

Project brief 1

プロジェクト紹介【寄稿】

パキスタン国ダス水力発電計画の概要 ～インダス川本格開発の嚆矢～

飯島元彦

IIJIMA Motohiko
日本工営株式会社
コンサルタント海外事業本部
水資源エネルギー部
ダス水力開発事務局長



はじめに

パキスタン国はインダス川を中心とする豊富な水力ポテンシャルに恵まれ、2013年の包蔵水力調査では59,000MWに達している。しかしながら、その時点で11%にあたる6,600MWの設備容量しか開発されておらず、火主水従のエネルギーミックスを改善すべく国家開発計画である2007年版VISION2030において、主たる水源となる北部地方の水力開発が優先課題として取り上げられている。インダス川の水力開発は1980年代にマスタープランが作成され、

流域での最大開発を目指して上流からブンジ(7,100MW)、デアメルバシヤ(4,500MW)、ダス(4,320MW)、パタン(2,800MW)、タコット(2,800MW)、タルベラ(3,478MW既設)の開発地点が特定され、段階的開発が打ち出された。

2000年代当初は余裕のあった電力供給も、経済発展に伴って2005年頃から供給不足が目立ち始め、2010年には5,000MWの不足となっている。その結果、最近では都市部でも連日10時間以上の計画停電を余儀なくされており、火力発電所投入で急場を凌いで

いるものの、長期的経済発展に際するためには自国の資源を活用した水力開発の実施が急務となっている。

ダス水力発電計画は、政府水利電力開発庁(WAPDA)が2009年に事業化調査を発注し、ローカル主体のコンサルタントによって開発地点、規模、ダム形式等プロジェクトの骨格が決まった。この調査結果に基づき、直ちに政府資金による詳細設計に係わるコンサルタント調達に入ったが、並行して本体工事用資金原資として世界銀行と交渉を重ねた結果、詳細設計業務段階から融資を受けることとなり、再度コンサルタント調達の国際入札が行われた。実績の多い欧米のコンサルタントとの受注競争の中で本業務を受注したことは、日本の高い技術力に期待するところ大であると洩れ聞いており、ダム設計においてダム技術センターから助言もいただいている。プロジェクト位置を図1に示す。

プロジェクトの概要

ダス水力発電計画は平均流量2,080m³/sのインダス川の豊富な水量を利用したダム水路式発電計画で、当該地での流域面積は日本の

国土の40%に相当する約16万km²である。高さ242mのコンクリート重力式ダムをRCC(Roller Compacted Concrete)工法で建造し、300m離れた左岸山体の地下400mに位置する発電所を経て、

有効落差180mによって4,320MWの出力と18,432GWhの年間可能発電電力量が期待される。地下発電所の大きさは幅31m、高さ62m、長さ424mの大空洞で、単機出力360MWの水車・発電機が12

台設置される。主要構造物の諸元を表1に示す。

プロジェクトサイトはインダス川本流に1960年に建設されたタルベラダムの200km上流、あるいは首都イスラマバードから陸路350km離れたカラコルムハイウエー(KKH)沿いにある町ダスの上流7kmに位置する。施設全体平面図と地下構造物の鳥瞰図を図2、図3にそれぞれ示す。総事業費が9,000億円以上に達するため、4段階に分けて建設する段階開発計画となっている。

プロジェクトを取り巻く環境

下流から望むダムサイト地点の地形を図4に、インダス川沿いに上流に向かって中国までつながるKKHの道路事情を図5にそれぞれ示す。

ダムサイトはヒマラヤ山脈の西端に位置し、3,000mを超える山々

表1 施設諸元

項目	諸元
1 Catchment area / Average discharge	158,800km ² / 2,102m ³ /s
2 Safety Check Flood (SCF) / Basic Design Flood (BDF)	51,957m ³ /s / 24,932m ³ /s
3 Gross Storage Capacity (El. 950m)	1.41 x 10 ⁹ m ³
4 Full Supply Level (FSL) / Lower Water Level (LOL)	EL. 950.00m / EL. 900.00m
5 Dam Type	Concrete Gravity Dam (RCC type)
6 Dam height / crest length / volume	242m / 570m / 4.1 x 10 ⁶ m ³
7 Number and discharge capacity of spillway	8 no., 45,097m ³ /s
8 Type and size of spillway gates	radial, 16.5m wide x 22.4m high each
9 Number and size of Low Level Outlet (LLO)	9 no., D=6.4 m, L=180m
10 Discharge Capacity of LLO under SCF	12,157m ³ /s by 9-LLO
11 Number, size and length of flushing tunnels	2 no., D=9.5m, L=820m / 680m
12 Discharge capacity of flushing tunnels	1,060m ³ /s under free flow
13 Number and size of power tunnels	4 no., D=12m
14 Installed Capacity	4,320MW (by 4 phases with 3 units each)
15 Generating Units	12 no, Francis turbines
16 Annual Energy Production	18,432GWh
17 Number, shape and length of tailrace tunnel	4 no, 10mW x 12.5mH, 2,152m
18 Transmission Voltage and length	500 kV (AC) / 330km
19 Relocation of Karakoram Highway (KKH)	54km

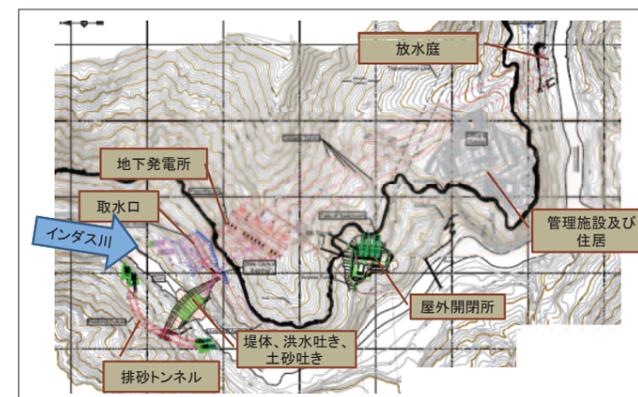


図2 施設全体平面図

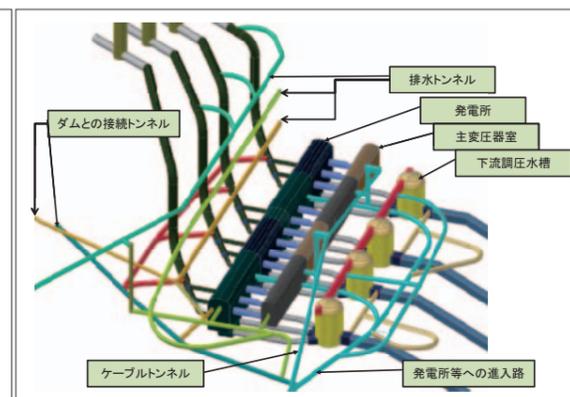


図3 地下構造物鳥瞰図

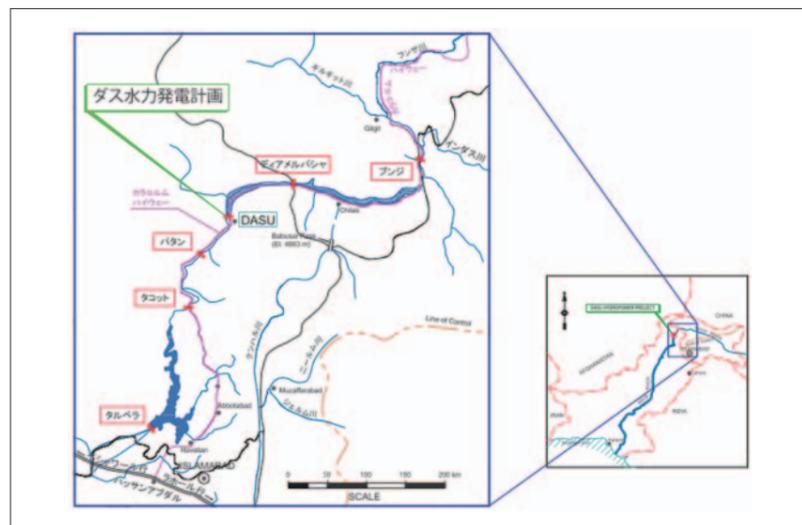


図1 プロジェクト位置図



図4 下流から見たダム地点



図5 KKHの道路事情

に取り囲まれており、植生が悪いため例年2～5月の雨季には岩滑りが頻繁に発生する。気温は年間0～35℃まで変化し、住環境は厳しい。行政区分ではカイバルパクトンハ州のコヒスタン県に所属しているが、開発の遅れが顕著な地域である。ダム建設に伴いV字谷地形に沿って長さ74kmの貯水池が形成され、また水没による54kmのKKHの付替え工事が行われるため、併せて760戸の立ち退きが求められている。

一方、地域住民の生活パターンは牧畜を主たる生計としているため、5～10月頃は標高1,500m以上の高地で過ごし、11～4月頃は700～800m付近まで下ってくるという移動性居住を特徴としている。従って、貯水池より高地に適切な移転先を見つけ、道路・水道・電気等必要なインフラ設備を用意することで、移転が大きな社会問題となることを回避できると思われる。

技術上の課題と対応

堤高242m、RCC工法による堤体積410万m³というダム規模は、今完成すればコンクリート重力式では世界2番目の高さで、堤体積でも5本の指に入るくらいの大構造物であるが、逆に工法に関して技術的代替案が少ないという困難

さがある。とりわけ対応に苦慮した2つの課題、①貯水池堆砂の処理、②ダムの耐震設計について以下に報告する。

① 堆砂対策について

インダス川の水源はヒマラヤ山脈の水河と降雪による雪解け水である。従って通年の河川流量は、図6に示すように冬場の400～500m³/sから夏場の2,000～7,000m³/sへと大きく増減する。雪解け水で象徴されるように、夏場の流量増加に伴って流入土砂も増加し、年間流入土砂量2億t中95%は6～9月の4カ月に集中している。

当初は上流に建設されるダム計画を前提としたほとんど調整容量を持たない流れ込み式計画であったが、今回見直した結果、この土砂量が直接ダス貯水池に流れ込む場合、15～20年で貯水池は満砂となることが判明した。一方、電力需要のピークも6～9月に迎えるため、発電への影響を最小化しつつ満砂とさせない排砂施設の設計と排砂運転計画が求められた。

当初計画では、上流のダム計画によってダス貯水池への土砂量は年間4,000万tであったため、満水位の状態ですべての土砂を7門の土砂吐きで十分排砂できるものであった。しかしながら、上流

のダム計画の進捗がはかばかしくない現状から、ダスダムの排砂能力を向上せざるを得なくなった。その結果、土砂吐きを9門に増加し、更に右岸側に2門の排砂トンネルを設置することとした。これらの追加施設によって発電量は多少犠牲となるが、開水路状態で4,500m³/sまで流下能力が向上し、貯水池の持続的運用が可能となった。

② 耐震設計について

ダム開発地点はヒマラヤ造山運動の影響下にあり、地震多発地帯である。2005年10月に100km離れた地点でマグニチュード7.6の地震が発生し、復興にあたって日本からの援助を受けている。

ICOLD(国際大ダム会議)のガイドラインに従って地震動の解析を実施した結果、想定される最大地震動(日本でのL2に相当)として地表水平動で0.54Gという加速度振幅を採用することとなった。

急峻な地形と242mというダム高を考慮して、2次元のみならず3次元FEM動的解析を線形と非線形状態に対して実施した。下流からみたダムの3次元FEM解析モデルを図7に示す。設計当初は高さ方向にダムを2分割し、基礎部からRCC1(許容圧縮強度25MPa)、RCC2(同20MPa)の2種材料を設定したが、地震応答解析結果によりフィレット部及びダム高の1/3から堤頂までの箇所でも過大な引張応力が発生し、堤体上下流を貫通するクラックの発生が危惧されたため、以下で記述する第3種のRCC材料導入を検討することにした。最大地震動発生後もダムの安定を確保するために、堤体上下流面からそれぞれ10m深までを高強度のRCC0(同35MPa)で堤体を包むこととし現在確認中である。非越流部代表断面における材料区

分を図8に示す。

なお、RCC用添加材料はパキスタン国内及び周辺国からフライアッシュなどの材料入手が困難であるため、現時点ではダムサイト近傍で採取可能な天然ポゾランの使用を材料試験によって検討している。

実施上の課題と対応

工事実施にあたっての最大の課題は物資調達による交通量への影響である。プロジェクトサイトへのアクセスは、インダス川沿いのKKHのみであり、入口の町ハバリアンからダム地点までは160kmの走行距離である。KKHは上流域にあるパキスタン国北部地方への唯一の交通路であるばかりでなく、中国との重要な交易路の一つでもある。そのため、現在でも1日当たり2,000～2,500台の交通量が計測されているが、工事が始まると1～3割程度の交通量増加が見込まれ、交通渋滞による工事進捗への影響はもとより、沿線住民への騒音や交通事故の多発による社会的問題が危惧される。

対応策として、工事区間においてはベルトコンベヤーの活用による運行車両台数の削減を図る一方、KKH区間においては関係機関による交通規制委員会の設置、バイパス道路建設、退避場設置の勧告や交通制限、安全規制強化等で対処することとしている。

おわりに

詳細設計と入札図書作成をほぼ完了し、引き続き国際入札手続きに入る予定であるが、悪化する電力事情を一刻も早く改善するために、我々コンサルタントには、早期完工を促すための設計や施工方法で更なる工夫が求められている。また、本事業の長期的便益と

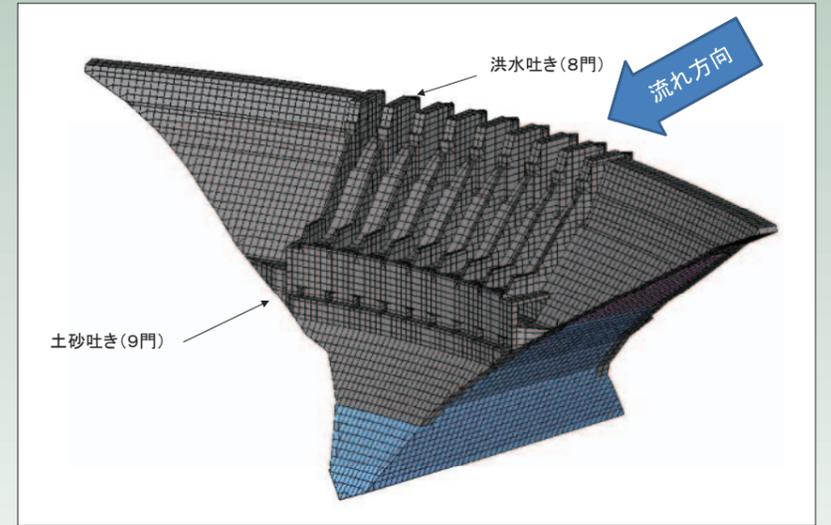


図7 下流から見たダムの3次元FEM解析モデル

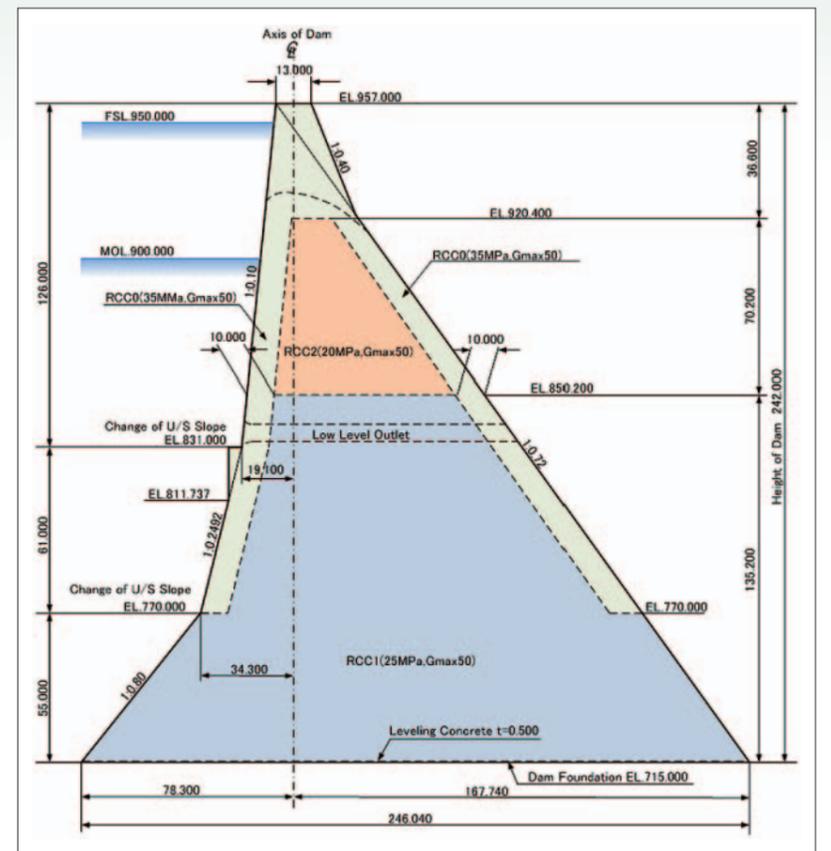


図8 非越流部代表堤体断面とRCC材料区分

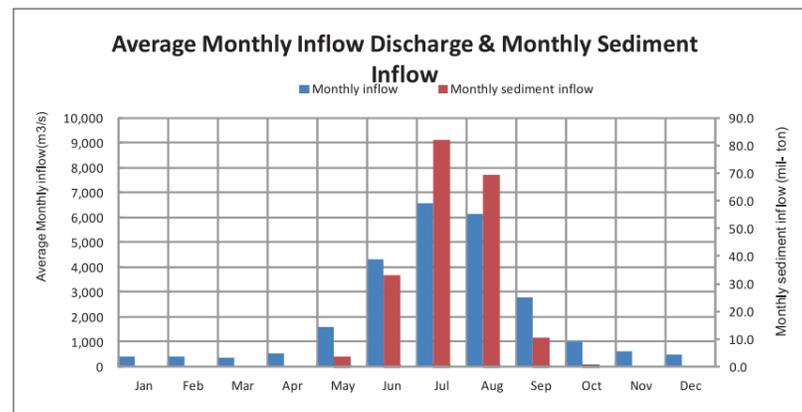


図6 ダム地点での月別流量と堆砂量

して、売電収入を次の水力開発への投資につなげ、正の開発パイラルを形成することによる今後の経済発展に寄与することが期待される。

最後に、パキスタン国が抱える治安への不安はあるものの、同国

の日本の技術力に対する期待は非常に高いものがあることから、日本の施工業者、機器メーカーの方々には、現地を実際に確かめて頂いた上で、本プロジェクトへの積極的参画を期待しつつ本報告の締めくくりとします。