

実物大の水路トンネル覆工模型実験による炭素繊維シート補強効果の検証 Experiential study of strengthen effect by modelled actual size waterway tunnel using CFRP sheet

○西須稔*1 堀越直樹*1 小森篤也*2 石井将幸*3 森充広*4 川上昭彦*4

○Minoru NISHISU, Naoki HORIKOSHI, Atsuya KOMORI, Masayuki ISHII,
Mitsuhiro MORI and Akihiko KAWAKAMI

1. はじめに

農業用水路トンネル（以下、水路トンネルという）は約 2,000km と膨大な社会資本となっている。水路トンネルの点検調査では覆工コンクリートのひび割れや変形、落盤などの変状や損傷が報告され、水路トンネル覆工における補強工法の開発が求められている。

そこで、本研究では、道路橋床版などで多数実績のある補強材をトンネル試験体に適用し、トンネル天端の空洞に起因するひび割れ状況を模擬した実物大の覆工モデルによる破壊試験を行い、補強効果を検証した。

2. トンネル試験体

（1）形状、寸法

試験体の形状は 2R 標準馬蹄形の覆工（無筋コンクリート）とし、寸法は実物構造物相当（ $R=900\text{mm}$ ，覆工厚さ $=250\text{mm}$ ，長手方向 $=300\text{mm}$ ）で製作した。試験体の概要を図－1 に示す。

（2）補強材

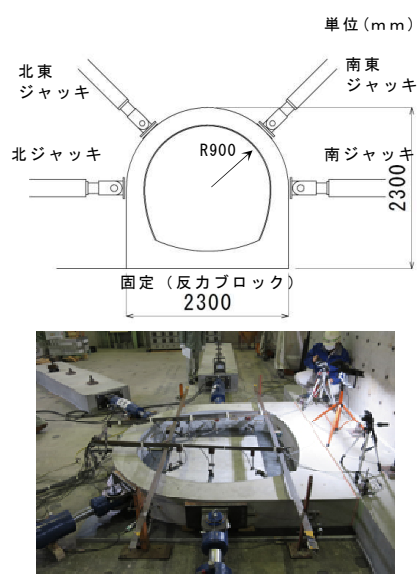
炭素繊維ストランドシート（設計厚さ 0.333mm × シート幅 250mm ， 600g/m^2 ）を補強材とし、結合材としてセラミック混合エポキシ樹脂モルタルを使用した。ストランドシートは製造段階や積層数の変更で補強量の調整が可能であり、本試験での補強量は引張鉄筋比換算で覆工断面に対し 0.2% に設定した。

（3）補強方法

水路トンネル覆工における補強は①下地処理②コンクリート表面へのプライマー塗布樹脂モルタルの塗布，③ストランドシートの設置，④ストランドシートを覆うように樹脂モルタルを厚さ 7mm 程度の厚さで塗布。樹脂モルタルは左官施工とし、補強前の下地処理としてトンネル内面をサンダーでケレンし、補強面に付着した粉塵は濡れウエスで拭き取った。なお、プライマー塗布時の補強面コンクリートの水分率は 2% 程度であった。

3. 載荷試験

トンネル試験体は平坦な床上に摩擦低減用の薄鉄板を敷設し、その上に設置した。載荷はトンネル天端の空洞を想定し、油圧式ジャッキを左右と斜めに 4 本（最大 600kN/本 ）使用し、手動ポンプですべての油圧ジャッキの荷重が均等になるように載荷した（図－1）。



図－1 試験体の概要
Figure-1 Specimens over view

*1 オリエンタル白石(株)Oriental Shiraishi Corporation, *2 新日鉄住金マテリアルズ(株)Nippon Steel and Sumikin Materials Co., LTD., *3 島根大学学術研究院環境システム科学系 Institute of Environmental Systems Science, Shimane University., *4 (国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 National Agriculture and Food Research Organization, 水路トンネル, 実物大試験, 補強

載荷時のジャッキ反力は床に固定されたコンクリートブロックで受ける構造とした。試験体種類および載荷方法については以下の3タイプとした。

タイプ1：補強なし試験体。各ジャッキとも均等に圧縮載荷を実施する。

タイプ2：補強あり試験体。載荷前に補強し、載荷方法はタイプ1と同様とする。

タイプ3：補強あり試験体。タイプ1にひび割れ注入を実施し、その後に覆工補強した試験体。このひび割れ注入および覆工補強は、斜めジャッキで載荷を続けた状態で実施した。補強後の載荷方法はタイプ1と同様とする。

測定項目は、載荷荷重、変位、構成材料のひずみ変化とした。試験体の破壊はコンクリートのひび割れや補強材の剥離を生じ、ジャッキの荷重増加が困難になった状態とした。

4. 試験結果

タイプ1、2のひび割れ損傷図を図-2に示す。タイプ1では載荷荷重（4本ジャッキ荷重の平均値）が60kNでひび割れが生じ、90kNで荷重が低下した。タイプ2は97kNでひび割れが発生し約168kNでストランドシートに剥離が生じ荷重が低下した。タイプ3では既に損傷していることから4本のジャッキ荷重を均等に保つことが困難であったが、ひび割れが分散され、約200kNで荷重が低下した。タイプ1、2の載荷荷重とトンネル天端変位量の関係を図-3に示す。タイプ1ではひび割れ発生時の変位量は内側で0.49mm、タイプ2では0.24mmであった。

実物大載荷試験を実施するにあたり、事前に無筋コンクリートの弾性FEM解析を実施した。ひび割れ発生荷重時（97kN）の解析結果（変位量）を図-4に示す。解析結果は0.44mmとなり、実験結果（0.24mm）は解析結果に比して約50%低減し、覆工補強によりトンネル内部の剛性が向上したことから変位の制御が確認された。

タイプ2、タイプ3において剥離破壊直前の荷重状態とストランドシートひずみ値を図-5に示す。ひび割れ発生後は均等に載荷することが難しく、載荷荷重に偏りが生じた。事前にひび割れを発生させ覆工補強したタイプ3のストランドシートひずみはタイプ2と同程度でありひび割れが発生した覆工に対しても本補強工法が有効であることが確認された。

謝辞：本研究は官民連携新技術研究開発事業新規研究開発課題「無筋コンクリート水路トンネル覆工に最適化した補強工法の開発」によって実施しました。

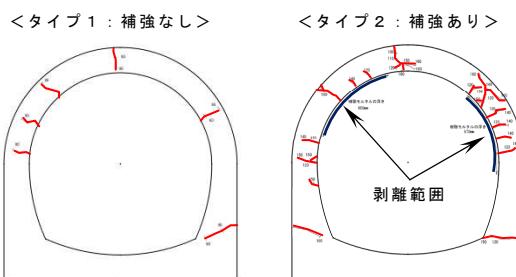


図-2 ひび割れ損傷図

Figure-2 Crack and Damage

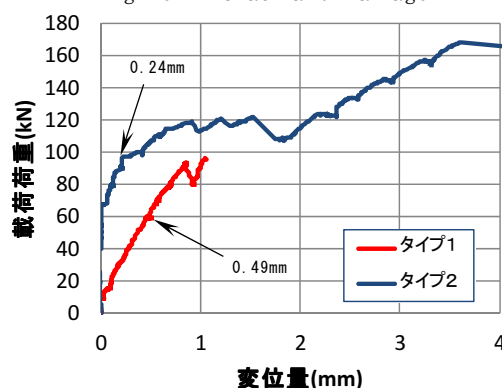


図-3 載荷荷重と変位の関係

Figure-3 Load and Displacement result

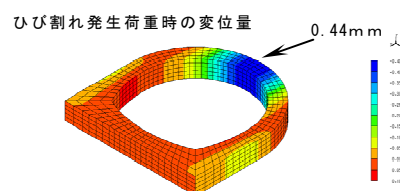


図-4 弾性FEMによる解析結果

Figure-4 Elastic FEM analysis result

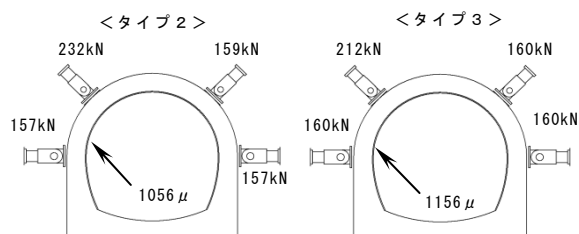


図-5 ストランドシートひずみ

Figure-5 Strain of Strand Sheet