

## 模型実験による水路トンネル覆工背面の空洞充填効果の検証

Verification of injection behind an irrigation tunnel lining using model experiment

○森 充広, 浅野 勇, 川上昭彦, 川邊翔平

MORI Mitsuhiro, ASANO Isamu, KAWAKAMI Akihiko, and KAWABE Shohei

### 1. 研究の目的

水路トンネルの補修・補強対策として、覆工背面の空洞充填がなされているが、覆工にひび割れが発生している状態で空洞充填を行った場合の耐力向上効果については、明らかにされていない。本研究では、小規模な水路トンネル模型を用いて、空洞充填が水路トンネルの耐力に及ぼす影響を検証した。

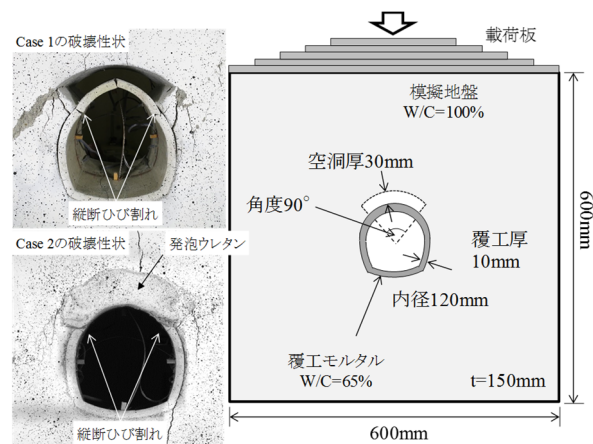
### 2. 実験方法および実験ケース

過去に実施した水路トンネル模型実験<sup>1),2)</sup>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、覆工を模擬したモルタルを配置した供試体を3体作製した。空洞範囲は、天端中央を中心として左右に45°ずつ、90°の範囲とし、空洞の高さは30mmとした。覆工モルタルの形状は2R=120mmの標準馬蹄形、覆工厚は10mmとした。

実験ケースは、Case 1: 空洞ありで載荷、Case 2: あらかじめ空洞を充填した状態で載荷、Case 3: 空洞ありで載荷し、覆工にひび割れが発生した時点で載荷を停止した後、空洞充填し、再度載荷、の3ケースとした。空洞充填に用いた材料は、短時間に硬化すること、また計画設計基準「水路トンネル」において、充填材は特に高い強度は必要ない<sup>3)</sup>とされている内容を検証すること、を目的として、圧縮強度が小さい硬質発泡ウレタンフォーム<sup>4)</sup>(以下、発泡ウレタン)を用いた。充填作業は専門業者が現地施工用の実機で行った。試験中の計測項目は、載荷板の変位、荷重、覆工内空断面(縦、横)、覆工内面のひずみ(円周方向、30°ピッチで12個所)とした。また、Case 3では、空洞充填作業中のデータも収集し、空洞充填が覆工に与える影響を計測した。試験時の覆工、模擬地盤、発泡ウレタンの強度は**Table 1**のとおりである。載荷は変位制御(0.1mm/min)で行った。

### 3. 実験結果

**3.1 荷重変位曲線** Case 1~3の荷重変位曲線を**Fig.2**に示す。参考までに、覆工形状は異なる(円形)が、覆工および模擬地盤をCase 1~3と同日に作製し、空洞が存在しない供試体の荷重変位曲線を記載した。最大荷重は、Case 1, 2, 3それぞれで285kN, 343kN, 308kNであり、あらかじめ空洞を充填しておいたCase 2が最も大きくなった。空洞がない円形覆工の供試体では、覆工がせん断破壊したが、Case 2では、覆工はせん断破壊ではなく、Case 1と同様にアーチ部の覆工にひび割れ集中する破壊モードとなった。Case 3では、載荷停止までは空洞ありのCase 1と同様の荷重変位曲線を示し、載荷停止時点では、既にピーク荷重(変位1.68mm, 265kN)に達していた。しかし、空洞充填後の荷重変位曲線では、載荷停止以前のピーク荷重を超



**Fig.1** 水路トンネル模型実験の概要

**Table 1** 各材料の強度

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
覆工	53.7	25,700	4.2
模擬地盤	6.4	5,300	0.8
発泡ウレタン	0.19	4.9	—

\* (国研) 農研機構 農村工学研究部門 施設工学研究領域 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード: 水路トンネル, 覆工, 背面空洞, 充填, ひび割れ

え、最終的には 308kN にまで上昇した。変形量も Case 1 と比較すると増大した。本実験では、覆工にひび割れが存在する状態で空洞充填を行った場合にも、耐力が向上し、変形量も増大することが確認された。また、Case 1 と 2 との対比から、覆工にひび割れがない状態で予防的に空洞充填を行った場合にも、同様に耐力向上が確認された。

**3.2 覆工内空変位** 各 Case における覆工内空変位の変化を Fig.3 に示す。鉛直荷重を行うと、最初は内空が縦方向に縮小し、横方向に拡大するが、ピーク荷重に至る前にその挙動は逆転する。空洞ありの Case 1 では、逆転後の変形が急激に進行するが、充填を行った Case 2, 3 では、逆転後の変形が Case 1 に比べて緩やかとなり、特に Case 3 では、その傾向が顕著であった。なお、Fig.3 の○印に示すように、発泡ウレタンの充填中、わずかではあるが覆工が内側に縮小する現象が見られた。

**3.3 覆工の応力状態** 空洞ありの Case 1 と、途中空洞を充填した Case 3 の覆工内面のひずみ挙動を Fig.4 に示す。図では、圧縮を負、引張を正として表示している。Case 1 では、F27, F35 の近傍で引張ひずみ発生して覆工がひび割れ、ほぼ同時に天端の F25 で圧縮ひずみが急増し、天端覆工が上側に折れ曲がる。一方、Case 3 では、荷重を一時停止するまでの F27, F35 のひずみ分布は、Case 1 と同様の傾向を示したが、空洞充填後の再荷重では、Case 1 と異なり、F35 のひずみが圧縮側に挙動し、また、天端の F25 の挙動も緩やかになった。空洞充填により覆工の変形挙動が抑制され、変形の局所化が緩和されたため、供試体全体としてのピーク荷重が増大したと考えられる。

**4. おわりに** 本実験により、覆工がひび割れた後であっても、空洞充填を行えば、耐力が向上する可能性があること、また、覆工が健全な状態で空洞を充填することにより、より耐力向上が期待できる可能性が示された。ただし、本試験は、側方拘束がなく、鉛直荷重のみを作用させた限定的な条件下での実験結果である。実際の水路トンネルでは、鉛直方向だけでなく、側方からの土圧が卓越する場合もあり、そのような荷重条件での確認も必要と考える。

**参考文献**：1) 森充広ほか (2015)：覆工背面に空洞を有するトンネル覆工および周辺地盤の変形挙動に関する模型実験，農業農村工学会論文集，300，I\_195-I\_205，2) 森充広ほか (2014)：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，H26 農業農村工学会大会講演要旨集，672-673，3) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」(平成 26 年 7 月)，274-275，4) 青山咸康ほか (2011)：水路トンネル裏込充填材としての硬質ウレタンフォームの材料力学挙動，H23 農業農村工学会大会講演要旨集，552-553

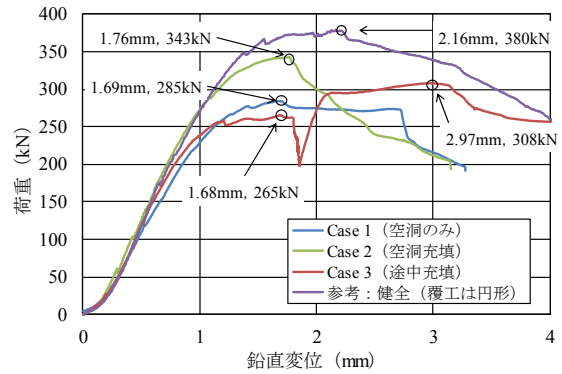


Fig.2 荷重変位曲線

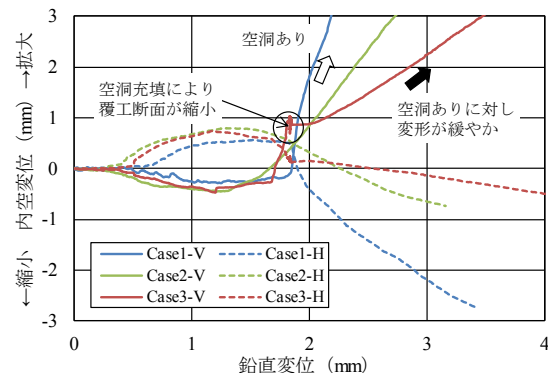


Fig.3 内空断面変化

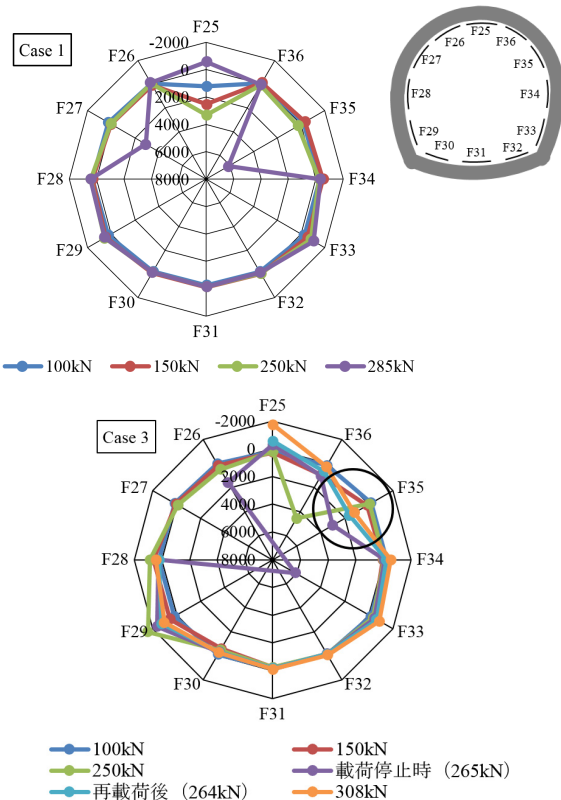


Fig.4 覆工内面のひずみ分布