

FLO-2D 與 HEC-GeoRAS 應用於敏督利颱風 造成南湖溪淹水之模擬

湯嘉芸⁽¹⁾ 謝平城^{(2)*} 林俐玲⁽³⁾

摘要

民國九十三年七月初時，敏督利颱風襲台後往北移動，於台灣東部、中南部降下連日豪雨，導致苗栗縣大湖鄉南湖溪河水暴漲，發生滂災。針對此次淹水事件，筆者使用 FLO-2D 模式及 HEC-GeoRAS 模式模擬敏督利颱風所帶來的豪雨在南湖溪當地所造成之淹水現象模擬，並且對兩者之應用、模擬結果作進一步分析探討，提供未來使用者在淹水模式選擇上的一個參考。

(**關鍵詞**：淹水模擬、FLO-2D 模式、HEC-GeoRAS 模式)

Application of FLO-2D and HEC-GeoRAS to the Simulation of Na-Hu Creek Flooding by Typhoon Mindulle

Chia-Yun Tang⁽¹⁾, Ping-Cheng Hsieh⁽²⁾, Li-Ling Lin⁽³⁾

Graduate Student⁽¹⁾, Associate Professor⁽²⁾, and Professor Respectively⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, Nation Chung Hsing University, Taichung, 402 Taiwan, ROC

ABSTRACT

In July 2004, typhoon Mindulle entered Taiwan from east coast and moved to north coast. It brought high rainfall in east, central and south part of Taiwan for couple days, and caused serious flood in Na-Hu Creek. In order to simulate the flooding in Na-Hu Creek, the authors apply FLO-2D model and HEC-GeoRAS model to Na-Hu Creek during typhoon Mindulle. Furthermore we discuss the application and simulation of these two inundation models to offer users a reference when selecting an inundation model.

(**Keywords**: Simulating flooding, FLO-2D model, HEC-GeoRAS)

(1)國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

(2)國立中興大學水土保持學系副教授 *通訊作者

(3)國立中興大學水土保持學系教授

前言

南湖溪位於苗栗縣以盛產草莓聞名的大湖鄉，係屬後龍溪上游支流，集水區面積約為 4322 公頃。此區自從民國八十五年賀伯颱風以降，歷經桃芝颱風、七二水災及艾利颱風豪雨肆虐，南湖街道遭逢數次洪水溢岸導致淹水的災情，嚴重危及當地居民生命、財產安全。

為了解決淹水問題，在洪氾區治理規劃上常需要淹水模式進行洪氾模擬分析。國內目前常用的淹水分析模式有 FLO-2D、HEC-RAS、SOBEK、市區報與經理及核胞模式等。針對 FLO-2D 模式及 HEC-RAS 模式功能方面之比較，經濟部水利署第四河川局（2006）於「濁水溪河段風險評估及其保全計畫之研擬」報告中已將其整理列表，如表 1 所示。

Cunge (1980) 將洪氾區依地形、地物劃分不規則網格，應用水流連續方程式及流量公式（曼寧公式或堰流公式），建立擬似二維淹水模式，應用於湄公河三角洲低窪之洪氾平原。陳瑞宗（2003）運用 HEC-RAS 模式，以一維定量流與變量流模擬逃之颱風來襲水位，其溢流體積利用側溢流堰之觀念推估溢流體積，再與 GIS 結合，便可展現出洪氾平原內洪水分佈情形與水位，並劃定出淹水範圍與淹水深度。施明文（2006）利用 SOBEK 二維淹水模式進行淹水範圍分析，依不同重限期距之降雨條件模擬洋子厝排水集水區淹水情形。蔡誌崇（2004）運用 FLO-2D 模式來模擬土石流流動與堆積狀態，利用模式中之二項

式流變模式，配合網格化之數值地形模型(DTM)與雨量、流量資料來模擬土石流之堆積深度與流動速度。

本文以 FLO-2D 及 HEC-GeoRAS 模式分別針對敏督利颱風所帶來的豪雨在南湖溪所造成淹水事件－「七二水災」進行模擬，並且對兩者之應用、模擬結果作進一步分析探討，提供未來使用者在淹水模式選擇上作為參考。

研究材料與方法

一、研究材料

（一）試區概況

南湖溪位於苗栗縣大湖鄉內，為後龍溪上游支流，集水區面積約為 4322 公頃，如圖 1 所示。地形以中間南北向之南湖溪為地勢較低處，向東西兩側為地勢高區，西側以關刀山脈為西半部地形高區，東側則以馬拉邦山為全區之最高點，地形分區上以丘陵為主，南湖溪沿線則為谷地及部分沖積河階地。年平均溫度約攝氏 20.4 度、年平均降雨量約 2,173.2 公釐。土地利用型態以林木、果園、草莓田等佔大部分，區內休閒產業及精緻農業蓬勃發展。（水保局二所，2006）

（二）地形資料

採用數值高程模型(DEM)20m×20m 資料，以及利用航照圖數化出河流位置、兩岸位置及河川斷面之定位。再將二者資料作結合取得地形起伏、河川斷面等相關空間資訊。

另外，在地表糙度方面，引用「七二水災後南湖溪上游集水區整體治理調查規劃期末報告書」中，由表面粒徑調

查分析，以經驗公式推求得曼寧粗糙係數為 0.037~0.041。

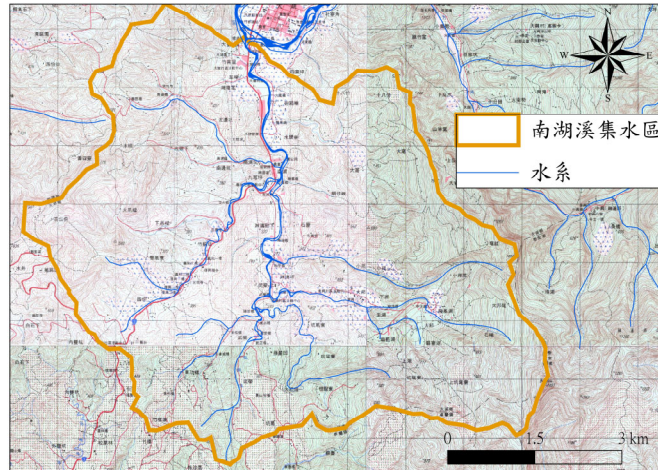


圖 1. 南湖溪集水區位置圖

Figure1 . Location of Na-Hu creek watershed.

表 1 . 水理演算模式功能表(水利署四河局，2006)

Table1 . Capability of hydraulic simulation model.

模 式	空 間		流 況		水 流		渠 道		應 用			其 他		
	一 維	二 維	超 臨 界 流	亞 臨 界 流	定 量 流	變 量 流	不 規 則	彎 道	障 礙 物	乾 床	河 道 匯 流	網 狀 系 統	模 擬 需 時	軟 體 售 價
FLO-2D		★		★	★	★	★		★	★	★		長	低
HEC-RAS	★		★	★	★	★	★		★		★	★	短	低

★表具有此項功能

表 2 . 雨量測站資訊

Table 2 . Information of rain-gauge station.

測站名稱	流域	標高(m)	經、緯度	測站位址
南湖 (C1E690)	後龍溪	770	120°49'46"E , 24°24'10"N	苗栗縣大湖鄉 (南湖台 3 線 135K 處)
馬拉邦山 (C1E710)	後龍溪	959	120°53'36"E , 24°22'09"N	苗栗縣大湖鄉東興村

表 3 . 流量測站資訊

Table 3 . Information of runoff-gauge station.

測站名稱	流域	標高(m)	TM2-E(m) ₈₅	TM2-N(m)	測站位址
彼岸橋	後龍溪	22600	236338.8	2704725.6	苗栗縣大湖鄉富興村
打鹿坑	後龍溪	17300	235174.2	2706422.7	苗栗縣公館鄉福德村

(三) 水文資料

(1) 雨量

向中央氣象局購買座落於南湖溪集水區中之南湖、馬拉邦山測站(見表 2)，在敏督利颱風襲台期間之時雨量資料。敏督利颱風之路徑圖，如圖 2 所示。整理兩測站之民國九十三年七月二日至七月三日降雨資料，得到南湖站之降雨組體圖，如圖 3 所示；馬拉邦山站之降雨組體圖，如圖 4 所示。最後將二者資料運用算數平均法求得平均時雨量。

(2) 流量

因為集水區中無流量測站之設置，無法蒐集流量資料供相關水理計算參考，故引用「後龍溪治理規劃檢討第一年工作報告」中，應用「打鹿坑無因次歷線推導汶水溪匯流前單位歷線」與「彼岸橋站無因次歷線推導南湖溪匯流前單位歷線」，兩個歷線來推估南湖溪集水區之單位歷線，如圖 6 所示。其中，後龍溪上游河段示意圖，如圖 5 所示。相關流量測站資訊見表 3。

最後，由平均降雨量資料與南湖溪單位歷線，推求敏督利颱風期間之南湖溪洪水流量歷線。

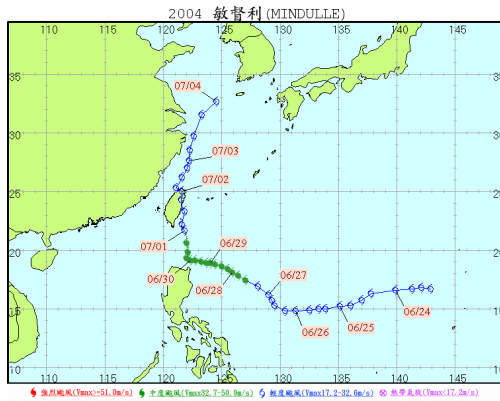


圖 2 . 敏督利颱風路徑圖
(摘自中央氣象局網站)

Figure 2 . Path of typhoon Mindulle.

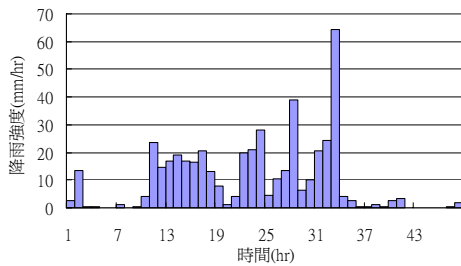


圖 3 . 南湖站(7/2~7/3)降雨組體圖

Figure 3 . Hyetograph of Na-hu station.

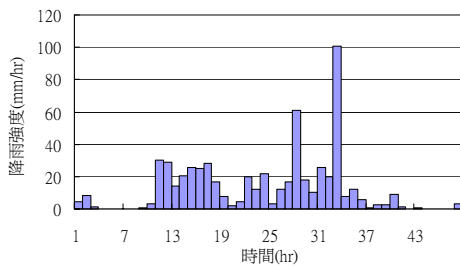


圖 4 . 馬拉邦山站(7/2~7/3)降雨組體圖

Figure 4 . Hyetograph of Mt. ma-la-bang station.

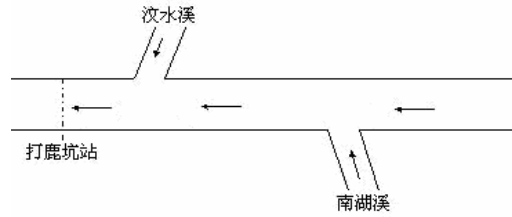


圖 5 . 後龍溪上游河段示意圖
(參考自水利署網站)

Figure 5 . Diagram of upstream of Houlung River.

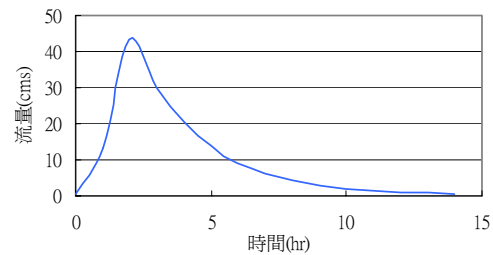


圖 6 . 南湖溪集水區單位歷線

Figure 6 . Unit hydrograph of the watershed of Na-hu Creek.

(四) 模式介紹

1. FLO-2D 模式

FLO-2D 為二維的洪水模擬模式，可以應用在都市淹水、洪水平原管理、工程風險設計、不規則形狀河道、橋樑與涵洞水理演算，處理漫地流、都市水文、泥流及土石流。(O'Brien, 2003)

FLO-2D 模擬二維平面洪水流動的控制方程式包含水流連續方程式與運動方程式，方程式如下：

連續方程式：
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV_x}{\partial x} + \frac{\partial hV_y}{\partial y} = i$$

運動方程式：

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

式中，

h ：水深

V_x, V_y ：沿x與y方向之平均流速

S_{ox}, S_{oy} ：沿x與y方向之底床坡度

S_{fx}, S_{fy} ：沿x與y方向之能量坡度

i ：有效降雨強度

g ：重力加速度

模式在二維網格化的地形上完成洪水演算。每一個網格中心點紀錄位置、高程與曼寧粗糙係數，而且每一個網格向外具有八個方向交換流量。

2. HEC-GeoRAS模式

HEC-GeoRAS是一個GIS工具，其為支援HEC-RAS在GIS上使用的功能擴充模組。HEC-GeoRAS可有效簡化使用HEC-RAS模擬之前置工作，便於河川地形幾何資料(Geometric Data)的建立，省時又省力；在HEC-RAS水理演算分析後，GeoRAS亦可助於模擬分析結果在GIS作淹水範圍、深度的呈現。

HEC-RAS是由美國工兵團所發展的水理分析模式，該模式能夠計算於天然

或人為之河川斷面與其支流的水面剖線，可模擬定量流 (steady flow) 及變量流(unsteady flow) 流況；而水流流況可以為亞臨界流、超臨界流或是混合流流況。該模式為目前被廣泛應用之迴水演算模式，惟目前仍不考慮動床及輸砂現象。HEC-RAS的運算，架構於藉由上一斷面推求出下一斷面的「標準步推法」，並利用能量方程式解之，方程式如下：

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + he$$

式中，

WS_1, WS_2 ：相鄰斷面之水位

V_1, V_2 ：相鄰斷面之平均流速

α_1, α_2 ：相鄰斷面之能量修正係數

g ：重力加速度

he ：能量損失

兩斷面間之能量損失 he 是摩擦損失與收縮、擴張損失所組成，方程式如下：

$$he = L\overline{S_f} + C_c \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

式中，

L ：相鄰斷面間之流量權重長度

$\overline{S_f}$ ：相鄰斷面間之代表性摩擦坡度

C_c ：收縮或擴張損失係數

$$\text{又 } L = \frac{L_{lob} \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} : 兩相鄰斷面間左岸、主河道和右岸之距離

$\overline{Q_{lob}}$, $\overline{Q_{ch}}$, $\overline{Q_{rob}}$: 兩相鄰斷面間左岸、主河道和右岸之流量平均值

過去使用 HEC-RAS 模擬時，主要是針對河道內之水位變化為主，一旦水位高過堤防時，並無法模擬堤外淹水的二維平面情形。如今搭配 GIS 的功能，在 GIS 中加入 HEC-GeoRAS 擴充模組不但可使用簡單的數化方式，一改過去繁瑣費時的河川地形幾何資料輸入過程。完成河川幾何資料

建置後，匯入 HEC-RAS 作水理演算，最後再將水理演算結果利用 HEC-GeoRAS 在 GIS 作淹水模擬結果之二維成果展現。(US Army Corps of Engineers, 2005)

二、研究方法

以 FLO-2D 模式及 HEC-RAS 模式分別針對敏督利颱風所帶來的豪雨在南湖溪所造成淹水事件作模擬。研究工作之流程圖，如圖 7 所示。

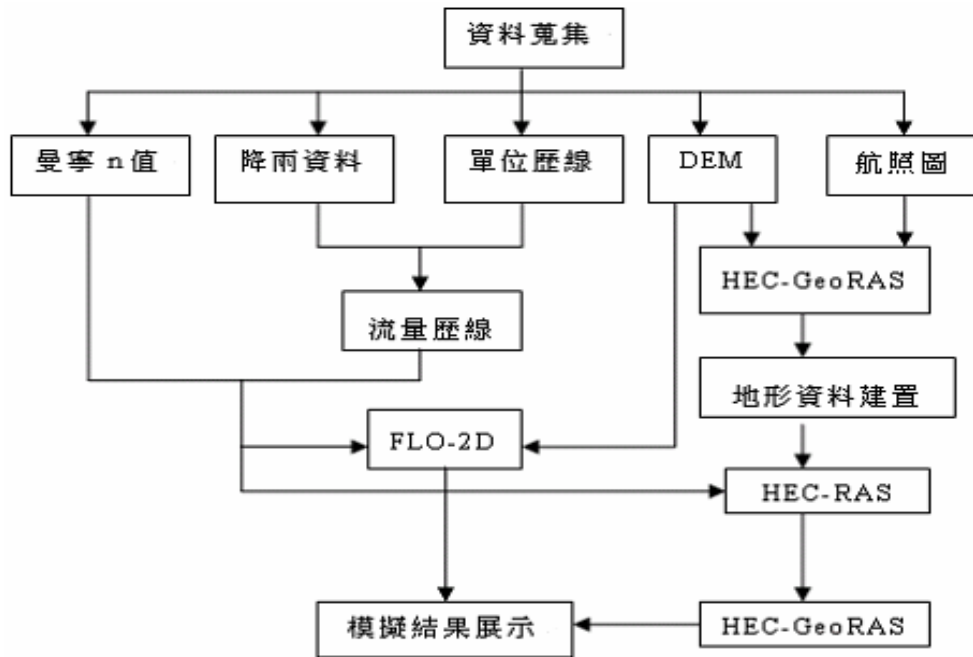


圖 7. 研究工作流程圖

Figure 7. Flow chart of the study work.

(一) FLO-2D 模式所需資料與流程：

(1) DEM 建置，模式中設定網格大小為 20m×20m。

(2) 模式給定流量歷線資料：由平均降雨量資料與南湖溪單位歷線，推求敏督利颱風期間之南湖溪洪水流量歷線供模式使用。

(3) 入、出流點位置之選定：入流點選擇主流上游位置，出流點選擇南湖溪之下游與大湖溪交會之處。

(4) 分析參數之決定：模式採用曼寧粗糙係數為 0.039 進行模擬。(水保局二所，2006)

(二) HEC-GeoRAS 模式所需資料與流程：

(1) 以 HEC-GeoRAS 建置河川地形幾何相關資料。由航照圖數化建置河川系統資料與斷面之定位；由 DEM 建置河川斷面資料。

(2) 開啓 HEC-RAS 軟體，匯入 GIS 地形資料，並設定所需參數：曼寧粗糙係數為 0.039。

(3) 模擬變量流流況：輸入上游邊界條件（同 FLO-2D 入流點位置）為敏督利颱風期間之入流歷線。

結果與討論

一、模擬結果

FLO-2D 之上游邊界條件為入流歷線，運動方程式選擇只考慮能量坡度、底床坡度與壓力梯度項，而忽略其他項，即為擴散波 (diffusive wave) 模式。首先計算相鄰網格邊界上之平均水深、曼寧 n 值與底床坡度，再代入至擴散波方程式計算網格邊界上的能量坡度。接著由曼寧公式得到平均流速，再乘上相對應之截面積即得到各方位邊界上交換之流量；HEC-RAS 之上游邊界條件為入流歷線，下游邊界則選定正常水深之水位

坡降。初始條件則是輸入初始流量 (initial flow)，以定量流迴水演算計算各斷面之水位。

經兩模式個別水理演算後，FLO-2D 模式模擬集水區淹水狀況之結果，如圖 8，FLO-2D 模式展示的是整個淹水模擬過程中，曾經發生流量傳輸之網格即為模擬之洪氾區；HEC-GeoRAS 模式為輸出模擬的每一個小時的淹水範圍，故將每一個小時的淹水範圍圖層都套疊起來，才與 FLO-2D 模式模擬結果展示的條件相同。故經圖層都套疊後，HEC-GeoRAS 模式模擬集水區淹水狀況之結果，如圖 9。

引用「七二水災後南湖溪上游集水區整體治理調查規劃成果報告」中，採用現地訪查結果，得到七二水災時之洪氾區圖資。將實際之淹水區域與模式模擬之淹水區域圖層套疊後作比較，發現兩個模式模擬之結果皆屬合理，唯由 HEC-GeoRAS 模式模擬之淹水區域範圍稍大，FLO-2D 模式模擬之淹水區域在下游處範圍稍小。

二、模式應用之比較

將 FLO-2D 模式與 HEC-GeoRAS 模式模擬集水區淹水情形分成基本資料建置及模擬結果展示進行討論。

(一) 基本資料建置

1. 地表構造物的設置

地表構造物包括堤防、護岸、水工構造物及建築物等。FLO-2D 模式中，構造物的設置必須為數個方形網格所組成，有形狀、位置偏差的限制，故與真實的構造物必定會有無法避免的誤差；HEC-GeoRAS 模式則可藉由航照圖的判識，在 ArcGIS 上正確的數化出真實構造

物之大小、位置。

2. 水文資料給定

FLO-2D 模式可以給定流量歷線及降雨資料。使用者可在入、出流點給定入、出流量歷線。若是需要模擬一場暴雨，亦可輸入暴雨之雨量相關資料即可模擬；HEC-RAS 則只能輸入流量相關資料，洪峰流量、流量歷線等，在模擬一場暴雨上較為不方便，必須於暴雨過後取得流量紀錄資料方得以輸入模式中模擬。

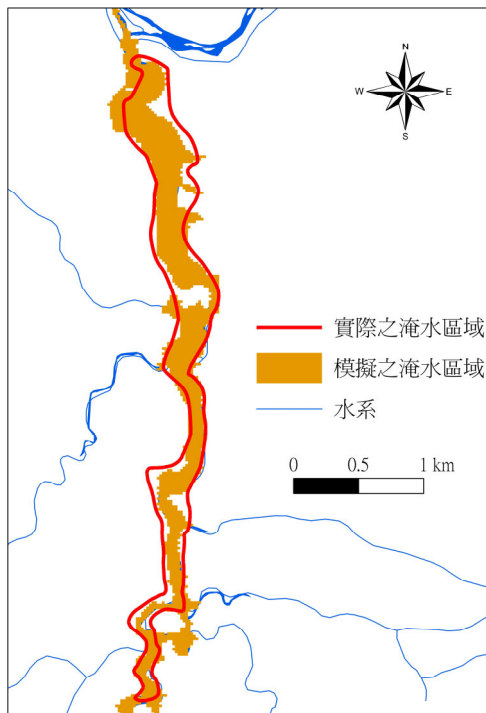


圖 8. FLO-2D 模式模擬之淹水區域
Figure 8. Simulation of inundation area by FLO-2D model.

3. 曼寧 n 值的給定

FLO-2D 模式是每一個網格中心點

紀錄其曼寧 n 值，即為一個網格具一個曼寧 n 值；HEC-RAS 可藉由航照圖數化土地利用圖層，再給定各個土地利用之曼寧 n 值。另外，其將每一個河道斷面至少分成三個部分輸入曼寧 n 值：左岸區 (LOB)、主河道中央 (Main Channel)、右岸區 (ROB) 分別給定。故 HEC-RAS 之曼寧 n 值的給定較接近真實地表情形。

(二) 模擬結果展示

FLO-2D 模式模擬完成後，模擬結果輸出之最大水深圖層為整個淹水模擬過程中，洪氾區中每一個網格曾經發生的最大水深，因此無法得知各個網格最大水深發生之時間，此為其缺點。另外，

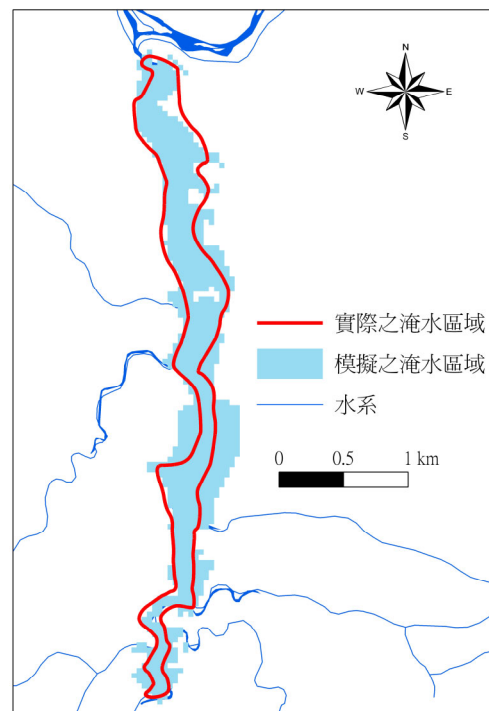


圖 9. HEC-GeoRAS 模式模擬之淹水區域
Figure 9. Simulation of inundation area by HEC-GeoRAS model.

可輸出最後水深圖，為模擬完成後洪氾區之水深。然而，HEC-GeoRAS 模式則可輸出模擬的每一個小時的淹水範圍、水深，可更清楚觀察洪氾區中水位之歷時變化。故兩個模式之模擬結果展示方法皆各有利弊。

結論與建議

- 一、經 FLO-2D 及 HEC-GeoRAS 兩個模式個別所模擬之集水區淹水範圍與實際之淹水區域圖層套疊後作比較，發現兩個模式模擬之結果皆屬合理，且 HEC-GeoRAS 之模擬結果較偏保守。
- 二、整體而言，HEC-GeoRAS 模式無論在基本資料建置與歷時模擬結果展示皆十分方便且更合乎現實狀況。其可輸出模擬的每一個小時的淹水範圍、水深，讓使用者更清楚觀察洪氾區中水位的變化。
- 三、HEC-RAS 模式中定量流部分較適用於河川中下游之紊流流況，坡度通常需小於 1:10 (垂直:水平)，有此項之限制條件。FLO-2D 模式則在平地、山坡地上皆可適用，無地域之限制。
- 四、FLO-2D 模式可模擬單場暴雨，輸入暴雨之雨量相關資料即可，十分方便；而 HEC-GeoRAS 則較不易於模擬單場暴雨之淹水情形。

誌謝

本文實屬「後龍溪及中港溪等上游集水區整體調查規劃」計畫之一部分，

研究期間承蒙 行政院農業委員會水土保持局第二工程所補助經費，特此致謝！

參考文獻

- 1.水土保持局第二工程所(2006)，「七二水災後南湖溪上游集水區整體治理調查規劃成果報告」。
- 2.施明文(2006)，「二維淹水模式應用於彰化縣三個排水系統淹水模擬之研究」，碩士論文，國立中興大學水土保持學系。
- 3.陳瑞宗(2003)，「結合HEC-RAS模式與GIS模擬洪災之研究-以筏子溪為例」，碩士論文，國立中興大學水土保持學系。
- 4.經濟部水利署第四河川局(2006)，「濁水溪河段風險評估及其保全計畫之研擬」。
- 5.經濟部水利署(2003)，「後龍溪治理規劃檢討第一年工作報告」。
- 6.蔡誌崇(2004)「FLO-2D模式應用於土石流災害管理之研究」，碩士論文，國立中興大學水土保持學系。
- 7.Cunge, J.A. (1980), Two-Dimension Modeling of Flood Plain, Chap.17 of Unsteady Flow in Open Channel, K. Mahmood and V. Yevjevich, eds., Water Resources Limited, London.
- 8.O'Brien, J.S. (2003), FLO-2D Users Manual.
- 9.US Army Corps of Engineers(2005), HEC-GeoRAS GIS Tools for support of HEC-RAS using ArcGIS Users Manual.

95 年 11 月 25 日 收稿

95 年 12 月 23 日 修改

96 年 1 月 2 日 接受