

奥只見発電所増設工事 奥只見ダム穴開け工事の概要

坂田 淳・栗原 哲

奥只見増設発電所は、平成11年に着工し、平成15年6月運転開始を目指して工事を行っている。本工事区域は、希少猛禽類が生息する豊かな自然環境にあり、環境保全に配慮しながら急速施工を行っている。

本増設発電所は、既設ダム堤体から直接取水するレイアウトを採用し、平成12年～13年に堤体穴開けと水路構造物の構築を完了した。本報文では、増設計画の概要を紹介するとともに、ダム堤体穴開け施工法、振動測定管理について紹介する。

キーワード：ダム再開発、スロット穿孔、振動管理

1. はじめに

水力発電は国内発生電力量の約10%程度のシェアで、貯水池、調整池式発電では負荷追従特性を活かした周波数安定およびピーク対応電源として、電力の量の確保と質の安定に寄与している。加えて水力発電は、CO₂ガス排出量が非常に少ない循環型自然エネルギーで、地球温暖化防止およびエネルギーセキュリティの観点から今後も着実に開発する必要がある。

しかし、新規中小水力開発地点は奥地化による自然環境保全対策コストの増高等から経済性が悪化し、開発困難な状況にある。

今後の水力開発は、自然環境への負荷の少ないダム再開発等の既存ストックの有効利用が促進されると想定される。

本報文では、奥只見発電所増設工事において環境保全対策、既設構造物への影響低減対策を計りながら施工されたダム堤体穴開けの概要を紹介するものである。

2. 再開発計画概要¹⁾

奥只見発電所は、信濃川水系只見川の上流に位置し、国内最大の6億m³の総貯水容量を有する奥只見貯水池より最大使用水量249m³/sを導水し、最大出力36万kWの発電を行っている。

奥只見発電所下流には、大鳥、田子倉発電所等約20の発電所があり、そのうち田子倉貯水池も総貯水容量4.9億m³の大規模貯水池を有し、2つの大規模貯水池を利用して奥只見および大鳥発電所で昼間のピーク需要に対応したピーク発電運転が、田子倉発電所では水位変動等下流への影響を考慮した運転が行われている(図-1参照)。

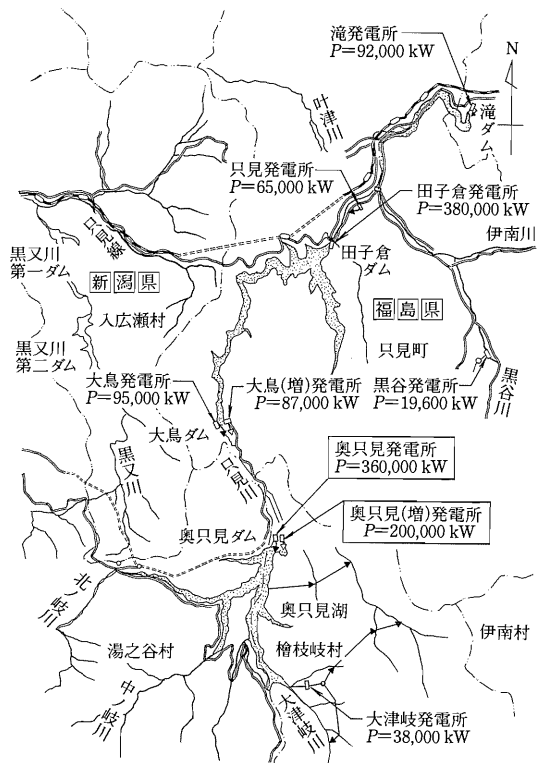


図-1 計画位置図

表-1 再開発計画諸元

| 項目 | 奥只見発電所 | | | 大鳥発電所 | |
|----------------------------|---|---|---|--|--|
| | 既設 | 増設 | 維持流量 | 既設 | 増設 |
| ダム高さ (m) | 157 | 157 | 157 | 83 | 83 |
| ダム堤長 (m) | 480 | 480 | 480 | 187.9 | 187.9 |
| 総貯水容量 (m ³) | 601×10 ⁶ (458×10 ⁶) | 601×10 ⁶ (458×10 ⁶) | 601×10 ⁶ (458×10 ⁶) | 15.8×10 ⁶ (5.0×10 ⁶) | 15.8×10 ⁶ (5.0×10 ⁶) |
| 最大使用水量 (m ³ /s) | 249.0 | 138.0 | 2.56 | 220.0 | 207.0 |
| 有効落差 (m) | 170.0 | 164.2 | 130.0 | 50.8 | 48.1 |
| 最大出力 (kW) | 360,000 | 200,000 | 2,700 | 95,000 | 87,000 |

(注) 括弧内数字は有効貯水容量を示す。

ピーク需要の増加に対応するため、奥只見発電所ではさらに138 m³/sを取水し20万kWの出力アップを、奥只見発電所の発電使用水量の増加に合わせて下流にある大鳥発電所も発電使用水量を207 m³/s増やし8.7万kWの出力アップを行う計画である(表-1参照)。

なお奥只見増設計画と合わせて奥只見ダム直下より河川維持流量として2.56 m³/sを放流することとなり、最大出力2,700 kWの維持流量発電所も併せて開発する計画である。

3. 設 計

(1) 制約条件

奥只見増設発電所工事区域は、越後三山只見国定公園の第1種、第2種特別地域に位置し、希少猛禽類のイヌワシが生息する豊かな自然環境にある。したがって、設計、施工するうえで下記に示す制約を考慮しなければならない。

① 制約-1

奥只見ダム下流には水力発電所、漁協等多数の利水者が存在し、貯水池運用を変更すれば下流利水者に多大な影響及ぼすことから、貯水池運用は変更できない。

② 制約-2

イヌワシの営巣地が工事区域近傍にあり、福島県および新潟県と協議の結果、営巣中心域(営巣地から半径1.2 km以内)では、営巣期間中(11月~6月の8カ月)は明り工事禁止。また明り工事区域に設置した仮設備、重機等はイヌワシの営巣活動に影響を与える恐れがあるため、営巣期前に可能な限り撤去しなければならない。

③ 制約-3

工程短縮を計り、工事に伴う自然環境への負荷

軽減から地表改変を抑制すること。

制約-2を詳述すると、イヌワシは自然生態系の頂点に位置し、レッドデータで絶滅危惧1B種に指定されているように生息数が極めて少ない。

活動サイクルのうち造巣期、抱卵期、巣内育雛期からなる営巣期は非常に敏感になり、工事振動騒音等により営巣活動を放棄することがある。したがって、営巣期間中明かり工事は禁止とし、トンネル工事でも工事により発生する騒音、振動の影響がないことを確認しながら工事を行った。非営巣期における明り工事の際にも、騒音、振動を測定し施工管理基準を満たしていることを確認している。

(2) レイアウト

取水口のレイアウトは、ダム上流右岸側取水とダム堤体直接取水の2案が考えられる。ダム上流右岸側取水案は、大規模な地表改変が発生し環境への負荷が大きくしかも経済性が劣るため、ダム堤体直接取水案を採用した。

取水口工事が可能な非営巣期間(7月~10月)の貯水池水位は、高水位で運用されていることから、取水口およびダム堤体内水路の構築をドライな状態で行うことができるようダム堤体に半円形二重鋼矢板仮締切^{2),3)}を設置した。

増設発電所は既設発電所付帯設備(発電所天井クレーン、サービストンネル、電気機器搬入用クレーン等)が利用できるよう、既設地下発電所の右岸山側に拡張するレイアウトとした⁴⁾(図-2参照)。

これに伴い、取水口、水圧管路、放水路等の水路構造物は既設水路右岸山側にレイアウトした。

(3) 堤体穴開け

堤体区間の水路縦断面、水圧管路横断面を図-3(a), (b)に示す。増設取水口は貯水池満水位より35 mの深さにあり、ダム堤体内の穴開けは幅6.2 m、高さ6.2 m、延長32 m、掘削容積は約1,200 m³である。

水圧管路(図-3(b)参照)はφ5.0 mの鉄管で、鉄管据付け時の施工性を考慮して詰込みコン

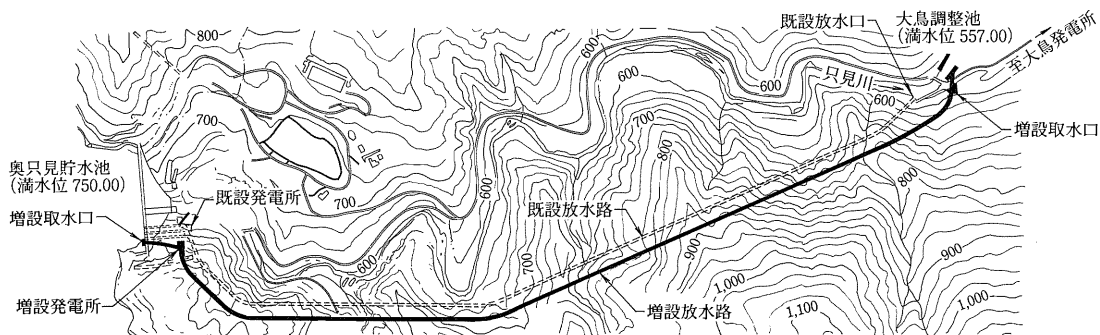


図-2 奥只見増設計画(平面)

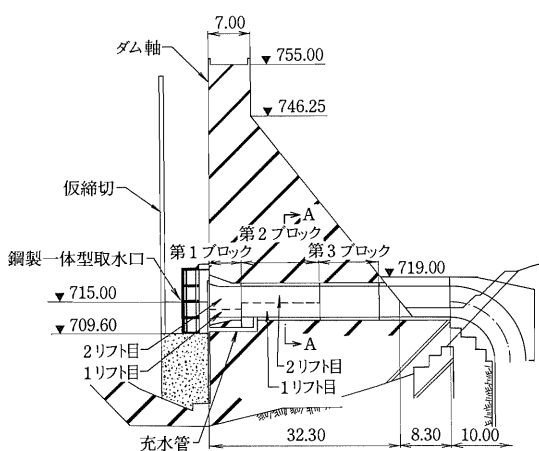


図-3(a) 水路縦断面

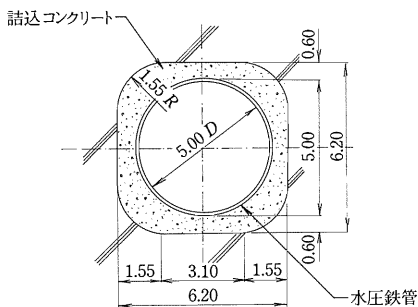


図-3(b) 水圧管路 横断面 (A-A 断面)

クリート厚を0.6 mとし、ダム軸から下流7 mで既設通廊と水圧管路とが交差する箇所に充水用バルブを配置した。

掘削形状は、一般的に円形または馬蹄形が採用されるが、本穴明け工事においては空洞に発生する応力集中を最小化する断面を検討した結果、偶角部を有する方形断面を採用した。これは、6.2 mの正方形で、偶角部は半径1.55 mの1/4円形状である(図-3(b)参照)。

掘削断面は地震時、常時の荷重条件、空虚、満水位の貯水池水位条件において、3次元および2次元線形弾性有限要素解析による応力照査を行って、穴開けにより生じる応力集中に対して堤体コンクリートの安全性が損なわれないことを確認した。方形断面の採用により、底面および天端がフラットになり、掘削時の施工性および詰込み材料の充填性が向上した。

(4) 詰込みコンクリート

水圧管路には最大40 mの水圧が作用するため、鉄管とダム堤体との空間に充填される詰込みコンクリートは高い水密性が要求されることから、高い流動性とクラックの発生抑制が期待できるフライアッシュ粉体系高流動コンクリートを採用した。

高流動コンクリート材料を使用した場合には、打設圧力が直接型枠等に伝達されるため、妻型枠の支持補強と妻型枠の隙間からの材料漏出に留意する必要があるが、完全な妻型枠の支持補強は困難である。したがって、天端空隙の発生は不可避であり、セメントミルク注入を計画した。

鉄管～詰込みコンクリートおよび詰込みコンクリート～ダム堤体との境界部の水密性は下記に示す方法で万全を期すこととした。

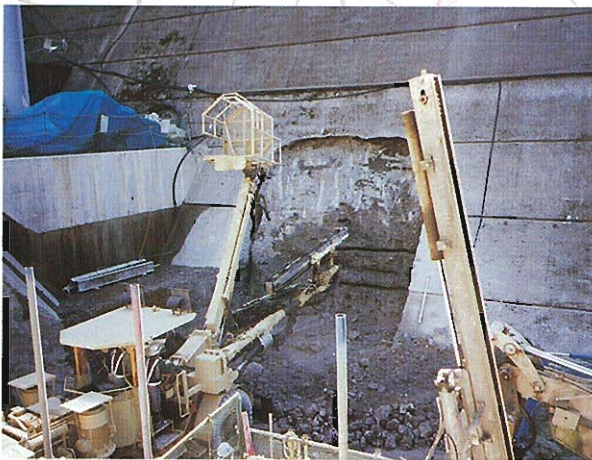
- ① 鉄管～詰込みコンクリート境界部
鉄管に高さ25 cmの水切板を配置。
- ② 詰込みコンクリート～ダム堤体
セメントミルク注入による空隙充填とともに、万一の漏水に備えて堤体壁面横断方向に水膨張ゴムを4箇所設置し、二重の止水対策を実施した。

奥只見ダム所増設工事

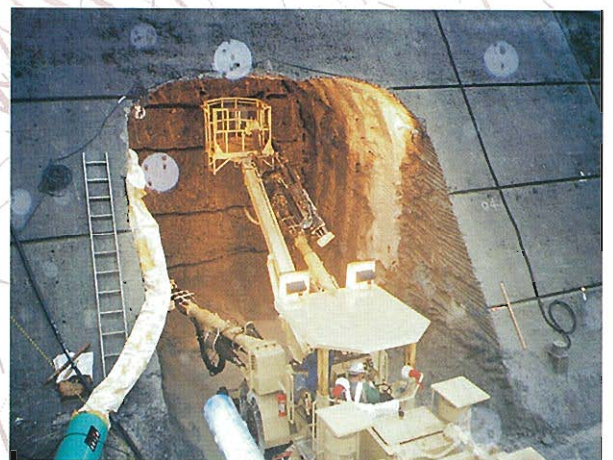
奥只見ダム穴開け工事の概要について



⇧ ブレーカ破碎状況



⇧ スロット削孔状況



⇧ スロット削孔状況



↑水圧鉄管据付・コンクリート打設後状況



↑2ブームホイールジャンボ



↑ツインヘッダ



↑ブレーカ(2t級)

表-2 堤体穴開け工法一覧⁵⁾

| 分類 | 1 段階 施工 | | 2 段階 施工 | |
|-------|--------------------------------|---|--|---|
| | 機械掘削 | 連続孔穿孔+破碎 | 切削+破碎 | 高密度穿孔+削孔 |
| 施工法概要 | TBM, ボーリングマシン, 自由断面掘削機により掘削する。 | 単一孔穿孔あるいは多連ドリル穿孔によりスリット形成後, プレーカ等で破碎する。 | ウォータージェット, ダイヤモンドワイヤソー等により, 外周や内部を切削後, プレーカ等で破碎する。 | ボールンマシンにより掘削断面を蜂の巣状に穿孔した後, 大口径ボーリングで削孔する。 |

4. 堤体穴開けの施工

(1) 堤体穴開け工法の選定

ダム堤体穴開けによるダム再開発は近年多数施工され, 電源開発株式会社でも秋葉, 活込, 久木ダムで堤体穴開け実績がある。

堤体穴開け工法は, 機械による1段階施工と, 外周に穿孔または切削により縁切りした後破碎する等の2段階施工に大別される(表-2参照)。

奥只見ダムの堤体掘削工法を選定するうえで,

- ① 現地での施工は, 平成12年9月中旬~平成12年10月下旬, 平成13年7月初旬~7月中旬の2カ月で堤体掘削を完了すること。
 - ② 既設ダムコンクリートに悪影響を与えないよう掘削に伴い発生する振動を低減すること。
- の2条件を満足する工法として, 自由断面機械掘削, 連続孔穿孔+プレーカ破碎2段階掘削, に絞り込まれる。さらに,
- ③ 掘削機械等は鉄管据付け用に設置した625 t・m (25 t×25 m) 級タワークレーンで搬入すること。
 - ④ コンクリート粗骨材は, 新鮮な花崗岩, 閃緑岩, 斑れい岩が8割以上を占め, 最大粒径150 mm, 圧縮強度100 N/mm²以上と高強度である。

の2条件から, 自由断面掘削機は重量が重くタワークレーンで搬入するには分解・組立てに時間を要し, 軟岩には適しているが高強度の骨材の場合, 掘削能率低下が予想されることから, スロット穿孔+プレーカ破碎併用掘削を選定した。なお, 穿孔および破碎時に発生する騒音が管理基準値以下であることは確認されている。

スロット(溝)は, 切羽外周に連続孔を重複させながら穿孔することにより形成され, 削岩機破

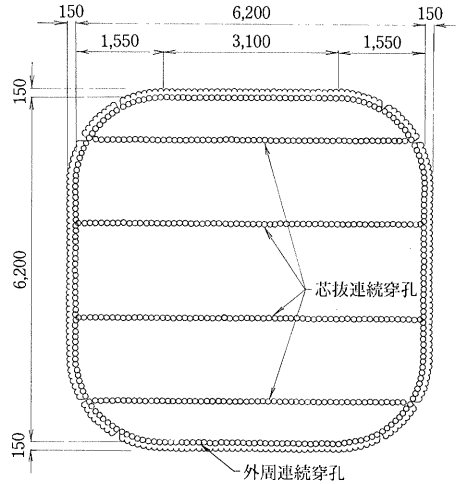


図-4 スロット配置図

碎時にダム堤体へ伝搬される振動低減および自由面形成による破碎効率の向上が期待できる。プレーカによる破碎効率をより向上させるため, 外周スロットに加えて掘削内面に芯抜きスロットも配置した(図-4参照)。

穿孔工法として多連ドリル工法と単一孔穿孔工法がある。

奥只見ダムの堤体コンクリート内には, 段取り用鉄筋の混入が想定されたため, 工程遅延リスクを最小化するよう鉄筋等の異物が混入しても確実に穿孔可能な単一孔穿孔工法を採用した。

単一孔穿孔機械の仕様は表-3に示すとおりで, 破碎機は2,000 kg級プレーカを, 壁面仕上げは1次整形時には1,400 kg級プレーカで, 2次整形時にはツインヘッドにより整形した。

表-3 穿孔機械諸元

| 項目 | 仕様 |
|------|-----------------------|
| 機械寸法 | B1,900×H2,200×L13,000 |
| 機械重量 | 27 t |
| ドリフタ | 150 kg 級 |
| ビット径 | 102 mm |

(2) 施工実績

1サイクルのスロット穿孔長は1.1 mとし, 当

表-4 実績工程

| 項 目 | 2000年 | | 2001年 | | | |
|-----------|-------|-----|-------|----|----|-----|
| | 9月 | 10月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
| 仮設備設置 | | | | | | |
| 堤体掘削 | ■ | ■ | ■ | | | |
| 壁面整形 | | | | ■ | | |
| 呑口管 水圧鉄管 | | | | ■ | | |
| 詰込コンクリート | | | | | ■ | ■ |
| セメントミルク注入 | | | | | ■ | |
| 仮設備撤去 | | | | | | ■ |



写真-1 穿孔機械全景

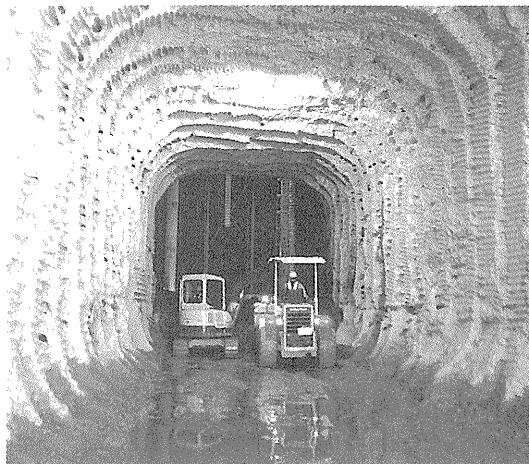


写真-2 ブレカ破碎完了状況

初進行は1 m/方で計画したが、コンクリート骨材強度が予想以上に高いためブレカ掘削に時間を要し、進行の実績は0.6 m/方であった。

今回のように最大粒径150 mmの高強度粗骨材の場合には、コンクリート掘削の破碎能力を評価するうえでは、コンクリート強度ではなく骨材強度に基づいて評価すべきである。

表-4 に実績工程を、写真-2、写真-3 にブレカ破碎完了状況と2次整形完了状況の写真を示す。

(3) 振動計測管理

掘削にあたってはダム堤体の振動管理基準を設定し、振動速度値が管理基準を満足していることを確認しながら掘削を行った。施工管理基準値は式(1)により得られ、コンクリート許容引張り応力に安全率10を考慮して、施工管理基準振動速度値として2 kineを採用した。

$$\sigma = \rho V v \quad (1)$$

ここに、 σ : 弾性波の伝搬により発生する応力 (dyn)

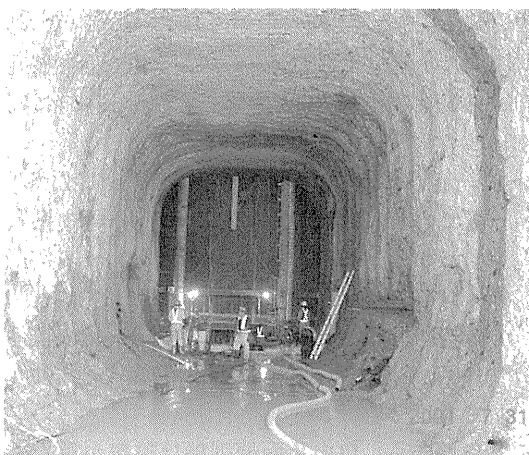


写真-3 2次整形完了状況

ρ : コンクリートの密度 (2.4 g/cm³)
 V : 弾性波伝搬速度試験 (300,000 cm/s)
 v : コンクリートの振動速度 (kine = cm/s)

空洞周辺の振動速度値は、定点での振動速度測定値と切羽との距離から距離減衰補正を行い算定

した。堤体空洞周辺の距離補正後振動値はスロット穿孔時で0.2~1.1 kine, ブレーカ破碎時で0.6~2.0 kine で, 施工管理基準内に抑えることができた。

(4) 詰込みコンクリートの施工

詰込みコンクリートのブロック割は3ブロックに分割し, 上流側の第1, 2ブロックは2リフトにリフト割した(図-3参照)。各ブロック別コンクリート容積は180 m³, 220 m³, 190 m³で, プラント製造能力から20 m³/hrの速度で打設を行った。

詰込みコンクリートの示方配合は表-5に示すとおりである。

表-5 詰込みコンクリート配合表

| 水 | セメント | フライアッシュ | 細骨材 | 粗骨材 | 混和材 | |
|-----|------|---------|-----|-----|--------|------|
| | | | | | 高性能減水剤 | 特増粘剤 |
| 180 | 328 | 231 | 721 | 828 | 7.27 | 0.18 |

注) 単位: kg/m³

コンクリート打設は, 通常のコンクリート工事で使用されるピストン式コンクリートポンプ車を2台使用した。まずダム天端のポンプ車からダム背面に設置した圧送管により水圧管路坑口に配置したポンプ車へ圧送し, このポンプ車により配管打設した。

セメントミルク注入は第1ブロックと第3ブロック打設後に施工し, リークも含めた注入実績は第1ブロックで1,800 L, 第2~3ブロックで2,200 Lであった。

6. おわりに

奥只見発電所増設工事は自然環境との調和を図ることを目標に平成11年に着工した。平成12年7月には無事イヌワシの幼鳥が巣立ち, 工事の影響が軽微であったことが実証された。さらに工事

も順調に進み, これまで取水口, 水圧管路工事では水圧鉄管の一部の据付けと仮締切り撤去を残して水路構造物の構築が完了し, 平成15年6月運開を目指して地下発電所工事を実施中である。

本報文では, ダム堤体穴開けの設計, 施工について記述したが, 社会ストックの有効活用の観点からダム再開発事業が推進されると思われ, 本報文が今後のダム再開発の一助となれば幸いである。

最後に, 1年のうち4カ月しか施工できない厳しい条件下で, 工程を確保しながら工事を実施された鹿島建設・東洋建設共同企業体各位および関係者各位に深く感謝の意を表します。 J C M A

【参考文献】

- 1) 塩田 洸・小松 俊夫: 奥只見・大鳥発電所増設計画の概要, 電力土木, No.288, pp.41-43, 2000.7
- 2) 橋本 長幸・栗原 哲・杉本 俊介: 奥只見発電所増設計画取水口仮締切りの設計, 電力土木, No.295, pp.72-76, 2001.9
- 3) 橋本 長幸・栗原 哲・杉本 俊介: 奥只見発電所増設計画取水口仮締切りの施工, 電力土木, No.297, pp.68-72, 2002.1
- 4) 橋本 長幸・旭 剛志・笠原 覚: 奥只見・大鳥発電所の設計と施工, 電力土木, No.294, pp.24-29, 2001.7
- 5) 松岡 滋・若槻 和浩・門脇 雅之・川上 学: 重力式コンクリートダムの再開発における堤体貫通工事の現況, ダム技術, No.145, pp.41-57, 1988.10

【筆者紹介】



坂田 淳 (さかた じゅん)
電源開発株式会社
奥只見・大鳥増設建設所
奥只見グループリーダー
jun_sakata@epdc.co.jp



栗原 哲 (くりはら さとし)
電源開発株式会社
奥只見・大鳥増設建設所
奥只見グループメンバー
satoshi_kurihara@epdc.co.jp