

# 地下水位回復地区における地下鉄トンネル変形の原因に関する一考察

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

## 1. はじめに

東京都 23 区の東部は戦後の 1950 年頃から高度成長期の初期段階において工場地帯となり、地下水が盛んに利用されたため、地下水位の低下が問題となった。そこで、1964 年に地下水の利用が規制された。そのため、東京東部の地下水位は 1964 年を境に回復したが、この地下水位の回復に伴い地盤隆起現象が発生したことにより、地中構造物への影響が懸念されている。東京地下鉄株式会社は、計測データより地下水位回復時期におけるシールドトンネルの内空変位は、トンネルが粘性土地盤に位置する場合、横つぶれ傾向になると報告している。また、既存の研究では、粘性土地盤に位置する地下鉄トンネルの変形を数値解析により再現したが、トンネルの内空変位は縦つぶれとなり、現場計測結果とは異なる結果となった。そこで、本検討はシールドトンネルのセグメント外面と地山間に生じる空隙に注目し、そこに作用する水圧の影響によるトンネルの内空変位をはりばねモデルによる構造解析により確認し、現場計測によるトンネルの変形の原因を推定することを目的とした。

## 2. 検討対象地区と現場計測結果

本検討対象の地盤と地下鉄トンネルは、1964 年から地下水位の回復が確認されている東京都江東区の地下鉄線の一断面とする。この地区で観測された地下水位と地表面変位量の関係を図-1 に示す。このトンネルは 1986 年に建設され、1997 年から 2010 年まで変形が計測されている。トンネル内空変位量の現場計測結果を図-2 に示す。

## 3. 解析ケースおよび解析条件

本検討は、1) 1997 年から 2010 年にかけてのトンネル建設地点の内空変位量をトンネルがない場合とある場合で比較し、実際にセグメント外面と地山間に空隙が生じることを確認する。2) 1997 年と 2010 年時でのトンネル周辺間隙水圧を確認し、両年でどの程度、水圧差が生じるかを確認する。3) 1) で確認した空隙位置からトンネルに作用すると考えられる水圧を与え、トンネルの内空変位量を確認することにより、解析値と現場計測値を比較する。

本検討に用いる解析モデルと地層構成を図-3 に示す。埋土、沖積砂層、洪積シルト層は弾性材料とした。沖積シルト層は弾塑性材料として、関口・太田モデルを用いた。弾塑性材料パラメータと弾性パラメータをそれぞれ、まとめて表-1、表-2 に示す。地下鉄トンネルはビーム材としてモデル化した。

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 TEL 0258-34-927

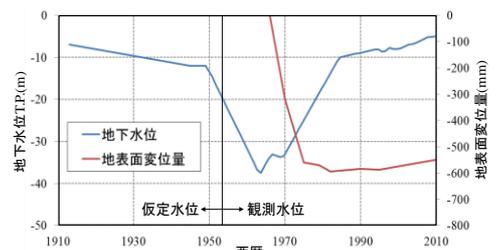


図-1 観測された地下水位と地表面変位量

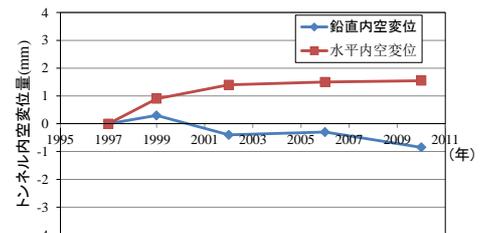


図-2 計測された内空変位量

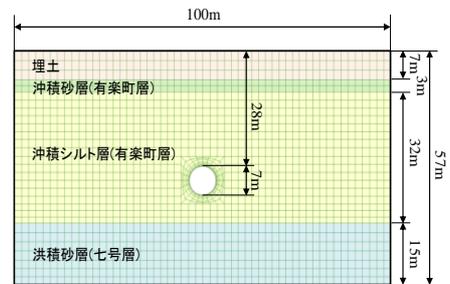


図-3 解析モデルと地層構成

表-1 弾塑性材料パラメータ

	沖積シルト層
単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	17.0
ヤング係数(kN/m <sup>2</sup> )	10000
ポアソン比	0.37
透水係数(cm/sec)	5.82 × 10 <sup>-7</sup>
ダイレイタンス係数	0.064
非可逆比	0.764
限界応力比	1.344
初期間隙比	1.35
静止土圧係数	0.585

表-2 弾性材料パラメータ

	埋土	沖積砂層	洪積シルト層
単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	17.0	17.0	17.0
ヤング係数(kN/m <sup>2</sup> )	30000	30000	30000
ポアソン比	0.37	0.37	0.37
透水係数(cm/sec)	1.00 × 10 <sup>-2</sup>	1.00 × 10 <sup>-2</sup>	1.00 × 10 <sup>-3</sup>

表-3 トンネルの材料パラメータ

ヤング係数(kN/m <sup>2</sup> )	3.90 × 10 <sup>7</sup>
断面積(m <sup>2</sup> )	0.3202
断面二次モーメント(m <sup>4</sup> /m)	0.0063

地下鉄トンネルの材料パラメータを表-3に示す。解析モデルの水位境界は洪積砂層上端に図-1の地下水位を設定した。なお、地水位の低下が開始したのは1913年とし、観測が開始される1952年までの地下水位の変動は、図-1に示すような仮定した水位を用いた。

4. 解析結果

1) 1997年を基準とした2010年のトンネル建設地点の地盤のみの相対内空変位量を図-4に示す。なお、2010年の変形図は変形の倍率を50倍にして表示している。上端は8.18mm、下端は7.18mm鉛直方向に伸びる結果となった。また、空隙で発生する水圧を考慮しない解析により、トンネルの相対内空変位量を確認したところ上端は0.79mm、下端は0.89mm伸びることが確認でき、地盤の方がトンネルより上下端とも大きく変形することから、地下水位回復に伴う地盤隆起現象により、トンネルの上部と下部周辺に空隙が生じる可能性があることが確認できた。

2) 本解析では、1997年から2010年にかけてトンネル周辺の間隙水圧が増加する結果となった。各トンネル節点での水圧の差を図-5に示す。また、1)で確認できた空隙発生位置で作用すると考えられる水圧は、図-5で示した上部5ポイントと下部5ポイントの水圧と考えられる。

3) 1)で確認した空隙位置に2)で確認した水圧を作用させた時に、1997年を基準とした2010年のトンネルの相対内空変位量を図-6に示す。なお、3)の解析結果の変形図は変形の倍率を100倍にして表示している。トンネル上端は2.24mm、下端は2.46mm縮む結果となった。トンネル上下端周辺に発生する空隙部の水圧を考慮しない従来の解析結果と、今回行ったトンネル空隙部の水圧を考慮する解析結果の1997年から2010年にかけてのトンネル上下端の相対内空変位量を表-4に示す。両者を比較すると、上下端とも水圧を考慮する解析の方が変形量は大きいことから、地盤の隆起で生じた地盤とトンネルとの空隙に水圧が作用することが原因で、トンネルが現場計測と同様に横つぶれに変形する可能性があることが確認できた。

5. まとめ

今回の検討では、地下水位回復時期における粘性土地盤に位置するシールドトンネルが横つぶれに変形する原因が、地盤隆起により生じるトンネル周辺の空隙に水圧が作用する可能性があることが確認できた。しかし、解析結果では上下のつぶれが4.70mmであるのに対して現場計測結果が0.85mmと若干の差があるため、その原因の検討を進めていく。

参考文献

- 1)東京都土木技術支援・人材育成センター：平成22年地盤沈下報告書，付図，図7~9，平成23年7月
- 2)日下ら，地下水位の回復に伴う地盤隆起現象と地下鉄への影響，第48回地盤工学研究発表会，2013(投稿中)

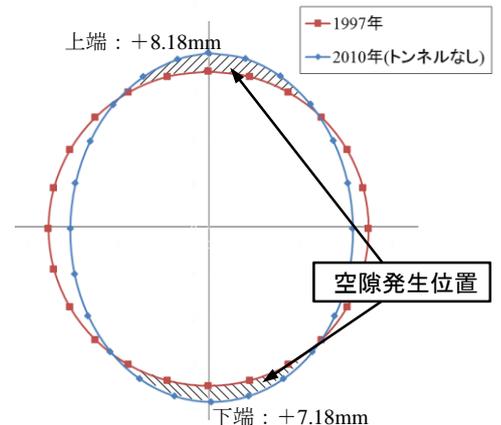


図-4 トンネル建設地点の地盤相対内空変位量

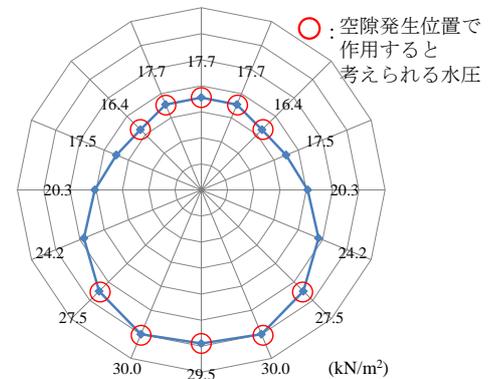


図-5 1997年と2010年の水圧差

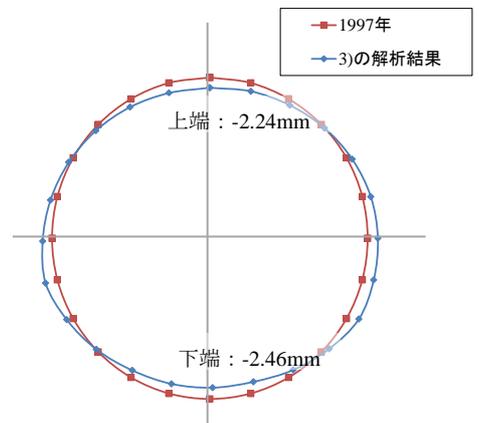


図-6 空隙部の水圧を考慮した場合の相対変形量

表-4 解析結果の比較

	空隙部の水圧を考慮しない解析	空隙部の水圧を考慮する解析
上端変位(mm)	0.79	-2.24
下端変位(mm)	0.89	-2.46

※正:伸び 負:縮み