

2017 年度（第 53 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-8

# ダムおよび河川のニーズに立脚した 流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理

京都大学 教授

角 哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017 年 8 月

# ダムおよび河川のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理

## Sediment Management in a Sediment Routing System and Reservoir Sedimentation Management Based on Dam and River Basin Needs

角 哲 也  
Tetsuya SUMI

### 1. はじめに

流砂系の総合土砂管理において、ダムの堆砂対策の推進は大きな鍵を握っている。ダムは貴重な社会の財産であり、使い捨てにせず適切な貯水池土砂管理により持続可能な利用を目指す必要がある。ダムの堆砂対策の推進は、後世に負担を回さない「世代間の衡平（こうへい）」の考え方にとって極めて重要なポイントである。

神戸市水道局の布引五本松ダムは、日本最古の重力式ダムとして有名であるが、1900年のダム完成8年後にバイパストンネルが造られ、その後、堆砂対策としてのバイパス機能が長年にわたって有効に活用されてきた。これにより、約25年で貯水池が満砂していたところを、容量的には千年以上の長寿命化が実現したと推定されている。本年5月にこの排砂バイパストンネルをテーマにした国際会議を京都大学で開催し、この技術を世界的にリードするスイス、日本、台湾の3ヶ国を中心に議論を深めた<sup>1)</sup>。

(<http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/index/2nd+Bypass+Tunnel+Wokshop.html>)

これらの他にも、安定的なダム排砂が実現されている黒部川連携排砂<sup>2)</sup>や、電力ダムの土砂管理の好事例と考えられる宮崎の耳川水系ダム群の再開発によるダム通砂（洪水吐きを改造して、洪水時に土砂を通過させるように貯水位を一時的に低下）<sup>3)</sup>や、四国的那賀川の長安口ダム下流における大規模な土砂還元（ダム上流で掘削した土砂を下流河道に投入）<sup>4)</sup>など、ダムの堆砂対策を基軸とする総合土砂管理が着実に進められている。

一方で、これらの事業の主たるプレーヤーはまだまだダム管理者にとどまっている。カリフォルニア大学バークレー校のKondolf教授は、「Hungry Water (1997)」として、砂利採取やダム建設によって土砂が不足した河川の課題と土砂投入による再生の重要性を指摘した<sup>5)</sup>。カリフォルニアでは、サケの産卵床再生を主目的に多くのダムで土砂還元が実施されている。欧州では、近年、「Bed Load Budget（掃流砂の土砂収支）」の変化を評価し、この回復を目指す方針が打ち出された<sup>6)</sup>。

日本の総合土砂管理の推進には、ダム管理者と下流管理者の連携、特に、漁業関係者の理解と支持を得ることが鍵となる。そのためには、河川にとっての土砂、特に河道内の地形を形成する掃流砂の役割を、特に河川環境面から改めて定義し、彼らにも理解できる形で提供する必要がある。

天竜川の佐久間ダムは昨年完成60年を迎えたが、侵食海岸の保全等、流域一貫とした土砂移動の連続性の確保が急務であり、現在、佐久間ダムに治水機能を新たに確保し、恒久的な堆砂対策を本格的に進めるダム再編事業が進められている<sup>7)</sup>。

一般に、土砂供給は増水時の河床礫表面の平滑化（クレンジング）に貢献するとともに、粗粒化の緩和などに寄与することが期待されている<sup>8)</sup>。さらに一歩進んで、天竜川における我々の調査では、アユ産卵環境の再生には、小砂利（30-50mm程度）と酸素を十分含んだ清澄な水の供給が重要であることを示した<sup>9)</sup>。そのためには、砂州が年数回の洪水で常にリフレッシュし、砂州内間隙を流れる伏流水（Hyporheic flow）が健全に維持されることが重要である<sup>10)</sup>。これが汚濁物質（濁水や粒状有機物）のフィルタリングと浄化に働くとともに、砂州下流部の湧水に伴う上昇水が、産卵床に好適な軟らかい河

床を形成・維持することになる。

熊本県の球磨川荒瀬ダムでは、一昨年春にダム撤去工事によりコンクリート堰堤の一部が河床まで切り下げられた結果、ダム上流から粗粒土砂の流出によってダム直下に新たな砂州が形成され、新たな湧水環境が創出されるとともに、下流の砂州では近年にないアユの産卵数が確認された<sup>11)</sup>。

このようにダムを巡る総合土砂管理の事例は積みあがってきているが、ここでは、アセットマネジメントとしてのダムの堆砂対策の基本的な考え方、さらに一歩進んで、ダムおよび河川の両方のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理を進めるための課題と今後の方向性について改めて考えてみたい。

## 2. ダムを巡る最近の話題

### 2.1 ダム再生ビジョン

平成 29 年 6 月 27 日に国土交通省水管理・国土保全局治水課および河川環境課より、「ダム再生ビジョン（～頻発する洪水・渇水の被害軽減や再生可能エネルギー導入に向けた既設ダムの有効活用～）」が発表された<sup>12)</sup>。（[http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo05\\_hh\\_000029.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo05_hh_000029.html)）

これは、近年における厳しい財政状況等の社会情勢、洪水・渇水被害の頻発や気候変動の影響の顕在化、既設ダムの有効活用の様々な特長（※1）や、これまでの事例の積み重ねによる知見の蓄積、これを支える各種技術の進展（※2）を踏まえて、ソフト・ハード対策の両面から既設ダムを有効活用することの重要性はますます高まっていることを背景とし、また、国土交通省では社会全体の生産性向上につながるストック効果の高い社会資本の整備・活用等を加速することとして、「生産性革命本部」を設置しており、「生産性革命プロジェクト」の一つとして、既設ダムを有効活用する「ダム再生」を一層加速させるための方策としてとりまとめられたものである。

#### ※1 既設ダムを有効活用する「ダム再生」の特長

- ・利水容量を洪水調節に活用するなど運用改善だけで新たな効果を発揮
- ・ダム堤体のわずかな「かさ上げ」で貯水容量を大きく増加 など

#### ※2 「ダム再生」を支える各種技術の進展

- ・レーダ雨量計の高性能化によるダムの運用改善
- ・ダム貯水池における高い水圧がかかる大水深での大口径の堤体削孔 など

この審議過程においては、一般社団法人ダム工学会によってとりまとめられた、「これからの成熟社会を支えるダム貯水池の課題検討委員会 報告書 ―これからの百年を支えるダムの課題―（計画・運用・管理面）2016 年 11 月」における、「永く使う」、「賢く使う」、「増やして使う」、「ネットワークで使う」とともに、河川環境の改善や水源地域の活性化等もあわせて推進する、方向性が参考とされた。なお、ダム貯水池の土砂管理に関連する部分を再掲すると以下のとおりであり、今後のダムの有効活用を目指したダム再生事業の加速を期待したい。

#### ・ダムの長寿命化

これまで堆砂が著しいダムで堆砂対策を実施してきたが、ダムを半永久的に活用できる施設としていくため、より効果的・効率的な堆砂対策として、土砂バイパス施設の設置による堆砂の抑制や貯砂ダム、貯水池内への進入路の設置や土砂仮置場の確保等による堆砂排除等、堆砂状況や地形・地質等に応じた対策を一層推進するとともに、知見を蓄積し、新たな工法の積極的な導入を検討する。また、複数ダムが設置されている水系においては、各ダムで連携し、堆砂排除による機能回復等を実施しやすくするために、工事中の貯水機能の代替として他ダムを活用することを検討する。長期的視点を踏まえたダムの

維持管理及び設備の更新をより効果的・効率的に行うため、長寿命化計画の策定や見直し、放流設備などの機械設備等の計画的な保全対策を推進する。

## ・河川環境の保全と再生

土砂動態の改善や下流河川の自然環境・物理環境の改善、水生生物等の移動の連続性の確保、貯水池の水環境の改善等をより効果的に行うために、既設ダムで実施してきたフラッシュ放流や小規模洪水を流下させることなどによるダイナミズムの確保、置土による下流への土砂還元などの河川環境改善に関する施策について、効果の検証を行い、河川環境の更なる改善のための手法の調査・研究を推進する。河川環境に関する課題は、ダム毎に施設の特性や地域の環境の特性に応じて、対応する施策も異なるため、ダム建設事業に係る環境影響評価の検討等で培った応用生態工学や保全生態学の知見を活用する。その際には、土砂還元により堆砂量を軽減するなどのダム長寿命化に対する貢献と、河川環境改善に関する効果を一体として考え、土砂の量と質（粒径）の面から総合的に検討する。さらに、環境影響評価やモニタリング調査、ダム等の管理に係るフォローアップ制度に基づく調査、河川水辺の国勢調査等で得られたデータを活用・情報発信するとともに、有識者と統合的な意見交換を推進する体制を確保し、得られた結果の評価、手法の改善を進めていく。さらに、ダムの長寿命化などで堆砂対策を行う際、土砂管理の計画・実施・評価においては、上流の土砂生産域から海岸までの土砂移動の連続性を改善する総合的な土砂管理の観点も含めて、流砂系全体として持続可能な総合的な土砂管理の目標の設定や、流域の関係者の事業連携を促進するなど、総合的な土砂管理を推進する体制の構築を図る。

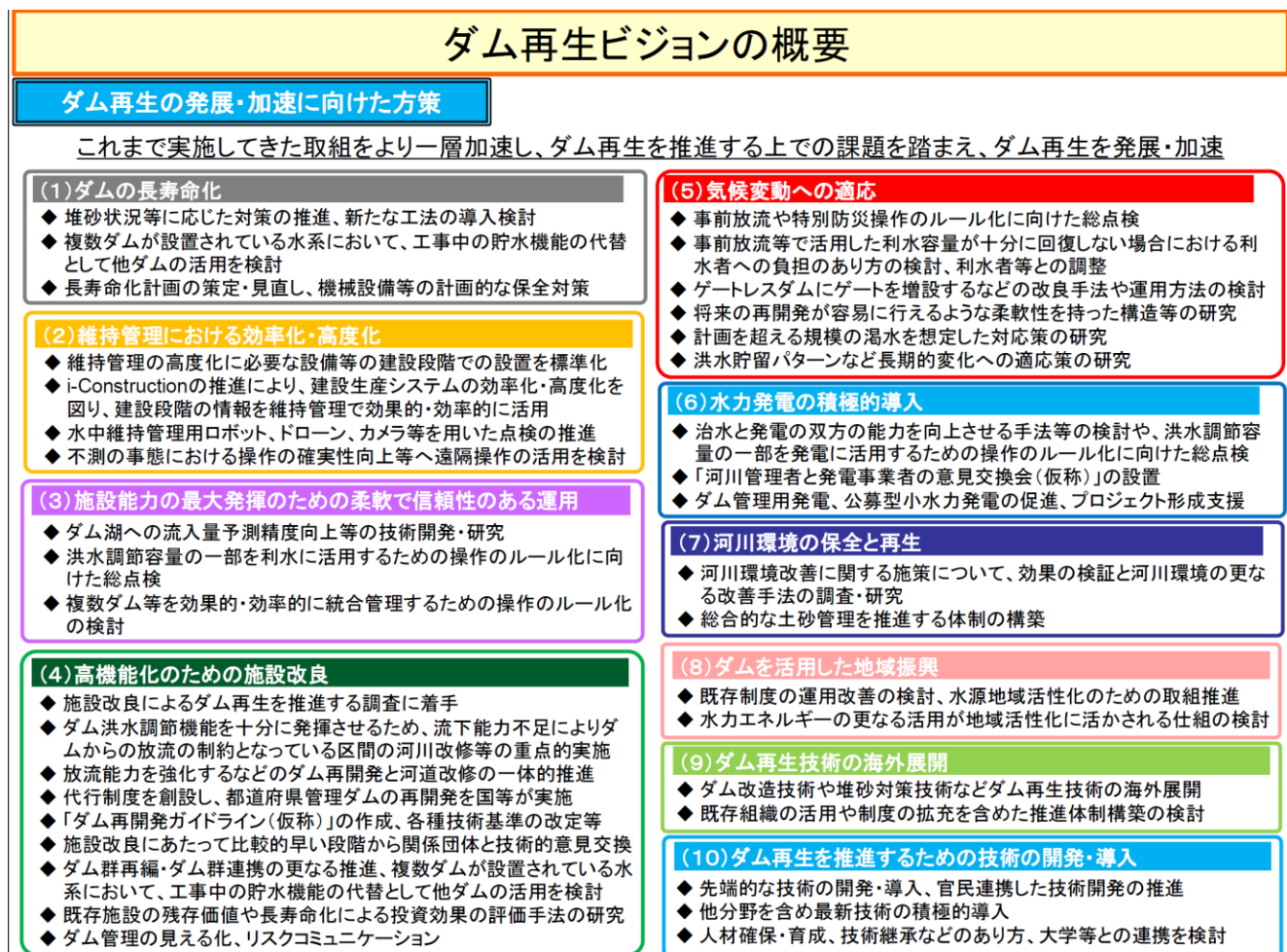


図1 ダム再生ビジョンの概要（国土交通省 2017）<sup>12)</sup>

## 2.2 土木学会「インフラ健康診断」<sup>13)</sup>

土木学会『社会インフラ健康診断』特別委員会は、「社会インフラ健康診断書 道路部門試行版」を2016.5 に公表した。これは、土木学会が、第三者機関として社会インフラの健康診断を行い、その結果を公表し解説することにより、社会インフラの現状を広く国民に理解してもらい、社会インフラの維持管理・更新の重要性や課題を認識してもらうことを目的としている。本年には河川や下水道の健康診断結果の公表や、道路部門のフォローアップ、さらには、来年以降、港湾をはじめとしたさまざまなインフラの健康診断結果が順次公表されるとともに、各社会インフラの健康診断結果は、今後5年ごとをめどに更新されていく予定となっている。

河川部門の評価対象施設は、「堤防」、「河川構造物（水門、樋門・樋管）」、「ダム本体」となっており、その診断結果は図2に示すとおりである。

# 河川部門の健康診断結果

## 総合評価

堤防、河川構造物の健康状態は楽観できる状態ではありません。ダム本体の健康状態は、全体的に良好に保たれていますが、機械設備等の経年劣化が懸念されるため、確実に点検・評価を実施し、状態を把握することが重要です。

国民の安全・安心を確保するため、河川管理施設の維持管理に係る予算、人員の充実が必要です。特に都道府県が管理する施設については、点検・評価、補修を継続的に行える体制を築くことが必要です。

|       | 施設の健康度 | 施設の維持管理体制 |
|-------|--------|-----------|
| 堤防    | C      | ➡         |
| 河川構造物 | C      | ➡         |
| ダム本体  | B      | ➡         |

- 堤防は、洪水などの自然の作用、車両の通行などの人為作用、あるいは植物の根の進入などにより、日常的に沈下や亀裂などの様々な変状が生じています。確実な点検とその結果を踏まえた維持・修繕を行い、洪水時に確実に機能を発揮させる必要があります。
- 河川構造物（水門、樋門・樋管）は、設置から長期間を経ている施設が多く、劣化の顕在化が見られる状態です。劣化箇所の補修を適切に行い、洪水時に確実に機能を発揮させる必要があります。
- ダム本体では、堤体の状態は全体的に良好に保たれていますが、放流設備等の機械設備などについては、経年劣化が懸念されます。
- 平成25年に河川法が改正され、堤防、河川構造物、ダム等は、適切な頻度での点検が義務づけられるなど、確実な維持管理を実施する体制が整えられつつありますが、今後、施設の老朽化がさらに進むことを踏まえると、維持管理に係る予算・人員の充実、点検・評価・補修・更新に関わる知見の共有・蓄積や技術の継承などを含む維持管理体制の充実が望まれます。

## 【健康診断評価指標】

健康診断は、施設の点検結果や維持管理体制の情報を、公表データや調査により収集し、土木学会独自に指標化することで行っています。地域や管理者ごとのデータを評価したうえで、全国平均としての指標で表しています。

| 施設の健康度                          |                                  |                                  |                                    |                                    |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| A<br>健全                         | B<br>良好                          | C<br>要注意                         | D<br>要警戒                           | E<br>危機的                           |
| ほとんどの施設で変状が生じていない状況             | ある程度の施設で、変状が進行している状況             | 少なくない数の施設で変状が進行し、早めの補修が必要な状況     | 多くの施設で変状が顕在化し、補修などの対策が必要な状況        | 全体的に変状が進行し、早急な対策が必要な状況             |
| 施設の維持管理体制                       |                                  |                                  |                                    |                                    |
| ➡                               | ➡                                | ➡                                | ➡                                  | ➡                                  |
| 現状の管理体制が続けば、健康状態が改善に向かうと考えられる状況 | 現状の管理体制が続けば、現状の健康状態が継続すると考えられる状況 | 現状の管理体制が続けば、現状の健康状態が継続すると考えられる状況 | 現状の管理体制が改善されない限り、健康状態が悪くなる可能性がある状況 | 現状の管理体制が改善されない限り、健康状態が悪くなる可能性がある状況 |

図2 「社会インフラ健康診断書 河川部門の健康診断結果」（土木学会 2017）<sup>13)</sup>

ここで重要な点は以下の２点である。

#### 1) 本健康診断書では維持管理について評価

洪水から地域の安全を守るためには河川管理施設の「整備水準の向上」と「適切な維持管理」が必要である」のに対して、この診断書では、道路部門などの他の社会インフラの健康診断とのスタンスを合わせるために、河川の整備水準は直接の評価対象ではなく、これまで長年にわたって進めてられてきた河川整備によって設置された堤防やダムなどの河川管理施設が、設計上の洪水外力を受けた際に、その機能を発揮できるよう良好に維持管理されているかという観点から評価している。

#### 2) 河道の変化や貯水池の堆砂にも注意が必要

河川が期待される機能を発揮するためには、構造物としての堤防やダム本体に加えて、洪水を流す空間である河道や水を貯める空間であるダム貯水池の維持管理も重要である。河道内の土砂の堆積や樹木の繁茂は、洪水の流下を阻害する要因となり、また、ダム貯水池の堆砂が計画以上となるとダムの貯水機能の低下を招くこととなる。その結果、土砂の堆積や河道内の樹木の繁茂が多く、河川で懸念され、また、貯水池の堆砂の進行が課題となるダムも増加してきており、これらの課題に対しても適切な対応が必要であるが、今回は、構造物自体を対象とし、河道やダム貯水池において生じている課題は対象外とされているが、土砂の流入・堆積は今後確実に進行するため、将来にわたる持続的な機能維持の観点からは、これらについても適切な対応が求められる。

なお、ダム本体の健康診断結果の解説は以下のとおりである。

【ダムの特徴】ダムは洪水調節、流水の正常な機能の維持、利水補給及び水力発電等の多様な目的を持つ重要な社会資本です。既設ダムの総数は全国に約 2640 基あります。このうち今回評価の対象とした河川管理施設としてのダムは約 560 基あり、日常管理における巡視・点検や洪水・地震後の点検が行われるとともに、点検結果等を踏まえてダム施設の効果的・効率的な維持管理に努められてきました。ダムはその重要性から高い安全性が要求されると同時に、全面的な更新が困難な施設であることから、ダム堤体のもつ長寿命という特性を生かし、維持管理をより効果的・効率的に行い、ダムの機能と安全性を長期にわたり保持することが重要です。

ダム施設は、ダム堤体、洪水吐き及び基礎地盤等の土木構造物、放流設備等の機械設備、電気・制御設備や通信設備等の電気通信設備等からなるダム本体と、水を貯める空間である貯水池から構成されています。ダム堤体は構造上、極めて長寿命で安定した構造物です。しかし、ひとたび異常が発生した場合にはその影響は広範囲に及ぶことから、ダムの型式・特性に応じた適切な点検・評価が欠かせません。一方、機械設備や電気通信設備等は、それぞれ経年劣化等による設備の維持・修繕・更新等が必要であり、これらの設備の老朽が進むダムが今後増加するものと考えられます。

【現状の健康状態】国管理のダム（（独）水資源機構が管理するダムを含む）、道府県管理のダムともに、健康状態は全体的に良好です。将来にわたりダムの機能と安全性を保持することを目的として、点検・検査などにより継続的に状態を把握し、その結果を分析・評価して必要な対策を行う必要があります。

【維持管理体制】ダムの適切な維持管理による安全確保は極めて重要な課題であり、ダム管理者による日常管理や 3 年ごとに実施される定期検査に加え、より長期間にわたってダムの安全性と機能を保持していく観点から、平成 25 年度より約 30 年ごとのサイクルで実施されるダム総合点検が制度化されました。このようにダムを長く安全に使うための制度面での体制は整備されてきています。

一方、ダムの維持管理では、土木構造物、機械設備、電気通信設備などの多様な設備に加え、貯水池の堆砂や水質、環境なども対象となり、さらには、気象予測情報をもとに流水管理操作を行うなど、幅広い技術の総合化が必要とされます。今後、維持管理すべきダムが増加する一方で、新規建設ダムの減少もあって、ダムに関して豊富な経験を有する技術者が少なくなっているのが現状であり、技術の継承、ダムの特性に応じた予算面、人員面での管理体制の強化が必要です。

## 2.3 水中ロボットの利用

国土交通省が設置した「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会」における水中維持管理部会では、平成26年度および平成27年度の二ヵ年において、ダムや河川の維持管理に役立つロボット技術を公募し、国土交通省が直轄管理するダム（宮ヶ瀬ダム、天瀬ダム、弥栄ダム）や河川（多摩川緊急船着場、信濃川妙見堰上流側）において現場検証を行ってきた。詳細は、「ロボット学会誌 2016 年 11 月号」に記載したので合わせて参照いただきたい<sup>14)</sup>。

この取り組みのユニークな点は、国土交通省と経済産業省（および NEDO）が連携し、また、土木工学と機械工学（ロボティクス）の専門家が融合した形で有望技術の拾い上げを進めていることである。その意味で、著者がロボット学会に報文を寄稿したのも初めての体験であった。

現場検証の対象は、短期（概ね3年以内）の実用化が見込まれる技術とし、ダムや河川の水中部において下記のような観点から人の目視調査を代替できる技術を公募した結果、平成27年度は、11者より13技術13検証項目の応募があり、水中維持管理部会で現場検証及び評価対象とする実用化技術12技術が選定された。

[1] ダムにおいて、ゲート設備の「腐食、損傷、変形」、堤体等のコンクリート構造物の「損傷等」及び洪水吐き水叩き部の「洗掘等」について潜水土による近接目視の代替（精査）または支援（概査）ができる技術・システム

[2] ダムの貯水池において、堆砂等の「堆積物の状況」について全体像が効率的に把握できる技術・システム

[3] 河床の「洗掘等」について、災害査定等に用いることができる程度の精度で、幅・長さ・奥行等といった洗掘の全体像が効率的に把握できる技術・システム。また、河川護岸において、「コンクリート部の損傷、うき・剥離・剥落、豆板や、コールドジョイント部のうき・剥離・剥落、鋼矢板部の劣化・損傷状況等」について、潜水土による近接目視の代替（精査）または支援（概査）ができる技術・システム

ロボット技術は、これまで人がアプローチして調査するには危険な箇所や、人手では時間やコストが膨大となってしまう箇所などの調査・点検を可能な限り人に代わって代替し、ロボットの利用メリットが期待できるかが重要である。このような観点から、水中維持管理分野における検証のポイントは以下のようにまとめられる。

- 1) ダムでは堤体の損傷調査や放流設備の健全性の確認など、河川では河床洗掘や護岸の損傷調査など、これまで必要に応じ潜水土により実施しているものの、高水深、高流速かつ広範囲など安全面及びコスト面の制約から一般的に行われていない箇所が多く存在する。
- 2) 調査時期は必ずしも平常時とは限らず、ダムでは洪水後に貯水池内が高濁度になった状態、河川では洪水後の高流速が残った状態など、災害後の即時的な調査でも使用可能である必要がある。
- 3) ダムや河川内においては、流木や草・ゴミなどの塵芥が浮遊している可能性があり、これら障害物対策が必要である。
- 4) ダムの堤体の損傷調査や放流設備の健全性の確認などでは、構造物表面にシルトやコケなどが付着している可能性があり、検査面をケレンするためのマニピュレーター機能等が求められる場合がある。

5) ダム・河川とも、上記のような制約から、水中心検はこれまで限られた場面ではしか実施されてこなかったために、点検の標準仕様や要求精度などを一から組み立てる必要がある。

このような背景のものと、「ダム用」については、潜水士の作業時間が制限される水深条件下における堤体やゲート設備を対象とした点検作業への適用を想定し、光学カメラや音響センサー等を搭載したROVについて検証を実施した結果、運動性能や姿勢制御性能、濁水環境下での高精細な画像取得性能などについて、優れた特長を有するロボットが複数確認された。中でも、光学カメラで取得した画像の鮮明化処理により、構造物の状況を鮮明な映像で確認できた技術は、堤体表面の損傷把握や継目の開き具合の計測に適用が期待され、また、姿勢制御技術を用いて堤体に正対し、静止状態で観察（動画撮影）することにより漏水箇所を特定する等の作業を支援できる可能性があると考えられる。また、現場検証で確認された少なくとも 80m 以上の耐圧性能に加え、優れた運動性能を有する ROV に光学カメラ・音響センサーを組み合わせ、清掃用ブラシやグリーンレーザーにより正確なサイズ計測や変状の把握を可能とした技術や、ROV にジャイロ効果を利用した姿勢保持装置により安定した映像取得を可能とした技術の有効性が確認され、これらの技術は、現時点においてすでに現場適用性が高いと考えられた。

平成 28 年度においては、これらの実用化レベルに達してきている技術について、現場検証とは異なり、実際の点検業務での使用を通じて、その費用対効果も含め、さらにステップアップした形で現場適用性を検証すべく、試行的導入が進められた。なお、昨年の利根川洪水では、上流ダムにおいて、洪水における水位低下準備として、貯水池底部ゲートからの取水に備えた水中カメラの事前点検が実施されたと報告されている。また、近年洪水時に流入する流木が増加しており、これらが洪水吐きゲートや選択取水設備の操作に支障がないかを事前に点検するニーズも発生している。今後、この水中ロボット技術が、通常の点検作業のみならず、洪水直後や異常洪水などの緊急時の点検に効果的に活用できるように、機動的、経済的に、かつ確実に使える技術として確立されるように、多くのダムにおいて技術検証が行われる必要がある。

### 3. アセットマネジメントとしてのダムの堆砂対策

#### 3.1 概説

ダムは数ある社会基盤施設の中でも最も長期間の供用が期待される施設の中の一つである。その理由として、ダム堤体として本来十分な耐久性を有していることに加えて、ダム建設に要する準備期間の長さ、水没に伴う地域社会への影響およびさまざまな自然環境への影響を考慮すれば、使い捨てにせず、適切な維持管理を行って長寿命化を図る必要がある。近年、ダム点検整備基準に基づく日常管理における巡視・点検、維持・修繕等に加え、より効果的・効率的に維持管理を行うためダムの長寿命化計画を定め、計画的に維持管理を行うことが進められている。特に、ダム管理者が専門家の意見を聴いて長期的観点から実施するダム総合点検（30 年以上経過ダム）が制度化された。また、貯水池の維持管理については、ダムのフォローアップ制度（5 年ごと）が実施されている。

ダムのアセットマネジメントについては、耐用年数の短い機械設備等について適用が試みられ、また、水力ダムの劣化診断<sup>15)</sup>や、ダムの維持管理費の実態調査<sup>16)</sup>が実施されている。通常の維持管理費は、「操作・制御設備関係」が 20% 強、「放流・取水設備関係」「営繕その他管理用諸設備関係」及び「貯水池対策関係」がそれぞれ 10～15% 程度と、耐用年数の比較的短い機械設備、電気設備等が維持管理費の中心である<sup>17)</sup>。

一方、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」である。一般に、堆砂については、計画上の堆砂容量として 100 年間の容量を定めている。しかしながら、国土交通省所管の多目的ダムでは、調査対象の約 1/4 が計画の 2 倍以上の実績堆砂速度を示しており、堆砂問題が想定以上のスピードで顕在化しつつある。長期的な貯水機能維持の観点では、計画堆砂容量ではなく総貯水容量に対す

る堆砂速度で評価することも重要である。

適切な堆砂対策の実施による長寿命化は可能であり、ダムライフサイクルコストを考える上で堆砂対策が重要となる。ダムの堆砂対策を後回しにしないことは、後世に負担を回さない「世代間の衡平」の考え方にとって極めて重要なポイントである。

以上のように、耐用年数の比較的短い機械、電気設備等の維持管理費の合理化とともに、より長期の課題であるダムの堆砂問題などについても今のうちから本格的に取り組んで、長期効用を発揮させるための戦略（＝ダムのアセットマネジメント）が重要となる（表 1）。

表 1 更新期間による施設区分とマネジメント<sup>18)</sup>

| 更新期間              | 施設等                    | マネジメントの重点                    | 備考                                             |
|-------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| 短期<br>数年<br>～数十年  | 機械設備<br>電気設備<br>建築物    | 点検、整備、補修、<br>更新のトータル費用の低減    | サービス水準向上<br>技術革新対応                             |
| 長期<br>数十年<br>～数百年 | 貯水池<br>(堆砂)            | 長寿命化<br>ライフサイクルコストの低減        | 適切な対策をすれば、更新時期は<br>延びる                         |
| 超長期<br>(不明)       | ダム堤体                   | 点検<br>維持管理費用の低減<br>リスクアセスメント | 適切な管理をすれば、更新が超長期<br>不要となり、更新費用の現在価値が<br>評価できない |
| 偶発的               | 貯水池法面<br>地すべり<br>地震対応等 | 点検<br>緊急時対応                  | 一定レベルまでは建設時に対応                                 |

ここでは、このようなアセットマネジメントの考え方をダム施設に適用する場合の課題について、特に堆砂対策を効率的に推進する観点から解説する。

### 3.2 アセットマネジメントの堆砂対策への適用

#### (1) ダム堆砂問題の現状

日本の河川では、掃流砂・浮遊砂・ウォッシュロードの形態により土砂が輸送されており、河川を流下するこれらの土砂がダム貯水池に流入すると、図 3 に示すように貯水池の持つ堆積特性に応じて粒径ごとに分級された堆砂デルタが形成される<sup>19)</sup>。

貯水池内の堆砂領域は、①頂部堆積層、②前部堆積層および③底部堆積層に大別され、デルタを構成する①および②には河床を転動してきた掃流砂および浮遊砂のうち粒径の比較的粗い部分（0.1～0.2mm 以上）が堆積している。このうち②はデルタの肩を通過した掃流砂がその直下に堆積し、それに浮遊砂による影響が加わって形成される比較的勾配の急な部分である。デルタは一般に時間経過とともに前進すると同時に、その上流端は上流へ遡上していく。ダム直上流に水平に堆積した③の堆積物はほとんど粒径が 0.1mm 以下のウォッシュロードであり、主に濁水の密度流に起因するものである。なお、ウォッシュロードの一部は、放流設備を通じて水流とともに下流へ流出し、この境界粒径はダム貯水池規模や貯水池回転率などで異なるが、概ね 0.01mm 程度である。

ダム貯水池の堆砂問題は、ダム貯水池における発電等取水口の土砂埋没問題、貯水池上流河道の背砂による洪水氾濫の危険性の増大、利水・治水容量の減少、下流河川への土砂流出の減少と河道部の砂利採取が複合的に影響する河床低下や海岸侵食などがある。

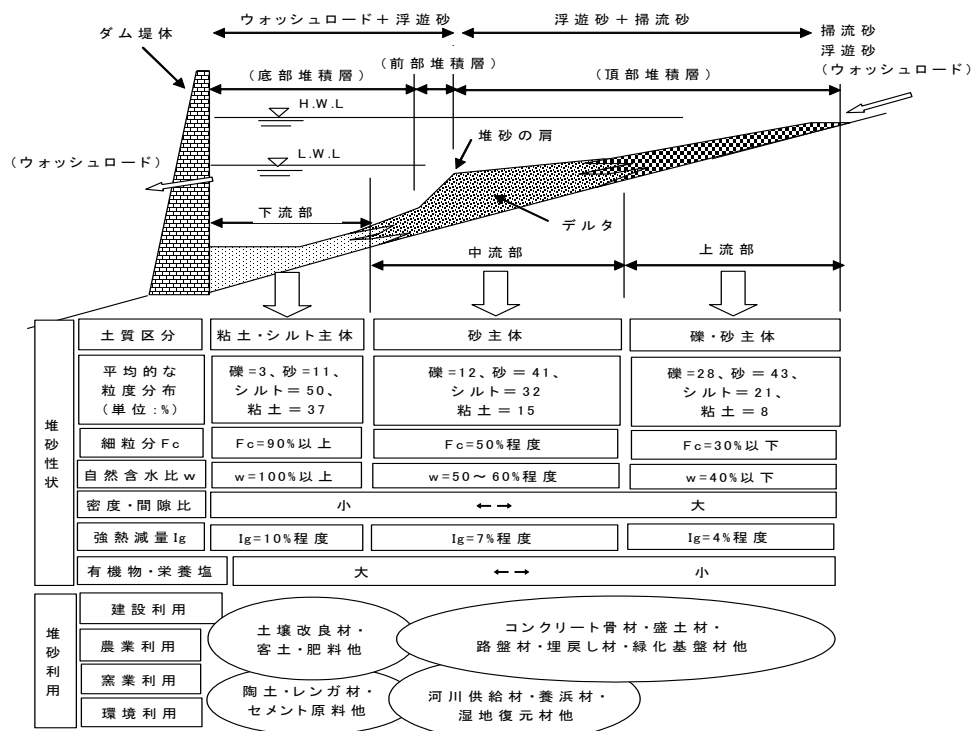


図 3 貯水池堆砂の性状と有効利用方策<sup>19)</sup>

図 4 は、総貯水容量で評価したダム建設後の経過年数別の貯水池堆砂率を示している。戦前に建設されたような経過年数の長い水力発電ダムにおいて堆砂が進行しているダムが数多く見られるが、これら水力発電ダムは、発電形式により堆砂による影響度には相違がある。一方、多目的ダムの中にも堆砂率が 20～40%以上となっているダムもある。これらのダムでは、貯水容量の維持が洪水調節をはじめとするダム機能の維持に直結するため、堆砂による影響度はより大きい。総貯水容量で評価した貯水池寿命では、1000 年以上が 34%，500～1000 年が 25%，100～500 年が 34%，100 年以下が 7%となり、平均は 400～500 年程度となっている。

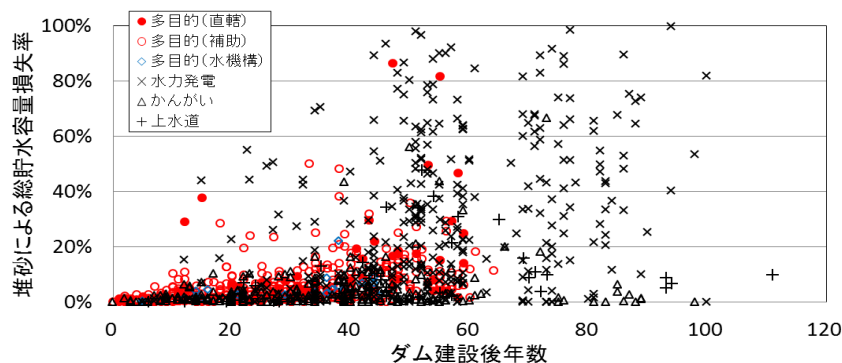


図 4 日本のダム建設後年数と堆砂容量損失

## (2) 堆砂対策を考慮したマネジメントモデル

このようなダム堆砂に対する対策としては、大別すると、貯水池への流入土砂の軽減対策、貯水池へ流入する土砂を通過させる対策、貯水池に堆積した土砂を排除する対策に分けられる。

世界銀行は、持続可能なライフサイクル管理アプローチを目標とした、貯水池維持管理の実現可能性を評価する RESCON モデルを作成しており、政策決定者に対して、持続可能で世代間の衡平を達成できる貯水池管理政策を促進するためのモデルを開発している<sup>20), 21)</sup>。

日本では、掘削・浚渫のような応急対策から、排砂バイパスや排砂ゲートのような恒久対策まで、さまざまな堆砂対策が進められてきている。例えば、長野県西部地震（1984）により大規模な土砂が流入した牧尾ダムでは、延べ9ヶ年、約300億円の総事業費で、約548万 $\text{m}^3$ の堆砂が掘削・除去され土捨て場などに運搬・処理された<sup>22)</sup>。このような場合の堆砂対策の選択には、費用便益分析が行われる。堆砂対策の費用は、主に掘削費、運搬費、処分費に大別され、大矢らは既往の実績をもとに式(1)のように運搬距離 $L(\text{km})$ に対する単位体積あたりの土処理コストとして表した<sup>23)</sup>。

$$C = p \cdot L + q \quad (1)$$

ここに、 $C$ : 土砂処理コスト、大矢らの研究より、 $p=75 \text{ 円}/\text{m}^3/\text{km}$ 、 $q=3,000 \text{ 円}/\text{m}^3$ である。さらに、これを例えば今後50年後に必要な対策のために毎年積み立てると考えると、毎年の必要額は式(2)で表せる。

$$C_r = C_t \cdot r / \{(1 + r)^n - 1\} \quad (2)$$

ここに、 $C_r$ : 毎年必要額、 $C_t$ : 対策事業費、利子率 $r=0.04$ 、積立期間 $n=50$ 年である。堆砂処理量が大量になる場合には、排砂バイパスなどのダム改造を伴う恒久的な対策との比較を行う必要がある。なお、一般に200年を超えるような将来の投資は、現在価値(Present Value)がほぼゼロとなり評価が困難となるため、角らは、費用評価を300年時点の現在価値化した総費用とした<sup>24)</sup>。

### (3) 堆砂進行と対策シナリオ

次に、堆砂対策実施の最適化を図るためには、堆砂による貯水池機能の劣化曲線（堆砂進行速度）とこれに対する対策メニューの組み合わせの明確化が必要であり、その際には、大規模な洪水の発生によって堆砂が大きく進むといった堆砂量の確率的な変動も考慮する必要がある<sup>25)</sup>。

いま、堆砂進行による堆砂容量の減少を経年劣化とし、その逆である堆砂空容量を健全度とすれば、時間的な変化を図5(a)のように考えることができる。すなわち、当初の想定通り堆砂が進行すれば100年間で計画堆砂容量が失われ、有効容量に食い込み始めることになる。なお、100年間の途中段階で健全度を回復させるとした場合に除去すべき対象土砂量（一般的なダムを想定）は後になればなるほど増大する。これを限られた期間で処理しようとするれば、技術的難易度、土砂除去に伴う運用停止期間、コストおよび大量の土砂を搬出・輸送・処理するための環境負荷が増大することになる。

現在、先述の牧尾ダムのように大規模洪水や地震による堆砂量の急激な増加に伴って計画堆砂量が早期に失われたために、これを回復させる緊急堆砂対策（大規模掘削）が行われている事例が見られる。これを模式的に表したものが図5(b)である。なお、大規模対策後は、従来通りの速度で再び堆砂を進行させてしまう(③)のではなく、本格的な堆砂対策を講じて従来よりも大幅に堆砂進行速度を低下させる(②)ことを目指す必要がある。

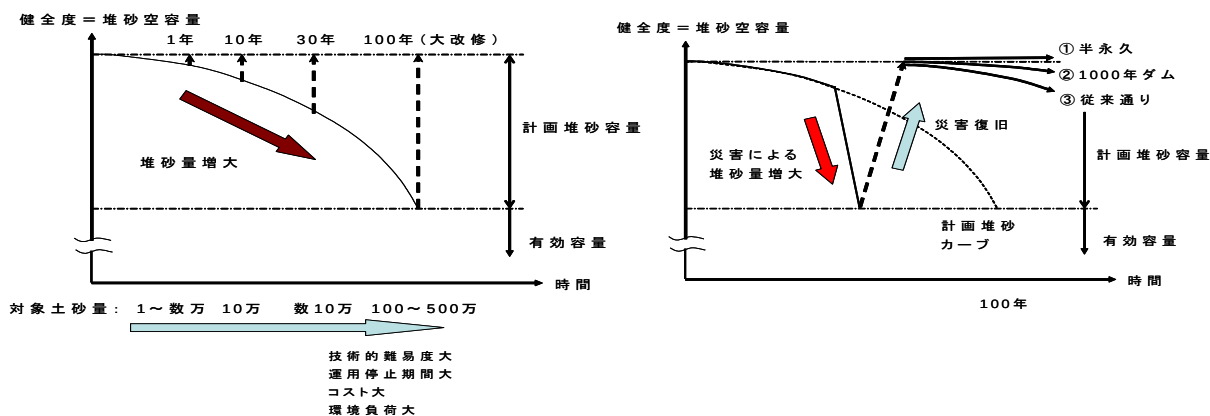


図5(a)左：堆砂による劣化曲線および対策難易度，図5(b)右：災害による堆砂進行と対策シナリオ

### 3.3 ダムのアセットマネジメントの課題

ダムのアセットマネジメントを進めるための今後の課題として、1)大改修時のバックアップシステムの整備、2)堆砂対策実施に対するインセンティブの付与、などが挙げられる。

1)に関しては、ダム群によるアセットマネジメントの一例として、新規ダムの「長寿命化容量」をベースにダム堆砂対策をローテーションで実施する計画が、現在建設中の（独）水資源機構川上ダムで進行中である。ここでは、各ダムの利水運用を一時的に休止して「リフレッシュダム」として位置付け、貯水位を一部低下させてダム湖内に堆積した土砂を陸上掘削することにより貯水容量の維持に努める構想である<sup>26)</sup>。このような考え方は、公共交通機関やライフラインなどの、休止が認められない高度な社会インフラの維持管理・更新の実現に大きな示唆を与えるものと考えられる。同様な考え方は、長崎水害を契機に、新規の多目的ダムの建設により確保された利水容量をベースに、ダム群全体としてダムの機能を低下させずに歴史的水道ダムのリニューアルを行った「長崎水害緊急ダム事業」にも通じる重要な考え方である<sup>27)</sup>。

2)は、堆砂対策を早期に実施することのメリットをいかに管理者に意識させるかである。貯水機能の長期化による「水資源（ダム自身）の視点」だけではなく、堆砂対策と河川・海岸の環境保全の連携による「流砂系総合土砂管理の視点」、さらに、従来からも実施されてきた堆砂の骨材利用などによる「資源リサイクルの視点」も重要である。ここでは、規制緩和や利用促進制度の創設（公共事業で一定量を必ず使用させる）や官民共同プロジェクトも進める必要があるとともに、ダムの長寿命化に加えて、環境改善や資源リサイクルなど多岐にわたる総合的な費用便益分析手法の確立が重要である<sup>28), 29)</sup>。

## 4. ダムおよび河川のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理

### 4.1 流砂系総合土砂管理を推進するための課題

最後に、本題のダムおよび河川のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理を進めるための課題を考える。そのためには、a)場の連続性、b)時間の連続性、c)土砂の量と質、および d)水管理／土砂管理の連携が重要である。土砂生産および輸送は降雨などに伴う確率的なイベント性を有しており、年平均量と大きなイベント時における生産・移動量の双方を考慮する必要がある。また、土砂管理で対象とする量（土砂量）と質（粒径など）の目標設定が重要である。例えば、河川還元を行う際には、どの程度の量をダム下流に移動させればいいのか、また、ダム湖の中のどのような粒径が下流から求められているのか、に関する綿密な計画と実施、さらには実施結果のモニタリングが必要である。

さらに、土砂管理を考える際には、土砂が流砂系を適切に輸送されるための水量管理が重要である。いくら土砂を供給しても水量がなければそこに貯まるだけであり、一般に、ダムの運用管理により下流河川の流況は変化しており、その分の土砂輸送能力（掃流力）の変化を考慮しておく必要がある。先述の米国カリフォルニア州や欧州の土砂供給の事例でも、従前の河川との掃流力の違いを考慮に入れて土砂還元すべきことが指摘されている。

これらを考慮しながら、ダムの土砂マネジメントをフローとしてまとめたのが図6である。すなわち、①土砂管理を進めるべきダムを選定し、②優先度の高いダムを抽出する。③再開発で目標とすべき耐用年数を考慮した上で、費用と便益を評価する。④これまでの堆砂実績をもとに、将来の流入土砂量を予測する。ここでは、長期間の土砂生産と輸送プロセスに関しては、大規模洪水をも考慮した確率論的なアプローチが必要である。その後、次の二つの検討を同時に進める必要がある。

一つは、⑤ダム本来の機能を発揮するために、維持すべき最小貯水容量を計算し、⑥これを実現するために必要な土砂排出量を設定する。もう一つは、⑦河床高さや土砂粒径、河床形態の活性度などの観点で代表される健全な河川環境条件を設計し、⑧これを実現するために必要な土砂供給量と粒径を計画する。最後に、⑨これら二つのニーズを合体させ、適切な排砂シナリオを決定する。

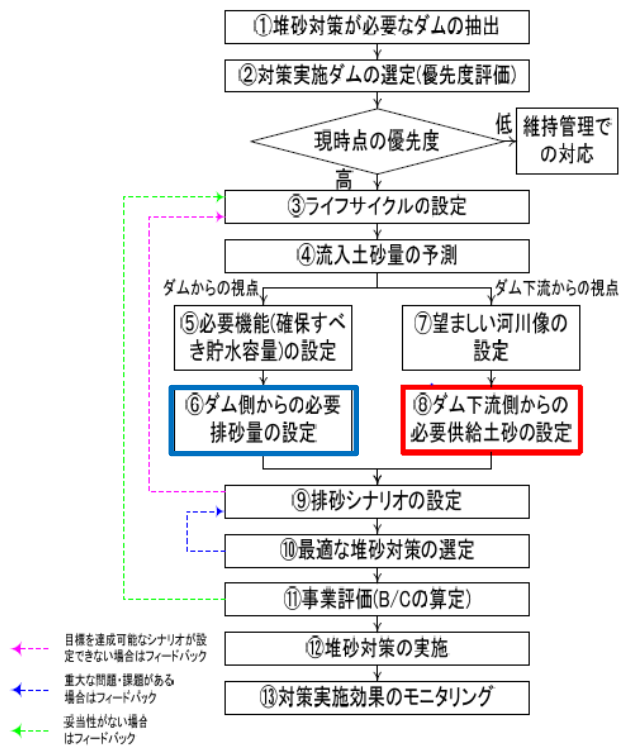


図6 ダムの土砂マネジメントの流れ<sup>30)</sup>

もし、適切なシナリオが存在しなければ、③に戻って再検討を行う。⑩提案されたシナリオに従って、フラッシング排砂、土砂還元、排砂バイパスなどの中から最適な土砂管理手法を選定する。もし、技術的な課題が発生すれば、シナリオに戻って再検討を行う。⑪選定された土砂管理手法は、費用－便益分析を行い、もし、経済性に問題があれば、基本計画に立ち戻ってプランを再検討する必要がある。貯水池土砂管理は、貯水池の持続可能性と河川の自然再生の両面に関係する大変複雑な課題であり、実施に当たっては、⑫一歩ずつ進めること、また、⑬現地モニタリングを行いながら順応的管理が重要である。

## 4.2 下流河川的环境管理との連携

近年、ダム下流の環境変化（アーマー化、樹林化、水質悪化、礫床のコケマット繁茂、生物多様性減少など）に対する自然再生の試みが深化してきている（図7）。1990年代以降、発電ガイドラインや弾力的管理により無水・減水区間への維持流量の確保により、景観回復や水質改善はかなり進展してきた（第一段階）。これに対して、1990年代後半以降、小規模の攪乱による付着藻類の剥離更新を目的とするフラッシュ放流の導入が開始され（第二段階）、さらには、より効果を高めるために土砂還元が組み合わせられているようになった（第三段階）。しかし、このレベルでは、流量も土砂量も限定的であり、効果も限られていた。これに対して、単調化した河川に砂州を回復させたり、樹林化した河原に礫河原を再生させたりする試みがスタートし、これを維持するために、より大きな流量（中規模攪乱）と本格的な土砂還元を定期的を実施することが検討され（第四段階）、真名川ダムや札内川ダムなどで検討・実施されてきている。今後は、これらをさらに前進させて、瀬淵構造やわんど／たまりの再生やアユなどの産卵床の造成を目指して、好ましい河床地形を定量的に定義し、これを再生・維持するための土砂管理と流量管理の組み合わせが期待される（第五段階）。

これを実現させるためには、これまでのレベルを大きく上回る土砂管理を進める必要があり、そのためには下流河川において達成したい目標を明確化、定量化して、排砂バイパスや土砂還元などによるダムからの土砂供給条件（質（粒径）と量）を変化させた場合の下流河川の応答を事前に予測し、実施後の評価を行った上で適切な改善を行っていくことが求められる。

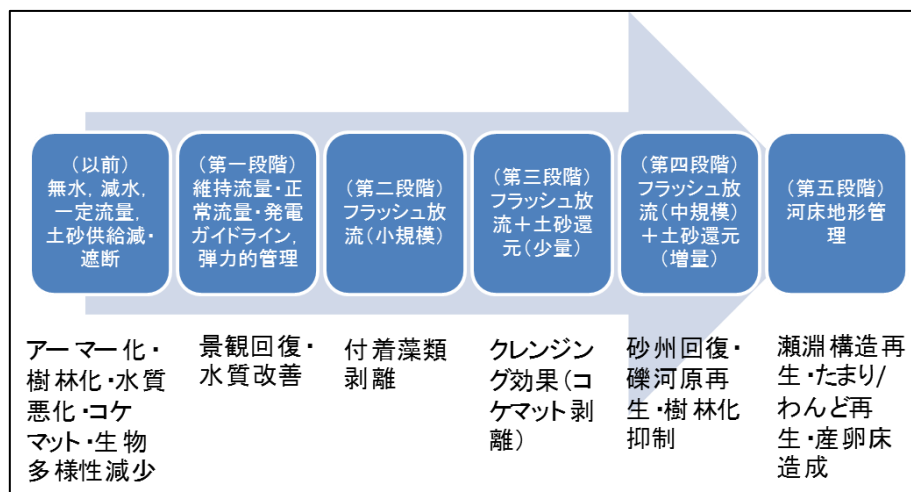


図7 河川の自然再生の試みの深化

ここで重要なのは、図6のアプローチにおける、ダムを持続的管理の観点からの要求条件(⑦、⑧)と、下流河川の環境管理の観点からの要求条件(⑤、⑥)をいかにすり合わせるかである。なお、排砂によるダム下流に対する影響は、目標と制約の両者を満足するケースが複数存在する場合があります。このような場合に何れのケースが最適であるか、判断する指標が必要となる。また、土砂の連続性の遮断によりダムの下流河川の健全度が損なわれてきた場合、排砂量を増大させることで健全度の向上が期待されるが、土砂量が一定量を超えると、それ以上排砂量を増大させても健全度は向上せず、むしろ悪化する排砂過多の状態になると考えられる。

そこで、排砂により影響項目が目標に対してどの程度充足されたのかを示す指標として「健全度」を設定し、これが最大となるケースを最適ケースとすることが適当と考えられる。図8に排砂による下流河川のレスポンスのイメージを示す。なお、影響項目の健全度は各項目間でトレードオフの関係にあると考えられ、ある排砂ケースに対し影響項目毎の健全度の全てを最大とすることは困難である。このため、影響項目毎の健全度を個別に評価し、項目ごとの重要度を踏まえて総合的に評価することが必要である。また、健全度の考え方は、ダム建設に伴う下流への影響は「供給土砂量の減少」と「流況変化(大流量の減少)」が複合的に影響しあって生じていると考えられる。このため、下流河川における健全度は、次式のように影響評価項目毎に土砂量と流況の関数として表現することが出来る。

$$\text{下流河川の健全度}(X_i) = f_i(\text{土砂量}, \text{流況}) \quad (3)$$

#### 4.3 河床地形評価による土砂管理の検討事例(淀川水系木津川を例として)

次に、ダムからの土砂移動量と最終的に評価を行う生態機能の評価の相互関係を模式化したものを図9に示す。これは、河床地形評価による土砂管理については、国土交通省河川技術開発「河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発(H22-24)(代表:竹門康弘)」による成果として提案されたものである<sup>31)</sup>。ここで生態機能評価としては、たまりの形成によるタナゴ類の生息場評価(木津川など)や、早瀬の河床条件によるアユ産卵床評価(天竜川など)などが例示される。なお、生態機能を直接管理することは非常に困難であり、土砂移動量と生態機能の間を取り持つ評価関数として、河床地形(砂州比高(後述)、河床変動量、空隙率など)を取り上げ、生息場適性を最大化する河床地形を求め、これを実現するための土砂移動量を管理することになる。なお、前述のように、河床地形は土砂量と流況の両者の関数で表現されることは言うまでもない。さらに、生態機能の評価すべき下流河道区間における土砂移動量( $Q_{S4}$ )に対して、上流区間から供給すべき土砂量( $Q_{S3}$ )が計算され、これがダムからの実現可能な排砂量( $Q_{S2}$ )で不足する場合や、 $Q_{S2}$ が $Q_{S3}$ まで反映されるのに時間が要する場合には、高水敷に捕捉された土砂を人工的に押し出して土砂供給量を早期に増大させることなどが考えられる。

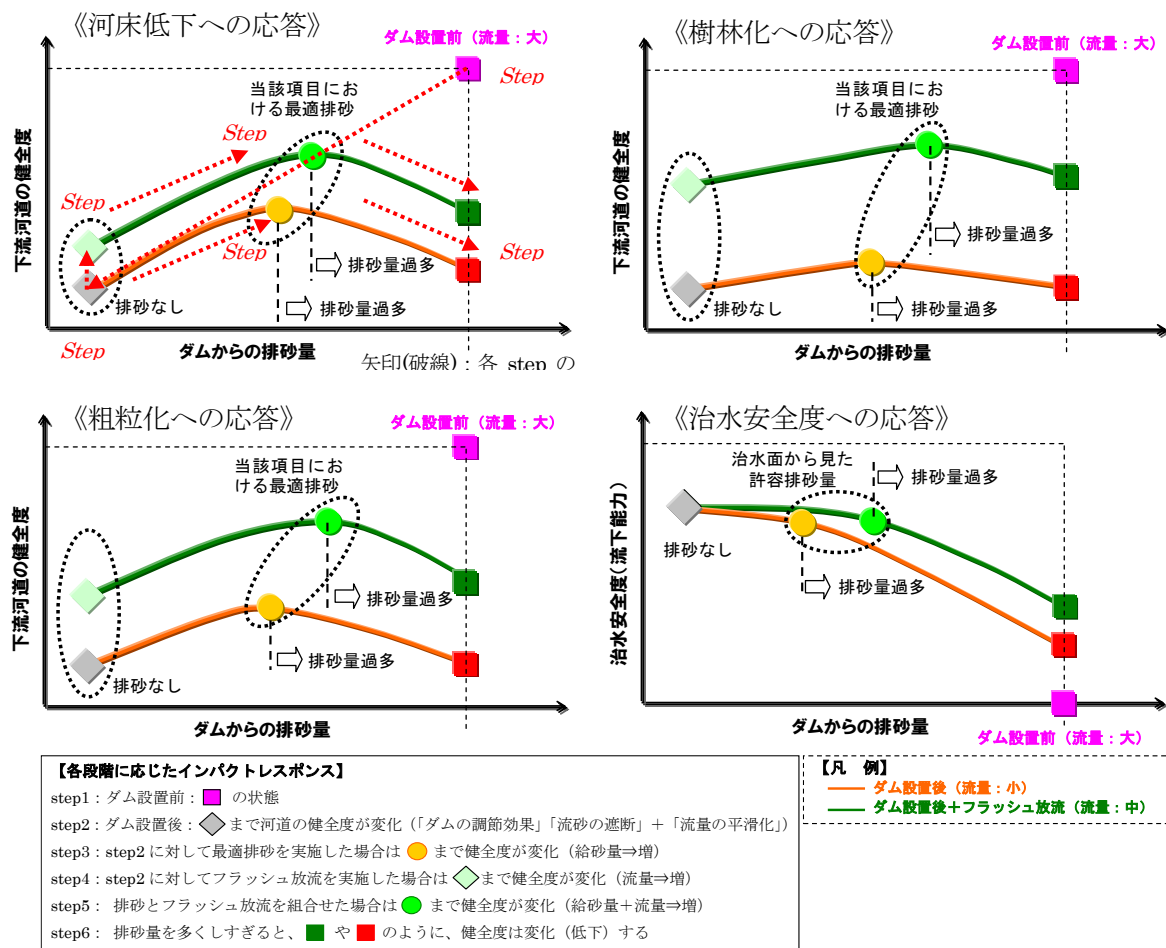


図8 排砂による下流河川のレスポンスイメージ<sup>30)</sup>

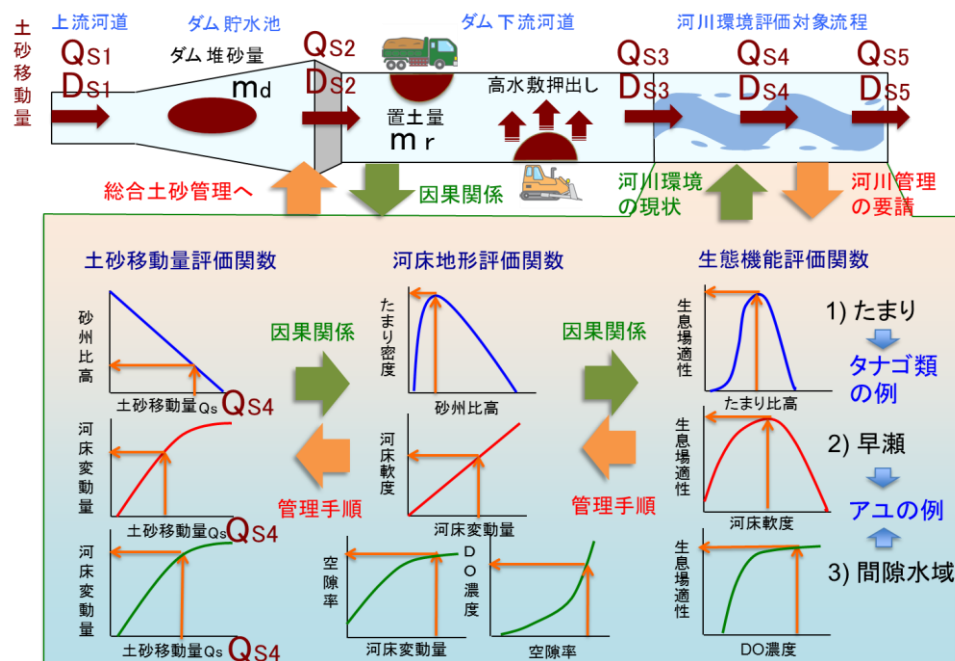


図9 土砂移動量、河床地形および生態機能の評価の相互関係<sup>31)</sup>

## (1) 木津川における流送土砂量の現状

木津川の河床は経年的に低下の一途をたどっている。これは、上流では木津川ダム群における土砂の捕捉が、下流では淀川本川を中心に行われた河道掘削ならびに砂利採取の影響によると言われている

(淀川環境委員会,2003)．こうした河床低下の履歴からみて，木津川の土砂移動量は経時的に減少しており，今後もさらに減少していくと考えられる．各時代の土砂移動量を推定できれば，各時代の河床地形，生息場構造，生態機能に対応させることによって，木津川の河川環境が良好であった時期の土砂移動量を評価することができると期待される．また，この評価結果を用いれば，将来置土等によって土砂供給の事業を実施する場合に，河川環境の観点から現状の土砂移動量に対してどのくらいの増加をすればよいかについて目安を知ることができると考えられる．

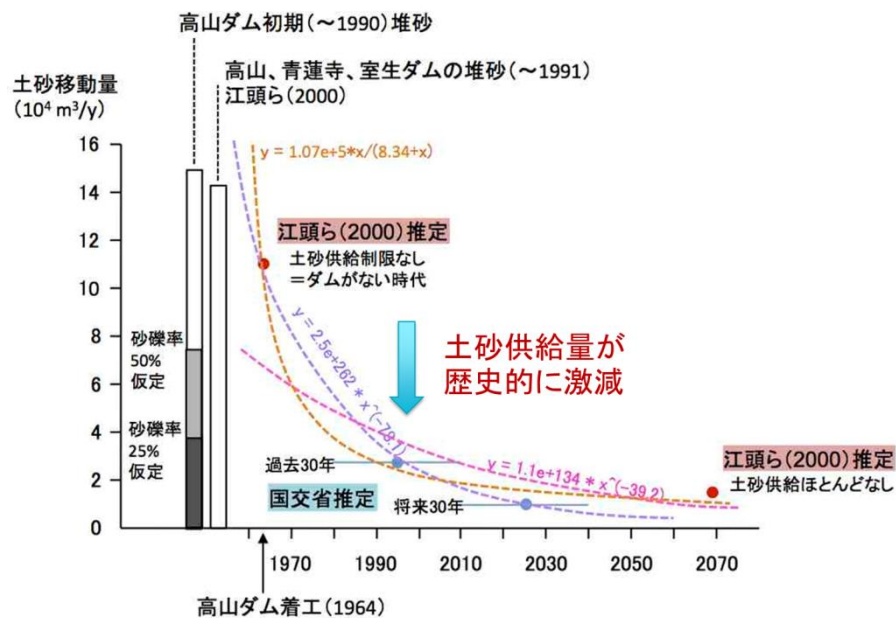


図 10 木津川本川の土砂移動量推定値の経年変化 <sup>31)</sup>

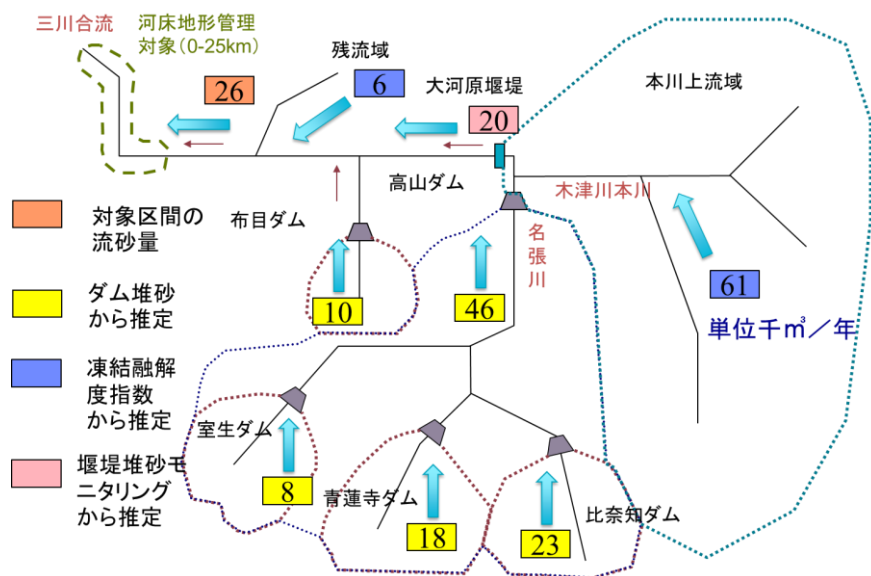


図 11 木津川流域の土砂動態総括（平年ベース:砂礫分のみ，砂礫分 40%と仮定） <sup>31)</sup>

これまでにも，近畿地方整備局によって木津川本川の土砂移動量が試算されている（淀川水系統合土砂管理検討委員会，2010）．推定方法は，各年の流量，各区間の河道形状と河床材料の粒度分布を境界条件として，過去のダム堆砂量から推定した年平均土砂供給量を条件に，一次元不等流河床変動計算を行うものであり，過去と将来のそれぞれ 30 年間という範囲について平均移動土砂量を幾つかの条件を仮定して求めている．その際に上流各支流からの土砂流入量については，ダムの年間堆砂量や周辺の比堆砂量に基づき粒径別に土砂供給が与えられ，またダムの建設後はその供給がなくなるように設定され

ている。この試算によると、木津川 16km 地点における過去 30 年間の年平均土砂移動量は、砂・礫成分(>0.075mm)について 27,000m<sup>3</sup>/年と算定されている。さらに今後 30 年間の予測として約 10,000m<sup>3</sup>/年を試算しており、木津川上流に建設されたダムによる土砂の捕捉等の影響により 1/3 程度までの減少を予測している。仮に 2010 年時点の土砂量を前後の期間の中間の約 20,000m<sup>3</sup>/年とすると、30 年前の 1980 年には 38,000m<sup>3</sup>/年程度の土砂量があったことが見込まれる。また、ダムの貯砂量から年間で 30,000m<sup>3</sup>/年の土砂量が捕捉されていると仮定するならば、ダムのない 1960 年代までには 50,000m<sup>3</sup>/年程度の移動量があったことも見込まれる。これらより、ダムの影響のなかった 1960 年代までの>5 万 m<sup>3</sup>/年、ダムに影響を受け始める 1980~90 年代の 3~4 万 m<sup>3</sup>/年、土砂減少がだいぶ進んだ現在 2010 年の 2~2.5 万 m<sup>3</sup>/年、さらに土砂減少が進んだ場合の 0.5~1.5 万 m<sup>3</sup>/年などの土砂量が想定される。

ただし、淀川水系統合土砂管理検討委員会の試算は、高山ダムが建設された 1965 年以降を対象としたものであり、既に高山ダムによる土砂移動遮断の影響下のものである。このため、1965 年以前の土砂移動量は過去 30 年間の推定値よりもさらに多かったと考えられる。さらに、1965 年以前は森林伐採によって裸地面積が多かったため、現在よりの比流砂量自体も多かったと考えられる。これらを加味して木津川の航空写真がある 1947 年当時の土砂移動量を推測すると、少なくとも 50,000m<sup>3</sup>/年以上であったと考えられる。これに高山ダムによる土砂移動遮断の影響と森林伐採による裸地面積の大きかった影響を加味すると、1920-1930 年代には 60,000-70,000 m<sup>3</sup>/年程度の土砂移動量があったと見積もられる。また、1920 年以前については、むしろ森林伐採の頻度が戦争直前よりは小さかったはずなので、1920-1930 年代よりは土砂移動量が少なかったかもしれない。これらをまとめたものを図 10 に示す。

国土交通省河川技術開発研究会では、以上の情報および主要ダムの堆砂実績や凍結融解度指数から推定された各支川からの土砂流入量などを加味して、木津川流域の流砂量(平年ベース:砂礫のみ)の現状を図 11 のように推定した。さらに、全粒径のうちの、河床地形に寄与する粒径集団として砂礫のみを考慮し、ここではその全粒径に占める割合を 40%と仮定した。

## (2) 河川環境からみた河床地形管理の目標

木津川では、前述のように 1960 年代より砂利採取や上流のダム建設等により河床低下が進んでいる。一方、希少種のタナゴやそれが産卵する貝類が生息する一時的止水域「たまり」が重要な生息場となっている。既往の研究により、タナゴ類の生息場選択指数の分布(図 12 左)から、比高が 0.8-1.4m の範囲で選択指数が 0.5 を越え、比高が高すぎても低くすぎても低下することが知られている。また、こうした好適な比高のたまりは、低水路が平坦で横断的に凹型の砂州や、河床侵食により高水敷化が進んだ凸型の砂州ではなく、緩やかな斜面を持つ砂州で形成されることが考えられる(図 12 右)。

最終的に評価するのは、特定の断面ではなく、河川あるいは区間全体としての断面形状であり、ここでは、図 13 に示すように、各断面で標高値を比高値に変え、これを対象区間の全断面について各比高の頻度を集計することで、その区間の代表的な比高分布図を作成することができる。これを木津川の上・中・下流ブロックごとに分割し、かつ、年代ごとに変遷を示したものが図 14 であり、近年指摘される河川地形の二極化(みお筋の低下と高水敷の高標高化)を視覚化することができる。

次に、こうして得られた比高分布図を用いて、図 12 の生息場選好指数が 0.4 を超える比高 0.7~1.5m 域を河床地形の好適性指標として、上・中流ブロックにおけるこの比高頻度の平均値と、横断形状に最も影響する要因の 1 つである土砂移動量との関係を分析したものを図 15 に示す。各年の土砂移動量は、既往検討による推定値を指数関数により回帰して求めた。その結果、比高 0.7~1.5m 域の頻度は 1980 年代の土砂量が 4~8 万 m<sup>3</sup>/年のときにピークとなる一山形の関係が示され、好適なたまりの形成を河川生態系の指標とした場合、河川環境保全に必要な土砂量の目安として推定された。

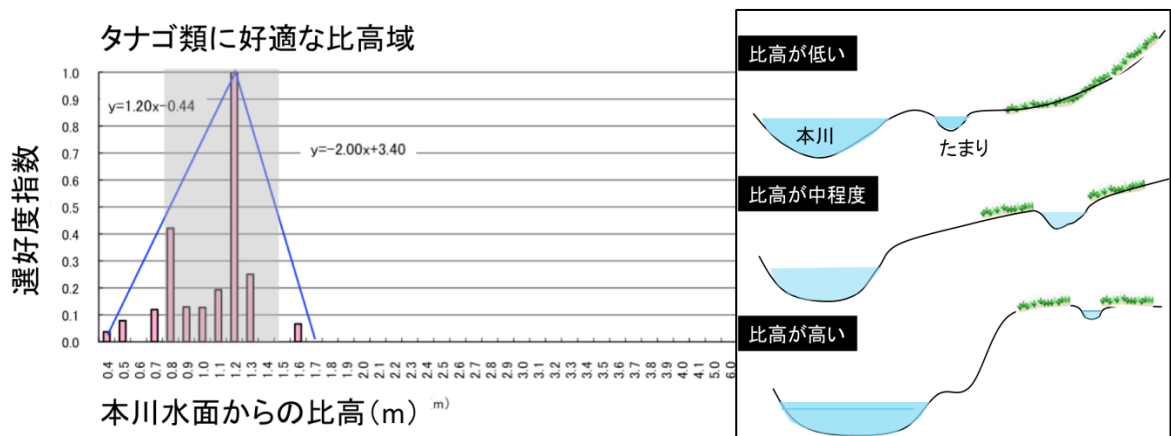


図 12 木津川砂州におけるタナゴ類の比高選好(左)と断面形状による砂州比高分布の違い(右) <sup>32)</sup>

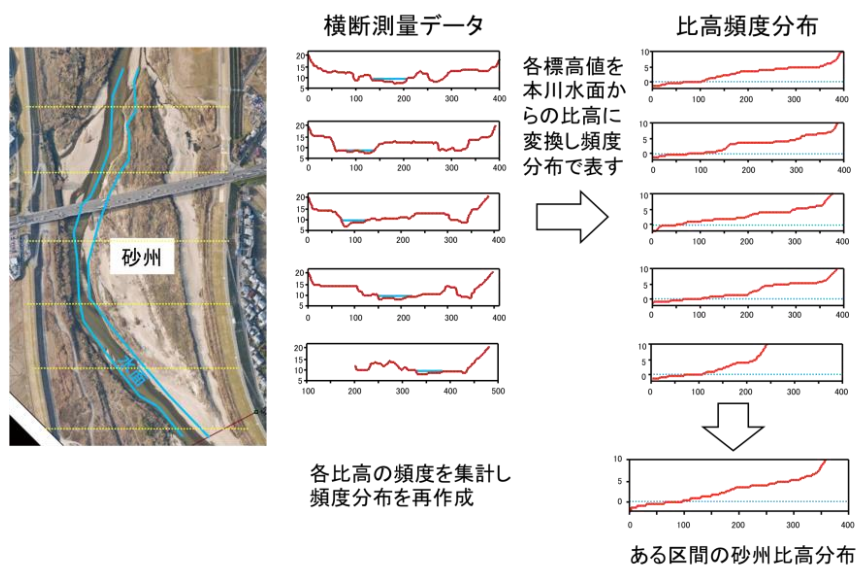


図 13 河川の横断測量データを用いて区間あたりの砂州比高頻度分布を求める方法 <sup>32)</sup>

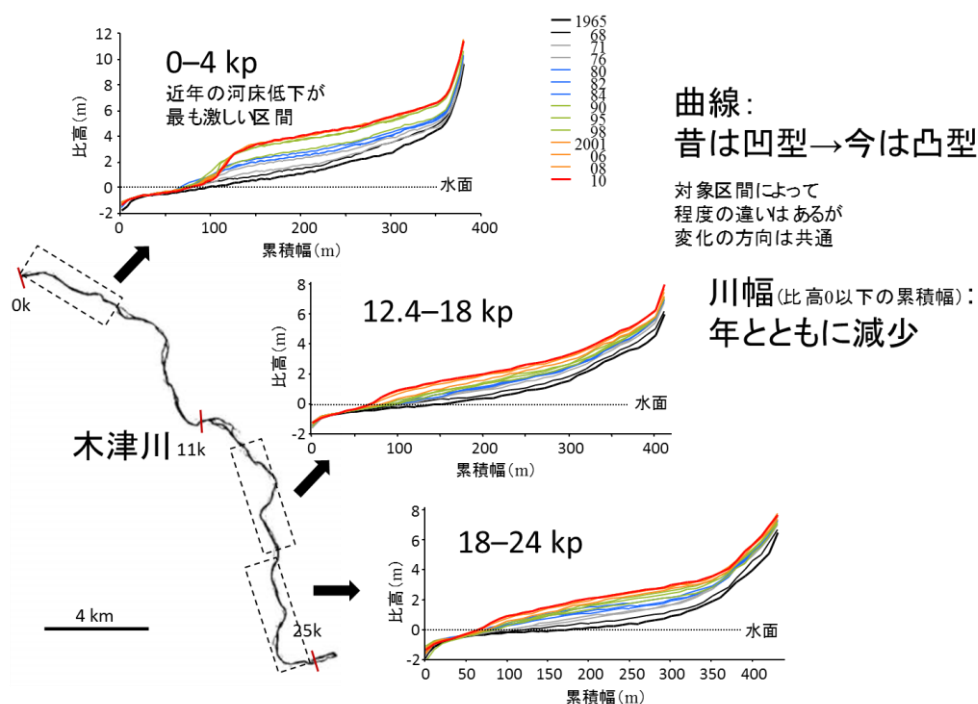


図 14 水面比高分布による砂州地形の経年比較 <sup>32)</sup>

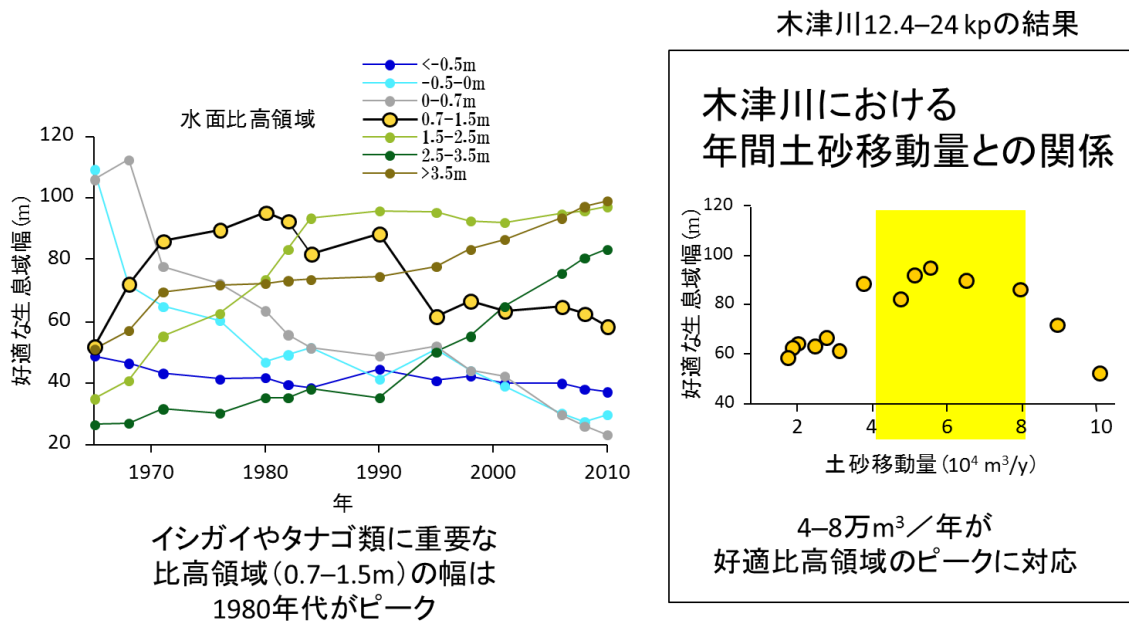


図 15 砂州地形の変化と年間土砂移動量の関係 <sup>32)</sup>

### (3) 木津川ダム群からの土砂還元計画

木津川本川の流砂量の推定（平年ベース：砂礫のみ）を用いて、仮に、高山ダムおよび布目ダムから砂礫分の 50%を排砂（高山ダム：2.3 万 $\text{m}^3$ ，布目ダム：0.5 万 $\text{m}^3$ ）すると仮定すると、図 16 のような土砂収支を求めることができる。これに伴い、ダムの長寿命化の観点からは、図 17 に示すように貯水池寿命が 500 年から 620 年に、100 年後の堆砂率 150%から 132%に、全堆砂率が 20%から 17.7%に改善することができる。一方、河川地形管理の観点からは、例えば、タナゴ類の生息環境の形成維持に最適とされる 4-8 万 $\text{m}^3$ の土砂移動量の範囲に合致する 5.4 万 $\text{m}^3$ の流砂量を実現することができる。なお、このような土砂管理を実現させるためには、貯水池からの具体的な土砂移動手手段の確保が必要である。

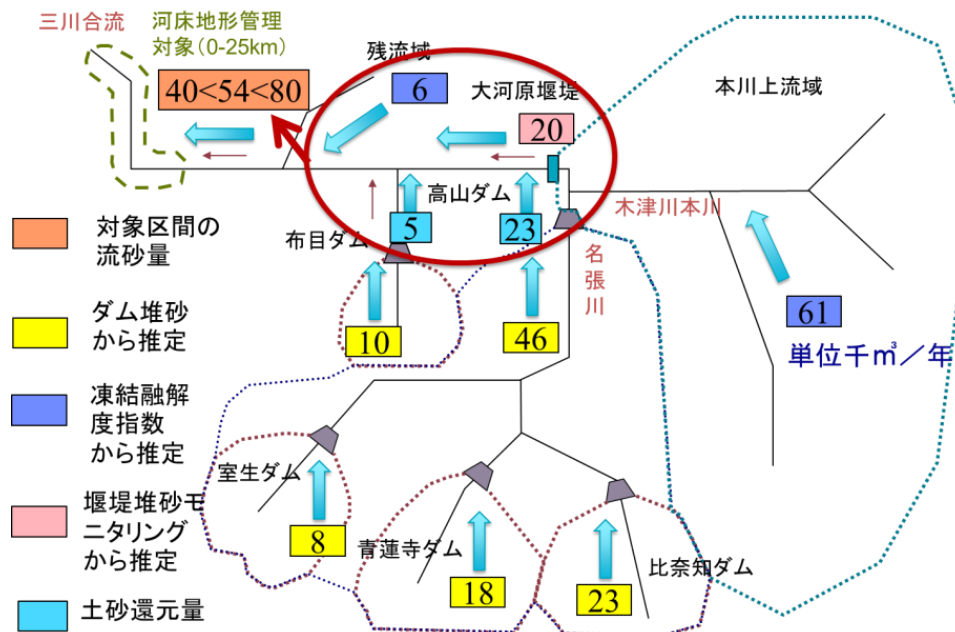


図 16 木津川流域の土砂動態総括（平年ベース：砂礫分のみ，（土砂還元(50%)あり）） <sup>31)</sup>

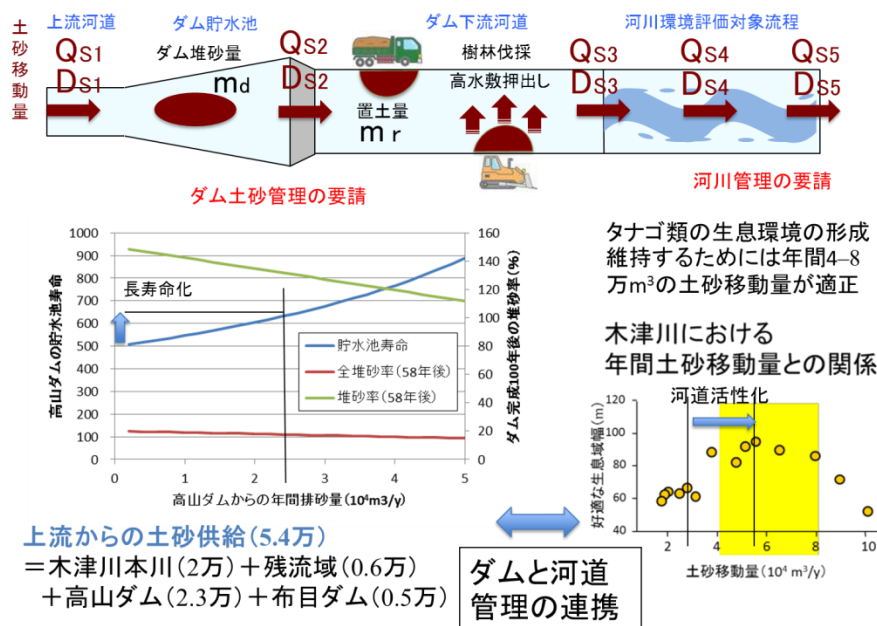


図 17 ダムの長寿命化と下流河道の河床地形管理の連携<sup>31)</sup>

## 5. おわりに

本稿では、ダムを巡る最近の話題として、既存ダムの長寿命化および機能強化を目指すドライビングフォースとしての国土交通省のダム再生ビジョンおよび土木学会のインフラ健康診断、さらに、これを実現させる技術としての水中ロボットの技術開発を紹介した。ダムの長寿命化の鍵はダムの堆砂対策であり、アセットマネジメントの考え方で計画的に進めるとともに、ダムの長寿命化および下流河川の環境改善の両者のニーズを同時に実現させた流砂系総合土砂管理の視点で上下流が連携して進める必要がある。その観点から、ここでは木津川を対象に、下流河川の環境改善の定量化を図るために、河床地形管理の考え方を、1) 設定した河川環境目標に対して最も適する河床地形条件を明らかにし、2) 与えられた川幅条件の下で適切な河床地形条件が形成維持されるための流送土砂量を推定し環境サイドからの要請を明確化し、3) そのような流送土砂量を実現するための流況条件や土砂供給条件について、流域ダム管理の要請と照らし合わせて、実現可能な管理手法を提案した。好適な河川環境維持のために必要な流送土砂量の推定した結果、全対象生物の要請を満足する掃流土砂量には幅があったが、たまり、ワンド、瀬の生息場条件に必要な重複部分から 30,000~50,000 m<sup>3</sup>/年が妥当な目標であると判断された。このようなダムと河川環境の連携による土砂管理の事例はまだ限定的と考えられるが、限られた財源を効果的に活用して土砂管理を実現するためには、このような統合的なアプローチがますます重要になってくるものと考えられる。

## 参考文献

- 1) 第2回排砂バイパストンネルに関する国際ワークショップ実行委員会 HP：  
<http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/index/2nd+Bypass+Tunnel+Wokshop.html>
- 2) 角 哲也 (2003)：土砂を貯めないダムの実現ー流砂系総合土砂管理に向けた黒部川の挑戦ー，土木学会誌，88(3)，41-44.
- 3) 角 哲也，吉村 健，朝崎勝之他 (2016)：Q99-2 耳川水系ダム群における通砂を目的とするダム改造と運用検討 (ICOLD 第 25 回大会論文)，大ダム 58(234)，21-28.
- 4) 白川 豪人，武蔵 由育，出水 重光 (2016)：土砂還元によるダム下流河川の河床環境変化の実例 (ICOLD 第 84 回年次例会発表論文(ヨハネスブルグ))，大ダム 59(237)，79-89.
- 5) G. Mathias Kondolf (1997)：Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels, Environmental Management, Volume 21, Issue 4, 533-551.
- 6) M. Pauli & L. Hunzinger (2017)：More bed load in rivers. Achieving a sediment balance close to the natural

- state in the canton of Bern, River Sedimentation – Wieprecht et al. (Eds) © 2017 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02945-3, 70-76.
- 7) 木村秀治, 加納啓司, 林昌広, 辻本哲郎(2017): 天竜川流砂系総合土砂管理計画第一版策定に向けてー大規模な土砂管理対策実施による平均河床高等の指標値の変化とその管理・評価手法の検討ー, 河川技術論文集, 第 23 巻, 447-452.
  - 8) 坂本博文, 中村甚一, 角哲也, 浅見和弘 (2006): 真名川ダム弾力的管理試験における「フラッシュ放流」の計画と効果の評価について, 河川技術論文集, 12, 271-276.
  - 9) 泉 公祐, 竹門 康弘, 兵藤 誠, 喜多村 雄一, 角 哲也 (2016): 天竜川における副流路の湧水環境創出によるアユ産卵床の造成実験, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72, No.4, I\_439-I\_444.
  - 10) 兵藤誠, 竹門康弘, 角哲也, 栗津陽介, 鄧朝暉 (2014): 洪水時の地形の浸食堆積履歴が河川生息場の好適性に及ぼす影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.70, No.4, I\_1345-I\_1350.
  - 11) 小林草平, 角哲也, 竹門康弘 (2016): ダム撤去後に下流に形成した砂州の生物生息場機能, 河川技術論文集, 第 22 巻, 463-468.
  - 12) 国土交通省ダム再生ビジョン検討会 (2017): [http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/dam\\_saisei\\_vision/index.html](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/dam_saisei_vision/index.html)
  - 13) 土木学会『社会インフラ健康診断』特別委員会: <http://committees.jsce.or.jp/reportcard/>
  - 14) 角 哲也 (2016): 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進ー水中維持管理部会における現場検証の紹介ー, 日本ロボット学会誌, 第 34 巻第 8 号, 10 月号, 7-12.
  - 15) 片岡幸毅, 梅崎昌彦, 木村哲也 (2006): 関西電力における水土木施設劣化診断の運用, 電力土木 No.322, 23-27.
  - 16) 金銅将史, 川崎秀明 (2003): ダムの維持管理コストとライフサイクルマネジメント: 土木技術資料 45-6, 46-51.
  - 17) 金銅将史, 谷田広樹, 川崎秀明 (2003): ダムの維持管理コスト, ダム技術, No.204, 52-53.
  - 18) 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, 第 13 巻, 65-68.
  - 19) 大矢通弘, 角 哲也, 嘉門雅史 (2002): ダム堆砂の性状把握とその利用法, ダム工学, Vol.12, No.3, 174-187.
  - 20) The World Bank (2003): Reservoir Conservation Volume I The RESCON Approach.
  - 21) 角 哲也, 井口真生子 (2005): RESCON モデルを用いたフラッシング排砂の適用性検討について, ダム工学, Vol.15, No.2, 92-105.
  - 22) 愛知用水総合事業部 (2007): 愛知用水二期事業の牧尾ダム堆砂対策について, 水とともに, pp4.
  - 23) 大矢通弘, 角 哲也, 嘉門雅史 (2003): ダム堆砂リサイクルのコスト分析と PFI による事業化検討, ダム工学 Vol.13, No.2, 90-106.
  - 24) 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, 第 13 巻, 59-64.
  - 25) 角 哲也 (2008): 堆砂対策に着目したダムのアセットマネジメント, 河川 8 月号, pp30-34.
  - 26) 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, 第 14 巻, 247-252.
  - 27) 角 哲也, 岡林隆信(2015): ダムのアセットマネジメントー長崎大水害を踏まえたダム群再開発「長崎方式」の先進性ー, 土木学会誌, Vol.100, No.3, 54-57.
  - 28) 富田邦裕, 角 哲也, 渡邊 守(2010): 河川における総合土砂管理の経済評価-矢作川におけるダム長寿命化と環境改善を組み合わせた費用便益評価-, 河川技術論文集, 第 16 巻, 529-534.
  - 29) 伴田 勝, 角 哲也 (2009): 土砂資源マネジメントの観点によるダム堆砂リサイクル事業の検討, 河川技術論文集, 第 15 巻, 247-252.
  - 30) 清原正道, 高木康行, 佐藤克英, 角 哲也 (2010): 下流河川への必要土砂供給を考慮したダム堆砂対策に関する研究, 平成 21 年度ダム水源地環境技術研究所報, (財)ダム水源地環境整備センター, 調査研究 2-1, 21-29.
  - 31) 竹門康弘, 角 哲也, 藤田正治, 武藤裕則, 竹林洋史, 堤大三, 石田裕子, 小林草平, 玉基英 (2013): 河川環境のための河床地形管理手法に関する技術開発, 京都大学防災研究所年報 第 56 号 B, 719-730.
  - 32) 竹門康弘, 小林草平, 崔 美景, 寺田匡徳, 竹林洋史, 角哲也 (2013): 河川の横断測量データに基づく水面比高分布を用いた生息場評価法, 河川技術論文集, 第 19 巻, 519-524.

2017 年度（第 53 回）  
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース（海岸・港湾コース）

総合テーマ：海岸・港湾における構造物の  
維持管理と海岸保全

B-1 堤防における土粒子－土－地盤構造と水の相互作用

名古屋工業大学 教授 前田健一

Kenichi MAEDA

B-2 港湾構造物の戦略的な維持管理の実現に向けて

港湾空港技術研究所 構造研究グループ長 加藤絵万

Ema KATO

B-3 港湾の埋没対策と浚渫土砂の有効利用

九州大学 教授 中川康之

Yasuyuki NAKAGAWA

B-4 港湾域を含む沿岸海域の環境管理

大阪大学 教授 西田修三

Shuzo NISHIDA

B-5 点検データを活用したアセットマネジメント

大阪大学 准教授 貝戸清之

Kiyoyuki KAITO

B-6 海岸防災のための海岸堤防の維持管理

国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室長 加藤史訓

Fuminori KATO

B-7 防護機能を維持するための海岸保全施設の長寿命化計画

（株）建設技術研究所 北陸支社長， 前 建設コンサルタンツ協会 海岸・海洋専門委員会委員長

原 文宏

Fumihito HARA

B-8 海岸保全を基軸とする沿岸域の総合的管理

東京大学 教授 佐藤慎司

Shinji SATO