

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土砂生産が活発に行われている。これらの崩土が降雨等の水の供給を受け、土石流あるいは土砂流となって流出し、各種の土砂災害を引き起こすこととなる。このため、流路工や砂防ダム等各種の土砂流出コントロールが行われているが、なかでも不透過型砂防ダムは、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、流砂形態の変化、たとえば土石流から掃流砂へ遷移させたり、流砂の質を変化させるといった調節機能を有することが知られている。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、数値シミュレーションによって土石流の形成・流動・堆積過程における砂防ダムの土石流調節効果を考察する。

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⁾。

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

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = g \sin \theta_x - \frac{1}{\rho_m} \frac{1}{B h} \frac{\partial B P}{\partial x} - \frac{U E}{c_* h} - \frac{\tau_b}{\rho_m h} \quad (3) \quad \frac{\partial Z_b}{\partial t} = - \frac{E}{c_* \cos \theta_x} \quad (4)$$

ここに、 t は時間、 x は流れに沿う軸、 B は河幅、 h は流動深、 U は断面平均流速、 E は侵食速度（ $E < 0$ のときは堆積）、 P は全圧力、 c は土石流の土粒子体積濃度、 c_* は砂礫の静止体積濃度、 τ_b は河床せん断力、 ρ_m は水と砂礫の混合物の密度、 ρ は水の密度、 Z_b は河床高、 θ_x は河床勾配である。なお、侵食速度と河床せん断力は江頭らの式によることとする¹⁾。

3. 計算条件 計算対象区間長は、約 2,500m であって、この区間の河道縦断形状および河幅は、それぞれ図-1, 2 のようである。最上流部に崩壊による生産土砂量約 50,000m³ を想定して、これを河道に堆積させている。この区間の平均河床勾配は 0.100 で、砂防ダムは 2 基設置され、現状では、No. 1 は未満砂状態、No. 2 は満砂状態である。本研究では、砂防ダムの条件として、現状および 2 基とも満砂状態の 2 ケースについて数値計算を実施した。

数値計算は、Two-step Lax-Wendroff 法を用い、 $\Delta t = 0.02$ 秒、 $\Delta x = 4.0$ m として行った。計算に用いた物理定数は、砂礫の密度 $\sigma = 2.65 \text{ g/cm}^3$ 、内部摩擦角 $\phi = 33^\circ$ 、静止体積濃度 $c_* = 0.5$ 、代表粒径 $d = 4.0$ cm、上流端流入流量 $Q_0 = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流入濃度 $c_0 = 0.05$ である。

4. 計算結果および考察 ダム上下流の計算結果を図-3 ~ 図-6 に示す。とくに図-5 および図-6 は、No. 1 ダムが未満砂状態の場合と満砂状態の場合の計算結果を併記している。

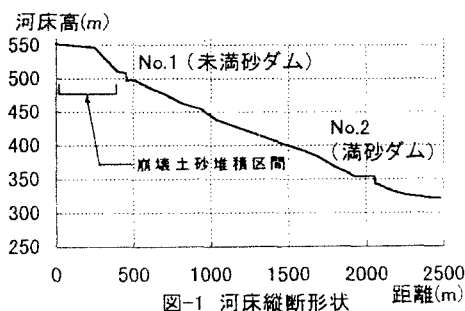


図-1 河床縦断形状

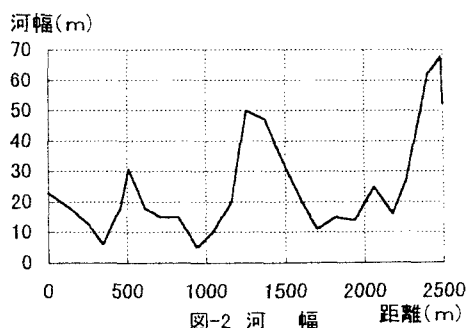


図-2 河幅

これらによれば、水の供給後、堆積土砂の勾配変化点近傍が急激な侵食を受けて土石流が発生している(図-3)。砂防ダムに着目すると、No.1(未満砂状態)では、空容量に土砂が貯留された後にはダム下流に土砂は流出するが、堆積土砂の勾配変化は土石流発生直後に比べて緩やかである(図-3)。ダム上下流の流量および土砂濃度は、ダム上流 $X=400\text{m}$ で $Q_{\max}=67\text{m}^3/\text{s}$ ($t=300\text{s}$)、 $c_{\max}=0.50$ ($t=250\text{s}$)、ダム下流 $X=600\text{m}$ で $Q_{\max}=50\text{m}^3/\text{s}$ ($t=400\text{s}$)、 $c_{\max}=0.35$ ($t=300\text{s}$)である(図-5、図-6)。また、No.2(満砂状態)では、土石流はダム地点に約800秒後に到達した後、ダム上流に堆積し、堆砂面は緩い勾配で遡上している。そして、約1,200秒以降、土石流は砂防ダムを越流し、ダム直下流に堆積している(図-4)。ダム上下流の流量および土砂濃度は、ダム上流 $X=2,000\text{m}$ で $t=1,000\text{s}$ の時、 $Q_{\max}=37\text{m}^3/\text{s}$ 、 $c=0.15$ 、ダム下流 $X=2,200\text{m}$ で $t=1,000\text{s}$ の時、 $Q_{\max}=30\text{m}^3/\text{s}$ 、 $c=0.27$ である(図-5、図-6)。このように、ダム通過後、流量はNo.1、No.2ともに通減している。また、土砂濃度は、No.1ではダム通過後には小さくなり、ダムによって流砂の質が変化した。一方、No.2ではダム通過後には増大したが、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。

つぎに、同一条件のもとに、No.1の砂防ダムを満砂状態とした場合の計算結果について考察する。No.1の上下流の流量はダム上流 $X=400\text{m}$ で $Q_{\max}=70\text{m}^3/\text{s}$ ($t=300\text{s}$)、ダム下流 $X=600\text{m}$ で $Q_{\max}=63\text{m}^3/\text{s}$ ($t=400\text{s}$)であり、砂防ダムによる流量の軽減は、未満砂状態の場合に比べて小さくなっている(図-5)。一方、土砂濃度の変化は、No.1が未満砂状態の場合と大差がなく、満砂ダムであっても流砂の質を変化させる効果が生じていることを示している(図-6)。また、No.2の上下流では、流量、土砂濃度ともに未満砂状態の場合と大差はないが、土石流のダム地点への到達時間が若干早くなっている(図-5、図-6)。

以上の計算結果によれば、砂防ダムは、単に空容量への土石流の貯留機能だけでなく、土砂濃度の変化や到達時間の遅滞等によって土石流の流勢をやわらげ、下流の氾濫を抑えるといった緩衝機能を有しており、それらの機能はダムが満砂状態であっても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砂防ダムの土石流調節効果を考察した。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、土石流の発生・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、(財)砂防地すべり技術センターにご協力いただいた。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.

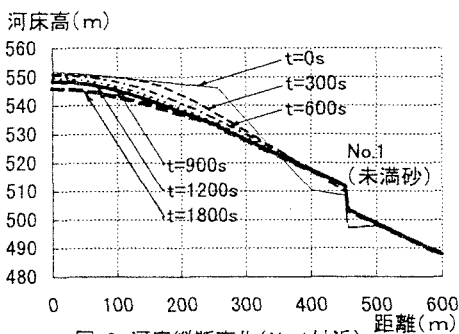


図-3 河床縦断変化(No.1付近)

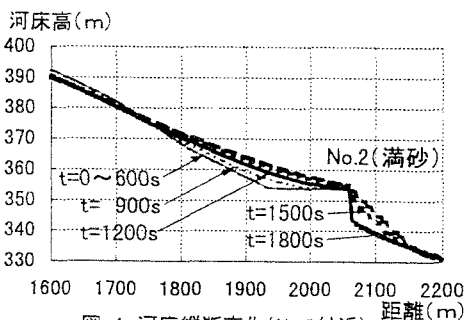


図-4 河床縦断変化(No.2付近)

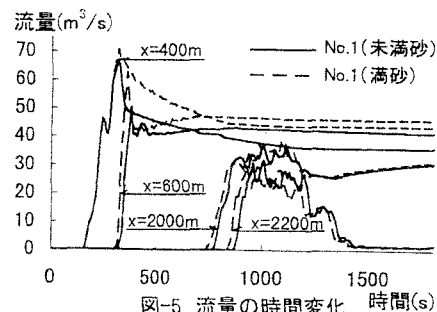


図-5 流量の時間変化

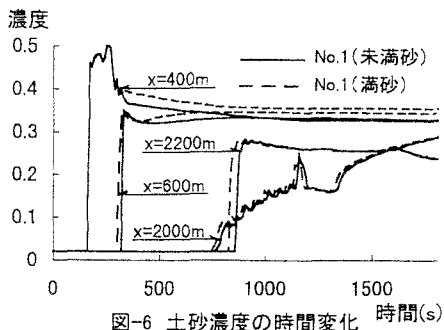


図-6 土砂濃度の時間変化