

トンネル覆工を安全かつ高速で更新する トンネル更新工法の開発

LCR-Speed 工法 (Lining Concrete Renewal - Speed Method)

杉田 崇・宇田 誠・西脇 敬一

老朽化したトンネルでは、覆工コンクリートの打替え等の更新工事が実施されているが、従来のトンネル更新工法においては、供用しながらの施工は利用者の安全を確保する必要があり、施工費が高い、工期が長いなど多くの課題を抱えている。それらの課題を解決するため、従来のトンネル更新工法に比べコスト縮減や工期短縮を図ることができ、車線規制期間が極めて短くできる施工方法の開発を行った。

本稿では、老朽化した山岳トンネルを安全かつ高速でリニューアルすることを目的として開発した、「LCR-Speed 工法」について紹介する。

キーワード：山岳トンネル、矢板トンネル、覆工コンクリート、老朽化対策、トンネル更新

1. はじめに

矢板工法で建設されたトンネルの中には、老朽化に伴い覆工コンクリートの材質劣化、ひび割れおよび漏水等の変状が多数発生したトンネルや、建設当時と比較し、交通量の増加や大型車の増加等により車線数の増設、建築限界への対応などが必要なトンネル等がある。このようなトンネルでは、迂回路がない場合には一般交通を確保しながら覆工の打替え等の更新工事が実施される場合もあり、今後、同様の対応が必要となるトンネルの増加が見込まれる。

一方、現行のトンネル更新工事においては、施工中における利用者の安全の確保や、合理的な施工方法が確立されておらず、また、施工費が高くなることや、工事期間が長くなるなど、多くの課題を抱えている。

それらの課題を解決するため、従来のトンネル更新工法に比べコスト縮減や工期短縮を図ることができ、車線規制期間が極めて短くできる「LCR-Speed 工法」¹⁾の開発を行った。

2. 工法概要

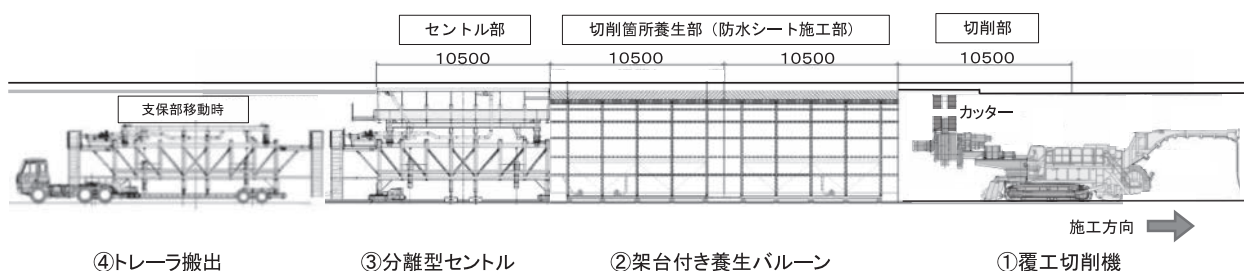
LCR-Speed 工法（以下、「本工法」）を適用する前提条件を以下に示す。

- ・対象とするトンネルを、延長 1,000 m までの矢板工法（巻厚 60 cm 以上）で施工された道路トンネル
- ・更新工事期間中の道路規制は夜間通行止め

(1) 機械設備

本工法は、①専用の覆工切削機、②切削済箇所を防護する架台付き養生バルーン（防水シート施工部含む）、③分離型セントルを組み合わせた工法である（図一1）。

本工法は、老朽化したトンネル覆工コンクリートを 20 cm 程度切削、養生、防水工後に切削箇所に高強度コンクリートを打ち直すことで、安全かつ急速な施工によりトンネル覆工を改築することが可能である。



図一1 本工法 施工概要図

(2) 施工方法

本工法は、自由断面掘削機をベースとした専用の覆工切削機(図一1①)を使用し、カッターを覆工コンクリート面に直角に押し当てて切削を行う。切削は、覆工コンクリート1スパン(10.5m)ずつ行い、切削したコンクリートガラは、バックホウ(0.45m³級)によりダンプトラック(10t)に積み込み坑外へ搬出する。

覆工コンクリート切削終了区間は、架台付き養生バルーン(図一1②)により養生を行い、夜間閉鎖開放後の一般車の防護を行う。

切削箇所に防水シートを設置後、分離型セントル(図一1③)をセットし、コンクリートポンプを使用して打直し覆工コンクリートを打設する。

コンクリートを打設し、所定強度(自重に耐えうる強度)発現後、分離型セントルの型枠部(以下、スキンプレート部と言う)から支保工部(以下、ガントリー部と言う)を取り外し、トレーラにより坑外へ搬出(図一1④)して、一般車の通行開放を行う。

3. 開発項目

本開発で対象とするトンネルは、矢板工法で施工され、覆工コンクリートの打直しが必要な老朽化した道路トンネルを想定する。また、トンネル形状は、2車線断面(内空上半半径5,010mm)、覆工巻厚が60cm以上有るトンネルを想定した(図一2)。このトンネルに対し、覆工コンクリートを20cm程度切削し、硬化促進型の高強度コンクリートを打ち直すことにより、覆工コンクリートを更新する工法の開発を行った。

本開発のねらいは、道路トンネルの覆工コンクリートを効率よく切削できる機械を開発し、これを主とした覆工の更新技術を一連のシステム(トンネル更新工法)として確立することにより、従来のトンネル更新

工事に比べコストの縮減、工期短縮が図られ、車線規制期間が極めて短くできるようにすることである。

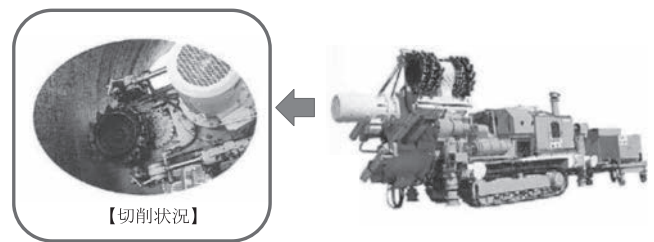
以降、開発項目について説明する。

(1) 覆工切削機

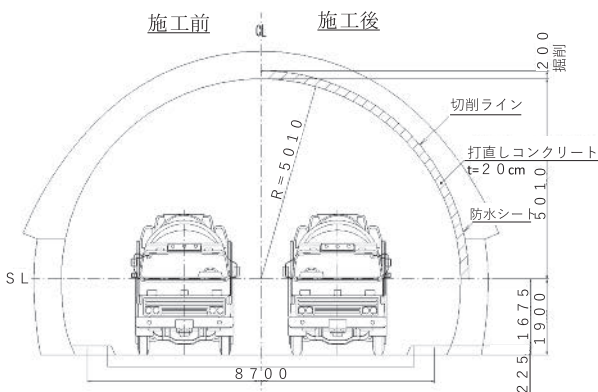
切削機は、2車線道路トンネルの覆工コンクリートを急速かつ高精度に切削でき、施工コストを縮減できることを要求性能とする。

切削機の仕様を以下に示す。

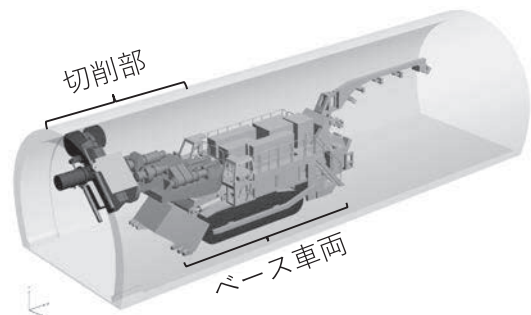
- ・切削部は、覆工コンクリート切削に実績のある水路用覆工コンクリート切削機²⁾をベースとし、覆工断面形状に沿って旋回して切削する構造とする(図一3)
 - ・切削能力10m³/h(覆工コンクリート強度30N/mm²、覆工厚t=20cm切削時)を満足するため、160kWのカッターブームを装着する
 - ・ベース車両は、坑内に設置後、機械の移動なしで側壁~天端まで切削できる寸法として、300kW級の自由断面掘削機(RH-10J)を使用する
 - ・切削の高精度化のため、自動切削システムを搭載する
 - ・切削機は、施工前に坑外仮設ヤードから自走で搬入し、施工後自走にて搬出する
 - ・切削動力の電源は、トラック搭載の発電機(400kVA)で対応し、走行は油圧駆動のモータを使用する
- 今回開発した覆工切削機のイメージ図を図一4、自動切削システム概要図を図一5に示す。



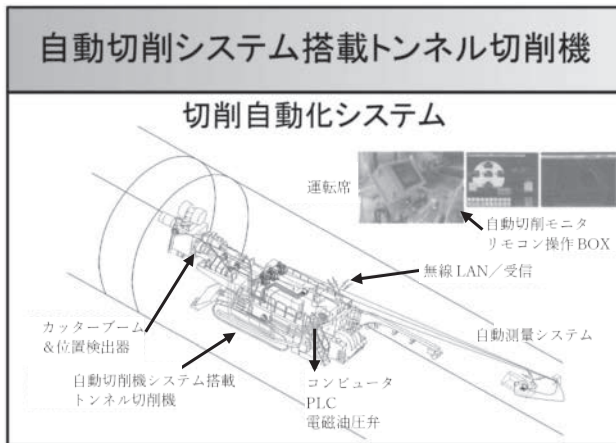
図一3 水路用覆工コンクリート切削機



図一2 検討トンネル断面形状



図一4 覆工切削機 イメージ図



図一五 自動切削システム概要図

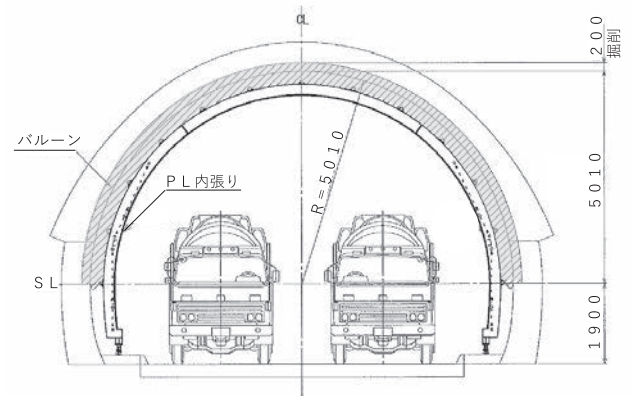
(2) 架台付き養生バルーン

架台付き養生バルーンは、覆工コンクリート切削箇所を一般車が安全に走行でき、また、落石に対しても耐えられる構造を有することを要求性能とする。

架台付き養生バルーンの仕様を以下に示す。

- ・ 切削した覆工面は、空気送風方式のバルーンにより密着させて養生を行う方式とする (図一六)
- ・ 架台の形状は、支保部材を極力少なくしたアーチ型とし、アーチ状にバルーンを配置する
- ・ 架台は、トンネル内を容易に移動ができるレール式とする
- ・ 架台は、46 cm 角の落石に耐えられる H200 のアーチ部材を使用する

今回開発した架台付き養生バルーンの断面図を図一七に示す。なお、架台付き養生バルーンは、適用するトンネル断面に応じて製作する。



図一七 架台付き養生バルーン断面図

(3) 分離型セントル

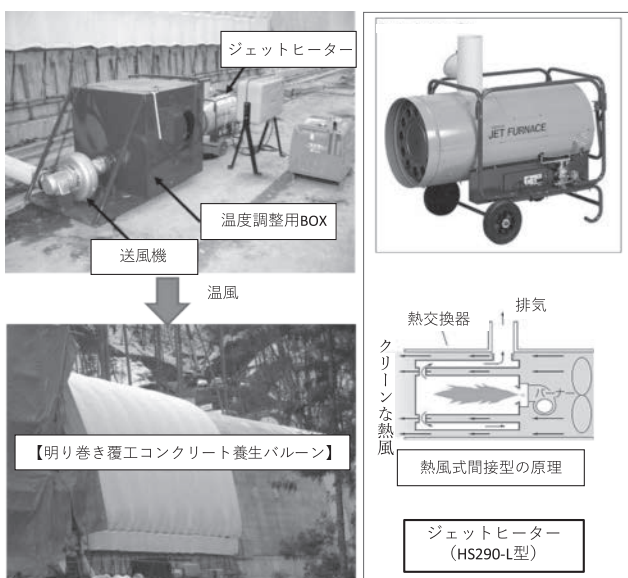
本工法は、夜間通行止めの間、セントルを使用して打直し覆工コンクリートを打設し、昼間にはコンクリートを養生しながら交通を全面開放する。そのためセントルの構造は、ガントリー部を分離して2車線を確保できる分離型セントルとする必要がある。また、存置するスキムプレート部は、若材齢のコンクリートを養生し、かつ、一般車が安全に通行できる構造が必要である。

今回開発する分離型セントルは、覆工コンクリート打設後、一般車が安全に走行でき、繰り返して使用できるように移動性がよく、組立て、取外しが容易で堅固な構造を有することを要求性能とする。このため、分離型セントルは、上記の性能を有し、山岳トンネルの覆工コンクリート構築に施工実績がある、テレスコピック型セントルの構造を採用する (図一八)。

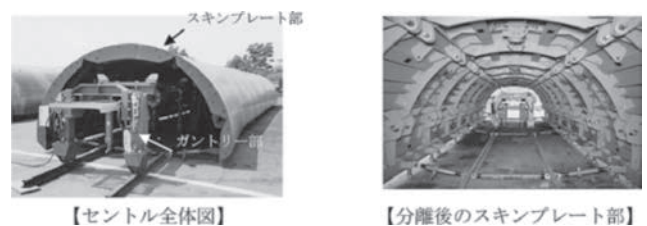
覆工セントルの仕様を以下に示す。

- ・ 流動性の高いコンクリートを使用するため、セントルは、型枠に側圧として液圧が作用する構造とする
- ・ セントルは、スキムプレート部とガントリー部を分離できる構造とする
- ・ 分離したガントリー部は、トレーラで搬出・搬入ができる構造とする

今回開発した分離型セントルの分離移動状況を図一九に示す。



図一六 架台付き養生バルーン説明図



図一八 テレスコピック型セントルの例³⁾

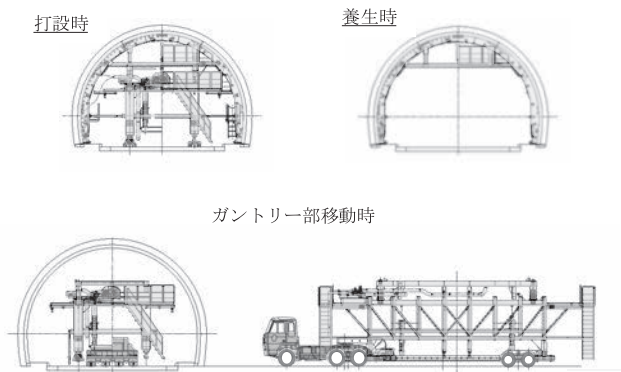


図-9 分離型セントル 分離移動状況

(4) 打直し覆工コンクリート

打直し覆工コンクリートは、打設後、早期に型枠支保工を撤去し、一般交通への影響を最小限とすることを目的に急硬材を混入した硬化促進型高強度コンクリート（以下、急硬コンクリートと言う）の開発を行った。

急硬コンクリートに要求される性能としては、下記

が考えられる。

- ・優れた充填性を有すること
- ・高い強度を有すること
- ・打設後、数時間でトンネルの安全性が担保できる強度（打設後3時間程度で2N/mm²、自重に耐える強度）を有すること
- ・ひび割れ抵抗性が高いこと
- ・長期的に耐久性を有すること
- ・爆裂防止性能を有すること

上記要求性能を満足するための各性能の最初の目標項目、目標値を表-1に示す。なお、設計基準強度は、60N/mm²と設定した。これは、曲げ引張り破壊により構造耐力が決まる場合を除くほとんどの条件下で、急硬コンクリート（設計基準強度60N/mm²、厚さ20cm）の耐力が、既設の覆工コンクリート（設計基準強度18N/mm²、厚さ30cm）を上回るためである。

これらの性能を満足するコンクリートの配合を試し練りや打設実験によって選定を行った。急硬コンクリートの配合例を表-2に示す。当該配合は、実施

表-1 急硬コンクリートの必要性能

必要と想定される性能				目標値
施工時に 求められる性能	① ワークビリティ	①-1 充填性	①-1-1 流動性	打込み時の最小スランプフロー50cm程度（練上がり時のスランプフロー65±10cm程度）
			①-1-2 材料分離抵抗性	分離を生じないこと
		①-2 圧送性	水平20m、鉛直8m程度の圧送が可能であること	
	①-3 凝結特性	打込み完了後3時間程度で2N/mm ² 程度		
② 強度発現性				
硬化後に 求められる性能	① 強度			60N/mm ² （材齢28日）
	② 耐久性	②-1 コンクリートの耐久性	②-1-1 耐凍害性	耐凍害性を有すること
			②-1-2 耐アルカリ骨材反応	アルカリシリカ反応を起こさないこと
	③ ひび割れ抵抗性	③-1 収縮	③-1-1 温度	5～35℃
			③-1-2 乾燥（自己含む）	収縮ひずみ800μ程度以下

表-2 急硬コンクリートの配合例（爆裂防止対策）
（ベースコンクリート）

水 セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	空気量 Air (%)	単位量 (kg/m ³)								
			水 W	セメント C	細骨材 S			粗骨材 G			AE 減水剤 Ad
					S1	S2	計	G1	G2	計	
43.7	48.0	4.5	171	391	577	255	832	454	464	918	2.74

（ベースコン1m³あたりの繊維混入急硬コンクリートの添加量）

水 (遅延剤溶解用) W2	急硬材	遅延剤	高性能 減水剤 SP	繊維
15	fac	Re	8.94	F
	168	10.07		1.05

工を想定して、レディーミクストコンクリート工場からベースコンクリート 1m³を納入して、現場でトラックアジテータ車に急硬材他を添加し、急硬コンクリートを製造する場合の配合例を示している。

4. 施工

(1) 施工フロー

本工法は、夜間通行止めを行いながら覆工コンクリートの一部を切削し、繊維混入急硬コンクリートを打ち直して更新する。施工フローを図-10に示す。

(2) 施工サイクル

本工法の施工サイクル例を表-3に示す。覆工No.1の覆工を切削した後、サイクル1日目（覆工No.2①覆工切削）からの施工ステップを示している。

本工法の施工サイクルタイムを表-4に示す。本工法の月進は52.5mを目標としている。

・月進：10.5m/4日×20日＝52.5m

5. おわりに

現在、本工法を構成する主要機械・設備の設計が終

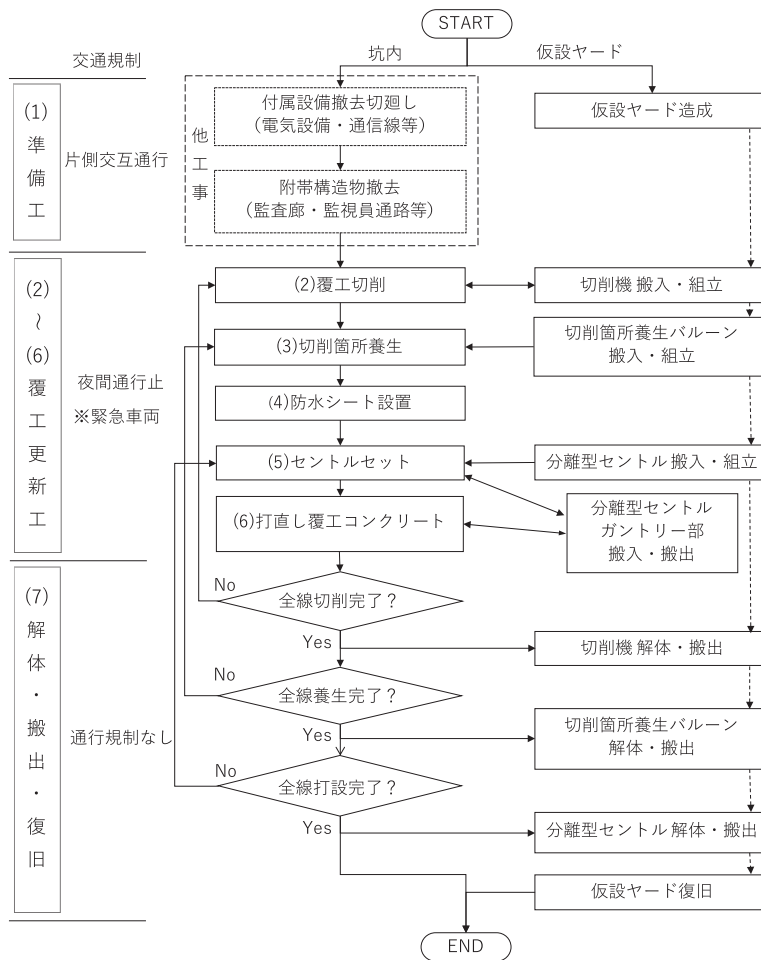


図-10 更新工法施工フロー図

表-3 施工サイクル例 (4日1サイクル)

覆工 No.	1	2	3
サイクル1日目	切削済	①覆工切削	
サイクル2日目	②防水シート	切削済	凡例 網掛け部：作業終了後、養生バルーンを設置するスペース ①～④：当日の作業内容
サイクル3日目	③セントルセット	切削済	
サイクル4日目	④覆工打設	切削済	
サイクル1日目	覆工養生	切削済	
			①覆工切削

表-4 サイクルタイム

日毎に作業交代:4日で1スパン(10.5m)完了			
サイクル1日目	サイクル2日目	サイクル3日目	サイクル4日目
覆工切削(目標)	防水シート設置(目標)	セントルセット(目標)	打直し覆工コンクリート打設(目標)
・機械移動、セット 60分	・高所作業車搬入 60分	・ガントリー一部搬入 60分	・ガントリー一部搬入 60分
・切削 300分	・防水シート施工 300分	・スキンプレート部と合体 60分	・スキンプレート部と合体 60分
・ずり出し(機械搬出) 60分	・片付け(機械搬出) 60分	・セントルセット 180分	・コンクリート打設 180分
・切削箇所養生 60分	・防水シート区間養生 60分	・妻板設置・打設段取り 120分	・養生 180分
・検査、確認 60分	・検査、確認 60分	・巻厚検査等 60分	・ガントリー一部搬出、片付け 60分
・休憩 60分	・休憩 60分	・ガントリー一部搬出、片付け 60分	・休憩 60分
600分	600分	600分	600分

了し、急硬コンクリートは、打設実験を完了している。今後は、機械・設備の自動化に向けた対応についても開発する予定である。そして、全国のトンネル更新工事へ提案していきたいと考えている。

本稿は、(国研)土木研究所および鉄建建設(株)による共同研究成果を一部報告したものである。また、この開発には、カヤバ(株)、(株)東宏、大栄工機(株)の各社に協力をいただいた。ご指導いただいた関係各位に深く謝意を示します。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 鉄建建設(株) 宇田誠他、(国研)土木研究所、トンネル改修工法、特許7125056、2022.8.24
- 2) 仲里純勇他：覆工薄肉打ち替えによる急速補修 福地ダム～安波ダム間調整水路トンネル、トンネルと地下、Vol.33, No.4, pp.37-45, 2002
- 3) 岐阜工業(株)ホームページ：https://www.gifukogyo.co.jp

【筆者紹介】



杉田 崇 (すぎた たかし)
鉄建建設(株)
札幌支店 ニッ森トンネル作業所
所長



宇田 誠 (うだ まこと)
鉄建建設(株)
土木本部
副本部長 工事担当



西脇 敬一 (にしわき けいいち)
鉄建建設(株)
建設技術総合センター 研究開発センター
材料グループ