

4.2 ダムアセットマネジメント手法に関する研究

研究年度：令和6年度

研究分野：既設ダムの維持管理に関する調査研究

調査研究名：ダムアセットマネジメント手法に関する研究

研究者：川崎秀明（元 ダム技術センター技師長、現在 NPO 風土工学会主宰）

【要約】

ダムは最重要級の社会資産であるが、低頻度の確率としても地震や洪水など様々な安全上のリスクが存在する。このため当センターでは、2012年にダムの安全リスクに対する評価手法に関する研究（自主研究）を開始し、米国で標準的なリスク評価手法であるイベントツリーを用いたPFM（Potential Failure Mode, 潜在的損壊モード）分析の国内適用について研究を行った。

2018年度からは研究の枠を拡げて、リスク評価に基づくダムアセットマネジメント（Risk Based Asset Management）に関する研究を行い、2020年度には、A市の水道施設のアセットマネジメントの一環として、小規模な6ダム（水道ダム）を対象にダムのアセットマネジメント計画の作成に着手した。その後、関係資料整理と分析を行うとともに、アセットマネジメントの具体化を進め、2024年度にダムアセットマネジメント計画案の作成を終了した。

本論文ではダムアセットマネジメント計画の全体手法を要点でもって記したが、欧米のダム部門と比べて、リスク評価及びアセットマネジメントの導入が遅れた状況にある国内ダムにおいて、今後のより合理的なダム維持管理の実施に向けて役立てば幸甚である。

【キーワード】

水道ダム、アセットマネジメント、リスク評価、安全管理、堤体、洪水吐き

【背景・目的】

欧米豪のダム管理においては、ダムの安全性に関するリスク分析に基づいてリスク要因を抽出し、リスク（被害×確率）のより大きな対策（補修、補強、更新等）を優先させることで、予算平滑化による長期的なアセットマネジメントを実施している。このアセットマネジメントには、現基準への適合、計測データや図面類の整理、定期点検、施設管理体制等の全てが組み込まれる。

一方、2015年に米国FEMAからダムリスク管理に関する最終指針が刊行され、国際大ダム会議でも各国の成果が取りまとめられつつある。このようなリスク評価に基づくダムアセットマネジメントを”Risk Based Asset Management”計画という。

国内でも2011年東北地方太平洋沖地震を機にリスク管理に関する研究の気運が高まったが、欧米の事例は、国内ダムの安全管理の推進においても大いに役立つと考えられる。

【研究経緯】

当センターの自主研究である「ダムのリスクマネジメントに関する研究」の経緯を下記に要約する。

2012-2014年度（H24-26）：海外文献を収集し、リスク分析の主な手法であるPFM（潜在的損壊モード）分析の国内適用における課題を整理した。その後、専門家有志参加による「ダムリスク管理手法研究会」を通じて分析手法の研究を進めた。

2015-17年度（H27-29）：経年劣化の進んだダムを

対象に、専門家チームによる試行的なダム機能に対するリスク分析を現地調査に基づいて行った。また、

国内ダムへの適用を考慮して、静水圧荷重によるダムへの影響を対象としたPFM分析手法を検討し、専門家チームによる模擬的なリスク分析を行った。さらに、海外文献の整理・分析を行うとともに、事故を起こした数ダムにおけるPFM分析適用の検討を行った。

2018年度（H30）：より実践的な試みとして、A市のダム群を対象にリスク評価に基づくダムアセットマネジメントについての研究を開始した。

2019-2020年度（R1,2）：アセットマネジメント計画に必要な基本情報を整備した上で、ダムのアセットマネジメント計画（年次展開長期計画）の骨格部分を作成した。また、一部のマイクロマネジメント計画（施設管理計画に相当）を作成した。

2021-2022年度（R3,4）：市管理ダム群における必要情報を整備した上で、技術課題を明確化した必要な対策項目を検討し、マクロマネジメント（予算計画に相当）として年次展開させることで、長期的な補修・改修計画（長期ロードマップ）にまとめた。

2023-2024年度（R5,6）：A市管理のダム群におけるダムアセットマネジメント計画案を作成した。

本稿では、自治体管理の数ダムを3モデルダムに仮想化して、リスク評価をベースとしたダム別の長期維持管理計画としてのアセットマネジメント計画の作成までの手法を整理した。

【研究成果】

本研究は、ダムに関するリスク管理に関するモデルダムによる既往研究の成果を基に、A市の管理する水道用ダム群の長期的な維持補修・改修計画への実践的な適用を図ったものである。

以下にリスク評価に基づくアセットマネジメント計画の項目について考え方の枠組みを示すとともに、事例に基づいて具体の説明を加えた、

(1) ダムアセットマネジメント計画の基本構成

厚生労働省で示されている水道事業のアセットマネジメントのアプローチを参考に、以下の4つの基本構成が妥当と考えられる。

- a 必要情報の整備 既往成果：ダム台帳整備、ダム放流能力、ダム堤体安定性（耐震性）等
- b ミクロマネジメント（ダムを含む個別の水道施設ごとの維持管理）
- c マクロマネジメントの実施（ダムを含む水道施設全体の視点からの中長期的計画）
- d 更新需要・財政収支見通しの活用（ダムの計画的改修の実施）・・・ ダム長寿命化、設備更新、堤体補修・補強等の実施

<事例>

A市は6水道ダムを管理しているが、図-1に沿って、ダムのアセットマネジメント計画を策定中である。現在、市水道では浄水場や配管等の施設を対象に拡張計画が進行中であるが、ダム以外の水道施設の次期5ヶ年事業計画である第2次アセ

ットマネジメント計画が令和5年度に出来ていることから、これに現在作成中のダム関係を併せて正式にスタートすることを目標としている。

一方、国交省系ダムにおいては、日常のダム管理、定期検査、ダム総合点検による維持管理方針を踏まえた長寿命化計画の策定と予算配分を行っている。

本研究で対象としている水道ダムの「必要情報の整備→ミクロマネジメントの実施→マクロマネジメントの実施」の手順は、国土交通省のダムにおいても通じるところがある。ただし、更新需要・財政収支見直し（桃色部）は、水道事業特有のものであり、経済指標を変えて投資妥当性の評価手法を見直す必要がある。

(2) マクロマネジメントとミクロマネジメント

表-1にマクロマネジメントとミクロマネジメントの具体的項目を示す。

マクロマネジメントは、欧米のダムにおけるリスクマネジメントにおいては、優先順位に基づく長中期整備計画と平滑を考慮した年度予算配分である。図-1のマクロマネジメントの実施と更新需要・財政収支見通しの活用がこれに該当する。

水道事業者におけるアセットマネジメントの基本は「水道事業におけるアセットマネジメント（資産管理）に関する手引き」（厚労省健康局水道課、2009年7月）に拠っている。

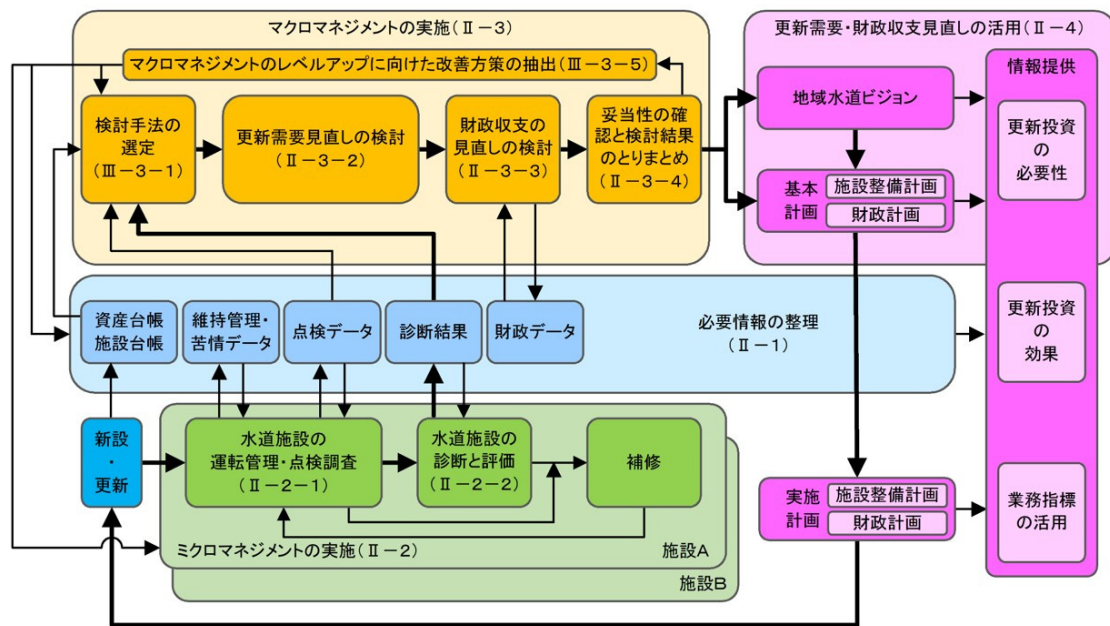


図-1 水道におけるアセットマネジメントの基本構成

厚生労働省 2021年「水道事業におけるアセットマネジメント（資産管理）に関する手引き」から

この手引きは、水道におけるアセットマネジメントとして 2021 年に公表された。この中でアセットマネジメントの期間は、少なくとも 30～40 年程度の中長期とされ、当該期間中の更新需要見通しに基づき財政収支見通しを立てて年変化に応じて適宜補正しながら実施される。

(3) 具体的項目

具体的項目としては、表-1 A の a と b がマクロマネジメントに該当する。

一方、表-1 B の a の必要情報の整備と b の維持管理、運用管理の実施はミクロマネジメントは、に該当し、ダム別に作成される整備計画、維持管理計画は国土交通省の総合点検に相当する点検をベースとするものである。A 市管理ダムにおいては、表-1 に示すミクロマネジメントとマクロマネジメントと行う計画としている。

(4) ミクロマネジメント

① 必要情報の整備項目

「必要情報の整備」はそのベースが無い場合は

表-1 マクロ及びミクロマネジメントの内容

A. マクロマネジメントに該当
a. マクロマネジメントの実施： 水道施設全体の視点から、整備の優先順位付けを行い、予算平滑化を考慮して中長期的な年度割実施計画を作成し、ダム長寿命化、設備更新、堤体補修・補強等を実施する。また、各ダムの実施状況を検証して年度別予算計画の修正を行う。
b. 更新・新需要・財政収支見通しの活用（ダムの計画的整備の実施）： 需要を予測して将来収支見通しを立てる。また、妥当投資額を決定して、実行予算を割り当てする。
B. ミクロマネジメントに該当
a. 必要情報の整備： 既往成果、測量、計測、調査資料等をダム台帳整備として整備する。 ダム諸元、既往工事記録、許認可資料、平面・縦断・横断・断面図、施設図面、写真、航空写真等）、定期点検資料、観測・計測記録（機器設置図面、漏水量、揚圧力（間隙水圧）、変位）、定期測量（測量、堆砂等）、地質資料、ダム放流能力、ダム堤体安定性等
b. 維持管理、運用管理の実施： 個別のダム施設ごとに課題整理、整備計画、維持管理計画を作成し、現地での維持補修、運用管理等を行う。

数年間かかるが、施設管理の基本であるため非常に重要である。また、整備後も継続的に見直しを行っていく必要がある。

地質、堤体材料等の基本物性値、測量・図化資料、漏水量、間隙水圧等の計測値、定期点検資料、既往補修資料、各種調査設計資料等については、日頃整理しておく必要がある。

調査設計項目として以下がある。

地質調査、計測データ分析、通廊周辺調査、洪水吐き：概略・実施設計・施工計画、本体：概略・実施設計、施工計画、耐震性能照査

<事例>

A 市管理ダムについては、2014 年以降、台帳整備が鋭意進められている。現在、測量、図化図面、計測、堆砂、地質調査、健全性調査等の資料が、年度ごとに更新される体制が整い、データが蓄積されつつある状況にある。今後とも、継続的にダム台帳の整備を行い、ダム管理の基本資料とすることとしている。

② ダム堤体の健全性評価

外観目視、ボーリングコア観察、漏水状況等により、各ダム堤体及び取水塔の健全性の評価を行った結果、経年劣化に伴う安全管理上問題のある事項が見られた。これらは調査の上で順次改修する必要がある。今後ダムごとに作成する長寿命化計画に対応策を反映させる。

<事例>

1) **モデルダム B（アースダム）**： 連絡通廊内の泥分の漏出が多く、同通路内の漏水が少ない（堤体内地下水位が低い）ことと併せると、遮水材料の流出による水みち形成と堤体材料の密度低下によるすべりや沈下の懸念がある。

また、左岸下流側の洪水吐き法面では、洪水吐きに水が流れた際に、法尻で漏水が確認されている。漏水箇所周辺には、漏水に起因すると考えられる小規模な崩壊・すべりの痕跡もみられ、洪水吐きからの水の浸透による法面不安定化の将来リスクが懸念される。

2) **モデルダム C（コンクリートダム）**： 下流面漏水と監査廊漏水量（+泥水）が非常に多いため、漏水量や揚圧力を計測するとともに調査によって水みちを特定し、有効な補修・補強計画を作成する必要がある。特に、越流部堤趾（洪水吐法尻）付近に大きなクラックを有しており、深さの確認が必要である。多くの基礎排水孔が詰まっており揚圧力低減の機能を果たしていない。また、クラ

ックが多く横継目の開きが大きいため、堤体の変位・変形に関する計測が必要である。

さらに、遊離石灰の析出とコンクリート表面侵食の速度がかなり大きく、長期的には漏水拡大、断面欠損、密度不足等を引き起こす可能性がある。

③ 取水設備（鉄管、バルブ等）の健全性評価

取水設備（鉄管、バルブ等）については、劣化度合の不明なものが多いが、耐用年数を超えているものが大半であり、順次更新する必要がある。今後ダムごとに作成するマイクロマネジメント計画に対応策を反映させる。

<事例>

建設時の管類の規格を「日本ダクタイト鉄管協会」が公表している資料より推定し、非破壊検査による板厚測定を実施して比較した。

- a 板厚測定結果： 減肉が見られるのは、フィルダムの取水管水平部、コンクリートダムの排泥管、取水管水平部、排泥管であった。ただし、減肉量も小さく全体として建設当時の管厚を維持している結果となった。
- b ボルト： 取水バルブ・排泥管バルブと铸铁管を接続するフランジボルトは、腐食が大きく進行している。ボルトは普通鋼材であることから、取水塔内の環境から、腐食は避けられない。
- c 点検用の「階段・梯子、踊場」は、腐食が進行し利用するには躊躇する状況にある。地震時等では緊急の点検も必要になるので、管理用設備は安全に配慮した管理が必要である。
- d バルブ： 内部の構造が不明なことから測定は実施していないが、可動部分を有するので寿命は管部ほど長くない。有効な点検手法を検討する必要がある。

④ 各種計測

計測設備はダムの安全性を監視する上で不可欠の施設である。必要な計測施設に設置するとともに、設置後も計測を継続し、データを蓄積した時点で貯水位、降雨量等との関係を分析することになっている。

<事例>

漏水量や揚圧力の計測を〇年前から開始している。

計測データについては、日常的に図表に整理して経年的な傾向を把握しておくこととして、必要に応じて、計測設備を拡充している。

堆砂測量については、数年前から各ダム数年おきに水中ビーム測量を行っている。ダムの実運用上の寿命に関わるので、今後も定期的な測量を継続することになっている。

⑤ 構造上の安全性評価

今後のダムの長期使用という点から、構造令など現基準類（指針や通達を含む）に準じた構造安全性を有することとし、段階的にダムの安全性を確保して行く。

大規模地震に対する耐震性能照査については、厚労省の通達においても「国土交通省と同様の方法によって行う」ことが明示されており、水道ダムの場合も堤体及び関連施設の耐震性能照査を行い、耐震性を確認することになっている。

なお、構造令の施行以前に完成したダムには適用されない（既存不適合）とは言え、基幹施設の長期使用という点からは構造令など現基準に準じた構造安全性を有することが望まれる。この点、欧米豪では、主に 1990 年代以降にダムの安全管理が法令化されており、安全に関わる法令や基準の順守は義務となっており、堤体の補強工事が多く実施されている。

<事例>

モデルダムは、現在の設計法となる昭和 40 年代以前の完成のため、河川管理施設等構造令（以下、構造令）の安定性検討において転倒、滑動等の安全性が不足することは否めない。

このため、耐震に関する現安全基準を満足させるための既設ダムの補強が、将来必要であると位置づけている。

⑥ 洪水吐き放流能力

クリーガー流量に対応していないダムは、下流河道能力を考慮の上で、段階的に放流量を増大させることとする。ダムアセットマネジメント計画（今後 30 年程度）の当面目標は「200 年確率流量程度を満足する放流能力を確保する」とする。

200 年確率流量は、100 年確率流量の 1.2 倍以上、著名豪雨（S57 年災等）、最新データ等による確認を行う。

<事例>

国内法令上は、構造令で、「1/200 年確率洪水流量、既往最大洪水流量、クリーガー流量」の最大値をダム設計洪水流量として満たす必要があるが、前項の構造安定性と同様に構造令の施行以前に完成したダムには適用されない。

一方、国内ダムにおいては近年、記録的な豪雨

による計画外の超過洪水が多く発生しており、既設ダムは洪水流下能力の増強は急務である。また世界的にも、超過洪水が多く発生しており、洪水吐きの洪水流下能力を増大させる工事は多い。

このため、洪水流下能力に関する現安全基準を満足させるための既設ダムの改良は必要であると位置づけた。

ただし、構造令にあるダム設計洪水流量に対して、Model A ダムと B ダムの洪水吐き流下能力と下流河道の流下能力は、ともに大きく不足しており、構造令を満たすのは非常に難しい状況にある。そこで、当面の目標として「下流河道の流下能力以上かつ100年確率流量以上を満足する流下能力を確保する」ことで、洪水に対応することとした。

⑦ ダム下流の河川状況

ダム放流量の決定においては、ダム下流における河川の流下能力、県の河川整備計画、市の河川改修計画等と整合させる必要がある。

⑧ ダムの維持管理方針

アセットマネジメントにおいて定常的な維持管理をいかに行うかは非常に重要である。市管理のダムにおいても計測の継続や定期的な検査を行うことにしている。

(5) ダムアセットマネジメント計画作成の流れ

この数年間、A市の委託を受けて、A市管理の6ダムにおいてアセットマネジメントのうち、必要情報の整備、堤体、洪水吐き及び取水施設に関するマイクロマネジメント等を行っている。

モデル化自体は、健全性、安定性、流下能力等に関する平成26～30年度に実施した自治体管理数ダムの各種調査をもとに行ったが、計画手法の提案が論文目的であるので、仮定や複数ダム組合せを入れて条件をわかり易くした。

手順的には、過年度の施設の健全性評価（堤体・洪水吐き、および取水設備）を整理し、これに今年度調査・検討結果を反映させて、最新の健全性評価とした。堤体、洪水吐き及び取水放流設備の健全性評価を行い、堤体および洪水吐きに関する工事の年次展開の項目立てを行った。

これに、維持管理計画、堆砂対策、その他事項を追加して個別ダム毎に長寿命化計画を作成した。また、合理的なアセットマネジメントに資するために、個別ダムの補修・補強対策、堆砂対策等の優先度を考慮したアセットマネジメント計画を作成して工事の年次展開の提案を行った。

(6) リスク評価に基づくアセットマネジメント計画作成

図-2にアセットマネジメント計画作成のフロー図を示す。この中で、長寿命化計画作成までがマイクロマネジメントに相当し、その後がマクロマネジメントに相当する。

一方、国土交通省管轄のダムでは、定期点検を3年毎に実施し、その度に計測データを蓄積し分析しているが、そのような体制が望ましい。その時に、記録や写真を出来るだけ電子化して保管し、安全管理に活かすことも重要である。なお、国土交通省のダムにおいて近年作成されている長寿命化計画は、「施設の健全性評価（堤体・洪水吐き評価+ゲート等機械類・電気通信設備）、維持管理計画、技術課題と今後の方向」等から成る。

アセットマネジメント計画が長寿命化計画と違うのは、斜体文字の「イベントツリー分析、リスク評価、複数ダムにおける優先順位付け」等のリスク分析事項を含むことである。アセットマネジメント計画は、リスク評価に基づく積極的な補強や再開発によって、既設ダムの機能を保持するまたは高めることを目標としており、単に点検や

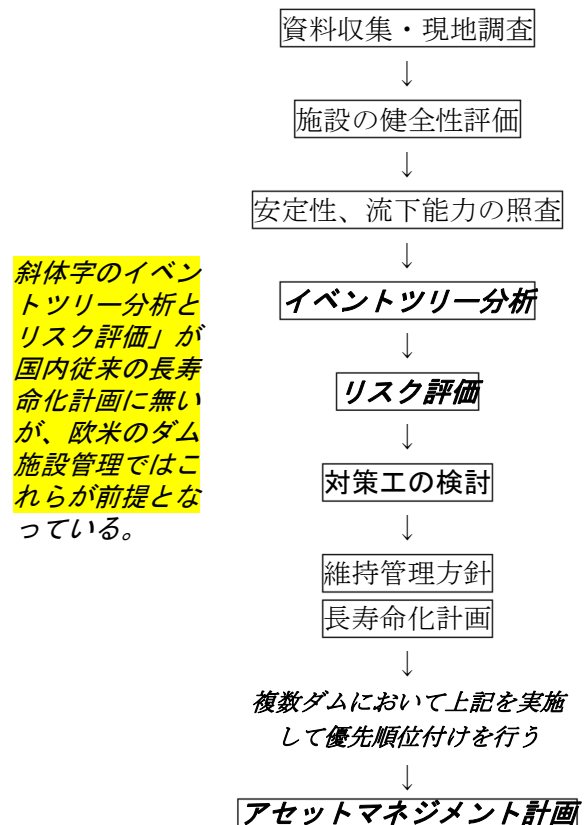


図-2 リスク評価に基づくアセットマネジメント計画作成のフロー

計測管理を主体にした計画とは異なる。

リスク評価の手法については、モデルダムを通じてイベントツリーを用いたリスク分析によって、地震、洪水、湛水等の外力によって、各ダムにある弱部がどのように危険側に事象展開するかを定量的に評価する手法を採用した。

(7) 安全管理上の優先順位

適切なリスク評価に基づいて、リスクが高いと判断されるダムは、予算配置上の優先順位が高くなる。ただし、客観的に評価するためには優先順位の決め方は単純明快であるほど良いと考えられる。

表-2 は優先順位の点数評価の事例だが（実際は6ダム）、優先順位は、老朽度（完成後年数）、構造安全性（滑動、転倒等）、洪水安全性（現況放流能力/200年確率洪水流量）、下流資産（人家密集度）、水源重要度（位置づけ、付加目的、使用頻度、貯水量等から評価）の5項目について5点満点で劣るもの、重大なものほど高い点数をつけて、合計点で評価した。

表-2 3ダムの安全管理上の優先順位

評価項目	Aダム アースダム		Bダム 重力式		Cダム 重力式	
老朽度	築年数に老朽度合を加味して評価する					
	5	完成後115年	4	完成後95年	3	完成後85年
構造安全性	堤体安定性、損傷度合、漏水量等で評価する					
	5	円弧すべり、洪水吐き損傷、左岸漏水大	3	転倒不安定、漏水大	1	漏水大
洪水安全性*	設計洪水位での放流能力/200年確率洪水流量比					
	5	0.39*	4	0.48*	3	0.53*
下流資産	下流の人家等の密集度と流下能力を評価					
	5	下流に人家が連坦、河川狭小	2	直下流に人家が散在	3	下流に人家が多い
水源重要度	給水対象市街地や浄水場へ近いほど重要					
	5	浄水場直結	2	供給力小	4	供給力大
合計点	25	優先順位第1位	15	第2位	14	第3位

(8) A市ダムアセットマネジメント上の留意点

以上、ダムアセットマネジメント計画を立案する具体的な手順を事例的に示したが、A市において今後留意すべき事項を以下に列挙する。

1) リスク分析の精度

リスク評価の主要な手法である PFM 分析（PFM: Potential Failure Mode, 潜在的損壊モード）は、潜在的な損壊過程を詳細に挙げてリスクの描写化を行うが、A市のリスク評価においては、判断資料に不十分な点がまだ多くあることから、各種の計測・調査・解析を継続し、PFM分析をより精度が高い結果が得られるようにすることが望ましい。

2) ダム施設の維持管理体制の確立

ダム施設の機能と安全性の恒常的な確保のために、ダムアセットマネジメントによって予算と人員を適切に配分・配置することによる長期的な維持管理体制の確立が重要である。

なお、各ダムのリスク評価結果については調査の進行や劣化の表出等によって変えるべきであり、数年おきの見直しも必要である。

3) 治水協力の可能性

予算制限の多い水道事業においては、ダムの多目的化によって維持管理のための予算を得やすくするのも重要である。例えば、事前放流の実施を洪水吐き改造のもう1つの目的として付け足すことで、治水の予算が得られる可能性がある。ただし、事前放流のためには、ある程度の放流能力のある放流管設置が必要である。

4) 堆砂と気象変動の渇水リスクへの影響

堆砂の進行によって貯水容量が減れば利水補給への悪影響が生じるので、注意が必要である。特に、利水容量の20%を越えると利水安全度が急激に低下すると言われている。

また、長期的な気候変動においては、流況が変わる（年総流量の変化、渇水の極端化）ことでも利水補給は影響を受ける。アセットマネジメント上、数十年レベルの流況変化は重要な影響要因となるため注意が必要である。

5) 歴史建造物の保全

水道関係のダムは、古さゆえに歴史建造物としての文化財的価値が高いものが多い。補修・補強の際には、現形状の保全も考慮した計画とすることに留意する必要がある。

【謝辞】

本研究に貴重なご協力を頂いた、A市自治体関係者に心からお礼を申し上げます。