

小断面レール工法によるトンネル拡幅工事の施工実績

Report of small cross section rail construction method in headrace tunnel repair

梅木 清文*	福山 新二*
Kiyofumi Umeki	Shinji Fukuyama
曙 清久*	西本 拓弥*
Kiyohisa Akebono	Takuya Nishimoto

要 約

本工事は、内大臣川発電所 FIT 化工事のうち、2,428 m の導水路を拡幅掘削する工事である。既設水路は約 100 年ほど前に施工されたものであり、竣工図はあるものの施工時のデータがほとんど見つからない状況であった。そこで既設導水路内を調査して、覆工区間（覆工が施工されている区間）の覆工の状態や、無普請区間（覆工が設置されていない区間）の地山の状態を確認した。そして、地山条件を設定して支保パターンを設計した。ところが、トンネル拡幅工事を開始したところ、当初設計の想定よりも地山条件が悪く、当初に比べて、トンネル拡幅掘削に工程の遅れが生じた。そのため、後作業の覆工施工について工期短縮が必要となり、現場打ちコンクリートからプレキャスト水路に変更して工期短縮をはかった。本稿は、上記の施工実績について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 掘削工実績
- § 3. 水路復旧工実績
- § 4. おわりに

既設導水路は 2 本存在している。そのうち開渠とトンネルで構成される 1 本は老朽化が進み、損傷箇所が多く今後の管理等が懸念された。そのため、導水路全線を拡幅し 2 本分の水量を流下させる計画である。

【工事概要】

工 事 名：内大臣川発電所 導水路改修工事
 発 注 者：JNC 株式会社
 受 注 者：JNC エンジニアリング株式会社
 一次下請：西松建設株式会社
 工事場所：熊本県上益城郡山都町目丸地内
 工 期：2017 年 4 月～2021 年 3 月(当初 2020 年 3 月)

§ 1. はじめに

本工事は、内大臣川発電所 FIT 化工事のうち、導水路を改修するものである（図-1）。延長 2,428 m、内空断面積 2.0 m² の既設導水路を内空断面積 6.0 m² の新設導水路に拡幅する工事である（図-2、3）。

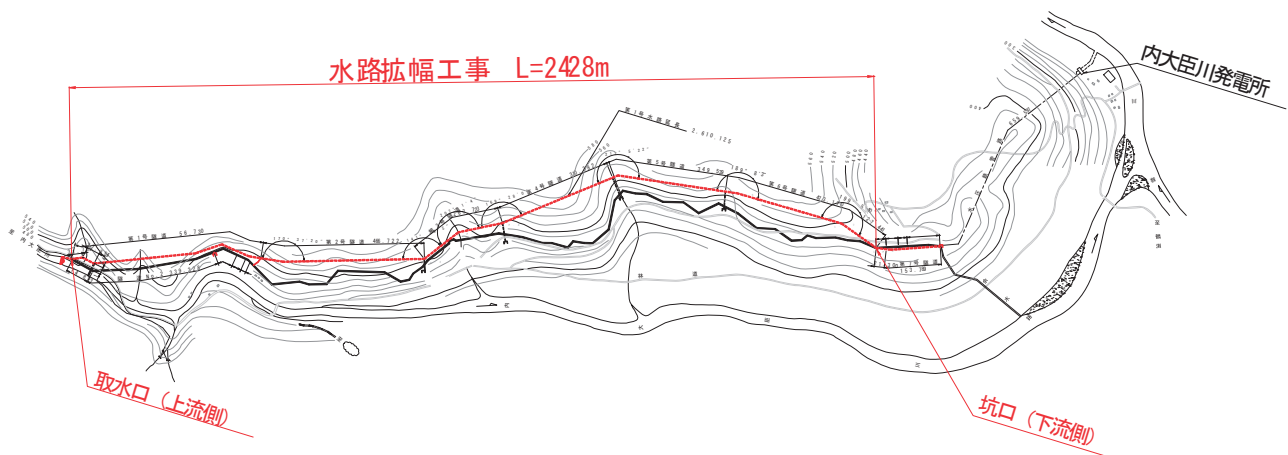


図-1 内大臣川発電所導水路全体図

* 九州（支）内大臣トンネル（出）

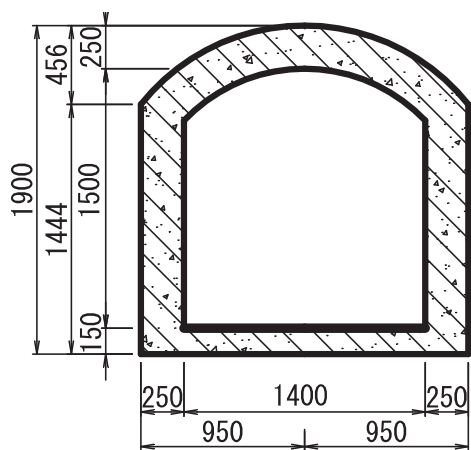


図-2 断面図（拡幅前）

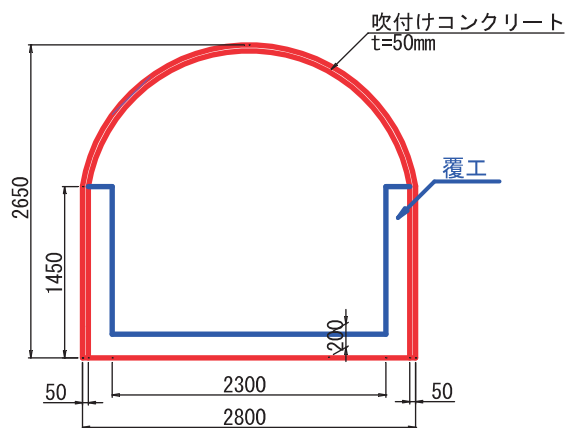


図-3 断面図（拡幅後）



写真-1 切羽状況



写真-2 2ブームレールジャンボ

§ 2. 掘削工実績

2-1 地山状況

既設トンネルは100年ほど前に施工されたものであり、竣工図面はあるものの施工時のデータがほとんど見つからない状況であった。そのため、既設導水路内を調査したところ、無普請区間が全延長の約55%占め、覆工区間は、全延長の45%であった。覆工区間は覆工背面の地山状況が全く分からない状況であった。そこで覆工の状態（表面にひび割れの有無）および覆工区間前後の無普請区間の地山状況を参考にして地山条件を設定した。当初計画においては、補助工法が必要な区間は全延長の1.3%とされていた。

2-2 機械選定

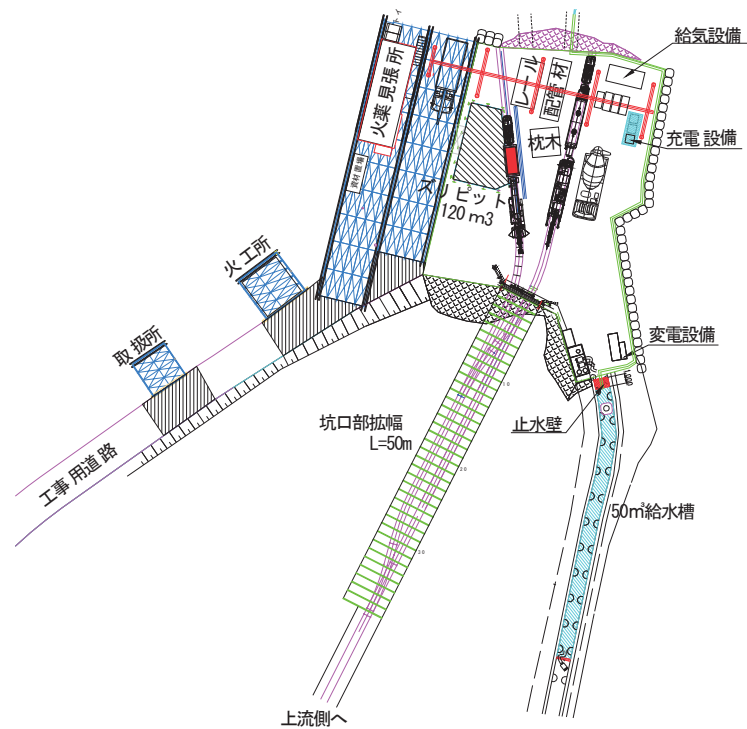
掘削工法は発破掘削レール方式であり下流側（トンネル掘削開始側）より0.145%上り勾配であった。また、平面線形の曲線部（ $R=20\text{ m}$ ）が10カ所あった。

掘削は、断面中央に既設水路が存在しているため、芯抜発破の必要がないことが特徴的な点である（写真-1）。それを利用して長孔削孔（ $L=3.0\text{ m}$ ）を実施することを計画して2ブームレールジャンボ（ガイドシェル $L=5.3\text{ m}$ 、写真-2）を新規製作し工期短縮を図った。

ズリ積込はシャフロダ KL7 と KL20 を比較を行い KL7 使用した。KL20 は、坑内において移動が難しく安全性にも問題があるため使用できないと判断した。このとき、KL7 はズリ取込口が直径 50 cm の正方形であるため発破の削孔間隔を 40 cm 以下となるよう計画した。また、発破後のコソク時の機械の入替えに時間を短縮するために、シャフロダに 200 kg の油圧ブレーカを装着し、脱着式の掻き込みプレートにて積込を行った。

ズリ出しは、 3.0 m^3 エアバッグ転倒式の鋼車（3両2編成）を用いて実施した。鋼車の入替は 600 m 毎に設置した待避所で行った。サイクル短縮のため、連続でズリ積込ができるシャトルカーの使用も検討したが、車両が長く、曲線（ $R=20\text{ m}$ ）での走行ができないため使用ができなかった。

吹付け施工はレール式の吹付機を使用した。吹付コンクリートの材料運搬は、アジテーターカー 3.0 m^3 で運搬を行った。給気設備搭載の吹付機にすると、機体長が長くなり脱線のリスクが高いため、坑外にコンプレッサを配置し 3 時の配管で圧縮空気を供給した。図-4 に坑口ヤードの仮設仮設配置図を示す。



図一4 坑口ヤード仮設配置図

2-3 補助工法

トンネル拡幅工事を開始したところ、覆工区間において、想定よりも地山状況が悪く、トンネル掘削時に崩落が繰り返し発生した。そのため、当初設計では予定していなかった長尺先受けのフォアボーリングを実施した。覆工区間は、天端付近において覆工背面に空洞のある箇所があり、地山の風化が進んでいる箇所も存在した（写真一3）。また湧水による土砂の流出等が発生する区間もあり、それらの箇所では、天端が不安定となり、補強工法が必要となった。

また、過去に既設覆工の補強として鋼製支保工を設置している区間もあった。この区間は、インバート（底版）にも亀裂が発生していて、特に変状が著しいため、施工時の状況を踏まえてインバートストラットを設置し、仮インバートコンクリートを打設する対策を追加した。

2-4 掘削実績

当初設計では、全トンネル延長の80%はA,Bパターンと想定していたが、実績では62%となった。C, Dパターンは、当初20%と想定していたが、38%と増加し、その内補助工法が必要だった区間は14.5%となった（当初設計では1.3%）。そのため、拡幅掘削期間は当初12.5ヵ月であったが、実際は20ヵ月間を要した。

§3. 水路復旧工実績

3-1 当初設計

当初設計の水路復旧工は、底版厚および壁厚が $t=200$ mmの無筋コンクリート（24-8-20 BB：現場打ちコンク



写真一3 覆工区間の切羽状況（坑口より1390 m付近）

リート）で計画されていた。

打設方法は、掘削完了後に、下流坑口側1,800 m地点より下流については下流坑口側からアジテーターカーの運搬により打設を計画していた。また、上流側取水口628 m地点より上流については取水口側（上流側）からのポンプ圧送により2箇所同時打設を計画していた。

3-2 場所打ちコンクリートの懸念事項

トンネル拡幅掘削の工程の遅れから、計画時期に通水を開始させるために、後工程の覆工施工の工期短縮が必要となった。

生コン工場より現場までの距離は、下流坑口側からは約17 km、上流取水口側からは約20 kmである。運搬道路は非常に狭く、降雨により土砂崩れが頻繁に起こる条件であった。特に上流取水口側は、平常時であっても運搬

に70分を要した。また、下流坑口側からの運搬についても、坑外でアジテーターカーに積み替えて坑内へ運搬する必要があるため、コンクリート積み降ろしまでに、90分以上要することが懸念された。さらに、上流取水口側からの628mのポンプ圧送は、配合をポンプ圧送用に変更する必要がある。運搬時間もかかるため品質の低下が懸念され、圧送による閉塞等のリスクが高いと考えられた。

打設は、12.0mのスライドセントル2基（上下流側）を考えており、連日打設し、月進276mの施工速度で計画していた。しかし、前述したように、トンネル拡幅掘削の工程の遅れが生じたため、より早い施工速度が求められた。また、前述したように降雨等による道路の通行止め等によるリスクも考えられた。このような理由から計画時期に通水を開始させるために、当初設計の計画を大きく見直して工期短縮できる方法を検討した。

3-3 プレキャスト水路の概要

工期短縮、品質確保の観点から覆工をプレキャスト水路の施工に変更した（図-5～7）。

プレキャスト水路は1ピースの形状が、幅2.49m、長さ0.995m、重量1,160kgであり、ボルトと連結金具による緊結する構造とした。上下流側に凹凸をつけ、上流側の凹部に下流側の凸部をはめ込み、坑口側のボルトで高さを調節した。水路の裏込めは、モルタルと塑強調整剤（粘性追加剤）の2液を混合させる裏込め材とした。裏込め材の一軸圧縮強度は4週間後の強度を2.0 N/mm²として、ゲルタイム30秒以内とした。施工は、上流側より行い、下流坑口側へ施工を進めていった。

3-4 プレキャスト水路化のための工夫点

プレキャスト水路は、2つの工場で作製し、A工場では標準製品のための製作、B工場では曲線部および標準製品を作製した。工場は、A工場が現場から26km、B工場が40kmの距離であった。製品の運搬は、前述したとおり現場周辺の道路状況が非常に悪いため、10tトラック車での運搬が難しく、8tトラック車で運搬とした。自社保有の車両を用いて運搬することによって、現場周辺道路の通行止めの状況等を把握し、迅速な情報共有ができ、スムーズに運搬できた。8tトラックにより1回あたり6基（1基が約1.2t）を運搬することができ、1日あたり少なくとも5回の運搬を確保した。

また、施工ヤード内での小運搬をできる限り実施しないために、坑口部に荷下ろし用の25tラフテレーンクレーンを常駐させた。また、坑内運搬は、レールがある区間はレール台車に乗せて運搬した。そこから設置箇所までの移動は、プレキャスト水路の重量が大きく、狭い坑内での重機による移動は不可能であった。そこで坑内上部にアンカーボルトを設置してI型鋼とトロリーを吊り下げて運搬を行った（図-8、9）。

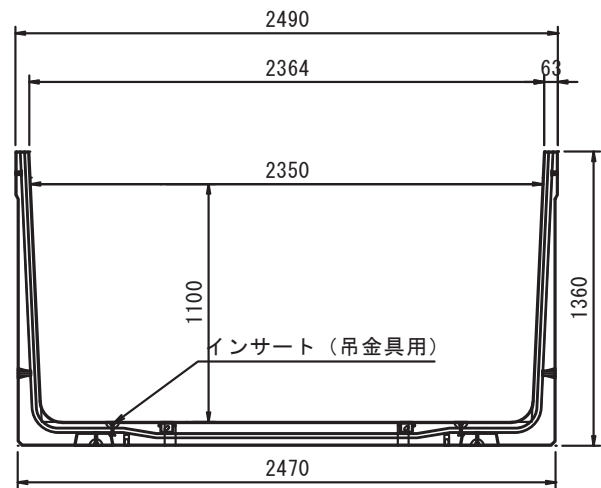


図-5 プレキャスト水路正面図

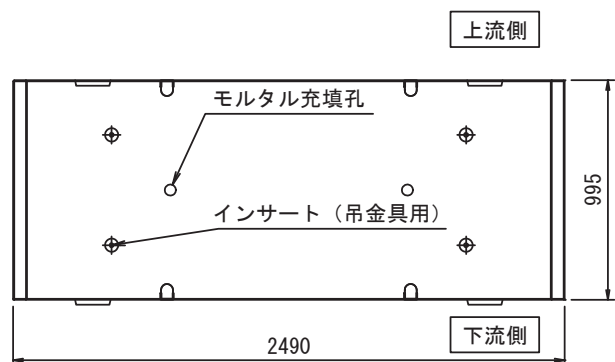


図-6 プレキャスト水路平面図

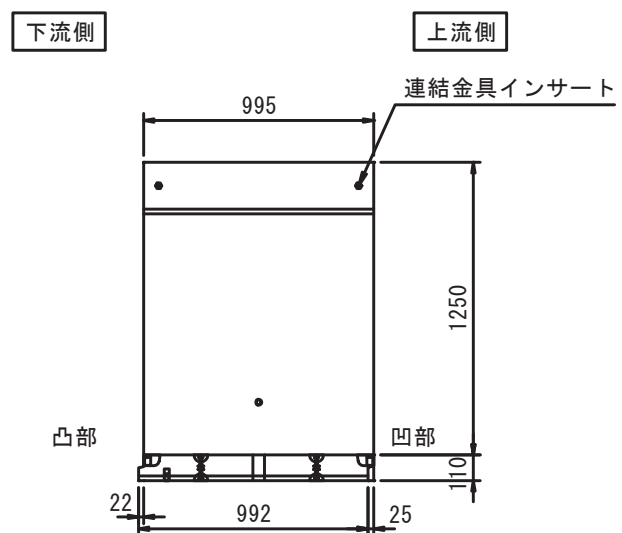


図-7 プレキャスト水路側面図

また、裏込め材については、通常のグラウトでは2,400mの圧送ができないため、2液式充填材の使用を検討した。これは、シールドトンネルの裏込め材としての実績もあり、湧水がある場所でも水に希釈されにくく、

早期強度の発現が見られるということもあり、当該施工に適していると判断した。

3-5 施工方法

プレキャスト水路の設置サイクルは、昼夜施工で実施した。夜間作業でレール枕木撤去、整地、設置用Iビームの移動を行った。昼間作業でプレキャスト運搬、設置を行った。裏込め材の充填は、プレキャスト水路を設置した箇所から順次行った。そのとき注入箇所と設置箇所が干渉しない程度の距離(80 m)を確保しながら、昼夜作業で充填した。

坑口からの運搬は、バッテリー機関車に平台車を3台連結させ、1台に1基ずつ積載して1回あたり3基を運搬した(図-10)。坑内での荷降ろしは、レーバブロックで吊ったプレートトロリーにI形鋼を載せI形鋼にプレートトロリー・レーバブロックで運搬を行った。バッテリー機関車での運搬のために、夜間作業でレールの撤去・整地を行う。そして整地された箇所の手前に、プレキャスト水路を降ろして仮置きする。その後、昼間作業で仮置きされたプレキャスト水路を設置箇所までトロリーにて手押しで運搬し、再度仮置きする。その後、仮置きされたプレキャスト水路を電動ホイスで順次設置した(図-11)。レーバブロック・プレートトロリー・I

形鋼等は150 mを1施工スパンとして設置、移動を繰り返した。設置は、30 m/日を目標に施工を行った。プレキャスト設置作業は、40 m/日の設置が可能であった。しかし、レール枕木撤去、整地に時間を要したため、目標とおり平均30 m/日の施工となった。水路の設置完了状況を写真-4に示す。

§4. おわりに

小断面の水路トンネルにおいて、当初設計の想定よりも地山条件が悪く、地山状況に応じて補助工法を追加してトンネルの安定を確保した。そのため、当初工程に比べて、トンネル拡幅掘削の工程の遅れが生じたため、後工程の覆工施工について、現場打ち施工を二次製品化に変更して施工速度を向上させた。

既設トンネルの拡幅工事では既設覆工に変状が生じていなくても、覆工背面の地山が緩んでいる可能性がある。この点を十分に考慮した計画が必要であると考え、本報告が、今後類似事例の施工の一助となれば幸いである。

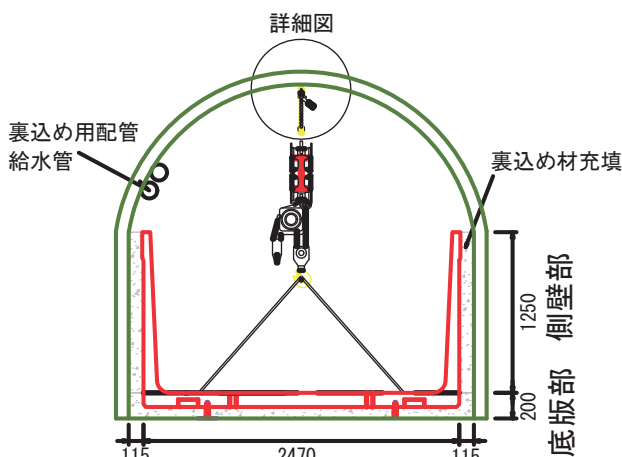


図-8 プレキャスト水路運搬方法断面図



写真-4 水路設置完了

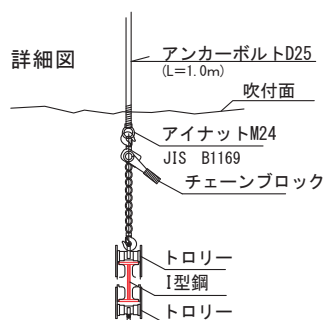
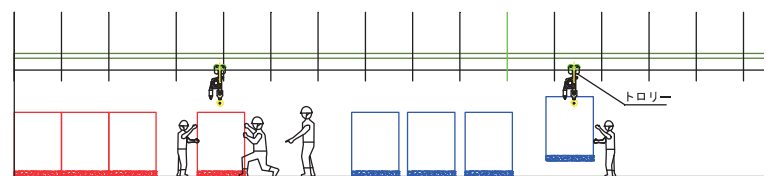
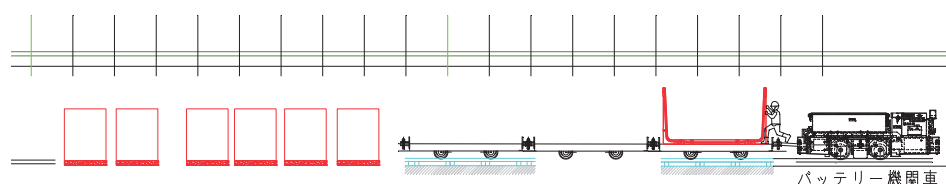


図-9 運搬方法詳細図



二次製品据付 トロリーにて運搬～仮置き

図-11 施工図（仮置～設置）



バッテリー機関車にて運搬～仮置き

図-10 施工図（運搬～仮置）