

小断面トンネル専用覆工コンクリート切削機の開発

中野正憲

老朽化した導水路トンネルの中には、断面積が 5 m^2 程度の小断面導水路トンネルが多数あるものの、覆工の全断面改修工事を行ううえで適用できる小型の専用全断面切削機がなく、小断面用切削機の開発が求められていた。

このような状況に鑑み、施工能力の向上、省力化、施工精度の向上を目的とした小断面用覆工切削機を開発したのでここに報告する。

キーワード：トンネル、小断面トンネル、リニューアル、切削機、PC板内張工法、覆工

1. はじめに

現在、全国に多数の水力発電所があり、導水路の総延長は約 $6,000\text{ km}$ に達する。その内、建設後50年以上経過したものが60%を占めると言われている。これらの導水路トンネルの多くは、経年の使用に伴って、覆工コンクリートの劣化、洗掘が激しく、従来持っている機能を果たせなくなっているため、本来の機能を回復させるために、覆工部の補修・改修工事を行う必要がある。

それらの工事には様々な工法があり、その中のひとつの新しい工法として、切削機械によって既設覆工の全周を一定の厚みで切削し、その切削面に表面補強を行って仕上げる施工方法がある。しかし、既設トンネルの覆工を切削することのできる専用機械は、中断面トンネル用までしか開発されておらず、小断面トンネルには、既存のトンネル掘削機を改造して使用されていた。

そのため、施工効率は限られ、現場条件によ

っては機械掘削が困難になることもあった。よって、これらの問題を解決するために、小断面トンネル用の専用切削機の開発が求められていた。

このような状況に対応するため、劣化、洗掘された既存の覆工コンクリートを所定の厚みだけ効率的に切削できる小断面トンネル用覆工切削機を開発したので、ここに紹介する。

2. 開発のねらい

(1) 目的

小断面トンネルに適用でき、切削精度を確保しつつ、効率的で安全な施工ができるもので、機体のメンテナンスも容易にできる切削機械の開発を目的とした。

(2) 条件

前項の目的を踏まえ、以下の条件で開発した。

- ① 断面 $4\sim 7\text{ m}^2$ 程度のトンネルに適用。
- ② 切削精度目標値： $\pm 20\text{ mm}$ 以内。
- ③ 構造の簡素化。
- ④ 工期短縮ができること（他工種との並行作業が可能、切削能力の向上等）。
- ⑤ 作業員の安全性を確保すること。

3. 切削機の概要

切削機は、写真-1、図-1に示すように切削部、移動把持装置（グリッパ、アウトリガ）及び搔寄せ装置、ベルトコンベヤ、駆動部、電動機で

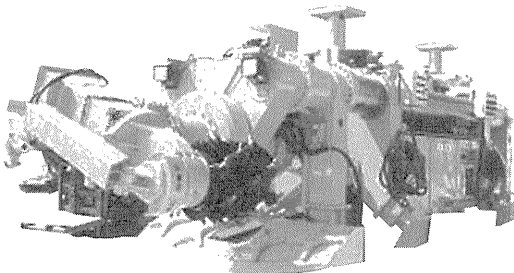


写真-1 小断面トンネル用覆工切削機

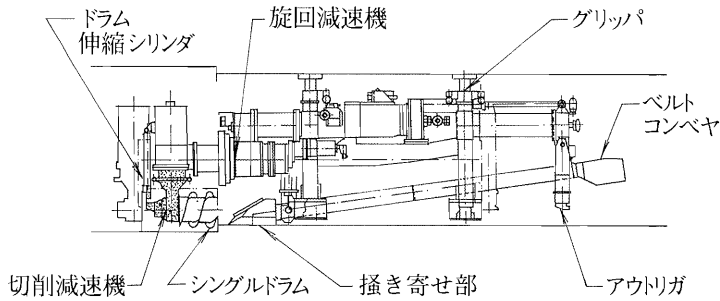


図-1 切削機主要構造図

構成され、先端には円筒形の切削ドラムを持つ伸縮ブームが本体を中心に旋回し、全断面の覆工壁面を任意の厚みで切削できる。

4. 切削機仕様

切削機的主要仕様及び外観は表-1、図-2の通りである。

5. 切削機の構造

(1) 切削部

機体前方に位置し、切削ドラム、減速機、切削フレームからなる。ドラムは円筒形で周囲にビットホルダがあり、そこへラウンドビットが装着で

き、360°旋回しながらトンネル壁面を切削する。

切削フレームは伸縮機能を持ち、ドラムの位置を断面方向に伸縮させることができる。

- ・ドラム径×幅：φ588×525 mm
- ・ドラム回転数：0～60 rpm
- ・ドラム接線力：26 kN
- ・シリンダ押付け力：35 kN
- ・ドラム伸縮ストローク：600 mm
- ・ブーム旋回回転数：0～1.0 rpm

(2) 移動装置 (把持装置)

移動装置は、

- ① 主桁となるスライドパイプ、
- ② アウトリガ (前後各2本)、
- ③ グリッパ (前後各3本)、
- ④ 機体移動用シリンダ、

からなる。

アウトリガ又はグリッパにて交互に機体を持上げ、機体上部両端に貫通された2本のスライドパイプをガイドにして機体移動用シリンダの伸縮により尺取虫方式で機体を移動させる。切削の際には、グリッパが覆工から反力を取る把持装置も兼

表-1 切削機の仕様

項目	仕様
全長	6,576 mm
全幅	1,880 mm
全高	1,887 mm
全重量	約 10 t
切削能力	約 1.9 m ³ /h (覆工コンクリート)
切削精度	±20 mm

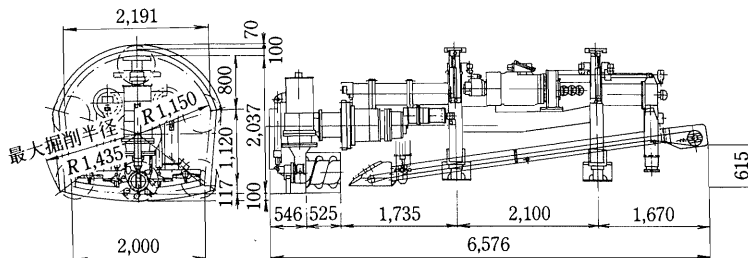


図-2 外観図

ねる。

- ・機体移動シリンダストローク：1,000 mm
- ・アウトリガストローク：300 mm
押 付 け 力：60 kN
- ・グリッパストローク：300 mm
押 付 け 力：60 kN

(3) ずり搬出装置

機体下部中央にあり、搔寄せ部とコンベヤ部からなる。搔寄せフレーム上部には、切削したコンクリート片等を搔集めるためのスピナが取付けられ、ベルトコンベヤにより機体後方へと運搬される。

- ・スピナ回転数：0～65 rpm
- ・ベルトコンベヤ：
 - 電 動 機：1.5 kW
 - ベ ル ト 幅：300 mm
 - ベ ル ト 速 度：55 m/min
 - 運 搬 能 力：25m³/h

(4) 本 体

機体の主要部分の取付けフレームであり機体中央に位置する。上部には油圧源動力部、左側には電気制御盤、右側には作動油タンク、前後には、切削時の機体の把持や移動時に使用するグリッパを取付けている。

(5) 油 圧 装 置

油圧装置は、オイルタンク、油圧ポンプ、リリーフ弁、油圧シリンダ、油圧モータ及びこれらを結ぶ配管によって構成される。

- ・油圧ポンプ電動機： 60 kW
 - 切 削 用
 - 油 圧 ポ ン プ：26 MPa×120 L/min
 - 旋 回 用
 - 油 圧 ポ ン プ：14 MPa×21 L/min
 - ス ピ ナ 用
 - 油 圧 ポ ン プ：14 MPa×21 L/min
 - シ リ ン ダ 用
 - 油 圧 ポ ン プ：21 MPa×15 L/min
- ・オ イ ル タ ン ク：500 L

(6) 電 源

- ・供 給 電 圧：AC 400/440 V, 50/60 Hz
- ・主回路電圧：AC 400/440 V, 50/60 Hz
- ・制 御 電 源：AC 100/110 V, 50/60 Hz

6. 切削機の特徴

(1) 任意の深さの切削が可能

先端の伸縮機能を持つ切削フレームに取付けられた円筒形の切削ドラムが、時計の針のように本体を中心に旋回し、覆工の壁面を任意の厚みで切削することができる。

(2) 馬蹄、幌型断面にも適応

ブームの旋回と伸縮を組み合わせることにより、多様な切削形状に追従でき、高い切削能力と精度を保つことができる。

(3) 他工種との並行作業が可能

切削ドラム下側にスピナを設けて切削したコンクリート片を集め、機械の下部を通るベルトコンベヤで進行方向（機体後方）に搬出する。このような構造により既切削部では、切削と並行して支保工の建込み、側壁及びアーチ部の施工が可能となるため、従来の施工方法に比べ工期を短縮でき、一度の断水期間内での施工延長が伸びる。

(4) 現場への搬出入が容易（4tトラック×3台）

工事現場の多くは、搬出入に使用できる道路に制限がある。当機は、自重が軽く（約10t）、シンプルな構造であり、分解して1ピースの重量を更に軽く（約4t程度）することにより、搬入路が狭く、大型揚重機の使用が困難な場所へも搬入できる。

(5) 曲線部（R 20 m）の施工が可能

小型であるので、小断面トンネルの曲線部にも対応できる。

(6) 自重が軽い（約10t）

切削反力を既存の覆工コンクリートにグリッパで機体を固定するので、切削反力を自重に頼る機

種に比べ重量が軽い。

(7) 作業員の安全を確保

切削機の運転は離れた位置からの無線操作であり、作業員の安全が確保できる。

7. 施工方法の例

図-3、図-4 に示すように、補修する導水路トンネルの断面全周を切削機により任意の厚みだけ切削し、切削したコンクリート片等を内蔵するベルトコンベヤで進行方向前方に出すことにより、既切削部の作業に影響を及ぼさずことなくコンクリー

ト片の搬出をするので、PC板内張り施工、コンクリートライニングの内巻き施工などの作業を並行して行うことが出来る。この時、PC板内張工法を選択できれば、通常のコンクリート養生が必要なくなり、より効率的になる。

8. 施工状況

導水路改修工事現場での稼働状況写真を写真-2 に示す。既にトンネルが貫通しているため坑道換気方式が採用でき、作業員の主な作業場所には、新鮮な空気が送気されるため良好な作業環境が得られる。

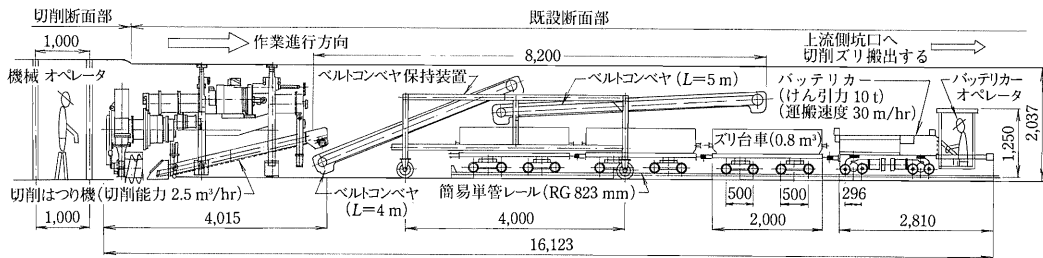


図-3 切削機械配置図

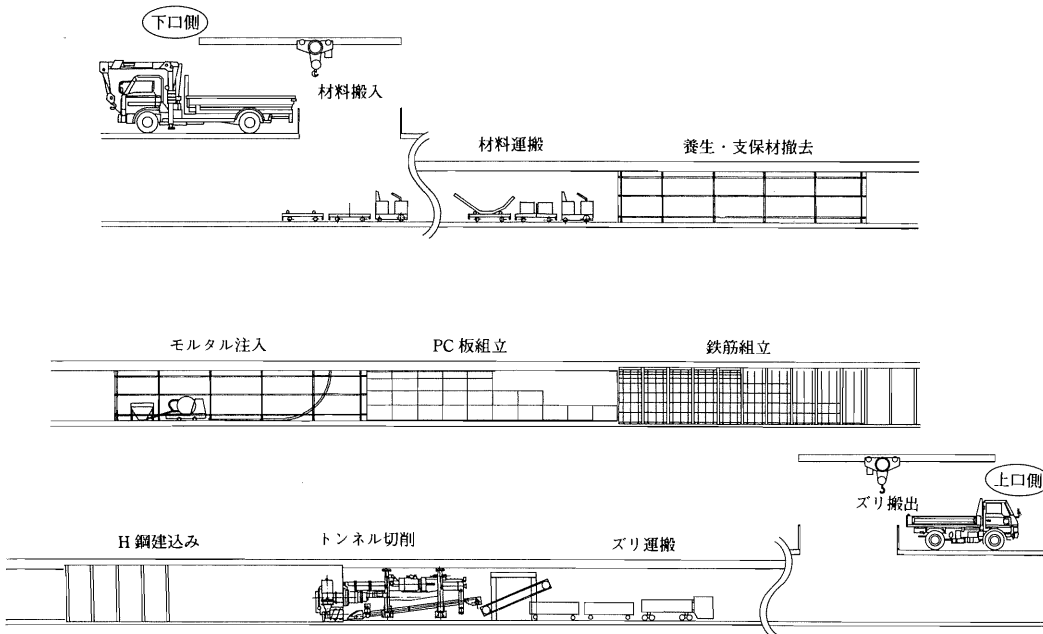


図-4 施工全体図一例



写真-2 切削状況図



写真-3 改修前

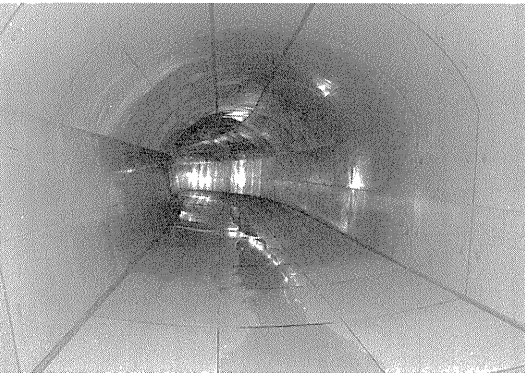


写真-4 改修後 (ASフォーム)

また、無線操作することにより狭隘な場所に立ち入ることなく作業でき、粗度係数の低いPC板をライニングに採用することで、既存の覆工部の切削量を減らし、覆工コンクリートを残しながら施工が出来るため、天端崩落の危険性が少なく安全に作業ができる。

PC板内張り工法を用いて施工した改修前、改修後の写真をそれぞれ写真-3、写真-4に示す。

9. 施工結果

導水路改修工事の現場では、要求された通水量を確保でき、曲線部 ($R40\text{ m}$) の施工も無理なく施工し、短期間の工期にすべての工事を無事故で完成したことにより、本切削機の能力を確認することが出来た。

10. まとめ

今後増加することが予想される老朽化した小断面トンネルの改修工事の施工においては、厳しい条件の中で高い施工性や品質が求められるとともに、環境保全、コスト削減、工期短縮といったものもさらに求められる。

このような状況のもと、本切削機は、これらのニーズに大きく貢献できるものであると考える。

JCM A

【筆者紹介】

中野 正憲 (なかの まさのり)
清水建設株式会社
土木事業本部
機械技術部

