

覆工背面の空洞分布範囲が異なる馬蹄形水路トンネルの破壊模型実験

Destructive model test of irrigation horseshoe-shaped tunnel that has different scale of void behind the lining

○森 充広*, 浅野 勇*, 渡嘉敷 勝*, 西原正彦*

MORI Mitsuhiro, ASANO Isamu, TOKASHIKI Masaru, and NISHIHARA Masahiko

1. 研究の目的

全国に 2,000km 以上ある水路トンネルの大半は、鋼製支保工および覆工コンクリートで地山からの外力に抵抗する「矢板工法」で建設されている。しかし、矢板工法で建設されたトンネルの多くでは、当時の施工技術上、天端覆工背面に空洞が残っている。本研究では、水路トンネル覆工背面に存在する空洞が水路トンネルを模擬した模型実験を行い、覆工背面空洞の影響を解明する。

2. 模型実験の概要

本研究では、横山ら (2001)¹⁾の実験を参考に、**Fig.1** に示す幅 600×高さ 600×奥行き 150mm の地盤を模擬した低強度モルタル中に、覆工コンクリートを模擬した覆工モルタルを設置した供試体による模型実験を行った。空洞範囲角度 θ は、天端中央を中心として左右対称に $\theta/2$ ずつ設定し、空洞の厚さは 30mm に統一した。試験水準は、覆工背面に空洞が存在しない Case1 および空洞範囲 $\theta=30^\circ$ (Case2), 60° (Case3), 90° (Case4) とした。模擬地盤は W/C=100%, S/C=2.5 の低強度モルタルとし、模擬地盤作製時に、早強セメント、増粘剤および消泡剤を用いて作製した。覆工モルタルは、形状を 2R=100mm の標準馬蹄形、覆工厚を 10mm とし、内面に 20mm のひずみゲージを円周方向に 45°ピッチで計 8 箇所を設置した。模擬地盤と覆工モルタルの目標強度はそれぞれ 5N/mm², 35N/mm² とした。試験時の覆工および模擬地盤の強度は **Table 1** のとおりであった。

実地盤では、水路トンネル全周にあらゆる方向から複雑に土圧が作用していると考えられるが、本試験では、鉛直荷重のみを考慮した。載荷板を変位制御 (0.05mm/min) で鉛直下方向に移動させ、そのときの荷重、水路トンネル覆工内面のひずみ、模擬地盤のひずみなどを計測した。

3. 実験結果

3.1 荷重変位曲線 Case1~4 の荷重変位曲線を **Fig.2** に示す。最大荷重は、Case1, 2, 3, 4 でそれぞれ 366kN, 301kN, 282kN, 254kN であり、空洞範囲が大きくなるほど、供試体全体に作用する最大荷重は小さくなった。Case1~3 では荷重変位曲線が類似したが、空洞の範囲が 90° の Case4 は、最大荷重に至るまでの鉛直変位量が他の 3 ケースよりも著しく大きく、他のケースとは変形挙動が全く異なった。

3.2 破壊状況 Case1 と 2, Case3 と 4 はそれぞれ破壊時のひび割れ発生状況が類似していたため、ここでは Case1 および Case3 の破壊状況を **Fig.3** に示す。いずれの Case もまず最初は模擬地盤に鉛直ひび割れが発生した。Case1, 2

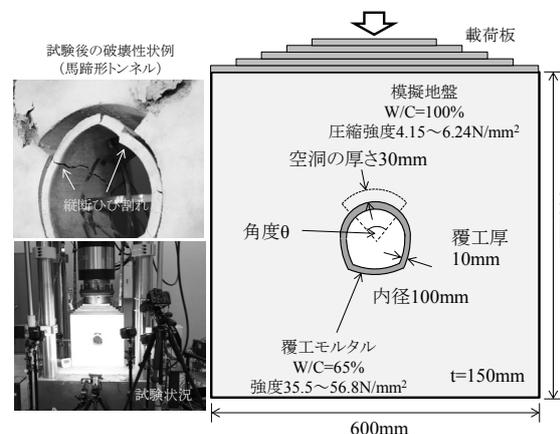


Fig.1 供試体の概要
Test Specimen

Table 1 模擬地盤および覆工モルタルの強度
Strength of lining and simulated ground

	覆工モルタル 強度 (N/mm ²)	模擬地盤強度 (N/mm ²)	強度比
Case1	41.4	5.60	7.39
Case2	36.1	5.52	6.54
Case3	39.9	5.50	7.25
Case4	48.6	6.24	7.79

* (独) 農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering

キーワード：水路トンネル，覆工背面，空洞，模型実験，ひずみ

では、その後、水路トンネル内空が鉛直方向に押しつぶされるように変形、破壊に至ったのに対し、空洞分布範囲が大きい Case3, 4 では、覆工モルタルの肩部内面、天端背面に曲げひび割れが発生し、最後は天端部の覆工モルタルが上側に変形して破壊した。

3.3 覆工内面のひずみ計測結果 Case1 と Case3 の覆工内面のひずみ計測結果を Fig.4 に示す。

Case1 では、荷重の増加に伴って天端のひずみが引張側に、左右側壁のひずみが圧縮側に推移していることから、縦方向に押しつぶされるように変形したことが分かる。一方、Case3 では、天端覆工背面の空洞の影響で Case1 に比べて「直上」「左」「右」のひずみ変化量が小さい。しかし、最大荷重に近づくにつれ、左右上 45° のひずみが引張側に大きく変化し、覆工アーチ部が天端中央外側、端部内側にほぼ同時にひび割れが発生して曲げ破壊した。

4. まとめ

本研究では、水路トンネルを模擬した供試体の破壊実験を行った。その結果、水路トンネルの覆工背面に空洞が存在する場合、上部からの荷重増加に伴って、空洞の範囲に応じた破壊形態が生じた。今回のケースでは、鉛直荷重が作用する条件において、天端に 60° 以上の範囲に空洞が存在する場合、覆工天端アーチ部が上側に変形して破壊に至った。なお、今回は覆工モルタル強度や模擬地盤強度を厳密にコントロールした供試体作製が行えなかったため、空洞範囲とトンネル耐力の関係を定量的に評価できていない。したがって、

今後は数値解析を用いた再現解析を行い、各種のパラメータを同定した上で、破壊性状が変化する空洞範囲の特定を行いたい。
参考文献：1) 横山幸也・志水義彦・石田毅・水田義明 (2001)：応力測定によるトンネルライニングの健全度評価に関する実証的研究，土木学会論文集，687/Ⅲ-56，65-76

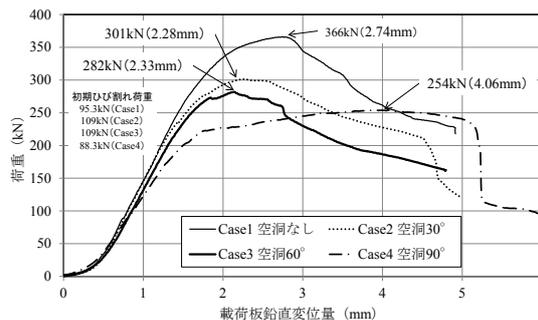


Fig.2 各 Case の荷重変位曲線 Load-deformation curve

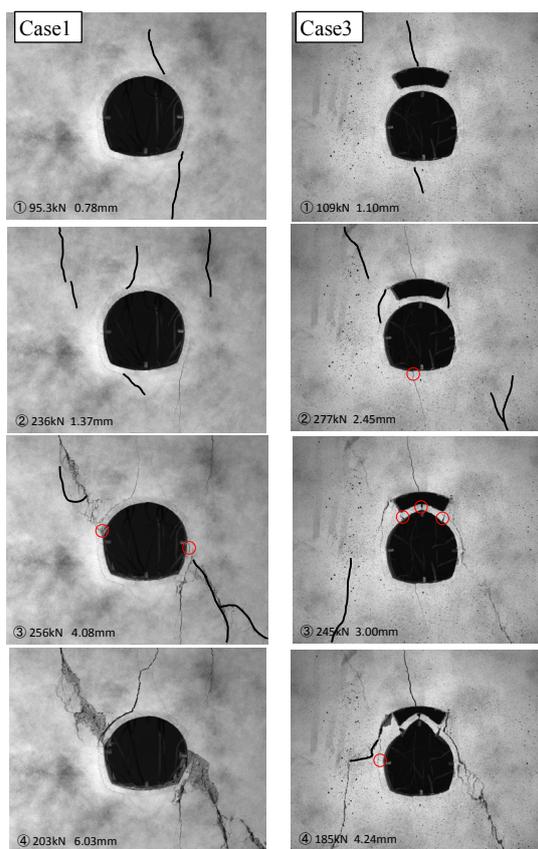


Fig.3 Case1 (左) および Case3 (右) の破壊状況 Destruction situation at Case1(left) and Case3(right)

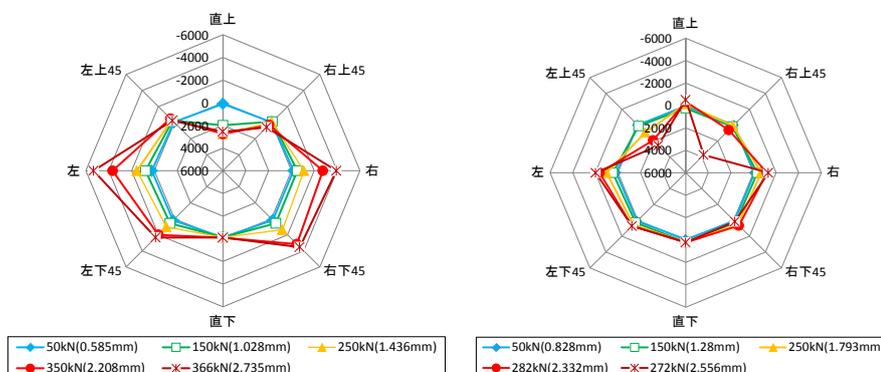


Fig.4 Case1 (左) および Case3 (右) の覆工内面のひずみ Strain distribution of inside lining at Case1(left) and Case3(right)
※Case3 の「272kN」は最大荷重到達後荷重低下時のひずみ分布を示す