

土砂・洪水氾濫の発生実績を有する流域規模における地形指標の適用性の検証

国土技術政策総合研究所 ○高橋源貴※¹ 山越隆雄※² 田中健貴

京都大学防災研究所 松四雄騎

株式会社東京建設コンサルタント 高橋大地 堂井省吾

※¹ 現 中電技術コンサルタント株式会社、※² 現 国土交通省

1. はじめに

土砂・洪水氾濫の発生危険度の高い流域の抽出や土砂・洪水氾濫計画策定時の河道へ流入する土砂量の設定に際しては、山地流域から河道への土砂流出特性の把握が有効である。高橋ら（2023）では¹⁾、溪床勾配 10° 程度の集水面積スケール（以後、分析対象小流域）を対象に、土砂流出率（流出土砂量/生産土砂量）を目的変数として設定し、それを説明する 1 つの地形指標として河道近接度との関係を統計的分析により示した。

今後は、土砂・洪水氾濫による発生実績を有するような規模の大きな流域スケールにおいても河道近接度の適用性を示すことができれば、砂防計画の高度化に向けた有効な知見となる。本稿では、規模の大きな流域スケールに展開する場合の地形指標（河道近接度）の適用性について、検証した結果を報告する。また、分析対象小流域を対象に力学的な観点から数値計算プログラムを用いて試行的に分析した結果も併せて報告する。

2. 地形指標（河道近接度）の適用性の検証

2. 1 研究の手法

(1) 対象流域

対象流域は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨において土砂・洪水氾濫が発生した筑後川右岸流域（佐田川寺内ダム上流域 50km²、北川流域 7km²、赤谷川流域 20km²）とした。また、地形指標の適用性は、表-1 に示す筑後川右岸流域を細分化した流域規模（以後、実績流域）を対象に実施した。

(2) 土砂・洪水氾濫実績の評価指標

当該災害においては、LP データの差分解析（災害後-災害前）と空中写真判読によって、LP 差分のマイナス値を生産土砂量、プラス値を堆積土砂量と定義した土砂収支の整理と、表-2 に示すような土砂移動範囲の判読を実施した。本研究では判読した土砂移動範囲のうち、図 1 及び表 2 に示す溪床域と氾濫堆積域を土砂・洪水氾濫が発生した領域とみなすこととし、地形指標との関係を整理する目的変数は溪床域と氾濫堆積域における堆積量と氾濫堆積面積とした。なお、これらの指標は実績流域の面積で除して流域面積比に換算した値とした。

(3) 地形指標の設定

(2) で示した評価指標との分析に用いる地形指標は、有効性が示されている河道近接度とする¹⁾。実績流域毎の河道近

表 1 実績流域一覧

区分	実績流域	流域面積 (km ²)
北川	北川右支川	0.8
	北川左支川	1.7
	北川本川上流	1.4
	北川本川下流	2.6
佐田川上流域	佐田川本川上流	17.9
	佐田川本川中流	4.0
	佐田川本川下流	9.8
	疋目川	6.2
	黒川	12.8
赤谷川	乙石川	6.0
	小河内川	1.9
	大山川	3.7
	赤谷川上流	4.4
	赤谷川下流	4.0

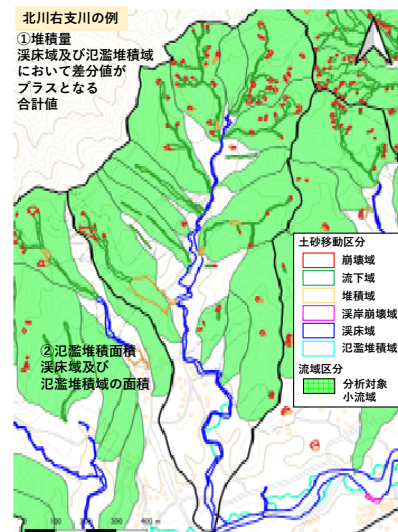


図 1 分析対象小流域と土砂・洪水氾濫実績の評価指標の概念図

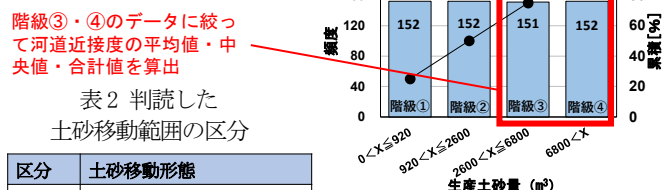


図 2 階級区分（生産土砂量）

表 2 判読した土砂移動範囲の区分

区分	土砂移動形態
崩壊域	斜面崩壊の発生域
流下域	崩壊土砂あるいは土石流の流下域
堆積域	崩壊土砂あるいは土石流の堆積域
溪岸崩壊域	河道に面した（崩壊土砂が直接河道に流入する）崩壊
溪床域	河道内での侵食・堆積域
氾濫堆積域	河道外に氾濫して堆積している区域

当該領域の堆積量と氾濫堆積面積を計上

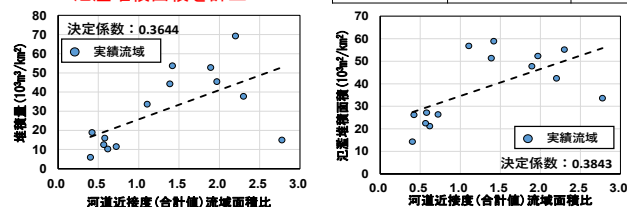


図 3 土砂洪水氾濫実績の評価指標と河道近接度の関係
接度の代表値は、図 1 に示すように実績流域内の分析対象小流域の当該指標の値を集約し、平均値、中央値、合計値の 3 種類の代表値を設定した。なお、合計値は実績流域の面積で除して、流域面積比に換算した値とした。

既往研究において土砂流出特性は、分析対象小流域内での土砂生産の状況も大きく関係することが示されている¹⁾。

そのため、実績流域における河道近接度の代表値を設定する際には、図 2 に示すように、対象流域の分析対象小流域の数が概ね同数になるように生産土砂量で 4 つに階級区分し、階級の大きなデータ (③・④) に絞って設定した。

2. 2 分析結果

表 3 に、目的変数と河道近接度の相関分析結果を示す。また、図 3 には土砂・洪水氾濫実績として堆積量、氾濫堆積面積を目的変数とし、河道近接度の合計値(流域面積比)を代表値とした場合の結果を示すが、決定係数が 0.36～0.38 の一定の相関が確認できる。このことから、土砂生産が活発であり、河道近接度の大きな分析対象小流域の集まる実績流域は、堆積量や氾濫堆積面積が増大し、土砂・洪水氾濫による被害が生じやすいと解釈できる。

以上より、既往研究で示したような¹⁾分析対象小流域から河道への土砂流出特性を評価する場合は、土砂流出率を用いることが有効である一方で、本稿で対象とした規模の大きな流域スケールにおいては、堆積量や氾濫堆積面積を用いて評価するといった、想定する流域規模に応じて目的変数を使い分けることが望ましいと想定される。

3. 数値計算プログラムを用いた力学的分析

3. 1 研究の手法

(1) 対象流域及び使用した数値計算プログラム

対象流域は図 4 に示す乙石川流域とし、当該流域の分析対象小流域(計 61 個)のうち、25 個で数値計算を行った。使用した数値計算プログラムは、土石流・泥流を解析する汎用プログラムとして公開されている Morpho2DH とした。

(2) 計算条件

本検討における計算条件の一覧を表 4 に示す。計算条件の設定に際しては、既往文献²⁾等を参考にした。土石流の起点となる崩壊発生位置及び規模は、表 2 に示す土砂移動範囲のうち崩壊域と判読されている範囲とした。なお、本検討では実現現象の再現というより、同一条件下における結果の違いの確認を行うため、分析対象小流域毎の計算条件は表 4 に示す条件で概ね統一した。

(3) 流出土砂量の算出

分析に際しては、LP データの差分解析に基づく実績の流出土砂量(以後、実績)と、数値計算に基づく流出土砂量(以後、数値計算)の比較を行う。算出方法について、実績は生産土砂量から分析対象小流域内の堆積土砂量を減じたものを流出土砂量とし、数値計算は図 5 に示すように、分析対象小流域外に堆積した範囲における河床変動量から流出土砂量を算定した。

3. 2 分析結果

図 6 に実績及び数値計算の流出土砂量をプロットしたものを順位相関係数とともに示す。両者を比較すると、実績

表 4 計算条件一覧

項目	内容
地形データ	1mDEM (災害前)
計算メッシュ	2m×2m
崩壊深	0.5m
侵食可能深	0.5m
土砂濃度	変化
流体として振る舞う土砂の割合	0.2
最小流動深	0.01m
層流層の厚さ	変化

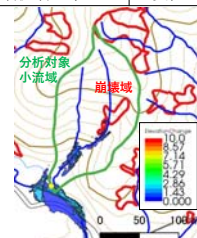


図 5 計算結果の一例
(河床変動量・堆積範囲)



図 4 対象流域 (乙石川)

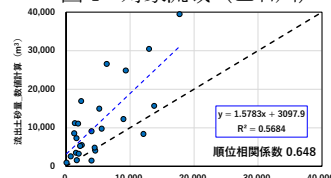


図 6 土砂量のプロット図

と概ね対応もしくは数値計算の方が上回る分析対象小流域が大半を占める。数値計算による流出土砂量は侵食可能深によるため、今回の結果は偶然適合したと言えるかもしれない。適切な侵食可能深の設定手法が今後必要と考えられる。

また、順位相関係数は 0.648 と一定の相関が確認される。このことから、当該災害において流出土砂量が大きな分析対象小流域は、数値計算においても大きくなる傾向にあると言え、本事例のように各分析対象小流域を対象に数値計算を実施することで、災害が未発生 of 地域における山地流域から河道への土砂流出特性の推定の一助となると言える。

4. まとめ

本稿の結果より、土砂・洪水氾濫実績として堆積量、氾濫堆積面積を目的変数とし、分析対象小流域の河道近接度の合計値を用いることで相関が示せた。また、力学的分析について、LP 差分解析に基づく流出土砂量と数値計算による流出土砂量は、両者のプロットや順位相関係数から一定の相関が確認された。今後は、これらの知見をもとに土砂・洪水氾濫対策計画に地形的な観点や力学的な観点を適宜導入し、発生危険度の推定手法や計画生産土砂量の設定手法の高度化を図る必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、京都大学防災研究所の竹林氏に、Morpho2DH の計算条件の設定等のプログラムの取扱いについてご指導頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高橋ら 地形的特徴に着目した山地流域の土砂流出特性に関する統計的分析 令和 5 年度砂防学会研究発表会 p. 283
- 2) 竹林ら 2018 年 7 月に広島県安芸郡熊野町で発生した土石流の宅地内の氾濫特性 京都大学防災研究所年報 第 62 号 A