

# 國土技術政策總合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1115

June 2020

## 大規模土砂產生後活躍 土砂流出之對策基本構想（案）

泉山寬明、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

國土交通省 國土技術政策總合研究所

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

大規模土砂產生後活躍土砂流出之對策基本構想（案）

泉山寬明\* 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

本資料係以大規模土砂產生發生後持續一陣子的活躍土砂流出為對象，彙整其現象特徵、檢討對策計畫所需之調查方法、對策基本構想、及土砂流出之監測方法。

關鍵字：大規模土砂生產、土砂流出、砂防基本計畫

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 客座研究員 Visiting Researcher, Sabo Planning Division, Sabo Department

大規模土砂產生後活躍  
土砂流出之對策基本構想（案）

2020年6月

國土技術政策總合研究所  
土砂災害研究部 砂防研究室

大規模土砂產生後活躍  
土砂流出之對策基本構想（案）

目錄

前言	1
1・概説	4
1.1 背景與經緯	4
1.2 砂防基本計畫之定位	5
2・整治對象之現象	8
2.1 概要	8
2.2 整治對象之現象特徵	9
3・擬定計畫所需之調查及分析	17
3.1 調查與分析之概要及目的	17
3.2 大規模土砂產生後的調查與分析	17
3.2.1 土砂產生狀況的調查與分析	17
3.2.2 土砂流出狀況的調查與分析	19
4・對策之基本構想	31
4.1 概要	31
4.2 整治對象之計畫規模的構想	31
4.3 與總合土砂管理計畫之關係	32
4.4 設施配置計畫檢討之構想	33
4.5 清淤計畫	34
5・實施土砂流出狀況對策等所需的調查與分析	37
5.1 調查與分析之概要及目的	37
5.2 瞭解土砂流出狀況所需的調查	37
5.3 瞭解土砂流出狀況所需的調查結果分析與活用	43

## 前言

2011年紀伊半島大水災及2017年九州北部豪雨等事件之際，由於坡地崩塌等而產生大規模土砂，並形成嚴重災害。造成大規模土砂產生的連續降雨結束後，仍持續有活躍的土砂流出，形成持續性土砂災害高風險狀態。原因是大規模土砂產生後，所產生的土砂並未在連續降雨過程中全部運移到下游，仍有大量土砂殘存在山區流域，且活躍的土砂流出會持續一段時間，使河床長期間持續變動。因此，對於流域內殘存土砂流出而產生災害，有必要擬定對策。

依據2019年修訂的「河川砂防技術基準同解說（計畫編）」，砂防基本計畫的處理對象為土砂流出現象時，時間尺度上可劃分為短期（連續降雨持續時間）、中期（土砂流出活躍期間）、長期（土砂流出持續期間）等三個期間，各期間各自設定土砂流出現象。對於大規模土砂生產後仍持續著活躍土砂流出的流域所實施對策，在砂防基本計畫中定位為『中期土砂流出引致土砂災害防減計畫（中期土砂流出對策計畫）』。過去要長期高精度調查流域整體土砂動態實況，相當困難，因此也就不易去檢討計畫規模、計畫所處理的土砂量、對策選定等相關事項；但近年來 LP（光達三維地形）資料等的計測技術發達，相關檢討工作變得容易多了。另一方面，2019年3月「總合土砂管理計畫制定指南」第1.0版指出，確認大規模土砂崩塌後流域土砂輸送系統之土砂動態有變化時，對於以新土砂動態為前提的總合土砂管理計畫，應再加以檢討與修正，並應整合中期土砂流出對策與總合土砂管理。

國土技術政策總合研究所，從2012年度到2014年度，執行專題研

究「大規模土砂產生後流域土砂輸送系統土砂管理實況研究」，瞭解到造成中期土砂流出的大規模土砂生產之後，其土砂流出的時間變化相關實況。此外，依據該專題研究成果及近年來災害相關實況調查結果，依不同時間尺度掌握土砂流出特性的對策構想，納入前述河川砂防技術基準與總合土砂管理計畫制定指南之中。本資料係依據國土技術政策總合研究所之檢討，彙整整治對象現象之特徵以及對策計畫檢討所需的調查方法與對策基本構想。本資料除了粗體字說明基本構想，也列舉各項參考案例與文獻（本資料之【參考】）。

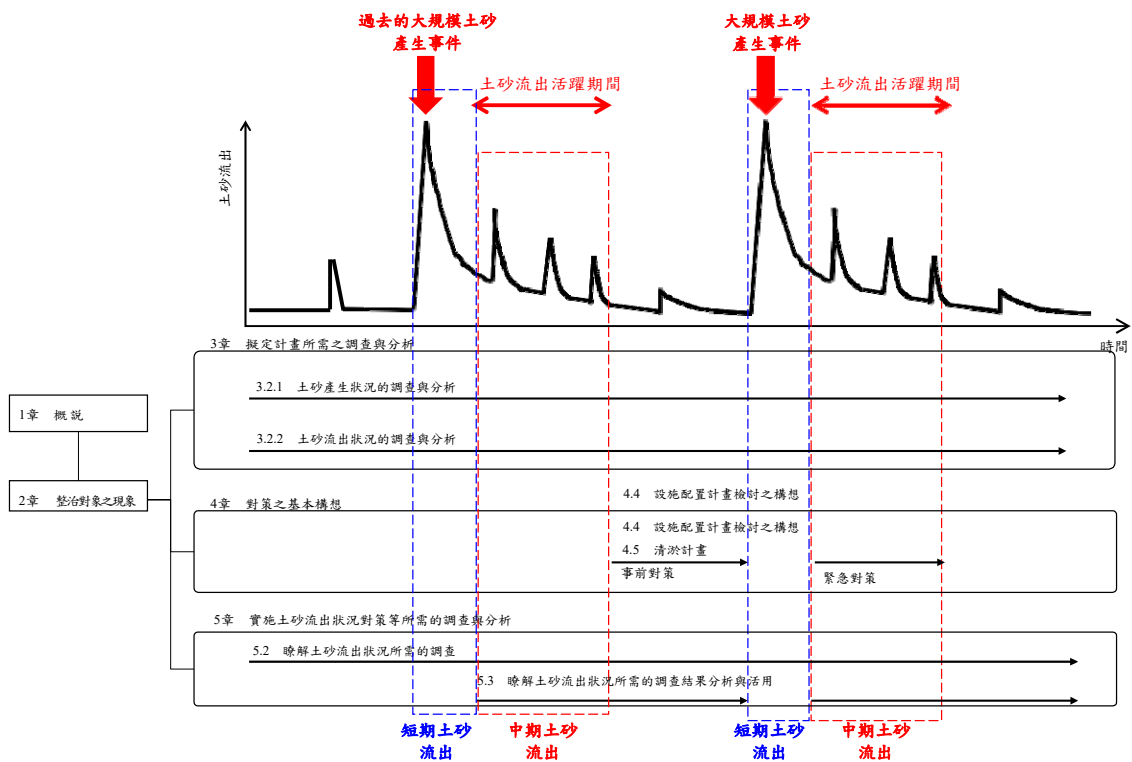


圖 資料構成 (黑色箭頭代表實施調查、檢討與對策等的期間。短期土砂流出對策所需之調查與計畫等的做法，取材自國總研資料第874號與第1048號)

## 1 · 概說

### 1.1 背景與經緯

豪雨所引致的同時多發性坡面崩塌與土石流，有時會產生大規模土砂。在該土砂大規模生產期間，會有大量的土砂與漂流木流出，造成下游區域嚴重災害。造成這類土砂災害的連續降雨所出現的現象，於砂防基本計畫定位為「短期」土砂流出現象，並實施相關對策（參照圖1~3）。

另一方面，大規模土砂生產時，一般而言，生產的土砂在該連續降雨期間並不會全部流出，大部分土砂會殘存在山區流域。研究發現在這種情況下，在該連續降雨事件之後，土砂流出會變得很活躍<sup>1)</sup>。此外，近年來研究發現，這類活躍土砂移動可能使下游河床抬升等，升高災害風險<sup>2)</sup>。此外，在氣候變遷作用下，可能會加速促使大規模土砂生產現象與流域條件變化頻繁化。

事實上，以2017年九州北部豪雨期間的筑後川右岸流域為例，坡面崩塌與土石流等所引致大規模土砂生產之後，連續降雨結束後仍有大量土砂殘存流域內，之後在中小型洪水過程中土砂才陸續流出。大規模土砂產生會造成土砂生產區下游河床發生變動，因此得要持續疏浚河道。如何降低這些案例之中殘存大量土砂持續流出的影響，是當前砂防計畫檢討重點<sup>3)</sup>。

具體而言，檢討中期土砂流出計畫時，即使短期土砂流出現象已充分實施對策，但仍須注意土砂攔阻設施的防砂壩等，在短期土砂流出現象（大規模土砂生產）之後已耗盡其土砂攔阻容量而無法充分發揮機能。此外，大規模土砂產生後到下次汛期洪水發生為止，並沒有

充分時間施作砂防設備。因此，可針對大規模土砂生產後的活躍土砂流出現象，實施淤滿土砂的防砂壩清淤，確保其容量等的緊急對策。此外，為彰顯緊急對策效果，須有事先對策（設置可清淤的防砂壩，或可配合土砂移動狀況改變型式與形狀的防砂壩）。

近年來大規模土砂生產後的土砂流出實況掌握、分析技術進展、土砂動態監測技術、插（活）板式防砂壩等控制土砂流出的新技術，陸續開發出來。本資料係依據這些狀況，彙整此大規模土砂生產後土砂流出活躍期間（以下稱為「土砂流出活躍期間」）的砂防計畫構想。此外，本資料雖是探討曾發生大規模土砂生產流域所制定之砂防計畫，但對於未曾遭遇到或尚未確知發生過大規模土砂產生的流域，也應積極探討並應對未來可能發生大規模土砂流出的土砂及土砂流出狀況改變，最好平時即加以調查，以備不時之需。

#### 【參考文獻】

- 1) 内田太郎, 丹羽諭, 蒲原潤一(2014): 大規模土砂生產後の土砂流出, 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 – 常願寺川砂防事業の歴史 –, 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 砂防基本計畫之定位

山區土砂生產與輸送所造成災害種類繁多。河川砂防技術基準（計畫編）（2005年版）從砂防計畫論的角度，依災害形態將對策分

類如下：

- ① 水系砂防（上游土砂移動伴隨河床上升所引致土砂與洪氾對策）
- ② 土石流對策
- ③ 漂流木對策
- ④ 火山砂防
- ⑤ 深層崩塌與天然壩等異常土砂災害  
對策

此外，河川砂防技術基準（計畫編）（2019年版）依據所檢討對策計畫之現象發生期間長短（時間尺度），分成短期、中期與長期3種期間，分別設定土砂流出現象，各期間之定義如下。

- 「短期」指誘發計畫規模土砂流出現象的連續降雨持續期間
- 「中期」指短期降雨所產生的土砂，受後續降雨影響而活躍流出的期間（流出土砂到進入穩定狀態為止的數年期間）
- 「長期」指短、中期土砂流出現象發生後，相較於短期土砂與漂流木流出的降雨事件之前，土砂移動量持續處於活躍狀態的期間（超過十年的期間）

如上述，砂防基本計畫處理對象之對策，可依災害形態進行分類，如圖1所示。現象發生的時間尺度以及和保全對象位置之關係，如圖2所示。亦即，除了火山砂防與異常土砂災害對策之外，可分類如圖1所示A之短期（連續降雨持續期間）土砂與漂流木流出所引致土砂災害防減對策（短期土砂流出對策）、B之中期（土砂流出活躍期間）土砂流出所引致土砂災害防減對策、及C之長期（土砂流出持續期間）土砂流出所引致土砂災害防減對策。此外，有關中長期的漂流木災害，目前對於其實況尚不甚瞭解，因此目前只處理土砂流出所引致災害。

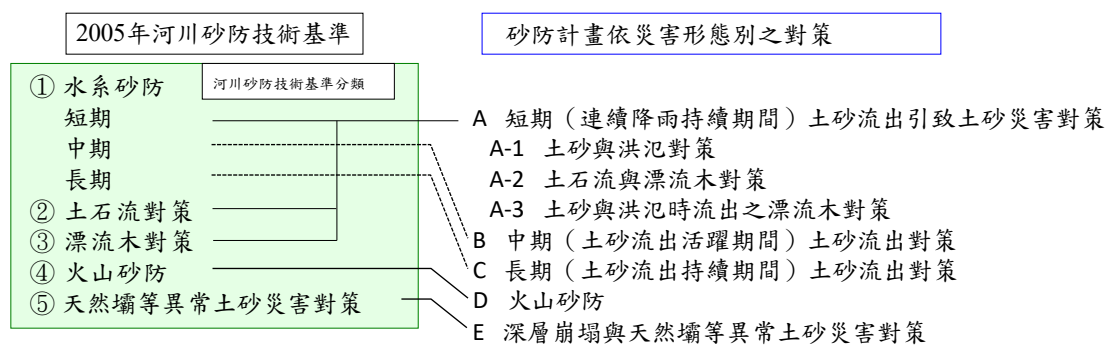


圖1 土砂流出現象之處理對象分類

		保全對象所在位置			
		位於土石流危險溪流等的保全對象	位於扇狀地與谷底平原的保全對象	位於沖積平原的保全對象	沉砂池
土砂流出現象期間	短期 (連續降雨)	A. 短期（連續降雨持續期間）土砂流出之土砂災害對策計畫			
		A-2. 土石流與漂流木對策計畫	A-1. 土砂與洪氾對策計畫	A-3. 土砂與洪氾時流出的漂流木對策計畫	
		E. 深層崩塌與天然壩等異常土砂災害對策計畫			
中期 (長達數年)		B. 中期（土砂流出活躍期間）土砂流出對策			
長期 (超過10年)		C. 長期（土砂流出持續期間）土砂流出對策			

圖2 土砂流出現象期間與保全對象

## 2. 整治對象之現象

### 2.1 概要

本資料探討對象之現象，主要為大規模土砂產生後，相較於之前的土砂流出狀況，土砂流出特別活躍期間（以下稱為「土砂流出活躍期間」）致使河床上升與土砂大量流入水庫等災害或不良影響的中期土砂流出。探討對象的降雨規模，為土砂流出活躍期間一般容易出現的規模，但可能造成新的大量土砂產生之大規模降雨，則不納入探討對象範圍。

此外，即使在土砂流出活躍期間，計畫規模降雨等引致新土砂產生所伴隨災害之對策，應採圖1所示A之短期（連續降雨持續期間）土砂流出對策（圖3紫色虛線框），進行檢討。此外，若大規模土砂產生而形成天然壩（河道阻塞）時，則防範該大規模天然壩伴隨產生災害之工作，應採圖1之E深層崩塌與天然壩等異常土砂災害對策加以檢討。

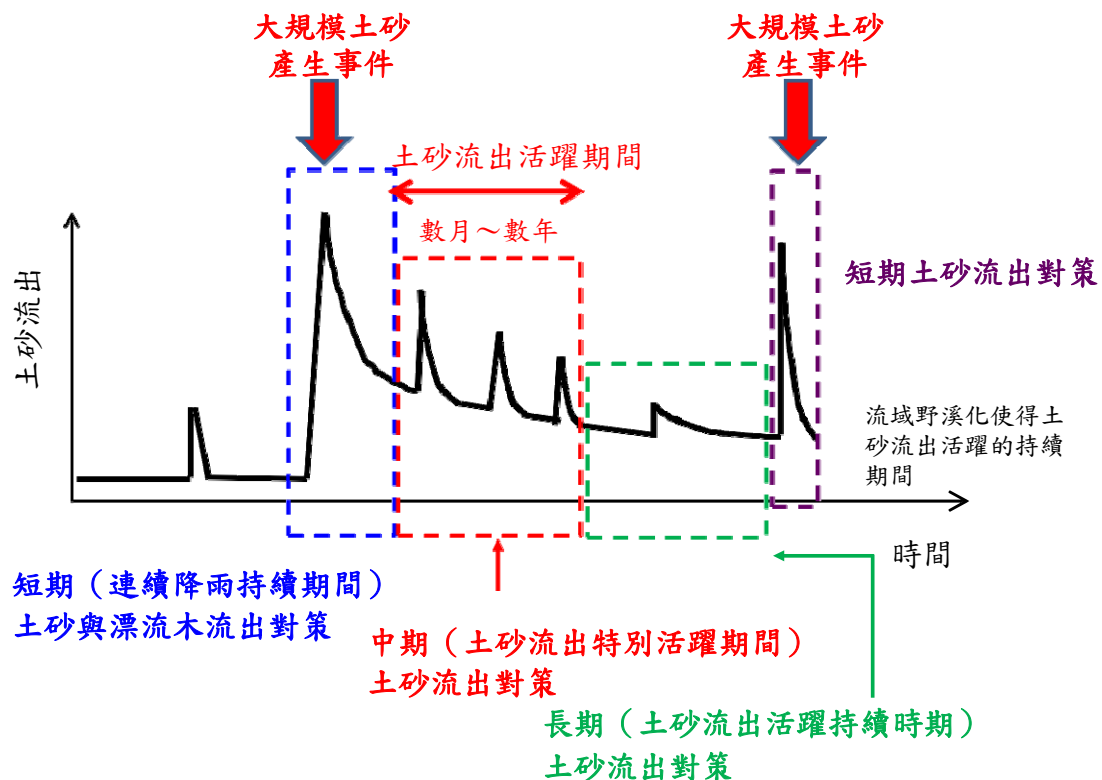


圖3 檢討土砂流出的現象示意圖

## 2.2 整治對象之現象特徵

豪雨誘發的坡面崩塌，有時會同時在多處發生，並產生大規模土砂；該產生的大規模土砂並不會在該次連續降雨期間即全部流出，會殘存山區流域內。此外，地震有時也會導致大規模土砂生產。另外，這些大規模土砂生產之土砂，一般而言，其粒徑比大規模土砂生產前的河床材料還細（圖4）。因此，在大規模土砂產生後，即使降雨量或流量和大規模土砂生產前者差不多，其土砂流出量多的期間會持續較久。

另一方面，殘存在流域內的細粒土砂，會在大規模土砂生產後逐次隨降雨流出；或是在殘存的地方堆積並穩定下來，而使土砂流出慢慢恢復到大規模土砂產生前的狀態。土砂流出活躍期間的長短，雖受生產土砂量大小、產生土砂之粒徑組成、產生土砂的堆積狀況、地形、與降雨量等因素影響，但除非流域面積每1平方公里的產生土砂量達百萬 $m^3/km^2$ 或更多，否則大多持續幾年而已。

若生產土砂量非常大，且不斷地從崩塌地等經由表面侵蝕等持續供給細粒土砂時，也可能形成超過10年的長期間活躍土砂流出狀態。對於這類現象，應於確認有此狀況後，另行檢討「長期土砂流出對策」。



圖4 大規模土砂產生後的河床狀況

【參考：整治對象之現象案例】

① 引致中期土砂流出之大規模土砂產生案例

日本國內曾有幾個大規模土砂產生現象案例，如參考表2.2.1所示，係根據11個流域留下大量文獻與數據，彙整了其相關的產生土砂量與年土砂流出量<sup>1)</sup>。參考表2.2.1內的年土砂流出量，係大規模土砂發生年之土砂流出量。降雨引致大規模土砂產生的流域有6個，地震造成大規模土砂產生現象的流域有5個。這些流域都發生許多坡面崩塌。其中，渡川的年土砂流出量遠高於產生土砂量，原因尚不明瞭，推估可能是溪岸崩塌或護甲層破壞等非坡面崩塌之外的原因所致。

上述流域大規模土砂產生後的土砂流出量，確實都大於大規模土砂產生前（Koi et al.<sup>2)</sup>, 厚井<sup>3)</sup>, 池田<sup>4)</sup>）。這類案例不只日本，海外其他各國，包括臺灣，也都有相關研究報告（Hovius et al.<sup>5)</sup>）。

參考表 2.2.1 日本大規模土砂產生現象案例

	集水面積 [ km <sup>2</sup> ]	大規模土砂生產發生年 與發生原因	生產 土砂量 [ 萬m <sup>3</sup> ]	年土砂 流出量 [ 萬m <sup>3</sup> ]
渡川 (渡川壩流域)	80.0	2005年，颱風14號	25	72
川邊川 (朴木防砂壩流域)	106.0	1982年，豪雨	28	34
		2004年，颱風16號，18號	82	21
		2005年，颱風14號	94	34
中川川 (三保壩流域)	39.2	1923年，大正關東地震	9,505	-
宮川 (宮川壩流域)	126.8	2004年，颱風21號	119	61
浦川流域	22.0	1995年，豪雨	174	37
揖斐川 (橫山壩流域)	487.0	1965年，颱風23號，24號， 豪雨	702	545
		1975年，颱風6號	250	132
		1998年，豪雨，颱風10號	198	77
芋川 (東竹沢第二防 砂壩流域)	18.8	2004年，新潟縣中越地震	1,698	-
小澀川 (小澀壩流域)	288.0	1961年，豪雨	2,254	1,361
		1982年，颱風10號	236	279
		1983年，颱風10號	120	246
一迫川 (花山壩流域)	126.9	2008年，岩手宮城內陸地震	1,050	32
王瀧川 (牧尾壩流域)	189.8*	1984年，長野縣西部地震	3,856	239
常願寺川 (本宮防砂壩流域)	349.6	1858年，飛越地震	11,400 <sup>6)</sup>	-

\*王瀧壩流域除外

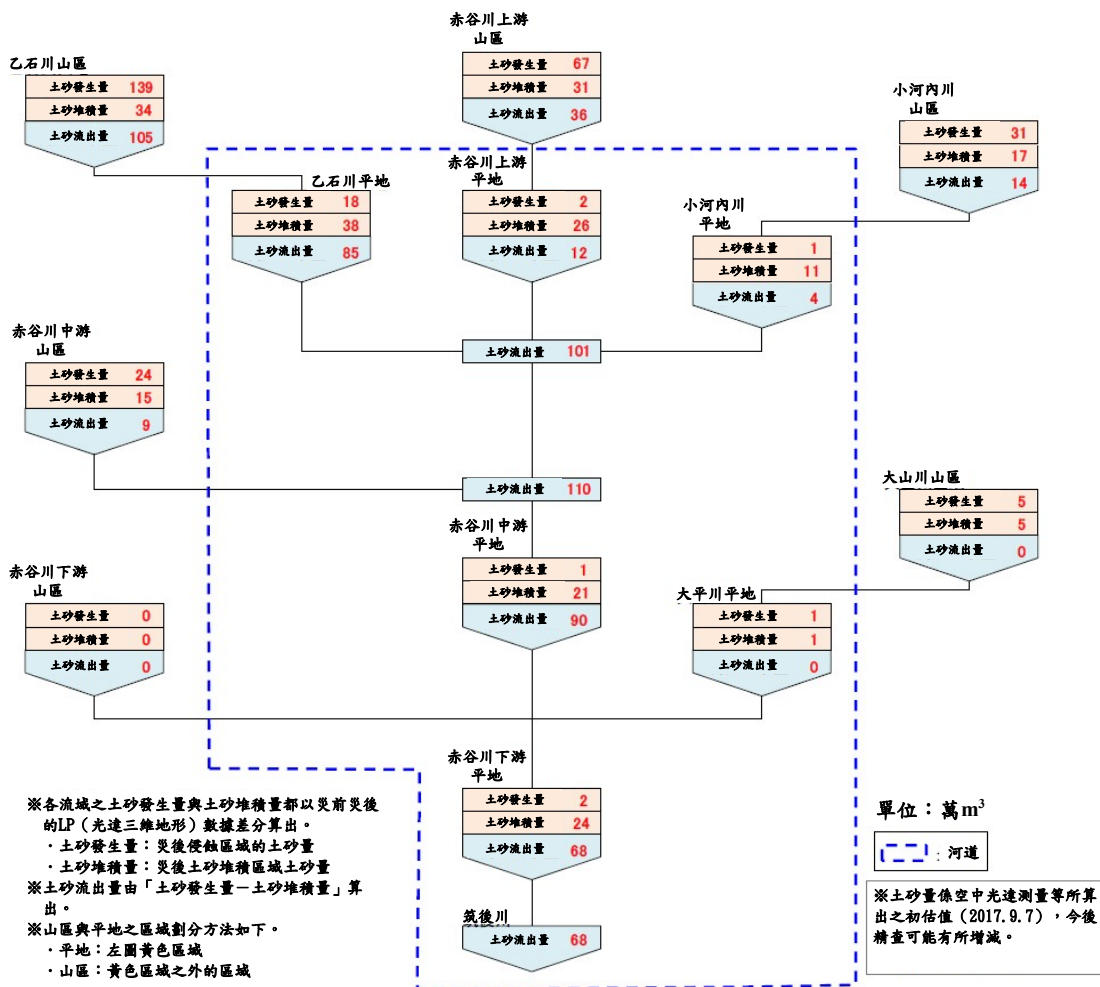
② 大規模土砂產生後中期土砂流出之流域內土砂堆積案例

大規模土砂產生時，進入保全對象流域或主流河道的土砂量，會少於該事件豪雨期間坡面所供給土砂量，豪雨結束後大量土砂殘存於上游流域。以2017年九州北部豪雨重創筑川右岸赤谷川流域為例，災害發生後仍有大量生產土砂殘存流域內（參考圖 2.2.1）。

筑後川右岸流域河川暨砂防復舊技術檢討委員會研究報告指出，2017年九州北部豪雨後的赤谷川流域土砂收支狀況如參考圖2.2.2所示<sup>7)</sup>。特別是山區部份，生產土砂量約266萬 $m^3$ ，其中，堆積土砂量約達102萬 $m^3$ ，亦即40%左右殘存於流域內。



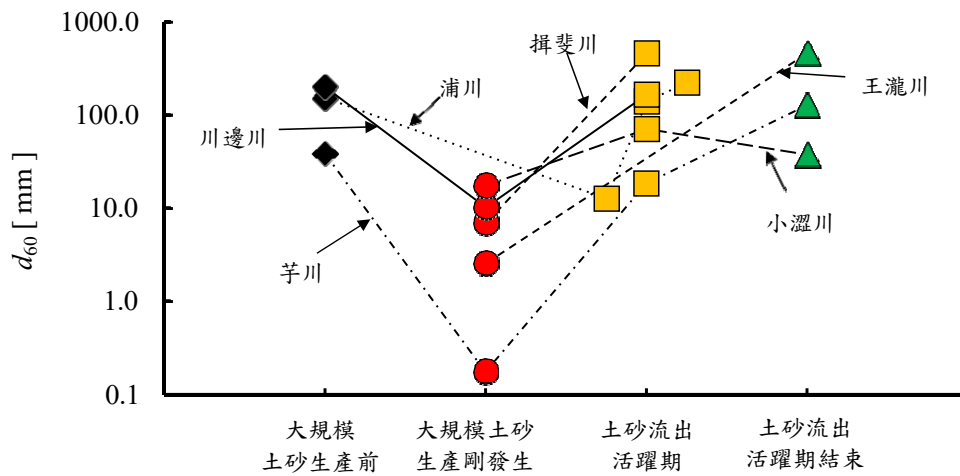
參考圖 2.2.1 乙石川上游的堆積土砂



參考圖 2.2.2 2017年九州北部豪雨赤谷川流域土砂收支狀況<sup>7)</sup>

③ 大規模土砂產生後中期土砂流出之河床材料粒徑變化案例<sup>1)</sup>

參考圖2.2.3所示，為大規模土砂產生前後的粒徑分布變化狀況。粒徑分布，係取自大規模土砂產生前後的河床材料調查結果。此外，河床材料調查雖於流域內數處地點實施，但多以其中一處的同地點調查結果作成圖表。此外，本圖中代表粒徑設定為60%粒徑。由圖可知，河床的土砂粒徑，於大規模土砂產生後即細粒化，然後隨著進入土砂流出活躍期與土砂流出活躍期間結束，土砂逐漸粗粒化。這種現象可視為大規模土砂產生而使許多細粒成分的土砂流入河床，然後在水流搬運作用下，細粒土砂逐漸往下游運移，最終河床恢復大規模土砂產生前狀態。因此，大規模土砂產生影響土砂流出量期間的長短，與大規模土砂產生後河床細粒土砂存在量呈正的相關性，因而若能監測細粒土砂比率及其變化，或許就能確認並預測土砂流出活躍期間的長短。

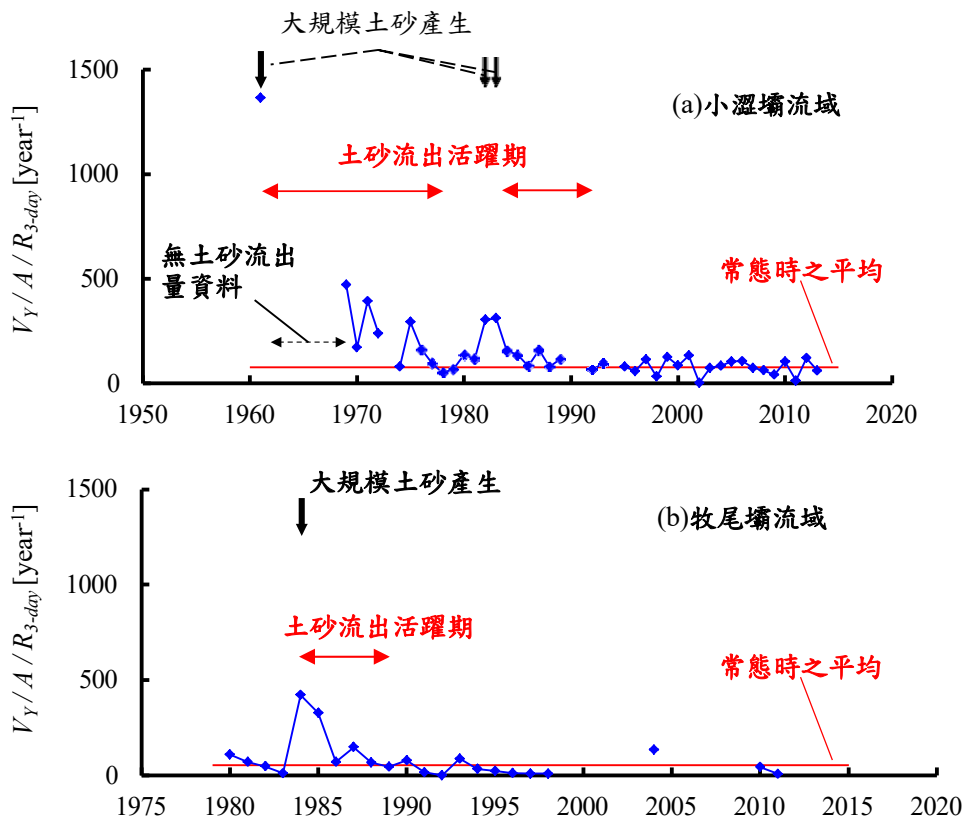


參考圖 2.2.3 同一地點河床土砂代表粒徑  $d_{60}$  之變化

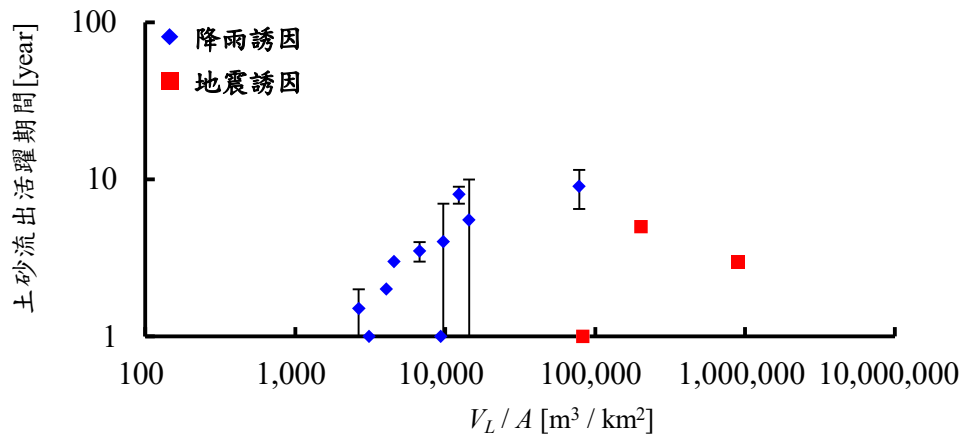
④ 大規模土砂產生後中長期土砂流出狀況 1)

參考圖 2.2.4 所示，係以小澗壩流域及牧尾壩流域（王瀧壩流域除外）二流域為代表案例，說明其大規模土砂產生之前到之後經過多年的土砂流出量時間序列變化情形。考量流域面積與降雨量差異，以年土砂流出量  $V_Y$  除以流域面積  $A$  及最大 3 日降雨量  $R_{3-day}$  之值，標示在圖的縱軸。

各流域在大規模土砂產生後的幾年內都有大量土砂流出，之後慢慢恢復常態（大規模土砂產生前）水準（圖中紅線）。於此，大規模土砂產生後土砂流出量大於常態時之平均值的期間，可視為大規模土砂產生之土砂流出活躍期。例如，小澗壩流域，雖然量測數據有欠缺而無法取得確定值，但推估在 1961 年大規模土砂產生後，土砂流出量逐漸降低到常態，最久可能費時 17 年，因此，1961 年大規模土砂產生之土砂流出活躍期最長可認為是 17 年。另一方面，王瀧川 1984 年發生大規模土砂產生，之後 5 年左右，土砂活躍流出，因此推估土砂流出活躍期為 5 年左右。



參考圖 2.2.4 流出土砂量之時間序列變化



參考圖 2.2.5 土砂生產量比值 (土砂生產遞移率) 與土砂流出活躍期間之關係

⑤ 土砂生產量比值與土砂流出活躍期間之關係<sup>1), 8)</sup>

參考圖 2.2.5 為土砂生產量  $V_L$  與土砂流出活躍期間之關係。為了排除流域面積大小之影響， $V_L$  以土砂流出量除以流域面積  $A$  之值 (土砂生產量比值) 為橫軸。圖中將降雨與地震誘因所引致的二類加以區分出來。

由圖可知，不論降雨還是地震所引致，影響期間都長達數年到十數年。比較降雨與地震兩誘因，發現地震所引致土砂產生量比值較高，但兩者的影響期長短差異不大。事實上，降雨與地震兩誘因所致的土砂產生量比值分別為 $1,000\sim 100,000\text{ m}^3/\text{km}^2$ 、 $100,000\sim 1,000,000\text{ m}^3/\text{km}^2$ ，雖然有所差異，但兩者的影響期都是最多10年左右。降雨與地震所引致二者的土砂產生量比值與影響期長短，雖可能呈正的相關性，但仍需更多資料才能確認是否具統計上意義。

【大規模土砂生產後中期土砂流出實況相關文獻】

- 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 卷第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·擬定計畫所需之調查及分析

#### 3.1 調查與分析之概要及目的

依本章實施的調查目的，是要瞭解檢討對象流域過去發生的大規模土砂產生狀況及大規模土砂產生後的土砂流出狀況，並推估未來可能發生之現象，據以並擬定對策計畫。具體而言，基本上是以測量等方法調查檢討對象流域之土砂產生及土砂流出實況，並以動床演算推估未來可能發生之現象，另外亦可參考與檢討對象流域氣候條件、地質與地形條件類似的周邊流域調查結果，靈活應用。此外，為了施作實際土砂流出狀況之因應對策與緊急對策結束時間點之判斷，基本上另需進行「5.實施土砂流出狀況對策等所需的調查與分析」。

#### 3.2 大規模土砂產生後的調查與分析

##### 3.2.1 土砂產生狀況的調查與分析

對象流域土砂生產狀況之調查項目如下：

- ① 崩塌地面積之時空間分布狀況
- ② 生產土砂量之長年變化
- ③ 大規模土砂生產後的土砂堆積狀況
- ④ 生產土砂之粒徑

①項，基本上可採多期航空照片判釋崩塌地長年分布狀況。②項，可依據現地調查等方法瞭解崩塌面積與崩塌土砂量之關係，並從崩塌面積推估生產土砂量，或使用多期的空載光達測量（LP）資料，直接推估生產土砂量。③項，也可以航空照片、LP資料瞭解土砂生產後的土砂堆積狀況；此外，③項還應調查大規模土砂生產後，生產土砂殘

存於流域之比率，包括殘存土砂堆積於坡面或河床之比率。為了①～③能正確推估大規模土砂生產現象發生時之生產土砂量及流域內土砂堆積範圍、堆積量等，最好平時就需要先行調查。④項，除了依地質等進行生產土砂粒徑分類之外，也可依不同地質類別進行現地調查。此外，應用以往的航空照片時，可分析從多視點拍攝之影像去推估拍攝時的相機位置，據此運用SfM-MVS（運動恢復結構-多圖像立體，Structure from Motion-Multi View Stereo）技術復原3D地形。

### 3.2.2 土砂流出狀況的調查與分析

處理對象流域土砂流出狀況調查，基本上是要瞭解以下事項：

①土砂流出量與土砂運移特性之長年變化

②流出土砂之粒徑

③流出狀況之推估

①、②之中，欲瞭解長年土砂流出量時，可蒐集分析較大的防砂壩與水庫內之淤砂量數據，且最好平時即進行常態調查，以確實掌握大規模土砂生產時之土砂流出增加量。由淤砂量數據推估土砂流出量時，應考慮到防砂壩與水庫的土砂攔阻率。此外，調查防砂壩淤砂狀況時也可採用航空照片判釋。甚至於應用SfM-MVS技術，從LP資料與航空照片復原3D地形，而從流域地形變化去推估土砂流出量。土砂流出特性之推估，基本上可分析土砂流出量與水理量（流量、水深等）之關係求得。

關於③，於推估未來發生機率較高的大規模土砂產生後的土砂流出狀況時，基本上應進行動床演算分析。分析時所使用的動床演算方法及輸入條件，基本上應以處理對象或與處理對象流域地質與地形條件類似的周邊流域過去土砂流出狀況相關之重現演算，並確認其適用性與妥當性。大規模土砂產生後，應依據堆積土砂安定化及河床材料粗粒化等流域狀況隨著時間變化的情形，設定動床演算之條件。

[參考文獻]

1) 河川砂防技術基準（調查編）

## 【參考：調查之案例】

### ① 土砂生產狀況相關調查案例

#### A 崩塌地時空間分布狀況調查案例

崩塌地時空間分布狀況之調查結果案例，有厚井<sup>1),2)</sup>在相模川水系中川川流域所做的崩塌地時空間分布調查。該研究的崩塌地分布圖，包括神奈川縣於1929年所彙整的關東大地震崩塌地分布圖，及1967年、1978年、1988年、1999年拍攝的航空照片判釋成果圖。根據該研究得知關東大地震誘發非常多的崩塌，由於1978年大規模豪雨的影響（1972年的山北災害），造成更多崩塌等的崩塌地分布在時間序列上的資訊。

#### B 土砂量之長年變化調查案例

##### B-1 由崩塌面積掌握土砂量之方法

由崩塌面積 $A_L$ 推估土砂量 $V_L$ 的方法，係先求取崩塌面積 $A_L$ 與土砂量 $V_L$ 的關係式，或崩塌面積 $A_L$ 與崩塌深度 $D_L$ 的關係式，然後依其關係式推估土砂量。前者關係式可使用Guzzetti et al.<sup>3)</sup>所提出的崩塌面積 $A_L$ 與土砂量 $V_L$ 關係式（參1）。

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

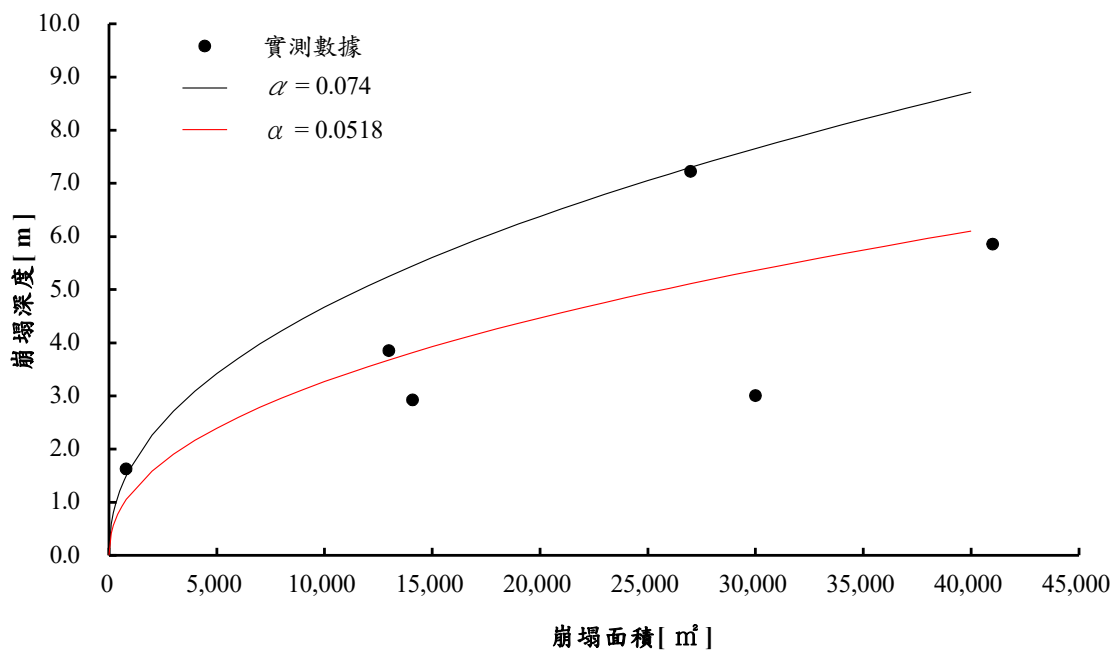
在此， $\alpha$ 為比例係數，依Guzzetti et al.<sup>3)</sup>算出是0.074。其他還有許多探討崩塌面積與崩塌土砂量關係的論文<sup>4)-6)</sup>，例如，近年來Lasen et al.<sup>4)</sup>蒐集世界各地資料，依表層崩塌與深層崩塌不同類別，分別提出其迴歸公式。此外，Imaizumi & Sidle<sup>5)</sup>依據1965年～2001年航空照片判釋與現地調查結果，求出宮川流域的崩塌面積與崩塌土砂量之關係。

另一方面，式（參1）的係數，乃是為了能說明世界各地相關資料的統計結果，並不考慮地質差異問題。因此，不同流域若能設定適當的係數的話，或可提高崩塌土砂量預測精度。例如，若能取得對象流域內

崩塌地的崩塌面積 $A_L$ 與崩塌深度 $D_L$ 實測數據，可設定能詳細說明實測數據的比例係數 $\alpha$ 。此外，崩塌深度 $D_L$ ，可由Guzzetti et al.<sup>3)</sup>所提出的崩塌面積 $A_L$ 與生產土砂量 $V_L$ 的關係式（參1）推導，取得如（參2）所示關係式。

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

例如，泉山等<sup>7)</sup>認為，小丸川水系渡川流域2005年發生大規模崩塌之土砂量，可利用航空攝影判釋的崩塌面積 $A_L$ ，搭配式（參2）推估崩塌深度 $D_L$ 。此時泉山等<sup>7)</sup>為了讓比例係數 $\alpha$ ，如參考圖3.3.1所示，能適用於渡川流域內過去發生崩塌調查結果<sup>8),9)</sup>所取得的「崩塌面積 $A_L$ —崩塌深度 $D_L$ 關係」，乃將比例係數 $\alpha$ 修改為0.0518，算出崩塌土砂量。



參考圖3.3.1 崩塌面積 $A_L$ 與崩塌深度 $D_L$ 的實測結果及式（參2）所推估結果

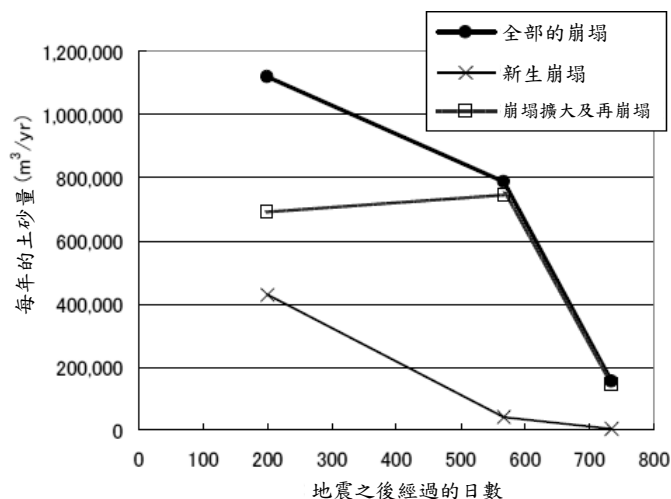
## B-2以多期空載光達測量資料（LP資料）掌握生產土砂量之方法

有多期LP資料者，可利用LP資料做成數值地形，以高程差分處理而算出崩塌地變動量，進一步推估崩塌地生產的土砂量。

田方等<sup>10)</sup>、松岡等<sup>11)</sup>調查了信濃川水系芋川2004年新潟縣中越地震所引致大規模土砂生產後的土砂流出狀況。松岡等<sup>11)</sup>依據芋川地震後多期LP資料推估了2004年之後的生產土砂量（參考表3.3.1，參考表3.3.2）。此外，LP資料算出高程差分値之範圍，為航空照片（參考表3.3.1）判釋所圈繪之崩塌地。

參考表3.3.1 推估生產土砂量所使用的資料<sup>11)</sup>

資料	取得時期	計測日期
空載光達	地震剛結束 2005年春 2006年春 2006年秋	2004年10月28日 2005年5月11, 17日 2006年5月15, 16日 2006年10月28日, 11月2日
航空照片	地震剛結束 2005年春 2006年春 2006年秋	2004年10月24, 28日 2005年5月11日 2006年6月21~23日 2006年11月2日



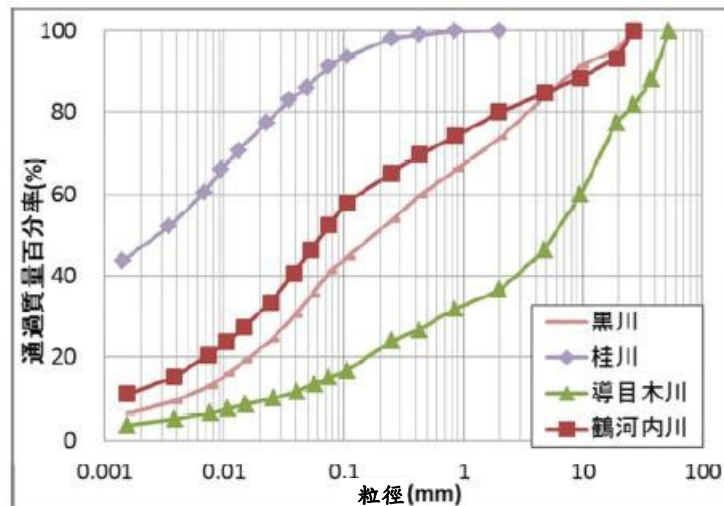
參考圖3.3.2 芋川流域崩塌土砂量的長年變化（地震時除外）<sup>11)</sup>

### C 大規模土砂產生後的中期土砂流出土砂堆積狀況調查案例

清水與帆足（2018）<sup>12)</sup>推估了2017年7月九州北部豪雨期間妙見川流域崩塌產生的土砂量及堆積於河床之土砂量。推估時使用了災前（2017年1月）與災後（2017年7月）的LP資料差分分析，差分分析範圍可從正射影像掌握到崩塌範圍與河床土砂堆積範圍。該報告指出，由上述2期高程差分，推估妙見川流域生產土砂量約為34萬 $m^3$ ，河床堆積土砂量約為27萬 $m^3$ ，生產土砂量約8成堆積在妙見川流域河床。

### D 大規模土砂產生時中期土砂流出的土砂粒徑調查案例

2017年7月九州北部豪雨土砂產生後的筑後川右岸黑川（泥質片岩）、導目木川（結晶片岩與花崗岩）、桂川（綠色片岩）以及鶴河內川（礫岩），都進行了崩塌地土砂粒徑分布試驗，發現粒徑分布形狀差異頗大（參考圖3.3.3）<sup>13)</sup>。由此可知，調查生產土砂粒徑時，應考量地質分布等再選擇適當的調查地點。



參考圖3.3.3 粒徑分布<sup>13)</sup>

#### 【土砂生産状況相關調査参考文献】

- 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, 小川紀一朗, 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 土砂流出狀況調查案例

### A 土砂流出量與土砂流出特性長年變化之調查案例

厚井<sup>1), 2)</sup>於相模川水系中川川流域，利用三保壩淤砂量數據，調查了該流域的長年土砂流出量。於此，若要從水庫等的淤砂量數據推估上游區域土砂流出量，須先推估流入水庫土砂當中，有多少比率通過壩流出。通過水壩的土砂比率有各種不同推估方法公式（厚井<sup>1), 2)</sup>、鈴木等<sup>3)</sup>、Morris & Fan<sup>4)</sup>、吉良<sup>5)</sup>等）。例如，厚井<sup>1), 2)</sup>係以Brown式(參3)求出水庫的土砂攔阻率，推估出通過壩的土砂量。

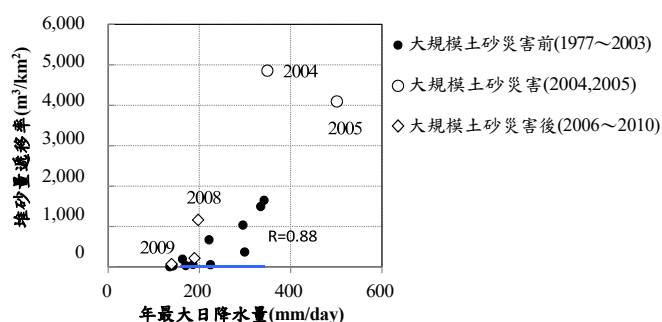
$$E_T = 1 - \frac{1}{1 + K \cdot C/F} \quad (\text{參 3})$$

在此， $E_T$ 為攔阻率（水壩淤砂量 / 土砂流入量）， $K$ 為常數， $C$ 為水庫總蓄水量[m<sup>3</sup>]， $F$ 為流域面積[km<sup>2</sup>]。常數  $K$  可使用吉良（1978）<sup>4)</sup> 求出的全國與區域別的平均值。此外，若已知流入水庫的年平均總流入量時，也可不採式(參 3)而採 Brune 關係圖<sup>3)</sup>。社團法人日本大壩會議土砂管理分科會<sup>6)</sup>，認為Brown式或 Brune 關係圖雖能由流域面積與水庫總蓄水容量簡便算出水庫土砂攔阻率，但仍難以評估粒徑與入流量的影響。

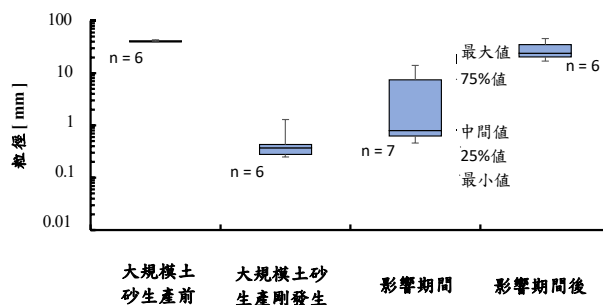
### B 土砂流出量與降雨特性之關係

即使河床上堆積著大量受水流作用即可能移動的土砂，其土砂流出量仍視流量大小而定。因此，若要評估大規模土砂生產的影響，則須先排除不同年份流量的差異所造成影響。然而這種量測工作相當困難，因此山區河溪流量的量測資料並不完備。於是有人建議可使用足以影響全年土砂流出量的降雨指標（年降水量、年最大日雨量、年最大3日雨量、年三大雨量之合計等），避免受流量不穩定因素影響。例如，蘆田與奧村<sup>7)</sup>使用年最大日雨量作為土砂流出量相關指標，檢討川邊川的土砂流出量與降雨指標（年降水量、年最大日雨量、年最大時雨量）、水文指標（年總流出量、年最大流量）之關係，結果顯示年最大日雨量的關聯性最高（參考圖 3.3.4）<sup>9)</sup>。因而在川邊川流域，以年流出土砂量除以年最大日雨量，則能某種程度地排除降雨型態之

影響。但降雨與流量之間存在非線性關係，因此應注意，降雨指標與土砂流出量並非經常呈正相關性。此外，河床土砂護甲化而使得可能移動的土砂不足時，也不會呈正相關性。高橋<sup>8)</sup>研究高瀨壩（水庫）年淤砂量與附近雨量觀測所年最大日雨量之關聯性時，認為二者雖有某種程度相關，但仍無法只靠年最大日雨量說明年土砂流出量。



參考圖 3.3.4 年最大日降水量與堆砂量比值（堆砂量遞移率）之關係<sup>9)</sup>



參考圖 3.3.5 大規模土砂生產前後的平均粒徑變化（芋川-東竹澤第二防砂壩流域）

### C 大規模土砂產生後中期土砂流出伴隨河床材料粒徑變化調查案例

大規模土砂產生後的土砂流出狀況，深受大規模土砂產生後河床殘存不安定土砂粒徑分布影響。因此，瞭解河床材料粒徑分布之長年變化，是預測土砂流出量與影響期間的重要工作。芋川的大規模土砂產生前後數個地點河床材料粒徑分布調查<sup>10)</sup>結果，如參考圖 3.3.5 所示。參考圖 3.3.5 之中呈現出下列 A~D 期間的河床材料平均粒徑：

- A. 大規模土砂生産前（2002年）
- B. 大規模土砂生産剛結束（2004年）
- C. 土砂流出活躍期（圖中為影響期間）（2007年）
- D. 土砂流出活躍期後（圖中為影響期後）（2016年～2017年）

結果顯示，大規模土砂產生剛結束的B期間，河床材料持續細粒化；之後，土砂平均粒徑慢慢變大而粗粒化。

#### 【土砂流出狀況調查相關參考文獻】

- 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

### 【參考：數值演算案例與注意事項】

有關山區流域土砂動態數值分析的案例相當多，但在預測數年的流域土砂動態（特別是河床上升與下降、土砂移動量的時間變化）方面，所需之二維動床演算的計算負荷大，實務的案例仍然不多。另外，春木川這種小流域發生一次大規模崩塌，以及小涉川這類較大流域中發生多處大規模崩塌，計算負荷都隨對象流域面積不同而異。因此，預測小流域的中期土砂動態時，可使用降雨逕流模式等，另外設定流量歷線之後，以一維動床演算模式（變量流、非恆定流）進行演算<sup>(例如1)~4)</sup>。另一方面，大流域演算時，為了減輕計算負荷，可用運動波法演算模式<sup>(例如5)~8)</sup>。過去相關研究案例之中演算檢討整治對象流域之面積與所採用運算網格大小、演算模式的關係，可參考橫尾等<sup>9)</sup>的研究。由上可知，有關大規模土砂生產後土砂流出活躍期的土砂動態分析，除了須考慮同期間的土砂動態特徵，並應注意以下事項。

#### ① 演算對象期間

中期土砂流出現象之數值演算，若將所有現象都列為處理對象，則演算所需時間會變得很長。以長時間為對象的演算，較可行方式是將演算對象期間聚焦在土砂流出明顯的期間，以提升演算效率。具體做法比如，從流域土砂水文觀測資料中推估欲使河床材料開始移動所需之流量，省略掉低於該流量時間帶的演算<sup>1)</sup>。

#### ② 土砂供給條件

大規模土砂產生之土砂會部分殘留在坡面成為殘土，因此，殘土率會左右可流出的土砂量。然而現階段仍難以預測殘土率高低，即使以經驗類推，仍難以適用於不曾發生大規模土砂產生的流域。因此，可設定不同大小殘土率，然後進行敏感度分析，或者設定數種變化土砂供給與土砂供給粒徑之時間點的情境進行演算<sup>10)</sup>。另一方面，過去有大規模土砂產生的流域，可參考大規模土砂產生後的土砂收支圖（參考圖2.2.2）等，設定土砂供給量。此外，所供給土砂之粒徑分布會明顯影響數值演算結果，因此最好能取得堆積在溪岸等含細粒成分的河床材料或山坡土砂之粒徑分布，進行相關數值演算。

### ③ 考量大規模土砂產生所造成河床材料細粒化及之後的粗粒化

比較大規模土砂產生前後，發現土砂產生後的河床含有較多細粒土砂成分，之後，因選擇性土砂移動形成粗粒化。細粒往粗粒發展期間長短，可能與含有土砂細粒成分的比率正相關性。因此，動床演算時，若初期條件為大規模土砂產生前已粗粒化的話，則應適度反映該狀況，且作為邊界條件的供給土砂粒徑，應考慮到生產土砂已含有更細土砂，演算時須設定能適切表現粒徑分布時間變化的條件。有關河床與供給土砂之粒徑分布設定可參考丹羽等<sup>1)</sup>與櫛木等<sup>2)</sup>的研究，以及細粒成分移動引致粒徑分布變化與護甲層發展之重現演算方面，可參考江頭與松木<sup>5)</sup>等所提出的研究案例。

### ④ 水流寬度之設定

大規模土砂產生後堆積於河床的土砂，會隨著時間經過而往下游移動。土砂也會因為中、小規模洪水而移動，但此時水流並不會覆蓋全部河寬，而是形成水路蜿蜒流動，有時則形成砂洲（參考圖5.1.4）。此外，對於長達數年的長期演算，若未適當地設定水流寬度，則可能無法適切地評估水流推移（掃流）力，無法精確評估輸砂量，如此也就無法取得足夠精度的演算結果。因此，進行一維動床演算時，須先設定水流狹窄段與水流寬度等。例如，高橋等<sup>6)</sup>針對上游端附近等河道寬難以判定地點，使用河制法則（Regime Rules）推估河道寬。除此之外，丹羽等<sup>1)</sup>進行有大規模土砂產生的春木川動床演算時，以河制法則設定水流寬度。

#### 【評估現象的數值演算相關參考文獻】

- 1) 丹羽諭，內田太郎，泉山寬明，桜井亘，大野亮一，寺田秀樹，里深好文（2018）：大規模土砂生產後の土砂流出を対象とした河床變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) 櫛木敏仁，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 · 對策的基本構想

### 4.1 概要

關於中期土砂流出對策的設施整備對策，基本上應組合防範今後可能發生大規模土砂產生而提前實施的事前對策，與大規模土砂產生後實施的緊急對策。

事前對策，旨在針對將來可能發生大規模土砂產生時的活躍土砂流出，實施有效且迅速之對策。亦即，若大規模土砂產生之際並無設置新設施，基本上，對於清淤等緊急對策，應先進行對策準備。具體上，除了設置防砂壩之外，也可整備緊急對策的設施（例如，具有清淤功能的防砂壩、土砂臨時堆置場、插板壩、沉砂池等）。

此外，事前對策所檢討、實施的對象為中期土砂流出對策；長期土砂流出對策方面，則應在大規模土砂產生後，實施第五章「實施土砂流出狀況對策所需的調查與分析」，並依據調查與分析所掌握之土砂流出實況，檢討長期土砂流出對策的必要性。

中長期土砂流出對策所需之設施，最好對於其他現象（圖 1 之 A 及 D、E）也能發揮效果。

### 4.2 整治對象之計畫規模的構想

整治對象之生產土砂量，基本上應與檢討對象流域的短期土砂流出對策（圖 1 之 A）計畫整合，並假設短期土砂流出對策處理對象計畫生產土砂量之中，包含於連續降雨持續期間並未完全流出，仍堆積在流域內的坡面與河道的土砂量。

事前對策計畫基準點的土砂移動量規模，基本上是以 3.2.2 「土砂流出狀況相關調查與分析」之方法，求出土砂流出活躍期的土砂移動量（圖 5 紫色虛線框）為上限，並考量防砂壩清淤可能性（清淤頻率等），設定土砂流出活躍期平均數個月到數年間的土砂流出量（圖 5 藍色虛線框）。例如，針對過去數年間的實際降雨量（造成坡面崩塌或護甲層破壞的豪雨除外），以降雨流出演算，設定數年間的流量，並以整治對象之生產土砂量為上限、對應於流域內堆積土砂的流量為

平衡輸砂，求出計畫基準點之土砂流出量。此外，雖然不會出現坡面崩塌與土石流所引致新的大規模土砂產生，但土砂流出活躍期間發生機率較高的大規模連續降雨（例如 10 年重現率規模降雨）土砂流出恐致嚴重災害時，也應納入整治對象（圖 5 紅色虛線框）。

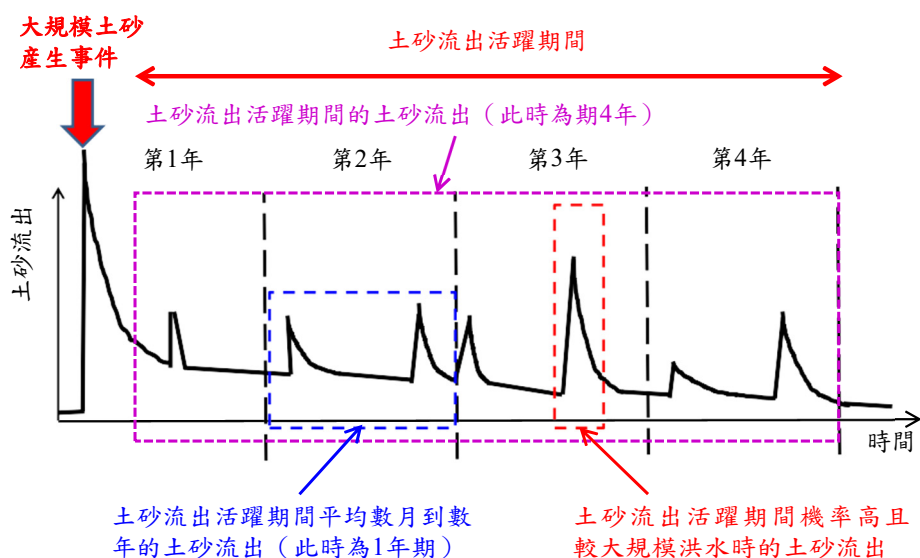


圖 5 整治對象規模示意圖

#### 4.3 與總合土砂管理計畫之關係

中期土砂流出對策與長期土砂流出對策均應注意到與總合土砂管理計畫的整合性。亦即，依據大規模土砂產生後出現新土砂動態而修改總合土砂管理計畫時（參照圖 6），基本上應將實施之中期土砂流出對策作為緊急性的對策，與修改的總合土砂管理計畫互相整合。此外，中期土砂流出對策與長期土砂流出對策整治對象以外的現象部分，必要時應在總合土砂管理計畫之中檢討。大規模土砂生產後的總合土砂管理計畫修改，可參考以下文獻。

##### 【參考文獻】

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

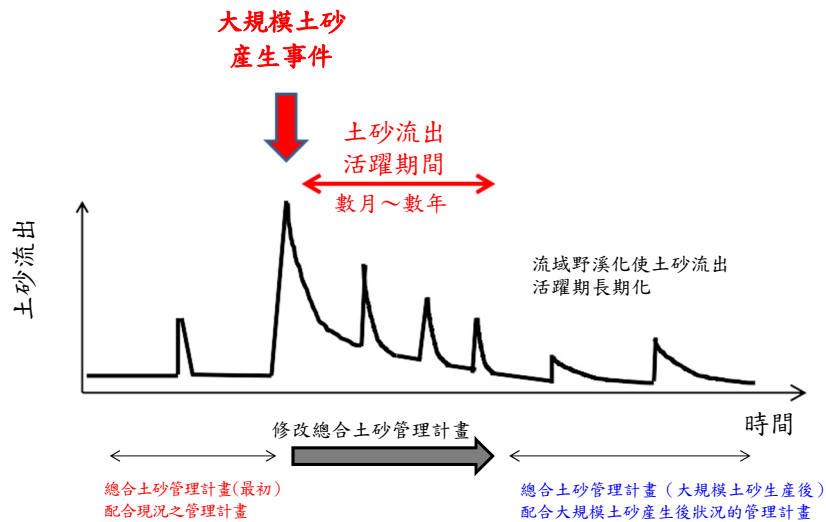


圖 6 總合土砂管理計畫與大規模土砂生產示意圖

#### 4.4 設施配置計畫檢討之構想

施設配置計畫檢討，基本上以現地調查、資料調查結果檢討施工實效性等，並以動床演算等評估設施效果。若判斷完成檢討的施設配置計畫無法得到充分效果時，應修改施設配置計畫，並再度以動床演算等評估效果。

中期土砂流出對策，首先，針對既有的短期土砂流出對策等，它的處理對象為中期土砂流出對策之外的現象，先檢討活用以輸砂調控為主旨的施設（防砂壩、沉砂地工等）。

但若即使活用既有砂防施設仍難攔阻計畫規模土砂量，或從經濟性等觀點判斷砂防施設設置應屬妥當時，則應重新檢討施設之概略位置、概略規模與施設型式。

檢討設施概略位置時，應圈定對象領域內設施效果較大地點，由設施效果較大地點優先建構設施等，以求有效的設施配置。一般而言，以輸砂調控為主要目的之設施，下列幾種效果較大：

- 具較大剩餘容量的防砂壩
- 較接近保全對象的設施
- 對保全對象周邊河床變動影響較大的流域或河段之設施

設施規模大小，基本上可由動床演算等求出；設施的位置，則希望設在能夠攔阻足夠流出土砂量的地方。

關於設施之型式，一般認為，大規模土砂生產後的土砂量與粒徑和大規模土砂生產前者不同，且會隨時間經過而變化，因此應配合大規模土砂產生後的土砂流出狀況（量與粒徑），積極檢討可變更堤壩型式與形狀的設施。此外，土砂流出活躍期多半只有幾年，因此也有必要事先檢討可應對土砂流出活躍期結束後之土砂流出現象的堤壩型式與形狀。

#### 4.5 清淤計畫

探討土砂流出活躍期間的清淤計畫，以確保堤壩土砂攔阻與堆砂容量之計畫。此外，基本上應事先備妥清淤的土砂搬運路線及土砂臨時堆置場。

【參考：插板壩施作案例】

大規模土砂產生後，與大規模土砂產生前相較，會發生活躍的土砂流出，為了抑制土砂往下游流出，最好在大規模土砂產生前即能事先確保足夠土砂攔阻容量，以備攔阻大規模土砂產生後的流出土砂。方法之一為插板壩（參考圖 4.5.1、4.5.2）。水山<sup>1)</sup>將插板壩依流域狀況、土砂流出特性、管理與運用主體等差異，分為以下種類：

等級1：為大型暗渠防砂壩與開口較大梳子壩，若有備材便能改裝成插板防砂壩。

等級2：等級1堤壩已備妥插板器材者。可應用於天然壩發生等異常事態之時。

等級3：等級2之堤壩，汛期洪水發生時也能發揮土砂攔阻機能者。

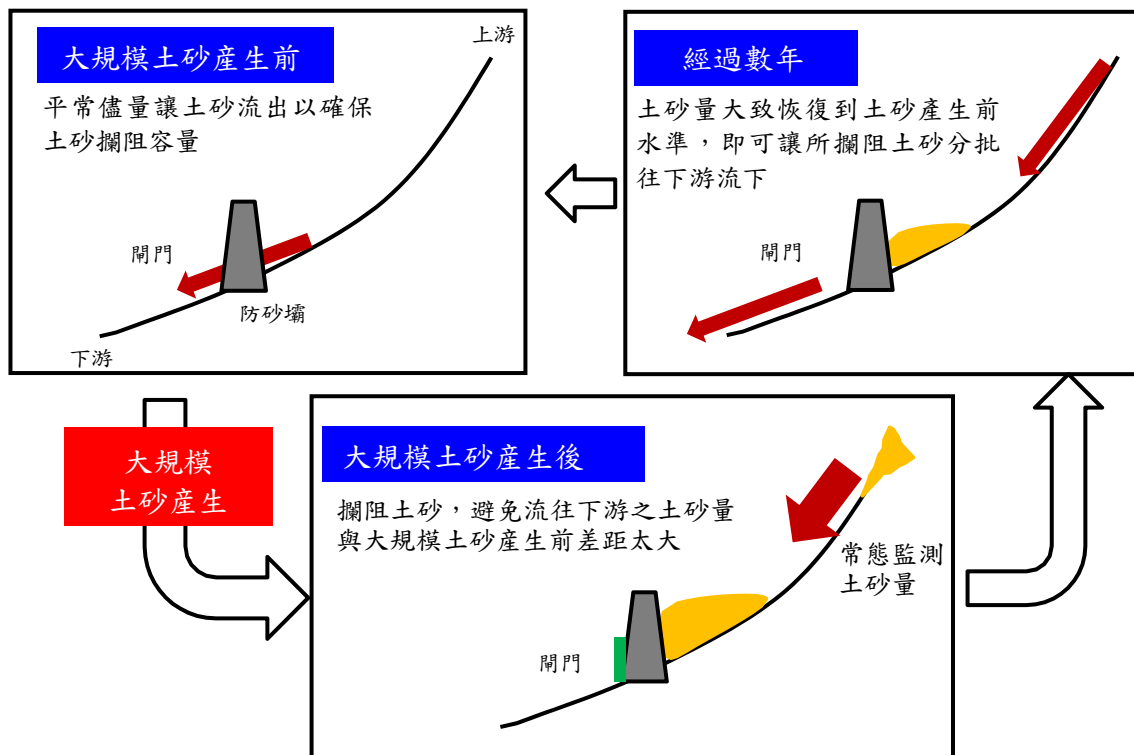
等級4：具有必要時能關閉插板的構造與插板運作體制者。

等級5：具有必要時能以油壓等開閉插板的構造及運作體制者。

目前姬川水系高瀨川支流扇澤之扇澤防砂壩<sup>2)</sup>、木曾川水系與川支流上山澤之上山澤第一防砂壩<sup>3)</sup>、常願寺川主流之妙壽防砂壩<sup>4),5)</sup>都設有插板壩，正在試驗應用中。



參考圖 4.5.1 砂防對策設施插板壩示意圖  
（部分修改自ALPS SABO News<sup>6)</sup>）



參考圖 4.5.2 插板壩運用示意圖

【插板壩相關參考文獻】

- 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 · 實施土砂流出狀況對策等所需的調查與分析

### 5.1 調查與分析之概要及目的

本章所述之調查與分析，目的是在瞭解並預測土砂流出狀況，以供實施土砂流出狀況實施對策、何時結束緊急對策的判斷、及檢討長期土砂流出對策必要性等之參考。

此外，為了要與大規模土砂生產前的狀況比較，實施中期土砂流出對策的流域，基本上應進行常態土砂流出狀況調查與分析。但常態觀測應考量預算與勞力負擔，建立能掌握土砂流出狀況的觀測體制。

### 5.2 瞭解土砂流出狀況所需的調查

為了瞭解大規模土砂生產後土砂流出狀況，基本上須要調查下列事項，並持續監測：

- ① 土砂量及流出特性（降雨量、水理量與土砂量之關係）
- ② 河床材料之變化
- ③ 殘存於流域內生產土砂狀況之長期變化
- ④ 河道狹窄段、坡降變化點、橫向構造物等設置地點之河床變動狀況

欲瞭解土砂量及流出特性，可進行溪流土砂輸送水文觀測<sup>1)</sup>。此外，搭配地形測量與定點攝影，亦能有效掌握流域內殘存生產土砂之長期變化。

#### 【參考文獻】

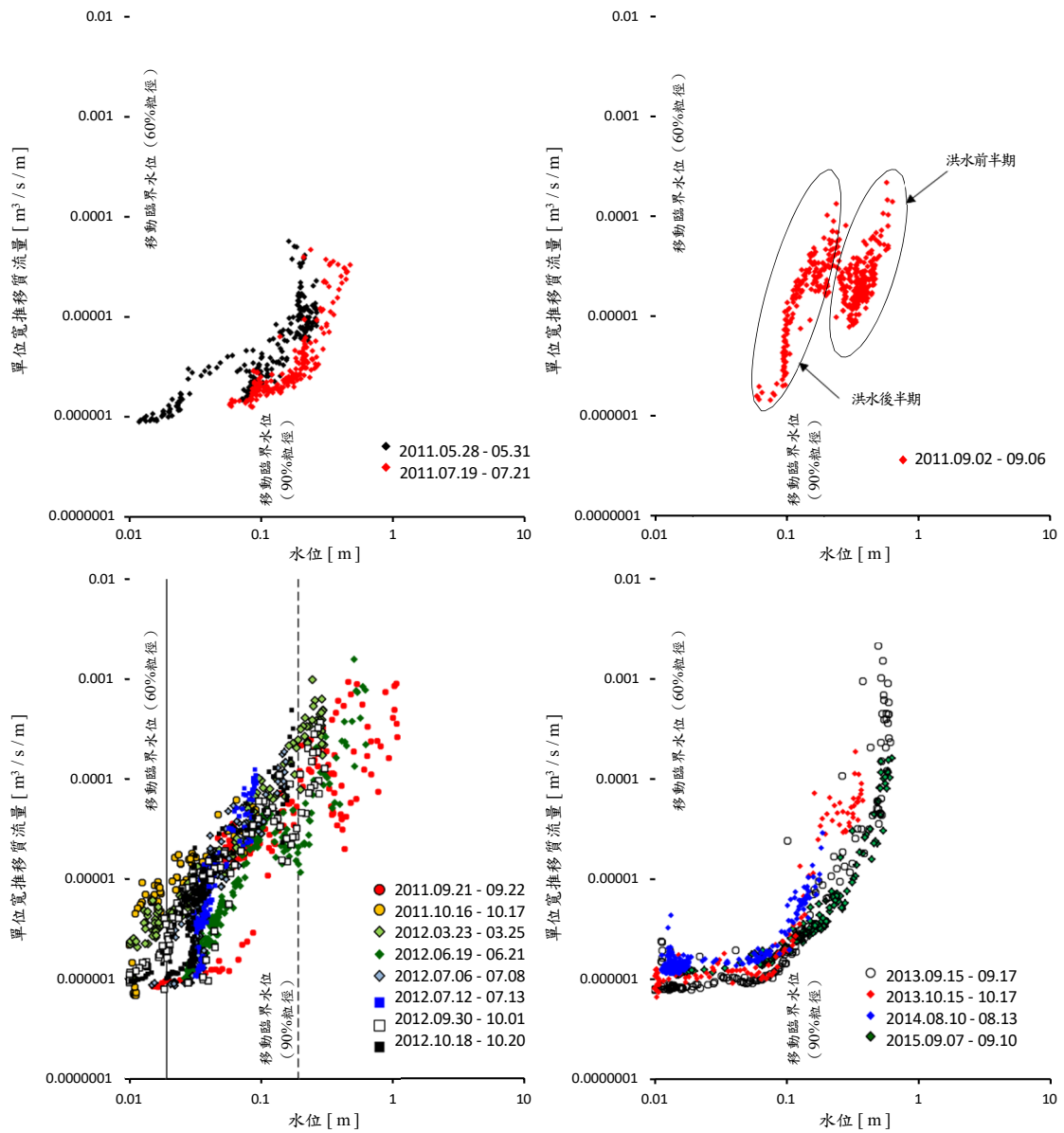
- 1) 河川砂防技術基準（調查編）

## 【參考：監測案例】

### ① 溪流土砂輸送水文觀測案例

輸砂量大小，依河床土砂存在狀況、上游土砂產生頻率及規模而定。例如，上游土砂供給並不多，且護甲層發達之溪流的輸砂量小，但坡面崩塌等引致土砂供給至河床後，一時之間輸砂量較以前增多，但不久又恢復到土砂供給前的狀態。因此，以水聽器（水下傳聲器）進行長期溪流土砂輸送觀測<sup>1)~5)</sup>，可瞭解上游區域的變化狀況與河床土砂量變化。

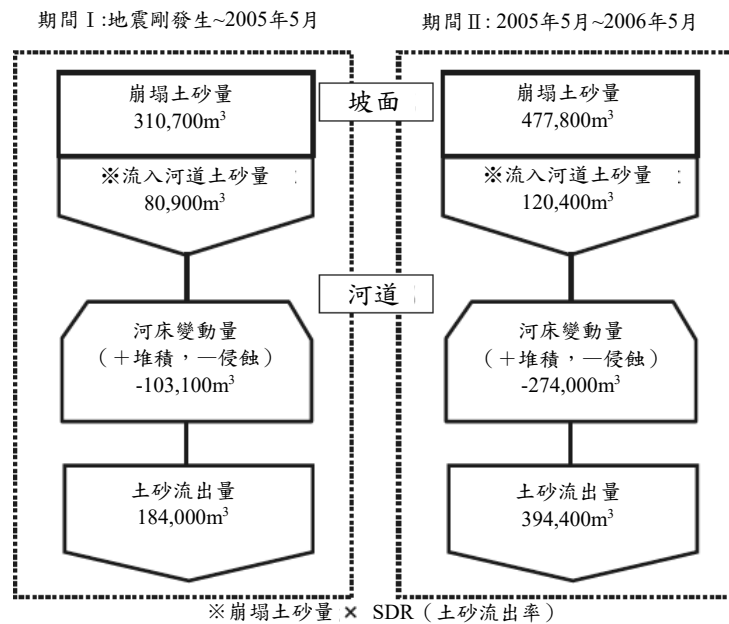
彙整富士川水系大武川所設水聽器的長期監測推移質（載）流量（輸砂量），結果發現<sup>6)</sup> 2011年9月颱風12號通過後推移質流量大增，且增加持續1年左右。此外，2013年推移質流量似已恢復2011年9月颱風12號來襲前的水準（參考圖5.1.1）。



參考圖 5.1.1 輸砂環境之長期變化 (大武川第 50 固床工)

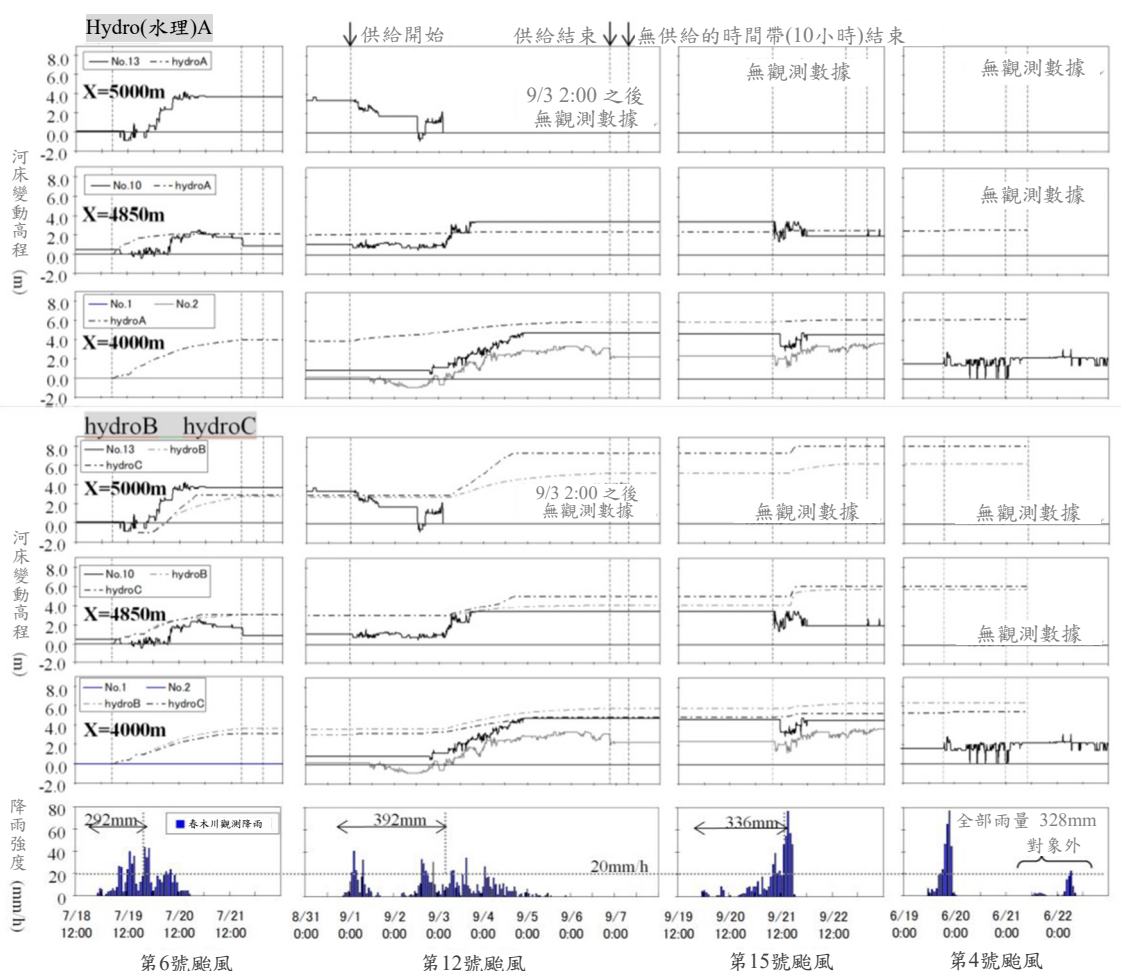
② 地形測量與定點觀測案例

地形測量與定點觀測，係瞭解中期土砂動態的有效方法之一。例如，松岡等<sup>7)</sup>在芋川流域進行空載光達計測資料之差分分析，定量地掌握了2004年新潟縣中越地震引致大規模土砂生產後近二年的流域土砂動態。將地震剛發生的2004年10月及2005年5月、2006年5月之測量結果，進行差分分析，推估新崩塌、擴大崩塌、與二次崩塌引致的土砂生產量及生產土砂流入河道量之長年變化。此外，以差分分析推估河床變動量，也推估芋川流域土砂流出量長年變化（參考圖5.1.2）。



參考圖 5.1.2 芋川流域土砂生產量及進入東竹澤地區的土砂流出量<sup>7)</sup>

丹羽等<sup>8)</sup> 利用設置在春木川的砂面計定點觀測結果，搞清楚了 2011 年春木川大規模土砂產生後的河床時間序列變化實況（參考圖 5.1.3）。根據觀測資料，得知 2011 年第 6、第 12 號颱風使該河川的河床上升，之後第 15 號颱風來襲時，先前上升的河床維持不變，但到隔年第 4 號颱風來襲時，河床下降了。從春木川的砂面計設置地點的定點照片，發現大規模土砂產生前，河床堆積著大的砂礫，颱風引致大規模土砂產生後，變成細粒砂石覆蓋河床。另一方面，大規模土砂產生 3 年後，輸送河床土砂的水路（深槽線）護甲化，該水路之外的河道則殘存細粒砂石（參考圖 5.1.4）。



參考圖 5.1.3 以砂面計觀測春木川河床高程的時間序列變化<sup>8)</sup>

(No.為砂面計的測量結果。hydroA~C 分別是原著論文中動床演算所設定流量歷線模式的演算結果)

大規模土砂  
產生前



河床覆蓋著較粗的礫石。

大規模土砂  
產生剛結束



河床覆蓋著比較細粒材  
料。

大規模土砂  
產生半年後



河床受侵蝕，部分河床  
材料粗粒化，但河床材  
料整體上比大規模土砂  
生產前細碎化。

大規模土砂  
產生3年後



侵蝕繼續進行，水路  
附近的河床材料持續  
粗粒化。水路之外的  
河床材料較大規模土  
砂生產前者細粒。

參考圖 5.1.4 春木川設置砂面計周邊河床材料之變化  
(富士川砂防事務所攝影)

#### 【監測相關參考資料】

- 2) 河川砂防技術基準 (調查編)
- 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 瞭解土砂流出狀況所需的調查結果分析與活用

大規模土砂產生後的土砂流出狀況調查結果，可瞭解並預測土砂流出量與其長年變化，以及對下游區與水庫等的影響，並提供檢討實施土砂流出對策、判斷緊急對策結束時間點，以及制定長期土砂流出對策必要性等之參考。特別是在設置有能配合土砂流出狀況變更型式與形狀之設施的流域，可參考本調查與分析結果，決定最佳設施型式與形狀。分析時，應綜合監測結果與動床演算結果，預測未來狀況。

編譯：農業部農村發展及水土保持署

Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation

January 2024

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。