

二次元 FEM 解析による鉄道営業線直下のシールド施工が及ぼす軌道への影響検討

阪急設計コンサルタント(株)

正会員 ○松本 尚衛

正会員 山口 武志

1. はじめに

本検討は鉄道高架化工事の仮線直下を通過するシールド(直径 5.85m, 土被り 13m)の施工において生じる地盤の緩みが、仮線軌道及び仮電柱に及ぼす影響を把握するために、二次元 FEM 解析を実施したものである。解析の結果、軌道の変位量が制限値以上となったために、仮線直下のシールド周辺に地盤改良による防護工を設置し、その効果を二次元 FEM 解析により検証した。

2. 二次元 FEM 解析条件

二次元 FEM 解析による影響検討は仮線軌道鉛直変位と仮電柱基礎の変位や折れ角を照査対象とする。解析の手順は、まず現地盤をモデル化した断面で二次元 FEM 解析を行い、仮線軌道の鉛直変位が制限値に収まるかを確認する。次に仮線軌道の鉛直変位が制限値内に収まらない場合、シールド周辺を門型で地盤改良による防護工を設置し、二次元 FEM 解析にて制限値内に収まる地盤改良厚を求める。また、二次元 FEM 解析の STEP については、STEP1: 初期応力時、STEP2: シールド施工時(応力解放率 30%)、STEP3: シールド構築時(応力解放率 100%)とする。なお、二次元 FEM 解析モデルは、高架橋基礎を土中にモデル化すると基礎による拘束効果で地

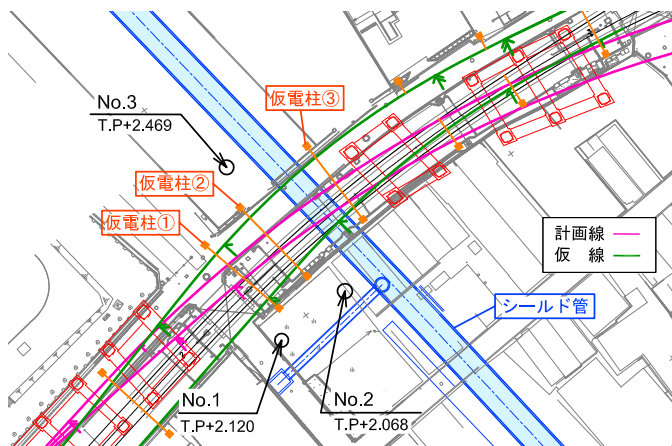


図-1 位置図

表-1 二次元 FEM 解析①結果: STEP2 (仮線軌道鉛直変位)

検討ケース	検討方向	計算値 (mm)				
		127	130	134	138	141
STEP2 シールド掘進時 (応力解放率30%)	水平方向	0.93	0.50	0.00	-0.55	-0.94
	鉛直方向	-2.73	-2.61	-2.62	-2.72	-2.51
130-138間の最大鉛直変位差		0.10				

盤変状が小さく出る傾向にあったため、高架橋基礎はモデル化せず検討を行うこととした。

3. 二次元 FEM 解析結果と課題

3-1. 二次元 FEM 解析① (地盤改良なし)

当該地に一番近い既存のボーリング No.1 のデータから地盤のモデル化を行い、二次元 FEM 解析を実施した。地盤変位の影響が一番大きい STEP2 の結果を表-1 に示す。地盤改良なしでシールド施工を行った場合では、地盤変位が大きく出ており、軌道鉛直変位の制限値 3mm を満足していない。地盤の変形量が大きい要因としては、シールド上部に堆積している N=2~3 程度の軟弱粘性土層厚が厚いため、地盤の変形が大きくなっていると考えられる。

3-2. 二次元 FEM 解析② (地盤改良厚 (幅 4.5m×3.5m))

仮線軌道の沈下量を抑制するため、必要な地盤改良厚を検討した結果、図-2 に示す通り幅 4.5m×高さ 3.5m の地盤改良厚としたとき、仮線軌道の鉛直変位が 2.96mm となり、制限値内に収まる結果となった。この結果から、シールド掘進による軌道の沈下量を制限値内に収めるには、大きな地盤改良厚が必要であり、工事費が増大することが課題となった。地盤改良厚が大きくなった要因としては、厚い軟弱粘土層があることにより地盤沈下量が大きくなったことや、採用予定の地盤改良工法の標準値として示されていた粘性土

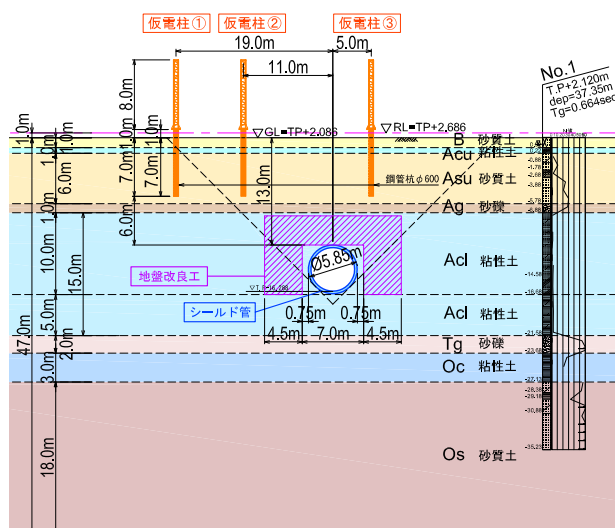


図-2 検討モデル図 (二次元 FEM 解析②)

キーワード 鉄道営業線 鉄道近接 シールド工事 軌道影響検討 二次元 FEM 解析

連絡先 〒530-0012 大阪府大阪市北区芝田 1 丁目 4 番 8 号北阪急ビル 4 階 阪急設計コンサルタント(株) TEL06-6359-2755

の地盤改良強度が砂質土に比べて小さいため、地盤改良厚が大きくなったと考えられた。一方、仮電柱に対して地盤改良が大きいために、かなり近接する位置関係となるため、地盤改良施工時の仮電柱に与える変状などの影響が大きいところも懸念された。

4. 課題解決のための方策

地盤改良厚を縮小するために、以下の方策を実施し、再度二次元 FEM 解析により、地盤改良厚の検討を行った。

- ①地盤をモデル化するとき、ボーリングデータ No.1 を使用していたが、周囲の既存ボーリングデータから、直近の粘性土層厚はもう少し小さくなると予測された。これにより、ボーリングを前後 2 箇所追加 (No.2, No.3) で実施した結果、当初の粘性土層厚 15m よりも 3m 小さくできると判断した。
- ②当該地盤で粘性土中の地盤改良強度を実測するため、現地での試験施工箇所からコアボーリングにより供試体を採取し、圧縮試験を実施した結果、当初地盤改良強度の約 3 倍程度有しており、砂質土の地盤改良強度と同等であった。

5. 二次元 FEM 再検討 (解析③) の結果

前述の方策による検討を実施し、図-3 に示す通り当初に検討した地盤改良厚 (幅 4.5m×高さ 3.5m) よりも小さい地盤改良厚 (幅 2.0m×高さ 2.5m) で地盤変状を抑えることが出来た。図-4 に示す通り、地表面は沈下しているが、シールド底面はリバウンドによる影響で隆起している。仮線軌道の鉛直変位及び仮電柱の折れ角をそれぞれ表-2 および表-3 に示す。仮電柱の折れ角及び変位は小さく仮線に影響の小さいものであった。地盤改良厚を縮小したため、地盤改良と仮電柱の離隔が大きくなり、仮電柱への影響が小さくなった。

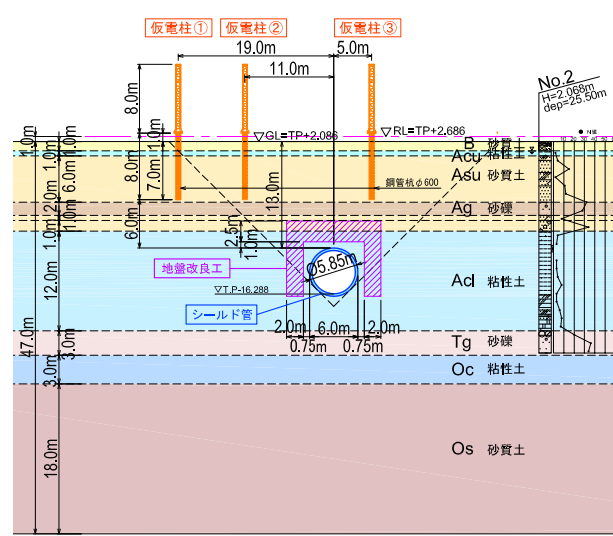


表-2 二次元 FEM 解析③結果 : STEP2(仮線軌道鉛直変位)

検討ケース		検討方向	計算値 (mm)				
			127	130	134	138	141
STEP2	シールド掘進時 (応力解放率30%)	水平方向	0.93	0.50	0.00	-0.55	-0.94
		鉛直方向	-2.73	-2.61	-2.62	-2.72	-2.51
130-138間の最大鉛直変位差			0.10				

表-3 二次元 FEM 解析③結果 : STEP2(仮電柱折れ角照査)

仮電柱①		検討方向	計算値 (mm)				
			5001	5002	922	変位差	折れ角(rad)
STEP2	掘進時 (応力解放率30%)	水平方向	1.73	1.39	1.08	0.65	0.00004
		鉛直方向	-1.78	-1.78	-1.78	0.00	
仮電柱②		検討方向	計算値 (mm)				
			5011	5012	927	変位差	折れ角(rad)
STEP2	掘進時 (応力解放率30%)	水平方向	0.95	0.93	0.92	0.03	0.00000
		鉛直方向	-2.73	-2.73	-2.73	0.00	
仮電柱③		検討方向	計算値 (mm)				
			5021	5022	937	変位差	折れ角(rad)
STEP2	掘進時 (応力解放率30%)	水平方向	-0.28	-0.36	-0.44	0.16	0.00001
		鉛直方向	-2.89	-2.89	-2.89	0.00	

6. まとめ

本検討は、現地施工試験を実施することで、当初設計よりも経済的な設計が可能となった事例である。このように、各種施工方法には、安全側に評価された強度等の標準値が示されているが、当該地に適した数値を現地試験等により得ることで、安全性を確保しつつ、経済性を大幅に向上させることも可能な場合があることに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物，平成 12 年 6 月
- 2) 都市部鉄道構造物の近接施工対策マニュアル，平成 19 年 1 月

図-3 二次元 FEM 解析③モデル図

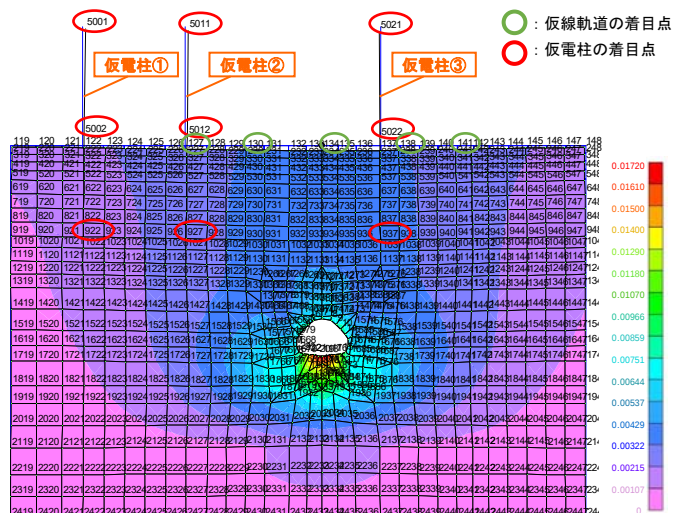


図-4 二次元 FEM 解析③コンター図 : STEP2 (鉛直変位)