

使用Unity軟體模擬土石流之研究

*宋煦仁(Shu-Jen Song)
中華大學科技管理研究所

蕭炎泉(Yan-Chyuan Shiau)
中華大學營建管理學系

邱勇標(Yung-Piao Chiu)
中華大學科技管理研究所

摘要

台灣為東西較窄、南北狹長的型貌；主要河川具有流域面積狹小、主流流路短、水流湍急及坡度陡峭的特性，再加上受氣候條件的影響，於每年夏秋之際的颱風季節是台灣發生豪大雨機率最高的時間點，在短時間內的大量降雨，誘發坡地崩塌、土石流、淹水等災害的機率隨之增加。

從歷年災害統計資料顯示，以颱風引發的各種複合型災害最嚴重，在政府積極宣導下，一般民眾防災及避災的意識亦相對提昇，然對於所處的生活環境，究竟會在什麼樣的條件下發生什麼災害，仍無法預作想像，故以電腦程式將各種數據及參數等作設定，並透過電腦模擬以視覺方式呈現，可用於防災疏散以減少傷亡。

本研究擬使用文獻回顧及資料檢索，彙整目前山坡地土石流發生之原因，及探討相關模擬研究之現況，並使用遙控直升機搭配數位相機，拍攝易發生土石流河川山坡地區之現況照片，將這些相片上傳到雲端，使用 Recap 360 運算以建立河川、山坡地之 3D 模型，並進行網格面的優化處理，並匯入 Unity 軟體中。最後依據坡地及地質資料，考量土石流形成的誘發條件、土石流規模、流動方向、流動速度、造成破壞等，撰寫模型災難腳本，以進行測試，並發佈至網頁及行動平台，供居民使用，以協助居民做預防措施，以減少災害之發生

關鍵字：山坡地、土石流、電腦模擬、Unity、Recap

Study on Simulating Landslides Using Unity Software

Abstract

Taiwan is a narrow north-south strip island. Major rivers have the characteristics such as narrow basin areas, short mainstream flow path and fast-flowing and steep slope. In the summer and autumn of each year, typhoons always carry heavy rain for Taiwan. The heavy rainfall in a short time will induce slope collapses, landslides, flooding and other disasters.

Statistics show that complex hazards triggered by typhoon are the worst disasters. Under the active advocacy by government, the disaster prevention awareness

of the general population has been relatively promoted. However, it is still unable to imagine what disaster may occur under what conditions for the living environment. Therefore,

In this study, literature review and information retrieval are used to aggregate the reasons for hillside landslides and discuss the status of the relevant simulation study. Remote control helicopter and digital camera are used to take photos for hilly areas prone to landslides. These photos will be uploaded to the cloud and using Recap 360 to generate 3D models rivers and hillsides. The mesh surface of these 3D models will be optimized and imported to Unity. Finally, according to the slope and geological data, induce conditions of landslides, landslides scale, flow direction, flow velocity and causing destruction to design disaster for testing. The simulation results will be published to the web and mobile platforms to residents for making preventive measures and reducing the occurrence of disasters.

Keywords: Hillside, Landslides, Computer Simulation, Unity, Recap

一、前言

台灣地區位於歐亞大陸板塊與菲律賓海洋板塊的銜接處，屬於地質作用活動頻繁的地帶，在各種作用力持續進行下，使得台灣成為東西較窄，南北狹長的型貌；在中央山脈與雪山山脈的阻隔及影響下，又形成東短西長的特殊現象。整體而言台灣主要河川具有流域面積狹小、主流流路短、水流湍急及坡度陡峭的特性。加上受氣候條件的控制[1]，於每年夏秋之際的颱風是台灣發生豪大雨機率最高的時點，根據中央氣象局歷年來(1901-2011 年)雨量紀錄資料[2]顯示，24 小時累積雨量有增加的趨勢，意味著在短時間內的大量降雨，誘發坡地崩塌、土石流、淹水等災害的機率亦會隨之增加。

從台灣歷年 (1959-2009)，曾經發生人員傷亡的十大天然災害統計資料[3]，從發生次數比來看，係以颱風引發的各種複合型災害為最，因為颱風屢屢造成重大傷亡事件，在政府積極宣導下，一般民眾防災及避災的意識亦相對提昇，然對於所處在生活環境，究竟會在什麼樣的條件下，可能發生什麼樣的災害，仍無法預作想像，故以電腦軟體將各種數據及參數等預先設定，並透過電腦模擬方式予以視覺呈現，以利防災疏散並減少傷亡。

二、主要內容

2.1 研究動機與目的

本研究之目的包括：

- (一)使用文獻回顧及資料檢索，彙整目前山坡地土石流發生之原因，及探討相關模擬研究之現況。
- (二)使用直升機搭配數位相機，拍攝土石流河川山坡地區之現況照片。
- (三)使用Autodesk Recap透過雲端運算，建立河川、山坡地之3D模型，並進

行網格面的優化處理。

(四)匯入Unity軟體中，依據坡地及地質資料、考量土石流形成的誘發條件、土石流規模、流動方向、流動速度、造成破壞等，撰寫模型災難腳本進行模擬，並發佈至網頁及行動平台供居民使用。

2.2 土石流簡介

一般的自然災害發生時若包含了地質因素者，通稱為「土砂災害」，包括地表土壤沖蝕、崩塌、地滑、土石流、河川淘刷與堆積等。其發生之密度與規模，除了與降雨強度及雨量直接相關外，陡峭之坡地及地質脆弱地區尤易發生。土石流是泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，受重力作用所產生之流動體，水與固態物質間因充分混合之結果。土石流發生時往往因為其流速快、具突發性、衝擊力強及破壞性大而造成許多嚴重災情。

土石流災害之發生，乃因泥、砂、礫及巨石等地質材料與水之混合物受重力作用後產生流動所造成之災害。其發生主要包含下列三個條件：

2.1.1 充足的水量

土石流為流動體，最主要的動力來源是水流，也就是降雨。當雨水落入地面，雨水便會沖刷、侵蝕地表覆蓋的地質材料，使表面覆蓋土層因沖蝕而順著坡度往下流入低凹之處。當雨水較大時，也會滲入地表，弱化山坡岩層的力學強度，並會順著山坡內的不連續面產生側向水壓力以及上舉水壓力，使山坡在承受雙重水壓力之下產生崩移、破壞。雨水不僅飽和堆積溝谷的土石地質材料，過量的地下水也會順著溝谷基盤底下的不連續面往上浮出，當浮出的水量大到足以抬升整個堆積的土石時，所有堆積體便會開始順著地形坡度向下流動，觸發了土石流。

描述降雨特性與土石流發生關係的方式大致可區分為兩類：即敘述式土石流發生降雨條件，及方程式化土石流發生臨界降雨線：

(1) 敘述式土石流發生降雨條件

川上浩等人(1981)[8]研究降雨特性與日本宇原川土石流之關係，發現會發生土石流之降雨條件有三種：A.降雨強度 30-40 mm/hr 以上的雨，持續下3-6 小時，即會發生土石流，B.降雨強度雖小於30-40 mm/hr，但持續下3-6 小時後，累積雨量達150-200 mm 以上，即會發生土石流，及C.累積雨量達400 mm 以上，一定會發生土石流。謝正倫教授等人(1992)[9]分析花東地區土石流發生與降雨關係，結果顯示：當時雨量大於 27 mm/hr 而且累積雨量超過 360 mm 時，即有誘發發生土石流之可能。

(2) 方程式化土石流發生臨界降雨線

瀨尾克美、橫部幸欲(1978)分析日本土石流發生與降雨關係，建立土石流發生之降雨強度(I)與累積雨量(R)之臨界關係曲線，其關係式可表示為：

$$R = \frac{a}{b + I} \quad (1)$$

其中a及b為因地而異之經驗係數。

Caine (1980)[10]整理分析曾經發生過土石流之地區的降雨資料，結果認為發生土石流之臨界降雨線，可以降雨強度 I (mm/hr)及降雨延時 T (hours)來表示，即：

$$I = 14.82 \times T^{-0.39} \quad (2)$$

Keefer等(1987)[8]認為土石流發生與土層內的孔隙壓力有密切之關係，並以靜力學觀點推導得降雨強度 I 及降雨延時 T 與土石流發生之關係為：

$$(I - I_0) \times T \geq Q_c \quad (3)$$

式中 I 為降雨強度 (mm/hr)， I_0 為流失強度(mm/hr)， T 為降雨延時(hours)， $(I \times T)$ 為降雨總量， Q_c 為臨界水量。由於部份降雨以蒸發、蒸散、窪蓄、截留、逕流、及直接入滲到地表深層等方式流失，對增加孔隙壓力沒有直接貢獻。假設這些流失量亦正比於降雨延時，則對增加孔隙壓力有直接貢獻之有效降雨量為 $(I - I_0) \times T$ ，其中 I_0 為流失強度(mm/hr)。當有效降雨量大於或等於到達臨界孔隙壓力所需臨界水量 Q_c 時，則會形成地滑而造成土石流。然而流失強度 I_0 及臨界水量 Q_c 與當地地文因子及水文因子有關，因此不同地區之 I_0 及 Q_c 值可能不同。

Keefer等(1987)[8] 利用(3)式和Caine (1980)[9]，Cannon & Ellen(1985) [11]及 Wieczorek(1990) [11] 等人所收集之土石流資料及發生土石流時之降雨資料，以迴歸分析方法求出發生土石流之臨界降雨條件，如表三所示。圖二說明土石流發生與降雨強度及降雨延時之關係。由表3及圖1可知，在不同地區，由於堆積物特性、流域的地表形態、溪床坡度、地質及氣候等條件的不同，激發土石流所需之降雨條件亦有所不同。一般而言堆積物質的固體顆粒粒徑愈大、溪床坡度愈小，則激發土石流所需之降雨量愈大，反之愈小。

表1.激發土石流所需之降雨條件[8]， $(I - I_0) \times T \geq Q_c$

資料來源	I_0 (mm/hr)	Q_c (mm)	備註
Caine (1980)	4.49	13.65	不同地區多場土石流資料
Cannon-Ellen (1985)	6.86	38.10	同地區多場土石流資料
Wieczorek (1987)	1.52	9.00	同地區單場土石流資料

資料來源:(Keefer et al., 1987)

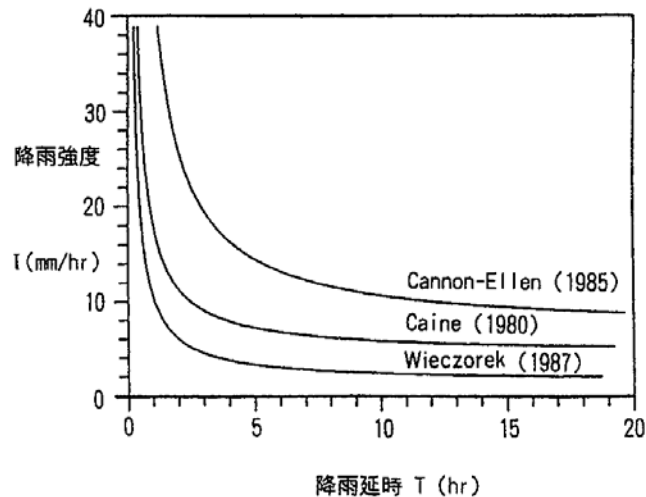


圖1、土石流之臨界降雨線(詹，1998) [14]

2.1.2 足夠的土方

足夠的土方指的是河流上游河谷中堆積物的量，河流上游堆積物來源除了地表土壤沖蝕所殘留於河谷中者外，最主要之來源乃為河流上游邊坡土石因崩塌或地滑而堆積於河谷中者。原本於溝谷或河谷上游就堆積了一些崩積土石，溝谷內河床上也會堆積鬆散土層。下雨時因為雨水滲入，使原本已堆積的土石地質材料達到飽和，進而產生流動體的運動，形成土石流。

3.有效的河床坡度

坡度是指地表面的傾斜狀況，如果地表面有傾斜角度，表示此地形具有坡度，便可提供土石流往下沖刷的動力，坡度越大整個沖蝕的動力便越大，一般土石流流動中溪床的坡度大都分布在 15° 以上。

日本Takahashi (1991)[5]曾經以靜力學觀點，推導清水流經砂礫堆積層時，可能形成土石流之砂礫堆積層可能坡角 θ (坡度 = $\tan \theta$)之範圍為

$$\theta_1 < \theta < \theta_2 \dots \dots \dots (4)$$

其中 θ_1 為土石流發生之最小坡角，而 θ_2 為土石流發生之最大坡角。當 $\theta > \theta_1$ 時，堆積層發生崩潰現象，崩潰之泥沙堆積於下游坡度較緩之處。反之當 $\theta < \theta_1$ 時，可能為不成熟土石流或一般水流輸砂或泥沙靜止不動。以礫石型土石流為例，理論上其發生之坡角範圍大約為 $14.5^\circ < \theta < 22.9^\circ$ (詹，1994)[6]。然而僅依據坡度 θ 的大小來判斷土石流是否會發生是不夠的，因為堆積層的物質成份及植生情形也是影響土石流是否會發生的重要因素。各學者提出土石流之地點及坡度如表3所示。

2.3 使用Unity模擬土石流

本研究使用遙控直升機，針對容易發生土石流之山坡地及河川等，以不同角度及高度拍攝照片，再將這些照片上傳到雲端進行3D建模，再匯入Unity中執行土石流模擬，其研究流程如圖2所示。

表3 土石流坡度特性彙整表

學者	研究地點	溪床坡度	年份
大同淳之	富士山西湖	20 度~30 度	1970
Campbell	美國加州地區	26 度~45 度	1975
Takahashi	美國地區	大於 15 度	1981
盧田和男	日本淀川流域	17 度~22 度	1983
山口伊佐夫	-	18 度~20 度	1985
游繁結	南投信義豐丘	17 度~23 度	1987
平野宗夫	室內試驗	15 度~22 度	1988
謝正倫	花蓮	10 度~25 度	1992
	台東	10 度~20 度	
林炳森	中橫關原橋附近	大於 15	1993
林美聆	花蓮銅門村	大於 19	1994
詹錢登	-	15 度~30 度	1997
陳榮河	新中橫公路	15 度~30 度	1999

資料來源：[7]

研究方法

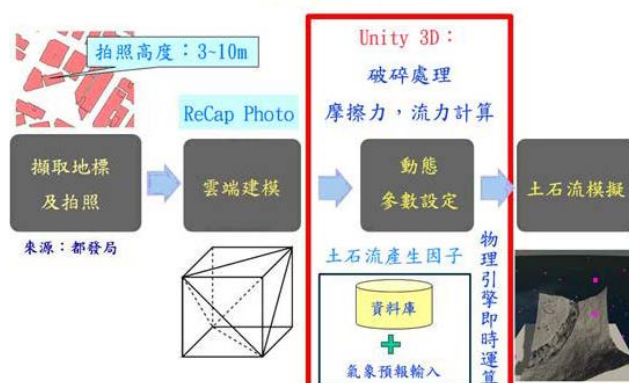


圖2、研究流程圖

A. 使用直升機搭配相機進行拍照

一般容易引發土石流地區，其山坡地之地理位置大都不易到達，尤其要建立一個比較完整的山坡地3D模型時，需要在不同之高度、角度多方取景，才能精確地建立該地區之最接近實況3D模型。使用遙控直昇機作現場空拍，約離地面高度大約在3~10公尺。一般須先作分區規劃，大約50公尺x 50公尺為範圍，若區域太大因照片資料太多，會造成雲端運算的困難。

B. 使用ReCap Photo雲端運算將照片轉成 3D Mesh模型

由Autodesk開發的Recap 360 [6] 提供了一個Web-based的工作和創造環境，能執行Autodesk的實物捕捉技術。Autodesk ReCap透過雲端運算將照片產生成3D模型，並生成網格模型，可以應用在建模軟體中作網格優化處理。圖3為本研究以某地區為例，採用無人機(UAV)所拍攝，尚未完成編修之**空拍**部分照片，在拍攝標物建模的過程中，需針對標的物的各個角度及高度取景，所產生出來之3D模型才會準確。

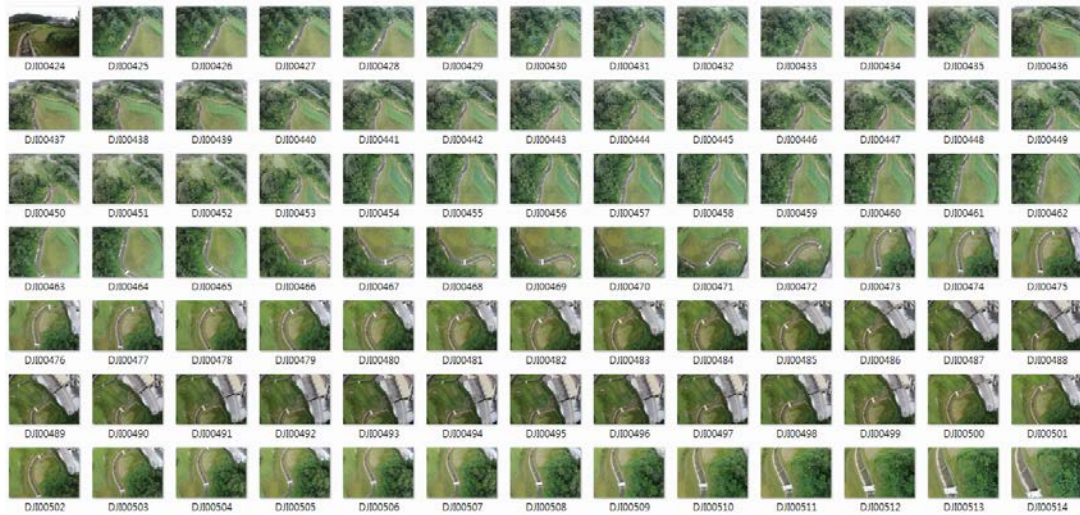


圖3、尚未完成修編之標的物空拍照片

C. 使用Unity執行土石流模擬

本研究之土石流模擬影片，即使用Unity來編輯及產生，其產生步驟如下所示：

(1)從recap.autodesk.com所獲得的模型，含有其他不需要的網格面，而且檔案大小非常大，必須利用3ds max軟體作整理，並且進行網格面的優化處理，最後取得的檔案約為雲端原始檔的1/20，才能在Unity 3D中作有效的應用。本階段主要為整理數位模型，去除植栽，在數位地形中重新種植，然後輸出成fbx檔，包含：

- a.使用3ds max軟體作整理及尺寸校正。
- b.使用Mudbox軟體，將網格(mesh)重新作拓撲(Retopology)，使模型更精簡。
- c.使用3ds max的外掛軟體rayfire將地形表面作破碎處理。



圖4、AUTODESK RECAP網站雲端運算產出之3D-RGB地形圖

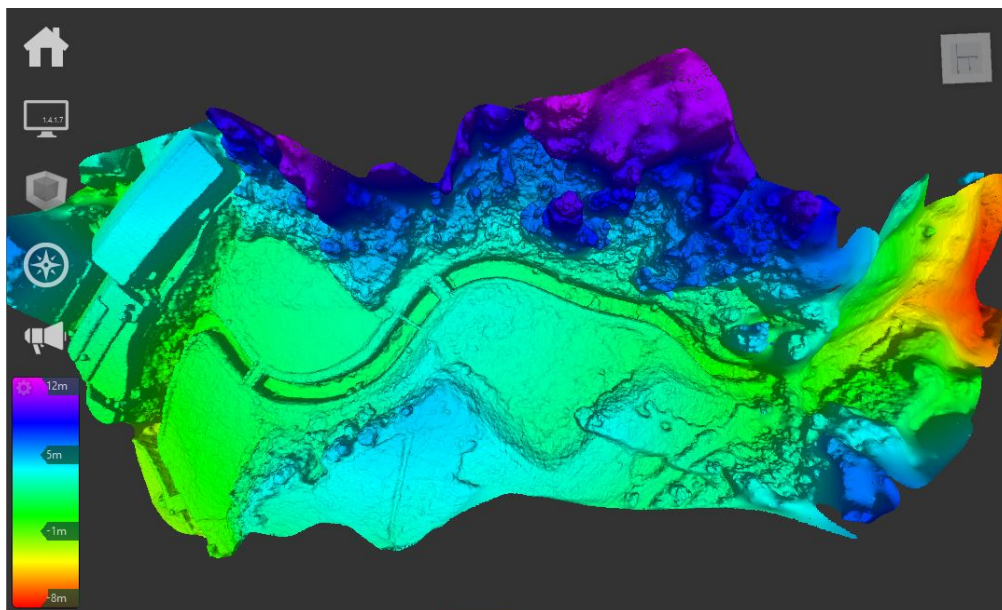


圖5、經AUTODESK RECAP網站雲端運算產出之3D-高程地形圖

- (2) 在Unity軟體中，取得各個網格的水平傾斜角度及累積雨量，作為土石流觸發的條件。
- (3) 在Unity中作雨量、時間、地質、植栽等條件之設定，作為土石流產生的條件。
- (4) 將檔案轉成Autoacad相容之點雲專案，或適用於Android、iOS、Window作業系統之APP檔 (如圖6所示)，提供網路下載使用，當氣象局發佈豪大雨時，當地的民眾可以下載使用，各區域依坡度不同，會隨著累積雨量及時間，分別產生不同規模土石流，可以提供民眾預警逃生之用。

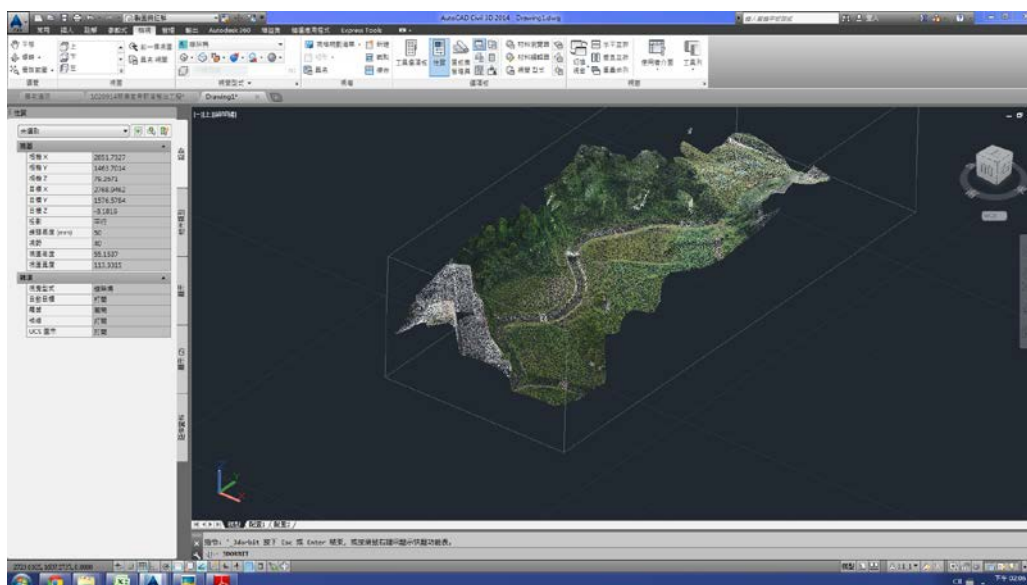


圖6、3D-RGB地形圖匯入Autoacad或Unity中修編畫面圖

2.4 結論

本研究彙整山坡地土石流發生的相關資料，歸納土石流發生的條件包含降雨量、坡地的坡度及適量的泥沙堆集量，並以遙控直升機拍攝山坡地之照片，上傳雲端建立山坡地之3D模型，匯入Unity軟體執行土石流模擬，其貢獻如下：

1.藉由遙控直升機搭配相機進行拍攝，直升機所掛載的相機畫面可精準拍攝影像畫面，可大幅降低以往空拍器材成本之費用。

2.藉由Autodesk Recap 360軟體平台，利用雲端運算技術，將現場照片建立成數位模型，並在經常產生土石流地區建立模型預警系統，該系統可以擴大到台灣所有可能發生土石流地區，有效預防豪大雨侵襲引發土石流沖刷，並作土地資源的有效管理及運用，避免造成國家經濟損失。

3.本研究以遊戲引擎為基礎，可以模擬出現場土石流預期發生地區的破壞情形，讓大家一目了然，本研究結果可以發佈行動平台上，一般民眾均可下載操作，可以達到預警的目的。

4.藉由Unity土石流模擬，模擬土石流災害發生時土石崩塌歷程，提供產官學界對自然災害的預防之參考。

三、參考文獻

1. 蔣丙然，臺灣氣候誌，臺灣研究叢刊，1954: 220 頁
2. 中央氣象局網站
3. 內政部消防署網站
4. 水土保持局，1992，水土保持手冊，工程方法篇
5. Takahashi, T. (1991), Debris flow. IAHR Monograph, printed in the Netherlands.
6. 詹錢登 (1994)，土石流危險度之評估與預測，中華水土保持學報，第 25 卷，第 2 期，第 95~102 頁。
7. Keefer, D.K. et al. (1987), Real-time landslide warning during heavy rainfall, Science, Vol. 238, 921-925.
8. 謝正倫、江志浩、陳禮仁 (1992)，花東兩縣土石流現場調查與分析，中華水土保持學報，第 23 卷第 2 期，第 109-122 頁。
9. Caine, N. (1980), The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows, Geografiska Annaler, Vol.62, 23-27.
10. Cannon, S.H. and S.D. Ellen (1985), Rainfall conditions for abundant debris avalanches in the San Francisco Bay Region, California, California Geology, Vol. 38, No. 12, 267-272.
11. Wieczorek, G.F. (1987), Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California, Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, 93-104.
12. 詹錢登(1998)，土石流的發生與運動，土木技術第一卷第一期，第 132-144 頁。

13. Autodesk 之 Recap 360 網站：<https://recap360.autodesk.com/signin.aspx>
14. Unity 網站：<http://unity3d.com/>
15. 3ds max 網站：<http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>
16. Autodesk 之 Mudbox 網站：<http://www.autodesk.com/products/mudbox/overview>
17. Rayfire 網站：<http://rayfirestudios.com/>