数値シミュレーションを用いた平成 21 年山口県防府で発生した土石流災害の検討

京都大学院農学研究科　○前田大介，中谷加奈，水山高久
立命館大学理工学部都市システム工学科　　里深好文

1. はじめに

数値シミュレーションは土砂災害を検討する上で有効なツールであり，近年様々な研究で用いられている。本研究では，平成２１年７月山口県防府市で発生した土石流のうち，２基の透過型砂防堰堤が効果的に機能した八幡谷渓流と，甚大な被害を被った石原地区の２渓流で発生した土石流を対象とし，土石流による河床変動および災害状況を再現することを目的とした．

2. 研究方法

研究には京都大学山地保全学分野 [1), 2)] が開発した汎用土石流シミュレータ KANAKO，及び KANAKO 2D を利用した．KANAKO は里深らが提案したモデル [3)] を採用しており，種類の異なる砂防堰堤を複数設置することが可能である．以下，一次元モデルに使用されている基礎方程式を記す. モデルの詳細は参考文献を参照されたい.

・x(流下) 方向の流水の運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}=-g\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_x}{\rho h}$$

・水と土砂を含めた全容積の連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial uh}{\partial x}=i_b$$

・土砂の連続式

$$\frac{\partial Ch}{\partial t}+\frac{\partial Cuh}{\partial x}=i_b C_*$$

・河床の連続式

$$\frac{\partial z}{\partial t}+i_b=0$$

ここに h：流動深，z：河床高，H=z+h，u：x 方向の流速，g：重力加速度，C：土砂濃度，i_b：侵食堆積速度，ρ：流体相密度，t：時間，C_*：河床堆積物の容積濃度，τ_x：x 方向の河床せん断力 である．

3. 八幡谷渓流で発生した土石流の再現計算

3.1 計算条件

二基の透過型砂防堰堤の高さ，柱の直径，格子間隔を詳細に設定し，本川部分について一次元シミュレーションを実施した．シミュレーション範囲に関しては航空写真及び，国土地理院の地形図を比較して決定した．

二基の砂防堰堤がほぼ満砂し，かつ下流にはほとんど土砂が流出していないことから，流入土砂は二基の砂防堰堤の計画貯砂量の合計と判断した．支川からの流入を考慮して計算することが困難であったため，土砂は流路上に初期堆積土砂として与えた．上流側の堰堤の土砂は上流端から上流の堰堤まで，下流側の堰堤の土砂は支川 D と本川の合流地点から下流側の堰堤までの区間にそれぞれ堆積させた．

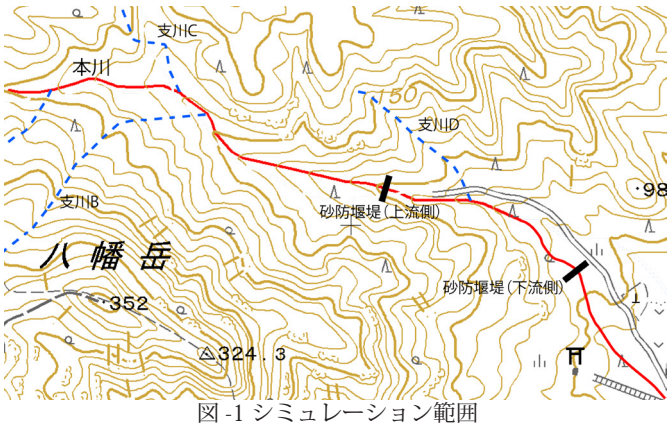

図 -1 シミュレーション範囲

なお，今回の土石流では大量の流木が発生し，透過型砂防堰堤が土石流を補足する際に大きく影響した．本研究では，流木を透過型砂防堰堤の閉塞に寄与する大粒径 (存在率 30％) として扱い，閉塞に寄与しない土砂を小粒径 (存在率 70％) として扱った．

供給ハイドログラフについては，砂防基本計画策定指針の土石流ピーク流量の算出方法を参考に計画貯砂量から決定し，計算開始時間から６００秒間，71.87m^3/s で一定に与えた．

観測点１～４を図２のように各砂防堰堤の前後に設置した．観測点を通過した大粒径 (流木)，小粒径 (土砂) の流量を計測し，透過型砂防堰堤における土砂の補足状況をグラフ化した．

表 -1 使用したパラメータ

パラメータ	数値
計算時間 (s)	3600
計算の時間間隔 (s)	0.01
大粒径 (m)	2.0
小粒径 (m)	0.1
砂礫の密度 (kg/m^3) σ	2550
流体相密度 (kg/m^3) ρ	1180
河床の容積濃度 C_*	0.60
重力加速度 (m/s^2)	9.8
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
マニングの粗度係数 (s/m$^{1/3}$)	0.03
1 次元の計算点間隔 (m)	15
1 次元領域計算点個数	100

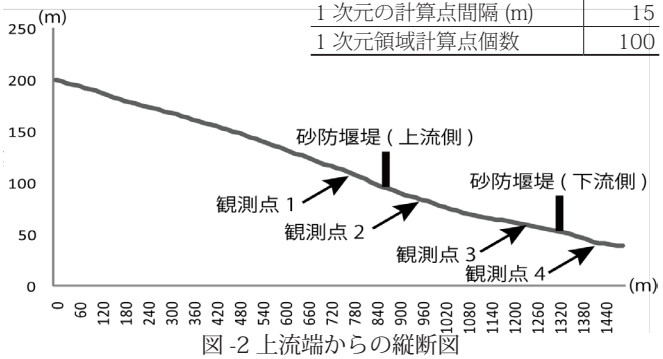

図 -2 上流端からの縦断図

3.2 結果

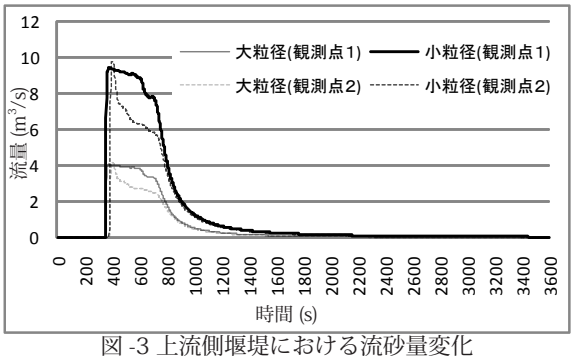

図 -3 上流側堰堤における流砂量変化

上流側の砂防堰堤で，大粒径，小粒径ともに流量は減少した．ただし，流木によって透過型堰堤が閉塞し，下流への土砂流出を防いだとは言い難く，流木を大粒径として扱って計算を行うことに限界が感じられた．

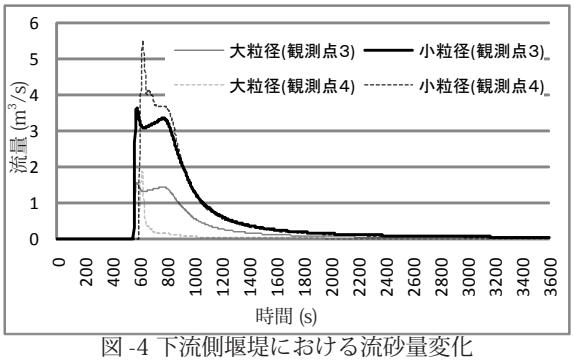

図 -4 下流側堰堤における流砂量変化

下流の砂防堰堤では，大粒径の流量は減少したが，小粒径の流量が堰堤直上より直下のほうが多いという結果になった．

4. 石原地区で発生した土石流の再現計算

4.1 計算条件

現地調査で標高，川幅を計測した急勾配領域 (約 1.2km) を一次元シミュレーション領域，下流の緩勾配領域 (400m 四方) を二次元シミュレーション領域として一次元＋二次元数値シミュレーションを実施した．

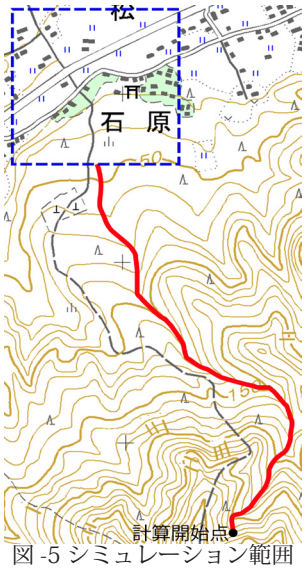

図 -5 シミュレーション範囲

災害前後の航空写真から，計算開始地点に流入した土砂が 500m^3，一次元シミュレーション領域最下流端から二次元シミュレーション領域に流出した土砂が 34,100m^3 とアジア航測株式会社によって推測されている．そこで，500m^3 を上流端から供給し，残りの 33,600m^3 の土砂を初期堆積土砂として一次元シミュレーション領域の流路に堆積させた．

供給ハイドログラフについては，最初に土石流として水と土砂を２００秒間，ピーク流量 10m^3/s で三角形状に供給し，その後，２００秒から計算終了時まで後続流として水のみを 5 m^3/s で供給し，一次元河床に設定した初期堆積土砂が侵食されるようにした．

表 -2 使用したパラメータ

パラメータ	数値
計算時間 (s)	18000
計算の時間間隔 (s)	0.01
粒径 (m)	0.5
砂礫の密度 (kg/m^3) σ	2550
流体相密度 (kg/m^3) ρ	1180
河床の容積濃度 C_*	0.60
平衡土砂濃度 C_∞	0.31
重力加速度 (m/s^2)	9.8
侵食速度係数	0.0007
堆積速度係数	0.05
マニングの粗度係数 (s/m$^{1/3}$)	0.03
1 次元の計算点間隔 (m)	15
1 次元領域計算点個数	86
2 次元の x 計算点間隔 (m)	6.7
2 次元の y 計算点間隔 (m)	6.7
2 次元平面の x 方向計算点個数	60
2 次元平面の y 方向計算点個数	60

4.2 結果

図 6 は一次元，二次元シミュレーション領域における堆積厚変化を示した図である．

一次元領域に初期堆積土砂として堆積させていた土砂が侵食により土石流として発達し，一次元領域の下流部分および二次元領域まで流下し，停止するというシミュレーション結果になった．

シミュレーション結果と実災害の土砂流出の傾向を比較すると，土砂が侵食・堆積した区間について，ある程度の対応が見られる．実災害では，住宅地に流出した土砂は道路の手前で停止したが，シミュレーションでも同様に道路の手前で土砂が停止している．

なお，一次元領域下流部分に不透過型砂防堰堤を設置した場合，下流の被害が小さくなるという結果も得られた．

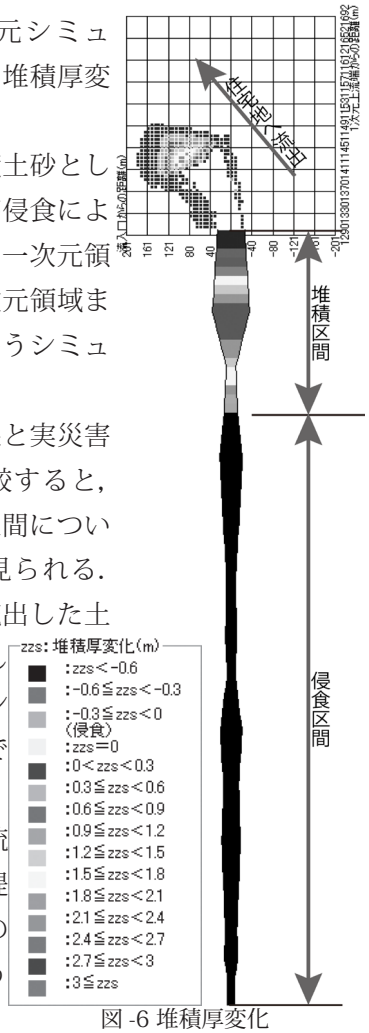

図 -6 堆積厚変化

参考文献

1) 中谷加奈ら (2008)：GUI を実装した土石流一次元シミュレータ開発，砂防学会誌，vol.61，No.2，p.41-46，2008

2) 中谷加奈 (2010)：GUI を実装した汎用土石流数値シミュレーションシステムの開発と適用，京都大学博士学位論文

3) 里深好文ら (2005)：砂防ダムが設置された領域における土石流の流動・堆積に関する数値計算，砂防学会誌，vol.58，No.1，p14-19，2005