

Project brief 1

プロジェクト紹介【寄稿】

インドネシア共和国、 ポンレポンレダム(CFRD)の建設

柚木 裕二

YUNOKI Yuji

日本工営株式会社
コンサルタント海外事業本部
副技師長



はじめに

インドネシア共和国は、およそ日本の5倍の国土面積、2倍の人口を有する東南アジアの大国である。ダム建設はオランダ植民地時代の1910年代から始まり、今日までに120余りのダム(高さ15m以上)が建設されてきた。わが国の既設ダム総数、約2,700ヶ所と比較するとまだ1/20以下という数ではあるが、国民生活の向上に確実に貢献してきた。今後も国民生活を支える社会基盤としてダム建

設に対するニーズは大きい。

本稿では、2008年末インドネシア共和国南スラウェシ州に、円借款によって完成したポンレポンレダム(図1)の概要について述べる。

DISIMPについて

インドネシアの東部地方(バリ島以東の地域)は、ジャワ島やスマトラ島がある西部地方に比べて開発が遅れており、貧困層が多いと言われている。1991年にスタートした円借款による小規模灌漑管

理事業は、地域住民の生活を向上させることを目的として公共事業省が実施主体となり、インドネシア東部地方各地で灌漑事業を実施してきた。2003年からはプロジェクト名をDISIMPと変更して第4期目を実施中である。

小規模灌漑管理事業では過去3期の事業の中で、7つの中小規模の灌漑用水ダムを完成させてきた。4期目のDISIMPでは通算8つ目となるポンレポンレダムが南スラウェシ州ボネ県に計画された。同ダムは、高さ55m、有効貯水容量4千万m³の中規模ダムで、形式は日本国内では実施例が少ないコンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム(以下CFRD)である。このダムから、同時に建設されている水路網を通じて、下流域の約4,400haの農地に灌漑用水を供給する計画である(写真1)。2003年4月から詳細設計を開始し、2008年11月にダム本体が完成した。2009年3月現在、試験湛水中である(写真2)。

CFRDについて

ポンレポンレダムで採用されたCFRDは、締めめたロック材によって建設された堤体の表面をコン



写真1 ダム下流域に広がる水田地帯



写真2 試験湛水中のダム

クリートの板で覆って水を堰き止めるというもので、構造はいたってシンプルである。土質遮水壁型ロックフィルダムのコアゾーンにあたる部分が無いため、雨季でも盛立て可能で、施工中の越流による損傷も無く、完成後のハイドロリックフラクチャリングやパイピングの心配も無い。また、堤体を小さくできるため経済的で、施工速度が速いという大きなメリットを有する。

1800年代末頃、米国カリフォルニア州に最初のCFRDが建設されて以来、初期のCFRDには漏水の問題が絶えず発生していた。しかし1960年代、振動ローラーによるロック材の締め目が一般的に行われるようになってからは施工後の堤体変形によるフェイススラブの損傷も減り、漏水の問題が改善されていった。また、上流端部の浅いカットオフ(止水壁)がプリンスへと進化し、スリップフォームによ

るフェイススラブの連続打設が可能になった結果、1970年代以降に建設されたCFRDの漏水量は画期的に減った。この頃から、高さ100mを超えるCFRDが世界各地で続々と建設されるようになり、最近では大きな地震を経験したCFRDの調査結果から耐震性の高さも実証されつつある。

このようにCFRDは極めて大胆な発想により生まれ、より漏水量の少ないダムにするために長年の間に少しずつ工夫を加えながら完成度を高めてきた技術であると言える。現在では、200mを超える高さのCFRDも建設されるようになった。また、沖積砂礫層上に建設された例もあり、多様な地盤条件にも対応し得る工法である。

ポンレポンレダムの設計

1980年、JICAの調査によって、南スラウェシ州の中心を流れるワラナエ川支流のティンチョ川に灌

漑用ダムが計画された。1991年からは前述の小規模灌漑管理事業の中で調査や実施計画策定などが行われ、ダムタイプの比較検討の結果CFRDが採用された。2003年4月には詳細設計が開始された。図2にダムのレイアウトを、表1にダム主要諸元を示す。

ダム本体の設計は、オーストラリア大ダム会議(ANCOLD)が1991年に作成したCFRDガイドラインに基づいて行った。

地質及びダム基礎の処理

ダム基礎の地質は、第三紀の火山角礫岩と安山岩で構成されている。プリンス基礎は弱風化層まで3~5mの掘削を行うこととした。一方、ダム盛土基礎は表土及び強風化層の除去のみとした。

ダム堤体盛土

ダムのゾーニングは、図3に示すようにごく標準的なものである。CFRDの法面勾配は通常1:1.3を標準とするが、ダムサイトの地域的特性や材料強度などから、上下流とも1:1.4とした。

各ゾーンの粒度分布を図4に示す。上流側ロックゾーン(3B)は良質の安山岩を使用し、下流側ロックゾーン(3C)には火山角礫岩を含むやや風化した材料も許容し

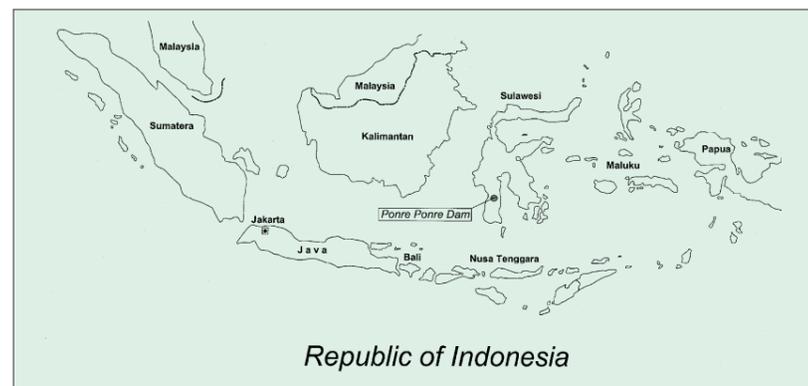


図1 位置図

用語解説	
ハイドロリックフラクチャリング	堤体内コアゾーンに貯水池からの水圧が作用して亀裂が発生する現象
パイピング	浸透水により土粒子が洗い出され、地盤内にパイプ状の水みちができる現象
プリンス	可動構造物であるフェイススラブと、不動の基礎岩盤との間の構造物
スリップフォーム	コンクリート版を連続打設するための移動式型枠
カーテングラウト	ダム基礎岩盤にボーリング削孔し、セメントミルクを注入して設けたカーテン状の遮水部

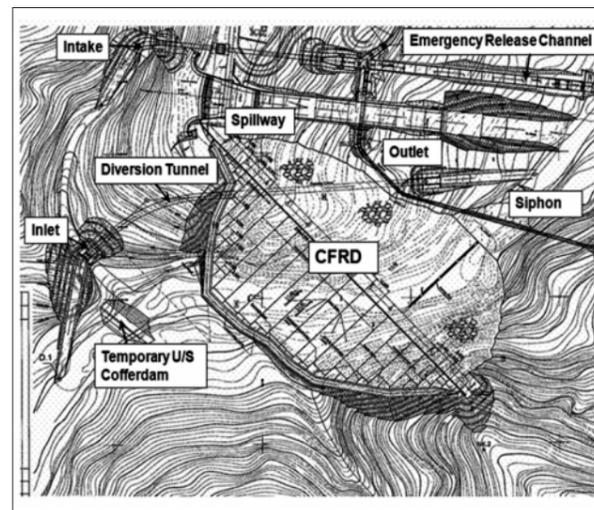


図2 ポンレポンレダムのレイアウト

表1 ポンレポンレダム主要諸元

項目	単位	緒元	
集水面積	km ²	78	
年平均流入量	百万m ³	53.6	
設計洪水(1000年確率)	m ³ /s	873	
可能最大洪水量、PMF	m ³ /s	1,590	
有効貯水容量	百万m ³	40.4	
ダム	型式	CFRD	
	最大高さ	m	55
	天端長さ	m	235
	堤体積	千万m ³	510
	法勾配	—	上下流共1:1.4
	遮水壁厚さ	cm	30
付帯設備	遮水壁面積	m ²	13,188
	洪水吐容量	m ³ /s	563
	導水路トンネル	m	D=2.5, L=108
	導水路容量	m ³ /s	63.5
	仮排水路トンネル	m	D=4.0, L=235
仮排水路容量	m ³ /s	165	

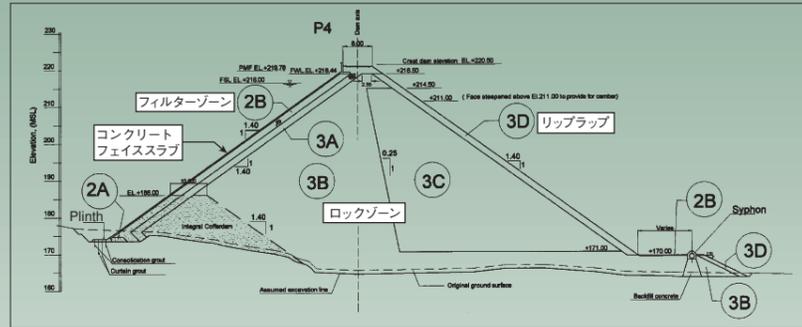


図3 標準断面図

た。上流側表層のトランジションゾーン(3A)及びフィルターゾーン(2B)の材料は新鮮な安山岩から生産することとした。

プリンス

プリンスはダム止水性を確保する上で、フェイススラブと並んで最も重要な構造物であり、カーテングラウトに対するキャップコンクリートとしての役割もある。プリンスの厚さは標準的な40cmとし、幅は表2のANCOLDのガイドラインを参照して5m以上とした。

フェイススラブ

CFRDにおけるフェイススラブは「不透水膜」という考え方であり、構造物としての強度より止水性や耐久性が重視される。スラブ厚は通常最小厚さ25~30cmで、水深1mに対して2~5mm増厚する。ただし、60mの高さまでは30cmの一定厚が推奨されている。ポンレポンレダムは高さが55mであることか

ら、フェイススラブは30cmの一定厚とした。スラブ幅は12mとした(両端部は6m)。

鉄筋量は断面積比で横断縦断ともに0.4%程度の鉄筋量が推奨されている。本プロジェクトではD22を25cmピッチの格子状とし、スラブ中央部に配置した。

継ぎ目

プリンスとフェイススラブを繋ぐ周辺継ぎ目は、フェイススラブの変位を保障しなければならず、最も損傷の可能性が大きい。このため、銅製止水板、PVC止水板、表層マスチックの三重構造とした(図5)。一方、フェイススラブの鉛直継ぎ目は、湛水後両アバットメント近傍は開き(引張継目)、中央付近は閉じる(圧縮継目)傾向がある。このため引張継目は銅製止水板と表層マスチックの二重構造、圧

縮継目は銅製止水板のみとした。

施工

工事は、2005年の国際競争入札を経て、間組と地元業者の共同企業体が落札し、2006年1月に着工、2008年11月に試験湛水を開始した。

盛土工事

湛水後のフェイススラブや周辺継ぎ目の損傷は、主に施工後の盛土の変形によって生じる。従って、いかに施工後の変形の少ない盛土を作るかが成功の鍵である。特に上流側ロックゾーン(3B)の材料選定は重要で、厳しい品質管理を行った。また締め固めは散水(体積比15%)しながら入念に実施した。一方、上流面以外はすべてロック材であるため、施工方法の自由度は高い(写真3)。

フェイススラブを直接支える最上流のフィルター層は、従来法面上の締め固めや法面保護剤の散布などで最も苦勞する仕事とされてきた。最近では上流端縁石工法が普及し作業が簡素化されている

表2 基礎岩盤と許容動水勾配 (ANCOLDガイドラインより)

Foundation Erodibility in terms of Rock Condition	Acceptable Hydraulic Gradient
Fresh	20
Slightly to moderately weathered	10
Moderately to highly weathered	5
Highly weathered	2

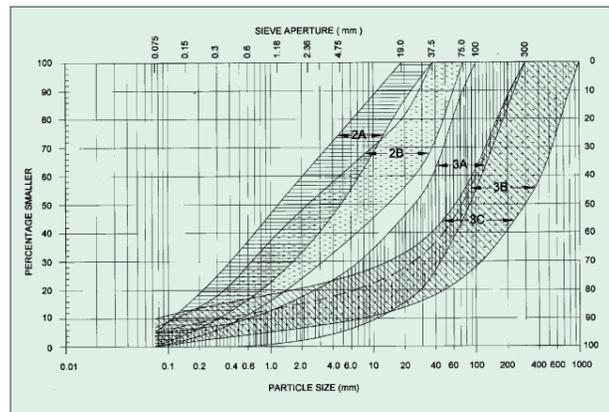


図4 各ゾーンの粒度の範囲

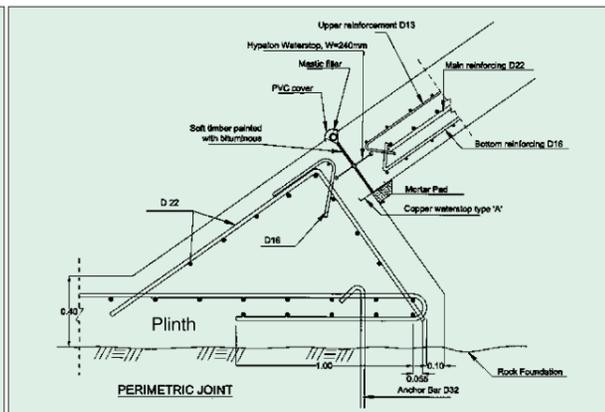


図5 プリンスとフェイススラブ継ぎ目(周辺継ぎ目)の構造



写真3 ダム盛土の盛立て(右岸から撮影)



写真5 フェイススラブの施工(上流側から撮影)



写真4 上流法面の施工(右岸から撮影)

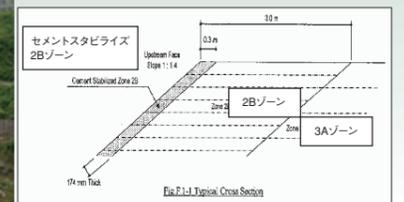


図6 セメントスタビライズ工法の概要

が、湛水後フェイススラブにクラックを誘発するとも言われている。今回、コントラクターが上流法面の締め固めと保護層形成を同時に短時間でできる「セメントスタビライズ工法」を提案し、現場試験で効果を確認した上で採用した(図6)。フィルターゾーン(2B)の上流法面30cm幅に60kg/m³のセメントを混入した材料を1層20cm厚で敷き、バックホーのバケットで上流面を抑えながらハンドダンパーで締め固めた(写真4)。この層はフェイススラブが施工されるまでの間、何度となく激しい降雨にさらされたが、良好な耐久性を示した。

フェイススラブ

フェイススラブの施工は、在来型車輪式スリップフォームを用い、最長90mのスラブを連続打設した。コンクリートはランプがやや低め(打設時は6)という以外特別

な配慮はない。施工時期が雨季と重なってしまい、降雨によるコンクリート打設の中断が心配されたが、打設領域とスリップフォームをすべてシートで覆う全天候型テント(写真5)を採用することで中断することなく連続施工ができた。

フェイススラブ打設後1ヶ月くらいから、表面に多数の乾燥収縮クラックが発生した。多くは微細なクラックであったが、0.2mmを超えるものが数箇所あり、止水性に影響する可能性があるため湛水



写真6 試験湛水中のダムと貯水池

開始前にすべて補修した。

おわりに

ポンレポンレダムは、現在試験湛水中であり(写真6)、ダム挙動や漏水量、両アバットメントの地下水位などを計測中である。現在までダムの変形、漏水量とも極めて小さく、良好な結果である。

今回の経験を通じ、CFRDは短期間に安価でしかも高品質のダムを建設できる工法であることを確信した。今後も微力ながらCFRD技術の発展に貢献して行きたいと考えている。