

個別要素法を用いた農業用水路トンネルの変形挙動の解析 Analysis of deformation behavior using distinct element method in irrigation tunnels

○村上 椋*, 石故有生也*, 柴田 俊文*, 田本 敏之**, 西村 伸一*, 珠玖 隆行*
Ryo Murakami, Yukiya Ishiko, Toshifumi Shibata, Toshiyuki Tamoto,
Shin-ichi Nishimura and Takayuki Shuku

1. はじめに

高度経済成長期やそれ以前に施工された農業用水路トンネルは、安定的な農業生産に必要な構造物であるが、老朽化の進行のため補修・補強が喫緊の課題となっている。そのため、トンネルの変形挙動を把握し、変状の発生原因を議論することが非常に重要である。本論文では、地山とトンネル覆工との相互の挙動の把握を行うため、大型模型実験と個別要素法（DEM）による解析を行い、その結果を比較する。

2. 模型実験概要

Fig.1 に模型実験の概略図を示す。1/10 スケールの農業用水路トンネルを模擬するため、960mm×960mm×400mm の地山を模した供試体の中央に、巻厚 20mm、幅員 240mm の幌形のトンネルを配置する。模擬地山は H 形鋼で作製された実験装置の中に設置し、偏圧を表すため左側面から載荷板を介して油圧ジャッキにより荷重を作用させる。油圧ジャッキと載荷板の間には荷重計を据え付け、載荷板変位と覆工の内空変位（縦方向および横方向）とともに測定する。なお、地山および覆工は低強度モルタル（w/c=200%）と高強度モルタル（w/c=45%）を用いて作製した。なお、油圧ジャッキは最大荷重 300kN のものを 3 部用い、載荷速度は 0.1mm/s 以下とした。

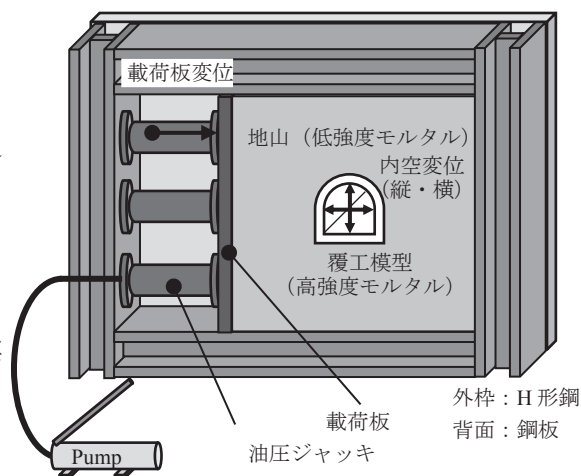


Fig.1 模型実験装置
Model test apparatus

Table 1 解析諸元
Model parameters

	地山	覆工
弾性係数[Pa]	1.21×10^6	2.15×10^{10}
引張強度[Pa]	1.37×10^6	3.31×10^7
破断ひずみ	0.0023	0.0055
ポアソン比	0.2	
密度[kg/m ³]	2,100	2,400
粒子半径[mm]	0.005	0.003

3. 数値解析

本論文では、背面空洞を有するトンネルの解析と、その解析による破壊性状の把握を将来的に見据え、DEMを適用する。ここでは、背面空洞は設定せず、地山とト

*岡山大学大学院 環境生命科学研究科, Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

**日化エンジニアリング株式会社, Nikka Engineering Co., Inc.

キーワード: 農業用水路トンネル, 個別要素法, 模型実験

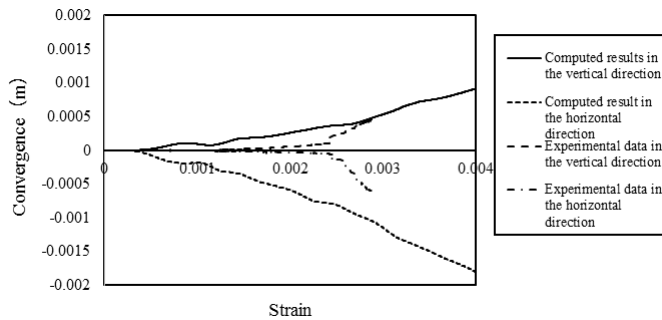


Fig.2 内空変位の比較
Comparison of convergences

ンネル覆工のみをモデル化し、上述した実験と結果を比較する。なお、DEM のアプリケーションには、YADE を採用し、地山および覆工の破壊判定には、Concrete Particle Model (CPM) ¹⁾を用いた。Table 1 に解析に用いた物性値を示す。これらの値は、圧縮強度試験および割裂引張強度試験の結果を基に設定している。载荷条件は、载荷速度が実験と同程度になるよう、载荷変位を一定としており、境界部は、右側面の変位を拘束している。

4. 実験結果と解析結果の比較

Fig.2 に、内空変位を比較した結果を示す。縦軸が縦方向と横方向の内空変位で、それぞれ正と負の値を示しており、横軸がひずみを表している。なお、このひずみは、载荷板変位を模擬地山の幅で除したものである。左側面から荷重を作用させることで、覆工が縦に伸張して変形していることがわかる。また、DEM の解析結果が若干過大評価していることが確認できる。実験では、ひずみが 0.0025 程度の値から急激に内空変位が増加しているが、これは、地山のひび割れが発生したことが原因と考えられる。しかし、解析ではこの増加が再現できておらず、CPM の設定等に問題があると考えられる。Fig.3 に実験後のひび割れの状態を示す。ここで、ひび割れの状態を明確にするため、実線を写真上に追加している。Fig.4 に解析における粒子の破壊性状（色が異なっている箇所が損傷）を示す。Fig.3 で発生している模擬地山中央の上下面にあるひび割れは、DEM の結果では再現できていないものの、スプリングライン近傍に発生しているひび割れは、実験と解析で同一のものが確認できる。

5. まとめ

農業用水路トンネルと地山に対し、大型模型実験と個別要素法による数値解析を行った。数値解析では内空変位をやや過大評価しているが、ひび割れも良好に再現できることが確認できた。

参考文献

- 1) Václav Šmilauer, Cohesive Particle Model using the Discrete Element Method on the Yade Platform, Ph.D thesis, Czech Technical University, 2010.

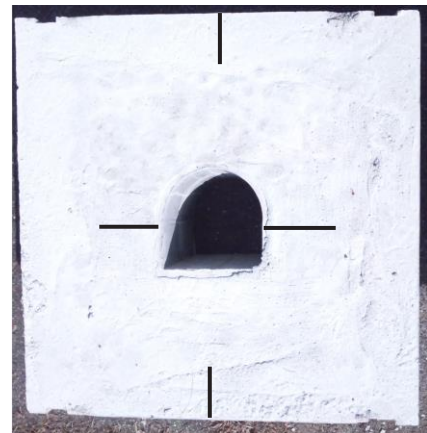


Fig.3 ひび割れの状況（実験結果）
Experimental crack pattern

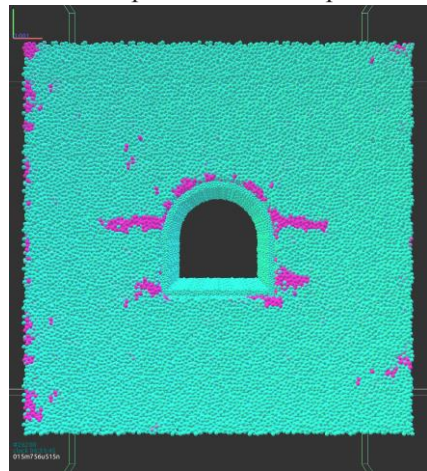


Fig.4 破壊性状
Fracture pattern