

プロジェクト紹介 九州最大のロックフィルダム 「小石原川ダム」の設計

岩井 慎治

IWAI Shinji
八千代エンジニアリング株式会社
九州支店
河川・水工部 / 技術第一課
課長



はじめに

小石原川ダムは、筑後川水系小石原川上流の福岡県朝倉市と東峰村の地に建設された、有効貯水容量約39.1百万m³のロックフィルダムである。ダムサイトの地質は、ホルンフェルス化した三郡変成岩類が主体で、基礎地盤の強度が弱くても大規模なダムが築造できるロックフィル型式が採用されている。

建設目的は、①洪水調節（洪水を一時的にダムに貯めて下流の河川流量を減らすこと）、②都市用水（福岡県南地域の水道用水を供給すること）、③渇水対策（河川環境保全等の流量確保、異常渇水時の緊急補給を行うこと）であり、周辺の自然環境に対する影響を可能な

限り軽減するよう設計・施工が進められた。

本稿では、当社が従事した小石原川ダムの堤体、洪水吐き、取水放流設備等の主要構造物設計と、施工時から維持管理に向けて構築した情報通信技術（ICT）を紹介する。

小石原川ダムの特徴

ロックフィルダムは、岩石及び土質材料を盛り立てて建設する型式で、外側の岩石材料（ロック）で強度を負担し、その内側に配置する半透水性材料（フィルター）で排水性を確保し、中央の土質材料（コア）で遮水する構造である（図1）。

小石原川ダムは、九州地方最大の堤高139mを有するロックフィルダ

ムであり、堤体積も約874万m³と大規模である。このため、ダムサイトの地形・地質・地すべり分布を考慮し、堤体を河川横断（ダム軸）方向に曲線化することで堤体積・基礎掘削量を低減するとともに、洪水吐きはシュート（斜路）部自体にも減勢機能を持たせた階段状水路²⁾とすることで、コスト縮減と地形改変・環境負荷の軽減を図った（写真1,2）。

堤体材料の確保とゾーン区分

●ロックゾーン

ロック材は、堅硬かつ耐久性に優れ、自由排水が阻害されない材料が大量に必要となる。堤体材料を調達する原石山の調査・試験結果から、風化、断層、変質、劣化等が



写真1 小石原川ダム全景¹⁾（試験湛水時2021年5月22日撮影）



写真2 小石原川ダム曲線軸

ランダムに分布し、使用できる材料の歩留まりが低下することが分かった。これをできるだけ回避するため、堤体材料を外部ロックゾーンと内部ロックゾーンに区分することで、堤体の安定性は損なわずに、低品質材料も有効活用できる設計とした。

材料採取地は、ダムサイトから1.5km上流の貯水池内にある境山地区とし、原石山の材質ばらつきと賦存量を考慮して、耐久性を有する外部ロック（凍結融解試験の質量減少率10%以下）と、強度（すべり安定性が確保できる内部摩擦角）を有する内部ロックにゾーン区分した。

外部ロックは、堤体上下流面に直交方向で等厚7.5m（平行形状）とし、その他の範囲を内部ロックとした。堤体すべり安定性を確保するため、設計強度（内部摩擦角）は外部ロック41°、内部ロック40°とし、円形すべり面法及び修正震度法で所要の安全率1.2以上を確認した。

●コアゾーン

コア材は、ダムの貯水機能を保持する重要な材料であり、パイピング（浸透水等による基礎地盤の破壊）に対する抵抗性が必要となる。材質のばらつきや施工性の改善を考慮し、細粒材（崖錐堆積物）と粗粒材（原石山風化岩）を混合使用

した。コア細粒材は、貯水池周辺に分布する崖錐堆積物や原石山風化部を対象とし、ダムサイト左岸下流地区及び境山地区上部の崖錐堆積物を使用した。コア粗粒材は、原石山の風化岩を1:2.0~2.5の割合で混合し、パイピングに対する抵抗性を十分に確保した（塑性指数15以上、透水係数 1×10^{-6} cm/s以下）。設計強度（内部摩擦角）は30°とした。

コアゾーンは細粒材と粗粒材の混合により計画したが、量的に余裕がないことが想定されたため、構造形状のスリム化を図った。ただし、水圧破碎（ハイドロリックフラクチャリング）現象が発生しない条件として、コア幅を作用水圧の30%以上確保し、アーチ作用によりコアの沈下が阻害されて亀裂が発生しないように、コアゾーンの上流側が1:0.36勾配、下流側が鉛直の傾斜形状（修正中央コア型）を採用した。なお、ダムの常時満水位付近の盛立標高までは、施工性を考慮したコア幅として10m確保している。

●フィルターゾーン

フィルター材は、堤体コアゾーンの浸透水を安全に排水する目的があり、粒度分布について透水則、パイピング則、非粘性等の制約を受ける材料である。これらの条件を満たす材料として、原石山の上層部

を母材として有効活用しつつ、購入砂をブレンドして使用した。

フィルターゾーンは、小石原川ダムの貯水位運用が主に高標高部で変動することから、上流側はコアゾーンと同勾配の等幅8m、下流側は1:0.1勾配に増幅することで、施工性・安全性に配慮した形状とし、設計強度（内部摩擦角）は38°とした。

基礎処理工と大断面の監査廊

基礎処理工は、ダムの基礎岩盤を削孔し、岩盤内の割れ目に圧力をかけてセメントを注入・充填することで、基礎岩盤の遮水性能を高めてダムに貯水するため実施する。

ロックフィルダムの基礎処理工は、大別して①基礎岩盤の遮水性改良を目的としたカーテングラウチング、②堤体コアゾーン下に施工するブランケットグラウチング、③洪水吐き下に施工するコンソリデーショングラウチングの3種類がある。

小石原川ダムでは、基礎処理工のボーリング・グラウチング工事、完成後の点検・計測等を行うため、ダム堤体底部のダム軸方向に延長約560mのトンネル（監査廊）を設けており、カーテングラウチングの施工機材を複数設置する必要があったため、監査廊内部での作業性を考慮して比較的大きな内空断面（幅

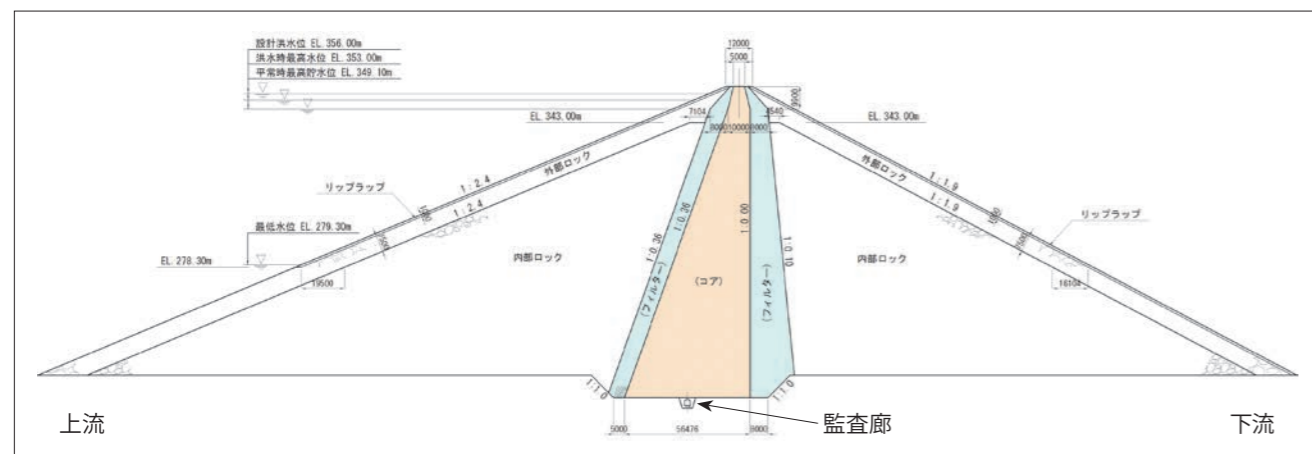


図1 小石原川ダムの堤体ゾーン区分

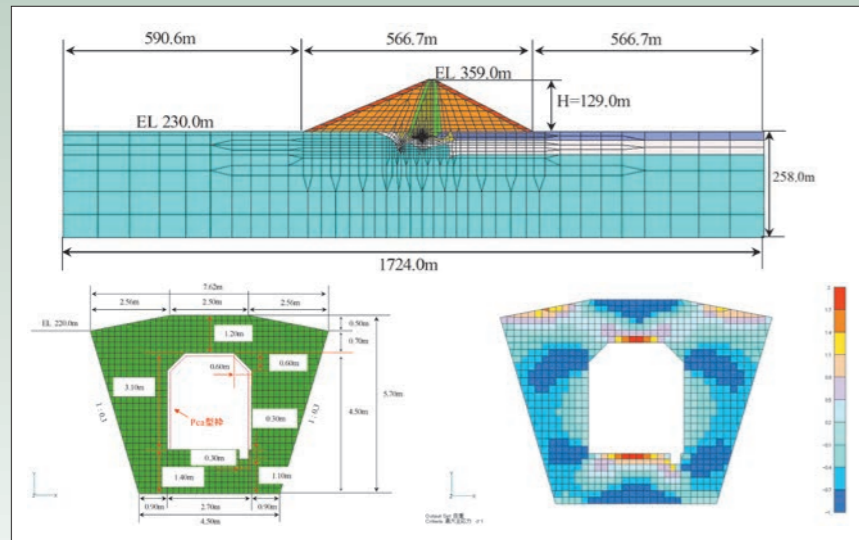


図2 解析モデルと監査廊に生じる最大主応力分布（解析結果は堤体盛立完了後、単位：MPa）

2.5m×高さ3.0m)を採用した。

監査廊には、設計段階から工場製品（プレキャスト残存型枠：PCa材）を適用し、有限要素法（FEM）による応力解析で部材厚と鉄筋量を決定した（図2）。PCa材の施工割付は、基礎岩盤の変形性・不均一性や曲線化した堤体形状を考慮して、短いブロック長（6.0m/箇所）を採用した。

カスケード型の洪水吐き

小石原川ダムの洪水吐きは、ゲート設備のない自然調節方式であり、幅4.3m×2門（サーチャージ水位時の越流水深3.9m）の常用洪水吐きによって流入量の一部をダムに貯留し、流入量よりも少ない量を下流河川に放流するものである（写真3）。

洪水吐きの末端部には、ダムのせき堰上げによって増大した貯水池の位置エネルギー（流水の運動エネ



写真3 常用・非常用洪水吐き



写真4 選択取水設備

ルギー)をダム建設前の状態相当に緩和する構造物（減勢工）を設置する。最も一般的な減勢工は、洪水吐きの下流末端部に導流壁と副ダムを設置してプールを形成し、跳水（斜路の速い流れが障害物や抵抗によって遅い流れになるとき、境界面が渦を伴って水深が増加する現象）を利用した方式であるが、堤高

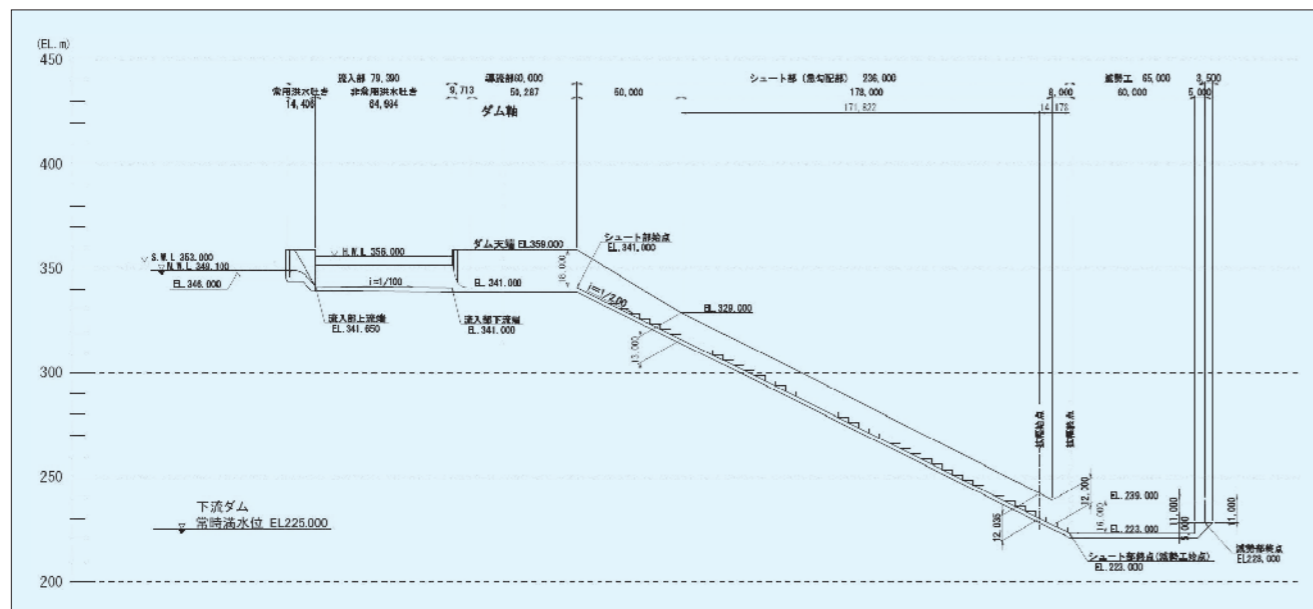


図3 洪水吐き縦断面図

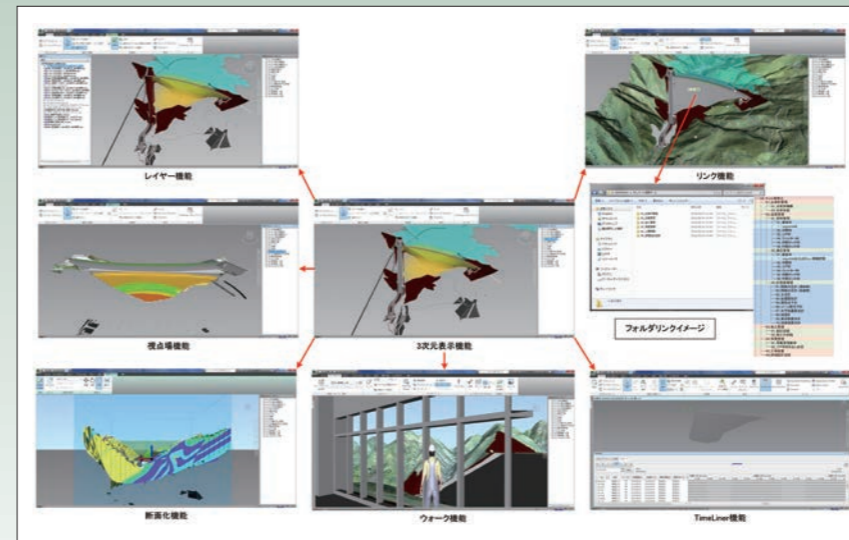


図4 施工CIMシステム

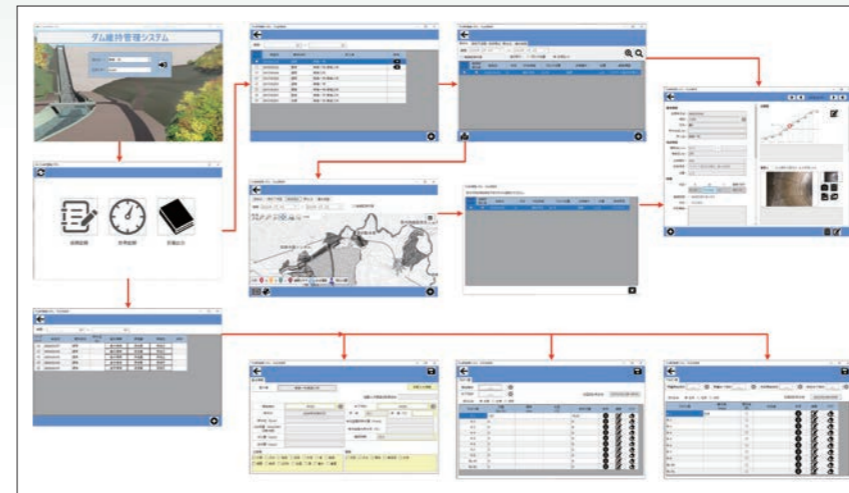


図5 維持管理CIMタブレットシステム

の大きなダムでは減勢池を構成する副ダムや導流壁が大規模になり、地形改変範囲も大きくなる。

小石原川ダムでは、洪水吐きシュート部自体にも減勢機能を持たせた「カスケード型減勢方式」を採用した。この方式は、通常のシュート部が滑らかな曲線と直線で構成されるのに対し、斜路面を階段形状にすることで流水の加速を抑制するものであり、下流末端部には掘込型跳水式減勢工を採用することで、全体構造規模が縮小できた（図3）。なお、階段形状及び減勢効果は水理模型実験により確認している。

取水放流設備

取水放流設備は、下流の河川環境に配慮して、水質・水温に応じた取水深を設定する選択取水設備と、放流量を調節する利水放流設備で構成される。

小石原川ダムでは、直径が異なる円筒形の扉体（直径2.2～5.2m）を8段連結した「側壁なし円形多段式取水設備」を採用した（写真4）。貯水池内の水温・水質に応じた任意の標高に合わせて取水口が伸縮し、最上段の扉体から最大15m³/s取水可能である。また、利水放流設備は、ダム施工時に使用した転流工

（堤体工事のため河川流路を一時的にバイパスする仮設構造物）の一部である上段仮排水路トンネル内に設置した。貯水位を緊急低下する能力として最大70m³/s、渇水時に維持する河川流量として最小0.15m³/sが放流可能なジェットフローゲート（口径1.7m）を採用した。

3次元モデルを介した情報共有

小石原川ダムでは、ダム分野におけるICTの先駆的な取り組みとして、設計者の立場からダム管理者の意見を取り入れて検討した施工CIM（Construction Information Modeling/Management）及び維持管理CIMシステムを構築し、情報共有の円滑化とデータ活用の効率化・高度化を推進した。

施工CIM（図4）は、ダムサイトの地形・地質、各種構造物等の3次元モデルを作成・統合し、施工記録を属性情報として集積したものであり、維持管理CIM（図5）は、施工CIMの情報を引継ぎ、専用タブレット端末により巡視点検・記録を効率化するシステムである。

おわりに

既設の江川ダム・寺内ダムに小石原川ダムを加えた3つのダムと、佐田川から江川ダムに導水するトンネル（木和田導水路）の整備によって、総合的な施設運用が可能となった。

今後、これらのダムによる治水・水利効果を継続的に発揮し、地域の洪水被害を防ぐとともに、限りある水資源の有効活用が期待される。

<参考文献>

- 1) 独立行政法人 水資源機構 筑後川上流総合管理所 小石原川ダム管理所・ホームページ (<https://www.water.go.jp/chikugo/koishi/index.html>)
- 2) 箱石憲昭「世界における階段式洪水吐き（Stepped Spillway）の現状」一般社団法人 日本ダム会議「ダム」No.172（2000）pp.20～29