

小断面，大深度，立坑施工実績

THE CONSTRUCTION OF SMALL-SECTION AND GREAT-DEEP SHAFT

甚内郁郎¹⁾・田路隆茂²⁾・田中久人¹⁾・佐藤敏亮³⁾

Ikuro JINNAI, Takashige TAJI, Hisato TANAKA and Toshiaki SATO

The excavated shaft of penstock in Okutadami Hydropower Project is 6.2m in diameter and 155m in length. First, a pilot hole, 2.44m in diameter, was excavated by using Raise Boring Method. Second, since the excavation point is only 9m away from existing dam body, NATM, using controlled blasting, was adopted to enlarge the pilot hole. As to the filling concrete, we used fly ash as admixture and aggregation maximum size of 10mm to keep high workability of concrete and satisfactory operation of pumping. This paper describes the construction of small-section and great-deep shaft.

Key Words: shaft, tunnel, raise boring method, controlled blasting, fly ash

1. はじめに

既設の奥只見発電所（最大出力 36 万 kwh）は、昭和 35 年 12 月に運転開始し、現在も国内有数の水力発電所として稼動している。奥只見発電所増設工事は、有効落差 164.2m、最大使用水量 138m³/sec、最大出力 20 万 kwh であり、運転中の奥只見発電所と合わせると 56 万 kwh のダム水路式発電所となる。

当工区は、ダムの水位を低下しないで構築する仮締切工事と取水口本体工事、取水口から発電所までの水圧管路工事を施工するものである。

本稿では、立坑掘削工事と水圧管路の充填コンクリート工事の施工概要と実績について報告する。

2. 水圧管路工事計画概要

(1) 水圧管路工事概要

水圧管路工事は、取水口から発電所までの全長 280.41m を施工するものであり、掘削工、水圧鉄管据付工、水圧鉄管の周囲に打込む充填コンクリート工からなる。水圧管路工事計画図を図-1 に示す。

(2) 工事の特徴

工事の特徴は以下の通りである。

①工事区域は、イヌワシ等の貴重鳥類の生息地であることから、毎年 11 月から翌年 6 月までの営巣期間内はイヌワシの営巣に配慮するため、地上部の明り工事を中止している。

②水圧管路工事の期間は、工事着工から運転開始まで約 4 年の工期であるが、上記の工事制約があるため実質 16 ヶ月の厳しい工程となっている。（4 ヶ月/年×4 年＝16 ヶ月）

1) 鹿島建設㈱ 北陸支店

2) 東洋建設㈱ 東北支店

3) 正会員 鹿島建設㈱ 北陸支店

地質は、粘板岩、チャート、斑
レイ岩から構成されており、堅硬
なB～C級の岩盤である。

(4) 水圧管路工事施工フロー

水圧管路工事の主な工程は、1年目は下部水圧管路掘削と立坑区間の導坑掘削を、2年目は立坑区間の拡大掘削とダム堤体掘削を、3年目はダム堤体の貫通掘削と上部水圧管路と下部ベンドから立坑区間の充填コンクリートを、4年目は下部水圧管路の充填コンクリートと上部固定コンクリートを施工する。

水圧管路工事の施工フローを図
- 2 に示す。

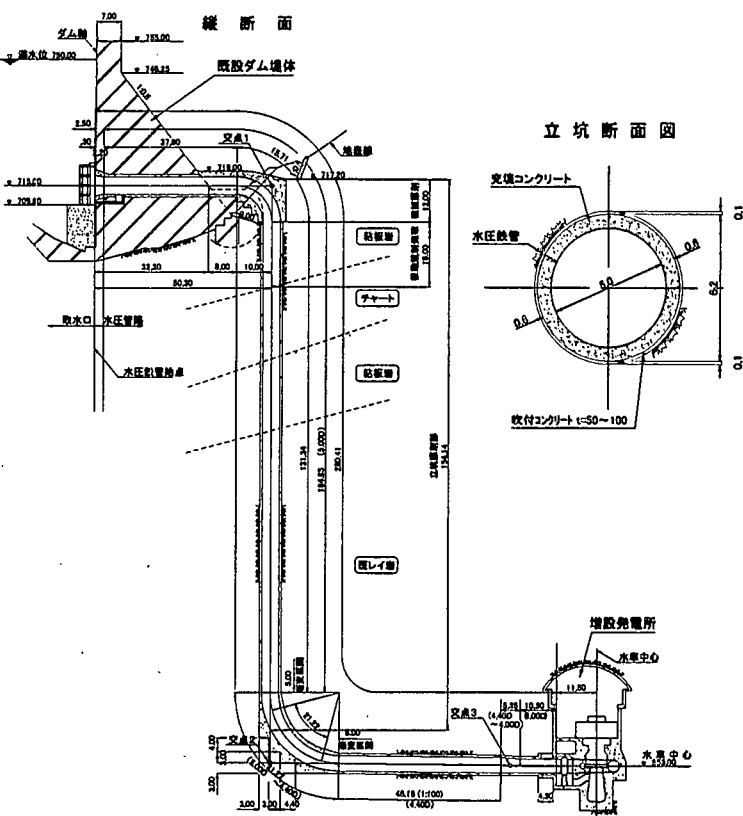


圖-1 水圧管路工事計画図

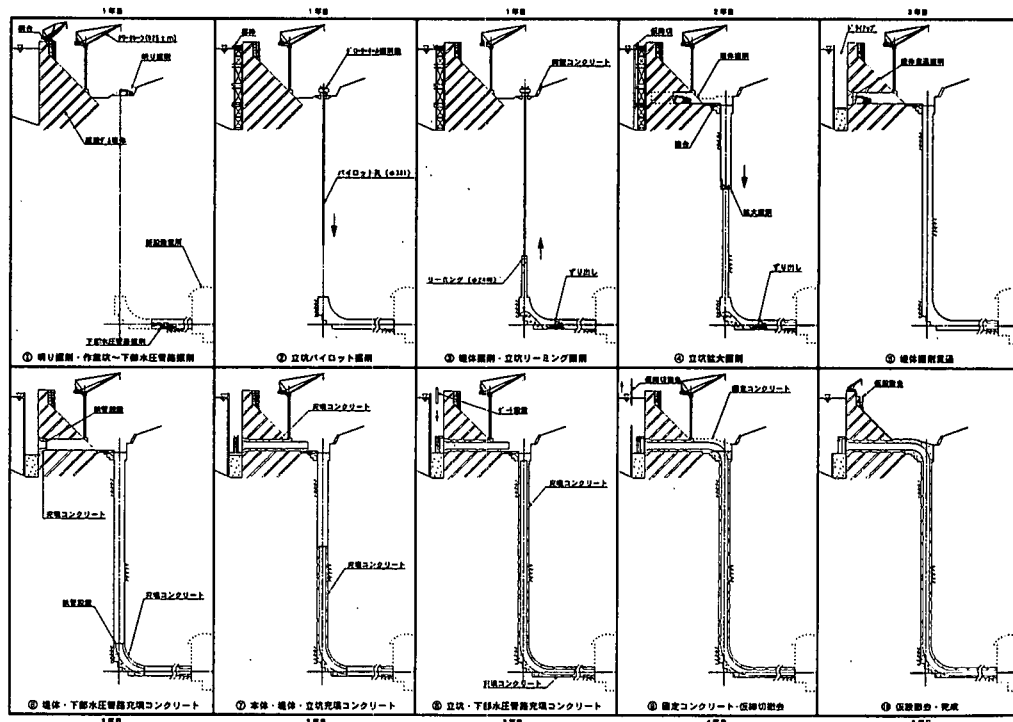


図-2 水圧管路工事施工フロー

3. 立坑掘削工事

(1) 立坑規模と掘削工法

立坑掘削の規模は、直径 6.2m、掘削断面積約 30m²、深度約 154m であり、小断面かつ大深度である。立坑掘削断面図を図-3 に示す。

立坑掘削工法には導坑先進拡大掘削工法を採用した。導坑掘削にはレイズボーラー工法を、拡大掘削には発破掘削による N A T M 工法を採用した。

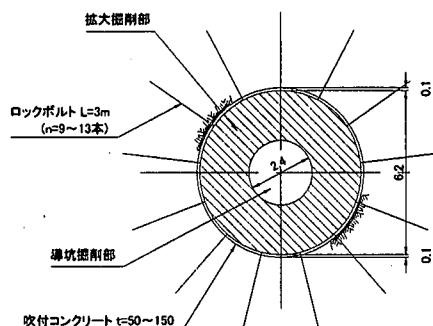


図-3 立坑掘削断面図

3. 1 導坑掘削

(1) 導坑掘削施工フロー

導坑掘削施工フローを図-4 に示す。

(2) 導坑掘削の問題点と対策

a) 問題点

立坑延長が約 154m と長いいため、導坑先進拡大掘削工法において以下の問題点が考えられた。

①導坑掘削の直径が小さいと、拡大掘削ずりが導坑内で閉塞する恐れがあり、閉塞した場合の掘削ずり除去が困難かつ危険である。

②導坑掘削の鉛直精度が悪い場合は拡大掘削に支障をきたすので、レイズボーラー工法による導坑掘削の鉛直精度 0.5% 以下を確保する必要がある。

③導坑掘削直径が 1.5m 以上の施工実績が国内では 7 例と少なく機械の選定が難しい。

b) 対策

①導坑閉塞対策として、拡大掘削の発破孔間隔と作業足場設備等を考慮して、導坑の直径は多用されているφ1.0~1.5m より大きいφ2.4m とした。また、導坑位置は施工性を配慮して立坑中心に配置した。

②導坑掘削機械は、大口径の施工実績があり、直径 2.4m の導坑掘削が可能でかつ 154m の鉛直精度を確保できることを考慮して、RHINO2006DC を採用した。導坑掘削機械の仕様を表-1 に示す。

(3) 導坑掘削施工実績

導坑掘削は、パイロット掘削からリーミング掘削まですべて RHINO2006DC を使用する予定であったが、同機を使用していた他工事の影響でパイロット着手時までに RHINO2006DC が搬入できなくなったため、パイロット掘削機械には BM100N、リーミング掘削機械には RHINO2006DC を使用するように変更した。

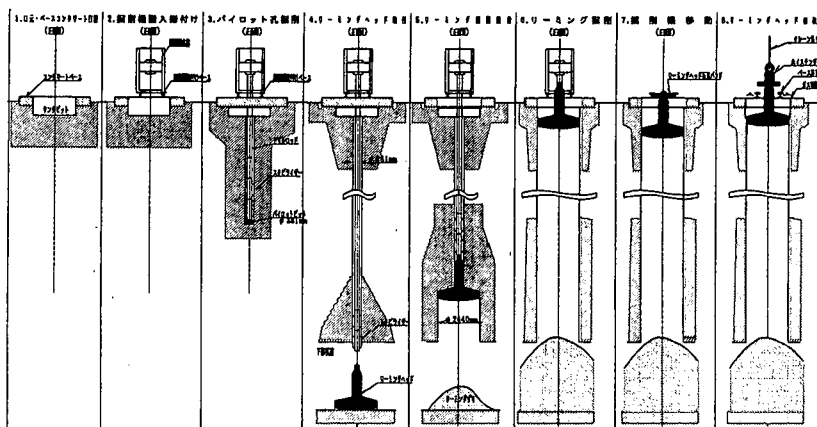


図-4 導坑掘削施工フロー

表-1 導坑掘削機械の仕様

掘削機種	パイロット径 (mm)	リーミング径 (mm)	最大トリ (tf-m)	本体自重 (t)
RHINO2006DC	381	2,440~6,121	46.0	24.1

パイロット掘削は、直径 216mm の 1 次パイロットを穿孔し、その後、直径 381mm の 2 次パイロットをリーミングして拡幅することで対応した。

リーミング掘削は、パイロット掘削時の施工データのビット荷重、ビット回転数、トルク、掘進速度の関係からリーミング管理基準を表-2 に示すように設定した。

a) 導坑掘削実績能力

導坑掘削の実績能力を表-3 に示す。

b) 導坑掘削工程実績

パイロット掘削機械の搬入と 2 次パイロット掘削が 9 日間増えたが、上記の管理基準を用いて掘削することによりリーミング掘削を 10 日間で行い、導坑掘削全体を 48 日間で完了した。

導坑掘削の実績工程を表-4 に示す。

c) 鉛直精度

パイロット孔は 25m 毎に孔曲り測定を実施し、パイロット貫通後の累積偏差は 75cm、導坑鉛直精度は 0.48% であり目標値の 0.5% を確保した。

表-2 リーミング管理基準

地質名	延長 (m)	ビット荷重 (tf)	ビット回転数 (rpm)	トルク (tf-m)
粘板岩～ チャート	60	130	7.8	15～20
斑レイ岩	95	160	7.8	15～20

表-3 導坑掘削実績能力

地質名	延長 (m)	1 次パイロット (m/h)	2 次パイロット (m/h)	リーミング (m/h)
粘板岩～ チャート	60	1.05	2.23	1.21
斑レイ岩	95	0.73	1.14	0.70

表-4 導坑掘削実績工程

工 種	日 数
BM-100 搬入～設置	4 日
1 次パイロット掘削 (φ216mm)	10 日
2 次パイロット掘削 (φ381mm)	5 日
機械入替え～ロッド' 降下、リーミング' ビット取付	14 日
リーミング' 掘削 (φ2,440mm, L=154m)	10 日
リーミング' ビット回収, RHINO2006DC 解体～搬出	5 日
計	48 日

3. 2 拡大掘削

(1) 拡大掘削

拡大掘削は吊下げ式足場を用いて汎用機械で施工した。拡大掘削の施工フローを図-5 に示す。

(2) 拡大掘削の問題点と対策

a) 問題点

① 発破掘削区域は稼動中の発電所に最少離隔距離が 80m と近接しているため、漏洩電流による発破事故の危険がある。また、既設ダムに最少離隔距離が 9m と近接しているため、発破振動によるひび割れ等の損傷を与える可能性が懸念された。

② 立坑直径が 6.2m と小さく作業床に吹付機械を設置する場所がなく、吹付機械を立坑上部に配置して吹付けコンクリートを最大 154m 垂直に圧送するため、湿式の吹付け方式では圧送管内が閉塞する可能性が高い。

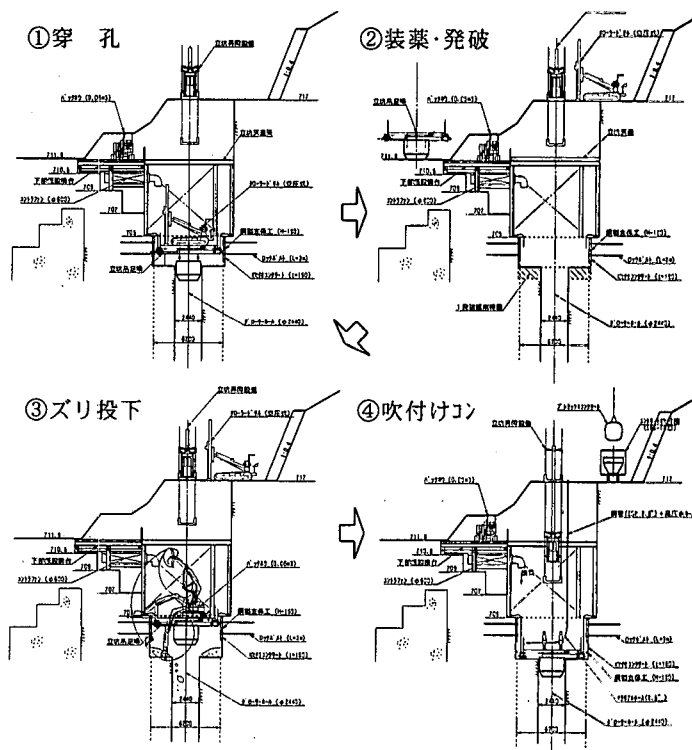


図-5 拡大掘削フロー

b) 対策

- ① 拡大掘削は、非電気式雷管と延時コネクターユニットを組合せ導爆線により結線して、点火装置のスパークで起爆する多段式振動制御発破を採用し、NATM工法で上から順次拡幅掘削して切下がった。
- ② 吹付けコンクリートには、乾式の吹付機械システムを用いて、骨材の表面水管理を必要としない絶乾状態に乾燥させた骨材とセメントを空練混合させたプレミックスコンクリートを使用した。

(3) 拡大掘削施工実績

a) 使用機械・設備

拡大掘削に用いた機械・設備を表-5に示す。

b) 振動制御発破

ダムに9mと近接している場所における振動制御発破計画の諸元と装薬配分表を表-6～7に、発破パターン図を図-6に示す。

表-6 振動制御発破計画の諸元

断面積 (m ²)	28.5	起砕量 (m ³)	28.5
進行長 (m)	1.0	爆薬量 (kg)	26.4
穿孔長 (m)	1.1	雷管(LP-0～12) (個)	36
穿孔径 (mm)	42	コネクターユニット(SL-0) (個)	3
孔数 (孔)	36	コネクターユニット(SL-42) (個)	2

表-7 装薬配分表

段数	1孔当りの装薬量(kg)			1段当りの装薬量(kg)
	親タイ	増タイ	計	
1～6	0.2	0.8	1.0	2.0
7～12	0.2	0.4	0.6	2.4

c) 発破振動計測結果

上記の振動制御発破パターンの振動計測値は0.829cm/secであり、振動規制値2cm/secを満足した。上記の発破振動計測を図-7に示す。

d) 吹付けコンクリート実績

プレミックスコンクリートは湿気ないように、二重のビニール袋入りのトンパック袋で搬入した。

その結果は圧送管（内径65mm）で閉塞することはなかったが、骨材が絶乾状態の砕石であるため、圧送管のバンド鋼管内部の損磨耗が大きく、施工開始当初にバンド鋼管をマテリアルホースへ変更した。

e) 拡大掘削実績

拡大掘削は、立坑坑口から約18m区間はダムに近いので振動制御発破掘削で行い、18m以深は通常の発破掘削で施工したが、発破による事故を発生させないで工事を完了することができた。

拡大掘削の実稼働日数は49日間であり、導坑内が拡大掘削ずりで閉塞することなく掘削を完了した。また、吹付けコンクリートはプレミックスコンクリートを用いることにより、圧送管内で閉塞することなく深度154mまでの圧送を可能にした。

表-5 掘削機械・設備

作業名	機 械 名	仕 様
穿 孔	空圧式クロ-ラトル	4.5t級, DC45A
コソク	油圧ブレーカ	0.2m ³ , 150kg級
スリ投下	バックホウ	0.06m ³ 級
吹付け	乾式SBS-TS型	1～5m ³ /h
ターンテーブル式吊下げ足場		積載量 7t

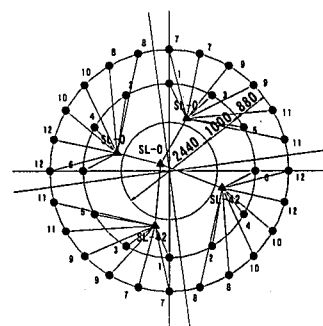


図-6 発破パターン図

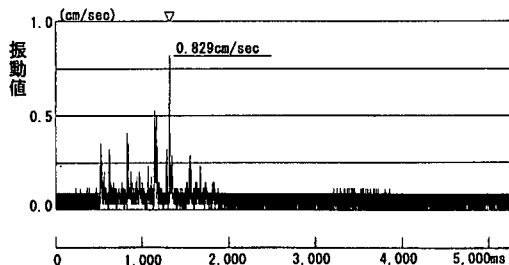


図-7 発破振動計測結果

4. 充填コンクリート工事

(1) 充填コンクリートの概要

立坑部の充填コンクリートは、岩盤と鉄管の間に充填されるコンクリートであり、鉄管に作用する内圧を周辺岩盤に伝達するためのコンクリートである。

充填コンクリート工事は、下部ベント管から上部ベント管の高さが約132m区間を、鉄管据付にあわせて8リフトでコンクリート打設する。

(2) 充填コンクリートの問題点と対策

a) 問題点

- ① 下部水平トンネルからコンクリートを吹上げ圧送する場合は、下部水圧鉄管の据付作業と競合するため工程の確保ができないのでダム天端からコンクリートを供給することが求められた。この場合は最大高低差が約181mあり、コンクリートの品質を確保しながらかつ安全に供給する必要がある。

b) 対策

- ① ダム天端から立坑上部の垂直配管(φ150mm)まではダム背面に設置した下り配管を用いてコンクリートをポンプ圧送した。
- ② 立坑内のコンクリート垂直搬送方法は、立坑上部に設置したコンクリート受けホッパーから、立坑壁面に設置したコンクリート供給管を経由してコンクリートを供給した。
- ③ 供給管の端部には、コンクリート落下時の衝撃を和らげ骨材の割れや材料分離を防止するためコンクリート落下防止を設置した。
- ④ コンクリートには流動性とポンプ圧送性を確保するため、最大骨材寸法10mmの骨材と混和材としてフライアッシュを用いたコンクリートを採用した。

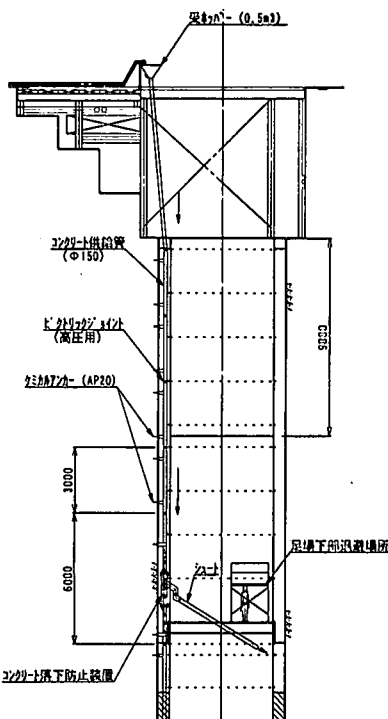


図-8 コンクリート供給状況

(3) コンクリートの要求性能と配合表

コンクリートの流動性とポンプ圧送性を確保するための要求性能と配合表を表8～9に示す。

表-9 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	FA	S	G	AE
65.0	50.0	215	331	99	802	805	3.52

表-8 コンクリートの要求性能

要求項目	要求性能
設計基準強度(材齢28日)	18N/mm ²
単位セメント量	320kg/m ³ 以上
水セメント比	65%以内
細骨材率	48%以上
スランプ	21±1.5cm
空気量	4.5±1.5%

(4) 充填コンクリートの実績

立坑部のコンクリート垂直搬送方法は、コンクリート供給管とコンクリート落下装置を組合せることにより、コンクリートの管内閉塞や材料分離もなく要求品質を確保できた。また、鉄管据付工事を含めて2ヶ月間で132m区間の充填コンクリートをトラブルもなく無事に完了した。

5. おわりに

奥只見発電所増設工事は平成15年6月の運転開始を予定している。最後に、本工事を進めるにあたり、ご協力いただいた関係各位に心より深く感謝申し上げます。