

應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 2022 年基隆槓子寮路土砂災害案例

林宥伯^{1,2*} 陳振宇² 莊承穎^{1,2} 高百毅²

¹⁾ 財團法人農業科技研究院。300-110 新竹市香山區大湖路 51 巷 1 號。

²⁾ 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號。

*通訊作者。電子郵件：negator.grave@gmail.com。

摘要

山區降雨促崩之土砂常進一步形成土石流，因其反應時間短，對民眾威脅極大。為進一步掌握此類災害之特性，透過數值模擬為常用之方式。本研究以日本京都大學開發之 iRIC Morpho2DH 免費版土石流模擬軟體，採固液兩相流模式，進行土石流事件模擬，並以 2022 年 2 月 23 日 18 時發生於槓子寮的土砂災害事件為例，完整呈現崩塌後土砂流動與堆積過程。模擬結果顯示，在土石流之扇狀堆積影響範圍上，模擬結果與事件結果相近，惟於流動段近上游處之堆積形式與災後 UAV 空拍建模之地形略有差異，推估應與回填土樣之參數設定，以及現場植被條件之影響有關，後續於模擬參數上仍有調整空間。

緒言

降雨誘發的淺層崩塌不僅可能直接導致土石掩埋房舍、道路或公共設施等災情，其土石如堆積於溝谷、坑溝且遭遇豐沛降雨時，亦可能造成土石流等二次災害擴大災情。為進一步掌握此類土石流災害之特性，許多研究常透過數值模擬方式估算土石流的流速、深度、流動路徑與影響範圍，並據以評估民眾可反應時間、疏散避難範圍路線規劃、避難收容處所位置規劃等。例如，Takebayashi et al. (2020) 曾應用 iRIC Morpho2DH 模式(Nelson et al. 2016)，模擬 2014 年 8 月 20 日，日本廣島市因降雨造成的土石流事件，國內亦有使用該模式應用於 2016 年 9 月莫蘭蒂颱風期間紅葉村土石流事件模擬(郭秉軒、馮正一，2020)。由上述案例研究結果顯示，iRIC Morpho2DH 可以有效模擬土石流深度、流動範圍、流速、動能方向等，並將模擬所得到的移動時間與範圍，進一步應用於防災規劃等重要工作。本研究嘗試使用 iRIC Morpho2DH 模式，探討 2022 年基隆槓子寮路填方區崩塌並引致土石流事件，模擬回填土體於飽合狀態下，土石流之流動深度、速度、時間、侵蝕與淤積過程，並配合災害現場照片及災後隔日 UAV 空拍與三維建模成果，進行模擬結果之比較與分析。

材料與方法

1. 研究區域與地形資料

本研究案例為 2022 年 2 月 23 日 18 時發生之回填土崩塌事件，地點位於基隆市信義區槓子寮 (TWD97：328313, 2781855)，坡地土壤屬石坑山系粉質壤土，邊坡無水系經過。本研究使用 2015 年內政部數值地形模型 (Digital Elevation Model, DEM) 作為災前地形，災後地形則使用水土保持局臺北分局於 2022 年 2 月 24 日以 UAV 空拍產製之數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)，並以此二者進行崩塌與堆積區土方量體估算，且將災後 UAV 空拍產製之正射影像作為模擬成果比較之底圖。依據災前及災後數值地形比對，崩塌最大深度約 25 m，崩塌及堆積區面積約 2 公頃，初估土砂量約 79,000 m³(圖 1)。

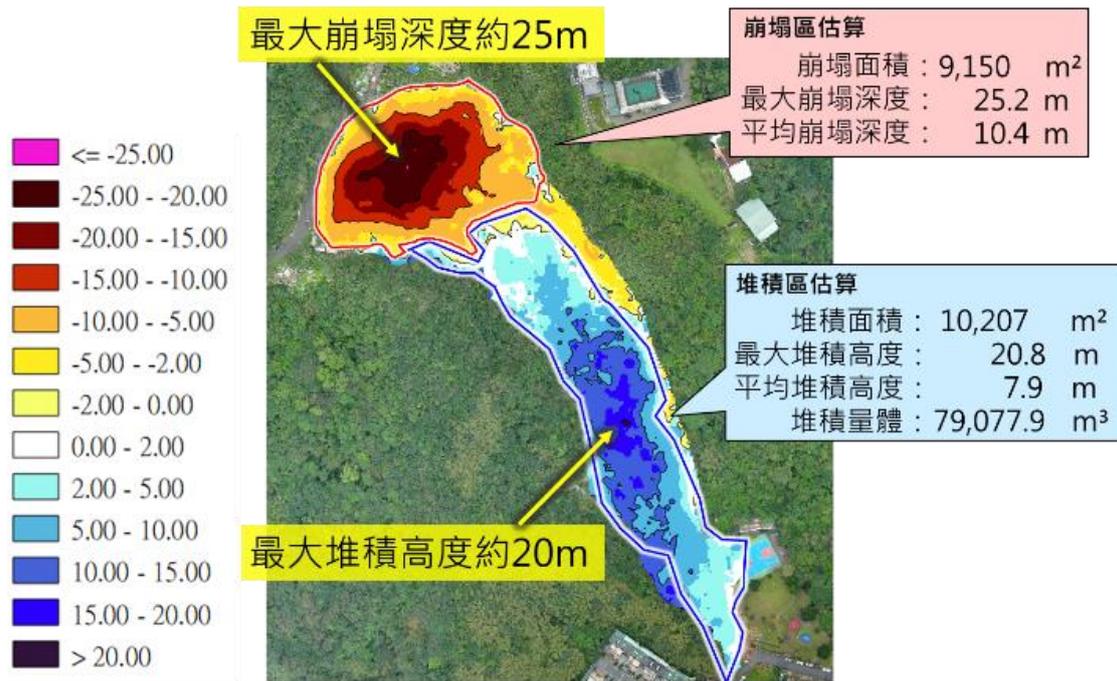


圖1.災後崩塌區與堆積區土砂量體估算。

2. iRIC Morpho2DH模式

iRIC(International River Interface Cooperative)係由日本北海道大學 Yasuyuki Shimizu 教授和美國地調所查 (USGS) Jonathan Nelson 博士於 2007 年創立，其目的是開發一個名為 iRIC 的免費軟體平台。最初係以河道流量分析為主，目前擴展到洪水預測、降雨徑流、海嘯、土石流模擬等。其中，iRIC Morpho2DH 模式是由日本京都大學 Hiroshi Takebayashi 教授開發，為一用於模擬土石流流動與地形動力學的程式，此模式可模擬坡地因崩塌進而產生土石流的運移堆積過程，其模擬流程如圖2。其中，由於本案例發生時，鄰近之基隆雨量站自2022/1/1至2022/2/24零時止，累積已高達1,237 mm，幾逾年平均雨量3,055 mm 之40%，且2022/2/23 17:00~19:00之時雨量僅為1~3mm，故本研究假設崩塌土體係為飽和狀態直接轉換成土石流，不計降雨逕流影響。模式所需參數、設定原則，以及本研究所使用之參數詳如表1。

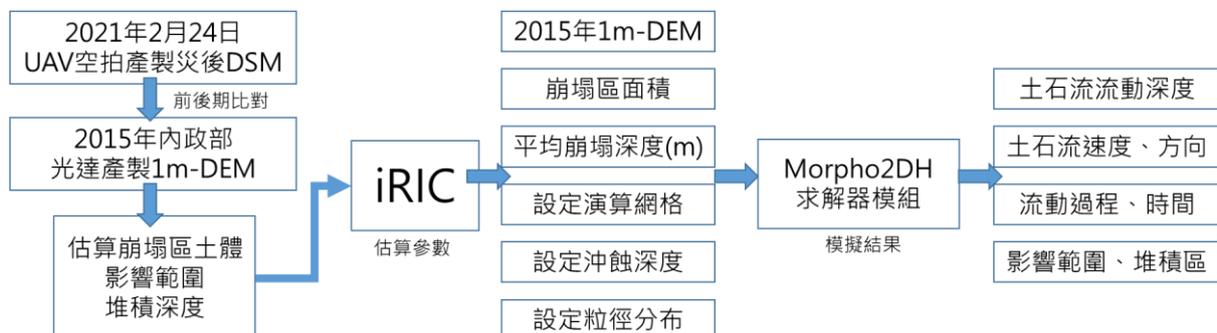


圖2. iRIC Morpho2DH 模擬流程圖

表1.本研究使用之模式參數設定說明

案例參數設定		
基本 假設	MaxErosionDepth	使用 BigGIS 參考 1979 年~2022 年航遙測影像、農業試驗所土壤資料平台、1986 年臺北縣-基隆市暨台北市山坡地土壤調查報告、災後空拍之裸露面。參考槓子寮附近為石坑山系，崩積土為大宗，設定最大土砂侵蝕層為 0.5m。
	地表植被	使用 BigGIS 參考 1979 年~2022 年航遙測影像、前述設定之土壤深度。假設植生為小灌木類，設定保守植被高度 1m，輔助地表粗糙度模擬。
	計算底圖	2015 年內政部數值地形模型 (Digital Elevation Model, DEM)。
	計算網格	使用 2 倍模組最小計算網格 1.5m*1.5m，取 3*3m 網格做設定(實際尺寸 2.94*2.8m，151*51=7701 格)
Morph2DH 模組		Calculation Conditions (Debris / Mud Flow)設定
iRIC 設定	Sediment Concentration	因崩塌土體為飽和之回填土，考量事件前後時雨量參數，移動過程含砂量隨時間變化較小，參考手冊，設定為 Constant。
	Sediment Concentration Value	模擬土石流/泥流之泥砂濃度較高，參考手冊 0~0.4，設定為 0.4。
	Liquid Behavior Sediment Ratio	土石流/泥流中，細粒料之液相行為泥砂比，以材料中 0.2mm 或更細微粒料作為估算比。參考手冊，本研究使用 0.1、0.01、0.001 參數作為設定值。
	Minimum Flow Depth	最小流動深度限制，用以穩定計算結果，單位 m。參考手冊與估算，設定為 0.1m
	Internal Friction Angle	參考災後空拍、石坑山系粉質壤土、一般回填土之參數， ϕ 值為 18°~21°，參考手冊，設定為 21°。
	Laminar Flow Depth	考量土體移動過程及雨量條件，參考手冊，設定層流深度不隨時間變化，選定 Constant。
	Laminar Flow Depth Ratio	模組分類上，土石流特性之層深比為 1，泥流之層深比小於 1，層深比為 1 時由底部層流層之降伏應力控制，省略紊流層之紊流應力，但因土體飽和、災後地表水分布、考量土體假設參數不足以完全反映層流層特性，因此參考手冊設定為 0.95，保留紊流應力參與模擬。
	ResistanceCoefficient	參考手冊，設置阻力係數以穩定層流深度，本研究使用 140、240 參數作為設定值。
	Non-Erodible Height	本次模擬未使用不可侵蝕構造物、建築物等，設定為 Disabled。
	Bed Material	簡化參數為均值粒徑，並參考土壤分類以 2mm 上限，設定代表粒徑為 0.002m。
Vegetation	搭配植被範圍，保守高度 1m，設定 Enabled。	
註：其餘設定使用 Morph2DH 模組起始設定		

結果與討論

經模擬測試，iRIC Morpho2DH 模式中影響流動範圍的主要參數為：液相行為泥砂比(Liquid Behavior Sediment Ratio, L.B.S.R)與阻力係數(Resistance Coefficient, R.C.)，液相行為泥砂比越大，以及阻力係數越小，則模擬之土石流流動性越佳。前者代表土體細粒料較多，流體特性高，而阻力係數作為簡化之模型參數，可因應不同材料特性設置，以收斂、穩定流動深度。為測試此二參數於本案例之適用性，本研究分別使用 L.B.S.R. 為 0.1、0.01、0.001，以及 R.C.為 140、240，共 6 種組合進行模擬，並將土砂模擬流動 120 秒之過程中，各網格之最大堆積深度繪製如圖 3。此外，依據現場人員回報及災害現場照片顯示，23 日晚間 19 時，堆積區外緣至籃球場西側籃框處，24 日災後空拍時，堆積區已延伸至籃球場中線處。其中，圖 3 上所標示之紅色虛線為 23 日晚間土砂堆積區之外緣；黃色虛線為 24 日上午 UAV 空拍時之堆積區外緣。

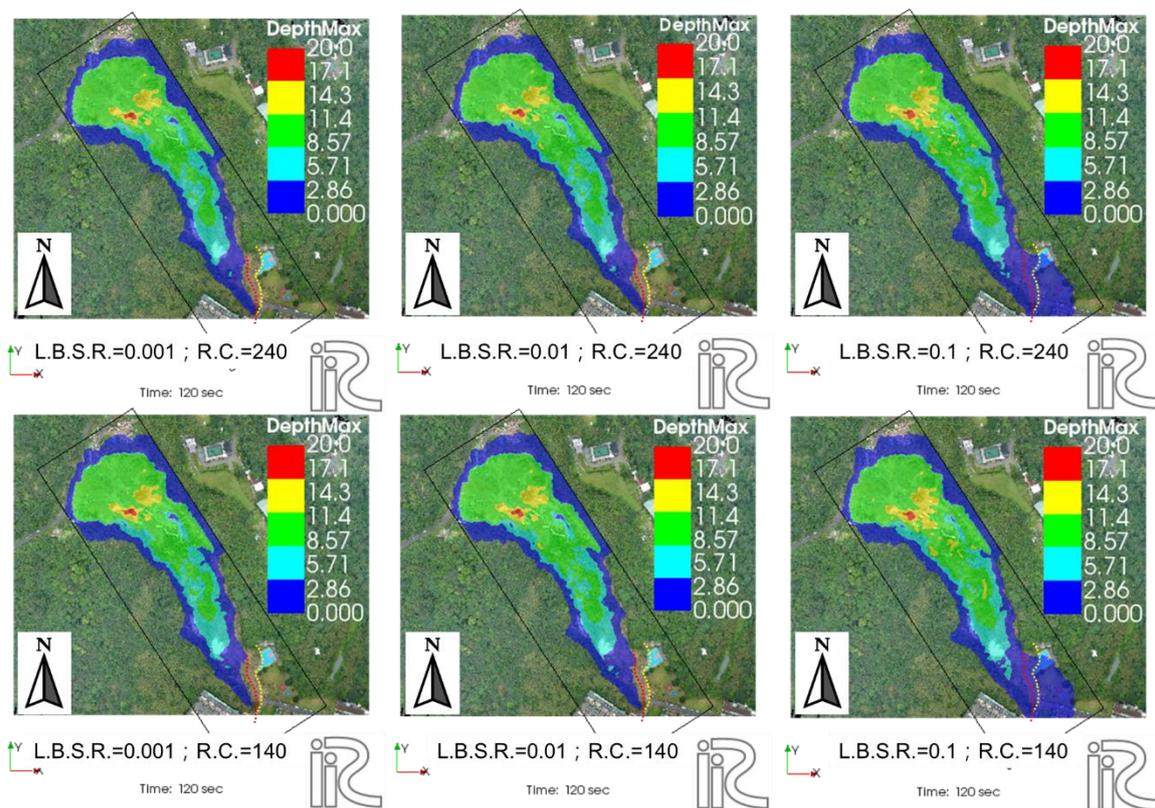


圖 3. L.B.S.R.及 R.C.參數組合模擬，DepthMax - Times = 120s

將圖 3 之 6 組參數模擬結果，對照災後正射影像堆積區之特徵與高程變化量，本研究最終選用與 2022/2/23 夜間土石流堆積區外緣即接近之參數組合(L.B.S.R.=0.01，R.C.=140)，進行後續流動過程之土石流移動深度、速度及方向等模擬，如圖 4 及圖 5。將模擬結果對照災前衛星影像及災後 UAV 空拍正射影像顯示，槓子寮路旁崩塌發生後，土石流流動路徑沿山溝地形往下，約莫 20 秒即抵達教忠公園外沿，地形轉折處最大堆積深度可達 10m。受坡度與轉折影響，20 秒後，土石流於流動段末端受地形二次轉折作用，速度與流向開始往教忠公園處移動，之後此處受地形凹谷與坡度趨緩影響，形成堆積區。

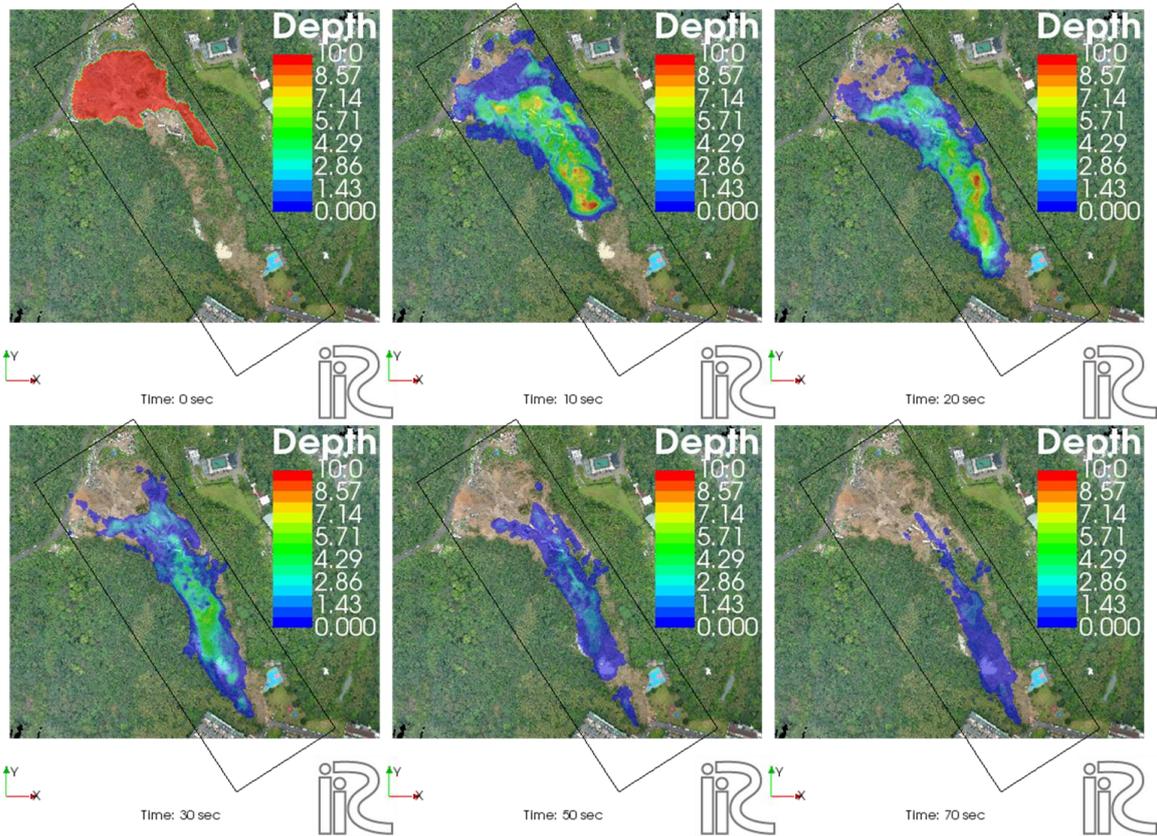


圖4.土石流流動過程及流動深度變化(L.B.S.R. = 0.01；R.C. = 140)

藉由程式模擬，可得出土石流移動深度、速度、方向等發生過程(如圖 5)，以及侵蝕/淤積分布、時間-影響範圍等，與災後影響範圍、堆積範圍結果相近。

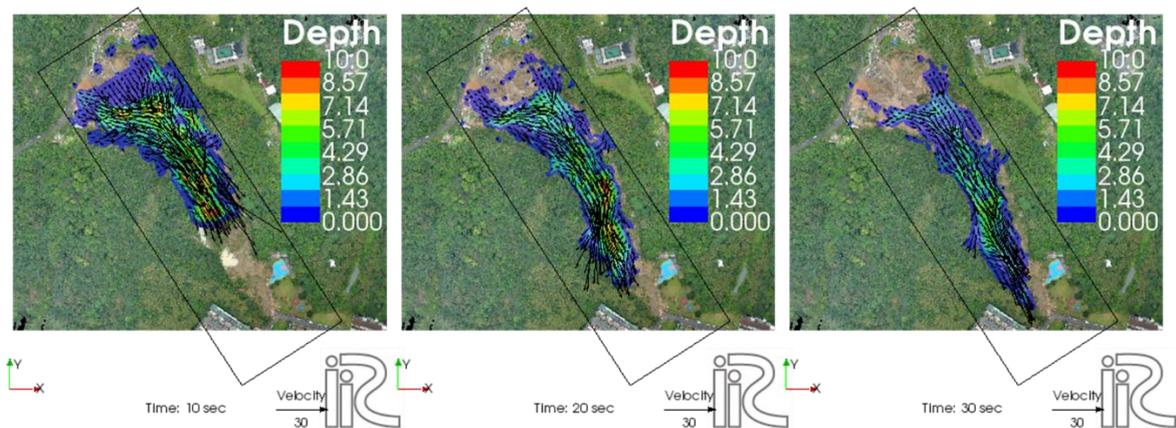


圖5.深度與速度分布(深度單位：m。速度單位：m/s)

對照模擬所得之土石流流動段過程，模擬之堆積區趨勢上與災後現地狀況相同，但進一步比較崩塌區至堆積區中間之土砂堆積深度，與應用前後期數值地形計算之結果相比，其土砂堆積深度仍略有差異。由災後 UAV 空拍所建置之三維立體模型觀察，此部分之差異可能受現地較為高大且聚集之喬灌木，植被未被土體沖散沒入，停留於流動段上方，因此於數值模型結果上，高度與模擬結果有差異。

由於臺灣土地 70%為山坡地，氣候與地形環境多元且地質年輕脆弱，在地狹人稠的情況下，山坡地之開發與在安全的前提下進行合理利用為無法迴避之問題。由過去的案例可知，不同的地質條件、土砂料源以及觸發因子，均可能導致不同型態的土砂

事件，因此應用數值模擬程式估算不同條件、量體、材料所引致的不同土砂災害過程、影響範圍，將有助於防災規劃與疏散避難之應用。本研究應用 BigGIS 之歷年長期航遙測影像，判釋事件區域過去之開發行為、災害紀錄、植被條件、地質特性等，可提供數值模擬時評估相關參數設定及模擬成果驗證的重要參考資料。

此外，由於災害應變有其急迫性與時限性，一旦上游發生崩塌後，如何在最短的時間內快速完成是否會衍生土石流等二次災害之評估，以及發生後之土砂堆積等影響範圍，係為坡地防災上的重要議題。儘管目前國內外已有不少土石流模擬軟體，但有些需要高額的費用，有些則需另外設定降雨逕流與水文參數，操作上較為複雜。相對而言，iRIC Morpho2DH 模組可對土石流/泥流土體進行參數簡化，對其流動特性、層流交互作用，模擬出土砂災害過程，並能結合更多參數，如自訂粒徑分布之動床、均值粒徑等進行更細緻的侵蝕淤積模擬、評估區域土砂濃度變化等；同時，也可結合防砂壩、保全對象之構造物，設定不可沖刷數值，以進行治理工程前後，聚落安全與工程效益評估等工作。未來若能結合邊坡鑽探資料建立合適之地質模型，並設定更符合現地之土壤參數、更高頻率的定期光達數值地形等，將可進一步提高模擬成果，並有助於坡地防減災相關工作。

引用文獻

Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Iwasaki, T., Kakinuma, T., Kawamura, S., Kimura, I., Kyuka, T., McDonald, R. R., Nabi, M., Nakatsugawa, M., Simões, F. R., Takebayashi, H., Watanabe, Y., (2016). "The international river interface cooperative: public domain flow and morphodynamics software for education and applications." *Advances in Water Resources* 93, 62 – 74.

Takebaya, H. and Fujita, M. (2020). " Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model." *Geosciences* 2020, 10, 45, doi:10.3390/geosciences10020045.

Takebayashi, H. (2016) Morpho2DH Tutorial - Bed Material Load, An iRIC Project document.

水土保持局 (2022) 111 年重大土砂災例最速報 - 基隆市信義區孝忠里。
[https://246.swcb.gov.tw//All-Files/PDF/01.111%E5%B9%B4%E5%85%B6%E4%BB%96-%E5%9F%BA%E9%9A%86%E4%BF%A1%E7%BE%A9-001\(%E6%9C%80%E9%80%9F%E5%A0%B1\).pdf](https://246.swcb.gov.tw//All-Files/PDF/01.111%E5%B9%B4%E5%85%B6%E4%BB%96-%E5%9F%BA%E9%9A%86%E4%BF%A1%E7%BE%A9-001(%E6%9C%80%E9%80%9F%E5%A0%B1).pdf)

水土保持局(2022) 槓子寮崩塌事件 3D 模型。
https://tech.swcb.gov.tw/3D/2022/gun_0224/App/#%2F

郭秉軒, 馮正一 (2020)運用 iRIC Morpho2DH 程式模擬 2016 年紅葉村土石流災害過程。大地工程學術研究討論會論文集(Geotech2020)

農業試驗所土壤資料供應查詢平台 <https://tssurgo.tari.gov.tw/Tssurgo/Map>

臺灣省政府農林廳山地農牧局(1986)山坡地土壤調查報告-臺北縣、基隆市暨臺北市。