

トンネル上部地山の載荷シミュレーション解析について

鉄道総合技術研究所 正会員 吉川和行 小島芳之
 鉄道総合技術研究所 正会員 野城一栄

1. はじめに

既設トンネルの上部地山に対して宅地や道路等の造成工事の事例が増加しており、トンネル覆工はこれら工事によって応力状態が種々に変化し、トンネル構造の安定性に悪影響を与える場合も少なくない。そこで、既設トンネルに対する近接施工の適切な影響解析法の確立を目的として、現地計測データの分析、載荷・除荷模型実験、FEM などによる検討を行っている。前年においては、載荷模型実験結果について報告^{1),2)}しており、本報ではFEMによる載荷模型実験のシミュレーション解析結果について報告する。

2. シミュレーション解析の概要

シミュレーション解析は、載荷模型実験を模擬することを目的としていることから、二次元平面ひずみ状態で行った。載荷・除荷模型実験の概要や実験に使用したモルタル地盤の物性値等の詳細は参考文献^{1,2)}に示す通りである。解析メッシュ図を図-1に示す。解析領域は、幅150cm、高さ100cmで、節点数2559個、要素数2468個の均等分割である。また、トンネル覆工に相当する部分は、模型実験においては外径150mm、肉厚10mmのアクリル製の円筒（弾性係数

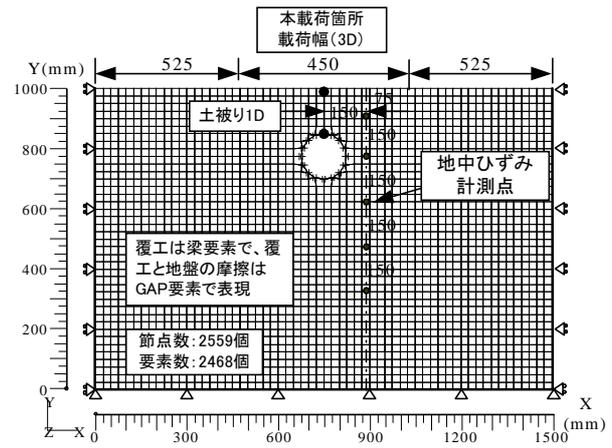


図-1 解析メッシュ図(土被り1D)

$E: 2.94 \text{ kN/mm}^2$)

表-1 解析ケース

であることから、解析では梁要素に置き換え、トンネル覆工と地盤との接触はGAP要素（軸剛性： 1.0×10^7 、静・動摩擦係数：0.03、初期隙間：

No.	ケース名	内容	
		地盤の弾性係数	覆工との接触
1)	線形+連続	拘束圧50kPaにおけるLDTの初期勾配で790MPa	連続
2)	線形+摩擦	同上	GAP要素
3)	非線形+連続	拘束圧50kPaにおけるLDTの応力-ひずみ値	連続
4)	非線形+摩擦	同上	GAP要素
5)	壁面摩擦	4)において下方領域底面の土圧が実験値(初期載荷0.5MPaで0.4MPa)と一致するように各節点にバネ($k=1470(\text{N/m})$)を一樣に付与し摩擦を再現した。	

0.0cm)で表現した。さらに、模擬地盤の微小ひずみでの非線形特性を確認するために精密三軸圧縮試験(LDT)を拘束圧50、100、

200kPaで行った(図-2参照)。条件は、非圧密非排水(UU)で、ひずみ速度は0.1%/minである。図-2より、模擬地盤のひずみは拘束圧に対して依存性が低いことから、シミュレーション解析における模擬地盤の変形特性は、拘束圧50kPaにおける応力-ひずみ特性とする非線形弾性としてテ-

ーブル入力した。なお、地盤のポアソン比は、 $\nu = 0.25$ と一定とした。解析コードはNASTRANである。

3. 解析方法

シミュレーション解析では、まず初期載荷として模擬地盤を0.5MPaまで一様に地表面を載荷し、その後本載荷キーワード トンネル、覆工、載荷、シミュレーション解析、非線形弾性

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 Tel 042-573-7266 Fax 042-573-7248

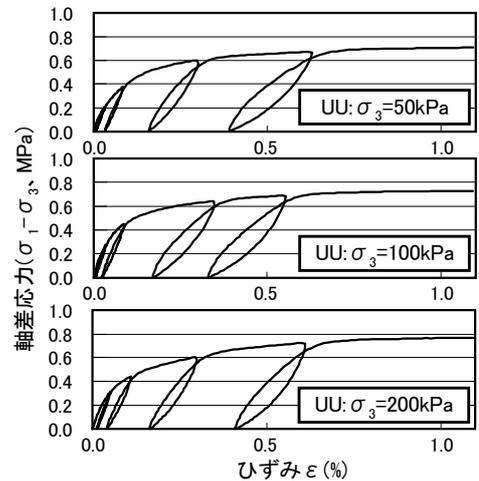


図-2 精密三軸圧縮試験(LDT)の結果

としてトンネル上部の3Dの幅のみを0.9MPaまで载荷して盛土を模擬した。このときの载荷ステップは、0.02MPaである。実験値との照合は、初期载荷0.5MPaから本载荷0.9MPaまでの増分で行い、検証項目は、トンネル覆工の軸力、曲げモーメントおよび地中ひずみ(トンネル中心から15cmの離れの位置)である。表-1に、解析ケースを示す。なお、各解析ケースとも土被り条件を1D,2D,3Dの3種類として解析を行った。

4. 実験結果

図-3は、本载荷0.9MPa载荷時におけるトンネル覆工の天端部の縁応力の軸力成分(初期载荷0.5MPaからの増分)を示している。図より、地盤を線形、覆工との接触を連続にした場合では、軸力成分は全ての土被り条件において引張力が発生しており、実験値と大きく異なる。一方、地盤を非線形、覆工との接触をGAP要素にした場合では、土被りが小さくなるにつれ、圧縮力が大きくなり実験値と同じ傾向ではあるが若干値は大きい。しかしながら、土槽壁面の摩擦を考慮することによって実験値にかなり近づくことがわかる。

図-4は、本载荷0.9MPa载荷時におけるトンネル覆工の天端部の縁応力の曲げモーメント成分(初期载荷0.5MPaからの増分)を示している。図より、線形解析のケースではトンネル覆工との接触条件に関係無く、土被りが小さくなるほど実験値との差が大きくなっている。一方、地盤の物性を非線形にすることで曲げモーメント成分は土被りが小さくなるほど多く発生し、土槽壁面の摩擦を考慮することで実験値と同じ傾向になることがわかる。

よって、トンネル覆工の断面力は、土被りが小さくなるほど、地盤の非線形特性と覆工との接触条件の影響を強く受けることが考えられる。

図-5は、土被り1D時の本载荷0.9MPaにおける地中ひずみ(鉛直成分)の分布(初期载荷0.5MPaからの増分でトンネル中心から15cm離れの位置)を示している。図より、地中ひずみは、地表面に近づくにつれ大きくなっているが、その増分は地盤特性を非線形にすることでより大きくなっていることがわかる。また、土槽壁面の摩擦を考慮することで、実験値にかなり近づくことがわかる。さらに、地盤を非線形にしたケースにおいては接触条件をGAP要素にした場合の方が、連続にした場合よりもトンネル周辺部で実験値に近づくことが推測される。

5. まとめ

本シミュレーション解析より以下の知見を得た。シミュレーション解析においては、土槽壁面の摩擦や覆工との接触条件を適切に考慮することで载荷模型実験がシミュレート可能である。トンネル覆工の断面力は、土被りが小さくなるほど地盤の非線形特性や覆工と地盤との接触条件の影響を強く受ける。

【参考文献】

- 1)小島、野城、朝倉、田口、吉川：トンネル上部地山の载荷模型実験(その1) 第34回地盤工学研究発表会 1999.7
- 2)小島、野城、吉川、野間：トンネル上部地山(砂地盤)の载荷模型実験、第55回土木学会年次学術講演会 2000.9

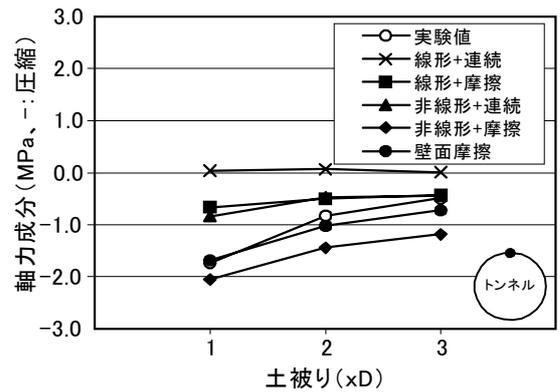


図-3 本载荷0.9MPa時の覆工の縁応力の軸力成分(天端部、初期载荷からの増分)

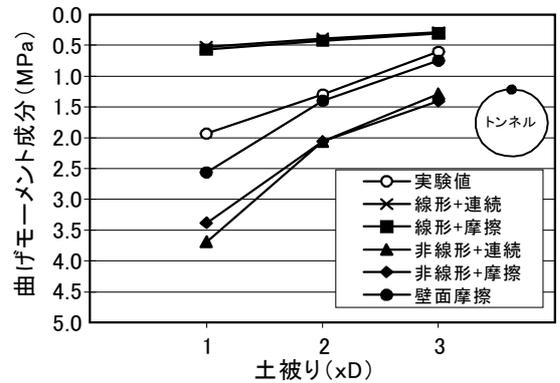


図-4 本载荷0.9MPa時における覆工の縁応力の曲げモーメント成分(天端部、初期载荷からの増分)

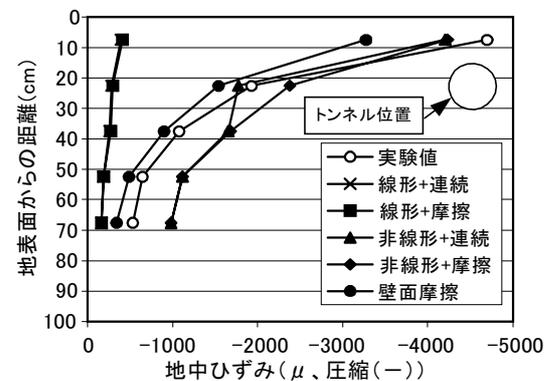


図-5 本载荷0.9MPaにおける地中ひずみ分布(トンネル土被り1D、初期载荷からの増分)