

大規模な崩壊による急速な河道断面の減少と水位上昇に関する考察

土木研究所火山土石流チーム ○水野秀明（現 筑波大学大学院生命環境科学研究科）、梶昭仁、石塚忠範

1. はじめに

平成 23 年 7 月 19 日に台風 6 号に伴って、高知県室戸半島周辺では大量の降水が生じた。これに伴い奈半利川支川平鍋谷川の右岸側の山腹が大規模に崩壊し（笹原ら、2011）、その崩壊した土砂が移動中に流動化して土石流へと発達し、平鍋ダムの湛水池に突入した。これにより、奈半利川の水位が上昇し、それに伴って上流や下流にある構造物が損傷した。

笹原ら（2011）の調査によれば、大規模な崩壊は同月 19 日 17 時～18 時 30 分頃の間には発生したと推測された。魚梁瀬にあるアメダス観測所の記録では、一連の降雨は 17 日 16 時から始まり、大規模な崩壊が発生した時刻までで 1035mm の累積値となった。この時点で、奈半利川の流量は最大若しくは出水の後半にさしかかった頃であり、水位の変化が上流に伝搬しにくい条件下にあったと推定されるが、土石流が本川に流れ込んだことによる水位の上昇が対岸と下流だけでなく、上流へと伝搬した。そこで、本研究では、土石流が奈半利川に流れ込んだ時点での水理条件を推定すると共に、土石流の運動量の流入が水位上昇の上流への伝搬に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 水位上昇とその伝搬の推定

2.1. 平鍋谷川周辺の地形と洪水の痕跡

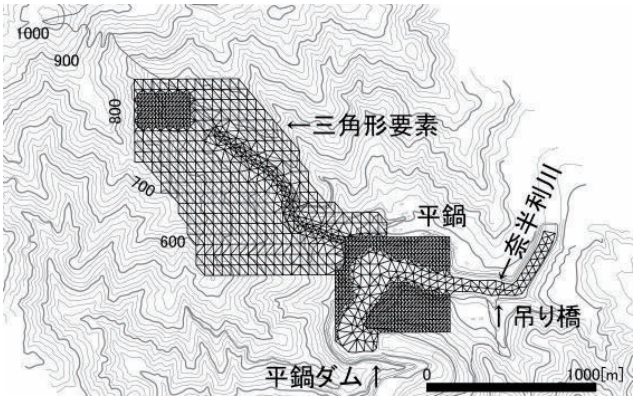
図－1 は本研究で対象としている平鍋谷川周辺の地形である。同図より、奈半利川と平鍋谷川の合流点から上流の河床勾配は約 1/250（約 0.23 度）であった。写真－1 は奈半利川と平鍋谷川の合流点から約 500m 上流にある吊り橋で、床版の下に張ってあるケーブルのうち下流側のものが切断され、床版が上流側に押されて損傷した。なお、奈半利川は写真の左側から右側に向かって流れている。吊り橋の標高は 150m から 160m で、水涯線との標高差は約 10m から 20m であり、川幅は約 70m であった。また、合流点の左岸側にある斜面で、流水によって樹木がなぎ倒され、表土が侵食された。水が流れた痕跡を Vector2 と GPS を用いて簡易的に計測すると、標高 160m 程度まで確認できた。

2.2. 水理条件の推定

表－1 は大規模な崩壊が発生した頃の洪水の水理量



写真－1 吊り橋の損傷



図－1 平鍋地区の位置と三角形要素

表－1 洪水の水理量の推定結果

粗度係数	流速 [m/s]	水深 [m]	フルード数	限界水深 [m]
0.030	5.6	4.3	0.9	3.9
0.035	5.1	4.8	0.7	
0.040	4.7	5.2	0.7	
0.050	4.1	5.9	0.5	

の推定結果である。推定に際して、その時刻付近での奈半利川の流量は平鍋ダムでの記録から約 1700m³/s とし、マンニングの粗度係数を 0.03 から 0.05 の範囲（土木学会（1999））として、等流状態を想定した。その結果、奈半利川の洪水はフルード数 0.5～0.9 で、概ね 1 時間後と推測された。

2.3. 水位上昇と伝搬の推定

2.2 の検討を踏まえると、河床の上昇や川幅の縮小といった流路の幾何学的な変化だけでは、水位の上昇を説明できない。つまり、土石流の運動量が奈半利川の流れに加わったことで、水位が上昇し、それが上下流に伝搬したと推測される。そこで、2 次元の数値計算を行って、水位の変化を推定した。

数値計算の基礎式是水野・小山内（2011）で用いたものに以下の連続式を加えたものである。

$$\frac{\partial (Ch)}{\partial t} + \frac{\partial (CUh)}{\partial x} + \frac{\partial (CVh)}{\partial y} = C_*i \cdots (1)$$

ここで、C：土砂容積濃度、U：x 方向の流速、V：y 方向の流速、h：水深、C*：堆積層の土砂容積濃度、i：侵食速度である。侵食速度は土石流の慣性的な性質を考慮した式（高橋、2004）を適用した。粗度係数は 0.03 とし、侵食速度を算出する際の粒径は現地踏査の結果を踏まえて 1m とした。基礎式の離散化に際して土砂容積濃度（C）をスカラー量として伝搬させることとした。その詳細は引用文献（水野・小山内、2011）に記載してあるので、そちらを参考にして頂きたい。

図－1 は計算に用いた三角形要素である。任意に設定した 2 次元座標とその座標点での標高を 10mDEM から読み取って、3 次元座標を作成し節点とした。その際、2 次元座標は大規模な崩壊地の周辺で 10m 程度の間隔、その他の山腹斜面では 20m 程度の間隔、河川沿いでは

国土地理院の基盤地図情報の水涯線に沿って作成した。それらの節点群に対してデローニ三角形分割を行って、三角形要素を作成した。今回は固定床とした。また、平鍋ダム地点の境界要素は透過壁とした。計算に際しては、最上流に位置する三角形要素から $1700\text{m}^3/\text{s}$ の割合で水を供給し、それから 10 分後に崩壊地内に位置する三角形要素から 170000m^3 の土砂と水を 1 秒間で供給した。崩壊に関する条件や奈半利川の河床位等は更に検討を加える必要があると考えるが、ここでは奈半利川での水位変化を主に取り扱っているため、前述のように仮定した。

図-2 は計算を開始してから 600 秒後、つまり崩壊地から水と土砂を供給し始めた時刻での水深と単位幅流量ベクトルである。なお、660 秒以降の図も併せて示したが、それらは後述する。合流点付近の湾曲部の外湾側で流れが渦巻いていた。また、洪水時では、流れが合流点の左岸側に乗り上げていなかったことが分かる。

図-3 は 660 秒後の溪流沿いの水深と流入ベクトルである。崩壊地から供給した水と土砂は主に平鍋谷川に沿って流れたが、一部は湾曲部で山腹斜面を流れた。土砂は主に合流点付近と下流に堆積した。

図-4 は吊り橋付近の三角形要素における水位と単位幅流量ベクトルの大きさの時間変化を示したものである。崩壊地から供給した水と土砂は 660 秒後に奈半利川に流れ込み、それに伴って水位が上昇した。吊り橋付近の水位は 730 秒後より上昇しはじめ、760~770 秒後に最高となり、標高 155.5~155.8m 程度となった。床版の下に張ってあるケーブルは床版から 2~3m 程度下に

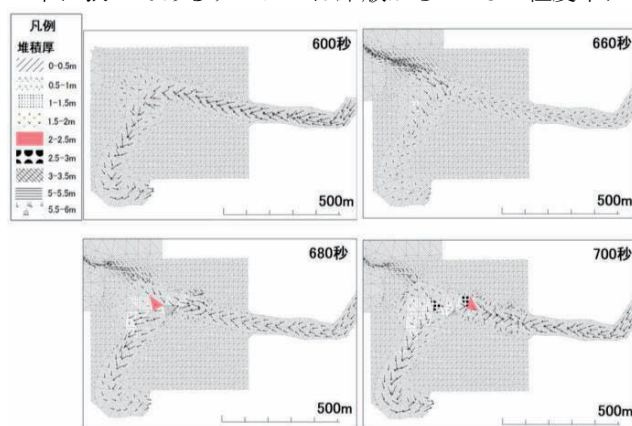


図-2 合流点付近における土砂の堆積と流れの向き

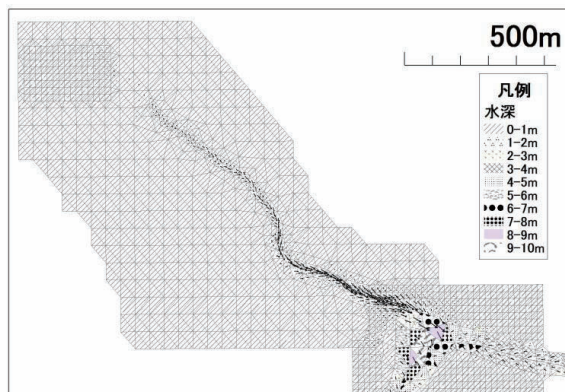


図-3 崩壊地から流入した水と土砂の流れ

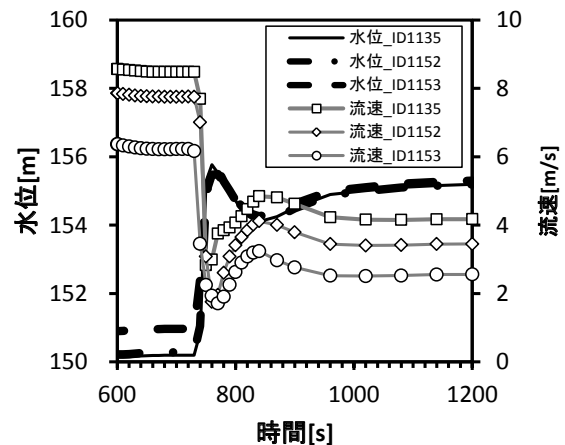


図-4 吊り橋付近での水位と流速の時間変化

張ってあったことから、吊り橋付近の水位はケーブルよりも高くまで達したと推定される。また、水位の上昇に伴って、流速も減少した。

3. 水位上昇とその伝搬についての考察

ここで、水位が上昇したメカニズムを考察する。図-2 は 660 秒から 700 秒までの堆積深と単位幅流量ベクトルの変化を 20 秒毎に示したものである。合流点から上流側では、700 秒まで堆砂の範囲が上流側に拡大し、その範囲の上流端周辺において単位幅流量ベクトルの向きが上流の方向であった。その後、堆砂の範囲はほぼ変化しなくなり、単位幅流量ベクトルも下流側に向いた。なお、吊り橋付近では、堆砂は見られず、単位幅流量ベクトルの向きは下流の方向であった。流速の大きさは図-4 の通り減少した。このように、土石流が本川の上流方向に突入すると、上流方向の運動量が本川の流れに加わる。それにより、本川の流れの向きが上流側に向いたり、流速が減少したりするため、本川の水位が上昇したと推測される。その傾向は下流側から上流側に伝搬した結果、図-4 に示したように水位が吊り橋のケーブルより高くなったと推測される。

4. おわりに

本研究では、奈半利川の流れは常流であったことと、土石流の運動量が奈半利川の流れに加わったことで水位の上昇が発生し上流に伝搬したことが推測された。今後、本川の水量、支川から流れ込む土石流の水量、本川と支川の合流角度といった地形条件をパラメータとして、水位上昇が伝搬する可能性のある条件を整理していきたいと考えている。本研究を行うに当たり貴重な資料を提供して頂いた国土交通省四国地方整備局四国山地砂防事務所の各位に感謝の意を表する。

引用文献

- 笹原克夫、加藤仁志、桜井亘、石塚忠範、梶昭仁 (2011) : 平成 23 年台風 6 号により高知県東部で発生した深層崩壊、砂防学会誌、Vol.64, No.4, p.39-45
- 高橋保 (2004) : 土石流の機構と対策、近未来社、p.128-129
- 土木学会 (1999) : 水理公式集平成 11 年版、丸善、p.89
- 水野秀明、小山内信智 (2011) : 非構造メッシュを用いた合流点及び湾曲部の流れに関する数値解析、砂防学会誌、Vol.64, No.4, p.33-38