

インド国プルリア揚水発電所 上ダム河流処理の設計と施工

高木 慎悟・浅井 隆治

プルリア揚水発電所は、西ベンガル州電力公社（WBSEB）が日本政府の円借款によって2002年3月から土木工事が進められている出力900MWのインド初の大型純揚水発電所である。計画地点はインド東部西ベンガル州都コルカタから西へ約300kmに位置する。本稿では、プロジェクトの概要、及び上ダムの河流処理の設計と施工について報告する。

キーワード：インド、西ベンガル州、プルリア、揚水発電、円借款

1. はじめに

1991年から始まったインドの経済開放政策の導入から目覚ましい経済発展をとげているインドだが、一方で交通、港湾、電力といった基本インフラが未発達であり、常にさらなる経済発展の足枷になっていることが指摘されている。

インドの電力基本体制は各州に州公営企業が発電、送電、配電を行っている一方、中央政府電力省傘下に全国火力発電公社、全国水力発電公社及び送電公社が複数州にまたがる発送電を行い州電力供給の補完を行っている。また、近年民間資本に対して電力事業を開放しており、少しずつではあるが、民間の発電会社による発電事業も行われるようになってきている。

2007年1月末のインド全体の発電設備は約1億2,800万kWである。これは日本の電力設備出力の約半分である。

プルリア揚水発電所が位置する西ベンガル州はインド東部の有力州で州都はコルカタ（旧称カルカッタ）。ニューデリーに遷都する前の英領インドの首都でもあった（図-1）。

西ベンガル州内の設備出力は約550万kWで、主に石炭を燃料とする負荷追従に難のある火力発電設備が全体の95%を占めている。この様ないびつな発電設備構成となっている西ベンガル州政府は、負荷追従性が良く、既存の石炭火力発電所の効率的運転に寄与させるために、大型揚水発電所の建設を計画することとなった。

西ベンガル州政府は1990年から2年間かけてプルリア揚水発電所 Detailed Project Report (DPR) の

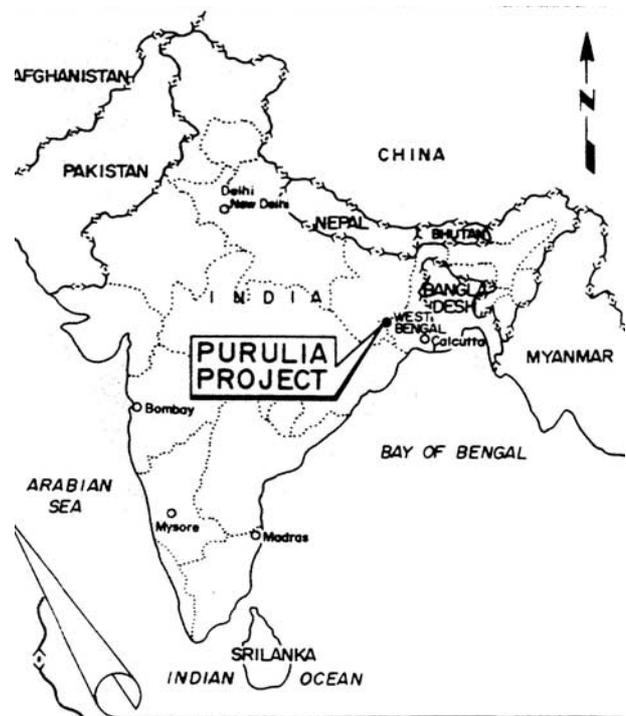


図-1

作成を行い、インド中央政府のプルリア揚水発電開発承認を1994年に得た。引き続き西ベンガル州政府はプルリア揚水発電計画を具体化するため、詳細設計及び入札書類の作成を行った。DPRの作成及び詳細設計、入札書類の作成は日本の電源開発(株)とインド国営の水資源・電力専門のコンサルタント会社WAPCOSとのジョイントベンチャーによって作成された。資金は日本の国際協力銀行のODA資金が当てられた。

州営電力公社によって1999年より土木工事、水門鉄管工事及び主要電気機械の入札が行われ、土木工事

は大成建設、水門鉄管工事は三菱重工業、主要電気機械は三井・東芝がそれぞれ受注した。土地の取用等が済んだ2002年3月から土木工事が開始された。土木工事の工期は59ヶ月である。

2. プルリア揚水発電計画概要

(1) 位置

プルリア揚水発電計画は西ベンガル州都コルカタから西北西に300km離れた西ベンガル州プルリア郡アヤジョヤ高原を源流とするキストバザル川に上ダム、下ダムを設け、その間の有効落差177mを利用して行う合計出力90万kWのインドでは初めての大規模純揚水発電計画である。

(2) 計画概要

上ダムは高さ71mのセンターコア型ロックフィルダム、下ダムも同じく高さ95mのセンターコア型ロックフィルダムである。

導水路・水圧鉄管は直径7.7mの水圧管路を経て48度の斜坑、そして下部水圧管路にてY型分岐により2条から4条の水圧鉄管から地下発電所に繋がる。

地下発電所内には22万5千kWのフランシスタイプの水車ポンプ／発電電動機が設置される。放水路は発電所から4条の放水トンネルのち合流管で2条となり直径8.7mの放水路を経て下ダムに繋がる。最大使用水量は600m³/秒である。

全号機の運転開始は2007年12月の予定である。

計画の諸元を表一1に、計画平面を図一2に示す。

(3) 計画地点の地質

プルリア計画地点は概ねなだらかな高原状の地形をなしており、最高標高は610mである。地質はプロジェクトサイト全体にプレカンブリア紀の片麻岩及び花崗片麻岩が分布しており、一部にペグマタイトの脈層が見られる。地質的には安定しており、プロジェクト一帯に大きな断層、弱線は見られない。

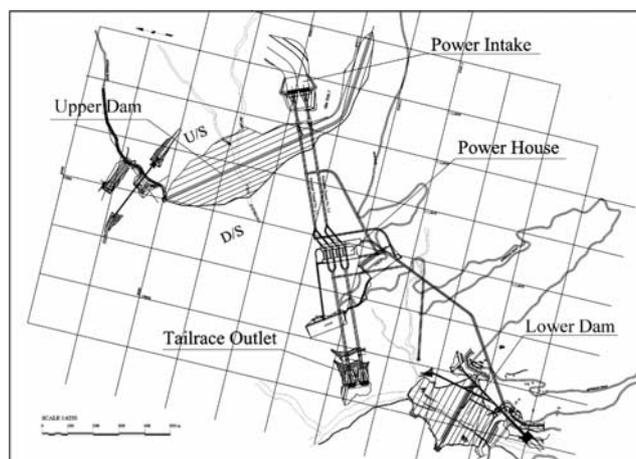
3. 上ダムの河流処理の設計・経緯・設計変更

(1) ダムの設計

上ダムはダム軸位置の地形から堤長が本ダム部分で1km、副ダム部分を合わせると1.5kmとなることからロックフィル式とコンクリート表面遮水壁式のダム形式について施工性、材料の調達性、完成後の補修及

表一1

設備出力 (最大)	225MW × 4台 = 900 MW
有効落差	177.00 m
最大使用水量	150 m ³ /s/台 × 4台 = 600 m ³ /s
1. 上池 集水面積 ダム形式 ダム高 ダム頂長 有効容量	9.25 km ² 中央遮水壁型ロックフィルダム 71 m 1,505 m 13.0 × 10 ⁶ m ³
2. 下池 集水面積 ダム形式 ダム高 ダム頂長 有効容量	9.25 km ² 中央遮水壁型ロックフィルダム 95 m 310 m 13.0 × 10 ⁶ m ³
3. 取水口 形式 寸法	鉄筋コンクリート横取式 B 40 m × H 17.7 m × 2基
4. 導水路 条数 × 直径 × 延長	2条 × 7.7 m × 87.5 m
5. 水圧管路 条数 × 直径 × 延長	2条 × 7.7 ~ 7.3 m × 485 m (上部・斜坑) 4条 × 4.3 ~ 3.2 m × 74 m (下部)
6. 放水路 条数 × 直径 × 延長	4条 × 5.6 m × 95 m 2条 × 8.7 m × 400 m
7. 放水口 形式 寸法	鉄筋コンクリート横取式 B 28 m × H 17.5 m × 2基
6. 発電所 高さ × 幅 × 延長 ポンプ水車 発電機	地下式 48.0 m × 22.5 m × 157 m 水車出力 230 MW ／ポンプ入力 250 MW × 4台 縦軸フランシス型 250 r.p.m. 250 MVA/255 MVA × 4台 同期発電電動機 3相 50 Hz



図一2 計画平面

び経済性を元に検討した。結論として、当地でのセメントの調達性、夏季は気温が摂氏40度を超える日が続くことから、経済性ではほとんど差異は無かったものの、中央遮水壁ロックフィルタイプを採用した。盛り

立て材料は、コア材料についてはダム近傍及び貯水池内の片麻岩及び花崗片麻岩の風化残留土を採取し盛り立て材料とした。ロック材は貯水池内及び近傍の原石山から堅硬な片麻岩及び花崗片麻岩を採取し盛り立てた。フィルター材は同原石山から採取した材料をクラッシングプラントで粒度調整し盛り立てた (図—3)。

(2) 経緯

プリア揚水発電工事は当初入札手続きの遅れ、及び森林地域の土地収用に時間を要し、当初の着工予定より約4ヶ月半遅れて2002年3月12日着工された。しかしながら、当地ではほとんどの降水が6月中旬から9月下旬のモンスーン期に集中する、典型的なモンスーン気候である。

着工が遅れた分を単純に工程をスライドすると、当初2005年7月1日から予定していた上ダム、下ダムの湛水が4ヶ月半延びるが、2005年のモンスーン期に貯留できないこととなり、2006年のモンスーンまで湛水を待たなければならなくなる。従って発電所の運転開始も一年伸びてしまうことになる。

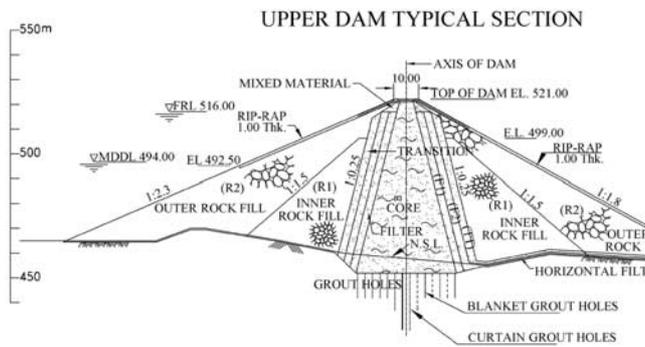
そこで、着工から湛水開始までの工程を短縮し、湛水開始を当初通り2005年7月1日から開始できるように、湛水までに完了しなければいけない明かり工事の工期短縮を行った。

上ダムの河流処理の当初計画はダム軸地点の河床幅が広く、なだらかな地形であったので、半川締め切り方式の河流処理を行い、盛り立てを行う予定であった。しかし、上述のように、湛水開始までの工期短縮、及び確実な河流処理を行うため、土木工事着工後バイパストンネル、及び暗渠を河床部に設けた堤内バイパス案を検討した。

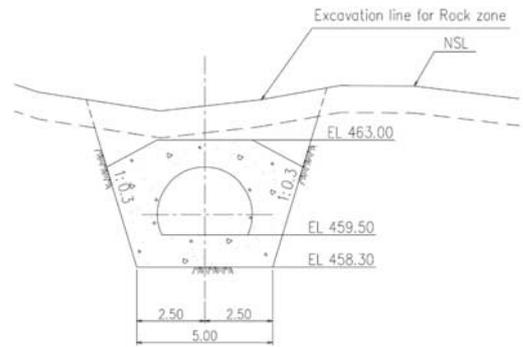
バイパストンネル案はそれ自体工期の延長要素となること、コスト増になることから、河床にトレンチカットを行い、コンクリートボックスカルバートを設け、転流する案が可能かの検討を行った。

(3) ボックスカルバートの設計 (図—4、5)

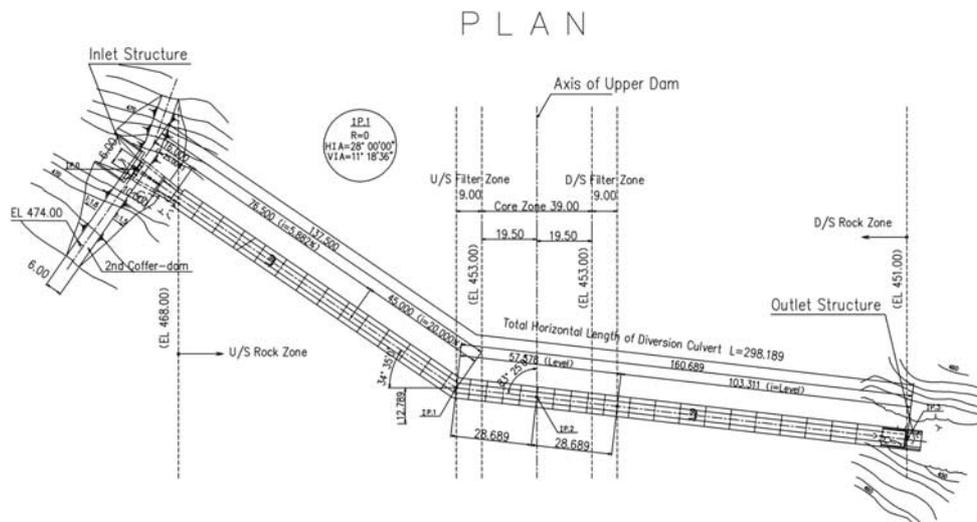
堤内を上下流方向に横切る構造物の設置はあまり日本では例を見ない。しかし、計画地点のダム基礎は非常に硬く安定した片麻岩ないしは花崗片麻岩であるこ



図—3 上ダム標準断面



図—4 標準断面 (ボックスカルバート)



図—5 ボックスカルバートのレイアウト

とが確認できたこと、諸外国では堤内にボックスカルバートを設け、転流に使用した例もあることから、注意深い施工と接着部に適したコア材料を選択出来れば、ダム機能を損なうことはないと判断し、上下流を貫通するボックスカルバートによる下流処理を採用することとした。

対象設計洪水量は25年洪水確立77m³/秒を採用した。

ボックスカルバートの基礎となる河床勾配、及び洪水時の上流側水位を考慮して水理計算を行って内空断面を決めた。また、ボックスカルバートとダム基礎岩盤の段差による基礎形状の急変をさけるため、他のプロジェクトのボックスカルバートタイプのグラウトギャラリー例を参考に、段差が1m以内に押さえるようカルバート掘削形状を決めた

またボックスカルバートの構造計算はコア、フィルター、ロック材の上載過重を考慮して行った。構造計算に当たっては、周囲の岩盤と一体となすモデルを構築して、2次元FEMによって解析し、コンクリート断面及び鉄筋量を決定した。ボックスカルバートのブロック割りは、垂直方向の変位量を考慮し、コア敷き部分を6m、それ以外のフィルター部、ロック部は9mとした。

4. 上ダム転流工事の施工

(1) 施工概要

上ダム転流工事の施工フローを図-6に示す。

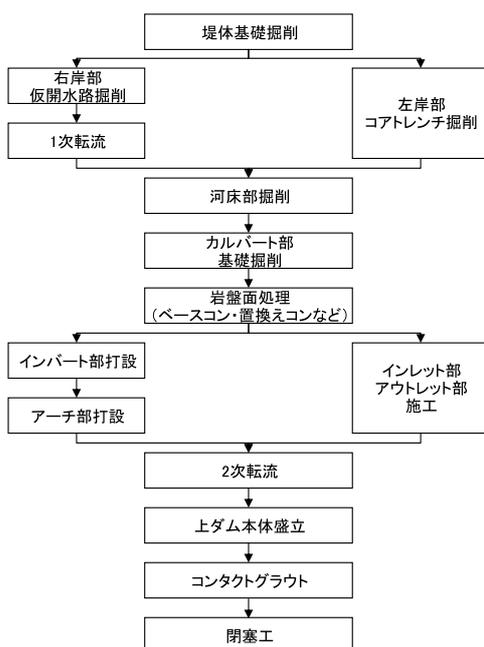


図-6 施工フロー

本稿ではカルバート部基礎掘削以降を記載する。

(2) 掘削工事

(a) カルバート基礎掘削 (写真-1, 2)

カルバート部の掘削は、プレスプリット工法により施工した。穿孔は180kg級のクロードリルを使用し、1.6m³級バックホウにて32t級ダンプトラックへ積み運搬を行った。最下流のロックゾーンにおいては、岩盤線が低く変更設計どおりの形状での掘削が不可能であったため、発注者・コンサルタントと協議の上、アーチ部分を岩着から埋戻し形式に構造変更を行った。



写真-1 掘削状況 (上流側より下流を望む)



写真-2 プレスプリット穿孔

(b) 岩盤面処理 (写真-3)

ボックスカルバートは、岩着を基本とするため掘削が終了した岩盤は、人力により入念に岩盤面処理及び岩盤清掃を行った。現地で購入できるシャモジとタライを使用し、日本より100Vの発電機と低水位用水中ポンプを持ち込み、コンクリート打設直前まで清掃を継続した。インドにおいて人海戦術はコスト的に最も安価な方法である。



写真—3 岩盤清掃状況

(3) コンクリート工事

コンクリート工事は掘削と平行して、2002年12月より開始された。インバート部とアーチ部の2回打ちとし、打継目は人力によりチップングを行い水密性の確保をした。

また、ブロック間の継目は、変形に対する追随性を確保するために、鉄筋の貫通を行わずコンクリート表面も無処理とし、塩ビ製の止水板を設置した(写真—4, 5)。

コンクリートの打設は、インド製定置式コンクリー



写真—4 打設前清掃状況



写真—5 継目状況

トポンプを使用した。バッチャープラントからの距離が遠い(約15km)ことや、定置式コンクリートポンプの配管切替えに時間を要することなどから、平均打設量はインバート、アーチ共に10~16m³/hrであった(写真—6)。



写真—6 コンクリート打設状況

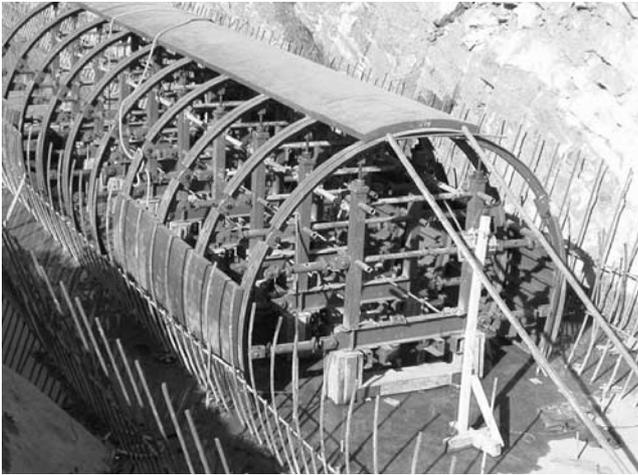
また、3月からは暑季となり、日中の気温が40度を超えるようになるため、打設は夜間を原則とし、19時スタートでの打設を行った。なお、当工事の特記仕様書によるコンクリートの打込み温度制限は32℃であり、骨材への散水、チラーの使用およびトランジットミキサーへの濡れ麻布による養生などの手法により、温度管理を行った。

コンクリートの打設は2002年12月31日に開始された。6月中旬からの雨期までには構造物を完成させ、転流を行う必要があったため、5ヶ月半(約170日)で全34BLの他、呑み口および吐け口の構築を行う必要があり、工程的に厳しい制約となった。特にインレット部は傾斜した構造であり、また、円形断面と矩形断面の接続部であるため、非常に手間がかかることが予想され早期に着手する必要があった。

このような工期的な条件と、縦断・平面の線形を考慮し、アーチ用のスライドセントルを5基導入し、作業箇所を増やすことにより要求工程の達成を目指した。

アーチ用スライドセントルは、インド・エッセン社(西ベンガル州カラプール)製でありジャッキとターンバックルによりセット・リリースを行い、車輪により移動する形式である(写真—7)。

アーチの脱枠は、初期強度の発現を確認した上で打設後7日とし、一回目の移動には時間がかかったが、最終的には12~13日のサイクルで打設を行うことが



写真—7 セントル組立状況



写真—9 全景



写真—8 セントル漸変部



写真—10 コア材の盛立

出来た。また、写真—8のような円形から矩形への漸変部のような複雑な形状の部分もあったため、日本より2名の熟練した大工を派遣し、直接指揮の下施工を行った。

インド国内において、技能工の不足、資機材調達に関する問題等々を克服し、2003年7月中旬、全てのコンクリート打設を完了し、二次転流を開始した(写真—9～11)。

(4) 閉塞・湛水開始

転流後、全面的にダム盛立を開始し、マイルストーンである2005年7月2日の湛水開始を無事迎えることができた。

ゲート2基による呑み口の閉鎖を行い、その後、カルバート内部においてプラグコンクリートの打設、クレーニングを実施し、2005年末、冬期に入ってからコンタクトグラウトの施工を開始し、2006年3月、当工事の全てを完了した。



写真—11 二次転流

5. おわりに

本稿ではインドプルリア揚水発電計画の上ダム河流処理方法について紹介した。日本国内ではあまり一般的ではないフィルタイプダムの堤内バイパスによる河流処理を安全に施工することが出来たことを紹介し

た。プルリア揚水発電工事は現在土木工事，水門鉄管工事は完了し，電気機械工事が鋭意進められており，今年中に4台の運転開始が見込まれている。 JCMA



【筆者紹介】

高木 慎悟 (たかぎ しんご)
電源開発株式会社
プルリア揚水工事監理事務所
所長代理



浅井 隆治 (あさい りゅうじ)
大成建設株式会社
国際事業本部
国際土木支店
土木積算部
第二積算室
課長

建設の施工企画 2006年バックナンバー

平成18年1月号(第671号)～平成18年12月号(第682号)

1月号(第671号)
夢特集

5月号(第675号)
施工現場の安全特集

10月号(第680号)
情報化施工とIT特集

2月号(第672号)
環境特集 温暖化防止に向けて
(大気汚染防止・軽減)特集

6月号(第676号)
リサイクル特集

11月号(第681号)
ロボット・無人化施工特集

3月号(第673号)
環境特集 環境改善(水質浄化・土壌浄化)

7月号(第677号)
防災特集

12月号(第682号)
基礎工事特集

4月号(第674号)
特集 品確法 公共工事の品質
確保

8月号(第678号)
標準化特集

■体裁 A4判
■定価 各1部840円
(本体800円)

9月号(第679号)
維持管理・延命化・長寿命化特集

■送料 100円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>