

土石流の湛水域流下における貯水量の影響

名城大学理工学部 正会員 新井宗之
京都大学防災研究所 正会員 高橋 保

1. はじめに：土石流が発生し流下するような河道では近年防災上の観点から砂防ダムなどの構造物が多数設けられている。しかしながらそれらの構造物を土石流が通過する過程における特性については必ずしも十分明らかにされているとは言えない。しかしながら砂防ダムなどのような構造物に小規模な湛水があった場合、土石流の通過過程においてそれがどのような影響を与えるのかについて、著者らはそのハイドログラフの変化について検討しているが、運動方程式中の流入土石流と湛水域の水の濃度勾配が発生波に影響を与えることを明らかにしている。しかしながら、湛水量が土石流の流入によるピーク流量の増減にどのように影響しているのか明らかにされていない。そこで、ここではすでに実験的に検討された基礎方程式をもとに、流下過程のシミュレーションを行い湛水量がピーク流量に与える影響について検討した。

2. 基礎方程式および数値計算法：水平方向をX軸、鉛直上方をZ軸をとり、流れを連続体とし、水平粘性を無視し、鉛直方向には質量力と圧力が卓越していると考え、鉛直方向の圧力は静水圧だとする。運動量補正係数を1とすれば、一次元の場合、運動方程式、全流動層および固体粒子に関する連続方程式は式(1)、(2)、(3)のようである。¹⁾ また、式(4)は堆積速度である。ところで、底面せん断応力は式(5)のように表され、摩擦損失係数fに泥流型土石流の抵抗則である式(6)～(7)を用いている。ただし(6)式を適用するのは粒子の沈降速度より作用応力が大きく粒子を浮遊させるような外力が作用している場合があり、そうでない場合には対数則を用いるものとする。

基礎方程式の数値計算には計算スキームに中央差分、スタッガード格子を用い式(1)の非線形項に風上差分を用いている。境界条件に上流端で流入ハイドログラフをあたえ、下流端では越流公式による流量フラックスが流出するものとしている。ところで、土石流が湛水域に流入した場合、比較的含有粒子が大きな場合には流入、近傍で堆積し、粒子径が微細な場合には密度流として河床近傍を流下する。このため式(1)の右辺第二項の密度勾配を考慮するのは実験結果から濃度を鉛直方向に平均化できる潜入点付近の間だけ考慮している。

3. 考察：湛水量が越流量のピーク流量にどのように影響するのかを検討するために、上流端流入ハイドログラフの条件、容積濃度 $C = 0.40$ 、含有粒子径 $d_{50} = 0.17 \text{ mm}$ 、水深 $h = 0.8 \text{ cm}$ 、河床勾配 $\theta = 18^\circ$ であり、単位幅流量 $q = 120 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、及び $q = 160 \text{ cm}^2/\text{s}$ の条件でシミュレーションを行った。湛水量の変化は堰高によって変化させることとし、堰の形状は河床に直角方向の直立形状とし

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{2} \frac{g}{\rho_m} h^2 \frac{\partial \rho_m}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (1) \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} = i \quad (2) \quad \frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial CM}{\partial x} = C_* i \quad (3)$$

$$i = -\frac{\partial \eta_b}{\partial t} \quad (4) \quad \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} = \frac{f}{8} u |u| \quad (5)$$

$$f = 8 \left[\frac{1}{k} \left(\sinh^{-1} \left(\frac{1}{\Phi} \right) - \sinh^{-1} \left(\frac{Y_0}{\Phi} \right) - \sqrt{1 + \Phi^2 + \Phi} \right) \right]^{-2} \quad (6) \quad \Phi^2 = \lambda^2 \left(\frac{\alpha_0}{\kappa^2} \right) \left(\frac{\rho_s}{\rho_m} \right) \left(\frac{d}{h} \right)^2, \lambda = \frac{1}{(C \sqrt{C})^{1/3} - 1} \quad (7)$$

ここに、 u ：断面平均流速、 h ：水深、 $M (= u h)$ ：流量フラックス、 η_b ：基準面からの河床位置、 $H = h + \eta_b$ 、 ρ_m ：固体粒子を含む断面平均密度、 τ_{bx} ：底面せん断応力、 C_* ：容積濃度、 C ：堆積濃度 $Y_0 = y_0 / h$ 、で滑面のとき $y_0 = (a v_0) u_*$ 、 $a = 1/9.025$ 、粘面のとき $y_0 = b k_s$ 、 $b = 1/30$ 、 k_s ：粗度高さ、 v_0 ：水の同粘性係数、 α_0 ：Bagnoldによる定数($\alpha_0 = a_i \sin \alpha = 0.022$)、 κ ：カラムン定数、 $u_d = \sqrt{g h \sin \theta}$ 、 θ ：河床勾配である

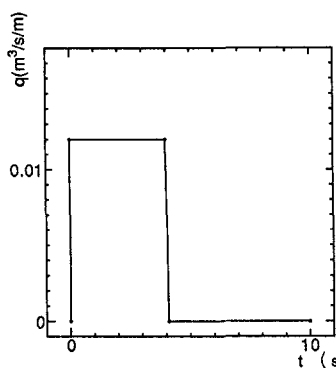


図-1 上流速流入ハイドログラフ

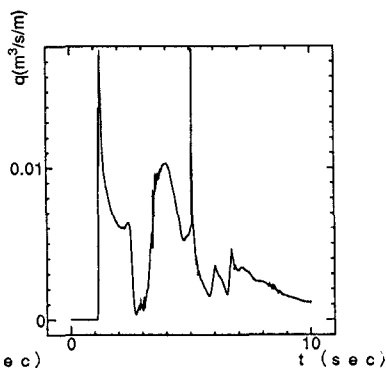


図-2 天端越流ハイドログラフ

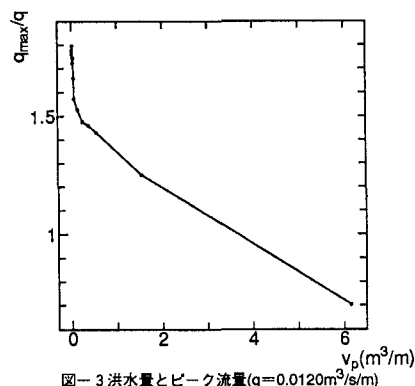


図-3 洪水量とピーク流量($q=0.0120\text{m}^3/\text{s/m}$)

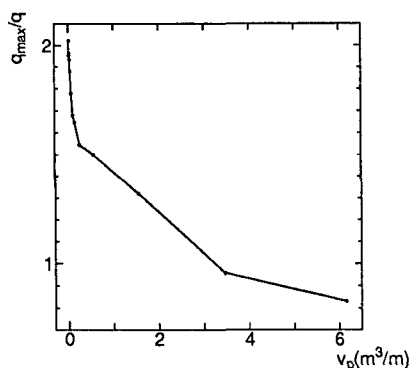


図-4 洪水量とピーク流量($q=0.0160\text{m}^3/\text{s/m}$)

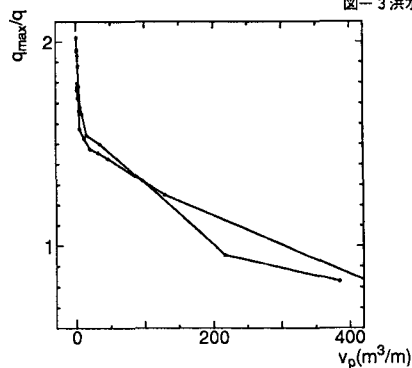


図-5 洪水流入量比とピーク流量

た。図-1は上流端より流入するハイドログラフを示したもので矩形ハイドログラフとした。図-2は堰天端上での越流ハイドログラフである。上流側 $q_{\max}$ から的高速流れの流入により湛水域に波が発生し、それが下流側天端から越流する時系列変化を表したものである。特に始めの第1波によるピーク流量 $q_{\max}$ は図-1の流入流量よりも大きな値となっている。このピーク流量 $q_{\max}$ が湛水量によってどのように変化するかを示したものが図-3～図-5である。図-3は横軸に湛水量、縦軸に流入最大流量 q と天端越流ピーク流量 $q_{\max}$ との比をとったもので、 $q=0.0120\text{ (m}^3/\text{s/m)}$ の場合の計算結果である。この結果によると湛水量が少ないと流入流量の約1.8倍のピーク値となるが湛水量の増大とともにピーク流量は減少し、この場合約 $3.6\text{ m}^3/\text{m}$ くらいで流入量と同程度となり、それ以上の湛水量があるとピーク流量は流入量より減少する。図-4は流入流量が $q=0.0160\text{ m}^3/\text{s/m}$ の場合である。湛水量が少ない場合には流入量の約2.1倍のピーク流量があり、湛水量約 $3.2\text{ m}^3/\text{m}$ で流入量と同程度となり、それ以上の湛水量で越流量が減少している。図-5は横軸に単位時間あたりの流入量と湛水量との比を表し、縦軸に流入流量と天端越流のピーク流量との比を示したものである。 $q=0.0120, 0.0160\text{ m}^3/\text{s/m}$ 場合が図示されているが、流入流量の200倍未満の湛水量の場合には、流入量よりも大きなピーク流量となり、それよりも湛水量が大きい場合には減少することを示している。とくに湛水量が少ない場合には、流下する土石流に取り込まれピーク流量がかなり増加することを示している。また逆に湛水量が多い場合にはピーク流量を減衰させる効果のあることが示されている。

参考文献 1) 新井宗之; 泥流型土石流の流動および堆積過程に関する基礎的研究, 京都大学学位論文, pp. 58-66, 1991. 12