

國立中央大學

水文科學研究所

碩士論文

分析基流對不同型態極端降雨事件

水文模擬之影響

—以烏溪流域為例

研究生：洪啟瑄

指導教授：蔡武廷 教授

中華民國一〇二年一月

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

水文與海洋科學 學系/研究所 洪啟瑄 研究生所提
之論文 分析基流對不同型態極端降雨事件水文模
擬之影響—以烏溪流域為例 係由本人指導撰述，同
意提付審查。

指導教授  (簽章)

101年12月18日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

水文與海洋科學 學系/研究所 洪啟瑄 研究生
所提之論文 分析基流對不同型態極端降雨事件水
文模擬之影響—以烏溪流域為例

經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人 黃志誠
委員 周逸儒
陳世勳
蔣啟凡

中華民國 一〇二 年 一 月 三 日

摘要

本研究利用分散式水文模式模擬颱風與梅雨降雨事件，分析這兩種不同型態的極端降雨事件之地表逕流量變化，以了解烏溪流域內因颱風和梅雨引起的地表逕流。研究中選用兩個颱風(莫拉克和柯羅莎)及 2006、2007 年的梅雨等四場總降雨量相近的颱風及梅雨事件，並藉由延時分析(標準偏差、偏度、峰度)以區別降雨型態為分散或集中型降雨，之後模擬地表逕流量進行比較，發現颱風的模擬洪峰流量結果明顯優於梅雨的模擬結果，認為未考慮基流的影響是造成模擬結果誤差之原因，進而探討基流對不同型態降雨事件之影響。由於所使用之模式為基於物理的分散式水文模式，模擬地表上各種水循環過程以推估河川逕流量，因此採用一種同為基於物理的基流分離方法 (Furey & Gupta, 2001)，其不需要率定任何參數，以討論基流對不同型態極端降雨事件模擬結果之差異，並評估加入基流分離方法對模擬結果之影響程度。結果顯示，模式加入基流分離方法對颱風事件的模擬影響較小，但對梅雨事件的模擬影響卻不容忽視。

Abstract

The events of the typhoon and the plum rain were analyzed with a distributed surface runoff model for the purpose to understand the characteristics of the surface runoff in Wu River watershed. Two typhoon events (Morakot and Krosa) as well as the plum rains in 2006 and 2007 were adopted because of the similar total amounts of precipitation. The types of scattering rainfall and gathering rainfall were discriminated by the magnitudes of standard deviation, skewness and kurtosis. The better agreements between the simulations and the observed peak flows were found for the typhoon events, rather than the plum rain events. It is speculated that the incapability of including the base flow of the rivers in the simulations caused the different responses between the typhoon and the plum rain events. A base flow separation method which is based on the physical concepts was included in the surface runoff model (Furey & Gupta, 2001). The results revealed the fact that the considerations of the base flow was significant for the plum rain events, but was less significant for the typhoon events.

誌謝

回想第一次踏入中央大學已經過了兩個春秋了，在這期間經歷了許多新奇、刺激與感動的事，得以讓我完成這本論文，首先感謝我的家人給予我心靈與經濟上的支持，讓我有勇氣和毅力完成學業，還有最感謝諄諄教誨我的指導老師蔡武廷老師，在我求學期間耐心的教導讓我獲益良多。並感謝抽空前來的口試委員們黃志誠老師、周逸儒老師以及陳世楠老師，於口試中提出的諸多問題與建議，使我的論文得以完善。也感謝研究室的陳世明學長、李煜欽學長、劉承翰學長以及吳友詩學長，對我的課業及生活中的幫助，還有感謝在水文所的這段期間內所上老師、秀芬、慧琳及同學們冠鴻、孟研、宛容、宛婷、安和、昱明、瑀峻、世聰、葦茵對我的關懷及照顧，讓我在水文所的這個大家庭得以成長，最後還有許多需要感謝的人，在此一併致上我最深的謝意。

目錄

	頁次
摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖目錄	vii
表目錄	ix
第一章 緒論	1
1-1 前言	1
1-2 基流對集水區水文模擬的影響	2
1-3 研究區域和水文模擬	3
1-4 本文架構	5
第二章 烏溪流域不同降雨型態之水文模擬	8
2-1 水文模式簡介	8
2-2 流域輸入資料	14
2-2-1 數值高程模型	15
2-2-2 河系資料製作	15

2-2-3 渠道斷面資料	17
2-2-4 土地利用	18
2-2-5 土壤種類	18
2-2-6 流量資料	19
2-2-7 水位資料	19
2-3 颱風與梅雨事件降雨資料	20
第三章 烏溪流域不同降雨型態之分析	37
3-1 颱風與梅雨事件之雨型分析	37
3-2 延時分析	39
3-3 模擬颱風與梅雨事件地表逕流量之差異	41
3-4 基流分離法	42
3-5 基流分離參數	46
3-5-1 退水係數	46
3-5-2 表面逕流分率	47
3-5-3 窪蓄、截留和蒸發散損失分率	48
3-5-4 地下水分率	49
第四章 模式驗證與結果分析	55
4-1 驗證方法	55
4-2 不同型態降雨事件之模擬與結果分析	58

第五章 結論與建議	82
5-1 結果討論.....	82
5-2 建議.....	84
附錄 A	85
參考文獻	90

圖目錄

	頁次
圖 1.1 烏溪流域圖.....	7
圖 2.1 水文模式流程圖.....	23
圖 2.2 烏溪集水區數值高程模型.....	24
圖 2.3 凹點填補前後變化示意圖.....	24
圖 2.4 累積流量製作示意圖.....	25
圖 2.5 人工河系圖層.....	26
圖 2.6 烏溪集水區土地利用分布圖.....	27
圖 2.7 烏溪集水區土壤種類分布圖.....	27
圖 2.8 烏溪集水區流量站分佈圖.....	29
圖 2.9 烏溪集水區雨量站分佈圖.....	29
圖 2.10 莫拉克颱風路徑圖.....	30
圖 2.11 莫拉克颱風平均降雨強度組體圖.....	30
圖 2.12 莫拉克颱風各雨量站降雨強度組體圖.....	31
圖 2.13 柯羅莎颱風路徑圖.....	32
圖 2.14 柯羅莎颱風平均降雨強度組體圖.....	32
圖 2.15 柯羅莎颱風各雨量站降雨強度組體圖.....	33

圖 2.16 梅雨(2006)平均降雨強度組體圖	34
圖 2.17 梅雨(2007)平均降雨強度組體圖	34
圖 2.18 梅雨(2006)各雨量站降雨強度組體圖	35
圖 2.19 梅雨(2007)各雨量站降雨強度組體	36
圖 3.1 各降雨事件平均降雨組體圖與總降雨量比較圖	50
圖 3.2 各事件之無因次降雨百分比雨型	51
圖 3.3 各流量站之退水係數	52
圖 3.4 各流量站之表面逕流分率	53
圖 4.1 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件觀測與模擬(未加入基流)流量歷 線圖	69
圖 4.2 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件觀測與模擬(加入基流)流量歷線 圖	70
圖 4.3 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件觀測與模擬累積流量比較圖	73
圖 4.4 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬(未加入基流)流量歷 線圖	74
圖 4.5 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬(加入基流)流量歷線 圖	76
圖 4.6 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬累積流量比較圖	80

表目錄

	頁次
表 2.1 Green-Ampt 入滲公式參數對照表.....	28
表 2.2 土地利用種類參數對照表.....	28
表 3.1 不同降雨事件統計方法分析結果表.....	54
表 3.2 基流分離各項參數值(損失分率以五場降雨事件估計).....	54
表 3.3 基流分離各項參數值(損失分率以八場降雨事件估計).....	54
表 4.1 莫拉克颱風各流量站模擬驗證結果(未加入基流).....	71
表 4.2 莫拉克颱風各流量站模擬驗證結果(加入基流).....	71
表 4.3 梅雨(2006)各流量站模擬驗證結果(未加入基流).....	71
表 4.4 梅雨(2006)各流量站模擬驗證結果(加入基流).....	71
表 4.5 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(未加入基流)洪峰時間 與洪峰流量.....	72
表 4.6 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(加入基流)洪峰時間與 洪峰流量.....	72
表 4.7 柯羅莎颱風各流量站模擬驗證結果(未加入基流).....	78
表 4.8 柯羅莎颱風各流量站模擬驗證結果(加入基流).....	78
表 4.9 梅雨(2007)各流量站模擬驗證結果(未加入基流).....	78

表 4.10 梅雨(2007)各流量站模擬驗證結果(加入基流).....	78
表 4.11 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(未加入基流)洪峰時間與洪峰流量.....	79
表 4.12 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(加入基流)洪峰時間與洪峰流量.....	79

第一章 緒論

1-1 前言

台灣位於亞洲東岸東臨太平洋，西岸隔台灣海峽與中國大陸相望，地屬於亞熱帶地區同時受到中緯度和熱帶天氣系統雙重影響，加上台灣中央山脈地形陡峭，因此對於豪大雨天氣預報具有相當的難度。台灣地區年平均降雨量約為 2500 毫米，屬於降水豐富之地區，但由於台灣地區降雨季節分佈極為不均，約 70% 的降水集中在颱風季和梅雨季，因此在水資源的規畫上格外重要。根據中央氣象局統計，台灣每年的夏、秋兩季約有 3 至 4 個颱風侵襲台灣，挾帶的強風豪雨，往往造成民眾生命財產安全上的危害，但是也帶來充沛的雨量，為台灣水資源的主要來源，另外在華南及台灣地區於春末夏初交替過程中出現的特殊天候現象「梅雨」，也是水資源的重要來源，其降雨量僅次於颱風，為台灣春季評估是否出現乾旱現象的重要依據。每年的 5 月至 6 月為台灣的梅雨季節，就歷史資料顯示，平均每年約有 4 至 5 個梅雨鋒面影響台灣，其中又以 5 月中旬至 6 月中旬的時期為主要降雨來源，由於每個梅雨鋒面可能導致連續數天的降雨，若接連有其他梅雨鋒面影響，則會使連續降雨天數相對的增加，連續不斷的豪雨會對台灣地區造成相當的危害，梅雨造成的災害雖無像颱風一樣有強烈的風災，但是因為連續的降雨使的土壤層含水量較高，若出現較大的雨勢或豪雨，

對上游地區可能導致落石、坍方、泥石流、山洪爆發等災害，而下游低窪地區則易造成淹水等危害。過去歷史資料顯示，像 2005 年的 612 水災，造成農林漁牧損失金額達 21 億元，2006 年的 609 水災，造成多處地區嚴重災情，農林漁牧業損失超過 9 億元，更是創下單日 811.5 毫米的驚人雨量，都是由於連日的豪雨，造成生命財產上的嚴重損失（中央氣象局，梅雨特輯¹⁾）。

雖然颱風與梅雨事件常會帶來重大災害，卻也為台灣帶來豐沛的水資源，因此如果可以對颱風及梅雨的降雨特性進一步了解，結合研究地區之相關地理參數、降雨和逕流資料，進而推估不同降雨型態對集水區河川逕流的影響，將有助於水資源的管理和下游洪水災害的防治工作，減少災害的損失和保障生命財產安全。

1-2 基流對集水區水文模擬的影響

近年來水資源相關的工程議題逐漸受到重視，除了滿足民生需求品質提高外，颱風和梅雨等洪水災害的應對也是相當重要的課題，目前在水資源相關工程對於洪水災害的應對措施，常以降雨-逕流水文模式來模擬計算地表逕流量，作為推估可能洪水量的依據。本研究所使用之水文模式為模擬地表上的逕流量，因此忽略了地下水補注的部分，而過去有關地下水補

¹ <http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/planning/meiyu.htm#eq01>

注量推估的方法甚多，常見的方法如水收支平衡法、土壤水分收支法，第一種為根據地下水的水位變動和含水層的比出水量估計地下水補注量，第二種為依據土壤水分隨時間變化的情況，評估降雨產生的入滲、逕流、蒸發散及地下水補注量，但這兩種方法都需要詳細的水文相關觀測資料，實行上較為困難，因此亦有學者研究河川流量衰退情況，將河川流量中的基流量分離出來，進而推估地下水補注量。過去像葉信富(2008)提出基流分離法相對於土壤水分收支法，不需要複雜的水文地質模型和詳盡的地質特徵，即可對流域的地下水補注量有正確的推估，Szilagyi 和 Parlange (1998) 則提出簡化的基流分離方法，用於觀測的洪水流量值，以估算短時間的最大基流量和基流衰退值。本研究的重點為利用流量站觀測之河川流量資料，配合水文模式的概念，引用同樣具有物理概念的基流分離方法，以計算河川基流量，作為地下水補注量，並且加入現有水文模式中，探討基流對水文模式推估不同型態降雨事件之河川逕流量的影響性。

1-3 研究區域和水文模擬

本研究之模擬區域為烏溪集水區，圖 1.1 中該集水區位於台灣西海岸中部地區，北鄰大甲溪，西臨台灣海峽，南界濁水溪，主流發源於中央山脈合歡山西麓，流經台中市、彰化縣、南投縣等縣市，流域面積為 2026 平方公里，幹流長度 119.1 公里，為台灣地區第四大的集水區；主要支流包括筏

子溪、大里溪水系、貓羅溪、北港溪及眉溪等，河系的部份由上游的北港溪、南港溪於柑仔林國姓橋合流，以下河段為烏溪，流至彰化縣芬園鄉納入支流貓羅溪，於台中市烏日鄉附近，有大里溪、筏子溪匯入，下游河段因流經台中市的大肚區，因此又名為大肚溪。該集水區枯水期為每年的 1、2 月，而豐水期為每年 5~9 月，佔全年的 70% 的流量，其中又以六月份所佔最多，因此該地區於梅雨時期所累積之降雨量，不亞於颱風時期之降雨量。

颱風和梅雨時期為台灣帶來充沛的雨量，是重要的水資源來源，但是由於空間和時間上分佈不均的情況下，夾帶的充沛雨量會造成河川溪水暴漲，當河川洪水來不及宣洩，便可能對人身及財產安全造成危害，因此為了減輕洪水災害所造成的損失，適時的洪水預報更顯得格外重要。目前在水資源相關工程中，常以地表逕流模式模擬降雨所造成的河川逕流情況，並依照計算求得的地表逕流量，做為評估洪水量之依據，而地表逕流模式隨著計算機能力的大幅提升，已由早期的集塊式模式 (lumped-parameter models)，發展至以分散式 (distributed-parameter models) 為主的階段，集塊式模式忽略了模擬地區時間和空間上的變異性，只考慮輸入資料及輸出的關係，以方便計算，分散式模式則考慮到空間和時間上的變異性，將模擬區域網格化，將個別網格視為獨立單元計算，可以得到模擬區域較真實的水文現象。本研究所使用之水文模式為分散式逕流模式 (黃奕璋, 2007；

李煜欽，2008），並將模式配合地理資訊系統（geographic information system, GIS）製作的各種輸入資料進行水文模擬，其中輸入資料包括數值高程模型、河系分布圖層、土地利用、土壤種類、降雨等資料，係以數值高程模型依據地形高程和水流匯聚的原理，製做集水區河系圖層資料，並加入各種水文參數，對集水區內極端降雨事件進行模擬，推估集水區之地表逕流量，以達到洪水逕流預報、集水區地理參數分析等目的。

1-4 本文架構

本論文架構分為五章，第一章為緒論，介紹本文的研究目的及研究區域相關資料和本文架構。第二章為烏溪流域不同降雨型態之水文模擬，本研究以烏溪流域為研究案例，故本章首先簡介研究所用之水文模式及對應之方程式，然後詳細說明模式所需要的各種輸入資料與製作方式，還有所模擬的降雨事件介紹。第三章為烏溪流域不同降雨型態之分析，使用兩種方法對颱風及梅雨事件兩型進行分析，並藉由水文模式模擬比較這兩種不同降雨型態極端降雨事件之逕流量變化，接著對颱風和梅雨事件之間的差異進行分析和討論，提出可能的改進方法，由分析結果發現其差異為未考慮基流所造成，因此採用一種具有物理概念的基流分離方法進行評估，之後將詳細說明基流分離法及各項參數製作過程。第四章為模式驗證與結果分析，說明驗證模式所使用的五種驗證方法，並對水文模式加入基流前後

的模擬結果進行驗證及分析。第五章為結論與建議，對不同型態極端降雨事件分析及模擬結果提出結論與建議。

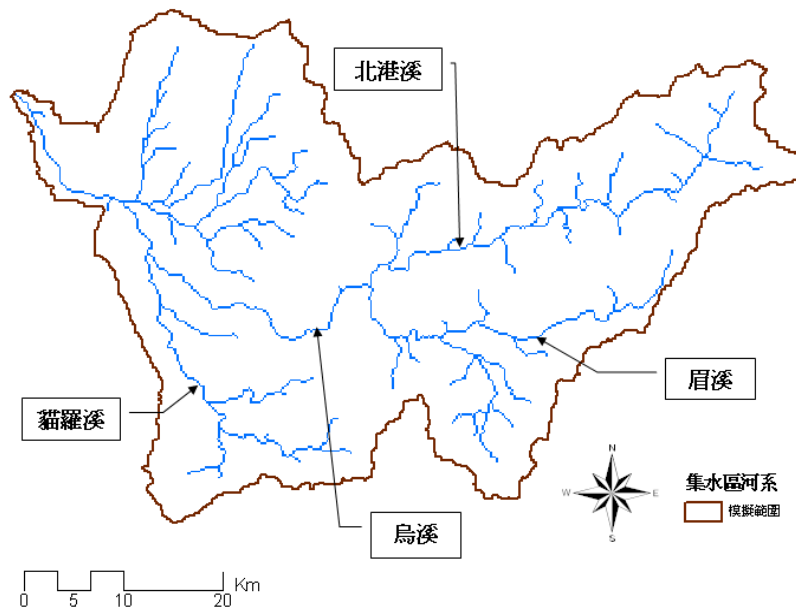
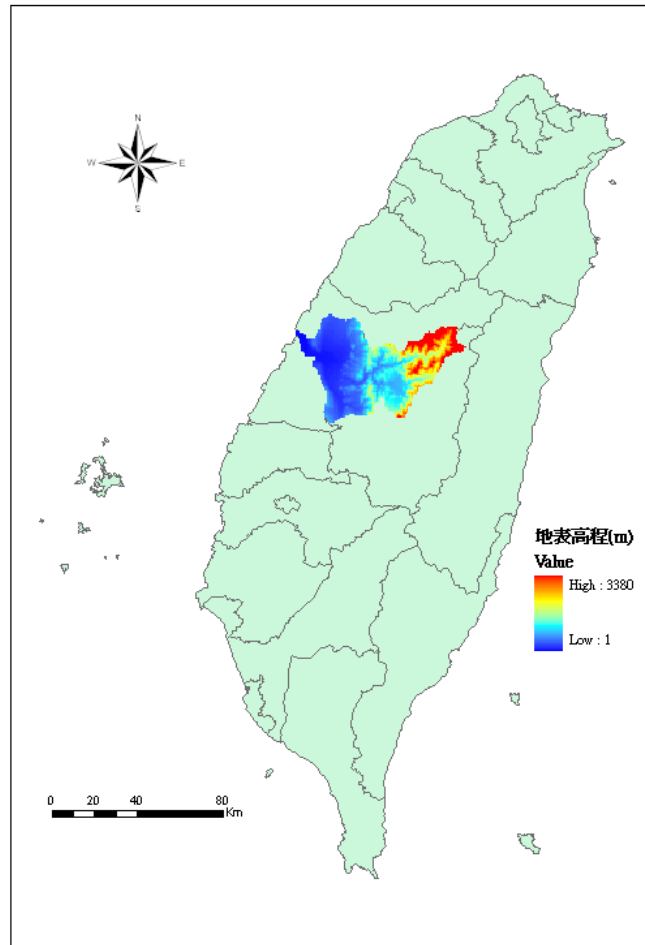


圖 1.1 烏溪流域圖

第二章 烏溪流域不同降雨型態之水文模擬

本章節為介紹烏溪流域不同型態降雨事件之水文模擬，首先是本研究所使用的水文模式之簡介，並且說明該模式所考慮之水文過程與對應的控制方程式，之後詳細說明該模式模擬需要的各種輸入資料與製作方式，最後介紹模式所模擬之極端降雨事件相關資料。

2-1 水文模式簡介

本研究所使用水文模式為模擬地表之水文過程，該分散式逕流模式(黃奕璋，2007；李煜欽，2008)包括降雨、截留、入滲、漫地流和渠道流，並加入具有物理機制之基流分離方程式，圖 2.1 為水文模式流程圖。每種水文過程皆有其相對應之控制方程式，以下對各水文過程所對應之控制方程式詳細說明。

降雨，水文模式中輸入的降雨強度為實際雨量站位置所觀測的資料，其計算係採用距離反比權重法來計算各位置之降雨量，此公式係利用集水區內雨量站與任意位置間的距離關係，計算出各雨量站對欲求位置的影響權重，當計算位置距離愈近的雨量站所佔之權重較高，距離越遠的雨量站所佔之權重較低，藉此估算集水區內各個網格點之降雨強度，因此此法較適用於雨量站均勻分佈之集水區，其公式如下：

$$r(x, y, t) = \frac{\sum_{m=1}^{NRG} \frac{r(xrg, yrg, t)}{d_m^2}}{\sum_{m=1}^{NRG} \frac{1}{d_m^2}} \quad (2.1)$$

其式子中， $r(x, y, t)$ 為集水區內任意位置之降雨強度、 $r(xrg, yrg, t)$ 為雨量站所測得之降雨強度、 d_m 為雨量站與欲求降雨強度位置間的距離、 NRG 為雨量站數目、 x 為集水區之 x 方向座標、 y 為集水區之 y 方向座標、 t 為時間。

截留，水循環的過程中當降雨落到地面前可能會遭遇障礙物的阻擋，會減少部份水份後，剩餘之水量(又稱穿落水量)則落下至地面繼續水循環之過程，降雨中被阻擋所減少之水量現象，稱之為「截留」。這部份計算為使用土地利用資料圖層，由各位置之土地利用情況定義可能之截留水量，假設當降雨量小於截留水量時，則無穿落水量的產生，而降雨量繼續累積至等於截留水量，之後的降雨量便不考慮截留水量，則穿落水量等於降雨量，其公式如下：

$$r_{ii}(x, y, t) = r(x, y, t) + V_i(x, y, t) \quad (2.2)$$

其式子中， $r_{ii}(x, y, t)$ 為穿落量之強度、 $r(x, y, t)$ 為降雨強度、 $V_i(x, y, t)$ 為剩餘截留深度。

入滲，當降雨經過截留後剩餘之水量降落到地表上，一部分的水體會經由土壤滲入到地面下被土壤所吸收，落到地面上的水體被土壤所吸收的

現象，稱之為「土壤入滲」。本模式計算所使用為 Green-Ampt 入滲公式，其公式如下：

$$f(x, y, t) = K_s \left(1 + \frac{H_f M_d}{F(x, y, t)} \right) \quad (2.3)$$

其式子中， $f(x, y, t)$ 為入滲率、 K_s 為水力傳導係數、 H_f 為濕潤邊緣之毛細壓力、 M_d 為土壤有效孔隙率、 $F(x, y, t)$ 為入滲之深度。入滲公式的基本假設是土壤為均值，降雨前土壤為乾燥狀態，降雨開始後利用 Green-Ampt 入滲公式配合所計算位置之土壤資料，以水力傳導係數、潤濕邊緣之毛細壓力、土壤有效孔隙率和入滲深度去推算其入滲率，最後再由入滲率可以換算求得土壤入滲深度。

漫地流，降落到地表之水體，部分水體被土壤吸收形成土壤入滲的現象，另一部分則在地表形成地表逕流最後注入河川，這部分形成地表逕流的現象，稱之為「漫地流」。漫地流計算是以連續方程式配合動量方程式和阻抗定律式進行求解。由於模擬之流域範圍，集水區面積可廣達數百平方公里，相較於漫地流在地表垂直方向上的水深變化至多達數十公尺，其水平尺度和垂直尺度相差甚大，故可使用淺水假設簡化，忽略垂直方向上的影響，壓力項只考慮靜水壓，將三維方程式簡化為二維方程式，最後得到二維的漫地流連續方程式和動量方程式，其漫地流連續方程式如下：

$$\frac{\partial h_{ov}}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = \frac{\partial r}{\partial t} - \frac{\partial V_i}{\partial t} - \frac{\partial F}{\partial t} \quad (2.4)$$

其式子中， h_{ov} 為漫地流之水深、 t 為時間、 q_x 為 x 方向之單位寬度流量、 q_y 為 y 方向之單位寬度流量、 x 為 x 方向邊長、 y 為 y 方向邊長、 r 為降雨量、 V_i 為截留量、 F 為土壤入滲量。

漫地流動量方程式是以動量守恆為基礎，經過淺水假設簡化，忽略垂直方向上的影響，壓力項只考慮靜水壓，將方程式簡化為二維的動量方程式，其漫地流動量方程式如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g_x S_{0x} - g_x S_{fx} - g_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g_y S_{0y} - g_y S_{fy} - g_y \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2.6)$$

其式子中， u 為 x 方向之流速、 v 為 y 方向之流速、 t 為時間、 x 為網格點 x 方向之邊長、 y 為網格點 y 方向之邊長、 g_x 為重力在 x 方向上之分量、 g_y 為重力在 y 方向上之分量、 S_{0x} 為 x 方向之地表坡降、 S_{0y} 為 y 方向之地表坡降、 S_{fx} 為 x 方向之摩擦坡降、 S_{fy} 為 y 方向之摩擦坡降、 h 為地表水深。本模式所考慮的漫地流為淺水自由液面流，對於淺水自由液面流而言，其重力項的影響相較於其他項的影響較為顯著，因此忽略掉慣性力項。並考慮迴水效應故保留壓力梯度項，最後漫地流動量方程式可表示為：

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.7)$$

$$S_{fy} = S_{0y} - \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2.8)$$

由於簡化動量方程式的關係，無法藉由連續方程式和動量方程式解出所有的未知數，分別為：「地表水深」、「x 方向單位寬度流量改變量」、「y 方向單位寬度流量改變量」、「x 方向之摩擦坡降」、「y 方向之摩擦坡降」等五個未知數，故於模式中加入了阻抗定律式(Woolhiser, 1975)，其阻抗定律式如下：

$$q_x = \frac{S_{fx}^{\frac{1}{2}}}{n} h^{\frac{5}{3}} \quad (2.9)$$

$$q_y = \frac{S_{fy}^{\frac{1}{2}}}{n} h^{\frac{5}{3}} \quad (2.10)$$

其式子中， n 為曼寧粗糙係數，該式為類似曼寧公式之經驗公式，以曼寧粗糙係數計算流量。最後模式是以連續方程式、動量方程式和阻抗定律式求得地表水深，再換算求得漫地流流量。

渠道流，這部分計算是以連續方程式配合動量方程式和曼寧公式進行求解，由於模擬之渠道長度尺度遠大於渠道寬度尺度、渠道深度尺度，故使用淺水假設簡化，忽略渠道寬度和水深方向的變化，只考慮渠道長度方向的變化，壓力項只考慮靜水壓，將方程式簡化為一維的連續方程式，

並且假設渠道之通水斷面皆為矩形，其渠道流連續方程式如下：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{ov} \quad (2.11)$$

其式子中， A 為渠道之通水斷面積、 t 為時間、 Q 為渠道之流量、 x 為渠道之長度、 q_{ov} 為漫地流注入渠道之流量。

渠道流動量方程式是以能量守恆為基礎，經過淺水假設簡化，只考慮渠道長度方向的變化，壓力項只考慮靜水壓，將方程式簡化為一維的動量方程式，其渠道流動量方程式如下：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = g_x S_{0x} - g_x S_{fx} - g_x \frac{\partial h_{ch}}{\partial x} \quad (2.12)$$

其式子中， u 為 x 方向之流速、 t 為時間、 x 為網格點 x 方向之邊長、 g_x 為重力在 x 方向上之分量、 S_{0x} 為 x 方向之地表坡降、 S_{fx} 為 x 方向之摩擦坡降、 h_{ch} 為地表水深。本模式所考慮之渠道流為淺水自由液面流，對於淺水自由液面流而言，其重力項的影響相較於其他項的影響較為顯著，因此忽略掉慣性力項，最後渠道流動量方程式可表示為：

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h_{ch}}{\partial x} \quad (2.13)$$

由於簡化動量方程式的關係，無法藉由連續方程式和動量方程式解出

所有未知數，分別為：「渠道水深」、「渠道流量」、「摩擦坡降」等三個未知數，故於模式中加入了曼寧公式，其曼寧公式如下：

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

其式子中， n 為曼寧粗糙係數、 R 為水力半徑，該式是以曼寧粗糙係數計算流量之經驗公式，最後模式是以連續方程式、動量方程式和曼寧公式求得渠道水深，再換算求得渠道流流量。

基流分離法，為 Furey 和 Gupta (2000) 使用達西定律配合質量守恆方程式所發展的低流量方程式，並假設直接逕流量、地下水補注量和降雨量呈線性關係進而推導得到，為分離逕流歷線中超滲降雨形成的直接逕流和地下水補注的基流兩部份，濾波法所使用的各項參數都有明確的物理意義，其方程式如下：

$$Q_j = (1-\gamma) \cdot Q_{j-1} + \gamma \cdot \left(\frac{c_3}{c_1} \right) (Y_{j-d-1} - Q_{j-d-1}) \quad (2.15)$$

其式子中， Q_j 為 j 時段的基流量、 $(1-\gamma)$ 為退水係數、 c_1 為表面逕流分率、 c_3 為地下水分率、 Y_j 為 j 時段的逕流量、 d 為地下水補注延遲時間。

2-2 流域輸入資料

本節介紹烏溪流域圖層輸入資料，流域輸入資料分別為數值高程模型、

河系分布圖層、土地利用圖層、土壤種類圖層等各項參數資料，進而詮釋地表之水循環過程，以下將對各項資料製作詳細加以說明。

2-2-1 數值高程模型

數值高程模型(DEM)資料，主要是描述區域地貌形態的空間分布，並可延伸出等高線圖、坡度圖等資料，一般可由傳統的人工直接地面測量或經由衛星航照影像，通過攝影測量取得。本研究所使用的 DEM 數值高程模型是由農林航測所提供解析度為 40 公尺的陣列資料，由於模式所需渠道斷面寬度和深度資料，需要較高解析度之 DEM 資料，所以將原始解析度 40 公尺 DEM 資料配合 GIS 功能中的重新取樣(resample)轉換得到解析度 200 公尺 DEM 資料，之後相關研究皆採用解析度 200 公尺之格式。圖 3.2 為本研究模擬區域之 DEM 資料，圖中紅色部份為上游地勢較高的山區，圖中藍色部分為下游地勢較為平坦，多為人口密集區域。

2-2-2 河系資料製作

本研究所使用之水文模式在水文演算部分需要流域河系資料與渠道圖層資料，因此必須明確的定義出河系分佈和集水區範圍，我們使用 GIS 地理資訊系統中的各項功能，分別為「凹點填補(fill sink)」、「流向判斷(flow direction)」、「累積流量(flow accumulation)」等，利用上述功能製作人工河系分佈圖層，而「渠道斷面資料」則需要利用上述三種功能得到的資料，

配合不同解析度的 DEM 資料進行製作，以下將對製作過程進行說明。

凹點之形成原因，可能為 DEM 數值高程資料在量測過程中，由於儀器或人為因素所造成之誤差，所以在使用 GIS 地理資訊系統時，可以發現九宮格的中心網格點對應周圍的八個網格點時，有少數位置出現中心網格點高程低於周圍其他網格點，這種現象稱之為凹點，相反則為凸點。凹點會造成計算上模擬之地表水需填滿凹點後才會流至其他網格，會對模擬之逕流量造成誤差，而處理凹點之方法為利用 GIS 地理資訊系統功能中的凹點填補(fill sink)，以周圍八個網格點中取最低點高程取代凹點網格點，藉此消除模擬之誤差，圖 2.3 為凹點填補前後變化示意圖。

河流走向判斷是利用凹點處理後之 DEM 圖層，根據水往低處流動的現象，定義以九宮格中心網格點對應周圍的八個網格點，判斷中心網格與周圍網格之高程差，尋找其最低之網格點，之後依照順時鐘編號 1、2、4、...、128 等來代表流動的八個方向，數字代表如 1：東；2：東南；4：南；8：西南；16：西；32：西北；64：北；128：東北。依照其坡度給予適當之流動方向編號，藉此計算每一個網格點相對之流動方向，便可得到流向判斷圖層。

累積流量資料是利用流向判斷資料，假設每格網格皆含有一單位水體，依照流動方向重新分配水體，下游網格水體數會等於上游所有流向此網格

的水體數總和，因此每格網格點累加記錄流經的水體數，便可獲得累積流量資料。如圖 2.4(a)所示，當每格網格水體依照流向判斷資料圖 2.4(b)之高程，隨著圖 2.4(c)之方向移動，經過計算會流至各網格之上游所有網格數得到圖 2.4(d)，對累積流量達到預設門檻值以上時，即視為河川渠道單元，便可得到人工河系分布圖層，圖 2.5 為完整流程。

2-2-3 渠道斷面資料

渠道斷面資料為模式中渠道流演算之重要參數，其資料包含渠道種類、渠道寬度、渠道深度、渠道曼寧粗糙係數、渠道蜿蜒度、渠道斜率等六種渠道斷面資料。目前台灣河川只有中下游有渠道斷面資料，而集水區上游受限於交通和地形影響，在觀測上有難度，因此上遊部份仍無相關實測資料，因此根據李煜欽(2008) 研究所做之假設，假設集水區上游河谷之邊坡為峽谷地形，峽谷地形之河谷高程一般差異不大，但河谷兩旁所銜接河岸之高程變化甚大，故如果可以定義出河谷範圍，即可計算出渠道寬度與深度。其計算方式為利用原始 40 公尺 DEM 高程資料配合程式去分析判斷集水區渠道深度和寬度，其判斷方法為先以河系資料和流向判斷資料定義出渠道和渠道流向，依照渠道流向的垂直方向做切線定義出渠道斷面，在渠道網格給定一個高程數值，此高程數值設為 1 公尺，以渠道網格點為中心，切線方向無限延伸，比較兩側網格點和中心網格點之高程差，如果高程差

小於此數值，則定義為渠道網格，大於此數值定義為漫地流網格，最後對渠道寬度和深度做算術平均，以求得整個河段之渠道斷面資料。

2-2-4 土地利用

土地利用資料是依據地表土地使用情況作分類，一般是利用衛星遙測拍攝地表圖像後，經由人工或程式修正的方式取得，本研究所使用之土地利用圖層來源是由中央大學太空遙測中心提供，土地利用種類大致歸類為九大項，分別為水體、果園、林地、建地、荒地、草地、崩塌地、稻作。圖 3.6 中，顏色代表如藍：水體；橘：果園；深綠：林地；粉紅：建地；淺咖啡：荒地；淺綠：草地；深咖啡：崩塌地；米黃：稻作。可以觀察到上游的部份以林地為主，下游與人類活動息息相關以建地、果園為主，建地分布較多的為台中市、南投市、埔里鎮，並且部份用地以稻作為主。

2-2-5 土壤種類

地表水循環中土壤入滲是非常重要且不容忽視的一部分，因此計算土壤入滲的部分，本模式是使用由行政院農委會所提供的土壤種類分佈圖層，平地部分由農委會農業試驗所提供、山坡地部分由農委會水土保持局提供、林地部分由農委會林業試驗所提供，配合 ArcMap 製作集水區範圍的土壤參數資料，不過由於缺乏部分山區圖層，因此假設以周圍相近所含比例較大的土壤，加以補其缺少之圖層，圖 2.7 為烏溪集水區土壤種類分布圖。並且

由於土壤為數層不同厚度的土層所構成，土壤粒徑會隨著深度而有所改變，故本研究的歸類方式是以表土層的土壤做為依據，並配合 Green-Ampt 入滲公式之參數表(表 2.1)，作為模式所需之參數值。

2-2-6 流量資料

流量資料來源為水利署地理資訊倉儲中心提供的時流量資料，位置分佈如圖 2.8 所示，分別為烏溪橋、觀音橋、南北通橋及南崗大橋等四個流量站，流量資料的製作方式為水利署地理資訊倉儲中心配合率定曲線公式得到。而率定曲線係利用各測站實測流量資料迴歸產製，各測站之流量資料為再利用水位資料換算求得，模式所模擬求出的流量值需與流量站觀測之流量值進行比較，進而驗證模式之正確性。

2-2-7 水位資料

本研究由於部份流量站的觀測資料錯誤或缺乏，需要利用率定曲線公式配合水位資料換算求得流量資料，水位資料是由水利署地理倉儲中心提供的水位資料，原始格式為水位之時間序列資料。水位測站的位置與流量站測站位置相同，在水利署提供之流量資料中，發現在不同的降雨事件之水位高度相同，但經過換算所得之流量卻不相同甚至差異很大，存在部分的不確定性，因此需要藉由水位高度比較評估流量資料的正確性(附錄 A)。

2-3 颱風與梅雨事件降雨資料

雨量資料為烏溪集水區中的 7 個雨量站所觀測之資料，資料來源為水利署地理資訊倉儲中心提供的時雨量資料，位置分佈如圖 2.9 所示。本研究模擬之極端降雨事件分為兩種類型，一種為颱風雨，降雨特徵為短時間且集中降雨型態，另一種為鋒面雨(梅雨)，降雨特徵為長時間且分散降雨型態。所選定之颱風降雨事件為 2007 年 10 月的柯羅莎颱風、2009 年 8 月的莫拉克颱風等二個颱風降雨事件，而鋒面雨降雨事件為 2006 年、2007 年六月時期之梅雨降雨事件。

莫拉克(Morakot)颱風為 2009 年 8 月的秋季颱風，形成位置為菲律賓東北方海面，形成後向東北轉北北西移動，於 8 月 5 日 20 時增強為中度颱風並向西移動，進入台灣東部近海時受地形影響，速度略為減慢並轉向西北移動，8 月 7 日 23 時 50 分在花蓮市附近登陸，至 8 月 8 日 14 時在桃園附近出海，並於 8 月 9 日 18 時 30 分在馬祖北方進入福建。莫拉克帶來豪雨刷新中南部、東部多處地區的雨量記錄，引發嚴重水患，造成台南、高雄、屏東等縣重大災情，鐵路、公路多處路基流失造成交通中斷，農業損失逾 195 億元(中央氣象局，颱風資料庫¹)。莫拉克颱風侵台路徑，根據中央氣象局分類為 3 號路徑，圖 2.10 為莫拉克颱風路徑圖，圖 2.11 為莫拉克颱風平均降雨強度組體圖，圖 2.12 為莫拉克颱風各雨量站降雨強度組體

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2009080804&year=2009&c_name=莫拉克&e_name=MORAKOT

圖。

柯羅莎(Krosa)颱風為 2007 年 10 月的秋季颱風，形成位置為呂宋島東方海面，形成後向西北方向移動，於 10 月 6 日下午由宜蘭近岸沿海岸向南移至花蓮縣北部近海，呈打轉現象，並於當日 22 時 30 分在頭城及三貂角間進入北部陸地，之後改向北北西方向移動且快速通過台灣北端陸地離開，於 10 月 7 日由福建、浙江交界進入中國大陸。柯羅莎颱風造成全台皆有災情發生，包括淹水、土石流、道路中斷，近 233 萬戶停電，農業損失逾 42.7 億元(中央氣象局，颱風資料庫¹)。柯羅莎颱風侵台路徑，根據中央氣象局分類為 2 號路徑，圖 2.13 為柯羅莎颱風路徑圖，圖 2.14 為柯羅莎颱風平均降雨強度組體圖，圖 2.15 為柯羅莎颱風各雨量站降雨強度組體圖。

2006 年的梅雨季，因為梅雨鋒面滯留於台灣附近，引發了規模相當大的豪雨事件，曾出現數日的超大豪雨(350 毫米)的日降雨量，並於 2006 年六月九日對嘉義縣、南投縣和高雄縣山區單日造成累積雨量超過 700 毫米，而氣象局阿里山氣象站單日更創下 811.5 毫米之驚人雨量，由於連日豪雨造成多處山區嚴重災情，又稱 609 水災，農林漁牧業損失超過 9 億元，圖 2.16 為梅雨(2006)平均降雨強度組體圖，圖 2.18 為梅雨(2006)各雨量站降雨強度組體圖。

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2007151002&year=2007&c_name=柯羅莎&e_name=KROSA

2007 年的梅雨季，從 5 月 16 日開始第一波梅雨鋒面報到，一直到六月上旬才發出豪雨特報，並由於連日豪雨不斷，自 6 月 6 日開始各地陸續傳出災情，包括北部地區、桃園、苗栗、台中等多處山坡地發生山崩，而台北社子、五股等地區多處淹水，其中社子地區每小時降雨量最多曾達 71 毫米，圖 2.17 為梅雨(2007)平均降雨強度組體圖，圖 2.19 為梅雨(2007)各雨量站降雨強度組體圖。

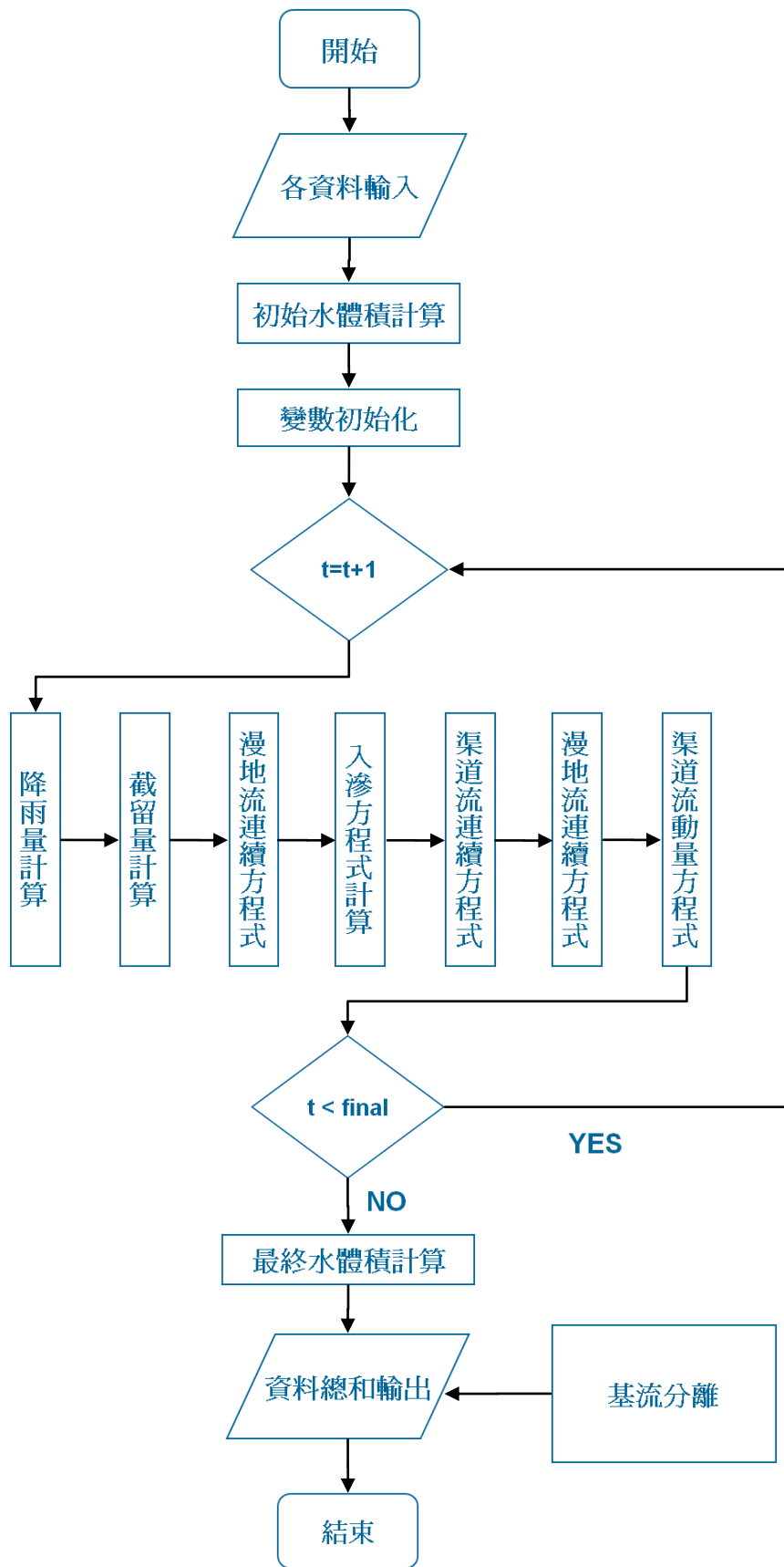


圖 2.1 水文模式流程圖

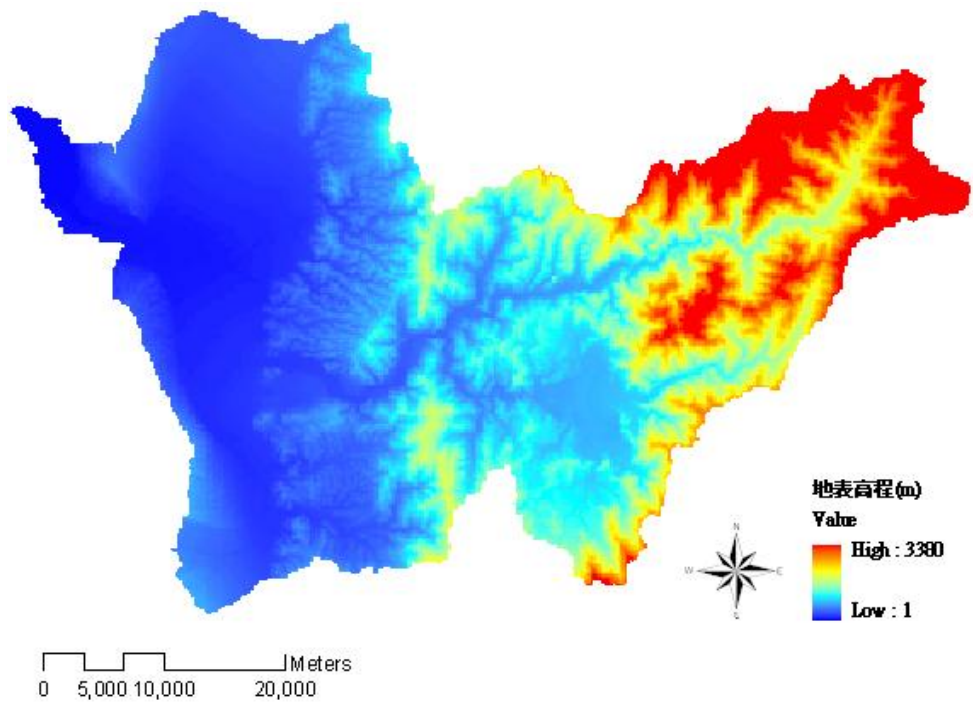


圖 2.2 烏溪集水區數值高程模型

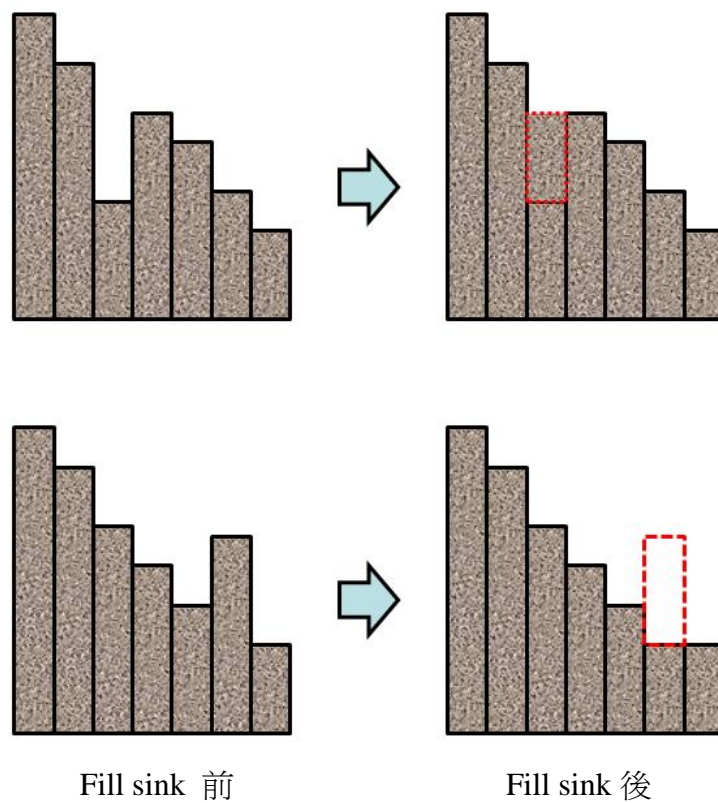


圖 2.3 凹點填補前後變化示意圖

(a)

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

(b)

16	16	8	8	4
64	32	16	8	8
12	64	32	16	16
1	12	64	32	32
12	12	64	32	32

(c)

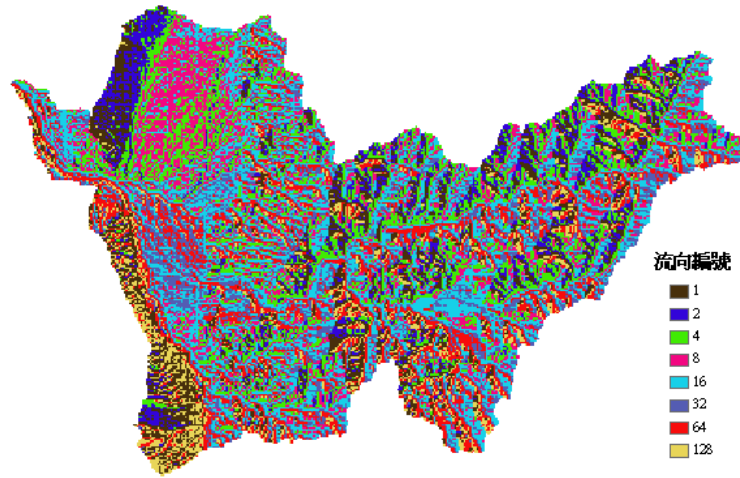
←	←	↙	↙	↓
↑	↖	←	↙	↙
↗	↑	↖	←	←
→	↗	↑	↖	↖
↗	↗	↑	↖	↖

(d)

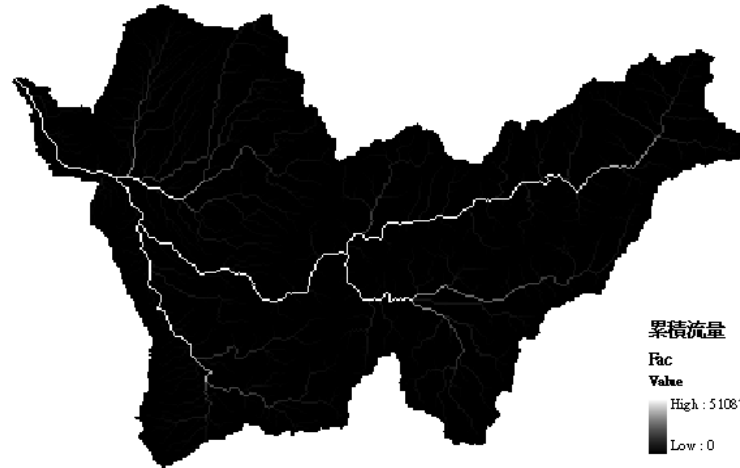
25	0	0	0	0
0	21	1	0	1
0	0	15	4	0
0	2	3	1	0
0	0	0	0	0

圖 2.4 累積流量製作示意圖

(a)



(b)



(c)

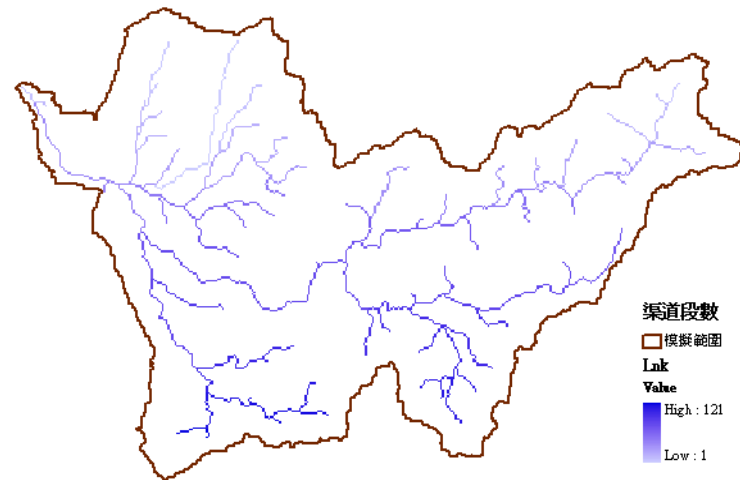


圖 2.5 人工河系圖層，(a)流向圖層、(b)累積流量圖層、(c)渠道圖層

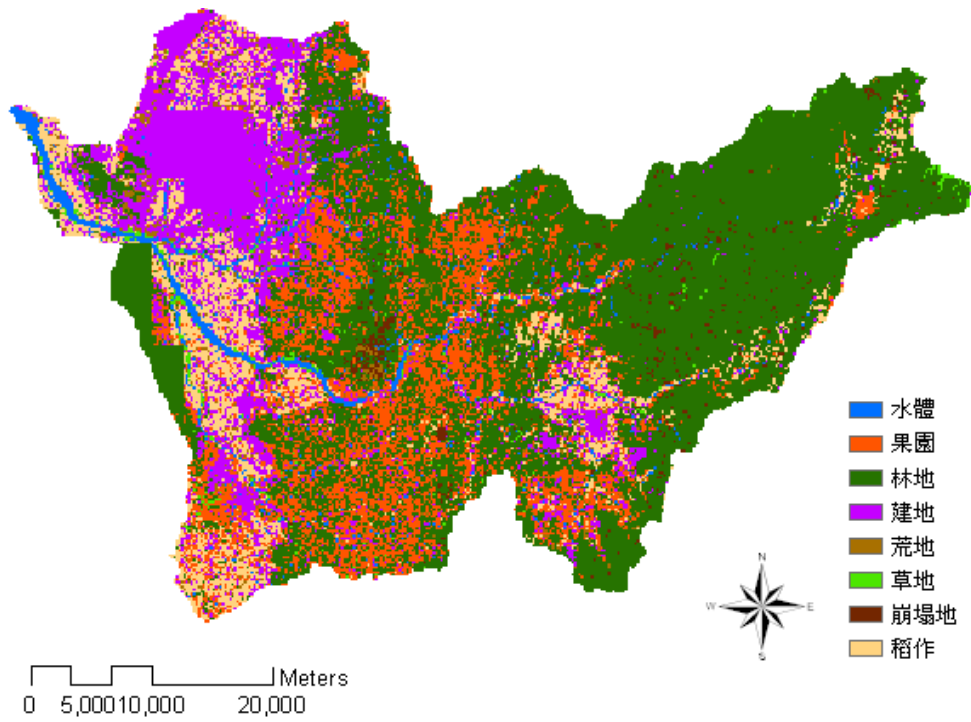


圖 2.6 烏溪集水區土地利用分布圖

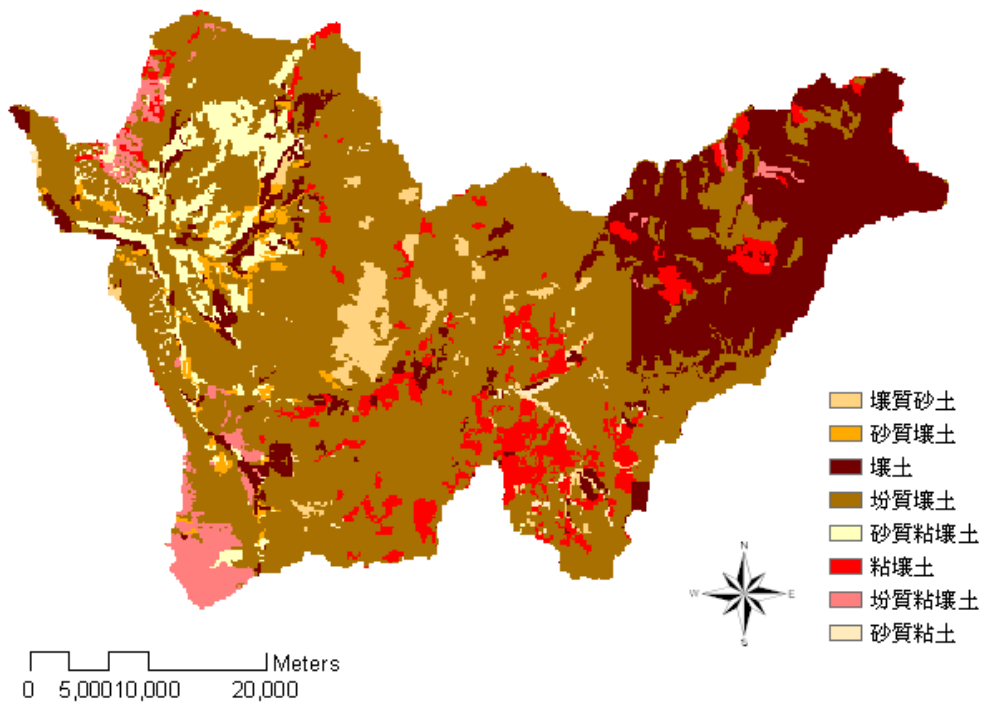


圖 2.7 烏溪集水區土壤種類分布圖

表 2.1 Green-Ampt 入滲公式參數對照表

土壤種類(Soil)	水力傳導率 K_s (cm/hr)	溼潤邊緣水壓 H_f (cm)	有效孔隙率 M_d
砂土(Sand)	11.78	4.95	0.417
壤質砂土(Loamy Sand)	2.99	6.13	0.401
砂質壤土(Sandy Loam)	1.09	11.01	0.412
壤土(Loam)	0.34	8.89	0.434
粉質壤土(Silt Loam)	0.65	16.68	0.486
砂質粘壤土(Sandy Clay Loam)	0.15	21.85	0.330
粘壤土(Clay Loam)	0.10	20.88	0.390
粉質粘壤土(Silt Clay Loam)	0.10	27.30	0.432
砂質粘土(Sandy Clay)	0.06	23.90	0.321
粉質粘土(Silt Clay)	0.05	29.22	0.423
粘土(Clay)	0.03	31.63	0.385

資料來源：Rawls & Brakensiek, 1983

表 2.2 土地利用種類參數對照表

植物種類	曼寧粗糙係數	截留深度(mm)
水體	0.035	0
果園	0.04	2.4
林地	0.09	2.9
建築	0.025	3.0
荒地	0.04	0
草地	0.03	0.2
崩塌地	0.04	0
稻作	0.03	0.4

資料來源：國土測繪中心

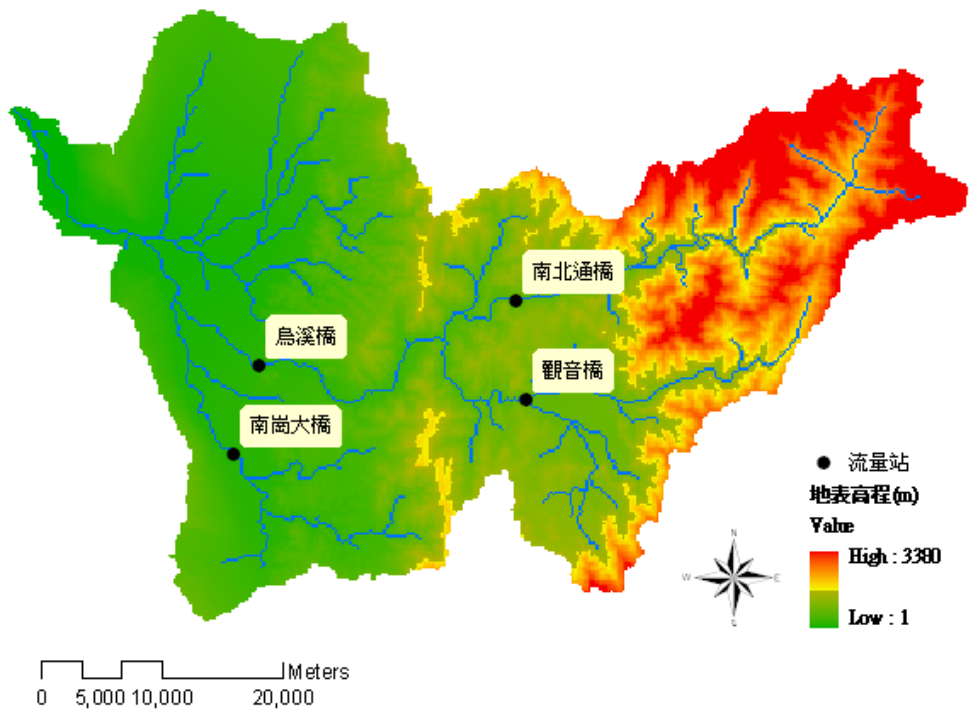


圖 2.8 烏溪集水區流量站分佈圖

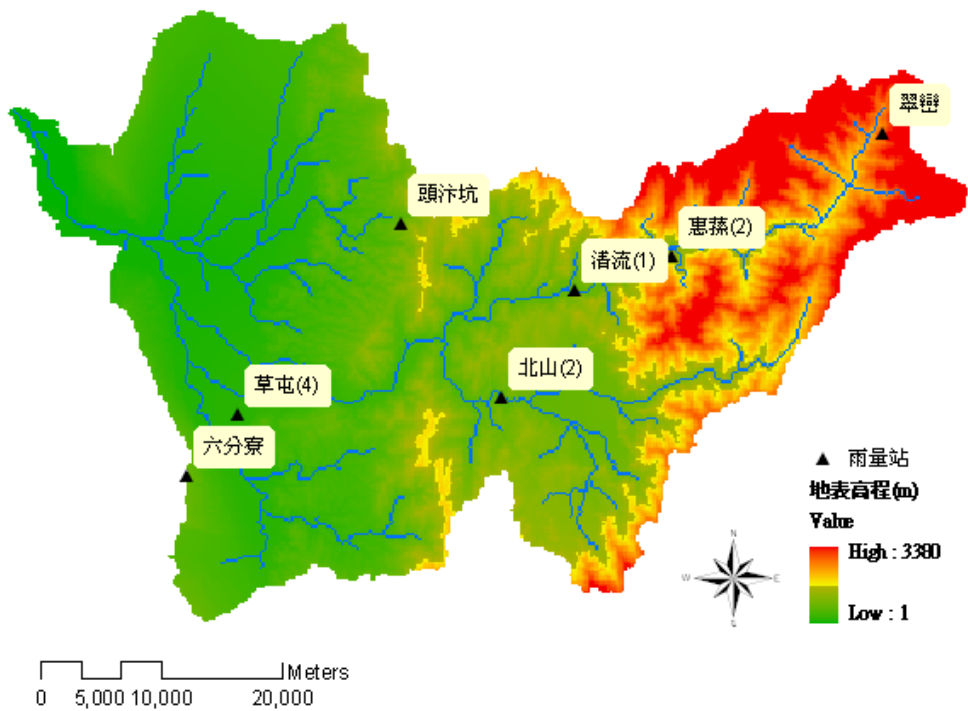


圖 2.9 烏溪集水區雨量站分佈圖

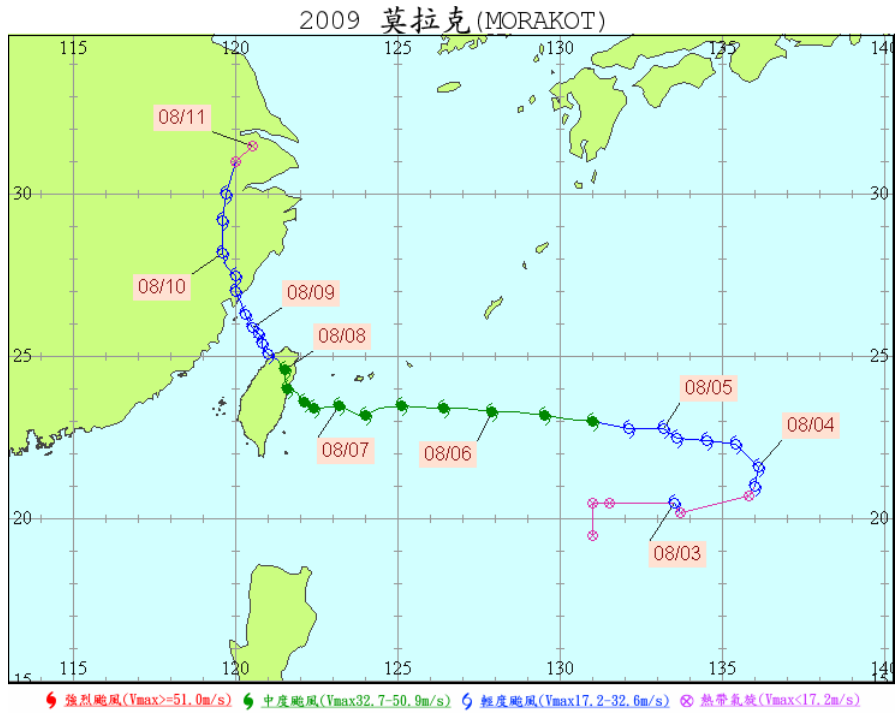


圖 2.10 莫拉克颱風路徑圖 (中央氣象局, 颱風資料庫¹)

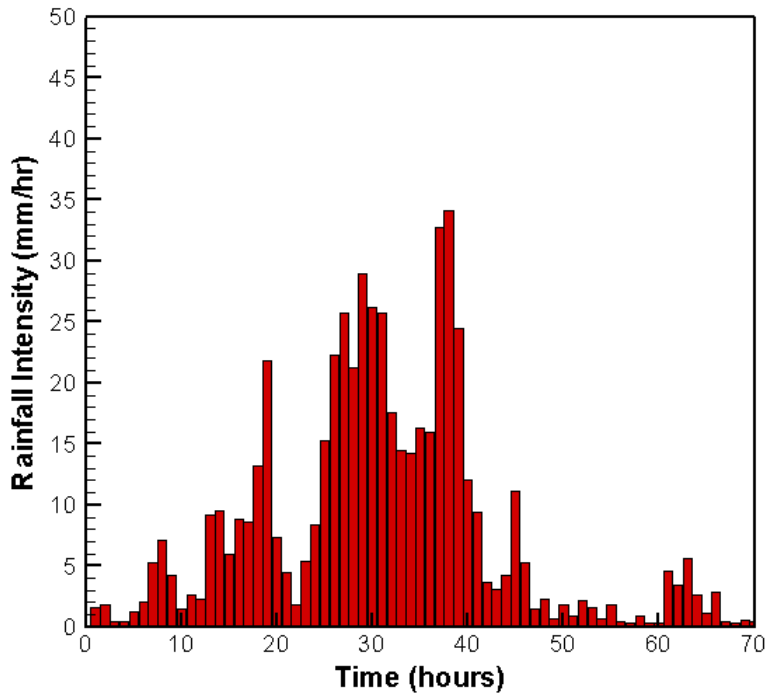
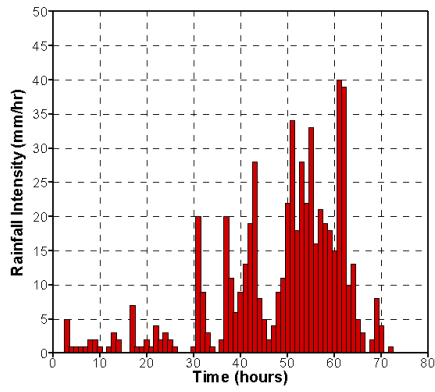


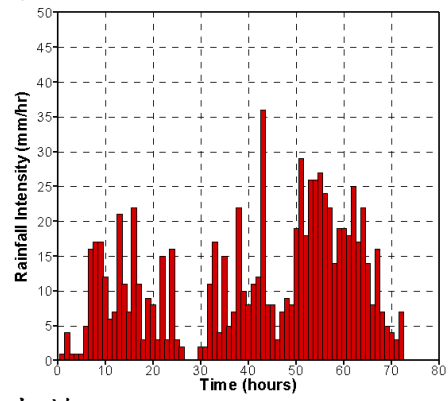
圖 2.11 莫拉克颱風平均降雨強度組體圖

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2009080804&year=2009&c_name=莫拉克&e_name=MORAKOT

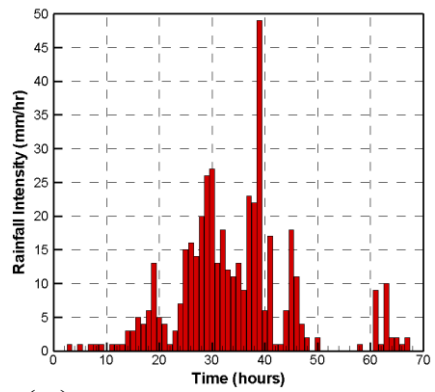
(a) 清流(1)



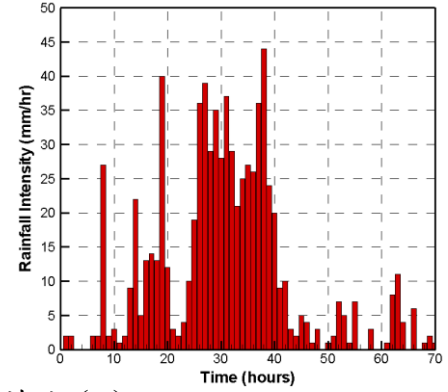
(b) 翠巒



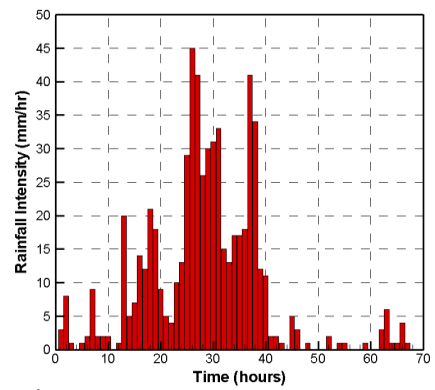
(c) 頭汴坑



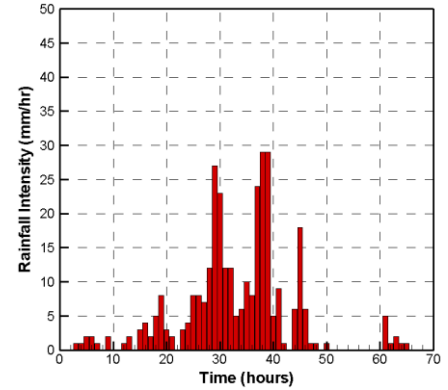
(d) 惠蓀



(e) 北山(2)



(f) 草屯(4)



(g) 六分寮

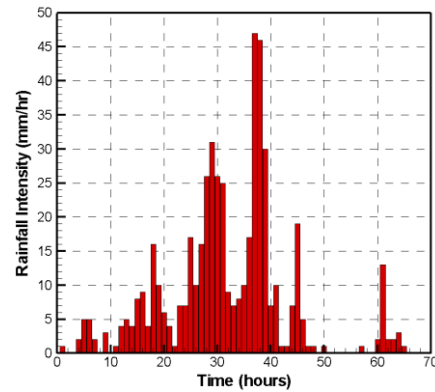


圖 2.12 莫拉克颱風各雨量站降雨強度組體圖

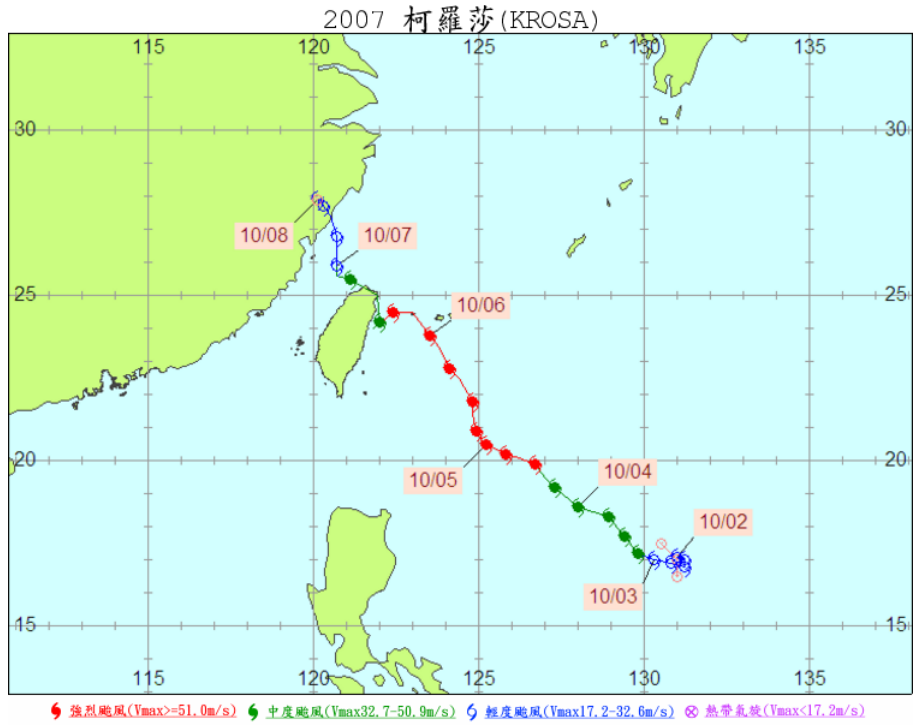


圖 2.13 柯羅莎颱風路徑圖 (中央氣象局, 颱風資料庫¹)

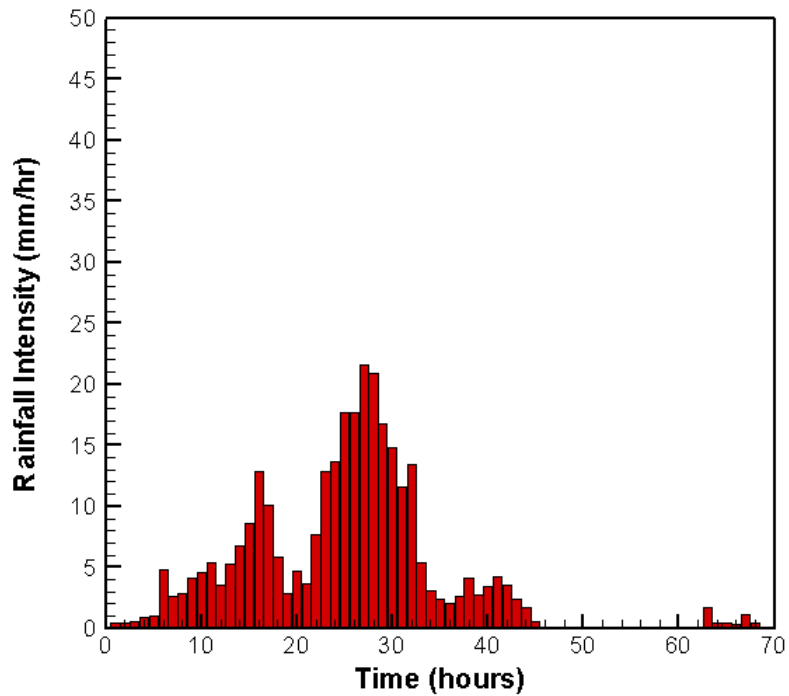
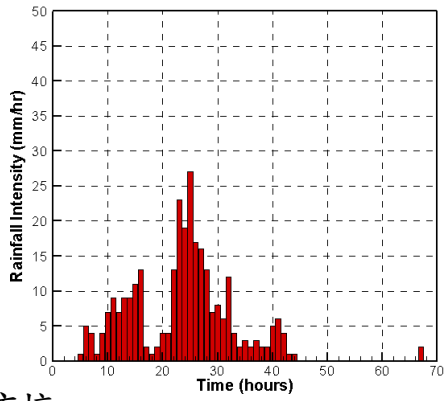


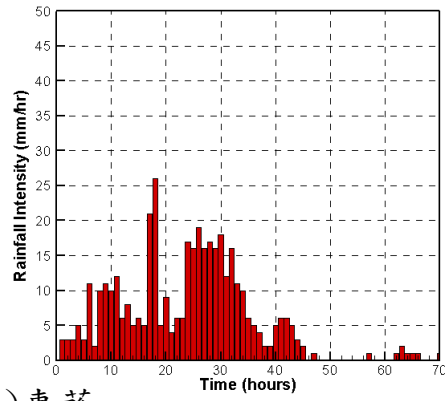
圖 2.14 柯羅莎颱風平均降雨強度組體圖

¹ http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php?num=2007151002&year=2007&c_name=柯羅莎&e_name=KROSA

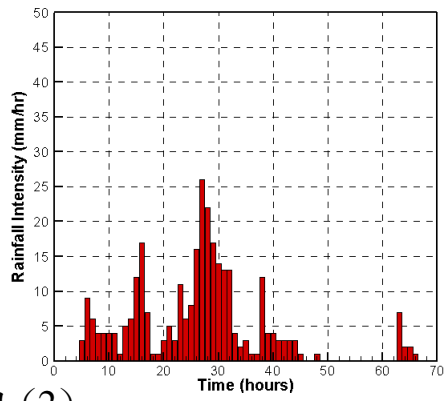
(a) 清流(1)



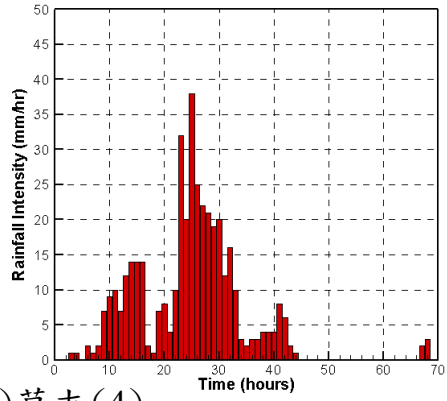
(b) 翠巒



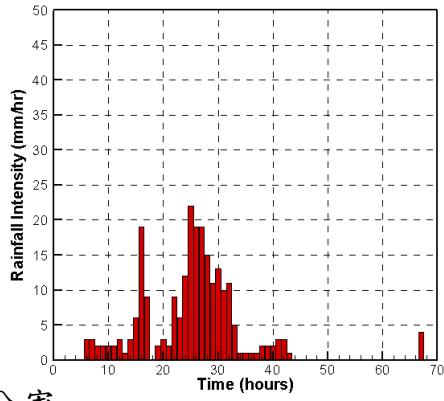
(c) 頭汴坑



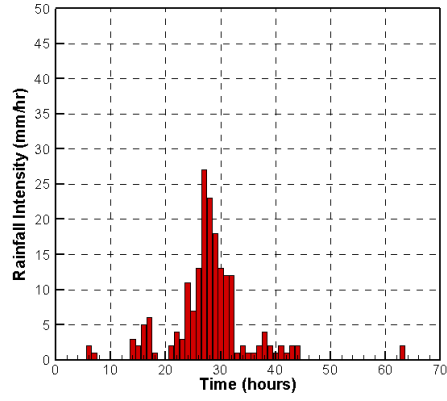
(d) 惠蓀



(e) 北山(2)



(f) 草屯(4)



(g) 六分寮

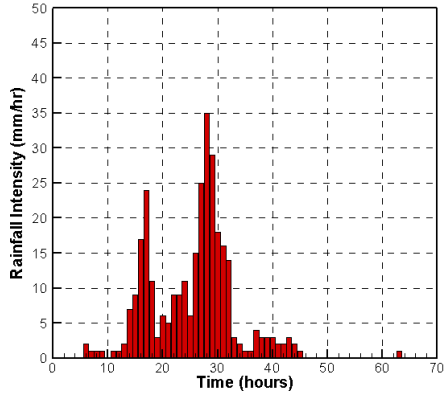


圖 2.15 柯羅莎颱風各雨量站降雨強度組體圖

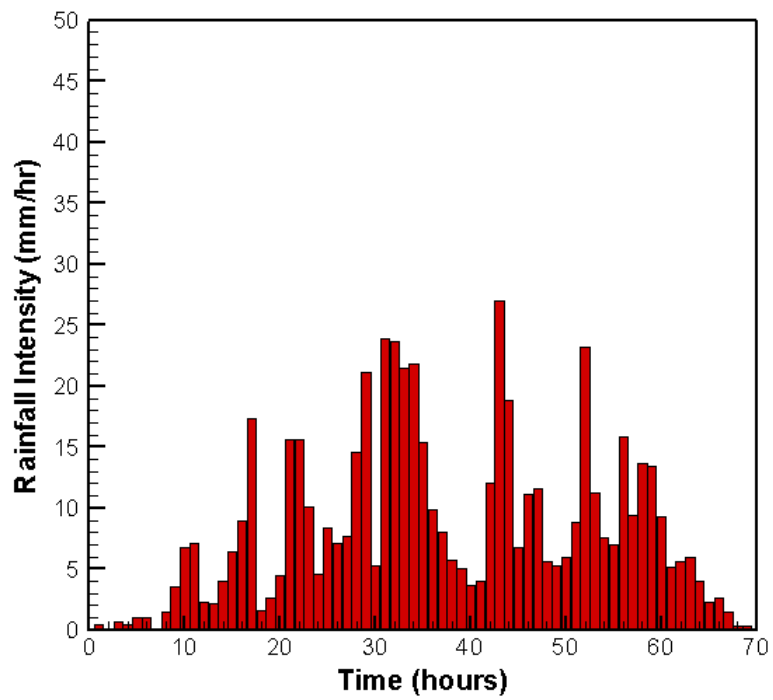


圖 2.16 梅雨(2006)平均降雨強度組體圖

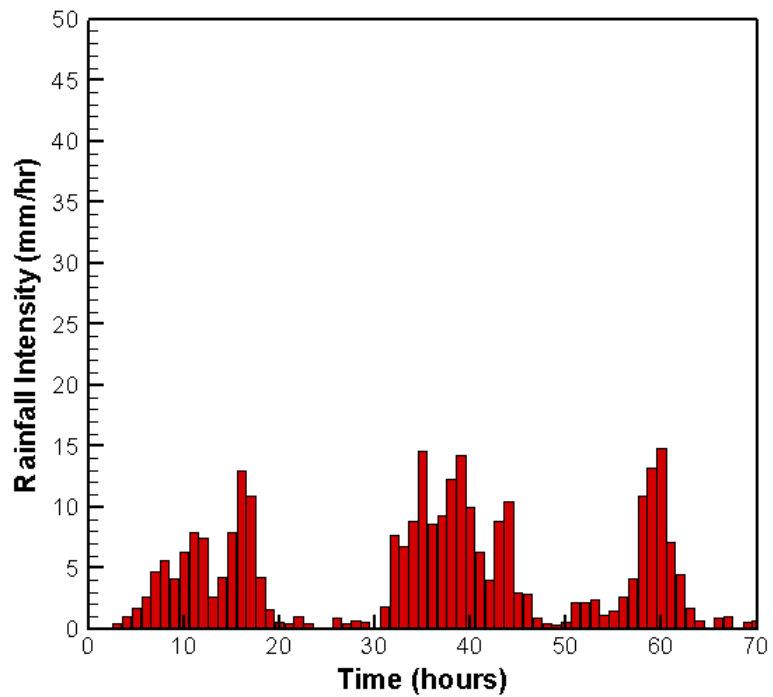
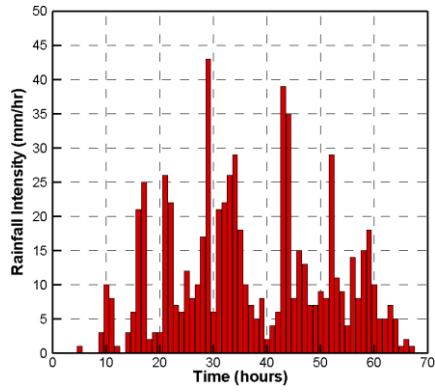
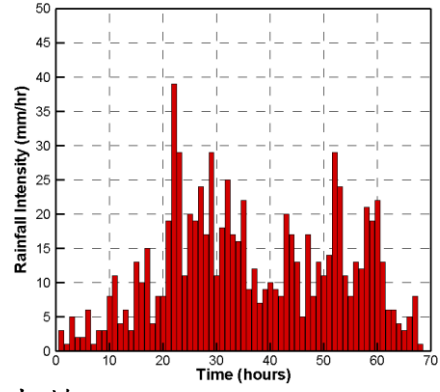


圖 2.17 梅雨(2007)平均降雨強度組體圖

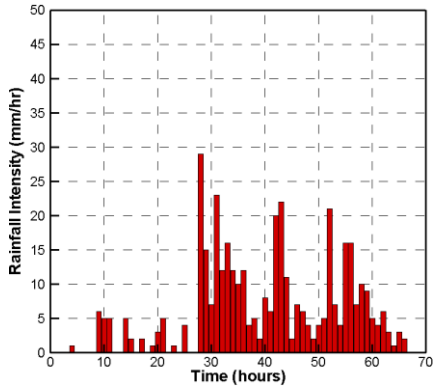
(a) 清流(1)



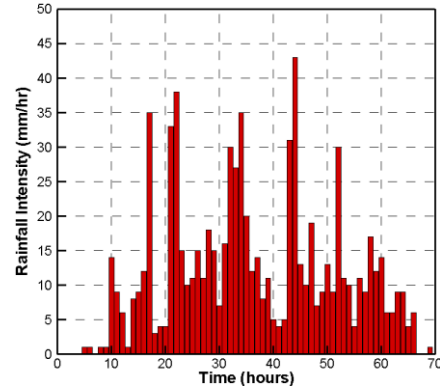
(b) 翠巒



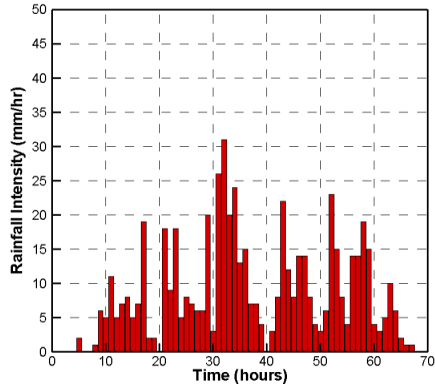
(c) 頭汴坑



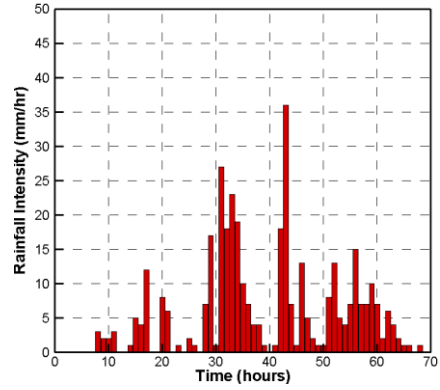
(d) 惠蓀



(e) 北山(2)



(f) 草屯(4)



(g) 六分寮

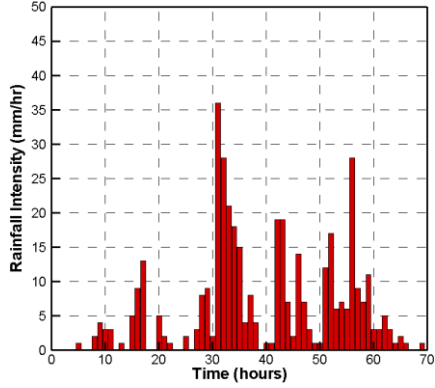
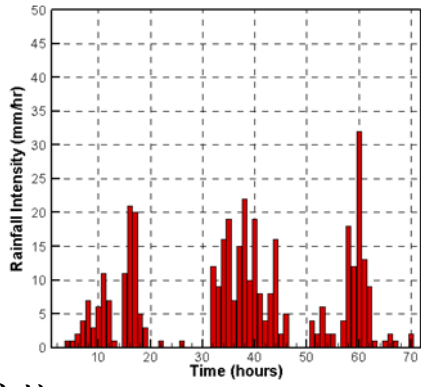
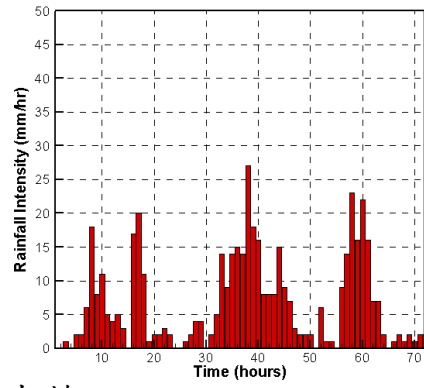


圖 2.18 梅雨(2006)各雨量站降雨強度組體圖

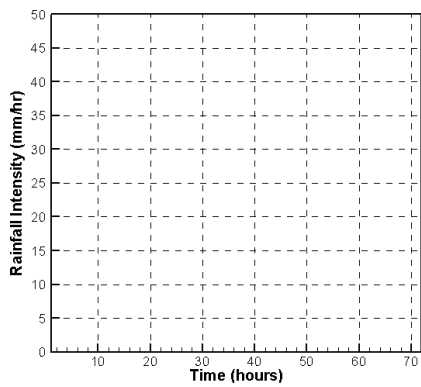
(a) 清流(1)



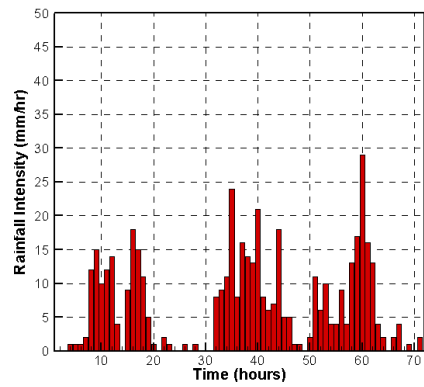
(b) 翠巒



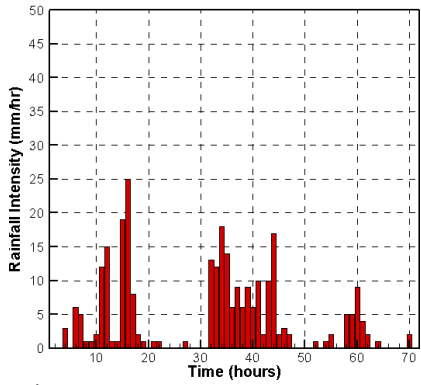
(c) 頭汴坑



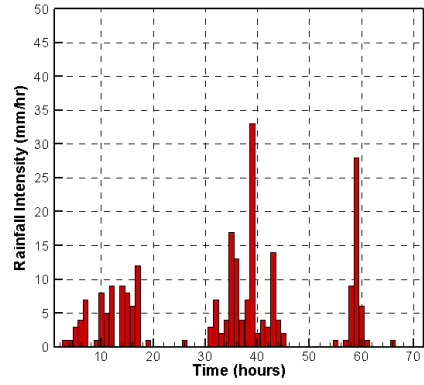
(d) 惠蓀



(e) 北山(2)



(f) 草屯(4)



(g) 六分寮

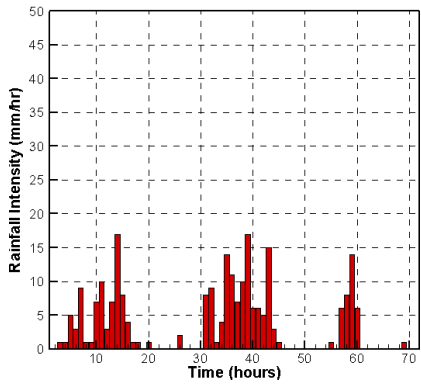


圖 2.19 梅雨(2007)各雨量站降雨強度組體

第三章 烏溪流域不同降雨型態之分析

本章將利用水文模式模擬颱風與梅雨降雨事件，分析這兩種不同型態的極端降雨事件，以了解烏溪流域內颱風和梅雨降雨的特性。首先需先定義颱風和梅雨事件之降雨延時，然後藉由平均降雨組體圖與總降雨量比較之間的關連性，並更進一步利用無因次法求出各場事件之無因次降雨百分比雨型，配合平均數、標準偏差、偏態係數及峰度係數等方法，探討不同型態降雨事件之雨型分布情況。之後採用黃奕璋(2007)和李煜欽(2008)所發展之分散式逕流模式，模擬降雨較大的颱風和梅雨事件及降雨較小的颱風和梅雨事件進行比較，討論颱風與梅雨事件之間的問題。接著由分析結果發現為基流的問題造成模擬結果之間的差異，因此考慮加入基流對不同型態降雨之影響，並詳細說明基流分離法所需之輸入資料製作方式及參數物理意義。

3-1 颱風與梅雨事件之雨型分析

分析颱風與梅雨事件之間的差異前，需先定義颱風與梅雨事件之降雨延時始末，過去像是石棟鑫(2001)提出採用颱風侵台日期間其總雨量的百分之九十作為颱風的參考雨量，當達到此參考降雨量之延時為颱風事件之降雨延時，而劉承翰(2009)則提出以颱風位置之經緯度座標定義颱風事件之降雨延時。但本研究所探討的梅雨事件是屬於鋒面型降雨，受到外圍環

流和滯留的影響，降雨特性為連續性降雨和局部性的大雨、豪雨，因此無法利用上述兩種方法明確的定義出降雨延時時間。本研究提出利用水利署地理資訊倉儲中心之雨量站降雨資料，配合距離反比權重法計算出研究區域內颱風侵台期間之總降雨量，相較於梅雨事件最大降雨期間之總降雨量，其總降雨量相接近之降雨事件進行比較。所應用於水文模擬的颱風事件為 2007 年的柯羅莎颱風及 2009 年的莫拉克颱風，梅雨事件為 2006 年梅雨及 2007 年梅雨，其中以降雨較大的莫拉克颱風與梅雨(2006)及降雨較小的柯羅莎颱風與梅雨(2007)分別做比較。圖 3.1(a)為莫拉克颱風之平均降雨組體圖與總降雨量比較圖，圖中綠色實線為累積降雨量、藍色虛線為總降雨量 40% 和 80% 位置，可觀察出莫拉克降雨集中其總降雨量累積時間較快為 9 小時，而圖 3.1(b)為梅雨(2006)平均降雨組體圖與總降雨量比較圖，從圖中可觀察出梅雨(2006) 降雨分散其總降雨量累積時間較慢為 20 小時，並且兩場降雨事件之總降雨量接近。圖 3.1(c)為柯羅莎颱風之平均降雨組體圖與總降雨量比較圖，圖中可以觀察出柯羅莎降雨集中其總降雨量累積時間較快為 7 小時，而圖 3.1(d)為梅雨(2007)之平均降雨組體圖與總降雨量比較圖，從圖中可觀察出梅雨(2006)降雨分散其總降雨量累積時間較慢為 22 小時，兩場事件之總降雨量接近，由分析結果可以得知颱風雨型為降雨集中其總降雨量累積時間短，而梅雨雨型則降雨分散其總降雨量累積時間長。

3-2 延時分析

雨型為表示區域內降雨量在某一時段上的分佈情形，前面所提到利用平均降雨和總降雨量比較得知颱風降雨集中雨量累積較快，而梅雨降雨分散雨量累積較慢，此方法屬於直觀的做法。但會受到雨量站的位置不同和地形因素影響，可能造成判斷上的誤差，因此引用 Huff (1967) 所提出之無因次法推求此集水區颱風及梅雨事件之雨型，進一步對這兩種不同降雨型態事件之雨型進行分析，並且配合統計公式判斷降雨型態的差異。該無因次法其作法為利用雨量站之時雨量資料求出各場降雨事件的總降雨量，接著計算各場降雨事件其每一小時降雨量占總降雨量之百分比率，即可求得各場降雨事件之百分比雨型，再將求得的百分比雨型其每一小時百分比進行累加，即為各場降雨事件之累加百分比雨型，並將各場降雨事件所求得相同時序之累積百分比雨型進行相加，再予以平均後進行累減，最後可求得無因次百分比雨型(圖 3.2)，之後利用各事件所求得之無因次百分比雨型配合統計方法分析降雨特性。以下為所使用統計方法，

平均數(average)為所有降雨觀測資料的平均值，其方法為：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.1)$$

其式子中， \bar{x} 為平均無因次降雨百分比、 x_i 為降雨事件之無因次降雨百分比、

n 為降雨延時的資料筆數。

標準偏差(standard deviation)，為比較各場降雨事件之降雨百分比與平均降雨百分比之間的離散情況，其方法為：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

其式子中， S 為標準偏差。

偏度(skewness)，為描述一組資料數值以平均值為中心點，兩旁左右分散開來程度的一種測量概念，度量資料分布是否對稱。當偏態係數大於 0 表示資料分配為正偏，表示資料右側尾部較長，分佈的主體集中在左側，反之小於 0 則為負偏，表示資料左側尾部較長，分佈的主體集中在右側，其方法為：

$$skewness = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{nS^3} \quad (3.3)$$

峰度(kurtosis)，為反應資料分佈情況其頂端尖銳或扁平的指標，可用來度量數據在中心聚集程度。當峰度係數大於 0 表示分布聚集程度集中，其頂端較為尖銳，而峰度係數小於 0 則表示資料分布聚集程度分散，其頂端較為扁平，其方法為：

$$kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{nS^4} - 3 \quad (3.4)$$

經由無因次法求得各事件之無因次百分比雨型，使用上述的分析方法得到統計結果(表 3.1)，在標準偏差的結果中，颱風事件的降雨強度變化大，標準偏差值差距大，而梅雨事件的降雨強度變化小，所以標準偏差值差距小，偏態係數的結果都為正偏，颱風事件由於降雨資料分佈為聚集於左側，而右側尾部較長，因此偏態係數值較高，而梅雨事件降雨較分散其資料分佈對稱，偏態係數值較低，最後峰度係數的結果中，在降雨較大和降雨較小的颱風、梅雨事件比較下，颱風由於降雨集中頂端較為尖銳，而梅雨降雨分散頂端較為扁平，因此颱風的峰度係數值明顯高於梅雨的峰度係數值，所以由分析結果得知颱風為短時間集中降雨型態，而梅雨為連續性分散降雨型態。

3-3 模擬颱風與梅雨事件地表逕流量之差異

由上述兩種不同方法進行雨型分析，進而得知颱風為短時間集中降雨型態，而梅雨為連續性分散降雨型態，為了進一步了解颱風與梅雨間降雨特性的差異，因此利用水文模式探討颱風與梅雨之間的可能關係。本研究所使用之水文模式為分散式逕流模式(黃奕璋，2007；李煜欽，2008)，模擬比較事件為降雨較大的 2009 年八月的莫拉克颱風及 2006 年六月的梅雨事件和降雨較小的 2007 年十月的柯羅莎颱風及 2007 年六月的梅雨事件。

圖 4.1 為降雨較大事件之水文模式模擬結果，可以觀察出模擬莫拉克颱風事件時，模擬值與觀測值較為接近，峰值的部分也有不錯的結果，而在模擬梅雨(2006)事件時，則模擬值明顯低於觀測值，進水、退水及峰值都有很大的差距。而圖 4.4 為降雨較小事件之水文模式模擬結果，可以觀察出模擬柯羅莎颱風事件時，模擬值與觀測值有明顯的差距，峰值的部分雖有反應卻無法達到觀測值高度，而模擬梅雨(2007)事件時，模擬值與觀測值也有相同峰值反應，但峰值部分無法達到接近觀測值，因此探討其可能造成之原因。而可能造成的原因為本模式是模擬有效降雨所造成之直接逕流量，忽略了地下水補助的部分，在颱風事件中模擬降雨形成之逕流量時，模擬結果會與觀測結果較為相近，但在梅雨事件中為長時間連續降雨型態，因此模擬其中單一事件時，可能包含了其他降雨事件之影響，造成河川之水位較高，認為此現象為河川基流量的部分造成，所以需要分析基流對模擬不同型態降雨事件的影響，之後將說明所使用之基流分離濾波法及其各項輸入參數物理意義。

3-4 基流分離法

水文學的理論上，經由流量資料對時間所繪製的水文歷線，通常可以代表為直接逕流(direct runoff)與基流(base flow)兩部分的總合。其中直接逕流大部分是由超滲降雨(rainfall excess)所形成，而基流為乾旱時期地下水外

滲進入河川之流量(地下水逕流)，這部分逕流的主要來源為經過降雨入滲到地下水層，形成地下水之蓄水量。當河川水位低於地下水水位時，地下水會補注至河川中，因此推估洪水需將基流量分離出來以利計算，基流分離的方法有很多種，如：圖形法、濾波法、分析法、地化法等，除了最後一種需要化學數據之外，其他三種方法可以直接使用水文資料推求得基流量。由於本研究所使用之水文模式皆以物理基礎概念，模擬地表上各種水循環過程以估計河川逕流量，因此採用楊宗翰(2003)所引用一種相同具有物理基礎概念，不需要率定任何參數的基流分離法，此法為 Furey 和 Gupta (2001)所提出，該方法所考慮的物理過程包括降雨、入滲、蒸發散及截留損失和基流等水文現象，其物理假設如下：

1. 河川流量為直接逕流和基流兩部份組成。
2. 直接逕流是由有效降雨形成。
3. 直接逕流與降雨率呈線性關係。
4. 地下水補注量與降雨率呈線性關係。
5. 表面逕流分率、窪蓄、截留及蒸發散分率和地下水分率之權重合為 1。

藉由上述幾種假設，進而推導出以物理為基礎之基流分離法，其公式為：

$$Q_j = (1-\gamma) \cdot Q_{j-1} + \gamma \cdot \left(\frac{c_3}{c_1} \right) (Y_{j-d-1} - Q_{j-d-1}) \quad (3.5)$$

其式子中， Q_j 為 j 時段的基流量、 $(1-\gamma)$ 為退水係數、 c_1 為表面逕流分率、 c_3 為地下水分率、 Y_j 為 j 時段的逕流量、 d 為地下水補注延遲時間，其數學推導過程如下：

假設現在時段的基流量為前一時段的基流量加上地下水補注量：

$$Q_j = (1-\gamma) \cdot Q_{j-1} + \gamma \cdot \mu_{j-1} \quad (3.6)$$

其式子中， $(1-\gamma)$ 為退水係數。

假設表面逕流量與地下水補注量都和降雨率呈線性關係：

$$O_j = c_1 P_j \quad (3.7)$$

$$\mu_{j+d} = c_3 P_j \quad (3.8)$$

其式子中， O 為表面逕流量、 P 為降雨率、 μ 為地下水補注量。

將(3.7)、(3.8) 式代入(3.6)式：

$$Q_j = (1-\gamma) \cdot Q_{j-1} + \gamma \cdot \left(\frac{c_3}{c_1} \right) O_{j-d-1} \quad (3.9)$$

而表面逕流量等於逕流量與基流量之差：

$$Q_j = (1-\gamma) \cdot Q_{j-1} + \gamma \cdot \left(\frac{c_3}{c_1} \right) (Y_{j-d-1} - Q_{j-d-1}) \quad (3.10)$$

經由(3.6)、(3.7)、(3.8) 整理可得下式：

$$Y_j = (1-\gamma) \cdot Y_{j-1} + c_1 P_j - (1-\gamma) c_1 P_{j-1} + \gamma \cdot c_3 P_{j-d-1} \quad (3.11)$$

利用(3.11)式，並且對降雨率作合理假設可以求得各項參數。

求退水係數 $(1-\gamma)$ ，假設 $P_j = P_{j-1} = P_{j-d-1} = 0$ （假設連續幾天未降雨），則：

$$(1-\gamma) = \frac{Y_j}{Y_{j-1}} \quad (3.12)$$

求表面逕流分率 c_1 ，假設 $P_j > 0$ ， $P_{j-1} = P_{j-d-1} = 0$ （假設當天有雨，前兩天沒有雨），則：

$$c_1 = \frac{Y_j - (1-\gamma)Y_{j-1}}{P_j} \quad (3.13)$$

求窪蓄、截留和蒸發散分率 c_2 ，當 T 很大時， $\sum_{j=j_0}^{j_0+T} P_{j-d-1} \approx \sum_{j=j_0}^{j_0+T} P_{j-1} \approx \sum_{j=j_0}^{j_0+T} P_j$ ， $\sum_{j=j_0}^{j_0+T} Y_{j-1} \approx \sum_{j=j_0}^{j_0+T} Y_j$ （假設取較長一段時間，降雨率和逕流量變化很小），

則：

$$c_2 = 1 - \frac{\sum_{j=j_0}^{j_0+T} Y_j}{\sum_{j=j_0}^{j_0+T} P_j} \quad (3.14)$$

而在求地下水分率 c_3 時，作者認為由原式求解較為繁瑣，因此利用前面第五項之假設， $c_1 + c_2 + c_3 = 1$ ，其中 c_1 為表面逕流分率、 c_2 為窪蓄、截留和蒸發散分率、 c_3 為地下水分率，三項權重和為 1，間接可以求得 c_3 ：

$$c_3 = 1 - c_1 - c_2 \quad (3.15)$$

此方法所定義的四項物理參數，其中三項參數值分別為 c_1 、 c_2 、 $(1-\gamma)$ 可以使用降雨和逕流數據估算求得，而 c_3 則為假設間接求得。以下歸納出該濾波法之優點：

1. 所定義的四項參數都有明確的物理意義，其中三個參數可以使用降雨和逕流數據估算。
2. 具有物理基礎概念，無需任何校準和率定參數。
3. 該方法可以直接使用現有的水文資料，快速分離出基流量。

3-5 基流分離參數

本節將說明基流分離法中的各項參數值的製作方法及參數定義，製作過程中需要集水區之降雨及流量資料，可配合求得「退水係數」、「表面逕流分率」、「窪蓄、截留和蒸發散分率」等三項參數值，而「地下水分率」則需利用「表面逕流分率」、「窪蓄、截留和蒸發散分率」所求之參數值換算求得。其中總雨量的計算為對研究區域網格化，由各雨量站相同時間之時雨量，使用距離反比權重法求得各別網格之相應雨量，並乘上網格面積後對所有網格之總雨量進行累加求得，以下為詳細製作過程介紹。

3-5-1 退水係數

退水係數(recession coefficient)，為估計一河川在無任何降雨影響下之

河川流量衰退係數，因此為了求得在降雨過後的自然退水情況，本研究使用 Furey 和 Gupta (2001) 的假設，記錄降雨事件過後的兩日內，集水區內雨量站無測得任何降雨情況，並且記錄降雨結束後二十四小時之河川逕流數據，之後利用流量站所觀測之河川逕流數據，計算前一時段與後一時段的逕流量變化進而估計退水係數。圖 3.5 為各流量站退水係數隨時間變化之關係圖，由圖中可以看出當降雨事件結束後，一開始河川的退水係數變化很大可能由許多因素造成，無法估計出較合理之退水係數值，因此由多筆事件結果找出其隨時間變化之趨勢，發現於較長時間後退水係數變化趨於平緩，並認為於十個小時後河川受到其他因素影響較小其退水變化較為合理，因此選擇對十個小時後之所有退水係數取平均值，之後推估各站基流量為使用各站十小時後之退水係數平均值做計算。

3-5-2 表面逕流分率

表面逕流分率(overland flow coefficients)，為估計河川在降雨事件中地表漫地流注入至河川流量中的逕流分率，需要求得一場降雨事件開始後的自然遞增情況，因此需利用多筆事件配合其降雨量及河川流量變化進行評估，其做法為記錄降雨事件前的兩日內，集水區內雨量站無測得任何降雨情況，並且記錄降雨開始後十二小時之河川逕流數據，之後利用流量站所觀測之河川逕流數據和推估求得的退水係數，計算前一時段與後一時段的

逕流量變化進而估計表面逕流分率。圖 3.6 為各流量站表面逕流分率隨時間變化之關係圖，不同的顏色為不同降雨事件，由圖中可以看出當降雨事件開始時河川的表面逕流分率變化很大，可能是由於土壤處於未飽和狀態，土壤入滲的影響較大為主要原因，無法估計出較合理之表面逕流分率值，因此由多筆事件結果找出其隨時間變化之趨勢，發現於較長時間後表面逕流分率變化趨於平緩，可能土壤趨近於飽和狀態入滲影響較小，並認為於八個小時後河川受到土壤入滲的影響較小其表面逕流分率變化較為合理，因此選擇對八個小時後之所有表面逕流分率取平均值，之後推估各站基流量為使用各站八小時後之表面逕流分率平均值做計算。

3-5-3 窪蓄、截留和蒸發散損失分率

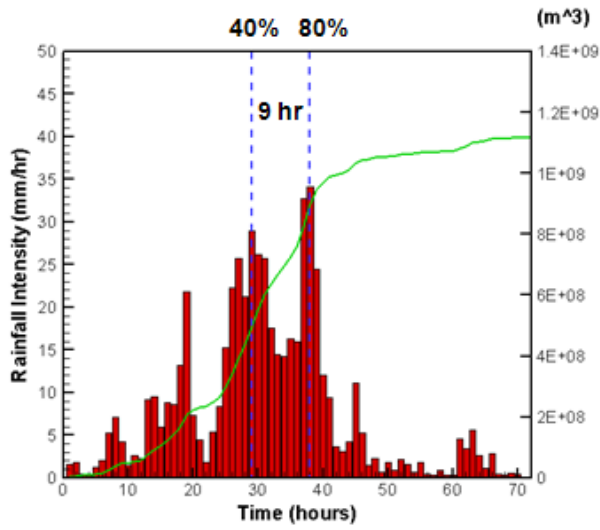
窪蓄、截留和蒸發散損失分率，為估計整場降雨事件因地表窪蓄、樹木截留及蒸發散等水文現象造成之損失分率，需要求得降雨事件內長時間的損失情況，因此需利用多筆事件配合其降雨量及河川流量變化進行長時間之評估，其做法為記錄整場降雨事件內各小時之降雨量及河川流量，配合使用距離反比權重法計算該集水區各網格位置之降雨強度，並乘上網格面積後相加可推求每小時之總降雨量，資料為 2006 年至 2010 年中五場六月梅雨降雨事件及三場颱風降雨事件，記錄所有降雨時間內的總降雨量及總流量，引用 Furey 和 Gupta (2001) 的假設，假設當無任何損失時之權重

和為 1，計算總流量與總降雨量之比值估計剩餘之權重，再用所有權重和減掉剩餘之權重，便可得到窪蓄、截留和蒸發散損失分率，表 3.2 為五場六月梅雨降雨事件所估計出的損失分率，表 3.3 則為資料中的五場梅雨事件和三場颱風事件所估計出的損失分率，並認為多場事件的結果較為準確，因此之後所使用的參數值為八場降雨事件所估計的結果。

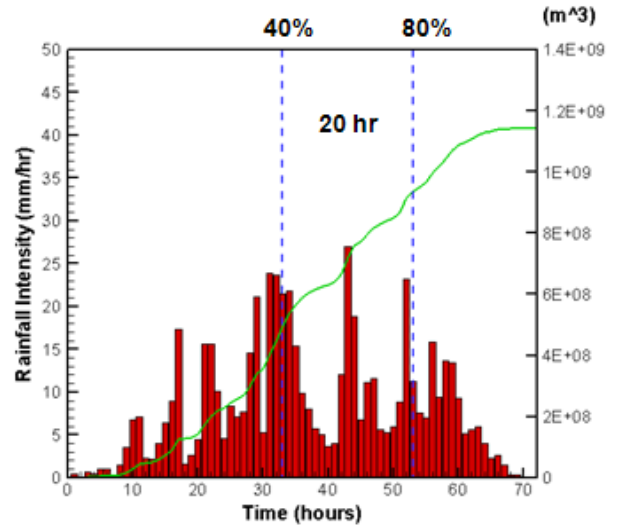
3-5-4 地下水分率

地下水分率(groundwater recharge coefficients)，由於地下水與地面水皆會往水頭低處流動，當地下含水層與河川相關連時，兩者之間水流會互相流通。換言之，即當河川水位低於地下水水位時，地下含水層水流會流入河川；當河川水位較高時，河水會滲入地下含水層，為了估計地下水補注至河川中的地下水分率，其做法因作者提出原方程式太繁瑣難以求解，經由作者所假設的表面逕流分率、窪蓄、截留和蒸發散損失分率、地下水分率三項參數權重和為 1，可藉由所求得之表面逕流分率和窪蓄、截留和蒸發散損失分率間接求得地下水分率，表 3.3 為地下水分率參數。

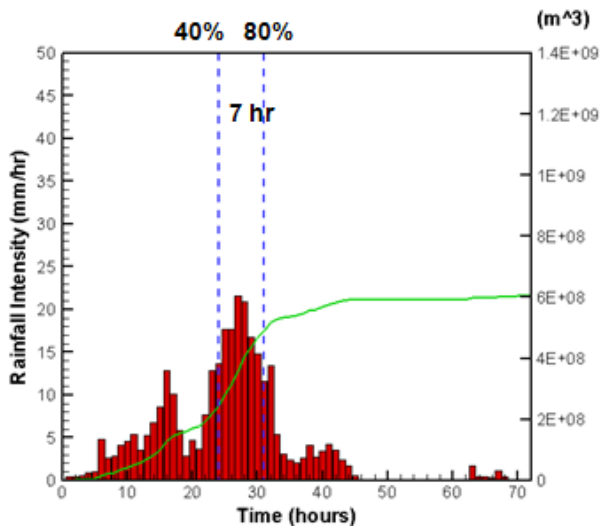
(a)



(b)



(c)



(d)

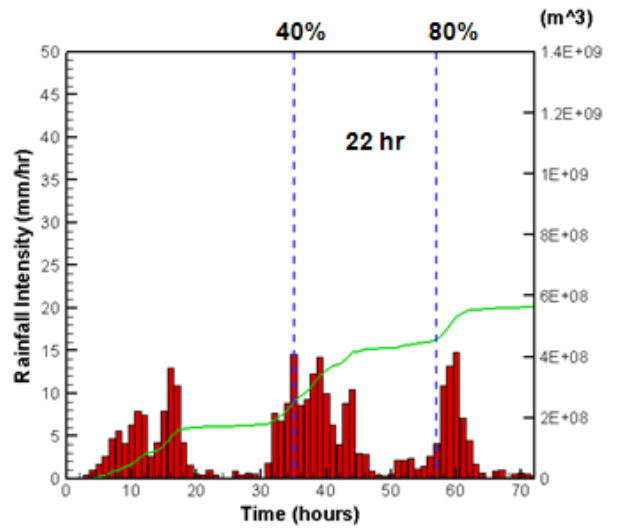
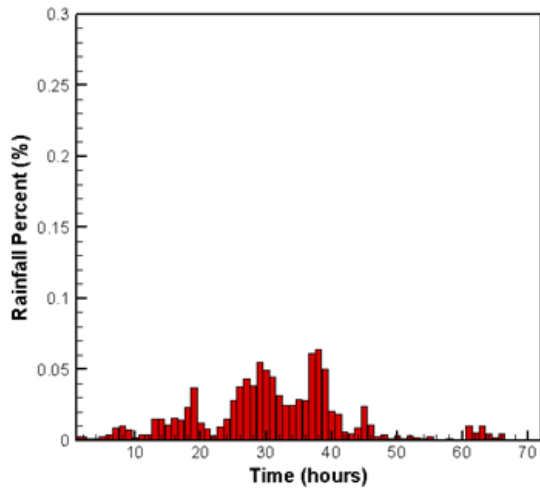
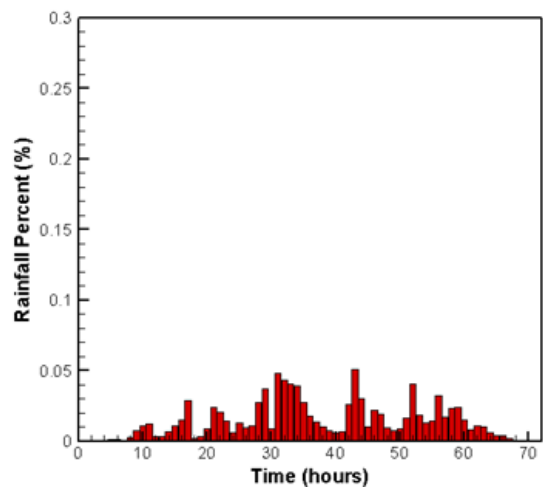


圖 3.1 各降雨事件平均降雨組體圖與總降雨量比較圖，(a)莫拉克颱風、(b)梅雨(2006)、(c)柯羅莎颱風、(d)梅雨(2007)。

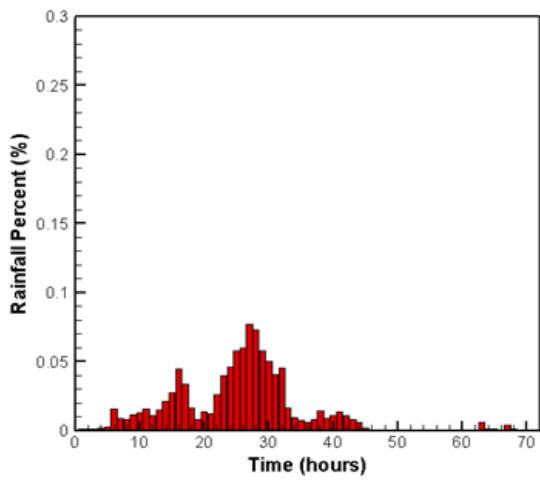
(a)



(b)



(c)



(d)

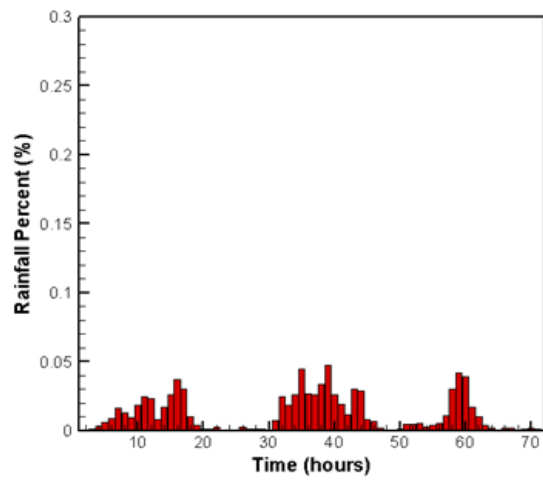
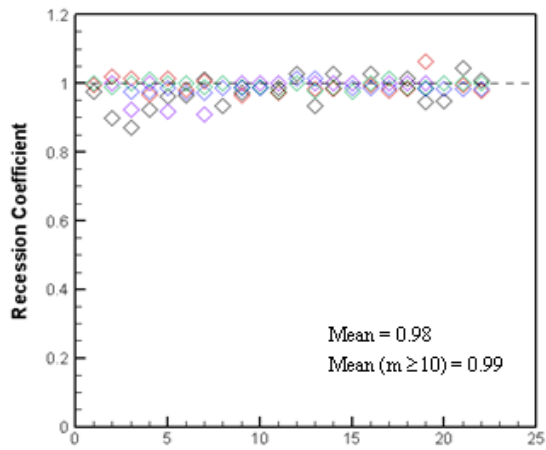
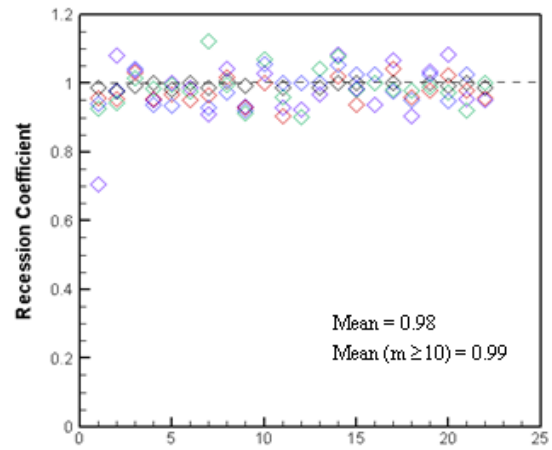


圖 3.2 各事件之無因次降雨百分比雨型，(a)莫拉克颱風、(b)梅雨(2006)、
(c)柯羅莎颱風、(d)梅雨(2007)

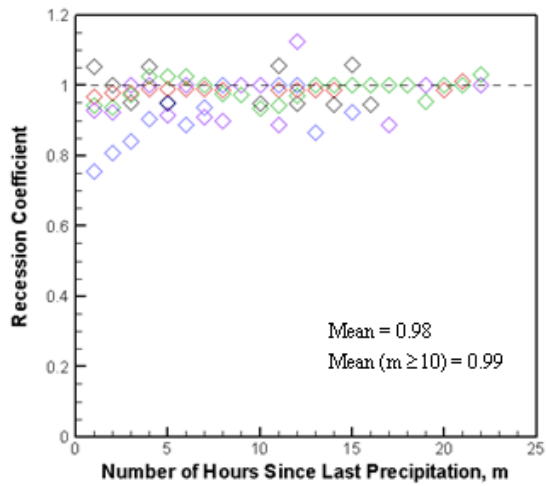
(a)



(b)



(c)



(d)

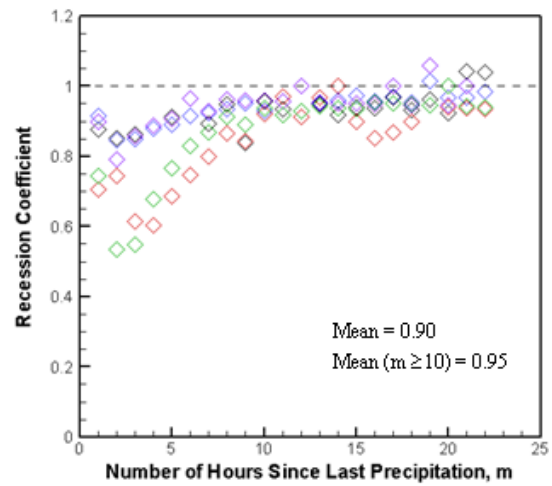


圖 3.3 各流量站之退水係數，(a)烏溪橋流量站、(b)南北通橋流量站、(c)觀音橋流量站、(d)南崗大橋流量站

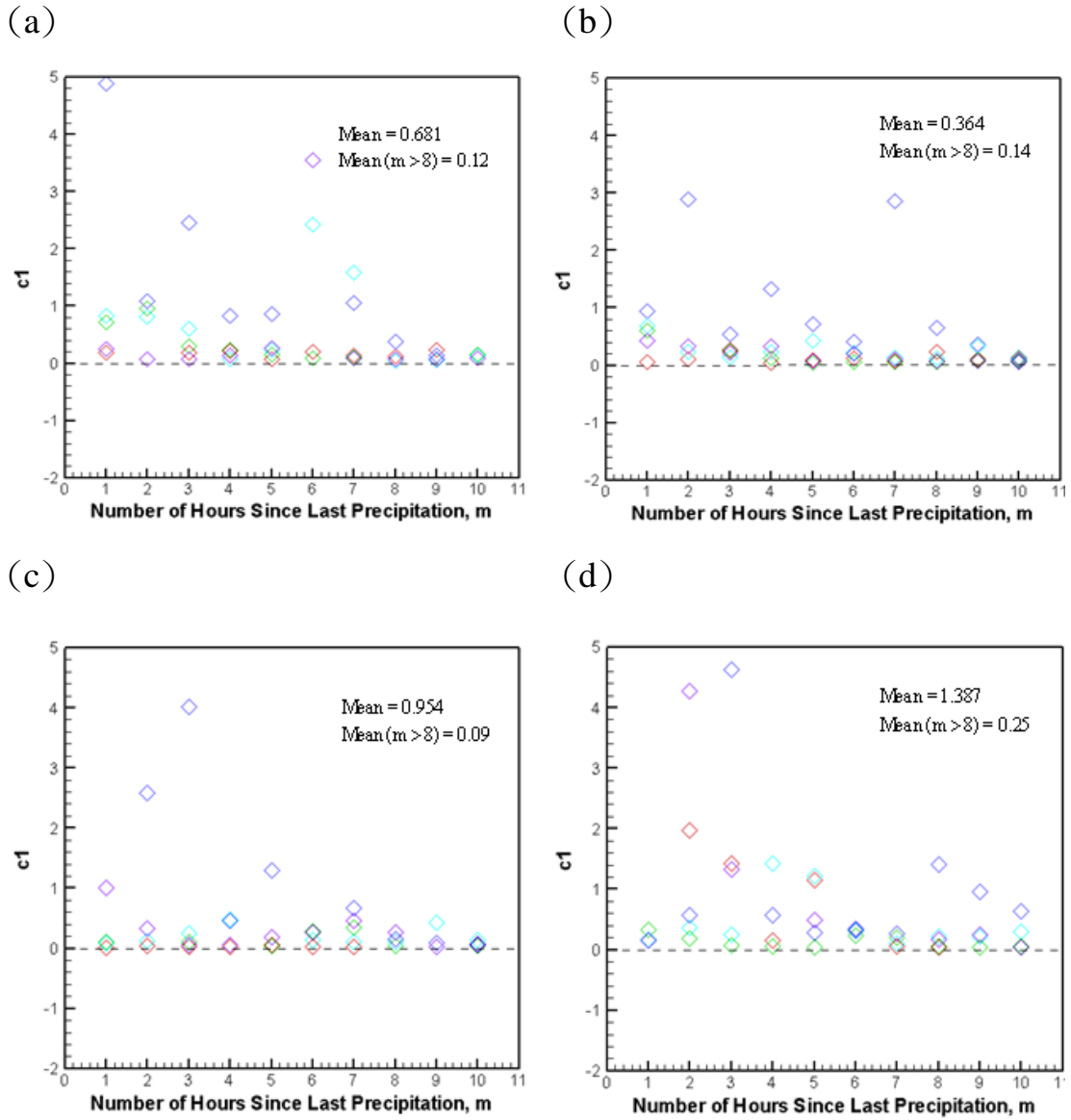


圖 3.4 各流量站之表面逕流分率，(a)烏溪橋流量站、(b)南北通橋流量站、
(c)觀音橋流量站、(d)南崗大橋流量站

表 3.1 不同降雨事件統計方法分析結果表

	標準偏差	偏態係數	峰度係數
莫拉克	0.016	0.003	1.04
梅雨(2006)	0.013	0.0016	0.49
柯羅莎	0.019	0.0044	1.87
梅雨(2007)	0.013	0.0015	-0.07

表 3.2 基流分離各項參數值(損失分率以五場降雨事件估計)

5	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
c_1	0.12	0.14	0.09	0.25
c_2	0.77	0.79	0.81	0.47
c_3	0.11	0.07	0.10	0.28
γ	0.99	0.99	0.99	0.95
c_3/c_1	0.92	0.5	1.11	1.12

表 3.3 基流分離各項參數值(損失分率以八場降雨事件估計)

8	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
c_1	0.12	0.14	0.09	0.25
c_2	0.76	0.79	0.81	0.49
c_3	0.12	0.07	0.10	0.26
γ	0.99	0.99	0.99	0.95
c_3/c_1	1	0.5	1.11	1.04

第四章 模式驗證與結果分析

為了確認基流對於不同型態極端降雨事件之影響，包括加入基流對不同類型極端降雨事件所造成集水區的地表逕流、洪峰流量估算，將對模式加入基流前後進行檢定及分析模擬結果，目的為檢定模式模擬與觀測之間的準確性與找出模式模擬之最佳化參數，並以相對應颱風與梅雨事件之結果進行分析，探討基流對不同型態降雨事件之影響。

4-1 驗證方法

這裡選擇了五種驗證方法進行比較，分別為皮爾森相關係數，用來描述模擬數值與觀測數值之間的線性關係強度；Nash-Sutcliffe 效率係數，將數值比較範圍擴大到負無限大，加大數值區段增加鑑別力，判斷模擬結果優劣；一致性指數，用來比較觀測數值與模擬數值之間產生的誤差值與最大可能誤差之差距；均方根誤差，用來計算觀測數值與模擬數值之間的誤差；累積流量，計算加入基流前後模擬數值之累積流量和觀測數值之累積流量差距，利用這五種驗證方法評估基流對水文模式模擬的影響性。

皮爾森相關係數(Pearson moment correlation coefficient, PMC)是用來描述兩個連續變量之間線性關係的強弱，兩個變量線性相關增強時，相關係數趨近於 1 或-1，當其中一個變量增加而對應的另一個變量也增加時，相關

係數則大於 0，稱為「正相關」，當其中一個變量增加而另一個變量減少時，相關係數則小於 0，稱為「負相關」，當相關係數等於 0 時，稱為「無相關」，藉此檢定其線性相關是否存在，其方程式為：

$$PMC = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \quad (4.1)$$

其式子中， O_i 代表模擬之數值、 P_i 代表觀測之數值、 \bar{O} 代表模擬之平均值、 \bar{P} 代表觀測之平均值、 N 代表總資料筆數，檢定範圍為 -1 到 1，當模擬結果與觀測結果越接近 1 時，則線性關係越強也越好為正相關，反之接近 -1 為負相關，接近 0 則為無相關。

Nash-Sutcliffe 效率係數(Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency, NSI)是將數值量化使模擬數值與觀測數值的比較範圍擴大到負無限大，加大數值區段以增加其鑑別力，判斷其模擬結果優劣之相關係數，其方程式為：

$$NSI = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (4.2)$$

其式子中， O_i 代表模擬之數值、 P_i 代表觀測之數值、 \bar{O} 代表模擬之平均值、 \bar{P} 代表觀測之平均值、 N 代表總資料筆數，檢定範圍為 1 至 $-\infty$ ，越接近 1 則代表模擬結果越好，越接近 $-\infty$ 則代表模擬結果越差。

一致性指數(Index of Agreement, IOA)是以了解觀測數值與模擬數值

兩者間的一致性程度，可用來比較觀測數值與模擬數值之間產生的誤差值與最大可能誤差之差距，其方程式為：

$$IOA = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4.3)$$

其式子中， O_i 代表模擬之數值、 P_i 代表觀測之數值、 \bar{O} 代表模擬之平均值、 N 代表總資料筆數，檢定範圍為 0 至 1，越接近 1 則代表誤差越小，模擬數值結果越好，越接近 0 則代表誤差越大，模擬數值結果越差，通常數值超過 0.5 即為好的結果。

均方根誤差 (root mean square error, RMSE) 是用來計算觀測數值與模擬數值之間的誤差，該方法是使用正規化 (normalize) 的公式，其方程式為：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{(O_i - P_i)}{O_i} \right]^2}{N - 1}} \quad (4.4)$$

其式子中， O_i 代表模擬之數值、 P_i 代表觀測之數值、 N 代表總資料筆數，當模擬數值與觀測數值之結果越接近 0 時，則誤差越小，反之則誤差越大。

累積流量計算的部分，是利用流量站觀測之流量和模式模擬之流量對時間進行累加，其目的為探討模擬之累積流量與觀測之累積流量間的差距，並且比較加入基流前後之累積流量與觀測流量之累積流量的差異，圖中黑色點實線為觀測流量之累積流量、藍色實線為模擬流量 (未加入基流) 之累

積流量，綠色實線為模擬流量(加入基流)之累積流量。

4-2 不同型態降雨事件之模擬與結果分析

為了解不同型態極端降雨事件對水文過程模擬之影響，本節將探討加入基流分離方法對模擬結果之影響，模擬兩場颱風事件及兩場梅雨事件作為檢定依據，模擬事件分別為累積雨量較大的莫拉克颱風及梅雨(2006)事件和累積雨量較小的柯羅莎颱風及梅雨(2007)事件，分別比較模式無加入基流分離及有加入基流分離兩種情況之模擬結果。在模擬過程中，其他輸入參數資料相同，包含模擬降雨延時時間、集水區網格尺度、入滲參數、截留參數等，基流的地下水延遲時間經測試對模擬影響較小，Furey 和 Gupta (2001)也曾經為此方法做過延遲 $d=0\sim 4$ 天的敏感度分析，發現延遲時間對濾波法影響不大，為符合模式在此以 $d=0$ 天推估基流增加量，並且以烏溪橋流量站、南北通橋流量站、觀音橋流量站、南崗大橋流量站等，四個流量站的實際觀測數據和模式模擬數據，分別繪出流量歷線圖並配合驗證方法進行比較與分析，另外在莫拉克颱風與梅雨(2006)事件中，由於南北通橋流量站無相關流量或水位資料，因此未做討論。

莫拉克颱風模擬時間為 2009 年 8 月 8 日 0 時至 8 月 10 日 24 時，模擬降雨延時為 72 小時，梅雨(2006)模擬時間為 2006 年 6 月 8 日 0 時至 6 月 10 日 24 時，模擬降雨延時為 72 小時，柯羅莎颱風模擬時間為 2007 年 10

月 6 日 0 時至 10 月 8 日 24 時，模擬降雨延時為 72 小時，梅雨(2007)模擬時間為 2007 年 6 月 7 日 0 時至 6 月 9 日 24 時，模擬降雨延時為 72 小時，流量比較圖中橫軸為模擬之降雨延時時間，黑色實線為觀測流量，黑色實線上的圓點為時序資料之時間點，藍色實線為模擬流量，紫色實線為加入基流之模擬流量，綠色虛線為基流量。

莫拉克颱風事件之模擬結果，從表 4.1 可以發現三個流量站的 PMC 值都達到 0.8 以上，皆有不錯的線性關係，其中烏溪橋的皮爾森相關係數值為 0.897，為三個流量站中之最佳結果。而在 NSI 值的表現上，二個流量站都有大於 0 以上的情況，但是以南崗大橋的結果最差為-3.802。模式在 IOA 值的結果都有超過 0.5 以上，因此模擬結果都有不錯的表現，其中也以烏溪橋的結果最佳為 0.920，然而在 RMSE 值的驗證結果中，三個流量站都大於 0.5 以上，顯示模擬與觀測之間的誤差較大。並從圖 4.1(a)(c)(e)中觀察發現，各流量站模擬與觀測之洪峰時間相當接近(表 4.5)，其中觀音橋模擬與觀測洪峰時間相同，烏溪橋和南崗大橋則差距為 2 小時內，說明模式在模擬推估洪峰時間的結果是不錯的，而模式在推算烏溪橋模擬與觀測之洪峰流量時相當接近，然而在觀音橋模擬結果則明顯有高估的情況，大約高估了 322 cms，並且在南崗大橋模擬結果則有低估的情況，大約低估了 926 cms。由表 4.2 可以發現模式加入基流後，烏溪橋和觀音橋的 PMC 值有所增加，模擬驗證的結果更好，但在南崗大橋則有降低 0.029 的情況，而在 NSI 值則

以烏溪橋和南崗大橋的結果變好，南崗大橋增加了 4.089，觀音橋則降低了 0.017 對結果影響不大。模式 IOA 值在烏溪橋和南崗大橋的值同樣有所增加，南崗大橋增加了 0.216，觀音橋則下降了 0.013，然而 RMSE 值在烏溪橋和觀音橋的結果都有接近到 0.5 的表現，顯示模擬與觀測之間的誤差變小，但是在南崗大橋則結果變差，誤差增加到 1.300。並從圖 4.2 (a)(c)(e) 中觀察發現，烏溪橋模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量更為接近(表 4.6)，差距縮小到 4 cms，觀音橋模擬的高估情況則增加了 82 cms，南崗大橋模擬低估的情況則減少了 408 cms。在圖 4.3(a)(c)(e) 累積流量的結果，烏溪橋和南崗大橋兩個流量站顯示加入基流的模擬值其累積流量則很接近觀測值的累積流量，而未加入基流的模擬值其累積流量則和觀測值的累積流量差距很大，但是在烏溪橋和觀音橋的累積流量結果，有超過觀測值累積流量的情況，估計是烏溪橋和觀音橋所模擬之洪峰流量期間有高估的情況。由上述結果觀察得知，加入基流會對模式模擬有所影響，除了洪峰流量有比較接近的情況外，其退水的部分有稍微改善，並且在南崗大橋模擬之洪峰流量有所改善，模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量有比較接近

。

梅雨(2006)事件之模擬結果，從表 4.3 可以發現三個流量站的 PMC 值都有 0.6 以上，其中南崗大橋的皮爾森相關係數值為 0.906，為三個流量站中之最佳結果，而在 NSI 值的表現上，三個流量站的結果皆小於 0，顯示模

擬結果不好，其中南崗大橋的模擬結果最差為-42.567。模式在 IOA 值在烏溪橋和觀音橋皆大於 0.6，南崗大橋較差為 0.345，其中也以觀音橋的結果最佳為 0.678，然而在 RMSE 值的驗證結果中，三個流量站的結果皆大於 0.5，顯示模擬數值與觀測數值之間的誤差較大。並從圖 4.1(b)(d)(f)中觀察發現，各流量站模擬與觀測之洪峰時間相當接近(表 4.5)，烏溪橋和南崗大橋之模擬與觀測洪峰時間相同，觀音橋則差距為 1 小時，說明模式在模擬推估洪峰時間的結果是不錯的，而模式在推算烏溪橋模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量則有一定的落差，在觀音橋的模擬結果相當接近，而南崗大橋模擬結果則有明顯低估的情況，大約低估了 1972 cms，差距非常大。由表 4.4 可以發現加入基流後，在烏溪橋和觀音橋的 PMC 值稍為有所改善，但是南崗大橋則驗證結果變差，而在 NSI 值的結果顯示，其驗證結果均有大幅改善，其中南崗大橋更從-42.567 提升到-2.135，因此模擬結果有較佳的情況。模式在 IOA 值的驗證結果也顯示，三個流量站均提升 0.1 至 0.3 左右，模擬與觀測之間的誤差和最大可能誤差之間的差距變小，並且在 RMSE 值在烏溪橋和觀音橋的驗證結果，皆小於 0.5 以下，顯示模擬與觀測之間的誤差變小。並從圖 4.2(b)(d)(f)中觀察發現，烏溪橋模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量更為接近(表 4.6)，減少至差距為 45 cms，觀音橋模擬結果高估的情況則增加了 95 cms，南崗大橋模擬結果低估的情況則減少了 393 cms，但南崗大橋的洪峰時間差距增加 1 小時。在圖 4.3(b)(d)(f)累積流量

的結果中發現，在三個流量站中，加入基流的模擬值其累積流量則較接近觀測值的累積流量，而未加入基流的模擬值其累積流量則和觀測值的累積流量之差距很大，由上述結果觀察得知，加入基流會對模式模擬有所改善，除了洪峰流量有比較接近的情況外，其退水模擬的部分有更接近觀測值，並且在南崗大橋模擬之洪峰流量差距減少，模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量有比較接近。

柯羅莎颱風事件之模擬結果，從表 4.7 可以發現四個流量站的 PMC 值中，除了南北通橋以外都達到 0.7 以上，皆有不錯的線性關係，其中南崗大橋的皮爾森相關係數值為 0.852，為四個流量站中之最佳結果。而在 NSI 值的表現上，烏溪橋和南北通橋都有小於 0 的情況，其中以南北通橋的結果最差為-33.9。而模式在 IOA 值的結果除了南北通橋外，都有超過 0.5 以上的情形，模擬結果都有不錯的表現，其中也以南崗大橋的結果最佳為 0.902，然而在 RMSE 值的驗證結果中，四個流量站都大於 0.5 以上，甚至觀音橋和南崗大橋都大於 1，顯示模擬與觀測之間的誤差較大。並從圖 4.4 (a)(c)(e)中觀察發現，各流量站模擬與觀測之洪峰時間相當接近(表 4.11)，南北通橋、觀音橋、南崗大橋模擬與觀測洪峰時間差距為 2 小時內，烏溪橋則和觀測時間相同，說明模式在模擬推估洪峰時間的結果是不錯的。而模式在推算烏溪橋和南北通橋所模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量都有一定的落差，在觀音橋和南崗大橋的模擬結果則有明顯高估的情況，分別為高

估了 302 cms 和 147 cms。由表 4.8 可以發現加入基流後，四個流量站的 PMC 值都稍微有所改善，增加了 0.1 至 0.5 左右，顯示線性關係的結果更好，而在 NSI 值的結果顯示，其驗證結果在烏溪橋、南北通橋均有大幅改善，其中烏溪橋從-4.606 提升到-0.887，南北通橋更從-33.9 提升到-18.521 左右，因此模擬結果有變好的情況，觀音橋和南崗大橋則變得較差。模式在 IOA 值的驗證結果也顯示，烏溪橋和南北通橋都有驗證結果變好的情形，其模擬與觀測之間的誤差和最大可能誤差之間的差距變小，觀音橋和南崗大橋則有稍微下降了 0.02 左右，並且在 RMSE 值在烏溪橋和南北通橋的驗證結果，改善至 0.5 左右，顯示模擬與觀測之間的誤差變小，觀音橋則改善至小於 1 以下，但南崗大橋則誤差變大。從圖 4.5(a)(c)(e) 中觀察發現，烏溪橋模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量更為接近(表 4.12)，減少至差距為 118 cms，南北通橋模擬結果減少至差距為 50 cms，觀音橋模擬結果高估的情況則增加了 17 cms，南崗大橋模擬結果高估的情況則增加了 85 cms，而四個流量站的洪峰時間差距仍在 2 小時內。在圖 4.6(a)(c)(e) 累積流量的結果中發現，在烏溪橋、南北通橋和南崗大橋三個流量站中，加入基流的模擬值其累積流量則較接近觀測值的累積流量，而未加入基流的模擬值其累積流量則和觀測值的累積流量之差距很大，但是在觀音橋模擬的累積流量結果，都有超過觀測值的累積流量情況，估計是觀音橋所模擬之洪峰流量有高估的情況。由上述結果觀察得知，考慮加入基流會對模式模擬有所改善，

除了模擬洪峰流量有比較接近的情況外，其餘時間序列的模擬數值也有比較接近，在退水模擬的部分有更接近觀測值，在模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量有比較接近。

梅雨(2007)事件之模擬結果，從表 4.9 可以發現四個流量站的 PMC 值中，除了觀音橋以外都低於 0.5 以下，線性關係較不強烈，其中觀音橋的皮爾森相關係數值為 0.592，為四個流量站中之最佳結果。而在 NSI 值的表現上，四個流量站都有小於 0 的情形，並且以烏溪橋的結果最差為-9.727 與其他流量站相差較大。模式在 IOA 值的結果除了南崗大橋外，驗證的結果都低於 0.5 以下，其中以南崗大橋的結果最佳為 0.522，然而在 RMSE 值的驗證結果中，四個流量站都大於 0.5 以上，表示模擬數值與觀測數值之間的誤差較大。從圖 4.4(b)(d)(f)中觀察發現，各流量站模擬與觀測之洪峰時間相當接近(表 4.11)，烏溪橋、南北通橋和南崗大橋模擬與觀測洪峰時間差距為 1 小時，觀音橋則和觀測時間相同，說明模式在模擬推估洪峰時間的結果是不錯的。而模式在推算烏溪橋在模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量有較大的差距，而後面的洪峰量則有比較接近，在南北通橋的模擬結果相當接近，然而在觀音橋和南崗大橋的模擬結果中則有高估的情況，分別為高估了 37 cms 和 20 cms。由表 4.10 可以發現加入基流後，在南崗大橋的 PMC 值稍微有所改善，但在南北通橋和觀音橋則驗證結果變差，顯示線性關係下降。在 NSI 值的結果顯示，四個流量站均有大幅改善，其中烏溪橋更從

-9.727 提升到-1.935，南北通橋也從原本的-8.184 提升到-1.569，因此雖然未達到 0.5 以上較好的結果，不過模擬結果有變好的情況。模式在 IOA 值的驗證結果也顯示，四個流量站中除了南崗大橋以外，其他都有驗證結果變好的情形，其模擬與觀測之間的誤差和最大可能誤差之間的差距變小，並且 RMSE 值在烏溪橋和南北通橋的驗證結果，改善至小於 0.5 以下，顯示模擬與觀測之間的誤差變小，觀音橋則改善至 0.65，但南崗大橋則增加為 0.995 使得誤差變大。並從圖 4.5(b)(d)(f) 中觀察發現，烏溪橋模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量更為接近(表 4.12)，減少至差距為 375 cms，而在南北通橋模擬結果減少至差距為 5 cms，觀音橋模擬結果高估的情況則增加了 56 cms，南崗大橋模擬結果減少至差距為 1 cms，而四個流量站的洪峰時間差距仍在 2 小時內。在圖 4.6(b)(d)(f) 累積流量的結果中發現，在烏溪橋和南北通橋二個流量站中，加入基流的模擬值其累積流量則較接近觀測值的累積流量，而未加入基流的模擬值其累積流量則和觀測值的累積流量之差距很大，但是在觀音橋和南崗大橋模擬的累積流量結果，模式加入基流所計算出來的累積流量超過觀測值的累積流量，估計是觀音橋和南崗大橋所模擬之洪峰流量有所高估，加上其他時間序列模擬值增加所造成。由上述結果觀察得知，考慮加入基流會對模式模擬有所改善，除了模擬洪峰流量有比較接近的情況外，其餘時間序列的模擬數值也有比較接近，尤其退水模擬的部分有更接近觀測值的現象，在模擬之洪峰流量與觀測之洪峰流量

上有比較接近。

從四場不同型態降雨事件的模擬結果比較，前兩場降雨較極端的莫拉克颱風與梅雨(2006)事件，未加入基流前各流量站的皮爾森相關係數值皆在 0.6 以上，模擬結果之線性關係良好，Nash-Sutcliffe 效率係數則除了南崗大橋外都有不錯的結果，而一致性指數值除了梅雨事件的南崗大橋稍微較差外，各流量站值皆有 0.5 以上，模擬結果的誤差與最大可能誤差之差距不大，但在均方根誤差的驗證結果中，各流量站皆大於 0.7 以上，模式模擬的結果並不理想，表示在模式模擬時各項參數並未達到最佳化，集水區內還有許多不確定性的因素造成影響。而加入基流後各流量站的皮爾森相關係數值皆在 0.7 以上，模擬結果有所提升且線性關係更為優良，Nash-Sutcliffe 效率係數除了在莫拉克颱風事件的觀音橋有所降低外，其它流量站與梅雨(2006)事件的結果都有所提升，一致性指數值也是在莫拉克颱風事件的觀音橋流量站稍微較差外，各流量站數值皆有 0.6 以上，模擬結果的誤差與最大可能誤差之差距變小，均方根誤差的驗證結果在莫拉克颱風事件中南崗大橋流量站有降低約 0.03，其餘流量站和梅雨(2006)事件的驗證結果都有更好的表現。並從圖 4.3 累積流量比較圖，黑色實線為觀測之累積流量、藍色實線為未加入基流之模擬累積流量、綠色實線為加入基流之模擬累積流量，可觀察出未加入基流之模擬累積流量和觀測之累積流量有相當大的差距，加入基流後之累積流量明顯接近觀測之累積流量，顯示加入基流後能

更接近符合真實情況，而兩場事件之累積流量也可觀察出基流所占的比例對梅雨(2006)事件影響較大，對莫拉克颱風事件影響較小。

兩場降雨較小的柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件，未加入基流前的柯羅莎颱風事件，各流量站除了南北通橋以外皮爾森相關係數值皆在 0.7 以上，梅雨事件則皆在 0.3 以上，Nash-Sutcliffe 效率係數以颱風事件的南崗大橋為最佳結果，其餘則幾乎為負，顯示模式模擬的結果並不理想。而一致性指數於颱風事件中，以南北通橋的結果最差，其他流量站都有不錯的結果，在梅雨事件中也皆大於 0.39 以上，均方根誤差的驗證結果中，各流量站皆大於 0.75 以上，模式模擬的結果並不佳，可能為河川流量中基流的部分所占比例較多影響模式模擬的結果。加入基流後颱風事件各流量站的皮爾森相關係數值皆有所改善，梅雨事件則以南北通橋和觀音橋驗證結果變差，而 Nash-Sutcliffe 效率係數的結果，烏溪橋及南北通橋均有所改善，觀音橋和南崗大橋則有稍微變差的情況，在一致性指數的結果，颱風事件的觀音橋和南崗大橋有變差的情況發生，梅雨事件則以南崗大橋結果最差，可能為模擬值有所高估加上基流的部分導致誤差加大造成，最後均方根誤差的驗證結果，颱風及梅雨事件除了南崗大橋外都有所改善，南崗大橋結果不佳的可能原因為洪峰延時有所誤差導致。並從圖 4.6 累積流量比較圖，可觀察出兩場事件未加入基流的模擬累積流量和觀測的累積流量差距很大，但加入基流後之累積流量均明顯接近觀測之累積流量，顯示加入基流後能更

接近符合真實情況，而兩場事件之累積流量也可觀察出基流對梅雨及颱風事件都有所影響，可能原因為颱風事件前有受到其他降雨事件影響，造成河川水位較高類似分散式降雨型態。

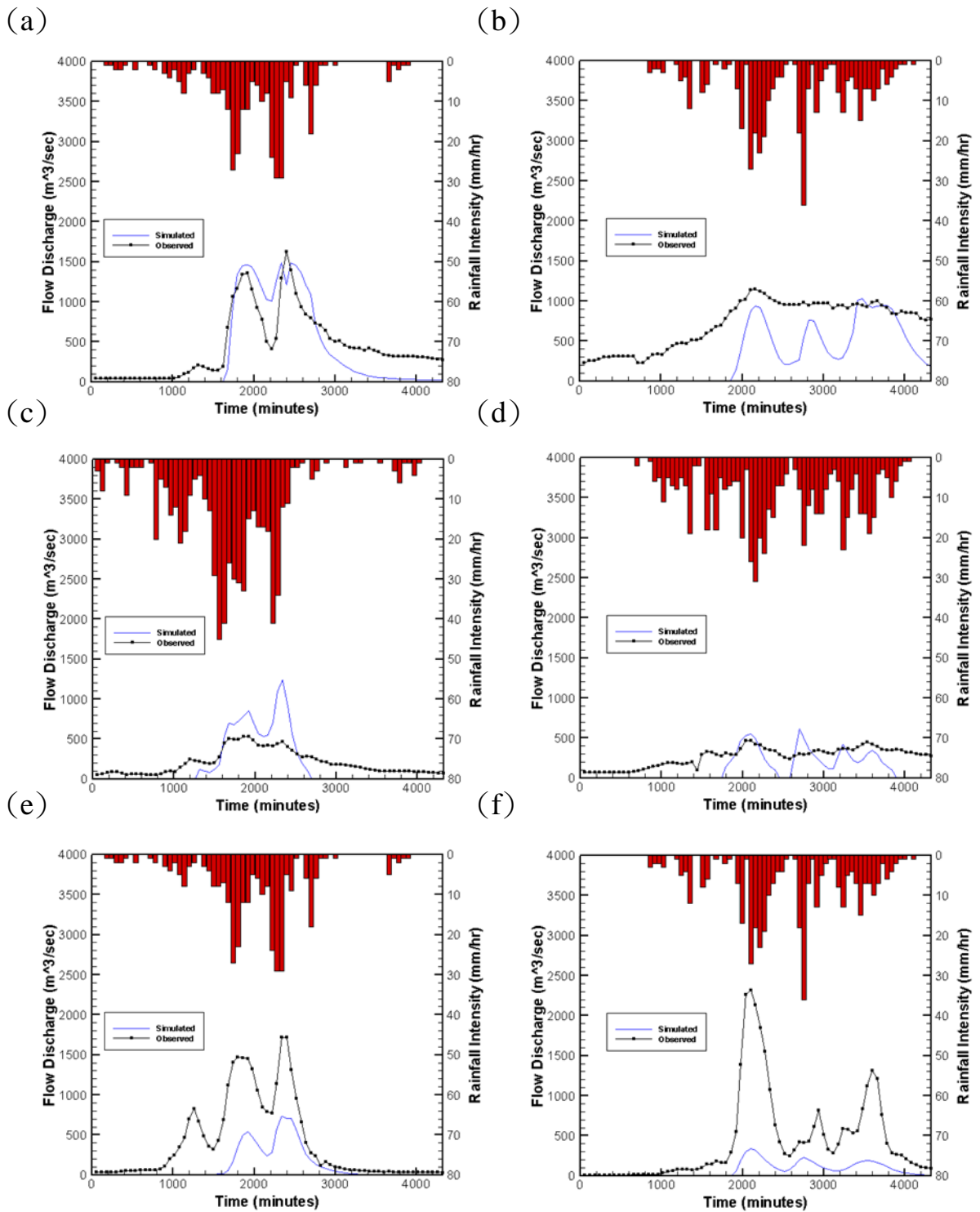


圖 4.1 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件觀測與模擬(未加入基流)流量歷線圖，
 莫拉克颱風於(a)烏溪橋、(c)觀音橋、(e)南崗大橋之流量歷線，以及梅雨
 (2006)於(b)烏溪橋、(d)觀音橋、(f)南崗大橋之流量歷線

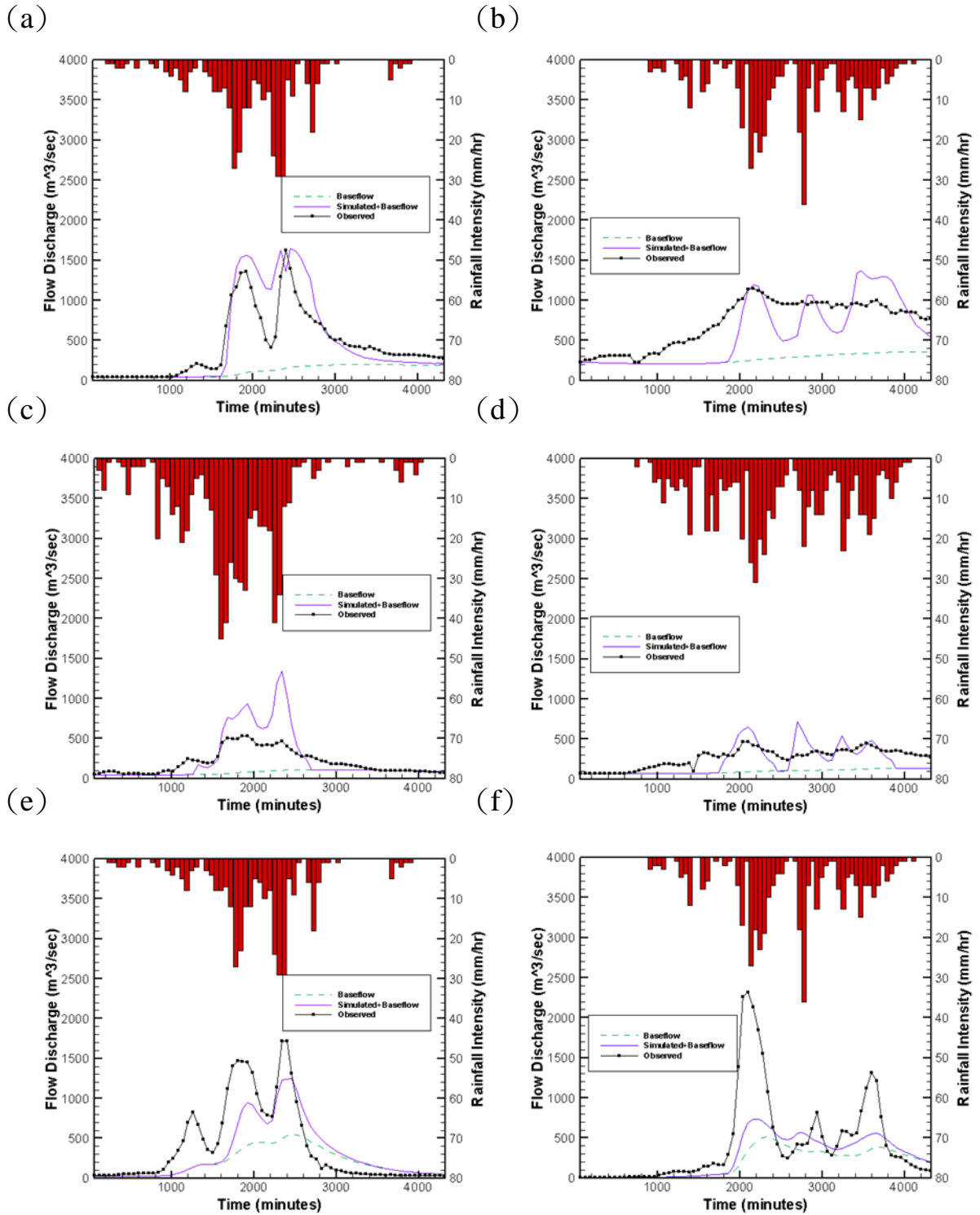


圖 4.2 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件觀測與模擬(加入基流)流量歷線圖，莫拉克颱風於(a)烏溪橋、(c)觀音橋、(e)南崗大橋之流量歷線，以及梅雨(2006)於(b)烏溪橋、(d)觀音橋、(f)南崗大橋之流量歷線

表 4.1 莫拉克颱風各流量站模擬驗證結果(未加入基流)

	烏溪橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.897	0.891	0.847
NSI	0.762	0.606	-3.802
IOA	0.920	0.814	0.654
RMSE	0.831	0.918	0.848

表 4.2 莫拉克颱風各流量站模擬驗證結果(加入基流)

	烏溪橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.915	0.896	0.818
NSI	0.796	0.589	0.287
IOA	0.929	0.801	0.870
RMSE	0.477	0.538	1.300

表 4.3 梅雨(2006)各流量站模擬驗證結果(未加入基流)

	烏溪橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.767	0.651	0.906
NSI	-0.671	-0.218	-42.567
IOA	0.664	0.678	0.345
RMSE	0.761	0.808	0.896

表 4.4 梅雨(2006)各流量站模擬驗證結果(加入基流)

	烏溪橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.782	0.716	0.763
NSI	0.511	0.460	-2.135
IOA	0.834	0.792	0.690
RMSE	0.381	0.468	0.598

表 4.5 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(未加入基流)

洪峰時間與洪峰流量

颱風事件 與 梅雨事件	洪峰時間 和 洪峰流量	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
莫拉克	觀測洪峰時間(hr)	40		32	30
	模擬洪峰時間(hr)	39		32	32
	觀測流量(m ³ /s)	1625		533	1466
	模擬流量(m ³ /s)	1492		855	540
梅雨(2006)	觀測洪峰時間(hr)	36		34	35
	模擬洪峰時間(hr)	36		35	35
	觀測流量(m ³ /s)	1152		471	2315
	模擬流量(m ³ /s)	940		554	343

表 4.6 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(加入基流)

洪峰時間與洪峰流量

颱風事件 與 梅雨事件	洪峰時間 和 洪峰流量	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
莫拉克	觀測洪峰時間(hr)	40		32	30
	模擬洪峰時間(hr)	39		32	32
	觀測流量(m ³ /s)	1625		533	1466
	模擬流量(m ³ /s)	1629		937	948
梅雨(2006)	觀測洪峰時間(hr)	36		34	35
	模擬洪峰時間(hr)	36		35	36
	觀測流量(m ³ /s)	1152		471	2315
	模擬流量(m ³ /s)	1197		649	736

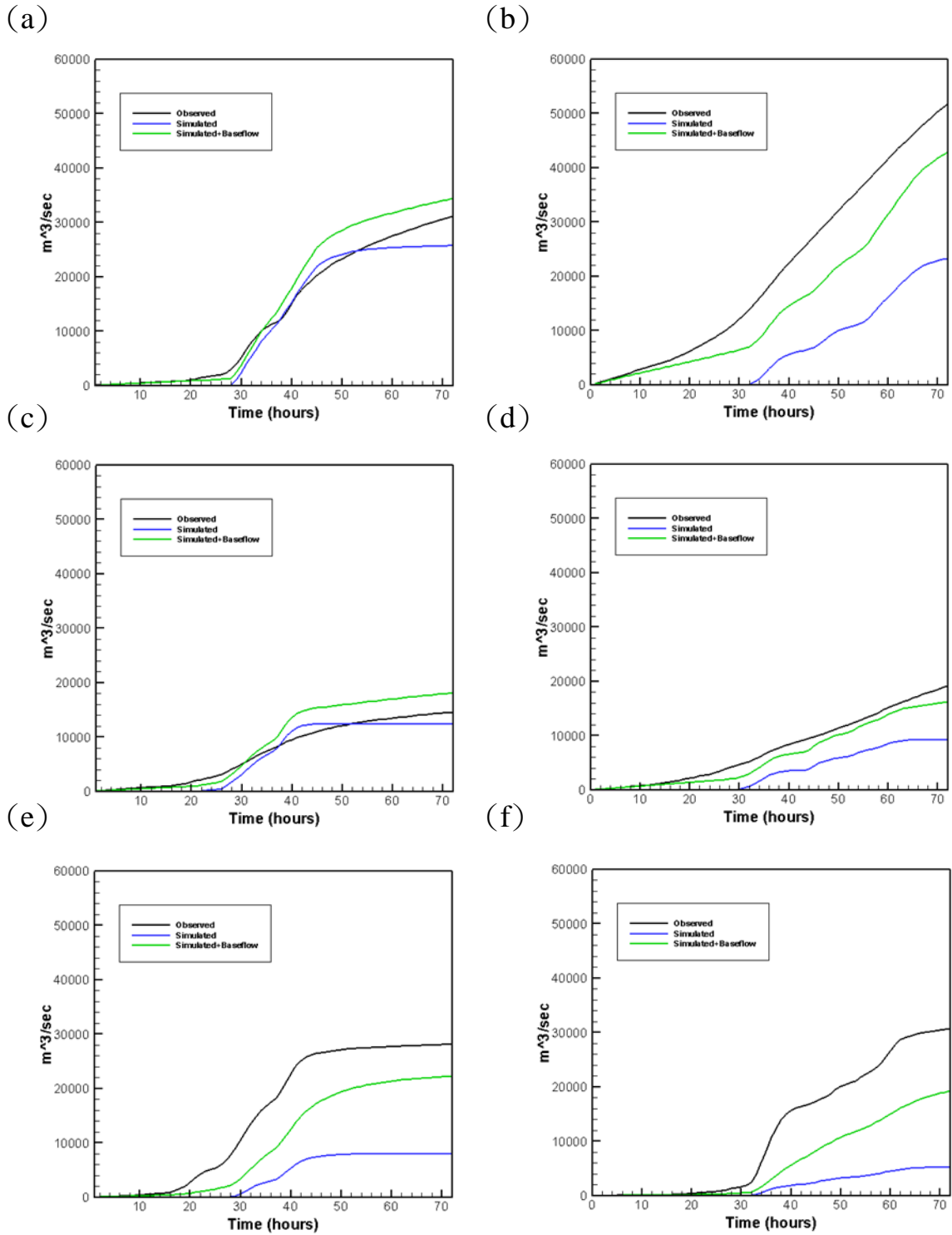


圖 4.3 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件觀測與模擬累積流量比較圖，莫拉克颱風於(a)烏溪橋、(c) 觀音橋、(e) 南崗大橋之累積流量，以及梅雨(2006)於(b)烏溪橋、(d) 觀音橋、(f) 南崗大橋之累積流量

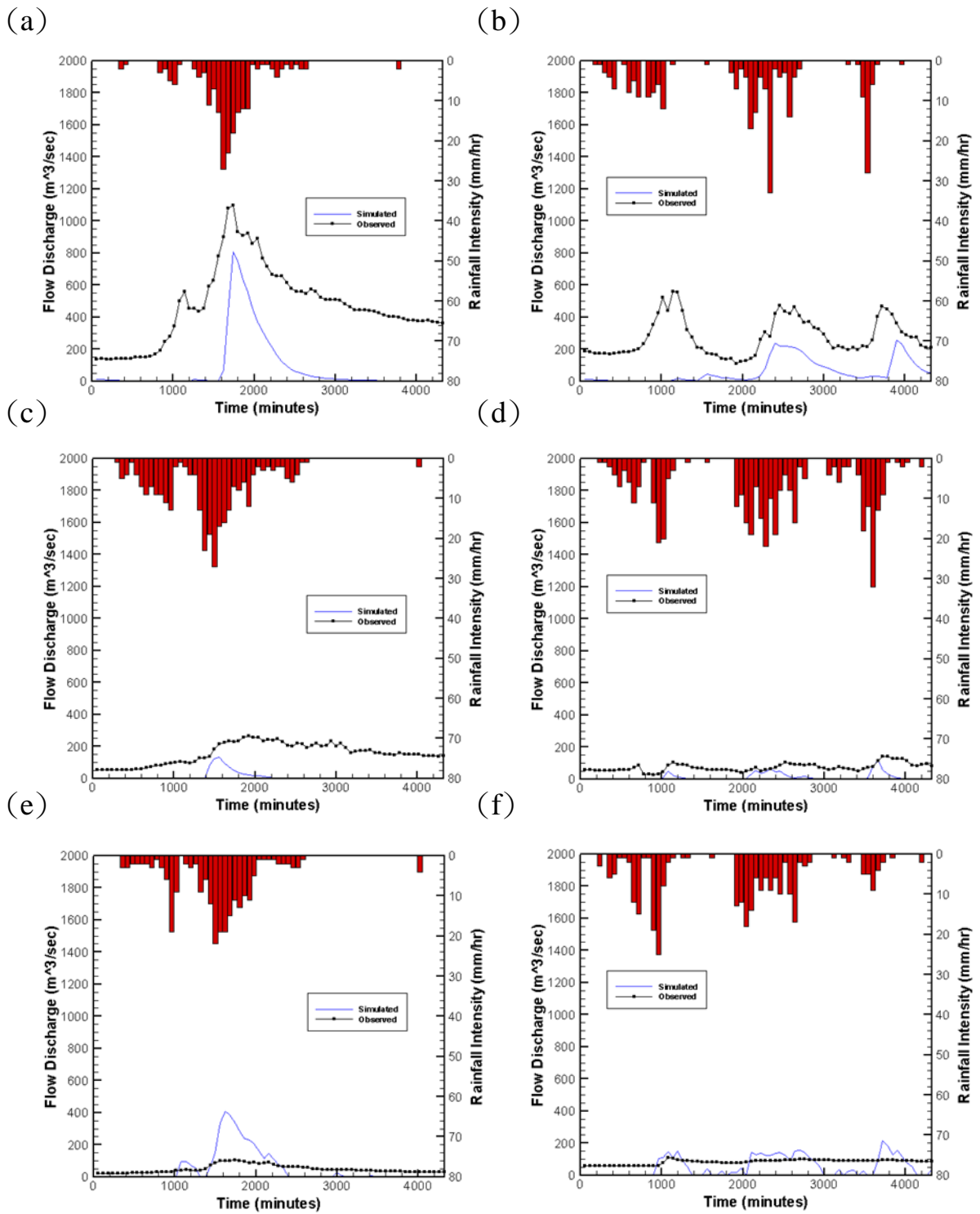
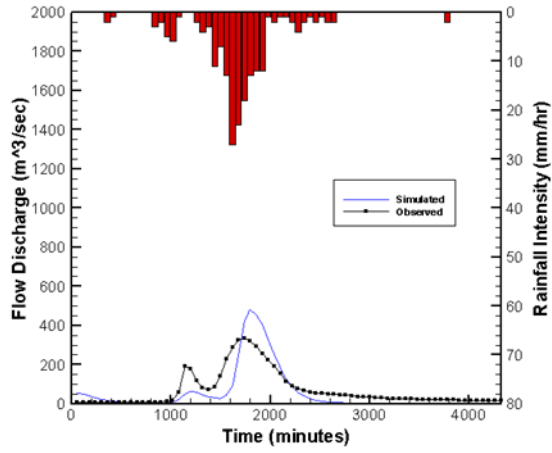
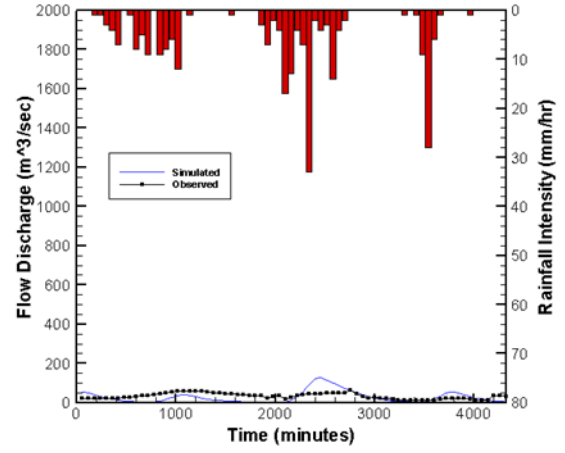


圖 4.4 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬(未加入基流)流量歷線圖，柯羅莎颱風於(a)烏溪橋、(c)南北通橋、(e)觀音橋之流量歷線，以及梅雨(2007)於(b)烏溪橋、(d)南北通橋、(f)觀音橋之流量歷線

(g)



(h)



(續)圖 4.4 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬(未加入基流)流量歷線圖，柯羅莎颱風於(g)南崗大橋之流量歷線，以及梅雨(2007)於(h)南崗大橋之流量歷線

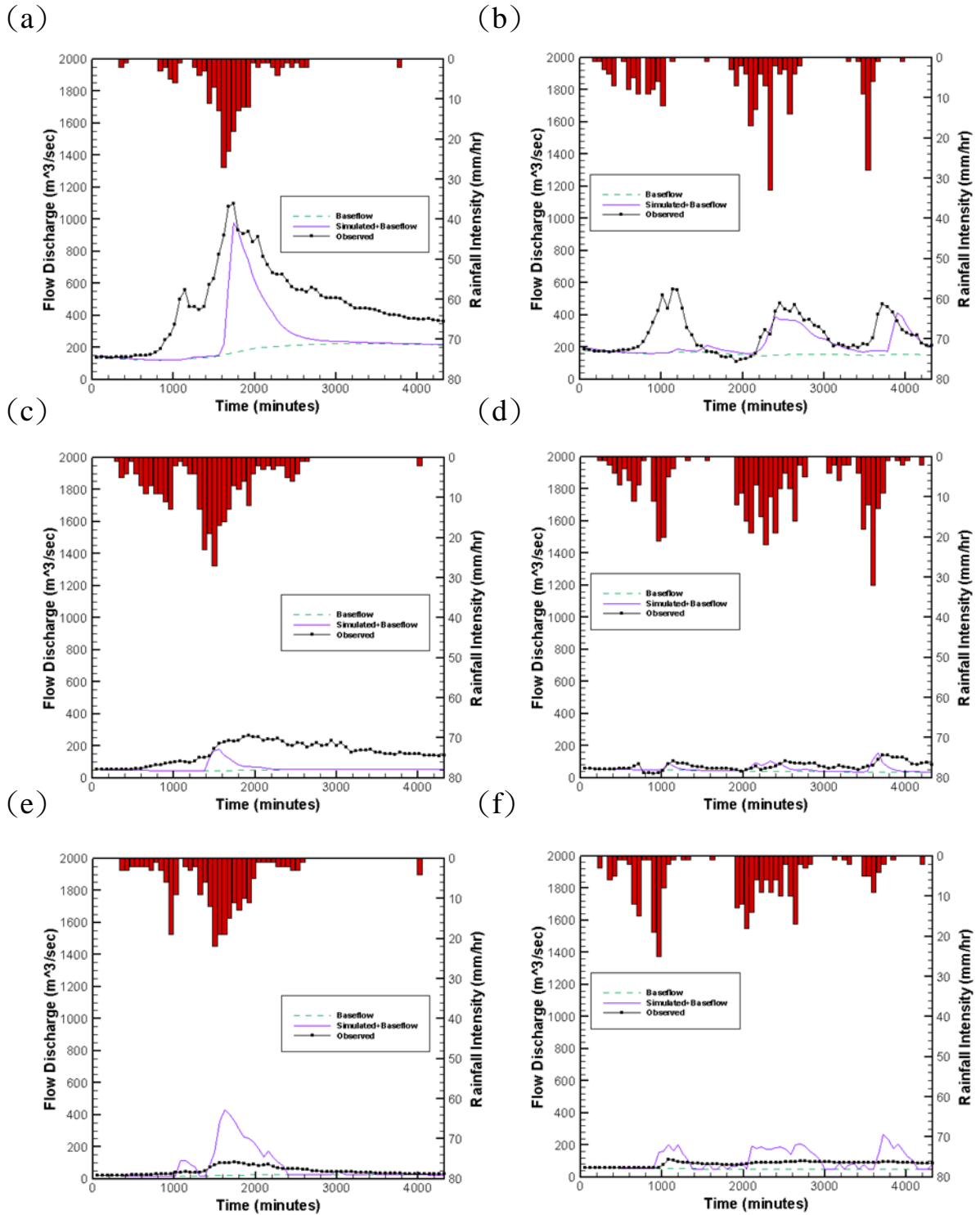
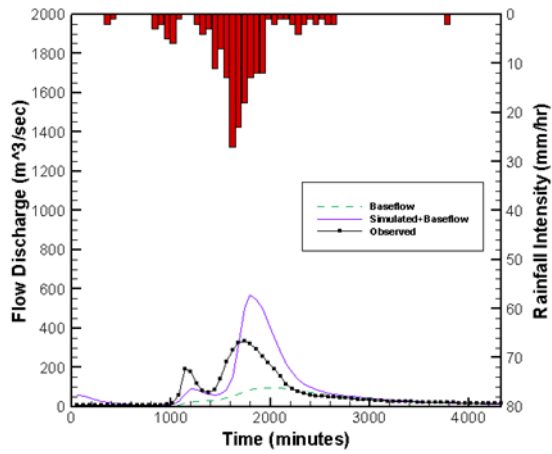
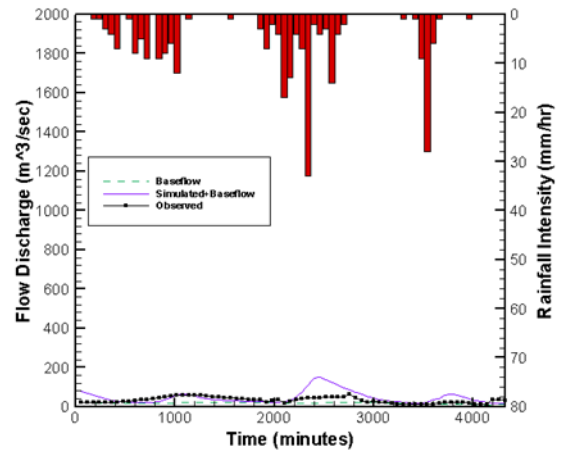


圖 4.5 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬(加入基流)流量歷線圖，柯羅莎颱風於(a)烏溪橋、(c)南北通橋、(e)觀音橋之流量歷線，以及梅雨(2007)於(b)烏溪橋、(d)南北通橋、(f)觀音橋之流量歷線

(g)



(h)



(續)圖 4.5 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬(加入基流)流量歷線圖，柯羅莎颱風於(g)南崗大橋之流量歷線，以及梅雨(2007)於(h)南崗大橋之流量歷線

表 4.7 柯羅莎颱風各流量站模擬驗證結果(未加入基流)

	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.749	0.312	0.850	0.852
NSI	-4.606	-33.90	0.350	0.705
IOA	0.521	0.199	0.563	0.902
RMSE	0.922	0.968	1.151	1.480

表 4.8 柯羅莎颱風各流量站模擬驗證結果(加入基流)

	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.797	0.365	0.860	0.864
NSI	-0.887	-18.521	0.289	0.683
IOA	0.721	0.254	0.544	0.879
RMSE	0.468	0.594	0.955	1.595

表 4.9 梅雨(2007)各流量站模擬驗證結果(未加入基流)

	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.423	0.364	0.592	0.351
NSI	-9.727	-8.184	-0.009	-0.080
IOA	0.462	0.391	0.391	0.522
RMSE	0.831	0.899	0.782	0.784

表 4.10 梅雨(2007)各流量站模擬驗證結果(加入基流)

	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
PMC	0.431	0.233	0.566	0.434
NSI	-1.935	-1.569	-0.063	-0.013
IOA	0.590	0.470	0.485	0.512
RMSE	0.300	0.402	0.650	0.995

表 4.11 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(未加入基流)

洪峰間與洪峰流量

颱風事件 與 梅雨事件	洪峰時間 和 洪峰流量	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
柯羅莎	觀測洪峰時間(hr)	29	28	29	29
	模擬洪峰時間(hr)	29	26	27	30
	觀測流量(m ³ /s)	1096	236	106	336
	模擬流量(m ³ /s)	809	130	408	483
梅雨(2007)	觀測洪峰時間(hr)	19	19	18	19
	模擬洪峰時間(hr)	20	18	18	18
	觀測流量(m ³ /s)	562	103	109	61
	模擬流量(m ³ /s)	17	49	146	41

表 4.12 不同型態降雨事件各流量站觀測與模擬(加入基流)

洪峰時間與洪峰流量

颱風事件 與 梅雨事件	洪峰時間 和 洪峰流量	烏溪橋	南北通橋	觀音橋	南崗大橋
柯羅莎	觀測洪峰時間(hr)	29	28	29	29
	模擬洪峰時間(hr)	29	26	27	30
	觀測流量(m ³ /s)	1096	236	106	336
	模擬流量(m ³ /s)	978	176	430	568
梅雨(2007)	觀測洪峰時間(hr)	19	19	18	19
	模擬洪峰時間(hr)	20	18	20	18
	觀測流量(m ³ /s)	562	103	109	61
	模擬流量(m ³ /s)	187	98	202	62

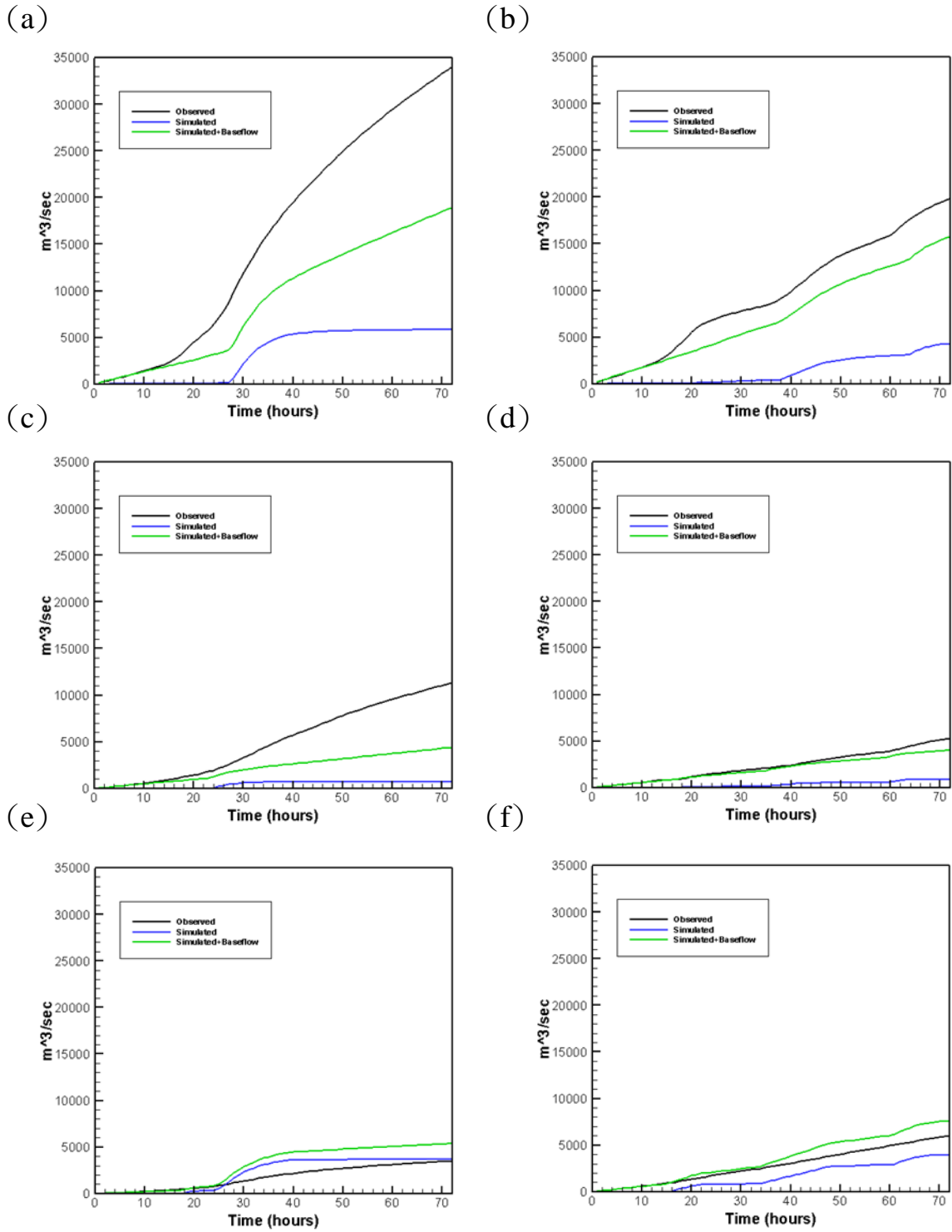
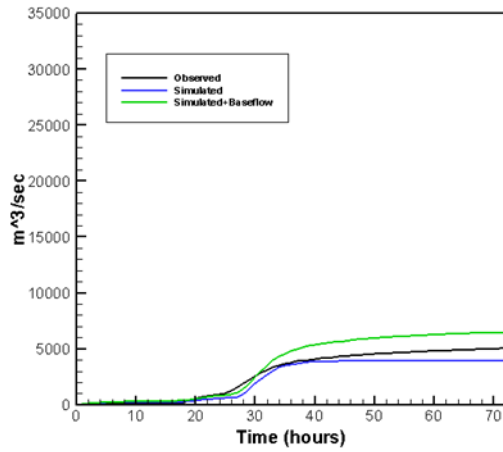
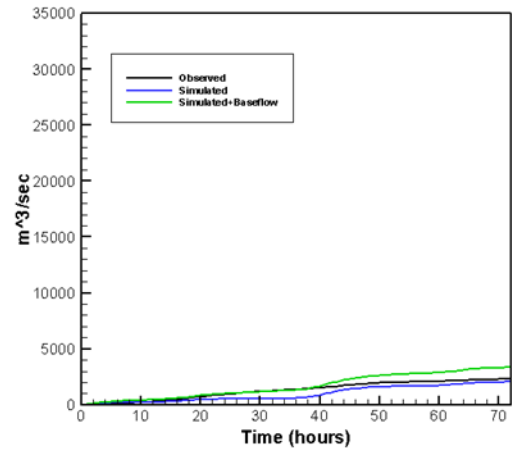


圖 4.6 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬累積流量比較圖，柯羅莎颱風於(a)烏溪橋、(c)南北通橋、(e)觀音橋之累積流量，以及梅雨(2007)於(b)烏溪橋、(d)南北通橋、(f)觀音橋之累積流量

(g)



(h)



(續)圖 4.6 柯羅莎颱風與梅雨(2007)事件觀測與模擬累積流量比較圖，柯羅莎颱風於(g)南崗大橋之累積流量，以及梅雨(2007)於(h)南崗大橋之累積流量

第五章 結論與建議

本研究的研究區域為烏溪流域集水區，以區域內流量站資料配合選用的四場颱風和梅雨降雨事件進行模擬比較，分析不同型態降雨事件對模式模擬的差異性，並探討加入基流的部分造成的影響，之後利用五種驗證方法評估加入基流對水文模式模擬的影響性。

5-1 結果討論

1. 本研究使用前人發展的降雨-逕流模式，分析颱風與梅雨這兩種不同型態降雨事件，以了解烏溪流域內颱風和梅雨降雨的特性，並由模擬結果認為是未考慮基流的部分造成模擬之間上的差異，因此探討基流對不同型態降雨事件的影響。
2. 由不同型態降雨事件的雨型分析結果得知，颱風為短時間集中降雨型態，而梅雨為長時間連續降雨型態，持續降雨時間較長，會造成河川基流量較高，導致模式模擬的地表逕流量變化差異較大，因此加入基流分離方法進行評估。
3. 模式加入具有物理基礎概念的基流分離法，所定義的四項參數皆有明確的物理意義，其中三個參數可以直接利用現有的水文資料估算，無須任何校準和率定參數，可以快速分離出基流量。

4. 從皮爾森相關係數、一致性指數、Nash-Sutcliffe 效率係數、均方根誤差和累積流量的驗證結果可以得知，水文模式加入基流分離濾波法，對模擬數值擬合觀測數值有所改善。
5. 在莫拉克颱風與梅雨(2006)的驗證結果，模擬加入基流量對各流量站的四種驗證方法，其驗證總項數與改進項數的比例做比較，莫拉克改進的比例較低，而梅雨(2006)較高，然而柯羅莎颱風與梅雨(2007)的驗證結果，發現模擬加入基流量後，驗證結果改進的比例相同，可能的原因為柯羅莎颱風事件前包含其他降雨事件，影響河川流量居高不下導致河川基流量相對較高造成。
6. 從四場極端降雨事件的比較結果發現，基流主要為河川流量分離出來，因此短時間集中降雨時無法保持逕流量高度，對分離河川流量中基流量的比例較少，反之，連續降雨則河川逕流量持續較高，對分離河川流量中基流量的比例較多，所以加入基流對颱風事件的模擬影響較小，但對梅雨事件的模擬影響結果卻不容忽視。
7. 本模式模擬烏溪集水區之地表逕流情況，並且加入基流分離方法進行評估，雖對模擬結果有所改善，但集水區內還有許多因素尚未考慮，未來除了對各項參數檢定達到最佳化外，還需考慮其它因素造成的影響，以求達到最佳模擬結果。

5-2 建議

1. 研究中所使用的流量資料發現部分不合理的現象，而資料做法來源為研究區域流量站所觀測得到的水位資料，配合率定曲線公式換算求得，但是在計算短期或長期時間所得到的率定曲線參數會有所不同，會對換算求得的流量資料造成影響，所以需要評估流量資料的正確性(見附錄A)。
2. 累積流量的結果，觀音橋流量站模擬之累積流量大於實際觀測之累積流量，可能的原因為該地區部分為高山地區，由於測量上的困難造成土壤資料缺乏，因此以周圍相近之土壤補齊，而對模擬造成影響，未來如能正確補遺所缺資料，相信對模擬結果有更明確的見解。

附錄 A

流量資料說明

流量站的流量記錄為水資源相關工程規劃與設計中之重要資料，本研究所使用的流量資料為水利署地理倉儲中心提供，其流量資料製作方式為現場實際量測水位及流量的資料，利用迴歸方法建立水位-流量率定曲線，再透過實際量測之水位資料轉換求得，率定曲線(rating curve)是以水位為縱座標，流量為橫座標，表示河川水位與流量間關係之曲線。台灣由於河川條件、水位流量測站環境、施測條件等各種因素，故在觀測流量時，既費時且不能測量其連續數據，當洪水來臨時更不易測得流量資料，因此如果能得到相關率定曲線參數，就能求得洪水流量。相關製作率定曲線之形式繁多，本研究將利用最小二乘法對實際觀測之水位及流量進行曲線擬合，最小二乘法是一種數學優化技術，可以透過最小化誤差的平方和尋找數據的最佳函數匹配，可求得原始之率定曲線參數，其率定曲線公式為：

$$Q = a(H - Z)^b$$

其式子中， Q 為流量、 a, b 為待定係數、 H 為水位、 Z 為無流量時之水位，首先決定在無流量時之水位 Z ，而參數 a 和 b 可直接利用水位及流量資料直

接迴歸獲得。圖 A.1 中紅色實線為莫拉克颱風事件之原始水位高、綠色實線為梅雨(2006)事件之原始水位高，可以看出觀音橋流量站在莫拉克颱風及梅雨(2006)事件中，觀測之原始水位高度很接近，並由圖 A.2 看出在兩場事件中，最靠近的北山(2)雨量站其降雨強度都很大，但在圖 A.3 的觀測流量資料卻差異很大，甚至梅雨(2006)事件在後半段原始水位較高時，其觀測之流量也低於莫拉克颱風事件之觀測流量，經過最小二乘法配合率定曲線公式，求得莫拉克颱風事件之原始率定曲線參數(圖 A.4)，圖中黑色實線為原始觀測流量、紅色虛線為所求得之率定曲線參數再配合水位高所換算之流量，可以得知所求之率定曲線參數很接近，並且由於這兩場事件之降雨強度差異不大，因此假設梅雨(2006)事件的流量低估，所以藉由莫拉克颱風事件的率定曲線參數配合梅雨(2006)事件之水位換算，圖 A.5 為換算求得之流量比較，可以看出其流量資料較為合理，並於圖 A.6 中與模式模擬之數值較為接近。

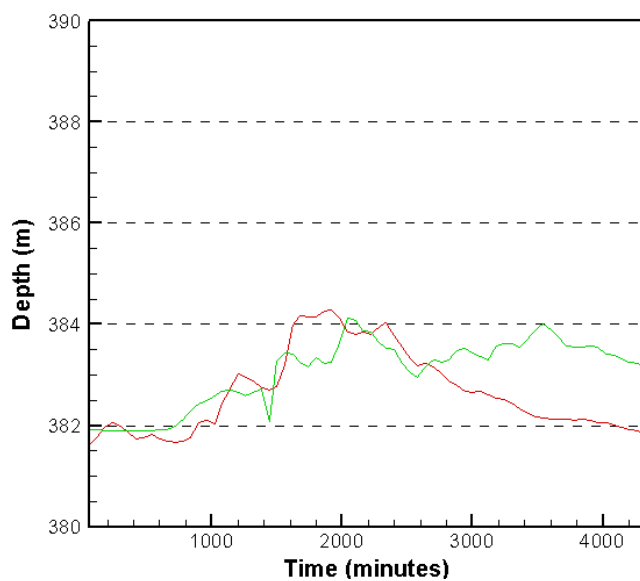


圖 A.1 莫拉克與梅雨(2006)觀音橋流量站之觀測水位比較圖

(a) 莫拉克颱風

(b) 梅雨(2006)

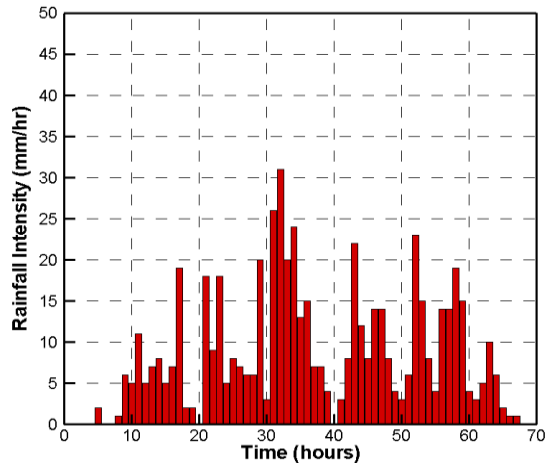
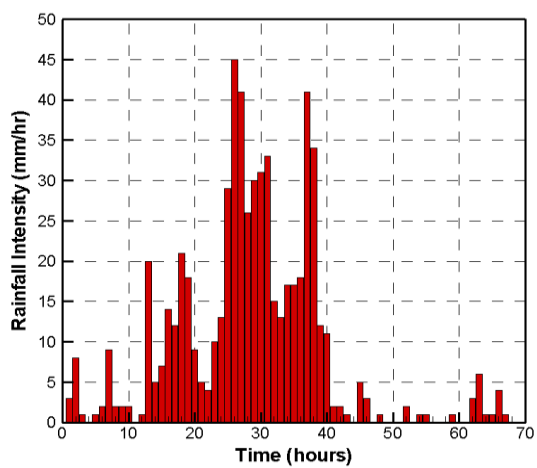


圖 A.2 莫拉克颱風與梅雨(2006)事件北山(2)雨量站之降雨強度組體圖

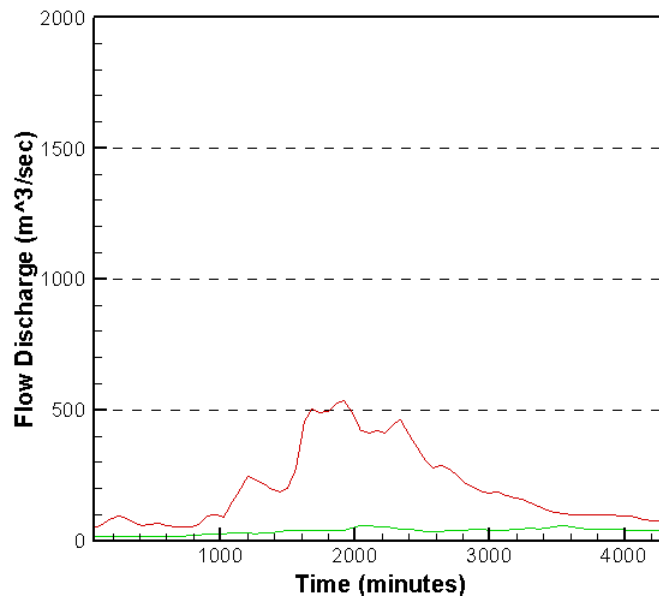


圖 A.3 莫拉克颱風與梅雨(2006)觀音橋流量站之觀測流量比較圖

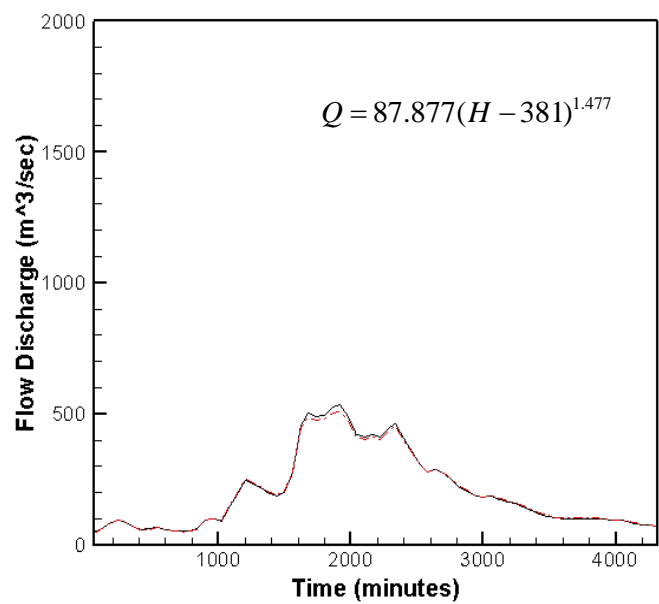


圖 A.4 莫拉克颱風事件之原始率定曲線參數

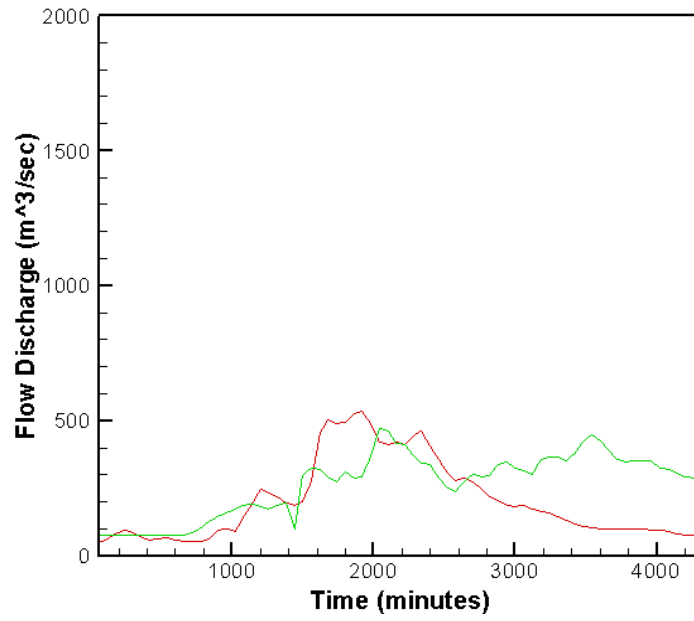


圖 A.5 更改後梅雨(2006)與莫拉克之流量比較

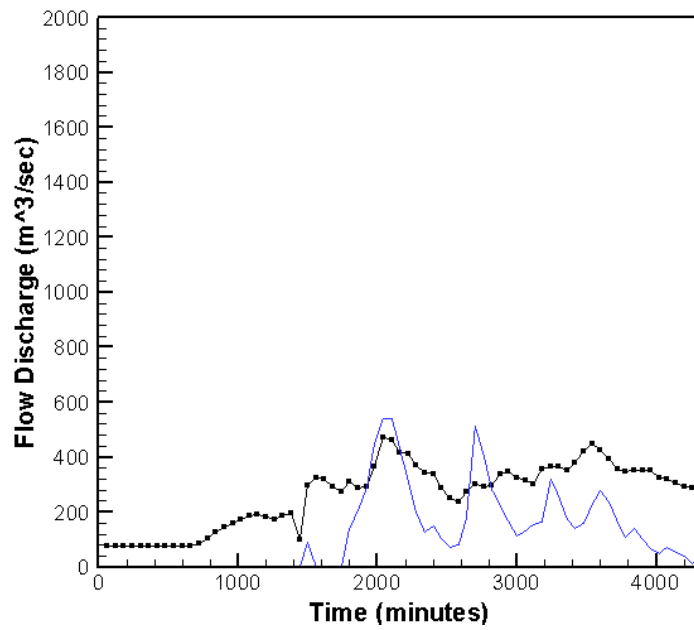


圖 A.6 更改後觀測資料與梅雨(2006)模擬比較

參考文獻

1. Furey, P. R., & V. K. Gupta, "Space-time variability of low streamflow in river networks", *Water Resources Research*, Vol. 36, No. 9, p. 2679-2690, 2000.
2. Furey, P. R., & V. K. Gupta, "A physically based filter for separating base flow from streamflow time series", *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 11, p. 2709-2722, 2001.
3. Huff, F. A., "Time distribution of rainfall in heavy storms", *Water Resources Research*, 3(4), p. 1007-1019, 1967.
4. Rawls, W.J., & D. L. Brakensiek, "A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters", In : Proceedings of ASAE Conference on Advances in Infiltration, Chicago, IL ASAE, St. Joseph, MI, p. 102-112, 1983.
5. Szilagyi, J., & M. B. Parlange, "Baseflow separation based on analytical solutions of the Boussinesq equation" *Journal of Hydrology*, 204, p. 251-260, 1998.
6. Woolhiser, D.A., "Simulation of unsteady overland flow, in unsteady flow in open channels", edited by Mahmood, K. and Yevjevich V., *Water Resources Publications*, Fort Collins, Colo., 1975.
7. 石棟鑫，「台灣地區颱風雨降雨型態之分析研究」國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2001年。
8. 李煜欽，「分散式逕流模式應用於石門水庫極端降雨事件之模擬」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，2008年。
9. 黃奕璋，「極端降雨事件分散式集水區逕流模式之發展與驗證」，國立中

- 央大學水文科學研究所碩士論文，2007 年。
10. 葉信富，「流域地下水資源調查分析與案例研究」，國立成功大學資源工程學系博士論文，2008 年。
 11. 楊宗翰，「地震引致河川基流量變化分析~以集集大地震為例」，國立成功大學水利暨海洋工程研究所碩士論文，2003 年。
 12. 劉承翰，「大甲河流域上游集水區極端降雨事件之雨型分析與水文模擬」，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，2009 年。