

2010 年 7 月広島県庄原市において発生した土石流の流出特性に関する研究

山口大学 学生会員 ○渡辺 新 山口大学 正 会 員 永野 博之
山 口 大 学 フェロー会員 羽 田 野 袈裟義 山口大学 正 会 員 朝 位 孝二

1. はじめに

2010 年 7 月 16 日、広島県内における庄原市川北町東部と西城町の西部及び川西町の北部では、16 時から 18 時の 3 時間に渡る集中豪雨により、山間部において多数の山腹崩壊・土石流が発生し、死者 1 名、全壊家屋 12 棟となる被害が生じた¹⁾。

現在、同時多発的に発生する土石流の流出特性は未解明な部分が多い。本研究では庄原市内で生じた土砂災害の内、土石流の直撃により、死者を出した区域、篠堂川上流に位置する篠堂谷上に着目し、調査・解析を通じて、崩壊型土石流の流出特性について検討を行うものである。

2. 災害の概要

図-1 に庄原市の篠堂川流域と本研究の対象区域である篠堂谷上の流域を示す。

庄原市篠堂川流域の地質は主に、流紋岩類や安山岩類が分布、火山灰起源のクロボクが地表近くを広く覆っており、比較的複雑な構造をしている地帯である。

本研究の対象区域に近い県所管の大戸観測所における 7 月 16 日の降雨データ²⁾を図-2 に示す。観測所の記録から災害前の 11 日から 15 日までの間に約 260mm の総雨量が確認できる。災害発生当日は記録からは 15 時まで無降雨であったが、16 時から 18 時かけての 3 時間で総雨量は 170mm を超える短時間豪雨であったことを示している。これらが今回の災害の誘因であったと考えられる。土石流発生時刻はいまだ不明である。

篠堂谷上の流域図を図-3 に示す。篠堂川上流域に位置する篠堂川右支渓である篠堂谷上流域において比較的大規模の大きい 3 箇所の崩壊から発生・流下した土石流が下流の家屋に直撃、死者 1 名、全壊家屋 1 棟という被害に見舞われた。図-4 に国土地理院 Web サイトに公開される基盤地図情報（縮尺レベル 25000）の 10m メッシュ標高より作成した篠堂谷上の縦断面図を示す。現地調査を行った結果、発生した崩壊は表層崩壊であり、深さは 1m 前後、最大で 2m であった。

3. 土石流の 1 次元流動シミュレーション

3. 1. 基礎式^{3),4)}

土石流を 1 次元の非定常流として取り扱うと、基礎式

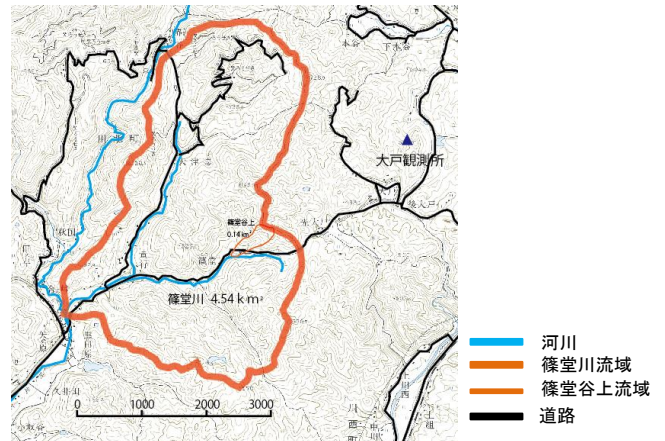


図-1 庄原市篠堂川流域

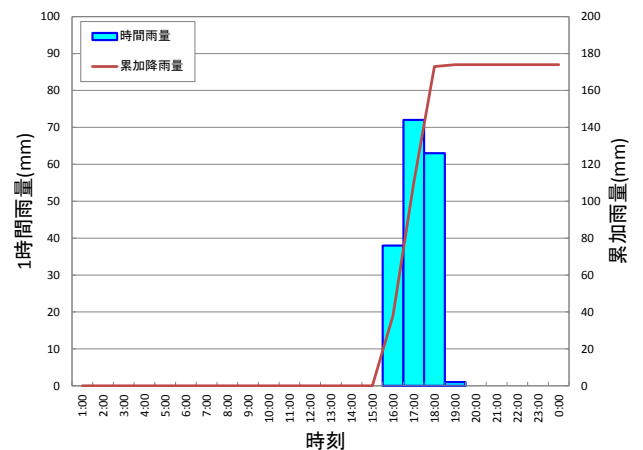


図-2 大戸観測点での降雨の時間変化



図-3 篠堂谷上流域図

は以下ようになる.

・運動方程式

$$\frac{\partial(\rho_t Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_t v Q)}{\partial x} = -\frac{1}{2} g \cos \theta \frac{\partial(\rho_t B h^2)}{\partial x} + \rho_t g B h \sin \theta - \rho_t (B + 2h) \frac{v^2}{\phi^2}$$

・全相の連続式

$$\frac{\partial(Bh)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = h i_s + B i_b + q_{tin}$$

・固相の連続式

$$\frac{\partial(CBh)}{\partial t} + \frac{\partial(CQ)}{\partial x} = C_* h i_s + C_* B i_b$$

・河床侵食速度式 $i_b = -\frac{\partial z}{\partial t}$

・側岸侵食速度式 $i_s = \frac{\partial B}{\partial t}$

ここに、 Q ：全流量、 h ：水深、 z ：基準水平面からの垂直上向きに測った河床高、 B ：流路幅、 θ ：河床勾配、 C ：流砂濃度、 C_* ：細密充填濃度、 ρ_t ：流れの密度、 v ：断面平均流速である。濃度分布は一様と仮定しているため、断面平均濃度は流砂濃度に等しい。また、 q_{tin} は雨水による側方からの流入流量であり、合理式より求めた。ここに側方からの流入土砂は無視した。

河床、側岸の侵食速度 i_b 、 i_s は高岡により以下のように与えられる。

・河床侵食速度

$C_{T\infty} > C_T$ のとき $i_b = k_b (C_{T\infty} - C_T)^\rho \cdot v$ (侵食)

$C_{T\infty} < C_T$ のとき $i_b = -k_b (C_T - C_{T\infty})^\rho \cdot v$ (堆積)

・側岸侵食速度 $i_s = k_s \cdot v$

ただし、 $k_b=0.01$ 、 $\rho=0.7$ 、 $k_s=0.001$

ここに、河床の変動は広範な流砂形態に適用可能な流砂量式⁵⁾により求められた平衡流砂濃度 $C_{T\infty}$ から決定される。また、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した。

3. 2. 計算条件

計算における諸値を表-1に示す。粒径は均一と仮定し、現地調査の結果から 0.05m と仮定する。次に境界条件として、上流端において流量、流砂濃度、水深を与える。

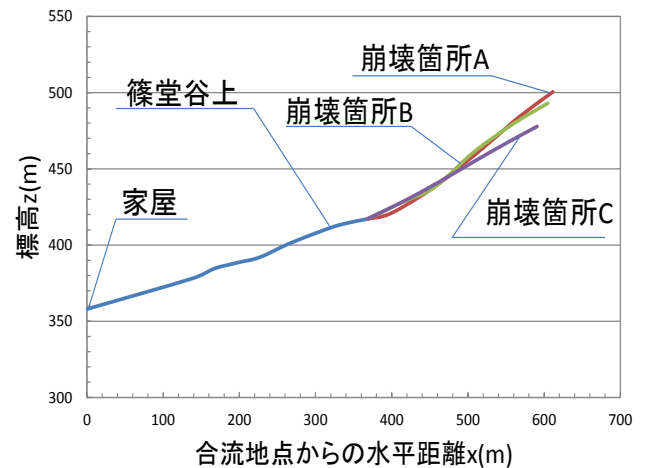


図-4 縦断面図(篠堂谷上)

表-1 計算に用いる諸値

初期河床高	基盤地図情報(縮尺レベル25000) 国土交通省国土地理院
初期流路幅	笠井の式 $B = 10.72 \times A^{0.72}$
時間刻み幅	$\Delta t = 0.10$ 秒
空間刻み幅	$\Delta x = 10$ m
最密充填濃度	$C_* = 0.65$
平均粒径	$d = 0.05$ m
流速係数	$\phi = 4$
河床堆積層厚	2.0m

表-2 計算対象区間と崩壊土量の入力条件

計算対象区間延長(m)	本川360
崩壊土量(m³)	本川9900
崩壊流出土砂濃度	0.4

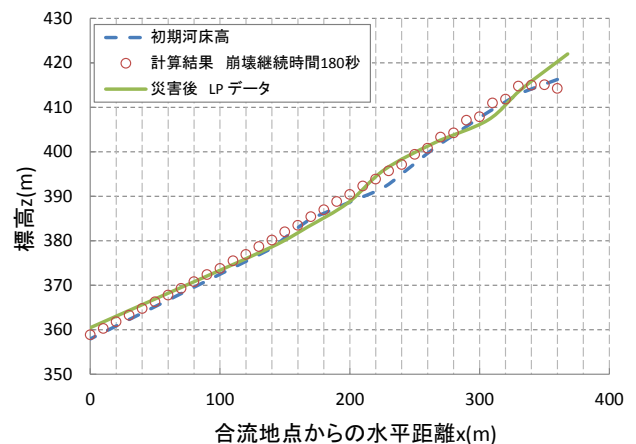


図-5 計算結果

ただし、水深は等流水深として与える。計算対象区域内

において発生した土石流は崩壊型とし、入力として静止状態の土量を与え、崩壊流出土砂濃度と崩壊継続時間の条件から土石流に変換し、上流端において流量を与える。このとき、崩壊継続時間を 30 秒、60 秒、180 秒、300 秒と条件を変え計算を行い、それらによる結果を検討する。ここに、崩壊発生時刻は、既往研究¹⁾を参考に、7 月 16 日 17:00 に全ての崩壊が同時に発生したと仮定した。また、計算時間は、7 月 16 日 15:00 から 19:00 までとした。表-2 に計算対象区間と崩壊土量の入力条件を示す。ここに崩壊土量は、災害後に撮影された空中写真より計測した崩壊地面積に、平均堆積深として 1.0m を乗じて算出した。

3. 3. 計算結果と考察

図-5 に、計算結果の縦断面図と篠堂谷上の災害後の縦断面図を比較したものを示す。災害後の縦断面図は、災害後に航空レーザ測量により計測された LP データより作成したものである。崩壊継続時間を 30 秒、60 秒、180 秒、300 秒と条件を変えた各計算結果における縦断面図と災害後の縦断面図について比較した結果、崩壊継続時間 180 秒のケースが最も良好な結果であった。

下流端における水深と流量の時間変化を図-6 に示す。下流端でのピーク流量は $47.6\text{m}^3/\text{s}$ であり、その時の流速は 4.5m/s であった。また、下流端における土砂濃度のピーク値は 0.25 であった。既往研究⁹⁾によれば本災害の前年である 2009 年 7 月に、山口県防府市市原地区において発生した土石流では、土砂濃度はおおむね 0.50 程度であると推定されていることから、本災害で発生した土石流は、比較的低濃度なものであったと推定される。

4. おわりに

本研究では、2010 年 7 月 16 日に庄原市篠堂川流域で発生した多数の土石流のうち、篠堂谷上において発生した土石流を対象として 1 次元流動シミュレーションを行った。その結果、本災害で発生した土石流のピーク流量は約 $50\text{m}^3/\text{s}$ 程度であり、土砂濃度は 0.25 程度であると推定された。また、崩壊継続時間は 180 秒と推定され、きわめて短時間の崩壊が谷出口へと流出したと推定される。今後は、篠堂川における他の溪流で発生した土石流について調査・解析を行い、篠堂川流域全体における土石流の流出特性を明らかにし、当該豪雨による災害の実態について検討を行う。

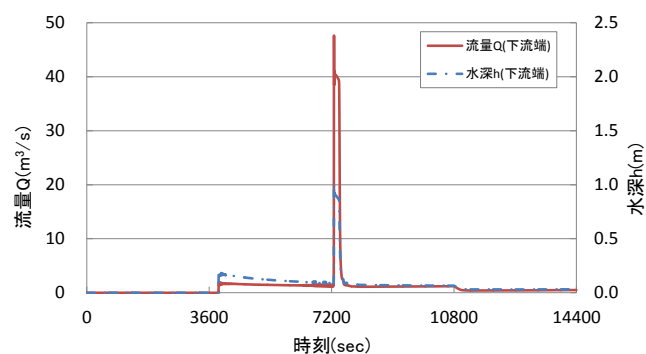


図-6 下流端における流量と水深の時間変化

謝辞

本研究は、(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業「広島県庄原市・山口県防府市で発生した土石流の実態と今後の対策に関する研究」(研究代表者 羽田野袈裟義)によって実施しました。また、災害における土砂量等について、広島県砂防課より貴重な資料を提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 海堀正博・杉原成満・中井真司・荒木義則・山越隆雄・林真一郎・山下祐一：2010 年 7 月 16 日に発生した広島県庄原市の土砂災害の緊急調査報告，砂防学会誌，Vol. 63，No. 4，p. 30-37.
- 2) HIROSHIMA Pref. All Rights Reserved
<http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/info/dis?disp=R60100&fmode=3&year=2010&month=7>
- 3) T. Takaoka, H. Hashimoto and M. Hikida: Simulation of landside-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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) H. NAGANO, H. Hashimoto, Y. Kuroda & H. Takaoka: Debris Flows Produced by Heavy Rains on July 21, 2009 in Hofu City, Japan, 5th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment, 2011, pp.725-733.