

II-274

土石流の小規模貯水池における流下ハイドログラフ

名城大学理工学部 正員 新井宗之
京都大学防災研究所 正員 高橋 保

1. はしめに: 土石流が流下するような河道には砂防ダムなど, 水利構造物が存在する場合があるが, 砂防ダムなどに水が湛水したような小規模貯水池に土石流が流入した場合にどのようにハイドログラフの変化があるのか, まだ十分に明らかにされていない. そこで, そこでここではこのような小規模貯水池を土石流が通過する場合, 湛水域に流入し, ダム天端より流出するハイドログラフの変化について検討した.

2. 実験の概要: 実験水路は長さ6m, 幅15cm, 水路下流端に34cmの堰を設けた両側アクリル製で, 水路床はペンキ塗布仕上げの可変勾配水路である. 水路勾配は $\theta=18^\circ$ で堰に水を湛水させ, 上流端より水及び土砂を供給し実験を行った. 実験砂は $d_{50}=0.61, 0.17\text{mm}$, $\sigma=2.63, 2.62\text{g/cm}^3$ を用い, 土石流の流下容積濃度は $C=0.35$ 及び $C=0$ (清水) の条件で実験を行った. 給砂給水は逆三角錐の容器に水及び土砂を容器内で攪拌し容器底部より流出し供給した.

3. 基礎方程式及び計算方法: 急勾配次元河道において, 流れを漸変流近似とする運動方程式, 連続方程式は(1)式, (2)式のように表され¹⁾, 個体成分の連続式, 地盤高の変化は(3)式, (6)式のものである. (1)式の底面摩擦応力 τ_{bx} については, 湛水域の水深が大ききことや含有粒子相互の衝突の効果は少ないと考えられるので, 貯水池内の抵抗則は(5)式のように Manning 則を用いることとする. 差分は中央差分を用い, 水深 h と流量フラックス M との差分格子点位置を $\Delta x/2$ づつずらした格子点で差分化している. (1)式の運動方程式の差分式について示せば, 非線形項 $(uM)/x$ を XDX とすると, (7), (8), (9)式のように表される. 非線形項 XDX は流速の正負によって(8)式のように前進差分と後退差分を使い分けている. また, 差分式で, 添字 $n+1$ は, Δt 時間後の値である.

計算における境界条件として, 湛水域上流端においては流入ハイドログラフを与え, 下流側境界においては堰天端上で全幅堰の越流量を与えるような境界値を与えている. また, 差分計算では, $\Delta x=2.2\text{cm}$, $\Delta t=0.01\text{sec}$ で計算を行った.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta' \frac{\partial (uM)}{\partial x} = g h \sin \theta_b - g h \cos \theta_b \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (1), \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = i \quad (2)$$

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} + \frac{\partial (CM)}{\partial x} = i C_* \quad (3), \quad \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} = \frac{f}{8} u |u| \quad (4), \quad f = \frac{8 g n^2}{h^{1/3}} \quad (5), \quad \frac{dz}{dt} + i = 0 \quad (6),$$

$$\frac{M_{i+1/2}^{n+1} - M_{i+1/2}^n}{\Delta t} + XDX = g \sin \theta_b \frac{h_{i+1}^n + h_i^n}{2} - g \cos \theta_b \frac{(h_{i+1}^n + h_i^n)}{2} \frac{H_{i+1}^n - H_i^n}{\Delta x} - \frac{f}{8} u_{i+1/2}^n |u_{i+1/2}^n| \quad (7)$$

$$XDX = \frac{\partial (uM)}{\partial x} = \begin{cases} u_{i+1/2}^n M_{i+1/2}^n - u_{i-1/2}^n M_{i-1/2}^n & u \geq 0 \\ u_{i+3/2}^n M_{i+3/2}^n - u_{i+1/2}^n M_{i+1/2}^n & u < 0 \end{cases} \quad (8), \quad u_{i+1/2}^n = \frac{M_{i+1/2}^n}{(h_{i+1/2}^n + h_i^n)/2} \quad (9)$$

ここに, $M(=hV)$: x 方向の流量フラックス, u : x 方向の平均流速, $H=z_b+h$, h : 水深, z_b : 基準面からの河床高さ, θ_b : x 軸の水平傾斜角, τ_{bx} : x 方向の底面摩擦応力, ρ_m : 流体の見かけの平均密度, g : 重力加速度, i : 堆積・侵食速度, C : 個体粒子の容積濃度, V_s : 流動深 h に含まれる個体粒子成分の容積, C_* : 堆積層中の粒子の容積濃度, β' : 運動量補正係数.

4. 考察: 図-1は清水が湛水域に流入して, 天端より越流するハイドログラフの数値計算結果と実験結果である. 図中の実線が計算結果であり, 破線が実験結果である. 計算結果によると越流量が少なくなっても

周期的に小さなピークを示しながら減少しつつ長く流出することが示されるが、実験結果では、貯水池内の周期的な波は生じるものの越流量はあるところで生じなくなっている。また、計算結果と実験結果では越流量のピークの位相に少し違いなどがあるが、全体的には比較的よく一致しているものと思われる。しかしながら、土石流が流下して、最初の越流量のピークの値は計算値より実験結果の方がかなり大きく、この例の場合には計算値の約2倍程度を示している。また図-2は、中央粒径 $d_{50}=0.17\text{mm}$ の細粒子を容積濃度 $C=0.35$ 含んだ流れの結果であるが、この場合も最初の越流量のピークは計算値より実験結果の方がかなり大きな値を示している。また、2, 3回目のピークでは計算結果の方が大きな値を示したりしているが、最初のピークを除いては比較的一致していると思われる。図-3は、 $d_{50}=0.61\text{mm}$ の比較的粗粒子を濃度 $C=0.35$ 含んだ流れの天端越流ハイドログラフの結果である。この場合も最初の越流量のピークは計算値より実験結果の方がかなり大きな値を示している。この例の場合にはピークの周期は比較的よく対応しているが、実験結果の越流量の変動が計算結果よりも大きな傾向を示しており必ずしもよく一致しているとはいえない。

これらより、湛水域に土石流のような高速の流れが流入した場合に、清水や細粒子を含む場合には(1)式のような次元運動方程式を用いた解析で比較的よく流下ハイドログラフを計算することができる。しかし、最初のピーク流量は計算値より実験値の方がかなり大きな値を示しており、このような次元解析では予測が困難であることを示している。

そこでこのような湛水域に高速な流体が流入する場合の発生波の数値シミュレーションを行った²⁾。図-4はMarker And Cell(MAC)法を用いて、流入流速 $U=172\text{cm/s}$ の結果であり、図中の白丸は実験結果の水面の位置を表しており比較的よく一致している。このようなシミュレーションの手法の一つとして有用であるとおもわれる。

謝辞：このMAC法の計算を進めるにあたり名城大学岩垣雄一教授よりご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1)高橋保，中川一，佐藤広章；京大防災研究所年報，第31号，B-2，昭63.4，PP.655-676．2)新井宗之，高橋保；土木学会中部支部研究発表会講演要旨集，1991．

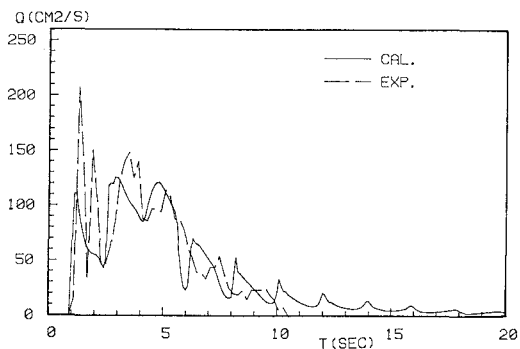
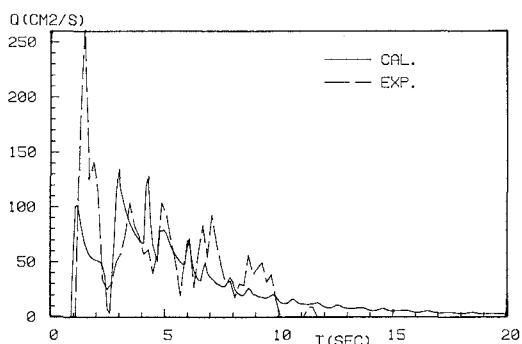
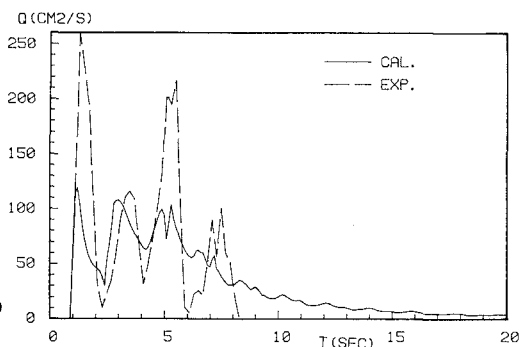
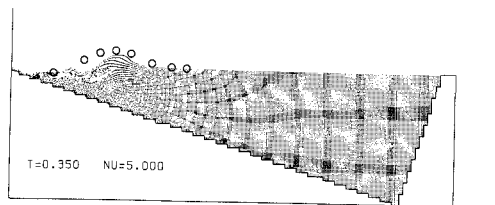
図-1 天端越流量 ($C=0$)図-2 天端越流量 ($d_{50}=0.17\text{mm}$ $C=0.35$)図-3 天端越流量 ($d_{50}=0.61\text{mm}$ $C=0.35$)

図-4 発生波 (SMAC)