

塑性圧作用時の農業用水路トンネルの変状解析 Deformation analysis for irrigation tunnels under plastic pressure

○柴田 俊文*, 田本 敏之**, 西村 伸一*, 珠玖 隆行*, 福元 豊***

Toshifumi Shibata, Toshiyuki Tamoto, Shin-ichi Nishimura, Takayuki Shuku and Yutaka Fukumoto

1. はじめに

日本の農業用水路トンネルの多くは大正・昭和初期より建設されているものが多く、老朽化が社会的な関心事となっている。特に矢板工法で施工されたトンネルに対し、塑性圧が作用しているトンネル覆工では上部の背面に空洞が形成されることが多く、覆工周囲の土圧が不均等になる。そのため、内空変位の増大やひび割れ発生などの変状が見られることとなる。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。

(単位：mm)
奥行：400, 覆工の巻厚：20

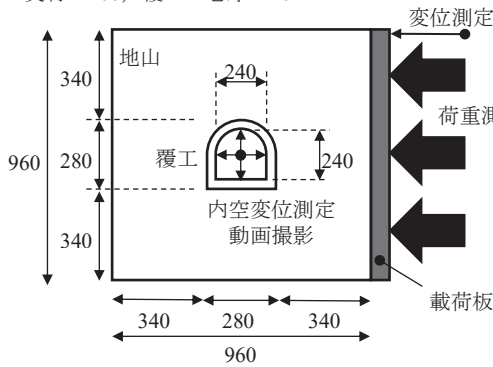


Fig.1 寸法と測定位置
Sample size and placement of measurement instruments

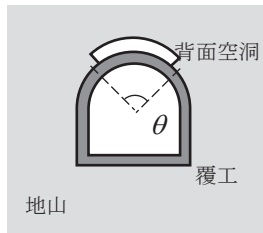


Fig.2 背面空洞の角度
Angle of void

Table 1 圧縮試験および割裂試験の結果
Results of compression test and split-cylinder test

	地山	トンネル覆工
割線静弾性係数	1.21 kN/mm ²	21.5 kN/mm ²
圧縮強度	8.56 N/mm ²	140.5 N/mm ²
引張強度	1.37 N/mm ²	33.2 N/mm ²

2. 模型実験

Fig.1 に模型実験の概略を示す。960mm×960mm×400mm のモルタルを地山として設置し、その中央に、巻厚 20mm、幅員 240mm、高さ 240mm、奥行き 400mm のトンネル覆工を配置する。塑性圧を模擬するため地山の右側面より油圧シリンダー（最大荷重 300kN×3 部）により載荷し、左側面の変位を拘束する。油圧シリンダーと載荷板の間に荷重計を設置し、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。背面空洞は、**Fig.2** に示すように角度 θ により大きさを決定することとし、本論文では $\theta=45^\circ, 90^\circ$ を用いた。ここで、**Table 1** に実験に用いたモルタルについて、圧縮試験と割裂試験の結果を纏めている。

3. 数値解析

本論文では、三次元個別要素法を用いて解析を行い、アプリケーションは YADE を使用する。モルタルの構成式はコンクリートの解析に良好に適用できる Concrete Particle Model (CPM) 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 ν より決定し、地山と覆工の要素間摩擦角はともに $\tan\phi=0.577$ とする。引張の軟化部は線形とし、要素間粘着力は $2.74 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (地山) および $6.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (覆工) を

*岡山大学, Okayama University, **日化エンジニアリング株式会社, Nikka Engineering Co., Ltd.,

***長岡技術科学大学, Ngagaoka University of Technology

キーワード：農業用水路トンネル, 背面空洞, 個別要素法

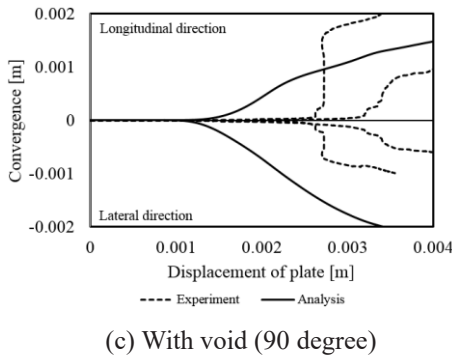
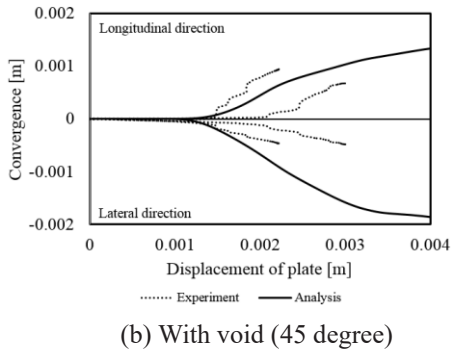
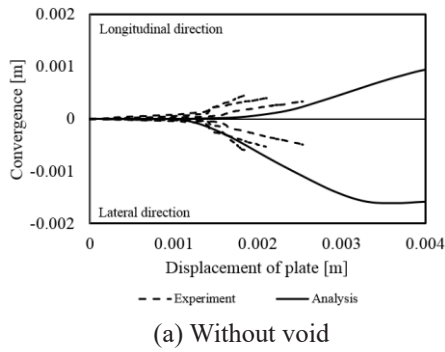


Fig.3 内空変位の比較
Comparison of convergence

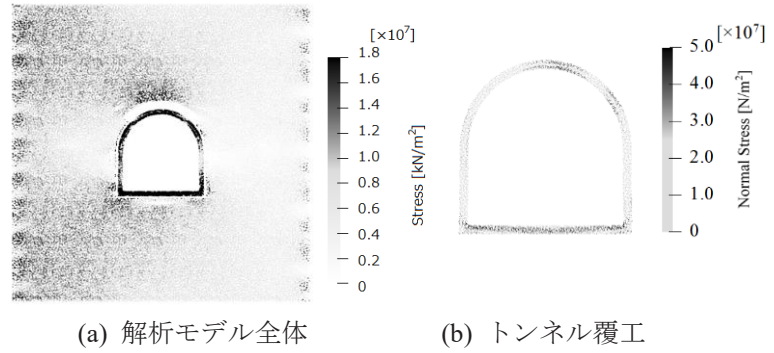


Fig. 4 応力分布
Stress distribution

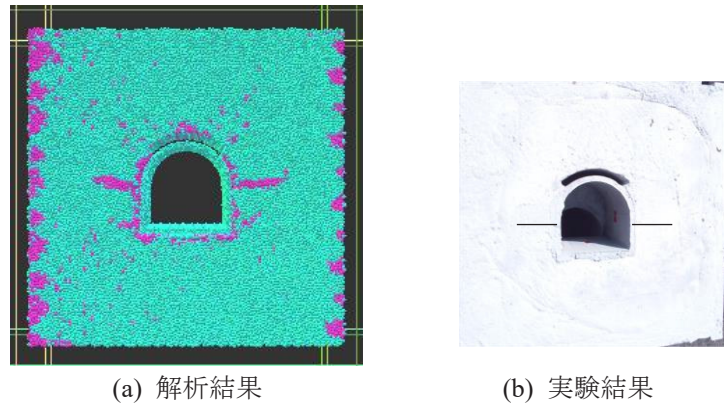


Fig. 5 損傷状態の比較
Comparison of damage pattern

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，塑性圧を模擬するため2,500kN/m²の荷重制御により載荷する。

4. 実験結果との比較

Fig.3に，内空変位を比較したものを示す。各ケースの値の増減により，覆工が縦長の形に変形していることが確認できる。また背面空洞90°のケースでは，ひび割れ発生により急激な実験値の増加が示されている。いずれのケースでも背面空洞の増加とともに内空変位が大きくなっており，実験値を良好に再現できている。しかし内空変位の急増時期の相違より，ひび割れ発生時期までは再現できていないことがわかる。**Fig.4**は背面空洞90°での要素間の法線方向応力を表したものである。(a)から，地山と比較すると覆工で大きな応力が生じており，(b)の結果を踏まえると，特にアーチ部と下部で大きな圧縮応力が認められる。**Fig.5**は損傷状態を示したものであり，(a)の色が異なる部分は引張により結合が切れた状態を示し，(b)のひび割れは視認しやすくするため線を加筆している。解析と実験結果の両方で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，個別要素法では定性的な変状評価が可能であることが示唆される。

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を実験結果と比較することで，本方法に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。