

中性固化材を利用した地盤改良

一新名神高速道路高槻高架橋東（下部工）工事一

Soil Improvement Works Using Neutral Soil Stabilizer

鈴木孝幸*1

概要

本工事は、新名神高速道路高槻高架橋のうち、橋脚 16 基を構築する工事である。このうち、橋脚 2 橋脚を池内で施工する必要があり、締切内で掘削底面の安定を図るための薬液注入工法による底盤改良を実施する必要があった。この際、薬液注入工法の薬材および固化材が池内へ逸走・流出することを防止するため、締切外部の硬質地盤クリア工法により、圧入打設した鋼矢板周りの乱された地山に、中性固化材を利用した静的締固め工法（453 本、330.46m³）による改良を国内で初めて実施工に採用した。

key words : 水中地盤改良、中性固化材、静的締固め(CPG)工法、汚濁水防止

1. はじめに

本工事は、新名神高速道路京田辺 JCT～高槻 JCT(11km)のうち、淀川右岸側の高架橋（L=400m）区間の下部工工事（橋脚 16 基）を構築する工事である。工事概要図を図-1 に、下部工標準断面図を図-2 に示す。

このうち、橋脚 2 橋脚を池内で施工する必要があり、締

切内で掘削底面の安定を図るための薬液注入工法による底盤改良を実施する必要があった。この際、薬液注入工法の薬材および固化材が池内へ逸走・流出することを防止するため、締切外部の硬質地盤クリア工法により圧入打設した鋼矢板周りの乱された地山に、中性固化材を利用した静的締固め工法（453 本、330.46m³）による改良を国

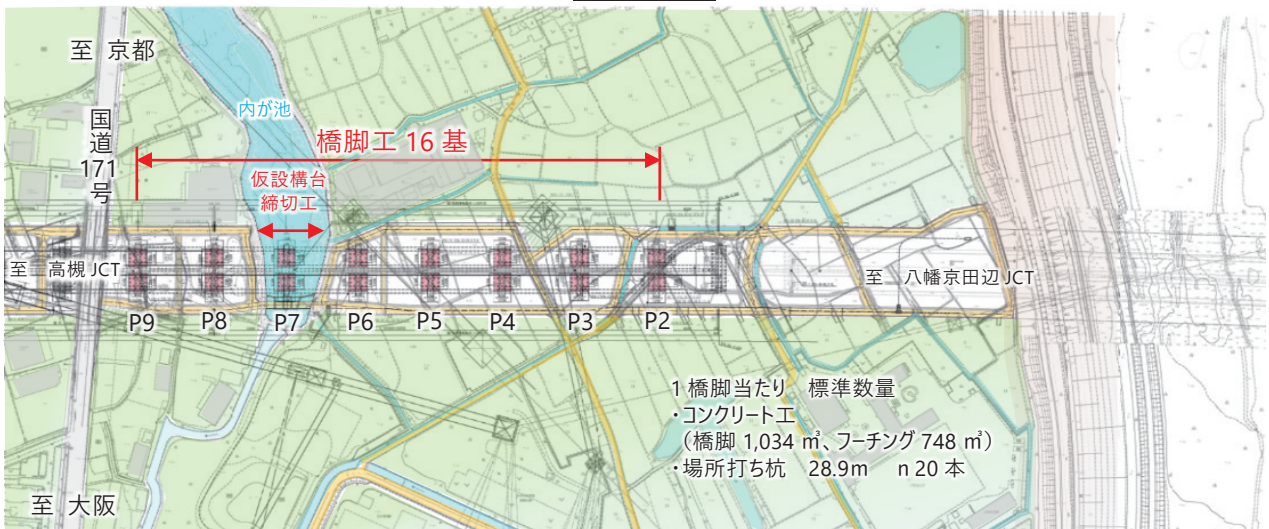
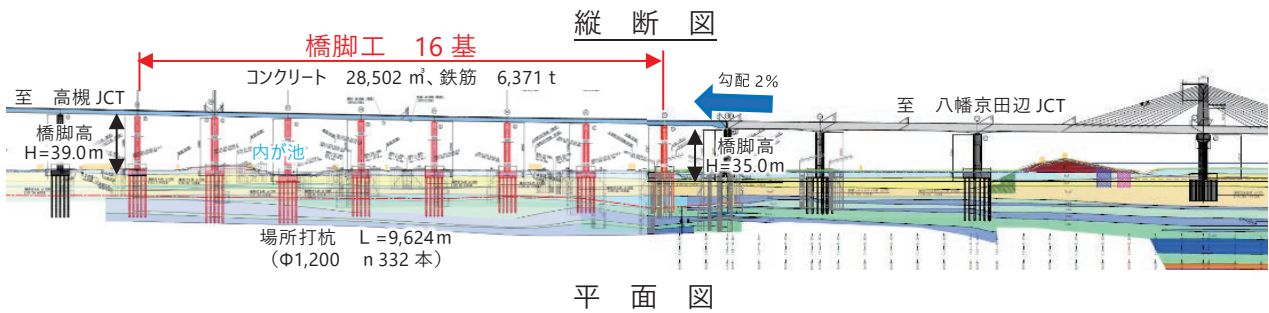


図-1 工事概要図

*1 Takayuki SUZUKI

内で初めて実施工に採用したものである。

静的締固め工法（CPG 工法）は、低流動性のモルタルを強制的に地盤中に圧入することにより密度を増大させ地盤を締め固める工法で、既設構造物の液状化対策として多く利用されている。通常、CPG 工法をはじめ、地盤改良工の多くは、普通ポルトランドセメントまたは高炉セメント B 種が使用されている。そのため、水域近くでの施工は、高アルカリであるセメント系の固化材の水質への影響が懸念されてきた。一方で、今回使用した中性の固化材は、焼石膏が主成分の環境対応型の材料であるため、pH は 6~8 程度の中性領域にある。

そこで、本報では CPG 工法の締固め効果を利用し、鋼矢板周囲部の緩み範囲について中性固化材を使用して充填した結果を報告する。

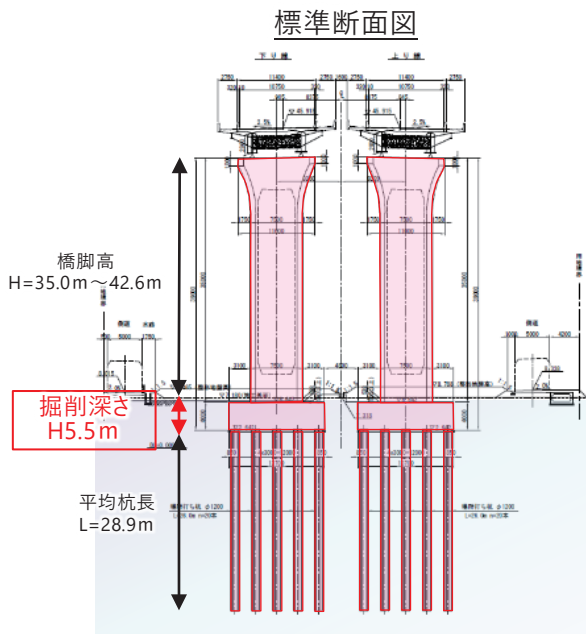


図-2 下部工標準断面図

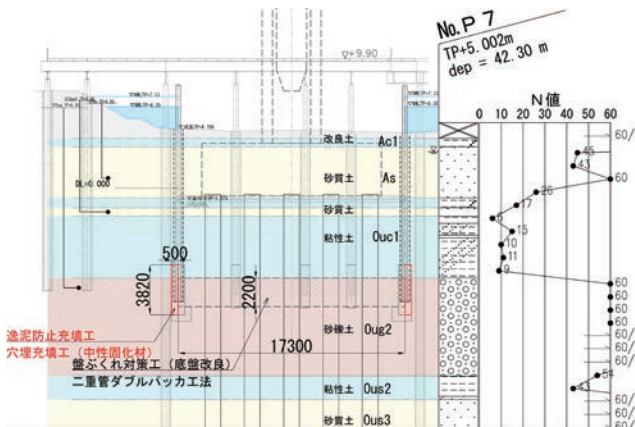


図-3 施工断面図

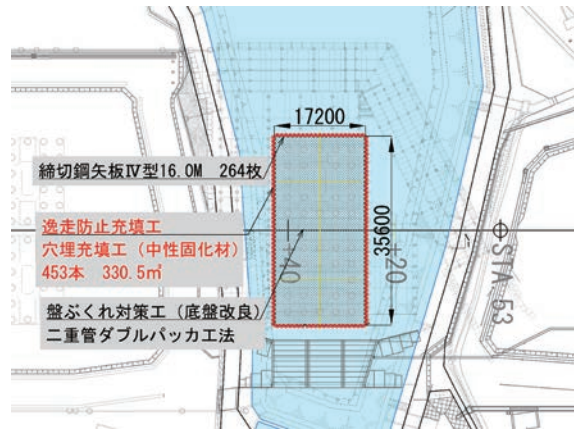


図-4 施工平面図

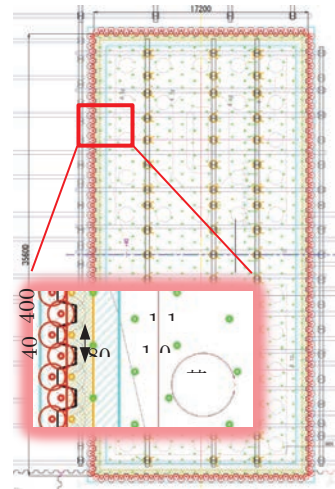


図-5 施工詳細図

2. 工法概要

2.1 底盤改良の検討

池内に位置する P7 橋脚の施工に伴い鋼矢板による締切が計画されていた。締切内掘削時の掘削底面の安定検討を行ったところ、粘性土 (Ouc1 層) の盤ぶくれに対する安全性が不十分であることが判明した。このため対策工として底盤改良を実施する必要があることから、注入効果の期待度が高いダブルパッカ工法を採用した。

2.2 特に配慮した課題

ダブルパッカ工法で使用する緩結材の材料選定では、周辺環境影響を考慮して中性酸性系の材料を採用した (表-1)。

表-1 注入材の分類

無機系	アルカリ系(溶液)	水ガラス水溶液に、無機系反応材を加えてアルカリ領域でゲル化させるもので多くの注入材がこの分類に属する。
	アルカリ系(懸濁)	硬化材にセメント等の粒子系のものを使用する。粘性土・空隙の充填に使用することが多い。
	中性酸性系(シリカゾル系)	酸性溶液中に水ガラスを加えて得られるシリカゾルに中和剤を加える(凝結)、反応材を加える(凝結)などの方法でゲル化させる。
有機系	アルカリ系(溶液)	水ガラス溶液中に有機反応材を加えてゲル化させるもので、無機系に比較して、ゲル化の安定性が高く、高強度が得られる。
活性シリカ	アルカリ系(溶液)	酸性溶液中に水ガラスを加えて得られるシリカゾルに中和剤を加える(凝結)、反応材を加える(凝結)などの方法でゲル化させる。
超微粒子シリカ	アルカリ系(懸濁)	水ガラス溶液中に有機反応材を加えてゲル化させるもので、無機系に比較して、ゲル化の安定性が高く、高強度が得られる。

この材料を室内で固化実験したところ、土中のアルカリ分と反応して固化する場合は中性となるが、液体のみで固化した材料の pH は 2~3 を示し、強酸性であることがわかった。（写真-1、2）



写真-1 緩結材のみの pH 測定結果 (pH2~3)



写真-2 緩結材+土の pH 測定結果 (pH5~6)

また、注入対象土層は透水係数が $1.33 \times 10^{-5} \text{m/s}$ と非常に高い砂礫層であり、ダブルパッカ工法は二次注入で上記の緩結材を使用するため、薬液が固まるまでの間に締切外へ pH の低い酸性の液体が流出する可能性があった。特に、鋼矢板打設時に穿孔削孔する硬質地盤クリア工法を採用（写真-3）したため、鋼矢板周囲部には緩みが生じている（図-6）。

このため、底盤改良の施工時に鋼矢板緩み範囲を通り締切外へ流出する薬液をどのように防止するかが課題であった。



写真-3 硬質地盤クリア工法による鋼矢板締切状況

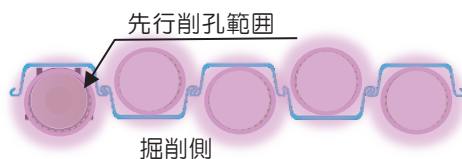


図-6 緩み範囲のイメージ

2.3 静的締固め工法の採用

以上の背景をもとに、締切外側の池に面した緩み部に固化剤を充填する必要がある。そこで、緩み部周辺地盤に締固め効果を期待できる CPG 工法（図-7）を採用した。使用材料は、通常はセメント系固化材を採用する工法であるが、池水への pH の影響を考慮して焼石膏を主成分とした無機系鉱物系のみで固化する中性固化材（写真-4）を、国内で初めて実施工で採用した。

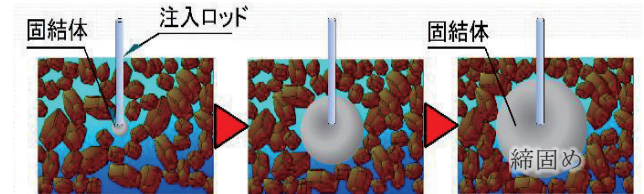


図-7 CPG 工法原理



写真-4 中性固化材の pH 測定結果 (pH7)

3. 施工計画

3.1 施工管理項目

CPG 施工時に以下の点について、特に注意し管理した。

① 薬材の逸走・流出

水中ドローンや水中カメラを利用し、薬材の逸走の有無を監視した（写真-5）。



写真-5 水中ドローンによる監視

② 池水への pH 影響

pH 測定は、薬液の逸走および流出による池水への影響を確認するために行った。採水方法は、注入施工箇所水中ポンプを設置してピンポイントの水を採取し pH 測定を行った。

③ 注入圧力による鋼矢板の変位

注入圧力は流量圧力監視装置によりリアルタイムに表示され、自動的に記録される。注入圧力は、地盤条件、施工条件によって左右されるものであり、かつ薬液の種類によって変位することが一般的である。当該区では、空洞部分をN値15程度の地盤とみなすことで、CPGポンプの圧力を6MPaに設定し管理を行った。このため、注入圧力がかかりすぎると鋼矢板および支持杭に変位等の影響が発生する懸念があった。

④ スランプ管理によるワーカビリティの確保

中性固化材の主原料である石膏はセメント系固化材と比較して強度発現が早いという特性があり、練り混ぜから固化までの時間を1hに設定し、スランプ5cm以内として管理を行った(写真-6)。



写真-6 中性固化材スランプ試験

4. 施工結果

4.1 CPG工法の施工

施工箇所が池に面した緩み部であることから、施工時に最も懸念された薬材による池水へのpHの影響は、施工中、施工後も全く見られなかった。これは、材料が流動性の低いモルタルであったことにより、池内への流出を防ぐことができたと考える。鋼矢板の変位については、上限値を初期圧+0.5MPaに設定して圧力管理を行った結果、変位許容内にて、無事に施工を完了した。

4.2 底盤改良時の止水性

底盤改良時のダブルパッカ工法施工時に、薬液の逸走、流出および池水のpHへの影響は全く見られなかった。改良後の揚水試験においても、注入対象土層である砂礫層の透水係数が、 $1.2 \times 10^{-2} \text{m/s}$ と低減されており、安全に床付を行うことができた(写真-7、8)。このため、鋼矢板周囲ゆるみ部の空隙充填は確実にされていたと考えられる。



写真-7 施工状況全景

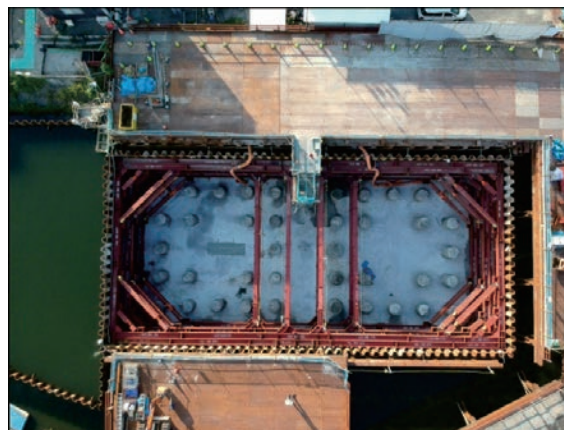


写真-8 均しコン打設完了全景

5. おわりに

静的圧入締め固め(CPG)工法は、滑走路や護岸、盛土構造物での液状化対策として採用事例が多くある。

今回の中性系固化材を用いれば、環境影響が懸念される河川や池への影響を防ぎ、水門や護岸といった水中内の土木構造物への施工として適用が図れる。本報が今後の施工の参考になれば幸いである。

【謝辞】

本施工は西日本高速道路 新名神高速道路高槻高架橋(下部工)工事のP7橋脚を内が池内で施工したものである。指導いただいた西日本高速道路および施工を担当した三信建設工業株式会社の方々には協力や支援をして頂き、ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 薬液注入工 設計資料 令和4年度版(一般社団法人日本グラウト協会)