

2. 対象現象

2.1 概要

本資料で対象とする現象は、大規模な土砂生産後、それ以前の土砂流出状況より土砂流出が特に活発な期間（以下、「土砂流出活発期間」と呼ぶ）において河床上昇、貯水池への急激な土砂流出等による被害・影響を引き起こす中期土砂流出とする。対象とする降雨の規模は、土砂流出活発期間に一般に生じる規模とし、新たに大量の土砂生産が生じるような規模の降雨は対象に含めない。

なお、土砂流出活発期間中であっても、計画規模の降雨などによる新たな土砂生産に伴う災害の防止・軽減は、図1におけるAの短期（一連の降雨継続期間中）の土砂流出対策として検討する（図3の紫破線枠）。また、大規模土砂生産時にはしばしば天然ダム（河道閉塞）が生じる場合があるが、大規模な天然ダムに伴う災害の防止・軽減については、図1のE 深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害対策として検討する。

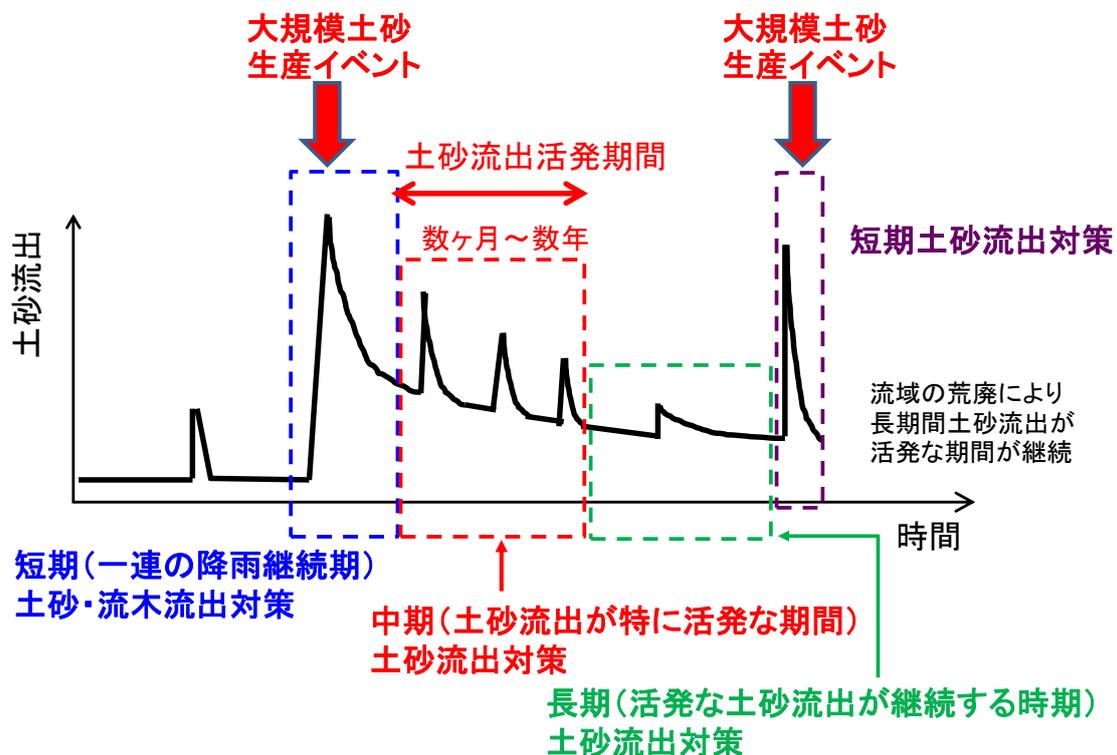


図3 対象現象のイメージ

2.2 対象現象の特徴

豪雨により斜面崩壊が同時多発し大規模な土砂生産が発生することがある。このような大規模な土砂生産時には、生産土砂の全てが当該の一連の降雨時には流出せずに、山地流域内に残存する。また、大規模土砂生産は地震によっても生じることがある。さらに、生産土砂は一般的に大規模土砂生産以前の河床材料よりも粒径が細かい（図 4）。このため、大規模土砂生産後においては土砂生産以前と比べて、降雨量または流量が同程度でも、流出土砂量が多い期間が継続することがある。

一方、流域内に残存していた粒径の細かい土砂が大規模土砂生産後の降雨により次第に流出、または時間の経過にともない堆積土砂が安定化することにより、土砂流出は大規模土砂生産以前の状態に徐々に戻ると考えられる。土砂流出活発期間は、生産土砂量、生産土砂の粒度組成、生産土砂の堆積状況、地形、降雨量などの影響を受けると考えられるが、流域面積 1km^2 あたりの生産土砂量が百万 m^3/km^2 またはそれ以上に達するような非常に多い場合を除き、概ね数年までであることが多い。

ただし、生産土砂量が非常に多く、恒常的に崩壊地等から表面侵食等により粒径の細かい土砂が供給され続けると、10 年以上の長期間恒常的に活発な土砂流出が継続する場合もある。このような現象に対しては「長期土砂流出対策」として、別途そのような状況にあることを確認した段階において検討する。



図 4 大規模土砂生産後の河床の状況

【参考：対象現象の事例】

① 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産の事例

国内では大規模土砂生産現象が発生した事例がいくつかあるが、例えば参考表 2.2.1 に示すような 11 流域においては文献やデータが多く存在し、生産土砂量、年流出土砂量などが整理できている¹⁾。参考表 2.2.1 に示す年流出土砂量は大規模土砂生産発生年における年流出土砂量である。降雨起因で現象が発生したのが 6 流域、地震起因で現象が発生したのが 5 流域である。いずれも多数の斜面崩壊が発生している。渡川では年流出土砂量が生産土砂量を大幅に上回っている。その原因は今のところ明らかにされていないが、溪岸崩壊やアーマーコートの破壊など、斜面崩壊とは別の要因と関係しているものと思われる。

これらの流域では、大規模土砂生産後、流出土砂量が大規模土砂生産前に比べて大きくなっていることが確認されている (Koi et al.²⁾, 厚井³⁾, 池田⁴⁾)。このような事例は国内のみならず海外においても台湾などで報告されている (Hovius et al.⁵⁾)。

参考表 2.2.1 我が国における大規模土砂生産現象の例

| | 集水面積 [km ²] | 大規模土砂生産発生年, 発生原因 | 生産 土砂量 [万 m ³] | 年流出 土砂量 [万 m ³] |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 渡川 (渡川ダム流域) | 80.0 | 平成 17 年,台風 14 号 | 25 | 72 |
| 川辺川 (朴木砂防堰堤流域) | 106.0 | 昭和 57 年,豪雨 | 28 | 34 |
| | | 平成 16 年,台風 16 号,18 号 | 82 | 21 |
| | | 平成 17 年,台風 14 号 | 94 | 34 |
| 中川川 (三保ダム流域) | 39.2 | 大正 12 年,大正関東地震 | 9,505 | - |
| 宮川 (宮川ダム流域) | 126.8 | 平成 16 年,台風 21 号 | 119 | 61 |
| 浦川流域 | 22.0 | 平成 7 年,豪雨 | 174 | 37 |
| 揖斐川 (横山ダム流域) | 487.0 | 昭和 40 年,台風 23 号,24 号, 豪雨 | 702 | 545 |
| | | 昭和 50 年,台風 6 号 | 250 | 132 |
| | | 平成 10 年,豪雨,台風 10 号 | 198 | 77 |
| 芋川 (東竹沢第二 砂防堰堤流域) | 18.8 | 平成 16 年,新潟県中越地震 | 1,698 | - |
| 小渋川 (小渋ダム流域) | 288.0 | 昭和 36 年,豪雨 | 2,254 | 1,361 |
| | | 昭和 57 年,台風 10 号 | 236 | 279 |
| | | 昭和 58 年,台風 10 号 | 120 | 246 |
| 一迫川 (花山ダム流域) | 126.9 | 平成 20 年,岩手宮城内陸地 震 | 1,050 | 32 |
| 王滝川 (牧尾ダム流域) | 189.8* | 昭和 59 年,長野県西部地震 | 3,856 | 239 |
| 常願寺川 (本宮砂防堰堤流域) | 349.6 | 安政 5 年,飛越地震 | 11,400 ⁶⁾ | - |

*王滝ダム流域除く

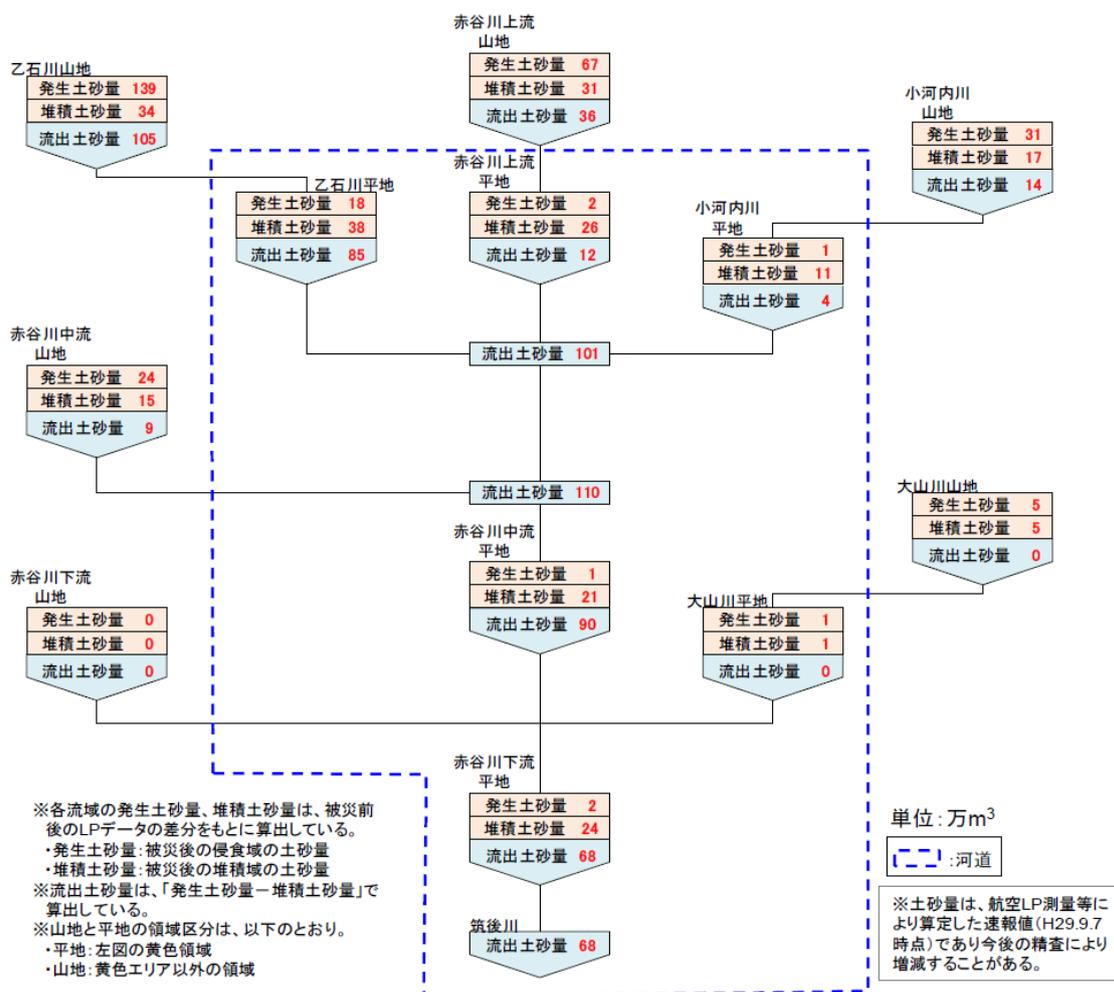
② 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産後の流域内における土砂の堆積事例

大規模土砂生産時は、それを引き起こした豪雨の期間に斜面から供給される土砂量に比べて、保全対象地域や本川河道へ流出する土砂量は少なく、豪雨終了時に多量の土砂が上流流域内に残存する。近年では、例えば平成 29 年九州北部豪雨により大きな被害が生じた筑後川右岸の赤谷川流域において、災害発生後も依然として大量の生産土砂が流域内に残存していた（参考図 2.2.1）。

筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会では、平成 29 年九州北部豪雨による赤谷川流域における土砂収支を参考図 2.2.2 に示す通りであったことを報告している⁷⁾。山地部に注目すると、生産土砂量が約 266 万 m³、そのうち堆積土砂量が約 102 万 m³ と 40%程度、流域内に残存していることが分かる。



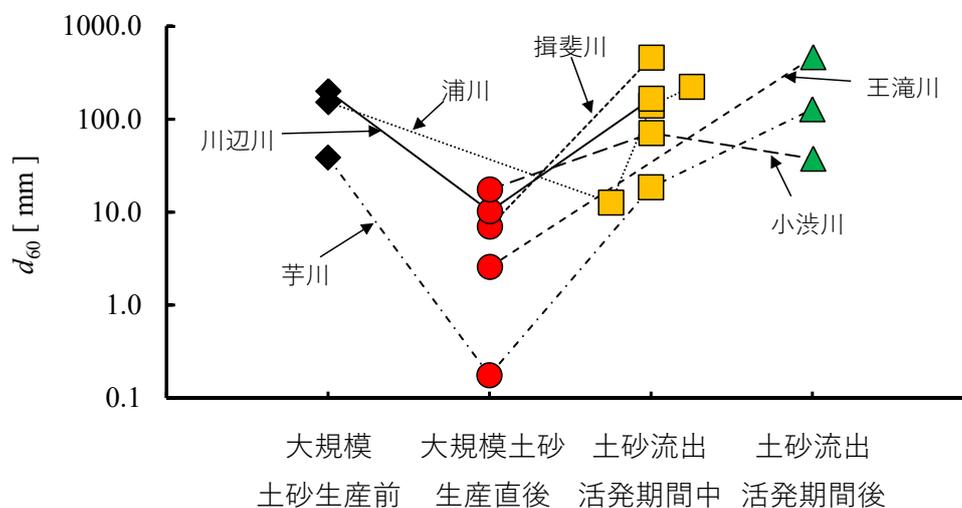
参考図 2.2.1 乙石川上流部に堆積した土砂



参考図 2.2.2 平成 29 年九州北部豪雨における赤谷川流域の土砂収支⁷⁾

③ 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産による河床材料の粒径変化の事例¹⁾

参考図 2.2.3 に大規模土砂生産前後における粒度分布の変化を示す。粒度分布は大規模土砂生産の前に行われた河床材料調査の結果、得られたものである。なお、河床材料調査は流域内の複数地点で行われているが、そのうち概ね同じ地点での調査結果を基に作成している。また、図は代表粒径を 60% 粒径とした場合を示している。図を見ると、大規模土砂生産直後には細粒化し、土砂流出活発期間中、土砂流出活発期間後と時間が経過するにつれて粗粒化していく傾向が見られる。これは大規模土砂生産により細粒分を多く含む土砂が河床へ供給され、その後、水流の運搬作用により細かな土砂が徐々に下流へ流出することで、最終的には大規模土砂生産前の状態に河床が戻ることを反映していると考えられる。したがって大規模土砂生産が流出土砂量に影響を及ぼす期間の長短は、大規模土砂生産後の河床の細粒土砂の存在量と正の相関関係にあり、細粒土砂の割合やその変化をモニタリングすることにより土砂流出活発期間の継続性が確認・予測できる可能性を示している。

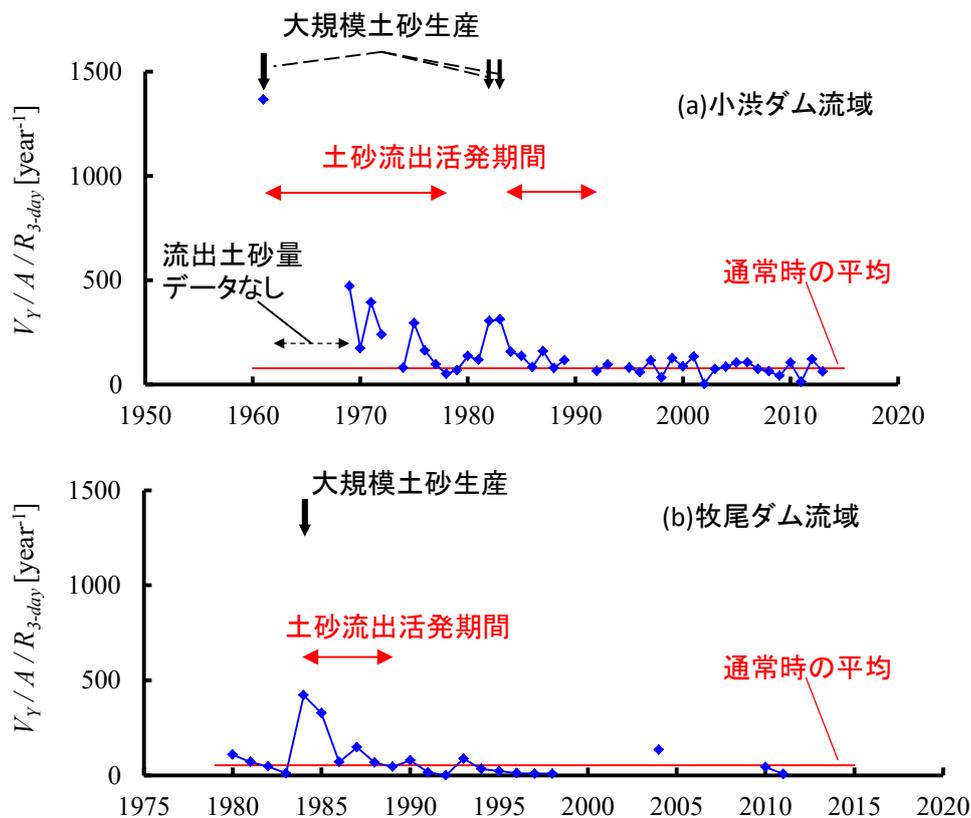


参考図 2. 2. 3 代表粒径 d_{60} の変化

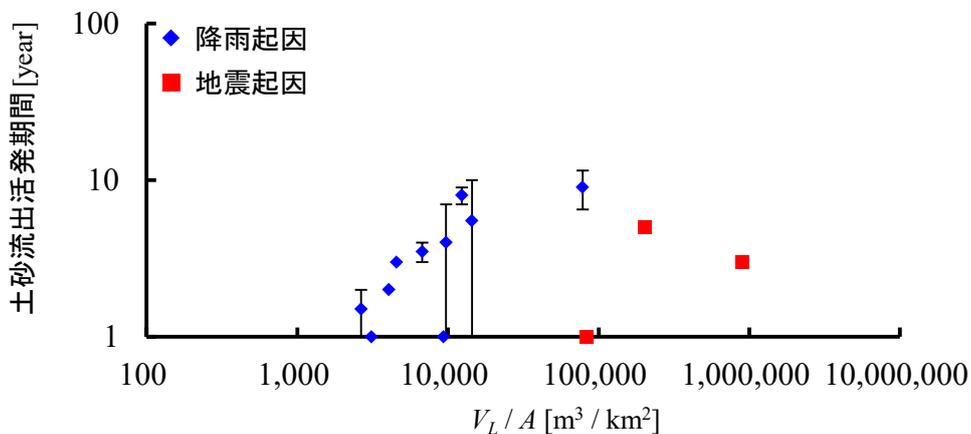
④ 大規模土砂生産後の中長期的な土砂流出の状況¹⁾

参考図 2. 2. 4 に、代表例として小渋ダム流域および牧尾ダム流域（王滝ダム流域は除く）の 2 流域について、大規模土砂生産発生前から発生後数年にわたる年流出土砂量の時系列変化を示す。ただし、流域面積や降雨量の違いを考慮するため、年流出土砂量 V_y を流域面積 A および年最大 3 日間雨量 R_{3-day} で除した値を縦軸にして表示している。

いずれの流域についても、大規模土砂生産があった後から数年間、流出土砂量は大きな値を示し、その後通常時（大規模土砂生産前）の水準（図中の赤線）まで低減する傾向が見られる。ここで、大規模土砂生産後に通常時より土砂流出量が多い期間は大規模土砂生産の土砂流出活発期間と考えられる。例えば小渋ダム流域の場合、データの欠測のために確定値を得ることができないが、1961 年に大規模土砂生産が発生してから長くても通常期まで流出土砂量が落ち着くのに最大でも 17 年要していることから、1961 年の大規模土砂生産現象の土砂流出活発期間は最大でも 17 年と考えられる。一方、王滝川は昭和 59 年に大規模土砂生産が生じ、その後 5 年ほど活発な土砂流出があり、同期間は 5 年程度と推定される。



参考図 2.2.4 流出土砂量の時系列変化



参考図 2.2.5 比生産土砂量と土砂流出活発期間の関係

⑤ 比生産土砂量と土砂流出活発期間の関係について^{1), 8)}

参考図 2.2.5 は生産土砂量 V_L と土砂流出活発期間の関係である。流域面積の違いの影響を取り除くため、 V_L は流域面積 A で除した値（比生産土砂量）を横軸に取っている。図ではプロットを地震起因と降雨起因とで分けて示す。

図を見ると、降雨起因、地震起因どちらの場合でも影響期間は数年から十数年で

あることが分かる。降雨起因と地震起因とで比べた場合、地震起因の方が比生産土砂量は多いものの、影響期間はそれほど違いはない。実際、比生産土砂量が降雨起因、地震起因でそれぞれ $1,000 \sim 100,000 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 、 $100,000 \sim 1,000,000 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ と違いがあるが、影響期間はどちらも最大でも 10 年程度とほぼ同様である。降雨起因、地震起因の両方で、比生産土砂量と影響期間の間には正の相関関係がある可能性があるが、今後プロットを増やして統計的有意性を確認する必要がある。

【大規模土砂生産後の中期土砂流出の実態に関する参考文献】

- 1) 泉山寛明, 内田太郎, 松本直樹 (2018) : 大規模土砂生産後の中長期的な土砂動態の把握, 土木技術資料, Vol.60, No.12, pp.8 – 11
- 2) 厚井高志 (2009) : 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
- 3) Koi, T., Hotta, N., Ishigaki, I., Matuzaki, N., Uchiyama, Y., Suzuki, M. (2008): Prolonged impact of earthquake-induced landslides on sediment yield in a mountain watershed: The Tanzawa region, Japan, *Geomorphology*, Vol.101, No.4, pp. 692 – 702
- 4) 池田暁彦 (2011) : 大規模崩壊地からの土砂流出とその対策 – 常願寺川砂防事業の歴史 –, 砂防学会誌, Vol. 64, No.3, pp.57 – 63
- 5) Hovius, N., Stark, C. P., Hao-Tsu, C., Jiun-Chuan, L. (2000): Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt: central range, Taiwan, *The Journal of Geology*, Vol.108, pp. 73 – 89
- 6) Ouchi, S., Mizuyama, T. (1989): Volume and Movement of Tombi Landslide in 1858, Japan, *地形*, 第 10 巻第 1 号, pp. 27 – 51
- 7) 筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 (2017) : 筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書
- 8) Izumiyama, H., Uchida, T., Horie, K., Sakurai, W. (2020): Characteristics of sediment dynamics following large-scale sediment supply events in mountain watersheds in Japan, *Geomorphology*, Vol. 367, 10.1016/j.geomorph.2020.107301