

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
日本工営株式会社 正会員 清水 聡

1. はじめに 急傾斜地や山地河川流域などの土砂生産の活発な地域では、土石流や土砂流による土砂災害の危険性が内在しており、このため、流路工や砂防ダム等の砂防施設の整備が必要である。なかでも砂防ダムは土砂流出をコントロールし、その適切な位置および規模の選定は、流域の土砂災害対策を考える上で重要である。本研究では、六甲山系住吉川において 1967 年（昭和 42 年）に発生した土石流を事例とし、数値解析によって土石流の再現計算を行うとともに、砂防ダムの土石流調節効果について考察する。

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⁾。

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

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

ここに、 t は時間、 x は流れに沿う座標、 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、 g は重力加速度、 ρ_m は水と砂礫の混合物の密度、 P は圧力、 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は江頭らの式¹⁾を用いる。

3. 計算条件 計算対象区間（約 2,856m）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 である。ここでは、図-1 に示すように、計 2 基の砂防ダム（いずれもダム高 10.0m、貯留容量約 20,000m³）を考え、これらが無い場合とある場合の 2 ケースについて数値計算を実施した。土石流の再現計算を行うにあたり、崩壊土砂の堆積条件は、流域内で報告されている流出土砂量と現地の斜面崩壊の状況から、大まかではあるが、計算対象区間の最上流部の標高約 550m 付近の河道部に約 50,000m³ の土砂を堆積させた。また、水の供給条件は、土石流発生時の最大 60 分間雨量（75.8mm/hr）と最上流端の流域面積（1.34km²）を勘案して、上流端流入流量 $Q_{in}=20\text{m}^3/\text{s}$ を定常的に与え、流入濃度 $c_{in}=0.05$ とした。

数値計算は、風上スキーム（Up-Wind Scheme）による差分法を用い、 $\Delta t = 0.02\text{sec}$ 、 $\Delta x = 4.0\text{m}$ として行った。計算に用いた物理定数は、それぞれ、砂礫の密度 $\sigma = 2.65\text{g/cm}^3$ 、内部摩擦角 $\phi_s = 33^\circ$ 、静止体積濃度 $c_* = 0.50$ 、代表粒径 $d = 0.04\text{m}$ である。

4. 計算結果および考察 計算結果を図-3～図-7 に示す。図-3～図-5 は河床縦断形状の時間変化、図-6, 7 は砂防ダム上下流の流量および土砂濃度の時間変化をそれぞれ示している。これらによれば、水の供給後、上流部の土砂堆積区間の勾配変化点付近が急激に侵食を受けて土石流が発生し（図-3）、約 100 秒後には、

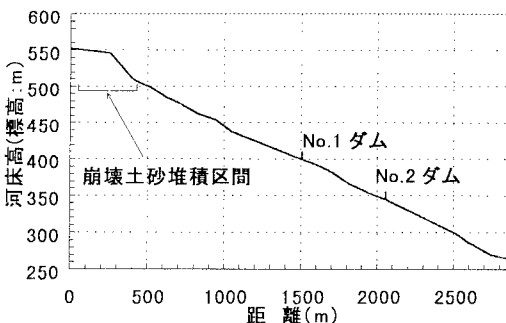


図-1 計算対象区間の河床縦断形状

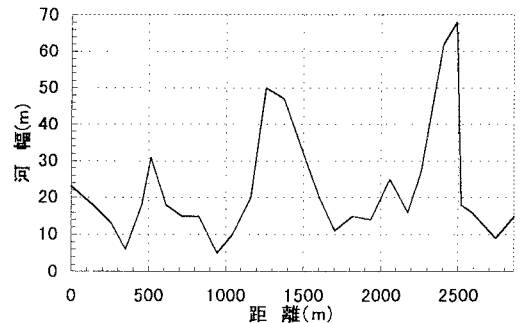


図-2 計算対象区間の河幅

$x=320\text{m}$ 地点においてピーク流量約 $116\text{m}^3/\text{s}$ の土石流が形成されている（図-6）。

この土石流は、砂防ダムがない場合には、河床の侵食、堆積を伴いながら河道内を流下し、約 950 秒後には最下流端に到達している（図-4, 6, $x=2,856\text{m}$ ）。そして、最下流端では流量は約 $50\text{m}^3/\text{s}$ とピーク時の半分に減少しているが（図-6, $x=2,856\text{m}$ ）、土砂濃度は 30%以上となっており（図-7, $x=2,856\text{m}$ ）、計算対象区間全域で土石流としての性質を有している。

一方、砂防ダムがある場合には、土石流はまず、約 500 秒後には $x=1,500\text{m}$ 付近の No.1 ダムに到達し、約 700 秒後には $x=2,000\text{m}$ 付近の No.2 ダムに到達し、土砂はそれぞれの砂防ダムに堆積している（図-5, 6, $x=1,400\text{m}, 1,920\text{m}$ ）。砂防ダム上下流の流量および土砂濃度についてみると、No.1、No.2 とともにダムの上下流で顕著な流量低減はみられず、土砂濃度は下流の No.2 ダム前後で上流に比べて若干上昇している（図-6, 7, $x=1,400\text{m}, 1,520\text{m}$ 、 $x=1,920\text{m}, 2,120\text{m}$ ）。この要因としては、土石流フロントによる河床の侵食が考えられる。最後に、流れは約 1,060 秒後には最下流端に到達し、砂防ダムがない場合とある場合で、約 $20\text{m}^3/\text{s}$ の流量差が生じている（図-6, 7, $x=2,856\text{m}$ ）。このとき、土砂濃度は 2%となっており、上流からの流送土砂は最下流端には到達していないことがわかる。実際の土石流も、砂防ダム群の調節効果によって、下流市街地への土砂流出は抑制されている。

以上のような計算を、砂防ダムの位置や規模、個数などを種々変化させて行うことにより、砂防ダムの効果的な配置を検討するためのデータを得ることができると考えられる。

5. おわりに 実流域を対象に土石流の再現計算を行い、砂防ダムの土石流調節効果を数値的に検証するための方法を示した。今後の課題として、計算結果に土石流フロントによる河床侵食の影響がかなり大きく生じていると思われ、これらの数値モデル上の取扱いについてさらに改良工夫が必要であると考えている。

【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.

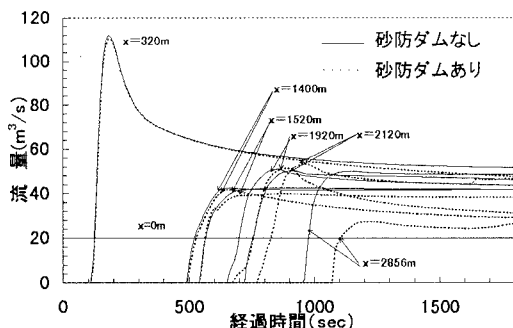


図-6 各地点における流量

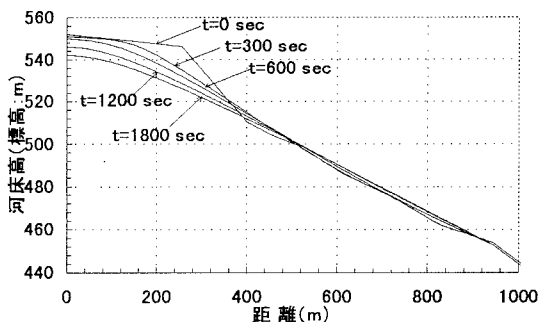


図-3 河床縦断の時間変化（上流部）

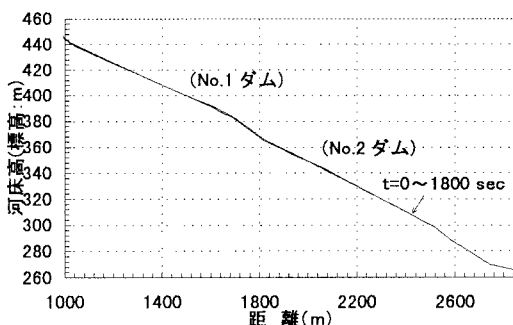


図-4 河床縦断の時間変化（下流部：ダムなし）

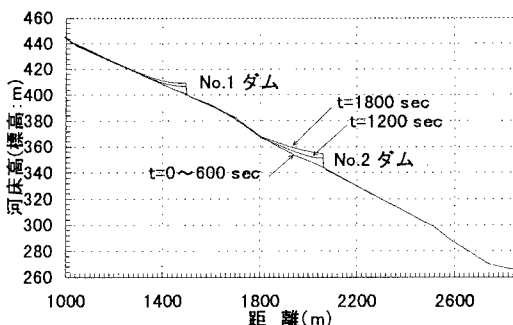


図-5 河床縦断の時間変化（下流部：ダムあり）

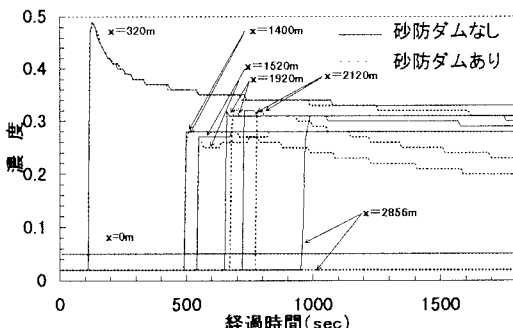


図-7 各地点における土砂濃度