

薬液注入工法による既設護岸直下地盤の液状化対策

国土交通省四国地方整備局 正会員 瀬賀康浩 非会員 岩本英浩
東亜建設工業株式会社 正会員 ○大野康年 正会員 長谷川智直

1. はじめに

高松港海岸では、地震時の液状化による変形量の低減を目的として既設護岸直下の置換層の液状化対策を実施している。当地区は、護岸直背後に民家が近接する等、施工場所が狭隘であるため液状化対策工法として薬液注入工法を採用している。本文では、薬液注入工法の適用にあたっての施工方法の工夫等について報告する。

2. 工事概要

図－1 に液状化対策断面を示す。改良対象層である置換層は、捨石(10～200kg/個)下部に位置し、粗砂～礫を主体とした地盤で、透水性も良く、事前に実施した地下水流動調査結果¹⁾では潮位の影響により 0.02cm/sec 程度の地下水流が確認されている。また、置換層の平均粒径は $D_{50}=1\sim4\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=2\sim8$ 、細粒分含有率 $F_c=5\%$ 程度である。薬液注入は、護岸背面より斜め削孔により置換層に薬液を注入するが、同工法の改良効果は、地盤の透水性、地下水流等により影響を受けることから、適用にあたっての課題を抽出し、施工方法について検討した。表－1 に課題と対応した施工技術の一覧を示す。

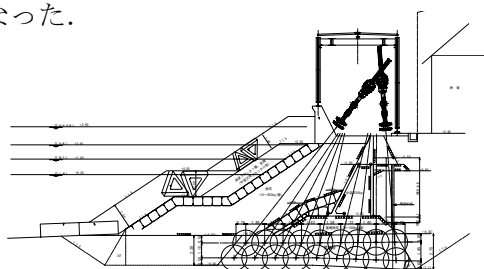
3. 施工方法の概要

表－1 に示した課題に対して採用した施工技術および施工方法の工夫について以下に記述する。

(1) セメント系注入材の採用：砂質地盤を対象とした液状化対策では溶液型特殊シリカ液が多く使用されているが、透水性のよい礫質地盤では薬液の逸走による改良不良や強度不足等が生じる可能性が高い。当工事ではセメント系注入を採用し対応した。セメント系注入材は、ブリージング試験、対象土砂を使用した浸透性能試験²⁾を実施し、注入時間中に材料分離が生じない高い分散性と置換層に所定の浸透長が確保できる高い浸透性を持つ材料²⁾を選定した。

(2) 捨石層と置換層境界部への瞬結薬液の注入：捨石層下部の砂質地盤への薬液注入では、従来、捨石層にセメントベントナイト(CB)を注入した後、砂質地盤へ溶液型薬液を注入する。当工事のように捨石の間隙が大きく、置換層の透水性が良く、さらに地下水流を有している条件下では、CB を注入した場合、CB が逸走し、止水効果が不十分になることが懸念された。したがって、当工事では、CB の代わりにセメント系の瞬結薬液を用いるとともに、瞬結材の注入位置を図－2 に示すような捨石層と置換層の境界とした。

(3) 逸走防止性能に優れた薬液注入工法の採用：従来の薬液注入では、薬液が削孔穴より逸走しないよう削孔穴を布パッカー等で塞いでいる。しかしながら、当置換層のような礫質地盤では、布パッカーの地山への密着性や地山の不陸への対応に課題がある。当工事では、図－3 に示すような瞬結薬液とゴム製バルーンによる薬液逸走防止装置が付加された工法³⁾を採用した。同工法のゴム製バルーンは、地山への密着性にも優れ、削孔穴の不陸に追従可能であることから、所定深度に所定量の薬液注入が出来、改良範囲への確実な注入が可能となった。



図－1 対策断面

表－1 課題と対応技術

課 題	採用した施工技術および施工方法の工夫
(1) 置換層内での薬液逸走 (透水性の影響)	・セメント系注入材 ²⁾ の採用 ・適切な薬液ゲル化時間、注入速度の設定 ・薬液注入時の逸走防止性能の高い注入工法 ³⁾ の選定
(2) 置換層内での改良体形成 (地下水流の影響)	・適切な薬液ゲル化時間、注入速度の設定
(3) 捨石部への薬液逸走 (捨石部の透水性の影響)	・捨石層と置換層境界部への瞬結薬液の注入

(4) 適切な薬液ゲル化時間、注入速度の設定：注入材は、薬液ゲル化時間が長いほど地盤への浸透性能は高くなるが、高い透水性を示す地盤、地下水流を有する地盤では逸走しやすくなる。一方、薬液ゲル化時間が短いほど注入材の逸走を防止することができるが、形成される固結形状が不規則に歪んだ形状になる可能性もある。当工事では、事前に室内模型地盤を用いて現地流速条件下の注入実験¹⁾を実施し、注入位置にて改良体が形成可能な薬液ゲル時間が 6 時間以内と想定した後、現地注入実験を実施した。現地注入実験では、薬液ゲル化時間、注入速度を変えて 6 ケースの注入条件下で薬液を注入し、注入後、コアボーリングにて採取した改良層の試料にフェノールフタレイン溶液を塗布して薬液の浸透状況を確認した。試料採取位置は、改良半径の中心位置で、採取深度は改良層全厚である。代表として写真-1 および写真-2 に、薬液ゲル化時間 80～120 分、注入速度 6l/分および薬液ゲル化時間 180～300 分、注入速度 6l/分にて注入した結果を示す。薬液ゲル化時間が 80～120 分、注入速度が 6l/分のケースが改良層全体に呈色反応を示しており、当工事では、薬液ゲル化時間 80～120 分、注入速度 6l/分とした。

4. 本施工における改良効果の確認

当工事では、前述した施工方法にて護岸延長約 171m について本施工を実施した。施工状況を写真-3 に示す。また、施工区間の内、事前調査から柱状図区分（改良層厚）の異なる 4 区間にて各 1 本のボーリング調査を実施し、一軸圧縮試験にて改良強度を確認した。

図-4 に改良層の一軸圧縮強さ q_{uf} の深度分布を示す。改良地盤の一軸圧縮強さは、平均値で約 $\overline{q_{uf}}$ （平均）=2,000kN/m² であり、設計基準強度 $q_{uck}=50\text{kN/m}^2$ を十分満足していることがわかる。

5. まとめ

当工事にて採用した新しい施工技術と施工方法の工夫は、十分な改良効果を得られており、沿岸部における既存防災施設の耐震性能向上に有効な手段であることがわかった。

参考文献 1)石橋洋信他：沿岸部における薬液注入工法の適用にあたっての環境対策，土木学会第 65 回年次学術講演会 VI-142,p283-284,2010. 2)大野康年他：スラグ微粉末を主体としたセメント系注入材の開発，土木学会第 65 回年次学術講演会 VI-139,p277-278,2010. 3)大野康年：恒久型薬液を用いた注入固化工法の開発と適用例，土木学会土木建設技術発表会 2009 講演集 III-4,pp.181-186.

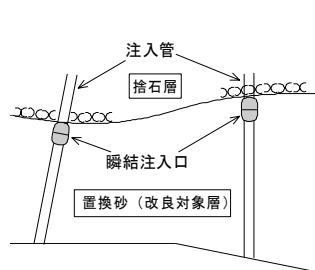


図-2 漏洩防止策

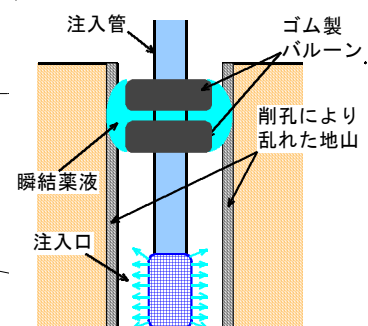


図-3 採用した薬液注入工法

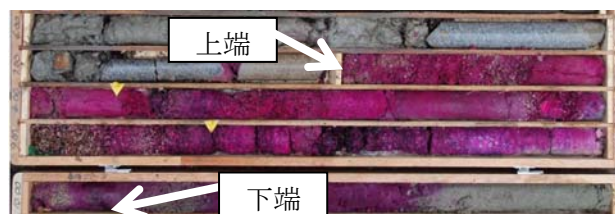


写真-1 改良層採取試料(No.22-3)

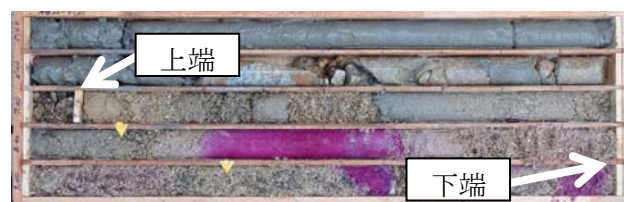


写真-2 改良層採取試料(No.22-6)



写真-3 施工状況

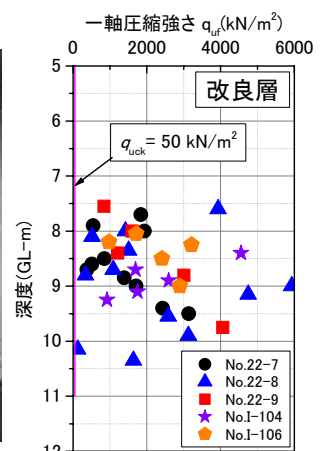


図-4 一軸圧縮強さ q_{uf}