

2009 年 7 月防府市真尾地区において発生した土石流の 1 次元流動シミュレーション

○九州大学大学院工学府 学生員 黒田 佳祥
 八千代エンジニアリング(株) 正 員 永野 博之
 九州大学大学院工学府 学生員 宮崎 遼

九州大学大学院工学研究院 正 員 橋本 晴行
 九州大学大学院工学府 正 員 池松 伸也
 九州大学工学部 三好 朋宏

1. はじめに

2009 年 7 月 21 日、山口県内において活発な梅雨前線の影響で大量の雨が降り、防府市を中心に土石流が発生した。特に真尾地区では老人ホームに土石流が直撃し、多くの入居者が亡くなられた。今後の土石流による被害を軽減するためにも土石流の流動特性を把握することは重要である。本研究では、河道情報をもとにシミュレーションを行い、土石流の流動特性を把握することを目的とする。

2. 流域の概要と災害時の降雨特性

図-1 に上田南川の流域図を示す。上田南川は一級河川である佐波川の支川の真尾川に合流する河川であり、流域面積 1.0km²、流路延長 2km、平均河床勾配 10 度の土石流危険渓流である。今回被災した老人ホームは上田南川が真尾川に合流する位置から上流 100m に位置している。

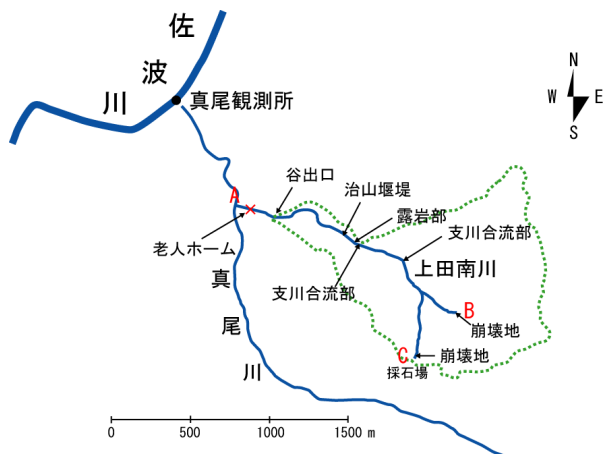


図-1 上田南川流域図

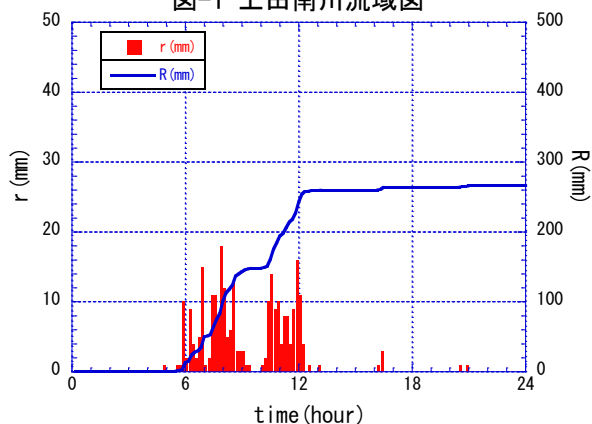


図-2 2009 年 7 月 21 日の真尾観測所での雨量

図-2 に国土交通省真尾観測所で観測された 10 分間雨量と総雨量を示す。今回の豪雨では 8 時と 12 時に 2 回の降雨ピークが確認され、2 回目の降雨ピーク直後に土石流が発生した。21 日の総雨量は 266mm にも達している。

3. 流動シミュレーション

(1) 基礎式と計算方法^{1), 2)}

今回の計算は崩壊地 B(x=0m)から谷出口(x=1450m)までを主河道とし、崩壊地 C からの土石流が合流することを考慮する場合としない場合の 2 パターンについて計算する。ただし、崩壊地 C から主河道との合流点までの長さは 450m である。流れを長方形断面の 1 次元漸変流とし、開水路非定常流の基礎式を採用する。また、断面の拡大・縮小と土砂を含まない雨水の横流入を考慮し、全相と固相についての連続式を考える。横流入量は合理式より算出された値を用いる。断面の変化は側岸は直立を保ったまま水平方向に侵食され、侵食土砂は即座に流れに取り込まれるとする。河床の変動は広範な流砂形態に適用可能な流砂量式³⁾より求められた平衡流砂濃度から決定されるものとする。側岸、河床の侵食速度は高岡の研究成果に基づく。空間刻み幅は 25m、時間刻み幅は 0.25 秒し、基礎式の差分は MacCormack 法で行う。また、土砂の濃度分布は各断面内で一様と仮定する。粒径は均一と仮定し、現地調査の結果から平均粒径 0.3m とする。また、今回の計算では流速係数を一定値($\phi=5$)として計算を行う。

初期条件として、河床高は 25000 分の 1 の地形図より読み取った値を用いる。流路幅は流域面積との関係から求められる笠井の式を用いる。次に境界条件として、上流端において水深と流砂濃度、流量を与える。ただし、水深は等流水深として与える。今回の土石流は崩壊型土石流であるため、応答関数の考え方より、静止状態の土量を入力とし、出力として土石流に変換し、流量と流砂濃度を得る。崩壊土量の入力条件は表-1 に示す。ただし、崩壊は B, C 地点とも同時に起き

表-1 崩壊土量の入力条件

	合流を考慮する	合流を考慮しない
崩壊流出土量 ^{4), 5)}	崩壊地B:1500m ³ 崩壊地C:1000m ³	崩壊地B:2500m ³
崩壊流出土砂濃度	0.40%	0.40%
崩壊継続時間	60秒	60秒

表-2 各地点でのピーク流量

	現地調査 (x=250m)	計算(x=300m)	砂防学会(x=450m) ⁵⁾
		合流を考慮する場合	合流を考慮しない場合
流量(m ³ /s)	236	79.7	112
流速(m/s)	10.2	8.1	8.7

るものとする。また、崩壊地 C からの合流を考慮する場合、合流する流量、流砂量を空間刻み幅 25m で除し、単位幅の流入量として $x:275\text{m}\sim300\text{m}$ の区間で主河道に合流させる。

(2) 計算結果と考察

今回の計算結果によると 2 パターンとも、水深、流速、流砂濃度が崩壊点に近い地点で最大となるのに対し、流量、流砂量は合流を考慮しない場合も合流点付近で最大となることが分かった。表-2 に各地点でのピーク流量を示す。現地調査のピーク流量は流下痕跡から求められる水深によって求められる。その際、断面内を等流と仮定し、流速係数は 5 と設定している。これらを比較すると計算流量は過小評価されているものの流速

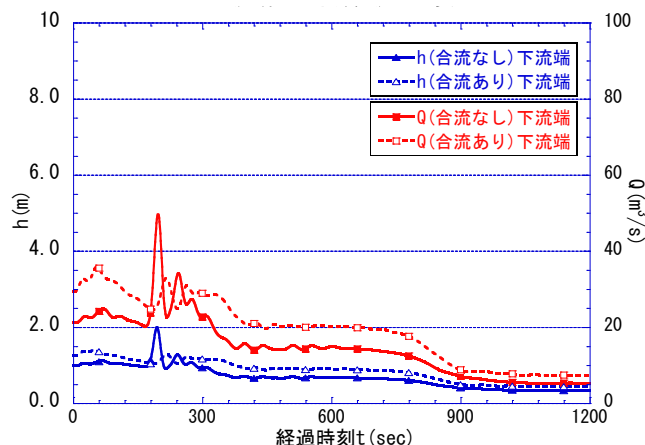


図-3 下流端での水深、流量の時間変化

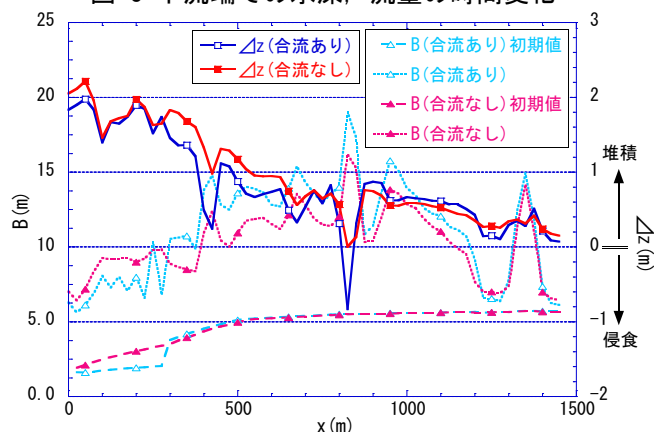


図-4 土石流通後の流路幅と河床高の縦断方向変化

は概ね一致した値を示している。今後は聞き取り調査を行い、崩壊土量の入力条件などを決定することが必要である。

図-3 に下流端における水深と流量の時間変化を示す。この図から合流を考慮しない場合は水深、流量ともに明らかなピークが現れるが、合流を考慮する場合目立ったピークは確認できない。しかし、ピーク以外では合流を考慮しない場合に対して水深、流量ともに比較的大きな値で推移していることが確認できる。土石流の流下時の流砂濃度はどちらも 0.13% 程度であった。また下流端での流出土量を比較すると、合流を考慮する場合が 1300m³、考慮しない場合が 1000m³ となり、合流を考慮する場合の方が 300m³ 大きくなった。

図-4 に計算後の流路幅と河床高の変化を示している。この図から合流の有無にかかわらず、側岸、河床において同じような侵食・堆積の傾向が確認できる。崩壊土量の入力条件にかかわらず、この結果が導かれることから、土石流においては河床勾配が河道断面の侵食・堆積にかなり影響を及ぼしていると考えられる。

4. おわりに

本研究では、真尾地区で発生した土石流に関する数値シミュレーションを行った。土石流が合流する際の取扱いについては未解明な部分が多く、同日防府市剣川流域で起きた多数の合流がある土砂流出を考える際には、その取扱いの手法を確立することが必要である。今後は急勾配で合流する土石流の合流部での取扱いについて深く考察していきたい。

謝辞：本研究に際して、国土交通省山口河川国道事務所より水位、雨量データを提供いただいた。流動シミュレーションについては、名古屋大学の高岡広樹氏に助力を受けた。また、本研究は、一部、科学研究費(代表、山口大学羽田野袈裟義教授)の補助のもとに実施した。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) T.Takaoka, H.Hashimoto and Hikida: Simulation of landslide-induced debris flow- The Atsumari debris flow disaster in Minamata City, Japan, Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Proceedings of Fourth International Conference, September 10-13, pp.353~363, 2007. 2) 高岡広樹：高濃度流れによる河道侵食と土砂流出に関する研究, 九州大学博士論文, 2004. 3) 橋本晴行, 朴埼瑛, 池松伸也, 田崎信忠：急勾配移動床水路における様々の流砂形態に対する統合的流砂量式, 水工学論文集, 第 47 巻, 2003. 4) アジア航測(株)：平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨災害, 2009. 5) 2009 年 7 月 21 日山口県防府市での土砂災害緊急調査報告, 砂防学会誌, Vol. 62, No. 3, p. 62~73, 2009.