



應用 Hyper KANAKO 模式 模擬建物對土石流溢淹之影響 — 以臺東縣紅葉村為例

Application of Hyper KANAKO Model to Simulate the Influences of Buildings on Debris-Flow Flooding— A Case Study in Hongye Village, Taitung County

許汶芳／國立成功大學水利及海洋工程學系 碩士

詹錢登*／國立成功大學水利及海洋工程學系 特聘教授

本研究使用 Hyper KANAKO 模式，以紅葉村土石流潛勢溪流（東縣 DF166）為模擬對象，探討流路上建物阻擋對土石流溢淹範圍之影響。考量土石流規模、流路上建物存在與否及建物排列形式等不同條件，分成四種方案進行模擬。方案一以 2016 年莫蘭蒂颱風土石流出流量為輸入條件進行模擬，並將模擬結果與實際土石流溢淹情形進行比對；方案二與三是按土石流流出量與集水區面積關係設定出四種不同土石流可能流出量，模擬無建物（方案二）及有建物（方案三）在此四種不同流出量條件下的溢淹情形；方案四在兩種土石流流出量及四種不同建物排列（三角形排列、倒三角形排列、長矩形排列與寬矩形排列）條件下，探討建物排列形式對於土石流溢淹範圍之影響。方案一的模擬主要用於參數率定及模式驗證，結果顯示土石流溢淹情形的模擬結果與實際狀況約有 80% 的吻合率，顯示 Hyper KANAKO 模式具有良好的模擬效果。由方案二與三的模擬結果，可知流路上建物的存在會阻礙土石流的流動，迫使土石流往橫向流動並擴大溢淹範圍。方案四的模擬結果則顯示建物排列形式會影響溢淹範圍，尤其是前段建物的阻擋效應會影響到後續土石流流動方向及溢淹範圍。

關鍵字：土石流、Hyper KANAKO 模式、建物阻擋、溢淹範圍

ABSTRACT

This study utilizes the Hyper KANAKO model to investigate the impact of buildings obstructing debris flow paths on inundation areas, using a debris-flow-prone stream in Hongye Village (Taitung DF166) as the simulation target. Four simulation scenarios were conducted under various conditions, including debris flow scale, the presence of buildings along the flow path, and building arrangement configurations. Scenario 1 simulates the debris flow caused by

Morakot Typhoon in 2016, compared with the actual debris-flow inundation situation. Scenarios 2 and 3 consider four different debris flow discharges, based on the relationship between debris-flow total volume and its corresponding watershed area. These scenarios simulate inundation situations without buildings (Scenario 2) and with buildings (Scenario 3) for these four discharge levels. In Scenario 4, simulations are conducted for two debris flow discharge levels and four different building arrangements to investigate the impact of building arrangements on the debris flow inundation. The outcomes of the Scenario 1 show an approximately 80% agreement between the simulated and actual debris flow

* 通訊作者，cdjan@mail.ncku.edu.tw

inundation areas, demonstrating the effective capability of the Hyper KANAKO model in debris flow simulation. Results from the Scenarios 2 and 3 simulations suggest that the presence of buildings along the flow path obstructs debris flow, compelling it to move laterally and expand inundation area. Results from the Scenario 4 simulation reveal that building arrangements significantly affect the extent of inundation, especially the obstructive effect of upstream buildings impacting the subsequent direction of debris flow and inundation area.

Keywords: Debris flow, Hyper KANAKO model, Buildings obstruction, Inundation areas

前言

在 2016 年 9 月莫蘭蒂颱風 (Typhoon Meranti) 侵襲台灣期間，臺灣東部降下超大豪雨，最大總累積雨量及最大 24 小時累積雨量均發生於屏東縣泰武鄉西大武山雨量站，分別為 876.5 mm 及 800.5 mm^[1,2]。莫蘭蒂颱風帶來的高強度豪雨導致發生一些坡地土砂災害及淹水災情，其中台東縣延平鄉紅葉村部落上方發生崩塌，引發土石流，對紅葉村造成嚴重的災害衝擊，村內建物遭大量土砂堆積與掩埋。事後災害調查發現，土石流流動受到流路上建築物的阻擋，有改變流動方向及溢淹範圍的情形。

本研究考量土石流規模、流路上建物存在與否及建物排列形式等不同條件，以紅葉村土石流潛勢溪流 (東縣 DF166) 為例，使用 Hyper KANAKO 模式，探討流路上建物阻擋對土石流溢淹範圍之影響。一般文獻有過說明土石流對於流路上建物的衝擊與破壞^[3,4]，但是鮮少文獻提到有關土石流流路上建築物阻擋對土石流流動方向及溢淹範圍的影響。Hyper KANAKO 開發者發表的文章中提到當土石流衝擊房屋時，會有擴散溢淹及土砂常在房屋之間堆積的現象^[5]。本文利用 Hyper KANAKO 模式針對實際災害及假設多種建物排列方式進行土石流模擬，藉此了解此模式於紅葉村集水區受建物影響之土石流流動特性及可能溢淹範圍，以統整出不規則排列 (實際建物) 及不同排列形式之建物對土石流溢淹之影響，期望模擬結果對土石流防災工作之推動具有正面價值，並可供日後評估區域內設有建物時受災風險之參考，提高土石流區域事前災害預防作業之效能。

研究區域

本研究區域紅葉村集水區位於臺東縣延平鄉紅葉村之東部地區 (圖 1)。紅葉村位於延平鄉西南部山

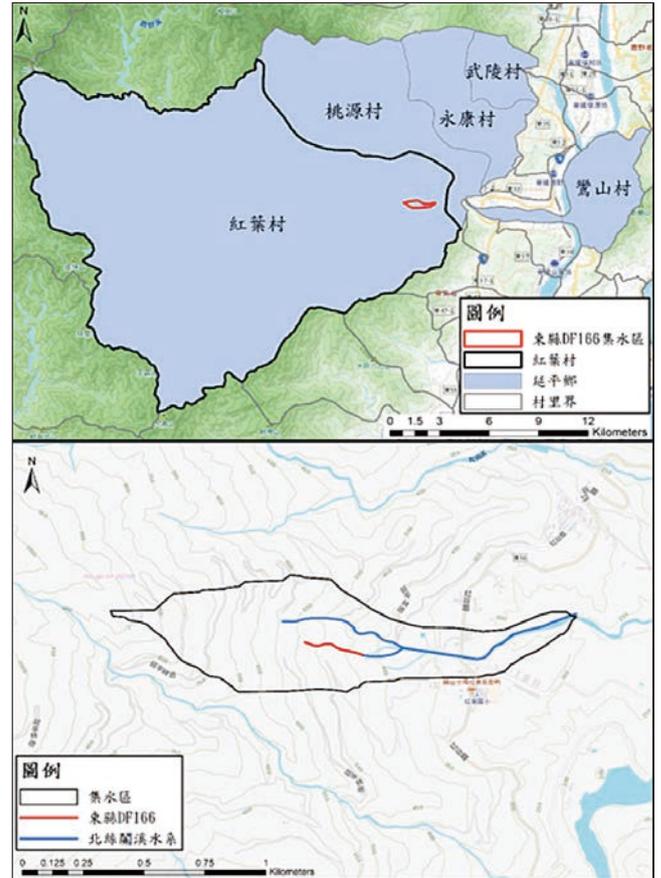


圖 1 台東縣紅葉村及東縣 DF166 集水區地理位置圖

區，占地約 328.2 平方公里，約為延平鄉土地面積之 68.3%，村內多為山地地形。本研究以 2016 年紅葉村土石流為模擬對象，其災害溪流原發生於紅葉村及紅葉國小西端上游處之蝕溝，此蝕溝受 2016 年莫蘭蒂颱風影響而發生了大規模崩塌和土石流災害^[2]。農委會水土保持局 (現已經升格更名為農業部農村發展及水土保持署) 已於 2017 年正式公告此處為「土石流潛勢溪流東縣 DF166」(表 1)，其位於紅葉村集水區上游，與集水區山區南邊的北斯蘭溪支流上游處幾乎重疊，隸屬於北絲蘭溪 (又名鹿野溪) 流域，為卑南河流域之支流，再於卑南溪下游處流入臺灣東部海域，如圖 1 所示。

表 1 東縣 DF166 土石流潛勢溪流相關基本資料

土石流潛勢溪流	東縣 DF166
地理位置	臺東縣延平鄉紅葉村
地標	紅谷橋
鄰近道路	東 36 縣
初估保全戶數	五戶以上
風險等級	高
公開年份	2017
降雨警戒值 (mm)	450
溪流災害種類	溪流型

(資料來源：土石流防災資訊網)

研究方法

使用模式之概述

本研究所使用的 Hyper KANAKO 數值模式係由日本京都大學之 Kana Nakatani 教授 [6] 團隊所開發之土石流模擬套裝模式。以 2008 年發表的 KANAKO 2D 模式為基礎 [7,8]，於 2012 年提出進階版之 Hyper KANAKO 土石流模擬模式。Hyper KANAKO 模式可直接匯入數值高程模型 (DEM) 進行土石流模擬，適用於土石流預測模擬、防砂壩興建規劃及現有防砂壩之管理等，模式結合 QGIS 地理資訊系統，整合二者的操作介面，使圖形使用者介面 (Graphical User Interface, GUI) 更為簡潔且便於操作，大幅簡化操作程序，提高使用者在操作視覺上的流暢度 [5,9-11]。此外，Hyper KANAKO 模式具有設定及模擬一維與二維區域的功能。

Hyper KANAKO 模式是以高橋 [12] 所提出的控制方程式為基礎進行開發，其中包含連續方程式、動量方程式等。土石流模擬過程中，控制方程式用以確定土石流之流速、流深、土砂濃度和河床水位等，而這些值為時間及空間的函數。自土石流發生到流動和堆積過程的控制方程式，皆使用與時間和空間相關之偏微分方程式來表示，其分別由連續方程式及動量方程式所組成，如方程式 (1) 至 (5) 所示。

連續方程式

土石流總體積：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = i \quad (1)$$

土石流土砂濃度：

$$\frac{\partial (Ch)}{\partial t} + u \frac{\partial (Ch)}{\partial x} + v \frac{\partial (Ch)}{\partial y} = iC_s \quad (2)$$

河床高程變化：

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i = 0 \quad (3)$$

式中， h 為流動深度； t 為時間； u 、 v 為 x 、 y 軸流速； i 為侵蝕或堆積速度； C 為土砂體積濃度； C_s 為底床體積濃度； z 為河床高度。

動量方程式

X 軸方向 (主流流動方向)：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} \quad (4)$$

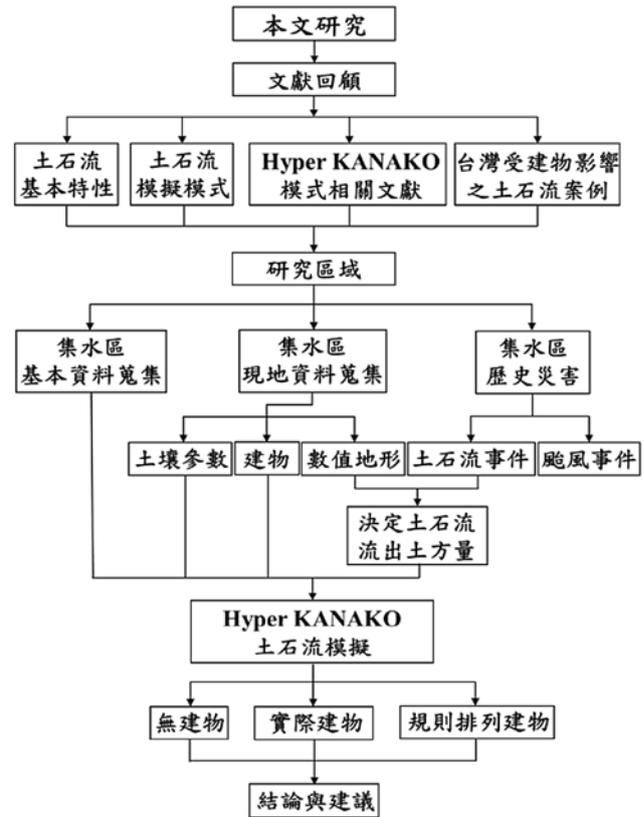


圖 2 本研究流程圖

Y 軸方向 (橫向流動方向)：

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} \quad (5)$$

式中， H 為流體高程， $H = h + z$ ； g 為重力加速度； ρ 為清水密度； τ_x 、 τ_y 分別為 x 、 y 軸河床剪應力。

研究架構與流程

本文之研究流程圖，如圖 2 所示。首先蒐集土石流相關案例、文獻及模擬模式，最後選定使用 Hyper KANAKO 模式，並以台東縣延平鄉紅葉村作為研究區域。接著蒐集紅葉村之地文與水文特性，包含集水區地形地勢、現地資料及歷史土石流災害等，供模式模擬使用。根據現地土壤參數、建物、數值地形與實際災害設定案例進行參數設定。針對四項假想情境案例，模擬土石流受建物影響之流動情況。最後綜整模擬結果，以利後續土石流模擬或防減災參考。

模式相關參數設定

初始地形設定

本研究使用內政部地政司衛星測量中心之全臺灣 5 公尺網格的數值高程模型 (DEM) 資料，並以 ArcGIS

繪製研究區域之集水區範圍，進而從中獲取集水區坡度、坡向、面積、高程等地形參數，以供後續相關參數設定及模式演算使用。Hyper KANAKO 模式與 QGIS 整合共用操作介面，因此進行模擬時可匯入數值地形資料供模式讀取使用。

地文參數設定

在模式中相關地文參數的設定在 Dem · Dams · Observation 工作表中進行。參數敏感度分析結果顯示土石流濃度、內摩擦角及曼寧粗糙係數等土壤參數容易影響模擬結果，因此在輸入這些參數時應謹慎斟酌其適用性來做合理設定。

表 2 為本研究使用的相關參數，地形參數中所採用之現場取樣資料，有些參數參考「105 年重大土砂災害紀錄及資料分析成果報告」^[13] 中的現地土壤參數資料。此外，相關參數的設定也參考河道泥沙運移學^[14] 及前人相關土石流模擬的經驗^[12,15,16]。

表 2 本研究基本地文參數設定

No.	Parameter	Value
1	Time interval of calculation (sec)	0.01
2	Mass density of sediment (kg/m ³)	2650
3	Mass density of fluid phase (kg/m ³)	1000
4	Concentration of movable bed	0.65
5	Manning's roughness coefficient	0.04
6	Simulation continuance time (sec)	1800
7	Diameter of material (m)	0.007
8	Internal friction angle (deg)	37.78
9	Time interval of input hydrograph data (sec)	2
10	Time interval of output result data (sec)	5

- (1) 演算時間間隔：本研究使用其預設值每 0.01 秒演算一次。
- (2) 土石密度：採用 2,650 kg/m³。
- (3) 流體密度：採用清水密度 1,000 kg/m³。
- (4) 底床體積濃度：此模式中 0.6 至 0.7 皆為合理設定範圍，採用中間值 0.65。
- (5) 曼寧粗糙係數：參考水土保持手冊進行設定。研究區域屬於無內面工，溝內物質屬於溝身整齊者稀疏草生，故取其平均值設曼寧粗糙係數為 0.04。
- (6) 模擬連續時間：臺灣地區坡度較陡且流程較短，一次土石流流動約在 15 分鐘內結束^[3]。故本研究將此設定為 30 分鐘（1800 秒），以確保集水區內模擬之土石流流動皆完整結束。
- (7) 材料粒徑：參考現地踏勘調查報告中各取樣點之泥沙粒徑資料，因各取樣點都位於溪流中游，故採用各粒徑曲線中 d_{50} 之平均值作為代表粒徑，泥沙粒徑約為 7 mm。
- (8) 內摩擦角：此參數同材料粒徑之取樣點資料，並取各泥沙取樣點之內摩擦角平均值設定，內摩擦角約為 37.78 度。
- (9) 水文數據輸入時間間隔：控制土石流流量歷線中擷取水文數據輸入上游邊界條件之時間間隔，本研究設定為每 2 秒提供一筆土石流流量數據給邊界條件使用。
- (10) 結果數據輸出時間間隔：模擬結果會以數據及圖片的方式輸出，為得到更詳細之演算結果，本研究設定每 5 秒輸出依筆模擬演算結果。

河道參數設定

在河道演算使用 Hyper KANAKO 模式中的一維河道模式進行模擬演算，在模式的 River Bed 工作表設定有關河道的相關資訊，包括一維河道河床高程、一維河床寬度及不穩定土層厚度等等。

1. 河道河床高程：模式會自動偵測 DEM 中的一維溪溝並輸入河道高程。本研究使用 5 公尺網格地形數據，自溪流起始點起，將每 5 公尺設置一模擬點至一維河段下游端結束點處。
2. 河床寬度：本研究藉由 ArcGIS 軟體自現地航拍圖及正射影像中量測河道寬度，河寬約為 10 公尺。
3. 不穩定土層厚度：其初始值為 0 公尺。若於動床模擬時，可以於定床上添設此參數作為可沖刷土壤深度。本研究僅使用定床模擬，故沒有更改此項參數。

土石流入流歷線設定

(1) 土石流總體積

使用 Hyper KANAKO 模式進行土石流演算需要上游的土石流入流量及入流歷線。本研究使用前人所建立之集水區面積 (A) 與土石流流出土方量 (V) 之間的經驗關係式，來估算研究區土石流潛勢溪流（東縣 DF166）發生土石流的規模。根據日本建設省日本國內 550 處土石流災害進行現場調查結果，集水區面積 (A) 與土石流流出土方量 (V) 之關係，如圖 3 所示。蔡元芳^[17] 曾經比對臺灣地區與日本地區土石流資料（圖 3），建議採用不被超過機率 90% 或 95% 來估算臺灣土石流潛勢溪流可能流出土方量。

本研究土石流潛勢溪流（東縣 DF166）的集水區面積為 0.336 km²，採用迴歸方程式（表 3），可以估算出 V_{50} 、 V_{70} 、 V_{90} 及 V_{99} 等四種土石流土砂流出體積，依序分別為 6,992、13,914、36,499 及 141,240 m³。

表 3 土石流流出量與集水區面積迴歸式

土沙流出量 不被超過機率	迴歸方程式 (A : km ² , V : m ³)
50%	$V_{50} = 13600 A^{0.61}$
70%	$V_{70} = 27064 A^{0.61}$
80%	$V_{80} = 13600 A^{0.61}$
90%	$V_{90} = 70992 A^{0.61}$
95%	$V_{95} = 113968 A^{0.61}$
99%	$V_{99} = 274720 A^{0.61}$

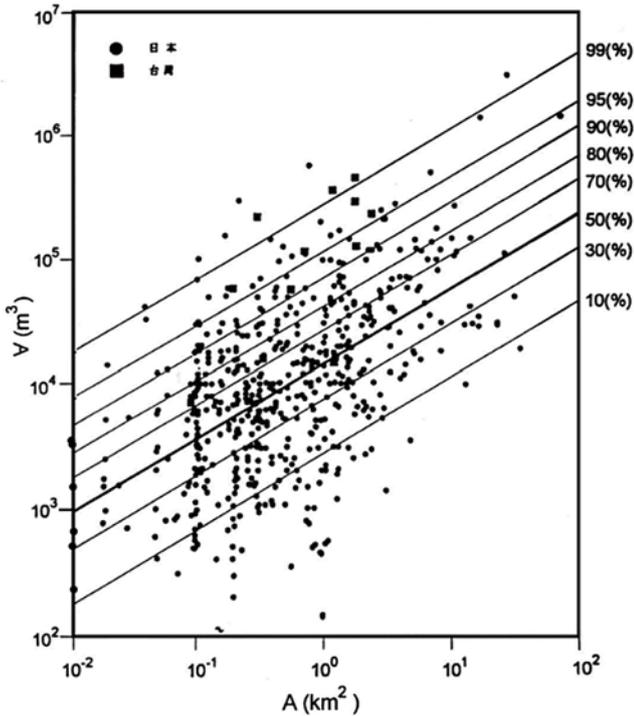


圖 3 土石流流出土方量與集水區面積關係圖 [17]

依此所得土石流土砂流出體積，用 Hyper KANAKO 模式開發者 Nakatani 教授建議的方法計算土石流尖峰流量公式 [18]，估算對應之尖峰流量，並據以建立土石流入流之流量歷線。土石流尖峰流量公式，如 (6) 及 (7) 所示。

$$\sum Q = \frac{V_d C_*}{C} \quad (6)$$

$$Q_p = 0.01 \sum Q \quad (7)$$

式中， $\sum Q$ 為土石流總流量 (m^3)； V_d 為流出土方量 (包含空隙) (m^3)； C_* 為底床體積濃度； C 為土石流土砂體積濃度； Q_p 為土石流尖峰流量 (m^3/s)。

(2) 土石流流動濃度

本研究根據 Takahashi [19] 提出之平衡濃度 (C_{∞}) 公式來判斷集水區之土石流體積濃度，此公式必須在 $\tan\phi > \tan\theta$ 的條件下方可成立，且 C_{∞} 大於 0 並小於 0.9。如果公式計算結果出現 $C_{\infty} > 0.9$ 的情形時，則令 $C_{\infty} = 0.9C_*$ 。另外，詹錢登 [3] 提及土石流的泥沙體積濃度約介於 0.27 至 0.80 之間；水土保持手冊 (2017) 中說明一般土石流之體積濃度可取 0.3 至 0.7 之間 [20]。本研究以 Takahashi 公式估算得出之土石流流動的體積濃度為 0.32。

建物設定

本研究區域內之建物除了紅葉派出所及紅葉國小外，其餘多為住宅，因此本研究於建物之設定以房屋為主，不針對房屋以外之建物進行模擬。此外，Hyper KANAKO 模式中建物皆設定為不可摧毀，且建物內部無法設定空隙，故模擬結果將不會發生建物遭衝擊毀損倒塌，及土砂堆積於建物內的情況。

建物的設定，為了配合模擬網格之方位及大小，將根據災害後之正射影像及航照圖所繪製的實際建物 (圖 4) 進行簡化 (圖 5)。建物簡化之標準為根據單一網格內原始建物所占的面積來進行。若單一網格內，原始房屋所占的總面積超過該網格面積的二分之一，則保留此網格為建物；反之，若該建物於單一網格中所佔據面積小於網格面積的一半，則刪除此網格內之建物，而當該棟建物皆不佔據任一網格面積的二分之一，則整棟建物予以忽略。簡化後的建物如圖 6 所示。根據當地建物之平均高度，假設建物高度均為 6 公尺來進行模擬。

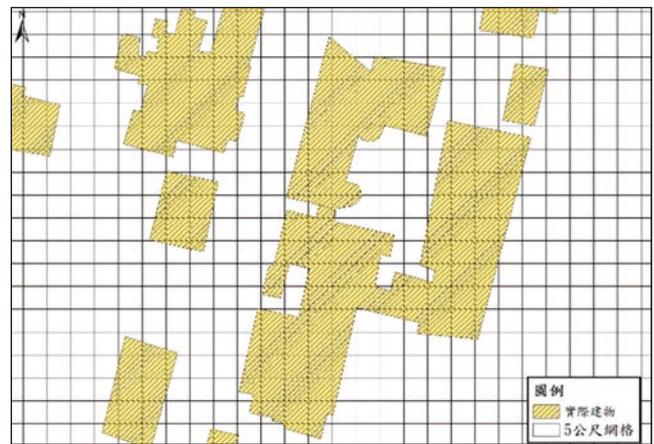


圖 4 實際建物平面形狀示意圖 (以紅葉國小為例)

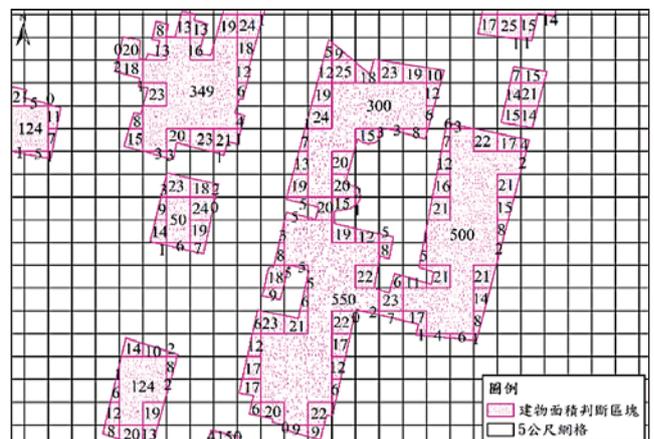


圖 5 簡化建物範圍判斷示意圖 (以紅葉國小為例)

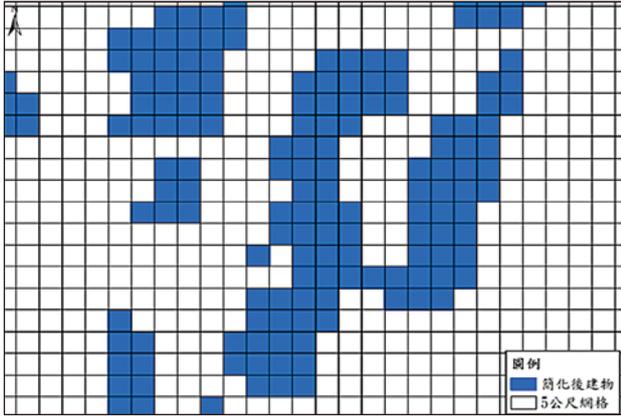


圖 6 簡化後建物平面形狀示意圖（以紅葉國小為例）

模擬案例

本研究分為 CASE 1、CASE 2、CASE 3 及 CASE 4 等四種不同案例進行模擬，相關條件如表 4 所示。各模擬案例的條件分別簡要說明如下：

模擬方案一

方案一（CASE 1）以 2016 年紅葉村土石流對應的條件進行模擬，根據農委會水土保持局^[2]公布之該處土石流災害報告，採用土石流土砂總量為 80,000 m³ 進行模擬。模擬時分流路上無建物與有建物兩種情境，模擬結果再與紅葉村土石流溢淹災情比對，用以驗證 Hyper KANAKO 模式於研究區域之適用性，以及探討流路上無建物與有建物對土石流流動情形的影響。

模擬方案二及三

按土石流流出量與集水區面積關係，設定四種不同土石流流可能出量 ∇_{50} 、 ∇_{70} 、 ∇_{90} 及 ∇_{99} 。方案二（CASE 2）與方案三（CASE 3）分別進行模擬無建物（CASE 2）及有建物（CASE 3）在此四種不同流出量條件下的溢淹情形。比較及分析於不同土石流流量下，無建物及設立簡化後建物之土石流溢淹範圍與土石流流動深度。

模擬方案四

方案四（CASE 4），以土石流流出土方量為 ∇_{90} 及 ∇_{99} 兩種條件下，模擬紅葉村中土石流流路上設有不同建物排列方式阻擋下土石流流動情況。建物布置在分析網格上，採四種不同排列方式，包含三角形排列、倒三角形排列、長矩形排列與寬矩形排列等不同排列形式，如圖 7 所示，用以模擬觀察建物排列方式對土石流流動是否有顯著差異。

表 4 本研究四種模擬案例及對應條件

案例	流出土方量	建物
CASE 1	80,000 m ³	無建物 簡化之建物
CASE 2	∇_{50} 、 ∇_{70} 、 ∇_{90} 、 ∇_{99}	無建物
CASE 3	∇_{50} 、 ∇_{70} 、 ∇_{90} 、 ∇_{99}	簡化之建物
CASE 4	∇_{90} 、 ∇_{99}	三角形排列
		倒三角形排列
		長矩形排列
		寬矩形排列

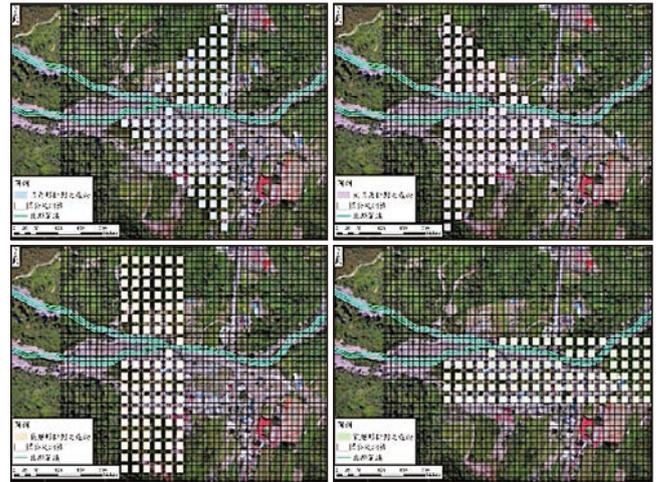


圖 7 模擬方案四土石流流路上四種建物的排列形式

結果與討論

紅葉村土石流溢淹範圍

本研究使用災害後正射影像，判釋實際土石流事件之溢淹範圍，並與 CASE 1 土石流模擬結果進行比較（模擬結果土石流流動深度小於 5 cm 者予以省略），比較結果列於表 5。無建物模擬所得溢淹範圍略高於有建物模擬所得溢淹範圍（約 5.4%）。無建物模擬及有建物模擬所得溢淹範圍與實際溢淹範圍之差異分別為 30.3% 及 26.3%，模擬所得溢淹範圍高於實際溢淹範圍。模擬結果顯示模擬土石流溢淹範圍與實際土石流溢淹情況大致相近。在吻合率方面，無建物及有建物模擬所得溢淹範圍與實際溢淹範圍之吻合率分別為 79.9% 及 79.7%，顯示 Hyper KANAKO 模式具有良好的模擬效果。

表 5 實際與模擬土石流溢淹範圍之比較

案例 CASE 1		無建物模擬	有建物模擬
實際土石流溢淹範圍	ha	11.22	11.22
模擬土石流溢淹範圍	ha	16.11	15.23
溢淹範圍差異百分比	%	30.3	26.3
溢淹重疊範圍面積	ha	8.97	8.95
模擬與實際溢淹範圍吻合率	%	79.9	79.7

方案二及三模擬結果比較

方案二、三及四 (CASE 2、CASE 3 及 CASE 4) 分別進行模擬無建物、有建物及不同建物排列方式對土石流溢淹範圍之影響。為了方便比較及討論模擬結果，在模擬範圍內由上游至下游針對入流點、河道轉彎處、溪流匯流點設立 4 個土石流模擬觀測點 A、B、C 與 D，如圖 8 所示。



圖 8 土石流模擬 4 個觀測點位置 (2016 BigGIS)

當土石流土砂總量為 ∇_{50} ($6,992 \text{ m}^3$) 時，模擬結果顯示可流動土砂量較小，土石流僅在河道內流動。當土石流土砂總量為 ∇_{70} ($13,914 \text{ m}^3$) 時，模擬結果顯示上游段觀測點 B 附近及中游段發生少許溢淹情況。當土石流總量增加為 ∇_{90} ($36,499 \text{ m}^3$) 時，模擬結果顯示土石流廣泛溢淹到河道四周，衝擊到鄰近建物，溢淹面積大幅增加。當土石流總量增加為 ∇_{99} ($141,240 \text{ m}^3$) 時，模擬結果顯示土石流溢淹範圍大幅擴大。如表 6 所示，其土石流溢淹範圍與土石流流入總量有密切之關係。不同規模土石流總量的模擬結果可以看出此集水區中容易遭受土石流溢淹的區位，有利於後續土石流觀測及防減災之規劃。

表 6 比較無建物 (CASE 2) 及有建物 (CASE 3) 條件下土石流溢淹面積之比較

溢淹面積		CASE 2	CASE 3
∇_{50}	ha	6.09	6.04
∇_{70}	ha	8.32	8.29
∇_{90}	ha	12.51	11.96
∇_{99}	ha	20.48	19.19

由上述土石流模擬結果，比較無建物考量 (CASE 2) 及有建物考量 (CASE 3) 模擬流動深度在前述四個

觀測點上的差異。當上游邊界條件為 ∇_{90} 時，如圖 9 所示，觀測點 A 及 C 的流動深度沒有差異，觀測點 B 的流動深度增加 0.3 公分，觀測點 D 的流動深度增加 1.7 公分。簡言之，當上游邊界土石流土砂入流總量小於等於 ∇_{90} 時，無建物考量及有建物考量對於之流動計算結果沒有太大差異。

但是當上游邊界土石流土砂入流總量增加為 ∇_{99} 時，無建物考量及有建物考量的模擬結果有較大的差異。如圖 10 所示，觀測點 A 的流動深度增加 3.6 公分，觀測點 B 流動深度減少 22.5 公分，觀測點 C 流動深度增加 53.6 公分，觀測點 D 的流動深度減少 5.1 公分。這是因為觀測點 C 下游處開始有建物阻擋土石流流動，導致土石流往兩側溢淹。

此外，CASE 2 在觀測點 C 與 D 段溪流中土石流流動深度介於 3 ~ 5 公尺，溪流呈現滿流狀態，左岸溢淹約 0.2 公頃。但在 CASE 3 時卻有 150 公尺長的河段土石流流動深度降為 1 ~ 3 公尺，這是因為有建物阻擋土石流流動，引導土石流往兩側溢淹。這說明建築物會影響土石流的流動深度、流動方向及溢淹區位。

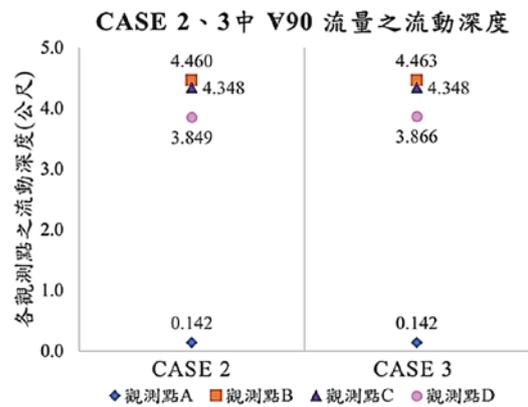


圖 9 比較無建物 (CASE 2) 及有建物 (CASE 3) 條件四個觀測點的土石流流動深度

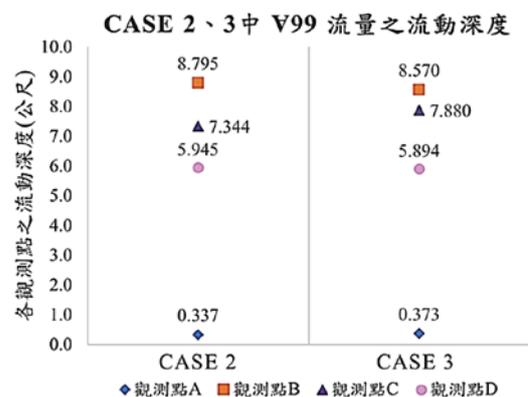


圖 10 方案二及三在 ∇_{99} 流量下四個觀測點之土石流流動深度

方案四模擬結果分析

方案四 (CASE 4) 的模擬是想探討土石流流路上建物排列形式對土石流流動及溢淹範圍的影響。在兩種土石流流出量及四種不同建物排列條件下，探討建物排列形式對於土石流溢淹範圍之影響。由前述案例模擬結果可知此研究區域若欲模擬土石流受建物之影響，要考量大於 V_{90} 的土石流規模，才能清楚觀察土石流受建物之影響。因此 CASE 4 僅針對土石流體積為 V_{90} 及 V_{99} 兩種情況進行模擬，探討不同建物排列對土石流溢淹範圍及流動深度的影響。建物排列方式包含三角形排列、倒三角形排列、長矩形排列與寬矩形排列等四種。

土石流體積為 V_{90} 及 V_{99} 兩種情況的模擬結果以觀測點 A、B、C 與 D 等四處的流動深度進行比較，分別如圖 11 及圖 12 所示。圖 11 顯示土石流體積為 V_{90} 時，四種建物排列方式都沒有影響到觀測點 A 及 B 兩處的流動深度；觀測點 C 及 D 兩處的流動深度受到建物的排列方式比較大，尤其是觀測點 C 在倒三角形建物排列情況時的流動深度比其他三種排列方式的流動深度多出 40 公分左右。

圖 12 顯示土石流體積為 V_{99} 時，四種建物排列方式下的四處觀測點流動水深的比較。很顯然，相對於土石

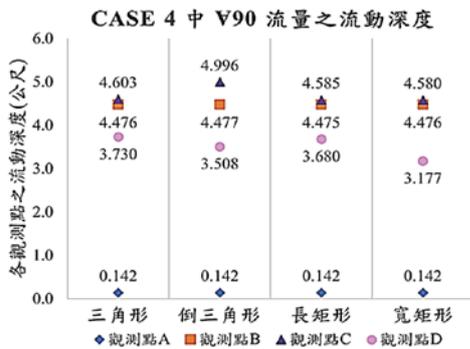


圖 11 在 V_{90} 條件下比較四種建物排列對土石流流動深度的影響

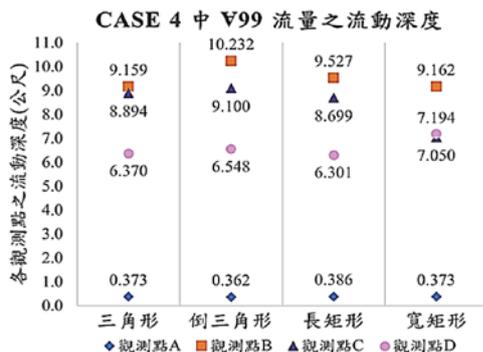


圖 12 在 V_{99} 條件下比較四種建物排列對土石流流動深度的影響

流體積為 V_{90} ，當土石流體積為 V_{99} 時，四處觀測點流動水深大幅增加，觀測點 A 流動水深約增加 2.6 倍，觀測點 B 流動水深約增加 2.2 倍，觀測點 C 流動水深約增加 1.9 倍，而觀測點 D 流動水深變化要大約增加 1.7~2.2 倍。

當土石流土砂總量為 V_{90} 時，模擬結果顯示自觀測點 B 開始土石流受建物影響改變流動方向，往南方建物密集區溢淹。當土石流土砂總量為 V_{99} 時，模擬結果顯示觀測點 A 及 B 之間即開始出現土石流大量溢淹，流動深度超過 20 公分之溢淹範圍到達超過 450 公尺以外之紅葉國小。由模擬結果顯示，相較於倒三角形與長矩形建物排列，寬矩形與三角形兩種建物排列方式對於土石流流動的阻擋影響較小一些，大部分土石流流動趨勢較為集中的帶往下游處流動，建物之間的土砂堆積較為集中，如圖 13 及 14 所示。在土石流土砂總量為 V_{99} 時的模擬結果中，觀測點 B 及 C 在倒三角形建物排列時有較大的流動深度；而觀測點 D 則在寬矩形建物排列時有較大的流動深度。

探討倒三角形排列建物時觀測點 C 流動深度高於其他案例之原因，由各建物排列型態可看出倒三角形排列為越往下游建物分布越少，建物減少相當於影響土石流溢淹的因素減少，使土石流更能沿著原河道流動，土砂也更能堆積於主河道不被擴散，便堆積於地勢相對平緩之 C 點附近。觀測點 D 在三角形排列建物時的土石流流動深度最高之情況，這也是建物排列造成的原因。

誌謝

本研究承蒙國科會計畫經費補助 (111-2625-M-006-012)，特此致謝。

結論與建議

本研究使用 Hyper KANAKO 模式，以紅葉村土石流潛勢溪流 (東縣 DF166) 為模擬對象，分成四種模擬方案來探討流路上建物阻擋對土石流溢淹範圍之影響 [21]。研究結論與建議如下：

方案一 (CASE 1) 模擬結果顯示土石流溢淹範圍與實際溢淹範圍吻合率達 80%，此結果顯示 Hyper KANAKO 模式對於土石流有良好的模擬效果。

方案二 (CASE 2) 與方案三 (CASE 3) 模擬流路上無建物及有建物阻擋條件下土石流的溢淹情形。模擬結果顯示建物的存在會阻擋土石流的流動情況，使土石流往橫向流動，影響土石流擴散溢淹的範圍。土石流模擬分析時應該要考慮建物的影響。

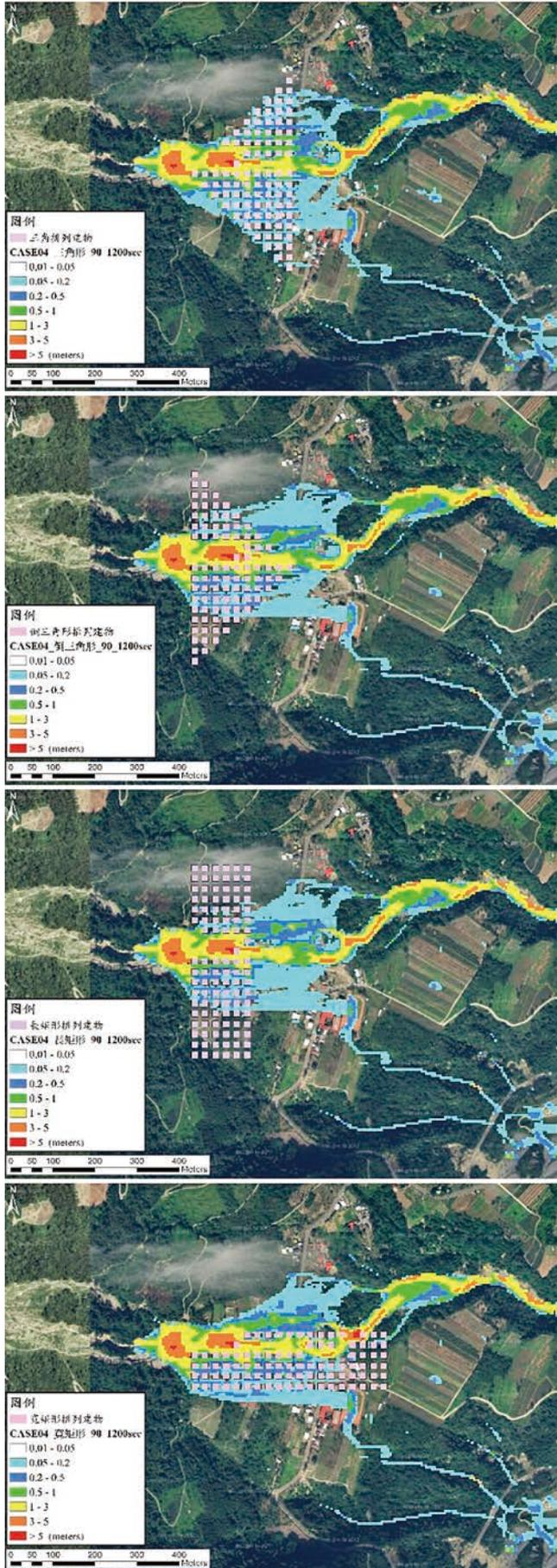


圖 13 在 V_{90} 及四種建物排列條件下土石流溢淹情形之比較

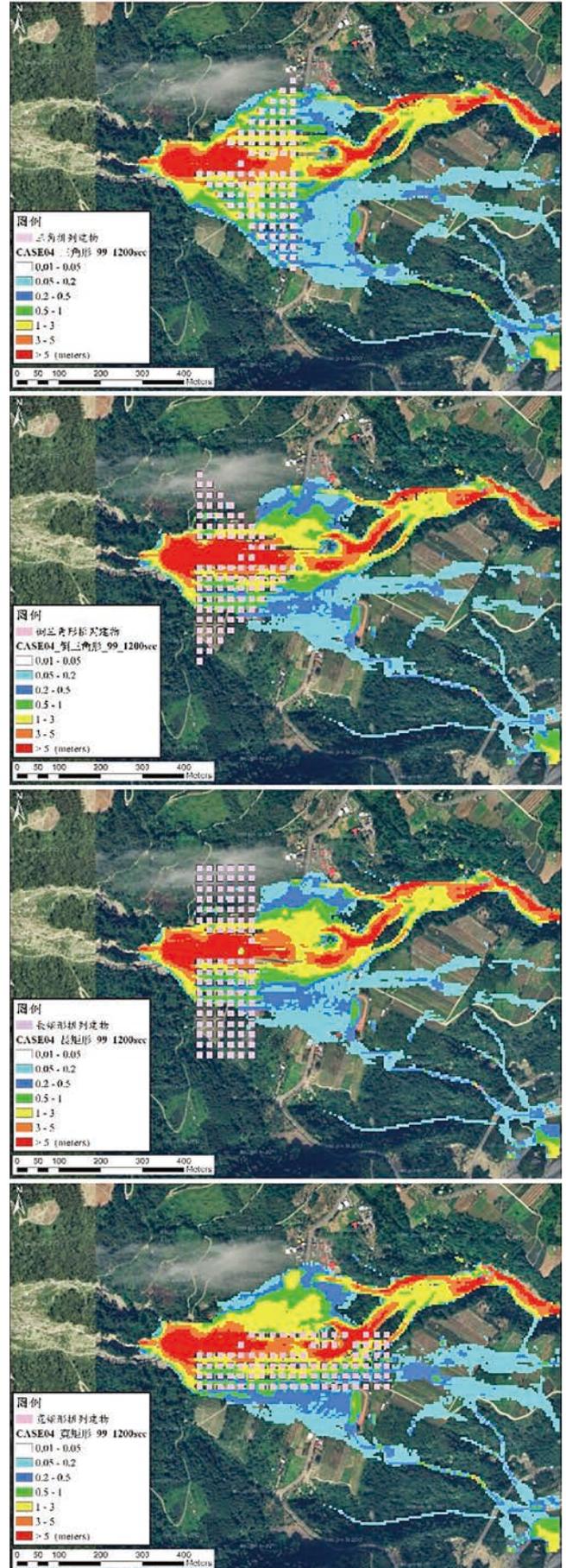


圖 14 在 V_{99} 及四種建物排列條件下土石流溢淹情形之比較

方案四 (CASE 4) 探討流路上四種建物排列形式對於土石流溢淹範圍之影響，結果顯示建物排列形式也會影響土石流溢淹範圍及流動深度。前段建物的阻擋會影響到後續土石流流動方向及溢淹範圍，其中以在倒三角形建物排列對於土石流溢淹範圍及流動深度的影響較大。

此外，本研究使用 5 m 的 DEM 來建置分析網格，進行土石流模擬，若能取更高解析度的 DEM 數值地形圖，可能可以提升模擬效果。另外，建議將 HyperKANAKO 模式模擬結果與其他模式 (例如 FLO-2D) 模擬結果進行比較，以探討模式間的差異及使用限制。

參考文獻

1. 經濟部水利署水利災害應變學習中心網頁 (<https://llc.wcd.r.ntu.edu.tw>)。
2. 水土保持局 (2016), 「105 年莫蘭蒂颱風重大土石災情摘要報告」, 行政院農業委員會。
3. 詹錢登 (2000), 「土石流概論」, 科技圖書股份有限公司。
4. Jan, CD. and Chen, CL. (2005). Debris flows caused by Typhoon Herb in Taiwan. In: Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg.
5. Nakatani, K., Kosugi, M., Satofuka, Y. and Mizuyama, T. (2016), "Debris flow flooding and debris deposition considering the effect of houses: disaster verification and numerical simulation", International Journal of Erosion Control Engineering Vol. 9 (4), 145-154.
6. 中谷加奈 (2010), 「GUI を実装した汎用土石流数値シミュレーションシステムの開発と適用 (Dissertation_全文)」, 京都大學, 學位論文 (日文)。
7. Nakatani, K., Wada, T., Satofuka, Y. and Mizuyama, T. (2008), "Development of "Kanako 2D (Ver.2.00)," a user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface", International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 1(2), 62-72.

8. Nakatani, K., Iwanami, E., Horiuchi, S., Satofuka, Y. and Mizuyama, T. (2012), "Development of "Hyper KANAKO", a debris flow simulation system based on laser profiler data", 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble, France.
9. Nakatani, K., Okuyama, Y., Hasegawa, Y., Satofuka, Y., Mizuyama, T. (2013), "Influence of housing and urban development on debris flow flooding and deposition." Journal of Mountain Science Vol. 10, 273-280.
10. Nakatani, K., Iwanami, E., Horiuchi, S., Satofuka, Y. and Mizuyama, T. (2014), "Application of "Hyper KANAKO," a debris flow simulation system using laser profiler data", 13th Congress INTERPRAEVENT 2014, Nara, Japan.
11. Nakatani, K. (2019), "Study on hazard mapping of landslide dam breaking and debris flows with simulations", 108 年堰塞湖及土石災害防治技術研習會 (in Japanese) .
12. Takahashi T. and Nakagawa H. (1991): Prediction of stony debris flow induced by severe rainfall. International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 4(3), 12-19 (in Japanese).
13. 青山工程顧問股份有限公司 (2016), 「105 年重大土石災害紀錄及資料分析成果報告」, 行政院農業委員會水土保持局。
14. 詹錢登 (2018), 「泥沙運行學」, 五南圖書股份有限公司。
15. 詹錢登、蕭凱文、徐郁超、曾國訓 (2015), 「應用 FLO-2D 與 Debris 2D 模擬羌黃坑集水區內土石流流動特性差異之研究」, 中華防災學刊, 第 7 期第 2 卷。
16. 賴承農、鍾佩蓉、陳盈守、陳振宇 (2011), 「探討土石流堆積物分布範圍與體積濃度推算之關係」, 第二十屆水利工程研討會。
17. 蔡元芳 (1999), 「土石流扇狀地形特性之研究」, 國立成功大學水利及海洋工程學系研究所, 博士論文。
18. 國土技術政策總合研究所 (2016), 「砂防基本計畫策定指針 (土石流・流木對策編) 解說」, 國土交通省, 國總研資料第 904 號, 第 25-28 頁 (日本)。
19. Takahashi T. (1991): Debris flow. Balkema, Rotterdam: 165p.
20. 水土保持局 (2017), 「水土保持手冊—土石流篇」, 行政院農業委員會。
21. 許汶芳 (2022), 「應用 Hyper KANAKO 模式模擬建物對土石流溢淹之影響—以臺東縣紅葉村為例」, 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文 (指導教授: 詹錢登)。



土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。