

II-188 貯水池の決壊に伴う洪水・土砂流出

京都大学防災研究所 正会員 ○村本 嘉雄  
 京都大学 工学部 学生員 砂川 岳史

1. はしがき 本文では、貯水池の瞬間全面決壊を想定し、貯水池の堆砂高と貯水条件(水位・延長)が変化する場合の洪水・土砂流出について、水理実験と近似解析の結果から流出流量と流出土砂量の予測法について考察する。

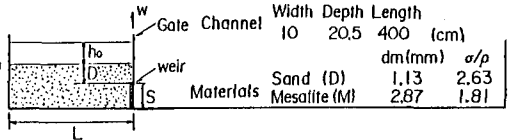


図-1 実験水槽と河床材料

2. 実験の概要 図-1に示すような塩化ビニール製の水槽を用い、貯水延長 $l=1, 2, 3m$ 、下流端の堰高 $S=0, 5, 8cm$ として、堆砂高 $D=2\sim 8cm$ 、初期水深 $h_0=0.5\sim 15cm$ の範囲で変化させてゲートの急速開放実験を行った。河床材料は、図に示した均一な砂とメサライトのうち主に後者を用いている。貯水槽の水面と河床の時間的変化はVTRとモータードライブカメラによって記録し、土砂流出完了後に流出土砂量と最終河床形状の計測を行い、初期河床の空隙率 $\lambda$ を決定した。

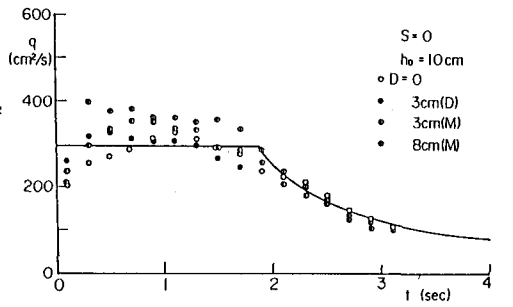


図-2 qの実験値と近似解の比較

3. 実験結果の考察 まず、貯水槽の上、下流端水深 $h_l, h_e$ と単位幅流出流量 $q$ について、貯水池決壊時の洪水流出の近似解<sup>1)</sup>と比較して土砂流出を伴う場合の特徴を述べる。図-2は、 $S=0$ の場合について $q$ の実験値とつぎの近似解とを比較したものである。ただし、 $t_0=L/c_0, c_0=\sqrt{gh_0}$ 。

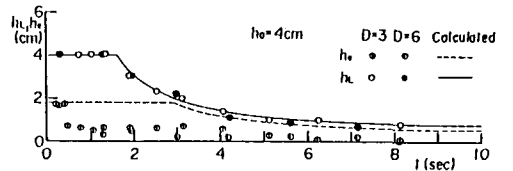


図-3  $h_l, h_e$ の実験値と近似解の比較

$$0 \leq t \leq 1.84t_0; h_e = 4h_0/9, q = 8c_0h_0/27 \quad (1)$$

$$t \geq 1.84t_0; h_e = (\sqrt{54}t_0/t + 2)^2 h_0/81, q = (\sqrt{54}t_0/t + 2)^3 c_0h_0/729 \quad (2)$$

$$0 \leq t \leq t_0; h_l = h_0, t \geq t_0; h_l = (2t_0/t + 1)^2 h_0/9 \quad (3)$$

$q$ は土砂流出を伴う場合には $t < t_0$ で(1)式より大きい値を示している。 $S=8cm$ の場合の $h_l, h_e$ が図-3に、 $q, q_s$ (単位幅流出土砂量)及び土砂濃度  $C(=q_s/q)$ の時間的変化が図-4に示されている。 $h_l$ の実験値は(3)式に適合し、 $q$ の実験値は(1)式を大きく上回っている。 $q_s$ は $q$ に対応して変化しており、 $C$ はほぼ一定値を示している。

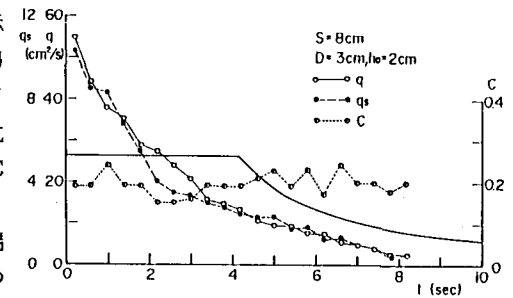


図-4  $q, q_s, C$ の時間的変化

つぎに、土砂の流出特性を調べるために、貯水槽の下流端近傍の接写撮影を行い、河床と水面変化との対応及び流砂量式の検討を行った。図-5はゲート開放初期の水面形と河床形状の変化を示したもので、限界水深  $h_c$ の位置は河床低下域の頂部のそれに対応して上流へ移動している。一方、流砂量の実験値を土砂流に関する高橋の式<sup>2)</sup>(実線)及び芦田・高橋・水山の掃流砂量式<sup>3)</sup>(破線)と比較すると図-6のようになる。実験値は初期を除いて後者の式に近い傾向を示している。しかし、河床勾配 $10^\circ$ 以下の実験値では、勾配の影響は顕著ではなく、河床変動解析の簡便さを考えて次式(鎖線)を次章の考察に用いる。

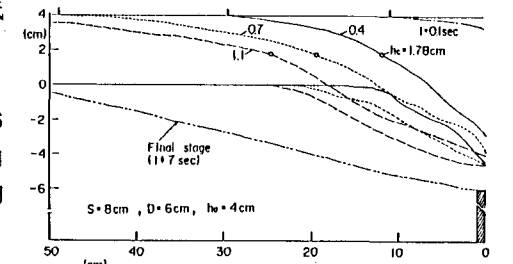


図-5 河床形状と水面形の変化

$$q_{0*} = 4\tau_* \quad (q_{0*}, \tau_*: \text{無次元の流砂量と掃流力}) \quad (4)$$

**4. 洪水・土砂流出量の予測** 上述の実験結果から図-7のようなモデルを考える。 $\Delta t$ 時間の貯水池内の河床低下量及び流出流量の増分(斜線部)を三角形で近似すると、流れと流砂の連続の式は次のようになる。  
 $(q - q_c) \Delta t = (h_0 - h_c + \lambda D) \Delta X_c / 2$  (5),  $q_s \Delta t = (1 - \lambda) D \Delta X_c / 2$  (6), (4)式を $q_{s*} = K \tau_*$  ( $K$ ; 定数)あるいは $q_{s*} = K q D / (\sigma / \rho - 1) \psi X_c$ ,  $\psi = U / U_*$  (7) と表すと、(5)~(7)式より  
 $q = q_c / \{1 - \alpha (h_0 - h_c + \lambda D) / X_c\}$ ,  $\alpha = K / (1 - \lambda) (\sigma / \rho - 1) \psi$  (8) が得られる( $X_c$ ;  $h_c$ の位置,  $q_c$ ; 限界流量)。 (6), (7), (8)式より $X_c$ に関する式はつぎのように表される。

$$dX_c / dt = 2 \alpha q_c / \{X_c - \alpha (h_0 - h_c + \lambda D)\} \quad (9)$$

結局, (9)式に図-7の特性曲線の関係で決まる次の各時間段階の $h_0$ ,  $h_c$ ,  $q_c$ を与えて $X_c$ が求まると, (8), (7)式より $q, q_s$ が計算できる。

1)  $0 < t \leq t_0$ ;  $h_c = 4h_0/9$ ,  $q_c = 8c_0 h_0 / 27$ ,  $t=0$ ;  $X_c = D / \tan \phi$  ( $\tan \phi$ ; 堆砂層の内部摩擦角)の条件での(9)式の解はつぎのようになる。

$$X_c = \alpha H + \sqrt{(D / \tan \phi - \alpha H)^2 + 16 \alpha c_0 h_0 t / 27}, \quad H = 5h_0 / 9 + \lambda D \quad (10)$$

2)  $t_0 \leq t \leq t_1$ ;  $h_0 \doteq h_L$  [(3)式],  $h_c = 4h_0/9$ ,  $q_c = 8c_0 h_0 / 27$  であって,  $t_1$ は次式より決まる。

$$2c_0 t_1 - 3c_0 t_0^{2/3} t_1^{1/3} + X_c = 0 \quad (11)$$

3)  $t \geq t_1$ ;  $h_0 \doteq h_L$  [(3)式],  $h_c = 4h_L/9$ ,  $q_c = 8c_L h_L / 27$  であり,  $t_L$ は次式より求まる。

$$\{L + (3c_L - c_0)t_L\} t_L^{-1/3} = \{X_c + (3c_L - c_0)t\} t^{-1/3} \quad (12)$$

$q, q_s$ の計算値と実験値を比較した一例を図-8に, 総流出土砂量 $V_s$ の計算値 $V_{s,c}$ と実験値 $V_{s,o}$ の比較を図-9に示す。ただし,  $K=4$ ,  $\tan \phi = 0.8$ ,  $\lambda = 0.4 \sim 0.5$ を用いている。定数 $\psi$ などの決定と2)~3)段階での $h_0 = h_L$ の近似に若干問題があるが, 流出流量と流出土砂量をほぼ予測できることがわかる。つぎに,  $V_s$ に対する支配因子の影響を検討するために1)の段階の $q_s$ を積分すると次式を得る。

$$V_{s1} = (1 - \lambda) DB (D / \tan \phi - \alpha H) \times \sqrt{[1 + 16 \alpha h_0 L \{ \tan \phi / (D - \alpha H \tan \phi) \}]^2 / 27 - 1} \doteq (1 - \lambda) DB \sqrt{16 \alpha h_0 L / 27} \sim \sqrt{L h_0} DB \quad (13)$$

図-10に示すように $V_{s,o}$ についてもこの単純な関係がほぼ成立つ。

**5. おまじ** 以上の洪水・土砂流出量の予測法は,  $h_0 < D$ および $S \rightarrow 0$ でもぐり流出となる場合には適用できなく, 決壊速度の影響や部分決壊の場合とともに今後の課題である。

- 1) 村本・佐溝; 年講, 1978.
- 2) 高橋; 京大防災研年報, 25B-2, 1982.
- 3) 芦田・高橋・水山; 新砂防, 107, 1978.

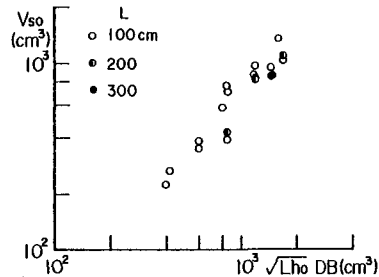


図-10  $V_{s,o}$ と(13)式の比較

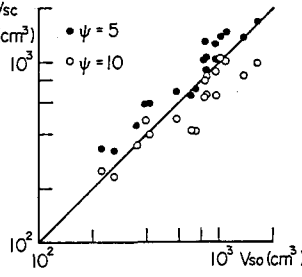


図-9  $V_{s,o}$ と $V_{s,c}$ の比較

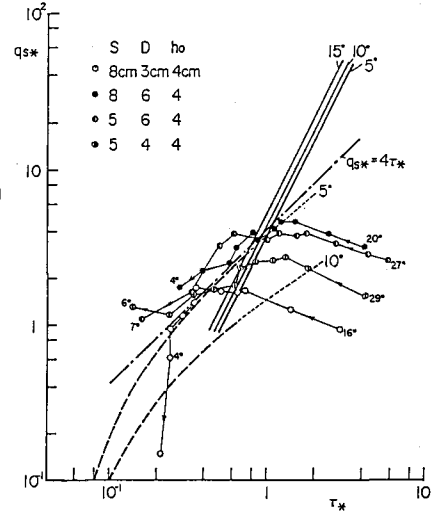


図-6  $q_{s*}$ と $\tau_*$ の関係

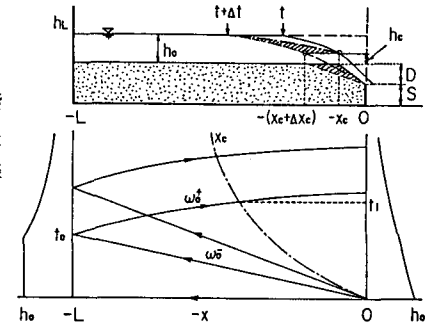


図-7 予測モデルの概念図

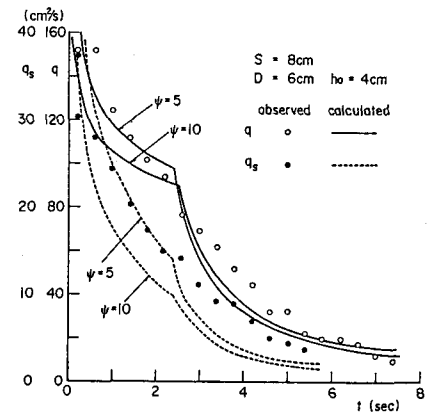


図-8  $q, q_s$ の実験値と計算値の比較