

同一水系内ダム群の長期的な治水機能維持を 目指した土砂マネジメント手法の検討

A Study on the Sediment Management Measures for Maintaining Long-term Flood Mitigation Function of Dam Reservoir Group in the Same River Basin

倉橋 実⁽¹⁾・角 哲也

Makoto KURAHASHI⁽¹⁾ 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 focused on long-term effectiveness of reservoir sedimentation management on maintaining flood mitigation functions by several dams in the same river basin. We compared several scenarios based on sedimentation management options and reducing flood risks on the target river sections in the Oyodo River Basin, Miyazaki Prefecture. As the result, we could obtain prioritized reservoir sedimentation management strategy covering all river basin.

キーワード: 貯水池堆砂, アセットマネジメント, ダム群, 治水機能維持, 大淀川

Keywords: reservoir sedimentation, asset management, dam reservoir group, flood mitigation, 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。今後は、厳しい予算制約の下、最大限の効果を発現する施設の維持管理活動が求められている。

社会基盤施設の中でもダムは最も長期間の供用が期待される施設であり、ダム本体である堤体は十分な耐久性を有している。一方、ダム貯水池については、一般に100年間の計画堆砂量が確保されているものの、計画以上の堆砂進行速度により容量損失に関する問題が顕在化しつつあるダムも多い。平成26年度の会計検査院報告で「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。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¹⁾。これらのことから、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」への対応であるといえる。

(2) 検討の目的

本検討は上記を背景とし、ダム貯水池の長寿命化を目的として「ダム堆砂」に対する効果的なマネジメント手法について検討するものである。社会資本を対象とした維持管理活動では、「最小

コストでの最大効果発現」とともに、コスト負担の世代間衡平の観点から「予算の平準化」に配慮する必要がある²⁾。本検討では、これらを両立できる効果的な手法として、個別のダムで対策を講じるのではなく、同一水系内ダム群をひとつの資産ととらえて「ダム堆砂」に対するマネジメントを展開していくことに着目した。具体的には、堆砂問題が顕在化しつつある水系内ダム群について、「水系内各ダムの重要度」と「水系内各ダムの堆砂進行」の双方に留意し、水系内ダム群としての機能を効果的に長期間にわたって維持していく手法を検討する。

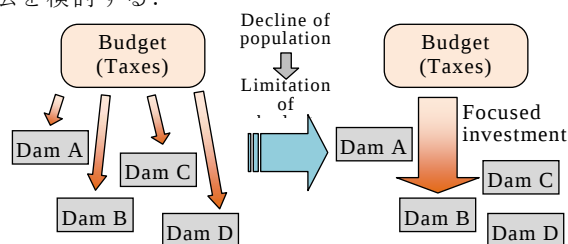


Fig. 1 Image of asset management under a severe budget condition

(3) 研究方法

ダム機能は大きく「治水機能」と発電・水道・農業用水等の「利水機能」に区分されるが、本検討ではこのうち「治水機能」に着目し、Fig.2に示すフローで検討を実施した。検討するにあたり、対象となる水系については、以下の点に留意して選定した。

- ・同一水系内に複数の治水ダムが配置されていること
- ・水系内ダムが、地方自治体の所管（予算制約が厳しい）であること
- ・土砂生産が活発な地域であり、水系内の複数ダムで堆砂問題が顕在化しつつあること

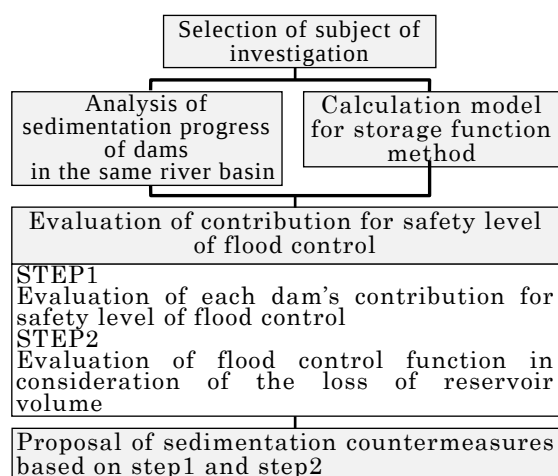


Fig. 2 procedure of this study

同一水系内ダム群を一括管理して効果的な投資を展開していくためには、水系内全体の治水安全度に対する各ダムの「治水貢献度」を評価する必要がある。これについて、各ダム治水機能を、流出予測計算により算出した水系内基準点における流量を指標として評価するものとした。流出予測は貯留関数法によるものとし、計算ツールとしてはCommonMpを用いた。選定水系のモデル化に必要な諸定数は、公表されている河川整備基本方針に関する資料³⁾を参照した。検討結果から、水系内ダム群全体の貯水池堆砂に対するマネジメントのあるべき展開（対策シナリオ）を考察する。

2. 検討対象水系ダム群の概要

(1) 検討対象水系と水系内ダム群の諸元

検討対象としては、九州西南部に位置し、幹川流路延長107km、流域面積2,230km²の一級河川である大淀川流域を選定した。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、電力ダムや農業用ダムが別途8か所配置されている。本検討対象ダムである治水5ダムの概要をTable.1に、配置図をFig.3に示す。堆砂量データは平成26年度時点のものであるが、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。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。

Table 1 Specification of dams in the Oyodo River

Dam	Ayaminami	Ayakita	Iwase	Tashirobae	Urita
River	Honjo	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 ³ m ³	142	75.4	98	211.8	100.2
Catchment Area km ²	87	148.3	354	131.5	4.4
Total storage ×10 ³ m ³	38,000	21,300	57,000	19,270	720
Effective storage ×10 ³ m ³	33,900	18,800	41,000	14,270	620
Storage for flood control ×10 ³ m ³	14,500	7,900	35,000	11,000	540
Storage for sedimentation ×10 ³ m ³	1,300	1,800	7,000	5,000	100
Storage for sedimentation (including dead storage) ×10 ³ m ³	4,100	2,500	16,000	5,000	100
Total volume of sedimentation ×10 ³ m ³	2,042	4,029	8,487	2,151	43
Sedimentation volume in effective storage ×10 ³ m ³	869	1,865	496	984	19

※ G:Gravity A : Arch

※ F : Flood control P : Power generation

W : Water supply N : Unspecified

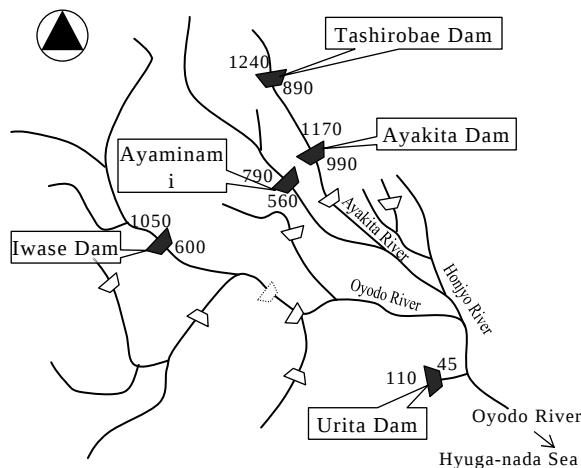


Fig. 3 Layout of dams in the Oyodo River

(2) 水系内ダム群の堆砂の現状分析と予測

大淀川流域のダム群について、今後の堆砂が実績ベースで進行するものとし、簡易な将来予測を実施した。結果をFig.4に示す。堆砂進行を予測するにあたっての留意点は以下のとおりである。

- ・本検討は治水機能に着目した評価を実施することから、死水容量と堆砂容量の合計値を「堆砂許容量」として設定した。
- ・全堆砂に占める有効容量内への堆砂は、今後も実績データと同様の割合で進行するものとする。ただし、「堆砂許容量」が満砂したのちは、全堆砂量が有効容量内で進行すると考える。
- ・各ダム利水容量、治水容量それぞれの堆砂量は、有効容量内堆砂を容量比で按分して見込むものとする。
- ・綾北ダムの堆砂傾向は、上流の田代八重ダム完成後に大きく変化した。Fig.3に示したとおり、田代八重ダムは綾北ダム上流に配置されており、田代八重ダムは綾北ダム貯水への流入土砂を軽減する役割を担ったためであると推定される。

このため、綾北ダムの堆砂は田代八重ダム完成後の堆砂実績に基づいて予測するものとした。また、田代八重ダム満砂後は田代八重ダム完成前の堆砂実績に戻るものと想定した。

上記予測に基づき貯水池容量の将来変化を予測し、後述する流出予測計算に反映させた。流域内ダムのうち、最も容量損失速度の大きい田代八重ダムの貯水池容量予測結果をFig.5に示す。

各ダムの治水機能を評価するため、大淀川流域について、集中型流出予測（貯留関数）モデルを構築した。モデル構築は、河川整備基本方針公表資料³⁾を参照し、71流域・32河道に、治水機能を有する5ダムを配置した。

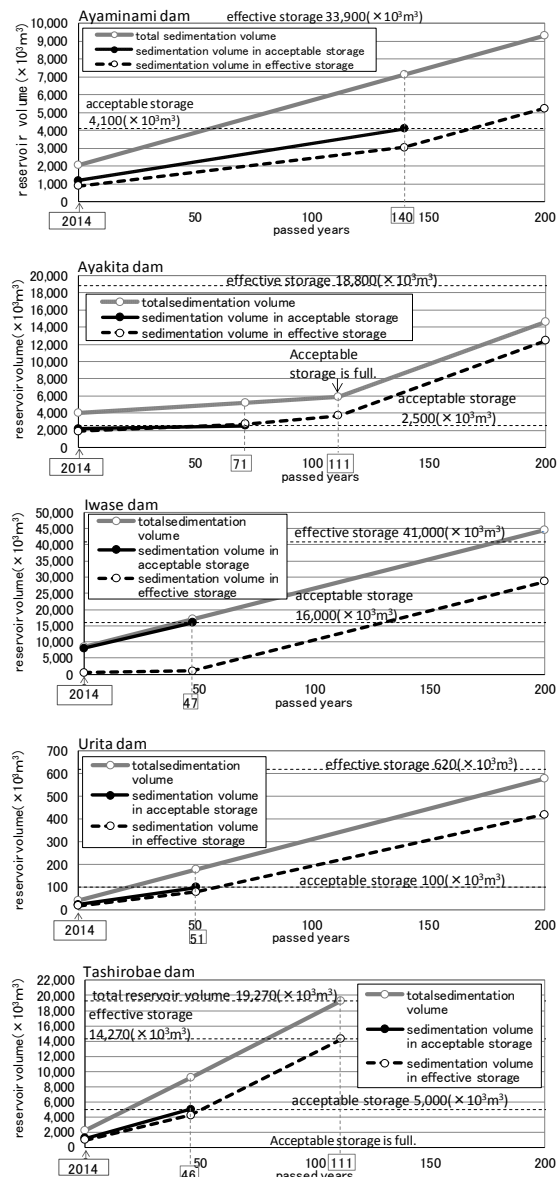


Fig. 4 Sedimentation progress of dams in Oyodo River

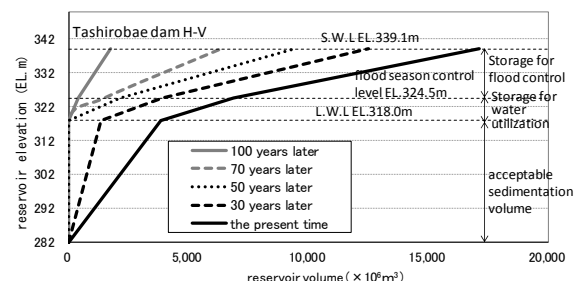


Fig.5 Prediction of reservoir volume of Tashirobae dam.

3. 貯留関数法による流域モデル作成

各ダムの洪水時制限水位・サーチャージ水位および、洪水調節開始流量は現行の値とし、洪水調節方式については各ダムとも現行洪水調節方式を一定率・一定量方式で近似して用いるものとした。

また、各流域に入力する降雨データについては、「国土交通省水文水質データベース」から各流域近傍の観測所データを取得し、入力値とした。構築したモデルをFig.6に示す。

水系内全体の治水安全度は、整備計画における基準点である柏田地点とするが、綾北川・本庄川流域に配置されている3ダムの機能をより詳細に評価するため、嵐田地点の流量にも着目した。

柏田基準点におけるピーク流量について、流出予測計算の結果と対象5洪水の実績を比較した結果をTable.2に示す。差分の要因として、本計算ではダムの洪水調節操作が計画通りに実施されたと想定していること、流域内観測所の全ての降雨データが「国土交通省水文水質データベース」で公表されていないことなどが挙げられるが、既往最大規模となった2005年9月出水では両者の値がよく一致している。

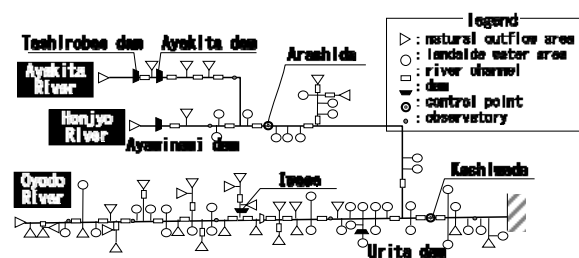


Fig.6 Calculation model for storage function method

Table.2 Comparison of actual value and calculated value unit:m³/s

	2005-09	2004-08	1997-08	1993-08	1982-08
actual value	9,468	6,476	6,875	7,016	6,254
calculated value	9,991	8,097	8,665	7,715	6,853
error	0.055	0.250	0.260	0.100	0.096

error=(actual value - calculated value) / actual value

4. 各ダム治水機能評価を目的とした流出予測

(1) 検討ケース

集中型流出予測（貯留関数）モデルを用いた流出解析により、各ダムの治水機能を評価する。

検討ケースをTable.3に示す。

「各ダム治水貢献度の評価」では、各ダムとも建設当初の治水容量を有している状態とし、CommonMPを用いて5ダム全てが配置されたケースと各ダムそれぞれが配置されないケースで流出予測を実施し、基準点の流出量を算出した⁴⁾。なお、前述のとおり田代八重ダムと綾ダムは直列配置であり、綾北ダムの堆砂進行は田代八重ダムの影響を受けることから、2ダムをセットで扱うケースも検討に加えた。入力する降雨データは大淀川流域の柏田地点において既往最大値を記録した2005年9月の出水とした。当該出水では、3日間で年間降水量の1/3超が記録されており、柏田地点等で計画高水水位を上回ったとされている。なお、現在の大淀川水系基本高水は確率規模1/150で設定され、柏田地点の基本高水ピーク流量は11,700m³/sとされている。

一方、「堆砂進行を考慮した水系内ダム治水機能の評価」では、堆砂対策方針を策定するにあたり、各ダムの堆砂進行状況を配慮した。ここでは、流出予測の入力値となる各ダム貯水容量について、前述した堆砂の進行による容量損失を反映させたものとする。入力する降雨データは、柏田地点流出量実績における上位5出水を採用した。

Table 3 Calculation cases

Purpose	Reservoir volume	Flood	Examination case
Evaluation of each dam's contribution for safety level of flood control	Initial volume	Sept. 2005	No.1 considering all dams
			No.2 considering four dams except for Ayaminami dam
			No.3 considering four dams except for Ayakita dam
			No.4 considering four dams except for Iwase dam
			No.5 considering four dams except for Urita dam
			No.6 considering four dams except for Tashirobae dam
			No.7 considering three dams except for Tashirobae dam and Ayakita dam
Evaluation of flood control function in consideration of the loss of reservoir volume	Volume in consideration of sedimentation progress	Aug. 1982	Considering all 5 dams and sedimentation progress
		Aug. 1993	Flood type ⇒ 5 cases
		Sept. 1997	Period stage ⇒ 6 cases
		Aug. 2004	the present time/50 years later/70 years later/100 years later
		Sept. 2005	/150 years later/200 years later
			Flood type × Period stage ⇒ 30 cases

(2) 「水系内における各ダム治水貢献度の評価」

「各ダム治水貢献度の評価」で実施した流出予測結果のうち、嵐田・柏田地点の流出量を比較し、結果をFig.7およびTable.4に示す。

この結果から、岩瀬ダムは柏田地点流出量に

対しての寄与度が最も大きく、水系内全体の治水機能への貢献度が最も高いといえる。岩瀬ダムは流域面積・洪水調節容量とも最も大きいことが要因であるが、水系内のダム配置位置も影響していると推察される。

一方、本庄川・綾北川流域における指標である嵐田地点の流出量について、単独ダムとしては綾南ダムが最も寄与度が高い。しかしながら、田代八重ダム・綾北ダムをひとつの洪水調節とみた場合の寄与度はこれを上回る。田代八重ダムに堆砂対策を施した場合、綾北ダムの延命効果も同時に期待できることから、対策の優先度については田代八重ダムが最も重要であると推察される。

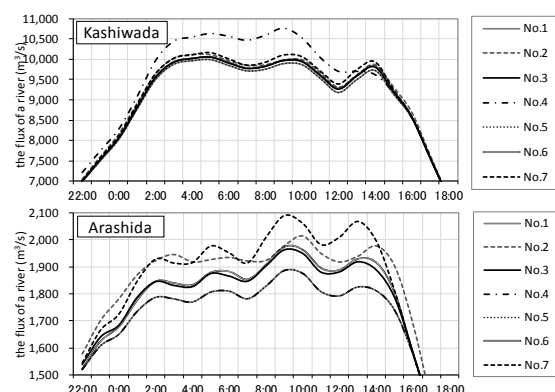


Fig.7 The flux of a river of Kashiwada and Arashida(Extraction of peak)

Table-4 Result of evaluation of contribution for safety level of flood control unit : m^3/s

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
Arashida	1,885	2,015 (1.07)	1,963 (1.04)	1,885 (1.00)	1,885 (1.00)	1,975 (1.05)	2,090 (1.11)
Kashiwada	9,991	10,125 (1.01)	10,058 (1.01)	10,769 (1.08)	9,991 (1.00)	10,063 (1.01)	10,157 (1.02)

() shows a ratio of each case to No.1.

(3) 堆砂進行を考慮した水系内ダム治水機能の評価

「堆砂進行を考慮した水系内ダム治水機能の評価」では、嵐田地点・柏田地点それぞれで出水毎に流出量ピークの経年変化をFig.8およびTable.5に示した。この流出計算では、堆砂の進行に伴う各ダムの容量変化（最大200年後まで）を反映させていくことから、時間の経過とともに、容量不足に伴う基準点ピーク流量の増加が懸念されることとなる。なお、田代八重ダムでは堆砂の進行が速く、前掲Fig.4に示したとおり、150年後の流出予測計算では満砂状態（ダムが無い状態）となっている。

この結果から、堆砂進行に伴う容量損失は進

行するものの、現状から70年目までの流出予測結果では、現時点の治水機能との差異はほとんどみられない。田代八重ダムの満砂にも関わらず、その影響がみられない結果が複数得られているが、これは当該出水において、田代八重ダム地点の流量が計画上の洪水調節開始流量に達していないためである。

ただし、実績最大規模の出水に対しては、70年目を超えると各ダムの洪水調節容量損失による影響が出始め、柏田地点・嵐田地点ともに流出量が増加する傾向が確認される。

当面は、各ダムはその治水機能を維持していくものの、長期的な視点では大規模出水時にその影響が懸念されるといえる。

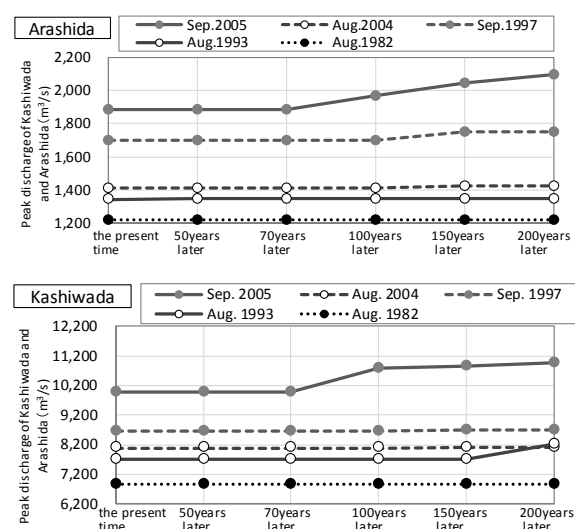


Fig.8 Peak discharge of Kashiwada and Arashida

Table 5 Peak discharge of Kashiwada and Arashida (unit : m^3/s)

flood	control point	the present time	50 years later	70 years later	100 years later	150 years later
flood in Aug. 1992	Arashida	1,220	1,220 (1.00)	1,220 (1.00)	1,220 (1.00)	1,220 (1.00)
	Kashiwada	6,853	6,853 (1.00)	6,853 (1.00)	6,853 (1.00)	6,853 (1.00)
flood in Aug. 1993	Arashida	1,352	1,352 (1.00)	1,352 (1.00)	1,352 (1.00)	1,352 (1.00)
	Kashiwada	7,715	7,715 (1.00)	7,715 (1.00)	7,715 (1.00)	7,715 (1.00)
flood in Aug. 1997	Arashida	1,698	1,698 (1.00)	1,698 (1.00)	1,698 (1.00)	1,752 (1.03)
	Kashiwada	8,665	8,665 (1.00)	8,665 (1.00)	8,665 (1.00)	8,712 (1.00)
flood in Aug. 2004	Arashida	1,415	1,415 (1.00)	1,415 (1.00)	1,415 (1.00)	1,426 (1.01)
	Kashiwada	8,097	8,097 (1.00)	8,097 (1.00)	8,097 (1.00)	8,107 (1.00)
flood in Sept. 2005	Arashida	1,884	1,884 (1.00)	1,884 (1.00)	1,970 (1.05)	2,046 (1.09)
	Kashiwada	9,989	9,989 (1.00)	9,989 (1.00)	10,783 (1.08)	10,856 (1.09)

() shows a ratio of each case to the present time.

5. 治水機能の長期間維持に向けた対策案

(1) 対策の基本条件

前節の検討結果を踏まえ、大淀川水系ダム群に対する長期的な土砂マネジメント手法を検討する。具体的には、水系内で重要度の高い岩瀬ダム・田代八重ダムに集中的に予算を投入することの優位性を検証する。予算制約等基本条件については、以下のとおりとした。

- ・「発生予算の平準化」に留意し、対策は毎年同規模で実施する。Fig.9に示すとおり、数十年サイクルの大規模掘削対策による手法も考えられるが、一度に発生するコストが数十億円規模になること、大量の掘削土砂の処分方法が懸念されることなど、実現性に問題があることから、ここでは考慮しないものとした。
- ・堆砂対策では、有効容量のうち洪水調節容量に堆積した土砂量を掘削除去して容量を回復させるものとした。掘削単価は運搬距離に大きく左右されるが、ここでは運搬距離10kmとした場合の積算標準単価を採用するものとし、3,000円/m³と設定した。
- ・金銅らのダム維持管理費に関する研究成果⁵⁾において、1ダム当りの維持管理約3.4億円であり、このうち「貯水池対策」費は10～15%程度であるとされている。本検討ではこれを参照し、貯水池規模が特に小さい瓜田ダムを除き、各ダムの堆砂対策に充当できる予算制約を1ダム当り50百万円/年（3.4億円×15%）とした。ダム群としての総予算は、4ダムで200百万円/年となる。

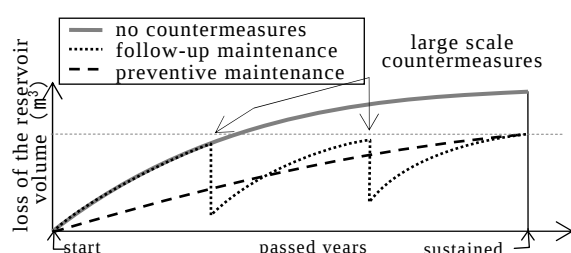


Fig.9 Image of follow-up maintenance

(2) 対策シナリオ

流出予測計算による各ダム治水貢献度の評価、基本条件に留意し、対策の複数シナリオをTable.6のとおり設定した。対象期間は現時点より100年間とした。なお、インフラの維持補修会計において、必要な維持補修を常に行う手法の他、費用総額を適切な補修時期に割り振る手法（繰延

維持補修）がある⁶⁾。本検討では、このタイプとして、水系内ダム群治水機能の劣化が顕在化し始める70年後からの30年間で、集中的に予算を消化するシナリオ（ケースd）も含めるものとした。シナリオaとdは予算の執行方法が異なるのみで、100年後に得られる対策効果は同一となる。

Table 6 sedimentation countermeasures activity scenario of Oyodo river

case	period of countermeasures	allocation of cost	total cost (100 years)
a	the present time ~ 100 years later	100 million yen for Tashirobae dam and 100 million yen for Iwase dam	20 billion yen
b	the present time ~ 100 years later	50 million yen for each dams (4 dams except for Urita dam)	20 billion yen
c	70 years late ~ 100 years later	100 million yen for Tashirobae dam and 100 million yen for Iwase dam	6 billion yen
d	70 years late ~ 100 years later	333 million yen for Tashirobae dam and 333 million yen for Iwase dam	20 billion yen

(3) 対策シナリオの評価

各シナリオ100年後のダム洪水調節容量を用いて既往最大規模の2005年9月出水発生時の流出予測計算を実施し、得られた基準点流出量により各シナリオの効果を評価した。各シナリオのコストシミュレーションの結果と、治水機能維持の評価結果をTable.7およびFig.10に示す。

Table 7 Evaluation of contribution for safety level of flood control in each scenario 100years later

	scenario a = d	scenario b	scenario c	no countermeasures
Arashida	1,928 (0.979)	1,940 (0.985)	1,970 (1.000)	1,970
Kashiwada	10,285 (0.954)	10,739 (0.996)	10,783 (1.000)	10,783

- ・ () shows a ratio of peak discharge to the case of no countermeasures.
- ・ Peak discharge of the flood in Sept.2005

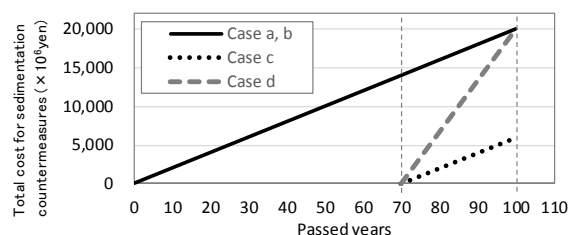


Fig.10 Cost simulation of each scenario

ケースa・dとbの比較から、治水貢献度の高い田代八重ダム・岩瀬ダムに集中させることで、高い効果が得られていることがわかる。また、治水機能劣化開始時期にあわせて対策を開始するケースcでは、対策効果はほとんど発現させることができない。

コスト総額・効果が同一となるケースa・dについては、以下の点から予防保全的なケースaにおける対策シナリオが望ましいといえる。

- ・ケースdは、事後保全的な対応であるため、今後の堆砂進行状況に応じて対策規模を当初計画から変更することなどの柔軟対応が可能である一方、堆砂の進行状況が予測を上回った場合、治水機能を回復させることが困難となるリスクを有している。
- ・近年、記録的な豪雨が多発傾向にある兆候を考慮すると、堆砂の進行が予測を上回るリスクが高い。
- ・貯水池掘削土砂の処分方法について、一般的に建設材料への有効活用や下流還元による処理が経済性・環境改善の観点から優位である。ただし、これらの処理量には上限があるため、ケースdのように毎年の掘削規模が大きくなると、割高の処分方法が必要となるリスクがある。

6. まとめ

本検討では、大淀川水系を検討事例として、同一水系ダム群の治水機能を100年以上の超長期にわたって維持していくための対策方針決定に至る手法について検討し、以下の結果を得た。

- ・流出予測計算を用いて水系内各ダムの治水貢献度や堆砂による容量損失の影響を評価し、水系全体の治水機能を維持するうえで重要度の高いダムが明らかとなる。
- ・一定の予算制約のもと、上記で特定した重要度の高いダムに予算を集中的に活用することで、高い効果を得ることが可能である。

なお、本検討では堆砂の進行予測について、実績値から簡易に予測したが、実運用にあたっては堆砂量だけでなく、貯水池内堆砂形状にも留意し、洪水調節容量内の堆砂を精度良く予測していくことが必要である。

今後は同手法をさらに検証するとともに、ダム利水機能に着目したマネジメント手法の検討や、近年の気候変動を考慮し、「機能維持」だけでなく「再開発による機能向上」も含めたマネジメント手法の検討を進めていくものとする。

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

- 加藤 譲・三平 良雄・佐藤 宏明（2014）：**CommonMP** を活用したダムの洪水調節効果の算定について、平成 26 年度 河川情報シンポジウム講演集，pp.6-1～6-5。
- 金銅将史・谷田広樹・川崎秀明（2000）：ダムの維持管理コスト，ダム技術 No.204，pp.49～57。
- 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
- 金銅将史・谷田広樹・川崎秀明（2000）：ダムの維持管理コスト，ダム技術 No.204，pp.49～57。
- 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。

（論文受理日：2017年6月13日）