

## 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

Makoto KURAHASHI<sup>(1)</sup> and Tetsuya SUMI

(1) 株式会社建設技術研究所

(1) CTI Engineering Co., Ltd.

#### Synopsis

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.

**キーワード:** 貯水池堆砂, アセットマネジメント, ダム群, 同一水系, 大淀川

**Keywords:** 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。社会資本における「アセットマネジメント」は、アセットマネジメント導入への挑戦（社団法人土木学会,2005）において、「国民の共有財産である社会資本を、国民の利益向上のために、長期的視点に立って、効率的、効果的に管理・運営する体系化された実践活動。工学、経済学、経営学などの分野における知見を総合的に用いながら、継続して行うものである」と定義されている。

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（土木学会, 2005）。

Table 1 Life span and management of each dam facility

Facility	Features in asset management
Machine equipment	It can maintain a function by updating every several decades.
Reservoir	Life of the reservoir is considered to be storage loss by sedimentation.
Dam body	It has semi permanent life by carrying out repair continuously.

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(小林・角・森川, 2007)。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）。予算制約が厳しくなる条件下でこれらの要求事項に対応していくためには、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、以下の点で効果的であると考えられる。

- ・限られた予算を各ダムに分散するのではなく、投資価値の高いダムに集中的に投資することで、水系全体の資産価値向上という観点からより高い投資効果が期待できる。
- ・予算の平準化という点で、対策の選択肢が増え、単独ダムを対象とするよりも柔軟な対応が期待できる。

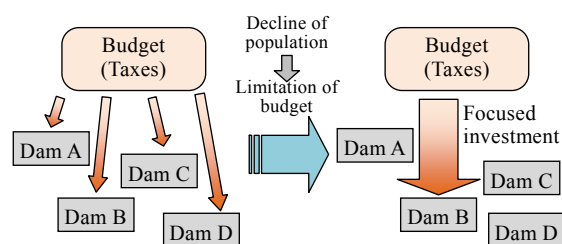


Fig. 1 Image of asset management under a severe budget condition

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(小林・角・山口・高田, 2008, 角・森川・高田・佐中, 2007)。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、リスクマネジメントの考え方を取り入れた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Fig.2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。

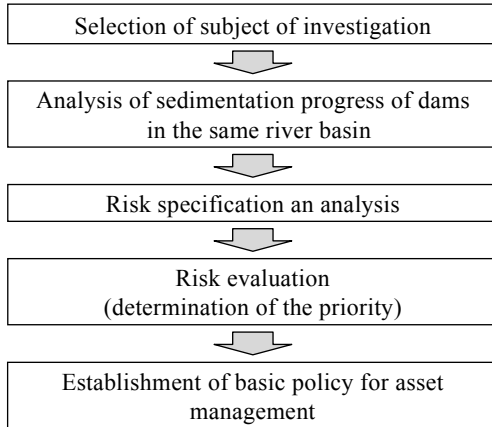


Fig. 2 procedure of this study

ダム群内での対策優先度を評価するにあたっては、堆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と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Table 2に、配置図をFig.3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。

Table 2 Specification of dams in the Oyodo River

Dam	Honjyo	Ayakita	Iwase	Ayakita	Urita	
River	Honjyo	Ayakita	Iwase	Ayakita	Urita	
Administrator	Miyazaki Prefecture					
Type	G	A	G	G	G	
Function	FP	FP	FP	FNPW	FN	
Construction year	1958	1960	1967	2000	1998	
Height	m	64	75.3	55.5	64.6	42
Crest length	m	194.2	190.3	155	216	160.4
Volume	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	142	75.4	98	211.8	100.2
Catchment Area	km <sup>2</sup>	87	148.3	354	131.5	4.4
Total storage	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	38,000	21,300	57,000	19,270	720
Effective storage	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	33,900	18,800	41,000	14,270	620
Storage for flood control	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	14,500	7,900	35,000	11,000	540
Storage for flood control	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	19,400	10,900	6,000	3,270	80
Dead storage	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	2,800	700	9,000	0	0
Storage for sedimentation	×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	1,300	1,800	7,000	5,000	100

※ G:Gravity A : Arch

※ F : Flood control P : Power generation

W : Water supply N : Unspecified

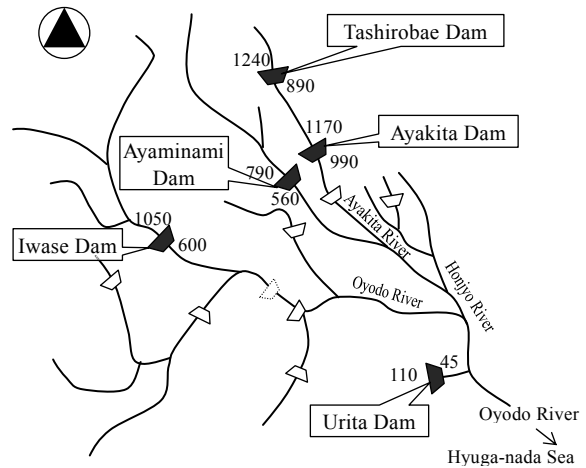


Fig. 3 Layout of dams in the Oyodo River

### (2) ダム群堆砂の現状分析と進行予測

大淀川水系内ダム群の各ダム堆砂進行の現状をFig.4に、各種容量損失率をTable 3に示す。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。

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。このうち岩瀬・綾北ダムの計画堆砂容量はすでに損失率100%を超えているが、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。

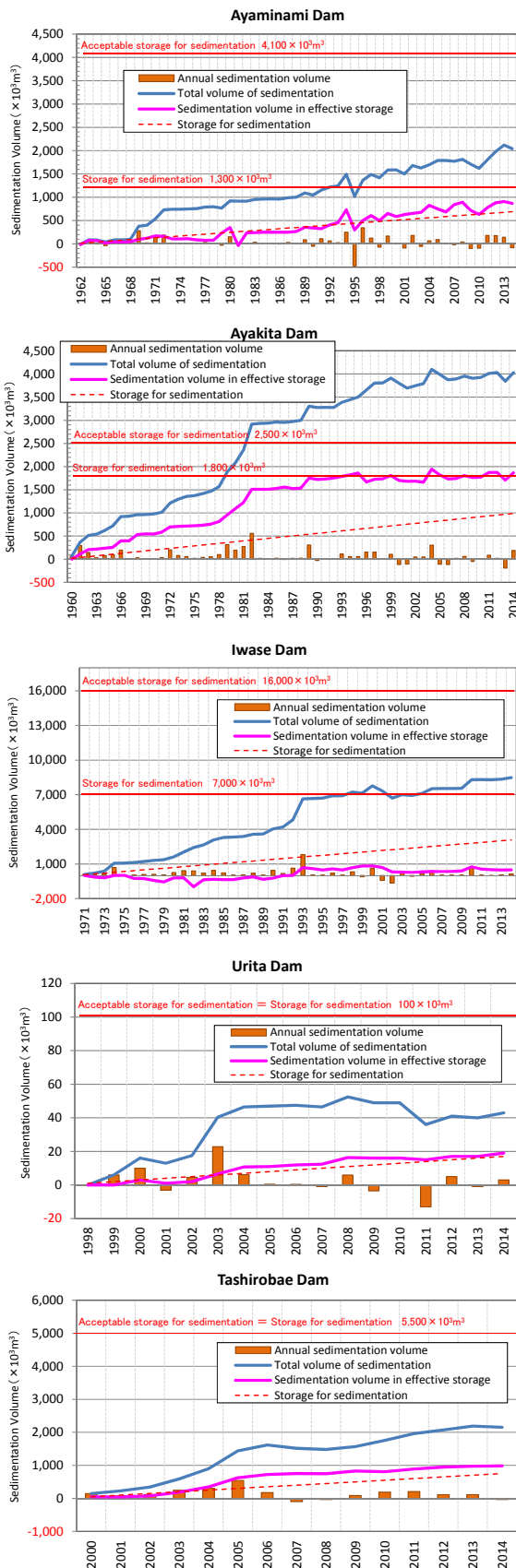


Fig. 4 Sedimentation progress of dams in Oyodo River

Table 3 Storage loss of dams as of 2015

	Loss of total volume	Loss of effective storage	Loss of storage for flood control	Loss of storage for water utilization	Loss of Storage for sedimentation	Loss of acceptable storage for sedimentation
Ayaminami Dam	5.4%	2.6%	0.0%	5.9%	90.3%	28.6%
Ayakita Dam	18.9%	9.9%	0.0%	17.8%	120.2%	86.5%
Iwase Dam	15.5%	2.0%	0.5%	11.0%	114.2%	49.9%
Urita Dam	5.9%	3.1%	1.0%	17.3%	23.8%	23.8%
Tashirobae Dam	11.2%	6.9%	3.6%	17.9%	23.4%	23.4%

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Table 4に示す。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。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ている。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。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ている。この結果から、対象ダムは、いずれも建設当初を上回る速度で堆砂による容量損失が進行しているが、このなかでも田代八重ダムは相当容量が相対的に小さく、堆砂がより顕著に進行していることがわかる。

Table 4 Life span of each capacity

	Annual average volume of sedimentation		Capacity-inflow ratio	Capacity / catchment area	Remaining life span		
	$\times 10^3 \text{ m}^3 / \text{year}$	Difference with estimation (%)			Total storage (years)	Acceptable storage for sedimentation (years)	Storage for water utilization (years)
Ayaminami Dam	38.5	3.0	2.2	437	934	76	550
Ayakita Dam	73.3 →7.7	4.1 →0.4	2.4	144	2,243	44	1,207
Iwase Dam	192.9 →87.6	2.8 →1.3	2.3	161	550	91	152
Urita Dam	2.5	2.5	2.9	164	271	30	57
Tashirobae Dam	143.5	2.9	2.4	147	119	27	45

### 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。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、「利水リスク評価」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、「治水リスク評価」とする）。

アセットマネジメントの方向性は利水リスク評価・治水リスク評価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、局所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、Table 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。

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Table 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、利水リスク評価・治水リスク評価それぞれで、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。

Table 5 Damage caused by sedimentation progress and index of the damage scale

Damage cause by sedimentation progress		Index of damage scale
Division	Damage	
Risk about water utilization	Loss of discharge for maintenance	Discharge for maintenance (m <sup>3</sup> /s)
	Loss of water supply	Amount of water supply (m <sup>3</sup> /day)
	Loss of power generation	Maximum output of annual power generation (MWh)
Risk about flood control	Economic loss by flood damage	Flood area(ha)
	Flood damage by rise of back water in upper stream	Land use in upper stream

#### 1) 利水機能へのリスク（利水リスク評価）

利水機能へのリスクとしては、発電電力量の減少や水道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(奥村・角, 2013)。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 (Fig.5)。

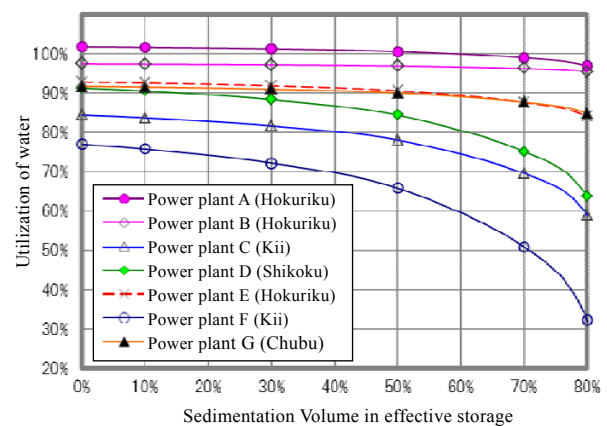


Fig. 5 Storage loss of the effective capacity and water utilization of power station

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(角・寺田・竹門・佐藤, 2014)。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、堆砂進行に伴う治水容量損失が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（治水リスク評価）

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。

- ・治水面では独立した機能を有しているものとし、治水リスク評価では両者を個別資産として評価する。
- ・治水リスク評価では、両者を一体施設として考える。
- ・治水リスク評価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。
- ・治水リスク評価の資産寿命は、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Table 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、「治水機能・治水機能に影響がみられるまでに残された期間」とし、治水リスク評価においては治水容量の3割、治水リスク評価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、Table 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Table 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。

- ・利水上の被害損失は、主に年間発電電力量の大きさと重み付けが可能であるとした。

Table 6 Weighting values of risk

### 【Severity】

Risks related to water utilization	
Power Generation	Water Supply
Index : Loss of annual power generation	4points (Tashirobae dam) (Give points based on impact on the economy)
Over 40,000Mwh : 5points	Discage for maintenance 1point (Urita dam/Tashirobae dam)
30,000~40,000Mwh : 4points	
20,000~30,000Mwh : 3points	
10,000~20,000Mwh : 2points	
Under 10,000Mwh : 1point	
Risks related to flood protection	
Flood damage in the down stream	Flood damage by rise of back water in the upper stream
Index : Flood area	Give points if there is land use in the area influenced by rise of back water
Over 2000ha : 5points	
1500~2000ha : 4points	
1000~1500ha : 3points	
500~1000ha : 2points	
Under 500ha : 1point	

### 【Probability】

Risks related to water utilization : Till storage loss reaches 30% water utilization capacity	
Risks related to flood protection : Till storage loss reaches 20% flood control capacity	
Under 50 years : 5points	150-200 years : 2points
50-100 years : 4points	Over 200years : 1point
100-150 years : 3points	

- ・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。
- ・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。
- ・治水リスク評価における河川維持流量の不足、治水リスク評価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Table 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Table 8に示した。この結果、治水リスク評価・治水リスク評価ともに、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。

Table 7 Result of risk analysis

【Risks about flood protection】

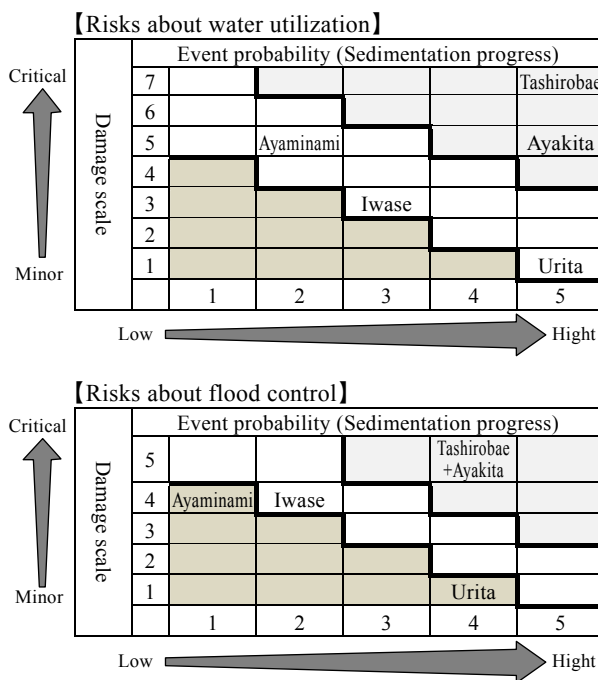
Judgement Index			Ayaminami	Iwase	Urita	Tashirobae/Ayakita
Possibility =speed of storage loss	The number of years till function decline	year	273	183	276	61
		Point	1	2	4	4
Damage scale	Flood area (Down stream)	ha	1,563	1,548	137	2,163
		Point	3	3	1	5
	Land use of area influenced by back-water	—	Yes	Yes	No	No
		Point	1	1	0	0
Total points			4	4	1	5

※From the view point of flood protection, Ayakita and Tashirobae should be regarded as one facility because these dams are in alignment.

【Risks about water utilization】

Judgement Index			Ayaminami	Ayakita	Iwase	Urita	Tashirobae
Possibility =speed of storage loss	The number of years till function decline	year	198	39	104	35	29
		Point	2	5	3	5	5
Damage scale	Quality of annual power generation	Mwh	45,772	41,983	22,870	-	17,512
		Point	5	5	3	0	2
	Quality of water supply	m /day	-	-	-	-	6,000
		Point	0	0	0	0	4
	Discharge for maintenance	m /s	-	-	-	0.1	2.6
Point		0	0	0	1	1	
Total points			5	5	3	1	7

Table 8 Result of risk evaluation



今後は、以下の点に留意してさらなる検討を進めるものとする。

- ・設定した方針に基づく維持管理コストの発生シミュレーションを実施し、同手法の合理性を明らかにする必要がある。
- ・近年の気候変動に伴う想定を上回る豪雨頻発を考慮し、各ダム現状機能を維持するという観点だけでなく、機能向上の必要性にも配慮したアセットマネジメントを展開していく必要がある。
- ・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を考慮し、貯水池堆砂問題への対応と合わせた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。

4. おわりに

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。各ダムの機能・規模・堆砂の進行等を総合的に評価することで、同一水系内で優先的に投資すべきダムが明らかとなった。ただし、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ものと想定されるため、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）。

参考文献

奥村裕史・角哲也（2013）：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

小林潔司・角哲也・森川一郎（2007）：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

小林潔司・角哲也・山口健一郎・高田康史（2008）：「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
- 角 哲也 (2005): 「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
- 角 哲也・森川一郎・高田康史・佐中康起 (2007):  
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
- 角哲也・寺田和喜・竹門康弘・佐藤喜展 (2014): 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
- 土木学会編 (2005): 「アセットマネジメント導入へ  
の挑戦」

(論文受理日: 2016年6月13日)