

土石流到達率と流域地形量・雨量との関係：広島県の花崗岩地域の事例

(国研) 防災科学技術研究所水・土砂防災研究部門 ○若月 強

1. はじめに

我が国では毎年のように豪雨を誘因とする土石流によって多くの人命や財産が犠牲となっており、土石流の発生場所や発生時刻、流下範囲等の予測が強く求められている。著者らは小流域の地形量（流域面積・起伏比）を計測して、流域末端への土石流到達の有無に関する閾値（土石流到達閾値と呼ぶ）について、雨量との関係を含めて検討してきた（若月ほか（2017）など）。本報では、広島市とその周辺の花崗岩斜面における1999年・2014年・2018年の災害を対象に、土石流到達率と地形・雨量との関係について検討した結果を報告する。

2. 1999年・2014年・2018年災害の降雨の特徴

1999年は、6月29日に広島市西部から北部と呉市周辺で斜面変動が多発し、広島県全体で死者31名、行方不明者1名の被害となった。2014年は、8月20日の未明の豪雨が広島市安佐南区と安佐北区に集中し、斜面崩壊や土石流により両区では死者74名の被害が発生した。2018年は、7月5～8日の記録的な大雨で、死者・行方不明者数は広島県で120名に及んだ。

2014年災害は、積算時間6時間程度までの短時間の雨量が大きい「強雨短時間型」の降雨パターンを示す（表1）。一方、2018年災害は、積算時間24時間以上の長時間の雨量が大きい「降雨継続型」の降雨パターンを示す。1999年災害は両者の中間的な特徴を示す。

表1 災害時の降雨量。

	1時間 雨量	2時間 雨量	3時間 雨量	6時間 雨量	12時間 雨量	24時間 雨量	48時間 雨量	72時間 雨量	1週間 雨量	年平均 降水量
広島災害(1999/6/29)										
八幡川橋	81	113	144	189	215	226	226	288	384	1,538 (広島)
広島災害(2014/8/20)										
上原	115	207	237	254	285	285	285	288	329	1,690 (三入)
広島災害(2018/7/6~7)										
天応	55	98	116	147	222	305	388	426	435	1,417 (呉)

3. 調査方法

3.1. 土石流のタイプ分け

土石流のタイプ分けは、若月ほか（2017）に準ずる。すなわち、まず国土地理院が撮影した空中写真を判読して、3災害の花崗岩地域における土砂移動分布図を作成した。次に、判読エリア全域において、

山地小流域（流域面積は約0.001 km²（1,000 m²）から約3 km²）を設定した（流域数は、1999年が3273、2014年が581、2018年が3270）。各小流域は、流域出口が生活の場である道路・住宅地・農地に面するように設定した。そして、国土地理院10 mDEMを用いて、流域面積Aと流域起伏比Rを計測した。土砂移動分布図から、各小流域は、土石流発生や到達の有無によって、3タイプに分けることができる（図1）。災害発生の観点から土石流が流域出口に到達するType Iに着目した。

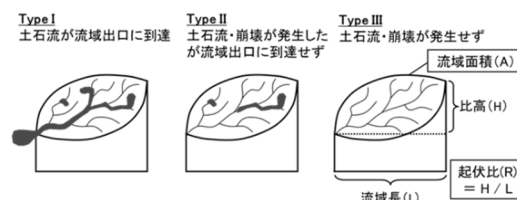


図1 土砂移動形態と流域地形量の定義。

3.2. 雨量指標

雨量指標は、気象庁解析雨量の1時間雨量を用いて計算し、積算時間1～48時間の各積算雨量(RC)、半減期1～96時間の各実効雨量(RE)、土壤雨量指数(S; 岡田ほか, 2001)、R'値のそれぞれについて、各災害の最大値を流域ごとに求めた。R'値は、中井ほか（2004）が提唱した半減期1.5時間と72時間の実効雨量を組み合わせた雨量指標である。実効雨量については、一般的には以下の式で求めることができる。

$$RE_h(t) = 0.5^{\frac{t}{h}} \times RE_h(t-i) + \alpha \times R_i(t) \quad (1)$$

ここで、 $R_i(t)$ は時刻 t における i 時間雨量（mm）（ $i > 0$ ）、 $RE_h(t)$ と $RE_h(t-i)$ は時刻 t または $t-i$ における半減期 h 時間の実効雨量（mm）である。 α は直近の降雨 $R_i(t)$ に乗ずる係数であり、既往研究では、 $\alpha = 1$ を用いる事例が大半であるが（矢野, 1990 など）、 $\alpha \neq 1$ とする事例も存在する（鈴木・小橋, 1981; 小橋, 1988; 小杉, 2013 など）。 i 時間雨量とは、それまでの i 時間に降った総雨量のことなので、厳密にはその i 時間中も半減期 h に従った減衰が存在しているため、 $\alpha \neq 1$ として適切な係数を与えるべきであろう。例えば、鈴木・小橋（1981）や小杉（2013）では、 $i = 1$ のとき、 $\alpha = e^{\ln 0.5 / (2h)} = 0.5^{0.5h}$ を使用し

たが、 $i \neq 1$ のときは適用できない。ここで、雨量強度 R_w (mm/hr) の降雨の半減期 h による時間 x に伴う減衰は(1)式を参考に、

$$0.5^{\frac{x}{h}} \times R_w \quad (2)$$

と表されるので、これを時刻 $0 \sim i$ まで積分すると、半減期を考慮した i 時間雨量となり、以下の(3)式で示される。

$$\int_0^i \left(0.5^{\frac{x}{h}} \times R_w\right) dx = \frac{h}{\ln 0.5} \left(0.5^{\frac{i}{h}} - 1\right) \times R_w \quad (3)$$

(3)式を(1)式右辺第2項に置き換えた以下の(4)式により、 i 時間中の減衰を考慮した実効雨量を求めることができる。

$$RE_h(t) = 0.5^{\frac{i}{h}} RE_h(t-i) + \frac{h}{\ln 0.5} \left(0.5^{\frac{i}{h}} - 1\right) R_w \quad (4)$$

(1)式と(4)式による実効雨量の計算結果の一例を図2に示す。 $t = 0 \sim 1$ hrの間に60 mm/hr (= 1 mm/min)の降雨があった場合、半減期1時間 ($h = 1$) の実効雨量は、(4)式を使い $\alpha = 1$ の条件で計算すると、

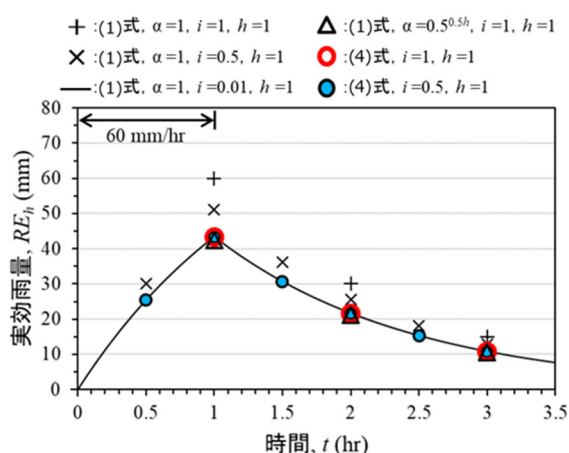


図2 異なる手法による実効雨量の計算結果。

雨量の積算時間である i 値が0.01, 0.5, 1と大きくなるほど、実効雨量が過大評価されていることがわかる。なお、この過大評価は降雨直後かつ雨量が大きいほど著しくなる。一方、(1)式を $\alpha = 0.5^{0.5h}$ の条件で計算した場合 (鈴木・小橋, 1981), 及び(4)式を使い $i = 0.5$ と $i = 1$ の条件で計算した場合は、(1)式 $\alpha = 1$ の条件で i 値が微小 (0.01) の計算結果 (実線) といずれも近い結果になる。また、特に(4)式は i 値の差異の影響を受けないので、本研究では、(4)式を用いて実効雨量を計算した。ただし、(4)式は i 時間内で均等な降雨状態を想定しており、 i 時間内の前半に降雨が集中した場合は(4)式は過大評価、後半に降雨が集中した場合は過小評価となることに留意が必要である。

4. 結果

3 災害について、流域面積 A と流域起伏比 R から求めた地形量指数 b_1 値と各雨量指標値の関係を示した図3によると、短時間の雨量指標値 (1時間積算雨量, 半減期1.5時間実効雨量) は強雨短時間型の2014年災害の値が大きく、長時間の雨量指標値 (24時間積算雨量, 半減期72時間実効雨量) は降雨継続型の2018年災害の値が大きくなった。1999年災害は両者の中間的な特徴を示した。すなわち RC_6 値, RE_8 値, R' 値に関しては、その他の雨量指標に比べて3災害のプロットが重なって分布しており、花崗岩地域において異なる降雨パターンに対応できる雨量指標である可能性がある。

本報では、これらの雨量指標を用いて、地形量と土石流到達率 (= Type I/(Type I+II+III)) との関係の定式化を行った。この妥当性については、今後事例解析により詳しく検討する必要がある。

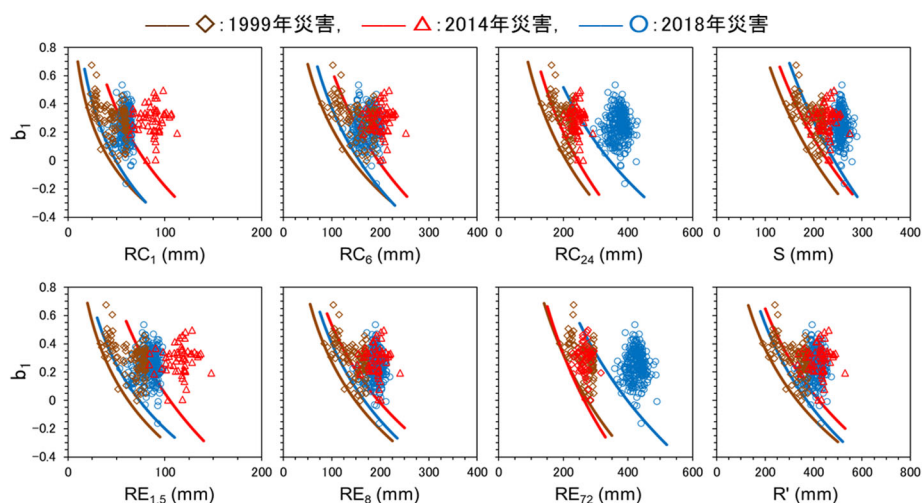


図3 雨量指標値と b_1 値の関係。各曲線は分布下限の閾値。 RC_1 , RC_6 , RC_{24} : 1, 6, 24時間積算雨量, $RE_{1.5}$, RE_8 , RE_{72} : 半減期1.5, 8, 72時間実効雨量, S : 土壌雨量指数, R' : R' 値。