



快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式

成果報告書

113
年度

農業部農村發展及水土保持署

快速計算流域中土石流 最終影響範圍之理論公式 成果報告書



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼



農業部農村發展及水土保持署
540206南投市中興新村光華路6號
<https://www.ardswc.gov.tw>

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國113年12月

**快速計算流域中土石流
最終影響範圍之理論公式(單轉細)
Formula for fast calculation for final
debris flow influence area**

成果報告書

執行單位：國立臺灣大學

執行期間：113 年 2 月 7 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：劉格非教授

農業部農村發展及水土保持署編印

中華民國 113 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)

快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式

摘要

本計畫利用土石流賓漢流體的特性，利用能量方程式，推導出土石流從崩坍啟動到最後完全停止下的影響範圍，利用崩坍提供的位能，等於最後分佈的位能與流動中的能量損耗觀念，省略過程中的細節，推導出土石流發生後的最後影響範圍的快速計算方式。

研究利用台東大鳥村與南投神木村愛玉子溪兩條溪流作為驗證，快速計算方法得到的影響範圍最前鋒位置與模擬出來的最前鋒位置誤差在 10%以下，但是快速計算法每條溪的計算時間只需要兩分鐘。

關鍵詞：土石流影響範圍，能量守恆，快速計算

Formula for fast calculation for final debris flow influence area

Abstract

In this project, debris flow is considered as Bingham fluid. The energy conservation equation is used to derive the government equation for the final influence area of the landslide. When debris flow stop completely, all the potential energy provided by the collapse is equal to the sum of the final distribution of potential energy and the energy loss during the flowing process. This gives the rapid calculation method for the final influence area.

Two streams, Taitung Big Bird Village and Nantou Shenmu Village, Aiyuzi Creek were used as verification, and the error between the forward position of the influence area obtained by the rapid calculation method and the numerically simulated forward position was less than 10%, but the calculation time of each stream using fast method only took two minutes.

Keywords: debris flow influence area, energy conservation, fast calculation

目次

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目次.....	III
表次.....	IV
圖次.....	V
第一章 前言.....	1-1
第一節 計畫目的	1-2
第二節 解決問題重點	3-3
第三節 重要工作項目及實施辦法	1-3
第四節 預期進度	1-3
第二章 研究動機與目的	2-1
第一節 數值模擬	2-1
第二節 土石流影響範圍經驗公式	2-5
第三章 理論公式堆導	3-1
第一節 本構關係	3-1
第二節 控制方程式	3-3
第三節 最終範圍解法	3-10
第四章 公式驗證	4-1
第一節 台東大鳥村	4-1
第二節 愛玉子溪	4-6
第三節 凱米颱風大興村土石流	4-13
第五章 結論.....	5-1
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一 期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1
附錄二 期中報告審查通過公文	附錄-4

附錄三 期中報告書面審查意見	附錄-5
附錄四 期中審查會議書面審查意見回覆辦理情形	附錄-6
附錄五 期末審查會議通知	附錄-8
附錄六 期末審查會議與簽到表附錄	附錄-9
附錄七 期末審查會議意見與回覆辦理情形	附錄-18

表次

表 1-1 計畫進度圖表.....	1-3
表 2-1 應用於不同類型的土石流數值模擬模式.....	2-2
表 2-2 土石流數值模擬之所需參數.....	2-2
表 4-1 愛玉子溪現場試驗樣本之流體參數與估計之降伏應力	4-8
表 4-2 土石流模擬之輸入參數.....	4-9

圖次

圖 2-1 新北市屈尺里土石流影響範圍	2-3
圖 2-2 土石流流場模擬	2-4
圖 3-1 土石流上方為塞流，速度不為 Z 函數，強剪層很薄	3-2
圖 3-2 不同最遠點與降伏應力下的影響範圍	3-11
圖 4-1 大鳥溪數值模擬影響範圍隨時間變化	4-1
圖 4-2 數值模擬所得土石流歷程最大流速與流深分佈	4-2
圖 4-3 300000M3 模擬範圍與快速算法範圍比較	4-3
圖 4-4 大鳥村模擬範圍與本計畫快速算法土石流最後分布範圍 ..	4-4
圖 4-5 重要地形點標示	4-5
圖 4-6 代表任何一個崩坍體積會達到的最遠點	4-5
圖 4-7 土石流初始料源之流深分佈	4-8
圖 4-8 降伏應力為 1992PA 時之土石流數值模擬結果	4-10
圖 4-9 降伏應力為 942PA 時之土石流數值模擬結果	4-10
圖 4-10 降伏應力為 610PA 時之土石流數值模擬結果	4-11
圖 4-11 降伏應力為 124PA 時之土石流數值模擬結果	4-11
圖 4-12 神木村快速計算停止點對堆積量圖	4-12
圖 4-13 高市 DF053 凱米颱風災害調查照片	4-15
圖 4-14 高市 DF053 快速計算與凱米颱風土石流調查成果套繪 ..	4-15
圖 4-15 高市 DF053 正射影像與 1M × 1M 數值地形圖套繪	4-16
圖 4-16 土石流料源體積量與最大停止位置	4-17

第一章 前言

第一節 計畫目的

針對災害潛勢與準確預警，確實找到土石流影響範圍，是一個重要的課題。土石流影響範圍受到諸多變數的影響，例如降雨累積情況，潛在崩坍量，河床堆積狀態，都是動態的變數，而任何一個地方的地質地貌與前期狀態，也都會影響發生土石流事件最後影響範圍，想光靠經驗公式是不可能找到最終的影響範圍，較準確的方式是輸入各種降雨歷程，算出入滲模擬，再找出可能的崩坍範圍(或直接用航拍判釋鬆散邊坡堆積範圍)，然後利用崩坍範圍作為料源，跑土石流模擬程式，以期找到在給定條件下(降雨，地形)，最後土石流會影響到的範圍有多大，但是土石流模擬程式因為都是深度積分的空間二維微分方程，因此必須用各種數值方法解空間二維的時間變化量，這個數值模擬的過程，因為空間格點多，需要的時間就非常長，如果要抓到地形的細微變化，就需要小格網，時間就更長。

近年類神經網路，超級電腦，或分散式平行加速計算，都使得數值模擬速度加快，但是即使如此，數值模擬一場土石流的時間，仍然遠超過土石流事件本身的真實時間，也就是以目前的科技，要把一場土石流事件模擬完畢，即使已經給定所有起始條件，邊界條件下，所需要的電腦計算時間都至少是數十分鐘(小集水區)，以這種速度，是不可能進行實況模擬的預警，也無法進行大規模的運算，如果以這種方式要施行一次全臺灣所有土石流潛勢溪流的模擬，恐怕兩三年的時間都無法執行完全部需要的模擬，因此為了大規模估

算或實況模擬的需求，有必要發展一套快速計算最終影響範圍的方式。

因為是模擬所有變數隨時間的變化，因此模擬會產出整個土石流事件中集水區中每一點的流深、流速變化，也可以產出每一點的受力與侵蝕狀態，這其中包含了非常多資訊，但是如果我們把需求的資訊，僅僅著眼在最終範圍，那麼整個計算過程的點變化與時間變化就都可以跳過或簡化，因此可以從整個集水區的尺度與長時間尺度下，重新找到更快速的計算最終堆積區域的方式，但是過程中的流速，流深變化，就無法獲得詳細資訊本計畫就是要利用能量方程式，進行集水區深度，寬度與時間積分，最後從事件結束後的條件，推導出快速計算方式，預計一個集水區，如果起始條件給定(起始堆積量，起始地形檔)，那在一分鐘內就可以獲得最後影響範圍，以此協助即時預警與大規模計算。

第二節 解決問題重點

完成公式推導驗證，發展數值解題過程，利用現場資料確認精度，並確認計算時間足夠到即時預警(每次計算最終影響範圍時間少於 30 秒)。

- 一、推導集水區土石流事件最終影響範圍公式。
- 二、發展快速解出最終影響範圍的流程。
- 三、找一個現場，進行數值模擬，比對最終影響範圍公式準確性。
- 四、發展數值 APP 與自動計算流程。
- 五、計算不同潛在崩坍面積下的影響範圍。

第三節 重要工作項目及實施辦法

- 一、由質量守恆與動量守恆方程式，推導集水區能量方程式:採取動量方程式乘以速度分量相加，以獲得動能，同時剪力部分，採用賓漢流體為模型，由時間積分可得到最終狀態，即最終範圍分布。
- 二、由能量方程式推導最後影響範圍的控制公式:因為要考慮整個集水區範圍，因此進行深度積分，然後寬度積分，最後採時間積分，時間從起始條件時間為零積分到事件結束，以此方式推導最終影響範圍與起始條件的差異公式。
- 三、由集水區所給起始條件與數值地形，由 DEM 建立，最遠點與平面面積，體積關係。
- 四、由上述關係快速查出最遠點。
- 五、以最遠點的平面分布找出土石流最終影響範圍

第四節 計畫時程表(甘特圖)

表 1-1 計畫進度圖表

重要工作項目	工 作 比 重	預定進度	113 年				備 註
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
深度、寬度積分方程式推導最終影響範圍公式	50	工作量或內容	基本積分推導	檢查與驗證			
		累計百分比%	50	90	100	100	
		實際進度	50	90	100	100	
新推導方程式與數值比較	40	工作量或內容	集水區資料分析	資料應用	資料變化影響分析		
		累計百分比%	40	70	90	100	
		實際進度	40	80	95	100	
資料收集與報告撰寫	10	工作量或內容	資料收集	期中報告		期末報告	
		累計百分比%	10	50	50	100	
		實際進度	30	60	70	100	
累計總進度		預定進度百分比	42	78	91	100	
		實際進度	50	82	95	100	

第二章 研究動機與目的

第一節 數值模擬

台灣地區因位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交接之處，時有地震發生，造成土層鬆散；且台灣山地地質多為變質岩或沉積岩，脆弱的地質加上不當的開發，每遇颱風豪雨，山洪爆發，山坡地時常發生崩坍及土石流等嚴重災害，造成居民生命財產的損失。因此，土石流之防治工作已成為當災害防治的重要課題之一。

而土石流防治工作分軟硬體兩種，軟體為疏散與預警，硬體為整治工法，不管哪一種整治方式，都需要計算土石流災害的潛勢範圍，若沒有範圍，很難將經費花在需要的地方。尤其現在防災預警已經朝向精確估算，即使是預警，也需要在偵測到土石流的時候，馬上就得知最遠的影響範圍與最嚴重災害區域，才能即時發出警報，因此準確的土流影響範圍，是一個非常需要的資訊。而以經驗公式推估範圍的方式，已經不符合精度要求了，現在都是以數值模擬來得到土石流的影響範圍。

有許多學者利用數值模擬做過此方面的研究，如 Jan(1997)、蔡(1999)、Iversonetc.(2000)及 Liuand Huang(2001)。曾真正應用過於複雜之現地的則有 O'Brianand Julien(1998)發展出的 FLO-2D 模式、蔡(1899)之模式與 Liuand Huang(2001)。而很多坡地專家也將模擬崩的程式，進一步應用到模擬土石流，如 LS-RAPID(SASSAetal.2004)，這些模式整理如表 2-1 有些研究應用牛頓流體於土石流的計算，在此暫不列入。

表 2-1 應用於不同類型的土石流數值模擬模式

模式	應用	參考文獻
DAN	崩塌	Oldrich Hungr et al. (1995)
LS-RAPID	崩塌	Kyoji SASSA et al. (1988, 2004)
Savage-Hutter	礫石型山崩或雪崩	Hutter, K. et al. (1993, 1995)
Debris-2D	土石流	Ko-Fei Liu et al. (2006, 2009)
TRENT-2D	土石流	Aronne Armanini et al. (2009)
DFEM	無黏性土石流	D. Naef et al. (2006) Swiss Federal Research Institute WSL
Kanako-1D&2D	土石流	Kana NAKATANI et al. (2008)
Flo-2D	泥流, 含沙水流	O'Brien et al. (1993)

這些模擬程式有些為物理模式，有些為水文模式，這直接影響了輸入條件，在此物理條件輸入的用 DEBRIS-2D 代表，水文模式輸入的以 FLO-2D 為代表。其輸入條件比較於表 2-2：

表 2-2 土石流數值模擬之所需參數(以 FLO-2D 與 DEBRIS-2D 為例)

需要輸入之資料	FLO-2D	DEBRIS-2D
地形資料	DEM	DEM
降雨逕流資料	流量歷線(從降雨計算)	-
土石料源	土石流流量歷線	崩坍點位分佈
入流點	土石流益流點之位置	-
初始體積量	用流量歷線	崩坍體積量
相關參數	體積濃度 C_v 降伏應力 τ_0 動力黏滯係數 η 曼寧粗糙度 n 阻力參數 K	降伏應力 τ_0

在這兩種數值模式中，其模擬的概念是完全不同的，FLO-2D 主要是以土石流的流量歷線做為輸入，因此必須設定一個入流點，並在此入流點先計算流量歷線，再透過平衡濃度的假設轉換成土石流的流量歷線進行模擬，因此無法用真正可能的崩坍量去模擬，但是對於含沙水流，是很適合地選擇。

而 DEBRIS-2D 的模擬主要是輸入土砂料源與水混合後的土石流初始位置與體積量，並依此進行土石流模擬。比較這兩種類型的模

擬，FLO-2D 的模擬比較類似一般河川模擬，其入流點 1 的流量歷線必須再透過其它模式進行流量歷線的模擬或參數的率定，通常較適用於泥流型的土石流，而 DEBRIS-2D 則較適用於物理上，能判定大部分料源在哪裡，量大概有多少的時候的模擬，非常適合礫石型土石流的模擬，只要知道崩塌的位置與體積量即可做模擬(Wuetal.，2013)。本計畫將採用 DEBRIS-2D 進行模擬比對理論。

FLD-2D 是一商業套裝的土石流模擬軟體。Liuand Huang(2001)發展的 DEBRIS-2D 應用於超過 20 個國家，但是並沒有商業化，可是 DEBRIS-2D 是唯一證實過在災前預測的災害範圍與模擬後發生災害的實況範圍差異不到 10 公尺的程式(Liu，Hsu，2018)。這些軟體在模擬現場土石流的時候，都需要起始條件，包含降雨、地形、崩塌...等，例如圖 2-1 代表相同地區在不同降雨下的影響範圍：

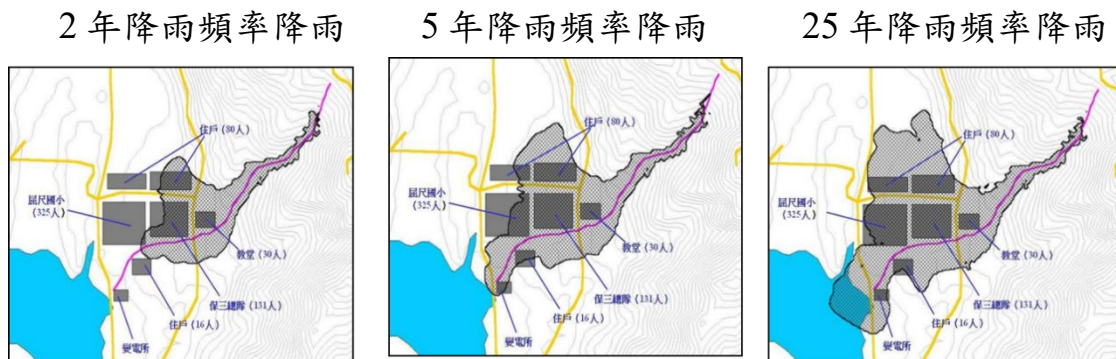


圖 2-1 新北市屈尺里土石流影響範圍

有些把這些物理參數換成時間序列或其他參數，但是只要是模擬現場的土石流，需要的計算時間就滿長，以一個面積達 10 公頃的集水區，假設地形資料不複雜，如不包含斷崖，不超過三條支流等，模擬一場土石流，如果以 5m x 5m 的網格進行，都會需要至少一小時以上的計算時間，若加上類神經網路，超級電腦或平行分散式運算的加速，有可能達到 30 分鐘，也就是計算時間永遠遠高於一場土

石流從發生到結束的時間，這種計算速度，是無法進行即時運算的，如果要事先把各種情境先模擬起來，那就需要非常長的計算時間了。

數值程式之所以會花很長的時間，主要是因為所有數值程式都是深度積分的二維方程式，二維格網數會隨集水區面積越大就越多，且成指數增加，加上格網越小，積分的時間步伐相對就受穩定度限制，整個計算時間就非常長，要花如此長的時間去模擬，是因為可以獲得從開始到結束整個事件中，所有點的流速與高程隨時間的變化，因此可以得知土石流過程中最危險的地方，但是如果土石流過程中通過的都是無人溪谷，那通常這個模擬最有價值的產出，就是最後的影響範圍，這個最後的影響範圍，關係到地區發展，預警時間等，通常就是最重要潛勢區域範圍。

因此，只要能將二維計算變成一維計算，計算時間就會少一個尺度，但是想要找出土石流流動的過程中，何處曾經被嚴重衝擊沖刷，損害狀態，那就一定要跑完整數值模擬，把二維流深，流速，隨時間變化的範圍都求出來，如下圖 2-2 代表土石流發展過程中對橋樑所在地的撞擊力，箭頭長度為速度大小，箭頭為方向。

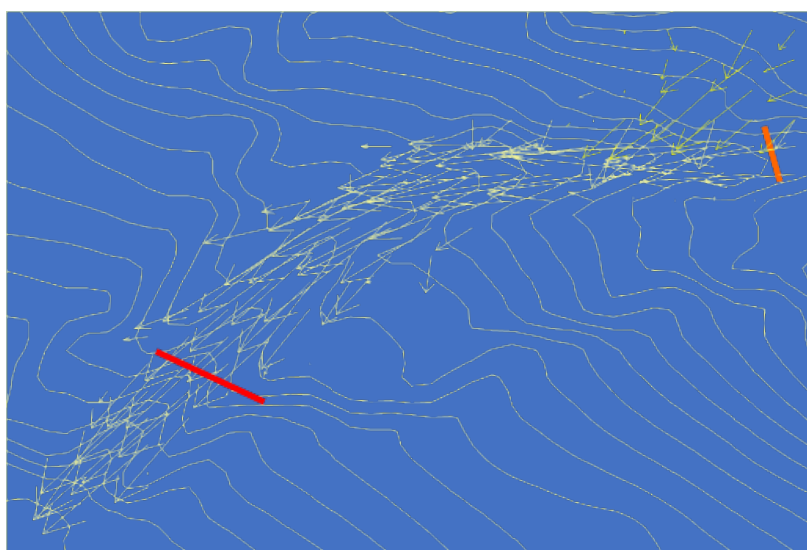


圖 2-2.土石流流場模擬，紅線為橋樑，黃色箭頭為模擬出的流場

但是如果我們的目標是快速得知這一場土石流最遠會影響到哪裡，還有整場土石流最後的堆積深度，這就屬於土石流停止後的資訊，就有可能不需要利用數值程式做時間上的數值積分。

本計畫就是要應用理論，直接推導出土石流結束的狀態與起始狀態差異，就可以直接估算最終影響範圍，這樣的計算雖然犧牲了過程中很多流動資訊，但是可以提供給即時預警，政策規劃或快速估算災損的重要資訊。

本計畫最終的成果，會與用 DEBRIS-2D 實際跑程式後的堆積範圍比較，目前除了 DEBRIS-2D 程式以外，其他程式的土石流是不會完全停止的，要用程式計算最後堆積範圍，必須另外設停止條件，因此比較最終範圍選擇用 DEBRIS-2D，同時也會選用已知的災害當資料比對。

第二節 土石流影響範圍經驗公式

本計畫最終的成果，會與用 DEBRIS-2D 實際跑程式後的堆積範圍比較。另外，以往有用經驗公式推估影響範圍，例如推估土石流影響範圍之經驗，最常用的為池谷浩公式，係日本池谷浩提出之經驗公式，可以用來計算土石流堆積區扇狀地半徑長度：

$$\text{Log}(L)=0.42\times\text{Log}(V\times\tan\theta_a)+0.935$$

其中 V 為土砂流出量(m^3)， $V=70.992A^{0.61}$ ； A 為「溢流點以上集水區」面積(km^2)； L 為淤積長度(m)； θ_a 為流動區平均坡度。

這個公式所得半徑長度為土石流出谷口後的扇狀地，所以半徑等於是土石流出谷口流動的最遠距離，因此也可以拿來與本計畫計算出的堆積長度比較。

第三章 理論公式推導

第一節 本構關係

本計畫的土石流模擬將土石流視為連續且不可壓縮之流體，並以 Julian and Lan(1991)所提出的本構關係式為基礎，來模擬具有降伏應力(yield stress)的土石流的流動特性。研究流體的流動範圍,控制方程式就是質量守恆與動量守恆,但是因為土石流非牛頓流體，因此必須採用非牛頓流體的本構關係。

本研究採用 Julian and Lan(1991)之一維本構模式推演而成的三維本構關係式： $\tau_{ij} = \tau_0 + \mu_d \varepsilon_{ij} + \mu_c \varepsilon_{ij} \varepsilon_{ij}$ 當 $|\tau_{ij}| > \tau_0$

$$\varepsilon_{ij} = 0 \text{ 當 } |\tau_{ij}| < \tau_0 \quad (3.1)$$

其中 τ_{ij} 為剪力張量， τ_0 為降伏應力， μ_d 為 dynamic viscosity， μ_c 為 turbulent-dispersive parameter， ε_{ij} 為應變率張量。此式包含了降伏應力、一次及二次形變量，故可描述石流、泥流與土石流三種運動型態。若 $\mu_c = 0$ ，則此模式代表賓漢流體；若代表 Takahashi 或 Bagnold^[4]之模式，則降伏應力可換為庫倫摩擦力。故此模式可自黏性領域一直計算到慣性領域。式(3.1)之一維簡化版本經 Julian and Lan 測試 Govier etc.(1957)，Savage and McKeown(1983) 和 Bagnold(1954)三套實驗數據，證明確實可以反應石流及泥流在不同範圍的形變下的行為。尤其由實驗數據得知 τ_0 與 μ_d 只是粒徑的函數，不是密度的函數，應用上最為方便。

現場土石流所在之河床的寬與深往往在 10 公尺左右，而其流動長度卻可達 100 公尺以上。即使土石流在流出谷口進入一緩坡平原

時，其流動之長與寬方向尺度相當，且依然遠大於流深方向尺度。因此，本文假設土石流沿其流動方向為一長波，在卡式座標之下，即流動方向(x-y 方向)尺度遠大於流深方向(z 方向)的尺度。同時，根據 Liu and Lai(2000)的證明，現場的土石流因規模很大，因此可採取強剪層（或稱邊界層）與弱剪層（或稱塞流層）分開計算之方式，即當現場流深超過一公尺時，強剪層可以忽略。當強剪層被忽略時，則 $|\tau_{ij}| > \tau_0$ 的強剪區已變得不重要，此時 J&L 模式和賓漢流體或任何其他具有降伏應力的流體在弱剪區的流況是相當類似的(Liu and Lai, 2000)。這種概念與流體力學中將剪力強的邊界層獨立計算的原理是非常類似。

而在弱剪層中，因為應變率為零(式 3.1)，因此速度為常數，也就是弱剪層中，從強剪層邊界一直到與空氣接界速度都相同，這稱為塞流(plug flow)，速度標為 u_p 。

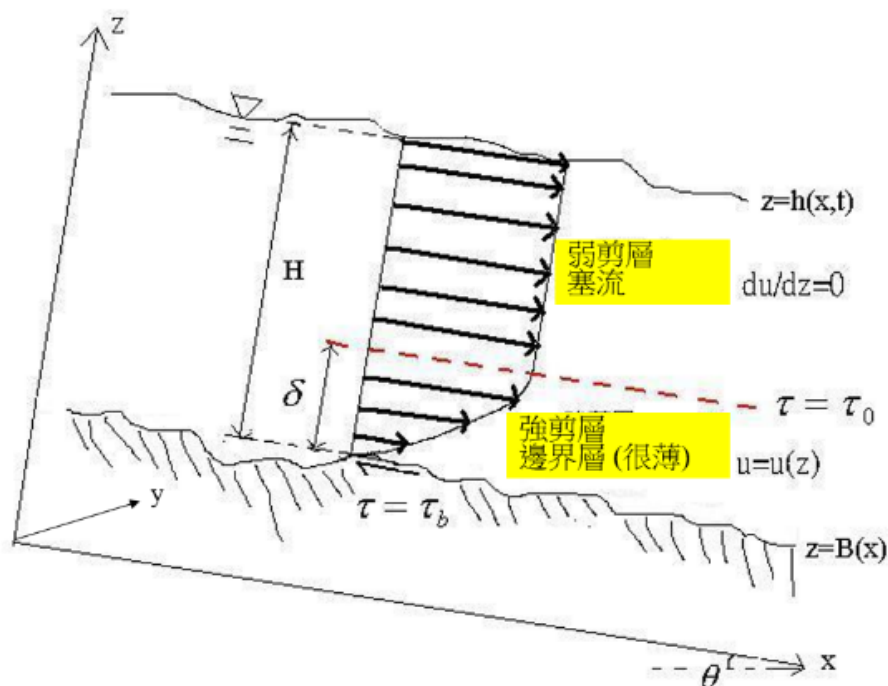


圖 3-1 土石流上方為塞流，速度不為 z 函數，強剪層很薄

第二節 控制方程式

視土石流為流體，則土石流的控制方程式為質量守恆與動量守恆

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial q_i}{\partial t} + q_j \frac{\partial q_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho f_i + \frac{\partial \tau'_{ij}}{\partial x_j} \quad (3.3)$$

q_i 為速度分量， p 為壓力， f_i 為重力項，

而因為土石流視為非牛頓流體的賓漢流體，因此動量守恆的(3.2)式，先把剪力項保留

$$\tau'_{ij} = \tau_0 + 2\mu e_{ij} = \tau_0 + \mu \left(\frac{\partial q_i}{\partial x_j} + \frac{\partial q_j}{\partial x_i} \right)$$

以下將針對質量守恆，動量守恆與能量守恆，分別進行推導，然後針對集水區範圍積分，由積分方程式分析各項物理量間關係，以求得最終狀態與起始狀態的關係

一、動量方程式

由二維長波的假設， x 、 y 方向的尺度遠大於 z 方向的尺度(流動方向尺度遠大於流深尺度)，

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

即土石流在流深方向保持為塞流(plugflow)，將(4)式與二維長波理論代入動量方程式(3.3)，可得：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g \sin \theta + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) \quad (3.6)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \cos \theta \quad (3.7)$$

其中 x 軸為沿土石流河谷平均底床且坡度為 θ 之軸， z 軸垂直於 x 軸， y 軸則仍保持水平，此時底床的變動由底床方程式 $z = B(x, y, t)$ 來描述

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \cos \theta \quad (3.8)$$

式(3.8)對 z 積分可得

$$p = \rho g \cos \theta (h - z) \quad (3.9)$$

即壓力為靜水壓變化。

將式(3.9)代入式(3.5)與式(3.6)，並將此二式與連續方程式對流深作積分，即自底床 $z = B(x, y, t)$ 積分至自由表面 $z = h(x, y, t)$ ，配合運動邊界條件(Kinematic Boundary Condition)，再以守恆形式可表為：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(uH)}{\partial x} + \frac{\partial(vH)}{\partial y} = 0 \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(uH)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2H)}{\partial x} + \frac{\partial(uvH)}{\partial y} = & -g \cos \theta H \frac{\partial B}{\partial x} - g \cos \theta H \frac{\partial H}{\partial x} + g \sin \theta H - \\ & \frac{1}{\rho} \frac{\tau_0 u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(vH)}{\partial t} + \frac{\partial(uvH)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2H)}{\partial y} = & -g \cos \theta H \frac{\partial B}{\partial y} - g \cos \theta H \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\tau_0 v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \end{aligned} \quad (3.12)$$

其中 $H = h(x, y, t) - B(x, y, t)$ 為流深。式(3.10)，式(3.11)與式(3.12)，就是 DEBRISD-2D 程式做數值模擬的基本方程式。

但是最重要的，因為有降伏應力，土石流若有區域的最大剪應力小於降伏應力，則該區土石流就會停止或整區以相同速度前進，簡單說，若土石流前鋒停了，那後端就會慢慢停下來，而停下來的一部分，都剛好會滿足強剪層邊界剪力等於降伏應力的條件，這條件等於是令式 3.11 和式 3.12 速度為零，而其他力量剛好平衡

令式 3.9 與式 3.10 中 $u=v=0$ ，再合併可得：

$$\left(\frac{\partial h}{\partial x} - \tan \theta\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 \geq \frac{\tau_0^2}{\rho^2 g^2 \cos^2 \theta H^2} \quad (3.13)$$

式(3.13)的等號，就是當土石流停止時，表面高程 h 會遵守的方程式，表面高程可以從平均坡度 θ 還有已知底床 B ，藉由高程 $H=h-B$ 然後自式(3.13)求得，唯一不知道的是到底從哪一點開始 $h=0$ 。這開始的點，就是土石流到達最遠的點，如果知道土石流到達最遠的點 X_0 ，則式(3.13)可以向上游積分獲得整個土石流最後堆積的高程分布。

二、能量方程式

將動量方程式(3.3)乘以 q_i ，因為張量同項有重複下標表示疊加，因此乘以 q_i 等同將三個方向動量分別乘以該方向速度後疊加，重複運用連續方程式可得能量方程式

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (q_j E) = \frac{\partial}{\partial x_i} p q_i + \rho f_i q_i + \frac{\partial \tau'_{ij} q_i}{\partial x_j} - \tau_{ij} e_{ij} \quad (3.14)$$

$$\text{其中 } E = \frac{\rho q_i q_i}{2} = \text{kinetic energy} = \text{動能} \quad (3.15)$$

$$\text{而最後剪力項的處理方式為 } q_i \frac{\partial \tau'_{ij}}{\partial x_j} = \frac{\partial q_i \tau'_{ij}}{\partial x_j} - \tau'_{ij} \frac{\partial q_i}{\partial x_j}$$

$$\tau'_{ij} \frac{\partial q_i}{\partial x_j} = \tau'_{ij} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial q_i}{\partial x_j} + \frac{\partial q_j}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial q_i}{\partial x_j} - \frac{\partial q_j}{\partial x_i} \right) \right] = \tau'_{ij} [e_{ij} + \Omega_{ij}]$$

因為剪力為對稱， e_{ij} 為對稱， Ω_{ij} 為反對稱

$$\tau_{ij}\Omega_{ij} = \tau_{ji}\Omega_{ji} = \tau_{ij}(-\Omega_{ij})，所以\tau_{ij}\Omega_{ij} = 0$$

$$\tau'_{ij} \frac{\partial q_i}{\partial x_j} \equiv (\tau_0 + 2\mu e_{ij})e_{ij}, \quad \text{而 } 2\mu e_{ij}e_{ij} > 0$$

設定一個控制體積(Control Volume) V ，對整個體積積分，能量方程式為

$$\iiint_V \frac{\partial E}{\partial t} dV + \iiint_V \frac{\partial}{\partial x_j} (q_j E) dV = \iiint_V \left(\frac{\partial}{\partial x_i} p q_i + \rho f_i q_i + \frac{\partial \tau'_{ij} q_i}{\partial x_j} - \tau_{ij} e_{ij} \right) dV \quad (3.16)$$

將體積分利用高斯定理換為面積分，可得能量方程式：

$$\iiint_V \frac{\partial E}{\partial t} dV + \iint_S \vec{u} \cdot E d\vec{s} = \iint_S \vec{u} \cdot p d\vec{s} + \iiint_V \rho \vec{g} \cdot \vec{u} dV + \iiint_V \tau_{ij} (e_{ij}) dV + \iint_S \vec{u} \cdot \tau'_{ij} d\vec{s} \quad (3.17)$$

S 代表包含控制體積 V 的所有面。

三、控制體積與最終範圍

在此將整個控制體積水平上包含整個集水區的可能流動空間，上方為空氣界面，下方為強剪層與弱剪層的界面。如果控制體積中沒有土石流，當然積分為零，如果控制體積 V 包含所有可流動區域，那麼式 3.17 中的流速 $\vec{u}$ 在固體邊界上均零(不滑動條件)。因此式(3.17)所有面積分，如果是在邊界的固體面積分，那因為速度為零，積分也為零，所以除了右側最右邊的剪力項，其他面積分都為零。剪力

項積分不為零，是因為深度上強剪層弱剪層的界，不是固體邊界，因此才不為零。

將積分為零的面積分去掉，式 3.17 變成

$$\underbrace{\iiint_V \frac{\partial E}{\partial t} dV}_{\text{動能改變}} = \underbrace{\iiint_V \rho \vec{g} \cdot \vec{u} dV}_{\text{重力所做功}} + \underbrace{\iiint_V \tau_{ij} e_{ij} dV}_{\text{剪力消能}} + \iint_S \vec{u} \cdot \tau'_{ij} d\vec{s} \quad (3.18)$$

式(3.18)表示在土石流事件整個過程的能量關係式，因為是時間變數，當然也適用於最後土石流停止前的那一剎那，土石流完全停下來之後，能量不再變化 $\frac{\partial E}{\partial t} = 0$ ，式(3.18)整個系統變成為整體重力做功等於整體剪力消能加上邊界剪力做功，最後的消能項，只要是固體邊界，因為流速為零，積分就為零，邊界為與空氣界面，因為剪力為零(大氣不受力)，面積分也為零，這兩種邊界，積分都為零，只剩下弱剪層與強剪層之邊界， $\tau_{ij} = \tau_0$ ，積分不為零，沿著強剪層與弱剪層的界面，因為剪力為常數，而速度為弱剪層的速度，因此積分可以寫為：

$$\iint_S \vec{u} \cdot \tau'_{ij} d\vec{s} = \tau_0 \iint u_p ds = \tau_0 U_p \cdot A \quad (A \text{ 為流體所佔面積, 為時間函數}) \quad (3.19)$$

其中 U_p 為整個面的平均流速

補充說明，如果控制體積包含了接觸地面的強剪層，哪我們比較強剪層的消能與降伏應力消能如下：

$$\text{比較} \frac{\tau_0 \mu_p A}{\mu \iiint_V e_{ij}^2 dV} = 0 \left(\tau_0 U \cdot \frac{A}{\mu \left(\frac{U}{h} \right)^2 \cdot A \cdot h} \right) = 0 \left(\frac{\tau_0 h}{\mu U} \right) = 0 \left(100 \times \frac{10}{1 \times 10} \right) \gg 0(1)$$

代入降伏應力與黏滯性的值， τ_0 降伏應力項比黏滯力項大很多，因此黏滯力的效果是可以忽略的

如果我們畫的控制體積為常數(包含且大於所有土石流流動範圍)
那時間微分與空間積分可以互換順序，可得

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \frac{\partial E}{\partial t} dV = \iiint_V \rho \vec{g} \cdot \vec{u} dV + \tau_0 \iint u_p ds \quad (3.20)$$

這個時間微分方程可以再針對時間積分

$$\int \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \frac{\partial E}{\partial t} dV = \iiint_V \rho \vec{g} \cdot \vec{u} dV + \tau_0 \iint u_p ds \right\} dt \quad (3.21)$$

$$\iiint_V \frac{\partial E}{\partial t} dV \Big|_0^t = \int \left(\iiint_V \rho \vec{g} \cdot \vec{u} dV + \tau_0 \iint u_p ds \right) dt \quad (3.22)$$

式 3.22 取時間 t 很大，起始條件為沒有運動，因此能量 E 為 0，到了時間很大運動結束了，動能 E 又為 0。所以等號左邊整個為零，其中重力積分項，因為控制體積非時間函數，時間空間運算可交換，先看時間積分項

$$\int \left\{ \iiint_V \rho \vec{g} \cdot \vec{u} dV \right\} dt = \iiint_V \rho \left\{ \int \vec{g} \cdot \vec{u} dt \right\} dV \quad (V \text{ 為常數}) \quad (3.23)$$

$$\int \vec{g} \cdot \vec{u} dt = \int g \cdot u_{\text{vertical}} dt = g \int u_{\text{vertical}} dt = g \cdot L \Big|_{\text{總垂直距離}}$$

因此

$\iiint_V \rho \int \vec{g} \cdot \vec{u} dt dV = \iiint_V \rho g L dV$ 表示在開始之每一個點所走的垂直距離，但是因為是體積分，因此這是整個體積的質心所走的距離，若土石流顆粒垂直上走很遠，遠大於一開始之堆積高，則此式為 $\rho g H V$ 。若中途沒有大量的底床沖刷產生的質量，則起始堆積體積 V 就代表了整個流程中會動的體積。而 H 為起始體積的質心到最後堆積體積的質心距離。而若起始體積的垂直分布高度遠小於整個離動事件的垂直深度，則 H 就是起始崩坍區的最下點到最後堆積區的質心，

而因為最後堆積時，堆積分布很廣，因此質心必須算一下，若假設深度相同，則會是整個流動最遠距離的一半高度。

方程式最後化簡為

$$\rho g H V = \tau_0 \int_0^t \iint u_p ds dt \quad (3.24)$$

也就是重力做的功等於降伏應力消耗的功。

式 3.23 右邊項為(將空間時間順序對調，s 為積分的面)

$$\int_0^t \iint u_p ds dt = \int u_{ave} A dt = \int \alpha u_{max} A dt \leq \int \alpha u_{max} dt A_{max} \quad (3.25)$$

u_{ave} 為有流動面的面平均流速一定小於 u_{max} ， A_{max} 為最後最大推基面積，而最大流速對土石流而言，都在前鋒，因此前鋒速度隨時間的積分就是前鋒走得距離， $\int u_{max} dt$ 就是前鋒走的最遠距離，若令 $\int u_{max} dt = L$ ， L 表為最遠距，則 $\iint (\int u_p dt) ds \leq \alpha L \cdot A_{max}$

依據上述討論，式(3.22)能量方程式簡化為：

$$\rho g H V \leq \alpha \tau_0 A_{max} L \quad (3.26)$$

式(3.26)中

V :起始崩坍區體積

H :起始堆積到最後土石流堆積質心的高程差

L :從最上游堆積到最後土石流堆積前鋒的沿河道距離，

A :最後土石流堆積的水平投影面積，

H ， L ， A 三者都為地形的函數，

α :面平均速度對最大速度的比值

最遠堆積 L, 會隨著 α 變大, 但是最小的 L 是 $\alpha=1$

且在此式中, H, A, L 都是未知數, 但是一旦最後土石流堆積範圍最遠的點知道, 依照 DEM, A, L, H 就都可以計算; 式 3.26 中有一個物質參數降伏應力, 不同的降伏應力, 會影響計算的結果, 因此降伏應力往往必須到現場測量, 只是通常測量的時間都沒有土石流, 採的樣本含水量部分會錯, 因此測試出來的降伏應力, 通常都低於真正土石流的降伏應力。

第三節 最終範圍解法

土石流的影響範圍, 就是土石流停止的時候, 最前端的位置, 因此要求得一場土石流的影響範圍, 就把控制方程式中的速度都代零, 就可以解出最後停止時的土石流形狀與範圍。

一、土石流影響範圍控制公式

從式(3.13), 最終土石流停止的時候, 速度都為零, 所以液面高程會剛好滿足等號, 因此可得

$$\left(\frac{\partial h}{\partial x} - \tan \theta\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 = \frac{\tau_0^2}{\rho^2 g^2 \cos^2 \theta (h-B)^2} \quad (3.27)$$

就是當土石流停止時, 表面高程 h 會遵守的方程式, 式 3.27 中已知的是集水區平均坡度 θ 還有從 DEM 得到已知底床 B, 降伏應力 τ_0 是一個未知的常數參數(但可以用現場測量估算), 因此式 3.27 為液面高程 h 的方程式, 將式 3.27 積分, 需要一個起始條件, 也就是土石流最後堆積的前鋒位置, $h=0$ 的 (x, y) , $h(x_0, y_0)=0(x_0, y_0)$ 為起始位置, 有了這個起始條件, 式 3.27 積分就可以得到最終堆積, 範例見下頁圖 3-2:

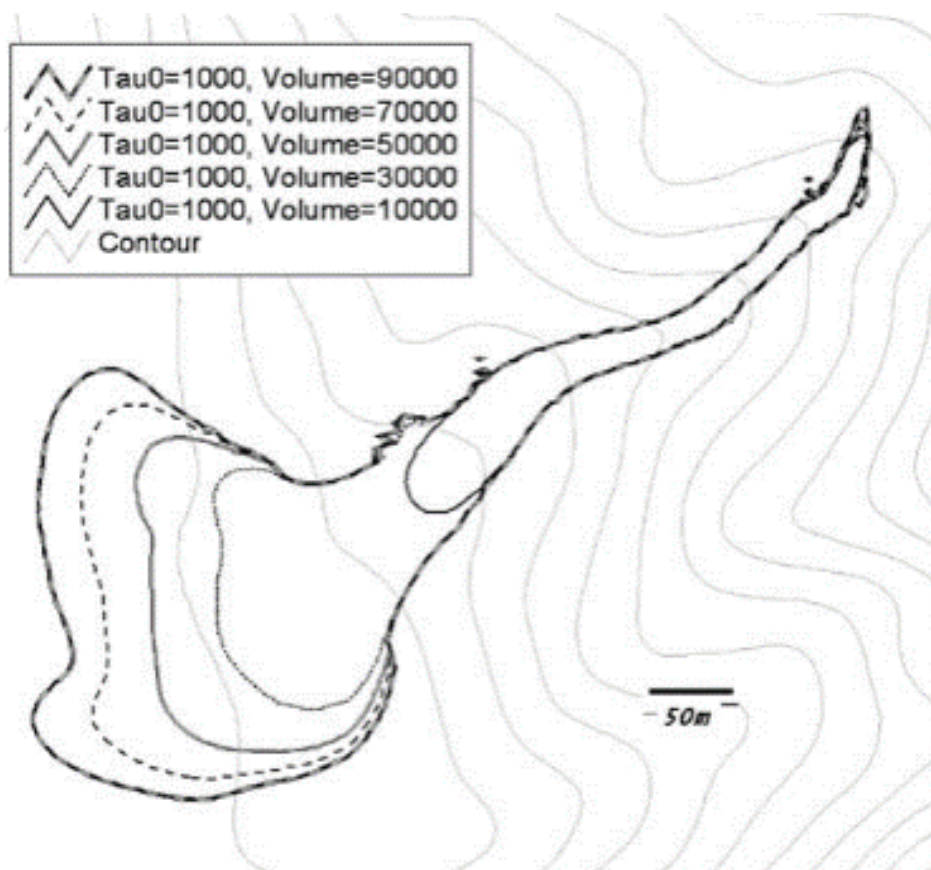


圖 3-2 不同最遠點與降伏應力下的影響範圍

整個河道中的高程分布， $h(x,y)$ 將高程積分就可以得到集水區中的總堆積量

$$V = \int h dx dy \quad (3.28)$$

這個堆積量，其實會是起始條件的函數，也就是 $V=f(x_0, y_0)$ ，式(3.28)所得到的體積，就應該等於起始堆積量加上所有的沖刷量，因此式(3.26)與式(3.28)等於是兩個方程式，要用來解降伏應力與起始位置兩個未知設。

二、影響範圍解法

因為式(3.26)與式(3.28)是非線性，因此要解未知數，必須用疊代的方式，此處採先猜最遠距離，有了最遠距離 L ，式(3.28)就可以計算整個堆積範圍與堆積量，如果這個堆積量與上游崩坍量不同，

就將 L 移遠(堆積小於崩坍)或移近(2 堆積大於崩坍)，最後就可以逼近崩坍量。

若給定 τ_0 ，表示有現場測量量，或其他方式直接間接獲得，那計算就非常簡單，但是針對一個集水區，任何一個最遠影響範圍的值，都可以算出，計算流程如下：

土石流堆積體積計算

式(3.27)控制最後堆積高程 h ，土石流深度為 $H=h-B$ ，如果集水區河道近似直線，(大部分集水區主流方向都沿一個主要方向)，也就是河道流下的路徑以直線替代，則流向垂直方向流變化，可忽略，也就是 $\frac{\partial h}{\partial y} \cong 0$

由式(3.27)可得

$$\left(\frac{\partial h}{\partial x} - \tan\theta\right)^2 = \frac{\tau_0^2}{\rho^2 g^2 \cos^2 \theta H^2} \quad (3.29)$$

式 3.29 要開更號就必須討論是否 $\left(\frac{\partial h}{\partial x} - \tan\theta\right) > 0$ ，在土石流整個停止流動後，最前鋒流深一定最小，也就是最下游 $h=0$ ，因此合理的情況是流深向上游遞增，所以 $\frac{\partial h}{\partial x} < 0$ 。上式開更號後，應為：

$$\tan\theta - \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\rho g \cos\theta H} \quad (3.30)$$

用 $H=h-B$ 代入，得

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \left(\tan\theta - \frac{\partial B}{\partial x}\right) - \frac{\tau_0}{\rho g \cos\theta H} \quad (3.31)$$

式(3.31)右側式包含了兩項，第一項是地形變化，第二項是因為降伏應力，土石流最後的厚度，以下分開說明：

(一)

第一項：若底床是直線，則 $\frac{\partial B}{\partial x} = \tan\theta$ ，式 3.31 可得

$$\frac{\partial H^2}{\partial x} = -\frac{2\tau_0}{\rho h \cos\theta} \quad (3.32)$$

用 $x=L$ (最遠影響範圍)， $H=0$ (流深為零)的起始條件代入，得

$$H = \sqrt{\frac{2\tau_0}{\rho g \cos\theta}} (L - x) \quad (3.33)$$

這代表土石流最後流深的厚度。越上游， x 越小，流深就越厚

而 $\tan\theta - \frac{\partial B}{\partial x}$ 代表自下遊到上游底床與平均坡向之差異。

(二)

第二項：在土石流流動過程中，土石流一定會先填平凹下的地區，才會繼續向下遊流動，因此最後土石流停下時，土石流的流深是建立在填平的床面上，所以這個地形變化，保守估計堆積土厚為原底床填平到平均坡度線以下的土方量，若原本地形就高於平均坡度線，就不會有堆積，因此基本的堆積量計算方式為：

- 1.取得溪谷之平均坡度 θ (崩塌點到下游平面)
- 2.將 DEM 依照 θ 旋轉，使平均坡度面之高程為零。
- 3.將沿溪谷高程為負值的部分 (堆積區)，總體積加起來就是該溪流天然的可堆積量，到溪谷出口的最大堆積量為 V 堆
- 4.若崩塌量不足上一步驟算出的天然堆積土石量，表示崩坍量根本就不會流出谷口(就算流出谷口，也會是泥巴水)，到底崩坍主要會堆到哪裡，則可由堆積量內差得到影響範圍。

5.崩塌量大於天然堆積量則用(32)式依據 DEM 之等高面積 A 計算堆積量，所得最後之影響範圍為

$$\rho g H (V - V_{堆}) = \tau_0 A L \quad (3.34)$$

有了以上兩項的基本計算方式,整個計算流程為

- 1.選擇下游影響最遠點 L
- 2.計算地形堆積量 $V_{堆}$
- 3.計算降伏應力厚度堆積量 (3.33)積分整個集水區就是 AL 項
- 4.若是 τ_0 為未知,就由(3.34)式 $\rho g H V \cong \tau_0 A L$ 求得 τ_0 ,
然後重複 1-3 步驟直到 τ_0 收斂，就是最後解答。
- 5.若是 τ_0 為已知,(3.34)式又不滿足,就將 L 按照要求減少或增加,
直到(3.34)式滿足。

第四章 公式驗證

本章將用台東大鳥村與南投神木村兩個案例來驗證快速推導公式，以下分別敘述。

第一節 台東大鳥村

編號東縣 DF097 土石流潛勢，面積 87 公頃，平均坡度 23.5 度，在 2009 年莫拉克颱風前並無歷史災害之資料紀錄。但是 2009 年莫拉克颱風時，發生大規模土石流，因為在 2009 年之前，我們有 2009 以前的現地調查資料與 DEM，因此可以用發生土石流前的資料來計算，並以計算結果與模擬結果還有真實災害比較

料源的量，採取農村發展及水土保持署莫拉克颱風後調查的量為 300000m^3 來估算，所有料源分布於上游崩坍區的整個面。

土石流影響範圍 Debris_2D，採內插成 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的格網，Timestep 取 10^{-4} ，模擬結果如圖 4-1，其影響範圍漸增，30 分鐘後停止

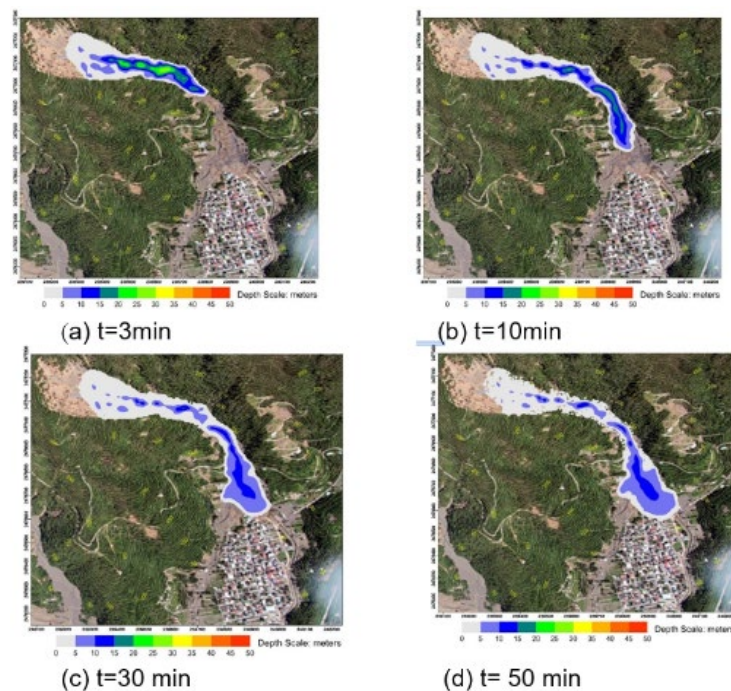


圖 4-1 大鳥溪數值模擬影響範圍隨時間變化，30 分鐘以後變化極小

數值模擬的結果顯示，土石流由堆置位置流動後至停止總共歷時約 26 分鐘，停止覆蓋大鳥村聚落上方部分房舍，前端堆積深度約 1m~1.5m，土石流流動的過程最大速度分佈與最大流深分佈如下圖所示：

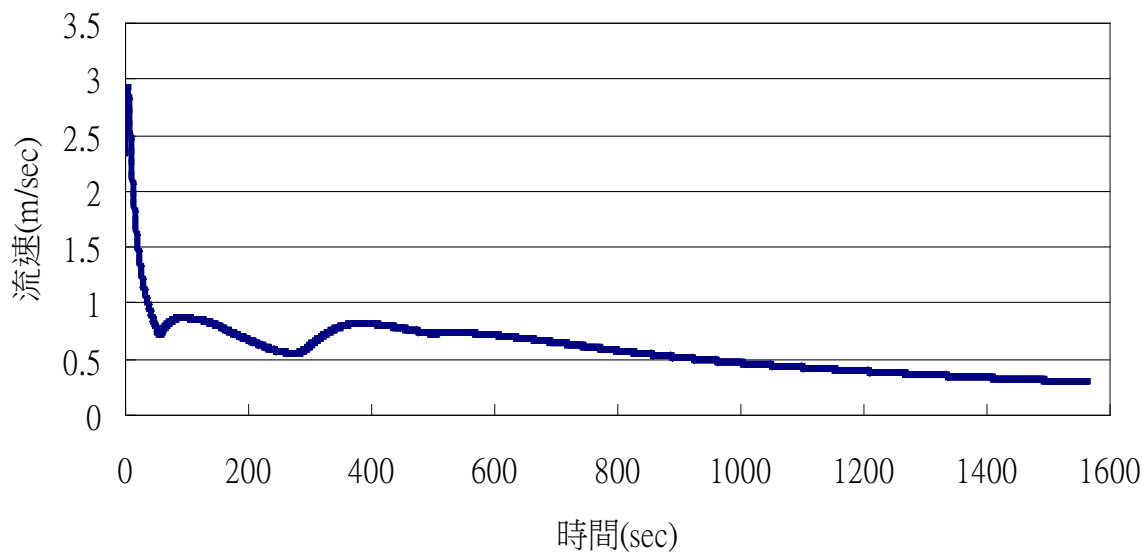


圖 4-2 數值模擬所得(a)土石流歷程最大流速分佈

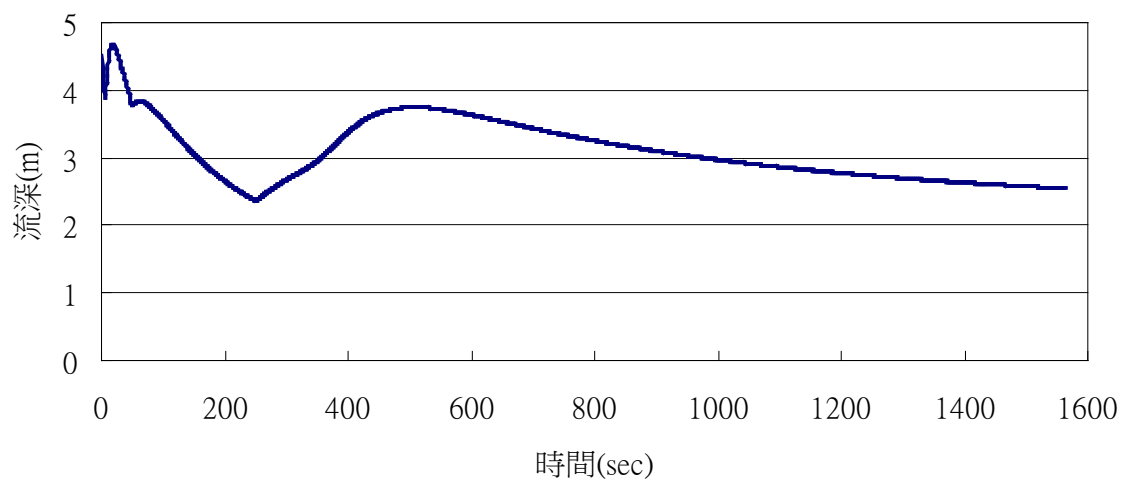


圖 4-2 數值模擬所得(b)土石流歷程最大流深分佈

最後影響範圍前鋒距離差距為 91 公尺(圖 4-4)，若以整個流長 1,416 公尺來算，誤差只有 6.4% 只有數值模擬可以得到過程中任何數據，但是數值模擬的過程費時 5 小時，快速計算的過程費時 30 秒，

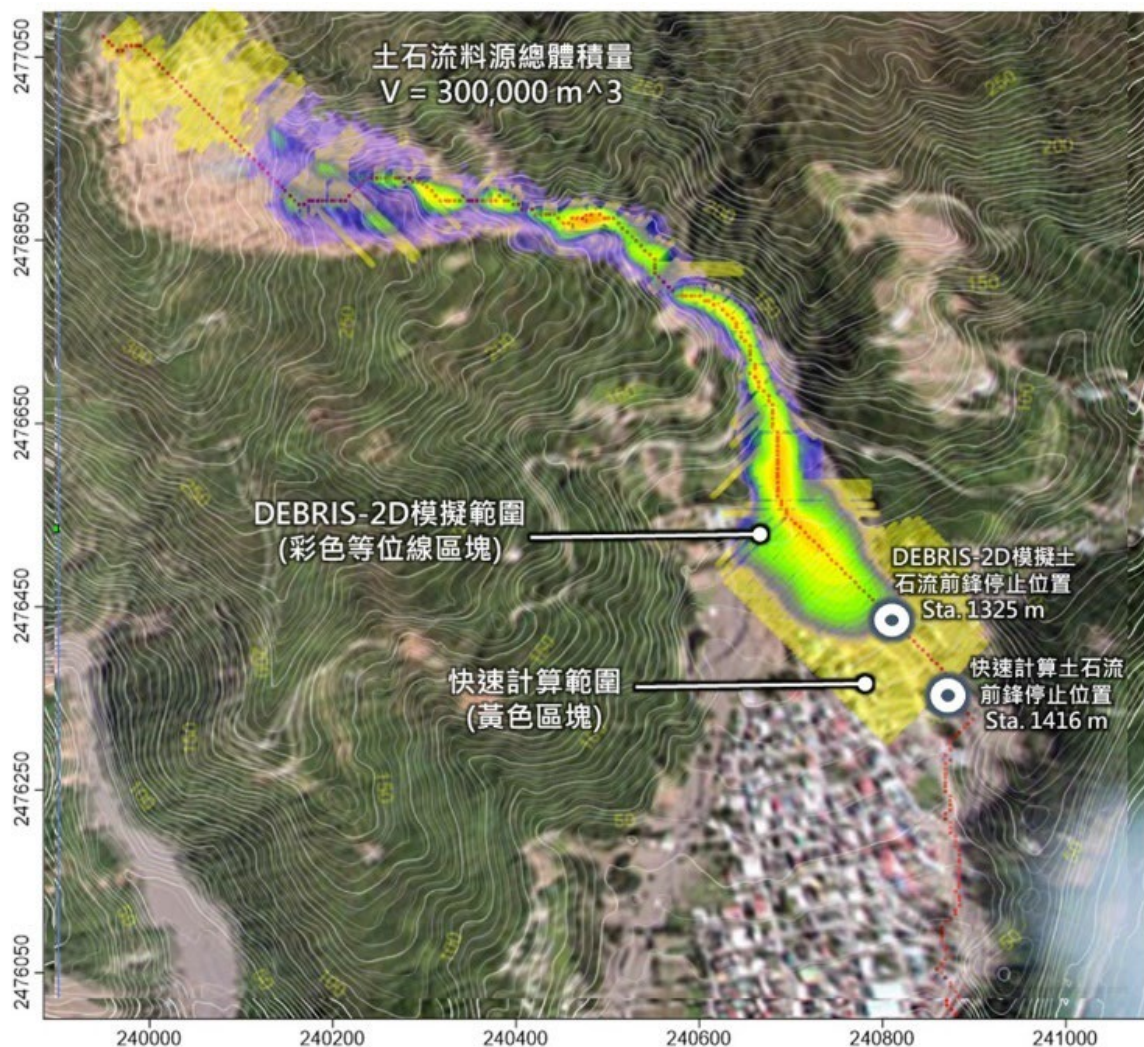


圖 4-3 300000m³ 模擬範圍與快速算法範圍比較，快速算法超前 91m.

不同起始堆積 300000m³、400000m³、500000m³ 模擬出的最後範圍列在圖 4-4，同時按照快速方法算出的影響範圍也放在圖 4-4 做比較。

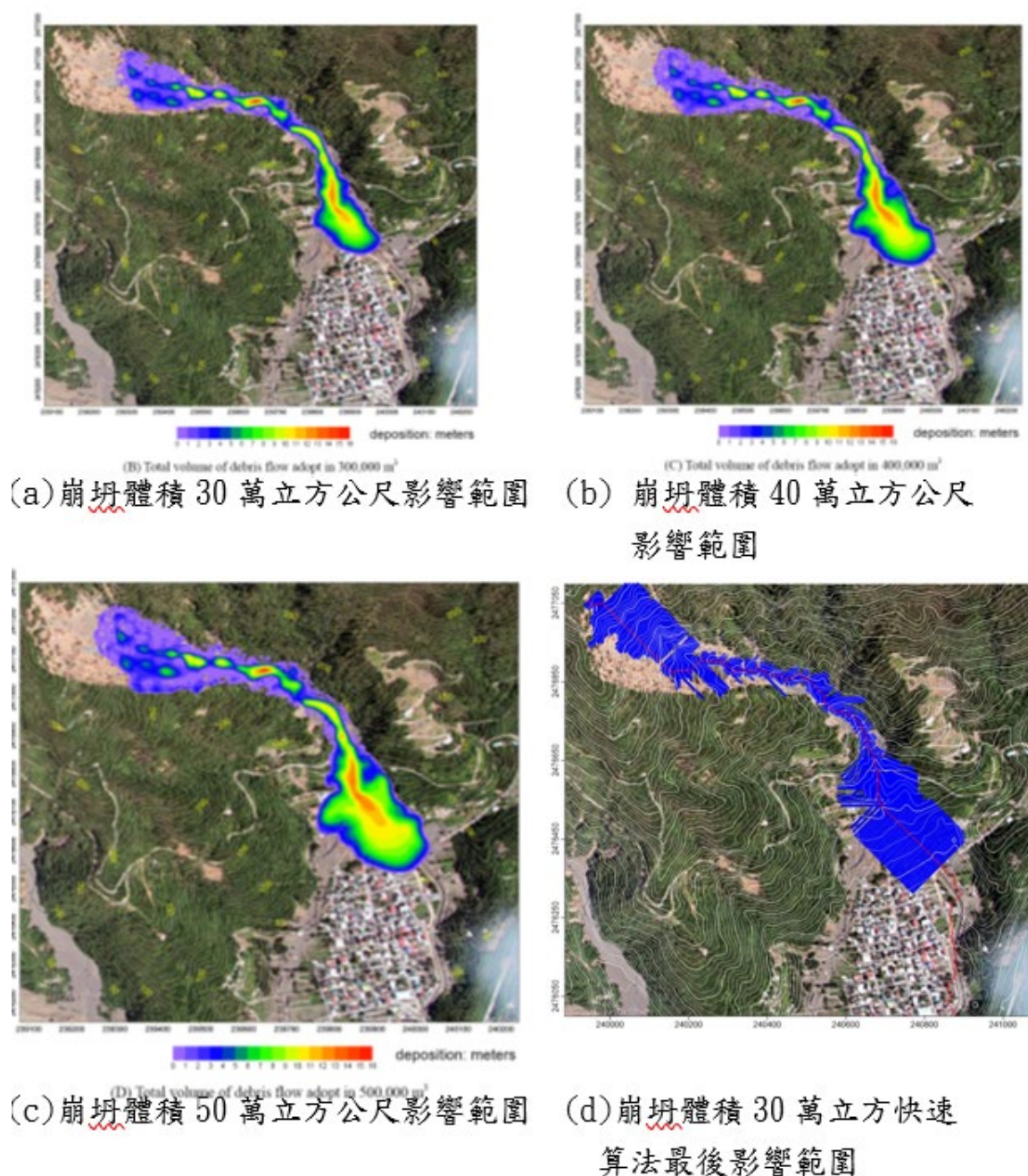
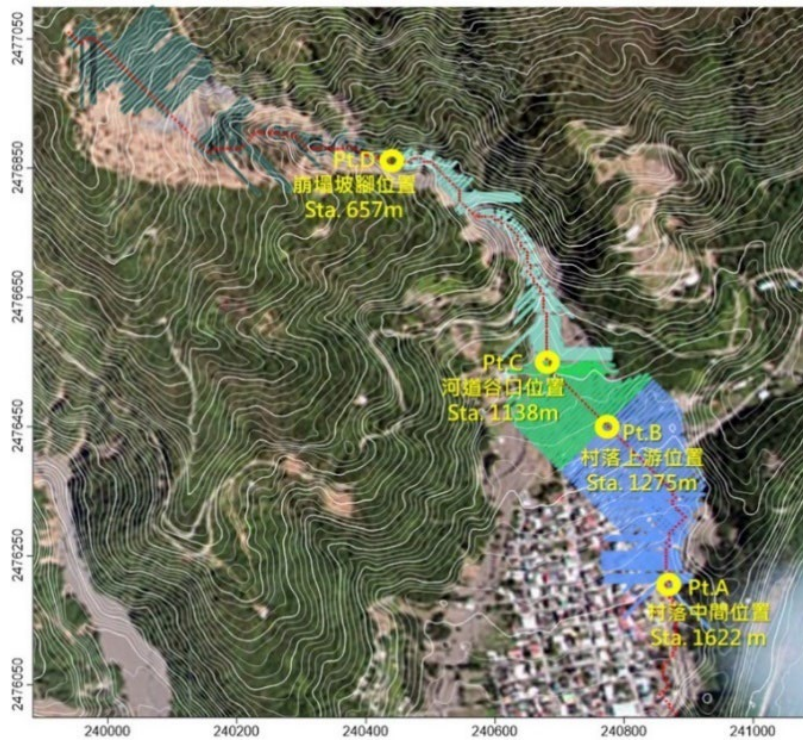


圖 4-4 大鳥村模擬範圍與本計畫快速算法算出的土石流最後分布範圍(a)(b)(c)為崩坍量為 30，40 與 50 萬立方公尺的數值模擬最後影響範圍(d)崩坍量 30 萬立方快速算法得到最後影響範圍

接下來我們以假設不同距離為最後停止點的條件，反推其上游因為地形的堆積量還有因為降伏應力產生流深造成的堆積量，但是幾個重要地形點標示為 A、B、C、D 四點(見下頁圖 4-5)，A 點:假設

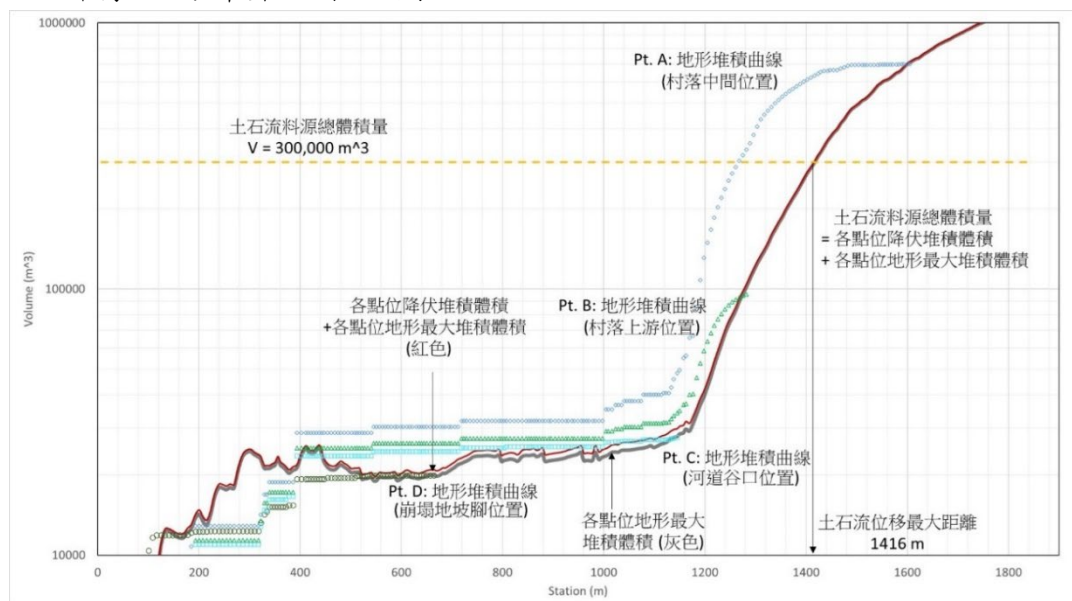
最後停止點為村落中央，B:假設最後停止點為剛好要影響到村落，C：
假設最後停止點剛好在出谷口，D 點：假設最後停止點為崩坍坡腳

圖



4-5 重要地形點標示

所有點的計算結果如圖 4-6



4.6 橫軸為最後土石流停止點位置

縱軸為堆積量，曲線為橫軸上停止時的總堆積量，深紅曲線為因為地形產生的堆積量，淺色三條線分別代表加上降伏應力的堆積量。

圖 4-6 代表任何一個崩坍體積會達到的最遠點，只要知道崩坍量(因為時間不同會變)，就可以從曲線上對應出最遠的影響點，因為這最遠影響點只受地形與降伏應力影響，使用上非常方便。

同時曲線中可以看出堆積量一旦出了谷口就快速增加，因為地形變平緩了，在溪谷中堆積量是緩緩增加，隨地形而變，因此出了谷口，通常崩坍或土石流就很快停下來。

本區若是以池谷浩公式計算，體積 V 採取調查數據 $300,000\text{m}^3$ ，同時以集水區面積 88 公頃，用經驗公式給的體積換算為 $V=65,666\text{m}^3$ ，平均坡度為 13.07 度，由池谷浩公式：

$$\text{Log}(L)=0.42\times\text{Log}(V\times\tan\theta_a)+0.935$$

用真實體積 $300,000\text{m}^3$ ，得到 $L=929\text{m}$ ，谷口為 sta. 1138，停止地點為 2067m 的位置，與真實結果差 651 公尺，誤差為 45%，若是用原來經驗公式的體積 $65,666\text{m}^3$ ，得到 $L=490\text{m}$ ，則影響範圍到達 1628m 位置，誤差為 15%。

第二節 愛玉子溪

一、崩坍量推估

「愛玉子溪」屬於高頻率發生土石流之區域，從 2004 年以來至少發生過 15 次土石流(魏等人，2018)，河床高層變化的速度非常快，每次事件前後皆會造成河床高層的改變，因此無法單純透過上游崩坍點位之崩坍體積量去估計現場土石料源，必須將河床堆積的鬆散

料源也考量在內。為了詳細估計出現場的土石料源之位置與分佈，本計畫以不同年期之 DSM 進行地表高層變化之分析。

本計畫採用 2008、2014、2017 三個年份的 DSM(彰化師範大學地理系助理教授陳毅青提供)，此三年份之正射影像與裸露地之判釋，發現 2014 年至 2017 年間的裸露地範圍並無繼續擴大，左支流 1(上游左支流)有趨於穩定的現象，主要侵蝕的範圍落於左支流 2(中游左支流)與主河道兩岸之邊坡，其崩積料源則主要分佈於監測點位上游的主河道。由過去土石流觀測資料，在 2014 年至 2017 年間僅有一場土砂洪流發生於 2017 年 0601 豪雨，且此場土石流僅破壞了監測點之下層鋼索(2.5 公尺高)，因此估計此場事件屬於最大流深不超過 3 公尺的小型土石流。由於 2017 年後至今，愛玉子溪也尚未發生其它土石流事件，因此本計畫將積於主河道的料源視為未來可能轉變為土石流的鬆散土方料源 V_{debris} ，其體積量約為 $951,125\text{m}^3$ 。

在平衡濃度的假設下，現場土石流體積量則可進一步估算為 $1,577,323\text{m}^3$ ，而其分佈則如圖 4.7。由於愛玉子溪集水區之面積約為 405.02 公頃，因此土石流體積量($1,577,323\text{m}^3$)，其所需之累積降雨量則約為 389.4mm。在愛玉子溪流域是絕對可以在一場事件中達到得。因此圖 4.7 之土石流體積量與分佈就是做土石流模擬之初始條件。

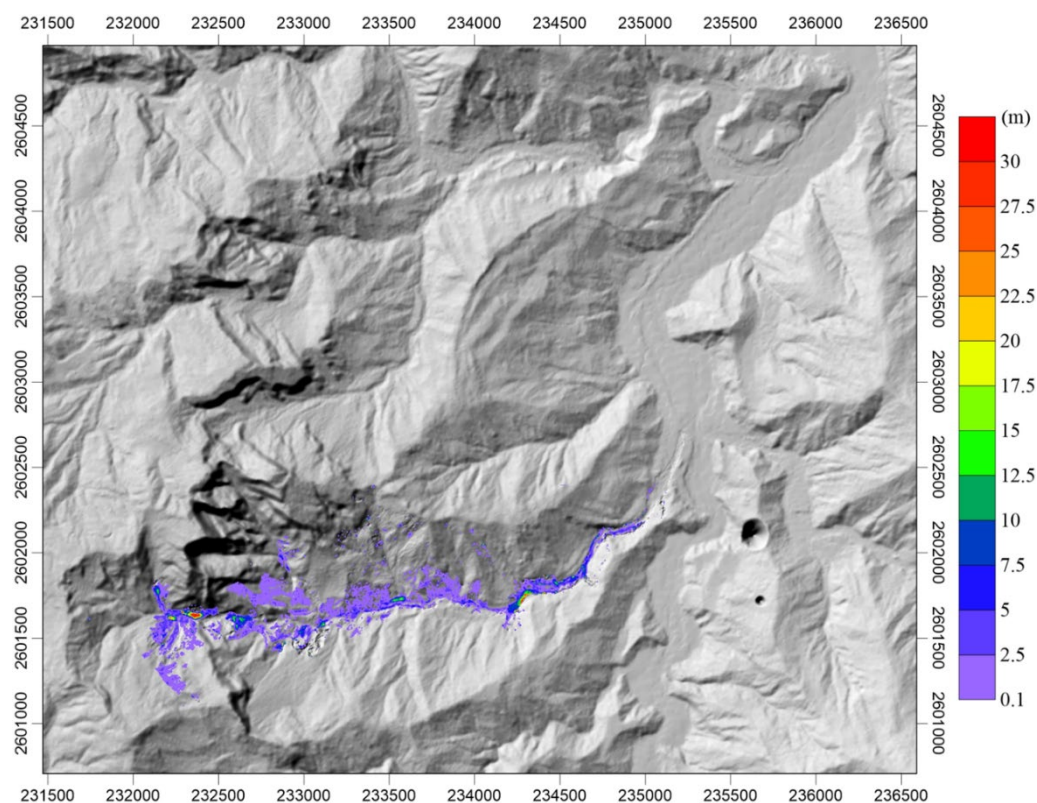


圖 4-7 土石流初始料源之流深分佈

表 4-1 愛玉子溪現場試驗樣本之流體參數與估計之降伏應力

樣本 點位	試驗 體積量 (cm^3)	流體 密度 (g/cm^3)	重量 濃度 (%)	乾土 比重	體積 濃度 (%)	d50 (cm)	降伏 應力 (Pa)
1	5176.76	1.57	0.88	2.669	0.73	2.12	1991.79
2	3632.61	1.60	0.87	2.661	0.71	2.30	942.25
3	2779.50	1.59	0.83	2.655	0.66	1.77	609.73
4	2009.42	2.02	0.78	2.658	0.57	0.17	124.02

四個樣本的中值粒徑約介於 0.17~2.30cm，在體積濃度接近土石流平衡濃度的情況下，其降伏應力約介於 124~1991Pa 之間，因此本

計畫將應用此四個樣本量測的降伏應力值去估計現場土石流的降伏應力，並做為土石流數質模擬的輸入參數。

二、土石流模擬結果

在愛玉子溪的土石流模擬中，其土石流模擬之輸入參數統整如下表 4.2，而其土石流模擬結果則繪圖如圖 4-8~圖 4-11

表 4-2 土石流模擬之輸入參數

參數	模擬參數	備註
地形精度	5[m]	
土石流之平衡濃度	0.603	Takahashi(1981); Liu & Huang (2006)
土石流體積量	1,577,323[m ³]	其分佈圖如圖 4-7
土石流降伏應力	1991.79[Pa]	現場 4 個樣本之試驗結果
	942.25[Pa]	
	609.73[Pa]	
	124.02[Pa]	

由模擬結果可發現(圖 4-6~圖 4-9)，不同降伏應力對最後土石流影響範圍的變化非常不敏感，且在這四種不同降伏應力的土石流模擬中，其土石流前鋒都沒有流出集水區之外，絕大部分之土石流體積量都堆積於愛玉子溪主流之河道上，其平均深度介於 5~10 米之間。

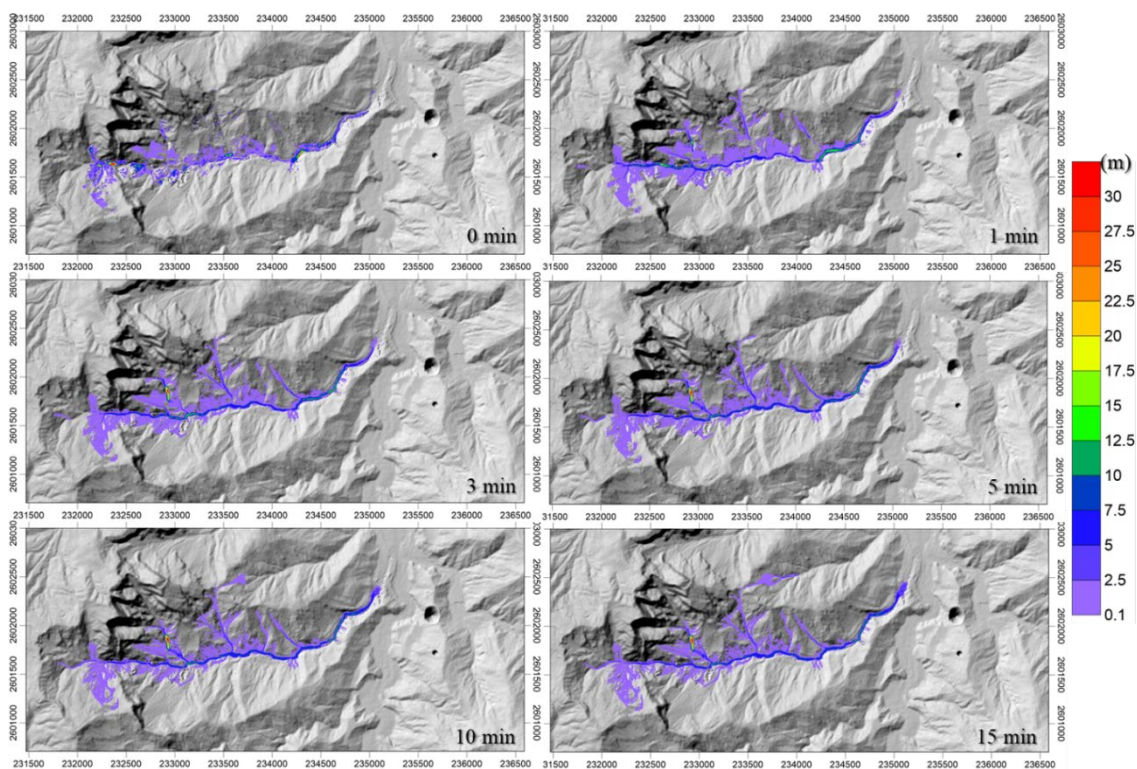


圖 4-8 降伏應力為 1992Pa 時之土石流數值模擬結果。

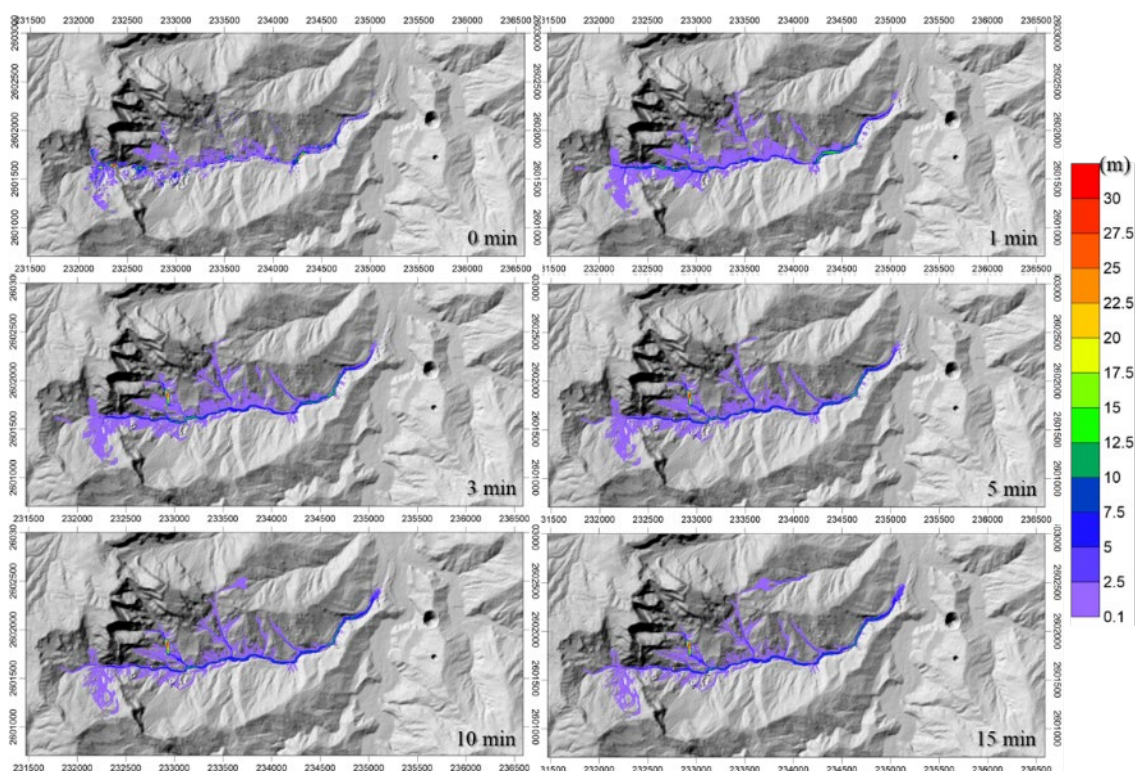


圖 4-9 降伏應力為 942Pa 時之土石流數值模擬結果

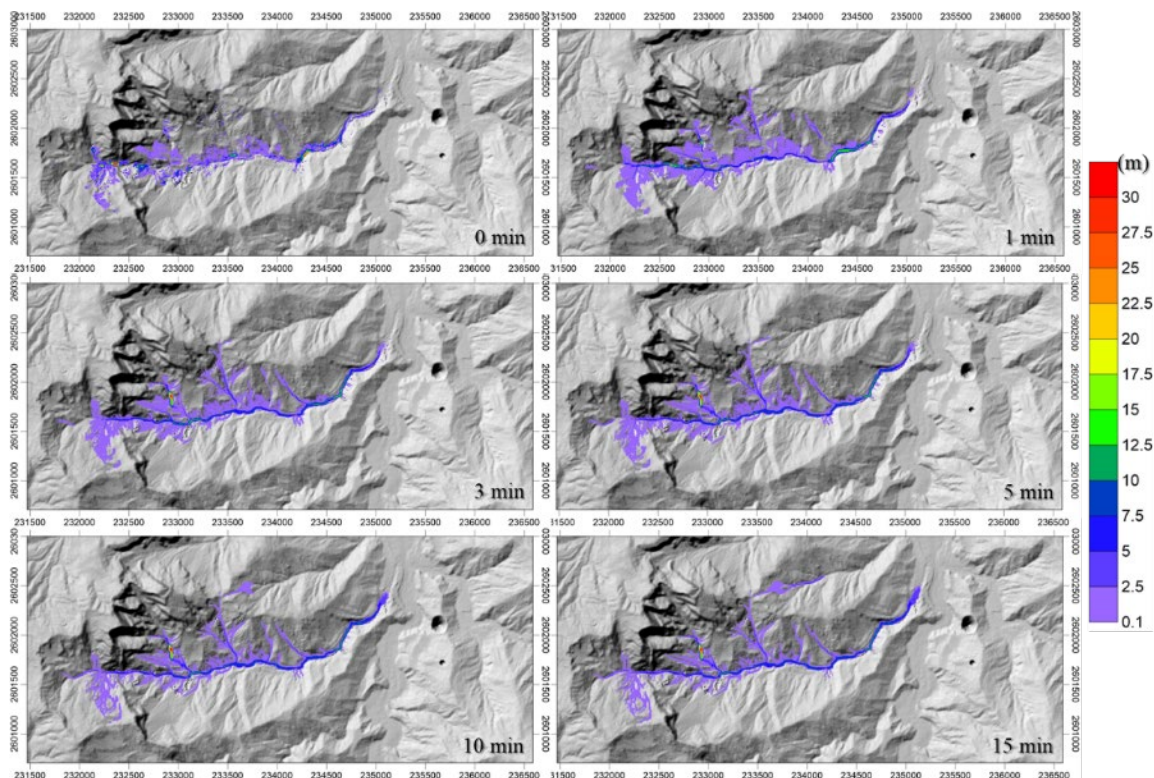


圖 4-10 降伏應力為 610Pa 時之土石流數值模擬結果

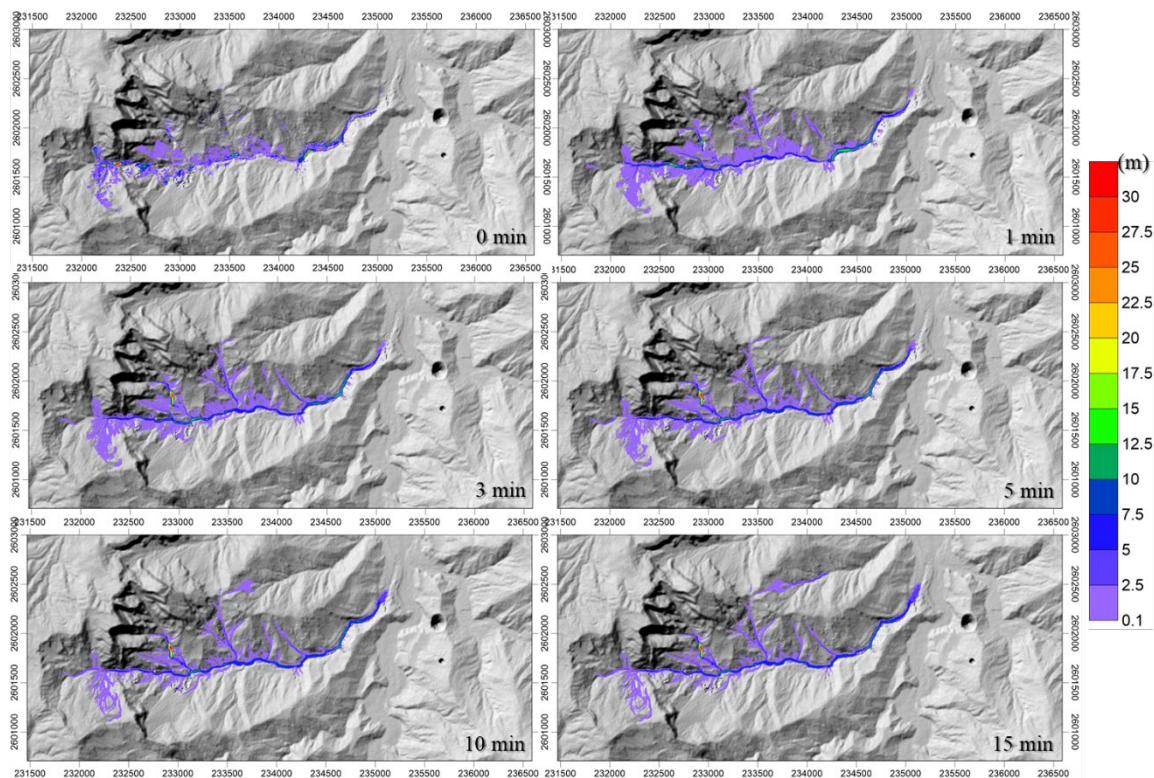


圖 4-11 降伏應力為 124Pa 時之土石流數值模擬結果

三、快速計算結果

神木村要計算四個不同的降伏應力效果，因此保持平均坡度為上游到神木橋，因此地形堆積量只有一條線，但是要計算不同降伏應力效果，因此在相同的堆積線上，會有不同降伏應力的堆積。

神木村只有地形造成的堆積量為圖 4-12 中最下方的深藍線，向上方依次為降伏應力 124Pa、610Pa、942Pa、1991Pa 的堆積量，降伏應力造成的堆積量約為地形造成的堆積量 10%。

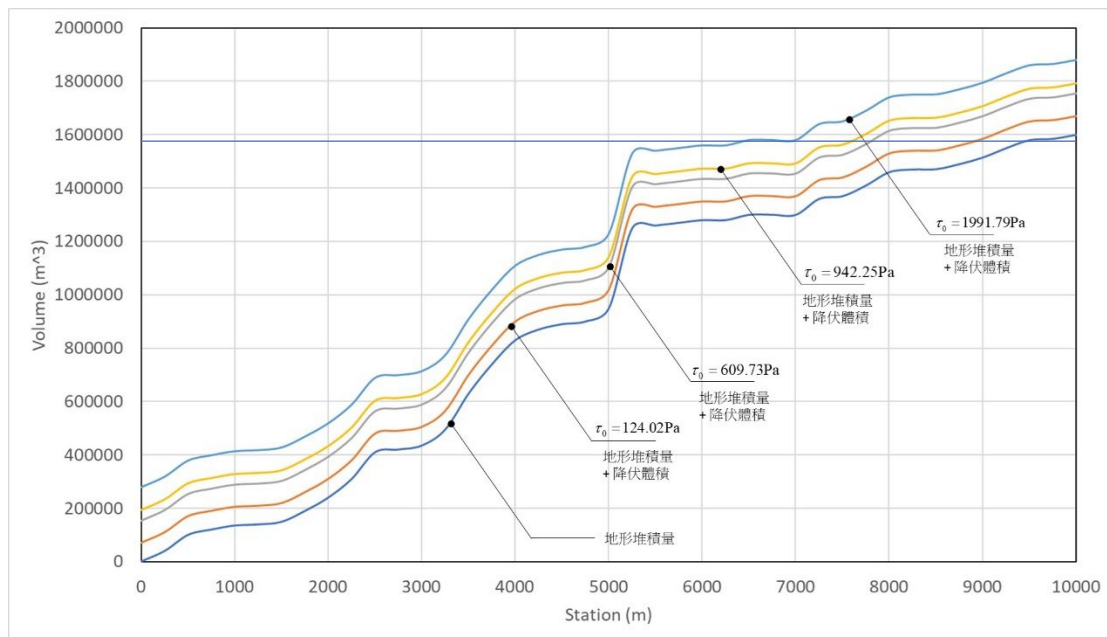


圖 4-12 神木村快速計算停止點對堆積量圖

以估計崩坍量 $1,577,323\text{m}^3$ 在圖 4-12 畫線，可得最前鋒位置為 7024m、7651 m、7838m、8842m，而自數值模擬的最前端距離分別為 7652m、7802m、8103m、9032m，誤差分別為 8.2%、1.9%、3.3%、2.1%，誤差以最大的降伏應力計算所得誤差最大，降伏應力越小，誤差越小，原因可能為快速計算基本上忽略部分流動中的能量消耗，因此降伏應力越大的，能量消耗越大，所以算出的結果就差別較大。

本區若以池谷浩經驗公式計算，以同樣土方量 $1,577,323\text{m}^3$ ，因

為沒有降伏應力概念，因此純粹以平均坡度考量，出谷口的位置，在此以神木橋上游目前設置觀測設備的點為出谷口漸寬段起點。

第三節 凱米颱風大興村土石流

為了驗證快速計算公式，此處選擇 113 年 7 月強烈颱風凱米（Gaemi）造成許多土石流災情的一處來驗證。因為是驗證因此不做數值模擬，直接採取現場調查的數據帶入快速計算來驗證。

而前兩個案例，愛玉子溪計算範圍到達 10 公里，崩塌量相當大，大鳥村距離只有兩公里，但是崩塌量有 30 萬立方公尺，坡度 13 度，因此第三個驗證要找一個距離短，崩塌量小的案例，同時為泥流的情況，直接測試本理論的極限。

從農村發展及水土保持署凱米颱風土砂災害調查案例，選高雄市六龜區中興里編號高市 DF053 土石流潛勢溪流為案例計算。依據調查報告災害描述，推估高市 DF053 土石流發生時間為 113 年 7 月 25 日 12 時，凱米颱風有效累計雨量為 796.8 mm，因為強降雨造成集水區源頭舊有崩塌地擴大引發土石流，土砂淤滿既有沉砂設施後溢流兩岸，並影響多棟建物及農地，以及沖毀河道沿線版橋，阻斷當地民眾進出。因為是先淤滿沉砂池，因此影響下游的部分，幾乎沒有大顆粒，是非常純的泥水流。

引述農村發展及水土保持署高雄市六龜區中興里凱米颱風重大土砂災例最速報的結果，本次災害規模調查結果崩塌範圍長約為 150 公尺，平均寬度約為 50 公尺，面積約為 7500 平方公尺，平均崩塌深度約為 4 公尺，崩塌土方量為 30,000 立方公尺。堆積範圍長約為 600 公尺，平均寬度 100 公尺，面積為 60,000 平方公尺，堆積深度約為 0.5 公尺，堆積土方量為 30,000 立方公尺。災損統計有 8 棟民房遭堆

積土砂沖入，道路淤埋長度約 700 公尺，農地淤埋約 25,000 平方公尺。災情狀況如下圖 4-13(農村發展及水土保持署凱米颱風土石流災害調查結果)所示。

而由現場狀況判斷,災情以泥水沖到下游的範圍為主要災情，出了谷口，非常少大顆粒的材料，因此要計算此處的災情，就要直接用泥水的參數，因此以下快速計算的降伏應力採取泥水的低降伏應力 10Pa。



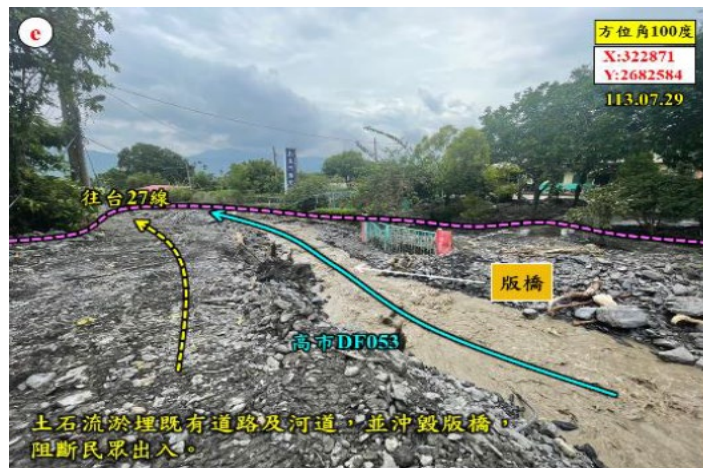


圖 4-13 高市 DF053 凱米颱風災害調查照片

資料來源：農村發展與水土保持署凱米颱風災害調查報告

下圖 4-14 為高市 DF053 土石流快速計算與凱米颱風土石流調查成果進行套繪結果，底圖採用土石流潛勢溪流正射影像並與 1m × 1m 數值地形。



圖 4-14 高市 DF053 快速計算與凱米颱風土石流調查成果套繪，點 A 為崩塌坡腳，開始計算點，用降伏應力 10Pa，現場調查土方 30000m³，利用快速計算法算出來的土石流最遠到達點為點 D，與現場調查影響範圍相同。

依據調查照片判斷，本次土石流災害料源主要以土砂洪水為主，因此採用降伏應力為 10 Pa 的較低設定。土石流快速計算依據調查結果，採用土石流料源設定為現場調查的 30,000 立方公尺，將土石流

料源的位置依據航照圖定位設置於溪溝上游崩塌地坡腳的地方(詳圖 4-14 Point A)，並透過與農村發展與水土保持署凱米颱風高市 DF053 災害調查報告進行比對來驗證土石流快速計算的成果，我們將快速計算結果與影響範圍調查成果進行套繪，展示如圖 4-14。土石流快速計算停止的位置(圖 4-14 淡黃色區塊)約位於溪溝與台 27 線道路交會處，快速計算土石流停止結果與凱米颱風土石流災害現場調查影響範圍(圖 4-14 粉紅色線)，的位置幾乎一致，只差了 4 公尺，誤差以傳播距離 2358m 為標準值，只有 0.2%。

如果總堆積量不同，但是崩坍位置相同(圖 4-14 Point A)，影響範圍就會不同。用快速計算法，可以假設不同土石流最遠到達位置，反推所需要的體積量。假設最後土石流影響位置只到達受災接近谷口農地最上方(詳圖 4-15 Point B 地形谷口處)、受災農地下游(詳圖 4-15 Point C)、凱米颱風土石流堆積區下游邊界(詳圖 4-15 Point D)、以及再往下到達台 27 線下游農地(詳圖 4-15 Point E)等四處，反推體積結果如圖 4-16。



圖 4-15 高市 DF053 正射影像與 1m × 1m 數值地形圖套繪

圖 4-16 縱軸為土石流料源體積量，橫軸為土石流運移的距離，其為考慮土石流降伏應力 10 Pa 的情況下(凱米颱風的土砂洪水狀態)，土石流到達上述設定停止位置時，土石流體積量與移動距離的關係。紅色曲線為土石流最大體積量與停止位置的關係；亮藍色曲線為假設土石流若跨越台 27 線到影響到下游農地位置停止(Point E)，其對應的體積量為 68,716 m^3 ；淡黃色曲線為依據凱米颱風高市 DF053 土石流調查量體 30,000 m^3 進行快速計算的結果，土石流停止的位置為台 27 線道路上游(Point D)；綠色曲線為凱米颱風土石流到達受災溢淹農地下游位置(Point C)的快速計算結果，土石流體積量為 20,705 m^3 ；粉紅色曲線為凱米颱風土石流到達受災溢淹農地上游位置(Point B)的快速計算結果，土石流體積量為 12,999 m^3 。結果表示以泥流而言，體積量影響最後堆積範圍相當大。

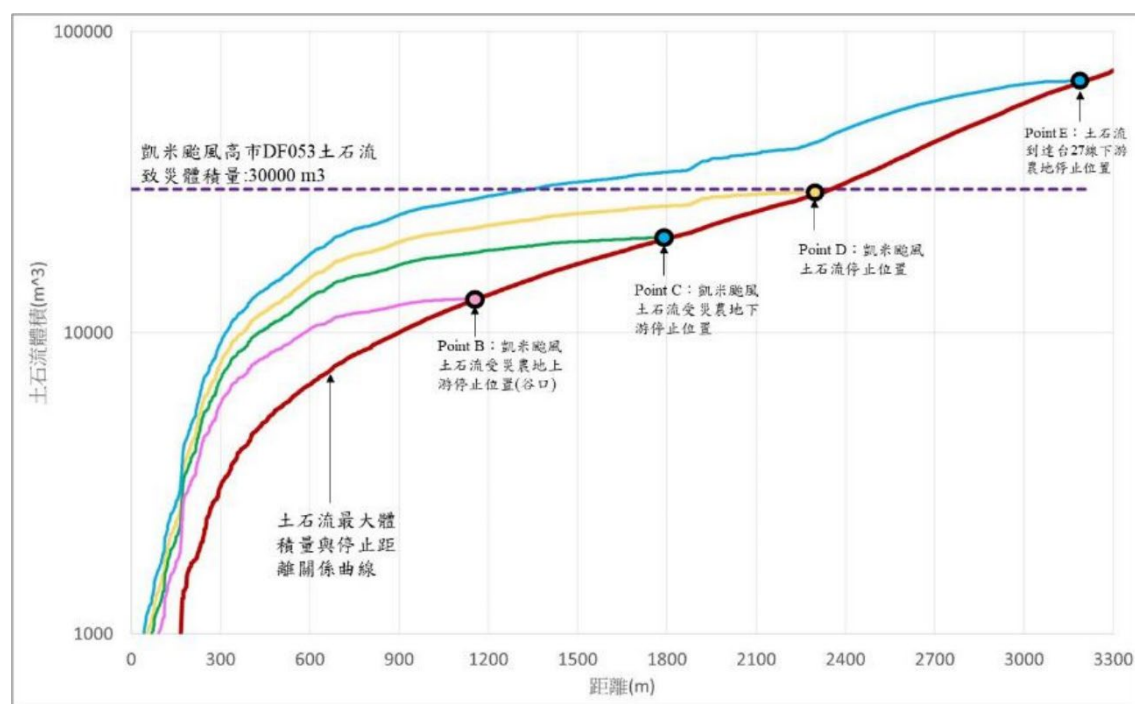


圖 4-16 土石流料源體積量與最大停止位置

第五章 結論

本計畫利用賓漢流體的控制方程式，推導出土石流停止後需要滿足的方程式，包含能量守恆、質量守恆，還有最後的平衡表面曲線，利用這些方程式，在給定起始崩塌量，降伏應力與流域 DEM 的條件下，就可以很快的找到最後土石流的影響範圍。

數值模擬需要的時間要看格網多寡，地形是否變化快速，同時要看穩定計算的時間步驟大小，往往一場 10 分鐘的土石流事件，模擬需要至少一個小時(小集水區)，本計畫的能量與質量平衡，可以在事前把所有可能的組合，就是土石流影響到何處，配合不同降伏應力都計算出來，每一個情況計算僅需要一分鐘，最後只要有崩塌體積的資訊，就可以從表中把最後影響範圍找出。

本文利用大鳥村(堆積量大,坡度陡,礫石型土石流)、愛玉子溪(集水區面積大，礫石型土石流、坡度緩)與大興村(堆積量小、坡度陡、泥流型土石流) 驗證，模擬結果的最後前鋒位置與快速計算的最後前鋒位置，誤差都不到 10%，且快速計算的範圍都比數值模擬大一點，表示快速計算為較保守估計，但是誤差百分比不大。

本快速計算方法可以應用於需要大量估算影響範圍的工作，一旦一個集水區算出結果，後續想知道不同土方只影響的範圍，只要查圖，不需要再計算。但是對於降伏應力的對照表與會轉成土石流的堆積量，對於不同的使用者應該會有疑問，因此若要大量應用，需要建立一個容易使用的對照表或規範，才適合大量應用。針對台灣不同地質區，全面建立這參數約需要半年。

但是若考慮絕對誤差，快速計算在長集水區就會比較大，原因

在於公式推導時，是以百分比概念忽略強剪層的消能，但是百分比雖小，絕對誤差會因為長集水區的距離慢慢累積變大，因此若要降低長集水區的絕對誤差，必須把強剪層的耗能也加回原公式。

參考文獻

1. 水土保持技術規範（中華民國 103 年 9 月 11 日）
2. 周憲德，”火災山土石流之流動型態與地聲特性分析”，中華水土保持學報，2015。
3. 黃名村，博士論文，土石流災害範圍之數值模擬及利用微波偵測土石流之研究，國立台灣大學，2003。
4. 劉格非、魏士超、鄺寶成，”累積雨量對土石流影響範圍評估之影響”，中華水土保持學報，第 44 卷，第 3 期，225-233 頁。
5. 池谷浩(1980)，土石流災害調查法，山海堂，2013。
6. 黃宏斌、蘇峰正，”土石流堆積長度研究”，中華水土保持學報，38 卷第 2 期，195-204 頁，2007。
7. A. Armanini, L. Fraccarollo and G Rosatti, Two dimensional simulation of debris flows in erodible channels. Computers & Geosciences ,35 ,993–1006, 2009.
8. P. Coussot, and S. Boyer, “Determination of yield stress fluid behaviour from inclined plane test.” Rheologic Acta. 34(6):534-543 ,1995.
9. FLO-2D, FLO-2D User’s manual (version 2006.01), FLO-2D Software, Inc., Arizona, USA , 2006.
10. O. Hungr, “A model for the runout analysis of rapid flow slide , debris flow, and avalanches”, Canadian Geotechnical Journal, 32, 610–623, 1995.
11. P.Y. Julien and Y. Lan, “Rheology of Hyper concentrations.” J. Hydr. Engrg,117(3):346-353, 1991.
12. K.F. Liu and M.C. Huang “Numerical simulation of debris flow with application on hazard area mapping.” Computational Geoscience,10(2): 221-240, 2006.

13. K.F. Liu, Y.C. Hsu and M.C. Huang, “Study on the sensitivity of Parameters Relating to Debris Flow Spread”. 2007 International Conference on Slope land Disaster Mitigation, Taipei, Oct. 29-30, 212-220, 2007.
14. K.F. Liu, H.C. Li and Y.C. Hsu, “Debris flow hazard assessment with numerical simulation.” Natural Hazards. 49:137-161, 2009.
15. K. Nakatani, T. Wada, Y. Satofuka, T. Mizuyama, Development of “Kanakano 2D (Ver.2.00), ” user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface”, International Journal of Erosion Control Engineering: Vol.1, No.2, 62-72, 2008.
16. T. Takahashi, “Debris flow.” Annual Review Fluid Mechanics,13:57-77, 1981.
17. M.P. Tsai, Y.C. Hsu, H.C. Li and K.F. Liu, “Application of simulation technique on debris flow hazard zone delineation: a case study in the Daniao tribe, Eastern Taiwan.” Nat. Hazards Earth Syst.,11:3053–3062, 2011.
18. Unity 網站 “<http://unity3d.com>”.
19. 3ds Max 網站 ”<http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>”.
20. Y.H. Wu, K.F. Liu and Y.C. Chen, “Comparison between FLO-2D and Debris-2D on the application of assessment of granular debris flow hazards with case study”, Journal of Mountain Science. 10(2):293-304,2013.

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本計畫期能快速且大量精準模擬土石流發生後之最終影響範圍，並推導理論公式，相關研究及探討多，建議能提出差異性。	目前世界上沒有這種以總體概念來快速估算最終範圍的研究，這是因為台灣防災領先全球，有需要在短時間進行大範圍的作業，因此才有執行本計畫的需求。因此以總體概念出發地研究，找不到前人研究，但是用數值模擬的研究不少，也就是因為數值模擬非常費時，同時不同方法也有不同限制，而數值模擬屬於從點出發的計算，並非從整體概念出發，所以本計畫雖然會列出一些數值方法，但是無法真正比較，以整體概念出發的計算方式，可能只有以前的經驗公式了，大家都知道經驗公式不準，但是本計畫最後成果，會找幾個水保手冊中曾出現過的經驗公式來做為花費時間與精準度的比較。
二	本計畫主持人未編列主持人費用，唯計畫書撰寫略為精簡，例如未列參考文獻。	主持人已經領了農村發展及水土保持署另一計畫的主持費用不能再領，因此所以沒有編列，計畫書撰寫時，全力針對主要理論部分，期望能讓委員了解這種沒有過的研究

項次	審查意見	回覆辦理情形
		可行性，因此計劃書初稿寫得不完整，修正計畫中已經補上數值方法介紹與文獻回顧。
三	理論公式中雖然相當精簡，但如果要運用至流域範圍，多條土石流潛勢溪流的話，幾項重要地形地質參數的決定(降伏應力)與模式校核用的歷史案例，也請補充說明。	本計畫推導的方式可以用於整個集水區，不管有多少條支流,但是一般的研究,範圍越大，就可能越不準。至於參數的決定，因為主持人過去模擬台灣土石流的經驗與採樣非常多，因此可以用組成跟粒徑列出一個參數值的參考表，但是本計畫的重點仍然还是要證明利用快速推導方式，與數值模擬結果是否相同，因此參數的決定，其實並非重點，所以同時要驗證參數值的準確度，又需要大量採樣與分析，在本計畫有限時間經費下，可能無法列出完整的參數參考表。
四	報告中所推導之公式結果，是否適用所有類型土石流，抑或有其限制？	用降伏應力概念的數值模擬，適用於有大顆粒的土石流，台灣山區所有土石流都適用，主持人過去執行的模擬，都與現場調查非常接近，表示是適用的,但是到達非山區，例如水利署管轄下的河川，通常都是高含砂水流，可能不太適用。

項次	審查意見	回覆辦理情形
五	本研究所提的「最後堆積前鋒位置」是必需要經過模擬才能推估的結果，如果把本研究欲建置的模型作為一個情境分析的工具，用以探討不同的「起始堆積量」和「最後堆積前鋒位置」，作為防災社區討論風險時的情境，幾種不同條件下的影響範圍，可以用視覺化的方式讓社區瞭解土石流發生條件與影響範圍的不確定性，不失為土石流風險管理的好工具。	謝謝委員建議，本計畫最重要的目標，的確就是不經過時間上一步步的模擬，只用本計畫新推導的快速方法,就能得到「最後堆積前鋒位置」，因此能大量節省時間,也因此不同的「起始堆積量」和「最後堆積前鋒位置」，正是本計畫重要產出點之一，現已將此工作項目列入年度工作目標中。

附錄二、期中報告審查通過公文

電子公文

校級公文 113/08/28



1130085467

檔 號：
保存年限：

農業部農村發展及水土保持署 函

地址：54044 南投市中興新村光華路6號

承辦人：周伯原

電話：049-2347527

電子郵件信箱：

poyuan0524@mail.ardswc.gov.tw

受文者：國立臺灣大學(劉格非教授)

發文日期：中華民國113年8月28日

發文字號：農保監字第1132668339號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文

主旨：檢送113年度創新研究計畫「快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式」期中報告書面審查意見1份，請查照。

說明：

- 一、旨揭期中報告書經審查通過，同意撥付第2期款，審查意見請納入期末報告書回應，並於113年11月13日前函送期末報告書5份，俾利辦理審查作業。
- 二、如計畫第1期款已撥經費執行達60%以上時，請款前請先至本署補助計畫管理作業系統登錄填報實支數，並製據函送本署辦理第2期款請撥。(系統首頁/功能列/會計核銷作業/計畫經費核銷作業/計畫實支數登錄)

正本：國立臺灣大學

副本：國立臺灣大學(劉格非教授)、本署減災監測組

113/08/28
08:30:01

國立臺灣大學
公文系統轉送章

本校簡易辦文

校級公文



回函文號: 1130085467

檔號：0113/540301.005
保存年限：10年

聯絡人：林宜盈

聯絡電話：0915958011

附錄三、期中報告書面審查意見

下載時間：
ARDSWC(113 年 6 月 1 日版)



農業部農村發展及水土保持署
優質、效率、團隊

農業部農村發展及水土保持署

113 年度創新研究計畫

「快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式」

期中報告書面審查意見

壹、貴校所提期中報告書，經書面審查通過，同意撥付第 2 期款，審查意見請納入期末報告書回應，並於 113 年 11 月 13 日前函送期末報告書 5 份，俾利辦理期末審查作業。

貳、審查意見如下：

- 一、本計畫欲發展發展一套快速計算的方式，以台東大鳥村與南投神木村愛玉子溪兩條溪流作為訓練與驗證案例，初步達到良好成果，期中報告如期如質完成，值得肯定。
- 二、花蓮地區受 0403 花蓮地震的影響及中南部地區受凱米颱風造成的土石流災情不少，是否可以蒐集相關災害案例，在期末報告中，以本研究所發展之理論公式，作一粗估、分析與比對驗證，說明本研究發展的快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式的可行性、優點與限制。
- 三、受 0403 花蓮地震影響土石流，相較於台東大鳥村與南投神木村愛玉子溪兩條溪流，溪床縱坡可能更陡，不知是否會影響到研究公式推導之簡化假設條件的相符程度，進而影響最終影響範圍之理論公式的適用性，亦請說明。
- 四、P1-3 缺表頭：計畫時程表(甘特圖)中僅有預定進度，缺實際進度及權重資料，仍請團隊在檢視並修正。
- 五、機關名稱報告書內仍有舊機關名稱，建議團隊在逐一檢視並修正，例 P 4-1 等。
- 六、P 4-1 第四章公式驗證中編號台東 060(東縣 DF097)土石流潛勢，面積 87”公卿”，平均坡度 23.5 度…，文字有誤請修正。

附錄四、期中審查會議書面審查意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本計畫欲發展發展一套快速計算的方式，以台東大鳥村與南投神木村愛玉子溪兩條溪流作為訓練與驗證案例，初步達到良好成果，期中報告如期如質完成，值得肯定。	謝謝肯定
二	花蓮地區受 0403 花蓮地震的影響及中南部地區受凱米颱風造成的土石流災情不少，是否可以蒐集相關災害案例，在期末報告中，以本研究所發展之理論公式，作一粗估、分析與比對驗證，說明本研究發展的快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式的可行性、優點與限制。	本研究挑選南部地區凱米時有土石流的高雄六龜村中興村為案例,快速模擬結果增加為第四章第三節.選擇為一短小的案例,結果相當符合

三	受 0403 花蓮地震影響土石流，相較於台東大鳥村與南投神木村愛玉子溪兩條溪流，溪床縱坡可能更陡，不知是否會影響到研究公式推導之簡化假設條件的相符程度，進而影響最終影響範圍之理論公式的適用性，亦請說明。	大鳥村包含村落平均坡度為 24 度,已經相當陡,花蓮數個案例,包含流動段下游影響範圍,都不到 22 度,反而是缺少石頭的泥流情況,有可能不太適合,因此期末增加凱米颱風時的高雄六龜中興村災害做驗證
四	P1-3 缺表頭:計畫時程表(甘特圖)中僅有預定進度，缺實際進度及權重資料，仍請團隊在檢視並修正。	遵照修改,加入期末報告時的實際進度
五	機關名稱報告書內仍有舊機關名稱，建議團隊在逐一檢視並修正，例 P 4-1 等。	遵照修改,已經利用搜尋將舊名一一更正
六	P 4-1 第四章公式驗證中編號台東 060(東縣 DF097)土石流，面積 87”公卿”，平均坡度 23.5 度...，文字有誤請修正。	遵照修改

附錄五 期末審查會議通知

計畫主持人(教授)您好：

為辦理創研計畫期末聯合審查暨成果發表會，詳如以下說明，敬請協助，謝謝。

時間：113 年 12 月 3 日(星期二)

地點：本署府西辦公室(南投市中興新村府西路 71 號)

辦理方式：

採「期末聯合審查暨成果發表」辦理實體會議，請計畫主持人準備簡報 15 分鐘，並參與該場次共同審查、交流。計畫主持人因故無法親自出席簡報，得以授權書(附件 1)授權代理人簡報。

期末報告：

請於 11 月 13 日(星期三)前函送 5 份紙本至本署，並請將期末報告、摘要報告、計畫自評表(掃描檔)等電子檔，請上傳至本署補助計畫管理作業系統(<https://project.ardswc.gov.tw/>)內「成果上傳」頁籤，由本署彙整為期末研究成果論文集電子檔，供審查委員於會前研閱。檢送報告書格式範例(附件 2)、摘要報告(附件 3)及自評表(附件 4)等範本，請依範本格式製作。

期末簡報(pptx)：請於 11 月 21 日前上傳至本署補助計畫管理作業系統「成果上傳」頁籤。

上傳檔案命名方式：計畫名稱_期末(成果)_報告書(摘要報告,簡報)，例如：「探索山坡地可利用密碼教具研發_期末_摘要報告」。

成果報告：請於 113 年 12 月 31 日(星期二)前繳交成果報告(5 冊)及結束會計報告 1 式 2 份，俾辦理結案作業。計畫成果報告、計畫成果摘要報告等電子檔請上傳至補助計畫管理作業系統「成果上傳」頁籤。成果報告內請依期末審查意見修正或回覆說明。

計畫報告者及與會人員請至本署教育訓練平台報名參加，報名資訊將另詳開會通知單(預計 11 月中旬前發文)。

報告書封面右上角之計畫編號請依附件 5 修正為最新編號(ARDSWC-○○○-○○○)。

附錄六 期末審查會議與簽到表(期末成效評核表 D 場次)

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

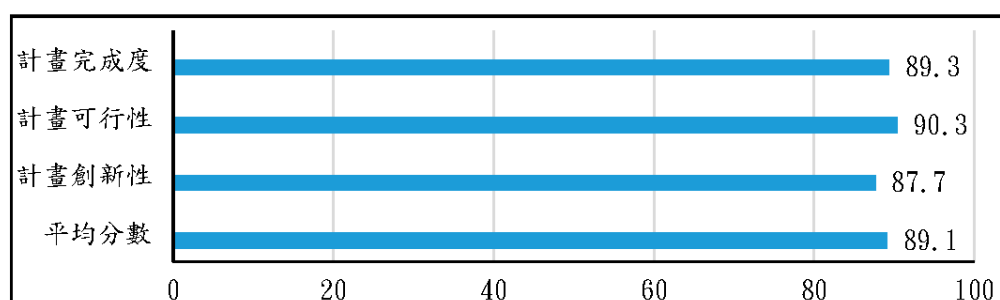
一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (26)

二、計畫名稱: 快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式(單轉細)

三、計畫執行機關: 臺灣大學

四、計畫主持人: 劉格非教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

1. 需要建立容易使用的對照表或規範，以確定降伏應力和土石流堆積量的關係，才能更方便地大量應用此方法，目前的適用範圍為何？
2. 在集水區長度很大的情況下，絕對誤差會比較大，本研究的快速計算方法其的使用限制為何？另外其隨集水區面積增加，在準確度之變化為何？
3. 大集水區、流域長，即影響快速計算準確性，是否有其他外力因子影響準確性，可分析討論。
4. 倘有治理工程，快速計算之準確變化如何？
5. 坡地岩體與快速計算，是否有不同結果。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過，相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過，修正事項如上項建議 說明：_____
	☐ 不予通過，辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明：_____

評核日期：113 年 12 月 13 日

113 年創研計畫成果發表會 D 場次

壹、開會時間：113 年 12 月 3 日(星期二)上午 8 時 00 分

貳、開會地點：本署府西辦公室專題討論會議室及視訊

參、主持人：簡俊發總工

肆、出(列)席單位及人員

紀錄：黃奉琦

出席委員			備註
單位(機關)	職稱	姓名	
逢甲大學	計畫主持人	陳柏蒼	陳柏蒼
臺灣災害管理學會	計畫主持人	吳杰穎	吳杰穎
成功大學	計畫主持人	蔡文柄	蔡文柄
陽明交通大學	計畫主持人	林子剛	林子剛
臺灣師範大學	計畫主持人	沈淑敏	沈淑敏
臺灣大學	計畫主持人	楊啟見	楊啟見
中國科技大學	計畫主持人	謝孟勳	謝孟勳
屏東科技大學	計畫主持人	陳天健	陳天健
中興大學	計畫主持人	張光宗	張光宗
臺灣大學	計畫主持人	劉格非	劉格非
臺灣大學	計畫主持人	林得恩	林得恩
陽明交通大學	計畫主持人	趙韋安	趙韋安

成功大學	計畫主持人	饒瑞鈞	吳澄峰
政治大學	計畫主持人	許瓊文	許瓊文
臺灣大學	計畫主持人	廖國偉	廖國偉
南投分署	科長	嚴科偉	嚴科偉
農村規劃組	正工程司	黃茂龍	黃茂龍
農村規劃組	副工程司	李憲昆	李憲昆
保育治理組	副工程司	蕭惠民	
臺北分署	副工程司	陳沛霖	陳沛霖
臺中分署	副工程司	黃文政	黃文政
南投分署	副工程司	林可薇	林可薇
臺東分署	副工程司	黃靜瑩	
農村建設組	工程員	吳啓全	吳啓全
產業發展及休閒組	工程員	詹智皓	詹智皓
保育治理組	工程員	吳漢揚	吳漢揚
臺南分署	工程員	林士勛	林士勛
花蓮分署	工程員	陳芋瑄	
減災監測組	聘用研究員	林駿恩	林駿恩
坡地管理組	工程員	劉昱麟	劉昱麟

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

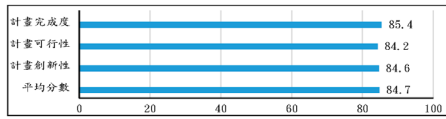
一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (28)

二、計畫名稱: 坡地災害危害度分級探討

三、計畫執行機關: 逢甲大學

四、計畫主持人: 陳柏蒼助理教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 本研究在警戒發布風險分級下,依坡地所屬風險等級進行 CCTV 風險評估,該分析之坡地風險級別是否有套疊過往歷史災害或是事件型崩塌目錄來辨識坡地災害程度,請補充說明。
- 去除椒鹽效應,是去除圖像中的可能隨機生成的雜訊(如在均勻的灰色區域裡,有亮色素或暗色素出現),但本研究使用 DEM 生成坡地單元,其需要去除椒鹽效應的原因為何?
- 氣候(短時距)、地震均對坡地災害危害度有關,且有可能降低預警閾值,那未來該如何動態調整危害度?
- 若不以坡面單元,是否可用網格單元操作,可能的效果為何?優缺點為何?

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過,相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過,修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過,辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

第 1 頁,共 15 頁

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

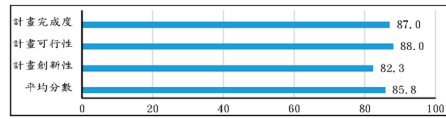
一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (30)

二、計畫名稱: 原住民部落大規模崩塌警戒與疏散避難機制之優化

三、計畫執行機關: 臺灣災害管理學會

四、計畫主持人: 吳杰穎副教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 在本研究中,提出「單一部落內同時存在第1及第2類型大崩塌潛勢區,可自主決議疏散撤離策略」,但對於定量降雨預報及警戒基準之判斷仍需依主管機關所提供資料為主,是以該如何優化現行原住民部落的大規模崩塌預警與疏散機制?
- 非法移工的防災資訊推流,未來建議以往所為通知標的,非法移工聘僱人應心裡有數,因為實務撤離人員的困擾及包含非法移工雇主的介入
- 報告完成度很高,建議也很具體,但需要克服的問題仍在地方政府,因此建議報告內文傳達地方政府社會局,以期得加速撤離作業的落實。
- 分析大規模崩塌與土石流之疏散避難之執行實務的差異,並推估未來可能方向,有高度參考價值。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過,相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過,修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過,辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

第 2 頁,共 15 頁

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

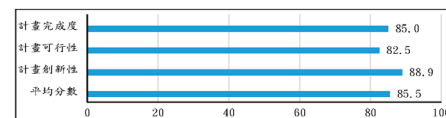
一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (38)

二、計畫名稱: 應用新穎聯邦學習技術於即時防災預警系統

三、計畫執行機關: 成功大學

四、計畫主持人: 蔡文柄助理教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 本研究以坡度、坡向及 2 日累積降雨量為模型輸入因子,並以 2021 年崩塌事件為比對資料,其網格單元採用 20mX20m,因為崩塌形狀並不固定,對於固定網格面積中其崩塌所佔比例不同,該如何標記該網格為崩塌或未崩塌。
- 本研究是以坡度、坡向及 2 日累積降雨量為特徵值,其所訓練出之預測模型,是否能回饋在多少坡度區間、坡向方向、及降雨量區間下易發生崩塌事件。
- 本研究的崩塌潛勢預警系統在實現即時更新與高預警上,預測模型藉由定期更新氣象與地質數據,進行網格崩塌風險評估,因目前 ROC-AUC 為 0.66,後續是否需在重新進行模型訓練。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過,相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過,修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過,辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

第 3 頁,共 15 頁

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

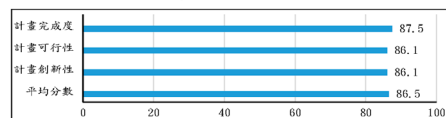
一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (33)

二、計畫名稱: 數位學生聚落防災物聯網監測平台之研究

三、計畫執行機關: 陽明交通大學

四、計畫主持人: 林子剛教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 目前本研究在崩塌預測因子鑑別度不足的問題上,所提出之改善方案為何?
- 本研究建置模型以輸入任一網格在特定時間點之前的地震和降雨歷時數據,可預測該網格的崩塌機率,其中在降雨歷時數據之時間長度如何決定?
- 本模型以預測日期的前 72 小時降雨及前一年地震資料為輸入值,若於預測未來發生機率,將輸入甚麼資料?
- 模式中之主要產出一崩塌機率定義為何?因輸入資料有多種尺度資料,該機率是空間機率?時間機率抑或其他?
- 地形因子:坡向、坡度同時也存在時變性,這部分的資料該如何更新?
- 建議持續研究,落實推廣到分署。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過,相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過,修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過,辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

第 4 頁,共 15 頁

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (31)

二、計畫名稱: 推動土砂災害地形製圖之先導型研究-II

三、計畫執行機關: 臺灣師範大學

四、計畫主持人: 沈淑敏副教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	88.8
計畫可行性	91.2
計畫創新性	85.0
平均分數	88.3

六、審查意見:

1. 本研究製作之土砂災害地形特徵圖「鼓山-壽山-001」, 其有與當地防災專員討論該特徵圖是否具有閱讀性, 可否針對疏散避難使用, 及進一步提供給自主防災社區作為環境教育使用。

2. 土砂災害地形特徵圖目前在使用上, 是否需具備一定基礎知識才易於使用, 另在特徵圖在推廣到社區防災規劃上, 如何更有效支援防災工作, 以降低災害風險。

3. 可考量人類讀取習性與特性, AI 導入智慧地圖, 使其吸引民眾導閱。並配合色彩深淺, 細細字體區分重點顯示。

4. 未來分析納入防災作為的有效性與實務性。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議
	說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止
說明: _____	

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (32)

二、計畫名稱: 總地形特徵圖製作-以牛埔水土保持教室為例

三、計畫執行機關: 臺灣大學

四、計畫主持人: 楊啟見助理教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	87.7
計畫可行性	89.6
計畫創新性	87.3
平均分數	88.2

六、審查意見:

1. 本計畫使用自定義 YOLOv8 模型, 針對泥岩地形與農塘進行辨識和分析, 所得之成果該如何整合地景保育與水土保持災害預防。

2. 總地形之時序演變與水土保持工法之有效性與實務性, 建議延伸分析說明, 作為圖後查證應用。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議
	說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止
說明: _____	

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (22)

二、計畫名稱: 震後不安定土砂災害評估模式與潛勢分析之研究

三、計畫執行機關: 中國科技大學

四、計畫主持人: 謝孟勛助理教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	85.4
計畫可行性	82.3
計畫創新性	83.2
平均分數	83.6

六、審查意見:

1. 本研究使用 0403 花蓮地震資料配合不同地震規模進行模擬, 本模式在花蓮地震崩塌案例如何驗證模式有效性, 再者, 此模式如何有效評估不同地震規模的風險?

2. 報告完成度高, 但創新考量的具體貢獻建議在突顯。

3. 坡面單元可能在特定地形事件後, 會發生改變, 可能會影響評估結果嗎?

4. 坡面單元在不同空間解析度可能有所不同, 可能會對評估崩塌的類型發生改變嗎?

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☐ 通過, 相關建議如上項說明
	☒ 修正後通過, 修正事項如上項建議
	說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止
說明: _____	

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (25)

二、計畫名稱: 臺灣坡面型土石流啟動之條件與最小崩塌土方量分析-南部地區

三、計畫執行機關: 屏東科技大學

四、計畫主持人: 陳天健教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	88.7
計畫可行性	88.3
計畫創新性	81.3
平均分數	86.1

六、審查意見:

1. 本研究以由雙因子分析優於單因子分析成果, 其顯示累積雨量 300mm 是發生土石流的重要因子。因為物理上累積時間長短會反應於土壤飽和度和地下水水位高度的變化程度。因此, 在本研究中對於降雨累積時間之長短該如何考量?請補充說明。

2. 台灣地形、季節與降雨型態, 各地區不同且迎風與背風面易影響坡面土石流, 建議進一步分析坡面坡向、地形、季節之交互影響結果。

3. 成果與實際條件發生之契合度、分析預警之可靠性。

4. 土石流啟動條件面積 10000m², 是否因不同地質條件而需調整?

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議
	說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止
說明: _____	

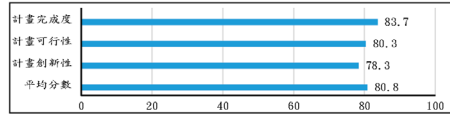
評核日期: 113 年 12 月 13 日

快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

- 一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (34)
二、計畫名稱: 以實際案例、模型試驗與數值方法探討大規模崩塌預警值
三、計畫執行機關: 中興大學
四、計畫主持人: 張光宗教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 在本研究中雨量預警模型的準確性受到不同因素影響,如反應於滑動面深度或坡面變形量,另在降雨延時和雨型則是影響雨量預警模型準確性的主要因素。目前對於在不同雨量門檻值下,能否對應崩塌後可能發生災害,其預測結果將可幫助提高預警系統的可靠性與後續防災應變規劃。
- 在本研究中對於位移預警方法在不同邊坡條件下的適用性為何?因目前考量為順、逆向坡部分,對於土坡或岩坡的差異會否影響預測準確性?
- 雨量值與應變量值的驗證比對差異?針對不同天氣系統或降雨行為,大規模發生預警值的判斷又為何差異特徵?

七、計畫主辦單位期末評核結果

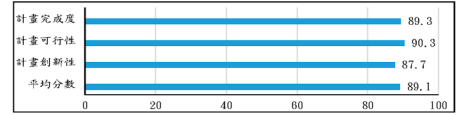
請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
	說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

- 一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (26)
二、計畫名稱: 快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式(單轉細)
三、計畫執行機關: 臺灣大學
四、計畫主持人: 劉格非教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 需要建立容易使用的對照表或規範,以確定降伏應力和土石流堆積量的關係,才能更方便地大量應用此方法,目前的適用範圍為何?
- 在集水區長度很大的情況下,絕對誤差會比較大,本研究的快速計算方法其的使用限制為何?另外其隨集水區面積增加,在準確度之變化為何?
- 大集水區、流域長,即影響快速計算準確性,是否有其他外力因子影響準確性,可分析討論。
- 倘有治理工程,快速計算之準確變化如何?
- 坡地岩體與快速計算,是否有不同結果。

七、計畫主辦單位期末評核結果

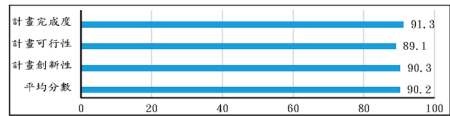
請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
	說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

- 一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (27)
二、計畫名稱: 冷季臺灣東北部異常降雨對坡地災害影響之研究
三、計畫執行機關: 臺灣大學
四、計畫主持人: 林得恩博士

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 加強環境水氣通量診斷,分析水氣傳輸和時間序列變化,了解劇烈對流降雨的延時、過程和影響,進而提升防災預警和入夜提醒的準確性。因此,在預測冷季東北部異常降雨及坡地災害的準確性時,如何透過關注關鍵氣象參數的更新與率定,作為改進預警時效,以提升模式預報精度,請補充說明。
- 何為異常降雨,是指颱風共伴帶來的豪大雨?那為什麼不說是颱風共伴效應降雨,要稱是「異常」,異常感覺是不能解釋的降雨或不常出現的降雨會比較適合,如果每年冷季都常出現,是不是可以用更好的稱呼。
- 冷季為以月份作為單位,然近年冬季縮短而秋季消失之氣候型態,冷季是否需要調整?而其異常降雨現象是否易受台灣島地形影響?

七、計畫主辦單位期末評核結果

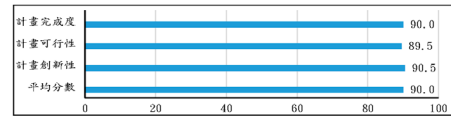
請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明
	☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
	說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

- 一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (43)
二、計畫名稱: 利用現地試驗來驗證震波式推移質跳躍模型(2)
三、計畫執行機關: 陽明交通大學
四、計畫主持人: 趙章安副教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見:

- 野外試驗的驗證需要長時間及不同事件規模來率定相關參數(泥沙粒徑、震波格林函數計算參數)以降低推移載之不確定,目前震波式推移質跳躍模型的準確性為何?在使用所對應的事件規模大小為何?
- 對於不同溪流土砂顆粒可能有不同特性,本研究在降低推移載量測的不確定性和提升精準度上,是否有考慮於不同河流進行試驗?
- 試驗中,寶貝球是否可模擬不同粒徑泥和撞擊效果。
- 今年可完成放到其他地方也可以適用的模式?
- 除了蘭島溪外,是否還需再另一個實驗場址實驗才能獲得較確定的物理模型?如不需,其原因為何?如需,場址條件與蘭島溪有何異同?

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☐ 通過, 相關建議如上項說明
	☒ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____
	☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
	說明: _____

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (2)

二、計畫名稱: 以微地動及地震訊號快速評估大規模崩塌地之滑動特徵

三、計畫執行機關: 成功大學

四、計畫主持人: 饒瑞鈞教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	86.4
計畫可行性	88.2
計畫創新性	88.2
平均分數	87.6

六、審查意見:

- 考量到強震可能導致土壤非線性效應, 本研究如何區分微震和地震訊號, 另外在不同地震規模訊號下該如何有效評估大規模崩塌地的滑動特性?
- 考量到不同地區地質條件均質性下, 各事件崩塌地之微震訊號特徵是否具有共通性和差異性? 該如何判斷以助於提升崩塌評估準確性。
- 斷層地下幾何是否否在鑽探若程過有些資訊可以評估? 因為在極化分析中測站 D16 有顯著相對低頻且東西向的能量集中, 若假設此特徵來自斷層, 那此低頻資訊可了解地下斷層的深度。
- 是否也有在 0403 地震後發現極化現象的改變?

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明 ☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____ ☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
-----	--

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (29)

二、計畫名稱: 新住民防災資訊素養推廣實驗計畫

三、計畫執行機關: 政治大學

四、計畫主持人: 許瓊文教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	88.6
計畫可行性	89.5
計畫創新性	87.3
平均分數	88.5

六、審查意見:

- 此計畫以 AR 導覽方式結合觀光資源與防災教育, 讓遊客遊覽時學習防災知識, 其是否有益於地方民眾參與度並促進地方創生, 另外目前參與者的回饋意見為何?
- 本研究關於新住民與遊客參與計畫的經驗, 目前是否可成為環境教育場域供其他社區仿效?
- 未來可充分運用自主防災之推廣。
- 認知困難部分一般民眾與新住民最主要的差異為何? 差異性大小? 是否需特別設計不同的教案以彌補此類。
- 警戒方式、疏散方式是否來納入?

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☒ 通過, 相關建議如上項說明 ☐ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____ ☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
-----	--

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年度創新研究計畫期末成效評核表(D 場次發文版)

一、計畫編號: 113 保發-5.1-保-01-06-001 (41)

二、計畫名稱: 資料驅動下的隨機物質點法與崩塌地監測模式 - 以光華崩塌地為例

三、計畫執行機關: 臺灣大學

四、計畫主持人: 廖國偉教授

五、期末聯合審查評核問卷統計

計畫完成度	88.6
計畫可行性	87.3
計畫創新性	84.5
平均分數	86.8

六、審查意見:

- 物質點法在評估邊坡穩定上, 主要取決於有材料特性, 本研究對於材料特性隨時間及空間變化如何設定, 請補充說明。
- 本研究在如何平衡崩塌警戒值的設定上, 除由物質點法演算之崩塌危害程度, 如何搭配現地監測儀器之資訊來避免警戒過度反應或是過度保守問題, 請補充說明。
- 未來可增加實際案例分析, 以增加崩塌預測準確度。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	☐ 通過, 相關建議如上項說明 ☒ 修正後通過, 修正事項如上項建議 說明: _____ ☐ 不予通過, 辦理 ☐ 複審或 ☐ 計畫終止 說明: _____
-----	--

評核日期: 113 年 12 月 13 日

113 年創研計畫成果發表會 A 場次

壹、開會時間: 113 年 12 月 3 日(星期二)上午 8 時 00 分

貳、開會地點: 本署府西辦公室第一會議室及視訊

參、主持人: 蘇副署長

肆、出席(列)席單位及人員

紀錄: 黃奉琦

出席委員			備註
單位(機關)	職稱	姓名	
台灣環境綠化協會	計畫主持人	賴純純	賴純純
東海大學	計畫主持人	江文德	江文德
中興大學	計畫主持人	蔣慎思	蔣慎思
東海大學	計畫主持人	鄧君瑋	鄧君瑋
東海大學	計畫主持人	李麗雪	李麗雪
嘉義大學	計畫主持人	江彥政	江彥政
長榮大學	計畫主持人	劉春初	劉春初
成功大學	計畫主持人	蔣鎮宇	蔣鎮宇
屏東科技大學	計畫主持人	簡赫琳	陳品蓀 陳赫琳
臺灣海洋大學	計畫主持人	許世孟	許世孟
逢甲大學	計畫主持人	吳俊銘	吳俊銘
屏東科技大學	計畫主持人	廖曼利	廖曼利

快速計算流域中土石流最終影響範圍之理論公式

國際專案管理學會	計畫主持人	柯勇全	柯勇全
聯合大學	計畫主持人	馮祥勇	馮祥勇
屏東科技大學	計畫主持人	李明杰	李明杰
農村規劃組	正工程司	蘇品維	蘇品維
農村規劃組	辦事員	鄭惠如	
農村建設組	副工程司	林國昌	林國昌
產業發展及休閒組	簡任正工程司	王智緯	王智緯
保育治理組	工程員	錢貞佑	錢貞佑
坡地管理組	正工程司	蔡正壽	蔡正壽
減災監測組	副工程司	林曉瑩	林曉瑩
臺北分署	副工程司	吳鴻業	吳鴻業
臺中分署	副工程司	陳俞瑾	陳俞瑾
南投分署	副工程司	蔡欣諭	
臺南分署	副工程司	曾子寧	曾子寧
臺東分署	副工程司	沈芸華	
花蓮分署	副工程司	林宜瑩	

113 年創研計畫成果發表會 B 場次

壹、開會時間：113 年 12 月 3 日(星期二)上午 8 時 00 分

貳、開會地點：本署府西辦公室第四會議室

參、主持人：王副署長晉倫

肆、出(列)席單位及人員

紀錄：黃奉琦

出席委員			備註
單位(機關)	職稱	姓名	
中興大學	計畫主持人	林昭遠	林昭遠
中興大學	計畫主持人	陳榮松	陳榮松
逢甲大學	計畫主持人	林秉賢	林秉賢
中興大學	計畫主持人	洪啟耀	洪啟耀
中興大學	計畫主持人	陳樹群	陳樹群
臺灣大學	計畫主持人	施上震	施上震
中原大學	計畫主持人	張德鑫	張德鑫
屏東科技大學	計畫主持人	謝啟茂	謝啟茂
屏東科技大學	計畫主持人	陳昆廷	陳昆廷
成大發展基金會	計畫主持人	林清一	林清一
中山大學	計畫主持人	廖德裕	廖德裕
雲林科技大學	計畫主持人	潘乃欣	潘乃欣

中央大學	計畫主持人	曾國欣	曾國欣
中興大學	計畫主持人	蔡鴻旭	蔡鴻旭
臺灣大學	計畫主持人	汪立本	汪立本
農村建設組	正工程司	盧啓榮	盧啓榮
減災監測組	正工程司	高百毅	高百毅
臺中分署	正工程司	陳錫勳	陳錫勳
產業發展及休閒組	副工程司	周奕成	周奕成
保育治理組	副工程司	施嘉昌	施嘉昌
保育治理組	副工程司	蕭惠民	蕭惠民
臺北分署	副工程司	黃有宏	黃有宏
南投分署	副工程司	張衛	張衛
臺東分署	副工程司	黃勝頂	
農村規劃組	工程員	黃韋智	黃韋智
保育治理組	工程員	吳漢揚	吳漢揚
保育治理組	工程員	王麗涵	
臺南分署	工程員	譚子涵	譚子涵
花蓮分署	工程員	呂育珊	

農村規劃組	助理工程員	吳瑞妍	吳瑞妍
臺南分署	約聘僱人員	王憲賢	王憲賢
坡地管理組	正工程司	黃勝堂	黃勝堂

113 年創研計畫成果發表會 C 場次

壹、開會時間：113 年 12 月 3 日(星期二)上午 8 時 00 分

貳、開會地點：本署府西辦公室第三會議室及視訊

參、主持人：陳主任秘書重光

肆、出(列)席單位及人員

紀錄：黃奉琦

出席委員			備註
單位(機關)	職稱	姓名	
中興大學	計畫主持人	陳佳正	陳佳正
暨南國際大學	計畫主持人	王國隆	王國隆
中央大學	計畫主持人	姜壽浩	姜壽浩
政治大學	計畫主持人	林士淵	林士淵
中興大學	計畫主人	李豐佳	✓
成功大學	計畫主持人	賴悅仁	賴悅仁
逢甲大學	計畫主持人	李秉乾	李秉乾
成功大學	計畫主持人	劉正千	劉正千
雲林科技大學	計畫主持人	郭治平	郭治平
中央大學	計畫主持人	于旺	于旺
成功大學	計畫主持人	余騰輝	余騰輝
逢甲大學	計畫主持人	黃振家	黃振家

臺灣大學	計畫主持人	陳麒文	陳麒文
成大發展基金會	計畫主持人	戴義欽	戴義欽
臺灣科技大學	計畫主持人	盧之偉	盧之偉
農村規劃組	工程員	吳俊龍	吳俊龍
農村規劃組	副工程司	馮偉新	✓
農村建設組	副工程司	黃振原	黃振原
產業發展及休閒組	工程員	莊凱仲	
保育治理組	工程員	王儼涵	王儼涵
保育治理組	副工程司	施嘉昌	
坡地管理組	正工程司	吳上豪	吳上豪
減災監測組	正工程司	郭力行	郭力行
臺北分署	副工程司	童偉安	童偉安
臺中分署	工程員	郭銓	郭銓
南投分署	工程員	李雲修	李雲修
臺南分署	工程員	鍾世文	鍾世文
臺東分署	副工程司	黃柏聰	
花蓮分署	工程員	葉卓翰	

113 年創研計畫成果發表會 D 場次

壹、開會時間：113 年 12 月 3 日(星期二)上午 8 時 00 分

貳、開會地點：本署府西辦公室專題討論會議室及視訊

參、主持人：簡俊發總工

肆、出(列)席單位及人員

紀錄：黃奉琦

出席委員			備註
單位(機關)	職稱	姓名	
逢甲大學	計畫主持人	陳柏蒼	陳柏蒼
臺灣災害管理學會	計畫主持人	吳杰穎	吳杰穎
成功大學	計畫主持人	蔡文柄	蔡文柄
陽明交通大學	計畫主持人	林子剛	林子剛
臺灣師範大學	計畫主持人	沈淑敏	沈淑敏
臺灣大學	計畫主持人	楊啟見	楊啟見
中國科技大學	計畫主持人	謝孟勳	謝孟勳
屏東科技大學	計畫主持人	陳天健	陳天健
中興大學	計畫主持人	張光宗	張光宗
臺灣大學	計畫主持人	劉格非	劉格非
臺灣大學	計畫主持人	林得恩	林得恩
陽明交通大學	計畫主持人	趙章安	趙章安

成功大學	計畫主持人	饒瑞鈞	饒瑞鈞
政治大學	計畫主持人	許環文	許環文
臺灣大學	計畫主持人	廖國偉	廖國偉
南投分署	科長	蘇科偉	蘇科偉
農村規劃組	正工程司	黃茂龍	黃茂龍
農村規劃組	副工程司	李憲昆	李憲昆
保育治理組	副工程司	蕭惠民	
臺北分署	副工程司	陳沛霖	陳沛霖
臺中分署	副工程司	黃文政	黃文政
南投分署	副工程司	林可薇	林可薇
臺東分署	副工程司	黃靜榮	
農村建設組	工程員	吳啓全	吳啓全
產業發展及休閒組	工程員	唐智皓	唐智皓
保育治理組	工程員	吳漢揚	吳漢揚
臺南分署	工程員	林士勛	林士勛
花蓮分署	工程員	陳子瑄	
減災監測組	聘用研究員	林駿恩	林駿恩

附錄七 期末審查會議意見與回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理意見
一	需要建立容易使用的對照表或規範，以確定降伏應力和土石流堆積量的關係，才能更方便地大量應用此方法，目前的適用範圍為何？	如果要大量應用，的確需要建立整個台灣地質區與河谷的降伏應力資料庫，目前驗證過的,都屬於陳有蘭溪區域還有台東高雄沿海區域,整個測量降伏應力並建立資料可能需要至少半年的時間
二、	在集水區長度很大的情況下，絕對誤差會比較大，本研究的快速計算方法其使用的限制為何？另外其隨集水區面積增加，在準確度之變化為何？	本計畫忽略底床強剪層的消能，忽略是採百分比觀念，但是當集水區很長,即使誤差百分比很小，絕對誤差還是會隨長度累積，因此對於長集水區，要降低絕對誤差,必須把強剪層的消能加回原方程式。
三	大集水區、流域長，即影響快速計算準確性，是否有其他外力因子影響準確性，可分析討論。	如意見 2，長集水區的絕對誤差要變小，必須把強剪層的消能加回去。這部分已經修正進結論。
四	倘有治理工程，快速計算之準確變化如何？	只要治理工程有圖，放進 DEM, 就可以計算，不受影響
五	坡地岩體與快速計算，是否有不同結果。	坡地岩體滑動，物理參數與快速計算不同，快速計算是把土體混水當作流體計算，而非土體，因此結果會差別很大