

土石流の氾濫解析に関する研究

九州大学工学部	学生員	城戸正一郎
九州大学大学院工学研究院	正会員	橋本 晴行
九州大学大学院工学研究院	正会員	朴 崎臻

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て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渓流が存在し、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、眉山の上流域が荒廃化し、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。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、また、樹木群が局所的に存在する場合を想定して流出・氾濫解析を試みたものである。

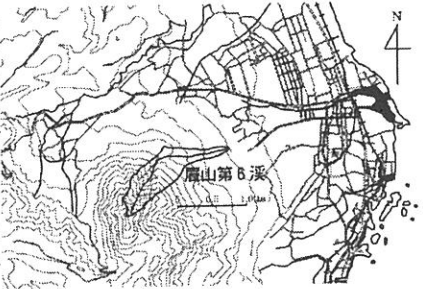


図1 島原市眉山第6溪の周辺図

2. 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(0.61km²)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

連続式と運動方程式はそれぞれ以下の通りである。

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial q_{in}}{\partial x} \cos \theta_s = r(t) \cos \theta_s \quad (1) \qquad q_n = \frac{1}{n_s} \sqrt{\sin \theta_s} h^{5/3} \quad (2)$$

ここに、hは水深、zは河床高、q_{in}は水と土砂を合わせた全流量、x軸は上流端から水平に測った距離、r(t)は有効雨量強度、n_sはマンニングの粗度係数である。斜面における河床変動は、土砂の連続式を使わず、以下のような侵食速度式のみを用いて解析した。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = k_c \cdot C_{in}^2 \cdot v \quad (3)$$

ここに、補正係数k_cは0.0004、C_{in}は斜面からの流出土砂濃度であり、本計算ではC_{in}=0.3とした。

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。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} \cos \theta = gBh \cos \theta \left[-\frac{\partial(h \cos \theta + z)}{\partial x} \right] - (B + 2h) \frac{v^2}{\varphi^2} \quad (4)$$

$$B \frac{\partial(h+z \cos \theta)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} \cos \theta = q_n \quad (5) \qquad B \frac{\partial(C \cdot z \cos \theta)}{\partial t} + \frac{\partial(Bq_s)}{\partial x} \cos \theta = C_{in} q_n \quad (6)$$

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=2mとした。初期条件はドライベットを想定した。境界条件は上流端に接する斜面から土砂濃度C_{in}で流砂量を与えた。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た。また、河床材料は均一と仮定し、粒径d=0.005mとおいた。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た。

$$\frac{q_s}{\sqrt{sgd^3}} = 4.7 \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_* c}{\tau_*} \right) \frac{1}{\alpha - I_f} G \left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*} \right) \quad (7)$$

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

3. 土石流の氾濫解析

計算は樹木群が局所的に存在する場合と存在しない場合の2ケースを行った。樹木群内の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。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(UM)}{\partial x} + \frac{\partial(VM)}{\partial y} = -(1-\lambda)gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} - (1-\lambda) \frac{gn^2 U \sqrt{U^2+V^2}}{h^{1/3}} - \frac{1}{2} U \sqrt{U^2+V^2} C_D a h \quad (8)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(UN)}{\partial x} + \frac{\partial(VN)}{\partial y} = -(1-\lambda)gh \frac{\partial(h+z)}{\partial y} - (1-\lambda) \frac{gn^2 V \sqrt{U^2+V^2}}{h^{1/3}} - \frac{1}{2} V \sqrt{U^2+V^2} C_D a h \quad (9)$$

$$(1-\lambda) \frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (10) \quad (1-\lambda) C_T \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(C_T M)}{\partial x} + \frac{\partial(C_T N)}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

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_T：堆積層における土砂濃度，λ：樹木群の面積密度(=0.00698)，C_p：樹木群の抗力係数(=1.0)，a：密度(=0.0296(1/m))である。樹木群の外部ではλ=0，C_p=0，a=0とした。C_Tは土砂の輸送濃度で式(12)より計算し、単位幅当りの流砂量q_sは式(7)より求めた。

$$C_T = q_s / \sqrt{M^2 + N^2} \quad (12)$$

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。空間刻みはΔx=Δy=25m，時間刻みΔt=0.2sec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。

4. 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である。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14万m³であり、実測値の約4万m³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では樹木群が存在しない場合の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1.5kmまで浸水が進行している。この時間での浸水深は最大0.5mであった。

図-4では樹木群が存在する場合の水深の計算結果を示す。砂防ダムより50m下流側に75m×25mの樹木群が存在すると仮定した。計算結果、流れが樹木群の左側に集中し、樹木群が存在しない場合より、氾濫範囲が若干広がった。

5. 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、土石流災害の再現を良好に表していることが分かった。また、樹木群が存在すると仮定し再現計算を行った。樹木群は土石流防止対策の一つとして考えられる。今後、樹木群のタイプや位置を変化させながら再現計算を行い、土石流防止対策として効率良い樹木群のタイプや位置に対して試みる。

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) 若本・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。

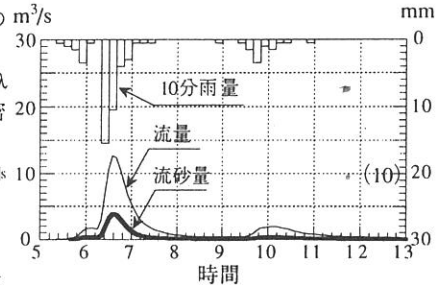


図-2 降雨量と流量・流砂量計算結果

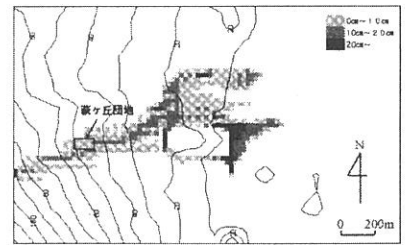


図-3 樹木群がない場合の水深の計算結果

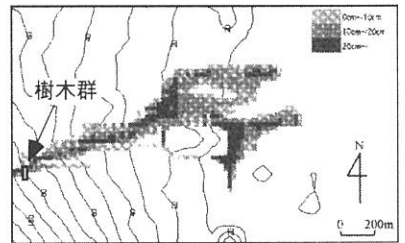


図-4 樹木群がある場合の水深の計算結果