

空洞を考慮したコンクリート水路トンネルの補強検討

Strengthening for Concrete Waterway Tunnel with Cavity

森充広*

○堀越直樹**

小森篤也***

高橋謙一**

Mitsuhiro Mori

Naoki Horikoshi

Atsuya Komori

Kenichi Takahashi

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様々な変状が報告されている。この中で、トンネル側面付近の軸方向に伸びるひび割れは、トンネル天端背面の空洞の影響により生じた可能性、ならびにトンネルの安全性を喪失させることが懸念されており¹⁾、適切な対策の適用が求められている。しかし、水路トンネルの補強工法の耐荷性能評価については、統合的な規準類はなく、補強工法の開発者側に委ねられた試験等によって実施されているようである。

そこで、本研究では、コンクリート橋床版などで多数実績のある補強材料をトンネル試験体に適用し、トンネル天端の空洞やひび割れ状況を模擬できる覆工モデルによる破壊実験を行い、その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、寸法は実構造物の 1/2 相当（R=450mm, 部材厚さ=125mm, 長手方向=300mm）で作製した。

(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/m²）を基材とし、結合材として樹脂モルタルを 7mm 程度の厚さで塗布した。ストランドシートは製造段階での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コンクリート断面に対し 0.2% に設定した。

(3) 補強方法

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。なお、補強前の補強面処理として、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。

3. 荷重試験

(1) 荷重形態

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。荷重は油圧式ジャッキ（全 3 本, 最大 250kN/本）を用い、手動ポンプで各ジャッキを制御した。荷重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。試験体の概要を図-1 に示す。

(2) 試験体種類および荷重方法

CASE1：補強なし試験体。各ジャッキとも 250kN まで均等に圧縮荷重し、その後は天端ジャッキ E を徐々に除荷するとともに、ジャッキ N, S は 200kN 程度を維持する。

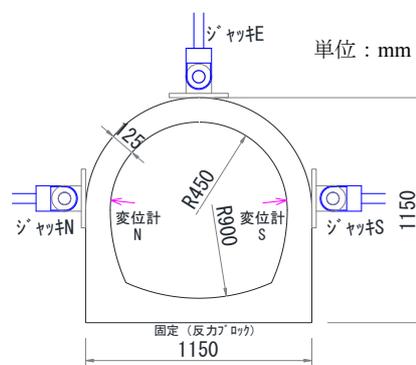


図-1 試験体の概要

Figure-1 Shape and Size of Specimen

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

** オリエンタル白石(株) Oriental Shiraishi Corporation

水路トンネル, 馬蹄形, 空洞, 補強

*** 新日鉄住金マテリアルズ(株) Nippon Steel Sumikin Materials Co., Ltd.

CASE2：補強あり試験体。載荷前に補強し、載荷方法はCASE1と同様である。

CASE3：補強あり試験体。ひび割れを生じた試験体に補強を実施。補強後の載荷方法はCASE1と同様である。

(3) 測定項目

載荷荷重および変位を測定した。また、試験体の破壊は、ひび割れや剥離を生じ、かつ、ジャッキNおよびSの荷重増加が困難になった時点とした。

4. 試験結果

天端ジャッキEの荷重と、変位計N,Sの平均値との関係を図-2に示す。CASE1は載荷荷重110kNを超えるとひび割れがトンネル側方内面に発生し、170kNから変位が増大、最大荷重を経て破壊した。CASE2は150kNを超えるとひび割れが発生するものの、最大荷重時の変位は1mm未満と小さくなった。ジャッキEを最大荷重から低下させていくと130kNで補強材が剥離した。CASE3はCASE2とほぼ同様の結果となった。すなわち、ひび割れが発生した後に補強しても、本補強方法では、初めから補強した供試体と同様の性能を示すことが明らかとなった。

なお、同図の破線は剥離発生から破壊までの変化を示す。はく離が発生すると、内空断面が急激に変化するが、ストランドシートの破断や樹脂モルタルのひび割れなどは発生せず、内空断面は保持された。ストランドシートは、一ヶ所剥離が発生した場合でも、周囲のストランドシートが応力を再分担するため、大きな変形性能を有したと考えられる。以上のことから、本補強工法は、補強による変形性能向上が見られたと評価できた。

図-3は、最大荷重250kN以降から破壊

(CASE1)もしくは初期剥離(CASE2, CASE3)までの荷重比率と変位の関係である。荷重比率は、天端ジャッキEの荷重値をジャッキNとSとの平均値で除したものである。この値が1より小さい場合、側方の荷重が卓越していることを示す。CASE1は荷重比率0.94で破壊したのに対し、CASE2およびCASE3は、荷重比率0.65までは内空断面を保持し、その後初期剥離を生じた。したがって、本補強は、トンネル天端の空洞によって側面方向からの荷重が卓越するような荷重状況において有効であることが示された。

図-4は無筋コンクリート覆工に横方向(ジャッキN, ジャッキS)からのみ100kNの載荷を行った、3Dモデルによる弾性FEM解析結果である。本載荷試験によるCASE1のひび割れ発生状況は、本解析結果と同様となった。今後は補強した供試体についても数値解析評価を行う予定である。

謝辞：本研究は、総合科学技術会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「基幹的農業水利施設の戦略的なアセットマネジメント技術の開発」(管理法人JST)によって実施しました。

5. 参考文献

1)長束勇, 松尾弘道, 松本拓, 石井将幸, 水路トンネルのひび割れ発生メカニズムとその補強工法, 農業農村工学会論文集, No.288, pp.77~83, 2013.12

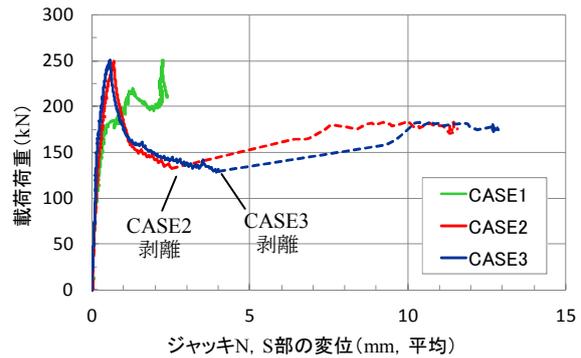


図-2 荷重と変位の関係

Figure-2 Load vs Displacement

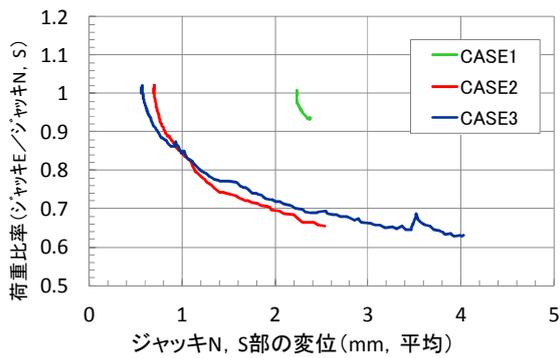


図-3 荷重比率と変位の関係

Figure-3 Load ratio vs Displacement

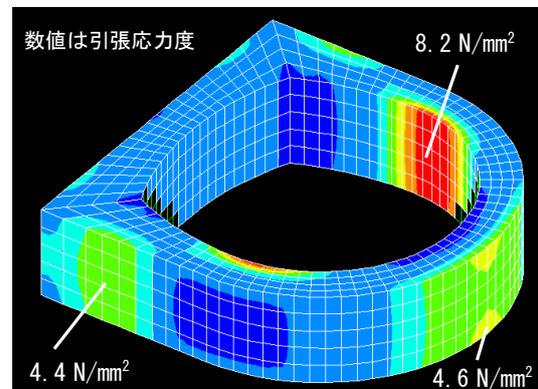


図-4 弾性FEMによる解析結果

Figure-4 FEM analysis