



日本堰塞湖災害快速調查評估技術導讀



水土保持局

技研小組 吳振佑

2017年12月19日

報告大綱

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

土木技術資料 53-12 (2011)

新しい技術情報・基準・指針

「土砂災害防止法の改正」に基づく緊急調査の手引き 依據土砂災害防止法修訂所製作之緊急調查入門

報文

1. はじめに

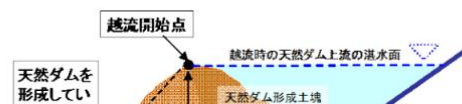
「土砂災害警戒区域等における
策の推進に関する法律の一部を
(平成22年11月25日。以下、「改」

長距離レーザー距離計を用いた天然ダム形状の計測 運用雷射測距儀進行長距離堰塞湖形状計測

1. はじめに

地震や豪雨により生じた天然ダムでは、天然ダム上流に溜まった水が越流することにより、天然ダムを形成した土塊にて急激な崩壊が生じる可能性がある。これにより大量流に甚大な被害を及ぼす天然ダムによる被害を天然ダムを早期に発見し、形状を把握する必要がある。

(a) 天然ダム形成箇所の横断面図



砂防学会誌, Vol. 59, No. 6, p. 55-59, 2007

研究ノート

天然ダムの決壊時のピーク流量推定に関する一考察 推估堰塞湖潰壩時洪峰流量的相關考察

里 深 好 文*1
Yoshifumi SATOFUKA吉 野 弘 祐*2
Kousuke YOSHINO小 川 紀 一 朗*3
Kiichiro OGAWA水 山 高 久*1
Takahisa MIZUYAMA



堰塞湖成因

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

因地震、豪雨、火山爆發、導致洪水、山崩、土石流等複合型災害造成山坡地崩塌，促使大量土石快速進入河道堵塞溪流造成堰塞湖



八八風災：太麻里溪堰塞湖

堰塞湖破壞形式

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 溢頂破壞(Overtopping)

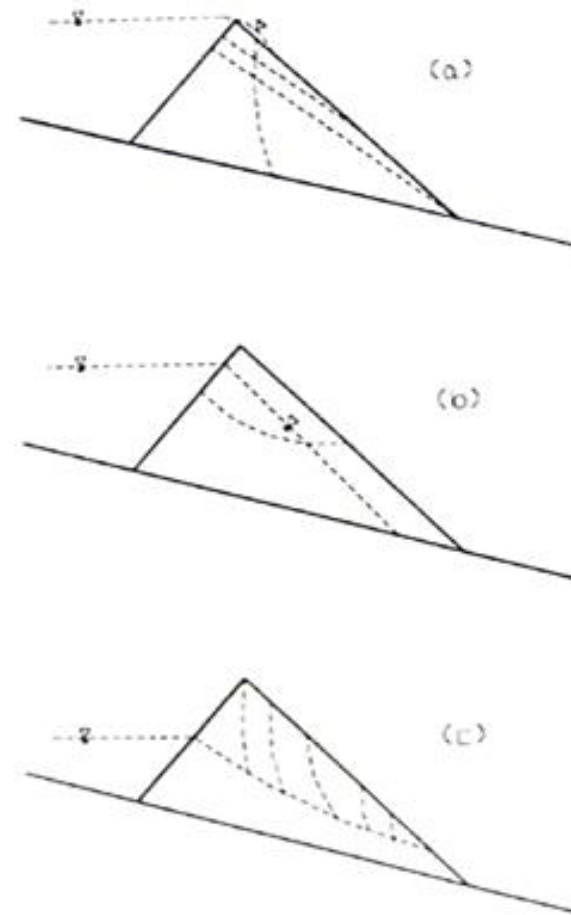
壩體透水係數小、強度大且上游水量大，使得水位上升速率比壩體內浸潤線傳撥速度快。

- 邊坡滑動破壞(Slope failure)

壩體透水係數大、強度低。上升的水位使壩本身荷重增加，同時飽和部分因滲透水的浮力作用而產生不穩定滑動面。

- 管湧破壞(Piping)

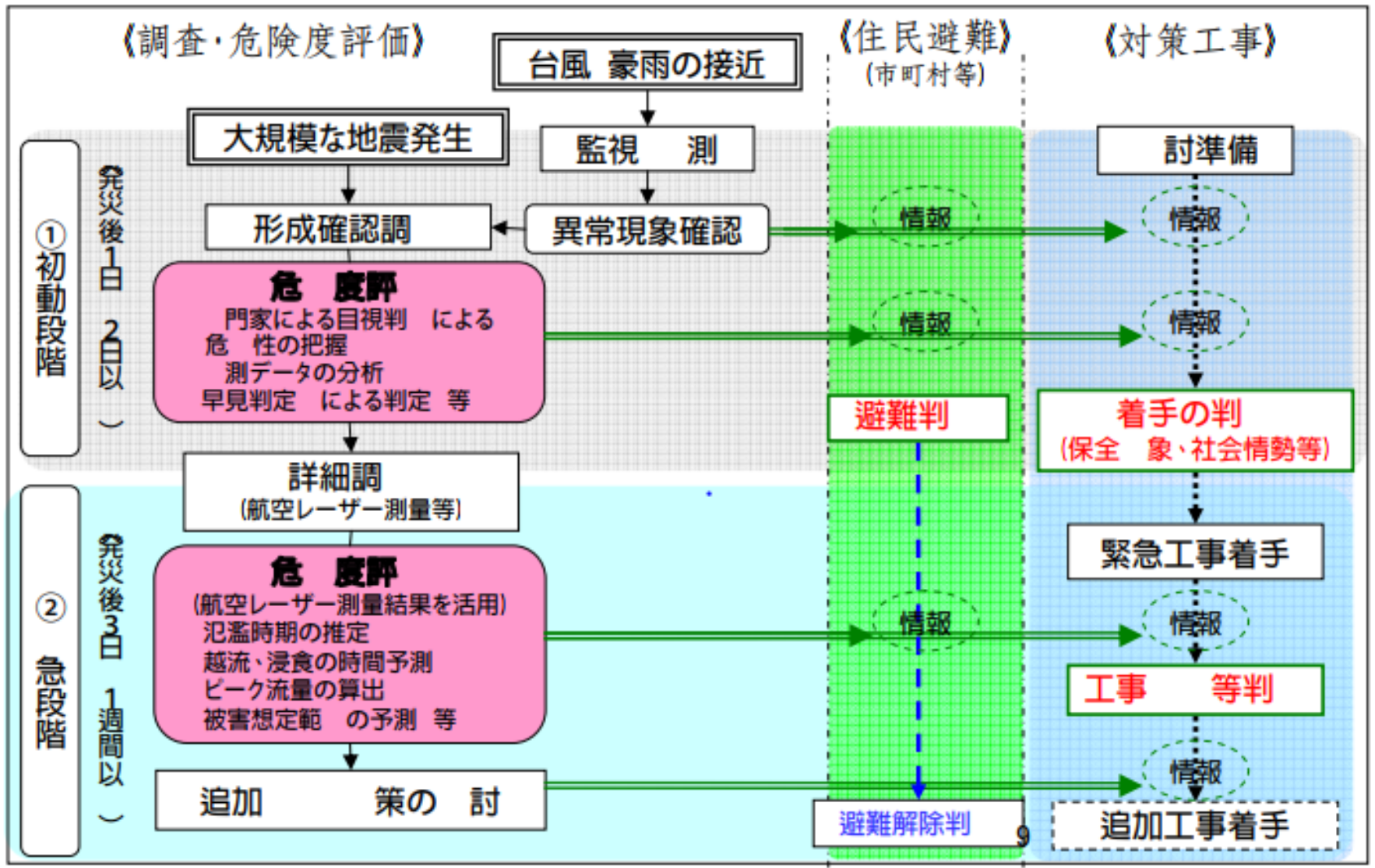
壩體的透水係數最大、強度也最弱，上游流量很小。浸潤峰到達壩體下游坡面，產生管流或表面流侵蝕坡腳，而不穩定。





日本針對堰塞湖處理機制

堰塞湖簡介 | 緊急調查入門篇 | 雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀 | 改善潰壩時洪峰流量推估成果





依據土砂災害防止法修訂所製作之緊急調查入門

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

土砂災害警戒區域等的推動土砂災害防止對策相關法部分修訂法：

- 2010/11/25修訂，2011/5/1實施
- 修訂完當年就遇到塔拉斯(Talas)颱風
- 針對緊急調查內容規定
- 緊急土砂災害資訊應確實通知都道府知事與市町村長
- 其中在中央與地方權責清楚定義
- 分為堰塞湖篇與火山灰堆積造成之土石流篇



堰塞湖篇

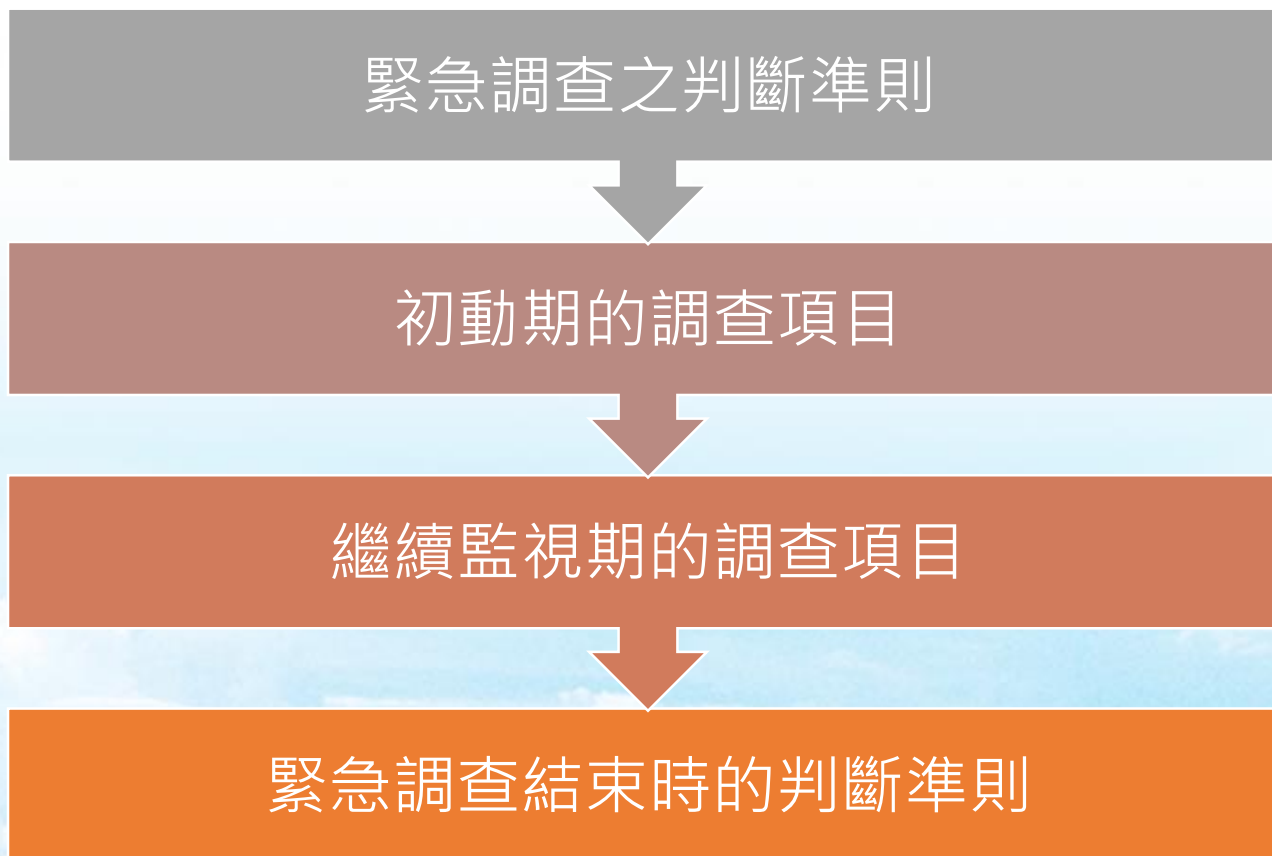
堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

河道阻塞導致的土石流與堰塞湖處理流程：





堰塞湖篇

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

緊急調查實施條件：

※天然壩壩高超過 20 公尺以上

1. 受上游迴水影響之保全對象超過 10 戶以上的堰塞湖
2. 下游受潰壩洪水影響之保全對象超過 10 戶以上的堰塞湖

應該由中央單位（國土交通省）負責執行緊急調查及評估。



堰塞湖篇

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

初期調查項目：

- 堰塞湖位置
- 天然壩體高度與底床高差
- 溢流點與下游保全對象的水平距離
- 目前水位與溢流發生水位高差
- 迴水長度

並利用數值模擬計算距離溢流時間還有多少，並發布相關土砂災害緊急資訊



堰塞湖篇

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

細部調查項目與監測項目：

- 堰塞湖形狀、水位、氣象監控
 - 河道形狀、粒徑分布、密度細部調查
 - 進行數值模擬(降雨逕流情境推估水位變化)
 - 重新評估後如果會造成更嚴重的傷害將會重新發布土砂災害緊急資訊
-
- 當緊急工程完工、堰塞湖水位下降、保全對象符合安全規範就能結束緊急調查



火山爆發導致土石流篇

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

緊急調查實施條件：

- 火山爆發所造成的火山灰已落在河床坡度10度以上之地區且
 1. 最下游邊界以上超過一半的面積堆積超過1公分的火山灰
 2. 最下游邊界以上之影響範圍內有超過10棟以上的建築時

應該由中央單位（國土交通省）負責執行緊急調查及評估。



火山爆發導致土石流篇

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

初期調查項目：

- 火山灰堆積範圍
- 上、下游地區地形變化
- 劃設可能產生重大土砂災害的範圍

運用數值模式計算土砂災害發生時的警戒雨量製作相關災害緊急資訊

持續監測項目針對初期調查繼續監控，並做細部調查



運用雷射測距儀進行長距離堰塞湖形狀計測

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

前言：

- 一般堰塞湖發生地點難以到達且從地面量測工作不易
- 從過去分析結果發現堰塞湖潰壩關鍵因子為壩體高度與下游縱斷面坡度
- 希望能夠過直升機與雷射測距儀快速取得相關資料
- 實際測試探討相關成效

方法與材料

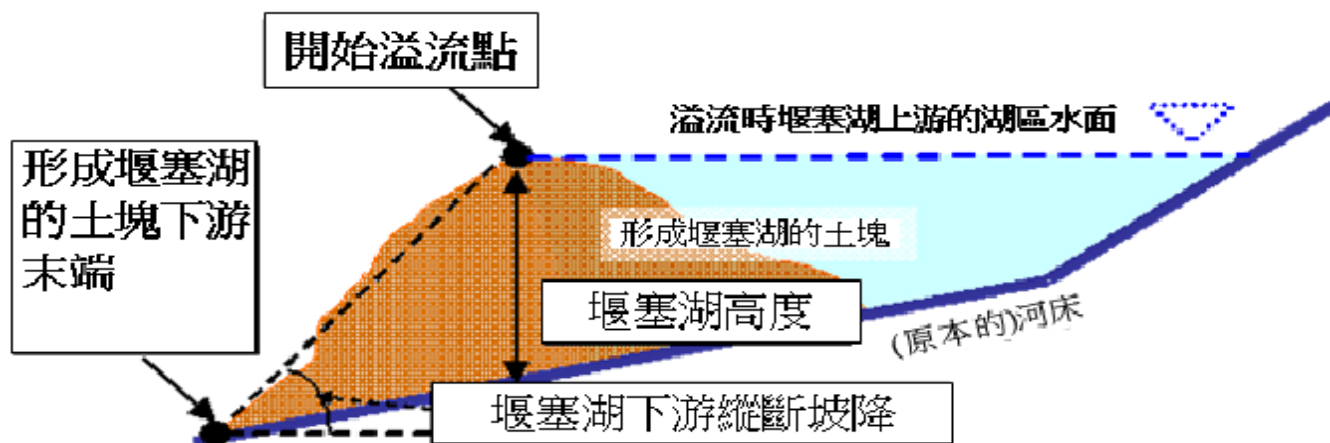
堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

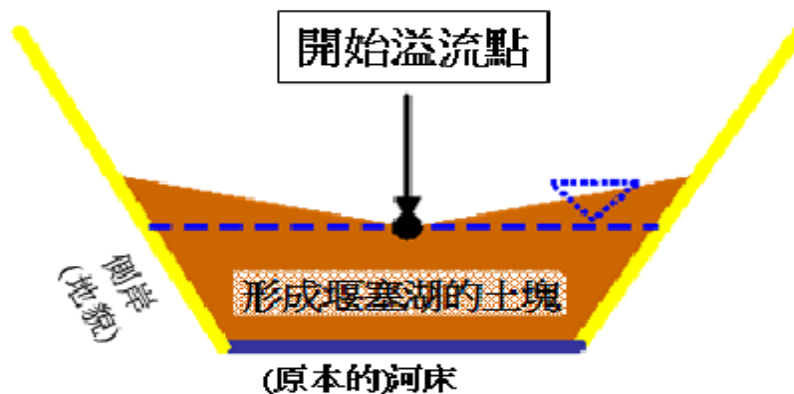
雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

(a) 堰塞湖形成地點橫斷圖



(b) 堰塞湖形成地點橫斷圖





方法與材料

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 測量的項目：針對指定地點量測與施測者之距離、方位角、仰角與俯角
- 設備為雷射測距儀與GPS結合
- 能夠自動解算目標地點之經緯度與高程

表-1 運用雷射距離計的規格表

計測距離		5 m~4,000 m
倍率		5 x
雷射波長		1550 nm
精度	測距	±5 m
	測角（方位角）	±0.57 °
	測角（仰角）	±0.17 °

研究流程

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 實驗地點：2008年6月在日本沼食裏沢地區因地震而產生的堰塞湖、一週後發生溢流、壩高25m、溢流點到下游末端距離500m
- 2011/1/26-27先在室內進行校正、隔天再用直升機去測量
- 3人一組、總共4組，每個人都進行堰塞湖溢流點量測、與堰塞湖末端指定地點量測，針對每個地點量測3-5次，兩個地點總共量測約41次，而直升機與量測地點大約距離400公尺



量測結果分布圖

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

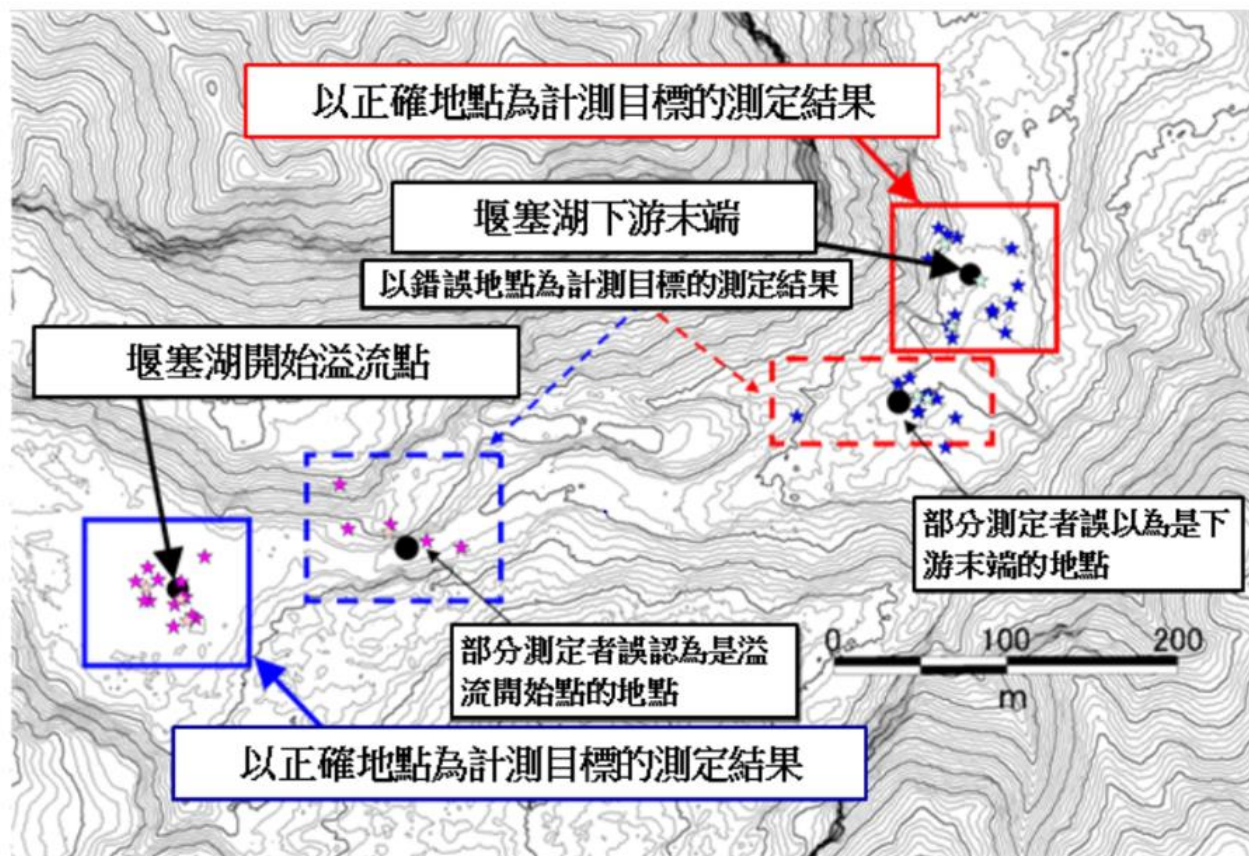


圖-2 測定結果平面圖

(黑色圈圈為計測者設定為目標的地點；星星符號為測定結果)

- 測試人員為第一次操作儀器
- 先用周邊照片進行測量點位討論
- 實際回收的資料仍有誤判情形

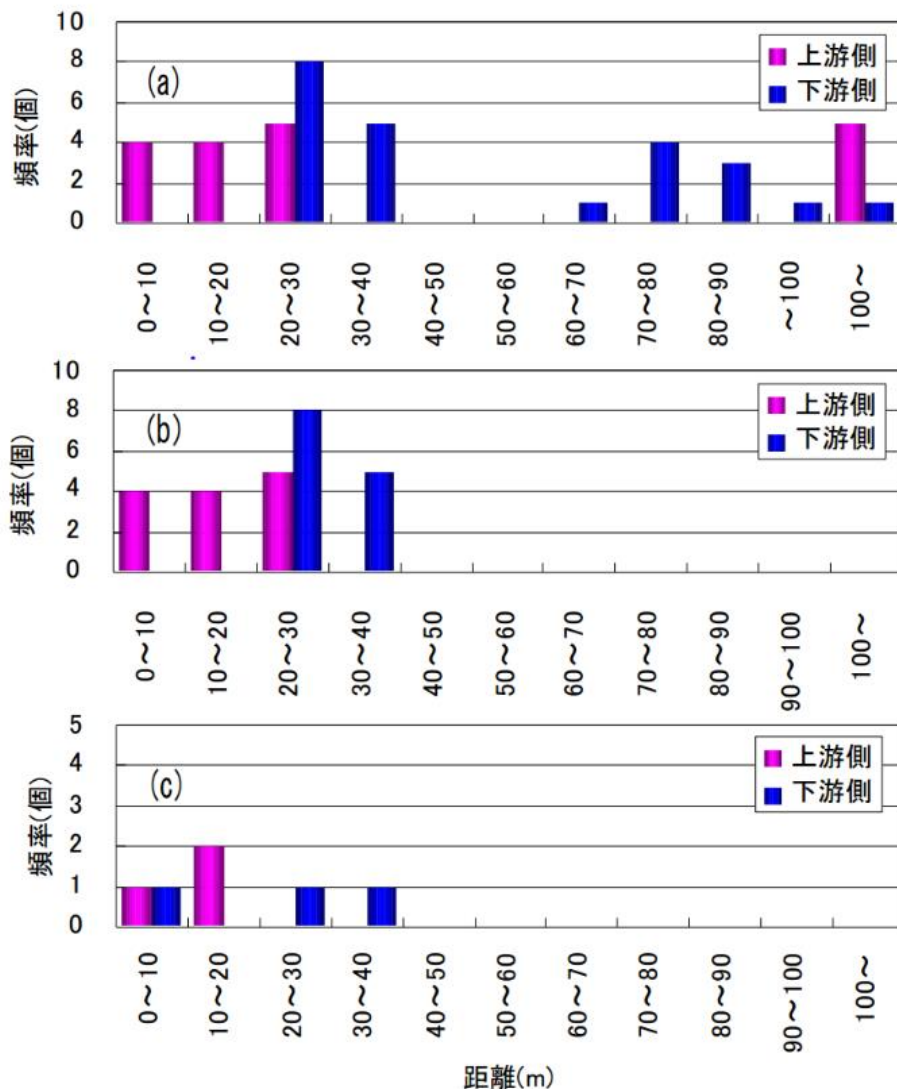
成果整理

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果



- 測量結果與實際目標水平距離統計

(a)：全部的量測結果

(b)：去除誤判的結果

(c)：將能正確量測5次的使用者資料去除誤差最大的2筆再平均之資料

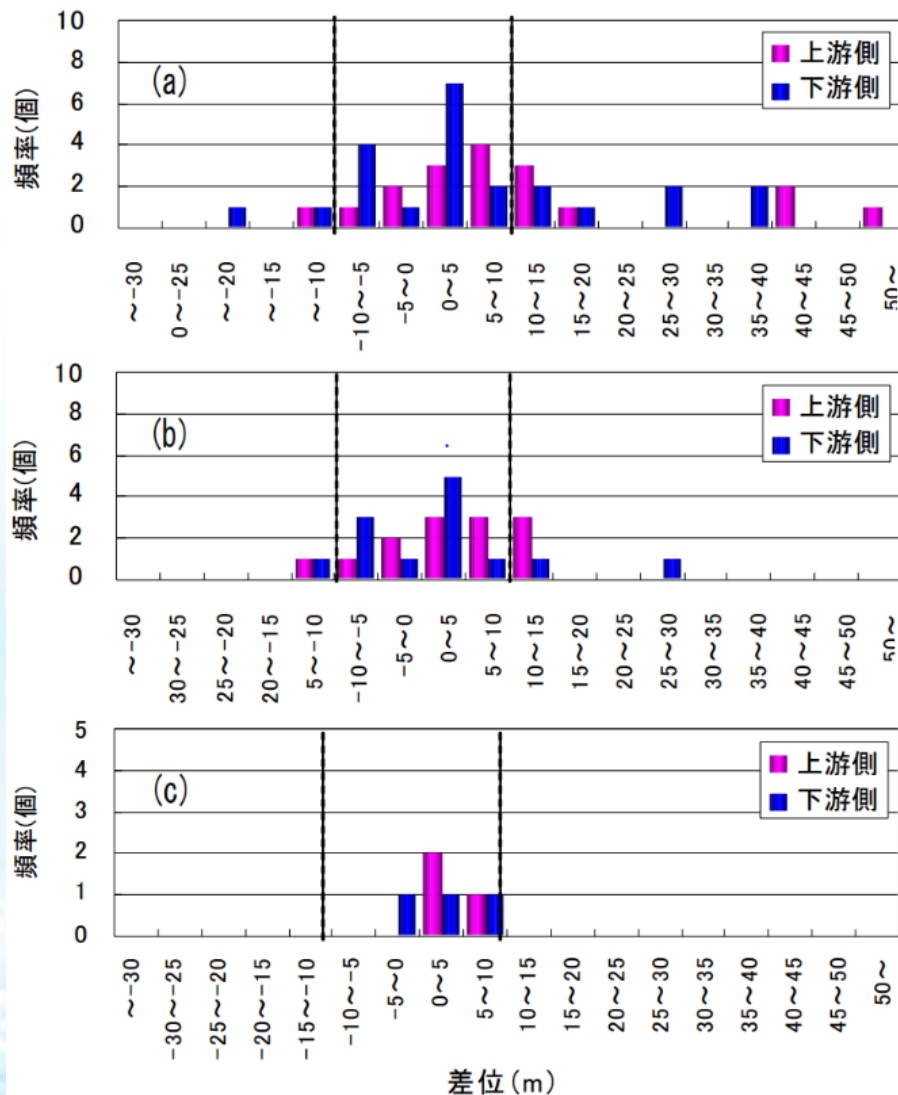
成果整理

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果



- 測量結果與實際目標垂直距離統計

(a)：全部的量測結果

(b)：去除誤判的結果

(c)：將能正確量測5次的使用者資料去除誤差最大的2筆再平均之資料



結論

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 水平誤差大約落在20m以內
- 垂直誤差大約落在5m以內
- 有明確溢流點的案例在討論過後進行量測也會有誤判情形
- 需持續加強專業教育訓練
- 也能考量不同種類的量測工具來輔助





推估堰塞湖潰壩時洪峰流量的相關考察

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 預測堰塞湖潰壩時對下游的影響範圍與洪水規模對於災害預警發布相當重要
- 大多推估模式假設水與土砂是均勻混合的一層
- 而水相與礫石移動層應該分開考量
- 加上考量堰塞湖潰壩時的壩頂侵蝕速度與側岸侵蝕速度
- 希望能運用實際雷射掃描儀所測資料，使堰塞湖洪水水文歷程預測更精準
- 提升未來推估洪峰流量與影響範圍的能力

二層流模型、側岸侵蝕示意圖

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 連續方程式：水相、砂礫相、河床高變化、河床寬變化(河床侵蝕速度、側岸侵蝕速度)(一維)

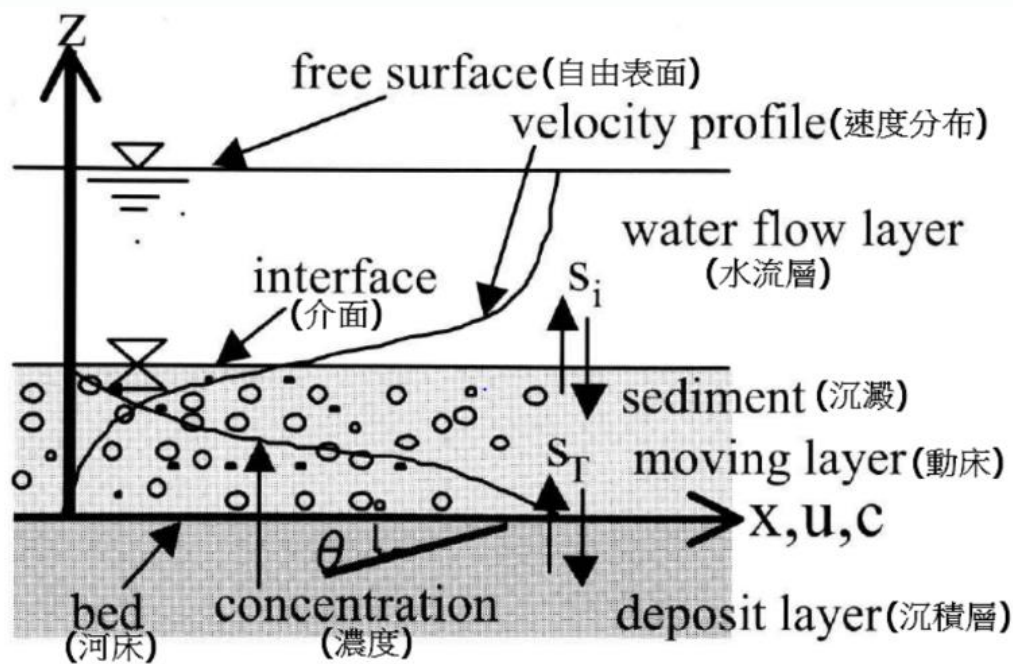


圖-1 二層流模型的模式圖

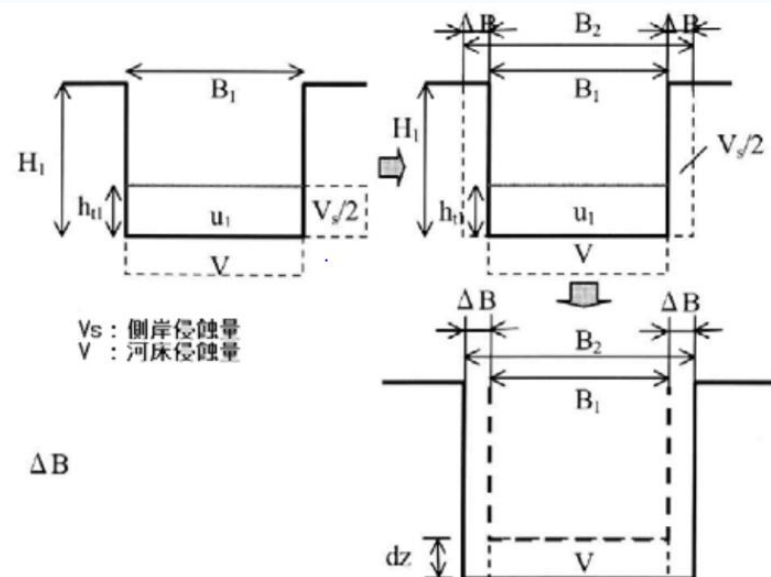


圖-2 側岸侵蝕模式圖

相關核心公式

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

流動層整體狀況

$$\frac{1}{B_1} \frac{\partial B h_1}{\partial t} + \frac{1}{B_1} \frac{\partial B v_t h_t}{\partial x} = S_T + 2 S S_T \frac{h t_1}{B_1} \dots\dots\dots(1)$$

砂礫部分

$$\frac{1}{B_1} \frac{\partial c s B h s}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial c s B v h s}{\partial x} = c * \left(S T + S S T \frac{h t_1}{B_1} \right) \dots\dots\dots(2)$$

河床高的時間變化

$$\frac{\partial z b}{\partial t} = - S T \frac{B_1}{B_2} \dots\dots\dots(3)$$

河川寬度的時間變化

$$\Delta B \text{ (兩岸)} \times H_1 = 2 \times S S_T \times \Delta t \times h_1 ,$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = 2 S S_T \frac{h t_1}{H_1} \dots\dots\dots(4)$$

河床的侵蝕速度：

$$S_T = \bar{v} \tan(\theta - \theta_e) \sim$$

側岸的拓寬速度

$$S S_T = \frac{1}{\alpha} \frac{h_{t1}}{H_1 + h_{t1}} \bar{v} \quad (\alpha = 100 \sim 1,000) \dots\dots\dots(6)$$

案例說明

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

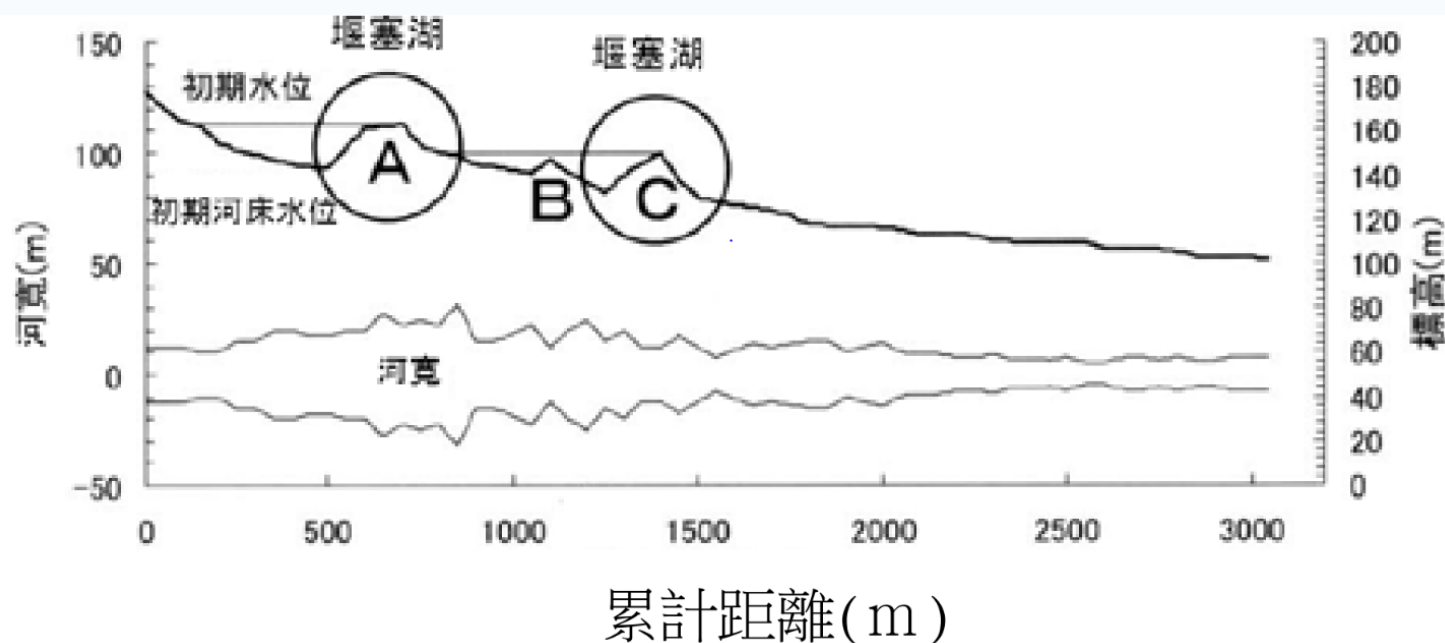
改善潰壩時洪峰流量推估成果

A：上寬100m、下寬200m、高20m、接近梯形的形狀

B：下寬100m、高6m、接近三角形，已經沉入堰塞湖C

C：下寬250m、高20m；接近三角形的形狀

每50m記錄一個河道寬度建模



2004/10/23
新瀾越中地
震後形成之
堰塞湖



模式相關設定

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

上游邊界條件：持續10cms之入流量

平均粒徑：1cm

內摩擦角：35度

曼寧n值：根據調查值或是0.05(代表山中原始河道)

模式計算間距：0.01秒

模式距離：10m

模擬時間：2小時

潰壩方式：溢頂破壞

※假設河道都是矩形斷面進行計算

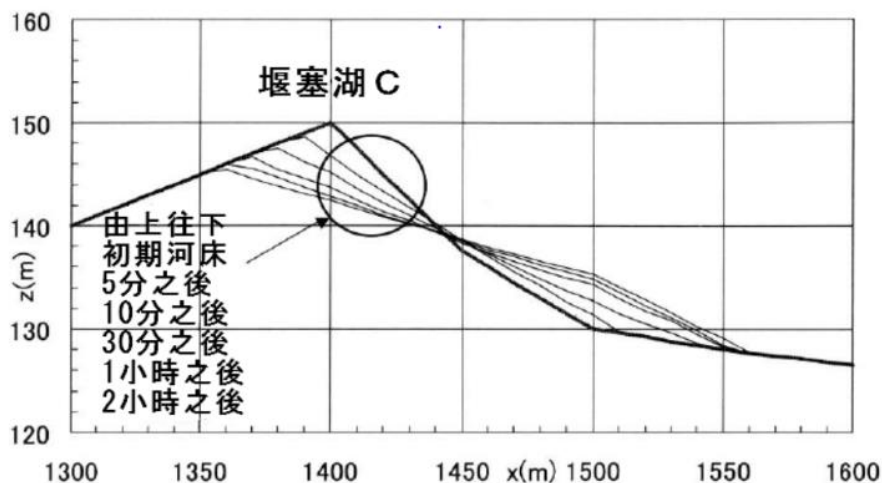
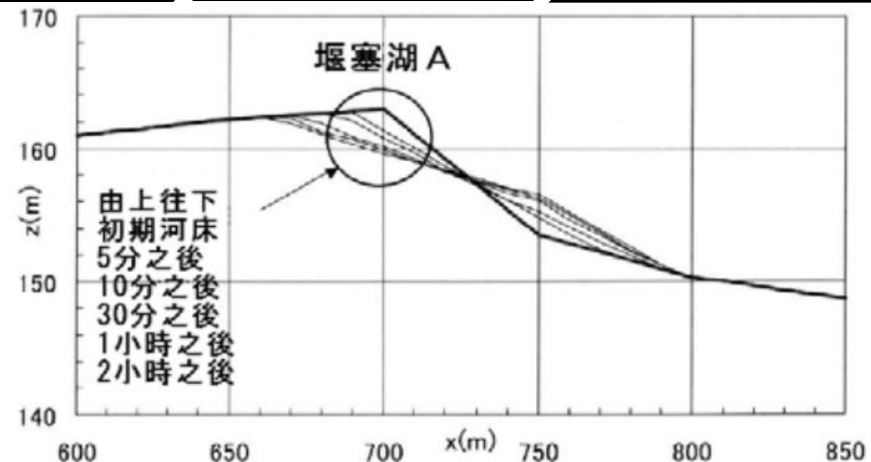
成果展示-天然壩頂側岸侵蝕速度

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果



圖－8 河床高的時間變化

- 模擬總時間為2小時
- 堰塞湖A水頭差變化為**1公尺**
- 堰塞湖C的水頭變化為**5公尺**
- 在形狀上不論是梯形或是三角形皆為一開始侵蝕速度快，之後愈來愈慢

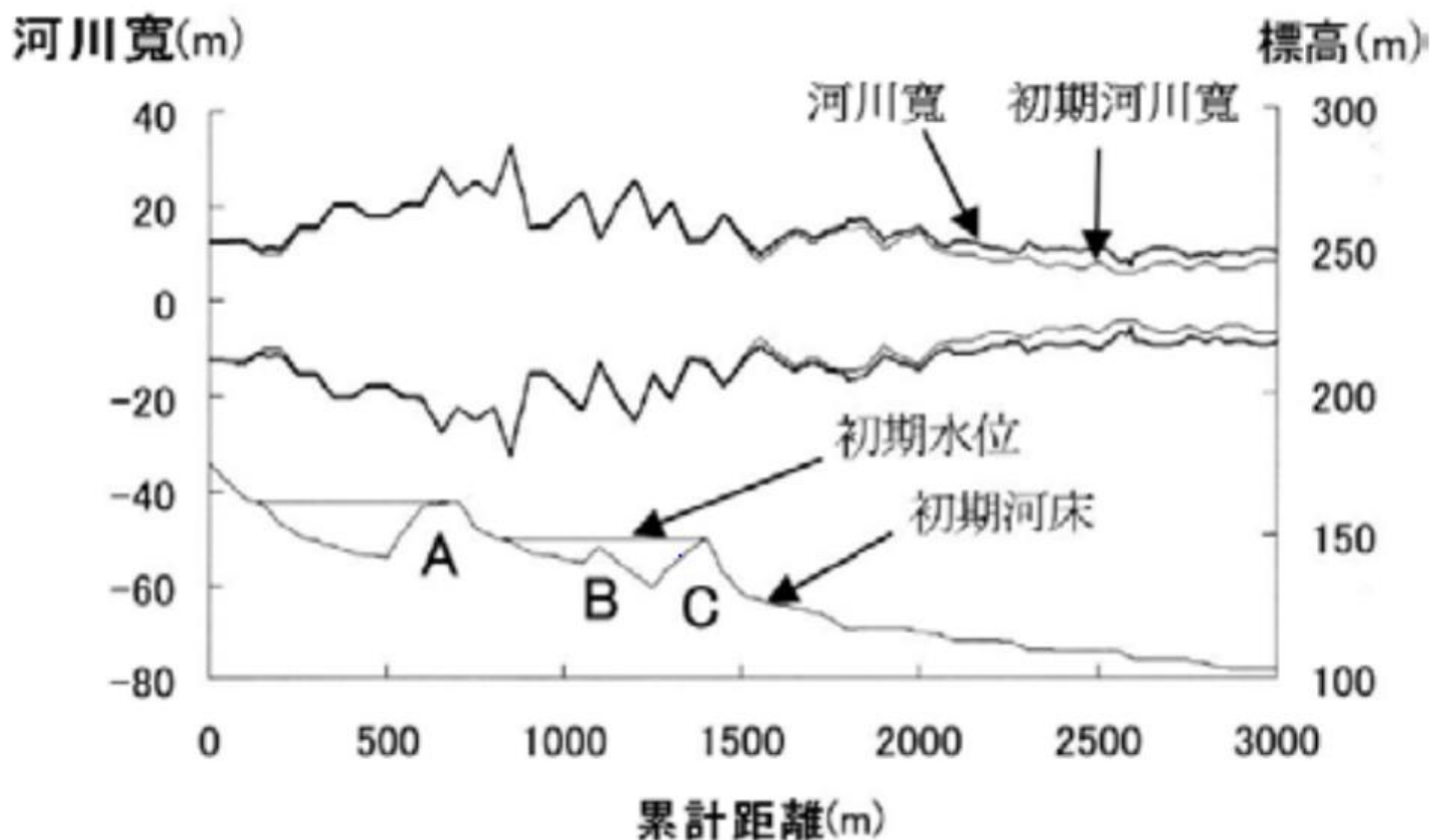
成果展示-河川寬度變化

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果



- 因侵蝕速度與河川流速較為相關，故下游狹窄段能看出河川寬度之改變

圖－4 河川寬的變化

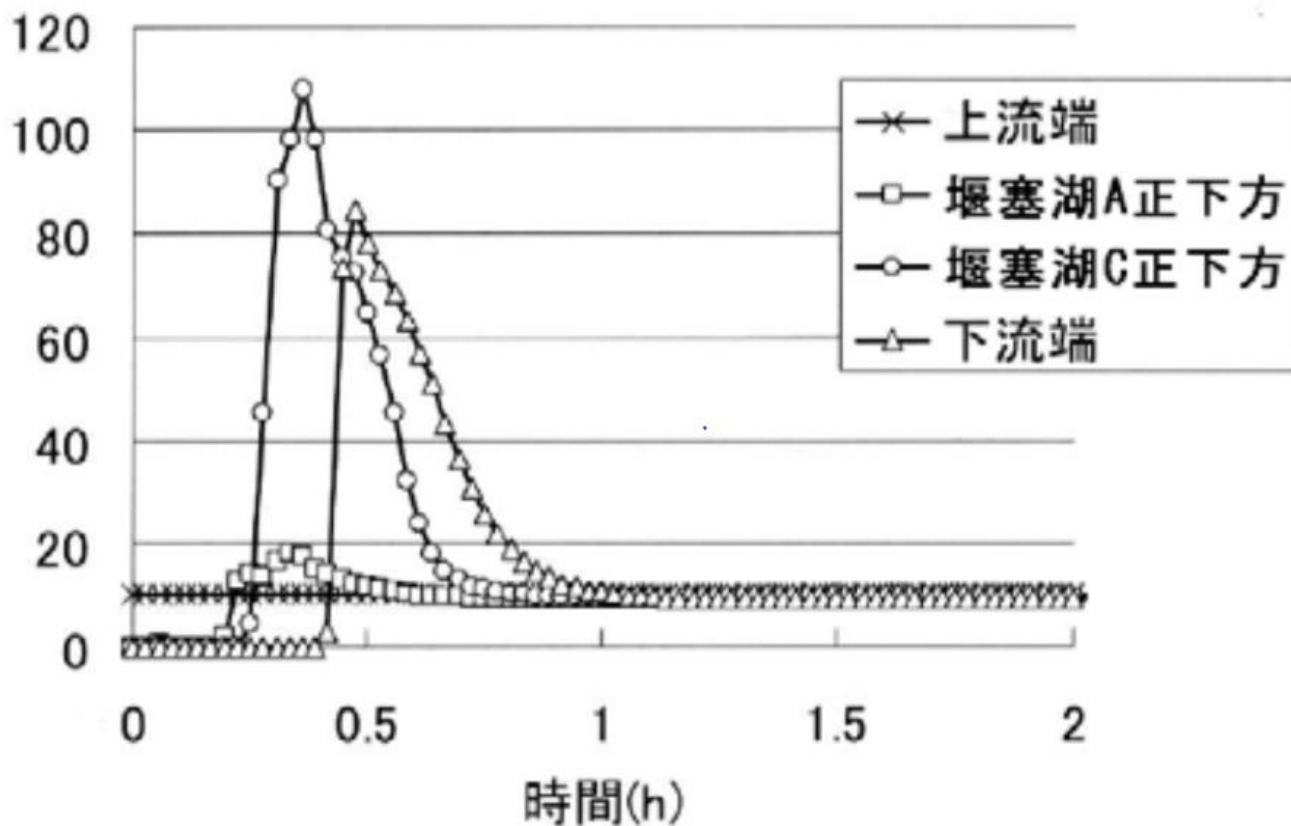
成果展示-河川水文歷線變化

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

流量(m^3/s)

圖—5 堰塞湖下游的水文歷線

- 堰塞湖A潰壩後流量約增加兩倍
- 三角形之堰塞湖C潰壩流量較堰塞湖A大很多，且不受堰塞湖A影響

成果展示-天然壩頂端、側岸侵蝕速度

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

侵蝕速度(m/s)

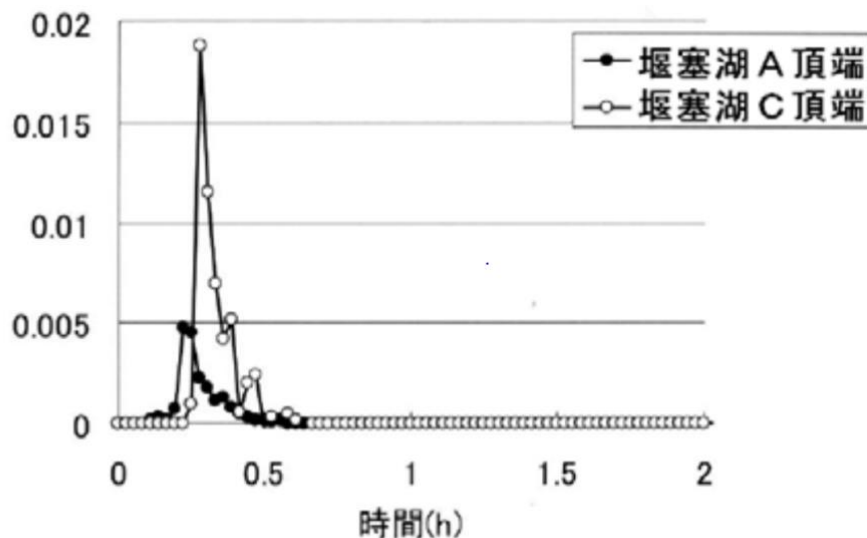


圖-6 堰塞湖頂端河床的侵蝕速度

侵蝕速度(m/s)

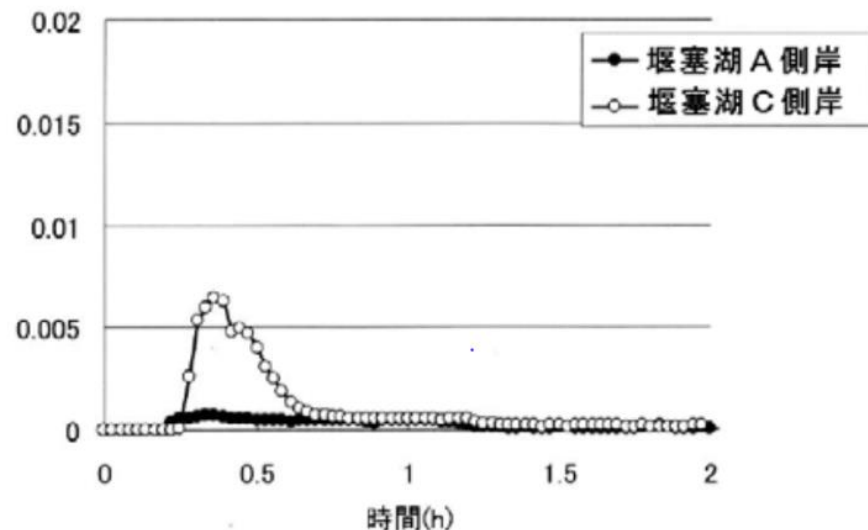


圖-7 堰塞湖頂端側岸的侵蝕速度

- 兩個堰塞湖都是在溢流後馬上出現洪峰值
- 堰塞湖C之侵蝕速度為A的兩倍

- 堰塞湖頂端側岸侵蝕速度較河床侵蝕速度慢



個人閱讀心得

堰塞湖簡介

緊急調查入門篇

雷射測距儀快速評估堰塞湖形狀

改善潰壩時洪峰流量推估成果

- 日本在災害應變上權責分工明確，對於災害的處理方式相當完善
- 在雷射測距於直升機上的運用，應該可以再多比較從陸上至災害地點與測量所需要的花費、時間、儀器。
- 針對堰塞湖的調查上也明白如何在第一時間上判斷出所需要的基本資料是需要經驗需訓練的
- 能夠結合針對天然壩侵蝕破壞與河道演算來看整體流量變化是值得學習參考的，一般來說會分開來模擬執行
- 再洪峰流量的推估上用過去的案例建置模型，但是少了監測資料進行驗證，也沒有比較不同計算方式的結果差異

RTDT

技術研究發展小組

Research and Technology Development Team



**THANK YOU
FOR YOUR
ATTENTION**

