

貯水池のゲート開放に伴う土砂流出

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄
京都大学工学部 学生員 〇砂川岳史

1. まえかき 貯水池決壊に伴う洪水土砂流出量を予測することを目的として、ゲート急開放時の水と土砂の流出に関して貯水槽を用いた水理実験と解析を行なった。

2. 実験の概要 長さ4mで幅10cmの塩化ビニル製水路を用い、貯水および堆砂延長を1mとしてその下流端に高さSの堰とゲートを設け、河床材料には図-1に示す一様粒径の川砂(D)およびメサライト(M)を用いた。実験条件は、 $S=0, 5, 8$ cm, 堆砂高 $D=3, 6, 8$ cm, 初期水深 $h_0=2\sim15$ cm の範囲で変化させた。水面と河床の時間的变化はVTRおよびモータードライブカメラを用いて計測し、最終状態の河床形状と流出土砂量の測定から初期河床の空隙率を決定した。

3. 実験結果の考察 $S=0, 8$ cm について貯水池決壊時の洪水流出の近似解¹⁾と比較して、土砂流出を伴う場合の上下流端水深 h と流出流量 q の時間変化の特徴を述べる。

(1) $S=0; h_0=10$ cm; $D=3$ cm (D.H.), 8 cm (M) の4ケースの実験値と近似解との比較を図-2に示す。図中の曲線は次式を表す。

$$0 \leq t \leq 1.84 t_0, (t_0 = \frac{1}{2} C_0); h_e = 4 h_0 / 9, q = 8 C_0 h_0 / 27, C_0 = \sqrt{g h_0} \quad (1)$$

$$t \geq 1.84 t_0; h_e = (7.35 t_0 / t + 2)^2 h_0 / 81, q = (7.35 t_0 / t + 2)^3 C_0 h_0 / 129 \quad (2)$$

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

h の実験値はいずれも(3)式に適合し、 q は土砂流出のある場合には(1)式より大きい値を示している。

(2) $S=8$ cm; $h_0=2$ cm; $D=3, 6$ cm (M) の h, h_e を図-3に、 q 、流出土砂量 $Q_s, C = Q_s / q$ を図-4と比較されている。この場合も h は(3)式に合致し、 q は初期に(1)式を大きく上回っている。 Q_s は q に対応して変化し、土砂濃度は $C \approx 0.2$ の一定値を示している。

つぎに、水と土砂の流出特性を詳細に検討するため、(i) $S=8$ cm で $D=3$ cm, $h_0=4$ cm と (ii) $D=6$ cm, $h_0=4$ cm の2ケースで接写撮影を行い、河床と水面変化の対応及び流砂量式の検討を行なった。図-5は(i)のケースのゲート付近の水面形と河床形状の変化を示したもので、限界水深 h はほぼ河床変化点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の商橋

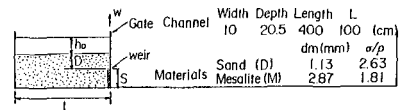


図-1 実験水路と河床材料

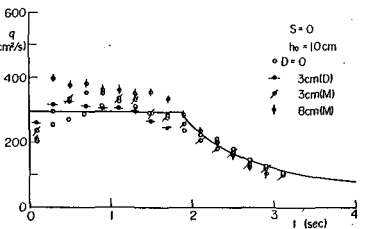
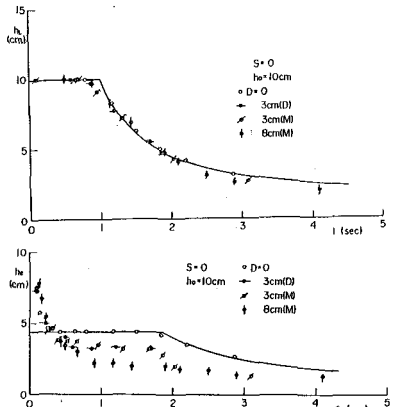


図-2 h, h_e, q の時間的变化

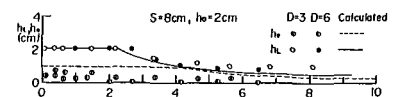


図-3 h, h_e の時間的变化

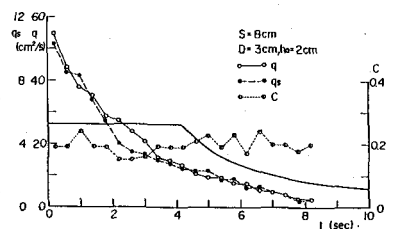


図-4 h, h_e, C の時間的变化

の式²⁾(実線)、芦田・高橋・水山の急勾配の流砂量式³⁾(破線)と比較すると図-6 のようになり、初期を除いて $f_{st} = 4 \tau_c$ (f_{st} : 無次元流砂量、 τ_c : 無次元槽底力) で近似できる。

4. 流出流量と流出土砂量の予測 上述の実験事実を考慮して、流出流量と土砂量の時間変化を予測するためのモデル 図-7 を考える。 $t \sim t+\Delta t$ での流砂量および流量の連続式は、

$$f_{st} \Delta t = (1-\lambda) D \Delta x_c / Z \quad (4) \quad (f - f_c) \Delta t = (h_0 - h_c + \lambda D) \Delta x_c / Z \quad (5) \quad (x_c: \text{限界水深} h_c \text{が現れる位置}$$

f_c : 限界流量) となる。図-6 の関係 $f_{st} = k \tau_c$ (k : 定数) あるいは $f_c = k R D / (\sigma_p - 1) \varphi x_c$, $\varphi = U / U_c$ (6)

と (4), (5) 式より、 $f = f_c / \{1 - \alpha (h_0 - h_c + \lambda D) / x_c\}$, $\alpha = k / (1 - \lambda) (\sigma_p - 1) \varphi$ (7)

が得られる。(4), (6), (7) 式より x_c に関する式はつぎのように表される。

$$dx_c / dt = 2 \alpha f_c / \{x_c - \alpha (h_0 - h_c + \lambda D)\} \quad (8)$$

結局 (8) 式の h_0, h_c, f_c を与えて x_c が求まると、(7) 式より f 、(6) 式より f_{st} が計算できる。図-7 の特性曲線の関係よりつぎの時間段階に分けて考える。

(i) $0 < t \leq t_0$: $h_c = 4 h_0 / 9$, $f_c = 8 C_0 h_0 / 27$ であり、 $t=0$ で $x_c = D / \tan \phi$ (ϕ : 内部摩擦角) の条件の解は次式となる。

$$x_c = \alpha H + \sqrt{(D / \tan \phi - \alpha H)^2 + 16 \alpha C_0 h_0 t / 27}, \quad H = 5 h_0 / 9 + \lambda D \quad (9)$$

(ii) $t_0 \leq t \leq t_1$: $h_0 = h_c$ (3) 式, $h_c = 4 h_0 / 9$, $f_c = 8 C_0 h_0 / 27$ であり、 t_0 は次式より決まる。 $2 C_0 t_0 - 3 C_0 t_0^{3/2} h_0^{1/2} + x_c = 0$ (10)

(iii) $t \geq t_1$: $h_0 = h_c$ (3) 式, $h_c = 4 h_0 / 9$, $f_c = 8 C_0 h_0 / 27$ であって、 t_1 は次式より求まる。 $\{L + (3 C_0 - C_0) t_1\} t_1^{1/2} = \{x_c + (3 C_0 - C_0) t_1\} t_1^{1/2}$ (11)

(6) ~ (8) 式と (i) ~ (iii) の条件による f, f_{st} の計算値と実験値を比較した一例を図-8 に、純流出土砂量 V_{st} について (i) ~ (iii) の累加値 V_{st} と実測値 V_{st0} の比較を図-9 に示す。(ただし、 $k=4$, $\tan \phi=0.8$, $\lambda=0.5$) 定数の仮定と (ii) ~ (iii) 段階の近似に若干問題があるが、流出流量と土砂量をほぼ予測できることがわかる。

5. むす代 以上、貯水池のゲート急開放に伴う土砂流出を考慮した実験と水理解析を行なったが、 $D \gg h_0$ の場合、 $\beta=0$ やもぐり流出の場合、ゲート開放速度の影響、部分開口の場合など残された問題は多い。

1) 村本・佐藤: 土木学会年講, 1978. 2) 土木学会: 水理公式集, 1985, p. 242. 3) 芦田・高橋・水山: 新砂防, 107, 1978.

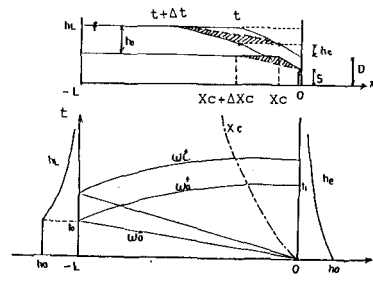


図-7 予測モデルの概念図

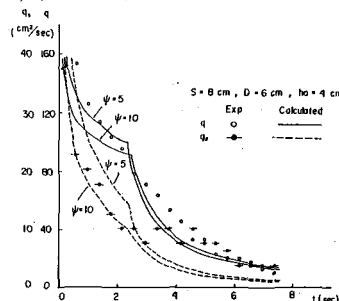


図-8 f_{st} の実験値・理論値の比較

