

◆ 21世紀の新技術特集 ◆

21世紀に求められるダムの新技術

佐々木隆* 岩下友也** 箱石憲昭***

1. 新技術のキーワード

21世紀に求められるダム新技術のキーワードを2つあげるとすれば、「既設ダムの有効活用」と「環境保全・省資源・ローコスト型ダムの建設」である。

(1) 既設ダムの有効活用

わが国で最も古いアースダムとされ、古事記や日本書紀にもその名が登場する狭山池（大阪府、写真-1）は、6世紀に築造されてから以降千数百年もの間農業用水を供給し続けてきた。この間、幾度も嵩上げが行われ池の容量が次第に増加してきたことが、堤体の開削調査により確認されている。

近年、流域の都市化が急激に進展したために、新たに洪水調節の機能を付加するとともに、堤体を厚くして耐震性を高め、さらに水と緑のレクリエーション拠点として整備を行う「平成の大改修」工事が大阪府の手により進められている。21世紀初頭に新たに生まれ変わる狭山池は、平常時には市民の憩いの場として、また大雨の時には水害を防ぎ日照りの時には田畠を潤す地域の基盤施設として、今後さらに幾世紀にもわたりその役割を果たし続けていくこととなる。

1900年に建設されたわが国初のコンクリート

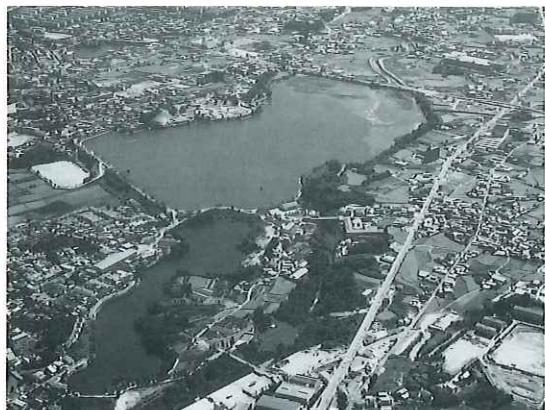


写真-1 狹山池
(「狭山池写真集」より)

New Technologies for Dam in the 21st Century

ダムである布引五本松ダムは、ちょうど一世紀の間神戸市民の生活に欠くことのできない水道用のダムとして活躍してきた。近年、リフレッシュ工事が行われ、21世紀にも神戸市民の生活を支える水ガメとして機能していく予定である。

これらの例に見られるように、ダムの効用が發揮される期間は、適切な維持管理を行えば数世紀にも、場合によっては十数世紀にもおよぶ。ダムは、まさに世代から世代へと世紀を越えて受け継がれていく地域の資産といえよう。

一方、ダムの新設は、地域社会の合意形成や水源地域対策、環境対策などに十分な対応を必要とすることから、調査開始から完成までに数十年を要するダムもあり、長期化している。高齢化社会の到来を間に控え投資余力の減少が見込まれる中で、新設ダムだけで社会のニーズに的確に対応していくことは困難になりつつある。

現在、国内で高さ15m以上のダムは、約2700ダムにものぼる。これらのダムを有効に活用すれば、ダムを新設する場合と比べて、より経済的にかつより短期間に必要な機能を発揮することも可能である。たとえば、ダムを嵩上げする場合には、わずかな高さの嵩上げでも貯水池の容量は格段に増加する。しかも、湛水面積はわずかに拡大するだけで、ダムを新設する場合と比べて、周辺環境に与える影響を小さく抑えることができる。

21世紀には、既設ダムを有効活用しながら社会のニーズに柔軟にかつ機動的に対応していく必要性が高まつくるものと考えられる。

ダムの有効活用の手法には、①嵩上げなどにより機能を増強させる方法、②堆砂を防ぐことなどにより長寿命化させる方法、③弾力的運用により潜在機能を活用する方法などがある。

(2) 環境保全省資源ローコスト型ダムの建設

21世紀には、ダム貯水池周辺の自然環境を保全するとともに、省資源、ローコストを目指したダムの建設ニーズが高まるものと予想される。

コンクリートダムの骨材やロックフィルダムの

堤体材料を調達するために、これまでではダムサイトから離れた場所に材料山を確保する例が多かった。近年、条件のよい材料山が少なくなり、従来と同様に良質な材料だけを採取すれば、廃棄岩の量や原石山の掘削量が増加する傾向にある。これにより、ダム建設が周辺環境に及ぼす影響が大きくなるだけではなく、コストも増加する。このため、将来貯水池となる範囲の中から容易に採取できる河床砂礫や、各工事から発生する掘削ズリなどの材料を極力利用するとともに、残土は一切貯水池外に持ち出さないゼロエミッション型ダムの建設が期待される。

以下に、これら 2 つの新技術を開発していくための技術的課題と、最近注目を集めているダムの新しい要素技術について具体的に述べることとする。

2. 既設ダムの有効活用

(1) 機能を増強させる方法

ダムの機能を増強させるには、ダムの嵩上げと放流設備の新設・改造という 2 つの方法がある。ダムの嵩上げは貯水容量の増加によりダム機能の増強を図るものであり、放流施設の新設・改造は、ダムの運用方法を弾力的にすることでダム機能の増強を図るものである。

1) ダムの嵩上げ

コンクリートダムを嵩上げする場合には、嵩上げ後の堤体の力学的安定性を確保するため、旧堤体の頂部だけを嵩上げするだけではなく、旧堤体自身も増厚する必要がある。増大する荷重と貯水位に対して、基礎岩盤が十分な力学的安定性と遮水性を有しているかどうかを確認すること、既設ダムと新設部分のダムの一体性を確保することなどが調査、設計上の課題となる(写真-2)。

さらに、嵩上げ工事期間中は既設ダムの機能を維持したまま工事を行うケースが多く、洪水処理や利水補給を行なながら安全に工事を行なうことが、施工上の課題となる。

日本におけるフィルダムの形式は、大きくロックフィルダムとアースダムに分けられる。ロックフィルダムの嵩上げは、旧堤体の止水を受け持つコアゾーンの補強や新旧堤体の止水構造の接続が容易でないため、一般に嵩上げは難しいとされている。このため、フィルダムの嵩上げはアースダムが中心となる(図-1)。アースダムは、築造



写真-2 丸山ダムの嵩上げ計画
(丸山ダムパンフレットより)

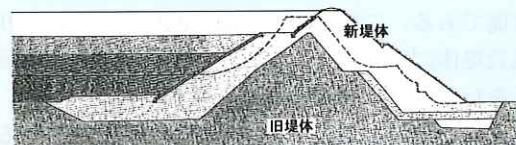


図-1 狹山池の嵩上げ断面図
(狭山池ダムパンフレットより)

当時の設計・施工に関する資料が残存しない古い時代に築造されたものが多く、嵩上げを行う場合には、堤体や基礎地盤に関する詳細な調査が必要になる。

今後、ダムの嵩上げ技術を体系化するために、
1) 既設堤体および基礎地盤の物性評価技術、2) 嵩上げダムの設計法、3) 施工法および施工管理技術に関する研究開発が望まれている。

さらに、将来のニーズの変化に容易に対応できるように、あらかじめ堤体を嵩上げすることを見越してダムの設計を行う段階施工についても研究を進めていく必要がある。

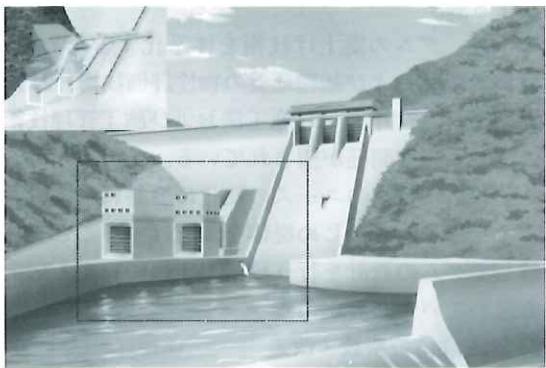
2) 放流設備の新設・改造

放流設備を新設または改造する場合には、ダムの堤体または基礎岩盤に新たに空洞を設けなければならない(写真-3)。このような空洞に対して、ダム堤体または基礎岩盤の構造的安定性を確保することが重要である。堤体や基礎岩盤内に空洞を設けると、その周辺には大きな引張応力が発生する。コンクリートダムの堤体内に設ける空洞は、構造設計上鉄筋で補強する必要があるが、既設ダ



ムに空洞を設ける場合には、鉄筋による補強は不可能である。このため、空洞を開けることにより既設堤体に悪影響を及ぼさないか、事前に応力解析を行い確認しておく必要がある。

大きな空洞を新設する場合には、堤体に与える影響が大きいため、施工段階ごとに堤体の安全性を評価できるような合理的な設計法を開発しなければならない。また、ダムの構造や施工方法との関係から、新設放流設備の配置上の制約条件が厳しくなる場合が多く、放流管内の流れの状況などの水理設計上の課題についてもさらに研究を進めていく必要がある(図-2)。



(2) 長寿命化させる方法

ダムは、完成した直後から堆砂が始まる。ダムを新設する場合には、通常100年間の堆砂量を見込んで計画されるが、予想以上に堆砂が進行しているダムもある。また、ダムの堆砂の影響は、河道域だけにとどまらず、場合によっては河口付近

の海岸域まで及ぶこともある。

河川の水源である山地域から河口付近の海岸域に至るまでを「流砂系」という概念で捉えた場合、ダムも流砂系を構成する一つの要素である。したがって、流砂系全体の適切な土砂管理を実現するには、ダムを下流河道域や海岸域への過剰な土砂流下を抑制し、適切な土砂補給を行う流砂の制御施設として、積極的に位置づけて行くことが重要となる。ダムにおける新たな土砂管理システムの構築が求められており、そのための技術開発の必要性が高まっている。

今後、下流河川への積極的な土砂供給という目的を備えた土砂フラッシングや土砂バイパスなどの採用事例が増加すると見込まれる。土砂フラッシングとは、洪水の低減期に土砂吐きから貯留水を放流することにより、流水の掃流力をを利用してダム堆砂を下流に排出する方法である。また、土砂バイパスとは、貯水池上流部からダム下流へ連絡するバイパストンネルにより、洪水時に貯水池へ流入する土砂を洪水とともにダム下流へ迂回させるものである。図-3に、土砂バイパスのイメージを示す。

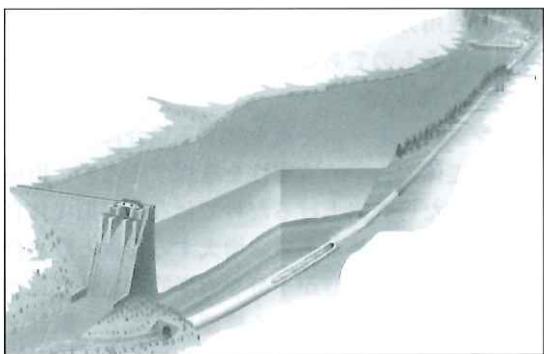


図-3 土砂バイパスのイメージ
(三峰川総合開発工事事務所パンフレットより)

(3) 貯水池の潜在的な機能を活用する方法

特性の異なるダム群を連携して運用することにより、各貯水池の有する潜在的な機能を活用し、効率的に水の有効利用を図ることを目的とするのが、貯水池の連携運用である。流域面積が大きく流入量が多いダムでは、貯めきれずに放流してしまう水量が多くなる。一方、流域面積が小さく流入量が少ないダムでは、一旦貯水容量が減ると再び貯水位を回復するのに時間がかかる。これらのダムを連結して、流入量の多いダムで貯めきれないと水量を流入量の少ないダムに貯留することによ

り、効率的な水利用が可能となる。今後、貯水池連携運用の計画、設計、管理手法を確立するための研究を進める必要がある(図-4)。そのほか、同一流域内の複数のダムを効率よく運用して、水資源をより効率よく利用する方法についても研究を進める必要がある。



図-4 ダム連携事業の例
(鬼怒川ダム総合管理事務所パンフレットより)

3. 環境保全・省資源・ローコスト型ダムの建設

21世紀には、環境を保全するとともに省資源、ローコストをめざしたダムのニーズが高まるものと見込まれる。このためには、まずダム堤体の設計を行い、次にその設計に適した良質な堤体材料を確保するという従来の一般的な調査設計のプロセスではなく、まず手近にある材料を用いて工学的特性を調査し、次に、その特性に応じてダムの堤体の設計を行うというプロセスへの転換が必要である。ダムサイトや将来貯水池となる範囲に堆積した河床砂礫や泥流堆積物、トンネル工事から発生する掘削ズリなどの現地発生材料を用いてダムを建設するための調査、設計、施工技術に関する研究が望まれている。

その一環として、現地発生材の材料強度を増加して有効利用するために、材料に手を加えずに少量のセメントを添加混合した CSG (Cemented Sand and Gravel) を用いた新たな型式のダムについて、CSG の特性を調査するとともに、その材料特性に応じたダムの設計法について検討を進めている。海外でも、比較的強度の低い材料を用いた緩やかな勾配の対称形状ダム (Symmetric Hardfill Dam) の検討が進められており、日本の CSG を用いたダムはそれに似通ったものがあるが、日本の場合は材料の有効利用、堤体設計の合

理化、施工の合理化という3つの観点から発想されているところに大きな特徴がある(図-5)。

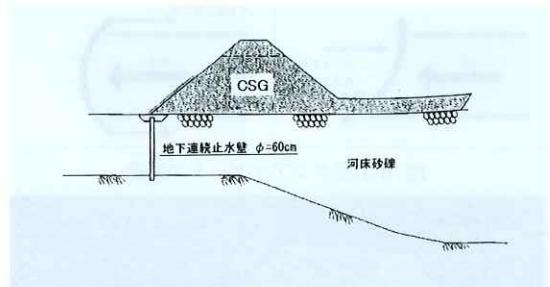


図-5 CSG を用いた仮締切

このほか、フィルダムの分野では、環境保全・省資源・ローコスト型ダムに関する研究の一環として、拘束圧依存性を考慮した材料強度評価法および材料のばらつきを考慮した堤体設計法に関する研究や、原石山等での発生材の予測をリアルタイムで行い、その結果に基づきゾーニングの用土計画を短時間で変更できるシステムの構築に関する研究などを進めていく予定である。

4. その他の注目すべき要素技術

これらの新技術のほかに、21世紀において活用が期待されるダムの要素技術のうち、注目すべきものについて紹介する。

1) 引張ラジアルゲート

新たな中小規模の放流設備として、引張ラジアルゲートに関する研究を進めている。従来のラジアルゲートが水圧を部材の圧縮で支えていたのに対し、この形式は部材の引張によって水圧を受け止める構造となっており、引張に強い鋼材を合理的に用いることができる(図-6)。また、管路にアンカーを取れば、ダム堤体の施工と切り離すことが可能となり、施工面での合理化を図ることができる。この形式のゲートは、海外での採用実績が数例あるのみで、国内では事例がない。そこで、水理模型実験による引張ラジアルゲートの水理特性の検討を行っている(写真-4)。米国では、放流管出口断面を円形とし、上下2枚の扉体を有する形式が採用されているが、水理模型実験により検討した結果、出口断面を矩形とし扉体を1枚とすることで、水密形式の簡略化、水密ゴム周辺の流況の安定化、放流水脈拡散状況の改善ができることが判明している。今後、ダムの放流設備として採用事例が増えていくものと考えられる。

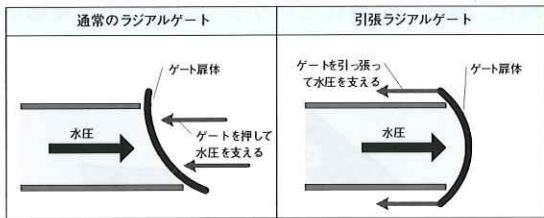


図-6 引張ラジアルゲートの特徴



写真-4 引張ラジアルゲート水理模型実験

2) 選択流入・放流設備

流入土砂に微粒分が多く含まれている場合には、貯水池の濁水長期化が問題となる。貯水池には、夏場から秋にかけて水深方向に密度が異なる水温成層が形成されることが多い。このとき、濁水は自身の密度と同じ密度の層に流入し濁水層を形成する。しかしながら、規模の大きい洪水により貯水池の水温成層が破壊された場合には、貯水池全体が濁ってしまうため、選択取水設備だけでも濁水放流を防止することは困難になる。比較的規模の大きい洪水に対応するため、図-7に示すように、洪水の流入位置を変化させる方法がある。数値シミュレーションの結果によれば、中低位において洪水を流入・放流させることにより、水温の高い層の厚さを大きくでき、濁水をより低位に導流できること、流入位置をダムに近づけることにより、出水後の清流を濁らせることなく放流設備近傍に分布させることができることが確かめられ

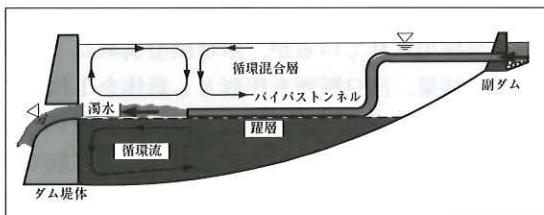


図-7 選択流入・放流設備

ている。この方法を用いれば、出水時の流入土砂大半を放流でき、その後の濁りも速やかに小さくなり、濁水対策上有効となる。

また、よりコンパクトで効果的に濁水対策を講じることのできる流入・放流設備や、運用手法の検討を進めていく必要がある。

3) 高流動コンクリート

施工の確実性を増し省人化を図る目的で、コンクリートダムの建設に高流動コンクリートの利用が進められている(写真-5)。現在、高流動コンクリートの利用は放流管や監査廊周辺等に限定されているが、今後、高流動コンクリートが締固め不要だという特徴を生かして、高流動コンクリートをダム本体のマスコンクリートに適用するための技術開発が望まれている。一般に、高流動コンクリートは、通常のダムコンクリートと比較してセメント量が多いため、温度クラックが発生する可能性が高くなる。そこで、高流動コンクリートの特徴を生かしつつ、発熱量を抑えるためにセメント量を低減させる方法について研究を進めている。また、ダム本体の効率的な打設方法についても今後研究を進めていく予定である。



写真-5 高流動コンクリートの利用
(宇奈月ダム; 「CURRENT ACTIVITIES ON LARGE DAMS IN JAPAN」より)

4) 合理的な基礎処理システム

現在、ダム基礎岩盤の透水性の評価には、主に原位置透水試験が用いられている。原位置透水試験は試験箇所の局所的な透水性は精度良く求めることができるものの、それ以外の箇所では、地質状況の連続性などを考慮して透水性を推定せざるを得ない。そこで、岩盤の透水性を含めた状況を広範囲に推定する手法として、トモグラフィー

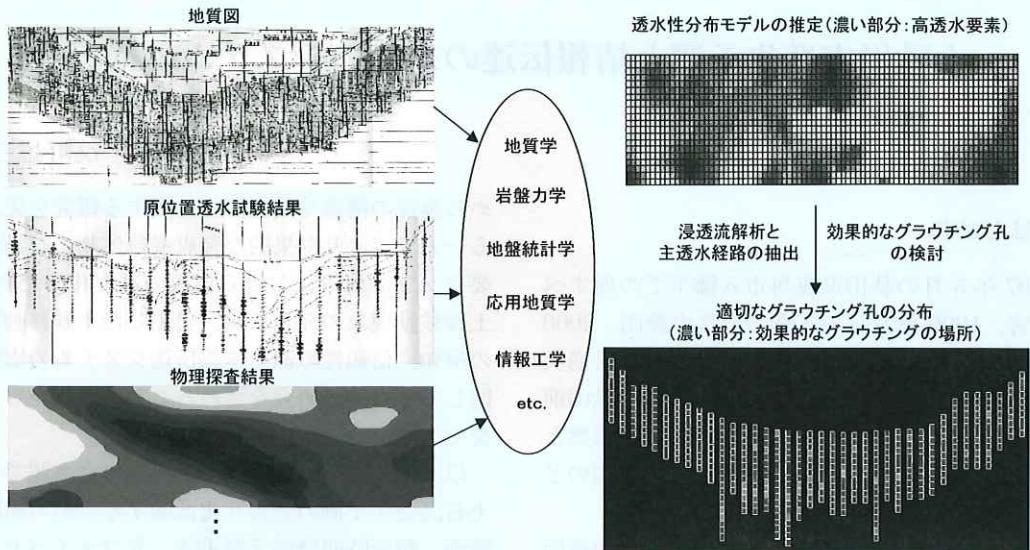


図-8 将来的なダム基礎岩盤のグラウチングのイメージ図

などの物理探査手法の適用性に関して検討を進めていく必要がある。

さらに、図-8で示すように、ダム基礎岩盤の状況を把握するために様々な試験を総合的に解釈して透水性分布モデルを作成し、それに基づき水みちを精度良くかつデータの追加に応じてリアルタイムに把握し、合理的かつ効率的な止水処理を行うシステムを確立する必要がある。なお、図-8のシステムは、ダム建設後の漏水経路の推定にも適用可能であり、ダムの維持管理上も有益である。

5. まとめ

ダムの調査・設計・施工に関する総合的な研究を行っている機関は、国内ではほとんどない。

土木研究所では、各地のダム建設事務所と情報交換を行いながら、ダムの新技術開発に取り組んできた。本格的な少子・高齢化社会を迎える21世紀のわが国は、投資余力の減少にあわせてより経済的・合理的な社会資本の整備や維持管理のための技術開発が求められている。ダム分野においても、新たに建設する際に必要な技術から既存施設の適切な運用・維持管理に必要な技術へと技術開発のテーマをシフトしていく必要がある。

また、21世紀には世界各地において水問題が深刻化するといわれている。これまで、わが国が築き上げてきた洪水防止や水資源開発に資するダム技術の蓄積を、国際貢献の場で生かしていくことを今後積極的に考えて行く必要がある。

佐々木 隆*



建設省土木研究所ダム部
ダム構造研究室主任研究員
Takashi SASAKI

岩下 友也**



同 フィルダム研究室
主任研究員
Tomoya IWASHITA

箱石 恵昭**



同 水工水資源研究室
主任研究員
Noriaki HAKOISHI