

### 水路トンネルの底盤修繕

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○家坂 佑希 小野 桂寿  
 鉄建建設株式会社 非会員 川島 義和 松田 和智

#### 1. 水路トンネル底盤の変状

東日本旅客鉄道株式会社信濃川発電所では、5 条の水路トンネルがあり、延長約 73.6km を維持管理している(図-1)。3 期水路トンネル(図-2)では、全線にわたり底盤の中心から左右 1.5m の範囲前後で洗掘されており、トンネルの継目箇所で発達した欠損が多く見られる。欠損の深さは底盤コンクリートの巻厚 400mm に対し、概ね 100mm 程度にまで至っている。水路トンネルの底盤表面の洗掘は、流水内に混入する礫の衝突や流水が原因であると考えられる。底盤の洗掘が進行すると底盤のコンクリートの剥離から側壁の覆工に亀裂が生じ、さらに覆工の陥没にまで進展する恐れがある。また、底盤の粗度係数の増加による、発電効率の低下が懸念される。

3 期水路トンネルの底盤部に多くの変状を確認しているが、重大な変状は見られない。しかし致命的な変状につながる前に計画的な底盤修繕の実施が必要である。施工には水路トンネルを断水して行うが、その間の電力損失をいかに低減するかが重要となる。そのため、施工性の良い工法の選定が課題となっている。本研究では水路トンネルの底盤修繕における施工性について、各種工法を比較し、選定した工法の試験施工を行った。

#### 2. 底盤の切削工法の比較検討

現在考案されている底盤の切削工法の比較について表-1 に示す。第 1 案は、従来工法であるブレーカによるはつりである。この工法は所定の厚さに均一にはつることが難しく、施工精度及び施工速度は操作者の熟練度に依存される。第 2 案は、CIC 工法(Channel Invert Chopping Robot Method)による切削である(図-3)。この工法は切削断面の寸法及び曲率に応じて、コンピュータがカッターのスライド量、傾斜角度等を演算し連続切削を行う。そのため第 1 案に比べ施工性が良く高精度で切削ができる。また他の水力発電所の水路トンネルで採用されており、施工実績が報告されている。しかし現在使用されている CIC ロボットの規格は当該水路トンネルの断面に適合していないため、新たに CIC マシンの製作が必要である。その他に CIC ロボットは大型の機械であるため、トンネル内への搬入方法についても検討を要する。

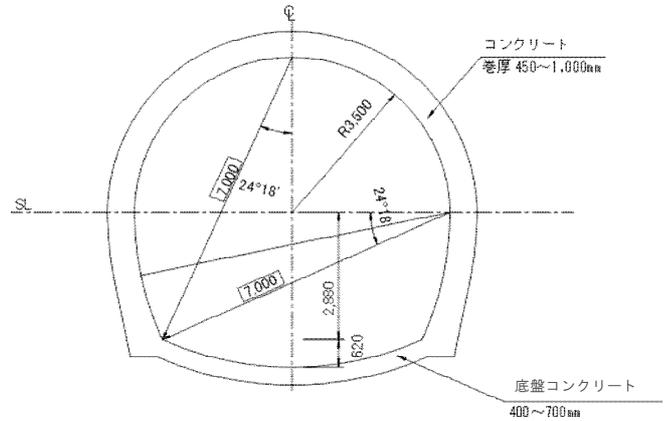


図-2 3 期トンネル断面図

表-1 切削工法の比較

	第1案(ブレーカ工法)	第2案(CIC工法)	第3案(ツインヘッダー)
主要機械	バックホウ 大型ブレーカ	インバート切削ロボット	バックホウ ツインヘッダー
施工性能	18.0m/日	24.0m/日	42.6m/日
工事費用 (解体のみ)	153,100円/m	179,100円/m	141,500円/m
施工性	熟練度により 施工速度に大きな差	操作者の熟練度による 施工速度の変化なし	操作者の熟練度による 施工速度の変化なし
施工精度	均一にはつることが 難しい。既設コンへの振 動影響が大きい	均一に切削することが でき、最も切削精度が 高い	均一に切削することが できるが、随時切削厚 さの確認を要する
評価	△	△	○



図-3 CIC 工法

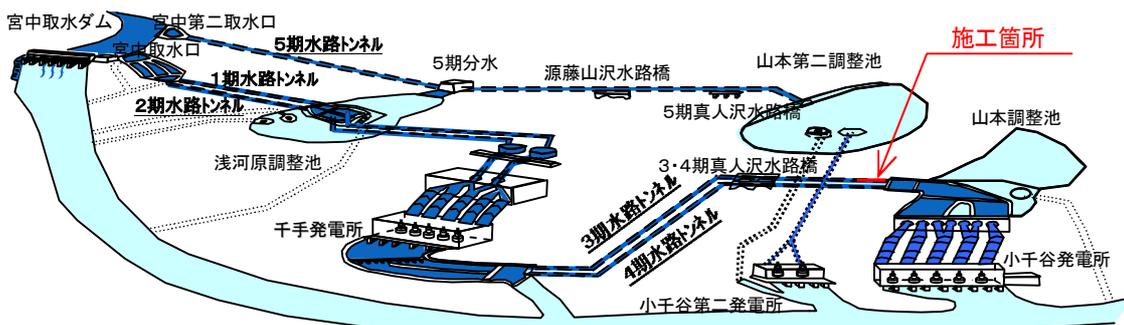


図-1 信濃川発電所管内鳥瞰図

キーワード 水路トンネル, 底盤, 洗掘, 摩耗, ツインヘッダー

連絡先 〒947-0012 新潟県小千谷市山本 316 番地 東日本旅客鉄道株式会社 信濃川発電所 TEL0258-82-4531

第3案は、ツインヘッダーによる切削である(図-4)。この工法はバックホウのアタッチメント部分に切削ドラムを取り付け、切削を行うものである。主な使用用途として、法面及び舗装面の切削等に用いられている。信濃川発電所でも、水路トンネル建設時に横坑の掘削等に使用されており、施工実績を確認している。施工性は操作者の熟練度によって大きく変わらず、精度も概ね良好であるが、切削深さは適宜人力で計測する必要がある。施工性、施工精度、コストの面からより優れている第3案を採用し、3期水路トンネル内で試験施工を実施した。



図-4 ツインヘッダーによる切削

3. 試験施工

3-1. 試験施工計画

試験施工は3期水路トンネル出口付近の延長98m(15k542m~15k640m)で行った。試験施工で使用するツインヘッダーの切削能力を確認したところ3.0m<sup>3</sup>/hであった。そのため目標切削量を40m<sup>3</sup>/日(6h施工、深さ0.15m、幅3.0m)に設定した。また水路トンネル内の切削ズリの搬出量は施工箇所がトンネル坑口付近であることから、発生ズリ約45m<sup>3</sup>を3日で搬出すると仮定し、15m<sup>3</sup>/日程度を目標値とした。事前に試験施工の対象となる底盤の洗掘深さを調査したところ、最大で40mm、最小で0mm、平均で17mmであった。

施工方法の概要を説明する。既設の底盤コンクリートの切削にはコンクリートカッターにより深さ約150mm、幅3,000mm切断を行った後、ツインヘッダーで切削を行う。切断及び切削深さは、事前の調査により得られた洗掘深さを考慮して、各地点で決定する。切削により発生したズリは0.25m<sup>3</sup>級のバックホウで集積及び積込みを行い、2トンドンプで坑口まで運搬した。荷上げは50トクレーンを使用し、ワイヤーモッコでズリ処理を行う。なお、ツインヘッダー及びバックホウの搬入には200トクレーンを使用する。切削した底盤を洗浄した後、溶接金網(6×150×150)を設置し、コンクリート(150mm)を打設する。なおコンクリートの配合は21-12-25Hを使用する。コンクリートの打設は地上からのポンプ車により行う。

3-2. 試験施工結果(表-2)

試験施工では平均19.6m<sup>3</sup>/日、1.34m<sup>3</sup>/hしか切削できず、目標とした切削量を下回る結果となった。原因としてトンネル底盤の曲率に対してツインヘッダーがうまく対応できず、切削量が減少したためであった。また底盤のコンクリートに150mm程度のぐり石が混在しており、切削速度を低下させる障害となった。切削ズリの搬出には3日間を予定したところ4日間を要したが、施工箇所がトンネル坑口付近であったこともあり、8時間施工で換算した結果14.5m<sup>3</sup>/日となり、目標値は概ね満足できた。

4. 改善点

現在検討している改善点を以下に述べる。まずツインヘッダーのドラムの改良である。底盤の形状に対応できる構造の考案や、切削面の角度調整等の検証が必要である。次に、ダンプトラック等のトンネル内での移動の効率化を目的として、ターンテーブル装置の導入を検討している。水路トンネル内では、2トントラック程度の車両であれば行き違い及び車両の旋回は可能である。しかし一般的な生コン車等はトンネル内での旋回ができず、

表-2 実績工程表

	1週目	2週目	3週目	4週目
事前調査	■			
車面荷下し、荷上げ(50トン)	■			■
車面荷下し、荷上げ(200トン)		■	■	
仮締切り、排水、照明設置撤去	■			■
底盤切断工		■		
底盤切削工		■	■	
底盤切削面整形工			■	
切削ズリ運搬工			■	
コンクリート打設			■	■
コンクリート養生				■

往復の際には必ず後進が伴う。そのため、常に前進走行が可能となれば、施工性は向上すると考えられる。また切削スピードや高さ管理の向上を自動で制御できるよう、GPSによるシステムの導入も視野に入れている。

5. 今後の検討課題

コンクリート打設については、今回はトンネル坑口付近で行ったため、地上からのポンプ車打設で行ったが、トンネル深部では現在のスランプ値で圧送することが困難である。スランプ値の増加はコンクリートの材料分離を引き起こすため、生コン車をトンネル内に吊り込み打設することが望ましい。だがそれに伴う作業性の低下が懸念されるため、移動時間及び搬入搬出サイクル等の検討が必要である。

また工期の短縮のために切削、ズリの運搬、コンクリート打設を並行して行うことが理想的であるが、トンネル内のため作業エリアは限られており、並行作業は難しいと考えられる。

6. 底盤修繕計画

断水期間は例年約3か月確保している。今回の試験施工の結果から、3か月で300m程度の修繕が可能であると考えられる。試算であるが工期については、3期水路トンネルの延長約15.7kmを修繕するにあたり、約52年で修繕することができる見込みである。

現段階では非常に長期的かつ多くの施工費を要することがわかった。今後計画的に修繕を行うためには、施工期間の短縮かつ施工費の削減が求められる。そのため、底盤修繕工事の作業体制を見直し、効率的で安価な施工方法の考案をさらに目指していきたい。