

SENSによる都市部小土被りトンネルの周辺地盤への影響評価

大成建設株式会社 正会員 ○加藤 隆, 和田 幸治
鉄道・運輸機構 東京支社 新横浜鉄道建設所 正会員 中西 孝治
地域地盤環境研究所 正会員 水原 勝由

1. はじめに

相鉄・JR 直通線西谷トンネルは、外径 10.5m, 全長 1.4km のシールドを用いた場所打ち支保システム (SENS) が都市部で初適用となるトンネルである (図-1)¹⁾。到達部は土被り約 7m で国道 16 号線や地下埋設物直下を通過するため、掘進時の挙動を予測し、適切に施工管理を行う必要があった。そこで、発進部にトライアル施工区間を設け、地山挙動を把握し、到達部の変位予測と掘進管理へ反映させた。結果、有害な地山変状を生じさせることなく施工が完了できた。本報告では、小土被り部での計測挙動ならびに解析結果について述べる。

2. 発進部のトライアル計測、再現解析

図-2 にトライアル区間の断面図を示す。土被りは約 6.1m であり、天端付近は埋戻土層 (B) と改良土 (I)、以下は上総層の硬質粘性土 (Km) が分布している。掘進時の計測結果を図-3 に示す。地表面沈下は切羽通過前に最大 0.3mm であったが、切羽通過後は打設圧の影響で最大 2.6mm 隆起した。水平変位は、切羽通過後に内側に最大 9.4mm 縮小した。この挙動を 2 次元平面ひずみ弾性 FEM を用いて再現を試みた。FEM 解析は、飯田²⁾の手法を用いて、切羽通過時の応力解放率 α 、コンクリート打設圧と打設時の応力解放率 β をパラメータとして、切羽通過時、コンクリート打設時、内型枠脱型後の 3 ステップにおいて挙動を再現した。解析結果を図-4 に示す。鉛直変位を実測値に合致させるように解放率 α 、 β を入力すると、水平変位は実測値とは逆に拡大傾向となり、この手法では変位挙動をうまく表現できなかった。実測値を再現させるには、飯田の手法に加えて、水平方向力を切羽通過時に作用させる必要があると考えた。水平力としては、側圧係数 K_0 の大きさや、シールド機通過時の地山とシールド機との摩擦の影響等に起因する可能性を考慮し、これらの荷重がトンネルに作用する場合も含めて、到達側の予測解析に反映させる方針とした。

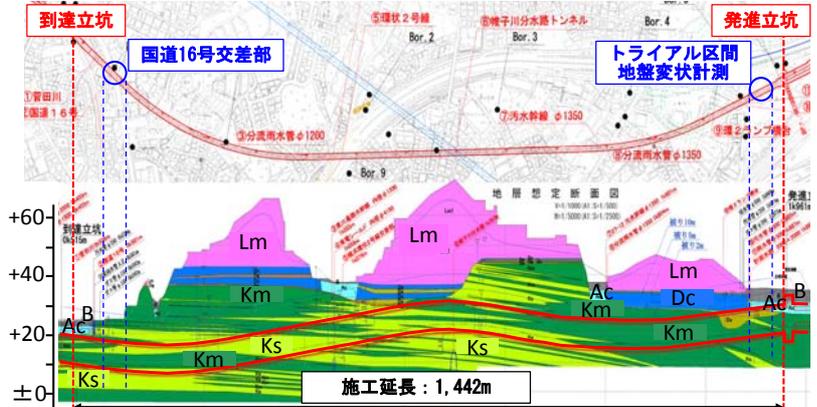


図-1 相鉄・JR 直通線 西谷トンネル全体図

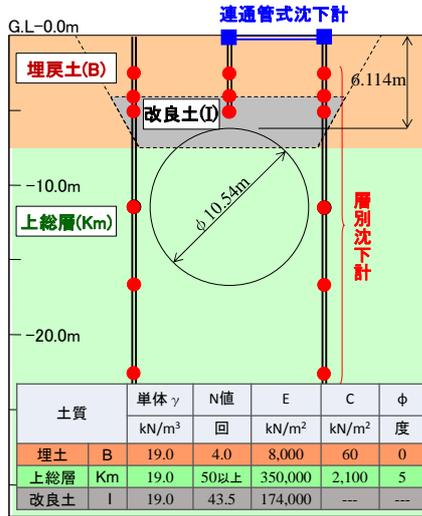


図-2 トライアル区間断面図

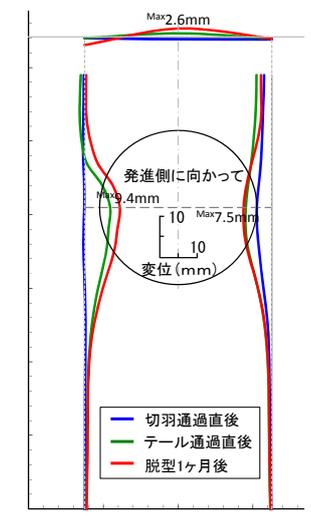


図-3 掘進時計測結果

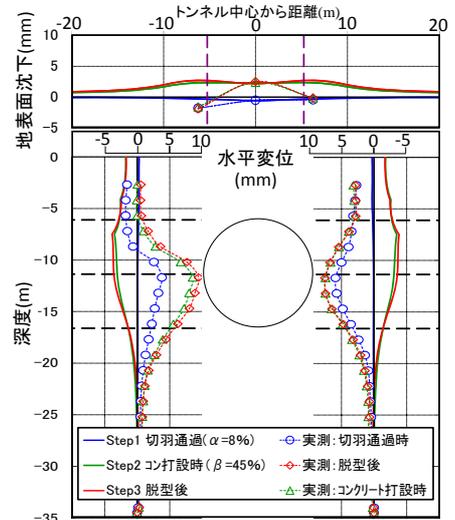


図-4 トライアル区間再現解析結果

キーワード SENS、都市トンネル、地表面沈下、FEM 解析、影響検討

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設 (株) 土木設計部都市土木設計室 TEL 03-5381-5417

3. 到達部での挙動予測ならびに計測結果

到達部の断面図を図-5 に示す. 土被りは約 7m であり, トンネル通過土層は上総層の粘性土 (Km), 砂質土 (Ks) の互層である. 地表面は国道 16 号線が横断しており, 水道, ガス, NTT 等のライフラインと近接している. 到達部における挙動予測解析の検討ケースならびにその考え方を表-1 に示す. 解析ケースとしては, トライアル施工時に検討した, 飯田の手法による解析 (I 手法), 掘削面にシールド機通過時の摩擦の影響による水平力を作用させたケース (II 手法), 初期地圧が大きいケース (III 手法) について検討した. さらに施工の不確実性を考慮し, 隆起量最大の場合として, 打設圧の変動を考慮し, 実績より想定される最大打設圧を考慮したケース, 沈下量最大の場合として, 既往実績より, 応力解放率 α が大きいケース ($\alpha = 40\%$) をリスクケースに組み入れて予測解析を行った.

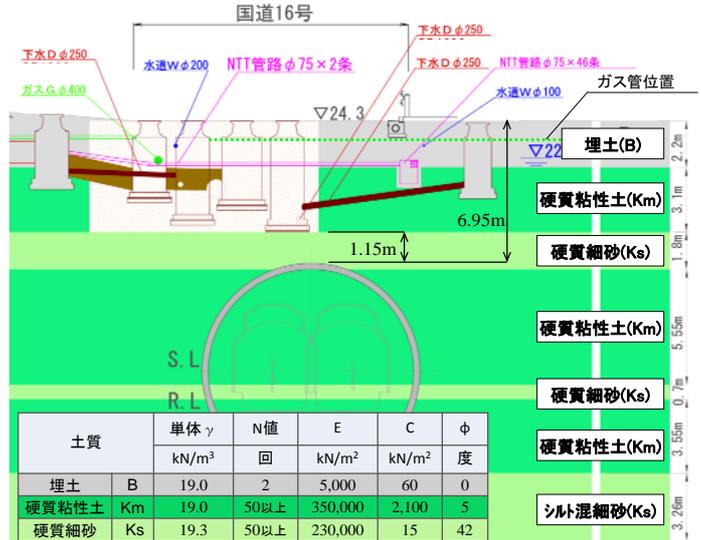


図-5 到達部断面図

表-1 到達部予測解析ケース

ケース	選定理由	解析手法	初期地圧 K0	打設圧 (計画値)	解放率(%)		水平力 F(kPa)
					α	β	
標準ケース①	標準ケース	I 手法 (飯田の方法)	0.5	327kPa	8	45	-
リスクケース②	トライアル	II 手法 (水平荷重載荷)	0.5	(計画値)	8	8	350
リスクケース③	区間再現	III 手法 (K0=2.0)	2.0	(計画値)	27	25	-
リスクケース④	隆起最大ケース	II 手法 (水平荷重載荷)	0.5	446kPa	8	8	350
リスクケース⑤		III 手法 (K0=2.0)	2	(計画値+3 σ)	27	25	-
リスクケース⑥	沈下最大ケース (先行沈下: α 大)	I 手法 (飯田の方法)	0.5	327kPa	40	45	-

国道 16 号直下における各施工段階の沈下量の予測値と実測値の比較結果を図-6 に示す. 予測解析結果では, 標準ケース①の最終変位が 1mm の沈下となり, 水平荷重を考慮したリスクケース②③では, 最終的な隆起量が 2~7mm となった. 隆起, 沈下量最大のリスクケースも考慮して, 全ステップでの変位量は最大 5mm の沈下, 9mm の隆起が生じると予測された. これらの予測結果を踏まえて, 近接構造物等の挙動に留意しながら掘進を進めた.

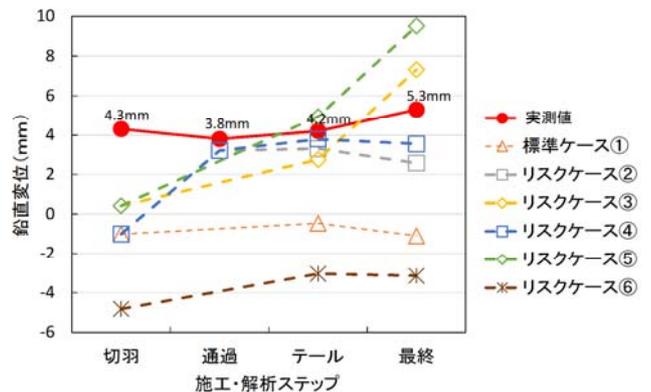


図-6 国道 16 号線地表面沈下の予測結果と実測値 (上り車線)

掘進時の実測値としては, 切羽通過時には予測解析より大きな先行隆起が生じ, 切羽通過後も隆起量が増大したが, 最終隆起量は解析による予測値の範囲内となった. 地表面変位の実測値は, 切羽通過時において 4.3mm, 最終的に 5.3mm の隆起となり, 各近接構造物にも有害な影響を与えることなく, 無事に掘進を完了できた.

予測解析結果と実測値を比較すると, 発進部と同様に, 飯田の方法 (標準ケース①) の解析は, 隆起傾向となる変位挙動を再現できず, リスクケース②③の方が, 実際の挙動の傾向をうまく再現できる結果となった.

4. おわりに

SENS を都市部で適用し, トライアル施工を踏まえて到達側の近接施工を行った. 発進, 到達側の解析結果から, SENS の 2 次元 FEM 解析で従来用いられてきた飯田の方法では, 小土被り部の変位挙動を再現することに限界があることがわかり, 切羽通過時の水平力等を考慮することで, 実測値に近づけることができた. また, 施工の不確実性を考慮したリスクケースも設定した結果, 予測値の範囲内で無事に施工を完了できた.

本報告で用いた, 飯田の手法に加えて水平方向力を作用させる解析手法は, 今後計測事例の蓄積等を進め, 作用メカニズムの本格的な解明が必要と考えられ, 今回の解析結果はその一助となれば幸いである.

参考文献: 1)伊藤他: 都市部への SENS の適用検討, トンネルと地下, Vol.6, No.42, pp.447-452, 2011.
2)飯田: 含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究, 早稲田大学博士論文, 2008.