

重要幹線道路下の地盤改良工事の施工

西松建設(株)関東土木支社 正会員 ○林 香織

西松建設(株)土木設計部 正会員 市川 督人

西松建設(株)関東土木支社 正会員 青山 武史 正会員 坪井 広美

1. はじめに

横浜湘南道路トンネル工事は、延長約 300km の首都圏中央連絡自動車道のうち、藤沢 IC～栄 IC・JCT（仮称）間を結ぶ約 5.4km の上下線を泥土圧式シールド工法（シールド外径 $\Phi 13,240\text{mm}$ ）にて築造するものである。

本稿は、城神明橋（上り線側）で実施した地盤改良工事の工法選定と施工結果について報告する。

2. 地盤改良の目的

国道 1 号線の城神明橋の橋台杭（RC 杭 $\Phi 400\text{mm}$ ）が、シールド断面に支障することが明らかになっていた（図-1）。

支障杭は、シールド機にて直接切削する方針としたが、切削後も橋台およびシールドトンネルの構造安全性を確保するため、以下 3 点を目的として地盤改良を実施した。

- ① 杭反力の確保：橋台杭の局部的な応力に対し、地盤改良を介した面的荷重としてセグメントに荷重伝達させる。
- ② 切削反力の確保：シールド推力により橋台杭が折れないように、杭周りの地盤強度を増加させる。
- ③ 周辺地盤の補強：シールド掘削に伴う橋台・地下埋設物の沈下抑制のため、上部地盤の強度を増加させる。

地盤改良仕様は、これら杭反力確保、シールド切削反力確保、および橋台の沈下抑制のため、設計では、杭周面の地盤改良を高強度（ $q_u=2.0\text{MN/m}^2$ 、 $E_{50}=200\text{MN/m}^2$ 、改良厚：3.0m）、杭周面以外は中強度（ $E_{50}=40\text{MN/m}^2$ 、改良厚：2.0m）に低減した（図-2）。

3. 地盤改良工法の選定

以下の理由から、橋台下の杭周囲を確実に地盤改良できる薬液注入工法を採用した。

① 薬液注入工法

長所：斜注入可能なため、橋台杭周囲を確実に改良可能である。

短所：注入圧により、周辺地盤や構造が隆起する恐れがある。

② 高圧噴射攪拌工法

長所：大口径改良による工期短縮が可能である。

短所：斜施工の限界角度が 10° であり、杭背面は影になることから未改良部が生じる。

注入工法の選定については、「二重管複相注入工法」と「二重管ダブルパッカー工法」を比較検討した結果、注入ロッドが $\Phi 40\text{mm}$ と大きく削孔性に優れ、低吐出で改良効果の大きい「二重管ダブルパッカー工法」を採用した。

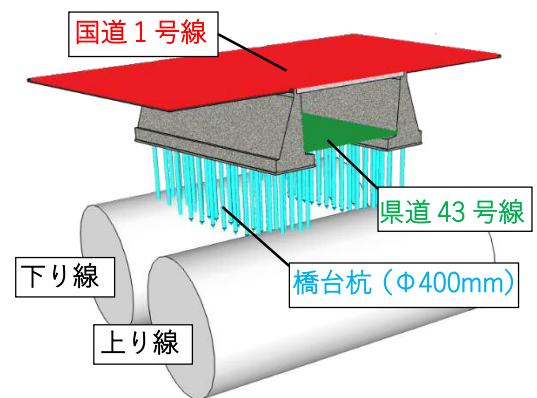


図-1 城神明橋施工イメージ図

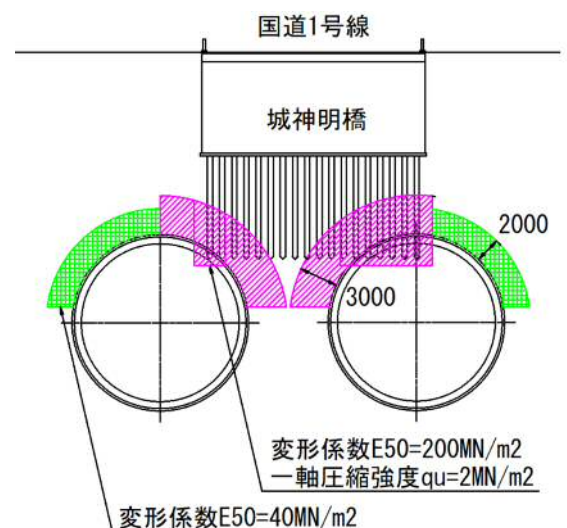


図-2 地盤改良断面図

キーワード シールド工法、地盤改良工事、薬液注入工法、橋台杭

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-1-18 ヒューリック虎ノ門ビル3F TEL 03-3502-7556

4. 試験施工による材料選定

杭周囲の地盤改良には、シールド通過後も長期的な改良効果を期待するため、恒久グラウト材を用いるものとし、原地盤の粒度分布により浸透の可否、材料の適正配合、改良強度が異なるため、試験施工を実施した。

(1)室内試験による材料選定

原位置土の試料を用いた室内試験を実施し、注入材料を選定した。

注入材料は「超微粒子複合シリカ」と「超微粒子セメント」の2種類とし、一次元浸透試験

(写真-1)と一軸圧縮試験を行った。試験の結果、細砂層への浸透性に優れ、目標値

($q_u=2\text{MN/m}^2$, 変形係数 $E_{50}=200\text{MN/m}^2$) を満足した「超微粒子セメント」を採用した(表-1)。

(2)現場注入試験による配合・充填率の選定

「超微粒子セメント」の配合と充填率を検討するため、以下4ケースの現場注入試験を実施した。

- ・ Case-1 : 配合「W/C=350%」, 充填率「100%」, ・ Case-2 : 配合「W/C=350%」, 充填率「120%」
- ・ Case-3 : 配合「W/C=400%」, 充填率「100%」, ・ Case-4 : 配合「W/C=400%」, 充填率「120%」

① 浸透性の評価

細砂層は、いずれのケースでも改良体のコアを確認できたが、Case-4 は他と比較し改良体の割合が少ない結果となった。砂礫層は、W/C=350% (Case-1,2)で未固結の砂礫状コアとなり、W/C=400%(Case-3,4)で一部未固結部が見られるものの、改良体のコアを確認できた。注入孔からの離隔 500mm に着目した場合、W/C=350% (Case-1,2) ではコアが採取できていないのに対し、W/C=400% (Case-3,4) では棒状のコアを確認できた。

② 強度および変形係数の評価

良好なコア採取が難しかったため、一軸圧縮強度でなく孔内水平載荷試験から評価した。孔内水平載荷試験結果(変形係数)は、細砂層で Case-4 以外は目標値を満足した。砂礫層では W/C=350% (Case-1,2) は目標値を下回り、W/C=400% (Case-3,4) は目標値を満足する結果となった。①②より、浸透性・強度面で最も優位な Case-3 (「W/C=400%」, 充填率「100%」) を決定した。

③ 注入率の設定

細砂層は、土質試験の間隙率 43.2%より注入率 43.2%とした。砂礫層は、土質試験の間隙率 24.2%であるが、試験施工で注入量が不足していた可能性を踏まえ、土木工事積算基準の標準的な間隙率 31.5%を採用した。

- ・ 細砂層 : W/C=400%, 間隙率 43.2%, 充填率 100%, 注入率 43.2%
- ・ 砂礫層 : W/C=400%, 間隙率 31.5%, 充填率 100%, 注入率 31.5%

5. 実施施工の効果確認

実施施工後、杭周囲の高強度改良範囲の2箇所について、一軸圧縮試験および孔内水平載荷試験を実施した。一軸圧縮試験は、1箇所につき上・中・下部の3深度(1深度につき3回)計18回のボーリングコアを採取し、いずれも一軸圧縮強度の目標値 $q_u=2\text{MN/m}^2$ を満足した。孔内載荷試験は、1箇所につき上・中・下部の3深度に1回、計6回の水平載荷試験を行い、いずれも変形係数の目標値 $E_{50}=200\text{MN/m}^2$ を満足した(表-2)。

表-1 室内試験結果一覧

試料番号	配合(W/C)	確認項目	供試体No. 注入孔からの距離(cm)										判定
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
			~10cm	~20cm	~30cm	~40cm	~50cm	~60cm	~70cm	~80cm	~90cm	~100cm	
No.1	超微粒子複合シリカ	圧縮強度 q_u (MN/m ²) 変形係数 E_{50} (MN/m ²)	薬液の侵入が確認されなかったため、試験結果なし										不合格
No.2	超微粒子セメント 350%	圧縮強度 q_u (MN/m ²) 変形係数 E_{50} (MN/m ²)	5.8	6.1	6.3	5.9	5.1	3.9	3.2	1.5	0.5	0	合格
No.3	超微粒子セメント 400%	圧縮強度 q_u (MN/m ²) 変形係数 E_{50} (MN/m ²)	1194	1107	1473	1191	899.6	878.9	649.2	308.6	125.5	6.5	合格
No.3	超微粒子セメント 400%	圧縮強度 q_u (MN/m ²) 変形係数 E_{50} (MN/m ²)	5	5.3	4.9	4.5	3.3	2.4	0.6	0.1	0	0	合格
No.3	超微粒子セメント 400%	圧縮強度 q_u (MN/m ²) 変形係数 E_{50} (MN/m ²)	929.1	1075	502.1	803.3	603.3	556.6	176.6	36.2	8.4	3.5	合格

※改良目標値を満足するものは太字で示す

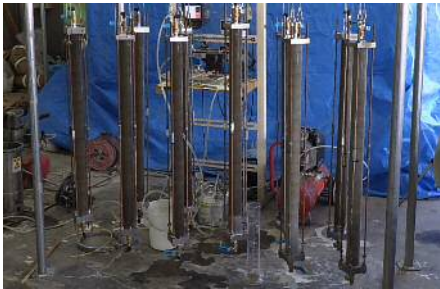


写真-1 一次元浸透試験

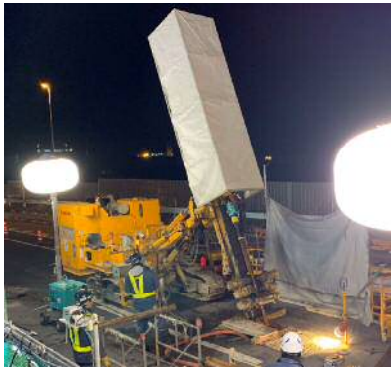


写真-2 薬液注入工実施状況

表-2 効果確認結果一覧

試料番号	改良対象土質		一軸圧縮試験	孔内載荷試験
			圧縮強度 q_u (MN/m ²)	変形係数 E_{50} (MN/m ²)
No.1	上部	細砂	13.6	208
	中部	礫混じり	6.4	223
	下部	細砂	4.9	318
No.2	上部	細砂	4.6	208
	中部	礫混じり	4.8	294
	下部	細砂	4.6	253