

2003年7月水俣市集川で発生した土石流の氾濫シミュレーション

八千代エンジニアリング株式会社 正 員 高岡広樹
 九州大学大学院工学研究院 正 員 橋本晴行
 鹿児島工業高等専門学校 正 員 疋田 誠
 八千代エンジニアリング株式会社 正 員 寺脇 学

1. はじめに

2003年7月20日4時20分頃、熊本県水俣川支川、集川流域において、局地的な集中豪雨により大規模な斜面崩壊が発生し、大量の土砂と流木が土石流となって流下した。その結果、集川下流の集落では、土石流の氾濫により死者15名を出す災害となった。この災害については、ハザードマップの作製や砂防ダムの施設整備など、ソフト・ハード両面からの対策が実施されつつあるが、その計画策定に当たっては、土石流の流出規模と氾濫特性を明らかにする必要がある。

著者らは、集川で発生した土石流の流路変動計算を行い、土石流の流出規模を明らかにした¹⁾。本研究では、流出規模の計算結果を境界条件として、土石流の氾濫シミュレーションを行い、氾濫特性を明らかにする。

2. 集川下流の被災状況

土石流の発生・流下した範囲を図-1に示す。集川上流右岸側で大規模な崩壊が発生し、土石流となって流下した。集川には3基の治山ダムが設置されていた。図-2は集川下流の家屋の被災状況を示している²⁾(図-1中点線の範囲)。図中の矢印は土石流発生前の避難経路、数字は死者数である。集川沿いの世帯の多くは土石流発生前に避難していた。通常、家屋bの住民は増水時には右岸側の家屋iに避難していた。しかしながら、今回の災害では、集川の水位が高く、渡れなかったため、左岸側の家屋eに避難している。家屋eは一部土石流の被害を受けたものの、避難者全員が無事であった。

一方、右岸側の家屋h~nは高台にあり、ほとんどの世帯が避難していなかった。しかしながら、大規模な土石流であったため、土石流は家屋まで達し、ほとんどが全壊の被害を受けた。また、死者のほとんどが右岸側の住民であった。

3. 土石流の氾濫シミュレーション

計算対象区間は、最下流の治山ダム(図-1中C)から集川と宝川内川との合流点までの800m×550mの範囲である。

a) 基礎式

用いた基礎式は次のようになる。

(x方向運動方程式)

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

(全相連続式)

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

(侵食速度式³⁾)

$$C_{T\infty} > C_T \text{ のとき} \quad \frac{\partial z}{\partial t} = -k_b(C_{T\infty} - C_T)^p \sqrt{U^2 + V^2} \quad (5)$$

(y方向運動方程式)

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

(土砂連続式)

$$\frac{\partial(C_*z + Ch)}{\partial t} + \frac{\partial C_T M}{\partial x} + \frac{\partial C_T N}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

ここに M : x方向の単位幅当流量($M = Uh$)、 N : y方向の単位幅当流量($N = Vh$)とする。また、 h : 水深、 z : 地盤高、 U : x方向の断面平均流速、 V : y方向の断面平均流速、 C_T : 流砂濃度、 k_b 、 p : 係数で、 $k_b = 0.01$ 、 $p = 0.7$ である。また、 ϕ : 流速係数であり、 $\phi = 5$ とする⁴⁾。平衡流砂濃度 $C_{T\infty}$ は次の式で示す。

$$C_{T\infty} = \frac{q_s}{\sqrt{M^2 + N^2}} \quad (7)$$

ここに、 q_s は単位幅あたりの平衡流砂量で、広範な流砂形態に適用可能な次式を用いる⁵⁾。

$$\frac{q_s}{\sqrt{sgd^3}} = \frac{\bar{u}_s}{u_*} \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \frac{1}{(\alpha - I_f) \cos \theta} G\left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*}\right) \quad (8) \quad G\left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*}\right) = 1 + 0.1 \left(\ln\left(\frac{h}{d}\right)\right)^2 (I_f)^{-0.8} \exp\left\{-2.5 \left(\frac{w_0}{u_*}\right)^{0.5}\right\} \quad (9)$$

ここに、 s : 粒子比重、 g : 重力加速度、 τ_* : 無次元掃流力、 I_f : エネルギー勾配、 w_0 : 粒子の沈降速度である。また、 $\alpha = 0.875$ 、 $\bar{u}_s/u_* = 4.7$ である。河床材料は均一と仮定し、現地調査の結果から平均粒径 $d = 0.4m$ とする。ま計算対象時間は崩壊発生から

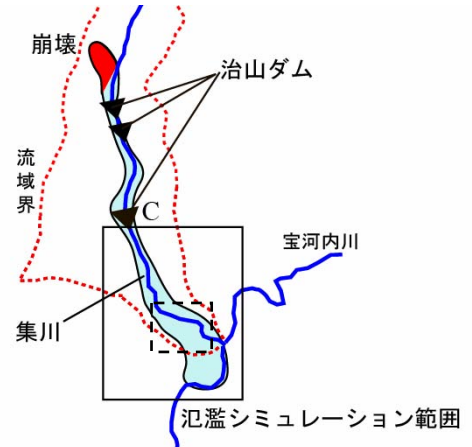


図-1 計算対象範囲

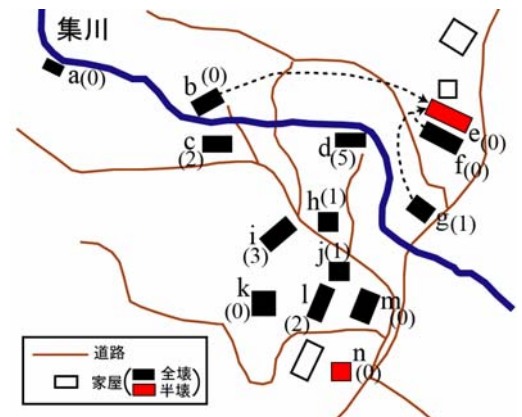


図-2 集川下流の家屋の被災状況

300 秒とする. 計算の空間格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 10$ m, 時間格子間隔は $\Delta t = 0.1$ sec である.

b) 初期・境界条件

初期条件はドライベッドとする. 地盤高は2500分の1地形図より読み取った値を用いる.

境界条件は, 最下流の治山ダム地点において, 1次元流路変動計算によって求めた土石流の流量・流砂量ハイドログラフ¹⁾(図-3)を与える.

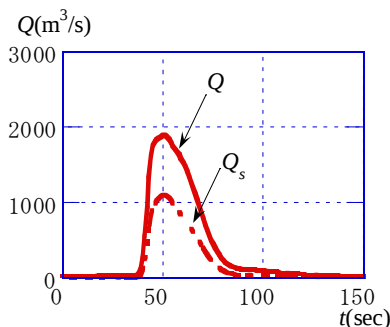


図-3 治山ダムにおける流量ハイドログラフ¹⁾

c) 計算結果

図-4 は崩壊発生から 90 秒後における流動深の計算結果を示す. ここに, E は河道, F は左岸側, G は右岸側を示す. 図中の点線は図-2 の範囲である. 土石流は集川に沿って下流し, 地点 K で左に湾曲していることが分かる. 崩壊発生から 90 秒後には合流点付近にまで到達していたことが分かる. また, 土石流は家屋にまで氾濫していた. 現地調査によると, 右岸側の方が左岸に比べ, 被害が甚大であった.

図-5 は図-3 中の E, F, G における水深の時間変化を示す. 崩壊発生から 80 秒後には土石流は下流の集落に到達しており, その後 20 秒後にピークとなっている. ピーク水深の値は, 河道(E)で 5.5 m, 左岸(F)で 0.5 m, 右岸(G)で 2 m となっており, 右岸の方がピーク水深は大きかったことが分かる. 土石流の継続時間は河道で 160 秒程度, 右岸の高台で 60 秒程度であった.

図-6 に E, F, G を通る断面の流れの状況を示す. 左岸から右岸に向かって y 軸を設定した. 実線は初期河床高を, 点線は最大水位を表している. また, 土石流の衝撃について考察するため, 最大流体力 D を算出した. 流体力は次式で表される.

$$D = \frac{1}{2} \rho_t h B_0 C_D (u^2 + v^2) \quad (10)$$

ここに, C_D : 抗力係数, B_0 : 家屋の幅である. 家屋が存在すると仮定したときの河道における流体力を D_0 とし, D/D_0 を棒グラフで示している. 左岸側に比べ右岸側の方が河床高は低くなっており, そのためピーク水深は大きかったと考えられる. また, 流体力についても, 左岸に比べ右岸の方が大きいのがわかる. 右岸側の家屋では水深が大きく, 土石流の衝撃も大きかったため, 被害が甚大であったと考えられる.

また, 紙面の都合上, 図は省略するが, 土砂収支について見ると, 堆積土砂量の計算結果は $37,000\text{m}^3$ であった. 治山ダムからの総流出土砂量は $43,000\text{m}^3$ であり, ほとんどの土砂が, 治山ダムから合流点までの区間で堆積したことが分かる. 一方, 熊本県の調査結果によると, 治山ダムからの総流出土砂量は $64,000\text{m}^3$, 堆積土量は $53,000\text{m}^3$ であった.

4. おわりに

本研究では, 2003 年 7 月水俣市集川で発生した土石流を対象として氾濫シミュレーションを行い, 氾濫過程を解明した. シミュレーションの結果, 土石流は崩壊発生から 80 秒後には下流の集落に達し, 大規模であったため, その直進性により高台の家屋にまで氾濫していたことが分かった. 土石流の継続時間は河道で 160 秒, 右岸の高台で 60 秒程度であった. また, 左岸側に比べ右岸側の方がピーク水深や流体力が大きく, このため右岸側の被害が甚大であったと考えられる.

また, 堆積土砂量の計算結果は $37,000\text{m}^3$ であり, 治山ダムから流出した土砂のほとんどが合流点までの区間に堆積した.

謝辞: 本研究は一部科学研究費基盤研究(B)「洪水および土石流災害の統合型被害予測シミュレーションモデルの構築」(研究代表者 九州大学 橋本晴行)の補助のもとに行われたものである. ここに記して謝意を表します.

参考文献: 1) Takaoka Hashimoto, Ikematsu and Hikida: Proceedings of the 1st International Conference on Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flows, 2006. 2) 福留・永松・秦: 第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2004. 3) Takaoka, Hashimoto, Park and Hisaoka: Proceedings of the XXXI IAHR CONGRESS, 2005. 4) 高岡・橋本・朴・池松・城戸・疋田: 第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 2004. 5) 橋本・朴・池松・田崎: 水工学論文集, 第47巻, 2003.

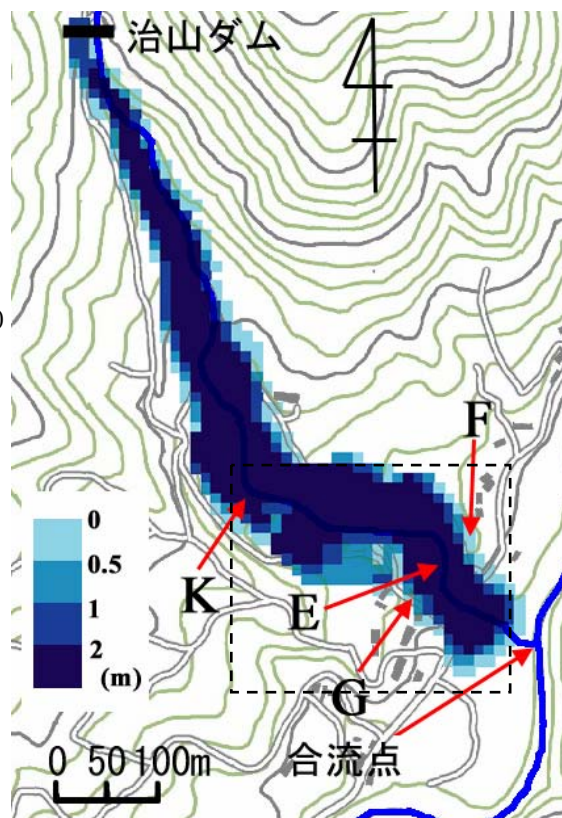


図-4 水深の平面図 (t=90sec)

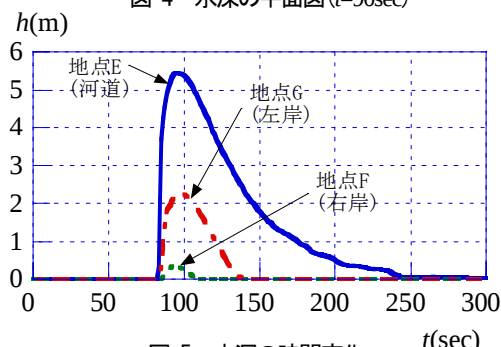


図-5 水深の時間変化

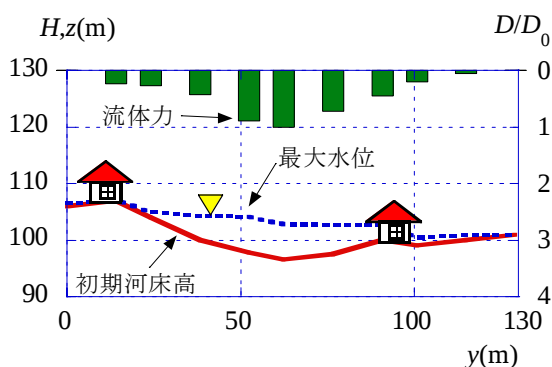


図-6 最大水位と流体力の断面図