

洪水バイパス運用に伴う 下流河川環境についての考察

STUDY ON THE ENVIRONMENTAL ASPECTS BY RESERVOIR BYPASSING OF SEDIMENT

岡野 眞久¹・名波 義昭²・田中 則和³・榎村 康史⁴
Masahisa Okano, Yoshiaki Nanami, Norikazu Tanaka, Yasufumi Enomura

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

²正会員 (財) ダム水源地環境整備センター 研究第三部長

³正会員 元 (財) ダム水源地環境整備センター 調査第二部 主任研究員

⁴国土交通省 中部地方整備局 三峰川総合開発工事事務所 所長
(〒396-0402 長野県上伊那郡長谷村大字溝口 1527)

Recently sediment bypass systems have been planned and constructed as effective countermeasures against sedimentation in reservoirs. And, when a large amount of sediment is discharged to downstream rivers, accompanying environmental impact assessment should be performed properly. In this study, we conduct some practical consequences on basis of observations and analyses in Miwa Dam, where a redevelopment project is just being carried out. We calculated the suspended solids (SS) concentration increases at downstream river points and changes such as continuation time of the peak SS concentration and the high SS concentration during bypass systems working. Next, we examined the practical use time of the bypass system in consideration of the influence on the downstream rivers. We introduced about the monitoring plan such as the water survey and creature investigation, which it is thinking about at present.

Key Words: sediment management, reservoir bypassing, suspended solids concentration, monitoring

1. はじめに

天竜川は日本で有数の土砂発生量が多い河川であり、その最大の支川三峰川に、洪水調節、かんがい、発電を目的とする多目的ダムとして 1959 年に完成した美和ダムがある。美和ダム建設当時の堆砂計画では 40 年分の堆砂容量 (660 万 m^3) を確保していたが、1959 年と 1961 年の相次ぐ大洪水によって、わずか 3 カ年でこの容量を上回る土砂 (約 680 万 m^3) が堆積した。その後も 1982 年、1983 年の洪水で約 600 万 m^3 の堆砂が進行した。

美和ダムでは、計画的に砂利採取を行い、有効貯水容量の確保、維持に当たっていたが、抜本的な堆砂対策を実施するために、多目的ダムとしては全国で初めての「恒久堆砂対策」に取り組んでいる。粗粒土砂は貯砂ダムで捕捉し、掘削搬出し、建設材料として有効利用することとし、これまで洪水とともに貯水池に流入・堆積していた土砂の約 4 分の 3 を占めるウォッシュロード (平均粒径 0.017mm の細粒土) を洪水バイパストンネルによって貯水池を経ることなく、ダム下流に迂回させるものである。また、貯水池に流入・堆積したウォッシュロードを搬出する補助システムも計画されている。¹⁾

本事業の洪水バイパスは自然流入量の一部の微細粒

土砂 (ウォッシュロード) を通過させるものではあるが、美和ダム運用以来約 45 年を経てダム下流河川は土砂の供給が減少した環境になっている。本研究は人工的な洪水バイパスの運用に際し、下流河川で予測される土砂濃度の水質変化とその対策を明らかにしようとするものである。

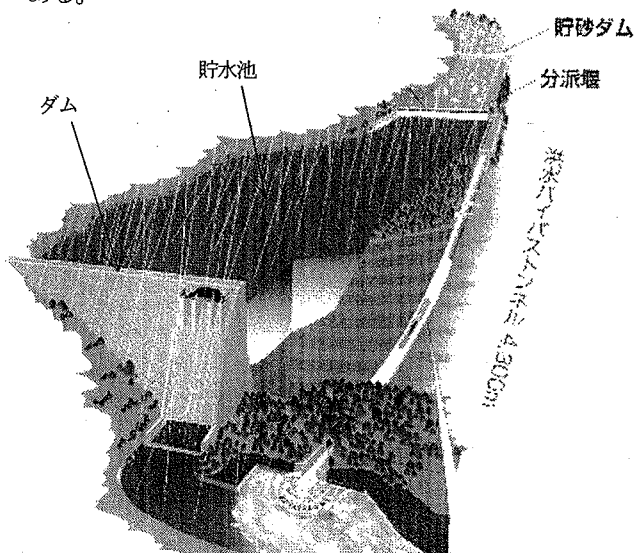


図-1 洪水バイパストンネルのイメージ

2. 土砂濃度の予測条件の設定

洪水バイパス運用に対し、環境影響予測の基本となる下流河川の土砂濃度（SS 濃度）の変化を予測した。予測は、洪水のピーク流量により大中小の3出水を選び、下流基準点におけるSS 濃度を試算し、ピークSS 濃度、高SS 濃度の継続時間等の変化を調べた。

(1) 貯水池へ流入する土砂濃度の設定

土木学会水理公式集²⁾によると、一地点におけるウォッシュロード量 Q_s (m³/s) は河川流量 Q (m³/s) の二乗にほぼ比例するといわれている。

$$Q_s = (4 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-6}) Q^2 \dots (1)$$

美和ダムにおいても、高秀らが(2)式のように設定している。³⁾

$$Q_s = 2 \times 10^{-5} Q^2 \dots (2)$$

美和ダム貯水池内で採取した代表的な土砂の土粒子の密度 2.75g/cm³を(2)式に代入すると、SS濃度 (mg/l) は(3)式となり、SS濃度は Q の一次関数となる。

$$SS = 55.0 \times Q \dots (3)$$

一方、岡野ら⁴⁾は、美和ダムの流入 Q -SS特性は、直線にはならず、図-2に示すように時系列的に時計回りのループを描いたり、先行洪水と後続洪水では相対的に後続洪水が低くなったりすることを報告している。また海外でも、同様な報告がされている。⁵⁾

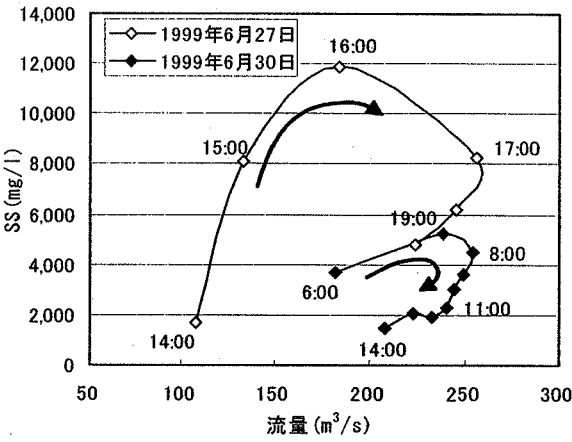


図-2 1999年6月洪水の美和ダム上流地点（飯島橋）における流量とSS濃度の関係

本検討では、美和ダムの流入SS特性を勘案し、流量増加時と流量減少時に分けた Q ～SS式を設定した。予測はSS濃度が高い時で行うものとし、式は先行洪水型を参考に設定した。

表-1 設定した Q -SS式

計画段階	今回設定			
$Q < 100$	増加時		増加時から減少時	減少時
$SS = 0$	$Q < 25$	$SS = 0$	$SS = 94Q + \alpha$	
$Q \geq 100$	$25 \leq Q < 100$	$SS = 73.3 \cdot Q - 1830$	例) $Q_{MAX} = 200$ のとき $SS = 94Q - 7800$	$SS = 20Q - 500$
$SS = 55 \cdot Q$	$Q \geq 100$	$SS = 55 \cdot Q$		

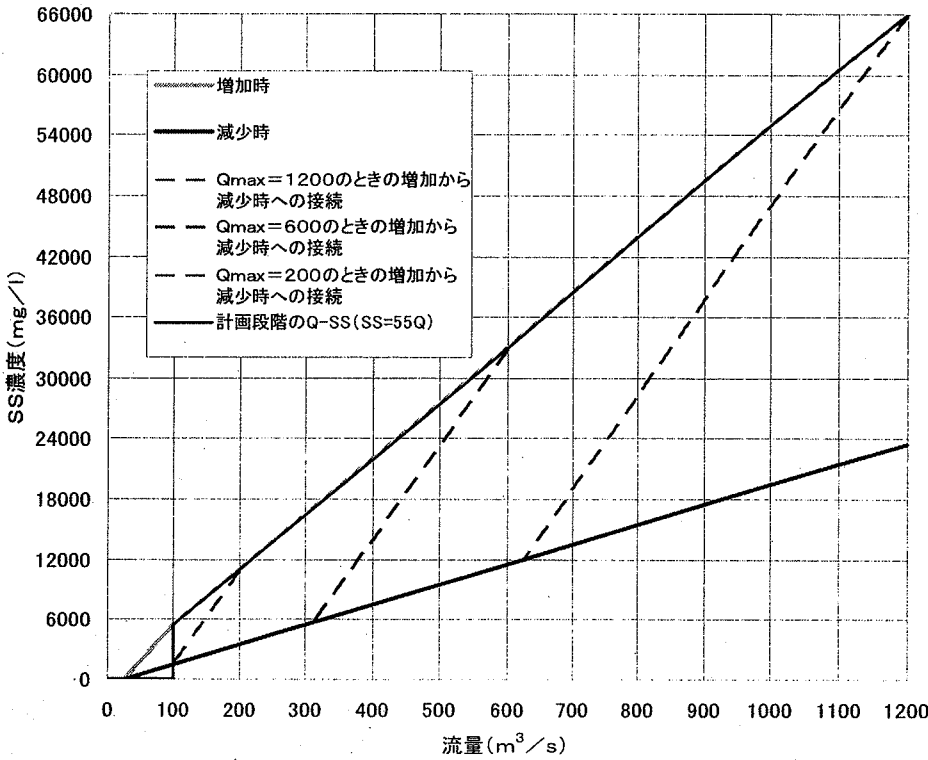


図-3 設定した Q -SS式

今回設定したQ-SS式（ループ型のQ-SS式）と実測のSS、計画段階のQ-SS式について、1999年6月27日の出水時のデータを用いて飯島橋地点（美和ダム上流地点）の通過土砂量を比較した。結果を図-4に示す。

土砂量は、ループ型のQ-SS式から求めたケースは実測値よりやや多いものの、計画段階のQ-SS式よりも実測値に近い値が得られた。

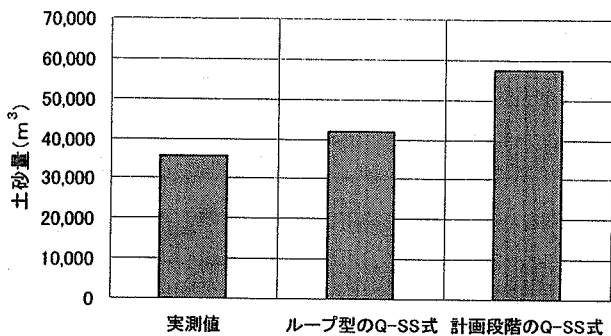


図-4 土砂量の比較

(2) 美和ダム貯水池内のSS濃度の予測

貯水池内およびダムからの放流水のSS濃度は、鉛直2次元（一方向多層流）水理・水質モデルに堆砂量等の算出ルーチンを加え、貯水池内流動堆積挙動数値解析モデル（WECモデル）を用いて解析した。本モデルは連続の式、運動量保存式、熱量保存式及び濁質保存式からなる。

モデルは、貯水池を縦断方向・水深方向の要素に分割し、流入条件・気象条件を与えることによって流動を計算する。濁質については、流れに乗った移流・拡散のほか、濁質の沈降を考慮したものである。⁶⁾

ウォッシュロードの粒径は、洪水バイパストンネル計画時（1989年測定値の平均値）を用いて表-2のように設定した。

表-2 予測に用いたウォッシュロードの粒径

粒径区分	～1 μm	1～5 μm	5～10 μm	10～ 20 μm	20～ 40 μm	40～ μm
代表粒径	1.0 μm	5.0 μm	10.0 μm	15.0 μm	30.0 μm	50.0 μm
存在比(%)	4.3	20.3	23.6	23.6	15.1	13.1

(3) 予測に用いた洪水

予測に用いた対象出水は、以下の大規模出水、中規模出水、小規模出水の3出水とした。

- ①昭和57年8月出水 ピーク流量1210m³/s
100年確率流量（大規模出水）
- ②昭和58年9月出水 ピーク流量658m³/s
15年確率流量（中規模出水）
- ③昭和58年5月出水 ピーク流量309m³/s
3年確率流量（小規模出水）

(4) 洪水バイパストンネルの運用条件

当初は、洪水バイパストンネルは、貯水池への流入量が25.6m³/s以上の時から運用を開始し、最大で294m³/sの流量をバイパスし、貯水池への流入量が25.6m³/s以下となった時に運用を終了する計画とした。

3. 下流河川の土砂濃度の変化とバイパス運用

(1) 下流河川における土砂濃度の変化予測

洪水バイパストンネルを運用した場合、現況、自然状態（ダム無し）の3ケースで、下流の地点におけるSS濃度の変化を計算した。計算結果を図-5に、結果の取り纏めを表-3に示す。

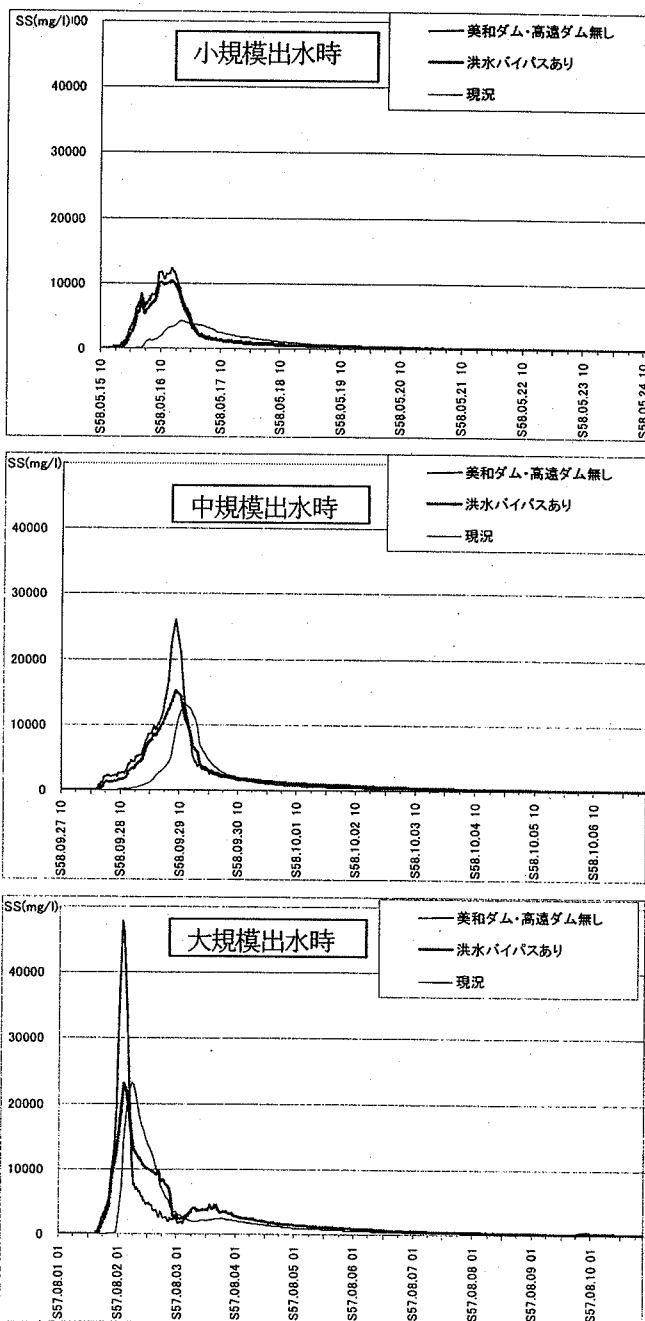


図-5 各洪水時のダム下流基準点におけるSS濃度

表-3 下流における SS 濃度の変化洪水バイパス運用時の美和ダム

想定されたインパクトの種類		小規模出水：1983.5 (ピーク流量 309m ³ /s)	中規模出水：1983.9 (ピーク流量 658m ³ /s)	大規模出水：1982.8 (ピーク流量 1210m ³ /s)
ピーク濃度	自然状態（ダム建設前）との比較	ほぼ同程度	上昇しない	上昇しない
	現況との比較	上昇する（上昇の程度は中規模出水時程度）	上昇する（上昇の程度は小さい）	上昇する（上昇の程度は小さい）
流量減少時の SS 濃度	自然状態（ダム建設前）との比較	上昇する	上昇する	上昇する
	現況との比較	減少する	1 週間後までは高くなるが、2 週間後には同程度となる。	3 週間後までは高くなるが、4 週間後には同程度となる。

まず、ピーク付近の土砂濃度を見ると、小規模出水時には、貯水池に流入する SS のほとんどをバイパスするため、現況と比べるとピーク濃度は上昇する。一方、中規模出水時や大規模出水時には、バイパストンネルにより放流土砂量が増えるが、現況においてもゲート放流による排出土砂がある程度あるため、ピーク濃度の上昇は小さい。

一方、洪水後期では、バイパストンネル運用時は現況と比較して中規模出水時では 1 週間程度、大規模出水時には 3 週間程度までの間、SS 濃度が高くなり、4 週間後には同程度になる。

(2) 洪水バイパストンネル運用基準の検討

洪水バイパストンネルの運用に伴い、美和ダム放流水の SS 濃度が以下のように変化すると考えられる。

a) 小規模出水時における SS ピーク濃度への対応

現況との比較では小規模出水においては、SS のピーク濃度が上昇するが、自然状態（ダム建設前）と比較して、SS のピーク濃度は上昇することは無い。そのピーク濃度は現況の中規模出水時のピーク濃度程度である。一般に濁水流下時には、魚類は河岸や支川合流部の植物帯等に避難することが知られており、実際に三峰川における既往の出水時において、魚類が避難することが確認されている。避難場所の分布も全川にわたり確認できることから、魚類に対する影響は小さいと予想される。モニタリングによる検証の必要性はあるが、この段階での運用を見直す必要性は低い。

b) 流量減少期のバイパス運用

図-6 に示すように洪水バイパスの運用により現況と比較すると大規模出水時には 3 週間後まで SS 濃度が高くなるが、4 週間後には同程度となっている。

これらの出水後期における放流水の SS 濃度が高くなる理由は、流量低下時の比較的 SS 濃度の低い水までバイパスされるため、貯水池内の水がすみやかに交換されないからと考えられる。したがって、出水後期の SS 濃度が低下し始めた段階で、洪水バイパストンネルの運用を終了し、貯水池内に SS 濃度の小

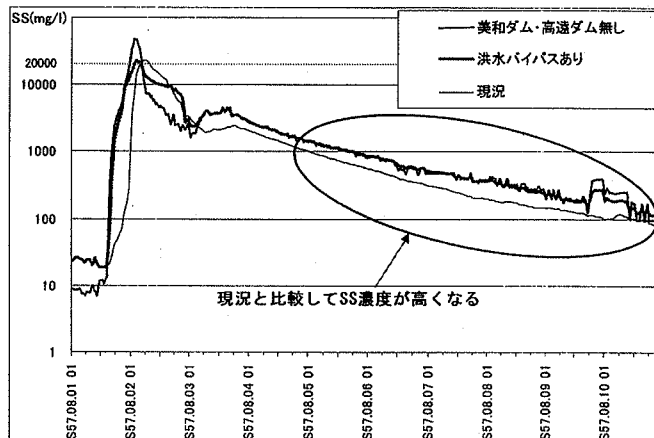


図-6 大規模出水時のダム下流基準点における SS 濃度 (縦軸対数表示)

い水を流入させれば、洪水放流水の SS 濃度は低下させ得ると考えられる。このため、洪水バイパストンネルの終了時間を検討することとした。

検討ケースは、洪水バイパストンネルの終了時間を貯水池の流入量が 25.6m³/s 及び 100m³/s、200m³/s、300m³/s、500m³/s になった時の 5 ケースを検討した。検討期間は 4 日後～4 週間後まで行った。1 週間後の大規模、中規模出水時の結果を図-7 に示す。

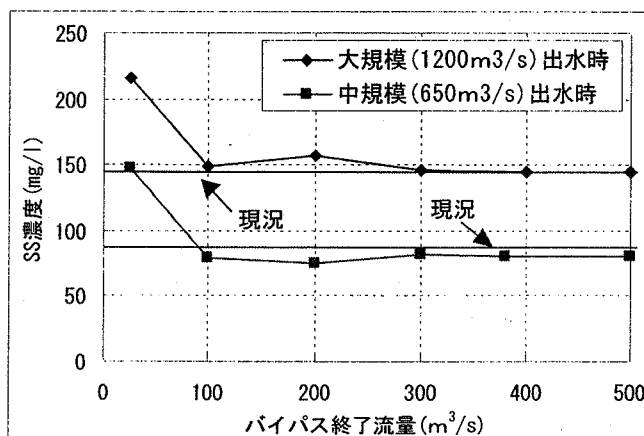


図-7 バイパス終了流量と 1 週間後の下流基準点における SS 濃度

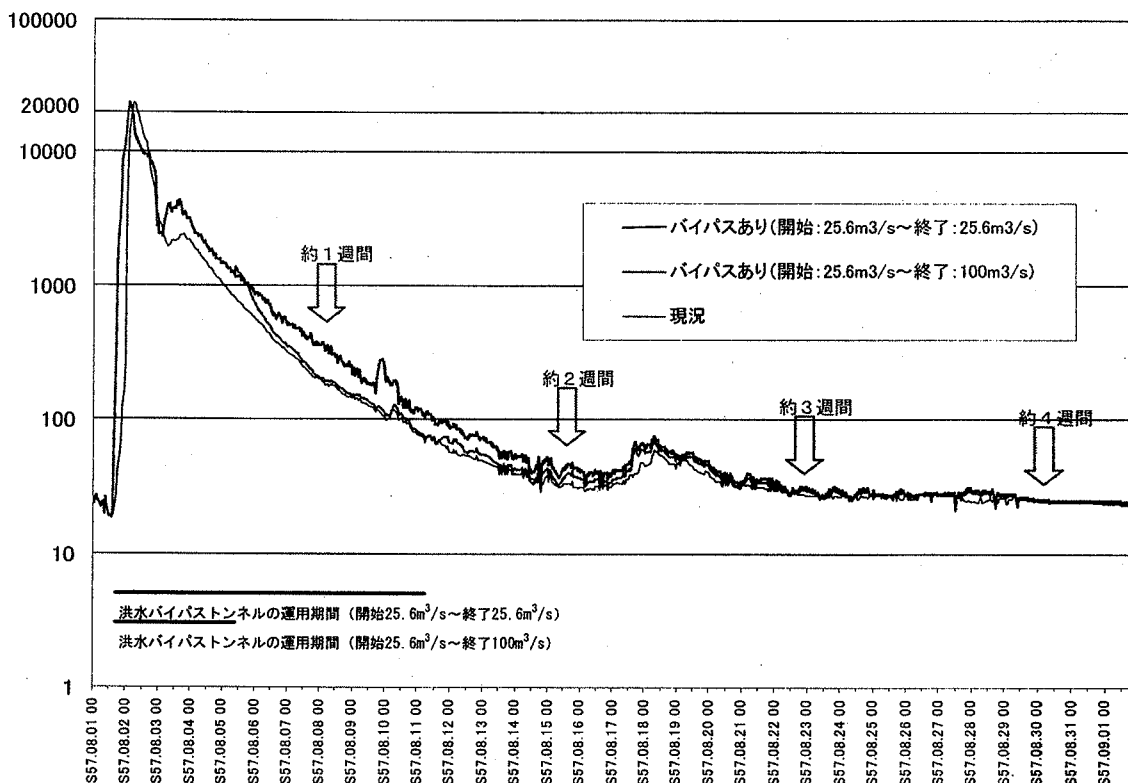


図-8 大規模出水時におけるバイパス終了流量を変更させた時の下流基準点のSS濃度変化

図-7を見ると、大規模、中規模出水ともに、洪水バイパストンネル運用の終了流量をダム流入量が $100\text{m}^3/\text{s}$ より大きな流量で終了させると、SS濃度は概ね現況程度になった。

また、図-8は大規模出水時（ピーク流量 $1210\text{m}^3/\text{s}$ ）における現況と洪水バイパスの終了流量が $25.6\text{m}^3/\text{s}$ と $100\text{m}^3/\text{s}$ のケースの下流基準点のSS濃度変化を示したものである。

終了流量が $25.6\text{m}^3/\text{s}$ の時は、約3週間程度まで現況と比較してSS濃度が高いが、終了時間を $100\text{m}^3/\text{s}$ に変更すると、ピーク濃度到達時から5日後程度でSS濃度が現況と同程度と試算された。

次に、バイパス終了時間が及ぼす下流への放流土砂量の影響を把握するために、洪水バイパストンネルの終了時間とダムからの放流土砂量の関係を整理した。図-9に中規模出水時における結果を示す。

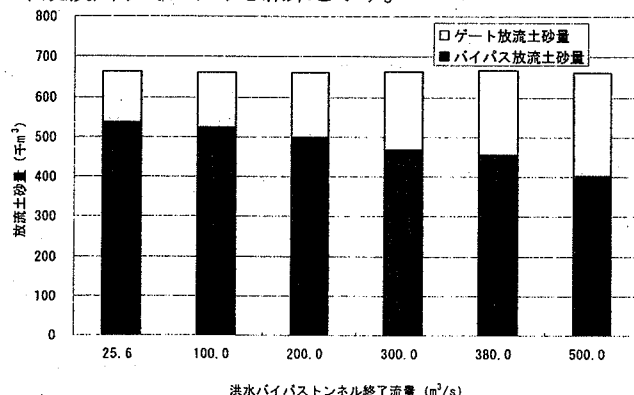


図-9 バイパス終了時間と放流土砂量との関係
(中規模出水時)

図-9より、バイパスの終了時間を早めると、バイパスからの放流土砂量からは減少するものの、ゲートからの放流土砂量が増加する傾向がみられ、バイパスの終了時間を早めても、貯水池に堆積する土砂の量に大きな変化は無いと考えられる。これは、大規模出水時においても同様の傾向がみられた。

以上のことから、洪水バイパス運用は当面、以下の考え方とし、モニタリングを実施しながら、確認していくことが適切である。

1) 最大流入量 $300\text{m}^3/\text{s}$ 以上の時（図-10 参照）

美和ダム貯水池への流入量が $25.6\text{m}^3/\text{s}$ になった時に洪水バイパスの運用を開始し、流入量が $100\text{m}^3/\text{s}$ に低下した段階で終了する。

2) 最大流入量 $300\text{m}^3/\text{s}$ 以下の時

美和ダム貯水池への流入量が $25.6\text{m}^3/\text{s}$ になった時に洪水バイパストンネルの運用を開始し、流入量が $25.6\text{m}^3/\text{s}$ に低下した段階で終了する。

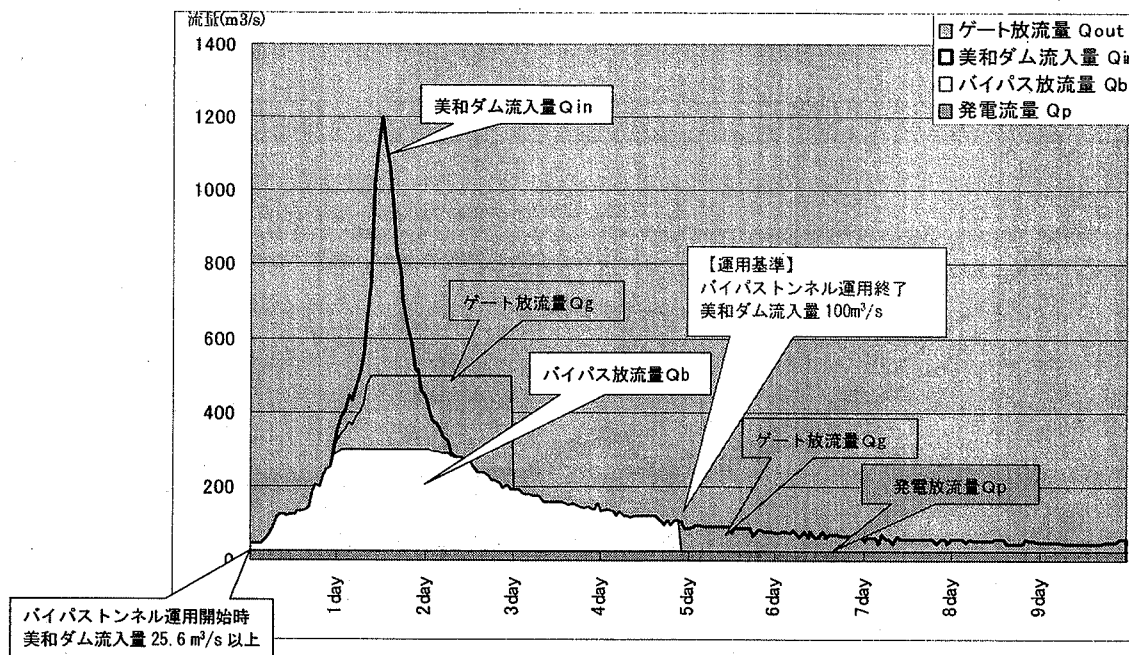


図-10 運用基準を適用した洪水バイパストンネル運用後のダム操作例（最大流入量 $1200\text{m}^3/\text{s}$ ）

4. モニタリング計画

本研究では、洪水バイパストンネル運用に伴い、現況と比較して、排出土砂量の増量や小規模出水時のピーク濃度の上昇、中・大規模出水時のSS濃度の長期化傾向が明らかになったが、河川環境への影響は必ずしも明らかになっていない。また、推定された影響に対する回避・低減の措置として、「洪水バイパス運用」を検討したが、その効果に係わる知見はこれまでのところ不十分である。したがって、洪水バイパス運用前よりモニタリングを実施し、環境への影響を把握して、必要に応じて洪水バイパスの運用の変更や保全対策を講ずることが必要である。

モニタリングは、物理環境への影響を把握するために実施する「観測」と、生物への影響を把握するために実施する「生物調査」に分かれる。

検討されているモニタリング調査項目を表-4に示す。

表-4 主なモニタリング調査項目

観測	・流量 ・水質（水温、SS濃度、DO、SSの粒度分布） ・堆砂量 ・河床材料（ウォッシュロードの付着・堆積状況）
生物調査	・魚類（潜水観察等の定量調査、産卵場の分布状況） ・底生動物（定量採集） ・付着藻類（定量採集） ・河畔の植生状況

5. おわりに

2005年より運用開始を目指す美和ダム恒久堆砂対策としての洪水バイパスにより、ダム下流では、現況と比較すると、幾分のSS濃度上昇等の変化が考えられる。本研究で、それらの程度が推定でき、必要な対策と今後のモニタリングのあり方を論じることができた。

本研究は、美和ダム恒久堆砂対策環境影響検討会（委員長：池淵周一京都大学防災研究所 教授）でのご指導を頂き、取り纏めたものであり、貴重なご助言、ご指導を頂いた委員の皆様と、データ整理等で協力頂いた応用地質株式会社の方々にもこの場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 浦上将人, 杉山勉：美和ダム再開発事業の概要, ダム技術, No. 166, pp75-87, 2000年
- 2) 土木学会：水理公式集, 昭和60年
- 3) 高秀秀信, 畑中博文, 九津見生哲：天竜川水系の貯水池の堆砂軽減対策, 第26回水理講演会論文集, pp361-366, 1983年
- 4) 岡野眞久, 梅田信, 田中則和, 横森源治：洪水時におけるダム貯水池流入微細粒土砂の挙動把握と貯水池堆砂管理への応用, 河川技術論文集, pp73-78, 2003年
- 5) Morris, G. L. and Fan, J.: Reservoir Sedimentation Handbook, McGraw-Hill, P. 7-8 1997年
- 6) 梅田信, 岡野眞久, 東海林光：一次元多層流モデルを用いた微細土砂の貯水池内挙動解析, 水工学論文集, pp 1369-1374, 2004年

(2004. 4. 7受付)