

烏河流域三角形單位歷線 m 值之研究

謝平城^{(1)*} 林昭儀⁽²⁾

摘要

在水文設計工程上，一般推估某集水區之降雨逕流歷線，需要較繁複之地文及水文方面資料，但水文紀錄資料常因年代久遠或人為因素等有所短缺，故可利用參數條件少且易於推求之三角形單位歷線，即可推得某集水區之流量歷線，及其洪峰流量和洪峰時間。本研究選用 1994-2008 年間降雨強度為中度以上之颱風十場，經由檢定驗證得烏河流域各子集水區平均無因次單位歷線，再推求各場颱風事件之 m 值(T_b / T_p)予以平均，得其適合各子集水區之 m 值，大里溪之 m 值為 4.024，南港溪之 m 值為 3.13，北港溪之 m 值為 3.603，貓羅溪之 m 值為 3.39。

(**關鍵詞**：三角形單位歷線、線性水庫模式、瞬時單位歷線、動差法)

Study on the m Value of the Triangular Unit Hydrograph for Wu River Catchment

Ping-Cheng Hsieh^{(1)*}, *Chao-Yi Lin*⁽²⁾

Professor⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation, National
Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

Abstract

In the hydrologic design project, the estimation of hydrograph generally needs the complicated topographic and the hydrologic data, but they are often lost due to ages and human factors. The triangular unit hydrograph composes of few parameters and are easily estimated, and then it was used very often. From the hydrograph, the peak discharge and peak time can be obtained. Ten middle typhoon events during 1994-2008 are adopted to verify the simulation by various methods and then the average dimensionless unit hydrographs are obtained. The average m values are found to fit each watershed in Wu River. The m value is 4.024 for Dali River, 3.13 for Nangang River, 3.603 for

(1) 國立中興大學水土保持系教授(通訊作者 Email: pchsieh@dragon.nchu.edu.tw)

(2) 國立中興大學水土保持系碩士

Beigang River, 3.39 for Maoluo River.

(**Keywords:** triangular unit hydrograph, linear reservoir model, instantaneous unit hydrograph, generalized method of moment)

前言

近年來，全球氣候受到暖化之影響而導致氣候等異常，造成降雨量過大以及颱風過度集中，而颱風方面，海洋只要稍微暖化一些，就可能使更多熱帶擾動升級成颱風，熱帶風暴的威力會增加，並帶來更多的雨水。台灣地區屬於副熱帶(或稱亞熱帶)的氣候，而其中北部為副熱帶季風氣候區，南部則為熱帶季風氣候區，平均每年三至四個颱風侵襲本台，除了強風造成的屋舍毀損，熱帶氣旋所帶來的瞬間雨量也容易造成豪雨，由於降雨空間和時間分佈十分不均，容易引發水患以及土石流。

在計算流量歷線與集流時間等水文公式時，前人研究大多採用尖峰降雨強度或平均降雨強度來計算逕流量，但對於面積較大的集水區而言，因水文反應時間較長，需加以考慮長時距內之降雨特性，所以逕流計算方式不宜以尖峰降雨強度或平均降雨強度來取代完整的降雨組體圖。工程上最常使用的方法為 Sherman(1932)所發展的單位歷線理論(unit hydrograph theory)，此理論建立於線性系統之假設。然而在水文工程設計規劃地區，通常無流量之紀錄可供參考，因此需藉由其他鄰近有紀錄地區的流量資料，再配合欲推估的集水區之地文特性，以求得降雨逕流關係，此種方法稱為合成單位歷線法(synthetic unit hydrograph)。

而「臺灣水文資料電腦檔應用之研究(12) 三角形單位歷線參數之研究」中提及，McCarthy(1938)開始以統計方式分析單位歷線之水文及地文參數。同年，Snyder 分析美國 Appalachian 山區 25~25000 面積不等之流域，得到 $T_b = 3 + 3(T_{plag} / 24)$ ， T_{plag} 為洪峰稽延， T_{slag} 為有效降雨延時中心至洪峰之時間，若換算以「小時」為單位，則 $T_b = 72 + 3T_{plag}$ 。Taylor 與 Schwarz(1945)分析美國 Atlantic States 中部及北部面積 50~4000 km^2 之 20 個流域，得到單位歷線 $T_b = 5T_p$ 。美國前水土保持局 (Soil Conservation Service, 1957)發展出三角形無因次單位歷線，以推求無紀錄地區之降雨逕流關係。經簡化之三角形單位歷線，洪峰前後體積比及洪峰時間 T_p 均不變，但基期 T_b 因需要考慮到必須保持一單位降雨逕流體積，故三角形單位歷線之 T_b 、 Q_p 與原單位歷線之 T_b 、 Q_p 有所不同，須對 T_b 、 T_p 、 Q_p 等參數因子加以討論。而三角形單位歷線之基期 T_b ，則採用毛克斯(Mockus)分析許多集水區所得之三角形單位歷線基期 $T_b = 2.67T_p$ 。在臺灣地區，吳建民(1967)推求本島主要集水區之合成單位歷線，而經濟部前水利局(1992)研究報告(11)所得的全台各流域代表之無因次單位歷線(1)，由全台平均無因次單位歷線(1)轉換成三角形單位歷線可知其 $T_b = 3.277T_p$ 。

新近發展以集水區地貌為基礎的逕流模式(Rodrigue-Iturbe and Valdes,1979)，Lee and Yen(1997)將該逕流模式配合適當水流運動機制，其適用性較為廣泛。而水利署水利規劃試驗所建立之系統「集水區逕流模擬計算模組」，內建運動波-地貌瞬時單位歷線模式，利用常用的無因次單位歷線和三角形單位歷線方法，結合「區域平均降雨計算模組」所求得之颱風事件的區域平均雨量，並應用「地文因子計算模組」所求得之地文因子，以進行集水區降雨逕流模擬，可作為無記錄地區進行水資源工程規劃地區之依據。

前人關於三角形單位歷線之相關研究理論相當的多，大多是依據特定集水區的水文及地文資料，來建立降雨逕流關係，因此模式應用於集水區，應限制於與原集水區地文特性相似之地區。國內目前各項水資源規劃、水文設計及設計工程並無統一的規範，水文設計常因採用的方法、模式和參數的不同，而導致不同的設計結果。一般推估降雨逕流歷線時，其所需的地文資訊及水文資料繁複，並常因年代久遠而資料短缺，使得無法有效利用。在單位歷線中，三角形單位歷線參數條件需求較低，以方便水文設計使用。本研究在應用水文模式下，選定烏溪流域為模擬場址，其地文因子，則結合數值高程模型及排水流向觀念進行自動化萃取，再利用水文統計線性複相關理論、水文分析程式等方法計算，分別求得烏溪流域之三角形單位歷線，並與實際降雨情形作比較，藉以推估適用於烏溪流域地形特性之單位歷線，以便於往後水利工程設計時的降雨逕流歷線之演算。

研究材料與方法

本研究之主要研究步驟列舉如下：

1. 試區選定：本研究以中部烏溪流域為例。
2. 資料蒐集：

(1) 水文資料：本研究採用經濟部水利署水文資源資料管理供應系統的紀錄資料，降雨量資料為 1994 年至 2008 年十場颱風風洪紀錄。流量站則包含了南北通橋、觀音橋、南崗大橋及溪南橋等四個。

(2) 地文資料：分別採用台中縣環保局所製作之烏溪流域環境資訊網，以及利用整合數值高程模型(DEM)資料及地理資訊系統技術所蒐集之地文資料。

3. 進行參數檢定，並整合所蒐集之水文、地文資料，由動差法計算單位歷線，得其無因次單位歷線及累積體積率，並利用 3 場颱風事件檢定，其他颱風事件為驗證。另外由水文統計線性複相關理論所推導之三角形單位歷線方法，以及利用王希夫(1990)水文分析 TUHPC 程式，與集流時間相關經驗公式交互搭配，以一颱風事件為例，進行方法比較，其推估歷線與實測歷線之結果，為求烏溪流域各子集水區之最佳三角形單位歷線。茲詳述如下：

(1) 試區概述

烏溪流域位於台灣西海岸中部，發源於中央山脈合歡山西麓，東以中央山脈為界，北鄰大甲溪流域，西臨台灣海峽，南鄰濁水溪流域。本流包括上游之北港溪、南港溪、南港溪之支流眉溪，以及北港溪與南港溪匯合

後之烏溪主流。集水區地勢自東北向西南傾斜，幹流全長約 119.13 公里，流域面積為 2,025.6 平方公里，河床平均坡降為 1/92，幹流流域兩側支流密佈，包括筏子溪、大里溪水系、貓羅溪、北港溪及眉溪，流經台中縣龍井鄉、大肚鄉、烏日鄉；彰化縣伸港鄉、和美鎮、彰化市、芬園鄉及南投縣草屯鎮、國姓鄉與埔里鎮等行政區域。東西長約 84 公里，南北寬約 52 公里，平均標高為 651 公尺，集水區地勢自東北向西南傾斜，山地面積約佔 2/3 強，平地包括埔里盆地、台中盆地及濱海地區之一部份。流域上游之南港溪與支流眉溪二溪河槽淺且窄，坡陡流急，河道多呈直線，蜿蜒度小。



圖 1 烏河流域水系地理圖
Figure 1 The streams in Wu River.
(摘自烏河流域環境資訊網)

烏溪自上游南港溪與支流眉溪匯合後至柑子林河段，蜿蜒於叢山中，河幅狹窄。自烏溪橋下游起，河道完全離開山谷進入台中盆地，因失去山谷約束，且地勢較緩，洪水常易氾濫兩岸形成洪災，河流亦呈瓣狀分歧狀態。

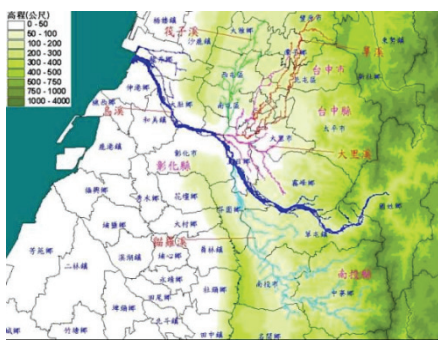


圖 2 烏河流域地形與地勢示意圖
Figure 2 Terrain and topography in Wu River.
(摘自烏河流域環境資訊網)

(2) 地文資料蒐集與整理

本研究所採用之地文資料，包括烏溪環境流域資訊網之資料及利用 GIS 地理資訊系統整合所蒐集資訊之步驟，如圖 3。

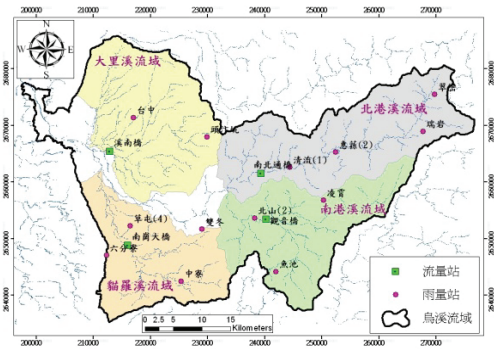


圖 3 烏河流域雨量站及流量站分布圖
Figure 4 Distribution of rainfall and discharge station in Wu River.

(3) 水文資料蒐集與整理

本研究所應用之降雨量與流量，引用自經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統的紀錄資料。根據記錄資料顯示，烏河流域現有之流量測站有南北通橋、觀音橋、南崗大橋及溪南橋等四個。而降雨量資料部份，

選用臺灣近年來(1994年至2008年)之十場強度為中度(中度颱風的定義為其颱風的中心附近最大風速每秒32.7至50.9公尺,相當於12~15級風)以上,並對台灣地區造成重大影響以及帶來暴雨的颱風降雨資料,烏溪流域雨量站與流量站位置如圖4。

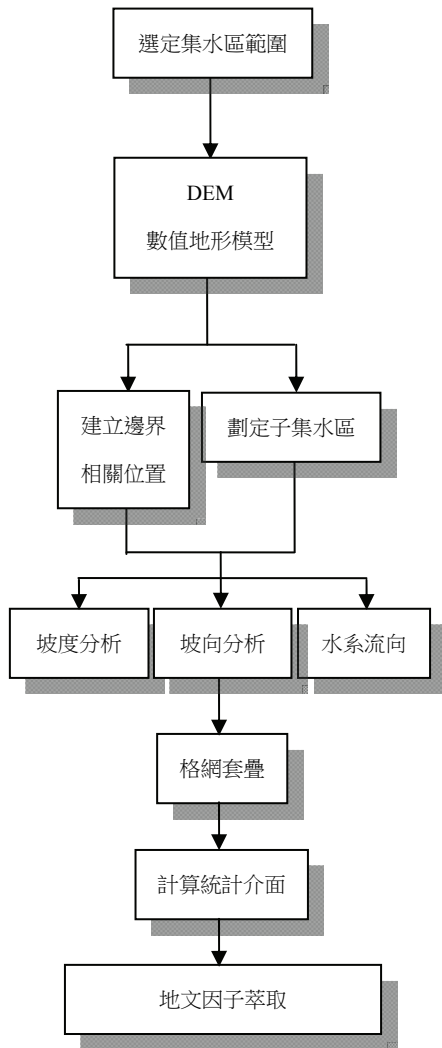


圖 4 地文因子建立過程

Figure 3 The procedure of topographic factor setup.

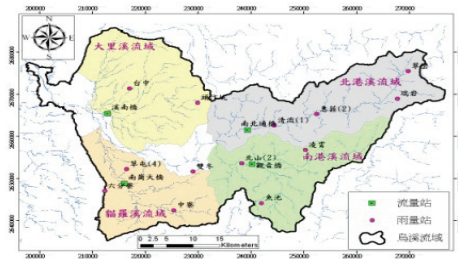


圖 5 烏溪流域雨量站及流量站分布圖

Figure 4 Distribution of rainfall and discharge station in Wu River.

本研究所選用 1994 年至 2008 年之颱風事件,依發生時間先後編號,以便檢定及驗證使用,如表 4。

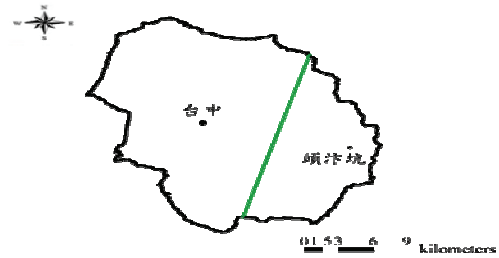


圖 6 大里溪流域雨量站徐昇多邊形圖

Figure 5 The weight of Rainfall station by Thiessen polygons method in Dali River.

雨量部分,由經濟部水利署所提供 1994 年至 2008 年十場颱風的颱風資料,對於紀錄資料缺漏部分,則參照李光敦(2003)著「水文學 Hydrology」所介紹降雨量資料補遺方法之內插法,利用其他測站之資料於同一期間完整降雨量紀錄將其補遺。考慮到降雨空間之差異,依照雨量站之相對位置,決定各雨量之控制面積。此法將 n 個雨量站以直接相互連接,構成多個三角形,再做三角形各邊之垂直平分線,找到該三角形之外心,並連接各三角形之外心,可形成 n 個徐昇多邊形網,由每個雨量站所控制之面積之權重比可得該集水區之平均雨量,如圖 5 至圖 8。

表 1 集水區地文因子(1)

Table 1 topographic factor for each watershed (1)

集水區 名稱	集水區 面積 (km ²)	集水區 周長 (km)	集水區 長度 (km)	河川 主流長度 (km)	河川 總長度 (km)	河川 數量	平均 高程 (m)	起伏 量 (m)
大里溪	490.3056	142	21.9448	38.7715	1231.2799	721	205.6787	1290
南港溪	423.5344	169.12	33.4552	59.4695	776.9798	725	824.4357	2182
北港溪	531.8576	186.64	45.1533	76.18	867.4531	856	1322.794	3180
貓羅溪	363.5376	144.16	24.7297	58.2102	862.1749	567	257.8331	1364

表 2 集水區地文因子(2)

Table 2 topographic factor for each watershed (2)

集水區 名稱	平均坡度 (%)	起伏比	集水區 寬度 (km)	形狀因子	密集度	圓比值	細長比
大里溪	15.6853	0.0584	12.646	0.3262	0.552	0.3056	1.1382
南港溪	43.1758	0.105	7.1219	0.1198	0.4308	0.1861	0.6939
北港溪	62.0829	0.0707	6.9816	0.0916	0.4374	0.1919	0.5761
貓羅溪	19.5365	0.0437	6.2453	0.1073	0.4682	0.2198	0.8697

表 3 集水區水文因子

Table 3 Hydrologic factor for each watershed.

集水區 名稱	漫地流 時間 (min)	渠道流 時間 (min)	集流 時間 (min)	I_{tc}^{25} (mm/hr)	I_{tc}^{50} (mm/hr)	Q ₂₅ (cms)	Q ₅₀ (cms)
大里溪	1.57	403.87	405.44	43.09	47.14	4401.24	4814.9
南港溪	1.57	388.73	390.3	43.95	48.08	3878.12	4242.62
北港溪	1.11	516.71	517.82	37.84	41.4	4193.25	4587.36
貓羅溪	1.11	542.59	543.71	36.86	40.33	2791.89	3054.29

表 4 各場颱風事件之資料
Table 4 Data of each typhoon event.

颱風編號	颱風名稱	年份	降雨時間	強度
1	道格	1994 年	08/08~08/09	強烈
2	賀伯	1996 年	07/31~08/01	強烈
3	瑞伯	1998 年	10/16~10/17	強烈
4	桃芝	2001 年	07/29~07/31	中度
5	納麗	2001 年	09/16~09/18 *特殊路徑	中度
6	敏督利	2004 年	07/01~07/03	中度
7	海棠	2005 年	07/17~07/20	強烈
8	泰利	2005 年	08/31~09/02	強烈
9	柯羅莎	2007 年	10/06~10/08	強烈
10	辛樂克	2008 年	09/13~09/16	強烈

資料來源:中央氣象局

表 5 大里溪徐昇多邊形法雨量站控制面積
比例表

Table 5 The weight area of rainfall station by
Thiesson polygons method in Dali River.

雨量站	面積百分比(%)	面積(km ²)
台中	30.449	149.2932
頭汴坑	69.551	341.0124
合計	100	490.3056

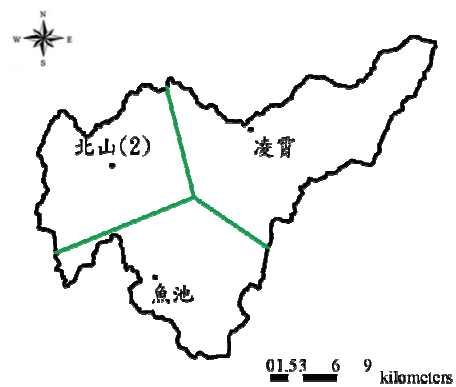


圖 7 南港河流域雨量站徐昇多邊形圖
Figure 6 The weight of rainfall station by
Thiesson polygons method in Nangang River.

表 6 南港溪徐昇多邊形法雨量站控制面積
比例表

Table 6 The weight area of rainfall station by Thiessen polygons method in Nangang River.

雨量站	面積百分比 (%)	面積 (km ²)
凌霄	41.96	177.715
魚池	29.12	123.3332
北山(2)	28.92	122.4861
合計	100	423.5344

表 7 北港溪徐昇多邊形法雨量站控制面積
比例表

Table 7 The weight area of rainfall station by Thiessen polygons method in Beigang River.

雨量站	面積百分比 (%)	面積 (km ²)
翠巒	15.84	84.24624
瑞岩	20.47	108.8713
惠蓀(2)	28.25	150.2498
清流(1)	35.44	188.4903
合計	100	531.8576

表 8 貓羅溪徐昇多邊形法雨量站控制面積
比例表

Table 8 The weight area of rainfall station by Thiessen polygons method in Maoluo River.

雨量站	面積百分比 (%)	面積 (km ²)
草屯(4)	30.22	109.8611
雙冬	13.71	49.841
六分寮	21.11	76.74279
中寮	34.96	127.0927
合計	100	363.5376

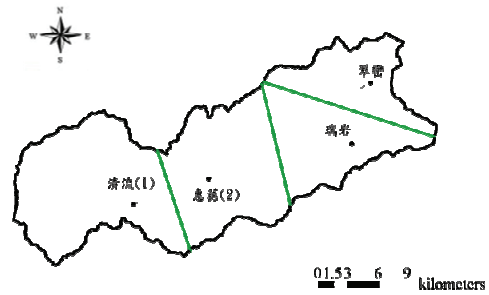


圖 8 北港溪流流域雨量站徐昇多邊形圖
Figure 7 The weight of rainfall station by Thiessen polygons method in Beigang River

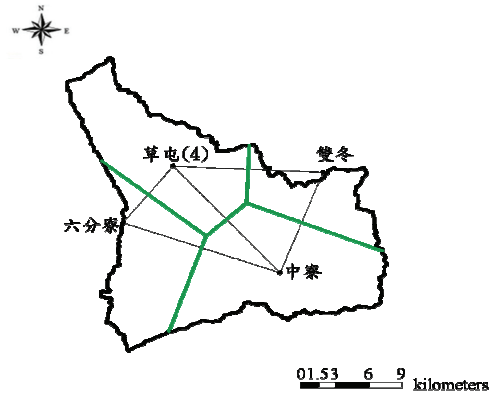
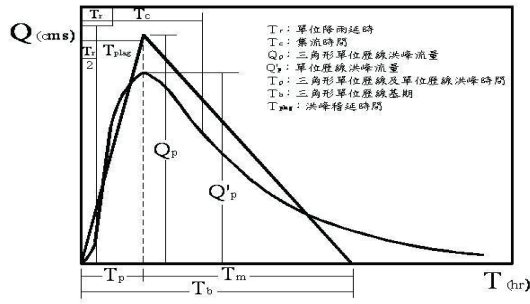


圖 9 貓羅溪流流域雨量站徐昇多邊形圖
Figure 8 The weight of rainfall station by Thiessen polygons method in Maoluo River.

(4) 理論介紹

(a) 三角形單位歷線

歷線分析方式甚多，一般的單位歷線大多呈曲線形狀，而為求方便，若簡化為三角形形狀則成為三角形單位歷線。三角形單位歷線之概念簡單，尤其對海洋島嶼型小集水區之水文歷線分析，更屬簡便。若基期 T_b 與洪峰時間 T_p 已知，則洪峰流量 Q_p 可由三角形幾何原理得之，如圖 9。



$$Q_p = \frac{0.208AQ}{(1+m)T_p} \quad (cms) \quad (7)$$

由經濟部水利署 81 年度研究報告中，分析台灣地區之主要集水區，得 $m=2.277$ ，則

$$K = \frac{2 \times 0.278}{(1+2.277)} = 0.169, \text{ 得}$$

$$Q_p = \frac{0.169AQ}{\frac{T_r}{2} + T_{plag}} \quad (cms) \quad (8)$$

美國前土壤保持局(Soil Conservation Service)分析近 500 個大小集水區，得：

$$T_r = 2\sqrt{T_c}, \quad T_{plag} = 0.6T_c \text{ 代入式(4)得：}$$

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6T_c, \text{ 單位 hr} \quad (9)$$

上式， T_c 為集流時間，可由實際觀測或經驗公式求得，將式(9)代回式(8)，得：

$$Q_p = \frac{0.169AQ}{\sqrt{T_c} + 0.6T_c} \quad (cms) \quad (10)$$

(b) 水文分析 THUPC 程式及集流時間 T_c 相關經驗公式

王希文(1990)撰寫水文分析程式，將相關地文資料輸入水文分析 THUPC 程式，搭配美國加州公路局公式、Rziha 公式、周文德法三種方式，推算出集流時間 T_c ，並將該值代入式(10)，再利用降雨型態及頻率年降雨量修正，並依美國水土保持局所推估之三角形單位歷線公式，即得該集水區之三角形單位歷線。

有關集流時間之計算，根據國外對許多面積不等之集水區所作的水文分析，取其平均值，得其適合該地區的參數值。集水區之集流時間可依下列經驗公式求得：

1. 美國加州公路局公式(California Highway of Basin Formula)：

由三角形之面積推求得：

$$Q = \frac{Q_p \cdot T_p}{2} + \frac{Q_p \cdot T_m}{2} \quad (1)$$

$$\therefore Q_p = \frac{2Q}{T_p + T_r} \quad (2)$$

令 $T_m = mT_p$ ，則

$$Q_p = \frac{2Q}{(1+m)T_p} \quad (3)$$

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_{plag} \quad (4)$$

將單位面積流量由吋/時換算為立方呎/秒可得：

$$Q_p = \frac{2(645.3)AQ}{(1+m)T_p} = \frac{KAQ}{T_p} \quad (cfs) \quad (5)$$

1957 年 Mockus 分析許多集水區之歷線，得 $m=1.67$ ，則 $K = \frac{2 \times 645.3}{(1+1.67)} = 484$ ，

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_{plag}, \text{ 故得}$$

$$Q_p = \frac{484AQ}{\frac{T_r}{2} + T_{plag}} \quad (cfs) \quad (6)$$

改採用公制則可得：

$$A : \text{km}^2, Q : \text{mm}, 1\text{mm/hr} = 0.278\text{cms/km}^2, \\ K = \frac{2 \times 0.278}{(1+m)} = 0.208$$

$$T_c = \left[\frac{0.87 \times L^3}{H} \right]^{0.385} \quad (11)$$

T_c : 集流時間(min)

L : 逕流長度(ft)

H : 為流域最高地點至計劃地點之高度差，單位 km。

2. Rziha 公式 :

$$w = 72 \times \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} \quad (12)$$

$$T_c = L / w \quad (13)$$

w : 洪水傳遞速度，單位 km/hr。

H : 為流域最高地點至計劃地點之高度差，單位 km。

L : 為河川長度，單位 km。

3. 周文德法(Chow Ven Te method)

$$T_L = 0.005 \times \left(\frac{L^{0.5}}{S} \right)^{0.64} \quad (14)$$

$$T_c = L / 0.6 \quad (15)$$

(c) 瞬時單位歷線動差法

Nash(1957)提出將集水區視為 n 個串聯線性水庫，假設每一水庫之出流量 $Q(t)$ 與水庫蓄水量 $S(t)$ 呈線性正比，表示如下：

$$S(t) = KQ(t) \quad (16)$$

式中，

$S(t)$: 蓄水量[L³]

K : 蓄水係數[T]

Q : 出流量[L³/T]

基於瞬時單位歷線之假設，在 $t=0$ 瞬間第一個線性水庫注入 1 單位有效降雨，隨後此有效降雨量逐次流經過 n 個串聯線性水庫，而最後一個水庫的出流歷線則為此集水區之瞬時單位歷線。搭配水文基本方程式，

推導出第一個線性水庫之出流關係為：

$$I_1(t) - Q_1(t) = \frac{dS_1(t)}{dt} = K \frac{dQ_1(t)}{dt} \quad (17)$$

當 $t > 0$ 時， $I_1(t) = 0$ ，流量關係為 $\frac{dQ_1}{Q_1} = -\frac{1}{K} dt$

式中，

I_1 : 第一個線性水庫之入流量

Q_1 : 第一個線性水庫之出流量

S_1 : 第一個線性水庫之儲蓄量

搭配初始條件，可推導出第一個線性水庫之出流歷線為：

$$Q_1(t) = \frac{1}{K} e^{-\frac{t}{K}} \quad (18)$$

式(18)為指數遞減函數，表示流量隨時間遞減，因 n 個水庫相互聯接，第一個線性水庫之出流歷線成了第二個水庫的入流歷線，因此：

$$Q_1(t) - Q_2(t) = K \frac{dQ_2(t)}{dt} \quad (19)$$

應用歸納法可推導出第 n 個水庫出流歷線為：

$$Q_n(t) = \frac{t^{n-1}}{K^n \Gamma(n)} e^{-\frac{t}{K}} \quad (20)$$

式(20)為 1 單位有效降雨於 $t=0$ 瞬間落下，流經 n 個假想的線性水庫所形成之出流歷線，一般稱為線性水庫模式之瞬時單位歷線(IUH)，而瞬時單位歷線代表瞬間降雨所產生的直接逕流歷線。如要轉換為有效降雨延時為 T 的單位歷線則利用式(21)：

$$u_T(t) = \frac{1}{2} [IUH(t) + IUH(t-T)] \quad (21)$$

式中，

$u_T(t)$: 降雨延時為 T 之單位歷線

$IUH(t)$: 瞬時單位歷線

$IUH(t-T)$ ：將原瞬時單位歷線時間軸延後 T 小時

應用線性水庫模式推求瞬時單位歷線，需知道式(20)中之 n 值與 K 值，此二參數可由集水區水文紀錄推求如下：

$$\begin{cases} M_{Q1} - M_{I1} = nK \\ M_{Q2} - M_{I2} = n(n+1)K^2 + 2nKM_{I1} \end{cases} \quad (22)$$

式中 M_{Q1} 和 M_{Q2} 分別為無因次化後之直接逕流歷線的第一階動差和第二階動差， M_{I1} 和 M_{I2} 為無因次化後之有效降雨組體圖的第一階動差和第二階動差。

(d) 水文統計複相關迴歸理論

由經濟部前水利局之研究計畫「三角形單位歷線參數之研究」，由水文紀錄資料，並統計整理其相關參數，以複相關迴歸理論推估台灣地區各流域之三角形單位歷線參數與地文因子的相關式，得式(23)~式(26)：

$$T_b = 2.61 \cdot A^{0.187} / S^{0.104} \quad (23)$$

$$T_p = T_r / 2 + T_{plag} \quad (24)$$

$$T_{plag} = 0.569 \cdot A^{0.187} / S^{0.201} \quad (25)$$

$$Q_p = 2.133 \cdot A^{0.776} S^{0.104} \quad (26)$$

並將式(2-23)改寫成：

$$Q_p = \frac{48 \cdot DCMS}{T_b} \quad (27)$$

式中，

T_p ：洪峰時間(hr)； T_b ：集流時間(hr)

T_{plag} ：降雨中心至洪峰之時間稽延(hr)

Q_p ：洪峰流量(cms)

$DCMS$ ：降雨為 10 mm/hr 單位歷線總逕流體積(cms-day)

A：集水區面積(km²)

S：平均坡度

表 9 烏溪流域各集水區之相關地文因子表

Table 9 The physiography factor of watersheds in Wu River.

集水區 名稱	集水區 面積 (km ²)	主流長度 (km)	該集水區之流量站沿主流 至集水區面積重心至主流 垂直交叉點之距離 L_{cal} (km)	集水區 平均坡度 (%)
大里溪	490.3056	8.7715	11.00	15.6853
南港溪	423.5344	59.4695	12.75	43.1758
北港溪	531.8576	76.18	24.25	62.0829
貓羅溪	363.5376	58.2102	22.00	19.5365

結果與討論

由三角形幾何定律可知， $T_p : T_m$ 之比值恰好為三角形單位歷線洪峰前逕流體積與洪峰後全部體積之比值，其倒數即為該集水區之參數 m 值。由各集水區之無因次單位歷線與累積體積率曲線圖，可知分別從逕流開始至洪峰時間 T_p 之前累積逕流量，所占總逕流量的比值，如圖 10。由近年的六場颱風資料

分析該分集水區，並求取其平均值，如

表 10。

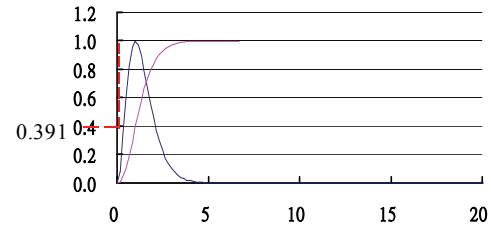


圖 11 南港溪無因次單位歷線及其累積體積率(以 1996 年為例)

Figure 10 The Dimensionless unit hydrograph and a rate of cumulative volume in Nangang River.(an example in 1996)

表 10 各集水區之 m 值

Table 10 The m value for each watershed.

集水區名稱 颱風編號	大里溪	南港溪	北港溪	貓羅溪
1	4.08	2.80	3.69	2.80
2	4.46	2.56	3.53	2.56
3	4.41	3.78	4.62	3.35
4	3.45	2.54	3.70	2.54
5	3.76	3.75	2.50	3.75
6	-	-	3.53	2.75
7	-	2.44	2.68	2.44
8	-	2.83	3.89	2.76
9	4.00	3.65	5.37	7.55
10	4.01	3.83	2.52	-
平均值	4.024	3.13	3.603	3.39

註：符號“-”表資料缺少。

李光敦(2005)等學者提出以動差法計算無法得到良好的模擬結果。故可進一步應用

試誤法，逐一調整 n 值及 K 值，使模擬結果與實際的直接逕流歷線相符，由人為的判斷

表 11 烏溪流域各雨量站之 n 值及 K 值

Table 11 The values of n and K of each rainfall station in Wu River.

集水區 名稱	颱風事件 編號	降雨雨量 (mm)	歷線方程式		
			n值	K(Ln)	nK(Ln)
大里溪	1	1470	2.00*	3.8277*	7.655*
	2	1313	2.20	3.20	7.040
	3	273	2.075	5.00	10.376
	4	2780	2.10*	1.50*	3.15*
	5	1190	2.10*	1.70*	3.570*
	6	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
	8	-	-	-	-
	9	428.24	2.3	4.85	11.155
	10	2436.12	2.1	3.3	7.330
南港溪	1	758	1.50	5.00	7.5
	2	840	2.10	2.106	4.423
	3	139.00	2.075	5.00	10.376
	4	1830	2.222	1.230	2.711
	5	44.4	3.712	1.7526	6.505
	6	-	-	-	-
	7	461.30	1.60	7.00	11.20
	8	263.48	1.945	4.022	7.821
	9	103.84	2.00*	4.750*	9.50*
	10	291.44	2.001	2.0111	4.024
北港溪	1	749	2.210*	6.2119*	13.729*
	2	490	2.170	4.9000	10.633
	3	73.5	1.397	5.3012	7.406
	4	1530	2.001*	7.9992*	16.000*
	5	84.5	2.141	6.191	13.255
	6	3914.4	2.05*	3.70*	7.585*
	7	355.8	1.60	7.00	11.200
	8	263.4	1.972	8.9082	17.565
	9	267.54	2.05*	10.89*	22.325*
	10	662	2.000	4.7450	9.533
貓羅溪	1	1130	2.00*	3.20*	6.400*
	2	2140	1.779	3.5333	6.286
	3	406	2.523	6.2875	15.863
	4	1830	2.622	4.1532	10.821
	5	669	2.622	4.1532	10.821
	6	1468	2.0	3.50	4.284
	7	461.3	1.605	7.5599	12.135
	8	926.2	2.640	1.6570	4.380
	9	336.3	1.325	8.1406	10.786
	10	-	-	-	-

註 1：大里溪、貓羅溪和南港溪部份之水文紀錄資料因人為因素，有資料短缺的問題，缺少流量資料無法求得單位歷線參數 n 值及 K 值。故該三集水區分別各僅取 7 場、9 場、9 場颱風事件。

註 2：*表該 n 值及 K 值依試誤法微調。-表該場颱風資料缺少。

忽略紀錄不合理之部分，以便求取歷線整體配合度最良好之參數 n 與 K 值。

由表 11 可知各場颱風事件之 n 值及 K 值，將值整合式(20)可得各事件之瞬時單位歷線，將其定義為 10mm/1hr 有效降雨所產生之直接逕流歷線，求得該單位歷線，再利用直接平

均法以及洪峰平均法得各分集水區之平均單位歷線及無因次單位歷線。檢定後所得各分集水區經檢定所得之(代表)單位歷線分析結果如圖 11 至 14，需再代入其他的颱風事件資料，予以驗證比較。將其他場次的事件之流量歷線及時雨量資料，求各次直接逕流歷線

和有效降雨組體圖。再將各單位歷線代入其有效降雨組體圖，推估直接逕流歷線，比較推估直接逕流歷線和實測直接逕流歷線，計算 ΔQ_p 、 ΔT_p 、 ΔV ，其定義如下：

$$\Delta Q_p = \frac{\text{推估直接逕流洪峰} - \text{實測直接逕流洪峰}}{\text{實測直接逕流洪峰}} \times 100\%$$

$$\Delta T_p = \text{推估直接逕流洪峰時間} - \text{實測直接逕流洪峰時間 (hr)}$$

$$\Delta V = \frac{\text{推估直接逕流體積} - \text{實測直接逕流體積}}{\text{實測直接逕流體積}} \times 100\%$$

表 12 大里溪單位歷線之檢定
Table 12 Analysis of unit hydrograph in Dali River.

	3 號 颱風	5 號 颱風	10 號 颱風
ΔQ_p (%)	-1.85	-8.74	4.23
ΔT_p (hr)	1	0	2
ΔV (%)	0.65	0.04	4.15

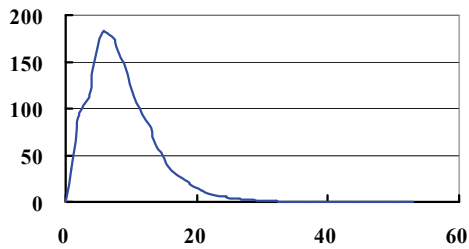


圖 11 大里溪之平均單位歷線
Figure 11 The average unit hydrograph in Dali River.

直接逕流歷線開始前之降雨，視為全數入滲，直接逕流發生後則採用 ϕ 入滲指數之方

法，在降雨組體圖上繪一水平線，使得超滲

表 13 南港溪單位歷線之檢定
Table 13 Analysis of unit hydrograph in Nangang River.

	2 號 颱風	3 號 颱風	9 號 颱風
ΔQ_p (%)	1.73	2.38	-0.53
ΔT_p (hr)	0	2	-1
ΔV (%)	3.14	0.39	-1.17

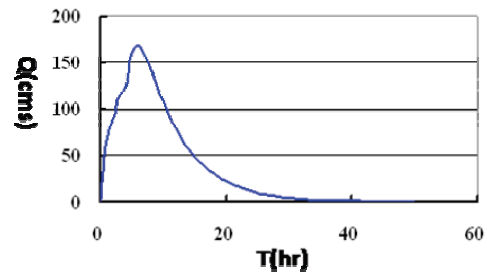


Figure 12 The average unit hydrograph in Nangang River.

表 14 北港溪單位歷線之檢定
Table 14 Analysis of unit hydrograph in Beigang River.

	1 號 颱風	3 號 颱風	5 號 颱風
ΔQ_p (%)	0.049	7.366	2.553
ΔT_p (hr)	7	0	4
ΔV (%)	4.4	-0.921	-0.375

表 15 貓羅溪單位歷線之檢定
Table 15 Analysis of unit hydrograph
in Maoluo River.

	3 號 颱風	7 號 颱風	8 號 颱風
ΔQ_p (%)	-2.827	6.145	7.549
ΔT_p (hr)	-4	1	-4
ΔV (%)	29.254	-8.307	1.743

雨量等雨直接逕流體積。將各集水區各場颱風事件之單位歷線進行方法比較，選用誤差

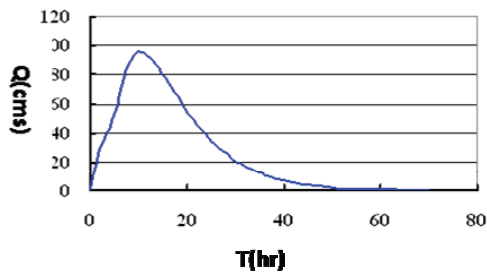


圖 13 北港溪之平均單位歷線

Figure 13 The average unit hydrograph in
Beigang River

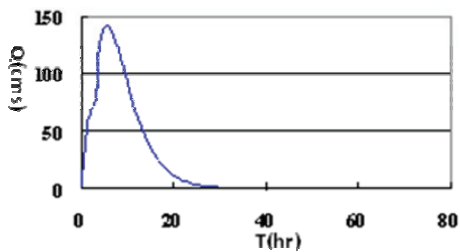


圖 14 貓羅溪之平均單位歷線

Figure 14 The average unit hydrograph
in Maoluo River.

較小的颱風作為檢定。繪製推估流量歷線及實測流量歷線比較圖，完成其他颱風事件之

驗證。

由所推估各集水區之平均單位歷線，利用其他場次颱風之有效降雨資料來驗證，並分析其結果。

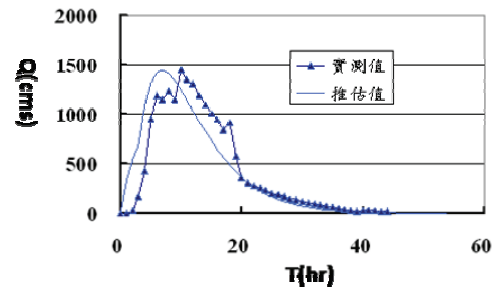


圖 15 大里溪單位歷線驗證(1 號颱風)

Figure 15 The verification of unit hydrograph
in Dali River (No.1).

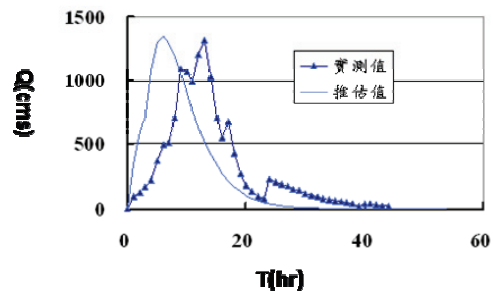


圖 16 大里溪單位歷線驗證(2 號颱風)

Figure 16 The verification of unit hydrograph in
Dali River (No.2).

大里溪之降雨強度為 10mm/hr 平均單位歷線如圖 11，其檢定結果如表 12。根據此結果驗證，以 1、2 號颱風驗證結果尚佳。

圖 15 至圖 17 顯示該三單位歷線之推算洪峰時間皆較實際洪峰時間稍晚，但大致上，平均單位歷線之洪峰時間與實際值接近。

南港溪共採用九次颱風洪事件做分析，其檢定結果如表 13，將三次檢定結果予以平均，得南港溪平均單位歷線如圖 12，再將該結果以其他颱風洪事件作驗證，驗證結果如圖 18 至圖 23，除 5 號和 7 號颱風洪事件洪峰時間及洪峰量誤差略大，其他大致結果尚佳，故可供使用。

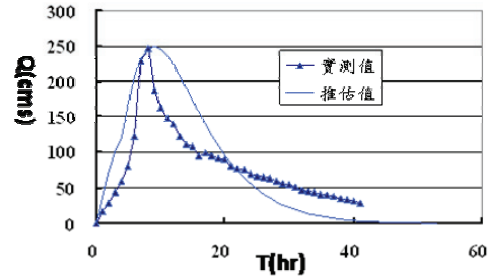


圖 17 大里溪單位歷線驗證(9 號颱風)
Figure 17 The verification of unit hydrograph in Dali River (No.9).

表 16 大里溪之各颱風洪事件洪峰流量

Table 16 The peak discharge of typhoon events in .

編號	1	2	3	4	5	9	10
洪峰流量 (cms)	1,470	1313	273	2,760	1,190	273	898

註：6.7.8.號颱風洪資料有缺，無法估算。以 3、5、10 號颱風洪為檢定，1、2、9 為驗證。

表 16 南港溪之各颱風洪事件洪峰流量

Table 17 The peak discharge of typhoon events in Nangang River.

編號	1	2	3	4	5	7	8	9	10
洪峰流量 (cms)	758	840	139	1820	44.0	461.3	263.48	105.84	1479.2

註：6 號颱風洪資料有缺，無法估算。以 2、3、9 號作檢定，1、5、7、8、9、10 為驗證。

表 17 北港溪之各颱風洪事件洪峰流量

Table 18 The peak discharge of typhoon events in Beigang River.

編號	1	2	3	4	5	7	8	9	10
洪峰流量 (cms)	749	490	73.0	1530	84.0	3914	848.2	267.5	662

註:以 1、3、5 號颱風洪作檢定，2、6、7、8、9、10 為驗證。

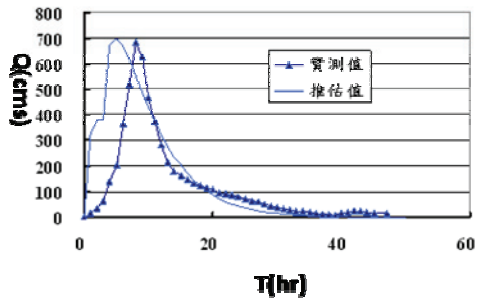


圖 18 南港溪單位歷線驗證(1 號颱風)
Figure 18 The verification of unit hydrograph in Nangang River (No.1).

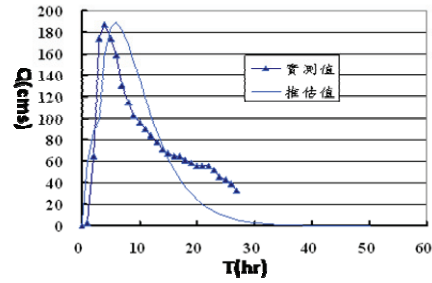


圖 21 南港溪單位歷線驗證(8 號颱風)
Figure 21 The verification of unit hydrograph in Nangang River (No.8).

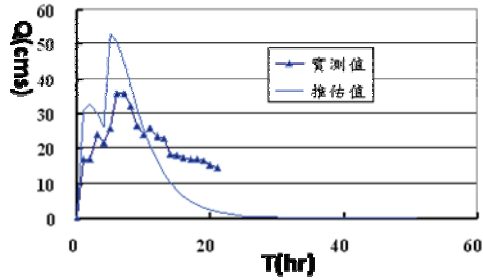


圖 19 南港溪單位歷線驗證(5 號颱風)
Figure 19 The verification of unit hydrograph in Nangang River (No.5).

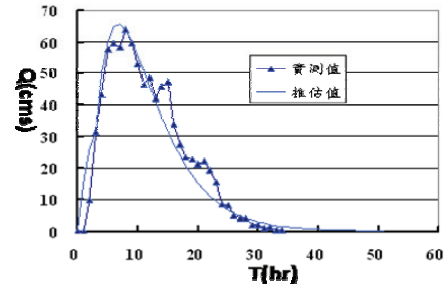


圖 22 南港溪單位歷線驗證(9 號颱風)
Figure 22 The verification of unit hydrograph in Nangang River (No.9).

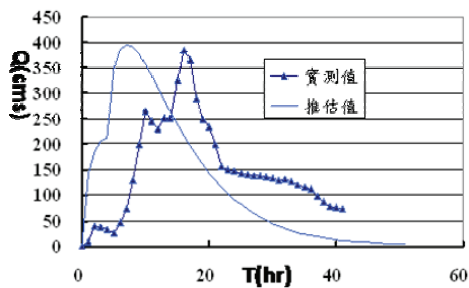


圖 20 南港溪單位歷線驗證(7 號颱風)
Figure 20 The verification of unit hydrograph in Nangang River (No.7).

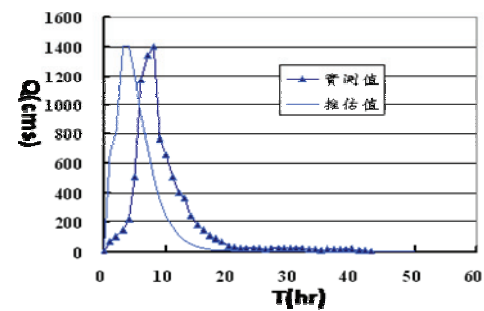


圖 23 南港溪單位歷線驗證(10 號颱風)
Figure 23 The verification of unit hydrograph in Nangang River (No.10).

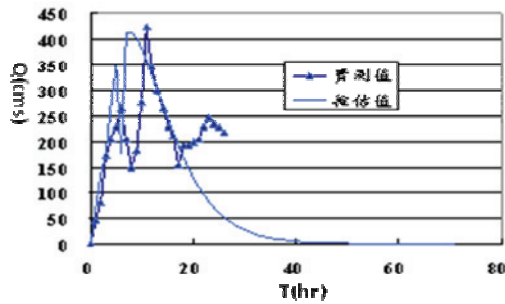


圖 24 北港溪單位歷線驗證(2 號颱風)
 Figure 24 The verification of unit hydrograph in Beigang River (No.2).

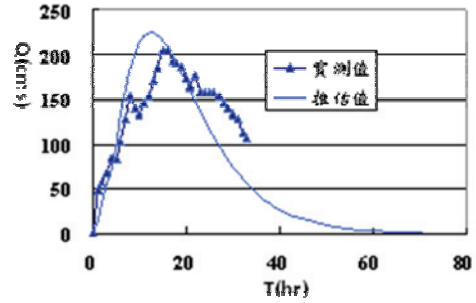


圖 27 北港溪單位歷線驗證(8 號颱風)
 Figure 27 The verification of unit hydrograph in Beigang River (No.8).

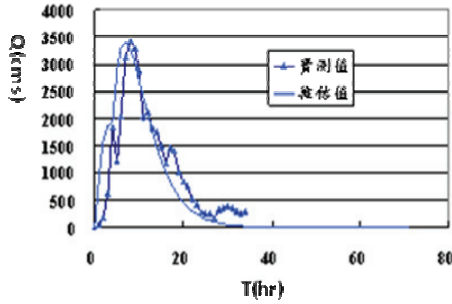


圖 25 北港溪單位歷線驗證(6 號颱風)
 Figure 25 The verification of unit hydrograph in Beigang River (No.6).

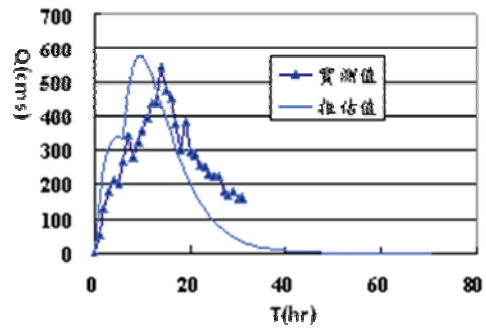


圖 28 北港溪單位歷線驗證(10 號颱風)
 Figure 28 The verification of unit hydrograph in Beigang River (No.10).

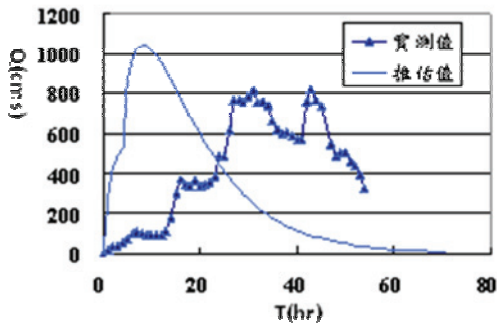


圖 26 北港溪單位歷線驗證(7 號颱風)
 Figure 26 The verification of unit hydrograph in Beigang River (No.7).

北港溪共採用十次颱風事件做分析，其檢定結果如表 14，將三次檢定結果予以平均，得南港溪平均單位歷線如圖 13，再將該結果以其他颱風事件作驗證，驗證結果如圖 24 至圖 28，除 7 號和 9 號颱風事件洪峰時間及洪峰量誤差略大，其他洪峰量誤差亦在 10% 以內，結果尚佳，故可供使用。

表 18 貓羅溪之各颱風事件洪峰流量

Table 19 The peak discharge of typhoon events in Maoluo River.

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
洪峰流量 (cms)	1150	2140	336	1830	669	2020	1284	926	336

註：10 號颱風資料有缺，無法估算。以 3、7、8 號颱風洪作為檢定，1、2、5、6、9 號為檢驗。

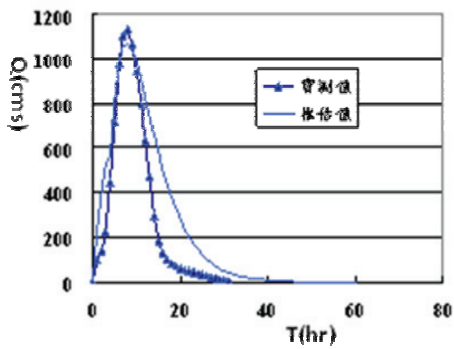


圖 29 貓羅溪單位歷線驗證(1 號颱風)
Figure 29 The verification of unit hydrograph in Maoluo River (No.1).

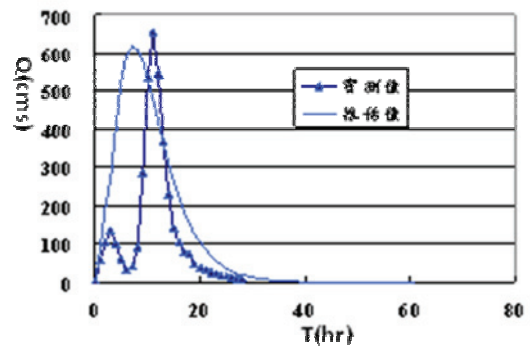


圖 31 貓羅溪單位歷線驗證(5 號颱風)
Figure 31 The verification of unit hydrograph in Maoluo River (No.5).

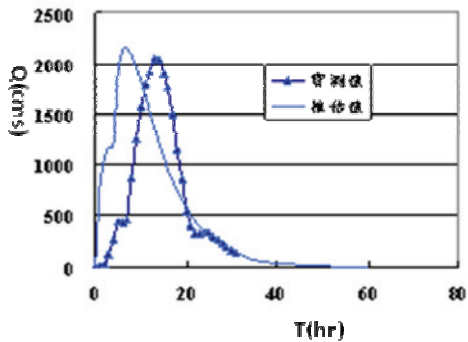


圖 30 貓羅溪單位歷線驗證(2 號颱風)
Figure 30 The verification of unit hydrograph in Maoluo River (No.2).

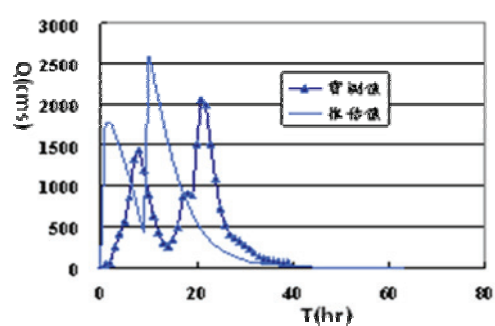


圖 32 貓羅溪單位歷線驗證(6 號颱風)
Figure 32 The verification of unit hydrograph in Maoluo River (No.6).

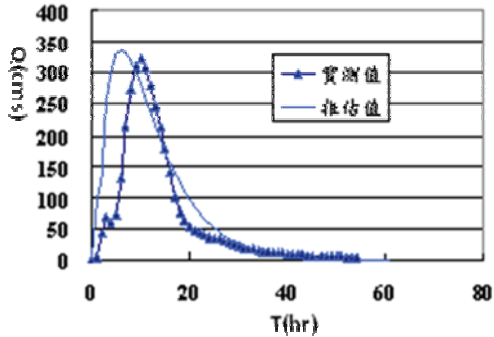


圖 33 貓羅溪單位歷線驗證(9 號颱風)

Figure 33 The verification of unit hydrograph in Maoluo River (No.9).

貓羅溪共採用九次颱風事件做分析，其

表 19 大里溪之各方法比較結果

Table 20 Result of comparison with various methods in Dali River.

	三角形單位歷線之推估方法				
	動差法	水文統計 複相關 迴歸理論	水文分析 THUPC 程式		
			美國加州 公路局公式	Rziha 公式	周文德法
ΔQ_p (%)	-55.59	-29.231	7.433	6.964	-26.636
ΔT_p (hr)	-1	0	-1	-1	0
ΔV (%)	6.466	-3.477	-4.916	-4.814	-3.927

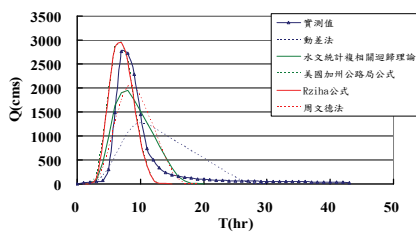


圖 34 大里溪之各方法推估流量歷線與實測流量歷線

Figure 34 Comparison of various methods for hydrograph in Dali River

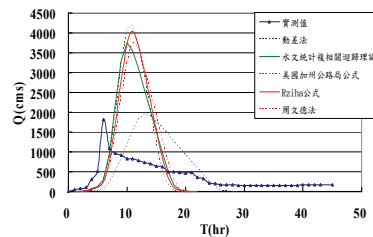


圖 35 南港溪之各方法推估流量歷線與實測流量歷線

Figure 35 Comparison of various methods for hydrograph in Nangang River.

檢定結果如表 19，將三次檢定結果予以平均，得貓羅溪平均單位歷線如圖 13，再將該結果以其他颱風事件作驗證，驗證結果如圖 29 至圖 33，除 6 號颱風事件洪峰時間及洪峰量誤差略大，其他洪峰量誤差亦在 10.8%以內，結果尚佳，故可供使用。

以 2001 年桃芝颱風(4 號颱風事件)為例，進行各方法之比較。入滲部分，則使用實務上最常使用入滲指數- ϕ 指數 (ϕ -index); 基流部份，則使用基流分離-由歷線上升起點水平延伸的直線。表 20 至表 23 為各三角形單位歷線推估之方法，其結果之比較如圖 34 至圖 37。

表 20 南港溪之各方法比較結果

Table 21 Result of comparison with various methods in Nangang River.

	三角形單位歷線之推估方法				
	動差法	水文統計 複相關 迴歸理論	水文分析 THUPC 程式		
			美國加州 公路局公式	Rziha 公式	周文德法
ΔQ_p (%)	7.683525	105.823	130.343	122.338	105.355
ΔT_p (hr)	6	3	4	4	4
ΔV (%)	15.588	42.753	42.875	43.631	43.929

表 21 北港溪之各方法比較結果

Table 22 Result of comparison with various methods in Beigang River.

	三角形單位歷線之推估方法				
	動差法	水文統計 複相關 迴歸理論	水文分析 THUPC 程式		
			美國加州 公路局公式	Rziha 公式	周文德法
ΔQ_p (%)	-47.185	76.953	87.045	65.010	67.972
ΔT_p (hr)	6	-1	0	1	1
ΔV (%)	-9.349	0.822	1.531	0.942	0.986

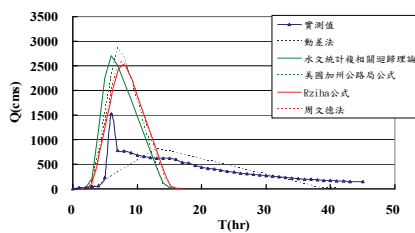


圖 36 北港溪之各方法推估流量歷線與實測流量歷線

Figure 36 Comparison of various methods for hydrograph in Beigang River.

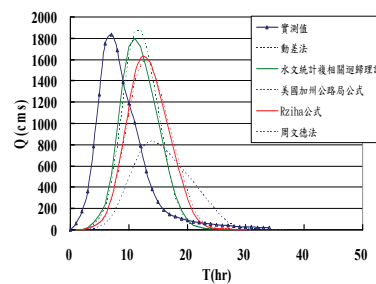


圖 37 貓羅溪之各方法推估流量歷線與實測流量歷線

Figure 37 Comparison of various methods for hydrograph in Maoluo River.

表 22 貓羅溪之各方法比較結果
 Table 23 Result of comparison with various methods in Maoluo River.

	三角形單位歷線之推估方法				
	動差法	水文統計 複相關 迴歸理論	水文分析 THUPC 程式		
			美國加州 公路局公式	Rziha 公式	周文德法
ΔQ_p (%)	-54.582	-1.558	2.283	-11.486	-13.909
ΔT_p (hr)	6	3	4	5	5
ΔV (%)	-31.269	-1.696	-2.112	-1.762	-2.020

以 4 號颱風事件為例，進行方法比較，大里溪宜採用 Rziha 公式推估其三角形單位歷線；南溪宜採用動差法推估其三角形單位歷線；北港溪宜採用 Rziha 公式推估其三角形單位歷線；貓羅溪宜採用水文統計複相關迴歸理論推估其三角形單位歷線。

結論

1. 本研究將烏溪流域之各子集水區平均單位歷線無因次化，推得各子集水區之 m 值(即 T_p / T_b)。過去一般規劃設計，大多採用依台灣地區平均無因次單位歷線所推求之， $T_b = 3.277T_p$ ，為求更準確，分別求出適合烏溪流域各子集水區之 m 值，即大里溪之 m 值為 4.024；南港溪之 m 值為 3.13；北港溪之 m 值為 3.603；貓羅溪之 m 值為 3.39。
2. 根據台灣水文資料電腦檔應用之研究(9)全省主要流量站單位歷線之推求(二)，由實測資料推求單位歷線之眾多方法中，以瞬時單位歷線動差法最為適合。由直接逕流量

歷線和有效降雨組體水文資料所推求之瞬時單位歷線 n 值和 K 值，利用其所推求之 n 值和 K 值進行模擬，往往無法得到良好結果，故以流量歷線檢定方式，並採用試誤法推求參數 n 值和 K 值之最佳值。烏溪流域之 n 值大多介於 1.0 至 3.0 之間。

3. 三角形單位歷線所需之參數條件較少，計算較為方便，可藉以推求無紀錄地區之降雨逕流關係。

參考文獻

1. 王希夫，1990，水文分析程式之 TUHPC 程式。
2. 王如意、易任，1996，應用水文學，中國土木水利工程學會。
3. 行政院農業委員會水土保持局，2006，水土保持手冊(工程篇)。
4. 李光敦，2002，水文學 Hydrology，五南圖書出版有限公司。

5. 李光敦，2005，線性水庫模式與無因次單位歷線模式之時間參數探討，中華水土保持學報 36(2)：133-144。
6. 林昭遠、林文賜，2000，集水區地水文因子自動萃取之研究，中華水土保持學報 31(3)：247-256。
7. 烏溪環境流域資訊網
<http://bumf.teepb.gov.tw/river/index.html>
8. 經濟部水利署網站
<http://www.wra.gov.tw/>。
9. 農委會，1993，臺灣水文資料電腦檔應用之研究(12)三角形單位歷線參數之研究，臺灣省水利局。
10. Chow, V.T., 1959, Open Channel Hydraulic, McGraw-Hill Book Co., New York.
11. Lee, K.T., and Yen, B.C., 1997, "Geomorphology and kinematic-wave based Hydrograph derivation," J. Hydr. Engrg., ASCE,123(1), 73-80.
12. Linsley, R. K., M. A. Kohler and J. L. H. Paulhus, "Hydrology for Engineers," 2nd edition, 1975.
13. Nash, J.E., 1957, "The form of the instantaneous unit hydrograph," IASH publication 3-4(45), 114-121
14. Rodriguez-Iturbe, I., and Valdes J. B., 1979. "The geomorphologic structure of hydrologic response," Water Resour. Res., 15(6), 1409-1420.
15. Sherman, L. K., 1932. "Streamflow from rainfall by the unit-graph method," Eng.New-Rec., 108,501-505.
16. Snyder, F. F., 1938. "Synthetic unit-hraps," Trans. Am. Geophys. Union, 19, 447-454.
17. Soil Conservation Service, 1957. "Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application," U.S. Department of Agriculture, Washington, D. C.
18. Soil Conservation Service, 1975. "Urban Hydrology of Small Watersheds," Technical Release 55, Watershed, D. C. (updated 1986)

98年08月17日收件

98年08月21日修改

98年09月02日接受

水土保持學報 42(1) : 99-122 (2010)
Journal of Soil and Water Conservation, 42(1) : 99-122 (2010)