

軟弱地盤中のシールドトンネルの挙動に関する解析的検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○焼田 真司 津野 究  
 千葉工業大学大学院 学生員 高橋 博樹  
 千葉工業大学 正会員 小宮 一仁  
 早稲田大学 フェロー 赤木 寛一

1. はじめに

軟弱な粘性土地盤中に建設されたシールドトンネルにおいて、供用後に発生したと推測される内空断面の変形やセグメントのひび割れといった変状が一部のトンネルで報告されている<sup>1)~3)</sup>。こうした地盤のなかには、かつての地下水のくみ上げによって生じた圧密の残留沈下によると推測される地盤の沈下がみられる地域もある。そこで、地盤とトンネルの相互作用解析を行い、これらの関係について検討した。

2. トンネルと地盤の概況

対象としたトンネルは軟弱粘性土地盤中に建設されたシールドトンネル(図1)で、1987年に竣工している。現地調査の結果、トンネルのクラウン部にひび割れが発生しており、1987年12月から実施されている内空変位測定の結果、計測開始直後から3年の間に鉛直方向に-3mm程度、水平方向に+3mm程度の横つぶれの変位が生じている(+ : 拡大, - : 縮小)。変位の進行はその後緩慢になって収束しており、2006年時点では、鉛直方向に-6.5mm、水平方向に+5.0mmの横つぶれとなっている。<sup>3)</sup>(図2)。

また、付近の観測井の測定データによると、当該箇所の地下水位は、かつて低下していたが、地下水のくみ上げ規制などの影響を受け、1970年頃から1985年頃にかけて急激に上昇し、その後現在まで緩やかな上昇を続けている。地盤変位は、地表面から70m間の地層は、1970年頃から1980年頃にかけて地下水位の上昇にもかかわらず大きく沈下しており、その後も現在まで緩やかな沈下傾向にある。なお、トンネルが竣工した1987年から2006年までの間では、地下水位は約6m上昇し、地表面から70m間の地層は4.8cm沈下している<sup>4), 5)</sup>(図3)。

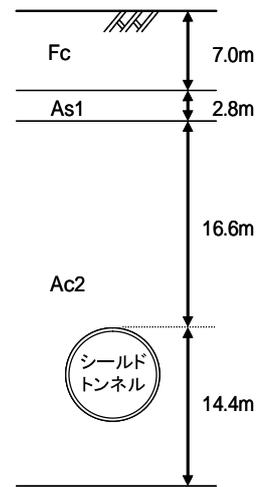


図1 解析位置断面図

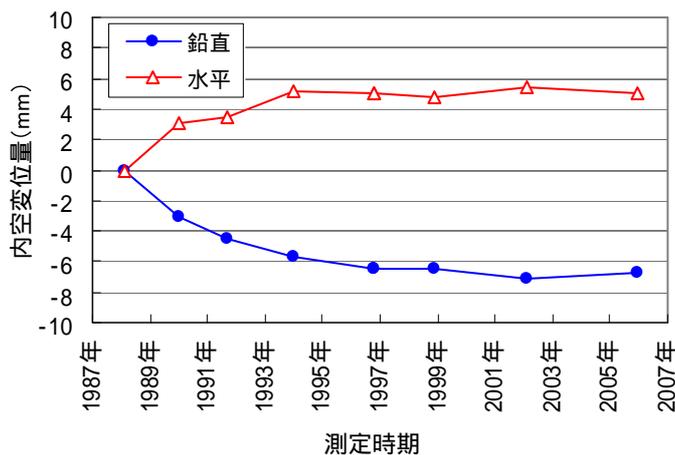


図2 トンネル内空の経年変位量

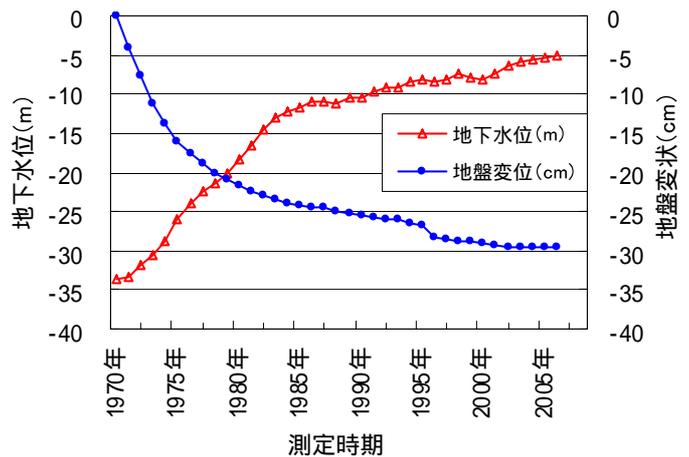


図3 地下水位と地盤変位の経年変化

3. シールドトンネルの挙動解析

このようなことから、トンネル供用後に発生したトンネルの内空変形は周辺地盤の圧密残留沈下に伴うトンネル作用土圧の増加に起因して発生していると仮定し、三次元土水連成有限要素法による地盤とトンネルの相互作用解析を実施し、計測結果と数値解析結果の比較によってトンネル作用土圧の経時変化を推定した。

Key Words : シールドトンネル, 軟弱地盤, 圧密

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 Tel.042-573-7266

(1) 解析モデル

解析に用いたモデルの概観を図4に示す。解析モデルの変位境界条件は、解析モデルの底面では鉛直方向、解析モデルの側面では水平方向の節点変位を固定とし、排水境界条件は、地表面以外の解析モデル底面および側面とトンネル周面を非排水とした。

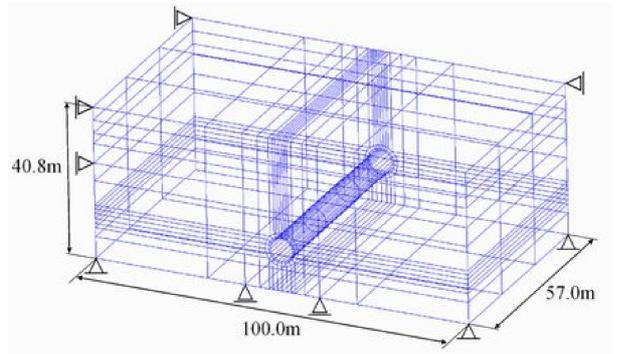


図4 解析モデル

(2) 解析方法

解析に用いた地盤とトンネルの入力パラメータを表1および表2に示す。圧密は地盤の地表面に等分布の鉛直荷重(160kPa)

を載荷することで発生させたが、この鉛直荷重の値および地盤の弾性係数と透水係数は、トンネルの内空変位と地盤変位の計測値と解析値が近い値となるように試行を繰り返して決定した。

表1 地盤要素物性値

地層	Fc	As1	Ac2
弾性係数(kPa)	40,000	60,000	94,000
湿潤密度(g/m <sup>3</sup> )	1.73	1.73	1.60
ポアソン比	0.35	0.35	0.27
透水係数(m/s)	5.0 × 10 <sup>-5</sup>	1.0 × 10 <sup>-4</sup>	5.0 × 10 <sup>-6</sup>

表2 トンネル諸元・要素物性値

トンネル外径(m)	7.05
セグメント高さ(m)	0.48
弾性係数(kPa)	3.68 × 10 <sup>7</sup>
密度(g/m <sup>3</sup> )	2.70
ポアソン比	0.17

(3) 解析結果

図5に鉛直方向および水平方向のトンネル内空変位の解析値と計測値の比較を示す。また、地表面の沈下量は5.8cmとなり、測定データの4.8cmの沈下と概ね合致した。

図6は解析より得られた、トンネル外周に作用する土圧増加の経時変化である。これより、周辺地盤の圧密残留沈下の進行に伴い、トンネルに作用する土圧が増加していることがわかる。土圧の増加量はトンネルクラウン部で最も大きく、トンネル完成後1年目で54kPa、2年目で112kPa、17年目で217kPaであった。

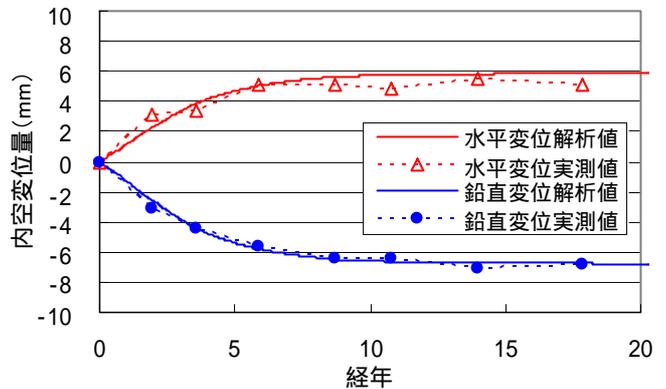


図5 内空変位量の解析値

4. まとめ

軟弱粘性土地盤中に建設されたシールドトンネルの変形を圧密残留沈下に伴うトンネル作用土圧の増加によるものと考え、三次元有限要素法による地盤とトンネルの土水連成相互作用解析によってトンネルの変形量を再現する荷重の大きさを把握した。この手法により、トンネルの内空変形量の経年変化と地表面の変動量を再現することができた。

今後、トンネルの掘削を考慮した解析を実施し、施工から圧密までの一連の過程について検証を行いたいと考えている。

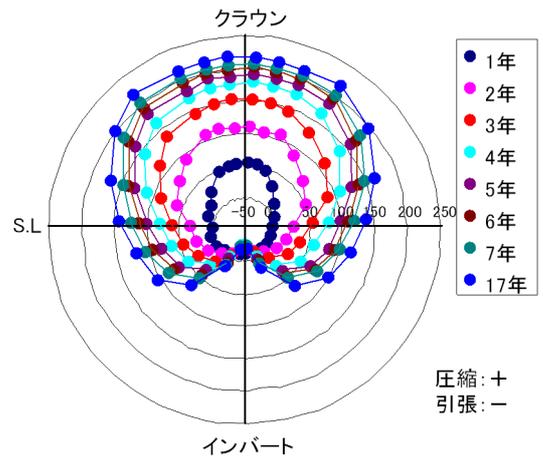


図6 セグメント作用土圧の解析値

参考文献

- 1) 斎藤正幸, 古田勝, 山本稔: 沖積層地盤に構築したシールドトンネルの変形に関する考察, トンネル工学研究発表会論文・報告集第4巻 pp55-62, 1994
- 2) 有泉毅, 五十嵐寛昌, 金子俊輔, 永谷英基, 山崎剛, 日下部治: 周辺地盤の圧密沈下に伴う既設シールドトンネル作用荷重の変化メカニズム, 土木学会論文集 No.750/ -65pp115-134, 2003
- 3) 津野究, 三浦孝智, 石川幸宏, 山本努, 河畑充弘: 内空断面測定および変状展開図より把握したシールドトンネルの変形傾向, トンネル工学報告集第17巻 pp.257-261, 2007
- 4) 東京都土木技術研究所: 東京都土木技術研究所年報, 1993~2005
- 5) 東京都土木技術センター: 土木技術センター年報, 2006~2007