

120年超の近代ダム技術の積み重ね から今後の技術展開を考える

諏訪義雄



1. 近代ダムの技術的な歴史

日本最初の重力式コンクリートダム築造は、布引五本松ダム（市水道・堤高33.3m・1900年竣工）であり、大型機械を使った日本初のコンクリート重力式ダムは大井ダム（関電・堤高53.4m・1924年竣工）である。同時期の笹流ダム（バットレス・市水道・堤高25.3m・1923年竣工）や豊稔池（マルチプルアーチ・土地改良区・堤高32.3m・1929年竣工）では材料節約が重視されている。

小牧ダム（関電・重力式コンクリート・堤高79.2m・1930年竣工）は物部博士の耐震設計を初めて用い、地質調査によるダムサイト選定を行った。塚原ダム（九電・重力式コンクリート・堤高87m・1938年竣工）は中庸熱セメントの硬練りコンクリートによる初の近代的機械化施工が行われた。

ダム貯水池の洪水調節活用は、前述のダム耐震設計創始者・物部長穂の提言（1926（大正15）年）を受け河水統制事業として始まった。相模ダム（県・重力式コンクリート・堤高47m・1937年着工・1947年竣工）が洪水調節を含む本格的な多目的ダム代表例である。

本格的アーチ式コンクリートダムは上椎葉ダム（九電・堤高110m・1949年着工1956年竣工）が初である。鳴子ダム（建設省・堤高95m・1951年着工1958年竣工）は初の日本人設計で、常用洪水吐に日本最初のトンネル洪水吐を採用した。

初の堤高100m超の重力式コンクリート、1956年竣工の五十里ダム（建設省・堤高112m・1941年着手）で土研が地質調査に参加、コンジットゲートを初めて採用した。同年竣工の佐久間ダム（電源開発・重力式コンクリート・堤高155m・1953年着手）は本格的な大型機械化施工で1日のコンクリート打設世界記録を達成した。御母衣ダム（傾斜コア型フィル・電源開発・堤高131m・1957年着工1961年竣工）はコア型フィルダムの

わが国最初の施工である。

1957年は特定多目的ダム法が成立、ダム設計基準（日本大ダム会議）、河川砂防技術基準（案）（建設省）も作成された。1961年に水資源開発促進法が成立し、同法に基づき水資源開発公団（以下「水公団」という。）がダム建設を加速させた。1964年は治水に利水も目的に加えた新河川法が成立した。1976年に河川管理施設等構造令が施行された。

材料費より人件費が大きくなり、ダム技術は施工合理化を目指した。1978年の島地川ダム（建設省・重力式・堤高89m・1972年着手1981年竣工）本体工事がRCD工法第1号である。地質が良好なダムサイトが枯渇してアーチ式ダム建設は減り、比較的強度が低い地盤に適した中央コア型ロックフィルダムが増え、台形CSGダム技術が開発された（億首ダム（沖縄総合事務局・堤高39m・2013年竣工）が第1号）。

松原・下釜ダム（建設省・1958年着手1972年竣工）、琵琶湖開発（水公団・1972年着手1992年竣工）は事業推進における地元説明充実や水源地域対策充実を促した。

選択取水設備設計要領（案）（1987）等環境調和技術も重要となり、長良川河口堰（水公団・1968年着手1995年竣工）等で環境問題が注目され、1997年に河川法を改正し環境が目的に追加された。益田川ダム（県・重力式・堤高48m・2003年竣工）は、常時は水を貯留せず河川として連続させる流水型ダム第1号である。

現在は、新規建設から更新を含むダムの再生・長寿命化に比重が移り、できる対策は総動員する流域治水がはじまり、ダムも気候変動に伴う洪水対策へのさらなる貢献、具体的には洪水調節能力の向上・大規模洪水対応への貢献が期待される。

ダム技術の変遷とダム再生や流域治水の背景・動向を概観し、私が考える今後のダム技術や研究技術開発の方向とその背景を赤字で示す（図-1）。現場技術支援で国総研・土研の関りが深い、地質、構造、水理・水工、河川管理分野を中心に考えた。

今後の方向は「地域や水系（流砂系）との共生深化」に寄与する技術が重要と総括できる。細分すると①ハード・ソフトの治水機能（洪水調節能力）増強、②ダム・貯水池機能の長寿命化、③水系（流砂系）の健全化に貢献する通砂・土砂還元・バイパス等、④河川・海岸及び河川構造物管理との連携強化、⑤超過洪水時の減災、⑥再生可能エネルギーへの貢献、⑦水源地域活性化に資する技術になる。

2. 本特集の内容とダム技術の今後の展開

2.1 概要

本特集は1)~5)の特集報文5本と1.2.の現地レポート2本で構成される（表-1）。図-1に各特集報文と現地レポートが関係する事項にアンダーラインし、黄色網掛けした特集報文・現地レポートナンバーを付した。表-2に、1.で述べた私が考えるダム技術の今後の方向と各特集報文・現地レポートが対応する範囲を示した。

本特集の対象は今後の方向①~⑤であり（表-2）、①と③を核とする。この2つは②、④、⑤に援用できる。①を中心に「2.2治水機能増強、大規模洪水対応」で、③を中心に「2.3堆砂、土砂還元・通砂・バイパスと土砂動態」で詳述する。

最近のダム関連特集との関係について述べる。令和元年6月号に「ダム再生に貢献する水工技術」、平成28年10月号に「持続可能な土砂マネジメント」が特集済である。前者はダム再生に関わる水工技術等のダム管理者目線での特集で①、②③の一部を含む。後者は流砂量測定や土砂バイパス・土砂還元のモニタリングの特集であり、③のうち河川還元の影響・効果について述べている。

本特集は、①について治水機能（洪水調節能力）全般に対応するよう努めた。③について、既往特集で扱っていない河道・海岸・河川構造物管理との連携強化に生かす意図で編集した。

ダム再生の基準類にダム再生ビジョン(H29.6)、ダム再生ガイドライン(H30.3)（以下「ビジョン・ガイドライン」という。）がある。これらはダム再生の発展・加速を支援するもので、検討に国総研・土研も参画している。ビジョン・ガイドラインのダム再生は、1.で述べた今後のダム技術や研究技術開発の方向よりも広い範囲を含む。具体的には、土木・機械設備の長寿命化、施設維持

表-1 本特集の構成

1) ダム再生の技術的留意点(1) 放流能力増強・同軸嵩上げ
2) ダム再生の技術的留意点(2) 貯水池斜面管理、堆砂、流木・沈木、水質保全
3) 流砂の連続性確保(1) 土砂還元・通砂実現事例の考察
4) 流砂連続性確保(2) 河道内横断構造物管理の課題例と解決の方向
5) ダムにおける大規模洪水対応技術の現状と今後
1. 足羽川（あすわがわ）ダム建設事業の進捗状況
2. 沙流川総合開発事業（二風谷（にぶたに）ダム・平取（びらとり）ダム）の概要

表-2 本特集内容と今後のダム技術の方向

本特集	今後の方向	①ハード・ソフトの治水機能（洪水調節能力）の増強	②治水機能（洪水調節能力）の増強	③治水機能（洪水調節能力）の増強	④治水機能（洪水調節能力）の増強	⑤治水機能（洪水調節能力）の増強	⑥治水機能（洪水調節能力）の増強	⑦治水機能（洪水調節能力）の増強	
									①治水機能（洪水調節能力）の増強
特集報文	1)	◎	○	○	—	—	△	○	—
	2)	◎	○	◎	○	○	○	—	—
	3)	○	○	○	◎	◎	—	○	—
	4)	—	○	△	◎	◎	—	—	—
	5)	—	◎	—	—	—	◎	—	—
レ現地 トポ地	1.	○	○	◎	—	—	○	—	○
	2.	○	◎	○	○	○	○	—	—

管理の効率化（点検の合理化・操作支援システムの汎用化等）、利水の機能増強、国際貢献等である。これらの詳細についてはビジョン・ガイドラインを参照いただきたい。

2.2 治水機能増強、大規模洪水対応

①は、ソフト対応の「運用改善や容量振替」、ハード対応の「貯水容量増大」と「放流能力増強」に分けられる。ソフト対応「運用改善や容量振替」は“予備放流”、“事前放流”、“利水容量一部の洪水調節容量振替”、“ダム群再編（ダム間の目的別容量振替・新規ダム建設時の容量振替）”、“ダム群連携（水路連結を伴う容量再編）”に細分できる。「運用改善や容量振替」、特に洪水調節への振替はダムの新設・再編や「放流能力増強」とセットで実施するケースが多いのでハード面の検討知識も必要となる。

特集報文1)は、既往特集を含めた現状を総括するよう努めた。構造面は、既往特集で扱っていない「貯水容量増大」のうち主に同軸嵩上げの本体設計と地質調査・評価について、実績積上げで見えてきた技術的留意事項を述べた。

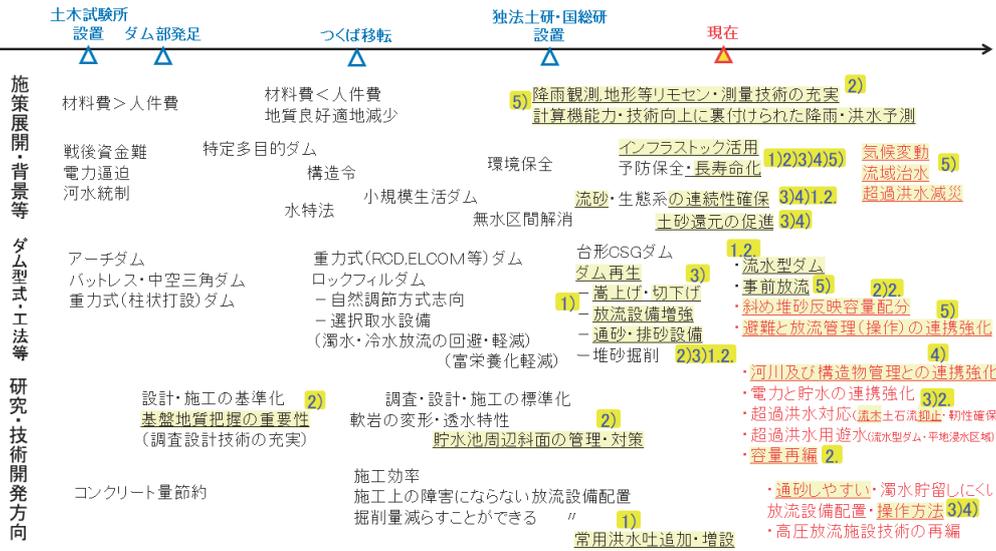


図-1 ダム技術変遷の概観と今後のダム技術の方向

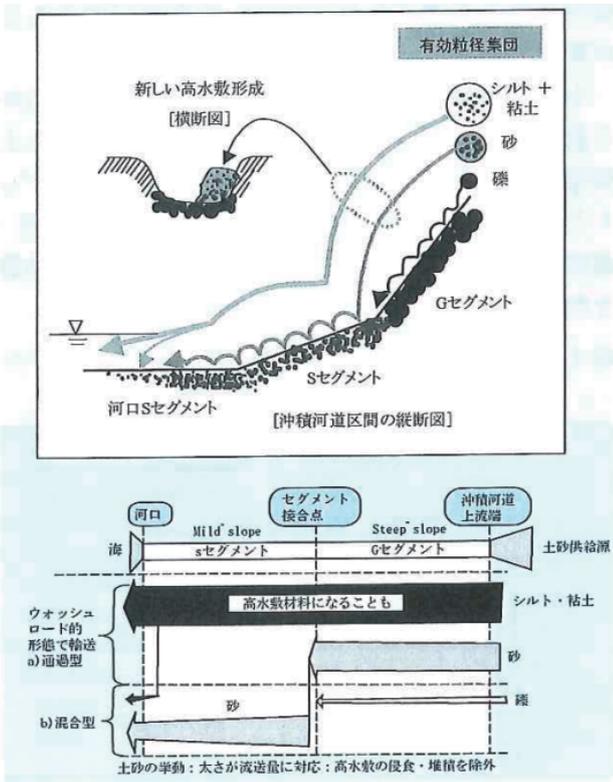


図-2 粒径集団別土砂動態概念図³⁾

特集報文2)は、貯水池管理の視点から、既往特集で取り上げていない貯水池斜面について、治水機能増強によって生じる洪水調節時(予備放流含む)の水位変動範囲や水位低下速度の増大に伴い考慮すべき再生特有の検討留意点を述べた。貯水池堆砂等について既往特集で取り上げていない再生前ダムの実績データを生かした堆砂形状予測や計画堆砂量設定の留意点、流木・沈木検討の留意

点、再生特有の水質に関する留意点を述べた。

特集報文5)で、近年の技術開発動向(面的降雨観測データ活用、アンサンブル予測)を反映した事前放流による利水容量の洪水調節活用について述べた。現場レポート2)では、新規ダム建設時容量振替の事例を紹介した。

本特集で扱えなかったが、水系全体から課題を整理するビジョン・ガイドラインが洪水調節能力発揮の制限要因である下流河川流下能力不足解消のため下流河川改修重点実施を加えたことは重要な視点である。

特集報文5)は、1)の最後で今後のダム技術の方向として①に加え「⑤超過洪水時の減災」に資する技術開発が重要と指摘したことを受けて現状と今後の方向を述べた。ビジョン・ガイドラインが今後の課題とした、洪水吐の必要放流能力再評価及び必要に応じた増加対策の検討にあたる。

「超過」には現在の整備水準の超過、計画の超過、設計の超過があるが、特集報文5)は「大規模洪水対応」で括った。「大規模洪水対応」はダムが地域との共生を深化する上で不可欠であり、ダム管理の見える化やリスクコミュニケーションが重要であることから、特集報文5)で操作情報の伝達についても述べた。

特集報文2)は大規模洪水時の流木や土砂流入に触れており、大規模洪水被害の発生が事業加速のきっかけとなった現地レポート1)及び2)、特集報文1)の治水機能増強も⑤に関連・寄与することから、表-2で⑤に○や△をつけている。

施設・洪水規模やマネジメントの観点からは、特集報文3)4)が「常用洪水吐対応」「整備水準内」「管理」「予防保全」、5)が「非常用洪水吐対応」「整備水準超過」「危機対応」と分けられる。

2.3 堆砂、土砂還元・通砂・バイパスと土砂動態

土砂還元・通砂・バイパスと下流の河川・海岸や河川構造物管理の連携強化を図るには、貯水池での分級堆積、流砂系内の分級(図-2)3)、それらの知見を土砂バイパス・通砂・土砂還元に実装する上で不可欠な「有効粒径集団」3)4)(河床・河口砂州・砂浜等着目する地形を有意に構成している粒径集団：図-2上)の「土砂動態(流砂フラックスの縦断変化)」(図-2下)3)や流砂運動形態4)(図-3)の理解が重要である。

図-2下に例示する水系内・流砂系内の「有効粒径集団」別フラックスの流下方向変化(土砂動態)から土砂の分級堆積・侵食と課題を捉える4)。貯水池や横断構造物の土砂動態における位置づけを理解する。下流河道・海岸、河川構造物管理上の土砂還元・通砂・バイパスの意義を理解し関係者と共有することがその実現を促す力となる。特集報文3)は、これらの理解促進に寄与する事例を選択するよう努めた。

特集報文2)の貯水池内分級堆積は、下流河道や海岸の有効粒径集団が堆積する場所を知る重要な知見である。貯水池流入部に分級堆積する土砂は礫・砂が主体であり、下流沖積河川の河床や海岸の有効粒径集団なのである。

特集報文3)は、下流河川・海岸等の流砂系の課題軽減に貢献する通砂と土砂還元実現の秘訣を考察した。堆砂対策を貯水池管理1方向からのアプローチで検討すると貯水池長寿命化の個別最適化にとどまるが、水系・流砂系からも見る複眼的アプローチで、対策の多面的な効果が期待できる。この視点は、ビジョン・ガイドラインがダム再生検討において、当該ダムの管理実績から顕在化する課題解決、水系全体のマネジメントから浮かび上がる課題解決の2方向からの複眼的アプローチを強調していることと同じである。流域治水が追求される今後、更に重要性を増す視点である。

特集報文4)は、ダムや貯水池に限定せず、土砂還元先である下流河川における流砂の連続性が関連する変状や管理上の課題例・解決の方向について整理した。

3. ブレイクスルーの原動力

近代ダム築造技術120年超において、土研は2022年に設立百周年を迎え、土研・国総研は洪水調節ダムの事業を技術面で支えてきた。図-1から100年スパンの今後の技術展開を具体的に示そうと試みたが、30~40年を超えると難しい。技術展開の方向に影響を及ぼす社会情勢を100年先まで見通せないためである。

1. で触れた大井ダムには日本初の大型機械施工に加え、もう一つブレイクスルーがある。ダムが建設される木曾川は、木曾御料林を筏にして流す木材搬出路でありダム築造はその往来を断ち切ることになるので、木材搬出関係者の合意取り付けが不可欠であった。事業者である大同電力(関西電力前身)社長の福沢桃介は木材を運ぶ鉄道敷設を条件にダム建設の許可を勝ち取った1)。

黒四プロジェクト(黒部ダムと黒四発電所建設・関西電力・1963年完成)では、目標工期達成を左右する大町トンネル掘削の大破砕帯突破が困難かつ重要だった。この困難克服を通じ、関西電力には大義や夢の実現のために情熱をもって信用と信頼の輪を広げ、不撓不屈の精神で困難を乗り越える“黒四スピリット”2)が根付き、海外の水力発電プロジェクトで遭遇する困難の克服12)、巻頭言の教訓抽出に生かされている。

困難や障壁はどの時代にも存在する。それらをブレイクスルー・克服するには、原因・要因と克服のヒントを自分の頭で考え、解決や突破に向けて努力を重ねること、その継続を支えるのは大義や夢であることを上の事例は教えている。時代背景や要請が変化しても(つまり百年後も)変わらないブレイクスルーの秘訣と考察できる。

参考文献

- 1) 筒井勝治：水力と地域共生、脱炭素社会の実現に向けて、電力土木、No.414、p.1~2、2021
- 2) 吉津洋一：先人に学ぶ、土木学会誌、第106巻、第8号、p.56~57、2021
- 3) 例えば、藤田光一ら：水系土砂収支分析のための「有効粒径集団」の考え方の提案、土木技術資料、第37巻、第12号、pp.34~39、1995.12
- 4) 例えば、国土交通省河川局治水課他：水系一貫土砂管理に向けた河川における土砂観測、土砂動態マップの作成及びモニター体制構築に関する研究、土木技術資料、第44巻、第4号、pp.26~31、2002.4