新技術によるトンネル覆工補強工の品質確保と施工効率化

（株）大林組　正会員　○白井　翔也
（株）大林組　正会員　渡辺　匠，室田　亮馬
（株）大林組　正会員　木谷　憶人，出口　大輔

１．はじめに

国内の道路トンネルの多くは，高度経済成長期に集中的に建設されたため，供用開始から数十年以上経過したものが増加している．これら老朽化したトンネルでは，覆工コンクリートの劣化や漏水，監視員通路等の鉄筋腐食，寒冷地では塩害などが顕在化し，安全性・耐久性の低下といった問題が表面化している．また，交通量の増加や災害リスクの高まりに伴い，トンネルの機能維持と安全確保に対する社会的要請が高まっている．このような背景から，トンネル更新工事が各地で実施されているが，交通規制に伴う渋滞の発生が問題となっており，交通規制期間を短縮することが求められている．

東北自動車道竜ヶ森トンネルでは，供用から 40 年以上が経過し，経年劣化した覆工コンクリートおよび監視員通路の補強ならびに補修を行う工事が発注された．本稿では，そのうち，当社新技術を活用したトンネル覆工補強工の品質確保と施工効率化について報告する．

２．工事概要

(1) 竜ヶ森トンネルについて

東北自動車道竜ヶ森トンネルは，岩手県の松尾八幡平 IC～安代 IC 間にある高速道路トンネル（全長：上り線 1,919m，下り線 1,922m）である．現場位置図を**図-1** に示す．

本工事の概要を**表-1** に示す．なお，契約後の最新詳細点検結果により，工事数量が増加したため，工期が約 2 年延伸された．



図-1　現場位置図

表-1　工事概要

工事件名	東北自動車道　竜ヶ森トンネル補強工事
発注者	東日本高速道路株式会社　東北支社
場所	東北自動車道　竜ヶ森トンネル（岩手県八幡平市） 上り線：L=1,919m、下り線：L=1,922m
工期	2023年1月12日～2026年2月24日　→　～2028年1月25日
規制形態	昼夜連続車線規制
主な工事数量	内面補強工：14,279m^2　→　25,978m^2 背面空洞注入工：6.54m^3　→　65.94m^3 止水注入工（新単価）：1,639m

(2) 規制形態と制約条件

本工事は，トンネル断面を半断面に分割し，上下線それぞれの走行車線および追越車線で施工する．規制形態は昼夜連続車線規制であり，規制帯を 2 週間連続して設置する．規制帯は，1 週目の月曜日に規制設置，2 週目の金曜日に規制撤去となる．

交通混雑期（GW，夏季混雑期）は，工事抑制期間に該当するため，規制解除が必須であることに加え，積雪寒冷地のために冬期休止期間が設けられており，11 月 1 日～3 月 31 日は施工不可という条件である．

(3) トンネル覆工補強工について

トンネル覆工補強工は，既設トンネルの覆工コンクリートの耐荷力や耐久性の向上を目的とするものである．一般的に，覆工コンクリートのひび割れや浮き・はく離を補修した後，連続繊維シート接着工法により補強する．

本工事では，当社が開発した複数の新技術を導入し，トンネル覆工補強工の品質確保と施工効率化を実現している．導入した新技術は，注入止水工法「ミクストグラウト®」，高目付 2 方向炭素繊維シート「ワンバインドクロス®」，背面空洞注入工法「スペースパック工法®」，トラック積載型システム作業床「フラップリフト®」である．次項より，各技術の特徴や効果について記述する．

キーワード　トンネルリニューアル，トンネル覆工補強工，炭素繊維シート，止水注入，背面空洞注入
連絡先　〒980-0011 宮城県仙台市青葉区上杉 1-6-11　日本生命仙台勾当台ビル ㈱大林組 東北支店　ＴＥＬ03-3355-3559

３．新技術を活用した品質確保

(1)覆工コンクリートからの漏水対策

a)漏水状況

竜ヶ森トンネルは，覆工コンクリートからの漏水が極めて多く，漏水防止樋や溝切導水による漏水対策工が過去に多数実施されている．内面補強工の施工に際し，連続繊維シートの貼付けに支障となる漏水対策工を事前に撤去する必要がある．しかし，漏水対策工を撤去するまで，背面の湧水量や漏水の発生箇所を把握することは困難である．加えて，覆工コンクリートからの漏水は，連続繊維シートの接着不良や品質低下，シートのはく離等の原因となる可能性があり，内面補強工施工前に対処する必要があった．

b)止水注入による品質確保

内面補強工施工前の止水対策には，当社が開発した「ミクストグラウト」（**図-2**）による注入止水工法を採用した．本工法は，2 液型の自硬性止水材を可搬式の施工機器で混合注入し，コンクリートひび割れ部からの漏水を止水する工法である．ひび割れ部の乾湿状態にかかわらず，早期に止水効果を発揮することに加え，止水材料が安定しているため，耐久性が高い止水工法である．

ミクストグラウトによる止水注入を実施することで，覆工コンクリートを常に乾燥状態に保つことが可能となり（**写真-1**，**2**），次工程の内面補強工を安定した品質で施工することができた．

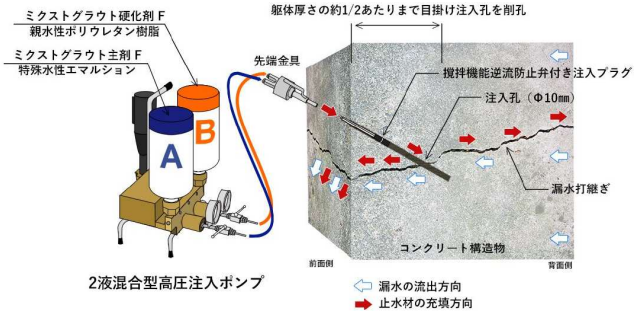


図-2　ミクストグラウトの施工イメージ



写真-1　止水注入前の覆工コンクリート

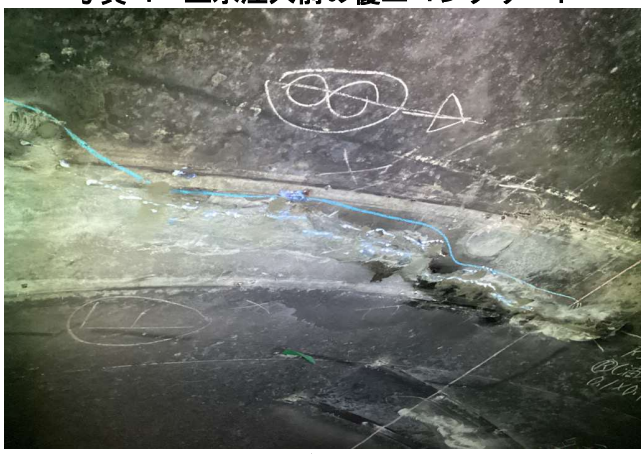


写真-2　止水注入後の覆工コンクリート

(2)内面補強工の品質確保

a)従来の内面補強工

一般的なトンネル覆工補強工では，目付量が 200g/m^2（**写真-3**）の 1 方向シートを縦・横方向に交差させ，2 サイクルで 2 層（200g/m^2×2 層=400g/m^2）貼付ける（**図-3**）．1 層ごとに樹脂を塗布し，シートを貼付ける必要がある．

b)2 方向炭素繊維シートによる品質確保

本工事の炭素繊維シートには，当社開発の「ワンバインドクロス」を採用した．本工法は，1 枚の炭素繊維シートで，従来工法と同等の縦・横 2 層分の目付量 400g/m^2 を確保できる（**写真-4**）．これにより，1 サイクルで 1 枚を貼付けるだけで，従来工法の 2 層分に相当する補強が可能である（**図-4**）．従来工法と比較して，1 層ごとの塗り重ねがないため，多湿環境下でのエポキシ樹脂の硬化不良に起因する層間の接着力不足が生じるリスクを低減し，内面補強工の品質確保に寄与する．

本工事では，ワンバインドクロスによる内面補強工を実施することで，炭素繊維シートの層間接着不良を抑制し，品質を確保した施工を実現している．



写真-3　従来工法の目付量

４．新技術を活用した施工効率化

(1) 背面空洞注入工の施工効率化

a) 矢板工法トンネル

竜ヶ森トンネルは，矢板工法により建設されたトンネルである．矢板工法では，鋼アーチ支保工や矢板の存在により，覆工コンクリートと地山との間に空洞が残存する場合があり（**図-5**），特にアーチ天端部ではコンクリートの充填不足により，空洞が生じやすい．これにより，地山反力が均等に作用せず，覆工コンクリートに局所的な荷重や曲げ応力が発生し，変状の要因となる場合がある．そのため，背面空洞を注入充填し，地山と覆工コンクリートを密着させることが重要である．

本工事では，設計時の調査により，覆工コンクリート背面に空洞が確認されたため，背面空洞注入が必要となった．

b) 設計時の背面空洞注入工

当初設計では，背面空洞注入工にエアモルタルおよび可塑状注入材を使用した注入方式が計画されていた．この計画では，一般的に市中のプラントで製造したモルタルをアジテーター車で搬入し，現地で起泡剤および可塑剤を添加して注入材を製造するため，施工設備が大掛かりとなる（**図-6**）．

しかし，本工事は供用中の高速道路の車線規制下での施工であるため，アジテーター車の入退場に伴う交通事故リスクがあった．また，狭隘な規制帯内で可塑剤サイロの設置・撤去作業を実施するため，供用車線の安全確保が必要となり，規制帯内作業に伴う安全上のリスクや施工手間が課題であった．さらに，大規模な施工設備を必要とすることから，主要工種である内面補強工との並行作業が困難であり，施工効率の低下が懸念された．加えて，現場周辺のプラントでは，夜間出荷に対応していないことも課題であった．

c) 背面空洞注入材の変更

上記課題を解決するため，背面空洞注入工には，当社が開発した「スペースパック工法」を採用した．本工法は，セメント系結合材と特殊増粘材の粉体系材料 2 種類を現地で混練し，注入材を製造できるため，従来工法と比較して施工設備を簡素化できる（**図-7**）．

本工法の採用により，アジテーター車の規制帯内への入退場が不要となり，交通事故リスクを低減できた．また，可塑剤サイロが不要となるとともに，材料は袋梱包（30kg/袋）され，当日使用数量を現地へ搬入することが可能となった結果，規制帯内作業が減少し，供用車線の安全を確保することができた（**写真-5**）．さらに，施工設備の簡素化により，主要工種である内面補強工との並

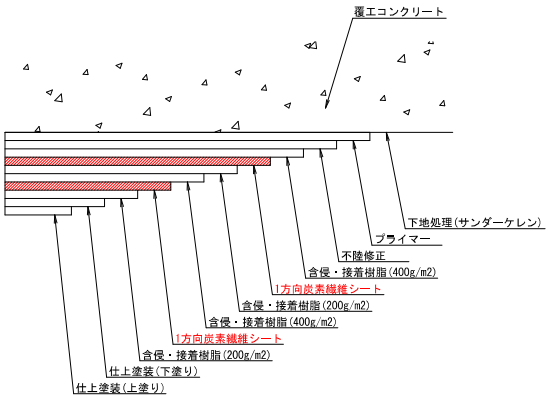


図-3　1 方向炭素繊維シートの構成（11 工程）

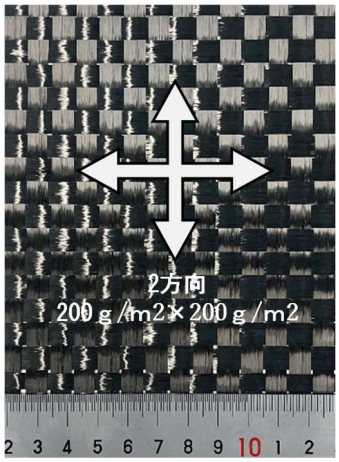


写真-4　ワンバインドクロスの目付量

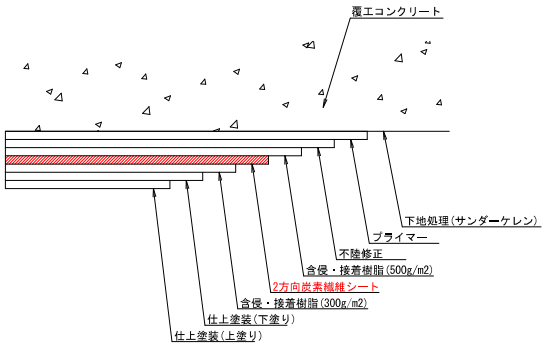


図-4　2 方向炭素繊維シートの構成（8 工程）



図-5　矢板工法トンネル断面イメージ図 [1)]

行施工が可能となり，施工効率の向上を図ることができた．加えて，プラントからのモルタル搬入が不要となり，夜間施工も可能となった．

本工事では，スペースパック工法による背面空洞注入を実施することで，安全性の向上と施工効率化を両立することができた．

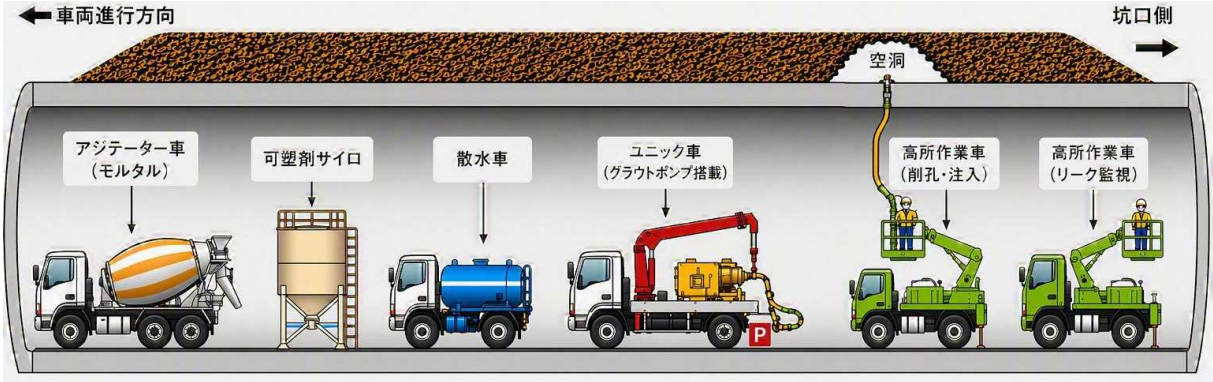


図-6　背面空洞注入時の車両配置例（当初設計）



図-7　背面空洞注入時の車両配置（スペースパック工法）





写真-5　スペースパック工法の施工状況

(2) 内面補強工の施工効率化

a) 従来の作業足場

内面補強工の足場には，高所作業車の使用が一般的であるが，作業床が 3m×1.5m と狭く，作業箇所に合わせて頻繁に移動しなければならず，移動や再設置に時間を要する．特に，連続繊維シート接着工法では，長尺シートを覆工コンクリートに貼付ける際に，作業員が狭い範囲でしか動けないため，作業効率が低下する．また，品質点検・確認用の高所作業車が，作業用の作業車と輻輳するため，品質管理者の移動が制限され，品質点検・確認作業の遅延による工程の逼迫や不良箇所の見逃しが発生するという課題もあった．

b) 新しい作業足場による施工効率化

本工事の内面補強工の作業足場には，当社で開発したトンネル 1 スパン分（10.5m）の半断面の足場を確保できるトラック積載型システム作業床「フラッププリフト」（**写真-6**）を採用した．フラッププリフトは，大型トラックに搭載して搬入し，トラック荷台上で足場を展開できる．トラックの荷台上に設置することで，速やかな足場の展開・格納や搬入・搬出が可能となり，さらに油圧装置により 3 段の足場を補修場所にあわせた最適な高さ・位置に調整できるため，作業効率が大幅に向上する．また，高所作業車では，作業床上には 2 名程度しか同乗して施工できなかったが，フラッププリフトでは 1 段あたり 3 人程度が同乗でき（**写真-7**），作業内容に応じた柔軟な人員配置が可能となる．これにより，広い足場上を移動しながら大面積を連続的に施工できるため，施工効率化にもつながる．さらに，品質管理者が作業足場上に同乗でき，施工に遅れることなく品質点検・確認作業を適時実施できる．

本工事では，内面補強工の作業足場にフラッププリフトを使用したことで，主要工種である内面補強工の施工効率化に寄与している．



写真-6　フラッププリフト全景

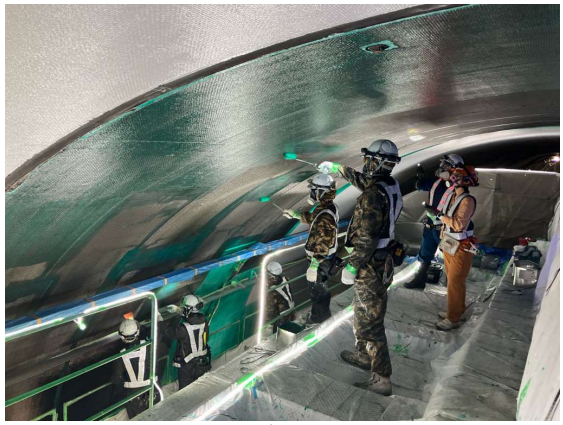


写真-7　フラッププリフト上での施工状況

c) ワンバインドクロスによる施工効率化

ワンバインドクロスの採用により，1 枚で 2 層分の目付量を確保できるため，シート貼付け工程を従来の 2 分の 1 に短縮し，内面補強工の工程を 11 工程から 8 工程に短縮できる（**図-3，4**）．また，シート幅を従来の 500mm から 1,000mm に大判化しているため，シート貼付けの作業回数も削減することができる．

本工事では，ワンバインドクロスによる内面補強工を実施することで，作業工程および作業回数を削減し，主要工種である内面補強工の施工効率化を実現している．

５．まとめ

本工事では，当社開発の複数の新技術を活用し，品質確保と施工効率化を図った．品質確保に関しては，ミクストグラウトにより覆工コンクリートからの漏水を止水することで，内面補強工に必要な乾燥環境を確保した．また，ワンバインドクロスを用いて，シート層間の接着不良のリスクを低減した．これらにより，内面補強工の品質を確保した．

施工効率化に関しては，スペースパック工法の適用により設備を簡素化し，背面空洞注入工と内面補強工の並行施工を可能とした．また，フラッププリフトとワンバインドクロスを併用することで，内面補強工の施工効率化を実現した．これらにより，供用中の高速道路におけるトンネル覆工補強工の施工効率化を実現した．

工事は約 2 年継続するが，高速道路サービスの維持を第一に，各種新技術の活用により品質を確保しながら施工効率化を図り，規制期間の最小化に努めていく．今後，社会的要請がさらに高まるリニューアル工事において，本工事で得られた知見が，同種工事の品質向上および施工効率化の一助となれば幸いである．

参考文献

1) 秋野禎木．“旧函館本線神居古潭トンネル群～難工事克服した技術者の「記念碑」”．草野作工株式会社．2022-8-19. https://www.kusanosk.co.jp/trivia/huukei/tunnel/13654, (参照　2026-06-23)