

水路トンネル改修の機械化急速施工法の実証と評価 REPAIRING SYSTEM OF THE AQUEDUCT TUNNEL AND ITS PRACTICE

尾之内 和久・柳瀬 辰彦・野池 悦雄・高木 幸雄
Kazuhisa ONOUCHI, Tatuhiko YANASE, Etsuo NOIKE, Yukio TAKAGI

The repairing system for invert of aqueduct tunnel has been developed in order to machine-operated work, fast construction in new lining invert concrete of aqueduct tunnels.

Aqueduct tunnels in water-power electricity are aged, damaged as the time passes by. SHIMZ CO.,LTD. and NIPPON ROAD CO.,LTD. have developed the system. The method have been composed movement chipping machine, concrete lining machine.

Through its actual use, the reduction of working-time has been confirmed in the repairing invert concrete of aqueduct tunnel.

1. まえがき

現在、国内には 1800 カ所以上の水力発電施設があり、そのうちの 6 割以上が運転開始後 60 年以上を経過している。これらの発電所は設備全体に老朽化が進行している施設が多く、特に導水路は経年の通水により内部に流入した砂などによる劣化（洗掘、摩耗）が著しく、送水能力の低下を引き起こしているものもある。しかし、発電停止を余儀なくされる導水路の改修工事は、短工期施工が要求されていること、トンネルが狭隘な山間部に位置している山岳トンネルが多いことなどの理由から、大規模な改修工事があまりなされていないのが現状である。

全国的な電力需給逼迫の現在、内部の劣化により送水能力の低下した導水路トンネルの機能を回復させるためには、インバートの改修が効果的であると考えられる。そこで、筆者らは、導水路トンネルのインバートの改修を機械によりおこなう急速施工法「水路トンネル・インバート改修用急速施工システム」を考案し、中部電力の笹戸発電所水路修繕工事で実施した。本書は、システムの概要と実施工での評価を記したものである。

* 正会員 清水建設(株) 土木本部
** 正会員 中部電力(株) 矢作川電力センター

*** 正会員 中部電力(株) 土木建築部
**** 日本道路(株) 技術本部

2. 工事概要

2.1 発電所および導水路概要

笹戸発電所 水 系 : 一級河川 矢作川、 所 在 地 : 愛知県 東加茂郡
認 可 出 力 : 9400 kW、 最大使用水量 : 25.712 m³/sec
運転開始年月日 : 昭和 10 年 12 月
導水路総延長 : 5,430.32m (取水口～余水路)
導水路縦断勾配 : $i = 0.3/1000 \sim 1.7/1000$
トンネル形状 : 馬蹄形 (図-1)
インバート幅員 : 3.62～3.16 m、 インバート厚 0.3～0.6 m

2.2 工事概要

工 事 件 名 : 笹戸発電所水路修繕工事
工 事 内 容 : インバートコンクリートの
打替え工事
工 事 期 間 : 平成 8 年 8 月
～平成 9 年 1 月
通水停止期間 : 平成 8 年 10 月中旬
～12 月初旬 (56 日間)
修 繕 区 間 : 導水路全長 5,177m のうちの
最下流部 1600 m
打替え面積 : 約 5760 m²
修繕計画縦断勾配 : $I = 1/1188$

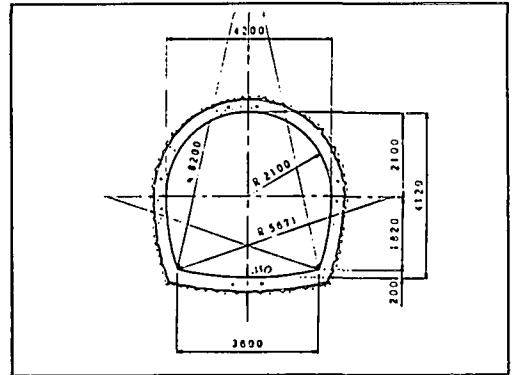


図-1 導水路トンネル標準断面図

3. 工法概要

3.1 システム概要

「水路トンネル・インバート改修用急速施工システム」¹⁾²⁾ は、老朽化した導水路トンネルや開水路などのインバートを機械化施工により打替えを行うために考案された工法であり、従来工法に比べて、急速施工化・長距離施工化・省人化が期待できる総合的な改修システムである。図-2 にシステム概念図を示す。

本システムは以下の代表的な工種より構成される。次項にこれらの概要を説明する。

- ①既設インバート切削工
- ②新規コンクリートライニング工
- ③切削ズリ・コンクリート運搬工

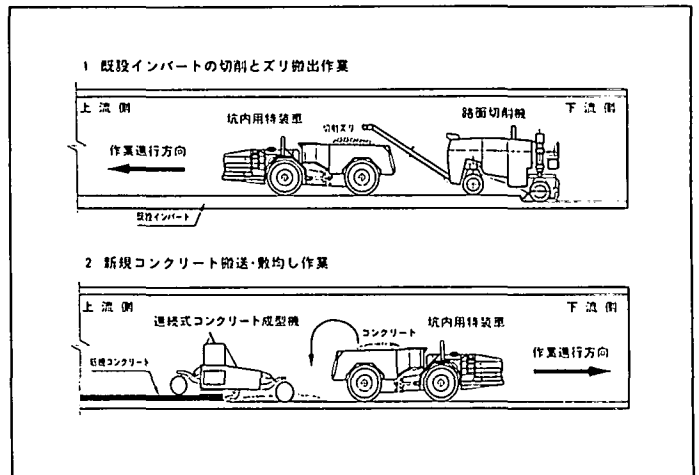
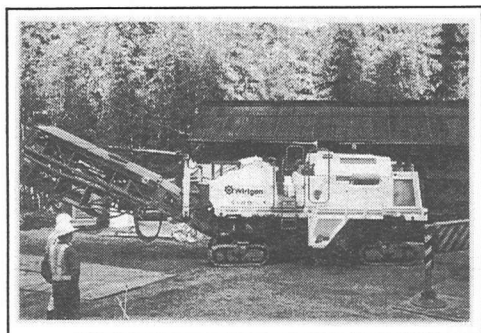


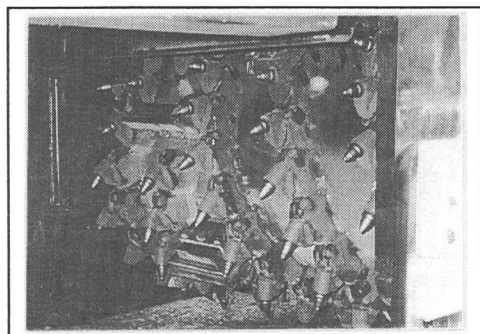
図-2 システム概念図

3・2 既設インバート切削工

既設のインバートコンクリートの表層の除去は、路面切削機（写真－１）により老朽化した導水路の敷部の表層を計画深度まで切削し、敷部表層の脆弱部を除去する。切削機は、本体に内蔵されたコンクリート切削ビットを取り付けたドラム（写真－２）を高速回転させ、機械本体の自重により切削面に押しあて、計画深度まで切削しながら前進する機構である。また、切削により発生するズリは、切削機本体の積み込み装置（ベルトコンベア）により機械前方のズリ運搬車に直接積み込むことが可能である。



写真－１ 路面切削機



写真－２ 切削用回転ドラム

本工事で使用した路面切削機の１回の走行により切削可能な幅員は1300mmであり、切削対象となるインバートの幅員は、平均3600mmであった。また、計画切削深度は、次式とした。このことにより、切削は３レーン１層切削とした。図－３に切削計画断面（切削割付図）を示す。

$$\text{計画切削深度} = \text{敷部修繕計画高さ（新規コンクリート打設高さ）} - 100\text{mm}$$

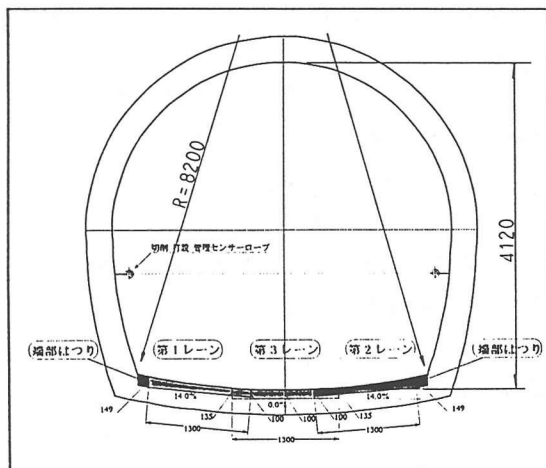
切削深度の管理は、機械に取り付けられたセンサーにより、切削面と切削ドラムとの高低差を自動的に認識し、機械の走行装置を油圧制御で上下動させ、規定深度までの切削を行うことにより管理する方法を用いた。

3・3 新規コンクリートライニング工

既設のインバートコンクリートを切削機により切削した後、移動式コンクリート敷均し機（写真－３）によりインバート仕上げの計画線までコンクリートの打設、敷均し、成型を行う。

移動式コンクリート敷均し機は、機械前面に供給されたコンクリートを機械の前進とともに前面のパイププレート（６本）で締め固めながら機械底部の型枠で打設、成型してゆく機構となっている。このため、連続打設、成型が可能である。

本工事では、トンネルの当初の設計図書より、改修前の修繕対象区間の敷部の幅員は3,160～



図－３ 切削計画断面図（切削割付図）

3,620(mm)、曲率は、 $R=7,500\sim 8,500$ (mm)であったが、新規ライニングの計画成型曲率を6,100(mm)と

して、敷均し機のモールドを製作した。また、これにより新規ライニングコンクリートの打設は1レーン1層とした。図-8にコンクリートライニング計画断面図を示す。

打設高さと打設位置の管理は、左右側壁に設置されたセンサーロープを機械が検知し、敷部中央線とその計画高さを自動的に維持するように機械本体の上下左右の移動量を制御した。

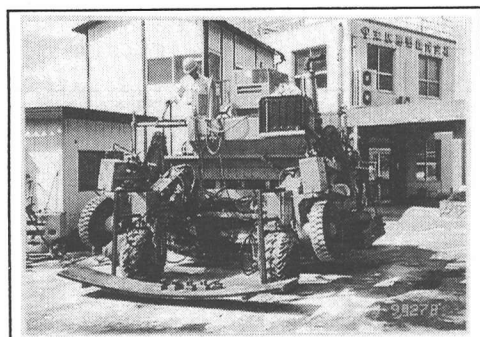


写真-3 移動式コンクリート敷均し機

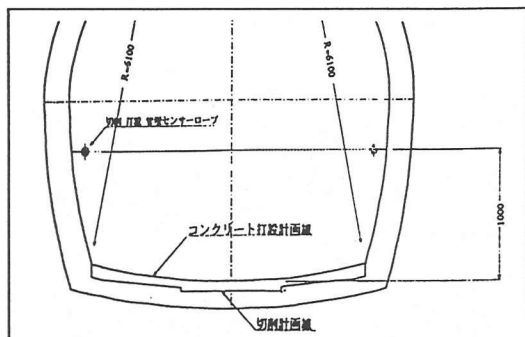


図-4 コンクリートライニング計画断面図

施工に使用したコンクリートは、普通コンクリートを用い、スランプ5 cm、粗骨材の最大寸法 25mm、材令 28 日強度における設計基準強度 (f'_{ck}) は、300kg/cm とした。表-1にコンクリートの標準配合を示す。

表-1 コンクリート配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空 気 量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
25	5	46.0	4.5	44.0	159	346	789	1,018	3,668

3・4 切削ズリ・コンクリート運搬工

切削機による既設インバートコンクリート切削工と移動式コンクリート敷均し機による新規コンクリートライニング工において、施工機械の稼働率を向上させ、切削速度やライニング速度の高速化を図るために切削ズリの搬出とコンクリートの供給の効率輸送を行う。本工事では、坑内用ダンプトラック（写真-4）を使用した。本機は、鉱山掘削のためのズリ運搬用に開発されたダンプトラックであり、工事におけるズリ搬出、コンクリート運搬において大量輸送が可能となった。

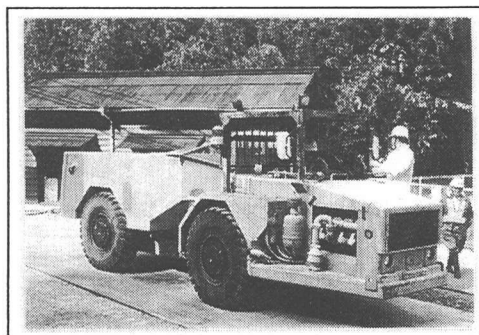
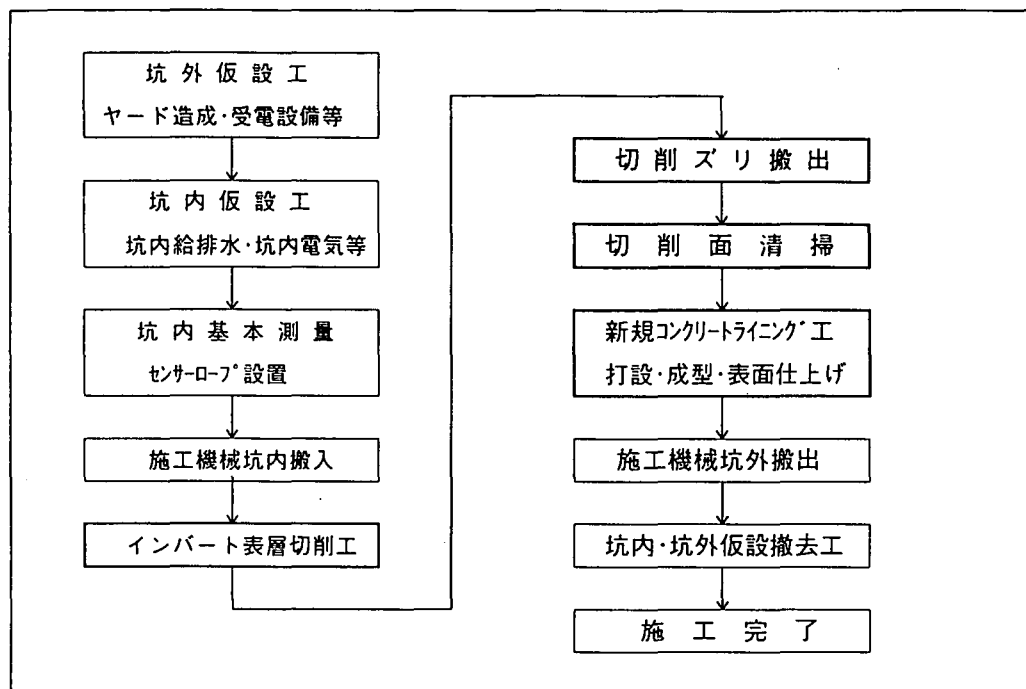


写真-4 坑内用ダンプトラック

3・5 施工手順

「水路トンネル・インバート改修用急速施工システム」により導水路トンネルのインバート打替え工事を実施する際の標準的な施工手順（作業フロー図）を図-5に示す。



図一5 施工手順（作業フロー図）

4. 施工結果

4.1 工事工程

本修繕工事に「水路トンネル・インバート改修用急速施工システム」を採用した結果、56日間の通水停止期間に施工延長1600m、インバートコンクリート打替え面積約5760 m²の施工を無事完工した（坑内仮設の設置と撤去を含む）。工事の概略工程表を図-6に示す。

	H8.8月	9月	10月	11月	12月	H9.1月
全 体 工 期	←-----→					
通水停止期間			56日間	←-----→		
準 備 工	—————					
坑外仮設工		—————				
坑内仮設工			—			
インバート切削工				—————		
コンクリートライニング工					—————	
仮 設 撤 去 工					—————	—————

圖-6 笹戸發電所 水路修繕工事 概略工程表

4.2 施工能力

表-2 に本修繕工事を従来工法で施工した場合の試算値との比較を示す。この表より、本システムはブレイカーなどをもちいた人力作業が主体の従来工法に比べて約 1.7 倍の施工速度があり、工事に必要な通水停止期間も、従来工法の約 6 割程度であることが判明した。このことにより、本システムの急速施工化・長距離施工化が実証された。

表-2 工 法 比 較

	従 来 工 法 (試算値)	「水路トンネル・インバート急速施工法」
工事概要	インバート改修延長 1600m 既設インバート切削量 約 5800m ² コンクリート打設量 約 700m ³	同 左
施工方法	①既設コンクリートはつり工 ブレーカーなどによる人力はつり ②新規コンクリートライニング工 人力によるコンクリート打設 及びコテ仕上げ	①既設コンクリートはつり工 路面切削機による表層切削 ②新規コンクリートライニング工 移動式敷均し機による打設成型 及びコテ仕上げ
施工速度	18.0 m/日 (含仮設工、改修延長/通水停止期間)	30.0 m/日 (含仮設工、改修延長/通水停止期間)
所要工期	90 日 (通水停止期間、含仮設工)	56 日 (通水停止期間、含仮設工)
施工品質	・ブレーカーによるはつりのため、 インバートの健全部までも破碎。 ・曲線形状のコンクリート打設手間が大。	・切削機のセンサーにより cm 単位の切削 が可能。 ・移動式型枠による曲線形状の断面の 連続施工が可能。

4.3 施工精度

切削工、およびライニング工の施工精度は、切削完了時とライニング完了時にそれぞれ出来型計測を行った。計測の方法は、20mごとにインバート中心と左右の計3測点について管理用センサーロープからの下がり計測した。測定結果の絶対誤差平均値は以下のとおりである。

- ・既設インバート切削の絶対誤差平均値： 16.3mm
- ・コンクリートライニングの成型厚の絶対誤差平均値： 32.0mm

5. あとがき

本修繕工事で「水路トンネル・インバート急速施工システム」を採用した結果、導水路トンネルのインバート改修工事におけるシステムの有効性（急速施工化、長距離施工化）が実証された。

導水路トンネルや開水路などの水路の改修のニーズは、全国的にわたる。また発電所の導水路トンネルだけに限らず、多くの分野の水路に適用できるものである。今後、施工で得られたノウハウや解決すべき課題を糧として、小口径断面でのシステムの適用や、長距離施工化、コストダウンを推進し、多くの工事実績を得る所存である。

6. 参考文献

- 1) 尾之内和久・菊池雄一 ほか： 水路トンネル・インバート改修の急速施工システムの開発、
土木学会第50回年次学術講演会概要集（第VI分野）
- 2) 尾之内和久・柳瀬辰彦 ほか： 水路トンネル・インバート改修の機械化急速施工の実証と評価、
土木学会第52回年次学術講演会概要集（共通セッションCS-1）