

西日本豪雨等における降雨量と生産・流出土砂量の関係把握（その2）

アジア航測株式会社 梅村裕也, 新井瑞穂, 江口友章, ○井之本信, 嘉手苺清  
 国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課 平田遼, 酒井大介  
 国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部砂防研究室 山越隆雄, 坂井佑介  
 筑波大学生命環境系 内田太郎

1. はじめに

崩壊と降雨量（誘因）や地形量（素因）との密接な関係に着目し、既往研究では種々の崩壊面積予測式（例えば、打萩(1971)<sup>1)</sup>、吉松(1977)<sup>2)</sup>）が提案され、実用化されている。一方で、近年の地球温暖化に伴う豪雨の頻発化・激甚化を鑑み、降雨量の変化に柔軟に対応できる生産土砂量等の予測式の作成が重要となってきた。このような背景をふまえ、既往報告<sup>3)</sup>では、広島県の土砂災害を対象に、素因・誘因と崩壊生産土砂量等の関係を分析したうえで、降雨量および地形量と崩壊生産土砂量等との関係を定式化している。

本研究では、既往報告での検討方法などを踏襲し、同一地域で発生した別の土砂災害事例の情報を追加し、崩壊生産土砂量等との関係の定式化を再検討した。また、定式化の再検討結果の精度検証を行った。

2. 検討対象災害と範囲

検討対象災害は、表 1 に示す広島県で発生した 5 災害とした。検討対象範囲は、5 災害において崩壊・土砂流出が多発した図 1 に示す広島県内の 742km<sup>2</sup>の範囲である。この範囲の設定にあたっては、各災害の降雨量や地質（花崗岩、流紋岩、その他）等の誘因・素因が偏らないように配慮した。

3. 土砂移動区分と土砂量算出

土砂移動区分は、崩壊域（発生域）、流下域、堆積域の 3 区分とした。3 区分は、検討対象範囲内の 5 災害の土砂移動域を対象に、空中写真や航空レーザ測量（以下、LP）で取得したオルソフォト画像を用いた写真判読や差分解析により実施した。崩壊生産土砂量と流出土砂量は、LP 差分解析値や文献値をもとに算出した。崩壊生産土砂量は崩壊域（発生域）の下流端から下流への流出した土砂量とし、流出土砂量は流下域の下流端から下流への流出した土砂量とした。

4. メッシュ単位データの作成

崩壊生産土砂量等を算定する基本単位は、図 1 に示す 1km メッシュとした。各 1km メッシュに次の属性を与え、解析の基礎データとした。

- ① 土砂量：単位面積あたりの崩壊生産土砂量，流出土砂量（以下，単位生産土砂量，単位流出土砂量）
- ② 降雨量：5 災害時の最大 1，3，6，12，24，72 時間雨量，ピークまでの積算雨量，最大土壌雨量指数，連続雨量

表 1 対象災害一覧

災害名	主な特徴
昭和 63 年 7 月 豪雨災害(S63 災害)	短時間強雨に起因，土石流が多発，主に花崗岩地帯で発生
平成 11 年 6 月 豪雨災害(H11 災害)	短時間強雨に起因，土石流が多発，主に花崗岩地帯で発生
平成 22 年 7 月 豪雨災害(H22 災害)	長時間継続した降雨に起因，土石流が多発，主に流紋岩地帯で発生
平成 26 年 8 月 豪雨災害(H26 災害)	短時間強雨に起因，土石流が多発，主に花崗岩地帯で発生
平成 30 年 7 月 豪雨災害(H30 災害)	短時間強雨に起因，土砂・洪水氾濫も同時多発，主に花崗岩や流紋岩地帯で発生

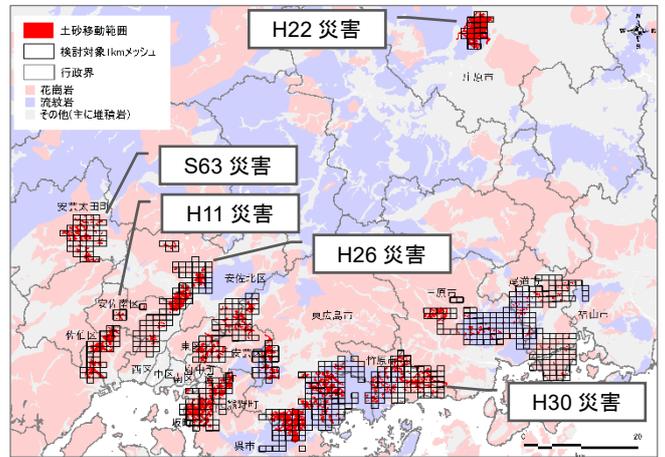


図 1 検討対象範囲

- ③ 地形量：最大勾配，平均勾配，比高，勾配 5°，10°，20°，30° 以上の面積割合
- ④ 地質：花崗岩，流紋岩，その他

5. 降雨量・地形量と崩壊生産量等の関係分析

前項の結果をもとに、降雨量（誘因）、地形量（素因）と単位生産土砂量，単位流出土砂量の関係式（以下，土砂量推定式）を作成した。

5.1. 土砂量推定式の型式

土砂量推定式の型式は、降雨量の増加に対して単位生産土砂量等が累乗的に増加する「累乗関数」と、降雨量が非常に大きくなった際に単位生産土砂量等が頭打ちとなる「ロジスティック関数」とした。

それぞれ降雨要因のみの関数式と、降雨要因に地形要因を加えた多項の関数式（計 4 式）を検討した。

- ① 累乗関数（降雨要因のみ）： $V = a \cdot (R - R_{min})^b$
- ② 累乗関数（降雨・地形要因）： $V = a \cdot (R - R_{min})^b \cdot S^c$
- ③ ロジスティック関数（降雨要因のみ）：

$$V = \frac{V_{MAX}}{1 + \exp[-\{c_0 + c_1(R - R_{min})\}]}$$

④ ロジスティック関数（降雨・地形要因）：

$$V = \frac{V_{MAX}}{1 + \exp[-\{c_0 + c_1(R - R_{min}) + C_2 \cdot S\}]}$$

ここに  $V$ : 土砂量,  $R$ : 降雨量,  $R_{min}$ : 最小降雨量,  $S$ : 地形量,  $a, b, c$ : 回帰係数,  $V_{MAX}$ : 土砂量上限値

5.2. 土砂量推定式の作成結果

4.で整理した1kmメッシュ別の土砂量, 降雨量, 地形量を組合わせて, 多変量解析により土砂量推定式を作成した(全288ケース)。作成結果から, 表2に示す評価方法により, 土砂量別(単位生産土砂量, 単位流出土砂量), 地質別(花崗岩, 流紋岩, その他), 式型別(累乗関数, ロジスティック関数)にそれぞれ最適な推定式を選定した。

花崗岩の単位生産土砂量推定式を図2に例示する。これらの式では, 降雨要因としてピークまでの積算雨量が採用された。また, 流出土砂量推定式における降雨要因は, 全て最大3時間雨量が採用された。このことは, 生産土砂量の多寡に関与する降雨量がピークまでの積算雨量であること, 崩壊→流下の過程で発生する土砂の流出量の多寡が降雨のピーク前後に出現する最大3時間雨量に支配されていることを示唆している。

5.3. 土砂量推定式の精度検証

土砂量推定式の精度検証は, 5.1で示した4式の適合度を決定係数, 残差標準偏差, 平均絶対誤差で確認した。その結果, 4式とも精度に差がほとんどないことがわかった(図3)。また, 降雨要因と地形要因の関わり具合を標準偏回帰係数により確認した(図4)。標準偏回帰係数は, いずれの式型・地質においても地形要因よりも降雨要因の方が圧倒的に大きく, 土砂量の多寡が地形量より降雨量に影響を強く受けていることがわかった。このことから, 今回の検討の範囲内では, 降雨要因のみで構築した2式(累乗関数・ロジスティック関数)が, 利便性や精度の面から生産土砂量や流出土砂量の推定への活用度が高いと考えられる。

5.4. 気候変動に伴う降雨・土砂量の変化の試行検討

気候変動に伴い気温が2℃または4℃上昇し降雨量が增大した場合に, 生産土砂量等がどれだけ増加する可能性があるかを, SI-CAT DDS5TK<sup>4)</sup>のデータをもとに, 構築した土砂量推定式を用いて試行的に分析した。その結果, 生産土砂量・流出土砂量は, 2℃上昇時(降雨量は約1.1倍)には現在気候の約1.2~1.3倍に, 4℃上昇時(降雨量は約1.2倍)には約1.4~1.6倍に増加することがわかった(図5)。

6. おわりに

本研究では, 降雨量(ピークまでの積算雨量, 最大3時間雨量を採用)から単位生産土砂量等を算出する土砂量推定式の再検討を行い, 土砂量推定式の精度検証から降雨要因のみで構築した2式(累乗関数・ロジスティック関数)が, 土砂量推定への活用度が高いことを確認した。

今後は, 例えば土砂災害警戒情報の発表基準を参考

表2 土砂量推定式の評価方法

評価項目	評価の考え方
回帰係数の符号	回帰係数がマイナスとなる定性的に解釈し難い関係式(例えば雨量が小さくなるほど土砂量が大きくなる)は除外する
決定係数	t検定において少なくとも危険率5%で相関に有意性が認められ,かつ0.5以上の決定係数を有する関係式を採用する
残差標準偏差	標準偏差が最も小さい関係式を採用する

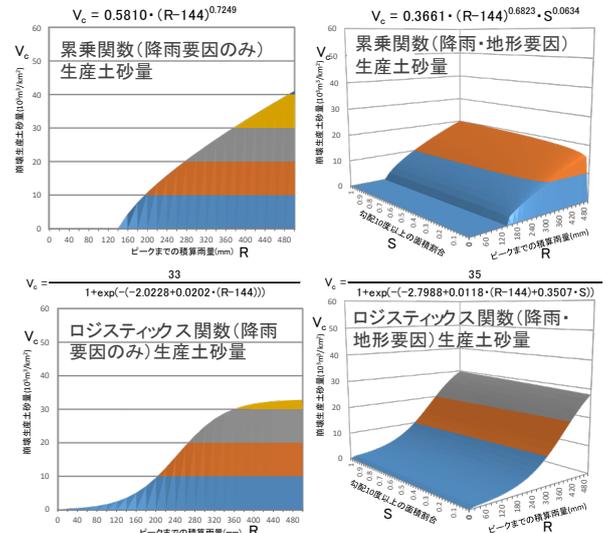


図2 単位生産土砂の推定式に基づく降雨量と生産土砂量の関係の推定結果(花崗岩の例)

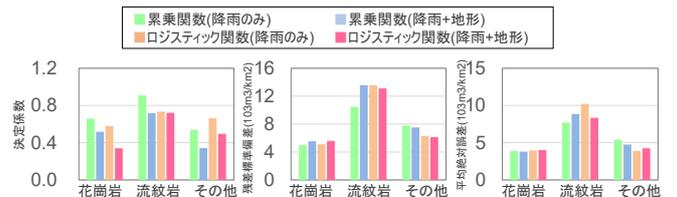


図3 式型・地質別の精度比較(生産土砂量の例)

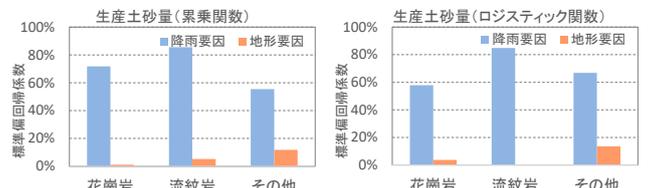


図4 式型・地質別の標準偏回帰係数の比較(生産土砂量の例)

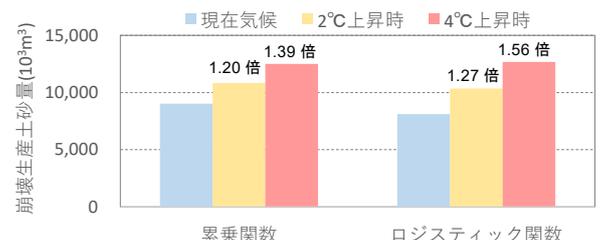


図5 気候変動を考慮した土砂量算出結果(生産土砂量の例)

に, 短期的な降雨指標と長期的な降雨指標との2要因を説明変数とした土砂量推定式を検討するなど, 更なる精度向上が重要と考える。

参考文献

- 1)打荻珠男(1971):ひと雨による山腹崩壊について,新砂防 79
- 2)吉松弘之(1977):山腹崩壊の予測式について,新砂防 102
- 3)江口ら(2022):西日本豪雨等における降雨量と生産・流出土砂量の関係把握,2022年度砂防学会研究発表会概要集,pp.587-588
- 4)本研究では文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)により地球シミュレータを用いてd4PDFを力学的ダウンスケールしたデータを使用した。