写真-4 に示すように間隙には可塑性グラウトが密実に充填しており、注入孔からの距離による充填状況の差異はなかった。さらに、ボーリング 5 孔で透水試験 (5 深度) を実施したところ、可塑性グラウト注入後の透水係数は裏込栗石層が $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ (注入前: $1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 程度)、基礎捨石層が $3 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ (注入前: $8 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^0 \text{cm/s}$ 程度) となり、目標値 ($1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 以下) を満足した。なお、注入後 28 日経過以降の S 波速度 V_s は裏込栗石層で $720 \sim 1,160 \text{m/s}$ (注入前: 230m/s)、基礎捨石層で $750 \sim 1,050 \text{m/s}$ (注入前: 380m/s) と注入前に比べて大幅に向上した。

5) 固化材流出遮蔽壁工実績

固化材流出遮蔽壁工は、施工中も荷揚機能を確認するために、図-2 中央付近に位置するクレーン基礎部を境として片側ずつ施工を行った (写真-5 参照)。試験施工箇所 (4 箇所) を除く 127 箇所での可塑性グラウト注入は、削孔 2 セット、注入 15 セットでの施工を基本とし、延べ 5 ヶ月で完了した。施工中の日常管理として、可塑性グラウトのフロー値 (JHS A 313)、ゲルタイム、密度を測定し、性状に変化がないことを確認した。また、施工後の効果確認として、ボーリング 12 孔で透水試験 (5 深度, JGS 1314) を行った結果、透水係数は裏込栗石層で平均 $2 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、基礎捨石層で平均 $6 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ となり、試験施工時よりもさらに低い値が得られた。後述する高圧噴射攪拌工施工時に固化材などが流出しなかったことから、固化材流出遮蔽壁としての機能を十分に確保できたと考えている。



写真-5 可塑性グラウト施工状況

4. 高圧噴射攪拌工

1) 改良対象地盤と高圧噴射攪拌工法

ケーソン背面埋立土の地盤改良には、比較的高い剛性への改良が可能であり、既設構造物の耐震性向上工法として実績を挙げている高圧噴射攪拌工法を採用した⁴⁾。しかし、ケーソン背面埋立土には最大粒径 700mm の岩塊を含む硬岩ずり (図-1 参照) が使用されており、地盤改良が困難な地盤であった。このため、事前に試験施工⁵⁾を実施し、改良出来形や改良品質などを確認してから本施工に臨んだ。

高圧噴射攪拌工法には、従来工法に比べて流体エネルギー効率を向上させたモニター管 (地中でセメント系固化材ミルクと圧縮空気を噴射する装置) を使用することで、地盤切削距離を延伸化させたジェットクリート工法⁶⁾を採用した。ジェットクリート工法による地盤改良体は図-2 ならびに図-3 に示すように設計改良径 $\phi 4.5 \text{m}$ として、地盤改良体が接円するように配置 (以下、接円配置と記す) した。なお、改良地盤の要求品質は、地盤の変形係数 E_{50} で 50MN/m^2 以上 (一軸圧縮強さ q_u で 0.5N/mm^2 以上) であった。

2) 現場試験施工

現場試験施工では、図-2 中に示す位置で 4 本の改良体を造成し、頭部掘削調査およびコアボーリング (12 孔)、PS 検層 (JGS 1122, 孔内起振受振方式)、コアの一軸圧縮試験 (43 供試体) を改良 28 日経過以降に行った。コアボーリング位置図を図-7 に示す。改良体頭部掘削調査の結果、写真-6 に示すように改良径 $\phi 4.5 \text{m}$

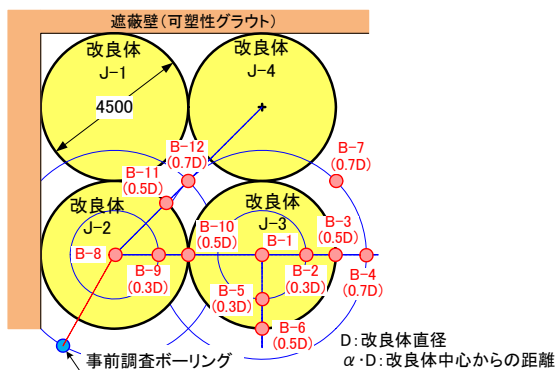


図-7 コアボーリング位置図

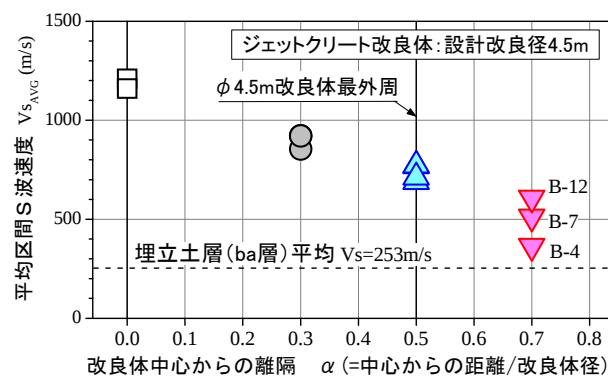


図-8 改良体中心からの距離と Vs の関係

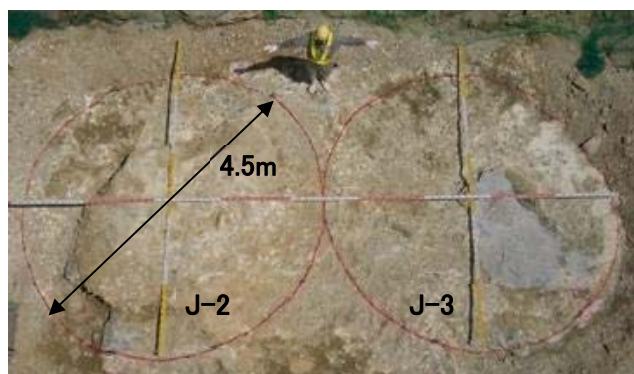


写真-6 改良体頭部の状況 (J-2, J-3)



写真-7 改良体ボーリングコアの一例
(0.3D 孔, G.L.-5.8~8.8m)

の改良体が造成できていること、および 4 本の改良体の中心部分 (写真-6 中、人間が立っている部分) も固化していることが確認できた。また、採取したコア (0.3D 孔, D: 設計改良径 4.5m) を観察したところ (写真-7 参照), 固化が不十分な部分はほとんどなく, 良好な改良状態であることが確認できた。

3) 改良効果および改良領域の評価

改良体中心からの距離と S 波速度 V_s の関係を図-8 に示す。 V_s は改良体最外周 (0.5D 孔) でも 700~800m/s となっており, 改良前の埋立土層平均 V_s (253m/s) を上回った。さらに, 4 本の改良体の中心地点 (B-12) および 2 本の改良体の外接線上中点 (B-7) の V_s もそれぞれ 600m/s 程度, 500m/s 程度と埋立土層平均 V_s を上回った。以上のことから, ジェットクリート工法で $\phi 4.5m$ の改良体が造成でき, かつ改良体を接円配置しても未改良部は残存せず, 図-9 に模式的に示すような矩

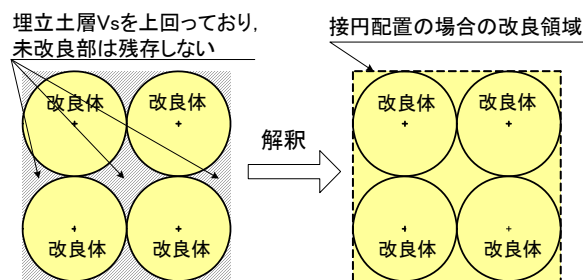


図-9 改良領域の模式図

形の範囲を改良領域と見なすことができると判断した (なお, 設計上は設計改良径外の部分の改良効果は見込んでいない)。この矩形の改良領域の V_s は平均 832m/s (変動係数 27%, $n=232$ (区間 V_s)) となった。

また, 改良体中心付近 (図-7 中, B-1, B-8) および 0.3D 孔 (B-2, B-5, B-9), 0.5D 孔 (B-3, B-6, B-10, B-11) で採取したコア ($n=43$) の q_u は平均 3.2N/mm² (変動係数 39%), E_{50} は平均 863MN/m² (変動係数 49%) となった。このように, 改良領域は軟岩相当の強度, 剛性レベルとなっており, 要求品質 ($E_{50} \geq 50\text{MN/m}^2$) を十分に上回る結果が得られた。

4) 高圧噴射攪拌工実績

本施工は, 固化材流出遮蔽壁工と同様に, 図-2 中央付近に位置するクレーン基礎部を境として片側ずつ施工を行った (写真-8 参照)。施工機械に地盤改良機 2 台を使用し, 1 改良体/日 (昼間) のペースで行い, 延べ 5 ヶ月で完了した。

本施工時の品質確認として, 1 箇所/改良平面積 100m² 程度 (改良体約 6 本相当) の頻度でコアボーリングを実施した。コアボーリングは改良体の平均的な品質を示すと考えられる 0.3D 位置で行い, 改良 28 日経過以降に PS 検層およびコアの一軸圧縮試験を実施した。品質確認の結果, V_s は平均 979m/s (変動係数 28%, $n=81$ (区間 V_s)), q_u は平均 4.2N/mm² (変動係数 42%, $n=18$)



写真-8 ジェットクリート施工状況



写真-9 排泥による埋戻し状況

となり、本施工においても良好な品質が確保できた。

なお、地盤改良時に発生する排泥は土壌溶出量試験（26 項目）ならびに土壌含有量試験（9 項目）を行い、有害物が検出されないことを確認した上で、エプロン部路床材（図-3 参照）として有効利用した。排泥は施工翌日には固化しており、これをバックホウで破碎し、施工場所に敷き均し後、締め固めること（写真-9 参照）で、現場 CBR 値 20%以上、地盤反力係数 86MN/m^2 以上が確保できた。

5. ケーソン背面隔室注入工

1) 目的

ケーソンと補強杭を一体化し、ケーソンに作用する外力を補強杭に伝達させることを目的に、補強杭を施工するケーソン背面隔室内の中詰栗石に可塑性グラウトを注入した。この可塑性グラウトは、補強杭施工時においてはオールケーシング工法によるケーソン削孔時の孔壁崩壊防止の役割も担っている。

2) 高強度可塑性グラウトの検討

当初、ケーソン背面隔室注入に使用する注入材にはセメントミルクを予定していた。しかし、模擬地盤を使った室内充填試験を実施した結果、セメントミルクは材料分離が生じて注入が困難であった。そこで、固化材流出遮蔽壁工で良好に充填できた可塑性グラウトを適用することとした。しかし、固化材流出遮蔽壁工で採用した可塑性グラウトは透水性の低下が目的であり、材料強度は 2N/mm^2 程度（材齢 28 日）であった。このため、ケーソンと補強杭の一体化ならびに外力の補強杭への伝達という目的を果たすために、強度を高めた可塑性グラウトの配合を検討した。

3) 配合検討

高強度可塑性グラウトとして、①既往実績を有する無機鉱物と高分子系の可塑化剤を配合した材料、②高

分子系可塑化剤を配合した材料を選定した。また、高強度可塑性グラウトは固化材量が多くなり注入圧力が上昇することなどが予想された。このため、地中に深さ 2m 程度の碎石による模擬地盤を作製し、実際に使用する設備を用いて注入試験を実施した。注入試験の結果、高分子系可塑化剤を用いた材料の方が低い圧力で良好に注入できた。このことから、高強度可塑性グラウトには高分子系可塑化剤を配合した材料を採用することとした。なお、材料強度（材齢 28 日）は 4.5N/mm^2 となった。

4) 試験施工

試験施工は実際のケーソン背面隔室内を対象に実施した。注入は二重管ダブルパッカ工法で行い、隣接注入孔からの相互充填も期待して 4 本の注入を行った。試験施工の結果、注入部分の平均 V_s （注入後 28 日経過以降）は $1,097\text{m/s}$ （注入前： 380m/s ）となり、高圧噴射攪拌工による背面埋立土の改良範囲と同程度の V_s が得られた。既往文献⁸⁾に掲載されている V_s から求めた初期弾性係数 E_0 と孔内水平載荷試験で得た弾性係数 E_L の関係式 $E_0 = 72.5 * E_L^{0.794}$ （単位は重力単位系）、ならびに書籍⁹⁾に掲載されている孔内水平載荷試験で得た弾性係数 E_L と一軸または三軸圧縮試験で得た変形係数 E_{50} の関係図（概ね $E_L = E_{50}$ ）を使って、 V_s から注入部分の E_{50} を算出すると概ね 593MN/m^2 となる。 V_s から推定した E_{50} で比較すると、注入前 (50MN/m^2) に比べて E_{50} が 10 倍以上大きくなったと評価できる。このことから、高強度可塑性グラウトは、要求品質を十分に満たすと判断し、本施工に着手した。

5) ケーソン背面隔室注入工実績

補強杭はケーソン 1 函につき 2 本（6 隔室中の 2 隔室）配置されており、同隔室内に高強度可塑性グラウトを注入した（図-2 参照）。なお、注入によって隔室内の圧力が急激に上昇し、ケーソンの躯体コンクリートに悪影響

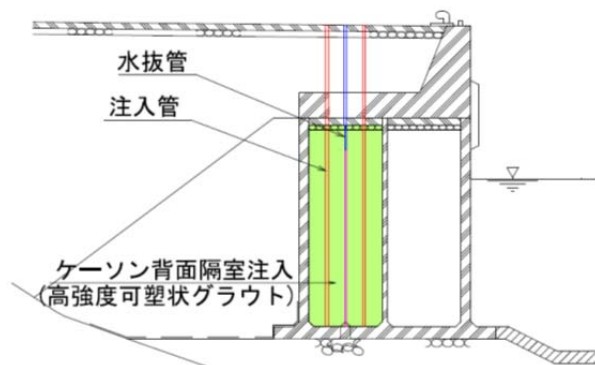


図-10 ケーソン背面隔室注入工断面図

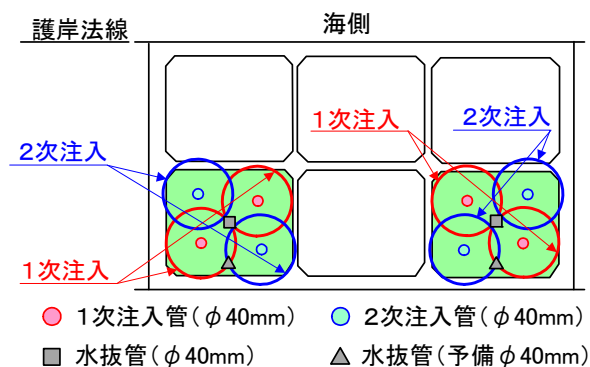


図-11 ケーソン背面隔室注入工平面図

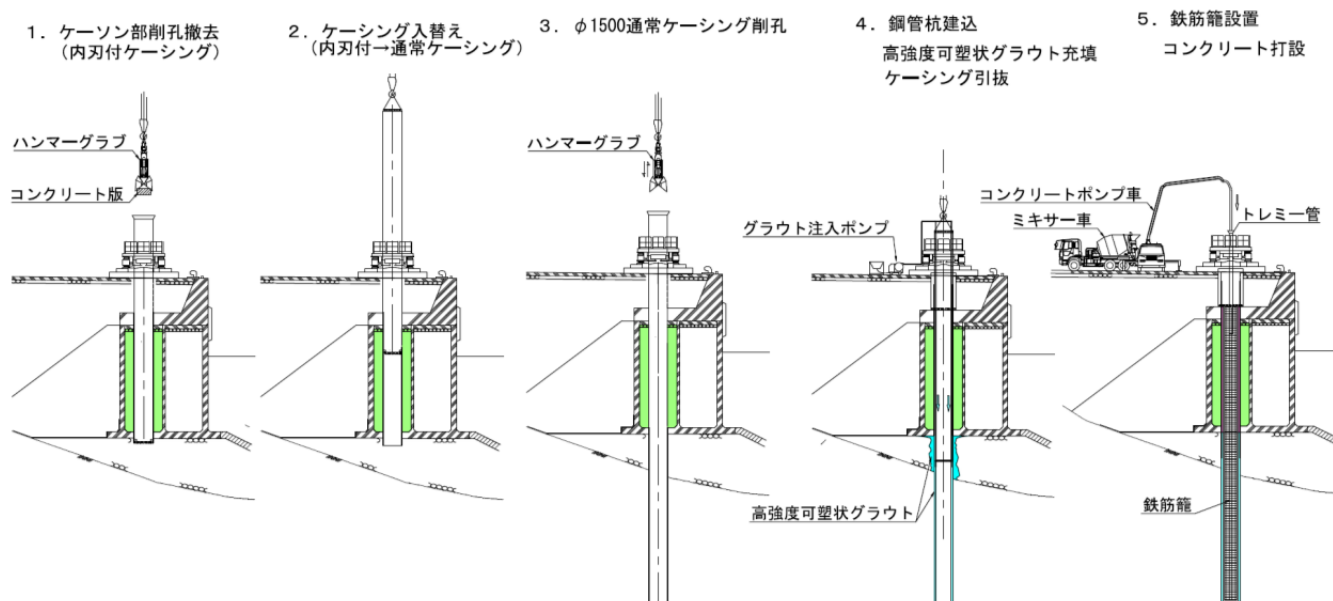


図-12 補強杭施工手順図

が及ぶことが懸念されたので、この対策として水抜管を2本設置した(図-10, 図-11 参照)。

104箇所(ケーソン13函×2隔室×4本)の注入は、削孔1セット、注入8セットでの施工を基本とし、約3ヶ月で完了した。施工後の効果確認として隔室3箇所で行った効果確認ボーリングを実施し、PS検層を実施したところVs(注入後28日経過以降)は平均1,112m/sとなり、試験施工と同等の良好な品質が得られた。

6. 補強杭の施工

1) 施工手順

補強杭施工手順図を図-12に示す。補強杭は、φ1,500mmのオールケーシング工法でケーソン部および基礎捨石層、海成堆積物層を削孔(図-12中の1~3)し、φ1,200mmの鋼管杭を建て込んで外詰材(高強度可塑性グラウト)をグラウトポンプで充填(図-12中の4)し、鋼管内に鉄筋籠を建て込んだ後に中詰コンクリー

トをトレミー管で打設する(図-12中の5)という手順で施工した。施工状況を写真-10、写真-11に示す。なお、ケーソン部ではコンクリート頂版および底版を削孔するために内刃(ビット)付ケーシングを使用した。一方、ケーソン部以深の基礎捨石層や海成堆積物層の削孔にこれを使用すると、鋼管建込時に鋼管と内刃が干渉してケーシングの引き抜きが困難になることが懸念された。このため、ケーソン部削孔後、通常のケーシングに入れ替えて削孔することとした(図-12中の2)。

2) 補強杭施工実績

ケーソン部削孔ならびにケーシング入れ替え後の削孔は、予め隔室内に注入した高強度可塑性グラウトが効果を発揮し、孔壁崩壊は生じずに良好に削孔できた。また、基礎捨石層や海成堆積物層の削孔時に基礎捨石が動き、ケーソンが変状する恐れがあったため、補強杭1本目の施工では補強杭周辺に削孔したボーリング3孔にボアホールカメラを挿入し、削孔中の基礎砕石の



写真-10 オールケーシング工法による削孔状況

挙動を観察した（ボアホールカメラ観察はボーリング孔に挿入した透明アクリルパイプ内から行った）。その結果、補強杭中心から 1.5m の位置では基礎捨石が上下に 10～50mm 程度動いたものの、補強杭中心から 4m 離れた位置になると動きはなく、ケーソンはほとんど変状しなかった。

鋼管外詰材充填工は、 $\phi 40\text{mm}$ の注入管を鋼管 1 本あたり 2 本挿入して行った。外詰材は鋼管と孔壁間の充填に加えて、基礎捨石層とケーソン底盤の境界部に生じる可能性がある空隙の充填も意図したため、ケーソン 1 函に対して補強杭を 1 本施工し、その後外詰材が固化してから 2 本目の補強杭を施工した。

補強杭 26 本の施工は、施工機械 2 セットを使用し、約 6 ヶ月で完了した。施工によるケーソンの変位量は最大 6mm 程度であり、管理基準値 50mm を十分に満足した。

7. おわりに

本工事では、①高圧噴射攪拌工施工時の海域への固化材などの流出防止を目的とした可塑性グラウトによる遮蔽壁の造成、②岩塊を含む地盤での高圧噴射攪拌工による地盤改良、③既設ケーソンを貫通する補強杭の施工、④既設ケーソンと補強杭を一体化し、ケーソンに作用する外力の補強杭への伝達を目的とした高強度可塑性グラウトの注入など、今後の既設岸壁や護岸のリハビリテーション・リニューアルに活用できる様々な工種に取り組んだ。本文で報告したように、入念な検討を重ねながら慎重に施工を進めた結果、大きなトラブルもなく、全ての工程を順調に完了することができた。

本工事に携わった関係各位に厚く御礼申し上げます。



写真-11 ケーソン補強杭（鋼管）建込状況

参考文献

- 1) 下口裕一郎，立川貴重，今西貢二：礫質土地盤の地盤改良による荷揚岸壁耐震対策，電力土木，No.360，pp.61-65,2012.7.
- 2) 木岡浩一，下口裕一郎，吉田浩，吉迫和生：耐震性向上を目的とした岸壁背面の地盤改良（その 2）－可塑状グラウトによる遮水壁築造工－，第 47 回地盤工学研究発表会（八戸），pp.1239-1240，2012.7.
- 3) 島田俊介，佐藤武，多久実：先端技術の薬液注入工法，理工図書，p.158.
- 4) 例えば，大西義裕，近藤睦，服部和司：浜岡原子力発電所耐震裕度向上工事における土木工事，電力土木，No.331，pp.39-43，2007.9.
- 5) 下口裕一郎，鈴木俊輔，藤崎勝利，門脇要：耐震性向上を目的とした岸壁背面の地盤改良（その 1）－工事概要と高圧噴射攪拌工法実績－，第 47 回地盤工学研究発表会（八戸），pp.1237-1238，2012.7.
- 6) 岩崎結子，見坊東光，玉野亮人：高圧噴射攪拌工法（JETCRETE 工法）の改良体特性値について，第 48 回地盤工学研究発表会，No.460，pp.919-920，2013.7.
- 7) （社）地盤工学会：地盤工学への物理探査技術の適用と事例，p.24，2001.
- 8) 今井恒男，麓秀夫，横田耕一郎：日本の地盤における弾性波速度と力学的性質，第 4 回日本地震工学シンポジウム，pp.89-96，1975.11.
- 9) （社）地盤工学会：地盤調査の方法と解説，p.324，2004.