背面空洞を有する農業用水路トンネルの有限要素法による解析
Analysis of Irrigation Tunnels with Void using Finite Element Method

○田本　敏之*，柴田　俊文**，西村　伸一**，珠玖　隆行**
Toshiyuki Tamoto, Toshifumi Shibata, Shin-ichi Nishimura and Takayuki Shuku

1. はじめに

現在，わが国における農業用水路トンネルの延長は約 2,000km に及ぶが，これらの多くは大正・昭和時代に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。これらのトンネルの多くは矢板施工によって施工されていることから，覆工天端付近の背面に空洞が形成されやすく，覆工に対する地圧が不均一となることで，覆工にひび割れなどの変状が発生する可能性が高くなる。本研究では，有限要素法により背面空洞を有する覆工と地山の相互作用について解析を行い，模型実験の結果と比較することで，その適用性を示す。

2. 模型実験

Fig.1 および **Fig.2** 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 240mm，高さ 240mm の幌形のトンネルを配置した。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）により載荷を行い，左側面の変位を拘束した。なお，上下面は約 2cm の空隙があり拘束されていない．油圧シリンダーと載荷板の間には荷重計を据え付け，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）とともに測定した。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，超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，空洞がない場合と，背面空洞の角度θが 45°，90°の場合を想定して実験を行った（**Fig.3**）。

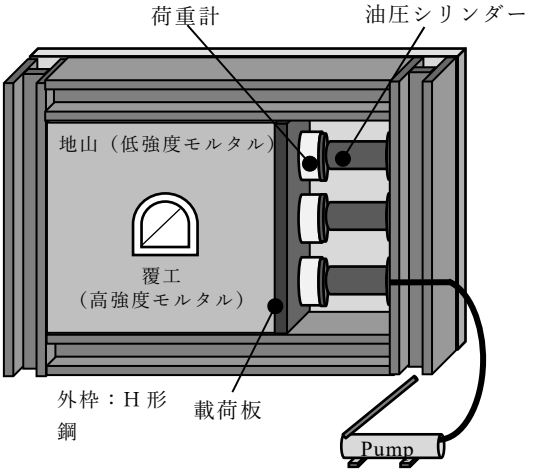

Fig.1 模型実験装置
Model test apparatus

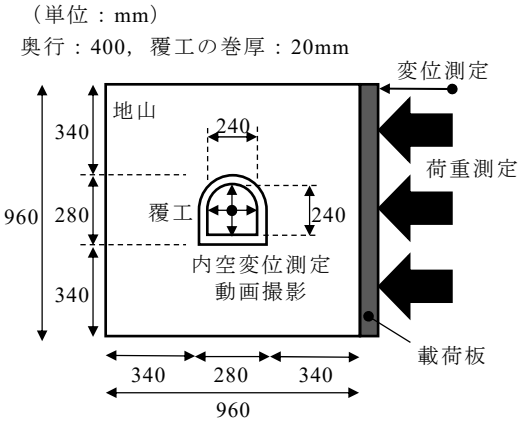

Fig.2 模型の寸法と計測位置
Sample size and placement of measurement instruments

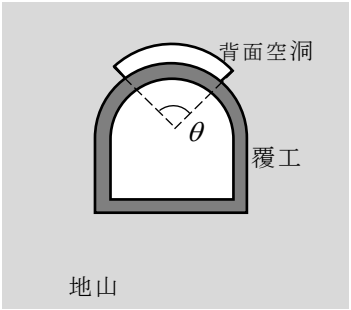

Fig.3 背面空洞の角度
Angle of void

*日化エンジニアリング株式会社　*Nikka Engineering Co., Ltd.*
**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*
Key word：農業用水路トンネル、有限要素法、背面空洞

3. 数値解析

本研究では，市販アプリケーションである GTS-NX（MAIDAS IT JAPAN）を使用し，有限要素解析を実施した。解析断面は，模型実験と同寸法として，左側面を完全固定，上下をフリーとして右側に荷重を載荷した。対象地山は岩を想定していることから，地盤の力学モデルには実務への適用性を考慮し、解析に必要となる地盤定数が少なく，その値を容易に決定することができる線形弾性モデルを適用した。各部材の物性値は，模型実験に使用した材料の材料試験により，**Table 1** のとおりとした。このとき，変形係数は模型と同一材料で実施した。

Table 1 解析に用いた物性値一覧
List of Parameter for Analysis

名称	単位体積重量 γ_t (kN/m^3)	変形係数 E (kN/m^2)	ポアソン比 ν	粘着力 c (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ (°)
地山	21	1,210,000	0.20	200	30
覆工コンクリート	23	21,500,000	0.20	360	30

4. 結果の比較

Fig.4 に模型実験結果を示す。縦軸に変位量，横軸に載荷板変位を示している。側面からの荷重により，横方向に押しつぶされるように変形するため，横の内空幅の現象に伴い，縦に伸長している。また，背面空洞が大きくなるほど最大変位が大きくなった。

Fig.5 に背面空洞 90° の場合の実験結果と解析結果の比較を示す。実験においては，ひび割れの発生に伴い，急激に内空変位が増大するが，解析においては，徐々に変位が増大し，最終的には実験による内空変位の増大速度と同等の速度に落ち着いた。つまり，最終的な内空変位は再現できたが，ひび割れの発生時期までは再現できなかったことがわかる。

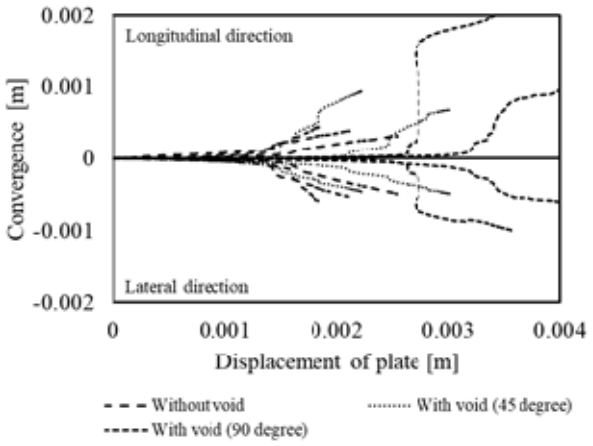

Fig.4 内空変位の実験結果
Experimental results of convergence

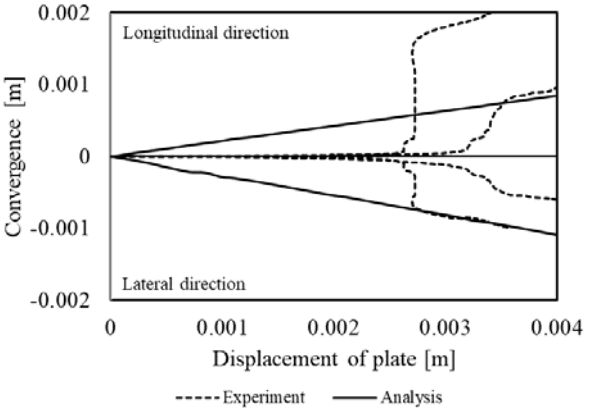

Fig.5 内空変位の実験結果と解析結果の比較
Comparison of convergence between experimental results and analysis results

5. まとめ

有限要素法における解析と模型実験結果の比較により，地山と背面空洞を有するトンネル覆工の相互作用について検討した。検討の結果，荷重の増加過程における内空変位量と，ひび割れの発生による急激な内空変位の増大については表現できなかったことから，定量的な評価には課題が残る。一方で，最終的な内空変位は再現できたことから，ひび割れ発生後の覆工の状態は良好に再現できることが示唆された。