

地下水位回復地区における地下鉄トンネル変形に関する検討～その2～

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○岩瀨 崇宏
 長岡工業高等専門学校 正会員 岩波 基

1. はじめに

戦後、東京などの都会を中心に大規模な地下水の汲み上げにより地下水位が低下し、広域的な地盤沈下が発生した。その後、1964年に地下水の利用が規制され、地下水位は回復し、地盤沈下は収まった。しかし、近年、地下水位の急激な回復現象により都会を中心に地盤隆起に転じ、地下鉄トンネルなどの地中構造物に変形が生じていることが判明したため、今後の長期的な影響の可能性が懸念されている。

東京地下鉄株式会社が地下水位回復時期に建設された地下鉄トンネルの変位を計測し詳細に分析したところ、沖積砂層では縦つぶれ、沖積粘土層では横つぶれする傾向にあることが明らかになった¹⁾。さらに、トンネルが洪積粘土層と沖積砂層の両層にまたがって設置されている場合も、横つぶれすることが明らかになっている。しかし、現在、地下水位回復時期にこのような地盤内に建設された地下鉄トンネルの変形の主な原因はわかっていない現状にある。そこで地下水位回復時期に洪積粘土層と沖積砂層の両層にまたがって地盤内に建設された地下鉄トンネルで、横つぶれの変形が顕著に表れている新富-月島間の地下鉄線の一断面において、FEM解析によりモデルを構築し、変形挙動を再現しようとした。

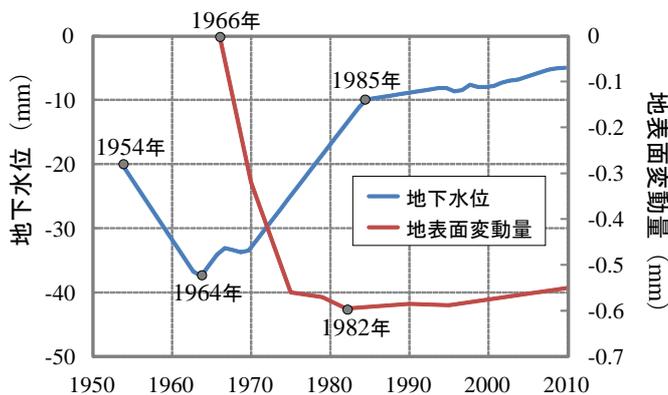


図-1 地下水位の変動と地表面変動量

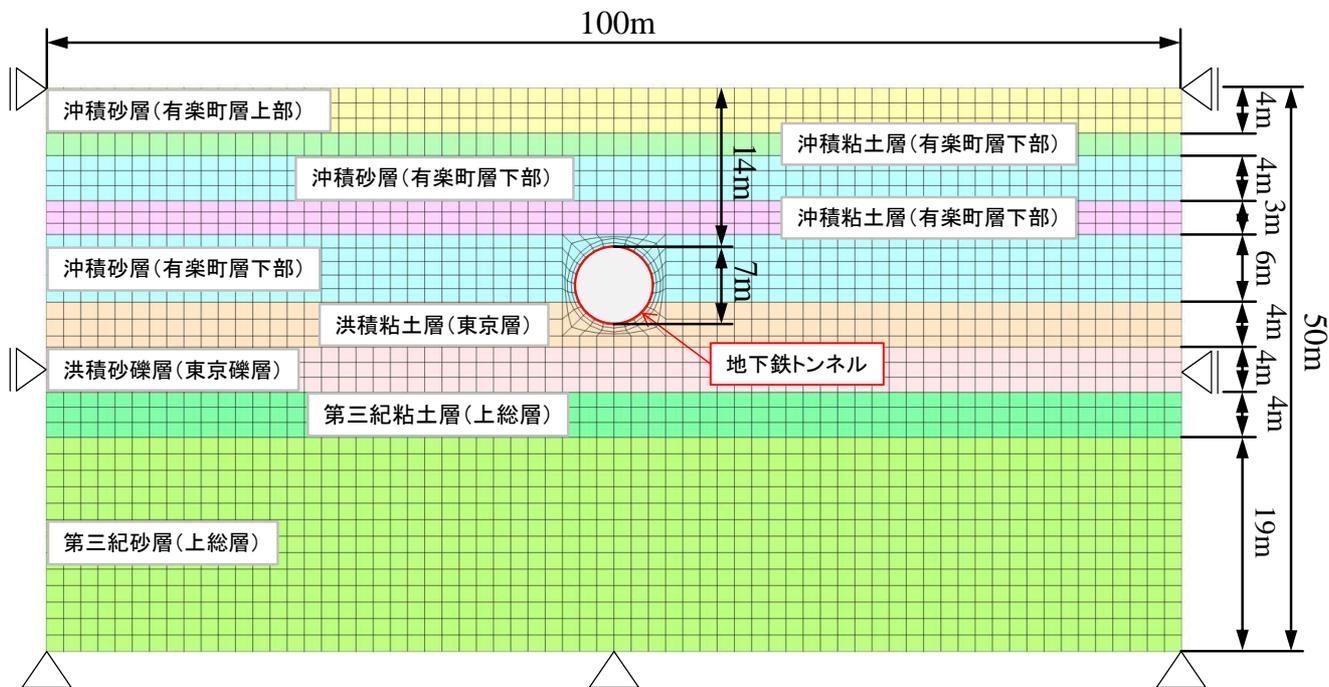


図-2 解析モデル

キーワード シールドトンネル, 地下水位, 地盤隆起

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地 長岡工業高等専門学校環境都市工学科 TEL&FAX 0258-34-9273

2. 検討対象

検討対象は東京都中央区に位置する新富-月島間の地下鉄線の一断面とした。計測された地下水位と地表面変動量の推移を図-1に示す。この地下鉄トンネルはシールド工法で建設され、1996年から内空変位量の計測が開始された。2010年時には、トンネルの計測開始後の鉛直内空変位量-1.4mmで水平内空変位量が-2.2mmである事から、横つぶれしていることが分かる。

3. FEM 解析によるトンネル位置の変形量の算定

3. 1 解析条件

解析ソフトは市販の数値解析ソフト D'sNAP を用いた。解析モデルを図-2に示す。モデルの両端は水平方向のみ固定し、下端は鉛直、水平方向とも固定した。トンネル上半は沖積砂質土、下半は洪積粘性土という地盤に位置しており、現場計測では横つぶれに変形している。上層の沖積粘土層は弾粘塑性材料とし、関口・太田弾粘塑性モデルを適用した。トンネルと各地層の材料物性値を表-1, 2, 3に示す。また、東京東部では大正期から地下水の利用が活発になったことから、地下水位の低下は1913年から始まったと仮定した。水位変動に用いた時間-水位関係を図-3に示す。

表-1 トンネルの物性値

ヤング率 (kN/m ²)	3.9 × 10 ⁷
断面二次モーメント (m ⁴ /m)	6.3 × 10 ⁻³
断面積 (m ²)	0.48

表-2 弾粘塑性地盤の物性値

	沖積粘性土 (有楽町層下部)
単位体積重量 (kN/m ³)	15.1
ダイレイタンス係数	0.094
非可逆比	0.95
限界応力比	1.2
ポアソン比	0.33
静止土圧係数	0.5
初期間隙比	2.18
圧縮指数	0.378
透水係数 (m/sec)	1.0 × 10 ⁻⁸

表-3 弾性地盤の物性値

	沖積砂層 (有楽町層上部)	沖積砂層 (有楽町層下部)	洪積粘土層 (東京層)	洪積砂礫層 (東京礫層)	第三期粘土層 (上総層)	第三期砂層 (上総層)
単位体積重量 (kN/m ³)	18.0	17.7	18.0	20.0	17.0	18.0
ヤング率 (kN/m ²)	1.0 × 10 ⁴	2.02 × 10 ⁴	4.0 × 10 ⁴	1.4 × 10 ⁵	5.44 × 10 ⁴	7.53 × 10 ⁴
ポアソン比	0.30	0.35	0.44	0.30	0.35	0.35

3. 2 解析結果

本検討の地下鉄トンネルでは1996年からトンネルの内空変位量の計測が開始された。よってFEM解析によって求めたトンネルの内空変位量と計測値を比較するために、計測が開始された1996年から2010年までの内空変位量を算出した。解析結果と計測値を比較したものを表-4に示す。解析結果は、実挙動と異なり、鉛直内空変位が0.028mm増加し、水平内空変位は0.026mm減少したため、非常にわずかだが縦つぶれ変形する結果となった。

4. まとめ

今回、地下水位回復時期に洪積粘土層と沖積砂層の両層にまたがって地盤内に建設され、顕著に横つぶれに変形している地下鉄線の一断面において、解析によりその変形挙動を再現しようと試みたが、トンネルはほとんど変形せず、実挙動を再現することが出来なかった。今後はトンネル掘削時の解放力や周辺間隙水圧を考慮した解析を行い、トンネルが横つぶれに変形するメカニズムを解明していく予定である。

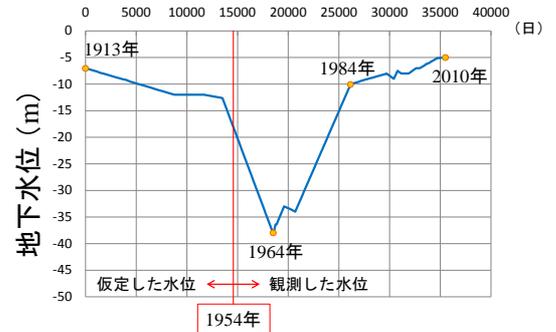


図-3 解析に用いた時間-水位関係

表-4 内空変位量の比較

(2010年)	解析値	計測値
鉛直内空変位(mm)	0.028	-1.4
水平内空変位(mm)	-0.026	2.2

【参考文献】

1) 関直子, 阿部正和, 斉藤正幸, 杉山仁寛, 岩波基, 小泉淳: 地下水位の回復に伴う地盤隆起現象と地下鉄への影響(その1)-地盤隆起現象と地下鉄構造物の測定結果-, 第48回地盤工学研究発表会, pp1479-1480, 2013.7