

# 山岳トンネル覆工更新工法の開発

## How to Renew the Lining of Mountain Tunnel

阪口 治 <sup>*1</sup> Osamu Sakaguchi	森山 祐三 <sup>*1</sup> Yuzo Moriyama	寺西 雅紀 <sup>*1</sup> Masanori Teranishi
北野 敬太 <sup>*1</sup> Keita Kitano	前田 聖士 <sup>*2</sup> Seiji Maeda	縁田 正美 <sup>*3</sup> Masami Enda

### 要旨

本報告は、老朽化したトンネルの覆工コンクリートをリニューアルするために開発した新工法（Re ライニング工法）に関するものである。老朽化で生じた覆工コンクリートのひび割れ、はく離・はく落、あるいは漏水などの不具合箇所を切削除去し、切削箇所新たにコンクリートを打設して覆工コンクリートを再構築する。また、切削後に防水シートを敷設することで、従来の矢板工法で建設されたトンネルを、防水機能を有したトンネルとしてリニューアルすることが可能である。施工時は、一般車両が通行する車線をプロテクタで防護し、1車線の通行を確保しながら覆工コンクリートの打替えや補強を安全かつ高速で施工する。本工法について、概要と切削実証試験の結果を報告する。本開発は、国立研究開発法人 土木研究所との共同開発である。

キーワード：覆工コンクリート リニューアル 切削 活線下

## 1. はじめに

我が国の社会資本ストックは、高度経済成長期などに集中的に整備されたため、建設後 50 年以上経過する施設の割合が急速に増加し、老朽化することが懸念される。山岳トンネルの施設も同様で、これらの老朽化したトンネルでは、覆工コンクリートの経年劣化によるひび割れ、はく離・はく落、あるいは漏水などが発生して、供用性や耐久性が確保できない可能性がある。

今回開発した覆工コンクリート活線下切削・内巻工法「Re ライニング工法」は、経年劣化した道路トンネルにおいて、老朽化した覆工コンクリートを一般車が通行可能な活線下で、打替えや補強を安全かつ高速で施工できる方法である。この工法を用いて、NATM で建設されたトンネルは、劣化した

表面部を切削除去し、切削箇所に新たに覆工コンクリートを再構築して、リニューアルする。また、矢板工法で建設されたトンネルは、現行の NATM の標準覆工厚さである 30cm 分を切削し、切削面に防水シートを敷設した後に、新たにコンクリート打設して、防水機能を有したトンネルとしてリニューアルする。

## 2. 工法の概要

Re ライニング工法は、連続した防護プロテクタの延長内で作業を行うことを基本とし、経年劣化したコンクリートを切削除去し、切削箇所に新たなコンクリートによる内巻覆工を行う。図 1 に全体概要を示す。まず、切削と内巻覆工を安全に実施するため、作業に必要な範囲を移動式の防

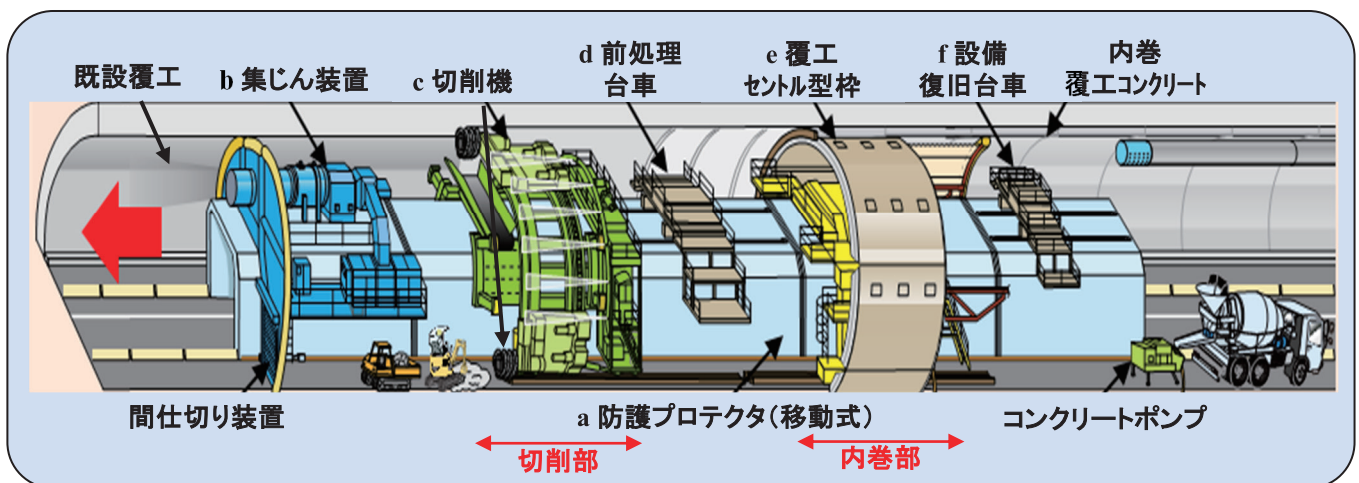


図 1 覆工コンクリート活線下切削・内巻工法の全体概要

\*1 技術本部 土木技術部

\*2 技術本部 技術企画部

\*3 東北支店 土木部

護プロテクタ（図中 a）で防護して、供用線 1 車線を確保する。防護プロテクタの前方部で、切削機（図中 c）2 台を搭載した台車を、防護プロテクタを跨いで配置し、既設覆工コンクリートを 15～30cm の厚さで切削・除去する。切削時に発生する粉じんを集じん装置（図中 b）で除去する。なお、使用する切削機は、鉄筋の切断・除去ができないため、有筋区間の覆工コンクリートは本工法の対象外としている。

防護プロテクタ後方部では、前処理台車（図中 d）を使用して既設と新設のコンクリートの一体化を図るときのジベル筋打設<sup>1)</sup>や漏水防止のための防水シート敷設を行う。その後方で、防護プロテクタを跨いだ状態で配置した覆工セントル型枠（図中 e）を用いて厚さ 15～30cm の内巻覆工を全断面で打設する。打設するコンクリートは、約 3 日の養生で設計強度を発現するものを使用する。養生後、設備復旧台車（図中 f）を使用して坑内設備を復旧する。

### 3. 工法の特徴

本工法は、覆工コンクリートを改築するための新たな工法であり、設備、既設トンネルの機能、施工工程などの特徴を有している。以下にそれらの特徴を示す。

#### 3.1 使用する設備に関する特徴

防護プロテクタを移動式とし、改築工事の影響範囲に限定して車線を防護することにより、トンネル全線をプロテクタで防護する場合に比べてコストを削減することができる。

使用する設備のうち、切削機や覆工セントル型枠は、防護プロテクタと分離した構造としているので、施工時に通行止めが可能であり防護プロテクタを用いない場合でも、これらの設備を単独で使用して施工ができる。

#### 3.2 トンネルの機能に関する特徴

既設覆工コンクリートを切削して内巻することにより、内空断面を縮小せず建築限界を確保できる。切削後には、導水材、防水シートの敷設による湧水対策、ロックボルトの打設による地山補強、鉄筋付加による内巻覆工の補強を行うことができる。

また、新設覆工を高強度コンクリートやプレキャスト製品に置き換えることにより、内空断面を従前よりも拡大することができる。

#### 3.3 施工工程に関する特徴

内巻覆工コンクリートは、2 日で 1 回（L=5.25m）の打設を計画している。既設覆工の切削は、十分な切削速度を有

しているため、打設の進捗に合わせて行う。既設覆工の 1 スパン当たりの標準長さである 10.5m を 4 日で完了する計画である。

## 4. 工法の適用条件

本工法は、活線下で老朽化した覆工コンクリートの更新を目的とし、覆工部のみを改築する工法である。坑内に専用の大型設備を設置し、既設トンネルの覆工コンクリートを切削・除去するため、力学的条件、断面形状や線形条件、安全を担保するための条件がある。以下に本工法を適用するための条件を示す。

### 4.1 既設覆工コンクリート切削時の条件

既設トンネルが NATM・矢板工法を問わず、外力の作用による変状が発生していないトンネルに適用できる。改築対象とするトンネルに外力が作用して変状し、力学的補強が必要とされる場合には、別途対策設計が必要となる。また、切削から新たに打設した覆工コンクリートの設計強度発現までの期間に、構造の安定性を確保するため、以下の条件を満たす必要がある。

- ① NATM で施工されたトンネルでは、覆工を厚み 15cm（新設コンクリートの耐荷性能が既設覆工厚さ 30cm と同等以上となる厚さ）程度切削しても、残置される既設覆工が十分に自立し、過大な変位が生じないこと。
- ② 矢板工法で施工されたトンネルでは、覆工を 30cm（標準的な NATM の覆工厚さ）程度切削しても、残置される既設覆工が十分に自立し、過大な変位が生じないこと。

これらの条件に関連して、本工法の施工時にトンネルの安定性を確保する上で支障となる背面空洞や大規模な施工目地、有害なひび割れなどは、事前に補強対策を実施しておく必要がある。

### 4.2 既設トンネルの断面規模

本工法が適用可能な既設トンネルの内空断面の形状寸法は、一般車両が通行可能な防護プロテクタと各施工機械の形状寸法や可動範囲から決められる。表 1 にプロテクタ内の高さとして、道路構造令第 12 条で示された建築限界 4.5m と、やむを得ない場合（第 3 種第 5 級、第 4 種第 4 級）の 4.0m の 2 例における既設トンネルの適用断面寸法を示す。既設トンネルの構造（NATM と矢板工法）によって切削と内巻覆工の厚さが違うため、対象となる断面半径が異なる。また、防護プロテクタの寸法については、道路管理者との協議によるが、プロテクタ肩部と既設覆工面の離隔距離を切削機が通過可能な 1,500mm 程度以上確保する必要がある。

表 1 適用可能な既設トンネルの断面寸法

既設トンネルの構造	プロテクタ内の高さ	上半断面半径
NATM	4.5m	5.3~5.9m
	4.0m	4.8~5.9m
矢板工法	4.5m	4.95~5.6m
	4.0m	4.7~5.6m

### 4.3 トンネル延長、線形、勾配

本工法は、無筋の既設覆工コンクリート区間に適用でき、そのトンネル延長に制限はないが、対象区間の前後に、防護プロテクタを設置するのに必要な 50m 程度のスペースが必要である。また、トンネル延長が長い場合、切削くずの搬出や覆工資材等の搬入に時間を要するため、経済性の観点から 3,000m 程度以下のトンネルへの適用を推奨する。

適用できるトンネル平面線形、縦断勾配、および横断勾配については、防護プロテクタの分割や、各施工機械に対応機能を付加することにより適用範囲を拡大することが可能であるが、現時点では施工限界を以下のように設定している。

- ・トンネル平面線形：最小曲率半径 R=300m 以上
- ・トンネル縦断勾配：勾配  $i_1=\pm 3\%$ 程度以下
- ・トンネル（舗装面）横断勾配：勾配  $i_2=\pm 3\%$ 程度以下

### 4.4 その他の施工条件

前述以外に、通行規制や作業用地について、以下のような条件が挙げられる。これらの条件については、道路管理者、警察、地元地域他関係者との十分な協議・調整が必要である。

- ・交互通行や制限速度などの通行規制が行えること。
- ・夜間の防護プロテクタ移動時に、一時的に全面通行止めができること。
- ・坑口部に機械組立てに必要な敷地が確保できること。

## 5. 事前の安全性確認手法（調査・解析）

本工法を採用するに当たっては、事前に施工箇所の調査を行い、補修や補強が必要となる場合は、切削前に実施しておく必要がある。また、既設の覆工コンクリートを切削するため、切削後の安全性を解析などの手法を用いて検討

しておく必要がある。

### 5.1 事前調査と補強対策

事前調査として、覆工表面の変状の状況とその要因、漏水、覆工巻厚および覆工背面空洞の有無、有筋区間の範囲の確定などがあり、これらを把握することにより、本工法の適用範囲および事前の対策工の必要性を判断する。表 2 に事前調査の項目と内容および方法を示す。

#### 5.1.1 補強対策工

事前調査の結果、切削前に補強対策が必要となった場合の対策工の例を以下に示す。

##### (1) 補強ロックボルト工

外力によるコンクリートの曲げ圧縮破壊（圧ざ）、進行性のせん断ひび割れは、膨張性土圧や偏土圧等の過大な外力に起因してトンネルに発生する変状である。このような変状がある場合、補強ロックボルトを覆工コンクリート表面から地山に設置し、覆工を周辺地山と一体化させることにより、トンネルの変状の進行を抑制する。また、切削時の覆工コンクリートの不安定化を防止する。

##### (2) 裏込め注入工

空洞部では、覆工による周辺地山の保持ができないため、地山の緩みや抜け落ちが発生する可能性がある。特に覆工巻厚が十分でないと、覆工コンクリート切削時にトンネルの安定性が損なわれる可能性がある。地山と覆工背面の空洞に注入材を充填し、空洞部での地山の緩み、抜け落ちを防止して、本工法施工時の安定性を確保する。

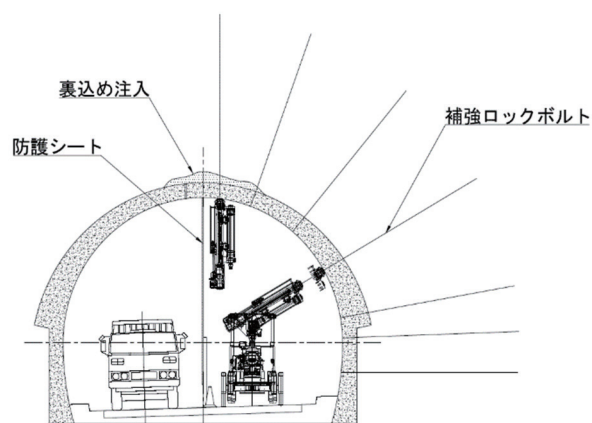


図 2 事前補強対策工の概要

表 2 事前調査の実施項目

項目	内容	方法
ひび割れ調査	圧ざ、進行性ひび割れの有無・状態	目視確認
漏水調査	漏水の有無・状態	目視確認
背面空洞調査	覆工巻厚不足および背面空洞の有無・大きさ	レーダ探査
有筋区間調査	有筋区間の把握	レーダ探査

裏込め注入工の実施に先立ち、電磁波レーダによる非破壊探査等によって、覆工背面の空洞の大きさと覆工コンクリートの巻厚を十分に調査する。覆工コンクリートの巻厚が不足している箇所では、注入圧の負荷を低減させるため、注入孔の間隔を密にするなどの配慮が必要である。図2に事前補強対策工の概要を示す。

### 5.1.2 漏水対策工

切削前に既設覆工コンクリート表面に漏水がある場合には、切削後に漏水対策工を行う。

トンネルの漏水は通常、横断目地、水平打継ぎ目やひび割れに沿った線状の漏水の場合が多い。覆工コンクリート切削面に発生した漏水は、導水材により排水溝に導水する。導水材の設置は切削面にコンクリート釘等で固定するだけの簡易な工法のため、出水時の即応性が高く、また、導水材を並列設置することで面状に導水することもできる。

ただし、既設トンネルが矢板工法の場合、NATMと同等の防水機能を付加するため、防水シートを敷設する。

## 5.2 覆工再構築時の安全性確認（数値解析）

切削後の安全性を確認するために行った数値解析の事例を以下に示す。

### 5.2.1 設計・施工上の留意点

覆工の一部を切削して内空を確保し、新たに覆工を構築する更新技術においては、設計・施工の段階において、主に以下の点に留意する必要がある。

- ・既設覆工の切削後、新設の覆工打設までの間には、残置される既設覆工のみとなる期間が存在する。そのため、事前調査において既設覆工の変状や強度等について確認を行った上で、切削後に残置される既設覆工の構造の安定性について検討し、必要に応じて補強対策工や新設の覆工構造を検討する必要がある。
- ・既設覆工の切削に伴い、周辺の覆工に対する影響の範囲について確認を行い、防護プロテクタの設置延長や対策の必要性等について検討を行う必要がある。
- ・既設覆工を切削することにより、既設覆工応力の増加や変位が発生するが、新設覆工の打設にあたっては、これらの収束状況を確認した上で行う必要がある。

### 5.2.2 数値解析による安定性等の確認事例<sup>2)</sup>

本工法により既設覆工を切削する場合に、残置する既設覆工コンクリートの安定や、切削によって生じる周辺の覆工コンクリートへの影響等に関して、3次元数値解析を行った結果を一例として記載する。

(解析条件)

- ①既設覆工の厚さは60cmとし、切削厚さは30cmとした。

- ②地山等級をDI相当と想定した弾性解析とし、地山や既設覆工の物性値は一般的なものをを用いた。既設覆工は、初期応力として地山からの荷重を分担していると仮定し、全延長の掘削と同時に全延長の覆工を設置する。

- ③モデル延長は200mとし、既設覆工はモデル中央部の約150m区間を1スパン(5.24m)ずつ順次切削する。(解析結果)

- ①切削後に残置される既設覆工の表面付近における初期応力はおおむねトンネル全周にわたって一定に近い分布を示しており、最大で約8.5N/mm<sup>2</sup>の応力となった。

- ②既設覆工の表面を切削することにより、残置される既設覆工の表面付近における応力は、トンネル全周にわたって増加する。その値はSL部付近で最も大きくなり、約16.9N/mm<sup>2</sup>となった。

- ③初期応力に対する増加比率は、天端部で約1.5倍、SL部で約2.0倍、脚部で約2.5倍となり、脚部が最も大きくなった。

- ④図3に切削による覆工のトンネル縦断方向の応力分布を示す。切削による影響範囲は、切削済み範囲の端部から5m程度未満と小さく、切削スパンと隣接するスパンへの影響もほとんど見られなかった。本解析において最低限必要なプロテクタ延長は、残置された覆工のみとなる区間26.25m(5.25m×5スパン)と新設覆工が18N/mm<sup>2</sup>に達するまでの区間10.5m(5.25m×2スパン)の合計36.75m程度と想定される。また、仮に既設覆工のスパン長を10.5mと想定し、余裕代として加えた場合においても合計47.25mとなり、本工法で想定しているプロテクタ長以内に収まる結果となった。

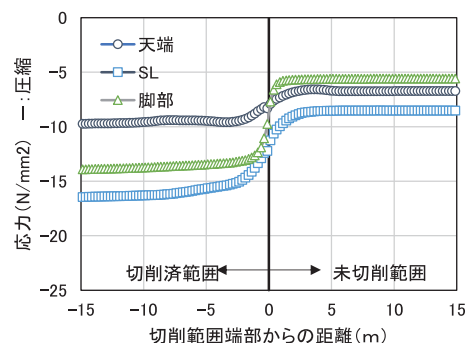


図3 応力の縦断方向分布

- ⑤図4、図5に各ステップにおける応力、変位量の推移を示す。既設覆工の切削後、残置される既設覆工の応力や変位は、切削を進めるとやや増加するが、3スパン程度施工を進めた時点で収束する結果となった。そのため、新設の覆工を打設する時点では、応力や変位の増加は収

束していることが期待される。

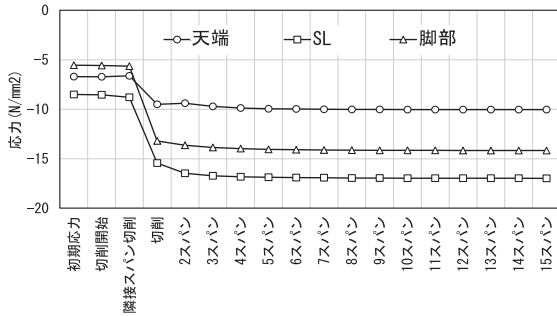


図4 各ステップにおける応力

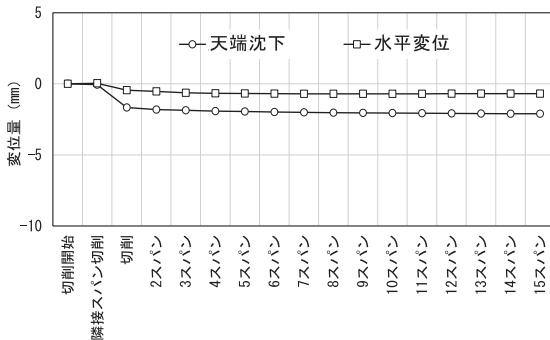


図5 各ステップにおける変位量

⑥新設覆工に発生する応力は、最大で  $0.15\text{N/mm}^2$  程度の圧縮応力であり、コンクリートの圧縮強度と比較して非常に小さい値となる。

なお、これらの結果は、限られた条件下における一例であるため、実際の適用にあたっては、事前調査により地山条件や既設覆工の状況等を把握した上で再度検討を行い、切削後に残置される既設覆工の安定性を確認するとともに、必要に応じて事前補強や覆工構造の検討等を行う必要がある。

## 6. 施工方法

施工時のフローを図6に示す。既設トンネルの構造がNATMと矢板工法の場合で、一部施工法が異なる。

### 6.1 既設トンネルがNATMの場合

以下に施工手順を示す。

- ①点検記録により、有筋区間、覆工巻厚15cm以下の区間を確認する。これらの区間は、別途対策が必要となる。
- ②支障物を事前に撤去する。
- ③施工位置に切削機械を設置する。
- ④覆工表面から15cmの厚みで、覆工コンクリートを切削する（昼間の標準施工延長： $L=2.625\text{m/日}$ ）。

- ⑤切削後の安定性を内空変位測定で確認する。
- ⑥切削面の洗浄（湿潤）を行う（②～⑥繰り返し）。
- ⑦既設覆工と内巻覆工を一体化する目的で、ジベル筋（金属系アンカー）を打設する。（1本/ $\text{m}^2$ 以上）
- ⑧覆工セントル型枠（延長： $L=5.25\text{m}$ ）を設置し、覆工コンクリートを打設する。
- ⑨コンクリートは基本的に夜間に養生する（養生時間は14時間～16時間程度）。
- ⑩プロテクタによる防護を解放する前の覆工部の発現強度、変位を確認する。
- ⑪夜間のコンクリート養生中にプロテクタを前進移動する（移動距離： $L=5.25\text{m}$ 、1時間程度の全面通行止め）
- ⑫覆工セントル型枠を脱枠する（脱枠強度： $3\text{N/mm}^2$ 程度以上）。
- ⑬覆工セントルを移動、自動ケレン、はく離剤塗布を行う（⑦～⑫繰り返し）。

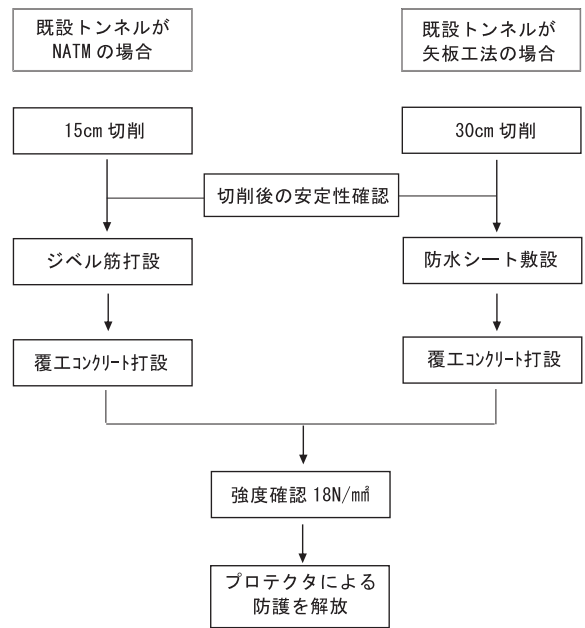


図6 施工フロー

### 6.2 既設トンネルが矢板工法の場合

以下に施工手順を示す。①から③、⑧から⑫は、NATMと同様の手順である。

- ④覆工表面から30cmの厚みで、覆工コンクリートを切削する（昼間の標準施工延長  $L=2.625\text{m/日}$ ）。
- ⑤切削後の安定性を内空変位測定で確認する。
- ⑥切削面を高圧のエアで洗浄する（②～⑥繰り返し）。
- ⑦切削面に防水シートを敷設する。

## 7. コンクリート切削試験

本工法の主要技術である覆工コンクリートを切削する技術について、実現可能であるかを実証するために、切削試験を行った。切削試験では、新たに製作した切削ドラムを用いて、模擬コンクリートを切削し、切削性能の検証（切削能力、切削出来形、振動や骨材等の飛び跳ね）を行って実機設計に繋げることを目的とした。また、切削時の粉じん発生量や粒径の状態を観測し、集じん機の性能の検証およびダスト回収システムの設計に繋げる。試験は、大阪本店岸和田機材センターで行った。

### 7.1 試験に用いた機械

試験用切削機のベースとしてカヤバシステムマシナリー(株)製の MM-90、集じん機として(株)流機エンジニアリング製の CF-500 を使用した。各機械仕様を表 3 に示す。

表 3 切削試験に用いた機械の仕様

MM-90 仕様 (切削機)	
カッター電動機出力	90kW (AC400V)
カッター回転数	43r.p.m (60Hz 時)
カッター押付力	60kN
カッターヘッド形状	ドラム型 (φ900 × L500)
ビット本数	54 本
ビット形状	ラウンド型、平型ビット
CF-500 仕様 (集じん機)	
処理風量	500m <sup>3</sup> /min
清浄度	0.1mg/m <sup>3</sup> 以下
フィルタ精度	0.15 μm × 99.95%
ファン動力	45kW (AC400V)

### 7.2 試験方法

試験は、覆工コンクリートに見立てたコンクリート供試体を作成し、切削ドラムによってコンクリートの切削が可能かを検証した。ドラムに配置する切削用ビットは平ビット (DRAGON TOOTH BFR08) と丸ビット (ROUND SYANK CUTTER BITS BTK70) の 2 種類を用いて試験を行い、有効性を検証した。ドラムの回転と移動に用いる動力として、トンネル用掘削機 (MM-90) を用いた。試験装置の配置状況を写真 1 に示す。

### 7.3 試験結果

対象とする覆工コンクリートの強度を一軸圧縮強度で 24N/mm<sup>2</sup> と想定し、切削試験を行った。切削状況を写真 2 に示す。試験では、切削性能の他、切削後のコンクリート出来形、切削時の作業環境に関する事項などを計測した。

試験結果について、以下に取りまとめる。

#### 7.3.1 切削機に関する試験結果

切削時の振動・カッター電流値・カッター押付力は、丸ビットが平ビットより大きな値であった。

切削ドラムのコンクリートへの押付力は、自由断面掘削機 90kW (MM-90) クラスの押付力と比較して小さい力で切



写真 2 切削状況



写真 1 切削実証試験装置の配置状況

削ることができた。

電動機容量 90kw は実機で想定してるドラム長 1000mm (実証実験切削幅 500mm の 2 倍) になっても十分に対応できる範囲であった (定格電流は 150A に対し、約 80A 程度)。切削能力については、ビット形状、切削厚、切削速度を変えて実施した各切削試験において、切削能力の値にばらつきが見られた。しかし、いずれの場合でも小負荷で切削が可能であり、実機の動力検討においては現計画の 90kW で十分な能力があると考えられる。

ビットの摩耗・損傷については、平ビット、丸ビット共に、特に先端部付近に配置したビットに摩耗が見られた。平ビットの摩耗は、取付け角度 (取付方法) に起因するものと考えられ、今後、取付け方法や配置の改良検討が必要である。ビットの耐久性については、総切削数量が少ないため、ドラム先端部以外のビットには顕著な摩耗や損耗は見られなかった。

切削中の等価騒音レベルは機側 1m で 90~92db であった。ブレーカ工法に比較すると大幅に小さな値であることが実証された。

### 7.3.2 出来形、切削くずに関する試験結果

切削面は、骨材を含め比較的平坦な仕上がりとなっていた。しかし、ビットが通過することによりコンクリート表面を削り取るため、ビット取り付け間隔でコンクリート表面に凹凸が生じた。凹凸は、平ビット、丸ビット共に縦方向 (切削筋方向)、横方向 (切削筋と直行方向) とともに 8~11mm 程度であり、当初想定していた 15mm を十分に満足していた。切削面の状況を写真 3 に、切削面の形状測定結果を図 7 に示す。

切削くずは、平ビットの方が丸ビットよりも粒度が細かい傾向にあった。大きさは、両ビット共に最大で 60mm 程度となっており、ブレーカ工法や通常の機械掘削機に比較しても小さい。切削くず中にはおおむね 5mm 程度以下の微粒子、細粒子が多く含まれていた。そのため、切削くずの搬出方法については回収効率や防じんの観点から適切な方法を検討する必要がある。

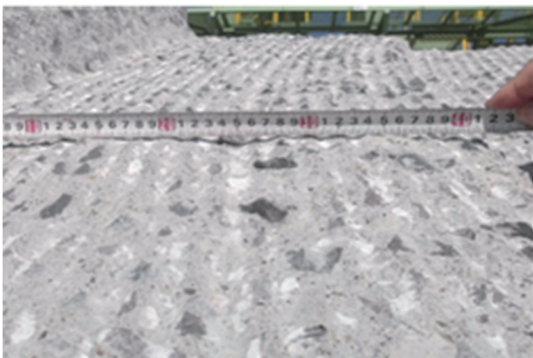


写真3 コンクリートの切削面

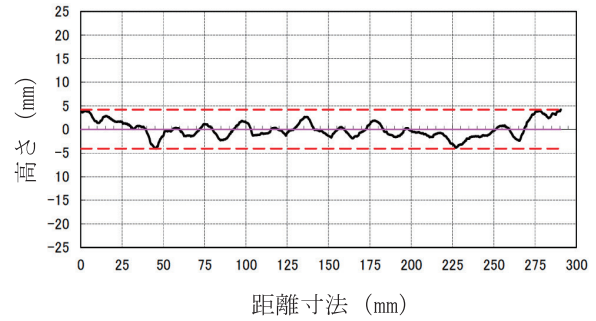


図7 コンクリートの切削面の形状

### 7.3.3 集じん回収に関する試験結果

切削により発生した粉じんを集じん機で回収して、量を測定した結果、コンクリート 1m<sup>3</sup> 当たり 5.78~9.83kg/m<sup>3</sup> であった。1 スパン 5.25m 当たりの予想回収量としては、切込み深さ 15cm では 78~110kg/スパンとなり、切込み深さが 30cm では 178~251kg/スパンとなる。今回の試験結果から 1 スパンの切削で回収される粉じん量は、集じん機で貯留可能な数量の半分程度であるが、1 スパンごとに切削くずを搬出する施工サイクルで計画しているため、切削くずと同時に搬出することとする。

### 7.3.4 強度低下を想定した切削試験結果

老朽化したコンクリートは、強度が著しく低下してる可能性がある。そのため、コンクリート強度が十分発現する前の若材齢 (一軸圧縮強度 12.3 N/mm<sup>2</sup>) で同様の切削試験を行った。その結果、写真 4 に示すように、強度発現後の供試体の切削面にはほとんど見られない粗骨材の脱落が多く確認された。これは、切削ビットが粗骨材を切削する時、粗骨材の表面付着力が切削力に耐えられなくなり脱落したものと考えられる。コンクリートの劣化により強度が低下した時にも同様な事象が起ると考えられる。

切削面の凹凸は強度が発現したコンクリートの場合と大差はなかった。



写真4 若材齢コンクリートの切削面

### 7.3.5 切削面のマイクロクラック調査結果

切削後に残ったコンクリートの健全性を調査するため、マイクロクラック調査を行った。切削後の供試体から直径100mmのコアを採取し、コアの切削面に蛍光剤を混合したエポキシ樹脂を加圧含浸させ、樹脂が硬化した後、割裂状態に切断し、暗室でブラックライトを照射して蛍光するひび割れの分布および深さを測定した。測定時の状況を写真5に示す。調査の結果、顕著なマイクロクラックがほとんど見られず、長さ5mm未満のクラックが1箇所確認されたのみであった。



写真5 マイクロクラック測定状況

### 7.4 切削試験のまとめ

今回の試験では覆工コンクリートに見立てた供試体を新たに製作した切削ドラムを用いて切削し、機械性能やコンクリートの切削状況、出来形などを測定して実際に施工が可能であることを実証した。

得られた知見を以下に述べる。

- ①切削機動力は、実用機でも90kW級/台で対応が可能と考えられる。
- ②コンクリートに与える影響（振動、衝撃）は、平ビットの方が丸ビットよりも小さい。
- ③切削後の切削面形状は、目標面からおおよそ0～15mm以

内の凹凸精度で切削が可能である。また、コンクリートの強度が低い場合は骨材を切削することができずに脱落することがある。

- ④切削くずの搬出方法については、切削くずの形状や性状を考慮した方法を検討する必要がある。
- ⑤集じん機で吸引回収した粉じんの排出方法について、自動排出や防じん対策を考慮する必要がある。
- ⑥切削面のマイクロクラック調査において、平ビット、丸ビット共に支障となるマイクロクラックは観察されなかった。

## 8. おわりに

本開発は、トンネルの覆工コンクリートの老朽化に対して、通行止めを行わないで大規模な修繕を可能にする画期的な工法である。今回の開発では、さまざまな技術を持ち寄る必要があるため、切削機を担当するカヤバシステムマシナリー㈱、プロテクタ、覆工型枠を担当する岐阜工業㈱、集じんや送風を担当する㈱流機エンジニアリングが共同で開発を開始した。開発途中からは、国立研究開発法人土木研究所が募集した「トンネルの更新技術に関する共同研究」の中で土木研究所とも共同で開発を行ってきた。今回の開発は、「既設2車線道路トンネルの覆工部の改築方法」として特許が成立している。土木研究所との共同研究が終了することから、技術研究報告として取りまとめるが、今後実施工に向けて解決すべき課題が残っている。さらに開発を進めて工法を確立することを目指している。

### 参考文献

- 1) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社：設計要領第三集トンネル保全編(2)トンネル本体工、pp. 4-35、2020
- 2) 長谷川慶彦、日下敦、巽義知、阪口治、縁田正美：既設トンネル覆工切削時における切削延長の影響に関する解析的検討、土木学会第75回年次学術講演会、VI、pp. 26-27、2020.9