

# 014 1993年8月島原市で発生した土石流の流出・氾濫計算

九州大学大学院工学研究院 ○朴 崎 橋本 晴行  
九州大学工学部 坂東 龍  
八千代エンジニアリング(株) 山崎 一彦 菊池 亮

## 1. はじめに

眉山は地盤がもろく、火山性地震を原因として1792年に大崩壊を起こした。現在も、山腹は切り立った斜面となり、小規模な崩壊を繰り返し、大量の土砂を流出している。そのため林野庁により治山事業が行われ多くの堰堤、床固め工など土石流対策が図られている。眉山には0~7溪と呼ばれる土石流危険溪流が存在し、1914年、1957年に大きな土石流が発生した。最近では、普賢岳の活動に伴って、眉山上流域が荒廃化し、1993年に合計10回の土石流が発生し、下流の市街地にまで到達するようになった。このため、ハード対策とともに、土石流の流出・到達範囲を精度良く予測し、ハザードマップ作製などソフトな土石流対策も合わせて行うことが重要となっている。そこで本研究は、土石流の流出、到達範囲の予測法を確立することを目的とし、一連の土石流のなかでも特に土砂流出量が多かった1993年8月20日に6溪において発生した土石流を事例とした再現計算を行い、流出・氾濫解析を試みたものである。

## 2. 1993年土石流の災害状況

1993年4月28日から9月3日までの10回の土石流で6溪と南千本地区の扇状地下流の高校の附属施設や周辺の住宅地に土砂が大量に流出して住宅地等が浸水した。土石流は当初、大部分が林内に蓄積した後に残りの土砂流が市街地へ流出し続けていた。その後、かすみ堤内の堆砂地容量を超過した土砂は、6月以降は直接市街地へ流出し続けた。また、かすみ堤内の最下流の林帯は、土砂流による被害のために次第に樹勢が弱まり、夏期には枝葉の褐色化・枯死・落葉等が進行した。

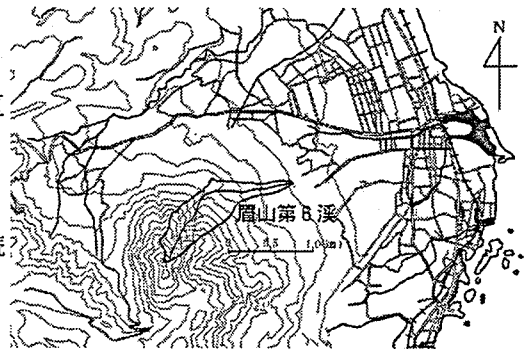


図1 島原市眉山第6溪の周辺図

## 3. 土石流の流出解析

計算対象区間は6溪の上流端から砂防ダムのある海拔90mまでの距離約2kmの区間である。流域全体(0.61km<sup>2</sup>)を斜面部と河道部(本流と支流6本)に分け、前者についてはkinematic wave法を用い、後者についてはdynamic wave法を用いて流出解析を行った。

### 1) 斜面部

連続式は、水深を $h$ 、河床高を $z$ 、水と土砂を合わせた全流量を $q_{in}$ 、有効雨量強度を $r(t)$ として

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial q_{in}}{\partial x} \cos \theta_s = r(t) \cos \theta_s \quad (1)$$

となる。ここに、 $x$ 軸は上流端から水平に測った距離である。運動方程式は擬等流として取り扱い

$$q_n = \frac{1}{n_s} \sqrt{\sin \theta_s} h^{5/3} \quad (2)$$

とする。ここに $n_s$ はマンニングの粗度係数である。初期条件は、計算結果に影響を与えないような微小値を選び流量 $Q=10^{-5}(\text{m}^3/\text{s})$ を一様に与えた。境界条件は上流端で流量 $Q=10^{-5}(\text{m}^3/\text{s})$ とした。斜面における河床変動は次のように取り扱った。流域斜面は $\theta \geq 10^\circ$ の急勾配斜面であるので斜面から河道の土砂流出を考慮し $\frac{\partial z}{\partial t} = \delta \frac{(C_\alpha - C_{in})}{C_\alpha} v$ とおく<sup>1), 2)</sup>。ここに $\delta$ は0.00009、 $v$ は断面平均流速、 $C_\alpha$ は斜面における平衡濃度で、ここでは簡単のため $C_\alpha=0.5$ 、 $C_{in}=0.3$ とする。

### 2) 河道部

運動方程式、全相連続式、固相連続式はそれぞれ以下の通りである。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} \cos \theta = gBh \cos \theta \left[ -\frac{\partial(h \cos \theta + z)}{\partial x} \right] - (B+2h) \frac{v^2}{\varphi^2} \quad (3)$$

$$B \frac{\partial(h+z \cos \theta)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \cos \theta = q_n \quad (4) \quad B \frac{\partial(C_\alpha z \cos \theta)}{\partial t} + \frac{\partial(Bq)}{\partial x} \cos \theta = C_{in} q_n \quad (5)$$

ここに $x$ 軸は上流端から水平に取った距離、 $z$ は基準水平面から垂直上向きに測った河床高さである。また、堆積

層厚 $D=2\text{m}$ とした。初期条件は、ドライベットを想定した。境界条件は、 $\text{m}^3/\text{s}$ 上流端に接する斜面から土砂濃度 $C_m$ で流砂量を与える。上流端の水深 $h$ は等流水深とし、河床勾配は初期河床勾配を一定として与える。

流砂量式としては、急勾配河道において広範囲の勾配に適用可能な以下の流砂量式を用いる。

$$\frac{q_s}{\sqrt{sgd^3}} = 4.7\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_*c}{\tau_*}\right) \frac{1}{\alpha - I_f} G\left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*}\right) \quad (6)$$

$$G\left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*}\right) \doteq 1 + 0.1 (\ln(h/d))^2 (I_f)^{0.8} \times \exp\left\{-2.5 \left(\frac{w_0}{u_*}\right)^{0.5}\right\}$$

また、河床材料は均一と仮定し、粒径 $d=0.005\text{m}$ とおいた。

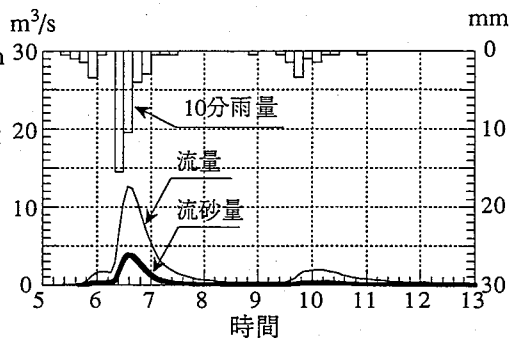


図-2 降雨量と流量・流砂量計算結果

#### 4. 土石流の氾濫解析

計算に用いたx方向とy方向の運動方程式、全相連続式、固相連続式はそれぞれ以下の通りである。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(UM)}{\partial x} + \frac{\partial(VM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} - \frac{gn^2 U \sqrt{U^2+V^2}}{h^{1/3}} \quad (7)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(UN)}{\partial x} + \frac{\partial(VN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(h+z)}{\partial y} - \frac{gn^2 V \sqrt{U^2+V^2}}{h^{1/3}} \quad (8)$$

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$C_* \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial C_T M}{\partial x} + \frac{\partial C_T N}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

ここに、 $M$ : x方向の単位幅当りの流量、 $N$ : y方向の単位幅当りの流量、 $h$ : 水深、 $U$ : x方向の断面平均流速、 $V$ : y方向の断面平均流速、 $z$ : 地盤高、 $n$ : Manningの粗度係数、 $C_*$ : 堆積層における土砂濃度、 $C_T$ : 土砂の輸送濃度で式(11)より計算し、単位幅当たりの流砂量 $q_s$ は式(6)より求めた。

$$C_T = q_s / \sqrt{M^2 + N^2} \quad (11)$$

氾濫場の計算対象区間は砂防ダム～海岸であり、計算対象時間は1993年8月20日5時～1993年8月20日13時である。差分化にはスタガードスキームを採用した。空間刻みは $\Delta x = \Delta y = 25\text{m}$ 、時間刻み $\Delta t = 0.2\text{sec}$ である。計算に用いた地盤高は島原市作成の1/2500の地形図から得た。また、Manningの粗度係数は $n = 0.067$ を全ての氾濫場に一律に与えた。初期条件はドライベットを想定し、境界条件として砂防ダムの中央部に流量と流砂量の流出計算結果を与えた。

#### 5. 計算結果と考察

図-2は雲仙測候所で観測された10分間雨量と眉山第6溪下流の砂防ダムでの流量と流砂量の計算結果を示す。土砂濃度はピーク時で約30%であり、平均すると約15%という結果を得た。降雨のピーク時から約10分程遅れてピークに達している。計算によって得られた土砂流出量は $1.4\text{万}\text{m}^3$ であり、実測値の約 $4\text{万}\text{m}^3$ と比べ過小な値となっている。これは計算に用いた河床材料の粒径や、堆積層厚の評価などに起因した結果であると考えられる。

図-3は土石流氾濫計算より得られた水深の計算結果を示す。流量と流砂量のピーク時間は図-2で示すように6時35分であり、ここではピーク直後の7時での計算結果を示す。図を見ると砂防ダムより下流側約 $1.5\text{km}$ まで浸水が進行している。この時間での浸水深は最大 $0.5\text{m}$ であった。

図-4では堆積高の計算結果を示す。堆積は主に氾濫開始点付近に発生した。図中の萩ヶ丘団地では最大 $27\text{cm}$ の堆積が発生した。これは萩ヶ丘団地周辺で土砂災害が発生した報告と概ね一致する。

#### 6. おわりに

1993年8月20日眉山第6溪で発生した土石流を対象にして流出・氾濫解析を行なった。その結果、本解析の手法は土石流災害の再現を良好に表していることが分かった。

参考文献 1) 高橋・中川: 豪雨時に発生する石礫型土石流の予測、

新砂防, Vol44, No3, 1991. 2) 中川: 土石流による地形変動とその解析, 地形変動論, 土木学会水理委員会基礎水理部会研究分科報告, 1998. 3) 岩本・垣原: 1993年雲仙眉山の土砂災害に関する調査研究, 文部省科学研究費研究成果 (代表: 九大平野宗夫) 雲仙岳の土石流・火砕流災害に関する調査研究, 1994.

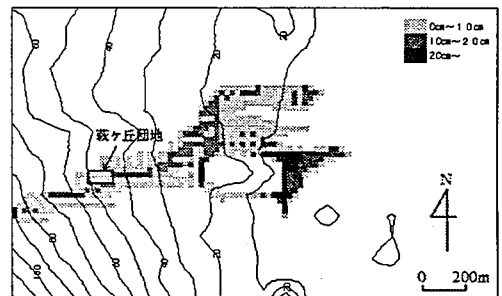


図-3 水深の計算結果 (7時)

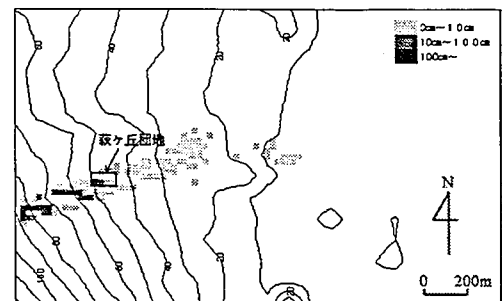


図-4 堆積高の計算結果 (7時)