

山岳トンネル覆工更新工法「Reライニング工法」の開発

(株)鴻池組 正会員 ○北野 敬太
(株)鴻池組 正会員 阪口 治 森山 祐三
(株)鴻池組 正会員 寺西 雅紀 正会員 前田 聖士
(株)鴻池組 正会員 縁田 正美

1. はじめに

山岳トンネルの施設は、建設後 50 年以上経過する割合が増加し、覆工コンクリートの経年劣化等によるひび割れ、はく離・はく落、あるいは漏水などが発生して、供用性や耐久性の低下が懸念されている。山岳トンネルの補修等の維持管理工事は一般的に通行止め、または片側通行による交通規制を行った上で、実施される。しかし、通行止めを実施した際に迂回路の設定が難しい場合や片側通行ができるほど断面積が大きくない場合には、施工が困難になる。そこで、道路トンネルの劣化した覆工コンクリートに対して一般車が通行可能な活線下で、切削及び切削箇所を打直し（内巻）を安全かつ高速で施工できる「Reライニング工法」を（国研）土木研究所、（株）鴻池組、岐阜工業（株）、および流機エンジニアリング（株）が共同で開発した。この工法を用いて劣化した覆工コンクリートの表面を切削除去し、切削した箇所に新たなコンクリートを再構築する。また、矢板工法で建設されたトンネルでは、切削後に防水シートを敷設して、防水機能を付与することが可能である。本工法について、概要と切削実証試験の結果について報告する。

2. Reライニング工法の概要

(1) 工法の設備構成

本工法の設備構成について以下に記し、**図-1** に設備概要を示す。

- ① 防護プロテクタ：切削・内巻覆工を安全に実施するため、作業区間を移動式の連続したプロテクタで防護し、一般車両が通行する供用線 1 車線を確保する。延長は、施工に必要な長さで打設した内巻覆工コンクリートが設計強度を発現するまでの間に防護が必要な長さの合計とする。
- ② 集じん装置：既設覆工の切削時に発生する粉じんを集じん装置で収集・除去する。
- ③ 切削機：台車に搭載された 2 台の切削機で、劣化した既設覆工コンクリートを 15～30cm の厚さで切削・除去する。切削台車は門型構造で、敷設されたレール上を独立して前後移動する。
- ④ 前処理台車：主に漏水防止のための防水シート施工、導水処理を行う。

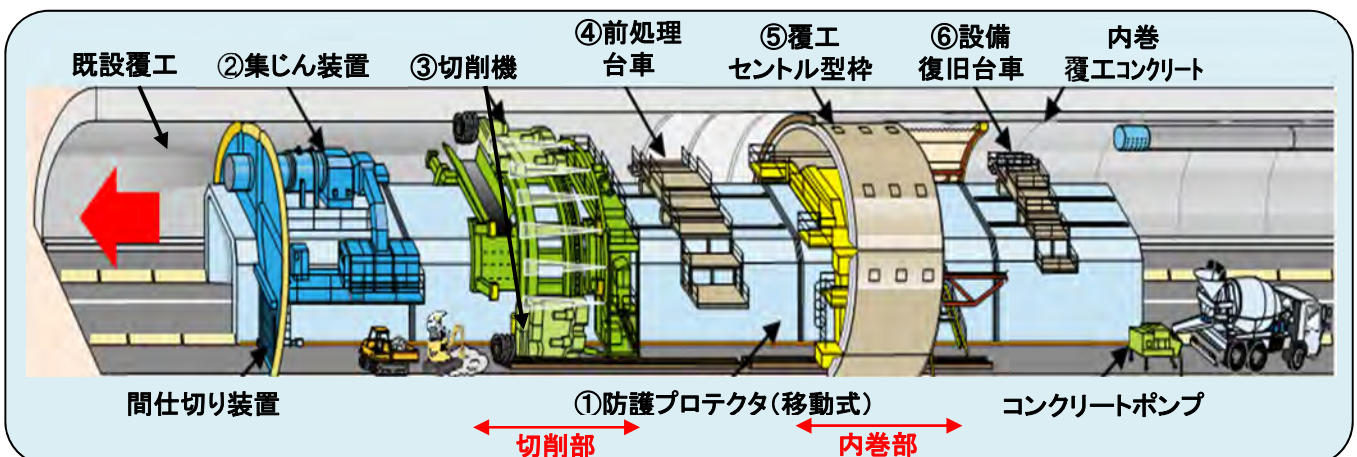


図-1 覆工コンクリート活線下切削・内巻工法の設備概要図

キーワード 覆工コンクリート、リニューアル、切削、活線下

連絡先 〒541-0057 大阪府大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 株式会社 鴻池組 土木技術部 TEL06-6245-6568

- ⑤覆工セントル型枠：覆工セントル型枠を用いて、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。
- ⑥設備復旧台車：打設したコンクリートを養生後、坑内設備の復旧を行う。

(2) 工法の特徴

本工法の主な特徴を以下に示す。

- ・プロテクタを用いて改築実施範囲を防護することで、一般車を通行させた状態で覆工の改築ができる。
- ・移動式のプロテクタを使用しているため、トンネル全線をプロテクタで防護する必要はない。
- ・既設覆工コンクリートを切削してから内巻するため、内空断面を縮小することなく、建築限界を確保できる。
- ・切削後から内巻施工までの間に、防水シート施工や導水処理による湧水対策を行うことができる。
- ・内巻覆工コンクリートは、2 日で 1 回 (L=5.25m) の打設を計画しており、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。

(3) 工法の適用条件

本工法を適用するにあたって、力学的、断面形状や線形、安全を担保するための各条件を以下に示す。

a) 既設覆工コンクリート切削時の条件

本工法は、既設トンネルのうち、外力の作用による変状が発生していないトンネルへの適用を想定している。また、切削時、NATM では 15cm、矢板工法では 30cm の厚みで既設覆工コンクリートを一時的に除去するため、残置されたコンクリートが自立し、過大な変形が生じないことが条件となる。したがって、改築対象のトンネルに外力が作用して変状がある場合、別途対策設計が必要となる。

b) 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の大きさ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、トンネルの構造別に適用可能な内空断面寸法を、図-2 に NATM トンネルの場合の適用断面を示す。

c) 有筋区間の取り扱い

本工法で使用する切削機は鉄筋の切断・除去ができないため、適用対象は無筋の既設覆工コンクリート区間となる。

d) トンネル延長、線形、勾配

本工法の適用対象となるトンネルは、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ために必要な 50m 程度のスペースが必要である。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、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 $i_2 = \pm 3\%$ 程度以下

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

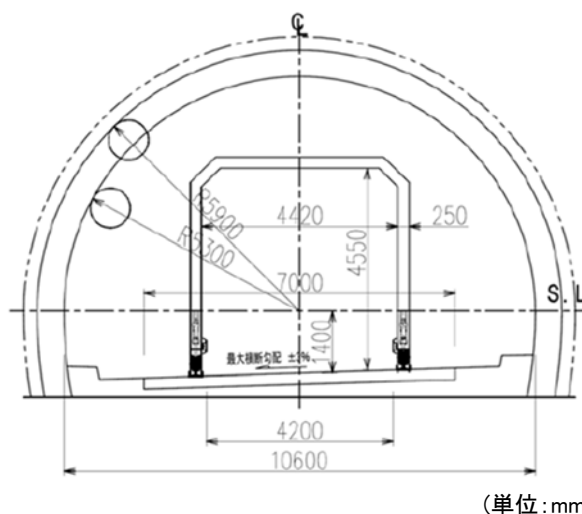


図-2 NATM トンネルの適用断面規模 (R=5.3～5.9m)

3. コンクリート切削工の施工方法

本工法の主要な工程である既設覆工コンクリート切削工の施工方法について以下に示す。

(1) 使用機械

図-3 に実施工で使用を計画しているコンクリート切削機の外形図（案）を示す。

切削機は、切削時の振動や衝撃を他の設備に伝達しないよう、プロテクタに接触せず跨ぐ構造としている。1 台の切削装置台車に切削機を 2 台搭載し、覆工コンクリートの形状に沿ったガイドレール上を周方向に移動しながら切削を行う。切削機の幅は 1.0m であり、1 切削で 1.0m の幅のコンクリートを一度に切削する。切削時に発生する反力に対しては、覆工表面に対して押さえつけた複数の反力受け装置（グリッパ）で力を分散して、1 箇所あたりにかかる反力の軽減を図る。また、切削機が移動することによって、力の向きが変化していくことに対応する。

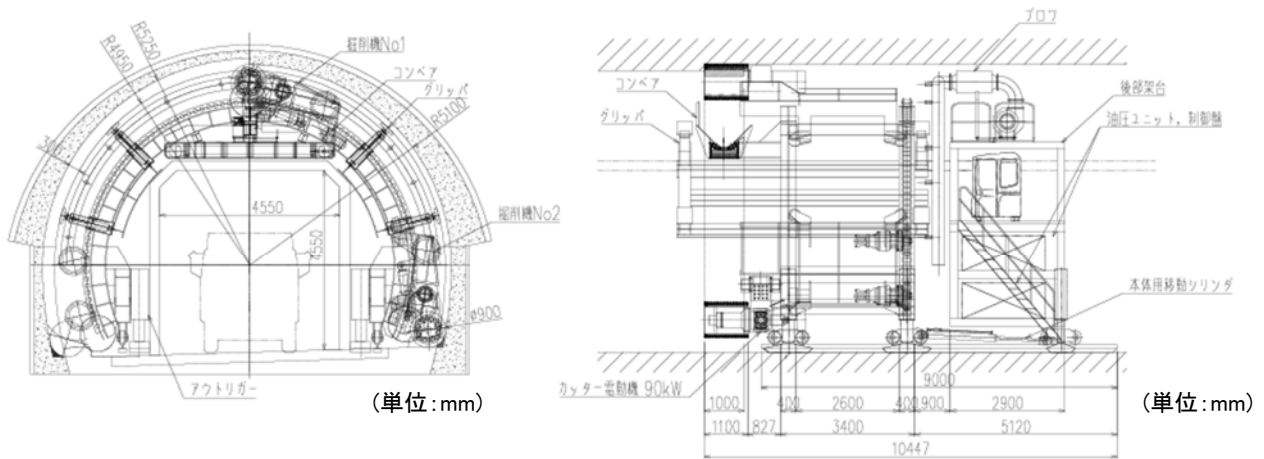


図-3 コンクリート切削機外形図（案）

(2) 施工方法

決定した改築実施範囲に対し、施工は既設覆工コンクリートのスパン割に合わせて行う。既設覆工コンクリートの 1 スパン長が 10.5m の場合、改築スパン割は 1 スパン長を半分の 5.25m とし、5.25m の全断面を一度に構築する。そのため、切削するスパン長も 1 打設延長の 5.25m を基本としてスパン割を決定する。図-4 に切削スパン割側面図の例を示す。

切削台車をトンネル軸方向の施工開始位置に配置後、2 台の切削機をそれぞれ図-5 に示すトンネル周方向の施工開始位置に配置する。切削開始後、切削機はガイドレールに沿って反時計方向に移動しながら幅 1.0m で切削を行う。切削完了後、切削台車はレール上を自走して 1m 前方の次施工箇所へ移動する。5.25m の覆工コンクリートを打設できる作業延長を確保できるまで、これらの作業を繰り返して行う。

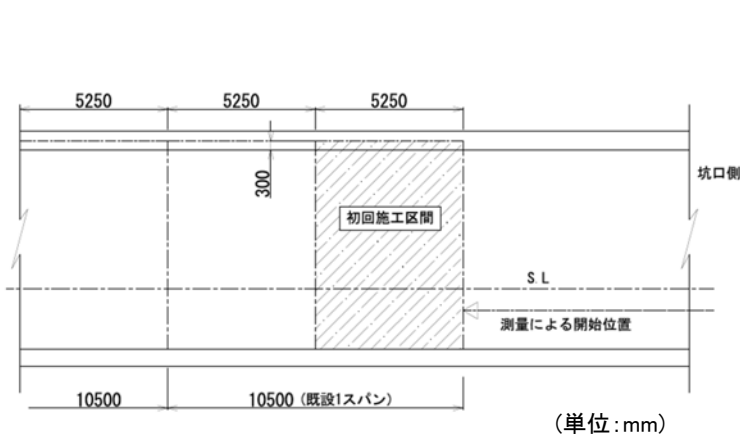


図-4 切削スパン割側面図（例）

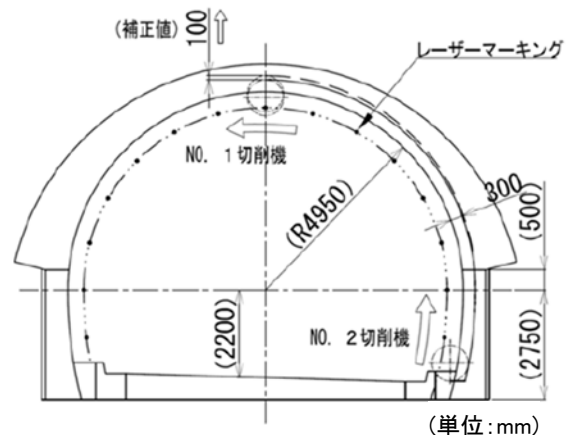


図-5 切削ドラム初期配置図

切削時の注意点として、切削ドラムの形状が円形のため、切削開始・終了位置の切削後の形状は、ドラムの形状に沿った曲線状となる。(図-6) そのため、チップング等の人力作業により、切削面が水平(路面に対し平行)になるように整形する必要がある。

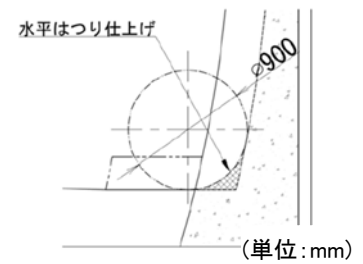


図-6 切削底面の補修図

4. コンクリート切削実証試験

本工法の覆工コンクリート切削技術について、切削性能(切削能力、機械負荷)、切削後の出来形、残置される覆工への影響を検証するため、切削試験を行った。

(1) 使用機器

試験用切削機のベースマシンとしてトンネル用掘削機 MM-90、集じん装置は CF-500 を使用した。各機械仕様を表-2 に示す。

(2) 試験方法

試験は、既設覆工を想定した呼び強度 24N/mm^2 のコンクリート供試体を作成し、試験用に新たに製作した切削ドラムでコンクリート切削を行った。ドラムに配置する切削用ビットは平ビットとラウンドビットの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。試験装置の全景を写真-1 に、切削状況を写真-2 に示す。

表-2 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 (φ900mm × L500mm)
ビット本数	54 本
ビット形状	ラウンド型, 平型
CF-500 仕様 (集じん機)	
処理風量	500m ³ /min
清浄度	0.1mg/m ³ 以下
フィルタ精度	0.15μm × 99.95%
ファン動力	45kW (AC400V)

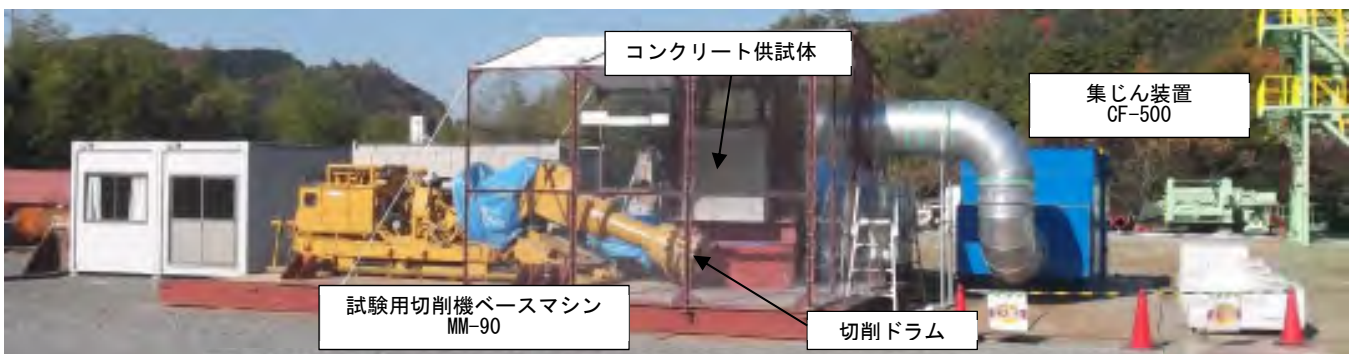


写真-1 切削実証試験装置の全景

(3) 試験結果

切削性能(切削能力、機械負荷)、切削後の出来形、残置される覆工への影響を以下に示す。

a) 切削機に関する試験結果

切削後のコンクリート形状を写真-3 に示す。新たに製作した切削ドラムで、既設覆工で想定される強度のコンクリート供試体を切削することができた。切削時の機械振動・カッター電流値・カッター押付力は、ラウンドビットの方が平ビットよりも大きな値となり、平ビットを用いた方が機械の負荷が少なく、施工に適していることが分かった。切削ドラムのコンクリートへの押付力は、通常のトンネル掘削に使用される自由断面掘削機 90kW (MM-90) クラスの押付力と比較して小さい値であった。今回選定した 90kw の電動機について、実施工では実証実験で用いたドラム幅 500mm の 2 倍であるドラム長 1000mm を計画しているが、計算上、十分に対応出来る範囲であったため、実施工でも 90kw 級/台で施工が可能である。(定格電流は 150A に対し、



写真-2 切削状況



写真-3 切削後コンクリート形状

ドラム幅 500mm で切削時の電流値は約 80A 程度であった。) 切削能力について、切削時間や切削量、切込み深さなどを変更して複数回実施し、平均で 3.5m³/hr の能力を有していることが分かった。

b) 切削出来形に関する試験結果

切削面の状況を写真-4 に、切削面の形状測定結果を図-7 に示す。切削面の状態は比較的平坦であるが、切削ドラムに取り付けられたビットと同じ間隔で溝が生じていた。切削面 300mm あたりの不陸を測定したところ、最大不陸は 10mm 程度であった。



写真-4 コンクリートの切削面

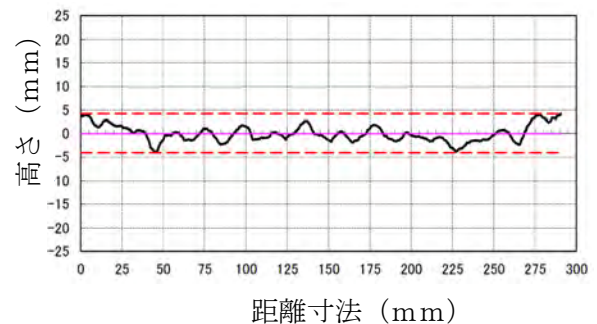


図-7 コンクリートの切削面の形状

c) 切削面のマイクロクラック調査結果

切削後に残置される既設覆工への影響を検証するため、以下の手順で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した。樹脂が硬化した後、コアの中心軸に沿って切断し、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、ラウンドビットで切削した供試体において、長さ 5mm 未満のクラックが 1 箇所確認された。しかし、支障となる顕著なマイクロクラックは殆ど見られなかった。

5. おわりに

今回、老朽化により供用性や耐久性が低下した山岳トンネルのリニューアルを目的として、「Re ライニング工法」を開発した。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。切削実証試験では、既設覆工を想定したコンクリート供試体を切削ドラムで切削することにより、施工の実現性を確認することができた。実施工に向けて、さらに開発を加速して工法を確立したいと考えている。



写真-5 マイクロクラック測定状況