

栗山発電所水路修繕工事

RENOVATION OF THE HEADRACE TUNNEL OF THE KURIYAMA HYDROPOWER PLANT

寺本慎吾*・黒木 克*・福田真三*

Shingo TERAMOTO, Katumi KUROKI and Shinzo FUKUDA

Like many other aged tunnels, the headrace tunnel of the Kuriyama Hydropower Plant of Tokyo Electric Power Co., Inc. (TEPCO) became deformed due to the presence of voids between the concrete lining structure and the surrounding ground. This report describes a pilot project to renovate deformation by grout injection. Challenges for the project were to cope with a long concrete pumping distance, reduce cost, and limit the construction period (shortest shut-down period). NK-RADS (the drilling mole invented by NK) and CBF grout (an admixture of cement, bentonite, and fly ash trademarked by Nippon Koei with patent pending) were used and the project achieved successful completion.

Keywords : *headrace tunnel, renovation of deformation, voids (behind concrete structure), grout filling, long-distance concrete pumping, shortened work period, cost reduction, NK-RADS, CBF grout, eco-friendly construction*

1. はじめに

我が国の水力発電所は、その多くが大正から昭和初期にかけて建設されている。この時代に建設された水路トンネルは人力による矢板工法により施工されており、覆工コンクリートと背面地山との間には空洞が存在することが多く、経年によるトンネル変状の一因になっている。東京電力株式会社栗山発電所は昭和 19 年に建設されて 63 年が経過しており、これまでの点検・調査の結果から空洞の存在および変状の発生が確認され、段階的に修繕工事が実施されてきた。

本プロジェクトは、これら調査結果に基づき、対策工が必要な区間（覆工厚、背面空洞、周辺地山状況等に基づき判定）のうち、新水路における対策工の未施工区間について空洞充填グラウトによる修繕工事を実施するものである。

今回、修繕工事を実施するにあたっては、①坑口からトンネル内施工箇所までが 1,000m を超える充填材の長距離圧送となること、②注入区間（約 2,000m）が長いこと注入孔の削孔数が多く、コスト削減と工程短縮による溢水電力量の低減（施工能率改善）等の課題があった。

従来から、当社は発注者に対して、これらの課題に対応可能な当社保有の技術である小断面用削孔機（NK-RADS：ラドスという）と長距離圧送性に優れ経済的な充填材料を

用いる CBF グラウトについて技術提案を繰り返し行ってきており、結果として今回の受注につながった。

本論文では、修繕工事におけるコストダウンの提案ならびに施工について報告する。

2. 工事 概要

(1) 設備概要

栗山発電所および水路の設備概要は以下のとおりである。

- 1) 所在地：栃木県日光市
- 2) 発電所形式：水路式
- 3) 発電所最大出力：42,000kw
- 4) 最大使用水量：30.0m³/s



写真－1 栗山発電所全景

* 電力事業本部 建設事業部 電力設備部

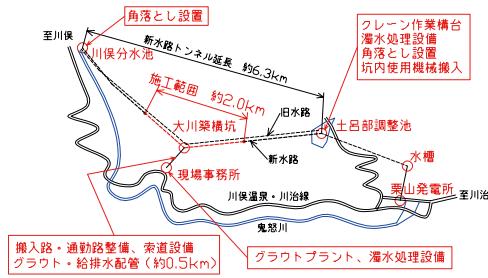


図-1 現場案内略図

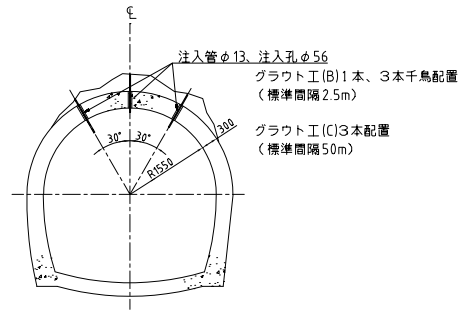


図-3 グラウト工 (B)、(C) 標準配置図

(2) 工事概要 (主要工事実施数量)

この工事では現場の状況に応じて CBF グラウト工法を含め 3 種のグラウト工が実施された。

- 1) グラウト工 (A) : 主として採用した CBF グラウト、延長 1,807 m、注入量 491m³
- 2) グラウト工 (B) : 圧送距離の長い一部区間および湧水部分に採用した発泡ウレタングラウト、延長 125m、注入量 66m³
- 3) グラウト工 (C) : グラウト工 (A) 区間を 50m 毎にブロック分けするための発泡ウレタンを用いたストッパーグラウト、47 箇所

上記グラウト工実施前に実施した工種、数量を下記に示す。また、グラウト工 (A) およびグラウト工 (B)、(C) の注入管標準配置を図-2、3 に示す。

- 1) 注入孔設置工 (A)、(C) : 232 本 (発泡ウレタン用)
- 2) 注入孔設置工 (B)、(D) : 559 本 (CBF グラウト用)
- 3) リーク防止材塗布工 : 816m²
- 4) 仮受支保工 (A) : 47 箇所 (グラウト工 (C) 箇所)
- 5) 仮受支保工 (B) : 1,932m (グラウト工 (A)、(B) 箇所)

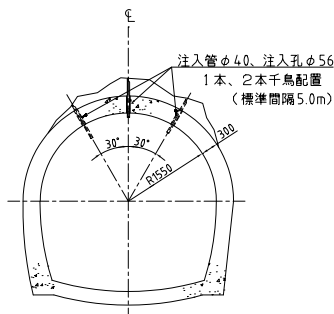


図-2 グラウト工 (A) 標準配置図

(3) 工事工程

1) 工期

平成 19 年 8 月 20 日～平成 20 年 3 月 25 日

2) 水路停止期間

平成 19 年 10 月 2 日～平成 20 年 2 月 5 日 (127 日間)

3) 実施工程

実施工程を表-1 に示す。

表-1 実施工程表

| | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 |
|--------------|----|-----------------|-----|-----|----|----|
| 水路停止 | | ← トンネル内作業実施期間 → | | | | |
| 準備・仮設 | ■ | | | | | ■ |
| 注入孔削孔 | | ■ | | | | |
| グラウト工(B)、(C) | | | ■ | | | |
| リーク防止材塗布工 | | | ■ | | | |
| グラウト工(A) | | | ■ | | | |
| 注入管設置 | | | ■ | ■ | | |
| 仮受支保工(A)、(B) | | | ■ | ■ | | |

3. 修繕工事

本水路トンネルは、横坑 (入坑口) まで車両での搬入が不可能であるため、過去の修繕工事では、県道脇から横坑に索道を設置し、横坑近傍の国有林内借地範囲に小規模の坑外グラウトプラントを運搬・設置していた。

その結果、グラウト材は袋詰め材料 (セメント、ベントナイト) を日々索道で小運搬しながら、荷降ろし場からミキサーへの材料移動・投入等全てを人力で行うこととなり、コスト面で割高であるとともに安全面 (粉塵の発生) でも問題があった。

今回、当社開発の長距離 (1,000m 以上) 圧送性に優れた CBF グラウト工法が採用されたことにより索道設備の使用は必要最低限となり、県道脇に全自動プラントを設置するとともに、国有林内に配管することによってグラウト材を直接圧送することが可能となった。

また、材料単価は、①袋詰め材料からジェットバック車によるバラ物とする、②フライアッシュを使用する、③全自動プラントによる材料練り混ぜ、等により低減が図られ、併せて作業環境の改善を図ることもできた。

(1) 仮設備

1) 索道設備 (1t ケーブルクレーン)

トンネル内、横坑付近で使用する資機材運搬のため 1t ケーブルクレーンを設置した。設置にあたっては民有地、国有林内の許可を受けた範囲内で必要最低限の伐採を行い設置した。写真-2 にケーブルクレーン設備を示す。



写真-2 1t ケーブルクレーン

2) グラウトプラント設備

グラウトプラント設備は県道脇民有地の借地箇所に全自動プラントおよびセメント・フライアッシュのサイロ (30t) 2 基を設置した。写真-3、4 にグラウトプラント設備を示す。



写真-3 全自動プラント



写真-4 グラウトプラント外観

3) クレーン作業構台

トンネル内で使用する不整地運搬車、削孔機 (ラドス)、ディーゼル発電機等は断面の小さい横坑 (W=1.5m、H=1.8m) からでは搬入不可能であった。

そのため、これら機械類は、唯一搬入可能 (開口 W=3.0m × 3.0m) な水路トンネル最下流の調整池に作業構台を設置し、クレーンにより搬入を行った。写真-5 に機械搬入状況を示す。



写真-5 トンネル内機械搬入状況

4) 濁水処理設備

セメント系グラウト材を使用するため、グラウト施工時はトンネル覆工の経年劣化部 (ひび割れ、食い違い、剥離・剥落部) および施工不良部 (ジャンカ、コールドジョイント等) からグラウト材がリークすることが多い。

断水中のトンネル内では湧水が有り、横坑を經由して沢およびトンネル最下流の調整池へ流出している。したがってグラウト材のリークが発生すると濁水が河川に流出することになる。

このため濁水処理装置 (10m³/h) を横坑・調整池の 2 箇所に設置し、pH と濁度を調整してから自然放流した。また、坑内で使用する機械類の燃料、マシン油等の漏油対策としてオイルフェンス・マットの設置や凝集剤の常備等河川の汚染防止対策を行い環境負荷低減に努めた。写真-6 に濁水処理設備を示す。



写真-6 濁水処理設備

(2) 直接工事

1) 角落設置・撤去工

取水口から調整池までは2ルート（新水路、旧水路）の水路トンネルで結ばれている。

工事期間中は、旧水路を通水し発電所を運転するため、工事を行う新水路内に水が回り込まないように、取水口、調整池の両側に仮締切工（調整池側は施工性を考慮し角パイプを使用）を設置した。写真-7に仮締切設備を示す。

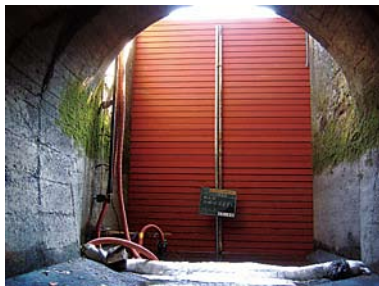


写真-7 仮締切設備（調整池側）

2) 注入孔削孔

従来は、小断面における削孔はボーリングマシン（回転による削孔：ロータリー式）による方法が多く採られてきた。

今回、注入孔の削孔は、当社開発機である小断面用削孔機（ラドス）を使用し、移動・据付時間の短縮化と、回転と打撃（ロータリーパーカッション式）による高い削孔性能（最大90本/日）をもって効率化を図った結果、従来工法と比較して1ヶ月程度の工程短縮を図ることができた。従来機との相違を下記に示す。

- ①自走式：移動・据付時間の短縮
- ②ロータリーパーカッション方式：削孔時間の短縮
- ③センターホールドリフタ搭載：ロッド継ぎ足しの簡易化

注入孔削孔後は、背面空洞状況をメジャーで測定し、空洞量算出・グラウト管理の基礎データとした。ラドスによる削孔概要を図-4に、写真-8に削孔状況を示す。

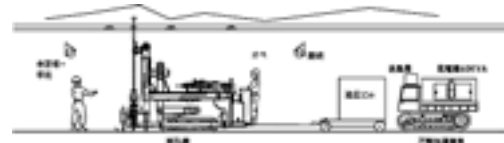


図-4 注入孔削孔概要図



写真-8 ラドスによる注入孔削孔状況

3) リーク防止材塗布工（試験施工）

グラウト施工時のリーク防止対策として、従来は、①事前にモルタルコーキングを実施する、②グラウトを行いながらリークしてきた箇所にウエスでコーキングを行う、等の方法が採られてきた。しかし現状では予期し得ない部位からのリークにより、注入作業が中断し、リーク材の清掃および産業廃棄物処理に多くのコストが発生している。

今回、このリーク材およびリーク材からなる濁水の発生を極力抑え、コストの縮減を図るとともに環境負荷低減に努めるため、ポリマーセメント系モルタルを覆工アーチ部に吹き付ける方法（吹き付け厚2mm程度）を発注者に提案し、事前に試験施工を行った。結果的にはコンクリート面が乾燥状態の区間ではある程度の効果があったものの湿潤面においては有効なリーク防止対策とはならなかった。この課題については引き続き検討を考えていきたい。写真-9、10に施工状況を示す。



写真-9 吹き付け設備



写真-10 吹き付け施工後

4) 仮受支保工

グラウト注入時は、グラウト材の自重および注入圧力が覆工コンクリートに作用するため、覆工コンクリート安定のため、仮受支保工設置後にグラウト注入を実施した。

仮受支保工は移動時間の短縮を図るためキャスター付きの構造とした。仮受支保工構造図を図-5に、写真-11に仮受支保工設置状況を示す。

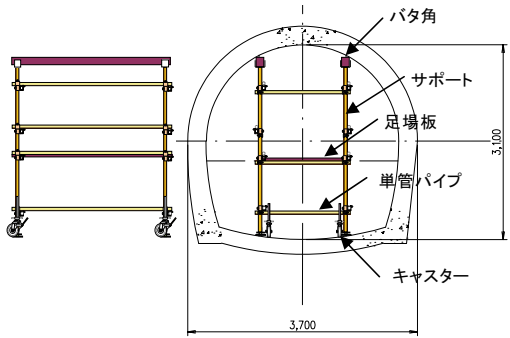


図-5 仮受支保工構造図

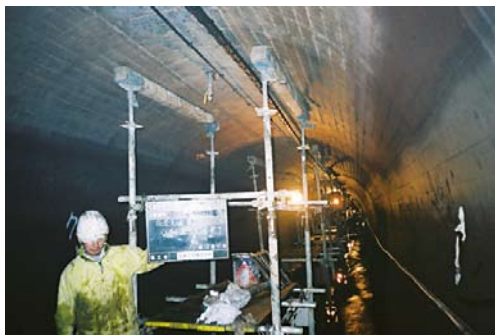


写真-11 仮受支保工設置状況

5) グラウト工 (A)

従来はセメントとベントナイトを混合した充填材料（以下CBグラウトと称す）が一般的に採用されてきた。

CBFグラウトは、CBグラウトをベースに材料単価の高いセメント、ベントナイトの使用量を削減し、安価なフライアッシュを使用することで経済性に優れた材料である。

また、従来材料はベントナイトを一旦膨潤させてから混合させないと所定のブリージング率を確保できなかったが、CBFグラウトは添加剤を使用することで膨潤させる必要がなく直接混合することが可能となった。

CBFグラウト材および一般的な充填材料の配合を表-2、3に示す。

表-2 CBFグラウト材 1.0m³あたり配合

| | | |
|-------------------|-------|---|
| 高炉セメント (B種) | 150kg | (管理基準値) ①フロー：9.5 ± 1.0 秒 ②比重：1.2 ± 0.1 ③ブリージング：5% 以下 ④設計強度： σ 90=1.0N/mm ² 以上 |
| ベントナイト(250メッシュ) | 50kg | |
| フライアッシュ (JIS II種) | 150kg | |
| 練混ぜ水 | 851kg | |
| 添加剤 | 14kg | |
| 希釈水 | 10kg | |

表-3 一般的な充填材(CBグラウト)1.0m³あたり配合例

| | | |
|-----------------|-------|--|
| 普通セメント | 375kg | (管理基準値) |
| ベントナイト(250メッシュ) | 75kg | ①ブリージング：5% 以下 |
| 練混ぜ水 | 852kg | ②設計強度： σ 28=1.0N/mm ² 以上 |

CBFグラウト材はグラウトプラントで練り混ぜ、民有地・国有林内に配置した圧送管(延長約500m)、入坑口(横坑)近傍の中継用プラントを経由し、トンネル内配管(最大延長約1,100m)により圧送を行った。

グラウト管理は、削孔時の記録(覆工厚、空洞深さ)から図-6に示すような空洞縦断面図を作成し注入量算出の参考データとするとともに、実施注入量については自記流量計により管理した。

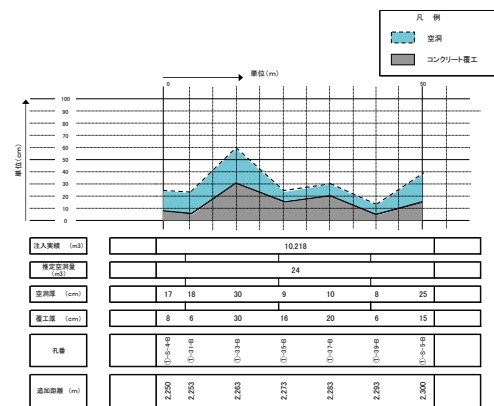


図-6 空洞縦断面図

注入圧力の管理は自記流量計の圧力および元圧力ゲージにより行い、初期注入圧に0.1N/mm²を加算した圧力値を注入限界値とした。グラウト工の概要を図-7に、写真-12に施工状況を示す。

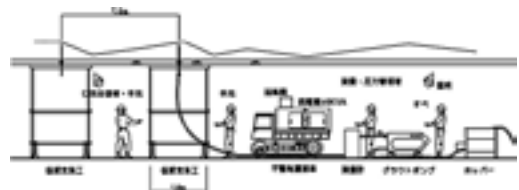


図-7 注入概要図



写真-12 CBFグラウト施工状況

近年、土壤汚染防止法に基づき、充填材料の安全性が発注者から求められている。

フライアッシュには火力発電所の燃焼能力・石炭の産地などにより重金属が含まれていることが知られているため、事前に注入材の供試体を作成し「土壤汚染防止法」重金属（第2種特定有害物質）に指定される9項目（カドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ふっ素、ほう素）の溶出試験を実施した。

結果、基準値（平成3年環境庁告示第46号）に適合していることを確認した。

6) グラウト工 (B)、(C)

空洞充填区間の中で、圧送距離が長い一部区間および湧水がある区間については、①長距離の割にわずかな注入量であるため割高となる、②湧水箇所でのセメント系グラウト材の使用は所用強度が得られない等の理由により、発泡ウレタンによる空洞充填を実施した（グラウト工 (B)）。

空洞充填グラウトを実施する際は、背面空洞が連続して存在していることが多く、ある一定のブロック単位毎に注入量の管理を行うことが一般的である。今回は、グラウト工 (A) 区間について、1日あたりの注入能力、仮受支保工の移動・設置、連絡・合図等の施工性等を考慮して50mのブロックに分け、ストッパーグラウトとして一般的に使用されている発泡ウレタンを注入した（グラウト工 (C)）。グラウト仕様を表-4に示す。

表-4 グラウト仕様

| 工種 | 区分 | 材料 | 仕様 |
|-----------|--------------------------------|---------------|---|
| グラウト工 (B) | 遠距離・湧水箇所の空洞充填 | 発泡ウレタン (A、B液) | 発泡倍率： 12 ± 3 倍 ライズタイム： 80 ± 20 秒 強度： 1.0N/mm ² 以上 |
| グラウト工 (C) | グラウト工 (A) 実施区間のストッパー (@50m 標準) | 同上 | 同上 |

発泡ウレタンの注入は、移動台車上に小型電動注入機、ウレタン専用タンク、コンプレッサー、ウレタン材（20kg/缶）を搭載し、トンネル内施工箇所まで移動しながら行った。

注入量の管理は注入機付属の流量計によって行い、施工前に配合比、流量計のキャリブレーションを実施した。

注入圧力の管理は注入機の圧力および元圧力ゲージにより行い、初期注入圧に0.1N/mm²を加算した圧力値を注入限界値とした。写真-13、14に施工状況を示す。



写真-13 発泡ウレタン注入機



写真-14 発泡ウレタン注入状況

4. おわりに

本プロジェクトでは当社所有の技術（ラドスによる削孔、CBFグラウトの使用、等）を適用することにより従来工法と比較して、20%程度の工程短縮とともに、充填材料コストの低減（1/2程度）が図られ、全体としての工事コストも大幅に削減することができた。

経年水力発電所水路トンネルの変状対策工法として、背面空洞充填工法は各所で採用・実施され、今後継続的に実施されることからCBFグラウトをはじめとする技術提案を積極的に行い、導入を図りたい。

とくにCBFグラウト工法は、火力発電所で発生するフライアッシュを再利用することで環境負荷低減に寄与する充填材料である（フライアッシュの産地によっては溶出試験の結果、基準値を上回ることも考えられるため、施工の都度溶出試験を実施し、安全性を確認することが重要である）。

今後は、トンネル背面空洞だけでなく、経年空洞設備（未使用横坑・水路、防空壕跡、鉱山・採石場跡、等）の充填材料としても広く採用されるよう情報発信していきたい。

課題であるリーク防止対策については新材料・新工法による対策工法の開発を継続し、環境負荷低減を図るとともにさらなるコストの低減を推進することが必要である。

謝辞：本プロジェクトは、厳冬期を迎え作業環境の悪化が懸念される中、無事故・無災害で竣工することができた。工事管理にあたっては、東京電力株式会社栃木支店ならびに栃木北支社鬼怒川制御所土木保守グループの各関係者に多大な御尽力を頂いた。ここに記して御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策、2002.9
- 2) 土木学会：トンネルの変状メカニズム、2003.9