

大規模土砂生産後の流出土砂量の支配要因の検討

いであ株式会社 ○樋田祥久、岡村誠司、山城健太、堀江克也
国土技術政策総合研究所 松本直樹、丹羽諭、内田太郎、蒲原潤一

1.はじめに 大規模土砂生産が生じた場合、長期間流出土砂量が多い時期が続くことが予想され、このような大規模土砂生産後の数年間は、総合的な土砂管理を進める上で重要な期間の1つであると考えられる。一方、大規模な土砂生産後の流出土砂量については、その支配要因が明らかにされていない。

本研究では、大規模土砂生産後の中長期土砂流出の支配要因について検討を行った。豪雨や地震により大規模土砂生産が生じた9流域を対象として、既存のデータを用いて大規模土砂生産前後の生産土砂量、流出土砂量の経年変化を整理し、流域ごとの土砂流出の特徴を整理した(他稿にて発表予定)。各流域の大規模土砂生産後の中長期土砂流出特性を表す特性値として大規模土砂生産年、大規模土砂生産後3年間、大規模土砂生産後10年間の土砂流出率や流出土砂量等を整理するとともに、それらの支配要因として、地形、生産土砂量、土砂生産要因(豪雨または地震)、降雨量・流量等の指標を整理し、指標が特性値に及ぼす影響について重回帰分析(線形モデル)及びニューラルネットワーク(非線形モデル)により分析した。

2. 特性値の算出 土砂生産後の土砂流出に関する特性値を算出した。特性値は、生産土砂量に対する流出土砂量の割合を示す土砂流出率、流出土砂量、大規模土砂生産後明らかに土砂生産前に比べて流出土砂量の多い期間とし、短期(1年)、中期(3年)、長期(10年)によって支配要因が異なる可能性があるため、期間の異なる6指標とした(表1)。特性値a~fの算出例を以下に示す。

表1 土砂流出の特性値

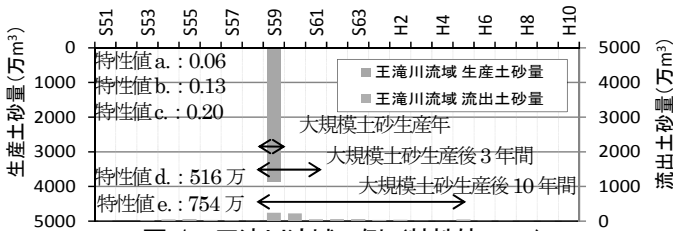


図1 王滝川流域の例(特性値a~e)

特性値	
a.大規模土砂生産年の土砂流出率(生産土砂量に対する流出土砂量の割合)	土砂流出率=大規模土砂生産年の流出土砂量/大規模土砂生産年の生産土砂量
b.大規模土砂生産後3年間の土砂流出率(生産土砂量に対する流出土砂量の割合)	土砂流出率=大規模土砂生産後3年間の流出土砂量/大規模土砂生産後3年間の生産土砂量
c.大規模土砂生産後10年間の土砂流出率(生産土砂量に対する流出土砂量の割合)	土砂流出率=大規模土砂生産後10年間の流出土砂量/大規模土砂生産後10年間の生産土砂量
d.大規模土砂生産後3年間の流出土砂量	
e.大規模土砂生産後10年間の流出土砂量	
f.大規模土砂生産後明らかに土砂生産前に比べて流出土砂量の多い期間	

特性値fについては図2のように大規模土砂生産前の流出土砂量の標準範囲を設定した上で以下のとおり算出した。

- 流出土砂量は降水量との相関が高いため、降水量の影響を除去するために年最大日降水量で流出土砂量を除した値の経年変化を算出した。
- 大規模土砂生産前の最大値と最小値を大規模土砂生産の影響を受けていない流出土砂量の標準範囲とした。
- 大規模土砂生産後に標準範囲から外れた期間を明らかに大規模土砂生産の影響を受けた期間とした。

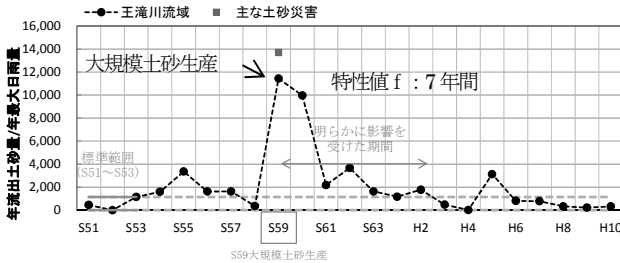


図2 王滝川流域の例(特性値f)

表2 特性値一覧

ー: 特性値の算出に必要なデータなし

対象流域	蒲川	花山ダム流域	東竹沢	朴木砂防堰堤	朴木砂防堰堤	横山ダム流域	横山ダム流域	横山ダム流域	横山ダム流域	渡川流域	渡川流域	中川川流域	中川川流域	王滝川流域	宮川ダム流域
大規模土砂生産	H7.7豪雨	H20前平宮城内陸地震	H16新潟県中越地震	S57豪雨	H16~H17豪雨	S40豪雨	S50豪雨	S61豪雨	H14豪雨	S29豪雨	H17豪雨	T12関東大震災	S47豪雨	S59長野県西部地震	H16豪雨
特性値a.	0.27	0.03	0.14	0.89	0.56	0.78	0.53	-	0.10	1.97	1.38	-	-	0.06	0.51
特性値b.	0.54	0.03	0.16	0.88	0.71	0.91	-	0.47	0.44	2.77	4.98	-	-	0.13	0.66
特性値c.	0.94	0.06	0.16	0.57	1.27	1.36	0.53	0.78	0.60	2.68	6.72	-	-	0.20	0.98
特性値d.	862,280	344,800	689,138	551,440	1,415,214	6,417,100	4,071,100	1,056,000	2,002,700	4,488,131	1,237,249	-	-	5,115,543	784,622
特性値e.	1,835,706	673,500	722,340	564,840	2,699,907	9,567,100	5,741,500	1,742,100	2,825,300	4,971,323	1,670,460	-	-	7,536,666	1,166,762
特性値f.	5	5	2	1	8	1	2	1	1	3	1	82	32	7	1

特性値を対象流域毎に整理した(表2)。特性値a、b、cは、地震が原因の場合の特性値が小さくなる傾向が見られる。特性値cは渡川流域が極めて大きい値となっている。特性値d、eは、横山ダム流域と流域の特性値が大きい。特性値fは、朴ノ木砂防堰堤流域および牧尾ダム流域で高いが、影響期間が1年の流域も多々ある。

また、特性値を説明し得る指標については、特性値を決定する要因として、流域特性や生産土砂量、外力、土砂の動きやすさの観点から網羅的に抽出した(表3)。

表3 指標一覧

指標
1.地形(流域面積、平均河床勾配、1km区間の河床勾配)
2.生産土砂量
3.土砂生産の要因(豪雨or地震)
4.水文指標(平均年降水量、平均年最大日雨量、総雨量)
5.水理指標(平均年総流量、平均年最大流量、総流量)
6.天然ダムの有無
7.地質
8.平均生産土砂量に対する大規模生産土砂量の比

3. 大規模土砂生産後の中長期土砂流出の支配要因

どの指標が特性値と相関が高いかを検討するため統計的手法を用いて分析した。単相関分析と重回帰分析（線形モデル）により説明変数と特性値の相関を確認するとともに、複数の指標が相互に関連している可能性があるため、ニューラルネットワーク（非線形モデル）により中長期土砂流出の支配要因を分析した。

1) 単相関分析 単相関分析により各特性値と相関の高い指標を確認し、重回帰分析に用いる指標の絞り込みを行った。ここに、相関性の有無を確認するため、明らかに他の流域と異なるデータについては棄却して検討した。地形に関する指標の中では、①流域面積との相関が高い特性値が多い。④生産土砂量はいずれの特性値とも相関が高い。水文指標は、特性値によって相関の高い指標が異なる。⑤土砂生産の要因、⑫天然ダムの有無、⑬地質に関しては、それぞれ単独の指標では相関が低い（表4）。

2) 重回帰分析（線形モデル） 単相関分析で各特性値と相関性の高い結果となった指標により、t 値による重回帰分析を行った（図3 |t|>2 のとき有意な影響あり）。分析結果によると、特性値 a には①流域面積・④生産土砂量・⑦平均年最大日雨量・⑩平均年最大流量が大きく寄与している。大規模土砂生産年の土砂流出率には、生産土砂量や土砂の移動距離（流域面積）、土砂生産年の洪水外力（最大日雨量と最大流量）が影響しているものと考えられる。これに対し、特性値 b には⑪総流量が寄与しており、大規模土砂生産後3年間の土砂流出率には、平常時も含めた総流量が影響し、生産土砂量や洪水時の外力の影響が小さくなると考えられる。

また、大規模土砂生産後の期間が長くなるにつれ相関係数が低くなる傾向が見られ、大規模土砂生産の影響期間についても高い相関が得られず、明確な支配要因を説明できていない（図4）。このため、中長期的には今回抽出した指標以外の要因の影響を強く受けている可能性がある。

3) ニューラルネットワーク（非線形モデル） 重回帰分析と同様、単相関分析で相関性の高い指標により支配要因を分析した。検討方法は、指標値と特性値でキャリブレーションしたモデルに対し、各指標の値を増減させて特性値の変化を確認することで支配的な指標を把握した。特性値 a に対する分析結果を図5に示す。検討の結果、特性値 a に関しては、①流域面積、⑦年最大日雨量の影響が大きい結果となり、重回帰分析による検討結果と対応する。ただし、他の特性値 b-f に対しては、計算結果と実績値の誤差が大きく、適合性が低い結果となった（研究発表会にて示す）。

4. おわりに 本研究により、大規模土砂生産年の土砂流出率は流域面積や年最大日雨量等の影響を強く受けていることが確認された。しかし、大規模土砂生産後の期間が長くなるにつれ、土砂流出率及び流出土砂量は指標との相関が低くなる傾向が見られた。また、大規模土砂生産の影響期間も、これを説明する高い相関を示す指標が認められず、現時点では明確な支配要因を説明できていない。これは、短期的には今回抽出した指標により土砂流出の支配要因を概ね説明できるが、中長期的には今回抽出した指標以外にも支配要因となる指標が存在する可能性がある。今後は、分析サンプル数を増やしつつ、より詳細な実態把握を行い、大規模土砂生産後の中長期土砂流出を支配する要因についてさらに検討していく必要がある。

参考文献 1)堀江克也ら：大規模土砂生産後の土砂流出の実態と予測手法に関する検討，平成25年度砂防学会研究発表会概要集 B-42-43 2)堀江克也ら：川辺川上流域における長期の土砂動態に関する検討，平成26年度砂防学会研究発表会集 B-26-27 3)樋田祥久ら：地震による大規模土砂生産後の土砂動態—芋川・迫川流域を対象として—，平成26年度砂防学会研究発表会概要集 B-24-25 4)厚井高志：長期ダム堆砂データを用いた山地森林流域における土砂生産・流出に関する研究，東京大学学位論文，2009. 5)山地の荒廃と土砂の生産・流出 (6) 宮崎県小丸川上流の災害 砂防学会誌 Vol.28(1975-1976)No.3P36-39 6)大串和紀ら：牧尾ダムにおける堆砂問題，農業土木学会誌 Vol.63.8, 1995. 7)大森博雄ほか：大規模崩壊後の河川地形の発達過程に関する研究，1996. 8)Imaizumi.F. et al：Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, J of Geophysical Research, 2007. 9)黒岩知恵：森林伐採や植栽の影響を加味した土砂生産予測に関する研究，信州大学審査学位論文，2013.

表4 単相関分析による各指標の相関係数

指標	相関係数(R)					
	特性値a.	特性値b.	特性値c.	特性値d.	特性値e.	特性値f.
①流域面積(km ²)	0.82	0.42	0.51	0.85	0.73	0.37
②平均河床勾配	0.32	0.76	0.26	0.39	0.70	0.69
③1km区間の河床勾配	0.85	0.54	0.22	0.38	0.45	0.51
④生産土砂量(大規模土砂生産年)	0.81	0.82	0.53	0.92	0.92	0.53
⑤土砂生産の要因(豪雨・地震)	0.68	0.41	0.41	0.01	0.07	0.38
⑥特性値の期間の平均年降水量(mm)	0.69	0.39	0.37	0.31	0.94	0.75
⑦特性値の期間の平均年最大日雨量(mm)	0.92	0.72	0.62	0.19	0.46	0.44
⑧特性値の期間の総雨量(mm)	0.41	0.47	0.20	0.71	0.61	0.63
⑨特性値の期間の平均年総流量(×10 ⁶ m ³)	0.80	0.36	0.64	0.91	0.77	0.60
⑩特性値の期間の平均年最大流量(m ³ /s)	0.73	0.43	0.37	0.22	0.44	0.64
⑪特性値の期間の総流量(×10 ⁶ m ³)	0.60	0.73	0.53	0.51	0.24	0.00
⑫天然ダムの有無	0.53	0.32	0.33	0.37	0.42	0.08
⑬地質	0.51	0.33	0.32	0.54	0.51	0.10
⑭大規模土砂生産土砂量/平均生産土砂量	0.50	0.73	0.59	0.26	0.32	0.72

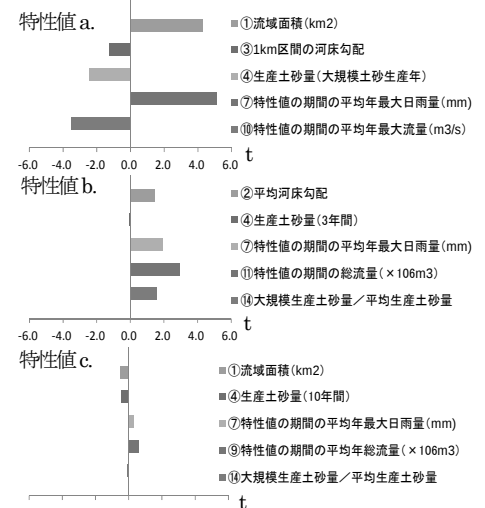


図3 重回帰分析結果（特性値 a、b、c）

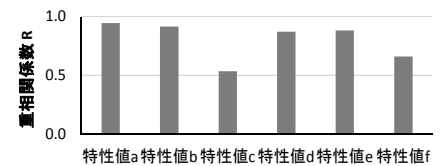


図4 特性値ごとの相関係数

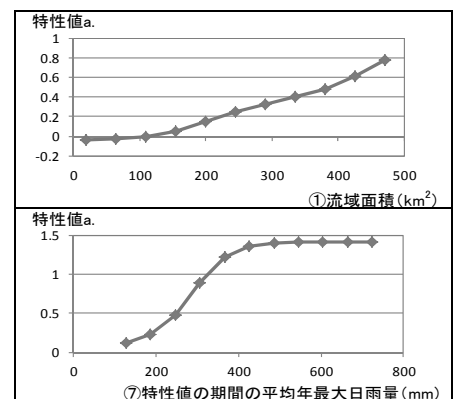


図5 支配要因の分析結果