

## ◆ 第53回建設省技術研究会報告特集 ◆

## ダム貯水池の土砂管理に関する研究

建設省河川局開発課  
 建設省土木研究所ダム部水工水資源研究室  
 建設省各地方建設局河川部河川管理課  
 北海道開発庁北海道開発局建設部河川管理課  
 沖縄開発庁沖縄総合事務局開発建設部河川課  
 水資源開発公団管理部管理企画課

## 1. はじめに

ダム貯水池の堆砂問題を解決するため、貯砂ダムの設置や掘削、浚渫を行うとともに、最近では土砂バイパスや排砂設備の設置などの抜本的な対策も計画・実施されてきている。また、近年、堆積土砂をリサイクル資源として骨材等への有効利用を図る社会的ニーズも増してきている。しかしながら、堆砂の量に関しては、ダム全般に対して精度良く適用できる推定式は未だ確立されておらず、有効利用を図る際に必要となる粒径や岩質などの堆砂の質に関しては、実態把握すら十分ではない状況である。また、有効利用を進めるためには、こうした量や質といった基本情報の蓄積とともに、コストをはじめとする社会・経済的な要素に関する検討も必要となってきている。さらに、流域の源頭部から海岸に至るまでを「流砂系」と捉えた総合的な土砂管理を進めていくにあたっても、ダムにおける新たな土砂管理システムが求められている。

本研究は、ダム堆砂の量に関して現在把握されている情報を体系的に整理し、流域の地形や地質、水文現象、貯水池内の水理条件などとの関係を明らかにすること、質に関しては新たにボーリング調査や洪水時の採水調査等の現地調査を行い情報を収集すること、さらに、堆積土砂の骨材等への有効利用を含む堆砂対策の現状と課題を整理し、今後の堆砂対策に資することを目的としている。

研究にあたっては、平成9年度から11年度にかけて建設省技術研究会のテーマとして取り上げ、

- ①堆砂現象に係わる基本特性
  - ②貯水池における土砂の捕捉状況
  - ③堆砂対策手法(貯砂ダムの計画・設計を含む)
  - ④堆砂の有効利用方策
- についての検討を行った<sup>1),2),3)</sup>。

## 2. 堆砂現象に係わる基本特性

## 2.1 堆砂現象と影響因子

建設省あるいは水資源開発公団が管理しているダムのうち、管理年数が10年以上経過している65ダムを対象に、流域面積あたりの年間堆砂量である比堆砂量を確率過程と捉えて整理し、50%比堆砂量(2年に1回の割合で発生する比堆砂量に相当)および平分線の勾配(勾配が緩いほど比堆砂量の分散が大きい)を整理した。その結果、利根川水系鬼怒川の隣接する流域に存在する川俣ダムと川治ダムの例(図-1)に示すように、同一水系や隣接流域のダム群であっても比堆砂量の確率分布形が違ったものとなり、土砂の生産・輸送・堆砂現象に影響を及ぼす因子(以下、「影響因子」)の相違によるものであると考えられた。

検討にあたっては、外力(降雨)の発生から土砂の生産・輸送・堆砂現象に至るまでの過程における影響因子を土砂生産グループ(地質、地形因子、植生

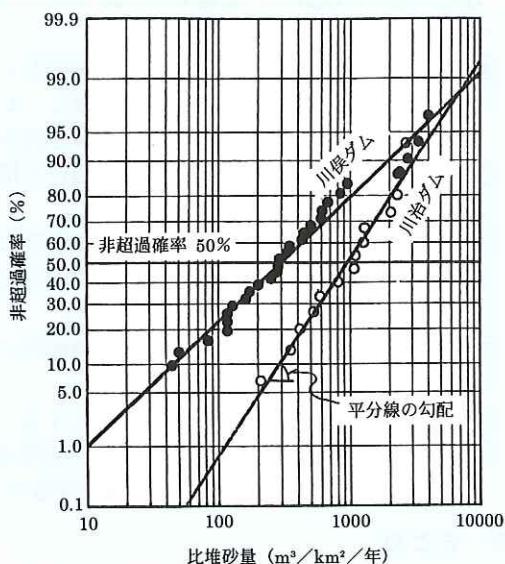


図-1 比堆砂量の確率評価

等)、土砂輸送グループ(流量、流路長、流路勾配等)、貯水池グループ(経過年数、貯水池規模等)の3つに区分して考えた。そのうちでダム堆砂量に影響が大きいと思われる、外力としての降雨や土砂生産グループの地形因子、土砂輸送グループの流量等と、比堆砂量(平均値、非超過確率50%値)および平分線の勾配との関係について単回帰分析と重回帰分析を行った。検討対象ダムは、50%比堆砂量が大きく、平分線の勾配が異なる同一水系や隣接流域のダム群とし、利根川水系鬼怒川流域の五十里ダム、川俣ダム、川治ダムと、天竜川水系の美和ダム、小渋ダム、新豊根ダムの2水系6ダムとした。なお、土砂生産域の影響因子(以下、「地形因子」)については、ダム流域のうち山腹崩壊が多い1次～2次流域を土砂生産域と考え、その流域の地形計測結果を用いた。また、新豊根ダムは崩壊地データがないので、地形因子および崩壊量に関する回帰分析の対象からは除いた。

#### ①単回帰分析結果

比堆砂量(平均値、非超過確率50%値)については、生産土砂量を表す崩壊面積と、土砂生産のポテンシャルを表す平均山腹斜面高(起伏量に相当)に高い相関が認められた。平分線の勾配については、年流入総量、仕切り流入総量に高い相関が認められた。ここで、仕切り流入総量とは、土砂が移動し始めると考えられる流量(仕切り流入量)以下の流量の総量である。仕切り流入量は、年間の仕切り流入量以上の流量の総量(有効流入総量)と各年の堆砂量との相関解析により設定した。

仕切り流入量は、土砂生産域および土砂輸送域の土砂流出の抵抗をあらわすものと考えられる。すなわち、生産土砂の粒径が大きい、土砂輸送域の縦断勾配が緩い、土砂貯留域である彎曲箇所が多い、あるいは流路延長が長いと仕切り流入量は大きくなると考えられる。土砂流出の抵抗が大きい流域では、仕切り流入量以上の出水頻度が少なくいため、土砂流出の頻度が少なく不連続になり、その結果、比堆砂量の分散が大きくなると考えられる。

#### ②重回帰分析結果

重回帰分析は、単回帰分析で相関が高くかつ因子間で独立性のある因子を選定して行った。50%比堆砂量と相関の高い因子の組み合わせは、土砂生産域の平均山腹斜面高と土砂生産域の平均流路高であった。

## 2.2 貯水池内堆積土砂の性状

### 2.2.1 貯水池内堆積土砂の粒径区分

貯水池内に流入する土砂の性状分布(粒径、有機物・栄養塩含有量)については、各ダムで個別に調査されているのみで、全国的に整理された資料がほとんど存在しないのが現状であった。しかし、貯水池内堆積土砂の性状は、有効利用をはじめとする堆砂対策の可能性を大きく左右する要素であるため、建設省管理ダムのうち30ダムについて貯水池内ボーリング調査等を実施し、堆積土砂の鉛直方向、縦断方向の粒度分布を把握した。ボーリング調査結果と測量によって得られた堆砂形状から、堆砂の粒径区分割合を推定し三角座標表示によって整理した結果を図-2に示す。なお、粒径区分は、シルト+粘土:0.074mm以下(粘土:0.005mm以下)、砂:0.074～2.0mm、礫:2.0～20mmの3区分とした。

粒径区分割合は、調査対象ダム平均で、粘土:20.2%、シルト:33.6%、砂:34.6%、礫:11.6%

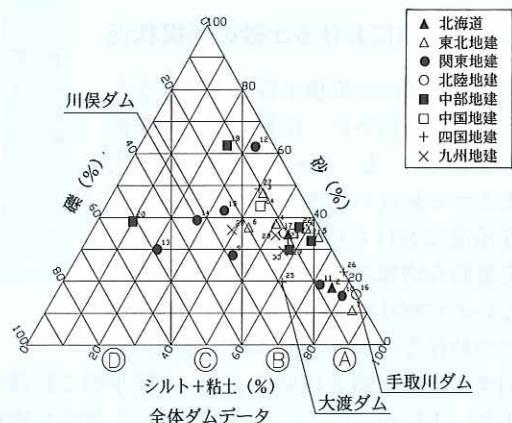


図-2 貯水池内堆積土砂の粒径区分割合

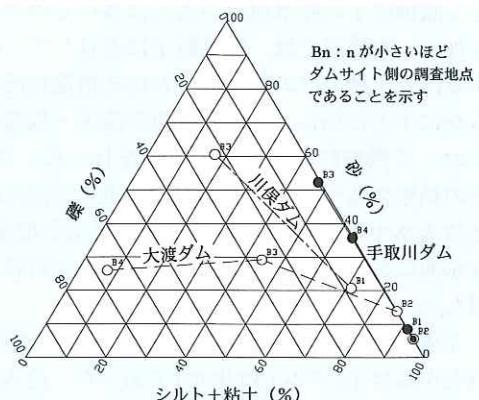


図-3 代表ダムの調査地点毎の粒径区分割合

となり、シルト以下の細粒分が約 50% を占める。粒径としては、全国平均で 10% 粒径 : 0.005mm、50% 粒径 : 0.25mm、90% 粒径 : 5.75mm である。代表的なダムで、調査地点毎の粒度分布の変化を示したのが図-3 である。各ダムとともにダムサイト側の調査地点では細粒分が多く、上流へ行くに従って粗粒分が多くなっており、貯水池による分級によるものと考えられる。

## 2.2.2 貯水池内堆積土砂の有機物および栄養塩

今回の調査結果から、各ダム毎に有機物および栄養塩含有量とシルト以下の細粒分が占める体積の割合に相関があることが確認できた。今後、細粒分の体積割合から有機物および栄養塩の含有量を予測する手法についての検討が必要である。

## 3. 貯水池における土砂の捕捉状況

ダム貯水池の堆積土砂は、従来から堆砂測量が行われ、定量的な把握が進んできた。一方、ウォッシュロードに代表される粒径の小さい土砂の流入量と貯水池における捕捉割合については、定量的な情報がほとんど把握されていないのが現状であった。また、堆積土砂の粒径等の質的な面では、今回の全国ダム堆積物調査結果により、全国平均で粒径の小さい土砂が 54% (シルト 34%、粘土 20%) 堆積していることから、浮遊砂やウォッシュロードとして微細粒子の貯水池への流入は多いものと考えられる。本検討では、微細粒子に着目して、流入する浮遊土砂のダム貯水池における捕捉状況を明らかにするために、ダム貯水池の流入・放流地点において微細粒子の測定・解析を行った。また、その結果に基づいて、洪水中の浮遊土砂流入総量と放流水中の浮遊土砂流出総量の収支を把握し、貯水池における土砂の捕捉に関する基本特性を検討した。

平成 10 年度～11 年度で出水時に観測が実施されたダムは 12 ダム (30 出水) であった。流入河川及び放流口で調査を実施し、観測項目は自動濁度、採水による SS 濃度および濁度を基本とし、さらに

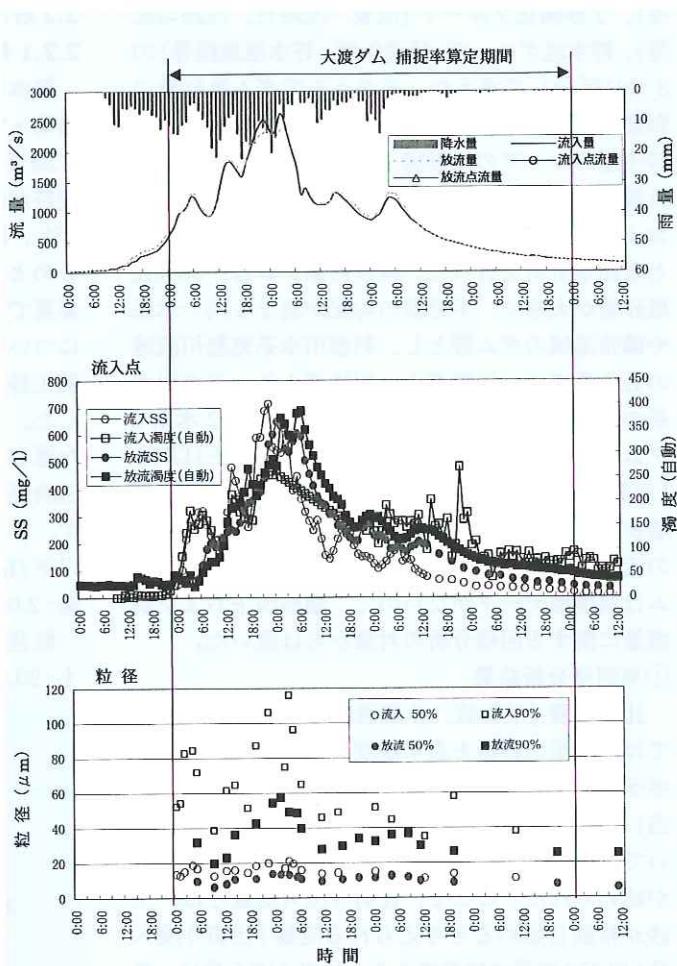


図-4 出水時の降雨、流量、SS 濃度及び濁度の経時変化  
(大渡ダム、平成 11 年 7 月 26～31 日)

代表ダム (大渡ダム、野村ダム、二瀬ダム) では、濁質粒度の分析を行った。大渡ダムでの観測状況を図-4 に示す。今回の観測結果によれば、流入 SS 濃度の最大を観測した草木ダムでは、流入 SS 濃度 9,420mg/l (最大流入量 1,347m³/s)、流出 SS 濃度 2,252mg/l (最大放流量 610m³/s)、次いで、二瀬ダムで流入 SS 濃度 6,326mg/l (最大流入量 605m³/s)、流出 SS 濃度 2,426mg/l (最大放流量 418m³/s) であり、放流 SS と流入 SS の最大値の比は草木ダムで 0.24、二瀬ダムで 0.38 になる。

大渡ダムにおける観測データで流量と SS の関係をみると、流入量と流入 SS 濃度は相関があることが認められる。一方、放流量と流出 SS 濃度との関係は、出水規模が大きい場合には相関が認められるが、出水規模が小さい場合には相関が認められなかった。このことは、貯水池容量に比較して

流入量の総量が大きい場合に、流入濁水が放流口まで到達し流出 SS 濃度に直接影響するためと考えられる。流入および放流地点での SS 濃度と濁度の関係は、出水毎にそれぞれの相関が認められた。

出水時に観測が実施された 12 ダムの内、SS 濃度および濁度が流入初期から波形として観測されたのは 6 ダムで計 13 出水であった。この出水を対象として、貯水池回転率と捕捉率の関係を検討した。

1 洪水あたりの捕捉率の計算は次の通りとした。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 洪水あたりの捕捉率} = & \\ (1 \text{ 洪水あたりの流入 SS 量}) & - 1 \text{ 洪水あたりの放流 SS 量} \\ / (1 \text{ 洪水あたりの流入 SS 量}) \times 100 (\%) \end{aligned} \quad (1)$$

検討結果を図-5 に示す。貯水池回転率を流入総量/洪水期利水容量とすると、貯水池回転率が大きくなると、捕捉率は小さくなり、貯水池回転率が約 5 以上で捕捉率の変化が小さくなる傾向がある。

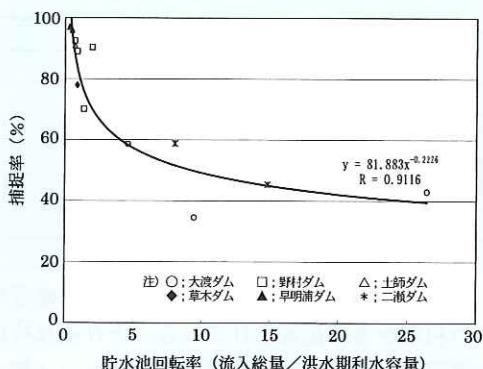


図-5 貯水池回転率と捕捉率の関係

#### 4. 堆砂対策手法

本検討は、現在国内で実施されている各種堆砂対策手法について、その手法選択に至る考え方を整理し、さらに対策の中でも代表的な手法である貯砂ダムについて、より合理的な計画手法について検討するとともに、計画・設計・管理の各段階における実績データに基づく貯砂ダムの事例集を作成することを目的としている。

貯砂ダム実績データを収集するため、建設省あるいは水資源開発公団により管理中または建設中の 32 ダム並びに建設省補助の貯水池保全事業により完成または計画中の 21 ダム、計 53 ダムを対象に堆砂に関するアンケート調査を実施し、貯砂ダムの計画・設計・管理に関する基本的な考え方について整理した。

アンケート調査及び文献調査等結果から、堆砂対策が必要とされた理由は、計画以上の堆砂によるダム機能障害(有効容量の減少、取水・放流設備の障害等)が全体の約 7 割を占め、機能障害の解消として、堆積土砂の搬出の容易さ及び経済性等から 9 割以上のダムで貯砂ダムを採用している。貯砂ダムの計画設計にあたっての留意事項を表-1 に示すとおりまとめた。以下に特に留意すべき事項について記述する。

#### 4.1 位置の選定

貯砂ダムの設置位置は、土砂の捕捉率、土砂搬出の容易性、本ダムの有効容量への影響、流域の地形・地質、貯砂ダムの設置に伴う用地取得及び施工性等について検討し、選定しなければならない。

##### 4.1.1 土砂の捕捉率

貯砂ダムの設置位置を定めると、その流域から発生する土砂しか捕捉できないので、大きな支川が複数あるダム等では、複数の貯砂ダムを設置しないと全体の土砂捕捉率は上げられない。

##### 4.1.2 土砂搬出の容易性

貯砂ダムは、計画的な土砂搬出と合わせて効果を発揮するものであるから、土砂搬出の容易性は、位置選定においても重要な要素となる。平面的には、周辺の一般道や管理用道路との位置関係、搬出作業の容易さ等に留意する。

なお、貯砂ダム建設時に工事用として設置した道路は、完成後、土砂運搬路として使用されるので、計画時点から縦断勾配、幅員等に配慮すべきである。標高的には、土砂搬出の作業時期を想定し、本ダム貯水位との関係に留意する。

#### 4.2 容量計画

容量計画とは、貯砂ダムの計画堆砂量を適切に定め、貯砂ダムと本ダムの土砂制御に関する役割分担を明確にし、本ダム流域全体から流入する土砂の制御・搬出計画を決定することである。

アンケート調査結果では、貯砂ダム計画堆砂量と本ダム計画堆砂量の堆砂量比率は、10%以内が約 8 割以上を占めている。

現在、貯砂ダムの計画堆砂容量は、実績データを参考に年平均流入土砂量の 1~3 年分程度又は、貯砂ダム計画位置の地形、地質上から最大規模程度とする事例が多く、流入土砂の年変動を考慮した土砂制御・搬出計画を検討している事例はまれである。

表-1 貯砂ダム設置にあたっての留意事項

項目	貯砂ダムの設置にあたっての留意事項
1. 貯砂ダムの計画・設計・管理	
1.1 計画	
(1) 位置の選定	土砂の捕捉率、土砂搬出の容易性、本ダム有効貯水容量への影響等を考慮
(2) 貯砂ダム容量計画	<p>貯砂ダムの計画堆砂量を適切に設定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本ダム流域全体の土砂制御</li> <li>・本ダムと貯砂ダムの土砂制御に関する役割分担の明確化</li> <li>・貯砂ダムの搬出計画を立案</li> </ul>
(3) 副次的利用	景観、湖面利用等
1.2 設計	
(1) ダム形式	重力式コンクリートダム型式の採用が多い
(2) 準拠・参考資料	河川管理施設等構造令、河川砂防技術基準(案)等
(3) 本体基本構造	貯砂ダムの規模、必要安全度、流下土砂の粒径、粒度等を検討し決定
(4) 詳細構造	<p>水通し設計流量 … 本ダム貯水池との関連に留意</p> <p>水通し位置 … 旧河道の形状等を考慮</p> <p>水抜き … ドライ掘削の是非</p> <p>付帯施設 … 本ダム貯水位、基礎岩盤状況等に留意</p>
(5) 魚道	<p>漁業権の有無、対象魚種、本ダム貯水位の変動等を勘案し必要性を検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・階段式、アイスハーバー型、粗石水路とブル型の事例が多い</li> </ul>
1.3 仮設計画	
(1) 基本条件	満水時に水没、施工時期と本ダムの貯水位との関連等に留意
(5) 仮締切	半川締切、仮排水路等について、施工性、経済性等について比較検討
1.4 管理	
(1) 必要調査	堆砂量、搬出量、堆砂形状等の基本調査を毎年実施
(2) 搬出	搬出先毎の搬出実績、搬出時期等について確認し搬出
(3) 周辺利用	貯砂ダム本来の目的と不整合のない場合に実施
(4) 有効利用	周辺地域での有効利用先を積極的に調査 有効利用としてコンクリート骨材・アスファルト骨材、路床路盤材等

なお、流入土砂の年変動も考慮した検討事例も見受けられるので、これらを参考に今後は総合的に検討することが望ましい。

## 5. 堆積土砂の有効利用方策の検討

全国のダム管理者に利用方法の現状と問題点等についてアンケート調査を実施した結果、580ダムから回答を得た。ダム管理者別の内訳は、都道府県管理の補助ダムが 258(44%)、発電用のダムが 153(26%)、建設省管理のダムが 65(11%) であった。ダム貯水池から堆積土砂を採取しているダムは、この 580 ダム中 147 ダム(25%)で、このうちの 114 ダム(78%)で採取土砂の有効利用が行われている。全採取量は年平均で約 390 万 m<sup>3</sup> (S63~H9 の平均)で、そのうち約 220 万 m<sup>3</sup> が有効利用されており、その利用方法としては「コンクリート骨材」が全体の 56%で最も多く、次いで「盛土材」が 26%を占めている。また、近年は「土壤改良材」や「家畜飼料」への利用や「河川供給材」としての処分が注目されている。

堆積土砂の新たな利用方策としては、建設材料への利用が多く提案されている。それぞれ技術的な課題はあるが、利用量の件数増大という観点からみた場合、

- ①使用用件数全体の 82%を占めるコンクリート骨材及び盛土材への利用促進。
- ②大量処分方法として期待される河川供給材としての使用方法の研究推進。

が必要であると考えられる。以下、各利用方法について現状と課題を示す。

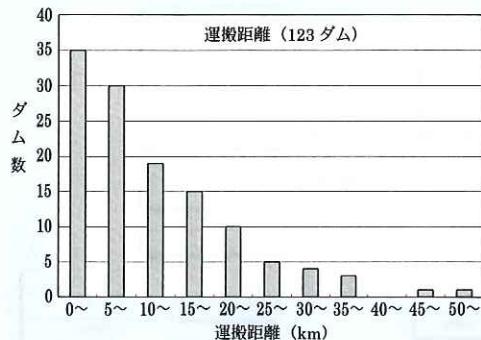
### 5.1 コンクリート骨材への利用

堆積土砂は、コンクリート骨材として最も多く利用されており、砂利採取業者により採取が行われている。コンクリート骨材利用上の問題点は、次のとおりである。

- ①ダンプトラックの運搬距離が長くなると採算が合わないため、業者による土砂採取が困難。
- ②ダムは山間僻地にある場合多いため、ダム周辺での骨材需要が少なく、採取土砂の供給先が少ない。

- ③骨材生産に伴い発生する廃棄土砂の捨土先がなかなか見つからない。  
 ④異物(木片、ビニール等)の処理費用がかさむ場合がある。

このうち最大の問題は①の運搬距離であるが、図-6に示すように堆積土砂を採取している約8割のダムでは運搬距離が20km未満となっており、骨材の搬出先はダム周辺地域に限られている。



## 5.2 盛土材(埋土材)への利用

細粒分が多くコンクリート骨材に使用できない堆積土砂の場合、ダム管理者が盛土(埋土)用として土砂を搬出しているダムがある。この土砂の利用方法としては、圃場整備事業、陸砂利採取跡地の埋土や下水道の埋戻し材等があるが、継続的な土砂搬出のためには他の公共的事業との連携等地域ぐるみの取り組みが必要である。

## 5.3 河川供給材としての処分

侵食された河床や河口付近の海岸を回復させる目的で、ダムの堆積土砂を人為的に河川内に置土するもので、濁水の発生、河床の上昇や水生生物等への影響がない供給が可能であれば、土砂の大容量処分方法としても非常に有望な方法であると考えられる。天竜川水系では、「天竜川土砂供給試験検討協議会(事務局:建設省浜松工事事務所)」を設置して、平成10年度から土砂供給実験を行っている。実験は秋葉ダム(電源開発(株))の浚渫土砂を下流河川内に運搬・置土し、出水時の流失状況を調べることにより、現在の河川環境に対する供給土砂の許容量の把握と河川生態系への影響について基礎的な検討を行うものである。

河川供給材としての課題としては、

- ①下流ダムでの土砂堆積の影響
- ②供給材の粒度調整の必要性

- ③濁水発生等の河川環境への影響等があげられる。

## 6. おわりに

堆砂量の推定方法については、今回得られた結果はごく一部の流域におけるデータに基づくものであり、今後他の流域への適用性についても十分検証し、汎用性のある予測手法を確立していくなければならない。微細粒子の計測にあたっては、貯水池の流入地点及び放流地点において、出水時の採水によりSS、濁度、粒度分布等を測定するとともに、濁度については自動計測を導入した。しかしながら、採水開始の遅れや自動濁度計の流失や故障により、十分なデータを取ることができない場合もあり、出水の立ち上がりから終わりまでの精度よく計測するための計測手法についても今後検討する必要がある。堆砂対策手法については、今後、堆砂量及び質の予測手法の精度向上を貯砂ダムの計画・設計手法や堆積土砂の有効利用方策に反映させていくことが重要である。

本研究により、これまで一部のダムでしか把握されていなかった粒径、有機物・栄養塩含有量等の堆砂の性状や貯水池における細粒微細粒子の捕捉状況等について、より広範なダムでの貴重なデータを収集・整理することができた。このデータを用いてさらに検討を進めるとともに、引き続きデータの収集に努め、堆砂の量及び質の予測精度の向上を図り堆砂対策へ反映させていくことが必要である。

最後に本研究の実施に協力いただいた全国の建設省および水資源開発公団のダム管理事務所に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 建設省:ダム貯水池の土砂管理に関する研究、第51回建設省技術研究会報告(平成9年度)、土木研究センター、pp.11-1-18, 1998.
- 2) 建設省:ダム貯水池の土砂管理に関する研究、第52回建設省技術研究会報告(平成10年度)、土木研究センター、pp.3-1-26, 1999.
- 3) 建設省:ダム貯水池の土砂管理に関する研究、第53回建設省技術研究会報告(平成11年度)、土木研究センター、2000.

<文責>

建設省土木研究所ダム部水工水資源研究室主任研究員  
箱石憲昭