

## ダムに関する最新技術の動向

川崎 秀明

環境やコスト縮減への社会的要求を反映して、最近のダム関係の技術開発は非常に活発である。例えば、基礎関係では、グラウチング管理の効率化、連続地中壁や、造成アバットメント等の新技術が普及した。また、コンクリートダムでは新種の打設運搬機械やプレキャスト化による施工の合理化が進み、フィルダムでは、低品質材の活用、転圧高の厚層化、情報化施工等による施工の合理化が進んだ。さらに、CSG工法の登場は、仮締切り等の関連構造物の低廉化のみならず台形CSGダムという新型式ダムにも結びついている。その他、リサイクル、斜面对策、取水放流設備、排砂設備、既設ダム再開発等においても、革新的な施工技術が次々に導入されている。

本文は、これらの最近のダムに関する最先端の技術動向について述べているが、ダムは総合工学と呼ばれるように、これらの技術はダム以外でも活用されつつある。

キーワード：基礎処理、端部処理、コンクリートダム、フィルダム、CSG、取水放流設備、再開発、排砂

### 1. はじめに

ダム技術は、構造物としてのスケールの大きさと多岐の分野にまたがる広範性から総合工学の典型と言われているが、個々の技術についても本質論の追求による奥深さも持ち合わせている。なお、一般土木からすると、用語の難しさから特殊な分野と思われる風があるが、実際は最先端の技術挑戦の機会も多く、科学技術本来の魅力に満ちあふれた分野である。

ダム関係ではこの数年、コスト縮減の大命題のもとに、コンクリートダム、フィルダム、関連構造物ともに、新構造、新工法の導入が大きく進んでいるが、同時に設計の合理化が進み、VE (Value Engineering) による品質確保前提の経済性向上と施工の高速化が一層進められてきている。

本文は、上記のダムの新しい動きの中から、構造や施工における新技術を中心に記述している。

### 2. 基礎処理・端部処理・法面処理

基礎処理・端部処理技術の最近の進歩は著しく、グラウチング手法・機器の改良、連続地中壁等の止水技術や、造成アバットメント、箱型連続地中壁等の人工基盤技術の進展によって、遮水上、地盤強度上の問題のある基礎岩盤の多くが克服されつつある。

#### (1) グ라우チング

H15.7のグラウチング技術指針の改訂は、より確実かつ効率的な止水技術の進展を背景に、経済性を重視した機能充足へと基本的な方向が変わったが、近年、ダム基礎の止水を効率的かつ確実にするためのグラウチング技術の発達は、目覚ましいものがある。

特に、最近は最新のIT技術を取り入れ、ボーリング、セメント懸濁液の練上げ・圧送・注入等の作業管理に加えて、岩盤の透水性、注入圧力、注入流量、注入セメント量等の膨大な情報を管理するような自動化した管理システムを構築する事例が増えており、これによって速やかな施工情報のフィードバックが行えるようになってきている。

また、新たな設備の開発によってグラウチング作業自体の効率化も進んでいる。例えば、従来のダム基礎処理グラウチングは、逐次グラウト濃度を変え連続的注入を行うシステム(写真-1)によって、注入時間の短縮および注入セメント量の増大が図られ、廃棄セメントミルク量を1/3～1/2程度に低減できることが、滝沢ダム等の施工において確認されている。

#### (2) 造成アバットメント

地形的に恵まれないダムでは端部において、大規模切土面が生じ易いが、コスト縮減と環境保全の両面から、掘削量、堤体積、法面処理工を削減する端部処理



写真一 1 リムトンネル内ユニット設置状況



写真一 3 傾斜型造成アバットメント、稲葉ダム



写真一 2 標準型造成アバットメント、北河内ダム



写真一 4 連続地中壁、小山ダム

の方法が重要となっている。

造成アバットメントは、効果の大きさからこの数年間で急速に採用が増えている工法であり、躯体高15m程度以下の端部処理に広く用いられる標準型と、より大規模となる傾斜型の2タイプがある。

標準型は、直立型のコンクリート人工岩盤を設置することで、切土法面と本体掘削量を大幅に削減するもので、平成12年度に、我喜屋ダムを対象に、その後、大和ダム、長井ダム、北河内ダム（写真一2）等の十数ダムで採用されている。

傾斜型は、造成アバットメント端部に上下流方向に長いより大規模なコンクリート躯体によって人工岩盤を造成するもので、躯体規模は標準型よりも相当大きくなるが、平成13年に西の谷ダムを対象に採用されて以降、稲葉ダム（躯体高38m、写真一3）等4ダムで採用され、より大きな効果を挙げている。

### (3) 連続地中壁

連続地中壁工法は、溝孔を削孔し、スライム処理を行った後、溝孔内にH型鋼や鉄筋籠を挿入し、コン



写真一 5 箱型連続地中壁、岩井川ダム右岸

クリートやモルタルを打設することで、鉛直壁面による遮水面を形成するものである。当工法は、グラウチングが困難な未固結性基礎の遮水のために、川辺ダム、忠別ダムフィルダム部、小山ダム（写真一4）等において、大規模に施工されている。最近では機械が小型化し経済性も格段に高まっている。

さらに、強度や対変形性の不足する地盤を対象に、

箱型連続地中壁が美利河ダムと金城ダムの基礎構築を通じて開発され、最近では、余地ダムと岩井川ダム（写真—5）で端部処理に採用された。

#### (4) PC アンカー

貯水池周辺斜面の崩壊や地すべりの懸念のあるダムでは、法面对策が大規模化する例も多いが、法面对策としてPC アンカーを施工することが多い。

PC アンカーの国内最初の導入は、1960年代前半の藤原ダムと川俣ダムであり、大規模なアバットメント補強用（岩盤PS工、写真—6）として採用された。

その後、PC アンカーは施工される等によって斜面の安定工法として発達し、法枠工、緑化工、ロックボルト等とも組み合わせて広く適用されている。また、最近では、アンカー荷重計の低価格化、小型化、長寿命化も進んでおり、頭部にアンカー荷重計を介しアンカーの引張力を即時監視することで、斜面異常を迅速



写真—6 岩盤PS工，奥三面ダム



写真—7 PC アンカー工，奥胎内ダム

かつ確実に把握しながら施工することも行われている。写真—7の事例では、光波測距儀と孔内傾斜計と併せて、安全管理が行われている。

### 3. コンクリートダム

最近の重力式コンクリートダムについては、コスト縮減を反映して施工の合理化がさらに進められている。

コンクリートダムの代表的な施工法であるRCD工法と拡張レヤ工法の最新技術について述べる。

#### (1) RCD 工法

三十数年前に日本で生まれたRCD（Roller Compacted Dam-concrete）工法は、世界に先駆けての超硬練り面状打設工法であるが、これによってコンクリートダムの練混ぜ・運搬・打設・締固め、品質管理・現地試験、現場管理等の方法は大きく変わった。最近10年は宮ヶ瀬ダム（堤高156m）、浦山ダム（堤高156m）、月山ダム（堤高123m）、小里川ダム（堤高114m）等の大規模ダム完成によって技術的完成度を高めた。

写真—8に長井ダムの最新の施工状況を示すが、最近では、最大骨材寸法80mm（以前は150mmが主流）に下げる、柔らかめの配合とする等によって、品質安定性と施工性を高める方向にある。

今後の方向として、下記の課題がある。

##### (a) 施工の高速化

打設ブロック数の最小化（3ブロック程度）、打設制限の緩和（温度、降雨、若材齢走行）、労働時間体制の見直し、打設サイクルの短縮（打設・養生・脱型・清掃を1リフト周期3日目で行う）、連続打設（30cmごとに撒出し・敷均し・転圧を連



写真—8 連続RCD工法による打設，長井ダム

続的に繰り返す)

### (b) 施工の単純化

水平打継ぎ目処理（敷きモルタル、グリーンカット）作業の軽減，型枠のプレキャスト化，外・内部コンクリートの共通化，機械設備情報のIT化，情報化施工

一方，世界における面状打設工法としては，RCC工法（Roller Compacted Concrete，写真—9）が主流であるが，最近ではマレーシアのスンガイキンタダムにおいて，日本企業がRCC施工を請負い，スロープレヤ（Slope Layer；1リフト3mに対して1層30cmごとに1：10～1：20の傾斜をつけて振動転圧し連続打設を行う）工法，GE-RCC（Grouted Enriched-RCC；型枠際のRCCにセメントミルクを添加して内部振動機で締固める）工法を独自の施工設備の下に採用して，低コストで品質的にも問題ないRCC工法を実現した。

なお，RCD工法による高品質性は世界的にも高く評価され，VC試験，目地切り，継ぎ目処理，止水板設置，運搬等のRCD技術は，RCC工法にも採用されて来た。一方，RCD工法も施工速度の速いRCCの良さを取り入れて一層の合理化を目指しており，現在は，RCDをRCCの高品質バージョンと位置づける考え方が一般的である。



写真—9 RCC工法，スンガイキンタダム

### (2) 拡張レヤ工法（ELCM）

拡張レヤ工法はELCM（Extended Layer Construction Method）の略称と呼ばれ，従来のダムコンクリートと同じ有スランプコンクリートを用い，RCD工法と同じく打設面に段差を設けない面状施工を採用した上で，従来のブロック柱状工法と同じくバイブレータで締固めを行う。当工法は，栗山ダム（堤

高32m），三春ダム（堤高65m），中筋川ダム（堤高72m）等において本体施工が実施され，堤体積が10万～30万 $m^3$ 程度の多くのダムで実績を重ねて中小規模のダムの主流施工法となっている。

当工法は，品質確保と施工合理化を容易に達成できることから，現在，小～中規模の重力式コンクリートダムにおける標準の施工法となっており，大規模なダムでも堤頂部の堤幅の狭い場所に当工法が用いられることが多い。最近では，品質安定と施工性確保のため，骨材分離の生じ易い最大骨材寸法150mmにこだわらない事例も多い。写真—10に施工の状況を示す。

RCDとの共通点は多いが，RCDと比較しての利点として，内部と外部コンクリートの締固め方法が同じであり機械数が少ない，単位水量が多いため小降雨時や日照下での水分変動に対して強い，リフト厚を0.75m～1.5mと大きくし打継ぎ目処理面積を少なくできる等がある。一方，RCDに劣る点として，打設直後のダンプ走行が出来ないため大量打設性に劣る，セメントが多い分コンクリート発熱量が大きい等がある。



写真—10 拡張レヤ工法，鷹生ダム

### (3) コンクリート運搬，その他の施工機械

ダムコンクリート用施工機械は，省力化や施工の迅速化のため，様々な機種が開発されている。

コンクリート運搬手段については，地形・堤体条件に合わせて，ケーブルクレーン，タワークレーン，ダンプトラック，ベルトコンベヤ，インクライン等の様々な工法が過去開発されてきた。最近では，上下運搬を主とすることでサイクルタイム短縮と低廉化を図ったタワークレーンや固定設備費を小さくできる自走式のクローラークレーンの採用例が多くなっている。また，連続練りシステムや動力費を軽減する重力落下式

のミキサー（写真—11），スパイラル管によって従来不可能であった急傾斜の運搬を実現した SP-TOM（写真—12）等が開発され，実ダム施工における使用を経て実用上問題ないことが確認されている。

特に自走式は，小規模かつ機動性を優先する現場で破碎機，振動分級機，コンクリート運搬機（写真—13）等において導入され，設置費軽減や稼働率向上によってコスト縮減にも大きく寄与している。

（4）コンクリートダムのプレキャスト部材

従来は，コンクリートダムの通廊等の堤内構造物の設置は，鉄筋工，型枠工，打設工を含む煩雑な現場施工となっていたため，工程の短縮化を妨げる要因とな

っていた。このため，構造部材を予めコンクリートで製作して所定の位置に運搬・設置するプレキャスト化が，合理化の有力な手段として進められ，1990年代の宇奈月ダム通廊のプレキャスト化を皮切りに，久婦須川ダム，滝沢ダム，忠別ダム，福智山ダム，三室川ダム，木戸ダム（写真—14）等における実施によって通廊のプレキャスト化は，大きく進展した。

また，部材重量の軽量化，各セグメントの接合部の強度と止水性の保持，現場コンクリートとの付着，床版下のコンクリート充填等のプレキャストでの課題も着実に改善してきた。最近では，エレベーター等の長尺箱抜き部についてもプレキャスト化が行われて，ダム上・下流面用のプレキャスト型枠も開発されている。

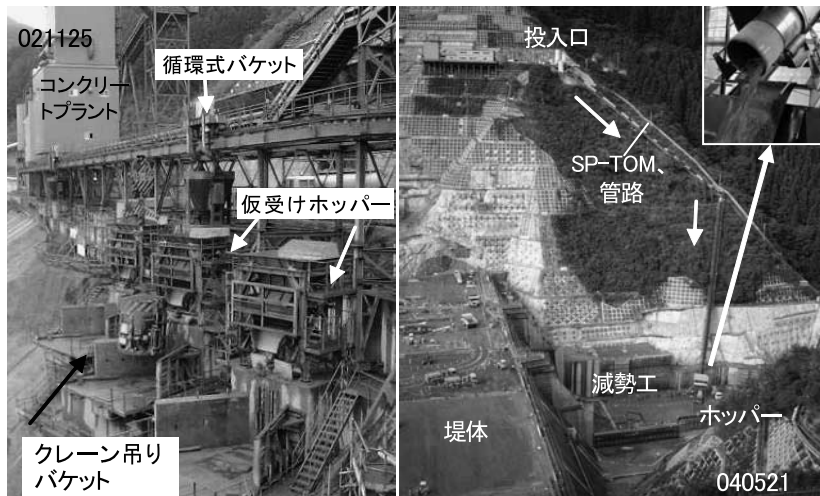
これらのプレキャスト化の結果，省力化が大きく進み，施工の容易化と工期の短縮の点で大いに役立っている。これらのプレキャスト部材は，鋼製の製作型枠が高価となることから，コスト縮減のために製作型枠



写真—11 木戸ダム，左：コンクリート連続練りシステム，右：重力式ミキサー



写真—13 自走式ベルトコンベア打設機，徳富ダム



写真—12 滝沢ダム，左：複雑な動きを自動化した循環式の3連バケット，右：スパイラル式コンクリート連続運搬システム



写真-14 プレキャスト通廊, 木戸ダム

を共同使用のものと考えて、製作型枠貸出し制度によるダム間の転用が図られている。

#### (5) コンクリートダムの情報化施工

観測計器の進歩、施工管理技術の情報化、建設機械のメカトロニクス化等が融合したIT化が進行しており、これらは情報化施工と呼ばれている。

横川ダムでは、複数ヶ所からの購入骨材を採用したことから、骨材貯蔵設備への投入等をトータル的に管理するために、「ICタグを用いた骨材混入防止・運行管理システム」が導入（2004年5月～2006年6月まで）された。具体的には、ICタグをつけたダンプトラックが、骨材製造プラントからダムサイトの貯蔵設備までの間に設けた各チェックポイントを通過することで各種情報を把握でき、ダンプトラックの運行管理と骨材の品質管理に大いに役立った。

また、最近では、堤体積約3万m<sup>3</sup>以下の小規模ダムにおいては、生コンのダムへの使用も多くなっているが、今後は生コン工場からの運行管理や最新の高精度な連続式計器を用いたリアルタイムの品質管理による情報化施工が望まれる。

## 4. 台形CSGダム

我が国開発のCSG (Cemented Sand and Gravel) は、河床砂礫や掘削ズリ等、ダムサイト近傍で容易に入手できる岩石質材料に、セメント、水を添加し、簡易な練り混ぜにより製造され、コンクリートと比べて低強度ながら安価という特徴を持つ。

CSGの工法としての本格的な開発は1992年の長島ダムの上流仮締切り堤から始まり、その後、当工法は十数個のダム現場で関連構造物に用いられ、改良が重

ねられ、2004年5月には、台形形状の最初の本格施工である大保ダム沢処理工（堤高30m）が完成した。

設計上は、CSGの弾性領域の強度を用いることで弾性体設計を行うことが特徴で、基本断面を上流面も下流面と同様の法勾配（1：0.8程度）を持たせた台形とすることで、堤体内に発生する応力を軽減し、これによって、コンクリートに比べて強度の低いCSGの堤体材使用を可能としている。このように新しい形状と強度特性を持つダムを台形CSGダムと呼んでいる。

台形CSGダムとしての堤体としての適用は、2002年6月の億首ダム（沖縄総合事務局）以降、現在までにサンルダム（北海開発局）、本明川ダム（九州地整）、当別ダム（北海道）が予定されており、さらに数ダムが設計中である。

#### (1) CSGの製造及び施工方法

CSGは、母材（岩石質のCSG原材料）を最大粒径以下に調整したCSG材にセメントと水を添加し、混合することにより製造される。なお、CSG材は母材から大玉を取り除いたものであり、分級、ブレンド及び水洗い等は基本的に行わない。CSGは、母材（岩石質のCSG原材料）を最大径以下に調整したCSG材にセメントと水を添加し、混合することで製造される。

CSGは、スケルトンバックホウ等を用いて現場で簡易に混合した施工例もあるが、最近では写真-15のように、CSGを大量かつ連続的に製造できる簡易かつ経済的な混合設備が次々と開発されている。CSGは面状工法により施工されるが（写真-16）、通常のRCDダム工事で用いられるダンプトラック、ブルドーザー、振動ローラー等の汎用機械が用いられ、所定の密度が得られるように締め・転圧が行われる。



写真-15 スパイラル式CSGミキサー, 稲葉ダム



写真-16 CSGブル敷均し状況、稲葉ダム

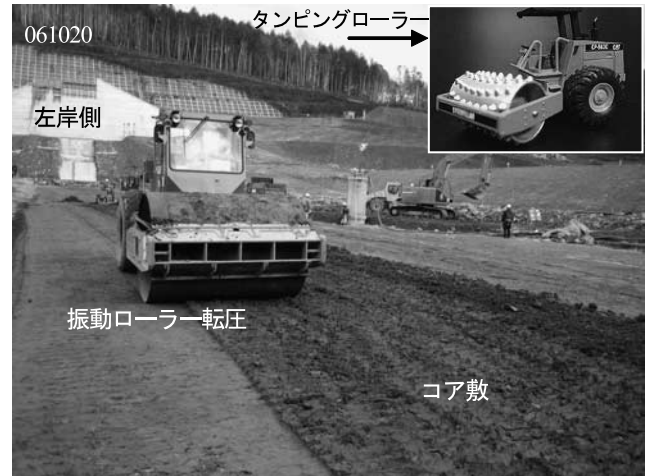


写真-17 振動ローラーコア部転圧、西岡ダム

## 5. フィルダム

近年、フィルダム建設では、材料採取や運搬の効率化（機械類の大型化、通信情報網化等）、現場発生材料の有効利用（低品質材の活用等）、本体施工の合理化（締固め・仕上り厚の厚層化等）、コア材・フィルター材製造の効率化、洪水吐き施工の合理化、工期の短縮等に関する技術開発が急速に進められてきた。

特に最近では、摺上川ダム（堤高 105 m, 830 万 m<sup>3</sup>）、忠別ダムロックフィル部（堤高 86 m, 堤体積 775 万 m<sup>3</sup>）、徳山ダム（堤高 161 m, 堤体積 1370 万 m<sup>3</sup>）、森吉山ダム（堤高 89.9 m, 堤体積 585 万 m<sup>3</sup>）、胆沢ダム（堤高 132 m, 堤体積 1500 万 m<sup>3</sup>）等の大型ロックフィルダムの施工が続いており、これらを通じて合理化はさらに進展して活用されている。

以下、フィルダムの最近の主流である低品質材の有効活用、振動ローラーによる仕上げ厚の増、計測機器等について紹介する。

### (1) 仕上げ厚の増による盛立速度の上昇

コアゾーンの仕上げ厚を増してフィルダム盛立速度を高めることによる工程迅速化と経済性向上における効果は非常に大きい。コア材の転圧用機械は、従来は爪で確実にレキ材を破碎混合し次層とのなじみも良いタンピングローラーを採用することが多かったが、近年は機種改良（大型化かつ高性能化）による締固め性能の向上によって、振動ローラーが採用されることが大半である。振動ローラー採用の利点として、「容易に転圧高を厚層化できる、表面が平滑面であることで降雨時対応が容易となる」等がある。

厚層化については、従来はコア材 1 層の仕上げ厚を 15 ～ 20 cm としていたが、最近では締固めエネルギー



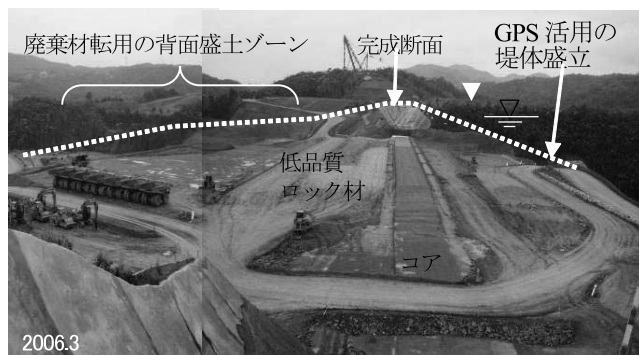
写真-18 締固め用振動ローラー、徳山ダム

の大きい振動ローラーを用いて、羽地ダム以降、堀川ダム、摺上川ダム等のように仕上げ厚を 30 cm とする事例が続いている（写真-17）。なお、フィルター材やロック材についても、振動ローラーによる仕上げ厚の厚層化が進んでおり、羽地ダムではフィルターゾーン 60 cm（従来 30 ～ 40 cm が主）、ロックゾーン 120 cm と盛立高速化が進められた。

一方、徳山ダムでは起振力の大きい 30 ton 級振動タンピングローラー（写真-18）を採用して仕上げ厚 30 cm を可能とし、確実な品質管理によってコア 100 万 m<sup>3</sup> を 26 ヶ月で仕上げる急速施工を実現した。

### (2) 低品質材の有効活用

低品質材を堤体盛土部に活用するために、使用材料の堤体ゾーニング（特にロック材）を適切に行う必要がある。低品質材の活用によって、「採取率向上、貯水池内の材料採取、運搬距離の短縮」が可能となる。低品質材の活用は、低品質材の直接搬入可能な盛立現場または低品質材の仮置き用スペースの用意が必要となるが、そのためには堤体ゾーニングと土運計画の最



写真一十九 背面盛土盛立とGPS活用、大保脇ダム



写真一二十 通廊用プレキャスト型枠、榎谷ダム

適化がキーポイントとなる。

最近では、摺上川ダム、留萌ダム等多くのロックフィルダムがゾーニングによる低品質材活用を進め、大きなコスト縮減を実現している。写真一十九は特殊止水(背面盛土キャップ構造)として背面へ200万m<sup>3</sup>近い掘削残土を盛り立てた大保脇ダムの事例である。

### (3) 表面遮水壁ロックフィルダム

表面遮水壁面をコンクリート版とした型式としてコンクリート表面遮水壁ロックフィルダム(CFRD: Concrete Faced Rockfill Dam)がある。最近では、遮水壁打設やロック材の締固めの機械化によって、止水性が格段に向上し、経済性の面の利点も大きいため、海外では施工事例が急速に増加している。最新の国内事例としては、徳山ダム2次締切り(2002年施工)、苦田脇ダム(2003年施工)、稲葉ダム(貯水池遮水工、2007年施工)等がある。

また、均一型のロックフィルダムの上流側表面遮水壁をアスファルトで置き換えたものとして、アスファルト表面遮水壁ロックフィルダム(略称AFRD: Asphalt Faced Rockfill Dam)があり、現在では揚水式発電を目的とする京極発電所上部ダムと小丸発電所上部ダムで当型式が施工されている。

### (4) プレキャスト型枠

フィルダム通廊は、通廊部の上載荷重がコア高全てとなるために躯体構造を大きくする必要があり、このため、通廊重量が非常に大きくなるという問題があった。そこで、通廊アーチ部打設面だけを支える埋設型枠としてのプレキャスト化が進められ、平成13年頃から綱木川ダム、榎谷ダム(写真一二十)、小丸発電所上部ダムの通廊部においてプレキャスト型枠が導入され、施工の容易化と工程の短縮に大きく寄与した。

また、プレキャスト型枠と同時に、通廊周りの鉄筋のプレハブ化が非常に効果的である。鉄筋プレハブ化

は、あらかじめ組み立てておいた鉄筋をクレーンで吊り込んでプレキャスト型枠周辺に設置するもので、鉄筋量の多いフィルダム通廊施工においては大きな省力化となる。

### (5) 計測機器

フィルダムはコンクリートダムよりも設置すべき計器が多いが、計測機器の適切な配置は、品質確保と経済性向上を両立させる上で重要である。また、長期的に信頼性のある計測をすることが求められることも多いことから、計器のみならず配線まで含めたシステムとしての精度・安定性・堅牢性を吟味する必要がある。

盛立管理においては、後述のGPSの他、RI(ラジオアイソトープ)を用いた自動走査式RI密度計が普及し、品質管理の迅速化と省力化に大きく寄与している。その他、光ケーブルを利用したひずみや温度の計測等の様々な機器による事例も多く出ている。

また、設置数が最も多くなる間隙水圧計については、最近では新機種が導入され、埋設及びケーブルの長期安定化及び取り回しの容易化が進んでいる。写真一二十は振動弦の間隙水圧計であるが、電気劣化の影響が無いため従来主流のひずみゲージ型や差動トランス型の



写真一二十一 振動弦型間隙水圧計、真綿川ダム



計器と比べて半永久的な耐久性を持つとされ、羽地ダム、大保ダム、真締川ダム、藤波ダムで採用されている。さらに、神流川発電所や山王海ダムの施工を通じて土中 100 m までのデータ送信を可能にしたワイヤレス間隙水圧計が開発され、ケーブル作業が無い施工性の良さから注目され、副断面において多数の当型間隙水圧計が導入される等普及は進んでいる。

### (6) フィルダムの情報化施工

広範囲かつ大量の土工を行うフィルダムにおいては、施工情報を GPS 情報等によって 3 次元的に発展させ、設計から竣工に至るまでの施工情報を統合的に活用する情報化施工は、施工管理の大幅な効率化をめざす上で大きく役立つことから、コンクリートダムよりも大々的に適用が進んでいる。

羽地ダムでは、GPS 情報を時系列解析モデルで処理した外部変形量計測システムを開発し（2000 年）、大保脇ダムに適用し、ほぼリアルタイムにして高精度（1～2 mm）の大規模盛立管理を実現した。

また、小丸発電所上部ダムでは IT 施工システムを採用して情報化施工に先駆的に取り組み、リアルタイムの土量と品質の管理、計測・測量の省力化、3 次元図面による出来形管理等を可能にすることで、施工管理を大きく効率化した。

同時期、森吉山ダムでは、3 次元 CAD データをもとに、GPS を活用した位置情報による盛土の範囲と敷均し高さの管理、締固め機械に加速度センサーを取り付け、そのデータ解析による盛土の剛性判定（締固め密度管理）を行った。さらに現在、胆沢ダム（写真—22）では、GPS を活用した締固め機械の走行軌跡の計測による盛土地盤全体の転圧回数管理（締固め密度管理）、3 次元 CAD データをもとに、建設機械の自動制御による盛立工等を行っている。



写真—22 情報化施工による盛立, 胆沢ダム

## 6. 取水放流設備・非常用洪水吐き・排砂設備

取水放流設備は、ダムの機能発揮のための重要施設であり機能面や耐久性における信頼性保持がまずは重要であるが、最近は特に、軽量・小型化・操作容易化が進み、コスト縮減にもつながっている。

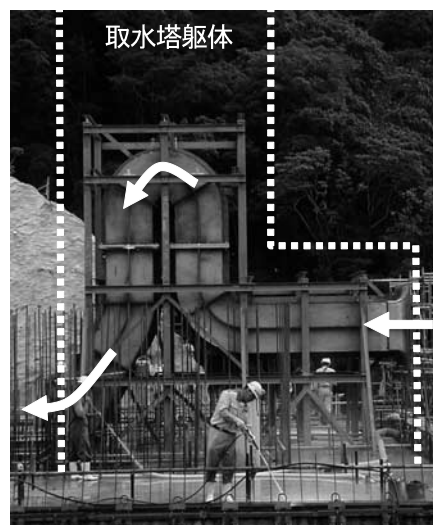
一方、非常用洪水吐きは、操作の不必要なゲートレス化の流れの中で、新タイプが登場している。

また、排砂設備においても技術開発が大きく進んでおり、排砂バイパス、排砂ゲート、治水専用ダム（河床穴あきダム）等の事例が多くなりつつある。

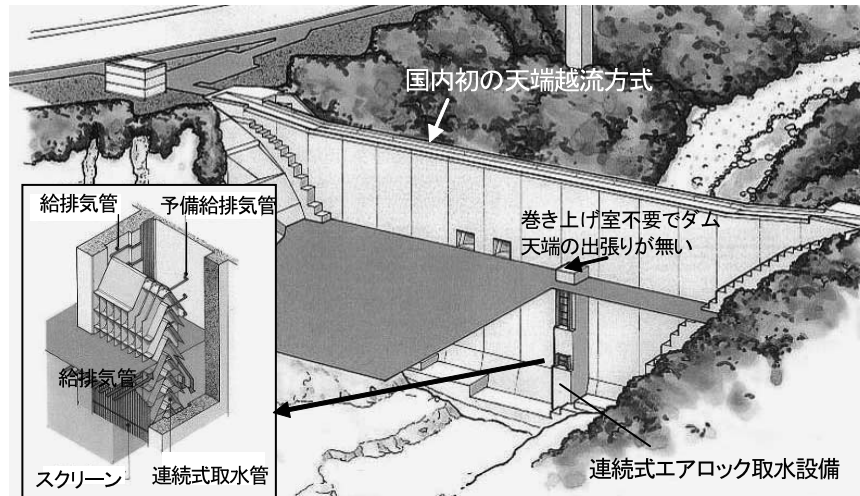
### (1) 選択取水設備

1970 年代後半以降、所要の水質層から効率的に取水できる選択取水設備が多くダムで設置されている。従来の選択取水設備は、呑み口形状によって多孔式、多段式（直線、半円、円形）、多重式等の各種ゲート方式が開発され機能向上が図られてきた。

最近普及の著しい型式としてエアロック方式がある。当方式は圧縮空気給気により取水位置を切り替えるもので、羽地ダムのゲートレス多孔式選択取水設備として開発され（写真—23）、大幅なコスト縮減を達成するとともに、2003 年運用以降は確実に容易な操作性を実証している。その後、連続取水が可能な連続サイホン方式に改良され、志津見ダム（設置中、図—1）、尾原ダム（製作中）、夕張シューパロダム、殿ダム、黒杭上流ダム等数ダムにおいて採用されている。当方式の普及した背景としては、経済性以外に、コンプレッサ給気のみで作動する操作の簡便性、計測機器の信頼性向上と IT 化による自動化の容易さ、大規模



写真—23 底部逆 U 字管設置, 羽地ダム



図一 連続式エアロック取水設備のパス図、志津見ダム

取水から小規模取水までカバーする適用範囲の広さ、巻き上げ機構が不要なため維持管理が容易、ゲート室縮小で景観性が良い等がある。

さらに、従来の鋼製ゲートから軽量材料を用いて軽量化とコスト縮減を図る事例も多くなっている。既設ダム用としては、樹脂製カーテンを上下させることで表層取水を可能とするタイプが開発され、緑川ダムで運用に入っている。大保ダムでは、蛇腹のように伸縮可能なゴム製のペローズ式が開発されている。これらの新型の選択取水設備は耐久性等の未知な部分も多いが、今後は比較検討の対象となるものと考えられる。

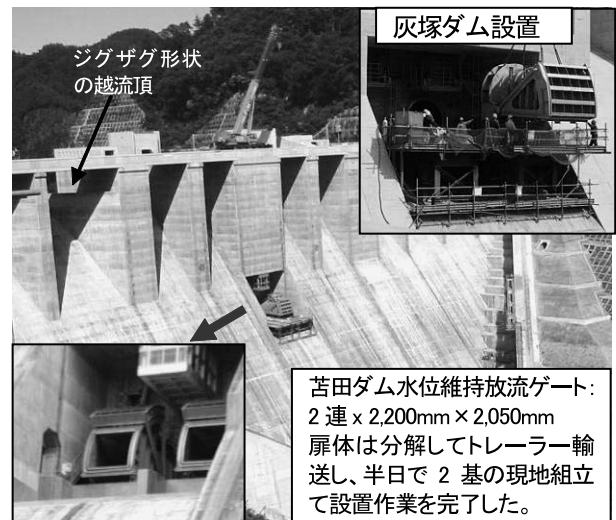
### (2) ゲートの小型軽量化

小型軽量化の方向でゲート類の技術革新も進んでおり、駆動装置や土木施設の大幅軽減と相まって大幅なコスト縮減を果たしている。最近の新型ゲートとしては、羽地ダム（1枚扉型）、苦田ダム（2枚扉型）、灰塚ダム（2枚扉型）等の引張りラジアルゲートや横川ダムの回転ドラムゲート（試験湛水中）がある。

特に、引張りラジアルゲートは、鋼材特性を活かして引張り荷重を受ける扉体構造に180度設計方法を変えての小型軽量化と堤体完成後設置の施工性の良さを特徴としており、苦田ダム（写真一24）と灰塚ダムでは中放流設備として採用され、実運用での頻繁な操作を通じて確実性と容易性が実証されている。

### (3) 非常用洪水吐き

最近では、自然越流型の非常用洪水吐きとしてラビリンスタイプが注目されている。これは、ダム軸に対し越流頂線形を複雑にして越流長を延長したもので、国



写真一24 引張りラジアルゲート、苦田ダム



写真一25 ラビリンズ型越流頂の上流側、苦田ダム

内初本格採用の苦田ダムの場合、取水・放流部とエレベーターを除いた8ブロックにジグザク形状を採用している（写真一25）。

志津見ダムでは、図一1に示すような国内初の天

端越流式の非常用洪水吐きを新導入した上で、圧縮空気による水流遮断方式（羽地ダム開発）の取水設備を改良・採用した結果、堤頂構造物を一切無くすことによるコスト縮減と景観向上を可能とした。

## 7. 既設ダム再開発

治水・利水の両面においてダムが大きく寄与しており、今後もダムの運用が必要とされることになり変わりなく、既存のダムにあっても、その後の社会的状況の変化に伴い、洪水調節機能の増大、上水道等の利水補給量の増加等、新たな社会的要請が派生している。

このような状況から、貴重な社会資本ストックである既設ダムのより効率的かつ長期的な利用が求められており、ダムの機能を「長期効用と有効利用」の観点から必要に応じて強化するために、再開発を促進していくことが重要である。

以下、再開発の主要な施工方法である嵩上げ、穿孔、排砂バイパスについて述べるが、いずれも日本は世界最先端の高度な技術と世界屈指の豊富な経験を有しており、今後は国際的な技術躍進も期待される。

### (1) 嵩上げ

既設ダムの嵩上げは、地形的に可能ならば、貯水容量確保の点で経済的かつ環境的に新設よりもかなり有利であり、今後は一層増えるものと予想される。

コンクリートダムの嵩上げとしては、過去に川上ダム（1980年終了）、新中野ダム（1985年終了）、曲淵ダム（1993年終了）、萱瀬ダム（2000年終了）等があり、最近の事例としては、下の原ダム、野洲川ダム、三高ダム、氷川ダム、夕張スーパーダムがある。また、今後の予定としては、新丸山ダム、下久保ダム、新桂沢ダム、津軽ダム等の大規模なものがある。一般に嵩上げに当たっては、新旧堤体コンクリートの一体化、温度応力対応、洪水処理（貯水位を維持しながら施工）等の課題があり、これらへの対応から同軸上の下流面全面嵩上げが有利となることが多いが、直下流側に発電所等の高価な施設がある一方で貯水位低下が可能な場合は、上流面腹付けが有利となる。また、洪水処理量が多い場合は、ダム軸を下流側にずらしての嵩上げが有利となる。また、嵩上げに当たっては、諸外国のように既設ダムの洪水処理能力の増大や耐震性能補強も兼ねて行う事例も増えてくるものと予想される。写真一26に平成18年に完成した下の原ダム再開発（堤体嵩上げ高5.9m）の状況を示す。

一方、フィルダムの嵩上げは、同軸上は洪水処理の



写真一26 堤体嵩上げ高5.9m, 下の原ダム

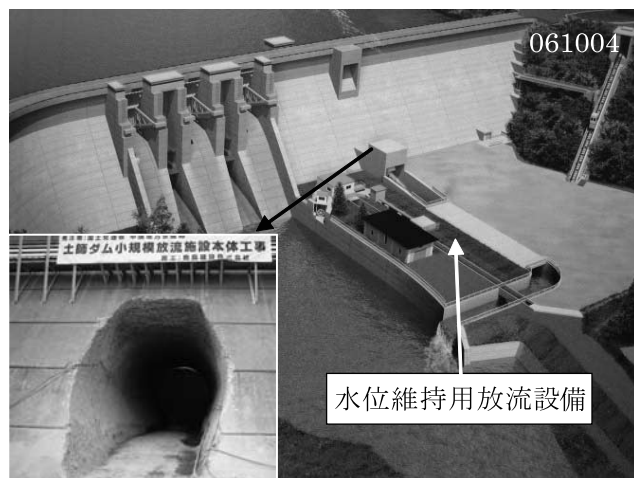
難しさから数mの嵩上げに限られ千年以上の歴史を持つ狭山池や満濃池等と少ない。ただし、下流側にダム軸を移すことによって旧堤体を水没させるものは多く、山王海ダム、億首ダム、胆沢ダム等があり、上流側にずらした事例としては白川ダム等がある。

### (2) 堤体穿孔

堤体穿孔は、洪水時または常時の放流能力の拡充、選択取水機能の追加等に伴う非常用洪水吐きや放流設備の設置に際して多く行われており、掘削機類や水止め技術の発達もあり、高度な技術ながら一般的に行われるダム工法となりつつある。

堤体穿孔はコンクリートダムに限られるが、過去においては笠掘ダム（1964年終了）、旭川ダム（1983年終了）、松原ダム（1984年終了）、鑑畑ダム（1988年終了）等があり、最近の事例としては宮川ダム、五十里ダム、美唄ダム、土師ダム等の事例があり、今後も多く予定されている。

堤体穿孔の課題としては、仮締切りの効率化、穿孔



写真一27 完成予想図および鋼管設置前堤体穿孔状況, 土師ダム

部周辺の補強，現況機能保持の方法，アーチダムの穿孔技術の確立等がある。写真—27 に現在施工中の土師ダム再開発の状況を示す。

なお，フィルダムの場合や堤体周辺施設の関係で堤体穿孔が困難な場合，堤体周辺の地山にバイパストンネルが掘削されることになるが，新丸山ダムや鶴田ダムでは洪水処理のために大口径の水路トンネルが堤体周辺地山に計画されている。

### (3) 排砂対策（排砂バイパス，排砂ゲート）

河川の流砂系の健全性を保持する観点からダム下流に土砂を流すことの社会要請は強まっている。一方，ダム貯水池機能を保持するための堆砂対策は，技術開発が著しいが，流域対策（砂防工，貯水池周辺植栽），上流端対策（貯砂ダム，排砂バイパス），貯水池内対策（掘削，浚渫）および堤体内対策（排砂設備）の適切な組み合わせによって，貯水池内の平衡堆砂の状態を保持することができる。

排砂バイパスによる排砂は，1999年に旭ダム（関西電力）で実施され，2005年からは美和ダム（中部地整，写真—28）で延長4.3kmの排砂トンネルが運用に入った。今後の課題としては，トンネル内流下土砂の水理的挙動の解明，トンネルインバートの摩耗予測および補修等の維持管理や摩耗対策等が挙げられる。

直轄ダムの排砂ゲートは，宇奈月ダムが初の本格的な施設であり，2001年6月から上流の出し平ダムと連携して排砂を実施している。宇奈月ダム排砂路は幅5m，高さ6mの堤内水路のような設備で，堤体の左岸部に2門あり洪水期の終わりにゲートを開け，川の流れが土砂を運ぶ力を利用して貯水池に貯まった土砂を排砂ゲートから排砂する。

また，貯水池底部の堆泥（主に細粒分）を除去する技術として，貯水池内外の水頭差を利用して渦動管か



写真—28 排砂バイパス吐き出し部，美和ダム

ら吸い取って下流に流す等の土砂吸引管技術（HSRS：Hydro-Suction Removal System）も開発されており，実用化は間近である。美和ダム等では，貯水池底の砂礫を管で吸い取る技術が開発されている。

以上の排砂施設は，今後，機能の向上とともに経済性向上が一層重要になる。

## 8. 治水専用ダム（河床穴あきダム）

近年の洪水災害の多発等によって一般にも認識されているように，治水ダム建設による治水安全度の向上の重要性は非常に高い。そうした中，利水容量，不特定容量を持たず，洪水防御のみを目的とする治水専用ダムは，非洪水時には貯水池が空虚となり河川の流れを堰き止めることなく貯水池内の自然環境をそのまま残すことができることから，環境負荷の小さいダムとして近年注目を集めている。

このような貯水池が普段空になる治水専用ダムは，最近の治水需要を反映して増えており，最近完成の益田川ダム（写真—29）を初めとして，津付ダム，最上小国川ダム，辰巳ダム，足羽川ダム，芹谷ダム，北川第1ダム，城原川ダム，立野ダム，西の谷ダム等が建設予定である。

なお，コスト上，治水専用ダムは，堆砂容量を少なくできるメリット以外にも，構造上，通廊，基礎処理，外部コンクリート，取水・放流設備，減勢工，計測機器，法面工等においてコスト縮減の余地を多く残している。ただし，排砂機能追加のために追加費用も生じるので，今後はコスト的な整理が望まれる。



写真—29 河床穴あきダム，益田川ダム

## 9. 今後の方向

コスト縮減への社会的要請が強くなったこの数年，

ダム関係でも設計や施工における新技術の導入、指針類の改定、運用の効率化のように、品質確保前提の上で既往の手法を少しでも合理的なものに変えようという動きが盛んとなっている。その中で、ダム工学会技術開発賞の受賞作を見ると、最近は「機械の効率化、施工の高速化、計測情報活用、維持管理の容易化、生態系、土砂」等に関するものが多くなっており、技術開発の動向の一端が窺える。以下、ダム技術開発の今後の方向について以下に述べる。

### (1) 調査設計と施工の連携

一品料理の典型であるダムにおいては、調査・設計・照査と施工は常にフィードバックの関係にある。最近ではVE (Value Engineering) の普及とともに、設計と施工がより密接に連携する事例が増えている。また、品質確保の観点から照査の重要性も増している。

### (2) 施工の高速化

フィルダム、コンクリートダムともに、品質確保しての堤体施工の高速化が、施工技術上の変わらぬ課題である。そのためにフィルダムでは、機械の大型化や転圧高の厚層化が進み、コンクリートダムではRCD等の面状工法やプレキャスト化が進んだ。今後は、これらの技術の更なる発展とともに、機械の高度化・自動化、打継ぎ目処理等の工程上のネックの軽減、土工処理の最適化、全天候型化による施工不可日の減等が考えられる。

### (3) 既設ダムの長期効用・有効活用

ダムは百年どころか千年以上効用を発揮できる公共施設であり、その長期効用によってダムのコストパフォーマンスは飛躍的に高まる。よって、ダムを長期的に使用するために、「堤体の品質の確保、超長期的な荷重（地震、洪水）に耐えること、維持補修が容易であること」等の対応をしておくことへの社会要請はますます強くなるものと考えられる。そうした意味では、長期的な品質を考えてのもの造りが非常に重要である。

### (4) 技術指針類の性能規定化

土木全般に技術指針類は、従来の数値管理を主体とする「仕様規定」から要求性能の満足を優先する「性能規定」へと基準のあり方が大きく変わりつつある。

ダム関係においても「コンクリート標準示方書ダムコンクリート編 (H14.3)、グラウチング技術指針 (第3訂, H15.7)、大規模地震に対するダム耐震性能照査指針 (案) (h17.3)」等の最近の技術指針は如実に性能規定化の方向にあり、貯水と安全性の性能確保をいかに合理的に達成するかが、設計～施工のキーポイントとなっている。性能規定化によって、個々のダムの特性に応じての柔軟かつ迅速な技術判断が、ダムの安全・機能・経済性の上で一層重要となり、現地技術者と専門家の協力がさらに重視される方向になると予想される。

## 10. おわりに

ダムの新技術関係は非常に面白さを増している。この技術の活発さが、国内および世界への技術の波及につながり、人類にとって必要不可欠なダムインフラが再び脚光を浴びるものと信じる。最後にダム技術の進歩のために拙文が少しでもお役に立てれば幸いである。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) ダム技術センター：多目的ダムの建設 平成17年度版
- 2) ダム協会ホームページ「ダム便覧」
- 3) ダム工学会ホームページ

#### 【筆者紹介】

川崎 秀明 (かわさき ひであき)  
国土交通省 国土技術政策総合研究所  
総合技術政策研究センター  
国土マネジメント研究官 (工学博士)

