



行政院農業委員會水土保持局  
Soil and Water Conservation Bureau, COA



## 水土保持局技術研究發展小組專題討論

# 豪雨引致土砂生產及移動等評估及模擬 方法之要點-日文譯本導讀與討論

土石流防災中心 嚴科偉

109年6月2日



# 簡報大綱

- 壹、前言
- 貳、解析豪雨土砂動態注意事項
- 參、設定土砂動態條件注意事項
- 肆、防砂設施成效評估注意事項
- 伍、討論與建議
- 陸、案例分析



# 壹、前言

# 1.1 山坡地集水區土砂生產及移動之概論

- 一、機制非常**複雜**，實測**樣本仍不足**，**預測可能動態不容易**。
- 二、累積調查、觀測及研究資料，**數值分析被認為有效**。但需考量後列事項選定相關條件：1. 可能產生之**水流**；2. 可能**土砂移動**現象
- 三、本文目標之災害現象

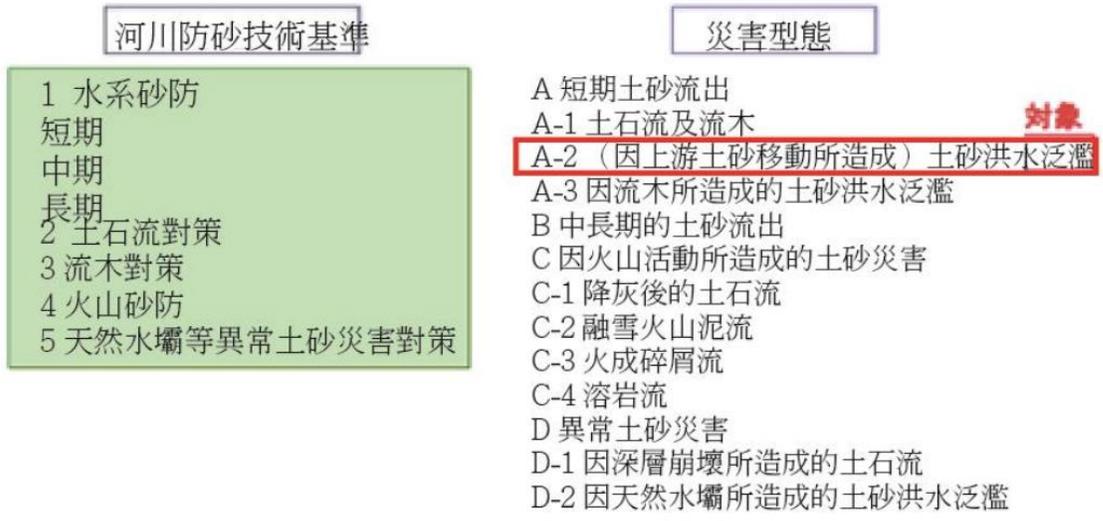


圖1.1 砂防基本計畫與山區地域的土砂災害形態（地滑與陡坡地崩壞除外）



圖1.2 土砂及洪水氾濫概念圖



## 1.2 山地河川(野溪)特徵

- 一、坡度**陡**、集水區面積**小**、集流時間短、河床材**粒徑大**、水**淺**、河床**變動大**。
- 二、**崩塌**、**土石流**影響土砂量產生大
- 三、河道**形狀**、河床**粒徑**變動大
- 四、岩層限制**側向**、**下切**侵蝕行為，氾濫機會較小
- 五、土砂生產受**地質**及**氣候**條件影響大
- 六、易有超臨界流
- 七、中小型洪水- > 不易發生崩塌土石流- > 表面侵蝕及河床質移動  
災害事件- > 崩塌、土石流決定土砂量  
目的及環境條件決定解析方式

# 1.3 致災事件可能採用模式

- 一、降雨逕流相關模式：貯蓄函數法、單位歷線法、水桶模式等(集中型或分佈型)。
- 二、土砂流失相關模式：一般將集水區分割為坡面及河道，以河道為主要對象，額外設定坡面土砂流入量、流入時間點及流入地點。(也有納入坡面分析模式來提高精度，但驗證不易，目前仍以河道為主)
- 三、洪水模式：一般考慮用清水，或水與土砂之二維洪水模式(Flow 2D, SOBEK)

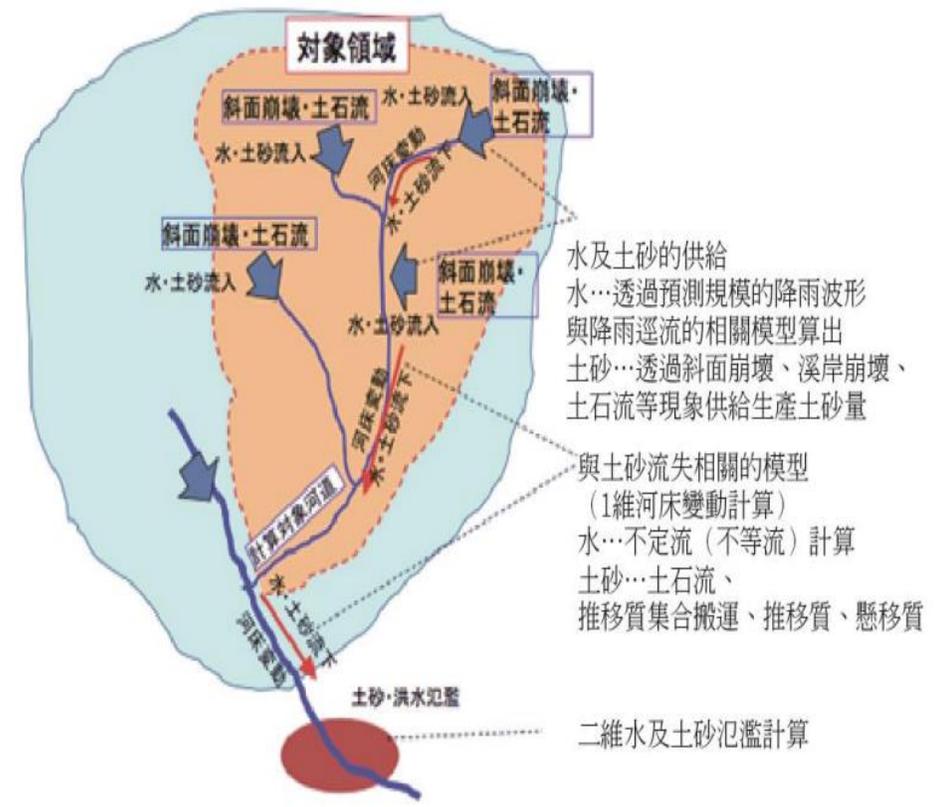


圖1.3 解析方法概要



# 貳、解析豪雨土砂動態注意事項

# 2.1, 2.2 連續性評估及土砂移動形態變化

- 一、上游土砂生產量大，僅算河道易漏失資訊，分析時應連續銜接。
- 二、土砂移動：陡坡土石流型態、緩坡推移質及懸移質型態；考量因子  
(一)水流抵抗、(二)河床剪應力、  
(三)輸送土石量、(四)土砂濃度  
→江頭進治；高橋保
- 三、粒徑小：泥流型土石流→亂流型態  
考量

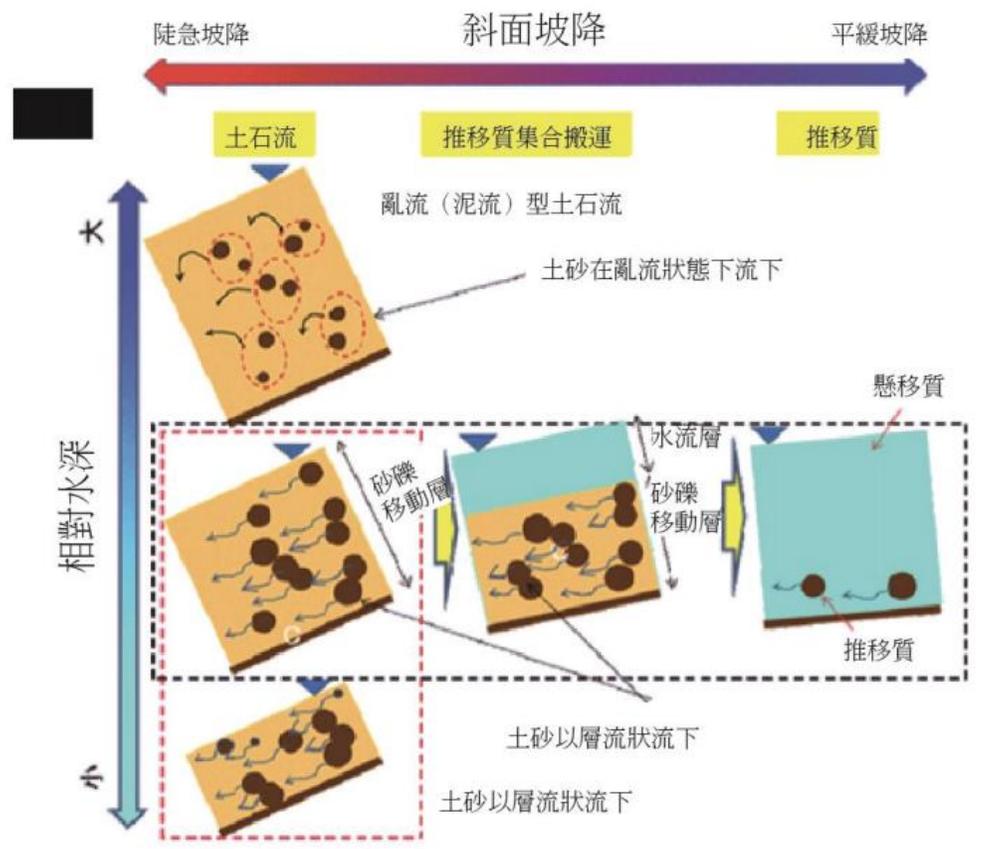


圖2.1 土砂移動形態從土石流變化到推移質的概念圖  
(細粒土砂的部分並未做成圖示 (參考2.3節)。圖中黑色虛線的框框為在圖2.2中作為圖示的範圍)



# 輸砂的流動與變動特性使用公式

- 1) 推移質
  - a) 與臨界推移力相關的公式  
岩垣公式、修正 Egiazaroff 式
  - b) 推移質方程式  
芦田及道上方程式、Meyer-Peter 及 Muller 式、芦田·高橋·水山方程式
- 2) 懸移質
  - a) 懸移質方程式（流速分佈與濃度分佈的組合）  
Lane-Kalinske 式、板倉及岸方程式
  - b) 基準面濃度方程式  
Lane-Kalinske 式、板倉及岸方程式、芦田·岡部·藤田方程式、芦田及道上方程式
  - c) 濃度分佈方程式  
Rouse 濃度分佈方程式
- 3) 土石流
  - a) 土石流的阻抗法則  
高橋方程式、江頭-宮本-伊藤方程式
  - b) 土石流的濃度法則
    - ①平衡濃度方程式  
高橋方程式
    - ②侵蝕及堆積速度方程式  
高橋方程式、江頭方程式
- 4) 推移質集合流動
  - a) 推移質集合流動的阻抗法則  
高橋方程式、江頭·宮本·伊藤方程式
  - b) 推移質集合流動的濃度法則
    - ①平衡濃度方程式  
高橋方程式、水山方程式
    - ②侵蝕及堆積速度方程式（與土石流相同）  
高橋方程式、江頭方程式

## 2.3 細粒土砂連續性

- 一、陡坡及緩坡介面無法連貫：  
陡坡通常不算細粒→懸移質漏失→  
連接點輸砂量無法連貫
- 二、細粒土砂在礫石間隙中流下→相移  
(Phase Shift)解析方法

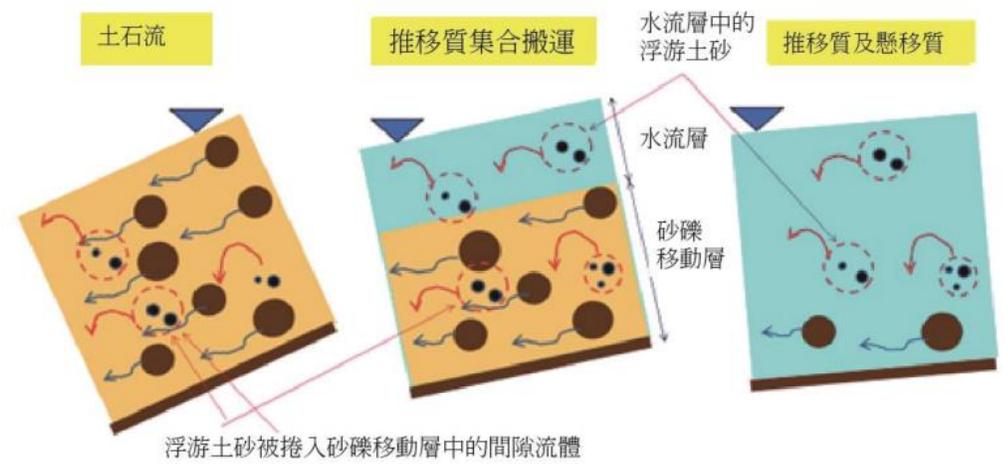
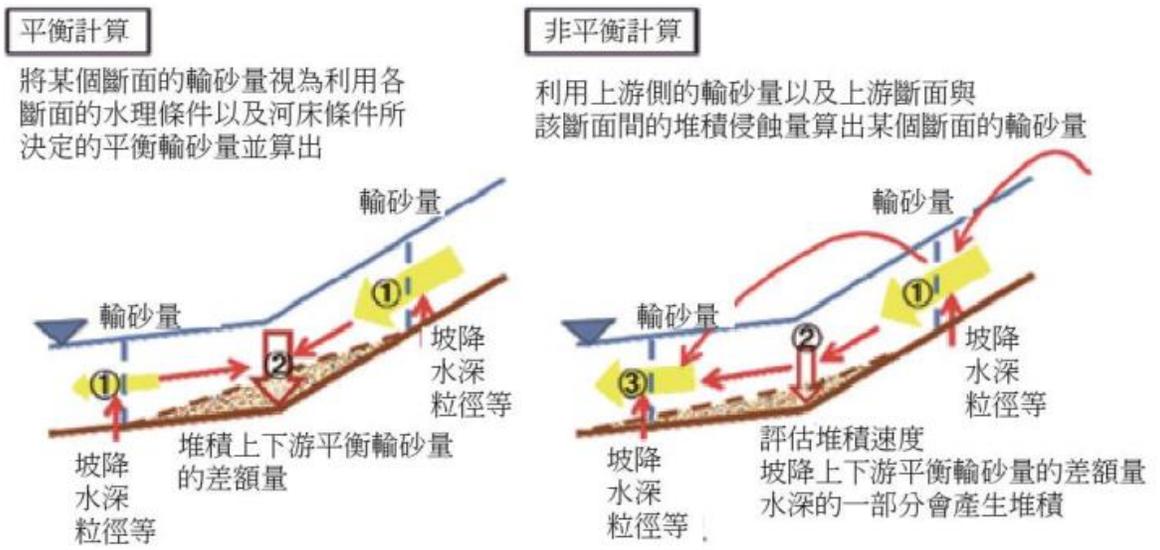


圖2.2 細粒土砂的流下概念圖

## 2.4 輸砂非平衡過程

- 一、野溪特性：流量持續時間短→流量變動大；地形變化大→水理條件差異大  
→水理條件相同但輸砂量不同
- 二、採用陡坡降區間適用之非平衡方程式
  - (一)高橋方程式；(二)江頭方程式；(三)鈴木等人方程式



## 2.5 河床移動臨界點

一、河床中小型洪水輸砂量通常小，輸砂量暴增可能原因→河床質被移動

二、評估臨界點公式

(一)岩垣公式；(二)修正Egiazaroff方程式；

陡坡可採河床剪應力及抗剪強度(高橋保)方式評估(土石流通常不考慮河床質移動臨界點)

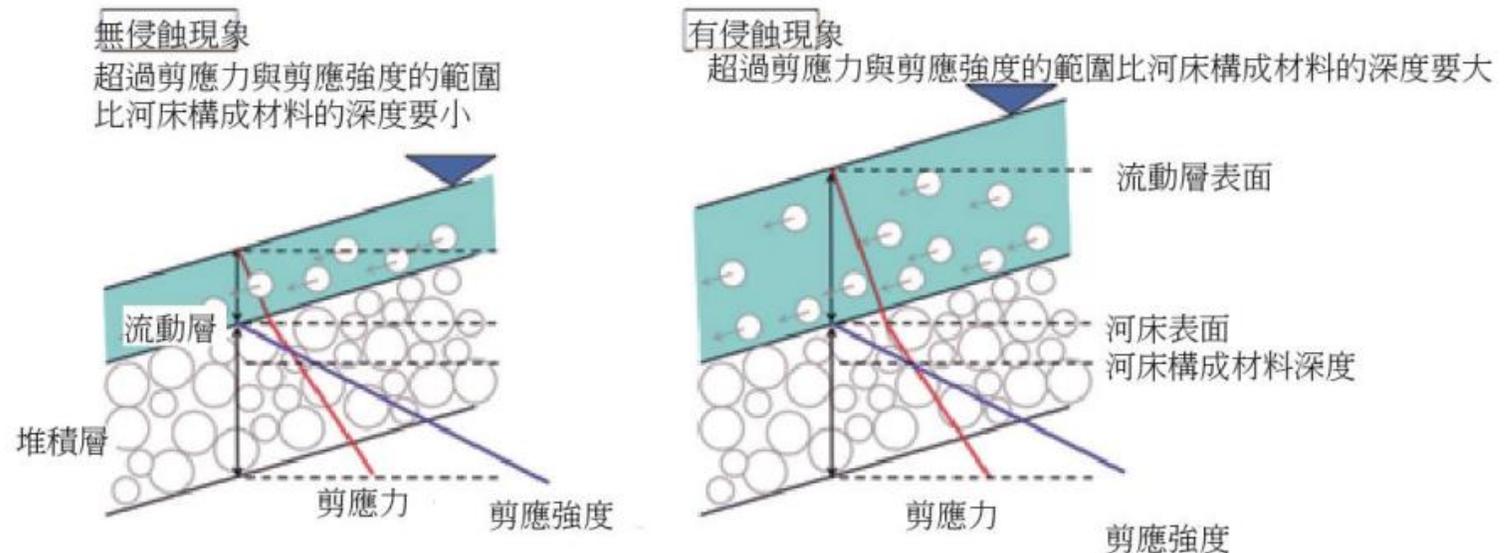


圖2.4 藉由比較河床內部的剪應力與剪應強度來評估河床材料移動臨界點的方法

## 2.6 水流寬度時間變化

- 一、野溪水流寬度一直變化，僅用河道寬度代表會低估水流之推移力
  - 二、利用CCTV監測，水流寬與時間變化納入分析
- ex. ◦ 河制定理( $B = \alpha Q^{0.5}$ ); B以往視為河寬，但應視為流寬

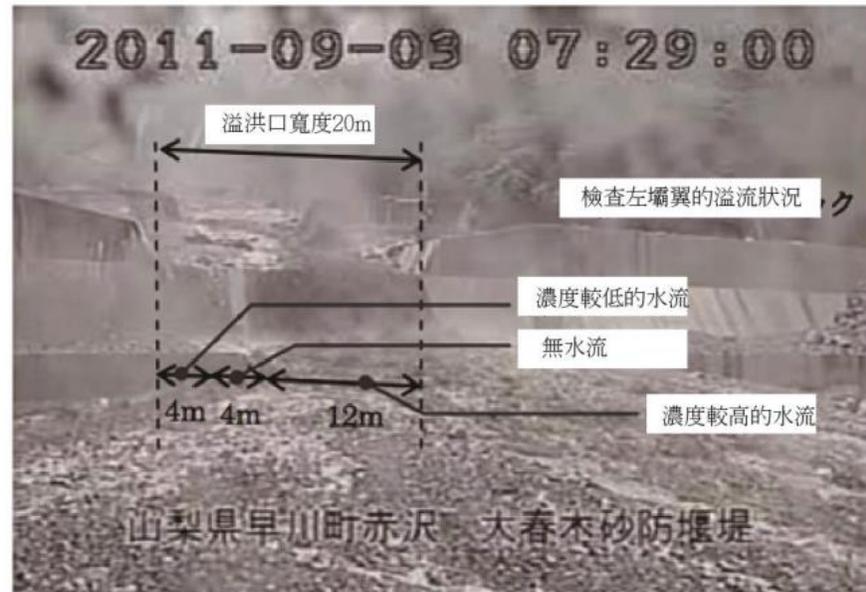


圖2.7 溢洪口溢流範圍的解讀方法

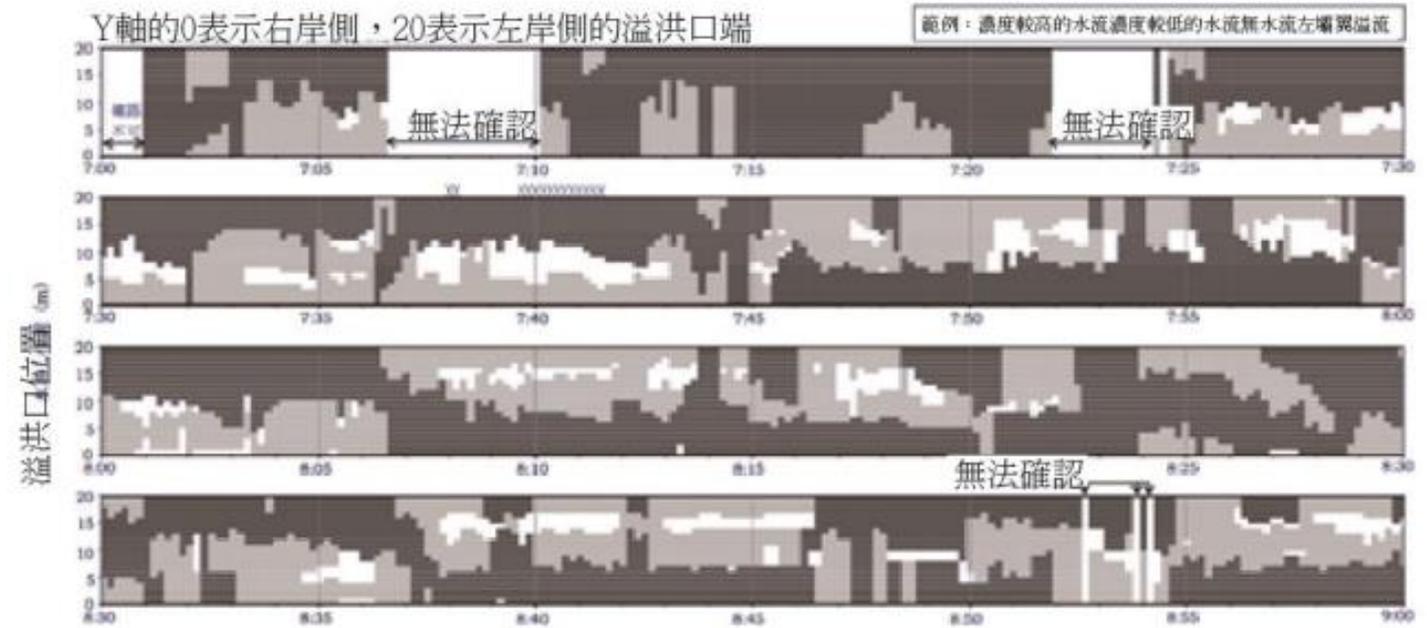


圖2.8 颱風12號9/3的7:00~9:00間防砂壩溢洪口的溢流狀況

## 2.7 合流點影響

- 一、陡坡支流進入緩坡主流→河道堵塞、土砂堆積等現象
- 二、主流水位高，支流水位低→堆積、逆流現象
- 三、合流點附近，保全對象優先切割出來討論檢查



圖 2.9 合流點所發生的土砂堆積與氾濫狀況（湯澤砂防管轄內）



# 參、設定土砂動態條件注意事項

## 3.1 土砂供給條件

### 3.1.1 土砂供給量及地點

- 一、依據現場調查、過去數據及數值模擬得到
- 二、現階段預測崩塌、侵蝕土石流不易，1級集水區河道解析耗時，土砂供給類型多，所以設定供給地點要全盤考量，適當設定
- 三、參考國土交通省河川防砂技術基準（計畫篇）的第3章第2節「2.24 計畫土砂量等」與國土交通省河川防砂技術基準（調查篇）的第17章「防砂調查」。

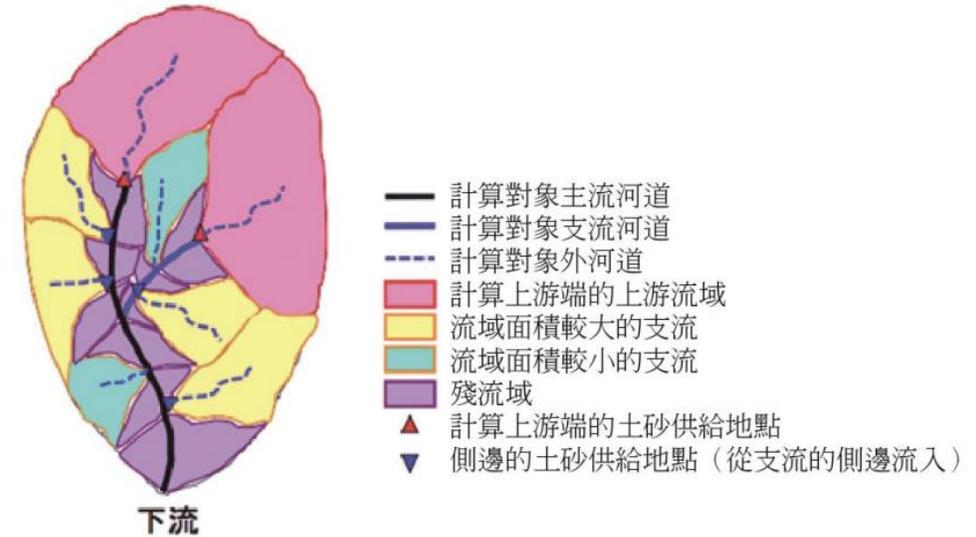


圖3.1設定土砂供給地點的範例

被認為會使土石流產生堆積的河床坡降（10o 以下）約略視為含在計算區間

# 3.1 土砂供給條件

據調查結果指出，溪岸崩壞及溪岸侵蝕在作為土砂的供給形態上發揮了很大的作用<sup>1)</sup>。下述為利用雷射剖面儀數據調查平成 23 年 7 月新瀉福島發生豪雨時魚野川水系登川主流河床變動量的調查結果（圖 3.2）。由圖可知，在同一河道中除了河床的侵蝕及堆積現象之外，也因為溪岸崩壞與溪岸侵蝕現象生產了大量的土砂。

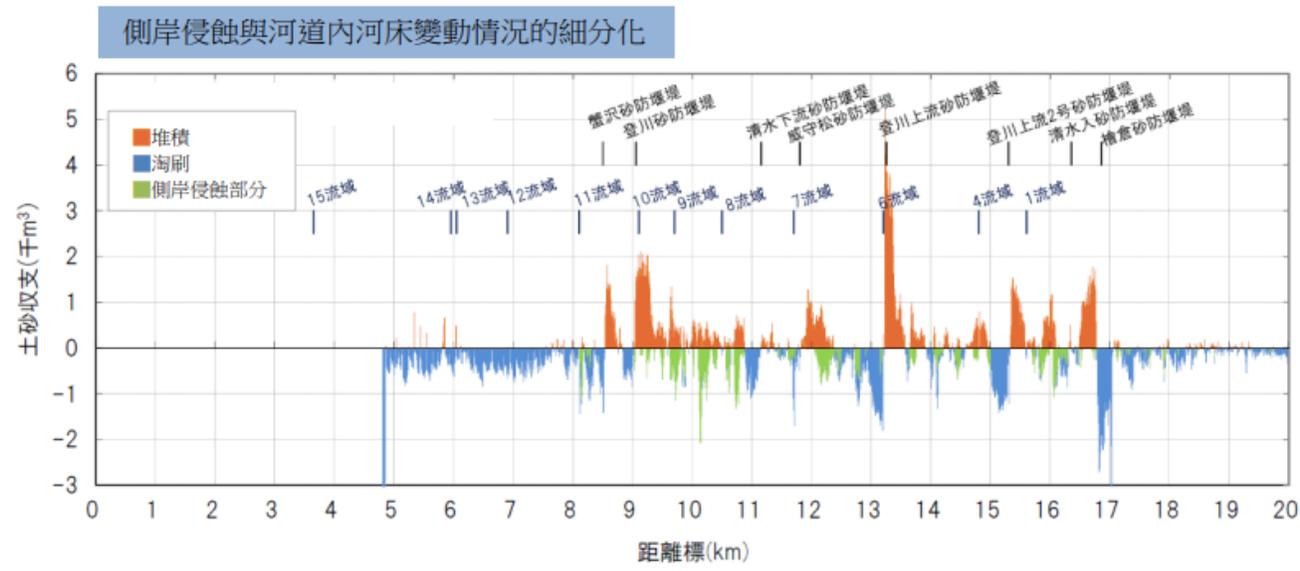


圖 3.2 平成 23 年 7 月新瀉福島發生豪雨時魚野川水系登川主流的河床變動  
（以湯澤砂防事務的資料為基礎所製成 國土技術政策總合研究所砂防研究室）

# 3.1 土砂供給條件

## 3.1.2 土砂供給時間點

- 一、坡面所發生的崩塌與土石流供給土砂，一般而言會集中在總雨量或是降雨強度較大的時間帶。
- 二、以訪問居民的調查結果為基礎，將土砂供給時間點考慮進去後再實施河床變動計算，藉此成功的重現發生洪水後的河床變動高度 (類似土石流重大災例執行方式)

## 3.1 土砂供給條件

### 3.1.3 粒徑

- 一、崩塌及土石流產生土砂中，細粒會在洪水期間中流下，並未堆積在河床上。
- 二、在評估範圍之上游端供給土砂時，必須要考慮到生產土砂與河床堆積土砂的粒徑差異
- 三、需考量大礫石產生護甲化現象

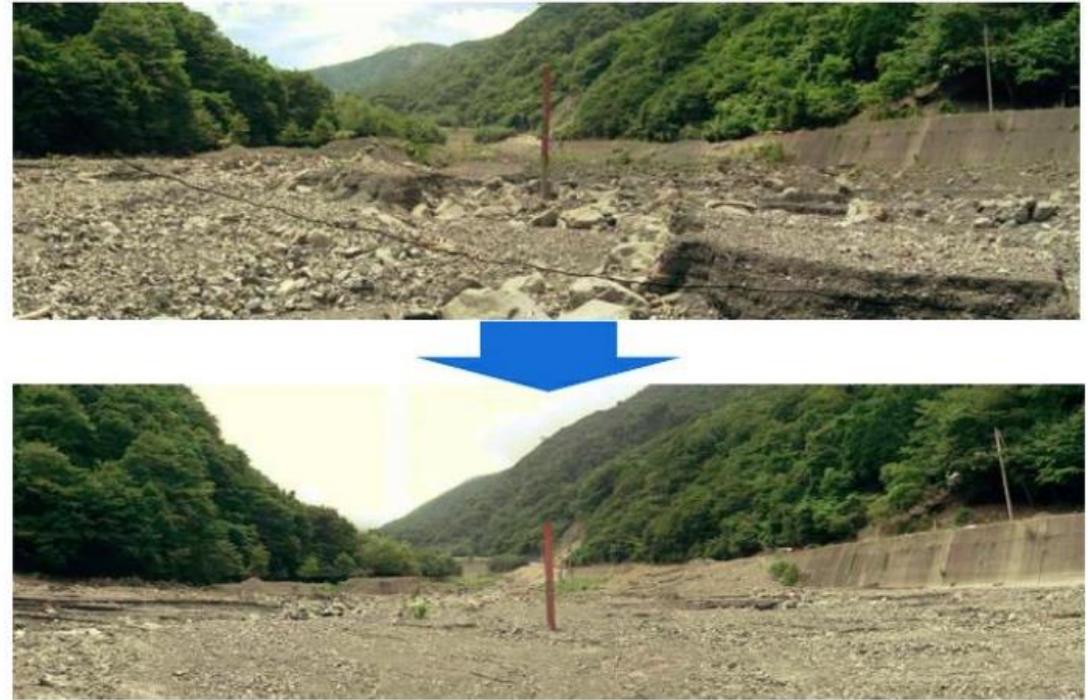


圖 3.3 河床粒徑隨著大量土砂生產而產生變化的事例（富士川砂防事務所管轄內）

## 3.1 土砂供給條件

### 3.1.3 粒徑

圖 3.4 為平時有流水的區間內河床的土砂粒度分布調查結果與發生大規模洪水時預測會產生堆積的土砂粒徑分布調查結果。所使用的調查方法記載於蒲原等人 (2014) 的著作 1) 中。由圖可知，比較兩者的粒徑可以發現到若只看中央粒徑的話，有時會相差到 2 個 Order。

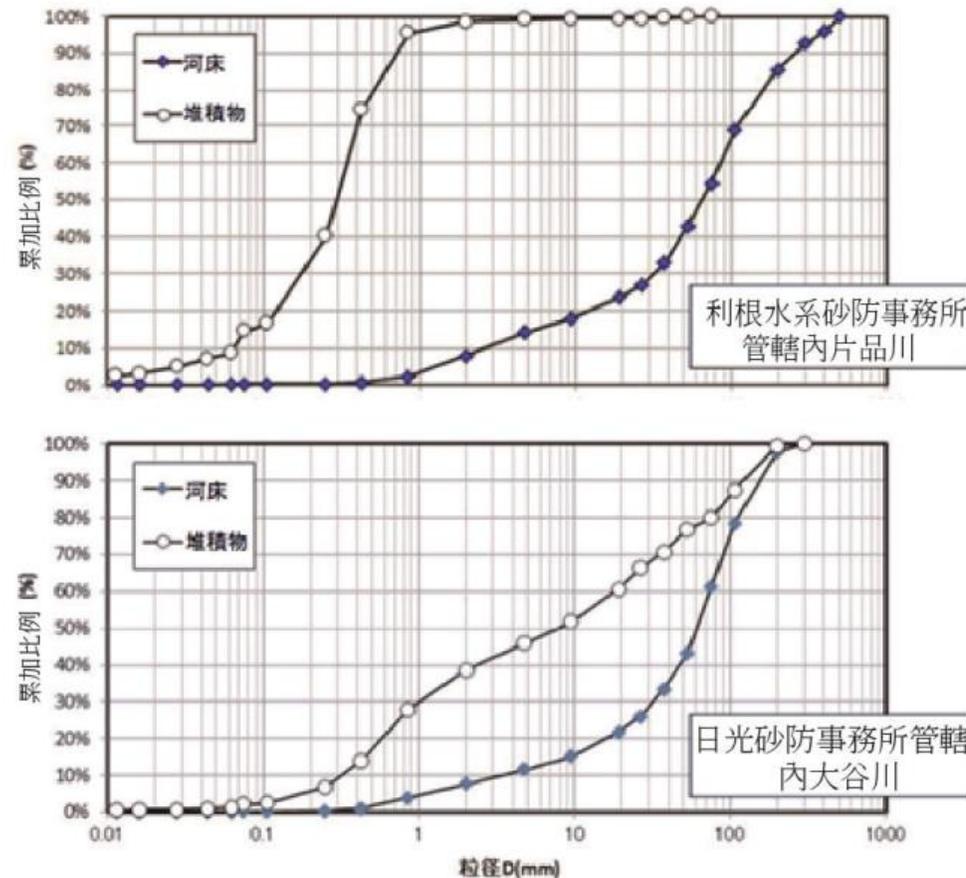


圖3.4 發生大規模洪水時預測會產生堆積的土砂與河床材料的粒度分布比較圖  
(國土技術政策總合研究所砂防研究室製成)

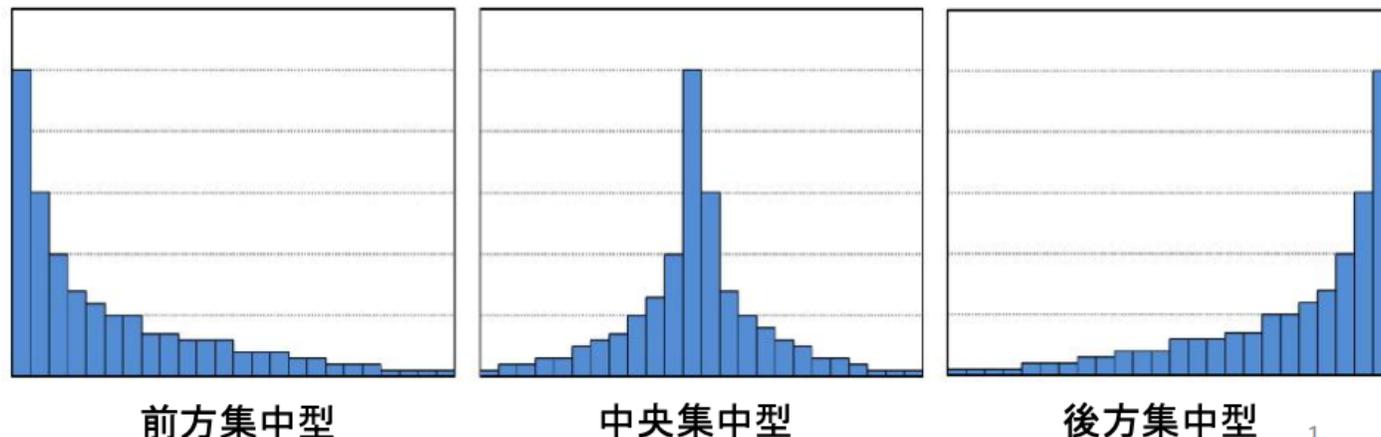
## 3.2 水理供給條件

### 3.2.1 降雨條件

- 一、依據保全對象設定降雨條件(集水區大小)。
- 二、面積小集中降雨易致災，面積大持續大面積降雨易致災(集中降雨被稀釋)
- 三、以保全對象為主調查平均總降雨量、降雨強度、降雨分布及降雨波形相關資料差異

#### 【降雨波形の種類】

前方集中型、中央集中型、後方集中型の3パターン



## 3.2 水理供給條件

### 3.2.2 逕流分析

- 一、野溪與緩坡河川逕流歷線差異大
- 二、模式預測流量需經歷史觀測結果檢核
- 三、洪峰流量需考量集流時土砂堆積所減少流量
- 四、未列主支流之殘流域坡面逕流量需納入考量

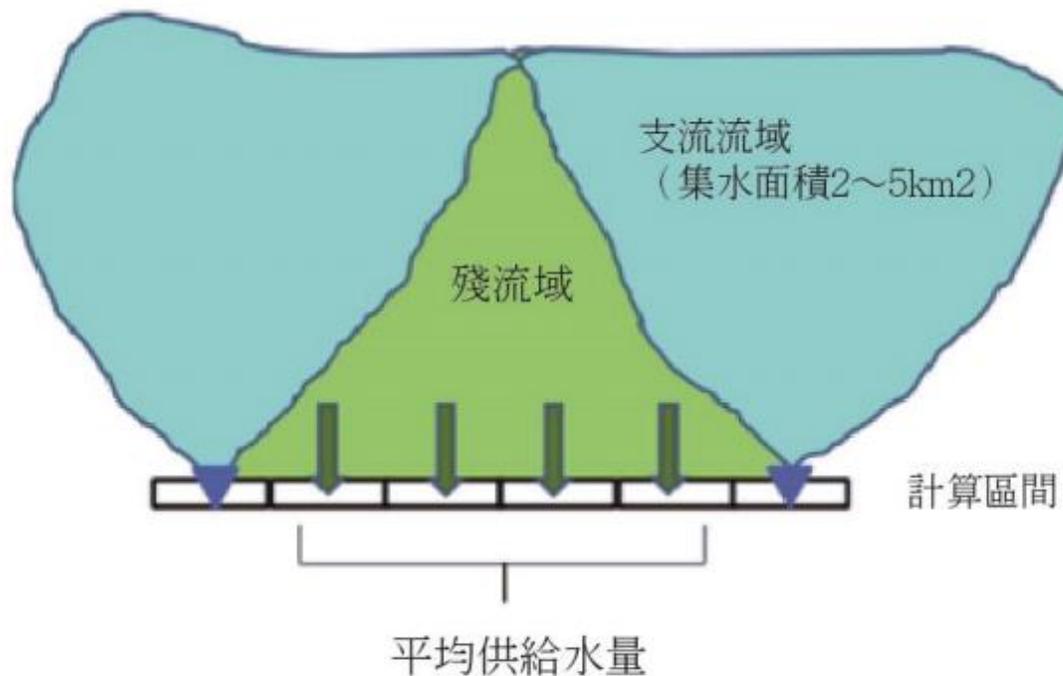


圖3.6從殘流域供給水量的方法（概念圖）



## 3.3 河床條件

- 一、岩盤、橫向工程構造物(防砂壩、丁壩、固床工等)、大粒徑土石覆蓋區域視為定床(護甲化)
- 二、在河床上有堆積可移動土砂的區間視為動床
- 三、3.1.3調查粒徑結果，將護甲化的現象考慮進去後再設定粒徑。



# 肆、防砂設施成效評估注意事項



# 4.1 評估對策的成效

- 一、考量淤砂狀態及防砂壩型式進行分析
- 二、推算評估區域範圍土砂供給量，係比較現況及無該設施狀態土砂量差額。
- 三、進行條件設定時，最重要是能整合實際上在防砂壩位置所期待得到效果與計算上所算出的效果。

表 4.1 一般情況下處理計算區間內的防砂壩之事例

防砂壩種類	處理方法
封閉型（淤滿）	將防砂壩本體位置視為定床，在淤砂區域的部分則將淤砂區域的地形設定為計算條件。
封閉型（未淤滿）	利用里深及水山（2005） <sup>1)</sup> 的計算方法等。
土石流區間的開口型	與封閉型（未淤滿）相同。
推移質區間的開口型	設定可表現堵塞後逆流現象的地形條件或是邊界條件。

## 4.2 下游河道狀態

- 一、若只因無防砂設施就設下游為動床→可能因沖蝕與再堆積造成上游河道上昇，造成洪水泛濫或土砂淤埋。
- 二、下游防砂設施是否也會造成一樣情形？
- 三、在評估現階段有無設施對災害所造成的影響時，可利用現狀的河床條件來評估有無設施時產生災害的程度差異。
- 四、參照「砂防事業的成本效益手冊（草案）」，相關評估之合適性分析均有列出。



# 伍、結論與建議



- 一、多樣性監測及調查，提昇土砂流動量之精準度(如雷射剖面儀-洪水土砂流動量)，並說明野溪複雜的土砂移動現象之實際狀況。
- 二、現階段仍有些被認為是重要過程的土砂動態，至今都尚未針對其分析方法進行探討。例如在流動過程中因磨損及破碎現象所造成的粒度變化，未來需再強化。
- 三、考慮到堰塞湖的潰決所造成水及土砂、漂流木的流動現象，則必須要再根據其檢討對象增加新的注意事項。



# 陸、案例分析

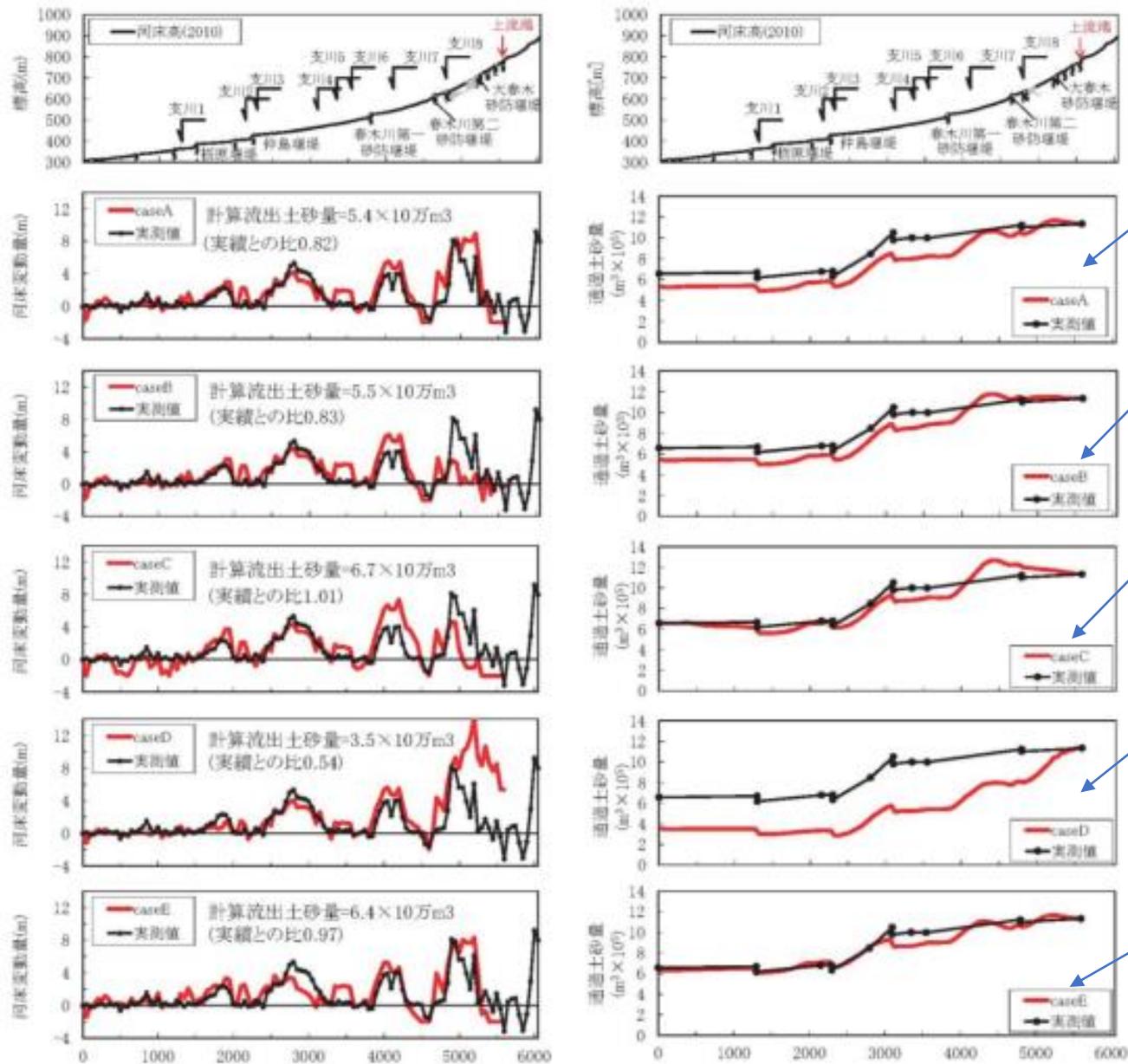


圖 A1 比較解析結果與實測值 (左：河床變動量，右：通過土砂量)

CCTV土砂供給時間點  
剪應力推估移動臨界  
河制定理設定水流寬幅

剪應力推估移動臨界  
河制定理設定水流寬幅

CCTV土砂供給時間點  
河制定理設定水流寬幅

CCTV土砂供給時間點  
剪應力推估移動臨界  
固定河床設定水流寬幅

CCTV土砂供給時間點  
剪應力推估移動臨界  
河制定理設定水流寬幅  
高橋公式堆積係數0.1

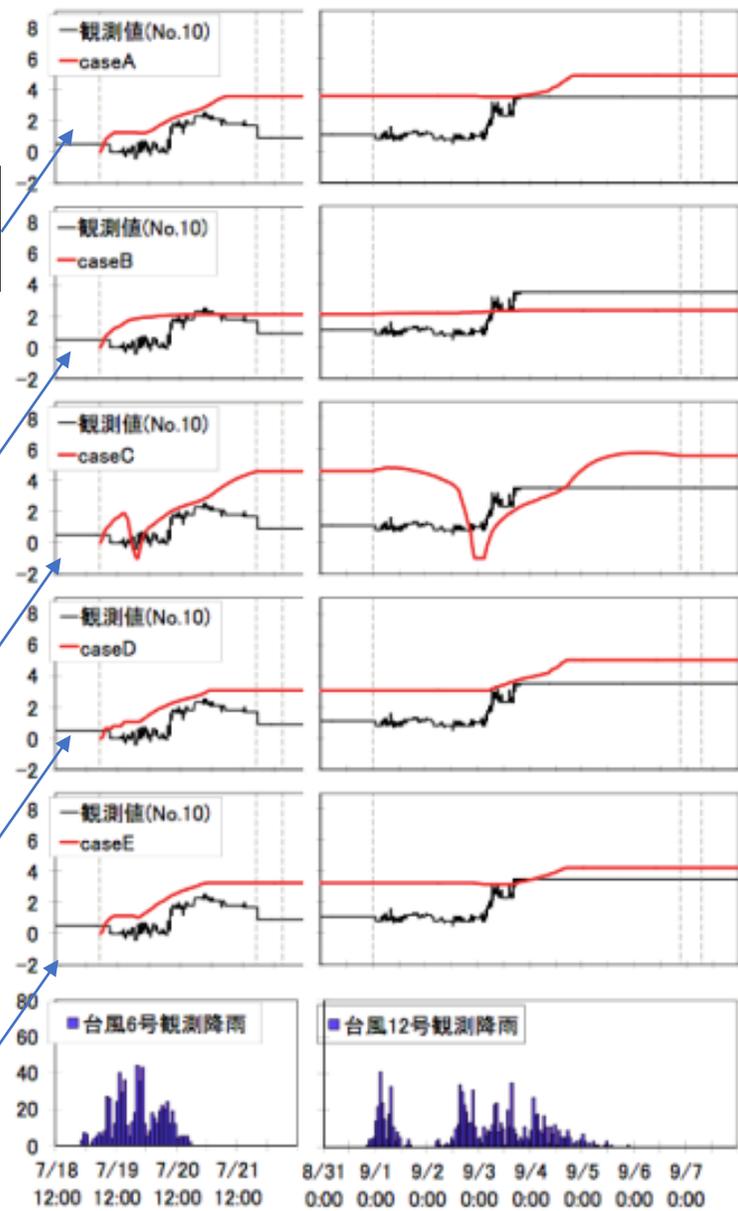


圖 A2 比較解析結果與實測值 (河床變動量的時間變化)

### 參 2. 分析主流水位的差異對支流下游水位與河床變動造成影響之案例

下表為在 5000 秒的時間內供給主流河道固定流量，以所得到的水位為基準，逐次設定下游端水位的計算案例。再者，此處將合流角度設為 30 度。由結果可知，主流流量不同的情況下，即使支流流量與土砂供給量不變，對支流下游部的堆積形狀及水位仍會產生很大的差異。

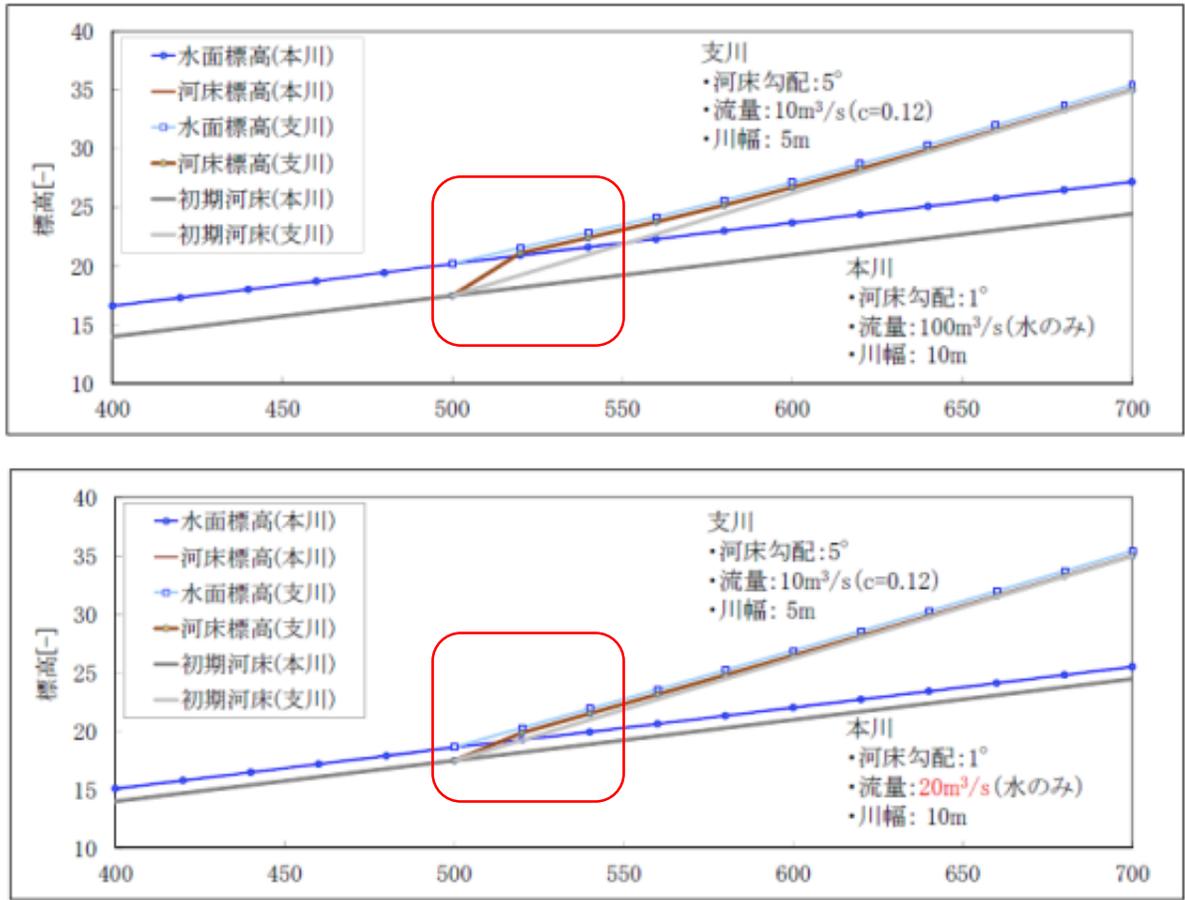


圖 A3 主流水位不同對支流下游部水位及河床變動所造成的影響之解析結果



# 報告完畢 敬請指教



行政院農業委員會水土保持局  
與您一起打拼