

II-282 溪流における土石流特性値の予測

大阪府立工業高等専門学校 正会員 ○本田 尚正
立命館大学理工学部 正会員 江頭 進治
大阪市役所 正会員 麻田 鉄児

1. はじめに 急傾斜地や山地河川流域では、地すべりや山腹崩壊等によって生産された崩土に起因する土石流や土砂流によって、各種の土砂災害が引き起こされる。このため、流路工や砂防ダム等の土砂流出コントロールが行われている。こうした対策をより有効に行うためには、土砂流出過程における流出形態や流出量の評価が必要不可欠であり、そのためには、実際の土砂流出現象を数値解析等によってどの程度再現できるかが重要な課題となる。これより、本研究では、六甲山系住吉川を事例として、堆積土砂による土砂流出を想定して数値計算を行い、勾配や河幅が不規則に変化する山地河川の土砂流出の特性を明らかにする。

2. 一次元支配方程式 いま、山地河道の土砂流出過程を考えると、土石流の挙動が河道に沿う議論で十分な場合には、土石流の質量保存則、運動量保存則および河床位方程式は、それぞれ次式で与えられる¹⁾。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial U h B}{\partial x} = \frac{E}{c_*} \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial c h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial c U h B}{\partial x} = E \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = g \sin \theta_x - \frac{1}{\rho_m} \frac{1}{B h} \frac{\partial B P}{\partial x} - \frac{U E}{c_* h} - \frac{\tau_b}{\rho_m h} \quad \dots(3)$$

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = - \frac{E}{c_* \cos \theta_x} \quad \dots(4)$$

ここに、 t は時間、 x は流れに沿う軸、 h は流動深、 B は河幅、 U は断面平均流速、 E は侵食速度（ $E > 0$ のときは堆積）、 c は土石流の土粒子体積濃度、 c_* は砂礫の静止体積濃度、 θ_x は河床勾配、 P は圧力、 ρ_m は水と砂礫の混合物の密度、 τ_b は河床せん断力、 Z_b は河床高である。なお、侵食速度と河床せん断力には、江頭らの式を適用する¹⁾。

3. 計算条件 計算対象区間は約2,900mである。この区間の河床縦断形状および河幅を図-1,2に示す。この区間の平均河床勾配は0.100で、砂防ダムは計4基設置されており、上流側から未満砂、満砂、満砂、未満砂の状態である。また、最上流部の標高540m付近は、平成7年1月の兵庫県南部地震後の現地調査において、実際に多くの崩壊が確認されている。このため、本計算ではこの付近で大規模な斜面崩壊が発生したと仮定して、河道部に約50,000 m³の土砂を堆積させている。

数値計算は、Two-step Lax-Wendroff法を用い、 $\Delta t = 0.02s$ 、 $\Delta x = 4.0m$ として行った。計算に用いた物理定数は、砂礫の密度 $\sigma = 2.65g/cm^3$ 、内部摩擦角 $\phi = 33^\circ$ 、静止体積濃度 $c_* = 0.50$ 、代表粒径 $d = 4.0cm$ 、上流端流入流量は、時間雨量 $r = 60mm/hr$ を想定して $Q_{in} = 15 m^3/s$ とし、流入濃度 $c_{in} = 0.05$ としている。

4. 計算結果および考察 計算結果を図-3～図-7に示す。これらによれば、まず、上流部の崩壊土砂堆積区間では、水の供給後、堆積土砂の勾配変化点近傍が急激に侵食を受けて土石流が発生し（図-3）、約250s後には、 $x = 320m$ 地点においてピーク流量約100 m³/sの土石流が形成されている（図-6）。その土砂は、直下にあるNo.1ダムに堆積し、ここで流量および土砂濃度はかなり減少している（図-6,7, $x = 400m, 600m$ ）。

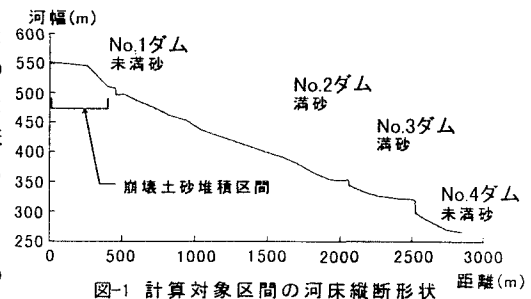


図-1 計算対象区間の河床縦断形状

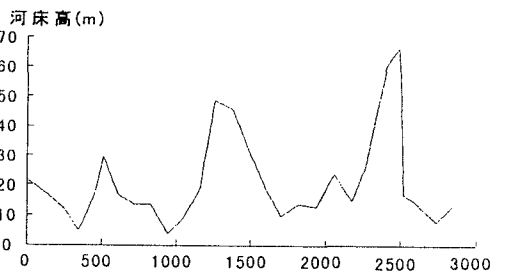


図-2 計算対象区間の河幅

また、No.1のダムが満砂状態になった後には、土砂はダム下流に流出するが、堆積土砂の勾配変化は土石流発生後に比べて緩やかになる（図-3）。

つぎに、中流部では、多少の侵食や堆積はあるものの、流量や土砂濃度をみても、土石流の流勢はあまり衰えていない（図-6,7, $x=1,200$ m）。そして、下流部では、砂防ダム付近に特徴的な堆砂がみられる（図-4）。とくに、No.2のダム（満砂状態）では、土石流はダム地点に約 800s 後に到達し、ダム上流に堆積し、堆砂域は緩い勾配で遡上している（図-5）。そして、約 1,200s 以降、土石流は No.2のダムを越流し、そのほとんどがダム直下に堆積している（図-5）。このダム付近の土砂濃度をみると、30%以下になっており、流砂形態は土石流からいわゆる土砂流へと遷移している（図-7, $x=2,000$ m, 2,200 m）。No.2のダム上下流の流量および土砂濃度をみると、流量はダム通過後には減少している（図-6, $x=2,000$ m, 2,200 m）。一方、土砂濃度はダム通過後には増大するが、これは土石流のダム下流への堆積が進行したためである（図-7, $x=2,000$ m, 2,200 m）。なお、土石流は、約 1,300s 後には最下流部の No.4のダムに到達するが、土砂はすべてここに堆積し、下流へは流出していない（図-4,6, $x=2,856$ m）。

以上の計算結果によれば、今回の計算条件下では、上流部では土石流は発生するものの、砂防ダムの効果により、土石流は下流の市街地部の河道へは、直接流下しないものと思われる。ここで、砂防ダムの効果とは、単に空容量に土砂を貯留して土砂流出を直接的に抑止するだけでなく、流砂形態を土石流から土砂流へ遷移させるといったことである。そして、本計算結果より、その機能は、未満砂のものはもちろん満砂の砂防ダムであっても十分に発揮されることが分かる。

5. おわりに 数値シミュレーションにより、山地河川の土砂流出の特性について考察した。計算結果を検証するための具体的なデータは得られていないが、堆積土砂による土石流のダイナミックな現象を数値解析によってある程度再現できることを示すとともに、土石流の形成・流動・堆積過程において、これまで定性的に述べられてきた砂防ダムの機能を数値的に議論するための方法を示した。

最後に、本研究を推進するにあたり、一部、（財）砂防地すべり技術センターより奨学寄付金をいただいている。ここに記して深謝いたします。

参考文献 1) 江頭 進治：土石流の停止・堆積のメカニズム（2），新砂防 Vol.47, No.21, 1993, pp51-56.

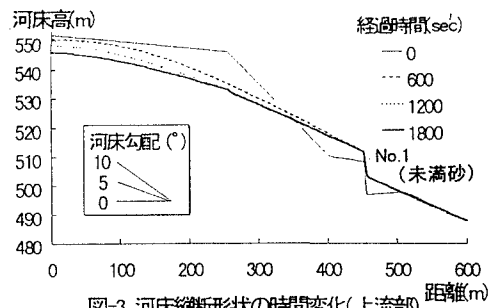


図-3 河床縦断形状の時間変化(上流部)

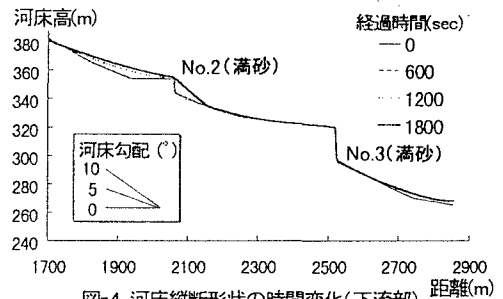


図-4 河床縦断形状の時間変化(下流部)

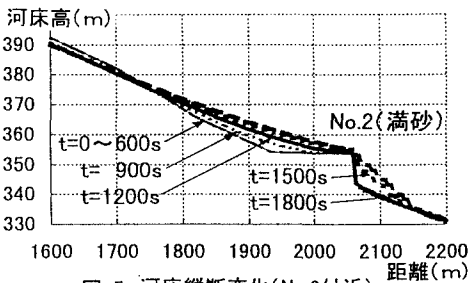


図-5 河床縦断変化(No.2付近)

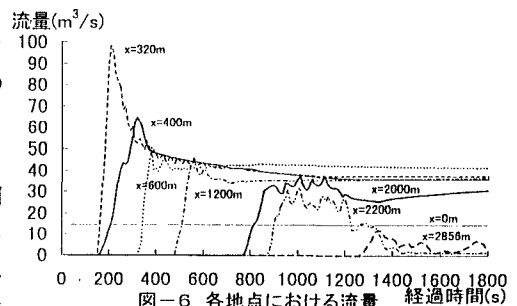


図-6 各地点における流量 経過時間(s)

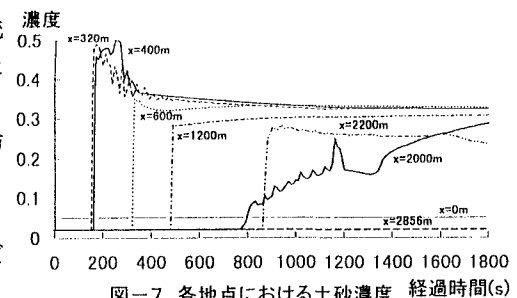


図-7 各地点における土砂濃度 経過時間(s)