

# 有限要素法解析を用いた近接施工における地下鉄開削トンネルの変状評価

近接施工 有限要素法解析 地盤沈下 早稲田大学 学生会員 ○戸高 龍之介  
 早稲田大学 国際会員 赤木 寛一 東京地下鉄(株) 国際会員 小西 真治 東京地下鉄(株) 非会員 伊藤 聡  
 東電設計(株) 正会員 阿南 健一 早稲田大学 正会員 Alireza Afshani 早稲田大学 学生会員 重田 恭兵

## 1. はじめに

経年 50 年程度で、一層二径間(幅 8.8m,高さ 6.5m)(図 1)の開削工法により施工された地下鉄の既設検討対象トンネルにおいて、トンネル軸方向の二か所(図 1)に局所的な沈下が確認された。沈下は、新設シールド掘削開始から 1 年程度で急速に進行し、その後、緩やかに継続しているような状況がみられた。沈下の要因として考えられるのは、沈下発生時期と対象トンネル付近で施工された泥水式シールド工事の時期が一致していることからこれが原因と考えられる。本研究では、有限要素法解析ツール MIDAS を用いて、沈下が発生した二か所の接断面方向について、二次元解析を行った。そこで実際の沈下と解析結果を比較し、既設開削トンネルの地盤沈下要因について調査した。

## 2. 解析手法

本研究では、地盤変形に適したモデルで解析を行うため、微小ひずみ剛性モデル(Hardening soil モデル)を用いた<sup>3)</sup>。また、局所的な沈下状況の再現方法として 1)応力解放、2)強制変位の考え方を用いた。

まず初めに、シールド掘進の影響により地盤に応力が再配分される割合(応力解放率 $\lambda$ )が変化し、沈下が発生したと考える。そこでシールド掘進時に、式(1)より応力解放率を考慮した地盤を支える力を適用させ沈下量を確認する。応力解放率は 1, 5, 10, 50, 80(%)で設定した。

$$F = \left(1 - \frac{\lambda}{100}\right) F_0 \dots (1)$$

F: 応力解放率を考慮した地盤を支持する力(kN)

$F_0$ : 初期状態における地盤を支持する力(kN)

$\lambda$ : 応力解放率(地盤損失による損失係数)(%)

次に、シールド工事が砂レキ層(埋没段丘)の通過時に、何らかの障害が生じ、切羽周辺地盤がゆるみ、沈下が発生したと考えて、シールドトンネル上部に強制的な下向きの

変位(図 2)を適用させた。ここで、作用させる応力解放率 $\lambda$ に関しては、強制変位による影響を確認するため、 $\lambda = 5\%$ で一定として、強制変位 PD は 1, 2, 5, 36(cm)と変化させた。図 2 にモデリングした横断面図を示す。なお、トンネル底面からトンネル下端境界までの距離は 2D(トンネル径の二倍)とした。図 2 は地点 A の横断面図であり、地点 B も同様の手順でモデル化した。また、解析で設定した各施工段階の詳細を表 1 に示す。

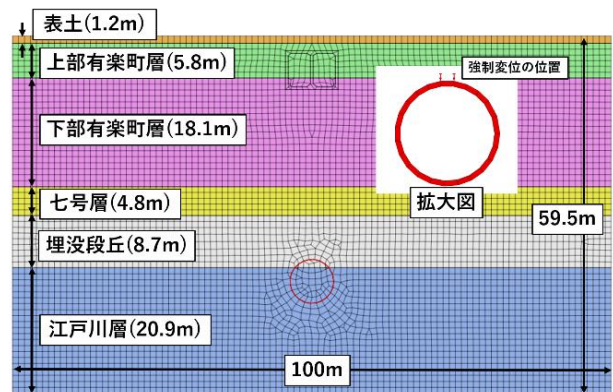


図 2 地点 A の横断面図

表 1 解析における各施工段階の詳細

段階	詳細
初期状態	地盤のみをモデリング(HS モデル) 境界条件・自重の適用
既設検討対象トンネル 施工	検討対象トンネルを施工 全体の変位を 0 に設定
新設シールド掘進	シールド掘進時、応力解放率を考慮した地盤を支持する力 F を適用
覆工コンクリート施工	覆工コンクリートを施工(結果の抽出)
強制変位	シールドトンネル上部に強制的に下向きの変位を適用(結果の抽出)

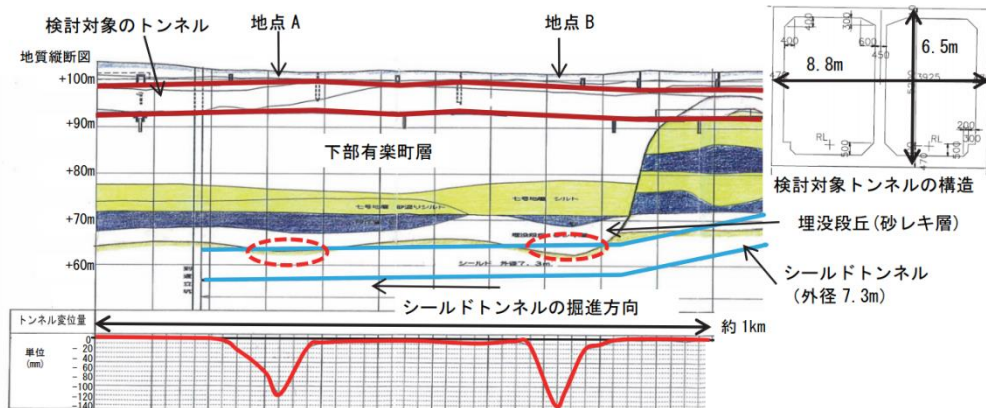


図 1 検討対象トンネルの概要

### 3. 解析結果

上記の解析モデルにより得られた地盤沈下に関する解析結果を表2に示す。各応力解放率に対応した対象トンネル底面の沈下量を図3、各強制変位に対応した対象トンネル底面の沈下量を図4、各応力解放率による最大沈下量を図5、各強制変位における最大沈下量を図6に示す。

表2 解析結果

	地点 A(mm)	地点 B(mm)
実測値	120	140
解析値 $\lambda = 80\%$	87	116
解析値 $\lambda = 5\%$ PD=36cm	129	139

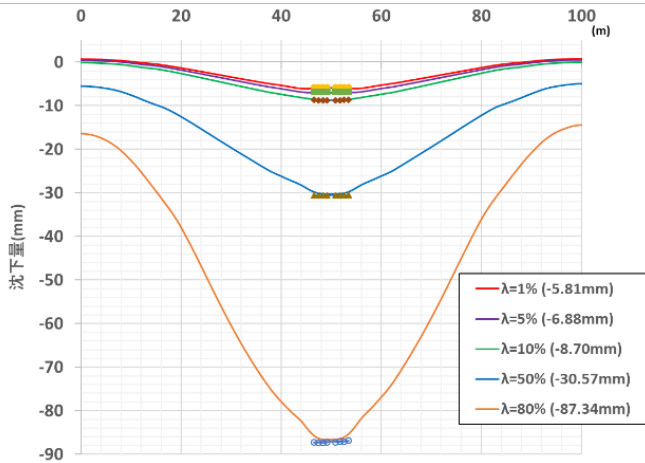


図3 応力解放率に対応したトンネル底面沈下量

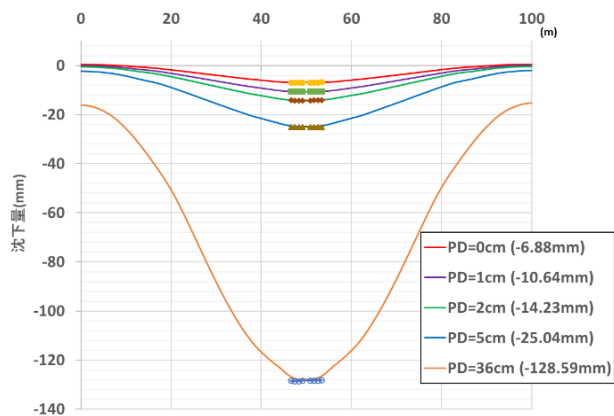


図4 強制変位に対応したトンネル底面沈下量( $\lambda = 5\%$ )

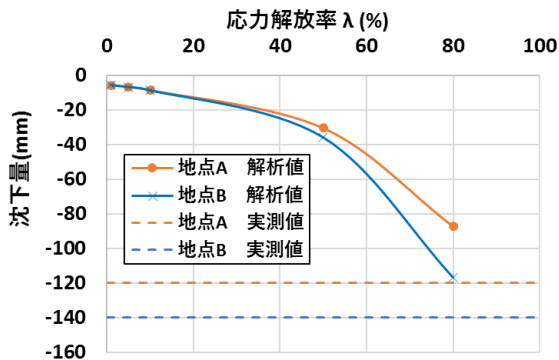


図5 それぞれの応力解放率に対応した最大沈下量

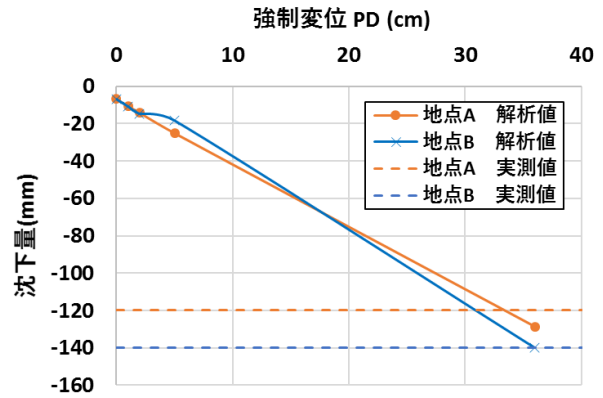


図6 それぞれの強制変位に対応する最大沈下量

表2より、解析値 $\lambda = 80\%$ の場合、地点Aでは実測値と比較して17%、地点Bでは28%の差異が確認できた。解析値 $\lambda = 5\%$  PD=36cmに関しては、実測値とほぼ同じ値になった。しかし、図5より外挿ではあるが応力解放率90%付近で、比較の実測値に近い値になると考えることができる。

### 4. まとめ

- 1)解析結果より、解析値 $\lambda = 90\%$ の時と、解析値 $\lambda = 5\%$  PD=36cmの時を比べたときに、どちらも実測値に近い値になりうると考えられる。しかし応力解放率90%という値はシールド工法では考えにくい。このことから沈下の原因は、新設シールドが砂レキ層の通過時に、上端付近で切羽の安定性の崩壊が原因である可能性が高いことが今回の解析結果から推定することができる。
- 2)応力解放率、強制変位を適宜決めることで二次元解析における解析結果は実測値に近い値となった。しかし、今回の解析において、応力解放率、強制変位の値を決定するにあたり具体的な根拠がない。そのため、一般的なシールド工法の応力解放率を文献より調査し適用したのち、実測値と近い値となるように強制変位(切羽の安定性の崩壊)を与える手順を試してみたいと考えている。
- 3)また、今後近接施工による既設開削トンネルの変状メカニズムを三次元解析で確認する予定である。
- 4)三次元解析結果を用いることで、既設開削トンネルの応力、ひずみ、軸力を確認し、ひび割れのメカニズムの調査、性能照査設計法による適切な補修計画の検討を行う。

### 参考文献

- 1)小西真治, 江原文武, 亀井啓太, 阿南健一: 地下鉄開削トンネルの変状に対する耐荷性能の評価, 土木学会第72回年次学術講演会 pp.1217-1220 2017,9
- 2)河畑充弘, 小西真治, 江原文武, 亀井啓太, 阿南健一: 地下鉄開削トンネルの変状に対する耐荷性能の評価, トンネル工学報告集, 第27巻, □-2, 2017,11
- 3) Rafał F. Obrzud, On the use of the Hardening Soil Small Strain model in geotechnical practice, Numerics in geotechnics and structures, 2010
- 4) 安瀬廣一, 佐藤研三, 杉本克美, 並木芳憲: 近接施工による構造物への影響に関わる調査, 東京都下水道局, 2000.1