

ISSN 1346-7328  
國總研資料 第1048號  
2018年 11月

# 國土技術政策總合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1048

November 2018

## 動床演算所使用土砂與洪水氾濫對策相關 砂防設施配置檢討指引（案）

内田 太郎、小松美緒、坂井佑介

Guideline for analysis of Sabo facilities planning against sediment and  
flood damage using numerical simulation

Taro UCHIDA Mio KOMATSU Yusuke SAKAI

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

## 動床演算所使用土砂與洪水氾濫對策相關砂防設施配置檢討指引（案）

内田太郎\* 小松美緒\*\* 坂井佑介\*\*\*

### Guideline for analysis of Sabo facilities planning against sediment and flood damage using numerical simulation

Taro UCHIDA\* Mio KOMATSU\*\* Yusuke SAKAI\*\*\*

#### 概要

本資料係就上游土砂流出伴隨河床抬升引致土砂與洪水氾濫所造成災害之砂防設施配置檢討方法予以彙整。本資料掌握山區流域豪雨時土砂動態特徵、近年來調查與分析技術之進步，整理出依數值演算分析方法。此外，考量分析技術有其極限性，也一併說明方法與條件設定相關之不確定性的檢討方法。

關鍵詞：土砂與洪水氾濫、砂防設施配置計畫、土砂動態分析方法、山區河川

#### Synopsis

This report is a guideline for analysis of Sabo facilities planning against sediment and flood damage due to riverbed aggradation. This report shows a method using the numerical simulation based on characteristics of sediment dynamics and the recent advances of research and technology on sediment dynamics in mountain area. Moreover, we considered limits of current technology and shows uncertainty analysis for analytical method and parameter setting.

Key Words; sediment and flood damage, Sabo facilities planning, sediment dynamics analysis method, mountain river

---

\*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 砂防研究室 交流研究員 Researcher, SABO Planning Division, SABO Department

\*\*\*土砂災害研究部 砂防研究室 主任研究官 Senior Researcher, SABO Planning Division, SABO Department

# 動床演算所使用土砂與洪水氾濫對策相關 砂防設施配置檢討指引（案）

2018年 11 月

國土技術政策總合研究所

土砂災害研究部 砂防研究室

動床演算所使用土砂、洪水氾濫對策相關  
砂防設施配置規劃指引（案）

目 錄

前言	1
第 1 編 概說	
1 基本事項	
1. 1 對象之現象	3
1. 2 評估方法	6
第 2 編 設施配置檢討	
2 計算準備	
2. 1 保全對象之圈定	7
2. 2 計畫土砂生產量之設定	9
2. 3 動床演算準備之概說	10
2. 4 動床演算實施區間之設定	11
2. 5 水與土砂供給地點之設定	12
2. 6 河道形狀之設定	15
2. 7 河床條件之設定	17
2. 8 設施之設定	18
3 水供給條件之設定	
3. 1 計畫降雨（降雨波形與降雨分布）設定之構想	20
3. 2 計畫降雨（降雨波形與降雨分布）之設定	21
3. 3 逕流分析之實施	22
3. 4 輸入流量歷線之設定	23
4 土砂供給條件之設定	
4. 1 粒徑分布之設定	24
4. 2 土砂供給量時間序列數據之設定	25
4. 3 設施效果評估	30
5 動床演算之實施	
5. 1 動床演算之構想	32

5. 2	演算之實施	33
6	土砂、洪水氾濫分析與災害推估之實施	
6. 1	氾濫開始點之設定	34
6. 2	土砂、洪水氾濫分析與災害推估之實施	34
7	設施配置計畫之檢討	
7. 1	設施配置計畫檢討之構想	35
7. 2	明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動之流域與區間的圈定	36

### 第 3 編 重現演算之實施

8	過去災害之重現演算	
8. 1	基本構想	38
8. 2	對象事象之圈定	38
8. 3	重現演算之準備	39
8. 3. 1	資訊蒐集與現象復原	39
8. 3. 2	演算準備	39
8. 4	重現演算之實施	39
8. 4. 1	實際成果與演算結果整合性之驗證	40
8. 4. 2	輸入條件與分析方法之修正	41

### 第 4 編 設施配置計畫之檢核

9	設施配置計畫之檢核	
9. 1	小於計畫規模之現象的效果	42
9. 2	現況河道斷面之效果	42
9. 3	不確定性之評估	43
9. 3. 1	不確定性之概念	43
9. 3. 2	降雨分布狀況差異之影響	43
9. 3. 3	土砂供給條件差異之影響	44
9. 3. 4	氣候變動等對降雨量變化之影響	44
9. 3. 5	演算條件差異之影響	45

## 前言

防止土砂運移所引致災害，須預測將來可能產生之土砂運移現象，適當地進行對策設施效果評估，擬定對策計畫。過去已進行大量有關流域內土砂運移現象之理論研究、現地調查與觀測、水渠試驗及數值分析等調查與研究，逐漸釐清流域內土砂運移之實態、機制與砂防設施效果。此外，也有人依據所掌握土砂運移現象的實態與機制等相關知識見解，研發動床演算等數值分析方法，因而確認數值分析係預測將來產生土砂運移現象之極有效工具。

另一方面，山區河川具有異於平原區域下游河川的特徵<sup>1),2),3)</sup>。特別是豪雨時土砂動態與中小規模洪水時土砂動態差異明顯。亦即，中小規模洪水大多不會發生坡面崩塌與土石流，坡面表面侵蝕之土砂供給或河道內土砂再移動則可能引致土砂流出。另一方面，豪雨時坡面崩塌與土石流等造成大量土砂生產、供給河川大量土砂。例如，2017 年 7 月九州北部豪雨，山坡坡面與溪流發生許多坡面崩塌與土石流，土砂大量生產、流下與氾濫，造成嚴重災情<sup>4)</sup>。

動床演算等數值分析係推估豪雨時土砂與洪水氾濫災害雖為相當有效之方法，但評估豪雨時之山區河川土砂動態，則有必要依照豪雨時山區河川土砂動態分析方法，並適當地設定演算條件。

本指引係在策定河川砂防技術基準（計畫編）（2005 年版）所定砂防計畫時，針對伴隨大量土砂生產之豪雨時，採用動床演算土砂與洪水氾濫災害推估方法及對策設施效果評估方法，彙整近年來該領域之研究與技術開發成果而成。

此外，本指引「例示」所說明內容，係當前可應用之方法，另外還有不少有必要以新研究與技術研發開發更合乎目的之項目。因此，這類項目不妨使用「例示」以外之方法。

### [參考文獻]

- 1) 水山高久（2015）：わかりやすい砂防技術（易懂之砂防技術），全國治水砂防協會
- 2) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室（2015）：豪雨時の土砂生産をともなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生產土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號

- 3) 藤田光一等（2008）：日本におけるダムと下流河川の物理環境との関係についての整理・分析：ダムと下流河川の自然環境に関する議論の共通基盤づくりの一助として（日本水壩與下游河川物理環境關係之整理與分析：建立水壩與下游河川自然環境相關討論之共同基礎），國土技術政策總合研究所資料，第 445 號，40-44
- 4) 例如，丸谷知巳等（2017）：2017 年 7 月の九州北部豪雨による土砂災害（2017年7月九州北部豪雨所引致土砂災害），砂防學會誌，70(4)，31-43

# 第 1 編 概說

## 1. 基本事項

### 1.1 對象之現象

#### 【構想】

山區土砂生產與運移所引致災害種類繁多。例如，河川砂防技術基準（計畫編）（2005年版）<sup>1)</sup>之中，從規劃的角度，將依災害形態分類為：

- ① 上游土砂流出伴隨河床抬升引致土砂與洪水氾濫
- ② 土石流災害
- ③ 漂流木災害
- ④ 火山地區土砂災害
- ⑤ 深層崩塌與堰塞壩所引致異常土砂災害

此外，2007年之後的砂防基本計畫策定指引（土石流與漂流木對策編）<sup>2)</sup>，因土石流區間之土石流與漂流木係結合為一體流下，故視土石流與漂流木為一體，一併處理。

又，河川砂防技術基準（計畫編）（2005年版）依據處理對象現象之持續期間（時間尺度），將對策計畫分為短期、中期、長期三種期間，分別設定所要處理對象之土砂運移現象。各期間相關內容整理如下。

- ・「短期」設定為出現計畫規模現象之連續降雨持續時間。
- ・「中期」設定為短期降雨所生產土砂運移動所影響之數年到數十年期間。
- ・「長期」設定為有必要列入計畫對象、包括短期、中期之數十年或更長期間。

由上可知，山區土砂生產與運移所引致災害，可依據計畫內涵、期間與災害形態進行如圖 1.1 所示的分類。亦即，除了火山砂防、異常土砂災害對策以外的部分，可分類為圖 1.1 之 A 為一次洪水土砂流出所引致災害之防災對策（短期土砂流出對策）、B 為中長期（比一次洪水更長期間）土砂流出所引致災害之防範對策。再者，A 可分類基於砂防基本計畫策定指引（土石流與漂流木對策編）之土石流與漂流木對策（土石流及伴隨土石流流下之漂流木所造成直接災害對策）的（A-1）、上游流出土砂伴隨河床抬升等所引起土砂與洪水氾濫對策的（A-2）、漂流木所引致土砂與洪水氾濫對策（上游流出漂流木阻礙通洪斷面形成土砂與洪水氾濫之對策）的（A-3）。另一方面，B 可分為大規模土砂生產後數個月到數年期間特別活躍之土砂流出對策的（B-1）與流域荒廢等引致持續性土砂活躍流出之對策的（B-2）。



本指引主要探討對象為上述各種山區土砂生產與運移所引致災害形態之中，圖 1.1 之「短期（一次性洪水）土砂流出」所形成現象之 A-2 「上游土砂流出伴隨河床抬升等所引致土砂與洪水氾濫」（以下簡稱「土砂與洪水氾濫」。）（照片 1.1）。此外，此處探討對象之土砂與洪水氾濫所引致災害，包含所謂計畫基準點上游區域與計畫基準點下游區域二者（圖1.2）。

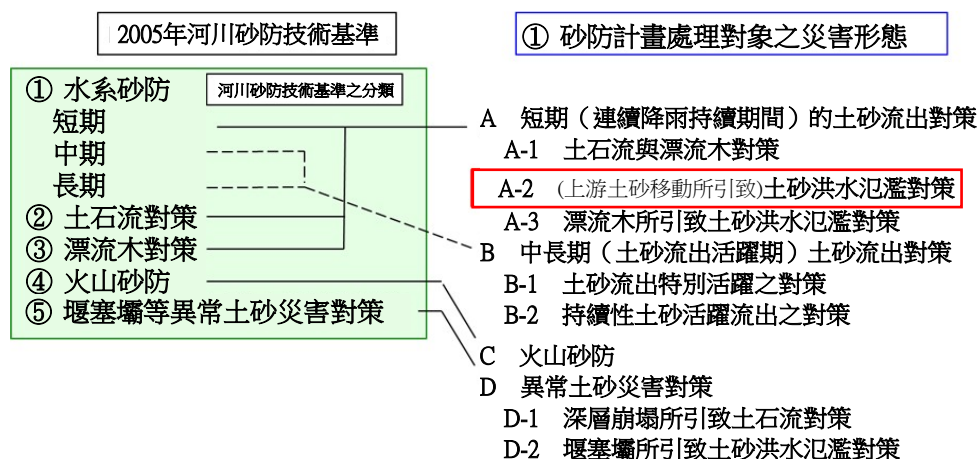


圖1.1 砂防基本計畫處理對象之現象分類  
（國土技術政策總合研究所資料第 874 號<sup>3)</sup>圖局部修訂而成）

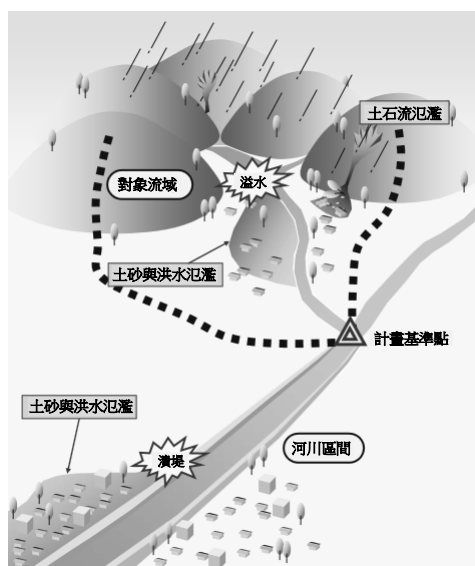


圖 1.2 土砂與洪水氾濫示意圖  
（引自砂防事業成本效益分析手冊（案）<sup>4)</sup>）



照片 1.1土砂與洪水氾濫所引致災害狀況（2018年 7 月豪雨 廣島縣吳市）

**[參考文獻]**

- 1) 河川砂防技術基準（計畫編）2005年版（局長公告（2004年 3 月 30 日））
- 2) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室（2016）：砂防基本計畫策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説（砂防基本計畫策定指南（土石流與漂流木対策編）及同解説），國土技術政策總合研究所資料，第 904 號
- 3) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室（2015）：豪雨時の土砂生産をともなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生産土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號
- 4) 國土交通省水管理・國土保全局砂防部（2012）：砂防事業の費用便益分析マニュアル（案）（砂防事業成本效益分析手冊（案））

## 1.2 評估方法

### 【構想】

本指引基本上係針對對象區域的過去災害實施重現演算，應用已確認、能重現該地區災害的演算條件設定方法（設定動床演算區間、設定水與土砂供給地點等）、分析方法（逕流分析方法、動床演計算方法等），以檢討設施配置計畫。

另一方面，會影響土砂與洪水氾濫的條件（降雨條件、土砂粒徑、土砂生產時間點等）繁多，無法全部有相當精度之預測。因此，檢討設施配置計畫時，即使影響土砂與洪水氾濫的條件與預估之條件有部分乃至於全部不同，也應就設施之效果加以驗證（設施配置計畫檢核）。

本指引章節編輯之檢討重點，第 2 編所示為「設施配置檢討」。加上對「檢討設施配置」所必要之「實施重現演算」、「設施配置計畫檢核」，則分別在第 3 編、第 4 編。

## 第2編 設施配置檢討

### 2. 計算準備

#### 2.1 保全對象之圈定

##### 【構想】

防止、減輕土砂與洪水氾濫所造成災害所需設施配置計畫等對策計畫之檢討，應圈定、設定土砂與洪水氾濫所可能造成災害之主要保全對象。可能造成災害的部分，可依據過去成果進行檢討。

一般而言，土砂與洪水氾濫所可能造成災害的保全對象，可依其立地狀況大致分為①位於扇狀地，②位於谷底平原，③位於下游平原等，依保全對象立地形成的災害形態亦不同。因此，最好針對各保全對象，設定計畫所要處理之現象（情境）。但保全對象過度細分會造成所檢討對象之現象（情境）大增，檢討作業可能太龐大。因此，若由保全對象之立地條件等可清楚看出計畫處理對象與應處理現象（情境）不同時，基本上應設定處理對象之各種現象（情境）。為此，此處儘可能依據立地條件劃分保全對象（圖 2.1），以便能配合立地條件設定計畫所要處理對象之現象（情境）。此外，設定現象（情境）時，有必要從保全對象立地的角度適當地設定計畫降雨，如表2.1示意圖所示（詳細內容參照3.2計畫降雨（降雨波形、降雨分布）之設定）。此外，針對扇狀地保全對象之土石流與漂流木所引致直接災害之對策與評估，基本上應依據砂防基本計畫策定指引（土石流與漂流木對策編）<sup>1)</sup>及砂防事業成本效益分析手冊（案）<sup>2)</sup>，檢討之。非為本篇之對象。

##### 【例示】

〔依據位置劃分保全對象時的構想案例〕

土砂與洪水氾濫對策計畫依據位置劃分保全對象時，可參照如下作法（圖2.1）。

- ① 依計畫基準點、輔助基準點之上游（扇狀地、谷底平原等）或下游（下游平原等）進行劃分。
- ② 依大型支流匯流點、主流與支流匯流點之上游或下游，進行劃分。

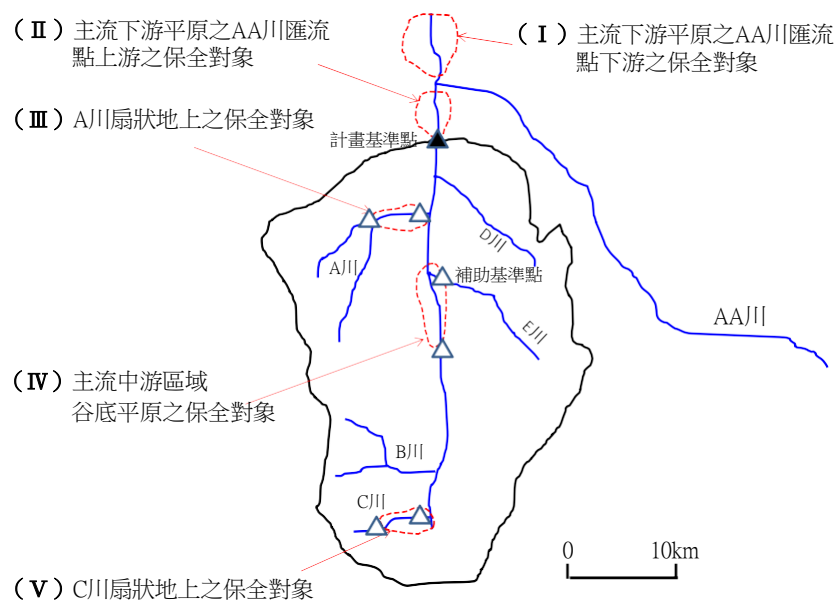


圖 2.1 依保全對象立地條件進行區域劃分示意圖

表2.1 各保全對象計畫降雨條件設定示意圖

保全對象	計畫規模	降雨分布、波形	備註
I 主流下游平原之AA川匯流點下游之保全對象	1/150	S57年型	與計算河川整備基本方針流量時的降雨條件整合
II 主流下游平原之AA川匯流點上游之保全對象	1/150	S57年型	
III A川扇狀地上之保全對象	1/100	H12年型	
IV 主流中游區域谷底平原之保全對象	1/100	H7年型	
V C川扇狀地上之保全對象	1/100	H7年型	

#### [參考文獻]

- 1) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室(2016): 砂防基本計畫策定指針(土石流・流木対策編)及び同解説(砂防基本計畫策定指引(土石流與漂流木対策編)及同解説), 國土技術政策總合研究所資料, 第904號
- 2) 國土交通省水管理・國土保全局砂防部(2012): 砂防事業の費用便益分析マニュアル(案)(砂防事業成本效益分析手冊(案))

## 2.2 計畫土砂生產量之設定

### 【構想】

坡面崩塌、土石流、土砂流等溪床與溪岸侵蝕等所形成的計畫生產土砂量，基本上應參考過去豪雨時的土砂生產實況設定之。設定規模之發生頻率可與3.2節設定計畫雨量之發生頻率整合，設定方法可參考過去實際應用成果，採用依經驗設定或利用數值演算等進行分析設定，或搭配二者之方法。又，不論採用何種方法，基本上都應進行過去豪雨時土砂生產實況相關調查與現地調查。再者，若不以上述方法設定土砂生產量，應確認其妥當性。另外，本指引處理對象為土砂及洪水，漂流木不在處理範圍內。

土砂生產量相關調查可參考河川砂防技術基準（查編）之「砂防調查」。

## 2.3 動床演算準備之概說

### 【構想】

動床演算應劃分流域實施之。動床演算準備之流域劃分如下，以之設定水與土砂供給地點（圖2.2）。

#### ① 動床演算實施區間

實施動床演算，以動床演算算出流量、土砂通過量、河床變動高程之區間

#### ② 上游區域

動床演算實施區間上游端之集水區域

#### ③ 支流流域

動床演算實施區間上游端以外地點流入的河溪之中，流域面積較大流域

#### ④ 剩餘流域

處理對象流域之中，①～③之外的範圍

此外，應針對①之動床演算實施區間，設定其河道形狀與河床條件。

本指引說明①～④之劃分方法，如2.4節所示；水與土砂供給地點之設定，如 2.5 節所示。河道形狀與河床條件之設定，則分別如 2.6、2.7 節所示。

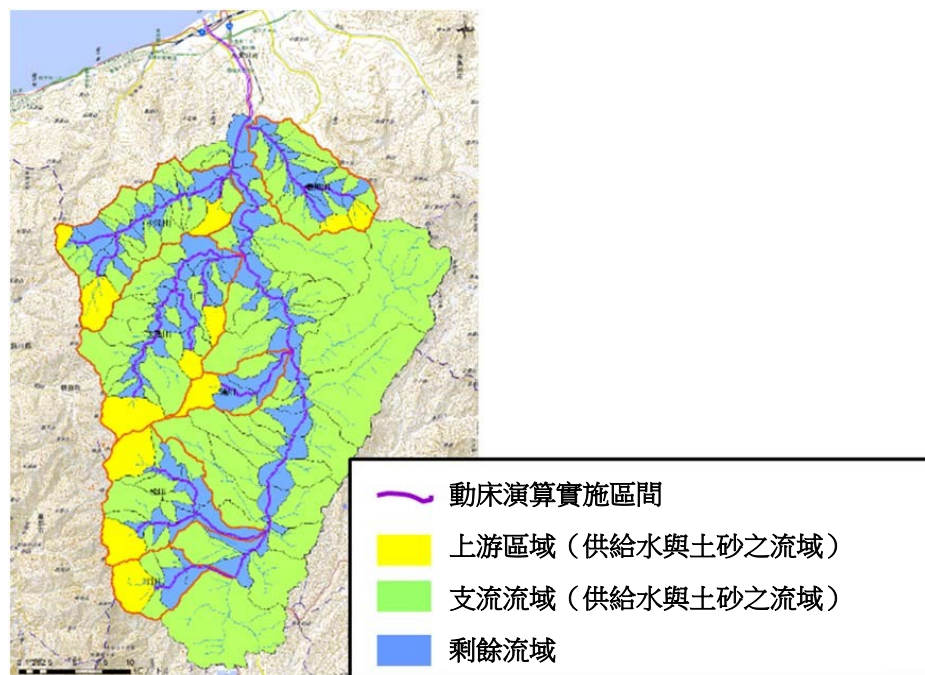


圖 2.2 動床演算實施區間及水與土砂供給地點設定之案例

## 2.4 動床演算實施區間之設定

### 【標準】

檢討土砂與洪水氾濫設施配置計畫等之對策計畫有關的動床演算時，為了能直接評估土砂生產影響與對策設施效果，最好納入土砂生產源或防砂壩等設置區間上游區域設定為動床演算實施區間（以下稱為「演算區間」。）。此外，土砂與洪水氾濫中期計畫（約30年期間之事業計畫）等所預定設置的設施之中，基本上防砂壩等旨在調控土砂輸送的設施，應納入演算區間。此外，2.1節 所設定之保全對象亦應納入上述系列之演算區間。

演算區間可設定為滿足一定地形條件之區間。具體而言，基本上應以一定的河床坡度或流域面積作為臨界值，設定演算區間之上游端。亦即以河床坡度比所設定臨界值坡度和緩的區間或流域面積大於臨界值面積之區間作為演算區間，實施動床演算。需注意演算區間數變大時，得耗費更多勞力設定演算條件與演算，因此妥為設定可作為臨界值之河床坡度與流域面積。此外，即使河床坡度與流域面積大於臨界值，若無保全對象或無砂防事業計畫，可從演算區間中剔除。但若演算區間上游端之上游有土砂與洪水氾濫相關之保全對象，便無法評估該保全對象是否會遭受災害。因此，演算區間上游若推估有遭受土砂與洪水氾濫災害之保全對象，可不參考臨界值而例外地提高演算區間上游端。

### 【例示】

〔演算區間上游端河床坡度構想之案例〕

演算區間上游端之河床坡度應參考流域地形設定之。例如，陡峭山區與土石流流下區間下緣之坡度可設定為 $10^{\circ}$ <sup>1)</sup>。土石流流下區間除非以設施攔阻土砂，否則一般而言土砂淤積量小，因此，若演算區間上游端設定在土石流流下區間之下游端，會有演算區間外設施較容易處理之優點。但因不納入演算區間，難以驗證評估結果，並且可能產生土砂供給時間不確定性等問題。此外，演算區間外設施之處理方法，如4.3節 所示。

### 【參考文獻】

- 1) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室（2016）：砂防基本計畫策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説（砂防基本計畫策定指引（土石流與漂流木対策編）及同解説），國土技術政策總合研究所資料，第 904 號



## 2.5 水與土砂供給地點之設定

### 【標準】

動床演算之水與土砂供給地點，有必要綜合參考過去災害時的崩塌與土石流分布狀況、土砂生產量之空間分布、土砂生產形態、各種調查結果、演算區間設定狀況等，適切地設定之。具體而言，基本上依據下列方法實施。

- ① 2.4 節所設定演算區間（圖 2.2 紫色區間）之上游端，基本上係動床演算時，為輸入從上游區域（圖 2.2 黃色流域）流出的水與土砂所需之水與土砂供給地點。
- ② 無保全對象或無砂防事業計畫、流域面積小於臨界值等不進行動床演算的支流之中，小於臨界值但流域面積相對大的支流可能明顯影響土砂動態，因此該支流與演算區間的匯流點，基本上應設定為支流供給土砂之水與土砂供給點（圖 2.2 綠色流域）。
- ③ 此外，不受流域面積大小影響、土石流危險溪流等預定設置土石流對策所需防砂壩等的溪流，考量設施之效果，基本上應視為支流流域（圖 2.2 綠色流域），設置支流供給土砂之水與土砂供給點。
- ④ 上述①～③之外的區域（剩餘流域）（圖 2.2 藍色流域）基本上無土砂供給。但若依據過去災害或地形特徵判斷適合由溪岸侵蝕等供給土砂，可設定為土砂供給地點。

只由上游區域與支流區域依其流域面積比例之供水，可能會低估水的供給量，因此，即使不會供給土砂之剩餘流域，也可設定為只供給流出之水（圖 2.3）。此外，土砂供給地點以4.2節 所示方法所算出之土砂供給量遠低於依實際應用成果所設定計畫土砂生產量（參照2.2），或依過去災害的重現演算（參照第8章）時，此等土砂供給量遠低於實際土砂生產量的情況，應適度修正供給地點之位置與數目，以縮小與實際成果之差距。

### 【例示】

〔剩餘流域流出水供給地點設定方法之案例〕

剩餘流域流出水供給地點之設定方法如下。設定剩餘流域供給水時，可使用如圖 2.3 所示，均分與該剩餘流域相連演算區間之水量的供水方法等。

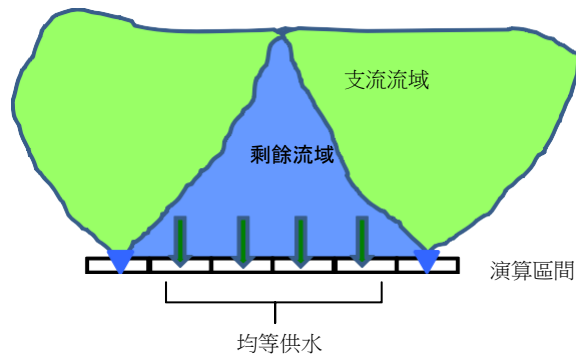


圖 2.3 剩餘流域供水方法之案例（示意圖）

〔土砂供給點相關注意要點〕

由演算區間上游區域（圖 2.2 黃色流域）及流域面積較大支流（圖 2.2 綠色流域）流出土砂之供給方法，無法像演算區間那樣呈現溪岸侵蝕或溪岸崩塌、小支流土石流等所形成的土砂生產。小支流土石流或溪岸侵蝕等可能產生大量土砂供給時，上游區域（圖 2.2 黃色流域）與支流流域（圖 2.2 綠色流域）出口之外的地點（剩餘流域），可直接在河道上設定土砂供給地點。

此外，土砂供給地點正上游或正下游有坡度變化點時，坡度變化點可能形成劇烈河床變動，造成土砂供給地點坡度變化，因此，最好確保土砂供給點與坡度變化點保持一定距離（圖 2.4）。



圖 2.4 土砂淤積引致土砂供給地點坡度變化示意圖

〔土砂供給點修正之案例〕

小起伏山地上游流域面積寬闊地點設定土砂供給點而達成給砂平衡時，坡度變緩時所形成之土砂平衡濃度變小，在此情況下，土砂供給地點有時會出現土砂供給量遠低於依過去實際成果所設定計畫土砂生產量等，而與實際成果乖離的狀況。此時可如圖 2.5 所示，增加土砂供給地點，讓土砂供給地點往上游移動（圖 2.5 紅色虛線及黑色虛線箭頭流域）。

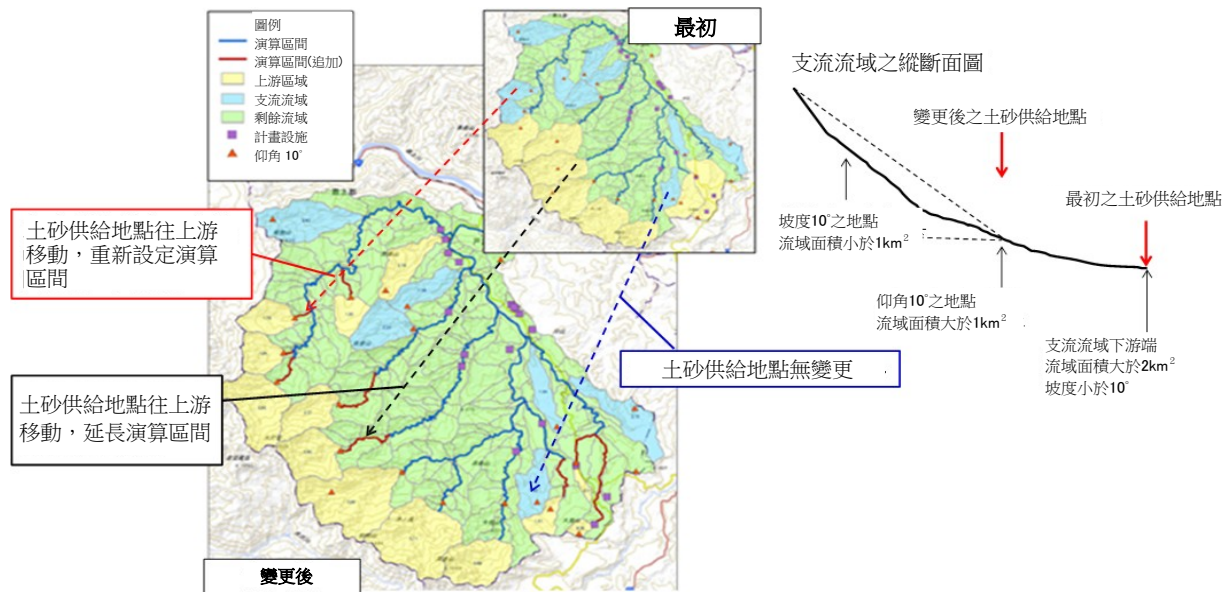


圖 2.5 土砂供給點修正之案例（土砂供給地點往上游移動之案例）

\*本案例一開始將集水面積達 $2\text{km}^2$ 之地點設定為土砂供給地點。但土砂供給量遠小於計畫土砂生產量。另一方面，演算區間上游端河床坡度小於 $10^\circ$ 之地點，其演算區間上游端流域面積較小，得設定較多的演算區間。因此，本案例之中演算區間上游端集水面積大致設置為大於 $1\text{km}^2$ ，並以到流域上游端為止的仰角 $10^\circ$ 以上之地點作為演算區間上游端。其結果是演算區間上游端往上游移動（圖 2.5之黑色虛線箭頭所指流域），支流設定新的演算區間（圖 2.5 紅色虛線箭頭所指流域）。另一方面，仰角 $10^\circ$ 地點靠近本流、演算區間變短時，或仰角 $10^\circ$ 地點靠近上游端而流域面積無法大於 $1\text{km}^2$ 時，則如最初之設定，不變更土砂供給地點（圖 2.5 藍色虛線箭頭所指流域）。

## 2.6 河道形狀之設定

### 【構想】

河道形狀基本上應配合檢討目的設定之，但檢討設施配置計畫時，應遵從「砂防事業成本效益分析手冊（案）（2012年3月）」之內容，設定河道形狀。「砂防事業成本效益分析手冊（案）」所設定之河道形狀如下。

「治水對策之河川事業區間，基本上採用以河川整備基本方針之計畫流量規模對應的河道斷面。但不存在此等河道斷面或狀況不明確時，可使用現況河道斷面。」

### 【標準】

計畫基準點上游山區河川等未訂定河川整備基本方針設定流量（以下稱為「河川整備基本方針流量」。）時，基本上就現況河道形狀，以航空光達測量結果等設定之。

另一方面，設定河川整備基本方針流量之區間，基本河道寬度應參考河川整備基本方針，評估上游流域土砂運移對土砂與洪水氾濫影響所需河川通洪斷面積，設定為河川整備基本方針流量所能流下之最小斷面。亦即，基本上依據 3.3 節實施逕流分析設定供給流量，並單就水流之流下的計算，決定斷面大小。

### 【例示】

〔河道形狀設定方法之案例〕

1 維動床演算採用河道橫斷面形狀，可設定為矩形、近似梯形或任意斷面（任意橫斷面形狀）。但若河道橫斷面形狀為梯形而只有河床部位產生河床變動（斜邊部分未產生河床變動），須注意若設定河道與河床寬明顯小於水面寬之形狀（圖 2.6），河床變動所形成寬度有時會明顯變小。

此外，上游區域等現況河道非常寬時，地形上河道寬明顯大於洪水時水流可能流下寬度的區間，可設定水流流下寬度為河道寬。設定水流流下寬度可採用河制法則等，可根據小時流量的計算方法，或依據洪水時洪峰流量等進行設定<sup>1)</sup>。

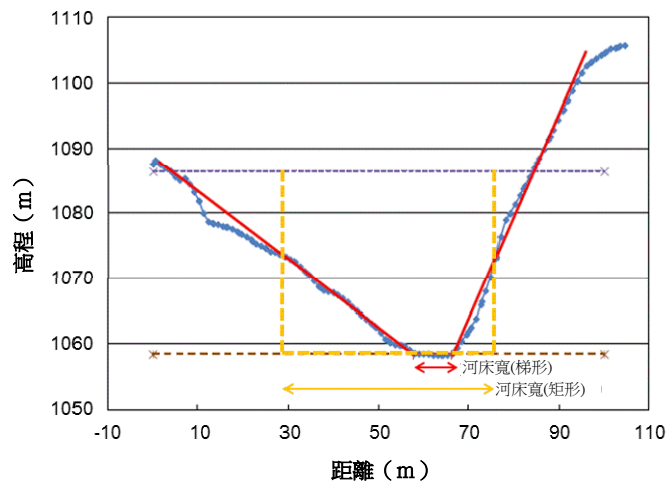


圖 2.6 河道橫斷面形狀近似梯形時的案例

\*藍線為依據高程數值所作成之橫斷面，紅線為近似梯形之演算區間斷面，橘色虛線為近似矩形之案例。近似梯形時，河床寬小於矩形。

#### [參考文獻]

- 1) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室（2015）：豪雨時の土砂生産をともなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生産土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號

## 2.7 河床條件之設定

### 【標準】

山區河道內的河床狀況變化多端。因此，應考量河床材料移動可能性，演算區間並非一樣，而應調查現況河床與河床紀錄，進行分類，然後據此設定河床條件（設定為固定河床或移動河床，或為移動河床時的河床材料粒徑分布、侵蝕可能深度）。

河床為裸露岩體之區間、有防砂壩等橫向構造物地點、大粒徑土石覆蓋區間等一般認為基本上不會產生侵蝕的區間，分析河床條件時基本上視為固定河床。

另一方面，河床上可能移動土砂之淤積區間，基本上視為移動河床加以演算。此外，侵蝕可能深度與河床材料之粒徑分布，基本上應依據過去的實際成果或現地調查設定之。設定河床材料之粒徑分布時，基本上應注意細粒徑成分之粒徑尺度分級對土砂流出量等的演算結果影響較大，基本上粒徑尺度分級應設定為5或5以上，儘可能重現過去的災害實際成果。

此外，防砂事業對策對砂防計畫基準點下游河床變動、土砂與洪水氾濫相關之效果與河川事業等的效果或影響分開評估時，基本上演算時應將砂防計畫基準點下游河床視為固定河床。

### 【例示】

〔固定河床區間設定之案例〕

河床為裸露岩體區間、大粒徑土石覆蓋區間，可依據航空照片等判釋，進行設定（圖 2.7）。



圖 2.7 固定河床區間設定之案例

\*依據航空照片，圈定河床為裸露岩體之區間、大粒徑土石覆蓋之區間。

## 2.8 設施之設定

### 【標準】

演算區間內以控制土砂輸送為目的之防砂壩，基本上設定方法如下表2.2所示。

未滿砂之防砂壩動床演算時無法呈現攔阻、淤積空間詳細之地形，因此，實際地形所推估之滿砂時淤砂空間體積與利用動床演算近似河道形狀算出之滿砂淤砂空間體積有所不合時，基本上應修正河道形狀、演算空間尺度等，減少不合程度。但應極力設定兩者滿砂時的河床坡度為相等。

表 2.2 一般演算區間內防砂壩操作之案例

防砂壩種類	操作方法
不透過型(滿砂)	防砂壩本體所在地點設定為固定河床，淤砂區域則以淤砂區域之地形作為演算條件。
不透過型(未滿砂)	里深、水山（2005） <sup>1)</sup> 所採取之演算方法等。
土石流區間之透過型	與不透過型（未滿砂）相同
推移區間之透過型	設定地形條件或邊界條件，以呈現水流湧高之狀況。

### 【例示】

〔為評估設施攔阻土砂、淤積適切空間而修正地形條件之案例〕

動床演算之空間尺度（演算間隔）固定時，有時會出現防砂壩等設施位置與演算上的演算點不一致或無法充分呈現淤積區域河道形狀之狀況。出現這類狀況時，應透過調整演算的河道寬等，將效果量提高到接近實際狀況（圖 2.8）。或者也可縮小防砂壩附近的動床演算空間尺度(演算間隔)，讓效果量接近實際狀況。

又，河道橫斷面形狀設定為矩形時，所設定河道寬可能效果量過小於或過大於實際狀況。此時可調整演算上的河道寬等，讓效果量接近實際狀況。

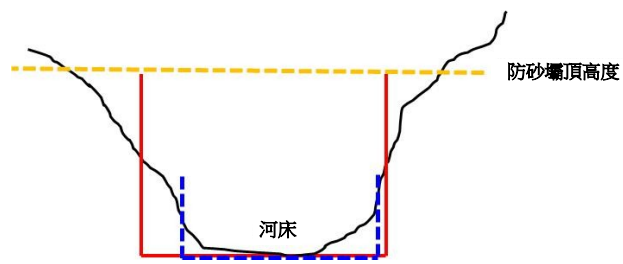


圖 2.8 防砂壩設置地點橫斷面示意圖

\*藍色虛線所繪最初矩形斷面之河道形狀，其防砂壩容量過度低估。若要讓防砂壩效果量接近實際狀況，有必要設定如紅色實線所代表的斷面。

#### [參考文獻]

- 1) 里深好文、水山高久（2005）：砂防ダムが設置された領域における土石流の流動・堆積に関する数値計算（設置防砂壩區域之土石流流動與淤積相關之數值演算），砂防學會誌，58(1), 14-19



### 3. 水供給條件之設定

#### 3.1 計畫降雨（降雨波形與降雨分布）設定之構想

##### 【構想】

推估保全對象相關土砂與洪水氾濫所引致之災害，有必要配合保全對象之位置，設定降雨條件。處理對象之保全對象地點以上之流域面積小時，應考慮下雨區域狹小且集中豪雨等，導致流域平均降雨強度非常大之可能（圖3.1左 A川下游的保全對象）。

即使相同降雨，處理對象之保全對象地點以上之流域面積大時，即使流域內局部出現下雨區域狹窄且集中豪雨的情況，仍可能因為流域內其他區域降雨強度較小而降低流域平均降雨強度（圖3.1左 計畫基準點下游之保全對象）。此等降雨分布狀況的保全對象，受災可能性未必不高。另一方面，即使非局部降雨強度極強區域，若覆蓋整個流域的高強度下雨區域範圍太大，流域平均降雨強度有變大的可能，（圖3.1右）。換言之，即使相同地區相同發生機率，也可能因為不同降雨條件或降雨波形而出現不同受災位置之保全對象。

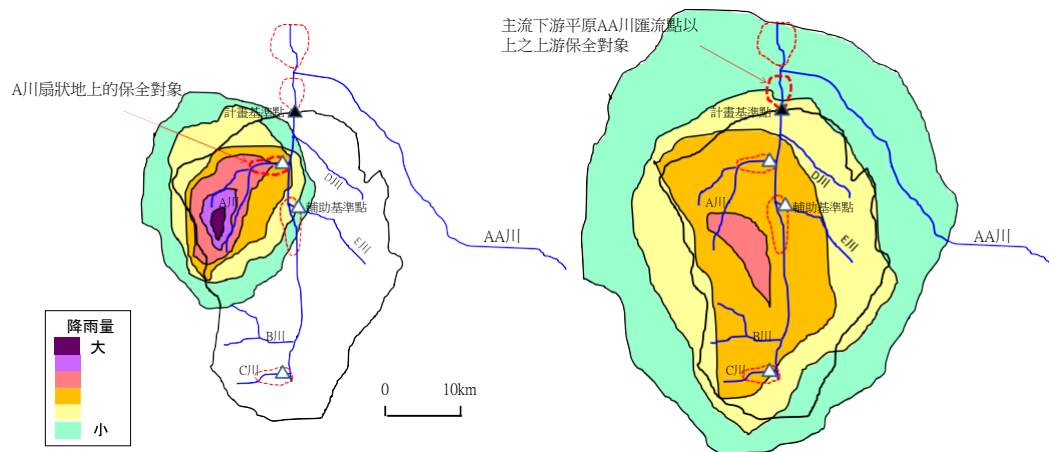


圖3.1 計畫降雨之降雨分布示意圖

\*左圖為以A川扇狀地上保全對象為對象時的計畫降雨之降雨分布示意圖。A川上游區域下雨區域狹小，流域平均降雨強度非常大。右圖為以主流下游平原保全對象為對象時計畫降雨之降雨分布示意圖，並無局部降雨強度極大區域，但整個流域覆蓋雨區廣闊之高強度降雨。

### 3.2 計畫降雨（降雨波形與降雨分布）之設定

#### 【標準】

依據過去降雨實際應用成果，基本上針對2.1節所分類的保全對象，一一設定其降雨波形與降雨分布作為設定計畫降雨之條件（參照表3.1）。保全對象周邊之河川若已確定其河川整備基本方針流量，基本上以設定各種階段（為計算成本效益分析所需之年平均災害金額等設定各種機率規模之下的降雨條件）的計畫降雨條件中最大的降雨條件（計畫規模之降雨條件），作為演算河川整備基本方針流量所使用之降雨條件。河川整備基本方針流量未定時，基本上應依據過去的實際成果設定降雨條件；降雨發生機率則依砂防基本計畫之計畫規模而定。此外，若依據過去降雨實際成果設定流量而有各種候補降雨條件，基本上應分析各種候補降雨條件之降雨波形，設定處理對象之保全對象所可能形成最大災害的降雨條件。

表3.1 計畫降雨條件設定之示意圖

保全對象	計畫規模	降雨分布、波形	備註
I 主流下游平原AA川匯流點之下 游保全對象	1/150	S57年型	與計算河川整備基本方針流量時 之降雨條件與整合
II 主流下游平原AA川匯流點之上 游保全對象	1/150	S57年型	
III A川扇狀地上的保全對象	1/100	H12年型	
IV 主流中游區域谷底平原 的保全對象	1/100	H7年型	
V C川扇狀地上的保全對象	1/100	H7年型	

#### 【例示】

〔設定計畫降雨時的注意要點〕

關於計畫基準點上游24小時雨量、日雨量等指標，雨量規模雖在以往之防砂計畫有設定，卻未設定計畫之降雨波形。在此情況下，設定計畫降雨波形時，應參照過去豪雨時的降雨波形，採用讓24小時雨量、日雨量等指標滿足計畫規模而放大實際降雨波形之方法，以及依據降雨持續時間與降雨強度關係（雨量強度公式）加以設定之方法。此外，放大降雨波形的方法，包含固定比例放大對象期間整體波形，或將降雨尖峰時附近往中心放大的方法等，可考慮不同的放大方法。

### 3.3 逕流分析之實施

#### 【構想】

逕流分析旨在設定水供給地點之輸入流量歷線。「砂防事業成本效益分析手冊（案）（2012年3月）」之中有關逕流分析的說明如下。

「演算所使用之流量歷線基本上應參考「治水經濟調查手冊(案)」決定之；若以該方法無法充分重現過去的災害實際成果時，應考量過去災害之降雨實況，設定災害實際成果等重現性高的流量歷線。」

本指引亦遵循此構想，進行逕流分析。

#### 【標準】

逕流分析方法及其所使用參數，基本上採用有關可能範圍內降雨規模較大之豪雨時的觀測結果，確認其重現性。逕流分析應針對3.2 節所設定之全部降雨條件，實施之。下游流域等在訂定河川整備基本方針流量時，逕流分析方法及所使用參數，也可採用河川整備基本方針流量之設定方法，。此外，逕流分析方法及所使用參數，可不依降雨條件而採用共通作法，但採用河川整備基本方針流量之設定方法而無法充分確保上游區域之重現性時，單一流域也可採用多種逕流分析方法與參數。

### 3.4 輸入流量歷線之設定

#### 【標準】

各水流供給地點之輸入流量（水文）歷線，基本上採用以逕流分析求得之流量歷線。

下游河川觀測地點流量規模之事前推定，或與過去觀測結果整合而推定、設定分析條件（參數）時，基本上應考量傳播時間差異導致下游合成的流量歷線形狀產生變化，造成洪峰流量減少之影響。此外，從演算區間上游端到該地點為止，區間土砂淤積之同時，水會堆積在河床淤積土砂孔隙，致使流水水量減少，在進行設定演算區間上游端的流量歷線時應加以考量。

#### 【例示】

〔洪水波形傳播時間差異考量方法之案例〕

設置河川整備基本方針流量採用逕流分析方法與參數，在設定下游河道洪水波形時，有必要考量洪水波形傳播時間差異，以設定水流供給地點之水流供給時間點。此時可配合從推定參數的下游河川觀測地點至水流供給地點為止之距離，下游河川觀測地點洪峰同時期在水流供給地點設定的流量歷線圖所形成之時間差予以設定（圖3.2B）。

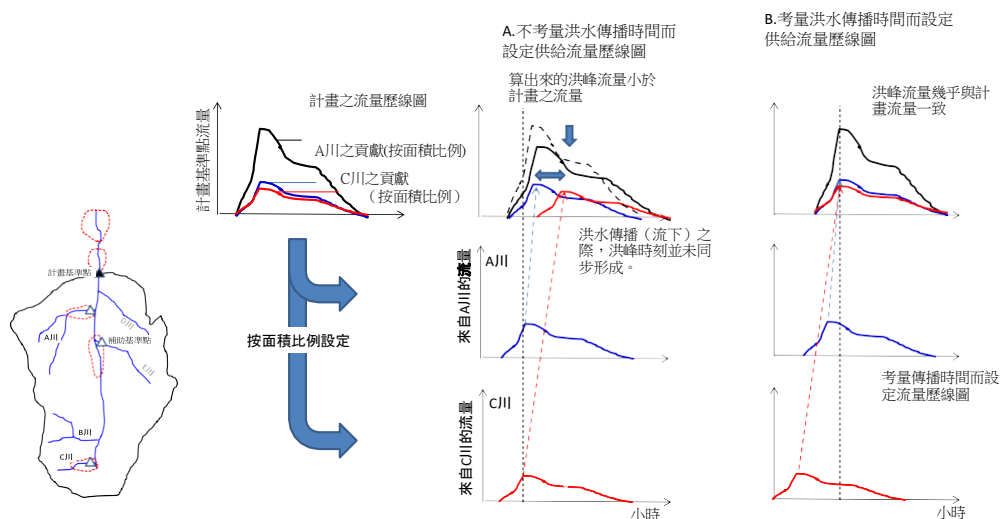


圖3.2 考量洪水波形傳播時間差異之案例

\*A川或C川到計畫基準點有點距離，洪水會延遲到達。因此，如A.不考量洪水傳播時間而設定供給流量歷線，在基準點之洪峰流量可能小於計畫流量。此時可如B.所示，考量洪水傳播時間設定供給流量歷線。

## 4. 土砂供給條件之設定

### 4.1 粒徑分布之設定

#### 【標準】

演算區間上游區域（圖 2.2黃色流域）或支流（圖 2.2綠色流域）流出之土砂粒徑分布，基本上為生產土砂之粒徑分布。生產土砂之粒徑分布，基本上應基於崩塌土砂或土石流淤積物粒徑分布相關調查結果，考量與河床淤積土砂粒徑分布差異，設定之。設定時，基本上應分別針對各生產源、生產形態（例如土石流、坡面崩塌、溪岸侵蝕等），一一設定之，但若生產源所造成差異與生產形態所造成差異不明顯，可使用相同的粒徑分布。

供給土砂之粒徑分布設定時，應採取與河床質相同的粒徑分級，粒徑分級基本上大致為 5 或大於 5。此外須注意，細粒徑之粒徑分級的設定，有時會明顯影響分析結果。

#### 【例示】

##### [各生產源供給土砂設定之案例]

圖 4.1為基於現地調查結果設定土砂生產（土砂供給）、河床質粒徑分布之案例。如圖所示，生產土砂之粒徑較之河床質粒徑相當小。

此外，該流域主要分布為變質岩與沉積岩（圖 4.1 右）。此時會因地質因素產生較小材料的粒徑分布不同（圖 4.1 左）。若因地質或上游區域荒廢狀況等明顯差異時，可針對各土砂供給地點設定不同的粒徑分布。

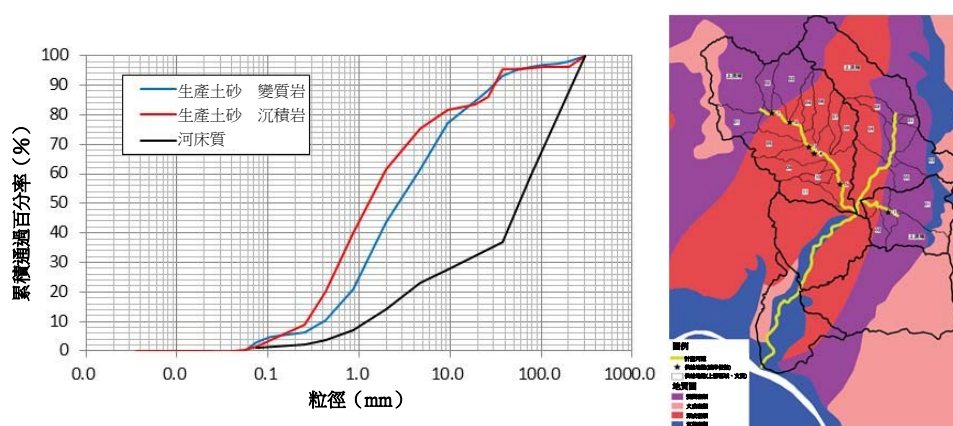


圖 4.1 針對各生產源與生產形態設定供給土砂粒徑分布之案例

## 4.2 土砂供給量時間序列數據之設定

### (1) 土砂供給期間之設定

#### 【標準】

土砂供給地點動床演算輸入之供給土砂量時間序列資料，基本上應考量土砂生產時間點來設定。亦即，基本上應設定降雨條件或水理條件等滿足一定基準之期間為土砂供給期間（土砂供給地點之供給土砂期間）。

土砂供給期間有時也會因土砂供給地點產生差異。此外，若要考量溪岸侵蝕所產生土砂供給時，基本上應考量土砂生產時間點對結果的影響，並進行如9.3.3 所示的不確定性評估。

#### 【例示】

[基於土石流發生之相關水理條件設定土砂供給期間之案例]

判定土砂供給地點或其上游流域水理條件是否滿足河床材料運移條件，將滿足之期間設定為土砂供給期間。判定時可採用基於過去實際成果進行判定的方法，以及依據理論公式等進行判定的方法。基於過去實際成果進行判定的方法，係基於過去實際成果設定土砂生產與流出量，將超過設定流量的期間設定為土砂供給期間。

依據理論公式的方法之中，土石流與土砂流區間可依據下列高橋之土石流發生條件公式<sup>1)</sup>，判定之。

$$\tan \theta \geq \frac{C_* (\sigma - \rho)}{C_* (\sigma - \rho) + \rho (1 + h/d)} \tan \phi \quad (\text{公式4.1})$$

在此， $\theta$  為土砂供給地點坡度， $C_*$  為河床容積土砂濃度， $\sigma$  為土石密度， $\rho$  為水流密度， $h$  為水流水深， $d$  為河床土石粒徑， $\phi$  為土石內摩擦角。此外，水流流量可用逕流分析算出。

#### 【參考文獻】

- 1) 高橋 保（1977）：土石流の発生と流動に関する研究（土石流之發生與流動相關研究），京都大學防災研究所年報, 20(B-2), 405-435

[基於崩塌與土石流發生之降雨條件設定土砂供給期間之案例]

降雨規模超過該區域地形、地質、過去氣象條件所造成影響之臨界值，崩塌或土石流發生之危險性就會提高。因此，降雨條件超過崩塌與土石流發生可能性提高之臨界值時間帶，可設定為土砂給期間。臨界值之設定，可應用該區域土砂災害警戒資料之檢討成果。

## (2) 土砂供給濃度之設定

### 【標準】

土砂供給地點動床演算所輸入的土砂濃度，基本上係土砂供給地點坡度等所決定之平衡濃度。即使支流流域，基本上也應以支流流域下游端坡度計算平衡濃度。

礫石型土石流係以較整齊且層流之狀態移動，一般分成流動骨幹之「土石」與填塞土石縫隙之「孔隙水」（圖 4.2）。再者，土石流之中的土砂細粒成分會與孔隙水結為一體流下<sup>1)</sup>。這種細粒土砂與孔隙水結為一體、類似液相狀態運動之現象，稱為細粒土砂「相位偏移」（圖 4.2）。計算平衡濃度時，基本上應考量細粒土砂之相位偏移，評估相位偏移引致孔隙流體密度提高所拉高的平衡濃度。

但在土砂生產量計算單位（單元流域）之土砂供給量，避免高出以2.2節所設定的計畫土砂生產量。此外，若將細粒土砂相位偏移納入考量，土砂供給量為相位偏移後的細粒土砂量與未相位偏移土石量之和。亦即，若以計畫土砂生產量為土砂供給量上限，應設定土砂供給條件，避免相位偏移的細粒土砂量與未相位偏移土砂量之和的大於計畫土砂生產量。

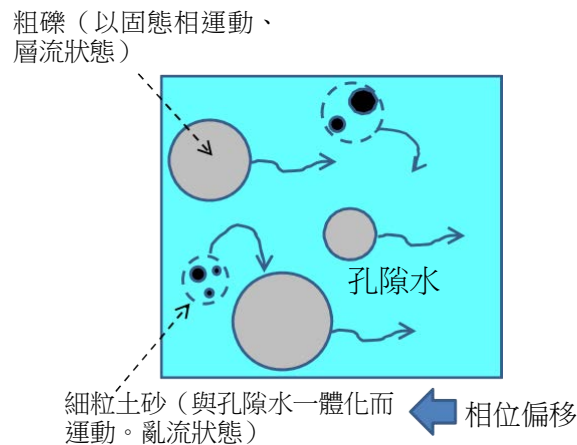


圖 4.2 礫石型土石流中土砂移動形態之示意圖

### 【例示】

在此，相位偏移之考慮，可將土石流中的土砂分類為相位偏移細粒土砂與未相位偏移土石（圖 4.2）。因此，土砂供給地點之土砂量（ $V$ ）（不含孔隙）可如下式算出。

$$V = v_f + v_c \quad (\text{式 4.2})$$

在此， $v_f$  為相位偏移之被吸入孔隙流體中的細粒土砂（不含孔隙）量； $v_c$  為未相位偏移之土石（不含孔隙）量。此時若水量為  $v_w$ ，孔隙流體密度  $\rho_m$  可以下式算出。

$$\rho_m = \frac{\sigma v_f + \rho v_w}{v_f + v_w} \quad (\text{式 4.3})$$

在此， $\sigma$  為土石密度， $\rho$  為水流密度。因此，在土石流區間從土石流平衡濃度公式未相位偏移的土石平衡濃度（ $C_c$ ），可以下式算出。

$$C_c = \frac{v_c}{v_c + v_f + v_w} = \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (\text{式 4.4})$$

在此， $\theta$  為坡度， $\phi$  為土石內摩擦角<sup>2)</sup>。亦即，設定相位偏移之細粒土砂與固相流下土砂之比（ $v_f/v_c$ ），可依據式 4.2~4.4， $v_c$  與  $v_f$  可由水量（ $v_w$ ）算出。

在此，假定土砂生產源之土砂孔隙已因水飽和，水量（ $v_w$ ）可以下式表示。

$$v_w = (v_f + v_c) \frac{1 - C_*}{C_*} + v_{sw} \quad (\text{式 4.5})$$

$v_{sw}$  為表水流之體積，為逕流分析所算出之水量。

此外，若能以空隙填滿的方式算出計畫土砂生產量（ $V$ ），可以下式評估供給土砂不超過計畫土砂生產量之條件。

$$V \geq \frac{v_f + v_c}{C_*} \quad (\text{式 4.6})$$

此外，如下圖所示，掃流狀態集體流動（土砂流）區間水流層可能含懸浮土砂，有幾種評估方法<sup>3)</sup>，但很難說評估方法已十分確定（圖 4.3）。另一方面，在掃流狀態集體流動（土砂流）區間依此處之想法，從動床計算重現過去災害，也可準用此處所舉案例。



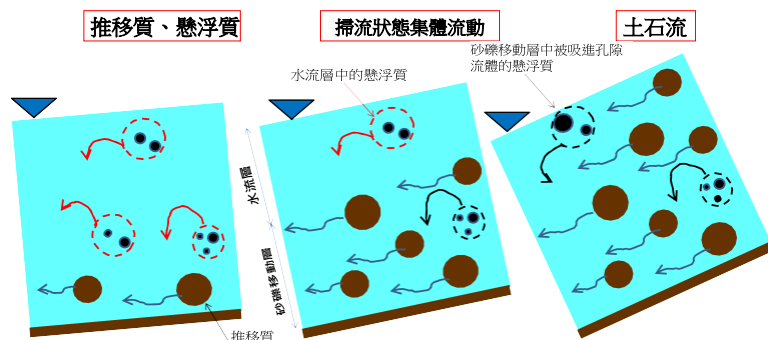


圖 4.3 山區河川之土砂移動形態示意圖

#### [參考文獻]

- 1) 國土技術政策綜合研究所 砂防研究室 (2015)：豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生産土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號
- 2) 土木研究所 火山與土石流小組 (2012) 深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル/（深層崩壊所引致土石流流下與氾濫演算手冊）（案），土木研究所資料，第 4240 號
- 3) 丹羽 諭、内田 太郎、泉山 寛明、櫻井 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變動計算における流れ幅の設定の影響，砂防 学会誌/（以大規模土砂生産後土砂流出為對象設定動床演算石水流寬度之影響，砂防學會誌），70(6)，34-35

#### 〔緩坡區間土砂供給地點的土砂供給構想〕

本指引遵循「豪雨時伴隨生産土砂之土砂動態分析相關注意要點」（國土技術政策總合研究所資料，第 874 號）之構想，推估時儘可能從陡坡區間開始連續實施動床演算。但若受地形條件限制而不得不在掃流區間設定土砂供給地點，此時應針對推移質與懸浮質，以坡度、水深、粒徑計算平衡濃度與平衡流砂量，考量土砂供給一事。又，此時不必像土石流區間那樣考量細粒土砂相位偏移。

#### 〔土砂供給量達到計畫土砂生產量時的構想〕

土砂供給期間持續供給土砂而使得土砂供給量大於計畫土砂生產量時，即使土砂供給期間內，在土砂供給量達到計畫土砂生產量時，考慮停止土砂供給之方法（圖 4.4A）。此外，流域面積大且存在許多土砂生產源時，可降低土砂供給濃度到低於平衡濃度，讓土砂供給期間之土砂供給量等於計畫土砂生產量（圖 4.4B）。此外，土砂供給期間持續供給土砂，使得土砂供給量在流量尖峰時刻前就達到計畫土砂生

產量等明顯大於計畫土砂生產量時，可修正土砂供給期間開始時間與土砂供給期間之設定方法，精查計畫土砂生產量。

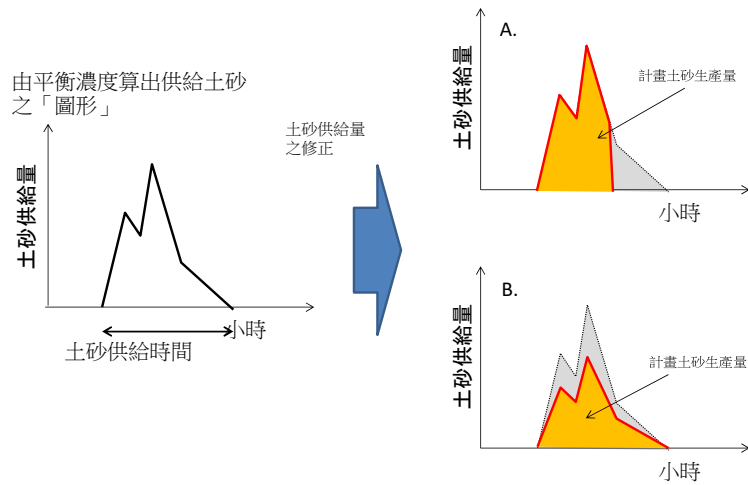


圖 4.4 土砂供給量達到計畫土砂生產量時的土砂供給示意圖

\*紅線為土砂供給量之時間序列數值

#### 〔異常淤積之確認〕

不同的土砂供給條件有時會在供給點正下方產生大量土砂淤積，形成明顯異於實際狀況的異常淤積。此時應降低供給條件之土砂濃度等，避免產生異常淤積。

### 4.3 設施效果評估

#### 【標準】

設置具土砂生產抑制效果之設施，基本上應與無該設施之狀態相比，評估其所能減少演算區間土砂供給量的效果量。此外，即使以調控土砂運移為主要目的之防砂壩，有時也可發揮控制溪岸侵蝕等固定坡腳效果。因此，即使預期防止演算區間內溪岸侵蝕等的設施，設施進行分析時，基本上應以防砂壩設置地點溪岸侵蝕等所生產土砂量從所得到的土砂供給量減去，評估其效果量比例。但應注意效果量不可大於該地點溪岸侵蝕所造成的土砂生產量。土砂供給量之減少時，應配合土砂生產形態，減去無設施時洪水前半之土砂供給量（圖 4.5A），及以一定比例減少在土砂供給時間之土砂濃度（圖 4.5B）。

在演算區間外之土石流區間，用來攔阻土砂的防砂壩，基本上同樣以無設施時減少的土砂供給量，評估其效果量大小。此時基本上減去無設施時洪水前半之土砂供給量（圖 4.5A）。

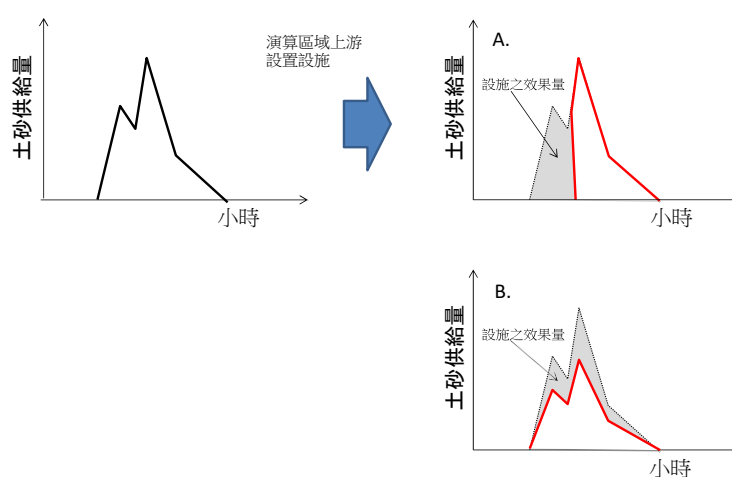


圖 4.5 減去施設效果之土砂供給量的土砂供給量時間序列數值示意圖

#### 【例示】

〔演算區間外設施抑制土砂生產相關效果評估之構想〕

一般而言，土砂生產地點分為在荒廢地之表面侵蝕、擴大崩塌等土砂生產；及在山坡坡面之崩塌、溪床淤積土砂之再移動<sup>1)</sup>。另一方面，土砂生產量即使有依過去實際成果設定之情形但對土砂生產地點之詳細預測很難。特別是前述分類中，山坡坡面崩塌形成的土砂生產地點，很難一一設定土砂量。這類狀況可按面積大小

設定設施之土砂生產抑制相關效果。亦即，對作為評估對象之上游區域山坡坡面面積（ $A_h$ ）、山坡崩塌之計畫土砂生產量為（ $V_h$ ）時，該設施可抑制土砂生產範圍面積為  $A_e$ ，山坡崩塌土砂生產量之減少量（ $\Delta V_h$ ），可以下式表示。但目前尚無可預測土砂生產量、精確評估抑制土砂生產量相關設施效果之技術，本公式只是簡便方法，未來若有新的研究與技術開發，再適度修正。

$$\Delta V_h = \frac{A_e}{A_h} V_h \quad (\text{式 4.7})$$

此外，該設施減少土砂供給量之效果量（圖 4.5 灰色格網部分） $\Delta V$ ，可以下式算出。

$$\Delta V = \frac{V}{V_y} \Delta V_h \quad (\text{式 4.8})$$

在此， $V_y$  為該土砂供給地點上游區域之計畫土砂生產量， $V$  為 4.2 節設定該土砂供給地點之土砂供給總量。

此外，荒廢地表面侵蝕之土砂生產、溪床淤積土砂再移動之生產土砂方面，若無法一一確認各坡面與各區間之土砂生產量，可用山坡崩塌土砂生產之計算方法，依面積比例（或按區間長比例）算出。

另一方面，若已一一確認各坡面與各區間土砂生產量，並加總各坡面與各區間土砂生產量而完成設定計畫土砂生產量，可用下列公式從該設施所抑制之土砂生產量（ $V_p$ ），算出土砂供給量之該設施效果量（ $\Delta V$ ）。

$$\Delta V = \frac{V}{V_y} \Delta V_p \quad (\text{式 4.9})$$

#### [參考文獻]

- 1) 河川砂防技術基準（調查編）「砂防調査2・3 土砂生産に関する調査」（砂防調査2・3 土砂生産相關調査）

## 5. 動床演算之實施

### 5.1 動床演算之構想

#### 【構想】

動床演算旨在預測豪雨時的河床變動狀況，評估是否可能發生土砂與洪水氾濫以及設施有無效果。

河川砂防技術基準（調查編）之「砂防調查2・4・7逕流分析與動床演算」，說明如下。

「動床演算旨在重現、預測溪流與山區河道水與流砂之流出特性與變動特性。溪流及山區河道土砂移動現象與沖積河川不同，具有明顯非平衡性以及輸砂形態會因土砂濃度與坡度而變化等特徵，因此應搭配使用能適當呈現上述特性的輸砂量公式。輸砂形態方面，有必要針對推移質及懸浮質、掃流狀集體流動、土石流等，考量對象區間坡度、使用適當之公式。」

此外，「砂防事業成本效益分析手冊（案）（2012年3月）」「第1節土砂與洪水氾濫所推估之氾濫區域」之中，說明動床演算方法如下：

「輸砂演算應掌握演算對象地區地形狀況，用貼近所推估土砂運移現象之方法，採用能良好重現過去災害實際成果等方法。」

本指引依上述構想，進行如下的動床演算。

#### 【標準】

循上述構想，豪雨時伴隨土砂生產的動床演算，基本上使用如下可能的數值演算公式。

- 從土石流到掃流砂之土砂運移型態可演算的平衡濃度與剪應力。
- 在掃流砂區域可進行懸浮質演算。
- 推移質與懸浮質可進行混合粒徑演算。
- 考量土石流區間等孔隙流體中相位偏移之細粒土砂的影響進行演算。
- 土石流與掃流狀集體流動區間，土砂侵蝕與淤積速度考量的演算，懸浮質希能採非平衡演算。
- 能判釋各斷面是否發生侵蝕的演算。

溪流及山區河道土石流或掃流狀集體流動，可考量細粒土砂之相位偏移而以孔隙流體形態整體流出。另一方面，推移質與懸浮質之領域，從細粒土砂相位偏移的角度看，相位偏移細粒土砂與懸浮質可能重複計入，有偏離實際狀況之可能，因此，推移質與懸浮質領域之演算，基本上不考量細粒土砂之相位偏移。

### 【例示】

伴隨土砂生產之豪雨時的動床演算，應考量之事項如下列參考文獻<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>所示。

#### [參考文獻]

- 1) 河川砂防技術基準（調查編）「砂防調査 2・4・7逕流分析與動床演算」
- 2) 砂防研究室（2015）：豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生産土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號

## 5.2 演算之實施

### 【標準】

動床演算旨在判釋有無河床變動引致土砂與洪水氾濫，並評估設施設置之效果。動床演算方法與輸入條件，基本上使用該流域土砂生產與逕流造成土砂與洪水氾濫引致土砂動態與災害狀況有關之重現性，且已被確認者。該重現性之確認方法，詳見第 8 章。

## 6. 土砂、洪水氾濫分析與災害推估之實施

### 6.1 氾濫開始點之設定

#### 【標準】

設定氾濫開始點應基於 2.6節設定河道斷面與 5.2 節動床演算之結果，將發生越水或溢水地點設定為候補氾濫開始點。但兩岸與山地坡面銜接等推估不易產生越水與溢水之地點，不設定為氾濫開始點。設定氾濫開始點，基本上應依據「治水經濟調查手冊（案）」。

### 6.2 土砂、洪水氾濫分析與災害推估之實施

#### 【構想】

本節係於可能發生越水或溢水的氾濫開始點，推估土砂與洪水氾濫時之災害大小。災害大小不限於土砂氾濫淤積，亦考慮受泥水氾濫或淤泥堆積之影響。

#### 【標準】

針對前項所設定之各氾濫開始點，進行二維土砂與洪水氾濫演算。網格設定大致為50m×50m，但仍應掌握地形，選擇最適當尺寸。除此之外，基本上應遵循「砂防事業成本效益分析手冊（案）」、「治水經濟調查手冊（案）」，估算災害金額。

## 7. 設施配置計畫之檢討

### 7.1 設施配置計畫檢討之構想

#### 【構想】

檢討設施配置計畫基本上應以現地調查、資料調查檢討施工實效性等，並以數值分析進行設施之效果評估。若判斷經檢討之設施配置計畫無法取得充分效果，應修正設施配置計畫，再度以數值分析與動床演算進行效果評估。

過去防砂壩多假定洪水時流出的土砂會一直淤積到與河床坡度相同坡度，以此計算其效果量。但防砂壩淤沙坡度會受防砂壩淤砂區入流土砂的濃度與流量歷線影響。因此，評估防砂壩效果，應以能評估淤砂區入流土砂濃度或流量歷線影響的動床演算，評估設施土砂調控效果。

設施配置應分別檢討以抑制土砂生產為主要目的的設施（防砂壩、溪流保全工、坡面工等），以及以土砂運移調控為主要目的的設施（防砂壩、溪流保全工、沉砂池工等）。此外，以抑制土砂生產及調控土砂運移為主要目的的設施分類，可參照河川砂防技術基準（計畫編）「設施配置計畫編」。檢討設施配置基本上應檢討設施的概略位置、概略規模、設施型式。檢討設施概略位置，應圈定對象區域內設施效果較大之地點，最好優先從設施效果較大之地點檢討設施配置等，達成具有效果的設施配置。一般而言，以調控土砂運移為目的之設施，下列設施之效果較大。

- ・確保較大剩餘容量的防砂壩
- ・靠近保全對象的施設
- ・明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動之流域與區間的設施
- ・在無設施狀態下動床演算會發生侵蝕區間的設施

此外，以抑制土砂生產為目的之設施，與旨在調控土砂運移的設施相同，以下列設施效果較大。

- ・靠近保全對象之設施
- ・明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動之流域的設施

此外，如第 1 編所示，山區土砂生產與運移所引致災害種類繁多，本指引只探討上游土砂流出伴隨河床抬升等所引致土砂與洪水氾濫（參照1.1節）。因此，設施配置之檢討應針對對象區域可能產生之土石流與漂流木等，以及其他山區土砂生產與運移所引致災害，檢討設施配置，並提升該對策措施減輕當地災害之效果。



## 7.2 明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動之流域與區間的圈定

### 【標準】

在明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動的流域，設置設施效果較大。因此，設施配置之檢討，基本上應以動床演算評估其對處理對象之保全對象周邊河床變動的影響大小。

### 【例示】

[明顯影響對處理對象之保全對象周邊河床變動的流域圈定之構想]

明顯影響處理對象保全對象之周邊河床變動之流域的圈定，可考慮下列手法。

- ①檢討處理對象之各種條件（降雨條件、土砂供給條件等）（以下稱為「最初條件」）。
- ②處理對象之保全對象上游區域的劃分。
- ③從某劃分之支流區域流出土砂量設定為0，演算該保全對象周邊之土砂通過量。此時，來自該支流區域（土砂流出量為0之流域）以外流域所流出的土砂量，同樣為最初條件。
- ④演算最初條件時的土砂通過量與該支流區域所流出土砂量為0時的土砂通過量之差（以下稱為「土砂通過量減少量」）。
- ⑤依次針對其他支流區域，進行③與④之檢討，算出各支流區域的「土砂通過量減少量」。
- ⑥土砂通過減少量較明顯的支流區域，視為明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動的流域。

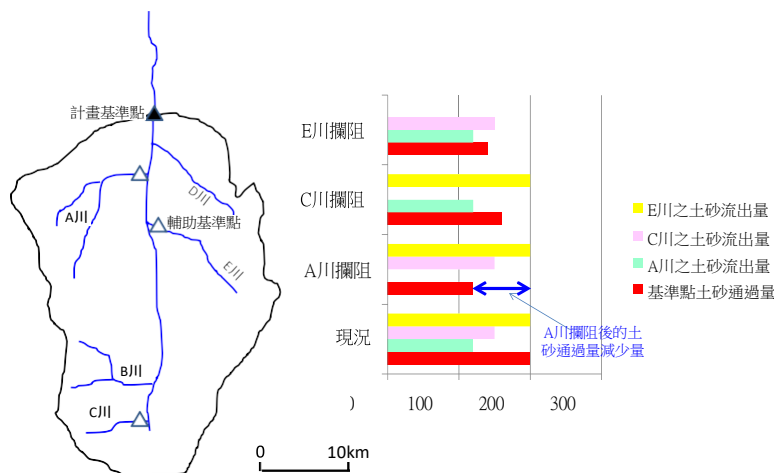


圖7.1 明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動的支流流域圈定示意圖

\*以下游平原之保全對象為對象時，明顯影響處理對象之保全對象周邊河床變動之支流區域圈定示意圖。A 川流域土砂流出量為0時，土砂通過量減少量最大，其次減少量大小依次是E 川流域與C 川流域。

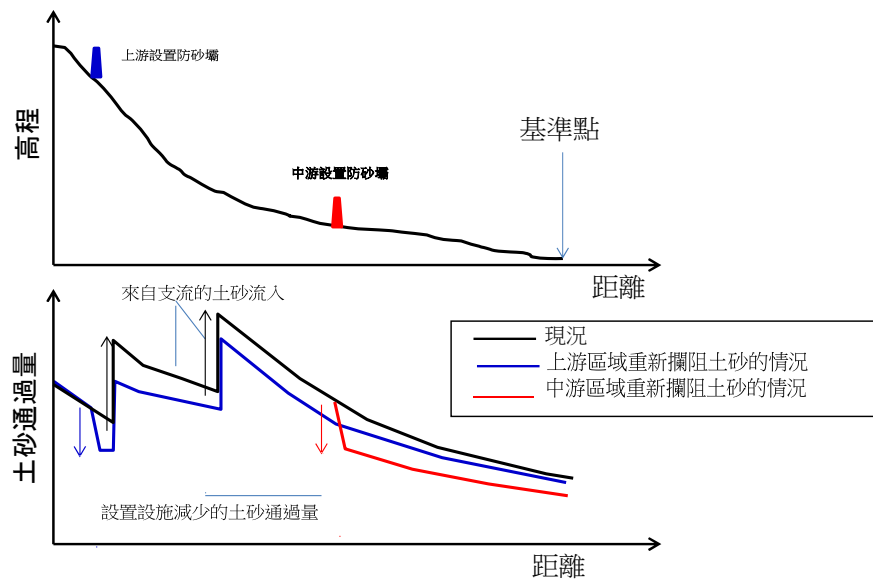


圖 7.2 土砂攔阻效果較大區間檢討示意圖

\*下圖為上圖流域縱斷地形的土砂通過量縱斷面變化示意圖。上游區域（藍線）與中游區域（紅線）分別代表其攔阻相同土砂量時的土砂通過量縱斷面變化。此案例之中，上游區域設置防砂壩時，會大量攔阻即使無此設施而大多淤積在該防砂壩到基準點之間的河道，而不會到達基準點之土砂。另一方面，若中游區域設置防砂壩時，該防砂壩所攔阻土砂會在無此設施時大半通過基準點流出。由上述狀況，若所設置防砂壩攔阻之土砂量相同，在中游區域設置防砂壩，減少在基準點之土砂通過量大於設在上游區域的防砂壩，其土砂攔阻效果更佳。

## 第3編 重現演算之實施

### 8. 過去災害之重現演算

#### 8.1 基本構想

##### 【構想】

過去災害相關的重現演算，為了決定第2編檢討設施配置計畫採用的演算條件（設定演算條件、水與土砂供給地點等）、分析方法（逕流分析方法、動床演算方法等），應於檢討設施配置計畫之前實施。但只實施重現演算可能殘留無法充分驗證其妥當性的條件。這類條件如第4編9.3.2、9.3.3、9.3.5等節所示，應針對該條件進行不確定性的檢核。

#### 8.2 對象事象之圈定

##### 【構想】

重現對象事象之圈定時，可考慮如下觀點：

- a. 降雨狀況、土砂生產狀況、土砂動態（河床變動量、土砂流出量）是否在檢討計畫（所要處理）對象有類似之現象
- b. 是否有降雨狀況、土砂生產狀況、土砂動態相關資訊（河床變動量、土砂流出量）相關之資訊

山區河川之土砂動態會因水理狀況及有無土砂生產而劇烈變化，因此以a.之條件為優先，圈定重現對象之事象。

本指引係主要以「短期土砂流出」所造成現象之中的「上游土砂流出伴隨河床抬升等所引致的土砂與洪水氾濫」作為處理對象。因此，重現演算最好以計畫（所要處理）對象之最近過去事象作為對象，實施重現演算。亦即，該流域希以坡面崩塌與土石流等之土砂生產與流出，在中下游流域發生土砂與洪水氾濫引致災害之豪雨時的土砂動態與災害狀況作為重現對象。

該流域若無土砂生產與流出所引致土砂、洪水氾濫等相關之明確災害紀錄，應以已取得土砂流出相關資訊（例如水庫淤沙量、河床變動量相關之調查等）之豪雨時等的狀況作為對象，進行重現演算。

### 8.3 重現演算之準備

#### 8.3.1 資訊蒐集與現象復原

##### 【標準】

針對重現演算對象之事象，蒐集以下資訊。

- ① 降雨狀況（降雨波形、降雨分布等）
- ② 逕流狀況（洪水流量、流量歷線等）
- ③ 土砂生產狀況（崩塌土砂量、土砂生產量、單元流域之土砂流出量等）
- ④ 土砂動態相關資訊（河床變動狀況、土砂流出量、粒徑分布等）
- ⑤ 土砂與洪水氾濫狀況（氾濫地點與範圍、土砂淤積狀況等）

但該流域即使有坡面崩塌與土石流等造成土砂生產與流出，而在中下游流域發生土砂與洪水氾濫引致災害之案例，有時仍可能因為災害發生已過數年等原因而無法取得③～⑤之定量數據。類似這種狀況應依據災害狀況之照片、航空照片、災害史等文獻資料，復原土砂移動狀況與災害狀況，蒐集③～⑤之資訊，作為重現對象。復原過去災害時的狀況，應致力於定量復原土砂移動狀況與災害狀況，定性的資訊也應搜集，以達成重現演算之重現性。

#### 8.3.2 演算準備

##### 【標準】

重現對象之準備，基本上雖應依據本指引第 2 章「演算準備」。但基本上應配合河道形狀、河床狀況、設施配置狀況等重現對象事象發生時的狀況。

## 8.4 重現演算之實施

### 8.4.1 實際應用成果與演算結果整合性之驗證

#### 【標準】

重現演算應以本指引第3章到5章（可驗證土砂與洪水氾濫狀況相關再現性時，見第6章）說明之方法實施，就下列項目加以驗證，並驗證分析方法與輸入條件的妥當性。

- (1) 逕流狀況（洪水流量、流量歷線等）實際成果與演算結果之整合性
- (2) 土砂生產狀況與演算之土砂供給量的整合性
- (3) 河床變動狀況與土砂流出量及土砂與洪水氾濫狀況實際成果與演算結果之整合性

此外，驗證實際成果與演算結果之整合性時，應由 (1) 依次進行。亦即以已確認 (1) 之整合性的輸入條件與分析方法驗證 (2) 之整合性，然後以已確認 (1)、(2) 整合性的輸入條件與分析方法，驗證 (3) 之整合性。此外，驗證整合性基本上不能只確認 1 個觀測結果與調查結果之整合性，而應針對所能蒐集之全部資訊，綜合確認其整合性。

#### 【例示】

##### [演算期間設定之構想]

一般而言，洪水期間難以取得地形變化資訊。即使能取得河床變動狀況與土砂流出量相關資訊，一般而言也只是洪水前後河床變動狀況與洪水期間土砂流出量。另一方面，實施動床演算，洪水後半期間水與土砂供給地點供給低土砂濃度流水或清水，可能會在上游區域產生侵蝕而提高洪水期間的土砂流出量。但這種洪水後半的侵蝕過程，實際上也可能受到水路（深槽線）固定化、河床護甲化因而抑制侵蝕等無法以動床演算充分說明的過程影響。亦即在洪水後半以後實施長期間的動床演算，有時會算出遠大於實際成果的土砂流出量。因此，驗證演算結果之整合性，有需要注意演算期間如何設定。例如，不妨比較洪水後半不同時期的演算結果與實際成果。

## 8.4.2 輸入條件與分析方法之修正

### 【標準】

重現演算可能不充分時，基本上應適當修正輸入條件與分析方法，找出能確保整合實際成果與演算結果的輸入條件與分析方法。修正時仍應參照過去其他流域的重現演算案例等，注意避免所設定之輸入條件（參數）和過去其他流域重現演算案例之間產生太大的乖離，優先確保處理對象流域之實際成果與演算結果之整合性。

### 【例示】

〔修正土砂供給量設定結果相關輸入條件與分析方法之構想〕

修正土砂供給量設定結果相關的輸入條件與分析方法時，可修正土砂供給地點數目或位置（參照2.5節），以及土砂供給期間設定方法（參照4.2(1)節）、相位偏移之土砂條件（參照4.2(2)節）。

〔修正河床變動狀況與土砂流出量、土砂與洪水氾濫狀況演算結果之構想〕

修正河床變動狀況與土砂流出量、土砂與洪水氾濫狀況之演算結果，可參考下列資料<sup>1),2)</sup>。

此外，溪流與山區河道的土石流及掃流狀集體流動，和沖積河川之掃流砂不同，可能有很強的非平衡性。另一方面，沖積河川等之中的掃流砂，一般認為其非平衡性較小<sup>3)</sup>。因此，若讓掃流砂具備強大非平衡性，很可能與實際狀況產生乖離，因而基本上掃流砂屬平衡狀態。

### 【參考文獻】

- 1) 河川砂防技術基準（調查編）「砂防調査 2、4、7 逕流分析、動床演算」
- 2) 砂防研究室（2015）：豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生産土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號
- 3) 例如，竹林洋史（2014）：河川工學，Corona出版社，P.58

## 第 4 編 設施配置計畫之檢核

### 9. 設施配置計畫之檢核

#### 9.1 小於計畫規模之現象的效果

##### 【標準】

小於計畫規模之降雨也可能因為土砂流出而引致土砂與洪水氾濫災害。此外，小於計畫規模之現象，即使災害程度小於計畫規模所設定現象，災害發生頻率也可能提高。因此，應針對小於計畫規模之現象，評估、驗證設施之效果。

評估、驗證設施效果的降雨條件，基本上應參考治水經濟調查手冊（案），依不同發生機率設定之。此外，土砂供給條件基本上應基於過去的實際成果，設定不同降雨條件下的土砂生產量。

降雨條件、水與土砂供給條件之外的分析方法、輸入條件，基本上採用與分析計畫規模現象相同的方法與條件。

#### 9.2 現況河道斷面之效果

##### 【標準】

本指引如 2.6 節所示，針對河川整備基本方針流量已確認之區間，依照河川整備基本方針設定其河寬，基本上為了評估上游區域土砂移動對土砂與洪水氾濫之影響，儘可能將河川通洪斷面設定為能讓河川整備基本方針流量流下之最小斷面，以便檢討設施配置計畫。另一方面，應考慮現況河道斷面可能小於 2.6 節所設定之斷面，若現況河道斷面小於 2.6 節所設定之斷面時，可能過度低估土砂與洪水氾濫發生之可能性與災害規模。因此，本指引對根據第 2 編之檢討所制定之設施配置案，基本上應事先檢討與現況河道斷面效果評估結果之差異。

### 9.3 不確定性之評估

#### 9.3.1 不確定性之概念

##### 【構想】

即使已以重現演算充分針對過去災害案例進行了輸入條件與分析方法的驗證，但山區流域土砂動態的現象複雜且些微改變輸入條件即可能嚴重影響分析結果，包括評估結果之不確定性。此外，今後若氣候變動導致降雨量增加，依降雨量增加之程度，可能造成過度低估土砂與洪水氾濫發生機率或該發生機率的規模。

因此，本指引針對依第 2 編之檢討所制定的設施配置案，基本上先檢討不同輸入條件所可能產生設施效果評估結果的差異。從不確定性之檢討結果，依條件之差異，可能存在顯著降低設施效果的條件，此時基本上應再度檢討、修正設施配置。

具不確定性的項目種類很多，代表性案例如下。

- (1) 不同降雨分布狀況所產生之影響
- (2) 土砂供給條件差異所產生之影響
- (3) 氣候變化等對降雨量變化之影響
- (4) 演算條件差異所產生之影響

#### 9.3.2 降雨分布狀況差異之影響

##### 【標準】

降雨波形與降雨分布會明顯影響山區流域的土砂動態。此外，很難確認將來會產生某種特定的降雨波形與降雨分布。因此，應依據過去實際成果，推估不同之降雨波形與降雨分布（參照3.2節），並分析不同降雨條件、檢討計畫降雨量設定時的不確定性。

特別在河川匯流點，因主支流洪水發生時間點不同，而在主流甚至支流河川之中的一條在匯流點上游產生迴水，土砂往上游淤積、抬升河床。因此，保全對象附近的匯流點，應檢討不同降雨分布情況下的洪水發生時間點。

若檢討結果確認有造成設施效果顯著降低所形成的降雨波形與降雨分布，基本上應再度檢討、修正設施配置。



### 【例示】

〔洪水發生時間點差異對匯流點分析之構想〕

主支流洪水發生時間點之差異對河床變動的影響，可參考下列資料。

#### [參考文獻]

- 1) 増田 覺、水山高久、小田 晃、大槻英樹（2008）：本支川の出水のずれによる合流点の河床変動に関する研究（主支流洪水產生時間點差異影響匯流點河床變動之研究），砂防學會誌, 61(4), 27-31
- 2) 水山高久（2003）：わかりやすい砂防技術（4） 土砂の流出，堆積，砂防と治水（淺顯易懂的砂防技術（4） 土砂流出、淤積、砂防與治水），36(3), 74-75
- 3) 國土技術政策總合研究所 砂防研究室（2015）：豪雨時の土砂生産をとまなう土砂動態解析に関する留意点（豪雨時伴隨生產土砂之土砂動態分析相關注意要點），國土技術政策總合研究所資料，第 874 號

### 9.3.3 土砂供給條件差異影響

#### 【標準】

土砂供給條件可能明顯影響土砂流出量與河床變動狀況。因此，基本上應設想幾種情境，進行土砂供給條件影響之敏感度分析。例如，土砂供給量或供給土砂之粒徑、土砂生產型態（有無受溪岸侵蝕影響及其大小等），乃至於相位偏移之細粒土砂比例（參照4.2(2)節）等情境，都可能明顯影響土砂流出量與河床變動狀況。

此外，即使在某土砂生產時間點土砂生產量相同，其土砂流出量與河床變動狀況也可能變化。因此，若無法取得土砂生產時間點相關充分資訊，基本上應在劃定範圍內進行敏感度分析。

### 9.3.4 氣候變動等對降雨量變化之影響

#### 【標準】

今後，氣候變動可能增高豪雨頻率。此外，「砂防事業成本效益分析手冊（案）」之中，設定的對策設施事業實施後使用期間為 50 年。因此，基本上應推估設施使用期間氣候變動提高降雨規模的情況，並針對發生大於所推估規模之大規模降雨，確認、評估所規劃設置設施之效果。換言之，基本上應實施計畫規模以上降雨時的災害推估與設施效果評估。實施時，逕流分析、動床演算、氾濫演算，則採取與計畫規模現象為對象進行之相同方法，合併水、土砂供給條件與降雨量之變化一起變化。但若無法取得

大於計畫規模降雨量時充分的土砂生產量資訊，應以推估不同土砂生產量等方法，檢討之。

### 9.3.5 演算條件差異之影響

#### 【標準】

可用來進行評估的逕流分析與可用來進行動床演算的分析方法或輸入條件，基本上應以計畫（規劃）處理對象之現象最近之事象為對象，實施重現演算，確認能整合實際成果與演算結果。但分析方法（逕流分析方法、土砂供給條件設定方法、動床演算模型等）與輸入條件（地形條件、降雨條件、水與土砂供給地點之設定、河床材料粒徑、供給土砂之粒徑等）有時很難全部整合。此時應針對演算方法與條件，在推估範圍內進行敏感度分析。敏感度分析應圈定可能明顯影響處理對象之保全對象周邊的河床變動量與土砂流出量之條件，此等詳細規劃、實施，可能可以有效率地驗證結果可靠性。但不同流域特性可能有不同具關鍵影響力的條件。

---

國土技術政策總合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1048    November    2018

編輯、發行 國土技術政策總合研究所

---

本資料之轉載、複製查詢：

〒305-0804 茨城縣筑波市旭 1 番地

企劃部研究評估、推進課TEL 029-864-2675