

7. 繊維シートによる新設トンネル 覆工コンクリートのはく落防止技術

佐藤工業㈱ ○ 京免継彦
〃 宇野洋志城
〃 小泉直人

1. はじめに

近年，トンネル覆工コンクリートの品質の向上はトンネル施工における大きな課題となっている。既設のトンネル覆工コンクリートにひび割れが発生した場合は炭素繊維等の連続繊維シートを不具合部に接着する，はく落防止対策が採用されている場合が多い。これは，事後における機能回復を目指した予防保全技術といえる。一方，今回の技術は，ひび割れの発生後ではなく，事前の供用開始前，設計段階や施工段階から覆工コンクリートの耐久性を考え，機能を永く維持することを目指し開発された技術である。コンクリートの打込み前の型枠面に連続繊維シートを配置し，脱型時からコンクリートの表面近傍に埋設した状態で供用開始する工法には，これまでに橋梁上部工（交差部の橋梁下面）や二次製品のシールドトンネル用セグメントを対象に実用化されているが，山岳トンネルにおける覆工コンクリートへの適用例はなく当社が初の試みとなる。

- ・目地部からの湧水による劣化
- ・地震，その他による経年劣化

各項目に対して様々な対策がとられているが，不具合要因を完全に排除することは出来ていない。

(2) 繊維シート

使用する繊維シートは耐アルカリ性のガラス繊維を格子状に接着させたもので，表-1に繊維シートの特徴，写真-1に繊維シートを示す。

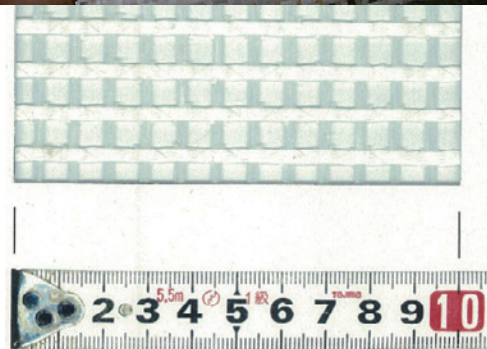
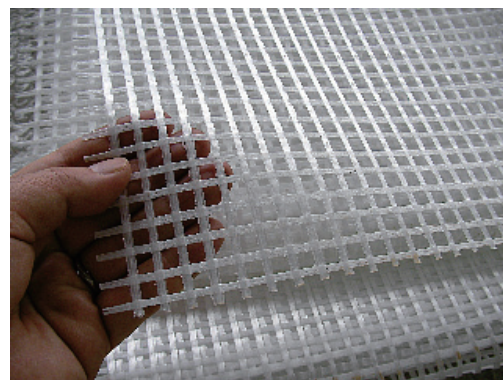


写真-1 耐アルカリ繊維シート

2. T-FREG の概要

2.1 はく落防止技術の概要

(1) 適用箇所

完了したトンネル覆工の中でも，ブロック継目部周辺が，はく離・はく落の発生しやすい箇所と考えられている。打音検査でも，ブロック継目部周辺に異常が多く認められる。主な発生原因を示す。

- ・セントルつま部のコンクリート充填不足
- ・セントルラップ部分の押付け過ぎ

表-1 繊維シートの特徴

繊維シート種類	形状	密度	引張強度	製品の特徴
耐アルカリ ガラス繊維	7mm×5mm の格子 (芯 10mm×10mm の格子)	400g/m ²	タテ 60kN/m ヨコ 38kN/m	厚さ 0.85mm

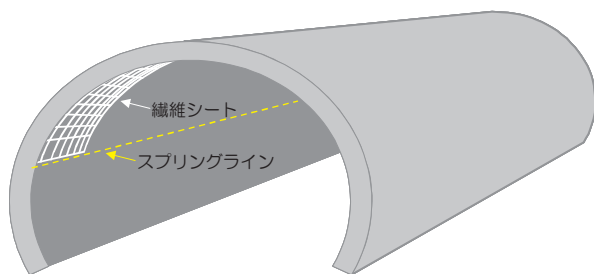


図-1 施工範囲

(3) 施工方法

スライドフォームのつま側端部および既設ラップ側端部に耐アルカリガラス繊維シートを敷設し，そのままコンクリートを打設する。覆工表面には繊維シートが埋め込まれ，コンクリートのはく離，はく落防止効果を発揮する。施工範囲を図-1，施工フローを図-2，効果イメージを図-3に示す。繊維シートの貼り付けは通常サイクルと並行して行う。

シートの敷設範囲は有効範囲と施工性から考えて天端から左右 60 度（10m～12m）幅 50cm とした。目地部も「欠け」の発生しやすい場所として繊維シートを敷設する。図-4 繊維シート敷設範囲図，図-5 目地部詳細図参照。スライドフォームへの敷設固定の方法が最も重要であるが，鋼線，糸，Pコン等様々な固定方法で試験施工を行った。

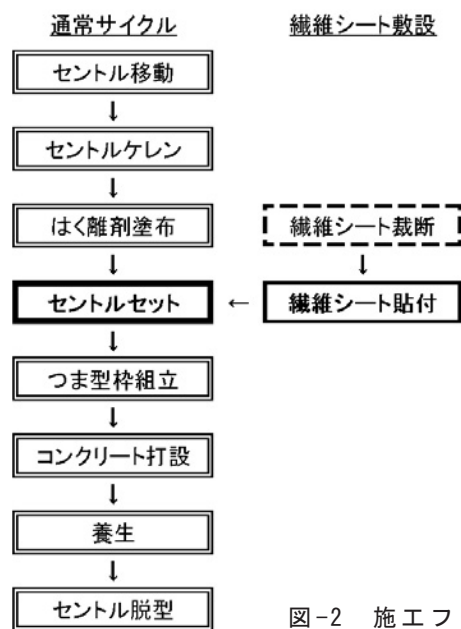


図-2 施工フロー図

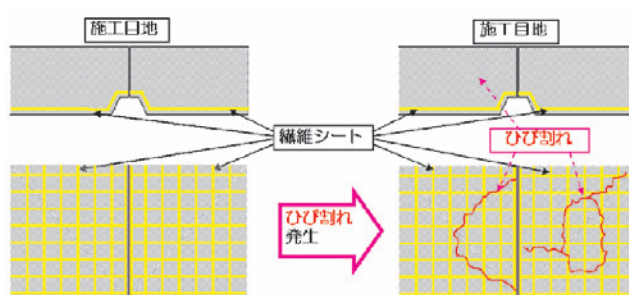


図-3 効果イメージ図

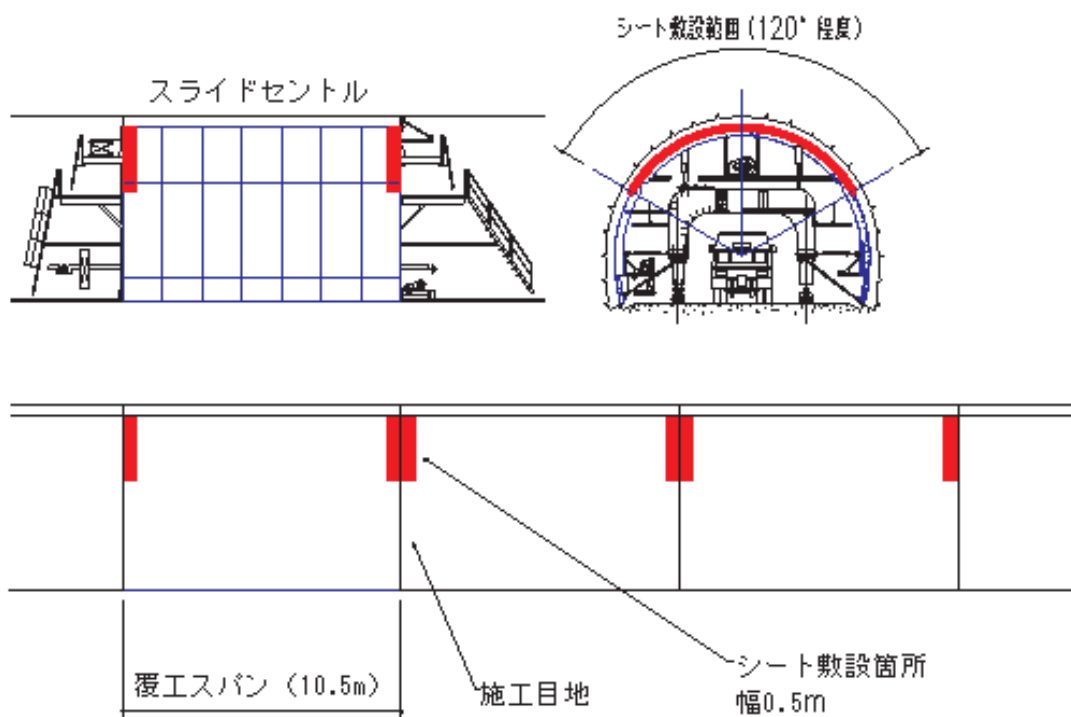


図-4 繊維シート敷設範囲図

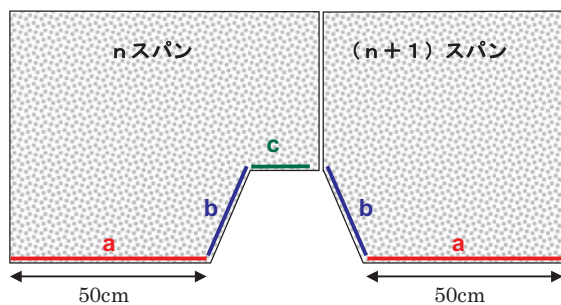


図-5 目地部詳細図

a) 結束線，P コン方式

セントルスチールフォームに穴（ ϕ 5mm）を開け，結束線，P コンを通して固定する。固定スパンは 25cm～50cm で十分な固定効果が得られる。図-6 に結束線，P コン方式の設置モデルを示す。

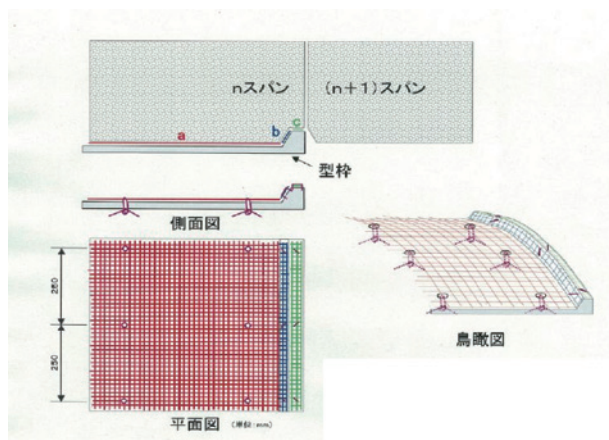


図-6 繊維シート固定方法①

b) 糸方式

セントルスチールフォームに穴（ ϕ 5mm）を開け，ナイロン糸を通して固定する。ナイロン糸は打設完了後引き抜く事が可能。図-7 に糸方式の設置モデルを示す。

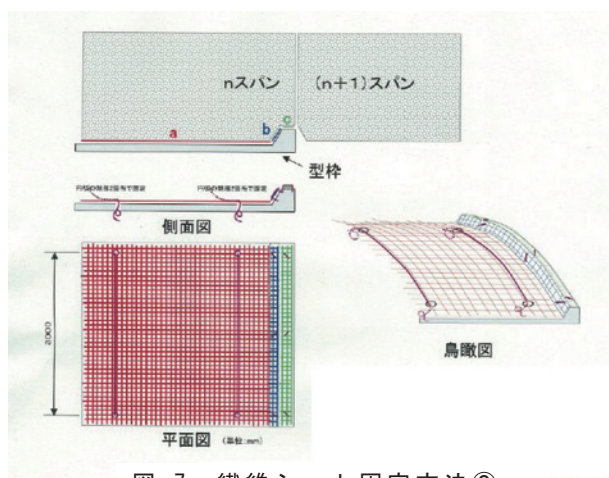


図-7 繊維シート固定方法②

3. 試験施工

3.1 試験施工の経緯

試験施工の経緯について示す。

- (1) 1 次試験：平成 19 年 7 月～8 月
コンクリート 2 次製品工場にてシールド工事用セグメント 型枠を利用して施工実験を実施。
- (2) 2 次試験：平成 19 年 12 月～20 年 1 月
当社技術研究所にて実施。
- (3) 現地実証試験
当社施工トンネルにて実施。

3.2 試験施工結果

(1) 1 次試験

実規模レベルでの実験として，セグメント用鋼製型枠を利用した打設実験を行った。使用した型枠は，外径 4000mm，内径 3650mm の Atype セグメント用である。通常セグメントの場合，平置きした状態で上部からコンクリートを打込むが，今回は山岳トンネルの覆工コンクリートのアーチ天端部を模擬するため，トンネル地山側は鋼製のエキスパンドメタル材で蓋掛けし，圧入方式でコンクリートを打込むために型枠下面には 5 インチ管の圧入口を設けた。打設試験用型枠を写真-2 に，繊維シート敷設状況を写真-3 に示す。

使用したコンクリート配合は，実験の施工性とフレッシュコンクリートの品質を重視し，早強ポルトランドセメント使用した。30-15-40H(呼び強度 30N/mm²，スランプ 15cm，粗骨材の最大寸法 40mm) さらに強度発現を促進させるために蒸気養生を実施した。

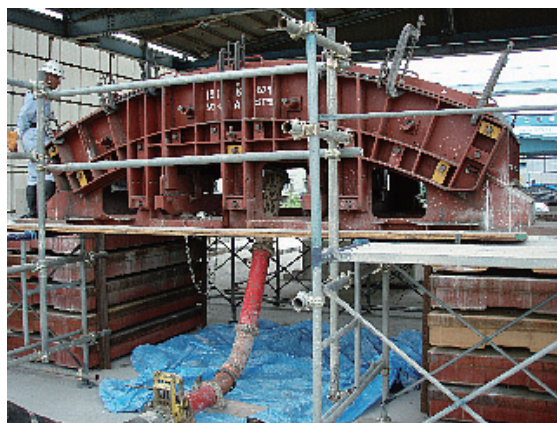


写真-2 打設試験用型枠



写真-3 繊維シート敷設状況

1次試験ではスランプによる影響，繊維シートの種類，繊維シート固定方法の確認を主体に試験を行った。

(2) 2次試験

2次試験は，試験方法としては1次と同様であったが，主に目地部の繊維シートの固定方法の確認を行った。写真4～5に繊維シート敷設状況を示す。写真-6に目地部の繊維シート埋設状況を示す。写真-7に試験体全景を示す。



写真-6 目地部脱枠状況



写真-7 試験体全景

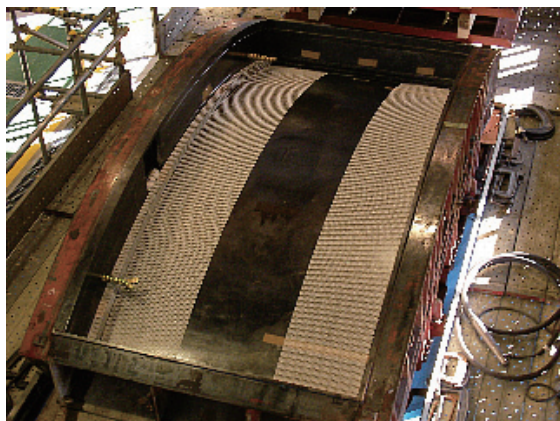


写真-4 繊維シート敷設状況

(3) 道路トンネル実証試験

当社施工中トンネルにおいて，実際の覆工施工で試験施工を行った。実施トンネルは，内径 5160mm 片側一車線の道路トンネルで，つま側部のみ7ブロックに繊維シート補強の試験適用を行った。繊維シートの固定方法としては，作業員からの意見徴収により使い慣れたPコンを採用した。写真-8に繊維シート敷設状況，写真-9に出来型を示す。セントル脱型直後には繊維シートの設置部分は目立ったが，材齢の経過に伴って違和感は認められなくなった。

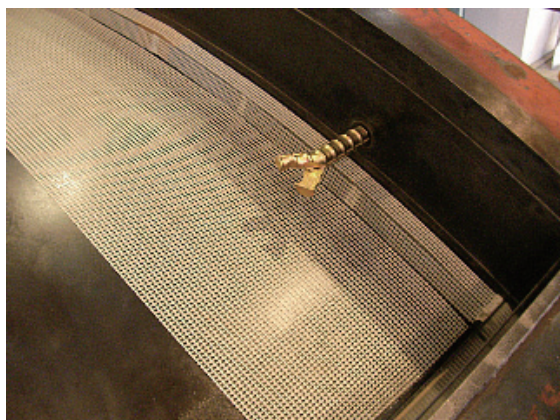


写真-5 繊維シート敷設状況（目地部）



写真-8 ラップ部の敷設状況

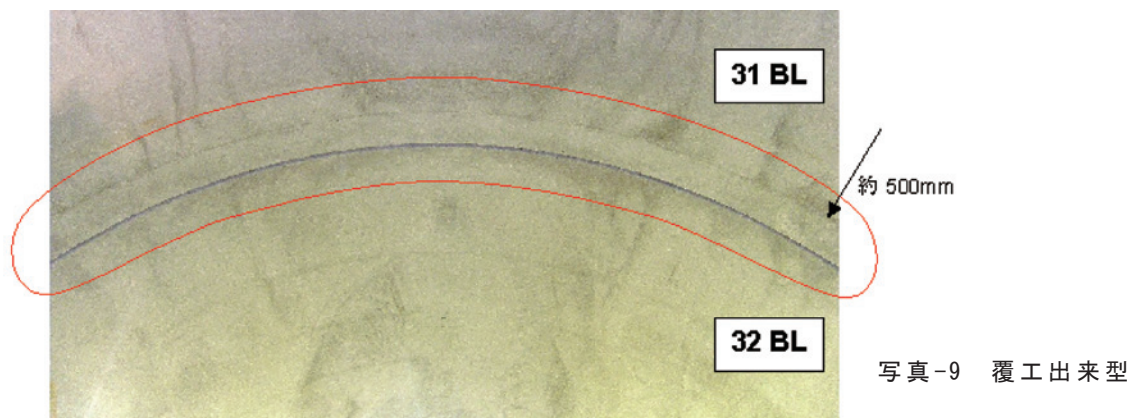


写真-9 覆工出来型

4. 繊維シート補強の性能

試験施工の結果より繊維シート補強の性能について評価する。

表-2 性能評価一覧

項 目	評 価
施工性	敷設，固定，パイプレータの影響について実施工に耐えうる事が確認できた。
コンクリート配合	21-8-40BB，21-15-40BB，21-21-40BB の各スランプで試験施工を実施 各試験体の繊維シート埋設状況に影響はみられなかった。
若材齢時の脱枠状況	試験体を材齢 12 時間，15 時間，18 時間で脱枠し繊維シートの付着状況を確認 材齢 12，15，18 時間でも，型枠側に繊維シートが付着する状況は見られなかった。ただし脱枠時の圧縮強度が 1.0N/mm ² 以下の場合，表面モルタルの剥がれが見られた。
接着強度試験	試験体を材齢 12 時間，15 時間，18 時間で脱枠し材齢 28 日の接着強度を測定 各試験体の接着強度は母材コンクリート強度の 60% 程度で差異はなかった。
曲げ靱性試験	はく落防止効果：JHS 730-2003 「繊維補強コンクリートの曲げ靱性試験方法」 平均値 2.02N/mm ² 曲げ靱性係数について，すべてのケースで平均 1.4N/mm ² をクリアしており，十分な剥落防止効果（直径 4m 厚さ 30cm のコンクリート塊を抑える）を有している
押し抜きせん断試験	はく落防止効果：JHS424-2005 「はく落防止押し抜き試験方法」 変位 23mm で最大荷重 2.62kN 「変位 10mm 以上最大荷重 1.5kN 以上」であるため合格

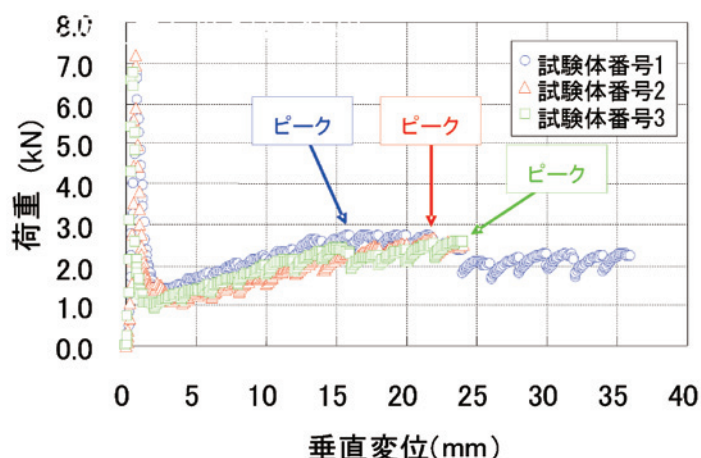


図-8 押し抜きせん断試験結果

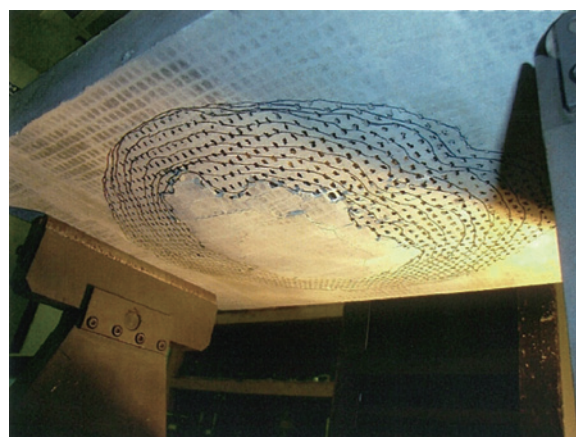


写真-10 押し抜きせん断試験結果状況

5. トンネル工事への採用

NEXCO 西日本と共同開発という形で試験施工を実施した。

- ・実施箇所：宮崎県 東九州自動車道
中山トンネル (L=250m)
門川第一トンネル (L=243m)
- ・実施期間：平成 20 年 10 月～21 年 2 月
- ・施工概要：10.5m×20 スパン
(有筋，無筋コンクリート区間)

試験施工の結果を写真-11～13 まで示す。施工全スパンでシートのズレ，はがれ等の状況は見られなかった。ラップ側部のシート敷設の方法について有効な方法を検証することが出来た。

6. まとめと今後の展開

繊維シート補強工法の特徴を示す。

- a) 覆工コンクリート自体が，はく離・はく落防止の機能を持つ。
- b) 新設工事の覆工打設時に施工を行うため，従来工法に比較して小さな手間とコストで高いリスク軽減効果が得られる。従来工法の場合は対策施工時にトンネル機能の制限，中断が不可欠。
- c) 覆工作業への影響は，シート敷設 1 工程が加わるだけで軽微であるため，施工サイクルへの影響が少ない。

現在，多様なトンネルへの適用を目指し，カーブ対応，覆工全面への敷設方法を検討している。本技術を，トンネル利用者と管理者双方に，安全と安心を提供できる技術として，新設トンネルへの適用を提案していきたい。

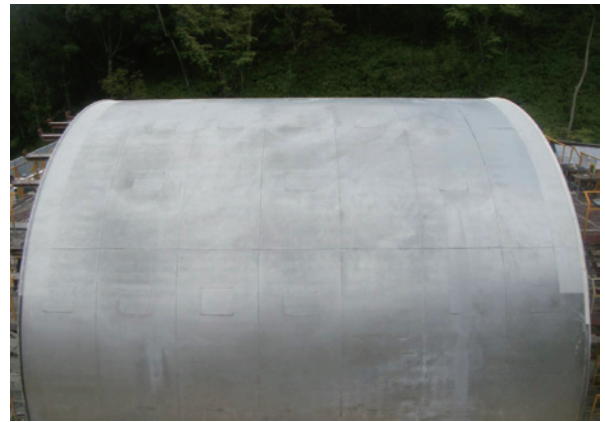


写真-11 セントルへのシート敷設



写真-12 打設状況

脱型直後には
繊維シートの境界が判る



脱型4週後には
繊維シートの境界が判らない

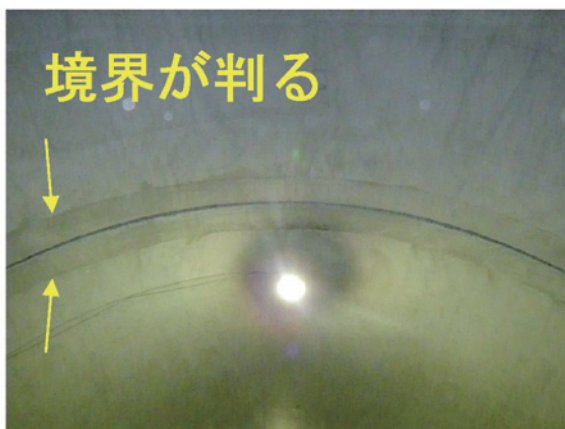


写真-13 試験施工結果