

堆砂対策に着目したダムのアセットマネジメント

Asset Management of Dams Focusing on Reservoir Sediment Management



すみ 哲也*
Tetsuya SUMI

1. はじめに

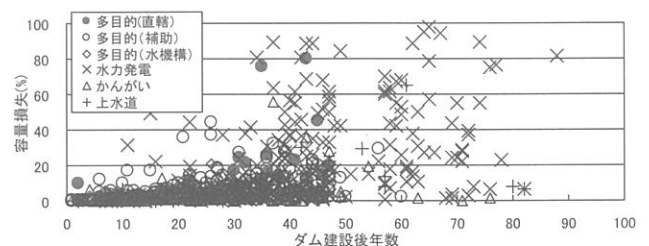
ダムは数ある社会基盤施設の中でも最も長期間の供用が期待される施設である。その理由として、ダム堤体として本来十分な耐久性を有していることに加えて、ダム建設に要する準備期間の長さ、水没に伴う地域社会への影響およびさまざまな自然環境への影響を考慮すれば、使い捨てにせず、適切な維持管理を行って長寿命化を図る必要がある。ダムのアセットマネジメントにおいては、「維持管理の効率化」により長寿命化を実現するとともに、今後、新規のダム建設を従前のような規模で行うことが困難になるとすれば、既存施設の機能を戦略的に再評価して、適切な「再開発による資産価値の向上」を目指す必要がある。

ここで、ダムの長寿命化を実現させるための最大の課題は「ダム堆砂」である。ダムの堆砂対策を後回しにしないことは、後世に負担を回さない「世代間の衡平（こうへい）」の考え方にとって極めて重要なポイントである。適切な堆砂対策を適切な時期に実施することは、維持管理の効率化のみならず貯水池の資産価値の向上にも資するものと考えられる。

ここでは、このようなアセットマネジメントの考え方をダム施設に適用する場合の課題について、特に堆砂対策を効率的に推進する観点から検討する。

2. ダムの堆砂問題の現状

ダムは一般に100年間の計画堆砂量が確保されている。しかしながら、国土交通省所管の多目的ダムでは、調査対象の約1/4が計画の2倍以上の実績堆砂速度を示しており、堆砂問題が想定以上のスピードで顕在化しつつある。一方、長期的な貯水機能維持の観点では、計画堆砂容量ではなく総貯水容量に対する堆砂速度で評価することも重要である。〈図—1〉は、総貯水容量で評価したダム建設後の経過年数別の貯水池堆砂率を示している。戦前に建設されたような経過年数の長い水力発電ダムにおいて堆砂が進行しているダムが数多く見られるが、これら水力発電ダムは、発電形式により堆砂による影響度には相違がある。一方、多目的ダムの中にも堆砂率が20~40%以上となっているダムもある。これらのダムでは、貯水容量の維持が洪水調節をはじめとするダム機能の維持に直結するため、堆砂による影響度はより大きい。総貯水容量で評価した貯水池寿命では、



〈図—1〉 日本のダムにおける建設後年数と堆砂容量損失

* 博士（工学） 京都大学准教授 大学院経営管理研究部／工学研究科社会基盤工学専攻

Associate Professor, Dr. Eng., Graduate School of Management/Graduate School of Engineering, Department of Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto University

1000年以上が34%、500~1000年が25%、100~500年が34%、100年以下が7%となり、平均は400~500年程度となっており、数十年で全てのダムが埋まってしまうというのは誇張であるが、早期対策が求められるダムが数多く存在するのは事実である。

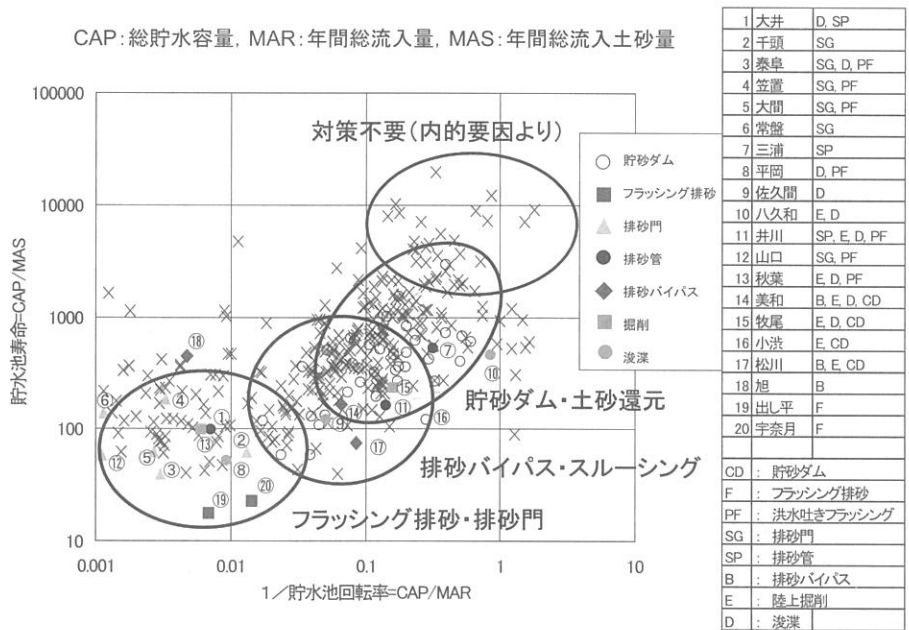
3. ダムの堆砂対策へのアセットマネジメントの適用^{1), 2)}

このような堆砂進行に対して、わが国では掘削・浚渫のような応急対策から、排砂バイパスや排砂ゲートのような恒久対策まで、さまざまな堆砂対策が進められてきた。日本における堆砂対策事例を、水および土砂の回転率のパラメータ (CAP/MAR (いわゆる貯水池回転率の逆数) = 総貯水容量 / 年間総流入量 および 先述の CAP/MAS (貯水池寿命) = 総貯水容量 / 年間総流入土砂量) で整理したものを<図—2>に示す。これを見ると、概ねCAP/MARの増加 (回転率の減少) に伴って、フラッシング排砂・排砂門、排砂バイパス、貯砂ダム・掘削・浚渫の順に対策が変化していくことがわかる。これは、堆砂対策が主に土砂輸送に使用可能な水量に大きく依存していることを意味し、さらに貯水池規模や地形、ダムの構造特性、ダム上流域からの土砂生産特性、さらには経済性や環境に対する影響などを考慮して合理的な堆砂対策工法を選択する必要がある。

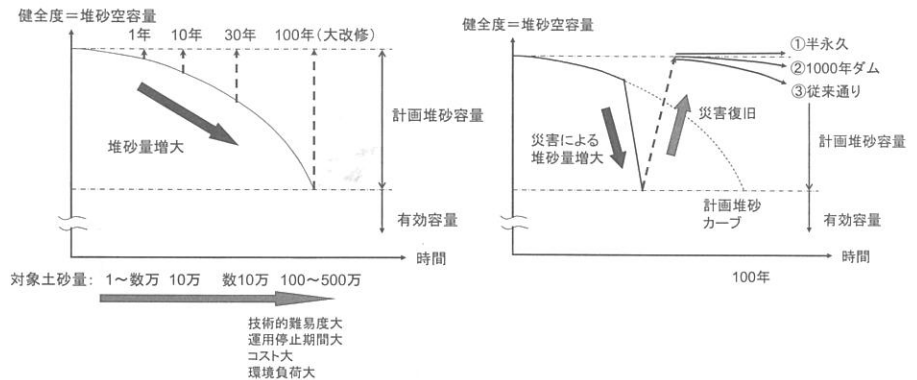
一方、これらの対策を経済性を考慮して適切な時期に導入することが次なる課題であり、これを堆砂対策に着目したダムのアセットマネジメン

トと定義し、その最適化を図ることが目標となる。そのためには、堆砂による貯水池機能の劣化曲線 (堆砂進行速度) とこれに対する対策メニューの組み合わせの明確化が必要であり、その際には、大規模な洪水の発生によって堆砂が大きく進むといった堆砂量の確率的な変動も考慮する必要がある。

いま、堆砂進行による堆砂容量の減少を経年劣化とし、その逆である堆砂空容量を健全度とすれば、時間的な変化を<図—3 (a)>のように考えることができる。すなわち、当初の想定通り堆砂が進行すれば100年間で計画堆砂容量が失われ、有効容量に食い込み始めることになる。なお、100年間の途中段階で健全度を回復せよとした



<図—2> 堆砂対策メニュー



<図—3> (a) 左: 堆砂による劣化曲線および堆砂処理量と難易度 (b) 右: 災害による堆砂進行と対策のシナリオ

場合に除去すべき対象土砂量（一般的なダムを想定）は後になればなるほど増大する。これを限られた期間で処理しようとするれば、技術的難易度、土砂除去に伴う運用停止期間、コストおよび大量の土砂を搬出・輸送・処理するための環境負荷が増大することになる。

現在、大規模洪水や地震による堆砂量の急激な増加に伴って計画堆砂量が早期に失われたために、これを回復させる緊急堆砂対策（大規模掘削）が行われている事例が見られる。これを模式的に表したものが〈図—3 (b)〉である。なお、大規模対策後は、従来通りの速度で再び堆砂を進行させてしまう（③）のではなく、本格的な堆砂対策を講じて従来よりも大幅に堆砂進行速度を低下させる（②）ことを目指す必要がある。古くは布引五本松ダム、最近では美和ダムにおける排砂バイパスの導入がこれに該当する。布引五本松ダムにおいて千年以上の長寿命化が実現したことは画期的であり、今後はこのような土砂管理の具体的な目標設定を行って、堆砂対策導入の議論を進める必要がある。

4. ダムのアセットマネジメントの課題¹⁾

ダムのアセットマネジメントを進めるための今後の課題として、1) 大改修時のバックアップシステムの整備、2) 堆砂対策実施に対するインセンティブの付与、が挙げられる。

1) は、例えば、航空機、鉄道、電力施設などでは、サービス水準を落とさないために、必要量ぎりぎりではなく、一定のバッファ量を確保した上で点検・補修などの維持管理を行うことが当然とされる。水資源開発施設も同様と考えられ、これまでは需要を満たすために何とか目一杯建設されてきたが、施設の長寿命化のために今後必要とされる施設の大改修を治水・利水のサービス水準を低下させることなく実施するためには、例えば一定のバックアップ容量を確保しながら、ダム群としてマネジメントしていくことが重要である。

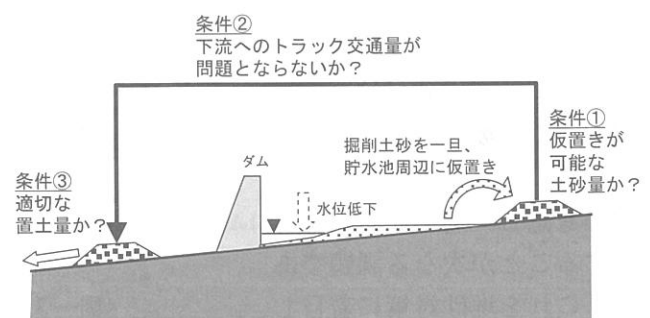
2) は、堆砂対策を早期に実施することのメリットをいかに管理者に意識させるかである。貯水機能の長期化による「水資源（ダム自身）の視点」だけではなく、堆砂対策と河川・海岸の環境

保全の連携による「流砂系総合土砂管理の視点」、さらに、従来からも実施されてきた堆砂の骨材利用などによる「資源リサイクルの視点」も重要である。ここでは、規制緩和や利用促進制度の創設（公共事業で一定量を必ず使用させる）やPFIによる官民共同プロジェクトも進める必要がある。

5. 「N+1」ダムによるダム群バックアップシステムの整備

ここでは、上記の課題のうち、バックアップシステムについて考えてみたい。堆砂対策のうち、フラッシング排砂は黒部川のように貯水池回転率が非常に高く、一時的に貯水位を低下させても短期間に水位回復が可能なダムに導入可能な対策である。これ以外の対策は、基本的に貯水位を維持した状態で実施するものであり、特に、浚渫は貯水池内の広範な部分の土砂を除去可能ではあるが、高コストである。一方、掘削は低コストではあるが貯水位以上の陸上作業が可能な限られた部分にしか適用することができない。

そこで、著者らはダム運用との調整を図りつつ定期的に貯水位を低下させて、低コストの掘削対策をより広範囲なエリアまで拡大させた「水位低下掘削」を新たに提案し、これを淀川水系木津川ダム群に適用させた検討を行った³⁾。その結果、年間堆砂量が数万m³程度の一般的なダムにおいては、この水位低下掘削を行うことが最も経済的であり、これらのダム群は概ね〈図—2〉の「貯砂ダム・土砂還元」が適する条件に合致しており、「貯水機能（水資源資産）の維持」のみならず、掘削土砂の下流河道への安定的な供給により「流砂系の総合土砂管理」にも資する堆砂対策事業と

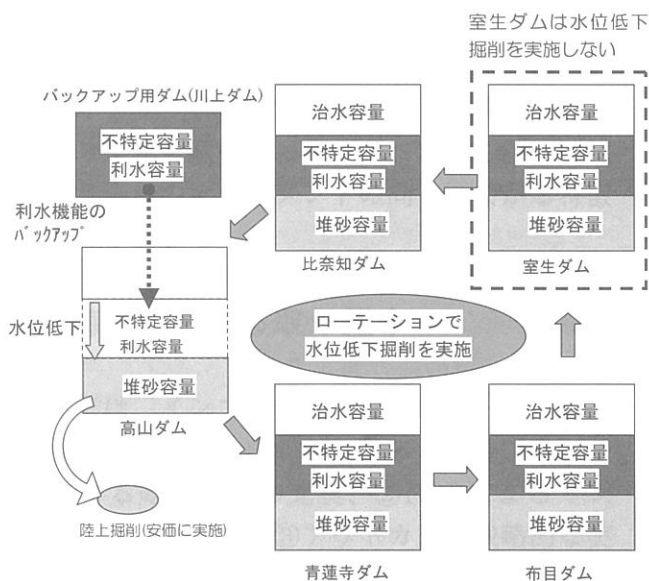


〈図—4〉水位低下掘削と下流土砂還元の実施上の課題

なる。なお、この際の土砂処理量については、**図—4**に示す条件①～③を考慮する必要がある。

一方、この「水位低下掘削」を実現させるためには、応急処理的な「やりくり」ではなく、ダム群としてのシステムティックな相互調整をルール化する必要がある、筆者らは定期的に貯水位を低下した場合のダムの貯水機能のバックアップを行うために「**N+1**」ダムによるダム群連携運用を提案した⁴⁾。ここで「**N+1**」とは、必要最低限のダム数「**N**」基に対して、維持管理用のダムを加えた「**N+1**」基のダム数で合理的に維持管理を行うものであり、この考え方は以下のとおりである**図—5**。

- ・各ダムでローテーションにより水位低下掘削（陸上掘削のため安価）を実施し、水位低下中のダムは「リフレッシュダム」として位置付ける。
 - ・水位低下中の貯水池機能低下に対しては、貯水池機能のバックアップ目的で設置する「**N+1**」番目のダムによりバックアップ補給を行う。
- なお、「**N+1**」ダムによるダム群連携運用が成立する条件としては、1) 同一流域内のダム群であり地理的、水文の特性が類似していること、2) 不特定、利水補給および洪水調節などのダム機能に関する相互のバックアップが可能であること、3) 所用レベルまで貯水位を低下させ、かつ、これを所用期間維持可能な放流設備を有し



※ 例えば、高山ダムを水位低下掘削する場合

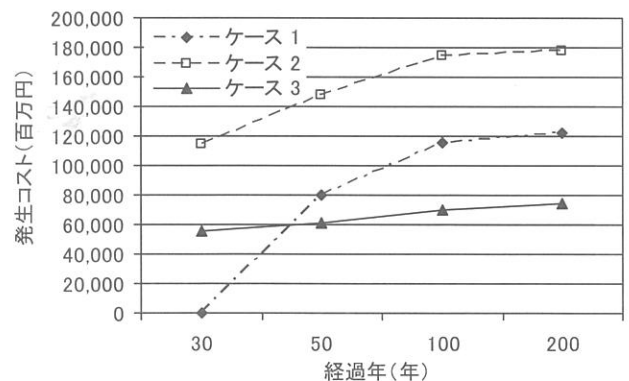
＜図—5＞ **N+1** ダム群による水位低下掘削のサイクル

ていること、4) 貯水池からの土砂搬出経路が確保され得ること、5) 「**N+1**」番目のバックアップ用ダムを合理的に確保することなどである。

そこで著者らは、「**N+1**」ダムによるダム群連携運用が堆砂対策の経済性の観点からも有利であることを明らかにするために、木津川ダム群を対象に以下の3ケースで比較検討を行った。

- 1) 「無対策」：特に堆砂対策を実施せず、「満砂 → 大規模回復（100年ごとに堆砂除去し最大海（大阪湾）まで運搬） → 満砂・・・」を繰り返すケース
- 2) 「各ダム単独運用案」：各ダム単独運用で通常の堆砂対策（掘削＋浚渫）を実施するケース（※下流土砂還元（ダム直下）も実施）
- 3) 「**N+1**による連携運用」：ローテーションにより各ダムで安価な水位低下掘削を実施し、水位低下中は他ダムあるいはバックアップ補給用ダムより、貯水池機能のバックアップを行うケース（※下流土砂還元（ダム直下）も実施）

割引率4%として現在価値化したダム群の堆砂対策に関する発生コストを経過年ごとに試算したものを**図—6**に示す。これによれば、50年以上の長寿命化の観点ではケース3の「**N+1**」ダムによる連携運用が経済的に最も有利であり、また、発生費用の平準化や下流河道への安定的な土砂供給により「流砂系の総合土砂管理」へも大きく貢献することになる。なお、木津川ダム群においては、近隣の水源であり利水補給に関するバックアップが可能であること、および、現在事業中であり追加初期コストが最小限に抑えられるこ



＜図—6＞ **N+1** ダム群による連携運用の経済効果

となどを勘案すれば、川上ダムを「N+1」ダムとして位置付けることが社会経済的観点からも合理的であり、持続可能な水資源システムへの大きな飛躍につながるものと期待される⁵⁾。

6. おわりに

ダムのアセットマネジメントはまだ緒についたばかりである。貯水池土砂管理は、近年、流砂系土砂管理の観点から注目されるが、具体的に土砂を動かすハードとそれを進めるための計画論としてのソフトの技術開発、特に、貯水池機能の劣化を防止するという観点からのアセットマネジメントの考え方の確立が求められる。

近年の大規模洪水の発生を踏まえて、日本では全国的に既設ダムの再開発の議論も活発である。今後は、このような機会を捉えて、個々のダム単独のみならず流域におけるダム群としての長期戦略について検討を進めていく必要がある。その際に、ここで示した「N+1」ダムによるダム群連携運用についても検討を行うことを提案したい。

参考文献

- 1) 角 哲也：ダムのアセットマネジメントの今後に向けて、「ダムのアセットマネジメントを考える」シンポジウム論文集，水管理研究会編，pp. 85-97, 2007.
- 2) 小林潔司，角 哲也，森川一郎：堆砂対策に着目したダムにおけるアセットマネジメントの適用性検討，河川技術論文集，第13巻，pp. 65-68, 2007.
- 3) 角 哲也，森川一郎，高田康史，佐中康起：木津川上流ダム群を対象とした堆砂対策手法に関する検討，河川技術論文集，第13巻，pp. 59-64, 2007.
- 4) 小林潔司，角 哲也，山口健一郎，高田康史：「N+1」ダムによる水資源開発ダム群の長寿命化検討，河川技術論文集，第14巻，pp. 247-252, 2008.
- 5) 原 稔明：ダムのアセットマネジメント—既設ダムの長寿命化—，ダム技術，No. 258, pp. 3-11, 2008.