

Q.89-R.4 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

角 哲 也\*<sup>1</sup>  
小 林 潔 司\*<sup>2</sup>  
山 口 健 一 郎\*<sup>3</sup>  
高 田 康 史\*<sup>4</sup>

1. 本研究の目的

近年、中部地方をはじめとするダム貯水池への土砂流入量が多い水系を中心に、貯水池内の堆砂問題が顕在化してきており、様々な堆砂対策が実施されている。一方では、土砂生産量が突出していない水系のダムにおいても堆砂は着実に進行し、戦後の高度成長期に建設された多くのダムにおいて、今後40～50年の間には堆砂量が計画値に達するものと推定されており、今後は予防保全的な堆砂対策を含めた戦略的なダムのアセットマネジメントが重要となる。

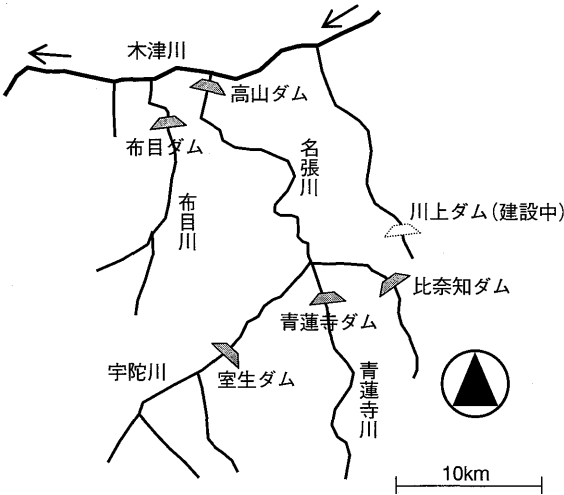
木津川上流に位置する水資源開発ダム群においては、昭和44年に完成した高山ダムをはじめ、現在5ダムの維持管理が行われている。本研究では、これら木津川上流

ダム群を対象に、堆砂対策に着目したダムの長寿命化の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。

2. 木津川上流ダム群の堆砂状況

（独）水資源機構は、現在、木津川上流域において、昭和44年に完成した高山ダムをはじめ、5ダムからなる水資源開発ダム群の維持管理を行っている（図－1）。

木津川上流ダム群の堆砂状況を表－1に示す（平成18年度時点）。これによると、5ダム全てにおいて、計画以上の速度で堆砂が進行していることがわかる（日本では、通常100年間分の堆砂量を計画堆砂容量として見込む）。また、建設からの経過年が30年以上となる高山ダム、青蓮寺ダム、室生ダムでは、計画堆砂容量の40～50％程度まで堆砂が進行している。



図－1 淀川水系木津川上流ダム群

表－1 木津川上流ダム群の堆砂進行速度（H18年時点）

|       | 経過年数 | 計画堆砂容量<br>(千m <sup>3</sup> ) | 平成18年度<br>実績堆砂量<br>(千m <sup>3</sup> ) | 堆砂率              |
|-------|------|------------------------------|---------------------------------------|------------------|
| 高山ダム  | 37   | 7,600                        | 3,648                                 | 48.1%            |
| 青蓮寺ダム | 36   | 3,400                        | 1,484                                 | 43.6%            |
| 室生ダム  | 32   | 2,600                        | 1,120                                 | 43.1%            |
| 布目ダム  | 16   | 1,900                        | 243<br>(344)                          | 12.8%<br>(18.1%) |
| 比奈知ダム | 9    | 2,400                        | 410                                   | 17.1%            |

※上表の堆砂率は計画堆砂容量ベースの値  
※布目ダムの括弧書きは既に副ダムから浚渫された土砂量も含めた値

\*<sup>1</sup> 博士（工学），京都大学防災研究所水資源環境研究センター 教授  
\*<sup>2</sup> 工学博士，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 教授  
\*<sup>3</sup> 工学修士，（独）水資源機構関西支社 設計課長  
\*<sup>4</sup> 博士（工学），（株）建設技術研究所大阪本社

表—2 更新期間による施設の区分とマネジメントの重点

| 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）  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・機械設備</li> <li>・電気設備</li> <li>・建築物</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・点検，整備，補修，更新のトータル費用の低減</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービス水準向上</li> <li>・技術革新対応</li> </ul>            |
| 長期（数十年～数百年） | <ul style="list-style-type: none"> <li>・貯水池（堆砂）</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・長寿命化</li> <li>・ライフサイクルコストの低減</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・適切な対策をすれば更新時期は延びる</li> </ul>                    |
| 超長期（不明）     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ダム堤体</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・点検</li> <li>・維持管理費用の低減</li> <li>・リスクアセスメント</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> </ul> |
| 偶発的         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・貯水池法面</li> <li>・地すべり</li> <li>・地震対応等</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・点検</li> <li>・緊急時対応</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一定レベルまでは建設時に対応</li> </ul>                       |

表—3 意志決定レベルによる区分

|           | 政策決定レベル                                                                                   | 実施主体レベル                                                                                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 体       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・政府・公共団体等の政策決定部門</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・政府・公共団体等の実施部門（治水資源機構）</li> </ul>                         |
| サービス水準    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービス水準の変更を伴う判断</li> <li>・新設，機能向上，廃棄の判断</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・政策に定められたサービス水準を確保</li> <li>・計画に定められた物の建設，維持管理</li> </ul> |
| 説明責任を果たす場 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・河川整備計画，水資源開発基本計画，政策評価</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・年次報告，評価委員会，事業評価，実施計画，維持管理計画，ユーザー説明等</li> </ul>           |
| 主な評価尺度    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・政策の有効性</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービス水準確保の効率性</li> </ul>                                  |

### 3. 堆砂対策に着目したダムのアセットマネジメント

#### 3.1. ダムへのアセットマネジメントの適用

インフラ資産（生活基盤資産）は、一般に、半永久的な使用を予定しており耐用年数が長いという特性を有している。ダムについても、最大の資産であるダム堤体は超長期の寿命を有すると考えられるが、堤体の劣化は重大な結果を招くことから、信頼性の評価が重要となる。

ダムは複数の施設より成り立っており、それぞれの施設の耐用年数の期間の長短とともに、マネジメントの重点が異なるため、それらに応じて、アセットマネジメントを適用していく必要がある（表—2）。

また、通常、資産を維持管理するサービス水準はニーズに応じて変更される。特に、超長期を対象とする場合には、ニーズの設定が課題となるが、意志決定レベルは表—3のように分けられると考える。従って、本検討において、実施部門である治水資源機構が対象とするアセットマネジメントのサービス水準としては、計画等に定められたサービス水準を確保することとする。

#### 3.2. 堆砂対策実施のシナリオ

100年を超える超長期に渡りダムを機能させることを前提に、その方策を単純化させると、無対策でサービス

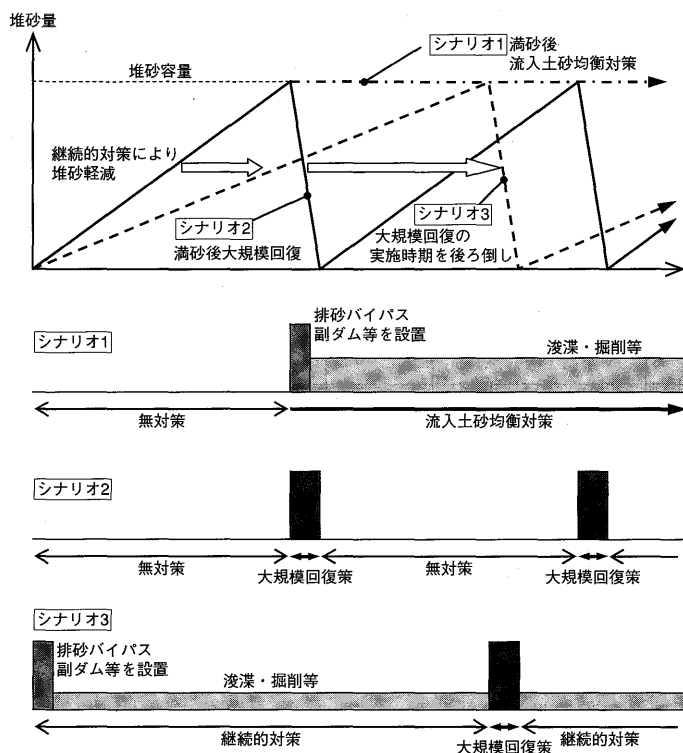
表—4 継続的対策と大規模回復策の比較

|       | 継続的対策             | 大規模回復策         |
|-------|-------------------|----------------|
| 運搬・土捨 | 河川の掃流力の利用が可能      | 大規模土捨場・運搬手段が必要 |
| 環境影響  | 土砂還元により土砂遮断の軽減が可能 | 土捨場・運搬路で環境影響   |
| 有効活用  | 資源としての有効活用が容易     | 資源としての有効活用が困難  |

水準に支障が生じるようになってから、流入土砂均衡対策を実施する（シナリオ1），無対策でサービス水準に支障が生じるようになってから大規模回復策により当初計画の100年堆砂容量を確保する（シナリオ2），そして、土砂堆積抑制策を行うことにより、大規模な回復策の回数を減らす（シナリオ3）が考えられる（図—2）。

継続的対策では、河川の掃流力を利用し土砂還元することにより、ダムによる土砂遮断の軽減を図ることが可能であり、土砂を資源として有効活用することが容易となる。一方、大規模回復策を実施するためには、大規模土捨場や運搬手段が必要となり、コストで評価できない環境への影響が課題となる（表—4）。

流入土砂量が少ないダムや、河川水量が多く水理的排砂により排出土砂量が大きく確保可能なダム等、流入土



図一 2 堆砂対策のシナリオと費用のイメージ

砂と排出土砂を均衡させる対策が容易なダムではシナリオ1が、土砂処分場の確保や運搬が容易なダムではシナリオ2が有力となる。しかし、淀川水系のようにダム周辺地域も市街化し、土砂処分や運搬が困難な地域のダムでは、堆砂抑制策により、大規模回復対策を出来るだけ後ろ倒しして、その回数を減らすシナリオ3を基に、対策の組合せと実施時期を検討することが必要となる。

通常、ライフサイクルコストを考える場合は廃棄費用までを考慮する。しかしながら、200年を超えるような将来の投資は、通常の割引率4%を基にした現在価値は、ほぼゼロとなり評価することができない。従って、ライフサイクルコストは下式で表すことができる。

$$LCC = \sum C_i + \sum C_m + \sum C_r \quad (1)$$

ここに、 $LCC$ ：堆砂対策のライフサイクルコスト、 $C_i$ ：初期投資、 $C_m$ ：継続的対策費用（現在価値化）、 $C_r$ ：大規模回復策費用（現在価値化）である。これにより、堆砂対策は道路や橋梁等にみられる施設の更新（旧施設の廃棄と新設）とは異なるものの、大規模回復策を他の施設の更新と類似する形で表すことができる。

#### 4. 木津川上流ダム群における堆砂対策の適用性

##### 4.1. 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一5に示す。

##### 4.2. 各ダムにおける堆砂対策案の評価

超長期に渡る土砂管理計画の検討を行った。検討結果を表一6に示す。なお、“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、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ている。

これらによると、いずれのダムにおいても、「掘削＋水位低下掘削」の対策が経済的に有利である。木津川ダム群は、全体的に流入土砂量が大きくないため、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、排砂バイパスやフラッシング）よりも、継続的に堆砂を除去する対策の方が適用性が高いことが明らかとなった。

次に、流入土砂量の変化に関する感度分析として、各ダムの流入土砂量が現状の4倍と仮定した場合の検討（例えば、高山ダムでは平均年堆砂量314,000m<sup>3</sup>（78,500m<sup>3</sup>×4倍）の場合を試算）を行った。結果を表一7に示す。これによれば、高山ダムを始め、全体的にフラッシングおよび排砂バイパスの適用性が向上している。この結果は、日本の天竜川水系において、フラッシングや排砂バ

表ー5 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 (m³/年)          |                |               |
|---------------|---------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|------|------|-----------------------|----------------|---------------|
|               | 施設の初期投資<br>(イニシャルコスト)     | 継続的費用<br>(ランニングコスト)                           | ウォッシュ<br>ロード    | 砂    | 砂礫   | ウォッシュロード<br>(※自然排出含む) | 砂              | 砂礫            |
|               |                           |                                               |                 |      |      | 流入土砂<br>46,770        | 流入土砂<br>53,380 | 流入土砂<br>4,400 |
| 掘 削           | —                         | 4,000円/m³                                     | 10%             | 50%  | 100% | 28,123                | 26,690         | 4,400         |
| 浚 渫           | —                         | 35,000円/m³                                    | 100%            | 100% | 100% | 46,770                | 53,380         | 4,400         |
| 貯砂ダム<br>(+掘削) | 5,400百万円/基<br>(貯砂ダム)      | 4,000円/m³                                     | 10%             | 70%  | 100% | 28,123                | 37,366         | 4,400         |
| フラッシ<br>ング    | 10,100百万円/条<br>(排砂ゲート設置)  | 22百万円/年                                       | 100%            | 100% | 50%  | 46,770                | 53,380         | 2,200         |
| 排砂バイ<br>パス    | 13,163百万円/条<br>(排砂バイパス設置) | 121百万円/年                                      | 50%             | 60%  | 100% | 36,410                | 32,028         | 4,400         |
| 水位低下<br>掘削    | —                         | 2,500円/m³<br>(掘削費)<br>75百万円/年<br>(減電補償, 利水損失) | 100%            | 100% | 100% | 46,770                | 53,380         | 4,400         |

\* 流入土砂に対する排砂率(%): 日本の堆砂対策事例を参考に仮定

表ー6 木津川ダム群 各対策案の300年後の総費用 (単位: 百万円)

| 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 | 10,050 | 4,526  | 3,729  | 2,453  | 3,506  |
| 掘 削        | 水位低下掘削 | 3,609  | 987    | 1,043  | 570    | 1,384  |
| 排砂バイパス     | 水位低下掘削 | 16,191 | 24,111 | 29,769 | 20,226 | 18,765 |
| フラッシング     | 浚 渫    | 10,625 | 10,625 | 10,575 | 10,575 | 10,625 |

表ー7 木津川ダム群 各対策案の300年後の総費用 [流入土砂量を現状の 4 倍と仮定] (単位: 百万円)

| 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 | 26,781 | 8,545  | 8,795  | 4,741  | 10,620 |
| 掘 削        | 水位低下掘削 | 19,583 | 4,533  | 5,672  | 2,446  | 8,038  |
| 排砂バイパス     | 水位低下掘削 | 18,405 | 24,180 | 30,036 | 20,237 | 19,354 |
| フラッシング     | 浚 渫    | 10,625 | 10,625 | 10,575 | 10,575 | 10,625 |

イパスの事例が多いことと合致し、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。

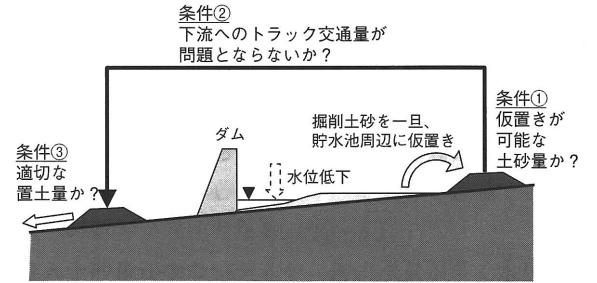
4.3. 木津川上流ダム群におけるアセットマネジメント  
検討の際の留意点

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

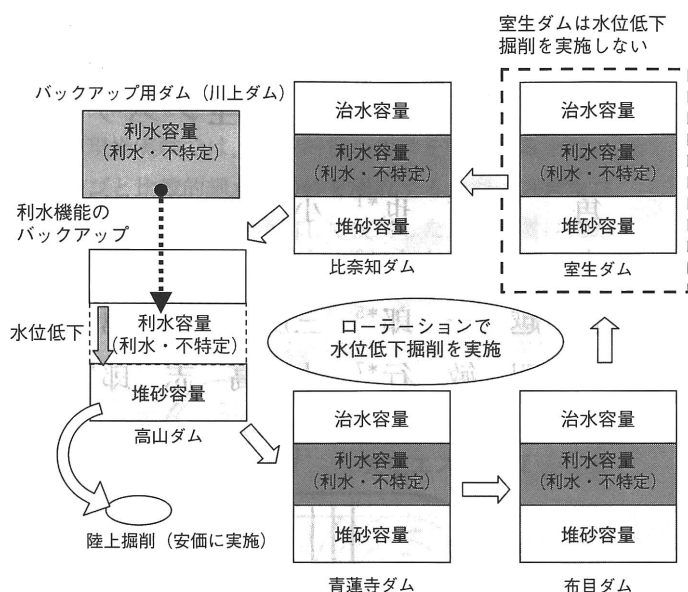
(1) 下流河川への土砂還元の実施

ダム貯水池内で掘削除去した土砂は、対策の持続性および河川における土砂の連続性の確保の観点より、各ダ

ムの下流に置土をし、下流河川に土砂還元を実施することが望ましい。この際、土砂処理量については、図ー3



図ー3 下流河川への土砂還元による土砂処理方針



※ 例えば、高山ダムを水位低下掘削する場合

図一4 「N+1」ダムによるダム群連携運用模式図

に示す条件①～③により制約される。

## (2) 土砂排出方法の最適化の検討

木津川上流ダム群を対象に、超長期にわたる維持管理のケーススタディを実施した結果、全てのダムにおいて、水位低下掘削（減電補償や利水損失分補償を見込んだ形）を実施した方が、初期に施設投資が必要となる対策手法（例えば、排砂バイパスやフラッシング排砂等）よりも経済的であることが明らかとなった。しかしながら、水位低下掘削の際の損失補償を恒久的に行うことは一般には困難であることから、木津川上流のように流域内に複数ダムが存在する場合には、“ダム群としての堆砂対策の最適化（ダム群連携による安価な土砂排出の実施）”を目指す必要がある。その具体的な方策として、図一4に示す「N+1」ダムによるダム群連携運用（利水容量

のバックアップ）による水位低下掘削の実現について検討を行う必要がある。

【「N+1」ダムの考え方】（※必要最低限のダム数「N」基に対して、維持管理用のダムを加えた「N+1」基のダム数での維持管理実施の意味）

- 各ダムでローテーションにより水位低下掘削（陸上掘削のため安価）を実施し、水位低下中のダムは「リフレッシュダム」として位置付ける。
- 水位低下中の貯水池機能低下に対しては、貯水池機能のバックアップ目的で設置する「N+1」番目のダムによりバックアップ補給を行う。

## 5. おわりに

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，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，第13巻，59-64，2007。
- 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，第14巻，247-252，2008。