

## ひび割れを生じた水路トンネルに対する補強効果

### Strengthening Effect for Waterway Tunnel with Concrete Cracks

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

○Naoki Horikoshi, Minoru Nishisu, Masayuki Ishii, Akihiko Kawakami, Atsuya Komori

#### 1. はじめに

農業用水路トンネルの覆工コンクリートにおいて、トンネル側面に見られる軸方向ひび割れは、トンネル天端の背面空洞の影響により生じた可能性があり、トンネルの安全性喪失が懸念される。この変状に対する合理的な対策の実現には、既設水路トンネルの耐荷性能評価に加え、適切な補強量および補強方法の選定が求められる。本研究では、ひび割れを生じた水路トンネル覆工コンクリートの補強工法開発にあたり、補強量および補強方法が異なる場合の耐荷性能や変形性能に対する効果について検討した。

#### 2. トンネル試験体

##### (1) 形状、寸法

試験体の形状は 2R 標準馬蹄形の水路トンネル覆工（無筋コンクリート）を対象とし、試験体の寸法は実構造物相当（覆工厚さ 250mm、トンネル軸方向長さ 300mm）で製作した。

##### (2) 補強材

補強材は炭素繊維ストランドシート（設計厚さ 0.167mm×シート幅 250mm、300g/m<sup>2</sup>、以下ストランドシートと記す）を基材とし、結合材として樹脂モルタルを 7mm 厚で塗布した。本試験での補強量は引張鉄筋比換算でコンクリート断面に対し 0.2% および 0.4% に設定した。また、インバート両端部にアンカー筋（D16（SD345）、L=500mm）を各 1 本配置する試験体も設定した。

##### (3) 補強方法

補強範囲はインバートを除く覆工内面を対象とした。補強はコンクリート表面へのプライマー塗布→樹脂モルタル塗布→ストランドシート配置→樹脂モルタル塗布の順で行い、樹脂モルタルは左官施工とした。アンカー筋は無補強状態での載荷が終了後に削孔を行い配置し、セメント系材料を注入して埋設した。

#### 3. 載荷試験

##### (1) 載荷形態

トンネル試験体は、平坦な床上に摩擦低減に配慮した薄鉄板を設置しその上にセットした。載荷は油圧式ジャッキ（全 4 本、最大 250kN/本）を用い、手動ポンプによって各ジャッキ荷重を均等にしつつ漸増載荷した。ジャッキ反力は床に固定したコンクリートブロックで受ける構造とした。すべての試験体は、先ず予備載荷として無補強状態で載荷し、ひび割れを発生させた。覆工内面側から発生したひび割れは、ひび割れ注入によって補修し、その後補強を行った。載荷は補強材が剥離するまで続けた。試験体の形状を図-1 に、載荷試験状況を写真-1 に示す。

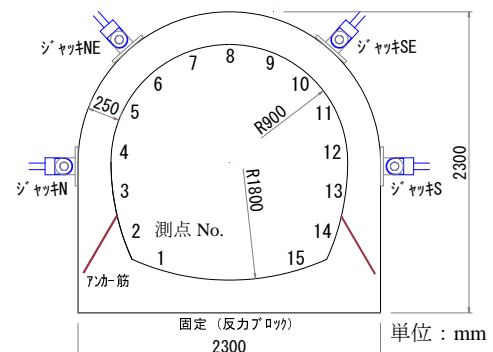


図-1 試験体の形状  
Figure-1 Shape and size of specimen



写真-1 載荷試験状況  
Photo-1 Load test

\*1 オリエンタル白石（株） Oriental Shiraishi Corporation キーワード：水路トンネル，馬蹄形，補強

\*2 島根大学 学術研究院 Academic Assembly, Shimane University

\*3 （国研）農業・食品産業技術総合研究機構 National Agriculture and Food Research Organization

\*4 日鉄ケミカル&マテリアル（株） Nippon Steel Chemical & Material Co., Ltd.

## (2) 試験体種類

0.2%：ストランドシートを1層配置する。ストランドシートは、2分割したものを天端付近で100mmの長さで重ね合わせる。

0.4%：ストランドシートを2層配置する。ストランドシートの分割は0.2%と同様である。

0.2%R：0.2%にアンカー筋を追加。

0.4%R：0.4%にアンカー筋を追加。

## (3) 測定項目

載荷荷重、変位、ひずみを測定した。試験体の破壊は、覆工コンクリートがひび割れ、荷重増加が困難になった時点（最大荷重）とした。

## 4. 試験結果

覆工内面の変位（測点4,12の平均）と載荷荷重（各ジャッキ平均）の関係を図-2に示す。各試験体とも、無補強時は80~100kN程度の荷重で破壊し、最大変位は1mm前後となった。補強後の破壊荷重は、0.2%で150kN（無補強時の1.7倍）、0.4%で200kN（無補強時の2倍）となり、また、最大変位は、0.2%で2.8mm（無補強時の2倍）、0.4%で4.4mm（無補強時の2.6倍）となり、耐荷性能、変形性能とも向上した。アンカー筋を配置した試験体は、0.2%および0.4%シリーズとも、耐荷性能、変形性能ともに向上した。また、図-3は、0.2%および0.4%の最大荷重時における、各測点での変位（平均）の分布を示したものである。アンカー筋を配置することで、横方向ジャッキの載荷位置および覆工天端の変位が抑制される傾向が見られた。

破壊時におけるストランドシートのひずみ分布を図-4に示す。各試験体とも、測点4および12（N,Sジャッキ部）付近で引張が卓越し、測点7および9付近の中立域を経て、測点8（覆工天端）付近で圧縮域を生じた。各試験体ともひずみ分布にばらつきがあるが、概ね1500 $\mu$ ~2500 $\mu$ 程度の範囲で破壊に至っている。

載荷試験で生じた覆工のひび割れ状況を図-5に示す。赤線は補強前の予備載荷で生じさせたひび割れである。ストランドシートおよび樹脂モルタルで補強することによってひび割れは分散し、0.4%のひび割れ本数は0.2%の1.5倍程度まで増加した。

以上より、0.2%または0.4%の補強量を適用することで、無補強に対する耐荷性能および変形性能が大幅に向上した。また、アンカー筋の併用は、さらなる性能向上に寄与する傾向が見られた。補強量、種類の選定は、追加実験や解析を進め、施工性や経済性等も考慮した上で行う予定である。

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。

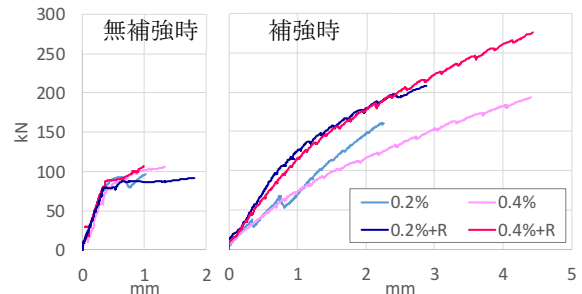


図-2 荷重と変位の関係

Figure-2 Load vs Displacement

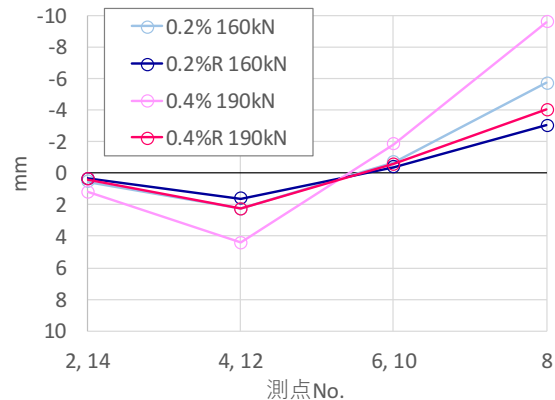


図-3 変位分布（平均）

Figure-3 Displacement

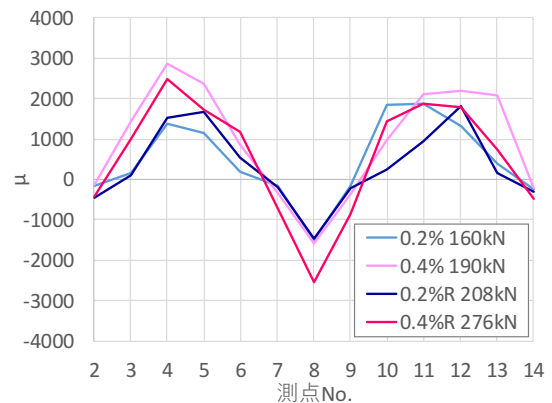


図-4 スtrandシートのひずみ分布

Figure-4 Strain of strand sheets

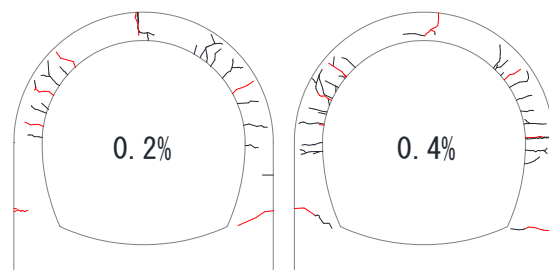


図-5 ひび割れ状況

Figure-5 Cracks