

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

STUDY OF RESERVOIR SEDIMENTATION MANAGEMENT MEASURES FOR DAMS IN THE UPPER KIZU RIVER BASIN

角 哲也¹・森川 一郎²・高田 康史³・佐中 康起⁴

Tetsuya SUMI and Ichiro MORIKAWA and Yasufumi TAKATA and Yasuoki SANAKA

1. 正会員 工博 京都大学准教授 大学院経営管理研究部/工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 4)
2. 正会員 工修 (独) 水資源機構関西支社 (〒540-0005 大阪府大阪市中央区上町A番12号 上町セイワビル内)
3. 正会員 工博 (株) 建設技術研究所大阪本社 (〒540-0008 大阪市中央区大手前1丁目2-15)
4. 非会員 国土交通省近畿地方整備局淀川ダム統合管理事務所長
(〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町10番1号)

In the upper Kizu river basin, five water resources development dams including Takayama Dam(1969) have been constructed. It will be necessary to secure these water resources based on reasonable reservoir maintenance works for a super long term in the future. It is, therefore, necessary to plan and carry out efficient and economically feasible reservoir sedimentation management.

In this study, we studied characteristic of inflow sediment of dam group and feasibility of various sedimentation management measures. By a case study of Takayama Dam, we evaluated the cost and the effect of sedimentation management quantitatively. As the result, we showed the advantage of dry excavation with periodical reservoir emptying and suggested the necessity for further study on the integrated sediment management such as dry excavation by turns in a group of dams.

Key Words: Reservoir sedimentation management, Takayama dam, dry excavation

1. はじめに

我が国においては、戦後建設されたダムを中心に、建設後約半世紀を迎えるダムが増加してきている。これら過去に多数設置されたダム貯水池では、土砂の堆積が進行し、貴重な水資源を圧迫している¹⁾。また、一般的なダム計画では、100年間分の堆砂量を貯水池容量の余裕分として確保するが、治水・利水機能の必要性の観点からは、ダムは永久的に機能を発揮し続ける必要があり、100年経過後に堆砂により機能低下が生じることは望ましくない。

我が国の貯水機能保全のための堆砂対策については、従来から北陸地方および中部地方等、土砂生産が盛んな地方で先進的に実施されてきた。しかし、近年では、上記の背景の下、流域からの土砂生産量の多少に関わらず、未来に健全な水資源を残すための効果的な施策として、既存ダム貯水池の長寿命化計画や貯水池の有効活用計画が注目を浴びている。

淀川水系木津川上流に位置する水資源開発ダム群においては、昭和44年に完成した高山ダムをはじめ、現在5ダムの維持管理が行われている(図-1参照)。ここで、超長期にわたり、これらダム群の機能を健全に維持し続けるために、既存施設を最大限に活用するとともに、持続的で効率的かつ経済的な維持管

理を実施するためのアセットマネジメント手法の確立が求められている。

本研究では、木津川上流ダム群を対象に、長寿命化の観点から、ダムの計画上の寿命を規定している貯水池堆砂について、土砂流入特性及び種々の堆砂対策手法の適用性について具体的に検討を行うとともに、堆砂対策によるダム貯水池のアセットマネジメントを進める際の留意点についても整理を行った。

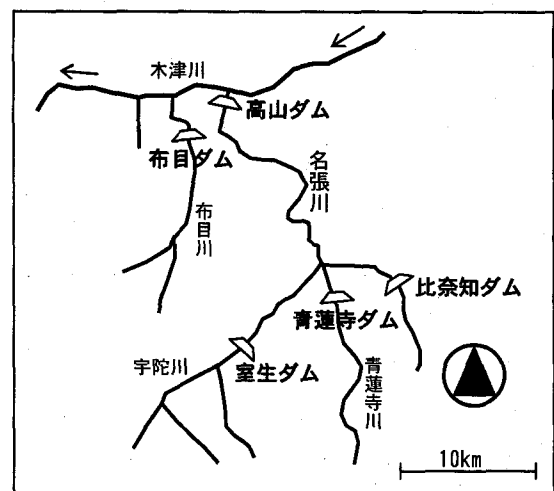


図-1 淀川水系木津川上流ダム群

2. 検討条件の整理

(1) 検討の流れ

本研究における長寿命化検討フローを図-2に示す。ここで、超長期にわたる貯水池維持管理の観点より、貯水池堆砂対策の検討を行った点が本研究の特徴である。

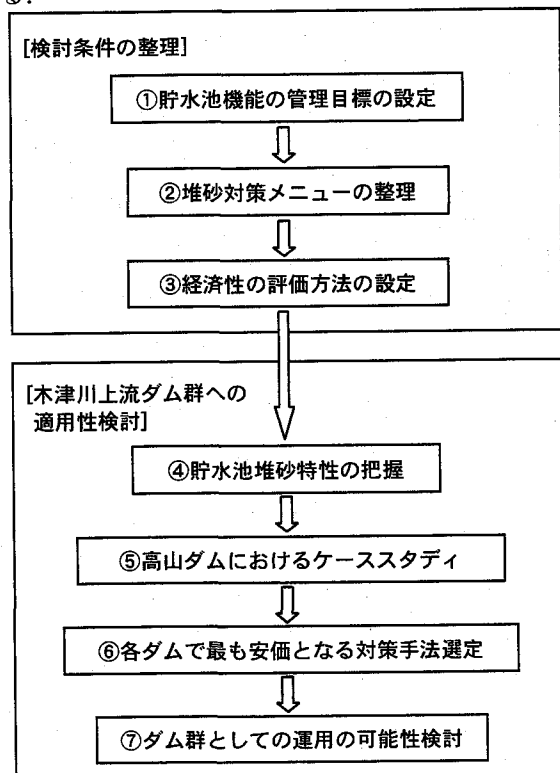


図-2 ダム貯水池長寿命化の検討フロー

(2) 貯水池機能の管理目標

将来的にも現状の利水容量を維持することを管理目標とし、堆砂進行による容量不足を避けるための堆砂対策を検討するものとする。

(3) 堆砂対策メニューの整理

検討対象とした堆砂対策メニューを表-1に示す。また同表には、超長期にわたる管理を実施する上での着目点を示す。

(4) 経済性の評価方法

本研究では、図-3に示すとおり、初期投資を含む堆砂対策についても検討対象（堆砂対策方法の選定）とするため、ある時点における現在価値化したトータルコストで経済性評価を行うものとする。なお、割引率は4%とする²⁾。

$$T \text{ 年後のトータルコスト} = \sum_{t=1}^T \frac{T \text{ 年目の年間コスト}}{(1+r)^t} \quad (1)$$

ここに、 r ：現在価値化の割引率（=0.04）

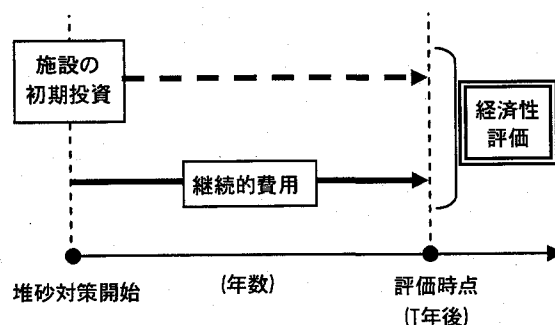


図-3 経済性評価の方法

(5) 堆砂特性の把握

a) 堆砂進行速度の把握

木津川ダム群における現状の堆砂進行速度の把握を目的に、計画比堆砂量および実績比堆砂量の比較を行った。比較結果を表-2に示す。これによると、5ダムのうち、青蓮寺ダムを除く4ダムにおいて、計画以上の速度で堆砂が進行しており、特に建設から

表-1 検討対象とする堆砂対策メニュー

対策メニュー	着目点および発生費用
掘削	貯水池内の陸上部分の土砂を機械により排出する対策。 ・初期投資費用：特になし ・継続的費用：掘削費
浚渫	貯水池内の水中部分の土砂を機械により排出する対策。掘削に比べて割高となる。 ・初期投資費用：特になし ・継続的費用：浚渫費
貯砂ダム (+掘削)	貯水池上流端に貯砂ダムを設置し、貯砂ダムにて捕捉された土砂を機械により排出する。 ・初期投資費用：貯砂ダム設置費用 ・継続的費用：貯砂ダムからの掘削費
フラッシング	一時的に貯水位を低下させることにより、貯水池内を開水路状態にし、掃流力で土砂を排出する。 ・初期投資費用：排砂ゲートの設置 ・継続的費用：設備の摩耗対策費、場合により減電補償費
排砂バイパス	流入土砂を貯水池内に流入させず、トンネルにより、下流へバイパスする。 ・初期投資費用：排砂バイパスの設置 ・継続的費用：トンネルの摩耗対策費
水位低下掘削	所定の年数に1回、貯水位を完全に低下させ、堆積土砂を陸上掘削で全て排出する。 ・初期投資費用：特になし（水位低下設備がない場合には水位低下設備の設置が必要） ・継続的費用：掘削費、減電補償費、容量損失補償費

の経過年が36年（平成17年時点）となる高山ダムでは、計画堆砂容量の約半分まで堆砂が進行している。このため、木津川ダム群に対する堆砂の影響は小さくなく、今後は適正な堆砂対策計画の下、健全な水資源を確保していく必要があると考えられる。

表-2 木津川上流ダム群の堆砂進行速度 (H17現在)

	経過 年数	計画 比堆砂量 ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$)	実績平均 比堆砂量 ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$)	平成 17年度 実績 堆砂率
高山ダム	36	201	< 264	47.4%
青蓮寺ダム	35	340	> 295	30.4%
室生ダム	31	191	< 275	44.6%
布目ダム	13	253	< 278	16.5%
比奈知ダム	6	318	< 613	15.4%

※ 上表の堆砂率は計画堆砂容量ベースの値

b) 堆積土砂の特性の把握

堆砂対策毎に排砂が可能となる土砂粒径が異なるため、堆砂対策の適用性を検討する上で、流入土砂粒径は重要な要素となる。ここでは、流入土砂の粒径については、ウォッシュロード ($d \leq 0.075\text{mm}$)、砂 ($0.075\text{mm} < d < 2.0\text{mm}$)、砂礫 ($2.0\text{mm} \leq d$) の3つに区分して取り扱うものとする。さらに、既往検討成果³⁾および実測堆砂量データより、流入土砂および堆積土砂の特性把握（量と質）を行った結果を表-3に示す。

c) 目標堆砂率の設定（堆砂量の統計解析）

ここでは、目標堆砂率の設定を目的に、各ダムの堆砂量データに対し統計解析を実施する^{4), 5)}。統計解析結果より、各ダムにおける実績最大年堆砂量に対して生起頻度の評価を行った。目標堆砂率の考え方を図-4に、統計解析結果を表-4に示す。これらによると、実績の最大年堆砂量（突発的に発生した流入土砂量の実績最大値）は計画堆砂容量の約10～15%程度で、確率規模は1/10年～1/50年程度である。ここで、突発的な土砂流入量に備えるといった観点では、堆砂容量は常に10～15%程度の余裕を確保しておくことが望ましく、本研究では目標堆砂率を80%と設定した（計画堆砂容量の80%の容量内で貯水

池の堆砂量を管理する想定）。

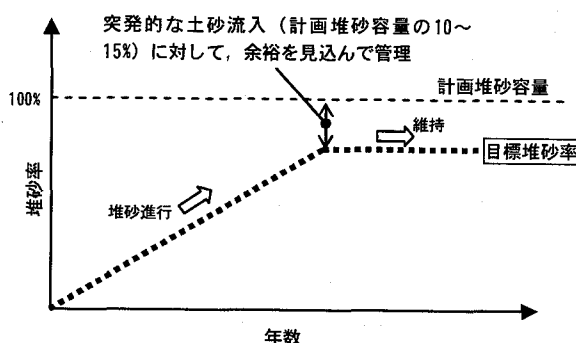


図-4 目標堆砂率設定の考え方

表-4 堆砂量の統計解析結果

	計画堆砂 容量	実績最大年堆砂量		
		堆砂量	計画堆砂容量に占める割合	生起確率評価
高山ダム	7,600 km^3	621,000 m^3	8.2%	1/52年
青蓮寺ダム	3,400 km^3	336,000 m^3	9.9%	1/35年
室生ダム	2,600 km^3	314,000 m^3	12.1%	1/45年
布目ダム	1,900 km^3	230,000 m^3	12.1%	1/51年
比奈知ダム	2,400 km^3	140,000 m^3	5.8%	1/12年

3. 高山ダムにおけるケーススタディ

ここでは、ダム群の中で最下流に位置し、貯水池規模が最大の高山ダムを対象とし、堆砂対策のケーススタディを実施する。なお、ケーススタディでは、対策実施の費用と効果について定量的な評価を行うものとする。

(1) 対策メニューの効果および必要費用

a) 水位低下掘削の必要費用

本研究では、一般的な堆砂対策手法に加え、“水位低下掘削”も比較検討の対象とする（表-1参照）。水位低下掘削は、所定のサイクル年数において、1年間ダムを休止し、貯水位を完全に低下して陸上掘削により土砂を排出する対策である。このため、水位低下掘削の実施に際しては、水位低下による貯水

表-3 木津川上流ダム群の流入・堆積土砂の特性

	年平均 流入 土砂量	粒径別 年流入土砂量			ウォッシュ ロードの 捕捉率	年平均 堆砂量	粒径別 年堆砂量		
		ウォッシュ ロード ($\leq 0.075\text{mm}$)	砂 ($0.075\text{mm} < d < 2.0\text{mm}$)	砂礫 ($2.0\text{mm} \leq d$)			ウォッシュ ロード ($\leq 0.075\text{mm}$)	砂 ($0.075\text{mm} < d < 2.0\text{mm}$)	砂礫 ($2.0\text{mm} \leq d$)
高山ダム	104,550 m^3	46,770 m^3 44.7%	53,380 m^3 51.1%	4,400 m^3 4.2%	44.3%	78,500 m^3	20,720 m^3 26.4%	53,380 m^3 68.0%	4,400 m^3 5.6%
青蓮寺ダム	41,740 m^3	29,080 m^3 69.7%	11,390 m^3 27.3%	1,270 m^3 3.0%	57.9%	29,500 m^3	16,840 m^3 57.1%	11,390 m^3 38.6%	1,270 m^3 4.3%
室生ダム	45,510 m^3	31,070 m^3 68.3%	14,250 m^3 31.3%	190 m^3 0.4%	73.9%	37,400 m^3	22,960 m^3 61.4%	14,250 m^3 38.1%	190 m^3 0.5%
布目ダム	23,550 m^3	15,400 m^3 65.4%	7,980 m^3 33.9%	170 m^3 0.7%	82.8%	20,900 m^3	12,750 m^3 61.0%	7,980 m^3 38.2%	170 m^3 0.8%
比奈知ダム	56,810 m^3	36,760 m^3 64.7%	19,860 m^3 35.0%	190 m^3 0.3%	71.4%	46,300 m^3	26,250 m^3 56.7%	19,860 m^3 42.9%	190 m^3 0.4%

池機能の損失と安価な陸上掘削による土砂排砂との得失関係より、他の対策手法と比較して有利か否かを検討しておく必要がある。

水位低下掘削による必要費用は、減電補償、掘削単価に加え、水位を低下することによる損害として、容量自体の損失を損害費用として見込むものとする。ここでは、水位低下掘削実施の際の貯水池機能の損失は以下のとおり費用に反映させるものとする。掘削を非洪水期に実施するものとする、利水容量のみが対象と考えられる。従って、貯水容量の損失分に対する損害費用の算出方法は、多目的ダム事業費の“利水容量分に対する費用配分（アロケーション費用）”を用いて算出する。ただし、以下の検討では、木津川上流ダム群のうち、最も近年に建設された比奈知ダムにおける費用配分と利水容量の関係を使用するものとする。

- ・ 利水機能は100年間提供できるものと想定し、1年当たりの単位容量（1m³）に対する費用は、[利水容量分に対する費用] ÷ [利水容量] ÷ [100年間] である。
- ・ 上記より、1年間ダムを休止する場合の損害費用が算出可能となる。

なお、水位低下実施のサイクルは、長周期とすると、突発的に発生する堆砂を複数回経験する確率が高くなることから、前述の木津川ダム群における実績最大の年堆砂量が生起確率1/10年～1/50年程度であることを勘案し、本検討では10年周期の水位低下実施サイクルを想定した。比奈知ダムの条件より算出した水位低下掘削の際の損害費用を表-5に示す。以上を踏まえた高山ダムにおける水位低下掘削実施に必要な費用を表-6に整理する。

表-5 水位低下による損失容量（比奈知ダムより算出）

利水容量	水道用水費用配分	利水サービス100年間とした場合の年間必要費用（損害）	容量単価
15,300千m³	34,843,490千円	348,435千円	23円/m³/年

表-6 高山ダム水位低下実施の必要費用（10年間に1度実施）

減電補償	容量損失の損害費用
43,700千円/年 (単価：8,760千円/hr)	31,740千円/年 (実施の損失317,400千円/回)

b) 堆砂対策メニューの効果および費用

本研究で想定した各堆砂対策メニューの実施効果については、超長期に渡る維持管理計画の検討への適用を考慮し、“年間排砂率（流入土砂量に対して、対策実施により排出が可能となる土砂量の割合）”を仮定して整理を行うものとする。各堆砂対策の効果および費用について表-7に整理する。

(2) 対策メニューの組合せ案検討

前項では、各対策メニューの排砂率を整理した。ここで、“浚渫”および“水位低下掘削”以外の対策については排砂率が100%に満たないため、対策を実施したとしても排砂しきれなかった土砂により堆砂が進行し、いずれは堆砂容量を使いきることになる。ここでは、継続的に貯水池機能を確保することを勘案し、これらの対策実施後においても、目標堆砂率に到達した時点で、“浚渫”または“水位低下掘削”と組合せることを想定した。組合せ案による実施効果および必要費用を表-8に示す。

表-7 堆砂対策メニューの実施効果と必要費用

	発生費用		流入土砂に対する排砂率(%)			年間排砂量		
	施設の初期投資 (インシャルコスト)	継続的費用 (ランニングコスト)	ウォッシュロード	砂	砂礫	ウォッシュロード (※自然排出分含む)	砂	砂礫
						流入土砂 46,770 m³/年	流入土砂 53,380 m³/年	流入土砂 4,400 m³/年
掘削	—	2,500 円/m³	10%	50%	100%	28,123 m³/年	26,690 m³/年	4,400 m³/年
浚渫	—	20,000 円/m³	100%	100%	100%	46,770 m³/年	53,380 m³/年	4,400 m³/年
貯砂ダム (+掘削)	5,400 百万円/基 (貯砂ダム)	2,500 円/m³	10%	70%	100%	28,123 m³/年	37,366 m³/年	4,400 m³/年
フラッシング	10,100 百万円/条 (排砂ゲート設置)	22 百万円/年	100%	100%	50%	46,770 m³/年	53,380 m³/年	2,200 m³/年
排砂 バイパス	13,163 百万円/条 (排砂バイパス設置)	121 百万円/年	50%	60%	100%	36,410 m³/年	32,028 m³/年	4,400 m³/年
水位低下 掘削	—	2,500 円/m³ (掘削費) 75 百万円/年 (減電補償、利水損失)	100%	100%	100%	46,770 m³/年	53,380 m³/年	4,400 m³/年

これによると、フラッシングを除く対策については、水位低下掘削と組合せることが有利であることがわかった。一方、フラッシング排砂の組合せは、浚渫の方が有利な結果となった。これは、フラッシング実施後は残留土砂が少なく、水位低下掘削が割高になることを示す（処理量が少ないため）。

表-8 組合せの検討結果

	排砂量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	排砂しきれ なかった 土砂量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	[組合せ案] 年間発生費用(千円)	
			浚渫	水位低下 掘削
貯砂ダム (+掘削)	69,889	34,661	693,220	162,093
掘削	59,213	45,337	906,740	188,783
排砂 パイパス	72,838	31,712	634,240	154,720
フラッシング	102,350	2,200	44,000	80,940

(3) 高山ダムにおける堆砂対策案の評価

前項にて設定した組合せ案を対象に、高山ダムにおける超長期に渡る土砂管理計画の検討を行った。結果を図-5、図-6、表-9に示す。なお、200年を超えるような将来の投資は、現在価値がほぼゼロとなり評価が困難となるため、ここでの費用評価は、300年時点の現在価値化した総費用とする。これによると、「掘削+水位低下掘削」による対策案が最も経済的な結果となった。一方、排砂パイパスやフラッシングは、排砂率は高いものの、初期投資を伴うため、総費用の面では経済的に不利となる。

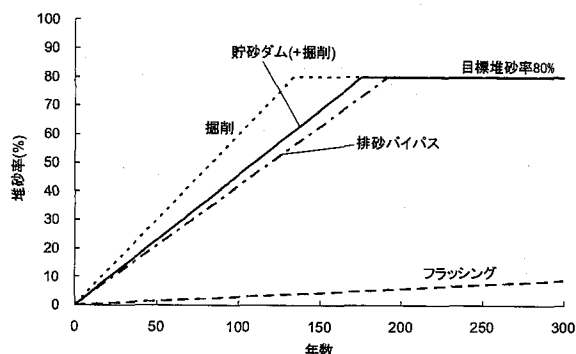


図-5 高山ダム 各堆砂対策の堆砂率経年変化

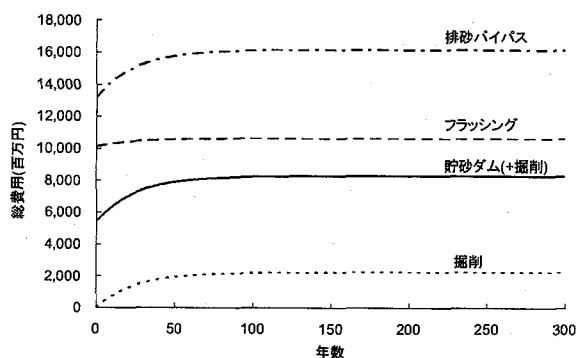


図-6 高山ダム 各堆砂対策の総費用

表-9 各対策案の300年後の総費用

対策メニュー	組合せ	300年後 総費用
貯砂ダム(+掘削)	+水位低下掘削	8,307 百万円
掘削	+水位低下掘削	2,259 百万円
排砂パイパス	+水位低下掘削	16,190 百万円
フラッシング	+浚渫	10,625 百万円

4. 木津川ダム群における堆砂対策の適用性

(1) 検討方針

ここでは、前節までの高山ダムにおける検討結果を用いて、他の4ダム（比奈知ダム、青蓮寺ダム、室生ダム、布目ダム）を対象に、同様の各堆砂対策案の適用性の検討を行った。以下に高山ダムを基本とした、各ダムの堆砂対策費用算出の基本方針を整理する。

表-10 各ダムの堆砂対策費用算出の基本方針

貯砂ダム (+掘削)	・用地買収費（貯砂ダムによる背水の影響）は、高山ダムの諸元を基に、貯砂ダムの堤体積比で算出
排砂 パイパス	・トンネルの費用は、高山ダムと同じ単価で算出 ・分派堰の堤体積は、高山ダムの諸元を基に、各ダムの堆砂容量比で算出 ・取水ゲートの費用は高山ダムと同じ費用 ・用地買収費は高山ダムと同じ費用 ・トンネル径は高山ダムと同じ諸元
フラッシング	・フラッシングの土砂吐きは、各ダムとも地山に設置するものとし、1,000mのトンネルを想定 ・導流堰、取水ゲート、その他についても、高山ダムと同じ費用 ・トンネル径、減電補償費ともに高山ダムと同じ費用（布目ダム、室生ダムについては、発電目的がないため、減電補償を計上しない）

(2) 各ダムにおける堆砂対策案の評価

高山ダム以外の4ダム（比奈知ダム、青蓮寺ダム、室生ダム、布目ダム）についても、超長期に渡る土砂管理計画の検討を行った。検討結果を表-11に示す。これらによると、いずれのダムにおいても、高山ダムと同様に、「掘削+水位低下掘削」の対策が経済的に有利な結果となっている。これらより、木津川ダム群は、全体的に流入土砂量が小さいため、初期に施設投資を実施し流入土砂を軽減させるような対策案（例えば、排砂パイパスやフラッシング）の適用性が低いことが明らかとなった。

次に、各ダムの流入土砂量が現状（表-2参照）の4倍と仮定した場合の検討結果を表-12に示す（例えば、高山ダムでは比堆砂量 $1,056\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ （ $264\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年} \times 4$ 倍）の場合を試算）。これによると、高山ダムを始め、全体的にフラッシングおよび排砂パイパスの適用性が向上していることがわかる。この結果は、我が国では、天竜川水系において、フラッシングや排砂パイパスの事例が多いこと^{6),7)}と合致し、これら恒久的な堆砂対策施設は超長期的な視点からも有利な対策であると考えられる。

表-11 木津川ダム群 各対策案の300年後の総費用

対策メニュー	組合せ	高山ダム	青蓮寺ダム	室生ダム	布目ダム	比奈知ダム
貯砂ダム(+掘削)	水位低下掘削	8,307 百万円	4,070 百万円	3,232 百万円	2,179 百万円	2,840 百万円
掘削	水位低下掘削	2,259 百万円	617 百万円	652 百万円	356 百万円	865 百万円
排砂バイパス	水位低下掘削	16,190 百万円	24,111 百万円	29,769 百万円	20,226 百万円	18,765 百万円
フラッシング	浚渫	10,625 百万円	10,625 百万円	10,575 百万円	10,575 百万円	10,625 百万円

表-12 [流入土砂量を現状の4倍と仮定] 木津川ダム群 各対策案の300年後の総費用

対策メニュー	組合せ	高山ダム	青蓮寺ダム	室生ダム	布目ダム	比奈知ダム
貯砂ダム(+掘削)	水位低下掘削	18,889 百万円	6,611 百万円	6,462 百万円	3,619 百万円	7,377 百万円
掘削	水位低下掘削	12,426 百万円	2,873 百万円	3,627 百万円	1,543 百万円	5,140 百万円
排砂バイパス	水位低下掘削	17,682 百万円	24,161 百万円	29,957 百万円	20,234 百万円	19,173 百万円
フラッシング	浚渫	10,625 百万円	10,625 百万円	10,575 百万円	10,575 百万円	10,625 百万円

5. 木津川ダム群のアセットマネジメントを進める際の留意点

以上の検討結果を踏まえ、今後、木津川ダム群を対象に、アセットマネジメントを進める際の留意点を整理する。

- 高山ダムでは上流3ダムの土砂捕捉効果もあり、現時点では流入土砂量が小さく、高山ダム単独で実施する堆砂対策の範囲では、初期に施設投資を実施し、流入土砂を軽減させるような恒久的な対策案（例えば、排砂バイパス）の適用性は必ずしも高くないことが分かった。
- 上記の結果は、「上流3ダムの土砂管理（掘削＋河川還元など）による高山ダムへの流入土砂量の増加を受けた高山ダムの恒久的堆砂対策実施」の可能性や「ダム群としての土砂排出方法の最適化（5ダム連携による安価な土砂排出）」の可能性を示唆している。

- 以上の結果、ならびに利水損失を補償として支払うことは通常困難であることを踏まえ、今後木津川上流ダム群においては、ダム群としての連携運用（利水容量のバックアップや代替水源池の確保）、および高山ダムの恒久的堆砂対策適用等、“ダム群としての堆砂対策の最適化”の観点より、超長期に渡る維持管理の検討を行う必要がある。ダム群連携運用のイメージを図-7に示す。

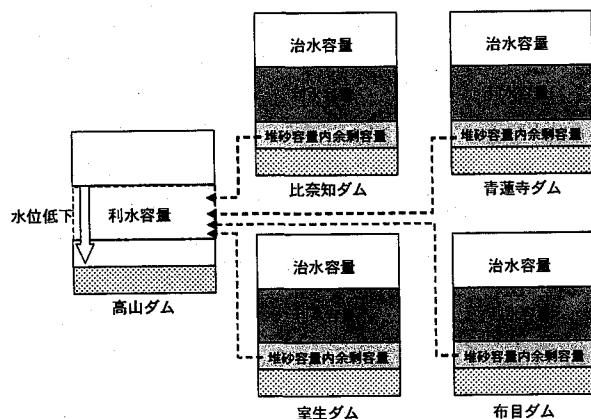
6. まとめ

本研究では、「超長期に渡る貯水池維持管理」をキーワードとし、木津川上流ダム群を対象に、流入土砂特性および種々の堆砂対策手法の適用性について具体的に検討を行った。また、それらの結果を踏まえ、堆砂対策によるダム貯水池のアセットマネジメントを進める際の留意点についても整理した。

本研究の成果を踏まえ、今後、木津川上流ダム群においては、ダム群の連携運用による堆砂対策、ならびに高山ダムの恒久的堆砂対策適用等、“ダム群としての堆砂対策の最適化”の観点より、超長期にわたる維持管理の検討を行う必要がある。

参考文献

- 角 哲也：日本における貯水池土砂管理，第3回世界水フォーラム，流域一貫の土砂管理（貯水池土砂管理に向けた挑戦）論文集，pp. 27-40，2003.
- 「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一運用指針」（国土交通省，平成16年2月）
- 「淀川水系ダム等における土砂移動の連続性に関する検討会」資料（淀川ダム統合管理事務所）
- 水文統計ユーティリティver1.5
- 柏井条介：水文統計ユーティリティを用いた年堆砂量変動の確率評価，ダム技術，pp. 32-42，No. 206，2003.
- 角 哲也：ダム貯水池のフラッシング排砂における排砂効率，ダム工学Vol. 10，No. 3，pp211-221，2000
- SUMI, T., OKANO, M. and TAKATA, Y : RESERVOIR SEDIMENTATION MANAGEMENT WITH BYPASS TUNNELS IN JAPAN, Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation, Vol. 2, pp. 1036-1043, 2004.



高山ダムの水位低下により、高山ダムの利水容量分の不足が生じるが、他の4ダムの堆砂容量内の余剰容量（余っている容量）を用いて不足容量をバックアップすることで、利水容量の損失をカバーする

図-7 5ダム連携運用のイメージ (高山ダム水位低下の例)

(2007.4.5受付)