

## 背面空洞を有する農業用水路トンネルと地山の変状解析

岡山大学 正会員 ○柴田 俊文  
 日化エンジニアリング株式会社 非会員 田本 敏之  
 岡山大学 正会員 西村 伸一  
 岡山大学 正会員 珠玖 隆行  
 長岡技術科学大学 正会員 福元 豊

### 1. はじめに

日本の農業用水路トンネルの総延長は2,000km以上に及ぶが、これらトンネルの多くは大正・昭和初期より建設されていることから、老朽化が大きな社会問題となっている<sup>1)</sup>。特に矢板工法で施工されたトンネルでは覆工背面に空洞が形成されることが多く、覆工に作用する土圧が不均等になることから、ひび割れなどの変状が発生する。本論文では三次元の個別要素法を用い、模型実験の結果と比較することで、背面空洞を有するトンネルと地山の変状解析への適用性を検討する。

### 2. 模型実験

図-1 および図-2 に模型実験の概略を示す。960mm×960mm×400mmの地山を模した供試体の中央に、巻厚20mm、幅員240mm、高さ240mmの幌形のトンネルを配置する。地山の右側面より油圧シリンダー（最大荷重300kNのものを3部使用）により荷重を行い、左側面の変位を拘束する。なお、上下面は拘束せず、地山背面と実験装置背面の鋼板との間にはPTFEシートを入れて摩擦を軽減する。油圧シリンダーと載荷板の間の荷重計を据え付け、載荷板変位（接触式変位計による）と覆工の縦／横方向内空変位（非接触式変位計による）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、早強ポルトランドセメントにより作製した。ここで背面空洞は、角度 $\theta$ が45°、90°とする（図-3）。並行して、圧縮試験と割裂試験を行い、実験で用いたモルタルの圧縮強度 $f_c$ は8.56N/mm<sup>2</sup>および140.5N/mm<sup>2</sup>、引張強度 $f_t$ は1.37N/mm<sup>2</sup>および33.2N/mm<sup>2</sup>、割線静弾性係数 $E$ は1.21kN/mm<sup>2</sup>および21.5kN/mm<sup>2</sup>を得た。ただし、これらの実験結果において、前者は地山、後者は覆工の値を示している。

### 3. 数値解析

本論文では、三次元の個別要素法を用いて解析を行う。アプリケーションはYADE<sup>2)</sup>を使用し、モルタルの構成式はConcrete Particle Model (CPM)<sup>3)</sup>を採用する。要素間の剛性は割線静弾性係数 $E$ とポアソン比( $\nu=0.2$ )より決定し、相対延性を $\epsilon_f/\epsilon_0=1.92$ （地山）および3.57（覆工）、地山と覆工の要素間摩擦

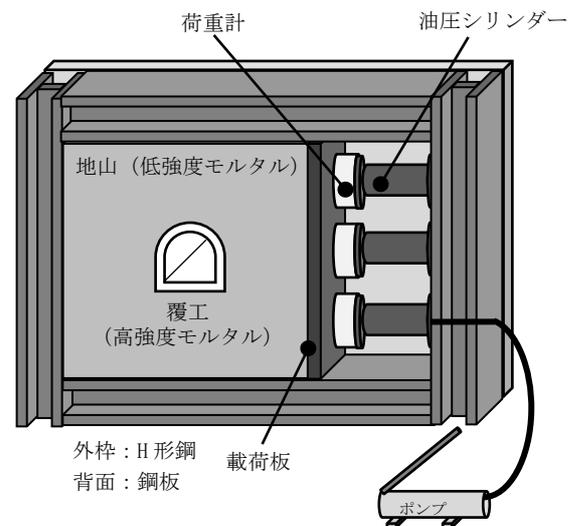


図-1 模型実験装置

(単位: mm)  
 奥行: 400, 覆工の巻厚: 20

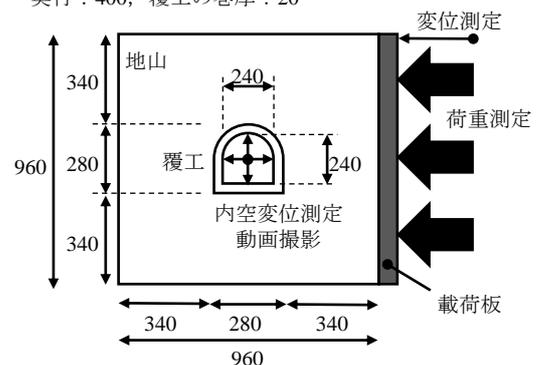


図-2 寸法と測定位置

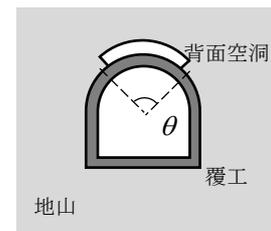


図-3 背面空洞の角度

キーワード 農業用水路トンネル, 矢板工法, 背面空洞, 個別要素法

連絡先 〒7000-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 TEL 086-251-8154

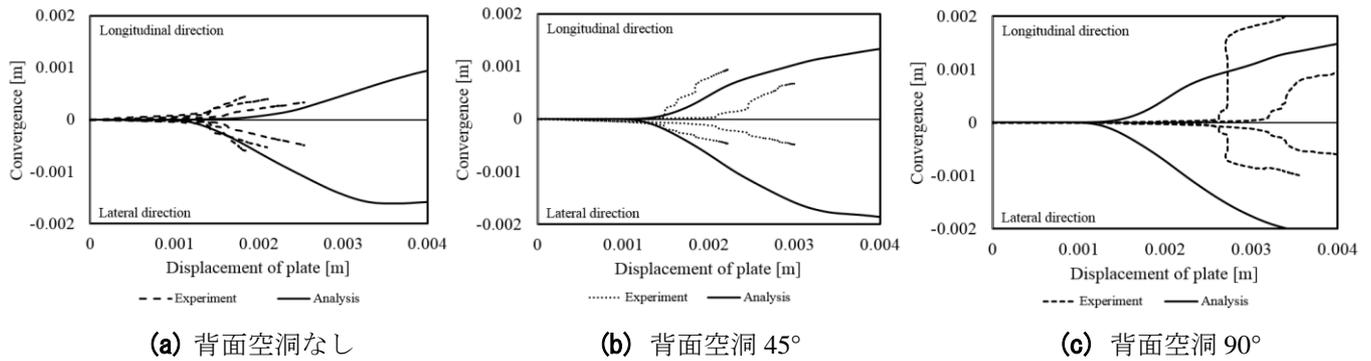


図-4 内空変位の比較

角はともに  $\tan\phi = 0.577$  とする。引張の軟化部は線形とし、要素間粘着力は  $c_T = 2.74 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (地山) および  $6.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (覆工) を用いた。地山の要素半径は 5mm, 覆工は 3mm とし、合計約 36 万個の球形の要素を使用する。また、実験条件に準じて  $2,500 \text{ kN/m}^2$  の荷重制御により右側面から荷重を作用させ、左側面の水平方向の変位を拘束して解析を行う。

4. 結果の比較

図-4 に、内空変位の実験結果と解析結果を示す。覆工が縦に伸張、横に圧縮されることにより、それぞれの内空変位が増加および減少していることがわかる。また背面空洞 90° のケースで、ひび割れ発生により急激に内空変位の実験値が増加している。総じて実験・解析結果のいずれにおいても、背面空洞の増加とともに内空変位が大きくなっている。さらに背面空洞がない結果と背面空洞 45° の結果では、45° の結果でやや差が認められる結果があるものの、実験値を良好に再現できていることが確認できる。これらの結果では、内空変位が急増する時期が異なっているケースもあり、DEM の解析で、ひび割れ発生までの時期までは再現できていないことがわかる。

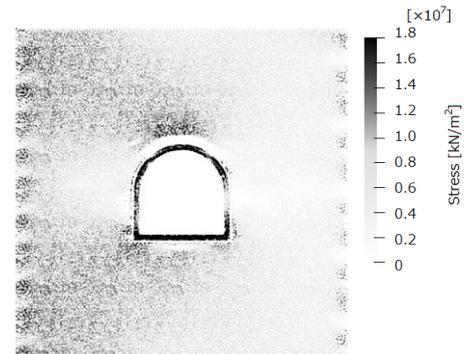


図-5 応力分布

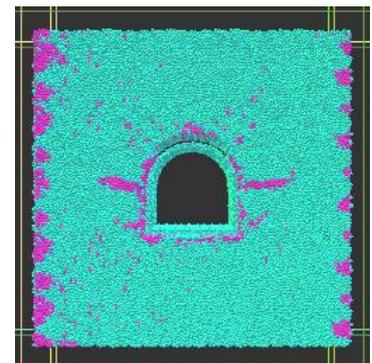


図-6 損傷状態

図-5 は、背面空洞 90° での要素間の法線方向の応力を表し、図-6 は同条件の損傷状態を示す。ここで図-6 の色が異なる箇所は、要素間の結合が切れている状態を示している。図-5 より、覆工のアーチ部および下部に大きな圧縮応力が発生していることがわかる。次に、図-6 ではスプリングライン近傍からひび割れが進展しており、応力分布と比較するとひび割れ発生部では圧縮応力が生じていないことが確認できる。ひび割れ発生時期の再現は難しいものの、最終的なひび割れは実験でも同様の傾向が確認されることから、個別要素法では定性的に変状を評価できることが示された。

5. おわりに

個別要素法による農業用水路トンネルの解析では、定量的に評価するには課題がある一方で、定性的に変状を評価することが可能であることが示された。

参考文献

- 1) 長東勇, 村尾弘道, 松本拓, 石井将幸, 水路トンネルのひび割れ発生メカニズムとその補強工法, 農業農村工学会論文集, Vol.288, pp.77-83, 2013.
- 2) <https://yade-dem.org/doc/> (閲覧日:2018.3.28).
- 3) Šmilauer, V.: Cohesive particle model using the discrete element method on the Yade platform, PhD thesis, Czech Technical University in Prague and Université Joseph-Fourier - Grenoble I., 2010.