

# 角埔河流域での崩壊履歴が台風 Morakot による災害に与えた影響

筑波大学大学院生命環境科学研究科 ○久保友春 堀田紀文 宮本邦明  
 静岡大学農学部環境森林科学科 今泉文寿  
 台湾国立成功大学 謝正倫 李心平 蔡元融

## 1. はじめに

2009年8月7日から10日にかけて、台湾全土を大型台風 Morakot が襲った。8月9日に、台湾南部に位置する小林村で深層崩壊が発生した。村全体が土砂に飲み込まれ、約500人ものが犠牲になった。表1から分かる通り、小林村に隣接する角埔溪にかかり、ほぼ唯一の避難経路であった8号橋が深層崩壊以前に流出していた。したがって、住民が小林村から避難できなかったことが、深層崩壊による被害を深刻化させたとも考えられる。

8号橋がかかる角埔溪上流では、過去の台風により流域内に多くの崩壊が発生していた。このことは、台風 Morakot 時の水位上昇に加え、過去の崩壊土砂が8号橋付近の河床上昇に影響を与え、8号橋の流出に関与している可能性があることを示唆している。

そこで本研究では、角埔溪上流での崩壊履歴を明らかにしたうえで、下流域の河床変動について再現計算を実施し、8号橋流出の要因を検討することを目的とする。

表1 小林村における災害の発生状況

日時	発生状況
8月7日 23:00	土石流警戒警報(紅色警報)発令
8月8日 17:00	8号橋付近の住宅が浸水
8月8日 19:00	8号橋が流出
8月9日 6:20	深層崩壊が発生

## 2. 対象流域

角埔溪は台湾南部中心を流れる旗山溪の支流である。流域は南北2つの支流からなる上流域と、それらの合流点より下流の下流域に区分できる。(図1)

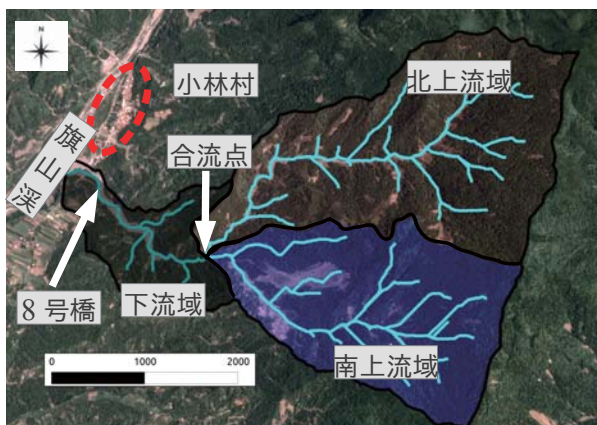


図1 角埔溪

2006年の空中写真から作成されたDEM(Digital Elevation Model)によると、流域面積は約  $1.03 \times 10^7 \text{ m}^2$  であり、上流域の面積は約  $9.0 \times 10^6 \text{ m}^2$ 、下流域の面積は約  $1.0 \times 10^6 \text{ m}^2$  であった。標高差は約750m(最高標高点は約1100m)、上流域の平均勾配は約  $20^\circ$ 、下流域の平均勾配は約  $7^\circ$  であった。2006年以前は基岩が露出した溪流であった。地質は主に砂岩と頁岩により構成されている。

## 3. 方法

### 3.1 崩壊履歴の把握と崩壊土砂量の計算

台湾成功大学防災センターは一定の頻度で、衛星写真から角埔溪における新規崩壊地の判読を行っている。同様に大規模な台風後にも崩壊地の判読を行っている。2007年11月から2009年8月までに、台風 Morakot を含めて、3回の大規模な台風が発生していた(図2)。各台風を境に時期をABCDに分け、時期毎に検出された崩壊地を比較した。また、参考までに崩壊が発生していなかった、2007年11月以前のデータも同様に比較した。

時期A:2007年11月28日～2008年7月15日  
 時期B:2008年7月19日～2008年9月10日  
 時期C:2008年9月16日～2009年8月4日  
 時期D:2009年8月5日～2009年8月10日

その際、一度崩壊が生じた場所では新規崩壊は発生していないと仮定して、新規崩壊地における崩壊地の重複を削除した。崩壊地に対して一律10mの崩壊深を仮定し、各台風で発生した崩壊土砂量を推定した。なお、崩壊地の大部分は上流域で発生していた。

### 3.2 河床変動計算

Mac-Cormack 差分法を用いて1次元河床変動計算を実施した。計算の空間刻み幅を100m、時間刻み幅を1秒とした。断面は幅が20mの矩形断面とした。現地計測の結果から、土砂は17.85mmの均一粒径を使用した。移動形態は掃流砂のみとし、流砂量式はA.T.M式を利用した。

計算区間は下流域を対象とした。下流と上流の合流点を始点とし、角埔溪の本線となる旗山溪への流入点を終点とした。上流域の面積が大きく、崩壊地が上流域に多いことから、側方からの土砂、水の流入は考えない。

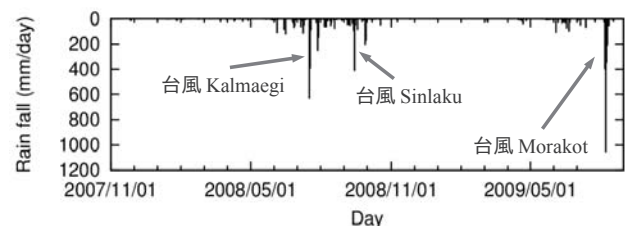


図2 計算期間のハイトグラフ

角埔溪では雨量・流量が観測されていないため、旗山渓流域内で小林村から11km下流の甲仙における雨量データ(図2)に南北上流域の面積を乗じることで、簡易的に上流からの流入量を算出した。角埔溪内で崩壊が生じ始めた2007年11月28日から台風Morakotまでに96回の降雨イベントがあった(図2)。そのうち一定規模以上の80回の降雨イベントを対象として河床変動の連続計算を実施した。

上流からの供給土砂量としては2通りの値を設定した。まず、計算開始地点に比較的に近い上流区間に、より勾配が大きい露岩区間があることに着目し、計算開始地点で侵食も堆積も生じない平衡土砂量を与えて計算を実施した。

しかしながら、実際には計算開始地点の河床も上昇している。平衡土砂量を定数倍することで、計算開始地点での河床上昇が実測値に一致する値を探索し、供給土砂量とした計算も実施した。また、過去の土砂供給が無かった場合、台風Morakotによって8号橋が流出するかどうか検討するために、台風Morakotの雨量だけを用いて河床変動計算を行った。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 各時期の崩壊分布と崩壊土砂量

各時期の崩壊地の分布を図3に示す。台風Morakotによる崩壊がもっとも大きい。南北支流ともに、台風Morakot以前の崩壊は合流点に近い箇所が発生していた。対して、台風Morakotによる崩壊は標高の高い地域で発生し、個別の崩壊の規模も大きいことが分かる。各時期における崩壊土砂量を表2に示した。

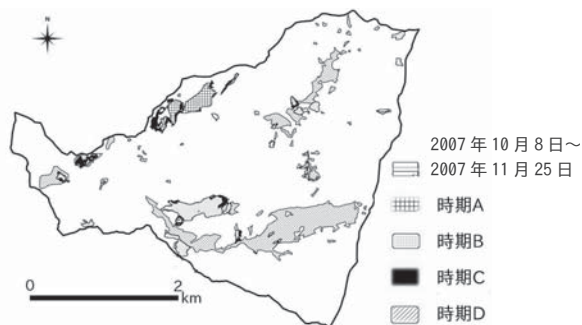


図3 各時期に新規に発生した崩壊分布図

##### 4.2 角埔溪での河床上昇

まず平衡土砂量を上流から供給して河床変動計算を実施したところ、河床変動は十分に再現できなかった。計算開始地点では、台風Morakot後に2006年の河床位から22mの河床上昇が見られたが、平衡土砂量を与えた場合には河床上昇は生じず、その影響が計算区間全体にわたって、現れたためである。

次に、計算開始地点での河床上昇が実測値に一致する供給土砂量を求めたところ、平衡土砂量の1.18倍であった。その値を供給土砂量として河床変動計算を実施した。図4は先の計算結果と、台風Morakot後に空中写真から作成されたDEMから、それぞれ2006年のDEMとの差分を取って比較したものである。連続計算した結果は実測値の値と比較的に近い値を示した。しかし、今回は旗山溪での河床上昇を考

慮していないため、特に0-500m地点での河床上昇は再現されず、8号橋付近での河床は実測値ほど上昇しなかった。

図4には、台風Morakotの雨量だけを用いた計算結果も示している。8号橋付近では河床が3-4m程度しか上昇しなかった。供給した土砂量は平衡土砂量の1.08倍である。なお、これ以上土砂を供給すると、計算開始地点で過剰な土砂供給が起こり計算が停止してしまった。そのため、土砂を断続的に投入して、合流点での河床上昇が実測値に合うように計算した。しかし、合流点での河床上昇の影響は下流まで伝搬せず、8号橋付近での河床上昇量はほぼ変わらなかった。

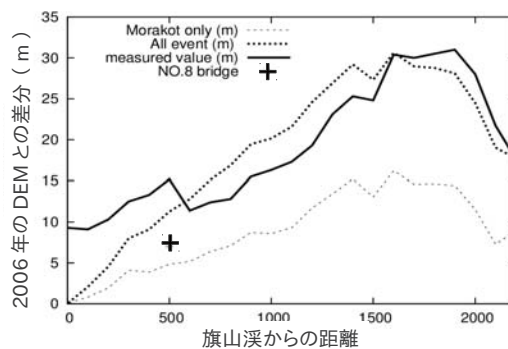


図4 河床変動量の実測値と計算値の比較

本計算では台風Morakotの全雨量を使用して計算しているが、8号橋が降雨途中に流出したことを考慮に入れると、台風Morakotの影響だけで8号橋が流出したとは考えにくい。したがって、8号橋の流出を引き起こすような河床上昇は、台風Morakot単独では生じず、過去の崩壊による流域での不安定土砂の生産と、その後の降雨イベントに伴う継続的な河床上昇によって引き起こされた可能性が高い。

##### 4.3 供給した土砂量の妥当性

表2は連続計算で計算開始地点に供給した土砂量と、崩壊土砂量を各時期毎に比較したものである。崩壊土砂量は、供給土砂量より常に多かった。つまり、上流域には十分な量の不安定土砂が存在することが分かる。上流域の勾配が大きく、台風Morakot以前には、合流点に近い所で崩壊が拡大していったことを合わせて考えると、今回の河床変動計算を行う上で供給した土砂量が、平衡土砂量以上であったという仮定が、無理のないものであったと言える。

表2 上流域の崩壊土砂量と供給土砂量

	時期 A	時期 B	時期 C	時期
崩壊土砂量 ( $\times 10^4 \text{ m}^3$ )	110	245	137	967
供給土砂量 ( $\times 10^4 \text{ m}^3$ )	62	92	97	85

#### 5. 結論

台風Morakot時の被害拡大に繋がった角埔溪の8号橋の流出には、台風Morakot時に流出した大量の土砂だけでなく、過去の崩壊と降雨イベントによって引き起こされた河床上昇の影響が大きかったことが示唆された。この結果は、大規模な降雨に対する流域の危険度が、当該イベントの降雨規模や流域の地形・地質などの要因だけでなく、過去の崩壊や降雨イベントなどの流域の履歴によって変化し得るという点で重要であろう。