

スマラン総合水資源・洪水管理事業 ジャティバラダム建設工事

JICA Loan IP-534

清水 比呂志

ジャティバラダムは、インドネシア国中部ジャワ州のスマラン市西部の洪水と渇水問題を解決する目的で日本の円借款事業で建設されたダム高74mのロックフィルダムである。周辺の地山が比較的軟質な第三紀後期の火山性堆積岩（凝灰質砂岩、礫岩）と凝灰角礫岩の互層で構成されており発破による地山のゆるみや、施工現場が観光地や居住地と隣接するため工事期間中の周辺の安全に配慮して、掘削工事に発破の使用を禁止し全て汎用建設機械で対処した。工事はインドネシアの施工業者が、施工管理は日本のコンサルタントが担当した。

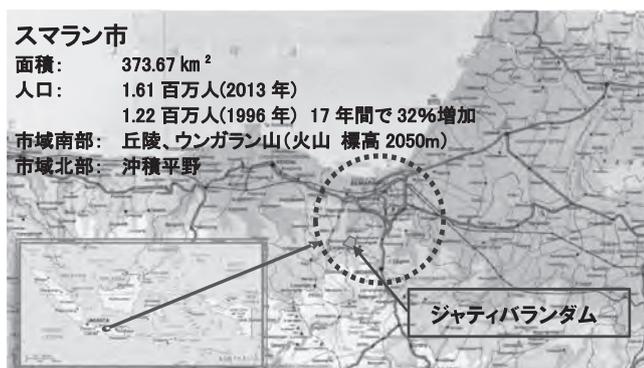
キーワード：円借款事業、ロックフィルダム、トンネル機械掘削、自由断面掘削機、施工管理

1. 事業の背景

スマラン市は、インドネシア共和国 中部ジャワ州の州都で、人口約160万人を擁するインドネシア五大都市の一つである（図—1参照）。オランダ領東インド期の19世紀後半には、既に鉄道網が整備され、ジャワ島内陸部でのプランテーション産物を集積しスマラン港から世界市場へと輸出する貿易基地として栄え

た。街が発展する過程において、市街地を流れるスマラン川（ガラシ川下流）の氾濫で洪水が頻繁に起きたため、1870年代にオランダが、市街地を挟む東西2本の放水路と南の丘陵部にこの東西放水路を結ぶインターセプタと呼ばれる排水路を建設し、スマラン市を水路で囲む洪水対策事業を実施した。その後、近年の周辺地域の急激な都市化により、河川氾濫による洪水被害や雨水による道路や宅地の浸水被害が毎年のように発生するようになった（写真—1）。また、急激な都市人口の増加によって、乾期に慢性的に発生していた水不足の問題が深刻化してきた。上水給水量の不足による工業・商業用水確保のための地下水の汲み上げが一因とされる広範囲に及ぶ海岸域での地盤沈下は、市内の浸水被害をさらに拡大させており、スマラン市が抱える喫緊の課題とされた。

これらの問題を解決し、スマラン市の経済発展と住民生活の安定を図るため、インドネシア政府は1991年に日本政府に技術援助を要請し、この要請に応えJICAは、1992-1993年に洪水防御及び水資源開発の



図—1 スマラン市位置図



写真—1 スマランの洪水被害状況

マスタープランの策定及び優先事業のフェージビリティ調査を実施した。1997-2000年には、優先事業（ガラン川／西放水路改修・市内排水改善・ジャティバラダム建設）の実施設計を行い、2005年に事業実施のための円借款合意（IP-534）がインドネシア政府と日本政府の間で締結された。

2. 事業の概要

本事業は、ガラン川による洪水被害軽減、スマラン市内の排水改善、上水道の整備を目的とした、①西放水路／ガラン川改修、②ジャティバラダム多目的ダム建設、③市内排水施設改修で構成される水資源開発・総合治水プロジェクトである。さらに、ジャティバラダムで開発される原水を使った上水施設計画を立案し、スマラン市水道局（PDAM）による水道施設建設に向けたサポートも行う。事業計画の概要は以下のとおりである。

(1) 洪水防御計画

河川流下能力の増大とジャティバラダムによる洪水流量の低減により、スマラン市西部域を50年確率規模の洪水から守る。市内の基準点での計画洪水流量は、ダムによる調節が無い場合には $970 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、ダムの調節効果により約25%低減され $740 \text{ m}^3/\text{s}$ になる。

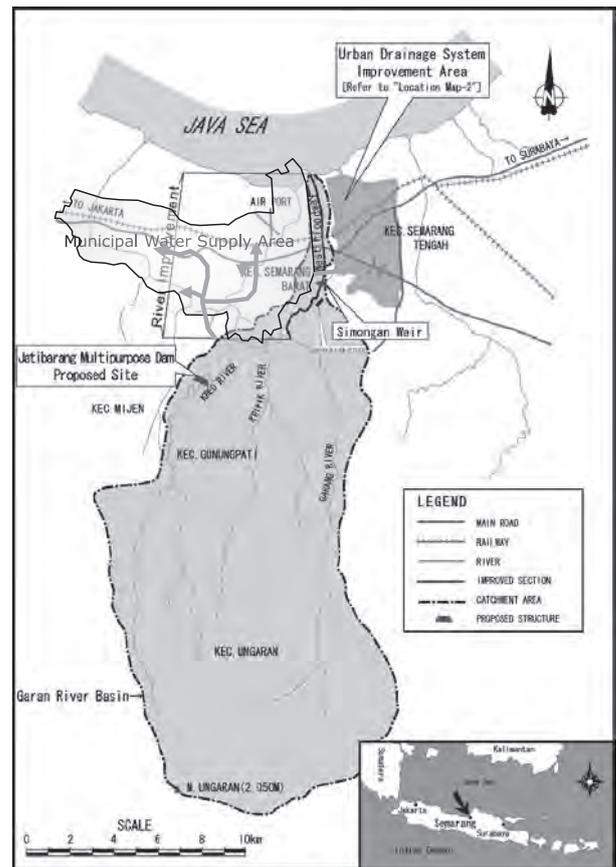
(2) 利水計画

ジャティバラダムで新規開発される原水量 $2.53 \text{ m}^3/\text{s}$ のうち、 $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$ をスマラン市西部域に、 $1.13 \text{ m}^3/\text{s}$ を既存のシモンガン浄水場に、残りの $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ を市内排水路と市内を流れるスマラン川の河川環境用水として供給する。

(3) 市内排水改善

市内排水改善事業の対象地域はスマラン市中心部を流れるスマラン川、アシン川、バル川の3流域で、排水面積は 13 km^2 である。本事業では、スマラン市中心部を5年に1度の浸水被害から守るべく、これら3流域を流れる水をスマラン川河口の遊水地に一時貯留させポンプ（排水能力 $35 \text{ m}^3/\text{s}$ ）で海に排水する。この施設は、市内の地盤沈下地域に建設するため、設計段階で今後30年の地盤沈下が進んだ場合にも対応できるように配慮している。

建設工事は、2009年に起工し、河川工事は、2013年11月に、ダム建設工事は、2016年6月、排水改善



図一 事業計画図

工事は、2016年3月に完了した。図一2に事業計画図を示す。

3. ジャティバラダムの概要

ジャティバラダムは、本事業の中核をなす構造物であり、河口から約23 km上流のガラン川支川のクレオ川に建設される洪水調節（50年確率洪水 $270 \text{ m}^3/\text{s}$ を $100 \text{ m}^3/\text{s}$ に調節）、水資源開発（上水を含む $2.69 \text{ m}^3/\text{s}$ を開発）、水力発電（利水放流を利用した $1,560 \text{ kW}$ の水力発電）を目的とする多目的ダムである。

ダムの基礎岩盤は、第三紀後期の火山性堆積岩で、凝灰質砂岩、礫岩、角礫岩の互層からなる。各層はほぼ水平に堆積しており、左右岸の連続性も高く、ダムサイトで断層は確認されていない。角礫岩を除いて固結度の低い低強度・高透水性の岩盤であり、一部未固結の層も挟んでいる。角礫岩の一軸圧縮強度は $70 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ 、凝灰質砂岩は $20 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ である。

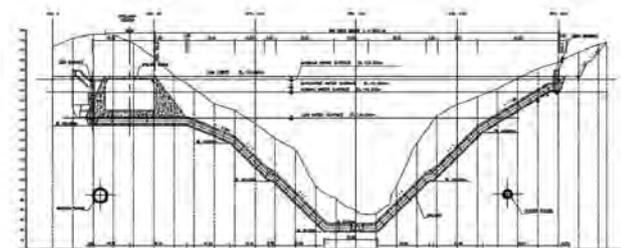
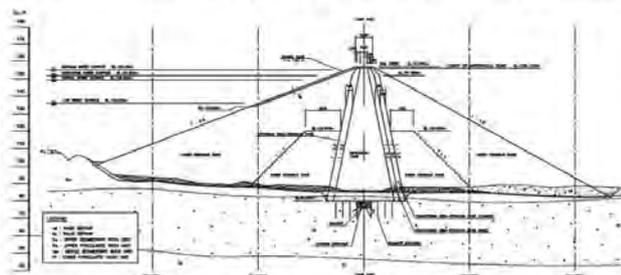
ダムサイトの地形は、両岸が $60 \sim 75$ 度に切り立った南北にはほぼ直線状の溪谷でダム建設に適している。しかし、ダム軸上流300 m付近で河道が大きく左に湾曲しているため、左岸アバットはやせ尾根地形になり、安定した右岸側に比べ左岸尾根の岩盤の風化は進

んでおり透水性も高い。急峻な地形は重力式コンクリートダムに適しているものの、基礎の強度が確保できないためダムタイプは、ロックフィルダムとしている。

ダム付帯施設として、洪水調節と可能最大洪水を安全に放流するための「洪水吐き」をダム左岸側に、水道用水を流下させるための「取水・放流設備」をダム右岸に配置している。放流口にタービンを設置し放流水とダムの水頭を利用して従属型発電する。ダム諸元を表一に、ダム三面図を図一に示す。

表一 1 ダム諸元

ダム形式	中央コア型ロックフィルダム
ダム天端標高	EL. 157.0 m
基礎岩盤標高	EL. 83.0 m
ダム高	74.0 m
堤頂長	200.0 m
上流面勾配	1 : 2.6
下流面勾配	1 : 1.8
堤体積	800,000 m ³
貯水容量	20,400,000 m ³



図一 3 ダム平面図・軸横断面図・標準断面図

4. ジャティバラダムの施工

(1) 実施工程

インドネシアでは、ダム着工前に「ダム安全管理委員会 (DSC : Dam Safety Commission)」によるダム計画・設計にかかる審査を受ける。審査は半年間に及び、2008年12月18日に設計内容が承認され、公共事業省大臣の建設許可を受けた翌年2009年3月からダム建設工事の業者選定・建設工事が進められた。なお、DSCの審査は、ダム運用までに、貯水前の審査と運用開始前の2回の審査がある。

ダム建設にかかる工程は以下の通り。

- ・入札公示 2009年 3月 23日
- ・業者選定 2009年 8月 14日
- ・契約 2009年 10月 15日
- ・工事開始 2009年 11月 11日
(契約時竣工予定日 2014年 1月 8日)
- ・転流開始 2011年 8月 13日
- ・堤体盛立開始 2012年 9月 16日
- ・堤体盛立完了 2014年 1月 10日
- ・湛水開始 2014年 5月 5日

ダム本体の施工は、インドネシア建設企業 (国営) 3社による共同企業体により実施された。ダム建設工事は、ほぼ当初計画通り執り行われ、DSCによる湛水開始許可を得たものの、工事最終段階で、貯水池内を通る送電線の付け替え工事で移設したタワーの基礎で地すべりが発生し、対策のために湛水開始の日程が約7ヶ月遅れた。

(2) 建設工事

ダムサイト周辺には、集落が点在している上に、スマランの観光地である Goa Kreo (この地域で聖地とされている洞窟) がダム軸 350 m 上流にあり多くの観光客が訪れる土地柄であり、施工期間中の安全管理が課題とされていた。このため、周辺住民の生活路を侵さない仮設備計画 (特に住宅街を通る堤体材料の搬入路は新設した) を立案するとともに、一般人が現場に踏み込まないようにフェンスで現場を囲み厳重な警備体制を敷いた。また、火薬類の持ち込み・保管の危険性にも配慮して、掘削には、ダムサイトから約 9 km 離れた原石山を除いて、発破を使わない機械掘削で行う方針とした。

河床までのアクセス道路開通後、工事期間中の河川流を転流するための仮排水トンネルに着手した。仮排水トンネルは、全長 441 m、トンネル径 5.6 m の 2R 馬蹄形、勾配 $i = 1/30$ のコンクリートライニングの

水路トンネルである。施工方式には NATM 工法を採用している。

トンネル区間の地質は、一軸圧縮強度 $qu = 30 \sim 50 \text{ kgf/cm}^2$ 、弾性波速度 $v = 2,500 \sim 3,000 \text{ m/s}$ の比較的軟質な新第三紀の凝灰質砂岩の均一地層である。発破の使用を余儀なくされた場合、地山のゆるみによるトンネル抗壁やダム基礎への影響も懸念されていたが、全区間において機械掘削（自由断面掘削機とバックホウの併用）での施工が可能であった（写真—2）。掘削は、掘削効率の悪い自由断面掘削機の作業を少なくするため上半先進工法を採用し、上半を自由断面掘削機によるトンネル掘削、下半をバックホウとブレイカーによる開削工法で施工した。掘削による地盤の変形は、NATM 計測（天端変位、左右の弦長、掘削幅）により確認した。最終変位量は、天端変位で約 15 mm の沈下、内空変位（掘削幅）で約 10 mm の収縮で、安全に影響のない極めて微量の変形量でおさまった。



写真—2 ロードヘッダーによるトンネル掘削と貫通の瞬間

洪水吐き越流部の工事は、ダム本体掘削と切り離して行えるので、仮排水路トンネル掘削期間中も並行して行った。掘削は、掘削効率が劣ることが予想されたが、全工程でバックホウとジャイアントブレイカの併用による機械掘削で行った（写真—3）。掘削面では、地山のゆるみ、クラック、浮石などは確認されず、良好なダム基礎が得られた。



写真—3 汎用機械によるダム基礎掘削

(3) 施工管理

コンサルタントが行う施工管理は、インドネシア特有の Semi-Task Concept で行われたため、FIDIC で定義されている The Engineer と発注者の補佐役の中間的な存在に位置づけられている。コンサルタントには、支払いを除く管理、すなわち、品質管理・工程管理・安全管理で、技術的な部分で The Engineer としての責任が求められている。但し、現場では、出来高に関しても管理し、支払い書類にもコンサルタントの署名が入るので、監査役のような役割も果たしていた。

品質管理では、仕様書に従った品質を確保するため、地質・トンネル（NATM）・グラウト・築堤（コア・フィルター・ロック）・コンクリート・水門扉の各分野で必要な試験を実施し、それらの品質データを整理・解析し、仕様・設計条件を逸脱しない品質を維持した。さらに、施工段階から、ダム本体の埋設計器を継続的に観測し、ダム挙動解析を実施、ダム本体の安全を監視している。このほか、施工中に発生する技術的課題、例えば、湧水量の多い未固結砂岩層の処理、貯水池内地すべりの調査・対策工事などの技術的な提案をし、工事を実施した。

これらの施工監理で得られた技術成果は、最終報告書としてとりまとめ、湛水開始のための政府認可を得るため、湛水計画・貯水池運用計画・ダム維持管理計画とともにダム安全管理委員会に提出した。委員会の審査を受け、2014年4月22日に湛水開始許可を得ている。

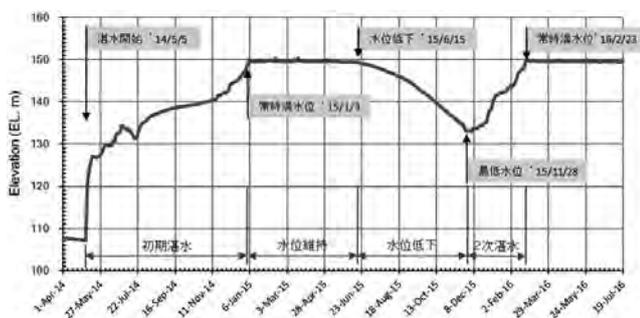
現場の安全管理では、毎週金曜日の Safety Talk、毎月1回の安全パトロールを実施し、危険箇所の改善や、労働者への安全教育を継続的に実施した。この結果、大きな事故や死者を出さずに竣工を迎えることができた。

さらに、本事業では、ダム本体工事のほかにも、ダム建設の関連事業として、①河川・貯水池観光開発、

- ②防災：非構造物対策（地域防災活動，流域保全），
- ③野生動物（猿）の保護，④エイズ拡大防止キャンペーン等も実施している。

5. 試験湛水

試験湛水は，盛り立て完了後5カ月経った2014年5月5日に湛水を開始し，2015年1月に貯水位は常時満水にまで到達，その後，雨期の間常時満水位に水位を保ち，2015年6月から一旦水位を最低水位まで低下させ，2015年の雨期で2度目の湛水を行い終了した（図一4）。



図一4 試験湛水時の水位変化

ダムの挙動観測は，施工期間中から2度目の湛水まで続け，工事中，試験湛水期間中のダム挙動解析を行い，水理的・構造的挙動に安定した傾向を確認した。既に，第3期の安定期に入ったと判断でき，ダムの安全が確認できたと考えている。建設当初，懸念されていた基礎の問題，特に漏水と変形についても解析で求められた範囲内に収まっている。漏水量と水位との関係は線形状態を保ちながら量的に減少方向にある。また，貯水池内左岸にある地滑り地形と判断していた地帯も，貯水池の水位変動に対して動きはなかった。

これらの結果は，ダム安全管理委員会が審査し，2015年4月29日に承認され，同年5月4日に，ダム運用許可が公共事業省の大臣の名前で出された。現在，ダムは，公共事業省のプマリージュアナ河川流域管理機関（BBWS-Pemali-Juana）が運用・管理している。

6. おわりに

2015年は，エルニーニョによる渇水被害がインドネシア全土で話題になった年であったが，スマランではダムからの放流により，下流のシモンガン浄水場が年間を通してフル稼働することができた。試験湛水を



写真一4 ジャティバラダム下流面



写真一5 貯水池内の歩道橋とダム上流面

実施した年であり，乾期には計画以上の放流で貯水位を意図的に下げたが，この年の渇水でもジャティバラダムは余裕をもって役目を果せることを示した。また，ダムの水位が低下していくのを見た市民から，水不足の問い合わせが何件も来た話をダム管理者から聞かされた。新たに出来たダムに対する市民の関心がうかがえる。

ジャティバラダムは，スマラン市街地から車で30分のところにあり，週末には大勢の観光客で賑わい，すでに，スマラン市民の憩いの場として定着している（写真一4，5）。大勢の人にダムを見てもらい，その効果を実感してもらえるのは，ダム建設に携わったものにとって最高の喜びである。このジャティバラダムが，スマラン市民に愛されるとともに，快適で安心できる暮らしを提供し続け，インドネシアの発展に末永く寄与することを願ってやまない。

JCMA

【筆者紹介】

清水 比呂志（しみず ひろし）
 (株)建設技研インターナショナル
 防災部
 担当部長

