

八千代エンジニアリング(株) ○城戸正一郎
 九州大学大学院工学府 高岡広樹
 九州大学大学院工学研究院 橋本晴行, 朴 琦瑛
 鹿児島工業高等専門学校 疋田 誠

1. はじめに

2003年7月20日未明、熊本県水俣川流域において、局地的な集中豪雨により斜面崩壊が各地で発生し、大量の流木と土砂が土石流となって流下した。その結果、下流では、土砂の流出・堆積による河道閉塞、流木による橋梁の閉塞・氾濫が発生した。特に宝川内集地区では20日4時20分頃、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、土石流による流路変動、土砂の流出・氾濫などの実態を正確に把握しておくことが必要である。

本研究の目的は、宝川内集地区の土石流について、その氾濫シミュレーションを実施し、その氾濫特性を明らかにすることである。

2. 氾濫シミュレーション

計算対象範囲を図-1に示す。集川には3基の治山ダムが設置されていた。その最下流の治山ダムを境界にして、治山ダムから下流800m×550mの範囲について氾濫シミュレーション¹⁾を行う。

(1) 基礎式

用いた基礎式は次のようである。

(x方向運動方程式)

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

(y方向運動方程式)

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

(全相連続式)

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

(固相連続式)

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

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、 ϕ : 流速係数 ($\phi = 5$)、 C_T : 流砂濃度である。流砂濃度 C_T は

$$C_T = \frac{q_s}{\sqrt{M^2 + N^2}} \quad (5)$$

で表される。 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式を用いる²⁾。

河床材料は均一と仮定し、平均粒径 $d = 0.4\text{m}$ とした。計算では初期河床から2m下に岩盤が存在するとし、それ以上河床低下は起こらないとした。計算対象時間は崩壊発生から300秒とする。計算の空間格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 25\text{m}$ 、時間格子間隔は $\Delta t = 0.01\text{sec}$ である。

(2) 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1次元流路変動計算によって求めた最下流の治山ダムにおける流量・流砂量(図-2)を与える。その計算の詳細は別の論文に譲る³⁾。



図-1 計算対象範囲

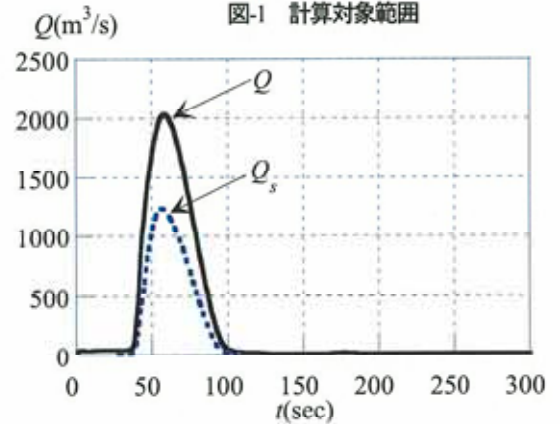


図-2 最下流の治山ダムにおける流量、流砂量ハイドログラフ

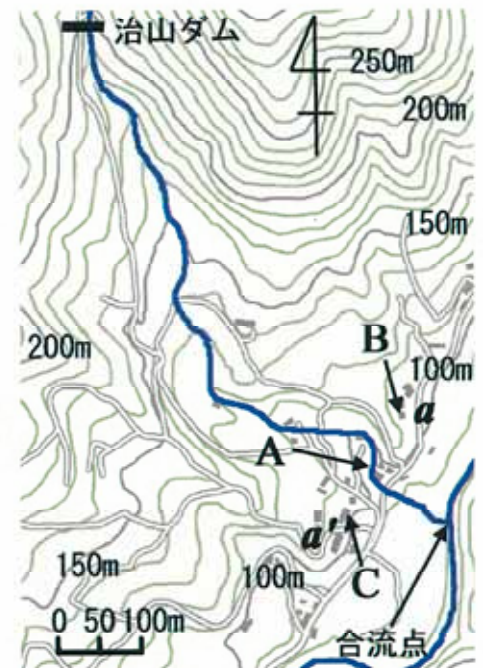


図-3 集川下流の集落の状況

(3) 計算結果

集川下流の集落の状況を図-3に示す。ここに、Aは河道、Bは左岸側の家屋、Cは右岸側の家屋である。

集川下流の両岸は高台であり、豪雨時は安全と考えられていた。災害当日、河道沿いの住民は高台へ避難し、高台の住民はほとんど避難をしなかった。しかしながら、土石流の規模が大きかったため、高台の住民は土石流に巻き込まれ、特に右岸側では甚大な被害となった⁴⁾。

図-4は崩壊発生から150秒後における流動深の計算結果を示す。土石流は崩壊発生から150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。

土石流の流速ベクトルの計算結果を図-5に示す。土石流は集川に沿って下流し、右岸の高台にある家屋を直撃していたことが分かる。

図-6は図-3中のA、B、Cにおける水深の時間変化を示す。崩壊発生から120秒後には土石流は下流の集落に到達しており、その後10秒後にピークとなっている。ピーク水深の値は、河道(A)で10m、右岸(C)で5m、左岸(B)で2m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60秒程度、兩岸の高台で20秒程度であった。

図-7にa-a'に沿う流れの断面図を示す。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。

$$D = \frac{1}{2} \rho_f h B_0 C_D (u^2 + v^2) \quad (6)$$

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。流体力は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、堆積土砂量の計算結果は3.7万 m^3 であった。熊本県の調査結果によると実測の堆積土量は5.3万 m^3 であり、計算結果と調査結果は概ね一致している。

3. おわりに

2003年7月に水俣市集川で発生した土石流を対象として土石流の氾濫シミュレーションを行った。シミュレーションの結果、土石流は崩壊発生から120秒後には下流の集落に達し、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60秒、兩岸の高台で20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。

謝辞：本研究は、一部、文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費「2003年7月九州豪雨災害に関する調査研究」（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) 朴, 九州大学博士論文, 2004. 2) 橋本・朴・池松・田崎, 水工学論文集, 第47巻, 2003. 3) 高岡・橋本・朴・城戸・久岡, 平成17年度砂防学会研究発表会概要集, 2005. 4) 橋本, 平成15年度科学研究費補助金(特別研究促進費(1)), 2004.

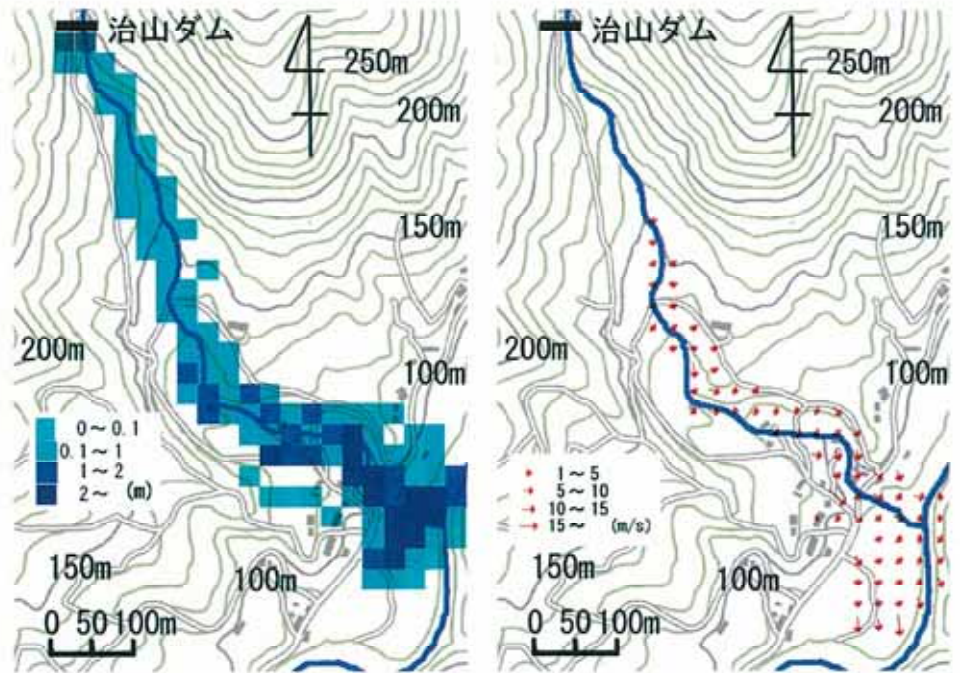


図-4 崩壊発生から150秒後における流動深の平面図 図-5 流速ベクトルの計算結果($t=150\text{sec}$)

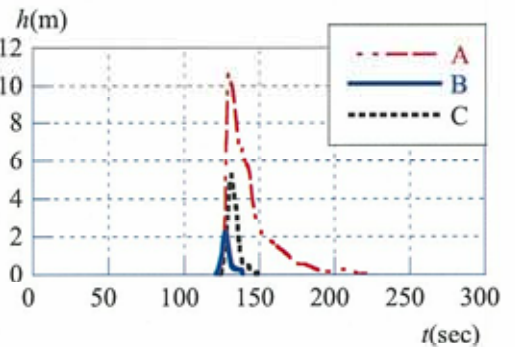


図-6 A、B、Cにおける水深の時間変化

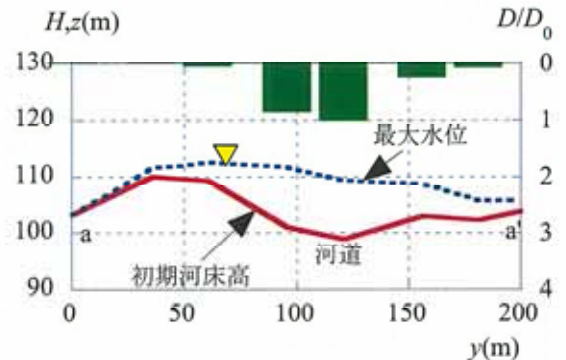


図-7 a-a'における最大水位と流体力