



廉潔、效能、便民



經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：台中市霧峰區吉峰里中正路 1340 號

網址：<http://www.wrap.gov.tw/>

總機：(04)23304788

傳真：(04)23300282

ISBN：978-986-02-8138-5



GPN: 10010001211

定價：新臺幣 800 元

經濟部



MOEAWRA0990435

堰塞湖危險度、危害度評估方法與 堰塞湖處置資訊管理系統建置

Evaluation of Landslide dams Susceptibility
and Hazard and Establishment of the
Information Management System



經濟部水利署水利規劃試驗所

中華民國 100 年 6 月

堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置

中華民國 100 年 6 月 經濟部水利署水利規劃試驗所

堰塞湖危險度、危害度評估方法與
堰塞湖處置資訊管理系統建置

Evaluation of Landslide dams Susceptibility
and Hazard and Establishment of the
Information Management System

主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所
執行機關：國立交通大學防災與水環境研究中心

中華民國 100 年 6 月

目 錄

目錄	目-I
表目錄	表-I
圖目錄	圖-I
摘要	摘-I
ABSTRACT	A-I
結論與建議	結-I
第壹章 前言	1-1
一、計畫緣起	1-1
二、計畫目標	1-1
三、工作項目	1-2
四、工作範圍	1-4
五、工作構想及流程	1-5
六、前期計畫	1-6
(一)堰塞湖基本特性	1-7
(二)堰塞湖一般性處理及防治對策	1-11
(三)堰塞湖調查	1-14
(四)預警系統與監測、監視作業	1-15
(五)工程處理	1-16
第貳章 基本資料蒐集	2-1
一、水利署	2-1
二、內政部	2-4
三、交通部	2-4
第參章 堰塞湖形成後危險度評估方法建立	3-1
一、天然壩穩定性評估地形因子定量分析方法	3-1
(一)無因次阻塞指標	3-2

(二)鑑別分析模式	3-3
(三)邏輯斯迴歸模式	3-4
(四)天然壩穩定性評估地形因子定量模型於台灣應用合宜性評估	3-6
二、危險度模型參數評估流程	3-9
三、危險度分級	3-16
第肆章 堰塞湖危害度評估方法之建立	4-1
一、危害度評估方法	4-4
(一)危害度因子.....	4-5
(二)淹水對居民與經濟損失之估算方法	4-10
(三)淹水危害度的製訂	4-11
(四)危害度之應用	4-14
二、上游淹沒區範圍與危害影響評估	4-15
(一)短時間分析處理	4-15
(二)長時間危害影響分析	4-20
三、天然壩潰決對下游危害度評估	4-21
(一)快速評估法(危害定性評估) :	4-21
(二)詳細評估-潰壩分析(危害定量分析評估)	4-24
第伍章 監測數據處理分析系統研究	5-1
一、監測數據分析方法回顧	5-1
二、監測數據處理分析系統架構	5-3
三、測量接收處理系統	5-5
四、資料統計預報模式開發	5-6
(一)傳統分析法.....	5-7
(二)非線性分析方法	5-8
(三)資料驗證.....	5-11

第陸章 堰塞湖處置資訊管理系統建置	6-1
一、資料庫管理	6-1
二、基本資料查詢	6-4
(一) 新增資料匯入	6-4
(二) GIS內建功能	6-4
(三) 圖徵選取	6-4
(四) 空間定位	6-5
三、監測數據處理分析系統	6-6
(一) 線上數據查詢	6-7
(二) 數據接收處理	6-7
(三) 匯入監測資料點	6-8
(四) 監測點位統計與分析	6-8
四、災害評價模型庫	6-9
(一) 匯入DEM	6-10
(二) 計算集水區範圍	6-10
(三) 上游淹沒區範圍	6-11
(四) 淹沒容積	6-12
(五) 災害評價分析	6-13
五、知識庫及輔助決策研擬	6-14
(一) 潰口分析Breach	6-15
(二) 危害度快速分析	6-17
(三) Sobek資料產出	6-17
(四) 匯入現勘照片	6-17
六、相關資料	6-19
(一) 相關網站	6-19
(二) 表單下載及資料上傳	6-20

第七章 模擬案例及技術轉移訓練	7-1
一、案例資料建置及評估、模擬	7-1
(一)小林村堰塞湖：	7-1
(二)那瑪夏堰塞湖	7-29
二、堰塞湖處置資訊系統使用教育訓練	7-47

參考文獻

附錄一 審查意見及回覆

附錄二 台灣堰塞湖資料庫

附錄三 堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊

附錄四 野外手冊緊急現勘案例(桃源堰塞湖)

附錄五 監測系統規劃

附錄六 堰塞湖處置資訊管理系統使用者手冊

附錄七 潰壩模式分析手冊

附錄八 教育訓練教材

附錄九 工作人員名單

表 目 錄

表 2-1 資訊系統資料內容	2-2
表 2-2 水文水資源管理供應系統圖資	2-3
表 2-3 水利規劃試驗所蒐集之圖資	2-4
表 3-1 台灣堰塞湖案例天然壩穩定性評估地形因子定量分析結果比較 表	3-8
表 3-2 堰塞湖天然壩危險度分級表	3-17
表 4-1 淹水危害因子考量	4-5
表 4-2 淹水深度對生命因子影響分級表	4-8
表 4-3 水流流速對生命因子影響分級表	4-9
表 4-4 水位上升率對生命因子影響分級表	4-10
表 4-5 土地利用類別淹水深度－損失關係表	4-11
表 4-6 天然壩淹水危害度分級	4-12
表 4-7 堰塞湖天然壩淹水程度分級	4-12
表 4-8 堰塞湖潰決淹水危害度分級(快速評估)	4-13
表 4-9 堰塞湖潰決淹水危害度分級(詳細評估)	4-13
表 5-1 資料統計預報模式	5-13
表 7-1 小林村堰塞湖上游淹沒危害度分析	7-10
表 7-2 小林村堰塞湖下游危害度快速評估法分析	7-15
表 7-3 小林村堰塞湖下游詳細資料分析	7-19
表 7-4 小林堰塞湖潰決洪峰到達時間	7-20
表 7-5 小林堰塞湖潰決危害度分析	7-27
表 7-6 那瑪夏堰塞湖上游淹沒危害度分析	7-37
表 7-7 那瑪夏堰塞湖潰決危害度分析	7-46
表 7-8 堰塞湖處置資訊系統教育訓練第 1 梯次課程表	7-48
表 7-9 堰塞湖處置資訊系統教育訓練第 2 梯次課程表	7-48

圖目錄

圖 1-1 小林堰塞湖及那瑪夏堰塞湖位置圖	1-4
圖 1-2 工作執行流程圖.....	1-6
圖 1-3 天然壩破壞方式—壩頂溢流破壞示意圖(高橋·匡, 1988)....	1-8
圖 1-4 天然壩破壞方式—邊坡破壞示意圖(高橋·匡, 1988)	1-9
圖 1-5 天然壩破壞方式—溯源沖刷破壞示意圖(高橋·匡, 1988)....	1-9
圖 1-6 堰塞湖的壽命 (SCHUSTER AND COSTA, 1986)	1-11
圖 1-7 堰塞湖壽命分佈長條圖(水規所, 93 年).....	1-11
圖 1-8 堰塞湖形成後建議作業順序流程圖(水規所, 93 年)	1-13
圖 1-9 初步調查作業流程圖(水規所, 93 年).....	1-14
圖 1-10 詳細調查作業流程圖(水規所, 93 年).....	1-15
圖 1-11 監測儀器量測項目與種類(水規所, 93 年).....	1-16
圖 1-12 工程處理方案決定流程圖(水規所, 93 年).....	1-18
圖 3-1 DBI指標分析判斷全球 84 個天然壩體穩定性(三角形為穩定壩、 菱形為不穩定壩)之結果(ERMINI AND CASAGLI, 2003).....	3-2
圖 3-2 日本案例(TABATA ET AL., 2002)地形參數定義	3-4
圖 3-3 天然壩危險度快速評估流程.....	3-10
圖 3-4 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體幾何參數取得方法.....	3-10
圖 3-5 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體推估等高線.....	3-12
圖 3-6 那瑪夏鄉天然壩壩體地形實測剖面位置圖	3-13
圖 3-7 重建納瑪夏鄉天然壩壩體剖面與實測剖面比較圖	3-13
圖 3-8 集水區面積A為 1KM ² , (A)壩高為 30M (B)壩高為 40M (C)壩高為 50M。	3-18
圖 4-1 上游淹沒區危害度分析流程圖	4-3
圖 4-2 潰壩對下游淹水危害度分析流程圖	4-4
圖 4-3 水流流速-身長比圖 (利根川研究會, 1995).....	4-9

圖 4-4 堰塞湖水位監測、溢頂時間以及淹沒範圍推估方法示意圖。(A) 根據數值地形於GIS系統架構下分析獲得之水位-水體積圖；(B)水位高程-時間預測圖	4-18
圖 4-5 堰塞湖形成後上游淹沒範圍與溢頂時間分析流程.....	4-19
圖 4-6 唐家山堰塞湖上游多期遙測正射影像圖（董家鈞等，2010）	4-20
圖 4-7 堰塞湖壩體形狀上游壩體坡度 1:2、下游坡度 1:2 示意圖 ...	4-22
圖 4-8 堰塞湖壩體高度-蓄水體積-潰壩洪流量關係示意圖	4-23
圖 4-9 堰塞湖形成後之淹水程度分級流程.....	4-23
圖 4-10 堰塞湖潰壩分析流程	4-25
圖 5-1 監測數據處理分析系統架構與流程	5-14
圖 5-2 TDR感測平台資訊系統架構圖（戴子強，2010）	5-15
圖 5-3 測量接收處理系統流程.....	5-15
圖 5-4 (A)測量接收處理系統開發介面STEP1 (B) 介面STEP2.....	5-16
圖 5-5 GIS資料查詢開發介面	5-18
圖 5-6 分叉對控制空間之劃分（秦四清等人，1993）	5-18
圖 5-7 進階資料查詢開發介面(A)單一監測資料分析(B)兩組監測資料比對分析.....	5-19
圖 6-1 堰塞湖處置資訊管理系統介面	6-2
圖 6-2 堰塞湖處置資訊管理系統介面	6-2
圖 6-3 堰塞湖處置資訊管理系統工具地圖	6-3
圖 6-4 基本資料查詢工具列內容	6-4
圖 6-5 城市查詢定位視窗	6-5
圖 6-6 地標查詢定位視窗	6-6
圖 6-7 監測資料分析工具列	6-6
圖 6-8 水資源資訊平台查詢界面	6-7

圖 6-9 匯入監測資料點位視窗	6-8
圖 6-10 監測點位統計與分析視窗	6-9
圖 6-11 災害評價模型庫工具列	6-10
圖 6-12 匯入DEM視窗	6-10
圖 6-13 計算集水區範圍視窗	6-11
圖 6-14 上游淹沒區範圍	6-12
圖 6-15 上游計算之淹沒區與正射影像比對	6-12
圖 6-16 淹沒容積視窗	6-13
圖 6-17 災害評價分析視窗	6-14
圖 6-18 災害評價分析查詢視窗	6-14
圖 6-19 知識庫及輔助決策研擬工具列	6-15
圖 6-20 潰口分析參數輸入表單	6-16
圖 6-21 潰口分析成果展示	6-16
圖 6-22 危害度快速分析視窗	6-17
圖 6-23 編輯現勘照片點位圖資	6-18
圖 6-24 編輯照片屬性資料	6-18
圖 6-25 現勘照片點位圖資屬性資料	6-19
圖 6-26 相關網站查詢視窗	6-20
圖 6-27 表單上傳及下載視窗	6-20
圖 6-28 上傳之表單查詢視窗	6-21
圖 7-1 小林村崩塌後地質圖(李錫堤等，2009)	7-3
圖 7-2 旗山溪中殘存的天然壩(2009.09.09)	7-4
圖 7-3 小林村堰塞湖地籍與等高線圖與標高 415 公尺等高線圖	7-5
圖 7-4 小林村堰塞湖發生位置周邊土地使用原始圖資與標高 415、420M 等高線圖	7-6
圖 7-5 小林村堰塞湖發生位置周邊土地使用分類情況與標高 415、420M	

等高線圖	7-7
圖 7-6 堰塞湖發生正射影像與標高 415、420M 等高線圖	7-8
圖 7-7 全省中央管河川河道斷面與位置	7-11
圖 7-8 高屏溪 SOBEK-1D 之降雨逕流與水理模式範圍	7-12
圖 7-9 小林堰塞湖上游淹沒區高程示意圖	7-12
圖 7-10 降雨逕流模式結合淹水模式所得之上游淹沒區	7-13
圖 7-11 主要壩體下游坡面坡面 1(H)：2(L)	7-15
圖 7-12 主要壩體上游坡面 1(H)：2(L)	7-16
圖 7-13 旗山溪治理計畫流量示意圖	7-16
圖 7-14 小林村堰塞湖潰口出流歷線	7-17
圖 7-15 小林村堰塞湖不同時間之潰口形狀	7-18
圖 7-16 小林村堰塞湖潰口底床與水位高程歷線	7-18
圖 7-17 小林村堰塞湖水位高程圖	7-19
圖 7-18 旗山溪出口下游邊界條件	7-21
圖 7-19 小林村堰塞湖下游模擬結果（甲仙區小林里、關山里） ..	7-22
圖 7-20 小林村堰塞湖下游模擬結果（甲仙區）	7-23
圖 7-21 小林村堰塞湖下游模擬結果（杉林區月眉橋）	7-24
圖 7-22 小林村堰塞湖下游模擬結果（旗山區口隘溪匯入至美濃溪匯入 河段）	7-25
圖 7-23 小林村堰塞湖下游模擬結果（美濃溪匯入至旗山溪出口河段）	7-26
圖 7-24 旗山溪堰塞湖及崩塌區基本資料(林務局，2010)	7-30
圖 7-25 那瑪夏堰塞湖位置圖	7-31
圖 7-26 那瑪夏堰塞湖(99/10/29 拍攝)	7-31
圖 7-27 那瑪夏堰塞湖溢流口(99/10/29 拍攝)	7-32
圖 7-28 那瑪夏堰塞湖災害評價分析結果	7-33

圖 7-29 那瑪夏堰塞湖地籍與等高線圖與標高 795 與 800 公尺等高線圖	7-34
圖 7-30 堰塞湖發生位置周邊土地使用分類情況與標高 795、800M 等高 線圖	7-35
圖 7-31 堰塞湖發生正射影像與標高 795、800M 等高線圖	7-36
圖 7-32 高屏溪 SOBEK-1D 之降雨逕流與水理模式範圍	7-38
圖 7-33 降雨逕流模式結合淹水模式所得之上游淹沒區	7-39
圖 7-34 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 2,000CMS 入流 量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量	7-40
圖 7-35 那瑪夏堰塞湖主要壩體位置與上、下游坡降	7-41
圖 7-36 那瑪夏堰塞湖潰口出流歷線	7-42
圖 7-37 那瑪夏堰塞湖不同時間之潰口形狀	7-42
圖 7-38 那瑪夏堰塞湖潰口底床與水位高程歷線	7-43
圖 7-39 那瑪夏堰塞湖下游模擬結果（那瑪夏堰塞湖至至達卡努瓦里）	7-44
圖 7-40 那瑪夏堰塞湖下游模擬結果（甲仙區）	7-45
圖 7-41 第 1 梯次教育訓練現場(I)	7-49
圖 7-42 第 1 梯次教育訓練現場(II)	7-49
圖 7-43 第 2 梯次教育訓練現場(I)	7-50
圖 7-44 第 2 梯次教育訓練現場(II)	7-50

摘要

一、計畫概述

災害的形成必須具備致災體和受災體兩方面條件，前者是自然動力作用所造成的災害活動；後者是人類勞動創造的物質財富以及自然界提供給人類直接開發利用資源和環境，只有這兩方面同時具備時，才能出現災害過程。這兩方面條件不但決定災害是否發生，而且決定了成災規模的大小。

堰塞湖所造成災害具有突發性災害（潰壩洪水）及緩慢性災害（土砂、河道淤積問題）特性。其中突發性災害活動階段相當短暫，這類災害的評估主要是天然壩形成後（災前）的危險度和潰壩後的危害度，以防災減災工作角度，災前危險之危害度評估尤為重要，乃為堰塞湖防災的工作和研究重點。本計畫之目的旨在建立堰塞湖危險度、危害度評估方法，並建置以 GIS 為平台之堰塞湖處置資訊管理系統，用以提供堰塞湖防災緊急應變與決策處置之參考。

二、基本資料蒐集

本計畫蒐集之資料分為兩類，第一類圖層範圍包含全台灣，內容如下：城市界、基本資料(河道、河川、水庫壩堰、水門及堤岸或護岸)、水文測站(河川水位站、河川流量站及雨量站)、敏感地質(土石流潛勢溪流及崩塌地)；第二類圖層以模擬案例為主，內容如下：兩萬五千分之一地形圖(三角點、山名、水準點、註記、道路及等高線)、流域地質圖(斷層線、褶皺線、調查點及地層面)及國土利用，摘表 1 為目前所蒐集之資訊系統資料內容。

摘表 1 資訊系統資料內容

資料大類	資料中類	資料小類	資料來源及範圍
地形	二萬五千分之一地形圖	三角點	內政部/模擬案例
		山名	
		水準點	
		道路	
		等高線	
		註記	內政部/全省
地質	流域地質圖	斷層線	中央地調所
		褶皺線	
		調查點	
		地層面	
	敏感地質	土石流潛勢溪流	水土保持局/全省
		崩塌地	
	土地利用	內政部國土測繪中心/模擬案例	
水文	基本資料	河道	水利署/全省
		河川	
		水庫壩堰	
		水門	
		堤岸或護岸	
	水文測站	河川水位站	
		河川流量站	
		雨量站	

三、堰塞湖形成後危險度評估方法建立

本計畫利用衛星影像以及數值地形模型，配合可快速進行空間計算之 GIS 系統，運用於堰塞湖形成初期危險度快速分析與評估。分析與評估工作包括：(1)及時取得足夠清晰之正射化遙測影像，判釋堰塞湖位置；(2)配合數值地形模型獲得天然壩之幾何資

訊(壩頂高程、壩長、壩寬、壩高)以及上游集水區面積；(3)根據數值地形資料繪製水位高程-湖水體積圖，並利用多期衛星影像搭配數值地形模型進行堰塞湖水位高程監測；(4)估計淨入流流量、溢流時間以及上游淹沒範圍與時間之關係；(5)利用地形指標或統計模型以評估天然壩下游之危險度。

關於天然壩下游危險度評估方法，除了現行常用之主觀專家判定方式以外，建議利用 DBI 指數、鑑別分析與邏輯斯迴歸模型，定量評估天然壩之危險度，以提供決策者主觀與客觀資訊。由於其保守性，本計畫建議堰塞湖天然壩危險度分析可考慮使用邏輯斯迴歸模型。本計畫以台灣堰塞湖案例確認統計模型之合宜性，並根據天然壩破壞機率將危險度分為五個等級，包括：極高度危險、高度危險、中度危險、低度危險、極低度危險。

四、堰塞湖危害度評估方法建立

堰塞湖的淹水危害度分析，分為快速、詳細評估兩種，並將堰塞湖潛在危害分就上游與下游危害加以考量。

堰塞湖上游形成後，勢必會淹沒上游迴水河段，因此在快速分析主要考量迴水範圍，並根據基本圖資將迴水範圍畫出。於詳細評估除考量淹沒範圍外，並藉由一維水文、水理模式推估上游多少降雨量時會發生壩頂溢流情況。

天然壩體潰決對下游危害度分析，於快速分析以上游可能入流量，壩體形狀與蓄水量進行事先的演算與統計，根據實際天然壩體進行潰口快速推估可能之出流量，再與計畫流量進行比較，當出流量大於計畫流量則淹水程度分級高，反之，洪峰流量可行於河道內，則淹水程度分級低。在詳細評估上，則利用二維淹水模擬，將各村里可能之淹水情況進行統計與分析，並藉由淹水模

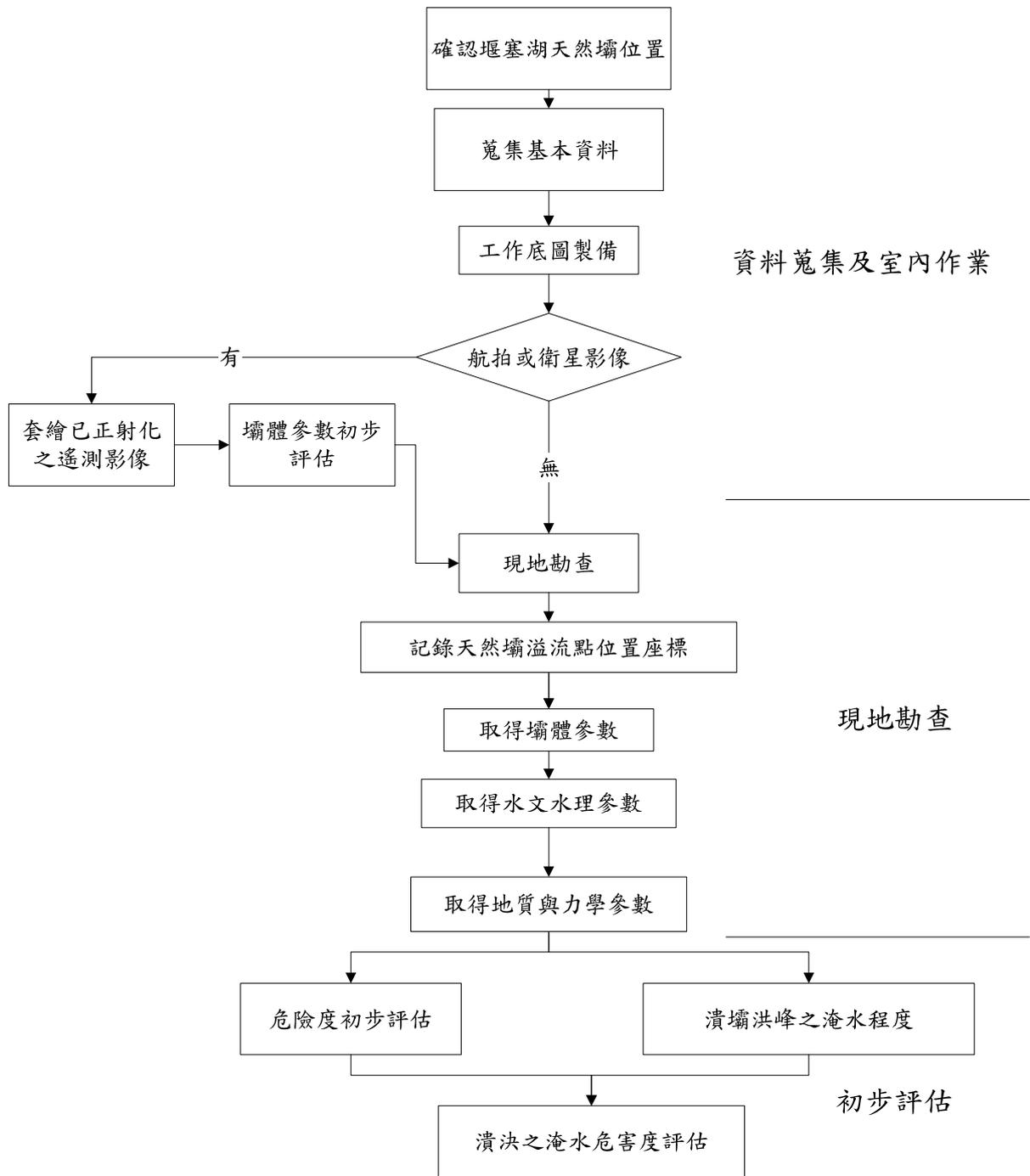
擬結果、經濟損失及脆弱人口推估、危險度等級，進行各村里之淹水危害度分級。

關於天然壩下游危害度評估方法，本計畫建議根據危險度指標(天然壩破壞可能性高低)以及潰壩洪峰之淹水影響(潰壩可能洪峰流量除以河川治理計畫之流量)，以反應潰壩對下游河川之“危害度”，本計畫建議堰塞湖對下游地區之淹水危害度可分為七級，包括：極高危害度、高危害度、中-高危害度、中危害度、中-低危害度、低危害度以及極低危害度。

另外，本計畫亦提出堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)，手冊內容涵蓋作業流程、資料蒐集及室內作業、現地勘查、危險度及潰壩洪峰之淹水程度分級。摘圖 1 為緊急現勘作業流程圖。

五、監測數據處理分析系統研究

本計畫因應堰塞湖監測特性，已提出監測數據處理分析系統，包含測量接收處理系統，以及資料統計預報模式。其中，本計畫基於相關文獻回顧，提出四種資料統計預報模式，並配合現有監測資料進行驗證，完成其演算方法測試與相關限制。為考量監測數據處理分析系統實際應用與推廣，建議可嘗試由一般傳統壩體監測應用開始，藉以回饋本系統在穩定性、介面使用親和性等校正。



摘圖 1 緊急現勘作業流程圖

六、堰塞湖處置資訊管理系統建置

由於科技進步，對於監測、分析及圖形資料的增加速率相當快速，亟需能夠有效率地處理這些海量數據，GIS 技術有能力提供這方面的支援。當堰塞湖發生，管理單位必須彙整相當多資料，

快速分析出有用訊息提供決策者參考，因此值得透過 GIS 以整合圖資。此系統必須能具備提供訊息收集、儲存、管理、檢索、分析及編圖等全過程的電腦處理軟體工具系統。

堰塞湖處置資訊管理系統以堰塞湖個案建置，當有堰塞湖發生時，可以地名或特殊地標定義，即可啟動系統。系統中預設載入本計畫蒐集之基本資料，後續進行之調查、監測、及資料蒐集等則獨立存在於該堰塞湖資料中，系統開發亦一個堰塞湖處置管理系統工具列，內容包含基本資料查詢、監測數據處理分析系統、災害評價模型庫、知識庫及輔助決策研擬及相關資料。

七、模擬案例及技術轉移訓練

(一) 模擬案例

本計畫以旗山溪流域兩處堰塞湖為模擬案例，一處為已潰決的小林村堰塞湖，另一處為未潰決的那瑪夏鄉(民生村上游)堰塞湖。

小林村堰塞湖利用三種災害評價模式所計算之災害評價，除 DBI 顯示未能分類，鑑別分析模式及邏輯斯分析模式顯示該天然壩為不穩定，其破壞機率為 85.72%。堰塞湖上游淹沒區長時間詳細評估結果為上游淹沒區危害度為 1.0，具有極高淹水危害度。潰決對下游危害度評估中，快速評估法結果為第 V 級，一定會發生淹水，且具有極高危害度。

那瑪夏堰塞湖利用三種災害評價模式所計算之災害評價，均顯示該天然壩為不穩定，其破壞機率為 90.1%。潰決對下游危害度評估中，快速評估法結果為第 V 級，一定會發生淹水，且具有極高危害度。

(二) 教育訓練

堰塞湖處置資訊系統教育訓練考量未來使用者不同，分為兩梯次辦理，第一梯次對象為水規所業務同仁，時間為民國 100 年 5 月 20 日，訓練內容為堰塞湖潰壩模擬及危害度詳細評估方法；第二梯次對象為水規所及各河川局業務同仁，時間為民國 100 年 6 月 13 日，訓練內容為野外手冊操作及堰塞湖處置資訊系統應用。

ABSTRACT

I. Introduction

The evaluation for the potential of a natural hazard should take into account both the probability of the hazard to occur (*i.e.*, the susceptibility) and the impact on casualty/injury and economic losses. The former determines the chance of hazard, while the latter provide a measure of the scale of hazard damage (or vulnerability).

The threats from to a landslide dam can either be abrupt (e.g., flooding due to breaching of dam) or long-term (*e.g.*, increase in sediment yield). For the purpose of hazard mitigation, the evaluation of abrupt type threats should include the assessment of failure probability of the landslide dam and the potential damage once the dam does breach. This project aims to establish methods for the assessments of landslide-dam failure probability as well as the scale of flooding damage and vulnerability after dam breaching. The landslide-dam hazard then can be assessed by the combination the level of landslide-dam failure probability and the level of flooding vulnerability. This project also design a geographic information system (GIS) for the management of landslide dam cases. It is anticipated that the GIS system will serve as a platform for necessary risk management and help to provide useful information for disaster prevention and hazard mitigation.

II. Data Collection

Two categories of information were collected in this project. Category 1 data is regional data containing city boundary, basic data (rivers, dams, water gates, levees, etc.), hydrological stations, sensitive geology (potential debris flow and landslides), etc. Category 2 data contains data

of individual landslide-dam case including DEM, geology map, land-use information, etc.

III. Assessment of Landslide-dam Failure Probability (Susceptibility)

This project suggests using satellite image and DEM, together with GIS capable of space calculation, for the preliminary assessment of the breaching potential of landslide dam. The steps of analyses may include the following: (1) to obtain orthomaps clear enough to locate the landslide dam. (2) to estimate the geometric parameters of the landslide dam (crest elevation, length, width and height) and the upstream catchment area by using DEM; (3) to estimate the relation between water level and lake storage volume from DEM, and to monitor the change of water level using multi-stage satellite images if available; (4) to estimate the net inflow, the time for overflow to occur, and the relation between the flooded zone and time; (5) to quantitative assess the failure probability of the landslide dam with the geometric parameters using the published logistic regression model. This model was also examined with many landslide-dam cases in Taiwan. The probability (susceptibility) of landslide-dam failure is classified into five levels according to the range of failure probability.

IV. Assessment of Hazard of Landslide Dam

The hazard assessments for landslide dam can be carried out either as a quick assessment in an early stage or as a detail assessment when information becomes sufficient. The flooding vulnerability due to a landslide dam should consider the threats from the dam both to the upstream areas (before dam breach) and to the downstream regions (after

dam breach).

For the upstream vulnerability, the assessment is to estimate the flooded zone due to water-level rise in the natural lake dammed by the landslide dam. In quick assessment, the flooded zone can be estimated from DEM and the rising water level. The detail assessment, on the other hand, can make use of hydrological model and hydraulic model to calculate the rainfall amount required to cause dam-crest overflow.

For the downstream vulnerability, the assessment is to estimate the downstream flooded zone due to the breach of the landslide dam. To perform quick assessment, a series of graphs were prepared for the peak outflow from a breached dam for various combined conditions of inflow, dam height, dam slopes, and lake storage. These graphs enable quick estimation of peak outflow from a breached dam. The peak outflow Q_{db} is then compared with the designed flow of the downstream river Q_{df} ; the level of flooding vulnerability then can be classified by the ratio of (Q_{db} / Q_{df}). For detail assessment of downstream flooding vulnerability, 2-D flooding numerical simulation is used to find the flooded zone, flooding depth, flow velocity, and water-level rising rate. The level of vulnerability for each downstream flooded region is assessed by considering factors including economic loss and vulnerable residences. The downstream flooding vulnerability is classified into five levels.

Finally, the landslide-dam hazard can be assessed by combining the level of landslide-dam failure probability and the level of flooding vulnerability. The landslide-dam hazard is classified into seven levels in total.

V. Management and Analysis of Monitoring Data

A system of management and analysis of monitoring data for landslide-dam cases is established in this project. This system includes data acquisition, data statistics, and prediction model. Four kinds of prediction models are incorporated in the system. The project also used a variety of monitoring data from a well instrumented case to demonstrate and verify the effectiveness of the system.

VI. Geographic Information System for Landslide-dam Management

This project established a geographic information system (GIS) for the management of landslide-dam cases. This GIS system enables the acquisition, management, storage, inquiry, analysis, and graphical output of information. It is anticipated that the GIS will serve as a platform for necessary risk management and help to provide useful information for disaster prevention and hazard mitigation.

The GIS enables the setup of individual landslide-dam case. Pre-loaded data can be retrieved according to the location of the landslide dam. Data and information from following site investigation, instrumentation, and data collection can also be added into the system. This system includes four sub-modules: (1) inquiry of basic information; (2) system of management and analysis of monitoring data; (3) hazard assessment and model library; (4) knowledge base, risk-management auxiliary and related information.

VII. Case Studies and Technology Transfer

(i) Two landslide-dam cases formed in 2009 were used to demonstrate the

effectiveness of the proposed methods in this project. The first case is the Shau-Lin case; the second case is the Na-Ma-Sha case.

- (ii) Two training workshops were held to transfer the technology developed in this project.

結論與建議

一、結論

- (一)若能整合衛星影像以及數值地形模型，配合可快速進行空間計算之GIS系統，即可運用於堰塞湖形成初期之快速分析與評估。重要工作包括：(1)及時取得足夠清晰之正射化遙測影像，判釋堰塞湖位置；(2)配合數值地形模型獲得天然壩之幾何資訊(壩頂高程、壩長、壩寬、壩高)以及上游集水區面積；(3)根據數值地形資料繪製水位高程-湖水體積圖，並利用多期衛星影像搭配數值地形模型進行堰塞湖水位高程監測；(4)估計淨入流流量、溢流時間以及上游淹沒範圍與時間之關係；(5)利用地形指標或統計模型以評估天然壩之危險度。
- (二)關於天然壩下游危險度評估方法，除了現行常用之主觀專家判定方式以外，建議利用DBI指數、鑑別分與邏輯斯迴歸模型，定量評估天然壩之危險度，以提供決策者主觀與客觀資訊。源於其保守性，因此，本計畫建議堰塞湖天然壩危險度分析可考慮使用邏輯斯迴歸模型。本計畫以台灣案例確認統計模型之合宜性，並根據天然壩破壞機率將危險度分為五個等級，包括：極高度危險、高度危險、中度危險、低度危險、極低度危險。
- (三)本計畫建議根據危險度指標(天然壩破壞可能性高低)以及潰壩洪峰之淹水影響(潰壩可能洪峰流量除以河川治理計畫之流量)，以反應潰壩對下游河川之“危害度”，本計畫建議堰塞湖對下游地區之淹水危害度可分為七級，包括：極高危害度、高危害度、中-高危害度、中危害度、中-低危害度、低危害度以及極低危害度。
- (四)防災作業手冊(緊急應變版)中將堰塞湖之危險程度劃分為三種

等級（有立即危險、有潛在危險以及無危險），再依其等級建議處置方式。就本計畫所提出之危害度等級，極高、高及中-高等級之危害度宜對應原「有立即危險」，中危害度對應原「有潛在危險」，而低及中-低危害度則對應原「無危險」（或將「無危險」改為「低度危險」）。

- (五)根據堰塞湖形成後的淹水危害度分析結果顯示，可用於未來發生堰塞湖時，作為評估堰塞湖淹水危害度與壩體處置之參考使用。
- (六)在上游淹沒區短時間快速評估方法所提的四種資料，根據不同的資料取得，均可對上游淹沒區進行快速評估，提供給防救災單位作緊急疏散處置之參考。
- (七)在上游淹沒區之長時間詳細評估方法，根據水位監測、水文-水理模式演算與堰塞湖上游淹沒區的淹水演算，均可對上游淹沒區迴水區域提供較準確之淹水水位，同樣亦可提供給防救災單位作緊急疏散處置之參考。
- (八)堰塞湖潰決對在下游淹水危害度分析，根據所建置的快速評估方法與詳細的潰壩分析方法，均可得到下游淹水危害等級所對應的危害度等級。
- (九)因道路為居民疏散撤離之可能行經路線，故淹水危害度訂定係以道路淹水情況為主要考量。
- (十)本計畫基於相關文獻回顧，提出四種資料統計預報模式，並配合現有監測資料進行驗證，完成其演算方法測試與相關限制，藉以提供後續資訊系統模組建置之參考修訂使用。

二、建議

- (一)地震與暴雨造成之堰塞湖天然壩行為可能有所不同，岩塊滑動

與土石流造成之堰塞湖天然壩行為亦可能有所不同。過去曾將地震與豪雨誘發天然壩案例分開統計以獲得不同統計模型，然而因完整案例太少，分開統計正確率偏低，未來待堰塞湖案例增加，應該分開統計以建立不同誘發機制以及不同山崩種類之危險度模型。

- (二)類似小林村於極端降雨事件其間形成之天然壩，若潰決時間過短，如數小時，以目前科技能力，快速評估方法對防災作為而言時效上仍有其侷限性。現有技術恐仍力有未逮。然而，壩體潰決後洪峰到達重要影響區仍有一些延遲，雖然現有技術對於此類災害預警恐仍力有未逮，然而，值得後續研究深入探討預警方法與預警機準。
- (三)現行堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)於堰塞湖發生時，依據緊急現勘所填寫之調查表將堰塞湖危害度區分為無危險、有潛在危險及有立即危險三個等級，建議將「無危險」等級改定為「低度危險」等級。
- (四)現行堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)判定危害度僅依據壩體容量、高度、體積及有無保全對象，其實並未考量淹水危害度。建議根據本計畫建議之“危害度”。
- (五)現行程序（緊急應變版）對判定「無危險」等級採無後續處置措施。然考量任一評估難免有其潛在之不確定性，且堰塞湖一旦潰決未必能完全排除其致災性，因此，建議改為持續監視，以隨時掌握堰塞湖現況。
- (六)堰塞湖天然壩穩定性快速評估方法屬經驗法，預測模式之準確程度與資料庫之代表性息息相關，遙測影像之快速發展與普及，於可預見的將來，有機會協助快速擴充堰塞湖資料庫，此一工作應是不論堰塞湖有無危害性都應該加以建置。台灣堰塞湖發

生頻率相當高，因此，未來應該投注資源，利用遙測技術有效率地進行我國堰塞湖資料庫之建置。包括壩體幾何形狀與堰塞湖水文參數等，同時，亦應盡量蒐集山崩機制、顆粒組構、壩體形態、堆置環境等等重要資訊。

(七)有關潰堤及高含砂水流情境、堰塞湖溢頂之雨量警戒值等，對堰塞湖形成可能造成之危害度亦甚為重要，因受限於本計畫時程短，建議於下一階段進行考量。

(八)為考量監測數據處理分析系統實際應用與推廣，建議可嘗試由一般傳統壩體監測應用開始，藉以回饋本系統穩定性、介面使用親和性等校正。

(九)堰塞湖發生後，地形及土地利用資料之取得甚為重要，惟內政部 5 公尺數值高程模型屬於機密文件，建議使用單位事先取得轄管範圍之 40 公尺數值高程圖及土地利用圖資。另外，各河段之計畫洪水量及各頻率年之尖峰流量亦應事先彙整成表格，以供緊急時查詢。

(十)為考量堰塞湖處置資訊系統實際應用與推廣，因其應用之軟體為付費軟體，建議相關單位後續可陸續購置及使用，藉以回饋本系統穩定性、介面使用親和性等校正。

第壹章 前言

一、計畫緣起

災害的形成必須具備致災體和受災體兩方面條件，前者是自然動力作用所造成的災害活動；後者是人類勞動創造的物質財富以及自然界提供給人類直接開發利用資源和環境，只有這兩方面同時具備時，才能出現災害過程。這兩方面條件不但決定災害是否發生，而且決定了成災規模的大小。

堰塞湖所造成災害具有突發性災害（潰壩洪水）及緩慢性災害（土砂、河道淤積問題）特性。其中突發性災害活動階段相當短暫，這類災害的評估主要是天然壩形成後（災前）的危險度和潰壩後的危害度，以防災減災工作角度，災前危險之危害度評估尤為重要，乃為堰塞湖防災的工作和研究重點。

由於科技進步，對於監測、分析及圖形資料的增加速率相當快速，亟需能夠有效率地處理這些海量數據，GIS 技術有能力提供這方面的支援。當堰塞湖發生，管理單位必須彙整相當多資料，快速分析出有用訊息提供決策者參考，因此值得透過 GIS 以整合圖資。此系統必須能具備提供訊息收集、儲存、管理、檢索、分析及編圖等全過程的電腦處理軟體工具系統。

堰塞湖形成後緊急應變往往十分急迫，若能有可供判斷的危險、危害度模型，及可供決策參考的資訊管理系統，對堰塞湖防災及處置將有極大助益。

二、計畫目標

緣由本計畫名稱，本計畫之目的在於建立堰塞湖危險度、危害度評估方法，並建置堰塞湖處置資訊管理系統，用以提供堰塞

湖防災緊急應變與決策處置之參考。上述「危險度」於本計畫中所指為天然壩潰決之可能性或潛勢(susceptibility)；而「危害度」於本計畫中所指為由於天然壩上游之迴水、天然壩潰決後形成之洪水，因而造成對天然壩上、下游地區所造成之危害程度。

三、工作項目

本計畫應參酌水利署「堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)」規定。以下為各工作項目及內容之說明：

(一)基本資料收集

- 1、基本資料蒐集(地形、地質、河川、土地利用、道路系統、橋樑、水利設施...等圖資以用於建置於堰塞湖處置管理資訊系統)，(以模擬案例地區為主)。
- 2、相關天然災害潛勢資料收集。

(二)堰塞湖形成後危險度評估方法建立

應進行危險度指標分析，並考量資料的可及性，建立堰塞湖形成後危險度評估法。本危險度評估方法應具防災實務之可行性。

(三)堰塞湖危害度評估方法建立

應進行危害度因子探討，並藉由潰壩分析結果及危害度因子，建立堰塞湖形成後之危害度評估方法。本危害度評估方法應具防災實務之可行性。

(四)監測數據處理分析系統研究

- 1、由於堰塞湖構造複雜，預測其穩定性時所涉及之不確定性甚高，因此常利用監測數據進行分析，輔助穩定性判釋。本項目針對堰塞湖相關監測資料，進行監測資料分析與預報模式評估，藉以支援對災害預測之修正。

- 2、基於堰塞湖監測資料，本項目得對應建置一資料庫系統，本系統需包含各項監測資料數據庫以及預測模式模組（為前項研究成果），其主要功能含 數據管理、專題圖分析以及統計分析。

(五)堰塞湖處置資訊管理系統建置

依據前幾項工作基本資料蒐集及研究，以處置堰塞湖流程為架構，建置資訊管理系統，系統包含：

- 1、基本資料查詢：堰塞湖形成後初步瞭解地質、地形、災害等概況。
- 2、監測數據處理分析系統：動態輸入相關監測數據以進行統計或相關分析。
- 3、災害評價模型庫：利用相關資訊套入定量或定性資料整合分析進行前項研究天然壩危險度評估。
- 4、知識庫及輔助決策研擬：整合潰壩分析所採用之相關數值模擬，以視窗化進行數值模擬並以圖形化呈現運算成果、相關背景資料及圖像(如照片、影片)，以期能夠輔助防治決策之研擬。

(六)堰塞湖處置資訊系統手冊編撰

(七)模擬案例及技術轉移訓練

- 1、擇國內一適宜案例進行資料建置及評估、模擬。
- 2、堰塞湖處置資訊系統使用教育訓練。

(八)工作簡報及報告編撰

- 1、期初、期中、期末及不定期工作會報
- 2、「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」專題報告書之編撰。

五、工作構想及流程

本計畫將藉由基本資料蒐集等七大工作項目的執行，來達成本計畫之主要工作目標，包含建立堰塞湖危險度評估方法、堰塞湖危害度評估方法、以及輔助資料分析及輔助決策研擬之堰塞湖處置資訊管理系統。

圖 1-2 為本計畫工作執行流程圖，工作執行上將由基本資料蒐集開始，研擬堰塞湖潰壩危險度及上下游危害度評估方法、以及研究監測數據處理分析系統等工作將同步進行展開，各工作項目將回饋至堰塞湖處置資訊管理系統工作進行系統建置，待系統初步建立完成後，開始進行系統使用手冊編撰，並於計畫執行後期進行教育訓練。

本計畫選擇小林堰塞湖與那瑪夏堰塞湖做為模擬之示範案例，用來展示如何藉由本計畫研擬之方式進行危險度、危害度評估。兩處案例之各項模擬成果建置於資訊管理系統中，用以作為教育訓練應用以及未來其他堰塞湖資料建置分析之藍本。

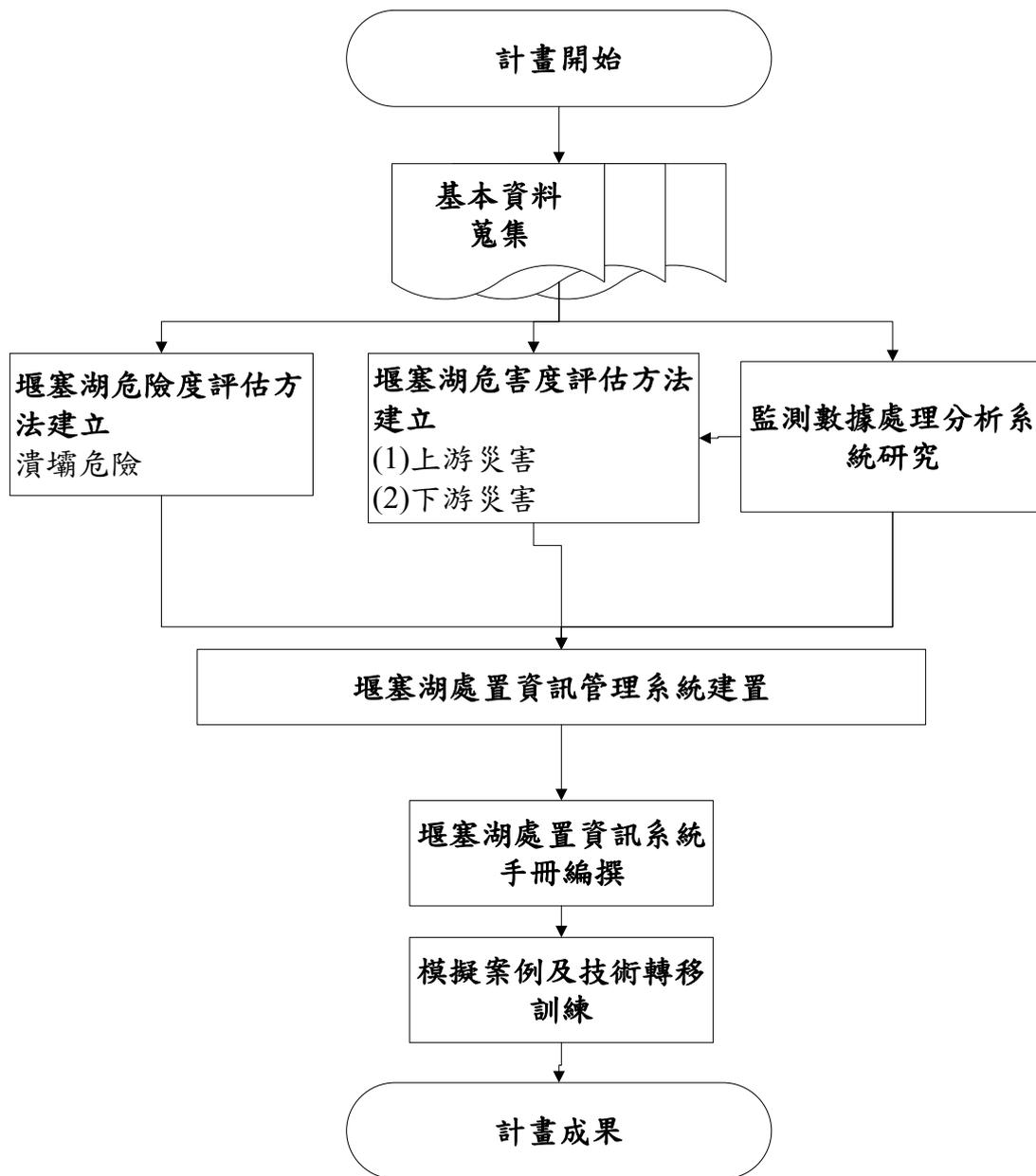


圖 1-2 工作執行流程圖

六、前期計畫

水利規劃試驗所於民國 91 至 93 年完成「堰塞湖引致災害防治對策之研究」之計畫，係由交通大學防災與水環境研究中心所執行。該研究以堰塞湖形成機制與類型出發，分析天然壩穩定性，並考慮破壞機制形成對主河道下游之土石流、洪水等二次災害之研究；研擬堰塞湖處理可能引致災害防制對策及救災避難具體作

業模式。此研究乃是在臺灣對堰塞湖處置程序研究之始。該項研究成果為堰塞湖現況成因、潰決模式及災害評估模式初步探討、堰塞湖與河川型態相互影響作用、堰塞湖監測系統研究以及建立堰塞湖形成時處置流程等等。

以下摘錄「堰塞湖引致災害防治對策之研究」計畫關於處理及防制摘要內容。

(一)堰塞湖基本特性

1、堰塞湖之形成

堰塞湖係指原有水系被阻塞物阻斷溪流因而造成上游淹沒成湖。阻塞物的來源可能因豪雨或地震造成的崩塌堆積物，或是因火山的熔岩流或冰河的冰積物等堆積而形成。台灣近期的堰塞湖中，主要係因豪雨或地震所引致，其中以草嶺潭堰塞湖最具代表性。該地區於民國 31 年、68 年與 88 年均因地震或豪雨引致山崩阻塞河道而形成堰塞湖之紀錄，而其中民國 31 年形成之草嶺潭堰塞湖，在民國 40 年潰決時造成了重大人命財產損失。

台灣早期亦有因火山活動而形成堰塞湖之紀錄，如更新世時期大屯山區因火山噴出的熔岩堵塞溪流所形成之竹子湖（後因人為因素將湖水放流而乾涸）。甚至經地質學家研究發現，大屯山區在 20 萬年前的最後一波火山噴發活動中，不但形成了觀音山，而且火山噴發物在關渡附近堵塞了古淡水河的出口，使得台北盆地氾濫成一個大型堰塞湖。

堰塞湖之發生誘因包括降雨、地震、火山爆發、降雪、河道沖刷、冰河崩解等；根據世界各地 429 個堰塞湖案例，其誘因統計結果，以降雨形成堰塞湖之數量最多，約佔所有統計案例數量 46%，其次為地震所引致，約佔 36%，其他誘

因為溶雪、火山、人為活動或由以上兩項誘因所引致

2、破壞機制

堰塞湖破壞係由溢流、壩體邊坡不穩定或溯源沖刷所引致。以下介紹不同破壞機制下天然壩潰決過程。

(1)壩頂溢流破壞

依據 Schuster(1995)統計，在 202 個天然壩破壞案例中，有 197 個係因壩頂溢流而破壞，約佔破壞總數之 97%，故壩頂溢流破壞是堰塞湖天然壩破壞之最主要因素。當壩體入流量大於滲流量時，湖水位將不斷升高，終致水位超過壩頂而溢流。溢流之洪水將沖刷壩頂與壩體下游邊坡，使得壩體不斷變薄、變低，壩體形狀演進過程如圖 1-3。

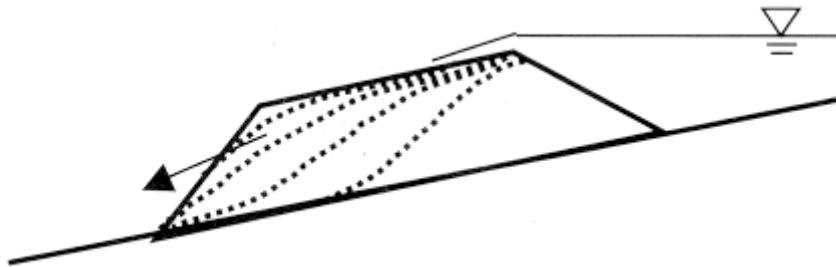


圖 1-3 天然壩破壞方式—壩頂溢流破壞示意圖(高橋·匡，1988)

(2)邊坡失穩破壞

壩體有較高透水性、較低強度時，雖水位上昇快速，然，流水亦隨之往下游及上方發展，當水位達一臨界值，壩體自身將產生一滑動面，於是驟然滑動潰決。此種破壞通常發生在壩體上、下游面陡峭之狀況，且在破壞過程中，滑動塊體滑出而導致壩高降低，湖水翻越壩頂而破壞(柴賀軍等，2001)。然而，堰塞湖天然壩在形成過程中由於崩落土石滑動撞擊河床表面而堆積成壩，壩體上、下游面邊坡通常小於崩落材料安息角甚多，故此種潰壩機制發生之機率並不高。邊坡失穩破壞示意如圖 1-4。

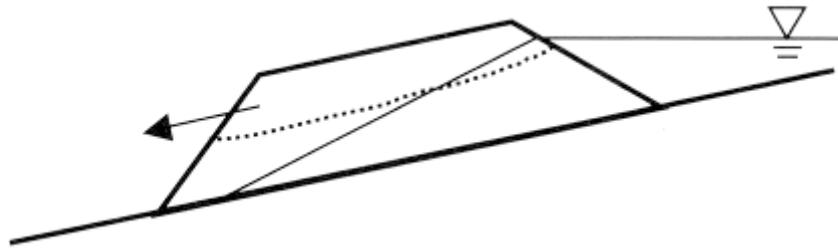


圖 1-4 天然壩破壞方式—邊坡破壞示意圖(高橋·匡，1988)

(3)溯源沖刷破壞

若天然壩壩體有較高之滲透性，在水位顯著上昇即有滲流水出現在壩體下游坡面。如土體強度不足，則滲流水出現時將發生部份壩體滑動流失。隨著時間進行，滑動面將朝向上游發展，直至壩頂而潰決。溯源沖刷破壞示意如圖 1-5。

對於人工土石壩而言，美國破壞之人工土石壩有近四成是由於壩基土體或壩體土體滲透變形成引致，而中國大陸由於壩體滲漏引致管湧土壤流失而破壞之比例約佔 23%(秦榮昱等，1996)。然，根據統計世界上堰塞湖天然壩發生溯源沖刷破壞之案例僅佔不到 3%(Schuster, 1995)，可能係由於堰塞湖天然壩其組成土體所含之大型塊石較多，不易被滲流水所帶走，且壩體組成物質可能砂質土與粘土交雜，較不具備管湧的條件。

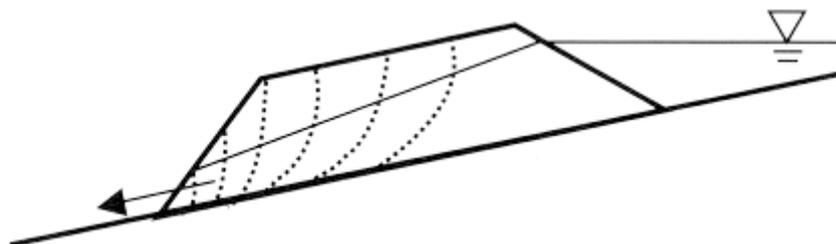


圖 1-5 天然壩破壞方式—溯源沖刷破壞示意圖(高橋·匡，1988)

3、存在時間

在堰塞湖之壽命方面，世界上發生堰塞湖多只存在數分

鐘至數天之久。根據 Schuster and Costa(1986)針對 83 個已知破壞時間的堰塞湖，結果如圖 1-6，由圖中可了解堰塞湖壽命之分布，44%的堰塞湖只維持了一個禮拜或更少時間即潰決，能維持超過一年之堰塞湖不到 9%。而根據 Schuster(1995)之研究，已將案例數量由 83 個增加為 187 個，統計結果發現有 35%在一天內潰決；55%在一星期內潰決；68%在一個月內潰決；83%在六個月潰決及 89%在一年內潰決。

而根據蒐集結果統計 285 個案例，歸納出堰塞湖壽命分佈如圖 1-7 所示。由分佈情形可知約有 20%之堰塞湖形成後，緊急處理時間不到 1 天，約有 30%之堰塞湖緊急處理時間不到 1 星期，約有 41%之堰塞湖處理時間不到 1 個月，約有 54%處理時間不到 1 年。

由此可知，天然壩因結構不佳，故存在時間大多不長，較少自然留存下來。堰塞湖的壽命，與其天然壩體組成的材料種類其抗沖蝕性有很大的關係。Schuster(1993,1995)指出若壩身係由巨大岩塊或凝聚性土壤所組成，相較於高透水性或未壓密土岩屑所組成，會比較不容易破壞。

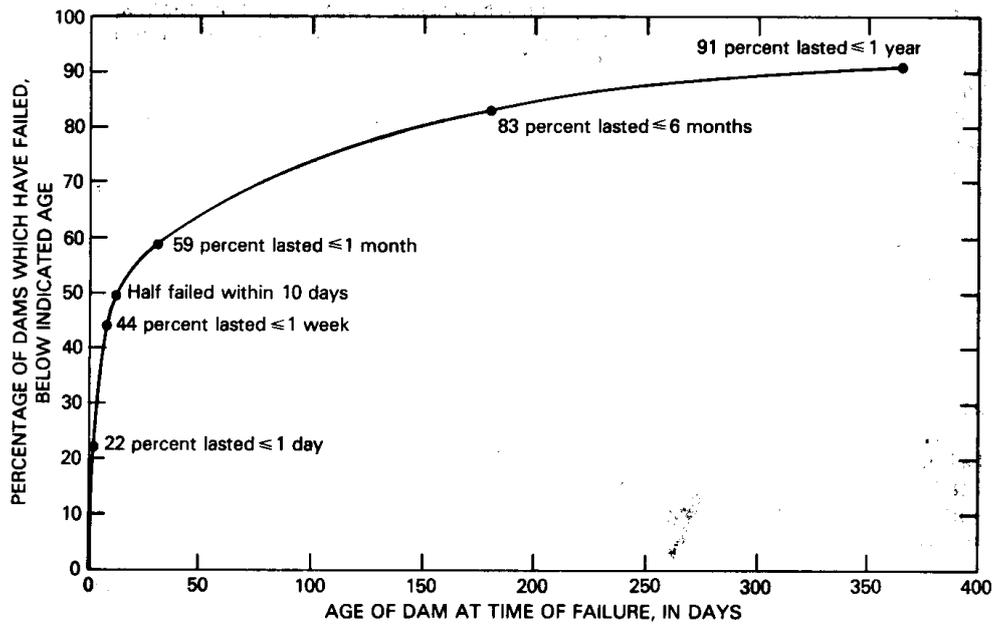


圖 1-6 堰塞湖的壽命 (Schuster and Costa, 1986)

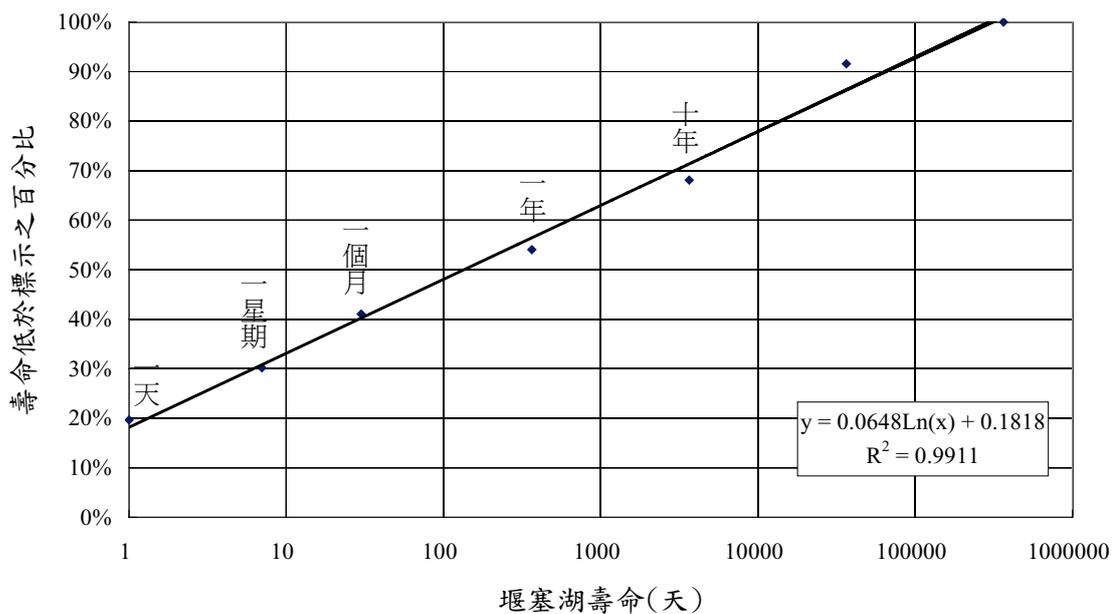


圖 1-7 堰塞湖壽命分佈長條圖(水規所, 93 年)

(二) 堰塞湖一般性處理及防治對策

由於堰塞湖一般存在時間較短、發生破壞影響範圍大，因此堰塞湖之工程處理對策於堰塞湖形成後常必須於非常短時間內完成決策，並進行施作。堰塞湖形成後之處置主要分為初步調查與處置階段(緊急應變階段)、細部調查與處置階段以及長

期監測階段，各階段均有對應之處置內容。建議之處置流程如圖 1-8。

綜覽以上所述及整個作業流程，大致上可區分為：(1)調查、(2)分析與評估、(3)監測、(4)工程處理、與(5)救災（應變）計畫等五個部份。以下之說明，將集中於(1)調查、(2)監測以及(3)工程處理三方面，

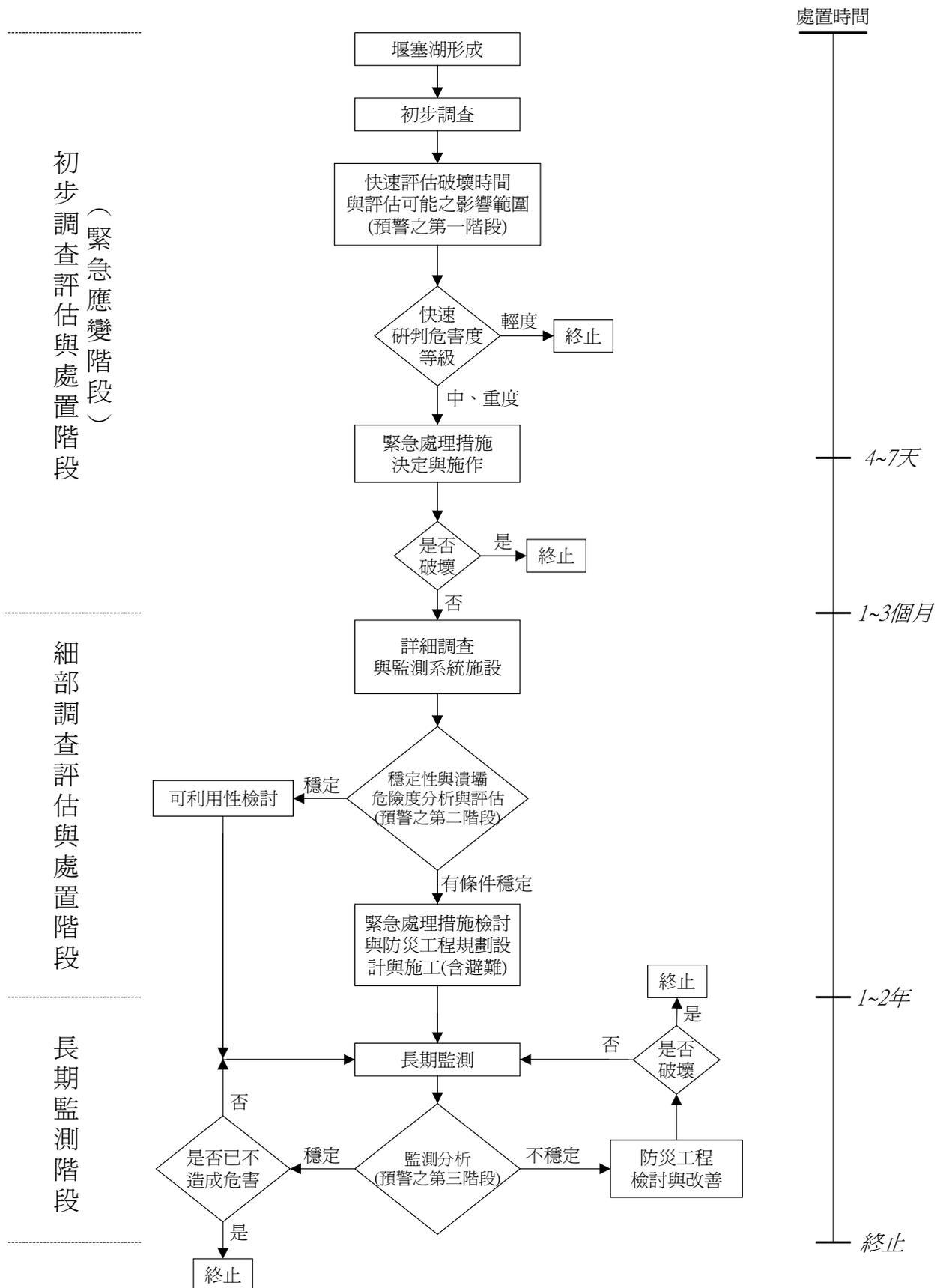


圖 1-8 堰塞湖形成後建議作業順序流程圖(水規所，93 年)

(三)堰塞湖調查

堰塞湖之調查工作可分初步調查與詳細調查等不同階段。所謂初步調查係指堰塞湖災害現場之初步勘查與資料蒐集。在得知堰塞湖災害可能發生位置之情報後，即應立即展開基本資料蒐集與現場勘查之相關工作，並將蒐集與勘查所得資料加以彙整，以提供下一步分析時引用，其調查時間應在一週內完成。在經初步調查與評估分析後認為有需要更進一步了解壩體與殘坡之特性時，即進入詳細調查階段。所謂的詳細調查是以初步調查所蒐集之資料為基礎，利用較客觀準確的方式得到比初步調查更高精度且更廣泛的調查資料，同時藉由更完整之資料蒐集與大比例尺之地形測量等作為進一步分析之依據。

初步調查之內容詳圖 1-9，包括基本資料蒐集、現場勘查與遙測影像利用；並彙整上述工作所得資料，建構堰塞湖災害基本資料庫，以利快速評估破壞時間與可能影響範圍時引用。基本資料匯整包括匯整地形資料、地質資料、水文水理資料、土地利用資料（含交通設施）及受災狀況資料等。

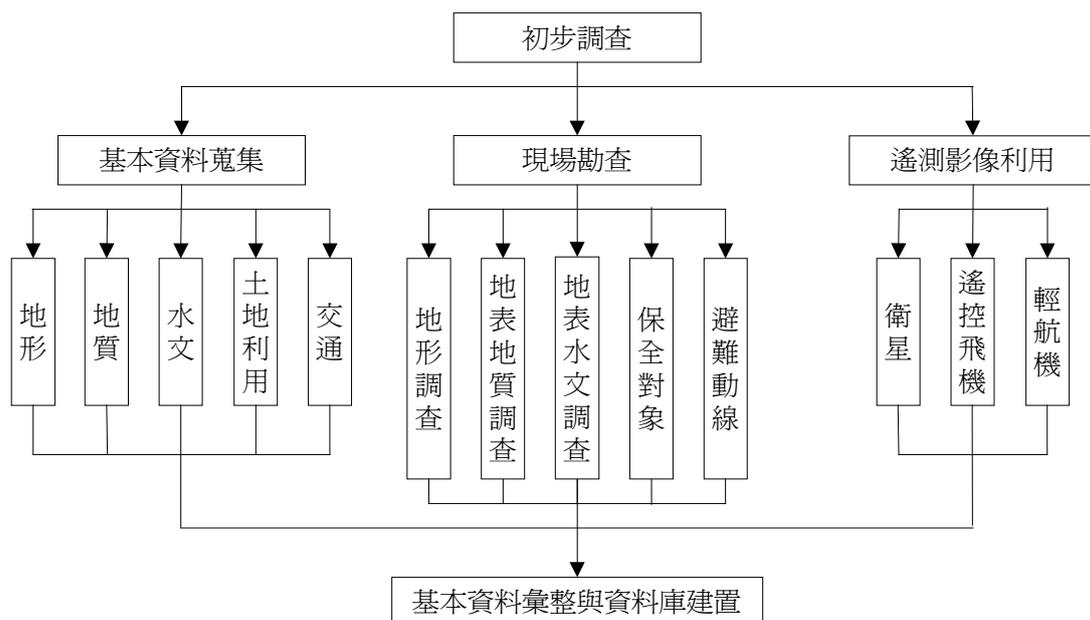


圖 1-9 初步調查作業流程圖(水規所，93 年)

詳細調查係以初步調查所建置之資料為基礎，以更詳細且客觀之方式進行包括現場或航空測量、地質調查、水文與水理調查等，以利後續之詳細分析與評估作業，其包括內容詳圖 1-10。

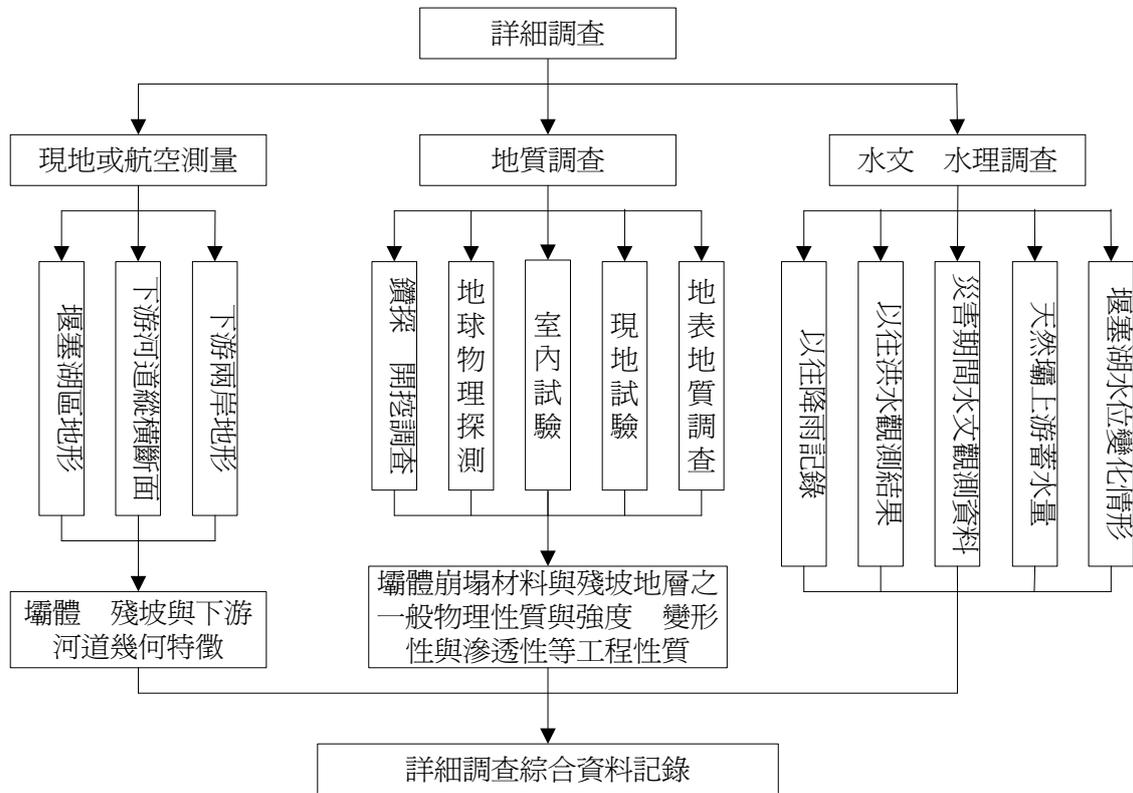


圖 1-10 詳細調查作業流程圖(水規所，93 年)

(四)預警系統與監測、監視作業

預警第一階段在於事先了解堰塞湖可能區域之資訊，第二階段配合調查工作之項目，最後第三階段配合長期監測結果進行預警，而監測資料的分析，包含根據經驗及現象模擬與預測兩大類。崩塌預警基準制定之模式一般可分為根據經驗及現象模擬與預測兩大類。兩類均可利用直接或間接壩體崩塌徵兆物理量作為預警項目，然其現象模擬模式則有所不同，可區分為直接位移預測模式及間接崩壞預測模式。

監測工作分為調查階段以及長期監測兩階段，前一階段配合調查項目進行監測，一方面提供額外的反算參考資料，同時

建立安全預警措施；長期監測資料主要提供參考分析，以建立長期預警階段發佈原則。監測系統之量測項目與儀器種類詳圖 1-11。

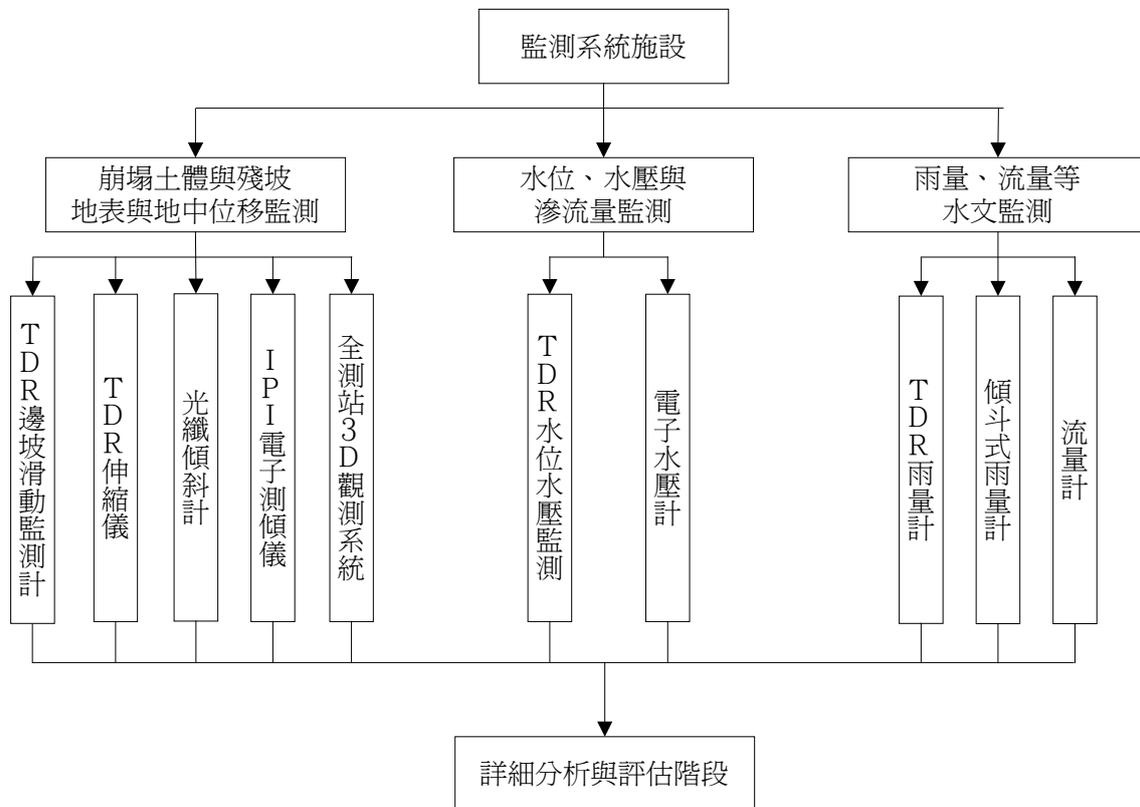


圖 1-11 監測儀器量測項目與種類(水規所，93 年)

(五)工程處理

考量緊急工程措施的狀況，如何將可能發生災害之危害程度在有限的時間內降至最低為十分重要的課題。依據統計堰塞湖天然壩絕大多數之破壞原因係由壩頂溢流而引致。由此可見，為防止與減輕堰塞湖導致之災害，首要任務為抑止堰塞湖水位上升或降低溢頂時之水位，使溢頂無從發生；或者是降低堰塞壩因溢頂致使下游急速淘刷之趨勢，使潰壩產生之災害減至最低。為抑止堰塞湖水位上升或降低溢頂時之水位，最常用之工程措施為直接於壩體上方挖設溢洪道；若壩體體積不大，可考慮將壩體局部或完全移除。此外，在湖水量不多的情形下，亦

可考量設置抽水幫浦或虹吸管排水。而降低堰塞壩因溢頂致使下游急速淘刷之趨勢，除可延長潰壩延時，降低潰壩所產之洪峰流量與淹沒區淹水深度，亦可收減緩壩體管湧之效。緊急之工程手段可考慮在下游面鋪設岩塊、混凝土塊、蛇籠或地工合成材的工法以減緩沖蝕。

針對分析與評估之結果，若壩體為有條件穩定，仍有潰壩帶來災害之可能，應規劃防災工程設施，並對之前採用之緊急處理措施，依分析結果充分檢討，避免有不宜或不足之處。對於防災工程規劃而言，對於堰塞湖形成後所實施之緊急工程處理措施，應配合穩定性與潰壩危險性分析評估結果檢討是否有需補強或進行永久性防災工程規劃設計與施工之必要性。對於堰塞湖防災工程，可分為堰塞湖上游區、堰塞湖區與堰塞湖下游區等區域，決定流程與方案選擇如圖 1-12。

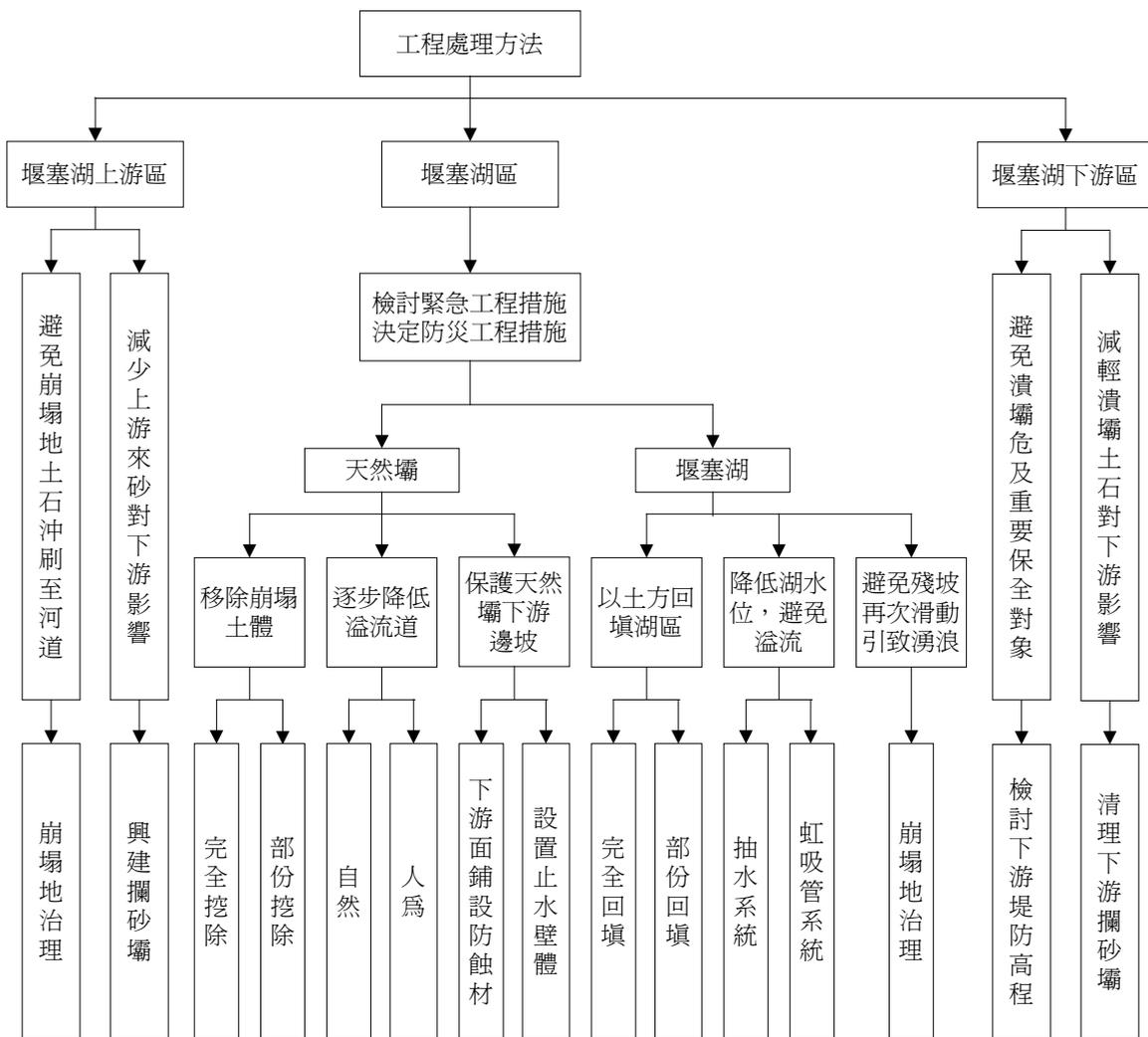


圖 1-12 工程處理方案決定流程圖(水規所，93 年)

水利署另於民國 99 年參考上述研究成果，研擬提出「堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)」，內容主要針對堰塞湖應變汛期前整備、堰塞湖緊急應變編組及緊急調查與危險判定等。

第貳章 基本資料蒐集

針對資料蒐集，本計畫配合堰塞湖災害防治之需求研訂資料庫架構，並參考水利署水利地理資訊系統整體規劃的理念，規劃資料庫的建置方案。

蒐集相關資料之方式，首先進行調查，調查的方法以資料蒐集及相關人員訪談為主，配合水利規劃試驗所人員與各相關單位的業務往來，掌握各相關的資料，另輔以各單位的網頁公告資訊為參考，確認可以運用及流通之資料。資料庫類別的歸類方式分為基本資料及相關相關天然災害潛勢資料收集，蒐集範圍以模擬案例地區為主，基本資料包含地形、地質、河川、土地利用、道路系統、橋樑、水利設施等，相關天然災害潛勢資料收集包括水災、坡地災害、土石流災害等。

本計畫蒐集之資料分為兩類，第一類圖層範圍包含全台灣；第二類圖層以模擬案例為主，系統資料內容如表 2-1。以下簡介各資料之來源。相關資料之申請方法及相關表格詳附錄六第四節。

一、水利署

1、經濟部水利署

水利署水文水資源管理供應系統網站流通分享之圖資包含河道(主流)、河川(支流)、河川流域範圍圖、河川流量測站位置圖、河川水位測站位置圖、雨量站(水利署)、水門位置、水庫壩堰位置圖等圖資。資訊系統納入之圖資基本資料如表 2-2。其他水文水資源系統可至經濟部水利署水資源資料管理供應系統申請下載，網址為 <http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>。

表 2-1 資訊系統資料內容

資料大類	資料中類	資料小類	資料來源及範圍
地形	二萬五千分之一地形圖	三角點	內政部/模擬案例
		山名	
		水準點	
		道路	
		等高線	
		註記	內政部/全省
地質	流域地質圖	斷層線	中央地調所/詳表 2-3
		褶皺線	
		調查點	
		地層面	
	敏感地質	土石流潛勢溪流	水土保持局/全省
		崩塌地	
土地利用		內政部國土測繪中心/模擬案例	
水文	基本資料	河道	水利署/全省
		河川	
		水庫壩堰	
		水門	
		堤岸或護岸	
	水文測站	河川水位站	
		河川流量站	
		雨量站	

2、水利規劃試驗所

水利規劃試驗所於民國 93 至 99 年陸續建置全省主要河川流域地質資料系統，系統包含之地質基本資料如下：經濟部水利署(河川基本資料及水文測站)、經濟部中央地質調查所(數值地質圖、環境地質、流域地質圖及 GEO2010)、行政院農委會水土保持局(土壤圖、土地利用現況圖、土石流潛勢溪

流圖及崩塌地圖)、行政院農委會林務局(土地利用圖及土壤圖)、工業技術研究院綠能與環境研究所(環境地質)及內政部二萬五千分之一地形圖。

考量本計畫所需之基本資料，納入經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)流域地質圖、行政院農委會水土保持局(以下簡稱水保局)土石流潛勢溪流及崩塌地及內政部兩萬五千分之一地形圖，資訊系統納入之圖資基本資料如表 2-3。未匯入本計畫之圖資，可洽該計畫網站申請，待水規所同意後，將所需圖資寄出，申請網址為<http://140.113.136.24/web/>。

表 2-2 水文水資源管理供應系統圖資

圖資	圖層涵蓋範圍	建立日期
河道(主流)	全台灣	89/7
河川(支流)	全台灣	89/7
河川流域範圍圖	全台灣	89
河川流量測站位置圖	全台灣	97/4
河川水位測站位置圖	全台灣	97/4
雨量站(水利署)	全台灣	97/4
水門位置	全台灣	90
水庫壩堰位置圖	全台灣	90
堤防或護岸位置	全台灣	90

表 2-3 水利規劃試驗所蒐集之圖資

圖資	圖層涵蓋範圍	建立日期	資料來源
流域地質圖	大甲溪、大漢溪、朴仔溪、虎尾溪、濁水溪、後龍溪、烏溪、鳳山溪、頭前溪、東港溪、知本溪及高屏溪	96~98	地調所
土石流潛勢溪流 崩塌地	全台灣	99/12	水保局
兩萬五千分之一地形圖	全台灣	83	內政部

3、河川局

本計畫蒐集旗山流域內民國 98 年莫拉克前後之斷面測量及民國 98 年莫拉克颱風後所拍攝之正射影像。

二、內政部

內政部統籌資源測製全台灣高精度及高解析度之 5 公尺數值地形模型，本資料屬於機密文件。

內政部國土測繪中心於民國 93~95 年製作土地使用分類圖資，該圖資整體為層級式樹狀結構，共分為 3 級。第一級共分為 9 類，第二級就第一級之劃分再細分 41 類，第三級則就第二級之架構再分為稻作等 103 類。本計畫蒐集旗山區集水區內之土地利用圖資。

三、交通部

本計畫蒐集交通部運輸研究所於民國 99 年 8 月底發行之「1/5000 路網數值圖 99 年版」圖資。

第參章 堰塞湖形成後危險度評估方法建立

天然壩之穩定性，係堰塞湖形成後防救災單位急於瞭解的最重要問題之一。著眼於天然壩由形成至破壞時間通常相當短暫，因此，“快速”為危險度評估所需之先決條件與重要限制。本計畫工作重點之一即為進行危險度指標分析，並考量資料的可及性，以建立堰塞湖形成後天然壩破壞之危險度評估方法。

一、天然壩穩定性評估地形因子定量分析方法

針對此一課題，近年來已有多篇文獻，討論如何利用地形因子評估堰塞湖天然壩穩定性，其中以集水區面積、溪流流量、河道坡降以及天然壩幾何形狀對堰塞湖之形成以及壩體穩定性最具影響性(童煜翔，2008)。

目前文獻中最常被引用之天然壩穩定性評估方法，為 Ermini and Casagli (2003) 提出之無因次阻塞指標 *DBI* ($DBI < 2.75$ 穩定； $DBI > 3.08$ 不穩定)，此一方法為以經驗法則為基礎的統計法(兩個變量；壩體積/壩高 vs 堰塞湖集水區面積)，最大的問題為地形因子決定為主觀研判，同時因壩體積與壩高具相依性，因此指標中將其相除後，事實上僅剩下壩寬與壩長兩個因子合併之影響。

此外，本計畫利用資料齊全之日本案例(Tabata et al., 2002)，建立天然壩穩定性鑑別分析統計模型(Dong et al., 2009)，結果證實，若地形及水文因子能完整掌握，則鑑別分析模型之正確性相較於二變量之 *DBI* 模式可明顯提高。另外，已完成天然壩穩定性評估邏輯斯迴歸統計模型之建立(Dong et al., 2010)。最近遙測技術之發展，讓天然壩穩定性快速評估之經驗法則定量統計模型發展前景露出曙光，地形資料取得可更快速且更精準。以下分別詳細說明 *DBI* 指標、鑑別分析統計模式以及邏輯斯迴歸統計模式三種評估天

然壩穩定性之方法：

(一)無因次阻塞指標

Ermini and Casagli (2003)利用全球 84 筆堰塞湖案例，提出無因次阻塞指標 DBI 分析堰塞湖之穩定性，結果如圖 3-1。其關係式為式(3-1)：

$$DBI = \log\left(\frac{A_b \times H_d}{V_d}\right) \quad (3-1)$$

其中 V_d 為壩體體積、 A_b 為集水區面積、 H_d 為壩高。當 $DBI < 2.75$ 時天然壩屬穩定； $DBI > 3.08$ 時天然壩屬不穩定；若 $2.75 < DBI < 3.08$ 則因天然壩穩定或不穩定之機會大致相當，無法區別天然壩穩定性。

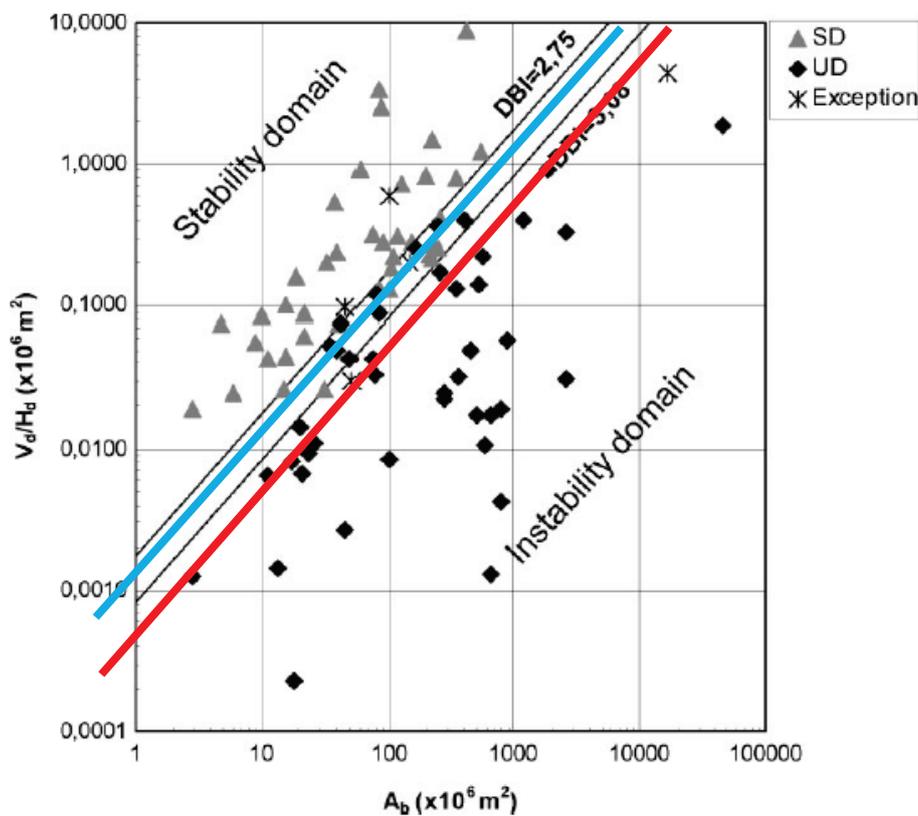


圖 3-1 DBI 指標分析判斷全球 84 個天然壩體穩定性(三角形為穩定壩、菱形為不穩定壩)之結果(Ermini and Casagli, 2003)

(二)鑑別分析模式

鑑別分析主要的目的是透過個體差異進行分類，先利用鑑別變數建立鑑別規則(鑑別函數)，再由鑑別規則預測每個個體屬於各分類的可能性(陳順宇, 2000)。鑑別分析之程序包括(黃俊英, 1995)：(1)找出鑑別變數的線性組合，使組間變異相對於組內變異的比值為最大，而每一個線性組合與先前已經獲得的線性組合均不相關；(2)檢定各組之重心是否有差異；(3)找出那些鑑別變數具有最大的鑑別能力；(4)根據新受試者的預測變數的數值，將該受試者指派到某一分類。

Dong et al. (2009)利用地形資料齊全(共 16 個地形參數；如圖 3-2)之日本案例 46 筆(Tabata et al., 2002)，利用鑑別分析找尋控制影響堰塞湖穩定性的參數，其中最重要者包括尖峰流量或集水區面積、壩高、壩寬以及壩長，建立預測壩體穩定性之多變量分析模式，其方程式為式(3-2)與式(3-3)：

$$D_s = -2.94 \log(P) - 4.58 \log(H) + 4.17 \log(W) + 2.39 \log(L) - 2.52 \quad (3-2)$$

$$D_s = -2.62 \log(A) - 4.67 \log(H) + 4.57 \log(W) + 2.67 \log(L) + 8.26 \quad (3-3)$$

其中 P (cms) 為尖峰流量，流量站的尖峰流量(治理計畫流量)，可藉由面積比例推估壩體處之尖峰流量。若該流域沒有流量站，可以藉由鄰近流域內之流量站以同樣方法推估。在緊急情況下，以經驗推估(不成文)，一般 1 平方公里約有 10-15CMS 的流量，也就是 300 平方公里約有 3000-4500 cms 的尖峰流量、 A (m^2) 為集水區面積、 H (m) 為壩高、 W (m) 為壩寬(沿著河道)、 L (m) 為壩長(跨越河道)、 D_s 為鑑別分數，當鑑別分數小於 0 時代表天然壩屬不穩定；大於 0 時代表天然壩屬穩定。

這兩個鑑別分析統計模式(式(3-2)稱之 *PHWL_Dis*；式(3-3)稱之 *AHWL_Dis*)正確率分別為 88.4%與 86%。為針對鑑別分析模式進行驗證，Dong et al. (2009)另外利用全球 84 筆堰塞湖案例(Ermini and Casagli, 2003)，建立三參數(與 *DBI* 模式使用相同變數)之鑑別分析統計模式(稱之 *AHV_Dis*)如下：

$$D_s = -2.13 \log(A) - 4.08 \log(H) + 2.94 \log(V) + 4.09 \quad (3-4)$$

研究結果證實，若地形及水文因子能完整掌握，則以全球案例(Training dataset)建立之鑑別分析模式，預測日本案例(target dataset)之正確性(70.1%)高於二變量之 *DBI* 模式(64.9%)。

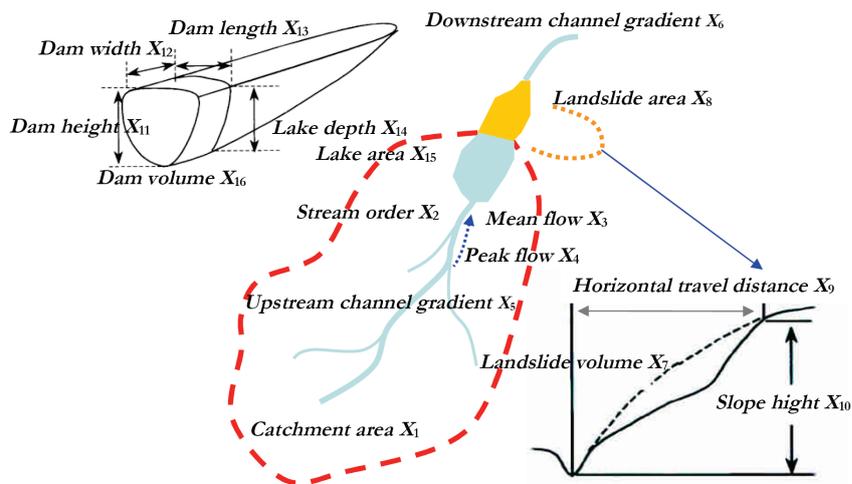


圖 3-2 日本案例(Tabata et al., 2002)地形參數定義

(三)邏輯斯迴歸模式

欲分析分類變數，通常採用的統計方法是對數線性模型(log-linear model)。邏輯斯迴歸模型(logistic regression model)是對數線性模型一種特殊形式(Feinberg, 1985; Agresti, 2002)。當對數線性模型中的一個二元變數被當作應變數並定義為一系列自變數的函數時，對數線性模型就變成邏輯斯迴歸模型。

利用與 Dong et al. (2009)同樣的日本堰塞湖資料，Dong et al. (2010)建立邏輯斯迴歸模式(式(3-5)與式(3-6))如下：

$$L_s = -2.55 \log(P) - 3.64 \log(H) + 2.99 \log(W) + 2.73 \log(L) - 3.87 \quad (3-5)$$

$$L_s = -2.22 \log(A) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93 \quad (3-6)$$

其中 P (cms)為尖峰流量、 A (m²)為集水區面積、 H (m)為壩高、 W (m)為壩寬(沿著河道)、 L (m)為壩長(跨越河道)、 L_s 為邏輯斯分數(logit)，當邏輯斯分數小於 0 時代表天然壩屬不穩定；大於 0 時代表天然壩屬穩定。這兩個邏輯斯迴歸統計模型(式(3-5)稱之 *PHWL_Log*；式(3-6)稱之 *AHWL_Log*)正確率分別為 88.4%與 90.7%。若利用全球 84 筆堰塞湖案例(Ermini and Casagli, 2003)，建立三參數(與 *DBI* 模式使用相同變數)之邏輯斯迴歸統計模式(稱之 *AHV_Log*)如下：

$$L_s = -4.48 \log(A) - 9.31 \log(H) + 6.61 \log(V) + 6.39 \quad (3-7)$$

結果邏輯斯迴歸模式之正確率為 76.9%，高於鑑別分析模型預測日本案例(target dataset)之正確性(70.1%)以及二變量之 *DBI* 模式(64.9%)。

邏輯斯模型除了可獲得壩體穩定與否外，亦可用來評估天然壩體破壞機率 P_f 如下式(童煜翔，2008)：

$$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}} \quad (3-8)$$

其中， P_s 為壩體安全機率； $1 - P_s$ 即為壩之破壞機率 P_f 。當 L_s 大於 0 時，天然壩破壞機率小於 50%，反之，如果 L_s 小於 0 時，天然壩破壞機率則大於 50%。

特別值得一提的是，雖然上述統計模型建立使用的堰塞湖

天然壩案例有限，但已經是文獻中能找到地形與水文參數最完整的資料，同時，這筆資料來自與台灣地質條件相當類似的日本，因此對台灣而言有其適用性，然而，隨著資料累積，上述模型仍有更新之必要。

本計畫先以相關參數(包含尖峰流量、集水區面積、壩高、壩寬、壩長等)數據完整之六個台灣堰塞湖案例，分別測試 DBI 指標、鑑別分析法(式(3-3))以及邏輯斯迴歸法(式(3-6))之合理性，其次再以旗山溪那瑪夏鄉堰塞湖天然壩為例，檢核參數取得流程是否恰當。

(四)天然壩穩定性評估地形因子定量模型於台灣應用合宜性評估

根據資料蒐集，本計畫以草嶺(存在)、九份二山(存在)、龍泉溪(存在)、知本溪(潰決)、那瑪夏鄉(存在)以及小林村(潰決)等六個台灣堰塞湖案例，分別計算 DBI 指標、鑑別分析模型(式(3-3)： $AHWL$)之 D_s 以及邏輯斯迴歸模型(式(3-6)： $AHWL_Log$)之 L_s ，以評估這些根據世界與日本案例所建立之定量模型於台灣應用之合宜性，分析結果詳見表 3-1。

由表 3-1 可知，草嶺、九份二山、知本溪三個案例，各模式對於穩定性預估結果一致，且與實際觀測得到之穩定性相同。至於那瑪夏鄉堰塞湖天然壩則所有模式都預測其不穩定，推測原因可能與那瑪夏鄉堰塞湖天然壩以粗顆粒岩塊為主有關。因此一特性不易於天然壩發生後快速取得，因此壩體材料特性並未反應於任一統計模式。

綜合文獻(童煜翔, 2008; Dong et al., 2009; 2011)針對以上三種模式對天然壩穩定性評估之討論結果可知，鑑別分析與邏輯斯迴歸模型均可成功預測堰塞湖天然壩之穩定性，且正確率均高於 DBI 指標，雖然鑑別分析正確率高於邏輯斯迴歸(童煜翔, 2008)，

然邏輯斯迴歸模型較鑑別分析模型保守，因此，本計畫建議堰塞湖天然壩危險度分析可採較保守的邏輯斯迴歸模型。關於鑑別分析以及邏輯斯迴歸統計模式請詳參童煜翔(2008)之論文。

值得一提的是，天然壩之壩體破壞有時並非一定屬突然性、毀滅性的全面破壞型態(譬如可能緩緩沖刷，溢流口逐漸擴大，壩體逐漸消失)，另一方面，壩體之穩定性也可能隨時間變化而變化，因此，有必要加以定義所謂之壩體破壞。根據 US Army Corps of Engineers 於 1997 年出版之 Engineering and Design - Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs (EM 1110-2-1420)第 16 章之說明，為進行潰壩洪峰分析，經常假設壩體之破壞(failure)乃完全且瞬間發生，對於拱壩這種假設尚稱適用，但這種情形並不適用於土壩或天然壩。通常，土壩潰口(breach)可能會因庫(或堰塞湖)水流完或潰口不再繼續侵蝕而不再擴大，對於土壩，跨河道的潰口寬通常是壩高的 1 至 3 倍，也因此，潰口寬常遠比跨河道之壩長為短，同時，潰決通常需要時間而非瞬間完成的。因此，潰決(breach)未必等同於破壞(failure)，而潰壩分析英文可用 dam breach analysis 或 dam break analysis。相對於已破壞的天然壩，穩定的天然壩則指的是經過十年或數十年以上，壩體後方仍可穩定蓄水者而言(Tabata et al., 2002; Ermini and Casagli, 2003; Korup, 2004)。以那瑪夏鄉堰塞湖天然壩案例而言，那瑪夏堰塞湖仍存在，雖尚未破壞，但並非已十年或數十年，因此尚非真正屬於穩定之天然壩。至於勤和堰塞湖之案例已人工引流，並非天然破壞，未來不宜納入建立統計模型使用，較不適合用來驗證模型。

表 3-1 台灣堰塞湖案例天然壩穩定性評估地形因子定量分析結果比較表

堰塞湖 天然壩	定量模型參數					天然壩穩定性		
	A (10^6 m ²)	H (m)	W (m)	L (m)	V (10^6 m ³)	DBI (穩定性)	$AHWL_Dis: D_s$ (穩定性)	$AHWL_Log: L_s$ (穩定性, 破壞機率)
草嶺(存在)	162.0 ¹	50-110 ¹	5,000 ¹	600 ¹	120 ¹	1.83(S)	3.14(S)	0.96 (S, 27.7%)
九份二山 (存在)	6.55 ³	50 ³	1500 ⁴	540 ²	36 ³	0.96(S)	4.28(S)	2.27 (S, 9.36%)
知本溪 (潰決) ³	198 ⁵	15~20 ⁵	114 ⁵	27 ⁵	0.23	5.11(U)	-5.75(U)	-6.31 (U, 99.8%)
龍泉溪 (存在) ⁴	12.34 ⁶	50 ⁶	400 ⁶	180 ⁶	1.8	2.54(S)	-0.34(U)	-1.52 (U, 82.1%)
那瑪夏鄉 (存在) ⁵	209.66	60	2202	178.65	8.9	3.15(U)	-0.55(U)	-2.21 (U, 90.1%)
小林村 (潰決)	354.0 ⁷	44 ⁷	1,554 ⁷	370 ⁷	15.34 ⁷	3.01(U/S)	-0.37(U)	-1.79 (U, 85.7%)

¹ Li, et al. (2002); ² 中興大學(2000); ³ 林銘郎等人(2008); ⁴ 陳樹群(1999); ⁵ 陳天健等人(2005); ⁶ 童煜翔(2008); ⁷ Dong, et al. (2011)

穩定性 U: 不穩定; S: 穩定; U/S: 未能分類

鑑別分析模式 $AHWL_Dis: D_s = -2.62\log(A) - 4.67\log(H) + 4.57\log(W) + 2.67\log(L) + 8.26$

邏輯斯迴歸模式 $AHWL_Log: L_s = -2.22\log(A) - 3.76\log(H) + 3.17\log(W) + 2.85\log(L) + 5.93$

穩定性 U: 不穩定; S: 穩定; U/S: 未能分類

二、危險度模型參數評估流程

關於危險度評估方法，除了現行常用之主觀專家判定方式以外，建議參考上述三種定量評估方法評估天然壩之危險度，以分別提供決策者主觀與客觀資訊並可相互比較。

為求危險度評估方法應具防災實務之可行性，因此，如何能快速取得模式參數為關鍵課題。以下說明如何取得上述三種定量評估方法所需參數之流程。

當地震或極端降雨後，首先可利用災後正射化遙測影像，判釋堰塞湖位置；其次利用事先蒐集之災前數值地形資料，搭配災後遙測影像，概略估計天然壩之壩頂高程、壩長與壩寬，並配合災前數值地形資料估計壩高以及上游集水區面積，預計此一工作可於取得足夠清晰之災後正射化遙測影像後三小時內完成，因此，防救災單位即可利用 DBI 指標(其中壩體積可以 $V_d = 0.5 \cdot W \cdot L \cdot H$ 估計)、鑑別分析或邏輯斯迴歸模式之式(3-3)與式(3-6)進行天然壩危險度分析。

待取得災後數值地形資料後，上述壩體幾何形狀參數應重新計算，而天然壩危險度亦應重新評估。另一方面，當河流流量資料可順利取得時，即可進一步依據鑑別分析或邏輯斯迴歸模式之式(3-2)與式(3-5)進行天然壩危險度分析。上述較精確之評估流程請詳參圖 3-3。

值得一提的是，若無法即時取得災後正射化航拍照片或衛星影像，建議先以地形圖建立工作底圖(1/25000 地形圖、40 公尺或 5 公尺 DEM)，現勘時利用 GPS 測量壩頂、壩體最下游處、最上游處以及溢流點之座標及高度，以確定壩體邊界與溢流點，並標示於工作底圖，然後實際利用皮尺或雷側測距儀量測壩體長與寬，

至於壩高則需根據壩體邊界災後高程(由座標核對高程)以及災前地形加以推估。

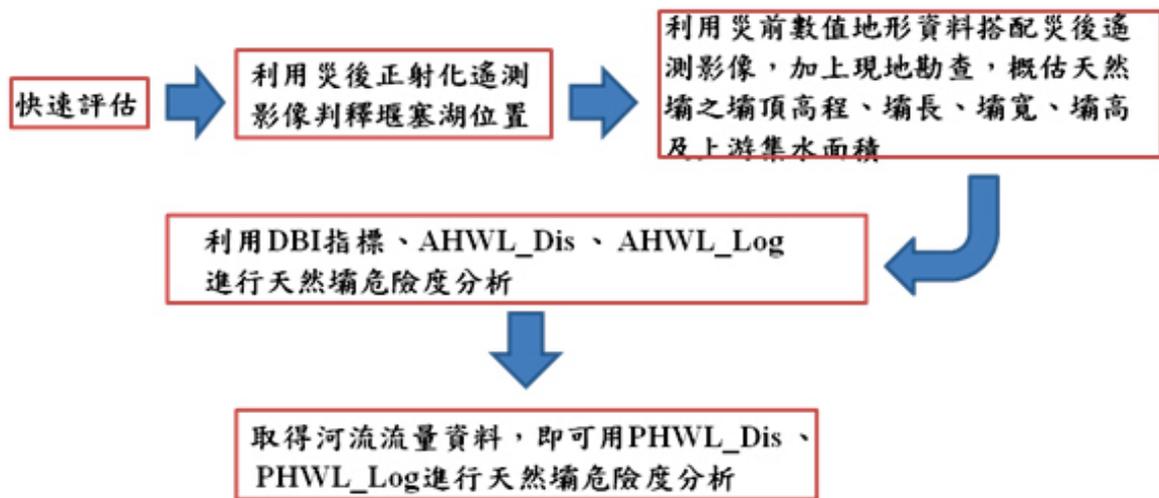


圖 3-3 天然壩危險度快速評估流程

本計畫以台灣曾發生且相關數據周全之堰塞湖為例，檢核危險度評估參數取得流程是否符合快速評估所需。首先，各流域需預先建置 5m 精度數值地形(DEM)，其次，需於地震或豪雨事件後取得正射化遙測影像。以旗山溪那瑪夏鄉堰塞湖天然壩為例，其壩體形狀係利用災後(98/8/24)航空照片以及災前 5m DEM 加以重建；其壩體邊界(圖 3-4)決定方式詳述於後：

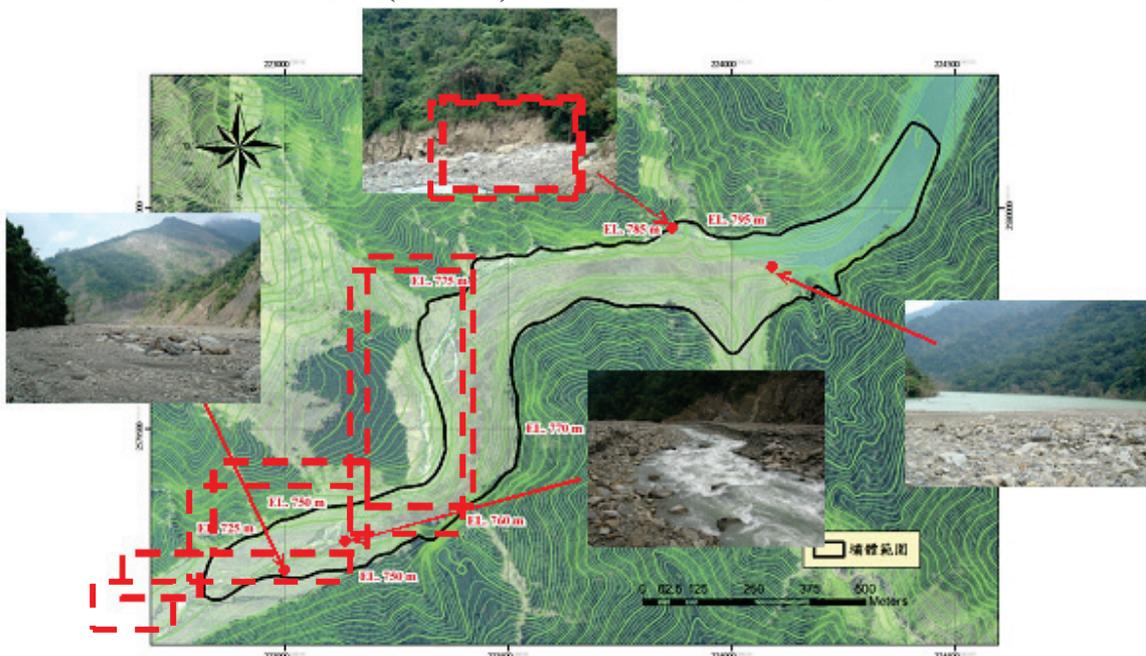


圖 3-4 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體幾何參數取得方法

首先，套疊災後航空照片以及災前 5m DEM 製作出之地形等高線，配合選擇河道兩岸植生與裸露地交界點，標示交點高程(圖 3-4 紅色數字為交界點高程，單位公尺)。交界點選擇時，應注意排除河岸沖刷以及崩塌處(圖 3-4，河岸沖刷與崩塌處以紅色框標示)。若確定影像中堰塞湖已溢流，則湖水與陸地交界高程可有效限束溢流點高程；利用災前地形等高線 790m、795m 及 800m 套繪影像，即可發現以 795m 等高線最符合湖水與陸地交界之邊界，因此，溢流點之高程可有效決定為 795m。根據上述步驟，即可完成堰塞湖天然壩邊界之圈繪。利用 GIS 可快速計算通過溢流點附近之壩長(跨河道)約為 179 公尺，壩寬(沿河道)約為 2202 公尺，由災前 DEM 可知溢流點處河道原高程為 EL.735m，因此，概估溢流點處壩高約為 60m，根據 $V_d = 0.5 \cdot W \cdot L \cdot H$ 估計，壩體積約為 $11.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。此一流程於取得正射化影像後，估計可於 3 小時內完成分析。

若欲更精確決定壩體積，可利用前述交界點高程大致繪製壩體等高線，以那瑪夏鄉堰塞湖天然壩為例，其形成原因為土石流之土石堆積，因此谷口沖積扇可以坡度 6 度加以估計，於災後照圖上主觀找到一點(於圖 3-5 谷口標示綠色點處)，以 6 度繪製一個近似同心圓之等高線為壩體等高線 (5m 一條)，配合圖 3-4 交界點高程，即可概略繪製出那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體之等高線(圖 3-5)。利用災前 DEM 以及估計之壩體等高線外插建立之 DEM，配合 GIS 分析，可計算得壩體體積為 $8.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

本計畫重建之那瑪夏鄉堰塞湖壩體幾何形狀與實測之地形剖面資料(98/10/29)進行比對(行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2010)，剖面位置及比對結果如圖 3-6 與圖 3-7 所示，由圖 3-6 可發現，本計畫之重建地形與實測資料相當吻合，顯示本

計畫建議之壩體幾何形狀重建方法具可行性，因此，本計畫將此一方法應用於已潰決之小林村堰塞湖天然壩幾何形狀重建。

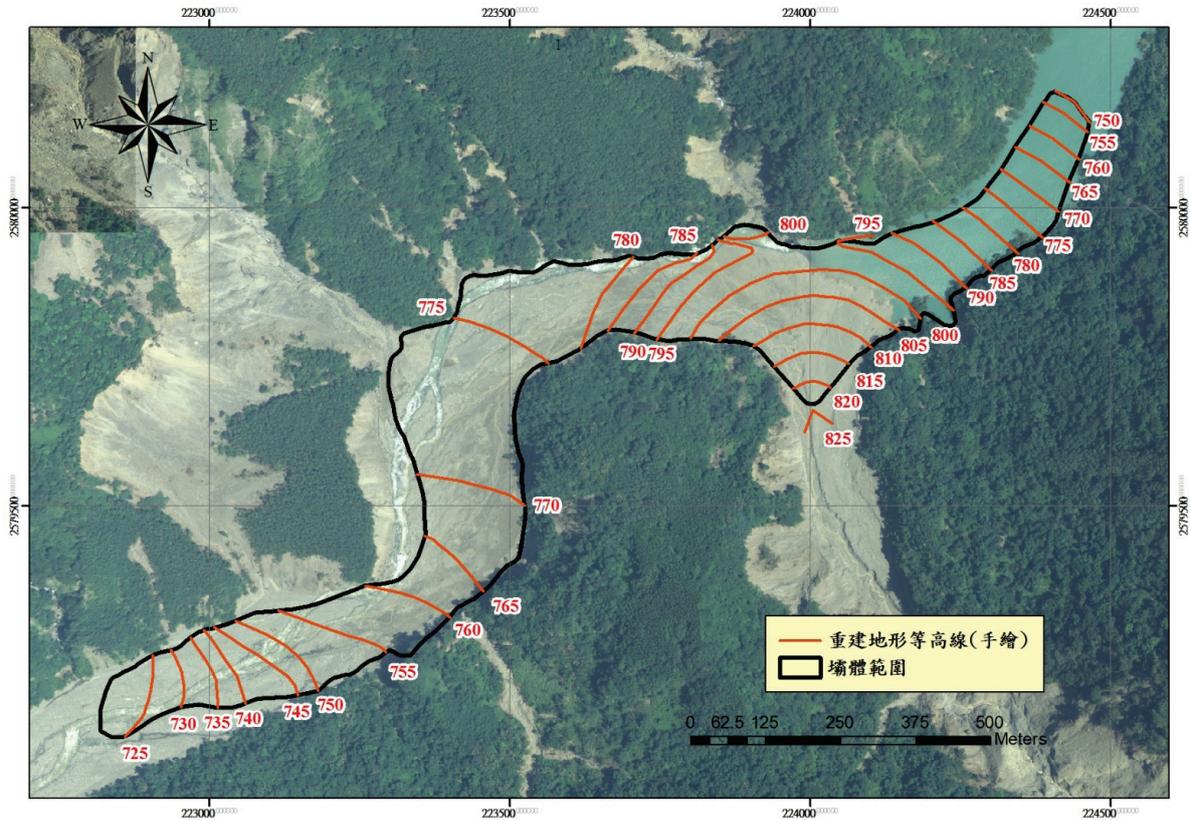


圖 3-5 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體推估等高線

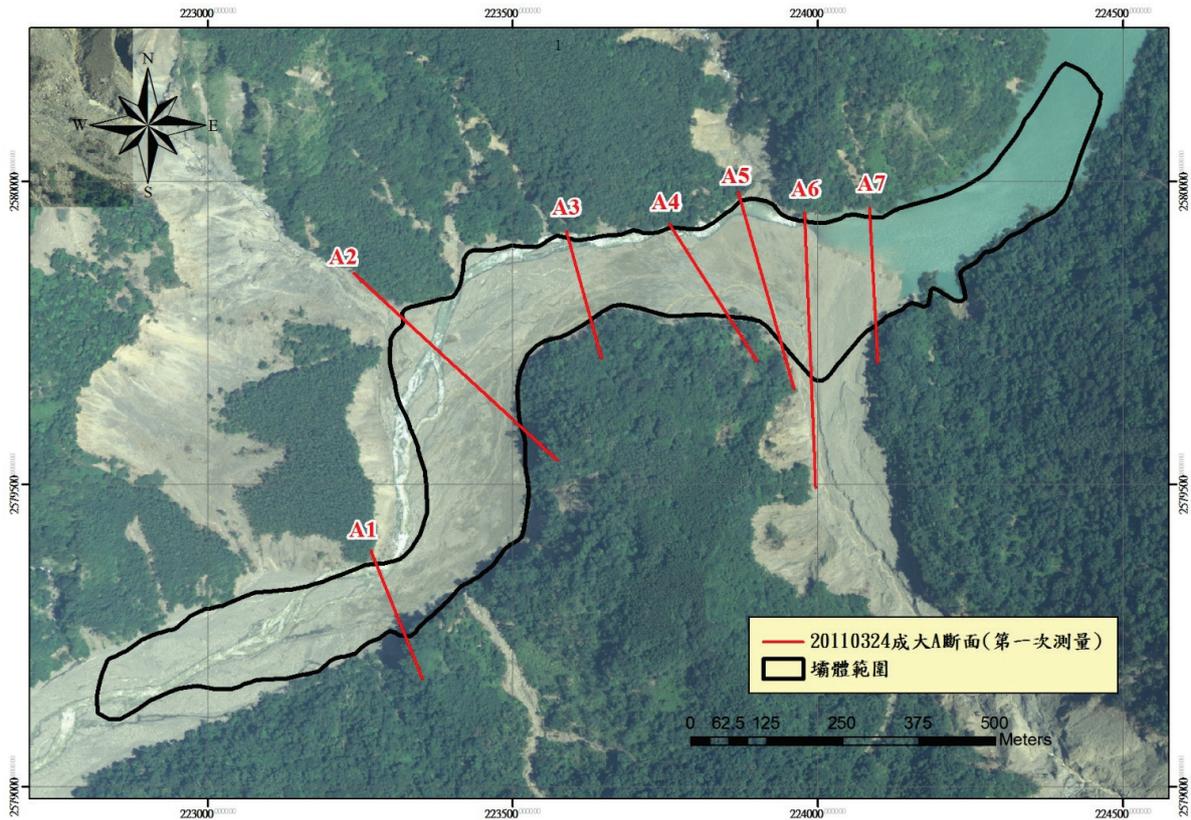


圖 3-6 那瑪夏鄉天然壩體地形實測剖面位置圖

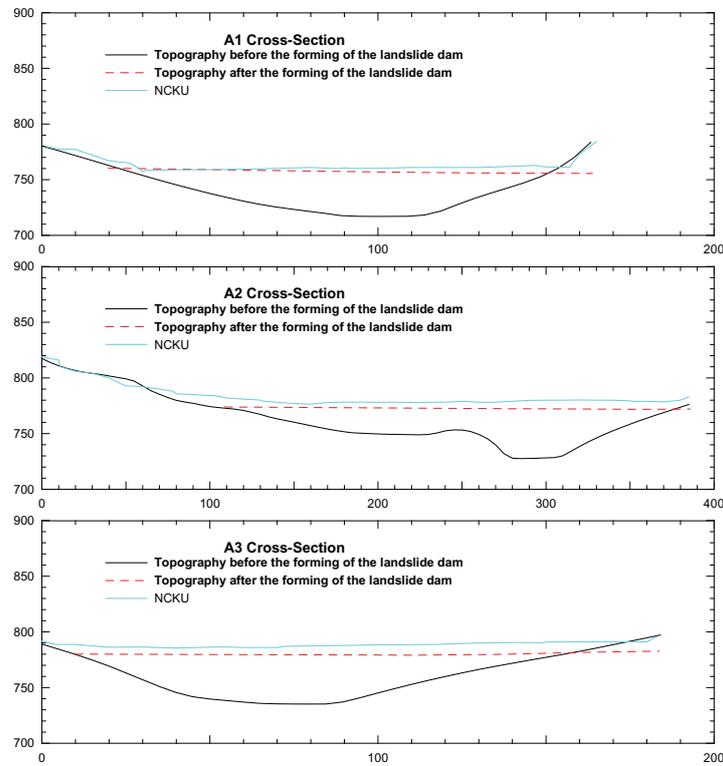


圖 3-7 重建納瑪夏鄉天然壩壩體剖面與實測剖面比較圖

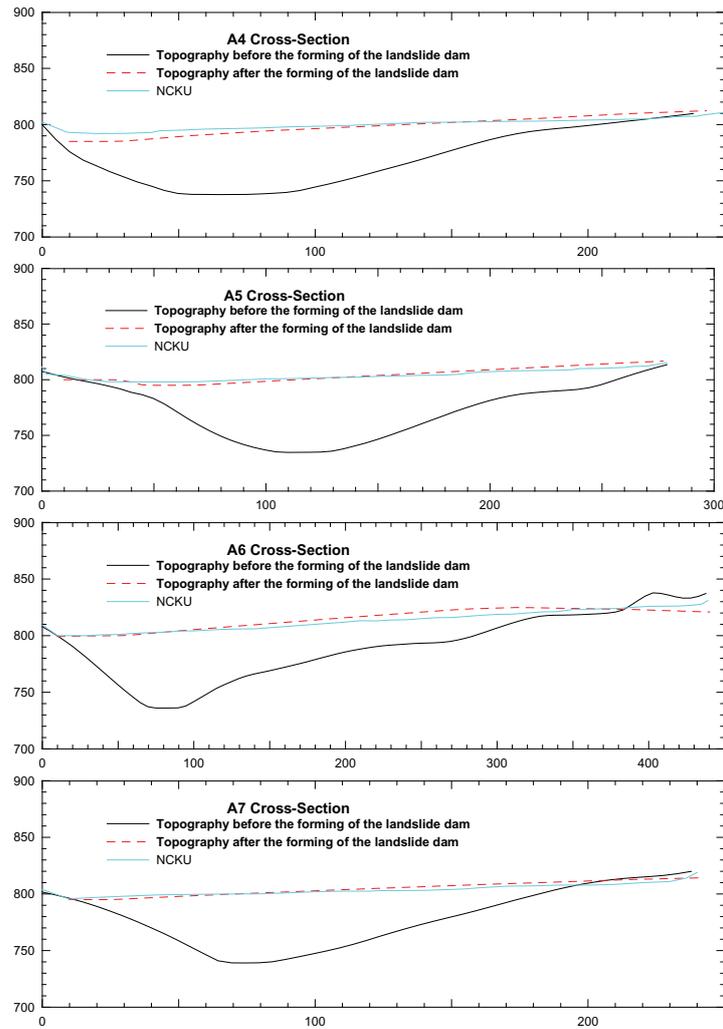


圖 3-7(續) 重建納瑪夏鄉天然壩壩體剖面與實測剖面比較圖

若無法於災後取得正射化影像，建議於安全情況下可透過現場勘查取得評估用參數。現場勘查時應先確認堰塞湖天然壩位置。若無足夠清晰之正射化衛星影像或航拍照片，則應於地面現勘時盡量透過地形比對、GPS 以及高度計，測繪天然壩邊界。地面現勘時應記錄天然壩溢流點位置座標(TW97 座標系統)。若現勘是利用空中勘查進行，則僅能利用地形特徵進行初步研判。堰塞湖天然壩上游集水區面積則應利用溢流點座標以及 GIS 分析獲得。堰塞湖天然壩體資訊，為地面勘查記錄之重點，若於出發前已將天然壩位置套繪至工作底圖，則現勘時以檢核壩體邊界正確性為主。若出發前並無相關資料，現場勘查時除了前述壩體邊界測繪外，應選擇數處利用高度計測量壩頂高程，

或是利用 GPS 定位由地形圖獲得壩頂高程。其中壩體最下游處、最上游處以及溢流點為必須測量高程與座標處。比對災後溢流點高程與災前地形圖，即可獲得溢流點壩高。同時，應測量溢流點處之壩長(跨河道)與壩寬(沿河道)，測量工具視現地情況可選擇皮尺、雷射測距儀或目測(依優先順序排列)。溢流點壩高、壩長與壩寬測量完成後，應標示於地形圖，並檢核測量結果之合理性。壩寬過寬的天然壩，利用上、下游標示在地形圖上再利用比例尺計算可能為較有效率之估計方式。視現地情況現地工作人員可挑選數個剖面進行壩寬與壩高之測量。壩體體積現地估計，可利用方式三角柱狀體或梯型柱狀體公式估計，然若有重建壩體頂面高程，則可利用 GIS 計算。

壩體堆積材料特性與天然壩穩定性密切相關，一般而言，大型岩塊組成之天然壩較由細顆粒材料組成者穩定。因此，現地調查時應加以記錄壩體堆積材料組成，緊急調查階段，建議以定性描述將壩體材料分為四大類(Xu et al., 2009; Cui et al., 2009; Yin et al., 2009)：

- (1)土壤與岩屑(soil and fragments of rock)；
- (2)土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊(soil and fragments of rock with a few boulders and blocks)；
- (3)卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑(boulders and blocks with little soil and rock fragments)；
- (4)卵石與大岩塊 (boulders and blocks)。

除了定性描述壩體材料顆粒組成外，現場應估計最大粒徑、中徑(最常見之粒徑)以及有效粒徑(過篩百分率 10%之粒徑)並加以記錄。

現場調查壩體材料組成時應注意可能會有垂直與水平向之

變異性，以小林村天然壩為例，表面材料以大顆粒砂岩塊為主，然而，壩體下半部卻是以細顆粒材料為主。汶川地震形成之天然壩亦多見此一情況。記錄時應盡量說明水平與垂直向之變異性。

堰塞湖湖體資訊記錄時，應瞭解堰塞湖水位上下是變動的，因此，湖水位與湖面積均為現勘當時之資訊。湖水位可利用高度計或地形比對於地形圖上估計湖水位高程，再由地形圖圖面估計湖面積。滿水位高程應與溢流點高程一致。

對於緊急調查而言，最重要的是湖區是否有不穩定邊坡(殘坡)可能進一步滑入堰塞湖，或擴大天然壩規模，影響天然壩穩定。

三、危險度分級

關於危險度評估分級，本計畫建議以邏輯斯迴歸模型計算獲得之破壞機率為指標，將天然壩區分為五種不同危險度等級(極高度危險、高度危險、中度危險、低度危險、極低度危險)，以供防、救災單位決策參考。分級標準主觀採破壞機率大於 80%為極高度危險、60%-80%為高度危險、40%-60%為中度危險、20%-40%為低度危險、破壞機率小於 20%則為極低度危險。危險度分級表詳見表 3-2。

以表 3-1 案例，草嶺與九份二山將被分類為低度至極低度危險，其他四個案例則均為極高度危險，值得注意的是，極高度危險不代表有極高危害度。案例中，那瑪夏所有模式都預測不穩定，可能與天然壩以粗顆粒岩塊為主有關，然壩體材料特性因不易快速掌握，而未反應於任一統計模型。同時，那瑪夏天然壩形成前，河道可能已有近 20 公尺之淤積，因此模型利用莫拉克前河谷地

形為基準，極可能高估了壩高因而亦高估了危險度。另一方面，統計模式乃基於簡單幾何壩體幾何特性與集水區水文特性進行分析，因此建議除了利用表 3-2 進行危險度分級外，亦應與專家研判結果相互比較，最後再決定天然壩危險度。舉例而言，多數專家於現勘草嶺堰塞湖時即已指出其為相對穩定之天然壩。

以上分析方法並未考慮天然壩存在期間遭遇豪雨或是地震所造成之影響(如邊坡滑落入湖區)，此特殊情況應視個案進行危險度之調整。

表 3-2 堰塞湖天然壩危險度分級表

危險度分級	極高度危險	高度危險	中度危險	低度危險	極低度危險
破壞機率(邏輯斯迴歸模型)	>80%	60%-80%	40%-60%	20%-40%	<20%

為提高危險度快速評估實務運用價值，天然壩體之破壞機率 P_f 除可利用式(3-6)與式(3-8)計算外，本計畫提供危險度等級查詢圖，以圖 3-8 為例，此圖組乃集水區面積 A 為 1km^2 ，壩高分別對應 30m、40m 及 50m 情況下，不同 W 及 L 所對應之破壞機率。完整之危險度等級查詢圖組群請參見附錄三圖 C-1 至圖 C-8。實務上，若堰塞湖集水區面積及壩高與提供之圖不一致時，則應選擇較大集水區面積與壩高之圖查詢危險度等級。

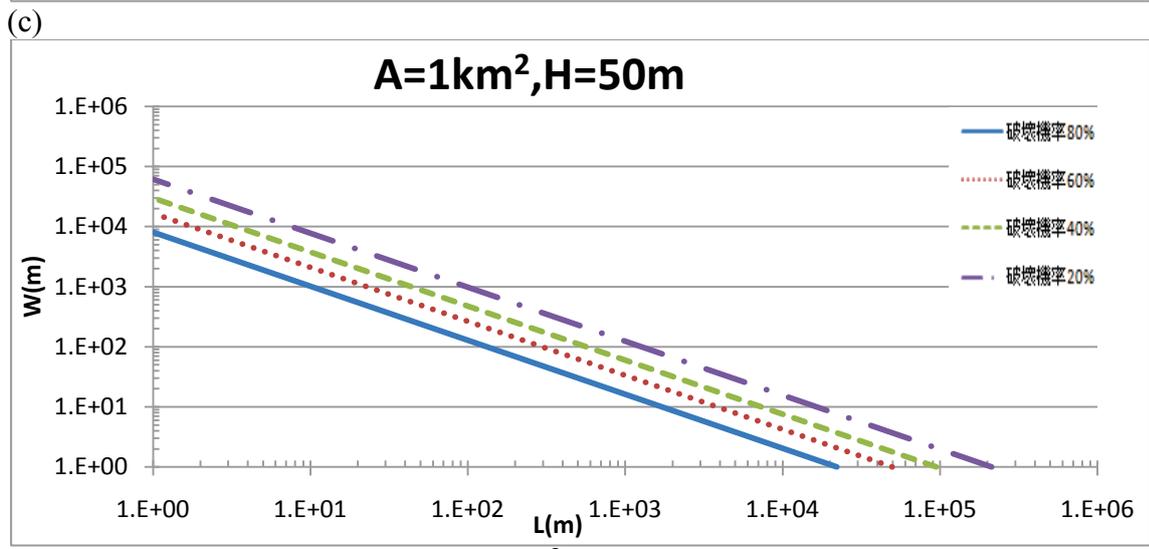
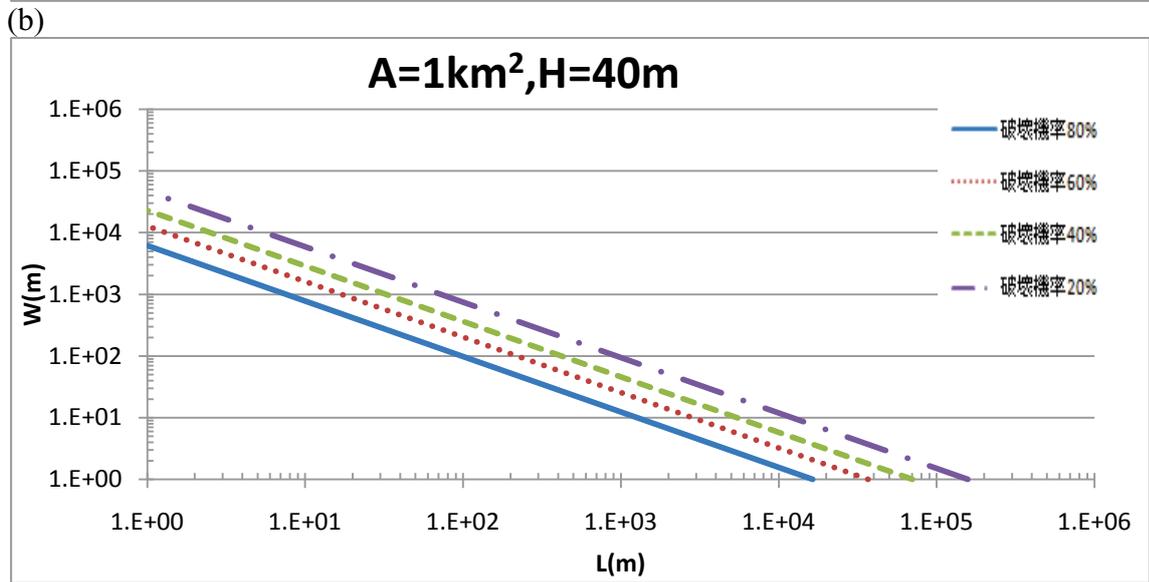
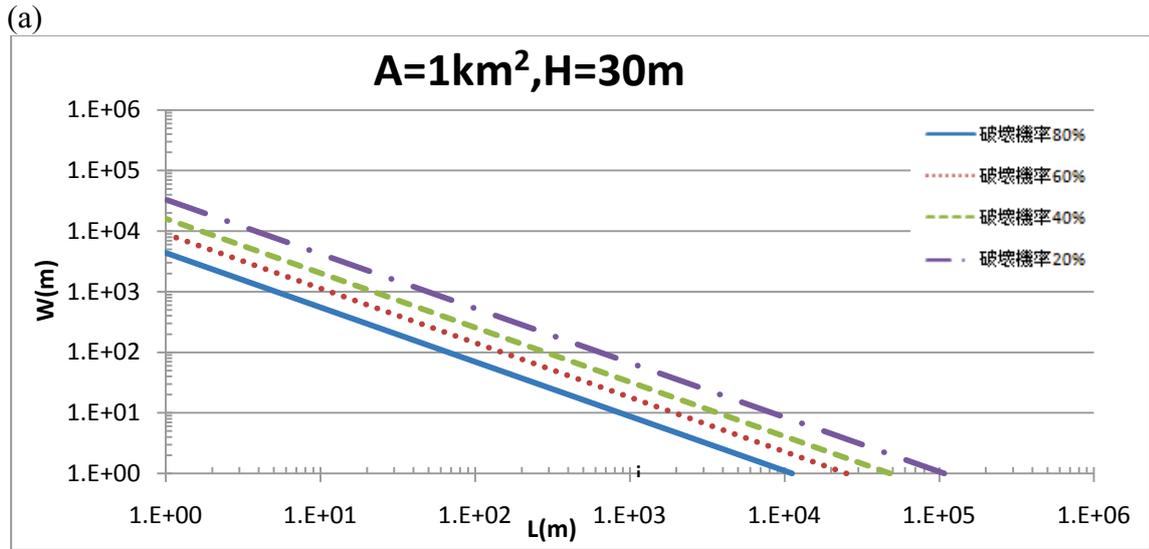


圖 3-8 集水區面積 A 為 1km²，(a)壩高為 30m (b)壩高為 40m (c)壩高為 50m。

第肆章 堰塞湖危害度評估方法之建立

堰塞湖的危害形成必須具備致災體(壩體部分),及可能影響到上、下游地區之受災體,前者是自然動力作用所造成的災害活動;後者是河道沿岸村里之生命與經濟可能之損失。這兩方面都具備時,堰塞湖有機會形成危害過程。而這兩方面條件不但決定災害是否發生,而且決定了成災規模的大小。

堰塞湖潰決所造成具有災害突發性災害(潰壩洪水)及緩慢性災害(土砂、河道淤積問題)特性。其中,突發性災害活動階段相當短暫,這類災害的評估主要是天然壩形成後壩體的危險度和潰壩後的對下游的危害度,以防災減災工作角度,災前危險度與災時之危害度評估尤為重要,乃為堰塞湖防災的工作和研究重點。至於堰塞湖緩慢性災害,如土砂、河道淤積問題,屬於後續河道治理計畫所考量,未納入堰塞湖緊急災害應變之考量,因此本章節之重點在於堰塞湖形成後,淹水危害度評估方法之建立。

汶川地震後,中國學者發展了一套評估堰塞湖危害度的方法(Cui et al., 2009; Xu et al., 2009; Yin et al., 2009)。該方法係根據堰塞湖壩高、湖體積以及壩體材料組成進行危害度評估,根據此一方法可將堰塞湖區分為非常高危害度、高危害度、中等危害度以及低危害度四級。此一方法之缺點包括:

- (1)無法將天然壩破壞可能性高低納入考慮;
- (2)壩體組成材料甚為重要,但短時間不易取得;
- (3)潰壩之“危害”未直接納入考量。

本計畫建議根據危險度指標(天然壩破壞可能性高低)、及潰壩洪峰之淹水危害影響來反應潰壩對下游河川之“危害度”,其相關說明見第一節說明。

根據第參章堰塞湖形成後危險度評估後,天然壩體本身危險度

將影響到堰塞湖危害度評估，其中，堰塞湖形成後，其上游勢必被淹沒，因此需要有快速評估方法，估算出淹沒區的範圍，如圖 4-1 為上游淹沒區的短時間與長時間評估方法之流程圖。在時間界定上，以人員到達堰塞湖，並藉由堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)進行處理，稱為短時間評估方法，其目的在瞭解上游迴水範圍與在此範圍內之土地利用情況。而長時間分析主要目的為推估上游多少降雨量時，可能會發生溢流現象，可藉由降雨逕流、渠流演算得知。

當堰塞湖形成對下游無立即性危害時，可展開壩體之後續調查與處理工作，如溢流口降挖、裝設監測儀器、材料組成分析、河道測量等工作。詳細資料收集完備後，並可進一步進行詳細評估分析，其評估方法稱之為長時間評估方法，包含潰決最大流量、洪峰到達下游各村里時間等，如圖 4-2 為堰塞湖發生潰決對下游可能淹水之短時間與長時間評估方法流程圖。

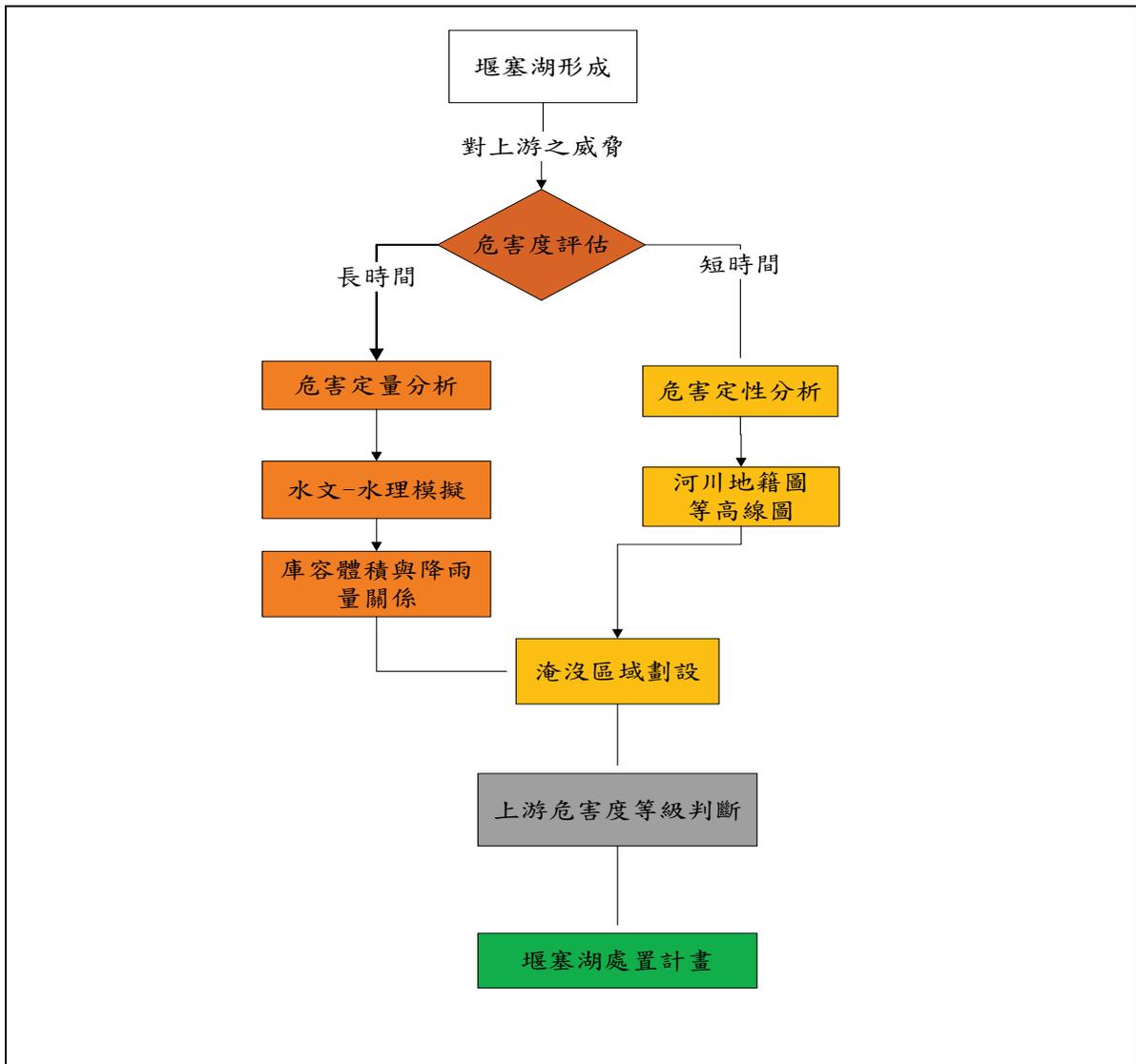


圖 4-1 上游淹沒區危害度分析流程圖

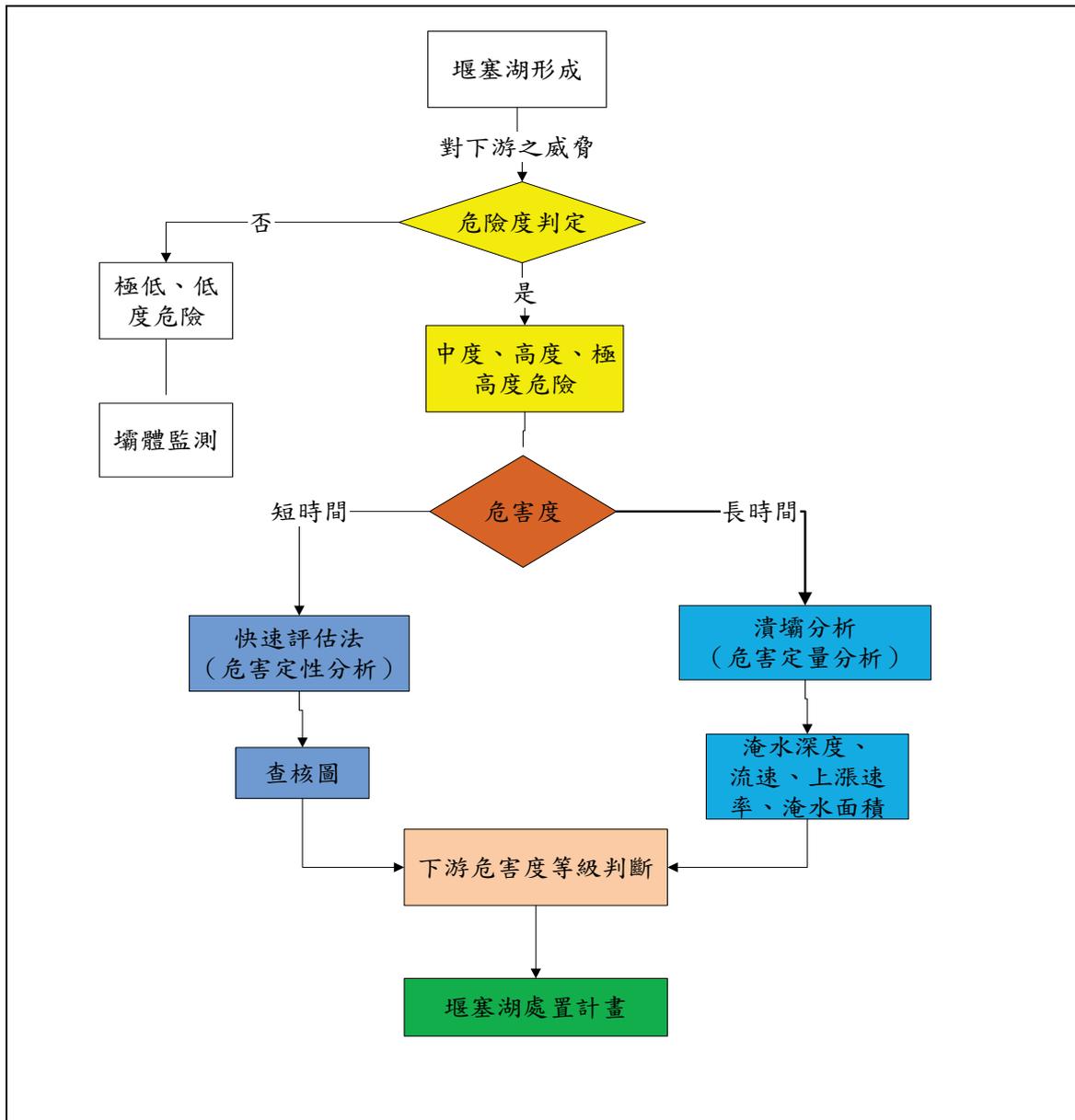


圖 4-2 潰壩對下游淹水危害度分析流程圖

一、危害度評估方法

水利署（2010）「氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估」對危害度（Hazard）定義說明如下：

危害度：一個極端事件或是在特定時間地點外發生的潛在損害（聯合國人道事務部, UNDHA, 1993）。換言之，具有潛在破壞力的自然事件、現象或人類活動，可能造成傷亡、財產損失、社會經濟混亂或環境退化等潛在威脅與隱患

(聯合國國際減災策略委員會, ISDR, 2002)。水利署(2010)「脆弱度及風險地圖分析方法之研究」對淹水危害度係指淹水過程中諸多可能造成危險之因子總合指標，如淹水深度、漫地流流速、淹水上漲速率等。

(一)危害度因子

根據水利署(2010)「脆弱度及風險地圖分析方法之研究」整理各國在危害度方法評估所考慮之危險因子，如表4-1所示。因為用途而有所差異，如美國主要為洪災保險使用，僅考量到淹水深度。而日本因防災與避難需求，除考量淹水深度外，亦考量洪水速度。而荷蘭因國土大部分都低於平均海平面，防災與避難時間需要更精確判斷，除考量淹水深度、與速度外，亦考量淹水上漲速率。歐洲許多國家亦根據該國需求進行淹水危害因子之考量。此外，在生命受到洪水的威脅調查上，Jonkman(2007)統計世界各地所有在河川氾濫區(不包括洪水至河道)的人約0.5%是死於河水氾濫，約3.6%於山洪，約1%於大規模的沿海洪水。上述數據與反應時間、洪水發生的速度、及流速有密切之關連性。另一方面，洪水危害度，有財物損失與人類生命價值為不同考量之屬性，前者可以金錢量化，後者則不宜金錢量化，且無法由財物損失比較。

表 4-1 淹水危害因子考量

國別	美國	日本	荷蘭	歐洲(不含荷蘭)
淹水因子				
深度	V	V	V	V
速度	-	V	V	V
水位上漲速率	-	-	V	V

V：有考量，-未考量。資料參考：水利署(2010)「脆弱度及風險地圖分析方法之研究」

根據水利署（2010）報告在台灣將淹水危害度分成生命與財產危害度二種類型，其中，生命危害因子之考量以淹水深度、洪水速度與上漲速率為主，而財產危害因子則考慮淹水深度、上漲速率與淹水時間。水利署（2011）「高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」報告亦依上述危害度分析進行風險地圖之製作。因此，本計畫將參考該報告對危害度評估方法進行堰塞湖形成後，以生命面向危害度進行評估。茲說明如下：

$$\text{Hazard} = \alpha \times \text{WD} + \beta \times \text{WV} + \gamma \times \text{WR}$$

上式中 WD：淹水深度(water depth)分級分數；WV：水流流速(flow velocity)分級分數；WR：水位上升速率(water raising rate)分級分數； α ：淹水深度權重值； β ：水流流速權重值； γ ：水位上升率權重值。

根據水利署（2011）「高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」經由層級分析法與專家問卷結果， $\alpha := 0.24$ 、 $\beta := 0.44$ 、 $\gamma := 0.32$ 。此外，該報告中之採用 WD、WV 與 WR 之分級分數係以村里內最大淹水深度、最大水流流速與及最大水位上升速率進行分級分數的推估。本計畫根據上述概念，並將 WD、WV 與 WR 進一步定義，說明如下：

WD：以村里內道路用地為考量之最大淹水深度分級分數。

WV：以村里內道路用地為考量之最大水流速度分級分數。

WR：以村里內道路用地為考量之最大水位上升速率分級分數。

1、淹水深度因子(water depth, WD)

在淹水深度因子方面，主要在淹水災害中人員的行動是否受影響，且對人命的影響甚大，因此，根據一般民眾的活動為標的作淹水深度因子的分級，如表 4-2 所示。

第一級：淹水深度 $d < 0.3m$ ，深度在成人或 5 歲孩童的膝蓋以下，應屬安全範圍；

第二級：淹水深度 $0.3m \leq d < 0.5m$ ，到成人膝蓋左右，使人行走開始發生困難，此深度亦達車輪一半或底盤高度，足以影響汽車行駛；

第三級：淹水深度 $0.5m \leq d < 1.0m$ ，水深到達人腰部高度的地方，行走非常困難且車子已經無法正常行駛；

第四級：淹水深度 $1.0m \leq d < 3.0m$ 淹水深度已達成人胸部以上，有生命危險，因為此時人在逃生時可能要以游泳的方式，而且對於無法游泳必須以步行逃生之人，水壓會造成胸口之壓力，而且也有遇到水中或水面上漂流物體導致受傷之可能性，此時已經到達人可以避難逃生的臨界程度；

第五級：淹水深度 $d > 3.0m$ ，淹水深度可至二樓以上，若無二樓以上之建築則有避難的困難。

2、水流流速因子(flow velocity, WV)

在淹水災害中若水流速度過大會無法行走，進而威脅到生命。根據日本研究(中山大地等，2009)，在身長比(淹水深度/身高)大約 0.5 的情形下，意指淹水深度約至身高的一半，在於流速約大於 0.7m/s 時即會行走困難，如圖 4-3 所示。根據救災人員的活動為標的作淹水水流流速因子的分級，如表 4-3 所示，說明如下：

第一級：水流流速約 0 至 0.5m/s，其淹水深度在救災人員深及腰之條件下 ($0.28 < \text{淹水深度}/\text{身高} < 0.6$)，皆可順利進行救難行為；

第二級：水流流速約為 1.5m/s 至 0.5m/s，其淹水深度在救災人員膝部之條件下 ($\text{淹水深度}/\text{身高} > 0.6$)，皆可順利進行救難行為；

第三級：水流流速在 1.5m/s 以上，救難人員已無法順利進行救難行為的深度 ($0.28 > \text{淹水深度}/\text{身高}$)。

本計畫以淹水水位大於 0.3 公尺之流速為評分標準。

表 4-2 淹水深度對生命因子影響分級表

淹水深度 (d) 分級	分級分數(WD)	說明
$d < 0.3m$	0-0.49	淹水深度在孩童膝蓋高度以下，應屬安全。
$0.3m \leq d < 0.5m$	0.50-0.69	淹水深度已達成人膝蓋高度左右，行走已有困難，此深度亦達車輪一半或底盤高度，足以影響汽車行駛。
$0.5m \leq d < 1.0m$	0.70-0.89	淹水深度已達成人腰部高度，行走非常困難，車子已經無法行駛。
$1.0m \leq d < 3.0m$	0.90-0.99	淹水深度已達成人胸部以上，有生命危險。
$d > 3.0m$	1.0	淹水深度可至二樓以上。

資料來源：水利署 (2011)「高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」

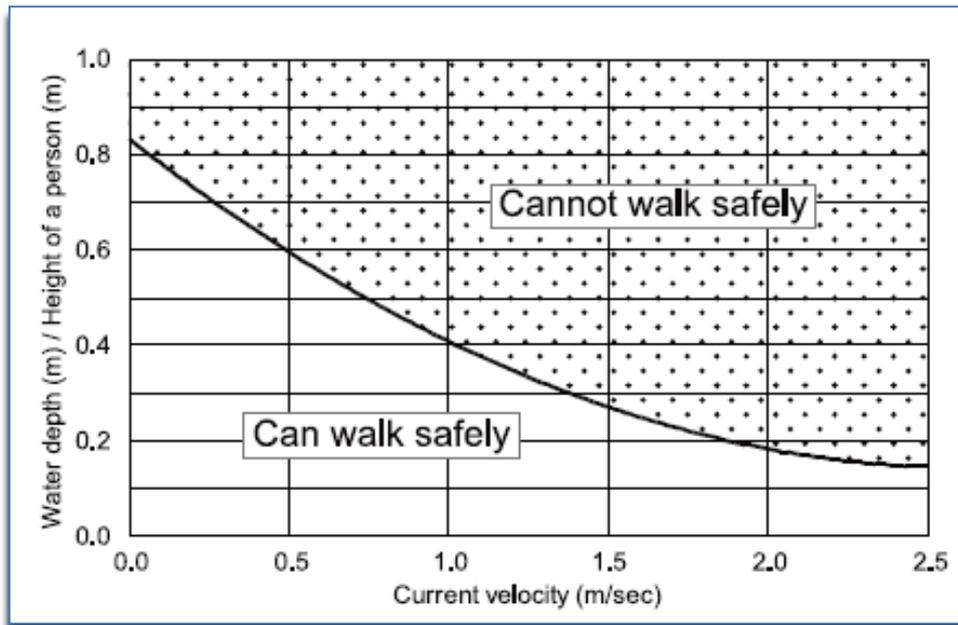


圖 4-3 水流流速-身長比圖 (利根川研究會，1995)

表 4-3 水流流速對生命因子影響分級表

水流流速 (V) 分級	分級分數 (WV)	說明
$0 < V < 0.5m/s$	0-0.69	救災人員在水深及腰之條件下，皆可順利進行救難行為
$0.5 \leq V < 1.5 m/s$	0.70-0.99	救災人員在水深及膝之條件下，皆可順利進行救難行為
$1.5m/s \leq V$	1	已無法順利進行救難行為

資料來源：水利署 (2011)「高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」

3、水位上升率因子(water raising, WR)

Kok(2005)指出，若水位上升率很大，則致命率會明顯上升。水位上升率的影響在淹水深度達1.5m以前最為重要，若在淹水深度達1.5m以前其水位上升率大於0.5m/hr，會在3小時以內就很容易超越一個人的身高，以至於危害到生命，因此在這個情況下會產生較大的致死率。水利署 (2010) 以避難時間為標的，假設淹水深度達1.5m的條件下所需的撤離時間來做分級，如表 4-4 所示，說明如下：

第一級：撤離時間為兩小時以上，水位上升率為0.75m/hr 以

下；

第二級：撤離時間為 1~2 小時以內，水位上升率為 0.75~1.5m/hr；

第三級：撤離時間 30 分~1 小時以內，水位上升率為 1.5~3m/hr；

第四級：30 分鐘以內的時間可以撤離，上升率應為 3m/hr 以上。

本計畫以淹水水位大於 0.3 公尺之水位上漲速率評分標準。

表 4-4 水位上升率對生命因子影響分級表

水位上升率 (WR) 分級	分級分數 (WR)	說明
$0.75\text{m/hr} > WR$	0-0.49	撤離時間2小時以上
$0.75 \leq WR < 1.5 \text{ m/hr}$	0.5-0.69	撤離時間1至2小時
$1.5 \leq WR < 3.0 \text{ m/hr}$	0.7-0.99	撤離時間30分至1小時
$WR \geq 3.0\text{m/hr}$	1	撤離時間30分以內

資料來源：水利署 (2011)「高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」

(二)淹水對居民與經濟損失之估算方法

1、脆弱人口推估

因堰塞湖的形成有時效上之問題，在短時間需要提供有多少人口可能受到影響，需進一步評估堰塞湖潰決之洪水災害對人命影響程度，因此，脆弱人口將會影響到救災的時間，其脆弱人口定義：為 65 歲以上的老年人口及身障人口為脆弱人口。根據鄉鎮區之戶政資料，僅統計至鄉鎮區內之 65 歲以上總人口數，並未將各村里內之 65 歲以上人口進行統計。因此，本計畫在脆弱人口方面之估算係採用住戶淹水大於 0.25m，以每戶 2 人進行估算其脆弱人口。

2、土地利用淹水經濟損失

因堰塞湖的形成有上游淹沒區與下游可能潰決產生淹水的經濟損失，不同的土地利用情況對淹水損失有不同的忍受能力及損失情況，因此，堰塞湖淹水將以農業(旱田、水稻與養殖)、工業、商業及住宅等四類作分析其土地利用類別淹水深度—損失關係表如表 4-5 所示。本計畫以台南市之淹水深度與損失關係進行經濟損失之推估。

表 4-5 土地利用類別淹水深度—損失關係表

別縣市	淹水深度 (公分)	住宅	工業	商業	旱田	水稻	養殖
		萬元/戶	萬元/家		萬元/公頃		
台南市	25~50	8.05	13.98	30.14	5.25	1.7	5.8
	50~100	12.01	13.98	30.14	9.15	7	13.8
	100~150	14.46	21.18	51.88	12	7.4	27.1
	150~200	16.35	21.18	51.88	12	7.4	41.7
	200~250	17.93	31.19	59.86	12	7.4	58.7
	250~300	19.28	31.19	59.86	12	7.4	58.7
台南縣	25~50	7.14	23.52	28	5.25	1.7	5.8
	50~100	10.64	23.52	28	9.15	7	13.8
	100~150	12.81	35.62	48.21	12	7.4	27.1
	150~200	14.49	35.62	48.21	12	7.4	41.7
	200~250	15.89	52.46	55.62	12	7.4	58.7
	250-300	17.08	52.46	55.62	12	7.4	58.7

以台南為範例，資料來源：水利署（2011）「高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」

(三)淹水危害度的製訂

在製訂淹水危害度矩陣時，首先要將行與列區隔的定義明確指出，而此分隔的界線可以為定量，也可以為定性的，由使用者依其需要自行訂定，定性分析方法是透過對危害度進行分析研究，做出邏輯判斷的過程。定量分析方法係將若干相互作用、相互依賴的危害因素組成一個系統，再將其作為抽象的理論模型，運用機率和數理統計等數學工具定量計算出最優先的風險管理方案的方法。

堰塞湖危害度將危險度矩陣之橫軸分為五個部分，代表堰塞湖形成後之危險度等級劃分，縱軸亦分為五個部分，為堰塞湖形成後可能造成淹水程度。表格內則為對上游淹沒區與潰決對下游淹水所帶來之生命財產淹水損失之危害。如表 4-6 所示，為天然壩淹水危害度分級

表 4-6 天然壩淹水危害度分級

H 或 I _{db}		天然壩潰決危險度(天然壩潰決機率)分級				
		極高	高	中	低	極低
天然壩潰決後淹水程度分級	V	極高	極高	高	中-高	中
	IV	極高	高	中-高	中危	中-低
	III	高	中-高	中	中-低	低
	II	中-高	中	中-低	低	極低
	I	中	中-低	低	極低	極低

註：H 為詳細評估之潰決後淹水程度、I_{db} 為快速評估之潰決後淹水程度

其中，天然壩潰決後淹水程度分級標準採用 Paul et al.(1999) 所建議之分級劃分，如表 4-7 所示。因考量到淹水程度分級、脆弱人口、與土地利用之經濟損失，因此，對堰塞湖潰決之淹水危害度等級進行說明，如表 4-8 及表 4-9 所示。

表 4-7 堰塞湖天然壩淹水程度分級

淹水程度分級	分級間隔(%)	危害度描述
極低(I)	0-10	幾乎不發生
低(II)	11-40	鮮少發生
中(III)	41-60	可能會發生
高(IV)	61-90	經常發生
極高(V)	大於 90	會發生

表 4-8 堰塞湖潰決淹水危害度分級(快速評估)

淹水程度分級	災害程度參考
極高	村(里)淹水風險極高，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 150 戶。
高	村(里)淹水風險高，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 125 戶。
中-高	村(里)淹水風險高，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 100 戶。
中	村(里)淹水風險中，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 50 戶。
中-低	村(里)淹水風險中，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數小於 50 戶。
低	村(里)淹水風險低。
極低	村里淹水風險極低。

表 4-9 堰塞湖潰決淹水危害度分級(詳細評估)

淹水程度	災害程度參考
極高	村(里)淹水風險極高、或村(里)淹水脆弱人口大於 300 人(約 150 戶)、或總經濟損失超過 3000 萬元。
高	村(里)淹水風險高、或村(里)淹水脆弱人口大於 250 人(約 125 戶)、或總經濟損失超過 2500 萬元。
中-高	村(里)淹水風險高、或村(里)淹水脆弱人口大於 200 人(約 100 戶)、或總經濟損失超過 2000 萬元。

淹水程度	災害程度參考
中	村(里)淹水風險中、或村(里) 淹水脆弱人口大於 100 人(約 50 戶) 、或總經濟損失超過 1000 萬元。
中-低	村(里)淹水風險中、或村(里) 淹水脆弱人口低於 100 人(約 50 戶)、或總經濟損失低於 1000 萬元。
低	村(里)淹水風險低。
極低	村(里)淹水風險極低。

(四)危害度之應用

現行堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)於堰塞湖發生時，依據緊急現勘所填寫之調查表將堰塞湖危險度區分為無危險、有潛在危險及有立即危險三個等級，惟現行方法對於危險度判定僅依據壩體容量、高度、體積及有無保全對象，並未直接考量壩體潰決可能性與若潰決後可能產生之淹水危害度。本計畫建議根據危險度指標(天然壩破壞可能性高低)以及潰壩洪峰之淹水嚴重程度(潰壩可能洪峰流量除以河川治理計畫之流量)，以反應潰壩對下游河川之“危害度”。淹水危害度分為七級，包括：極高危害度、高危害度、中-高危害度、中危害度、中-低危害度、低危害度以及極低危害度。

防災作業手冊(緊急應變版)中將堰塞湖之危險程度劃分為三種等級(有立即危險、有潛在危險以及無危險)，再依其等級建議處置方式。就本計畫所提出之危害度等級，極高、高及中-高等級之危害度宜對應原「有立即危險」，中危害度對應原「有潛在危險」，而低及中-低危害度則對應原「無危險」(或將「無危險」改為「低度危險」)。

現行程序（緊急應變版）對「無危險」等級採取不需作為之原則。然考量任一評估難免有其潛在之不確定性，且堰塞湖一旦潰決未必能完全排除其致災性，因此，建議對於無危險之等級改由現行程序之完全不作為，改為持續監視，以隨時掌握堰塞湖現況。

二、上游淹沒區範圍與危害影響評估

堰塞湖形成之位置與其壩體高度、長度不易推估與預測，一旦形成後，防救災所需時間將是首要關鍵，而堰塞湖上游淹水將是首當其衝，且勢必會發生，主要為上游迴水區內的生命財產影響。因此，推估影響範圍將是救災工作所關注，並根據時間與基本資料取得進行其危害影響分析，並就取得所需時間之長短進行說明如下：

(一)短時間分析處理

- 1、利用河川地籍圖、等高線圖：緊急且容易取得之資料，可根據內政部建置之兩萬五千分之一圖資，對發生堰塞湖地區取得相關資料進行上游淹沒區可能影響之區域。
- 2、土地利用資料：可根據內政部國土測繪中心之基本土地使用圖資，對發生堰塞湖地區上游淹沒區可能影響之區域土地利用情況。
- 3、正射影像：根據五千分之一正射化後之影像，對發生堰塞湖地區上游淹沒區可能影響之區域土地利用、地表變化評估。

根據上述三種方式推估迴水可能影響之範圍。藉此作為短時間的堰塞湖上游定性淹水危害影響分析使用。

- 4、堰塞湖天然壩上游淹沒範圍快速研判：此方法可應用於在沒有相關基本資料時，又人員無法短時間到達之地區，可應用

衛星遙測影像進行快速研判，其說明如下：

此一工作可同時考慮兩個面向：(1)上游迴水淹沒區域範圍及時間預測；(2)溢頂時間預測。概念上這兩件事都很單純，只要能掌握溪流入流量及堰塞湖容積，這兩件工作就能得到很精準的預測。但是，天然壩位置通常位處深山，壩體上游通常未設置水文站，若專業人力無法及時到達，這兩件工作就會面臨困難。

遙測影像搭配地形資料以及 GIS 系統，進行空間資訊計算，可作為流量快速估計的參考。以下提出本計畫建議步驟：

- (1)快速研判壩頂高程：理論上根據衛星影像天然壩範圍圈繪搭配 DEM，應可快速決定壩高。然而，因天然壩之壩頂面通常不是一個平面，故壩頂高程研判仍須有一些技巧。建議根據衛星影像以及最快能取得最高精度的 DEM，分別找到天然壩堆積河道兩岸邊界高程之最大值，然後以兩者中較小者當作壩頂高程。如獲得更高精度的壩頂高程資料，應立即以該壩頂高程替換。
- (2)決定每上昇單位高度之水體積：計算方法可以單位高度上下高程所圍面積平均值乘上單位高度，單位高度視 DEM 精度而定，以台灣而言，建議至少 5 公尺進行一筆分析，直至高程超過壩頂高程數個單位高度為止(視壩頂高程不確定性而定)。分析成果應即刻繪製水位高程-水體積圖(圖 4-4 (a))，以作為下一步分析之參考。
- (3)決定堰塞湖水位高程：此一工作應該儘可能地使用多期衛星影像進行分析，為增加水位高程研判之精度，建議可由衛星影像判斷出之湖水與陸地邊界，搭配 DEM 找到多筆水陸邊界高程，然後利用 GIS 進行水陸邊界高程平均，藉此獲得水

位高程。同樣的，如獲得期精度更高的水位高程資料，應隨時進行比對、檢核以及進行必要之修正。

- (4)計算各期衛星影像間溪流流量：由步驟(3)可得到兩期衛星影像間不同湖水高程，再根據步驟(2)所繪製之水位高程-水體積圖(圖 4-4 (a))，可得到兩期衛星影像間(時間間隔 ΔT)溪流“淨入流體積 ΔV ”(入流體積扣除流出體積；即為流入堰塞湖湖區之水體積)。淨入流體積除以影像時間之間隔，即可獲得影像間隔期間平均淨入流之流量 $\Delta Q = \Delta V / \Delta T$ 。此一工作應根據最新取得衛星影像持續進行分析。值得注意的是，此一方法不能完全取代水文分析，在可能的情況下，此一分析結果應於水文分析完成後立即進行比對。
- (5)預測水位上昇速度以及淹沒範圍：每幅最新衛星影像產出後，經過分析即可獲得前一時期淨入流之流量，根據此一最新淨入流量，即可由步驟(2)所繪製之水位高程-水體積圖，及時推估未來時間-水位高程預測圖(圖 4-4 (b))，以作為溢頂時間研判之依據。同時，透過 GIS 系統，亦可及時評估與呈現預測之某一未來時間可能之淹沒範圍，以作為上游迴水淹沒區防、減災工作推動之參酌。舉例而言，根據此一預測成果，上游淹沒區道路系統遭淹沒而中斷之時間即可準確評估。值得注意的是，因為上游入流量受很多因素控制(如降雨)，出流量(如由壩體滲流出之湖水)亦受湖水位高度控制，淨入流流量通常並非固定值。因此，隨新的衛星影像取得，應不斷重新進行預測。也就是說，步驟(3)-(5)應自堰塞湖形成後持續進行，建議分析工作應持續至潰壩或評估天然壩屬於穩定後方停止。當有特殊情況(如突然降雨或雨量明顯變化)時，縮短分析時間之間隔有其必要性。

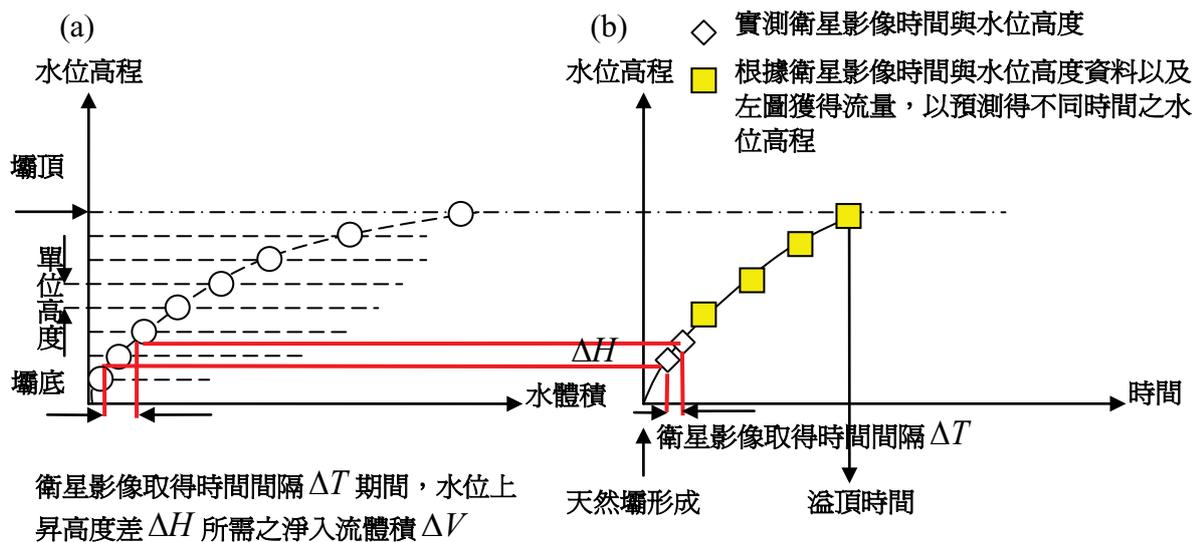


圖 4-4 堰塞湖水位監測、溢頂時間以及淹沒範圍推估方法示意圖。
(a)根據數值地形於 GIS 系統架構下分析獲得之水位-水體積圖；(b)
水位高程-時間預測圖

本計畫建議之工作方法與步驟整理於圖 4-5。本方法曾應用於汶川地震堰塞湖迴水範圍與溢頂時間預估(圖 4-6；董家鈞等人，2010)。上述方法於實際應用時應注意：

- (1)當水位高程直接量測開始時，相關分析即應以實測值取代。
- (2)隨水位上昇，DEM 之誤差對流量估計不確定性之影響將增加。也就是說，堰塞湖後期流量推估對水位高程估計較敏感。因此欲根據遙測影像及 DEM 進行水位高程監測以及淹沒範圍預測，應注意 DEM 水平位置及高程誤差可能造成之影響。
- (3)溪流之流量受降雨影響明顯，因此，關於溢頂時間以及淹沒範圍與時間之關係預測，應以持續更新所得最新資料作為預測基準。
- (4)本計畫建議之方法，主要是為了在極短時間內進行快速研判，此一方法並不能取代水文分析，若有水文分析結果，應立即進行相關分析與預測之檢核。
- (5)如湖水上昇期間遭遇豪雨，導致入流流量快速變化，或是因

地震造成堰塞湖區周圍坡體滑落，引起湧浪，均非上述方法所能涵蓋，以上特殊情況對上游淹沒區水位上昇應視個案處理。

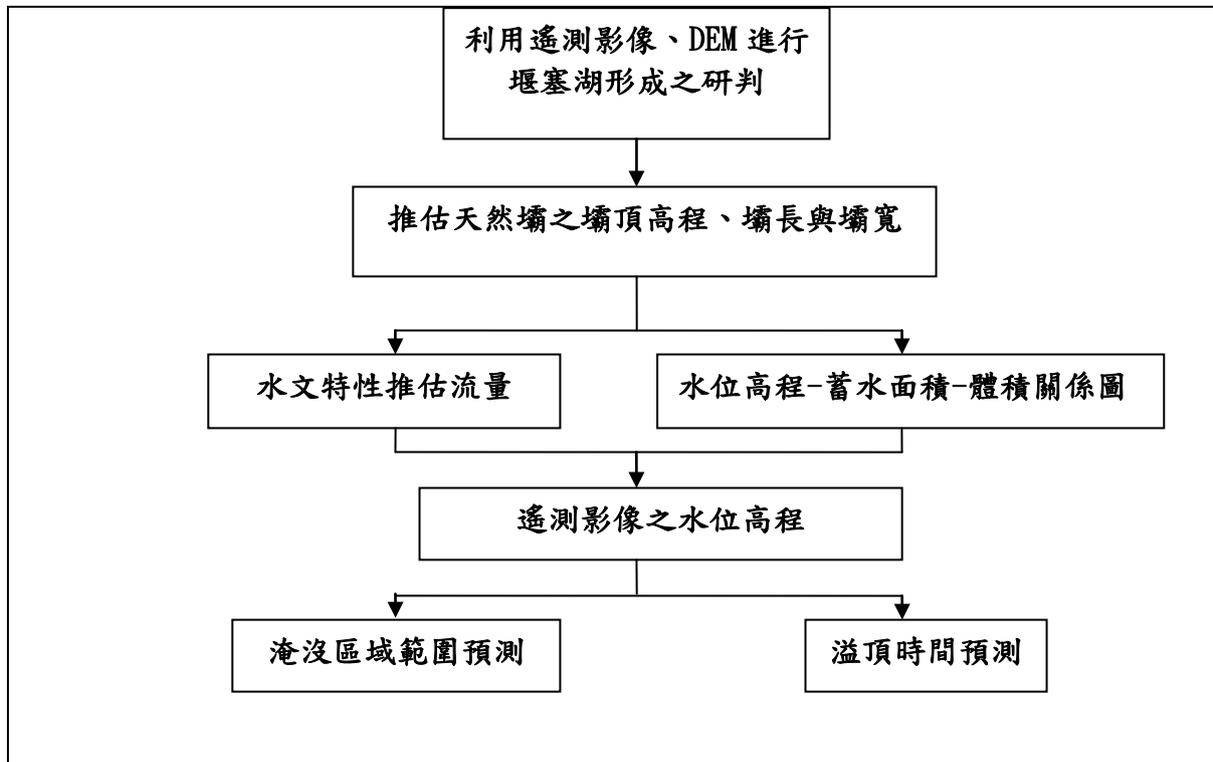


圖 4-5 堰塞湖形成後上游淹沒範圍與溢頂時間分析流程

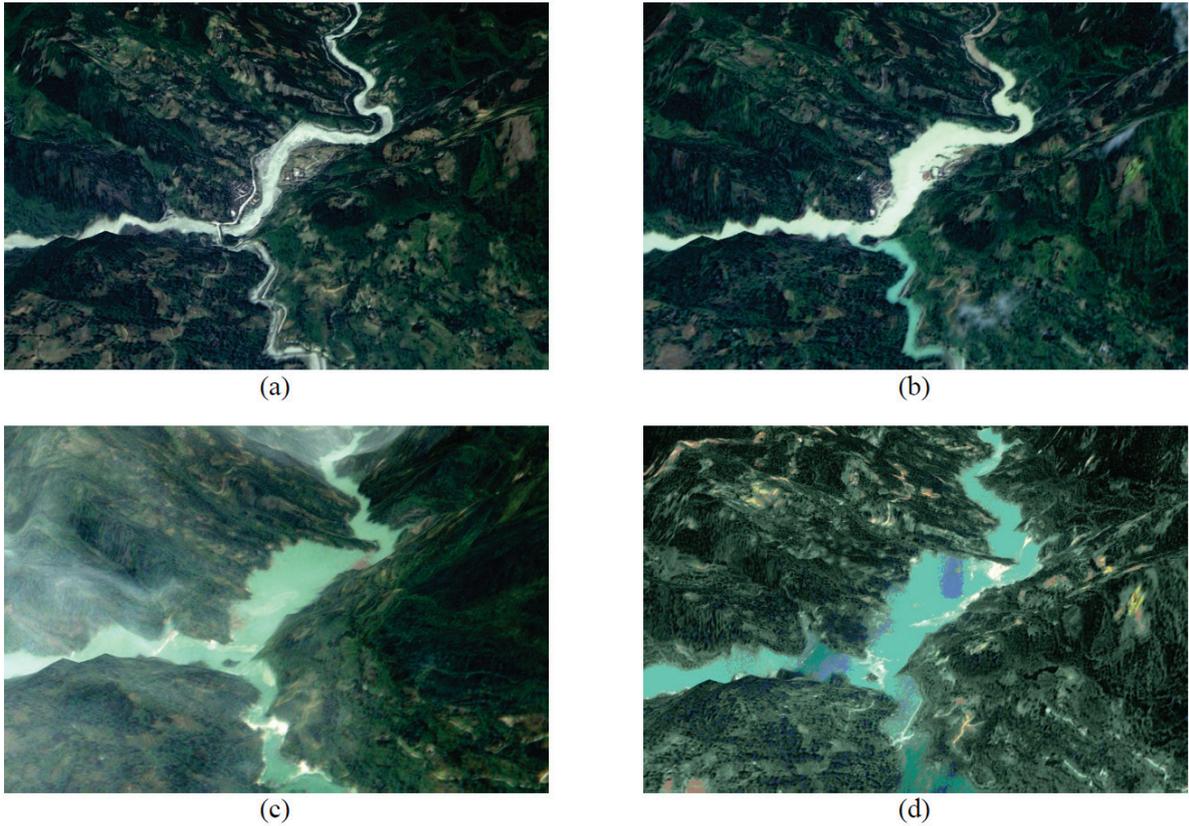


圖 4-6 唐家山堰塞湖上游多期遙測正射影像圖(董家鈞等, 2010)

(二)長時間危害影響分析

- 1、除了上述短時間基本資料收集與確認；進行更詳細的堰塞湖與天然壩體的敘述，包含壩體幾何形狀、蓄水體積、面積、集水區面積的範圍等基本資料
- 2、取得更詳細之地形測量與可設置水位、雨量監視其壩體與蓄水面積之變化資料；
- 3、可根據已建置完成之降雨-逕流模式，推估上游入流量與降雨量之關係，推估可容納多少降雨量會發生溢流；
- 4、利用 DEM 資料分析上游淹沒區的淹水情形，推估迴水影響範圍。
- 5、在人力無法到達之情況下，可藉衛星影像與地表 DEM 資料進行結合與運用，監視湖水面的變化情況。

藉由上述分析結果，可得進行到將上游淹沒區定量淹水危害度分析。

三、天然壩潰決對下游危害度評估

天然壩潰決對下游地區將產生危害度，在評估上亦受時間限制，故可分為快速評估法與詳細評估兩種，分析方法說明如下：

(一)快速評估法（危害定性評估）：

根據危險度指標、及所建立淹水危害影響快速評估方法，在最短時間內，即使詳細資料仍無法齊備時，亦能夠快速評估天然壩潰決對下游之危害影響等級。其方法如下：

事先假設堰塞湖壩體形狀大小、上、下游面坡度、上游蓄水面積與容積、在不同情況下，發生溢頂潰壩可能產生之洪水量進行分析並將其成果製作成查詢圖，圖 4-7 與圖 4-8 分別為堰塞湖主要壩體外觀形狀(溢流點上、下游坡度)與堰塞湖壩體高度-蓄水體積-潰口洪流量之關係示意圖。此外，相同的壩高情況下，壩體上、下游之坡度越緩，則表示沿著河道的壩體越長，溢頂沖刷的時間越長，所造成之潰壩最大洪流量相對較低。應用時會有下列可能情況：

- A、實際狀況與事先完成之分析圖不一致時，以最接近之情況進行流量推估，或內差方法推估之。
- B、堰塞湖若是由單側之土體滑落而形成，其橫斷面常為一斜面，因此，以潰口處（壩體最低點）進行推估。
- C、因堰塞湖形成後，河道土石淤積有時甚大，評估壩體上、下游坡降時，僅以壩體主要為考量，而非所有淤積部分。

在堰塞湖形成後，根據實際大小進行比對可得發生最大洪流量，再除以河川治理計畫洪流量，可得 I_{db} 值，因此可快速評估堰塞湖下游河川可能之危害影響，其分析流程，如圖 4-9 所示。快速評估危害度的步驟如下：

步驟 1:潰壩洪峰流量預估值乃事先假設堰塞湖壩體形狀、大

小、上及下游面坡度、上游蓄水容積，在這些不同參數組合情況下，發生溢頂潰壩可能產生之洪水流量進行分析與預估，如圖 4-8 所示。推估得潰壩可能洪峰流量，再除以河川治理計畫之流量，可獲得潰壩洪峰之淹水危害影響。

步驟 2: 參考第參章獲得各等級之危險度，即可根據表 4-7 快速評估堰塞湖對下游地區之淹水危害度(七級：極高危害度、高危害度、中-高危害度、中危害度、中-低危害度、低危害度以及極低危害度)。

惟以上分析方法並未考慮湖水上昇期間遭遇豪雨或是地震造成之影響(如地震造成邊坡滑落入湖區)，以上特殊情況應視個案進行危害度之調整。同時，危害度快速評估亦不應忽略專家主觀判斷結果，因此，除考慮客觀評估所獲得之天然壩危害度初步評估結果以外，專家判斷結果若具更高危害度，則應重新檢視客觀評估模型是否有未及考慮之處。

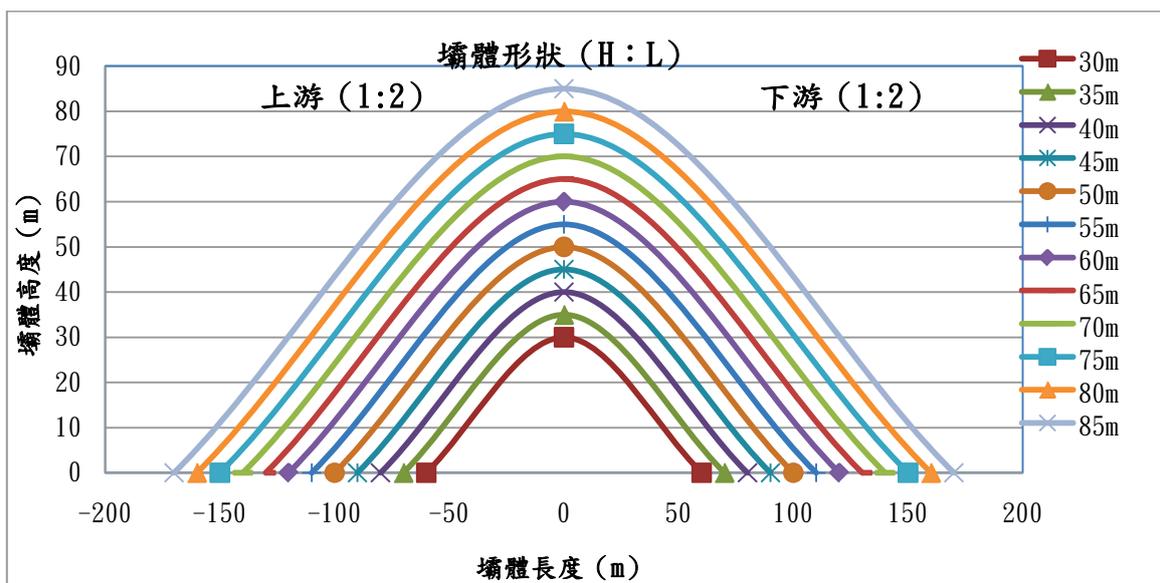


圖 4-7 堰塞湖壩體形狀上游壩體坡度 1:2、下游坡度 1:2 示意圖

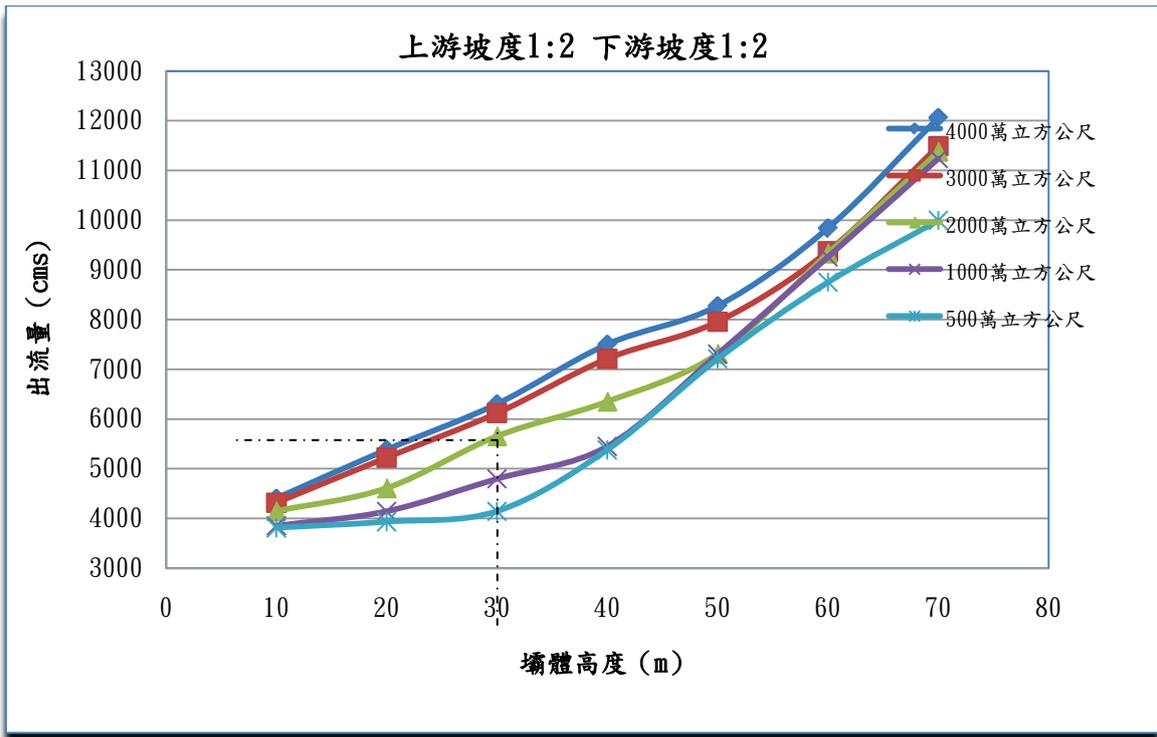


圖 4-8 堰塞湖壩體高度-蓄水體積-潰壩洪流量關係示意圖

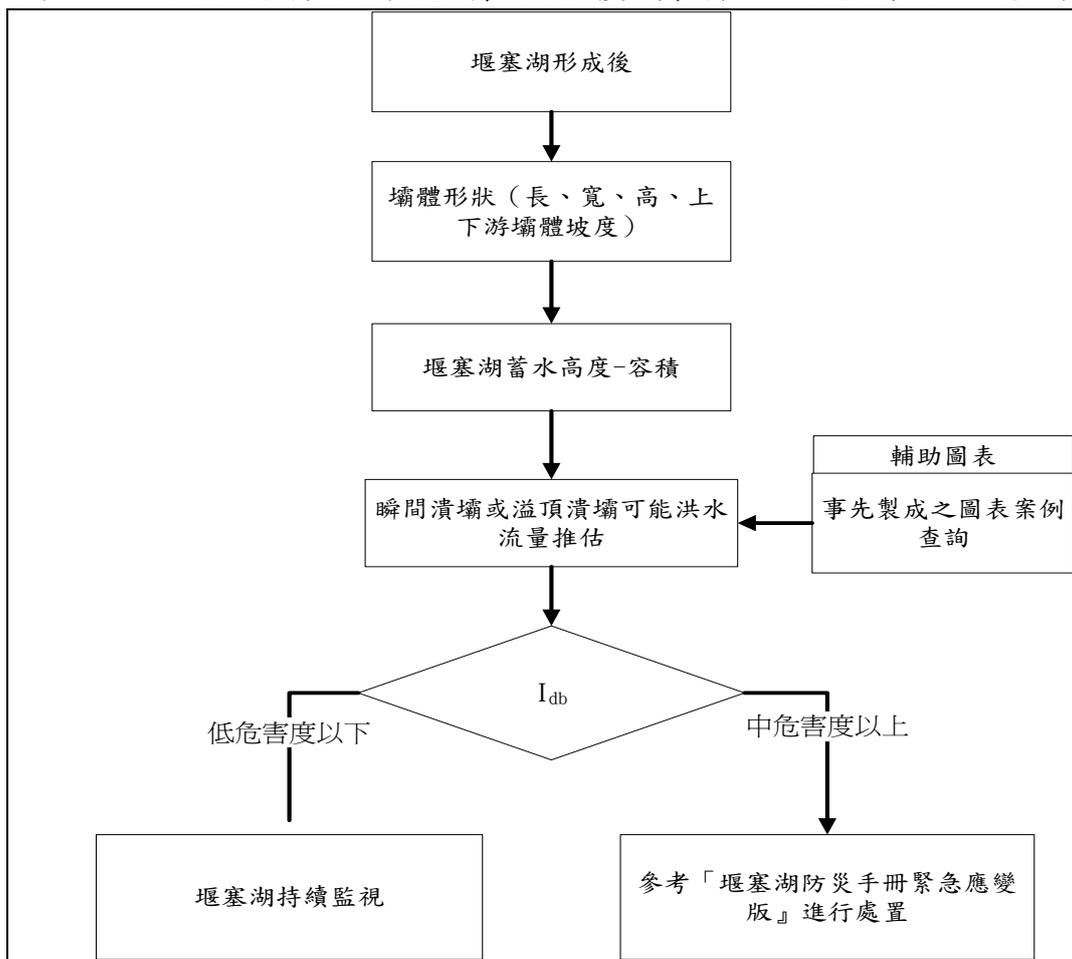


圖 4-9 堰塞湖形成後之淹水程度分級流程

(二)詳細評估-潰壩分析(危害定量分析評估)

若堰塞湖短時間無立即潰壩之虞，則有時間進一步對堰塞湖對下游地區之危害度進行潰壩分析。其方法係根據堰塞湖形成後之上游水文特性、水位高度-蓄水面積-蓄水體積間之關係、壩體材料特性、地表土壤資料（C 值、 ϕ 值、粒徑組成）、河川斷面等基本資料進行分析，分析流程如圖 4-10 所示，包括堰塞湖上游入流量推估、潰口流量歷線分析、潰壩洪水之水位演算與到達時間，及下游淹水模擬與可能產生危害之區域劃設，並建立一套作業分析流程，以供堰塞湖形成後之參據。其模擬方法如下：

- A、BREACH 模式，將所收集的基本資料進行模式參數設定。
- B、SOBEK1D 水理模式，主要得知發生堰塞湖潰決後，到達各村里之時間，因此，在已建置之降雨徑流與水理模式，加入 BREACH 模式的潰決流量進行水理演算，並將到達各村里時間統計出。
- C、SOBEK-2D-淹水模式，進行淹水模擬情況及計算下游各村里之淹水脆弱度與淹水損失與脆弱口約有多少人。

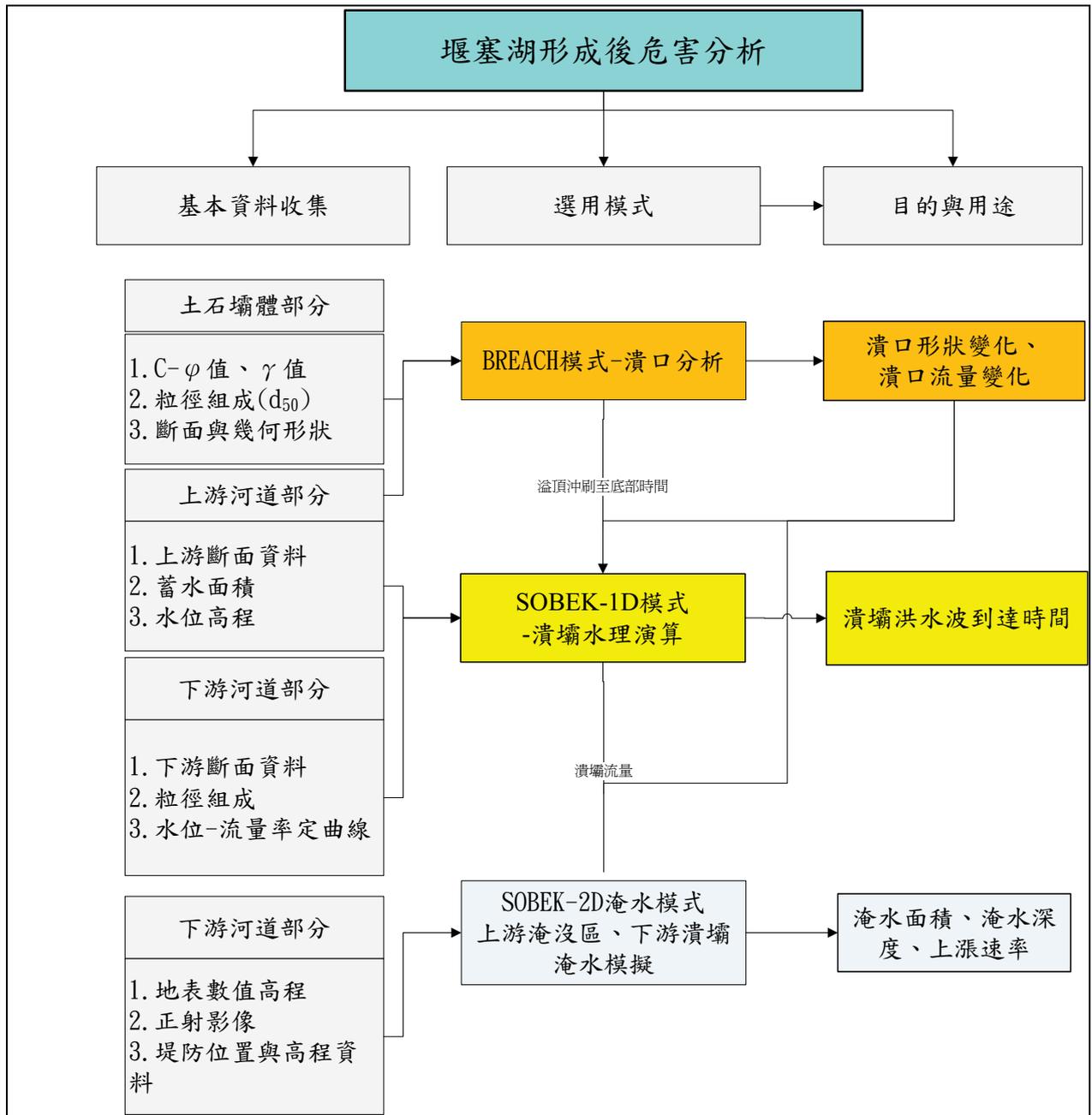


圖 4-10 堰塞湖潰壩分析流程

第五章 監測數據處理分析系統研究

一、監測數據分析方法回顧

因堰塞湖壩體本身往往由高度不均質之地質材料所組成，在堰塞湖形成後，受限於應變時間以及調查可行性之限制，通常難以即時提供完善的材料基本物性資訊，以供傳統力學模型預測壩體穩定性，亦即無法以準確性高的力學模型預測壩體變形行為，因此堰塞湖發生之初期，考量天然壩與人工壩之不同，以及特別因應堰塞湖緊急處置之特性，多以水位、雨量以及地表監測（堰塞湖壩體與鄰近殘坡）等可行性較高之方案進行。因此直接利用水位、雨量以及地表監測資料趨勢，以輔助研判現有堰塞湖壩體及邊坡穩定性，為目前較為可行之作法。

一般水庫壩體常根據各項監測值所繪製之歷時曲線，定性分析研判評估歷時曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性，其採用模式一般可歸納為（水利署，2005）：

1. 穩定性：當監測量過程曲線變化之規律與趨勢呈穩定狀態，則屬正常；如原因量不變而效應量之趨勢隨時間不斷向不利方向增長，則屬不穩定之異常狀態。
2. 相關性：平常監測值中原因量與效應量都會成一定之相關性，如其相關性較以往有所改變則屬異常。
3. 合理性：監測量之變化趨勢符合自然界之物理現象則屬正常，否則屬異常。
4. 一致性：在相同條件下（即原因量相同），效應量之變化型態應為一致或相似；同一位置使用不同儀器所量測之同一物理量亦應符合一致性，則屬正常，否則屬異常。
5. 突變性：監測量之變化過程中如有不符合預期中或不符合規

律之突變，則屬異常。如為單一之突變，則可能屬人為錯誤；如為重複或連續之突變，則可能屬儀器或系統之故障或結構已有異常現象。

6. 對稱性：如監測儀器埋設於具對稱之位置，則其監測量之變化亦具對稱性，否則應為異常。

然而上述定性分析基於一般水庫壩體結構與材料特性已知狀態下，可提供一合理資料反應範圍，但於堰塞湖或天然壩體適用性不足，且上述方法需仰賴專業人員進行資料判讀與解釋；另外透過監測曲線包絡線，其預警值訂定仍有其限制，於堰塞湖壩體監測可能無法快速反應劇烈變化。

近來基於非線性分析研究，認為邊坡位移(或相關監測標的，如水位、滲水量等)在時間軸上可視為一非線性動力系統，其位移序列是一個非線性動態行為，因此描述邊坡位移的動態行為可完整瞭解邊坡演化至破壞的特性(柳雅濤，2007)。由於非線性分析方法分支廣泛，本文僅針對目前以廣泛應用於邊坡位移方法進行相關回顧說明。

R/S 分析法(Rescaled Range Analysis)由 Hurst(1951)提出，主要針對河川水位變化以作分析，後由 Mandelbrot(1972, 1982)加以改善。目前 R/S 分析法可衡量在一個時間序列中，到底是否存在長記憶的現象或隨機現象；對於不常發生的現象具有很好的解釋能力，可適用於崩積土邊坡滑動預測(賀可強等，2007)。

突變理論(Catastrophe model)是法國數學家 Thom 於 1972 年創立的，主要用來研究不連續現象，特別適用於描述作用力或動力的漸變導致狀態突變的現象(龍輝等，2002)。秦四清等人(1993)嘗試利用突變理論對典型崩積土邊坡滑動進行分析，建立尖點突變預測模型。賀可強等人(2007)則比對實際案例，利用其尖點

突變預測模型以及大陸長江新灘邊坡位移監測資料，預估可能破壞時間。基於上述方法，目前 He and Wang (2003)則提出邊坡位移向量角 (Displacement vector angle) 概念，可進一步配合 R/S 分析法 (劉文軍及賀可強，2006)，或是結合滑動速率兩項指標參數 (賀可強等，2007)，以作多元預測預報。

由於非線性分析方法對於監測數據分析，可能具有堰塞湖壩體 (或殘坡) 監測快速反應劇烈變化之預測能力，相關文獻也初步提供相關分析驗證，因此本計畫針對堰塞湖相關監測資料，提供監測資料所需之統計預報模式評估、建置後續支援資訊管理系統，以及建置其所延伸之監測資料分析模組。

綜合現有監測數據分析方法，在傳統定性分析方法，可研判評估歷時曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性，然而需仰賴專業人員進行資料判讀與解釋；另外透過監測曲線包絡線，其預警值訂定仍有其限制，且無法快速反應劇烈變化。而基於非線性分析方法，包含 R/S 分析法、尖點突變預測模型或多元參數預測，其目前相關方法理論雖大致健全，但實際應用仍有其複雜性，另外且需透過實際資料加以輔助驗證。因此本計畫將基於前述相關文獻，初步配合現有邊坡滑動監測資料，測試其演算方法與相關限制，藉以提供後續資訊系統模組建置之參考修訂使用。

二、監測數據處理分析系統架構

由於堰塞湖構造複雜，不可能比照人造土石壩，經由分區碾壓之施工品管與完整之實驗室試驗，確切掌握築壩材料力學與水力性質，再透過理論完善之穩定分析來預測其穩定性，因此往往僅能利用堰塞湖監測數據進行統計分析，輔助其穩定性判釋，特

別因應堰塞湖緊急處置之特性，對應採用之監測元件與方式則應該以簡易、便利為原則，例如以水位、雨量以及地表監測（堰塞湖壩體與鄰近殘坡）等可行性較高之方案進行。

因應上述堰塞湖監測資料處理分析需求，本計畫工作項目之監測數據處理分析系統架構與流程如圖 5-1 所示。首先本計畫雖無包含即時監測預警系統建置，但基於本計畫團隊前期研發之監測系統，建議可採用此一系統與接收模式於堰塞湖監測使用。其前期研發之系統相容於傳統監測系統模式，亦包含時域反射技術 (Time Domain Reflectometry, TDR)，其監測系統開發目的主要針對 TDR 原始監測資料可以在現場立即被轉換成監測資訊，不僅可提升遠端傳輸資訊的速率，也建立人機互動操作介面，可供現場人員立即得知監測結果，促使 TDR 自動化資訊監測系統更趨於完善（謝岳勳，2009）。因此可將 TDR 偵測功能與傳統電子式感測元件整合，提供完整堰塞湖監測解決方案（本中心研發之時域反射 (Time Domain Reflectometry, TDR) 監測項目，可參考「堰塞湖引致災害防治對策之研究」(經濟部水利署水利規劃試驗所，2004)）。

除傳統監測系統外，針對目前先進的全球定位技術 (Global positioning system, GPS) 等均可以為堰塞湖災變綜合訊息。因此本項目研究將額外考量 GPS 整合，實現 GIS 數據庫的動態更新。因此綜合本子系統需包含測量接收處理系統（傳統監測系統與 GPS 資料接收處理系統）、各項數據庫（至少包含地表監測點數據庫、湖水位及雨量數據庫等，此一部份則擬定基於本計畫團隊研發之監測系統，並透過轉換程式開發，將監測資料進一步整合，最後提出資料預測模組開發與整合，完成監測數據處理分析系統。

三、測量接收處理系統

監測系統後端資料接收模式，可基於 TDR 感測平台資訊系統(戴子強, 2010)，配合遠端自動化監測系統與即時傳輸建置，使監測資料即時與資料庫和網頁整合，如圖 5-2 所示，相關應用已在石門水庫異重流監測頗有成效(經濟部水利署水利規劃試驗所, 2010)。因此本計畫延續上述成果，將擬定使用 Visual #Net 程序開發，使監測資料接收與本計畫需求之 GIS 介面，可作進一步整合與延伸應用。

因此本測量接收處理系統主要流程可參考圖 5-3，首先將現地監測或量測資料彙整成一標準固定格式(如時間，感測資料 1，感測資料 2，依序排列)，再經由本計畫自行開發之資料匯入程式，首先將資料依照使用者定義進入資料庫備份，另一則將使用者定義之感測器資訊匯出，提供 GIS 介面索引使用。本程式也提供資料預處理功能，預期可先配合監測系統其他相關規格，包含電源供應、感測器量測範圍與精度，第一步進行資料品質檢核，若非實際現場事件結果，而為儀器損壞或其他異常資料現象，則毋須再作後續分析處理，但可藉以提出儀器維護或校正訊息。資料品質確認後則進入資料庫備份。

基於上述規劃，本計畫提出一測量接收處理系統開發介面，如所示，其功能包含以下部分

- 1.使用者定義：輸入測站之 ID，TWD97 座標位置，以及其感測儀器基本量測臨界值，如圖 5-4 (a)。如一堰塞湖水位量測，其 ID 設定為 WL1，並提供其感測器 TWD97 座標位置，其感測器量測範圍為 0~100m。
- 2.數據資料庫建立：完成各測站基本資料，選擇欲匯入之項目，如圖 5-4 (b)。

3. GIS 介面索引：匯出各測站座標位置，提供 GIS 介面索引使用，如圖 5-4 (c)。
4. 自動監測資料匯入：設定監測資料（文字檔）路徑以及程式記錄檔存檔路徑，並設定監測資料讀取頻率，即可自動匯入監測資料，如圖 5-4 (d)。

因考量現場不同案例所採用監測儀器變異，因此本計畫所提供之資料庫，其中之資料類型，可依照現場實際監測項目，如水位、位移、雨量，利用本計畫開發之測量接收程式，已建置各監測資料。後續只要協調監測廠商，將相關監測數據，如水位、位移、雨量，統整到一個 ASCII 文字檔，即可利用測量接收處理系統匯入各監測項目，甚至可訂定各項監測項目警戒值，後續即可自動化分類、儲存與進階分析。

完成上述測量接收處理系統開發介面程序，即可匯入各項監測資料，並提供 GIS 介面查詢使用。本計畫配合 ArcGIS 介面，利用滑鼠點選已匯入之監測站位置，則可顯示 GIS 資料查詢開發介面，如圖 5-5 所示，可即刻提供點選之監測站最新監測資料，或是可查詢不同時間之監測歷時資訊，並提供歷時資料繪圖與資料匯出動作。

四、資料統計預報模式開發

本計畫針對堰塞湖既有相關監測資料，提出監測資料統計預報模式評估，除傳統常規統計（例如包絡線）方法，並擬定進行非線性科學應用於天然壩預測技術可行性評估，如 R/S 分析法、突變論預測模型或輔以多元參數統計量預測模型。

由於上述預報模式實際應用仍有其複雜性，加上實際於堰塞湖壩體其邊坡位移監測有其困難度與不準確性，另外，堰塞湖壩

體破壞模式不一(如水位溢流導致潰隄、壩體沖刷或滲流沖蝕等)，因此本計畫基於上述因素，考慮將監測數據分析方式主要著重於水位、雨量以及地表監測兩大區塊，分別進行傳統監測數據分析，除定性分析研判評估歷時曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性；另一則採用本計畫擬定之非線性分析方法，藉以比較兩種分析模式，綜合研判其應用成效。以下是本計畫提供之分析方法研擬：

(一)傳統分析法

1、移動平均趨勢

考量一般傳統壩體監測資料分析所採用之方式，包含穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性等分析原則，本計畫初步提出移動平均趨勢以及包絡線法。一般數據大多可使用最小平方差法提供一迴歸方程式，然而如水位等資訊，隨時間而有所不同變化，因此利用移動平均趨勢方式(Moving average)，較能剔除變異較大之資料，掌握整體監測數據之移動線型。而本計畫採用之移動平均趨勢方式為回推型移動平均(Backward moving average)，即針對一監測數據 $x\{t\}$ ，其移動平均趨勢 $x'\{t\}$ 可為

$$x'\{t\} = \frac{x_i + x_{i-1} \cdots + x_{i-(n-1)}}{n}, i \geq n \quad (5-1)$$

其中 n 為回推之數量。

2、包絡線法

基於上述之移動平均趨勢方法，則可針對監測數據 $x\{t\}$ 提出其上下包絡線。其原理則利用移動平均趨勢得到之平均趨勢 $x'\{t\}$ ，藉以求取監測數據 $x\{t\}$ 對於平均趨勢 $x'\{t\}$ 之標準偏差 σ (Standard deviation)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - x'_i)^2}{m-1}}, i \geq n \quad (5-2)$$

其中 m 為平均趨勢 $x'\{t\}$ 之長度。利用上述標準偏差 σ ，以計算平均趨勢 $x'\{t\} \pm 3\sigma$ ，即能提供上下包絡線範圍，其包絡線將可涵蓋 99.7% 之監測資料，當異常監測資料大於此上下包絡線，則可視為一警訊，提供管理人員作一進步判釋使用。

(二) 非線性分析方法

1、R/S 分析法

對於一個時間序列 $\{x_t\}$ ，總數為 N ，把它分為 d 個等長子序列，其序列長度為 n （所以 $d=N/n$ ），對於每一個子序列，設訂其平均值 u_m 和標準差 S_m ， $m=1, 2, 3, \dots, d$ ，則舉第一組為例，其均值 (u_1) 與標準差 (S_1) 分別為

$$u_1 = \frac{\sum_{j=1}^n x_{1,j}}{n} \quad (5-3)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{1,j} - u_1)^2}{n}} \quad (5-4)$$

完成各區間之均值與標準差後，則一個子序列之累積離差序列 (Cumulative sum) X_m 可由下式計算

$$X_{m,i} = \sum_{j=1, m=1}^{i,d} (x_{m,j} - u_m), i = 1, 2, \dots, n \quad (5-5)$$

設定時間序列累積離差序列 X_m 之極差 R_m 為

$$R_m = \max(X_{m,i}) - \min(X_{m,i}) \quad (5-6)$$

則重極標差為 R_m/S_m ，則以某一子序列長度為 n ，共 d 個區間狀態下，所得到的重極標差平均值為

$$(R/S)_n = \sum_{m=1}^d (R_m/S_m) / d \quad (5-7)$$

其中 n 範圍為 $5 \sim N/2$ 。當時間序列 $\{x_t\}$ 為一常數非動態變化之資料(Stationart data)，則令 S_m 為 1。

根據 Hurst (1951) 當長度 n 的值很小 (d 值很大) 時， $(R/S)_n = c \cdot n^H$ 會成立，其中 c 是常數， H 稱為 Hurst 指數。因此透過以下式子，以不同子序列長度為 n 以及對應之重極標差平均值 $(R/S)_n$ ，迴歸計算 $\ln(R/S)_n$ 與 $\ln(n)$ 之斜率 (可用最小平方差方式迴歸)，則可以求得 Hurst 指數

$$\ln(R/S)_n = \ln c + H \cdot \ln(n) \quad (5-8)$$

Hurst (1951) 提出當 H 等於 $1/2$ ，則代表時間序列 $\{x_t\}$ 為互相獨立，即過去的增量與未來的增量不相關，時間序列隨機游走；當 $1/2 < H < 1$ 時，則時間序列 $\{x_t\}$ 互相關係，事物所處狀態愈不發生改變；當 $0 < H < 1/2$ 時，則代表時間序列 $\{x_t\}$ 過去增量與未來增量呈現負相關，即事物狀態呈現相反方向變化。

2、尖點突變理論分析法

考量一單變數之連續函數，可用 Taylor 展開式寫為

$$y = f(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n + \dots \quad (5-9)$$

上式中 t 為時間， y 為對應 t 之變化 (如位移、水位)， a_n 為待定之常數。一般而言，當 $n=4$ 時已可反應一定規律之時間序列。所以上式近似為

$$y = f(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 \quad (5-10)$$

對於上式作變數變換，化作為尖點突變的標準式為

$$\begin{aligned} t &= z_t - q \\ q &= \frac{a_3}{4a_4} \end{aligned} \quad (5-11)$$

則將 5-11 式代入 5-10 式，則可求得

$$\begin{aligned} y &= b_4 z_t^4 + b_2 z_t^2 + b_2 z_t^2 + b_0 \\ b_0 &= a_4 q^4 - a_3 q^3 + a_2 q^2 - a_1 q + a_0 \\ b_1 &= -4a_4 q^3 + 3a_3 q^2 - 2a_2 q + a_1 \\ b_2 &= 6a_4 q^2 - 3a_3 q + a_2 \\ b_4 &= a_4 \end{aligned} \quad (5-12)$$

再將上述作進一步之變數變化，令

$$z_t = \sqrt[4]{\frac{1}{4b_4}} z \quad \text{as } (b_4 > 0) \quad \text{或} \quad z_t = \sqrt[4]{-\frac{1}{4b_4}} z \quad \text{as } (b_4 < 0) \quad (5-13)$$

這裡先初步針對 $b_4 > 0$ 之情況加以分析，將上式代入 5-12 式，則可求得

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{4} z^4 + \frac{1}{2} \alpha z^2 + \beta z + \lambda \\ \alpha &= \frac{b_2}{\sqrt{b_4}} \\ \beta &= \frac{b_1}{\sqrt[4]{4b_4}} \end{aligned} \quad (5-14)$$

其中 $\lambda = b_0$ 可忽略，因此基於上述式子，即為以 z 之狀態變數，以 α 與 β 為控制變數之尖點突變模式。由突變理論得知，平衡曲面方程式為

$$z^3 + \alpha z + \beta = 0 \quad (5-15)$$

其分叉集方程式為

$$4\alpha^3 + 27\beta^2 = 0 \quad (5-15)$$

當控制變數 α 與 β 滿足 5-15 式時，其系統認為是穩定。

分叉集方程式為一個半立方拋物線，如圖 5-6。於(0,0)位置時有一尖點。分叉集方程式將控制變數平面分為兩個區間，當在區間 E 時，則 $4\alpha^3 + 27\beta^2 = D$ ， $D > 0$ ，其系統屬於穩定；反之，在區間 J，則 $4\alpha^3 + 27\beta^2 = D$ ， $D < 0$ ，系統將有三個平衡點，其中一個屬不穩定，因此判斷不穩定點應滿足

$$\text{grad}_z(\text{grad}_z y) = 3z^2 + \alpha < 0 \quad (5-15)$$

因此綜合上述可知，當系統發生突變時，對應兩種條件為(1) $D=0$ ，以及(2) $D < 0$ 且 $3z^2 + \alpha < 0$ 。

(三)資料驗證

基於上述規劃，本計畫將以既有資料加以輔助驗證，因此本計畫將初步規劃以九份二山作為一現有尚為穩定之堰塞湖驗證範例，以九份二山之初步收集資料內容，包含以下原始資料（農委會水土保持局，民國 92~98 年）：

1. 崩塌區觀測樁位移計（91/05~97/10）
2. 堆積區觀測樁位移計（93/07~97/10）
3. 韭菜湖溪水位（94~100）
4. 澀仔坑溪水位（94~100）
5. 崩塌區地下水位（99~100）
6. 堆積區地下水位（94~100）
7. 觀景台位移（99~100）

上列資料已輸入監測數據處理分析系統數據資料庫，本計畫嘗試利用上述九份二山之位移計資料，並配合假設大量位移變化驗證之下，R/S 分析方法與尖點突變理論均能反映資料趨勢。例如當新一筆位移計資料維持相同趨勢時，R/S 分析方法之 Hurst 指數大約高於 0.7，尖點突變理論分析之 D 值大於 0；而當新一筆資料突然變化劇烈，則 R/S 分析方法之 Hurst 指數則會快速下降，尖點突變理論分析之 D 值小於 0。因此目前驗證利用 R/S 分析方法之 Hurst 指數，與尖點突變理論分析之 D 值，可提供一監測資料穩定是否之判釋依據。相關進階分析程式介面如圖 5-7 進階資料查詢開發介面(a)單一監測資料分析所示，利用查詢資料結果，即可直接求得 R/S 分析方法之 Hurst 指數與尖點突變理論分析之 D 值。

經過本計畫初步資料驗證測試，目前上述四種分析方法均可提供其相關統計功能，然而其中以 R/S 分析方法為例，對於常態穩定資料（無變化之極端狀態），目前無法提供良好統計結果。

另外本計畫考量多變數比較分析，例如雨量與水位或位移關係，另行提供如圖 5-7 進階資料查詢開發介面(b)兩組監測資料比對分析，藉以提供不同監測數據直接比對，以及其趨勢線。回顧本計畫目前所提供之資料統計預報方法，包含移動平均、包絡線、R/S 分析方法，以及尖點突變理論分析之原理與應用說明，整理如表 5-1。

綜合本子系統主要功能為數據管理、專題圖分析及統計分析，相關呈現方式與功能則參考下節說明。預期其成果不僅可因應堰塞湖緊急處置，也能支援可能長期監測，整體成果將支援對災害的預測評價。

表 5-1 資料統計預報模式

分析模式	分析主要原理	應用限制	參考文獻
移動平均趨勢線	利用移動平均趨勢方式 (Moving average)，能剔除變異較大之資料，掌握整體監測數據之移動線型。	適用於有一定趨勢之資料，對於短時間變化劇烈之資料不適用。另外需要專業人工判釋輔助	水利署(2005)
包絡線	其原理則利用移動平均趨勢得到之平均趨勢，藉以求取監測數據對於平均趨勢之標準偏差，作為包絡線依據	對於隨時間變化劇烈之資料適用性較差。另外需要專業人工判釋輔助	水利署(2005)
R/S 分析法	可衡量在一個時間序列中，到底是否存在長記憶的現象或隨機現象；對於不常發生的現象具有很好的解釋能力	適合於常時變動資料分析，對於無變動資料靈敏度較差	Hurst (1951) Mandelbrot (1972, 1982) 柳雅澗 (2007) 賀可強等 (2007)
尖點突變理論分析法	主要用來研究不連續現象，特別適用於描述作用力或動力的漸變導致狀態突變的現象	可同時應用於一般變化緩慢或劇烈之資料，但分析技術門檻較高	Thom (1972) 秦四清等 (1993) 龍輝等 (2002) 賀可強等 (2007)

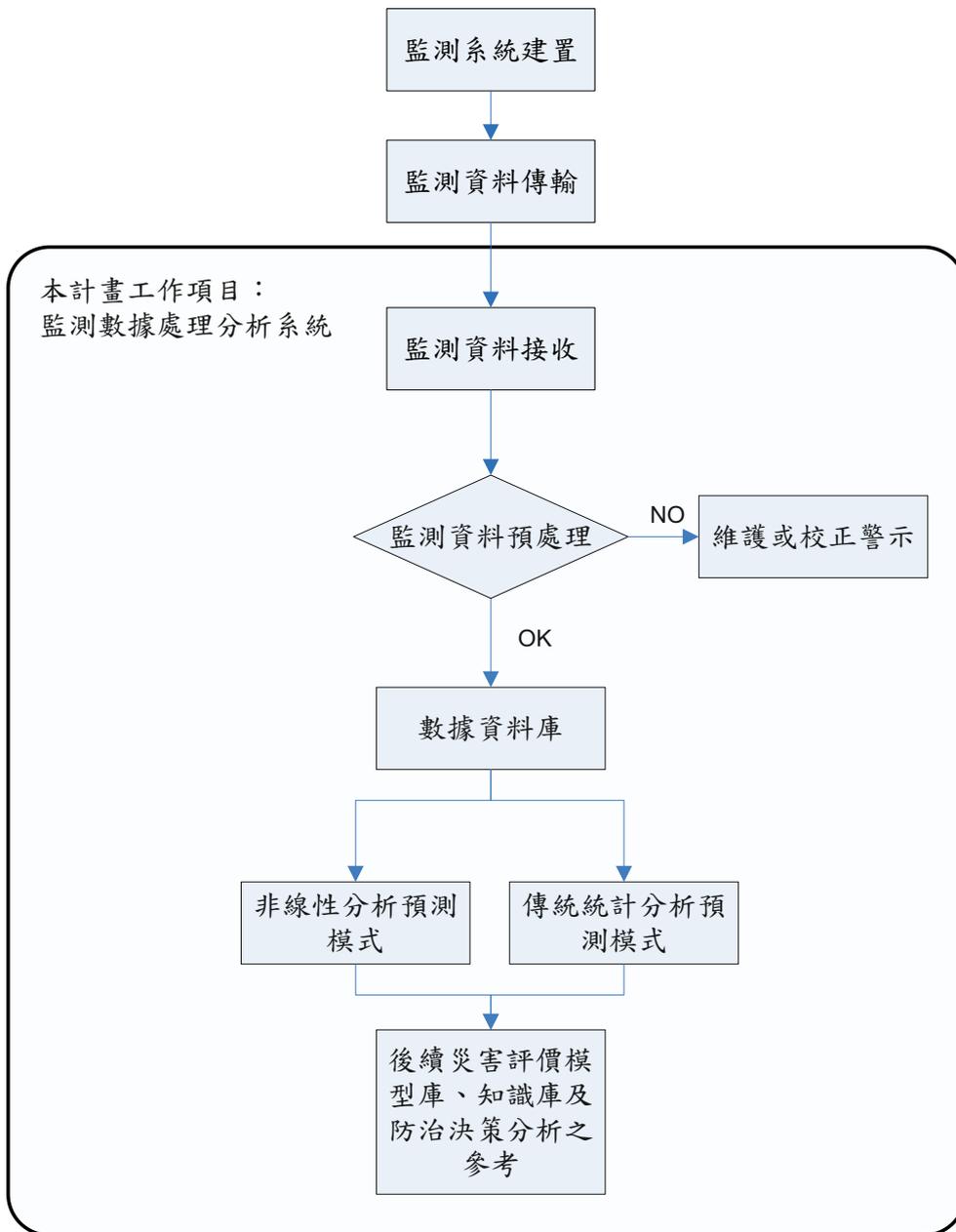


圖 5-1 監測數據處理分析系統架構與流程

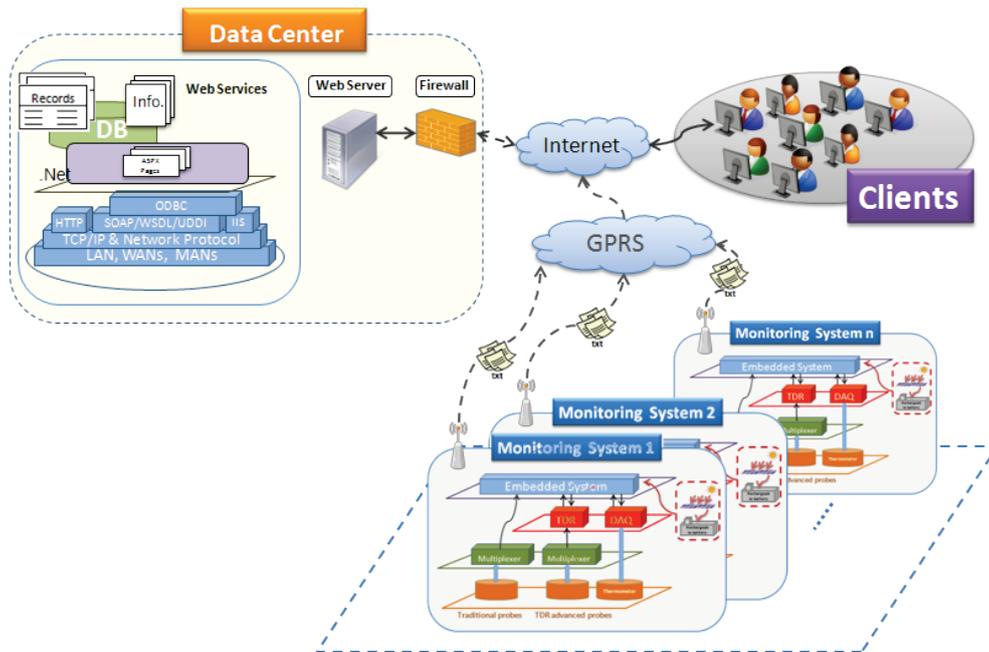


圖 5-2 TDR 感測平台資訊系統架構圖 (戴子強, 2010)

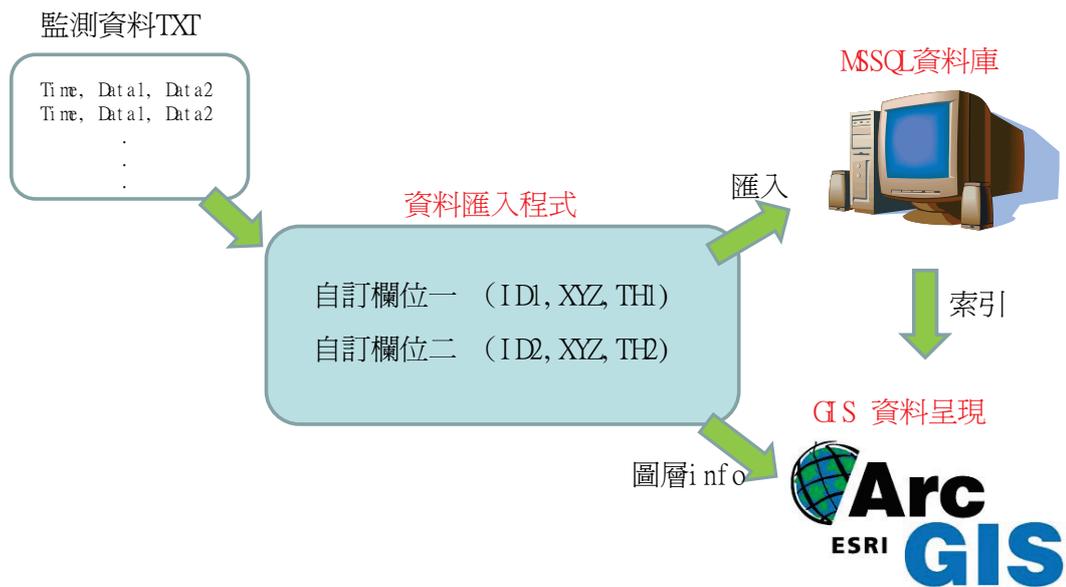


圖 5-3 測量接收處理系統流程

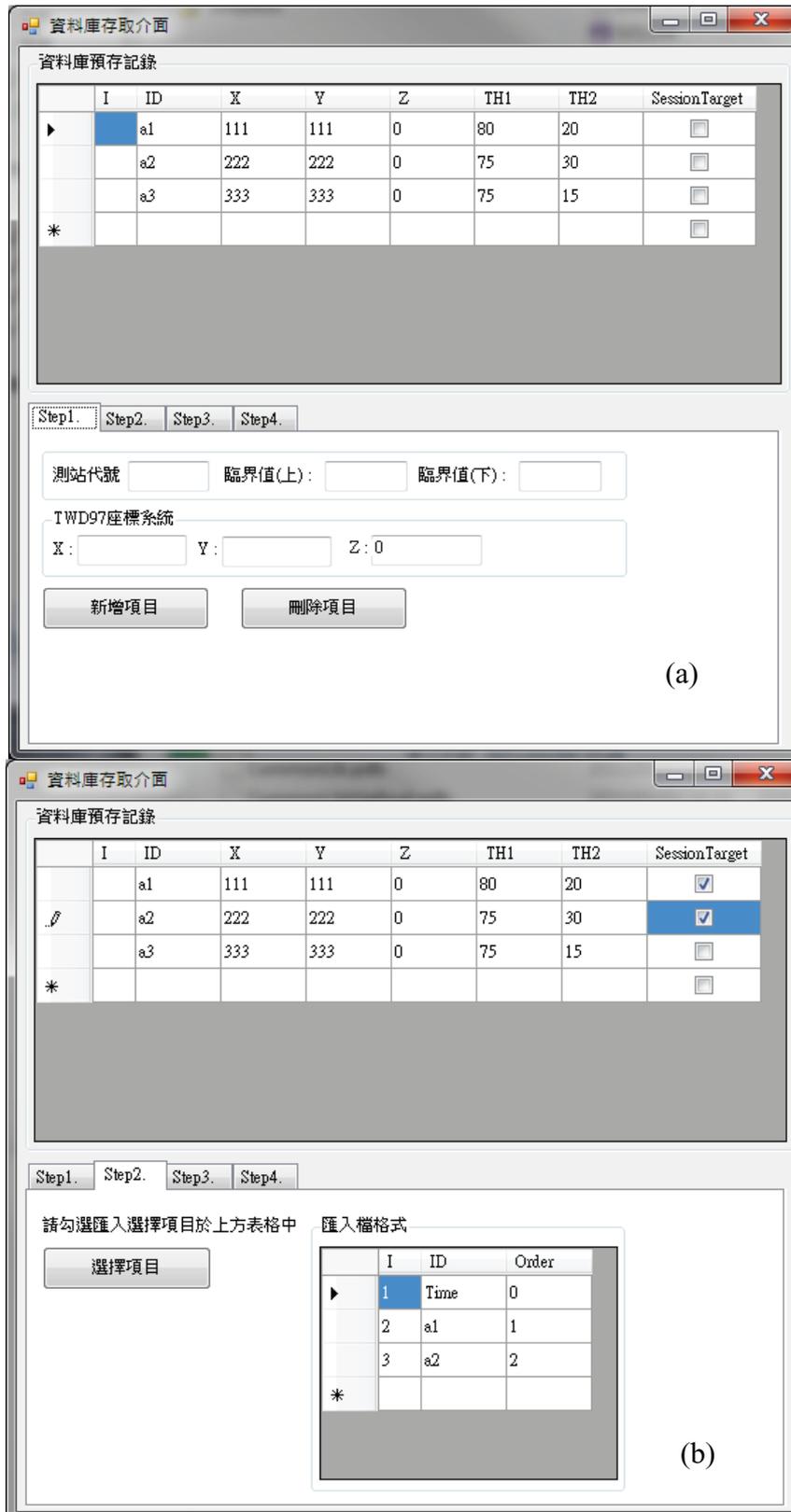


圖 5-4 (a)測量接收處理系統開發介面 Step1 (b) 介面 Step2



(c)



(d)

圖 5-4(續) (c)介面 Step3 (d)介面 Step4

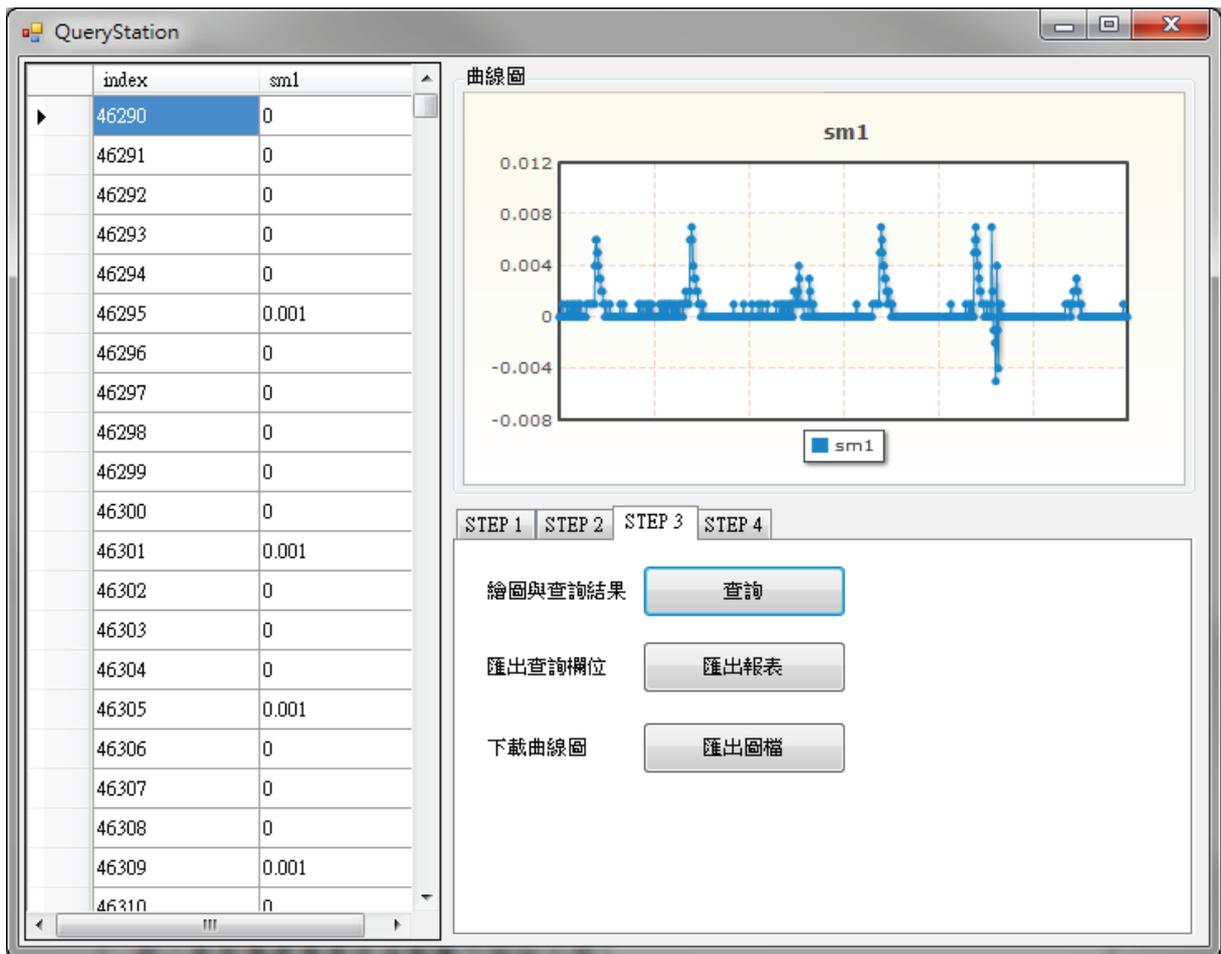


圖 5-5 GIS 資料查詢開發介面

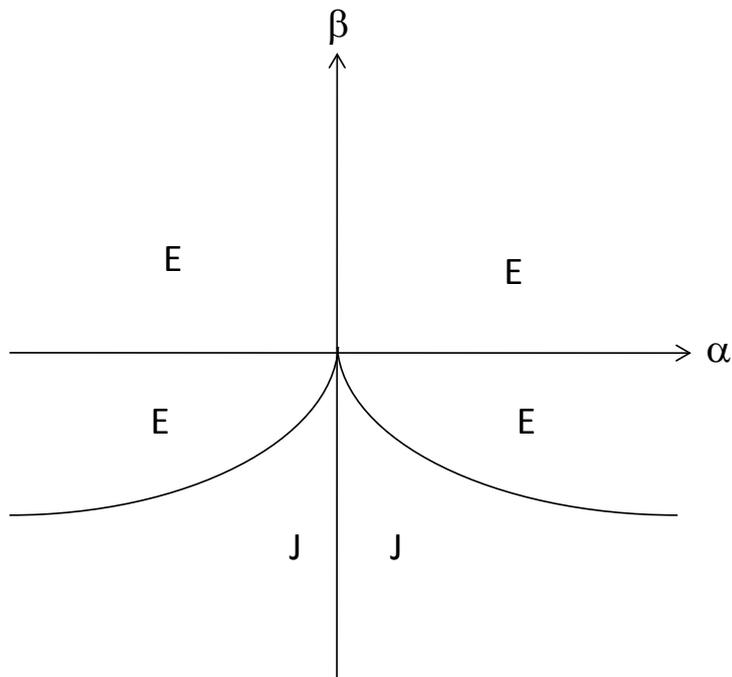


圖 5-6 分叉對控制空間之劃分 (秦四清等人, 1993)

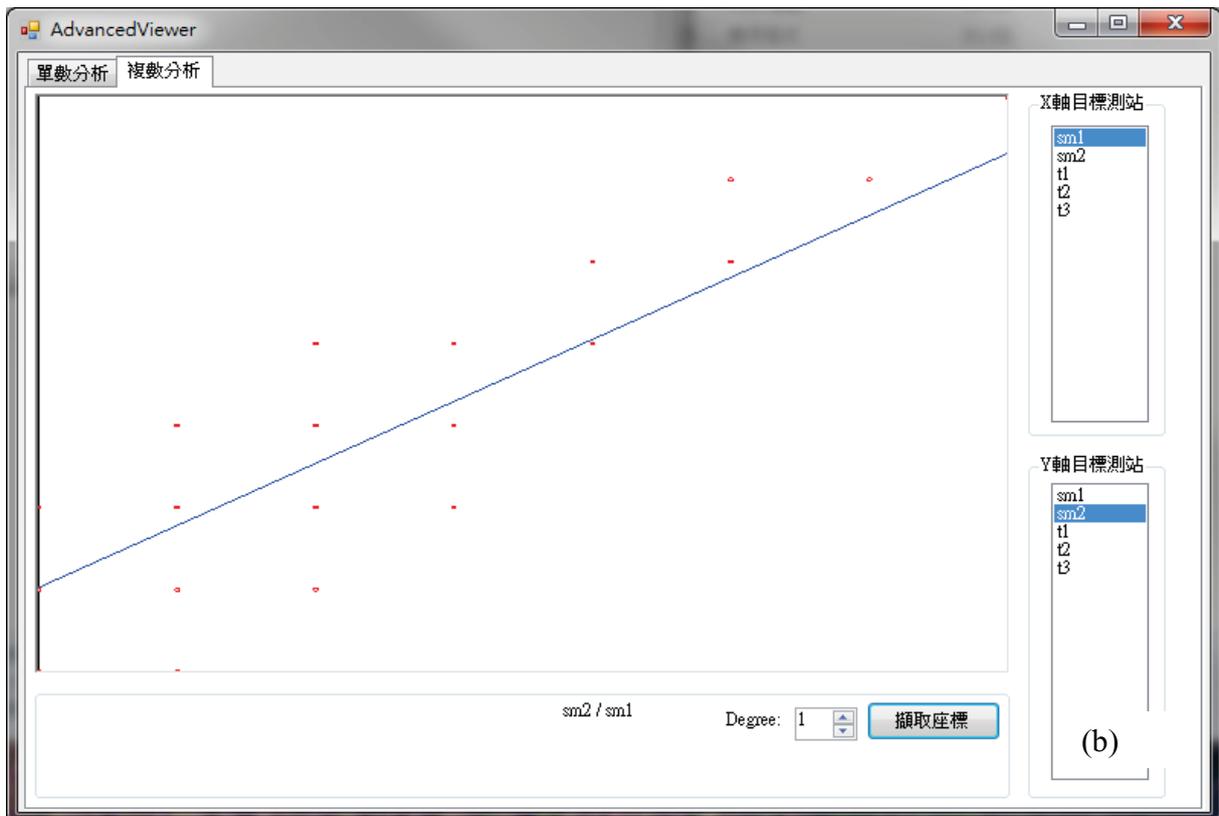


圖 5-7 進階資料查詢開發介面(a)單一監測資料分析(b)兩組監測資料比對分析

第陸章 堰塞湖處置資訊管理系統建置

堰塞湖處置資訊管理系統作業之環境採用美國 ESRI 公司 Arcview 地理資訊系統作為開發介面，並採用 3D 分析模組及空間分析模組，以視覺化展示數值模型成果及輔助決策研擬。座標系統亦整合於共同系統，包括 TWD67 二度橫麥卡脫投影系統、地震後重測 TWD97 系統與部份地籍資料的轉換。

資訊管理系統功能預先載入蒐集之成果，其中分為兩類，第一類圖層範圍包含全台灣，內容如下：城市界、基本資料(河道、河川、水庫壩堰、水門及堤岸或護岸)、水文測站(河川水位站、河川流量站及雨量站)、敏感地質(土石流潛勢溪流及崩塌地)、五千分之一圖框；第二類圖層以模擬案例為主，內容如下：兩萬五千分之一地形圖(三角點、山名、水準點、註記、道路及等高線)、流域地質圖(斷層線、褶皺線、調查點及地層面)及國土利用，詳細資料內容詳如第貳章之表 2-1 所示。

本章節僅介紹管理系統之功能，詳細之系統需求、資料架構、安裝步驟、資料取得及功能請參考附錄六堰塞湖處置管理系統使用者手冊。

一、資料庫管理

堰塞湖處置資訊管理系統以堰塞湖個案建置，當有堰塞湖發生時，可以地名或特殊地標定義，即可啟動系統。系統中預設載入本計畫蒐集之基本資料，後續進行之調查、監測、及資料蒐集等則獨立存在於該堰塞湖資料中，堰塞湖處置資訊管理系統介面如圖 6-1 所示。

進入系統後，可見如圖 6-2 之配置，除了 ArcView 之系統功能外，本計畫開發一個堰塞湖處置管理系統工具列，內容包含基

本資料查詢、監測數據處理分析系統、災害評價模型庫、知識庫及輔助決策研擬及相關資料。圖 6-2 以莫拉克颱風後所拍攝之正射影像及城市界為底圖，圖左上為堰塞湖處置資訊管理系統工具列，工具列地圖如圖 6-3 所示。下面就分項功能作敘述：



圖 6-1 堰塞湖處置資訊管理系統介面

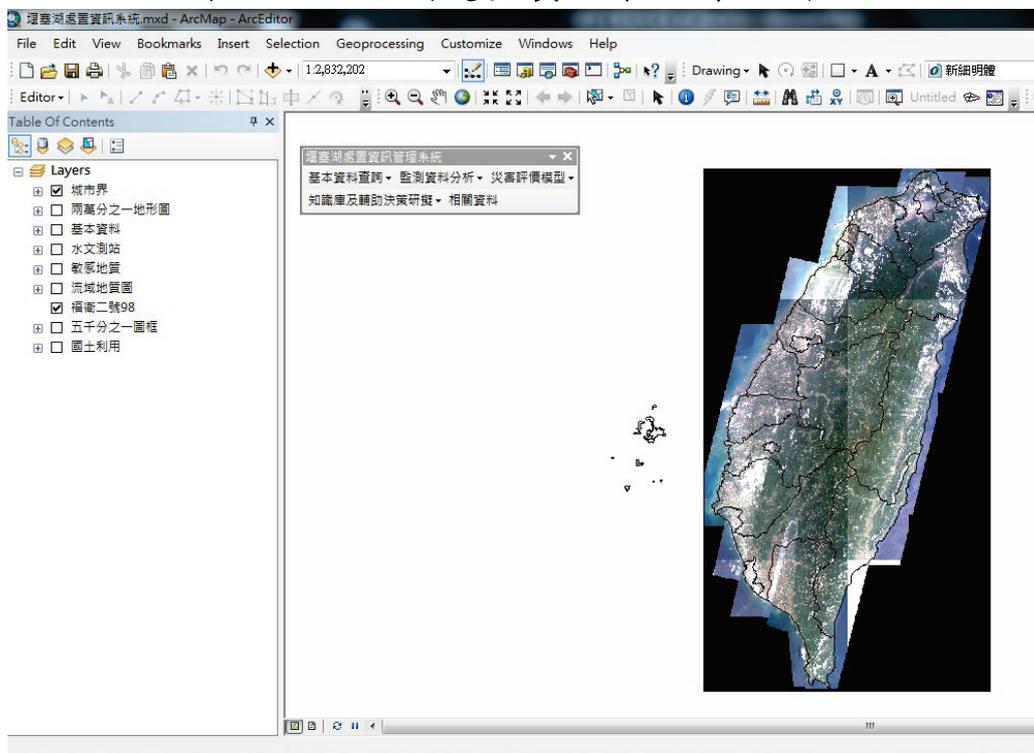


圖 6-2 堰塞湖處置資訊管理系統介面

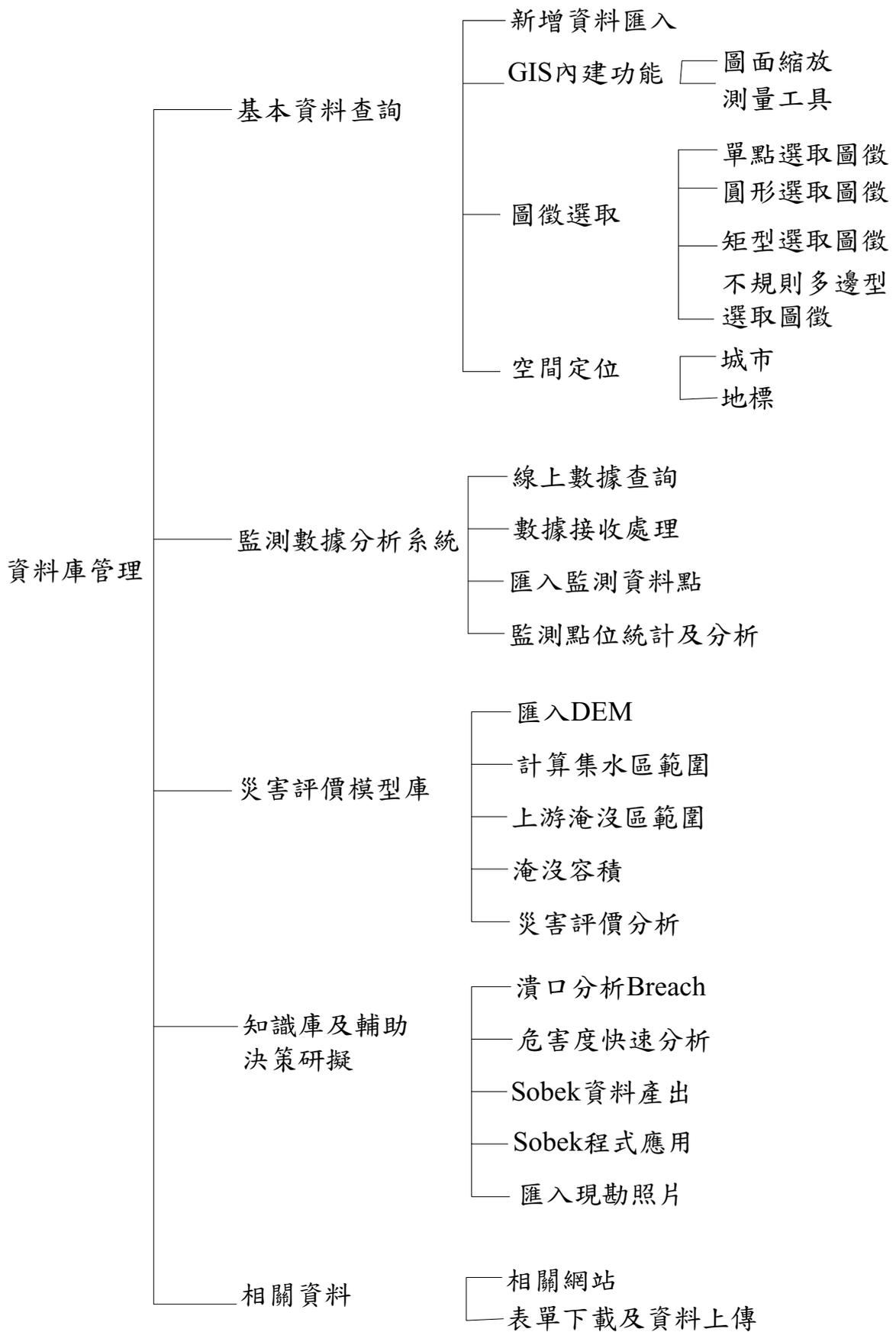


圖 6-3 堰塞湖處置資訊管理系統工具地圖

二、基本資料查詢

堰塞湖形成後人員需於堰塞湖形成後初步瞭解地質、地形、災害等概況，如圖 6-4 所示。介面提供新增資料匯入、GIS 內建功能、圖徵選取及空間定位等功能。本處納入之 GIS 內建功能為使用者較常應用之功能，其他功能仍可應用 GIS 已開發之工具列。以下針對各項作介紹。



圖 6-4 基本資料查詢工具列內容

(一)新增資料匯入

除既有已蒐集之基本資料外，介面提供使用者將另行蒐集之資料匯入系統之功能，如較大比例尺之 DEM、正射影像、地質圖、地形圖等圖資。

(二)GIS內建功能

1、圖面縮放

提供放大、縮小、倍率縮放、比例縮放等功能。

2、測量工具

提供於圖面上直接量取距離。

(三)圖徵選取

1、單點選取圖徵。

2、圓形選取圖徵

以圓形方式，將半徑範圍內圖徵選取出來，比如要列出半徑多少公里內的學校有哪幾處。

3、矩形選取圖徵

以矩形方式選取查詢。

4、不規則多邊形選取

以不規則多邊形選取方式查詢。

(四)空間定位

1、城市查詢定位

城市查詢定位將以城市界為圖資做查詢定位，如圖 6-5。

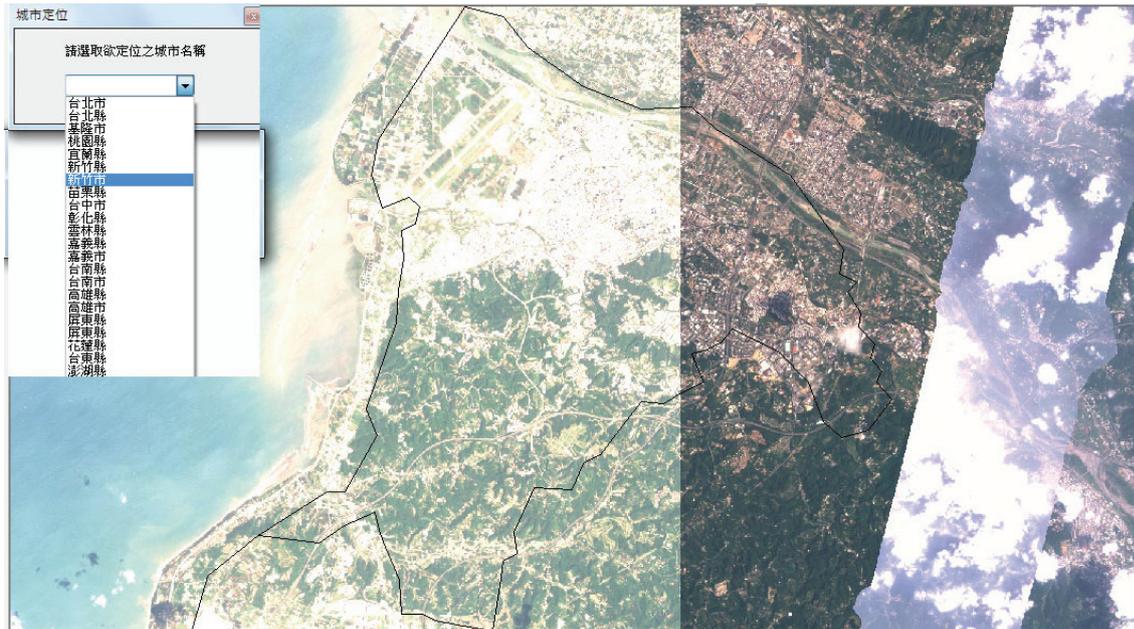


圖 6-5 城市查詢定位視窗

2、地標查詢定位

地標查詢定位以兩萬五千分之一地形圖註記圖資做查詢定位，由於註記會有一樣之地名，定位前先鍵入地名進行搜尋，系統會將同樣名稱之註記列出，使用者在選擇地名後點選定位，如圖 6-6 所示。

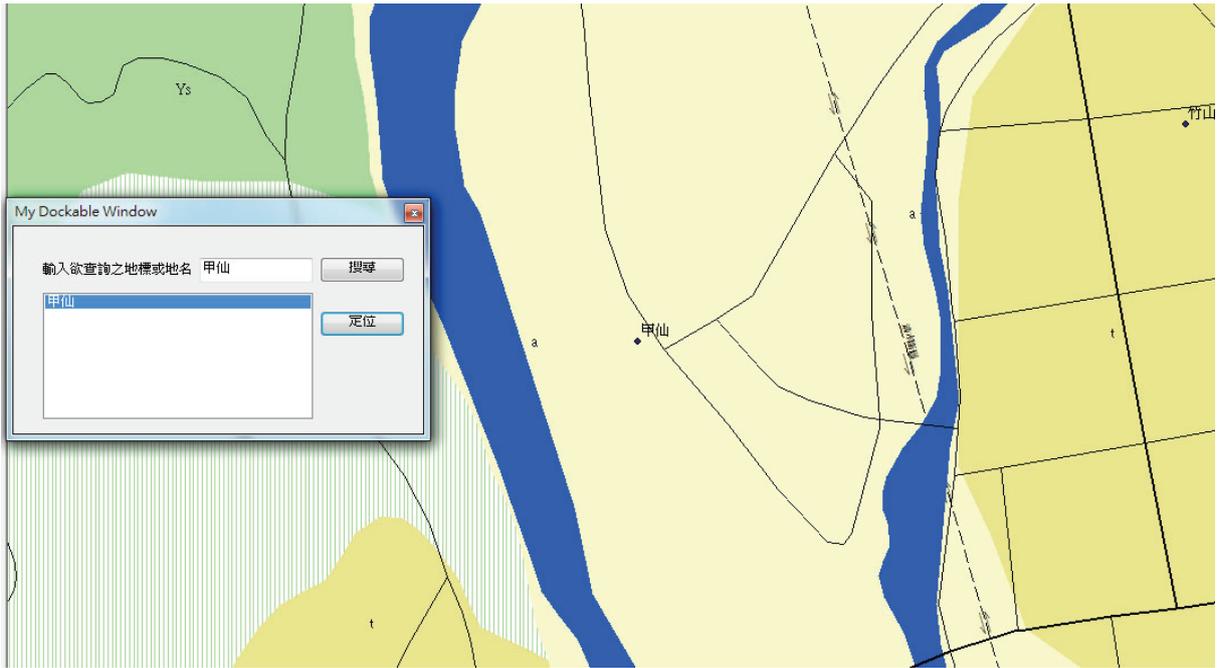


圖 6-6 地標查詢定位視窗

三、監測數據處理分析系統

依據前項所建立之監測數據分析，將現地監測之數據動態輸入，以作為後續評估資料。另外，本計畫亦提供利用經濟部水利署水資源資訊平台服務即時獲取河川水位及雨量資料，該平台建立之目標為透過建立單一入口之資訊服務平台，整合水利署內各資訊系統，使資訊的取得暢行無阻。

監測資料分析之工具列包含線上數據查詢、數據接收處理、匯入監測資料點及監測點位統計及分析，如圖 6-7 所示。



圖 6-7 監測資料分析工具列

(一) 線上數據查詢

本計畫於水資源資訊平台申請堰塞湖處置資訊管理系統，及水利署水情資料服務，透過該服務供使用者可線上查詢 7 日內之河川水位及雨量資料。

線上數據查詢已預先將申請好之應用程式識別碼、密碼及服務識別碼填入，不需在額外申請使用。使用者可選擇水位站或雨量站進行查詢。介面如圖 6-8。系統預載水位站及雨量站之站名，使用者由管理系統可查詢鄰近堰塞湖之測站站名，使用站台搜尋找到該站名稱後，拖曳滑鼠選擇查詢日期區間(最多單筆七天)及選擇站名，並點選開始查詢。查詢成果以表格及圖表顯示，表格及圖表均可匯出供後續報告撰寫。另外，提供不分區下載報表，以供後續 Sobek 分析使用雨量及水位資料。本功能僅適用於水利署網域。



圖 6-8 水資源資訊平台查詢界面

(二) 數據接收處理

數據接收主要將於現地所監測之數據，自動轉換格式匯入

資料庫中，若為新增測點則需鍵入測點座標，若為既有測站則持續匯入數據。

匯入資料一共包含 4 個步驟，第一步驟為新增測站資訊(a)，欄位包含測站代號，監測資料之上下臨界值及座標，若匯入既有測站則略過；第二步驟為選擇匯入之測站代號(b)；第三步驟為輸出 GIS 所需測站屬性(c)；第 4 步驟為選取資料檔及 Log 路徑，本系統可選擇匯入周期，若該資料夾與監測儀器為同步，設定周期可依序將監測儀器所產生之資料批次匯入資料庫中，若為單筆資料則選 0(d)。

(三) 匯入監測資料點

前項數據接收處理所匯出之測站屬性，可利用匯入監測資料點工具列將其轉換為 GIS 格式，使用者需命名監測資料檔案名稱並選取前項所匯出之檔案位置，即可執行如圖 6-9。

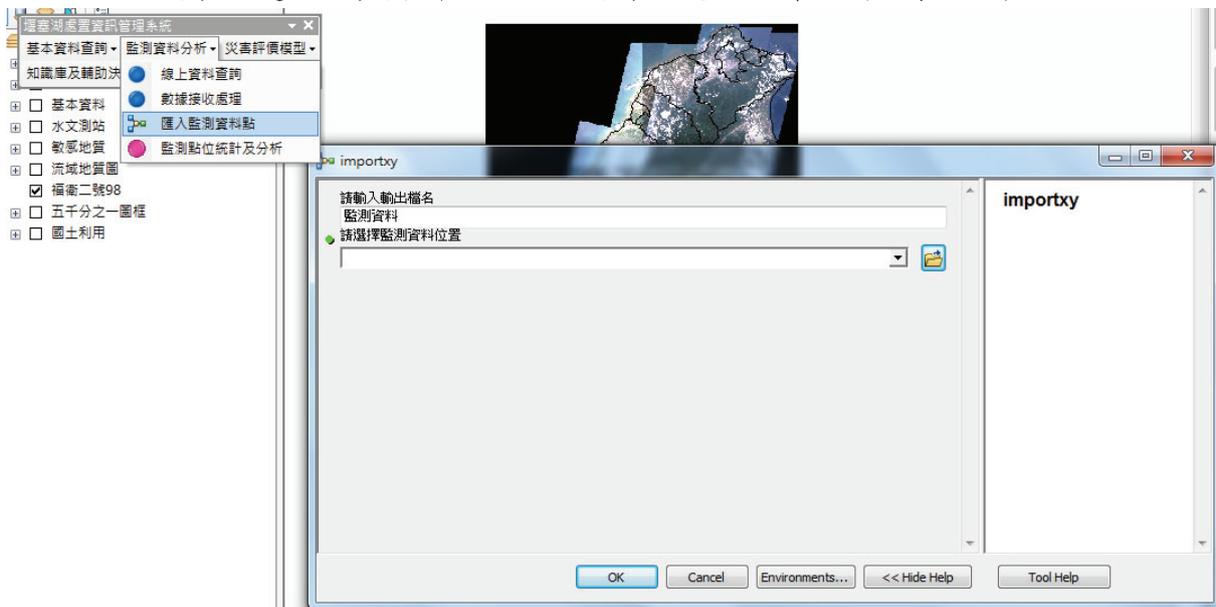


圖 6-9 匯入監測資料點位視窗

(四) 監測點位統計與分析

匯入資料庫之監測資料可進行統計與分析，使用者於點選該工具後，直接圈選欲統計與分析之點位，即會跳出如圖 6-10 視窗，可拖曳滑鼠選擇查詢日期區間，結果會以表格及圖表顯

示，可將表格及圖表匯出。

利用第五章所提出之監測數據分析，點選圖 6-10 進階查詢，可查詢單數分析及複數分析。單數分析可直接求得 R/S 分析方法之 Hurst 指數與尖點突變理論分析之 D 值，如圖 5-7(a)；複數分析提供不同監測數據直接比對，以及其趨勢線如圖 5-7(b)。

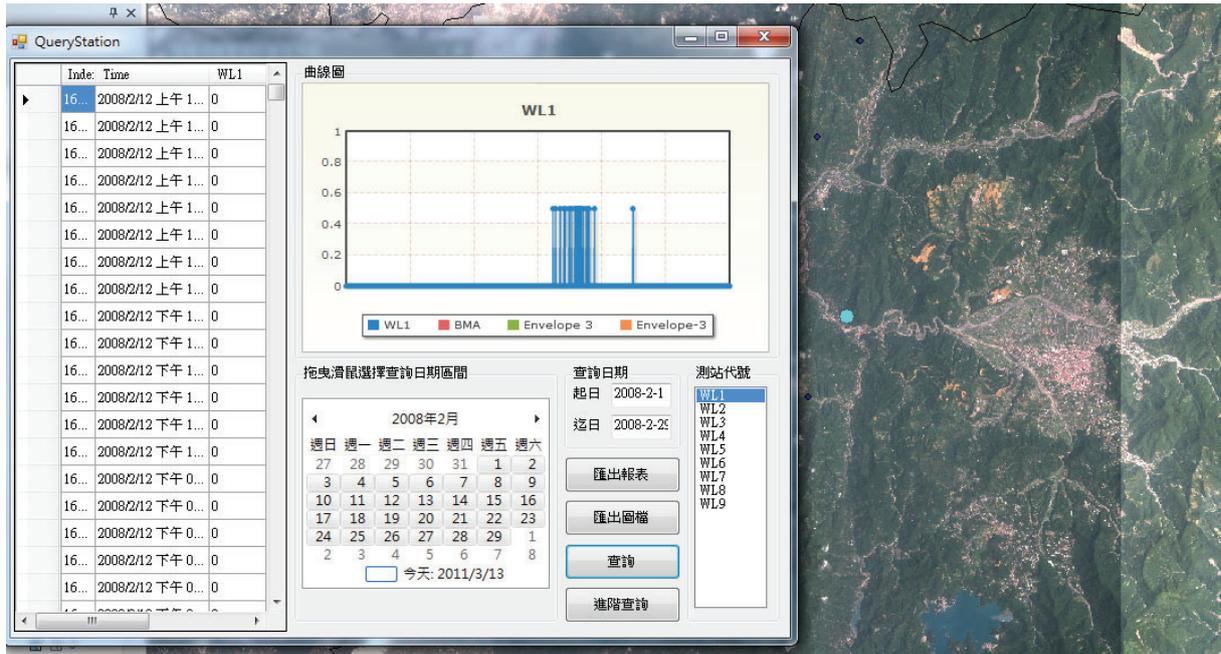


圖 6-10 監測點位統計與分析視窗

四、災害評價模型庫

依據前項堰塞湖形成後天然壩潰決危險度評估方法所建立之分類法，於資訊系統內資料進行統計或面積計算，獲得精簡之統計資訊，並佐以人員實地勘查所得之成果，根據建立之危險度指標視窗化進行危險度分級。災害評價模型包含匯入 DEM、計算集水區範圍、計算淹沒區範圍、崩塌地容積及災害評價分析(圖 6-11)。

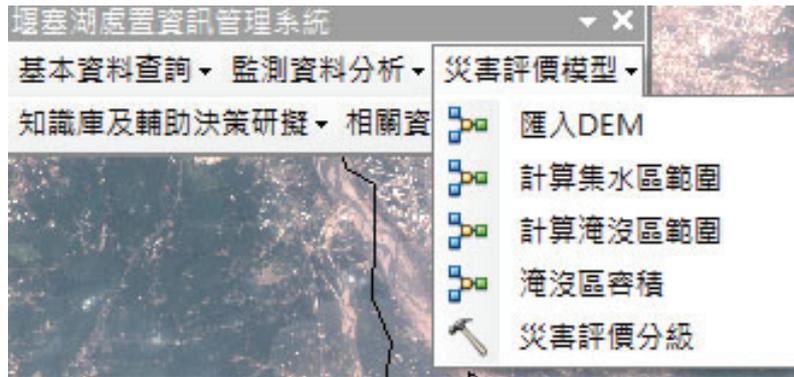


圖 6-11 災害評價模型庫工具列

(一) 匯入DEM

使用者將所蒐集到之 DEM 匯入運算，初期可採用林務局 40*40 公尺 DEM，後續可向內政部申請 5*5 公尺之 DEM 進行運算，如圖 6-12。本工具計算無窪地流向及匯流累積量以供後續集水區範圍及淹沒區計算使用。

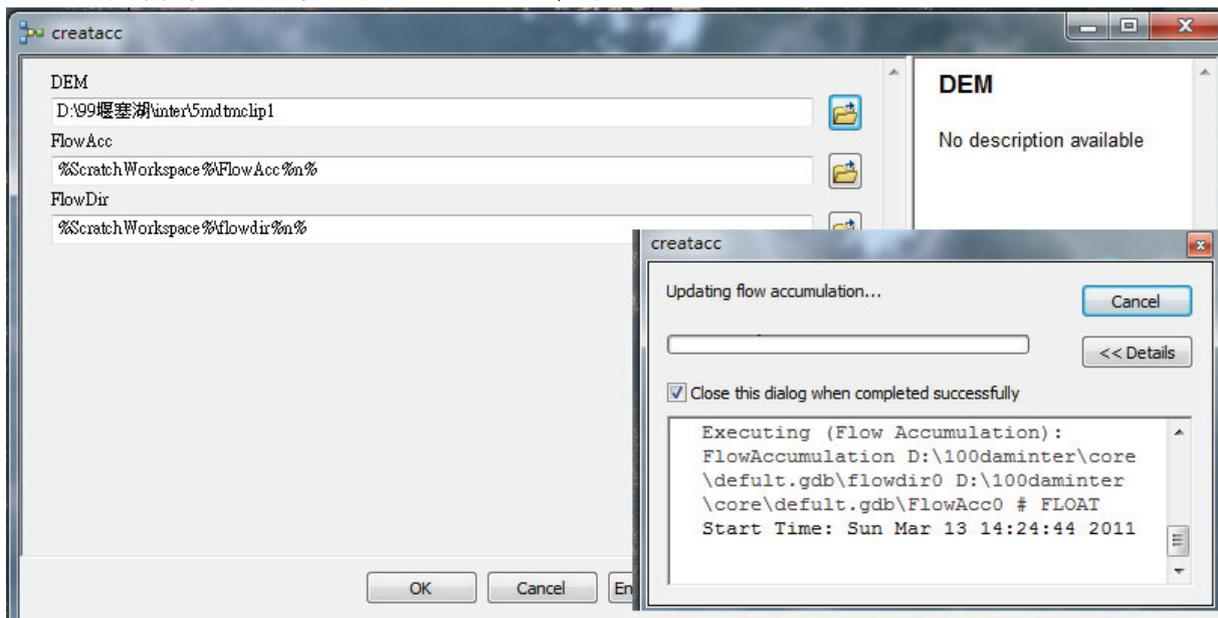


圖 6-12 匯入 DEM 視窗

(二) 計算集水區範圍

使用者可輸入阻塞點位置並指定參考之 DEM，程式則利用前項所建立之無窪地流向及匯流累積量進行運算，成果將輸出阻塞點上游集水區範圍及面積如圖 6-13。圖 6-13 右為集水區範圍，點選屬性可知集水區面積。

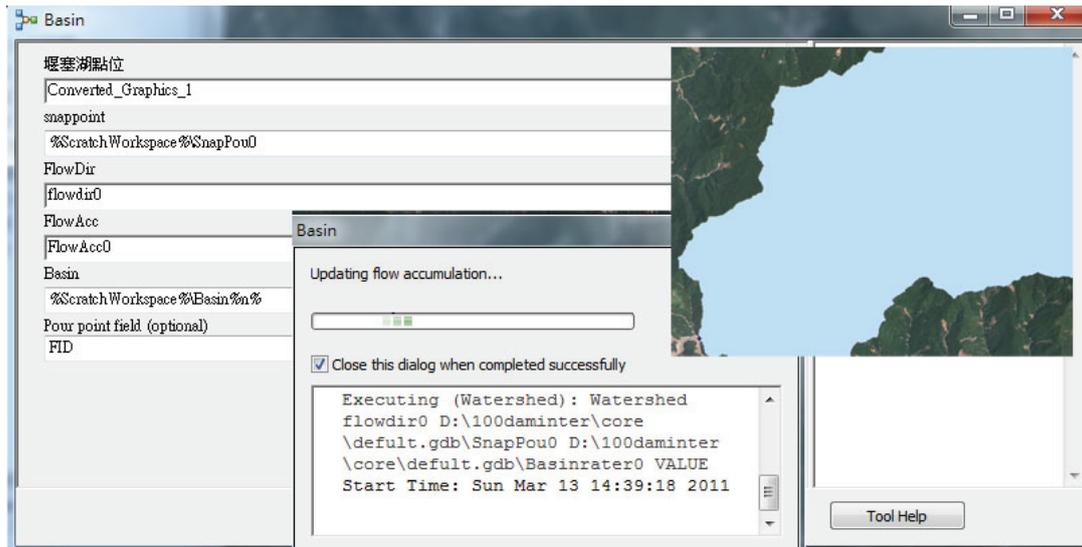


圖 6-13 計算集水區範圍視窗

(三) 上游淹沒區範圍

尚未取得正射影像或福衛影像前，本工具得令使用者預先計算，在不同堰塞湖水深下，上游淹沒區之範圍如圖 6-14 所示。圖 6-14 上輸入起始及結束水深為 30 跟 60 公尺，間距為 10 公尺，點選 OK 後，即可計算出如圖 6-14 左下，水深 30、40、50 及 60 公尺之淹沒區域。當使用者獲得正射影像或福衛影像後，亦可比較實際淹沒區範圍與預先計算之淹沒區所對應之水深，圖 6-15 為淹沒水深 50 公尺與正射影像之比對，其淹沒範圍約略相當。

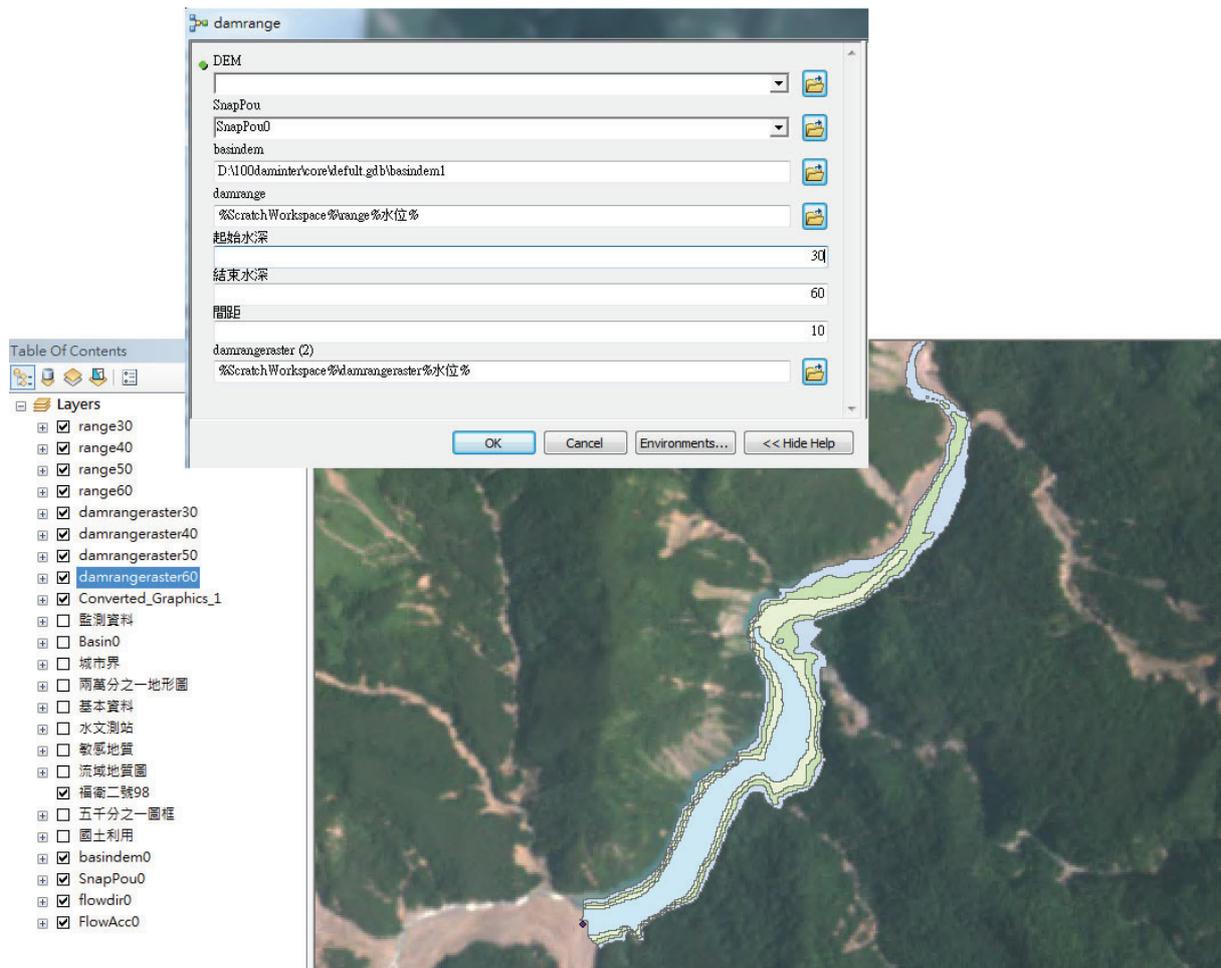


圖 6-14 上游淹沒區範圍



圖 6-15 上游計算之淹沒區與正射影像比對

(四)淹沒容積

針對前項所計算之淹沒區範圍，皆可利用匯入之 DEM 計

算此範圍下之淹沒容積。圖 6-16 為套用淹沒水深為 50 公尺計算出之蓄水量，其蓄水量約為 8,342,502 立方公尺。

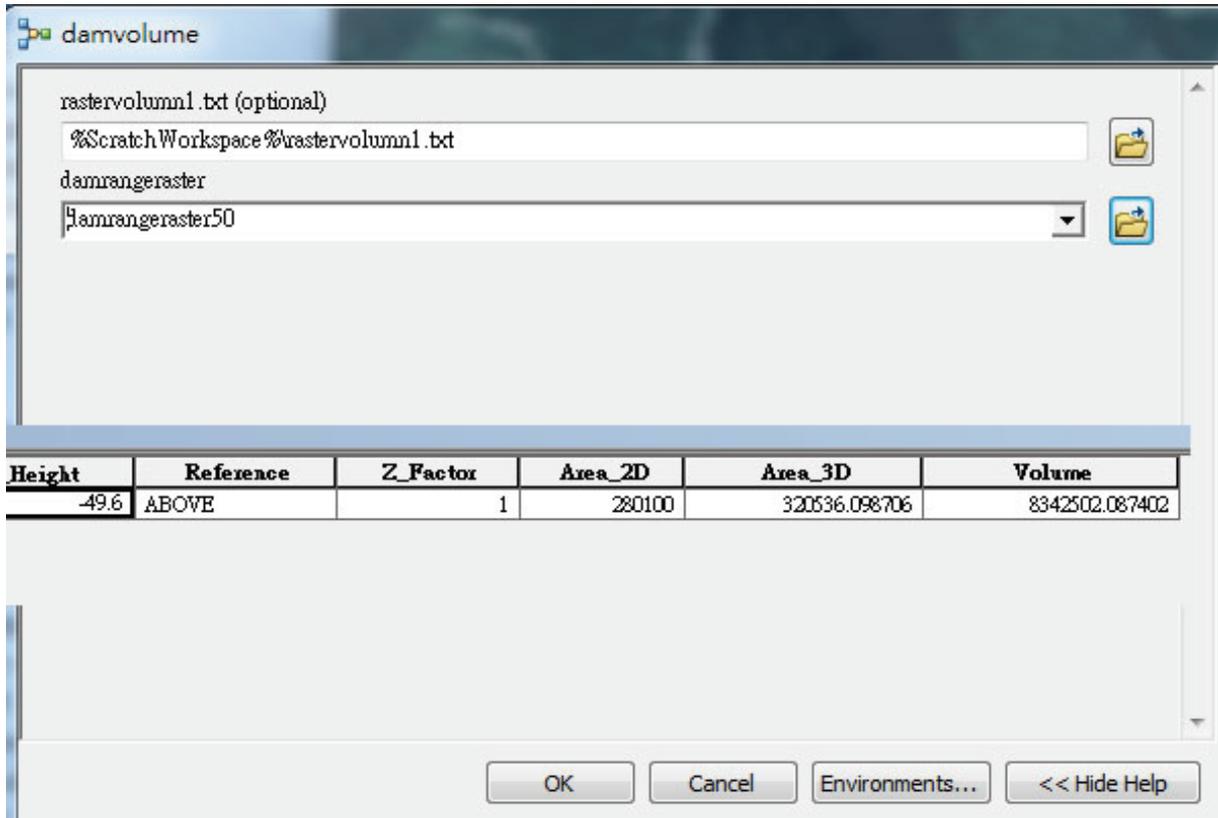


圖 6-16 淹沒容積視窗

(五) 災害評價分析

利用既有資料、集水區面積、蓄水量等指標項目套用前項天然壩潰決危險度評估方法進行災害評價分析。使用者依據獲得之資料輸入參數，參數包含集水區面積 A、壩高 H、體積 V、壩寬 W、壩長 L 及尖峰流量 P 後，點選 DBI 無因次阻塞指標、鑑別分析模式(PHWL_Dis)、鑑別分析模式(AHWL_Dis)、邏輯斯迴歸模式(PHWL_Log)及邏輯斯迴歸模式(AHWL_Log)，可分別計算出天然壩之穩定狀態，邏輯斯迴歸模式亦可用來評估天然壩破壞機制(圖 6-17)。輸入完成後，可點選匯入資料庫，系統會記錄匯入之時間，並紀錄各評價公式之成果，若因參數不足無法運算，則以 N/A 表示之。堰塞湖發生後，參數會隨著資料及時間取得而有改變。使用者可依據時間查詢歷次選用之參

數，如圖 6-18。

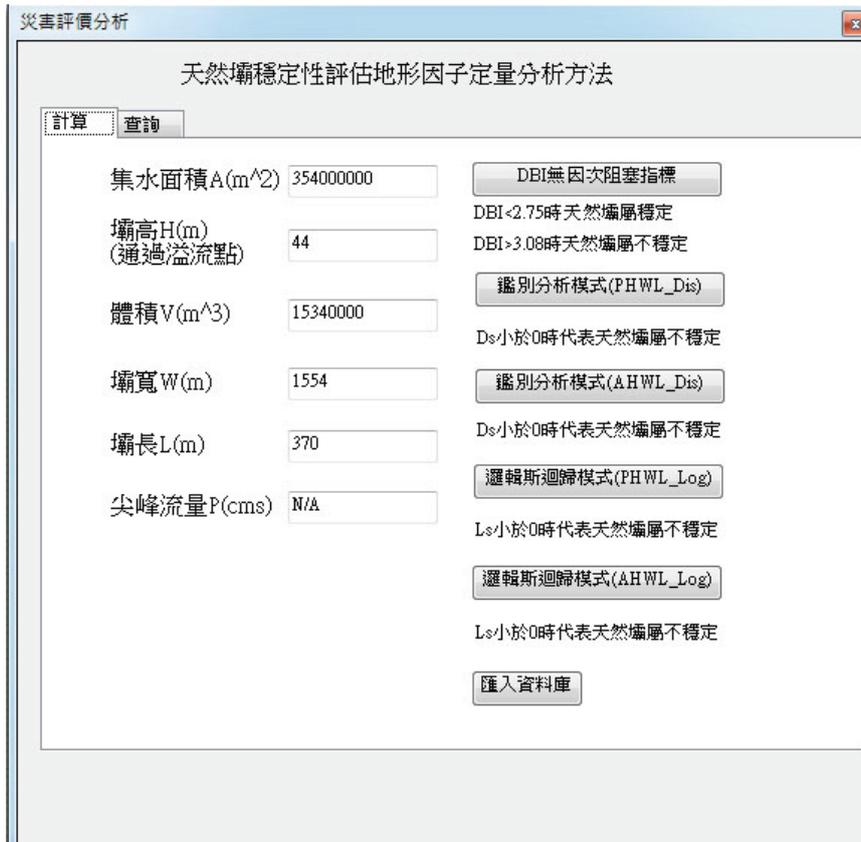


圖 6-17 災害評價分析視窗



圖 6-18 災害評價分析查詢視窗

五、知識庫及輔助決策研擬

前述對於上游迴水淹沒範圍評估及壩潰決對下游之危害度評估所採用之數值模式，以視窗化將數值模擬所需數據輸出並以

圖形化呈現運算成果，其成果整合於相關背景資料及圖像(如照片、影片)，以輔助防治決策之研擬。知識庫及輔助決策研擬包含潰口分析 Breach、危害度快速分析及 Sobek 輸入資料產出如圖 6-19 所示。

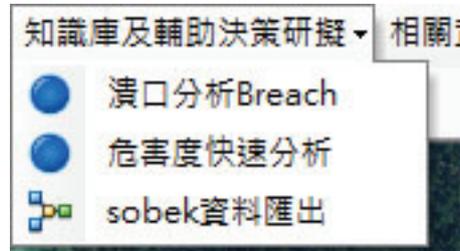


圖 6-19 知識庫及輔助決策研擬工具列

(一)潰口分析Breach

潰口分析係採用 Breach 進行，Breach 軟體輸入之參數為英制，且輸入檔格式較不易上手。本計畫建置介面，得以表單方式進行參數輸入(圖 6-20)，輸入完成後自動進行單位換算並轉換為 Breach 軟體之輸入檔，運算結束則以圖形展示計算成果。圖 6-21 第一項為分析結果之資料表格，選擇第三項呈現目標，即可於第二項繪圖，另外，亦可於第四項選擇繪圖之數據密度。

1. BREACH

高程	編號	潰口
1. 堰水庫水位 (m)	1.ZU 壩體上游面坡度 (1(垂直)ZD(水平))	1.BR 壩體地形形狀之寬深比, 1.0(壩滿) + 2.0(溢頂)
2. 堰壩頂高程 (m)	2.ZD 壩體下游面坡度 (1(垂直)ZD(水平))	2.WC 潰口寬度 (m), (可為0)
3. 壩壩底高程 (m)	3.ZC 壩體內層上下游平均坡度(結果輸入0.0)	3.CRL 潰口長度(m)
4. 壩付管溝破埤時高程 (m) (結果輸入0.0)	4.OL 壩體覆蓋長度(m)(結果輸入0.0)	4.2M 下游河川河床底坡度(m/m)
5. 壩付管溝進水高程 (m) (結果輸入0.0)	5.OS 壩體覆蓋情況 (好 11, 不好或沒有: 0)	5.D50C 壩體下游面護面材料組成D50(mm)(=D50C)
6. 平均變性指數	6.YMF 壩體覆蓋最大容許速度(結果輸入0.0)	6.UNPCDF 壩體下游面D90/D30之比例(UNPCDF=J.0, D50DF=0.0, or UNPCDF=UNPC3.D50F=0.0)
7.CA 黏土臨界剪應力係數 (0.004+CA-0.02)	7.2EDCON 最大砂粒速度 (0.4-0.5 * 預設0.5)	7.BMX 潰口底部最大允許寬度(m)
8.CB 黏土臨界剪應力係數 (0.58+CA-0.84)		8.BTMX 潰口頂部最大允許寬度(m)

外層	內層	潰口
1.D50C 外層D50(mm)(結果輸入0.0)	1.D50C 內層D50(mm)(結果輸入0.0)	1.DTH 基本的計算時間間隔(0.0)
2.POR2 外層孔隙率(結果輸入0.0)	2.PORC 內層孔隙率(結果輸入0.0)	2.DTH 輸出控制, 0.0(只輸出流量數據), 0.001(輸出每一個時間的水位及流量數據), 0.002(輸出每一次迭代的水位及流量數據)
3.UWC 外層比重 (kg/m ³) (結果輸入0.0)	3.UWC 內層比重 (kg/m ³) (結果輸入0.0)	3.H 溢頂時沿壩體下游面計算的壩址深度(m)
4.CM2 外層容重 (kg/m ³) (結果輸入0.0)	4.CM 內層容重 (kg/m ³) (結果輸入0.0)	4.THE 模擬時間(0.0)
5.AFR2 外層摩擦角(結果輸入0.0)	5.AFR 內層摩擦角(結果輸入0.0)	5.ERR 疊代時之容許誤差
6.CO2 外層黏土強度 (kg/m ³) (結果輸入0.0)	6.CO 內層黏土強度 (kg/m ³) (結果輸入0.0)	6.PP 流量數據輸出之時間間隔
7.UNPC2 外層D90/D30比例, 預設值為10	7.UNPC 內層D90/D30比例, 預設值為10	7.TPR 輸出停止的時間, (包括0與全部時間均輸出)

QIN AREA 2. 底水斷面

QIN

QIN 的水庫入流量 (cms)

TIN 的與 QIN (I) 對應時間 (HR)

RSA

RSA 的庫容面積 (平方公里)

RSA 的與 RSA (I) 對應高程 (m)

控制項

統計目標 3.

DTH KO QTQT QTS

QB BT HY WC

BO PPP RP TWD

DH DHH KIT AOL

4. 匯入 匯入預設值 匯出 重置 數據處理分析

圖 6-20 潰口分析參數輸入表單

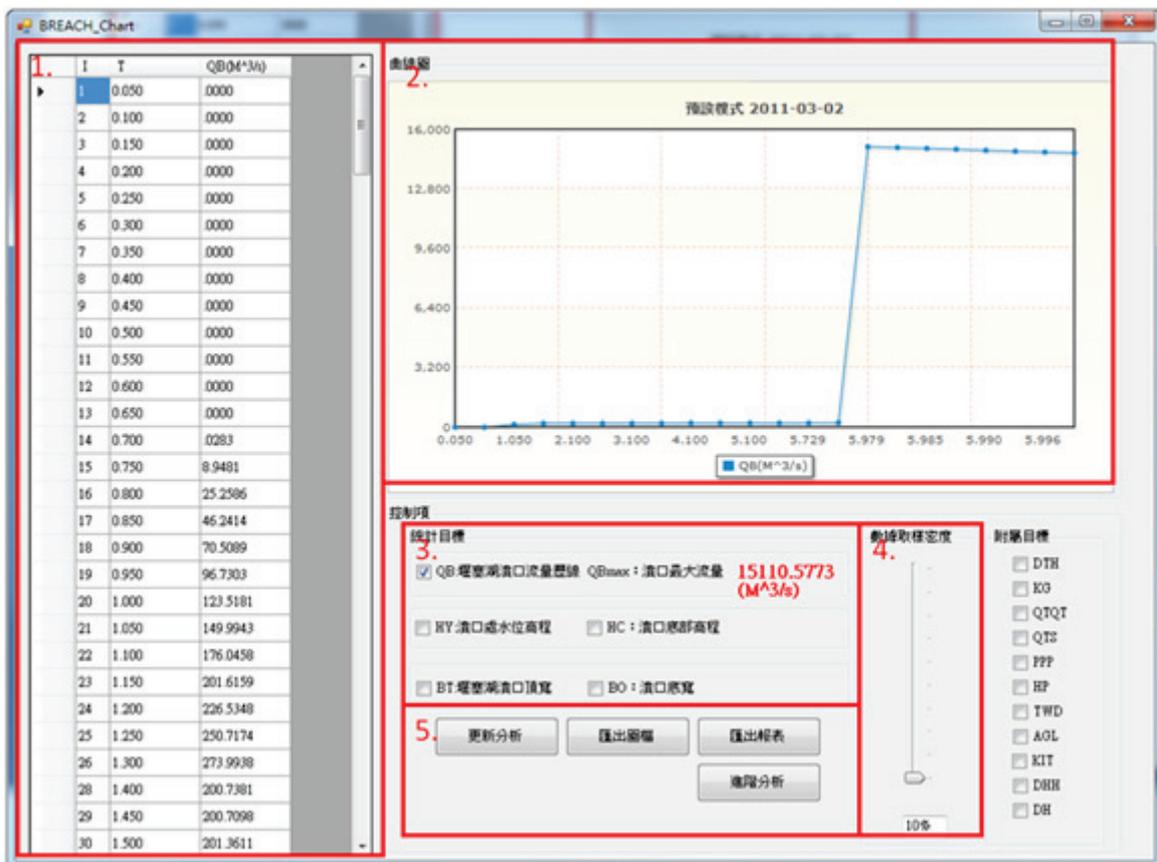


圖 6-21 潰口分析成果展示

(二)危害度快速分析

根據危險度指標、及所建立淹水危害影響快速評估方法，在最短時間內，即使詳細資料仍無法齊備時，亦能夠快速評估天然壩潰決對下游之危害影響等級。其方法為事先以 Breach 假設堰塞湖壩體形狀大小、上、下游面坡度、上游蓄水面積與容積、在不同情況下，發生溢頂潰壩可能產生之洪水流量進行分析，並將其成果建立成表格，本工具可藉由輸入參數，進行查表。

預先模擬之參數如下所述：

上游入流量(cms)： 2000、3000、5000、7500 及 10000。

上游坡度：1:2、1:3、1:4 及 1:5。

下游坡度：1:2、1:3、1:4 及 1:5。

壩體高度(m)：10 至 70m，每 10m 為一個級距。

蓄水體積(百萬立方公尺)： 500、1000、2000、3000 及 4000。



圖 6-22 危害度快速分析視窗

(三)Sobek資料產出

將 XYZ 座標檔案輸出成 Sobek 所需輸入格式之 ASCII 檔案。

(四)匯入現勘照片

編輯資料選擇 project\database 進入編輯狀態後，點選圖 6-23 右方現勘照片點位，將由游標移至圖面按右鍵選取 Absolute XY，鍵入照片對應之 XY 座標。

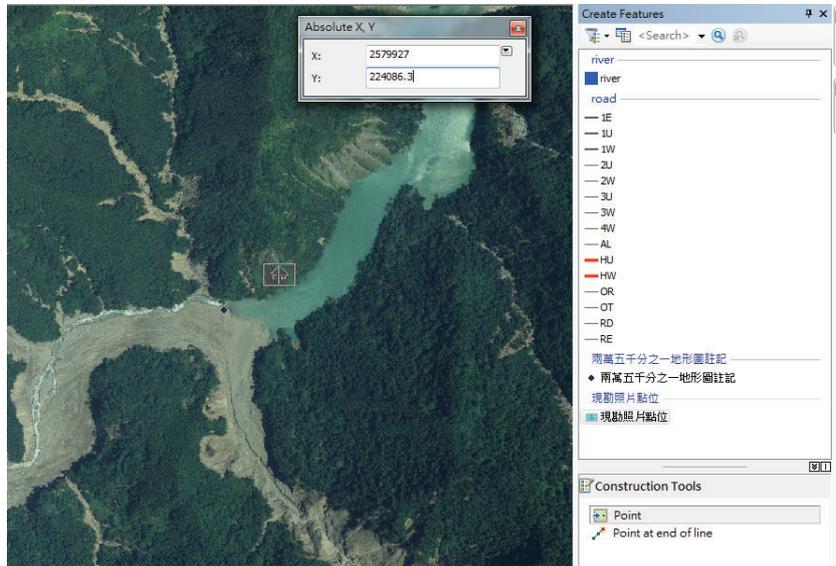


圖 6-23 編輯現勘照片點位圖資

完成後，點選現勘照片點位按右鍵選取 Open Attribute Table，依序鍵入相關資訊如 YY:100、MM:5、DD:13、direction: 57 及 remark: 那瑪夏堰塞湖湖面現況。另外，點選 pic 欄位按右鍵選擇 Load，將對應之照片匯入。完成編輯後，於圖面(圖 6-25)上可看到照片以箭頭表示，箭頭表示拍照方位，查詢屬性可查出之前所鍵入之屬性資料及照片。

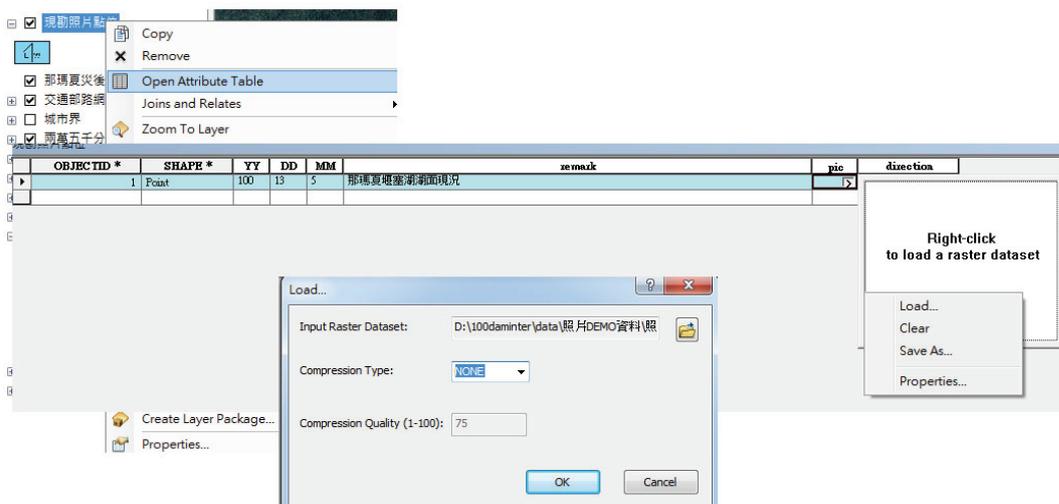


圖 6-24 編輯照片屬性資料

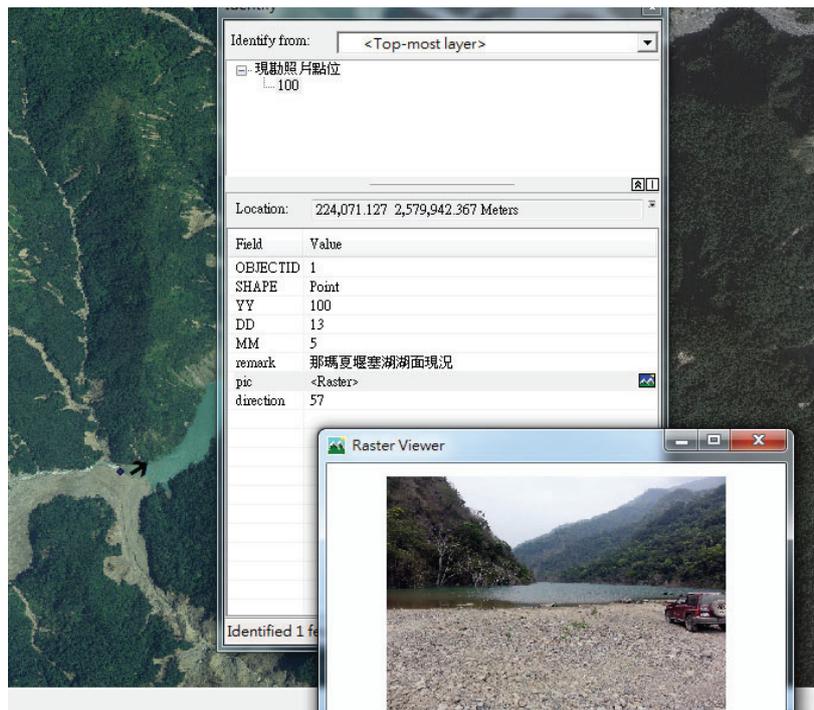


圖 6-25 現勘照片點位圖資屬性資料

六、相關資料

堰塞湖於災害發生時需緊急搜集之相關資料，本計畫將彙整相關網站及表單，亦列入僅開放給公務機關線上索取之網頁，方便使用者使用。另外，為有效管理相關資料，亦建立上傳機制，使用者在進行現勘所填寫之表格、照片等相關資訊均可統一彙整。

(一) 相關網站

相關的網站包含內政部地政司衛星測量中心、國土資訊系統資料倉儲及網路服務平台、航遙測影像供應平台、國立中央大學太空與遙測研究中心及水文資訊網整合服務系統等。

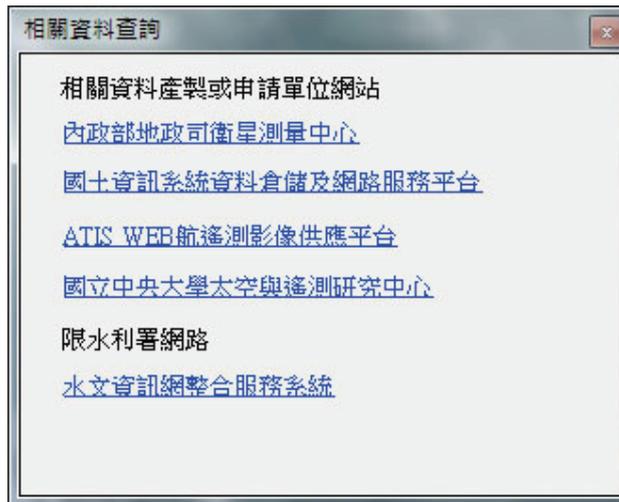


圖 6-26 相關網站查詢視窗

(二)表單下載及資料上傳

系統納入相關資料如內政部 5 公尺數值高程申請辦法、堰塞湖處置資訊管理使用者手冊、堰塞湖天然壩緊急調查與危害度評估野外作業手冊(初稿)、40mDEM 申請辦法及表格等相關資訊。使用者在進行現勘所填寫之表格、照片亦可利用表單上傳統一管理，利用摘要欄位作為索引之方法(圖 6-27)。利用查詢介面可查詢該堰塞湖所有已上傳之表單，若需使用該資料，則雙擊該資料即可按下載表單按鈕取得該檔案(圖 6-28)。



圖 6-27 表單上傳及下載視窗

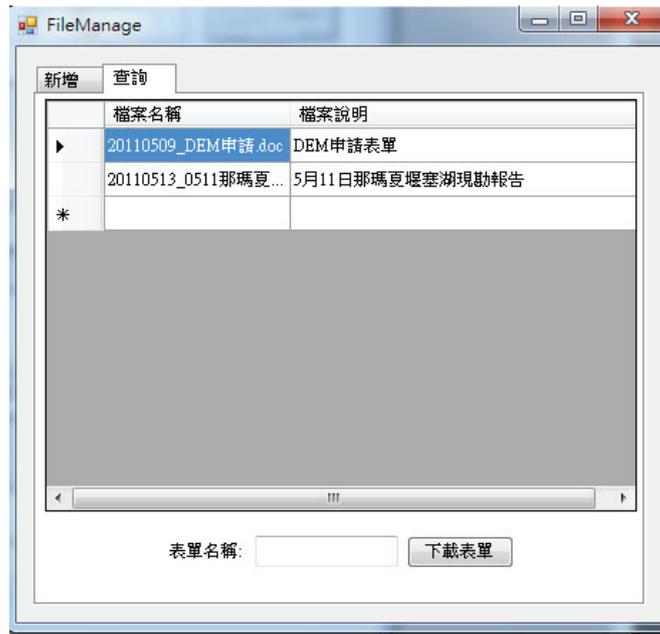


圖 6-28 上傳之表單查詢視窗

第七章 模擬案例及技術轉移訓練

本計畫以旗山溪流域兩處堰塞湖為模擬案例，一處為已潰決的小林村堰塞湖，另一處為未潰決的那瑪夏鄉(民生村上游)堰塞湖。小林村堰塞湖為民國 98 年莫拉克颱風帶來的超級雨量在小林村後方山坡誘發大型山崩所造成；那瑪夏堰塞湖為莫拉克颱風帶來的超級雨量造成二溪土石崩落流至旗山溪主流形成大型沖積扇並阻斷主河道，溪水蓄積而形成堰塞湖。本計畫先利用小林村堰塞湖重建之壩體幾何形狀(李昀珊等, 2010)，進行潰壩模擬，以驗證潰壩模擬以及淹沒區範圍評估數值工具之合適程度。然後再利用同樣數值工具評估那瑪夏堰塞湖潰壩可能淹沒範圍，做為潰壩危害度評估之示範案例。

一、案例資料建置及評估、模擬

本計畫以旗山溪流域兩處堰塞湖為模擬案例，根據現勘以及資料蒐集，以下針對二處堰塞湖之基本資料作介紹及對及評估及模擬結果。

(一)小林村堰塞湖：

小林村在行政區上隸屬高雄市甲仙區，位於台 21 線里程約 223 公里處。村內聚落主要分布於旗山溪左岸之高灘地及低位河階上，與河床之高差約在 5 公尺至 10 公尺之間。民國 98 年莫拉克颱風帶來的超級雨量在小林村後方山坡誘發大型山崩，造成掩埋村落而致五百人失蹤的巨災。山崩發生於 8 月 9 日清晨 6 時許，從高出村落約五百至九百公尺的山坡開始發生崩塌，大量的崩滑土石快速向下流動，一部份土石翻越 590 高地(圖 7-1)而掩埋了村落，大部份土石繼續沿山溝向下流動，進入旗山溪主流而堵塞河道並形成堰塞湖。山崩發生一小時後，堰塞湖潰決，大水沖刷被土石掩埋的村落，圖 7-2 為小林村附近殘存的天然壩(李錫堤等, 2009)。

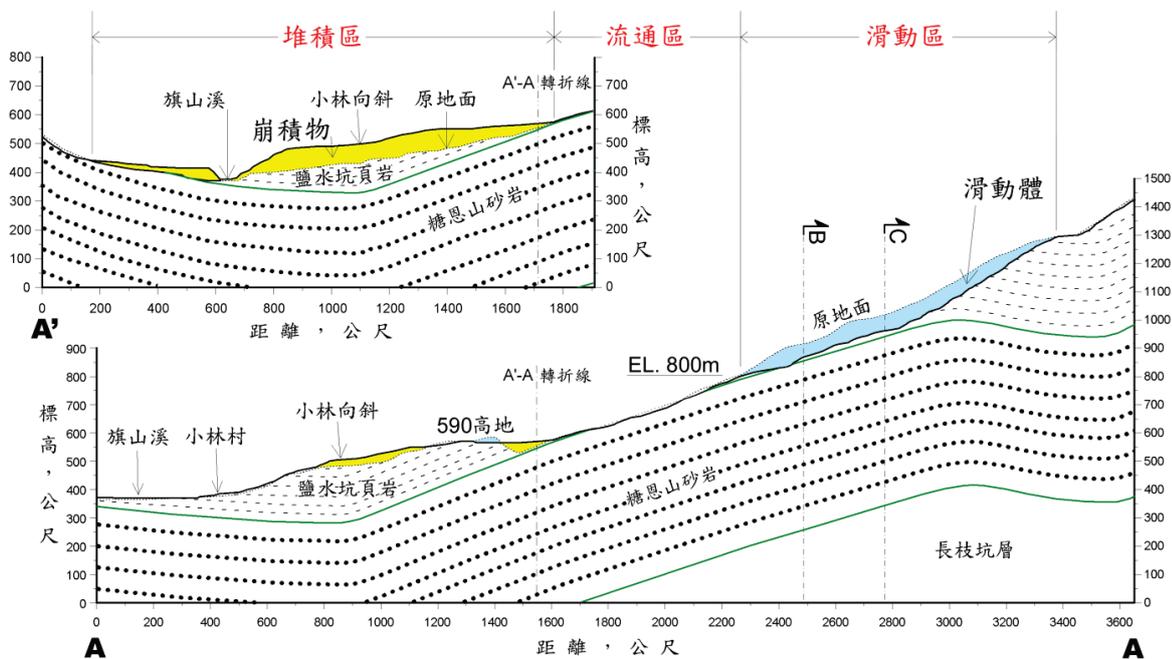
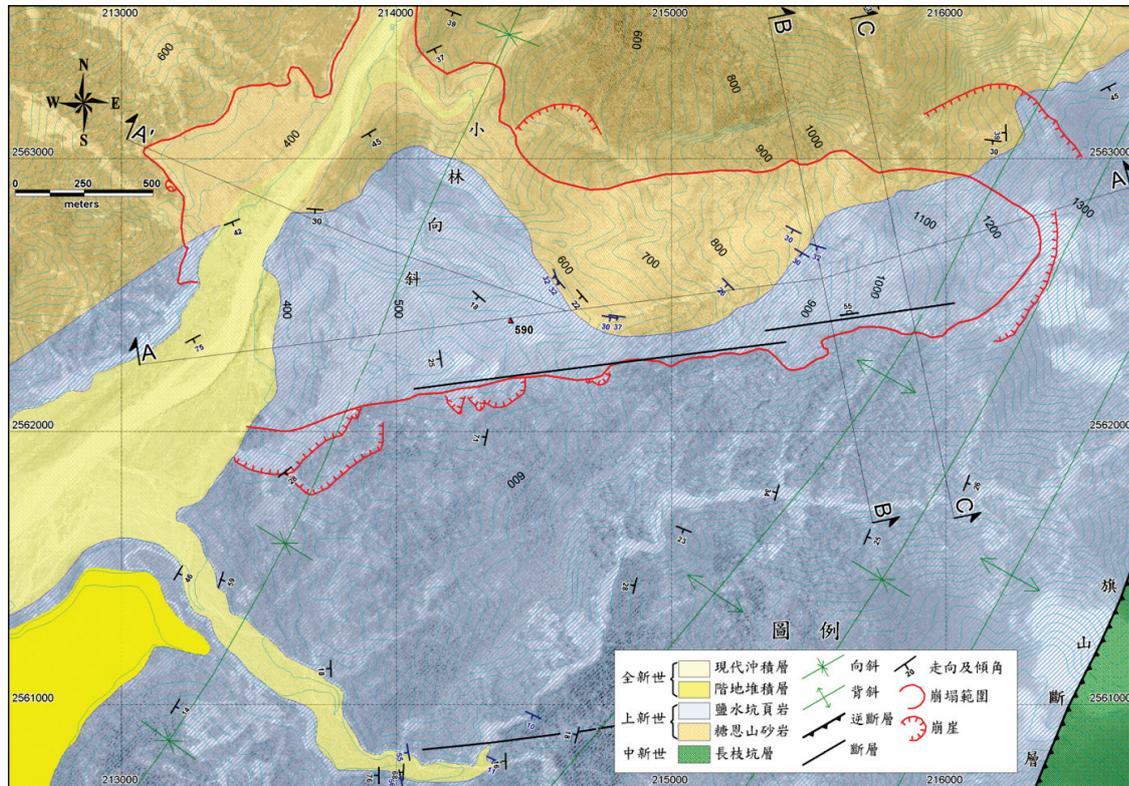
李錫堤等(2009)以農林航空測量所測製的災前與災後進行地形與崩塌土體分析，結果顯示此次主要滑動區面積約 57 公頃，滑動體積約 2,387 萬立方公尺，平均深度約 40 公尺。扣除附近其他區域之堆積量，估計整個原始天然壩的體積約 1,536 萬立方公尺(以鬆方膨脹一成計)。文中並就地質、水文、及地形等三方面探討小林村災變之原因：1. 小林村附近的總降雨量超過 1,800 公釐(經濟部水利署, 2009)，這是此區有雨量記錄的 51 年來(甲仙站)的最大降雨(重現期距>200 年)；2. 滑動區域之地質構造形成不利之岩楔，且岩楔在崩前已呈虛懸狀態，地質弱面加上地形砍腳情況，使此楔形岩體/舊崩積層在崩前即已處於非常不利的狀態；3. 崩塌區上方之農林業開發造成裸露地，加速降雨入滲至滑動區；4. 小林村山崩坡高 900 公尺略大於草嶺崩山的 700 公尺及九份二山崩山的 340 公尺，滑動區坡高太高，加以含水量過大而使滑動後形成顆粒流，加快移動之速度並擴大滑動體之規模。

1、危險度評估

依據李昫珊等(2010)之研究，小林村堰塞湖於很短時間內即發生堰塞湖溢頂並造成天然壩破壞，該研究由航照圖、山崩前與潰壩後 DTM 資料、實驗室土壤物性試驗與野外調查，重建小林村堰塞湖天然壩地形與水文參數。研究分析結果顯示小林村堰塞湖天然壩主要由透水性低、易沖蝕的細顆粒材料組成，壩體積約為 $15.34 \times 10^6 \text{m}^3$ ，溢流點之壩高為 44m，壩長與壩寬分別為 370m 及 1554m，集水區面積為 $354 \times 10^6 \text{m}^2$ 、上游坡度約為 7.6%、下游坡度約為 1%及湖體積為 9876559m^3 。

依據上述參數利用第陸章第四節第四小節災害評價分析工具運算，將 $A=3.54 \times 10^8 \text{m}^2$ 、 $H=44$ 、 $V=1.534 \times 10^6 \text{m}^3$ 、 $W=1554\text{m}$ 及 $L=370\text{m}$ 參數輸入，計算成果如圖 6-18。除 DBI 顯示未能分類，鑑別分析模

式及邏輯斯分析模式顯示該天然壩為不穩定，其破壞機率為 85.72%。



(上)地表地質圖；(下)A'-A-A 地質剖面圖

圖 7-1 小林村崩塌後地質圖(李錫堤等，2009)



(摘自李錫堤等，2009；圖中人站處是楠峰橋橋台的遺跡)

圖 7-2 旗山溪中殘存的天然壩(2009.09.09)

2、上游危害度評估

(1)短時間快速評估

- A、河川地籍與等高線圖：於當地高程415公尺經由等高線圖畫出，如圖 7-3 所示。若考慮迴水影響範圍，建議增加 5 公尺，即高程 420 公尺作為初步估算迴水影響範圍，並以高程 420 公尺作為疏散撤離之初步依據。
- B、土地利用資料：如圖 7-4 及圖 7-5 所示。圖 7-4 為土地利用原始圖，將高程 415 與 420 公尺等高線套疊至土地利用資料，並將土地使用資料藉由顏色區分，如圖 7-5 所示，可得知淹沒區為何種土地使用，亦可作為疏散撤離之初步依據。
- C、正射影像資料：如圖 7-6 所示，將高程 415 與 420 公尺等高線套疊至正射影像，藉由影像判別上游淹沒區的情況，亦可作為

疏散撤離之初步依據。

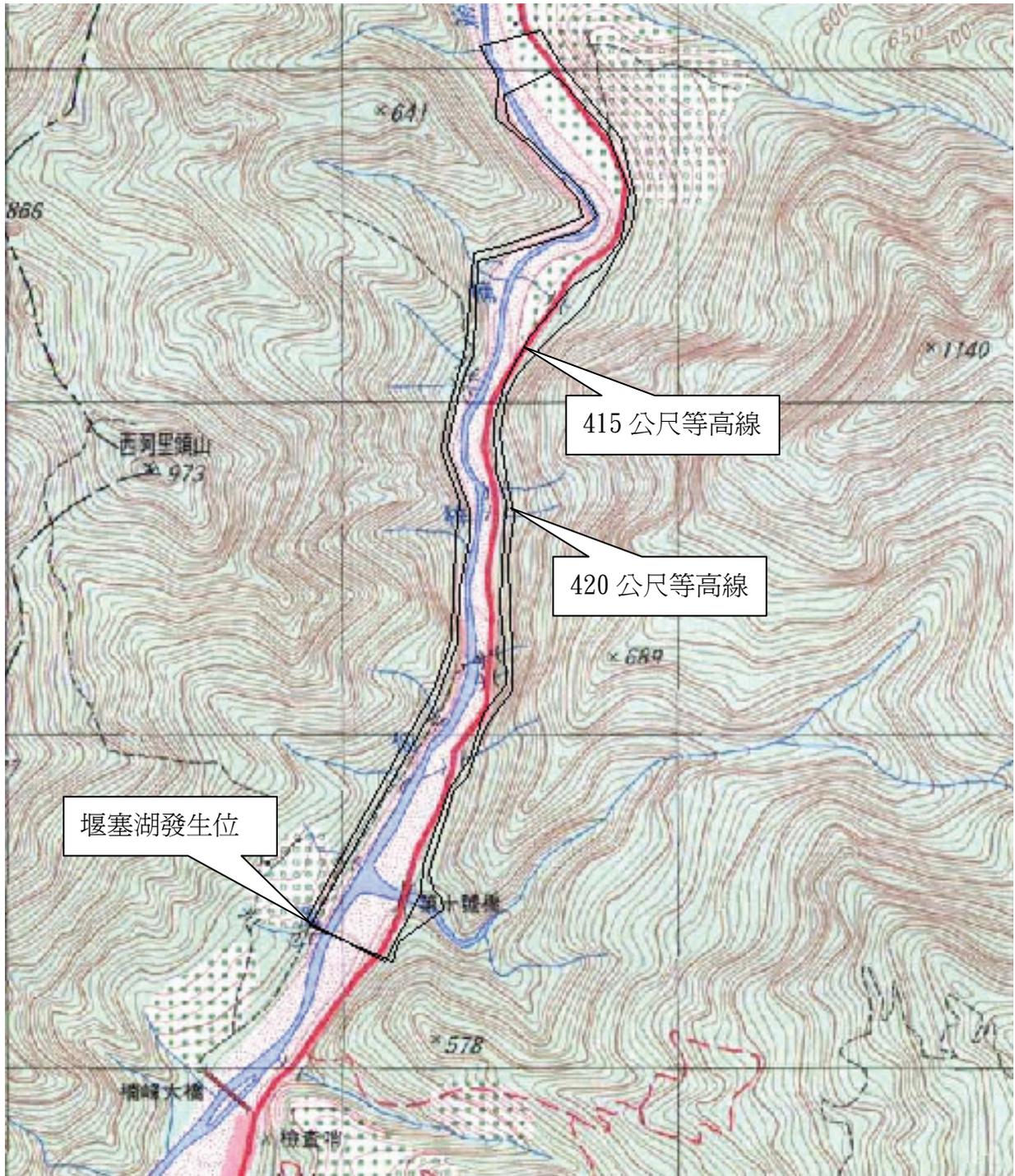


圖 7-3 小林村堰塞湖地籍與等高線圖與標高 415 公尺等高線圖

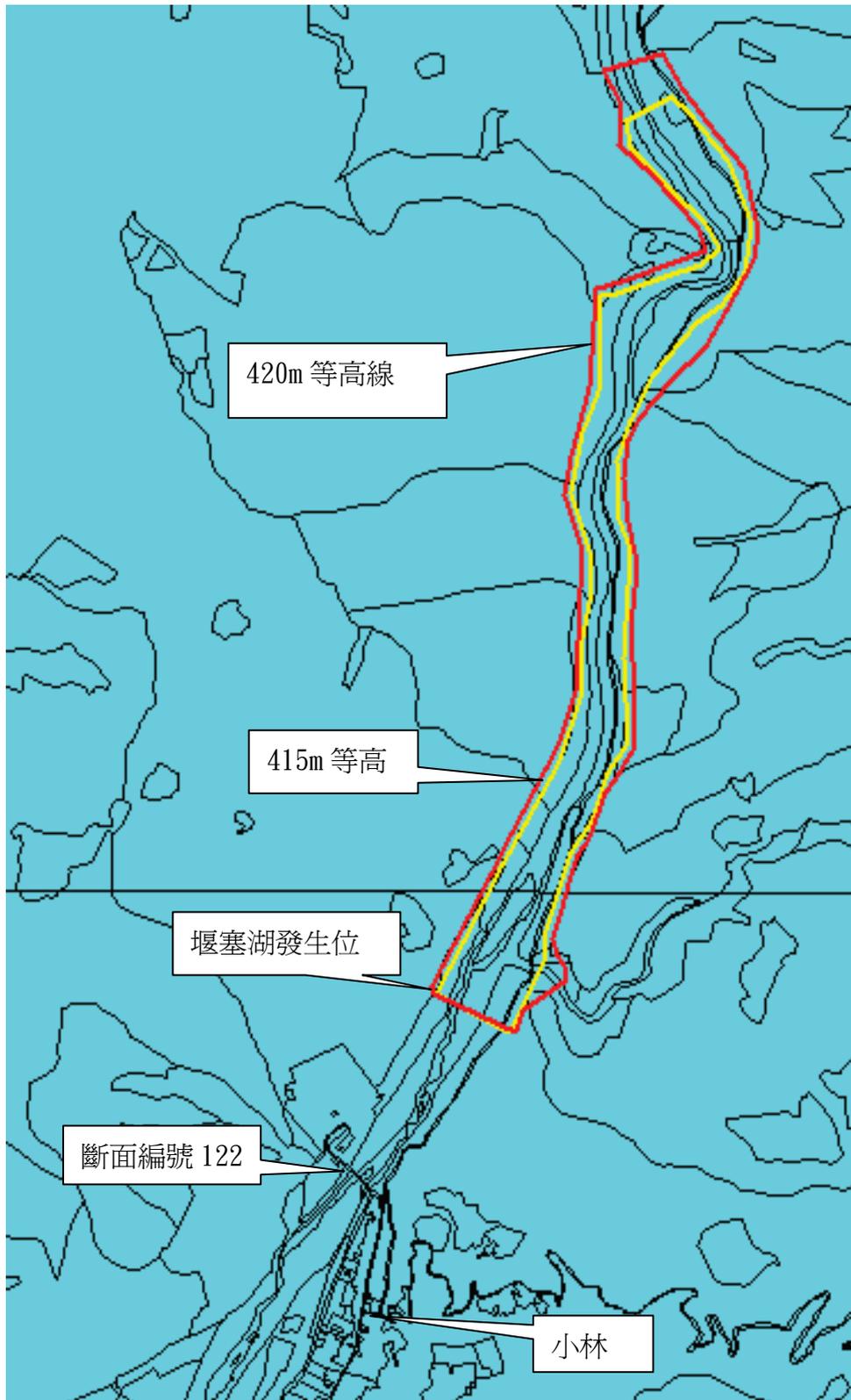


圖 7-4 小林村堰塞湖發生位置周邊土地使用原始圖資與標高 415、
420m 等高線圖

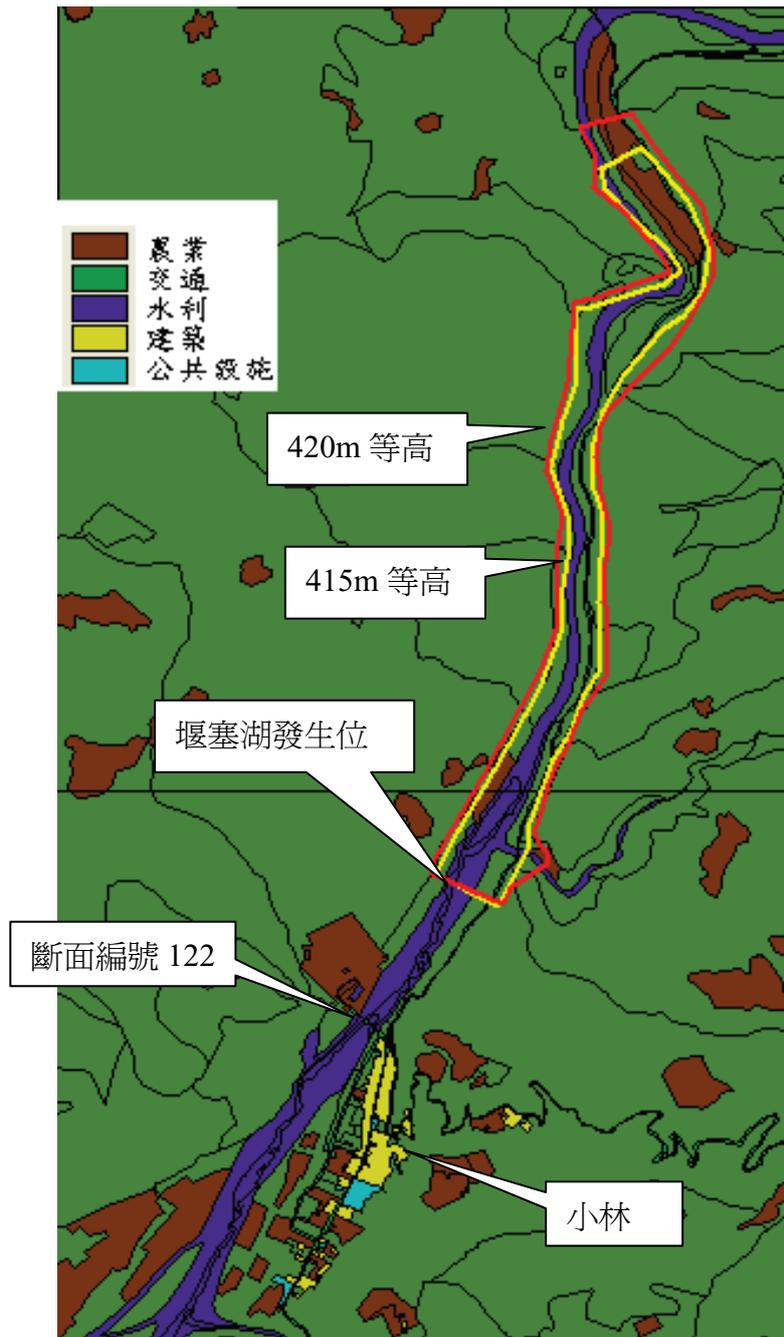


圖 7-5 小林村堰塞湖發生位置周邊土地使用分類情況與標高 415、420m 等高線圖

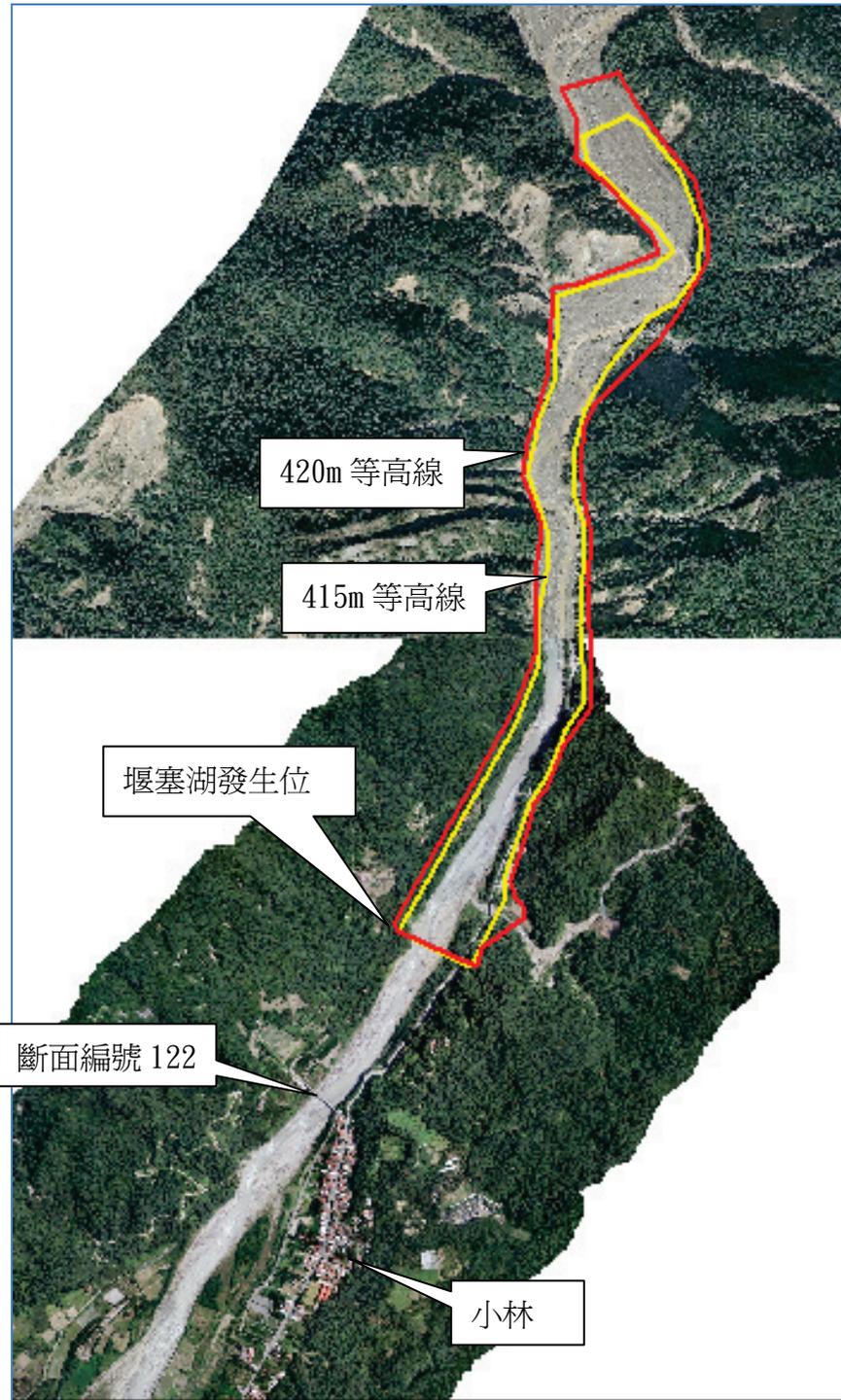


圖 7-6 堰塞湖發生正射影像與標高 415、420m 等高線圖

(2)長時間詳細評估

A、水位與雨量監測儀器的設置：堰塞湖形成後，可藉由水位與雨量監測儀器進行監測，將即時資料傳送回轄管之防救災中心，

進行監控。

B、降雨逕流模式推算：本計畫團隊已建置完成之水利署轄區之 SOBEK-1D 的河川水文、水理模式，如圖 7-7 所示，在堰塞湖形成後，其位置若在河道有斷面資料，且取得壩體位置之高程，則可進行蓄水庫之水文、水理模式演算，圖 4-15 所示，為高屏溪流域之 SOBEK-1D 的河川水文、水理模式。藉由雨量資料可進一步瞭解上游淹沒區可能迴水之影響範圍。圖 7-8 所示，為小林村堰塞湖壩頂標高 415 公尺，上游有民生（佔 53%）、楠溪（佔 47%）雨量站，上游平均累積降雨量約 140mm 即可發生溢頂現象，且迴水影響標高至 420m，可進一步劃設等高線，作為疏散撤離之警戒水位初步依據。

C、上游淹水模擬：若有河道與河道周邊數值高程資料（DEM），則可進一步藉由上述(B)降雨逕流模式與淹水模式結合進行上游淹沒區的範圍演算，如圖 7-10 所示，上游淹沒區主要在小林村線界內，因此以小林村進行危害度分析。根據第肆章第一節方法分析，各危害因子之分析結果如所示，說明如下：

(A)WD 評分方面：以小林村堰塞湖上游被淹沒之道路用地最大淹沒深達 22.9m。以水利署（2011）方法以最大淹水深度考量，採用道路最大淹沒水深 $>3.0\text{m}$ ，WD 分級評分為 1.0，

(B)WV 評分方面：以小林村堰塞湖上游被淹沒之道路用地，在淹水深度大於 0.3m 情況下之流速，於道路用地最大流速達 10.4m/s ，WV 分級評分為 1.0。

(C)WR 方面：以小林村堰塞湖上游被淹沒之道路用地，在淹水深度大於 0.3m 情況下之上漲速率，於道路用地最大上漲速率達 22.9m/hr ，WR 分級評分為 1.0。

根據上述分析結果，上游淹沒區危害度 1.0。上游淹沒區為具有

極高淹水危害度。經濟損失以表 7-1 方式推算得主要經濟損失約 49.2 萬元。而脆弱人口約為 0 人。因此，以堰塞湖上游淹水危害等級為第 V 級，淹水一定會發生。

表 7-1 小林村堰塞湖上游淹沒危害度分析

甲仙區小林里			
危害因子	道路用地	評分項目	評分值
淹水深度(m)	22.9	WD	1.00
流速(m/s)	10.4	WV	1.00
上漲速率(m/hr)	22.9	WR	1.00
淹水危害度	1.00	危害度等級	V
經濟損失 (萬元)			
名稱	損失金額	名稱	損失金額
早作	49.2	商業	0.0
稻作	0.0	工業	0.0
養殖	0.0	住宅	0.0
總損失 (萬元)	49.2	脆弱人口(人)	0

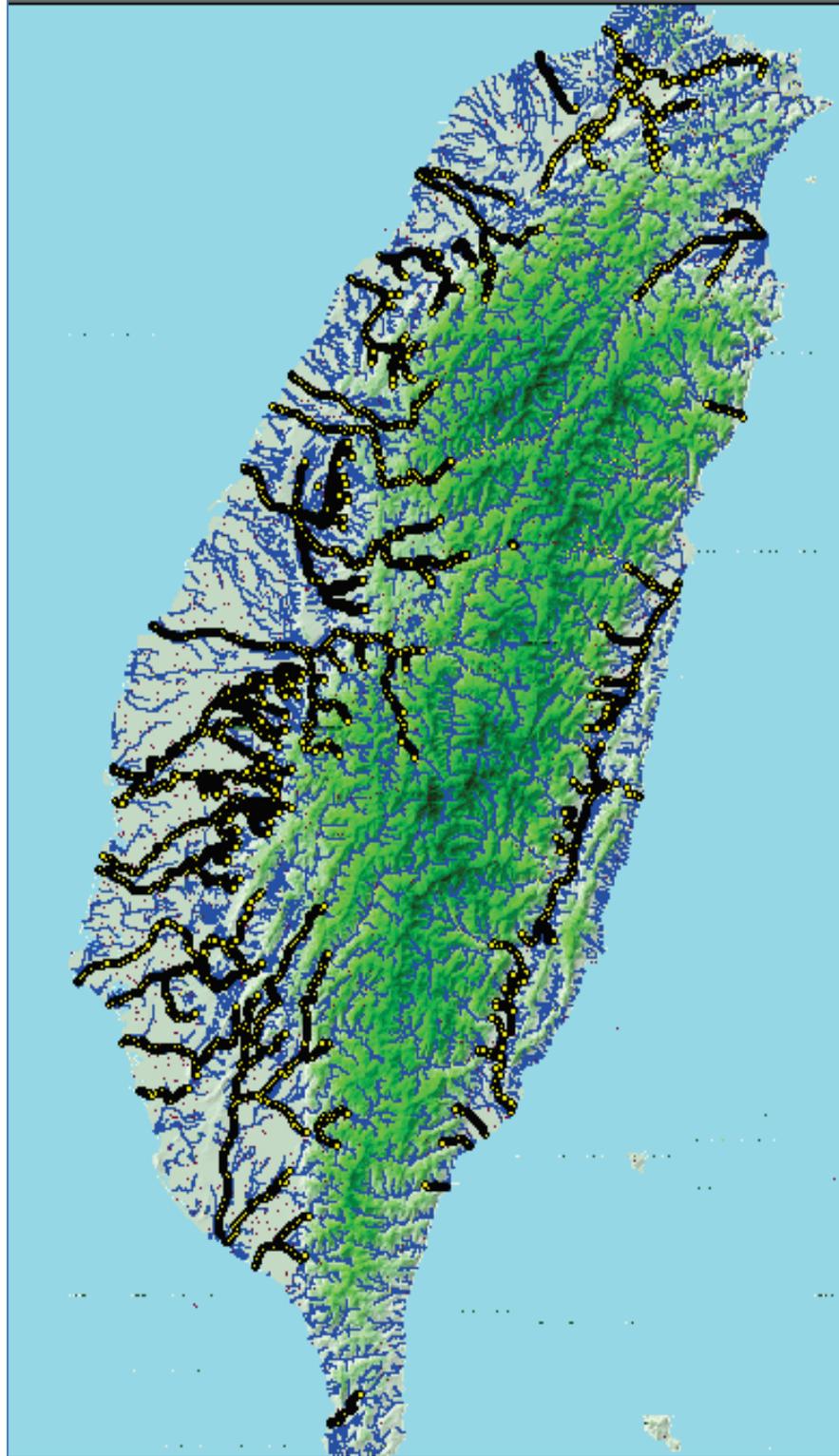


圖 7-7 全省中央管河川河道斷面與位置

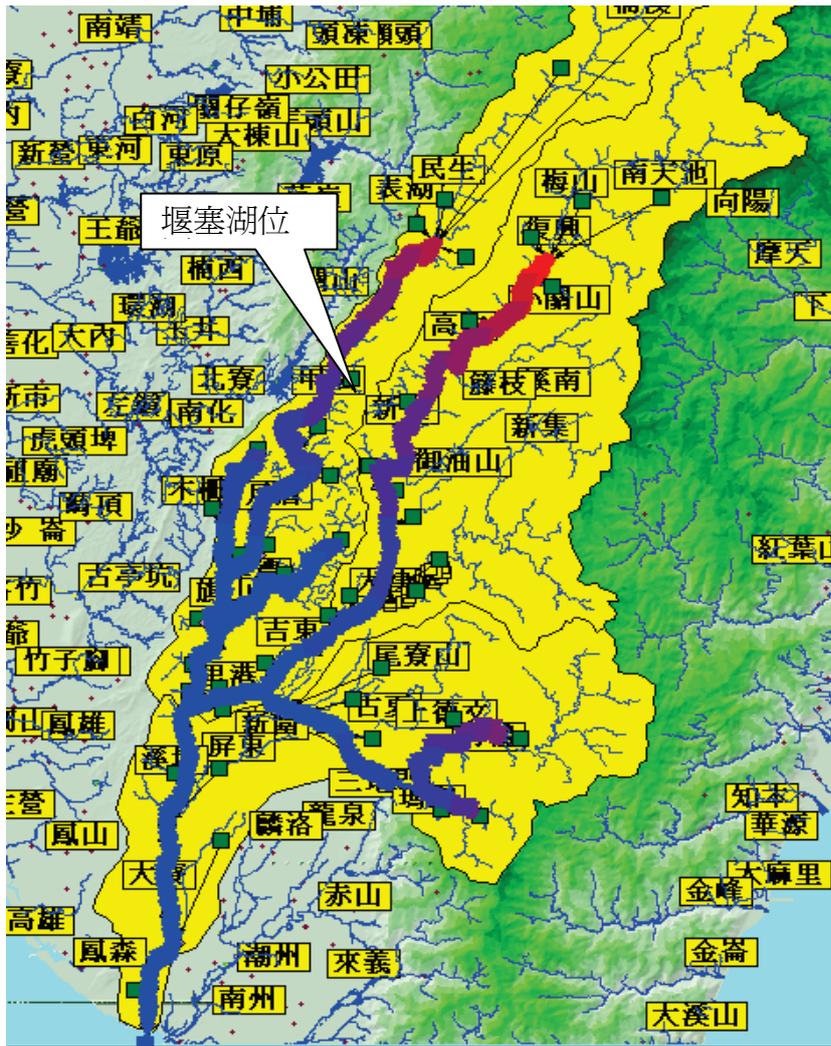


圖 7-8 高屏溪 SOBEK-1D 之降雨逕流與水理模式範圍

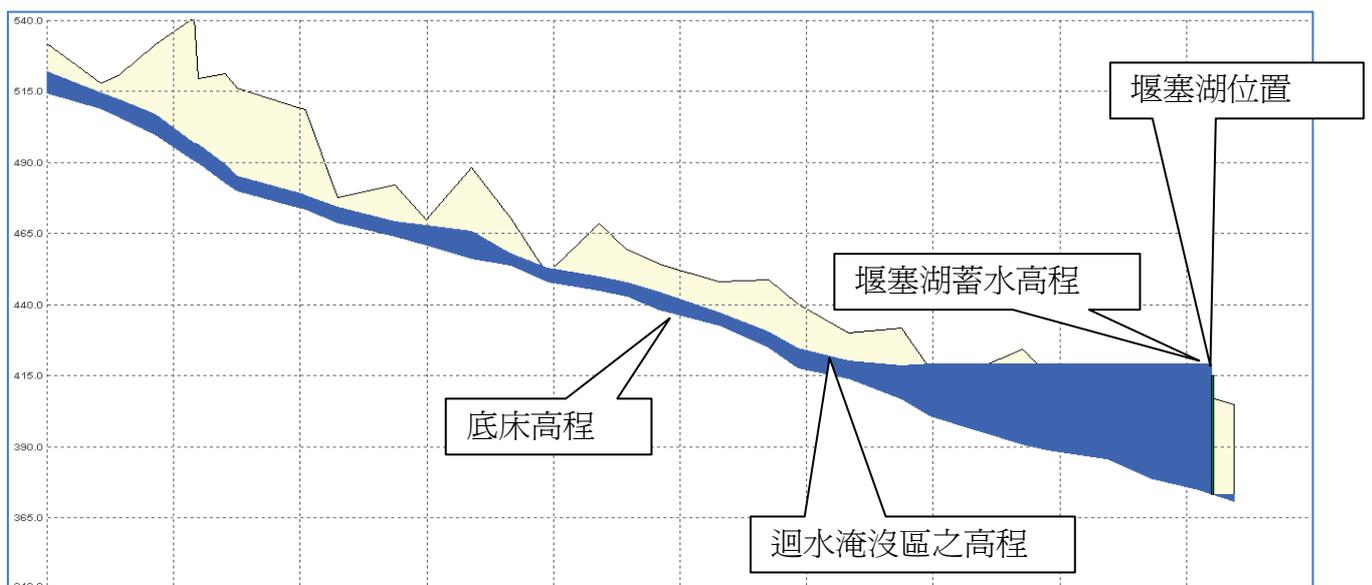


圖 7-9 小林堰塞湖上游淹沒區高程示意圖

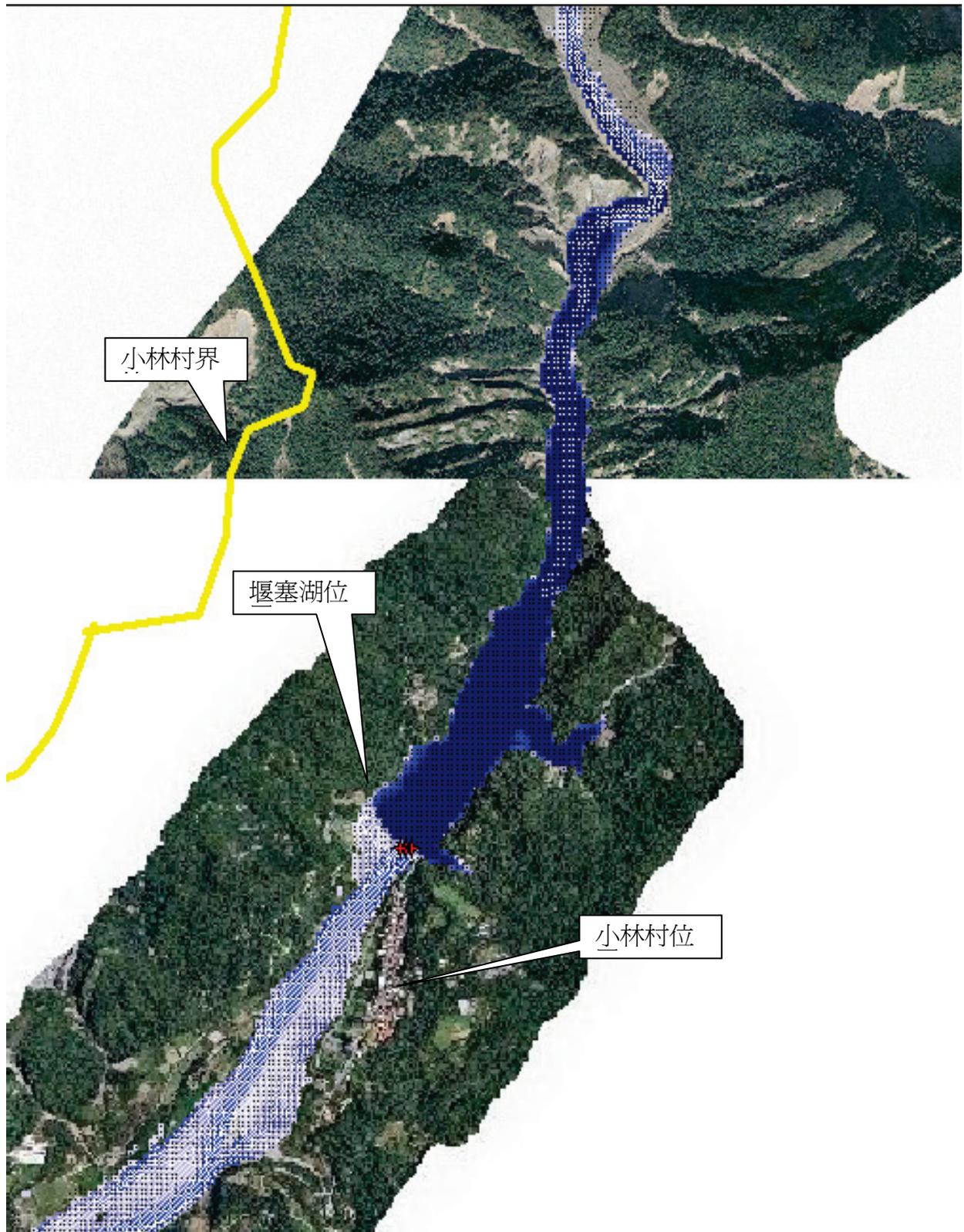


圖 7-10 降雨逕流模式結合淹水模式所得之上游淹沒區

3、天然壩潰決對下游危險度評估

(1)快速評估法（危害定性評估）：

小林村堰塞湖相關假設說明如下：

- A、小林堰塞湖上游集水區約 354km²，河道原始高程約 371 公尺、現場推估高程為 415 公尺，天然壩體高度為 44 公尺。
- B、現勘所得主要壩體下游坡面為 1:2（圖 7-11）、上游坡面 1:2（圖 7-12），沿著河道長度約 180 公尺。
- C、上游洪流量於 10km² 以下之集水區，可由合理化公式推求。而較大集水區建議以無因次單位歷線法求得上游入流量。因此，以 3000cms 入流至堰塞湖內之情況下推得潰壩最大洪流量約 5,900cms。
- D、圖 7-13 所示為高屏溪治理計畫流量，旗山溪月眉橋處之集水區面積約為 533km²，計畫流量為 5,680cms。
- E、查詢堰塞湖下游沿岸之村里，表 7-2 所示。
- F、如根據流量面積法推估於小林村楠峰橋之計畫流量約為 3,770cms（ $354/533 \times 5680 = 3772$ ）。
- G、快速評估方法之 $I_{db} = 1.56 > 1$ 。根據表 7-2 之淹水危害度評判，為第 V 級：一定會發生淹水，且具有極高危害度。
- H、由圖 4-9 研判，根據『堰塞湖防災作業手冊緊急應變』處理，需要時對下游地區進行緊急疏散撤離。

表 7-2 小林村堰塞湖下游危害度快速評估法分析

鄉鎮區	村里名	Idb	等級	鄉鎮區	村里名	Idb	等級
甲仙區	小林里	1.56	V	旗山區	瑞吉里	1.04	V
	關山里	1.48	V		湄洲里	1.04	V
	東安里	1.39	V		大德里	1.04	V
	和安里	1.39	V		東平里	1.04	V
	西安里	1.37	V		東昌里	0.94	V
	大田里	1.37	V		三協里	0.94	V
	寶隆里	1.24	V		上洲里	0.94	V
杉林區	木梓里	1.20	V		鯤洲里	0.94	V
	集來里	1.20	V		廣福里	0.94	V
	杉林里	1.07	V		大山里	0.94	V
	新庄里	1.07	V		中洲里	0.94	V
	上平里	1.04	V		南洲里	0.94	V
	月眉里	1.04	V		新光里	0.85	IV
	月美里	1.04	V		南勝里	0.85	IV
旗山區	中正里	1.04	V	里港鄉	瀾力村	0.85	IV
	圓富里	1.04	V		中和村	0.85	IV
	永和里	0.94	V		-	-	-



圖 7-11 主要壩體下游坡面坡面 1(H) : 2(L)



圖 7-12 主要壩體上游坡面 1(H)：2(L)

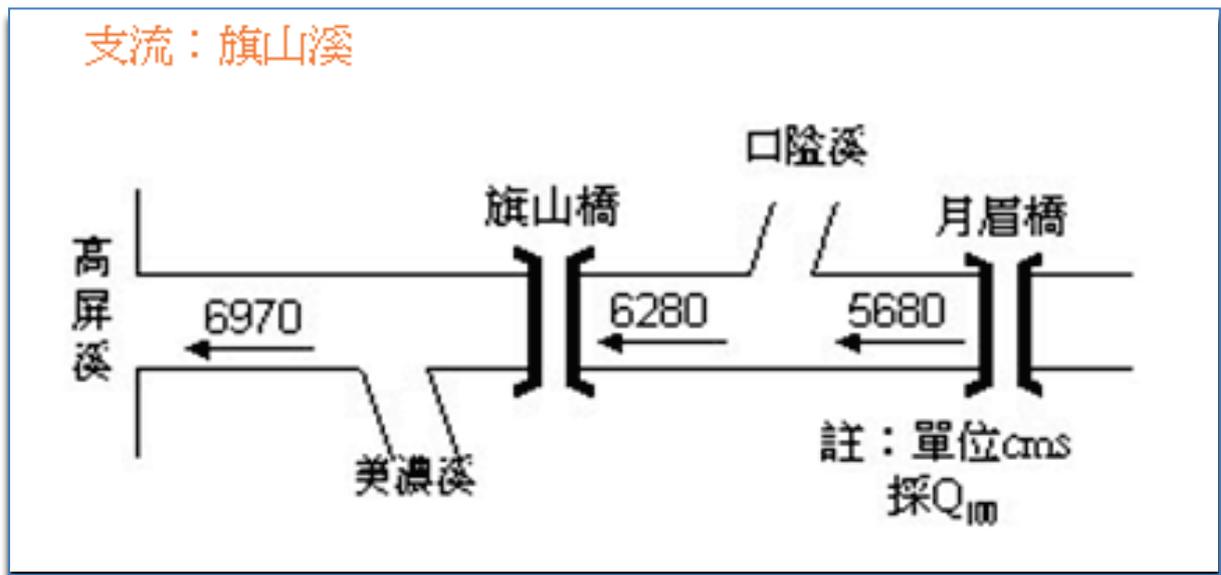


圖 7-13 旗山溪治理計畫流量示意圖

(資料來源：<http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=12906&ctNode=2399&comefrom=lp#2399>)

(2) 詳細評估-潰壩分析(危害定量分析評估)

A、BREACH 模式：將所收集的基本資料進行模式參數設定，壩體上、下游坡面均分別為 1：2，其模擬結果於潰口部分，如圖

7-14 至圖 7-16 所示，圖 7-14 為潰口入流量與出流量歷線，最大潰口流量約 5,600cms，與快速評估法，約差 300cms，各村里淹水危害度，如表 7-3 所示。圖 7-15 為潰口處不同時間之變化關係，圖 7-16 為潰口處底床高程與水位之關係。

B、SOBEK1D 水理模式：可得知發生堰塞湖潰決後，到達各村里之時間，因此，在已建置之降雨逕流與水理模式（圖 7-8），加入 BREACH 模式的潰決流量進行水理演算，演算結果如圖 7-17 所示，並將到達各村里時間統計出，如表 7-4 所示，以堰塞湖位置至旗山溪出口（屏東縣里港鄉中和村）最大洪峰到達時間約 3.2 小時。

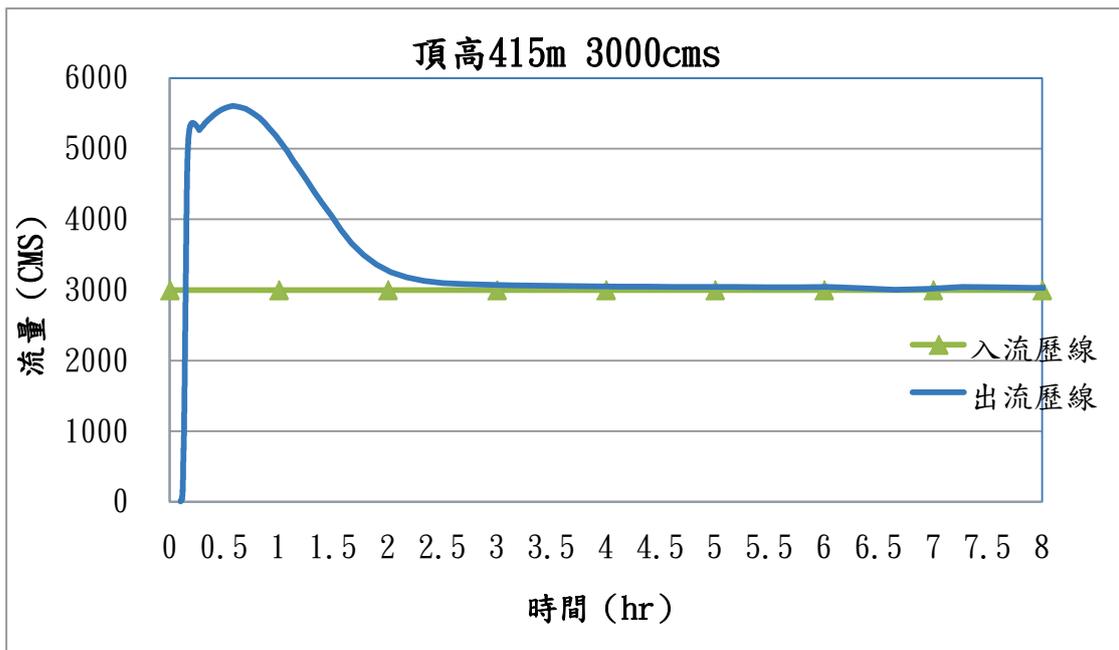


圖 7-14 小林村堰塞湖潰口出流歷線

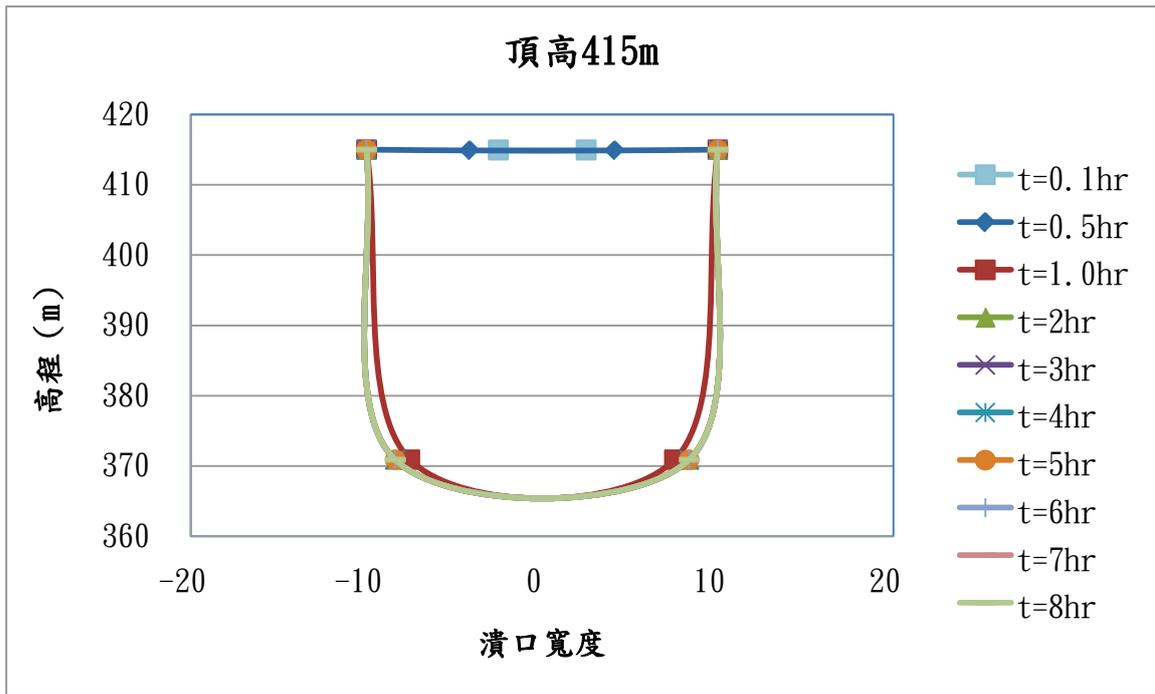


圖 7-15 小林村堰塞湖不同時間之潰口形狀

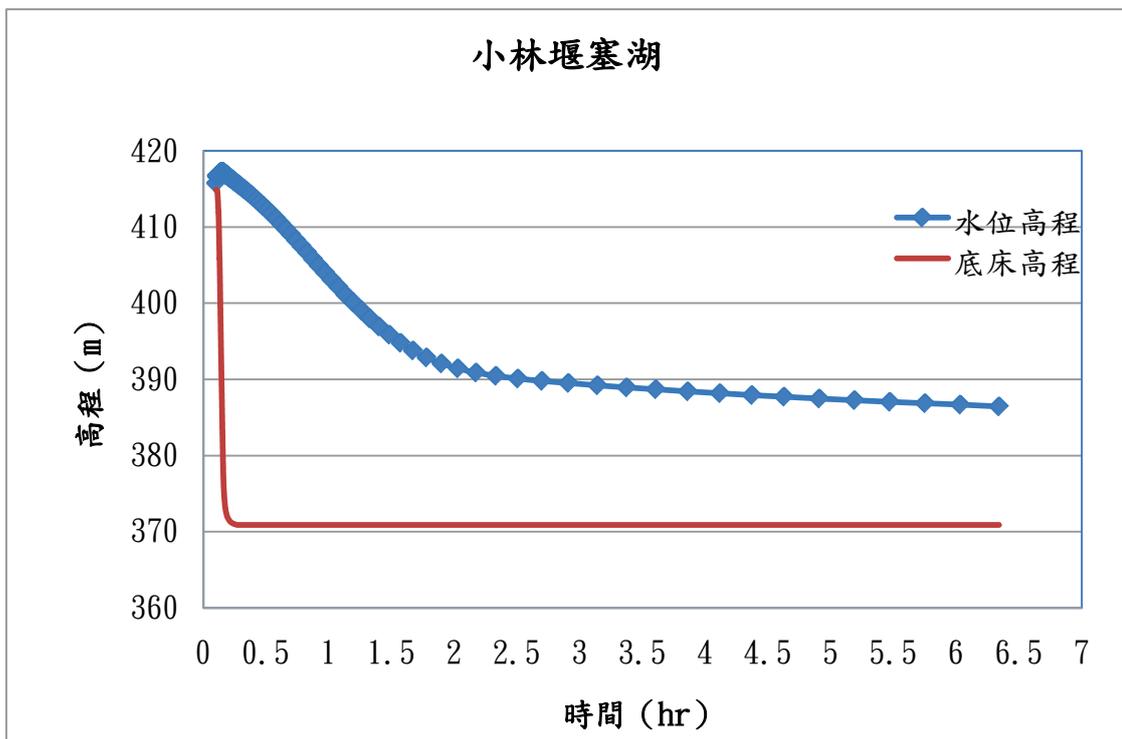


圖 7-16 小林村堰塞湖潰口底床與水位高程歷線

表 7-3 小林村堰塞湖下游詳細資料分析

鄉鎮區	村里名	Idb	等級	鄉鎮區	村里名	Idb	等級
甲仙區	小林里	1.48	V	旗山區	瑞吉里	0.99	V
	關山里	1.40	V		湄洲里	0.99	V
	東安里	1.32	V		大德里	0.99	V
	和安里	1.32	V		東平里	0.99	V
	西安里	1.30	V		東昌里	0.89	IV
	大田里	1.30	V		三協里	0.89	IV
	寶隆里	1.18	V		上洲里	0.89	IV
杉林區	木梓里	1.14	V		鯤洲里	0.89	IV
	集來里	1.14	V		廣福里	0.89	IV
	杉林里	1.02	V		大山里	0.89	IV
	新庄里	1.02	V		中洲里	0.89	IV
	上平里	0.99	V		南洲里	0.89	IV
	月眉里	0.99	V		新光里	0.81	IV
	月美里	0.99	V		南勝里	0.81	IV
旗山區	中正里	0.99	V	里港鄉	瀾力村	0.81	IV
	圓富里	0.99	V		中和村	0.81	IV
	永和里	0.99	V		-		

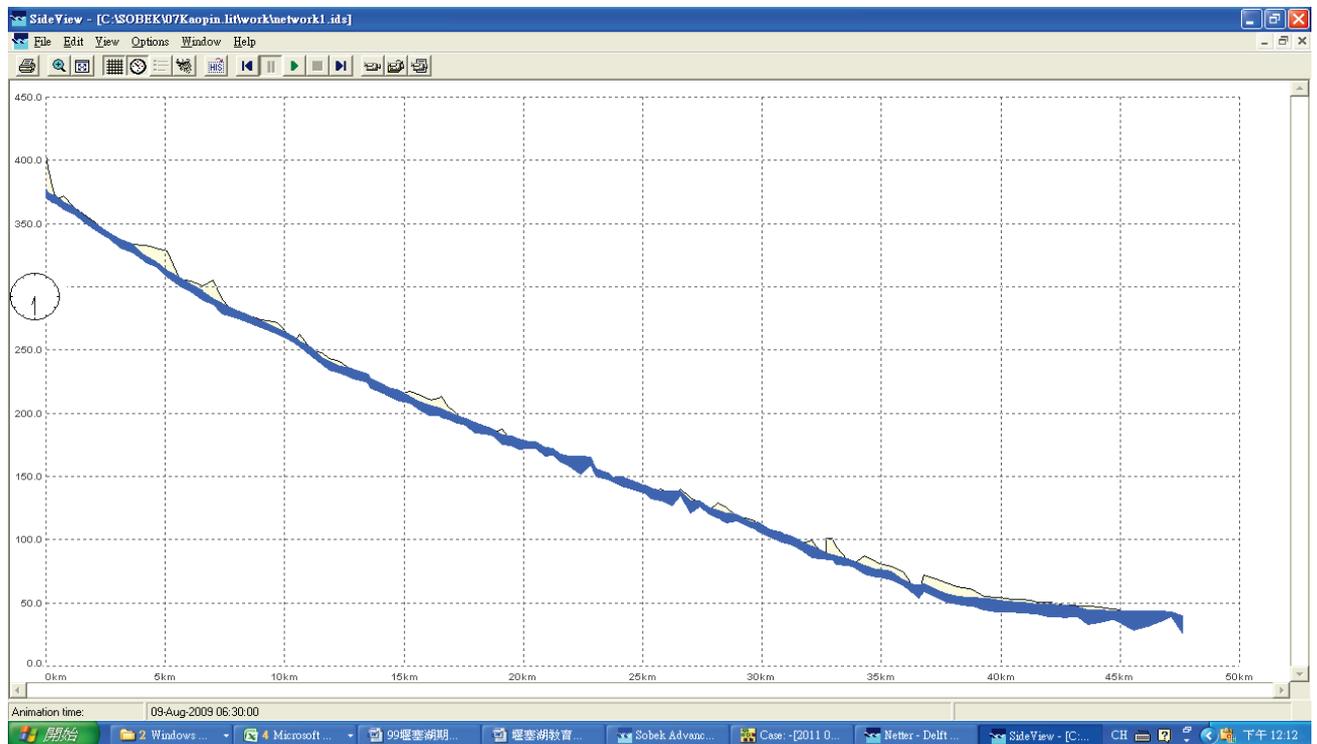


圖 7-17 小林村堰塞湖水位高程圖

表 7-4 小林堰塞湖潰決洪峰到達時間

鄉鎮區	村里名	洪峰到達時間 (hr)	鄉鎮區	村里名	洪峰到達時間 (hr)
甲仙區	小林里	0	旗山區	瑞吉里	1.67
	關山里	0.17		湄洲里	1.67
	東安里	0.34		大德里	1.84
	和安里	0.34		東平里	1.84
	西安里	0.5		東昌里	2
	大田里	0.5		三協里	2
	寶隆里	0.5		上洲里	2.17
杉林區	木梓里	0.67		鯤洲里	2.17
	集來里	0.67		廣福里	2.34
	杉林里	0.84		大山里	2.34
	新庄里	0.84		中洲里	2.34
	上平里	1		南洲里	2.67
	月眉里	1		新光里	2.84
	月美里	1.17		南勝里	3
旗山區	中正里	1.34	里港鄉	瀾力村	3.0
	圓富里	1.34		中和村	3.17
	永和里	1.5		-	-

C、SOBEK-2D-淹水模式：

二維淹水模擬以莫拉克颱風為情境模擬，模擬範圍從上游高雄市甲仙區小林里堰塞湖位置至下游出口屏東縣里港鄉中和村，全長約 55km。DEM 格網為 20m×20m。其上游邊界條件為 BREACH 潰口出流量、下游邊界條件為里嶺大橋實測水位如圖 7-18 所示。模擬結果如圖 7-19 至圖 7-23 所示，其中，圖 7-19 為堰塞湖下游河段、圖 7-20 為甲仙區河段、圖 7-21 為杉林區月眉橋河段，圖 7-22 為口隘溪匯入後至美濃溪河段，圖 7-23 為美濃溪匯入後至旗山溪出口河段等淹水模擬情況。

堰塞湖下游淹水危害度評估，彙整如表 7-5 所示，將下游各村里之淹水脆弱度與淹水損失與脆弱人口彙整於此表中。

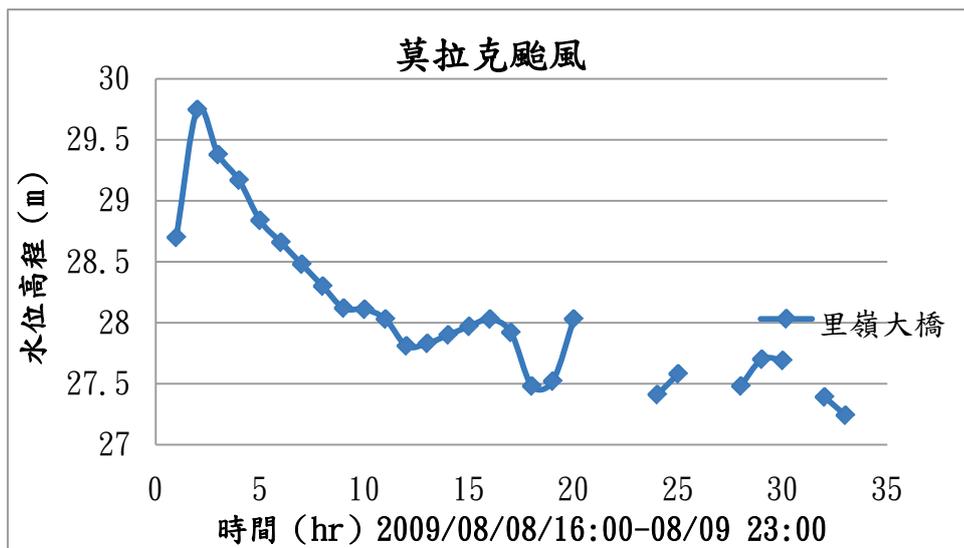


圖 7-18 旗山溪出口下游邊界條件

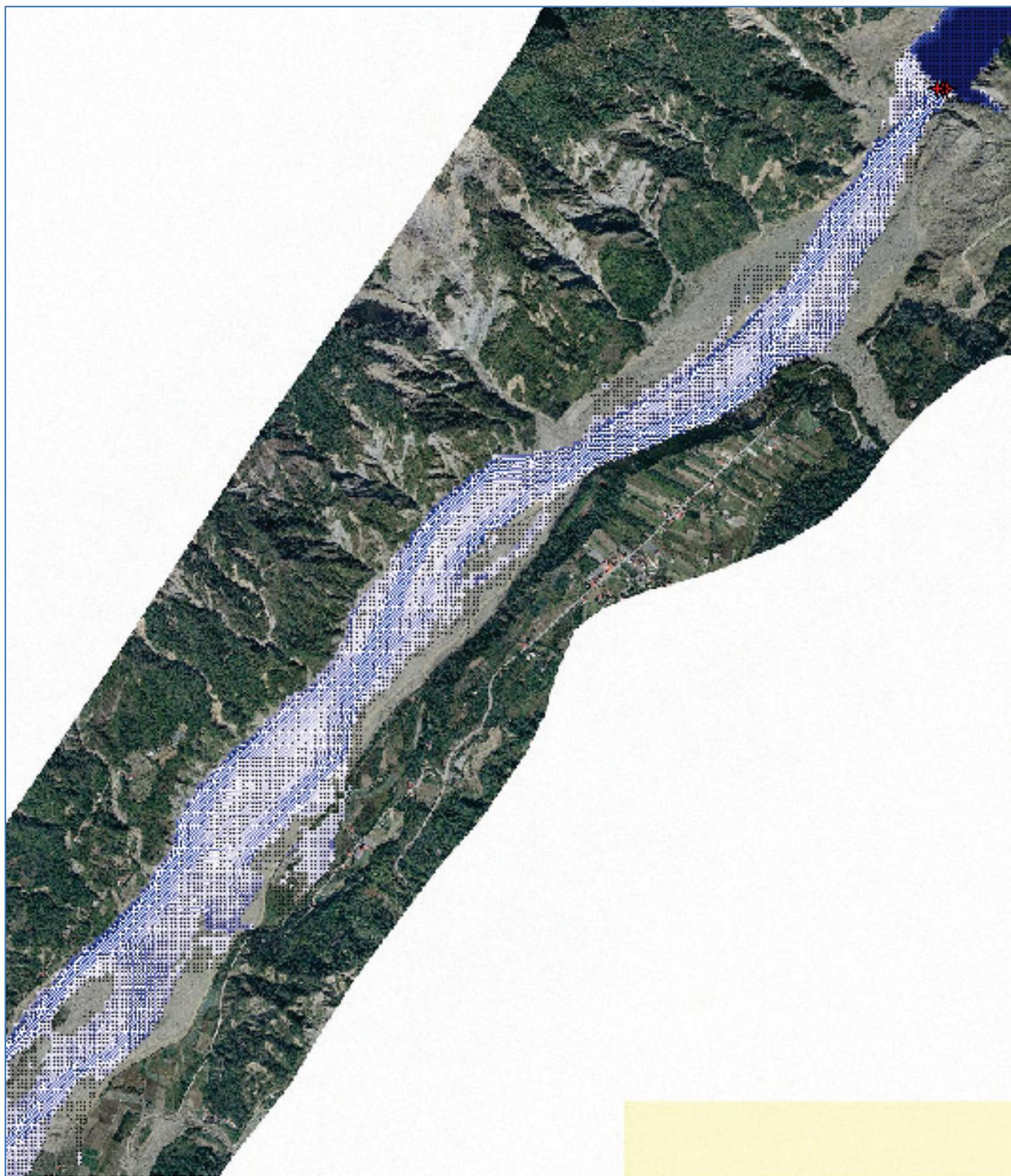


圖 7-19 小林村堰塞湖下游模擬結果（甲仙區小林里、關山里）



圖 7-20 小林村堰塞湖下游模擬結果（甲仙區）

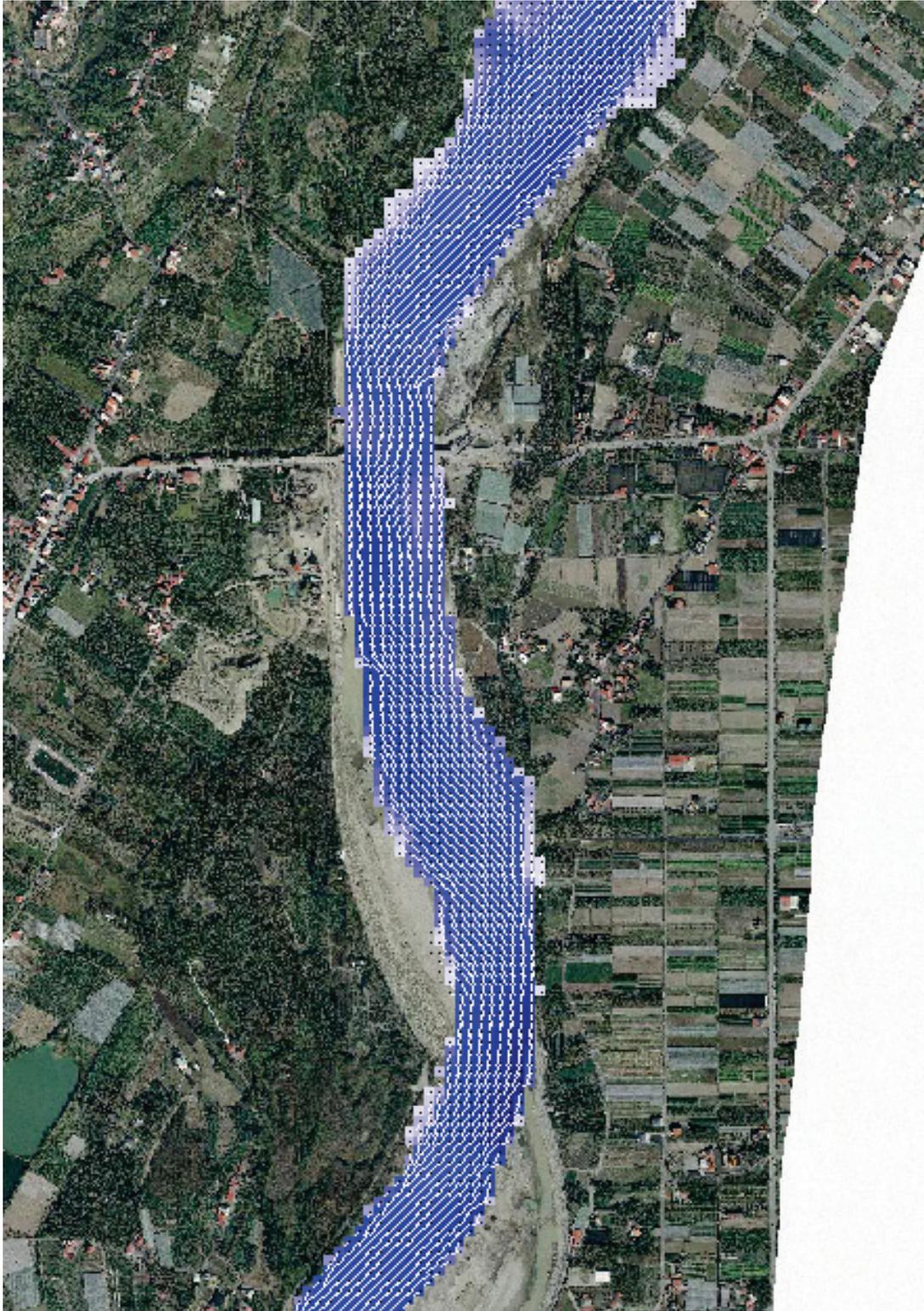


圖 7-21 小林村堰塞湖下游模擬結果（杉林區月眉橋）

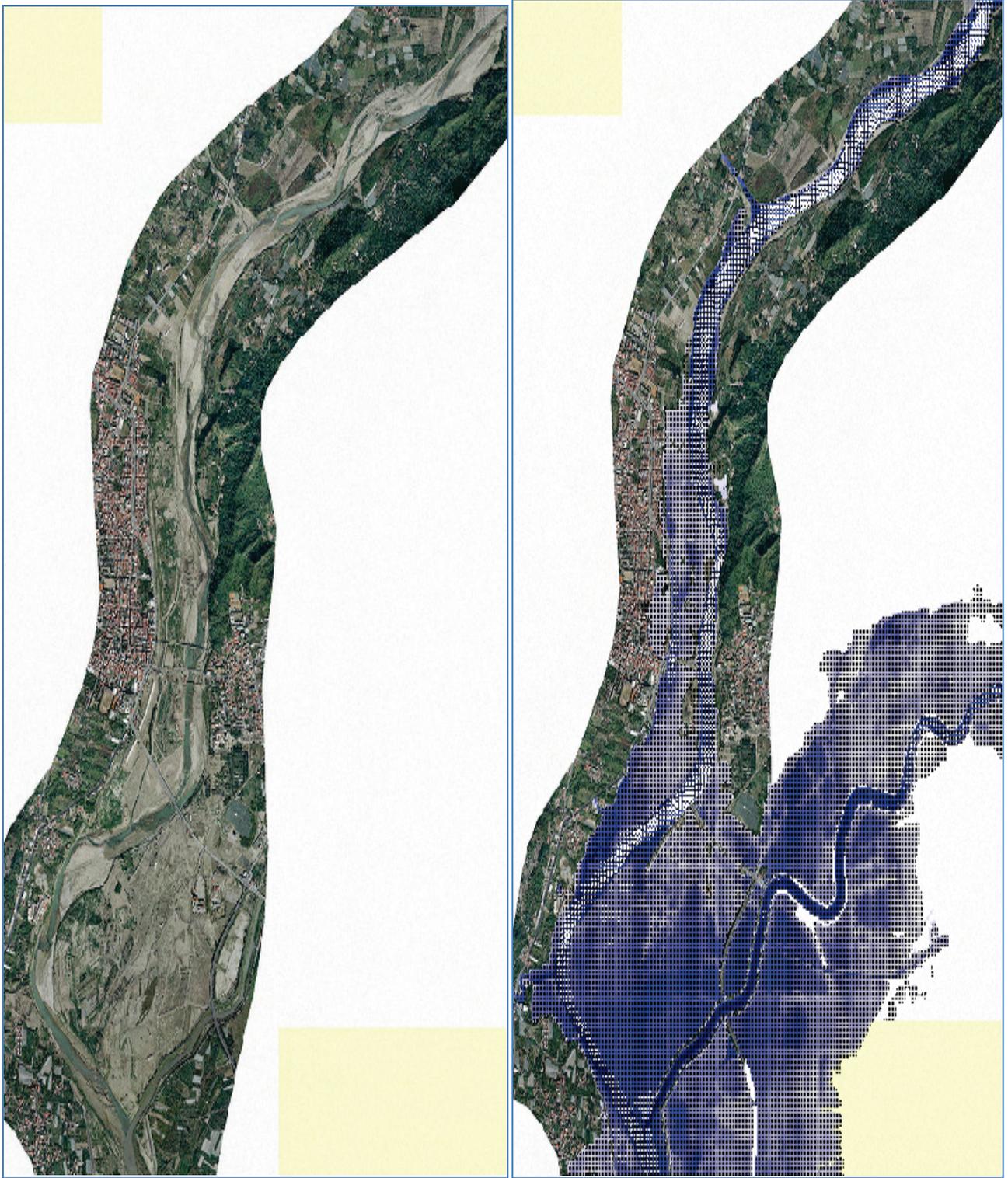


圖 7-22 小林村堰塞湖下游模擬結果（旗山區口隘溪匯入至美濃溪匯入河段）

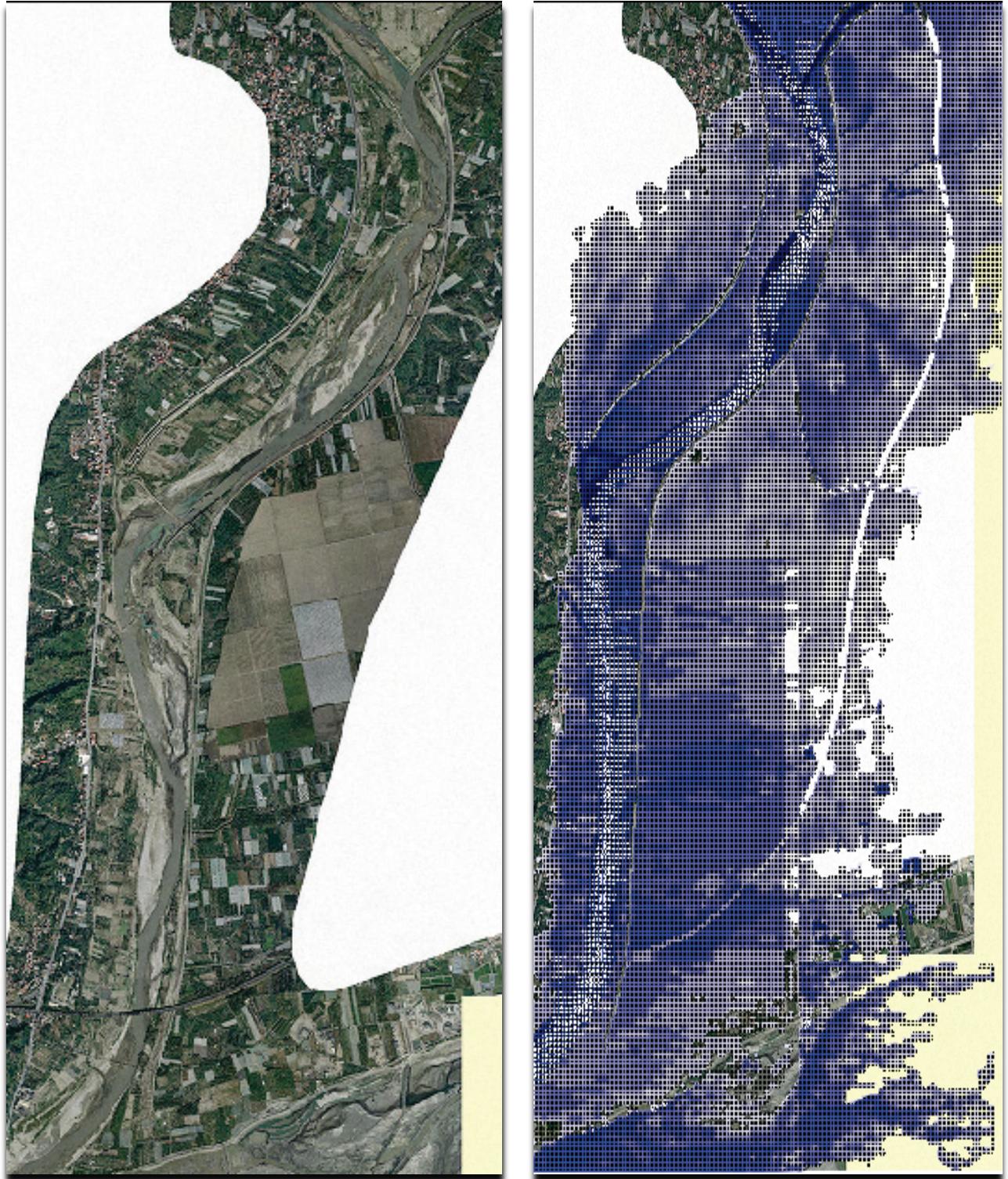


圖 7-23 小林村堰塞湖下游模擬結果（美濃溪匯入至旗山溪出口河段）

表 7-5 小林堰塞湖潰決危害度分析

鄉鎮區	村里名	淹水深度 (m)	UD 評 分	淹水流速 (m/s)	WV 評 分	淹水上漲速 率(m/hr)	WR 評分	危害度(H)	危害度等級	經濟損失 (萬元)	脆弱人口(人)
甲仙區	小林里	22.91	1.00	10.37	1.00	22.91	1.00	1.00	V	49.2	0
	關山里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.1	0
	東安里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	3.0	4
	和安里	5.49	1.00	7.54	1.00	5.49	1.00	1.00	V	5.9	2
	西安里	2.39	0.96	0.89	0.74	2.25	0.85	0.82	IV	10.6	0
	大田里	4.57	1.00	12.75	1.00	4.32	1.00	1.00	V	100.5	2
	寶隆里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
杉林區	木梓里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
	集來里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
	杉林里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
	新庄里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
	上平里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	3.0	4
	月眉里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	2.9	0
	月美里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
旗山區	中正里	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	I	0.0	0
	圓富里	3.23	1.00	1.70	1.00	3.19	1.00	1.00	V	1.7	0
	永和里	0.29	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	II	45.4	18
旗山區	瑞吉里	1.76	0.93	0.50	0.69	1.75	0.75	0.77	IV	95.6	36
	湄洲里	1.01	0.90	1.53	1.00	0.63	0.42	0.79	IV	475.9	22
	大德里	10.60	1.00	3.50	1.00	10.53	1.00	1.00	V	699.3	16

鄉鎮區	村里名	淹水深度 (m)	UD 評 分	淹水流速 (m/s)	WV 評 分	淹水上漲速 率(m/hr)	WR 評分	危害度(H)	危害度等級	經濟損失 (萬元)	脆弱人口(人)
	東平里	7.50	1.00	1.30	0.77	7.42	1.00	0.90	IV	21.2	0
	東昌里	9.65	1.00	1.08	0.75	9.44	1.00	0.89	IV	3200.6	356
旗山區	三協里	4.10	1.00	3.50	1.00	3.99	1.00	1.00	V	91.6	28
	上洲里	2.78	0.98	2.71	1.00	2.54	0.90	0.96	V	32.0	0
	鯤洲里	8.74	1.00	3.13	1.00	7.97	1.00	1.00	V	1410.2	10
	廣福里	9.49	1.00	3.59	1.00	8.71	1.00	1.00	V	2813.7	8
	大山里	1.44	0.92	1.45	0.79	1.21	0.62	0.76	IV	170.6	8
	中洲里	2.47	0.97	1.60	1.00	1.96	0.79	0.92	V	4648.9	10
	南洲里	3.52	1.00	0.55	0.70	2.93	0.98	0.86	IV	4522.3	24
	新光里	8.42	1.00	1.78	1.00	6.94	1.00	1.00	V	513.9	26
	南勝里	5.28	1.00	1.63	1.00	3.87	1.00	1.00	V	445.4	90
里港鄉	瀾力村	3.47	1.00	1.26	0.77	2.02	0.80	0.83	IV	4004.5	0
	中和村	7.58	1.00	1.71	1.00	4.58	1.00	1.00	V	3102.4	0

註:H = 0.24 × WD + 0.44 × WV + 0.32 × WR

(二)那瑪夏堰塞湖

那瑪夏堰塞湖位於旗山溪，行政區域以往為高雄市那瑪夏民生村(達卡努瓦里)。堰塞湖於民國 98 年莫拉克颱風期間形成，壩體係由二溪(位置如圖 7-25)土石崩落流至旗山溪主流形成大型沖積扇並阻斷主河道，溪水蓄積而形成堰塞湖。

林務局於堰塞湖發生後進行幾次現場處置，1. 民國 98 年 8 月 27~28 日採人工方式逐步擴大溢流口，溢流口擴大至 20 公尺，水位降低 80 公分；2. 民國 98 年 8 月 31 日委請成大防災中心至現場量測堰塞湖水深及下游地形結果，平均水深 7.2 公尺，溢流口下游已呈河床形態，目前溢流口穩定溢流中；3. 民國 98 年 11 月 6 日完成第一次降挖，水面下降約 140 公分。

林務局於民國 98 年底至 99 年底執行旗山溪(那瑪夏鄉)、士文溪(春日鄉)二處堰塞湖調查評估及中長期處理對策研擬計畫，以下節錄該計畫成果：

堰塞湖於事件發生後，水位迅速到達滿水位並開始溢流，阻斷河道之土體遭溢壩洪流沖刷，形成寬度約 20 公尺之天然溢流水道，目前穩定溢流中。民國 98 年 8 月該計畫依據福衛二號影像判釋及現地調查得知，該堰塞湖淹沒區面積約 27 公頃 (航空照片判釋結果)，迴水長度約 1.7 公里，最大水深約 10 公尺，蓄水量有限 (應少於 200 萬噸)，由於支流崩塌區面積高達 165 公頃，流出土石量十分可觀，據衛星影像研判其阻塞河道之土體長度甚長，相關基本資料詳圖 7-24。

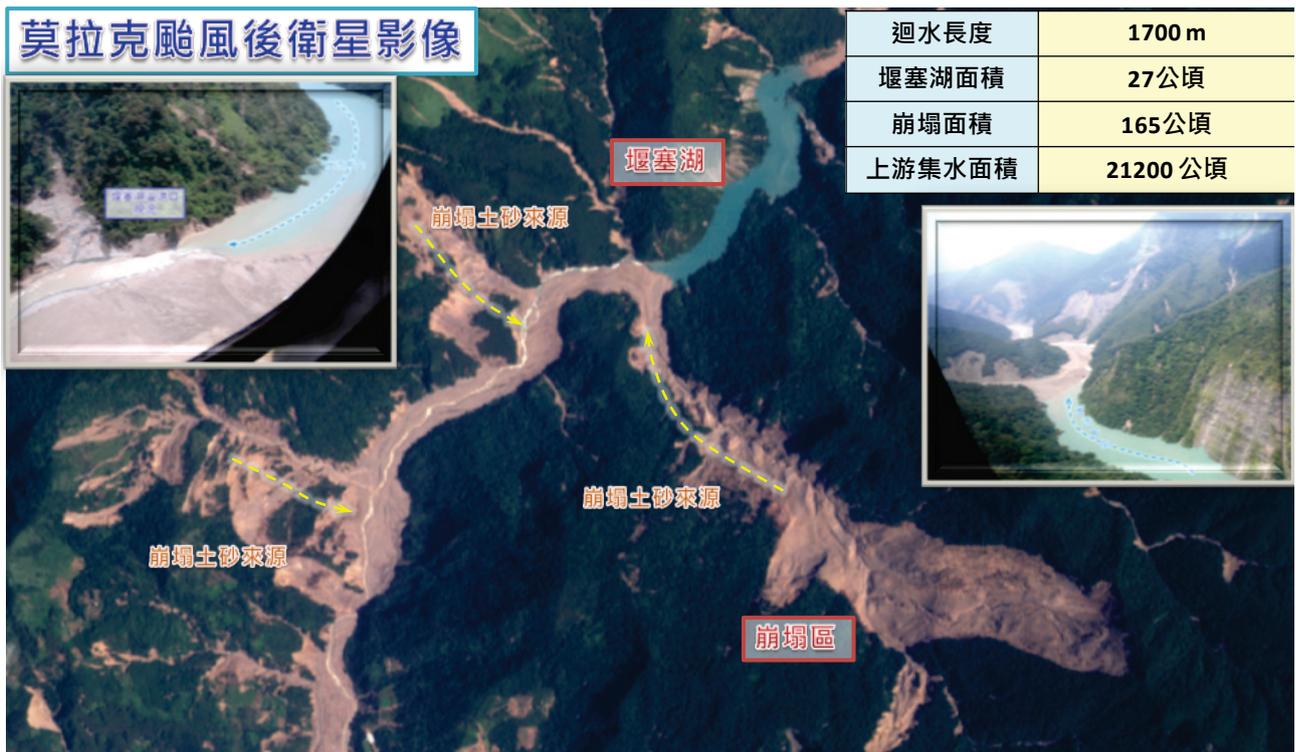


圖 7-24 旗山溪堰塞湖及崩塌區基本資料(林務局，2010)

該計畫於民國 98 年 10 月 29 日進行壩體測量，並將其成果與 5 公尺災前數值地形模型比對，可得知旗山溪堰塞湖形前後之地形變動劇烈，由於造成堰塞湖的大規模崩塌土砂與旗山溪更上游處的大量土砂來源，使得河道受土砂堆積其在壩體處抬升約 60 公尺，而支流二溪形成之土石流扇狀地坡度約為 6 度。

本計畫於民國 99 年 10 月 29 日現勘結果，目前壩體上游仍有廣大範圍的堰塞湖(圖 7-26)，但湖水由右岸溢流(圖 7-26)。

那瑪夏堰塞湖目前無道路可抵達，車輛僅可到達達卡努瓦村北方約 2 公里之五號吊橋(位置如圖 7-25，已沖毀)，而後沿河道步行約 5 公里後方可抵達，進入時務必需要特別注意天候及水流狀況，河道中一旦遇河水上漲，恐無適當躲避之處。

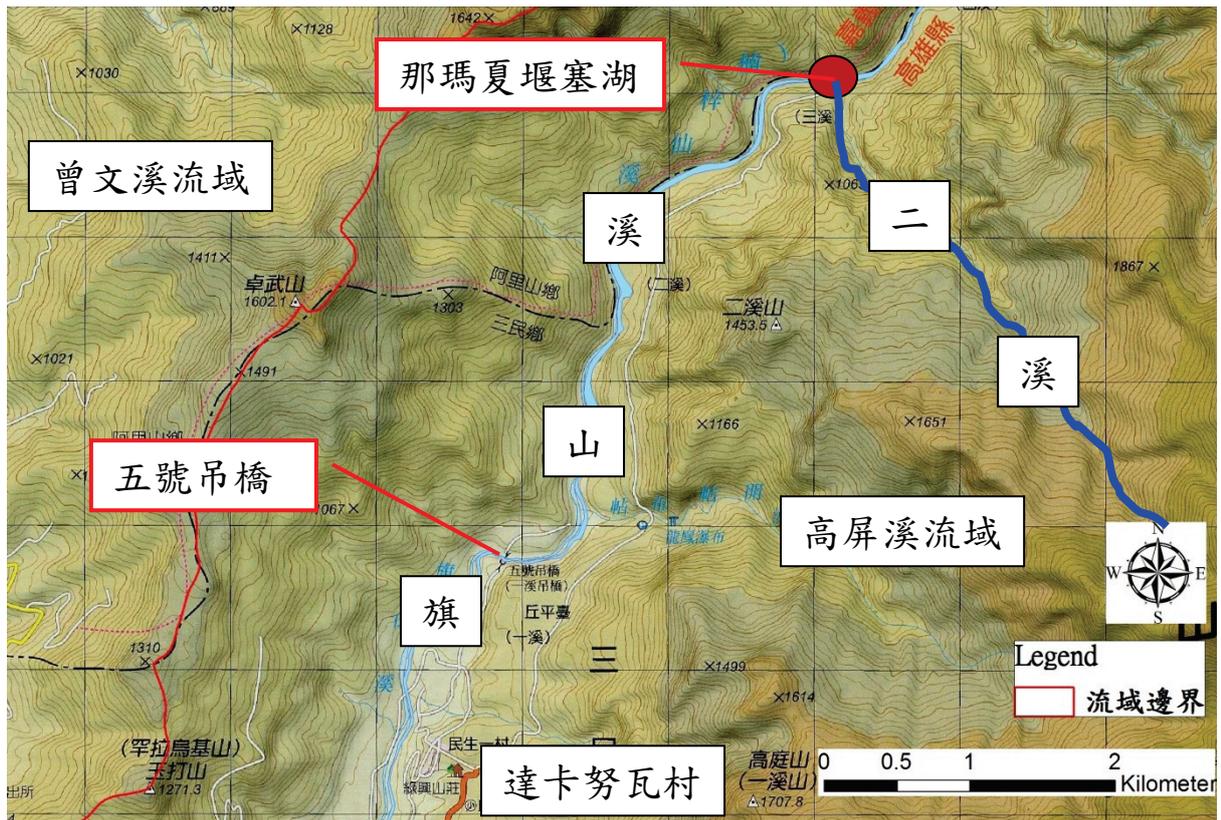


圖 7-25 那瑪夏堰塞湖位置圖



圖 7-26 那瑪夏堰塞湖(99/10/29 拍攝)



圖 7-27 那瑪夏堰塞湖溢流口(99/10/29 拍攝)

1、危險度評估

依據第參章第二節第三小節天然壩穩定性評估地形因子定量模型參數取得流程分析結果，那瑪夏堰塞湖壩體積約為 $8.9 \times 10^6 \text{m}^3$ ，溢流點之壩高為 60m，壩長與壩寬分別為 178.65m 及 2202m，集水區面積為 $209.66 \times 10^6 \text{m}^2$ 。將參數帶入災害評價分析工具運算，計算成果如圖 7-28。DBI、鑑別分析模式及邏輯斯分析模式均顯示該天然壩為不穩定，其破壞機率為 90.1%。目前為自然溢流中。

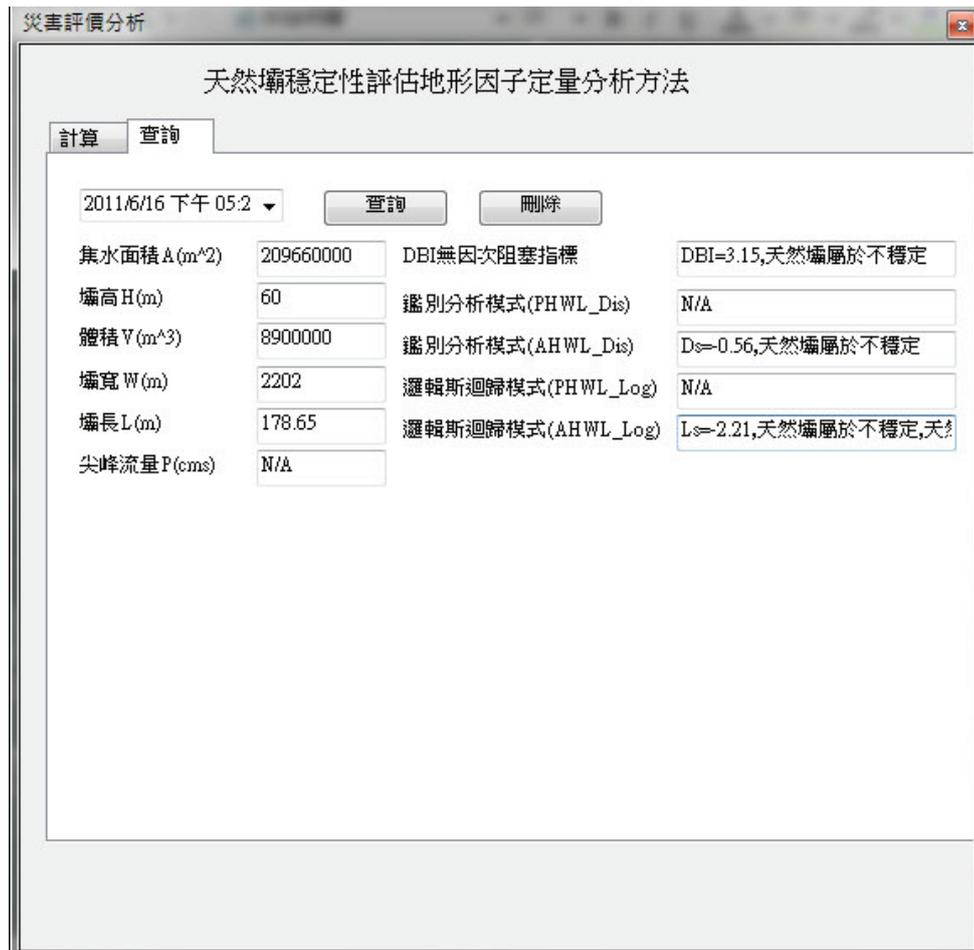


圖 7-28 那瑪夏堰塞湖災害評價分析結果

2、上游危害度評估

(1)短時間快速評估

現地人員根據地形、地貌與河川地及與等高線圖，得知天然壩溢流點高程約為 795m，開始進行上游淹沒區的推估。並根據所收集之相關資料進行分析，方法說明如下：

A、河川地籍與等高線圖：於當地高程 795 公尺經由等高線圖畫出即可將如圖 7-29 所示。若考慮迴水影響範圍，建議增加 5 公尺，即高程 800 公尺作為初步估算迴水影響範圍，並以高程 800 公尺作為疏散撤離之初步依據。

B、土地利用資料：如圖 7-30 所示，為土地利用資料，將高程 795 與 800 公尺等高線套疊至土地利用資料，並將土地使用資料藉由顏色區分，可知那瑪夏堰塞湖淹沒區主要為河川地。

C、正射影像資料：如圖 7-31 所示，將高程 795 與 800 公尺等高線套疊至正射影像，藉由影像判別上游淹沒區的情況，亦可作為疏散撤離之初步依據。

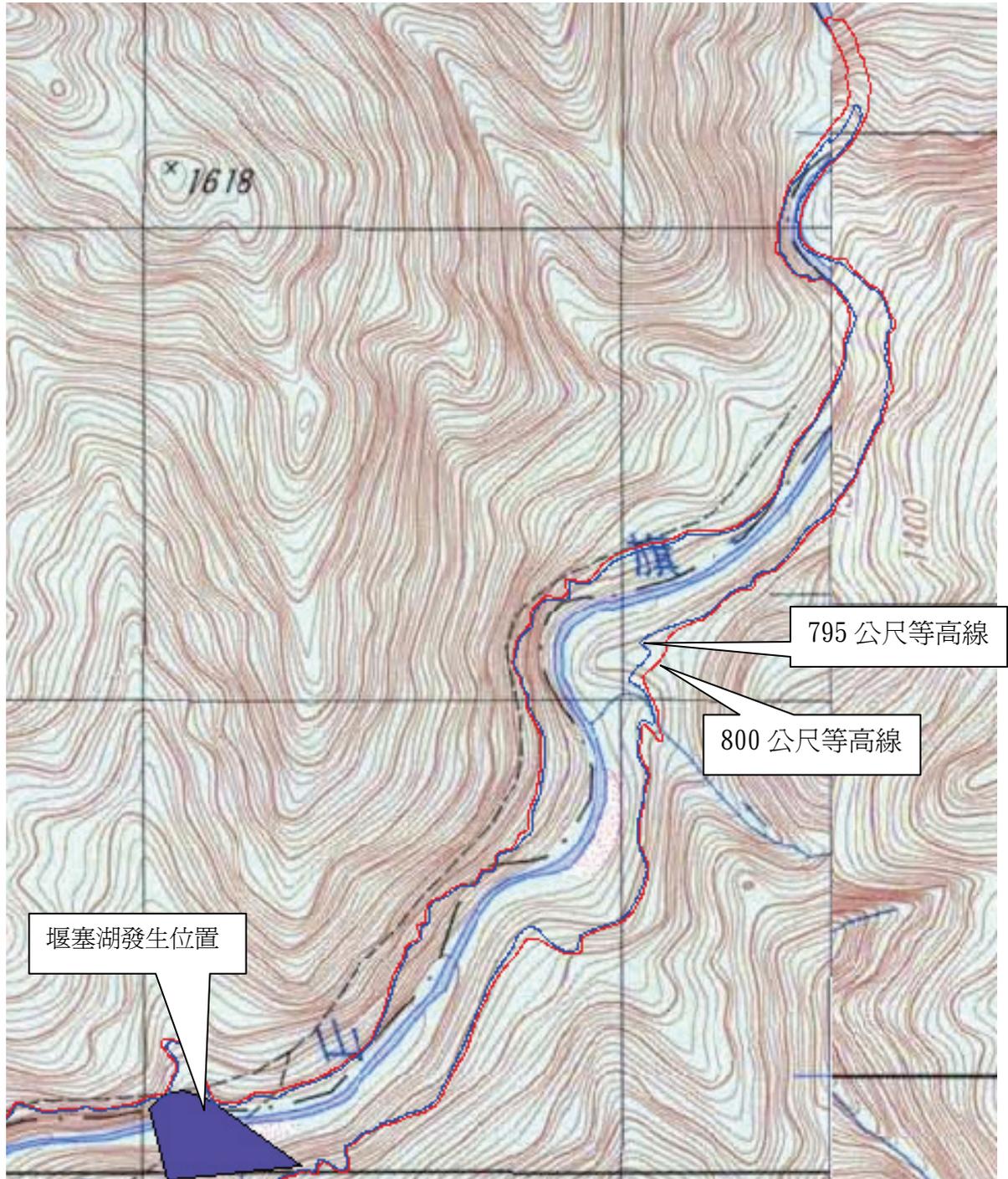


圖 7-29 那瑪夏堰塞湖地籍與等高線圖與標高 795 與 800 公尺等高線圖

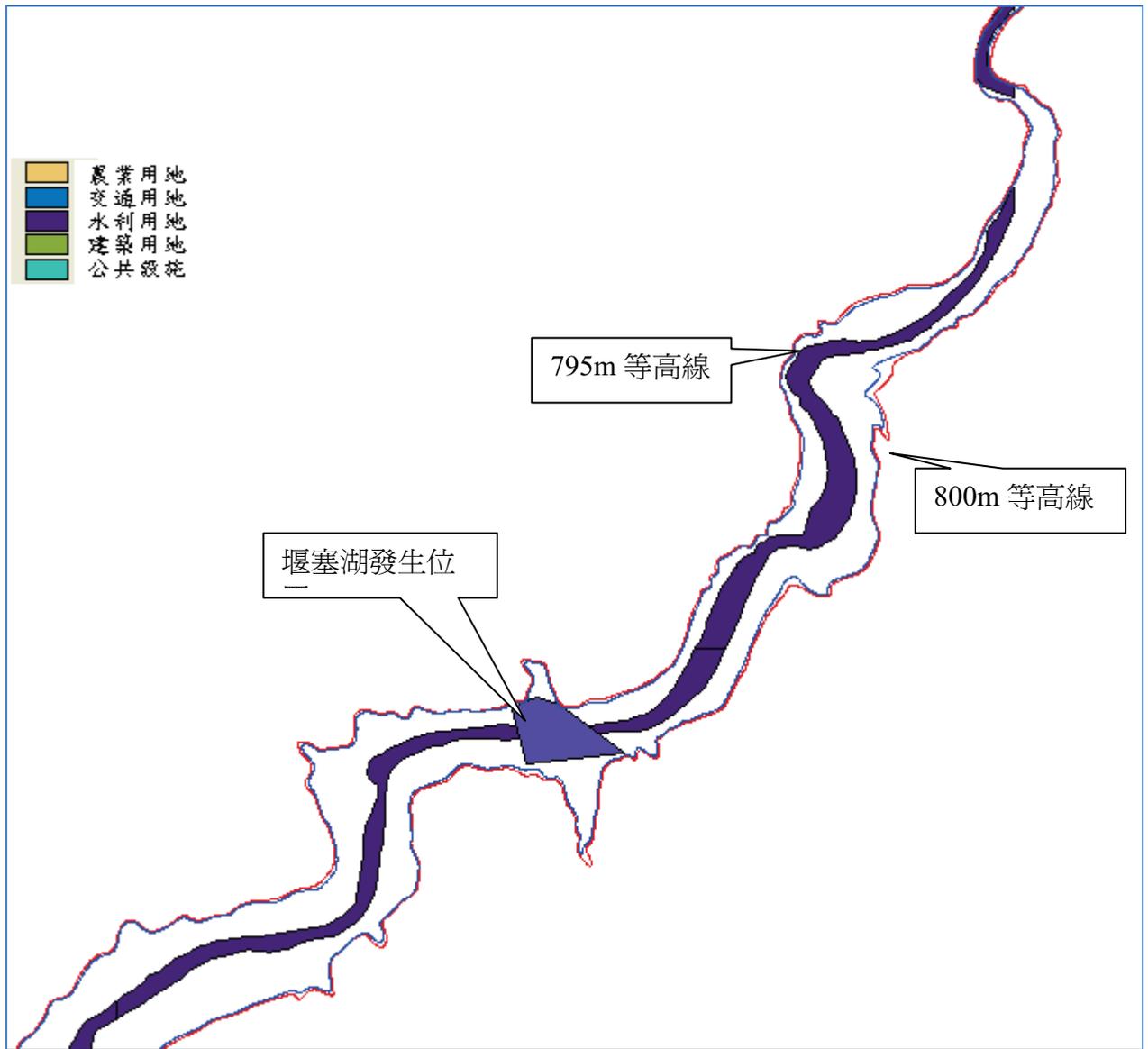


圖 7-30 堰塞湖發生位置周邊土地使用分類情況與標高 795、800m 等高線圖



圖 7-31 堰塞湖發生正射影像與標高 795、800m 等高線圖

(2)長時間詳細評估

- A、降雨逕流模式推算：那瑪夏堰塞湖位置位於水利署治理計畫界點上游，如圖 7-32 所示，無斷面資料可供建置 SOBEK-1D 的河川水文、水理模式，因此，無法藉由已建置之水文、水理模式推得上游平均累積降雨量會發生溢頂現象。
- B、上游淹水模擬：若有河道與河道周邊數值高程資料 (DEM)，則可藉由降雨逕流模式與淹水模式結合進行上游淹沒區的範

圍演算，如圖 7-33 所示，上游淹沒區主要在那瑪夏達卡努瓦里（民生）線界內，因此，對上游淹沒區進行危害度分析，分析結果如表 7-6 所示，說明如下：

(A)WD 評分方面：以那瑪夏堰塞湖上游被淹沒之道路用地最大淹沒深達 6.94m。以水利署（2011）方法以最大淹水深度考量，則採用道路最大淹沒水深 > 3.0m，WD 分級評分為 1.0，

(B)WV 評分方面：以那瑪夏堰塞湖上游被淹沒之道路用地，在淹水深度大於 0.3m 情況下之流速，於道路用地最大流速達 6.84m/s，WV 分級評分為 1.0。

(C)WR 方面：以那瑪夏堰塞湖上游被淹沒之道路用地，在淹水深度大於 0.3m 情況下之上漲速率，於道路用地最大上漲速率達 6.94m/hr，WR 分級評分為 1.0。

根據上述分析結果，上游淹沒區危害度 1.0。上游淹沒區為具有高淹水危害度。以表 4-10 推算得主要經濟損失約 1.8 萬元。而脆弱人口約為 0 人。因此，以堰塞湖上游淹水危害等級為第 V 級，一定會發生淹水。

表 7-6 那瑪夏堰塞湖上游淹沒危害度分析

那瑪夏區達卡努瓦里（民生）			
危害因子	道路用地	評分項目	評分值
淹水深度(m)	6.94	WD	1.00
流速(m/s)	6.84	WV	1.00
上漲速率(m/hr)	6.94	WR	1.00
淹水危害度	1.00	危害度等級	V
經濟損失（萬元）			
名稱	損失金額	名稱	損失金額
早作	1.8	商業	0.0
稻作	0.0	工業	0.0
養殖	0.0	住宅	0.0
總損失（萬元）	1.8	脆弱人口（人）	0

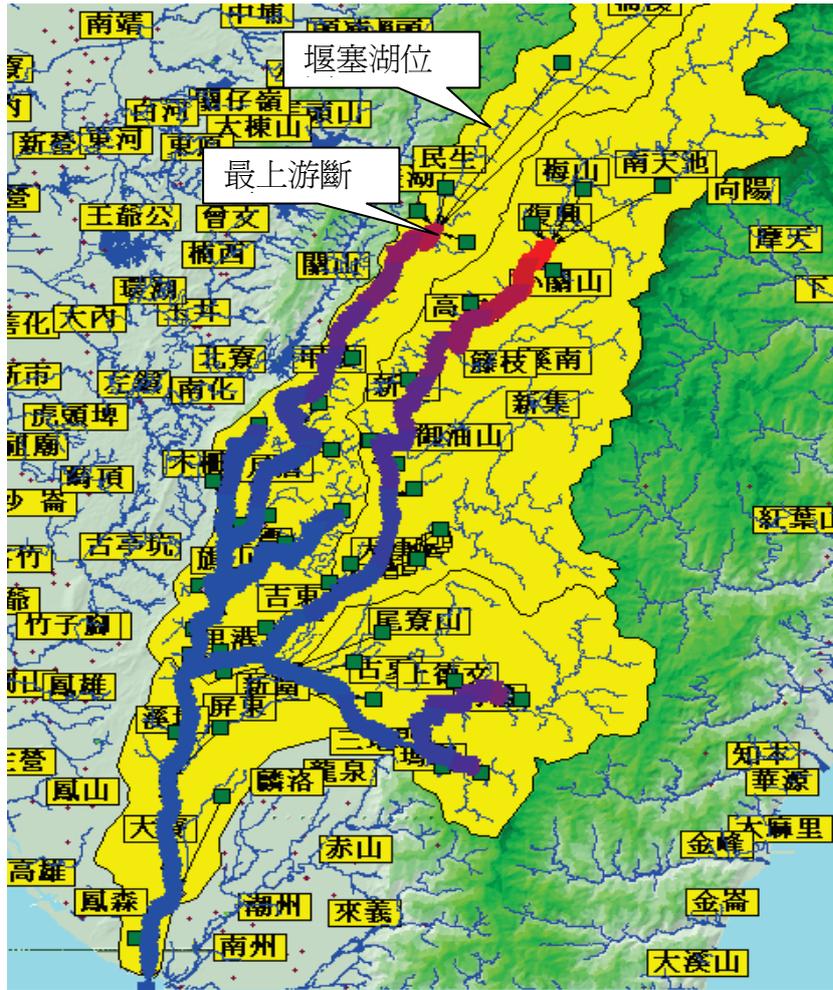


圖 7-32 高屏溪 SOBEK-1D 之降雨逕流與水理模式範圍

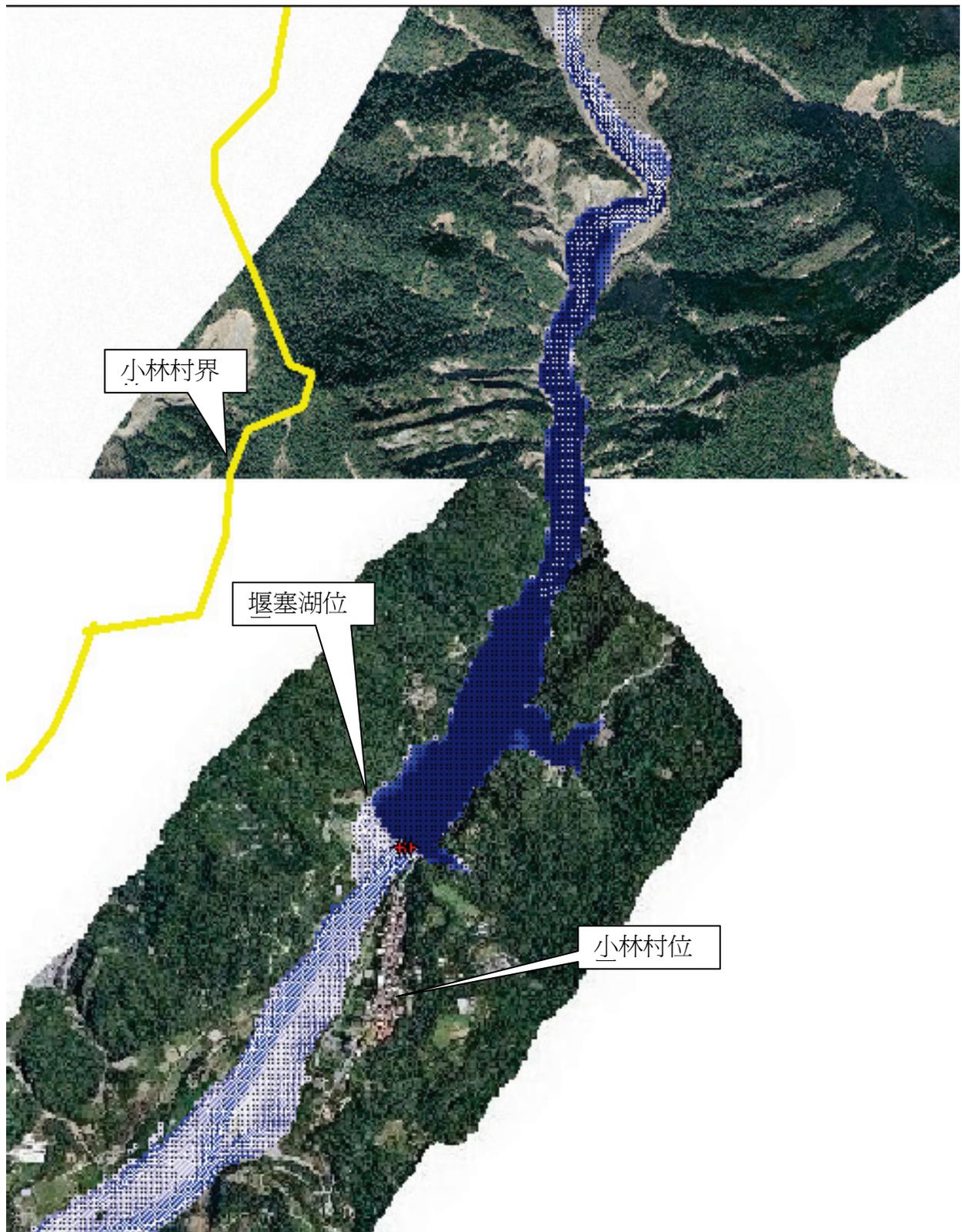


圖 7-33 降雨逕流模式結合淹水模式所得之上游淹沒區

3、天然壩潰決對下游危險度評估

(1)短時間快速評估(危害定性評估)

那瑪夏堰塞湖基本資料如下：

- A、那瑪夏堰塞湖上游集水區約 210km²，壩頂高程為 795m，天然壩體高度為 60m。
- B、土石流形成之堰塞湖，現勘所得主要壩體上、下游坡面大於 1:5，因此快速評估時，以上、下游均為 1:5 之事先準備推估圖 (圖 7-34)，推估可能之最大潰口流量。
- C、因無法取得上游洪流量，因此，以 2000cms 入流至堰塞湖內之情況下，蓄水量推估低於 1000×10⁴m³，因此找尋 1000×10⁴m³ 之推估線，如圖 7-34 所示，推得潰壩最大洪流量約 3,200 cms。

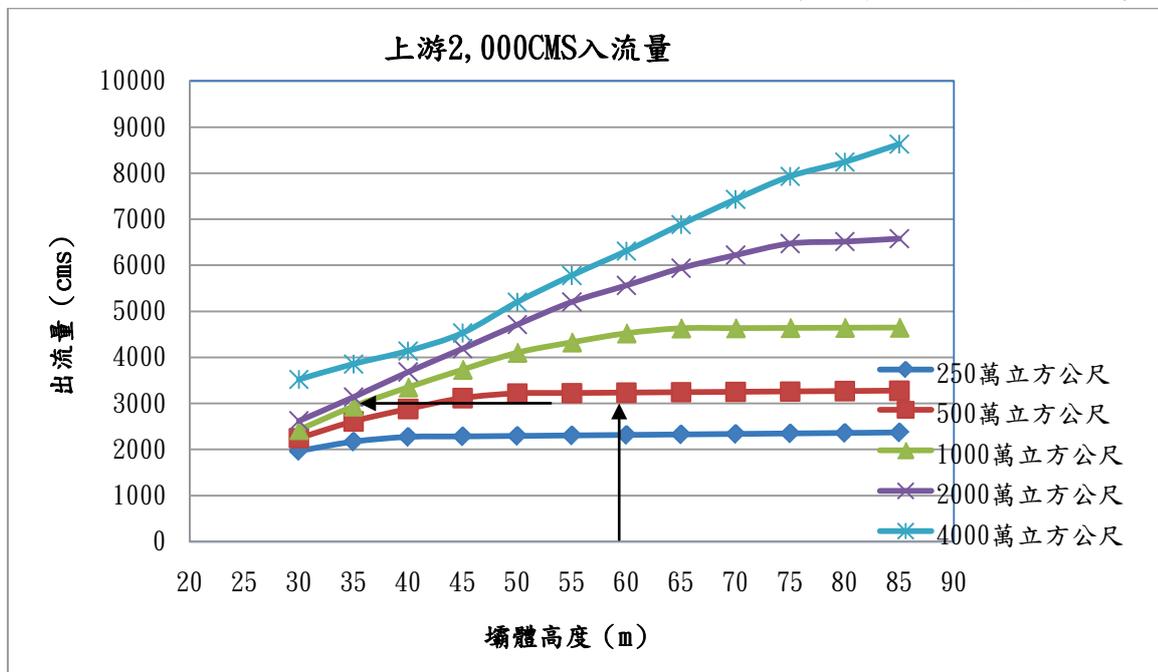


圖 7-34 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 2,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

- D、為高屏溪治理計畫流量，於旗山溪月眉橋之集水區面積約為 533km²，計畫流量為 5,680cms。
- E、根據流量面積法推估於那瑪夏之計畫流量約為 2,240 CMS (210/533×5680=2237)。
- F、快速評估方法之 $I_{db}=1.43(3,200/2,240)>1$ 。下游之達卡努瓦里 (民生)、南沙魯里 (民族)、瑪雅里 (民權)，為第 V 級：一

定會發生淹水，且具有極高危害度。

G、那瑪夏堰塞湖下游地區需要根據災防法第二十四條規定，離河邊較近之居民須緊急疏散撤離。

(2)長時間詳細評估

A、BREACH 模式：將所收集的基本資料進行模式參數設定，主要壩體如圖 7-35 所示，上游坡面分別為 1：5、下游坡面分別為 1：6，上游入流量 1,800cms（莫拉克颱風），模擬結果於潰口部分，如圖 7-36 至圖 7-38 所示，圖 7-36 為潰口入流量與出流量歷線，最大潰口流量約 2,440cms， $I_{db}=1.09(2,440/2,240)>1$ ，為第 V 級：一定會發生淹水，且具有極高危害度。圖 7-37 為那瑪夏潰口處不同時間之變化關係，圖 7-38 為那瑪夏潰口處底床高程與水位之關係。

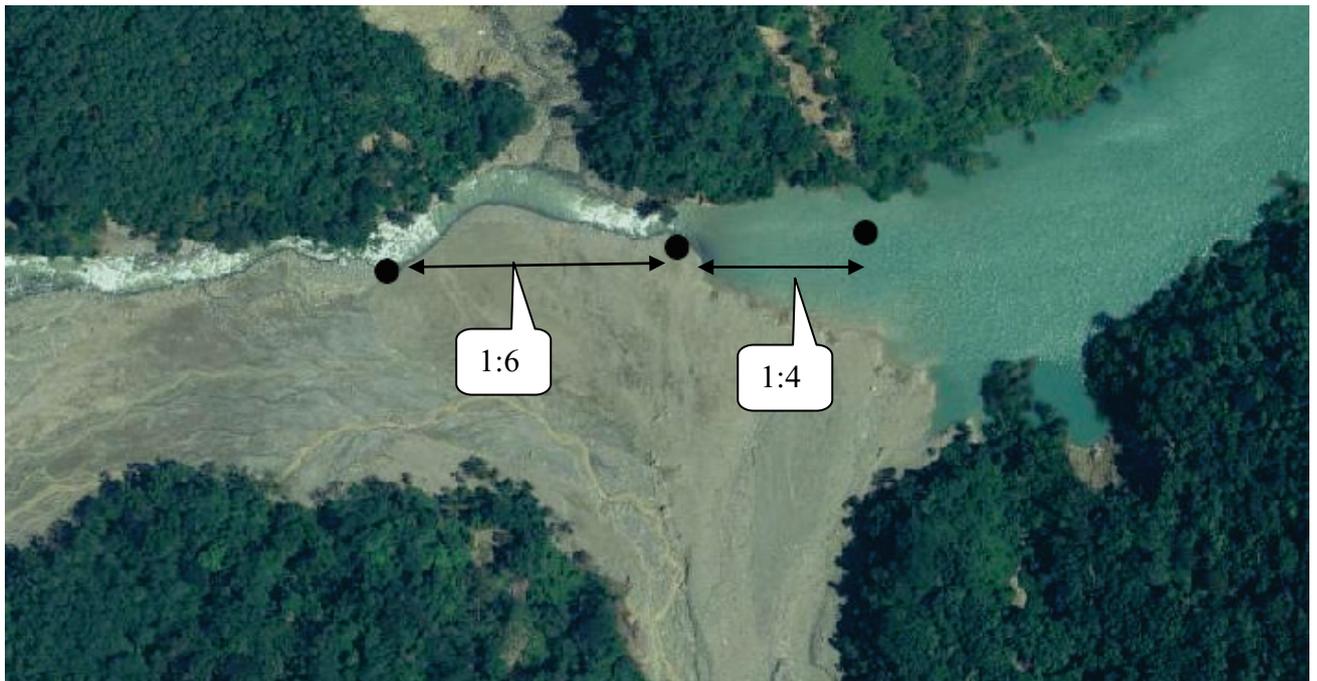


圖 7-35 那瑪夏堰塞湖主要壩體位置與上、下游坡降

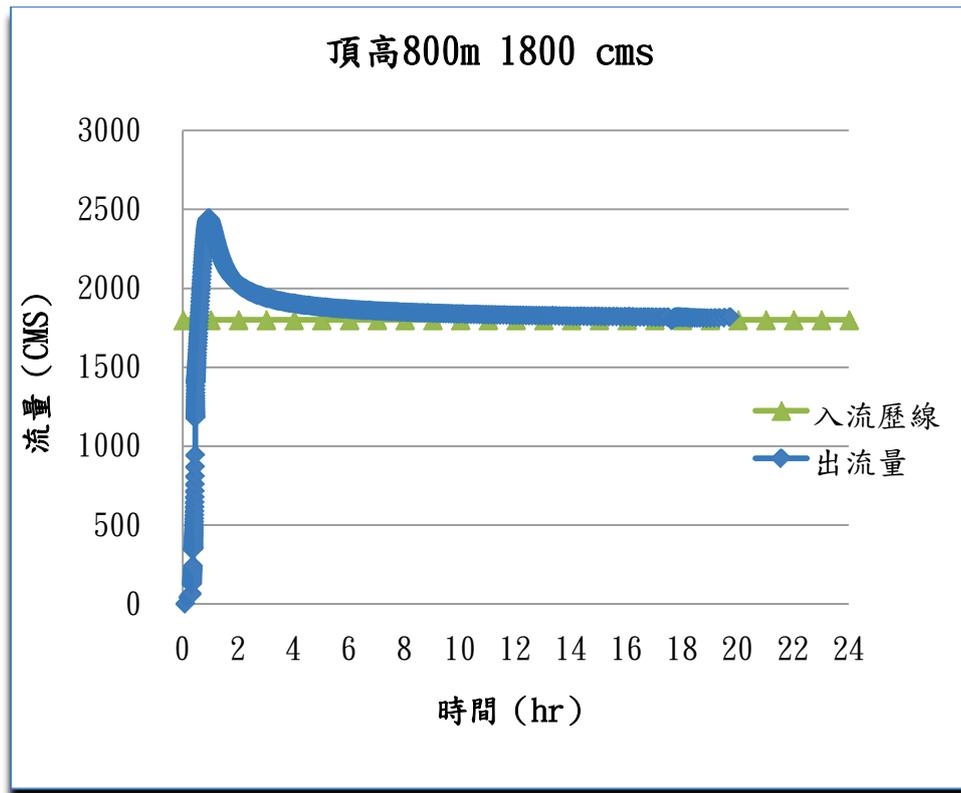


圖 7-36 那瑪夏堰塞湖潰口出流歷線

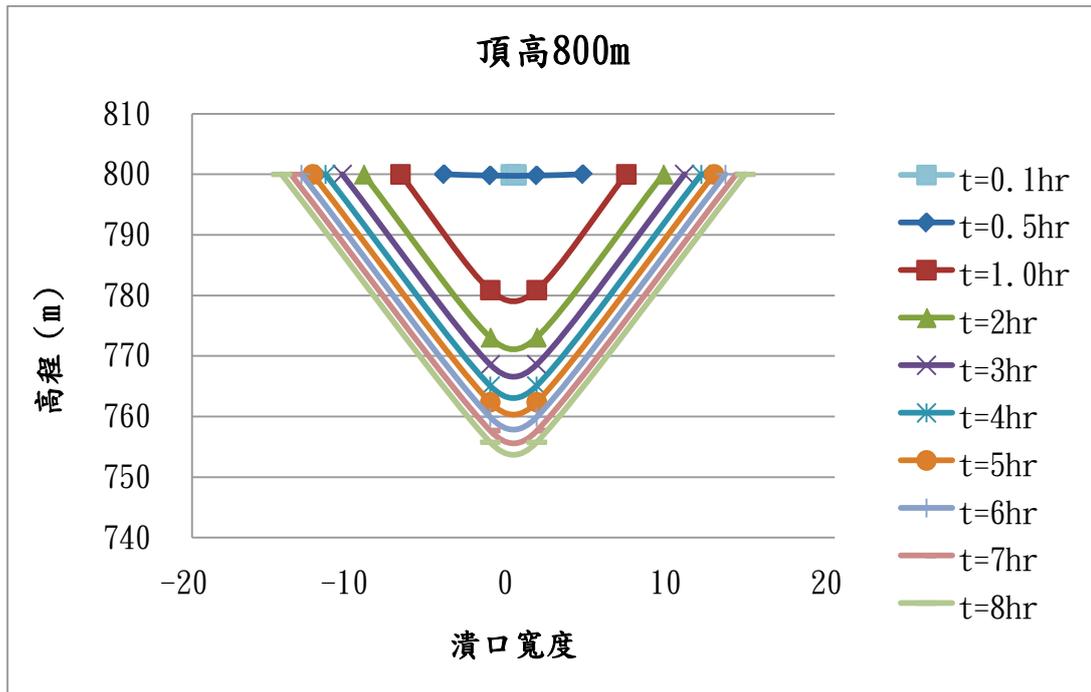


圖 7-37 那瑪夏堰塞湖不同時間之潰口形狀

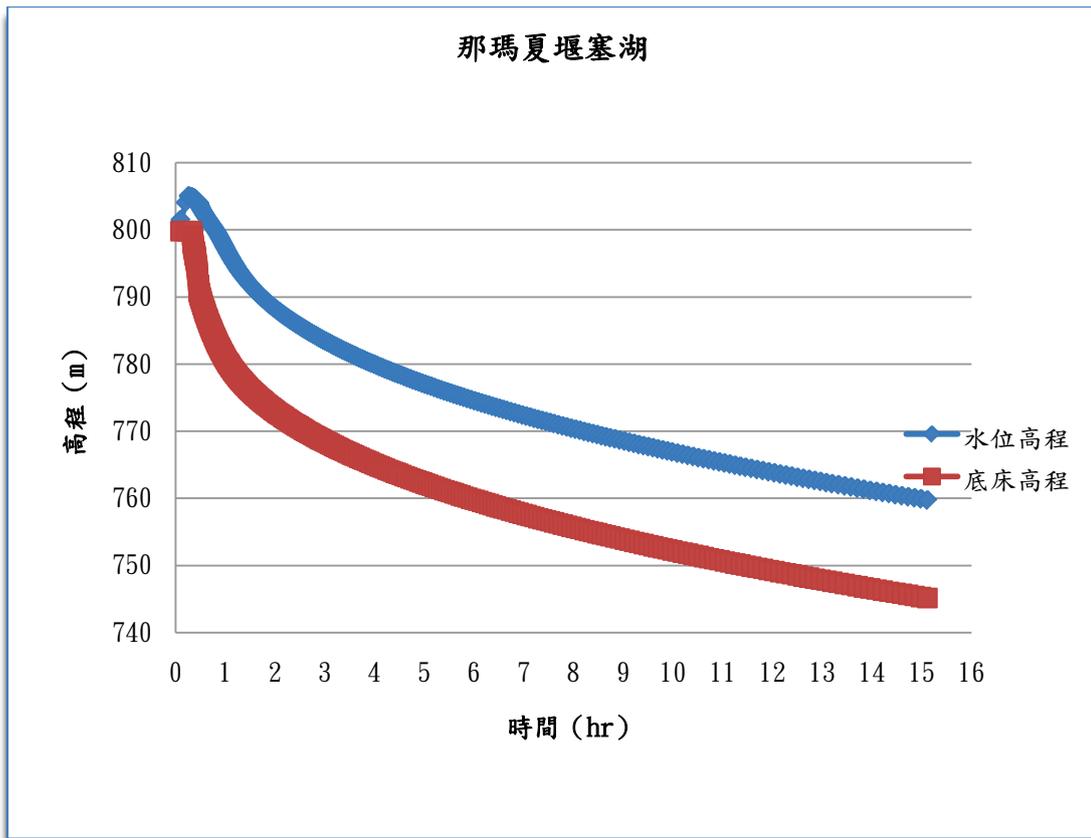


圖 7-38 那瑪夏堰塞湖潰口底床與水位高程歷線

- B、於 SOBEK-1D 水理模式中，因無斷面資料，故無法直接由此方式推得洪峰到達時間。
- C、SOBEK-2D-淹水模式：二維淹水模擬以莫拉克颱風為情境模擬，模擬範圍從上游堰塞湖至甲仙區小林里。DEM 格網為 20m×20m。其上游邊界條件為 BREACH 潰口出流量、下游邊界條件為小林里由莫拉克推得之水位。其模擬結果如圖 7-39 至圖 7-40 所示，其中，圖 7-39 為那瑪夏堰塞湖下游河段至達卡努瓦里（民生）及圖 7-40 為南沙魯里（民族）、瑪雅里（民權）河段模擬結果。堰塞湖下游淹水危害度評估，彙整如表 7-7 所示，將那瑪夏堰塞湖下游各村里之淹水脆弱度與淹水損失與脆弱人口彙整於此表中。

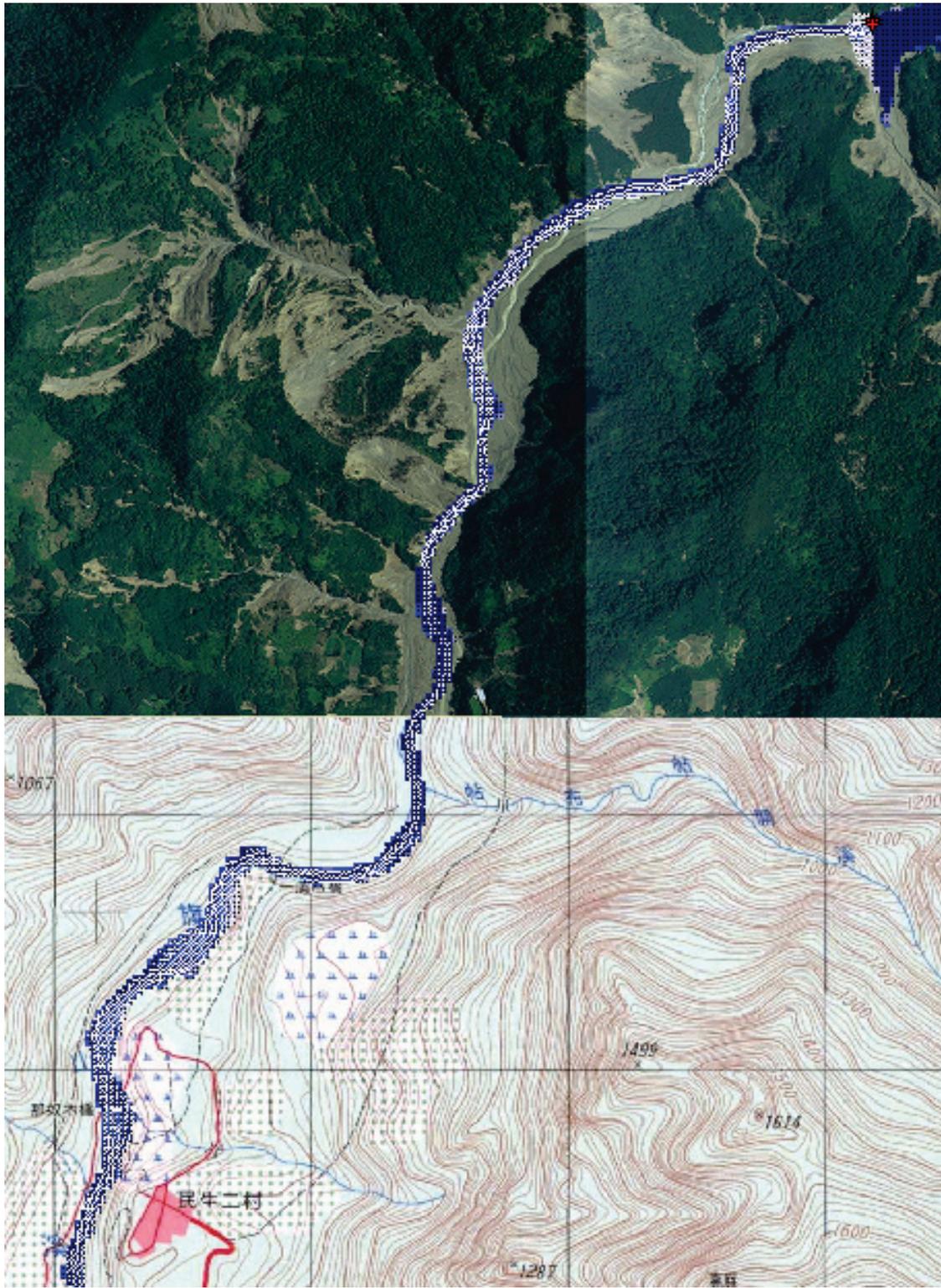


圖 7-39 那瑪夏堰塞湖下游模擬結果（那瑪夏堰塞湖至至達卡努瓦里）

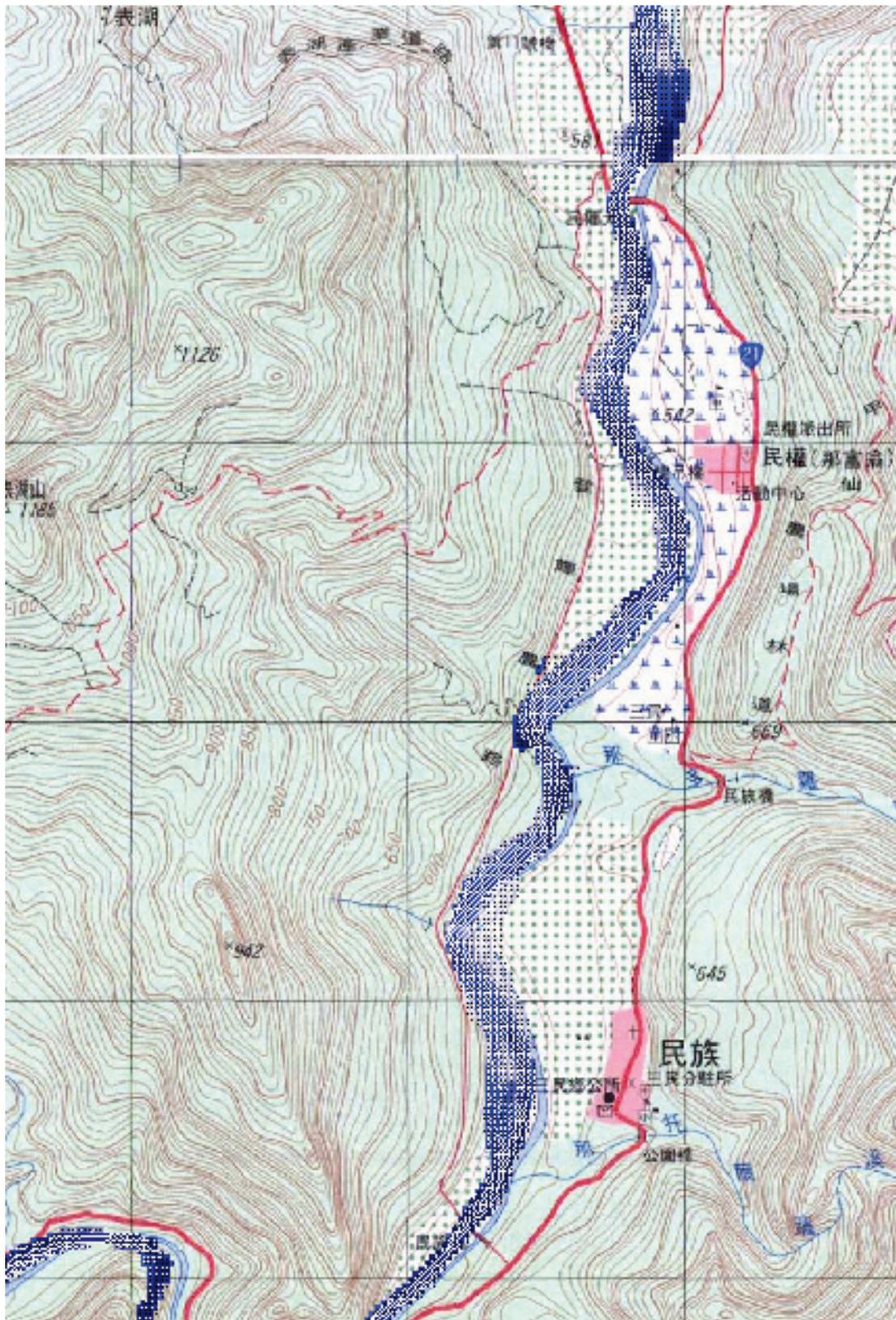


圖 7-40 那瑪夏堰塞湖下游模擬結果 (甲仙區)

表 7-7 那瑪夏堰塞湖潰決危害度分析

鄉鎮區	村里名	淹水深度 (m)	UD 評 分	淹水流速 (m/s)	WV 評 分	淹水上漲速 率(m/hr)	WR 評分	危害度	危害度等級	經濟損失 (萬元)	脆弱人口(人)
那瑪夏 區	達卡努瓦 里	6.94	1.00	6.84	1.00	6.94	1.00	1.00	V	1.81	0
	南沙魯里	6.94	1.00	6.65	1.00	9.82	1.00	1.00	V	9.49	0
	瑪雅里	9.82	1.00	7.7	1.00	7.74	1.00	1.00	V	22.77	0

二、堰塞湖處置資訊系統使用教育訓練

堰塞湖處置資訊系統教育訓練主要依據堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)及使用者手冊內容進行實際案例操作演練。

堰塞湖處置資訊系統教育訓練考量未來使用者不同，分為 2 梯次辦理，第 1 梯次對象為本所業務同仁，訓練內容為堰塞湖潰壩模擬及危害度詳細評估方法，第 2 梯次對象為本所及各河川局業務同仁，訓練內容為野外手冊操作及堰塞湖處置資訊系統應用，課程表如表 7-8 及表 7-9。

教育訓練以實機演練，2 梯次皆在水利規劃試驗所 B 棟 1 樓會議室辦理，第 1 梯次安排在民國 100 年 5 月 20 日，內容針對堰塞湖潰壩模擬及危害度詳細評估方法，包含 Breach 及 Sobek 實際演練。第 2 梯次為 6 月 13 日，內容涵蓋野外手冊介紹、處置系統簡介及系統安裝、監測數據處理分析等議題。圖 7-41 至圖 7-44 為第 1 梯次及第 2 梯次教育訓練辦理情形，訓練教材如附錄七及附錄八。

表 7-8 堰塞湖處置資訊系統教育訓練第 1 梯次課程表

時間	第一梯次(5/20)	主講人
09:00-09:10	主持人致詞	
09:00-09:30	知識庫及輔助決策研擬 I -Breach 潰口分析	交通大學 楊昇學 博士
09:30-10:30		
10:30-10:45	中間休息	
10:45-12:00	知識庫及輔助決策研擬 I -Sobek 一維分析	
12:00-13:00	午餐	
13:00-14:20	知識庫及輔助決策研擬 II-Sobek 分析	
14:20-14:35	中間休息	
14:35-16:00	知識庫及輔助決策研擬 II-Sobek 分析	
16:00-17:00	實作與演練	

表 7-9 堰塞湖處置資訊系統教育訓練第 2 梯次課程表

時間	課程	主講人
09:00-09:10	主持人致詞	
09:10-10:00	天然壩危險度及危害度快速評估	中央大學 董家鈞 教授
10:00-10:50	堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊介紹	中央大學 董家鈞 教授
10:50-11:10	中間休息	
11:10-12:00	系統安裝及實作演練(I)	
12:00-13:00	午餐	
13:00-15:00	堰塞湖處置資訊系統介紹	交通大學 王慧蓉 助理
15:00-15:20	中間休息	
15:20-16:10	監測數據處理分析	交通大學 鐘志忠 博士
16:00-17:00	實作與演練(II)	



圖 7-41 第 1 梯次教育訓練現場(I)



圖 7-42 第 1 梯次教育訓練現場(II)



圖 7-43 第 2 梯次教育訓練現場(I)



圖 7-44 第 2 梯次教育訓練現場(II)

參考文獻

1. 日本土木研究所，1996，洪水氾濫類比仿真數學模型技術指南(日文)。
2. 中興大學，2000，九份二山整體規劃報告，水土保持局研究計畫。
3. 水保局，2009，堰塞湖警戒、監測及撤離與演練方案。
4. 林銘郎、董家鈞、胡植慶、劉桓吉、陳江淮、孫思優、劉說安、李錫堤，2008，向大自然學習我們準備好了嗎?~從地工角度看四川汶川地震之相關議題，地工技術，第 116 期，第 97-112 頁。
5. 李錫堤，董家鈞，林銘郎，2009，小林村災變之地質背景探討，地工技術，第 122 期。
6. 李昫珊，董家鈞，李明旭，宋睿唐，2010，莫拉克颱風引致之堰塞湖地形與水文參數分析—以小林村堰塞湖為例，第十屆岩盤工程研討會，國立高雄應用科技大學燕巢校區。
7. 行政院農業委員會林務局屏東林區管理處，2010，旗山溪(那瑪夏鄉)、士文溪(春日鄉)二處堰塞湖調查評估及中長期處理對策研擬，財團法人成大研究發展基金會執行。
8. 柳雅瀨，2007，邊坡位移欲測之非線性系統動態分析，成功大學資源工程研究所博士論文。
9. 秦四清，張倬元，王士天，黃潤秋著，1993，非線性工程地質學導引，西南交通大學出版社。
10. 陳順宇，2004，多變量分析，三版，華泰書局，台北。
11. 陳樹群，1999，堰塞湖潰決機制與減災工法研究，中華水土保持學報，30(4):299-311。
12. 陳樹群、許中立，2009，莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估，地工技術，第 122 期，第 79-88 頁。
13. 陳天健、許中立、黃文仁、林潤榮、徐弘明、邱欣慰，2005，知本

- 溪上游堰塞湖之緊急調查與初步評估，坡地防災學報，4(2):1-16。
14. 童煜翔，2008，山崩引致之堰塞湖天然壩穩定性之量化分析，中央大學應用地質研究所碩士論文。
 15. 賀可強，陽吉寶，王思敬，2007，堆積層滑坡位移動力學理論及其應用—三峽庫區典型堆積層滑坡例析，科學出版社。
 16. 董家鈞、劉說安、張立雨、李錫堤、廖志中、潘以文，2010，遙測影像與數值地形模型於堰塞湖災害評估之應用，航測及遙測學刊，第15卷，第1期，1-13.
 17. 黃俊英，1995，多變量分析，五版，中國經濟企業研究所，台北。
 18. 黃承傑，2002，專案進度風險分析模式—考慮不確性作業之影響，國立高雄第一科技大學營建工程系碩士論文。
 19. 謝岳勳，2009，包含 TDR 感測功能之自動化監測系統，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
 20. 劉文軍，賀可強，2006，堆积层滑坡位移矢量角的 R/S 分析--以新滩滑坡分析为例，青島理工大学学报，第27卷第01期。
 21. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2002，堰塞湖引致災害防治對策之研究(1/3)，國立交通大學（防災與水環境研究中心）執行。
 22. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2003，堰塞湖引致災害防治對策之研究(2/3)，國立交通大學（防災與水環境研究中心）執行。
 23. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2004，堰塞湖引致災害防治對策之研究(3/3)，國立交通大學（防災與水環境研究中心）執行。
 24. 經濟部水利署，2005，水庫安全監測問題評析與非破壞性檢測技術應用之研究，國立交通大學（防災與水環境研究中心）執行。
 25. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2010，石門水庫水砂運移與異重流模式開發及應用研究，國立交通大學（防災與水環境研究中心）執行。

26. 經濟部水利署，2010，氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估，財團法人成大研究發展基金會。
27. 經濟部水利署，2010，脆弱度及風險地圖分析方法之研究，國立臺灣大學生物環境系統工程學系。
28. 經濟部水利署，2011，高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範，國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心。
29. 鄧家駒，2000，風險管理，華泰書局。
30. 戴子強，2010，TDR 感測平台資訊監測系統，國立交通大學網路工程研究所碩士論文。
31. 龍輝，秦四清，萬志清，2002，降雨觸發滑坡的尖點突變模型，岩石力學與工程學報，21(4)，502-508。
32. Agresti, A., 2002, Categorical Data Analysis, 2nd ed., John Wiley, New York, 710p.
33. Costa, J.E., 1985. Floods from dam failures. Open-file report (United States Geological Survey): 91 – 239.
34. Cui, P., Zhu, Y., Han, Y., Chen, X., Zhuang, J., 2009. The 12 May Wenchuan earthquake-induced landslide lakes: distribution and preliminary risk evaluation. Landslides 6, 209 – 223.
35. Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. Engineering Geology 64, 65 – 87.
36. Dong, J. J., Li, Y. S., Kuo, C. Y., Sung, R. T., Li, M. H., Lee, C. T., Chen, C. C. and Li, W. R., 2011. The formation and breach of a short-lived landslide dam at Hsiaolin village, Taiwan – Part I : Post-event reconstruction of dam geometry, Engineering Geology, in press.

37. Dong, J. J., Tung, Y. H., Chen, C. C., Liao, J. J. and Pan, Y. W., 2009. Discriminant analysis of the geomorphic characteristics and stability of landslide dams. *Geomorphology*, 110, 162-171.
38. Dong, J. J., Tung, Y. H., Chen, C. C., Liao, J. J., Pan, Y. W., 2011, Logistic regression model for predicting the failure probability of a landslide dam. *Engineering Geology* , 117, 52 – 61.
39. Ermini, L., and Casagli, N., 2003. Prediction of the behaviour of dams using a geomorphological dimensionless index, *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, 31 – 47.
40. Feinberg, S., 1985. *The analysis of cross-classified categorical data*, 2nd ed., Cambridge, MIT Press, MA, 198p.
41. He K. and Wang, S., 2003. Constituents and features of displacement vector angle of colluvial landslide, *Environmental Geology*, 45,279 – 285.
42. Huggel, C., Kääh, A., Haeberli, W., Teyssere P. and Paul, F., 2002. Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. *Can. Geotech. J.*, 39: 316 – 330.
43. Hurst, H. E., 1951. Long Term Storage Capacities of Reservoirs, *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 116, p776-808.
44. Jonkman, Vrijling, JONKMAN, S. N. ; VRIJLING, J. K. , 2007, “ Loss of Life Caused by Floods. In : SCHANZE, Jochen (Ed.) ; European Symposium on Flood Risk Management Research (EFRM) (Veranst.) : Flood Risk Management Research - From extreme events to citizens involvement. Dresden : Leibniz Institute of Ecological and

Regional Development (IOER).

45. Korup, O., 2004. Geomorphometric characteristics of New Zealand landslide dams. *Engineering Geology* 73, 13 – 35.
46. Korup, O., 2005. Geomorphic hazard assessment of landslide dams in South Westland, New Zealand: Fundamental problems and approaches. *Geomorphology*, 66, 167 – 188.
47. Liou, Y.-A., S.K. Kar, and L.-Y. Chang, 2010. Use of high-resolution Formosat-2 satellite images for post-earthquake disaster assessment: A study following 12 May 2008 Wenchuan earthquake. *Int. J. Remote Sensing*, 31,1-14
48. Li, M.H., Hsu, M.H., Hsieh, L.S., Teng, W.H., 2002. Inundation potentials analysis for Tsao-Ling landslide lake formed by Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Natural Hazards* 25, 289 – 303.
49. Mandelbrot, Benoit B., 1977. *Fractals, Form, Chance, and Dimension*, W. H. Freeman and Company.
50. Mandelbrot, Benoit B., 1982. *The Fractal Geometry of Nat.*
51. Paul R. Garey and Zachary F. Lansdowne, 1999. Risk Matrix : An approach for identifying, assessing, and ranking program risk, *Air Force Journal & Logistics*, page18~23 ◦
52. Schuster, R. L., 1995. Landslide dams – a worldwide phenomenon. *Journal of the Japanese Landslide Society*, 31, 38 – 49.
53. Thome, R., 1972. *Stabilite structurelle et morphogenese*. Benjamin, New York.
54. Tabata, S., Mizuyama, T., Inoue, K., 2002. *Natural Landslide Dams Hazards*, Kokonshoin, Tokyo. (in Japanese).
55. Tung, Y.K., Yen, B.C., and Melching, C.S., 2006. *Hydrosystems*

engineering reliability assessment and risk analysis, McGraw Hill, New York.

56. US Army Corps of Engineers, 1997. Engineering and Design - Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs (EM 1110-2-1420).
57. Yin, Y., Wang, F., Sun, P., 2009. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China. *Landslides* 6, 139 - 152.
58. Yin, Y., Wang, F. and Sun, P., 2009. Landslide hazards triggered by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China. *Landslides*, 6, 139 - 152.
59. Xu, Q., Fan, X. M., Huang, R. Q. and Van Westen, C., 2009. Landslide dams triggered by the Wenchuan Earthquake, Sichuan Province, south west China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68, 373 - 386.

附錄一 審查意見及回覆

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(1/11)

期末報告審查意見及辦理情形

壹、日期：100年6月8日（星期三）下午2時

貳、地點：本所舊正辦公區大地課2樓會議室

參、主持人：陳所長弘由

記錄：吳文賢

審查意見	處理情形
成功大學地球科學系 林教授慶偉	
1.未來可考慮將山崩與土石流形成之堰塞湖分開討論其安定性與潰壩風險。	1.目前因完整案例太少，分開統計正確率偏低，未來待堰塞湖案例增加，應該分開統計以建立不同誘發機制之危險度模型。
2.災後緊急調查評估時，可考慮將福衛二號融合影像之使用納入操作手冊。	2.遵照辦理，衛星影像涵蓋福衛二號影像。
3.請加強堰塞湖形成後1~2天內利用現地調查資料所做緊急評估之SOP。	3.謝謝建議，已於附錄三緊急現勘手冊加入SOP。
經濟部水利署工程事務組 賴組長建信	
1.本報告蒐集完整資料並完整提出快速及詳細的評估方法，不僅有助於實務應用，對此一課題的探討深具學術價值。	1.謝謝。
2. 以下依初稿頁次順序提出意見： (1)P.2-3 第二段第五行末表示「…待所內同意…」，其意指如何？ (2)P.3-1 第四段第五行表示獲其他經費補助完成邏輯斯迴歸統計模型之建立。則此一模型未來是否可無償提供本署運用？ (3)P.3-10 第一段第五行表示溢流處壩高為68 m 是否有誤？另建議予以定義本報告中各評估方法參數及其計算方式，如壩高究竟指溢流頂至原河床面之高程差或是崩積土體最大高度。 (4)P.3-10 第二段文字敘述與fig3-4 無法對應。 (5)P.4-9 第一段文字水位上升速率及P.4-10 對應撤離時間進行表4-4 分級，以淹水深度1.5m 進行反算，惟依P.4-7 表示淹水深度 $1m \leq d \leq 3m$ 已達成人胸部以上有生命危險，當此狀況即無機會撤離，反之淹水深度達 $0.3m \leq d \leq 0.5m$ 才具撤離行動意義，建議研究團隊參考。 (6)P.4-12 第3段第4行敘及fig4-16，惟本初稿並無fig4-16，是否誤植。 (7)P.4-13 表4-8 堰塞湖危害度衝擊與分	2. (1)本所係指水規所，已於文中修正。 (2)本模型係為本團隊發展並已發表論文，並無版權使用之問題。 (3)經確認壩高(溢流點高程與事件前河谷最低點高程差)應為60公尺(P3-11)，與壩高相關之數字均已隨之修改，另外，壩幾何形狀均已明確定義於P3-12圖3-5。 (4)圖3-4 已修正(增加綠色扇頂點) (5)表4-4 之敘述與相關數據係根據委員建議，參考水利署防災中心相關計畫對淹水危害度之敘述定義，與國內於淹水危害度的定義一致。 (6)P4-12 第三段為誤植，已移除。 (7)依據本計畫所建議之危害度等級，較大規模崩塌造成之堰塞湖應可於危險度及危害度顯現。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(2/11)

審查意見	處理情形
<p>類，雖已考量危害度、脆弱人口及可能經濟損失，然而目前社會對政府作為及效能有相當高的要求，即使風險低之威脅，就心理層面衝擊大的議題仍期待政府有充份準備(如美國牛肉可能導致狂牛症…)，個人建議規模較大的堰塞湖，即便穩定性相對較低，亦應納列衝擊較高研擬其處理方案。</p>	
<p>3.另本初稿未考慮堰塞湖形成後上游迴水區域因湖水漲落致邊坡孔隙水壓變化或其他可能誘發崩坍之潛在危險區域評估方法。</p>	<p>3.本計畫由於時程較短，無法進行堰塞湖區邊坡之潛在危險區域評估方法，建議後續可利用地質調查所山崩潛感進行相關研究。</p>
<p>國立中興大學水土保持系 游教授繁結(書面意見)</p>	
<p>1. P.3-5，公式(3-5)、(3-6)之符號與下段文章所用之符號不一致，宜取一致。又 P_5 代表什麼，宜敘述完整。P.3-3 亦見。</p>	<p>1.相關符號已修改；P_s 為壩體安全機率。</p>
<p>2.所謂天然壩破壞機率是如何定義？請明確說明。</p>	<p>2.因相關說明過於繁複，故引用論文以供有興趣之讀者參考。</p>
<p>3.集水面積係指積水面積亦或集水區面積，宜釐清。</p>	<p>3.已將集水面積改為集水區面積。</p>
<p>4. 鑑別分數、羅吉斯分數採大於 0 或小於 0，有無等於 0 之情形？另建立迴歸模式時，其 D_s、L_s 如何決定之？</p>	<p>4. 鑑別分數與羅吉斯分數等於 0 之情形即壩體穩定與不穩定之臨界點。利用 SPSS 統計軟體建立迴歸模式時，僅需輸入各天然壩案例穩定與否之分類，已潰決之天然壩案例輸入 0，穩定壩之天然壩案例輸入 1。</p>
<p>5.本研究成果豐富，且提供可應用之各種模式及系統建置等具體成果，值得肯定，惟最重要乃在如何決定堰塞湖發生與否之機率，就此部份宜有較合理之論述為佳，而引用羅吉斯迴歸之作法仍有統計學上之爭議存在，似可再深入探討其適用性。</p>	<p>5.科學文獻中已相當廣泛的採用羅吉斯迴歸評估山崩或土石流機率，故本研究方建議利用此一方法建立之模型來預測天然壩之穩定性。</p>
<p>國家災害防救科技中心 陳組長聯光(書面意見)</p>	
<p>1.本研究提供堰塞湖危險度、危害度評估與處置資訊管理系統建置工作，透過案例分析提供決策參考資訊，未來如何應用於防災實務以及與水利署現階段各項防災系統整合，建議可補強說明或提供未來整合應用之方向。</p>	<p>1.已於第肆章第一節第三小節後續發展探討本計畫所建議之危害度如何套用於現行危害度等級，以進行後續處置方式。</p>

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(3/11)

審查意見	處理情形
2. 堰塞湖處置資訊管理系統未來各項變異資料(如颱風豪雨後河川地形、崩塌土砂量、堰塞壩體沖蝕或擴大等)是否影響堰塞湖危險度、危害度之評估?未來變異資料之更新調查與重新檢核危險評估機制或由何單位負責?	2.圖資只能使用短時間能蒐集之最大比例尺,未來各項變異資料將於各階段適時加入修正,初步評估所採用之參數偏向保守以減少初期數據精確度不足之負面影響。
3.由小林村堰塞湖形成到潰決引致洪水案例分析結果顯示,崩塌阻江至潰決到洪峰下移到衝擊較大的甲仙區與旗山區達時間約 1-2 小時,如何於如此短的時間內必須做出有效的危害評估與防減災策略,建議補充說明以提供未來防災實務應用參考。	3.類似小林村於極端降雨事件其間形成之天然壩,若潰決時間過短,如數小時,以目前科技能力,快速評估方法對防災作為而言時效上仍有其侷限性。現有技術恐仍力有未逮。
經濟部中央地質調查所 費組長立沅(書面意見)	
1.本計畫在短期間內完成相當多的資料蒐集、方法論探討與案例分析,報告內容相當充實。雖然附錄之「野外手冊」與「分析手冊」等有將部分成果清楚條列,但仍建議將部分重點成果能節要摘錄於摘要中。	1.謝謝建議,已將野外手冊等部分成果納入摘要。
2.堰塞湖危險度之主觀專家判定方式與本計畫使用之方式,建議能在報告中做相互的比較與討論。	2.報告中所提及之主觀專家判斷方式已行之多年,一般根據專家於現地依目視判斷天然壩穩定性,舉例而言,多數專家於現勘草嶺堰塞湖時即已指出其為相對穩定之天然壩。此一敘述已補充於 P3-6。
3.那瑪夏案例計算所得到之破壞機率高於小林村,但事實上其並未潰決,似宜說明原因。	3.已補充於 P3-6。案例中,那瑪夏所有模式都預測不穩定,可能與天然壩以粗顆粒岩塊為主有關,然壩體材料特性因不易快速掌握,而未反應於任一統計模型。同時,那瑪夏天然壩形成前,河道可能已有近 20 公尺之淤積,因此模型利用莫拉克前河谷地形為基準,極可能高估了壩高因而亦高估了危險度。
4.結論與建議中,可以提出有關堰塞湖未來工作仍可以精進的重點項目。	4. 增列兩項建議 1.未來隨案例增加,不同崩塌類型造成之堰塞湖案例應分開統計;2.快速潰決之堰塞湖下游預警方法值得思考建立(P 結-III)。
5.摘要第七點有關模擬案例之討論,是否危險度與危害度兩用詞有錯置之狀況,請檢視。	5.謝謝指導,已修正。
6.報告中用詞「邏輯斯迴歸」,建議改為「羅吉斯迴歸」,以符國內學術界多數人之用法。	6.本計畫統一採用國立編譯館數學領域建議名詞“邏輯斯”。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(4/11)

審查意見	處理情形
經濟部水利署水利防災中心 謝主任明昌(書面意見)	
1. 依行政院「堰塞湖警戒、監測及撤離與演練方案」規定，危險度初步判定係指依緊急調查所得資訊，初步評估天然壩體穩定性，與堰塞湖之影響範圍，包含堰塞湖潰壩對下游之影響，及堰塞湖迴水對上游之影響，並以最大災害影響為預測原則；另依本署堰塞湖防災作業手冊（緊急應變版）規定，危險度初步判定結果分為有立即危險、有潛在危險及無危險三種。本計畫之危險度、危害度及相關分級應符合行政院及本署之規定，釐清定義以避免混淆或誤解。	1. 已於第肆章第一節第三小節後續發展探討本計畫所建議之危害度如何套用於現行危害度等級，以進行後續處置方式。
2. 本計畫研究成果應能返饋行政作業，精進本署及各河川局執行堰塞湖緊急應變及處置，因此後續應視需要修訂本署手冊（請針對本署手冊內容提供具體建議），並思考如何有效運用建置之管理系統。	2. 本計畫依據計畫成果提出堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)，可供堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)修訂之參考。
3. 未來因颱風豪雨引致類似勤和堰塞湖之情形勢必增加，對於這些非典型之案例，較佳或較能使各界滿意之應變處理方式，有無建議。	3. 勤和堰塞湖為土石流所造成之堰塞湖，此類型之堰塞湖仍可根據本報告之快速與詳細評估進行分析與處理，並根據天然壩潰決的淹水嚴重程度進行分級，並根據分級的定義進行處理。
經濟部水利署水源經營組 王副組長國樑(書面意見)	
1. 摘要應適度補充適度的摘圖及摘表較完整。	1. 遵照辦理，已修正摘要。
2. 未來定案成果報告應補充 Abstract(英文摘要)。	2. 已補充 Abstract。
3. p1-4 前期研究建議應扼要說明民國 91~93 年成果之具體說明較妥適。	3. 遵照辦理，已於前期計畫加入「堰塞湖引致災害防治對策之研究」計畫關於處理及防制摘要內容。
4. 報告之本文內容似乎太簡略請適度的補強較妥適。	4. 遵照辦理，已於內文適度補強。
5. 第貳章基本資料蒐集建議能配合本計畫之案例加以說明較完整。	5. 附錄六使用者手冊有資料取得之章節。
6. p4-19 言及短時間基本資料收集與確認，可否針對長短時間加以定量的說明較妥適。	6. 快速評估法（短時間）以人員能在最短時間內取得壩體外觀資料為原則。對詳細評估而言，只要能具有較充分的時間完

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(5/11)

審查意見	處理情形
	成地表測量、材料分析、監視儀器等工作，待取得充足之詳細資料後，便得以詳細評估法取代快速評估法。
7. p4-23 圖 4-10 堰塞湖潰壩分析流程中相關各模式之選定優列比較建議增列說明外，上述模式的引用是否涉及版權或專例問題，亦請加強說明。	7. SOBEK 版權於水利署內部每年都有維護與支援。BREACH 模式，目前已無法購得，而執行檔經過本計畫加以修飾與介面化，應可使用。
8. 第五章監測數據處理分析系統研究，建議應就堰塞湖處置可能進行的監測設備可能可以包括那些？同時針對相關監測數據如何 QA&QC 應加強說明。	8. 參考前期既有研究報告，本計畫已將相關堰塞湖處置可能進行的監測設備，整理至附錄六內文。本計畫提出之監測數據接收系統，於初步匯入階段，除提供一感測儀器基本量測臨界值設定，藉以排除確認異常或不合理資料，另外，本計畫提供之四種資料統計預報模式，目前應可進行變異資料判釋使用，藉以啟動數據檢核，進一步瞭解監測資料是否屬於實際環境變化，或是儀器異常等影響。
9. p6-4 第陸章堰塞湖處置資訊管理系統建置之基本資料查詢已有多少可用資料，建議加強說明。	9. 基本資料如表 2-1，已於 P6-1 增加說明。
10. p6-17 危害度快速分析的用意為何？其精度如何？請加以說明。	10. 危害度快速分析為為事先以 Breach 假設堰塞湖壩體形狀大小、上、下游面坡度、上游蓄水面積與容積、在不同情況下，發生溢頂潰壩可能產生之洪水流量進行分析，已將本段文字加入 P6-17 危害度快速分析內文中。
11. p7-6 第柒章部分的圖示內容的表達似乎有所缺漏？請加以檢討補正。	11. 謝謝指導，已修正。
12. p7-12 圖 7-8 高屏溪 SOECK-1D 之降雨逕流與水理模式範圍之圖示表達內容似乎相當凌亂？請檢討修正。	12. 已改寫，詳內文。
13. p7-30 言及「計畫於」民國 98 年 10 月 29 日進行壩體測量，建議加以檢討修正較妥適。	13. 謝謝指導，已修正。
14. p7-47 似乎第二梯次的教育訓練尚未舉辦？建議應在契約期限內完成；另建議應將教育訓練的教材請補充於附錄中較完整。	14. 第 2 梯次教育訓練將於 100 年 6 月 13 日完成，教育訓練之教材補充於附錄八。
15. 參考文獻之頁碼編列錯誤，請更正。	15. 謝謝指導，已修正。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(6/11)

審查意見	處理情形
16.附錄四台灣堰塞湖資料庫建議補充相關堰塞湖相關位置圖較完整。	16.已補充堰塞湖相關位置圖，同時標註已潰決或尚未潰決之案例。
17.附錄五堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊（初稿）、附錄六監測系統規劃及附錄七堰塞湖處置資訊管理系統使用者手冊等文件相當重要，相關的內容是否與業務單位充分溝通及討論？	17.附錄內容已經過期末報告審查，且，堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊（初稿）已於6月1日召開工作會議，並已針對與會議意見修改，堰塞湖處置資訊管理系統使用者手冊於6月13日辦理教育訓練。
18.針對未來本堰塞湖處置資訊管理系統建置可能的擴充性及加值性，或未來可能之下一階段或後續工作做具體的建議。	18.未來之應用以新增至後續建議事項。
經濟部水利署水利防災中心 楊副工程司其錚	
1.本計畫藉由危險度及危害度判定潰決淹水風險，惟實際應用時，對外界說明「危險度」、「危害度」及其「分級」或「風險」等，並不容易。若加上本署手冊或行政院規定，可能更形混淆。	1.遵照辦理，已將相關名詞補充或修正為較易說明之文字。
2.小林里淹沒危害度，其上游速率及淹水深度是由何種情境計算？未來遇有實際狀況時，應採用何標準推估？又損失金額及脆弱人口部份亦請詳述計算過程。	2.小林里上游淹沒危害度，其上游速率及淹水深度是以莫拉克之水文條件為背景。未來遇到實際堰塞湖形成後之水文條件，以實測資料為主，若無實測資料，以每十分鐘10mm為假設案例進行降下多少雨量時會發生溢頂為主，繼而分析其危害度。損失金額與脆弱人口之計算，詳見第四章。
3.小林村堰塞湖快速估法中，杉林區為等級V，詳細評估後降為I，快速評估採保守方式為合宜之作法，惟若其差異之村里數量（影響範圍）或等級過大，可能引起社會恐慌，如何拿捏或調整，有無建議？	3.快速評估以查圖得潰壩流量除以河川治理計畫流量所得，未考慮到各村里的地表高程情況。因此，快速評估之結果為可能洪峰流量可能造成溢堤淹水機會極高，而判斷為第V級。而詳細評估，則考慮到當地的地表高程與相關村里位置所在，因此，經由潰壩分析後，村里並無嚴重淹水情況。因此，判斷為第I級。而堰塞湖更形成後，因各項資訊缺乏，因此初期採保守情況進行評估與說明。待詳細評估後，再進行更正。
經濟部水利署第七河川局 傅副工程司家揚	
1.堰塞湖經危險度、危害度評估後，是否有建議之後續處置措施？例如在什麼條件下即須開挖或任其自然潰決等。	1.本計畫主要在堰塞湖緊急調查及危害度初步評估，後續處置措施可參考民國93年6月訂定之「堰塞湖防災作業手冊」。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(7/11)

審查意見	處理情形
2.危險度評估中，可否加入雨量因子？即累積雨量達多少時即有潰決可能，可藉由雨量觀測通報下游民眾疏散。	2.危險度快速評估僅能以能快速取得之壩體物理參數估計之。
3.報告內文配合縣市合併將行政區名詞統一。	3.遵照辦理，已修正行政區名詞。
水利規劃試驗所大地工程試驗課 曾課長國柱	
1.那瑪夏區堰塞湖案例模式預測不穩定但天然壩仍存在，報告及簡報說明與天然壩材料有關（粗顆粒岩塊），是否表示本計畫評估方法適用有其限制，請予以說明。	1.已補充於 P3-15。案例中，那瑪夏所有模式都預測不穩定，可能與天然壩以粗顆粒岩塊為主有關，然壩體材料特性因不易快速掌握，而未反應於任一統計模型。同時，那瑪夏天然壩形成前，河道可能已有近 20 公尺之淤積，因此模型利用莫拉克前河谷地形為基準，極可能高估了壩高因而亦高估了危險度。
2.土石流堰塞湖「潰決」定義？以那瑪夏區及桃源區勤和里之堰塞湖，都是河川形態之溢洪是否視為潰決，國內外有無文獻可供參考。	2.根據 US Army Corps of Engineers 於 1997 年出版之 Engineering and Design - Hydrologic Engineering Requirements for Reservoirs (EM 1110-2-1420)第 16 章之說明，為進行潰壩洪峰分析，經常假設壩體之破壞(failure)為完全且瞬間發生，對於拱壩這樣的假設尚稱適用，但是這種情形並不適用於土壩。通常，土壩潰口(breach)可能會因庫(或堰塞湖)水流完或潰口不再繼續侵蝕而不再擴大，對於土壩，跨河道的潰口寬通常是壩高的 1 至 3 倍，也因此，潰口寬常遠比跨河道之壩長要短，同時，潰決通常需要時間而非瞬間完成的。因此，潰決(breach)並不同於破壞(failure)，而潰壩分析英文可用 dam breach analysis 或 dam break analysis。相對已破壞的天然壩，穩定的天然壩則指的是經過十年或數十年以上，壩體後方仍然有蓄水者(Tabata et al., 2002; Ermini and Casagli, 2003; Korup, 2004)。綜合而言，因那瑪夏仍存在堰塞湖，但維持尚未超過十年，因此似乎尚非真正屬於穩定之天然壩，然而，該壩亦尚未破壞。至於勤和堰塞湖已經人工引流，因其並非天然破壞，未來不宜納入建立統計模型使用，亦不適合用來驗證模型。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(8/11)

審查意見	處理情形
3.危險度評估模式各項參數定義應予說明清楚，以利調查應用。例如壩高究竟為自原河床或淤積後之河床起算？	3.通過溢流點壩高定義為溢流點高程與事件前河谷最低點高程差，關於壩幾何形狀已明確定義於 P3-11 圖 3-3。
4. P.4-15(簡報 P.33)上游淹沒範圍「快速」評估流程似乎需耗相當時間，以本計畫之案例需多少時間才完成快速評估？又，如何計算各期衛星影像間溪流流量？	4.上游淹沒範圍「快速」評估流程主要關鍵在於取得數值地形與多期正射化衛星影像，根據汶川地震唐家山堰塞湖案例，相關分析與計算可於取得地形及正射化影像後數小時內完成，關於各期衛星影像間溪流流量乃利用不同時期影像判釋之湖面高程與數值地形計算(入流體積除以影像時間差)，因本計畫案例很短時間就已溢流，故無法取得未溢流前之影像進行相關計算。
5.下游危害度評估快速評估法只得出 I_{db} 而已，但無法指出下游淹水情形(淹水深、範圍)，則所謂快速評估之結果對於危害度似無參考價值？	5.快速評估法，僅能在短時間對堰塞湖發生的潰壩對下游是否會發生溢堤進行評估，未考慮到下游河道地形與土地利用之影響，因此，可在短時間內作為初期的淹水危害度評估。若要計算村里的淹水情況，則需要更詳細的資料。
6.若無堰塞湖發生前之 DEM 資料，或者雖然有，但是為早期資料或已歷經多次地形變異，則如何推估天然壩之尺寸參數，請提出建議。	6.在災害發生初期僅能使用所能蒐集到之最大比例尺地形圖，雖資料為早期資料，地形變異較大，然其為快速能掌握之資訊，且評估出之參數用於計算危險度屬於保守。
7.第 4 章有多項報告例如「(2011)高屏溪-東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範」、「2010 氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估」、「2010 脆弱度及風險地圖分析方法之研究」均未列於參考文獻中。	7.遵照辦理，已納入參考文獻。
8.堰塞湖野外調查手冊工作會議之意見，請於成果報告相關章節補充修正並列表回應。	8.遵照辦理，已將工作會議之意見及回覆納入期末報告修正稿。
水利規劃試驗所大地工程試驗課 吳副工程師 文賢	
1.摘要部份：二、基本資料蒐集宜以表格方式表示，以利讀者建立資料架構。	1.遵照辦理。
2. P.2-3,“未納入本計畫之圖資，…，需注意該連接僅限水利署網域使用”，不清楚該段文字指何事，宜詳加說明。	2.以修正 P2-3 文字。
3.表 2-3,圖資欄位其“水保局”建議刪除。“二萬五千分之一”未指明何資料名稱。	3.謝謝指導，已修正。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(9/11)

審查意見	處理情形
4. P3-1, “目前本計畫團對亦已獲得其他經費補助, …, 愈形不妥” 建議刪除。	4. 謝謝指導, 已修正。
5. P3-1, “最大的問題為地形與因子決為主觀研判”, 此敘述是指兩項技術問題否, 可否說明。	5. 相關說明已修正為“最大的問題為地形因子決定為主觀研判”。
6. P3-3, 鑑別分析模式目的內容請再潤飾; 另判別分析與鑑別分析有何不同?	6. 鑑別分析模式目的內容已適度潤飾, 另文中判別分析均以統一使用鑑別分析。
7. 鑑別分析中, 提出 PHWL_Dis 及 AHWL_Dis 兩統計式, 所得正確率分別 88.4% 及 86%, 倘數據差異性不大, 但要得到尖峰流量成本更高; 以緊急調查及危害度快速評估觀點, 採用 AHWL_Dis 統計式則較可行。	7. 完全同意委員意見。
8. P3-6, 建議繪製評估流程圖。三種定量評估方法所需參數取得方法為利用災後正射化遙測影像, 但取得災後影像仍費時, 請另增加其他方法 (如現場實測) 以供參考。該流程內容建請以快速粗略方法及精確方式兩類來敘明, 避免混淆。	8. 已增加繪製評估流程圖。另外, 若無法即時取得災後正射化航拍照片或衛星影像, 建議先以地形圖建立工作底圖 (1/25000 地形圖、40 公尺或 5 公尺 DEM), 透過現勘時以手持式 GPS 跑點, 以確定壩體邊界與溢流點座標, 並標示於工作底圖, 然後實際利用測量工具量測壩體長與寬, 至於壩高則需根據壩體邊界災後高程 (由座標核對高程) 以及災前地形加以推估。相關說明補附於 P3-7。
9. P3-7, “(一) 天然壩穩定性評估地形因子定量模型於台灣應用合宜性評估”, 建議移至前節內容較妥適。	9. 遵照辦理。
10. P3-13, 壩體堆積材料特性及堰塞湖湖體資訊紀錄, 此參數是否為快速評估所必須的? 抑或是詳細評估所需, 倘若是, 則內容宜有所區分。	10. 文中敘及緊急調查階段, 以定性描述為主。
11. P4-2, “在時間界定上, …, 並藉由堰塞湖緊急應變可進行處理” 宜再斟酌; 長時間分析主要目的與上游威脅無直接關係。	11. 已修改, 詳第肆章內文。
12. 表 4-6, I_{db} 在報告中尚未定義, 表頭名稱建議修改; 表 4-8 內容請依 6 月 1 日所召開野外手冊初稿研商會議紀錄修改。	12. 遵照辦理。
13. P4-14, 無需時間分析處理。在短時間分析處理內容, 所需資料應分層次, 及至一次要資料; 災後遙測影像事實上取得仍耗時, 不應只以此方法為主; 對於	13. 此節主要以可推估得上游淹沒區之方法進行說明。其使用方法詳內文。而各河川局無 GIS 方法與工具, 建議購買, 或緊急時先使用試用版, 以供防災需求

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(10/11)

審查意見	處理情形
此節內容建議列出主要的快速分析方法，精確方法為輔。報告中所提的方法大部份以 GIS 方式處置，但各河川局幾乎無 GIS 軟體工具，此點是必須被考慮。	使用。
14.P4-21，在快速評估法流程似乎不需要輔助工具內的模式，另以 $I_{db}=0.4$ 為分界，採用不同的處置方式，建議應參考水利署所訂的堰塞湖防災手冊（緊急應變版）內流程。	14.已修正，詳內文。
15. P4-22，上游水文特性、水位、壩體材料特性…等等，何項資料是必要的，宜說明；若非必要是否假設即可，或是提出敏感因子做為分析參考。	15.敏感參數包含壩體的高度、上、下游坡度、壩體潰口長度與寬度、蓄水面積。其餘參數可以藉由內建值，或假設值進行模擬。
16.圖 4-10，短時間、長時間是何意思，請說明。	16. 筆誤，已更正。
17.參考水利署堰塞湖防災手冊（緊急應變版）危險度判定流程，將本研究成果納入該流程並於附錄中提出，以做水利署修改流程參考。	17.遵照辦理。
18.野外手冊（初稿）內容請依 6 月 1 日所召開工作會議結論修改。	18.遵照辦理。
19.附錄 7-41，是否要先建立資料庫？使用者如何建立以及新增資料及檔案。	19.附錄 6-41 所供下載之表單皆置於資訊系統 Doc 資料夾下，可直接新增或變更。
20.建議各河川局需平時建立那些圖資。	20.遵照辦理，已於建議內說明。
結論	
1.本次期末簡報原則同意，請依與會人員意見修改報告，報告摘要請依本所格式撰寫。	1.遵照辦理。
2.工作會議各單位意見處理情形及教育訓練教材納入報告書。	2.遵照辦理。
3.報告第一章內容再增列以往研究成果，並將堰塞湖形成機制型態，例如地震、土石流或是複合組成等加以說明，以利研讀及參考應用。	3.遵照辦理，已將堰塞湖形成機制型態納入第壹章第陸節。
4.請以專節敘明風險評估對應緊急應變手冊之處理措施。	4.遵照辦理，已新增至第肆章第一節第四小節。
5.附錄四（堰塞湖資料庫）不宜單列，內容請再充實。	5.已補充堰塞湖相關位置圖，同時標註已潰決或尚未潰決之案例。
6.工作手冊參考與會人員意見修改；必要	6.遵照辦理。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期末報告審查意見及辦理情形(11/11)

審查意見	處理情形
時，俟本計畫結案後再與防災中心研商後再報署。	
7. 建請水利署洽成功大學(或中央大學)同步提供福衛影像資料予水利署及所屬機關，以利參考運用。	7.知悉。
8.堰塞湖潰決淹水風險評估分級表修改為堰塞湖潰決淹水危害度分級表。該表橫軸名稱修改為天然壩潰決危險度(天然壩潰決機率)分級；表縱軸名稱修改為天然壩潰決後淹水程度分級。	8.遵照辦理，已修正表 4-6。
9.風險快速評估說明表格；第 1 欄位修改為危害度等級；第 2 欄刪除；第 3 欄修改為災害程度參考，並將該欄內容之淹水風險修改為淹水危害度。	9.遵照辦理，已修正表 4-8 及表 4-9。
10.本研究所提出危害度分級判定應與水利署現行之堰塞湖防災手冊(緊急應變版)銜接，水利署現行手冊判定無立即危險後即無後續處置措施，未來如有修訂時，建議後續處置為持續監視。	10.遵照辦理，以將其納入建議事項。

工作會議意見及辦理情形

壹、日期：民國 100 年 6 月 1 日（星期三）下午 2 時

貳、地點：水利規劃試驗所霧峰辦公區 B 棟 2 樓會議室

參、主持人：陳所長弘由

記錄：吳文賢

建議事項	處理情形
經濟部水利署防災中心 楊副工程司其錚	
1. 本研究藉由「壩體潰決危險度分級（破壞機率）」及「淹水危害度等級分類」判定「淹水危害度衝擊與分類」，並作出分類說明（脆弱人口與總經濟損失等），此流程或分類說明於實際應用時，似容易出現更多疑義。	1. 危害分級之內容不容易敘述，因此，將根據會議後將危害度衝擊改為淹水風險等級、而分類說明修改為災害程度參考，內容有增加說明，詳見內文，因此，在應用上更有彈性。
2. 地質羅盤之使用時機或使用方法為何？	2. 地質羅盤可現場量測岩石邊坡之位態或做為坡度計使用。
3. 現查勘查記錄表中「河川水系 / 集水面積」是否為堰塞湖以上之面積？	3. 集水面積確為溢流點以上之集水區範圍。
4. 對於保全對象之劃設，有無較為客觀之評定建議（或方式）？	4. 初步評估僅能就現場觀測之影響範圍概估。
5. 案例中取 200 年尖峰流量進行危害度快速評估，是否代表不同頻率年情境下，其危害度將不同，若此則保全對象亦將不同，此觀念較為合理，惟如何強化此評定方式，或避免與現行簡易劃設警戒雨量值與保全對象方法出現衝突，應予思考。	5. 案例取 200 年尖峰流量進行危害度快速評估，係考量莫拉克颱風當時之極端水文現況。現場評估時可以對應雨量狀況對應出不同頻率年之尖峰流量推估其危害度。需注意快速評估僅作堰塞湖發生後快速評估之方法，後續警戒雨量及保全對象建議能待詳細評估後建立。
經濟部水利署第二河川局 林正工程司大港	
1.P.4 現場如何估計有效粒徑？	1. 有效粒徑為過篩百分率 10%之粒徑，建議採表面法粒徑調查，表面法粒徑調查請參考水利規劃試驗所 96 年河床質調查作業參考手冊。
2. P.5 現地繪製天然壩縱剖面橫剖面圖，有數個縱橫剖面，要繪那一個？	2. 建議繪製通過溢流點之縱剖面。
3. 表 1 數值地形模型資料為 40 × 40 公尺，依現在內政部之資料為 5 × 5 公尺，是否可修正。	3. 5 × 5 公尺數值地形模型目前雖為可申請之項目，惟該資料為機密資料，並非通行之資料，因此，建議各單位先行購置 40 × 40 公尺數值地形模型。
4. $Q_{dp} = 181 \times (H \times V)^{0.43}$ 式中 H.V 是否有其限制？	4. 本方程式乃根據人工壩統計分析而得，壩高範圍自 1.8m 至 83.8m，壩高乘壩體積範圍自 10^4 至 $10^{12} m^4$ 。
5. Ls（邏輯斯分數）與天然壩之壩體材料是否有關？若有關為何 Ls 之計算式沒有材料因子？	5. 邏輯斯分數與天然壩之壩體材料無關。

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(2/9)

建議事項	處理情形
6.依那瑪夏案例，算出 $I_{db}=2.9$ 屬於第 V 級，此與表 7 對應分類發生機會描述不同，是否表 7 有誤，且表 5 及表 7 亦無法對應，是否有誤請說明。	6.表 7 為誤植，已修正。
經濟部水利署第二河川局 張正工程司朝恭	
1. P.5 (四)、15 所述，紀錄時應盡量說明水平與垂直向之變異性，因緊急調查時以人力為主，要了解垂直向較不容易，是否有較好之建議處理方式。	1.緊急調查以定性描述壩體材料為主，水平及垂直變異性不易於緊急調查時瞭解。手冊已修改文敘方式，水平及垂直變異僅列為以目視盡可能列入之項目。
2. P.14，有關表 5 之縱軸欄位標示順序，請再確認是否符合。	2.已修正。
經濟部水利署第四河川局 陳正工程司進興	
1.P9 表 3 堰塞湖現場勘查紀錄表格式及內容，與水利署版本不同且有多處差異(尤其危險度之判定方式)，屆時應採何種版本為勘查依據？另堰塞湖現有及蓄滿總蓄水體積亦為重要資訊，建議納入勘查項目內。	1.堰塞湖現場勘查記錄表仍以水利署頒訂之作業手冊進行。堰塞湖現有及蓄滿總蓄水體積已納入表中。
2. P13 表 6 堰塞湖潰決淹水危害度衝擊與分類，需估算村(里)脆弱人口及總經濟損失進行評估，故建議補充堰塞湖災害敏感區域之村里人口密度資料及各種地上物類別淹水災經濟損失概算單價於附錄中，以利快速查詢應用。	2.災害敏感區域之村里人口密度之估算以距離河道堤防 100 公尺內之戶數進行推估，經濟損失之概算會補充於手冊內文中。
3.計算堰塞湖蓄水面積及體積，水利署之「中央管河川空間資訊系統」應已具有設定壩體位置及壩頂高程後即可自動估算蓄水面積及體積之功能，且為程式計算結果較為正確，建議水利署未來能善加利用或請維護廠商配合辦理估算。	3.已納入參考內容。
4.附錄 C、D 危險度等級及最大洪峰流量查詢圖，依本局轄區以往堰塞湖災害紀錄，亦常發生小型堰塞湖，故建議增列壩高 15M 及 20M 查詢圖供應用？	4.遵照辦理。
5.附錄 D 最大洪峰流量數值模擬查詢圖是否適用於各種不同壩體材質及溢頂沖刷破壞以外破壞模式之洪峰流量查詢。另超過 3000 cms 入流量及不同於各種查詢圖所列欄數據組合時，應如何查詢利用，均應於報告內加以敘明或補充。	5.已於附錄 B 增加案例說明。
經濟部水利署第六河川局 王正工程司坤林	

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(3/9)

建議事項	處理情形
1. 本手冊應為「使用手冊」，但在內容安排上又有案例介紹，似為「手冊使用說明書」，建議依「緊急調查」及「危害初步評估」大項，按程序動作編排，俾利簡易查閱使用。	1.遵照辦理。
2. P1，堰塞湖天然壩形成時間與得知堰塞湖天然壩形成時間極可能有落差，而本手冊既為「緊急調查」，時間相當緊迫，故「緊急調查」之定義建議增加「時間」元素。	2.鑑於每個堰塞湖形成條件不同，並不易定義緊急調查之時間，原則上，在交通通達及資訊蒐集完善下，以 4-7 天為原則。
3. P1，「三、緊急調查與」語意似未完成。	3.已修正。
4.堰塞湖天然壩形成是否會造成「災害」需要評估，故內文建議不使用「災區」、「災前、中、後」、「災害」等確定性敘述。	4.已將災前災後修改為堰塞湖發生前後
5. P4，第 15 點，堰塞湖天然壩之組成有垂直與水平向之變異性，建議增加第三維之變異性。	5.所謂水平變異性已包括兩個維度。
6. 「危害度初步評估」評估內容建議可先考量是否有危害對象。	6 危害度初步評估僅考慮是否會淹水，尚未考量淹水之範圍。
7. P7 表 1「基本資料蒐集內容與來源」水文資料來源建議增加「氣象局」。	7.遵照辦理。
8. P13 表 5「淹沒或潰決之淹水危害度衝擊」，「天然壩潰決危險度分級」極低(v)」所對應之危害度衝擊程度有「中」、「中-低」、「低」似不合理。	8.表 5 分級為誤植，已修正。事實上潰決可能性低的天然壩，可能源於規模過大而可能有中度危害度，以草嶺堰塞湖為例，雖然其潰決機率不高，但為害度不宜過低。
9. P13 表 6「堰塞湖潰決之淹水危害度衝擊與分類」，建議「分類」欄刪除，「分類說明」欄採定性描述。	9.根據會議結論保留，並將分類欄該為辨別欄，分類說明該為災害程度參考，以供參考。
10. P14 表 7「堰塞湖天然壩淹水危害度等級分類」，「分類間隔(%)」 Q_{db}/Q_{rd} 之比值有可能大於 100%，建議增加「分類間隔(%)」分級。	10.遵照辦理。
11.附錄 C、附錄 D 圖例排列順序建議與分佈線排列順序一致，避免視覺上產生錯覺。	11. 遵照辦理。

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(4/9)

建議事項	處理情形
12.依據水利署 99 年 3 月「堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)」規定,水利署負責範圍為河川界點以下,如有堰塞湖天然壩形成,其壩高通常不高,附錄 C、附錄 D 建議增加壩高 50m 以下分距之查詢圖。	12. 遵照辦理。
經濟部水利署第七河川局 黃正工程司忠山	
1. P1 水利署「堰塞湖防災作業手冊」為 99 年 10 月核定版,非 93 年 6 月請修正。	1.堰塞湖防災作業手冊為 93 年 6 月核定,堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)於 99 年 4 月頒訂。
2.現場勘查程序與注意事項中堰塞湖溢流量推估建議以河川局配發之雷射槍測定流速×斷面積推求。	2.謝謝指導,已將雷射槍列為推估流速方法之一。
3. P6 談及最大洪峰流量數值模擬查詢圖,由上游入流量推估堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量,其中入流量如中央管河川為 Q_{100} 控制點之流量,但圖表僅列至 3000 cms,建議增加列圖至 7000 cms,因本轄區荖濃溪勤和堰塞湖貴所推估該處 Q_{100} 最大洪峰量為 7000 cms,為後續實務應用,建議增列圖表。	3. 根據會議結論,將入流歷線將補充 5000、7500 與 10000CMS,可供查圖。
4.沖積扇形堰塞湖壩寬不明顯,如何正確量測?	4.可透過地形比對、GPS 以及高度計決定壩體邊界。
5.本案係以旗山溪那瑪夏堰塞湖為例去探討,但那是屬較上游林務局轄區,建議是否以水利署轄區勤和堰塞湖來作驗證(因其基本資料水規所均已掌握)	5.謝謝指導,勤和堰塞湖將於本案成果報告中列入初步評估。
6.本局曾因荖濃溪勤和堰塞湖組成調查小組,當初危險判別係依「堰塞湖防災作業手冊」內寬高比作判定,而本手冊列出更多,請規劃團隊檢討二者不要有衝突矛盾,讓現場人員無法判定。	6.本手冊所提之危險及危害度判別方法,係為近年本團隊及本案之成果,本手冊目前尚未頒佈使用,現仍以已頒佈之方法。
經濟部水利署第八河川局 李工程員俊鑫	
1.表 2 堰塞湖緊急調查準備器材表,如果可以請詳述器材之規格範圍,以防現地無法派上用場。	1.各單位所使用之儀器廠牌可能不同,建議各單位使用本手冊時加入複雜儀器操作之 SOP,以供現場操作人員使用查閱。
2. 如果可以請以 SOP 流程圖示表現較為淺顯易懂。	2.遵照辦理,如圖 1。
3.建議增列說明如何計算堰塞湖影響範圍。	3.本手冊以現場勘查為主,計算之部分可參考本案成果報告。
4. 危害度衝擊與分類:估計經濟損失金額其估計方式是否有科學依據,量化數字是否恰當。	4.分類說明欄之內容不易敘述,因此,分類說明欄改為災害程度參考,詳見內文,使應用上更有彈性。

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形 (5/9)

建議事項	處理情形
5.邏輯斯 Ls，只考慮 P、A、H、W、L 等物理參數，是否可以請納入地質材料為參數，其結果是否影響。	5.地質材料參數於緊急現勘時取得不易，亦不容易量化，因此，危險度建議以物理參數做為考量。
經濟部水利署中區水資源局 侯工程員彥明	
1.有關現場勘查需記錄有效粒徑部份，其表 2 調查器材是否應有相關分析工具。	1.有效粒徑建議以表面法進行調查，表面法所需之調查器材為取樣繩、開口樣版及捲尺，已補充至表 5 天然壩緊急調查準備器材內容。
2.表 6 淹水危害度衝擊與分類，其影響人口及經濟損失之分類依據宜再補充說明。	2.分類說明欄之內容不易敘述，因此，分類說明欄改為災害程度參考，詳見內文，使應用上更有彈性。
3. P.6, Qdp 公式中 V 是否應為蓄水體積非壩體積。	3.已移除。
4.附錄 A, Q 鄰近雨量站是否應為 Q 鄰近流量站。	4.已修正。
5.目前危害度衝擊僅以淹水程度來分級，惟如下游緊臨水庫，對該水庫危害度衝擊是否宜一併納入考量。	5.目前僅針對河川部分形成之堰塞湖進行考量，未對有蓄水庫情況進行研究，建議另啟專案處理。
經濟部水利署水利規劃試驗所 曾課長國柱	
1.水利署堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)主要說明行政作業程序，而本手冊係著重內業準備外業勘查之記錄與描述、依勘查結果進行初步危險度評估。	1.知悉。
2.圖 1 之流程請以各項步驟呈現，包括內業圖資蒐集、器材準備、現勘程序、危害度評估，並同時對應列出使用之圖表、評估公式，以利按流程 step-by-step。	2.已修正圖 1 流程圖。
3.P3 之勘查程序與注意事項混在一起敘述，不易閱讀，請分開，以程序 1、2...，相對應之注意事項 1、2..	3.勘查程序已分類，並以表格化敘述。
4.P5 第 14、15 點於現場估計及記錄描述均很困難，建議帶回材料樣品做為細部評估之參考。	4.第 14 及 15 點已建議將其列為詳細評估時進行，若時間許可，可以表面法取得粒徑分佈。
5.表 6 是否有參考依據？建議本署防災中心提供相關資料。分類說明有關人口樹、經濟損失是否可提出參考之國內外文獻來源？	5.表 6 無參考依據，經濟損失與脆弱人口之估算採用，水利署（2011 高屏溪、東港溪及高雄市、高雄縣、屏東縣脆弱度及風險地圖製作示範）之研究報告。
6.表 7 為危害度等級分類，卻又以發生機會描述，容易混淆，第 1 欄改為淹水危害度。	6.依據期末簡報會議，淹水危害度改為淹水嚴重程度，相關名稱亦一併修改。
7.表 8 名稱改為河川治理計畫流量(旗山溪為例)。	7.考量該表出現並不適宜已移除。

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(6/9)

建議事項	處理情形
8.附錄 C、D 之壩高過高，發生之可能性甚低，建議調降。	8.附錄 C、D 考量較高之壩高亦有可能使用，建議維持，並加入較低之壩高。
9.附錄 A 滲流量之估計是否可有更簡單之方法，或依一般材料性質蓋區分 K 值範圍。	9.若無法用附錄 A 之滲流量估計，可採用堰塞湖河段之不同頻率年之尖峰流量，以比面積法推估入流量。
水利規劃試驗所河川規劃課 林研究員志銘	
1.定位問題：P1 一、依據源自「堰塞湖防災作業手冊（緊急應變版）」及二、堰塞湖天然壩緊急調查之詳細資訊又請參考「堰塞湖防災作業手冊，建議釐清與防災作業手冊之定位從屬關係」。	1.堰塞湖防災作業手冊（緊急應變版做為緊急調查使用，堰塞湖防災作業手冊則列有詳細之作業方式。
2. P.2 建議「緊急調查程序」（必要的）與「注意事項」（視情況的）分開，以區別其輕重不同。	2.遵照辦理。
3.P.2 之破壞機率 Pf 之決定：(1)至(3)關係式，其 W（寬度）L（長度）之對數線性相加關係與附錄 C 危險度等級查詢圖顯示 W（寬度）L（長度）之對數相乘關係，明顯不同，如何交互應用，請說明。	3.附錄 C 之圖表係利用(1)至(2)計算而得。
4. P.2 之潰壩出流量 Qdp 計算關係式，由於其單位影響成果，建議標示之。	4. 已移除。
5. P 附錄 D 之最大洪峰流量數值模擬查詢圖，其潰壩假設條件為何，請說明：另外所示比例尺易致不同入流量間，看不出差異性情形。	5.基本假設條件說明補充於手冊內文中
6. 附 A-1 之比面積法，建議改以 $Q1 = \left(\frac{A2}{A1}\right)^{n1} Q2, n = \frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}。$	6. 遵照辦理。
7. 變數名稱，請統一，如 P6 之 W 與 Wd-L 與 Ld 及 P6 之 P 與 P 附錄 A-1 之 Q 等。	7.遵照辦理。
8. 手冊中名詞之適用上常有爭議，故建議加註英文，如風險度（Risk）危害度（damage 或 cost），人口脆弱度（population Vulnerability），以減少名詞適用上可能之誤解。	8.遵照辦理。
9.手冊應述明其因應「緊急」調查，危害度「初步」評估之「野外」手冊，故內容中 D ₅₀ 類似過於定量之數據，不建議出現，故建議「程序」明確，「評估項目」以定性為主。	9.謝謝建議，將於手冊中標註粒徑分佈非緊急現勘必要之參數。
水利規劃試驗所水資源規劃課 程正工程師運達	

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(7/9)

建議事項	處理情形
1.圖 1,作業流程圖建議以主要工作項目為節點繪製,現地勘察建議區分為幾何參數、水文水理參數及地質與力學參數三大區塊作描述,同時指出對應程序與使用之表格或圖表等。	1.遵照辦理,業已修正圖 1。
2. 現場勘察程序,建議列表分敘程序與注意事項,各程序亦可分為 3 組(幾何、水文水理、地質與力學),並請增列目的或量化標準等。	2.遵照辦理,已於文中修正並增列目的及量化標準。
水利規劃試驗所水工試驗課 陳助理研究員信丞	
1.針對不熟悉本業勳人員使用之考量,建議加入基本資料如:正射影像、航照資料、衛星影像、DEM 等資料之取得管道,以供使用者參考。	1.本手冊以現場勘查為主,計算之部分可參考本案成果報告。
2.因應緊急狀況,在儀器使用方面,由於各單位使用之儀器廠牌可能不同,建議各單位使用時加入複雜儀器操作之 SOP,以供現場操作人員使用查閱。	2.遵照辦理,於手冊中建議由各單位自行訂定儀器操作之 SOP。
水利規劃試驗所大地工程試驗課 吳副工程司文賢	
1.本手冊之“依據”建議修改為“目的”較為妥適。	1.已增加目的項目。
2.二、堰塞湖天然壩緊急調查參照何規定撰寫,需敘明。建議刪除本內容之「本階段之工作應包含……,堰塞湖防災作業手冊」。建議此節內容應交代本手冊適用範圍以及對應水利署之堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)哪部分。	2.遵照辦理,已修正撰寫方式。
3. 「三、緊急調查與」,此主題是否有缺字。建議此節內容先有工作架構圖,將工作項目有系統分類,如此有利於閱讀並可快速掌握工作重點;另,每一小項底下加註頁數,以利查詢。	3.已增加流程圖並做有系統之分類。
4.基本資料準備宜先分類,將資料分層級及主要、次要資料;該表格建議增加資料小項,例如:地形資料別中可區分地形圖、河川斷面圖、經建圖等;是否參考本計畫期末報告之資料內容表格表達方式。	4. 遵照辦理,已修改如表 4。

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(8/9)

建議事項	處理情形
<p>5. 緊急調查準備器材表建議分門別類，如紀錄表格、通訊、測量、圖資等大類別，如此才能快速在腦海中建立起地圖；一些項目是否必須（如地質羅盤儀、手持流速計等），建議再檢討現場勘查紀錄表格，建議各項數據紀錄位數加以規定，避免無效或無意義位數出現。壩體體積估算方式，建議直接以人工勾選方式較簡單。壩體材料特性：最大粒徑、中徑及有效粒徑需定義；另測量方式是否能在本手冊提供。溢流口流速測量，各河川局不見得有流速儀可供量測，可否將簡易方式在手冊中提供。</p>	<p>5. 遵照辦理。將緊急調查準備器材表分為(1)圖資(含紀錄表格)、(2)測量設備(含紀錄設備)、(3)通訊與維生設備等三大類別；地質羅盤儀與手持流速計仍建議列入，建議各項數據紀錄位數以手冊中例子為參考，避免無效或無意義位數出現。最大粒徑、中徑及有效粒徑已定義；另測量方式是否能在本手冊提供。溢流口流速測量，根據委員建議增列可以河川局配發之雷射槍測定流速。</p>
<p>6. 現場勘查程序部分：建議將程序能先分類繪製架構圖，則有助現場人員使用方便；手冊中 24 條勘查程序是很難在使用者腦海中建立使用地圖。</p>	<p>6. 遵照辦理。</p>
<p>7. 危險度及危害度初步評估部分建議拆成兩部分。危險度部分應加入水利署現行版本方法；手冊中所提供的方法，目前先以參照型態呈現。危害度初步評估方法就參照貴校所提出的快速評估方法。</p>	<p>7. 水利署現行版本調查表及項目與本手冊略有不同，未必免混淆，不建議將其納入。</p>
<p>8. 那瑪夏堰塞湖案例，建議以範例方式詳細將整個程序呈現（準備器材、野外調查及拍照重點、圖表使用及簡易報告內容等），供現場人員參考，非以附錄方式呈現。</p>	<p>8. 那瑪夏堰塞湖案例，以附錄 B 呈現，用以區分與主文之關係</p>
<p>9. 建議本計畫所提出的危險度分級方法納入水利署之堰塞湖緊急應變作業流程（危險度判定），未來供水利署修改版本參考；目前該程序分為無危險、潛在危險及立即危險等級，依不同等級採用不同處置方式。</p>	<p>9. 水利署現有版本係依天然壩潰壩危險度等級做處置依據，並未考量淹水危害度。建議緊急應變手冊未來考量淹水危害度，並依據本手冊建議之風險等級做處置依據。</p>
<p>結論</p>	
<p>1. 請參考與會人員意見修正本手冊內容。本手冊主要利用在堰塞湖緊急調查及危害度初步評估，並非做為中、長期處置對策研擬，請交通大學將本手冊定位說明。</p>	<p>1. 遵照辦理，已於第一節第三小節加入適用範圍。</p>

「堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)」工作會議意見及辦理情形
(9/9)

建議事項	處理情形
2.請增列相關研究成果，如成功大學謝教授正倫所提出利用衛星影像研判崩塌體大小歸估天然壩幾何形狀大小，且水利局已有之資料，請述明如何加以運用。	2.已加入壩體蓄水面積及體積亦可參考水利署之「中央管河川空間資訊系統」
3.本手冊成果及與會人員意見納入本計畫成果報告。	3.遵照辦理。
4.手冊內容盡量以圖表方式展現，可量化評估項目盡量以量化方式處理。	4.遵照辦理。
5.表 5，表頭名稱請在斟酌，可利用風險評估之名稱；縱座標等級順序相反，請修正；表 6 分類說明之脆弱人手定義需註明；量化項目做為參考，另針對若有嚴重情況，額外補充定性說明。	5.遵照辦理，表 5 表頭依據期末簡報結論；考量脆弱度不適合於初步評估認定，已移除；若有較嚴重之堰塞湖應可於危險度及危害度顯現。
6.有關桃源堰塞湖(勤和村)案例，請交通大學在計畫成果報告中探討，不需放入本手冊內。	6.遵照辦理，已納入成果報告附錄四。
7.本計畫成果未來函送水利局供堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)修訂之參考。	7.知悉。
8.手冊內流程及注意事項盡量參考與會人員意見，措辭需具體無模糊空間，手冊中流程圖並非完整，應包括危險杜、危害度快速評估部分。	8.遵照辦理。
9.請考量表 8(旗山溪治理計畫流量)應置於手冊適當位置。	9.考量該表出現並不適宜已移除。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(1/13)

期中報告審查意見及辦理情形

壹、日期：民國 100 年 4 月 6 日（星期三）上午 9 時 30 分

貳、地點：水利規劃試驗所舊正辦公區大地課 2 樓會議室

參、主持人：陳所長弘由

記錄：吳文賢

審查意見	處理情形
國立中興大學水土保持系 壽教授克堅(書面意見)	
1. 「上游淹沒區長時間危害影響分析」目的及方法不很明確，與短時間危害分析之區隔不明確，請加以改善。(P4-9)	1. 以人員到達堰塞湖，並藉由『堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊』進行短時間評估，其目的主要為瞭解上游迴水範圍與在此範圍內之土地利用情況。而長時間分析主要目的為推估上游多少降雨量時，可能會發生溢流現象，可藉由降雨逕流、渠流演算得知。
2. 「天然壩潰決對下游之危害度評估」之快速評估法中圖 4-15、4-16 如何產出(原理為何，假設為何，何人產製)請詳細說明；此外，此部份只引用了中國的文獻，請再加強其他國家之相關研究文獻。(P4-25)	2. 此二圖為本計畫用來快速分析潰口流量之方法。對下游快速評估方法為事先假設堰塞湖壩體高度、上、下游面坡度、壩體為基質材料、上游蓄水面積與容積、在不同上游入流情況下，發生溢頂潰壩可能產生之洪水流量。目前國際間利用地形指標進行堰塞湖下游危害度分析尚未找到成熟的研究成果，相關的討論可參考 Korup(2005)的論文，期末報告增加引述 Korup(2005)的研究成果，並增加此一文獻。(P4-28)
3. 以小林村為例之分析，驗證之部份說明不足（不同分析方法分析結果與直實情形之比較）。(P4-30)	3. 小林村堰塞湖發生的時間為 2009 年 8 月 9 日 0-1 時之間，期間之水文量僅有杉林大橋的水位資料，而旗山溪下游淹水發生在 8 日下午，因此，莫拉克颱風期間，堰塞湖潰決流量與實際發生淹水之間關係不容易界定。因此，本報告旨在建立堰塞湖形成後之危害度分析方法。
4. 監測數據分析及預報模式開發，請再增加文獻回顧，並將可行之方法模式列表或加以比較，以供後續採用之參考依據。	4. 感謝委員建議，已將相關分析方法模式列表比較，如表 5-1。
國家災害防救科技中心 陳組長聯光(書面意見)	
1. 圖 4-1 分析流程圖中，上下游為分開分析，是否應考慮其交互影響？例如上游迴水越嚴重，是否會造成潰壩後下游危害越嚴重等相互關係。	1. 天然壩體形成後上游地區是否受到迴水淹沒為主要考量。而下游可能之災害，與壩體的穩定性、高度與蓄水量有關。
2. 表 4-2~4-6 各種土地利用下，淹水面積計算有些以 0.3 公尺起算，有些則為 0.1 公尺或 3 公尺起算，是否應該統一？或應說明考量。	2. 淹水危害度分析方法，根據委員建議，參考其他相關計畫之危害度評估方法建立，因此，此表格已刪除。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(2/13)

審查意見	處理情形
3. 以淹水面積比例作為危害影響，可能忽略了淹水實際面積的影響。以表 4-2 為例，農作危害影響比農業設施低，可是事實上農作淹水的面積遠大於農業設施，農作受到的衝擊遠大於農業設施。	3.以土地利用之淹水面積之比例，在考量上有不周全之處。而淹水危害度分析方法，根據委員建議，參考其他相關計畫之危害度評估方法建立，因此，此表格已刪除。
4. 本研究以莫拉克為例，給定上下游之水位為邊界條件，以 SOBEK-2D 進行淹水模擬，然此水位乃事後得知。若於未潰決前要進行淹水預測模擬，如何得知潰壩後之水位？是否應將 1D 水位與 2D 淹水模式耦合計算？	4. 水理演算部分，根據一維模降雨逕流、與渠流演算得水位與流量結果，作為二維淹水分析時之上下游邊界條件。
經濟部中央地質調查所 費組長立沅	
1.有關資料蒐集部分，建議請農委會林務局提供歷年調查的成果，以供未來做為建立國內堰塞湖分析之基礎資料。	1.謝謝委員建議，已委請農委會林務局提供歷年調查的成果，惟相關成果為以 DBI 分析為主，故僅有 A、V 及 H 三個參數。
2. 圖 1-2 之工作執行流程圖，建議將「堰塞湖危險度及危害度評估方法建立」分成兩部分說明。	2.謝謝建議，已將圖 1-2 堰塞湖危險度及危害度評估方法建立分成兩部分說明。
3.無因次阻塞指標雖係參考國外分析之成果，但是 DBI 值介於 2.75~3.08 的部分，似應說明其所代表之穩定性意義。	3.75<DBI<3.08 因為天然壩穩定或不穩定之機會大致相當，無法區別天然壩穩定性，期末報告已補充說明。(P3-2)
4.據本報告有關小林與那瑪夏兩堰塞湖發生機制的討論，前者係由山崩所造成，後者則係由土石流所造成，兩者在顆粒組構、壩體形態、堆置環境等都應有相當之差異。國外蒐集之 84 筆資料是否也有將其做發生原因的區分。	4.天然壩資料事實上是相當缺乏的，Ermini and Casagli (2003)所報導之 86 筆資料是全球資料庫中同時有壩高、壩體積與堰塞湖上游集水區面積的案例，因此，未來研究應更著重於完整報導堰塞湖以及天然壩特性，當然應包括山崩機制、顆粒組構、壩體形態、堆置環境等等重要資訊。相關說明已補附於建議中。
5.目前認為那瑪夏堰塞湖可能因為材料是以粗顆粒為主，而與預估出現不穩定的狀態不相一致。未來如果發生了堰塞湖，而想要得到較量化的初步岩性資料，單從區域地質圖之地層名稱較不易讓非地質人員做出岩性類別的判斷，似可參考地調所環境地質調查成果中的「岩性組合圖」與「岩體強度分級圖」相關資料以做評估。	5.謝謝建議，「岩性組合圖」與「岩體強度分級圖」目前僅涵蓋都會區及周緣坡地。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(3/13)

審查意見	處理情形
6. 堰塞湖存在以後，目前所做的危險度與危害度分析，似均未考慮其再次遭受較大規模之地震(包括餘震)或短期內又遭遇颱風豪雨等類發生二次災害的可能性，目前可能尚無法充分考慮此類的影響，但建議可以使用文字說明的方式強調其可能造成之影響。	6. 本計畫主要是建立堰塞湖形成後之危險度與危害度進行分析，再由地震或豪雨再同一地區造成第二次堰塞湖，其方法亦依照堰塞湖形成後之方法進行分析評估。相關文字已補充於期末報告。(P3-16; P4-16; P4-30)
7. 圖 4-15 有關天然壩潰決對下游之危害度評估，目前使用的壩體上下游形狀之高度與寬度比例都是 1:4，此一數據是否為堰塞湖壩體之統計分析結果？抑或是土石流形態的堰塞湖之壩體形狀係數；其數字如果與山崩之崩塌土方的暫態性安息角 30~40 度比較，似乎坡度較緩。	7. 天然壩體對下游危害度之快速評估圖，可參考『堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊』之事先分析好之不同情況下之結果，為事先情境模擬與分析，共有 9 種不同的壩體形狀，3 種不同入流量與 5 種上游蓄水量，總共有 135 種可能情況，作為緊急參考使用。
8. 目前對於壩體下游之危害影響主要考慮淹水深度，由於堰塞湖潰壩後之流體並非清水，因此除會造成淹水危害之外，其可能會出現較強烈的河岸侵蝕作用，也請加以考量。	8. 本計畫目的在於建立天然壩體之淹水危害性，對於河岸的侵蝕與淤積作用，甚至沖毀堤防之危害，於本計畫短時間內無法完成詳細評估與方法建立，建議成立新計畫進行研究。
9. 對於堰塞湖之監測，宜分別列出主要監測項目與輔助監測項目，前者包括雨量、流量、水位等必要的內容，後者則為輔助參考的數據。當然，如果能夠得到監測數據，則必須訂定管理值做為防災之依據。	9. 感謝委員建議，本計畫報告將分列主要監測項目(水位、雨量)與輔助監測項目，而相關管理值訂定，其中水位、雨量則可配合本文提出之相關快速評估與詳細評估過程，監測項目則可利用本文提出之包絡線方法或非線性分析模式，藉以取得初步管理值訂定。
經濟部水利署工程事務組 賴組長建信(書面意見)	
1. 本期中報告所列舉並擬建立之危險度或危害度無論是所講快速評估方法或詳細評估方法皆有相當運算作業，並不便於實務運用，如危害度快速評估方法計算出潰壩流量，其計算涉及潰口型式、潰決時間等常有經驗工程司現地查勘之後再據以決定，若堰塞湖形成或位置過於偏遠無法可及，驟以概估及迫於事實不得不然之作為，唯本報告卻未見如何估算方法。	1. 計畫將編撰『堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊』，藉由手冊的表格填寫，可提供相關堰塞湖可能之情況，以期能符合工程司現勘時使用，另外，為提高危險度以及危害度快速評估實務運用價值，期末報告已將計算潰壩機率之統計模式改採圖形方式呈現。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(4/13)

審查意見	處理情形
<p>2.本報告所擬之評估方法似僅能於各項資料齊全之情形下，且陷於太偏信模式之迷思，吾人為針對堰塞湖此種緊急事件之處理首重現地資訊（最好能實地瞭解）及工程司運用基本水文學、水力學原理迅速處置（此問題於期初會議即曾提出），可惜本報告仍未見相關成果。</p>	<p>2.同意堰塞湖此種緊急事件之處理首重現地資訊，所有模式均應基於實地瞭解結果並印證分析結果是否符合預期，為重視專家現地研判與處置建議，期末報告增列：「同時，危險度快速評估亦不應忽略專家主觀判斷結果，因此，除考慮客觀評估所獲得之天然壩危害度初步評估結果以外，專家判斷結果若具更高危害度，則應重新檢視客觀評估模型是否有未及考慮之處。」(P4-30)。堰塞湖在緊急事件之處理，需先得知現場壩體位置、高度，以簡易的圖資進行上游迴水評估。下游潰口之流量則利用水力學觀念，若潰口流量大於計畫流量，可能發生溢堤淹水情況，反之則洪水於河道內流動。</p>
<p>3.危害度評估所運用參數多需計算淹水面積，歷來各次颱風事件最困擾水利人員的即是無法於短時間，以有限之資訊估計淹水面積及深度，遑論還要區分各土地使用分級淹水面積。</p>	<p>3.堰塞湖形成後之短時間的危害度評估，僅考量是否會淹水產生危害度。而潰壩分析之淹水危害度評估需要一些時間加以評估，因此，列為長時間詳細危害度評估方法中。</p>
<p>4.九份二山之監測儀器位置與監測項目是否能適切反應，仍待質疑。</p>	<p>4.由於目前國內相關堰塞湖監測資料，主要以九份二山資料最為完整，因此本計畫主要透過九份二山資料，作為相關資料統計預報模式評估與驗證使用。相關監測系統建置，則建議參考本計畫之附錄六。</p>
<p>經濟部水利署保育事業組 王組長藝峰(書面意見)</p>	
<p>1.本期中報告內符合契約要求，本人同意通過。</p>	<p>1.知悉</p>
<p>2.式(3-2)、(3-3)及式(3-5)、(3-6)自變數均相同，僅因變數一為 D_s，一為 L_s，為何一稱之為「鑑別分析模式」，另一稱為「邏輯斯迴歸模式」，若資料相同，為何二者係數不同？</p>	<p>2.兩類模型乃推衍自兩種不同統計模型，因考慮兩種統計模式背景說明將佔據過多篇幅，因此期末報告簡單補充說明兩種統計模型之特性，並增列「鑑別分析以及邏輯斯迴歸統計模式請詳參童煜翔(2008)論文)」相關文字，以供讀者參考。(P3-3; P3-4; P3-7)</p>

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(5/13)

審查意見	處理情形
3. 危害度一般並非以受害面積做為衡量指標，而是以損害衡量之。P.4-3 “詳細評估方法”之函數 F_{fu} 之考量因子是否妥當？另“詳細評估方法”評估上游淹沒區時，精密計算用地種類，但淹沒範圍卻僅粗淺評估(非模擬迴水曲線)，似乎不對稱，建議僅評估淹沒總面積即可。	3. 淹水危害度分析方法，根據委員建議，已參考其他相關計畫之危害度評估方法建立。
4. 本計畫迄期中，研究成果似仍與“防災”有段距離。目前的評估多屬靜態的潛勢評估，要知下游撤離工程浩大，必需有充份的時間，要對下游預警，可能必須在上游降雨達一定程度，就要評估出危險性，個人認為應借助本計畫研究成果的工具，先行模擬定義“警戒雨量值”，方有助於防救與實際作業。	4. 堰塞湖形成後，堰塞湖產生下游危害度，先決條件為天然壩有無潰決之危險度，若有，根據壩體高度推估上游多少雨量時，會發生壩頂溢流，作為雨量之警戒值，於詳見內文 4.2.2 之上游淹沒區之評估方法。下游地區則推估，若發生潰決時，則推估各村落之洪峰到達時間。
經濟部水利署水源經營組 王副組長國樑(書面意見)	
1. p1-1 第二節計畫目的請修正為計畫目標，另請補充第六節歷年規劃成果或前期研究一節。	1. 謝謝指導，已將第二節計畫目的修正為計畫目標，並補充第六節前期研究。
2. p1-5 圖 1-1 小林堰塞湖及那瑪夏堰塞湖位置圖未來在期末或計畫成果請改以彩色呈現較妥適。	2. 遵照辦理。
3. p2-1 言及本計畫擬配合堰塞湖災害防治之需求研訂資料庫架構，應先相關可能所需的資料、格式及建置原則加說明；另儘可能朝利用水規所或水利署既有的資料庫加以擴大或加值利用，勿在創造新的系統方式較妥適。	3. 本計畫資料蒐集為匯入各單位之成果，並未新增資料庫架構。為方便水規所及各單位使用，資料庫以檔案方式存在，方便已建至之資料庫直接引用。
4. p2-1~2-3 如何將所列水利署、水規所、內政部、交通部、農委會及中央大學太空與遙測中心等資料利用圖示來說明相關資料的關聯性。	4. P2-1 補充說明各資料匯入之相關分類。
5. p3-1~3-5 未來請將無因次阻塞指標、鑑別分析模式、邏輯斯迴歸模式等建議再詳加說明及比較，並針對其之優缺點或適用性進一步論述。	5. 期末報告補充說明統計模型之特性，並比較三種模式分析結果的特性，因邏輯斯迴歸模式結果較保守，故本計畫建議危險度分級採用邏輯斯迴歸模式。(P3-3; P3-4; P3-7)
6. p3-11 表 3-2 堰塞湖天然壩危險度分級表相關危險度分級及量化的數據等意涵建議未來能加強闡述及表達。	6. 一般而言，危險度分級標準通常為主觀認定，本計畫採邏輯斯迴歸計算所得之破壞機率做為分級依據，並利用少數台灣案例檢核其合宜性(表 3-1)，未來確實應根據實際案例之累積逐步調整合宜之危險度分級標準。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(6/13)

審查意見	處理情形
7. p4-1 未來應將危險度與危害度之關聯性加以連結較完整。	7.堰塞湖形成後，上游地區之淹沒勢必發生，而堰塞湖產生下游危害度，先決條件為天然壩有無潰決之危險度，若有，則評估是何種情況，詳見第肆章。
8.p4-29 請於附錄中補充本次研究計畫所利用各種模式的功能介紹、使用限制等簡介。	8.水理模式詳見使用手冊。
9.p4-39 相關研究案例之區位請配合五都的成立而做修正，如高雄市旗山區。	9.遵照辦理。
10.p5-1 在進行監測數據處理分析系統研究前，建議應針對堰塞湖能進行何種的監測方法或方式先加以論述較妥適，如p5-12 圖 5-1 似乎將監測系統建置及監測資料傳輸等排除，惟相關等前置作業應是最重要的。	10.由於相關前期計畫成果，已包含堰塞湖相關監測系統建置及監測資料傳輸建議，因此本計畫架構則是承續上述成果，進一步提出監測數據處理分析系統研發，包含數據接收與統計預測模式建置。相關監測系統建置及監測資料傳輸，則建議參考附錄六。
11.p6-1 堰塞湖處置資訊管理系統建置建議應先補充相關之資料庫架構系統圖，相關系統應包括台灣地區可能較易發生堰塞湖區位基礎資料前置作業資料建置，及發生堰塞湖後相關危險度及危害度分析等較完整。	11.本計畫並未納入台灣地區可能較易發生堰塞湖區位基礎資料前置作業資料建置。管理系統地圖如圖 6-3 所示。
12.p7-1 模擬案例及技術轉移訓練等工作相當重要，未來應著重如何透過案例模擬及技術轉移訓練等讓本所或本署同仁短時間內能有所收穫或上手。	12.謝謝指導，本計畫已將小林村及那瑪夏堰塞湖相關模擬方式納入報告，教育訓練考量未來使用者不同，分為兩梯次辦理，第一梯次對象為本所業務同仁，訓練內容為堰塞湖潰壩模擬及危害度詳細評估方法，第二梯次對象為本所及各河川局業務同仁，訓練內容為野外手冊操作及堰塞湖處置資訊系統應用。
13.未來除探討暴雨造成堰塞湖產生的危險度及危害度分析外，針對地震造成的堰塞湖或複合式產生的堰塞湖等亦應納入探討或下一階段的工作建議較完整。	13.天然壩體形成後之處理，已包括地震與土石流形成之情況。至於複合式災害，如土砂影響，於本計畫時程短，建議於下一階段進行考量。地震與暴雨造成之堰塞湖天然壩行為可能有所不同，本團隊曾將地震與豪雨誘發天然壩案例分開統計以獲得不同統計模型，然而因完整案例太少，分開統計正確率偏低，因此作罷，未來待堰塞湖案例增加，確實應該分開統計。相關問題已納入本計畫結論與建議。
本所大地工程試驗課 曾課長國柱	

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(7/13)

審查意見	處理情形
1.本計畫所建立之評估方法應能夠快速且容易運用，資訊管理系統則須提供應變決策及分析判斷可能災害損失，並且在設定之前提或假設條件下，應具有合理性。期中報告尚未達此結果，期末報告及成果應依上述原則辦理。	1.於第四章內文中，有將可能災害損失，與脆弱人口數納入考量。
2.“邏輯斯”或“羅吉斯”迴歸統計模式，名稱應一致。	2.謝謝建議，已統一命名為邏輯斯。
3.表 3-1 右 3 欄之表達不易懂，建議將各因子及穩定與否分別對應以利閱讀。	3.表 3-1 已適度簡化以增加可讀性。(表 3-1)
4.危險度評估分級本報告建議以羅吉斯迴歸模式為指標，是在有限之案例下歸納結果，其理由應再加強說明。	4.確實，統計模型建立使用的堰塞湖天然壩案例有限，但已經是文獻中能找到地形與水文參數最完整的資料，同時，這筆資料來自與台灣地質條件相當類似的日本，因此對台灣而言有其適用性。然而，隨著資料累積，上述模型應仍有更新之必要。(P3-5)
5.因為以往之堰塞湖所在位置缺乏降雨觀測資料，因此以 P 尖峰流量為參數尚屬合理，但未來亦有可能在有雨量觀測站區域發生堰塞湖，或是堰塞湖發生後，即裝設雨量測站，因此建議將降雨強度延時納入參數，而無法取得雨量資料時才用 P 代替。	5.因為本計畫統計案例來自文獻，而文獻資料中並無雨量資料，因此無法以雨量資料為參數進行模型建立，未來隨案例資料增加，或許有機會利用降雨資料建立統計模型。
6.那瑪夏堰塞湖林務局有相關量測及調查分析資料，建議參考。	6.謝謝指導，報告中已參考其成果。
7.所提危害度分析僅以淹水面積為評估，對於可能災損及可能影響之情況（人民作息、機關工廠運作、是否遷移避災）無法得到初步評估或提供研判資料。	7.淹水危害度分析方法，根據委員建議，參考其他相關計畫之危害度評估方法進行分析。
8.第肆章危害度分析之詳細評估方法所用之土地使用分類，在運用上相當困難，例如農業使用土地又分為農作、水產、畜牧、農業附帶設施，顯得過細而不符實際。	8.淹水危害度之危害因子以道路淹水為考量。
9.本所於 93 年度已完成堰塞湖防災作業手冊，請參考該手冊內容，就本計畫所提詳細評估所需要之參數因子，再整理（更新）後提供堰塞湖評細調查作業手冊。	9.遵照辦理，堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)已於 100 年 5 月 5 日提送。
行政院農委會水土保持局 簡約聘人員志凱	

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(8/13)

審查意見	處理情形
1.有關「監測數據處理分析系統架構」之數據庫，並無資料庫之資料類型、格型等，應將資料庫格式統一，方便後續分析。	1.因考量現場不同案例所採用監測儀器變異，因此本計畫所提供之資料庫，其中之資料類型，可依照現場實際監測項目，如水位、位移、雨量，利用本計畫開發之測量接收程式，已建置各監測資料。後續只要協調監測廠商，將相關監測數據，如水位、位移、雨量，統整到一個 ASCII 文字檔，即可利用測量接收處理系統匯入各監測項目，甚至可訂定各項監測項目警戒值，後續即可自動化分類、儲存與進階分析。
2.危害度評估為危險程度，是否可對該堰塞湖之潰壩時機進行訂定，供水規所發布警戒。	2.堰塞湖潰決時機，可由危險度進行評估，若有，則根據快速評估法，進行下游危害評估。
行政院農業委會林務局 林技正宜羣	
1.危害度分析相關評估資料甚為豐富，但又要上游迴水或下游潰壩影響範圍含有住戶或該區唯一聯外交通時，則實務上在防災工作上，皆列為重要防災區域，應予特別申別。	1.在淹水危害度快速評估上。因資料有限無法，僅能作初步的淹水評估，在詳細評估上，則以道路淹水情況進行淹水危害度因子評估。
2.第六章管理系統之功能架構圖，請補列於報告書內以更明晰。	2.謝謝指導，已於第六章加入管理系統地圖如圖 6-3 所示。
3.本計畫以小林及那瑪夏堰塞湖為研究對象，因該 2 堰塞湖形成之原因與型態不同，應於報告內補充說明。	3.謝謝指導，已於第柒章補充說明。
4.另有關那瑪夏堰塞湖，將於 4 月中旬開工進行降挖工作，預計再降挖 2.5 公尺，屆時委辦單位如有再現勘需要可配合導勘。	4.謝謝提供協助，本團隊已於 4 月 28 日前往那瑪夏堰塞湖現勘。
5.圖 4-18 堰塞湖潰壩分析流程中，土石壩體之粒徑、土壤特性等列入短時間必要調查項目是否可行，請再酌。	5.在壩體粒徑組成，短時間假設為基質支持材料(大於四號篩佔 70%以上為岩塊，反之為基質支撐)，長時間的潰壩分析，則可納入考量。
6. DBI 值之檢核確認，可再增加其他國內案例作檢算。	6.國內案例僅有少數經詳細調查者有壩高與壩體積資料，因此本計畫僅能就找到的較完整資料之天然壩進行分析，隨著未來資料累積，確實應該再進一步測試統計模型於台灣應用之合宜性，並更新統計模型。(P3-5)
經濟部水利署水利防災中心 楊副工程司其錚	

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(9/13)

審查意見	處理情形
1.完成「危險度快速評估流程」約需時多久？災中應變時期，若無法取得遙測影像，是否有快速簡易之方法完成判定？	1.於取得正射化遙測影像與地形資料後，應能於一個小時內完成快速評估，若無遙測影像，可利用現場勘查定位與現有地形圖，獲得評估參數，相關方法說明於 P3-13~P3-15。
2. 依本置堰塞湖應變作業手冊（緊急應變版），緊急調查後將判定危險度，並區分為無危險、潛在危險以及立即危險，P3-11 表 3-2 則區分為 5 種，未來在實際應變或處理後續細部評估時，如何銜接為宜？	2. 表 3-2 乃基於堰塞湖天然壩破壞機率高低乃考量天然壩潰壩之危險度。本報告建議宜以天然壩破壞機率的觀點來判定危險度，可考慮將堰塞湖應變作業手冊（緊急應變版）危險度分級依本報告建議方式修改為五級。
3. P4-5~P4-8，各公式之參數，有為 1，無為 0，似無意義？又單獨僅對產業評估是否足夠？	3.淹水危害度分析方法，根據委員建議，參考其他相關計畫之危害度評估方法進行分析。
4. P4-26 圖 4-15，若以實際壩體資料繪製時，是否仍適用？與附錄 3-3 均不相似時，有無調整之方式？	4.實際狀況與事先完成之分析圖不一致時，以最接近之情況進行流量推估，或內差方法推估之。
5.堰塞湖若是由單側之土體滑落而形成，其橫斷面常為一斜面，此時 P4-26 圖 4-16 之出流量如何計算？	5.以潰口處（壩體最低點）進行推估。
6.就防災應變而言，危害度（或危險度）分析完成後，有無可能轉換為雨量警戒值，以利監測並提早作業時間，使民眾有充裕時間疏散撤離。	6.雨量警戒值需考慮到壩體高度與集水區面積等影響，以單一事件而言，以小林堰塞湖為例，上游平均累積降雨量約 140mm 即可發生溢頂現象，因此可得知雨量。因本計畫時程短，建議於下一階段進行考量。
7.本署緊急應變版手冊內，細部評估完成後進行之後續處置包括壩體挖除、穩定工程及持續監控，本計畫後續擬訂之手冊，期能與緊急應變版銜接，或於必要時提供具體建議，以修正緊急應變版內容。	7.本報告旨在探討堰塞湖危險度、危害度評估方法與建置堰塞湖處置資訊管理系統。後續處置仍可依照緊急應變版手冊所建議之可能方案，採取包括壩體挖除、穩定工程及持續監控等處置方案。
經濟部水利署第七河川局 蘇工程員郁涵	
1.依水利署「堰塞湖防災作業手冊」河川局需派員至現場勘查，建議現場勘查記錄表註明“必填欄位”以利取得足夠資訊進行後續評估。	1. 遵照辦理
本所大地工程試驗課 吳副工程司文賢	
1.在基本資料收集部分，建議提供整個資料群架構以及資料分類原則，另說明何項資料必須平常建置，避免影響分析評估時間。	1.謝謝建議，基本資料蒐集分類依據資料屬性分為基本資料、水文測站、敏感地質、正射影像、地形圖、國土利用等。必須經常建置之資料已補充至建議中。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(10/13)

審查意見	處理情形
2.表 2-1，表頭文字有誤，請修正。	2.謝謝指導，已修正。
3.報告中採用多種方式對堰塞湖形成後危險度評估，其中建議使用災後正射化影像，此法似乎無法滿足時效，請再提供較為快速調查方式。請交大團隊針對此部分在教育訓練課程詳細說明，以利使用。	3.若無正射化遙測影像，可利用現場勘查定位與現有地形圖，獲得評估參數，相關方法說明於 P3-13~P3-15。
4.鑑別分析模式及邏輯斯迴歸模式皆有採用尖峰流量參數，該參數如何取得？請詳細說明是何種尖峰流量。	4.鑑別分析模式及邏輯斯迴歸模式兩個統計模式均根據 Tabata et al., (2002)之堰塞湖案例，該文獻中對於尖峰流量之估計方式係經過“自鄰近有流量站且面積接近之集水區流量記錄(1979-2002)中比尖峰流量(specific peak flow)”估計而來。
5.報告中指出採用 5×5 公尺數值地形模型來取得壩體相關幾何參數，該項資料屬機密資料，申請耗時，40×40 公尺數值地形模型精度是否能符合需求？	5.40×40 公尺數值地形模型精度，對於壩長、壩寬以及集水區面積估計尚屬可接受，惟對於壩高估計將產生過大的誤差，將影響推估結果之可信賴度。
6.對於危險度分級，本研究是採主觀性區分。然而破壞機率在兩個危險度分級之間，如何是區分是何種危險等級，例如破壞機率為 60%之時屬於高度危險或是中度危險？	6.表 3-2 已修正。
7.在危害度分析方法中，潰壩洪峰流量影響比值 (I_{db}) 之間距，於計畫執行過程中，視需要調整之。如何進行調整？請提出調整原則及方式。	7.初始規劃時，以等間距分為五級，應實務需求可彈性調整，如內文使用 Paul et al.(1999)所建議之分級劃分，以符合實際狀況所需。
8.進行危害度分析所需土地使用分類資料等是否需由各水資源局及河川局平時建置。該項資料取得來源、精度、資料格式內容等等，請敘明。	8.目前土地利用分類資料，主要參考內政部所建立之基本資料為主。若有更新資料，則以新資料進行分析。
9.長時間詳細評估(降雨徑流模式推算)部分：交大團隊已完成水利署轄區之 SOBEK-1D 河川水文、水理模式，該模式是否有置入本計畫堰塞湖處置資訊管理系統內。建議該模式包括在教育訓練課程內或是在手冊內中詳細敘明。	9. SOBEK-1D 河川水文、水理模式可提供給貴所使用，因斷面會有更新，因此，全省 25 條中央管河川使用上需要逐年更新。以符合實際狀況。此模式因有版權，未放置於堰塞湖處置資訊管理系統內。並於教育訓練課程時說明使用方法。
10.圖 4-17 為堰塞湖形成後之快速評估法流程。此法只適用於本計畫模擬案例，可否應用於其他流域，若否，可否提供製作方法並納入教育訓練課程。	10.可適用於其他流域，製作方法於使用手冊上，並教育訓練課程上說明。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(11/13)

審查意見	處理情形
11. R/S 分析，n 值為多少才合適，請建議。	11.根據文獻建議，R/S 分析方法之 n 範圍為 5~N/2 (N 為資料總筆數)。
12. Hurst 提出 $H=1/2$ 為過去增量與未來的增量不相關；當 $1/2 < H < 1$ ，事物狀態越不發生改變；當 $0 < H < 1/2$ 時，事物狀態呈現相反方向變化。依上述觀點， $H=1/2$ 是否可做為邊坡滑動的一項指標？	12.當 H 等於 1/2，則代表時間序列為互相獨立，即過去的增量與未來的增量不相關，時間序列為隨機變數。因此目前應注意當 $0 < H < 1/2$ 時，則代表時間序列 $\{x_t\}$ 過去增量與未來增量呈現負相關，即事物狀態呈現相反方向變化。
13.測量儀器接收系統畫面盡量中文化提示，避免過度使用英文代號，不易使用？	13.謝謝建議，以將相關文字與說明進行中文化。
14.資訊管理系統請增加權限及密碼。請增加水利署堰塞湖防災作業手冊（緊急應變版）所附現地勘查資料表之資訊；增加該手冊所規定的危害評估方法。建議交大團隊所提出的方法暫時在系統中設定為參考或是設定權限，俟修訂該手冊內評估方法並採用本計畫所提評估方法後再行開放。	14.遵照辦理。本計畫所提出之表格列為參考。
15.監測數據處理分析子系統可否移至其他邊坡穩定分析使用（如水庫、大壩安全）。此外水情資料服務，各水資源局及河川局是否要先申請使用並事前建置各管轄流域的水情資料，上述事項建議納入教育訓練課程並在技術手冊詳細紀實。	15. 本計畫提供之監測數據分析應可延伸應用至其他邊坡穩定分析參考使用。各水資源局及河川局不需事先申請使用。
16.在災害評價模型庫內所需圖資，如何快速取得？如何判斷？如何建置？建議在技術手冊內敘明。	16.謝謝建議，已於附錄五使用者手冊加入資料取得。
17.建議知識庫模組內增加各項會議記錄（現地勘查、評估等會議）、現勘照片、流域相關水文、地質、地文等資料、堰塞湖評估及處置結果報告等等，如此做為才能有效將知識傳承。	17.謝謝建議，已於系統將增加上傳功能，上傳之資料以個別堰塞湖管理。
18.交大團隊規劃 2 天教育訓練課程，該安排是否足以將本計畫的內容完整教授，倘若無法完整傳授，建議增加為 3 天的課程，分期辦理（一期為 2 天，另一期為 1 天）。	18. 謝謝建議，教育訓練考量未來使用者不同，分為兩梯次辦理，第一梯次對象為本所業務同仁，訓練內容為堰塞湖潰壩模擬及危害度詳細評估方法，第二梯次對象為本所及各河川局業務同仁，訓練內容為野外手冊操作及堰塞湖處置資訊系統應用。各為一天之課程。
結論	

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(12/13)

審查意見	處理情形
1.本期中簡報原則認可。請交通大學就委員及與會人員意見於期末報告詳細補充及回應。	1.知悉。
2.請明確說明附錄三內記錄表格資料與快速評估對應關係，不僅以名詞解釋方式呈現。附錄四只列出资訊管理系統使用手冊，請增加現場使用手冊；該手冊內容應有快速評估所相對應圖表及流程架構。請於1個月內(5月5日前)提送現場使用手冊初稿到所，必要時再召開工作會議。	2. 已檢送。
3.在堰塞湖處置資訊管理系統架構中,DSS部分為重點。請在附錄中補充說明如何利用報告內所提供評估方法做為決策支援。	3.資訊管理系統可顯示各分析之成果，以此做為決策分析。
4.在危險度評估部分，請檢查利用A、H、W為參數之統計模式正確性。此外，模式是否考慮降雨因子。評估公式無法考慮非量化因子，但該因子也具有影響性，考慮以定性描述為輔方式納入危險度評估。	4.因為本計畫統計案例來自文獻，而文獻資料中並無雨量資料，因此無法以雨量資料為參數進行模型建立，未來隨案例資料增加，或許有機會利用降雨資料建立統計模型。確實，許多非亮化因子對壩體穩定性影響甚大，如壩體堆積材料特性與天然壩穩定性密切相關，一般而言，大型岩塊組成之天然壩較由細顆粒材料組成者穩定。因此，現地調查時應加以記錄壩體堆積材料組成。相關敘述詳見P3-14。
5.有關危害度部分，提出災損與淹水程度關係。	5. 遵照辦理，於內文中詳述。
6.堰塞湖危害度快速評估部分，請依現有堰塞湖型態，增加案例查詢圖表以供現場人員判斷使用。	6. 遵照辦理
7.堰塞湖處置資訊管理系統之基本資料建置以可事先建置資料為原則，盡量收集建置，以便增加處置效率。	7.謝謝建議，本計畫以兩處堰塞湖為案例，並將其所需之資料蒐集完整，其他區域所需之資料，可藉由使用者手冊資料取得一節事先取得。
8.本計畫之評估方法與水利署堰塞湖防災手冊做一區隔，仍依目前研究方向進行，未來將研究成果提供水利署做為修改現有堰塞湖防災作業手冊參考。另委員要求提供國內案例，請交通大學再收集國內案例資料。	8.蒐集之國內案例詳參附錄四。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」期中報告審查意見及辦理情形(13/13)

審查意見	處理情形
9.堰塞湖發生後需進行監測來研判危險度，需採用何種監測項目，監測項目與警戒值間關係建立，報告中請以專章專節方式呈現。	9.本計畫架構承續前期計畫成果，進一步提出監測數據處理分析系統研發，包含數據接收與統計預測模式建置。相關監測系統建置及監測資料傳輸，則建議參考附錄六。主要監測項目，包含水位、雨量則可配合本計畫提出之相關快速評估與詳細評估過程，另外監測項目則可利用本文提出之包絡線方法或非線性分析模式，藉以取得初步管理值訂定。
10.潰壩分析目前只考慮清水流狀態，尚未考量潰堤及高含砂水流情境，此部分需在報告中說明。	10.突發性災害活動階段相當短暫，這類災害的評估主要是天然壩形成後壩體的危險度和潰壩後的對下游的危害度，以防災減災工作角度，災前危險度與災時之危害度評估尤為重要，乃為堰塞湖防災的工作和研究重點。至於堰塞湖緩慢性災害，如土砂、河道淤積問題，屬於後續河道治理計畫所考量，未納入堰塞湖緊急災害應變之考量，建議於下一階段進行考量。
11.請補充堰塞湖形成後又遭遇地震而造成複合型災害時，該如何研判危險度等以及研提對應處置對策請補充研究。	12.以『堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊』進行處理，若有時間，則再以詳細評估方法進行處理。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(1/11)

委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形

壹、日期：民國 99 年 12 月 30 日（星期四）上午 10 時 00 分

貳、地點：霧峰辦公區 A 棟 4 樓會議室

參、主持人：陳所長弘由

記錄：吳文賢

審查意見	處理情形
國立中興大學水土保持系 游教授繁結	
1. 羅吉斯迴歸分析之各項的機率如何決定，宜有腹案。	1. 本計畫將引用已發展完成之邏輯斯迴歸模式進行分析(Dong et al., 2011)，建模之資料庫為與台灣地質條件相近之日本案例(目前文獻中能找到涵蓋地形、地質與水文參數最完整的堰塞湖資料庫)。
2. 潰壩後危害度評估僅考慮淹水危害，未將泥砂之量體納入，可能有低估之虞。	2. 就堰塞湖之壩體體積與其蓄水體積比較，前者應可忽略，故本計畫對土砂量之影響假設可不予考慮。
3. 表 2-3 之分析結果，何以愈下游之流量愈小，是否符合質量平衡，是否應與暴雨逕流量結合分析之。	3. 洪水向下游傳遞過程中，其洪峰會衰減，但仍維持質量守恆。
4. 以 TDR 監測那些項目，請補充。	4. 因堰塞湖之即時監測預警系統（如位移、制）無包含於本計畫工作項目，但因應壩體之特性，建議針對水位、雨量以及地表壩體與鄰近殘坡），對應採用之監測元件與方法，應以簡易、便利為原則，包含 TDR 等相關監測項目。可參考「堰塞湖引致災害防治對策之研究」(游繁結, 2004)。而後續監測資料分析模式與系統效能，應以既有監測資料驗證，則是本計畫之工作內容。
5. 應釐清潰壩現象與災害之差別，因此對鑑別模式建立之各因子是否取絕對量或相對量，將影響該鑑別模式之適用式。	5. 目前本計畫將致力區分穩定性高低與災害規模(天然壩穩定性低者不一定釀巨災)，鑑別分析模式與邏輯斯迴歸模式均僅應用於天然壩穩定性評估，因子值均為絕對量。
6. 如何判斷或分析瞬間潰壩或逐漸潰壩及其水理變化之差異？	6. 瞬間潰壩為短時間潰決，造成瞬間流量較高，因此，潰決後之下游水位相較於逐漸潰壩亦較高。
經濟部中央地質調查所 費組長立沅	

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(2/11)

審查意見	處理情形
1.本計畫對於堰塞湖之危險度與危害度評估，是否說明清楚 2 小時內即發生潰壩之狀況如何處理？	1.這的確是關鍵課題。欲獲得天然壩幾何特徵，若能有天然壩形成前、後之 DTM，則問題不大。然而，災後地形資料卻非短時間可獲得。本團隊曾利用災前地形與災後正射化遙測影像，概估汶川地震唐家山堰塞湖天然壩幾何特徵，本計畫將以那瑪夏鄉天然壩為例，說明一旦可取得遙測影像後如何於 3 小時內快速推估壩體幾何特徵。相關說明詳見期中報告 P3-5。
2.小林及那瑪夏兩案例之思維應不同，前者應從分析之結論做適當的回饋；後者則可從未來演變之推估來思考。	2.謝謝指導，小林及那瑪夏分別為已潰及未潰之堰塞湖案例，因此本計畫有潰決後資料可供模型率定，再用來預測未潰決天然壩之危害度。
3.圖 2-1 工作流程與 P2-4 兩項內容建議整合。圖 2-4 似應將“DBI 值”置換為本計畫之成果；上、下游淹沒區之危害度是否增加「斜坡失穩」之考慮。圖 2-5 似應分別考慮上、下游狀況。	3. (1)期中報告圖 1-2 已依據工作內容整合修改。(2)期中報告圖 4-1 中 DBI 值已修改為危險度分析(3)堰塞湖形成後需考慮下游淹水危害度，至於上游迴水部分，大部分都屬於立即危害度。
4.既然堰塞湖溢頂造成之破壞機率遠高於潰壩，則有關堰塞湖長、短期危險度之評估似應從破壞機制分別探討。	4.文獻中關於短期危險度評估，主要為利用地形指標透過統計模型進行預測，本計畫團隊曾利用地震誘發案例與豪雨誘發案例分開進行統計分析，結果正確率並不高，經檢討，主要原因為案例不足，未來隨地形參數取得技術進步，堰塞湖案例增加，即可能有機會分不同潰決機制進行統計模型建立。至於危險度詳細評估確實應考慮潰決機制，然而，由防災實務角度，詳細評估所需之參數通常難以取得，因此本計畫僅針對快速評估進行探討與建議。
5.地調所 LiDAR 數據規劃於 101 年 3 月底完成，建議本計畫案例援擬先以內政部 5Mdem 試做。	5.謝謝建議，本計畫將先以內政部 5Mdem 試做。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(3/11)

審查意見	處理情形
<p>6.本計畫使用危險度及危害度兩名詞，建議從其英文用語思考，如何將兩名詞做較清楚的定義。</p>	<p>6.天然壩潰決危險度所指為天然壩潰決可能性之高或低，一般英文可採用潛感“susceptibility”一詞，危害度所指為災害發生可能性高低與災害現象影響範圍空間分布之合併效應，一般英文多採用“hazard”一詞。因天然壩形成後，上游淹沒幾乎為必然發生，因此，上游淹沒災害評估僅需考慮危害度問題。至於下游災害問題則分兩個區塊，一為探討天然壩潰決之可能性(危險度)，另一則為探討天然壩潰決之災害影響範圍(危害度)。</p>
<p>經濟部水利署工程事務組 賴組長 建信</p>	
<p>1.本計畫主要目的在於藉由歷史案例處理經驗及分析，建構緊急處置之決策支援系統，如此建議在管理系統的建置方面考量政府圖資多已建立線上供應機制，俾利使用者可以在最短時間內取得資料，提供決策判斷。</p>	<p>1.謝謝指導，本計畫管理系統將考量如何整合已提供線上供應機制之圖資。</p>
<p>2.附提之堰塞湖危險評估 DBI 指標固然可以參考，唯與其利用間接推估的壩堆積土體體積為因子，倒不如利用最大壩高，堆積長度為因子，此外台灣中上游河川平均坡降 0.01 以上，且多為間歇型河川，洪流作用時間短，多在 8 小時以內(除非長延時強降雨，即便如此其作用時間在 72 小時以內)，此類河川流況以超臨界流為主，然而偶遇河道在巨石漂流木或天然堰塞壩阻塞，流況則易在超臨界水深、正常水深及臨界水深間漸變，從而形成影響程度不一之沖淤洪害問題。故建議將堰塞湖位置及上下游坡降倒數距離河寬為分析評估因子。鼓勵研究團隊建立本土化指標。</p>	<p>2.本計畫除 DBI 指標外，同時將採用文獻中已發展完備之鑑別分析(Dong et al., 2010)與邏輯斯迴歸(Dong et al., 2011)統計模型，作為危險度評估之參考，其中，本計畫採用之統計模型乃根據與台灣地質條件相近之日本案例為主(目前文獻中能找到涵蓋地形、地質與水文參數最完整的堰塞湖資料庫)，建模過程中透過客觀之因子篩選，找到關鍵因子包括溪流流量、壩高、壩寬與壩長。建立本土模式確實為重要工作，惟目前台灣案例數不足以建立統計模型，待地形資料取得更便利後，台灣本土案例預期將會明顯增加，屆時即可建立本土化指標。</p>
<p>3.fig2-4 流程中，堰塞湖形成後進入“壩體產生危險度”之判定，建議修改為“危險度”判定。</p>	<p>3.謝謝建議，業已將期中報告圖 4-1 堰塞湖形成後進入“壩體產生危險度”之判定，修改為“危險度”判定。</p>

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(4/11)

審查意見	處理情形
4.fig2-4 對上游淹沒區危害分析無論時間長短，危險區域除淹沒迴水範圍外，應加上淹水高度以上及潛在崩潰之緩衝區域，對於短時間危害範圍為積水高度以上至最大淹水高度加計1-1.5成地質山崩潛勢範圍，對於長時間之危害範圍垂直高為陡於堰塞湖上游河床高至水位變動範圍1.5倍高度，水平部份應注意迴水終點至突然潰決後推拉上游沖刷範圍。	4.感謝委員建議，於期中報告第肆章第二節說明。
5.危害度之分類將潰堰洪峰流量高於計畫洪水量，可能滲淹至堤內區，堤內居住地區或交通潛在或不受影響，定義為中度淹水危害。如此分類與一般社會認知存有相當落差，對居民(或民眾)而言只要經濟活動領域(不限居住範圍)受災，即為災害，若淹水時間再拉長更為社會所不容，此外還有意見2所述流況變化因素，故建議重新考量。	5.感謝委員建議，於期中報告第肆章第一節修改與說明。
6.要用九份二山之監測資料依吾人瞭解其配置與數量恐難掌握破壞(穩定)分析狀況，宜審慎避免過度樂觀預期。	6.本計畫內欲提供之監測資料分析模式建置，除非線性分析法之外，也包含傳統一般統計模式(例如包絡線法)，配合以九份二山作為一現有尚為穩定之堰塞湖驗證範例，以九份二山之初步收集資料內容，已有民國92年至今之壩體地表位移及水位觀測歷時原始資料，可先初步提供上述分析模式穩定性檢核使用，本計畫也擬定利用已知破壞案例之監測資料，進行模式驗證，藉以評估模式可行性。
7.堰塞湖之形成常對社會形成聳動議題或危機，危機之報告都具有資訊混亂之特性，故本次計畫應以務實角度提供完整資訊及初判斷為原則，毋用太 fancy 之分析。	7.敬表同意，本計畫將以務實角度為指導原則，建立堰塞湖天然壩危險度及危害度評估方法。
國家災害防救科技中心 陳組長聯光	
1 本案之評估與處置資訊管理系統以旗山溪為案例進行評估，建議未來朝向適用於其他地區之情境模擬系統，以利防災應用需求參考。	1.謝謝指導，本計畫主要為建立危險度與危害度評估方法學之建立，兩處示範案例是用來展示如何根據本團隊建議方法進行危險度與危害度評估，因此兩處案例應屬足夠，

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(5/11)

審查意見	處理情形
2. 案例評估是否可納入清水溪草嶺歷次堰塞及潰決案之探討。	2. 謝謝指導，如前所提，本計畫主要為建立危險度與危害度評估方法學之建立，兩處示範案例是用來展示如何根據本團隊建議方法進行危險度與危害度評估，因此兩處案例應屬足夠
3. 本案以建立堰塞湖處置資訊管理系統建置，然相關工作內容以建立基礎資料及評估危害，對於處置未進行研議，建議補充或調整之。	3. 謝謝指導，本計畫主要為建立危險度與危害度評估方法學之建立，並建置管理系統以作為輔助決策，並未針對處置進行研議。
4. 相關參考文獻之引用與列表建議檢核確認之。	4. 謝謝建議。
5. 邏輯斯 or 羅吉斯建議統一之。	5. 本計畫將統一採用國立編譯館數學領域建議名詞“邏輯斯”。
6. 基礎資料之應用建議可朝向參與經建會國土資訊共通平台以提昇防災應用效益。	6. 謝謝指導，堰塞湖處置資訊系統考量為單機版，不考慮參與經建會國土資訊共通平台，但讓平台提供線上索引匯入，將考量納入系統即時查詢，現已將水利署水資源資訊平台提供之線上即時查詢整合進系統中。
國家災害防救科技中心 張駿暉	
1. 式(4)與或(7)只有參數不同，其實 D_s 與 L_s 都可視為羅吉斯迴歸的 logit，如果同時使用，由於其參數不同，得到的結果會不會有所衝突？	1. 敬表同意，不論是鑑別分析或是邏輯斯迴歸， D_s 與 L_s 都可視為羅吉斯迴歸的 logit，本計畫將分別比較各種不同參數條件下，DBI 指標、鑑別分析與邏輯斯迴歸方法對於天然壩穩定性之評估結果異同，以事先評估不同方法間對於危險度分析結果之保守程度，未來建議實務上可利用多種模式進行分析，決策時可挑選較保守之評估結果(第 2-14 頁)。
2. 本計畫採用之統計模式多為國外案例，台灣地形地質條件特殊，與國外可能有很大的差異，是否能適用？必須有學理根據，或進一步進行參數之調校。	2. 本計畫採用之統計模型乃根據與台灣地質條件相近之日本案例為主(目前文獻中能找到涵蓋地形、地質與水文參數最完整的堰塞湖資料庫)，建立本土模式確實為重要工作，惟目前台灣案例數不足以建立統計模型，待地形資料取得更便利後，台灣本土案例預期將會明顯增加，屆時即可建立本土化指標。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(6/11)

審查意見	處理情形
3.委託專業服務評選會議審查委員有多位提出本計畫是否態配合即時降雨、水位進行預警，實乃本研究是否能實用化之關鍵。尤其危險度與危害度的概念實乃為了災害預警之用，建議委託及承辦單位就此方面之應用需求加以規劃，以發揮研究成果之最大效用。	3.若能得知堰塞湖發生位置與相關基本資料，即可根據鄰近雨量站與水位作即時監測與預警，資訊系統提供即時查詢水資源資訊平台提供之即時水位及雨量資訊。
行政院農委會水土保持局 陳炳森	
1.監測資料如何取得(即時情況)。	1.因堰塞湖之即時監測預警系統(如位移、水位、流量控制)無包含於本計畫工作項目，但因應堰塞湖緊急處置之特性，建議針對水位、雨量以及地表監測(堰塞湖壩體與鄰近殘坡)，對應採用之監測元件與方式則應該以簡易、便利為原則，相關監測項目與施作流程可參考「堰塞湖引致災害防治對策之研究」(水規所，2004)。而即時資料傳輸部分，則需評估現場通訊狀況，若無手機訊號位置，則建議以無線電中繼方式，傳達之有手機訊號或是實體電話線路地點再做傳輸。
2.九份二山之資料取得(前中後航照圖)資料傳輸方式，如何取得時效，可列入評估。	2.本計畫內欲提供之監測資料分析模式建置，除非線性分析法之外，也包含傳統一般統計模式(例如包絡線法)，配合以九份二山作為一現有尚為穩定之堰塞湖驗證範例，以九份二山之初步收集資料內容，先初步提供上述分析模式穩定性檢核使用，並非以九份二山為案例。
3.如何以即時資料取得之後對上游集水區面積分析。	3.透過遙測影像或人工定位，採用GIS事先建構之模組，配合災前地形即可快速進行上游集水區面積計算，詳見期中報告第陸章第三節P6-9。
4.集水區之土、砂量生時間點之資料如何取得。	4.堰塞湖危害度分析，主要考量到淹水問題，暫不考量集水區內的土砂產量。
經濟部水利署第七河川局 黃正工程司忠山	
1.水利署於今年10月有修正堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)其中危險度判定有製作現場勘查記錄表，其中考慮之危險因子較為粗略現場較易填列判別，而本案採用之分析方法較為詳細專業甚至取決個人意向。未來規劃是補強防災作業手冊或修定？	1.本計畫主要以建立堰塞湖危險度、危害為目標，快速評估方法將以快速取得為考量，惟工作項目並未包含補強或修定防災手冊。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(7/11)

審查意見	處理情形
2. 本案初步看來以研究崩落造成之堰塞湖類型為主，本局轄區內曾發生因交流冲刷淤積至河道造成之堰塞湖因其壩體厚度較寬適用此模式分析否？	2. 本計畫確實僅以山崩造成天然壩(landslide dam)所形成之堰塞湖為分析對象，其它種類之堰塞湖並未於本計畫中考慮。
3. 堰塞湖潰壩對下游之危害度評估，建議以庫容量對照對下游村莊聚落之危害範圍事先演算建立資料庫，以利堰塞湖產生時防災需即時掌握保全及通知對象。	3. 感謝委員建議，本計畫將以潰壩分析進行淹水模擬，詳見第肆章第三節第二小節潰壩分析。
4. 建議潰壩演練資料庫建置納入荖濃溪非僅旗山溪因本局轄區未來可見之堰塞湖必然發生地點位於荖濃溪。	4. 謝謝建議，本計畫主要為建立危險度與危害度評估方法學之建立，兩處示範案例是用來展示如何根據本團隊建議方法進行危險度與危害度評估。
經濟部水利署水利防災中心 蘇助理工程師 瑞華	
1. 堰塞湖潰壩分析流量(圖 P2-14)，未來於計畫中應加強說明資料取得方式，以真正達到快速判別的時效性。	1 感謝委員建議，資訊系統提供即時查詢水資源資訊平台提供之即時水位及雨量資訊。
2. 有關快速評估後，及危害定量分析評估可否區分，那些資料調查可事前調查，事後監測於防救災應更有效率。	2. 事先調查資料如壩體高度、坡度、蓄水體積，事後收集資料如河道斷面、計畫洪水位、正射影像、DEM 資料等，於期中報告第肆章第二及三節說明。
3. 潰壩分析中需取得土壤資料，如何代表天然土壩資料，可否進一步說明。	3. 在堰塞湖形成後，因資料短缺，壩體土壤資料以 $d_{50}=2\text{mm}$ 作為天然土壩的代表與及接近的 $C-\phi$ 值。
本所大地工程試驗課 王課長國樑	
1. p1-4 圖 1-1 小林堰塞湖及那瑪夏堰塞湖位置圖請補充全流域小圖並標明本計畫區位位於全流域之何處較完整。	1. 謝謝建議，業已修正補充於期中報告 p1-5 圖 1-1 小林堰塞湖及那瑪夏堰塞湖位置圖。
2. p2-15 言及堰塞湖形成後之時效處理上分為短時間與長時間，其間以 2 天為區隔之依據為何？請加以說明。	2. 堰塞湖形成後之時效處理上分為短時間與長時間兩種。因須視動員人力與交通狀況等因素考量，初步建議得知堰塞湖形成後，以 2 天為區隔。後續請實務單位給於建議，並視情況進行調整，以決定時效處理上的時間分界點。
3. p2-27 圖 2-14 堰塞湖潰壩分析流程各相關採用之模式之選定原則、適用性及必要性請加強說明及著墨。	3. 各模式採用原則，主要是根據基本資料與模式功能進行研判，各模式之間的關連性，於期中報告中詳細說明。
4. p2-48 圖 2-31 那瑪夏堰塞湖位置圖標示不清，請加以修妥及標明較妥適；另模擬案例之選定原則及理由亦請加證明。	4. 謝謝指導，已修改 P7-7 圖 7-4 那瑪夏堰塞湖位置。另在潰壩模擬案例方面，除颱風豪雨事件外，將考慮不同重現期洪水進行模擬，於期末報告詳細說明。
5. p2-48 未來針對那瑪夏堰塞湖的現勘或調查請特別注意安全。	5. 敬悉。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(8/11)

審查意見	處理情形
6.p2-50 堰塞湖處置資訊系統使用教育訓練未來應針對訓練的對象、時間長短及教材講義等加強研析及著墨，並適時舉辦。	6.教育訓練方式將以實務需要為原則，進行教材講義撰寫。
7. p3-2 言及民國 99 年 6 月 30 日前依甲方所訂之出版品等提送正式報告書應修正為民國 100 年 6 月 30 日較正確，請修正。	7.遵照辦理，業已修正於執行計畫書修正稿 P3-2。
8. p5-1 未來本計畫之預期成果建議能較以量化的方式呈現較妥適。	8.P5-1 本計畫預期成果係依據招標文件之預期成果，後續實際量化之成果將於期末報告補充。
9. p5-2 本堰塞湖處置資訊管理系統建置相關的格式或原則請確實依本署及本所相關規定規劃，並最好與本所大地課現有的系統進行整合較妥適。	9.謝謝指導，本計畫資訊系統建置將考量如何整合既有資訊。
10.未來本堰塞湖處置之管理系統建置，如何擴及現有的水庫安全評估的資料擴大本系統之功能，尤其如何納入歷年各水庫已完成潰壩分析中潰壩淹水範圍圖之數化，建議納入研析及研處。	10.一般而言，堰塞湖規模與水庫相較甚小，二者潰決之淹水範圍亦有相當大之差異，建議各自考量之。
本所水資源規劃課 徐副工程司明童	
1.將來於模擬案例及技術轉移訓練時，可否提供本一個案例可依據所取得的堰塞湖基本資的多寡，就可有不同層次的模擬計算成果可供參考研判。	1.感謝建議，本計畫有提供不同壩體形狀與蓄水體積可供參考與比對，於期中報告詳細說明。
本所河川規劃課 卓工程員勇志	
1.工作項目中所謂之「危險度」及「危害度」是否有同義之英文名稱？	1.危險度：天然災害事件發生之可能性，國內習慣稱為潛勢(susceptibility)。危害度：天然災害危害度(hazard)為事件發生可能性以及致災事件影響規模及範圍之空間分布
2. P.2-16 危害度分析方法，以風險(Risk)=淹水危害度(Hazard)×淹水脆弱度(Vulnerability)，但本計畫中的 Hazard 以淹水深度、漫地流流速，淹水水流上漲速度做為考量因子，然而這三個因子彼此間皆有關聯性，且主要由壩中水體的容量和高程所控制，且若無機率參數，則無法進行風險分級。	2.堰塞湖潰壩主要產生的危害為淹水深度，因此，危害度分析僅就淹水深度進行考量。而淹水速度與上漲速率具有時間差問題，不納入淹水危害度分析。而風險須結合脆弱度分析，根據委員建議，脆弱度作為參考。因此本計畫僅就危害度進行等級區分，不進行風險（機率）分析。
3.P.2-16 中的淹水風險 R 值宜在淹水危害度及脆弱度值之範圍確定後再決定。	3.感謝建議，本計畫僅就危害度進行等級區分，並將脆弱度作為參考，不進行 R 值分析。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(9/11)

審查意見	處理情形
4.工作項目中的技術移轉建議將 TDR 納入。	4.因堰塞湖之即時監測預警系統（如位移、水位、流量控制）無包含於本計畫工作項目，但因應堰塞湖緊急處置之特性，建議針對水位、雨量以及地表監測（堰塞湖壩體與鄰近殘坡），對應採用之監測元件與方式則應該以簡易、便利為原則，相關監測項目與施作流程，包含 TDR 監測項目，可參考「堰塞湖引致災害防治對策之研究」（水規所，2004）。
5.請蒐集台灣其他堰塞湖資料對三種天然壩穩定指標進行確認。	5.敬表同意，凡是能順利獲得天然壩穩定相關地形參數者，本計畫均將納入確認預計採用之統計模型。相關說明詳見第 2-14 頁。
6.危害度(hazard)因子及脆弱度因子建議以網格化進行空間性等級區分，以利作風險地圖。	6.感謝建議，本計畫就危害度評估方法與建立，並藉由實際案例進行風險地圖之製作於期末報告說明。
7.危害控制建議把脆弱度僅作為參考，以危害度做為制定防災計畫的控制因子。	7.感謝建議，本計畫以危害度為主要分析。並將脆弱度作為參考。
本所大地工程試驗課 吳副工程司文賢	
1.請將為危險度、危害度及脆弱度的定義在報告中清楚敘明。	1. (1)危險度：天然災害事件發生之可能性，國內習慣稱為潛勢(susceptibility)，以堰塞湖天然壩潰決危險度而言，為天然壩潰決之可能性。 (2)危害度：於期中報告第肆章第一節說明。 (3)脆弱度：人類在不脫離災害情況下，造成傷害或破壞。淹水脆弱度係指淹水災害中的對象易受影響的程度，包含人類傷害和財產破壞，如洪災發生時，暴露於受災範圍內所有生命與財產的損失分布情形。
2.報告中指出將使用遙測技術來取得現地資料，但使用技術不外乎是光學影像及電磁波資料（如雷達），尤其是光學影像是會受到氣候影響，建議使用雷達影像技術。	2. 謝謝指導，光學影像確實會受到氣候影響，惟目前雷達影像解析度為 25 公尺，對於本計畫之功用恐有不足。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(10/11)

審查意見	處理情形
3. 監測資料分析模組是否也需具有資料預處理功能，亦即資料事先必須必檢定，才能加以分析。	3. 感謝委員建議，本計畫將評估提供資料預處理功能，預期可先配合監測系統其他相關規格，包含電源供應、感測器量測範圍與精度，第一步進行資料品質檢核，若非實際現場事件結果，而為儀器損壞或其他異常資料現象，則毋須再作後續分析處理，但可藉以提出儀器維護或校正訊息。
4. 堰塞湖處置資訊管理系統未來是要讓各河川局及水資源局使用，所以請以使用者角度來規劃內部資料架構及如何處理資料程序。未來進行教育訓練內容宜加詳盡。	4. 謝謝建議，本計畫將以使用者角度規劃內部資料架構及處理資料程序。
5. 是否能提供應急水文計算方式。如何建立不同情境水文事件，請提供方法以做參考。	5. 應急水文計算方法可藉由水文模式進行推估，或根據流量面積法進行推估最大洪流量，其相關方法於期中報告第肆章第二節說明。
6. 報告中指出要執行危險度評估分級，該分級將採何種方法來進行，請加以說明。	6. 本計畫將以無因次阻塞指標 <i>DBI</i> 、鑑別分析模式及邏輯斯迴歸模式三種客觀評估方法評估天然壩之危險度，以分別提供決策者主觀與客觀資訊並可相互比較。
7. 圖 2-4 分析流程圖中的經濟損失如何估算，宜加說明。進行經濟損失估算必須先有估算項目，項目目前尚未有完整確定，加上各項目的經濟數據未有，因此困難度相當高，建議提供淹沒地區範圍屬於哪種類型經濟活動的訊息。	7. 感謝建議，P4-2 圖 4-1 已將經濟損失估算刪除。並考量為何種類型經濟活動為主。
8. 危害度分析中，各權重如何決定？採用何種方法宜詳加說明。	8. 設定目標物的淹水特性與面積比例進行權重設定，於期中報告第肆章第一節內詳細說明。
9. 監測預警系統建置部分可否再提供詳盡的技術架構圖。	9. 因堰塞湖之即時監測預警系統（如位移、水位、流量控制）無包含於本計畫工作項目，但因應堰塞湖緊急處置之特性，建議針對水位、雨量以及地表監測（堰塞湖壩體與鄰近殘坡），對應採用之監測元件與方式則應該以簡易、便利為原則，相關監測項目與施作流程，包含 TDR 監測項目，可參考「堰塞湖引致災害防治對策之研究」（水規所，2004）。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(11/11)

審查意見	處理情形
10.在堰塞湖處置資訊管理系統內再增加行政作業文件、現勘資料及處置報告文件項目，以做日後之參考。	10.謝謝指導，本計畫將研擬納入相關文件之呈現方式，於期中報告第陸章第五節說明。
11.另提一不成熟意見：可否利用專家主觀機率預測法來決定事件發生機率。也就是說將利用專家群的經驗來主觀判斷機率，將各主觀機率值以統計方法來處理進而求得事件發生機率。堰塞湖勘查處置是由各河川局邀請各專家前往勘查評估來加以討論，所以是否可以採用此方法，可以參考。	11.既然是專家評估法，可直接由各專家透過討論以獲得共識之方法進行評估。專家評估法，確實可做為本計畫危險度與危害度評估之替選方法。相關說明詳見期中報告 P3-10 頁。
結論	
1.本期中簡報原則認可，請依委員及與會人員意見修改後，將工作執行計畫書修正稿 3 份送所憑辦。	1.知悉。
2.本案期中報告請於 100 年 4 月 15 日前提送本所。	2.遵照辦理。
3.下游危害度分析流程：在長時間部分，淹水範圍模擬為何在堰塞湖處置資訊管理系統內是採用 SOBAK 模式，實際上有其他模式，如 HECRAS、SRH2D、CCHE2D 等可採用，是否可不限制模式？請交大團隊綜合評估適用分析模組。	3.採用 SOBEK 模式可模擬潰壩對下游地區淹水情況，為水利署易淹水地區治理計畫常選工具之一。而 HECRAS 主要為一維河川水理、輸砂模式、SRH2D 與 CCHE2D 為河川、輸砂模式，不納入潰壩淹水模式之考量。
4.堰塞湖長期存在時，進行潰壩分析後，土、砂問題如何模擬？採用何種模式，宜加討論；另對跨河構造物及水利設施之衝擊評估加以探討。	4.本計畫主題在探討堰塞湖危害度分析，而堰塞湖的土、砂產量一般而言，相較於堰塞湖蓄水體積、其量甚小，應可忽略，故不在潰壩分析考量範圍內。如經長期淤積潰決，其沖蝕變化可透過一般動床數模予以模擬。
5.監測案例採用九份二山是否適當？其目的宜詳加敘述。荖濃溪不納入本案分析案例。	5.本計畫配合以九份二山作為一現有尚為穩定之堰塞湖驗證範例，以九份二山之初步收集資料內容，已有 93 年至今之地表位移及水位觀測歷時原始資料，可先初步提供上述分析模式穩定性檢核使用，本計畫也擬定利用已知破壞案例之監測資料，進行模式驗證，藉以評估模式可行性。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務執行計畫書審查意見及辦理情形(12/11)

審查意見	處理情形
6. 案例經驗資料整理，朝 2 方面進行：(1) 界定研究課題方向、整理可用資料供現場處置之用；(2) 預為模擬、各可能情境，供快速查詢圖表方式做初步處置依據。	6.(1) 本計畫主要研究方向以堰塞湖形成後，提供快速與詳細評估堰塞湖可能的危險度、危害度進行分析。(2) 事先預設情境模擬與快速查詢圖表提供帶至堰塞湖現場使用，至現場後根據資料，與河川狀況可容納之洪流量比較，進行危害度等級區分，可供現場第一時間回報相關資訊。並於期中報告內附錄三說明使用方法
7. 堰塞湖處置資訊管理系統應利用現有資料庫數據，以介接方式處理；這些資料如何取得需詳加交代。決策輔助系統部分：案例經驗、情境模擬提供，如何來呈現，請執行團隊加強研析及表達。	7. 謝謝建議，本計畫將研擬如何納入現有資料及呈現方式，並於期中報告第陸章補充。
8. 技術手冊分為兩部分撰寫：一為系統操作手冊；二為現場勘查人員攜至現場使用，依據手冊所提供圖表進行調查及快速評估之用。	8. 遵照辦理。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務評選會議審查意見及辦理情形(1/4)

委託專業服務評選會議審查意見及辦理情形

壹、日期：民國 99 年 11 月 29 日 14 時 30 分

貳、地點：水利規劃試驗所霧峰辦公區 A 棟 4 樓會議室

參、主持人：廖副所長培明

記錄：吳文賢

審查意見	處理情形
委員 1	
1. 因暴雨造成之堰塞湖其危險度評估其原則為何？請補充說明。	1. 以目前國際間透過地形指標評估天然壩危險度之模型，並未區分不同誘發因素之案例，本團隊曾將地震與豪雨誘發天然壩分開建立統計模型，結果預測正確率並未提高(可能與可分析案例數過少有關)，因此本計畫危險度分析仍依據文獻中既有模型進行(未考慮誘因)。
委員 2	
1. 台灣地形坡陡流急、地質亦相當年輕，本計畫除就堰塞湖形成後之探討外，是否可結合中央地調所等相關資料，針對可能較容易形成堰塞湖的潛在位置進行探討？	1. 本計畫著重於堰塞湖危險度、危害度評估方法及資訊系統建置，並未針對可能較容易形成堰塞湖的潛在位置進行探討。
2. 由於堰塞湖構造複雜，又不如水庫工程有較充裕時間或系統性的來埋設相關的監測設備？未來就如何透過監測設備來評估是否有困難度？或僅能就簡易的設施來輔助？	2. 感謝委員建議。由於堰塞湖有其不確定與時效性，因此若評估需進行監測設備安設，因應堰塞湖緊急處置之特性，建議針對水位、雨量以及地表監測（堰塞湖壩體與鄰近殘坡），對應採用之監測元件與方式則應該以簡易、便利為原則。而後續監測資料分析模式與系統架構建置，以及以既有監測資料加以驗證方法，則是本計畫之工作項目。堰塞湖之即時監測預警系統建置（如位移、水位、流量控制）則無包含於本計畫工作項目
委員 3	
1. 依 schter 研究世界上堰塞湖有 95%以上在一年內潰決，故有關堰塞湖之處置以如何能快速（如一月內）評估為後續處理為關鍵，在貴團隊所提之方案建議，應著重在快速取得數值地形資料研判堆積高，及堆積高對沿河道堆積長之比，堆積體下游坡面斜率等…，請問貴團隊如何建立一個系統在發現堰塞湖後 3 小時內取得上開地形資訊，提供相關分析。	1. 這的確是關鍵課題。欲獲得天然壩幾何特徵，若能有天然壩形成前、後之 DTM，則問題不大。然而，災後地形資料卻非短時間可獲得。本團隊曾利用災前地形與災後正射化遙測影像，概估汶川地震唐家山堰塞湖天然壩幾何特徵，結果尚稱合理。一旦可取得遙測影像後，即可快速推估壩體幾何特徵。所指並非在發現堰塞湖後 3 小時內取得地形資訊。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務評選會議審查意見及辦理情形(2/4)

審查意見	處理情形
<p>2.台灣西部麓山帶多為砂頁岩互層，強度較低、整合不完全的結構，其崩坍土體土壤力學特性難以掌握，甚至嘗試要取得其內孔隙水壓等意義不大，建議所建立的系統不要太複雜化，亦不要對土體監測有過度期待。</p>	<p>2.感謝委員建議。如同委員 2 意見回覆，由於堰塞湖土體土壤力學特性難以掌握，因此若評估需進行監測設備安設，因應堰塞湖緊急處置之特性，建議針對水位、雨量以及地表監測（堰塞湖壩體與鄰近殘坡），對應採用之監測元件與方式則應該以簡易、便利為原則。而後續監測資料分析模式與系統架構建置，以及以既有監測資料加以驗證方法，則是本計畫之工作項目。</p>
委員 4	
<p>1.堰塞湖之形成其壩體特性因地而異，本計畫擬以小林及那瑪夏為例，評估所建置危險度及危害度評估方法，請問其樣本數是否具代表性及足夠？</p>	<p>1.危險度評估將利用文獻中既有模型，兩處示範案例是用來展示如何根據本團隊建議方式進行評估，而非利用這兩個案例建立模型，相關說明詳見第貳章第三、四節。</p>
<p>2.請問預計以多少事件之堰塞湖資料進行統計模式之建立？</p>	<p>2.本計畫危險度評估模式將以文獻中已建立之統計模式為主，Ermini and Casagli (2003)利用全球 84 筆堰塞湖案例，提出無因次阻塞指標 <i>DBI</i> 分析堰塞湖之穩定性，Dong et al. (2009; 2010)則利用地形資料齊全之日本案例 46 筆(Tabata et al., 2002)，利用判別分析以及邏輯斯迴歸建立堰塞湖穩定評估統計模式。相關說明詳見第貳章第三節。</p>
委員 5	
<p>1.本計畫能否建立堰塞湖上游之降雨與逕流量及堰塞湖水位之模擬分析，未來只要知道降雨量，即可預測堰塞湖未來幾個小時之水位。</p>	<p>1.本團隊已完成全台中央管河川水文、水理模式建置，若能得知發生堰塞湖位置、高度，並藉由即時雨量觀測資料即可預測未來堰塞湖內之水位。</p>
<p>2.本計畫未來可否建立產生潰壩之危險水位。</p>	<p>2.危險水位與壩體溢頂、潰決息息相關，可試著由水文-水理模式模擬降雨與蓄水變化關係，再加上應變所需之預警時間，規劃堰塞湖之危險水位。</p>
<p>3.本計畫是否有配合即時降雨及水位等資料，建立即時預警系統之規劃。</p>	<p>3.本計畫所建置之資訊系統以知識庫及輔助決策研擬為主，並未建立即時接收及預警。本計畫可參考氣象局與水利署之雨量雨水位即時觀測資料並加以應用。</p>
委員 6	

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務評選會議審查意見及辦理情形(3/4)

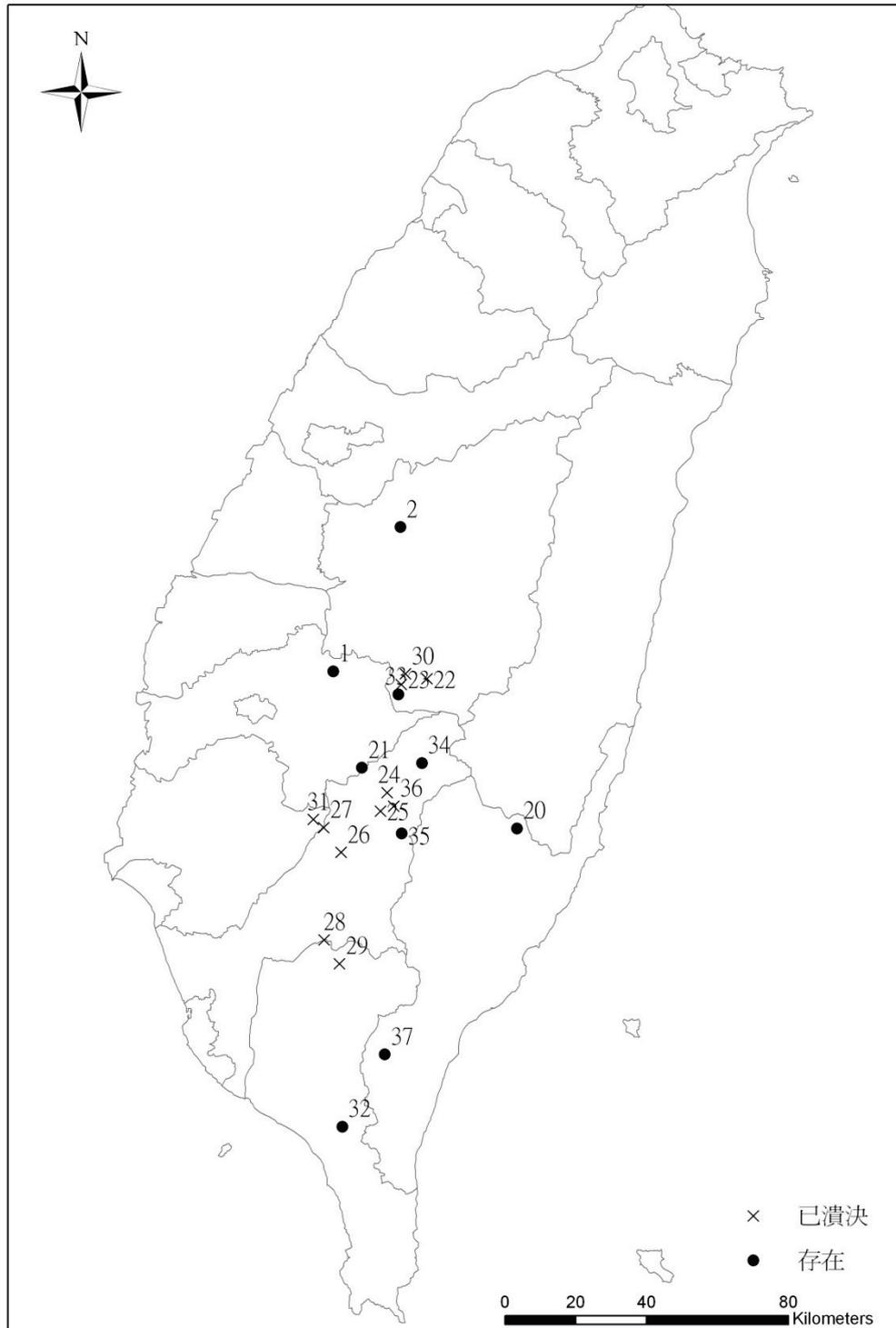
審查意見	處理情形
1.對於堰塞湖形成初期，依據服務建議書內之工作方法，研究團隊如何進行危險度評估？	1.本計畫危險度分析仍依據文獻中既有模型進行，以目前國際間透過地形指標評估天然壩危險度。相關說明詳見第貳章第三節。
2.對於既有堰塞湖，如何在降雨及地震狀態下評估其危險度？	2.以目前國際間透過地形指標評估天然壩危險度之模型，並未區分不同誘發因素之案例，本團隊曾將地震與豪雨誘發天然壩分開建立統計模型，結果預測正確率並未提高(可能與可分析案例數過少有關)，因此本計畫危險度分析仍依據文獻中既有模型進行(未考慮誘因)。
3.對既有堰塞湖之即時監測預警系統(位移、水位、流量控制)是否包括在工作項目中？如何有效運作？	3.本計畫工作項目下包含建置相關監測資料分析統計，以及趨勢預測模型庫，對應驗證方法則以既有監測資料加以輔助。堰塞湖之即時監測預警系統(如位移、水位、流量控制)則無包含於本計畫工作項目。
委員 7	
1.本計畫著重於堰塞湖發生後之相關評估，是否可評估易發生堰塞湖位置，以能事前預防。	1.本計畫著重於堰塞湖危險度、危害度評估方法及資訊系統建置，並未針對易發生堰塞湖位置進行探討。
2.危險度、危害度之分析，必須現場即時資料才能準確，僅以水文、地形等資料，如何轉換為機率？	2.因發生堰塞湖之位置與高度不易預測，目前可藉由堰塞湖發生的各種尺度進行假設，與找出淹水危害因子，藉由統計方式，將各種可能發生的情況、各危害因子加以量化，繼而可得危害發生的機率。
3.水庫上游若產生堰塞湖，對於壩安全之影響如何納入評估？	3.本計畫僅就若堰塞湖潰決對於下游之影響，下游壩堰安全之影響不納入本計畫中。
委員 8	
1.依建議書所言，民國 93 年及 99 年分別由水規所及水利署辦理「堰塞湖引致災害防治對策之研究」及「堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)」等工作，那麼請簡要敘明本計畫辦理之理由及目的。	1.93 年所進行之計畫主要著重於災害防治對策及緊急應變，本計畫主要著重於堰塞湖危險度、危害度評估方法及資訊系統建置。

「堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置」委託專業服務評選會議審查意見及辦理情形(4/4)

審查意見	處理情形
<p>2.莫拉克引致台灣各地計 16 處堰塞湖及該颱風前亦有多處，惟建議以小林村及那瑪夏等 2 處為本計畫案例，請敘明理由？因該 2 處均為旗山溪水系？合適嗎？</p>	<p>2.本計畫主要為建立危險度與危害度評估方法學之建立，兩處示範案例是用來展示如何根據本團隊建議方法進行危險度與危害度評估，因此兩處案例應屬足夠，此兩處一處(小林村)為已潰決，因此有潰決後資料可供模型率定，再用來預測第二處(那瑪夏)未潰決天然壩之危害度，尚屬適宜。</p>
<p>3.危害度、危險度、風險度等名詞，請明確敘明本計畫所採用？</p>	<p>3.危險度：天然災害事件發生之可能性，國內習慣稱為潛勢(susceptibility)，以堰塞湖天然壩潰決危險度而言，為天然壩潰決之可能性。 危害度：天然災害危害度(hazard)為事件發生可能性以及致災事件影響規模及範圍之空間分布。於本計畫中所指為由於天然壩上游之迴水、天然壩潰決後形成之洪水，因而造成對天然壩上、下游地區所造成之危害程度。 風險：天然災害事件可能造成之損失，與危害度、易致災性(vulnerability)以及事件可能造成之總損失有關。本計畫未涉及風險評估。</p>

附錄二 台灣堰塞湖資料庫

台灣堰塞湖案例共蒐集了 46 筆，相對位置如下圖所示(有座標資料)，○代表目前仍存在，x代表已潰決。表列各堰塞湖之相關參數。



編號	名稱	座標	時間	誘因	潰決 與否	壩長 W(m)	壩寬 L(m)	壩高 (m)	壩體積 V(10 ⁶ m ³)	集水面積 A(10 ⁶ m ²)	湖容量 S(10 ⁶ m ³)	蓄水面 積(m ²)	洪峰流量 P(m ³ /s)	壩體上 游坡降 (°)	壩體下 游坡降 (°)	上游河 床坡度 (°)	下游河 床坡度 (°)
1	草嶺 ¹		1862		是												
2	草嶺 ¹		1941	地震	是			217	282.1		157						
3	草嶺 ¹		1979	豪雨	是			90	5		40						
4	丹大溪 ¹		1993	豪雨	是			15	0.05		0.29	20000					
5	新草嶺潭 ¹	216627,2607902	1999	地震	否	5000	600	50~110	120	162	43						
6	九份二山 ¹	235607,2649034	1999	地震	否	1500	540	50	36	6.55	1.78	109100	185.73				
7	大安溪內灣段 ¹		1999	地震		300		10		0.052	0.77						
8	頭汴坑溪一江橋 ¹		1999	地震		250	50	150	1.87								
9	頭汴坑溪龍寶橋 ¹		1999	地震		50	50	5	0.006								
10	早溪 ¹		1999	地震		600	30	6	0.018								
11	雪山坑溪 ¹		1999	地震		60	50	15	0.16								
12	沙漣河 ¹		1999	地震		150	50										
13	石盤溪 ¹		1999	地震		600	30~40										
14	生毛樹溪 ¹		1999	地震													
15	東埔蚋溪 ¹		2000	豪雨		120	40	15	0.036								
16	侯硐大粗坑溪 ¹		2000	豪雨				4									
17	立霧溪 ¹		2002	地震					0.005								
18	新武呂溪 ¹		2002	豪雨				30	0.45								
19	知本溪 ¹		2005	地震		114	27	15~20	0.23	198	0.398					2.5	2.5

附錄 2-2

20	龍泉溪 ¹	268584,2563075	2006	豪雨+ 地震	否	400	180	50	1.8	12.34	4	54000					
21	旗山溪(那瑪夏 鄉) ²	224679,2580381	2009	豪雨	否	2202	178.65	68	8.9	209.66			1.26	0.92			
22	沙里仙溪 ²	243100,2605772	2009	豪雨	是					47.7							
23	和社溪上游 ²	235828,2604084	2009	豪雨	是					77.63		13808					
24	荖濃溪支流 ²	231829,2573294	2009	豪雨	是							41806					
25	荖濃溪 ²	230000,2568002	2009	豪雨	是					488.72							
26	荖濃溪主流 ²	218829,2556195	2009	豪雨	是												
27	旗山溪(小林村) ²	213934,2563350	2009	豪雨	是	1554	370	44	15.34	354	9.87	733350	2974	2.05	2.06	4.35	0.57
28	荖濃溪支流濁口 溪 ²	213977,2531279	2009	豪雨	是												
29	口社溪(沙卡蘭 溪)上游 ²	218427,2524487	2009	豪雨	是												
30	南投縣信義鄉神 木村 ²	237070,2607138	2009	豪雨	是												
31	曾文溪支流後堀 溪 ²	210929,2565595	2009	豪雨	是					11.27							
32	士文溪 ²	219142,2478049	2009	豪雨	否	800		25		33	1.2	67000					
33	陳有蘭溪上游霍 薩溪 ²	235018,2601306	2009	豪雨	否							3000					
34	荖濃溪主流上游 ²	241664,2581740	2009	豪雨	否					162.15		43000					

35	荖濃溪支流寶來溪上游 ²	235952,2561704	2009	豪雨	否					1.37		10000					
36	荖濃溪支流拉克斯溪上游 ²	233788,2569450	2009	豪雨	是							20000					
37	太麻里溪上游 ²	231202,2498628	2009	豪雨	否	1000		10		65	5.33	860000					
38	太魯閣梅園竹村 ²		2010	坍方	是							20000					
39	立霧溪 ²		2009	岩崩	是												
40	木瓜溪上游 ²		2009	地震	是			20									
41	合流坪 ²		2008	岩崩													
42	大崙溪 ²		2007	岩崩	否							80000					
43	泰源幽谷 ²		2004	地震	是						0.9						
44	上坪溪 ²		2006	豪雨	否	100		20			0.15						

附錄三 堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊

一、總則

(一)目的

本手冊提供堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估之作業方法。

(二)適用範圍

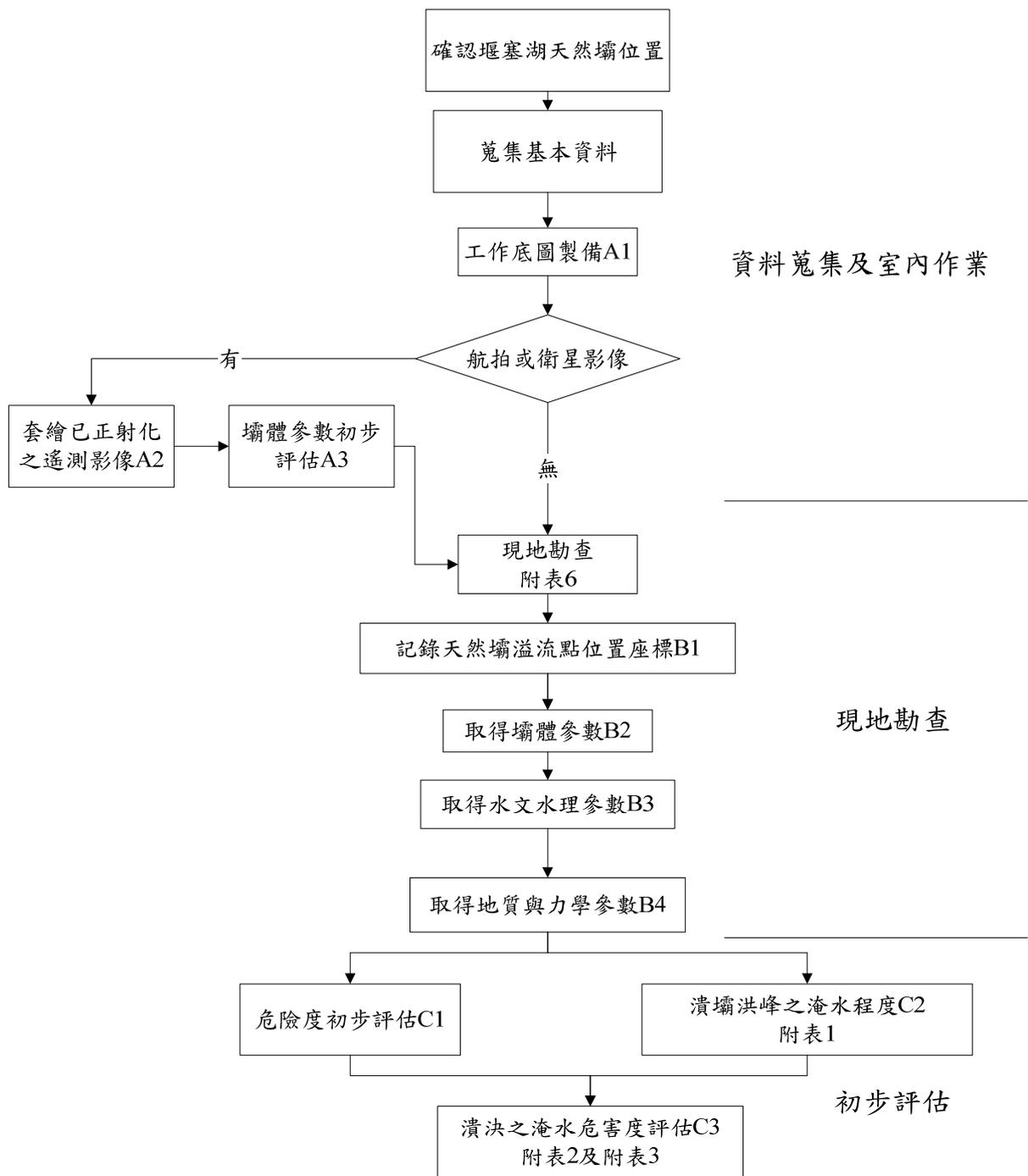
本手冊適用堰塞湖發生後最初階段之調查。

(三)調查原則

堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估調查時間不宜過長，以利快速評估堰塞湖危害度。

(四)緊急調查作業流程

本手冊緊急調查流程區分為三個階段，分別為資料蒐集及室內作業、現地勘查及初步評估，流程圖請參照附圖 1。



附圖 1 緊急現勘作業流程圖

(五)名詞定義

1、危險度(susceptibility)

危險度為天然壩潰決之可能性或潛勢。壩體潰決危險度共分五級，分級標準採破壞機率大於 80%為極高度危險、

60%-80%為高度危險、40%-60%為中度危險、20%-40%為低度危險、破壞機率小於 20%則為極低度危險。破壞機率採邏輯斯迴歸模型計算，邏輯斯迴歸模式如下：

$$L_s = -2.22 \log(A) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93$$

其中 A (m²)為集水區面積、 H (m)為壩高、 W (m)為壩寬(沿著河道)、 L (m)為壩長(跨越河道)、 L_s 為邏輯斯分數(logit)，當邏輯斯分數小於 0 時代表天然壩屬不穩定；大於 0 時代表天然壩屬穩定。天然壩體破壞機率 P_f 如下式：

$$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}}$$

其中， P_s 為壩體安全機率。

2、潰壩洪峰之淹水程度

潰壩洪峰之淹水危害度為天然壩潰決後形成之洪水，因而造成對天然壩上、下游地區所造成之淹水程度。壩體若潰決造成淹水之嚴重程度分為五級，以潰壩洪峰流量影響比值(dam-break peak-flow influence ratio) I_{db} (= Q_{db}/Q_{rd})計算，其中 Q_{db} 為堰塞湖溢頂潰壩出流量、 Q_{rd} 為河川治理計畫流量。

天然壩潰決淹水嚴重程度分級標準採用 Paul et al.(1999)所建議之分級劃分，如附表 1 所示。其中，堰塞湖天然壩溢頂潰壩出流量 Q_{db} ，可利用不同幾何形狀之壩體以及事先完成之不同上游最大洪峰流量數值模擬計算結果加以估計。

3、潰決之淹水危害度快速評估

潰決之淹水危害度快速評估詳見附表 2，由附表 2 可知，天然壩下游淹水風險受壩體潰決危險度(附表 2 橫向)與若潰決後淹水程度(附表 2 縱向)決定。其相對應之災害參考，如附表 3 所示。

附表 1 堰塞湖天然壩淹水程度分級

淹水程度分級	分級間隔(%)	危害度描述
極低(I)	0-10	幾乎不發生
低(II)	11-40	鮮少發生
中(III)	41-60	可能會發生
高(IV)	61-90	經常發生
極高(V)	大於 90	會發生

附表 2 天然壩潰決水危害度分級

		天然壩潰決危險度(天然壩潰決機率)分級				
		極高	高	中	低	極低
天然壩潰決後淹水程度分級	V	極高	極高	高	中-高	中
	IV	極高	高	中-高	中危	中-低
	III	高	中-高	中	中-低	低
	II	中-高	中	中-低	低	極低
	I	中	中-低	低	極低	極低

附表 3 堰塞湖潰決淹水危害度分級

淹水程度分級	災害程度參考
極高	村(里)淹水風險極高，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 150 戶。
高	村(里)淹水風險高，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 125 戶。

淹水程度分級	災害程度參考
中-高	村(里)淹水風險高，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 100 戶。
中	村(里)淹水風險中，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數大於 50 戶。
中-低	村(里)淹水風險中，或村里距離河岸 100 公尺內之戶數小於 50 戶。
低	村(里)淹水風險低。
極低	村里淹水風險極低。

二、資料蒐集及室內作業

(一)基本資料準備

在堰塞湖發生後，應立即蒐集附近之地形、地質、水文、土地利用、保全對象以及交通等資料，同時亦應對災害誘因(暴雨或地震)相關資料加以蒐集。現場調查所需基本資料內容與來源可參考附表 4。

- 1、地形資料：表明堰塞湖發生處地形、交通、社經、水系與土地利用狀況等。比例尺則以堰塞湖發生後所能取得最大比例尺為原則。
- 2、地質圖：表明堰塞湖發生處區域地質與環境地質狀況。
- 3、水文資料：表明堰塞湖發生處區域與上、下游水文狀況，以供水文、水理與輸砂模式參考之用

(二)調查器材與交通安排

現場勘查時應考量交通工具(直昇機、汽車、機車等)之合

宜性，並可攜帶簡易之測量工具與照像、錄影設備等與初步蒐集之基本資料進行記錄。緊急調查器材清單如附表 5。在儀器使用方面，由於使用之儀器廠牌可能不同，建議各單位各自納入複雜儀器操作之 SOP，以供現場操作人員使用查閱。

(三)現場勘查記錄表

初次勘查時即應對崩塌坡面、堰塞湖體與壩體等進行概略估計，以節省時效，並建立最基本之堰塞湖資料。附表 6 為堰塞湖現場記錄表，表中可視需要自行追加觀測項目並記錄之。

附表 4 基本資料蒐集內容與來源

資料大類	資料中類	說明	資料來源
地形	經建版	1/25000	內政部地政司
	相片基本圖	1/5000 或 1/10000	林務局農林航空測量所
	數值地形模型	40×40 公尺	林務局農林航空測量所
		5×5 公尺	內政部衛星測量中心
	河床圖籍	1/2400	水利署及所屬單位
	斷面圖	測量	
	衛星影像或航照	福衛二號影像 2m 解析度、 1/5000 或 1/2400	中央大學太空遙測中心、林務局農林航空測量所、水利署及所屬單位
地質資料	地質圖	1/50000 或較大	中央地質調查所
	環境地質資料	1/5000	前台灣省建設廳
水文資料	測站資料	雨量站	水利署及所屬單位、氣象局、農委會水土保持局、林務局、農田水利會、各縣市縣管河川
		流量站	
		水位站	

附表 5 堰塞湖天然壩緊急調查準備器材

調查日期	年	月	日	時	調查人
圖資(紀錄表格)				測量設備(含紀錄設備)	
	調查表(表 6 緊急調查表)			簡易坡度計	
	地圖			雷射測距儀(含電池)	
	GIS 圖資(含地形圖)(比例尺不小於 1/25000)			調查用背包	
	遙測影像			靜力繩(總長至少 10 公尺)	
通訊與維生設備				地質羅盤	
	衛星電話(含電池)			手持流速計	
	飲水 6 公升及乾糧 3 天份(每人)			簡易水位尺	
	雨具(兩截式雨衣為佳)、雨傘			皮尺(>20m)	
	頭燈/強光防水手電筒(含電池)			GPS 定位儀(含電池)(水平誤差 <10m; 高程誤差 <20m)	
	無線電對講機(含電池)			照相機(含電池)	
	備用汽油(或柴油)			望遠鏡	
	個人手機(含電池)、防水袋			筆、工程用計算機、計時碼表	
	簡易救生醫療設備			開口樣版及捲尺	

附表 6 現場勘查建議表格記錄樣式(各欄位說明見附表 7)

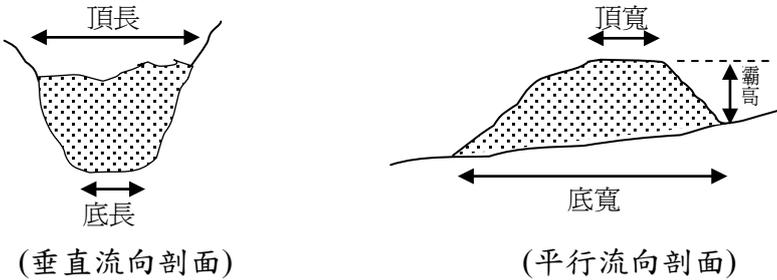
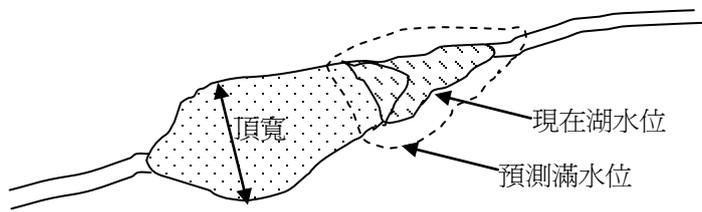
堰塞湖現場勘查記錄表			
*調查時間		*單位、姓名	
*發生地區	縣(市)	鄉(鎮、市、區)	村(里)
*堰塞湖天然壩溢流點二度分帶座標	E: N:	*發生(發現)時間	
*河川水系/集水區面積		*形成誘因	<input type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 其它_____
*現場勘查方式	<input type="checkbox"/> 地面 <input type="checkbox"/> 空中 量測方式應於各欄位註明		
堰塞湖天然壩壩體資訊			
*溢流點壩高(H)	(m)	*溢流點壩頂高程	(m)
*溢流點壩頂長(L)	(m)	*溢流點壩寬(W)	(m)
*壩體上游坡度	1 (H) : (L)	*壩體下游坡度	1 (H) : (L)
壩體體積 V (說明估算方式)			(m ³)

壩體材料特性	<input type="checkbox"/> 土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊 最大粒徑(m)：_____ 中徑(m)：_____ 有效粒徑(m)：_____		
堰塞湖體資訊			
湖水位高程	(m)	*湖面積	(m ²)
		*湖體積 Lv	(m ³)
滿水位高程	(m)	水位上昇速率	(m/hr)
溢流口最窄處 形狀	深____(m) 頂寬____(m) 底寬____(m)	溢流口最窄處 流速	(m/s)
流量			
堰塞壩(湖) 形狀圖示 (平面示意圖 應標示於地形 圖上)	側視(縱剖面、橫剖面示意圖)		
	俯視(平面示意圖)		
天然壩上、下 游兩岸土地使 用情形(含保 全對象)，紀錄 湖區是否有可 能墜落之坡體			
目前狀況			
備註:(其餘記載事項，如交通避難動線等)			

註 1：本表使用時機為堰塞湖形成後現場初勘記錄時使用，*表示必須填寫之項目。

附表 7 附表 6 中各欄位說明

堰塞湖現場勘查記錄表			
調查時間	現場勘查時間	單位、姓名	調查記錄者單位、級職與姓名
發生地區	縣(市)	鄉(鎮、市、區)	村(里)
堰塞湖天然壩溢流點二度分帶座標	E: N: 應註明採 TWD67 或 TWD97 系統	發生(發現)時間	堰塞湖形成時間或最早發現此堰塞湖時間
河川水系/集水區面積	發生處之河川水系名稱/集水區面積建議利用 GIS 於室內作業估計	形成誘因	<input type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 其它 _____ 觸發因素，如降雨、地震
現場勘查方式	<input type="checkbox"/> 地面 <input type="checkbox"/> 空中 量測方式應於各欄位註明		
堰塞湖天然壩壩體資訊			
溢流點壩高(H)	由河床底面起算，至壩身溢流最低點之高差，若尚未溢流則應選擇可能溢流點	溢流點壩頂高程	天然壩壩頂高程，可於災害現場比對地形圖研判
溢流點壩頂長(L)	天然壩壩頂長概估值，採垂直河流主軸方向量測；若可能，盡量概估壩底寬	溢流點壩寬(W)	天然壩壩頂寬概估值，採平行河流主軸方向量測；若壩頂無平台，則僅概估壩底寬，若有明顯平台則一併估計壩頂寬。
壩體上游坡度	1(H) : (L)；利用壩高與上游壩寬概估	壩體下游坡度	1(H) : (L)；利用壩高與下游壩寬概估
壩體體積 (說明估算方式)		堰塞湖天然壩壩體體積，應註明計算方式，例如壩頂有明顯平台，則壩體體積 = [(壩頂長 * 壩頂寬) + (壩底長 * 壩底寬)] * 壩高 / 2 =(m ³)，若壩頂無明顯平台，則壩體體積 = 壩底長 * 壩底寬 * 壩高 / 2 =(m ³)	
壩體材料特性	<input type="checkbox"/> 土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊 最大粒徑(m)：_____ 中徑(m)：_____ 有效粒徑(m)：_____		
目視定性研判、表面網格法或現地粒徑分析(注意壩材料水平與垂直變異性)			
堰塞湖體資訊			

湖水位高程	現勘時堰塞湖水位	湖面積	俯視堰塞湖概估而得之面積
		湖體積	可於室內利用地形圖不同水深淹沒範圍
滿水位高程	堰塞湖水位到達溢流水位時之高程	水位上昇速率	堰塞湖水位上昇速率，可利用水位尺量測
溢流口最窄處形狀	深____(m) 頂寬____(m) 底寬____(m)	溢流口最窄處流速	可利用流速儀、表面流速測量或雷射槍
流量	若尚未溢流，建議利用水位上昇速度配合水位高以及災前地形推估淨入流量，若已溢流，建議利用溢流口形狀以及流速保守概估		
堰塞壩(湖)形狀圖示 (平面示意圖應標示於地形圖上)	側視(縱剖面、橫剖面示意圖)		
			
	俯視(平面示意圖)		
			
天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象)，記錄湖區是否有可能墜落之坡體	堰塞湖災區與下游沿岸土地開發與利用現況，包括聚落與重要設施等保全對象之調查，另因湖體周圍可能墜入湖中之滑體對天然壩壩體安全性影響甚巨，故應審慎調查可能墜入湖中之坡體		
目前狀況	堰塞湖截至現勘時所引致之災害狀況		
備註:(其餘記載事項，如交通避難動線等)			

(四)室內作業

依據前項基本資料準備，進行下述 A1 至 A3 之程序。

附表 8 緊急現勘出發前工作內容及注意事項

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
A1	工作底圖製備	*以所能蒐集最大比例尺地形圖最為底圖，順序為 5 公尺 DEM、40 公尺 DEM 及 1/25000 地形圖，地形圖應不小於 1/25000。
A2	套繪已正射化之遙測影像	*將已正射化之航拍或衛星照片套繪至工作底圖(比例尺大於 1/25,000 之堰塞湖發生前之地形圖；若同時有發生前、後地形則應以發生後地形為工作底圖)。 *航拍或衛星照片以清晰可見堰塞湖壩體及蓄水範圍為原則。 *無正射化航拍或衛星照片則略過此項。
A3	壩體參數初步評估	1.若有天然壩形成前、後地形，則可直接利用 GIS 分析壩體與水文參數。 2.僅有天然壩形成前地形時，若由影像確定壩體已溢流，則可由影像決定溢流點位置，並利用湖水與陸地交界高程取得溢流點高程並比對堰塞湖形成前之地形圖，進而推估通過溢流點之壩高 H。 3.利用 GIS 量測通過溢流點之壩體長度 L 與壩體寬度 W。 4.利用 GIS 計算壩體上游集水區面積 A，同時根據下式 $V=0.5 \times W \times L \times H$ 計算壩體體積。

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
		<p>5.預先利用 GIS 計算不同水位高程淹水範圍及淹水體積。</p> <p>6.若壩體尚未溢流，則利用堰塞湖形成後影像與形成前地形估計可能之壩頂高程，之後再利用現地勘查確認可能溢流點位置與評估壩體參數。</p> <p>*無正射化航拍或衛星照片則略過此項。</p> <p>*壩體蓄水面積及體積亦可參考水利署之「中央管河川空間資訊系統」。</p>

註：*代表注意事項

三、現地勘查

現地勘查應快速取得壩體及水文水理參數，以提供危險度及危害度初步評估依據，另外，儘可能填入地質及力學參數，以做為後續詳細調查與評估時引用，如附表 9 所示。

附表 9 緊急現勘出發前工作內容及注意事項

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
B1	記錄天然壩溢流點位置座標	<p>1.請以 TW97 座標系統呈現</p> <p>*若現勘是利用空中勘查進行，則僅能利用地形特徵進行初步研判</p>
B2	取得壩體參數	<p>1.若壩體已溢流且已完成 A3 前五項分析工作，則本程序以檢核壩體邊界正確性為主。</p> <p>2.若壩體尚未溢流，應於現地評估可能溢流點，同時可透過地形比對、GPS 或高度計求</p>

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
		<p>得壩體邊界與壩體邊界高程，另外，應選擇數處利用 GPS 或高度計測量壩頂高程，其中壩體最下游處、最上游處以及溢流點為必須測量高程與座標處。</p> <p>3.量測溢流點寬度及壩長，測量工具視現地情況可選擇皮尺、雷射測距儀或目測，若壩寬大於上述方式所能量測，利用上、下游標示在地形圖上再利用比例尺計算可能為較有效率之估計方式。</p> <p>*溢流點壩高、壩長與壩寬測量完成後，應標示於地形圖，並檢核測量結果之合理性。</p> <p>*高度計應先行標定。</p> <p>*繪製天然壩縱剖面與橫剖面圖，並於地形圖上繪製平面圖。橫剖面應通過溢流點。</p>
B3	取得水文水理參數	<p>1.湖水位可利用高度計或地形比對於地形圖上估計湖水位高程，再由地形圖圖面估計湖面積。</p> <p>2.若天然壩尚未發生溢流，利用簡易水位量尺概略量測水位上昇速度，進而估計入流量。</p> <p>3.若已有溢流的現象，則應觀測天然壩溢流水道形狀與流速，調查方法可採目視經驗粗估或藉由流速儀、漂流物移動速度(固定漂流物漂流長度並量測時間)及雷射槍推估之。</p> <p>4.流量則可利用溢流口形狀以及流速概估。</p>

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
		<p>*若天然壩尚未發生溢流，入流量估計方法可參考附錄 A</p> <p>*天然壩溢頂時相當危險，故現地調查人員應以自身安全為第一要務。</p> <p>*堰塞湖水位上下是變動的，因此，湖水位與湖面積均為現勘當時之資訊。</p> <p>*滿水位高程應與溢流點高程一致，估計方式如程序 B2 第 2 項。</p>
B4	地質與力學	<ol style="list-style-type: none"> 1.以四大類定性描述壩體材料 <ol style="list-style-type: none"> (1)土壤與岩屑 (2)土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 (3)卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 (4)卵石與大岩塊 2.估計最大粒徑、中徑(最常見之粒徑)以及有效粒徑(過篩百分率 10%之粒徑)並加以紀錄。 3.瞭解湖區是否有不穩定邊坡(殘坡)可能進一步滑入堰塞湖，或擴大天然壩規模，影響天然壩穩定。 4.記錄天然壩上、下游兩岸土地使用情況(含保全對象)亦應一併調查，調查結果應註記於地形圖，同時，應說明目前受災狀況。 <p>*記錄時若可能應盡量說明水平與垂直向之變異性。</p>

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
		<p>*粒徑分析為後續詳細評估之參數，緊急現地勘查則在時間許可下進行。</p> <p>*表面法粒徑調查請參考水利規劃試驗所 96 年河床質調查作業參考手冊。</p>

註：*代表注意事項

四、危險度及潰壩洪峰之淹水嚴重程度評估

經由資料蒐集與室內作業及現地勘查完成現地勘查表，即可進行危險度及壩洪峰之淹水嚴重程度評估作業，作業內容及注意事項如附表 10。

附表 10 危險度及潰壩洪峰淹水程度評估工作內容及注意事項

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
C1	危險度初步評估	<p>1. 參數採用集水區面積、壩寬、壩長、壩高</p> <p>2. 查詢附錄 C</p> <p>*若堰塞湖集水區面積及壩高與提供之圖不一致，則應選擇較大集水區面積與壩高之圖查詢危險度等級。</p>
C2	潰壩洪峰之淹水嚴重程度	<p>1. $I_{db} (= Q_{db}/Q_{rd})\%$ 求得潰壩洪峰之淹水影響程度分級。</p> <p>2. Q_{db} 利用上下游坡度、壩高、蓄水體積及入流量查詢附錄 D 而得。 (1) 入流量可依不同之降雨強度所對應之洪水頻率年求得鄰近雨量洪水量，以集水區</p>

項次	工作內容	詳細內容及注意事項
		<p>面積之比值計算。</p> $Q_{\text{入流量}} = Q_{\text{鄰近水位站}} \times \left(\frac{A_{\text{堰塞湖}}}{A_{\text{鄰近水位站}}} \right)^{n0}, n0 = 2/3 \sim 3/4$ <p>(2)以集水區面積之比值計畫堰塞湖之河川治理計畫流量Q_{rd}。</p> $Q_{rd} = Q_{\text{鄰近治理計畫流量}} \times \left(\frac{A_{\text{堰塞湖}}}{A_{\text{鄰近水位站}}} \right)^{n1}, n1 = 2/3 \sim 3/4$
C3	潰決之淹水危害度評估	依據危險度初步評估及潰壩洪峰之淹水等級，決定潰決之危害度，分類參考附表 2 及附表 3。

註：*代表注意事項

五、後續建議調查事項

本手冊僅為最初階段之調查，調查時間不宜過長，以利快速評估堰塞湖危害度，在最短時間內即可擬定初步之應變對策，後續需進行之詳細評估，詳見「堰塞湖引致災害防治對策之研究-堰塞湖防災作業手冊」(經濟部水利署於中華民國 93 年 12 月)。

參考文獻

1. Dong, J. J., Tung, Y. H., Chen, C. C., Liao, J. J., Pan, Y. W., 2011, Logistic regression model for predicting the failure probability of a landslide dam. *Engineering Geology* , 117, 52–61.
2. Paul R. Garey and Zachary F. Lansdowne, “Risk Matrix: An approach for identifying, assessing, and ranking program risk”, *Air Force Journal & Logistics*, 1999, page18~23。

附錄 A 堰塞湖天然壩湖區淨入流量估計參考方法

上游河道入流量，原則上利用可能形成堰塞湖地區鄰近相同溪流水文站之流量記錄經由比面積法估算之。堰塞湖堰址之入流量等於堰塞湖堰址附近水文站流量乘以發生堰塞湖堰址上游之集水區面積與該水文站上流之集水區面積之比值

$$(Q_{\text{堰塞湖}} = Q_{\text{鄰近水位站}} \times (\frac{A_{\text{堰塞湖}}}{A_{\text{鄰近水位站}}})^n \dots n = 2/3 \sim 3/4))。若可能形成堰塞湖地區溪$$

流無水文站可提供流量資料，則入流逕流量估計（依據水土保持技術規範第 25 條），將以雨量強度、集水區面積、及逕流係數代入合理化公式推求之（ $Q = \frac{1}{360} \times C \times I \times A$ ， $C =$ 逕流係數；未崩塌區位取 0.75，崩塌區位取 0.95， I 為降雨強度， A 為集水區面積）。

滲透之出流量，可以 Dupuit theory 粗估出流流量。（ $q = k (H_1^2 - H_2^2) / 2D$ ， H_1 為上游面水位， H_2 為下游面水位， D 為壩寬， k 為滲透係數）。在概估上游面水位、下游面水位、壩長以及滲透係數後，即可推估出流流量之值。若天然壩入流量相較於因滲透而流出之水量為低時，堰塞湖亦不致有太大之危害。 k 值可採用日本建設省(1992)之建議值取 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s 作為概估值。

附錄 B 利用遙測影像、堰塞湖發生前 5m DEM 地形以及現勘建立那瑪夏鄉堰塞湖天然壩特性表以及危害度初步評估

一、室內壩體壩體參數

以旗山溪那瑪夏鄉堰塞湖天然壩為例，其壩體形狀係利用堰塞湖發生後(2009/8/22)航空照片以及發生前 5m DEM 加以重建；其壩體邊界(圖 B-1)決定方式詳述於後：

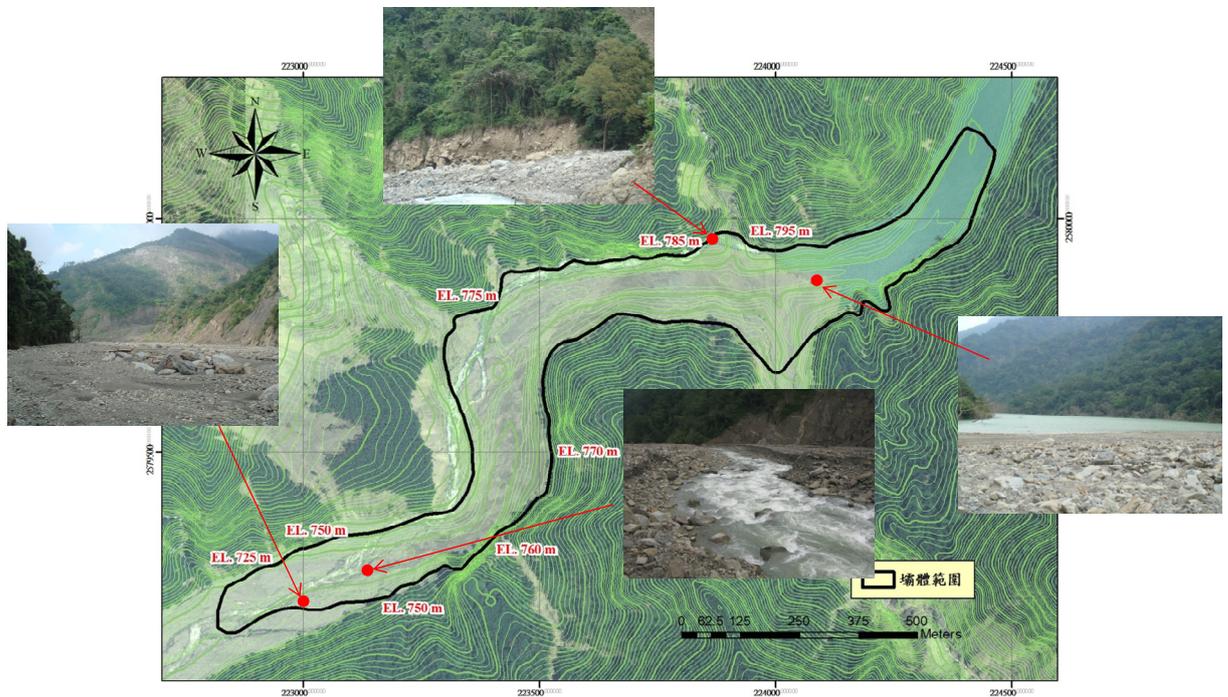


圖 B-1 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體幾何參數取得方法

首先，套疊發生後航空照片以及發生前 5m DEM 製作出之地形等高線，配合選擇河道兩岸植生與裸露地交界點，標示交點高程(圖 B-1 紅色數字為交界點高程，單位公尺)。交界點選擇時，應注意排除河岸沖刷以及崩塌處(圖 B-1，河岸沖刷與崩塌處以紅色框標示)。若確定影像中堰塞湖已溢流，則湖水與陸地交界高程可有效限束溢流點高程，以那瑪夏鄉堰塞湖天然壩為例，本計畫利用發生前地形等高線 790m、795m 及 800m 套繪影像，即可發現以 795m 等高線最符合湖水與陸地

交界之邊界，因此，溢流點之高程可有效決定為 795m。根據上述步驟，即可完成堰塞湖天然壩邊界之圈繪。利用 GIS 可快速計算通過溢流點附近之壩長(跨河道)約為 179 公尺，壩寬(沿河道)約為 2202 公尺，由發生前 DEM 可知溢流點處河道原高程為 EL.735m，因此，概估通過溢流點處剖面之壩高約為 60m，根據 $V_d = 0.5 \cdot W \cdot L \cdot H$ 估計，壩體積約為 $11.8 \times 10^6 m^3$ 。此一流程於取得正射化影像後，估計可於 3 小時內完成分析。

若欲更精確決定壩體積，可利用前述交界點高程大致繪製壩體等高線，以那瑪夏鄉堰塞湖天然壩為例，其形成原因為土石流之土石堆積，因此谷口沖積扇可以坡度 6 度加以估計，於發生後航照圖上主觀找到一點(圖 B- 2 谷口)，以 6 度繪製一個近似同心圓之等高線為壩體等高線(5m 一條)，配合圖 B- 1 交界點高程，即可概略繪製出那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體之等高線(圖 B- 2)。利用發生前 DEM 以及估計之壩體等高線外插建立之 DEM，配合 GIS 分析，可計算得壩體體積為 $8.9 \times 10^6 m^3$ 。表 B-1 中標示 A 為利用遙測影像及發生前 5m DEM 可完成之項目。

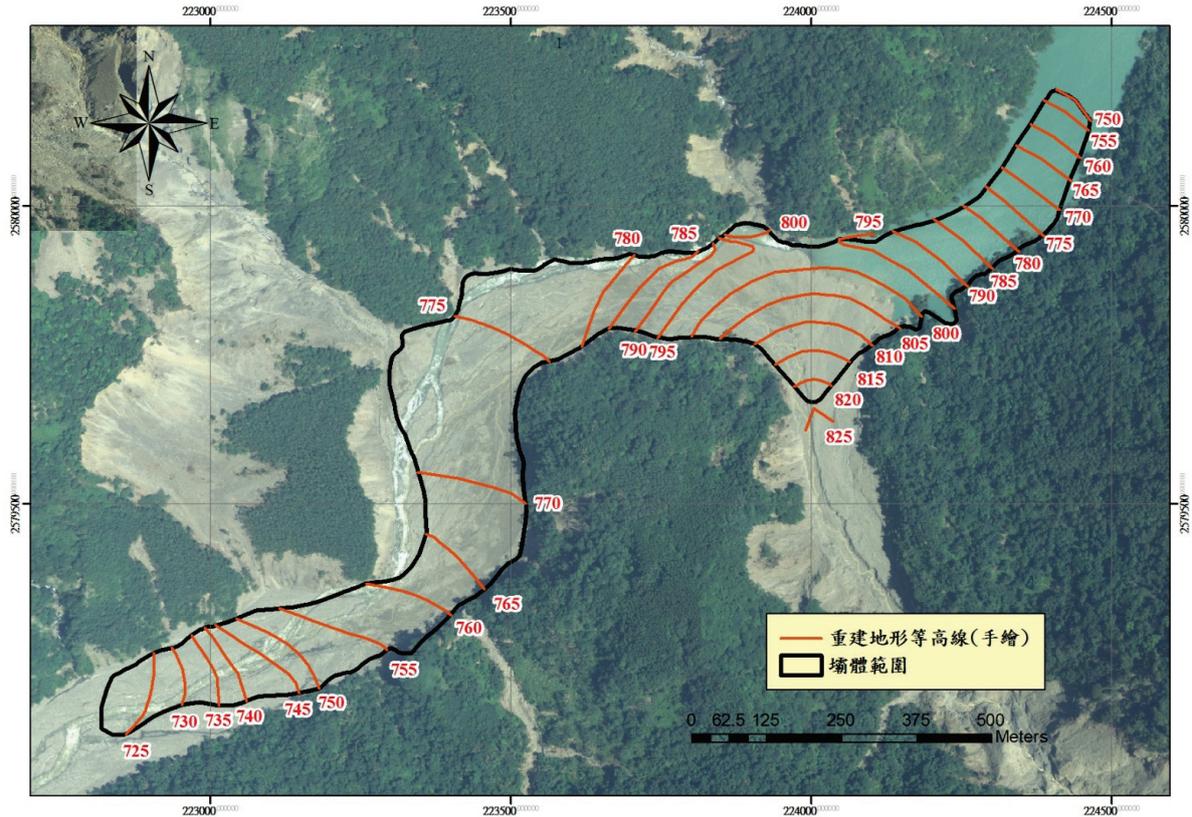


圖 B-2 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩壩體推估等高線

表 B-1 那瑪夏鄉堰塞湖天然壩現場勘查記錄表

堰塞湖現場勘查記錄表			
A 調查時間	2011/03/13	A 單位、姓名	李昀珊 / 國立中央大學 應用地質研究所
A 發生地區	高雄縣 那瑪夏 鄉		
A 堰塞湖天然壩溢流點二度分帶座標	E: 224034 N: 2579895 (TWD97)	A 發生(發現)時間	2009/08/07-2009/08/09
A 河川水系/集水區面積	旗山溪流域/209.7 (km ²)	A 形成誘因	<input checked="" type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 其 它
A 現場勘查方式	<input checked="" type="checkbox"/> 地面 <input type="checkbox"/> 空中 量測方式應於各欄位註明		
堰塞湖天然壩壩體資訊(均利用重建壩體地形估計)			
A 溢流點壩高	60 (m)	A 溢流點壩頂高	795 (m)

		程	
A 溢流點壩頂長	179 (m)	A 溢流點壩寬	2202 (m)
壩體上游坡度	1 (H) : 10 (L)	壩體下游坡度	1 (H) : 20 (L)
壩體體積 (說明估算方式)		8.9*10⁶(m³)	
壩體材料特性	<input type="checkbox"/> 土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 <input checked="" type="checkbox"/> 卵石與大岩塊 最大粒徑(m): <u> 2 </u> 中徑(m): <u> 1 </u> 有效粒徑(m): _____		
堰塞湖體資訊			
A 湖水位高程	795(m)	A 湖面積	255000 (m²)
A 滿水位高程	795(m)	水位上昇速率	- (m/hr)
溢流口最窄處形狀	深 <u>0.8</u> (m) 頂寬 <u>4.3</u> (m) 底寬 <u>2</u> (m)	溢流口最窄處流速	0.8(m/s)(利用保特瓶測得之表面流速)
流量	2cms(利用溢流口面積乘以測得之表面流速)		
堰塞壩(湖)形狀圖示 (平面示意圖應標示於地形圖上)	側視(縱剖面、橫剖面示意圖)		
	俯視(平面示意圖)		
天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象)，記錄湖區是否有可能墜落之坡體	短期無可能墜落之坡體		
目前狀況	上游淹沒		

二、現地勘查

前項已完成大部分之壩體邊界參數，現地勘查則以檢核壩體邊界為主，若室內作業尚未，則以概估壩體邊界為主。

(一)堰塞湖天然壩溢流點

- 1、座標：以 GPS 量測該點之座標及高度。
- 2、壩高：將量測出之溢流點為高程與該點之災前高程相減，則得壩高。

(二)壩寬及壩長

- 1、壩長：以皮尺、雷射測距儀或目測取得。
- 2、壩寬：以皮尺、雷射測距儀或目測取得，若壩寬大於上述方式所能量測，利用上、下游標示在地形圖上再利用比例尺計算。

(三)坡度

以坡度計或地質羅盤量測坡度，如圖 B-3。



圖 B-3 以地質羅盤量測坡度

(四)湖水位及滿水位高程

利用簡易水位量尺量測，如圖 B-4。

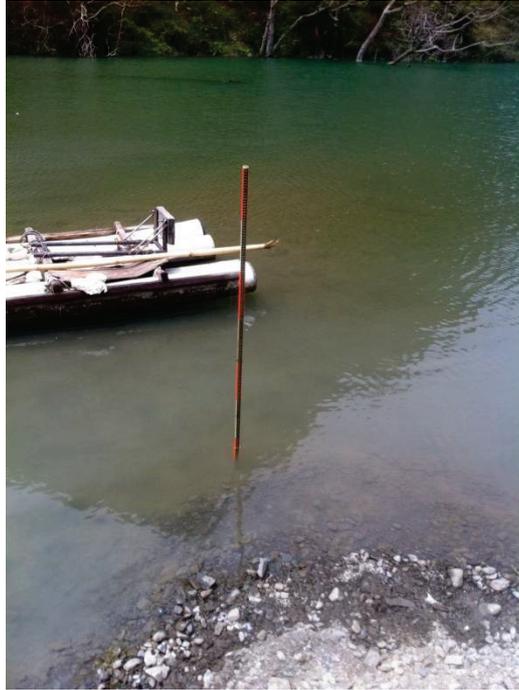


圖 B-4 以簡易水尺量測水位高程

(五)水位上昇速度

若天然壩尚未發生溢流，利用簡易水位量尺概略量測水位上昇速度，進而估計入流量。

(六)流速

採目視經驗粗估或藉由流速儀、漂流物移動速度(固定漂流物漂流長度並量測時間)，如圖 B-3 及 B-4。



圖 B-5 以漂流物移動速度推估表面流速



圖 B-6 以流速儀量測流速

(七)流量

利用溢流口形狀以及流速概估。溢流口形狀可以皮尺或測距儀量得頂寬，以簡易水尺量得深度。

(八)壩體材料特性

以定性描述材料特性。

三、危險度及潰壩洪峰之淹水危害度評估

(一)危險度

由現勘記錄表取得壩體參數 $A=209.7\text{km}^2$ 、 $H=68\text{m}$ 、 $W=2202$ 及 $L=179$ ，查詢圖 C-9(g)集水區面積 A 為 200km^2 ，壩高為 70m ，可得其破壞機率大於 80% 。

(二)潰壩洪峰之淹水危害度評估

由現勘記錄表取得上下游坡度 $1:10$ 及 $1:20$ ，小於 $1:4$ ，蓄水體積約為 1000 萬立方公尺，另外，由於那瑪夏並計畫流量站及尖峰流量控制點，因此以旗山溪月眉橋做為控制點，其集水區面積為 533km^2 ，計畫洪水量為 5680cms ，考量極端水文條件 Q_{200} 尖峰流量為 5970cms ，因此，利用比面積法求得那瑪夏入流量為 2348cms 、計畫流量為 2236cms 。利用上下游坡度小於 $1:4$ 、蓄水量為 1000 萬立方公尺，入流量為 2348cms ，查詢附

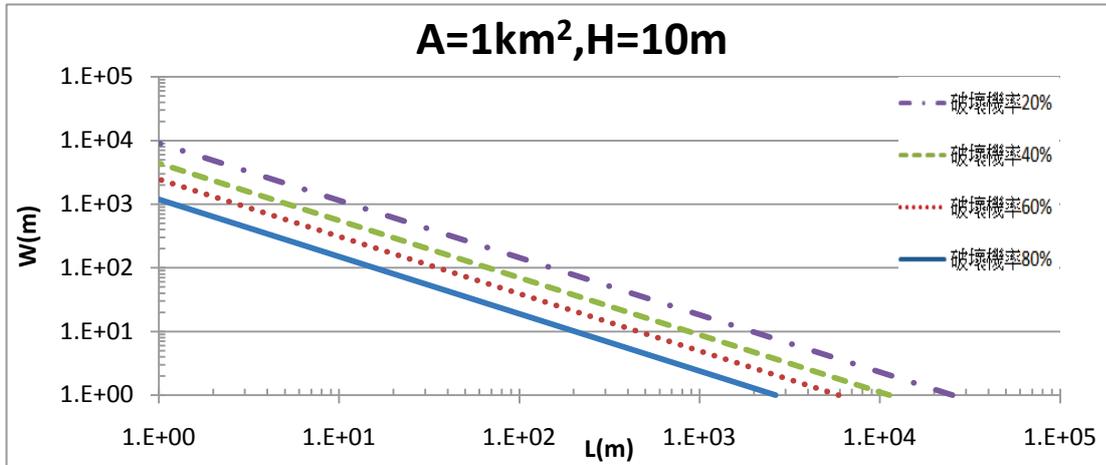
錄 D 入流量為 3000cms、上下游坡度 1：4 之表格求得其出流量為 6500cms。

$$I_{db}(= Q_{db}/Q_{rd}) = \frac{6500}{2236} = 2.9, \text{ 屬第 V 級, 下游之達卡努瓦里(民}$$

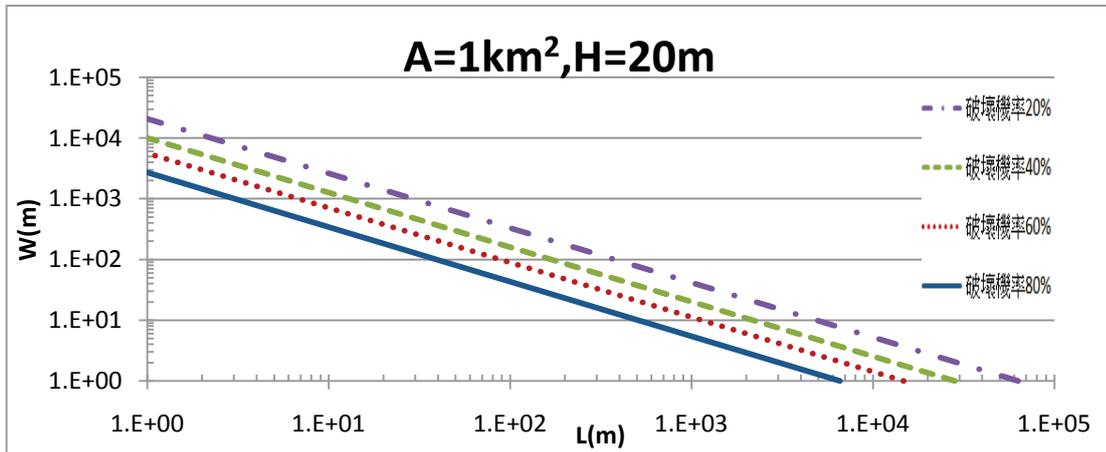
生)、南沙魯里(民族)、瑪雅里(民權)會發生淹水。

附錄 C 危險度等級查詢圖

(a)



(b)



(c)

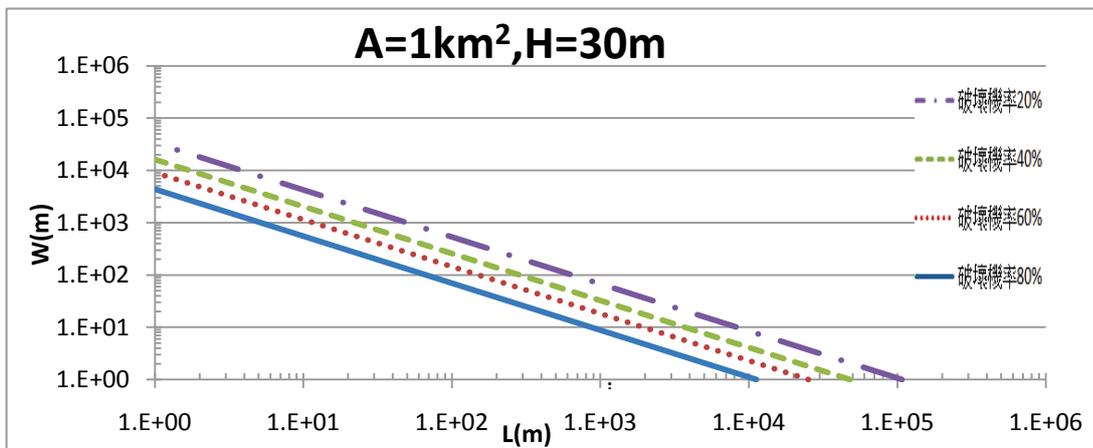
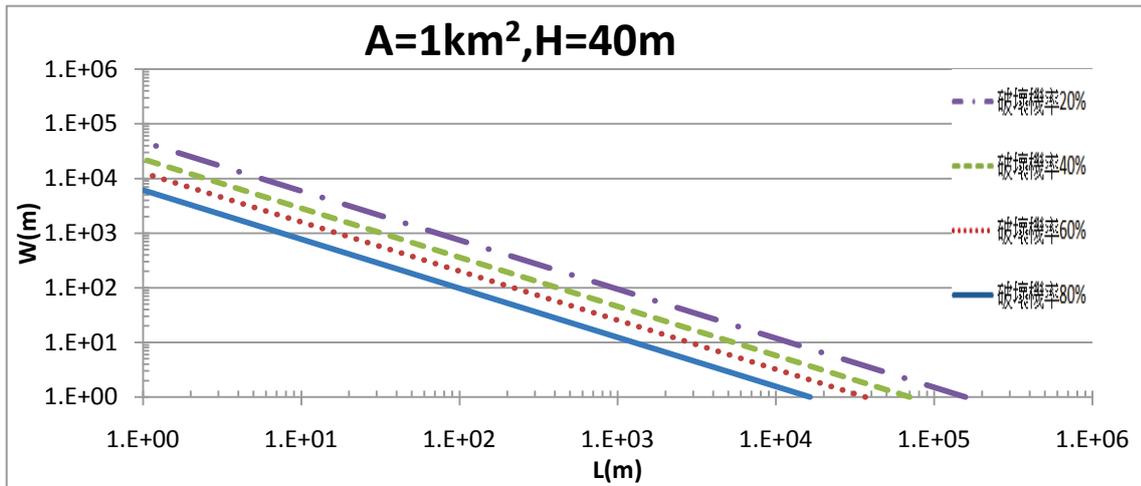


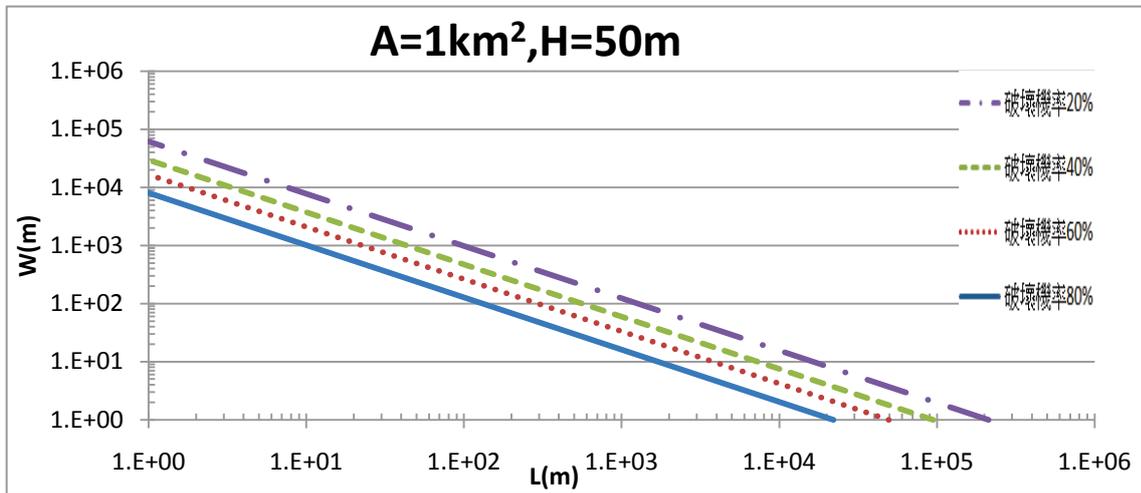
圖 C-1 集水區面積 A 為 1km²，(a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

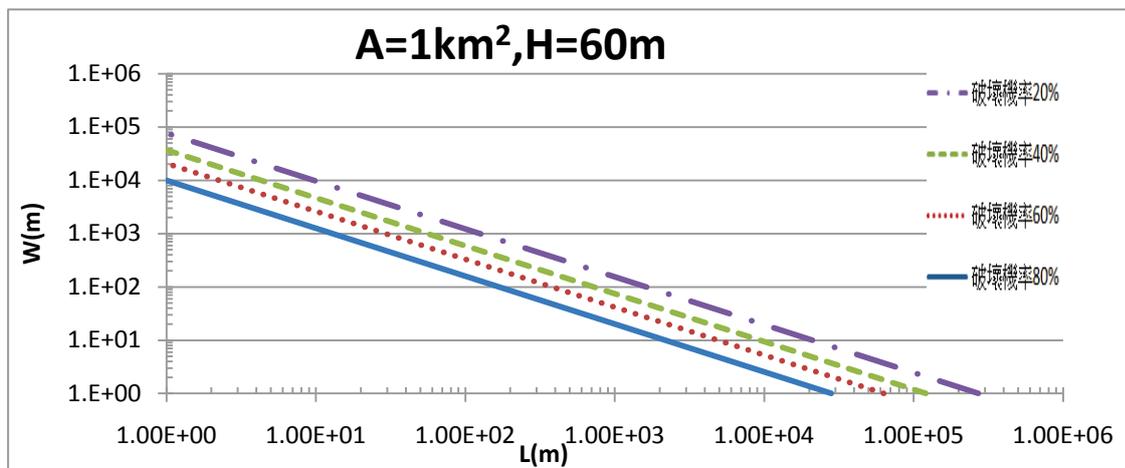
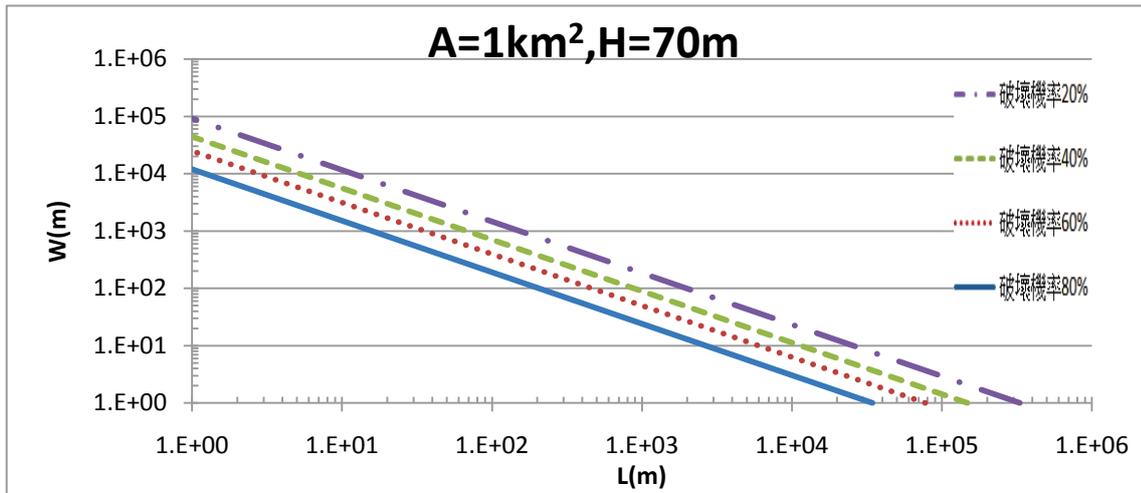


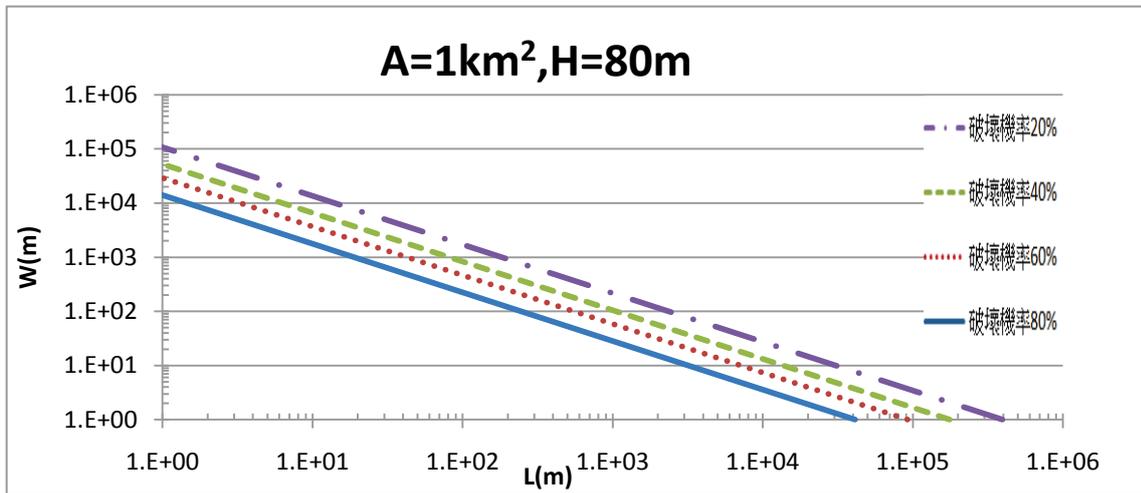
圖 C- 1(續) 集水區面積 A 為 1km², (d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)

壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

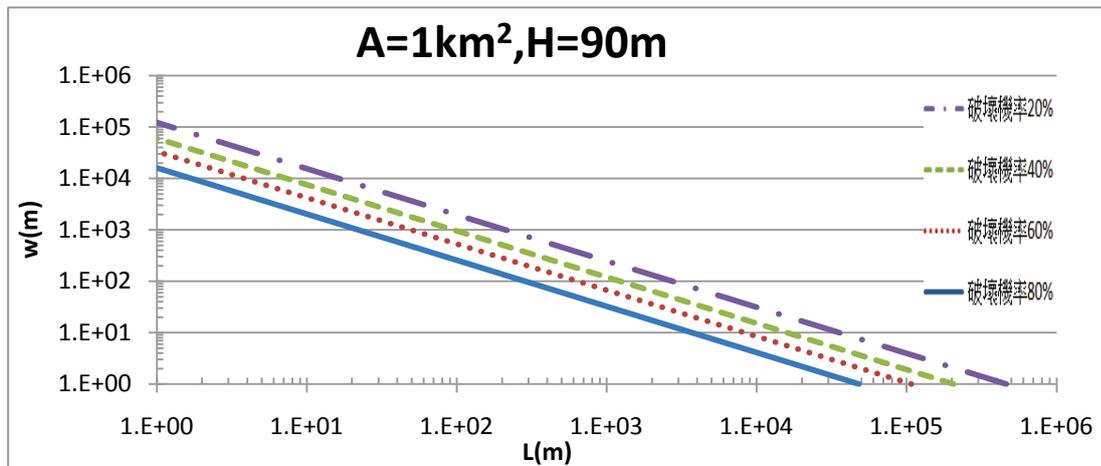
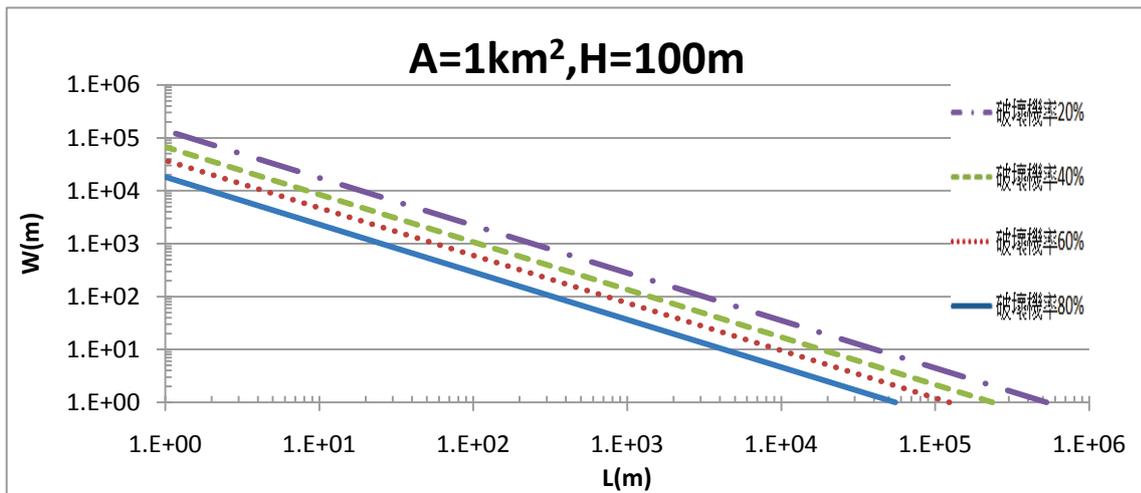


圖 C-1 (續) 集水區面積 A 為 1km², (g) 壩高為 70m (h) 壩高為 80m (i)

壩高為 90m

(j)



(k)

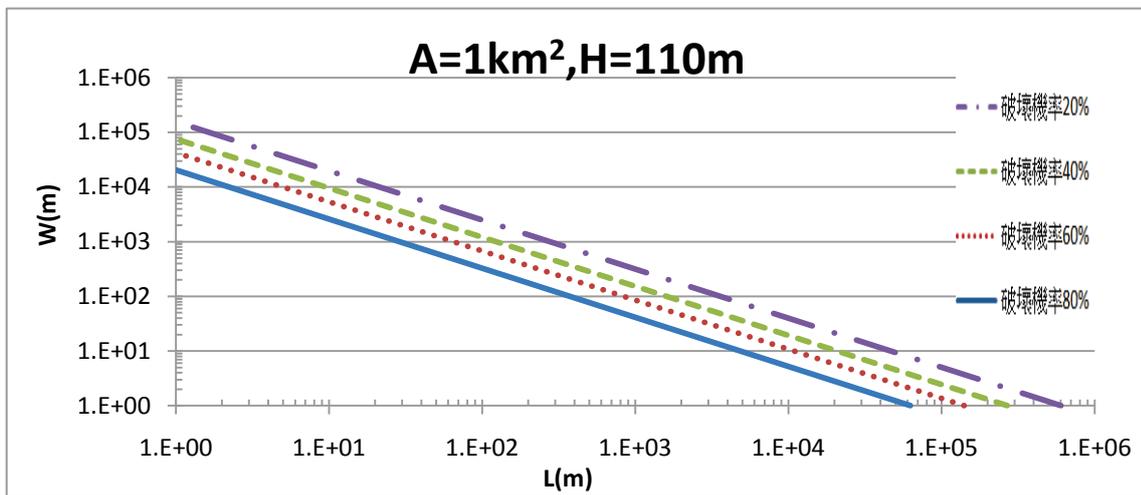
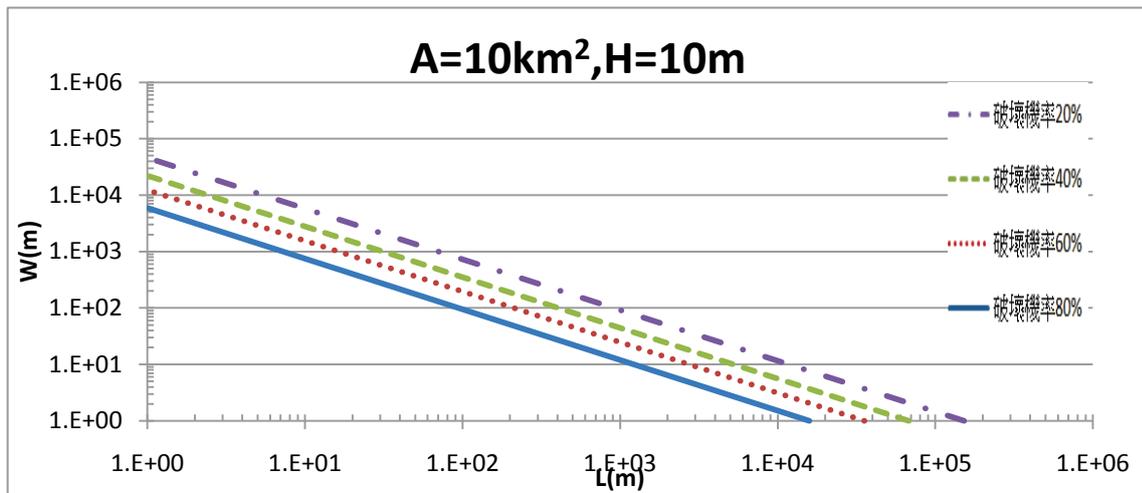
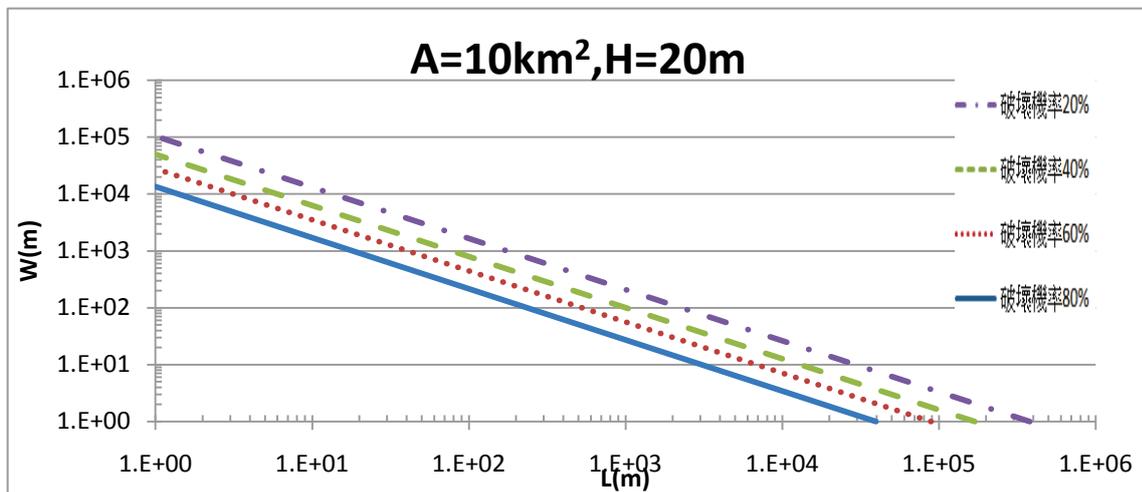


圖 C- 1 (續) 集水區面積 A 為 1km², (j) 壩高為 100m (k) 壩高為 110m

(a)



(b)



(c)

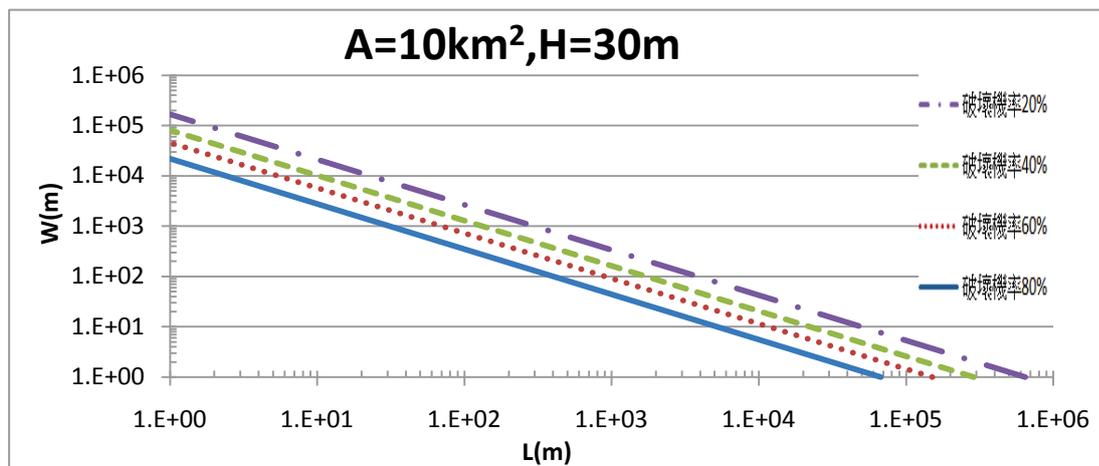
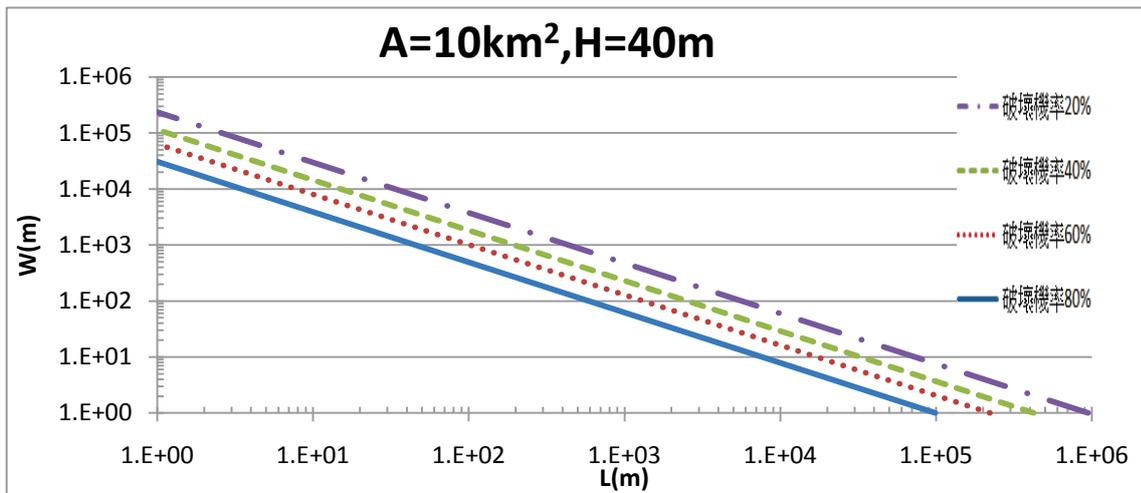


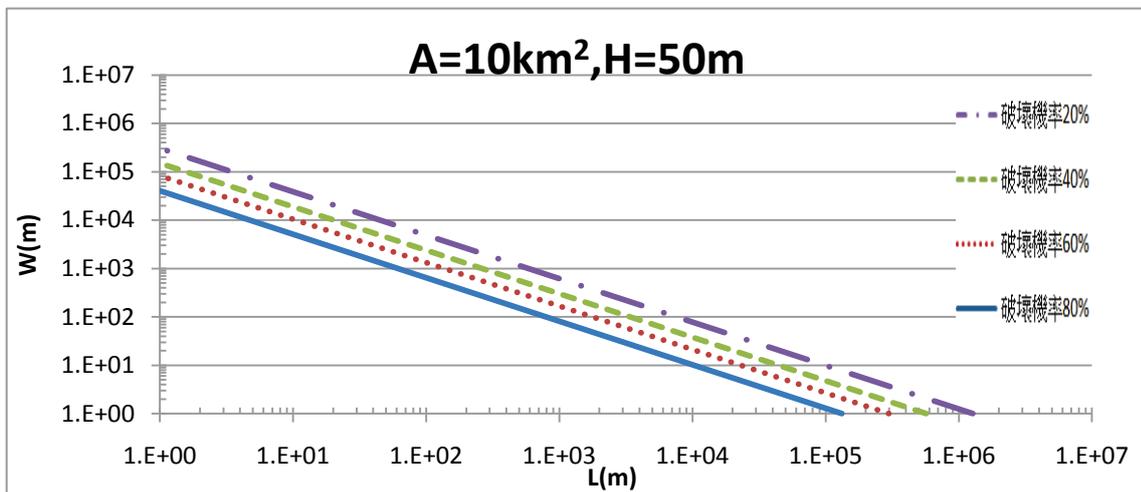
圖 C-2 集水區面積 A 為 10km²，(a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

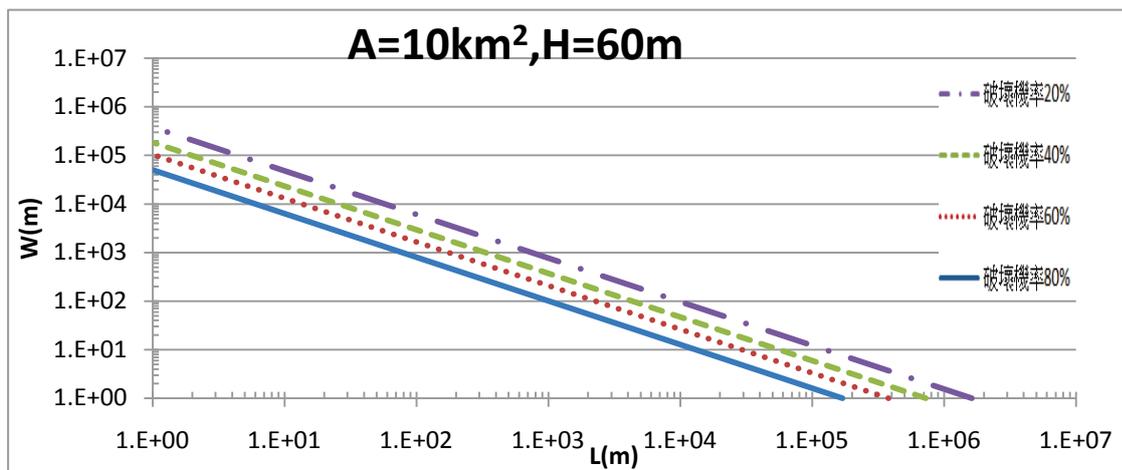
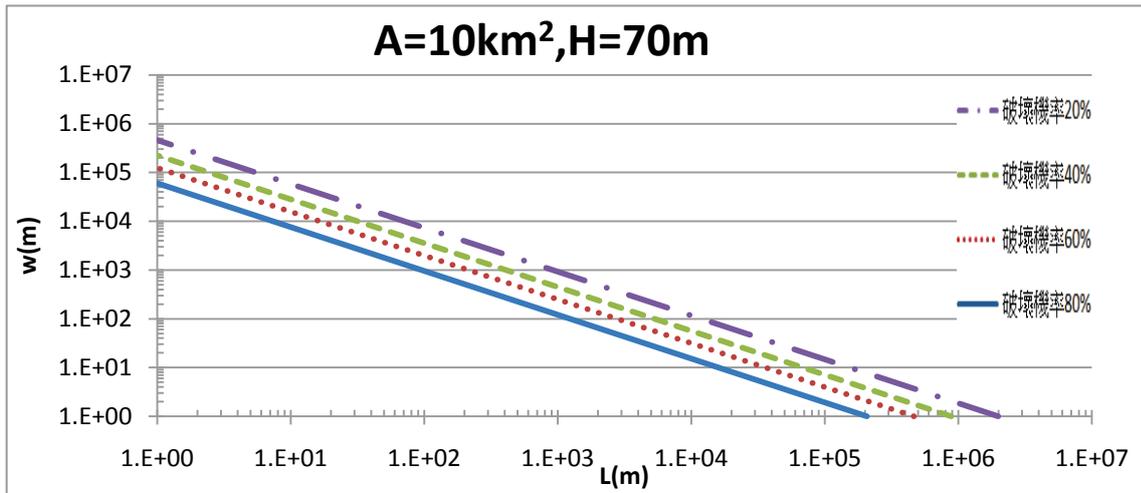
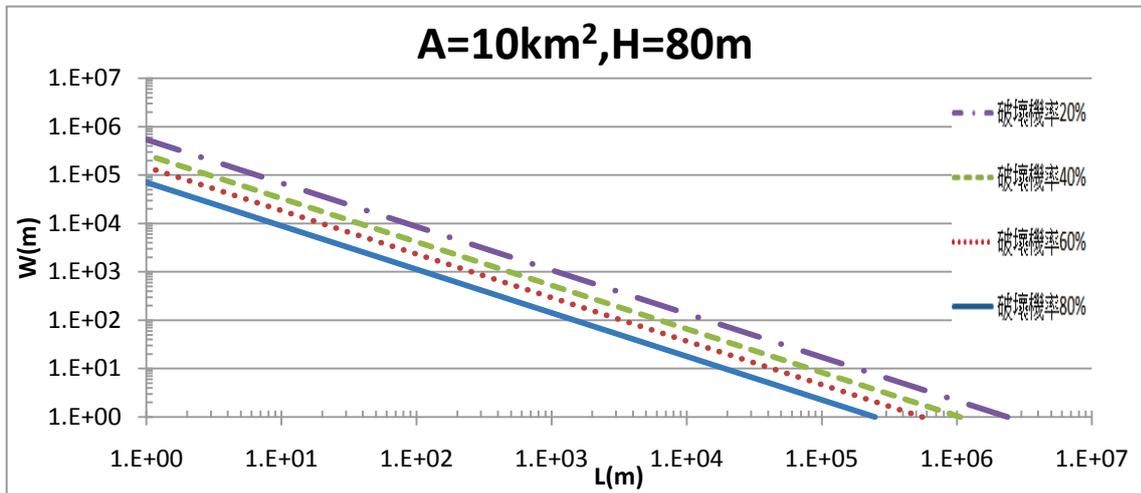


圖 C-2 (續) 集水區面積 A 為 10km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

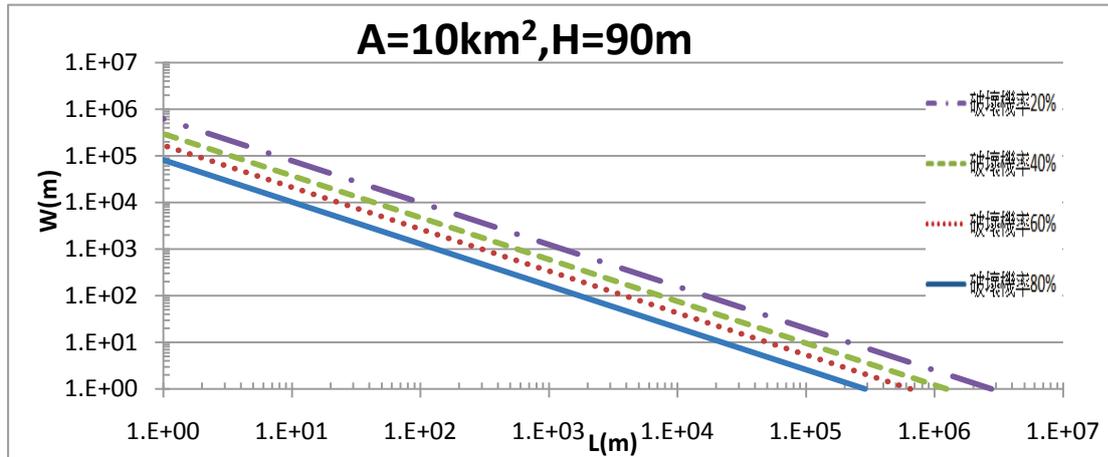
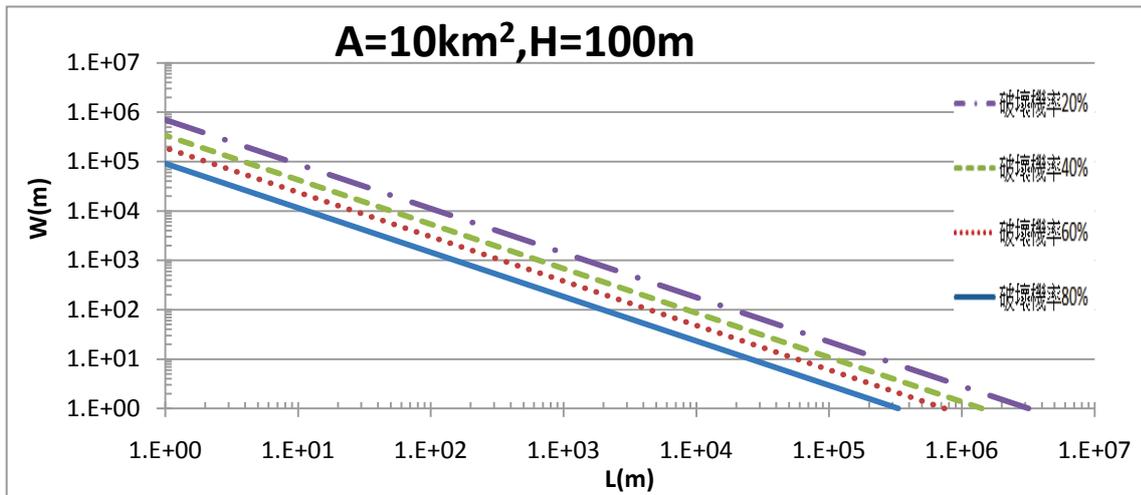


圖 C-2 (續) 集水區面積 A 為 10km^2 ，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

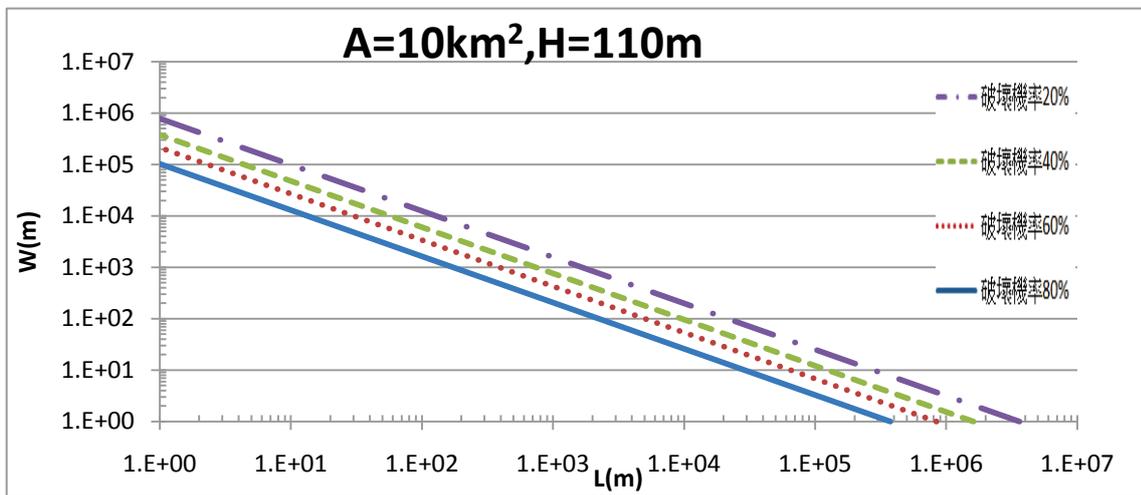
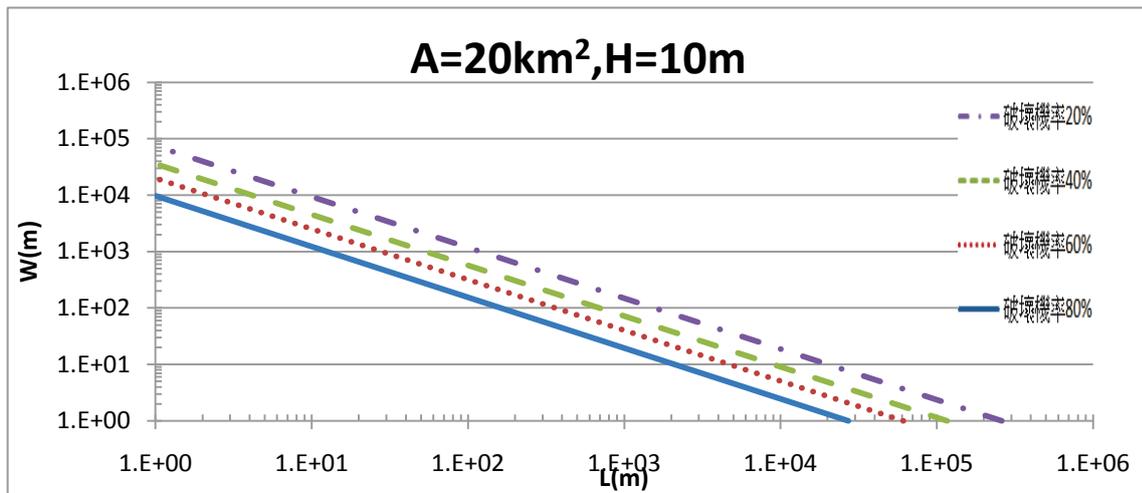
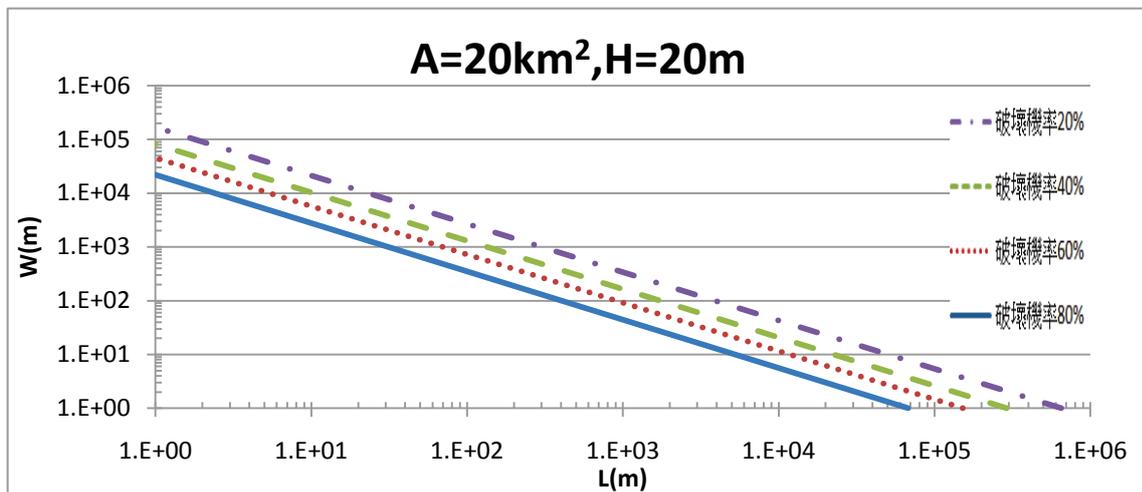


圖 C-2 (續) 集水區面積 A 為 10km²，(j)壩高為 100m(k)壩高為 100m

(a)



(b)



(c)

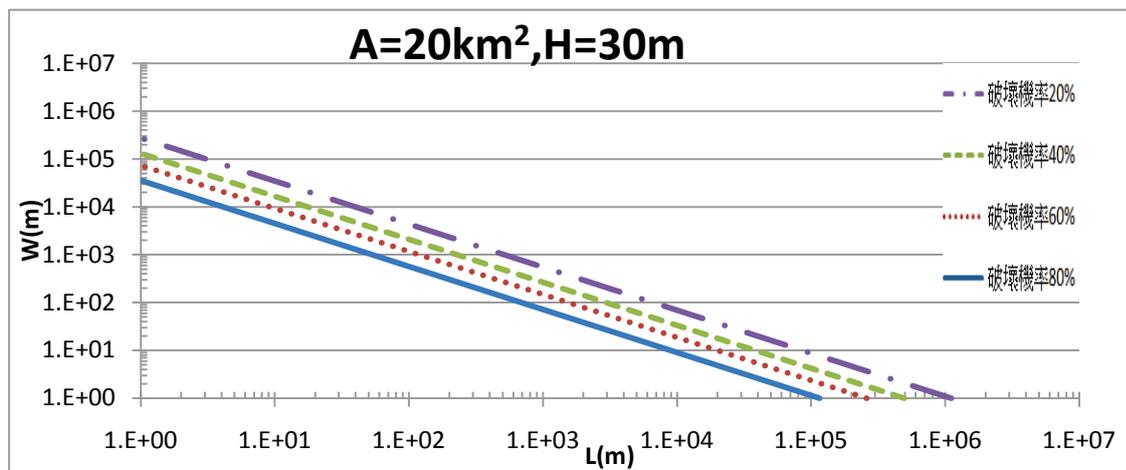
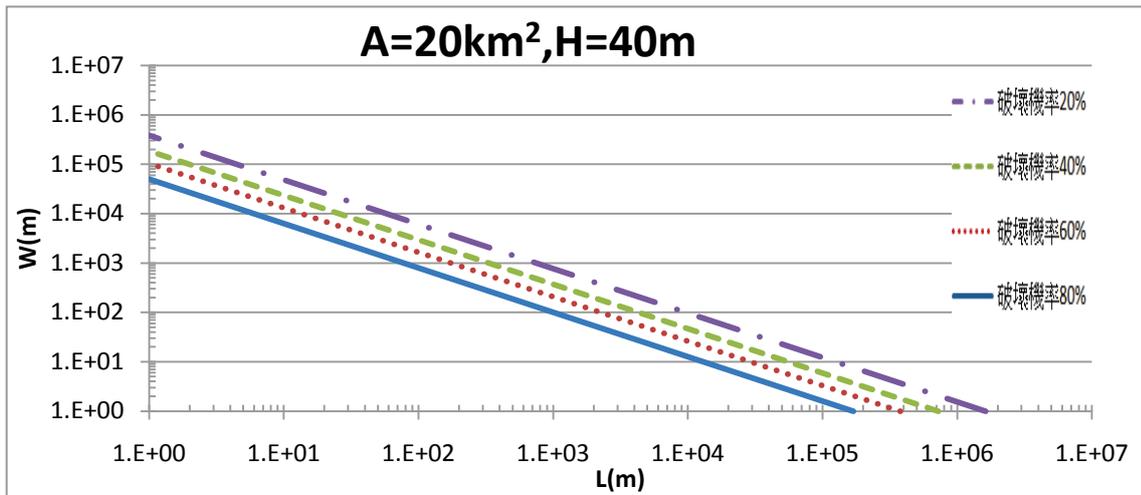


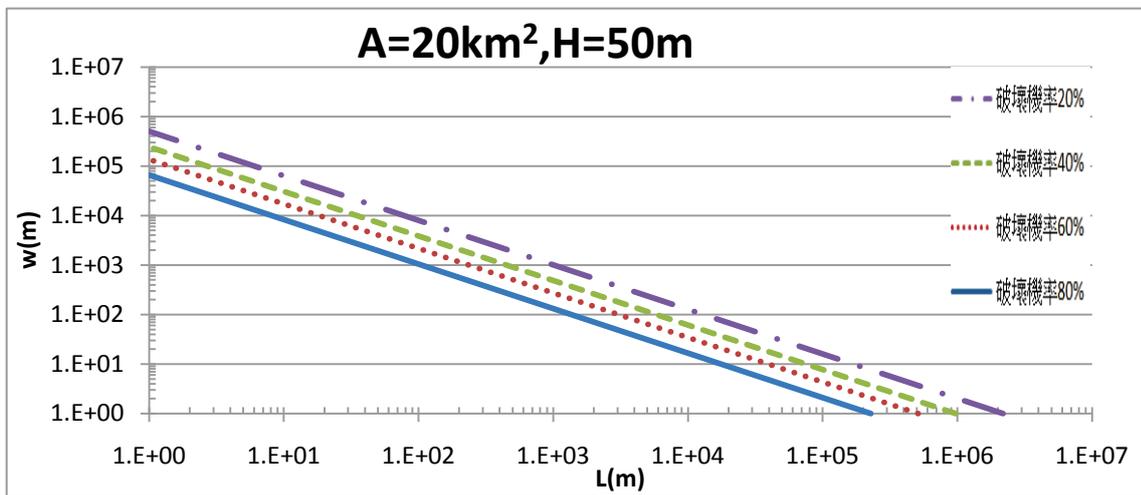
圖 C-3 集水區面積 A 為 20km²，(a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

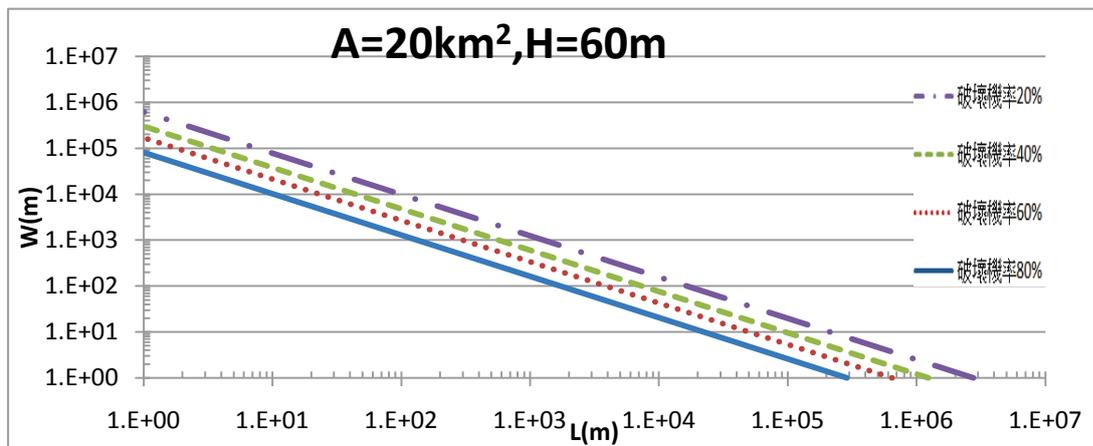
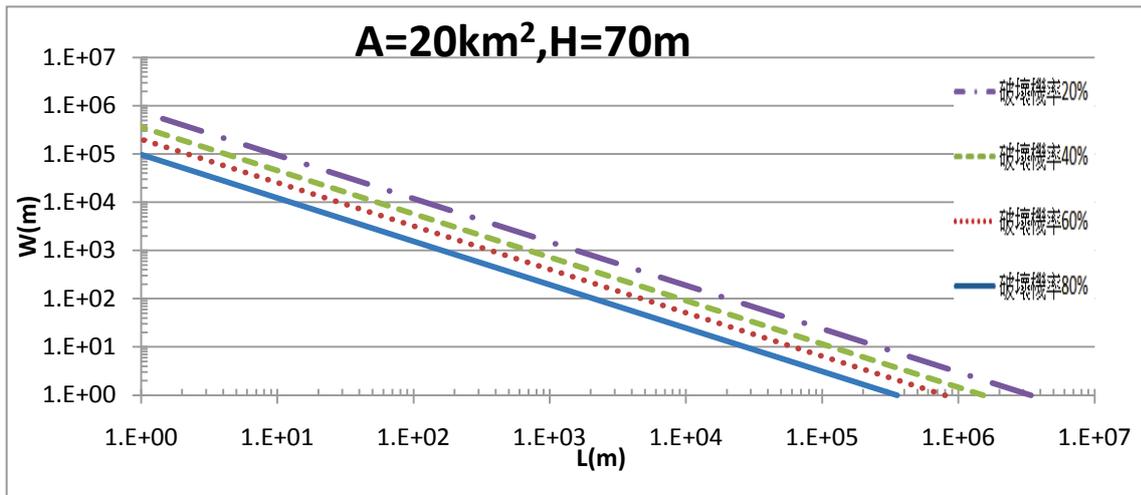
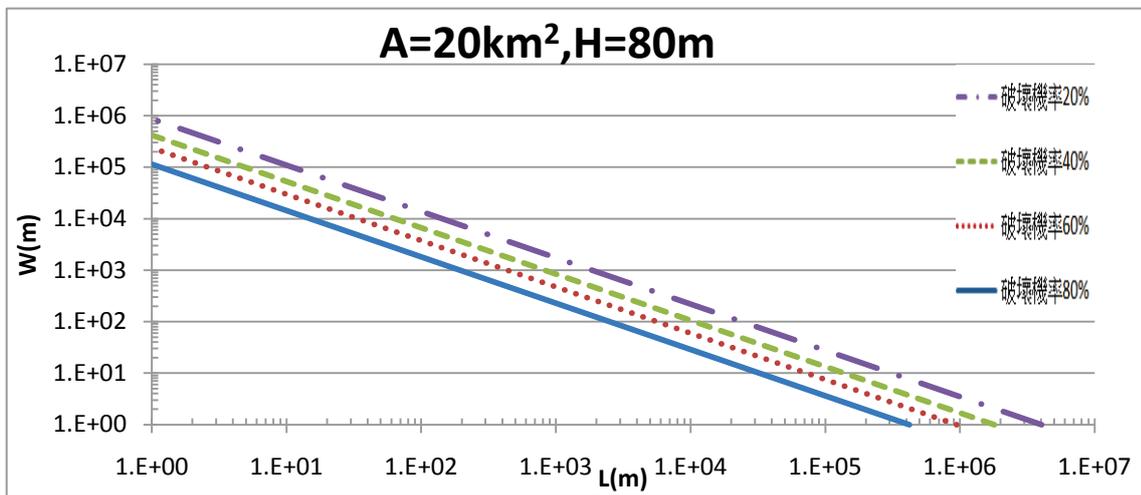


圖 C-3 (續) 集水區面積 A 為 20km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

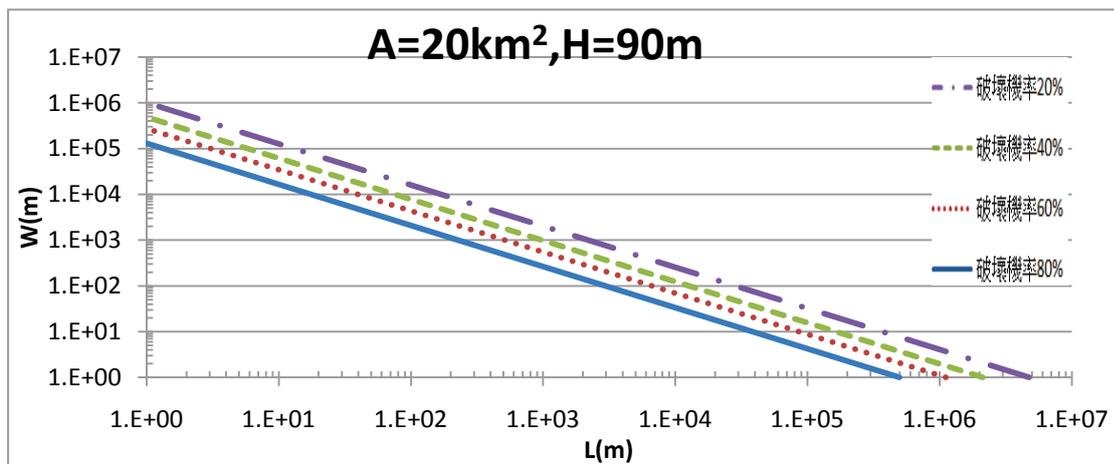
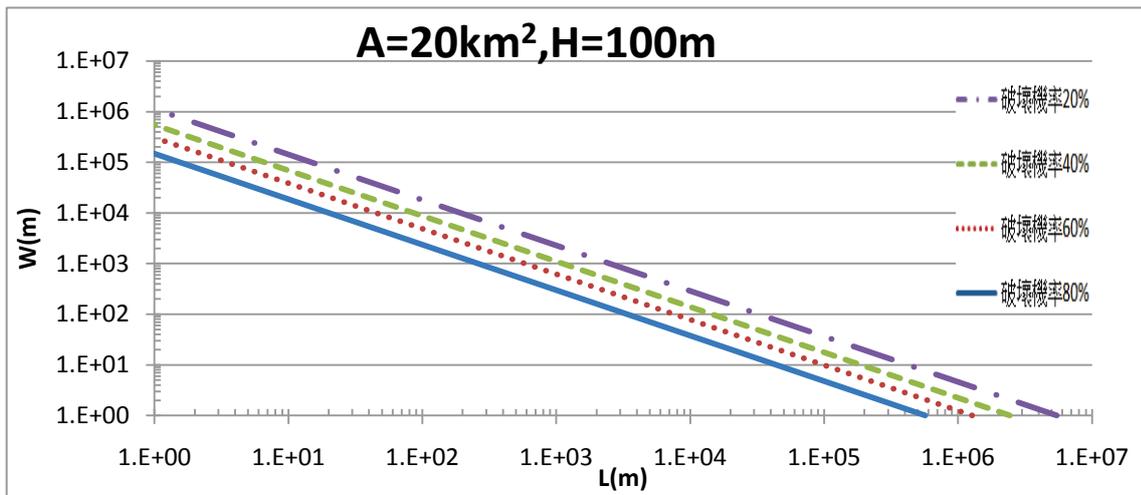


圖 C-3 (續) 集水區面積 A 為 20km²，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

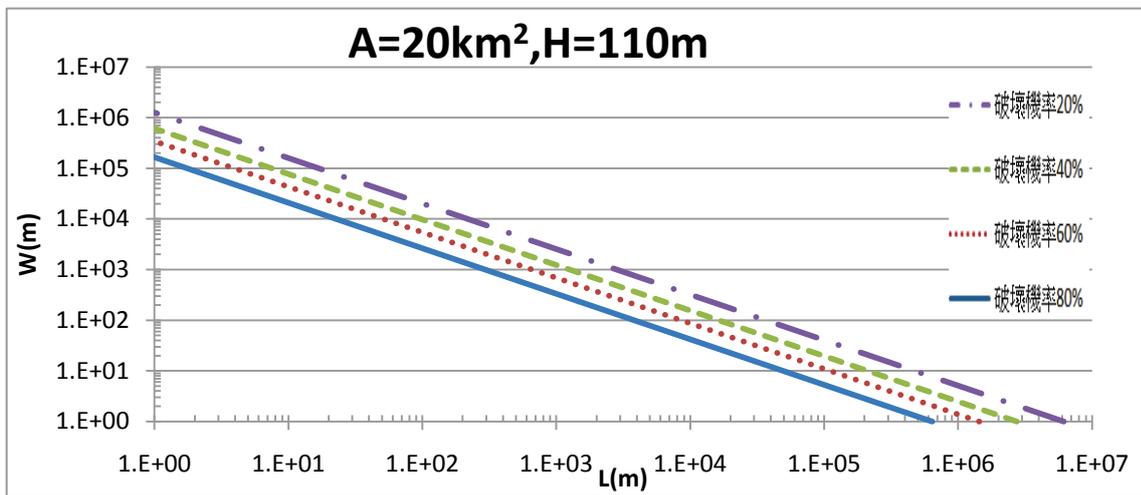
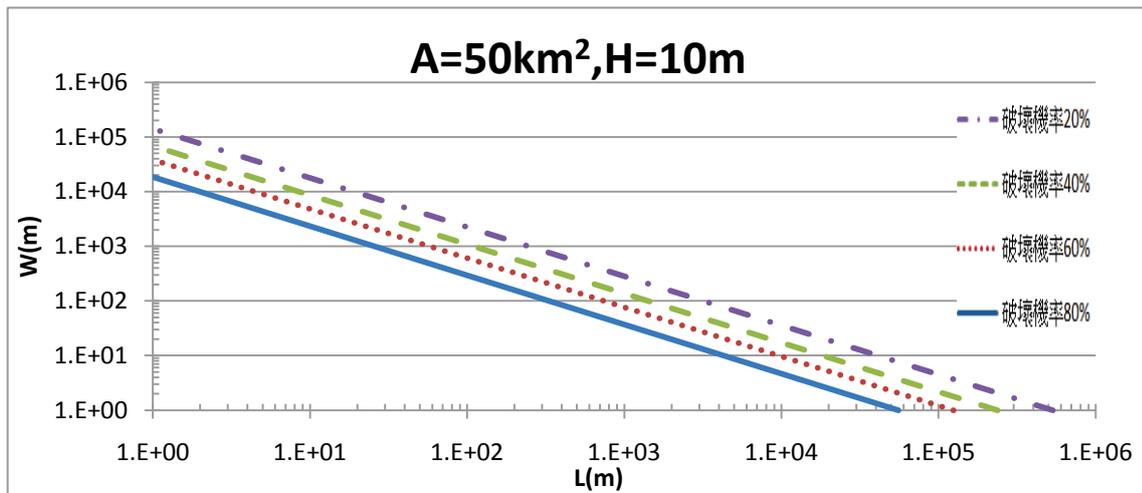
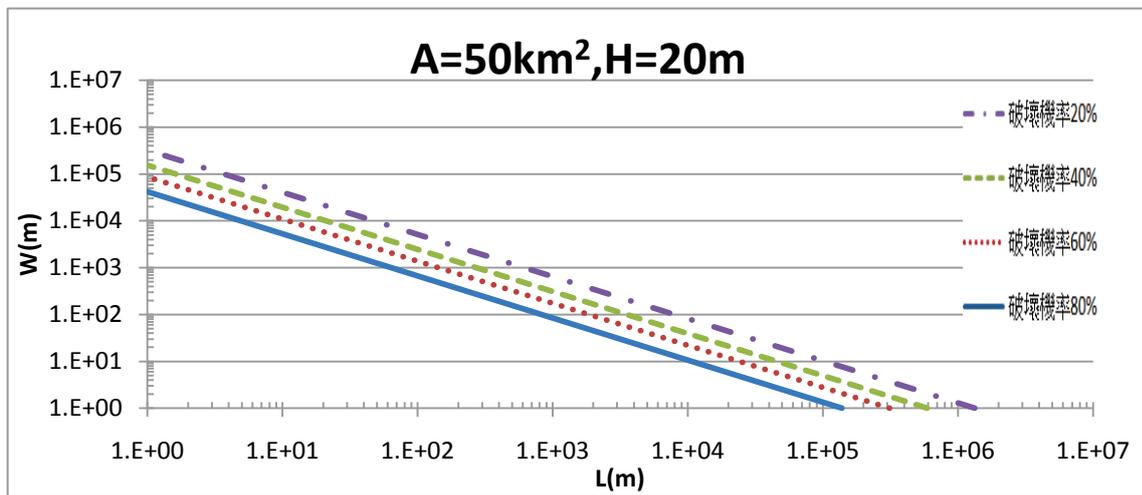


圖 C-3 (續) 集水區面積 A 為 20km²，(j)壩高為 100m(k)壩高為 110m

(a)



(b)



(c)

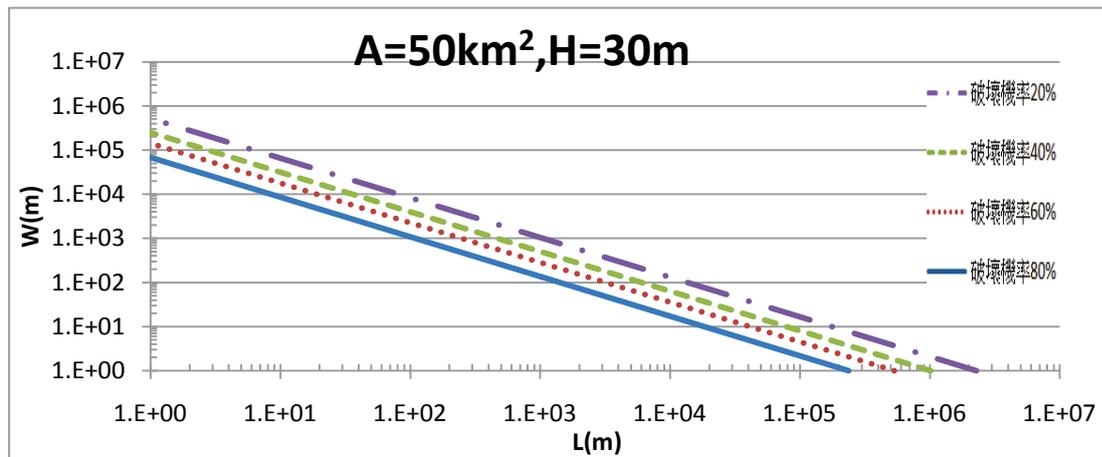
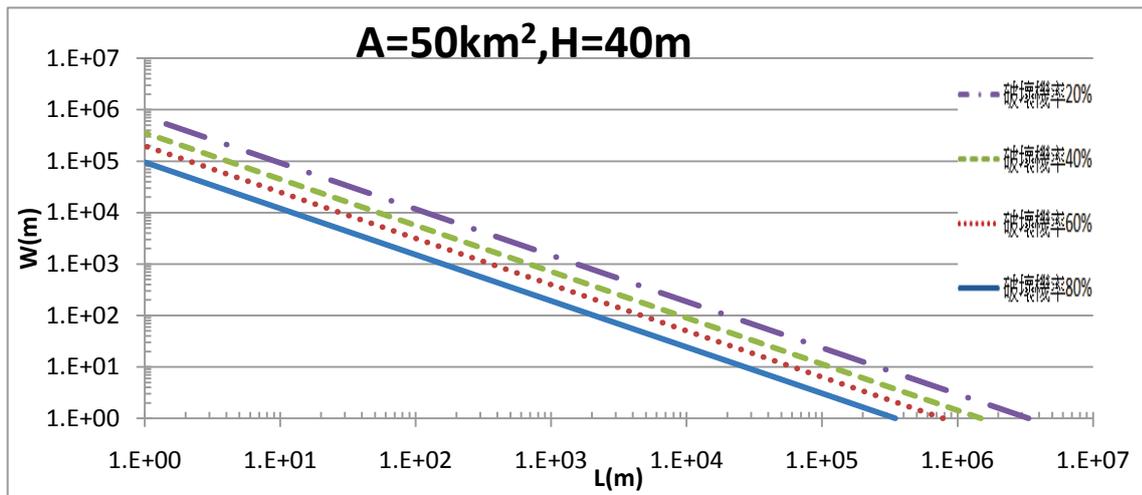


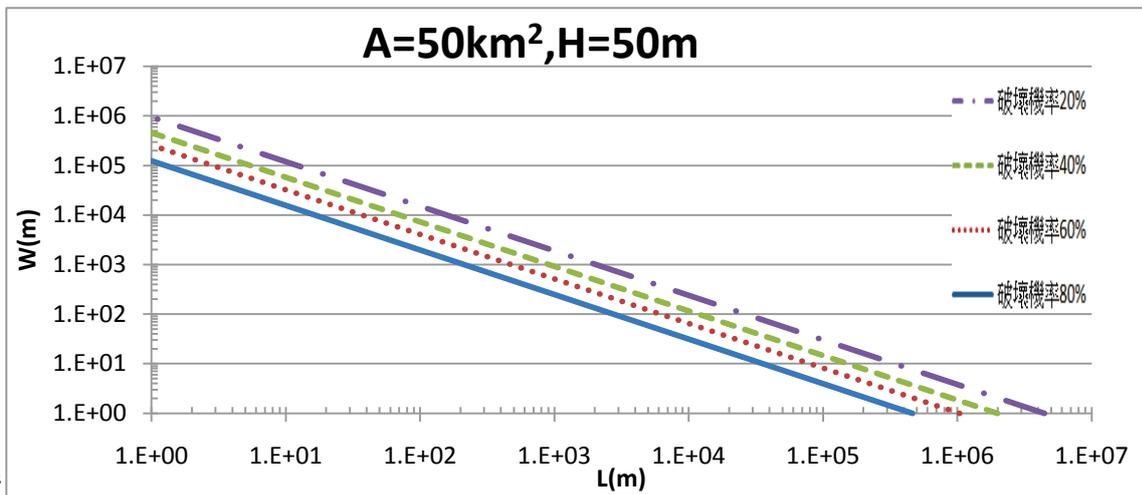
圖 C-4 集水區面積 A 為 50km²，(a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

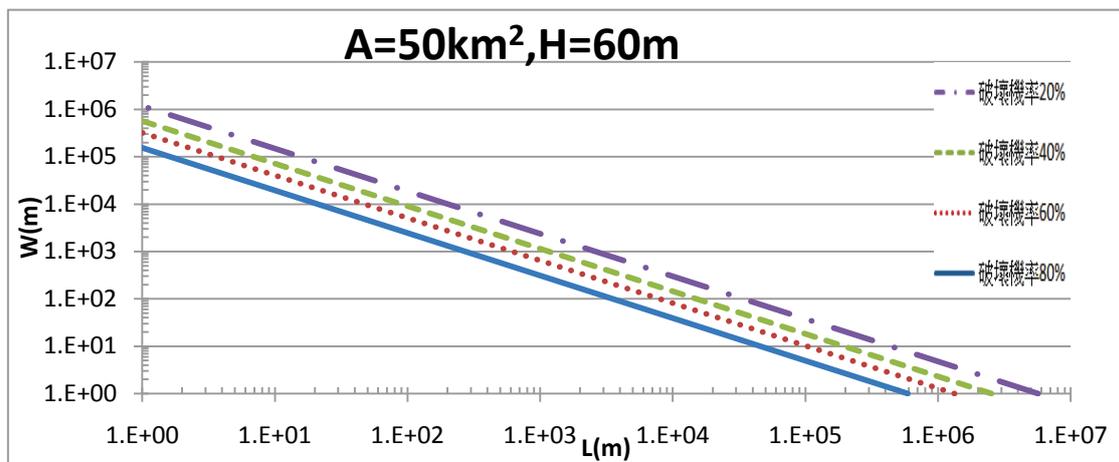
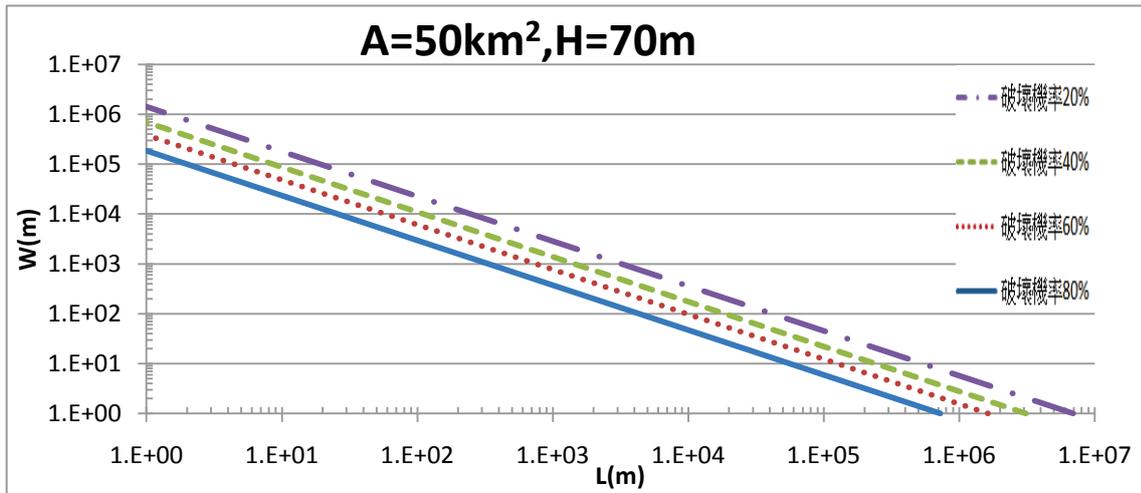
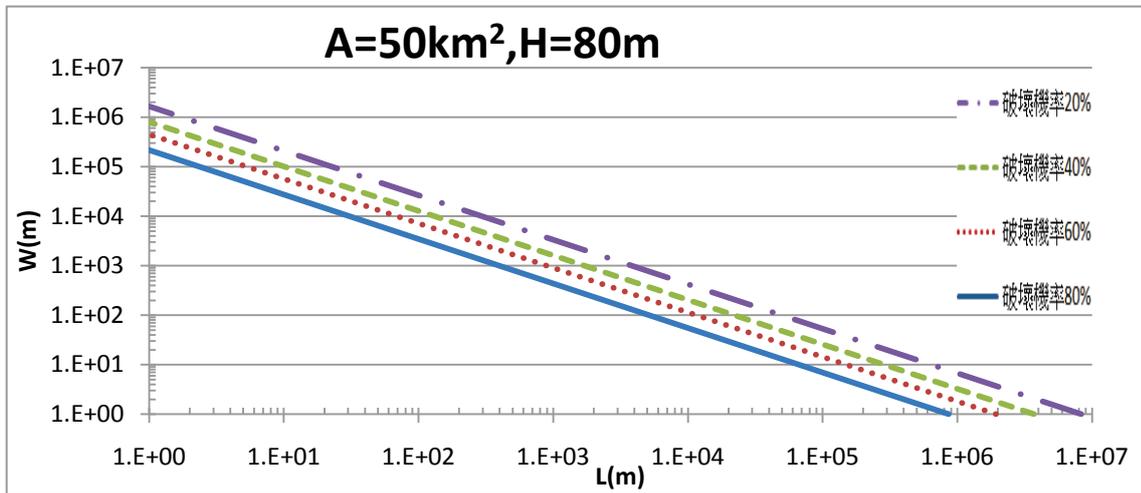


圖 C-4 (續) 集水區面積 A 為 50km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

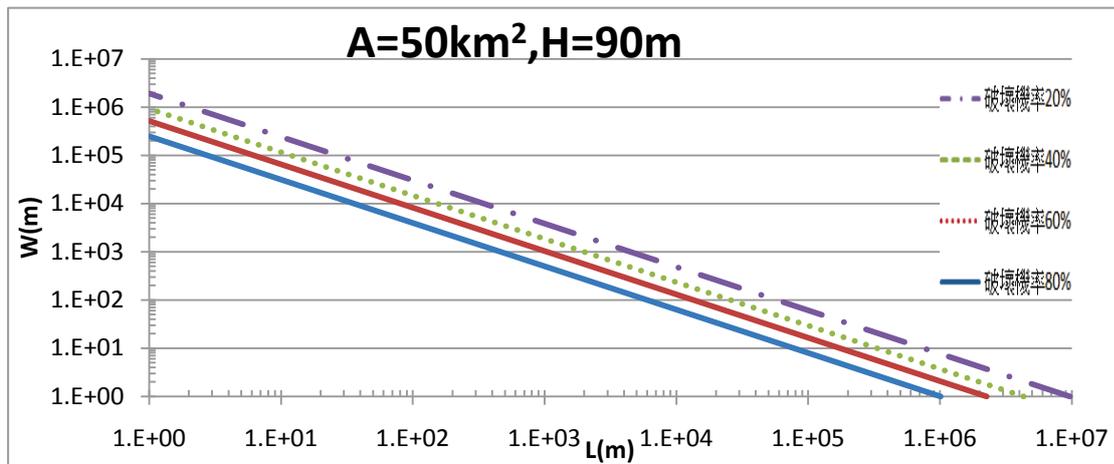
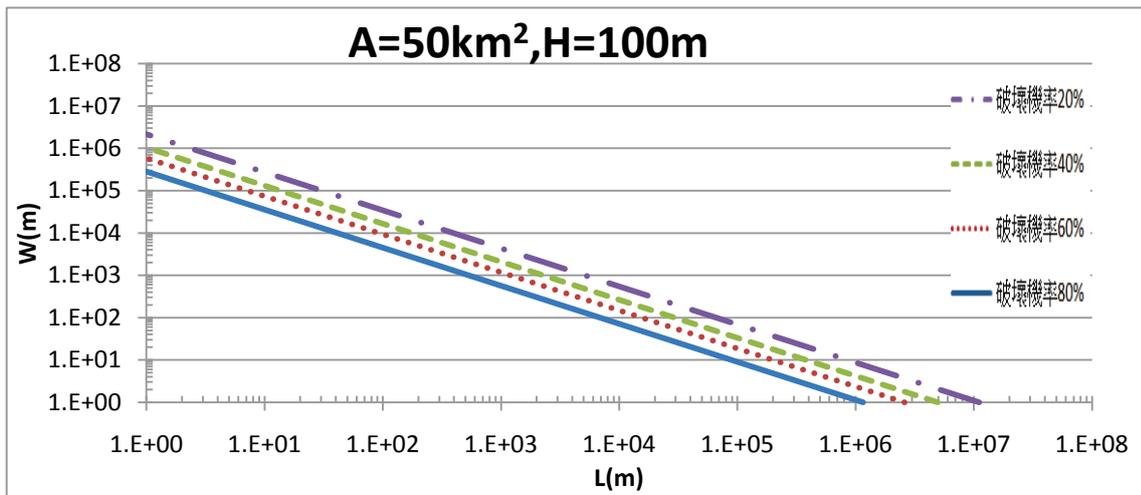


圖 C-4 (續) 集水區面積 A 為 50km²，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

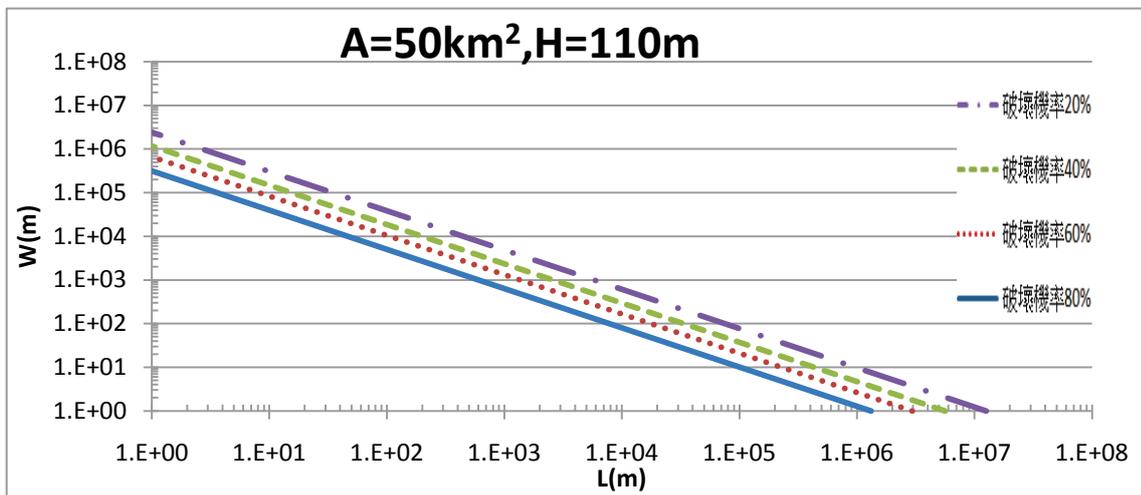
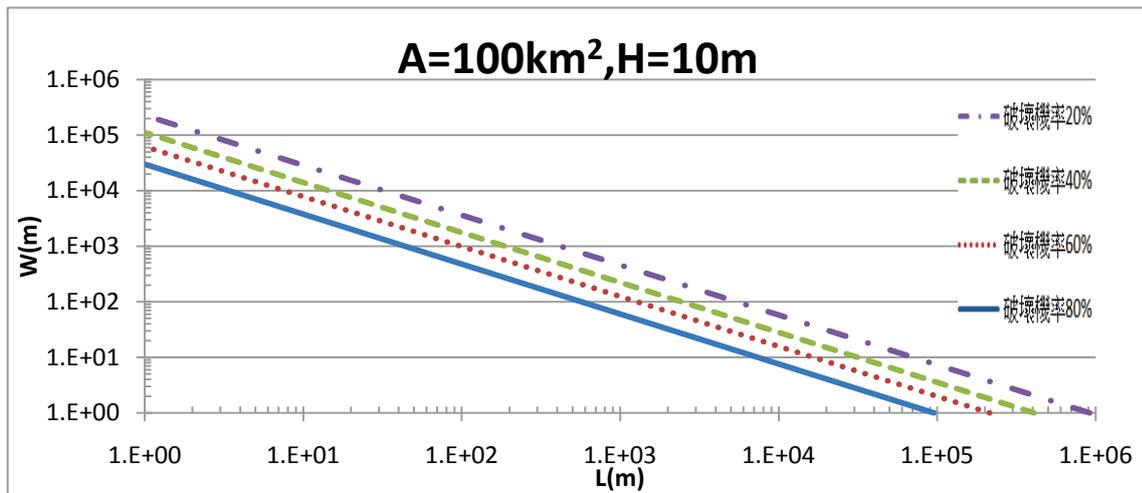
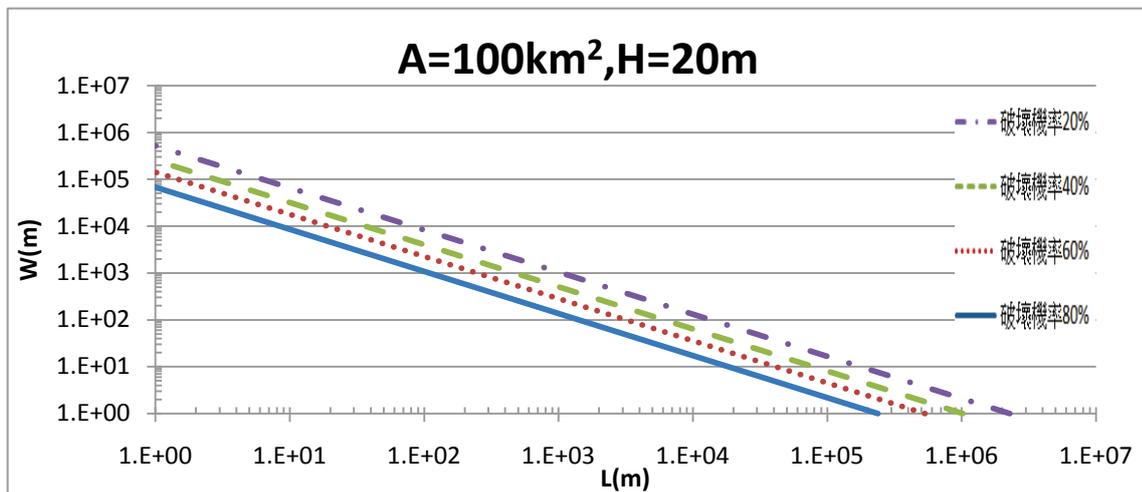


圖 C-4 (續) 集水區面積 A 為 50km²，(j)壩高為 100m(k)壩高為 110m

(a)



(b)



(c)

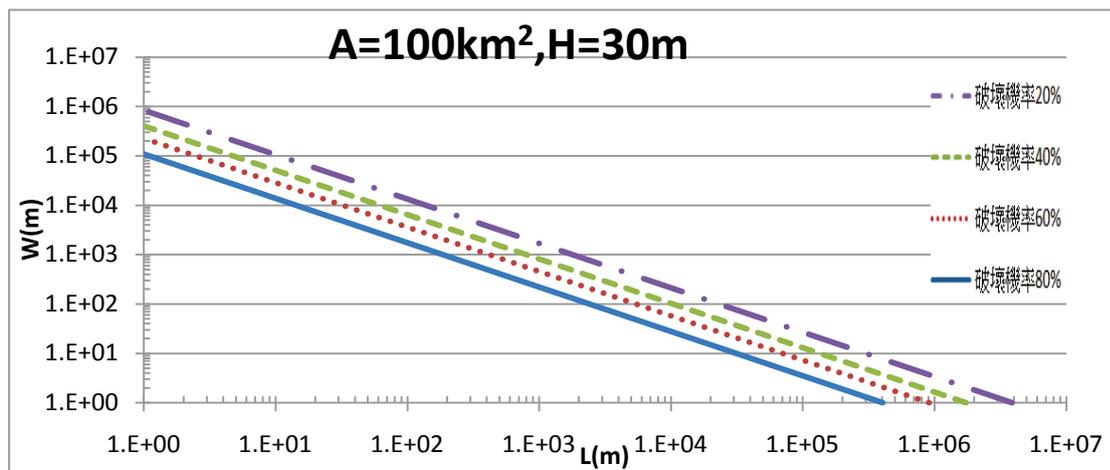
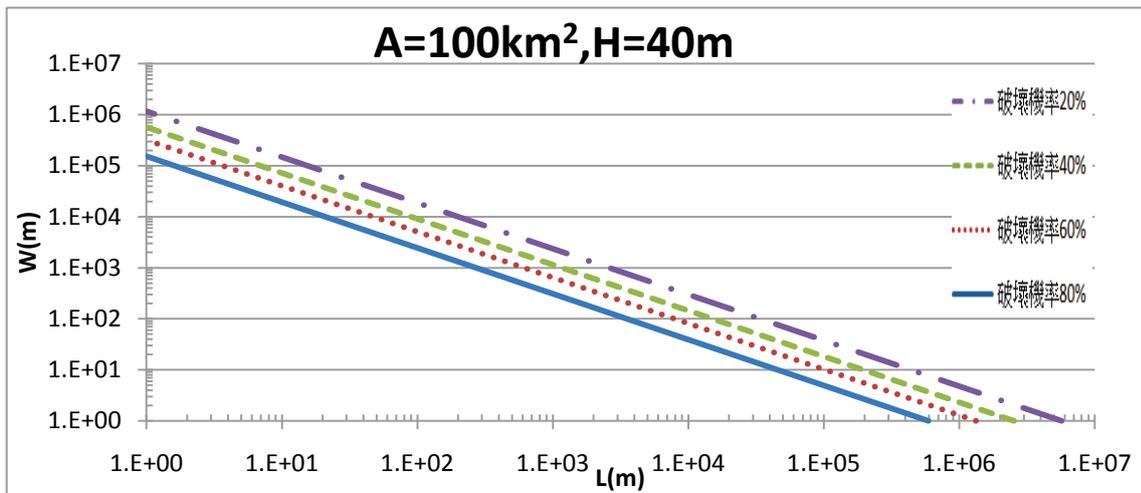


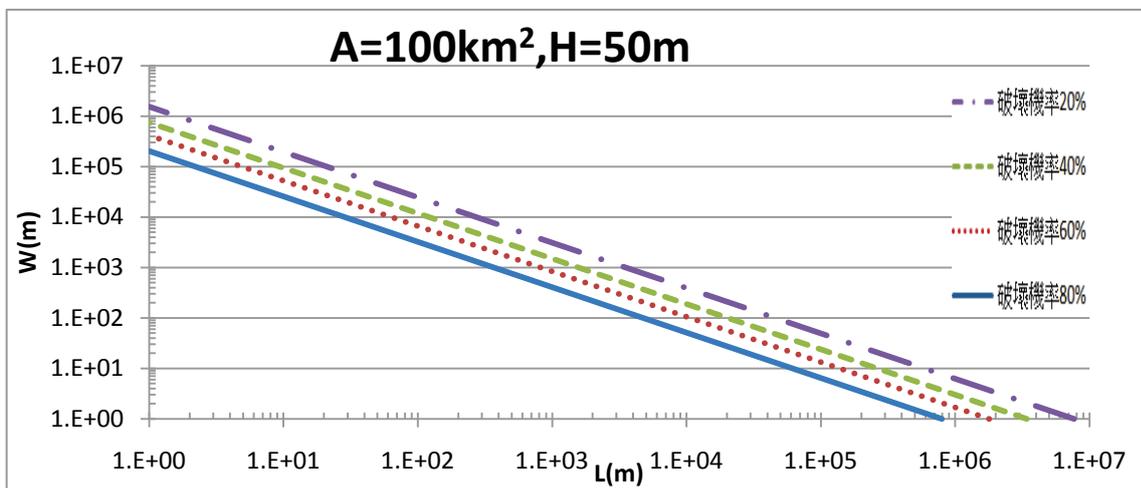
圖 C-5 集水區面積 A 為 100km², (a) 壩高為 10m (b) 壩高為 20m (c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

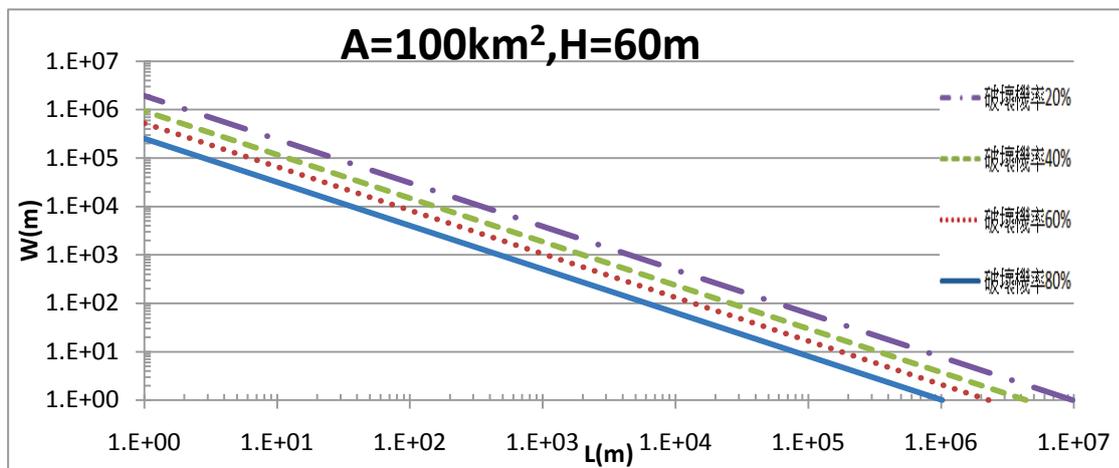
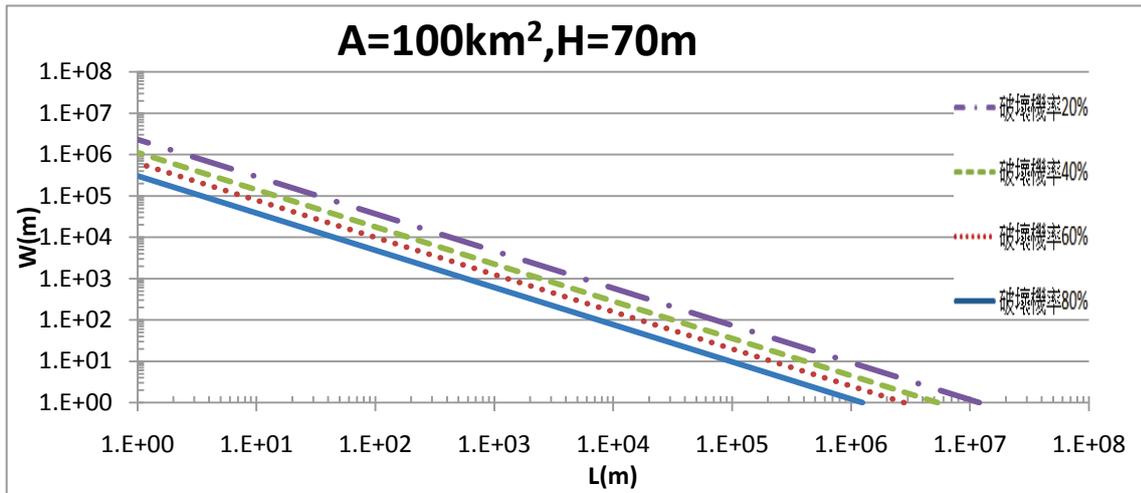
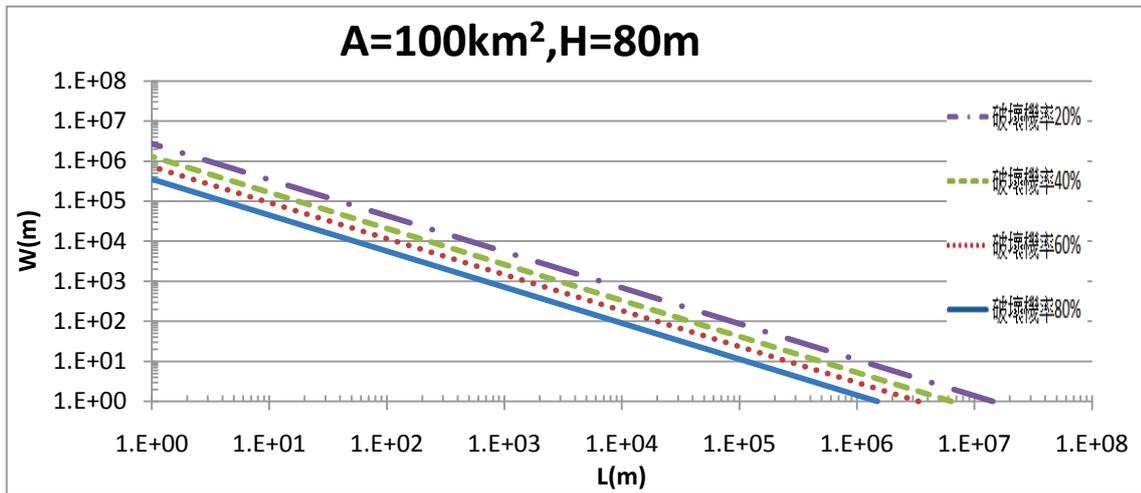


圖 C-5(續) 集水區面積 A 為 100km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

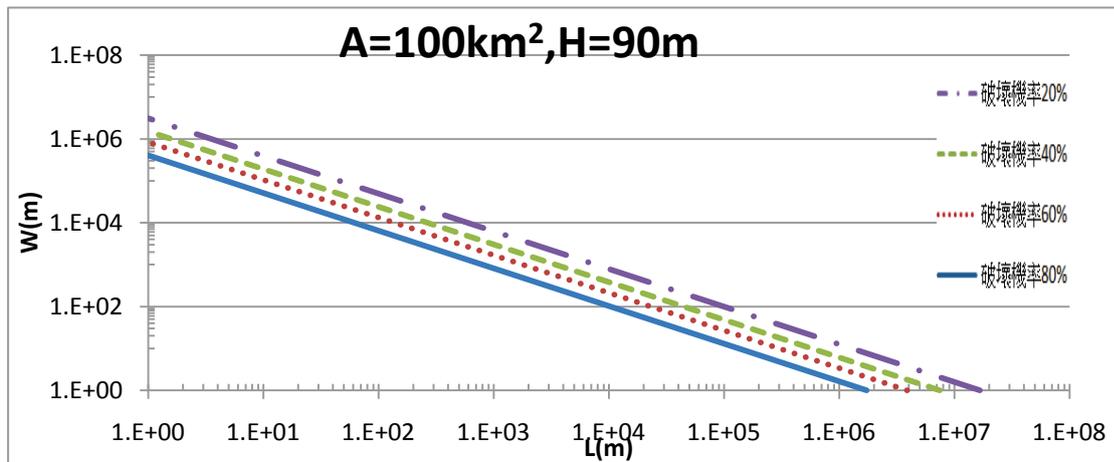
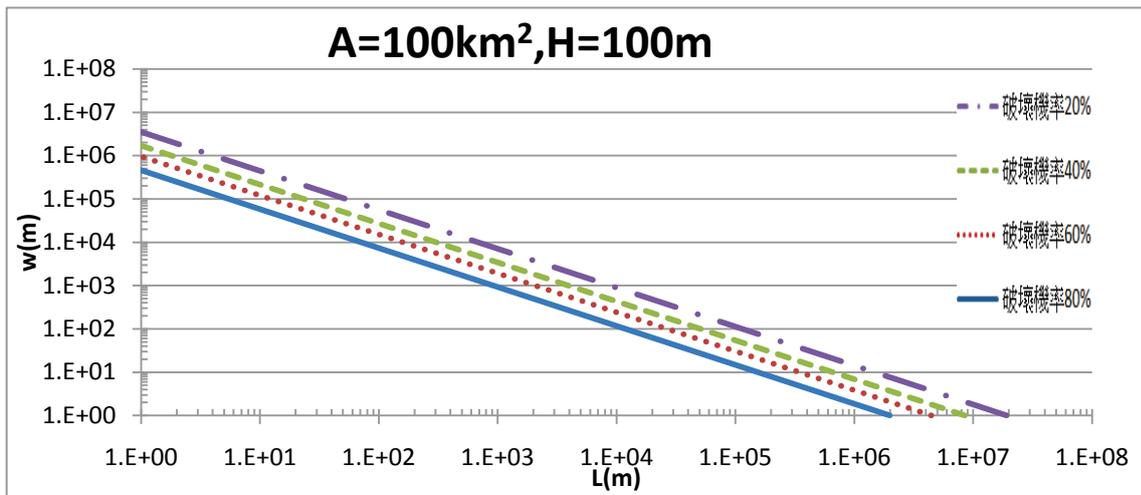


圖 C-5 (續) 集水區面積 A 為 100km²，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

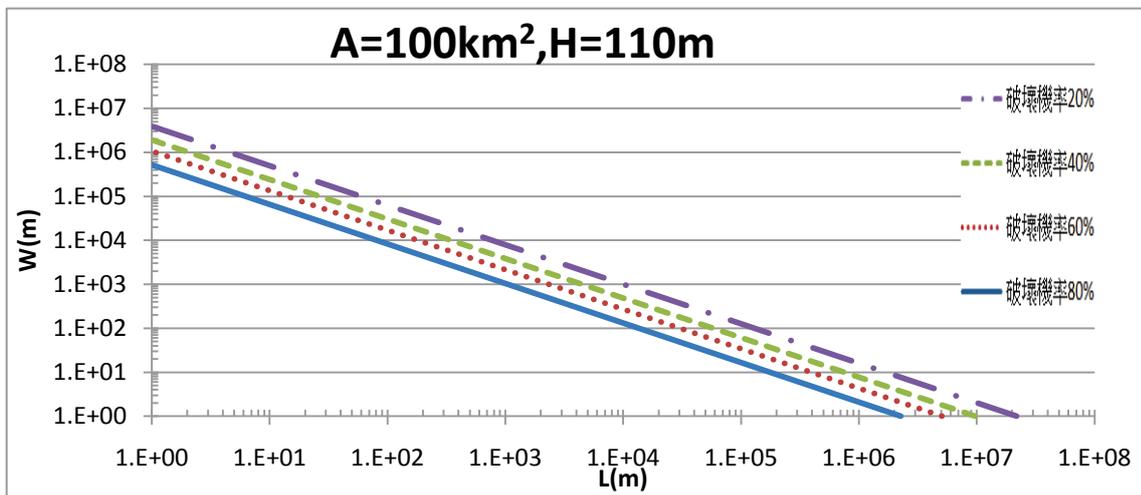
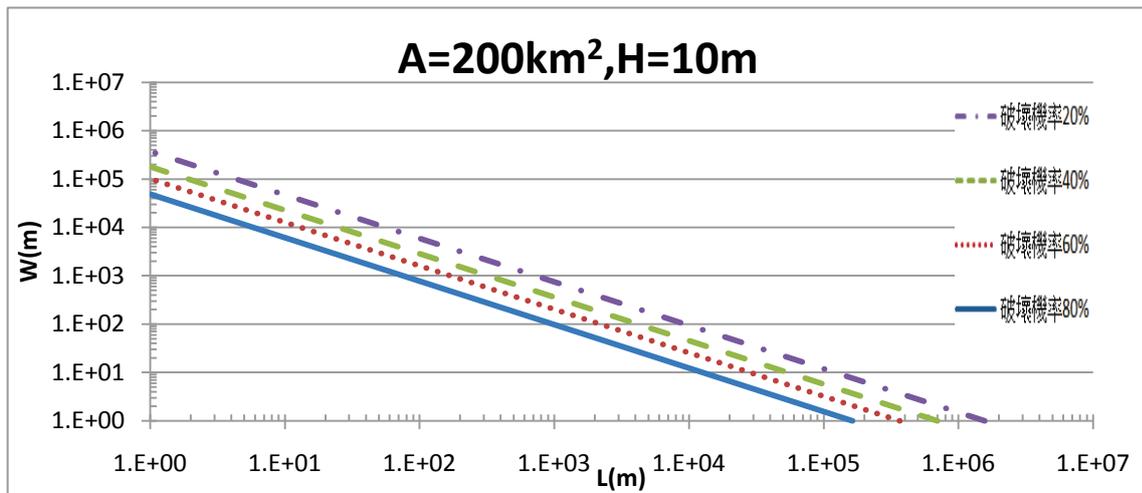
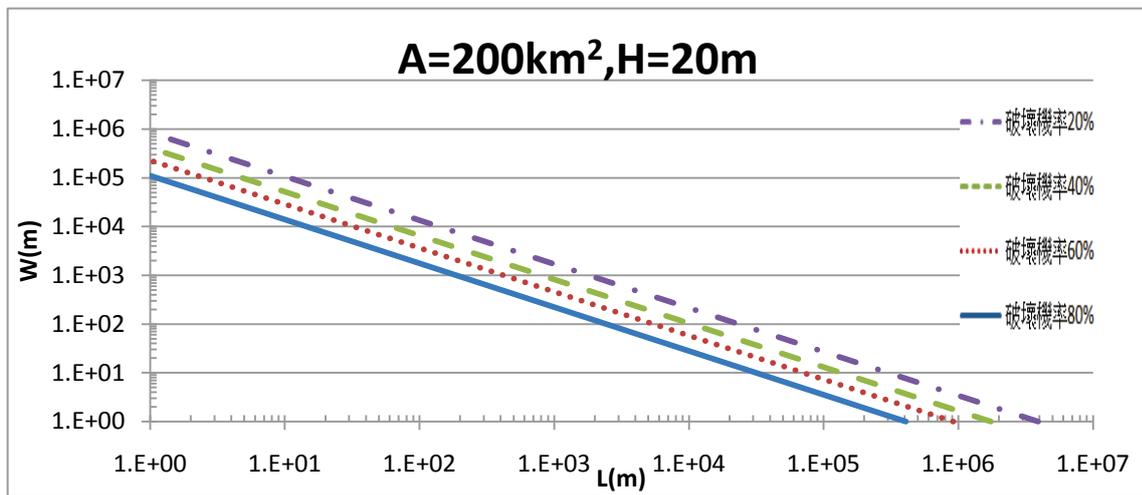


圖 C- 5 (續) 集水區面積 A 為 100km^2 ，(j)壩高為 100m (k)壩高為 110m

(a)



(b)



(c)

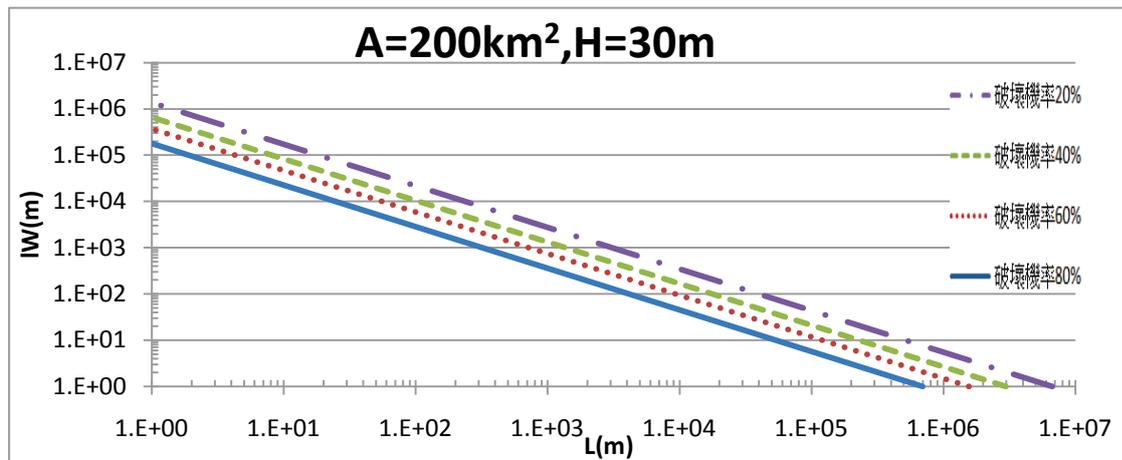
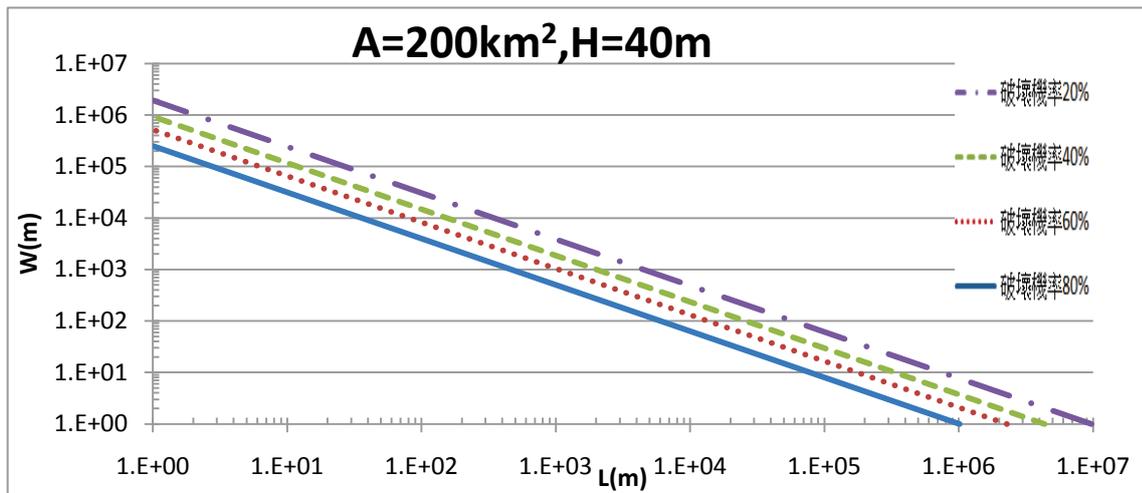


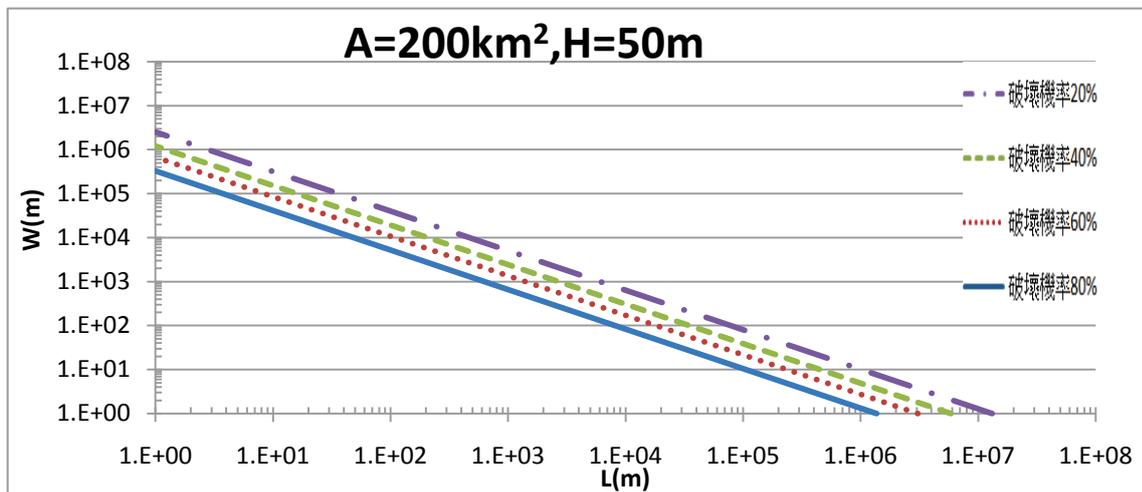
圖 C-6 集水區面積 A 為 200km², (a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

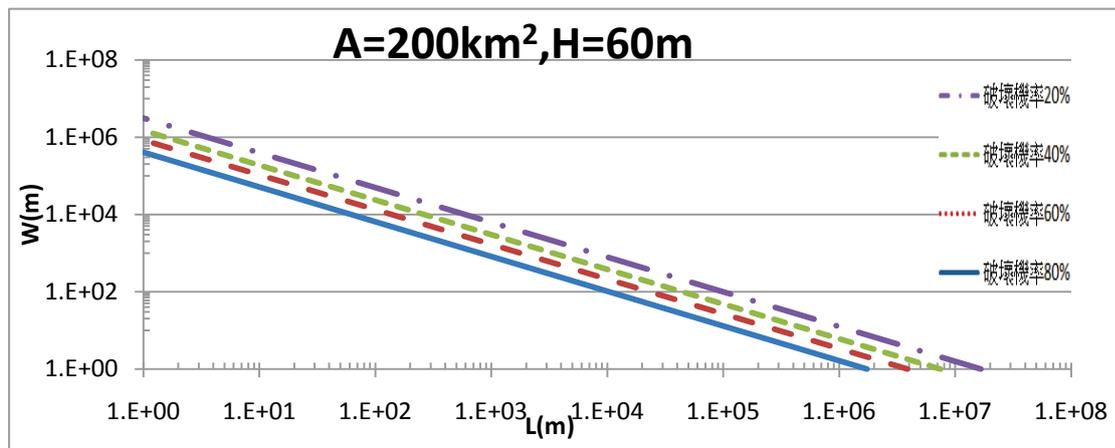
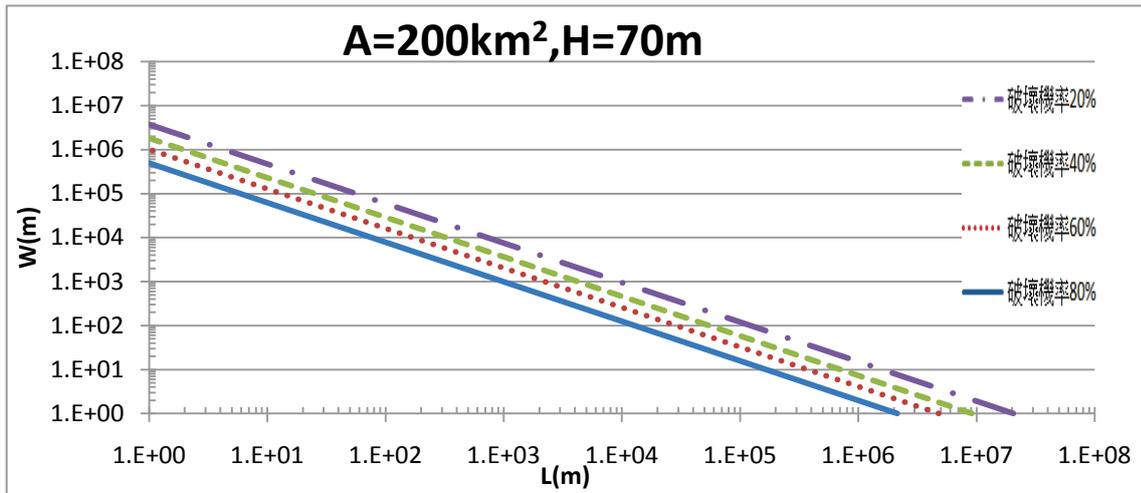
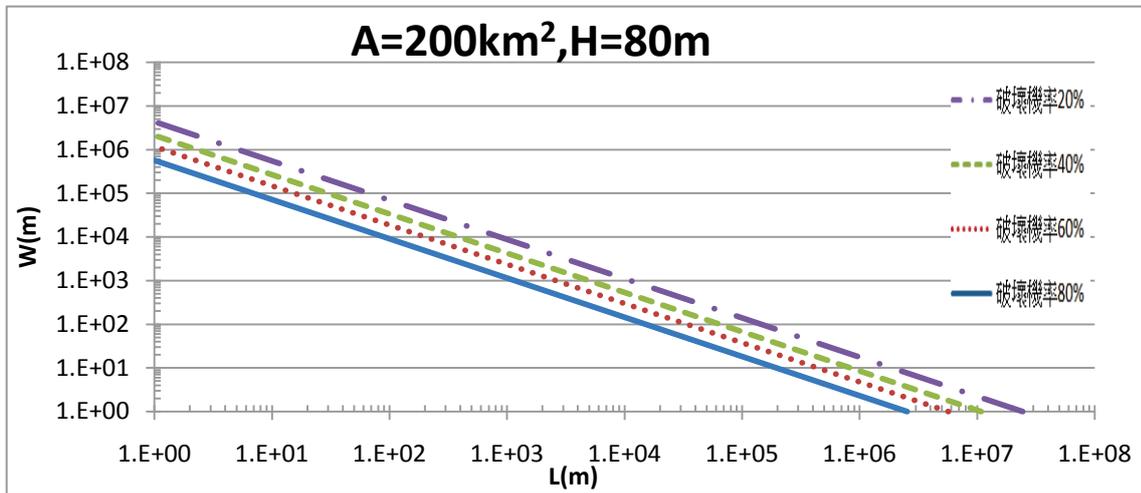


圖 C- 6(續) 集水區面積 A 為 200km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

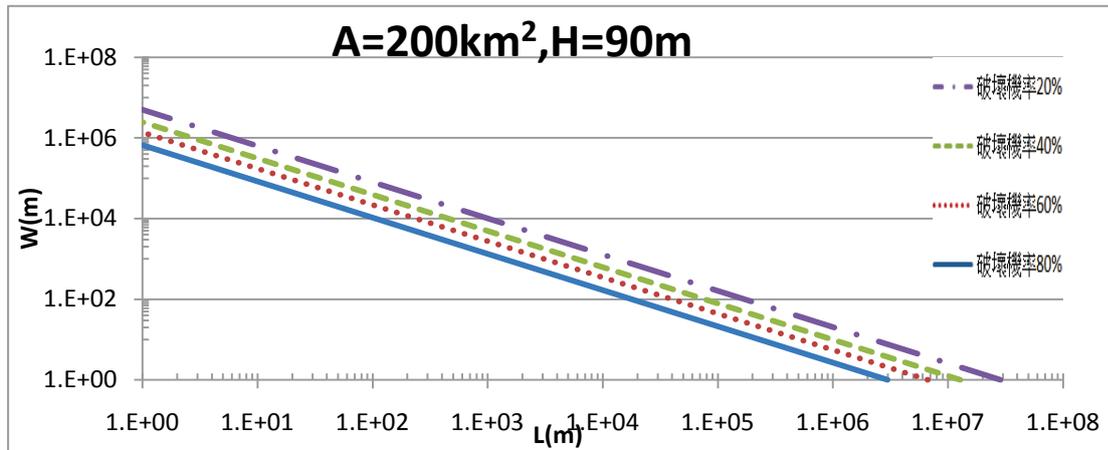
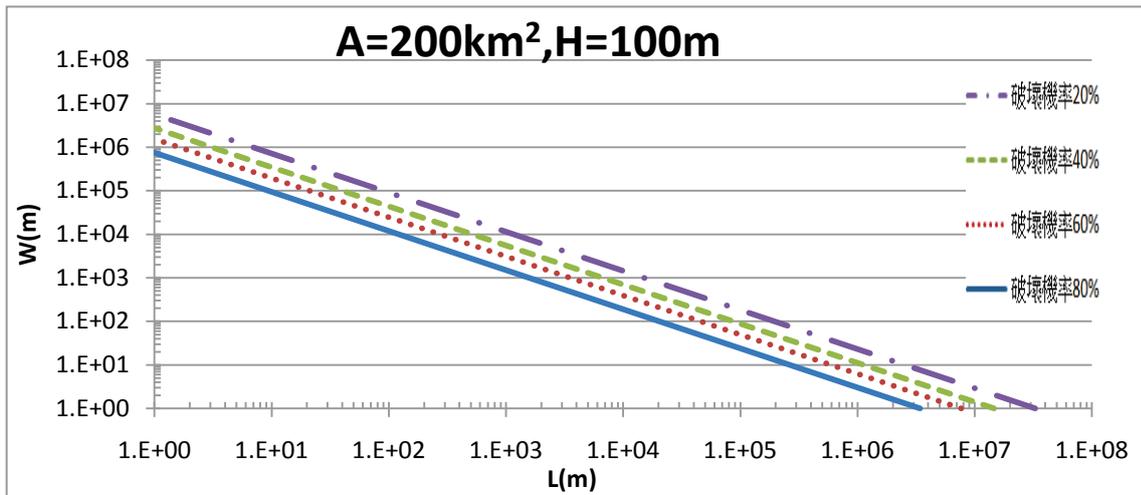


圖 C-6 (續) 集水區面積 A 為 200km²，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

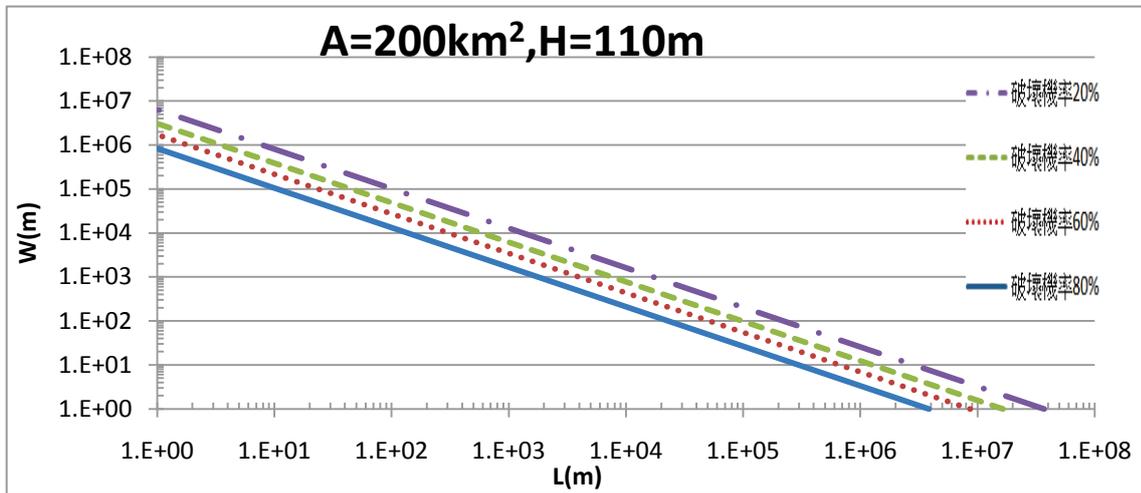
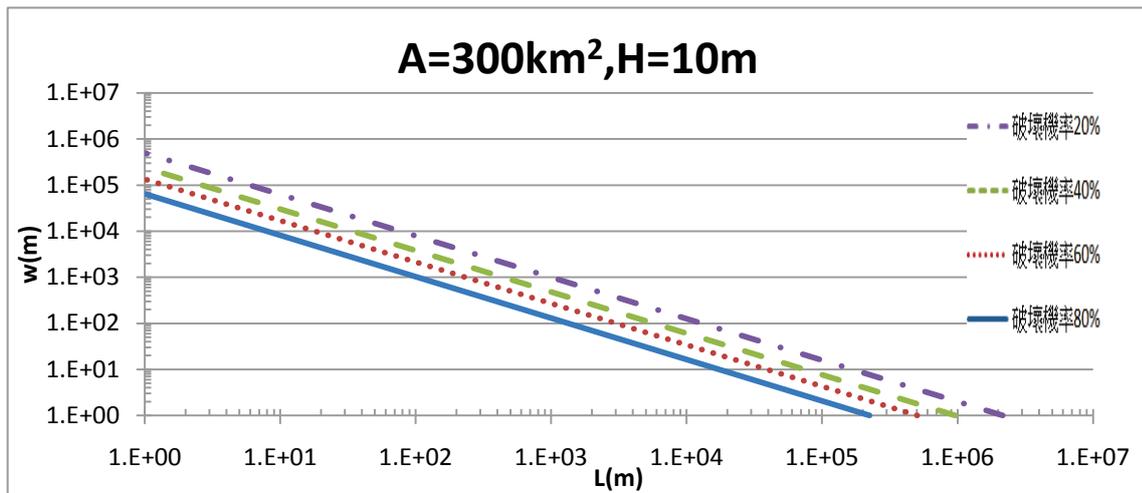
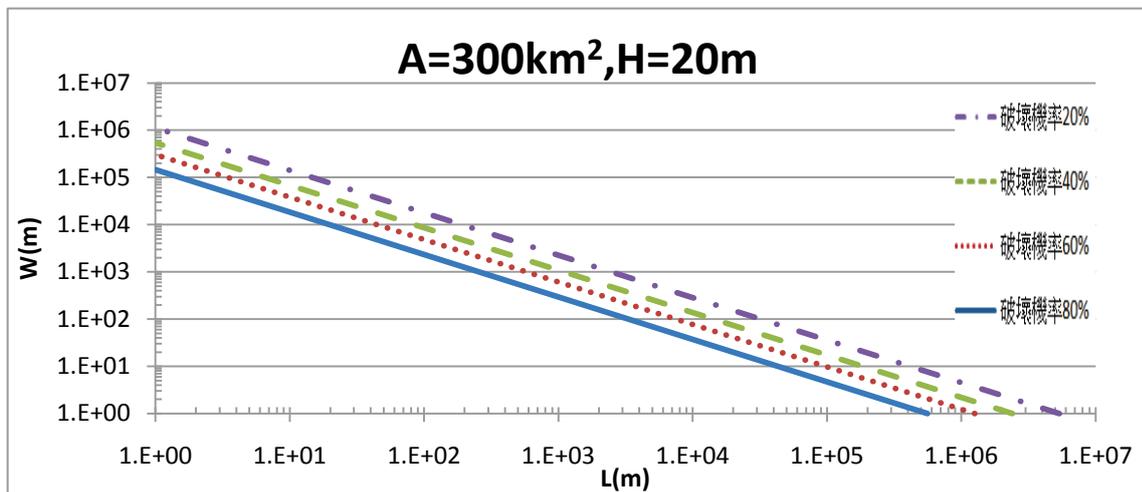


圖 C- 6 (續) 集水區面積 A 為 200km²，(j)壩高為 100m(k)壩高為 110m

(a)



(b)



(c)

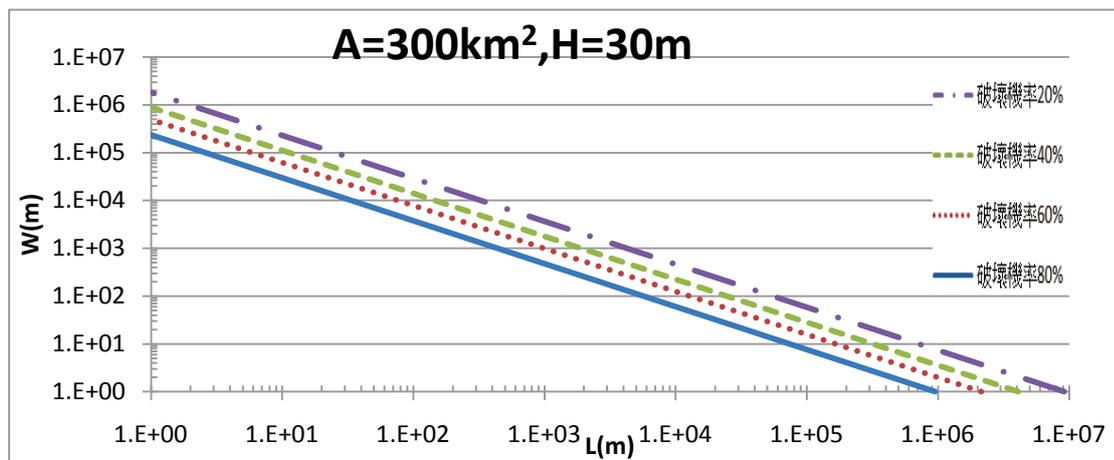
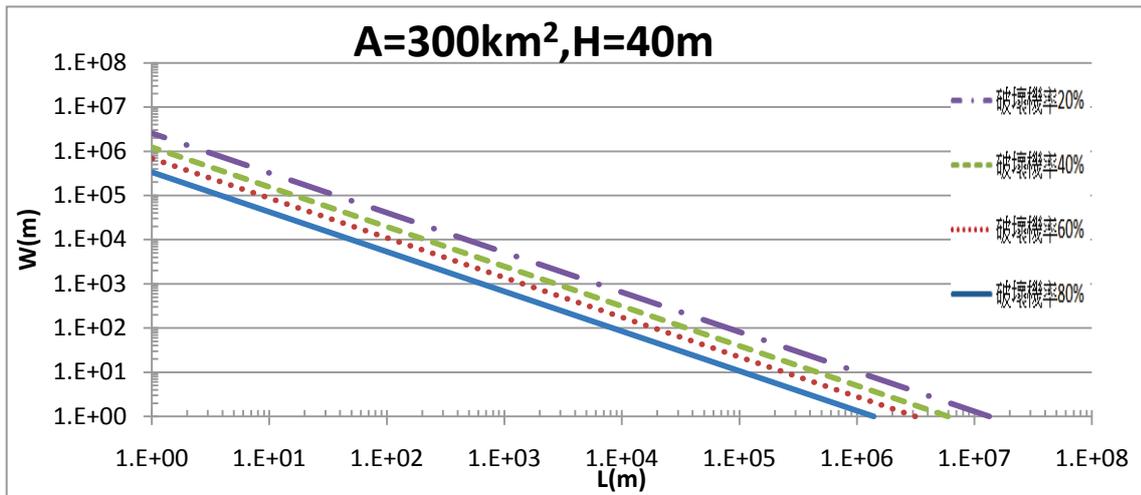


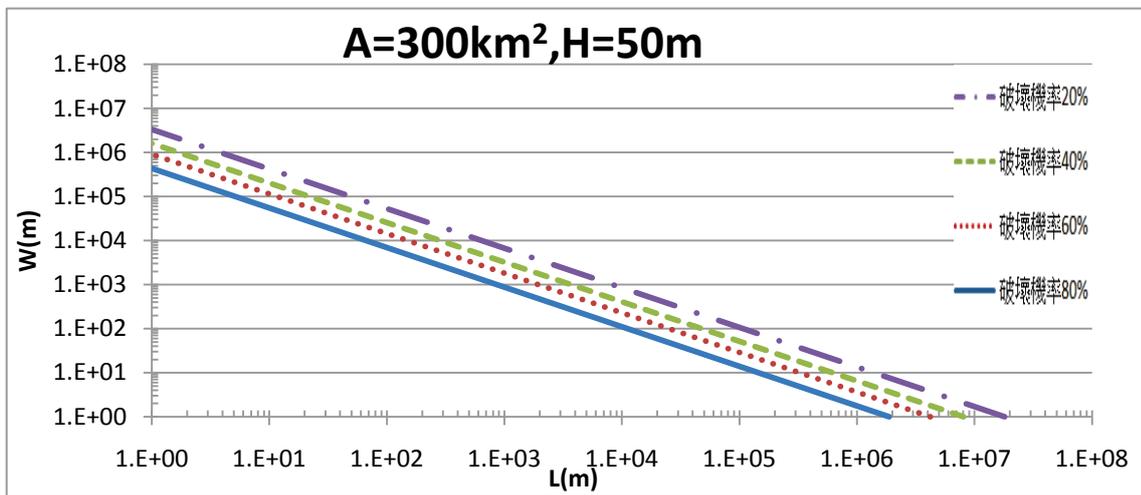
圖 C-7 集水區面積 A 為 300km², (a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

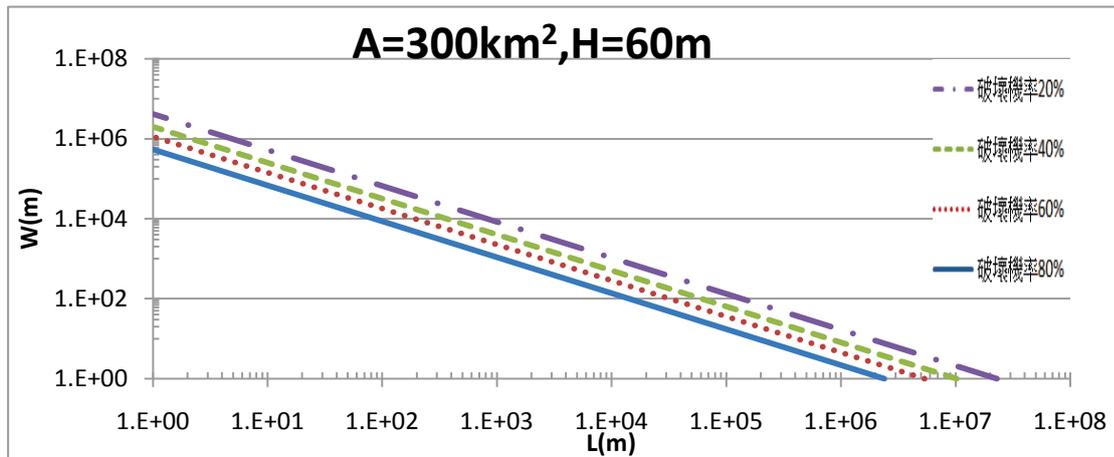
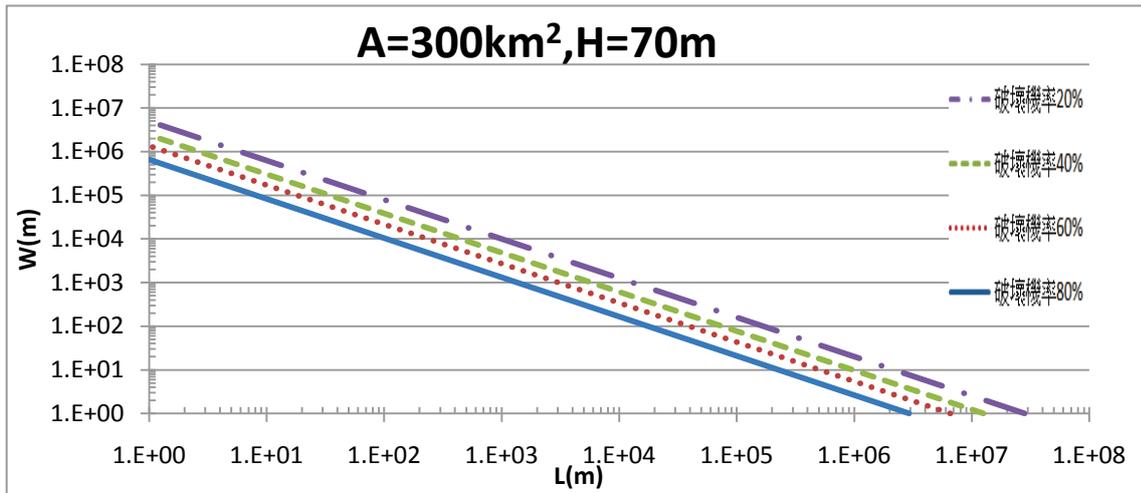
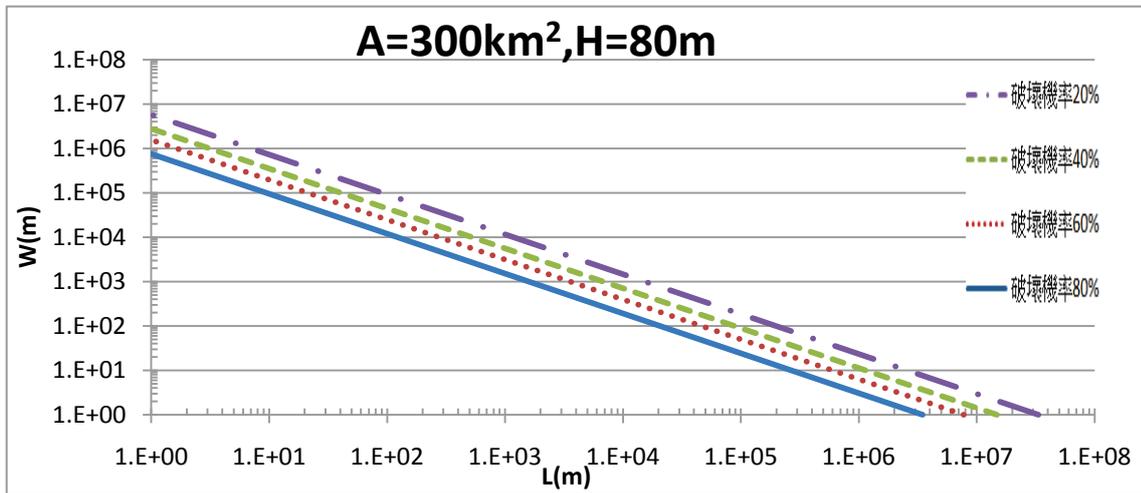


圖 C-7(續) 集水區面積 A 為 300km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

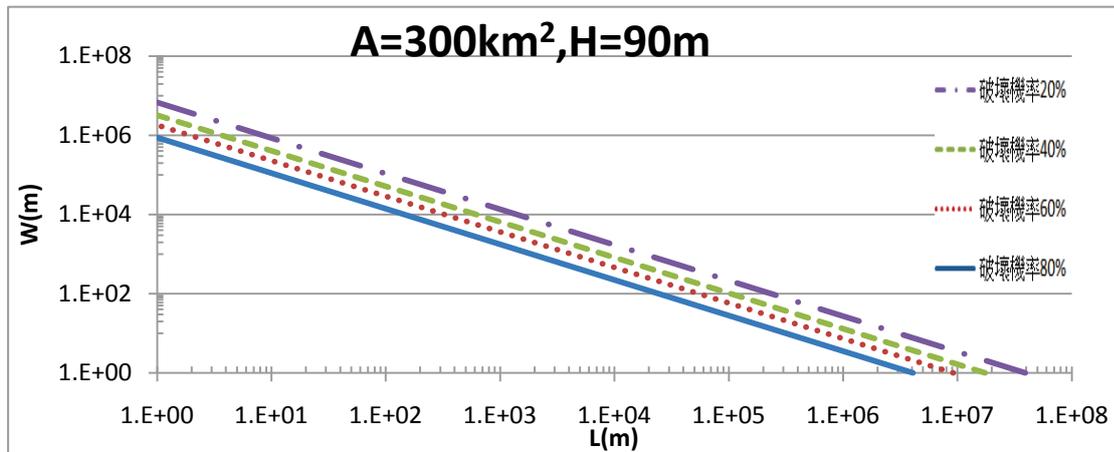
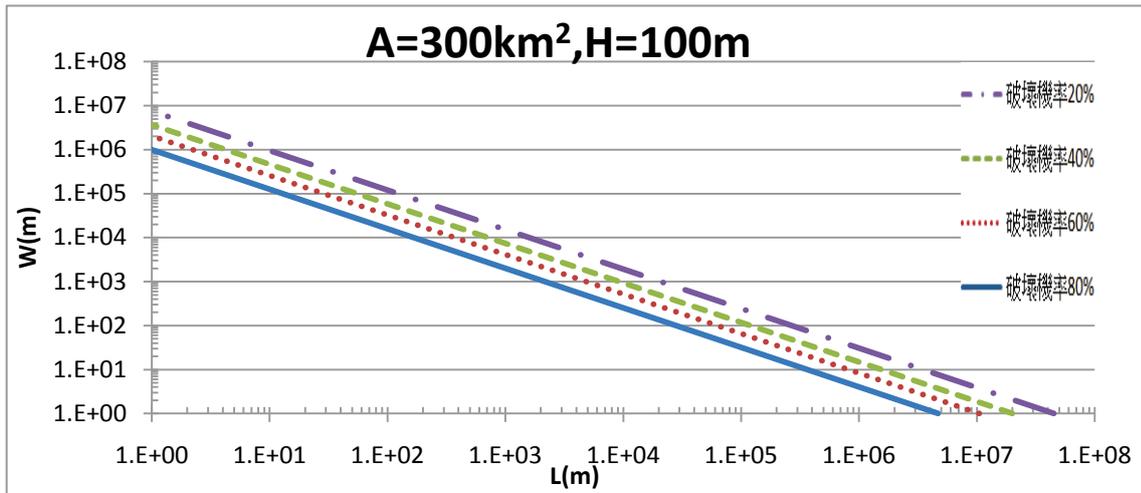


圖 C-7 (續) 集水區面積 A 為 300km²，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

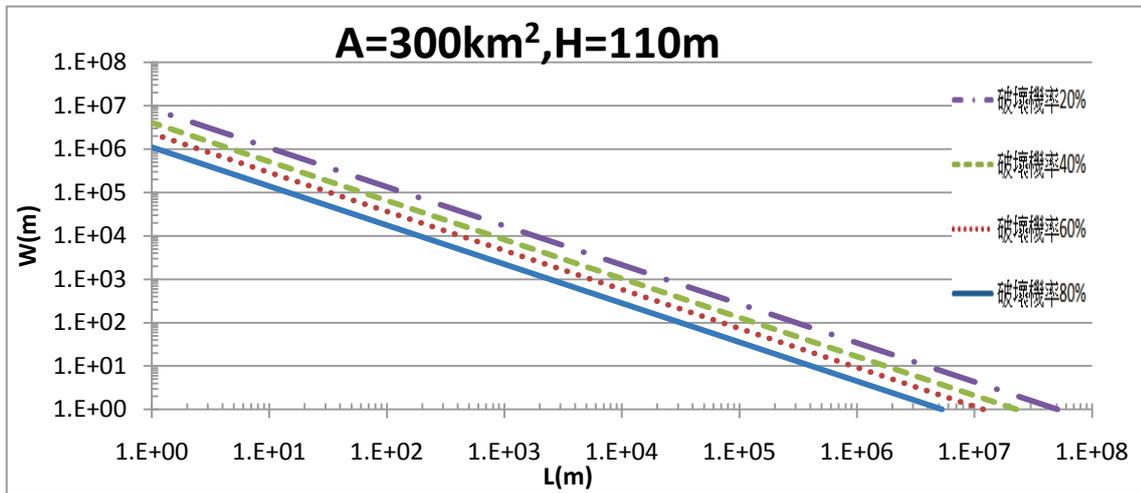
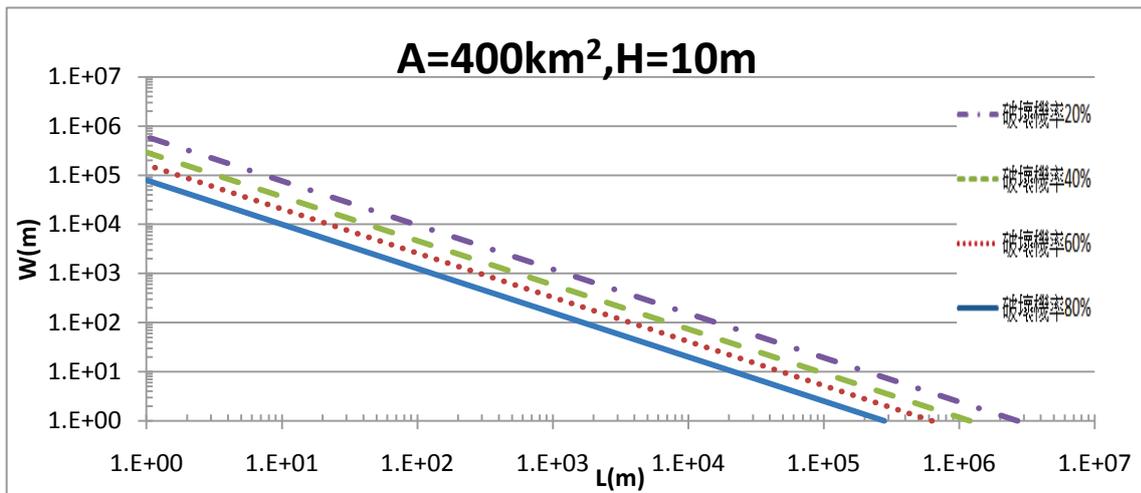
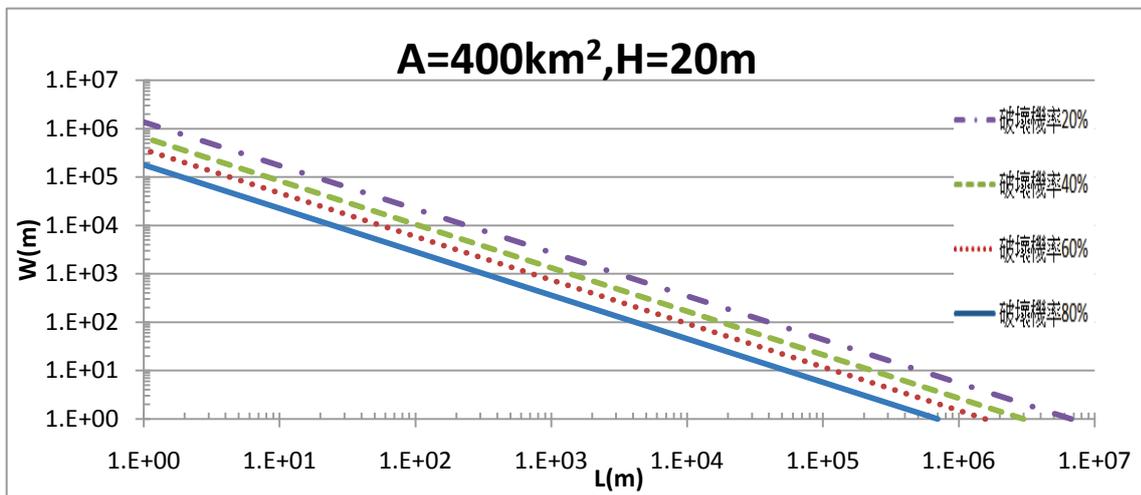


圖 C-7 (續) 集水區面積 A 為 300km²，(j)壩高為 100m(k)壩高為 100m

(a)



(b)



(c)

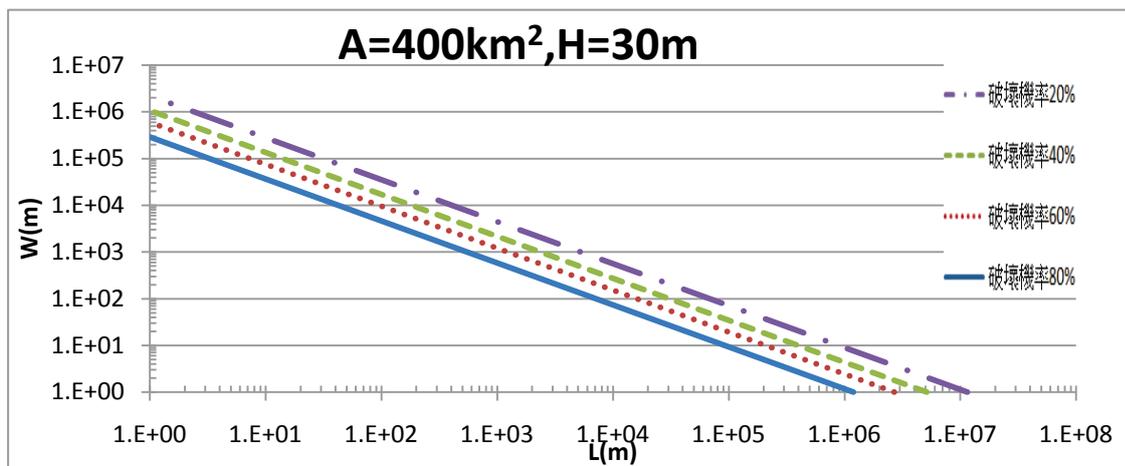
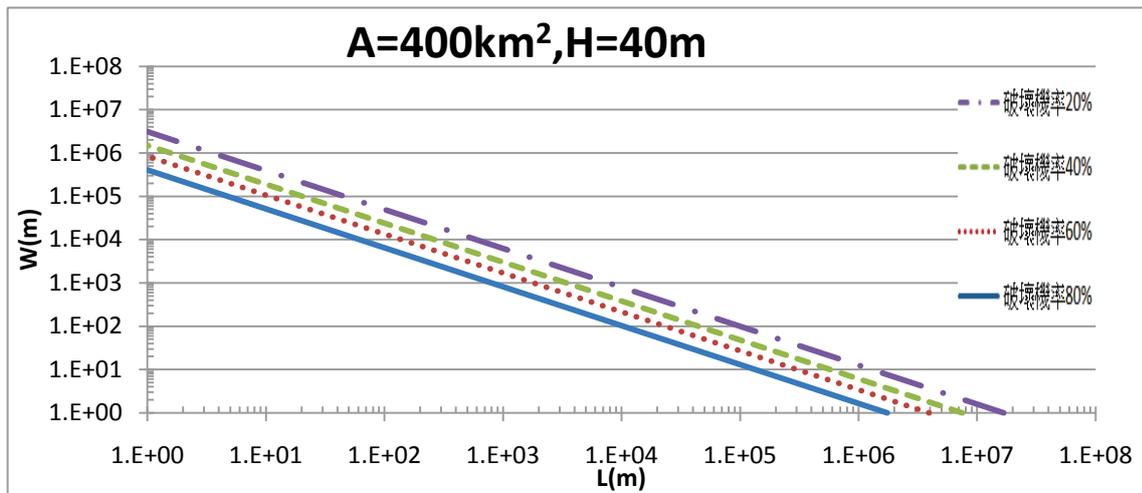


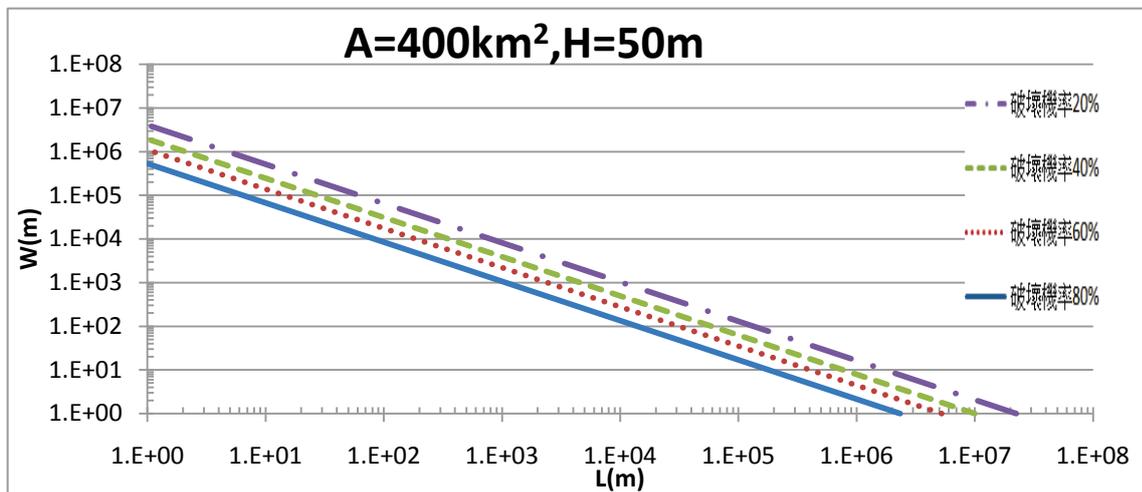
圖 C-8 集水區面積 A 為 400km², (a)壩高為 10m(b)壩高為 20m(c)

壩高為 30m

(d)



(e)



(f)

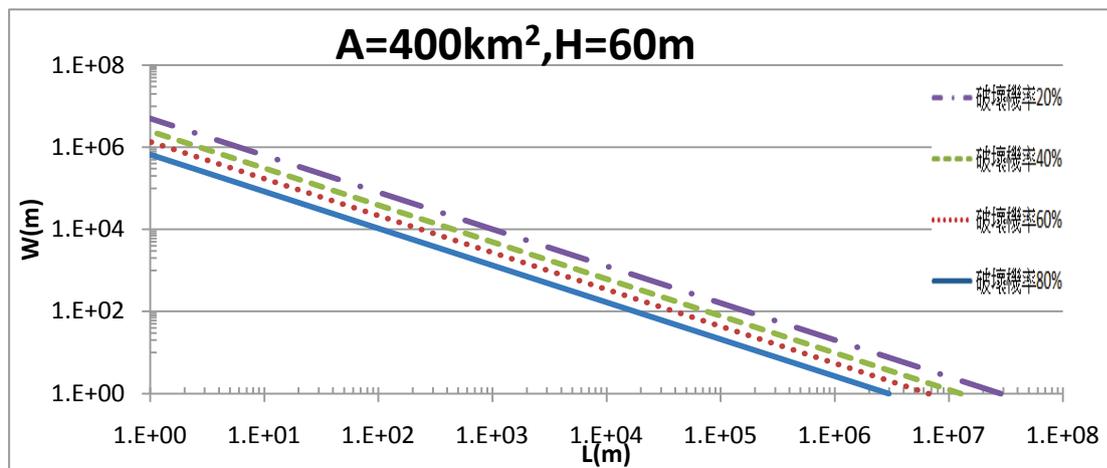
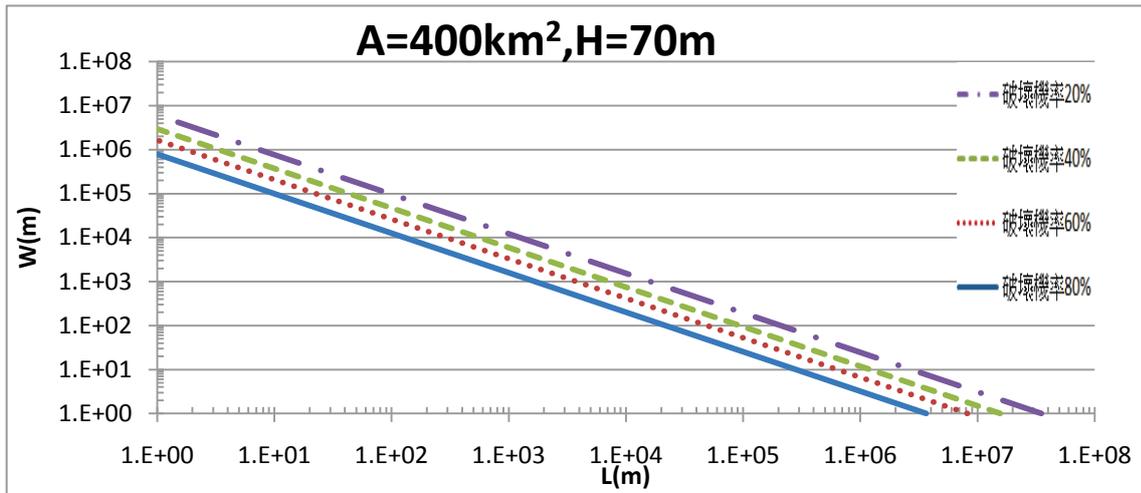
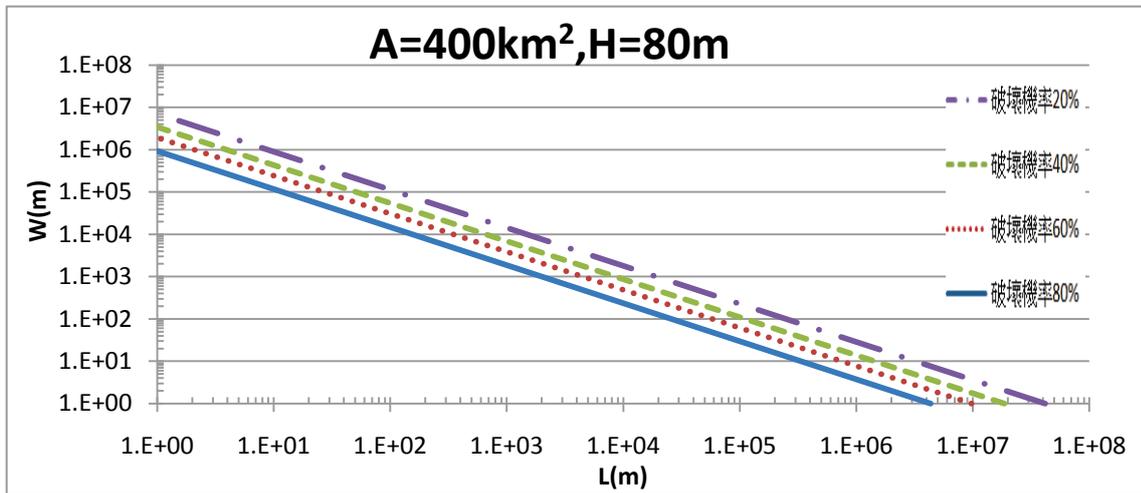


圖 C- 8(續) 集水區面積 A 為 400km²，(d)壩高為 40m(e)壩高為 50m(f)壩高為 60m

(g)



(h)



(i)

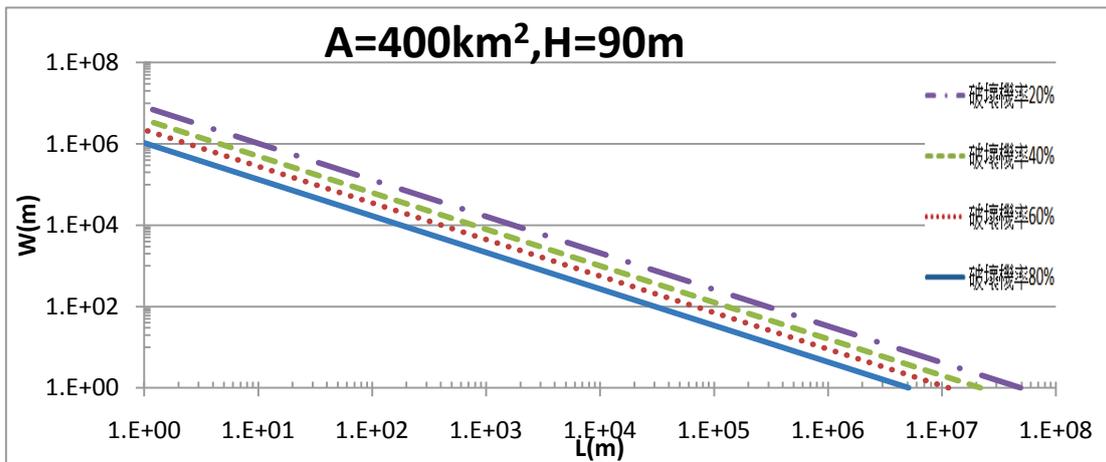
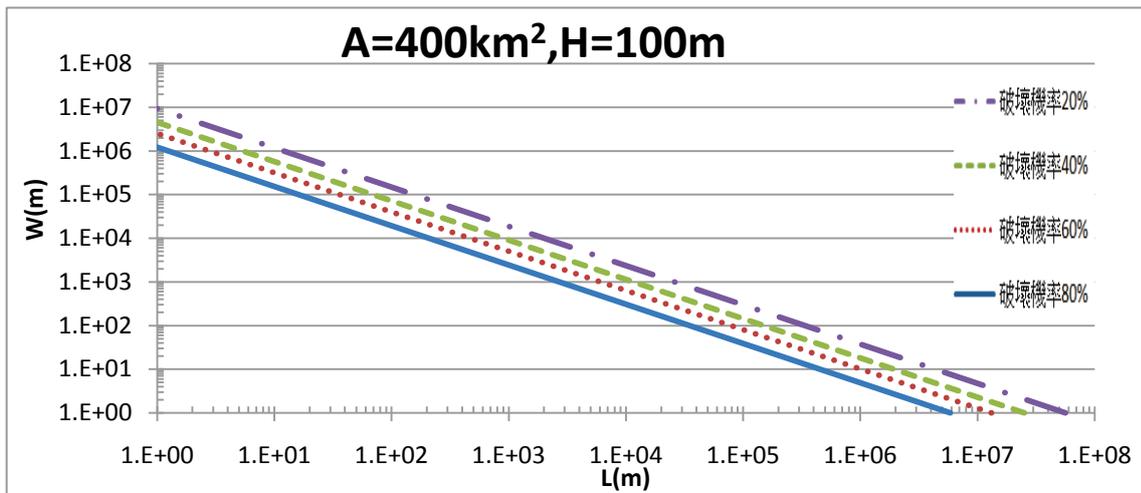


圖 C-8 (續) 集水區面積 A 為 400km²，(g)壩高為 70m(h)壩高為 80m(i)壩高為 90m

(j)



(k)

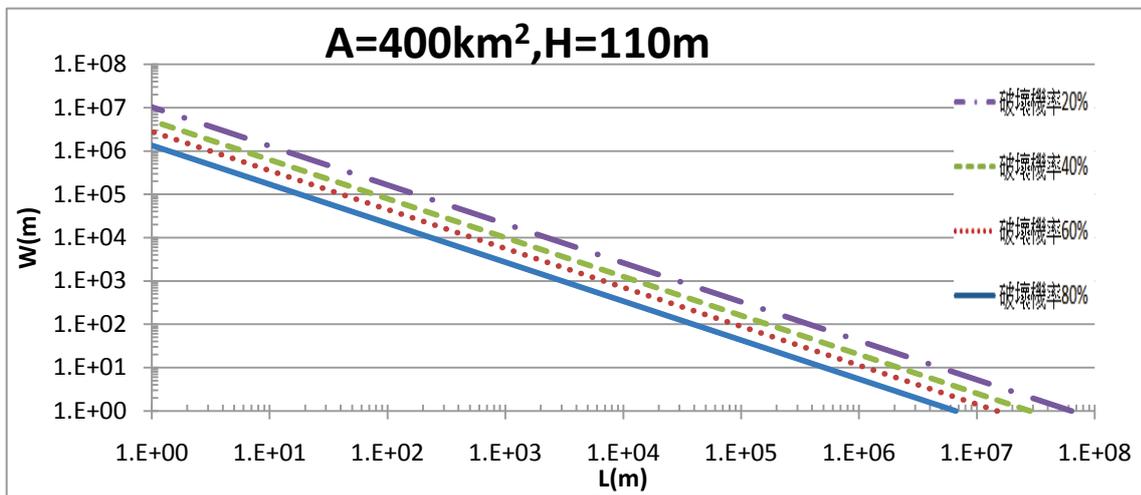


圖 C- 8 (續) 集水區面積 A 為 400km²，(j)壩高為 100m(k)壩高為 110m

附錄 D 最大洪峰流量數值模擬查詢圖

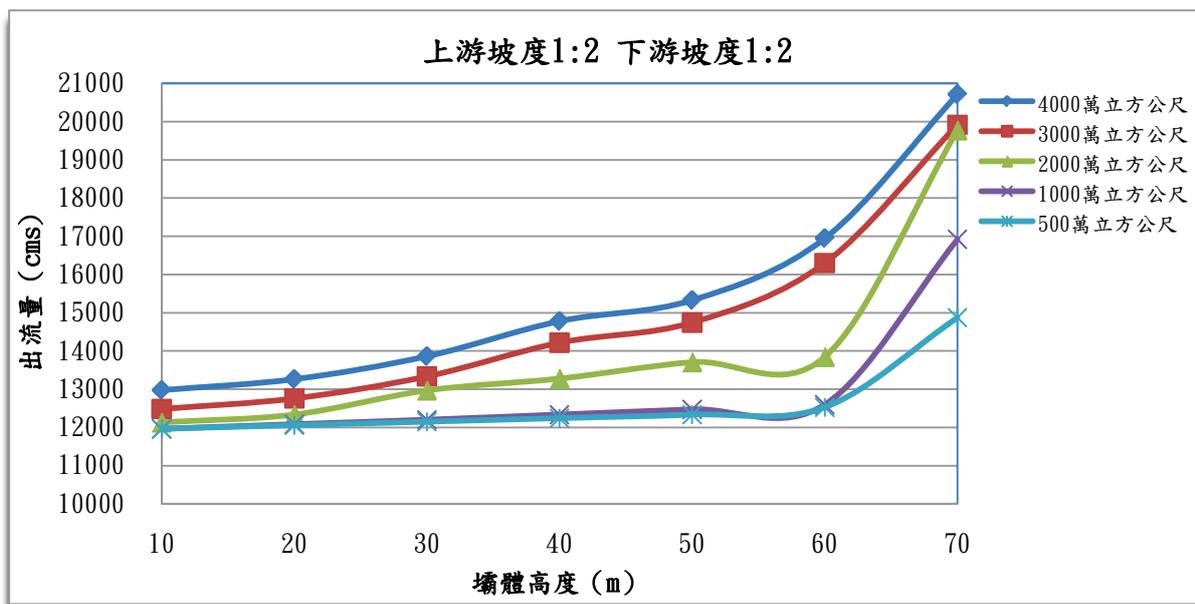


圖 D-1 上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:2，上游 10,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

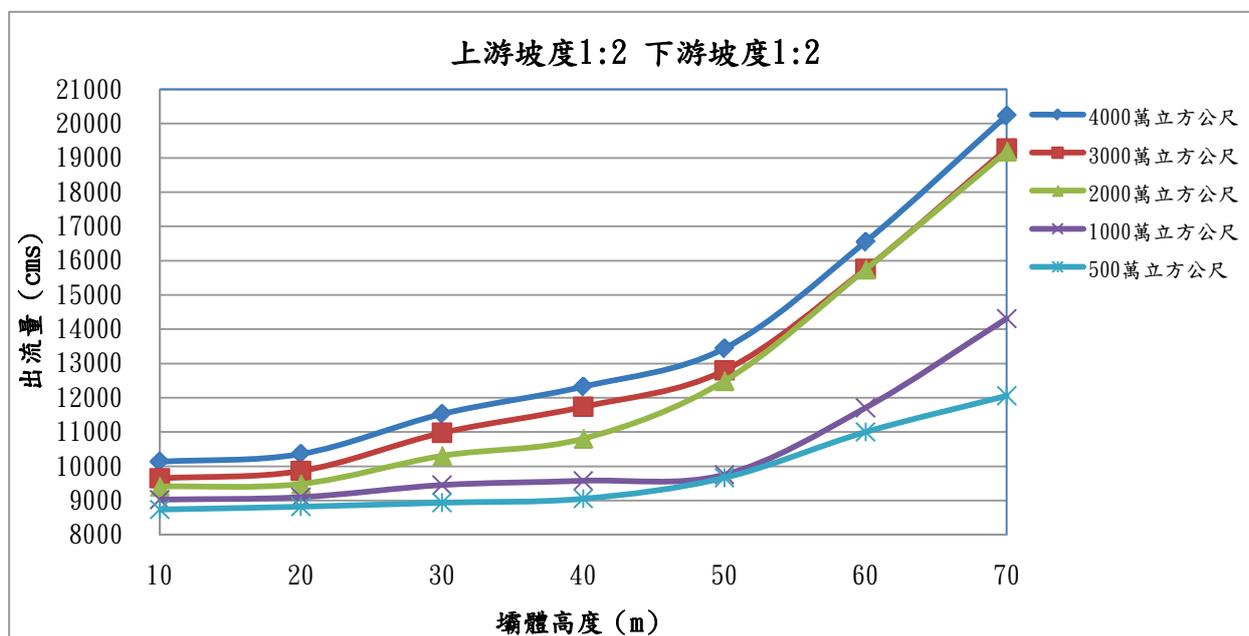


圖 D-2 上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:2，上游 7,500CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

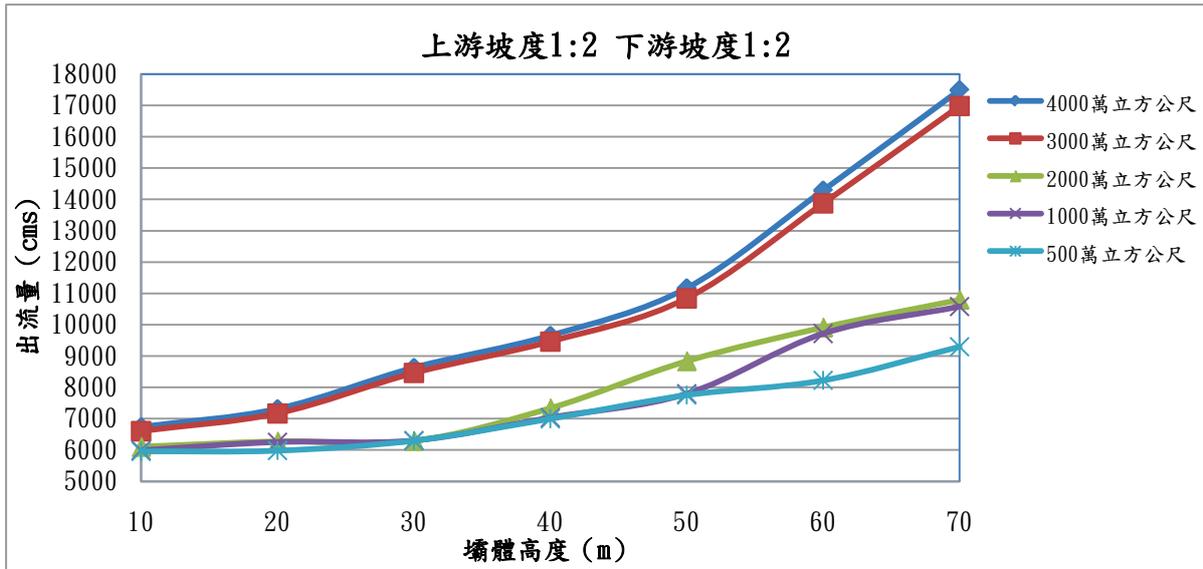


圖 D-3 上游坡面 1：2、壩體下游坡面 1：2，上游 5,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

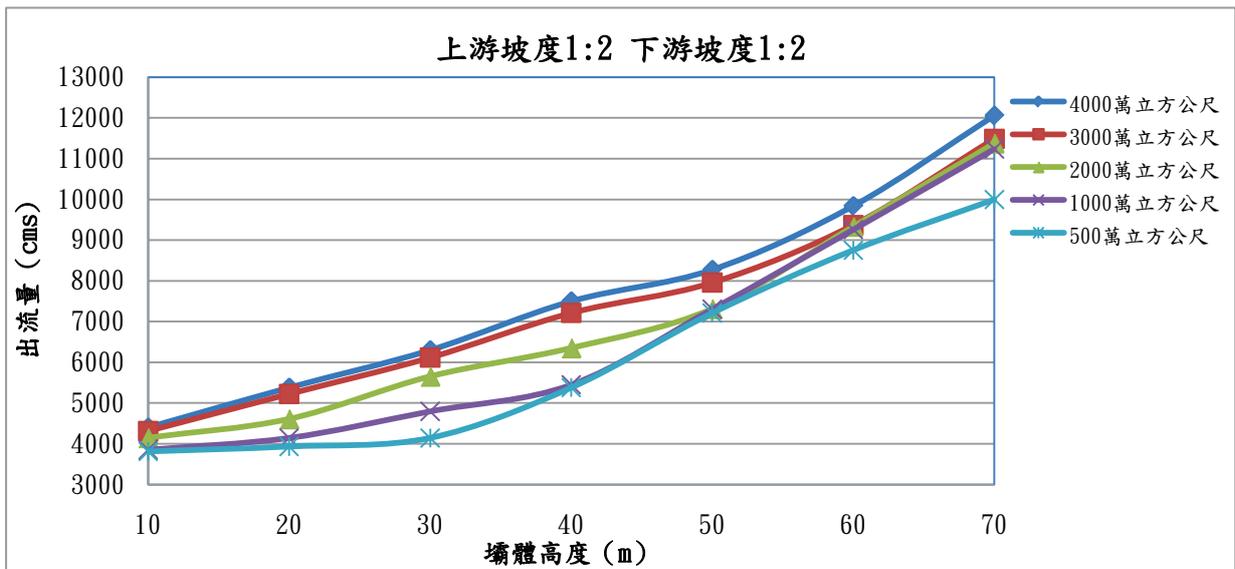


圖 D-4 上游坡面 1：2、壩體下游坡面 1：2，上游 3,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

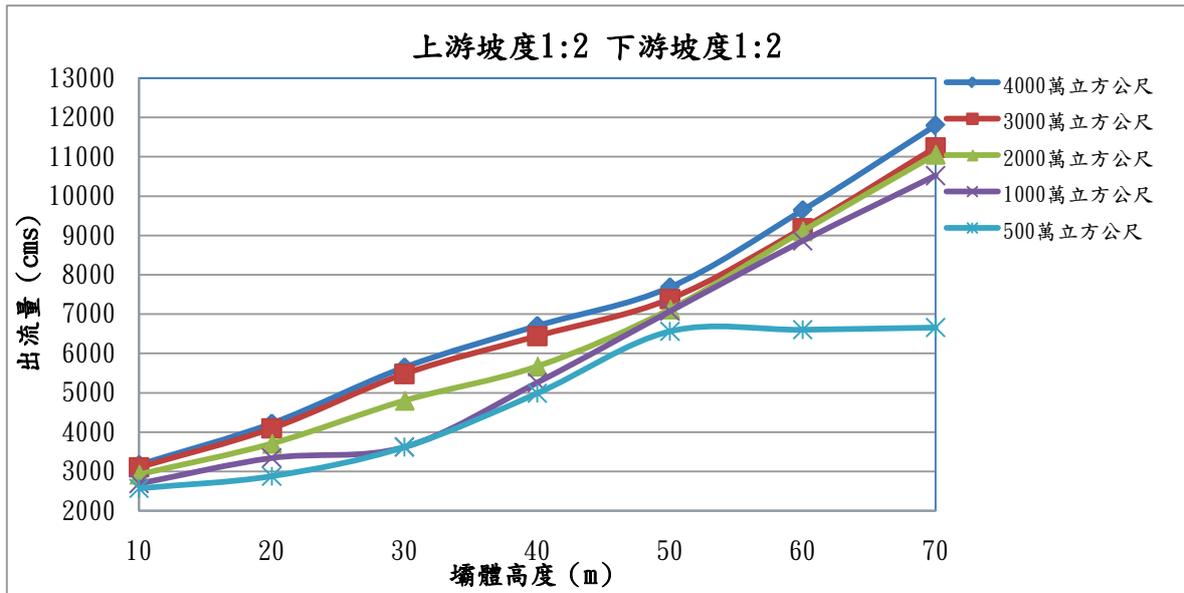


圖 D-5 上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:2，上游 2,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

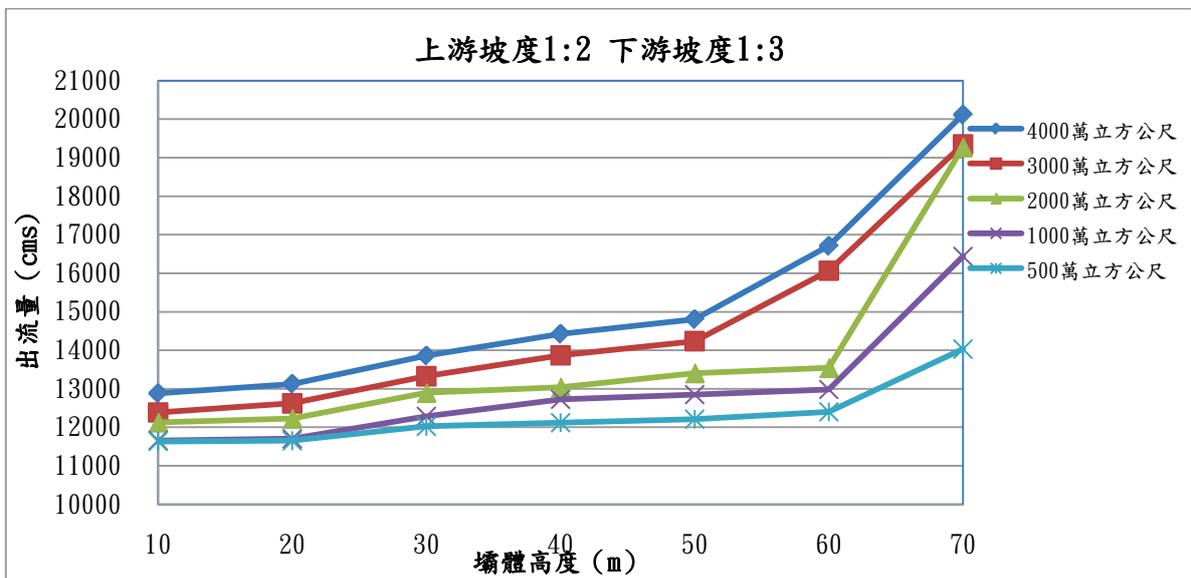


圖 D-6 堰塞湖壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:3，上游 10,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

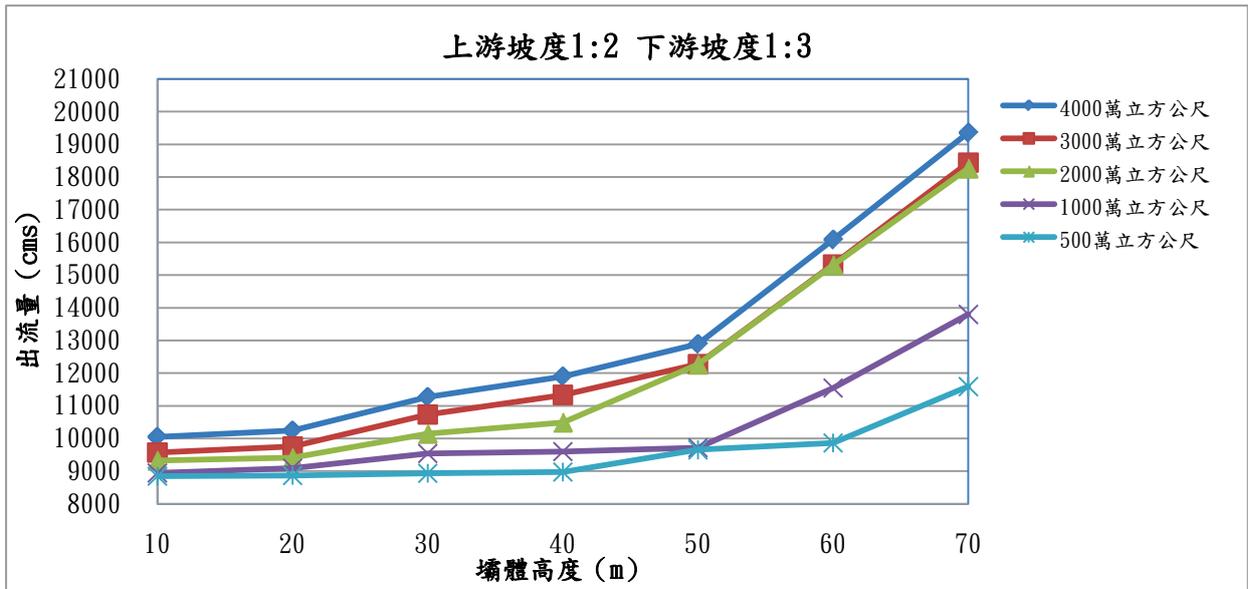


圖 D-7 堰塞湖壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:3，上游 7,500CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

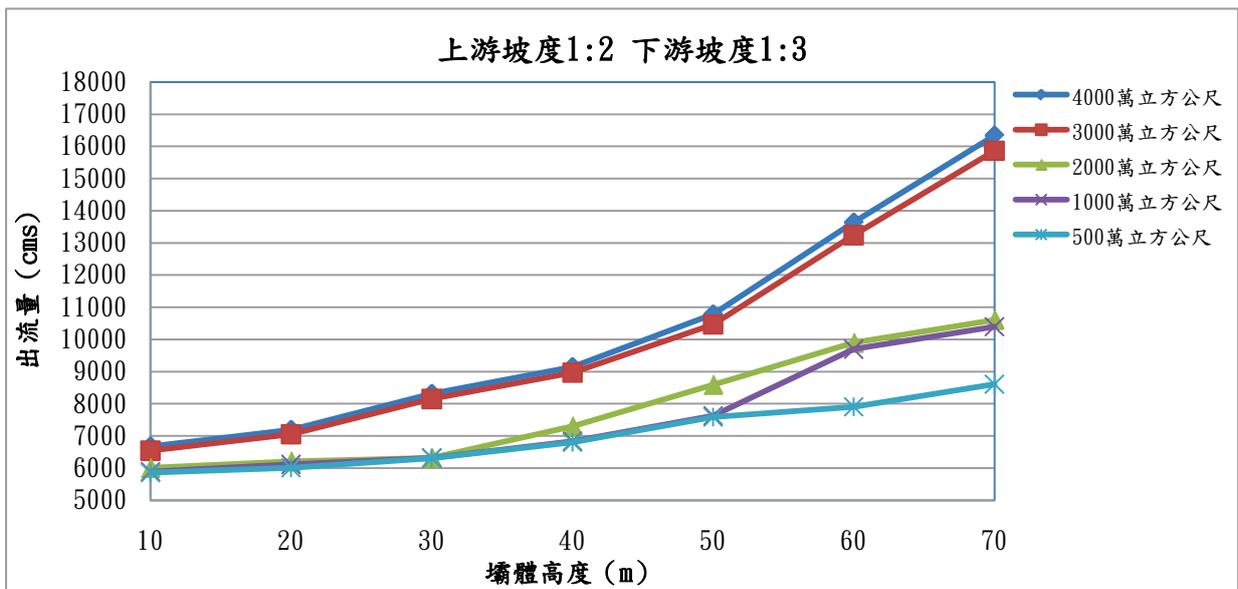


圖 D-8 堰塞湖壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:3，上游 5,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

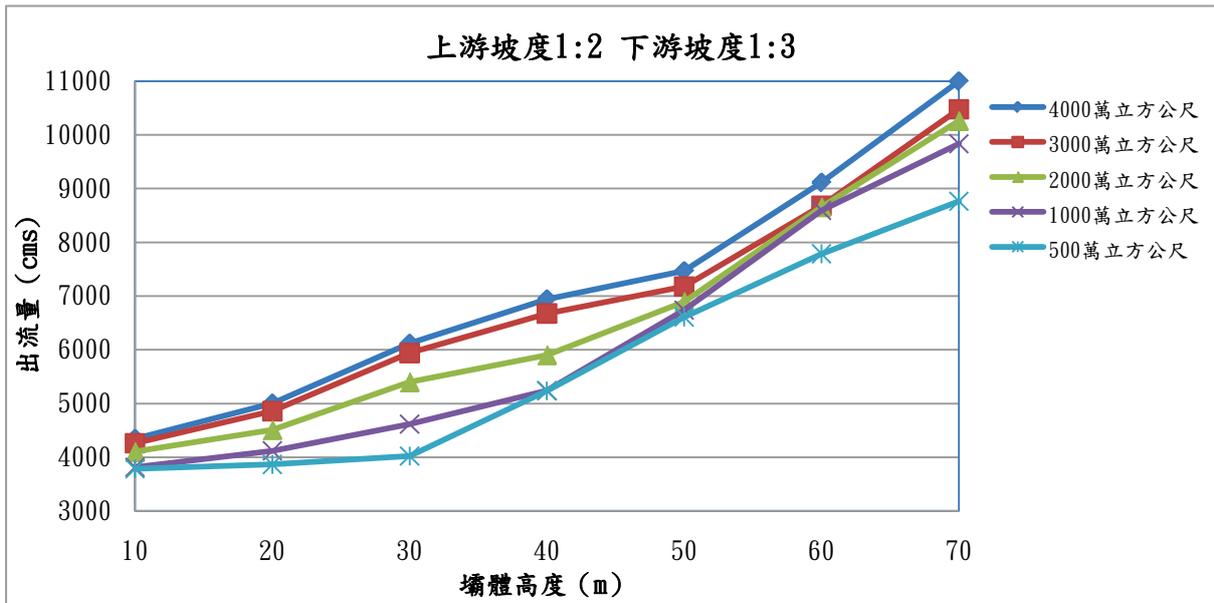


圖 D-9 堰塞湖壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:3，上游 3,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

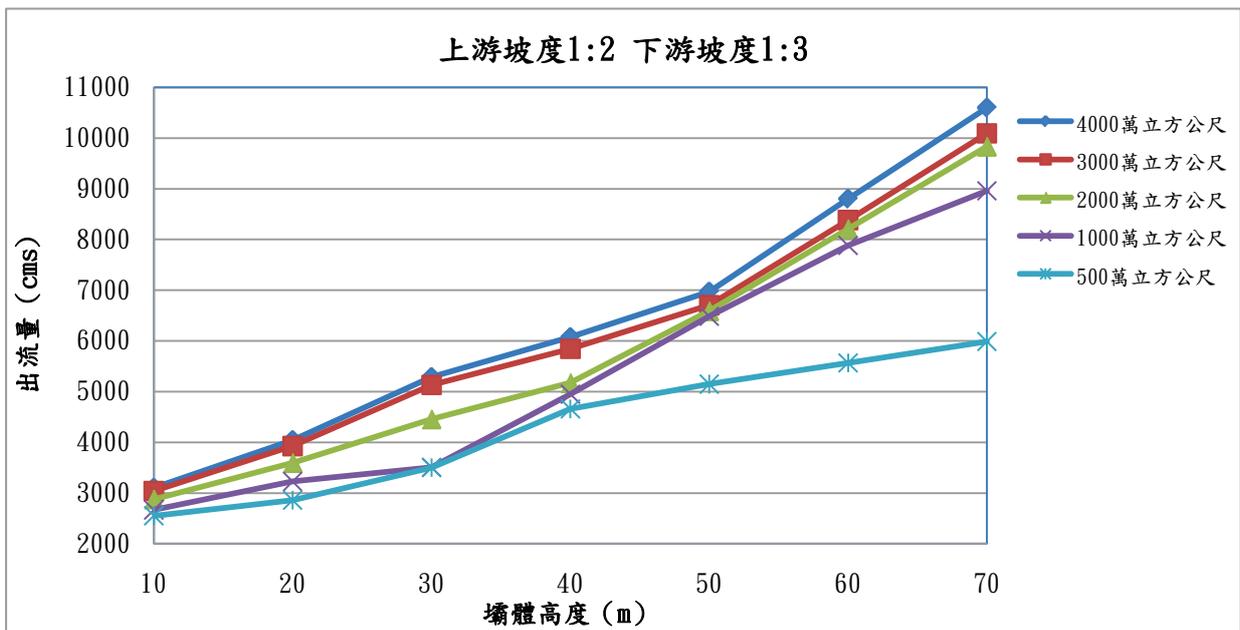


圖 D-10 堰塞湖壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:3，上游 2,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

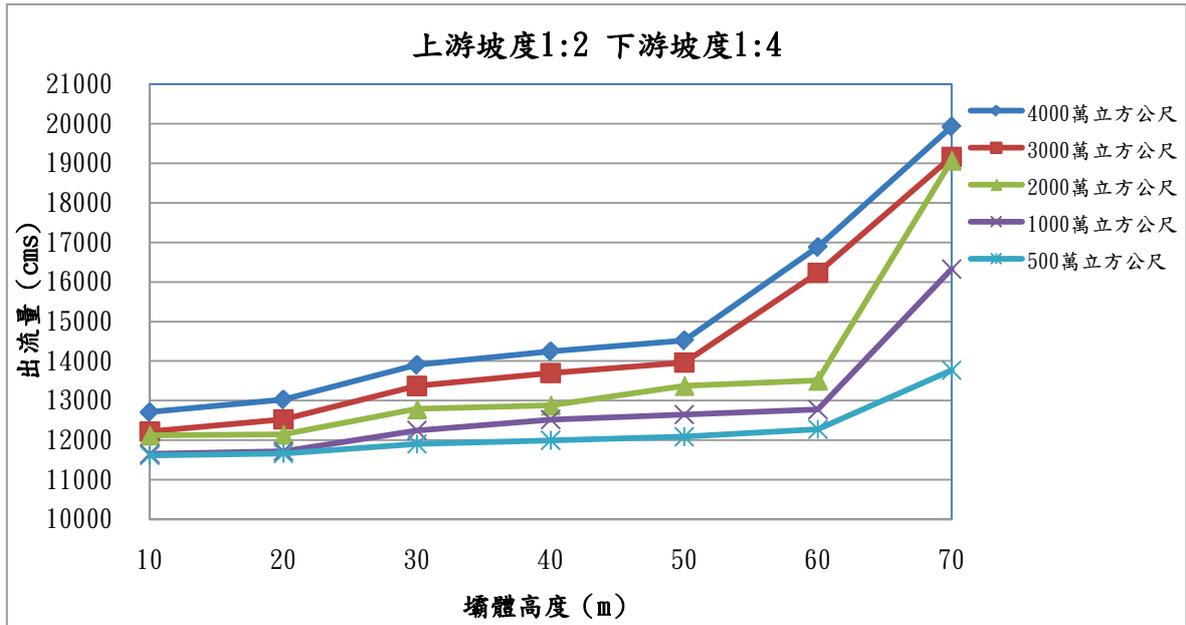


圖 D-11 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:4，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

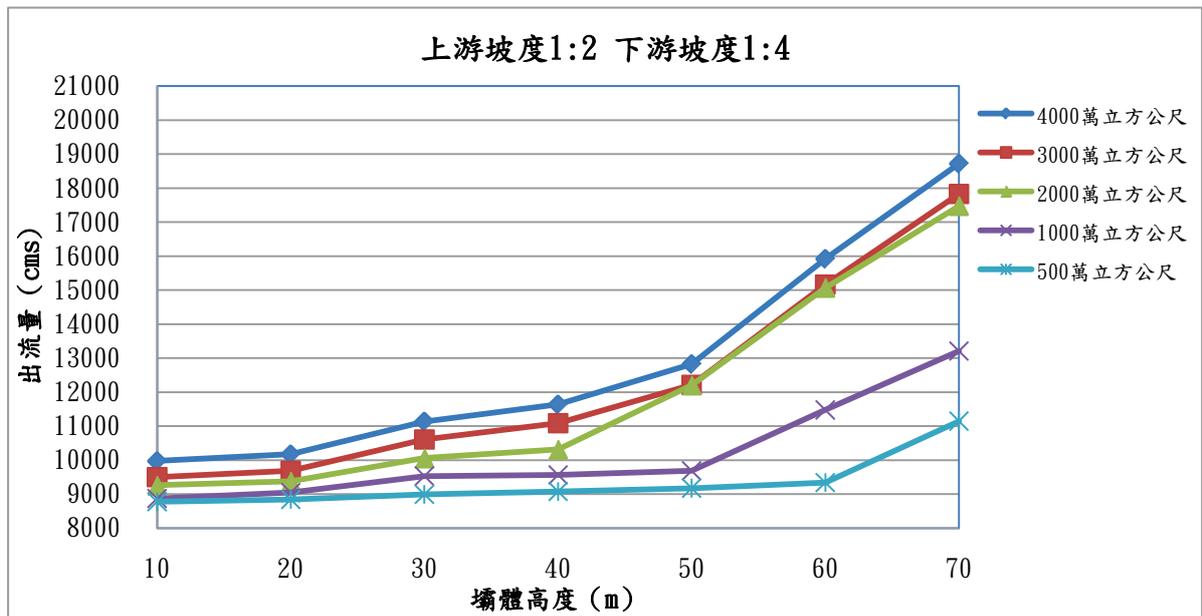


圖 D-12 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:4，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

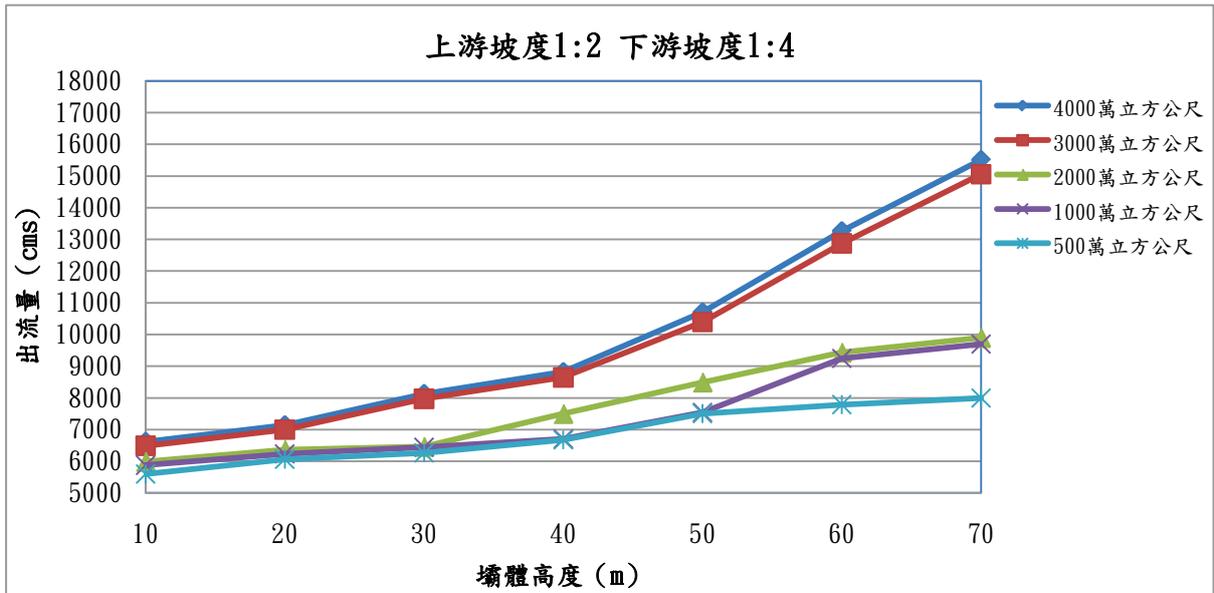


圖 D-13 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:4，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

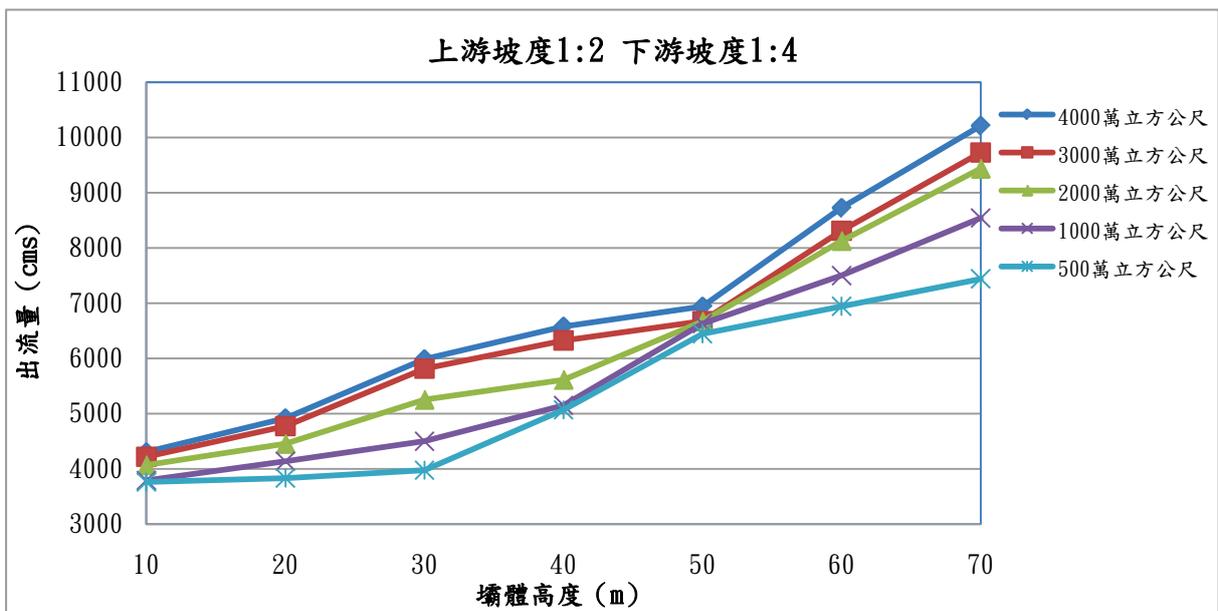


圖 D-14 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:4，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

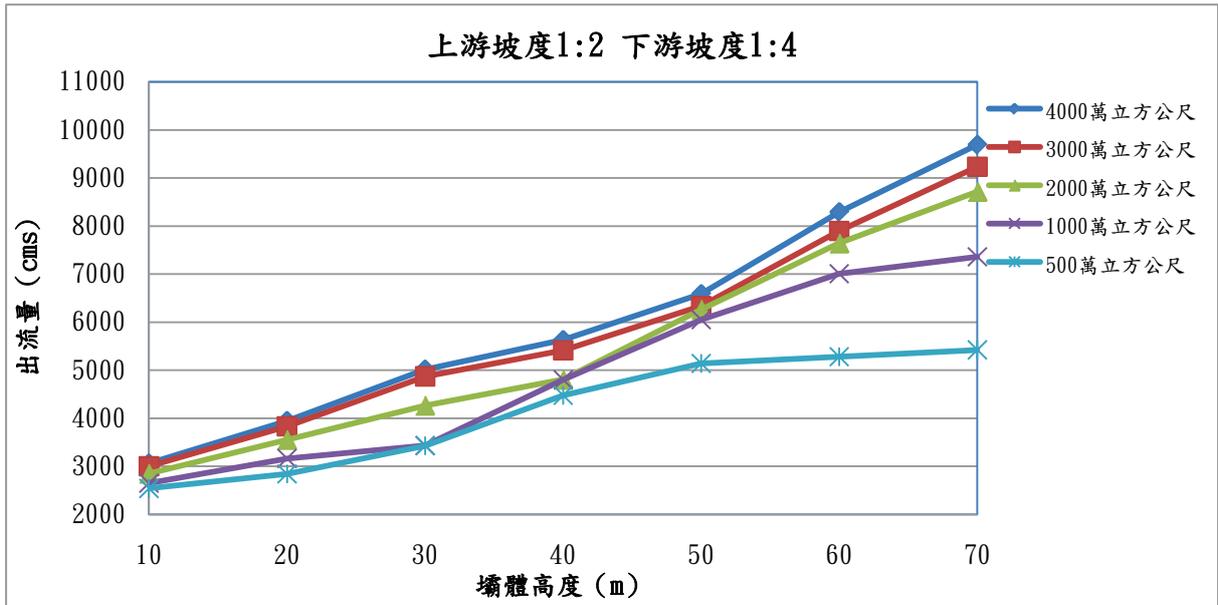


圖 D-15 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:4，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

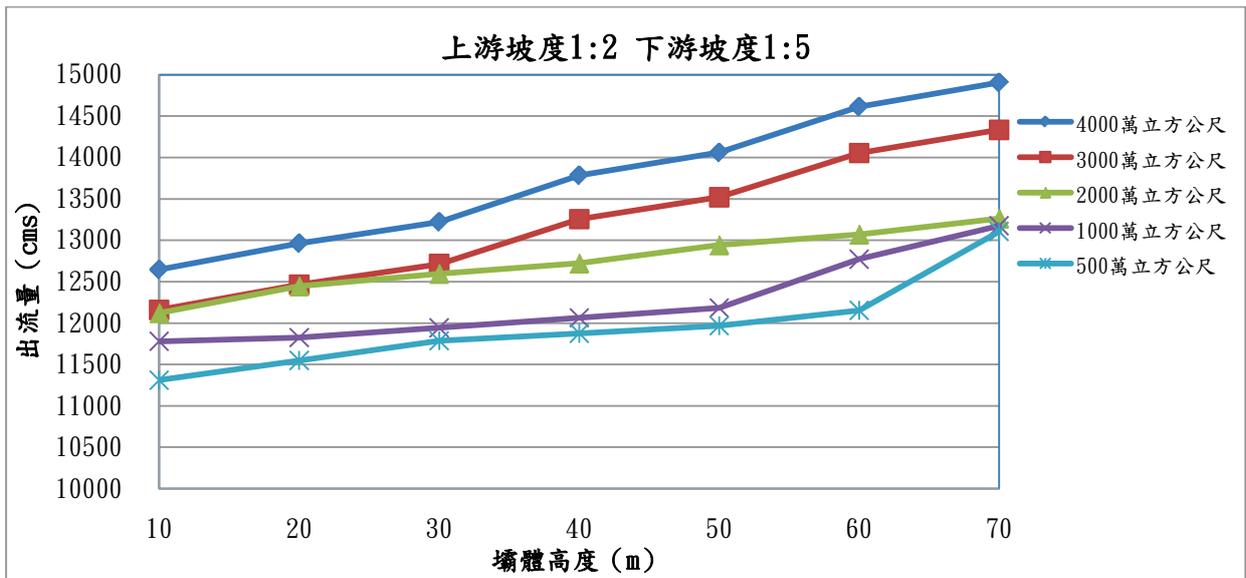


圖 D-16 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:5，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

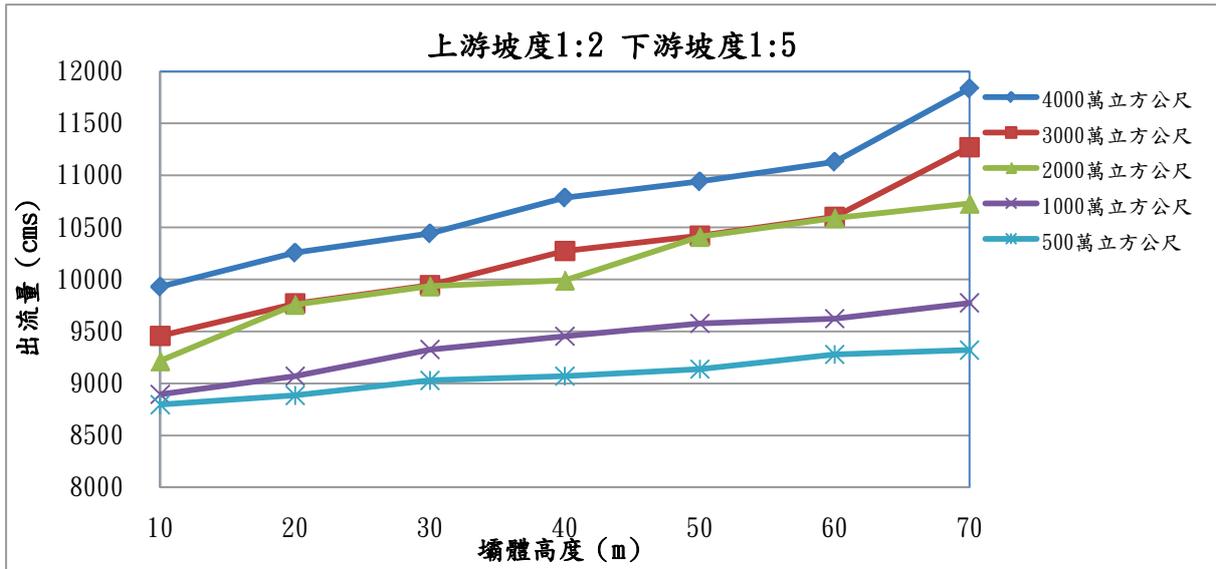


圖 D-17 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:5，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

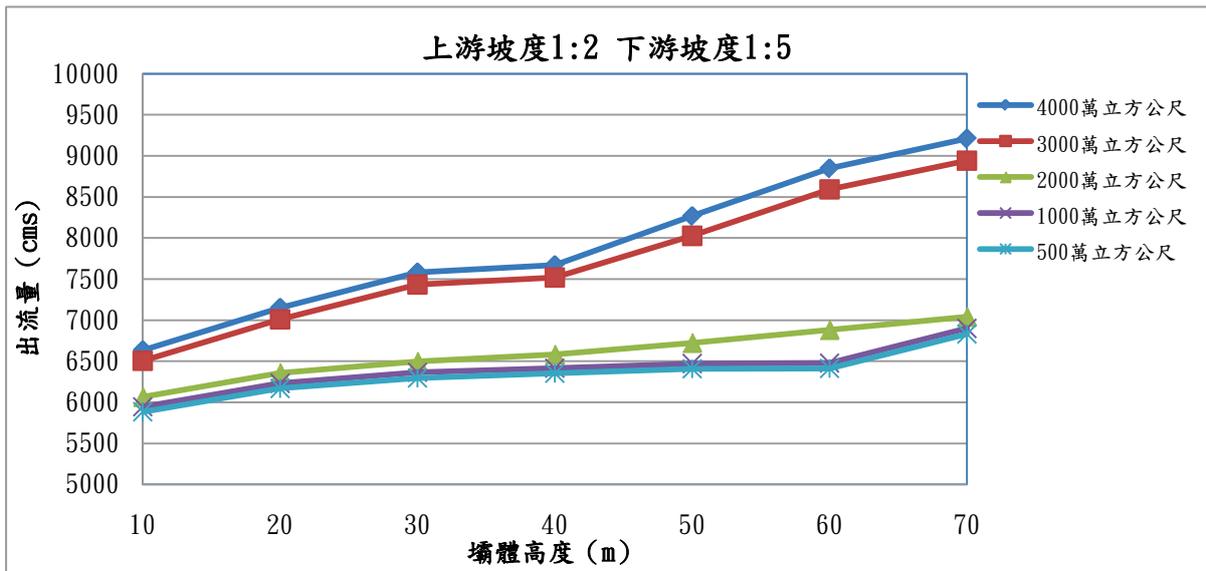


圖 D-18 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:5，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

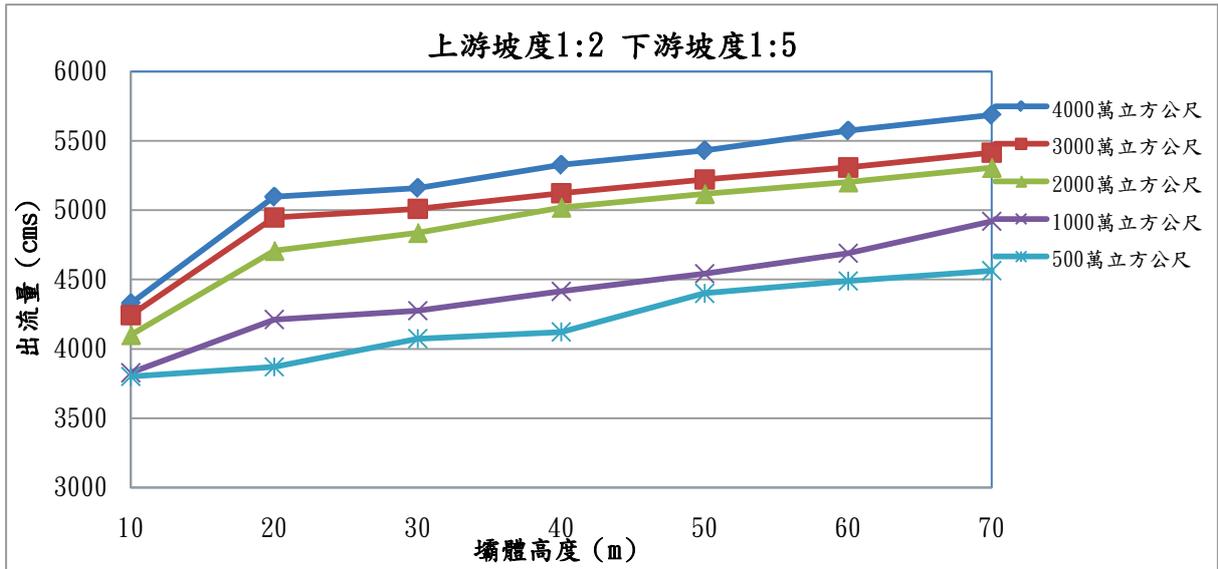


圖 D-19 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:5，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

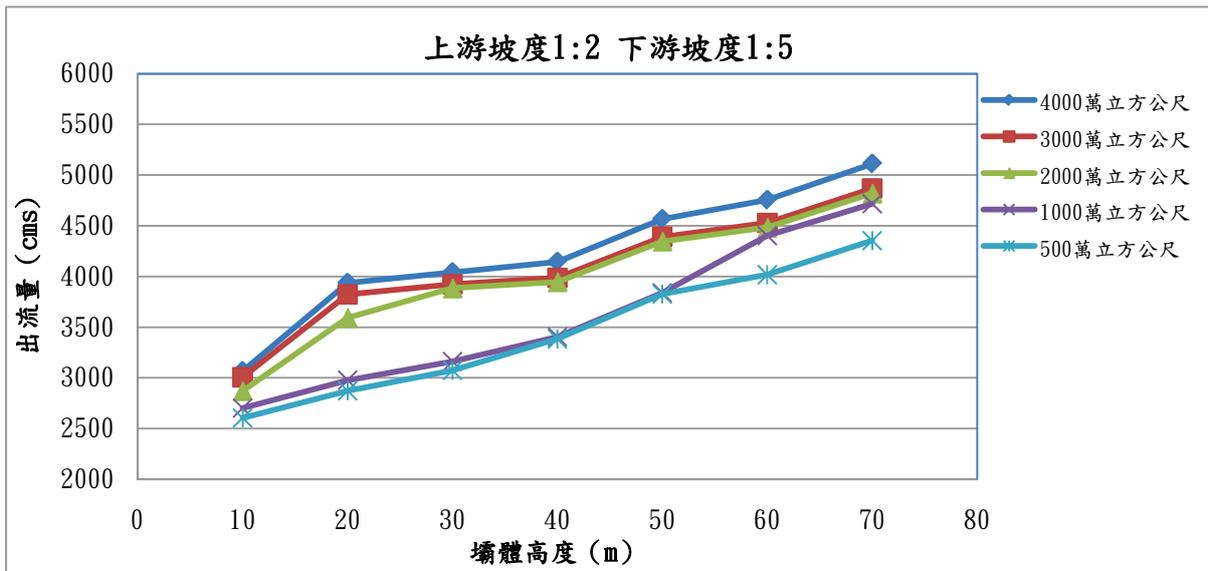


圖 D-20 壩體上游坡面 1:2、壩體下游坡面 1:5，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

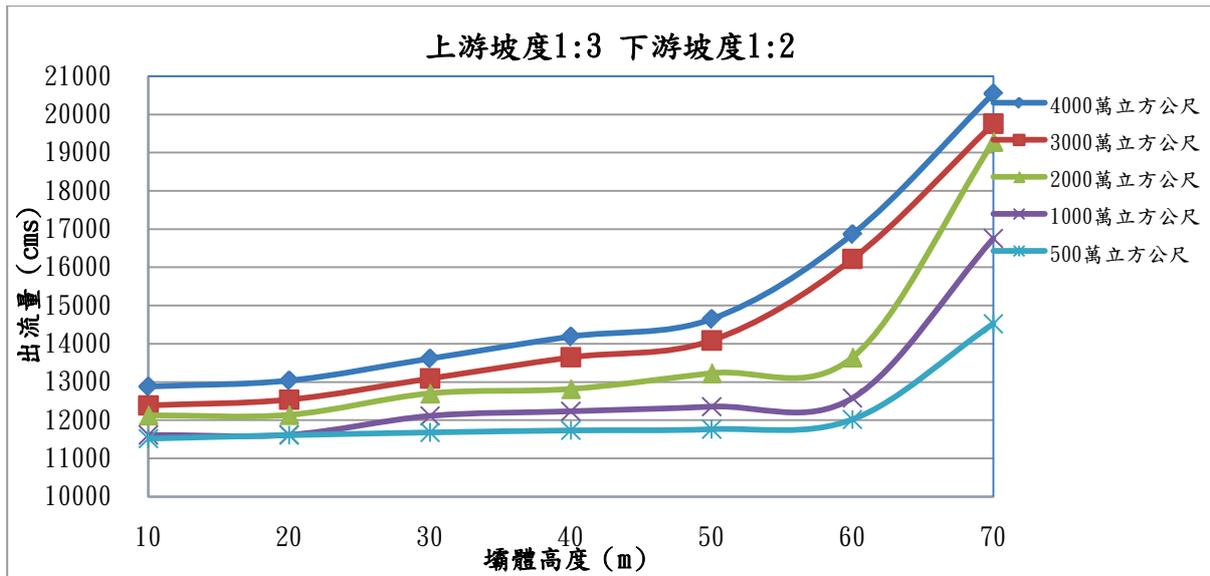


圖 D-21 上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:2，上游 10,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

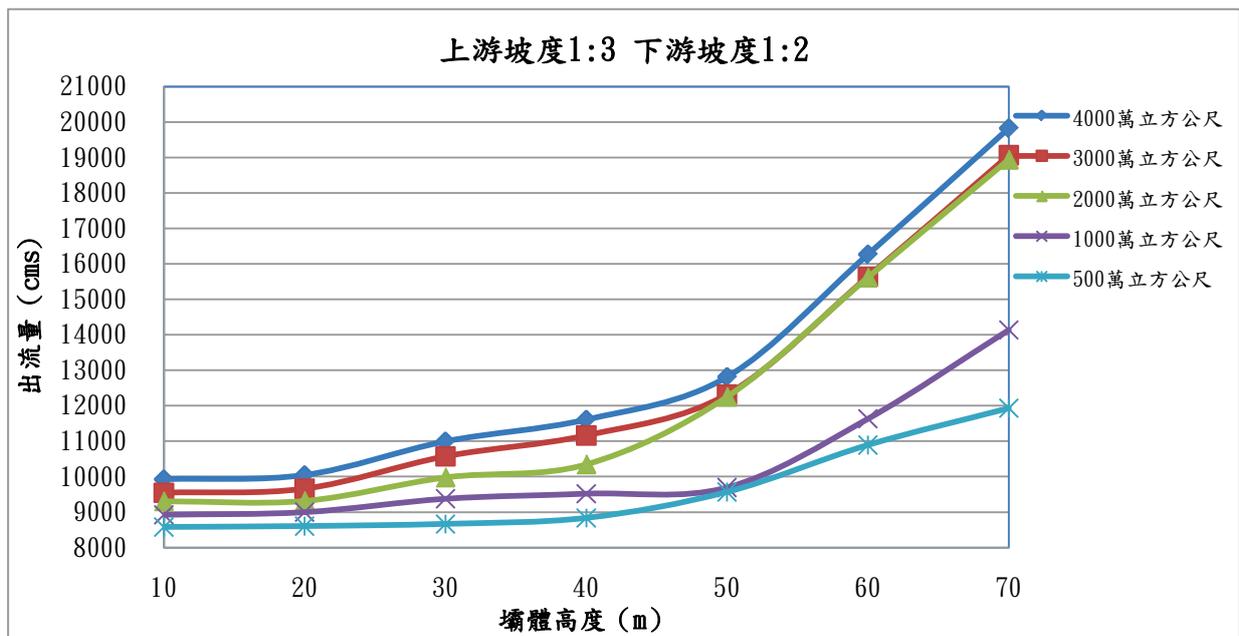


圖 D-22 上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:2，上游 7,500CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

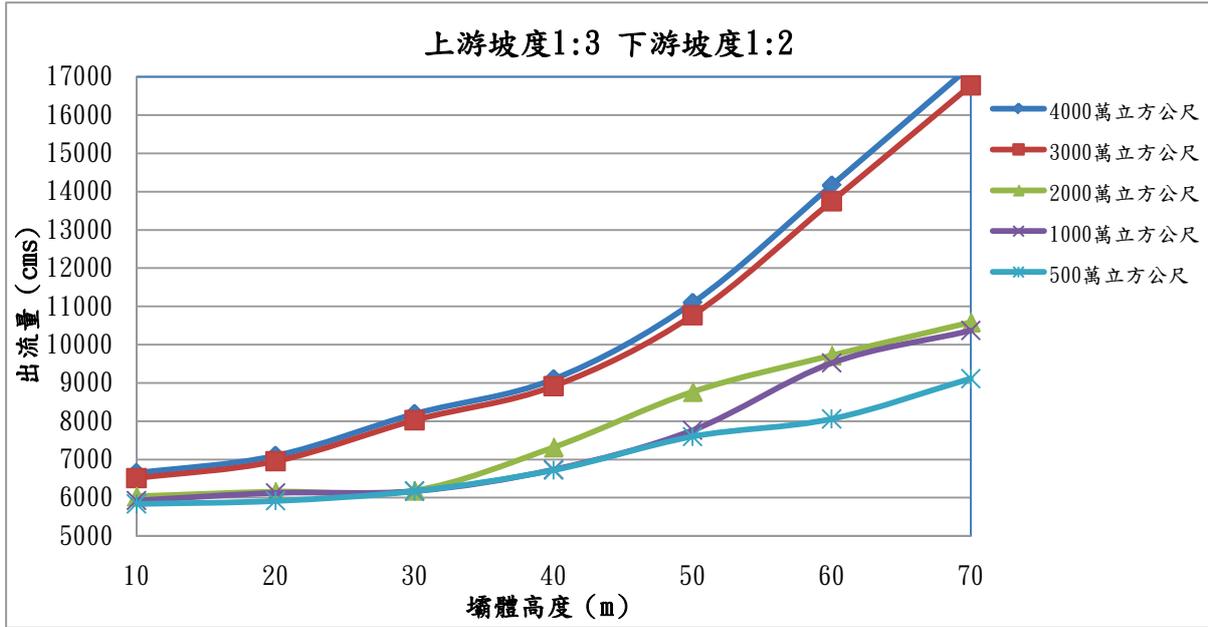


圖 D- 23 上游坡面 1 : 3、壩體下游坡面 1 : 2，上游 5,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

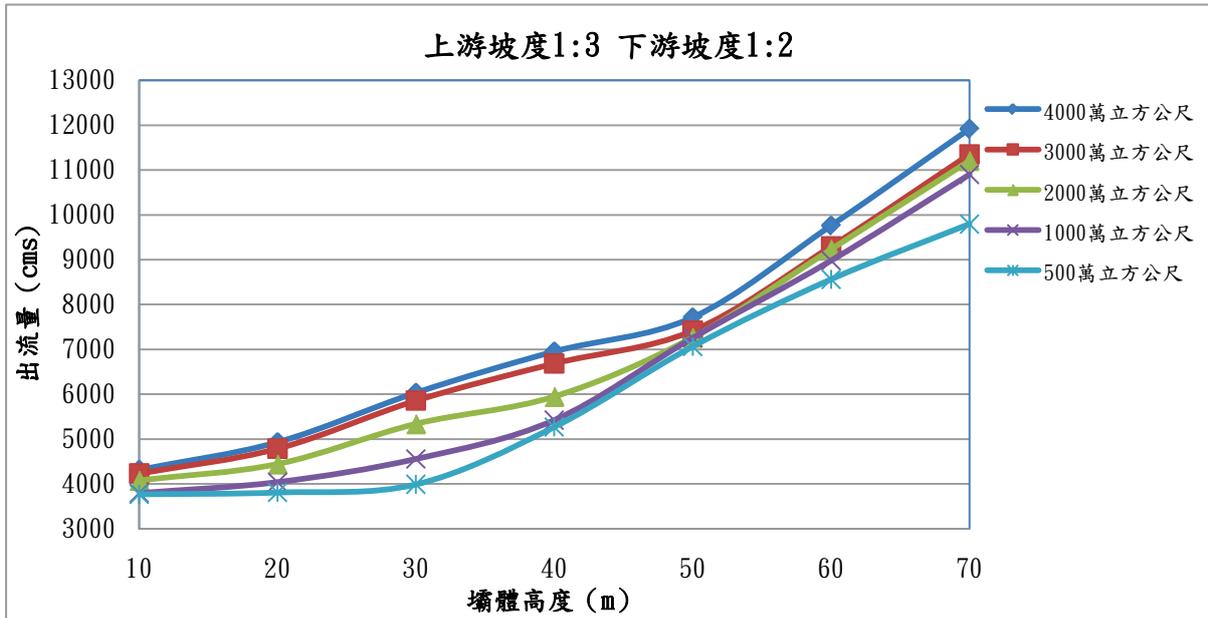


圖 D- 24 上游坡面 1 : 3、壩體下游坡面 1 : 2，上游 3,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

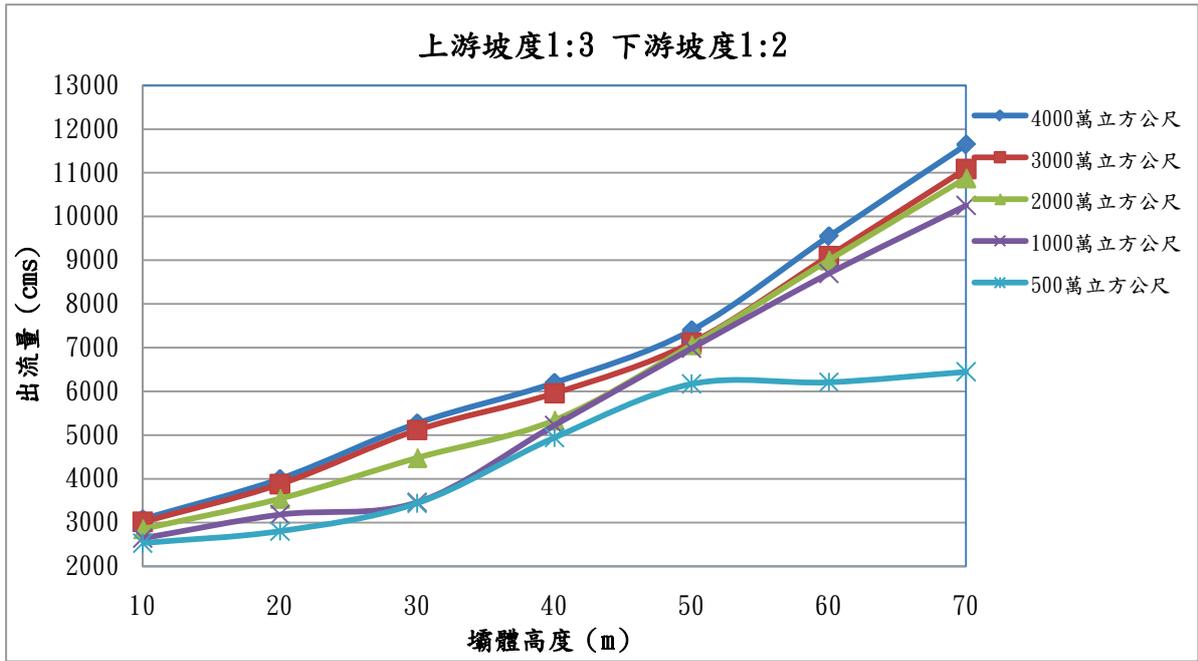


圖 D-25 上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:2，上游 2,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

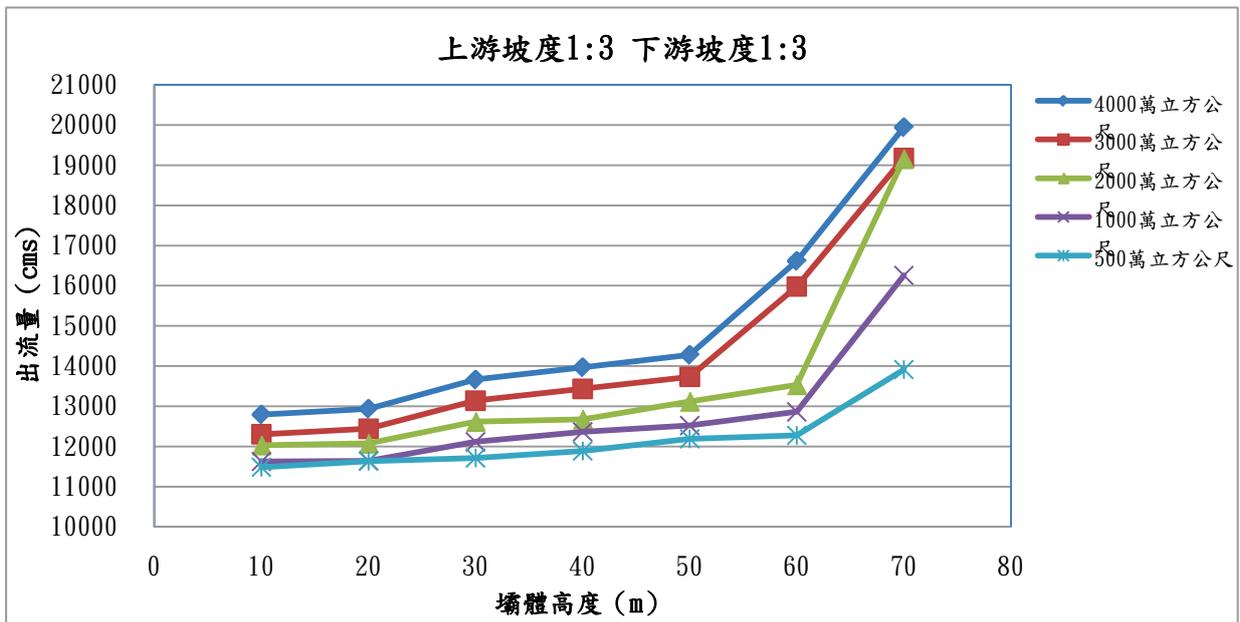


圖 D-26 堰塞湖壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:3，上游 10,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

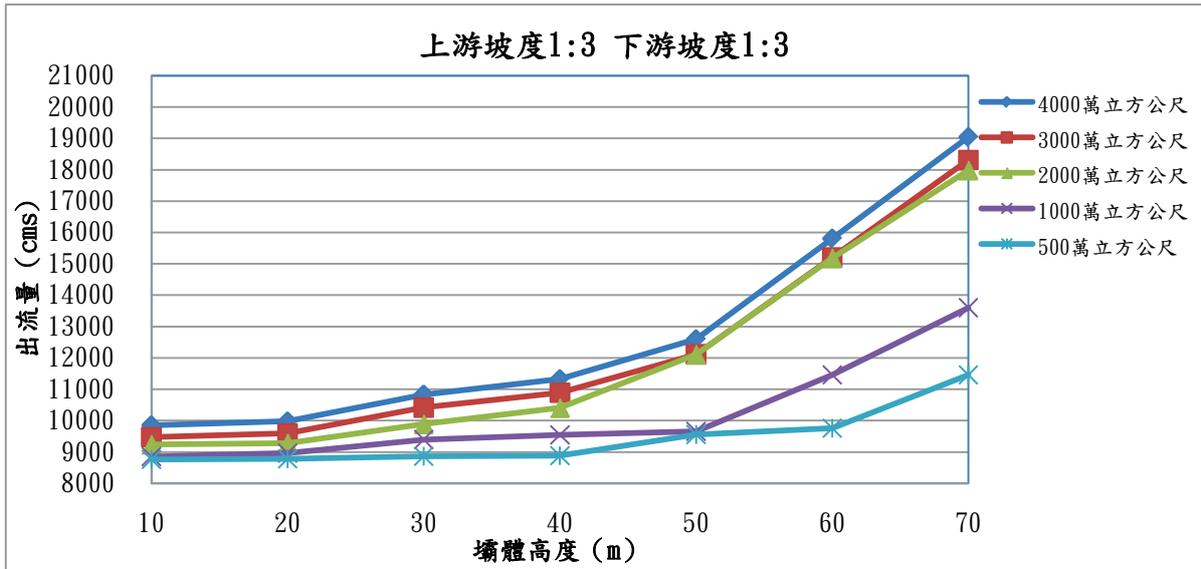


圖 D-27 堰塞湖壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:3，上游 7,500CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

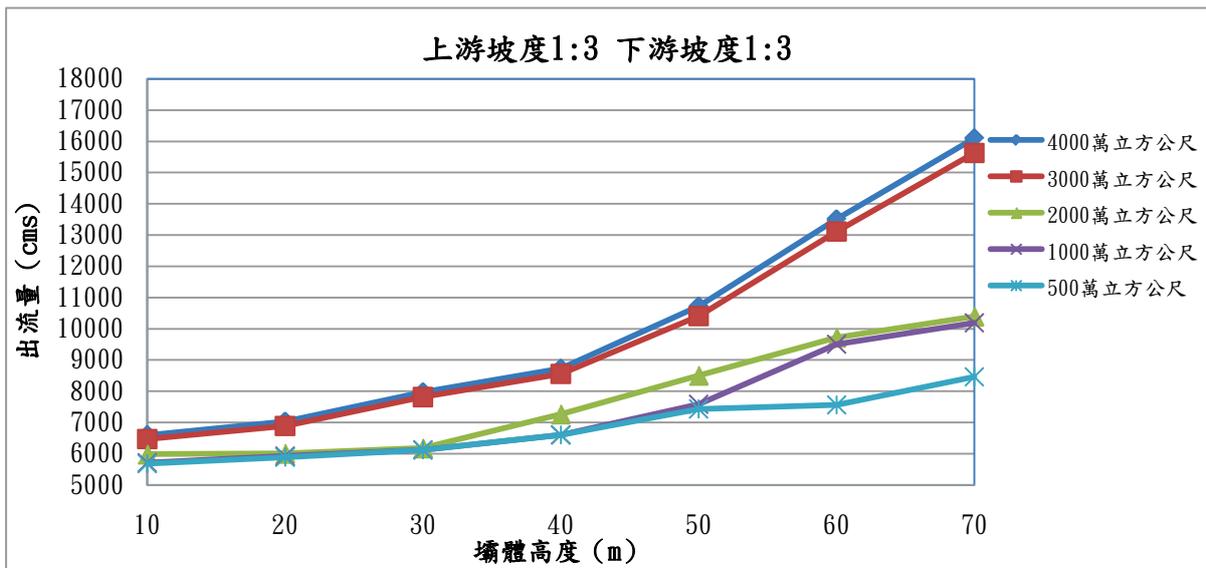


圖 D-28 堰塞湖壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:3，上游 5,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

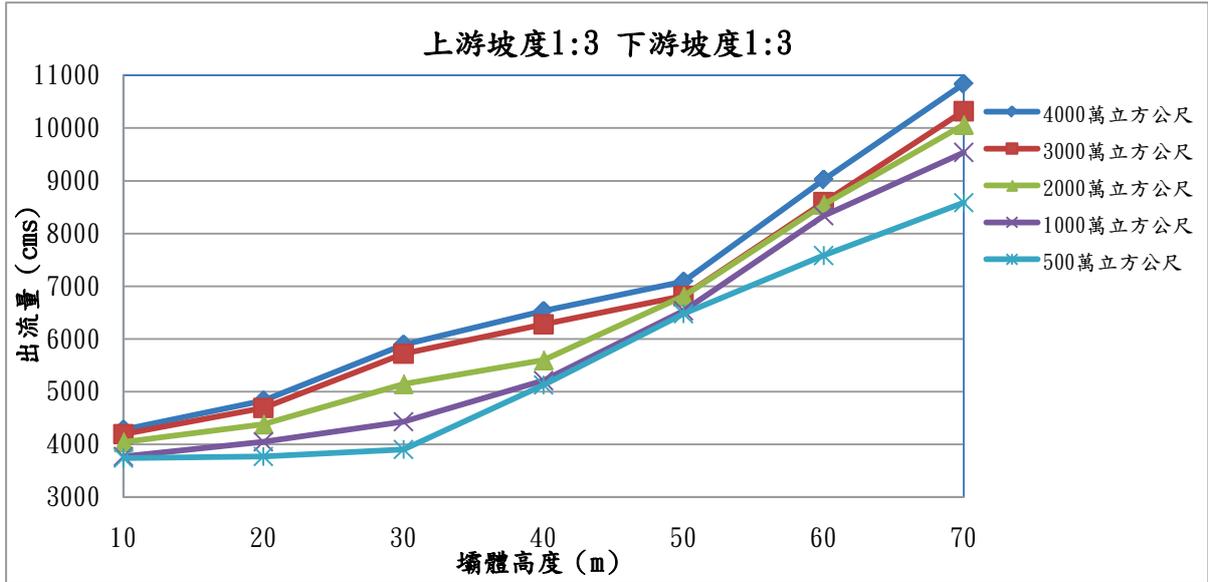


圖 D-29 堰塞湖壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:3，上游 3,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

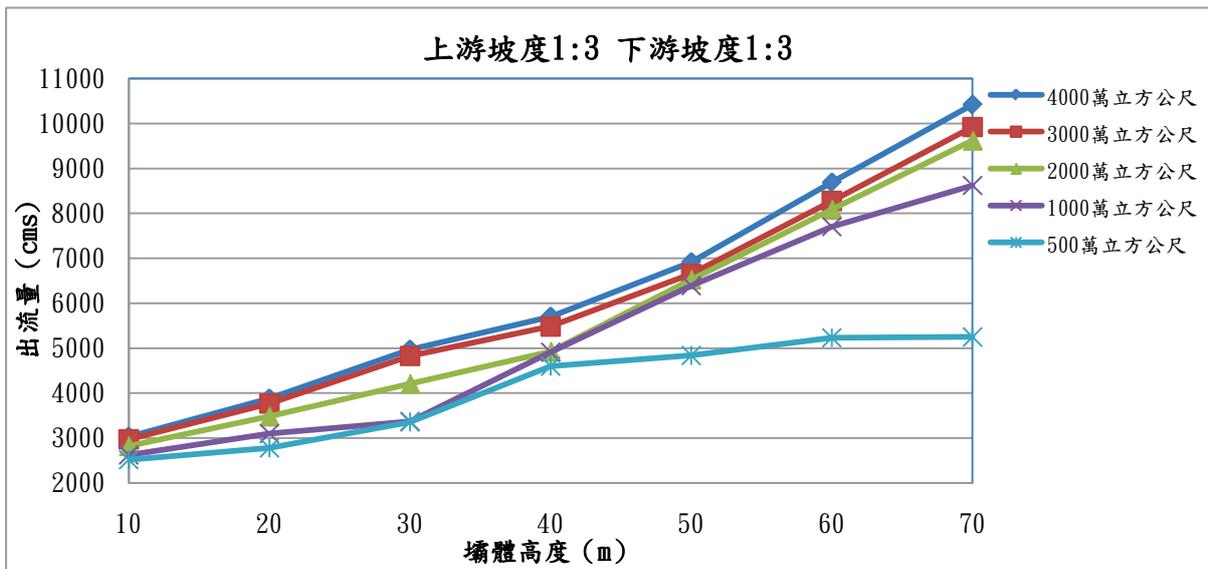


圖 D-30 堰塞湖壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:3，上游 2,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

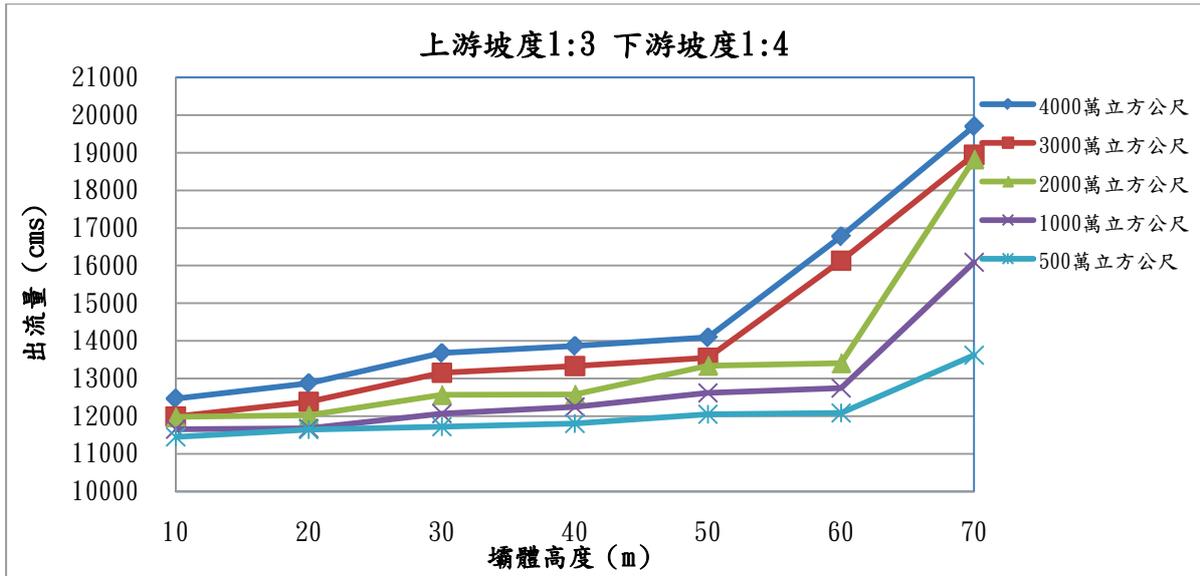


圖 D- 31 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:4，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

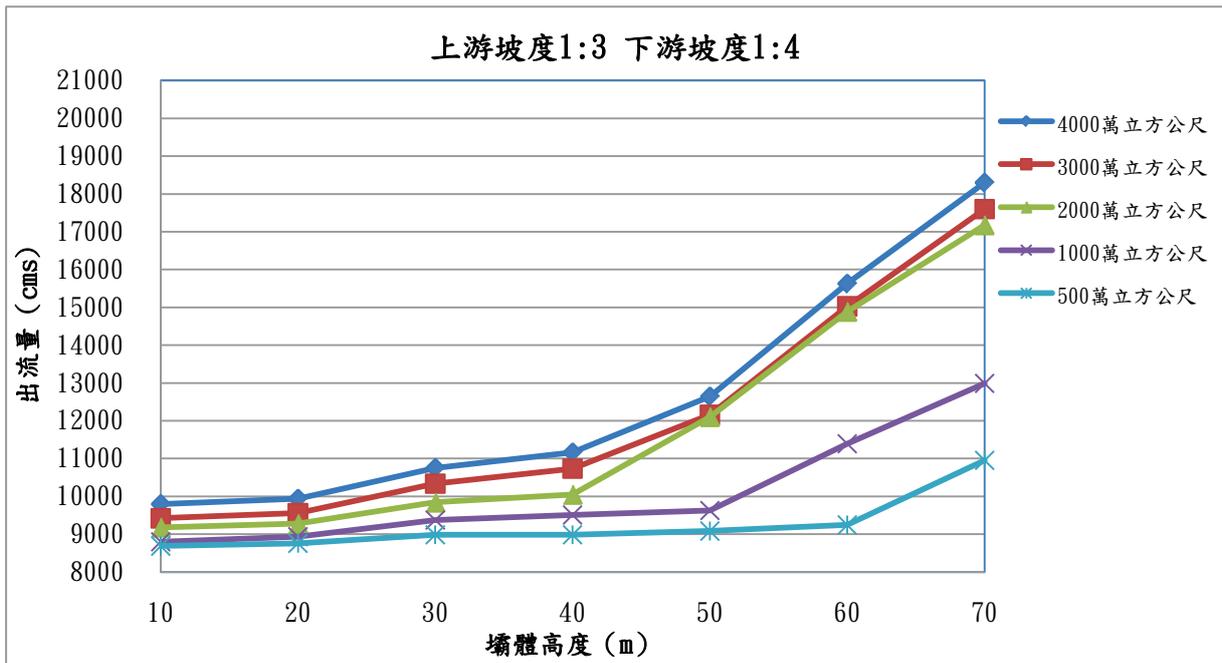


圖 D- 32 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:4，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

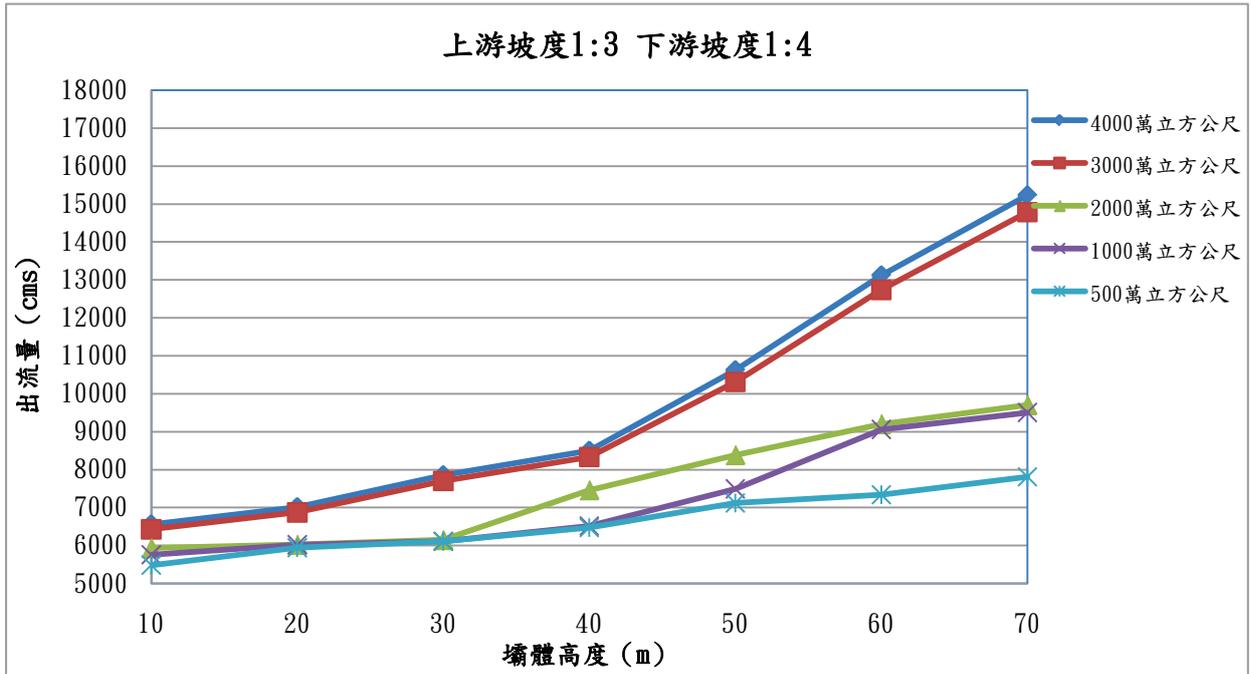


圖 D-33 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:4，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

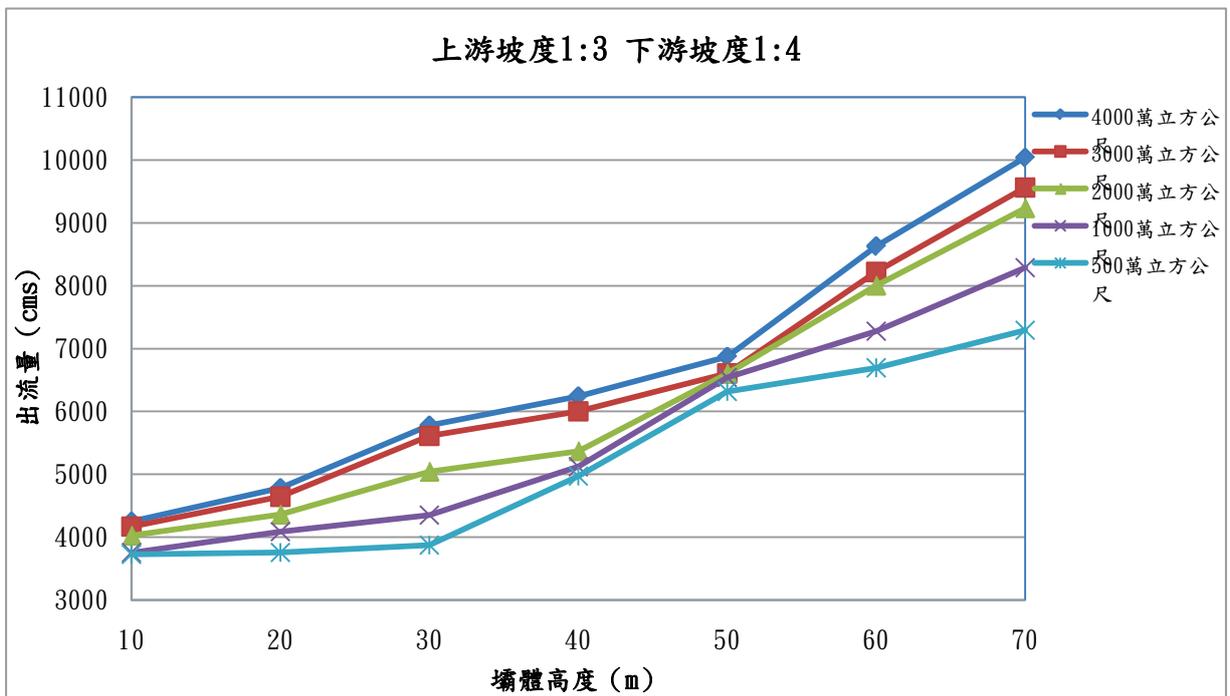


圖 D-34 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:4，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

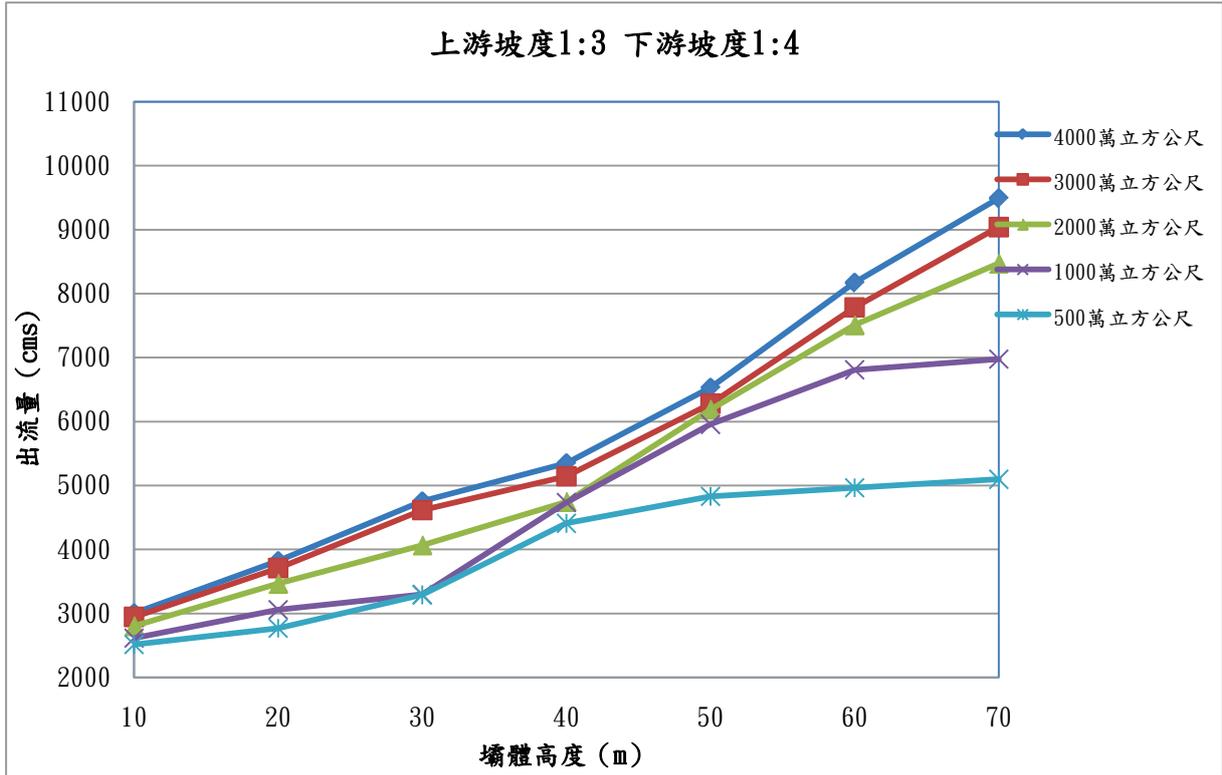


圖 D-35 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:4，上游 2,000CMS
入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

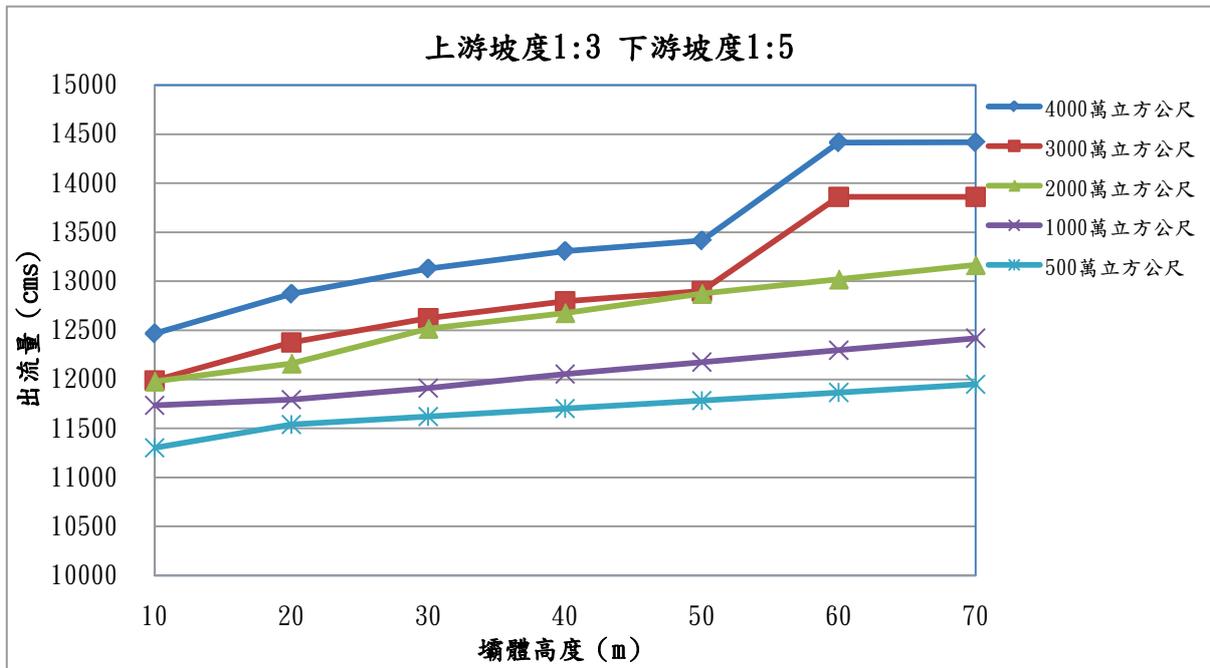


圖 D-36 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:5，上游 10,000CMS
入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

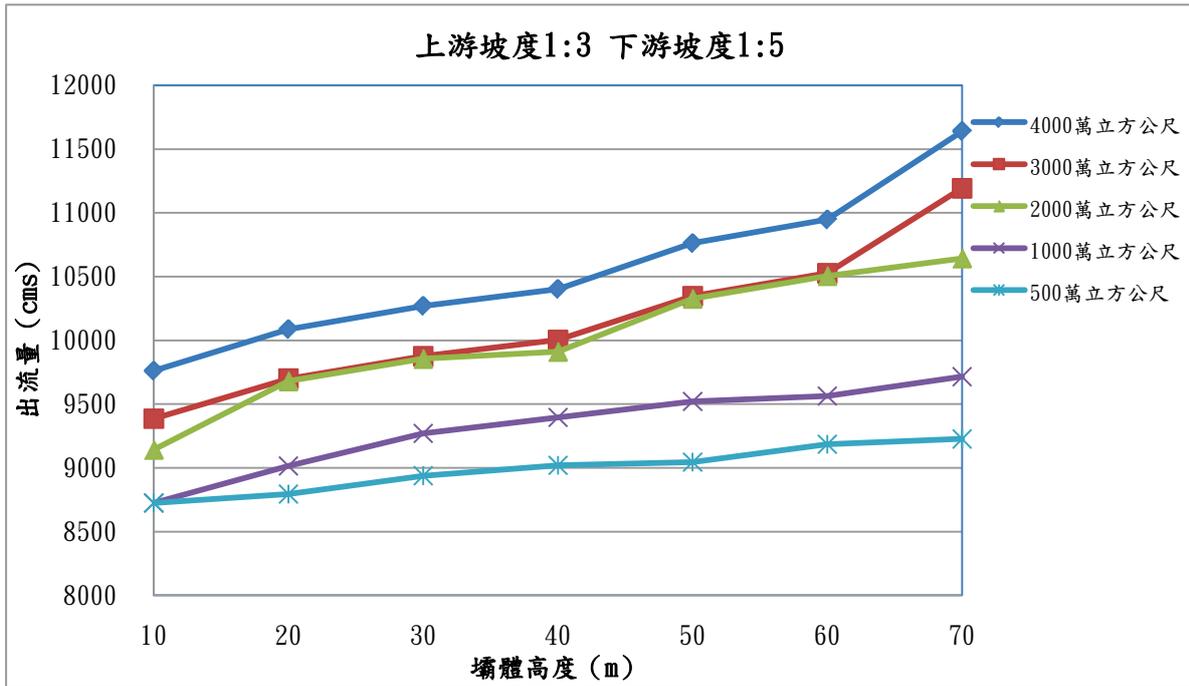


圖 D- 37 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:5，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

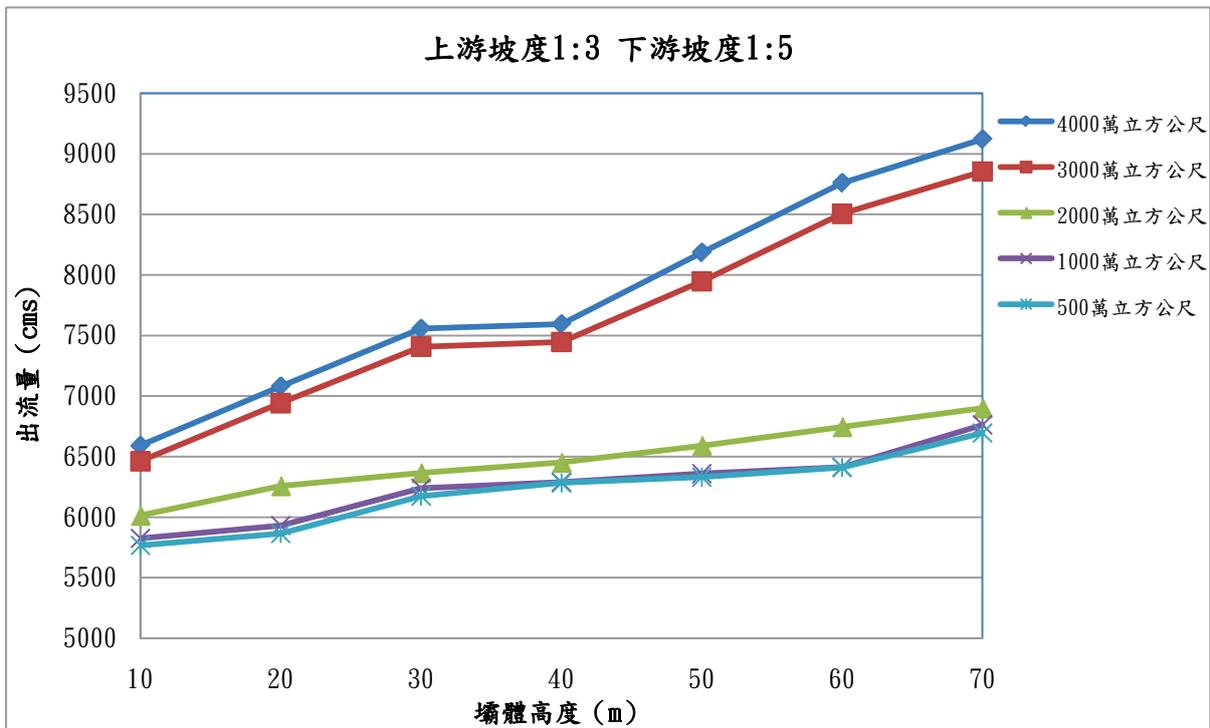


圖 D- 38 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:5，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

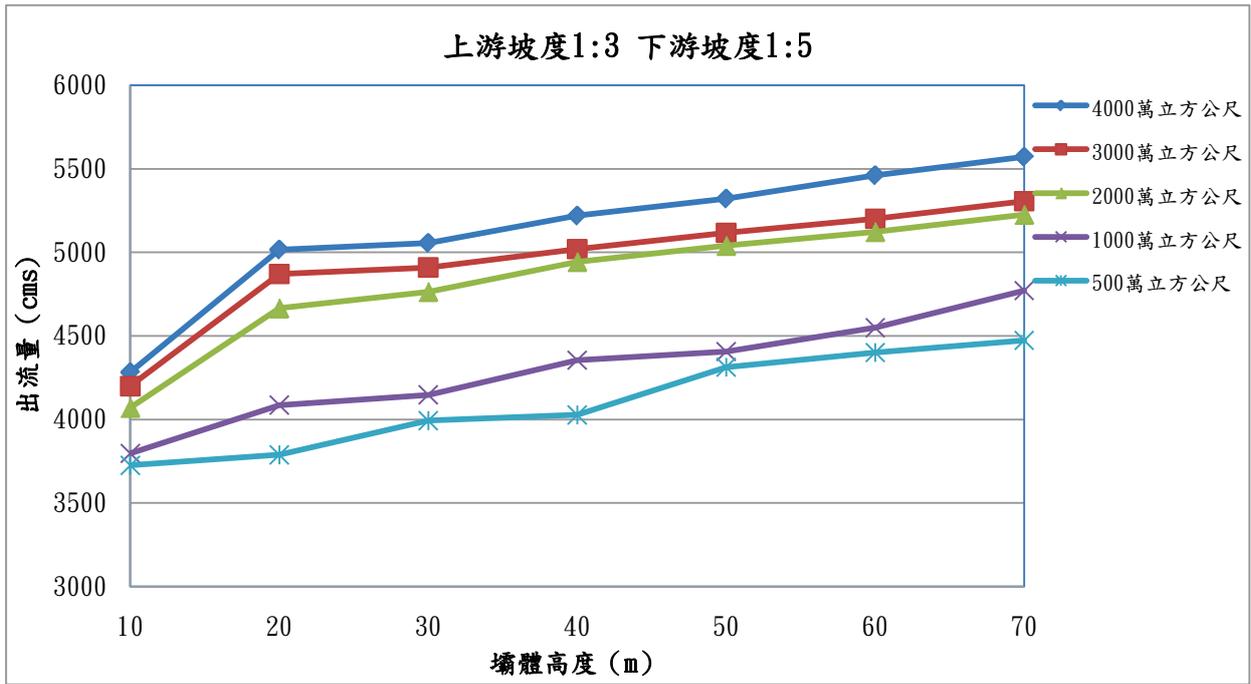


圖 D- 39 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:5，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

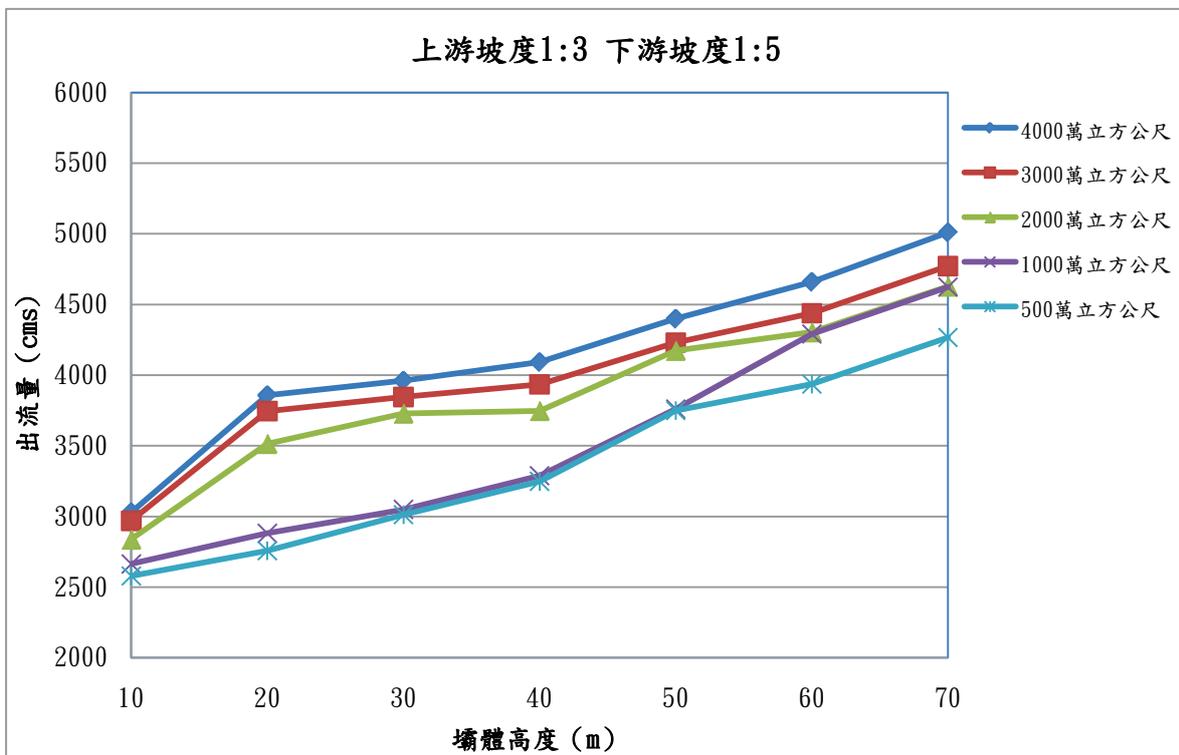


圖 D- 40 壩體上游坡面 1:3、壩體下游坡面 1:5，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

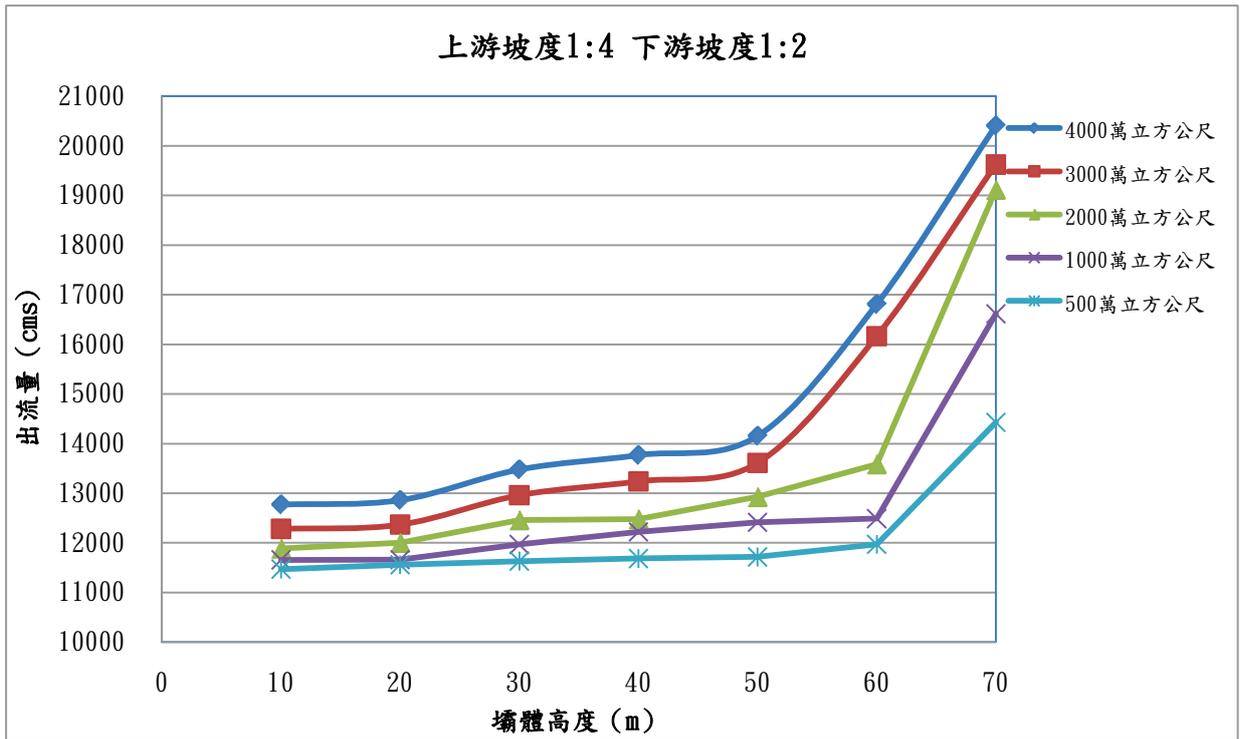


圖 D-41 上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:2，上游 10,000CMS

入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

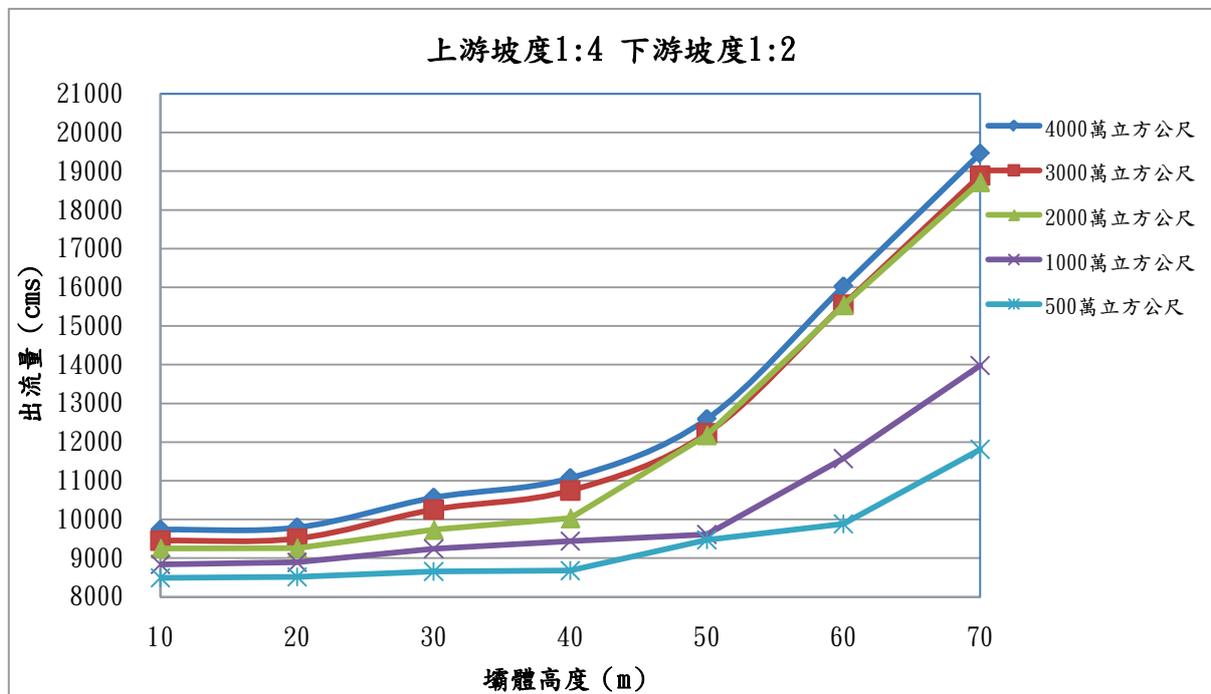


圖 D-42 上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:2，上游 7,500CMS 入

流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

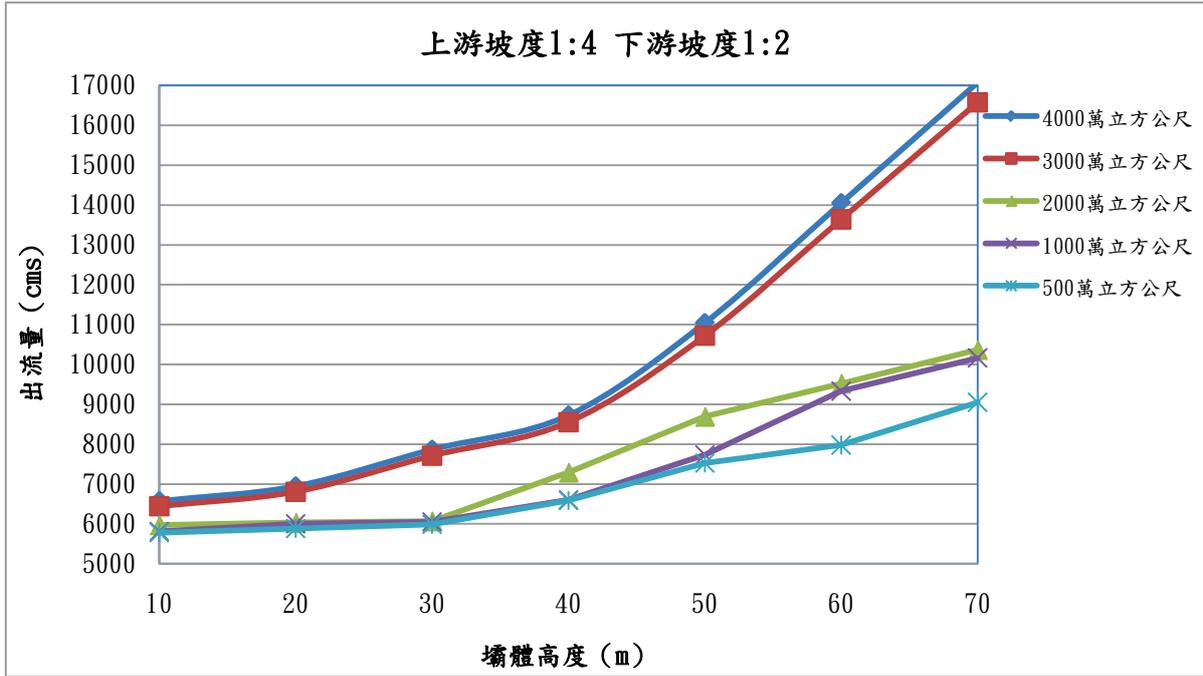


圖 D- 43 上游坡面 1 : 4、壩體下游坡面 1 : 2，上游 5,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

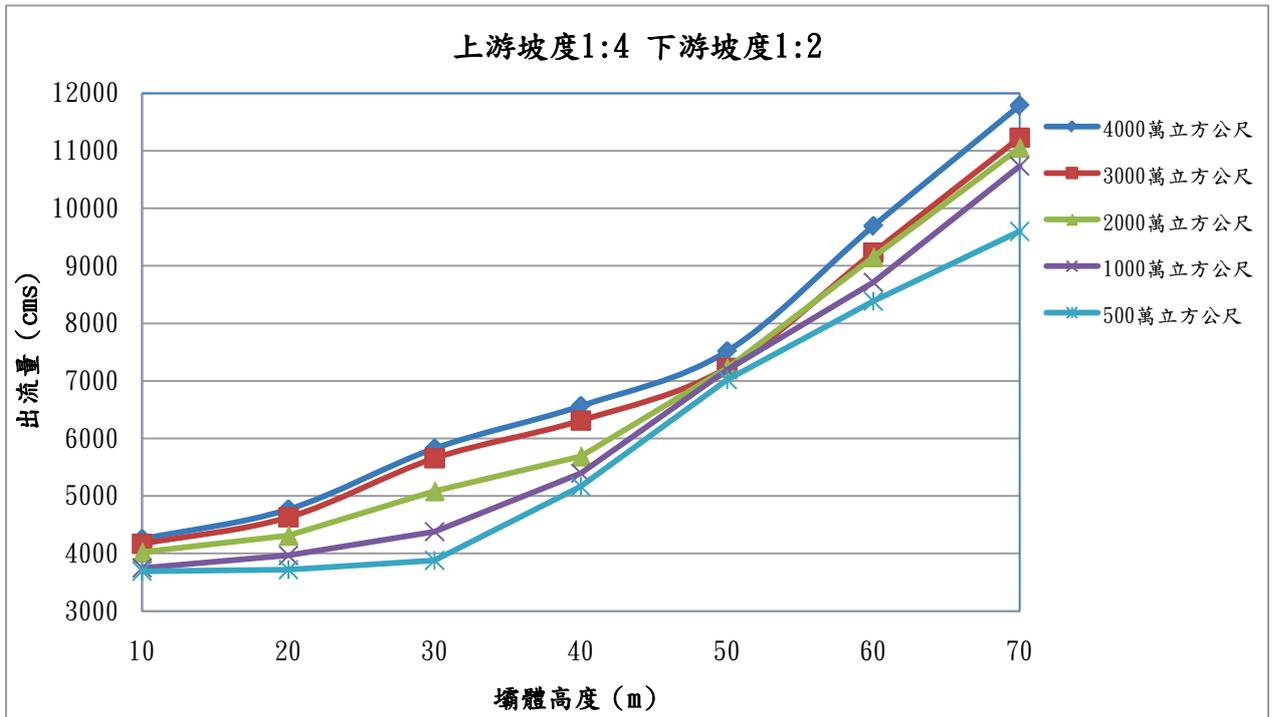


圖 D- 44 上游坡面 1 : 4、壩體下游坡面 1 : 2，上游 3,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

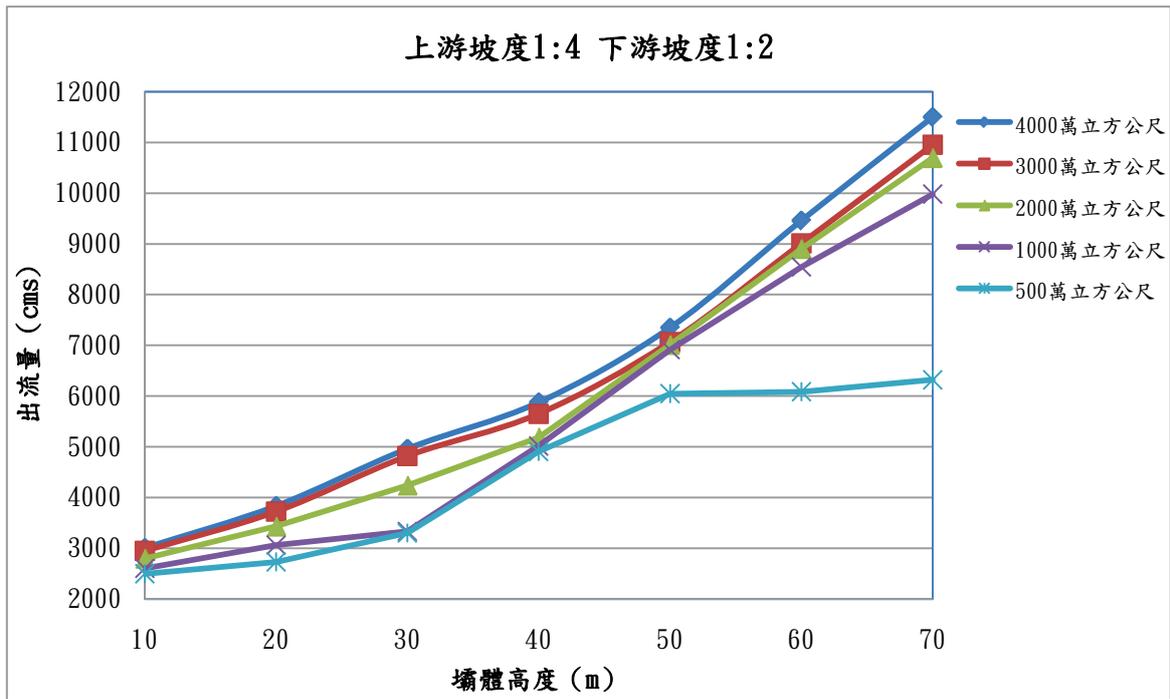


圖 D-45 上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:2，上游 2,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

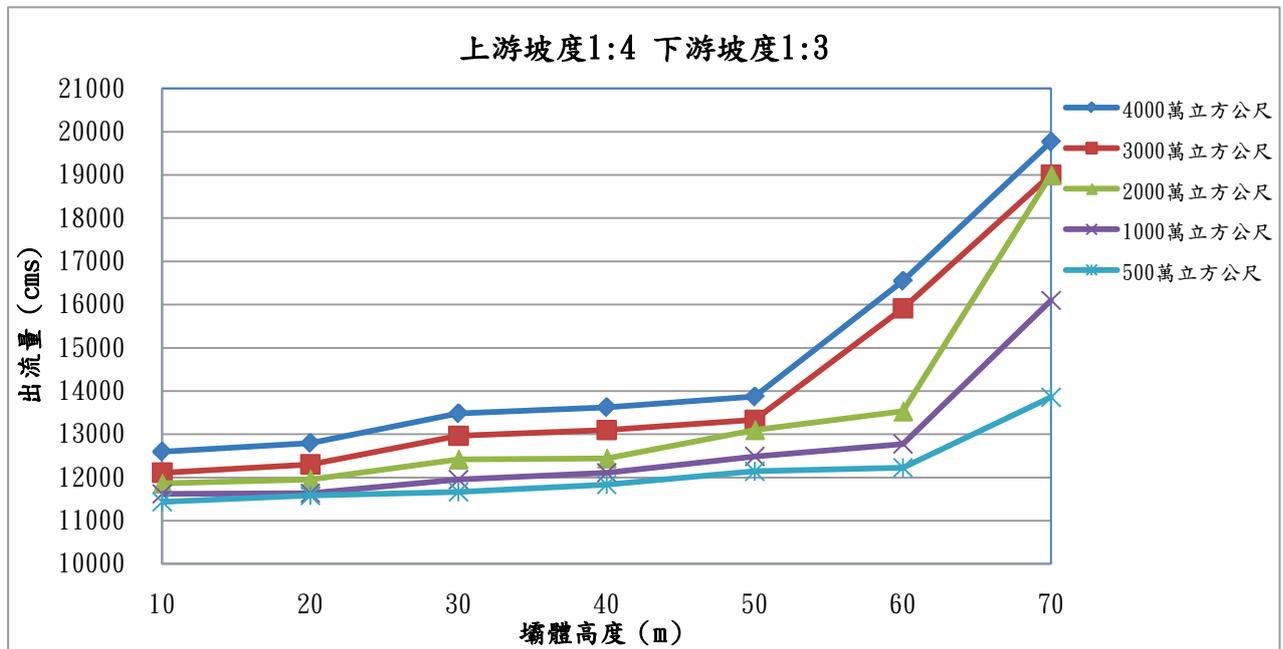


圖 D-46 堰塞湖壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:3，上游 10,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

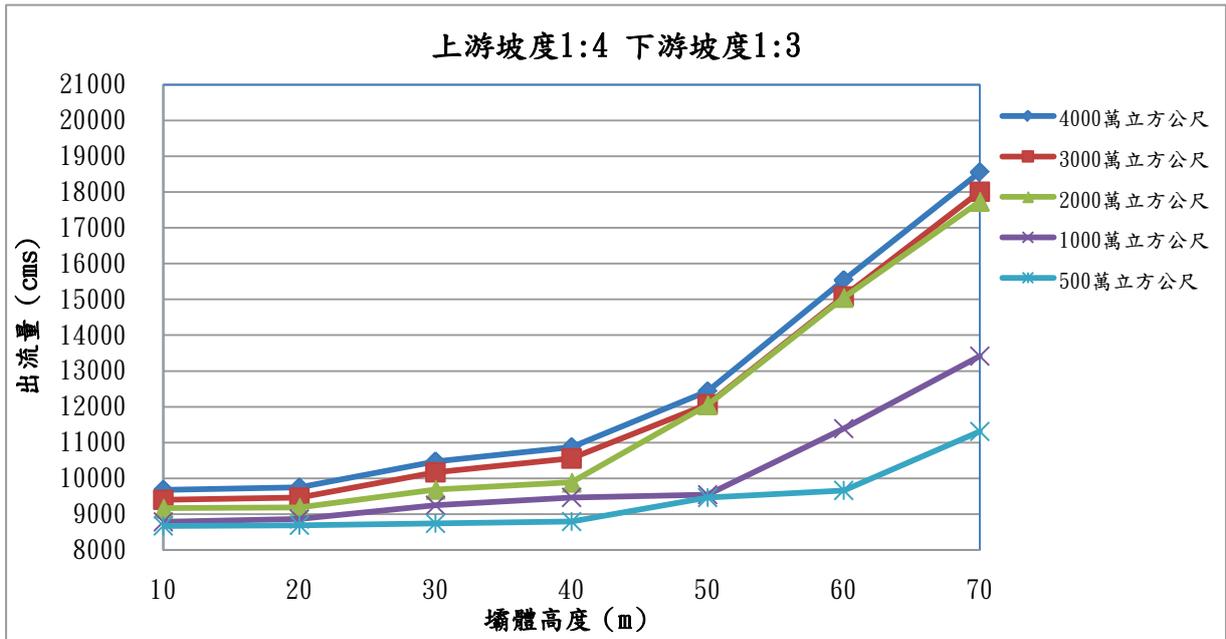


圖 D-47 堰塞湖壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:3，上游 7,500CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

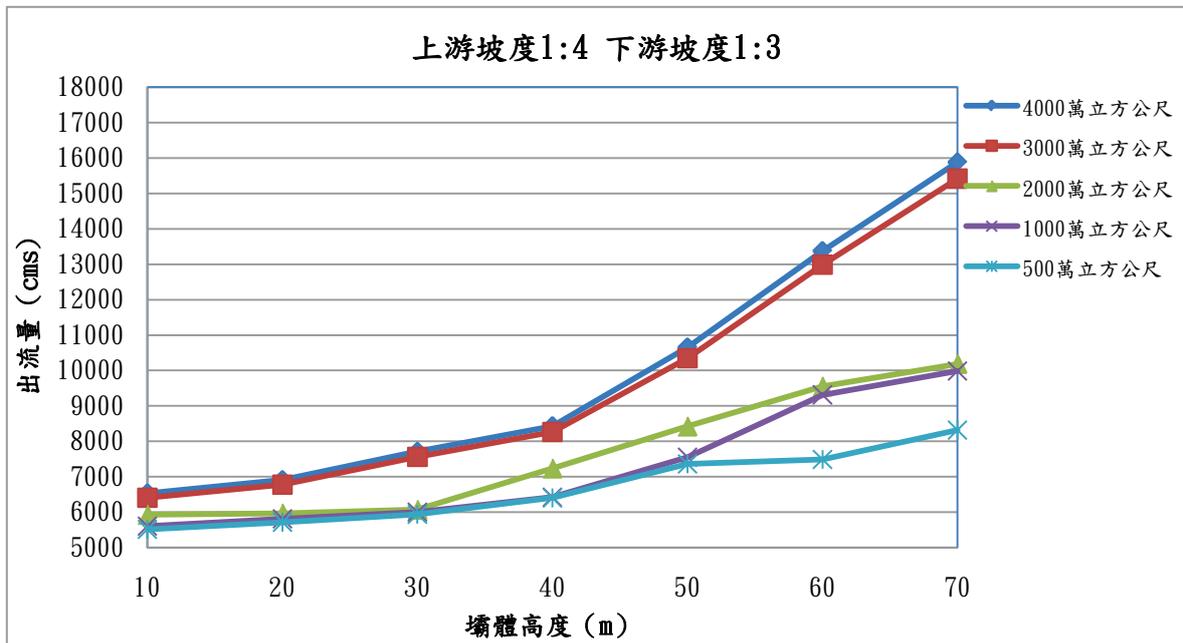


圖 D-48 堰塞湖壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:3，上游 5,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

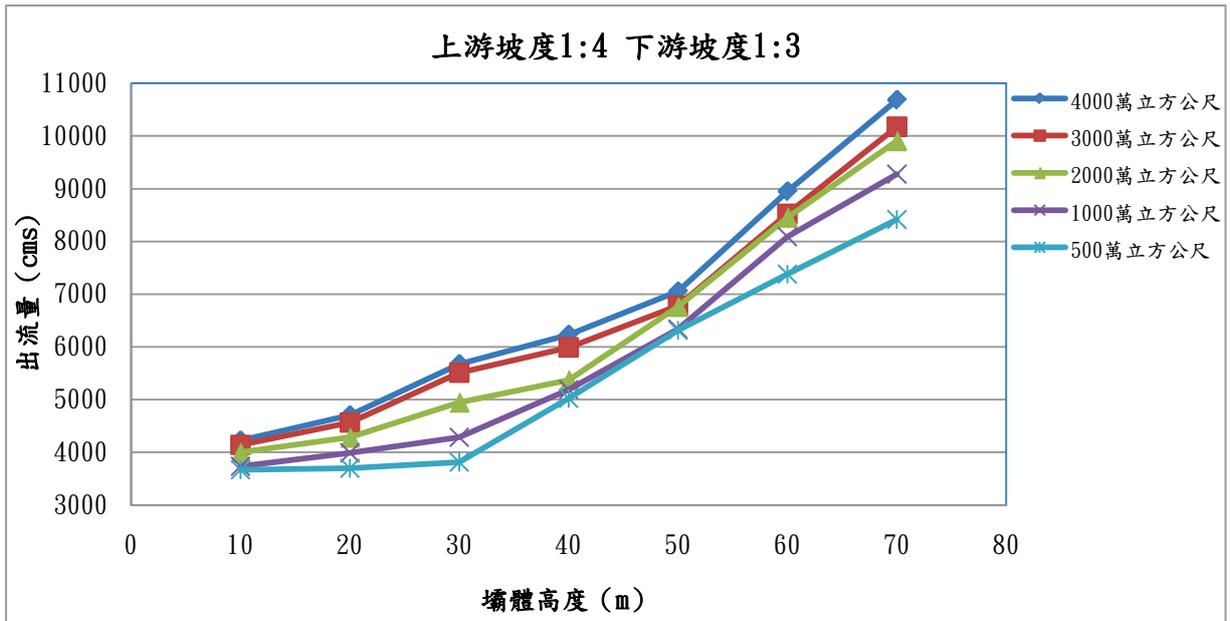


圖 D-49 堰塞湖壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:3，上游 3,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

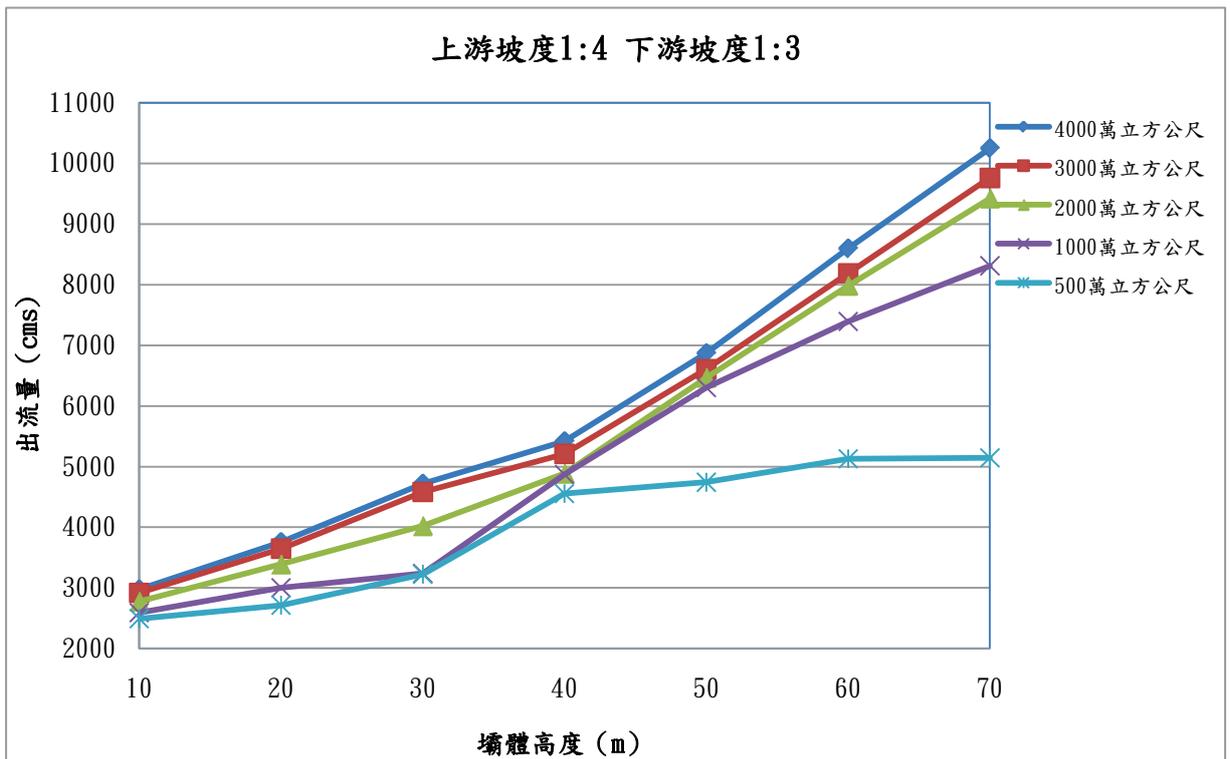


圖 D-50 堰塞湖壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:3，上游 2,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

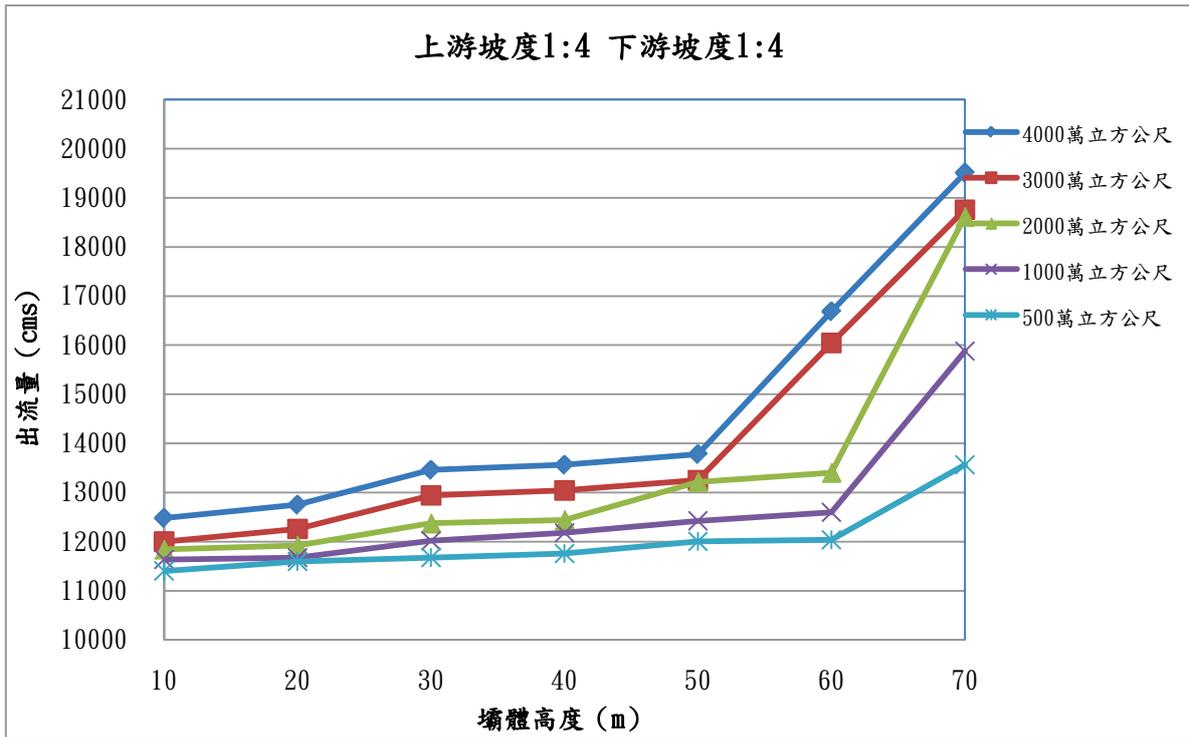


圖 D- 51 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

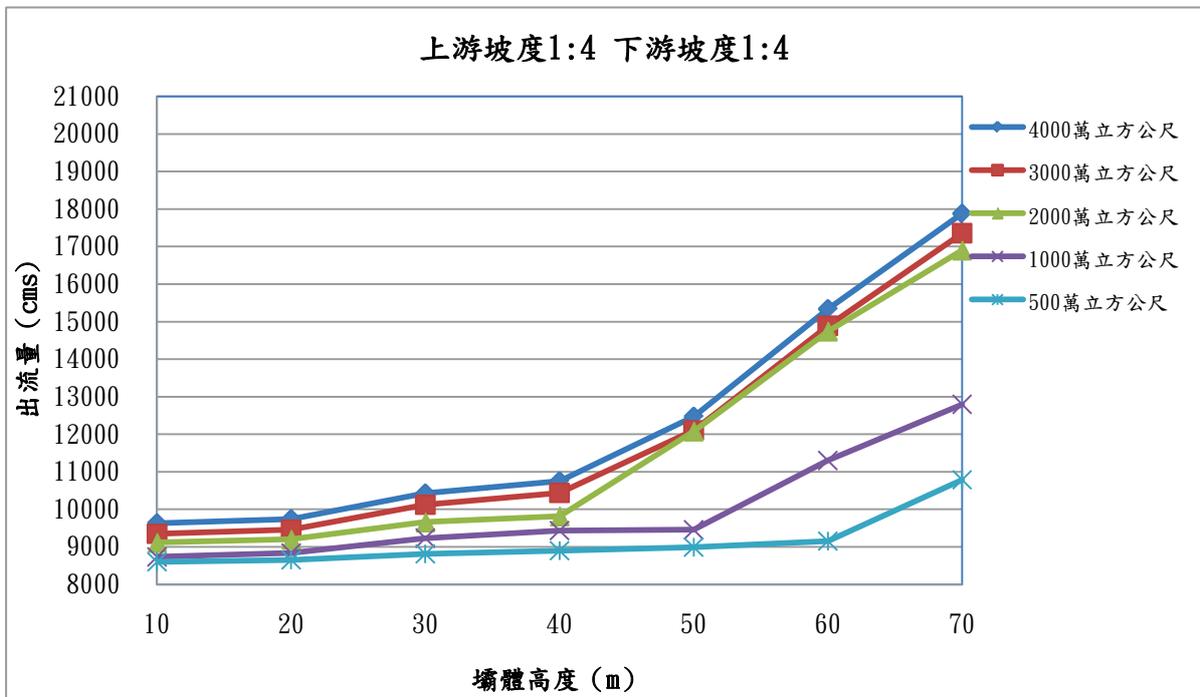


圖 D- 52 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

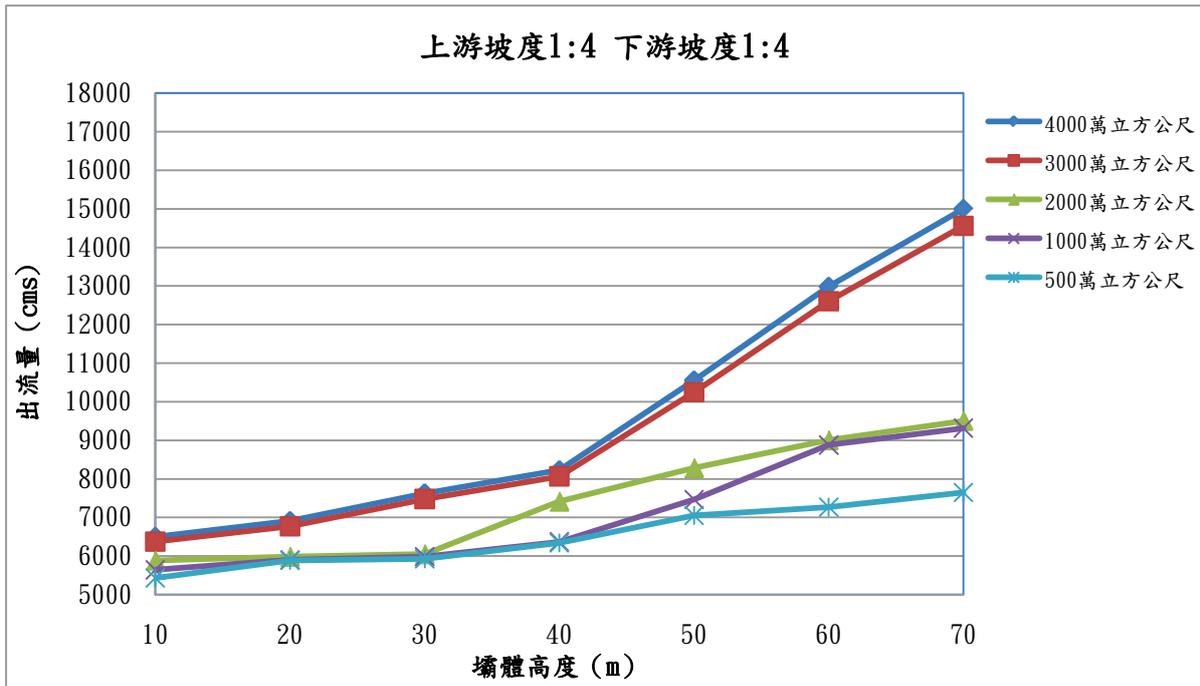


圖 D- 53 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

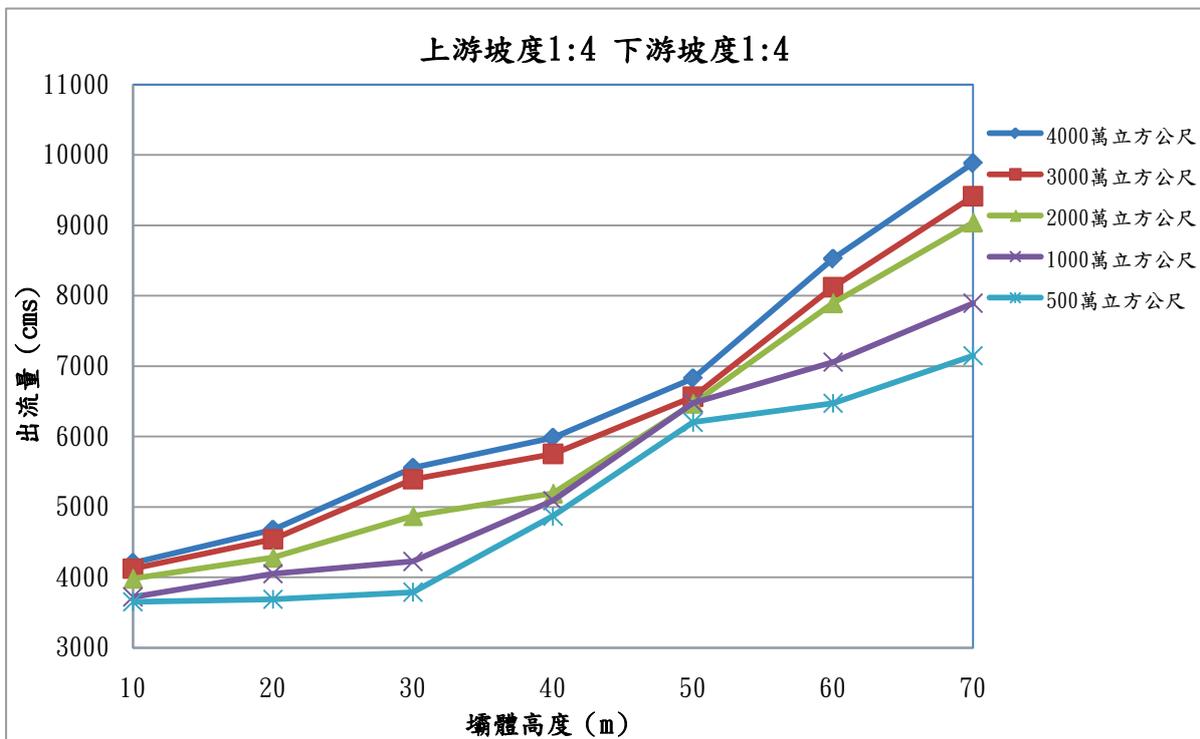


圖 D- 54 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

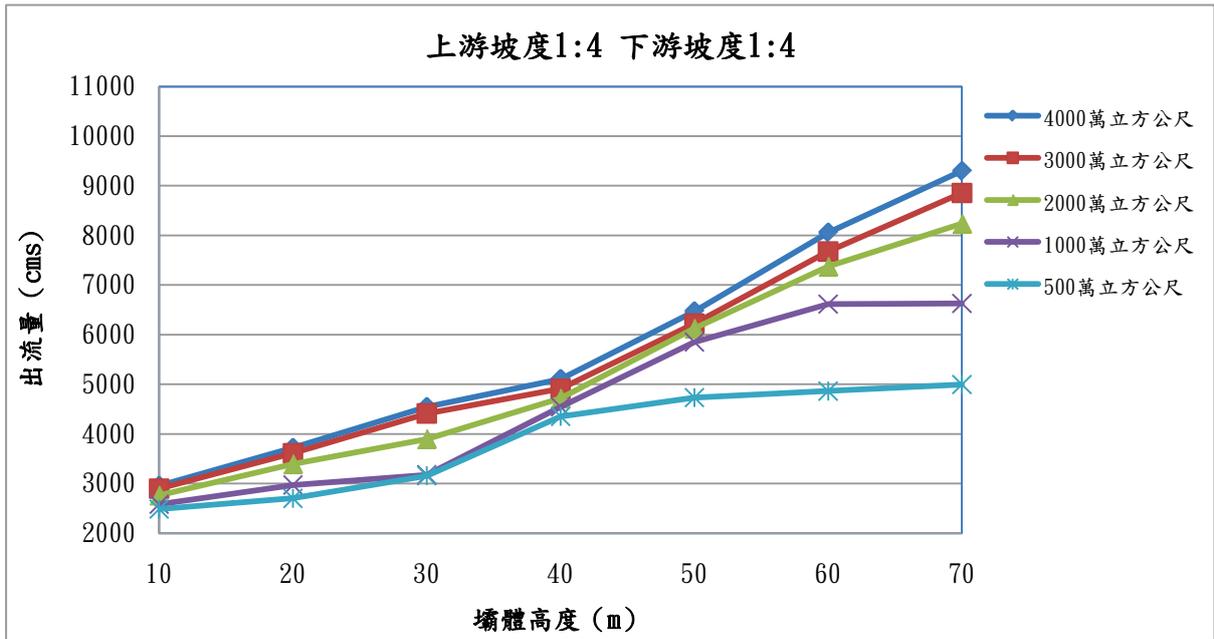


圖 D- 55 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:4，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

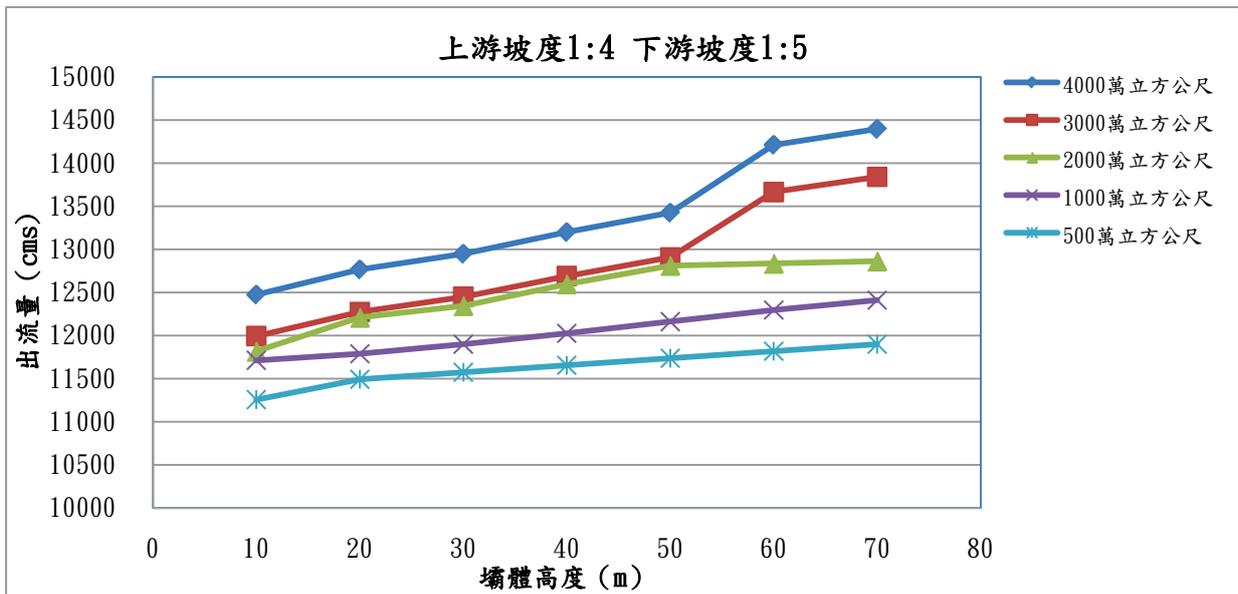


圖 D- 56 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:5，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

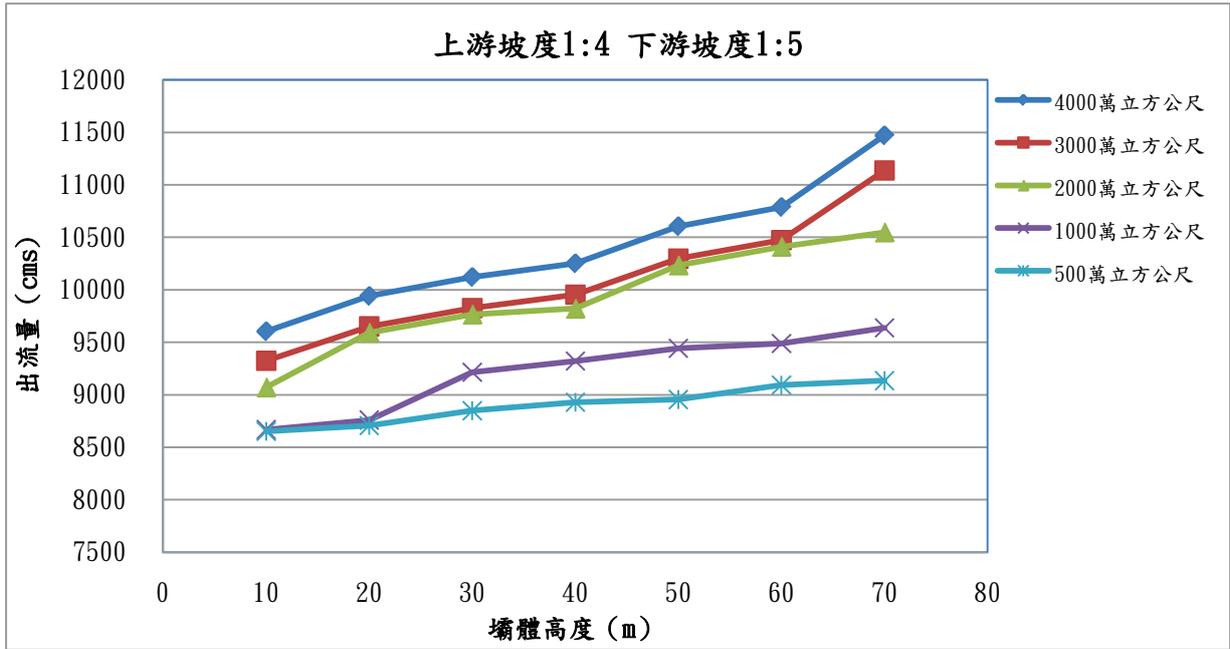


圖 D- 57 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:5，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

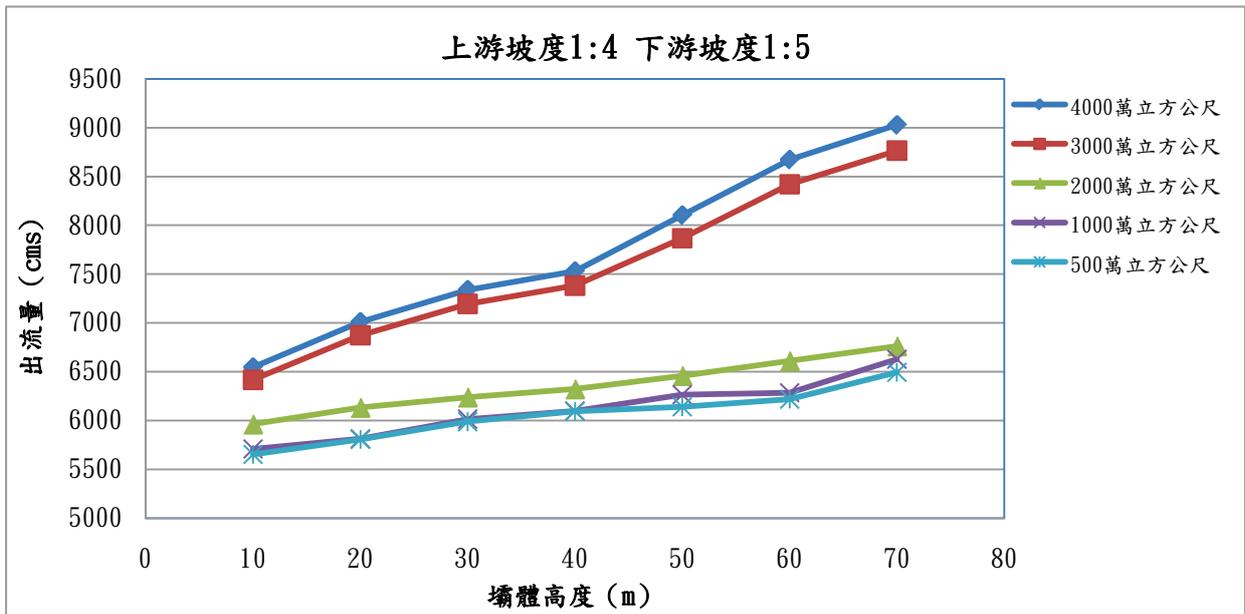


圖 D- 58 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:5，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

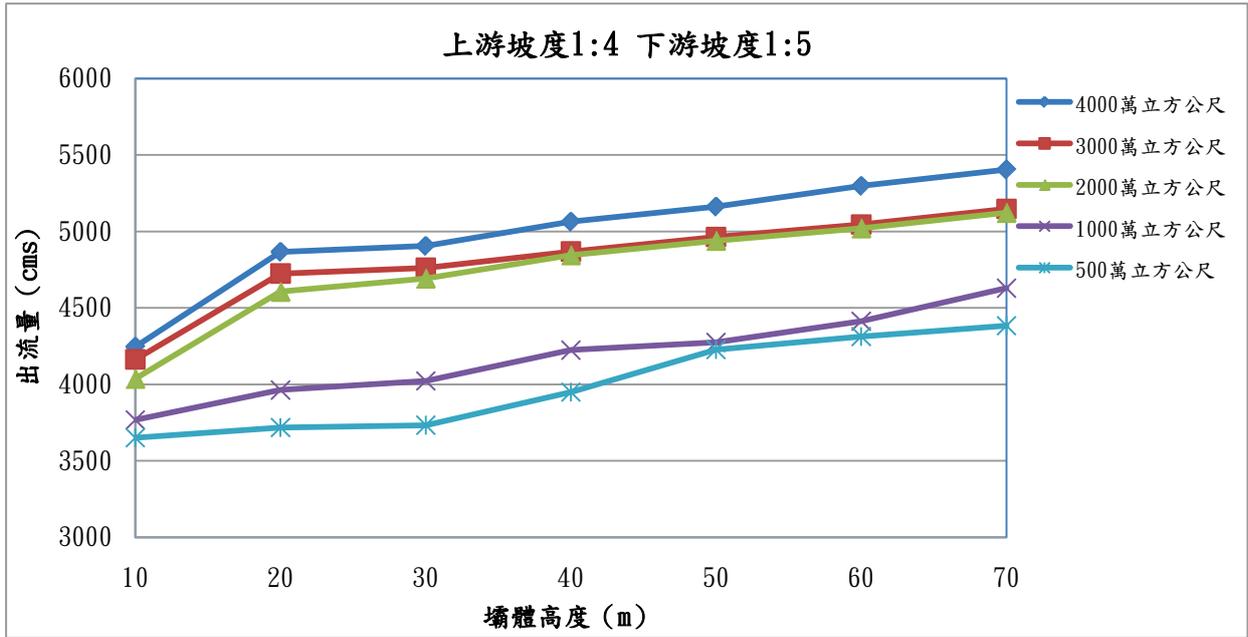


圖 D- 59 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:5，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

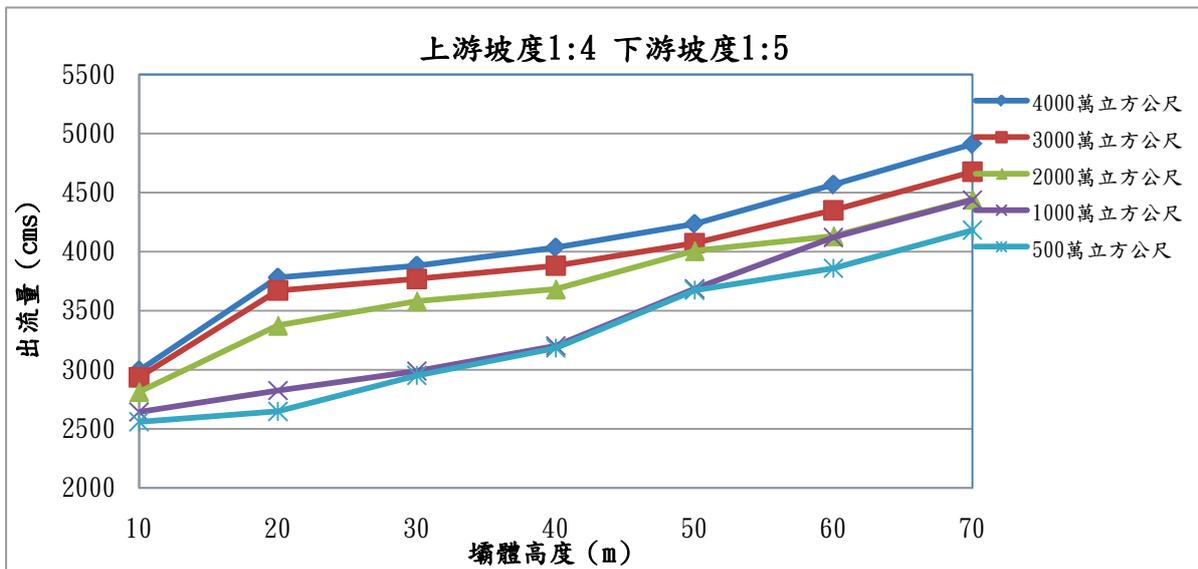


圖 D- 60 壩體上游坡面 1:4、壩體下游坡面 1:5，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

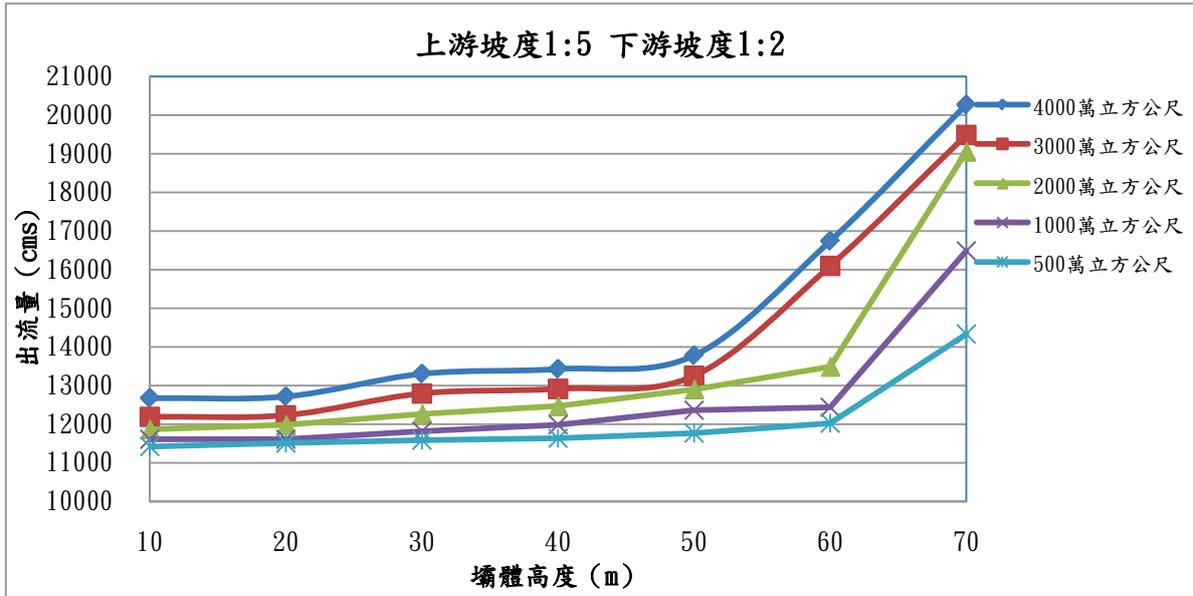


圖 D- 61 上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 2，上游 10,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

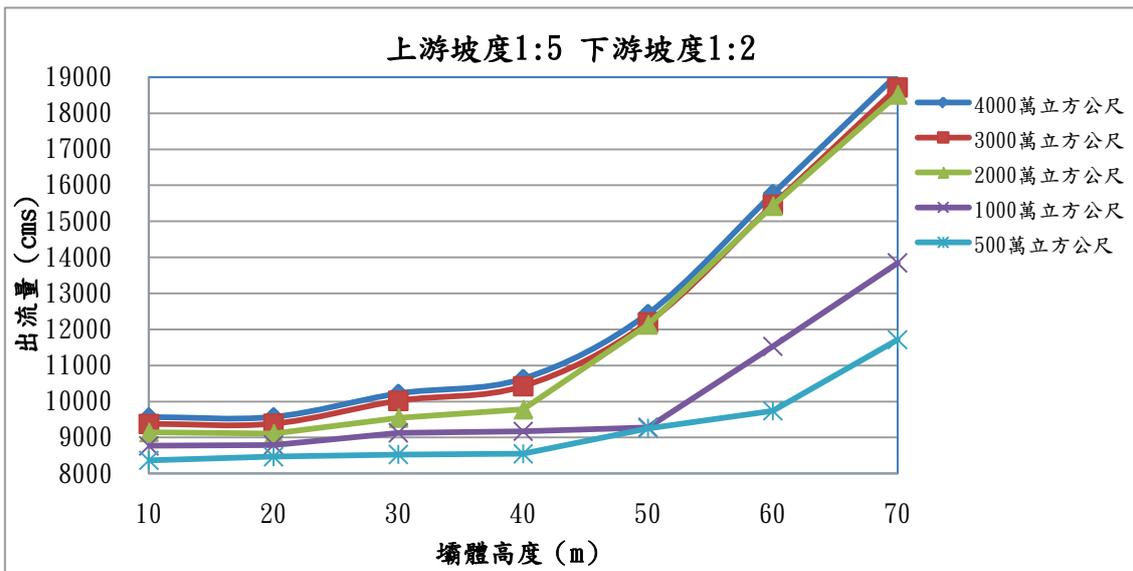


圖 D- 62 上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 2，上游 7,500CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

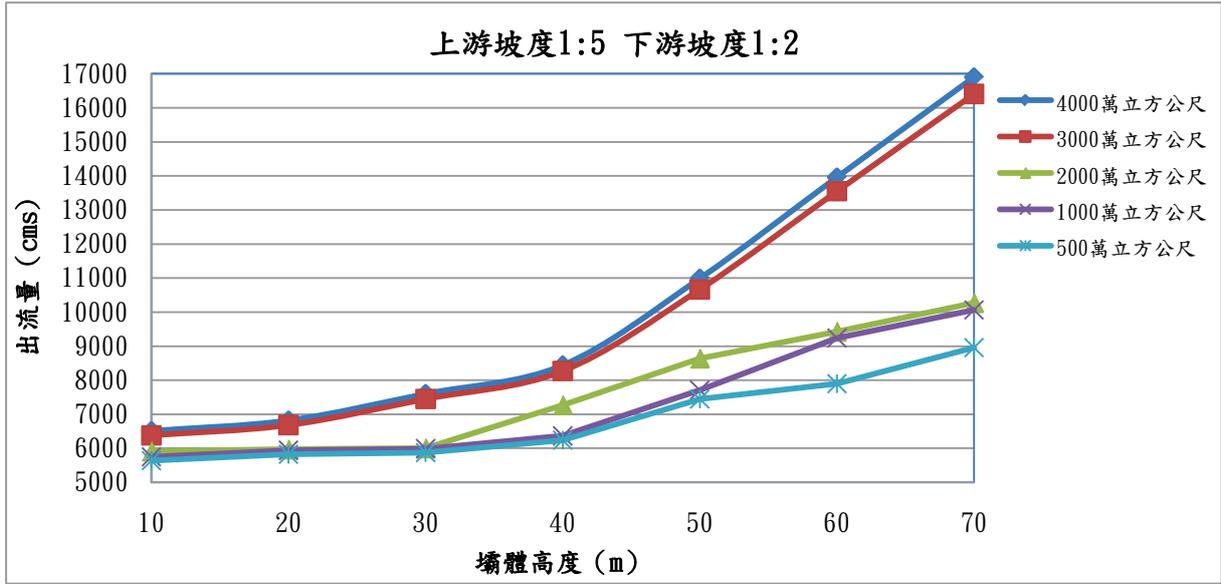


圖 D- 63 上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 2，上游 5,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

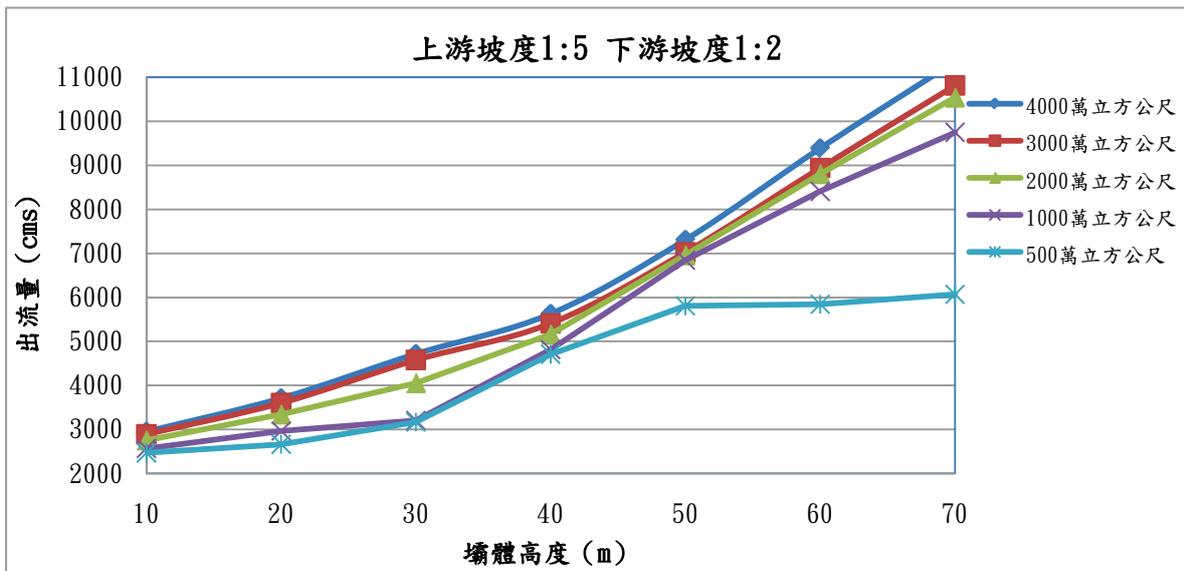


圖 D- 64 上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 2，上游 3,000CMS 入
流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

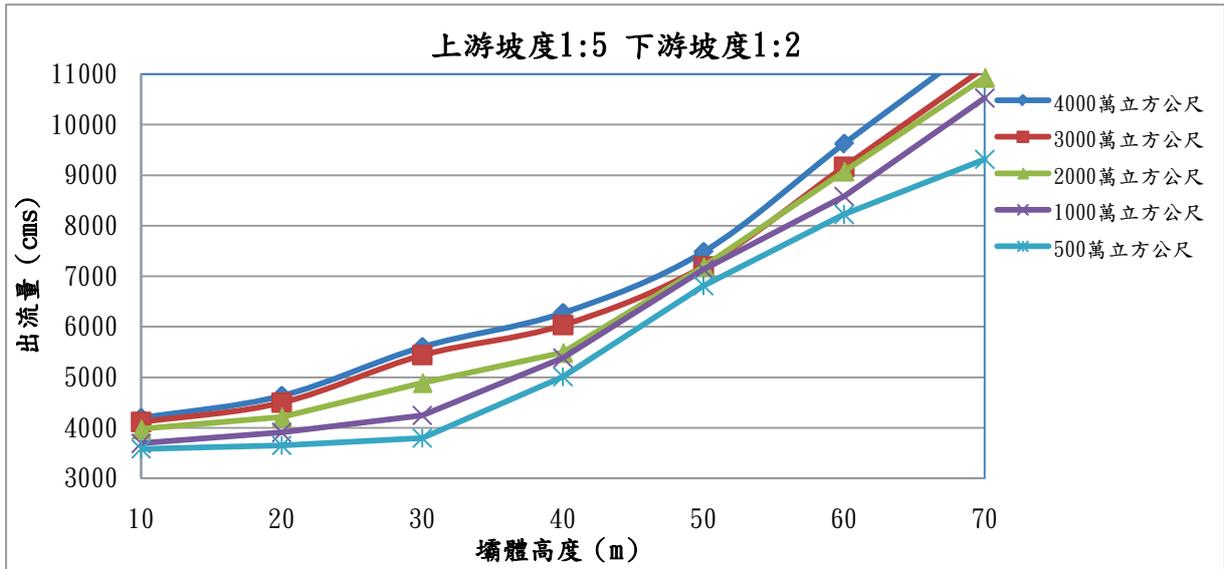


圖 D- 65 上游坡面 1：5、壩體下游坡面 1：2，上游 2,000CMS 入流量、堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

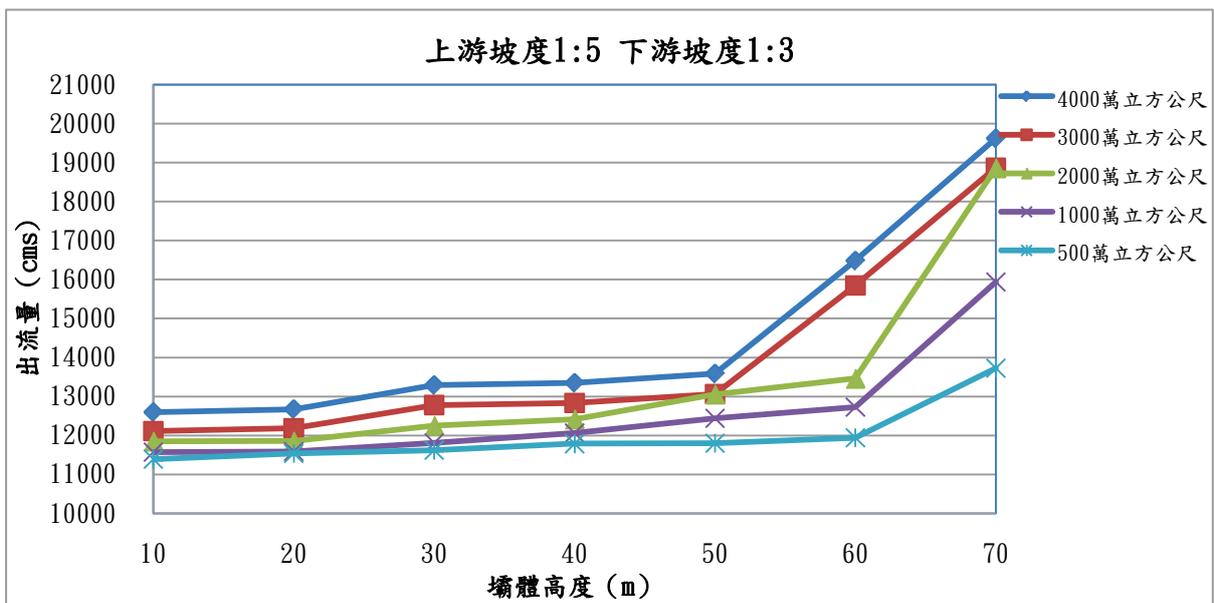


圖 D- 66 堰塞湖壩體上游坡面 1：5、壩體下游坡面 1：3，上游 10,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

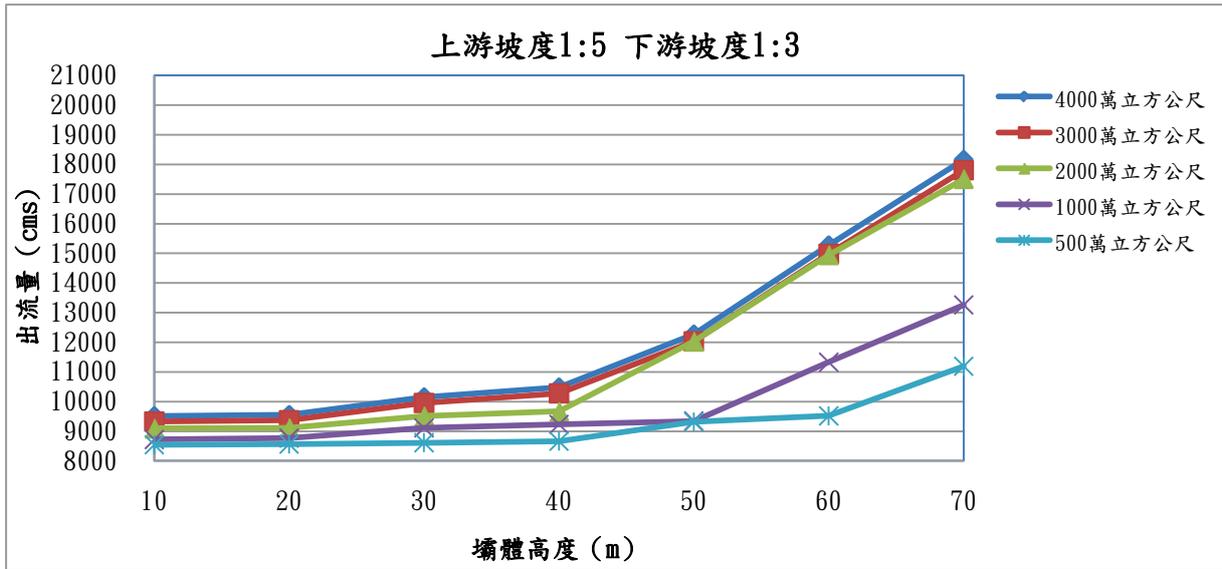


圖 D- 67 堰塞湖壩體上游坡面 1：5、壩體下游坡面 1：3，上游 7,500CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

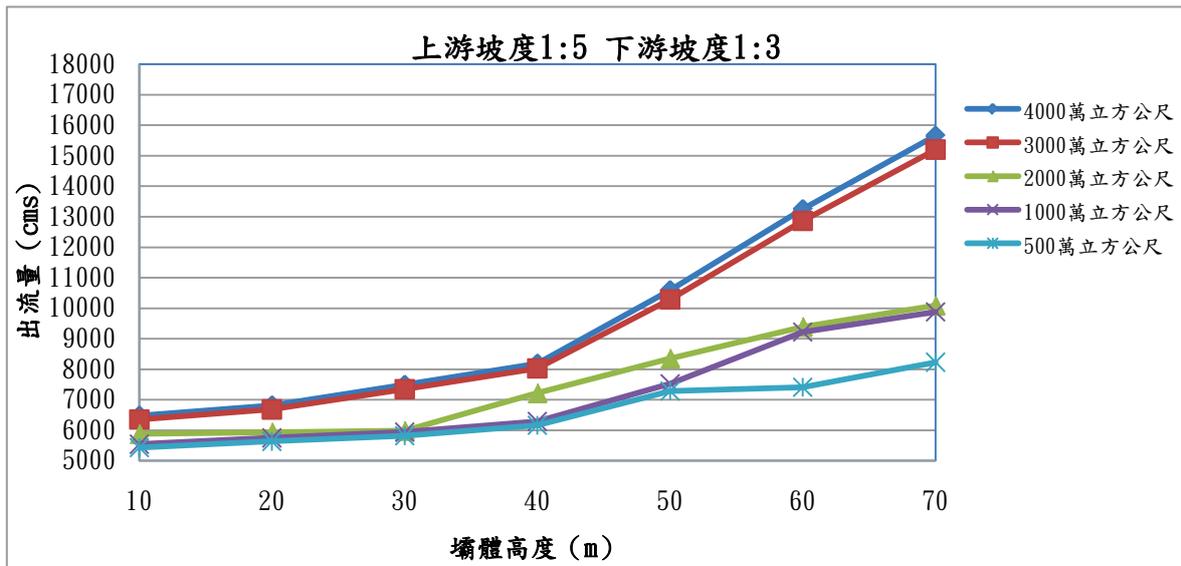


圖 D- 68 堰塞湖壩體上游坡面 1：5、壩體下游坡面 1：3，上游 5,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

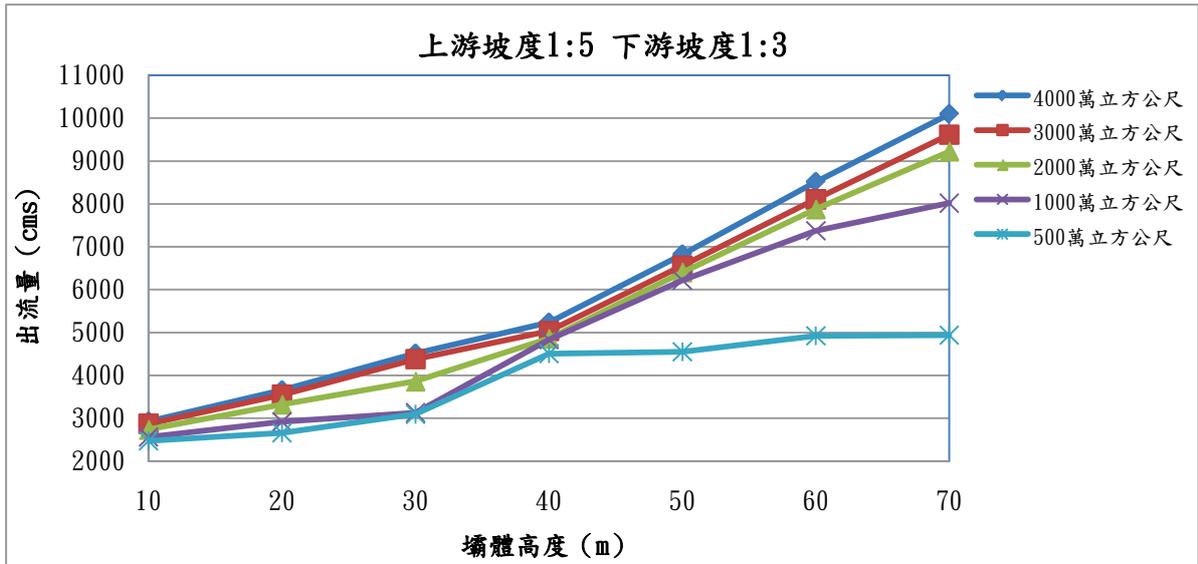


圖 D- 69 堰塞湖壩體上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 3，上游 3,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流

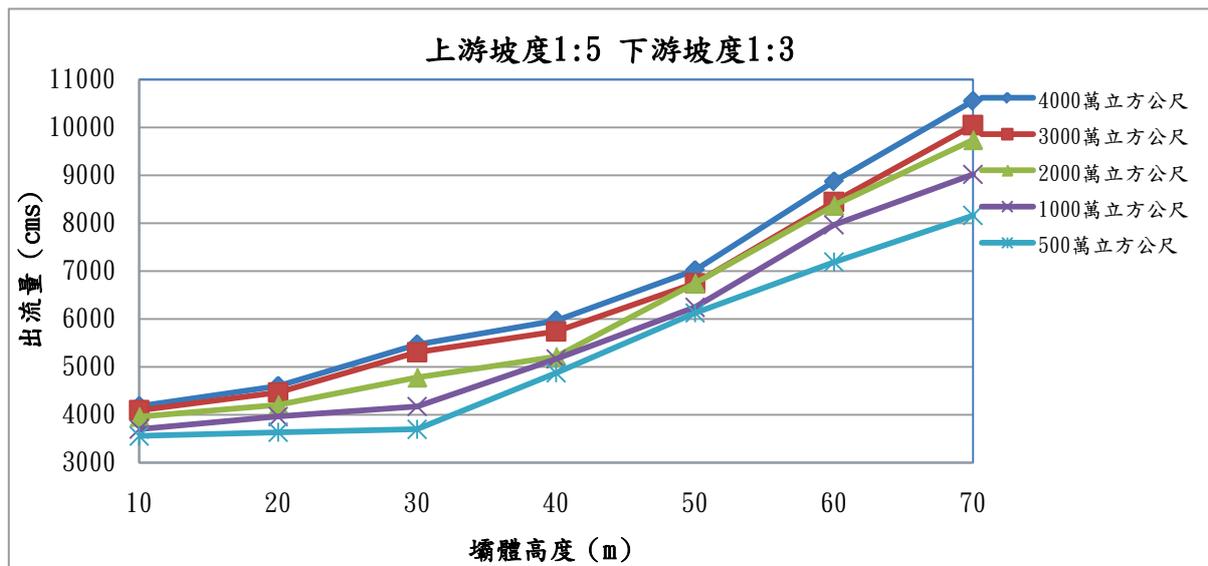


圖 D- 70 堰塞湖壩體上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 3，上游 2,000CMS 入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

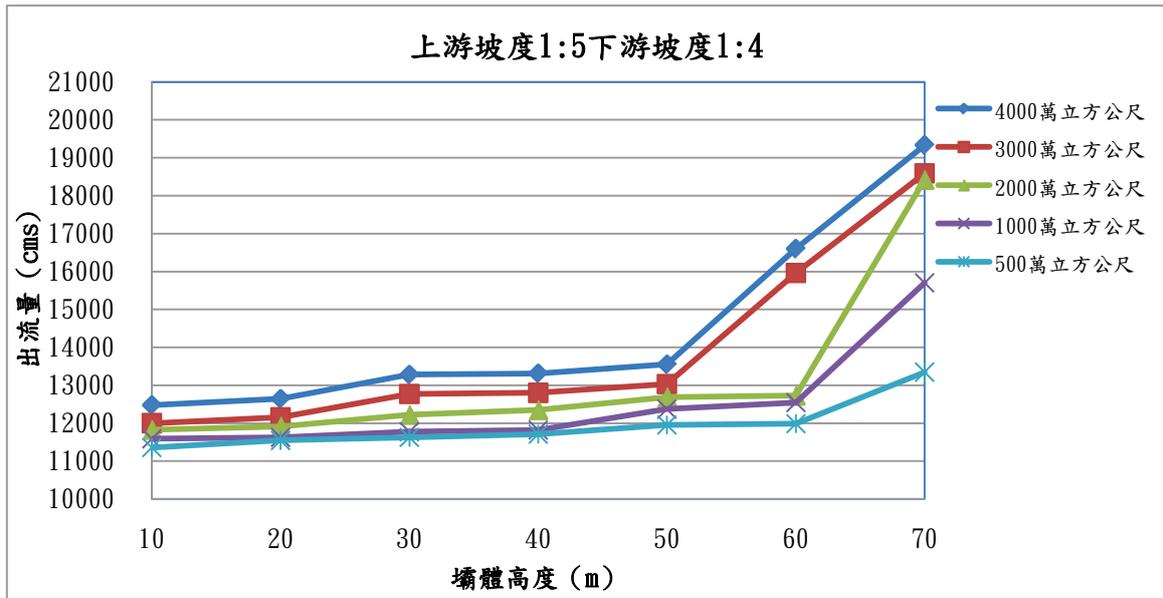


圖 D- 71 壩體上游坡面 1:5、壩體下游坡面 1:4，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

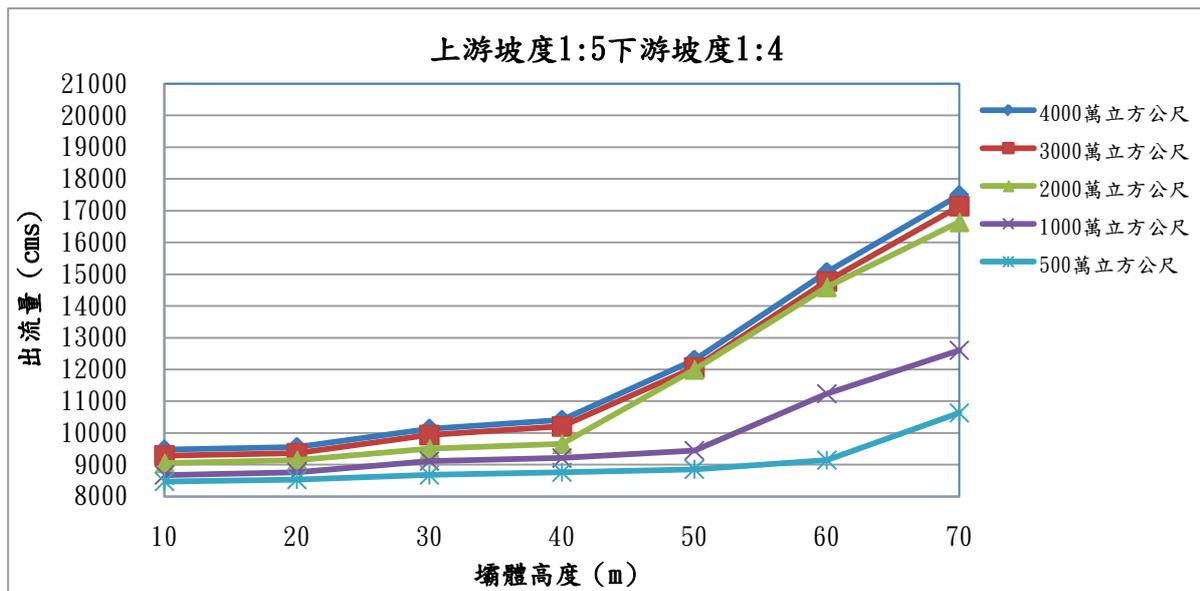


圖 D- 72 壩體上游坡面 1:5、壩體下游坡面 1:4，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

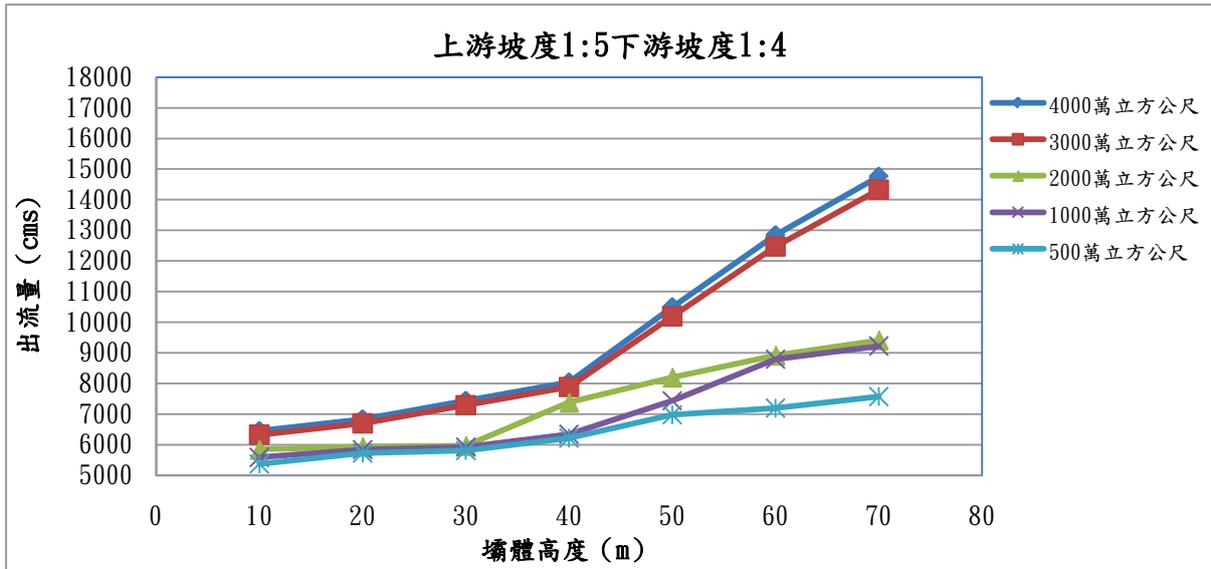


圖 D- 73 壩體上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 4，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

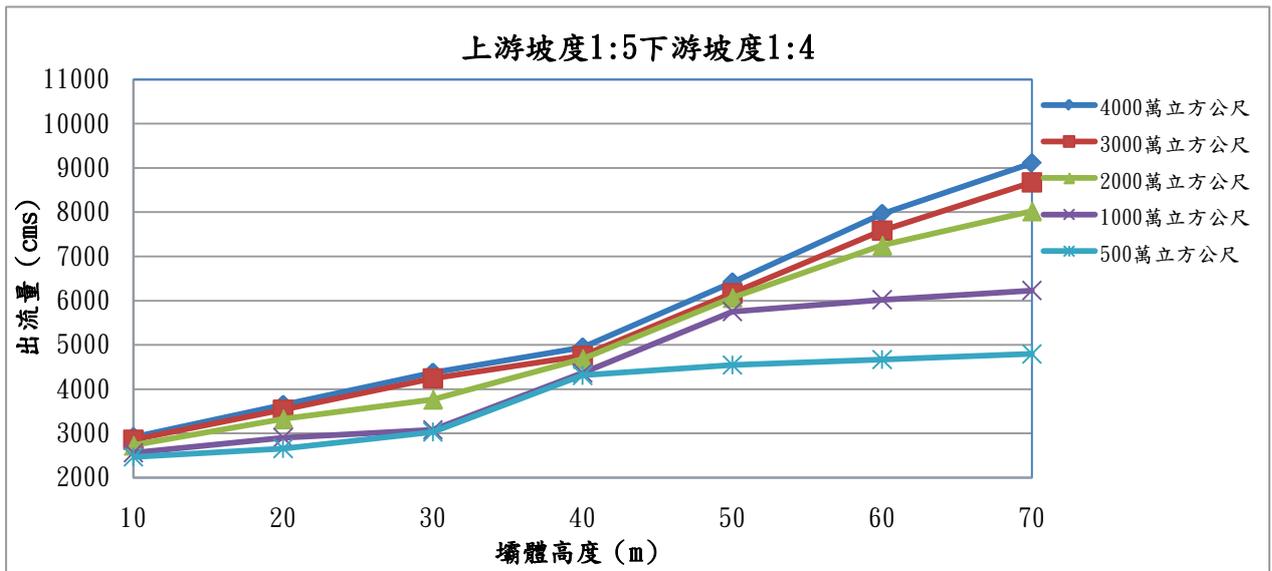


圖 D- 74 壩體上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 4，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

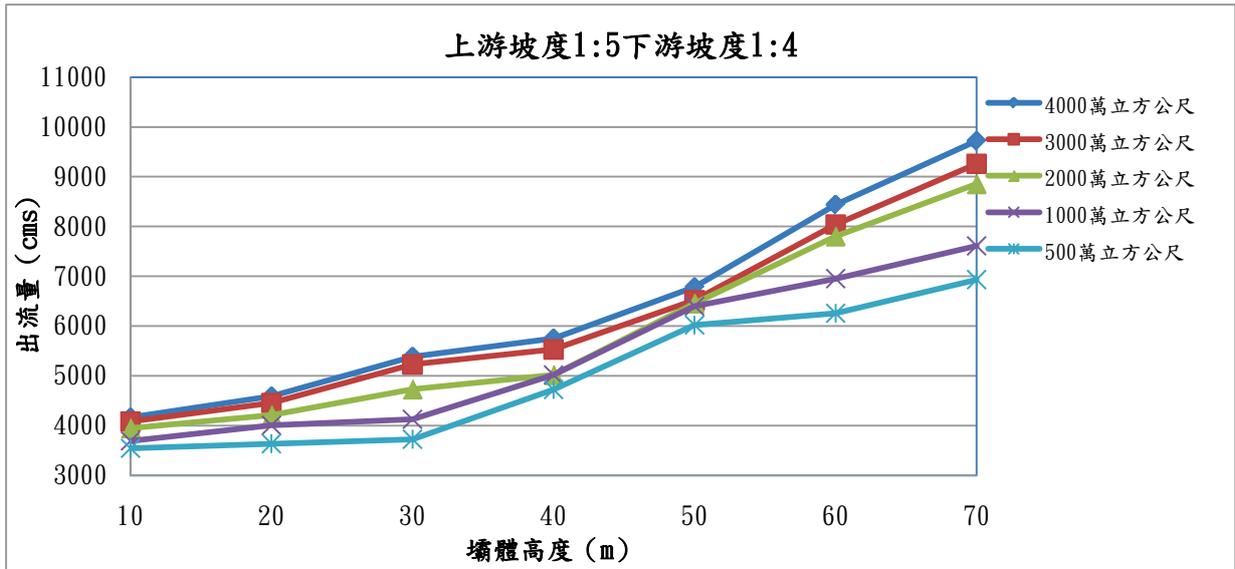


圖 D- 75 壩體上游坡面 1:5、壩體下游坡面 1:4，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

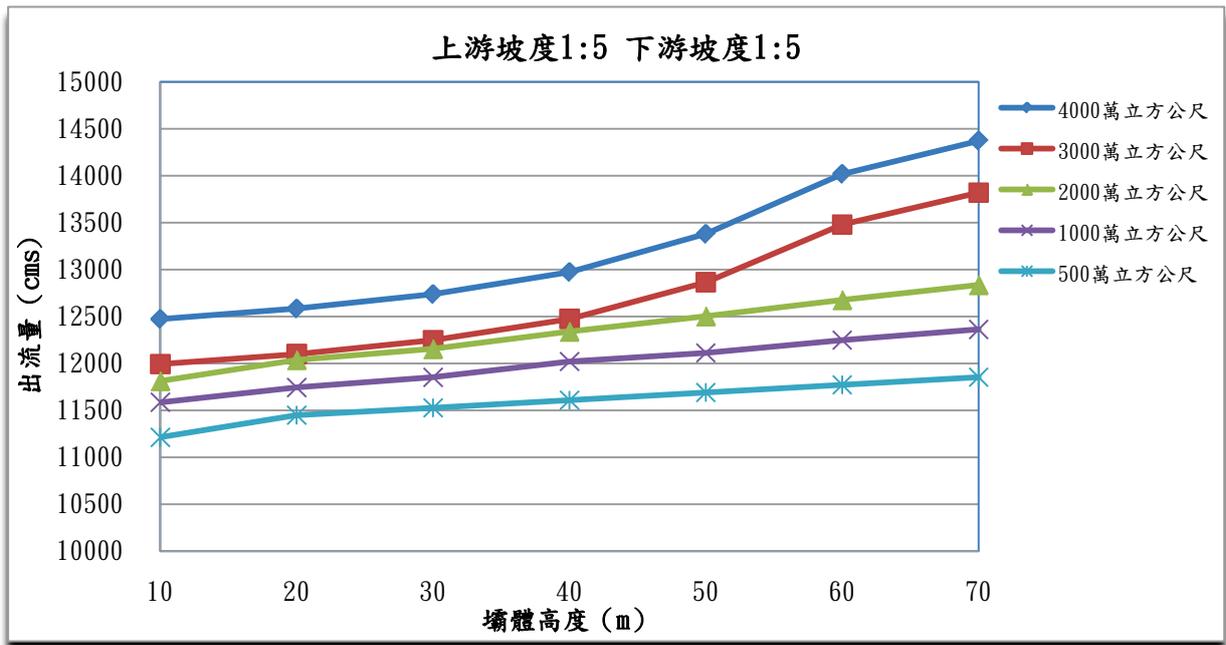


圖 D- 76 壩體上游坡面 1:5、壩體下游坡面 1:5，上游 10,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

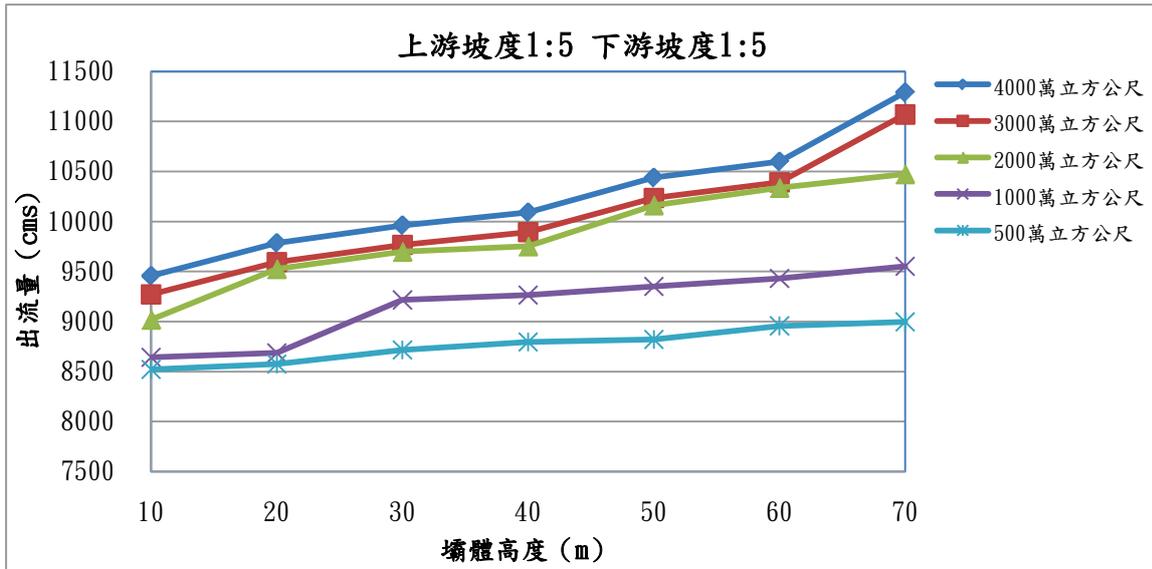


圖 D- 77 壩體上游坡面 1:5、壩體下游坡面 1:5，上游 7,500CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

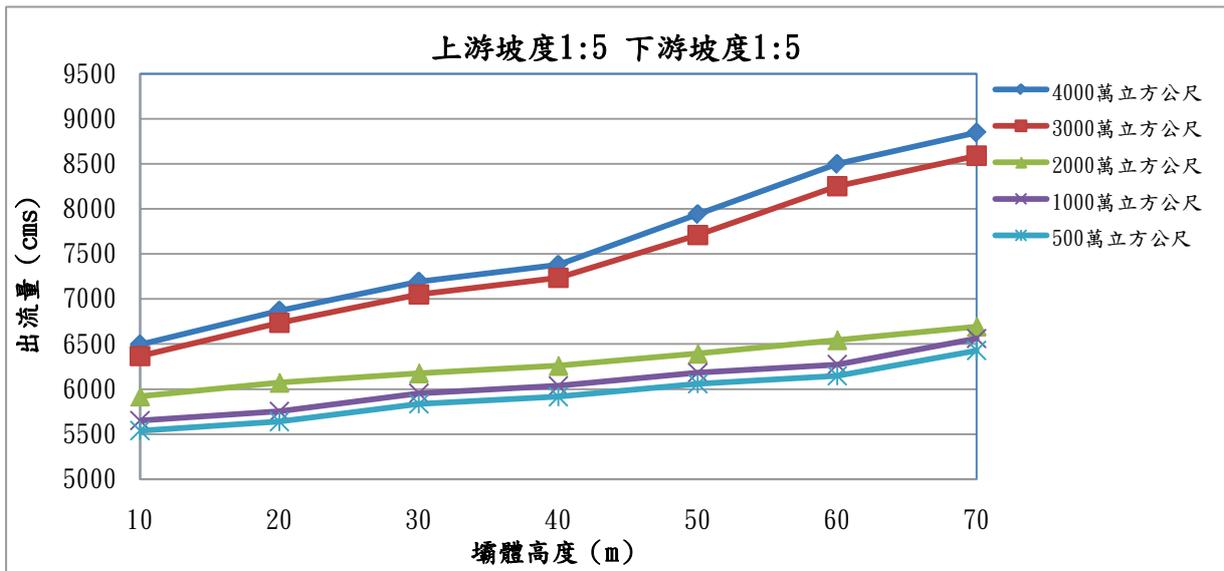


圖 D- 78 壩體上游坡面 1:5、壩體下游坡面 1:5，上游 5,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

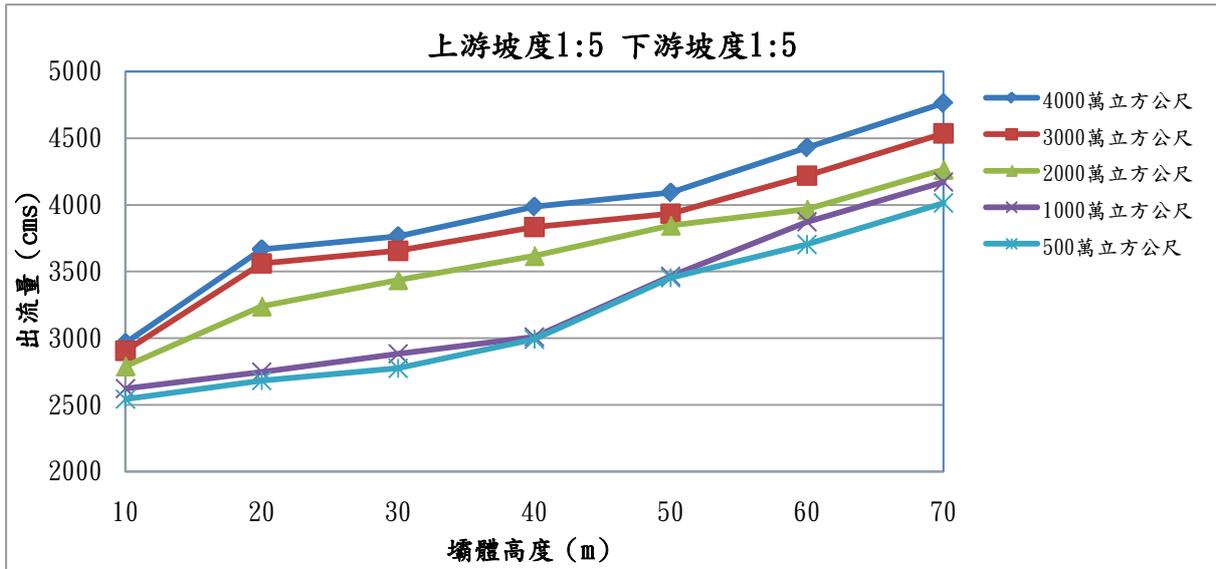


圖 D- 79 壩體上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 5，上游 3,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

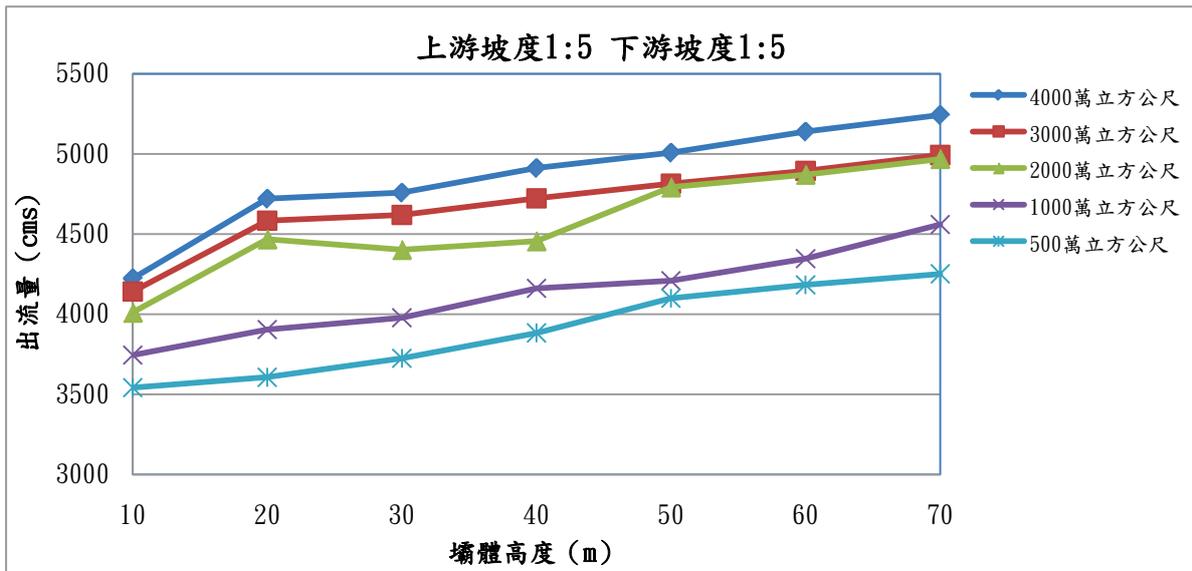


圖 D- 80 壩體上游坡面 1 : 5、壩體下游坡面 1 : 5，上游 2,000CMS

入流量堰塞湖溢頂沖刷可能之洪流量

附錄四 野外手冊緊急現勘案例(桃源堰塞湖)

本次現場勘查日期在 2011 年 5 月 4 日，旨在調查造成荖濃溪支流布唐布那斯堰塞湖之天然壩特性與重要參數，以供評估天然壩潰壩之危險度與潰壩後淹水之危害度所需。本報告繼而分別以快速評估方法，以現況與幾種虛擬情境（假設天然壩未來再增高）為分析對象，評估布唐布那斯堰塞湖之危害度。

一、行前準備

實地進行荖濃溪支流布唐布那斯堰塞湖之現場勘查工作前先行收集以下圖資：

1. 農林航測所 40m 數值高程
2. 莫拉克災後水利署荖濃溪航拍數值高程及正射影像
3. 經濟部中央地質調查所民國 98 年易淹水計畫蒐集之莫拉克災後福衛二號影像
4. 2011 年 4 月 15 日災害防救中心蒐集之福衛二號影像(壩區及湖區)

由莫拉克後福衛二號衛星影像可知莫拉克時布唐布那斯溪帶來大量土砂進入荖濃溪，但並未形成堰塞湖；凡那比後布唐布那斯溪再度帶下土砂，形成蓄水面積約 16.5 公頃之堰塞湖(如下圖)。依據災後影像圖初步繪出壩體可能範圍，對照 40m 數值高程，可初步估計山崩幾何參數。



附圖 1 凡那比災後福衛二號影像圖(水利署災害防救中心)

二、現地勘查概述

於 2011 年 5 月 4 日進行荖濃溪支流布唐布那斯堰塞湖之現場勘查工作，踏勘內容包含堰塞壩壩體、溢流口勘查、堰塞湖湖區、布唐布那斯溪山崩情形、上游清水溪土砂入庫等，現勘照片如附圖 2 至附圖 7，由現場量測、比對與資料分析而獲得之參數資訊則於後述。

由現地勘查初步研判，此處堰塞湖之形成與否受到暴雨時布唐布那斯溪之土砂進入荖濃溪之量與荖濃溪之水流量所控制。若布唐布那斯溪之土砂進入量大於荖濃溪水流水所能帶走之輸砂能力，則堰塞湖將會形成；反之則無法形成，或形成之後因荖濃

溪流量過大而迅速潰決。而堰塞湖之庫容除了受到壩體大小之影響外，亦可能因為上游帶入土砂淤積而逐漸減小。



附圖 2 壩體沖積扇(2011 年 5 月 4 日拍攝)



附圖 3 壩體沖積扇(從左岸往右岸拍攝,2011 年 5 月 4 日拍攝)



附圖 4 清水溪土砂入庫(從堰塞湖往上游拍攝,2011 年 5 月 4 日拍攝)



附圖 5 堰塞湖及壩體(從上游往下游拍攝,2011 年 5 月 4 日拍攝)



附圖 6 布唐布那斯溪山崩之一部份(2011 年 5 月 4 日拍攝)



附圖 7 溢流口水深量測(2011 年 5 月 4 日拍攝)

三、蓄水體積

堰塞湖於凡那比颱風後形成，目前已蒐集之大比例尺地形僅至堰塞湖，並未包含上游區域，且資料時間為凡那比颱風之前，因此，現階段上游淹沒範圍以 40m 數值高程為底圖，該資料後經過莫拉克及凡那比等較大之風災，庫區內有大量淤積之土石淤積，

在無更新之地形資料下，其淤積分布及體積難以估計。溢流點高程在莫拉克前後之差值約為 10 公尺，因此，本報告假設河道在莫拉克颱風後均勻淤積 10 公尺，以此計算蓄水體積，附表 1 為河道淤積 10 公尺，壩頂高程與蓄水體積之初步推估。

附表 1 壩頂高程與蓄水體積初步推估

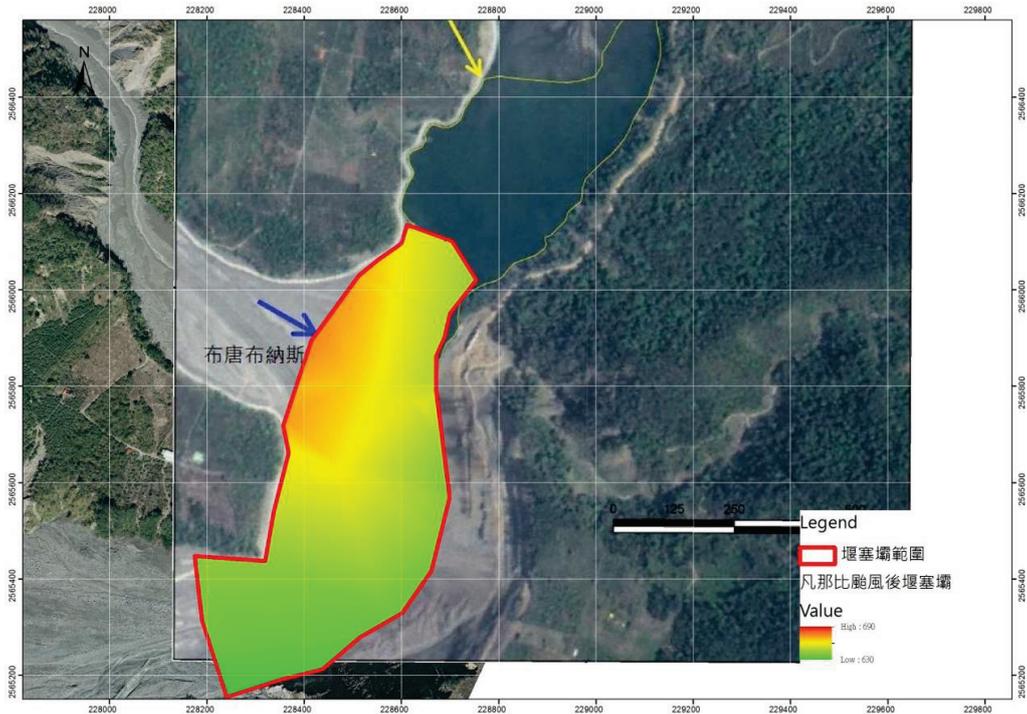
壩頂高程(m)	蓄水體積($\times 10^4 m^3$)
650	108
660	322
670	676.5
680	1193

四、堰塞壩體積推估

堰塞湖體積利用災後航拍成果及現地調查，初步重建壩體形狀如附圖 8，以推估堰塞湖壩體體積。此外，考慮未來布唐布那斯溪可能持續帶來土石造成壩體加高，利用上述重建之壩體，推估增加壩體高度增加 10m 所增加之土石堆積量，附表 2 為推估之堰塞湖壩體體積。

附表 2 推估之堰塞壩壩體體積

	壩體體積($\times 10^4 m^3$)	備註
現況	370	利用重建之堰塞壩地形與莫拉克颱風後之地形比對
壩高增加 10 公尺	650	利用重建之堰塞壩地形再墊高 10 公尺後與莫拉克颱風後之地形比對



附圖 8 重建之堰塞壩地形分佈圖

五、參數推估

經由現勘及室內作業，將初步推估之布唐布那斯堰塞湖參數示於附表 3。

(一)溢流點高程

以水利署災害防救中心新聞中之資料 650m 為準。

(二)壩型

堰塞湖體積利用初步重建之壩體形狀，概估溢流點壩寬(沿著河道)為 900m，壩長為 300m。溢流點壩高之估計方式為溢流點高程與莫拉克後(凡那比前)溢流點 DEM 高程之差值，概估為 18m。

(三)集水區面積

集水面積係透過農林航測所 40m 數值高程分析而得，估計為 510km²。

(四)其他參數

現勘時，於溢流點使用雷射測距儀測得溢流點河道寬度為

12m，以標竿測得水位深度約 0.5m。利用流速儀測得之流速約為 2m/s。

附表 3 荖濃溪勤和(布唐布那斯溪)堰塞湖資料

堰塞湖現場勘查記錄表			
*調查時間	2011/5/14	*單位、姓名	交通大學廖偉欽
*發生地區	高雄縣桃源區勤和村		
*堰塞湖天然壩溢流點二度分帶座標	E: 228643 N: 2565763	*發生(發現)時間	凡那比風災
*河川水系/集水面積	荖濃溪/510m ²	*形成誘因	<input checked="" type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 其它_____
*現場勘查方式	<input checked="" type="checkbox"/> 地面 <input type="checkbox"/> 空中 量測方式應於各欄位註明		
堰塞湖天然壩壩體資訊			
*溢流點壩高(H)	18 (m)	*溢流點壩頂高程	650(m)
*溢流點壩頂長(L)	300 (m)	*溢流點壩寬(W)	900 (m)
*壩體上游坡度	1 (H) : 5 (L)	*壩體下游坡度	1 (H) : 8 (L)
壩體體積 V (說明估算方式)		370×10 ⁴ (m ³) 現勘對照災前 DEM 初估	
壩體材料特性	<input type="checkbox"/> 土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊 最大粒徑(m)：_____ 中徑(m)：_____ 有效粒徑(m)：_____		
堰塞湖體資訊			
湖水位高程	650(m)	*湖面積	(m ²)
		*湖體積 Lv	332.8×10 ⁴ (m ³)
滿水位高程	650(m)	水位上昇速率	(m/hr)
溢流口最窄處形狀	深 0.5(m) 頂寬 12(m) 底寬____(m)	溢流口最窄處流速	2 (m/s)
流量			
目前狀況	未潰決		
備註:(其餘記載事項，如交通避難動線等)			

六、初步危險度分析

(一)現況

$$L_s = -2.22\log(A) - 3.76\log(H) + 3.17\log(W) + 2.85\log(L) + 5.93 \quad (1)$$

其中 $A(m^2)$ 為集水面積、 $H(m)$ 為壩高、 $W(m)$ 為壩寬(沿著河道)、 $L(m)$ 為壩長(跨越河道)、 L_s 為邏輯斯分數(logit)，當邏輯斯分數小於 0 時代表天然壩屬不穩定；大於 0 則代表天然壩屬穩定。天然壩體破壞機率 P_f 如下式：

$$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}} \quad (2)$$

本次無尖峰流量資料，將壩高、壩長、壩寬、集水區面積帶入邏輯斯迴歸模式分析其壩體穩定性，得到 L_s 為-1.71，對應破壞機率為 85%，推估此壩屬不穩定之天然壩。

(二)壩增加 10m

壩高、壩長、壩寬、集水區面積帶入邏輯斯迴歸模式分析其壩體穩定性，得到 L_s 為-2.43，對應破壞機率為 92%，屬不穩定之天然壩。

七、初步危害度分析

(一)現況

根據現地勘查及室內作業計算，上游及下游坡度約為 1:11，壩體體積為 108 萬立方公尺，壩高 18 公尺，使用圖 9 取整數 20 公尺作為壩高值，上游入流量取 3,000CMS，查圖得出出流量為 2600CMS。

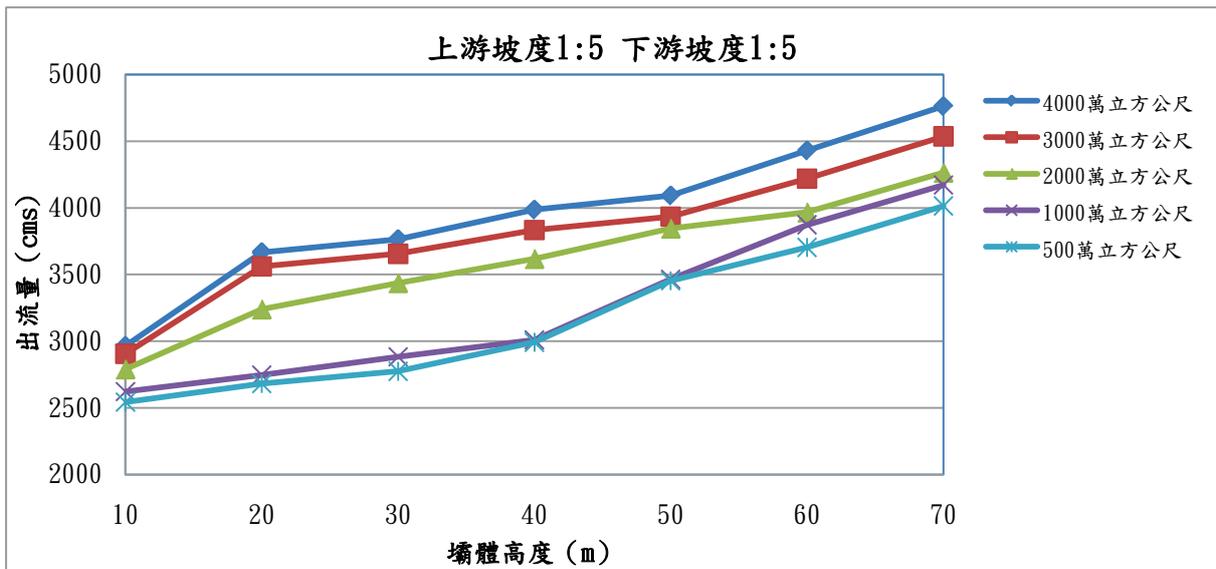
荖濃溪下游新發大橋上游集水區面積約 804 平方公里，治理計畫流量為 9,240CMS (97 年高屏溪治理規劃檢討)，以比面積推算堰塞湖位置之計畫流量約為 $9240 \times \frac{510}{804} = 5861\text{cms}$ ， $I_{db} = \frac{2600}{5861} \% = 44\%$ ，天然壩潰決淹水分級為 III 級，其淹水危害度發生機會屬可能

發生。

(二) 假設壩再增高 10M

根據現地勘查及室內作業計算，上游及下游坡度約為 1:11，壩體體積為 322 萬立方公尺，壩高 28 公尺，使用圖 9 取整數 30 公尺作為壩高值，上游入流量取 3,000CMS，查圖得出出流量為 2700CMS。

荖濃溪下游新發大橋上游集水區面積約 804 平方公里，治理計畫流量為 9,240cms (97 年高屏溪治理規劃檢討)，以比面積法計算計畫流量 $9240 \times \frac{510}{804} = 5861 \text{cms}$ ， $I_{db} = \frac{2700}{5861} \% = 46\%$ ，天然壩潰決淹水分級為 III 級，其淹水危害度發生機會屬可能發生。



附圖 9 上游及下游坡度 1:5，上游 3,000CMS 入流量堰塞湖溢頂冲刷可能之洪流量

附表 4 堰塞湖天然壩淹水淹水程度分級

危害度描述	<i>I_{ab}</i> 分類	分類間隔(%)
幾乎不發生	極低(I)	0-10
鮮少發生	低(II)	11-40
可能發生	中(III)	41-60
經常發生	高(IV)	61-90
會發生	極高(V)	>90

附錄五 監測系統規劃

(一) 監測對象

- (1) 初步調查階段中，以基本資料之收集為主，由於當地地層可能尚未穩定，因此研判其壩體或殘坡之初步狀況，得依其相對位移程度以及堰塞湖水位高度、現地雨量作為一重要參考，因此在監測規劃中，應針對範圍性相對位置資料，以人為、自動監測或是航空、遙測方式進行。
- (2) 詳細調查階段，監測系統之建置種類與數量須針對破壞模式與所欲處理之工程問題作不同的考量，一般而言，與土體穩定問題相關之參數主要為位移與水位/水壓量測。沖刷潰決之機制雖可由地表位移或3D位移觀測點觀測監測點是否遭到沖刷，但無法提供連續監測，由於沖刷發生於地表，因此可以監視系統有效監測。有關於水文、水理調查之內容包括以往之降雨記錄與洪水觀測結果、災害期間之水文觀測資料與降雨狀況、天然壩上游之蓄水量與水位變化情形等。

(二) 監測規劃

初期監測，考量人員安全以及監測便利性，主要建議初期監測標的為堰塞湖水位，若上游無雨量站資料，則建議增加雨量觀測。

中長期監測規劃則配合詳細調查之結果，在考慮壩體與殘坡無立即崩壞之虞，除了既有的監測設施繼續運作之外，應評估是否提供自動化擷取之功能。其自動化監測主要目的，在於可配合長期監測項目，提供一穩定長期的監測資料，作為預警系統發佈之依據；另外也減少人為測量，降低其危險性。根據潛在破壞模式之探討、包括目視檢查結果、及現地檢查之結果，檢討現有監測計畫之合宜性。評估項目包括監測系統與監測頻率。其中監測系統應針對以下要素作為相關參考：

- (1) 監測系統功能及效率之合宜性。
- (2) 監測儀器之種類、數量及佈置位置是否合宜。
- (3) 監測項目與監測方法是否合宜。
- (4) 監測之環境條件是否合宜。
- (5) 監測之通路狀況是否合宜
- (6) 監測儀器之故障狀況。
- (7) 停止觀測及新增之監測儀器是否合宜。
- (8) 監測人力及人員之素質是否合宜。

監測系統功能及效率影響整個監測之精確性、時效性及人力調配等，因此應從系統設備資料包括各儀器之觀測、資料之記錄、儲存、傳送、處理、繪圖、分析、比較等項，逐一複核及評估其適宜性。另外必須複核與評估監測儀器種類是否符合主要監測項目，監測儀器佈置位置及數量是否適當，觀測方法是否依照規定辦理及評估其適宜性。對於監測之不利環境條件如漏水、濕氣、落石、風等及監測之通路狀況應加以評估並建議改善措施，對於功能有老化或故障現象之監測儀器亦應加以評估並建議改善措施，因損害、故障或其它因素而停止觀測與新增之監測儀器應評估其是否影響安全監測之功能。監測人員之素質亦為影響監測系統功能因素之一，因此仍應加以評估。

監測頻率之評估應足夠密集以能滿足即時發現異常現象之需求，然而監測頻率亦不應過於密集而違背經濟性之原則。

(三) 監測感測器之選擇

初步調查階段中，監測標的為堰塞湖水位與雨量觀測。中長期監測感測器的選擇，必須考量當地破壞機制，其中驟然滑動潰決及漸進式破壞機制，建議同時監測滲流線及土體位移；另外，沖刷破壞可以外部監測或攝影方式，進行沖刷範圍和沖

刷量調查。詳細的感測器及其監測項目可參考附錄五表 1。

而一般感測器的選擇，可以以下特點加以分類，可視監測目的及經費選擇搭配使用：

(1)主動式與被動式監測設備

主動式監測設備泛指電能轉換器(Transducer)，是一種轉換能量的感應器，能將非電子型的能量以電子訊號的模式轉換輸出。主動式的感測器其電能轉換器即裝置在感測器內部，可將機械能(類比訊號)轉換成電子能(數位訊號)，再由資料擷取器收集之，但需持續供電以維持其感應狀態，例如傳統的電子式感測器即是主動式感測器。

被動式的感測器其電能轉換裝置在發送物理能量波(如電磁波、光波)的儀器內部，例如時域反射 (Time Domain Reflectometry, TDR) 技術，即是使用一電磁波產生器，當電磁波傳遞過程遭遇因外部物理量變化所造成的系統傳遞不連續，則會發生反射。利用適當的設計，將所關注的外部物理量變化與反射行為對應，可作為監測之用。

TDR 應用於大地工程監測方面，其原理可為利用 TDR 反射訊號監測當電纜受到外在環境之影響造成電纜幾何形狀或感測器長度之改變，例如岩石或土壤之相對變位造成埋置其中之電纜幾何形狀改變；以及利用 TDR 之反射訊號量測感測器內不同介質之界面位置，例如地下水位之監測及 TDR 位移計。

TDR 的感測器本身為機械型式，沒有任何電子裝置，其監測資料是藉由 TDR 的電磁波導入感測器後，產生數位反射訊號再直接由資料擷取器收集之，故稱為被動式感

測器。

(2)下孔式(Down-hole)上孔式(Up-hole)

傳統的邊坡監測儀器，其感測器本身就是電子裝置，且大部分都需置於地表下，故稱為下孔式的監測設備。上孔式的監測設備是指所有的電子儀器皆於地表上，埋於地表下的設備或感測器沒有任何電子裝置；而 TDR 與光纖感測器內沒有電子零件，唯一的製波電子設備設置於地表上，故 TDR 與光纖監測系統即稱為上孔式的監測設備。

(3)監測感測器優缺點比較

由於傳統感測器在工程監測使用上歷史悠久，發展完臻，優點為傳統電子式感測器有良好的精確性。但傳統感測器本身即為電子儀器，所以其缺點是價格相較昂貴，且故障率高，穩定性及耐久性不足；另外傳統感測器亦為下孔式監測設備，大部份的電子儀器為達到量測目的，需置於地表下，所以裝設時費時費力，且故障產生後維修不易。

對於 TDR 與光纖感測器的優缺點而言，因 TDR 感測器內部沒有電子零件，故價格低廉，故障率低，穩定性及耐久性相對較好，通常 TDR 感測器即為傳輸纜線的一部分，所以具有自我診斷的機制；而 TDR 感測器為上孔式監測設備，故裝設相對容易，且維修方便。TDR 具有監測多種物理量之多功特性。由此可見，在同樣都需要建立自動化資料擷取系統、資料擷取、無線通訊、遠端資料處理與網路發布之軟硬體設備的成本下，TDR 感測器具有價格低廉、故障率低、穩定性及耐久性高的優勢。光纖感測器具有被動式與不受電磁波干擾之特性，其技術仍在迅速發

展中，目前設備之價格較為昂貴且較不適合於氣候、供電條件不佳的環境中使用，但未來之實用潛力可期。

附錄五表 1 堰塞湖監測項目及感測器

	項目	監測系統
初期	堰塞湖水位	TDR 水位感測器、電子水位計
	雨量監測	傳統機械或電子雨量計、 TDR 雨量計
中長期	壩體內部水位、水壓監測	電子水壓計、 TDR 水位感測器
	位移監測	地表位移計（電子式或 TDR）、 孔內位移計（電子式或 TDR）、 手動或自動測傾儀(IPI)、 TDR 或 OTDR 滑動監測、 光纖測傾儀、 全測站 3D 位移觀測系統 LiDAR 監視影像攝影
	沖刷、溢流監測	TDR 淘刷與溢流感測器
	地震監測	震測儀

(四)資料傳輸問題

監測與預警系統間之聯繫設施，建議之事項如下：(1) 若採用有線傳輸之方式如電信網路等，因其傳輸易受天候、山崩等因素影響，有訊號斷訊之疑慮，故建議以無線傳輸之方式取代有線傳輸資料。(2) 可考量 GSM 行動電話通訊方式或無線電波(RF)之通訊方式傳輸，惟後者可能易受限於執照問題而影響建置時效。(3) 無線傳輸器可考量加強其輸出功率以避免干擾，同時使用

大電流太陽能電力供應系統以充分供電及儲存電力。

目前自動化傳輸系統，可分為以下五種型態：ADSL、固接專線、衛星傳輸、微波傳輸以及行動通訊 GSM/GPRS，各種傳輸系統之優劣分析列於附錄五表 2。

附錄五表 2 傳輸系統優劣比較表

通訊方法	連線速度 (bits/sec)	傳輸距離	優點	缺點	價格
ADSL	64K-8M	3km 內	<ul style="list-style-type: none"> • 連線速度至少 512/64K • 利用現有電話線路 • 價格便宜、設備簡單 	<ul style="list-style-type: none"> • 易受距離影響連線品質 	1000 元/月
固接專線	64K-45M	10km 內	<ul style="list-style-type: none"> • 傳輸品質最穩定 	<ul style="list-style-type: none"> • 價格最高 	10000 元/月
衛星傳輸	64K-512K	無距離限制	不受地形影響	<ul style="list-style-type: none"> • 價格過高且易受氣候影響 	8 元/1M (流量)
微波傳輸	1M-11M	差	<ul style="list-style-type: none"> • 較無距離限制 • 規格標準化 	<ul style="list-style-type: none"> • 易受地形阻隔及氣候影響 • 需架設中繼站以延長傳輸距離 • 中繼站架設費用高 	視距離及中繼站多寡約 10-160 萬
行動通訊 GSM/GPRS	9.6K/40K	無距離限制(需有手機基地台訊號涵蓋區域)	<ul style="list-style-type: none"> • 無線通訊主流 • 基地台建置完備，通訊往較為廣闊 	<ul style="list-style-type: none"> • 傳輸速度慢 • 3G 規格尚未普遍化 	700 元/月

附錄六 堰塞湖處置資訊管理系統使用者手冊

一、系統需求

(一)硬體

- 1、CPU 種類：Intel Core Duo、Pentium 4、Xeon 或更新
- 2、CPU 速度：2.2 GHz 以上
- 3、記憶體：2 GB 以上
- 4、螢幕解析度：1024 x 768 (96dpi) 以上
- 5、顯示卡：獨立顯示卡，24 位元色深相容圖形加速卡，顯示卡支援 OpenGL 2.0 以上，記憶體最少 512 MB 以上
- 6、硬碟：磁碟交換檔 至少 500 MB，使用硬碟空間 安裝資料夾約 2.4 GB。

(二)軟體

- 1、作業系統：32 位元 Windows XP、Window Vista、Windows 7 或 Windows Server。
- 2、GIS 軟體：ESRI ArcView 10 含 3D 及空間分析模組。
- 3、資料庫軟體：SQL Server 2008 Express。

二、基本架構及資料內容

堰塞湖處置資訊管理系統作業之環境擬採用美國 ESRI 公司 Arcview 地理資訊系統作為開發介面，並採用 3D 分析模組及空間分析模組，以視覺化展示數值模型成果及輔助決策研擬。座標系統亦整合於 TWD97。

堰塞湖處置資訊管理系統擬以堰塞湖個案建置，當有堰塞湖發生時，可以地名或特殊地標定義，即可啟動系統。系統中預設載入本計畫蒐集之基本資料，後續進行之調查、監測、及資料蒐集等則獨立存在於該堰塞湖資料中。

資訊管理系統功能預先載入蒐集之成果，其中分為兩類，第一類圖層範圍包含全台灣，內容如下：城市界、基本資料(河道、河川、水庫壩堰、水門及堤岸或護岸)、水文測站(河川水位站、河川流量站及雨量站)、敏感地質(土石流潛勢溪流及崩塌地)、五千分之一圖框；第二類圖層以模擬案例為主，內容如下：兩萬五千分之一地形圖(三角點、山名、水準點、註記、道路及等高線)、流域地質圖(斷層線、褶皺線、調查點及地層面)及國土利用。

三、安裝步驟

(一)ArcView 10 試用版

已安裝 ArcView 版本請略過此步驟

1、申請試用版

ESRI 提供 60 天的試用版，使用者可至下列網址申請，

申請步驟如下：

<http://www.esri.com/software/arcgis/arceditor/evaluate.html>

(1)點選 Get Your 60-day Trial Now

ArcGIS Desktop Free 60-Day Trial

Here's your chance to explore the software and see its power and versatility to solve challenging geographic problems.

What's Included

You'll get ArcGIS Desktop 10 at the [ArcEditor license level](#), which lets you explore core GIS features. Also included are many ArcGIS Desktop extensions—each uniquely designed to perform specialized geographic analysis.

Try ArcGIS Desktop 10 Today

Don't miss this great opportunity to evaluate ArcGIS Desktop to see what it can do for you.

[Get Your 60-Day Trial Now](#)

Need More Information?

If you have other questions before getting the trial software, find the answers in the [Trial Software Help and Resources](#).

(2)登入網站，使用者請選擇 Create an Account

ArcGIS Desktop 10 Free Trial

Esri Global Account

Log in to your Esri Global Account
Not registered with us yet? [Create an Account](#)

User Name:

Password:

 [Forgot User Name/Password?](#)

(3)安裝光碟可選擇線上下載或郵寄光碟，此處以線上下載為例，點選 Get started

Request a Download or a Disc (check System Requirements )

 **Download**

ArcGIS Desktop 10 [3.76 GB]

Tutorial Data (English Only) (Optional) [1.87 GB]

You will be able to select from the following languages:

English Chinese French
 German Japanese Spanish

OR

(4)依序填入基本資料

ArcGIS Desktop 10 Free Trial

We'd like to know a little more about you

We need to know a little bit more about you in order to process your request.
A confirmation e-mail will be sent to cdsm@ms9.hinet.net.

Personal Information (Required)

Prefix:

Job Title:

Phone: **Ext.:**

HuiJung Wang
No.1001, Dasyue Rd., East District
HsinChu, None 300
TW

(5)利用 7-zip 軟體將下載之 iso 檔案解壓縮，並記下下圖第七項授權碼即可進行試用版安裝

Thank you for choosing ArcGIS Desktop 10.

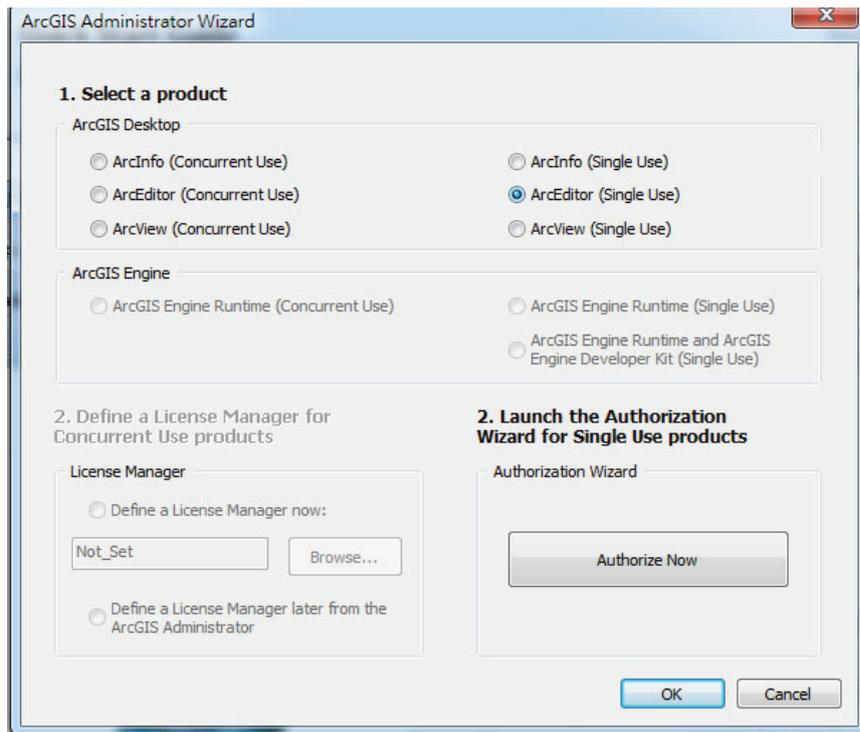
- 1 Uninstall any previous versions of ArcGIS that you may already have on your machine. This includes any version of ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor, ArcInfo), the ArcGIS 9.x License Manager, and ArcGIS Server. The only exception is ArcGIS Explorer.
- 2 Install an image (ISO) extractor program such as [7-Zip](#).
- 3 Install the [Microsoft .NET Framework 3.5 Service Pack 1](#).
- 4 Download ArcGIS Desktop 10 in your preferred language.
Language:
[Download ArcGIS Desktop 10. \(English\): \[3.76 GB\]](#)
- 5 Download ArcGIS Desktop 10 Tutorial data (optional).
[Download ArcGIS Desktop Tutorial Data 10 \(English\) \(English Only\): \[1.87 GB\]](#)
- 6 Unzip the ArcGIS Desktop 10 image (.ISO) files using [7-Zip](#).
Or you can read the image to CD/DVD and run the setup program manually.
- 7 Install ArcGIS Desktop 10.
When prompted, select **ArcEditor Single Use**
Then enter your authorization number: **EVA413019238**
- 8 Begin using your ArcGIS Desktop 10 evaluation software.

2、安裝 ArcGIS

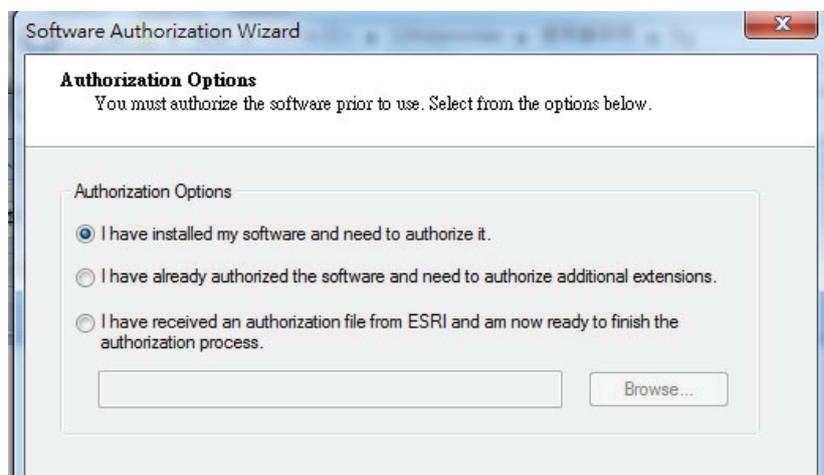
(1)開啟檔案並點選 ESRI.exe，開啟後如下圖所示，點選 ArcGIS Desktop 選項後之 Setup 即開始安裝。



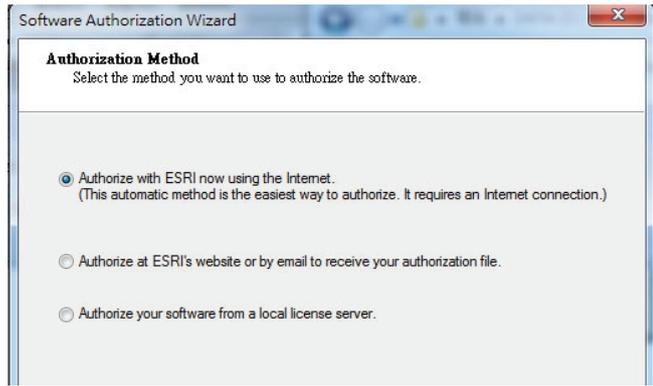
(2)安裝完成後，進行產品註冊，註冊產品選擇 ArcEdit(Single User)，結束後點選 Authorize Now。



(3)選擇 I have installed my software and need to authorize it 後點選下一步。



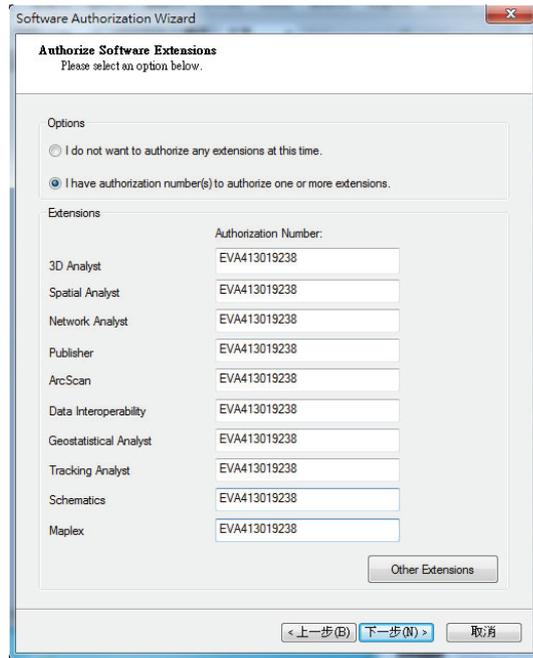
(4)點選 Authorize with ESRI now using the Internet，點選下一步。



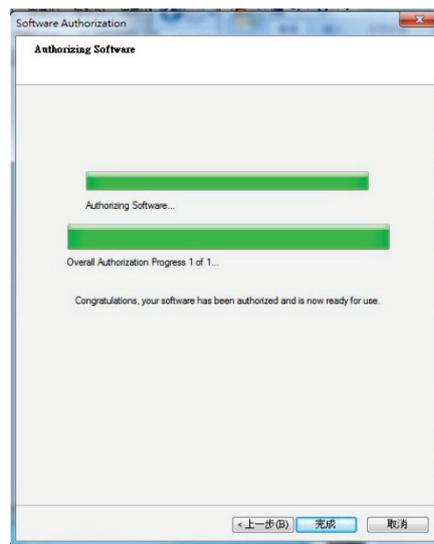
(5)輸入基本資料。

(6)鍵入線上申請之授權碼

(7)一併申請其他模組，授權碼與前項相同



(8)完成安裝



(二)安裝SQL EXPRESS

1、點選光碟內 software 資料夾下之

SQLManagementStudio_x86_CHT.exe

2、執行後進入 SQL Server 安裝中心，點選新的安裝或新功能加入現有安裝。



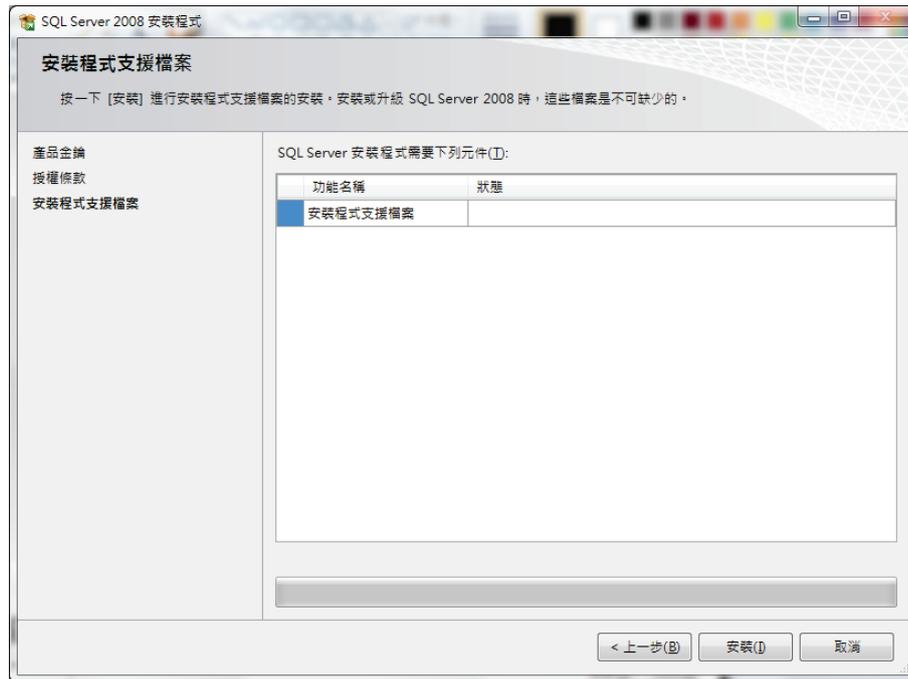
3、指定免費版本，選取下一步。



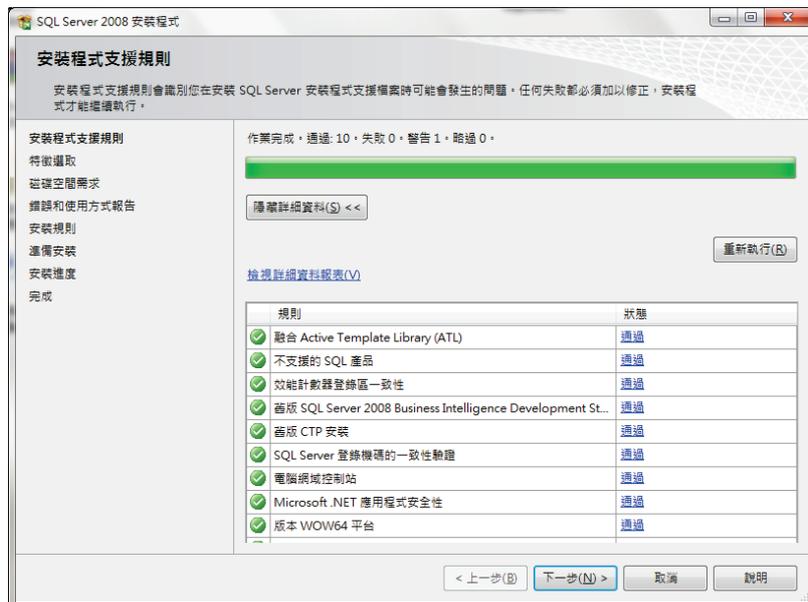
4、勾選“我接受授權條款”，選取下一步。



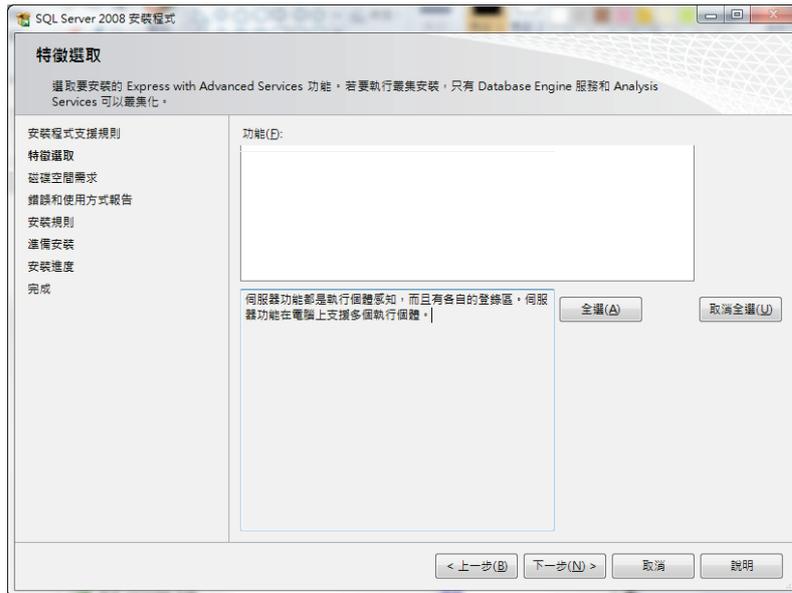
5、點選安裝。



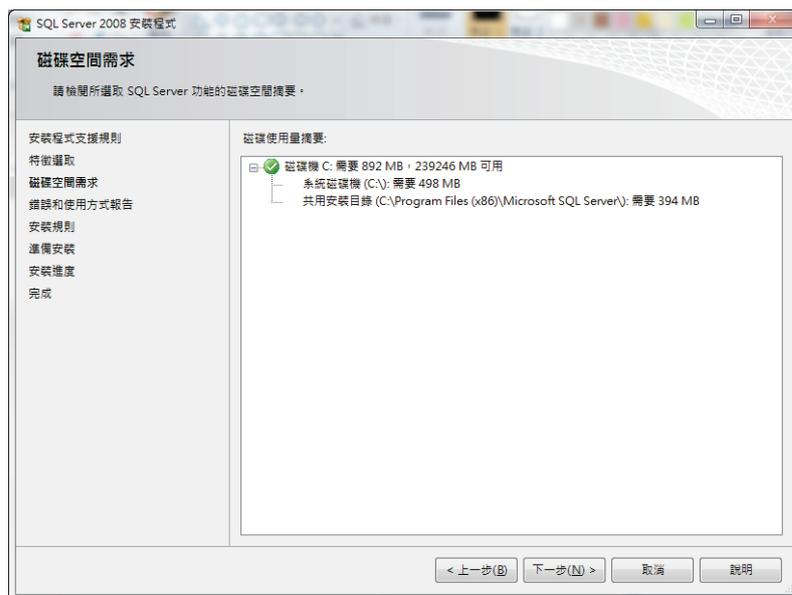
6、確認安裝程式支援規則均通過，點選下一步。



7、選取要安裝的 Express with Advance Service 功能，此版本為無，點選下一步。



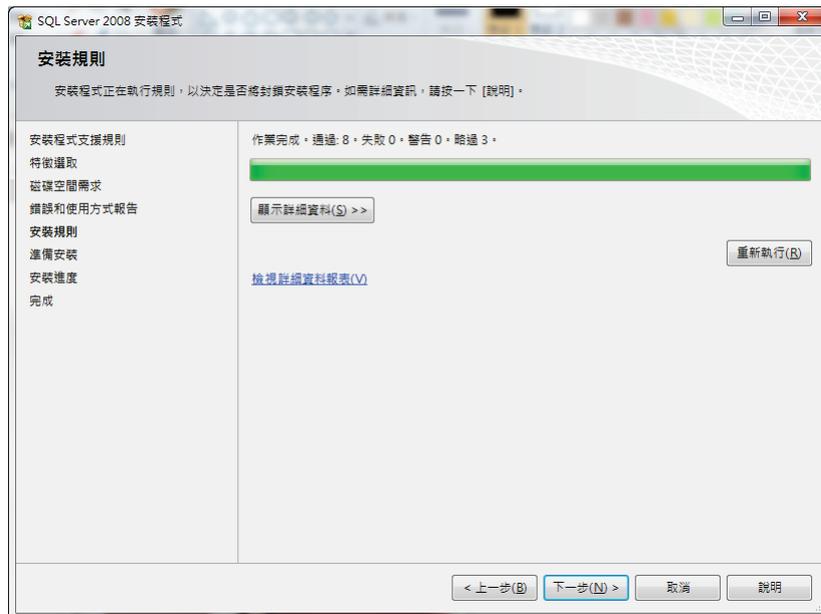
8、確認磁碟空間是否足夠，點選下一步。



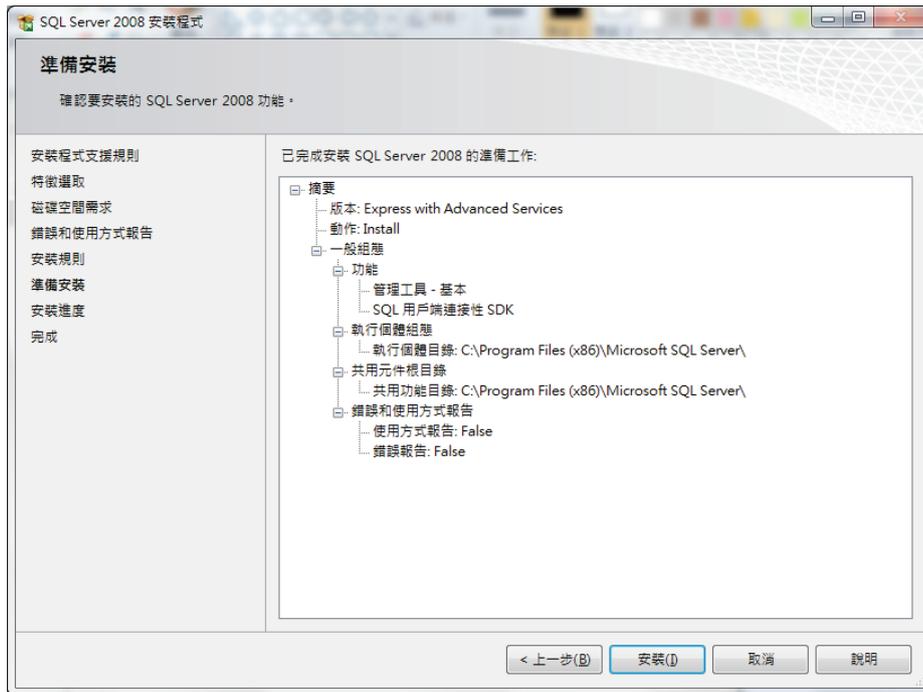
9、錯誤和使用方式報告，點選下一步。



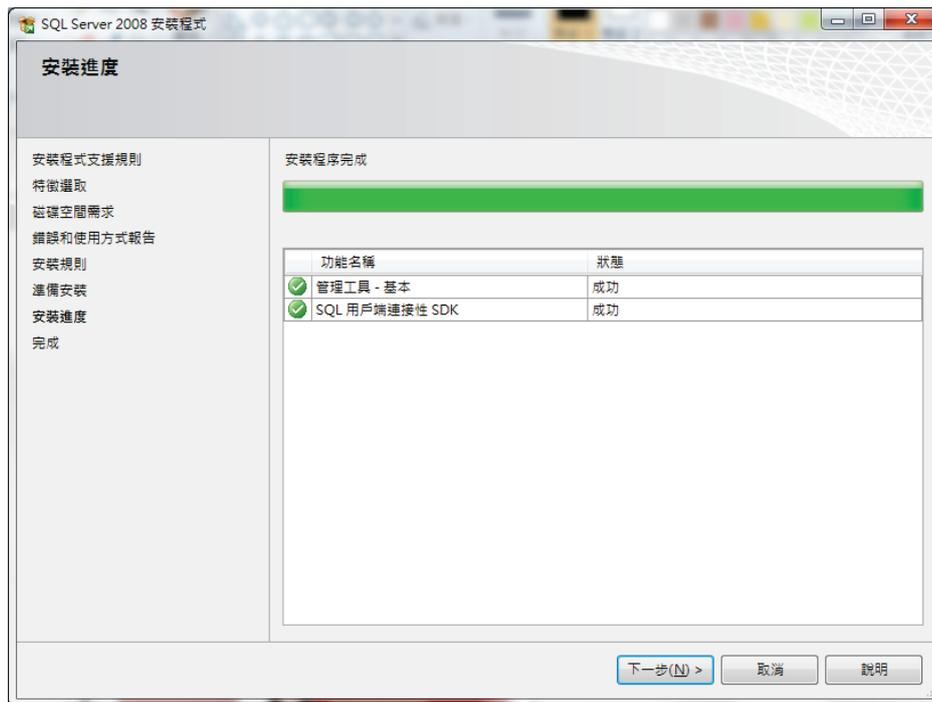
10、確認安裝規則是否通過，點選下一步。



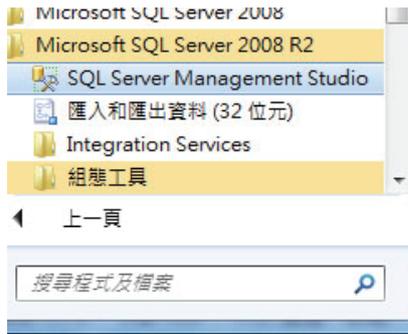
11、點選安裝。



12、安裝完成，按下一步。



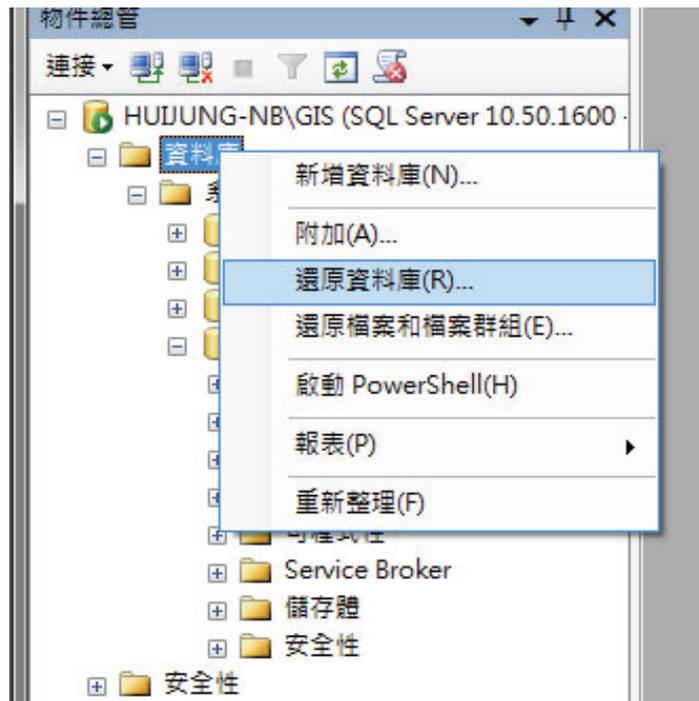
13、開啟管理介面 Microsoft SQL Server 2008 R2/SQL Server Management Studio。



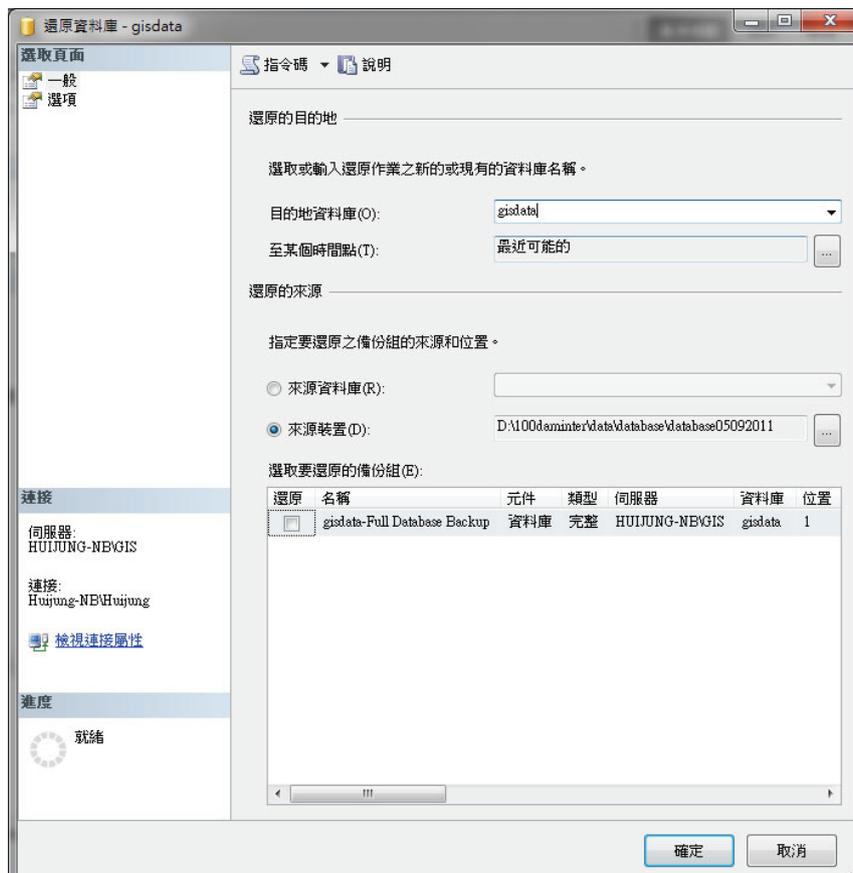
14、利用安裝時設定之帳號密碼，連接至資料庫。



15、於資料庫按右鍵鍵入還原資料庫，將已建置完成之資料庫匯入。

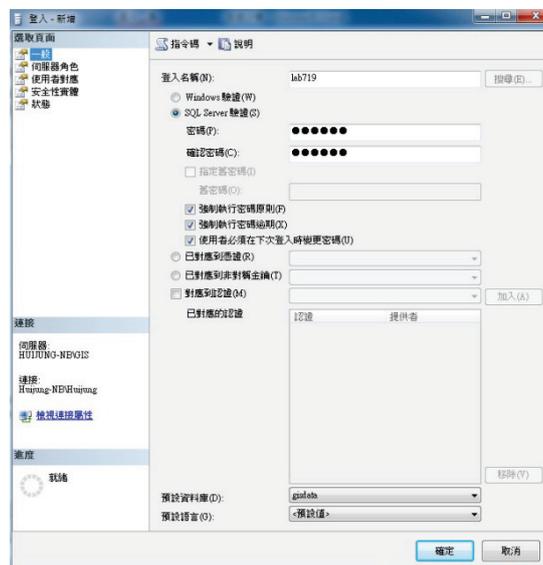


16、資料庫名稱鍵入 gisdata，還原位置選擇來源裝置，位置指向 software 資料夾下 database。勾選還原後即完成資料庫匯入。



17、於安全性點選新增/登入，建立一組帳號密碼作為 gisdata 資

料庫之登入帳號，點選右欄之使用者權限角色勾選 gisdata 之 owner。



(三)其他必要安裝

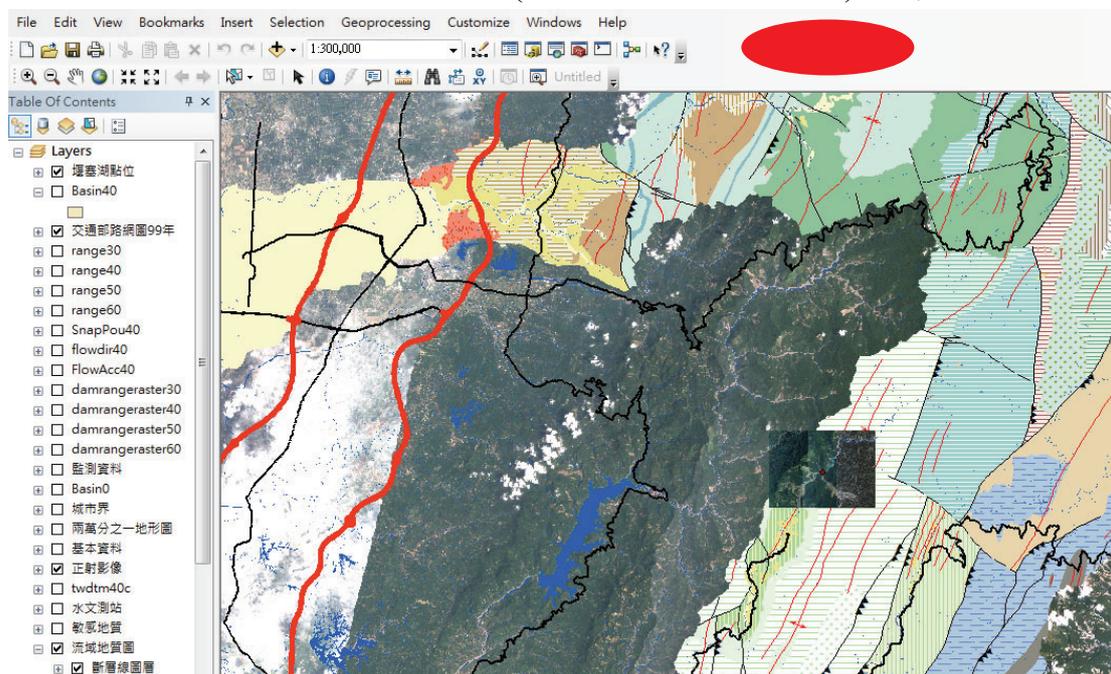
- 1、將 software\數值地質圖例 style 資料夾下 cgssymbola.ttf 及 cgssymbolc.ttf 字型檔匯入字型。
- 2、將 software\toolbox 複製至 C 槽底下。
- 3、將使用者介面複製至磁碟機(使用者自行決定)。
- 4、以記事簿開啟使用者介面下 core 資料夾下 AccessDBInfo.xml，將連線資料改為本機資訊。IP 後方輸入"電腦名稱\GIS"(範例為 Huijung-NB\GIS)，USER 後面輸入帳號，PW 後面輸入密碼。

```
AccessDBInfo - 記事本
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<AccessDBInfo>
  <DBInfo>
    <IP>Huijung-NB\GIS</IP>
    <NAME>gisdata</NAME>
    <USER>lab719</USER>
    <PW>lab719</PW>
  </DBInfo>
</AccessDBInfo>
```

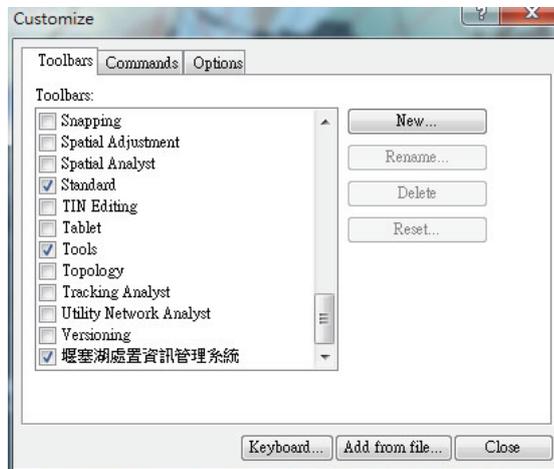
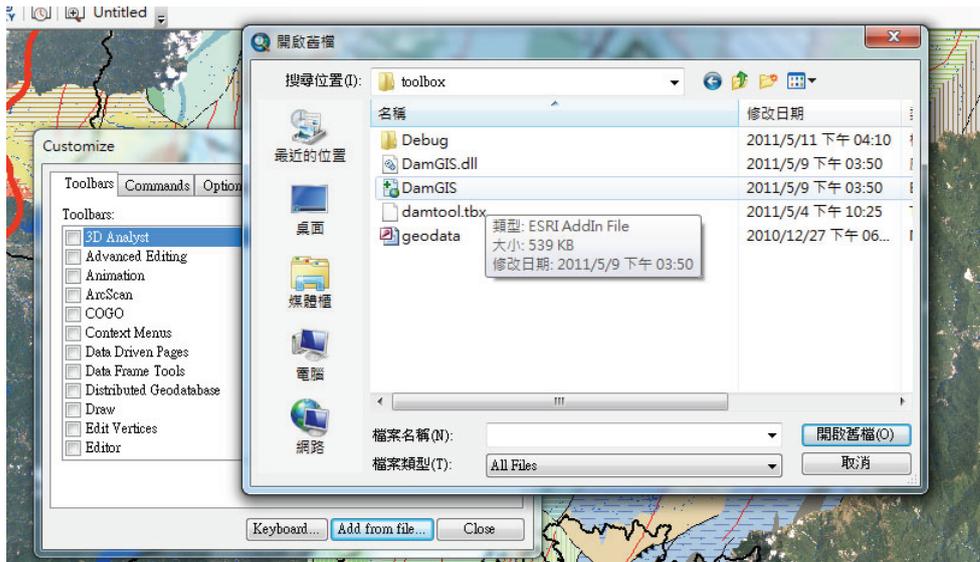
- 4、開啟使用者介面下 startup，點選已建檔之堰塞湖後按還原連線設定將 SQL 帳號密碼套用至管理系統。



- 5.開啟檔案後，於工具列處(如下圖橢圓型位置)雙擊。



- 6、雙擊後即出現 customize 視窗，點選 Add from file，將位置指向 C 槽 Toolbox 資料夾下之 DamGIS，結束後於 toolbox 勾選堰塞湖處置資訊管理系統，重新開啟檔案即完成作業。



四、資料取得

(一) 5 公尺數值高程模型

1、申請單位

內政部地政司衛星測量中

心，<http://www.gps.moi.gov.tw/satellite/apply/ApplyOnline.jsp>

2、申請表單

申請表格如附表 5-1，詳細之申請辦法可參照上述網站，或至資訊系統相關資料上傳與下載取得。

3、申請步驟

填妥附表 5-1 及資料管制同意書後行文至內政部，正常

約兩週可取得該筆資料。

附表 5-1 內政部數值地形模型成果資料申請表

<p>申請人 (自然人採書面申請，請檢附國民身分證正反面影本)</p>		<p>申請人類 種</p>	<p><input type="checkbox"/>機關 <input type="checkbox"/>學校 <input type="checkbox"/>團體 <input type="checkbox"/>公民營機構 <input type="checkbox"/>個人</p>
<p>保管人姓名 (非自然人申請請指定保管人)</p>		<p>國民身分證 統一編號</p>	
<p>連絡地址</p>			
<p>連絡電話</p>			
<p>電子郵件地址</p>			
<p>網際網路通訊協定位址 (IP Address)</p>	<p>(非機密成果資料網際網路下載使用)</p>		
<p>申請目的分類 (請勾選申請目的，或於其他自行填寫)</p>	<p><input type="checkbox"/>辦理測量工程 <input type="checkbox"/>辦理工程規劃 <input type="checkbox"/>辦理研究計畫 <input type="checkbox"/>教學使用 <input type="checkbox"/>自行研究 <input type="checkbox"/>軍事使用 <input type="checkbox"/>其他_____</p>		
<p>申請目的說明 (請簡述申請目的及應用範圍，以便進行統計。機關申請機密級成果資料，請檢附含作業範圍之計畫書等相關證明。)</p>			
<p>申請成果項目 (機密級成果資料以供應機關為原則，目前僅供應政府機關申請。)</p>	<p>以航空攝影測量測製之成果 <input type="checkbox"/>五公尺網格數值高程模型 <input type="checkbox"/>五公尺網格數值地表模型 <input type="checkbox"/>一百公尺網格數值高程模型 <input type="checkbox"/>五百公尺網格數值高程模型 <input type="checkbox"/>影像特徵控制點 <input type="checkbox"/>空中三角測量成果 <input type="checkbox"/>以航空攝影測量測製之其他相關成果</p>		<p>以空載光達測製之成果 <input type="checkbox"/>一公尺或二公尺網格數值高程模型 <input type="checkbox"/>一公尺或二公尺網格數值地表模型 <input type="checkbox"/>空載光達點雲資料 <input type="checkbox"/>以空載光達測製之其他相關成果</p>
<p>申請成果圖幅 (以臺灣地區五千分之一像片基本圖圖幅為單位，圖號為八碼數字，圖幅較多本表不敷使用時，請於次頁另附。超過20幅之書面申請案，請檢附圖幅清冊電子檔，並以分號分隔。)</p>	<p>詳如次頁</p>	<p>(機關申請機密及成果資料請加蓋機關印信)</p>	

(二)福衛二號影像

1、申請單位

國立中央大學太空與遙測研究中心

2、申請步驟

(1)方法一(上班時間)：

直撥專人服務電話: (03)422-9332;(03)422-7151 轉 57601

李小姐或江小姐

(2)方法二：

步驟一 註冊成為資源衛星接收站客戶

http://140.115.109.101:8080/SRSL/CSRSR/customer_regist.jsp

步驟二 請撥打服務電話：(03)4227151 轉 57601，由服務人員告知您的帳號及密碼

步驟三 線上訂購衛星影像

A、<http://140.115.109.86/CSRSR/QUERY2/QueryScreen.htm> 登入您的帳號密碼。

B、確認訂購範圍之左上和右下角座標→至本中心網頁→遙測資料查詢→資源衛星資料影像查詢→點選接收站客戶→輸入您的帳號及密碼→已知所需影像範圍→選擇座標系統→選擇衛星種類→輸入左上及右下角座標→依序輸入設定查詢條件→選擇您合適的影像→按訂購→選擇影像處理等級、地圖投影系統、影像處理方式→訂購相關資料填寫→確認訂購→訂購完成後請來電向服務人員確認

步驟四 取件。

(三)40 公尺數值高程

「台灣地區數值地形模型資料」乃由行政院農業委員會委託林務局[農林航空測量所](#)測製，採用解析航測法在航照立體相

對上數化高程點，以每 40x40 公尺等間距的規則網格取樣，產生之DTM資料以五千分之一基本圖幅分檔。此DTM之平面座標系統採用二度分帶橫麥卡脫投影。平面座標單位為公尺，高程亦為公尺。原始資料以ASCII 碼逐點儲存三維座標。製作完成之台灣地區數值地形模型資料 (DTM) 轉存國立中央大學太空及遙測研究中心並負責保管。

1、申請單位

國立中央大學太空與遙測研究中心

2、申請步驟

(1)準備文件：

A、所屬機關公函B、[申請表格](#)C、簡易計畫摘要書（一頁）及D、[保管辦法](#)。申請表格及保管辦法可由資訊系統相關資料上傳與下載取得或

由<http://www.csr.ncu.edu.tw/08CSRWeb/ChinVer/C5Product/DTM/DTM.php>下載。

(2)交貨期限：接獲申請函後，需再轉發函請國防部情次室核可，待核可後方能提供資料，於接獲國防部情次室核可回函日起 20 日內（含）可完成交貨。

(四)正射影像

1、申請單位

行政院農業委員會林務局農林航空測量所，以下簡稱農航所。

2、申請步驟

(1)查詢所需正射影像位置

正射影像係以 1/5000 圖號命名，使用者可先利用資訊系統提供之 1/5000 圖框及地名定位至該處，取得堰塞湖發生處

之 1/5000 圖號。

(2)查詢是否有災害正射影像

農航所網站提供正射影像總表，可至下列網站取得，

<http://www.afasi.gov.tw/ct.asp?xItem=36030&CtNode=2511&mp=390>，總表內顯示該圖號拍照日期、雲量、檔案名稱等資訊，備妥後即可至農航所購圖，每單件所需時間約為 30-40 分鐘。

(五)國土利用調查成果數值資料

1、申請單位

內政部國土測繪中心。

申請網址：<http://lui.nlsc.gov.tw/LUWeb/Home/Home.aspx>

2、申請步驟

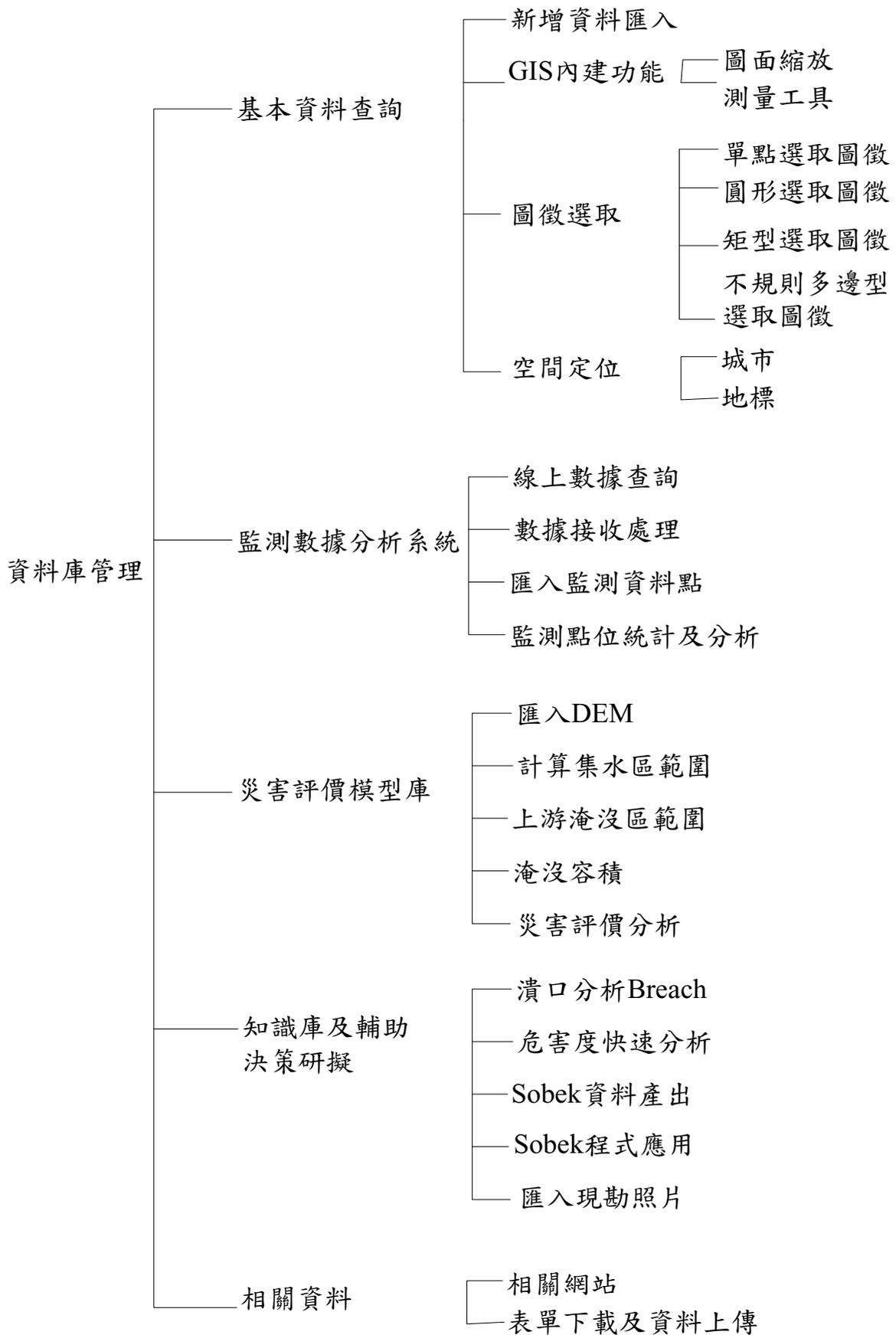
國土利用調查成果流通供應方式係依據內政部頒訂「國土測繪成果資料收費標準」辦理。申請者可用傳真、郵寄或至國土測繪中心地籍資料庫申請。

申請表格可由資訊系統相關資料上傳與下載取得或由<http://lui.nlsc.gov.tw/LUWeb/NewsCast/NewCastDetail.aspx?ID=18>下載。

五、系統功能簡介

堰塞湖處置資訊管理系統擬以堰塞湖個案建置，當有堰塞湖發生時，可以地名或特殊地標定義，即可啟動系統。系統中預設載入本計畫蒐集之基本資料，後續進行之調查、監測、及資料蒐集等則獨立存在於該堰塞湖資料中，堰塞湖處置資訊管理系統介面堰塞湖處置資訊管理系統擬以堰塞湖個案建置，當有堰塞湖發生時，可以地名或特殊地標定義，即可啟動系統。系統中預設載

入本計畫蒐集之基本資料，後續進行之調查、監測、及資料蒐集等則獨立存在於該堰塞湖資料中，堰塞湖處置資訊管理系統功能如下圖所示。



(一)資料庫內容

資料庫分為兩類，第一類圖層範圍包含全台灣；第二類圖層以模擬案例為主，系統資料內容如下表所示。

資料大類	資料中類	資料小類	資料來源及範圍
地形	二萬五千分之一地形圖	三角點	內政部/模擬案例
		山名	
		水準點	
		道路	
		等高線	
		註記	內政部/全省
地質	流域地質圖	斷層線	中央地調所
		褶皺線	
		調查點	
		地層面	
	敏感地質	土石流潛勢溪流	水土保持局/全省
		崩塌地	
		土地地用	內政部國土測繪中心/模擬案例
水文	基本資料	河道	水利署/全省
		河川	
		水庫壩堰	
		水門	
		堤岸或護岸	
	水文測站	河川水位站	
		河川流量站	
		雨量站	

(二)資料庫管理

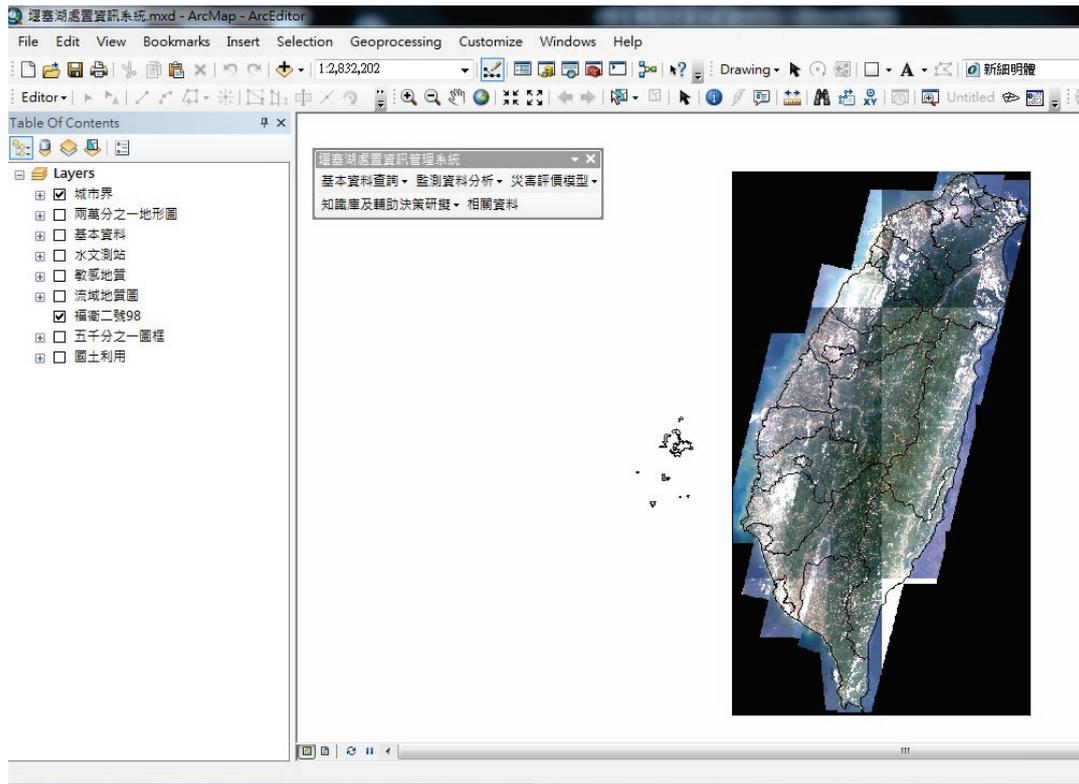
本系統以小林及那瑪夏堰塞湖為例，進行較多基本資料之蒐集，以利使用者瞭解進行初步及詳細評估需要之資訊。本手冊以那瑪夏堰塞湖為範例，進行說明。

首先，雙擊 startup.exe 即可進入堰塞湖處置資訊管理系統，

堰塞湖屬性記錄堰塞湖名稱、資料建置人、發生日期、是否潰決及備註，每次新建置一個堰塞湖系統即自動產生一個以堰塞湖名稱命名之資料夾，相關應用之程式亦複製至該資料夾。點選計畫查詢可開啟該堰塞湖對應之資料夾。若啟動該計畫可雙擊計畫名稱或按啟動計畫即會以 ArcView 開啟 GIS 系統。



進入 GIS 系統後，可見如下圖之配置，除了 ArcView 之系統功能外，本計畫開發一個堰塞湖處置管理系統工具列，內容包含基本資料查詢、監測數據處理分析系統、災害評價模型庫、知識庫及輔助決策研擬及相關資料。系統已預先匯入程式界、兩萬五千分之一地形圖(僅高屏溪)、基本資料、水文測站、敏感地質、流域地質圖、福衛二號(98 莫拉克颱風後)、五千分之一圖框及國土利用圖資(僅旗山溪)。以下將就每個項目介紹。



(三)基本資料查詢

堰塞湖形成後人員需於堰塞湖形成後初步瞭解地質、地形、災害等概況，介面提供新增資料匯入、GIS 內建功能、圖徵選取及空間定位等功能。本處納入之 GIS 內建功能為使用者較常應用之功能，其他功能仍可應用 GIS 已開發之工具列。以下針對各項作介紹。



1、新增資料匯入

除既有已蒐集之基本資料外，介面提供使用者將另行蒐集之資料匯入系統之功能，如較大比例尺之 DEM、正射影像、地

質圖、地形圖等圖資。

2、GIS 內建功能

(1)圖面縮放

提供放大、縮小、倍率縮放、比例縮放等功能。

(2)測量工具

提供於圖面上直接量取距離。

3、圖徵選取

(1)單點選取圖徵。

(2)圓形選取圖徵

以圓形方式，將半徑範圍內圖徵選取出來，比如要列出半徑多少公里內的學校有哪幾處。

(3)矩形選取圖徵

以矩形方式選取查詢。

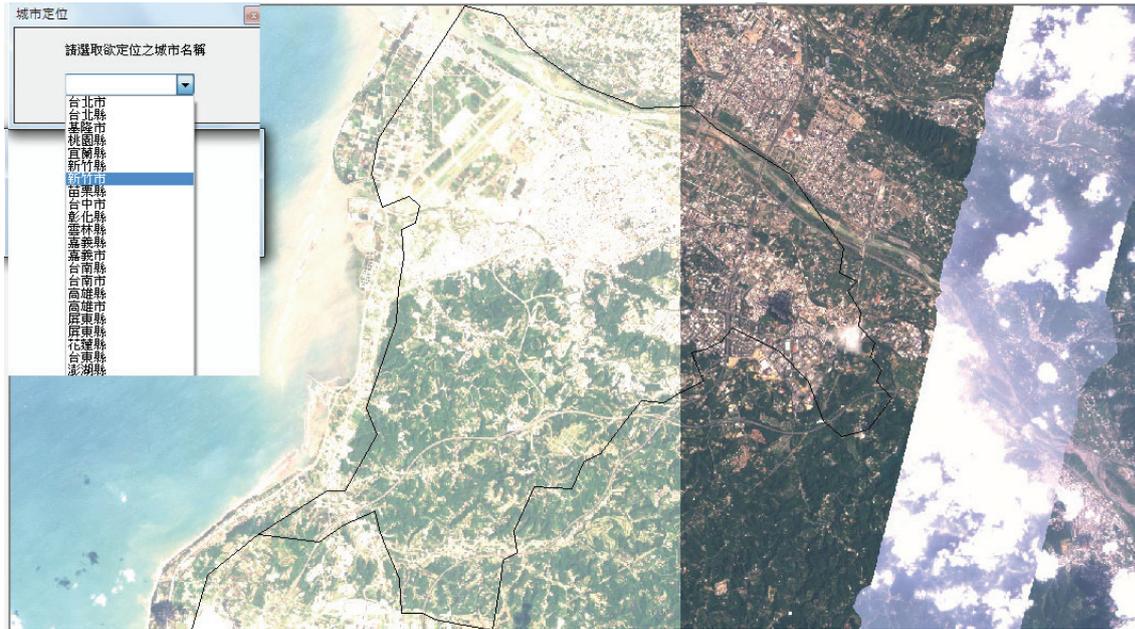
(4)不規則多邊形選取

以不規則多邊形選取方式查詢。

4、空間定位

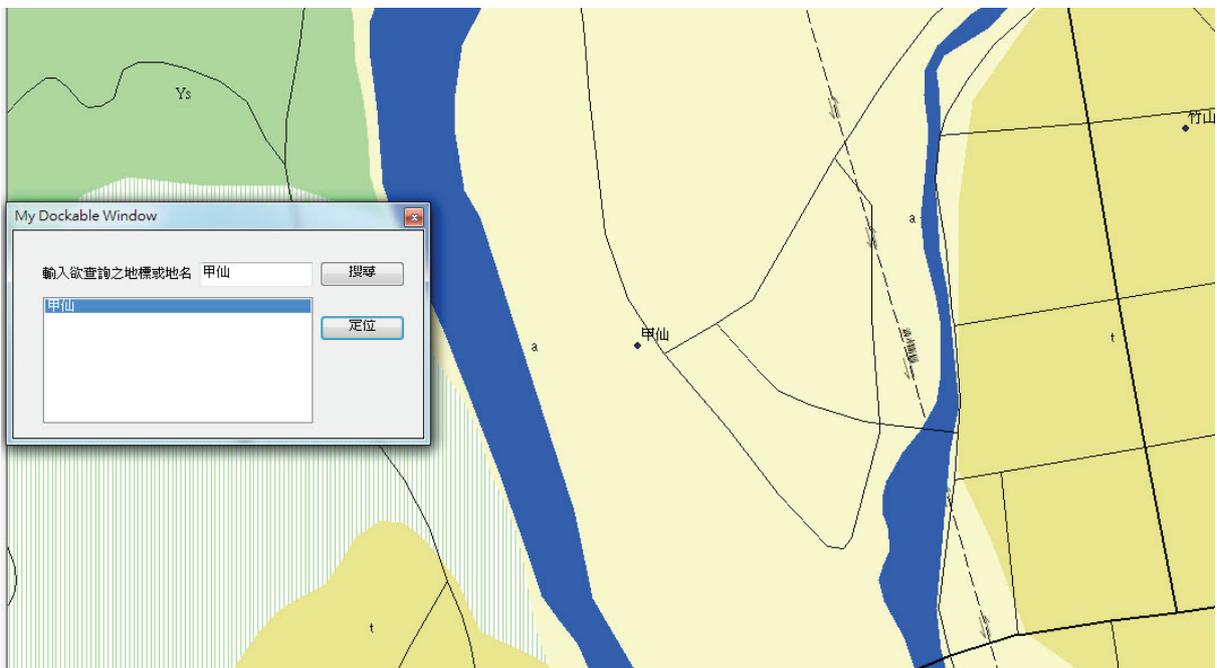
(1)城市查詢定位

城市查詢定位將以城市界為圖資做查詢定位。



(2) 地標查詢定位

地標查詢定位以兩萬五千分之一地形圖註記圖資做查詢定位，由於註記會有一樣之地名，定位前先鍵入地名進行搜尋，系統會將同樣名稱之註記列出，使用者在選擇地名後點選定位。



(四) 監測數據處理分析系統

監測資料分析之工具列包含線上數據查詢、數據接收處理、

匯入監測資料點及監測點位統計及分析。



1、線上數據查詢

經濟部水利署水資源資訊平台服務可透過服務申請即時獲取河川水位及雨量資料，該平台建立之目標為透過建立單一入口之資訊服務平台，整合水利署內各資訊系統，使資訊的取得暢行無阻。

系統已預先於水資源資訊平台申請堰塞湖處置資訊管理系統，及水利署水情資料服務，透過該服務供使用者可線上查詢 7 日內之河川水位及雨量資料。

線上數據查詢已預先將申請好之應用程式識別碼、密碼及服務識別碼填入，使用者可選擇水位站或雨量站進行查詢，系統預載水位站及雨量站之站名使用者由管理系統可查詢鄰近堰塞湖之測站站名，使用站台搜尋找到該站名稱後，拖曳滑鼠選擇查詢日期區間(最多單筆七天)及選擇站名，並點選開始查詢。查詢成果以表格及圖表顯示，表格及圖表均可匯出供後續報告撰寫。另外，提供不分區下載報表，以供後續 Sobek 分析使用雨量及水位資料。本功能僅適用於水利署網域。



2、數據接收處理

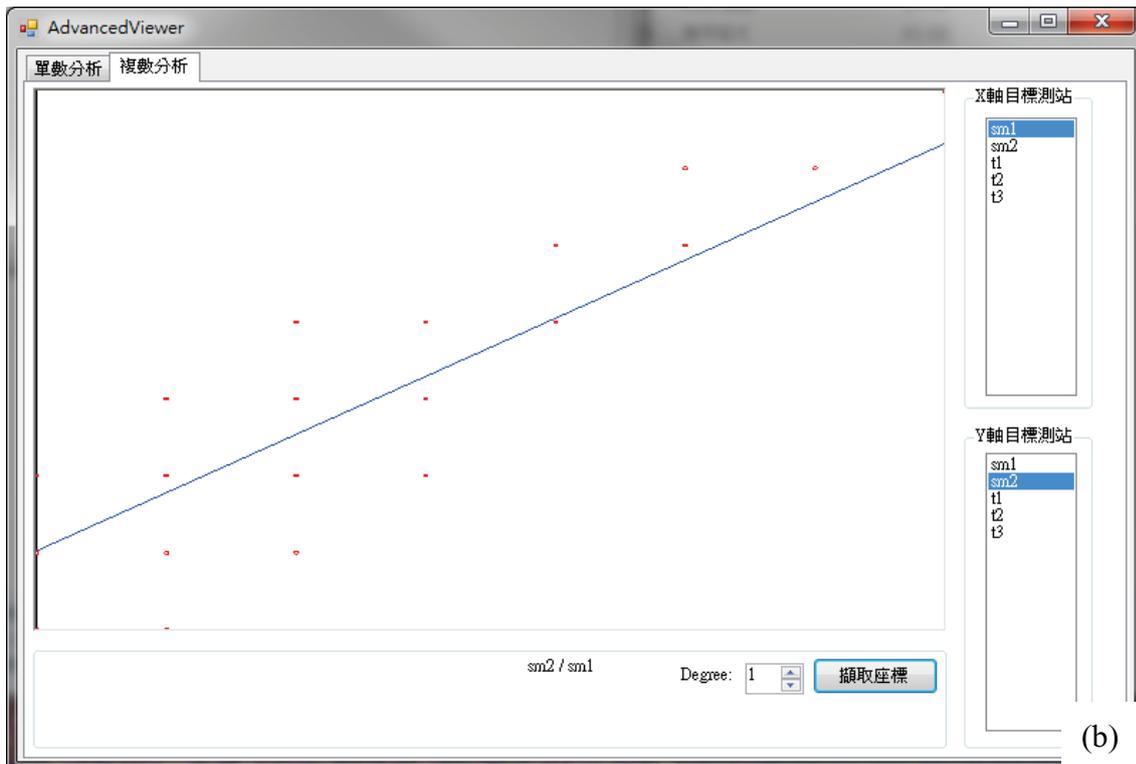
數據接收主要將於現地所監測之數據，自動轉換格式匯入資料庫中，若為新增測點則需鍵入測點座標，若為既有測站則持續匯入數據。另外，若現場有即時影像可透過網頁即時傳輸，亦可於新增測點時加入網站位置，匯入系統時即可藉由點選該站位屬性開啟即時影像傳輸。

匯入資料一共包含 4 個步驟，第一步驟為新增測站資訊，欄位包含測站代號，監測資料之上下臨界值及座標，若匯入既有測站則略過；第二步驟為選擇匯入之測站代號；第三步驟為輸出 GIS 所需測站屬性；第 4 步驟為選取資料檔及 Log 路徑，本系統可選擇匯入周期，若該資料夾與監測儀器為同步，設定周期可依序將監測儀器所產生之資料批次匯入資料庫中，若為單筆資料則選 0。

3、匯入監測資料點

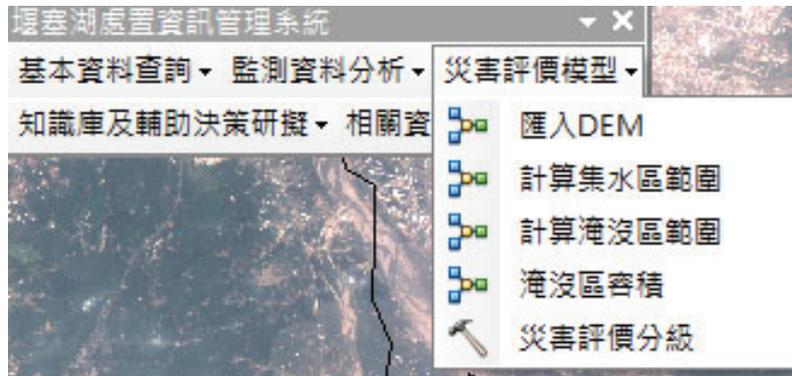
前項數據接收處理所匯出之測站屬性，可利用匯入監測資

析可直接求得 R/S 分析方法之 Hurst 指數與尖點突變理論分析之 D 值，如下圖(a)；複數分析提供不同監測數據直接比對，以及其趨勢線如下圖(b)。



(五) 災害評價模型庫

災害評價模型包含匯入 DEM、計算集水區範圍、計算淹沒區範圍、崩塌地容積及災害評價分析。



1、匯入 DEM

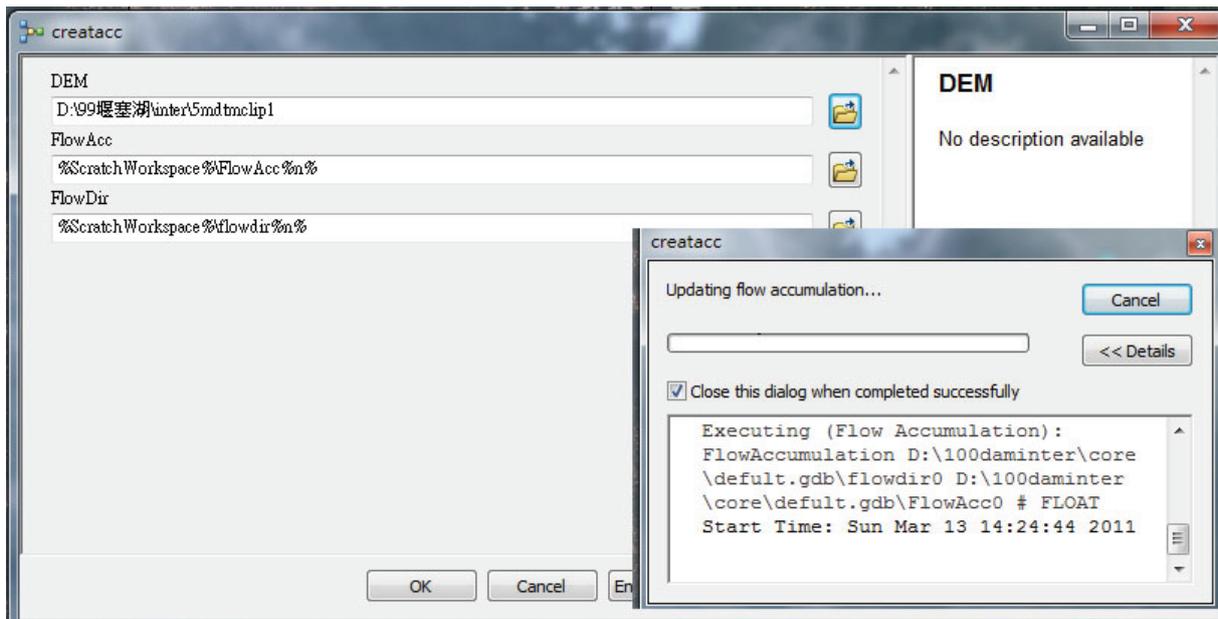
使用者將所蒐集到之 DEM 匯入運算，初期可採用林務局 40*40 公尺 DEM，後續可向內政部申請 5*5 公尺之 DEM 進行運算。本工具計算無窪地流向及匯流累積量以供後續集水區範圍及淹沒區計算使用。

輸入參數

DEM：使用者蒐集到之 DEM

FlowAcc：匯流累積量檔名(內建為 FlowAcc0)

FlowDir：無窪地流向檔名(內建為 FlowDir0)



2、計算集水區範圍

使用者可輸入阻塞點位置並指定參考之 DEM，程式則利用前項所建立之無窪地流向及匯流累積量進行運算，成果將輸出阻塞點上游集水區範圍及面積。下圖右為集水區範圍，點選屬性可知集水區面積。

堰塞湖點位：溢流點點位，建檔方式參照下節

SnapPoint：阻塞點位置檔名(內建為 SnapPou0)

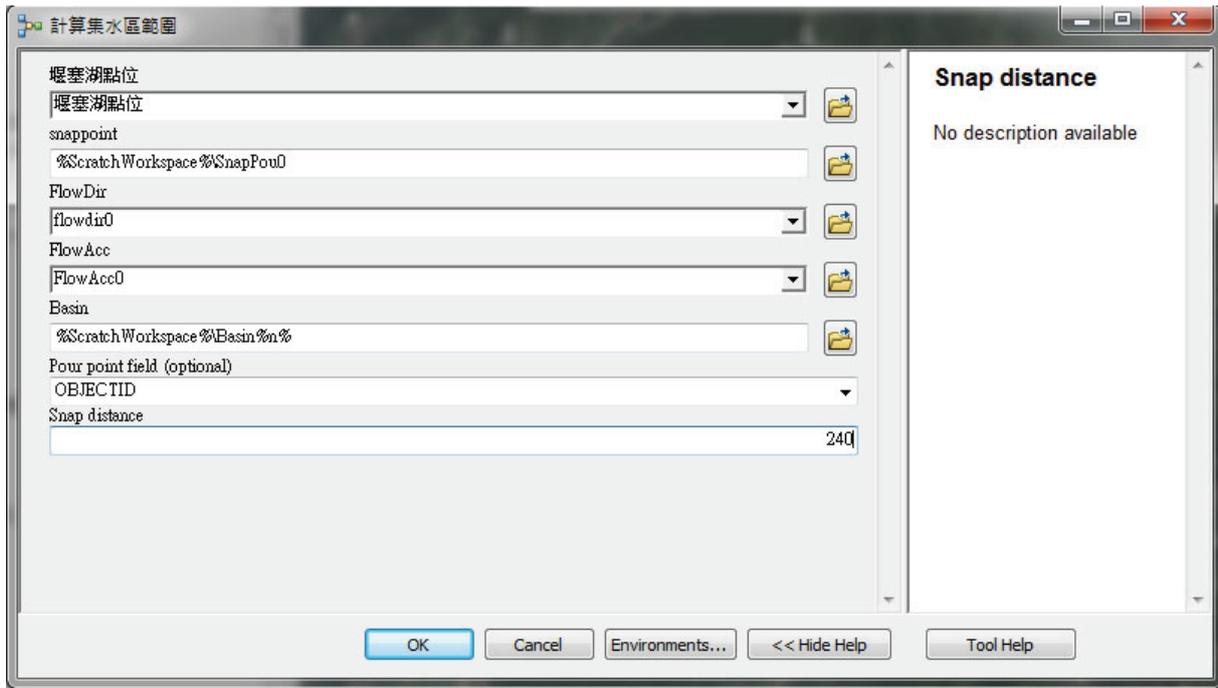
FlowDir：無窪地流向(若前項作業未更改內建檔名則此處無需更改)

FlowAcc：匯流累積量(若前項作業未更改內建檔名則此處無需更改)

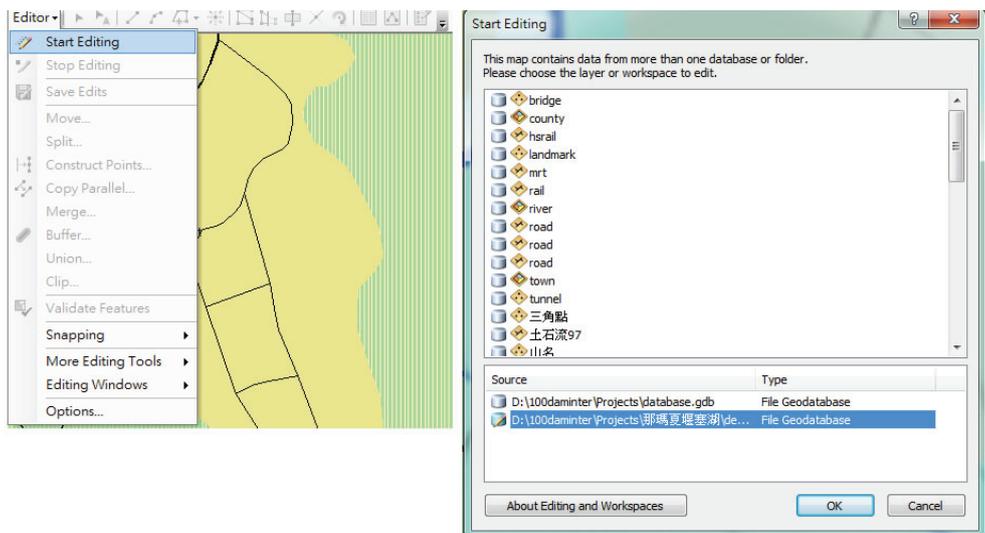
Basin：集水區範圍檔名(內建為 Basin0)

Pour point field：選取 OBJECTED

SnapDistance：阻塞點距離(一般選取 3-6 倍 DEM 間距，如 40 公尺 DEM 則可選擇 120 至 240 之間。)

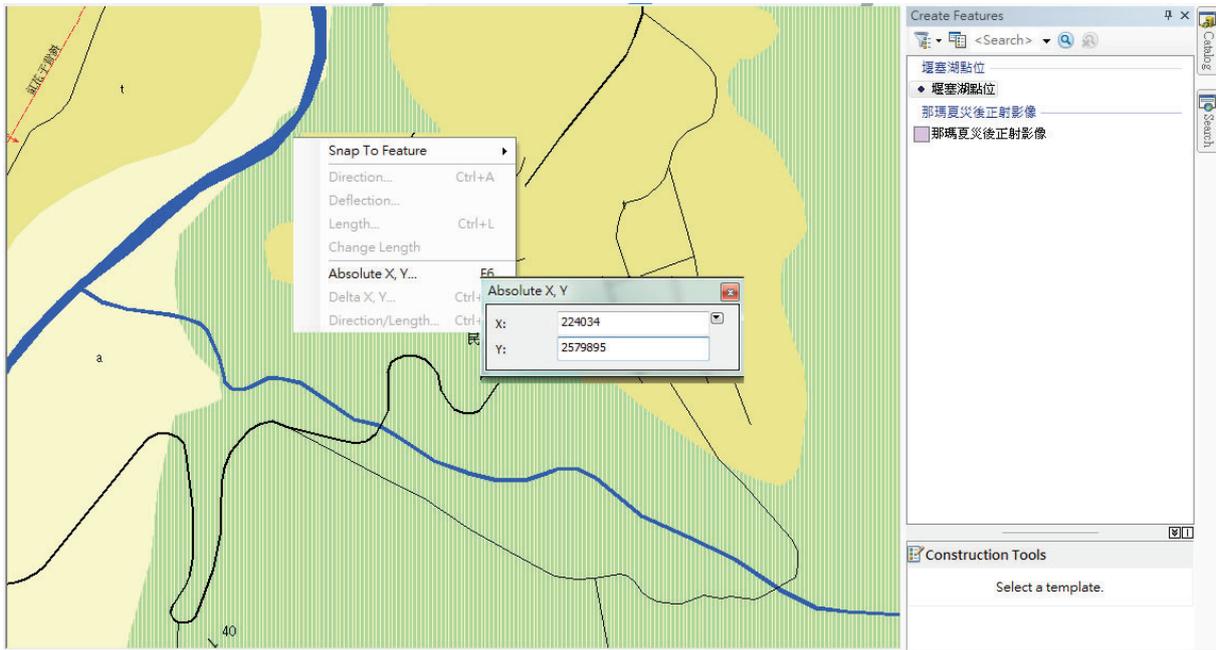


阻塞點位置檔案格式需為 GIS，系統已預先建置空白之 GIS 檔案，阻塞點位置可由兩種方式取得，1.使用者於現地勘查時，利用 GPS 取得溢流點座標位置，可以此作為阻塞點位置。2.若已取得堰塞湖區域之正射影像或福衛二號，則於圖面直接點選。首先，點選 EDIT 下拉選單，選取 Start Editing，即出現下圖右方視窗，於其下方選取與堰塞湖名稱相同之資料夾按 OK 開始編輯。以下簡述建檔方式。



(1) 鍵入 XY

進入編輯狀態後，點選下圖右方堰塞湖點位，將由游標移至圖面按右鍵選取 Absolute XY，鍵入 XY 座標。



(2)圖面選取

於圖面直接點選。



3、上游淹沒區範圍

尚未取得正射影像或福衛影像前，本工具得令使用者預先計算，在不同堰塞湖水深下，上游淹沒區之範圍如下圖所示。

圖上輸入起始及結束水深為 30 跟 60 公尺，間距為 10 公尺，點選 OK 後，即可計算出如圖左下，水深 30、40、50 及 60 公尺之淹沒區域。

輸入參數

DEM：使用者蒐集到之 DEM。

SnapPou：阻塞點位置(若前項作業未更改內建檔名則此處無需更改)

basindem：集水區範圍數值高程檔名(內建為 basindem0)

SnapPoint：阻塞點位置檔名(內建為 SnapPou0)

Damrange：淹沒區範圍檔名(依所計算之不同水深記錄，如水深 30 公尺，則檔名為 damrange30)

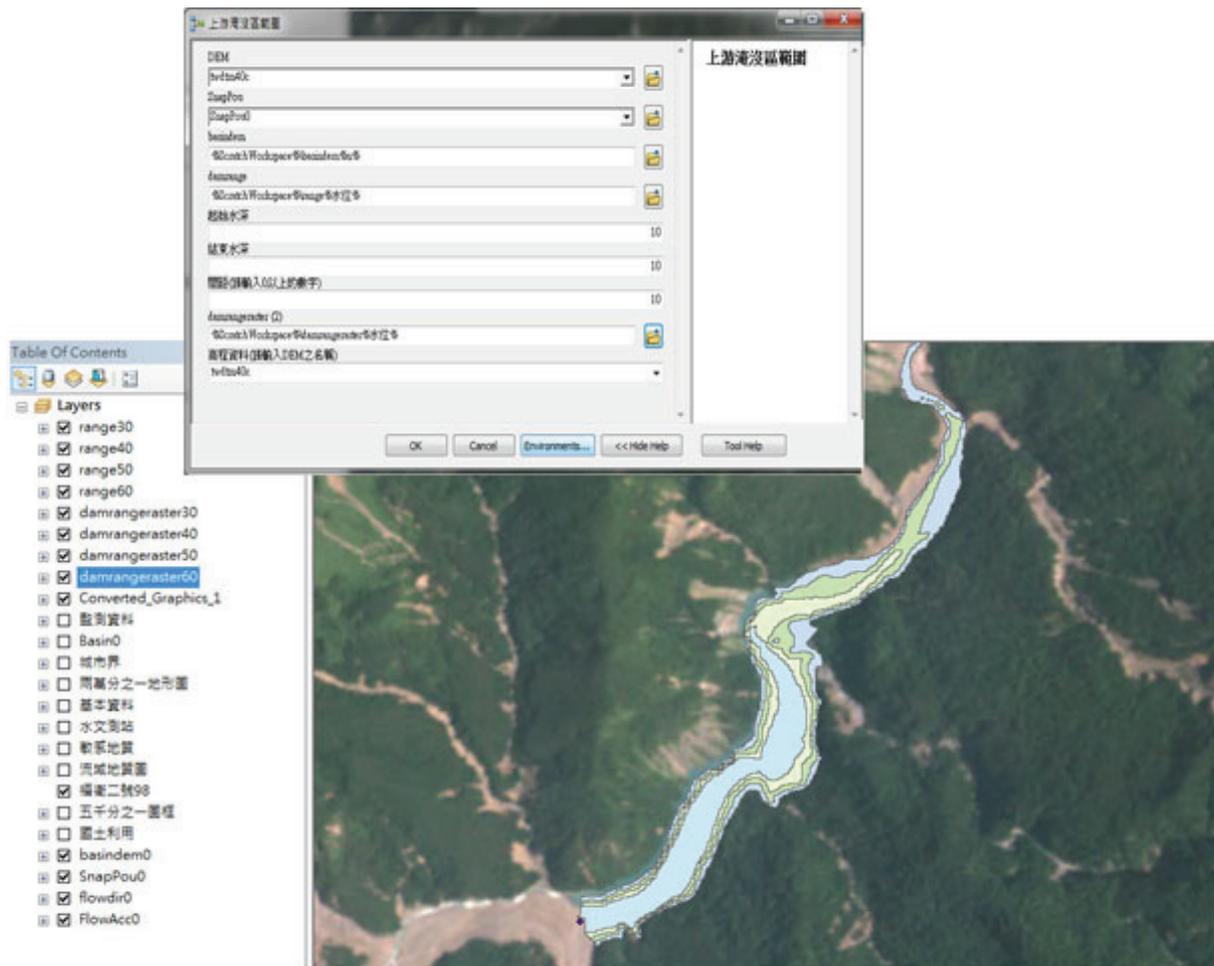
起始水深

結束水深

間距：須注意請勿輸入小於或等於 0 之數字

Damrangeraster：淹沒區數值高程(依所計算之不同水深記錄，如水深 30 公尺，則檔名為 damrangeraster30)

高程資料：此為 DEM 欄位名稱，請輸入載入之 DEM 檔名(不含副檔名)

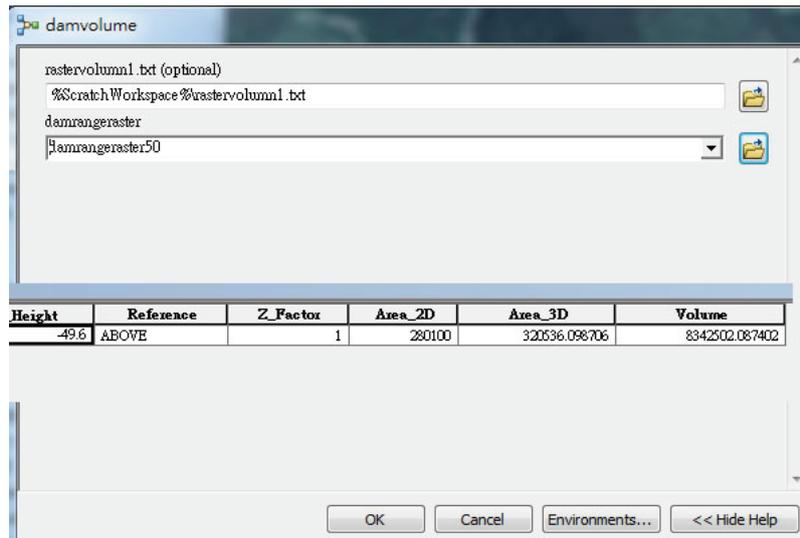


4、淹沒容積

針對前項所計算之淹沒區範圍，皆可利用匯入之 DEM 計算此範圍下之淹沒容積。下圖為套用淹沒水深為 50 公尺計算出之蓄水量，其蓄水量約為 8,342,502 立方公尺。

rastervolumn1.txt：選取計算後文字檔之檔名(可不輸入，僅於視窗顯示)

damrangeraster：輸入欲計算之淹沒區數值高程



5、災害評價分析

利用既有資料、集水區面積、蓄水量等指標項目套用前項天然壩潰決危險度評估方法進行災害評價分析。使用者依據獲得之資料輸入參數，參數包含集水區面積 A 、壩高 H 、體積 V 、壩寬 W 、壩長 L 及尖峰流量 P 後，可點選 DBI 無因次阻塞指標、鑑別分析模式(PHWL_Dis)、鑑別分析模式(AHWL_Dis)、邏輯斯迴歸模式(PHWL_Log)及邏輯斯迴歸模式(AHWL_Log)，可分別計算出天然壩之穩定狀態，邏輯斯迴歸模式亦可用來評估天然壩破壞機制。輸入完成後，可點選匯入資料庫，系統會記錄匯入之時間，並記錄各評價公式之成果，若因參數不足無法運算，則以 N/A 表示之。

(1)無因次阻塞指標

Ermini and Casagli (2003)利用全球 84 筆堰塞湖案例，提出無因次阻塞指標 DBI 分析堰塞湖之穩定性，當 $DBI < 2.75$ 時天然壩屬穩定； $DBI > 3.08$ 時天然壩屬不穩定；若 $2.75 < DBI < 3.08$ 則無法區別天然壩穩定性。

$$DBI = \log\left(\frac{A_b \times H_d}{V_d}\right)$$

(2) 鑑別分析模式

Dong et al. (2009) 利用地形資料齊全之日本案例 46 筆 (Tabata et al., 2002)，利用判別分析找尋控制影響堰塞湖穩定性的參數，其中最重要者包括尖峰流量或集水區面積、壩高、壩寬以及壩長，該研究亦建立預測壩體穩定性之多變量分析模。當鑑別分數小於 0 時代表天然壩屬不穩定；大於 0 時代表天然壩屬穩定。

$$D_s = -2.94 \log(P) - 4.58 \log(H) + 4.17 \log(W) + 2.39 \log(L) - 2.52$$

PHWL_Dis

$$D_s = -2.62 \log(A) - 4.67 \log(H) + 4.57 \log(W) + 2.67 \log(L) + 8.26$$

AHWL_Dis

(3) 邏輯斯迴歸模式

利用與 Dong et al. (2009) 同樣的日本堰塞湖資料，Dong et al. (2010) 建立邏輯斯迴歸模式，當邏輯斯分數小於 0 時代表天然壩屬不穩定；大於 0 時代表天然壩屬穩定。當 L_s 大於 0 時，天然壩破壞機率小於 50%，反之，如果 L_s 小於 0 時，天然壩破壞機率則大於 50%。

$$L_s = -2.55 \log(P) - 3.64 \log(H) + 2.99 \log(W) + 2.73 \log(L) - 3.87$$

PHWL_Log

$$L_s = -2.22 \log(A) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93$$

AHWL_Log

$$L_s = -4.48 \log(A) - 9.31 \log(H) + 6.61 \log(V) + 6.39 \quad \text{AHV_Log}$$

$$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}} \quad (\text{破壞機率})$$

災害評估分析

天然壩穩定性評估地形因子定量分析方法

計算 查詢

集水面積A(m ²)	354000000	DBI無因次阻塞指標
壩高H(m) (通過溢流點)	44	DBI<2.75時天然壩屬穩定 DBI>3.08時天然壩屬不穩定
體積V(m ³)	15340000	鑑別分析模式(PHWL_Dis)
壩寬W(m)	1554	Ds小於0時代表天然壩屬不穩定
壩長L(m)	370	鑑別分析模式(AHWL_Dis)
尖峰流量P(cms)	N/A	Ds小於0時代表天然壩屬不穩定
		邏輯斯迴歸模式(PHWL_Log)
		Ls小於0時代表天然壩屬不穩定
		邏輯斯迴歸模式(AHWL_Log)
		Ls小於0時代表天然壩屬不穩定
		匯入資料庫

堰塞湖發生後，參數會隨著資料及時間取得而有改變。使用者可依據時間查詢歷次選用之參數。

災害評價分析

天然壩穩定性評估地形因子定量分析方法

計算 查詢

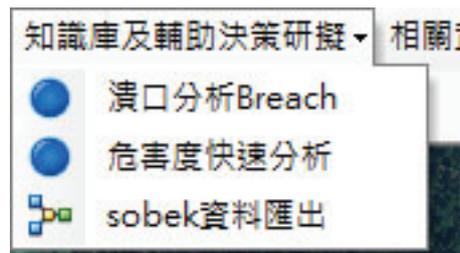
2011/5/14 下午 05:3

查詢 刪除

集水面積 A (m ²)	354000000	DBI無因次阻塞指標	DBI=3.01,天然壩未能分類
壩高 H (m)	44	鑑別分析模式(PHWL_Dis)	N/A
體積 V (m ³)	15340000	鑑別分析模式(AHWL_Dis)	Ds=0.37,天然壩屬於不穩定
壩寬 W (m)	1554	邏輯斯迴歸模式(PHWL_Log)	N/A
壩長 L (m)	370	邏輯斯迴歸模式(AHWL_Log)	Ls=1.79,天然壩屬於不穩定,天然壩
尖峰流量 P (cms)	N/A		

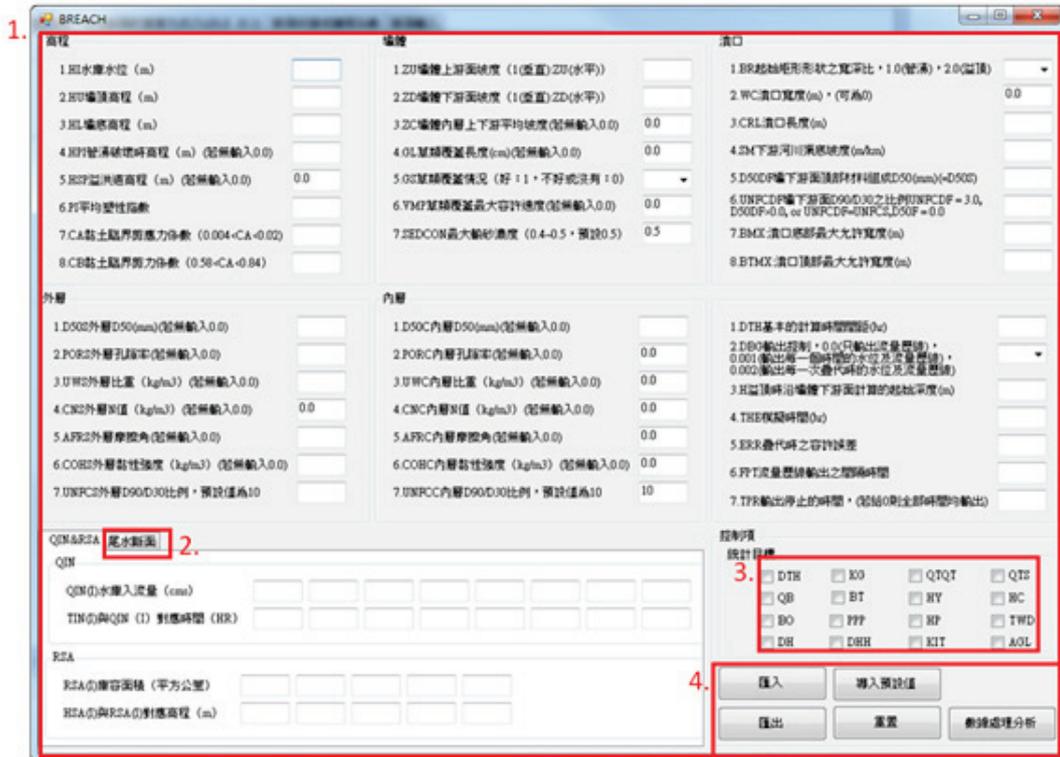
(六)知識庫及輔助決策研擬

知識庫及輔助決策研擬包含潰口分析 Breach、危害度快速分析、Sobek 輸入資料產出及 Sobek 一維及二維分析。

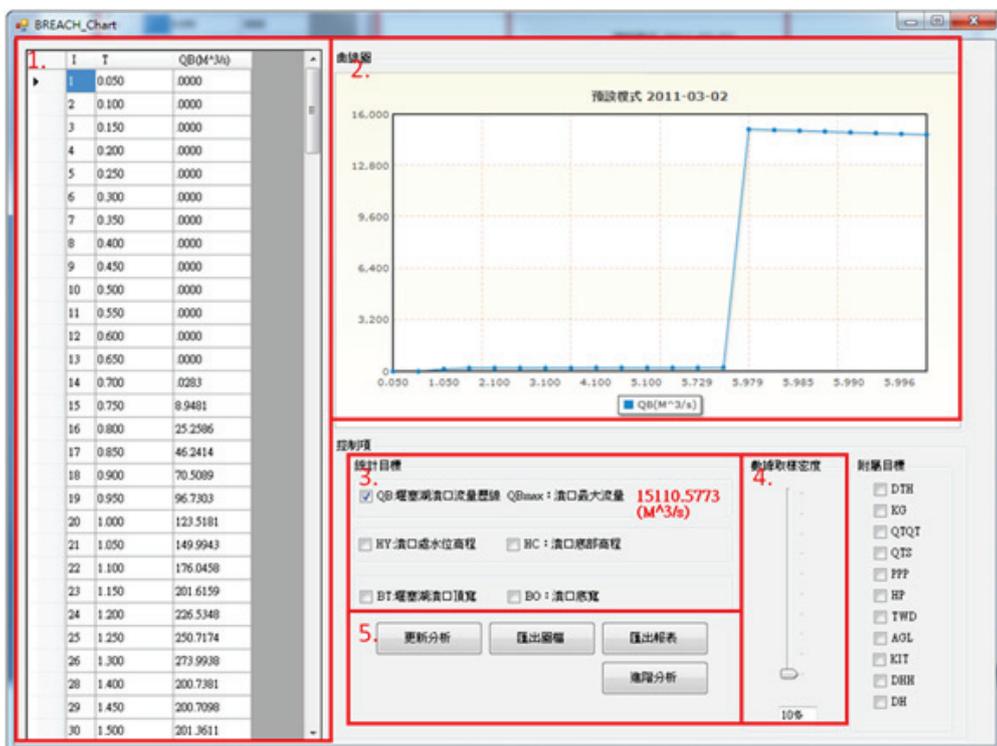


1、潰口分析 Breach

潰口分析係採用 Breach 進行，Breach 軟體輸入之參數為英制，且輸入檔格式較不易上手。本計畫建置介面，得以表單方式進行參數輸入，輸入完成後自動進行單位換算並轉換為 Breach 軟體之輸入檔。詳細之參數輸入請參照附錄七潰壩模式分析手冊。



運算結束以圖形展示計算成果，如下圖，第一項為分析結果之資料表格，選擇第三項呈現目標，即可於第二項繪圖，另外，亦可於第四項選擇繪圖之數據密度。



2、危害度快速分析

本計畫預先模擬不同上下游坡度、上游入流量、壩體高度及蓄水體積，以 Breach 計算出流量，並將其成果建立成表格，本工具可藉由輸入參數，進行查表。

預先模擬之參數如下所述：

上游入流量(cms)： 2000、3000、5000、7500 及 10000。

上游坡度：1:2、1:3、1:4 及 1:5。

下游坡度：1:2、1:3、1:4 及 1:5。

壩體高度(m)：10 至 70m，每 10m 為一個級距。

蓄水體積(百萬立方公尺)： 500、1000、2000、3000 及 4000。

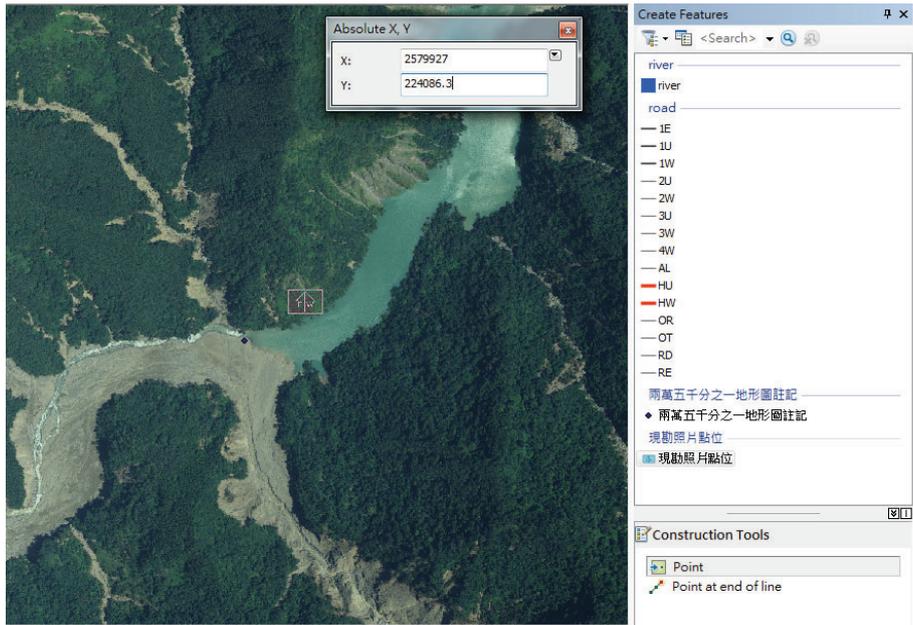


3、Sobek 資料產出

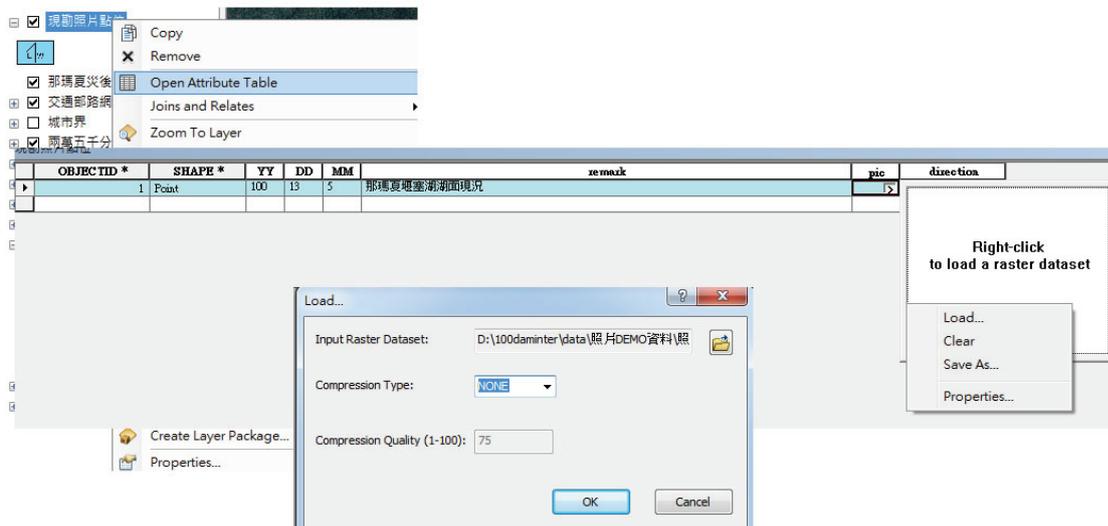
將 XYZ 座標檔案輸出成 Sobek 所需輸入格式之 ASCII 檔案。

4、匯入現勘照片

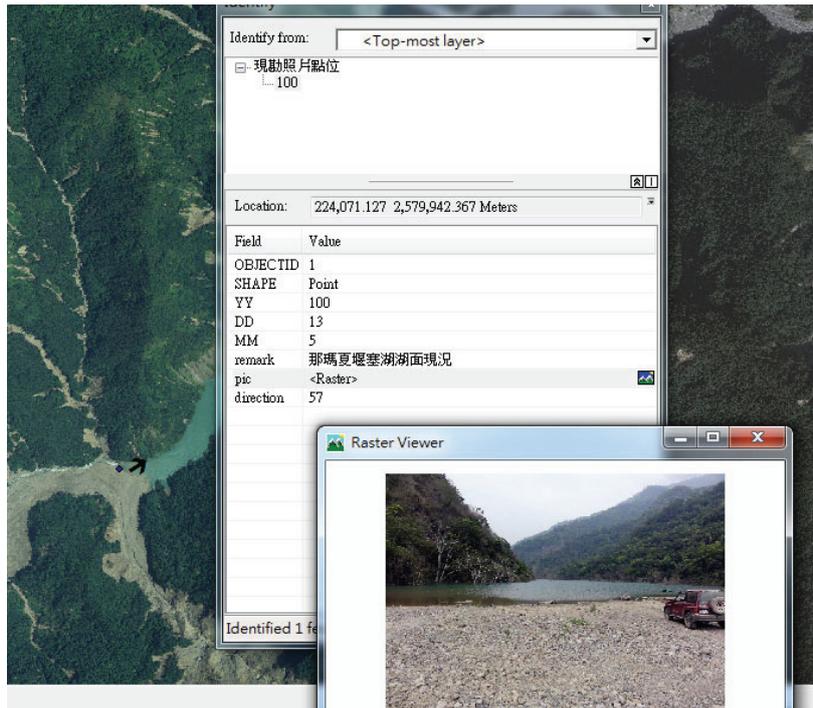
編輯資料選擇 project\database 進入編輯狀態後，點選下圖右方現勘照片點位，將由游標移至圖面按右鍵選取 Absolute XY，鍵入照片對應之 XY 座標。



完成後，點選現勘照片點位按右鍵選取 Open Attribute Table，依序鍵入相關資訊如 YY:100、MM:5、DD、13、direction：57 及 remark：那瑪夏堰塞湖湖面現況。另外，點選 pic 欄位按右鍵選擇 Load，將對應之照片匯入。

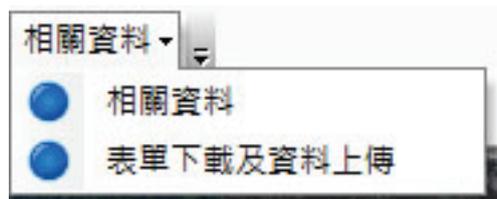


鍵入相關欄位及照片後，即完成編輯，於圖面上可看到照片以箭頭表示，箭頭表示拍照方位，查詢屬性可查出之前所鍵入之屬性資料及照片。



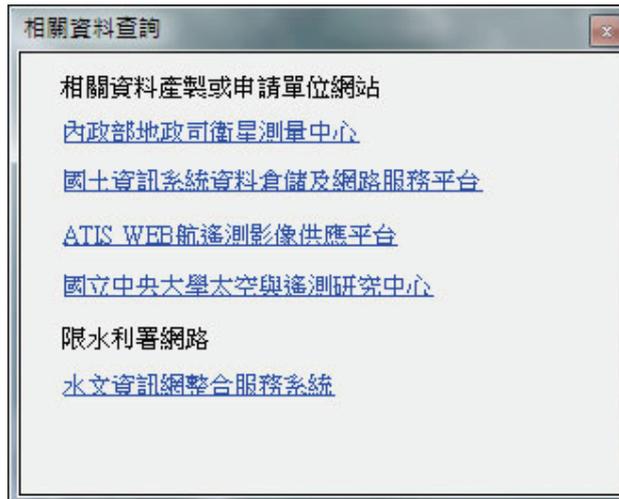
(七)相關資料

堰塞湖於災害發生時需緊急搜集之相關資料，本計畫將彙整相關網站及表單，亦列入僅開放給公務機關線上索取之網頁，方便使用者使用。另外，為有效管理相關資料，亦建立上傳機制，使用者在進行現勘所填寫之表格、照片等相關資訊均可統一彙整。



1、相關網站

相關的網站包含內政部地政司衛星測量中心、國土資訊系統資料倉儲及網路服務平台、航遙測影像供應平台、國立中央大學太空與遙測研究中心及水文資訊網整合服務系統等。

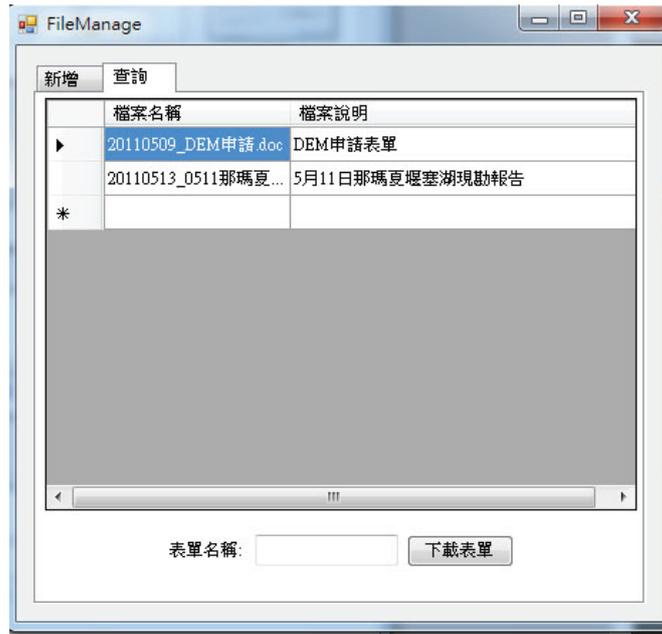


2、表單下載及資料上傳

系統納入相關資料如內政部 5 公尺數值高程申請辦法、堰塞湖處置資訊管理使用者手冊、堰塞湖天然壩緊急調查與危害度評估野外作業手冊(初稿)、40mDEM 申請辦法及表格等相關資訊。使用者在進行現勘所填寫之表格、照片亦可利用表單上傳統一管理，利用摘要欄位作為索引之方法。範列表單可於資訊系統 Doc 資料夾新增或變更。



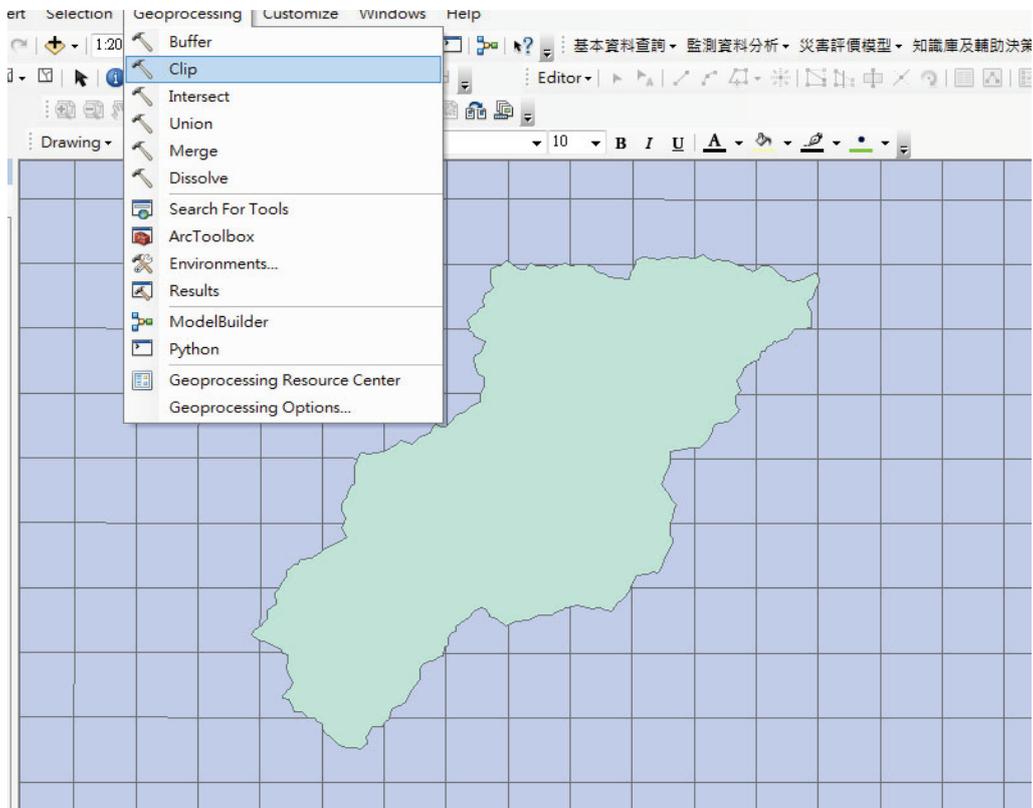
利用查詢介面可查詢該堰塞湖所有已上傳之表單，若需使用該資料，則雙擊該資料即可按下載表單按鈕取得該檔案。



(八)相關應用

1、製作 1/5000 圖框

首先準備好要申請圖資之範圍圖，點選 Geoprocessing 裡的 Clip。

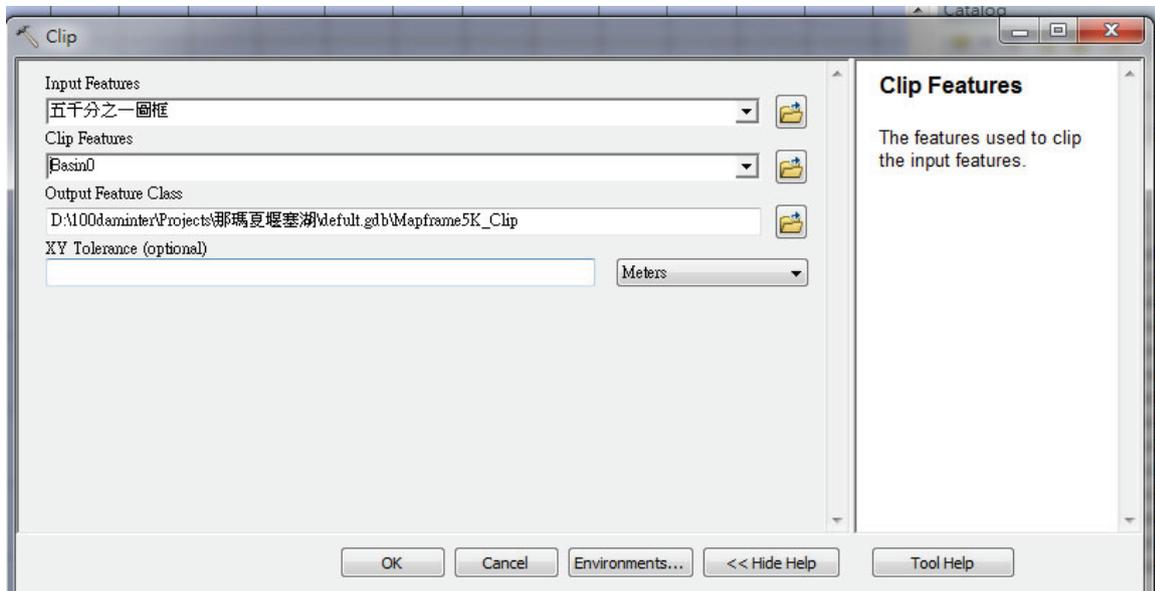


參數設定

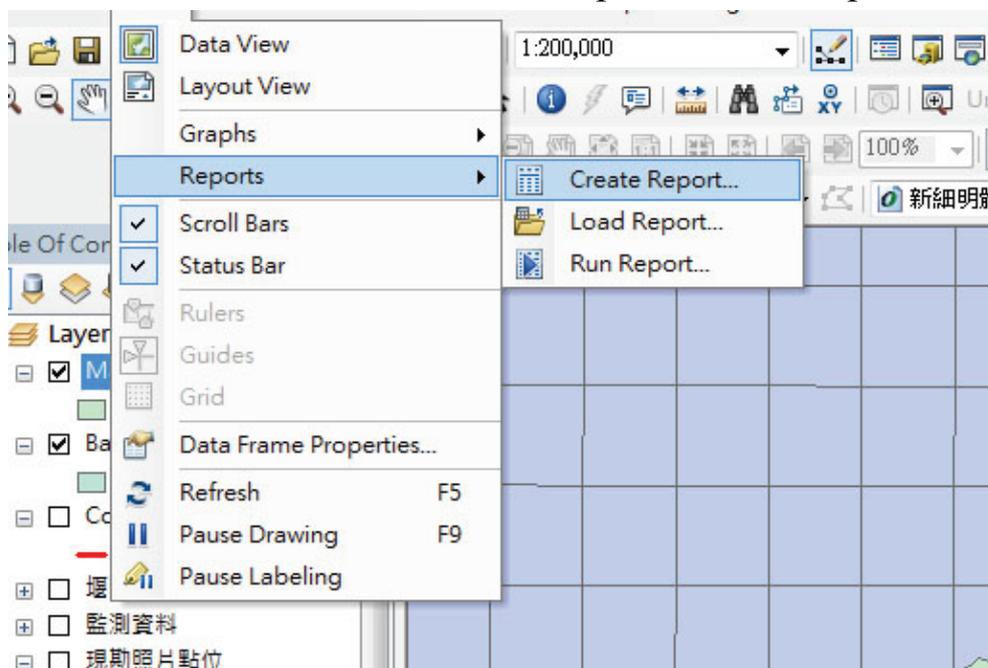
Input Feature：選取五千分之一圖框

Clip Feature：選取欲裁切之範圍圖資

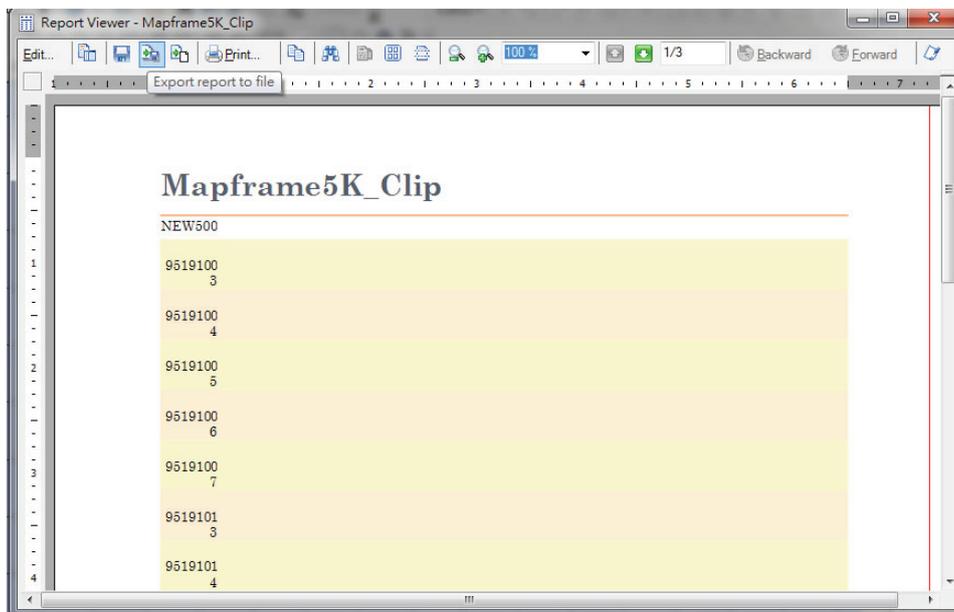
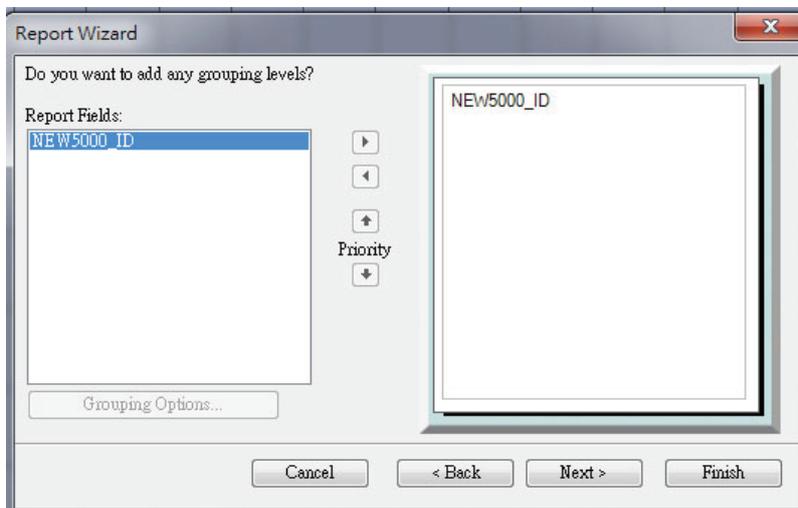
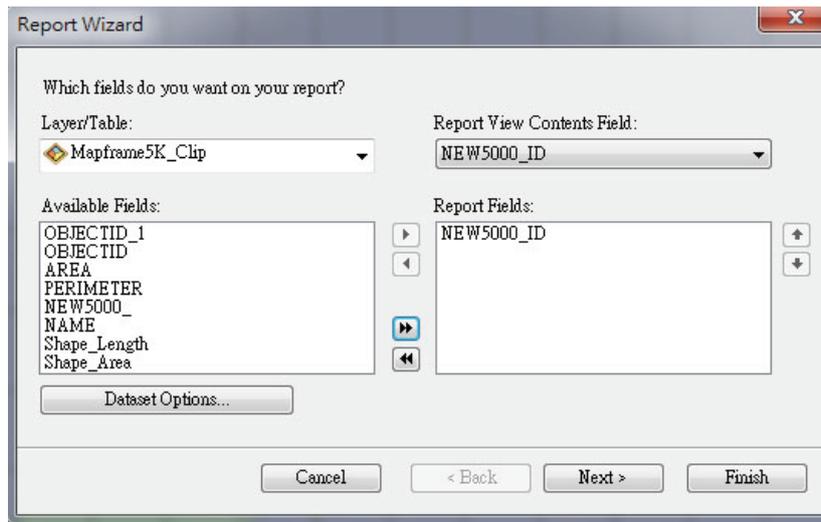
Output Feature Class：裁切後之檔案位置及檔名



完成後點選 View\Reports\Create Report。



選擇欲輸出之欄位，五千分之一之圖號欄位為 New5000_id，之後依序完成設定，即完成表格製作。點選 export to file 可將表格存成文字檔。



2、將 DEM 網格資料轉換成等高線

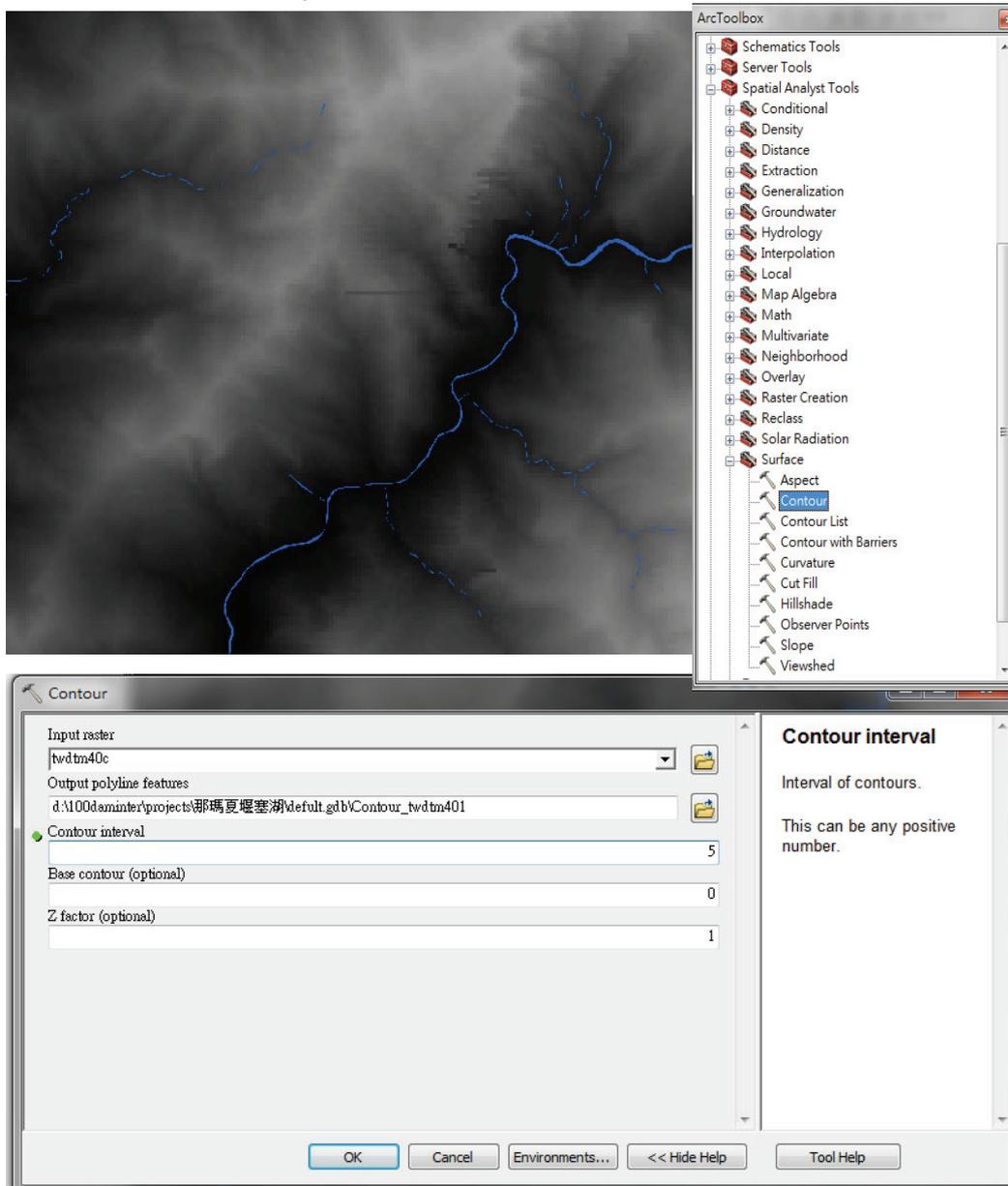
DEM 為網格資料，若欲轉換成等高線，需進行內差。開

啟 GIS 工具箱 ArcToolbox，點選 Surface\contour，進行下列參數設定。

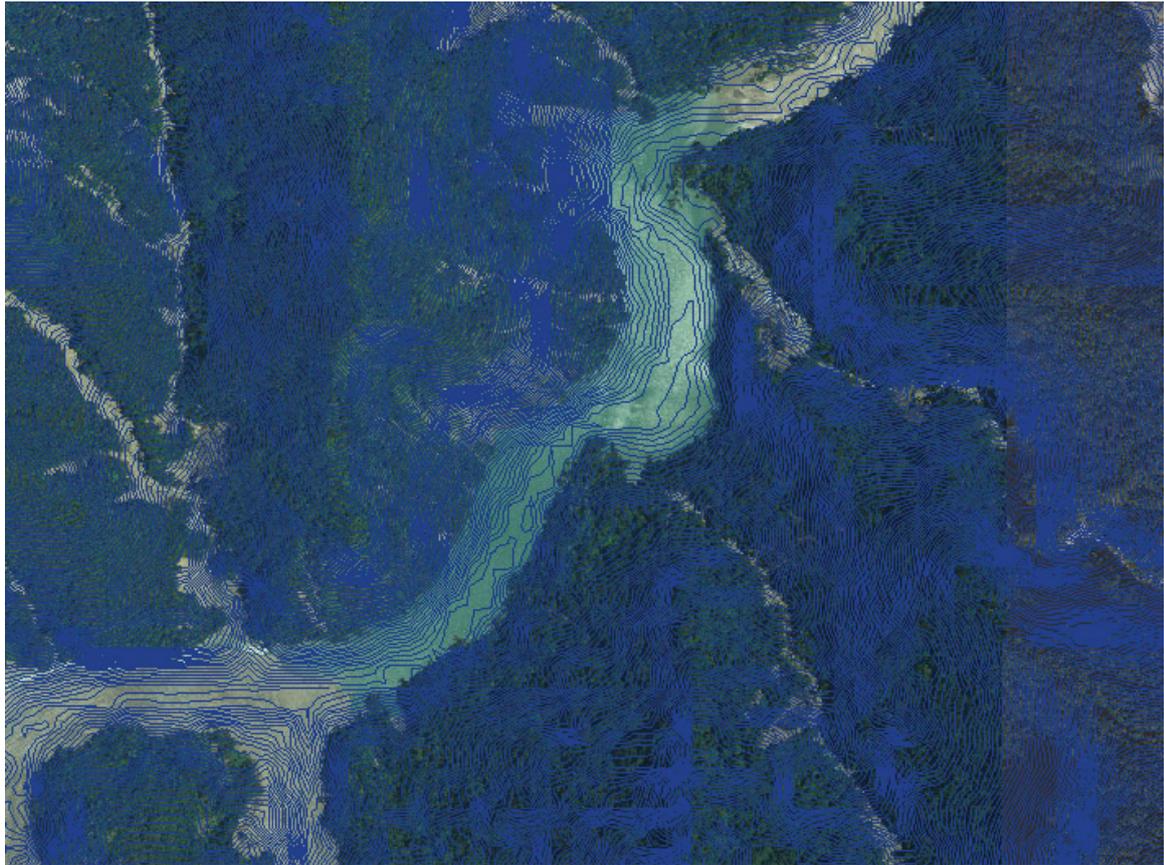
Input raster：選擇蒐集之 DEM

Output polyline feature：選擇輸出之檔案位置及檔名

Contour interval：等高線間距，間距之考量仍以原資料精度為主。



運算後，即可輸出該區域之地形圖。



附錄七 潰壩模式分析手冊

第壹章 BREACH 模式

常見之潰壩模式通常潰口形狀均假設為三角形、矩形、或梯形等，圖 1-1 至圖 1-4 為實驗室內、拱壩、土石壩與天然壩體潰決之情況。為了探討潰口隨時間之變化情況，本計畫選擇 BREACH 模式來模擬土石壩體潰口之變化。



圖 1-1 實驗室內壩體潰口形狀（三角形）



圖 1-2 拱壩壩體潰口形狀（矩形）



圖 1-3 土石壩壩體潰口形狀（梯形）



圖 1-4 堰塞湖壩體潰口形狀（梯形）

一、程式簡介

BREACH 模式為美國氣象局（NWS）D.L. Fread 於 1991 撰寫完成，可模擬天然滑落或人造之土石壩潰壩時，潰口隨時間變化及出流流量歷線。其演算方法主要為結合上游入流歷線、水庫演算、堰流公式、曼寧公式、輸砂公式(Meyer-Peter and Muller) 及壩體組成(D50、C、 ϕ 、 γ 等) 以疊代方式求解潰決之流量歷線及潰口隨時間之變化。

模式功能：

- 1、可模擬天然滑落或人造之土石壩，當水流溢頂或管湧時造成之潰壩。若壩是人工壩，則假設壩頂為平坦、且考慮溢洪道，若是天然滑落之土石壩，則壩體假設為三角形，且不考慮溢洪道，如圖 1-5 所示。
- 2、結合 Meyer-Peter and Muller 的輸砂公式及一維 Unsteady Flow

微分方程式。

3、上游入流量來自於水庫庫容及入流歷線。

4、壩體之組成可假設為單一材質或細分為內外兩層不同之組成。

壩體下游面可考慮是否有草類之覆蓋情況。

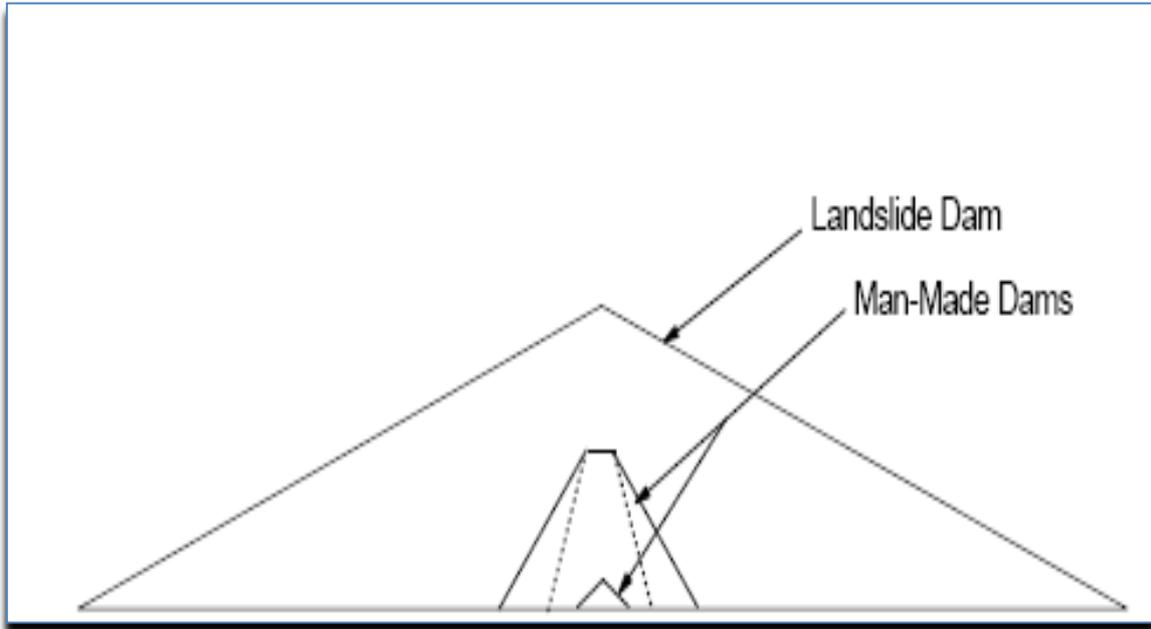


圖 1-5 天然壩與人造壩體之差異

二、模式參數描述

BREACH 模式為模擬壩體所需要之參數與假設，如圖 1-6 所示，分為人造壩體與天然壩體，並考量壩體內層與壩體表面（外層）材料組成，其內、外層材料之參數說明如下：

- 1、壩體內層參數： ϕ ：摩擦角（friction angle）、 C ：凝聚力（cohesion）、 $D50c$ ：平均粒徑（average grain size, mm）、 γ ：單位重（unit weight）與孔隙率。
- 2、壩體外層參數： ϕ ：摩擦角（friction angle）、 C ：凝聚力（cohesion）、 $D50S$ ：平均粒徑（average grain size, mm）、 γ ：單位重（unit weight）與孔隙率。

- 3、壩體外觀參數：HU：壩頂高程、HL：壩底高程、ZD：下游面坡度比(1:ZD)、ZU：上游面坡度比(1:ZU)、Wcr：為壩頂寬度，若為人造壩，以溢洪道頂寬，若為天然壩則沒有 Wcr 值。坡面植生情況，如良好、差或無植生情況，此情況會影響潰決之流速。
- 4、蓄水區參數：Sa：蓄水量為蓄水區面積與高程之關係，Hi：初始水位高程，Qi：入流歷線。

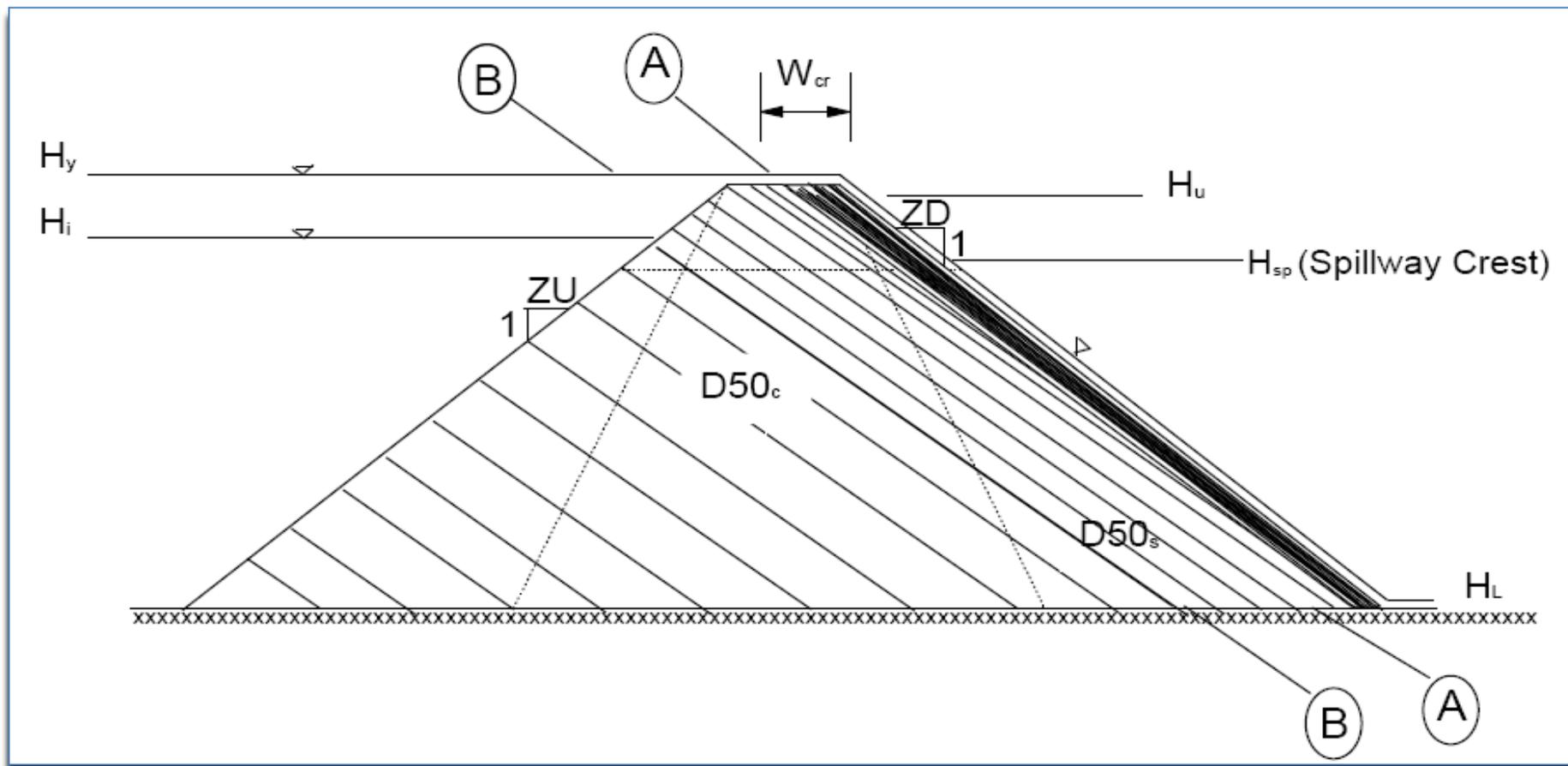


圖 1-6 壩體參數描述示意圖

三、潰口流量

當上游蓄水水位（H）大於壩體高度（H_U）時，壩體開始進行沖刷破壞演算，剛開始沖刷主要以下游坡面進行沖刷，沿著溢流口下游（A-A 線）進行沖刷（如圖 1-1 所示），此時，壩體溢流口部分，尚未被嚴重刷深，壩體基本形狀尚存，其出流量的推算以堰流公式推估：

$$Q_b = 3B_0(H - H_c)^{1.5} \quad (1.1)$$

其中，Q_b 為溢流口流量，B₀ 為溢流口初始寬度，H_c 為溢流口初始高程，此階段之 H_c 相當於 H_U。當壩體沖刷至溢流口 B-B 線時，此時，H_c 將往下刷，如圖 1-7 所示，最大可刷至 H_L。



圖 1-7 壩體溢流口高程開始往下刷

在 A-A 線有植被影響時，其下游面的流速將根據曼寧公式推估其最大流速（Chow, 1959），因此，溢流口的速度要大於表面的最大流速，才會發生壩體下游面之沖刷破壞，此時單位寬流量與流速

推估：

$$q = 3(H - H_c)^{1.5} \quad (1.2)$$

$$y_v = \left[\frac{qn'}{1.49 \left(\frac{1}{ZD}\right)^{0.5}} \right]^{0.6} \quad (1.3)$$

$$n' = aq^b \quad (1.4)$$

$$v = q/y_v \quad (1.5)$$

其中， q 為單位寬溢流量， $(H-H_c)$ 為靜水壓力水頭， n' 值為植被之曼寧公式 a 、 b 參考 Chow (1959)。

考量管湧 (piping) 情況， H 需大於假設的可能發生管湧的高程值 (H_p)，即水位尚未大於溢流口時，下游面已開始出現掏刷現象，當管湧掏刷作用使溢流口下切至 H_p 後，管湧現象轉為溢頂沖刷現象，其管湧的流量推估：

$$Q_b = A[2g(H - H_p)/(1 + \frac{fL}{D})]^{0.5} \quad (1.6)$$

Q_b 為管湧流量(cfs)， g 為重力加速度， A 為斷面面積， $H-H_p$ 為管湧靜水壓力水頭， L 為管湧長度， D 為管湧寬度， f 為 Darcy 摩擦係數，可由 Moody 曲線得知：

$$f = \frac{64}{N_R} \dots \dots N_R < 2000 \quad (1.7)$$

$$f = 0.105 \left[\frac{D_{50}}{D} \right]^{0.167} \dots \dots N_R \geq 2000 \quad (1.8)$$

$$N_R = 0.8333Q_b D/A \quad (1.9)$$

N_R 為雷諾數。

四、潰口寬度

潰口形狀如圖 1-8 所示，是由二種動量所控制，第一種假設為初始形狀為矩形，初始寬度 B_0

$$B_0 = B_r y \quad (1.10)$$

其中， B_r 為水利最佳化之係數，於管湧時為 1、溢流時為 2， y 為潰口處之臨界深度：

$$y = 2/3(H - H_c) \quad (1.11)$$

潰口形狀的第二種動量控制主要考量土壤的穩定情況，當壩頂潰口開始沖刷後，其形狀由初始矩形設定轉為梯形潰口，如圖 1-7 所示。而圖 1-8 之 α 為變形角度。當潰口切至 H'_c 時，使水深達臨界水深時，潰口形狀則進一步產生破壞現象，其決定破壞機制由 H'_k 控制：

$$H'_k = \frac{4C \cos \phi \sin \theta'_{k-1}}{\gamma [1 - \cos(\theta'_{k-1} - \phi)]} \dots \dots k = 1, 2, 3 \quad (1.12)$$

其中， C 為凝聚力， ϕ 為內摩擦角， γ 單位重， θ 為水平角度，如圖 1-9 所示。任何潰口形狀變化：

$$\theta = \theta'_{k-1} \dots \dots H_k \leq H'_k \quad (1.13)$$

$$\theta = \theta'_k \dots \dots H_k > H'_k \quad (1.14)$$

$$B_0 = B_{ry} \dots \dots k = 1 \quad (1.15)$$

$$B_0 = B_{0m} \dots \dots k > 1 \quad (1.16)$$

$$B_{0m} = B_{ry} \dots \dots \text{when } H_1 = H'_1 \quad (1.17)$$

$$\alpha = 0.5\pi - \theta \quad (1.18)$$

$$\theta'_0 = 0.5\pi \quad (1.19)$$

$$\theta'_k = \frac{\theta'_{k-1} + \theta}{2} \dots \dots k = 1, 2, 3 \quad (1.20)$$

$$H_k = H'_c - y/3 \quad (1.21)$$

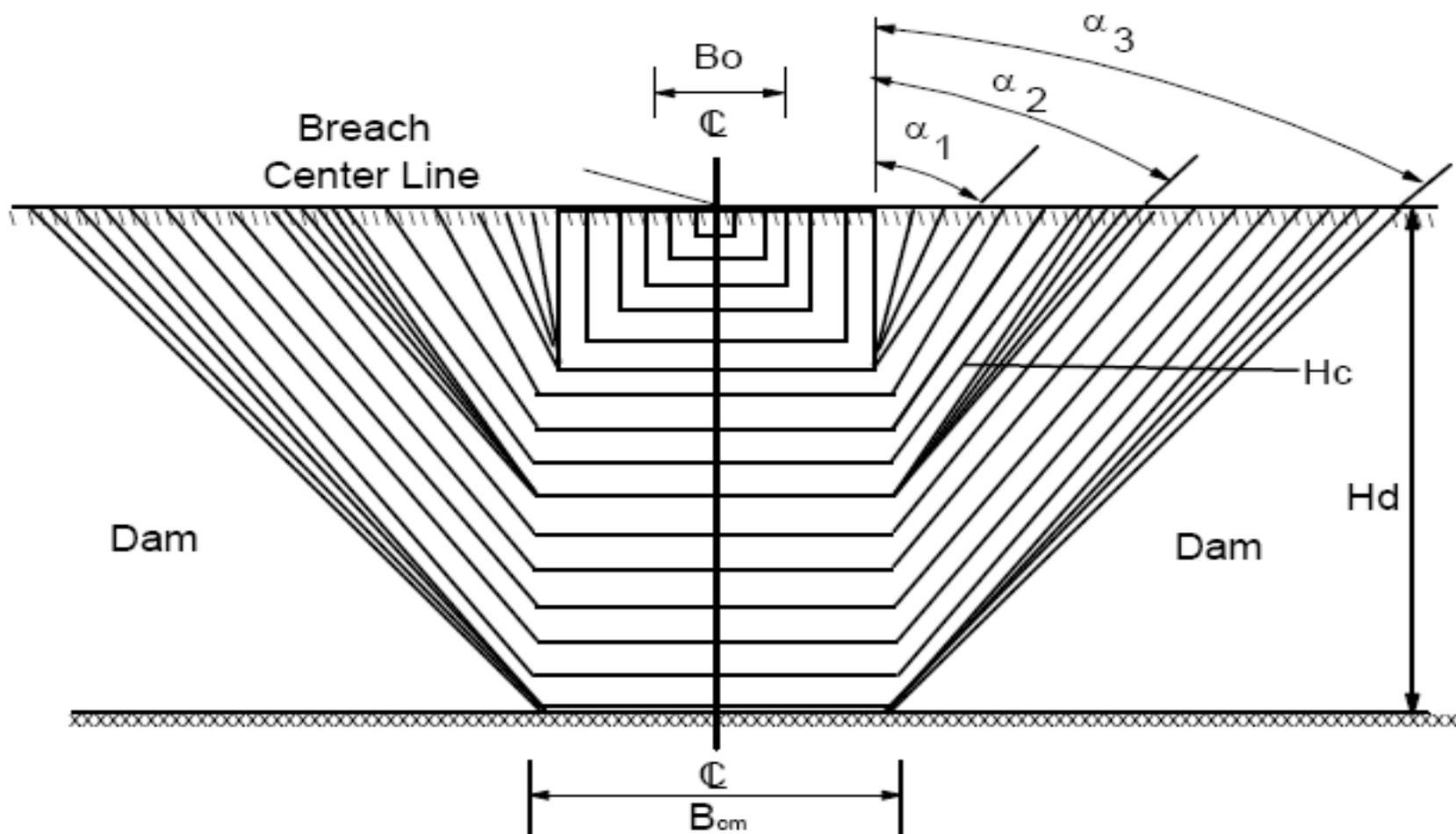


圖 1-8 潰口形狀示意圖

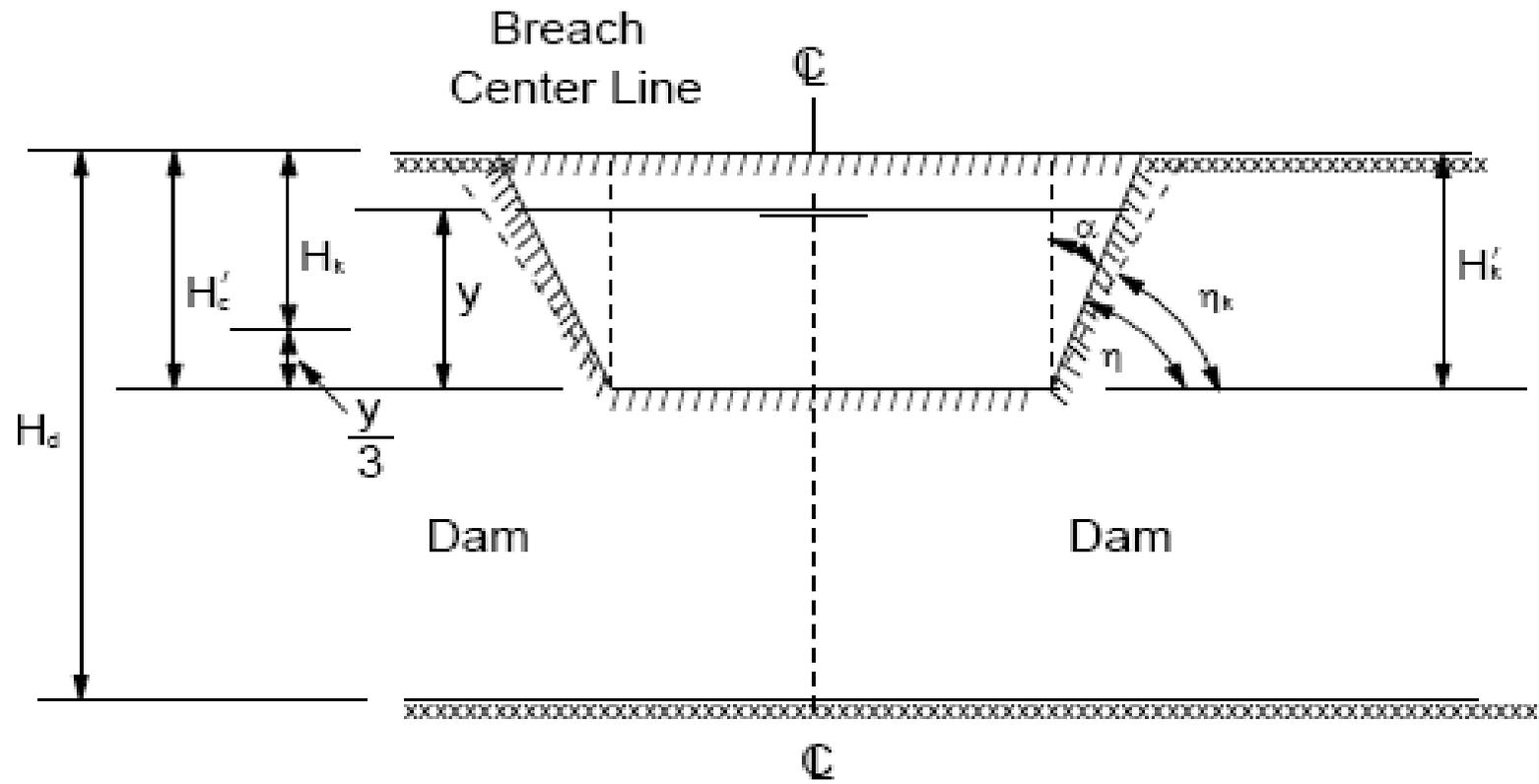


圖 1-9 潰口形狀前視圖

五、蓄水位

質量守恆是用來計算庫區之蓄水量與蓄水水位，其方程式如下

$$Q_i - (Q_b + Q_{sp} + Q_0) = S_a = \frac{\Delta H \times 43560}{\Delta t \times 3600} \quad (1.22)$$

其中， Q_i 為進入蓄水區之流量 (cfs)， Q_b 為潰口流量 (cfs)， Q_{sp} 為溢洪道出口流量 (cfs)， Q_0 為溢頂流量 (cfs)， H 為蓄水位高程 (ft)， ΔH 為水位變化量， S_a 單位時間體積變化量， Δt 為時間差。

若為管湧現象時，潰口出流量為

$$Q_b = 3B_0(H - H_c)^{1.5} + 2 \tan(\alpha)(H - H_c)^{2.5} \quad (1.23)$$

六、輸砂運移

潰口輸砂運動採用 Meyer-Peter and Muller 輸砂公式於陡坡情況下，其方程式如下：

$$Q_s = 3.64(D_{90}/D_{30})^{0.2} P \frac{D^{2/3}}{n} S^{1.1} (DS - \omega) \quad (1.24)$$

$$\omega = 0.0054 \tau_c D_{50} \dots \dots (\text{noncohesive}) \quad (1.25)$$

$$\omega = \frac{b'}{62.4} (PI)^{c'} \dots \dots (\text{cohesive}) \quad (1.26)$$

$$\tau_c = a' \tau'_c \quad (1.27)$$

$$a' = \cos\theta(1 - 1.54\tan\theta) \quad (1.28)$$

$$\theta = \tan^{-1}S \quad (1.29)$$

$$\tau'_c = 0.122/(R^*)^{0.97} \dots R^* < 3 \quad (1.30)$$

$$\tau'_c = 0.056/(R^*)^{0.970.266} \dots 3 \leq R^* \leq 10 \quad (1.31)$$

$$\tau'_c = 0.0205/(R^*)^{0.173} \dots R^* > 10 \quad (1.32)$$

$$S = \frac{1}{ZD} \quad (1.33)$$

$$R^* = 1524D_{50}(DS)^{0.5} \quad (1.34)$$

其中， Q_s 輸砂量 (cfs)， D_{90} 、 D_{50} 、 D_{30} (mm) 顆粒粒徑之 90%、50% 與 30% 值， D 為水力深度、 S 為下游坡面底床坡度、 ZD 為下游面坡度， τ'_c 為 Shields 無因次臨界剪應力、 b' 、 c' 為經驗參數，一般 $0.003 \leq b' \leq 0.019$ 、 $0.58 \leq c' \leq 0.84$ 。

七、模式輸入

BREACH 模式以英制單位寫成，在操作上以英制單位輸入，因此，本研究將 BREACH 模式之輸入格式進行自動化轉換為公制單位，中文化使用者介面，以利操作，如圖 1-10 所示。其範例如圖 1-11 所示，其參數輸入說明如下：

- 1、首先點選 Startup_Breach.exe 執行檔，開啟後，將基本資料資料輸入至欄位，欄位左側為參數說明。
- 2、天然壩體高度 650 公尺、初始蓄水高度 650 公尺，壩體底高 615 公尺。

- 3、無管湧破壞：0。
- 4、根據堰塞湖壩體，外觀形狀，其上游坡面 1:5、下游坡面 1:8。
- 5、上游入流歷線如圖 1-12 所示。
- 6、其餘參數，參考圖 1-11 填入之值。
- 7、點選數據處理分析，結果展示，如圖 1-13 所示，根據所要之參數結果可以輸出為 EXCEL 檔，進行後續處理與分析。
- 8、潰口流量如圖 1-12 所示。潰口形狀如圖 1-14 所示。

BREACH

高程

- HI水庫水位 (m)
- HU壩頂高程 (m)
- HL壩底高程 (m)
- HPI管湧破壞時高程 (m) (若無輸入0.0)
- HSP溢洪道高程 (m) (若無輸入0.0)
- PI平均塑性指數
- CA黏土臨界剪應力係數 (0.004 < CA < 0.02)
- CB黏土臨界剪應力係數 (0.58 < CA < 0.84)

壩體

- ZU壩體上游面坡度 (1(垂直):ZU(水平))
- ZD壩體下游面坡度 (1(垂直):ZD(水平))
- ZC壩體內層上下游平均坡度(若無輸入0.0)
- GL草類覆蓋長度(cm)(若無輸入0.0)
- GS草類覆蓋情況 (好:1, 不好或沒有:0)
- VMP草類覆蓋最大容許速度(若無輸入0.0)
- SEDCON最大輸砂濃度 (0.4~0.5, 預設0.5)

潰口

- BR起始矩形形狀之寬深比, 1.0(管湧), 2.0(溢頂)
- WC潰口寬度(m), (可為0)
- CRL潰口長度(m)
- SM下游河川渠底坡度(m/km)
- D50DF壩下游面頂部材料組成D50(mm)(=D50S)
- UNFCDF壩下游面D90/D30之比例UNFCDF = 3.0, D50DF > 0.0, or UNFCDF = UNFCS, D50F = 0.0
- BMX潰口底部最大允許寬度(m)
- BTMX潰口頂部最大允許寬度(m)

外層

- D50S外層D50(mm)(若無輸入0.0)
- PORS外層孔隙率(若無輸入0.0)
- UWS外層比重 (kg/m³) (若無輸入0.0)
- CNS外層N值 (kg/m³) (若無輸入0.0)
- AFRS外層摩擦角(若無輸入0.0)
- COHS外層黏性強度 (kg/m³) (若無輸入0.0)
- UNFCS外層D90/D30比例, 預設值為10

內層

- D50C內層D50(mm)(若無輸入0.0)
- PORC內層孔隙率(若無輸入0.0)
- UWC內層比重 (kg/m³) (若無輸入0.0)
- CNC內層N值 (kg/m³) (若無輸入0.0)
- AFRC內層摩擦角(若無輸入0.0)
- COHC內層黏性強度 (kg/m³) (若無輸入0.0)
- UNFCC內層D90/D30比例, 預設值為10

控制項

統計目標

DTH KG QTQT QTS
 QB BT HY HC
 BO PPP HP TWD
 DH DHH KIT AGL

統計分析 導入預設值 重置

匯出 匯入 數據處理分析

QIN&RSA 尾水斷面

QIN

QIN(I)水庫入流量 (cms)

TIN(I)與QIN (I) 對應時間 (HR)

RSA

RSA(I)庫容面積 (平方公里)

HSA(I)與RSA(I)對應高程 (m)

圖 1- 10 BREACH 模式介面輸入

BREACH		壩體		潰口				
高程		壩體		潰口				
1. HI水庫水位 (m)	650	1. ZU壩體上游面坡度 (1(垂直):ZU(水平))	5	1. BR起始矩形形狀之寬深比, 1.0(管湧) , 2.0(溢頂)	2.0			
2. HU壩頂高程 (m)	650	2. ZD壩體下游面坡度 (1(垂直):ZD(水平))	8	2. WC潰口寬度 (m), (可為0)	5			
3. HL壩底高程 (m)	615	3. ZC壩體內層上下游平均坡度(若無輸入0.0)	0.0	3. CRL潰口長度(m)	150			
4. HPI管湧破壞時高程 (m) (若無輸入0.0)	0	4. GL草類覆蓋長度(cm)(若無輸入0.0)	0.0	4. SM下游河川渠底坡度(m/km)	12			
5. HSP溢洪道高程 (m) (若無輸入0.0)	0.0	5. GS草類覆蓋情況 (好:1, 不好或沒有:0)	0	5. D50DF壩下游面頂部材料組成D50(mm)(=D50S)	5			
6. PI平均塑性指數	60.00	6. VMP草類覆蓋最大容許速度(若無輸入0.0)	0.0	6. UNFCDF壩下游面D90/D30之比例UNFCDF = 3.0, D50DF>0.0, or UNFCDF=UNFCS,D50F = 0.0	0.0			
7. CA黏土臨界剪應力係數 (0.004<CA<0.02)	0.02	7. SEDCON最大輸砂濃度 (0.4~0.5, 預設0.5)	0.5	7. BMX:潰口底部最大允許寬度(m)	150			
8. CB黏土臨界剪力係數 (0.58<CA<0.84)	0.8			8. BTMX:潰口頂部最大允許寬度(m)	150			
外層		內層		控制項				
1. D50S外層D50(mm)(若無輸入0.0)	3	1. D50C內層D50(mm)(若無輸入0.0)	2	1. DTH基本的計算時間間距(hr)	0.1			
2. PORS外層孔隙率(若無輸入0.0)	0.01	2. PORC內層孔隙率(若無輸入0.0)	0.0	2. DBG輸出控制, 0.0(只輸出流量歷線), 0.001(輸出每一個時間的水位及流量歷線), 0.002(輸出每一次疊代時的水位及流量歷線)	0.001			
3. UWS外層比重 (kg/m ³) (若無輸入0.0)	2500.0	3. UWC內層比重 (kg/m ³) (若無輸入0.0)	0.0	3. H溢頂時沿壩體下游面計算的起始深度(m)	0			
4. CNS外層N值 (kg/m ³) (若無輸入0.0)	0.0	4. CNC內層N值 (kg/m ³) (若無輸入0.0)	0.0	4. THE模擬時間(hr)	24			
5. AFRS外層摩擦角(若無輸入0.0)	24.3	5. AFRC內層摩擦角(若無輸入0.0)	0.0	5. ERR疊代時之容許誤差	0.1			
6. COHS外層黏性強度 (kg/m ³) (若無輸入0.0)	1000.0	6. COHC內層黏性強度 (kg/m ³) (若無輸入0.0)	0.0	6. FPT流量歷線輸出之間隔時間	1			
7. UNFCS外層D90/D30比例, 預設值為10	11	7. UNFCC內層D90/D30比例, 預設值為10	8.0	7. TPR輸出停止的時間, (若給0則全部時間均輸出)	0.0			
QIN&RSA 尾水斷面				統計目標				
QIN				<input type="checkbox"/> DTH <input type="checkbox"/> KG <input type="checkbox"/> QTQT <input type="checkbox"/> QTS <input type="checkbox"/> QB <input type="checkbox"/> BT <input type="checkbox"/> HY <input type="checkbox"/> HC <input type="checkbox"/> BO <input type="checkbox"/> PPP <input type="checkbox"/> HP <input type="checkbox"/> TWD <input type="checkbox"/> DH <input type="checkbox"/> DHH <input type="checkbox"/> KIT <input type="checkbox"/> AGL				
QIN(I)水庫入流量 (cms)	0	1732	6700	5824	4635	2332	1182	84
TIN(I)與QIN (I) 對應時間 (HR)	0	1	4	5	6	9	12	24
RSA				<input type="button" value="統計分析"/> <input type="button" value="導入預設值"/> <input type="button" value="重置"/> <input type="button" value="匯出"/> <input type="button" value="匯入"/> <input type="button" value="數據處理分析"/>				
RSA(I)庫容面積 (平方公里)	0.01	0.07	0.17	0.4	0.6			
HSA(I)與RSA(I)對應高程 (m)	618	620	630	640	650			

圖 1- 11 BREACH 模式範例

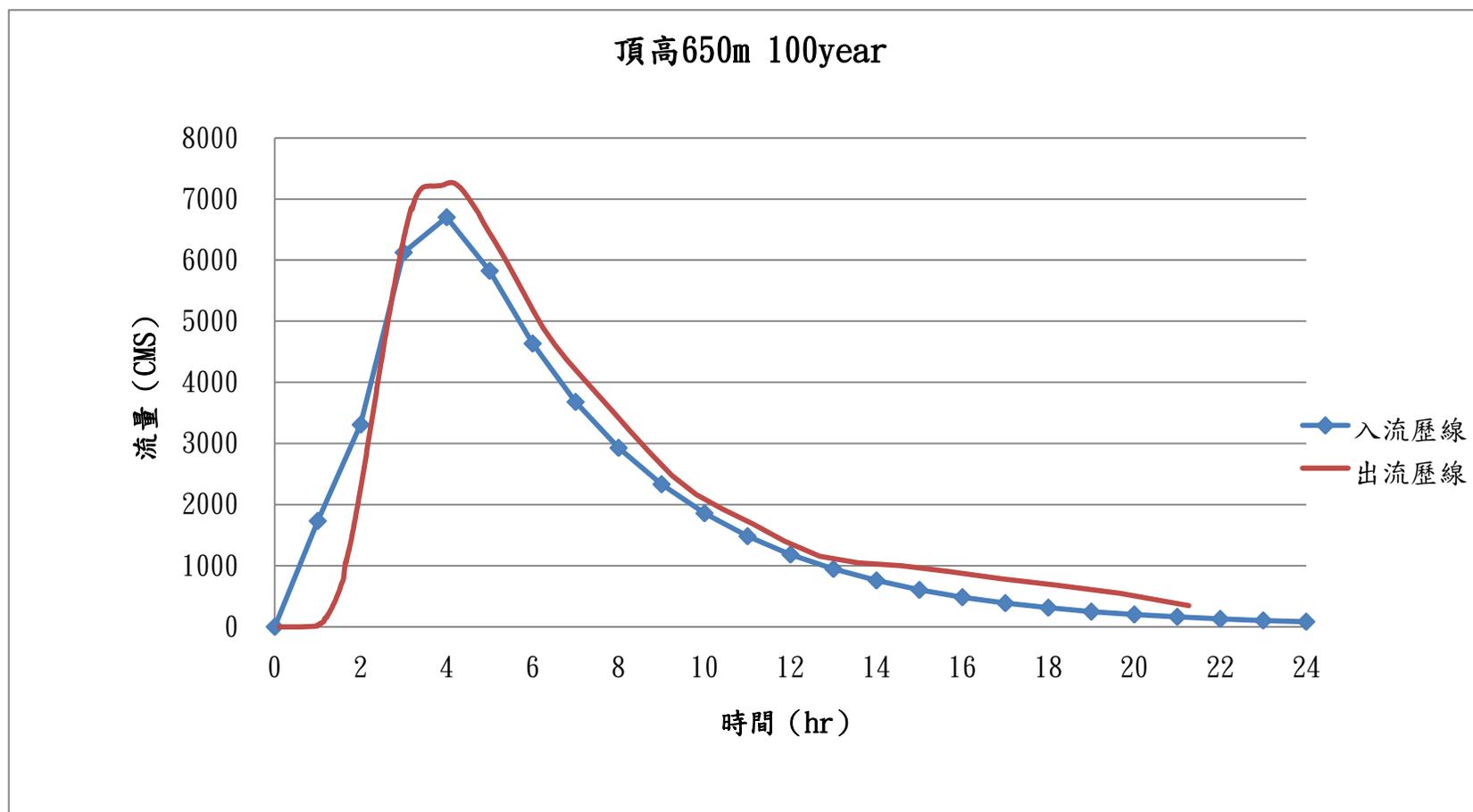


圖 1-12 輸入之流量歷線與計算得潰口流量歷線



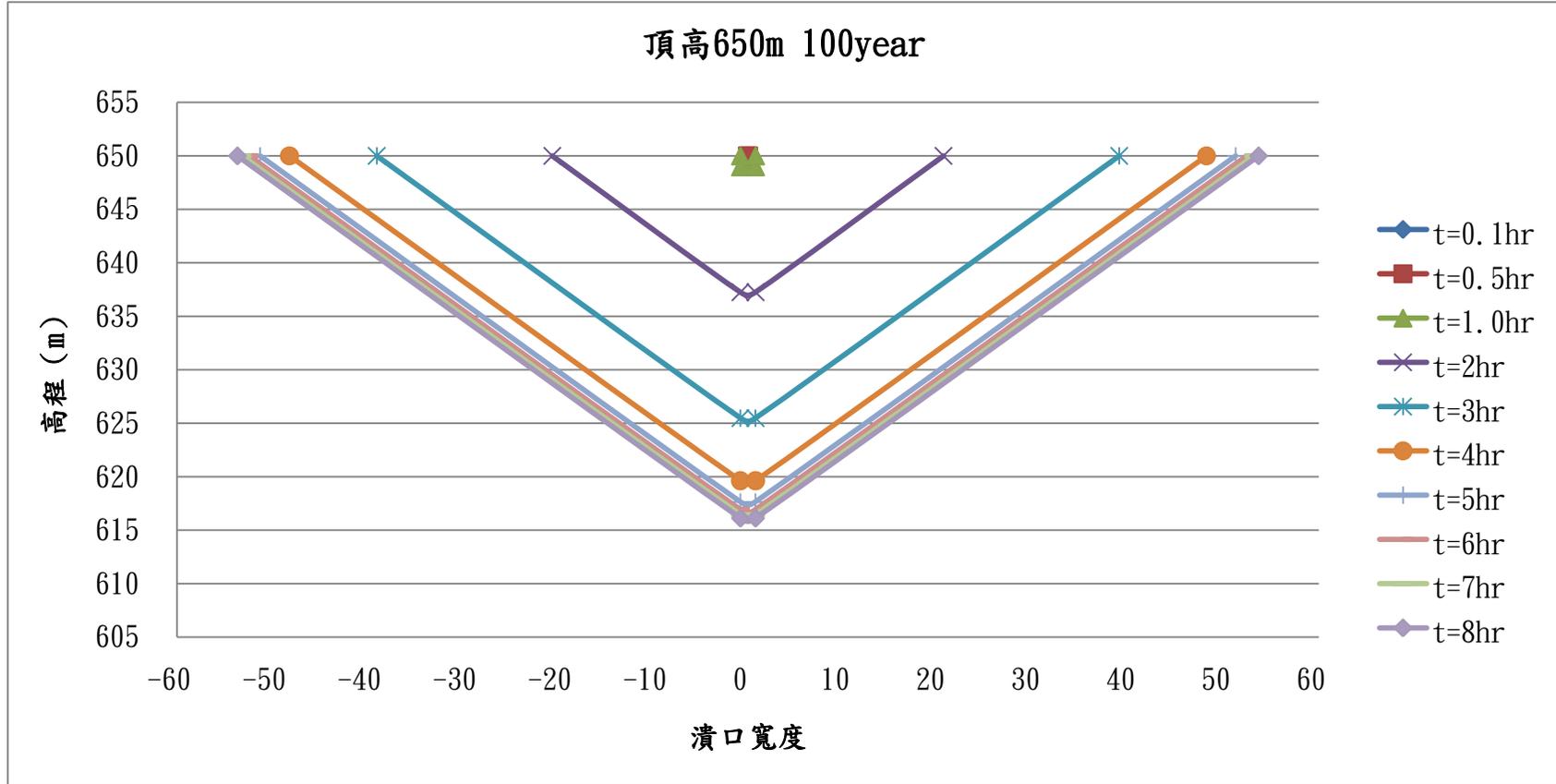


圖 1-14 潰口形狀變化

第貳章 SOBEK 1D 水理模式

一、SOBEK 模式理論概述

SOBEK 模式為荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發，為一套整合河川、都市排水系統與流域管理之商用程式，並分為 SOBEK Rural、SOBEK Urban 及 SOBEK River 三套模式，包含降雨逕流、河道演算、水質模式、輸砂模組、即時控制 (real time control) 及漫地流 (overland flow) 等模組，應用上包含河川、都市下水道系統之水理計算及淹水區域模擬，供防洪及水資源管理者進行管理、決策與分析之用。

SOBEK 模式以一維河道模組 (channel flow module, 簡稱 CF) 為基礎，可結合降雨逕流 (RR) 模組進行流域特性模擬。此外，亦可結合二維漫地流模組 (overland flow module, 簡稱 OF)，瞭解流域內之可能淹水地區或外水及內水漫地流特性。模式可模擬明渠流或管流，並適用於各種斷面條件；可模擬超臨界流與亞臨界流之混合流況；亦可模擬複雜之河川網路 (主支流) 情形。以下就 SOBEK 水文模式之降雨逕流分析、水理模式進行說明：

二、水文模式(降雨-逕流模式)

SOBEK 模式之水文分析採用 Sacramento 降雨-逕流模式，該模式係以史丹福集水區模式 (Stanford watershed model) 為基礎，模擬降雨至地面形成逕流之每一過程，包括蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等，為一以物理機制為基礎之模式 (physically based model)，整體架構如圖 2-1 至圖 2-4 所示。

(一)圖 2-1 為降雨到逕流之演算過程，涵蓋降雨逕流、蒸發散、入

滲及地下水等物理概念，並藉由水筒模式之數學模型將上述之物理概念，串連各物理量之相關性以推估降雨逕流至渠道之流量，並經由水理模式計算渠道內水流之運動過程。

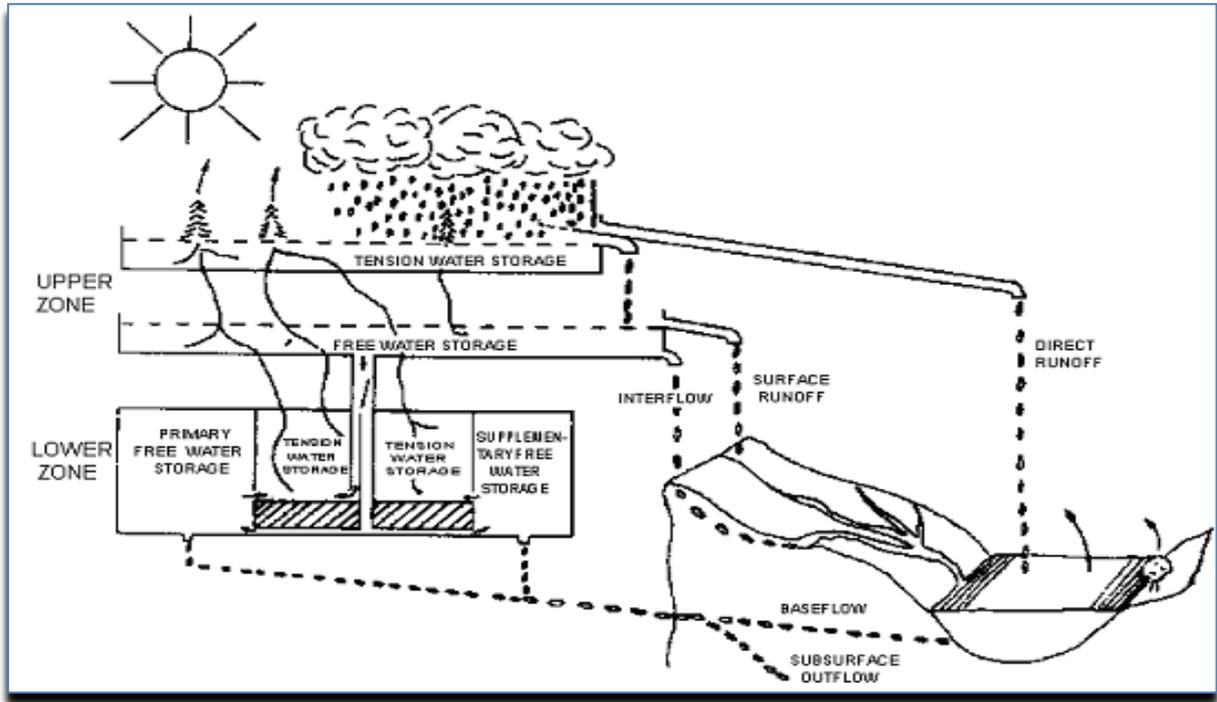


圖 2-1 降雨逕流過程

(二)圖 2-2 為集水區域之簡化概念，為降雨逕流分析之結果與河道演算之間的連結關係，此關係由降雨逕流所推估之流量以側入流方式（節點）匯入渠道中，進行一維渠道變量流演算。

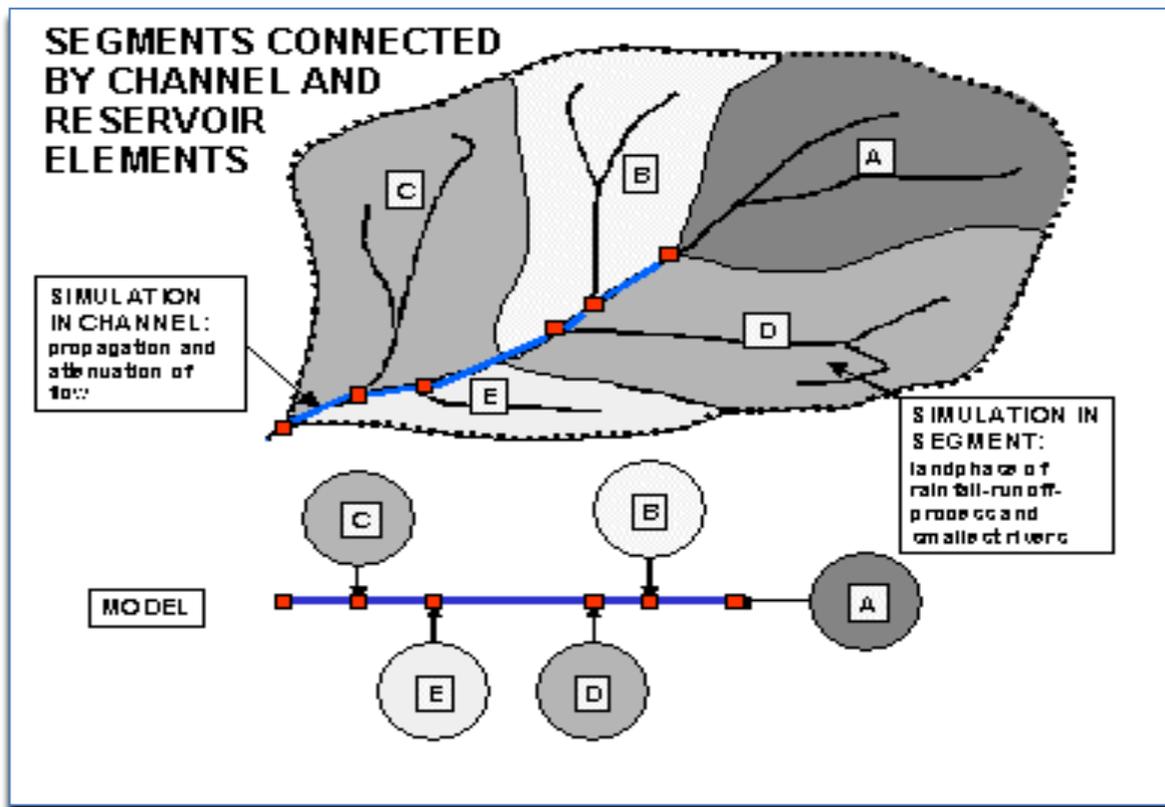
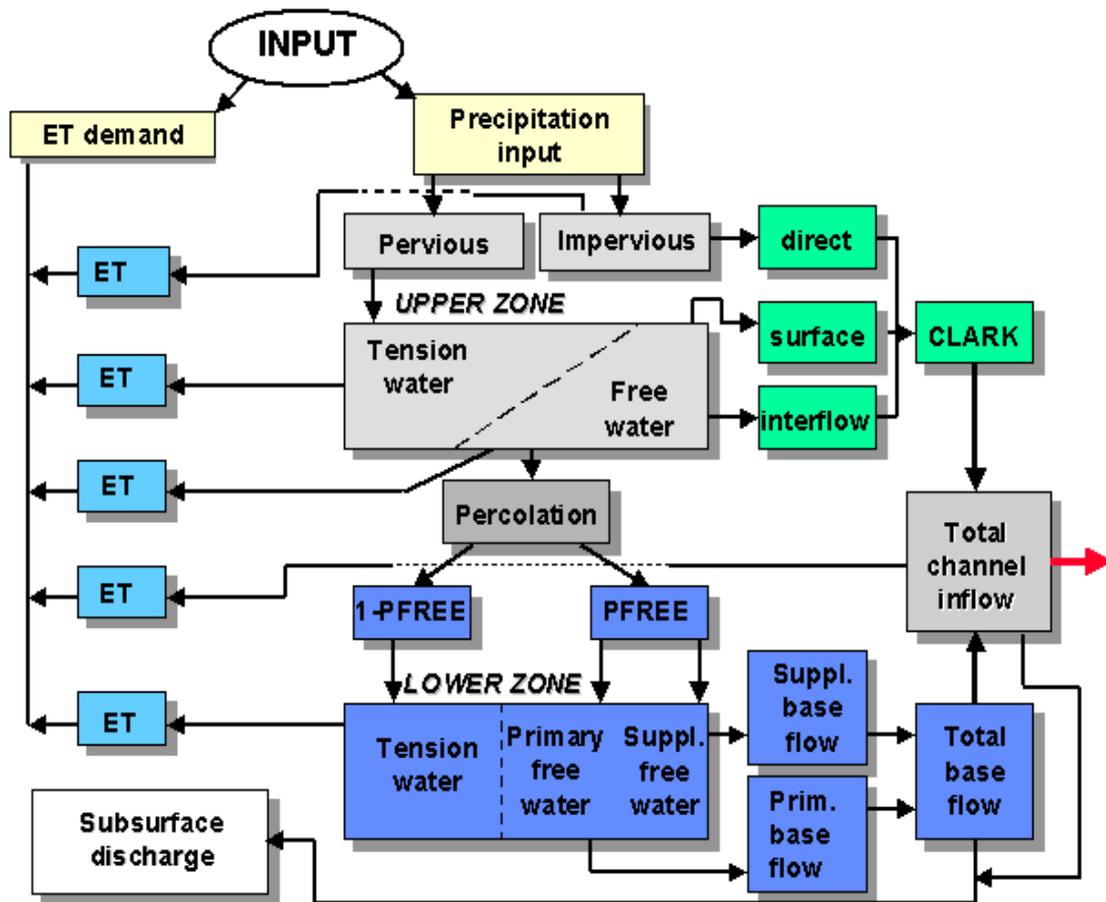


圖 2-2 降雨逕流之流域概念模式

(三)圖 2-3 為水筒模式之數學模型概念，將圖 2-1 之概念流程化，將水筒區分成三筒，分為地表水筒、土壤上層水筒及土壤下層水筒各水筒之物理概念：

- 1、地表水筒包含直接逕流量（透水表面、不透水表面流量）、蒸發散與入滲量。
- 2、土壤上層水筒包括土壤水飽和狀況（上層張力水貯蓄(tension water)、自由水貯蓄量(free water)）蒸發散與入滲量（中間水(interflow)）。
- 3、土壤下層水筒包括地下水貯蓄量（初始自由水貯蓄(primary free water)、補充自由水貯蓄（supplementary free water)）、出流量（基流量）。

最後由各水筒間之物理串連，得到渠道之總流量。



Flowchart of the processes that are covered by the Sacramento concept.

圖 2-3 降雨逕流過程之流程圖

(四)圖 2-4 推估地表直接逕流量流程，根據上述圖 2-3 水筒模式物理概念，洪水期間渠道主流量來自於直接逕流，因此，推估地表逕流之方法係根據 Clark method 推估，其概念將地表之有效降雨量結合單位歷線 (unit hydrograph) 可得地表直接逕流流量歷線，加上土壤上層水筒表層出流量、中間流與及土壤下層水筒地下水出流量 (基流量) 成為渠道之總逕流量，以側入流方式匯入渠道，進行一維水理演算。

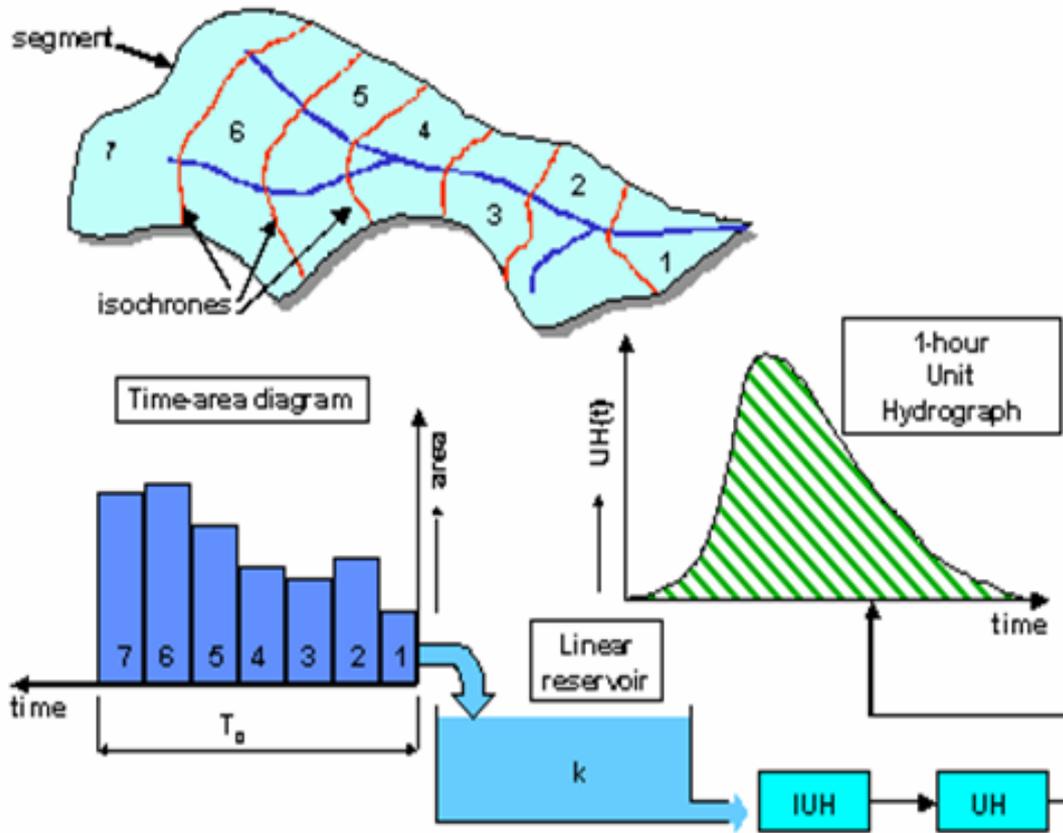


圖 2-4 降雨逕流計算推估示意圖

(五) Sacramento 降雨-逕流物理參數定義

有關SOBEK水文模式之Sacramento降雨-逕流之物理參數定義說明如下：

- 1、集水區面積 (segment area)：包括透水與不透水面積 (設定畫面如圖 2-5 所示)。



圖 2-5SOBEK 集水區面積設定畫面

- 2、地面上區域-直接逕流 (Direct runoff) (圖 2-6：設定畫面)

Definition:					
	Parameter	Description	Value	Unit	
5	PCTIM	permanently impervious fraction of basin	0.024	-	
6	ADIMP	fraction of basin which becomes impervious as s	0.6	-	
7	SARVA	fraction of basin covered by streams and channi	0.0125	-	

圖 2-6 降雨逕流地表上之參數設定畫面

- 3、永不透水面積比例：降雨直接產生逕流，其參數為 PCTIM（permanently impervious fraction of segment contiguous with stream channels）。估算不透水面積之比例，可利用一場明顯乾旱土壤情況下，降雨之雨量與流量觀測資料推估得知，其推估方法為：

$$PCTIM = \frac{(\text{直接逕流量體積} - \text{基流量體積})}{\text{降雨量體積}} \quad (2.1)$$

其永不透水面積之直接逕流量 q_{dir1} 可表示為

$$q_{dir1} = I \times PCTIM \times \text{總面積} / t \quad (2.2)$$

式中， q_{dir1} ：流量； I ：降雨量； t ：時間。

- 4、額外不透水面積比例：地面為透水(pervious)情況，受先前降雨影響，部分地表已發生入滲，當地面下土壤含水量達到飽和的情況時，部分的降雨量直接轉換成地表逕流，其設定參數為 ADIMP（additional impervious fraction when *all tension water* requirements are met），其估算額外不透水面積之比例，可利用先前降雨之條件下，降雨量與流量觀測資料推估得知，其推估方法：

$$\text{總不透水面積} = \frac{(\text{直接逕流量體積})}{\text{降雨量體積}} \quad (2.3)$$

$$ADIMP = \text{總不透水面積} - PCTIM \quad (2.4)$$

額外不透水面積之直接逕流量 q_{dir2} 可表示為

$$q_{dir2} = I \times ADIMP \times \text{總面積} / t \quad (2.5)$$

其中， q_{dir2} ：流量。

- 5、透水飽和面積比例：地表面為水體，如湖泊、河川、河邊植生所佔之面積比例，其設定參數為 SARVA。一般 SARVA 所佔比例約為 PCTIM 值之 40%~100%。因此，直接逕流 q_{dir3} 可表示為：

$$q_{dir3} = I \times SARVA \times \text{總面積} / t \quad (2.6)$$

其中， q_{dir3} ：流量，直接逕流總量 = $q_{dir1} + q_{dir2} + q_{dir3}$ 。

6、地表下區域

Sacramento 模式係以水筒概念描述入滲過程，其主要概念係將地面下區域劃分成上層區域(upper zone)及下層區域(lower zone)，上層區域可分成張力水貯蓄(tension water storage)及自由水貯蓄(free water storage)，下區同樣也分成張力水、自由水貯蓄二層，但自由水再分成主要初始水貯蓄(primary free water)及補充自由水貯蓄(supplementary free water)二層。茲將每個區域的意義與使用的理論基礎說明如下：

(1)土壤上層水筒（圖 2-7：設定畫面）

上層土壤含水層（Upper soil moisture zone）

A、上層張力水貯蓄層：地表水經由透水區域入滲至地表下，其入滲之初始水層稱為上層張力水貯蓄，其設定參數為UZTWM (capacity of upper tension water zone (mm))，此層飽和後，因過多水量一部份入滲至自由水層，一部份則回到地表面。其中，回到地表面部分包括：

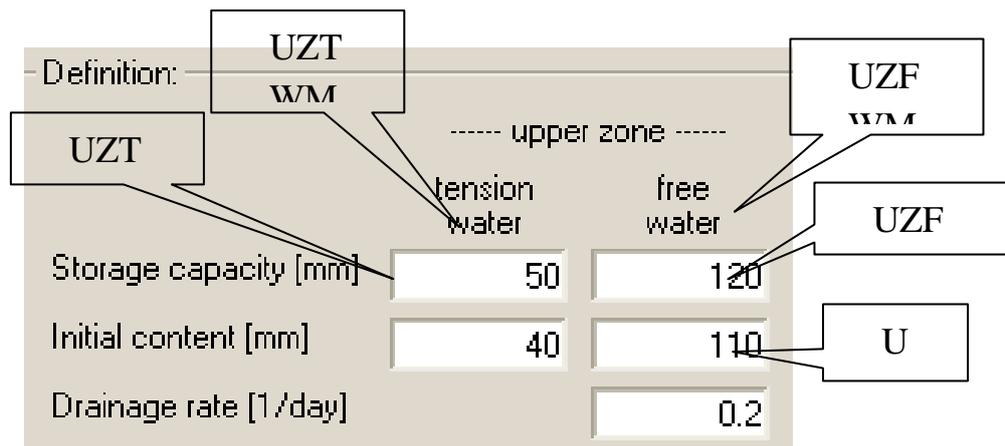


圖 2-7 降雨逕流地表上下層之參數設定畫面

(A)蒸發散量

張力水貯蓄層之蒸發散量 E_1 ，其計算方式為：

$$E_1 = ED \times (UZTWC / UZTWM) \quad (2.7)$$

式中， ED =最大可能蒸發散量； $UZTWC$ =上層張力水貯蓄層之含水量； $UZTWM$ =上層張力水貯蓄層之最大含水量。

(B)溢流量

當上層張力水貯蓄層的貯水量大於最大貯水量 (maximum storage capacity)時，水即開始溢流至上層自由水貯蓄層。

UZTWM因土壤特性而有所差異，一般上層張力水容量之變化約在25至175mm之間，須視土壤種類而定。此外估算UZTWM亦可藉由Curve Number方法進行估算：

$$UZTWM = 50.8 \left(100/CN-1 \right) \left(mm \right) \quad (2.8)$$

CN值於一般郊區（rural）介於30至90之間，亦須視土壤種類而定，可參考一般水文設計參考手冊。

B、上層自由水貯蓄層：經由上層張力水層入滲至上層自由水貯蓄層，此部分亦為透水區域所發生，其設定參數為UZFWM（capacity of upper free water zone (mm)），其範圍約在10-100mm之間。其設定除圖2-7外，相關設定亦有ZPERC與REXP兩參數，如圖2-8所示。此層之物理機制說明如下，包括：

Definition:					
	Parameter	Description	Value	Unit	
1	ZPERC	proportional increase in percolation from saturate	10	.	
2	REXP	exponent in percolation equation	1.5	.	

圖 2-8 降雨逕流地表下上層自由水貯蓄之參數設定畫面

A. 蒸發散量

當 $E_1 < ED$ 時，上層自由水貯蓄層的蒸發散量 E_2 可表示成：

$$E_2 = \min(ED - E_1, UZFWC) \quad (2.9)$$

式中，UZFWC = 上層自由水貯蓄層含水量。

B. 滲透量(percolation)

上層自由水貯蓄層水量藉由入滲方式流入土壤下層水筒，其滲透量PERC 的計算方式為：

$$PERC = PERC_{act.dem} \times UZFWC / UZFWM \quad (2.10)$$

式中， $PERC_{act.dem}$ = 土壤下層水筒之入滲需求量；
 $UZFWM$ = 上層自由水貯蓄層最大含水量。

當土壤下層水筒都充滿水的情況下，此時之入滲需求量即可視為土壤下層水筒最小入滲需求量 $PERC_{min.dem}$ ，而多餘之水就形成基流量。

$$PERC_{min.dem} = PBASE = LZFPM \times LZPK + LZFSM \times LZSK \quad (2.11)$$

式中， $LZFPM$ = 土壤下層水筒初始自由水貯蓄筒之最大含水量（設定畫面參閱圖2-11）； $LZPK$ = 土壤下層水筒初始自由水貯蓄筒之排水係數，為土壤下層水筒初始自由水貯蓄筒的貯水量中，每天能排出筒外而成為河川基流量(base flow)的比例； $LZSK$ = 土壤下層水筒補充自由水貯蓄筒之排水係數，定義為土壤下層水筒補充自由水貯蓄筒的貯水量中，每天能排出筒外而成為河川基流量(base flow)的比例。PBASE定義最小基流量（minimum demand）。

C、滲透至下層土壤水筒之比率：當下層土壤水筒無水的情況下，此時入滲需求量即可視為下層土壤水筒最大入滲需求量 PERCmax.dem。其設定參數為 ZPERC

(proportional increase in percolation from saturated to dry conditions in lower zone)，其推估方法：

$$PERC_{max.dem} = PBASE(1 + ZPERC) \quad (2.12)$$

式中，ZPERC = 定義下層區域最大入滲需求量，其相關研究資料如圖2-9所示。

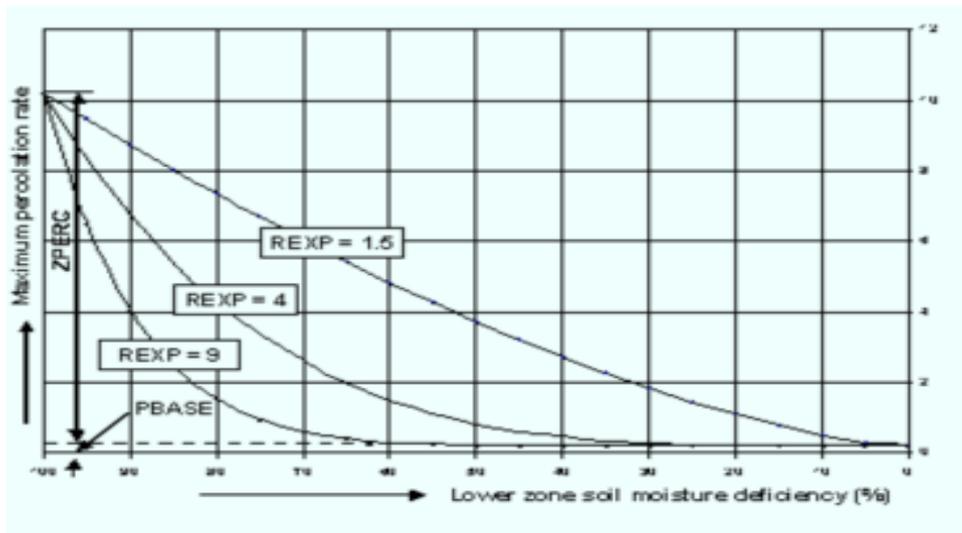


圖 2-9 ZPERC 與 REXP 之關係(資料來源:SOBEK User Manual)

通常 $ZPERC \geq 1$ 。理論上，PERCact.dem 介於 PERCmin.dem 與 PERCmax.dem 之間，因此，定義 PERCact.dem 的計算方式為

$$PERCact.dem = PBASE(1 + ZPERC \times G) \quad (2.13)$$

其中，G 之表示式為：

$$G = \left\{ \frac{\sum (\text{lower_zone_capacities} - \text{lower_zone_content})}{\sum (\text{lower_zone_capacities})} \right\}^{REXP}$$

計算式如下所示：

$$G = \left[1 - \frac{LZTWC + LZFSC + LZFPC}{LZTWM + LZFSM + LZFPM} \right]^{REXP} \quad (2.14)$$

式中，REXP 為入滲指數令，LZTWC = 下層土壤水筒張力水貯蓄層含水量；LZFSC = 下層土壤水筒補充自由水貯蓄層含水量；LZFPC = 下層土壤水筒初期水貯蓄層含水量；LZTWM = 下層土壤水筒張力水貯蓄層之最大含水量；LZFSM = 下層土壤水筒補助自由水貯蓄層之最大含水量。

當下層土壤水筒無水的情況下， $G=1$ ， $PERC_{act.dem} = PERC_{max.dem}$ ；當下層土壤水筒充滿水的情況下， $G=0$ ， $PERC_{act.dem} = PERC_{min.dem}$ 。

一般 ZPERC 值介於 5 到 80 之間，ZPERC 值越大入滲至地下水之量即越大。而 REXP 值一般介於 1 至 3 間，因不同土壤特性而有所差異，Amstrong(1978)之成果如表 2-1 所示。

D、排水量：當上層土壤水筒自由水貯蓄層水量大於下層土壤水筒之滲透需求量($PERC_{act.dem}$)時，上層土壤水筒自由水貯蓄層水量就開始有排水量流出，稱為中間流(interflow) $q_{interflow}$ ，其設定參數為 UZK (upper zone

lateral drainage rate)，其計算方式為：

$$q_{interflow} = UZFWC \times UZK \quad (1.15)$$

式中， UZK = 上層自由水貯蓄筒之排水係數，定義為上層土壤水筒自由水貯蓄層之貯水量中，每天能排出筒外而成為河川中間流的比例。

表 2-1 土壤種類與 $REXP$ 關係 (SOBEK User Manual)

Soil classification	$REXP$
Sand	1.0
Sandy loam	1.5
Loam	2.0
Silty loam	3.0
Clay, silt	4.0

而當上層土壤水筒自由水貯蓄層之貯水量大於下層土壤水筒之滲透需求量以及最大中間流排水量的總合時，水即開始溢流而成為地表逕流 (surface runoff) $q_{surfacerunoff}$ 。 UZK 值一般介於 0.18 至 1.0 間，其值隨著天數增加而減少，如圖 2-10 所示。

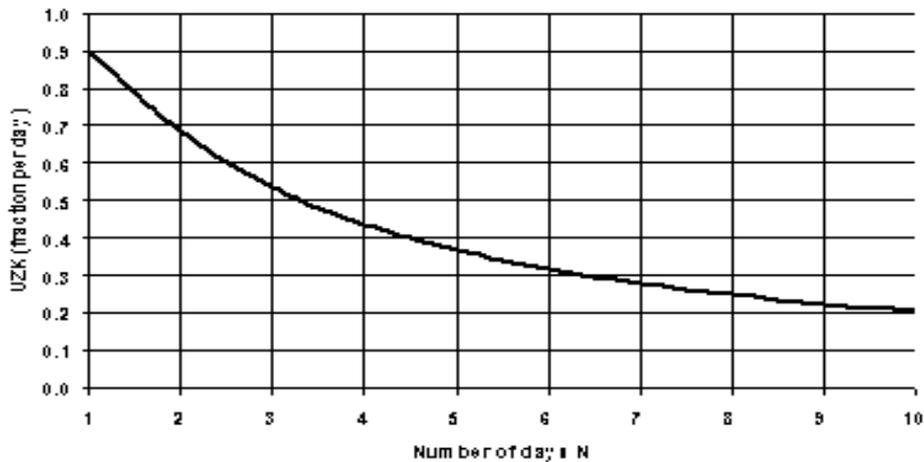


圖 2-10 UZK 與天數之關係式 (SOBEK User Manual)

(2)土壤下層水筒 (圖 2-11: 設定畫面)

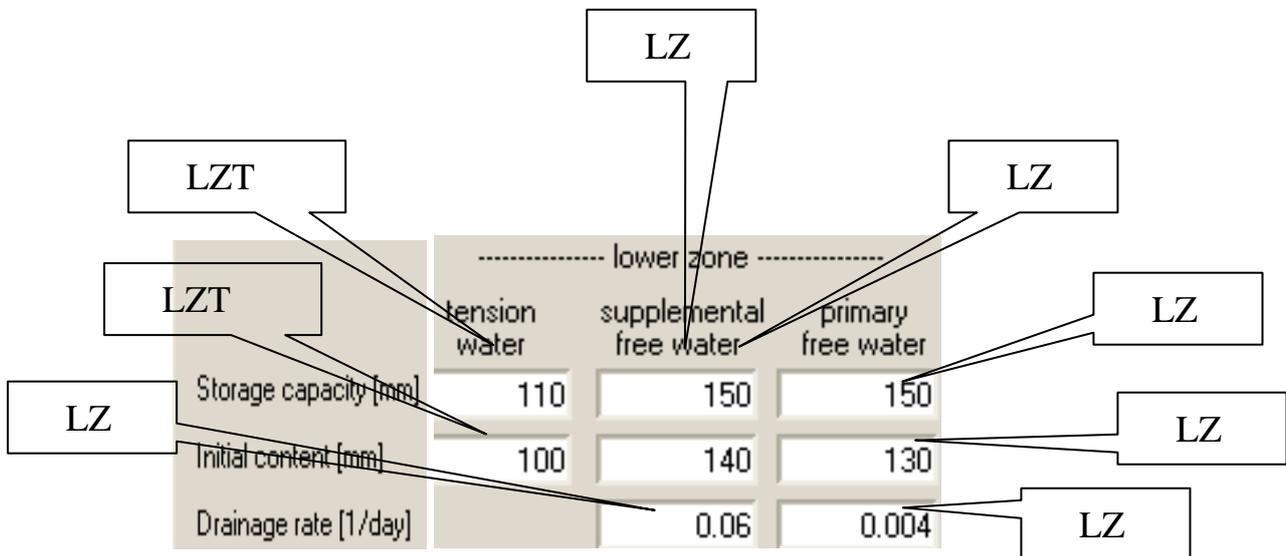


圖 2-11 降雨逕流地下層土壤水筒貯蓄參數設定畫面

A、下層土壤水筒張力水貯蓄層：其設定參數為 LZTWM (capacity of lower zone tension water storage (mm))，理論上，上層土壤水筒自由水貯蓄層之入滲水量會先進入下層土壤水筒張力水貯蓄層中，直至該筒滿水以後，水才會溢流至下層土壤水筒補充自由水貯蓄層(supplemental free water)及下層土壤水筒初始自由水貯蓄層(primary free water)。實際情況中，部分滲透水量可能直接進入下層土壤水筒補充自由水貯蓄層

及下層土壤水筒初始自由水貯蓄層，因此，計算進入下層土壤水筒張力水貯蓄層之入滲水量 $PERC_{act, dem, LZTW}$

$$PERC_{act, dem, LZTW} = PERC_{act, dem} \times (1 - PFREE) \quad (2.16)$$

式中， $PFREE$ = 滲透水量會直接進入下層土壤水筒補充自由水貯蓄筒及下層土壤水筒初始自由水貯蓄層之比例其值介於 0 至 0.5 間。(圖 2-12：設定畫面)。

	Parameter	Description	Value	Unit
1	ZPERC	proportional increase in percolation from saturate	10	.
2	REXP	exponent in percolation equation	1.5	.
3	PFREE	fraction of percolated water directly to lower zon	0.2	.

圖 2-12 降雨逕流地表下下層貯蓄之參數設定畫面

(A)於下層土壤水筒蒸發散部分，當 $E_1 + E_2 < ED$ 時，下層土壤水筒張力水貯蓄層之蒸發

(B)散量 E_3 可表示

$$E_3 = (ED - E_1 - E_2) \times LZTWC / (UZTWM + LZTWM) \quad (2.17)$$

(C)當下層土壤水筒張力水貯蓄層之貯水量大於最大貯水量時，水即開始溢流至下層補助自由水貯蓄層。

B、下層土壤水筒補充自由水貯蓄層：其設定參數為 LZFSM (capacity of lower zone primary free water storage (mm))，土壤水筒張力水貯蓄層之貯水量進入下層土壤水筒補充自由水

貯蓄層的滲透水量 $PERC_{act,dem,LZFS}$ 可表示成：

$$PERC_{act,dem,LZFS} = 1 - [PERC_{act,dem} \times PFREE \times \frac{LZFPM}{LZFSM + LZFPM} \times \frac{2R_p}{R_p + R_s}] \quad (2.18)$$

$$R_s = 1 - LZFSM / LZFSM \quad (2.19)$$

$$R_p = 1 - LZFPC / LZFPM \quad (2.20)$$

當下層土壤水筒補充自由水貯蓄層開始貯水後，該層就開始有排水量 $Q_{baseflow1}$ 流出，為基流量一部份。

$$Q_{baseflow1} = LZFSM \times LZSK \quad (2.21)$$

而下層土壤水筒補充自由水貯蓄層之貯水量大於最大貯水量時，水即開始溢流至下層土壤水筒初始自由水貯蓄層。

C、下層土壤水筒初始自由水貯蓄層：其設定參數為 $LZFPM$ (capacity of lower zone primary free water storage (mm))，進入下層土壤水筒初始自由水貯蓄層的滲透水量 $PERC_{act,dem,LZFPM}$ 可表示：

$$PERC_{act,dem,LZFPM} = 1 - [PERC_{act,dem} \times PFREE \times \frac{LZFPM}{LZFSM + LZFPM} \times \frac{2R_p}{R_p + R_s}] \quad (2.22)$$

當下層土壤水筒初始自由水貯蓄層開始貯水後，該層就開始有排水量流出，其計算方式為

$$Q_{baseflow2} = LZFPC \times LZPK \quad (2.23)$$

基流量 $Q_{baseflow}$ 為：

$$Q_{baseflow} = Q_{baseflow1} + Q_{baseflow2}$$

7、河川區域

綜合地面上與地面下的水文歷程後，流入河川而形成逕流的部分包括 $q_{directrunoff}$ 、 $q_{interflow}$ 、 $q_{surfacerunoff}$ 、 $q_{baseflow}$ 四個部分，但整個轉換過程中尚有其他損失發生，必須另外計算（圖2-13：設定畫面）。

Definition:				
	Parameter	Description	Value	Unit
7	SARVA	fraction of basin covered by streams and channels	0.0125	-
8	SIDE	fraction of baseflow not observed in the streams	0	-
9	SSOUT	sub-surface outflow	0	[mm/dt]

圖 2-13 降雨逕流相關參數設定畫面

(1)蒸發散

河川區域的蒸發散量計算方式為：

$$E_4 = ED \times SARVA \quad (2.24)$$

(2)基流量傳送損失

基流量損失的計算方式為：

$$q_{baseloss} = q_{baseflow} / (1 + SIDE) \quad (2.25)$$

式中， $SIDE$ = 基流量傳送損失係數。

(3)河川損失量

當水流入河川後，亦會有部分水入滲底床，形成河川損失(channel loss)，Sacramento 模式以參數SSOUT表示河川損失量。

綜合河川入流量與損失量，實際流入河川的水文量Q可表示為

$$Q = q_{directrunoff} + q_{interflow} + q_{surfacerunoff} + q_{baseflow} - E_4 - q_{baseloss} - SSOUT \quad (2.26)$$

最後，再經由單位歷線進行降雨逕流轉換，將集水區雨量轉換成河道之逕流量，完成水文分析的工作。

根據水利署第二河川局（2005）『建置頭前溪流域水情測預報系統』報告指出：ZPERC、REXP、ADMIP、SARVA、LZFSM、LZFPFM、及LZSK 等7 參數對計算結果具有較大的敏感度。因此，在率定模式參數時，可只針對上述7 參數檢定其最佳值，而其他參數可採用合理的假設值，如表2-2所示，為參數設定值範圍。

表 2-2 SOBEK 模式降雨逕流參數設定值範圍

Parameter	Default value	Default minimum	Default maximum
Adimp	0.01	0.00	1.00
Lzfpfm	40	0	50
Lzfsm	23	0	50
Lzpk	0.009	0	1
Lzsk	0.043	0	1
Lzwm	130	0	400
Pctim	0.01	0.00	1.00
Pfree	0.063	0.000	1.000
Rexp	1	0	3
Rserv	0.3	0.0	1.0
Sarva	0.01	0.00	1.00
Slide	0	0	1
Ssout	0.001	0.000	1.000
Uzfwf	40	0	80
Uzk	0.245	0.000	1.000
Uzwm	50	0	100
Zperc	40	0	80

(資料來源：SOBEK User Manual)

三、水理模式

(一)一維河川渠流模式

一維河川渠道模組係利用交錯網格 (staggered grid) 方式求解控制方程式。SOBEK 模式中渠流之質量守恆方程式與動量守恆方程式如下：

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + gA_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad (2.28)$$

式中， Q ：流量； h ：水位； R ：水力半徑； q_{lat} ：渠道之側入流量； A_f ：濕周面積； C ：Chezy 係數； W_f ：河流寬度； τ_{wi} ：風剪力； ρ_w ：水密度。

(二)結構物

1、橋樑 (設定如圖 2-14)

SOBEK 視橋樑為一標準之水工結構物，以下式估算通過水流通過橋樑之流量：

$$Q = \mu A_f \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.32)$$

式中， μ ：流量係數； A_f ：通水斷面積； h_1 ：上游水位； h_2 ：下游水位。



圖 2-14 橋樑所需參數

2、孔口（設定如圖 2-15）

孔口可依上下游水位關係區分為自由出流及潛沒出流兩種流況，流量估算方式分別如下：

(1) 自由出流 ($h_1 - z_s \geq \frac{2}{3}d_g$ 且 $h_2 \leq z_x + d_g$)

$$Q = c_w W_s \mu d_g \sqrt{2g(h_1 - (z_s + \mu d_g))} \quad (2.33)$$

(2) 潛沒出流 ($h_1 - z_s \geq \frac{2}{3}d_g$ 且 $h_2 > z_x + d_g$)

$$Q = c_w W_s \mu d_g \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.34)$$

式中， c_w ：寬度收縮係數； W_s ：孔口寬度； d_g ：孔口高度； z_s ：孔口底高程。

(3) 若 $h_1 - z_s < \frac{2}{3}d_g$ 則視為堰加以處理。

圖 2-15 孔口所需參數 (1)

圖 2-15 孔口所需參數(2)

3、堰 (設定如圖 2-16)

堰亦可分為自由堰及潛沒堰兩種流況，流量分別以下列二式估算：

(1)自由堰($h_1 - z_s < \frac{2}{3}d_g$ 且 $h_1 - z_s > \frac{3}{2}(h_2 - z_s)$)

$$Q = c_w W_s \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g (h_1 - z_s)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.35)$$

(2) 潛沒堰

$$Q = c_e c_w W_s \left(h_1 - z_s - \frac{u_s^2}{2g} \right) \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.36)$$

式中， c_e ：流量係數； c_c ：寬度收縮係數； W_s ：堰寬度； u_s ：堰頂流速； z_s ：堰頂高程； h_1 ：堰上游水位； h_2 ：堰下游水位。

圖 2-16 weir 所需參數

圖 2-16 (續) universal weir 所需參數

4、涵洞 (圖 2-17)

SOBEK 估算涵洞之方式同估算通過水流通過橋樑之方式，由涵洞上下游水位關係決定：

$$Q = \mu A_f \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.37)$$

The image shows a software interface for configuring a culvert. The 'Culvert' tab is selected. The 'Type' dropdown is set to 'Culvert'. In the 'Dimensions' section, 'Left: Bottom Level' is 0, 'Right: Bottom Level' is 0, and 'Length' is 10, all in meters above datum. In the 'General' section, 'Inlet Loss coefficient' is 0.7, 'Outlet Loss coefficient' is 1, and the 'Valve' checkbox is unchecked. The 'Possible flow direction' section has both 'Positive' and 'Negative' checkboxes checked.

圖 2-17 涵洞所需參數

四、堰塞湖分析案例應用

水利署轄區之 SOBEK-1D 的河川水文、水理模式，如圖 2-18 所示，在堰塞湖形成後，其位置若在河道有斷面資料，且取得壩體位置之高程，則可進行蓄水庫之水文、水理模式演算，圖 2-19 所示，為高屏溪流域之 SOBEK-1D 的河川水文、水理模式。

藉由所建置之 SOBEK-1D 模式主要目的：

1. 堰塞湖上游迴水影響至多少高程？
2. 堰塞湖多少雨量會發生溢頂？
3. 發生潰壩下游村里之潰壩洪峰多久到達？

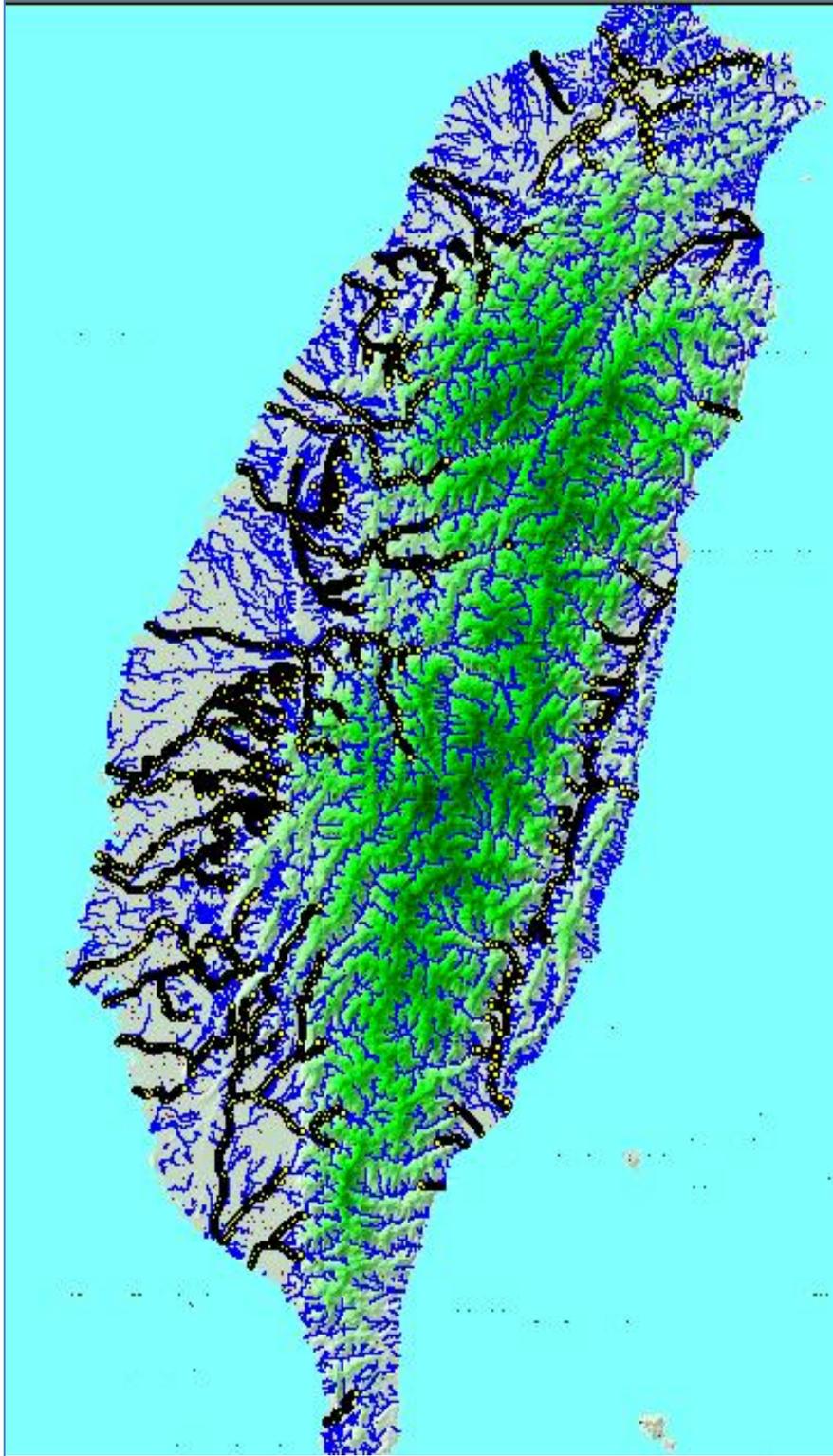


圖 2-18 全省中央管河川河道斷面與位置

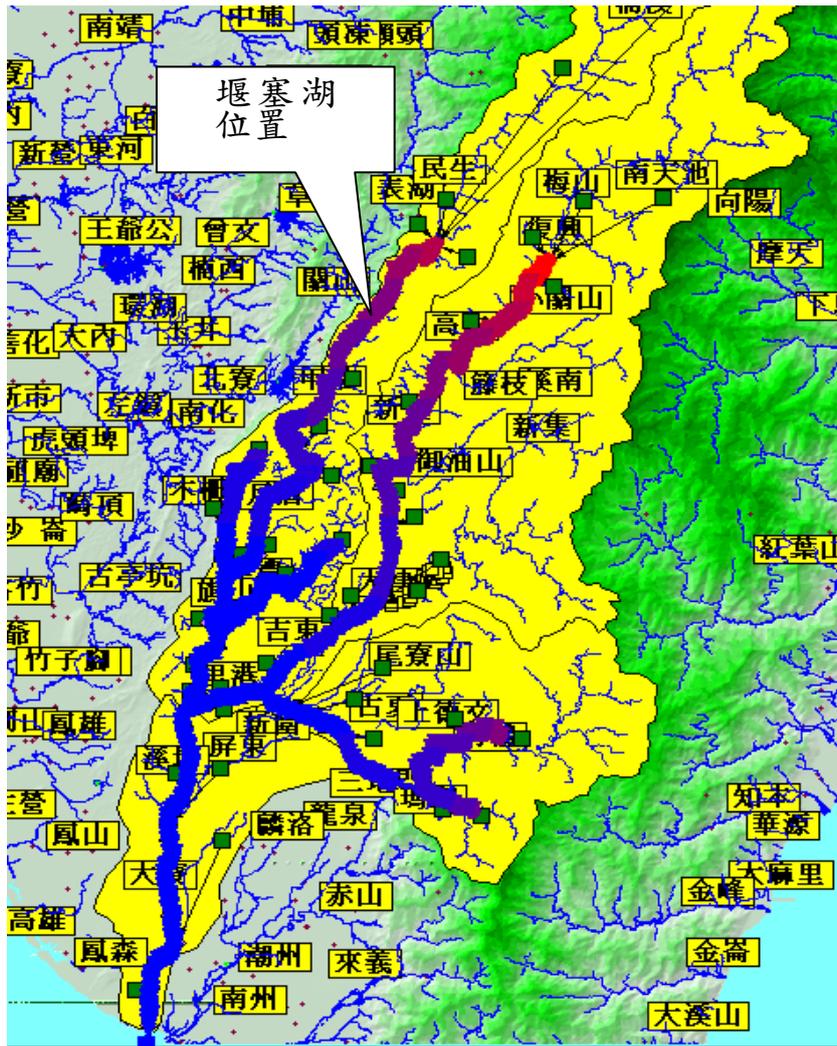


圖 2-19 高屏溪 SOBEK-1D 之降雨逕流與水理模式範圍

上述分析方法說明如下：

(一)上游迴水高程

步驟 1：將檔案開啟，選擇分析案例，模擬以高屏溪之小林堰塞湖為案例，並輸入欲模擬時段，如 2009 年 8 月 9 日，模擬時間間距為 10 分鐘。如圖 2-20 所示，輸入完成後，點選 OK。

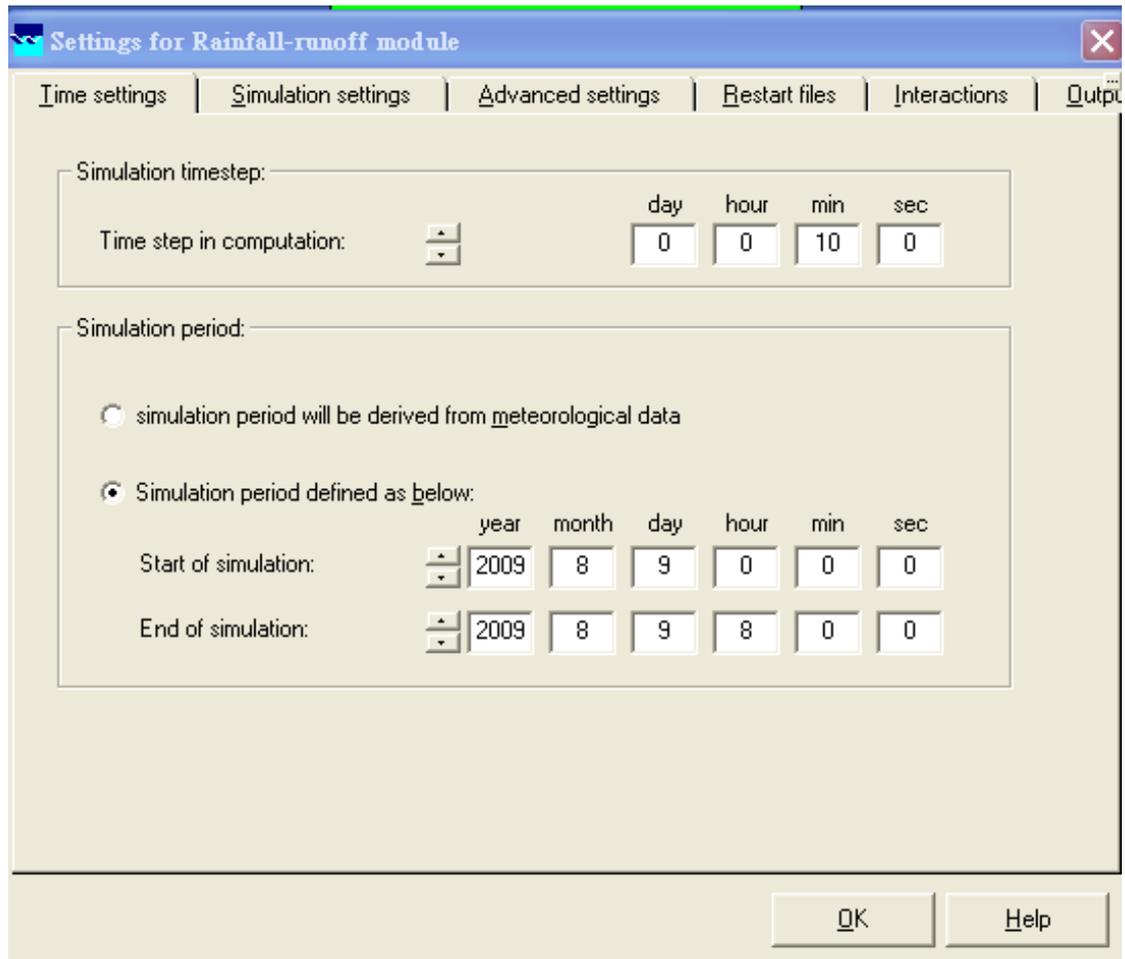


圖 2-20 模擬時間輸入

步驟 2：開啟氣象資料（Meteorological Data），編輯降雨資料（點選 edit event），設定雨量資料，建立新雨量站資料，如小林，圖 2-21 並將雨量輸入，如每 10 分鐘 10mm，完成後存檔。

步驟 3：開啟模式輸入介面（schematisation），如圖 2-19 所示。並找出堰塞湖發生位置，選擇堰流功能，加入於渠流模式內（圖 2-22），點選 weir，按右鍵 model data 編輯，並將壩體高度輸入即可（圖 2-23）。

步驟 4：點選堰塞湖上游的降雨逕流（sacramento），上游雨量站之控制雨量站，選擇小林，如圖 2-24

所示。全部點選完成後，檔案儲存。

步驟 5：設定完成後，即可進行模擬。

步驟 6：模擬結果如圖 2-25 所示，推估迴水影響至高程 420 公尺。

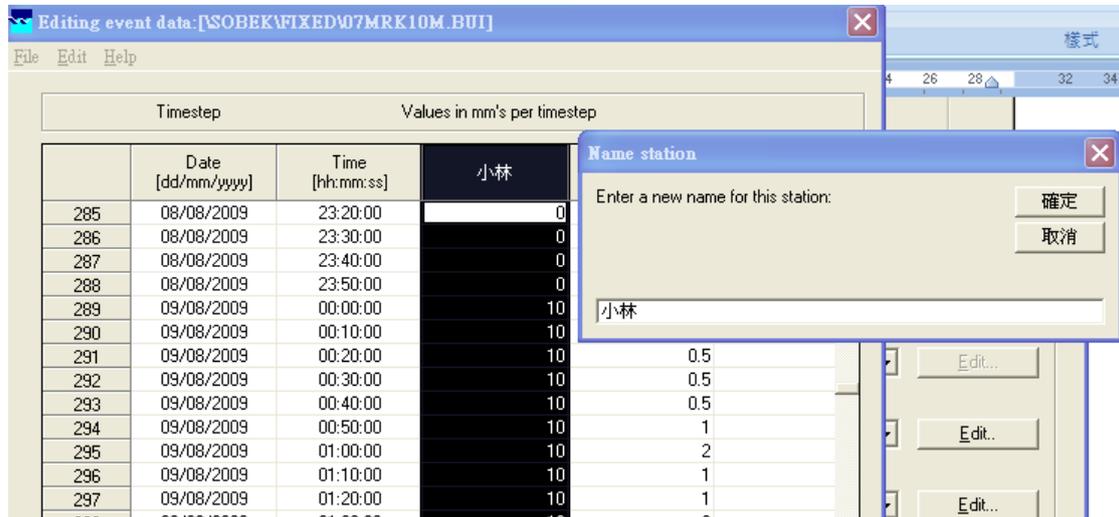


圖 2-21 編輯雨量資料

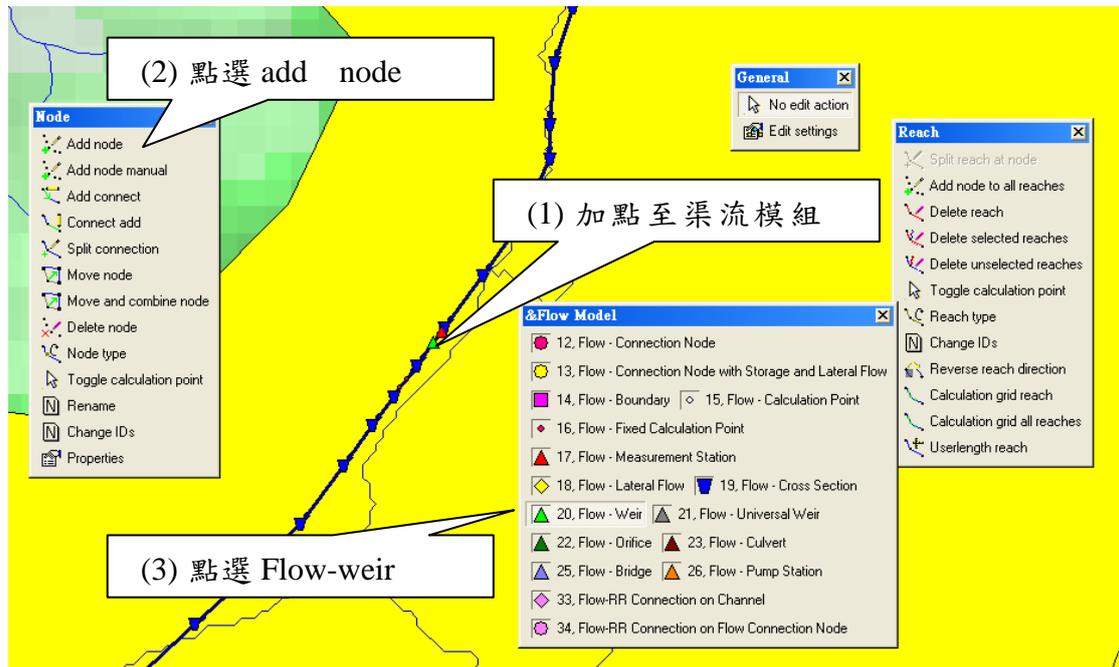


圖 2-22 加入堰流功能

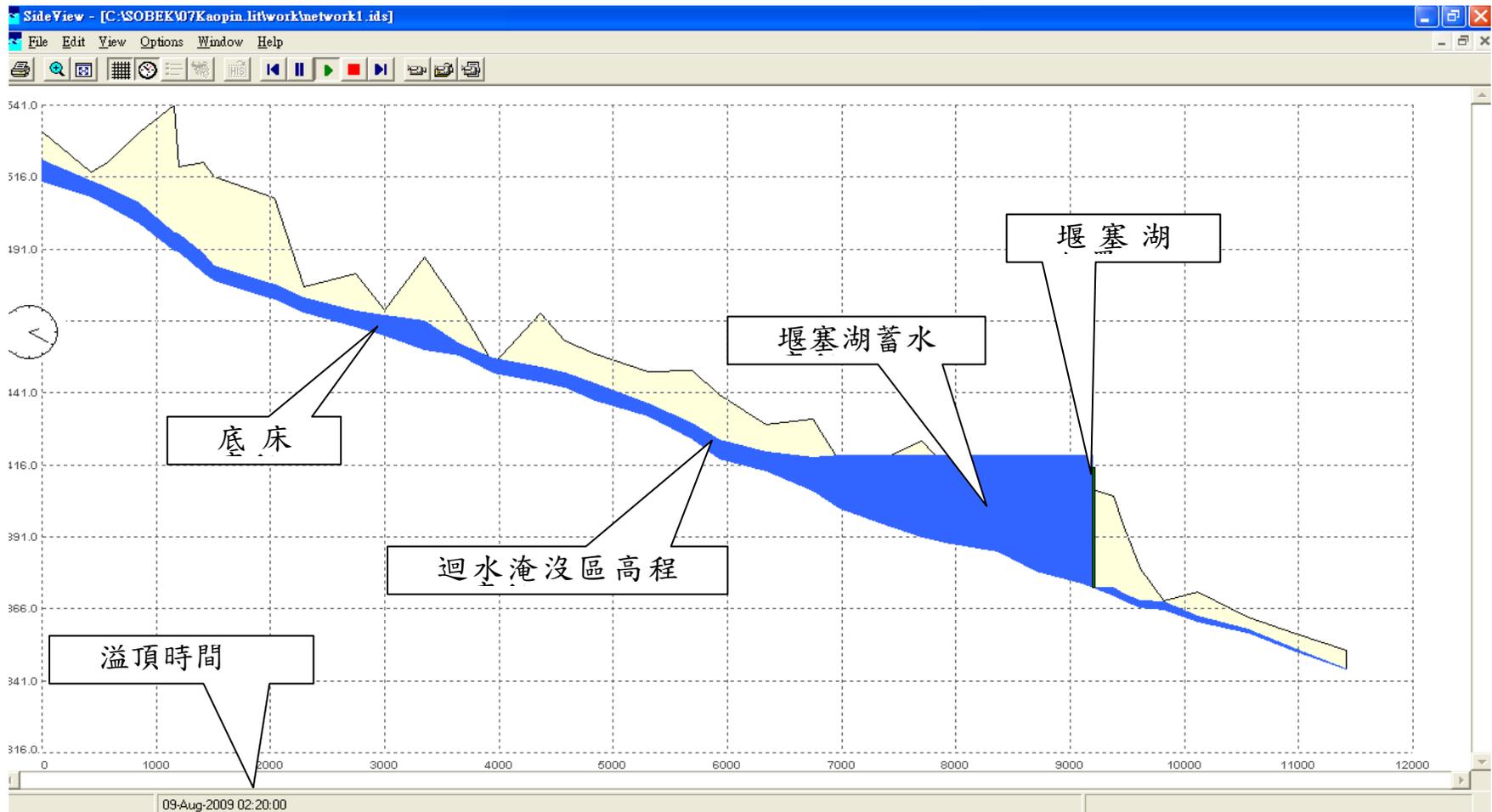


圖 2-25 小林堰塞湖上游淹沒區高程示意圖

(二)發生溢頂之雨量

根據上述模擬結果，找出溢流時間點，即可知道上游累積降雨量，如圖 2-25 時間為 02:20。因此模擬時間由 00:00 起，共 140 分鐘，總共有 140mm 降雨量入流後就可能開始出現壩頂溢流。

1、潰壩洪峰到達時間

步驟 1：開啟模式輸入介面，如圖 2-19 所示。並找出堰塞湖發生位置，選擇側入流功能，加入於渠流模組，如圖 2-26，並將 BREACH 模式推估潰壩模擬結果輸入。

步驟 2：設定完成後，存檔並進行模擬。

步驟 3：將各斷面模擬輸出，將各村里所在位置斷面找出，並藉由最大洪峰到達時間進行比對，得知各村里之洪峰到達時間。如表 2-3 所示。

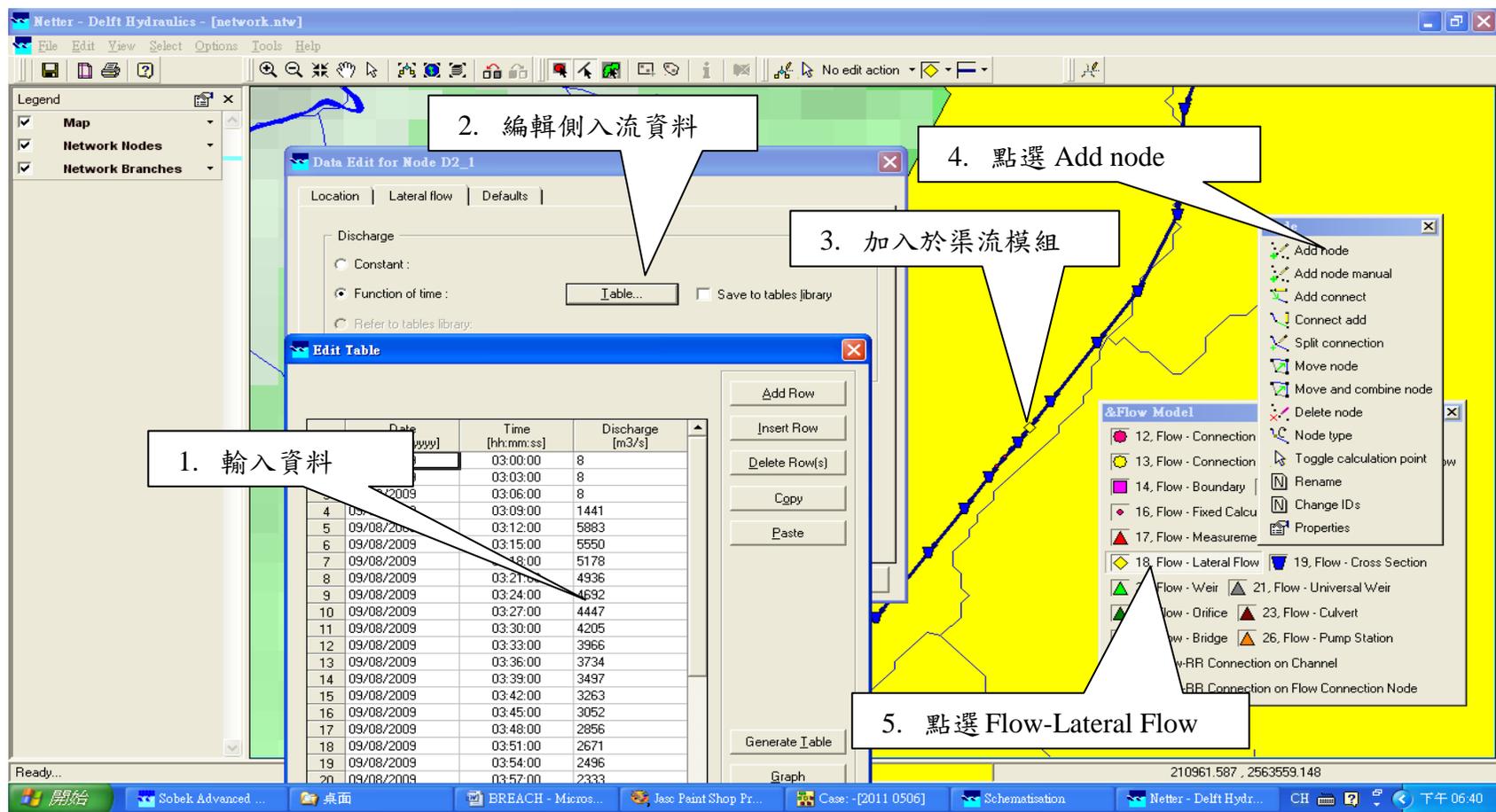


圖 2-26 側入流資料編輯

表 2-3 小林堰塞湖潰決洪峰到達時間

鄉鎮區	村里名	洪峰到達時間 (hr)	鄉鎮區	村里名	洪峰到達時間 (hr)
甲仙區	小林里	0	旗山區	瑞吉里	1.67
	關山里	0.17		湄洲里	1.67
	東安里	0.34		大德里	1.84
	和安里	0.34		東平里	1.84
	西安里	0.5		東昌里	2
	大田里	0.5		三協里	2
	寶隆里	0.5		上洲里	2.17
杉林區	木梓里	0.67		鯤洲里	2.17
	集來里	0.67		廣福里	2.34
	杉林里	0.84		大山里	2.34
	新庄里	0.84		中洲里	2.34
	上平里	1		南洲里	2.67
	月眉里	1		新光里	2.84
	月美里	1.17		南勝里	3
旗山區	中正里	1.34	里港鄉	瀾力村	3.0
	圓富里	1.34		中和村	3.17
	永和里	1.5		-	-

第參章 SOBEK 2D 淹水模式

SOBEK-2D 漫地流係根據二維流體動力程式如下：

質量方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

動量方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{C^2 d} + au|u| = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{v|V|}{C^2 d} + av|v| = 0 \quad (3.3)$$

式中， x, y = 模擬區域之迪卡兒空間座標； u, v = x, y 方向之平均流速； d = 模擬區地表水深； a = 邊牆摩擦係數； $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ 。

模擬之結果呈現方式係利用不同顏色之二維格網 (2D grid) 表示，且藉由 Netter 介面之功能匯入 GIS 之圖層或所屬流域影像圖檔與所計算之結果進行套疊，可供使用者進行決策參考。

一、基本資料

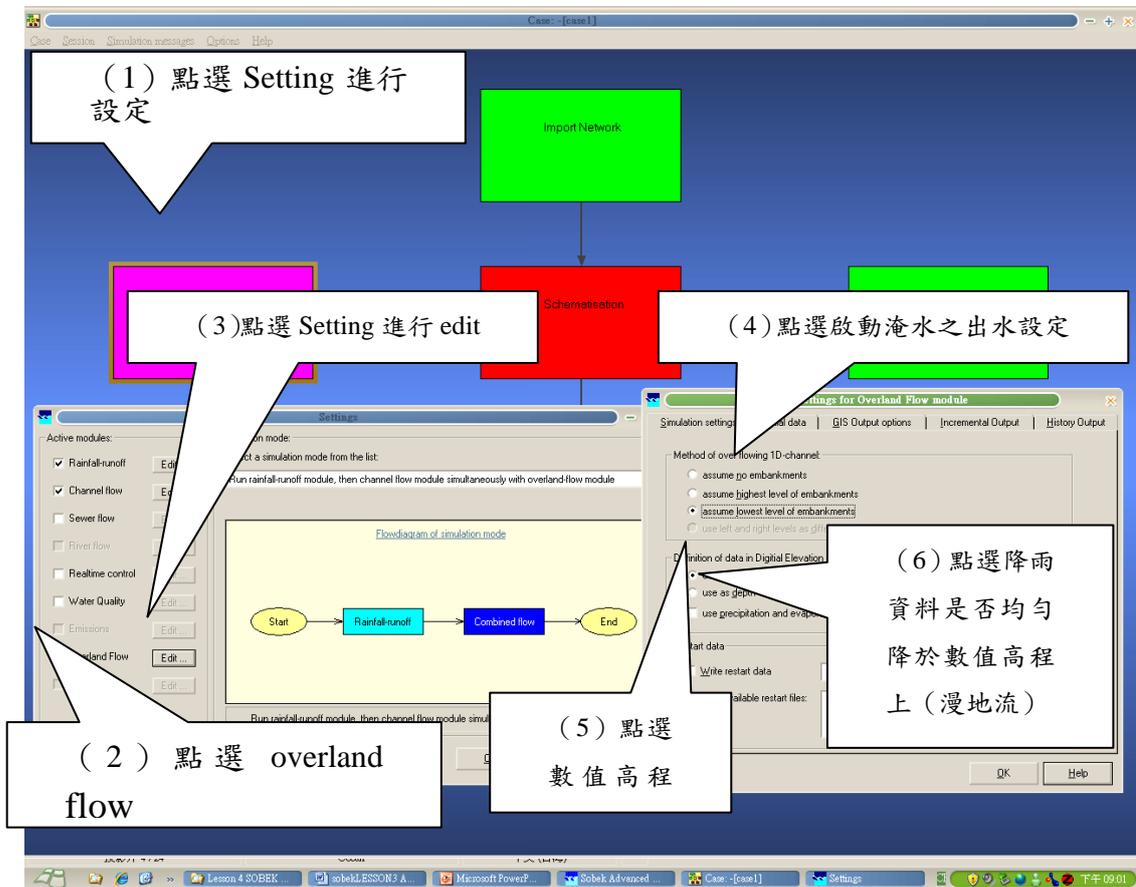
- 1、地形資料 → 實測資料或內政部地政司資料 (DEM 與 DSM) 5m*5m 資料 (管制資料)
- 2、土地利用資料 → 內政部國土測繪中心
- 3、正射影像 → 水利署土地管理組

二、資料整理

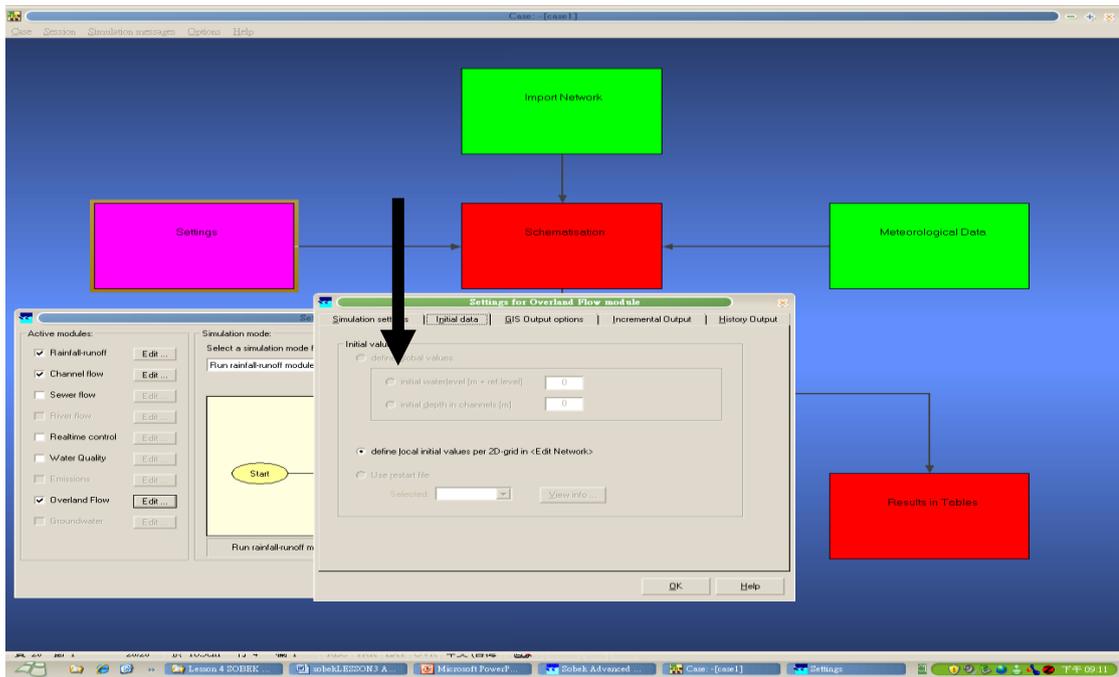
- 1、Surfer 軟體、UltraEdit 文書處理軟體、ArcView。
- 2、ArcGIS9.0

三、SOBEK 程式設定

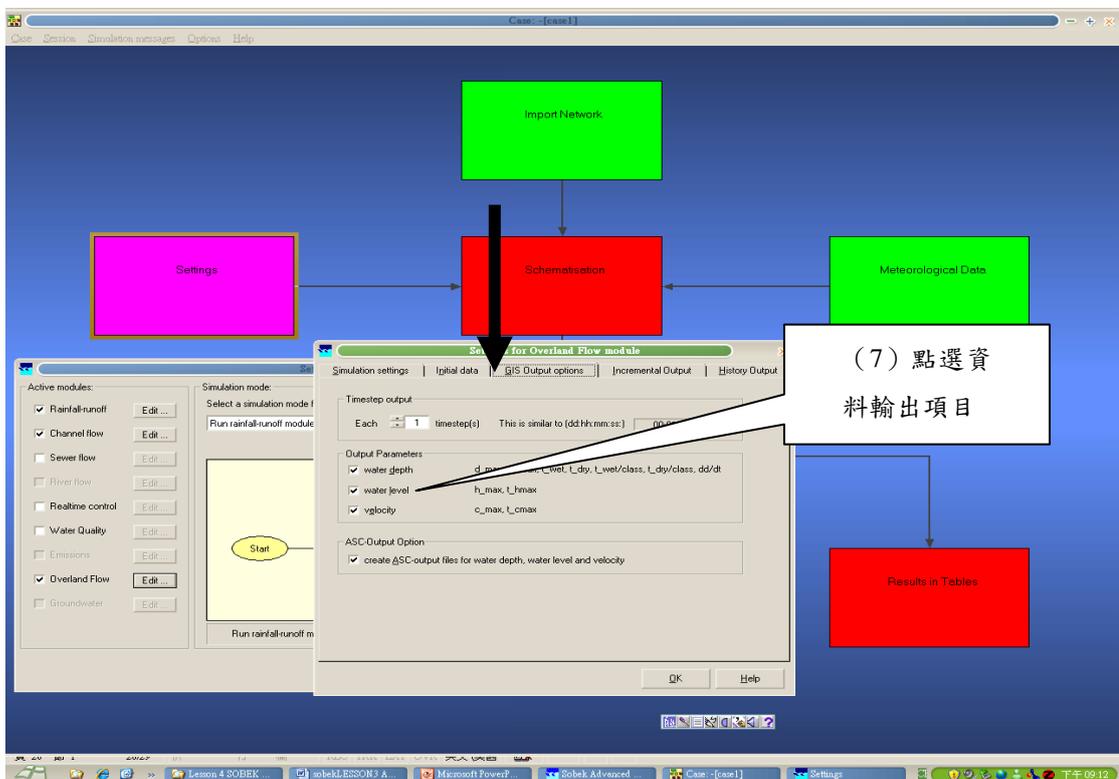
進入 SOBEK 開啟檔案 SEETING 進行設定



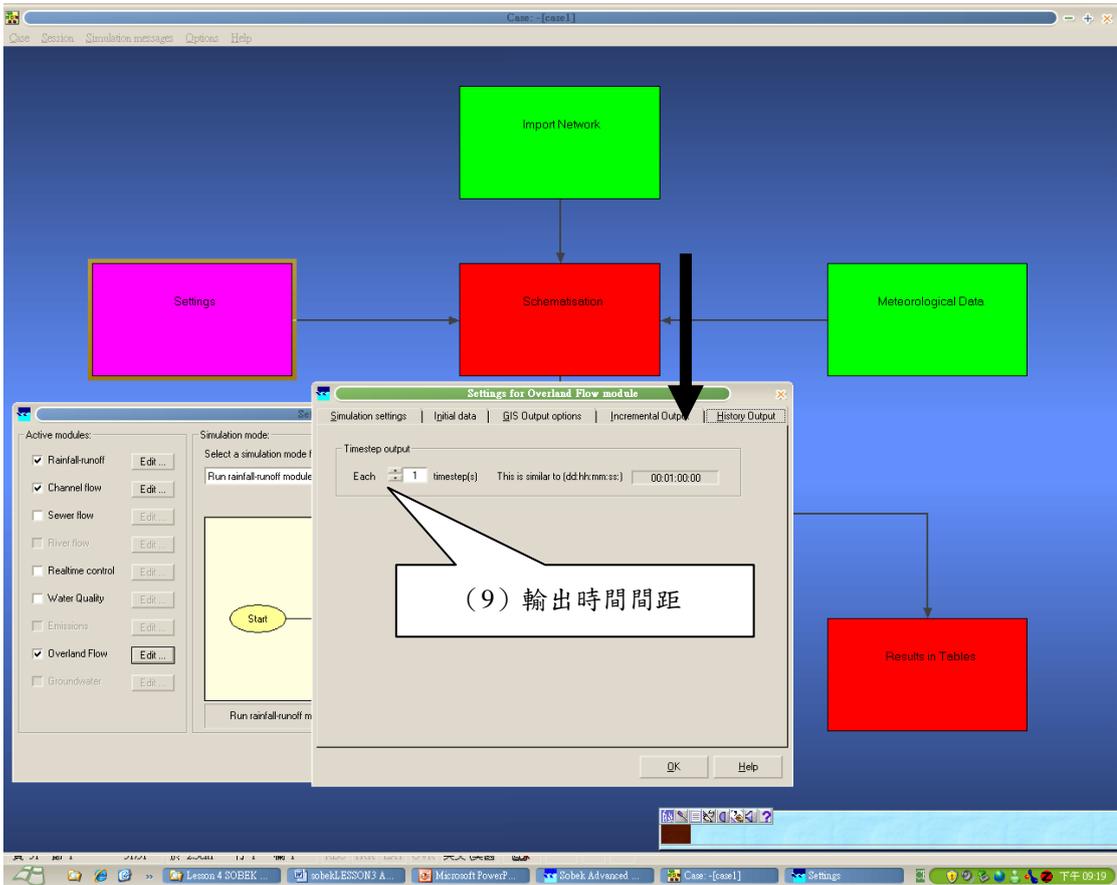
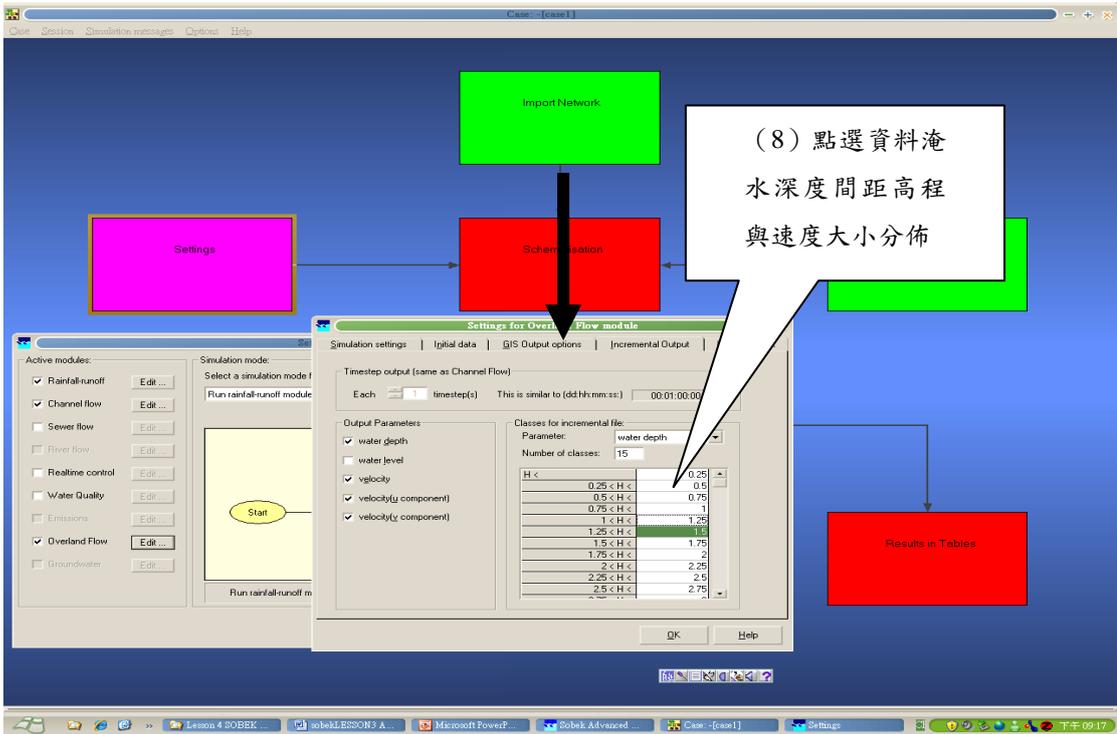
Initial data 設定

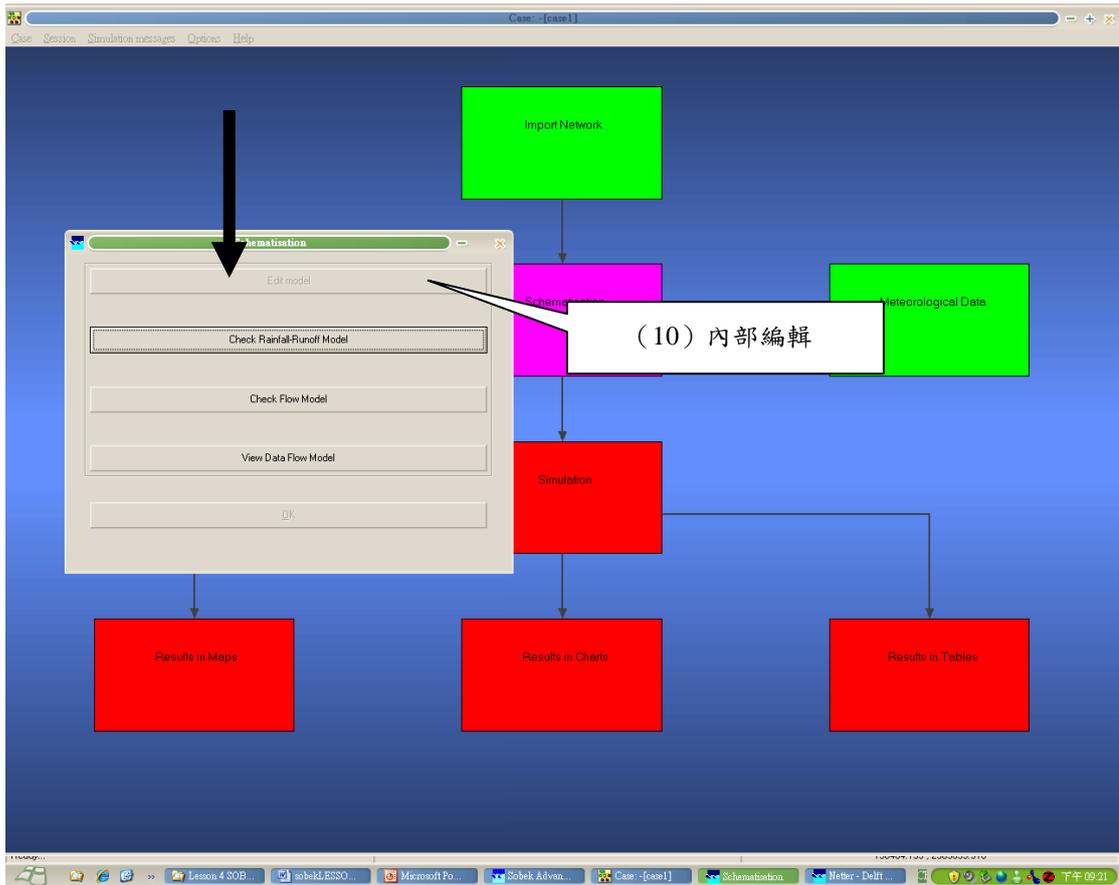


GIS output options

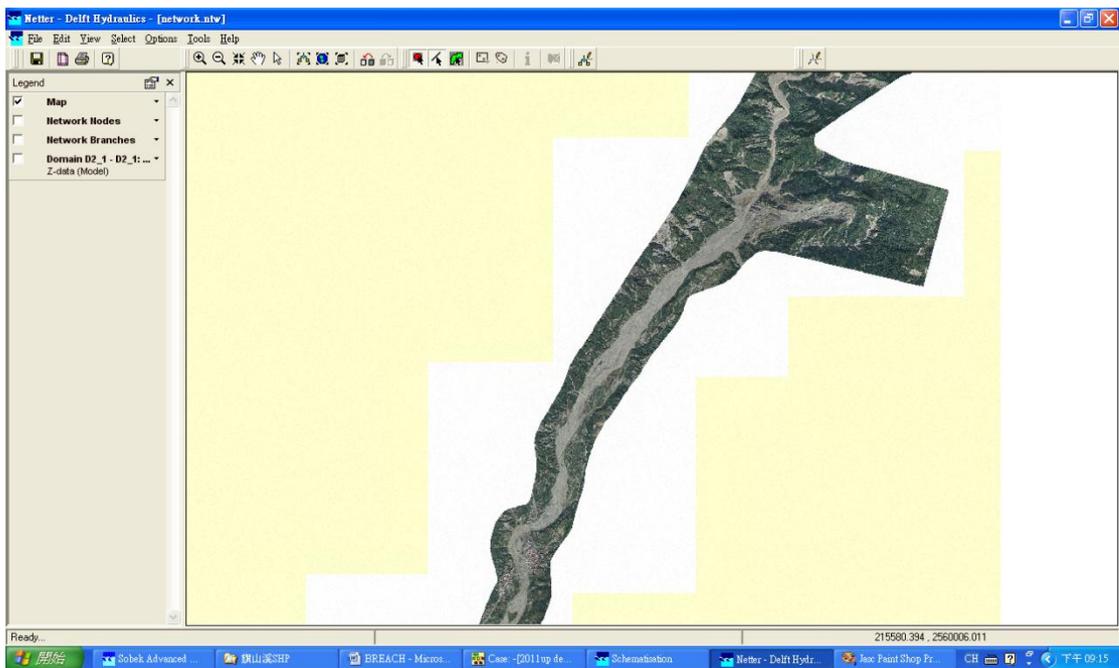


Overland flow-Incremental output

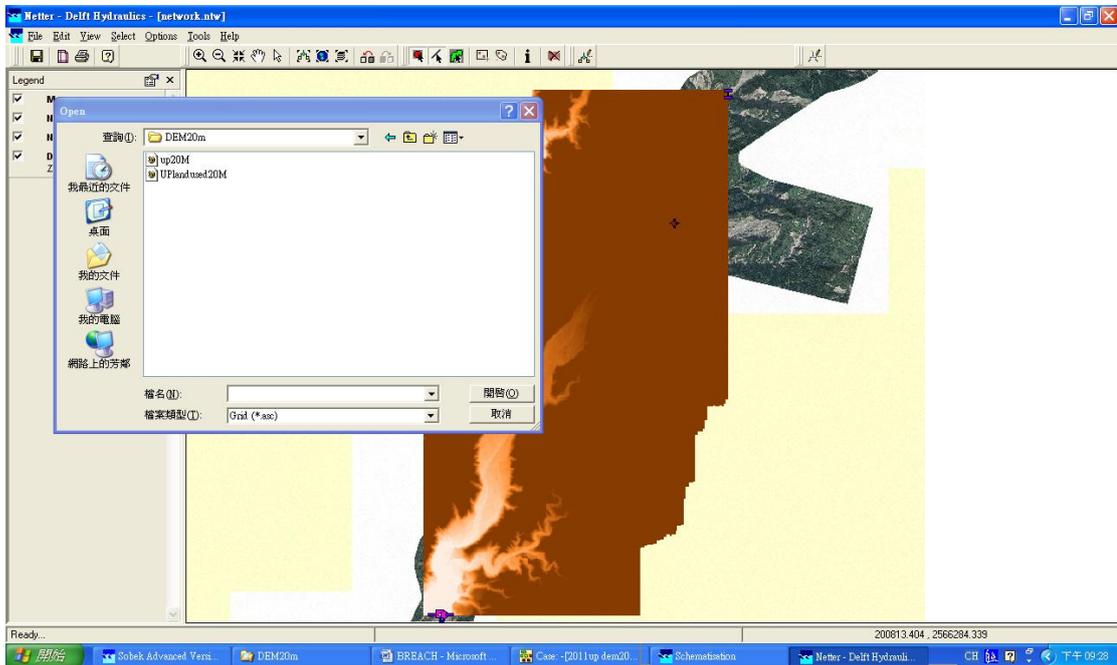




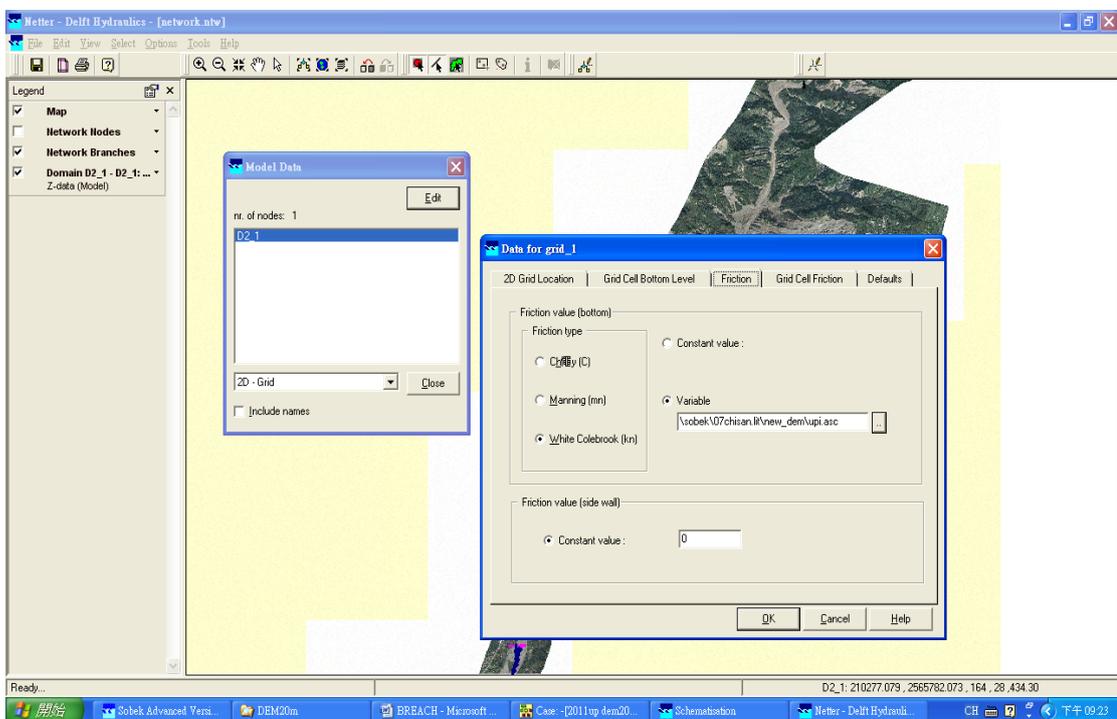
開啟畫面



步驟 1：點選 file→import→選擇製作好的 20m DEM 檔：如 up20m.ASC



步驟 2：點選 edit→model data→選 2d-grid→點選 edit



步驟 3 點選 friction→輸入糙度係數 Kn 值或曼寧 n 值。若無土地利用資料，假設糙度係數為單一值，如 n 值為 0.04。

2D 潰壩模擬有兩種分析方式，其一為將格網與潰口對齊，利用 2 維邊界條件輸入潰口出流量。另一為包含上游蓄水區的模擬，於潰口處設置潰口的形狀變化。其設定說明如下：

一、第一種分析方式設定

- 1、點選點的 overland flow model→選(40) 2D- corner→add node 點選至上邊界二處。
- 2、點選線的 overland flow model→選(14) 2D-Line Boundary→點選 connect nodes 連線左下邊界二處。
- 3、設置 2D 潰壩洪流量，如由 BREACH 潰口流量進行潰壩演算。

Netter - Delft Hydraulics - [network.ntw]

File Edit View Select Options Tools Help

Legend

Data Edit for link 11

Location | Boundary condition | Defaults

Type

water level (h) flow (Q)

1D2D Connection Q-H relation

Value

constant value

Function of time:

Table...

1D2D Boundary Connection Node

General

No edit action

Edit settings

&Overland Flow Model

- 36, 2D - Grid
- 37, 2D - Boundary
- 38, 2D - History
- 39, 2D - Breaking Dam
- 40, 2D - Corner
- 41, 2D - Initial Water Level Point

Node

- Add node
- Add node manual
- Add connect
- Connect add
- Split connection
- Move node
- Move and combine node
- Delete node
- Node type
- Toggle calculation point
- Rename
- Change IDs
- Properties

Connection

- Connect nodes
- Add connect
- Connect add
- Delete connection
- Connection type
- Rename
- Change IDs
- Reverse Link Direction
- Reverse direction repeat
- Properties

&Overland Flow Model

- 14, 2D - Line Boundary
- 15, 2D - Line 1D2D Internal Boundary
- 16, 2D - Line Measurement

Ready...

	Date [dd/mm/yyyy]	Time [hh:mm:ss]	Discharge [m3/s]
1	08/08/2009	16:00:00	0.4
2	08/08/2009	16:10:00	35.5
3	08/08/2009	16:20:00	34.6
4	08/08/2009	16:30:00	322.5
5	08/08/2009	16:40:00	625.9
6	08/08/2009	16:50:00	1015.8
7	08/08/2009	17:00:00	1317.4
8	08/08/2009	17:10:00	1598.1
9	08/08/2009	17:20:00	1827.9
10	08/08/2009	17:30:00	2005.9
11	08/08/2009	17:40:00	2125
12	08/08/2009	17:50:00	2136.8

Link: 11, D2_4: 213153.501, 2562495.027, 308, 19, 407.30

開始 Sobek Advanced Versi... DEM20m BREACH - Microsoft ... Case: -[2011 up dem20... Schematisation Netter - Delft Hydraulics... CH 下午 09:49

二、第二種分析方式設定

- 1、點選點的 overland flow model→選(40) 2D- corner→add node 點選至上邊界二處。
- 2、點選線的 overland flow model→選(14) 2D-Line Boundary→點選 connect nodes 連線左下邊界二處。
- 3、設置 2D 的洪流量，如由降雨徑流推得上游入流流量，瞭解淹沒區的範圍。於潰口部分設置潰壩控制點 (2D Breaking Dam)，輸入資料為潰口高程變化，可由 BREACH 模式的潰口資料得知。
- 4、於下游邊界處點選點的 Overland Flow Model→選(40) 2D- Corner→Add node 點選至左、右兩角邊界二處。
- 5、點選線的 Overland Flow Model→選(14) 2D- Line 1D2D internal Boundary→點選 Connect Nodes 連線左下邊界二處。
- 6、設置 1D 渠道 點選 Flow Boundary→ add node 加入 →Flow Connection Node→Add Node→點選線的 Flow Channel→Connect Nodes 連線。點選 Flow 1D2D internal Boundary node→node type 變更 Flow Connection Node 為 Flow 1D2D internal Boundary node
- 7、點選 Flow 1D2D internal Boundary node→ Add Node 加點於格網內→點選線的 Flow Channel→Connect Nodes 連線。
- 8、加入斷面資料 Flow cross section →add node 並編輯斷面資料、糙度係數與 Flow Boundary 邊界條件
- 9、並於 2D- Line 1D2D internal Boundary 設定邊界條件為 1D2D connection，點選 Flow 1D2D internal Boundary

node。

- 10、點選 Flow Boundary → add node 加入兩點 → 點選線的 Flow Channel → Connect Nodes 連線。加入斷面資料 Flow cross section → add node 並編輯斷面資料、糙度係數與 Flow Boundary 邊界條件。
- 11、選點 calculation grid all reaches → reach → flow cross section，選點 calculation points → d2grid，存檔 → 離開
- 12、模擬完後，點選 results in maps → 並於左側點選 depths incremental → 啟動動畫。

Netter - Delft Hydraulics - [network.ntw]

File Edit View Select Options Tools Help

Legend

- Map
- Network Nodes

Data Edit for link 1

Location | Boundary condition | Defaults

Type

- water level (h)
- flow (Q)
- 1D2D Connection
- Q-h relation

Value

- constant value
- Function of time :
- 1D2D Boundary Connection Node

Edit Table

	Date [dd/mm/yyyy]	Time [hh:mm:ss]	Discharge [m ³ /s]
1	08/08/2010	00:00:00	1375.016
2	08/08/2010	00:10:00	1375.015
3	08/08/2010	00:20:00	1360.003
4	08/08/2010	00:30:00	1331.028
5	08/08/2010	00:40:00	1292.015
6	08/08/2010	00:50:00	1259.008
7	08/08/2010	01:00:00	1234.026
8	08/08/2010	01:10:00	1230.995
9	08/08/2010	01:20:00	1242.975
10	08/08/2010	01:30:00	1274.014

General

-
-

Node

- Add node
- Add node manual
- Add connect
- Connect add
- Split connection
- Move node
- Move and combine node
- Delete node
- Node type
- Toggle calculation point
- Rename
- Change IDs
- Properties

&Overland Flow Model

- 36, 2D - Grid
- 37, 2D - Boundary
- 38, 2D - History
- 39, 2D - Breaking Dam
- 40, 2D - Corner
- 41, 2D - Initial Water Level Point

&Overland Flow Model

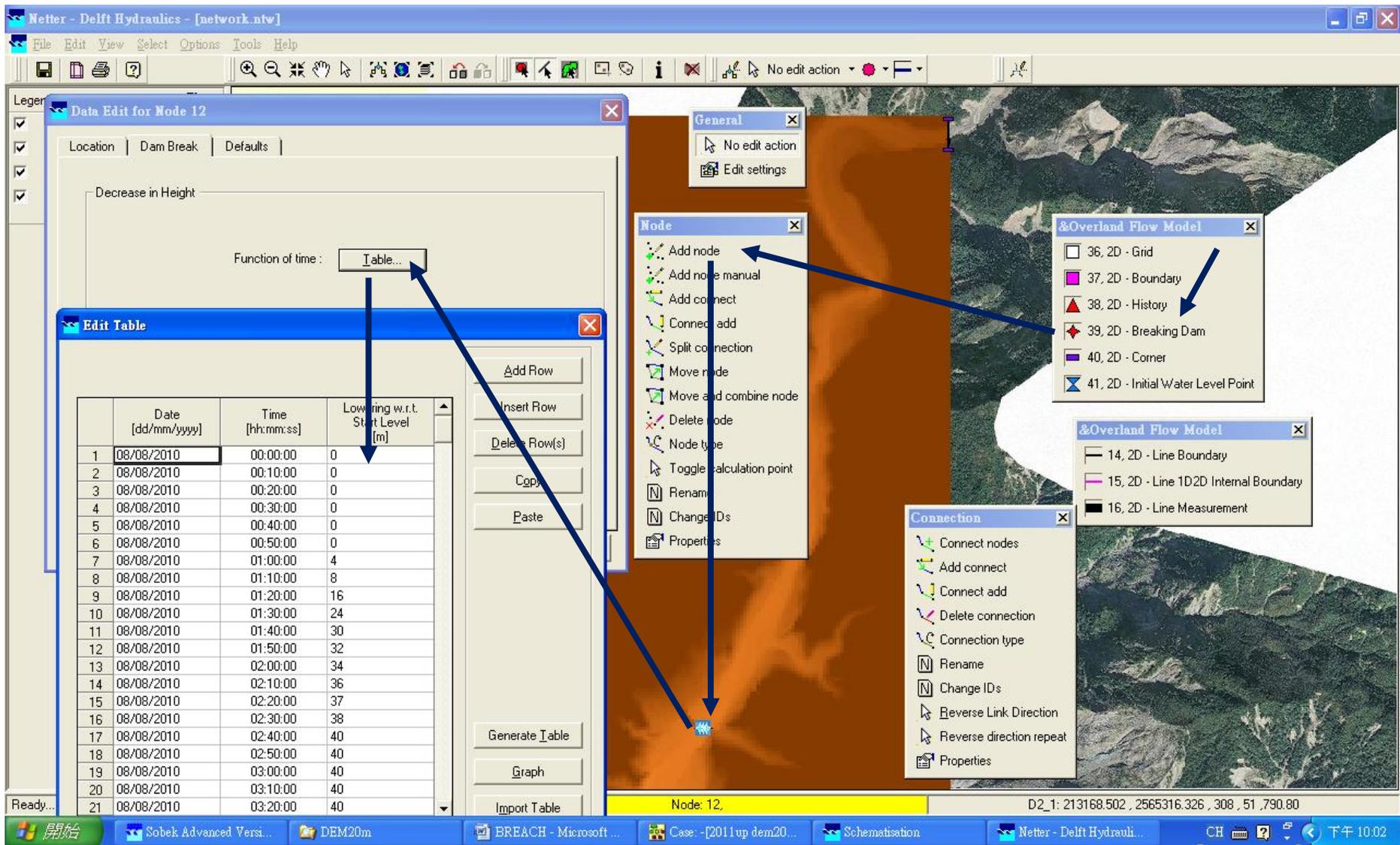
- 14, 2D - Line Boundary
- 15, 2D - Line 1D2D Internal Boundary
- 16, 2D - Line Measurement

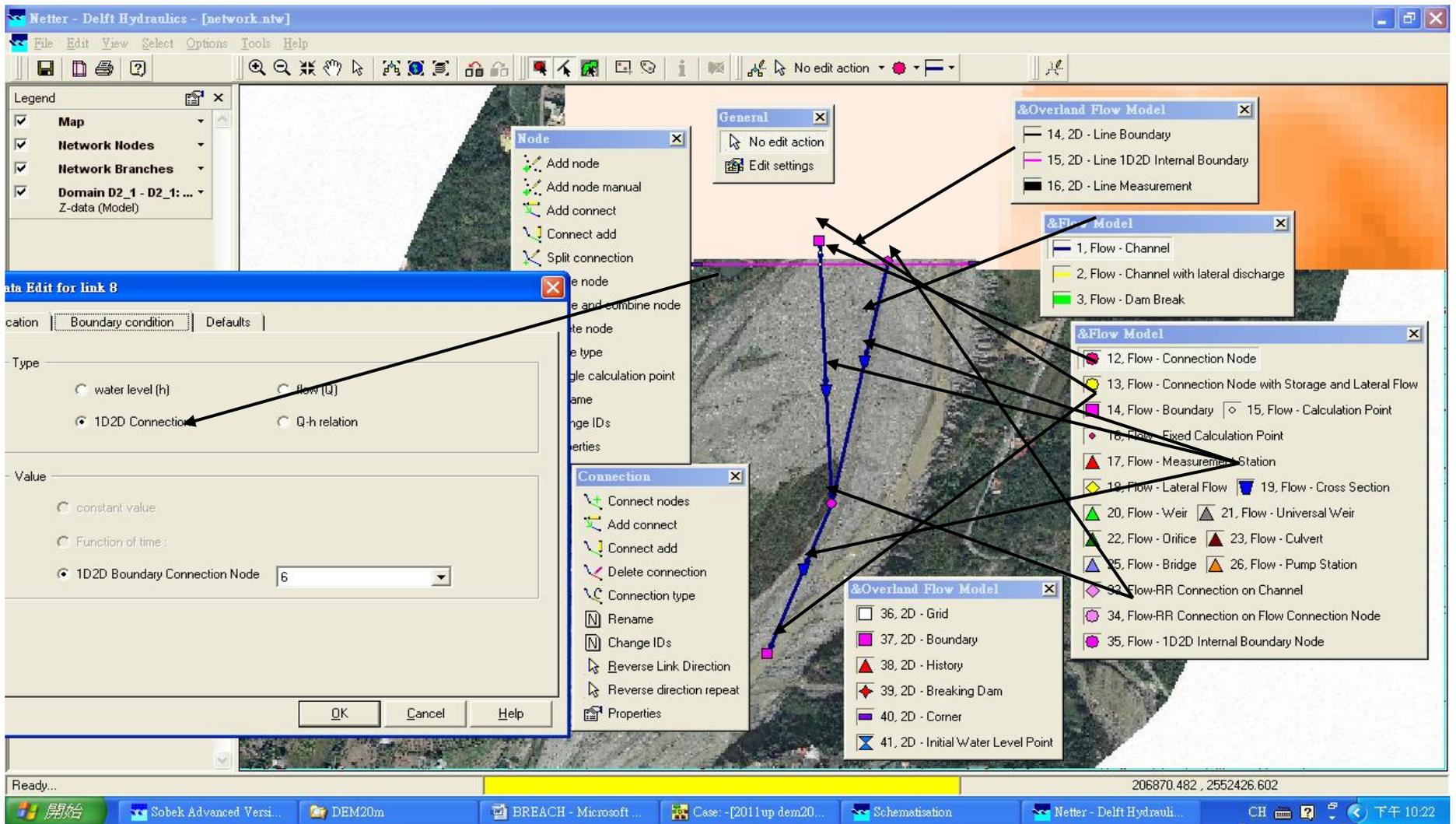
Connection

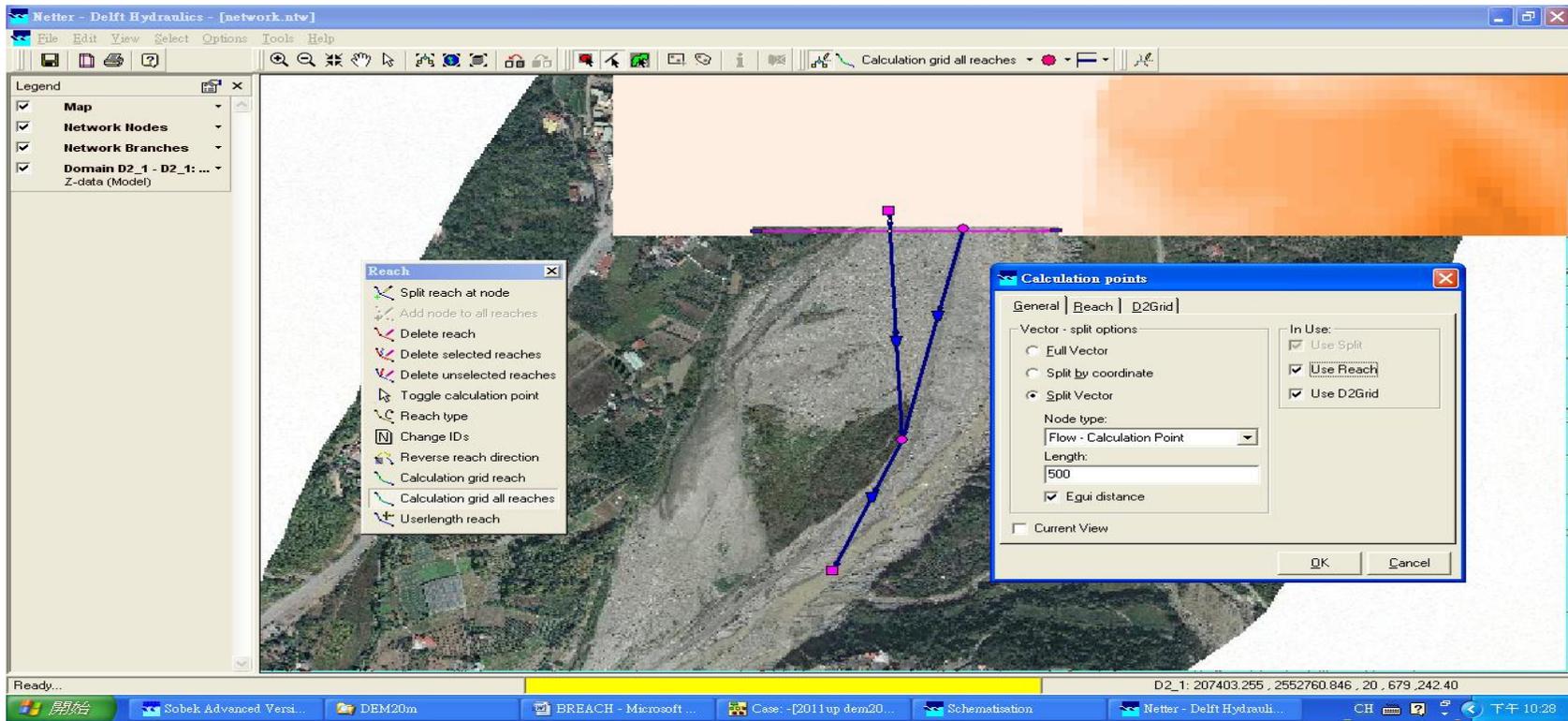
- Connect nodes
- Add connect
- Connect add
- Delete connection
- Connection type
- Rename
- Change IDs
- Reverse Link Direction
- Reverse direction repeat
- Properties

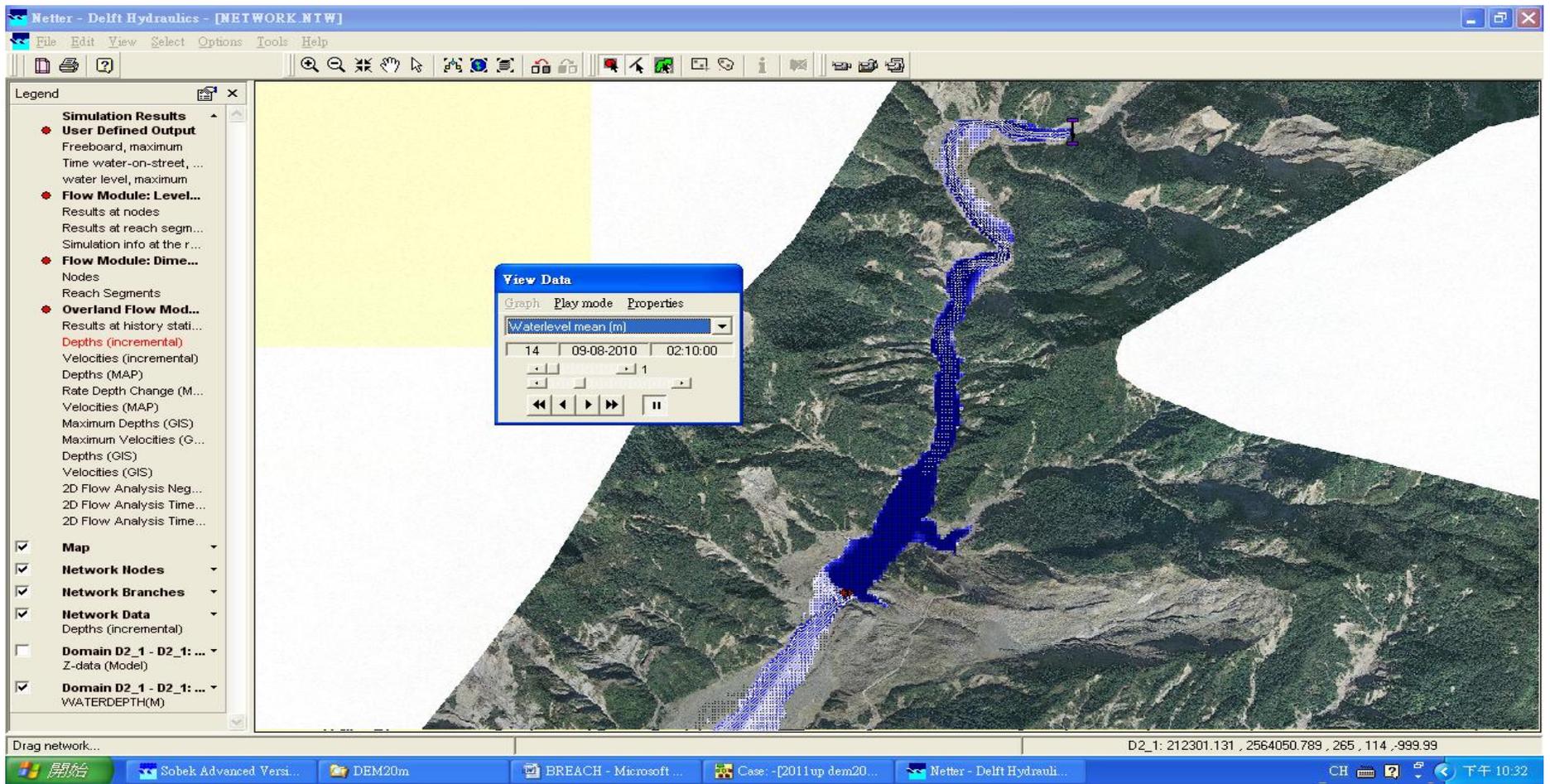
Link: 1, D2_1: 212828.440, 2563957.795, 291, 119, 906.90

Windows taskbar: 開始, Sobek Advanced Vers..., DEM20m, BREACH - Microsoft..., Case - [2011up dem20..., Schematisation, Netter - Delft Hydraulics, CH, 下午 09:57









附錄八 教育訓練教材

**堰塞湖處置資訊系統教育訓練
(第 2 梯次)**

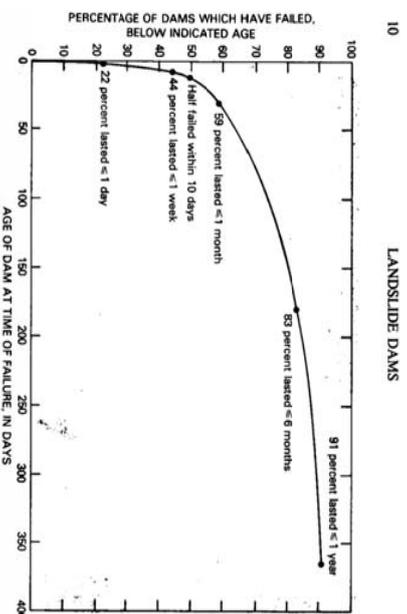
堰塞湖處置資訊系統教育訓練(第 2 梯次)

天然壩危險度及危害度快速評估

經濟部水利署水利規劃試驗所

民國 100 年 6 月

堰塞湖防災作業最重要的觀念 搶時間!! - 緊急處置



1

For decision-making ...

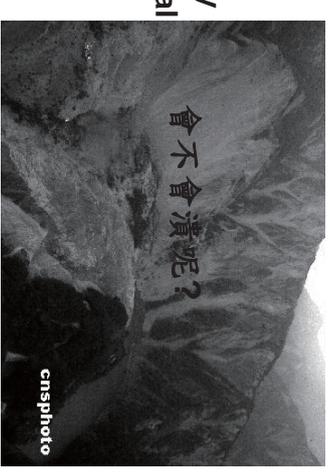
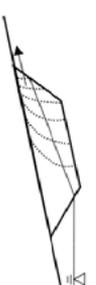
Assessment of the stability of landslide dam is essential

Not easy !

Extensively investigation is required

For dam instability, complex mechanisms involved

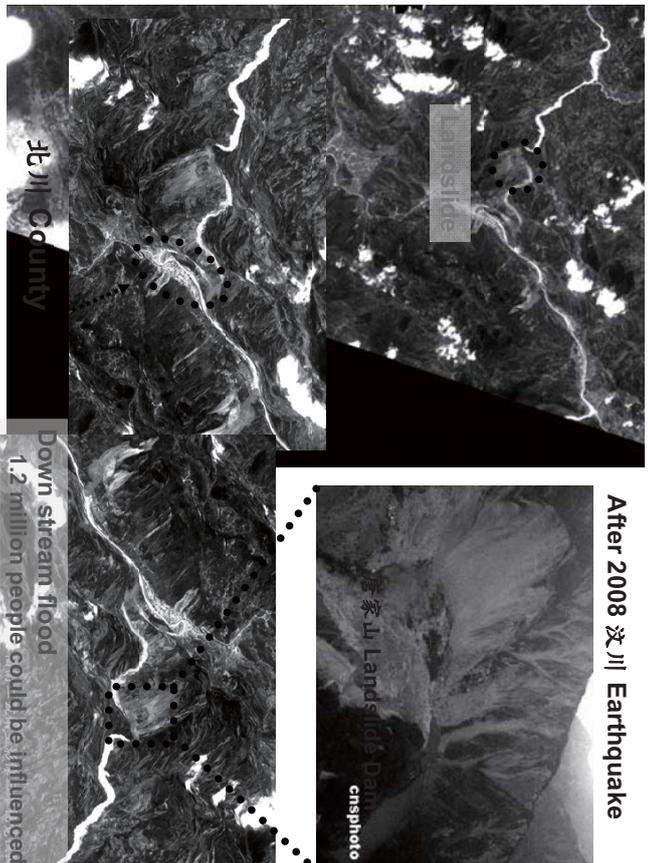
1. Overtopping
2. Piping
3. Slope failure



cnspphoto

3

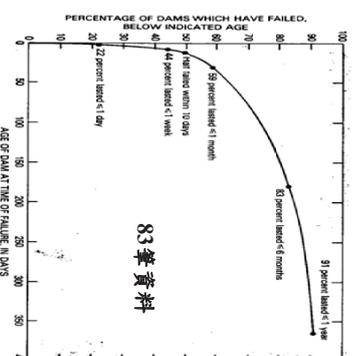
After 2008 汶川 Earthquake



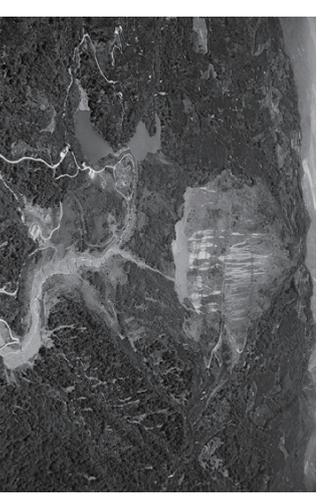
2

According to the historical cases, the landslide dam usually breaks down rapidly soon after the formation of the lake.
Quickly evaluating the stability of the landslide dam is crucial from the hazard mitigation viewpoint.

Moreover...



Schuster and Costa, 1986



4

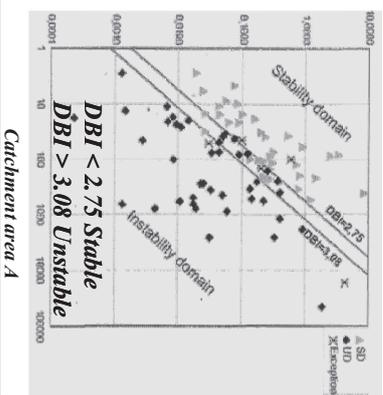
Index-based Graphic Approach

Geomorphic variable $\log X_2$
 Stable dam
 Geomorphic variables (Landslide, Catchment, Lake and Dam characteristics)
 Failed dam
 Geomorphic variable $\log X_1$

$$DBI = \log\left(\frac{H \cdot A}{V}\right)$$

$$\frac{\text{Dam volume } V}{\text{Dam height } H}$$

Dimensional Blockage index DBI
 (Ermini and Casagli, 2003)

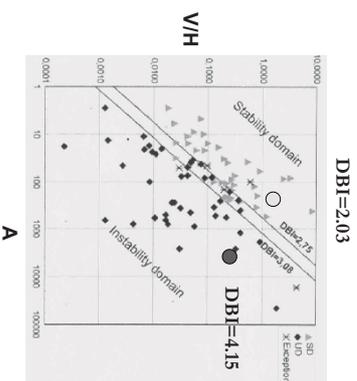


5

Tsaoling Landslide dam
 W: 5000 m, L: 600 m, H: 80 m, V=12,000 million m^3 , A=162 km^2



Tangjashan landslide dam
 W: 803 m, L: 611 m, H=83 m, V=2.0 million m^3 , A=3,500 km^2



Lin, M. L., Dong, J. J., Hu, J. C., Liu, H. C., Chen, C. H., Sun, S. U., Llou, Y. A., Lee, C. T., 2009/6, Are we ready by learning from the nature? – From geotechnical engineering perspective to Wenchuan earthquake related issues, *Sino-Geotechnics*, 116, 97–112.

6

DBI 方法的缺點

- 控制因素為主觀選定；
- 準確度不夠高

(DBI model classify 84 landslide dams with an success rate of 75.0%)

Korup (2004) using discriminant analysis to objectively classify the stable and unstable landslide dams. However, only 69% of the landslide dams were classified correctly.

堰塞湖資料品質不佳為造成準確度差的主要因素 (Korup, 2004).

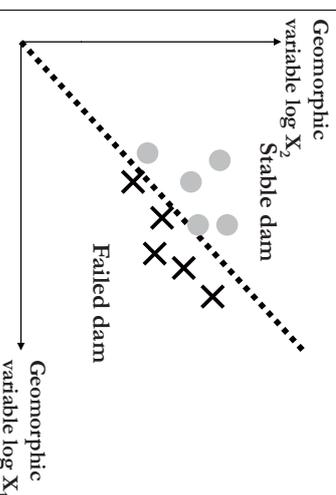
7

統計模型 – discriminant analysis

Dong et al., 2009. Geomorphology

- 客觀挑選影響天然壩穩定性之控制因素；
- 建立鑑別模型(discriminant models)預測天然壩穩定性；

$$D = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$



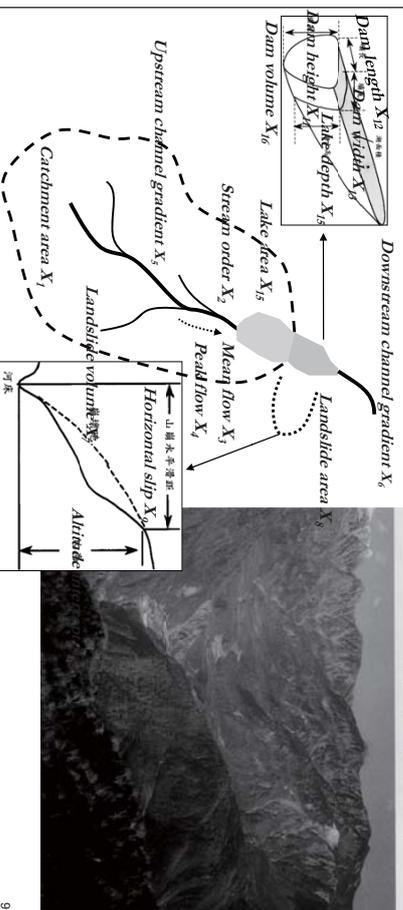
8

- Tabata *et al.* (2002) 報導 日本79 個案例
- 完整紀錄相關資訊
- 共計 16 個參數

天然ダムと災害

田畑茂清・水山高久・井上公夫 著

堰塞湖(滑坡堵江)



9

Model PHLW

Log-transformed

- Discriminant model PHLW_Dis: peak flow (P), dam height (H), dam width (L), dam length (W)

$$D_s = -2.94 \log(P) - 4.58 \log(H) + 4.17 \log(W) + 2.39 \log(L) - 2.52$$

Model	Actual groups	Number of landslide dams		Predicted group membership	
		Group 1 (stable)	Group 2 (unstable)	Group 1 (stable)	Group 2 (unstable)
PHLW_Dis		9	22.2%	77.8%	22.2%
	Group 2 (unstable)	34	8.8%	91.2%	8.8%
Percentage of landslide dams correctly classified: Whole dataset: 43 cases)					

Variables (log-transformation)		SCDC
Peak flow (P)		-1.045
Dam height (H)		-0.788
Dam width (W)		0.577
Dam length (L)		0.332

10

Model AHLW

Log-transformed

- Discriminant Model AHLW_Dis: Catchment area (A), dam height (H), dam width (L), dam length (W)

$$D_s = -2.62 \log(A) - 4.67 \log(H) + 4.57 \log(W) + 2.67 \log(L) + 8.26$$

Model	Actual groups	Number of landslide dams		Predicted group membership	
		Group 1 (stable)	Group 2 (unstable)	Group 1 (stable)	Group 2 (unstable)
AHLW_Dis		9	22.2%	77.8%	22.2%
	Group 2 (unstable)	34	8.8%	91.2%	8.8%
Percentage of landslide dams correctly classified: Whole dataset: 43 cases)					

Variables (log-transformation)		SCDC
Catchment area (A)		-1.085
Dam height (H)		-0.842
Dam width (W)		0.663
Dam length (L)		0.390

11

Tsaoling Landslide dam

W: 5000 m, L: 600 m, H: 80 m, V=12,000 million m³, A=162 km²

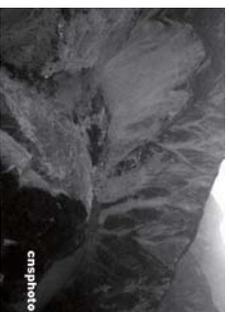
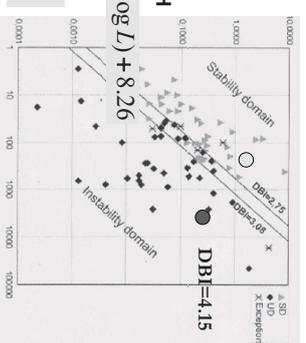


$$D = + 2.19$$

$$D = -2.62(\log A) - 4.67(\log H) + 4.57(\log W) + 2.67(\log L) + 8.26$$

Discriminant Model
AHLW_Dis:

$$D = - 4.99$$



chspphoto

W: 803 m, L: 611 m, H=83 m, V=2.0 million m³, A=3,500 km²

Tangjiashan landslide dam

Dong, J. J., Tung, Y. H., Chen, C. G., Liao, J. J., Pan, Y. W. (2009), Discriminant analysis of the geomorphic characteristics and stability of landslide dams, *Geomorphology*, 110, 162-171.

12

Logistic regression models

$$L_s = -2.55 \log(P) - 3.64 \log(H) + 2.99 \log(W) + 2.73 \log(L) - 3.87$$

$$L_s = -2.22 \log(A) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93$$

Model	Actual groups	Number of landslide dams	Predicted group membership	
			Group 1 (stable)	Group 2 (unstable)
PHWL_Log	Group 1 (stable)	9	6 (66.7%)	3 (33.3%)
	Group 2 (unstable)	34	2 (5.9%)	32 (94.1%)
Percentage of landslide dams correctly classified: 88.4 (Whole dataset; 43 cases)				
85.7 (Cross-validation)				
AHWL_Log	Group 1 (stable)	9	6 (66.7%)	3 (33.3%)
	Group 2 (unstable)	34	1 (2.9%)	33 (97.1%)
Percentage of landslide dams correctly classified: 90.7 (Whole dataset; 43 cases)				
77.3 (Cross-validation)				

Dong, J. J., Tung, Y. H., Chen, C. G., Liao, J. J., Pan, Y. W., 2010, Logistic regression model for predicting the failure probability of a landslide dam. *Engineering Geology*, 117, 52–61.

天然壩潰決危險度評估模式

- 考慮防災實務具可行性
- 引用現有統計方法為基礎

— Ermini & Casagli (2003) 之無因次阻塞指標

$$DBI = \log \left(\frac{A \times H}{V} \right)$$

P (cms) 為尖峰流量
A (m²) 為集水面積
H (m) 為壩高
W (m) 為壩寬 (沿著河道)
L (m) 為壩長 (跨越河道)
V (m³) 為壩體積

— 鑑別分析統計模式 (Dong et al., 2009)

$$D_s = -2.94 \log(P) - 4.58 \log(H) + 4.17 \log(W) + 2.39 \log(L) - 2.52$$

$$D_s = -2.62 \log(A) - 4.67 \log(H) + 4.57 \log(W) + 2.67 \log(L) + 8.26$$

天然壩破壞機率

— 羅吉斯迴歸統計模型 (Dong et al., 2010)

$$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}}$$

$$L_s = -2.55 \log(P) - 3.64 \log(H) + 2.99 \log(W) + 2.73 \log(L) - 3.87$$

$$L_s = -2.22 \log(A) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93$$

危險度評估—台灣案例測試

天然壩穩定性

堰塞湖 天然壩	DBI (穩定性)	AHWL_Dis: D _s (穩定性)	AHWL_Log: L _s (穩定性, 破壞機率)
草嶺 (存在)	1.83(S)	3.14(S)	0.96(S, 27.7%)
九份二山 (存在)	0.96(S)	4.28(S)	2.27(S, 9.36%)
知本溪 (潰決)	5.11(U)	-5.75(U)	-6.31(U, 99.8%)
龍泉溪 (存在)	2.54(S)	-0.34(U)	-1.52(U, 82.1%)
那瑪夏鄉 (存在)	3.29(U)	-0.81(U)	-2.42(U, 91.83%)
小林村 (潰決)	3.01(U/S)	-0.37(U)	-1.79(U, 85.7%)

評估模式偏保守

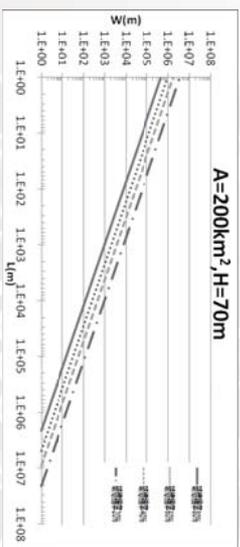
天然壩穩定性評估地形因子定量模型於台灣應用合宜性評估

- 草嶺、九份二山、知本溪三個案例，各模式對於穩定性預估結果一致，且與實際觀測得到之穩定性相同。至於那瑪夏鄉堰塞湖天然壩則所有模式都預測其不穩定，推測原因可能與那瑪夏鄉堰塞湖天然壩以粗顆粒岩塊為主有關。此一特性不易於天然壩發生後快速取得，故壩體材料特性並未反應於任一統計模式。

- 鑑別分析與邏輯斯迴歸模型均可成功預測堰塞湖天然壩之穩定性，且正確率均高於 DBI 指標，雖然鑑別分析正確率高於邏輯斯迴歸，然邏輯斯迴歸模型較鑑別分析模型保守，因此，本研究建議堰塞湖天然壩危險度分析可採較保守的邏輯斯迴歸模型。

- 壩體潰決機率與危險度分級
- $$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}}$$

- 以邏輯斯迴歸模型計算破壞機率
- 參數A、H、W、L查圖得破壞機率

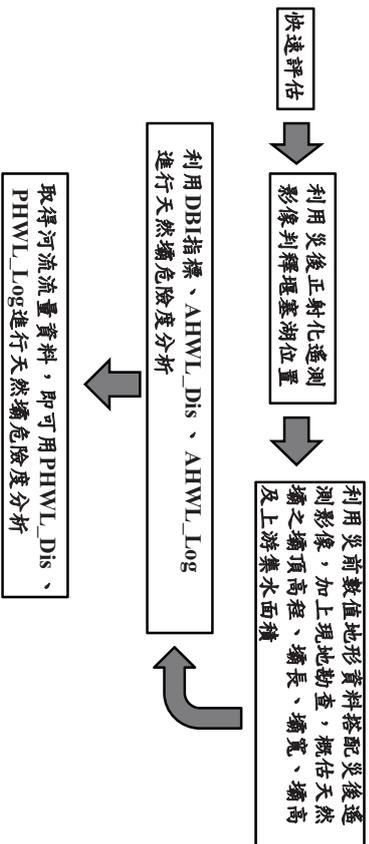


集水面積A為200km²，壩高為70m

危險度分級	極高度危險	高度危險	中度危險	低度危險	極低度危險
破壞機率(邏輯斯迴歸模型)	≥80%	>60%; ≤80%	>40%; ≤60%	>20%; ≤40%	<20%

NATIONAL CHENG KUNG UNIVERSITY TAIWAN CENTER FOR PREVENTION OF WATER ENVIRONMENT RESOURCES CENTER

天然壩危險度快速評估流程

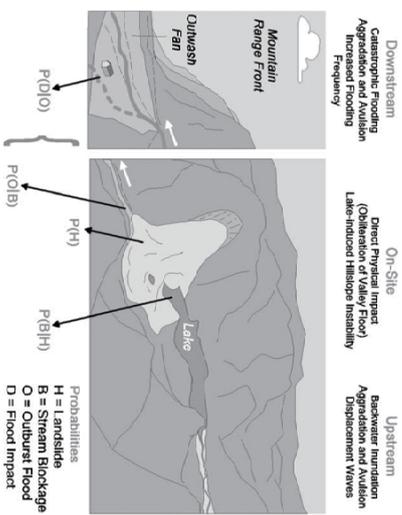


18



香港文匯報

Landslide related hazards



Breaching Tangjiashan landslide dam:
Xu et al. (2009) Bull Eng Geol Environ 68:373–386

19

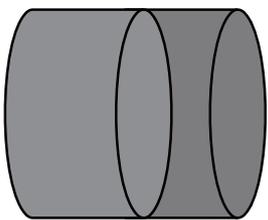
上游淹水危害度快速評估



20

上游迴水與溢頂時間預測

- 容量
- 地形
- 壩頂高度
- 淨入流量
- 入流量
- 出流量



21

逕入流量分析

一 上游河道入流量

- 鄰近溪流水文站流量記錄，經面積比方式估算之公式

$$Q_{\text{堰塞湖}} = Q_{\text{鄰近流量站}} \times \frac{A_{\text{堰塞湖}}}{A_{\text{鄰近流量站}}}$$

- 無流量站由合理化公式推求之

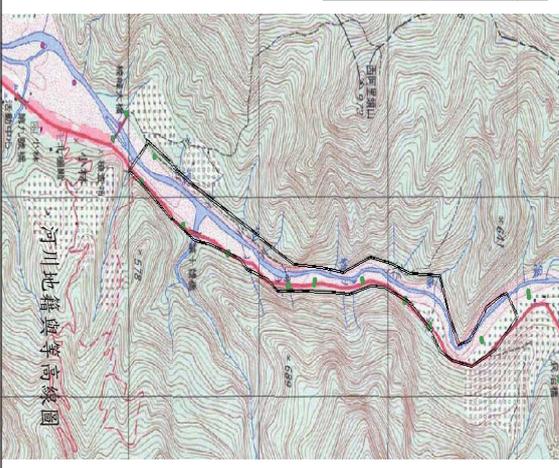
一 滲透之出流量

- 以 Dupuit's theory 粗估之
- 公式 $q = k(H_1^2 - H_2^2)/2L$
- 入流量相較於流出量為低，堰塞湖不致有太大危害
- k值採日本建設省(1992)建議值 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s
- (草嶺潭天然壩滲透係數 1×10^{-3} cm/s)

22

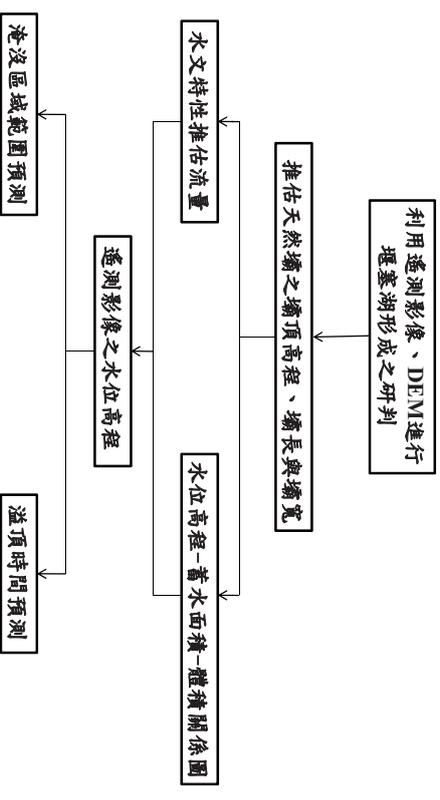
上游淹沒區範圍與危害影響評估

- ### 短時間快速評估
1. 河川地籍與等高線圖
 2. 土地利用資料
 3. 正射影像測資資料
 4. 衛星遙測影像



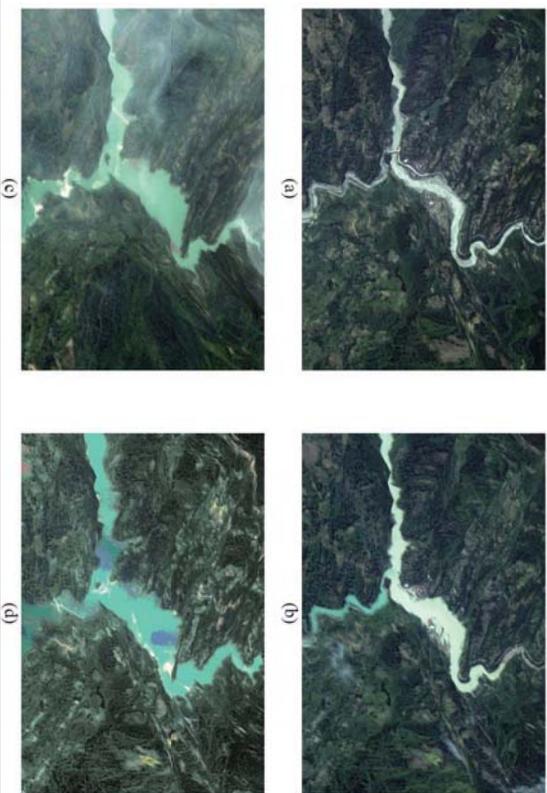
23

堰塞湖形成後上游淹沒範圍與溢頂時間分析流程

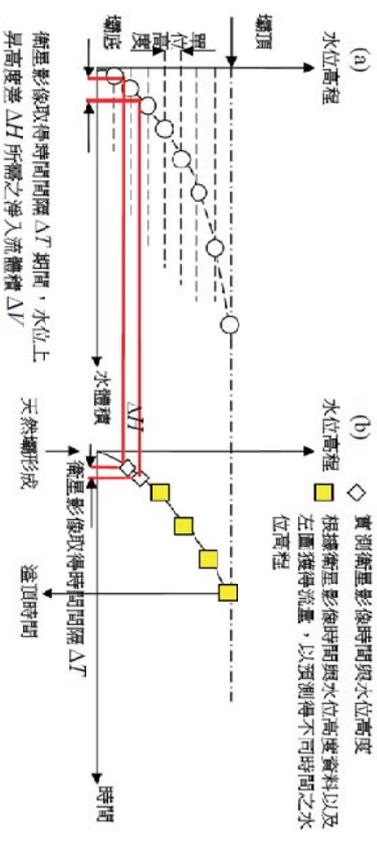


24

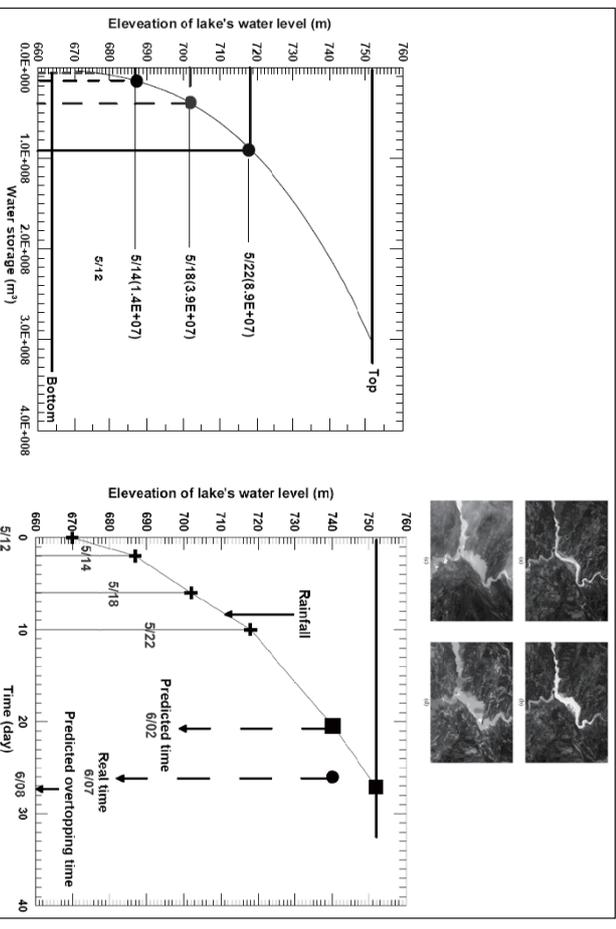
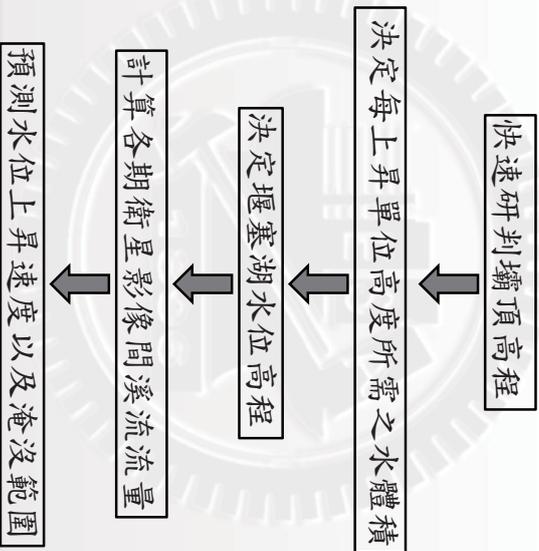
堰塞湖上游多期遙測正射影像圖



上游淹沒範圍與溢頂時間快速分析流程



堰塞湖天然壩上游淹沒範圍快速研判



下游淹水危害度 快速評估



29

Risk (Hazard) assessment

Terrestrial Events	Landslide dam	H (m)	V (10 ⁶ m ³)	Dam material	Risk level, based on the empirical approach (Table 5)	Status
1999 Chi-Chi Earthquake	Tso-Ling	50	40 ¹	Group 4	HR	Filled up with sediments and the dam remains stable
	Tangjashan	80	300 ² 302 ⁴	Group 3	EHR	Possible whole collapse can be caused by intensive rainfall
	Kuohsueh-Downstream	60	2 ¹	Group 4	MR	The whole stability is high, but can be affected by the possible failure of Tangjashan landslide dam
	Shidongon	30	20 ²	Group 3	HR	Low stability for permeability, high susceptibility for dam collapse
	Dankouon	15	10 ²	Group 1	MR	Dam collapse and overtopping. Collapse can be caused by upstream landslide dam failure
2008 Wenchuan Earthquake	Hongshibie	30	3 ² 1.2 ¹	Group 3	MR	Low stability for permeability, high susceptibility for dam collapsing partially or in whole
	Guantian	60	10 ²	Group 1	HR	Low stability for permeability, high susceptibility for dam collapse
	Xiaogutian-upstream	62	11 ² 11 ⁴	Group 3	HR	Low stability for permeability, high susceptibility for dam collapse
	Yong'anwan-Taipingsi HPS	18	2 ²	-	MR	Dammed half of the river. Overflow at low point
2009 Typhoon Morakot	Siachin	44	9.9 ⁶	Group 1	HR	Breached and failed soon after its forming

31

¹ Lee and Lin (2006); ² Yin et al. (2009); ³ Xu et al. (2009); ⁴ Cui et al. (2009); ⁵ Dong et al. (2010)
EHR: Extremely High Risk; HR: High Risk; MR: Medium Risk; LR: Low Risk

New assessment criterion is required !!

危害度評估-汶川地震之經驗

Empirical approach of risk assessment with respect to outburst flooding of a landslide dam (Cui et al., 2009; Xu et al., 2009; Yin et al., 2009).

Index	Grade			
	Extreme high risk (EHR)	High risk (HR)	Medium risk (MR)	Low risk (LR)
Dam height (m)	>100	50-100	25-50	<25
Water storage capacity (×10 ⁶ m ³)	100	10-100	1-10	<1
Composition of dam materials	^a Group 1	Group 2	Group 3	Group 4

^a Group 1: soil and fragments of rock; Group 2: soil and fragments of rock with a few boulders and blocks; Group 3: boulders and blocks with little soil and rock fragments; Group 4: boulders and blocks.

30

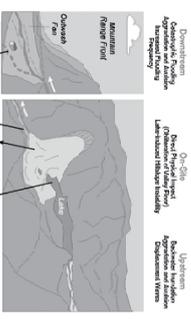
Oliver Korup, 2005. Geomorphology 66, 167-188

Geomorphic hazard from a landslide dam-break event

Annual probability of dam formation given the landslide event

Probability of an outburst flood from an existing landslide-dammed lake

$$P(OUT) = P(H) \times P(B|H) \times P(O|B)$$



probability of spatial (downstream) impact by an outburst flood from a landslide-dammed lake

1. 壩體潰決機率
2. 對下游產生影響之機率
如何考慮?

32

■潰決影響程度快速評估-下游洪泛影響指標

$$I_{db} (= Q_{db} / Q_{rd})$$

Q_{db} 為堰塞湖溢頂潰壩流出流量

Q_{rd} 為河川治理計畫流量



33

■潰決影響程度快速評估-下游洪泛影響指標

$$I_{db} (= Q_{db} / Q_{rd})$$

Q_{db} 為堰塞湖溢頂潰壩流出流量

Q_{rd} 為河川治理計畫流量



35

■潰決影響程度快速評估-下游洪泛影響指標

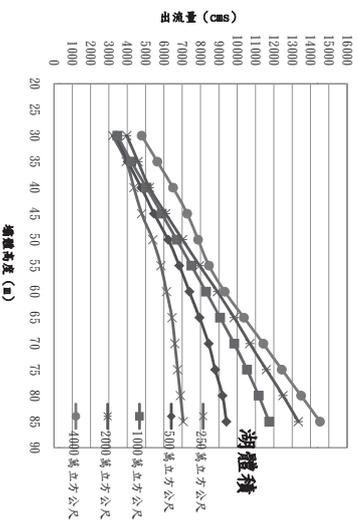
$$I_{db} (= Q_{db} / Q_{rd})$$

Q_{db} 為堰塞湖溢頂潰壩流出流量

Q_{rd} 為河川治理計畫流量

上游坡面1：2、壩體下游坡面1：2，上游3,000CMS入流量、壩塞湖溢頂冲刷可能之洪流量

壩體上游坡率(B)1:(C)2；下游坡率(B)1:(C)2



34

■潰決影響程度快速評估-下游洪泛影響指標

$$I_{db} (= Q_{db} / Q_{rd})$$

Q_{db} 為堰塞湖溢頂潰壩流出流量

Q_{rd} 為河川治理計畫流量

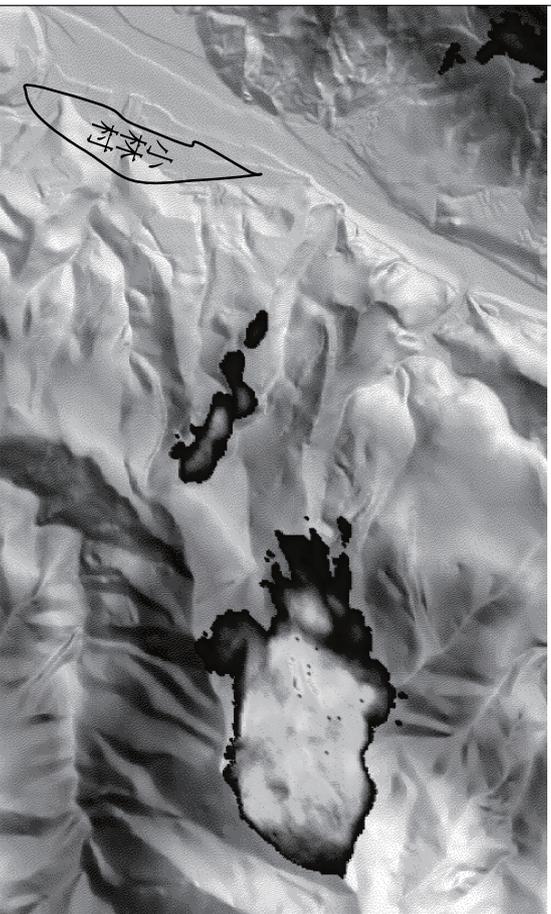
產生影響可能性	分類	分類間隔(%)
幾乎不發生	極低(I)	0-10
鮮少發生	低(II)	11-40
可能會發生	中(III)	41-60
經常發生	高(IV)	61-90
一定會發生	極高(V)	>90

36

天然壩潰壩危害度分級表

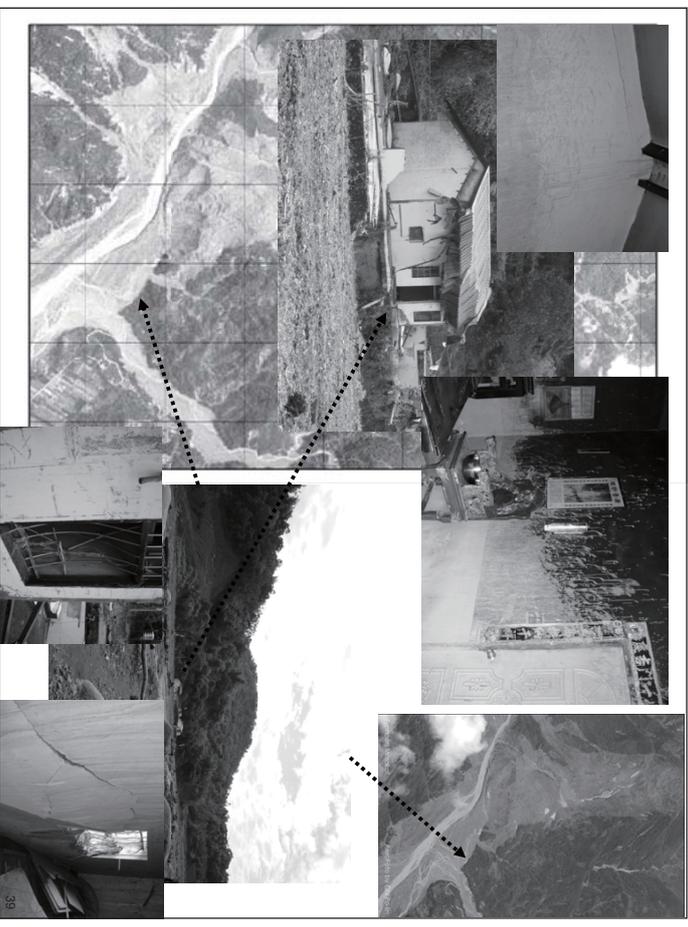
P_r I_{db} 或 F_{in}	天然壩潰決危險度分級				
	極高危險度	高危險度	中危險度	低危險度	極低危險度
潰壩洪峰之淹水影響程度					
極高	極高危害度	極高危害度	高危害度	中高危害度	中危害度
高	極高危害度	高危害度	中高危害度	中危害度	中低危害度
中	高危害度	中高危害度	中危害度	中低危害度	低危害度
低	中高危害度	中危害度	中低危害度	低危害度	極低危害度
極低	中危害度	中低危害度	低危害度	極低危害度	極低危害度

37



Kuo, C.Y., Tai Y.C., Chen, C.C., Chang, K.J., Shiau, A.Y., Dong, J.J., Han, R.H., Shimamoto, T., Lee, C.T., 2011. The landslide stage of the Staolin catastrophe: simulation and validation. *Journal of Geophysical Research*, submitted.

38



39

問題

- 如何快速得到所需參數?
- 能不能給個例子?

40

手冊目錄

1. 總則
 - (一) 依據
 - (二) 目的
 - (三) 適用範圍
 - (四) 調查原則
 - (五) 緊急調查作業流程
 - (六) 名詞定義
2. 資料蒐集及室內準備
 - (一) 基本器材與交通安排
 - (二) 調查器材與紀錄表
 - (三) 現場勘查紀錄表
 - (四) 室內作業
3. 現地勘查
4. 危險度及潰壩洪峰之淹水危害度評估
5. 後續建議調查事項
 - 附錄
 - 附錄A 堰塞湖天然壩湖區淨入流量估計參考方法
 - 附錄B 利用遙測影像、堰塞湖發生前SRTM地形圖以及現地攙拌性表以及危害度初步評估
 - 附錄C 危險度等級查詢圖
 - 附錄D 最大洪峰流量數值模擬查詢圖

堰塞湖處置資訊系統教育訓練(第2梯次)

緊急調查與危害度初步評估野外手冊介紹

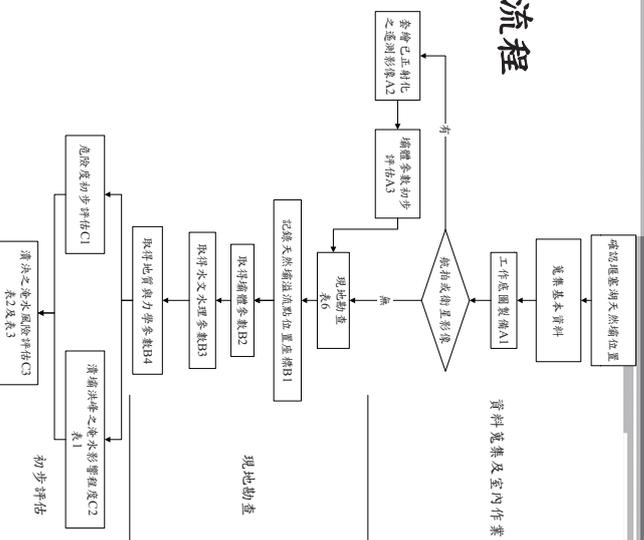
依據

- 經濟部水利署於中華民國99年4月頒訂之「堰塞湖防災作業手冊(緊急應變版)」中規定，堰塞湖應變機制啟動後，應即刻進行堰塞湖緊急調查與危險度初步評估

基本資料蒐集內容與來源

資料大類	資料中類	說明	資料來源
地形	資源版	1/25000	內政部地政司
	相片基本圖	1/5000 或 1/10000	林務局 農林航空測量所
	數值地形模型	40x40公尺	林務局 農林航空測量所
	河床圖籍	5x5公尺	內政部衛星測量中心
地質資料	環境地質資料	1/2400	水利署及所屬單位
	地質圖	測量	水利署及所屬單位
水文資料	正射化衛星影像或航照	1/5000 或 1/2400	中央大學 遙測中心、林務局 農林航空測量所、水利署及所屬單位
	測站資料	1/50000 或較大比例尺	中央地質調查所
地質資料	環境地質資料	1/5000	前台灣省建設廳
	雨量站		水利署及所屬單位、氣象局、農委會 水土保持局、林務局、農田水利會、縣市縣管河川
	流量站		
水文資料	測站資料	水位站	

緊急調查作業流程



資料蒐集及室內作業

- 基本資料準備
- 調查器材與交通安排
- 現場勘查紀錄表

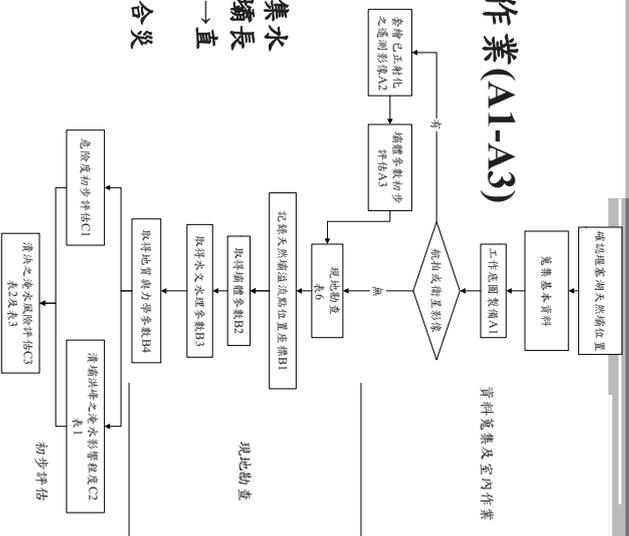
調查器材與交通安排

- 交通工具(直昇機、汽車、機車等)
- 攜帶簡易之測量工具與照像、錄影設備等
- 與初步蒐集之基本堰塞湖災區資料進行記錄

調查日期	年	月	日	時	調查人	調查人
圖資(紀錄表格)	<input type="checkbox"/>	調查表(表G緊急調查表)	<input type="checkbox"/>	通訊設備(含設備)	<input type="checkbox"/>	通訊設備(含設備)
地圖	<input type="checkbox"/>	GIS圖資(含地形圖)(比例尺不小於1/25000)	<input type="checkbox"/>	雷射測距儀(含電池)	<input type="checkbox"/>	雷射測距儀(含電池)
遙測影像	<input type="checkbox"/>	衛星電話(含電池)	<input type="checkbox"/>	動力儀器(總長至少)	<input type="checkbox"/>	動力儀器
測量設備(含記錄設備)	<input type="checkbox"/>	手持流速計	<input type="checkbox"/>	地質儀器	<input type="checkbox"/>	地質儀器
飲水及乾糧(每人)	<input type="checkbox"/>	簡易水位尺	<input type="checkbox"/>	手持流速計	<input type="checkbox"/>	手持流速計
雨具(雨衣或雨衣為佳)、雨傘	<input type="checkbox"/>	皮尺(1~)	<input type="checkbox"/>	簡易水位尺	<input type="checkbox"/>	簡易水位尺
頭燈(強光防水手電筒(含電池))	<input type="checkbox"/>	GPS定位儀(含電池)(水平誤差<±高程誤差<±)	<input type="checkbox"/>	皮尺(1~)	<input type="checkbox"/>	皮尺(1~)
無線電對講機(含電池)	<input type="checkbox"/>	照相機(含電池)	<input type="checkbox"/>	GPS定位儀(含電池)(水平誤差<±高程誤差<±)	<input type="checkbox"/>	GPS定位儀(含電池)(水平誤差<±高程誤差<±)
備用汽油(或柴油)	<input type="checkbox"/>	望遠鏡	<input type="checkbox"/>	照相機(含電池)	<input type="checkbox"/>	照相機(含電池)
個人手電(含電池)、防水袋	<input type="checkbox"/>	筆、工程用計算機、計時碼表	<input type="checkbox"/>	望遠鏡	<input type="checkbox"/>	望遠鏡
簡易救生醫療設備	<input type="checkbox"/>	開口擴張及捲尺	<input type="checkbox"/>	筆、工程用計算機、計時碼表	<input type="checkbox"/>	筆、工程用計算機、計時碼表

出發前室內分析作業(A1-A3)

資料蒐集及室內作業



7

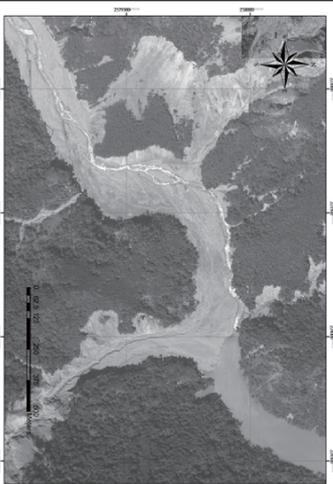
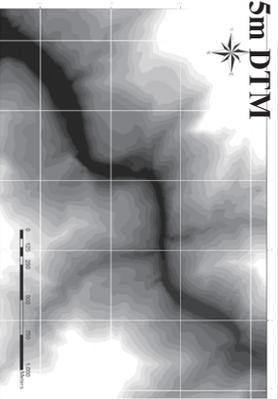
災後正射化遙測影像

- 套繪至工作底圖
- 分析天然壩體參數如集水面積、壩高、壩寬及壩長
- 若有災前及災後地形→直接分析
- 若僅有災前地形→結合災前地形與正射化影像

室內作業

- 災前 5m*5m DTM
- 災後正射化航照
- 若無航照可洽中大大遙中心訂購正射化衛星影像

5m*5m DTM



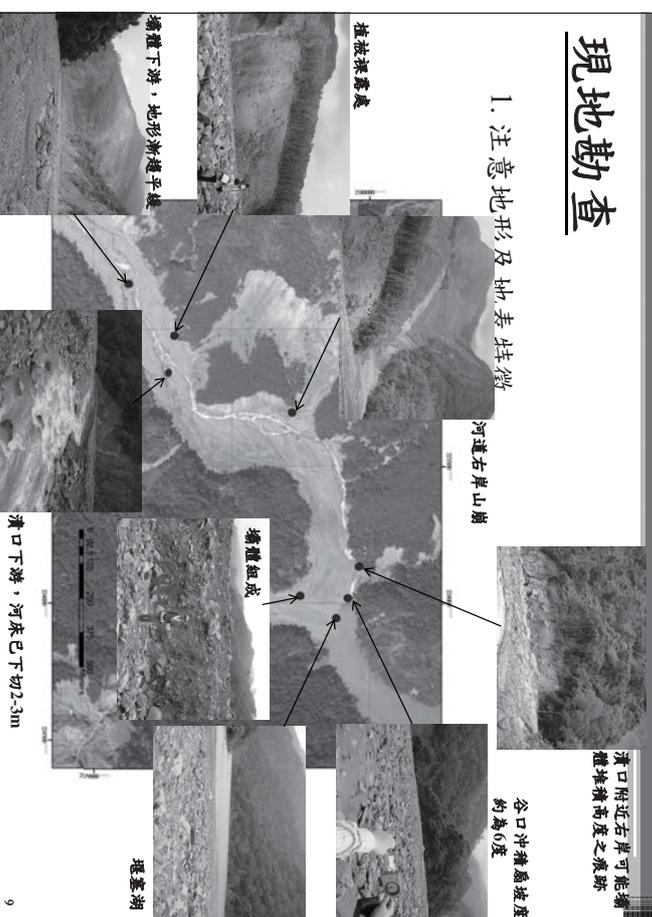
災後正射化影像套疊災前地形，可粗略估計溢流高、壩長與壩寬，若壩體已發生溢流，由亦即可概估湖水位高、若壩體積與未溢流，則即可概估湖水位高、若湖面上昇速率及概估入流量，利用災前DTM則可估計集水面積。

災後航空照片(98/08/24)

8

現地勘查

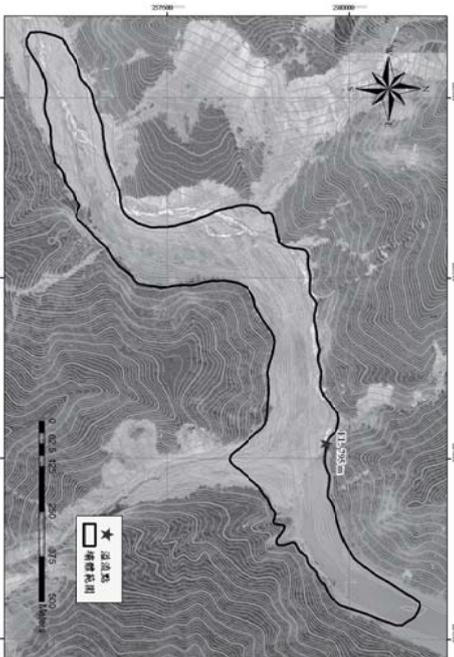
1. 注意地形及地表特徵



9

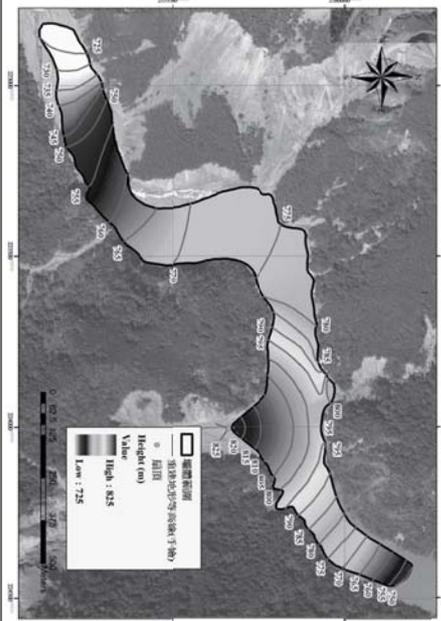
2. 檢核正射化影像套疊數值地形壩體邊界測繪成果

- 排除沖刷或崩塌處(標示紫色框處)
- 確定壩體邊界高程
- 溢流點高度



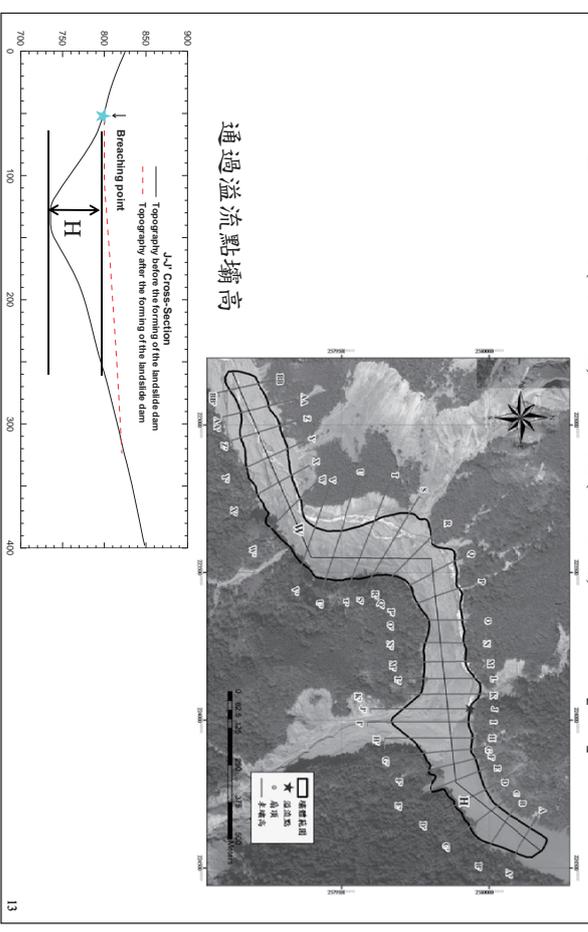
• 推估壩體地形等高線

- 谷口沖積扇坡度6度，主觀找一沖積扇扇頂為圓心(標示綠色點處)
- 以每6度繪製一近似同心圓為重建沖積扇堆積處等高線(5m一條，紅色數字)，並配合植被裸露處之高程(紫色數字)，即可完成壩頂等高線
- 將重建之等高線利用GIS內建Kriging方式內插出壩體地形高程



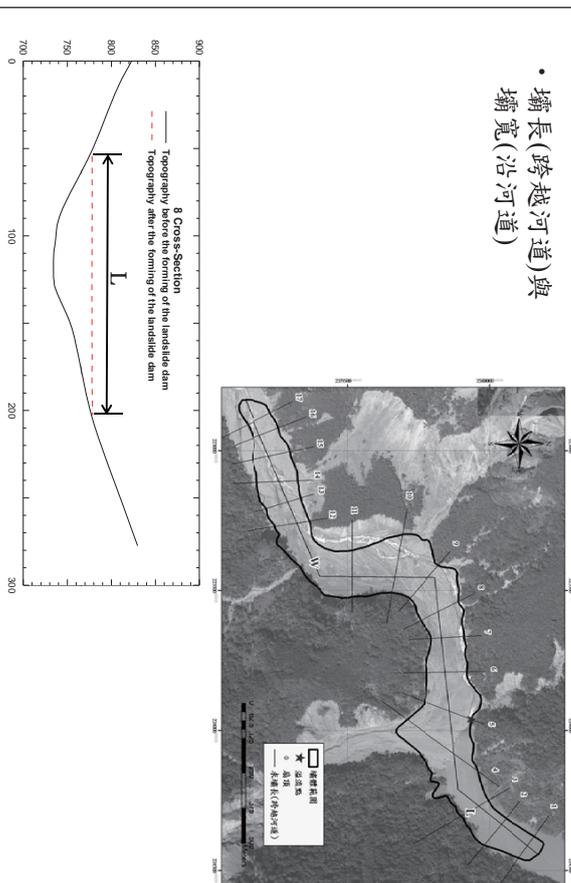
• 以GIS量測壩長(跨河道)、壩寬(沿河道)及壩高 [2/2]

通過溢流點壩高

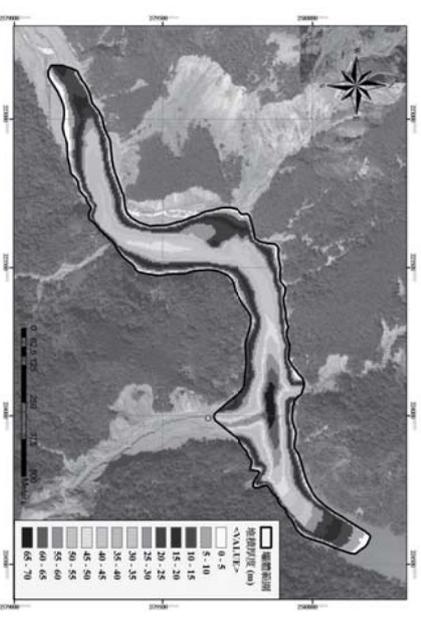


• 以GIS量測壩長(跨河道)、壩寬(沿河道)及壩高 [1/2]

- 壩長(跨越河道)與壩寬(沿河道)



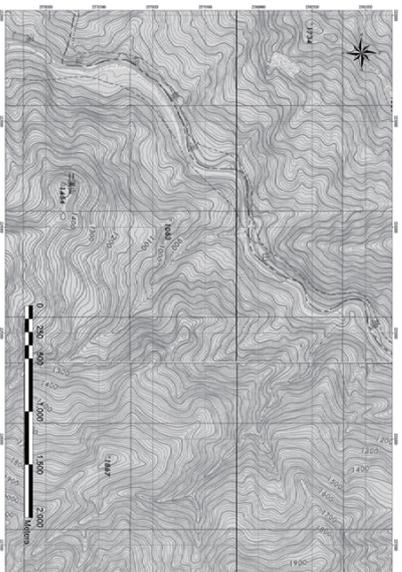
- 壩體幾何形狀
- 重建地形與災前地形相減



- 若無法合理獲得重建地形，可利用 $V_d = 0.5 \cdot W \cdot L \cdot H$ 計算壩體體積

- 若無災後正射化航拍照片或衛星影像

1. 地形圖(1:25000、40公尺或5公尺DEM)
2. 手持式GPS跑點確定壩體邊界與溢流點座標並標示於工作底圖
3. 實際利用測量工具量測壩體長、寬
4. 壩高則需根據壩體邊界災後高程(由座標核對高程)推估



15

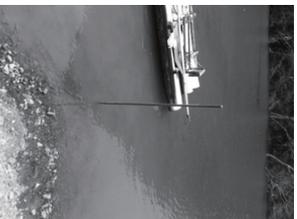
壩體材料描述

- 以定性描述壩體材料
 - 土壤與岩屑 (soil and fragments of rock)
 - 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 (soil and fragments of rock with a few boulders and blocks)
 - 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 (boulders and blocks with little soil and rock fragments)
 - 卵石與大岩塊 (boulders and blocks)
- 估計壩體材料最大粒徑、中徑以及有效粒徑

17

其它測量

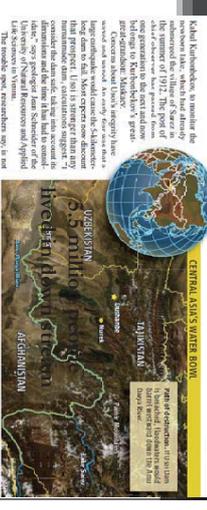
- 概估壩體上、下游坡度
- 利用簡易水位量尺量測湖水面上昇速度(若未溢流)
- 選擇溢流口最窄處量測斷面幾何形狀並估計溢流口流速(若已溢流)
 - 目視經驗推估
 - 利用漂浮物量流速
 - 雷射槍
 - 流速儀



16

其它資訊

- 堰塞湖周緣邊坡之穩定性
- 保全對象
- 空中勘查→利用地形特徵進行初步研判



Peril in the Pamirs

Danger zone. Scientists fear that if an earthquake triggers a massive landslide into Suez, the resulting tsunami could overlap and possibly breach Uzo Dam.

3

調查時間	2017/05/13	單位、姓名	李均澤 / 國立中央大學應用地質研究所
災害發生地區	高雄縣 那瑪夏 鄉	縣(市) 鄉(鎮、市、區)	村(里)
堰塞湖天然壩溢流點二度分帶座標	E:224034 N:2579895 (TW D97)	發生(發現)時間	2009/08/07-2009/08/09
河川水系 / 集水面積	旗山溪流域/209.7 (km ²)	形成原因	<input type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 其它
現場勘查方式	<input type="checkbox"/> 地面 <input type="checkbox"/> 空中 量測方式屬於各欄位註明	堰塞湖(湖) 形狀圖示	(平面示意圖應標示於地形圖上) 天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象), 紀錄湖區是否有可能墜落之坡體 目前受災狀況
溢流點壩高	68 (m)	溢流點壩頂高程	795 (m)
溢流點壩頂長	179 (m)	溢流點壩寬	2202 (m)
壩體上游坡度	1 (H) : 10 (L)	壩體下游坡度	1 (H) : 20 (L)
壩體結構(說明估算方式)	<input type="checkbox"/> 土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊 最大壩徑(m): 2 中徑(m): 1 有效壩徑(m):	堰塞湖(湖) 形狀圖示	(平面示意圖應標示於地形圖上) 天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象), 紀錄湖區是否有可能墜落之坡體 目前受災狀況
湖水位高程	795(m)	湖面積/湖體積	255,000 (m ²) / 10,000,000 (m ³)
滿水位高程	795(m)	水位上昇速率	-(m/hr)
溢流口最窄處形狀	深 0.8 (m) 頂寬4.3(m) 底寬 2 (m)	溢流口最窄處流速	0.8(m/s)(利用保持瓶測得之表面流速)
流量	2cms(利用溢流口面積乘以測得之表面流速)		
堰塞湖(湖) 形狀圖示	(平面示意圖應標示於地形圖)		
天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象), 紀錄湖區是否有可能墜落之坡體	短期無可能墜落之坡體		
目前受災狀況	上游泡沬		

調查時間	2017/05/13	單位、姓名	李均澤 / 國立中央大學應用地質研究所
災害發生地區	高雄縣 那瑪夏 鄉	縣(市) 鄉(鎮、市、區)	村(里)
堰塞湖二度分帶座標	E:224034 N:2579895 (TW D97)	發生(發現)時間	2009/08/07-2009/08/09
河川水系/集水面積	旗山溪流域/209.7 (km ²)	形成原因	<input type="checkbox"/> 暴雨 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> 其它
現場勘查方式	<input type="checkbox"/> 地面 <input type="checkbox"/> 空中 量測方式屬於各欄位註明	堰塞湖(湖) 形狀圖示	(平面示意圖應標示於地形圖上) 天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象), 紀錄湖區是否有可能墜落之坡體 目前受災狀況
溢流點壩高	68 (m)	溢流點壩頂高程	795 (m)
溢流點壩頂長	179 (m)	溢流點壩寬	2202 (m)
壩體上游坡度	1 (H) : 10 (L)	壩體下游坡度	1 (H) : 20 (L)
壩體結構(說明估算方式)	<input type="checkbox"/> 土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 土壤與岩屑夾雜一些卵石與大岩塊 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊夾雜少量土壤與岩屑 <input type="checkbox"/> 卵石與大岩塊 最大壩徑(m): 2 中徑(m): 1 有效壩徑(m):	堰塞湖(湖) 形狀圖示	(平面示意圖應標示於地形圖)
湖水位高程	795(m)	湖面積/湖體積	255,000 (m ²) / 10,000,000 (m ³)
滿水位高程	795(m)	水位上昇速率	-(m/hr)
溢流口最窄處形狀	深 0.8 (m) 頂寬4.3(m) 底寬 2 (m)	溢流口最窄處流速	0.8(m/s)(利用保持瓶測得之表面流速)
流量	2cms(利用溢流口面積乘以測得之表面流速)		
堰塞湖(湖) 形狀圖示	(平面示意圖應標示於地形圖)		
天然壩上、下游兩岸土地使用情形(含保全對象), 紀錄湖區是否有可能墜落之坡體	短期無可能墜落之坡體		
目前受災狀況	上游泡沬		

危險度及危害度初步評估

• 壩體潰決危險度(計算)

$$L_s = -2.55 \log(P) - 3.64 \log(H) + 2.99 \log(W) + 2.73 \log(L) - 3.87$$

$$L_s = -2.22 \log(A) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93$$

- A (m²) 為集水面積
- L_s (m) 為壩長(跨越河道)
- H₀ (m) 為壩高
- H₁ (m) 為壩寬(沿著河道)
- W₁ (cms) 為尖峰流量
- P (cms) 為尖峰流量
- L_s 連維斯分數(logit)

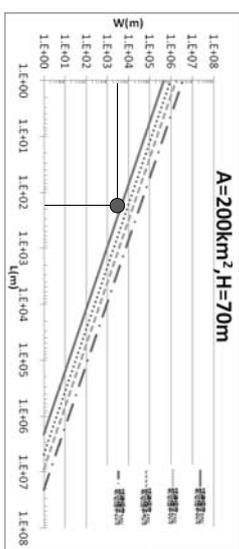
天然壩體破壞機率

$$P_f = 1 - P_s = \frac{e^{-L_s}}{1 + e^{-L_s}}$$

L_s 小於0時代表天然壩屬不穩定
L_s 大於0時代表天然壩屬穩定

• 壩體潰決危險度(查表)

- 附錄
- 由參數A、H、W、L查得破壞機率



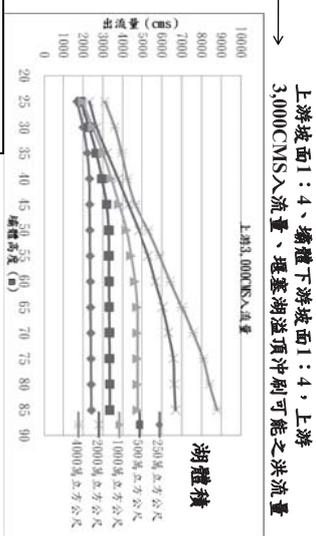
那瑪夏鄉集水面積A為210km², 壩高為68m, 壩寬為2202m, 壩長為179m

危險度分級	極高度危險	高度危險	中度危險	低度危險	極低度危險
破壞機率(邏輯斯迴歸模型)	≥ 80%	> 60%; ≤ 80%	> 40%; ≤ 60%	> 20%; ≤ 40%	< 20%

潰壩下游影響程度快速評估

$$I_{db} (= Q_{db}/Q_{rd})$$

Q_{db}為堰塞湖溢頂潰壩出流量
Q_{rd}為河川治理計畫流量

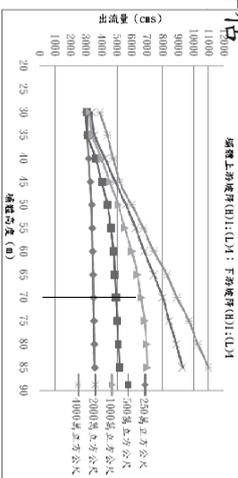


產生影響可能性	I _{db} 分類	分期間隔(%)
幾乎不發生	V	0-10
稀少發生	IV	11-40
可能會發生	III	41-60
經常發生	II	61-90
一定會發生	I	90-100

潰壩下游影響程度快速評估

$$I_{db} (= Q_{db}/Q_{rd})$$

Q_{db}為堰塞湖溢頂潰壩出流量
Q_{rd}為河川治理計畫流量



上下游坡度為1:10及1:20→<1:4
利用GIS計算出蓄水體積約為1000萬立方公尺
旗山溪月眉橋之集水區面積為533km²
計畫洪水水量5680cms
200年尖峰流量為5970cms
利用面積法推估那瑪夏入流量為(5970/533)*209.7=2348cms
選取圖D-25壩體上游坡面1:4、壩體下游坡面1:4，上游3,000CMS入流量堰塞湖查表得→出流量為6500cms
依據面積法推估那瑪夏計畫流量約為(209.7/533)*5680=2236cms

$$I_{db} (= Q_{db}/Q_{rd}) = 6500/2236 = 2.9$$

屬第V級→下游之達卡努瓦里(民生)、南沙魯里(民族)、瑪雅里(民權)一定會發生淹水

天然壩危害度受壩體潰決危險度(橫向)與若潰決後淹水嚴重程度(縱向)決定，共分七個等級。

天然壩潰決危險度分級(天然壩潰決機率)	I _{db}			
	極高(V)	高(IV)	中(III)	低(II)
潰壩洪峰之淹水嚴重程度	極高(V)	極高	高	中-高
	高(IV)	極高	高	中
	中(III)	高	中-高	中
	低(II)	中-高	中	中-低
	極低(I)	中	中-低	低
		中	中-低	極低
			極低	極低

堰塞湖潰決之淹水風險評估說明

危害度衝擊	快速(野外)評估之災害程度參考
極高	村(里)淹水風險極高，或村里距離河岸100公尺內之戶數大於150戶。
高	村(里)淹水風險高，或村里距離河岸100公尺內之戶數大於125戶。
中-高	村(里)淹水風險高，或村里距離河岸100公尺內之戶數大於100戶。
中	村(里)淹水風險中，或村里距離河岸100公尺內之戶數大於50戶。
中-低	村(里)淹水風險中，或村里距離河岸100公尺內之戶數小於50戶。
低	村(里)淹水風險低。
極低	村里淹水風險極低。

簡報大綱

- 前言
- 監測與數據處理分析系統架構
- 監測系統規劃
- 測量接收處理系統
- 監測數據處理分析

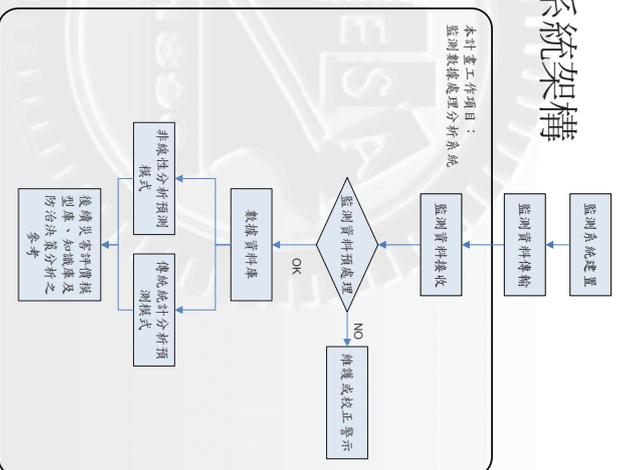
堰塞湖處置資訊系統教育訓練(第 2 梯次)

監測與數據處理分析

前言

- 由於堰塞湖構造複雜，預測其穩定性時所涉及之不確定性甚高，因此常利用監測數據進行分析，輔助穩定性判釋。本課程針對堰塞湖相關監測資料，進行監測資料分析與預報模式評估，藉以支援對災害預測之修正

監測與數據處理分析系統架構



監測系統規劃

■ 監測規劃

一 初期監測階段

- 堰塞湖水位高度、現地雨量

一 中長期監測階段

- 自動化擷取之功能
 - 監測系統與監測頻率
- (1) 監測系統功能及效率之合宜性。
 - (2) 監測儀器之種類、數量及佈置位置是否合宜
 - (3) 監測項目與監測方法是否合宜。
 - (4) 監測之環境條件是否合宜。
 - (5) 監測之通路狀況是否合宜
 - (6) 監測儀器之故障狀況。
 - (7) 停止觀測及新增之監測儀器是否合宜
 - (8) 監測人力及人員之素質是否合宜。

監測系統規劃

■ 監測對象

一 初步調查階段

- 基本資料之收集為主：堰塞湖水位高度、現地雨量

一 詳細調查階段

- 須針對破壞模式與所欲處理之工程問題
- 位移與水位/水壓量測
- 沖刷→地表位移或3D位移觀測點

監測系統規劃

■ 監測感測器之選擇

一 初期監測階段

- 堰塞湖水位高度、現地雨量

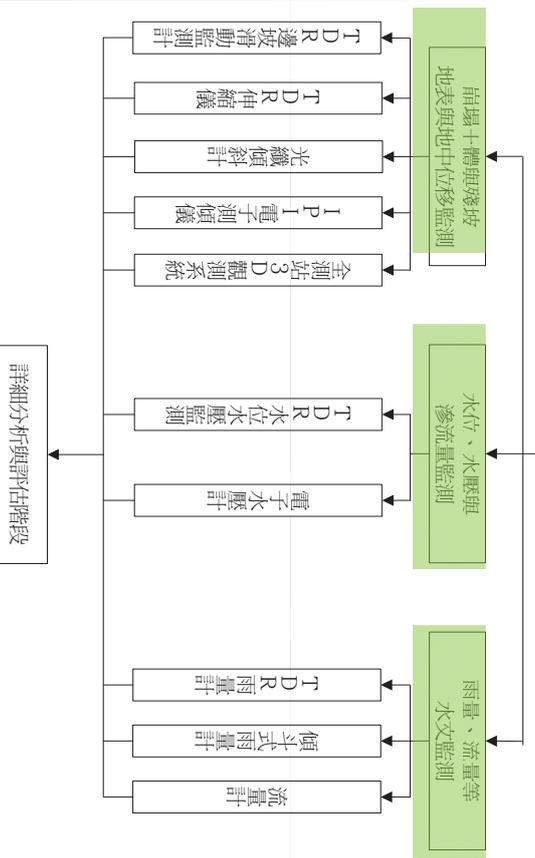
一 中長期監測階段

- 主動式與被動式監測設備

項目		監測系統
初期	堰塞湖水位 雨量監測	TDR水位感測器、電子水位計 傳統機械或電子雨量計、 TDR雨量計
中長期	壩體內部水位、水壓監測	電子水壓計、 TDR水位感測器
	位移監測	地表位移計（電子式或TDR）、 孔內位移計（電子式或TDR）、 手動或自動測傾儀（PI）、 TDR或OTDR滑動監測、 光纖測傾儀、 全測站3D位移動測系統 LIDAR 監視影像攝影
	沖刷、溢流監測	TDR淘刷與溢流感測器
	地震監測	震測儀

水規所 (2004) , 堰塞湖引致災害防治對策之研究
 NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY DISASTER PREVENTION & WATER ENVIRONMENT RESEARCH CENTER

監測系統施設



水規所 (2004) , 堰塞湖引致災害防治對策之研究
 NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY DISASTER PREVENTION & WATER ENVIRONMENT RESEARCH CENTER

常見監測儀器--strain gage based

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} \times GF$$

ELECTRICAL INSTRUMENTS

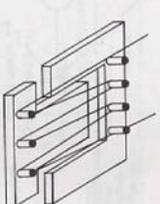


Figure 8.11. Schematic of unbonded wire resistance strain gage.

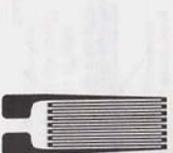
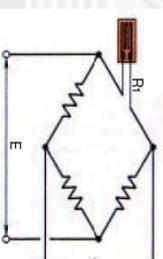


Figure 8.12. Uniaxial bonded foil resistance strain gage.

Wheatstone Bridge



$$e = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \cdot E$$

- Loadcells
- Pressure Transducers
- Acceleration Transducers
- Torque Transducers
- Displacement Transducers

常見監測儀器—振弦式 VW based

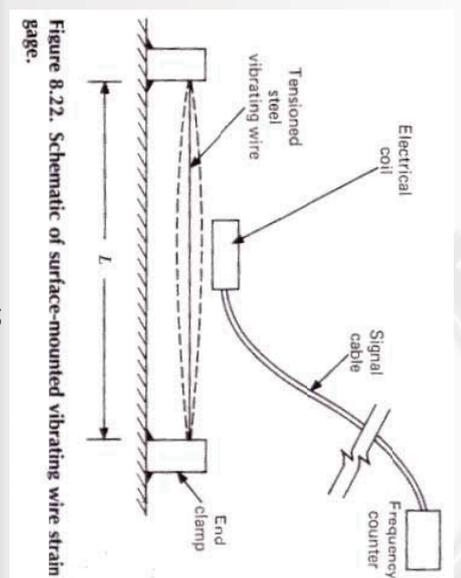
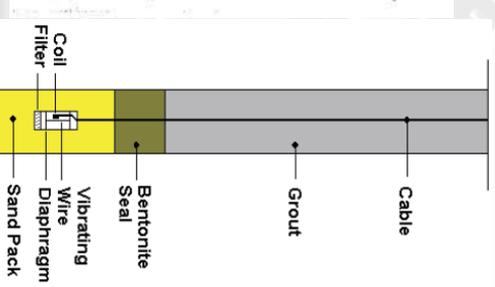


Figure 8.22. Schematic of surface-mounted vibrating wire strain gage.

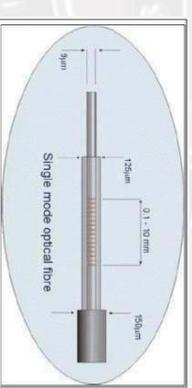




- 量測對象
 - 應變、長度變化
 - 荷重、壓力
 - 溫度
 - 傾斜.....
 - (溫度：修正溫度影響)
- 應用儀器種類
 - 水壓計
 - 變位計
 - 水位計
 - 土壓計
 - 傾斜計.....

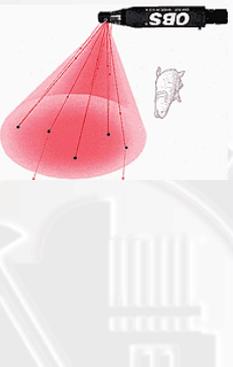
被動式：光纖光柵式

- 光纖光柵 (FBG, Fiber Bragg Grating)
 - 藉由光纖光柵反映特定光波波長對於外在溫度、應變靈敏的特性，感測周遭環境的條件變化
- 優點
 - 高靈敏度、高訊號量、高精確度、不受電磁干擾、耐久、體積小
 - 長度受限較小無雷擊困擾
- 缺點
 - 光纖脆弱、維修較不易
 - 線路現場施工較繁複
 - 完全獨立於以往的系統
 - 目前仍非常昂貴

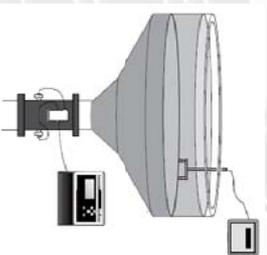


常見監測儀器—光學、超音波

Optical backscatter method



Acoustic attenuation



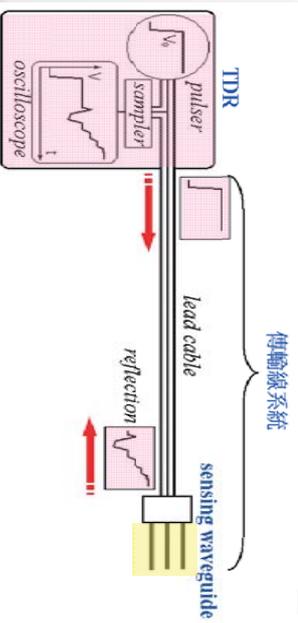
被動式：光纖光柵式

- 未來具發展潛勢
- 應用
 - 溫度計
 - 於溫度
 - 應變或變位計
 - 壓力計
 - 傾角儀
 - 動態運動量測



被動式：時域反射法TDR

時域反射法 (TDR) 是一種以電磁波為基礎的傳輸線式量測/監測技術，時域反射儀發出一方波在傳輸線系統中傳遞，其中感應導波器置於受測環境中，電磁波遇到因受測環境引起之阻抗不連續面，產生反射訊號由取樣器接收。TDR反射波形隱藏受測環境的信息，藉由不同的感應導波器設計及訊號分析方法，可求得受測環境之相關工程參數。



被動式：時域反射法TDR

TDR的應用

介質電學性質量測

應用於土壤含水量、含砂濃度、導電度

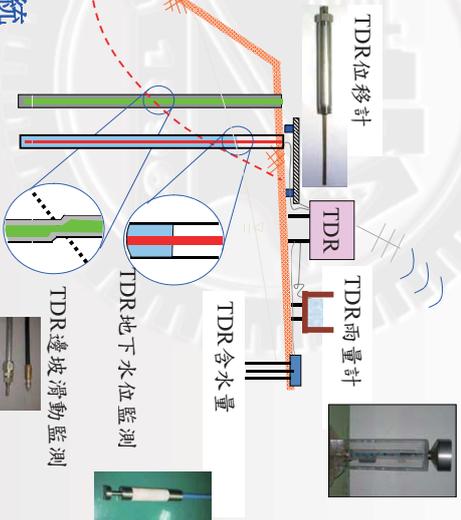
介質界面量測

應用於水位/水壓、雨量、位移、沈陷、淤積/冲刷、土釘檢測

體積變形量測

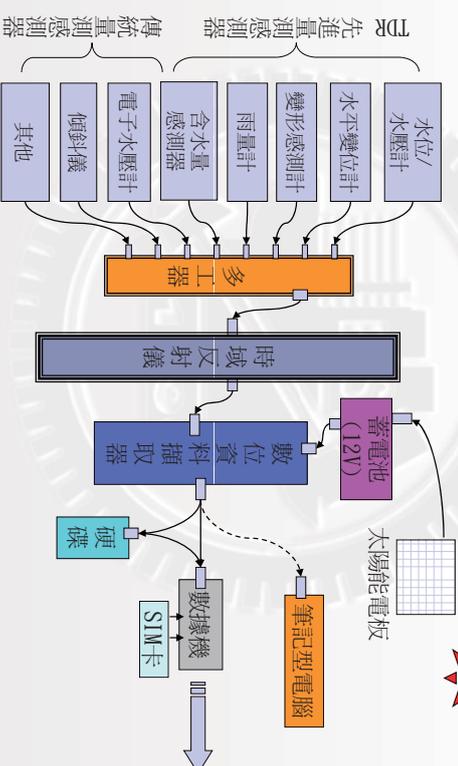
應用於結構或地層錯動變形監測、鋼鍵鏽蝕

EX. TDR 邊坡監測系統



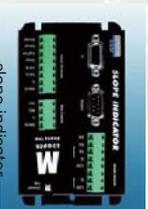
被動式：時域反射法TDR

遠端自動化資料擷取系統



監測系統規劃

資料擷取器



監測數據處理分析

■ 監測資料處理

- 觀測數據依時間繪成曲線
 - 將影響該觀測值之因素曲線繪在一起
 - 由量測值轉化為關心之物理量
- ### ■ 監測資料分析注意事項
- 相關物理量交叉比對分析
 - 觀測值與預測值之比較
 - 相關自然環境變遷與人為干擾

監測數據處理分析

- 定性分析法 VS 定量分析法
- 監測結果進行現象詮釋，發現潛在問題
 - 長、短其變化與變化趨勢
 - 監測值偏離問題
- 監測管理值訂定 VS 堰塞湖安全狀態評定
- 採取適當因應措施

監測數據處理分析

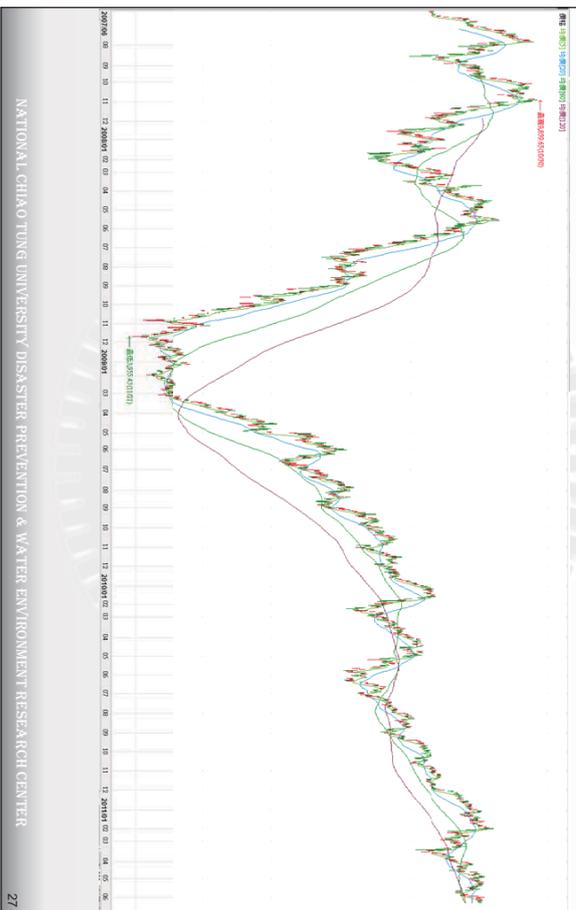
■ 一般壩體監測資料分析模式

- **穩定性**：當監測量過程曲線變化之規律與趨勢呈穩定狀態，則屬正常
- **相關性**：平常監測值中原因量與效應量都會成一定之相關性，如其相關性較以往有所改變則屬異常
- **合理性**：監測量之變化趨勢符合自然界之物理現象則屬正常，否則屬異常
- **一致性**：在相同條件下，效應量之變化型態應為一致或相似；同一位置使用不同儀器所量測之同一物理量亦應符合一致性，則屬正常，否則屬異常
- **突變性**：監測量之變化過程中如有不符合預期中或不符合同規律之突變，則屬異常。如為單一之突變，則可能屬人為錯誤；如為重複或連續之突變，則可能屬儀器或系統之故障或結構已有異常現象
- **對稱性**：如監測儀器埋設於具對稱之位置，則其監測量之變化亦具對稱性，否則應為異常。

監測數據處理分析

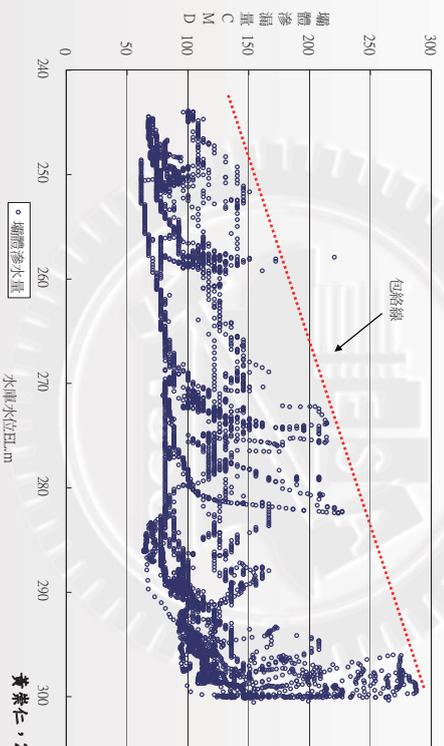
- 一般壩體監測資料分析模式
 - (可沿用一般水庫安全分析準則)
 - 移動平均趨勢
 - 包絡線法 (如：N倍標準差)
- (國立交通大學, 2005)

移動平均趨勢

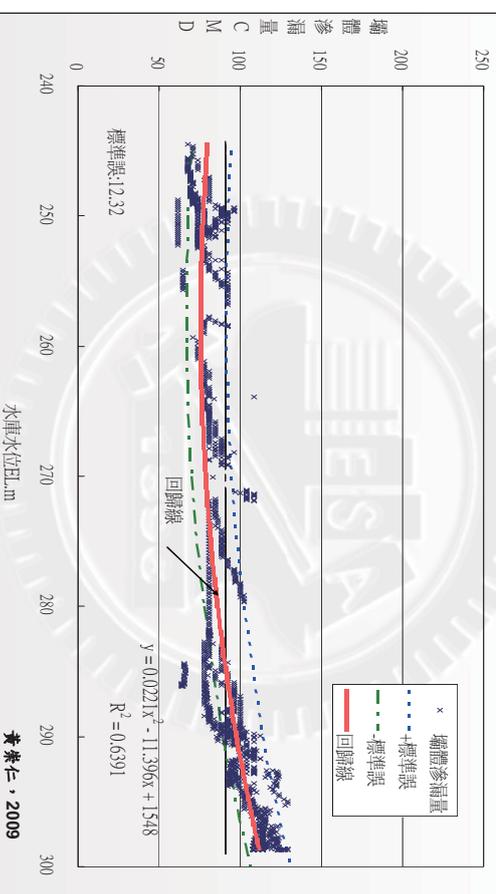


包絡線

鯉魚潭水庫壩體滲流量



鯉魚潭水庫壩體滲流量

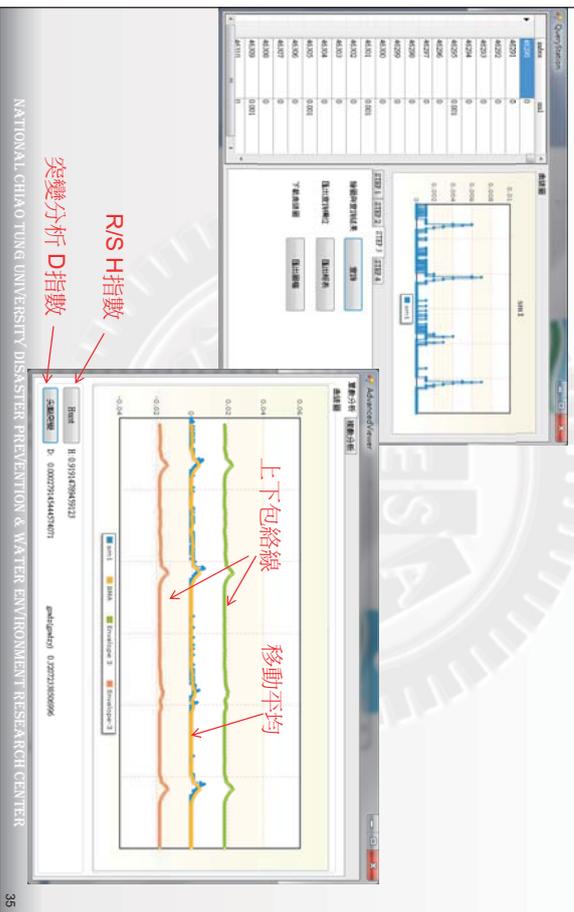


監測數據處理分析

- 非線性分析研究，認為相關監測標的，如水位、滲水量等，在時間軸上可視為**非線性**系統

模型驗證與展示

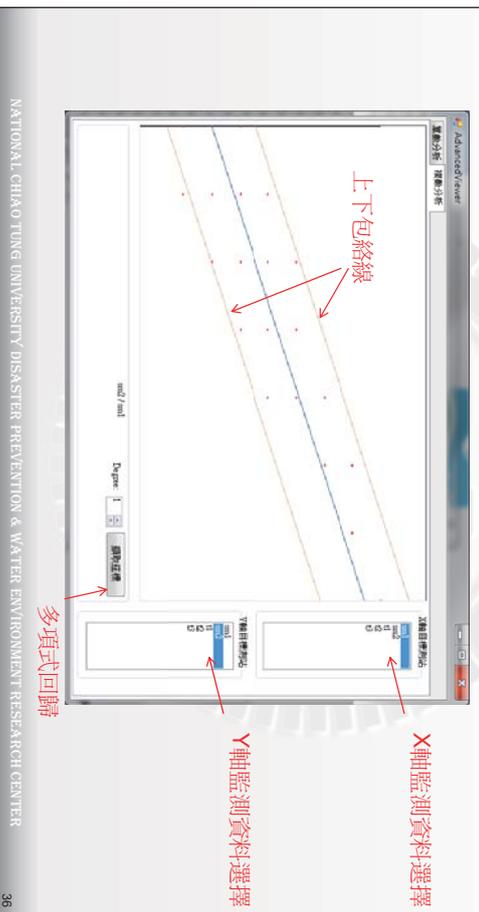
九份二山觀景台位移 SM1 (2010.1.1~3)



35

模型驗證與展示

多變數比較分析



36

堰塞湖處置資訊系統教育訓練(第2梯次)
堰塞湖處置資訊管理系統使用者手冊

大綱

- 軟體需求
- 系統安裝
- 基本架構及功能簡介
- 資料取得
- 調查底圖製作
- 災害評價應用
- 上游淹沒區範圍
- 危害度快速評估
- 相關資料查詢及建檔

1

軟體需求

- 作業系統：32位元 Windows XP、Window Vista、Windows 7 或 Windows Server。
- GIS軟體：ESRI ArcView 10含3D及空間分析模組。
- 資料庫軟體：SQL Server 2008 Express。

2

系統安裝

- ArcView 10安裝(參考試用者手冊)
- SQL EXPRESS
- 點選光碟內 software 資料夾下之 SQLWXPRTW_x86_CHT.exe



3

- 執行後進入 SQL Server 安裝中心，點選新的安裝或新功能加入現有安裝。

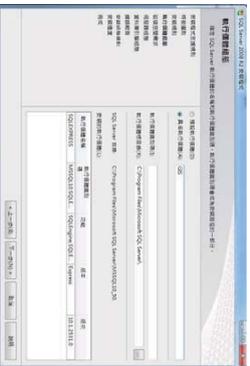


- 選擇要安裝的 Express with Advanced Services 功能，利用預設勾選，選取下一步。

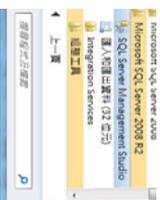


4

- 輸入具名執行個體及執行個體識別碼，範例使用 GIS，後續設定使用者名稱及密碼，即完成安裝。



- 開啟管理介面Microsoft SQL Server 2008 R2/SQL Server Management Studio。

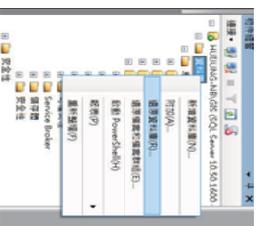


5

- 利用安裝時設定之帳號密碼或 windows 驗證，連接至資料庫。

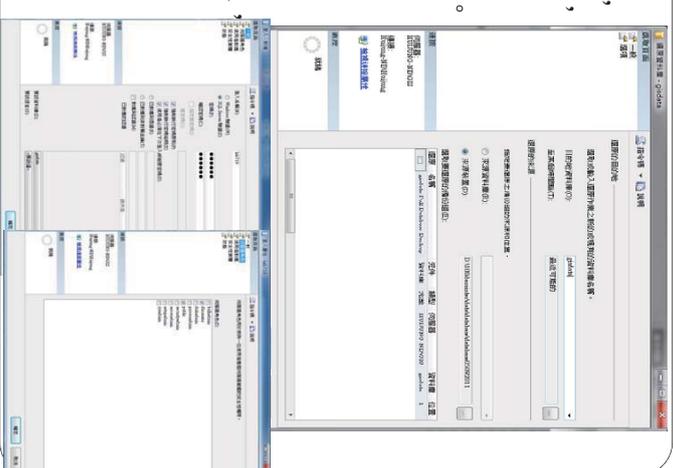


- 於資料庫按右鍵鍵入還原資料庫，將已建置完成之資料庫匯入。



6

- 資料庫名稱鍵入 gisdate，還原位置選擇來源裝置，位置指向 software 資料夾下 database。勾選還原後即完成資料庫匯入。



- 於安全性點選新增/登入建立一組帳號密碼作為 gisdata 資料庫之登入帳號，點選右欄之使用者權限勾選 owner。

7

其他安裝

- 將 software\數值地質圖例 style 資料夾下 cgssymbola.ttf 及 cgssymbolc.ttf 字型檔匯入字型。
- 將 software\toolbox 複製至 C 槽底下。
- 以記事簿開啟使用者介面下 core 資料夾下 AccessDBInfo.xml，將連線資料改為本機資訊。IP 後方輸入"電腦名稱\GIS"(範例為 Huijung-NB(GIS)，USER 後面輸入帳號，PW 後面輸入密碼)。



8

- 開啟使用者介面下 startup，點選已建檔之堰塞湖後，按還原連線設定將SQL帳號密碼套用至管理系統。



9

資料取得

- 5公尺數值高程模型
- 申請單位
- 內政部地政司衛星測量中心，
<http://www.gps.moi.gov.tw/satellite/apply/ApplyOnline.jsp>
- 申請表單
- 申請步驟
- 填妥申請表單及資料管制同意書後行文至內政部，正常約兩週可取得該筆資料。

11

福衛二號影像

- 申請單位
- 國立中央大學太空與遙測研究中心
- 申請步驟
- 方法一(上班時間):
- 直接專人服務電話:(03)422-9332；(03)422-7151 轉57601 李小姐或江小姐
- 方法二:
- 線上註冊成為資源衛星接收站客戶
http://140.115.109.101:8080/SRSL/CSRSR/customer_register.jsp
- 請撥打服務電話：(03)4227151 轉 57601，由服務人員告知您的帳號及密碼
- 線上訂購衛星影像
<http://140.115.109.86/CSRSR/QUERY2/QueryScreen.htm> 登入您的帳號密碼。
- 確認訂購範圍之左上和右下角座標→至本中心網頁→遙測資料查詢→資源衛星影像範圍→選擇座標系統→選擇衛星種類→輸入左上角座標→依序輸入設定查詢條件→選擇您合適的影像處理等→按訂購資料填寫→確認訂購→訂購完成後請來電向服務人員確認取件。

12

- 確認是否有開啟模組
- 3D及空間分析
- 匯入ArcGIS Addin
- 開啟檔案後，於工具列處(如下圖橢圓型位置)雙擊。
- 雙擊後即出現customize視窗，點選Add from file，將位置指向C槽 Toolbox資料夾下之DamGIS，結束後於toolbox勾選堰塞湖處置資訊管理系統，重新開啟檔案即完成作業。



10

- 堰塞湖處置資訊管理系統
- 擬以堰塞湖個案建置
- 湖
- 內建小林村及那瑪夏堰塞湖
- 屬性紀錄堰塞湖名稱、資料建置人、發生日期、是否潰決及備註
- 點選計畫查詢可開啟該堰塞湖對應之資料夾
- 雙擊計畫名稱或按啟動計畫即會以ArcView開啟GIS系統



17

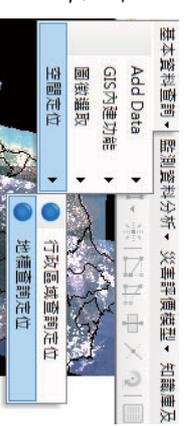
調查底圖製作

- 地形資料
- 1/25000、40公尺數值高程及5公尺數值高程
- 衛星影像或航照資料

18

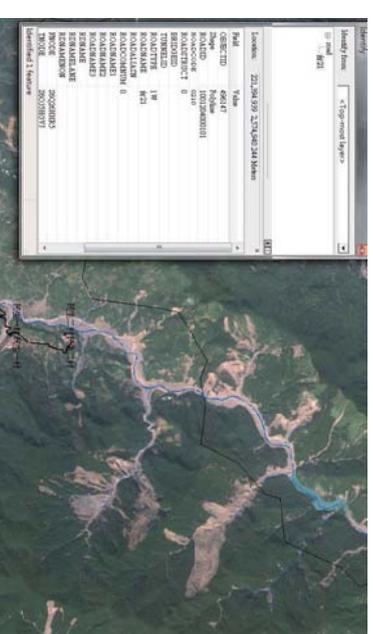
堰塞湖定位

- 若無堰塞湖位置坐標或正射影像，則以較大的地名定位



19

- 定位後，可看到該處道路僅到達民生二村，主要道路為台21



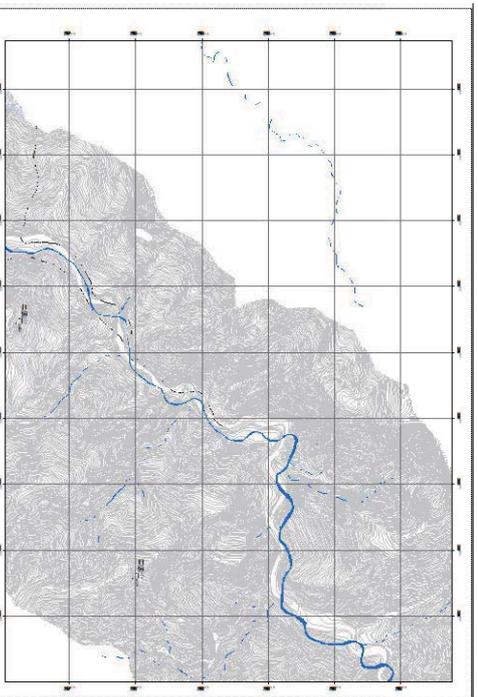
20

- 開啟 1/25000 地形圖，即可將地形圖套至該區域



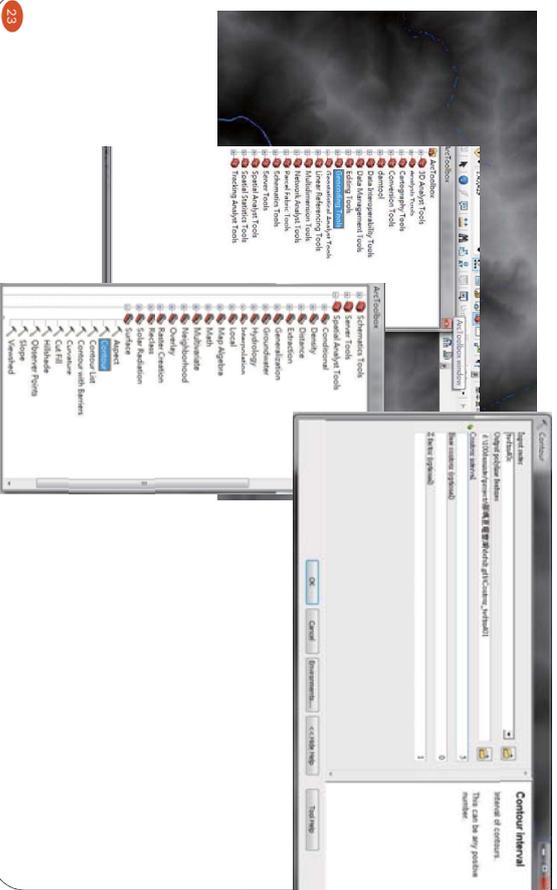
21

- 將該區域以 1/25000 比例尺輸出成底圖



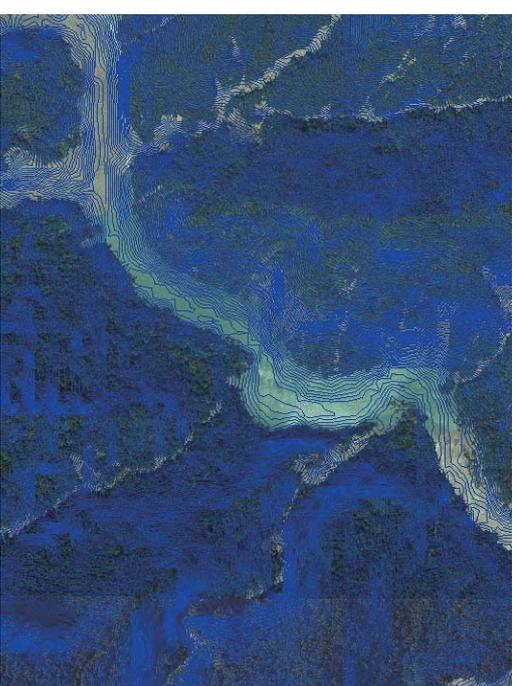
22

- 若該區域有較詳細之地形資料，如 40 公尺數值高程，則需進行等高線運算



23

- 運算後，即可輸出該區域之地形圖
- 若有正射影像則於套繪後輸出



24

運算

- 匯入DEM
- 使用者將所蒐集到之DEM匯入運算
- 初期可採用林務局40*40公尺DEM
- 後續可向內政部申請5*5公尺之DEM進行運算
- 本工具計算無窪地流向及匯流累積量以供後續集水區範圍及淹沒區計算使用。



26

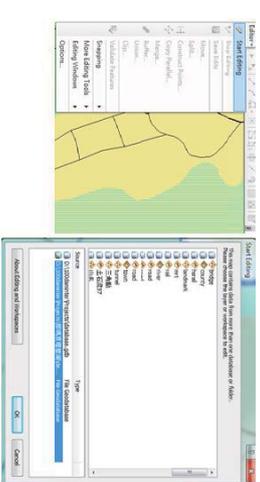
計算集水區範圍

- 使用者可輸入阻塞點位置並指定參考之DEM，程式則利用前項所建立之無窪地流向及匯流累積量進行運算，成果將輸出阻塞點上游集水區範圍及面積。
- 堰塞湖阻塞點可由航拍照片或福衛二號取得，若出發前尚未取得堰塞湖決定位置，此步驟需於現勘完成後計算或估概略位置



26

- 阻塞點位置檔案格式需為GIS
- 使用者於現地勘查時，利用GPS取得溢流點座標位置，可以此作為阻塞點位置
- 若已取得堰塞湖區域之正射影像或福衛二號，則於圖面直接點選。
- 編輯方法



27

鍵入XY

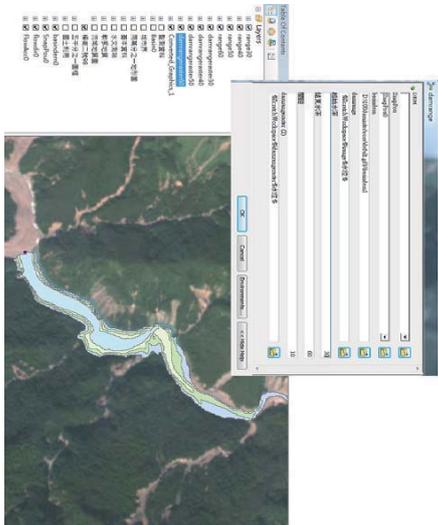
- 圖面選取



28

上游淹沒區範圍

- 尚未取得正射影像或福衛影像前，本工具得令使用者預先計算，在不同堰塞湖水深下，上游淹沒區之範圍



29

淹沒容積

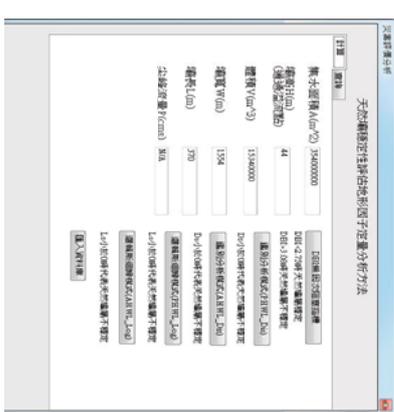
- 針對前項所計算之淹沒區範圍，皆可利用匯入之DEM計算此範圍下之淹沒容積。下圖為套用淹沒水深為50公尺計算出之蓄水量，其蓄水量約為8,342,502立方公尺。



30

災害評價分析 I

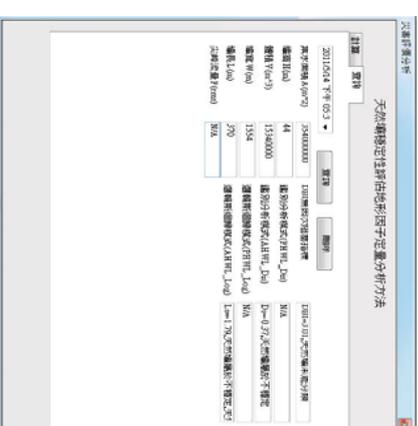
- 現場可利用堰塞湖天然壩緊急調查與危害度初步評估野外手冊(初稿)之危險度等級查詢圖
- 室內可利用系統中災害評價分析功能
- 無因次阻塞指標
- 鑑別分析模式
- 邏輯斯迴歸模式



31

災害評價分析 II

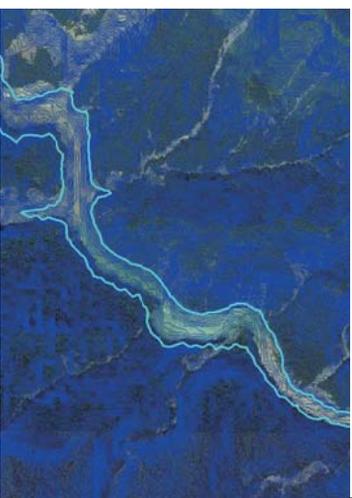
- 堰塞湖發生後，參數會隨著資料及時間取得而有改變。使用者可依據時間查詢歷史選用之參數。



32

上游淹沒區範圍 I

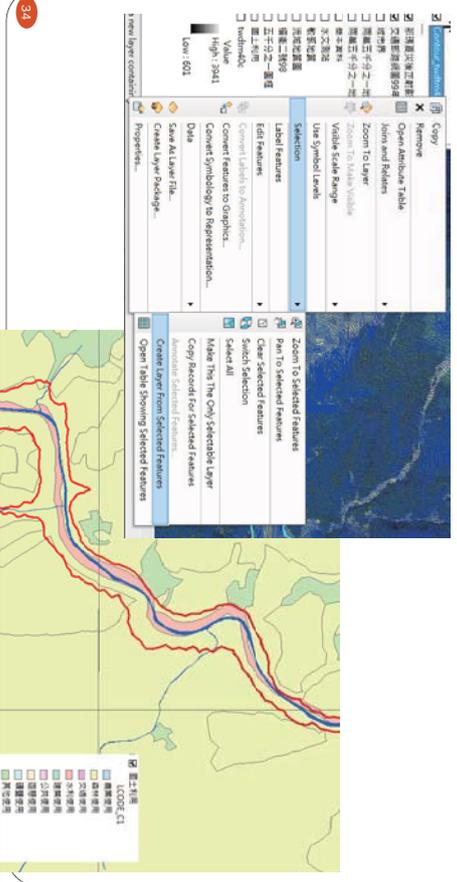
- 利用40公尺繪製之等高線圈繪上游淹沒區
- 有正射影像時，則以淹沒區決定淹沒範圍
- 無正射影像時，瞭解堰塞湖天然壩高後，則以其為高度控制(或加5公尺圈繪)
- 圖為805公尺之等高線範圍



33

上游淹沒區範圍 II

- 圈選等高線805公尺，並將其獨立為一個圖層後，套繪國土利用圖層



34

危害度快速評估

- 本計畫預先模擬不同上下游坡度、上游入流量、壩體高度及蓄水體積，以Breach計算出流量，並將其成果建立成表格，本工具可藉由輸入參數，進行查表。
- 上游入流量(cms)：1000、2000及3000。
- 上游坡度：1:2、1:3及1:4。
- 下游坡度：1:2、1:3及1:4。
- 壩體高度(m)：25至80m，每5m為一個級距。
- 蓄水體積(百萬立方公尺)：250、500、1000、2000及4000。

35

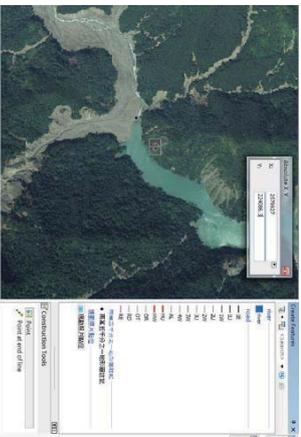
相關資料查詢及建檔

- 表單下載及資料上傳
- 系統納入相關資料如內政部5公尺數值高程申請辦法、堰塞湖處置資訊管理使用者手冊等相關資訊
- 使用者可在進行現勘所填寫之表格、照片亦可利用表單上傳統一管理，利用摘要欄位作為索引之方法。
- 利用查詢介面可查詢該堰塞湖所有已上傳之表單，若需使用該資料，則雙擊該資料即可按下載表單按鈕取得該檔案。



36

- 匯入現勘照片
- 編輯資料選擇project/database進入編輯狀態後，點選下圖右方現勘照片點位，將由游標移至圖面按右鍵選取Absolute XY，鍵入照片對應之XY坐標。



37

- 點選現勘照片點位按右鍵選取Open Attribute Table，依序鍵入相關資訊如YY：100、MM：5、DD、13、direction：57及remark：那瑪夏堰塞湖湖面現況。另外，點選pic欄位按右鍵選擇Load，將對應之照片匯入。



38

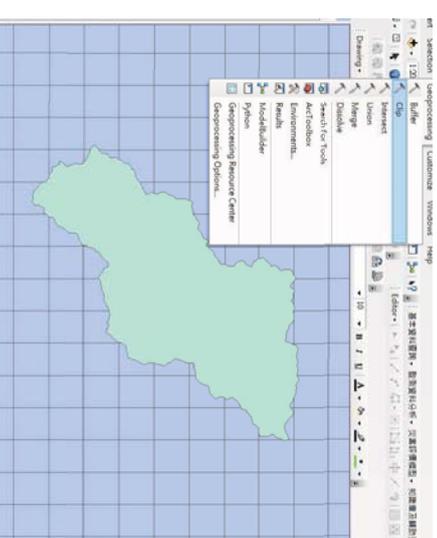
- 鍵入相關欄位及照片後，即完成編輯，於圖面上可看到照片以箭頭表示，箭頭表示拍照方位，查詢/屬性可查出之前所鍵入之屬性資料及照片。



39

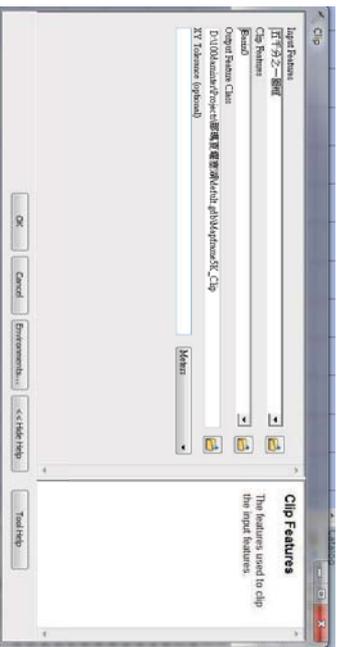
其他功能

- 製作1/5000圖號供申請數值高程模型使用
- 點選Geoprocessing裡的Clip



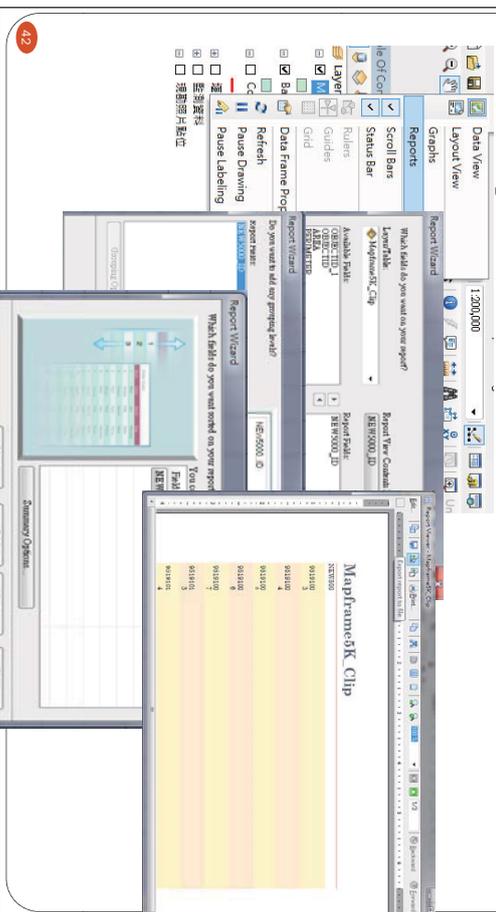
40

- 將input features設定為五分之一圖框
- Clip features則設定欲裁切之外框



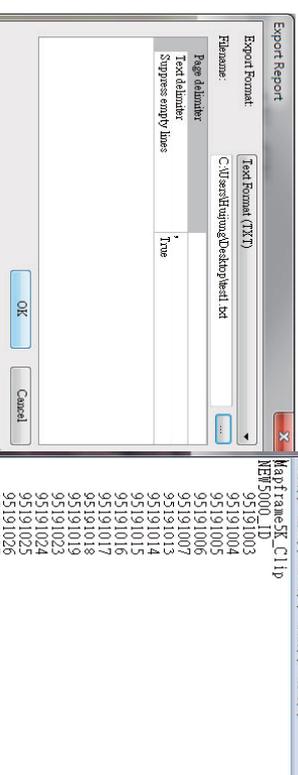
41

- 完成後點選View\Reports\Create Report
- 依序完成下列步驟將五分之一圖號 (NEW5000_ID)輸出
- 選擇export to file輸出圖號



42

- 將圖號輸出成TXT格式，如右圖



43

MapFrame5K_Clip
NEW5000_ID
95191003
95191004
95191005
95191006
95191007
95191013
95191014
95191015
95191016
95191017
95191018
95191019
95191023
95191024
95191025
95191026
95191027
95191028
95191031
Page: 1 of 3
NEW5000_ID
95191032
95191033
95191034
95191035

附錄九 工作人員名單

工作人員名單

人員	姓名	職稱
計畫主持人	潘以文	交通大學土木系教授
主要工作人員	廖志中	交通大學土木系教授
主要工作人員	葉克家	交通大學土木系教授
主要工作人員	林志平	交通大學土木系教授
主要工作人員	董家鈞	中央大學應用地質研究所副教授
博士後研究	楊昇學	交通大學土木系博士
博士後研究	鐘志忠	交通大學土木系博士
專任研究工程師	王慧蓉	交通大學土木系碩士

國家圖書館出版品預行編目資料

堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊
管理系統建置 / 國立交通大學防災與水環境研
究中心編著. -- 第一版. -- 臺中市 : 水利署水
規所, 2011. 06

面 ; 公分

ISBN 978-986-02-8138-5(平裝)

1. 湖泊 2. 水利工程 3. 地理資訊系統

443.5029

100010300

堰塞湖危險度、危害度評估方法與堰塞湖處置資訊管理系統建置

發行人：陳弘由

發行所：經濟部水利署水利規劃試驗所

編著者：國立交通大學防災與水環境研究中心

地址：台中市霧峰區吉峰里中正路 1340 號

電話：(04)23304788 傳真：(04)23300282

出版年月：2011 年 6 月

版次：第一版

GPN 1010001211

ISBN 978-986-02-8138-5

版權所有，翻印必究