

N値ゼロの超軟弱地盤における泥土圧シールドの施工報告

東急建設株式会社 正会員 ○鈴木 翔太 田中 悠一

1. はじめに

墨田区の浸水対策事業の一環として発注された「京島幹線その2工事」では、泥土圧シールド工法により施工するトンネルのほぼ全域でN値ゼロの有楽町層下部粘性土層（以下、Y1c層）を $H/D=2.06\sim 2.46$ （H：土被り，D：シールド外径）で掘進する計画となっていた。そのため、切羽圧力のわずかな管理誤差や裏込めの充填不足で地表面が変状するおそれがあり、東武亀戸線東あずま駅近傍で踏切の直下を横断する区間では特に掘進による影響が懸念されていた。図-1に本工事の施工路線図を示す。



図-1 施工路線図 (© OpenStreetMap contributors)

本稿では、鉄道路線への影響を抑制するために実施した事前対策と掘進中の対策について報告する。

2. 事前対策

東武亀戸線横断部を対象に、平面ひずみ状態を仮定した線形弾性モデルによる2次元FEMを実施した。図-2に、本解析のモデル図と鉛直変位コンター図をトンネル防護改良のなし・ありでそれぞれ示す。解析の結果、無対策の場合はシールド直上の地表面で約19mmもの大きな沈下が生じ、東武線の整備基準値である8mmを超過する可能性があることがわかった。一方、薬液注入による厚さ1mの防護改良をトンネルの周囲に行った場合、無対策の場合の4分の1以下である4mm程度まで地表面沈下が抑制される解析結果が得られた。この結果を踏まえ、事前の対策として、図-3に示すように、東武線の軌道下に延長31mにわたって矩形の薬液注入防護改良を実施した。

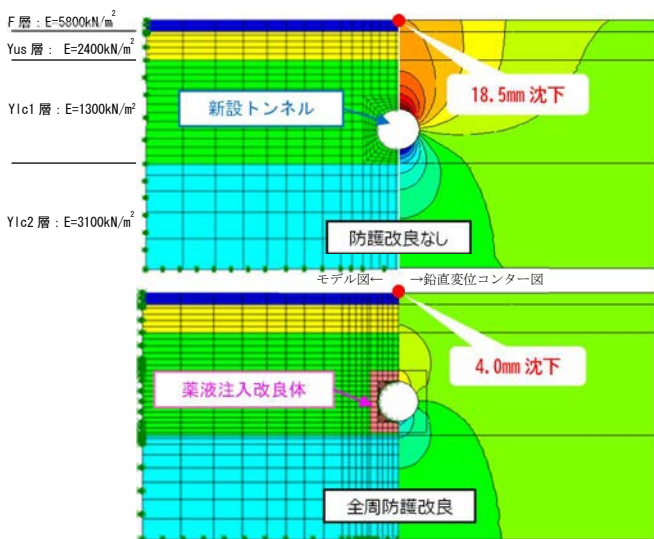


図-2 東武線横断部のFEM解析結果

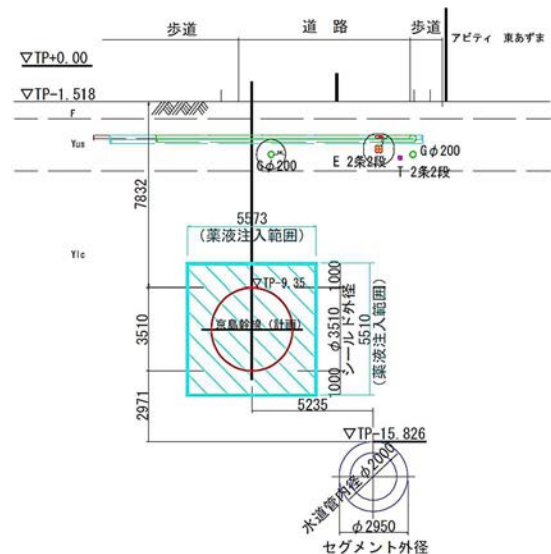


図-3 東武線横断部の薬液注入防護改良（横断面図）

キーワード 超軟弱地盤，シールド，泥土圧，下水道，近接施工

連絡先 〒150-8340 渋谷区渋谷1-16-14 東急建設株式会社 土木事業本部 技術統括部 TEL 03-5466-5322

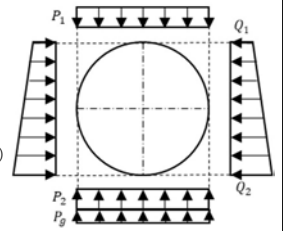
3. 掘進中の対策

泥土圧シールドのチャンバー内の管理圧力には、上限値として静止土圧+水圧+変動圧を、下限値として主働土圧+水圧+変動圧を用いる場合が多い。しかしながら本工事では、Y1c層が非常に不安定で鋭敏な粘性土であったことから、「非常に軟らかい粘性土」に適用される側方土圧係数 λ (=0.85)を採用して求めた水平土水圧(式-1参照)を上限値に設定し、上限値を超えた場合シールド機が自動停止するよう調整を行った。また、軌道下の通過中は、毎掘進時に地上構造物含む地表面の計測を行い、管理値を超えた場合に掘進を中断する方針とした。さらに、裏込め材は当該区間以外の掘進ではシールド機後方2~3mの位置から充填をしていたが、当該区間では充填不足によるテールボイド沈下をより確実に防止するため、後方1~2mから充填を行う計画とした。加えて、掘進中の掘削土取り込み量を圧送ポンプの稼働回数から概算するだけでなく、土砂ピット排水量早見表を使って土砂ピットの液面高さから素早く正確に算出し、取り込み異常を早期に発見できるように工夫した。

$$P_{f,max} = \frac{Q_1 + Q_2}{2} + p = \frac{\lambda \cdot \{P_1 + (P_1 + \gamma_t \cdot D)\}}{2} + p \quad \dots \text{式-1}$$

ここに、

- $P_{f,max}$: チャンバー内管理圧力上限 (kN/m²)
- Q_1 : シールド上端における水平土水圧 (kN/m²)
- Q_2 : シールド下端における水平土水圧 (kN/m²)
- P_1 : シールド頂部における鉛直土水圧 (kN/m²)
- γ_t : 掘削対象地盤の湿潤単位体積重量 (kN/m³)
- D : シールド外径 (m)
- p : 変動圧 (kN/m²)



4. 施工結果

東武亀戸線をシールド機で横断する際に、図-4に示す測点にて上り線と下り線のレールの水準測量を行った結果を図-5に示す。水準測量の結果、シールドのカッター部がレールの直下に差し掛かった時に隆起量が最大となり、シールドのテール部がレールの直下を通過する頃に沈下量が収束する傾向が上下線ともに見られた。レールの最大隆起量は3mm、シールド通過後の最大沈下量は4mmであったが、いずれも整備基準値以下であり、後者はFEMによる事前解析結果と一致した。

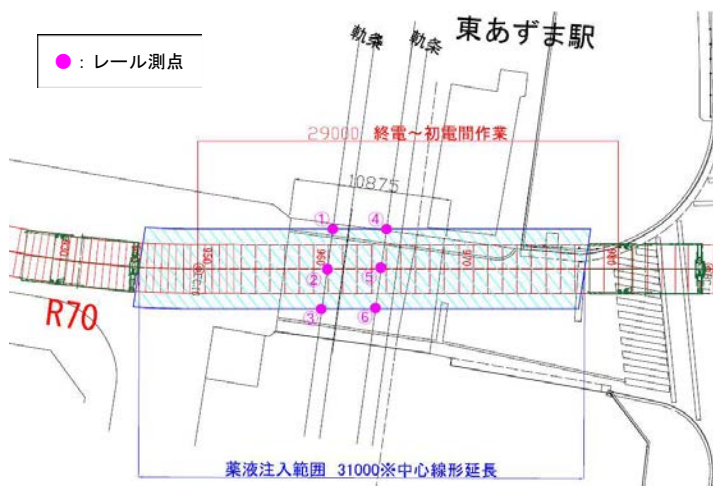


図-4 東武線横断部水準測量点位置図

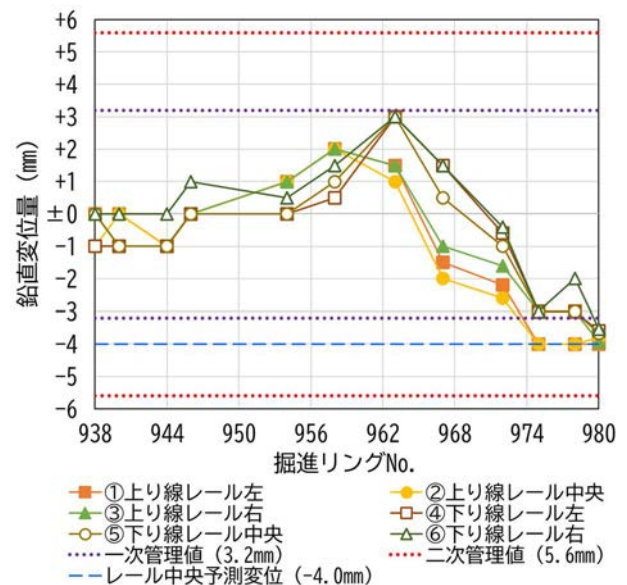


図-5 東武線横断部掘進時のレールの鉛直変位

5. まとめ

事前に諸所の条件を調査し、適切な対策・管理を行うことで超軟弱地盤でも地表面変位を規格値内に収めることができた。なお、レール以外にも、シールド路線近傍の鉄道施設物の変状をモニタリングしながら施工を行ったが、特に大きな変状が生じることなく、この最重要近接区間を無事通過することができた。昨今、シールド工事が原因とみられる大きな地盤沈下が発生しており、ニュースなどでも大きく取り沙汰されている。今回の超軟弱地盤での施工の知見がそのような公衆災害の発生防止の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説, pp.206, 2016