

# 同一水系内のダム貯水池群を対象とした アセットマネジメント手法に関する検討

## A STUDY ON THE ASSET MANAGEMENT MEASURES FOR DAM RESERVOIR GROUP IN THE SAME RIVER BASIN

倉橋 実<sup>1</sup>・角 哲也<sup>2</sup>  
Makoto KURAHASHI, Tetsuya SUMI

<sup>1</sup>正会員 工修 株式会社建設技術研究所 東京本社 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

<sup>2</sup>正会員 博士(工) 京都大学防災研究所 水資源環境研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

In Japan it has been difficult to construct new dams because of environmental and financial restrictions. So it is important to maintain existing dams suitably. Especially reservoir sedimentation is one of the most important problems for securing long term functions of dams. It is, therefore, necessary to plan and carry out efficient and economically feasible asset management for existing dam reservoirs.

In this study, we studied efficient asset management measure for several dams in the same river basin. We analyzed the several risks regarding flood control and water utilization based on sedimentation progress, and proposed how to prioritize several dams for sediment management. As the result, we showed the advantage of asset management measure to deal with dams in a group.

**Key Words :** *reservoir sedimentation, asset management, dam reservoir group, same river basin, Oyodo River*

### 1. はじめに

#### (1) 研究の背景

我が国の社会資本整備を取り巻く財政状況は、少子高齢化に伴う税収減少等を背景として、新たな施設整備は今後ますます厳しい状況にある。一方で、高度成長期から現在までに整備されてきた膨大な社会資本ストックについては、その維持管理および寿命到来に伴う更新等の費用負担が増大すると予想されている。社会資本関係の支出減少を考慮すると、維持・更新費の確保に関する問題は早期に顕在化することが懸念されており、対応策が大きな課題となっている。こうした背景のもと、限られた予算で効果的な維持管理を行うべく、社会資本を「資産」とみなした「アセットマネジメント」が、橋梁や舗装を対象として運用が開始されている。しかしながらダムにおいては、施設更新スパンの短い機械設備等についてはアセットマネジメントの適用が試みられているものの、最大の資産である堤体や貯水池については超長期の施設寿命を有することから劣化予測が難しく、アセットマネジメントの全体像が明らかとなっていない。

ダムは、機械設備・堤体・貯水池からなる複合施設であり、これら全てが機能してはじめてひとつの資産を形

成する。貯水池は構造物ではないものの、毎年の流入土砂に伴う容量損失から「施設寿命」を有しており、機能確保のための維持管理活動が必要となる。このため、他の構造物と同様に「資産」と位置付けられ、アセットマネジメントの対象となる。機械設備・堤体・貯水池をアセットマネジメントの観点から分類すると表-1のようになり、他の社会資本と大きく異なる特徴は、堤体・貯水池の維持にあるといえる<sup>1)</sup>。

ダムにおける最大の資産である堤体は数百年オーダーの超長寿命を有しており、適切な管理により不安定化する確率は極めて小さいものの、決壊した場合の被害は甚大なものとなる。このため、劣化予測と計画的な維持管理活動を展開していくことがアセットマネジメントを実践していくうえでの課題であるといえる。一方、貯水池については、貯水池容量100万m<sup>3</sup>以上のすべてのダムに対して毎年の堆砂量・堆砂形状の経年変化が報告されており、これら調査データを用いた劣化予測に基づくアセットマネジメントを運用していくことが可能である。小林らは、貯水池容量を対象としたアセットマネジメントを実施することにより、計画的に投資費用を確保する必要性を示している<sup>2)</sup>。しかしながら、国と比較して社会資本の維持管理費用が確保しにくい現状にある地方自治体所管の補助ダムについては、平成26年10月に公表さ

表-1 更新期によるダム施設マネジメントの区分<sup>1)</sup>

更新期間	施設等	マネジメントの重点	備考
短期 数年～ 数十年	機械設備 電気設備 建築物	点検、整備、補修、更新のトータル費用の低減	サービス水準向上 技術革新対応
長期 数十年～ 数百年	貯水池 (堆砂)	長寿命化 ライフサイクルコストの低減	適切な対応をすれば 更新時期は延びる
超長期 (不明)	ダム堤体	点検 維持管理費用の低減 リスクアセスメント	適切な管理をすれば 更新が超長期不要となり 更新費用の現在 価値が評価できない

れた会計検査院報告で「堆砂量が既に計画堆砂量を上回っていたダム」および「洪水調節容量内に土砂が堆積していたダム」として多数が改善要求の対象となるなど、対策が後手に回っているのが現状である。堆砂進行に伴うリスクを明らかとし、アカウンタビリティを確保することで計画的にアセットマネジメントを実践していくことが課題であるといえる。

## (2) 研究目的

社会資本と対象としたアセットマネジメントでは、その財源が限られた税収であることから、最小コストで最大限の効用を発現すること、「予算の平準化」に配慮したものでなければならないことが要求される。また、「事業主体である国や自治体は社会資本の整備と維持管理を国民から委託されている」という点から、マネジメントが付加価値の高い活動であることを適宜説明する必要がある(アカウンタビリティの確保)<sup>2)</sup>。

これら要求事項に対応するためには、単独ダムで対策を講じるよりも、同一財源で管理するダム群をアセットマネジメントの運用対象とすることが、以下の点で効果的な策をとることが可能になると考えられる。

- ・ダム群内で対策の優先度を評価することで、水系全体の資産価値向上という高い投資効果が期待できる。
- ・予算の平準化という点で、単独ダムを対象とするよりも柔軟な対応が期待できる。

ダム貯水池群の貯水容量を対象としたアセットマネジメント手法については、角らが木津川上流の水資源開発ダム群を対象とし、利水機能を長期にわたって維持していくための具体的な対策手法について示している<sup>3,4)</sup>。本研究では、特に社会資本維持管理コストに課題を有する地方自治体所管のダム貯水池群に着目し、効果的なアセットマネジメント手法について検討する。

## (3) 研究方法

本研究の手順を図-1のフロー図に示す。検討にあたっては、対象となる水系を選定する必要があるが、会計検査院の報告で「堆砂量が既に計画堆砂量を上回っていたダム」として、同一水系内3ダムが該当した宮崎県大淀川水系を検討対象として選定した。

ダム群内での対策優先度を評価するにあたっては、堆

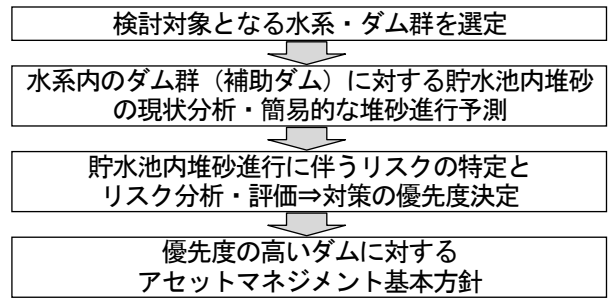


図-1 研究フロー

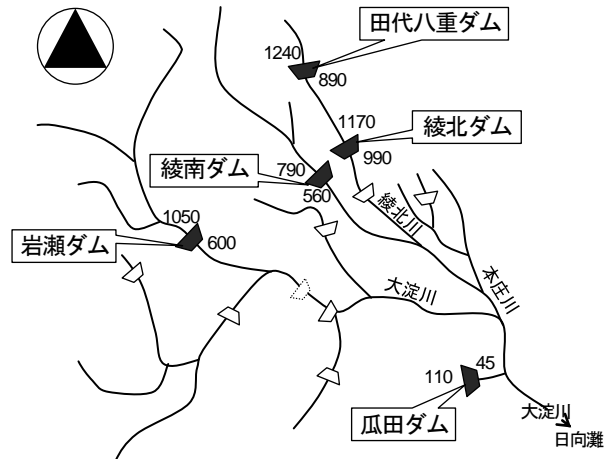


図-2 大淀川水系内ダム群の配置

砂進行に伴い発生する被害損失とその発生確率を「リスク」とし、リスクマネジメントの手法を用いた評価・分析を試みる。ただし、堆砂問題に関しては、被害発生確率は有効容量の減少にもなって上昇していくこととなる。このため、本検討では発生確率を「堆砂の進行速度と有効容量の大きさから算出される容量損失速度」に置き換えて検討するものとし、リスク分析・評価に先立ち、大淀川水系内各ダムの堆砂進行予測を行うものとした。

## 2. 大淀川水系ダム群堆砂の現状分析と進行予測

### (1) 大淀川水系内のダム貯水池群の概要

検討対象として選定した大淀川は、その源を宮崎県と鹿児島県の県境に位置する中岳とし、沖水川等の支川を合わせながら、都城盆地を貫流して中流の山間狭窄部を流れ、宮崎平野で本庄川等の支川と合流後、宮崎市で日向灘へと接続する。幹川流路延長107km、流域面積2,230km<sup>2</sup>の一級河川である。当該水域は、宮崎県が管理する治水機能を有する5ダムのほか、九州電力、九州農政局等が管理する電力ダムや農業用ダムが9か所配置されている。本研究対象ダム群とする治水5ダムの概要を表-2に、配置図を図-2に示す。計画堆砂量に対する堆砂率は、3ダムで100%を超えており、すでに堆砂進行に伴う問題が顕在化しているといえる。

表-2 大淀川水系ダム群の概要

ダム名	綾南	綾北	岩瀬	田代八重	瓜田
河川名	本庄川	綾北川	岩瀬川	綾北川	瓜田川
ダム所管	宮崎県	宮崎県	宮崎県	宮崎県	宮崎県
形式	G	A	G	G	G
目的	FP	FP	FP	FNPW	FN
竣工年	1958	1960	1967	2000	1998
堤高 m	64	75.3	55.5	64.6	42
堤頂長 m	194.2	190.3	155	216	160.4
堤体積 千 $m^3$	142	75.4	98	211.8	100.2
流域面積 $km^2$	87	148.3	354	131.5	4.4
総貯水容量 千 $m^3$	38,000	21,300	57,000	19,270	720
有効貯水容量 千 $m^3$	33,900	18,800	41,000	14,270	620
洪水調節容量 千 $m^3$	14,500	7,900	35,000	11,000	540
利水容量 千 $m^3$	19,400	10,900	6,000	3,270	80
死水容量 千 $m^3$	2,800	700	9,000	0	0
計画堆砂容量 千 $m^3$	1,300	1,800	7,000	5,000	100
堆砂率 %	157	224	121	43	43

※形式については、G=重力式コンクリートダム、A=アーチダムを示す。目的については、F=洪水調節、P=発電、N=不特定利水（河川維持）、W=上水道を示す。

### (2) 大淀川水系内ダム群の堆砂の現状分析

大淀川水系内ダム群の各ダム堆砂進行の現状を図-3に示す。各ダムともに、堆砂の進行は計画を大きく上回る傾向を示している。また、岩瀬ダムを除き、全堆砂量の4割程度は有効容量内となっている。岩瀬ダムについては、有効容量内堆砂はごくわずかであり、計画堆砂容量あるいは死水容量内におさまっていることがわかる。

平成26年度時点の各種貯水池容量損失率を表-3に示すが、岩瀬・綾北ダムの計画堆砂容量はすでに損失率100%を超えている。ただし、両ダムともに死水容量を有しており、死水容量をふくめた損失率は100%を下回る。各ダムとも利水容量の損失率が進行しているが、治水容量内の損失は現時点では顕在化していない。

堆砂傾向の変化に着目すると、岩瀬ダムでは平成6年以降、綾北ダムでは平成12年以降、堆砂量の増加が明らかに減少している。岩瀬ダムの傾向変化は今後の調査で明らかとする必要があるが、綾北ダムについては、上流に田代八重ダムが平成12年に構築されたことにより流入土砂量が減少したものと推測される。

### (3) 大淀川水系内ダム群堆砂進行予測

大淀川水系ダム群では、田代八重ダムと瓜田ダムが比較的新しいものの、堆砂実績データが10年以上蓄積されており、実績値から堆砂の進行予測が可能であると判断した。なお、岩瀬ダムと綾北ダムについては、堆砂傾向変化後のデータを用いて堆砂予測を行うものとした。

今後の各ダムの年堆砂が、これまでの実績堆砂と同じ速度で進行するものとし、各種容量の寿命を算出した結果を表-4に示す。同表には、各ダムの堆砂特性の指標となる貯水池回転率や相当容量もあわせて記載した。ここ

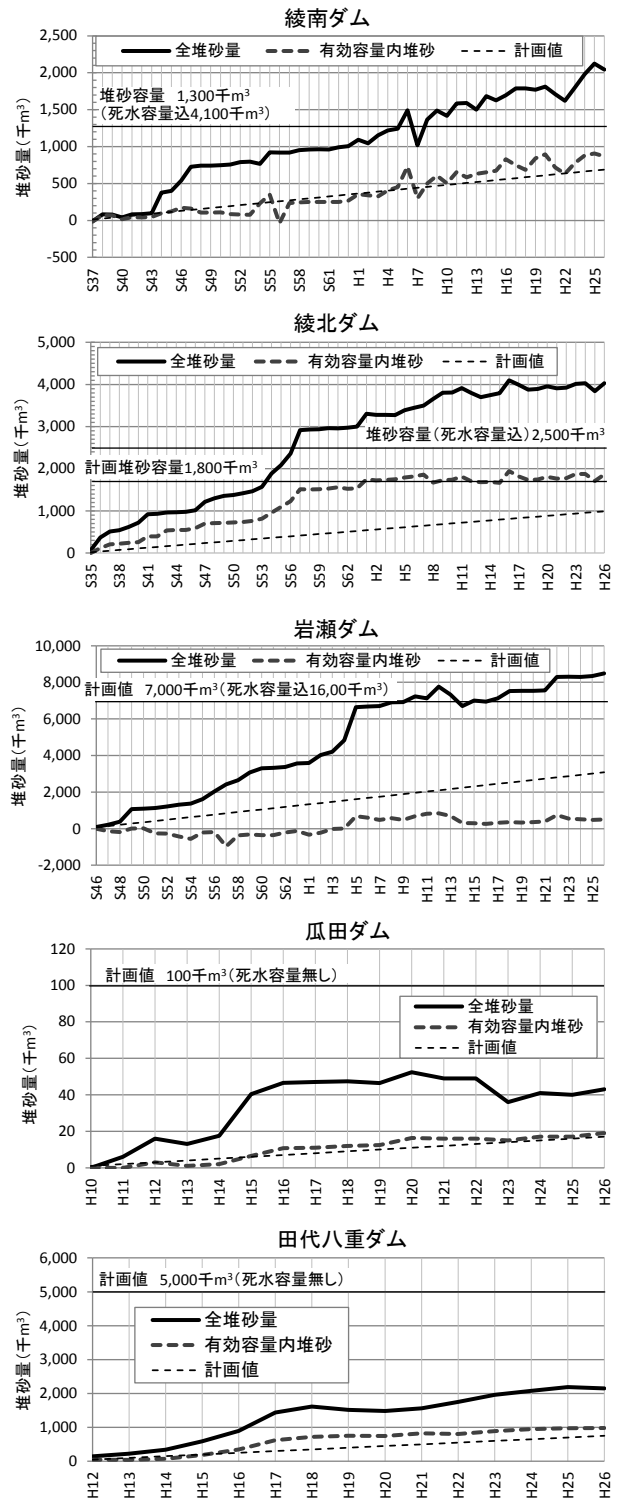


図-3 大淀川水系ダム群の堆砂進行状況

で、相当容量は貯水容量を流域面積で除した数値であり、小さいほど容量損失への懸念が高くなる。貯水池寿命は平成26年時点での容量損失率を考慮したうえで、将来的には計画堆砂容量・死水容量・利水容量、洪水調節容量が順次満砂していくと想定して簡易的に算出した。田代八重ダムは、ダム群のなかで相当容量が相対的に小さく、堆砂量が計画値を大きく上回っており、現時点を起点とした貯水池寿命は最も小さい。

表-3 平成26年度時点の各種容量損失率

	総貯水容量 損失率	有効容量 損失率	洪水調節容量 損失率	利水容量 損失率	計画堆砂容量 損失率	堆砂許容量 + 死水容量 損失率 (計画堆砂)
綾南ダム	5.4%	2.6%	0.0%	5.9%	90.3%	28.6%
綾北ダム	18.9%	9.9%	0.0%	17.8%	120.2%	86.5%
岩瀬ダム	15.5%	2.0%	0.5%	11.0%	114.2%	49.9%
瓜田ダム	5.9%	3.1%	1.0%	17.3%	23.8%	23.8%
田代八重ダム	11.2%	6.9%	3.6%	17.9%	23.4%	23.4%

### 3. 大淀川水系ダム群堆砂のリスクマネジメント

以下では、大淀川水系内ダム群の堆砂予測結果に基づき、リスクマネジメントの手法を用い、水系内で堆砂対策を実施すべき優先順位を検討する。角は、流砂系総合土砂管理の観点から、同一水系内ダムにおける貯水池土砂管理の優先順位について、貯水池寿命や下流河川への影響等の関連要因を点数で加算することで重み付け・比較する手法を提案している<sup>5)</sup>。ここでは、複数要因で定義されるリスクの重み付けについて、同手法を参照した。

#### (1) 前提条件

大淀川水系内ダム群のうち、綾北・綾南・岩瀬ダムは計画堆砂容量上部に死水容量を、5ダム全てで洪水調節容量の下部に利水容量を有している。前述の堆砂実績で示したとおり、各ダムともに利水容量はすでに損失が進行しており、アセットマネジメントの対象に利水機能を含めると、短期的な視点で対策を展開していく必要がある（以下、ケース①とする）。一方、対象を治水機能部分とすれば、各ダムとも現時点では洪水調節容量損失がほとんどないことから、長期的な視点で予防保全の考え方を適用することも可能である（以下、ケース②とする）。

アセットマネジメントの方向性はケース①・②で大きく異なることが想定されるため、これらを区分し、それぞれでリスク分析を行うものとする。死水容量については、取水口近傍の埋没防止対策等、局部的な対策をとることなどにより堆砂許容範囲と考え、計画堆砂容量+死水容量を合算し、「堆砂許容量」と定義する。

#### (2) リスクの特定

リスクは、発生確率と被害損失の規模で評価するのが一般的である。本検討でのリスクは、経済への影響で評価できるものを対象とし、表-5に堆砂進行に伴い発生が想定される被害損失と、その大きさを表す指標を示した。

表-4 大淀川水系内堆砂進行予測

	実績年平均 堆砂量		回 貯水 池 回 転 率	相 当 容 量 (mm)	貯水池残寿命		
	千m <sup>3</sup> /年	計画との 比率 (%)			総 容 量 (年)	堆 砂 許 容 量 (年)	利 水 容 量 (年)
綾南ダム	38.5	3.0	2.2	437	934	76	550
綾北ダム	73.3 →7.7	4.1 →0.4	2.4	144	2,243	44	1,207
岩瀬ダム	192.9 →87.6	2.8 →1.3	2.3	161	550	91	152
瓜田ダム	2.5	2.5	2.9	164	271	30	57
田代八重ダム	143.5	2.9	2.4	147	119	27	45

表-5 堆砂進行に伴い想定される被害と規模の指標

ケース区分	被害損失の分類	被害損失規模を 示す指標
	被害損失	
ケース①	河川維持流量の不足	河川維持 (m <sup>3</sup> /s)
	給水量不足	給水量 (m <sup>3</sup> /日)
	発電電力量の減少	年間発電最大出力 (MWh)
ケース②	洪水調節機能低下に伴う 氾濫による経済損失	想定氾濫面積(ha)
	貯水池末端付近の堆砂進 行に伴う上流域の洪水時 水位上昇	上流域土地利用の有 無 (人家等)

発生確率については、前述のとおり本検討では貯水池容量の損失速度に置き換えて評価する。堆砂進行に伴う各種容量の残寿命については前掲表-4に示したとおりであるが、実際には利水上のリスク・治水上のリスクともに容量が完全に損失する前段階で顕在化することとなる。以下では、ケース①・②それぞれで、リスクが顕在化し始める堆砂の進行段階について記載する。

#### 1) 利水機能へのリスク (ケース①)

利水機能へのリスクとしては、発電電力量の減少や水道用水の供給不足などが挙げられる。ここでは、既往検討を参照し、堆砂の進行が利水機能へ及ぼす影響について述べる。

貯水池方式の発電所においては、堆砂の進行に伴い有効貯水容量が減少すると、流入水を十分貯水できず、発電機を通らないダム放流量（無効放流量）が増大すると考えられる。奥村らは、年間ダム総放流量に対する年間発電使用水量の割合を水使用率 (%) とし、堆砂進行が水使用率に及ぼす影響について検討している<sup>6)</sup>。これによると、紀伊南部、四国南部などの梅雨や台風などによる出水が貯水池流入水量に及ぼす影響が大きい地域において、堆砂率が30%程度に達すると水使用率が低下するとされている（図-4）。

また、角らは木曾川水系牧尾ダムを検討対象とし、ダム堆砂の進行が水資源管理に及ぼす長期的影響について検討している<sup>7)</sup>。ここでは、堆砂の進行がダムの水力発電機能に及ぼす影響について、「渇水発生頻度」により

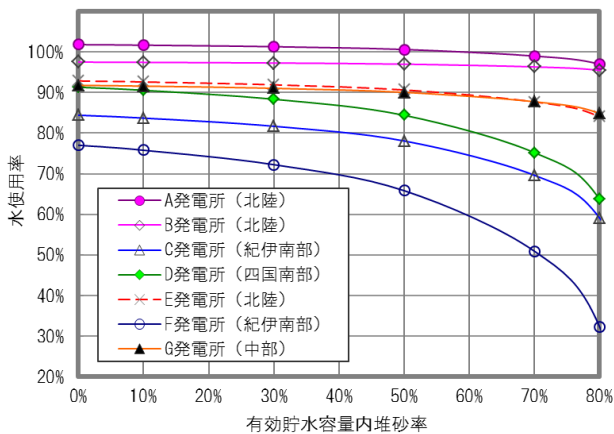


図-4 堆砂率と発電所水使用率の将来予測<sup>6)</sup>

検証しており、堆砂による有効容量損失が30%を超えると「渇水発生頻度」が上昇する結果が得られている。渇水日が増えることはダムからの放流が不安定になることから、水力発電電力量に影響すると考えられる。

各ダム固有の設置条件が影響すると考えられるが、以上の研究から、堆砂進行に伴う利水容量損失が3割程度に達すると、その機能に大きな影響がみられる傾向が示唆される。

## 2) 治水機能へのリスク (ケース②)

洪水調節容量内への堆砂の進行に伴い、治水機能が低下する。洪水調節のための貯水容量は、洪水調節計画で対象とするハイドログラフと調節方式により決定されるが、原則として2割の余裕が見込まれている。したがって、堆砂の進行に伴う洪水調節容量損失が2割減少すると、その機能に影響が発生すると考えられる。

## (3) ダム配置が及ぼすリスクへの影響

田代八重・綾北ダムは、連動して綾北川沿川域の治水安全度を確保しており、治水面では一体施設として考える必要がある。また、上流に位置する田代八重ダムは、綾北ダムに対する貯砂ダム機能を有しているといえ、両者は資産寿命の面でも連動している。このことから、リスク分析に用いる容量損失速度・被害規模算出において、両者を以下のとおり扱うものとした。

- ・利水面では独立した機能を有しているものとし、ケース①では両者を個別資産として評価する。
- ・ケース②では、両者を一体施設として考える。
- ・ケース①の資産寿命について、田代八重ダム満砂後は綾北ダムに両者の堆砂実績合計値が流入すると仮定する。
- ・ケース②の資産寿命は、田代八重・綾北ダムの貯水池合計容量を両者の堆砂実績合計値で除した値とする。

## (4) リスク分析・評価

リスク分析・評価は、定量化した指標をもとに実施す

表-6 リスクの重み付け

被害規模				
ケース①	・年間発電電力量に応じて以下を加算			
	40,000Mwh以上	5点	10,000~20,000Mwh	2点
	30,000~40,000Mwh	4点	10,000Mwh以下	1点
	20,000~30,000Mwh	3点		
ケース②	・田代八重の上水道用水は4点加算 ⇒田代八重ダム建設当時のコストアロケーションで、発電と上水の負担比率が約1:2であることを考慮、田代八重ダムの発電電力量による加算点×2倍の点数とした。			
	・田代八重・瓜田の河川維持は1点加算			
	想定氾濫面積			
	2000ha以上	5点	500~1000ha	2点
	1500~2000ha	4点	500ha未満	1点
	1000~1500ha	3点		
・上流域に土地利用があれば1点加算				

## 容量損失速度

ケース①・② ・資産寿命に応じて以下を設定			
ケース①: 堆砂許容量+利水容量×20%が損失するまでの期間			
ケース②: 堆砂許容量+利水容量+洪水調節容量×20%が損失するまでの期間			
50年未満	5点	150~200年	2点
50~100年	4点	200年以上	1点
100~150年	3点		

る。資産を貯水容量として考えた場合、リスクは堆砂の進行に伴う容量損失速度と、前掲表-5に示した被害規模により評価することとなる。

容量損失速度については、「利水機能・治水機能に影響がみられるまでに残された期間」とし、ケース①においては利水容量の3割、ケース②においては治水容量の2割が損失するまでの期間とする。一方、被害規模は損失額などに置き換えて定量化することが望ましいが、ここでは同一水系内における相対的な順位付けとして、表-5に示す各指標を用いた評価を実施する。

リスク分析としては、上記に基づき、リスクを表-6に示す基準で点数化することにより、定量化を試みた。同一水系内での相対的な重み付けであるため、以下に示す条件選定のもとに点数を設定した。

- ・ケース①利水上の被害損失は、主に年間発電電力量の大きさで重み付けが可能であるとした。
- ・ケース①田代八重ダムの水道水供給機能については、表中に示すとおり建設当時のコストアロケーションの結果から発電機能との相対評価で点数化した。
- ・ケース②の治水機能損失に伴う影響は、洪水による経済損失と考え、各ダムの想定氾濫面積により点数化した。
- ・ケース①の河川維持流量の不足、ケース②の貯水池末端の洪水時水位上昇については、他の項目より相対的に影響が小さいとした。

上記により得られた結果を表-7に示す。また、得られた容量損失速度・被害規模それぞれの重み評価をマトリックス形式で表-8に示した。この結果、ケース①・②ともに、綾北川に位置する田代八重ダム、綾北ダムの対策優先順位が高いことがわかる。

表-7 リスク分析結果

ケース①利水上のリスク (右側の数字が重み付けを示す点数)

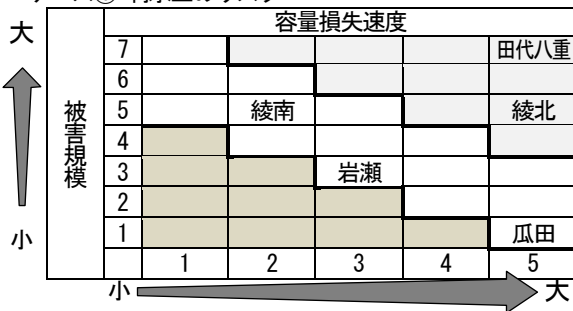
判断指標	綾南ダム		綾北ダム		岩瀬ダム		瓜田ダム		田代八重ダム		
	機能に影響が出るまでの期間 (年)	198	2	39	5	104	3	35	5	29	5
容量損失速度	年間電力発生量 (Mwh)	45,772	5	41,983	5	22,870	3	-	0	17,512	2
被害規模	給水量 (m³/日)	-	0	-	0	-	0	-	0	6,000	4
	河川維持 (m³/s)	-	0	-	0	-	0	0.1	1	2.6	1
	合計点数		5		5		3		1		7

ケース②治水上のリスク (右側の数字が重み付けを示す点数)

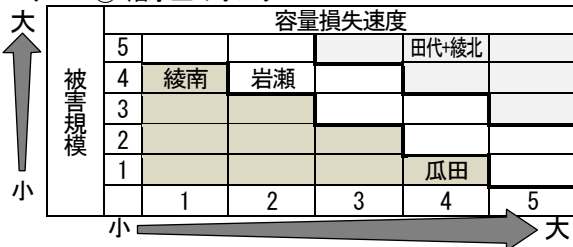
判断指標	綾南ダム		岩瀬ダム		瓜田ダム		田代八重+綾北ダム		
	機能に影響が出るまでの期間 (年)	273	1	183	2	276	4	61	4
容量損失速度	想定氾濫面積 (ha)	1,563	3	1,548	3	137	1	2,163	5
被害規模	上流域土地利用	有	1	有	1	無	0	無	0
	合計点数		4		4		1		5

表-8 貯水池容量に対するリスク評価

ケース① 利水上のリスク



ケース② 治水上のリスク



4. まとめ

本研究では、同一水系内のダム貯水池群をアセットマネジメントの運用対象資産とし、リスクマネジメントの手法を用いて対策優先度を設定した。

検討対象とした大淀川ダム水系ダム群については、単独ダムを対象とするよりも、以下の点で優位となることが考えられる。

- 水系内でのクリティカルな問題点が明確になるとともに、ダムの配置関係に応じた対策の検討が可能である。
- 水系内全体の利水機能、治水機能を確保するという目標設定をすることで、予算の効果的な運用が期待できる。
- ダム群の維持管理活動について、優先度の高いダムには予防保全、低いものは事後保全を対策方針とするなど、単独ダムを対象とするよりも多くのシナリオから最適な対策をとることが可能となる。

一方で、今後の課題については以下が挙げられる。

- 容量損失については、堆砂が進行し、満砂状態に近くなるほど、河床変動計算を用いた精度の高い進行予測が必要となる。また、各ダムの堆砂の傾向は経年的、大洪水の発生の有無により変化するため、一定期間毎に予測を評価し、方針を再評価していく必要がある (PDCAサイクルの運用)。
- 優先度に基づく具体的な維持管理計画策定にあたっては、堆砂進行に伴う被害規模を損失金額等で評価し、対策費用の妥当性を検証する必要がある。堆砂進行と被害金額の関係をより具体化することが課題として挙げられる。

また、ダム施設全体という観点では、超長期の施設寿命を有する堤体やゲートなどの機械設備などについても劣化要因の特定と劣化曲線の推定方法等、総合的なアセットマネジメント手法の確立を行う必要がある。

謝辞：本論文を作成するにあたり、貴重なデータを提供頂いた、宮崎県県土整備部関係者の皆様に深く感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 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, 13, pp.65-68, 2007.
- 2) 土木学会編: 「アセットマネジメント導入への挑戦」2005.
- 3) 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, Vo.14, 247-252, 2008.
- 4) 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, 13, pp.59-64, 2007.
- 5) 角 哲也: 「世代間衡平」のためのダム貯水池土砂管理のすすめ, ダム技術, No.229, pp.3-12, 2005.
- 6) 奥村裕史・角哲也: 貯水池式水力発電所ダム湖における堆砂進行が発電運用に及ぼす影響, 土木学会論文集B1(水工学)Vol.69, No.4, 2013
- 7) 角哲也・寺田和喜・竹門康弘・佐藤喜展: 牧尾ダムの水資源管理に対するダム堆砂および機構変動の長期的影響, 京都大学防災研究所年報, 第57号B H26.6

(2015. 9. 30受付)