

立命館大学大学院

学生員 ○有村 真一

立命館大学理工学部

正会員 江頭 進治

大阪府立工業高等専門学校

正会員 本田 尚正

1. はじめに 新潟県と長野県の県境に位置する蒲原沢において、1996 年 12 月 6 日に発生した土石流は、建設作業員 14 名の尊い人命を一瞬间にして奪うという大惨事を引き起こした^{1), 2)}。この土石流は、向寒期に発生したこと、大量の水の供給なしで生じたことなど、今までのそれとはかなり異なったものであり、解明すべき点も多く顕在している。また、同様の条件で今後発生するであろう土石流に対し、より有効な土砂災害対策の推進を実施するためにも、このような土石流の解明及びそれに対する基礎的研究は必要不可欠である。本研究では、蒲原沢土石流の数値シミュレーションに基づいて、土石流の流動機構について検討する。

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³⁾。

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

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

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

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

ここに、 t は時間、 x は流れに沿う座標、 h は流動深、 B は河幅、 v 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³⁾を用いる。

3. 計算条件 計算対象区間 (約 3160m) の河床縦断形状を図-1 に示す。この区間の平均河床勾配は $\theta_x = 16^\circ$ 程度で、下流部には谷止工、2号および1号砂防ダム、流路工が設置されている。ここでは、土石流の再現計算を行う上で必要となる各パラメーターの影響力がどの程度なのか、また再現計算を行う上でどのパラメーターを慎重に扱うべきかということを見るため、最上流端に堆積する崩壊土砂の堆積延長 L および土砂量 V 、渓床の限界侵食深 D および供給水量 Q_{in} をそれぞれ単独に変化させて数値計算を実施する。

そこで、基本的な条件を以下のように設定する。まず、崩壊堆積土砂の土砂量は、既往調査²⁾ による航空写真判読結果より $V=31,000\text{m}^3/\text{s}$ とし、その堆積延長は $L=250\text{m}$ と仮定する。渓床堆積物は、河床勾配が 22° よりも急な領域には存在せず、これよりも緩い領域には存在するが、元河床から限界侵食深を $D=4\text{m}$ として、これ以上は侵食されないものとする。水の供給条件は、現地調査より得られた姫川～蒲原沢合流点付近の雨量データおよび流量データを基にした流出解析によれば、土石流発生当時の崩壊地点付近の供給水量は $Q_{in}=0.2\text{m}^3/\text{s}$ 程度と見積もられた。そこで、ここでは上流端流入流量 $Q_{in}=0.2\text{m}^3/\text{s}$ を定常的に与え、その時の流入濃度は便宜上 5% とする。

数値計算は leap-frog 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 $\sigma=2.65\text{g/cm}^3$ 、泥水の密度 $\rho=1.50\text{g/cm}^3$ (微細砂濃度 30%)、内部摩擦角 $\phi_s=33^\circ$ 、静止体積濃度 $c_*=0.50$ 、代表粒径 $d=10\text{cm}$ である。

河床高 (標高 : m)

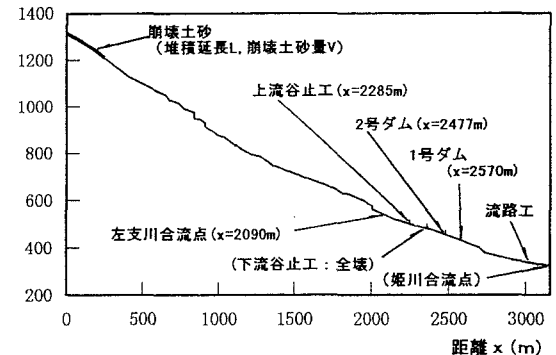


図-1 計算対象区間の河床縦断形状

4. 計算結果および考察 計算結果を図-2～図-5に示す。これらは上流端を0mとした距離 $x=1,800\text{m}$ 及び $3,000\text{m}$ 地点における流量の時間変化を表したものである。 $x=1,800\text{m} \sim 3,000\text{m}$ 区間には、谷止工、2号及び1号ダムが設置されており、図-2～図-5はいずれもこれらの施設による土石流調節効果により、ピーク流量が大幅に減少していることを示している。

図-2は、先に示した基本的な計算条件のうち、崩壊土砂の堆積延長 L のみを変化させた場合の流量の時間変化を示している。 L が長い場合、崩壊土砂の先端は、より下流側に位置されるため、 $x=1,800\text{m}$ 地点において堆積範囲 $L=250\text{m}$ と $1,000\text{m}$ の場合では、上流から水の供給を受けて土石流が到達するまでに28秒の差があり、堆積延長が土石流到達時間に大きく影響することがわかる。

図-3は、同じく崩壊土砂量 V のみを変化させた場合の計算結果を示している。これによれば、 V の変化によって各地点のピーク流量に大きな差異は見られない。一方、図-4は、同じく限界侵食深 D のみを変化させた場合の計算結果を示しているが、これによれば、 D が大きいほど各地点のピーク流量は大きくなっている。これらより、ピーク流量に代表される土石流の規模は、土石流発生地域の崩壊土砂量の大小よりも、むしろ土石流の流下過程における渓床・溪岸侵食の大小に大きく依存することがわかる。

図-5は、同じく供給水量 Q_{in} のみを変化させた場合の計算結果を示している。これによれば、 $Q_{in}=0.2\text{m}^3/\text{s}$ に対して2倍($0.4\text{m}^3/\text{s}$)または1/2($0.1\text{m}^3/\text{s}$)の増減が生じて、土石流の流量にほとんど影響していない。これより、土石流発生源に飽和状態に近い流動化しやすい崩壊土砂が存在していれば、その土壌を飽和させるに足るだけの少量の供給水量と供給時間によって、蒲原沢のような大規模土石流が発生する可能性は十分考えられることがわかる。

5. おわりに 実流域に発生した土石流を対象に、数値計算の条件を種々変化させて再現計算を行った。このように土石流に関する様々な観測データを基にいくつかのシナリオを設定して数値計算を実施し、土石流の特性を予測することは、土砂災害対策を予定する上で重要なデータになると考えられる。

参考文献

- 1) 江頭進治：1996年長野県蒲原沢土石流災害に関する調査研究、土木学会誌、第83巻、第2号、pp49-54、1998
- 2) (社)砂防学会：12.6 蒲原沢土石流災害調査報告書、pp33、1997
- 3) 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.2(187)、pp51-56、1993

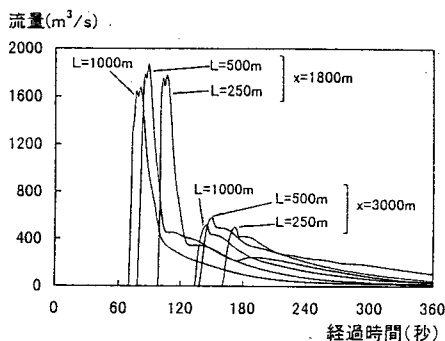


図-2 堆積延長の違いによる比較

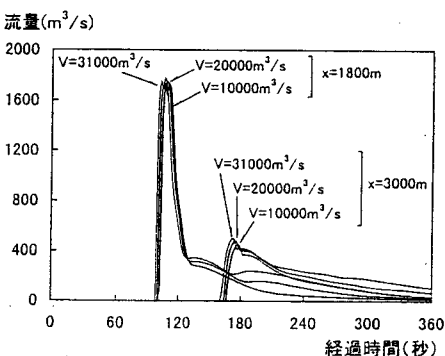


図-3 崩壊土砂量の違いによる比較

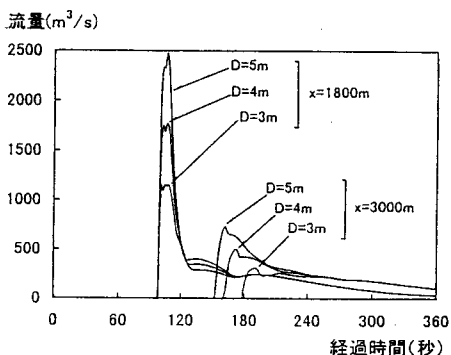


図-4 限界侵食深の違いによる比較

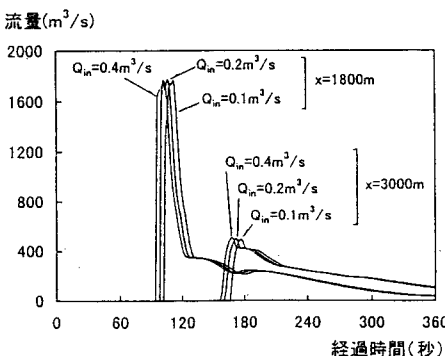


図-5 供給水量の違いによる比較