

以 HEC-RAS 模式模擬桃芝颱風豪雨導致筏仔溪水患之研究

陳文福⁽¹⁾ 陳瑞宗⁽²⁾ 謝平城^{(3)*} 沈承銘⁽⁴⁾

摘要

由於桃芝颱風於民國九十年七月底攔腰侵襲台灣，帶來罕見的豪雨，致使位於台中市與烏日鄉交界處之平地河川筏仔溪的溪水暴漲，並造成下游兩岸淹水，導致生命財產的損失。本文以台中、大肚、水湳三個水文站於桃芝颱風時的降雨資料，推求出當時下游段之洪峰流量，並由筏仔溪之斷面測量資料，對筏仔溪下游段(集泉橋至筏仔溪橋間)與烏溪匯流口附近，運用 HEC-RAS 水文模式，以一維定量流之觀念模擬出桃芝颱風來襲時之水位，據以判斷是否有溢流現象產生，並進一步推求其溢流之體積；冀能有助於筏仔溪整治時斷面之改善，俾使下游兩岸免再遭受水患之苦。

(關鍵詞：洪峰流量、一維定量流、溢流現象、HEC-RAS 模式)

Downstream Inundation of Far-Tzu Creek by Typhoon Toraji Flood with HEC-RAS Hydrologic Model

Wen-Fu Chen

Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

Jui-Tsung Chen

M.Sc. Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

Ping-Cheng Hsieh

Assistant Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

Cheng-Ming Shen

Engineers, The 3rd River Management Bureau

-
- (1)國立中興大學水土保持學系教授兼系主任
(2)國立中興大學水土保持學系碩士班研究生
(3)國立中興大學水土保持學系助理教授 *通訊作者
(4)第三河川局副工程司

Abstract

In July 2001, typhoon Toraji entered Taiwan from east coast and more to west coast in central Taiwan. It brought exceptionally high rainfalls, and caused serious flood in the downstream of Far-Tzu creek and a significant of life and property lost. This study utilized the recorded rainfalls of Taichung, Dah-Du and Shui-Nan stations to estimate the peak flow and downstream cross section data to simulate the water surface profile of Far-Tzu creek, with one-dimensional steady flow concept model of HEC-RAS. With this method, we can judge whether it will overflow or not during typhoon Toraji flood. Furthermore we can estimate the overflow volume and then help improve the cross section for creek protection work and prevent Fa-Tzu creek from flooding again.

(key words : peak discharge, one-dimension steady flow, overflow, HEC-RAS model)

前言

筏仔溪位於台中盆地西側，屬於烏溪的支流。起源於台中縣大雅鄉橫山排水，流經台中縣、市，由烏日鄉注入烏溪，屬於平地河川。集水區主流全長 21.25 公里，集水區面積 132.57 平方公里，可分為大肚山台地及台中盆地兩大區域。上游段河床平均坡降約 1/130，下游段河床平均坡降約 1/170，全河段河床平均坡降約 1/160。筏仔溪由於民國九十年七月底桃芝颱風的侵襲，帶來了罕見的豪雨，連續數小時降下的豪雨，使得筏仔溪溪水暴漲，溪水越過堤防、河岸，造成下游於接近注入烏溪本流河段之兩岸淹水。有鑑於此，本計畫利用桃芝颱風的降雨資料，分析筏仔溪的淹水成因，並與原先筏仔溪的河川規劃設計資料做比較；冀能有助於筏仔溪斷面整治，使下游兩岸免再遭受水患之苦。

研究材料與方法

一、研究材料

(一) 試區簡介

筏仔溪下游會淹水之原因主要係因筏

仔溪下游河段位於台一線中山路之集泉橋附近，靠近筏仔溪與烏溪的匯流處；河川下游的右側有中山高速公路經過，左岸有外環道路以及中彰快速道路經過，而在高速公路與筏仔溪之間為高速鐵路的預定路線。筏仔溪下游的地形圖如圖 1 所示。

(二) 分析之材料

1/5000 之像片基本圖、雨量資料、筏仔溪下游河段之斷面測量資料及 HEC-RAS 水文模式等。

二、研究方法(如圖 2 之流程圖)

(一) 研究步驟

1. 以相片基本圖數化出筏仔河流域後，再將其劃分成數個子集水區，並推估出其逕流係數 c 。
2. 以台中、大肚、水湳三站之時雨量資料推求出各集水分區之降雨強度 I 。
3. 利用合理化公式求出各集水分區之洪峰。
4. 將所得之洪峰流量套入 HEC-RAS 模式中模擬各斷面之水位，並判斷其溢流情形。
5. 利用合理化公式求出各集水分區之洪峰流量 Q_p 。
6. 以此結果推斷下游斷面之洪水溢流體流量 Q 。



圖 1. 筏仔溪下游地形圖

Figure 1. Downstream topographic map of Far-Tzu creek

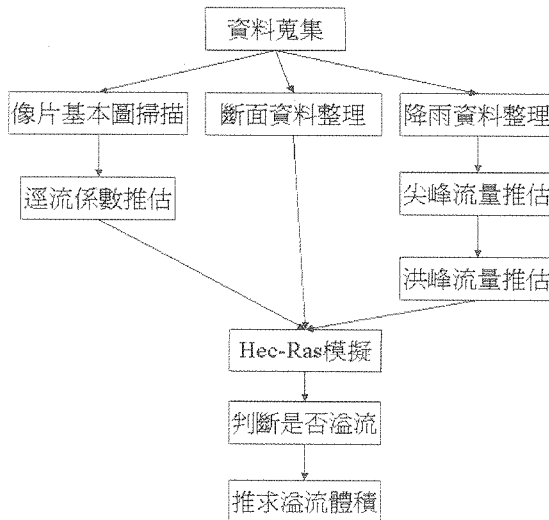


圖 2. 研究流程圖

Figure 2. Flow chart of study process

(二) 材料處理

1. 地文資料：

筏仔溪集水區的像片基本圖 (比例尺為 1/5000)，一共 12 張；掃描後利用 AutoCAD 軟體將所有圖檔一一套疊結合，並數化出集水區內的等高線、河系，以及土地利用現況，共劃分為 15 個集水區。由於集水區面積達 132.57 平方公里，為了配合合理化公式應用上有 1000 公頃之限制，以及增進水力分析時之準確性，故將整個集水區再加以細分成數個子集水區，如圖 3 所示。

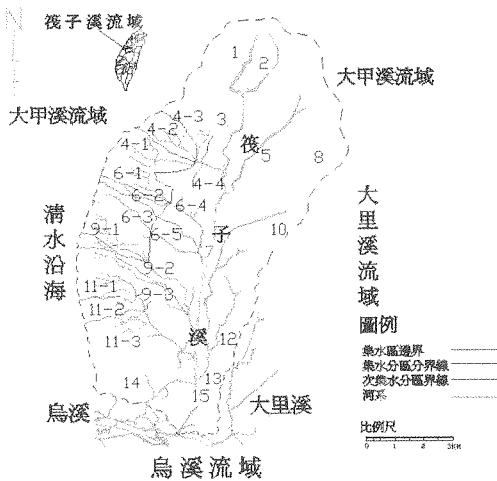


圖 3. 筏仔溪集水區位置圖
Figure 3. Location of Far-Tzu creek watershed

由圖中可知，整個筏仔溪流域共劃分成 15 個集水區，而在這 15 個子集水區中之第 4、6、9、11 等四個子集水區之地形較複雜，大多為山地及丘陵地，故將其子集水區再加以細分。

2. 水文資料：

向中央氣象局購買台中、大肚、水湳三站於桃芝颱風來襲時之時雨量資料，將資料經過篩選和整理後，即可進行降雨組體圖繪製，之後再利用徐昇氏多邊形法(Thiessen polygons method)來進行整個流域之降雨強度推估。所得降雨組體圖結果如圖 4 至圖 6 所示：

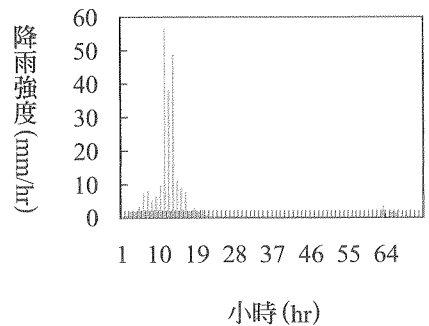


圖 4. 台中雨量站桃芝颱風時(7/30-8/1)之降雨組體圖
Figure 4. Hyetograph of Taichung station during typhoon Toraji inroad Taiwan

(三) 降雨強度 I 與洪峰流量 Q_p 之推估

將三個雨量站的降雨資料經過整理後得到尖峰降雨強度，若要計算整個流域內各集水區的降雨強度，必須考慮各雨量站之權重，本研究採用徐昇氏多邊形法(Thiessen polygons method)，以此方法計算出各集水分區之尖峰降雨強度 I。流量資料方面，由於筏仔溪並未設置流量站，故無法直接獲得流量資料，其 Q_p 係以合理化公式如(1)式推求而得，其公式為：

$$Q_p = C * I * A / 360 \dots \dots \dots (1)$$

式中

- Q_p : 洪峰流量 (立方公尺/秒)。
- C : 逕流係數 (無單位)。
- I : 降雨強度 (公釐/小時)
- A : 集水區面積 (公頃)

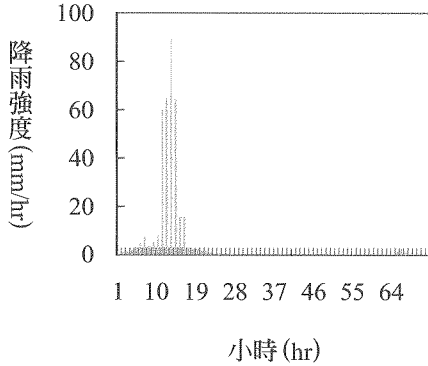


圖 5. 大肚站紀錄之桃芝颱風(7/30-8/1)降雨組體圖

Figure 5. Hyetograph of Dah-Du station during typhoon Toraji inroad Taiwan

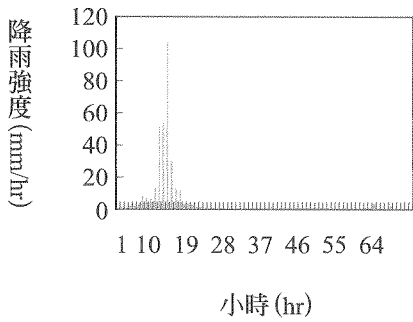


圖 6. 水滴站紀錄之桃芝颱風(7/30-8/1)降雨組體圖

Figure 6. Hyetograph of Shui-Nan station during typhoon Toraji inroad Taiwan

(四) HEC-RAS 模式簡介

本計畫以普遍常用於模擬一維定量流河川之 HEC-RAS 模式進行模擬分析。不論是在天然河川或是人工河道中之水位剖面計算，包含亞臨界流、超臨界流及混合流，此程式只要輸入河川的幾何資料 (包含河道繪製、斷面資料、橋墩、溢流口等) 及定量流之邊界數據資料，即可進行模擬分析，並繪製其橫斷面圖、水位剖面圖、率定曲線、水位圖、三維透視圖、橫斷面資料表及剖面資料表等，使用及圖形展示均十分便利。

HEC-RAS 的運算，架構於藉由河道之一橫斷面推求出下一斷面的「標準步推法」，並利用能量方程式，如(2)式解之。

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \dots(2)$$

式中，

WS_1, WS_2 : 相臨斷面之水位。

V_1, V_2 : 相臨橫斷面之平均流速。

α_1, α_2 : 相臨橫斷面之能量修正係數。

g : 重力加速度。

h_e : 能量損失。

兩斷面間的能量損失 h_e ，由「摩擦損失」及

「收縮、擴張損失」所組成，如(3)式所示：

$$h_e = L\bar{S}_f + Cc \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \dots(3)$$

式中，

L : 兩橫斷面間的流量權重長度。

\bar{S}_f : 兩斷面間的代表性摩擦坡度。

Cc : 收縮或擴張損失係數。

又， L 可由(4)式決定：

$$L = \frac{L_{lob} \overline{Q}_{lob} + L_{ch} \overline{Q}_{ch} + L_{rob} \overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}} \dots\dots\dots(4)$$

其中，

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} : 兩橫斷面間左岸、主河道和右岸之距離。

\overline{Q}_{lob} , \overline{Q}_{ch} , \overline{Q}_{rob} : 兩橫斷面間左岸、主河道和右岸之流量平均數。

在邊界條件方面，當流況為亞臨界流時，須給定下游之邊界條件；當流況為超臨界流時，則須給定上游之邊界條件。邊界條件可以是已知水深、臨界水深、正常水深或是一組流量-水位率定曲線。

結果與討論

一、模式驗證

在本研究中假定集水區的流況屬於亞臨界流，故給定下游的邊界條件，在此我們給定下游的水位，希望藉此來模擬筏仔溪集水區的水位，並與水利處於民國 84 年筏仔溪治理規劃報告中之計畫洪水水位進行比較，以檢驗 HEC-RAS 是否可用於模擬桃芝颱風來襲時筏仔溪之洪水水位變化情形。如果模擬之結果大致吻合，則應用於推估桃芝颱風來襲時的水位應屬可行。首先將筏仔溪河道橫斷面資料(X、Y 座標及 Z 高程數值)輸入，套用於 HEC-RAS 之地形資料(Geometric Data)模組分析地表幾何資料產生橫斷面圖，如圖 7 所示，再由 HEC-RAS 模式之定量流分析(Steady flow analysis)模組進行水流模擬，分別計算出洪水流量之水位、水面寬 (Top Width)、通水面積 (Flow Area)、能量線水頭高 (Energy Grade Slope)、水深及福祿數 (Froude Number) 等水理參數。

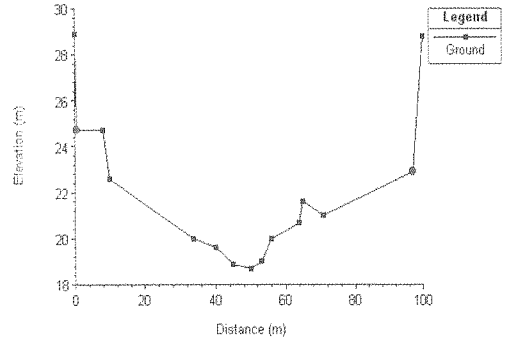


圖 7. HEC-RAS 產生之河道橫斷面圖
Figure 7. River cross-section produced by HEC-RAS

於模式驗證中，分為兩部分，即模擬 Q_{100} 的部分，(頻率年為 100 年時的洪水流量下，筏仔溪的水位)；與模擬 Q_{200} 的部分，(即頻率年為 200 年時的洪水流量下)，筏仔溪的水位，如后：

1. Q_{100} 部分：

由筏仔溪規劃治理報告(水利局,1995)中得知，在頻率年 100 年時的洪峰流量為 1460cms；將流量資料、斷面資料，以及曼寧係數等資料輸入後，由表 2 可知，以 HEC-RAS 模擬其水位的結果與水利處的筏仔溪治理規劃報告(水利局,1995)相比，大致上誤差約在 10cm 左右，頗為準確。

2. Q_{200} 部分：

流量依筏仔溪治理規劃報告內所述，下游段在頻率年 200 年時的洪峰流量為 1680cms；同樣地，將流量資料、斷面資料，以及曼寧係數等資料輸入後，其結果如表 2 所示；以 HEC-RAS 模擬其水位的結果與水利處的筏仔溪治理規劃報告相比較，其誤差約與 Q_{100} 相同。

經過 2 種情況驗證後可知：以 HEC-RAS 來模擬桃芝颱風來襲時，筏仔溪之水位應屬合理。

二、模擬結果

現將先前推估得到的洪峰流量資料輸入，以模擬筏仔溪於桃芝颱風來襲時的斷面水位，並據以判斷是否有溢流現象的發生。經現場調查現階段下游情況並實際測量斷面後，將實測斷面資料輸入並加以模擬，發現下游段之斷面由於右岸並未設置堤防，有溢流情況發生，與實際情況相符合。由表 3 可知：筏仔溪下游位於集泉橋附近之河段，即接近與烏溪匯流口處下游段之右岸，即斷面 1 附近有溢流現象產生。

三、溢流量之體積概估

筏仔溪於桃芝颱風來襲時，河川的右岸有多處產生溢流現象，尤其以筏仔溪的下游更為明顯，本文探討的範圍以集泉橋至鐵路橋間之下游段為主，故選擇斷面 1 至斷面 3 之間推估發生溢流洪水之體積。其推估方式為將溢流部分之洪水體積假設為一稜柱體來進行推估。估算過程如下：

將發生溢流段之河道長度視為稜柱體之高度、相鄰兩斷面之溢流斷面面積視為上底及下底，再將 HEC-RAS 所推估出來的水位高減去河岸高度後所得到的值視為稜柱體之寬度；最後再計算此稜柱體之體積，此即為概估的溢流洪水之體積。

於斷面 1 至斷面 3 之間，右岸有溢流現象，經過計算後獲得總溢流洪水之體積為 $467,518.74 \text{ m}^3$ 。

四、討論

1. 依中央氣象局於桃芝颱風來襲時台中、水湫和大肚三個雨量站所記錄之時雨量資料，繪成降雨組體圖，見圖 1、圖 2 及圖 3，估算出三個雨量站於桃芝颱風來襲時的尖峰降雨強度，並可大略看出降雨分布情形，由圖中可得知桃芝颱風所帶來的瞬間雨量相當驚人。

2. 採用徐昇氏多邊形法，將流域劃分出數個徐昇氏三角網，並計算出經徐昇氏法劃分出來三角網之各站控制面積權重值，進而推求出 15 個集水區的尖峰降雨強度，結果見表 1。

3. 洪峰流量推估方面，將劃分的集水區於求出集水區的面積大小和各集水分區之尖峰降雨強度後，代入合理化公式得到各集水區的洪峰流量，加總後即為整個集水區的洪峰流量，其值為 $1,801.08 \text{ cms}$ ，由於集水區內雨量站較少，而且雨量站所觀測到的雨並不能完全代表該範圍內所降的雨，因此有可能造成洪峰流量的高估。

4. 在模式驗證方面：

(1) Q_{100} 的部分：在筏仔溪的下游段在頻率年 100 年時的洪峰流量為 $1,460 \text{ cms}$ ，斷面 0 的右岸會有溢流的現象，水位約為 26.07 公尺，斷面 1 的水位約 26.3 公尺，斷面 2 水位約為 26.9 公尺，斷面 3 會有溢流現象發生，水位約為 28.3 公尺。

(2) Q_{200} 的部分：洪峰流量為 $1,680 \text{ cms}$ ，斷面 0 水位約為 27.08 公尺，右岸有溢流的現象，斷面 1 之水位約為 27.2 公尺，斷面 2 之水位約為 27.63 公尺，斷面 3 之水位約 28.7 公尺，右岸有溢流的現象。

5. 桃芝颱風來襲時：筏仔溪下游接近烏溪匯流口附近的流量約為 $1,801.08 \text{ cms}$ ，皆大於 Q_{100} 、 Q_{200} 的流量；斷面 0 在這次颱風來襲時水位約為 27.1 公尺，高出 Q_{200} 的洪水位 0.02 公尺，集泉橋的兩側，水位為 27.28 公尺，因為橋面較高的關係所以沒有溢流現象發生；鐵路橋兩側，水位為 27.66 公尺，因鐵路橋之橋面高於兩岸高程無溢流現象；斷面 3 之水位約為 28.72 公尺，高於右岸而有溢流的現象。

6. 以稜柱體方式推估桃芝颱風發生時，現今斷面 1 至斷面 3 將產生洪水溢流體積約為 467518.741 m^3 。

表 1. 各集水分區之降雨強度與洪峰流量推估值

Table 1. Estimated peak-flow with rainfall intensity of respective watershed

集水區編號	逕流係數 C	尖峰降雨強度 I_p (mm/hr)	集水區面積 A (km^2)	洪峰流量 Q_p (cms)
1	0.54	89.00	6.321	84.39
2	0.56	89.00	4.303	59.57
3	0.52	89.00	7.626	98.04
4-1	0.51	91.85	3.806	49.52
4-2	0.52	90.60	2.865	37.49
4-3	0.56	88.33	3.405	46.79
4-4	0.54	88.79	2.132	28.40
5	0.56	89.00	15.781	218.48
6-1	0.50	102.50	3.142	44.73
6-2	0.51	102.50	1.327	19.27
6-3	0.52	102.50	3.947	58.44
6-4	0.51	101.50	4.440	63.84
6-5	0.53	91.50	2.817	37.95
7	0.62	83.90	4.467	64.55
8	0.54	82.50	14.736	182.36
9-1	0.51	102.50	2.584	37.52
9-2	0.53	93.50	4.707	64.79
9-3	0.54	91.80	4.111	56.61
10	0.62	77.63	4.547	60.79
11-1	0.52	102.50	3.349	49.58
11-2	0.52	102.50	2.585	38.27
11-3	0.53	93.30	8.081	111.00
12	0.71	56.50	7.018	78.20
13	0.61	56.50	3.350	32.07
14	0.65	102.50	7.145	132.23
15	0.74	56.50	3.978	46.20
總和			132.57	1801.08

表 2. 斷面水位比較表
 Table 2. Water surface comparison of cross sections

斷面	洪水位			
	Q ₁₀₀ 計畫水位 (m)	Q ₁₀₀ 模擬水位 (m)	Q ₂₀₀ 計畫水位 (m)	Q ₂₀₀ 模擬水位 (m)
0	26.07	26.07	27.08	27.08
集泉橋(下) 1	26.27	26.36	27.20	27.31
集泉橋(上)	26.35	26.38	27.28	27.32
鐵路橋(下) 2	26.86	26.96	27.63	27.76
鐵路橋(上)	27.04	27.08	27.73	27.8
3	28.29	28.35	28.65	28.63
4	30.53	30.48	30.61	30.62
5	32.53	32.56	32.83	32.87
6	33.86	33.86	34.14	34.17
7	35.90	35.96	36.08	36.17
8	39.38	39.39	39.57	39.59
9	42.41	42.43	42.64	42.59
10	44.08	44.11	44.26	44.32
11	46.53	46.44	46.74	46.45
12	48.67	48.73	48.90	48.95
筏仔溪橋 (下)13	51.19	50.86	51.44	51.43
筏仔溪橋(上)	51.26	51.25	51.52	51.5

表 3. 桃芝颱風來襲時橫斷面水位比較表

Table 3. Water surface comparison of cross sections during typhoon Torji made inroads Taiwan

斷面	洪水位		
	Q ₁₀₀ 計畫水位(m)	Q ₂₀₀ 計畫水位(m)	桃芝颱風模擬水位(m)
0	26.07	27.08	27.10
集泉橋(下) 1	26.27	27.20	27.27
集泉橋(上)	26.35	27.28	27.28
鐵路橋(下) 2	26.86	27.63	27.68
鐵路橋(上)	27.04	27.73	27.76
3	28.29	28.65	28.72
4	30.53	30.61	30.74
5	32.53	32.83	32.92
6	33.86	34.14	34.38
7	35.90	36.08	36.11
8	39.38	39.57	39.62
9	42.41	42.64	42.73
10	44.08	44.26	44.36
11	46.53	46.74	46.90
12	48.67	48.90	48.90
筏仔溪橋(下)13	51.19	51.44	51.55
筏仔溪橋(上)	51.26	51.52	51.66

結論

1. 筏仔溪下游河段有多處未施設堤防,或雖設有堤防但因長年之淤積導致河床抬高,加上早期已興建的中山高速公路外,近年來復有中彰快速道路及外環道路相繼興建完工,且其橋墩均建於河中佔用部分河道,已為桃芝水患埋下潛在危險因子,在桃芝颱風豪雨侵襲下遂發生嚴重水患。
2. 本研究以合理化公式推求集水區之洪峰流量,並將結果套入漸被廣用之 HEC-RAS 水文模式以模擬各斷面之水位作為溢流判斷之依據,均能獲得合理結果,為一可用之方法。
3. 因 HEC-RAS 為一維模式,如能以考慮較多參數之二維模式來加以模擬,效果應該更佳,惟需耗費大量之人力物力,故如能將二維模式簡化成一套模組,或為一種值得嘗試之方法。

8. 王如意、易任(1992),「應用水文學」,國立編譯館。
9. 呂育勳(1989),「洪氾區淹水模式之初步研究」,碩士論文,國立成功大學水利及海洋工程。
10. 經濟部水利處(1994),「台灣水文資料電腦檔案應用之研究(時雨量資料)」。
11. 經濟部水利處(1999),「台灣重要河川資料策」。
12. Gunge, 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。

92年2月2日收稿

92年3月5日修改

92年3月6日接受

參考文獻

1. 台灣省水利局(1995),「筏仔溪低水治理規劃報告」。
2. 經濟部水利處水利規劃試驗所(2000),「低水治理模型試驗報告(三)-筏仔溪水工模型試驗」。
3. 經濟部水資源局(1999),「建立烏溪流域洪水預警系統」。
4. 台灣省水利局(1991),「烏溪水系治理基本計畫」。
5. 台灣省水利局(1988),「筏仔溪治理規劃報告」。
6. 王定欽、陳文福(2000),「水文學 500 題」,文京。
7. 易任(1996),「渠道水力學」,國立編譯館。