

河床付近に設置されたダム放流管内の土砂の堆積

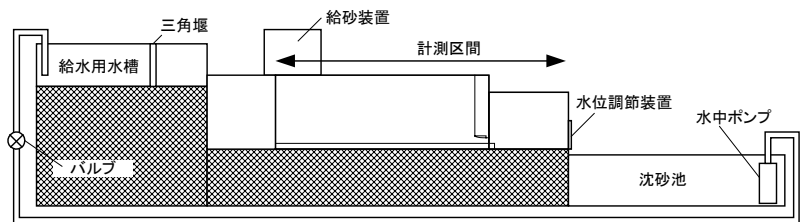
独立行政法人土木研究所 正会員 ○櫻井 寿之
独立行政法人土木研究所 正会員 柏井 条介

1. はじめに

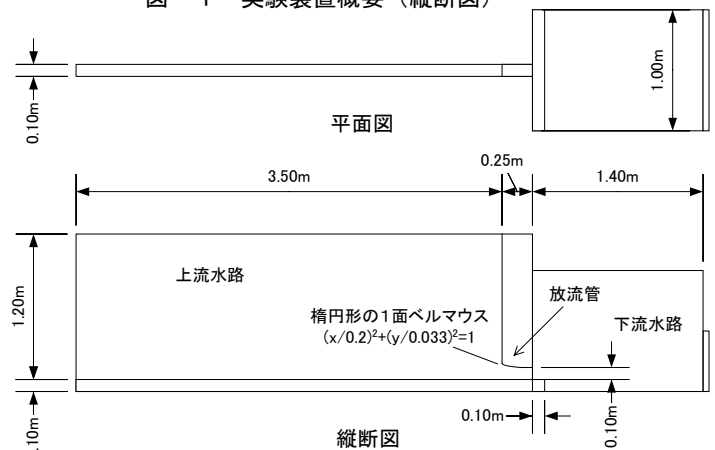
治水専用ダム等の常時に流水を貯留しないダムでは、下流土砂環境保全及び堆砂対策として、河床付近に放流管を設置することにより貯水池内の掃流力を利用して土砂を排出することが考えられる。土砂の流入状況や下流水位条件によっては、放流管内に土砂が堆積することにより放流特性の変化や放流管の閉塞が生じる可能性があるが、これらに関する知見は少ない。そこで、放流管形状を再現した水理模型実験により得られた知見を報告する。

2. 実験方法

今回用いた実験装置概要と模型概要を図－1、2に示す。今回の実験では、放流管を出口幅 $B=0.1\text{m}$ 、出口高さ $D=0.1\text{m}$ の矩形形状で再現し、呑口部は標準的な長軸半径 $2D$ 、短軸半径 $D/3$ の楕円形の1面ベルマウスとした。なおベルマウス終端に延長 $D/2$ の直管部を設けている。放流管の上流は幅 0.1m の直線水路とし、下流は末端に水位調節装置を有する幅 1m の直線水路としている。模型の上流には給水用の水槽を、下流には沈砂池を兼ねた水槽を設置した。下流の水槽に水中ポンプを設置し、ポンプから上流の水槽へ配管を行い、実験時に水を循環させた。今回用いた土砂は平均粒径 1.2mm の一様粒径珪砂であり、模型上流に設けた給砂装置から表乾状態で供給した。例として、高さ $\times$ 幅が 5m の原型の放流管を想定した場合、今回の模型は縮尺 $1/50$ に相当する。



図－1 実験装置概要（縦断面図）



図－2 実験模型計測区間概要

実験方法としては、放流管の排砂時における目安となる排砂状況を再現し、そのときの流況と水理量を把握した。状況としては、次の二つを設定した。状況①：下流からの堆砂の進行によって堆砂が放流管出口に達する。状況②：下流からの堆砂の進行によって、上下流の堆砂がつながる。実験条件として、流量、下流の堰上げ高さ及び給砂量の3つがあるが、実験の効率を考慮して、下流の堰上げ高さ $\times$ 給砂量の二つの条件を固定し、流量を変化させることによって、上記の状況①および②を再現した。設定した状況となっているかどうかの判定は、現象が変動を有するものであったので、30秒程度の時間間隔において状況①については、下流からの堆砂の先端位置が最も下流した位置が放流管出口部に達した状態、状況②については、放流管内の堆砂の最低堆砂厚が 1cm となった状態を基準に判断した。測定項目は流量、給砂量、河床形状、水面形及び流況である。実験条件は堰上げ高さを $0.2\sim 0.6\text{m}$ の間で4ケース、給砂量を $10\sim 40\times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$ 程度の間で4ケース変化した合計16ケースを設定した。

3. 実験結果と考察

実験結果を表－1に、ケース4とケース16の河床形状と水面形状の測定結果を図－3に示す。なお、表中の上流水位の位置は放流管呑口から 0.1m 上流、下流水位の位置は 0.6m 下流であり、給砂量は表乾状態の給砂量から空隙率を 0.4 として求めた土粒子実質体積の給砂量である。実験結果の呑口上流の流況は比較的穏やかで、河床勾配は、実験ケースによらず、砂の安息角度に近い $32\sim 35^\circ$ 程度となった。一方、放流管下流の流況は土砂が吹き上げられるような状況であり、すり鉢状の堆砂の肩が常に崩壊しては流れに押し戻されるような流況となった。下流は急拡

キーワード 放流管、水理模型実験、堆砂対策、土砂

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人 土木研究所 水工研究グループ ダム水理チーム

表－1 実験結果

ケース名	下流水路 堰上げ高 (m)	状況①				状況②			
		流量 Q ($\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)	上流水位 h_1 (m)	下流水位 h_2 (m)	給砂量 Q_B ($\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$)	流量 Q ($\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)	上流水位 h_1 (m)	下流水位 h_2 (m)	給砂量 Q_B ($\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$)
ケース1	0.20	3.7	0.303	0.231	10.0	2.1	0.309	0.222	9.0
ケース2	0.20	4.1	0.310	0.241	18.0	2.6	0.339	0.228	19.2
ケース3	0.20	4.5	0.332	0.250	30.3	3.0	0.384	0.244	32.4
ケース4	0.20	5.1	0.338	0.252	41.2	3.2	0.398	0.240	38.0
ケース5	0.30	5.1	0.436	0.325	8.4	3.1	0.468	0.322	8.2
ケース6	0.30	5.7	0.451	0.327	18.4	4.2	0.493	0.330	17.0
ケース7	0.30	6.5	0.477	0.348	29.9	4.7	0.513	0.338	29.9
ケース8	0.30	7.5	0.493	0.352	43.2	5.0	0.514	0.348	42.0
ケース9	0.45	7.1	0.726	0.485	11.0	4.4	0.677	0.474	7.6
ケース10	0.45	8.5	0.756	0.500	20.8	5.7	0.733	0.483	20.2
ケース11	0.45	9.0	0.756	0.502	29.1	6.0	0.757	0.494	29.1
ケース12	0.45	9.5	0.793	0.513	40.8	6.7	0.786	0.501	40.4
ケース13	0.60	7.7	0.962	0.636	10.6	5.7	0.942	0.630	10.2
ケース14	0.60	9.1	0.984	0.633	21.0	6.1	0.968	0.636	21.2
ケース15	0.60	9.9	1.007	0.645	29.1	6.8	0.989	0.647	28.2
ケース16	0.60	10.5	1.033	0.662	38.4	7.6	1.027	0.650	43.2

水路としたため、河床の詳しい形状は不明であるが、堆砂の肩が安定している位置の河床高の計測結果から下流側の傾斜の勾配を計算すると、安息角よりも急であり、下流水路の堰上げが高いほど、また状況①よりは状況②の場合が勾配は急になる傾向が認められた。堰上げ高が 0.6m で状況②のケースでは下流の傾斜が 60° 以上となる場合もあり、下流河床が急傾斜の状態

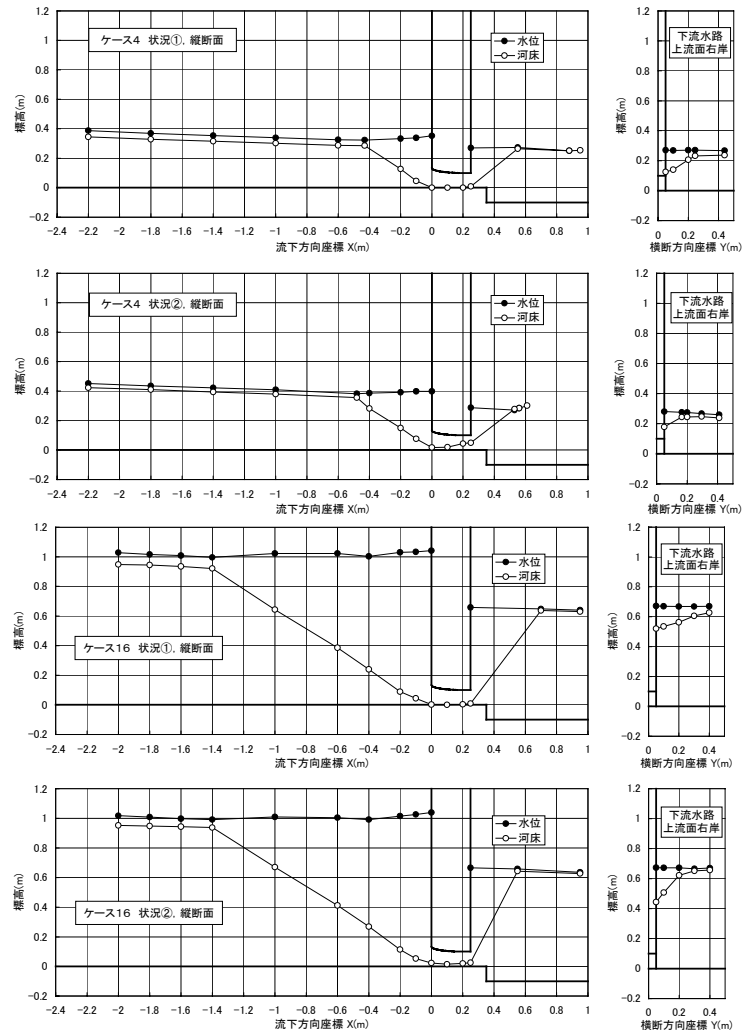
で流量が減少する場合には放流管が下流土砂の崩壊で閉塞する危険性があると考えられる。下流水位を放流管出口高で無次元化したパラメータ： h_2/D （同じ堰上げ高のケースについて平均した値）毎に、無次元掃流力と無次元流砂量の関係を図－4 に示す。

ここで、無次元掃流力と無次元流砂量は下記の式で求めた。

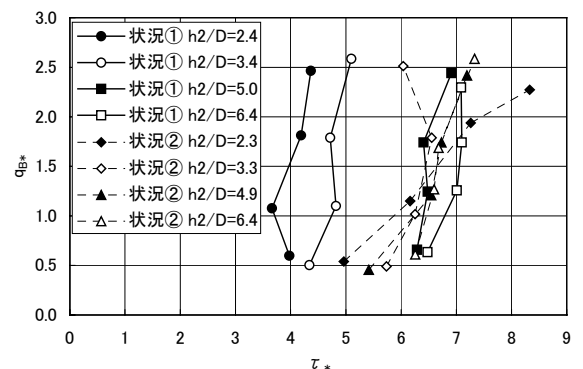
$$\tau_* = \frac{u_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd}, \quad q_{B*} = \frac{Q_B}{B\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}}$$

$$u_* = \sqrt{gRI_e}, \quad I_e = \frac{\Delta H}{H_2}$$

ここで、 τ_* ：無次元掃流力、 u_* ：摩擦速度、 σ ：土粒子密度、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 d ：土粒子粒径、 q_{B*} ：無次元流砂量、 R ：放流管出口断面の径深、 I_e ：エネルギー勾配、 ΔH ：放流管上下流の全水頭の差、 H_2 ：放流管下流の水深である。エネルギー勾配については、土砂を下流水面まで吹き上げるために多くのエネルギーが消費されていると考えて、全水頭の損失を下流水深で割ることにより求めた。図－4 の結果はばらつきが大きい、状況①については、下流水位の増加とともにデータが右へ移動しており、これは、崩れ落ちる土砂を吹き上げるために必要なエネルギーが、下流水位増加にともない大きくなることによると考えられる。状況②については τ_* と q_{B*} の関係における h_2/D の影響が状況①に比べて小さくなっており、 h_2/D が5以上では状況①の結果と近い値となっている。状況①は放流管出口の全断面積による放流が可能な限界状態であるので、この図に示される条件よりも τ_* が大きい、 q_{B*} が小さければ今回の実験条件の範囲では放流管が閉塞することはない。今回の実験により現象の概要を把握することができたが、今後、適用条件の拡大や実験結果の詳細な解析を進めていきたい。



図－3 実験結果の河床高と水面形

図－4 τ_* と q_{B*} の関係