

ダム貯水池堆砂と そのダム下流河川還元についての研究

STUDY ON RESERVOIR SEDIMENTATION AND THE SEDIMENT REPLENISHMENT TO THE RIVER BELOW DAMS

岡野 眞久¹・菊井 幹男²・石田 裕哉³・角 哲也⁴
Masahisa OKANO, Mikio KIKUI, Hiroya ISHIDA and Tetsuya SUMI

¹フェロー会員 工修 (財)ダム水源地環境整備センター (〒102-0083 東京都千代田区麹町2-14-2)

²正会員 国土交通省中部地方整備局 浜松河川国道事務所 (〒430-0811 浜松市名塚町266)

³正会員 工修 (株)建設技術研究所 東京本社ダム室 (〒330-0071 さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

⁴正会員 博士 (工) 京都大学大学院工学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

Comprehensive sediment management is needed to mitigate reservoir sedimentation for sustainable management of existing reservoirs. In this situation, appropriate sediment management techniques should be developed depend on the location in reservoirs and characteristics of deposited sediment. In recent years, a new technique that is to convey a part of coarse sediments excavated in the reservoir to the river below dams is developed and has been implemented in several dams. In those cases, placed sediments in the downstream river will be gradually eroded and transported to the sea during natural flood events.

In this paper, we focus on an example of the Sakuma dam in the Tenryu river basin. Characteristics of reservoir sedimentation in the Sakuma dam and effects of the sediment replenishment project to the downstream river are discussed.

Key Words: *reservoir sedimentation, management of coarse sediment, sediment replenishment, river restoration, monitoring*

1. はじめに

わが国のダムでは、中部山岳地方を中心に、竣工後、時間の経過とともに貯水池堆砂が進行し、上流河床の上昇や貯水容量の減少などダムの有する機能を損なうおそれがあるものも見られる。また、ダム堆砂は河川砂利採取の影響と相まって下流河道の河床低下および河口周辺海岸での海岸侵食をもたらす一因ともなっている。一方、ダムからの土砂の適正な供給は下流河川・海岸の土砂環境については生物生息環境の観点からも重要であることが近年指摘され、また、注目されている。

これら土砂問題を解決するためには、流域全体から見た総合的な土砂管理が必要である。その一環としてダム貯水池の堆砂を掘削・運搬してダム下流河道に仮置きし、主として洪水時に下流河川に供給する試験が全国でいくつか行われてきている^{1),2)}。ここでは、天竜川下流部での取り組みを例に、貯水池の土砂堆積状況から粗粒土砂の堆積特性を明らかにし、土砂排除を効率的に進めかつ

河川環境も改善していく方策の一つである河川還元方式の実用化研究を進めるものである。

2. 天竜川水系の土砂動態の概要

(1) 流域概要

天竜川は長野県の諏訪湖に発し、静岡県浜松市東側で遠州灘にそそぐ流域面積約5,090km²、幹川流路延長213kmの国が管理する一級河川である。流域平均年間降水量は2,000mmであり、1930年代半ばから水力発電などのダムが設置されてきている。

一方、天竜川流域には、中央アルプス山系及び南アルプス山系の3,000m級の山々が連なるとともに、中央構造線をはじめとする構造線が走っており、崩壊地も多く日本でも有数の土砂流出の多い地域である。このため、流域内に建設された多くのダムでは、貯水池堆砂の進行が懸念されている。

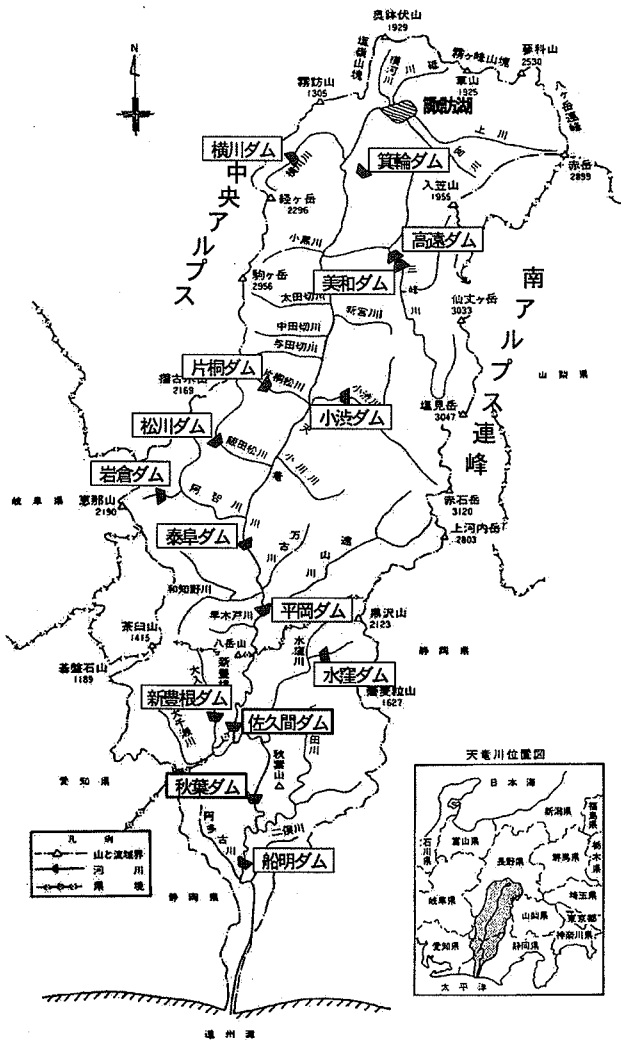


図-1 流域の概要

(2) ダム貯水池の堆砂

天竜川水系に設置されている貯水15ダム(本川5ダム、支川10ダム)の堆砂状況は表-1のとおりである。特に下流域に近い佐久間ダム、秋葉ダムには大量の土砂が堆積しており、これらのダムでは堆砂対策が行われてきている。

(3) ダム下流河川・海岸の変化

天竜川下流部0~25km(河口から鹿島まで)区間の1962年(秋葉ダム竣工1958年)から2000年の28年間における平均河床の河床変動量と砂利採取実績を図-2に示す。これより、河床変動量は河道から砂利採取の動向と関係が深いことがわかる。即ち、0~14km区間は1975年頃以降、砂利採取が少なくなり近年では河床変動量の変化量は小さく、河床の低下傾向は小さい。一方、14~25kmの区間では同様に1975年頃まで急激な低下が生じた。また、近年においても砂利採取の継続等によりその低下傾向は止まっていない。

天竜川河口周辺の海岸は1960年頃より侵食被害が開始し1972年から1977年まで国の直轄事業により離岸堤の設置などの本格的な侵食対策が行われた。

表-1 堆砂状況一覧(2000年現在)

ダム名	管理者名	竣工年	総貯水容量		
			容量(千m3)	堆砂実績(千m3)	堆砂率(%)
船明	電源開発	1977	10,900	907	8.3
秋葉	電源開発	1958	34,703	12,693	36.6
水窪	電源開発	1969	30,000	7,031	23.4
新豊根	国土交通省	1973	53,500	890	1.7
佐久間	電源開発	1956	326,848	113,303	34.7
平岡	中部電力	1952	42,425	35,833	84.5
岩倉	中部電力	1937	435	149	34.3
泰皇	中部電力	1936	10,761	8,490	78.9
松川	長野県	1975	7,400	2,765	37.4
片桐	長野県	1990	1,840	319	17.3
小法	国土交通省	1969	58,000	14,029	24.2
高遠	長野県	1958	2,310	831	36.0
美和	国土交通省	1959	29,952	6,769	22.6
箕輪	長野県	1993	9,500	95	1.0
横川	長野県	1987	1,860	163	8.8

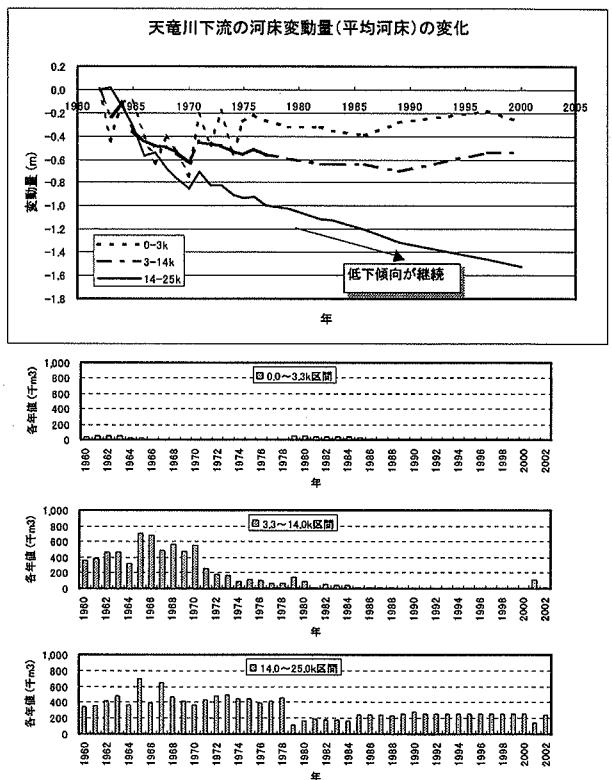


図-2 河床変動量と砂利採取実績

3. ダム貯水池内堆砂と直下流河床材料

(1) 佐久間ダム貯水池堆砂実態³⁾

a) 堆砂の進行と再移動

図-3は、佐久間ダムの堆砂進行の経年変化を示したものである。佐久間ダムの堆砂縦断形状は密度流堆積層、底部堆積層、前部堆積層および頂部堆積層を有する典型的なタイプである。その堆砂デルタ肩は堆砂の進行とともに下流へ移動し、肩の形成も明瞭である。

図-3より1961年出水(上流域で山腹の大崩壊があり大量の土砂が流入)による密度流堆積層とデルタ部の形成および堆砂の再移動がよくわかる。佐久間ダムでは1971年から砂利採取による湖外搬出が行われ、近年では

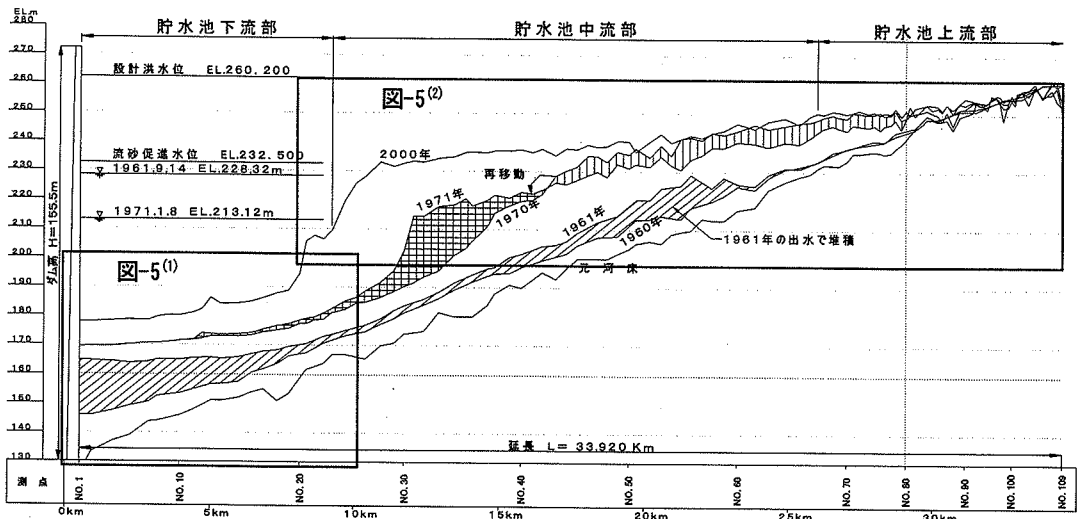


図-3 堆砂進行経年変化図

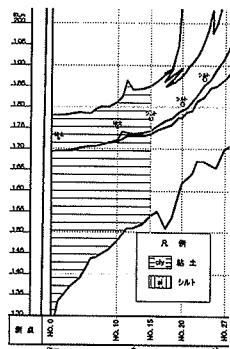


図-5(1) 土層区分図 (貯水池下流部)

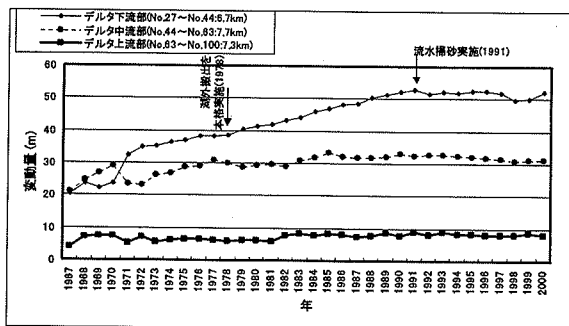


図-4 堆砂高経年変化図

40万 m^3 /年程度になっている。また1990年代から1~2月を中心に貯水位を低下させ、貯水池内の中、上流部を自然河道状態としたうえで、流入水を利用して堆積土砂を貯水池下流部の死水容量内に移動させる「流水掃砂」が実施されている。

図-4はデルタ部を下流部(No.27~No.44:6.7km)、中流部(No.44~No.63:7.7km)、上流部(No.63~No.100:7.3km)に区分し、1967年以降の各測点における堆砂高さの変動量を区間毎に平均した値をグラフ化したものである。なお、変動量は各測点とも元河床からの値としている。これより、以下のことがわかる。

デルタ中流部では、湖外搬出が本格化した1978年以降の変動量はほぼ一定の値を示し、また、流水掃砂が実施され始めた1991年以降は減少傾向にある。即ち、湖外

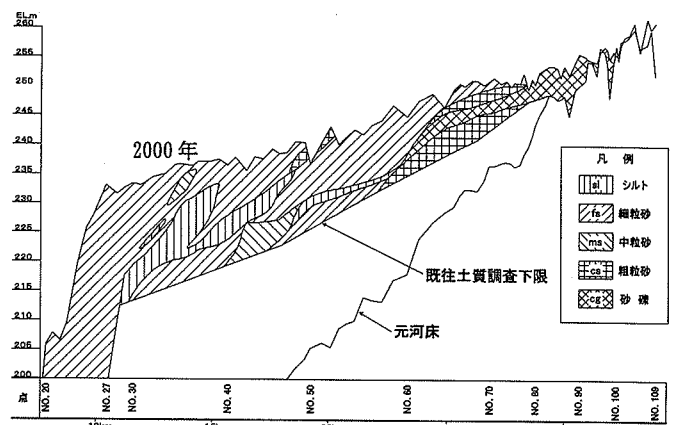


図-5(2) 土層区分図 (貯水池中、上流部)

搬出が本格化して以来堆砂進行は鈍化し、流水掃砂実施以降は堆砂面が低下傾向にあることがわかる。しかし、デルタ上流部では、これら湖外搬出、流水掃砂が実施されているにも関わらず、大きな低下を示すまでにはいたっていない。このことより、デルタ上流部では排砂の効果が十分に及んでいないことが想定される。

b) 堆積土砂の粒径分布

一方、図-5は佐久間ダムの貯水池内で実施されたボーリング調査結果を用い、堆積土砂の土層区分を示したものである。それらのボーリング深度は堆砂面より10~20m程度である。密度流堆積層は、表層の土層区分をもって全層を表示した。

土層区分毎の平均粒度分布を図-6に示す。これより、頂部堆積層内上流部の堆砂は、粗粒砂で0.2~2.0mmの粒径が多くなることがわかる。また、下流になるに従い細砂が卓越し、堆砂肩の先端ではシルトの割合が多くなることがわかる。また、堆砂肩の下流ではさらに粒径が小さい土砂(シルト、粘土)が貯水池底部に河床に平行または水平に堆積している。

図-4、図-5(2)より中流部の砂利採取による湖外搬出および流水掃砂を実施することにより、細粒土砂が卓越

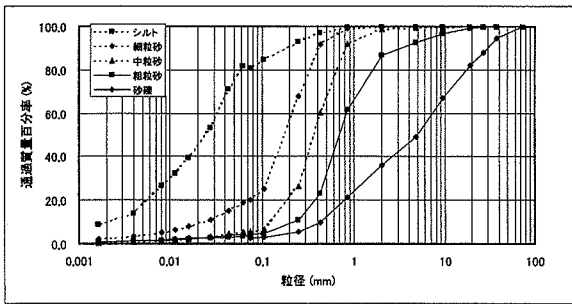


図-6 土層区分毎の平均粒径分布図

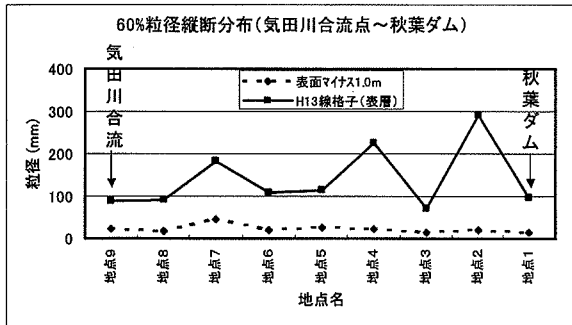


図-8 代表粒径 (60%粒径) の縦断変化

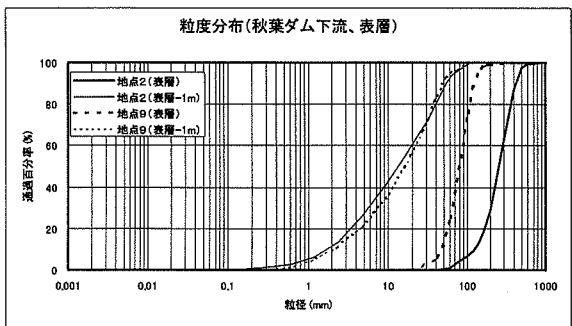


図-9 粒度分布図

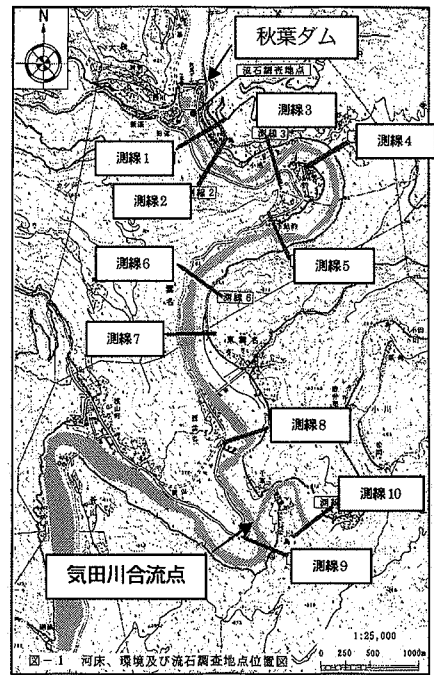


図-7 河床材料調査実施位置図

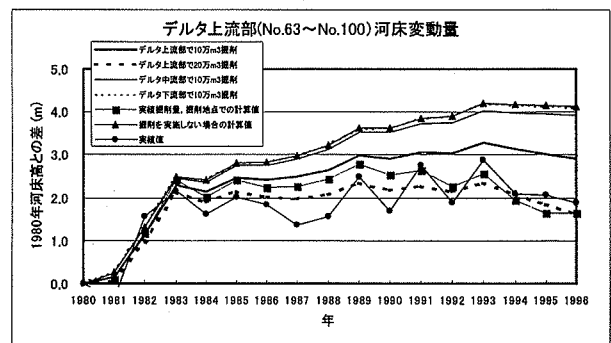


図-10 河床変動量経年変化

するデルタ中、下流部の堆砂面は維持あるいは低下傾向にあることがわかる。一方、粗粒土砂が卓越するデルタ上流部は流水掃砂のみで堆砂面を下げることは困難であろう。新庄らは、このデルタ上流部での流水掃砂による粗粒化も指摘しており⁴⁾、当面の堆砂対策としては、機械力により掘削し搬出する事が現実的である。

(2) 秋葉ダム直下流河川の河床構成材料

秋葉ダムは佐久間ダム下流 23km に位置する。秋葉ダム直下流から支川気田川合流点まで約 17km 区間 (河口から 35~47km) (図-7) における表層と下層 (表面マツキ 1m) の 60%粒径縦断分布及び地点 2, 9 の粒度分布を図-8, 9 に示す。図-8 より地点 2 の表層の 60%粒径が他の地点に比べ大きな値を示し、秋葉ダムから下流に行くほどその値は小さくなる傾向が認められる。また、地点 9 は大規模貯水池を有さない支川気田川合流点よりも下流であり、60%粒径は表層と下層で相対的に近い値を示す。

これは、図-9 の地点 2, 9 の粒度分布図からも明らかのように、秋葉ダム設置に起因すると思われる河床材料の粗粒化が生じているものと考えられる。

4. 貯水池堆砂デルタの掘削及びダム直下流河道への供給による河床高変化の推定

(1) 堆砂デルタの掘削による河床変化

貯水池上流部に堆積する粗粒土砂を効率的に移動させ、貯水池上流部の河床を維持するための方策を検討するため、昭和 55 年から平成 8 年の 17 年間を計算対象期間とする貯水池内の一次元河床変動計算を実施した。上流部、中流部、下流部は図-4 と同じ設定である。上流部における 1980 年の河床を初期河床とした河床変動量の経年変化を図-10 に示す。佐久間ダムで実際に湖外搬出した量 (約 23 万 m³/年: 17 ヶ年平均値) と箇所 (No.45~No.100) を考慮に入れた計算結果 (■) と実績の変動量 (●) とを比較すると、概ね実績値の再現はできているものと考えられる。

そこでまず、デルタ中流部、下流部でそれぞれ 10 万 m³/年を掘削したケースを考えると、掘削しても河床変動量の累計値は毎年増加しており、上流部河床の上昇傾

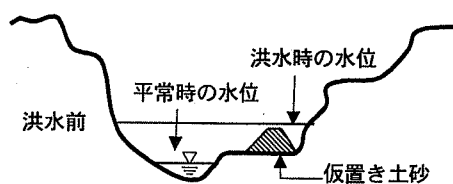


図-11 河川還元概要図

向は抑制できないことがわかる。一方、上流部で堆積している土砂を直接10万 m^3 /年を掘削するケースでは増加傾向がやや抑制され、20万 m^3 /年を掘削するケースでは、1980年河床に漸近する傾向となる。また、デルタ下流部で掘削するケースの変動量は掘削を実施しないケースと同程度であった。なお、1982年と1983年に河床が他の年と比べ大きな河床変動量を示しているが、これはこの年に大規模出水が生じたためである。以上により、デルタ上流部で毎年10~20万 m^3 程度掘削する事により上流部の河床を維持することが可能と考えられる。

(2) ダム直下流河道への粗粒砂供給による河床変化

佐久間ダムから河口までを対象とし、粗粒砂(0.425~0.85mmの土砂:粗粒砂の50%粒径0.6mm)を秋葉ダム直下流に毎年10万 m^3 を40年間還元した場合の一次元河床変動計算を実施した。秋葉ダム下流の河床変動に着目した場合、毎年粗粒砂を還元したとしても、河床上昇や低下は生じず、現河床高さを維持できる結果となった。一方、40年間粗粒砂を還元することにより、秋葉ダムから下流気田川合流点までの河床構成材料に占める供給粒径の土砂の構成比率が高くなり、図-8,9で認められた粗粒化の改善効果も期待されることが計算結果からも確認されている。この詳細については別の機会に報告する。

5. 天竜川におけるダム下流河川還元試験の概要

(1) 天竜川土砂供給試験検討協議会設置と試験の実施

天竜川下流部では前述の各領域の土砂問題を総合的に解決していく一環としてダム貯水池堆砂を下流河川へ自然の洪水の力を利用して供給することが関係者の間で合意され、河川管理者である国土交通省浜松河川国道事務所が事務局となり、天竜川土砂供給試験検討協議会が設置された。その構成は国土交通省浜松河川国道事務所、静岡県土木部、沿川8市町村、ダム設置者である電源開発(株)、河川利用者である関係5漁業組合と砂利採取組合および学識経験者である。

天竜川土砂供給試験は1998年から2001年までの4年間行われた。1998年は船明ダム下流右岸に、また、1999年から3年間は秋葉ダム直下流左岸に、表-2に示すように秋葉ダム貯水池の堆積土砂10~20 $\times 10^3 m^3$ を仮置きして、自然洪水時の土砂流下状況及びそのダム下流河道への影響の把握を目的とする調査が行われた^{5),6)}。

表-2 流下土砂量と最大放流量との関係 (協議会 資料)

年	対象出水	最大放流量 (m^3/s)	流下土砂量 (m^3)
1998年 船明ダム下流へ 約1万 m^3 仮置き	6.19~7.4	2,261	7,500
	8.26~9.4	515	
	9.16~9.20	1,045	
	9.21~10.30	3,078	
小計			10,000
1999年 秋葉ダム下流へ 約2万 m^3 仮置き	5.27~5.29	929	10,000
	6.24~7.10	4,455	
	9.15~9.17	1,466	
	9.21~9.30	1,484	
2000年 秋葉ダム下流へ 約2万 m^3 仮置き	6.9~6.12	577	12,000
	6.25~7.2	1,152	
	9.11~9.25	3,366	
2001年 秋葉ダム下流へ 約1.8万 m^3 仮置き	6.19~	1,303	3,000
	8.21~8.22	1,411	
	9.10~9.11	1,511	
	10.1~10.2	996	
小計	-	-	63,300
合計	-	-	73,300

(2) 仮置き方式と流下の状況

a) 供給土砂の採取と運搬

本供給試験では、比較的堆砂粒径の大きい秋葉ダム貯水池内下村地先(上流部)でグラブ浚渫船により採取された土砂を揚砂場に揚げたものを、11トンダンプトラックでそれぞれ船明ダム下流右岸まで(約23km)と秋葉ダム直下流左岸まで(約5km)運搬し、撒き出された。また、この土砂は数回の粒度分析が行われており、2.0mm以上の礫分が65~84%とほとんどを占め、0.075mm以下のシルト・粘土分は2~5%である(平均粒径:25.95mm)。

b) 仮置き方式

河道に仮置きした土砂は通常の水量で流下するのではなく、洪水により川の水が濁り始めてから流下するように仮置きされた。即ち、平常時は仮置き土砂が浸水して、濁水発生源にならないような標高に敷土し、流量の増加に伴い河岸浸食するメカニズムを利用して、さらには年数回の洪水により完全水没流れになるような仮置き土砂天端標高として全ての土砂を安全に下流に流下させるものである(図-11参照)。

秋葉ダム下流への仮置きでは、ダム直下流左岸発電放水路設置に伴う河床保護工(鉄筋コンクリート構造)の天端が使われた。ここで、仮置き盛土の幅は上記護床工の構造から概ね28mとされた。一方、盛土の長さは、山本⁷⁾による自然河川における河川の浸食幅と河床勾配の関係及び河岸浸食長(上下流方向の長さ)と側方侵食幅の関係などを参考に約130mとされた。

また、仮置き土砂が浸水し始める流量は約400 m^3/s であり、盛土天端標高は、仮置き土砂を確実に流下させることを目標に3回/年程度の流量(約1,500 m^3/s)で仮置き土砂が水没するように設定された。盛土法面勾配は水中安息角($\phi=40^\circ$)程度で施工性を考慮して盛土の最小勾配である1:1.5とされた。

c) 流下の状況

各洪水後写真撮影と簡易な測量による確認により表-2に示すように、1,500 m^3/s 程度の年数回の洪水でこの程

表-3 影響調査項目及び調査結果 (天竜川土砂供給試験検討協議会 資料)

調査の概要		調査結果
1998年	水質調査3地点(出水時) 横断測量6地点 河床材料調査(粒度試験)3地点 河床現況把握(写真)7地点	横断測量結果より区間26.0km~28.5kmで230,000m ³ の土砂が流出。仮置き土砂約10,000m ³ は流出し、どこまで到着したかは不明。土砂量10,000m ³ は、洪水で移動する土砂量に対して極めて小さい。 玉石の間に砂が詰まり鮎の生育等に影響があったとの指摘あり。
1999年	水質調査4地点(出水時) 横断測量(船明ダム堆砂測量により実施) 流下現況把握(写真)	船明ダムの堆砂測量の結果から、285,000m ³ の堆積あり。そのほとんどは、船明ダムの死水容量内であった。気田川からの流入土砂量は不明。 うなぎのすみかに砂が詰まり影響が出ているとの漁協からの指摘あり。
2000年	調査区間:秋葉ダム~気田川合流点 水質調査4地点(出水時) 横断測量(船明ダム堆砂測量により実施) 河床材料調査2地点、流石調査 河床変化調査(写真)	船明ダムの堆砂測量の結果から、73,000m ³ の土砂の減少が見られた。 年1回の堆積測量では、土砂供給試験による土砂の移動量を把握できない。
2001年	調査区間:秋葉ダム~気田川合流点 水質調査4地点(出水時) 横断測量9地点 河床材料調査9地点、流石調査 魚類調査、底生動物調査、付着藻類調査・・・9地点	横断測量の結果としては、出水毎に断面形状は変わっているが、極端な変動はなかった。 底生動物調査・付着藻類調査では、出水による個体数の減少が見られた。流石調査では、放流量が小さかったため、移動量は小さい。 魚類調査等の環境調査が不十分であった。
2002年	水質調査4地点(出水時)秋葉ダム~鹿島橋 横断測量4地点、河床材料調査4地点、 流石調査・・・秋葉ダム~雲名橋 魚類調査、底生動物調査、付着藻類調査・・・秋葉ダム~鹿島橋 現地調査(写真)秋葉ダム~鹿島橋	濁水の供給源が複数あり、(流出に)時間的なズレが生じている。 底生動物調査・付着藻類調査では、同一の区間でも水深の大小流速の大小によって、調査結果が大きく異なる。

度の量の仮置き土砂は全量流下した。

(3) 下流河川における影響調査

土砂供給試験による下流河川への土砂還元による影響調査項目は表-3のとおりである。秋葉ダムでは、これまで堆砂を建設骨材として湖外搬出が行われてきており、その量を戻した推定堆砂量は1980年以降年平均 $100 \times 10^3 \text{m}^3$ となっている。これに対し年 $20 \times 10^3 \text{m}^3$ の河川還元量は20%と大きい。竣工直後の1959年~1973年の年平均堆砂量 $560 \times 10^3 \text{m}^3$ と比べれば4%以下である。

仮置き土砂の流下による下流河床の変化は、目視による調査、原則年1回行われる河床高調査(縦横断測量)ではこの程度の土砂量の差異は判別できていない。魚類への影響については1998、99年の協議会の場で、河床の目詰まりについて漁協から指摘はあったが、場所、被害の程度等が具体的にされたものではなかった。

2000年、2001年と環境調査の焦点が秋葉ダム~気田川合流点にしばられてきたが、2002年以降は土砂の供給を行わない状態を観測・計測しておき、本格的な土砂供給試験後のモニタリングに備えるということで供給試験は行わず、環境調査のみが行われた。

これまでの土砂供給試験は河川環境に負の影響を与えないように還元量を限定して行われており、正の影響即ち改善効果を本格的に狙った試験ではなく、現時点では明確な変化を見出すまでには至っていない。

6. おわりに

佐久間ダムの堆砂測量・調査より貯水池に流入する土砂の堆積特性を明らかにすることができた。佐久間ダム貯水池内上流部では粗粒土砂が分級されて堆積しており、さらに流水掃砂による一層の粗粒化も指摘さ

れている⁴⁾。この部分の毎年の堆砂を除去するには掘削・運搬による他は現在のところ有効な方法はない。

4年にわたって行われた土砂供給試験ではダム直下流河川を中心に各種調査が試みられたが、還元量が限定されており、現時点では正負の両面からの影響評価は困難な状況である。

今後、佐久間ダムからの排砂及び通砂が必要となることを考慮し、土砂供給試験により下流河川還元が河川環境に大きな影響を与えず、かつ、その改善に役立つことを、土砂供給試験を通じて海岸を含む流域関係者が開かれた場で情報を共有しつつ確認していくことが必要になろう。

最後に、電源開発株式会社から資料提供していただいたことに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡野真久, 仁木兼二, 松井初男, 藤井隆弘: 貯水池堆砂をダム下流河川に還元する排砂方式の導入, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, pp201-206, 水資源シンポジウム委員会, 2002.
- 2) 伊藤尚敬: 三春ダム下流河川における土砂供給試験, ダム技術, No.193, pp.64-69, 2002.10
- 3) 菊地浩一郎, 村永峰男, 板橋勝国: 佐久間ダムの堆砂状況と対策, 電力土木, pp.41-45, No.291, 2001.1.
- 4) 新庄高久, 藤田裕一郎: 発電用大規模貯水池(佐久間貯水池)における堆砂に関する考察, 水工学論文集第48巻, pp1153-1158, 2004.
- 5) 鈴木徳行: 早期の堆砂対策の必要性和天竜川の土砂供給試験について, 河川, pp.18-23 1998.11.
- 6) 佐野純一: 天竜川土砂供給試験の概要について, 事例紹介, 平成11年度中部地方建設局管内事業研究発表会, pp151-156, 1999.
- 7) 山本晃一: 沖積河川学, pp.173-182, 山海堂, 1994.

(2004. 4. 7受付)