

應用 WRF-Hydro 與 SRH-2D 模式於河相演變 之研究

Morphological Analysis Using WRF-Hydro and SRH-2D Models

國立中興大學土木工程學系

研究生

副教授

呂依芸

陳佳正

Yi-Yun Lu

Chia-Jeng Chen

摘 要

集水區之地表逕流與土砂運移特性會隨著極端降雨事件劇烈變化，使得河道原有的形貌加速演變；而當枯水期流量小、流速慢之狀態則會導致河道可能會有斷流之情形。本研究欲利用氣象水文模式 Weather Research and Forecasting Model Hydrological modeling system (WRF-Hydro) 於有勝溪進行降雨-逕流模擬，並與二維河川水理動床模式 Sedimentation and River Hydraulics-2D (SRH-2D) 進行結合以模擬降雨事件後河道形貌變化之情況。WRF-Hydro 可耦合中尺度數值天氣預報模式(即 WRF) 與分散式水文模式進行運算，模擬多尺度陸氣交互作用，以及預測流量。而 SRH-2D 模式可用於模擬河川水理、河道泥砂運移等機制。預期利用此模式架構下，可提供未來面對極端降雨事件後河道整治之參考，亦能更瞭解氣象水文和河相演變之間的物理機制。

關鍵詞：河相演變，WRF-Hydro，SRH-2D

Abstract

The surface runoff and sediment transport characteristics of a catchment can change drastically with extreme rainfall events, leading to a rapid evolution of river morphology. During the dry seasons, on the other hand, small discharge and slow velocity may cause river fragmentation. This study attempts to use the Weather Research and Forecasting model-Hydrological modeling system (WRF-Hydro) and a two-dimensional river hydraulic mobile-bed model referred to as the Sedimentation and River Hydraulics-2D (SRH-2D) to simulate rainfall-runoff and the change of river morphology in the Yousheng Creek. WRF-Hydro operates as a coupled mesoscale numerical weather prediction model (i.e., WRF) with a distributed hydrological model to simulate multi-scale land-atmosphere interactions and streamflow. SRH-2D can be used to simulate various flow-related mechanisms, including river hydraulics, sediment transport, and river bed changes. Experimental outcomes from this modeling framework are deemed not only as useful references for river remediation especially encountering more frequent extreme rainfall in a changing climate, but also as a better

understanding of the physical mechanisms between hydrometeorology and river morphology.

Keywords: River morphology; WRF-Hydro; SRH-2D

一、前言

在全球變化中，氣候變遷是值得探討的議題，近年來使降雨事件發生頻繁，集水區之地表逕流與土砂運移特性隨著事件產生劇烈變化，使得河道原有的形貌加速演變，像是該如何減輕溪流水溫及人類活動對河岸植被的影響，Dufour et al. (2019)發現研究河岸植被的方式會隨時間產生變化，例如建模和地理方法的發展，且在河流系統和地理區域間有所不同，像是大洋洲和亞洲相對於其他洲則研究更多植被變化與地下水的關係。Wang et al. (2018)利用 HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) 中 RVSM (Riparian Vegetation Simulation Module) 模式模擬 1999 至 2007 年河岸植被變化，並評估其預測水流與河岸植被動態間相互作用，並且透過 Sacramento River 的應用進行驗證；在長期模擬中，RVSM 運行速度快，但無法有效模擬較精確的流速、底床侵蝕和沉積，較適用於量化流量和生態系統恢復(ecosystem restoration)對河岸植被的影響。

土地利用變化和河道內的構造物可能會影響集水區的地貌，導致河道型態改變，可藉由歷史資料與模式應用加以解釋，否則無法明確表達河道形貌變化之情況(Dollar, 2004)，故本研究欲利用 SRH-2D 二維河川水理動床模式以模擬降雨事件後河道形貌變化之情況。未來將運用 SRH-2D 瞭解氣象水文和河相演變之間的物理機制。SRH-2D 是基於多邊形網格的數值方法，用以模擬具有自由表面的移動床流中之泥沙輸送，其特色是利用四邊形及三角形所形成的混合網格，與其他水理模式相比，能同時滿足求解之精確度及計算速度上之需求(Lai, 2020)。

二、研究區域與方法

(一) 研究區域及資料來源

本研究區域為有勝溪流域(如圖 1)，位於台灣中部，是大甲溪的支流之一。在地理方面，有勝溪最遠源流於宜蘭大同鄉，中、下游位於台中和平區。在氣候方面，以六月至八月溫度較高，而雨季多集中於七月至九月。

本研究利用經濟部水利署水文資訊網之大甲溪流域龍安橋測站歷史流量資料作為 SRH-2D 模式的邊界條件，曼寧粗糙度係數及河床質粒徑資料則運用於模式中模擬降雨事件後河道形貌變化之情況。本研究所使用之土地利用資料為內政部國土測繪中心(National Land Surveying and Mapping Center, NLSC)公布資料，其整合影像資料、地籍圖、臺灣通用電子地圖等各式參考圖資及外業調查，以全面及持續性調查土地利用現況變化情形，並合理規劃土地利用；曼寧粗糙度係數是依據土地利用分類及 Chow(1959)給定適合的曼寧粗糙度係數；河床質粒徑資料則參考民國 104 年 12 月內政部營建署雪霸國家公園管理處之「武陵地區七家灣溪及有勝溪流域壩體改善後溪流物理棲地調查監測」。

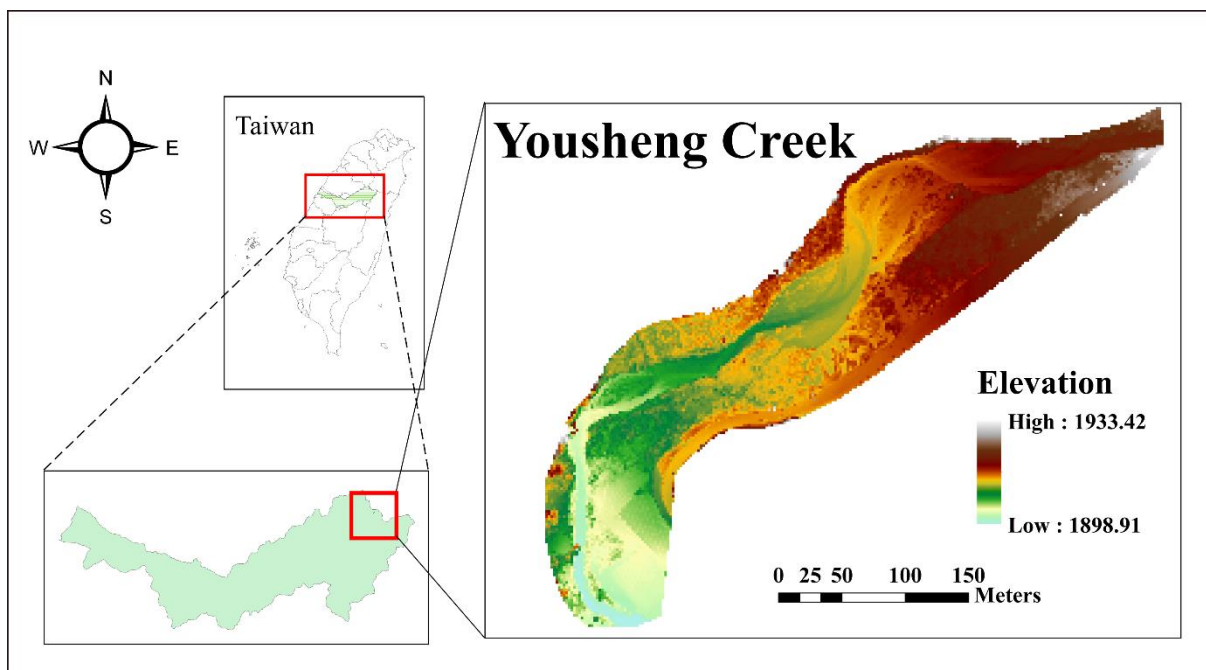


圖 1. 研究區域

(二) SRH-2D 模式介紹

SRH-2D 為二維泥砂及河川水力學模式，由美國墾務局(the Bureau of Reclamation)研發，SRH-2D 適用於河川系統之水力、泥砂、溫度及植被之模擬，在二維模擬中主要控制方程式為運用有限體積法求解二維平均水深動力波方程式，它是 St. Venant 水深平均方程式(式 2-3、式 2-4 及式 2-5)。SRH-2D 二維輸砂公式分別為 Engelund-Hansen (1972) 適用範圍為 0.0625 至 2 mm，或粒徑超過 150 mm 及粒徑小於 0.06 mm 的輸砂量均可由起動條件控制，但結果誤差也會隨之增加；Meyer-Peter Muller (1948)常用於礫石河床，為室內推移載試驗所求得之輸砂公式；Parker (1990)較適合使用於粗顆粒與細顆粒共同組成之河川；Wilcock-Crowe (2003)適用於計算推移載之輸砂公式；Wu et al. (2000)適用於卵礫石河床；Yang (1973 for sand, 1984 for gravel)及 Yang (1979 for sand, 1984 for gravel)可用於砂和礫石混合之底床。粒徑適用範圍為 2 至 10 mm (鄭皓元，2019)。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y} = e \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial hUU}{\partial x} + \frac{\partial hVU}{\partial y} = \frac{\partial hT_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + D_{xx} + D_{xy} \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial hUV}{\partial x} + \frac{\partial hVV}{\partial y} = \frac{\partial hT_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + D_{yx} + D_{yy} \quad (2-3)$$

其中 t 為時間， x 和 y 為水平垂直笛卡兒座標， h 為水深， U 和 V 為 x 和 y 方向的水深平均速度分量， e 為超滲降雨率， g 為動力加速度， T_{xx} 、 T_{xy} 、 T_{yy} 為水深平均之紊流剪應力， D_{xx} 、 D_{xy} 、 D_{yx} 、 D_{yy} 為水深平均後產生之消散項， $Z = Z_b + h$ ，其中 Z 為水面高程， Z_b 為底床高程， ρ 為水的密度， τ_{bx} 、 τ_{by} 為底床剪應力(摩擦產生)。

(三) SRH-2D 模式建置

本研究網格建置是利用數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)在有勝溪流域建立複合式網格(hybrid mesh)，河道採用四邊形網格，而非河道部分則採用三角形網格，以提高模擬的精確度(如圖 2)；河床粗糙度(Manning's n 係數)則是依據土地利用分類及 Chow(1959)給定適合的曼寧粗糙度係數(如表 1)；河床質粒徑資料主要是參考民國 104 年 12 月內政部營建署雪霸國家公園管理處之「武陵地區七家灣溪及有勝溪流域壩體改善後溪流物理棲地調查監測」(如表 2)；本研究為了方便觀察模擬後之高程變化，因此在河道上設置了四個監測斷面(如圖 3)。

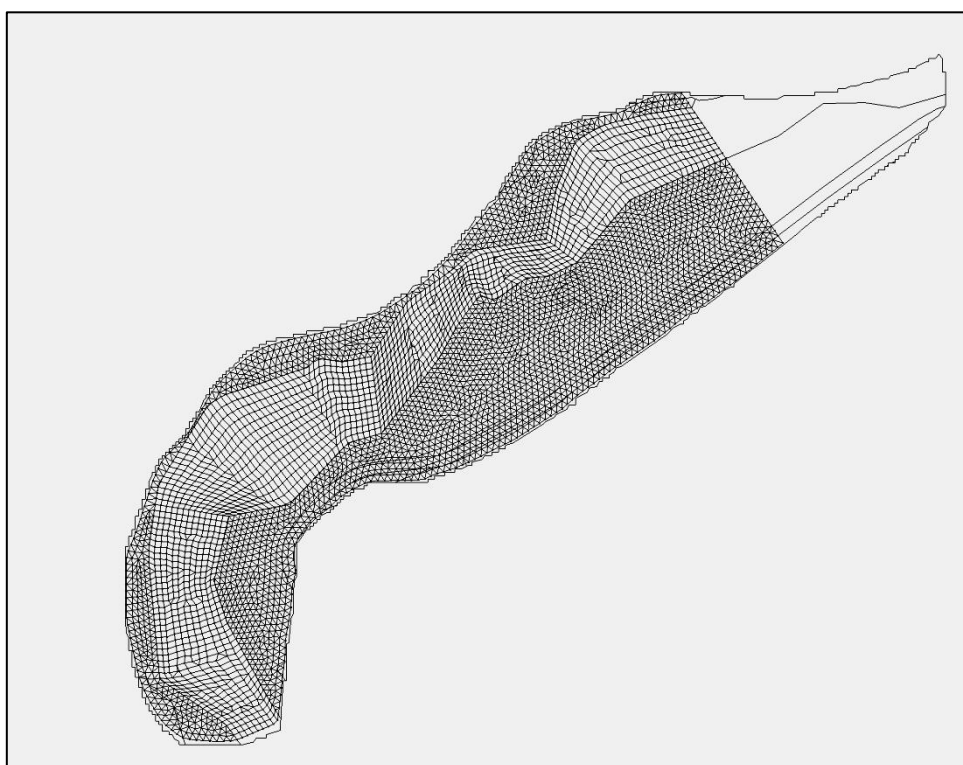


圖 2. 有勝溪流域之網格建置

表 1. 曼寧粗糙度係數

代碼	土地利用類型	曼寧粗糙度係數
1	建地(都市和建地)	0.15
2	旱田(旱地、農田及牧場)	0.035
15	林地(混合林)	0.16
16	水體	0.015

表 2. 有勝溪流域之粒徑分布

平均粒徑(mm)	累積頻率(%)
2	12
9	30
40	40
160	56
384	78
512	100

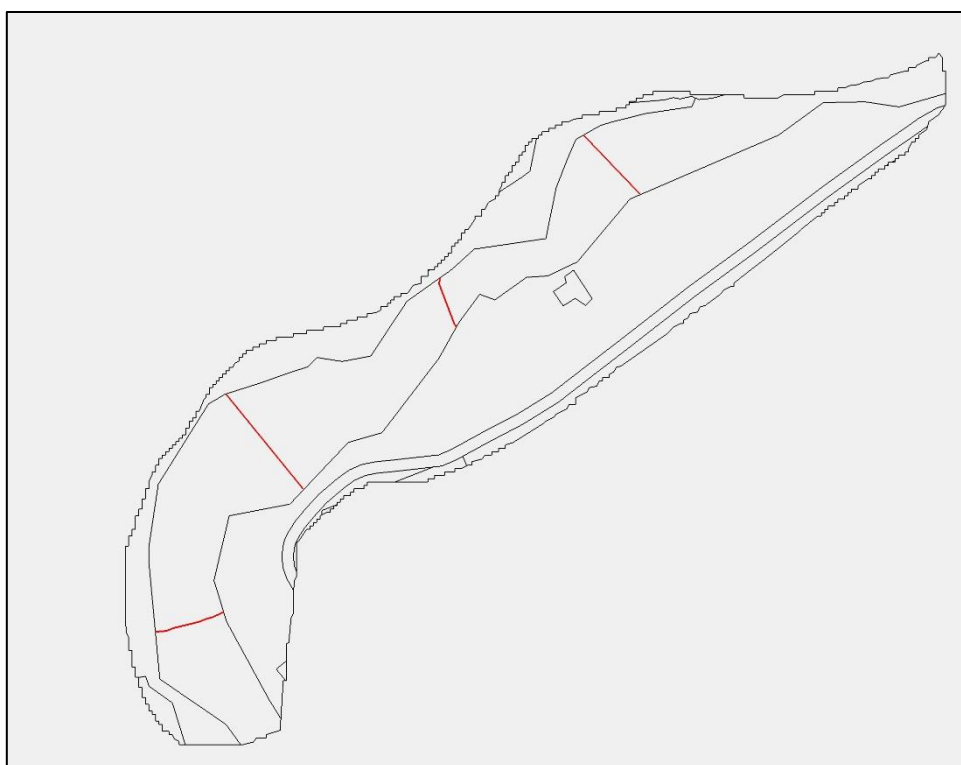


圖 3. 有勝溪流域之監測斷面建置

在實務應用上，以四邊形結構網格與三角形非結構網格組成的複合式網格取代完全由四邊形或三角形所組成的網格，因複合式網格較可同時滿足求解所之精確度及計算速度上之需求。SRH-2D 的主要輸入數據包括 DSM、流量、Manning's n 係數、河床質粒徑分佈。輸出數據方面，包括水面高程、水深及水深平均流速、單位流量以及指定監測斷面之時間序列，且可以透過後處理工具和 GIS 工具簡單且快速呈現高程變化示意圖。

三、初步結果

本研究利用經濟部水利署水文資訊網之大甲溪流域龍安橋測站歷史流量資料當作 SRH-2D 模式的邊界條件，圖 4 和圖 5 為模擬 24 小時之有勝溪底床沖淤變化，藍色為侵蝕、紅色為淤積。在模擬 12 小時後，有達到河道穩定之動態平衡狀態，且高程沒有再變化。圖 6 及圖 7 則是將有勝溪的河道分成四個部分，每個部分設置一條監測斷面，(a)

至(d)依序從上游至下游，由圖 6(a)可知，在模擬 6 小時時流量有變小的趨勢，導致原本上游應該有侵蝕的現象發生，但在此區段之模擬結果有淤積現象。

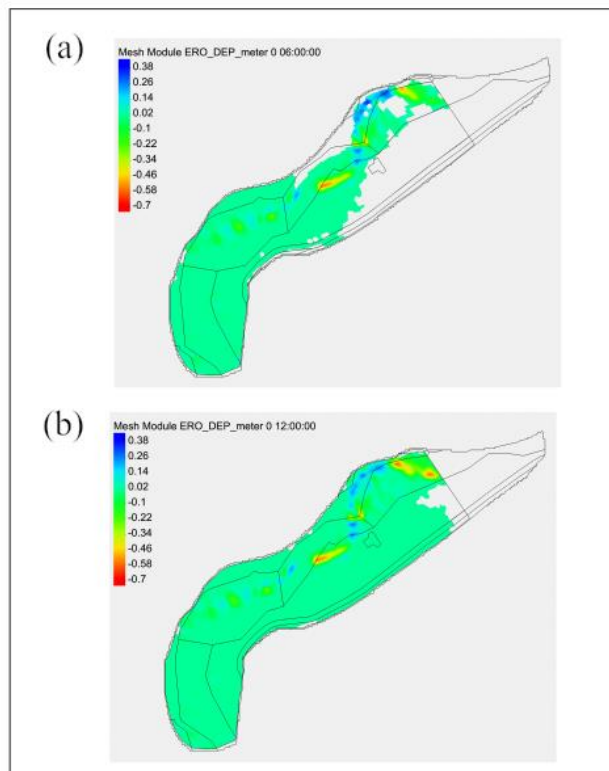


圖 4. 有勝溪底床沖淤變化圖(a) t=6 小時(b) t=12 小時

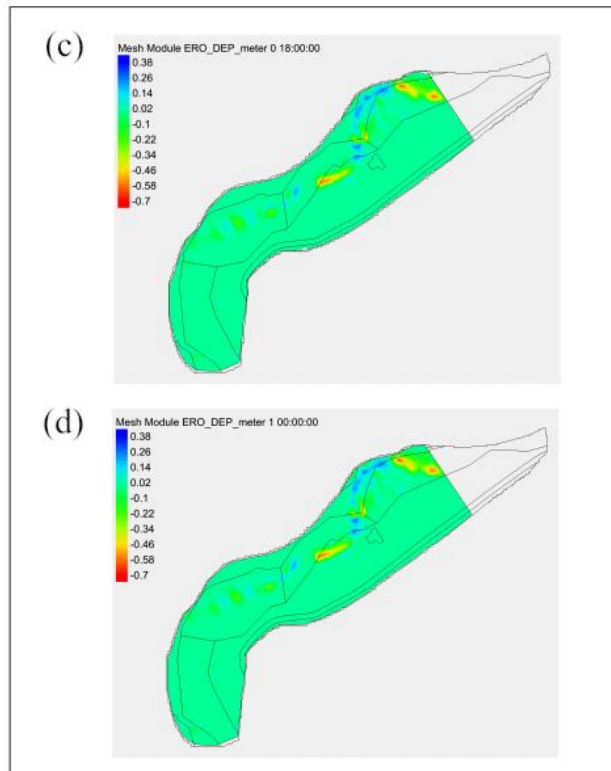


圖 5. 有勝溪底床沖淤變化圖(c) t=18 小時(d) t=24 小時

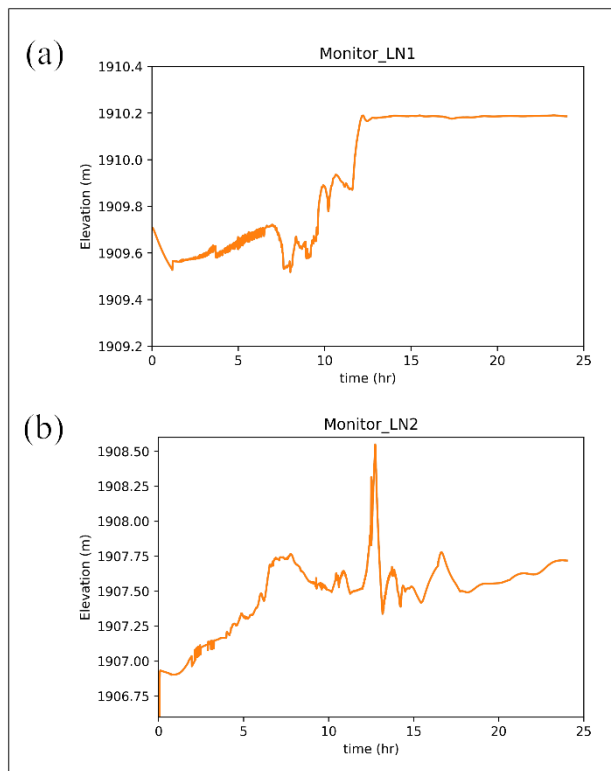


圖 6. SRH-2D 模擬結果之高程變化圖(a)監測斷面 1(b) 監測斷面 2

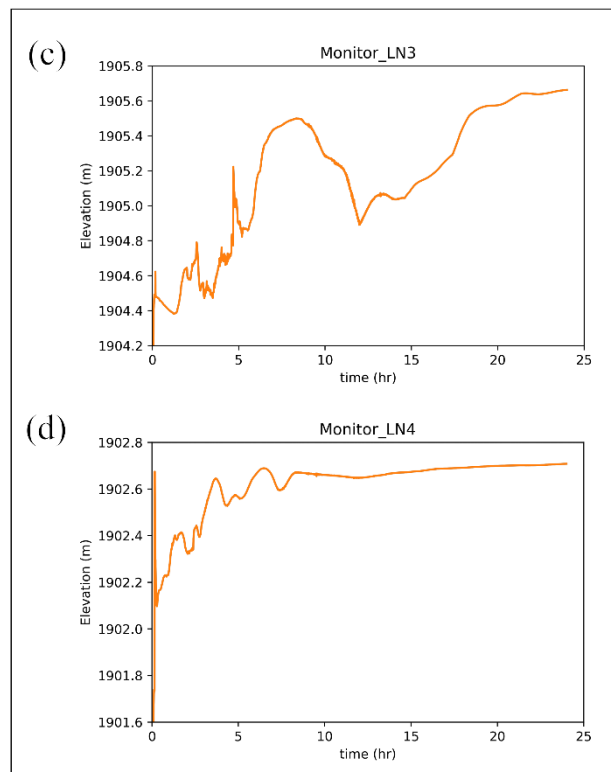


圖 7. SRH-2D 模擬結果之高程變化圖(c)監測斷面 3(d) 監測斷面 4

四、小結與後續工作

執行至目前，尚未利用 WRF-Hydro 模式所產製流量資料作為 SRH-2D 模式的邊界條件，WRF-Hydro 部分，使用 WRF-Hydro GIS 預處理工具，已產製運行 WRF-Hydro 前所需的相關空間地理資訊數據；SRH-2D 部分，透過案例模擬，瞭解其模式本身性能。以下列出本研究後續工作，以達成河相演變之研究探討。

1. 利用 WRF-Hydro 模式所輸出流量之結果，再放入 SRH-2D 二維河川水理動床模式進行結合以模擬降雨事件後河道形貌變化之情況。
2. 利用此模式架構下，可提供未來面對極端降雨事件後河道整治之參考。

五、參考文獻

1. 鄭皓元，「利用 SRH-2D 數值模式探討堰壩調降後之河相演變」，國立中興大學水土保持研究所碩士論文，2019。
2. Chow, V., "T. 1959 Open-Channel Hydraulics. MCGraw Hiu," 1959.
3. Dollar, E. S., "Fluvial geomorphology," Progress in physical geography, 28(3), 405-450, 2004.
4. Dufour, S., Rodríguez-González, P. M., & Laslier, M., "Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world," Science of the total environment, 653, 1168-1185, 2019.

5. Lai, Y. G, “A two-dimensional depth-averaged sediment transport mobile-bed model with polygonal meshes, ” *Water*, 12(4), 1032, 2020.
6. Wang, J., Zhang, Z., Greimann, B., & Huang, V, “Application and evaluation of the HEC-RAS–riparian vegetation simulation module to the Sacramento River, ” *Ecological modelling*, 368, 158-168, 2018.
7. Xia, X., Liang, Q., & Ming, X. , “A full-scale fluvial flood modelling framework based on a high-performance integrated hydrodynamic modelling system (HiPIMS), ” *Advances in Water Resources*, 132, 103392, 2019.