

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1115

June 2020

大規模土砂生産後に生じる活発な
土砂流出に関する対策の基本的考え方（案）

泉山寛明・山越隆雄・西井洋史・内田太郎

Guideline for countermeasure against active sediment yield
following large scale sediment production event

IZUMIYAMA Hiroaki YAMAKOSHI Takao NISHII Hiroshi UCHIDA Taro

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

大規模土砂生産後に生じる活発な土砂流出に関する対策の基本的考え方 (案)

泉山寛明* 山越隆雄** 西井洋史*** 内田太郎****

Guideline for countermeasure against active sediment yield
following large scale sediment production event

IZUMIYAMA Hiroaki* YAMAKOSHI Takao**
NISHII Hiroshi*** UCHIDA Taro****

概要

本資料は、大規模土砂生産の発生からしばらくの間、継続する活発な土砂流出を対象として、現象の特徴、対策の計画検討のために行う調査の方法、対策の基本的な考え方および土砂流出のモニタリング手法について取りまとめたものである。

キーワード : 大規模土砂生産、土砂流出、砂防基本計画

Synopsis

This report focuses on active sediment yield following large scale sediment production event and discusses characteristics of the phenomenon, survey method for countermeasure planning, fundamental concept of countermeasure and monitoring methods for sediment yield.

Key Words : large scale sediment production, sediment yield, Sabo master plan

*土砂災害研究部 砂防研究室 Sabo Planning Division, Sabo Department

**土砂災害研究部 砂防研究室長 Head, Sabo Planning Division, Sabo Department

***土砂災害研究部長 Director, Sabo Department

****土砂災害研究部 砂防研究室 招へい研究員 Visiting Researcher, Sabo Planning Division, Sabo Department

大規模土砂生産後に生じる活発な
土砂流出に関する対策の基本的考え方（案）

令和2年6月

国土技術政策総合研究所
土砂災害研究部 砂防研究室

大規模土砂生産後に生じる活発な 土砂流出に関する対策の基本的考え方（案）

目次

はじめに	1
1. 概説	3
1.1 背景・経緯	3
1.2 砂防基本計画における位置付け	4
2. 対象現象	6
2.1 概要	6
2.2 対象現象の特徴	7
3. 計画策定のための調査・解析	15
3.1 調査・解析の概要・目的	15
3.2 大規模土砂生産発生後に実施する調査・解析	15
3.2.1 土砂生産状況に関する調査・解析	15
3.2.2 土砂流出状況に関する調査・解析	16
4. 対策の基本的な考え方	28
4.1 概要	28
4.2 対象とする計画規模の考え方	28
4.3 総合土砂管理計画との関係	29
4.4 施設配置計画の検討の考え方	30
4.5 除石計画	31
5. 土砂流出状況に応じた対策実施等のための調査・解析	34
5.1 調査・解析の概要・目的	34
5.2 土砂流出状況把握のための調査	34
5.3 土砂流出状況把握のための調査結果の解析・活用	40

はじめに

平成 23 年紀伊半島大水害や平成 29 年九州北部豪雨などでは、山腹崩壊等による大規模な土砂生産に伴い、甚大な被害をもたらされた。これら地域においては、大規模な土砂生産をもたらした一連の降雨が終了した後も活発な土砂流出が継続しており、土砂災害リスクが高い状態が続いている。これは大規模な土砂生産があった場合、生産された土砂の全てが一連の降雨で下流へ流出せずに大量の土砂が山地流域に残存し、しばらくの間、活発な土砂流出が継続して河床変動が長期間続くためである。したがって、流域内に残存した土砂の流出に伴う被害を防止するための対策が必要となっている。

平成 31 年 3 月改定 河川砂防技術基準同解説（計画編）では、砂防基本計画で対象とする土砂流出現象を設定するにあたり、時間スケールを短期（一連の降雨継続期間中）、中期（土砂流出活発期）、長期（土砂流出継続期）の 3 期間に区分し、各々の区分に応じて設定することとなっている。大規模土砂生産後の活発な土砂流出が継続するような状況にある流域で実施する対策は、砂防基本計画のうち主に『中期の土砂流出による土砂災害を防止・軽減するための計画（中期土砂流出対策計画）』と位置づけられるものである。これまでは流域全体の土砂動態の実態を長期間にわたり高精度に把握するための調査が困難であったことから、計画規模、計画で扱う土砂量、対策の選定に関する検討が困難であったが、近年の LP データ等の計測技術の発達により、これらの検討が容易となってきた。一方、平成 31 年 3 月 総合土砂管理計画策定の手引き 第 1.0 版では、大規模土砂崩壊発生後に流砂系の土砂動態の変化が認められた場合は、新たな土砂動態を前提とした総合土砂管理計画の検討・見直しを実施することとされており、中期土砂流出対策と総合土砂管理とが相互に整合するようになることが必要となっている。

国土技術政策総合研究所は、平成 24 年度から平成 26 年度にかけて、プロジェクト研究「大規模土砂生産後の流砂系土砂管理のあり方に関する研究」を実施し、中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産後の土砂流出の時間変化に関する実態把握を行った。また同プロジェクトの研究成果や近年の災害に関する実態調査結果も踏まえ、時間スケールに応じた土砂流出の特性を踏まえた対策の考え方について、前述の河川砂防技術基準や総合土砂管理計画策定の手引きに反映してきた。本資料は、国土技術政策総合研究所における検討を基に、対象とする現象の特徴、対策の計画検討のために行う調査の方法、対策の基本的な考え方について取りまとめたものである。本資料では、基本的な考え方を示

した（本文のゴシック体で示した部分）上で、各項で参考となる事例・参考文献を示した（本資料の【参考】の部分）。

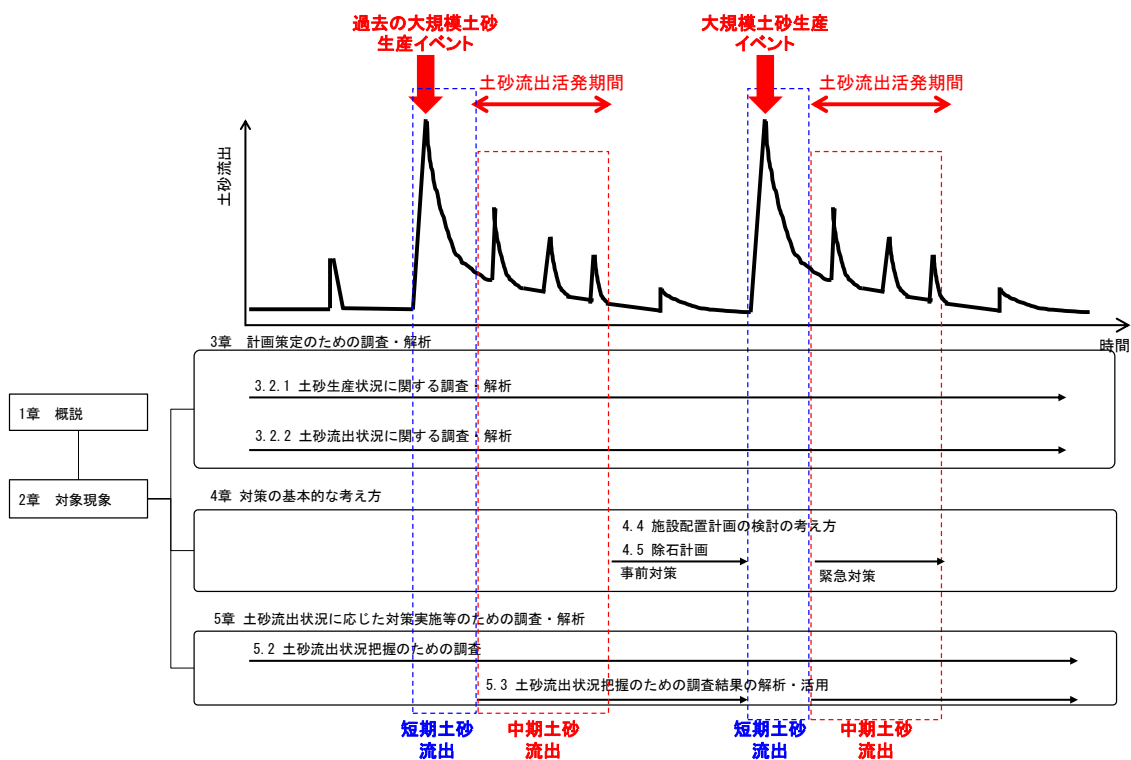


図 資料構成（黒矢印は調査・検討・対策等を実施する期間を表す。短期土砂流出対策のための調査・計画等の手法については国総研資料第 874 号、第 1048 号に記載）

1. 概説

1.1 背景・経緯

豪雨により斜面崩壊・土石流が同時多発することなどにより大規模な土砂生産が生じることがある。このような大規模な土砂生産時には、大量の土砂・流木が流出して下流域に甚大な被害を及ぼすことがある。このような当該土砂災害を引き起こした一連の降雨で生じる現象を砂防基本計画においては「短期」の土砂流出現象と位置付け、対策を実施してきている（図1～3参照）。

一方、大規模な土砂生産が生じると、一般に生産された土砂が当該土砂生産を引き起こした一連の降雨時に全て流出することではなく、生産土砂の多くが山地流域内に残存する。このような場合、当該の一連の降雨以降、土砂流出が活発になることが明らかにされてきた¹⁾。さらに、近年の研究によれば、このような場合、活発な土砂流出により、下流河道においては河床上昇が生じるなど、災害のリスクが高まることが想定される²⁾。また、大規模な土砂生産現象や流域条件の変化の頻発化は、気候変動によりますます加速されることが懸念される。

実際、例えば、2017年の九州北部豪雨における筑後川右岸流域では、斜面崩壊・土石流等による大規模な土砂生産により、一連の降雨後も大量の土砂が流域内に残存し、その後の中小出水により土砂流出が生じている。大規模な土砂生産が生じると、土砂生産域より下流で河床変動が生じるため、河道掘削が継続的に実施されてきている。これらの事例において、流域内に残存した大量の土砂の継続的な流出による影響の解消を目指した砂防計画が検討されている³⁾。

具体的に中期土砂流出計画を検討するにあたっては、短期の土砂流出現象に対して対策が十分に実施された場合であっても、土砂を捕捉した砂防堰堤等は、短期の土砂流出現象（大規模土砂生産）直後に生じる土砂流出現象に対して堰堤の捕捉容量が既に埋まっているなど、十分な機能を発揮できない可能性を考慮する必要がある。また、大規模土砂生産直後から次期出水までの期間に新たな施設を整備する十分な猶予がない場合も考えられる。そこで、大規模土砂生産直後に生じる活発な土砂流出現象の対策としては、満砂した堰堤を除石して容量を確保するなどの緊急的な対策が考えられる。さらに、緊急的な対策をより効果的に実施するための事前対策（除石可能な堰堤、土砂流出に応じて型式・形状を変更することが可能な堰堤の設置）を予め行っておくことも重要となる。

近年、大規模な土砂生産後の土砂流出の実態把握、解析技術の進展、土砂動態のモニタリング技術やシャッター砂防堰堤など土砂流出をコントロールする新たな技術の開発が進められてきている。そこで、本資料では、これらの状況

も踏まえて、大規模土砂生産後の土砂流出の活発な期間（以降、土砂流出活発期間という）を対象とした砂防計画の考え方についてとりまとめた。なお、本資料で対象とする砂防計画は、過去に大規模土砂生産現象が発生した流域において策定する砂防計画を対象とするものであるが、これまで大規模土砂生産現象の発生が記録・確認されていない流域においても、将来における大規模土砂流出現象発生による土砂生産及び土砂流出状況の変化の把握に備え、平時から調査を実施することが望ましい。

【参考文献】

- 1) 内田太郎，丹羽諭，蒲原潤一(2014)：大規模土砂生産後の土砂流出，土木技術資料，Vol. 56, No. 10, pp. 24 - 27
- 2) 池田暁彦（2011）：大規模崩壊地からの土砂流出とその対策 一常願寺川砂防事業の歴史一，砂防学会誌，Vol. 64, No. 3, pp. 57 - 63
- 3) 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

1.2 砂防基本計画における位置付け

山地域の土砂生産・流送に起因する災害は多岐にわたる。河川砂防技術基準（計画編）（平成 17 年版）においては、災害形態に基づき砂防計画論の観点から

- ① 水系砂防（上流からの流出土砂に伴う河床上昇等により引き起こされる土砂・洪水氾濫対策）
- ② 土石流対策
- ③ 流木対策
- ④ 火山砂防
- ⑤ 深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害対策

と分類されてきた。

また、河川砂防技術基準（計画編）（平成 31 年度版）では、対策計画を検討する現象の期間（時間スケール）から、短期、中期、長期の 3 期間に区分して土砂流出現象を設定することとされ、各期間は以下のように整理されている。

- ・ 短期は、計画規模の現象が発生する一連の降雨継続期間
- ・ 中期は、短期の降雨により生産された土砂がその後の降雨により特に活発に移動する期間（流出土砂が定常状態に落ち着くまでの数年間）
- ・ 長期は、短期、中期の現象の後に流出土砂量が短期土砂・流木流出を引き起こした降雨イベントの前に比べて定常的に流出土砂量が活発な状態が継

続する期間（十年以上の期間）

以上を踏まえ、砂防基本計画で対象とする対策は災害形態別に図 1 のように分類され、現象が生じる時間スケール、保全対象の位置との関係は図 2 に示されるとおりとなる。すなわち、火山砂防、異常土砂災害対策を除くと図 1 の A にあたる短期（一連の降雨継続期）土砂・流木流出による土砂災害を防止・軽減するための対策（短期土砂流出対策）、B にあたる中期（土砂流出活発期）土砂流出による土砂災害を防止・軽減するための対策、C にあたる長期（土砂流出継続期）土砂流出による土砂災害を防止・軽減するための対策に分類される。なお、中期・長期に関しては流木による被害の実態が現在のところ確認されていないため、当面は土砂流出のみを取り扱うものとする。

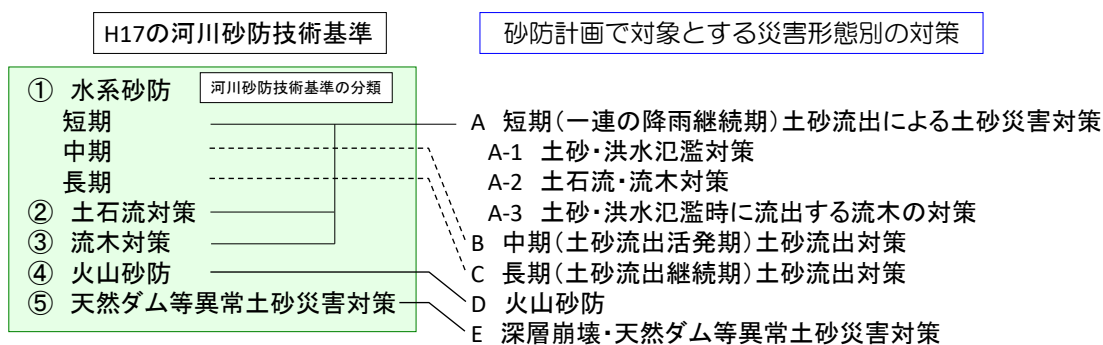


図 1 対象現象の分類

		保全対象の位置			
		土石流危険渓流等 にある保全対象	扇状地・谷底平野 にある保全対象	沖積平野にある 保全対象	貯水池
対象とする期間	短期 (一連の降雨)	A. 短期（一連の降雨継続期間中）土砂流出による土砂災害対策計画			
		A-2. 土石流・流木 対策計画	A-1. 土砂・洪水氾濫対策計画		
			A-3. 土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画		
		E. 深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害対策計画			
	中期 (数年まで)		B. 中期（土砂流出活発期）土砂流出対策		
	長期 (10年以上)		C. 長期（土砂流出継続期）土砂流出対策		

図 2 計画で対象とする期間・保全対象

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。

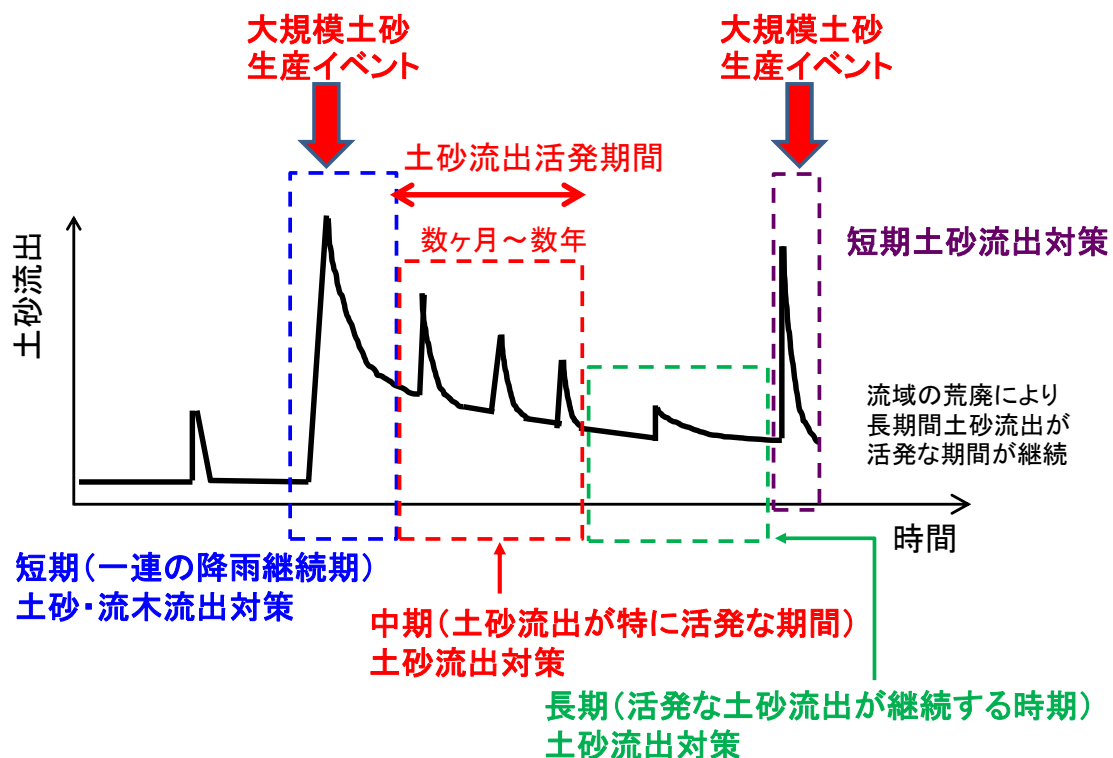


図3 対象現象のイメージ

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

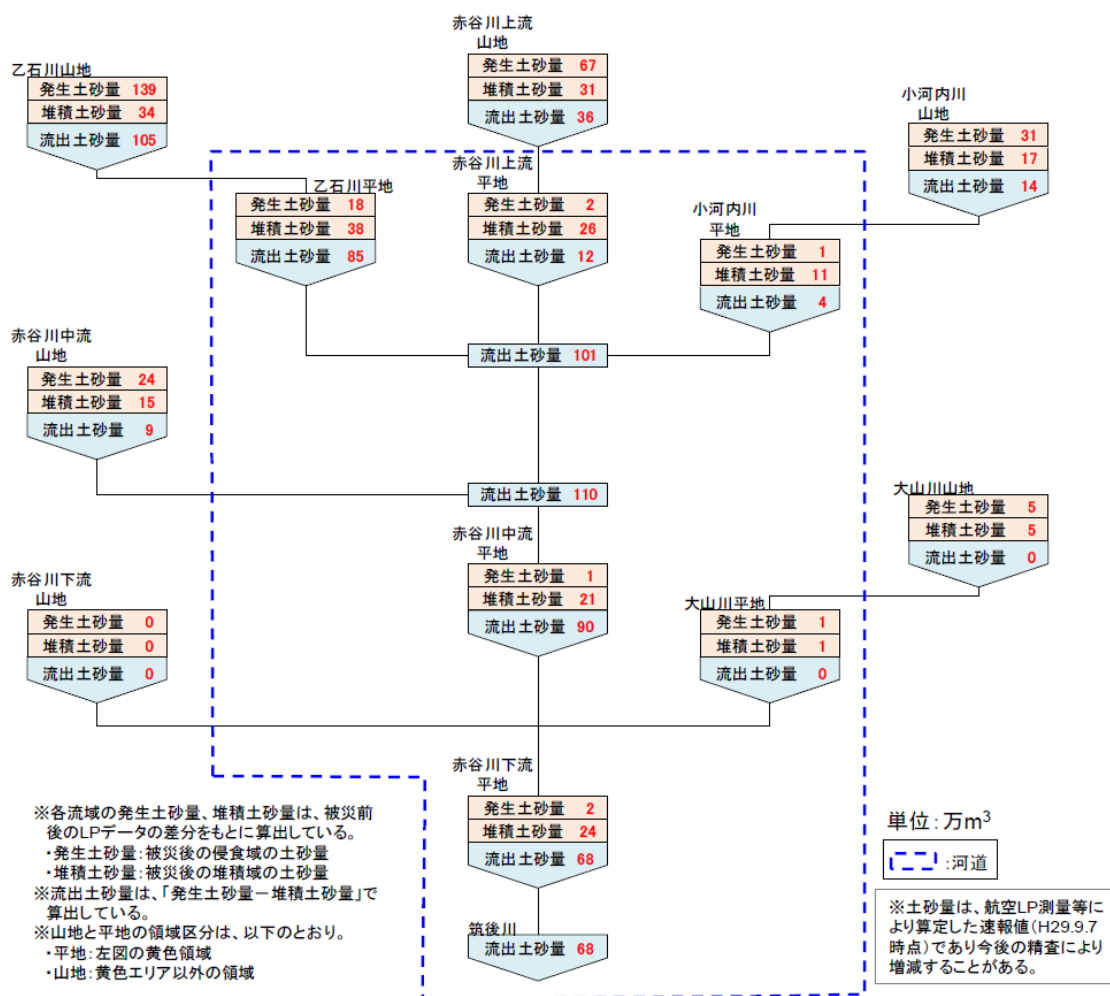
② 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産後の流域内における土砂の堆積事例

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。



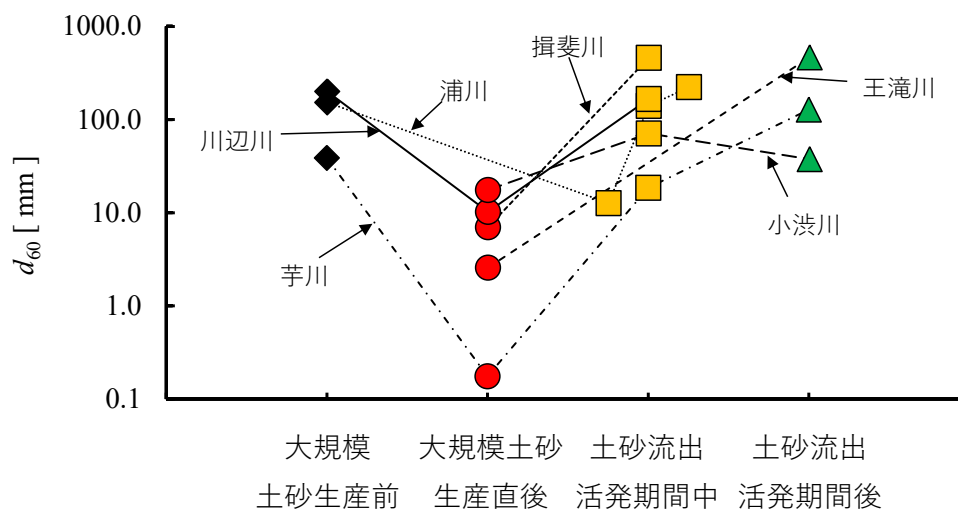
参考図 2.2.1 乙石川上流部に堆積した土砂



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。

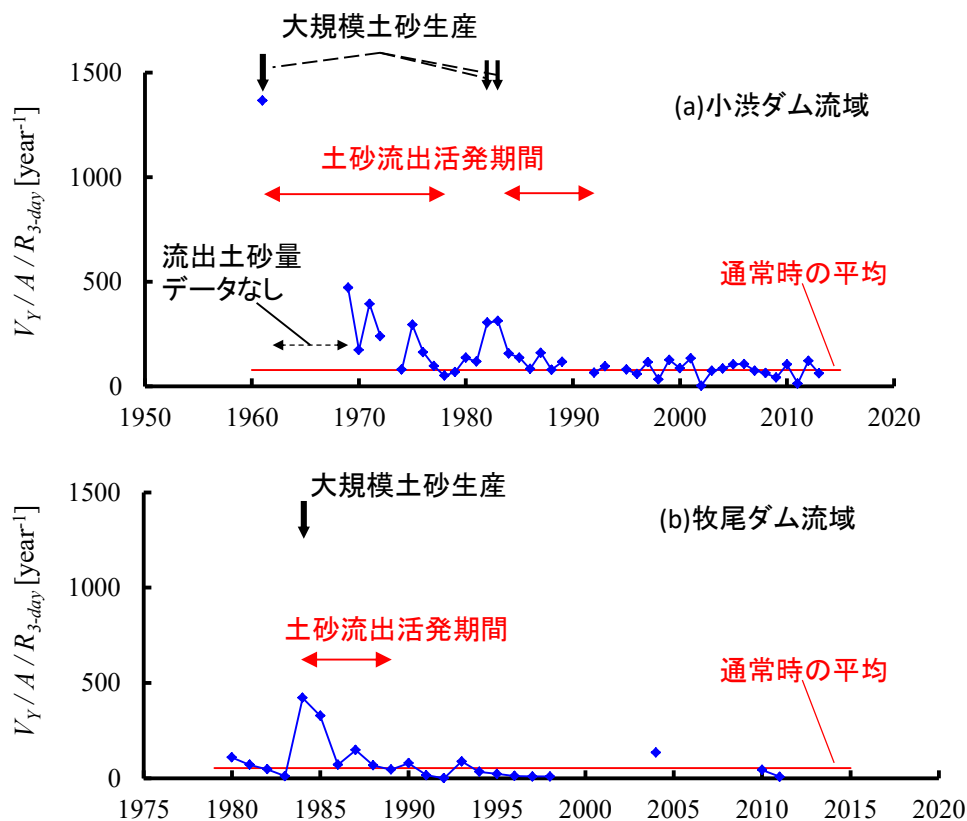


参考図 2. 2. 3 代表粒径 d_{60} の変化

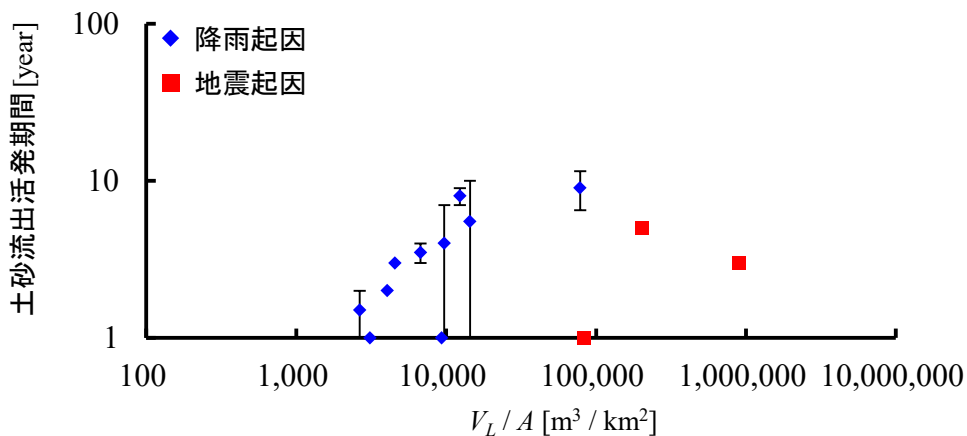
④ 大規模土砂生産後の中長期的な土砂流出の状況¹⁾

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

3. 計画策定のための調査・解析

3.1 調査・解析の概要・目的

本章に基づき実施する調査は、検討対象流域における過去に発生した大規模土砂生産状況及び大規模土砂生産後の土砂流出状況を把握した上で将来生じうる現象を想定し、対策の計画策定のために実施する。具体的には、測量等による検討対象流域の土砂生産及び土砂流出の実績に関する調査、河床変動計算による将来的に生じうる現象の想定を行うことを基本とするが、検討対象流域と気候条件、地質・地形条件が概ね類似した周辺流域の調査結果を活用することもできる。なお、実際の土砂流出状況に応じた対策の実施や緊急的な対策の終了の判断等のために別途、「5. 土砂流出状況に応じた対策実施等のための調査・解析」を実施することを基本とする。

3.2 大規模土砂生産発生後に実施する調査・解析

3.2.1 土砂生産状況に関する調査・解析

対象流域の土砂生産状況に関する調査として、以下の項目を把握するための調査を基本とする。

- ①崩壊地面積の時空間分布状況
- ②生産土砂量の経年変化
- ③大規模土砂生産後の土砂の堆積状況
- ④生産土砂の粒径

①については、複数時期の空中写真判読による崩壊地分布の経年的な把握を基本とする。また、②については、現地調査等に基づき崩壊面積と崩壊土砂量の関係を把握した上で崩壊面積から生産土砂量を把握する手法、あるいは複数時期の航空レーザー測量（LP）データを用いて直接的に生産土砂量を把握する手法が考えられる。また、③においては、空中写真、LP データを用いた土砂生産後の土砂堆積状況の把握が考えられる。さらに、③においては、大規模土砂生産等により生産された土砂が流域内に残存する割合、残存した土砂のうち、斜面または河床に堆積した土砂の割合などを調査する。①～③については、大規模土砂生産現象発生時の生産土砂量および流域内の土砂堆積範囲および堆積量を正確に把握するため、平時から調査を実施しておくことが望ましい。④においては、生産土砂の粒径は地質などにより区分をした上で、地質区分毎に現地調査することが考えられる。また、過去の空中写真の活用にあたっては、複数の視点から撮影した画像を解析することで撮影時のカメラの位置を推定し、それを基に地形状を3次元的に復元する SfM-MVS の技術を活用することも考えられる。

3.2.2 土砂流出状況に関する調査・解析

対象流域の土砂流出状況に関する調査として、以下の項目を把握するために調査を実施することを基本とする。

- ① 流出土砂量と土砂の流出特性の経年変化
- ② 流出土砂の粒径
- ③ 流出状況の想定

①、②において、経年的な流出土砂量の把握にあたっては、規模の大きい砂防堰堤や貯水池における堆砂量データの収集・分析を行うことが考えられ、大規模土砂生産現象発生による流出土砂量の増加を正確に把握するため、平時から調査を実施しておくことが望ましい。堆砂量データから流出土砂量を把握するにあたっては堰堤・貯水池の土砂の捕捉率を考慮することが望ましい。また、砂防堰堤の堆砂状況の調査においては空中写真の判読も考えられる。さらに、LP データや空中写真から 3 次元的に地形形状を復元する SfM-MVS 技術の活用により、流域の地形変化から流出土砂量を把握することも考えられる。土砂の流出特性の把握に関しては、流出土砂量と降雨量及び水理量（流量、水深等）の関係を分析することを基本とする。

③においては、将来 生じる蓋然性の高い大規模土砂生産後の土砂流出状況を想定するにあたり、河床変動計算に基づく解析を実施することを基本とする。解析に用いる河床変動計算手法及び入力条件は、検討対象流域または検討対象流域と気候条件、地質・地形条件が類似した周辺流域の過去の土砂流出状況に関する再現計算により適用性・妥当性を確認することを基本とする。大規模土砂生産後は、堆積土砂の安定化や河床材料の粗粒化など流域の状況が時間とともに変化することに留意して河床変動計算の条件を設定することが重要である。

[参考文献]

- 1) 河川砂防技術基準（調査編）

【参考：調査の事例】

① 土砂生産状況に関する調査の事例

A 崩壊地の時空間分布状況の調査例

崩壊地の時空間分布状況の調査結果の例として、厚井^{1,2)}による相模川水系中川流域における崩壊地の時空間分布の調査がある。崩壊地は、神奈川県が1929年に整理した関東大震災により発生した崩壊地分布図と、1967年、1978年、1988年、1999年に撮影された航空写真の判読結果を用いて抽出されている。それによると、関東大震災時に非常に多くの崩壊が生じたこと、1978年には規模の大きな豪雨の影響（1972年の山北災害）により多くの崩壊が発生しているなど、崩壊地分布の時系列的な情報が得られている。

B 生産土砂量の経年変化の調査例

B-1 崩壊面積から生産土砂量を把握する手法

崩壊面積 A_L から生産土砂量 V_L を推定する方法として、崩壊面積 A_L と生産土砂量 V_L の関係式、あるいは崩壊面積 A_L と崩壊深 D_L の関係式を予め求めておき、その関係式を用いて推定する事が考えられる。前者の関係式としては、例えば Guzzetti et al.³⁾ が提案している崩壊面積 A_L と生産土砂量 V_L の関係式（参1）を用いることが考えられる。

$$V_L = \alpha \times A_L^{1.450} \quad (\text{参1})$$

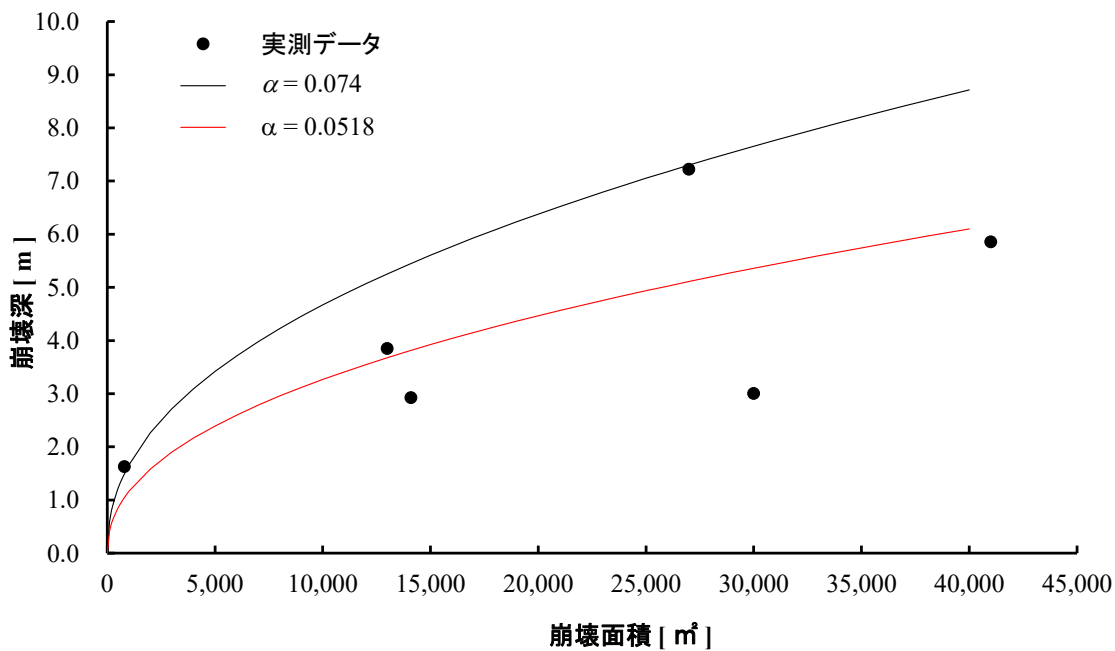
ここに、 α ：比例係数で、Guzzetti et al.³⁾によると0.074である。同様な崩壊面積と崩壊土砂量の関係についてはこれまで多数報告されている⁴⁾⁻⁶⁾。例えば、近年、Lasen et al.⁴⁾は世界各地のデータを収集し、表層崩壊と深層崩壊に分類し、それぞれ回帰式を提案している。また、Imaizumi & Sidle⁵⁾は1965年～2001年の空中写真を用いた崩壊地判読と現地調査結果をもとに、宮川流域における崩壊面積－崩壊土砂量関係を求めている。

一方、式（参1）の係数は、世界中のデータをよく説明できるように統計的に求められたものであり、地質の違いなどが考慮されていない。そのため、流域によってはより妥当性の高い係数を設定できれば、崩壊土砂量の予測精度が向上する可能性がある。例えば、対象とする流域内における崩壊地について崩壊面積 A_L と崩壊深 D_L の実測データが得られている場合、実測データをよく説明できるように比例係数 α を設定することが一つの方法として考えられる。なお、崩壊深 D_L は、Guzzetti et al.³⁾が提案している崩壊面積 A_L と生産土砂量 V_L の関係式（参1）から推定できると仮定すれば、次元的に式（参2）から求めることができる。

$$D_L = \alpha \times A_L^{0.450} \quad (\text{参2})$$

例えば、泉山ら⁷⁾は、小丸川水系渡川流域では平成17年に大規模な崩壊が発生

しており、そのときの崩壊土砂量は、空中写真判読結果から得られる崩壊面積 A_L と、式（参 2）から得られる崩壊深 D_L から推定している。このとき、泉山ら⁷⁾は、比例係数 α を参考図 3.3.1 に示すように渡川流域内で過去に発生した崩壊についての調査結果^{8), 9)}から得られる崩壊面積 A_L - 崩壊深 D_L 関係に適合するように修正した値 0.0518 を用いて崩壊土砂量を求めている。



参考図 3.3.1 崩壊面積 A_L と崩壊深 D_L の実測結果と式（参 2）による推定結果

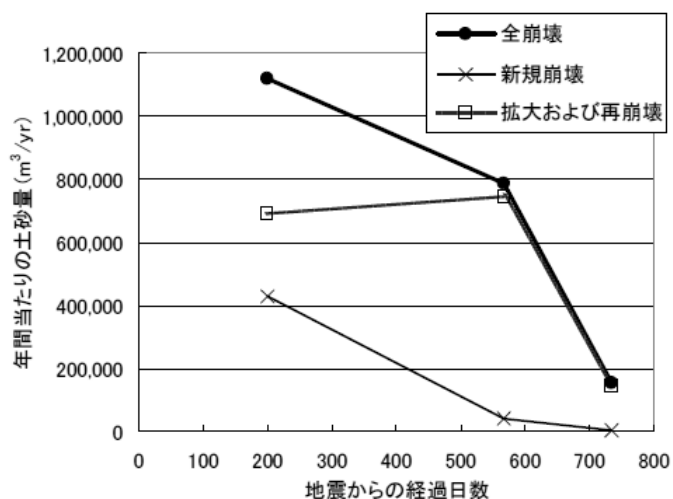
B-2 複数時期の航空レーザ測量データ（LP データ）を用いて生産土砂量を把握する手法

LP データが複数時期で存在する場合、LP データから数値地形モデルを作成し、標高の差分処理を行うことで崩壊地の変動量を算出することができる。これより、崩壊地からの生産土砂量を推定することができる。

田方ら¹⁰⁾、松岡ら¹¹⁾は、信濃川水系芋川における平成 16 年の新潟県中越地震による大規模な土砂生産後の土砂流出に関する調査を実施した。松岡ら¹¹⁾では、芋川において地震後の複数の時期での LP データをもとに平成 16 年以降の生産土砂量を推定した（参考表 3.3.1, 参考図 3.3.2）。なお、LP データから標高差分値を算出する範囲は、空中写真（参考表 3.3.1）の判読により抽出された崩壊地を対象としている。

参考表 3.3.1 LP データから生産土砂量を把握する際に使用したデータ¹¹⁾

データ	取得時期	計測日
航空レーザ	地震直後	2004 年 10 月 28 日
	2005 年春	2005 年 5 月 11, 17 日
	2006 年春	2006 年 5 月 15, 16 日
	2006 年秋	2006 年 10 月 28 日, 11 月 2 日
空中写真	地震直後	2004 年 10 月 24, 28 日
	2005 年春	2005 年 5 月 11 日
	2006 年春	2006 年 6 月 21~23 日
	2006 年秋	2006 年 11 月 2 日



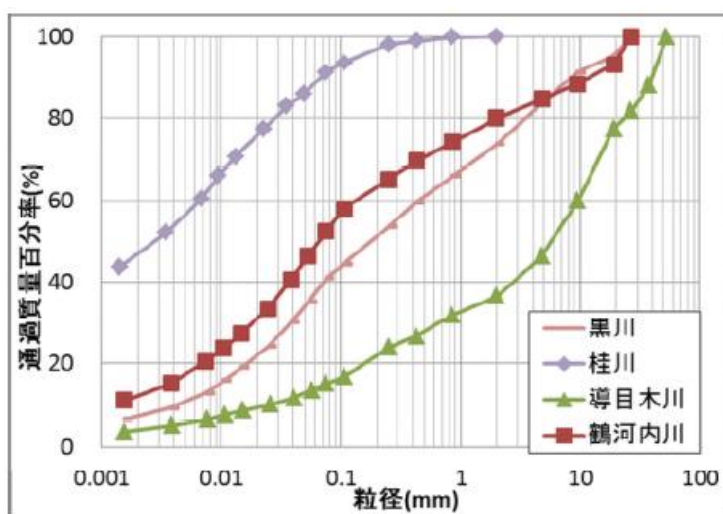
参考図 3.3.2 芋川流域における崩壊土砂量の経年変化（地震時を除く）¹¹⁾

C 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産後の土砂の堆積状況の調査例

清水, 帆足 (2018) ¹²⁾は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨の際に妙見川流域において発生した崩壊による生産土砂量および河床に堆積した土砂量を推定している。推定にあたっては災害発生前 (平成 29 年 1 月)、災害発生後 (平成 29 年 7 月) に取得された LP データの差分解析を用いており、差分解析の範囲はオルソ画像から分かる崩壊範囲と河床上の土砂堆積範囲としている。2 時期の標高差分から、妙見川流域における生産土砂量は約 34 万 m³、河床に堆積した土砂量は約 27 万 m³であったと推定しており、生産土砂量の約 8 割が妙見川流域内の河床に堆積したと報告している。

D 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産時の生産土砂の粒径の調査例

平成 29 年 7 月九州北部豪雨で土砂生産が発生した筑後川右岸の黒川 (泥質片岩)、導目木川 (結晶片岩と花崗岩)、桂川 (緑色片岩)、鶴河内川 (礫岩) のそれぞれについて、崩壊地から採取した土砂の粒度分布試験が実施され、粒度分布形状が大きく異なることが示されている (参考図 3.3.3) ¹³⁾。このように、生産土砂の粒径調査を実施する場合は、地質分布などを考慮し、調査地を選定することが重要である。



参考図 3.3.3 粒径分布 ¹³⁾

【土砂生産状況に関する調査に関する参考文献】

- 1) 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
- 2) 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
- 3) Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., Valigi, D. (2009): Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy, *Earth and Planetary Science Letters*, 279(3-4), pp. 222 – 229
- 4) Larsen, I. J., Montgomery, D. R., Korup, O. (2010): Landslide erosion controlled by hillslope material, *nature geoscience*, Vol. 3, pp. 247 – 251
- 5) Imaizumi, F., Sidle, R. C. (2007): Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112
- 6) 平野晶繁, 大森博雄 (1989) : 土砂移動現象における規模・頻度の分布特性とその地形学的意義, *地形*, Vol. 10, pp. 95 – 111
- 7) 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
- 8) 高橋正佑, 谷口義信 (1980) : 宮崎県南郷村松の内崩壊に関する研究, 昭和 55 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.36 – 37
- 9) 清水収 (2009) : 大規模土砂災害の発生履歴と土砂移動規模の評価, *砂防学会誌*, Vol.61, No.6, pp.36 – 42
- 10) 田方智, 栗原淳一, 桜井亘, 小川紀一郎, 吉野弘祐, 山本悟 (2007) : 中越地震後の芋川流域における土砂生産量の推移, 平成 19 年砂防学会研究発表会概要集, pp.300 – 301
- 11) 松岡暁, 山越隆雄, 田村圭司, 長井義樹, 小竹利明, 坂井等, 丸山準, 久保毅, 佐藤匠 (2009) : 新潟県中越地震後の芋川流域における土砂動態変化, 平成 21 年砂防学会研究発表会概要集, pp.306 – 307
- 12) 清水収, 帆足直 (2018) : 2017 年九州北部豪雨により筑後川水系妙見川で発生した斜面崩壊の地形的特徴と土砂移動量, 平成 30 年砂防学会研究発表会概要集, pp.437 – 438
- 13) 千葉伸一, 長谷川陽一, 村田郁央, 野呂智之, 北原哲郎, 瀬戸秀治, 王昭雯, 上原祐治, 中尾邦彦 (2018) : H29 九州北部豪雨で崩壊した斜面での調査事例報告その 1–3 つの地質帯における表層崩壊地の特徴比較一, 平成 30 年砂防学会研究発表会概要集, pp.153 – 154

② 土砂流出状況に関する調査の事例

A 流出土砂量と土砂の流出特性の経年変化に関する調査例

厚井^{1), 2)}は、相模川水系中川川流域では、三保ダムにおける堆砂量データを用いて流域からの経年的な流出土砂量を調査した。ここで、貯水ダム等における堆砂量のデータから上流域からの流出土砂量を推定するにあたっては、貯水ダムへ流入してくる土砂のうち、ダムを通過する土砂の割合を推定することが重要である。貯水ダムを通過する土砂の割合については、様々な手法・推定式が提案されている（厚井^{1), 2)}、鈴木ら³⁾、Morris & Fan⁴⁾、吉良⁵⁾など）。例えば、厚井^{1), 2)}は Brown 式(参 3)を用いてダム貯水池における土砂の捕捉率を算出し、ダムを通過する土砂量を評価した。

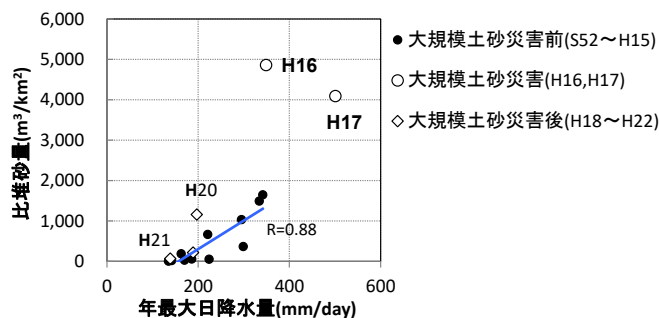
$$E_T = 1 - \frac{1}{1+K \cdot C/F} \quad (\text{参 3})$$

ここに、 E_T ：捕捉率（ダム堆砂量 / 流入土砂量）、 K ：定数、 C ：ダム総貯水容量[m³]、 F ：流域面積[km²]である。定数 K は吉良（1978）⁴⁾により全国・地域別の平均値として示される値が使用できる。また、ダムへの年平均総流入量が判明している場合は、式(参 3)の代わりに Brune の関係図³⁾を使用することも考えられる。ただし、(社)日本大ダム会議土砂管理分科会⁶⁾が指摘しているように、Brown 式や Brune の関係図は、流域面積、ダムの総貯水容量から簡便にダム貯水池における土砂の捕捉率が算出されるものの、粒径や流入量の影響は評価が難しい。

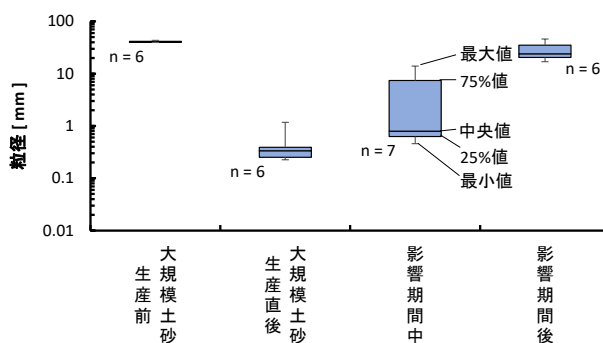
B 流出土砂量と降雨特性の関係

流出土砂量は、水流の作用により移動可能な土砂が河床上に十分に堆積している状態であっても、流量の大小に依存する。そこで大規模土砂生産の影響を評価するにあたっては、年ごとの流量の違いが与える影響を取り除く必要がある。しかし計測が困難であることから山地流域においては流量の計測が十分になされていない。そこで、年間での流出土砂量をコントロールすると考えられる降雨指標（年降水量、年最大日雨量、年最大3日雨量、年最大3位までの雨量の合計など）を用いて影響を取り除くことが考えられる。例えば、芦田・奥村⁷⁾は、流出土砂量と関係のある指標として年最大日雨量を用いている。川辺川においては、流出土砂量と降雨指標（年降水量、年最大日雨量、年最大時間雨量）、水文指標（年総流出量、年最大流量）との相関関係を検討した結果、年最大日雨量との相関が最も高いことが示されている（参考図 3.3.4）⁹⁾。そこで、川辺川流域においては、年流出土砂量を年最大日雨量で除することなどにより、雨の降り方の影響を除外することが一定程度できると考えられる。ただし、降雨と流量の間には非線形性があるため、降雨指標と流出土砂量の間には強い正の相関が常に存在する

わけではないことに注意を要する。また河床のアーマー化が進み移動可能な土砂が十分に存在していない場合にも正の相関がみられない。高橋⁸⁾は、高瀬ダムの年堆砂量と近傍の雨量観測所における年最大日雨量との関係を比較検討した結果、ある程度の相関があるものの、年最大日雨量だけでは年流出土砂量を説明できないことを指摘している。



参考図 3.3.4 年最大日降水量と比堆砂量との関係⁹⁾



参考図 3.3.5 大規模土砂生産前後の平均粒径の変化
(芋川-東竹沢第二砂防堰堤流域)

C 中期土砂流出を引き起こす大規模土砂生産にともなう河床材料の粒径変化に関する調査例

大規模土砂生産後の土砂流出状況は、大規模土砂生産後に河床に残存する不安定土砂の粒度分布の影響を強く受ける。そこで、河床材料の粒度分布の変化を経年的に把握することは、流出土砂量と影響期間の予測のために重要となる。芋川では大規模な土砂生産発生の前後の複数の地点で河床材料の粒径分布調査が実施されており¹⁰⁾、その結果を参考図 3.3.5 に示す。参考図 3.3.5 には、下記 A~D の期間の河床材料の平均粒径を示した：

- A. 大規模土砂生産前 (平成 14 年)
- B. 大規模土砂生産直後 (平成 16 年)

C. 土砂流出活発期間中（図中では影響期間中）（平成 19 年）

D. 土砂流出活発期間後（図中では影響期間後）（平成 28 年～29 年）

その結果、大規模土砂生産直後 B は河床材料が細粒化していることが分かる。
その後、徐々に平均粒径が大きくなり、粗粒化していることが分かる。

【土砂流出状況に関する調査に関する参考文献】

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 鈴木伴征, 柏井条介, 吉岡喜浩（2014）：鯖石川ダム堆砂実績を用いた粒径別流入土砂量の推定, *ダム工学*, Vol.14, No.4, pp. 257 – 269
- 4) Gregory L. Morris, Jiahua Fan 著, 角哲也, 岡野眞久監訳（2010）：貯水池土砂管理ハンドブック 技報堂出版
- 5) 吉良八郎（1978）：日本における貯水池の捕ソク率と土砂収支, *農業土木学会論文集*, 第 78 号, pp.16 – 23
- 6) 社団法人日本大ダム会議 土砂管理分科会（2010）：土砂管理分科会報告－貯水池の土砂動態と土砂制御工法－, *大ダム*, 第 212 号, pp. 12 – 129
- 7) 芦田和男, 奥村武信（1977）：豪雨時の流出土砂量に関する資料の解析研究, *自然災害資料解析*, Vol. 4, pp.85 – 91
- 8) 高橋保（2006）：土砂流出現象と土砂害対策, 近未来社
- 9) 堀江克也, 樋田祥久, 岡村誠司, 内田太郎, 林真一郎, 丹羽諭, 岡本敦（2013）：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 年砂防学会研究発表会概要集, pp.B-42 – B-43
- 10) 桜井亘, 内田太郎, 松本直樹, 泉山寛明, 堀江克也, 岡村誠司, 大崎奈央子, 亀田涼, 高橋一徳（2018）：大規模土砂生産を含む山地流域の土砂流出特性, 平成 30 年砂防学会研究発表会概要集, pp.189 – 190

【参考：数値計算の事例・留意点】

山地流域の土砂動態に関する数値解析事例については数多くあるが、数年の流域土砂動態（特に河床上昇・低下、流出土砂量の時間変化）を予測するためには、2次元河床変動計算は計算負荷が高く現実的でないことが多い。また、春木川のように比較的小流域の中で大規模な崩壊が一つ、発生する場合もあれば、小渋川のように比較的大流域の中で複数の大規模崩壊が発生する場合もあり、対象とする流域面積によって計算負荷は異なる。したがって、中期的な土砂動態予測のためには、小流域を対象とした場合は、降雨流出モデル等を用いて別途、ハイドログラフを設定した後に1次元河床変動計算モデル（不等流、不定流）により計算する手法^{例えば 1)~4)}が考えられる。一方で、大流域では計算負荷の軽減のため、キネマティックウェーブ法を用いたモデルの適用^{例えば 5)~8)}が考えられる。これまでの研究で対象とされた流域の面積と採用された計算グリッドの大きさ、計算モデルの関係については横尾ら⁹⁾が参考になる。以上を踏まえ、大規模土砂生産後の土砂流出が活発な期間の土砂動態に関する解析については、同期間の土砂動態の特徴を考慮し、以下の点に留意することが考えられる。

① 計算対象期間

中期の土砂流出現象に関する数値計算においては、現象のすべてを対象に計算を実施すると計算時間が非常に長くなることが考えられる。そこで長時間を対象とする計算を行う場合には、計算対象期間を土砂流出が顕著な期間に絞り、計算の効率化を図ることが考えられる。具体的には、例えば流砂水文観測データから河床材料が移動を開始するために必要な流量を推定し、それ以下の流量の時間帯の計算を省略する¹⁾ことが考えられる。

② 土砂供給条件

大規模な土砂生産が発生した場合、生産土砂の一部は斜面上に残土として残存するため、流出する土砂量は残土率に大きく左右される。しかしながら、残土率を予測することは現段階でも困難であり、経験的に定めるにしても、過去に大規模土砂生産現象が発生していない流域では困難である。したがって、残土率をいくつか設定して感度分析を行ったり、土砂供給や供給土砂の粒径を変化させるタイミングについてのいくつかのシナリオを設定して計算を実施¹⁰⁾したりすることが考えられる。一方、過去に大規模土砂生産現象が発生している流域については、大規模土砂生産発生直後の土砂収支図（参考図 2.2.2）等を参考として土砂供給量を設定することが考えられる。また、供給土砂の粒径分布は数値計算結果を大きく左右することから、溪岸等に堆積した細粒分を含む河床材料や山腹の土砂の粒径分布を取得し、これを考慮することが望ましい。

③ 大規模土砂生産にともなう河床材料の細粒化及びその後の粗粒化の考慮

大規模土砂生産発生前後を比べると、発生後には河床に細粒土砂成分を多く含み、その後、選択的な流出により粗粒化が進む。影響期間の長短は細粒分土砂の存在割合と正の相関関係にあると考えられる。そのため、河床変動計算を実施するにあたっては、初期条件として大規模土砂生産前に粗粒化が進んでいた場合は適切にそれを反映し、境界条件として供給する土砂の粒径は生産土砂がより細かな土砂を含んでいることを考慮して設定するなど、計算にあたっては粒径分布の時間変化を適切に表現できるような条件設定を行う必要がある。河床や供給土砂の粒径分布設定については丹羽ら¹⁾や栢木ら²⁾が、また細粒分の流出による粒度分布の変化、アーサーコート³⁾の発達に関する再現計算の事例として江頭・松木⁴⁾などが参考になる。

④ 流れ幅の設定

大規模土砂生産により河床に堆積した土砂はその後、時間をかけて下流に流下する。土砂は小規模、中規模の出水によっても流出するが、その場合は水が河幅全面にわたってあるわけではなく、水みちを形成し、蛇行して砂州を形成する場合がある（参考図 5.1.4）。また、計算が数年と長時間を対象として実施されるため、例えば流れ幅を適切に考慮していない場合は、掃流力が適切に評価できないために流砂量を適切に評価できないなど、十分な精度の結果が得られない可能性がある。したがって一次元河床変動計算を実施するにあたっては狭窄部、流れ幅等の設定が重要となる。例えば高橋ら⁵⁾は、上流端付近など河道幅の判読が難しい箇所についてレジーム則を用いて河道幅を推定している。そのほか丹羽ら¹⁾は、大規模な土砂生産があった春木川の河床変動計算を実施するに当たり、レジーム則を用いて流れ幅を設定している。

【現象を評価する数値計算に関する参考文献】

- 1) 丹羽諭, 内田太郎, 泉山寛明, 桜井亘, 大野亮一, 寺田秀樹, 里深好文 (2018) : 大規模土砂生産後の土砂流出を対象とした河床変動計算における流れ幅の設定の影響, 砂防学会誌, Vol.70, No.6, pp.34~45.
- 2) 栢木敏仁, 水山高久, 佐藤一幸, 村上正人 (2007) : 土砂生産のタイミングを考慮した土砂生産・流出に関する研究, 砂防学会誌, Vol. 59, No.5, pp. 15 – 22
- 3) Mouri, G., Shiiba, M., Hori, T., Oki, T. (2011) : Modeling reservoir sedimentation associated with an extreme flood and sediment flux in a mountainous granitoid catchment, Japan, Geomorphology, Vol.125, pp. 263 – 270.
- 4) Heinmann, F. U. M., Rickenmann, D., Böckli, M., Badoux, A., Turowski, J. M., Kirchner, J. W. (2015) : Calculation of bedload transport in Swiss mountain rivers using the model sedFlow:

proof of concept, *Earth Surface Dynamics*, Vol. 3, pp.35 – 54

- 5) 江頭進治, 松木敬 (2000) : 河道貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法, 水工学論文集, Vol. 44, pp. 735 – 740
- 6) 高橋保, 井上素行, 中川一, 里深好文 (2000) : 山岳流域における土砂流出の予測, 水工学論文集, Vol. 44, pp. 717 – 722
- 7) 富田陽子, 森俊勇, 宮貴大, 武藏由育, 鈴木伴征, 水山高久 (2014) : 流域管理システム (WMS) のための土砂流出計算モデルと河床変動計算モデルの作成, 砂防学会誌, Vol.66, No.5, pp. 3 – 12
- 8) 山野井一輝, 藤田正治 (2015) : 大規模な土砂生産および洪水後の土砂管理に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) , Vol.71, No.4, pp. I_961 – I_966
- 9) 横尾善之, 丹羽諭, 内田太郎, 平岡真合乃, 勝山正則, 五味高志, 水垣滋, 浅野友子 (2018) : 山地流域の水・土砂流出における空間スケールの影響(3) : 数値解析モデル上の取り扱い事例, 水文・水資源学会誌, Vol.31, No.4, pp. 245 – 261
- 10) 内田太郎, 蒲原潤一, 松本直樹, 桜井亘 (2016) : 大規模土砂生産後の影響を評価する河床変動計算を用いた実用的な流域土砂動態解析手法, 土木技術資料, Vol.58, No.2, pp.8 ~11.

4. 対策の基本的な考え方

4.1 概要

中期土砂流出対策に関する施設整備による対策は、今後生じうる大規模土砂生産を想定して事前に実施する事前対策と大規模土砂生産が生じた後に実施する緊急的な対策を組み合わせることを基本とする。

事前対策は、将来生じうる大規模土砂生産直後の活発な土砂流出に対して、効率的かつ迅速に対策するために実施する。すなわち、大規模土砂生産直後に新たな施設の設置等に十分な猶予期間がない場合に、除石等の緊急的な対策を実施するために有効な対策の準備を事前に実施しておくことを基本とする。具体的には、砂防堰堤の設置等に加え、緊急的な対策に備えた施設（例、除石可能な堰堤、土砂の仮置き場、シャッター堰堤、遊砂地など）の配置も考えられる。

なお、事前対策を検討・実施するのは中期土砂流出対策を対象とし、長期土砂流出対策については、大規模土砂生産後に実施する5. 土砂流出状況に応じた対策実施等のための調査・解析による土砂流出状況の実態把握結果を踏まえて必要性を検討することとする。

中長期土砂流出対策のための施設については、その他の現象(図1のA及びD、E)についても効果が発揮できるようにすることが望ましい。

4.2 対象とする計画規模の考え方

対象とする生産土砂量は、検討対象流域の短期土砂流出対策(図1のA)の計画と整合させることとし、短期土砂流出対策で対象とする計画生産土砂量のうち、一連の降雨継続期間中に流出しきらず流域内の斜面、河道に堆積した状況にある土砂を想定することを基本とする。

事前対策の対象とする計画基準点における流出土砂量の規模は、3.2.2 土砂流出状況に関する調査・解析による手法で求められる土砂流出活発期間における流出土砂量(図5の紫破線枠)を上限とし、砂防堰堤における除石の可能性(除石の頻度等)を考慮した上で、土砂流出活発期間における平均的な数ヶ月から数年間の土砂流出量(図5の青破線枠)とすることを基本とする。たとえば、過去数年間の実績の雨(斜面崩壊やアーマーコート破壊を引き起こした雨は除く)を用いて降雨流出解析により数年間分の流量を設定し、対象とする生産土砂量を上限として流域内の堆積土砂を流量見合いで平衡給砂をし、計画基準点における流出土砂量を算定することが考えられる。また、斜面崩壊・土石流による新たな大規模な土砂生産は生じないものの、土砂流出活発期間に生じる蓋然性の高い比較的規模の大きい一連の降雨時(例えば、10年確率の規模の降雨

時)の土砂流出により、顕著な被害のおそれがある場合は、これを対象とすることも考えられる(図5の赤破線枠)。

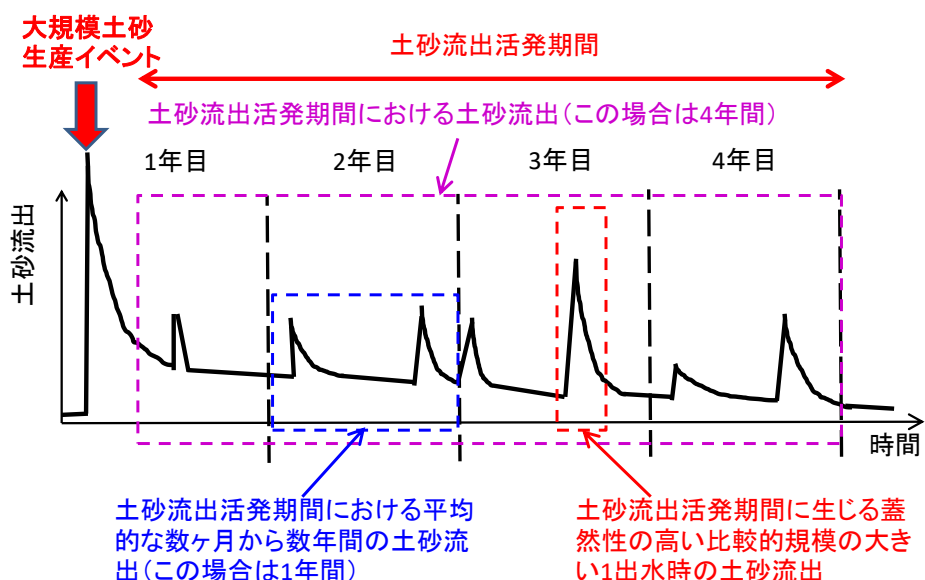


図5 対象規模のイメージ

4.3 総合土砂管理計画との関係

中期土砂流出対策は、長期土砂流出対策とともに、総合土砂管理計画との整合性に留意する。すなわち、大規模土砂生産後に生じる新たな土砂動態を踏まえた総合土砂管理計画の見直しが実施される場合(図6参照)においては、中期土砂流出対策として実施される緊急的な対策と、見直される総合土砂管理計画とは相互に調整し整合を図ることを基本とする。なお、中期土砂流出対策及び長期土砂流出対策で対象とする現象以外は必要に応じて総合土砂管理計画で対応することを検討する。大規模土砂生産後の総合土砂管理計画の見直しは以下の参考文献が参考になる。

【参考文献】

- 1) 一般財団法人国土技術研究センター(2019) 総合土砂管理計画策定の手引き 第1.0版

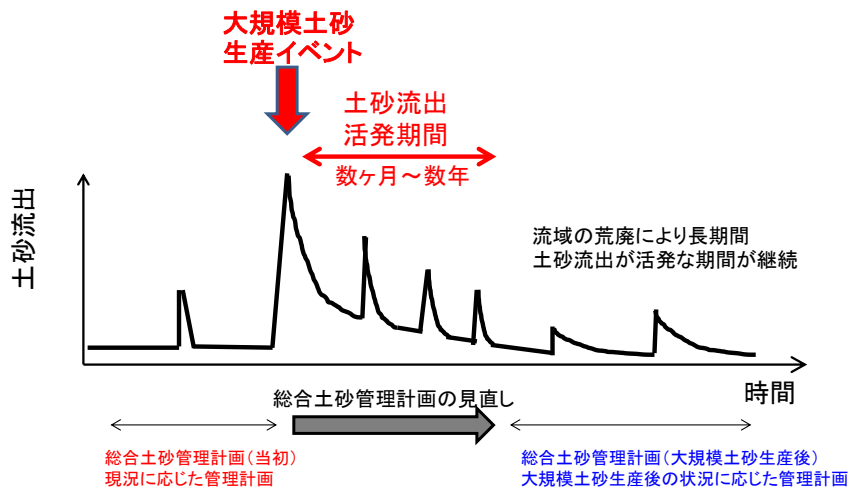


図6 総合土砂管理計画と大規模土砂生産のイメージ

4.4 施設配置計画の検討の考え方

施設配置計画の検討は、現地調査、資料調査による施工の実効性の検討等とともに、施設の効果評価を河床変動計算等により行うことを基本とする。検討した施設配置計画では十分な効果が得られないと判断された場合、施設配置計画を見直して、再度、河床変動計算等により効果評価を行う。

中期土砂流出対策としては、まず、短期土砂流出対策など中期土砂流出対策以外の現象を対象として既に設置された、土砂流送制御を主な目的とする施設（砂防堰堤、遊砂土工など）の活用を検討することを基本とする。

ただし、既設の砂防施設を活用することによっても計画規模の土砂量を捕捉することが困難な場合や、経済性等の観点から設置することが妥当と判断される場合は、新たに施設の概略位置、概略の規模、施設の型式について検討する。

施設の概略位置の検討にあたっては、対象領域内の施設効果の大きい箇所を抽出し、施設効果の大きい箇所から優先的に施設配置を検討するなど、効果的な施設配置を目指す。一般的に、土砂流送制御を目的とした施設においては、以下のような施設の効果が大きいと考えられる。

- ・ 空き容量が確保されている（大きい）堰堤
- ・ 保全対象に近い位置にある施設
- ・ 対象とする保全対象周辺の河床変動への寄与が大きい流域・区間の施設

施設の規模については、河床変動計算等により算出される、施設の概略位置における流出土砂量を捕捉できるよう検討することを基本とする。

施設の型式については、大規模土砂生産後の流出土砂の量や粒径は大規模土

砂生産前と異なるとともに、時間の経過とともに変化すると考えられことから、大規模土砂生産後の土砂流出状況（量、粒径）に応じて、堰堤の型式・形状を変更できる施設を積極的に検討する。さらに、土砂流出活発期間は数年以内であることも多いため、土砂流出活発期間以降の土砂流出現象にも対応できるような堰堤の型式・形状を検討しておくことも必要である。

4.5 除石計画

土砂流出活発期間中の除石により、堰堤の捕捉・堆積容量確保のための計画を検討する。また、除石した土砂の運搬路及び土砂の仮置き場を事前に準備しておくことを基本とする。

【参考：シャッター堰堤の事例】

大規模土砂生産後は、大規模土砂生産前に比べて活発な土砂流出が発生することが考えられるため、下流への流出土砂を抑制するために、大規模土砂生産後の流出土砂を捕捉できるよう、大規模土砂生産前には捕捉する容量をできるだけ確保しておくことが望ましい。そのための方法の一つとして、シャッター堰堤の活用が考えられる（参考図 4.5.1、4.5.2）。シャッター堰堤は水山¹⁾によると流域の状況、土砂流出の特性、管理・運用する主体によっていくつかの種類が考えられるとしている：

クラス1：大暗渠砂防堰堤、開口部の大きなスリット砂防堰堤で、部材が準備されればシャッター砂防堰堤にできる可能性のある場合。

クラス2：クラス1の堰堤に対しシャッター用の部材が既に準備されている場合。天然ダム発生時等、異常事態時に活用。

クラス3：クラス2の堰堤に対し、出水期の出水時にも土砂を捕捉する機能を有する場合。

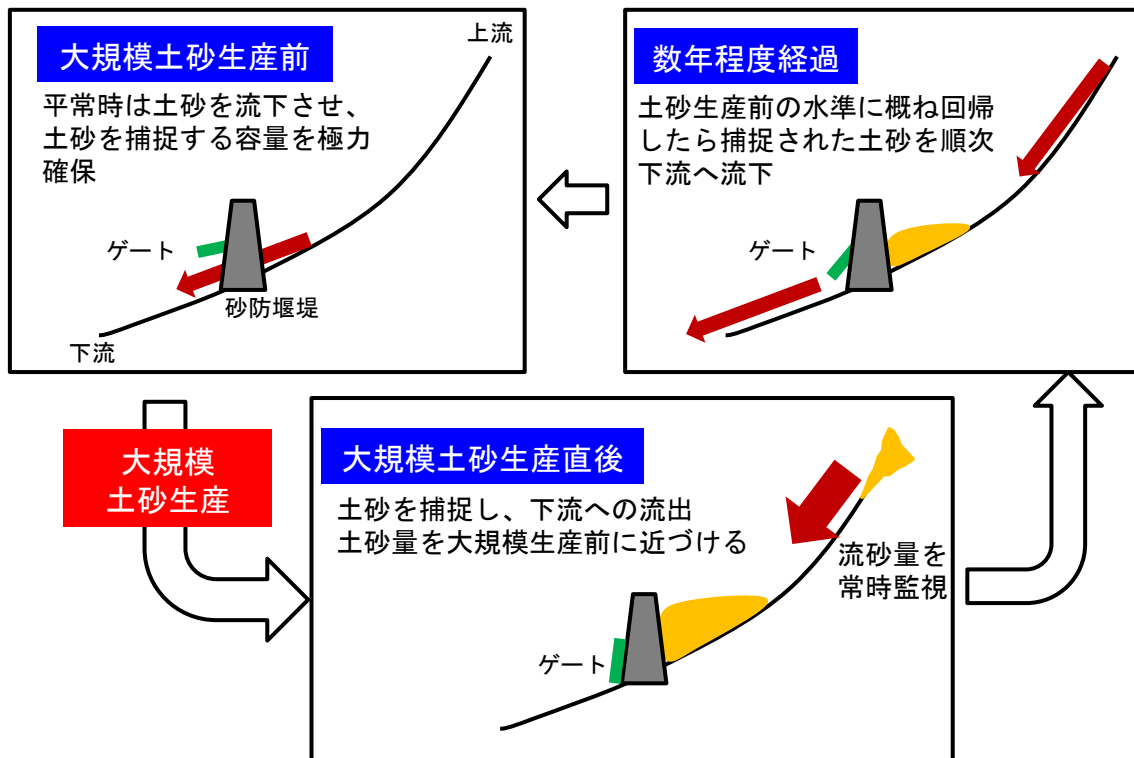
クラス4：必要な時にシャッターを閉める構造、運用体制を有する場合

クラス5：必要な時にシャッターを油圧等で開閉する構造、運用体制を有する場合。

現在では姫川水系高瀬川支川扇沢の扇沢砂防堰堤²⁾、木曾川水系与川支川上山沢の上山沢第一砂防堰堤³⁾、常願寺川本川の妙寿砂防堰堤^{4),5)}にはシャッターが設置され、試験運用されている。



参考図 4.5.1 対策施設としてのシャッター堰堤のイメージ
(アルプス SABO News⁶⁾ に一部加筆)



参考図 4.5.2 シャッター堰堤の運用イメージ

【シャッター堰堤に関する参考文献】

- 1) 水山高久 (2015) : わかりやすい砂防技術, 全国治水砂防協会
- 2) 神野忠広 (2009) : スリットを改良したシャッター付砂防堰堤の試験施工, 土木施工, 2009年6月号
- 3) 川村崇成, 今井一之, 伊藤仁志, 大矢健司, 有澤俊治, 守山浩史 (2014) : 上山沢第1砂防堰堤における鋼製砂防シャッター堰堤の改良事例, 平成26年度砂防学会研究発表会概要集, B-266 – B-267
- 4) 三上幸三, 長山孝彦, 田方智, 伊藤隆郭, 水山高久 (2014) : 常願寺川における可動式シャッター砂防堰堤の設置と運用について, 砂防学会誌, Vol.66, No.5, pp.42 – 48.
- 5) 大坂剛, 金子秀樹, 高橋至, 寺崎賢一, 長山孝彦, 松田悟, 古谷智彦, 水谷佑, 伊藤隆郭, 水山高久, 藤田正治 (2018) : 妙寿砂防堰堤の可動式シャッターの試験運用と流砂観測データを用いた検証, 平成30年砂防学会研究発表会概要集, pp.195 – 196
- 6) 松本砂防事務所 アルプス SABO NEWS (2009年11月20日)
<http://www.hrr.mlit.go.jp/matumoto/news/pno0240.html>

5. 土砂流出状況に応じた対策実施等のための調査・解析

5.1 調査・解析の概要・目的

本章に基づき実施する調査・解析は、土砂流出状況に応じた対策の実施、緊急的な対策の終了の判断や長期土砂流出対策の必要性の検討のために、土砂流出状況を把握・予測することを目的とし実施する。

また、大規模土砂生産以前の状況との比較を行うために、中期土砂流出対策を実施する流域では、常時、土砂流出状況に関する調査・解析を実施することを基本とする。ただし、常時の観測については、予算・労力を勘案して、土砂流出状況を把握可能な観測体制とする。

5.2 土砂流出状況把握のための調査

大規模土砂生産後の土砂流出状況 把握のための調査は、下記の項目に関して継続的なモニタリングを実施することを基本とする。

- ① 流出土砂量および流出特性（降雨量、水理量と流出土砂量の関係）
- ② 河床材料の変化
- ③ 流域内に残存した生産土砂の状況の経年変化
- ④ 狭窄部、勾配変化点、横断工作物等の設置地点における河床変動の状況

流出土砂量及び流出特性の把握にあたっては流砂水文観測¹⁾が有効である。また、流域内に残存した生産土砂の状況の経年変化を把握する上では、地形測量に加えて、定点写真が有効である。

【参考文献】

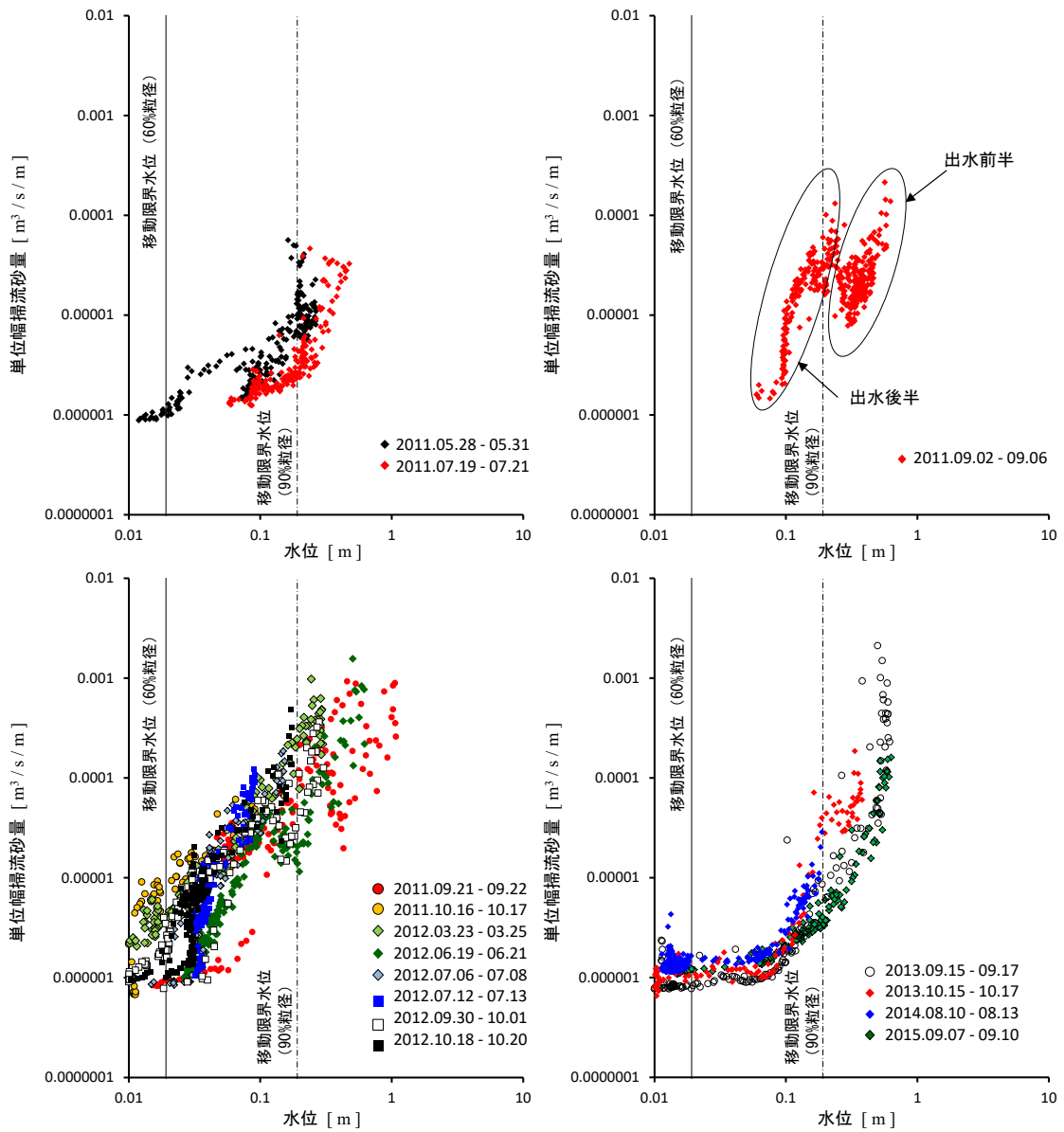
- 1) 河川砂防技術基準（調査編）

【参考：モニタリングの事例】

① 流砂水文観測の事例

流砂量の大小は、河床上の土砂の存在状況、上流域における土砂生産の頻度、規模に依存している。例えば、上流域での土砂供給がそれほどなく、アーマーコートが発達している溪流では流砂量が少ないものの、斜面崩壊等により土砂が河床へ供給された後は、それまでに比べて多くの流砂がしばらくの間発生し、やがて土砂供給前の状態に遷移する。したがって、ハイドロフォン等による流砂水文観測^{1)~5)}を長期的に実施することで、上流域の状況の変化、河床上の土砂量の変化を知ることができる。

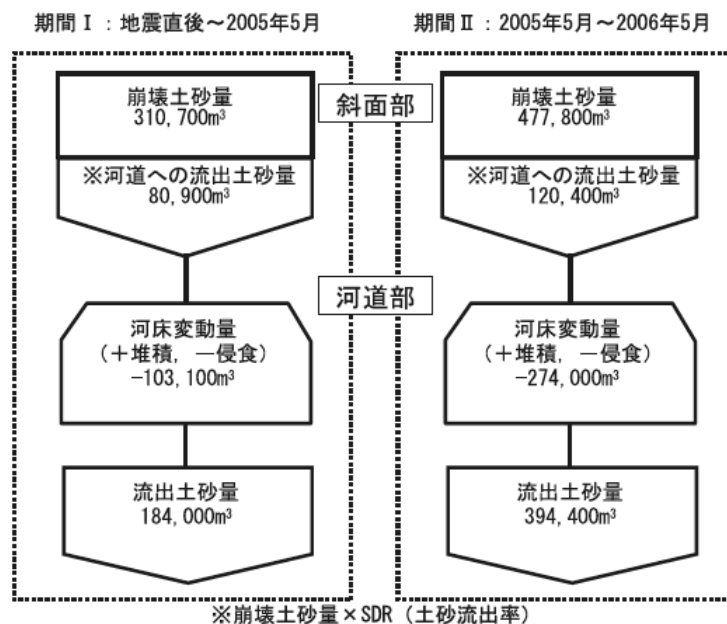
富士川水系大武川に設置されたハイドロフォンで長期的に掃流砂量をモニタリングした結果を整理したところ⁶⁾、2011年9月の台風12号をきっかけとして、以前に比べて掃流砂量が増大しその傾向が1年程度継続していることが推察されている。また、2013年以降では2011年9月の台風12号前の傾向に回復していることが推察されている（参考図5.1.1）。



参考図 5.1.1 流砂環境の経年変化（大武川第 50 床固）

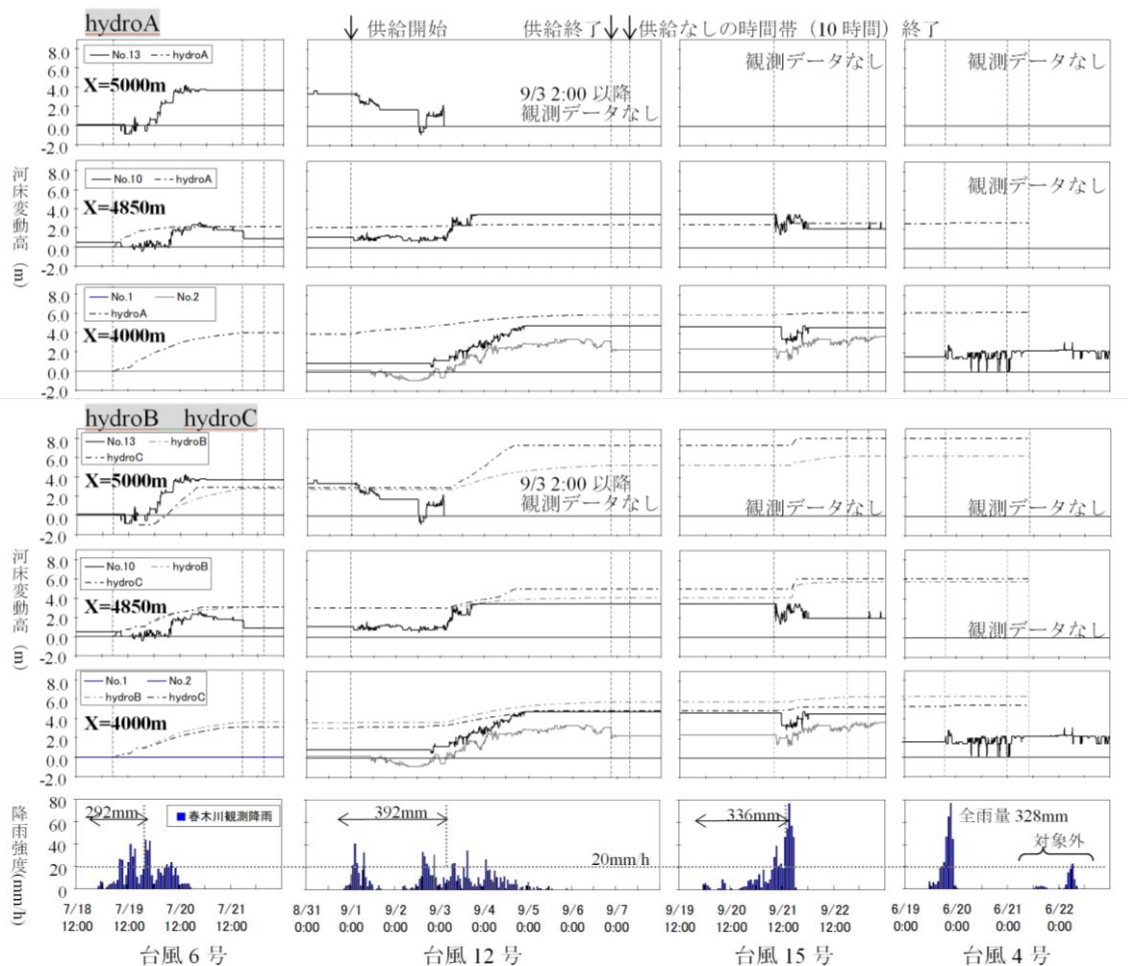
② 地形測量・定点観測の事例

地形測量や定点観測は、中期的な土砂動態を把握する上で有効な方法である。例えば、松岡ら⁷⁾は芋川流域を対象とした航空レーザ計測データの差分解析により、2004年新潟県中越地震により大規模な土砂生産が発生した後の2年弱における流域土砂動態の定量的な把握を行っている。地震直後の2004年10月、2005年5月、2006年5月の測量結果を用いた差分解析から、新規崩壊、拡大崩壊、再崩壊による斜面部からの生産土砂量および生産土砂量のうち河道部へ流出した土砂量の経年的な変化を推定している。さらに差分解析により河床変動量を推定し、芋川流域からの流出土砂量の経年変化を推定している（参考図5.1.2）。



参考図 5.1.2 芋川流域における生産土砂量と東竹沢地区への流出土砂量⁷⁾

丹羽ら⁸⁾は、春木川に設置されている砂面計の定点観測結果を用いて、平成 23 年に春木川で発生した大規模土砂生産後の河床の時系列変化の実態を明らかにしている（参考図 5.1.3）。それによると、平成 23 年の台風 6 号、12 号の際に河床上昇が進行し、その後の台風 15 号時においては上昇した河床が維持され、翌年の台風 4 号が来襲する際には既に河床低下していることが分かる。春木川の砂面計設置箇所における定点写真を見ると、大規模土砂生産前は河床上に大きな砂礫が堆積している状態から、大規模土砂生産直後は細粒分により河床が覆われている。一方、大規模土砂生産から 3 年後には、河床の土砂が流送されてみお筋ではアーマー化が進んでいるものの、みお筋以外では細粒分が残存している様子が分かる（参考図 5.1.4）。



参考図 5.1.3 砂面計を用いた春木川の河床高の時系列変化⁸⁾

(No. は設置された砂面計による測量結果を、hydroA～C は原著論文での河床変動計算で与えたハイドログラフのパターンに対する計算結果を表す)

大規模土砂
生産前



河床は比較的粗い礫に覆われている

大規模土砂
生産直後



河床は比較的細かい材料に覆われている。

大規模土砂
生産半年後



河床は侵食し、一部は粗粒化が進んでいるが、大規模土砂生産前に比べると河床材料は細かい。

大規模土砂
生産3年後



さらに侵食し、滞筋付近では粗粒化が進んでいる。滞筋以外では、大規模土砂生産前に比べると河床材料は細かい。

参考図 5. 1. 4 春木川に設置された砂面計周辺の河床材料の変化
(富士川砂防事務所撮影)

【モニタリングに関する参考資料】

- 2) 河川砂防技術基準（調査編）
- 3) 山地河道における流砂水文観測の手引き（案），国土技術政策総合研究所資料第 686 号
- 4) 山地河道の流砂水文観測における濁度計観測実施マニュアル（案），国土技術政策総合研究所資料 第 792 号
- 5) 山地河川における流砂水文観測データ（平成 21～25 年度），国土技術政策総合研究所資料 第 886 号
- 6) 近年の山地河川における流砂水文観測，国土技術政策総合研究所資料 第 887 号
- 7) 内田太郎，井内拓馬，桜井亘，田中健貴（2016）：流砂水文観測に基づく山地河川の流砂特性の把握，土木技術資料，Vol.58, No.10, pp.14 – 17
- 8) 松岡暁，山越隆雄，田村圭司，長井義樹，丸山準，小竹利明，小川紀一郎，田方智（2009）：LiDAR データの差分処理による流域土砂動態把握の試み，砂防学会誌，Vol.62, No.1, pp.60 – 65
- 9) 丹羽諭，内田太郎，蒲原潤一，里深好文（2014）：土砂生産のタイミングが河床変動に及ぼす影響に関する数値計算，第 7 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.181 – 186

5.3 土砂流出状況把握のための調査結果の解析・活用

大規模土砂生産後の土砂流出状況の調査結果は、流出土砂量及びその経年変化、下流域や貯水池等に及ぼす影響を把握・予測し、土砂流出状況に応じた対策の実施、緊急的な対策の終了の判断や長期土砂流出対策の必要性の検討に活用する。特に、土砂流出状況に応じて施設の型式・形状を変更可能な施設を有する流域では、調査・解析結果を参考にし、最適な当該施設の型式・形状を決定することが考えられる。解析にあたっては、モニタリング結果と河床変動計算を組みあせて、将来の状況を予測することが考えられる。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 1115 June 2020

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675