

淡水河即時洪水預測模式之建立及實務應用

李戎威/台北縣政府水利及下水道局局長

摘要

淡水河流域位於台灣北部地區，主要水系包括大漢溪、新店溪及基隆河，居住人口達 650 萬人，為台灣政治經濟中心，至為重要。然而，淡水河流域中下游地區為台北盆地，地勢低窪、且受潮汐影響，颱風豪雨時期往往豪雨成災。自民國 50 年代起，進行大規模的防洪計畫，包括堤防至少 150 公里，抽水站 120 座等工程措施，建設經費超過新台幣 1500 億元。在非工程措施方面，以洪水預報系統成效較為顯著，淡水河洪水預報系統建立於民國 66 年，歷經 29 年的運轉及不斷的改進，於民國 93 年 4 月完成可全天候自動即時運轉的洪水預報系統，稱為淡水河即時洪水預測模式(簡稱 REFOR 模式)，REFOR 模式上線運轉後，曾經於 93 年的艾利颱風、911 豪雨及納坦颱風時期，即時提供洪水水位預測結果，做為防汛指揮之參考，該模式現仍上線自動運轉中。

壹、前言

1-1 洪水預報概述

洪水時期，河川沿岸居民有可能因洪水氾濫而造成生命及財產之損失，為減少洪災損失，世界各先進國家如美國、歐洲、日本均運用洪水預警系統(flood early warning system)，在洪水到達前預先警告河川沿岸政府機關及居民採取必要措施如動員軍警、機具、疏散或備妥水上求生工具等，以減少災害損失。

台灣地區位於太平洋西側，夏秋之際受颱風侵襲機會甚大，平均每年有 3 個颱風會侵襲台灣，颱風所帶來的豐沛雨量往往造成低窪地

區排水不及，甚至因河川水位上漲而導致洪水氾濫的現象發生，歷年來因颱風所造成的人民生命財產損失不計其數。尤其以民國 90 年發生的納莉颱風，因河川水位超過既有的堤岸高程，而造成基隆河沿岸包括台北市區及汐止、基隆一帶淹水面積達 6640 公頃，也造成洪水灌入台北捷運地下隧道，致停止捷運系統運轉停止數月，整體損失超過百億元新台幣。

因此，在一般的防洪工程措施外，實有必要建立洪水預警系統，包括水庫操作、分洪操作、洪水演算、潮汐預測及通報系統，在洪水來臨前及早通知沿岸居民預作防災準備。

1-2 動機與目的

一、動機

颱風時期洪水預測作業時間短，預報人員身心壓力極大，亟需一套**可靠、穩定、即時、自動化的**洪水預測模式，幫助預報人員節省時間，並將注意力著重於預測結果之研判，以求掌握預警之時效。

二、目的

REFOR 程式目的為即時讀取經濟部水利署第十河川局(簡稱十河局)水文資料庫中的降雨量、水庫洩洪量資料，並且預測未來的降雨量及水庫洩洪(以水庫管理單位的操作預測為準)。利用降雨逕流模式計算河川模式邊界點及側流點的流量，以及河口天文潮及氣象潮，再輸入 1 維河川網路變量流模式，計算各河道斷面的水位及流量，最終結果以未來 1~6 小時之水位及流量呈現，提供洪水預報之參考依據，其特點為即時、穩定、圖表並列、一目了然。

1-3 淡水河洪水預報發展沿革

臺灣地區洪水預報系統以淡水河洪水預報系統發展最早，於民國 66 年配合臺北地區防洪計畫建置完成。建置之初，以即時收集流域內雨量、水位觀測資料為主要工作，河川水位預測為輔，其中洪水預測模式係採用水文模式(儲蓄函數法)，藉由觀測降雨量計算各控制點的河川流量，再由水位流量率定曲線獲得河川水位，理論上可行，但是，遭遇到下列問題：

- 一、所有河川控制點均受海水潮汐影響，水位流量率定曲線相當複雜，必須研究河口潮位與該控制點的水位及流量在時間及空間之關係，一般而言，不易獲得良好之關係。
- 二、水文模式僅能計算某控制點的流量，其他河段均無法計算，僅能以水面縱坡推算，準確度稍差。
- 三、需要人工操作。

所以，在民國 82 年臺灣省水利局委託日本河川情報中心進行洪水預報系統更新改善規劃，規劃成果包括水文測報系統硬體更新、多工制通信系統建置、雨量雷達系統建置、預報軟體更新等。在預報軟體更新方面，建議採用河川變量流模式進行河道演算，以改善原有水文預報模式之缺點。

淡水河流域目前已有三套預報模式，第一套稱為「淡水河整體洪水預報系統」於民國 85 年至 87 年研發，於 89 年開始使用，使用至今已六年，其中經歷象神、納莉等颱風，提供了一部份的洪水預報資訊。由於該模式需要人工逐步操作，在實際預報作業時，操作人員需專注於洪水預測軟體之操作，而無暇注意當時的水文狀況，因此，在實際的預報作業上不夠便利。基於前述模式在基隆河水系僅能模擬至五堵水位站河段，為了延伸基隆河之預報河段，於民國 91 年另外委託完成的「基隆河洪水預報模式」，雖於納莉颱風時期發揮即時預警功能，惟仍有操作不便的問題。以上兩套模

式的發展過程，累積了甚多有價值的參考文件及實際經驗，足以提供爾後洪水預測模式發展之重要參考。

由於洪水預報作業，最為重要的是掌握正確資訊及時效，才能發揮預先警告的功能，而洪水預測模式的主要功能在於幫助預報人員研判未來的洪水運行趨勢，也就是做為研判分析的工具，好的工具應有簡單穩定的特性。基於上述理由，並根據前述兩套模式的基礎理論及發展經驗，重新思考研發適用於實務作業的即時自動化洪水預測模式，稱為「淡水河即時洪水預測模式」(Real Time Flash Flood Forecasting Model，簡稱 REFOR 模式)，即第三套模式。

REFOR 模式係自 92 年起開始研發，於 93 年 4 月完成並上線運轉。REFOR 模式從河口潮汐預測、雨量預測、水文降雨逕流模擬(包括水庫洩洪、員山子分洪等)、河川變量流模擬、資料庫擷取、圖形及表格展示等，均在最新的電腦軟硬體設備上，開發新一代自動化的洪水預測模式，將使得洪水預報工作能更有效率、更能掌握預警時效。

REFOR 模式於 93 至 94 年間歷經艾利颱風等 7 次颱風豪雨事件，均能正常且穩定的進行實際洪水預測作業，即時預測未來 1~6 小時各河道大斷面(沿河約每 500 公尺一處)之水位變化，並據以編製淡水河洪水警報傳送至各防汛機關，做為防災應變(疏散、救災及陸閘封閉)準備之參考。由 93 年度之洪水預測結果得知，在三小時預測水位方面，基隆河水位預測誤差平均為 1.2 公尺，淡水河、大漢溪及新店溪則為 0.6 公尺，其中，基隆河之水位預測誤差較大，其主要原因為降雨的空間分布不均勻，使得基隆河的側入流量變化不易準確掌控，未來將以增加雨量站之密度及利用雷達雨量觀測技術改進降雨之觀測密度。

間狀況，並不能確切了解接近地面之降雨空間分布，因此，僅作為颱風移動初步的研判。

(二) 氣象雷達

為目前最新的氣象觀測設備，可藉由雷達波的發射及雷達波遇到物體的反射回波強度，進行降雨及風速風向的觀測。由於氣象雷達的雷達波係由地面向天空發射，可以精確的觀測到颱風的移動路徑及降雨強度，尤其當颱風在外海的時候，氣象雷達可較為精確的觀測到降雨的分布，以及颱風的中心位置及移動方向等重要訊息，對於降雨空間分布的描述較為完整，對於預測工作幫助甚大。惟目前氣象雷達僅對外提供雷達回波強度，而未能提供降雨的量化觀測，因此，目前僅能作為降雨分布的「定性分析」之用，未來若能即時提供雷達的降雨量觀測資料，將可提升降雨觀測的精確度，並進一步提升洪水預測的準確度。

(三) 雨量站

雨量站為傳統的降雨觀測設備，其優點是設備簡單、安裝快速且維護容易，廣為各界使用，但是，由於雨量站的主要觀測設備為雨量桶，雨量桶的數量、設置地點及維護方式將會左右整體雨量觀測的精確度。雨量站的數量及其設置地點一直是水文觀測的重要課題，目前仍未有定論，因此各單位均依據其自己的需要大量的設置雨量站，進而又出現另一個問題，即在大量的雨量觀測站中，要選用多少或哪些站才能精確的得知降雨分布？是否選用越多的雨量站就會有越好的降雨觀測？由本文的觀點，雨量站需要設置在空曠的地點及均勻的分布在流域之中，是沒有爭論的，然而，在測站的選用方面，本文則有不同於一般的看法，即應該由測站的位置、週遭環境、維護情形及觀測資料與河川逕流的關係中，謹慎選擇最適合的雨量站，而不是採用所有測站進行平均雨量的估計，因此，是採用「精兵主義」。

(四) 河川水位站

河川水位站區分為流量站、警戒水位站及

一般水位站。流量站的目的是觀測河川的流量，包括平常流量及洪水流量，平常流量的觀測是由人工以流速儀進行觀測，洪水時期則因人員安全的考量，採用浮標法觀測甚至無法觀測，對於洪水預測而言，最為需要的觀測資料就是洪水流量，卻受限於目前的觀測技術而甚為缺乏，REFOR 模式的發展過程中，同樣發生高洪水流量資料缺乏的問題，最後的解決方案是採用計畫高流量及過去的高流量紀錄，進行水位流量率定曲線的延伸，並由該率定曲線重新獲得流量觀測歷線，也就是不直接採用觀測單位提供的流量歷線。

當進行降雨逕流模式的檢定與驗證時，若於檢定驗證過程中發現逕流體積與降雨體積的比值，即「逕流係數」發生不合理現象時，應重新檢討率定曲線，以求得合理的逕流係數。此一過程的重點是保證「質量守恆定律」，這是非常重要的點(相當於水文學的憲法原則)，也是最容易忽略的地方。若不能保證質量守恆原則，則降雨逕流關係會發生不合理現象，進而使得河川水位的預測發生較大的誤差。

二、通訊系統

通訊是洪水預報系統的神經傳導系統，係將外在的現象傳輸至研判中心以及發布洪水預測結果的骨幹，目前一般的通訊系統包括有線電話、數據專線、網際網路、自設 UHF 無線電及微波無線電。其中有線電話是由一般的電信公司所提供，其缺點為傳輸速度慢，優點則為成本低。自設 UHF 無線電是由洪水預測單位自行設置，其優點為傳輸速度最快且可自行掌控，缺點為建造及維護成本較高。

在大範圍的淹水情況，一般的電信公司的電信設備並不保證會正常運作，此時，觀測資料無法正常傳輸至使用者，而洪水預測作業不能因此而中斷，故仍須利用自設無線電傳輸系統將水文觀測資料及洪水預測訊息傳遞，因此，基於成本及防災的需要，淡水河的洪水預

報系統採用以上的各種傳輸方式，以求經濟並達成防災之目標。

三、洪水預測模式

洪水預測模式在整個洪水預報體系扮演核心地位，預測模式的功能是進行降雨及潮汐預測、降雨逕流及河川變量流模擬，並可模擬水庫洩洪及其他重要水工構造物的水文水理現象。其提供各斷面的水位及流量未來可能的變化趨勢及數據，可作為防汛決策參考之依據。

洪水預測模式有水文模式及水理模式，傳統上的預測模式係採用水文方法先由降雨逕流模式預測河川流量，再以水位流量率定曲線得到預測水位。現在因電腦及通訊科技日新月異，電腦的計算速度及傳輸效率非常高，因此，已經能夠發展出全天候自動化的洪水預測模式。本文即以全自動化預測模式為發展目標，以求充分發揮科技的效能，增進洪水預報的效率。

四、資訊展示與決策支援

洪水預測結果會產生大量的數據，以淡水河為例，目前共有 170 個河川斷面可以預測水位及流量，在每個小時，會有 $170 \times 2 \times 7 = 2380$ 個數據產生(7 個時刻的水位及流量)，若單純以數字呈現，則大多數的人員均無法理解數字所帶來的訊息，因此，需能以簡易的圖表方式自動呈現，並可動態展示，以供決策參考。

五、警戒水位

河川警戒水位係各防汛機關執行防汛工作之依據，故應妥慎研訂。淡水河水系現行之警戒水位分為三級，其中三級警戒水位，係指未來 2 小時，河川水位可能超過河道高灘地，必須疏散河道內之人車；二級警戒水位，係指未來 5 小時，河川水位可能超過現有的堤岸而溢堤，防汛單位應出動至低窪地區準備疏散居民；一級警戒水位，係指未來 2 小時，河川水位可能超過現有堤岸而溢堤，必須立即疏散可能淹水地區之居民。

2-3 淡水河即時洪水預報模式建立步驟

洪水預報，是一項水利科學理論與實務的整合應用，需要利用數學、物理、數值分析、水文學、程式設計等理論，也要充分了解流域的水文水理、河道整治狀況，才能做好此項工作。REFOR 模式的建立步驟如下：

一、資料收集：收集流域地形圖(含水系、雨量、水位、流量站位置)、河道斷面圖、流量站的水位流量率定曲線、河道兩岸高程、河口潮位長期觀測資料、颱風洪水事件資料(含水文觀測、淹水範圍、水庫操作等)。

二、潮汐分析：由出海口的長期潮位觀測資料，進行天文潮調和分析，以求得各分潮參數。

三、水文降雨逕流分析：根據流量站控制流域劃分子集水區，利用水位觀測資料及水位流量曲線或公式計算流量歷線，再利用水桶模式分別模擬各子集水區之降雨逕流關係，並比較計算流量與觀測流量之誤差，有必要時調整水桶模式之各項參數。

四、建立無觀測流量子集水區水文模式：無流量站控制的子集水區，也要建立降雨逕流模式，其水桶模式參數則選用上述步驟所得類似集水區之參數。

五、建立一維變量流模式：本模式為整體模式之核心，依據河川變量流理論、利用適當的數值分析方法，求解河道各斷面的水位及流量。所需資料包括河道斷面、斷面間距、曼寧 n 值、上下游邊界條件等，必需小心整理歸納，尤其在河道斷面，應選取與河川水流垂直的斷面，若為斜交斷面，則必需轉換為垂直或是捨棄不用。

在洪水預報模式建立初期，應先進行獨立的模式檢定及驗證工作，應驗證水位歷線、流量歷線以及水位流量關係圖，當模式完全正確時，再逐步銜接上下游邊界條件。

六、銜接水文、潮汐、變量流模式：河川變量流模式所需要的外部輸入資料包括 1. 上游邊界條件, 2. 下游邊界條件, 3. 側流量, 均需要另外計算, 其中, 上游邊界條件包括降雨所產生的河川逕流(水文模式)以及水工構造物的放流量; 下游邊界條件則為河口潮汐預測(調和分析及預測); 側流量則為河道周邊子集水區所產生之逕流量(水文模式)。銜接完成後, 應再經過歷史資料的驗證, 以確認模擬結果之正確性。

七、即時擷取水文資料庫: 十河局水文資料係即時儲存於 SQL 資料庫, 可提供多人同時擷取, 並且維護良好。為了建立即時洪水模擬模式, 必須由水文資料庫中自動即時擷取雨量及水庫洩洪量資料, 再輸入至前述的模擬模式中計算河川水位及流量。

八、雨量預測: 雨量預測方法繁多, 本模式採用慣性法, 即未來 6 小時的雨量與此刻觀測雨量相同, 預測完成後, 再輸入模擬模式進行計算未來 6 小時之河川水位及流量, 此時, 應將本時刻所計算之水位及流量當作下一時刻初始條件。

九、結果展示: 因預報模式計算結果甚多, 應有系統的整理歸納, 以利決策參考, 如下:

1. 日期與時間。
2. 觀測及預測雨量, 觀測及預測潮位、觀測及預測水位與流量。
3. 觀測及預測水庫洩洪量。
4. 水位縱坡圖, 包括河道兩岸堤岸高程、底床高程、斷面位置、觀測水位等, 以及預測水位縱坡。
5. 流量縱坡圖。
6. 各子集水區平均降雨、總降雨、流量、及其預測值。

1. 輸入流域基本資料, 包括子集水區面積、水桶參數、雨量站編號、馬斯金更模式參數、下游河道編號, 以及河道斷面基本資料包括斷面點、斷面間距、曼寧 n 值、左右岸高程等。天文潮及暴潮參數。
 2. 將河道斷面轉換為水位-面積、水位-河寬對照表。
 3. 自水文資料庫讀入降雨、水庫洩洪量及河川水位等觀測資料。
 4. 預測各雨量站之降雨量。
 5. 計算並預測各子集水區逕流量、河口潮位。
 6. 組織變量流差分矩陣。
 7. 以牛頓拉福森法求解各河道斷面之水位及流量。
 8. 將預測結果輸出。
 9. 前進一小時, 並回到步驟 3。
- 如圖 2-2 所示。

2-4 REFOR 模式演算流程

本模式之演算流程如下:

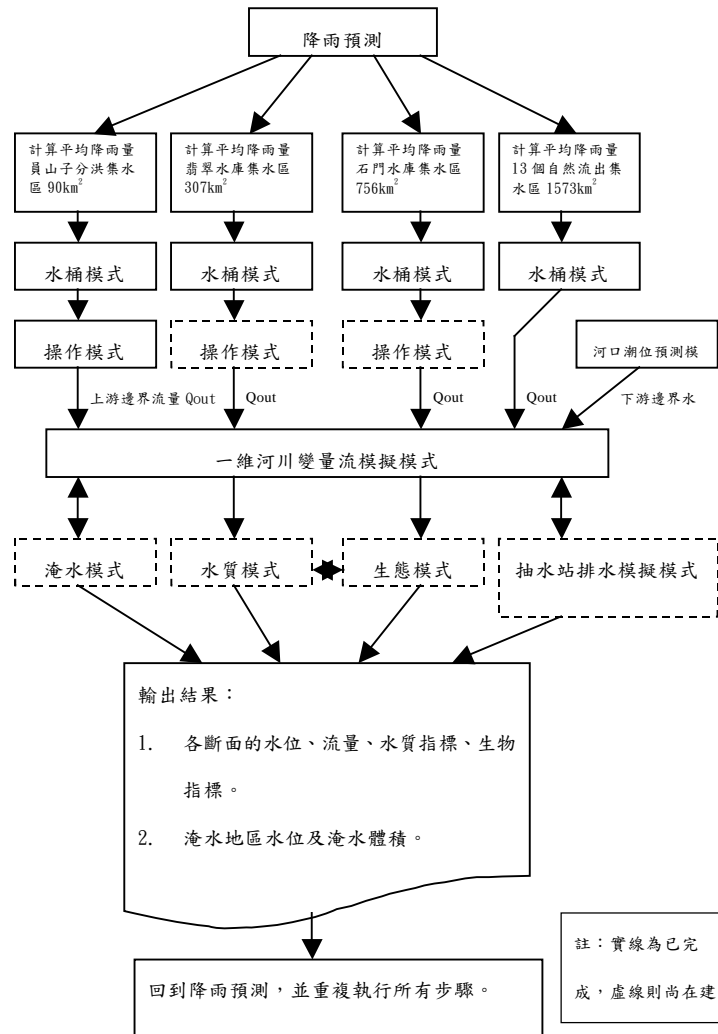


圖 2-2 REFOR 模式演算流程圖

2-5 降雨觀測、預測與補遺

降雨觀測資料係根據自動觀測雨量站之觀測資料，利用通訊系統自動傳輸至水文資料庫，以提供後續預測使用。為計算降雨產生之逕流量，必須先行求得集水區之平均雨量，若與量站發生缺測情況，則需要立即進行雨量資料之補遺，以求正常進行洪水預測作業。有關降雨預測、平均降雨估計方法、觀測正確性、補遺及雷達雨量觀測等方式，說明如下：

一、降雨預測

洪水預測的第一步為降雨預測，降雨預測方法眾多，本模式採用慣性法進行降雨量預測，亦即，將現時刻的觀測降雨量做為未來 6

小時的降雨量。

平均雨量的估計方式

在流域平均降雨量之估計方面，目前是採用算術平均法估計，即將各子集水區之雨量站

之觀測值，取算術平均數，即 $\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ ，

P_i 為第 i 站之觀測降雨量。REFOR 模式也有雷達觀測雨量的選項，係由中央氣象局提供之五分山雷達觀測雨量，並將雷達觀測雨量區分為各子集水區之平均降雨量，也就是使用者可以選擇以雨量站觀測資料或雷達觀測資料進行降雨預測作業。

二、研判雨量觀測正確性的標準

雨量觀測之正確性，將會左右洪水預測之結果，在降雨資料的選擇方面，應由降雨逕流之關係觀察，觀察的項目及標準如下：

1. 降雨體積與逕流體積之關係，即逕流係數是否合理，逕流係數=逕流體積/降雨體積，應在 0.6~1.0 之間。
2. 降雨雨型與逕流歷線形狀是否相符，例如降雨尖峰應與洪峰有一對一之對應關係，無降雨即無直接逕流量的原則。
3. 降雨尖峰至逕流洪峰時間是否合理，例如寶橋水位站的集流時間約 3~4 小時，五堵水位站則約為 2~3 小時。

以上三項，要透過正確的歷史資料的觀察，一一比對。如圖 2-3：

由圖 2-3 得知，逕流係數為 0.7，降雨及流量尖峰為 1 對 1 關係，降雨尖峰發生於 9/12 06 時、洪峰發生於 9/12 08 時，均符合上述觀察要求。

三、降雨缺測之補遺

REFOR 模式係利用降雨預測驅動洪水之預測，因此，降雨觀測資料至為重要，各雨量站觀測值缺一不可，然而，實際上雨量觀測資料受到各種因素之影響，尤其颱風洪水時期，經常發生缺測或是無法及時回傳，故有必要進行降雨資料缺測之補遺，使得洪水預測得以正常進行。

降雨缺測補遺之基本原理係假設各雨量站之觀測資料間呈線性關係，即

$$P_2 = aP_1 + b$$

式中， P_2 為缺測的雨量站， P_1 為正常觀測的雨量資料，a,b 為回歸係數，係由歷史紀錄利用線性回歸而得。迴歸方程式之係數則以納莉颱風之觀測紀錄進行線性迴歸而得。有了迴歸係數之後，必須決定要採用哪一個正常觀測的雨量站進行補遺？此時，應依據各測站之間的相關係數來決定選擇的次序，也就是相關

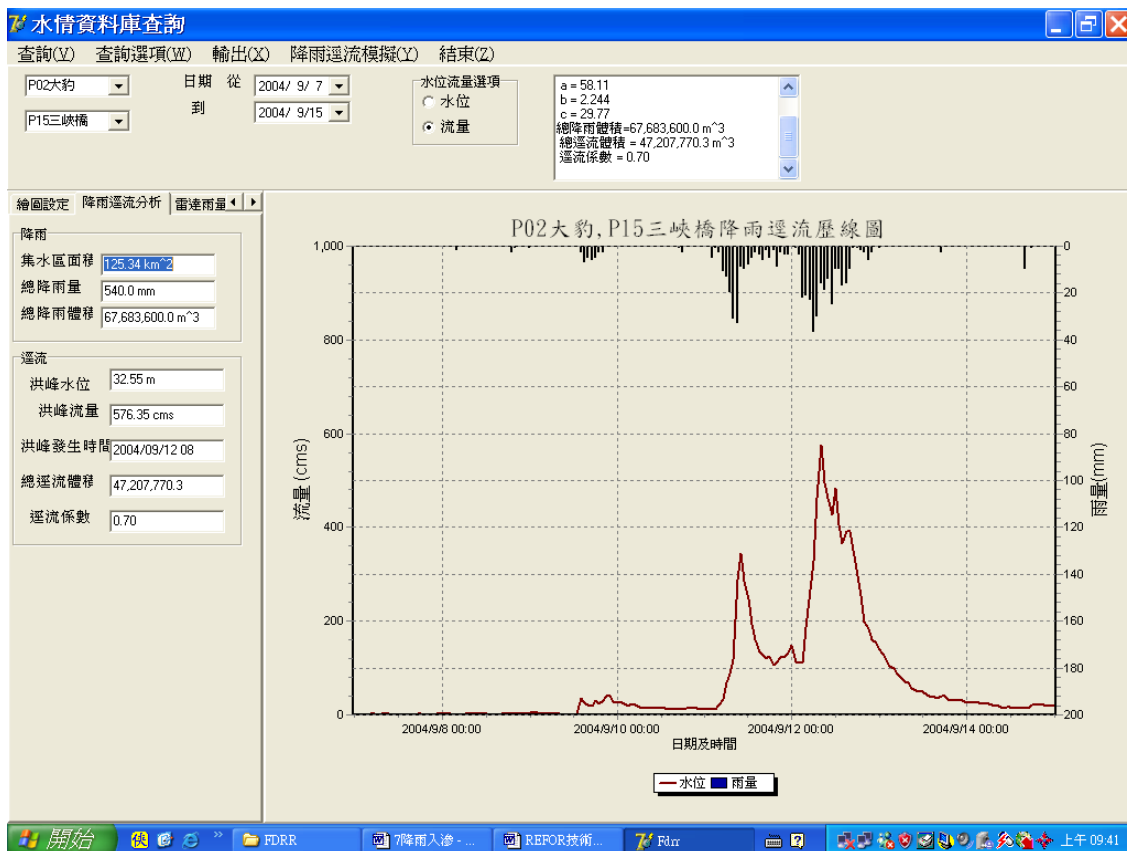


圖 2-3 911 豪雨大豹雨量站及三峽流量站降雨逕流關係圖

係數越高的測站，優先選擇為正常觀測站。

四、雨量觀測站的選用

REFOR 模式採用十河局管轄之石門後池、大豹、三峽、大桶山、福山、坪林、碧湖、石碇、中正橋、火燒寮、瑞芳、五堵、竹子湖、社后橋、三貂嶺、熊空山等 16 站，做為降雨觀測之基本測站，缺一不可，若遇有缺測情況，則必須利用上述方式進行補遺。

(一) 雨量站之選擇

在洪水預測作業方面，應如何選用適當方法選擇恰當的雨量站及計算平均雨量之方法，才能因應降雨觀測的不確定性所造成的誤差？進一步提升洪水預測的準確度，以下提供參考：

1. 選擇良好的水位流量站，及良好的雨量站。
2. 收集地形圖，並將水位流量站及雨量站繪於圖上。
3. 重新檢查水位流量率定曲線。
4. 整理正確的颱風豪雨之降雨及流量紀錄，要注意時間是否一致。
5. 由流量站集水區內的雨量站開始測試與觀察(如前項觀察項目)，逐步選擇距離較遠的雨量站。
6. 利用降雨逕流模式模擬降雨逕流關係。
7. 最後以滿足上述觀察項目，並且降雨逕流模式計算結果最好的雨量站，作為該流量站集水區的預報雨量站。

2-6 雷達定量降雨估計

淡水河流域現有氣象局設置之五分山氣象雷達站，位於台北縣瑞芳鎮五分山，該站由氣象局操作與管理。其觀測半徑達 460km，可觀測風場、降雨強度及大氣分布狀況，該站之降雨強度觀測資料已自動傳輸至十河局資料庫，供洪水預測使用，使用者可選擇洪水預測之資料來源為雷達觀測或是雨量站觀測值。

一、原理

雷達係發射電磁波後，記錄電磁波的迴波強度來判斷降雨強度，並將雷達回波與降雨強

度之關係式，簡稱「雷達公式」：

$$Z = aR^b \quad (2-1)$$

式中， Z ：反射因子(mm^6/m^3)

R ：降雨強度(mm/hr)。

其中， a, b 均為常數，必須由實際雨量資料檢定而得，可利用雷達迴波強度(Z)，與地面雨量觀測結果進行迴歸分析。若已知 $Z-R$ 關係式，則可依據雷達觀測之迴波強度，代入上式求出降雨強度。

二、雷達回波與降雨強度之關係式

經收集世界上及臺灣地區各種主要雷達公式如下：

(一) Miami 公式： $Z = 300R^{1.4}$

(二) Reyd 公式： $Z = 200R^{1.6}$

(三) 臺大(賀伯颱風、中正機場雷達)：

$$Z = 11.026R^{1.769}$$

(四) QPESUMS(五分山雷達)：

$$Z = 32.5R^{1.65}$$

表 2-1 各雷達公式之降雨強度與回波強度表

	$Z=300R^{1.4}$	$Z=200R^{1.6}$	$Z=30R^{1.5}$
R	dBZ ^註	dBZ	dBZ
(mm/hr)	(mm^6/m^3)	(mm^6/m^3)	(mm^6/m^3)
1	24.77	45.31	14.77
5	34.56	47.63	25.26
10	38.77	48.43	29.77
20	42.99	49.14	34.29
30	45.45	49.53	36.93
40	47.20	49.79	38.80
50	48.56	49.99	40.26
60	49.67	50.15	41.44
70	50.60	50.28	42.45
80	51.41	50.39	43.32
90	52.13	50.48	44.08
100	52.77	50.57	44.77
110	53.35	50.64	45.39
120	53.88	50.71	45.96
130	54.37	50.78	46.48

註： $\text{dBZ} = 10 \log_{10} Z$

雷達公式比較圖

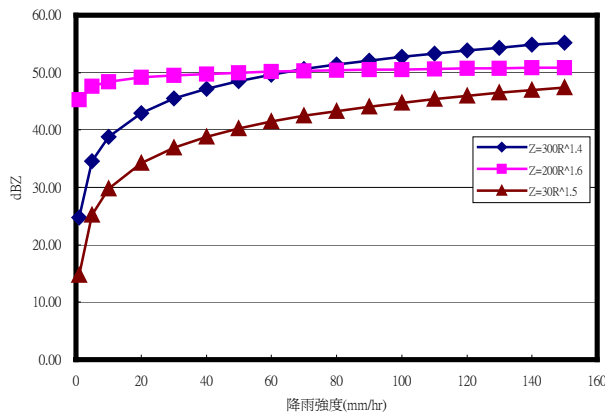


圖 2-2 各雷達公式之降雨強度與回波強度關係圖

三、誤差來源

(一) 減弱效應(Attenuation)

1. 雷達波和大氣中空氣分子、雲粒子、雨滴、冰粒等接觸後，將發生吸收及散射現象，導致能量損失，故對於距離雷達站較遠之雨量觀測迴波，會有低估的現象。
2. 影響因素：雷達波之波長、平均降雨強度、通過降雨區域的距離。Huebner(1977) 提出三種不同波長來回減弱的關係式：

$$(1) \text{ 波長 } 3.2\text{cm}, A = \frac{dR}{30.8}$$

$$(2) \text{ 波長 } 5.5\text{cm}, A = \frac{dR}{130}$$

$$(3) \text{ 波長 } 10.0\text{cm}, A = \frac{dR}{1111}$$

式中，A=減弱量(dBZ)，d=通過降雨區域的距離(km)，R=平均降雨強度(mm/hr)。由式中得知，當波長越短迴波減弱量越大，但是雷達波反射能量越大。利用雷達觀測雨量時，希望雷達波反射能量越大越好，並且迴波能量減弱量越小越好，根據上述分析，雷達波長之選擇應視實際需要取得平衡點。

(二) 亮帶問題：亮帶通常是由發射頻率接近的電波所造成的，通常發生在其他的雷達站位置，其解決方法只有利用亮帶附近的觀測回波補遺之。

(三) 其它誤差因素(迴波衰減、空氣中雨滴及地面站偵測不同、垂直通量、地形降水等)，其中的回波衰減會造成距離越遠回波強度越弱的現象，如果仍然採用單一的 ZR 關係式，則會發生距離越遠越低估降雨量的現象，通常在半徑 100 公里範圍以上的回波衰減會很明顯，解決方法應採用多數的 ZR 關係式，即依據觀測半徑制定不同的 ZR 關係式，以求符合實際需要。

四、雷達觀測雨量及地面雨量站觀測結果比較

(一) 一般而言，距離雷達站越近，觀測結果越好。由美國的經驗得知，在 110km 半徑範圍內，雷達觀測與雨量站觀測之比值在 0.5 至 2 倍之間，距離越遠則誤差越大。

(二) 93 年颱風事件，由五分山雷達觀測雨量之結果如表 2-2，由表中得知，在基隆河中上游集水區雷達觀測與地面雨量站觀測總降雨量較為接近，南勢溪、北勢溪及石門水庫集水區則僅為雨量站觀測值之 0.5 倍以下。其原因可能是未考慮雷達迴波能量衰減之效應，而以同一雷達公式換算降雨強度，未來可考慮依照距離遠近制定不同的雷達公式，或可減少誤差。

¹ Linsly, "Hydrology for Engineers".

表 2-2 五分山雷達與地面雨量站觀測總降雨量比較表

分區 編號	分區控制點	0911 豪雨(0907~0913)			納坦颱風(1024~1026)			艾莉颱風(0822~0825)		
		Radar	雨量站 平均	雷達/雨 量站	Radar	雨量站 平均	雷達/雨 量站	Radar	雨量站 平均	雷達/ 雨量站
1	河口	311.1	543.0	0.6	144.1	370.0	0.4	226.5	721.0	0.3
2	關渡	423.8	543.0	0.8	116.9	370.0	0.3	236.9	721.0	0.3
3	新海橋	422.5	608.0	0.7	133.2	154.0	0.9	345.2	269.0	1.3
4	三峽河口	284.3	529.0	0.5	129.4	273.0	0.5	304.3	581.0	0.5
5	三鶯橋	377.2	515.0	0.7	94.3	211.5	0.4	199.2	519.5	0.4
6	石門水庫	124.5	501.0	0.2	81.9	150.0	0.5	259.2	458.0	0.6
7	江子翠	411.5	608.0	0.7	129.4	154.0	0.8	258.6	269.0	1.0
8	景美溪口	468.4	567.0	0.8	215.2	481.0	0.4	310.3	528.0	0.6
9	秀朗橋	359.8	537.5	0.7	149.2	202.0	0.7	337.2	425.5	0.8
10	屈尺	196.3	436.5	0.4	99.3	244.0	0.4	383.1	731.5	0.5
11	翡翠水庫	223.6	456.0	0.5	137.2	275.0	0.5	208.5	792.0	0.3
12	基隆河口	413.6	543.0	0.8	169.6	370.0	0.5	409.9	721.0	0.6
13	大直橋	505.6	518.0	1.0	190.3	271.0	0.7	352.7	284.0	1.2
14	五堵	493.0	657.0	0.8	213.2	377.0	0.6	181.1	234.5	0.8
15	瑞芳介壽橋	579.3	657.0	0.9	372.6	377.0	1.0	157.8	234.5	0.7
16	員山子	451.4	623.0	0.7	267.0	445.5	0.6	271.8	361.5	0.8

參、降雨逕流分析

3-1 降雨逕流關係²

水文系統中，地表逕流的來源為降水的一部份與某些永久性或間歇性地表河川流出之其他流量，此流量可經由集水區之下游流量觀測站，經過量測而得。一般而言，逕流可分為三部份：第一部份為地表逕流(surface runoff)，係流經地表，再集中於溪谷或河道，流至流域出口之逕流。經過地表的部份初為薄膜流，繼為漫地流。第二部份為地表下逕流(subsurface runoff)，亦稱伏流(interflow)，地表下水流或暴雨潛流(storm seepage)等，為部份降水入滲地表

下土壤內形成側流流入河川，雖然其流速緩慢，於延續中的中度降雨時，地表下逕流可能甚多。第三部份為地下水逕流(groundwater runoff)，亦稱地下水水流、基流或旱季水流等，即入滲之雨水經深層滲漏流入地下水含水層，形成地下水之蓄水量。

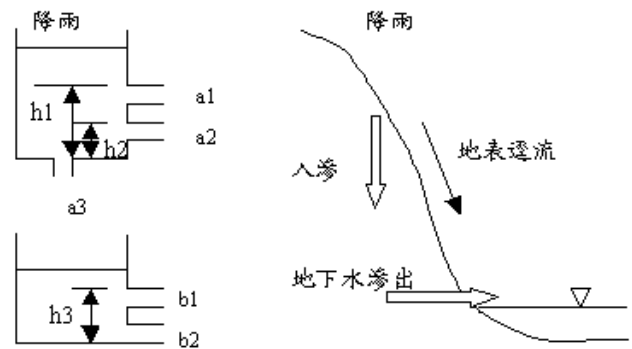


圖 3-1 水桶模式概念示意圖

² 本節文字係摘錄自易任、王如意，「應用水文學」第十一章。

3-2 分布型降雨逕流模式之應用

降雨逕流模式為洪水預測模式中非常重要的一環，其功能是將降落於地面上的降雨量，轉換為集水區的逕流量，然後再注入河川之中，成為河川的流量，在整個預測模式中，扮演降雨串接河川水流的角色，主導河川流量的大小，對於河川水位及流量預測結果之影響甚為劇烈，因此，必須謹慎研究選擇適當的模式。

一、 模式選擇標準

降雨逕流模式係將降雨量轉換為地表逕流量，再輸入至水庫操作模式及一維河川變量流模式。為了效率的因素，由數種水文模式中選擇水桶模式，其主要原因如下：

1. 計算速度快。
2. 可逐時計算逕流量，故可達到即時預測之功能。
3. 僅用到加、減、乘之數學計算，故計算結果非常穩定。
4. 可模擬水庫洩洪及分洪之效應。

根據以上的標準，經過收集水桶模式、線性水庫、儲蓄函數法及單位歷線等方法，在測試尋找的過程中，發現水桶模式完全符合以上標準，因此，本文採用水桶模式作為降雨逕流之模擬。

集水區分區

為了模擬降雨的空間分布特性，將淡水河流域分為 16 個子集水區，分區的原則是以水位流量控制點以上的集水區劃為一區，如瑞芳、五堵、寶橋、三峽等區，水位流量站下游集水區則依據主要支流而劃分。石門水庫、翡翠水庫及員山子分洪等三個集水區因受到水工結構物之影響，必須另外撰寫模式，計算其洩洪量，因此自成一區。至於河川模式所使用之水庫洩洪量，則依據水庫管理單位之通報資料為準。未來可考慮製作水庫操作自動化模擬模式，直接由降雨量計算水庫入流量，並依照操作規則計算水庫出流量，再當做河川模式的

上游邊界條件，預測洩洪量對下游之影響。

3-3 水桶模式

一、 理論基礎

水桶模式(Tank model)為日本學者菅原正已於 1971 年所倡議之水文模式。其概念為將流域之逕流機構，置換為由數個儲留型容器所組成之模型，降雨時地表土壤層（最上層水桶，稱為第一水桶）一部份被雨水儲留，一部份入滲至地下含水層（第二水桶）。

第一水桶，視為地表直接逕流，雨量降落於地面，一部分雨水儲存於地表層，當儲水量超過第一孔口高度時，儲水將由孔口流出，即成為地表逕流，若雨量過大，使得儲水量超過第二孔口高度時，儲水將由第一及第二孔口流出，仍儲存於地表層之水量將滲入地下成為土壤含水量，即由底孔流入第二水桶。

第二水桶，視為中間流及地下水流的總合，當第一水桶儲水由底孔流入後，第二水桶之儲水將增加，若持續增加超過其側孔高度時，超過孔口高度的部分將由側孔流出成為中間流；仍儲存於第二水桶之儲水的一部分將由底孔流出，成為地下水流。

二、 計算步驟：

1. 設定第一及第二水桶儲水高度初始值， H_{tank1} 、 H_{tank2} 。
2. 讀取降雨量 $R_t(mm)$ 。
3. 將降雨量加入第一水桶儲水量， $H_{tank1}:=H_{tank1}+R_t$ 。
4. 計算各孔口流出量， $Q_{11}=a_1*H_{tank1}$ ， $Q_{12}=a_2*H_{tank1}$ ， $Q_{13}=a_3*H_{tank1}$ 。
5. 計算第一水桶剩餘儲水量， $H_{tank1}:=H_{tank1}-Q_{11}-Q_{12}-Q_{13}$ 。
6. 轉換單位， $Q_{11}=Q_{11}*0.278*Area$ ， $Q_{12}=Q_{12}*0.278*Area$ 。
7. 將第一水桶底孔流量加上第二水桶儲水量， $H_{tank2}:=H_{tank2}+R_t$ 。
8. 計算各孔口流出量， $Q_{21}=b_1*H_{tank2}$ ， $Q_{22}=b_2*H_{tank2}$ 。

9. 計算第二水桶剩餘儲水量， $H_{\text{tank}2} = H_{\text{tank}2} - Q_{21} - Q_{22}$ 。
10. 轉換單位， $Q_{21} = Q_{21} * 0.278 * \text{Area}$ ， $Q_{22} = Q_{22} * 0.278 * \text{Area}$ 。
11. 重複 2~10 步驟直到計算完畢為止。
 注意事項：各水桶孔口係數之總和應小於或等於 1。

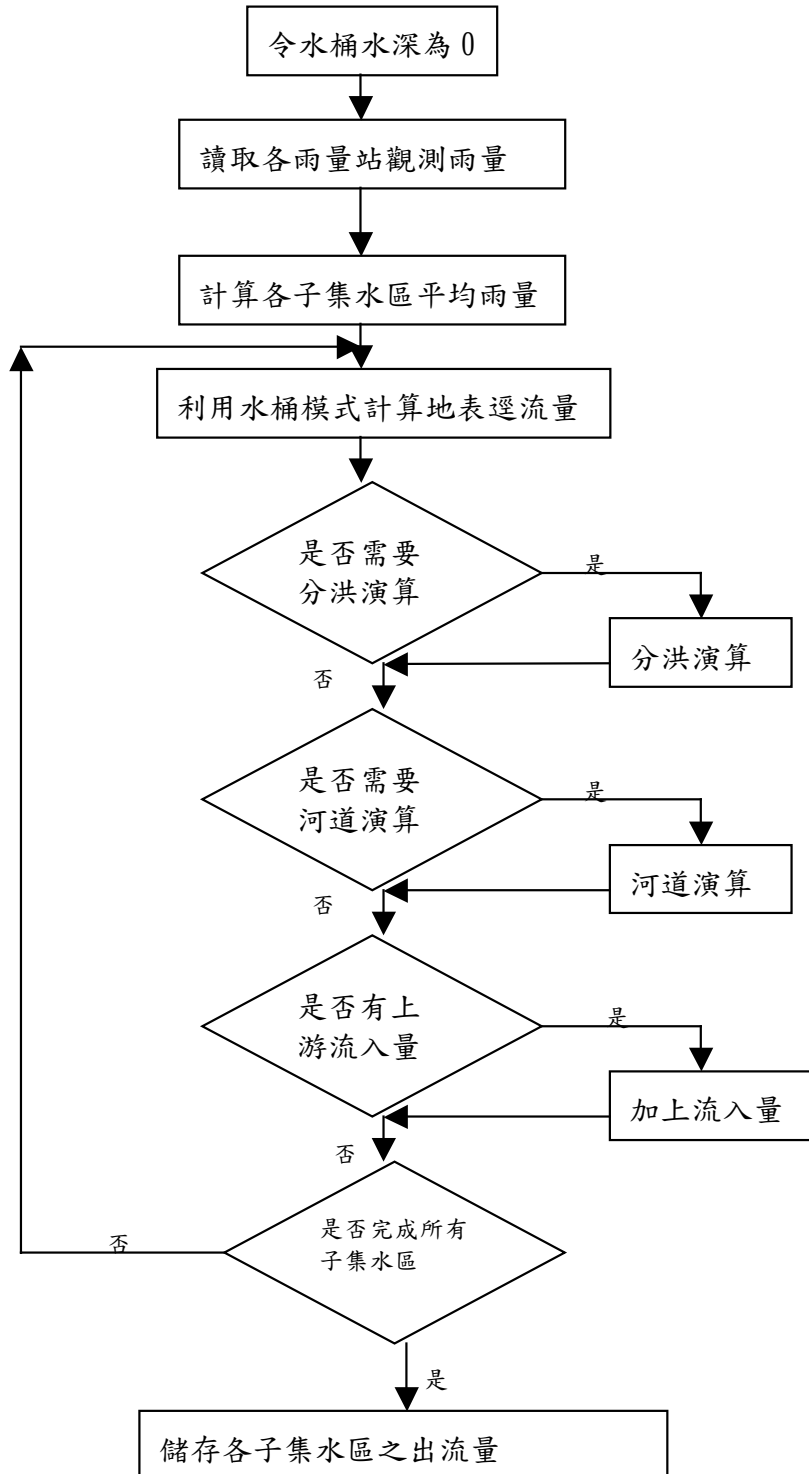


圖 3-2 REFOR 降雨逕流模式演算流程圖

三、 參數的敏感度

(一) 孔口係數 a

孔口係數應小於 1 大於 0，其值越大，洪峰量越大、洪峰到達時間越提前，且流量上升及下降均快，其流量歷線的形狀呈現瘦高型。其值越小，洪峰量越小、洪峰到達時間越落後，且流量上升及下降均慢，其流量歷線的形狀呈現胖矮型。

(二) 孔口高度 h

孔口高度應大於零，其值越大，則表示流域土壤蓄水能力越好，故地表逕流越延後產生。其值越小，則表示流域土壤蓄水能力越差，故地表逕流越提前產生。

(三) 水桶初始水深

水桶的初始水深代表土壤的含水量，初始水深會影響開始模擬的一段時間，其影響的結果是一開始的地表逕流量會低於實測流量，但是隨著持續的降雨注入水桶之內，水桶內的水深就會逐漸的符合土壤的含水量，因此，水桶模式的計算結果會越準確。

3-4 各子集水區逕流與河川模式之銜接

依照淡水河流域之主要子集水區特性，並且盡可能以流量站為子集水區之出口控制點，區分為 16 子集水區，其中，瑞芳介壽橋、五堵、秀朗、寶橋、三峽、橫溪、三鶯橋等流量站以上集水區之降雨逕流關

係，均先完成模式參數之檢定與驗證，並將其參數引用至其他附近之子集水區，詳表 3-1。降雨逕流計算完成後，可得到各子集水區的地表逕流量，再將地表逕流量當作河道變量流模式中相對應河道斷面的側入流量，如表 3-2 所示。

表 3-1 淡水河流域各子集水區水桶模式參數表

編	集	面積	h1	h2	A1	A2	A3	B1	B2	H3
1	淡	38	10	1	0.08	0.05	0.008	0.2	0.009	5
2	關	106	10	1	0.08	0.05	0.008	0.2	0.009	5
3	新	119	10	1	0.08	0.05	0.008	0.2	0.009	5
4	三	191	10	1	0.08	0.05	0.008	0.2	0.009	5
5	三	95	10	1	0.08	0.05	0.008	0.2	0.009	5
6	石	765	---							
7	江	56	100	80	0.2	0.1	0.005	0.1	0.009	5
8	景	122	100	80	0.2	0.1	0.005	0.1	0.009	5
9	秀	102	100	80	0.35	0.1	0.008	0.1	0.009	5
10	屈	345	400	100	0.1	0.05	0.008	0.08	0.009	5
11	翡	307	---							
12	基	114	350	80	0.3	0.1	0.005	0.08	0.01	5
13	大	172	350	80	0.3	0.1	0.005	0.08	0.01	5
14	五	98	350	80	0.3	0.1	0.005	0.08	0.01	5
15	瑞	9	100	40	0.2	0.1	0.005	0.08	0.01	5
16	員	87	100	40	0.2	0.1	0.005	0.08	0.01	5
	合	2726								

3-2 淡水河流域降雨逕流模式分區特性說明

分區編號	分區控制點	區塊面積(km ²)	匯入河川斷面編號	說明
1	河口	38	TE05	下游邊界(潮汐)
2	關渡	106	TE14	含二重疏洪道
3	新海橋	119	TE38	含塔寮坑溪
4	三峽河口	191	TE51	
5	三鶯橋	95	B.C.	水庫洩洪及降雨逕流
6	石門水庫	765	----	以水庫洩洪量計算
7	江子翠	56	HE07	匯入 TE30
8	景美溪口	122	HE15	
9	秀朗橋	102	B.C.	屈尺流量及降雨逕流
10	屈尺	345	---	
11	翡翠水庫	307	---	以水庫洩洪量計算
12	基隆河口	114	KE09	含內外雙溪
13	大直橋	172	KE43.1	由內溝溪匯入
14	五堵	98	B.C.	上游邊界
15	瑞芳介壽橋	9	---	
16	員山子	87	---	含分洪操作
Total		2,726		

註：適用於民國 87~92 年，93 年以後參數詳如附錄“REFOR 模式輸入資料”

肆、水文洪水演算

4-1 前言

洪水演算可分為兩大類，一為水文演算 (Hydrological Flood Routing)，另一為水力演算 (Hydraulic Flood Routing)。水文演算是應用水文連續方程式及儲蓄函數求解，以求得流入流出量及蓄水量的關係，可再分為河川演算、水庫演算及集水區演算。水力演算係應用明渠水流變量流動力微分方程式之理論，如連續方程式及動量方程式，以求出河川水位及流量，較能精確的反應洪水運動的特性，惟其運算程序較為繁瑣。

除了上述的水文狀況外，遇到設有水工構造物的河段，必須依據其水理特性，另外求解水流經過水工構造物的水位及流量。例如水庫及分洪道之操作等。其中，水庫演算是採用水文平衡方程式計算河川水位(離線作業)；員山子分洪之洪水演算，係利用質量守恆方法計算孔口攔河堰的孔口流量及隧道分洪量，以及其堰前水位；通過孔口攔河堰的放流量將會排入基隆河，該放流量可利用河道洪水演算方法(如運動波等)，計算至變量流模式之上游邊界點，供變量流模式使用。

一、水文方程式

(一) 水文方法著重在質量守恆定律，所謂質量守恆係指流入水文系統的質量 I 減去流出的質量 Q 後，得到水文系統的淨流入量 $(I-Q)$ ，存在水文系統中的儲蓄量 S 會因此而增加，此一關係式稱又為「連續方程式」(continuity equation)，表示如下：

$$I(t) - Q(t) = \frac{dS(t)}{dt}$$

(二) 上述水文方程式中，流入量通常為已知條件(如上游流入量)，出流量係未知數，儲蓄量的變化也是未知數，因為一個方程式有兩個未知數，有無限多組解，故需要另外一個方程式才能求得唯一解。

通常是以儲蓄量表示成流入量及流出量的函數，稱為「儲蓄函數」(storage function) 如下：

$$S = f\left(I, \frac{dI}{dt}, \frac{d^2I}{dt^2}, \dots, Q, \frac{dQ}{dt}, \frac{d^2Q}{dt^2}, \dots\right)$$

式中的函數 f 是由水文系統的特性所決定的，例如線性水庫的情況，即假設儲蓄量與流出量成正比，即 $S = KQ$ 。

(三) 求解方式，係將連續方程式與儲蓄函數聯立求解，以線性水庫為例：

$$I - Q = \frac{dS}{dt}$$
$$k \frac{dQ}{dt} + Q = I$$

上式為一階常微分方程式，可以一般的數學方法求解。

二、水庫演算或分洪演算

水庫及分洪的水文演算也是利用上述的原理求解，其中的儲蓄函數必須依據水庫的出流量控制設施的水理特性建立適當的關係式，例如水庫的出水口為自由溢流堰時，可利用堰流公式 $Q = C_w LH^{1.5}$ 及水庫的水位-容積曲線，組成儲蓄函數；在孔口堰的情況則由孔口流公式 $Q = C_d BD\sqrt{2gH}$ 水庫的水位-容積曲線組成。

REFOR 模式對於員山子分洪的模擬方式，是基於員山子分洪工程佈置及其水理特性，依據連續方程式、孔口公式及堰流公式同時求解。水庫演算的模擬因石門及翡翠水庫係人工操作，故未納入模擬，而是直接將水庫的人工調節洩洪量當作是上游河段的輸入資料，加上降雨逕流模式之計算結果。

4-2 員山子分洪洪水演算

員山子分洪工程為基隆河整體治理計畫中之一項，其目的係將瑞芳以上河段面積約 91.2 平方公里之集水區所產生之洪水，以隧道

排放至東海，以降低瑞芳以下河段之洪水位，其設計分洪流量為 1310cms，保留 310cms 於基隆河河道。其構造包括孔口攔河堰、側流堰、分洪堰、隧道、出口消能池等主要設施，自民國 91 年 5 月開工，於民國 94 年 10 月完工。

一、員山子分洪基本數據

基隆河員山子上游集水區目前設有三處雨量站，即瑞芳站、三貂嶺站及火燒寮站，可供暴雨頻率分析之用。利用最大三日暴雨分析之結果可進一步推算洪水量。本集水區下游約 3 公里處之瑞芳介壽橋設有流量站一處，可供洪水量分析成果之比較。

利用最大三日暴雨頻率分析結果之對數皮爾遜 III 型分佈與基隆河流域設計雨型，代入單位歷線法推算員山子堰址 200 年重現期距年之洪峰流量約為 1,620cms。

二、員山子分洪洪水演算方法

員山子分洪工程採用雙孔口式攔河堰，孔口底部標高為 60 公尺，孔口寬度為 8 公尺、高度為 2.5 公尺，堰頂標高為 68 公尺。並設有側流堰及分洪堰(堰頂高程為 63 公尺)，因此，當堰前水位高於 63 公尺時，洪水才能越過分洪堰而流進分洪隧道。以下將說明員山子分洪孔口攔河堰及分洪堰之洪水演算方法：

(一) 孔口攔河堰

1. 當水深與孔口高度的比值(Y/D)≤1.2 時，進水口前之水位未達到孔口頂部，此時為臨界流：

$$Q_m = \frac{2}{3} C_b B y \left[\frac{2}{3} g y \right]^{0.5} \quad (4-1)$$

其中，

B=寬度(ft)，y=孔口堰前水深(ft)，
g=32.2ft/sec²，C_b = 束縮係數，
圓弧邊緣時=1，垂直邊緣時=0.9。

2. 當水深與孔口高度的比值(Y/D)>1.2 時，進水口前之水位達到孔口頂部，此時為孔口流：

$$Q_m = C_h B D \sqrt{2g(Y - C_h D)} \quad (4-2)$$

其中，C_h = 0.8(圓弧邊緣)，=0.6(垂直邊緣)。

符號說明:Q = 流量 cms，Y=堰前水深，H=水位 m=Y+60、b=16m、D=2.5m。
注意單位轉換。

(二) 閘門孔口射流之流量計算

若閘門的厚度很小，且為自由流的情況下，閘門的流量可利用閘門上游水位以下式計算：

$$Q = CLh\sqrt{2gy_1}$$

式中，Q=閘門孔口流量(cms)，

C=係數，0.5~0.6 之間，

L=閘門寬度(m)

h=閘門開度(m)

g=重力加速度=9.81m/sec²，

y₁=閘門上游水位(m)。

(三) 分洪堰

分洪堰為自由溢流臥基式攔河堰，其堰頂水位與流量關係式為一般的堰流公式，依據基本設計報告，即

$$Q_d = C_L L_d (H - 63)^{b_w} \quad , \quad \text{其中}$$

C_L=1.5637、L_d=80m、b_w=1.65955。

根據水利規劃試驗所於民國 93 年完成之水工模型試驗結果，重新率定後參數修

改為 C_L = 1.4114, b_w = 1.9645。

(四) 員山子分洪進水口水理分析

為求得員山子分洪攔河堰前水位，利用質量守衡方程式 Q_{in} = Q_m + Q_d，即上游流入量(Q_{in})等於孔口流量(Q_m)加上分洪流量(Q_d)，由於前式為水位的非線性方程式，故採用利用牛頓法求解水位值，再分別代入孔口公式及堰流公式，求出其流量。

4-3 水庫洪水演算

水庫防洪操作模式，係利用水文平衡方程式、水庫容積曲線及操作規則進行水庫洪水演算，如下：

$$I - Q = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\frac{1}{2}(I_t + I_{t+\Delta t}) - \frac{1}{2}(Q_t + Q_{t+\Delta t}) = \frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t}$$

式中，I=水庫入流量(cms)，Q=水庫出流量(cms)，S=水庫容積(m^3)， Δt =模擬時間間距(seconds)。水庫入流量可利用降雨逕流模式估計，水庫的出流量則包括溢洪道溢洪量、發電放水量、河道放水口放水量、水面蒸發及入滲等，水庫容積與水位的關係需水庫單位提供資料。進行水庫演算時(6-4)式中， $I_t, I_{t+\Delta t}, Q_t, Q_{t+\Delta t}, S_t$ 等均為已知，可以計算出下一時刻的水庫容積，再由水位容積曲線求得對應的水庫水位。在洪水時期，水庫流入量及溢洪量的數值甚大，看不出蒸發及入滲(統稱損失量)的影響，可以忽略損失量；但是，在平時，水庫流入量、溢洪量及水庫水位變化甚小，此時，損失量對於水庫容積會有明顯的

影響，若不考慮損失量，則會產生水庫流入量為負值的不合理現象。

計算步驟：

1. 已知前時刻水庫入流量及出流量，以及本(6-3)時刻水庫水位及容積。
2. 由(6-4)水桶模式計算本時刻水庫入流量 $I_{t+\Delta t}$ 。
3. 由水庫操作規則計算本時刻水庫出流量 $Q_{t+\Delta t}$ 。
4. 計算本時刻水庫容積，即

$$S_{t+\Delta t} = S_t + \left(\frac{1}{2}(I_t + I_{t+\Delta t}) - \frac{1}{2}(Q_t + Q_{t+\Delta t}) \right) \times \Delta t \quad (4-5)$$

根據上述公式及計算步驟，以 93 年艾利颱風翡翠水庫之降雨逕流及洩洪操作結果做為模擬對象，其結果如圖 4-1~圖 4-2。

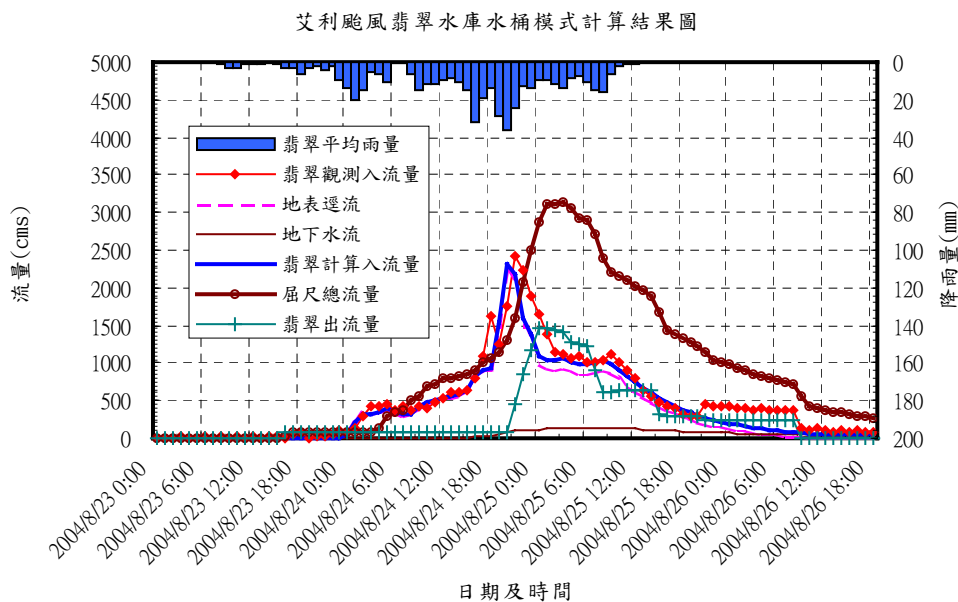


圖 4-1 93 年艾利颱風翡翠水庫降雨逕流及洩洪歷線圖

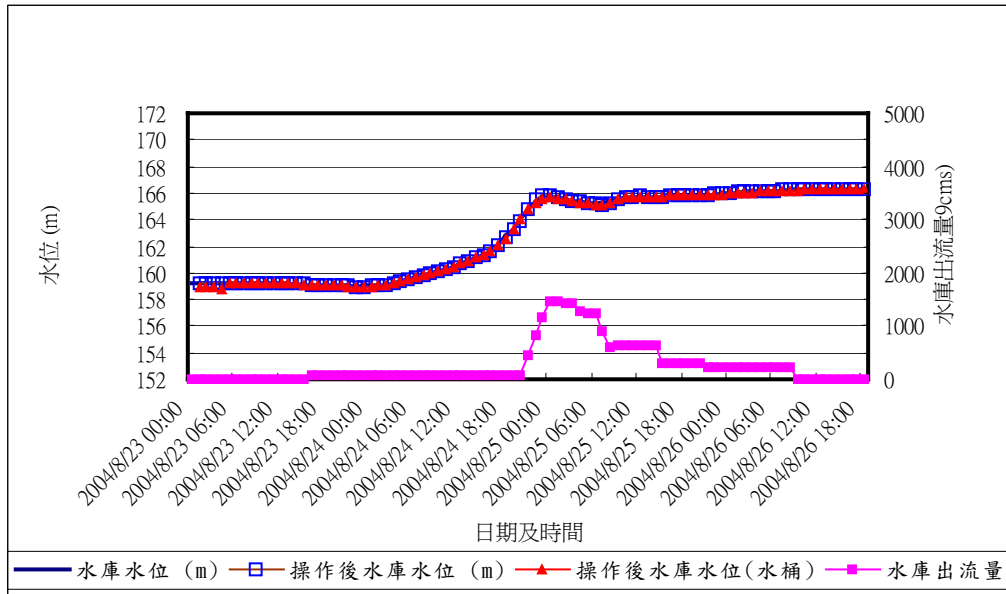


圖 4-2 93 年艾利颱風翡翠水庫模擬操作歷線圖

由上圖得知，降雨逕流及水庫操作後的水位與實際操作結果相當符合，因此，可用以模擬翡翠水庫之操作。另外，因水庫操作原則上係依據其既定之水庫操作規則，受到人為因素掌控，故本模式係以離線方式計算水庫操作後之水位及計畫洩洪量，在實際的洪水預測則以水庫單位正式通知之洩洪量為準。

伍、潮汐調和分析

5-1 基本概念

潮汐是由於月球和太陽等天體及其他如海底、海岸地形、大氣壓力、地球自轉、港灣共振之影響而有週期性升降現象，稱為潮汐。海面上升稱為漲潮(flood);海面下降稱為退潮(ebb)。天文潮則是指受天體影響之海面變化，暴潮則指氣壓潮及強風潮之推升，可用下式表示：

$$\text{潮汐} = \text{天文潮} + \text{暴潮} \quad (5-1)$$

本章將分別說明天文潮及暴潮(僅氣壓潮)之推估方式。

天文潮為週期變化，一般常用調和分析模擬天文潮的潮位變化，也就是將潮汐資料分解為數個不同振幅及週期的正弦函數及餘

弦函數，每一個分潮為簡單的時間調和函數，其中，各分潮的週期為固定值，可由文獻中獲得，分潮的振幅則必須依據觀測資料利用線性迴歸方法推算。以下說明調和分析方法：

一、天文潮潮汐公式

$$y_t = C_0 + \sum_{i=1}^M A_i \cos[2\pi(\sigma_i t_i - \phi_i)] \quad (5-2)$$

上式為非線性方程式，可利用三角函數轉換為線性方程式如下式：

表 5-1 淡水河河口潮位站主要分潮名稱及特性

符號	名稱	頻率	週期	振幅 (cm)
M2	主太陰半日週潮	0.0805114007	12.42060131	106.1770
S2	主太陽半日週潮	0.0833333334	11.99999904	30.8648
K2	日月合成半日週潮	0.0835614924	11.96723515	5.4361
K1	日月合成日週潮	0.0417807462	23.93446743	19.5283
O1	主太陰日週潮	0.0387306544	25.81934463	16.2963
P1	主太陽日週潮	0.0415525871	24.06588855	7.1180
Sa	太陽年週潮	0.0001140741	8766.546857	16.3698
N2	主太陰橢率潮	0.0789992488	12.65834802	18.8340

註：振幅由 1995 年淡水河河口站水位資料調和分析所獲得。

$$y_i = C_0 + \sum_{i=1}^M [C_i \cos(2\pi\sigma_i t_i) + S_i \sin(2\pi\sigma_i t_i)] \quad (5-3)$$

$$A_i = \sqrt{C_i^2 + S_i^2} \quad (5-4)$$

$$2\pi\sigma_i = \tan^{-1} \frac{S_i}{C_i} \quad (5-5)$$

上式中， $C_0, C_1 \sim C_M, S_1 \sim S_M$ 均為未知數，可利用調和分析以回歸方式求出。 σ_i 為已知分潮頻率，等於分潮週期的倒數。一般情況取四種主要分潮(M2、S2、K1、O1)即可獲得良好結果，分潮數目越多，結果越好。

二、分潮個數選擇

天文分潮個數甚多，文獻記載最多達 170 個參數，淡水河系統模式採用九個，基隆河模式採用六十個，究竟要多少個參數才能達到要求？下表將分潮個數對應之誤差值列表，由表中得知，當分潮個數超過 10 個，其平均誤差及絕對值平均誤差相當接近，亦即分潮個數超過 10 個以後，對於誤差的改善有限。故本模式係參照下表選擇誤差最低者，即 30 個分潮參數為即時預測模式使用。

表 5-2 天文分潮個數對於預測誤差比較表

分潮個數	檢定(1995)		驗證(1996)	
	平均誤差 (cm)	絕對值平均誤差 (cm)	平均誤差 (cm)	絕對值平均誤差 (cm)
4	18.125	22.772	19.473	24.36
10	9.020	11.942	10.346	13.386
20	8.847	11.678	10.558	13.688
30	8.749	11.578	10.641	13.727
40	8.784	11.591	10.557	13.700
50	8.808	11.644	10.577	13.732
60	8.833	11.696	10.592	13.766

註：採用河口水位站 1995 年全年度觀測紀錄做為檢定參數，1996 年全年度觀測資料做為驗證。

表 5-3 不同年份之天文潮參數預測結果比較表
(絕對值誤差) 單位：公分

參數年份	預測年份			
	2001	2002	2003	2004
1995	32.359	41.202	33.71	34.488
2001	11.519	19.752	15.301	14.171
2002	---	17.203	14.519	13.922
2003	---	---	13.511	17.948
2004	---	---	---	12.956

5-2 暴潮位

暴潮位係由大氣壓力及波浪所引起之海水水位變化，其中大氣壓力引起之水位變化較大，本節將說明大氣壓力對於水位之影響及其推估方式。近年來，颱風暴潮以賀伯、溫妮、納莉及蘭寧颱風較為明顯，如下表：

表 5-4 淡水河河口暴潮位推估結果表

颱風名稱	最高潮位發生日期及時間	觀測最高潮位 (cm)	天文潮預測水位 (cm)	暴潮位 (cm)	修正後潮位預測 (cm)
賀伯	1996/8/1 0:00	250	199.2	50.78	270.0
納莉	2001/9/16 22:00	207	175.0	38.62	206.5
蘭寧	2004/8/12 21:00	148	109.0	32.00	134.8

註：修正後潮位係以天文潮加上推估之暴潮位而得。

一般的水位觀測並無法直接觀測暴潮位，暴潮位係將觀測潮位減去天文潮潮位而獲得，屬於間接取得之資料，使用時應注意其間接取得之特性。

一、氣壓潮理論基礎

氣壓之大小通常以水銀柱高度或毫巴(mb)表示，一個標準大氣壓等於 760mmHg 或 1013mb 的壓力，其單位轉換關係如下：

$$1atm = 760mmHg = 1013mb$$

$$1mmHg = 1.333mb$$

$$1mb = 1000dyne/cm^2$$

賀伯颱風淡水河河口暴潮位歷線圖

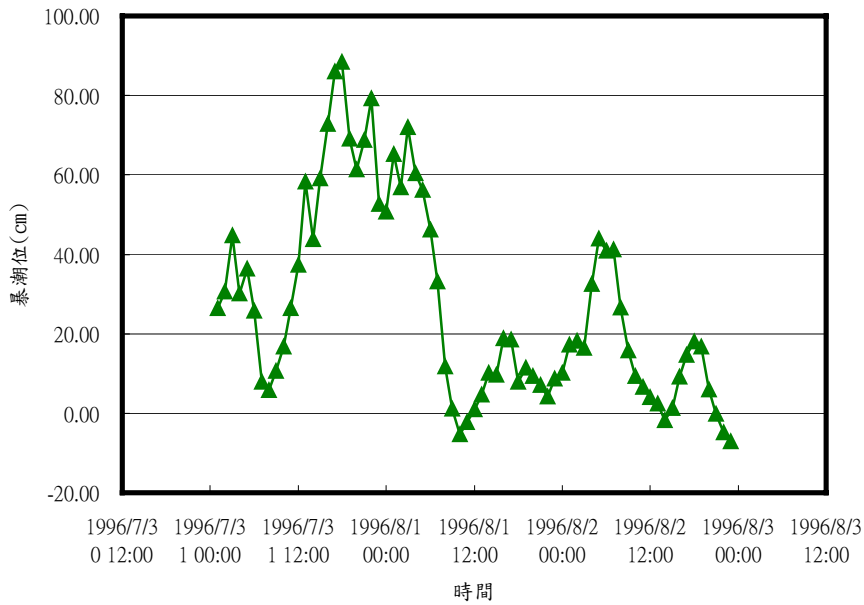


圖 5-1 淡水河河口站賀伯颱風暴潮位歷線圖

圖 5-1 為賀伯颱風淡水河河口暴潮位歷線圖，由圖中可知，最大暴潮位高達 88 公分，因此，為提升河口潮位預報精確度，應考慮暴潮位。

二、氣壓潮推估方式

颱風過境時，氣壓突然下降，引起海面上升稱為氣壓潮，屬於氣象潮成分之一，可以利用下式推估：

$$\Delta H = \frac{\Delta P \times \gamma_m}{1000 \times \gamma_s} \quad (5-6)$$

式中， ΔH = 氣壓潮(m)， ΔP = 氣壓下降值(mmHg)， γ_m = 水銀比重(13.6)， γ_s = 海水比重(1.03)(文獻 12)。

三、氣壓潮計算實例

利用上述公式、十河局淡水河口水位站紀錄及氣象局淡水氣象站之氣壓觀測紀錄，進行公式推估分析，將賀伯、納莉颱風之推估結果繪如圖 5-2：

由賀伯颱風的實例中得知，若僅利用天文

潮公式推估河口潮位，在最高潮位時(1996/8/1 0:00)觀測水位為 2.50 公尺，天文潮預測值為 1.99 公尺，潮位預測值低於觀測水位 0.51 公尺；最大誤差發生於 1996/7/31 18:00 達 0.88 公尺，平均絕對值誤差達到 0.28 公尺。若考慮暴潮，則在最高潮位時潮汐預報值修正為 2.61 公尺，高於觀測水位 0.11 公尺，最大誤差發生於 1996/8/1 10:00 預測值高於觀測值 0.46 公尺(尚含有天文潮之預測誤差)，平均誤差則為 14.36 公分。

賀伯颱風淡水河口潮位預報與觀測比較圖
天文潮+氣壓潮

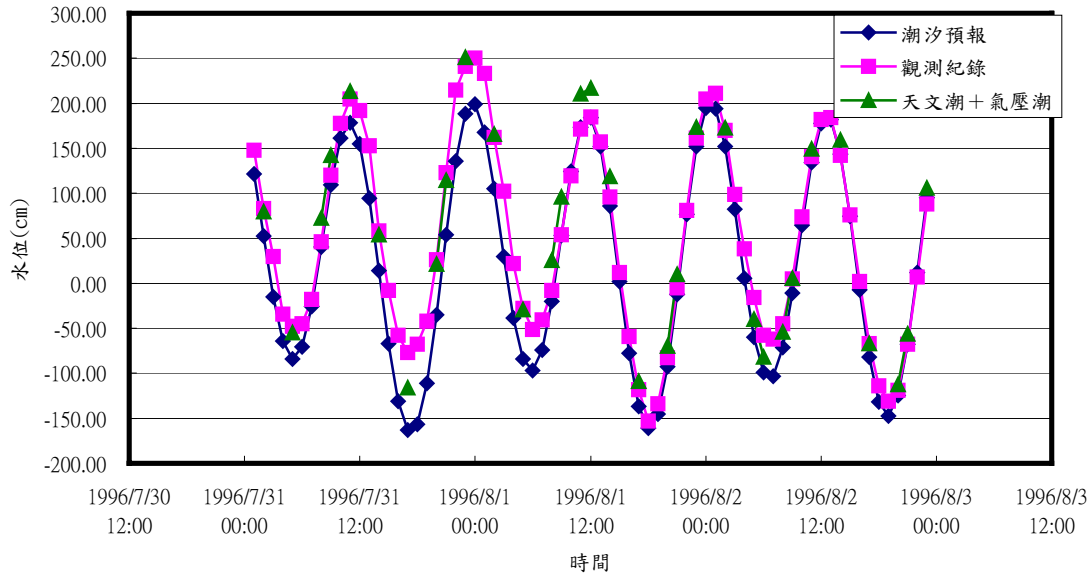


圖 5-2 淡水河河口站賀伯颱風潮位預測與觀測比較圖

表 5-5 淡水河河口站天文潮參數表

分潮名稱	週期(hr)	振幅(cm)	Cj	Sj
M2	12.42060131	106.177	85.7346	-62.6349
S2	11.99999904	30.8648	28.0649	12.845
K1	23.93446743	19.5283	-8.1843	-17.7305
O1	25.81934463	16.2963	-12.195	-10.8097
N2	12.65834802	18.834	15.5254	-10.6621
Sa	8766.546857	16.3698	-14.9414	-6.6877
K2	11.96723515	5.4361	-4.5284	3.0075
P1	24.06588855	7.118	-0.2084	-7.1149
M4	6.2103006	2.988	-0.1882	-2.9821
R2	11.98359579	2.9146	1.9642	2.1533
T2	12.01644908	4.563	3.6503	2.738
L2	12.19162058	4.0713	-3.195	2.5234
LUMDA2	12.22177436	4.4441	3.1972	3.0867
NU2	12.62600437	6.710	-2.1419	-6.3589
MU2	12.87175727	2.4625	-1.6385	1.8383
2N	12.90537393	4.3078	3.1601	-2.9277
OO	22.30607419	0.7201	0.6431	-0.324
J1	23.09847573	1.1327	-0.3111	-1.0892
S1	24	0.5675	0.5105	-0.2478
M1	24.83324836	1.1934	0.046	-1.1925
RHO1	26.72307902	0.7225	-0.6685	0.2741
Q1	26.86835848	3.3757	-2.2956	-2.475

註：1.平均潮位 C0=11.4797cm。以上參數係利用 1995 年 1 月 1 日至 12 月 31 日的小時資料進行回歸。

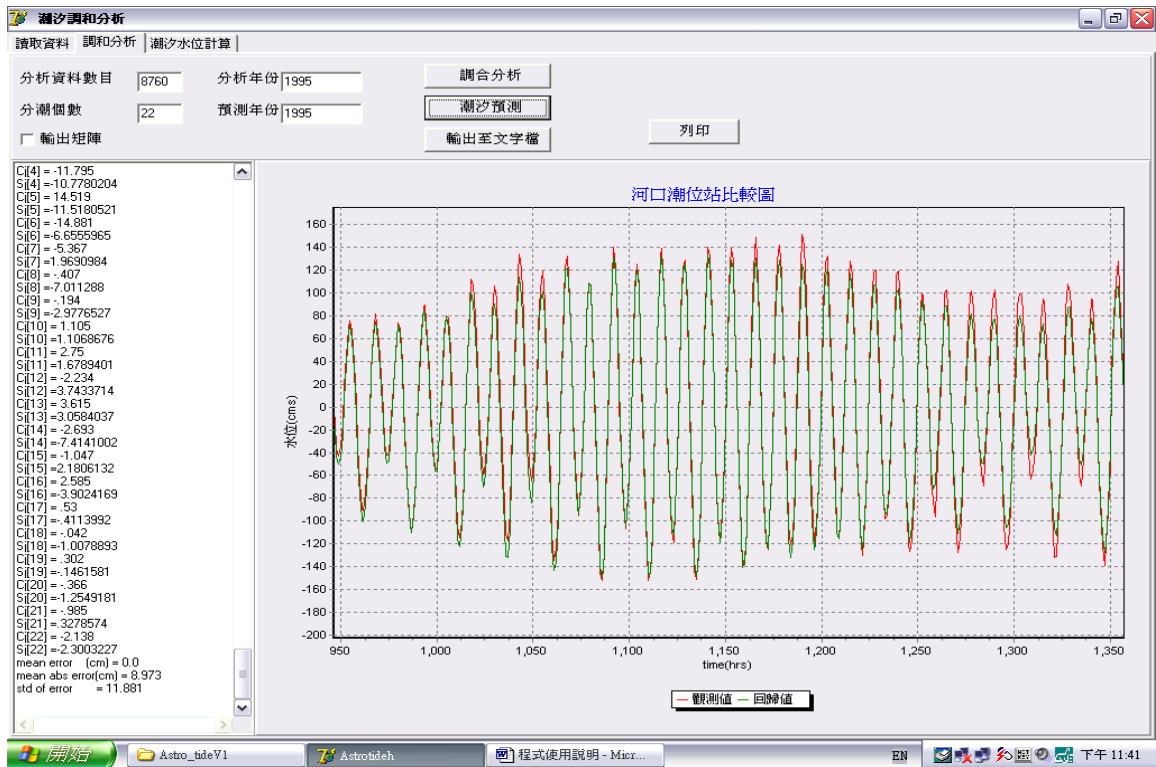


圖 5-3 調和分析求得 22 個分潮係數結果及觀測值比較圖

陸、一維河川變量流水理分析

淡水河水系受海水感潮影響甚鉅，常水位時期大漢溪感潮段達鐵路橋(41 斷面)、新店溪感潮段達秀朗橋(18 斷面)、基隆河感潮段則達到長安橋(68 斷面)，而上述感潮段地勢平坦、人口集中，為淡水河洪水預報之重點河段，因此，必須考慮河口水位受潮汐之影響。為了能模擬河口潮汐及上游降雨所造成之洪水之交互作用，必須應用河川變量流模式 (unsteady flow model)，即求解動力波方程式，以下說明變量流模式之基本觀念、數值分析方法及河川網路的模擬方式：

6-1 一維河川變量流控制方程式

一維河川變量流控制方程式(Z,Q 形式)，連續及動量方程式分別為：

一、連續方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q_l = 0 \quad (6-1)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial t} - q_l = 0 \quad (6-2)$$

二、動量方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) - \beta q_l v_x = 0 \quad (6-3)$$

式中，Q=流量 cms，

A=通水面積 m²，

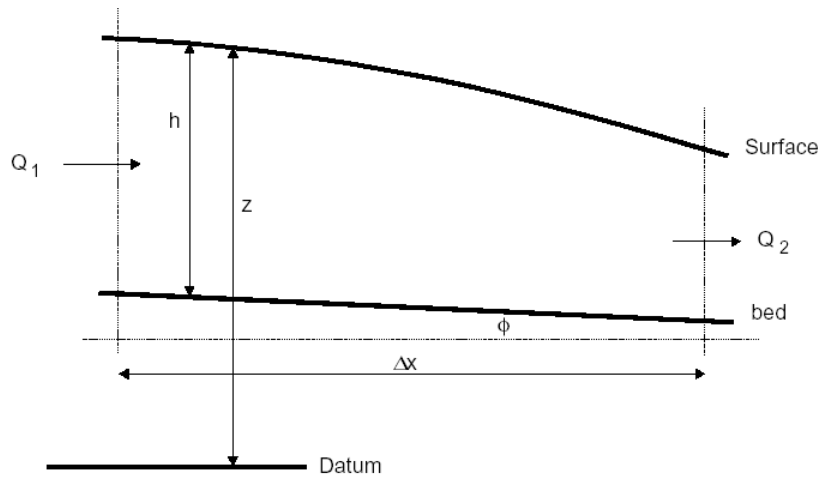
Z=水位 m，

B=水面寬 m，

S_f=水面坡降，

β=動量係數=1.1，

q_l=單位長度側流量 cms/m。(6-1)及(6-2)式適用於緩變量流、忽略風力、科氏力等。



渠道縱剖面

6-2 數值方法-隱式法

河川變量流控制方程式，構成非線性偏微分方程組，必須經過適當的數值方法分解為聯立方程組才能求解。REFOR 模式採用 Preissmann 四點隱式法進行數值差分，並依據河道斷面之關連性組成非線性聯立方程組，再利用牛頓法求出各斷面之水位及流量。詳細的數值分析及理論推導，詳如 Ven Te, Chow 所著“Applied Hydrology”。

在邊界條件方面，上游採用流量歷線，下游採用水位歷線。河道兩側之側流量，可採用固定流量或是流量歷線。河川網路係以淡水河(含大漢溪)為主流，基隆河及新店溪視為支流，也就是先計算主流，再將主流與支流匯流點斷面的水位當作支流的下游邊界條件，再計算支流的變量流流況，並重複 2~3 次。其優點為可降低高斯消去法矩陣的維度，而且速度快。至於二重疏洪道尚未納入。

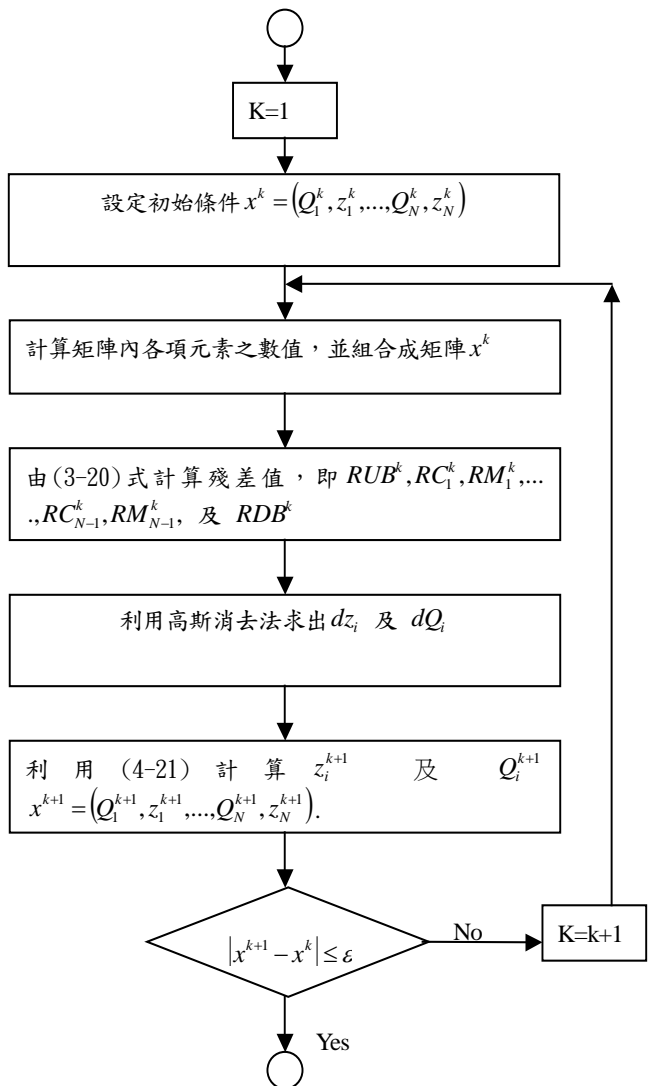


圖 6-1 牛頓法求解非線性聯立方程組流程圖

6-3 河道大斷面之處理方式

河道大斷面均為不規則形狀，如下圖，在變量流模式中，必須處理成爲水位-面積、水位-濕周長以及水位-河寬之對照表，在模式運算過程中，需利用水位查表以獲得水流面積及河寬資料。

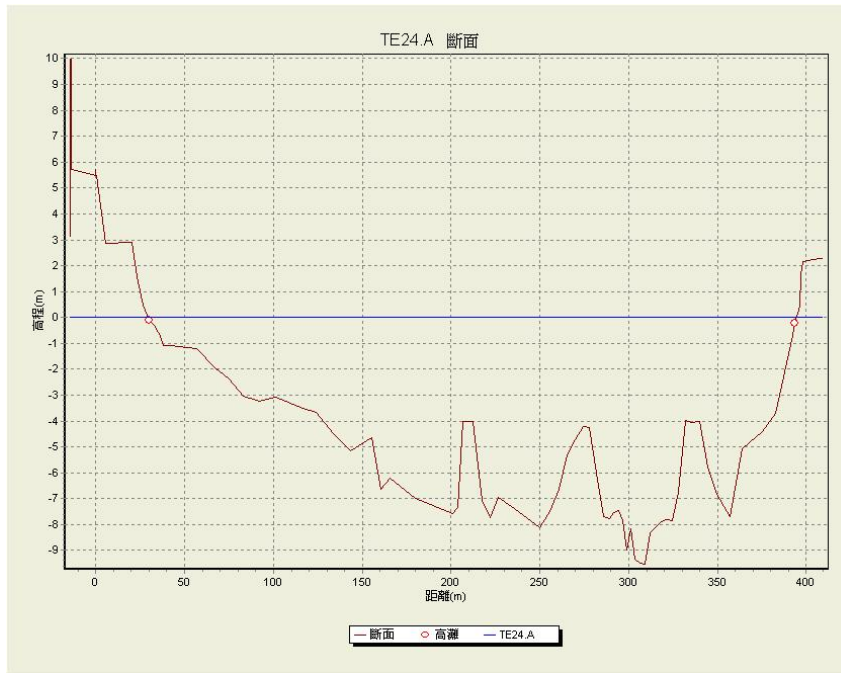


圖 6-2 台北橋河道大斷面圖

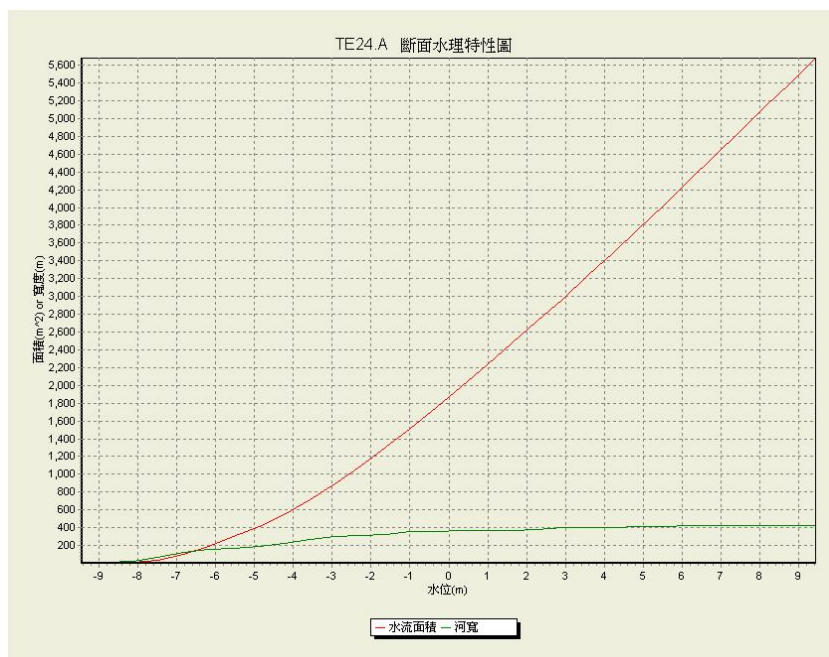


圖 6-3 台北橋河道水理特性圖(H-A,H-B)

6-4 河川變量流模式參數檢定與驗證

一、概述

模式參數通常是呈現流域水文特性的重要因子，會因時因地而異，參數需要由水文觀測資料推估而得，參數的推估方法，一般是採用試誤法逐步調整到最佳的參數，其步驟包括：

括：

- (一) 假設一組參數值。
- (二) 利用該組參數值計算輸入條件所產生的輸出結果。
- (三) 比較輸出結果與觀測的紀錄是否相符？
- (四) 若相符則結束試誤法，否則再假設另一組參數值後重複步驟二至四。

經過上述試誤法找到參數的過程稱爲參數「率定」(calibration)或「檢定」，率定完成後的參數即可代表該流域的水文特性，但是，因爲模式參數並非唯一的解，也就是不只一組可能的參數會產生相類似的結果，所以

只有率定的過程是不足以確認參數的可用性，必須要再經過「驗證」(verification)的過程，若驗證結果可以接受，則可以確認該組參數足以代表該流域的水文特性；若驗證結果不能接受，則必須再重新進行參數率定的工作，直到驗證結果可以接受為止。

「驗證」是將率定完成後的參數，再以另外的實測資料進行模擬，也就是利用另外一場水文事件，驗證所採用的水文事件應與率定時採用的水文事件不同，但是客觀條件上不能差距太大，例如率定時採用 2000 年的觀測紀錄，驗證時不可採用 1950 年的觀測紀錄，因年代久遠而使得地文條件差距太大，其比較的基礎不同，故不可互相比較，而應採用年代相近且地文條件相類似的觀測資料。

二、河川變量流模式參數敏感度

參數「敏感度」(sensitivity)，是了解參數對於模式計算結果的影響程度為何，一般的做法是將已經率定好的參數加減 5% 後得到新的兩組參數值，再分別代入水文模式進行模擬，並將新的計算結果與原參數計算結果列表(通常稱為「敏感度分析結果表」)表示，由敏感度分析結果表之中，可以看出參數對於模式輸出結果的具體影響為何，從而進一步了解參數的敏感度，可作為參數率定的重要參考資訊，此為定量的分析。由於是項工作需要大量的時間修改參數及整理結果，本文並未完成是項工作，有待後起之士完成之。

河川變量流模式中，最重要的水理參數為曼寧 n 值，曼寧 n 值表示河道的粗糙度，即

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2}$$

對於河川水位及流速的影響作一定性說明：

1. 在斷面及渠底坡度不變的情況下，流速與曼寧 n 值成反比，也就是曼寧 n 值越大，流速越小；n 值越小，則流速越大。
2. 當流量及渠底坡度不變的情況下，當 n 值越大，水位越高；n 值越小，則水位越低。

三、河川變量流模式參數的檢定

REFOR 模式的變量流部分，在每一個大斷面中，分為左岸高灘地、主槽、右岸高灘地等三部分，分別設定其曼寧 n 值。初始值建議選取原有之河道整治規劃報告所使用之參數值，再利用洪水事件之觀測水位(包括洪水痕跡)進行參數檢定，參數數值要注意是否合理？是否符合現地河道情況？切忌隨意調整。根據本模式建立時之經驗，曼寧 n 值僅需要略做調整即可。

本模式檢定時採用民國 87 年的瑞伯颱風之水位觀測資料，模擬結果在水位方面，平均誤差高於觀測水位在 1 公尺以內，以求保守。

四、參數驗證

為了驗證模式的正確性，利用前述檢定後之模式參數，再使用民國 89 年象神及 90 年納莉颱風洪水紀錄作為模式參數驗證，同樣的，計算水位較觀測水位略高，在一公尺以內。

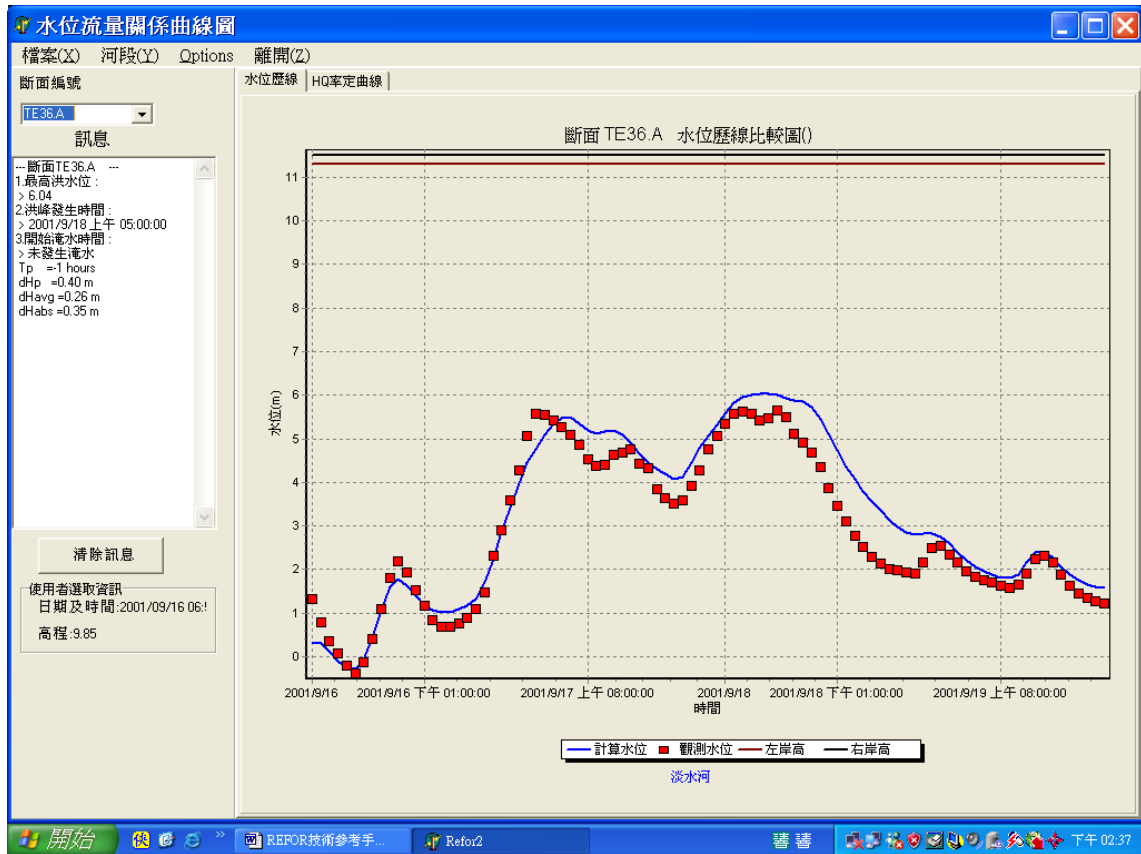


圖 6-4 艾莉颱風模擬結果(大漢溪新海橋水位站)

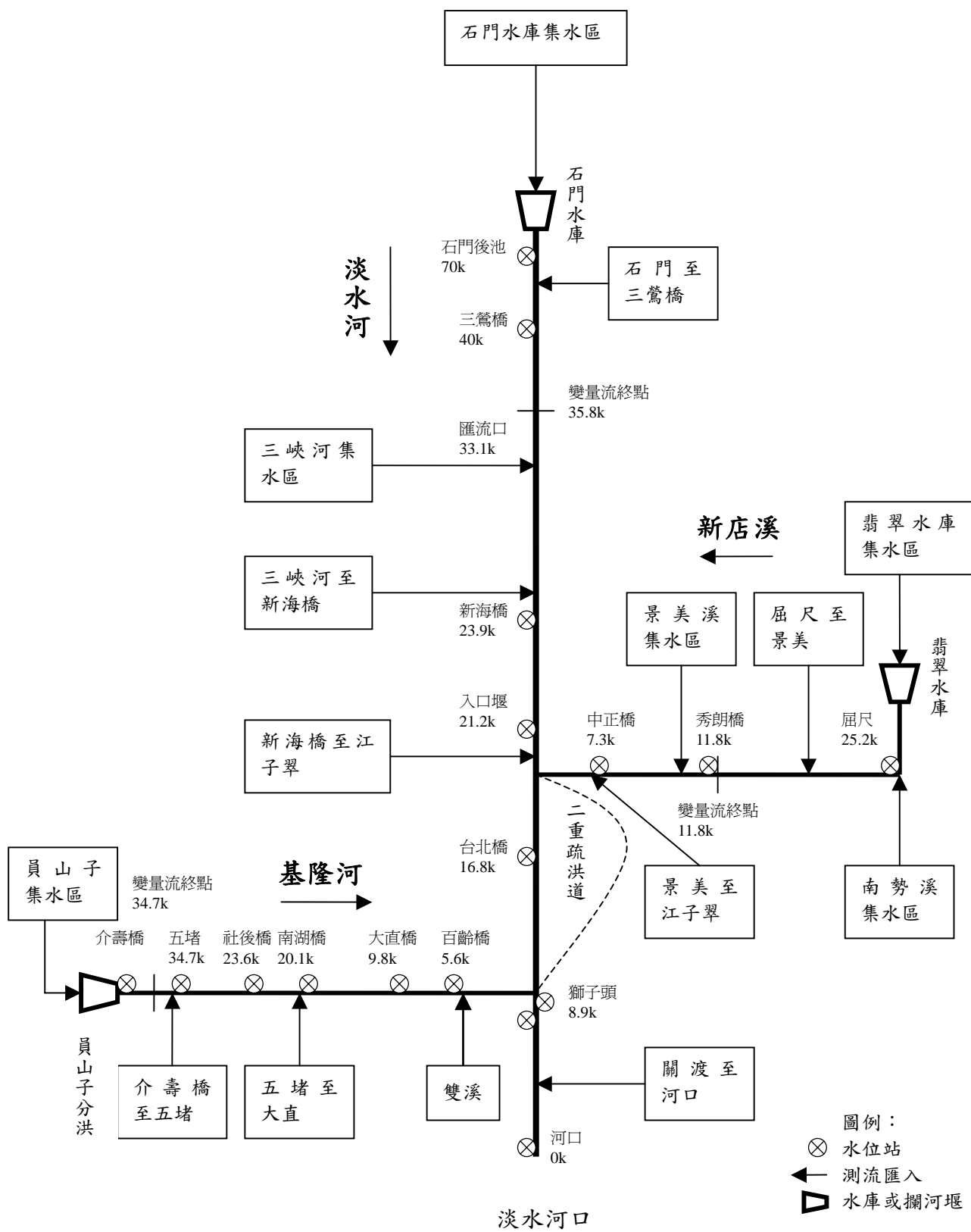


圖 6-5 REFOR 洪水預測模式概要圖

柒、模式參數檢定與驗證

數學模式除了根據自然現象所建立的數學公式外，由於自然界存有許多的不確定因子，使得前項數學公式仍有些許誤差，故所有的水文模式均必須設定許多「參數」，如水桶模式的孔口高度及孔口係數、馬斯金更洪水演算的 k 、 x 值等。模式之參數使得水文模式適用於各種不同的情況，提供使用者更為廣泛的應用空間。

水文模式建立後，接下來的最重要工作即為水文參數之「檢定」，參數檢定是將數學方程式調整為符合自然狀況的過程，其重要性如車輛的輪胎定位調整，對於未來的使用的正確性非常重要。因此，檢定的過程必須非常嚴謹，選用的水文觀測資料也要相當完整且正確，才能經由參數檢定的過程獲得良好的模式參數，以保證未來的應用成果之正確性。

檢定完成後的水文參數，是否可適當的表現水文系統之反應？對於未來可能的變化是否可達到預期要求？為解答上述兩項問題，需要以另外的水文事件進行「驗證」，驗證時，水文參數及模式均不變。若驗證結果可達到預期要求，則模式本身及檢定後之參數可適用於該水文系統；反之，若驗證結果為達要求，則需要重新檢定參數，甚至於重新建立新的數學方程式。

參數檢定時所需要的水文資料通常是以颱風或豪雨事件為單元，並將各次事件的所有資料整理至同一個資料夾，以利查詢使用。以下列舉水文模式參數檢定之注意事項：

1. 了解水文模式所需之輸入輸出資料及其參數推估方式
 - (1) 單位歷線模式：需要流域面積、雨量站位置圖、降雨觀測紀錄、流量觀測紀錄。
 - (2) 三角形單位歷線模式：僅需要地形圖即可。
 - (3) 水庫演算模式：需要進流量、溢洪道水位

流量曲線、水庫容積與水位關係表。

- (4) 河道演算：需要進流量、出流量、河道長度

各種不同的水文模式均有其特定的資料需求，應充分了解水文模式之需求特性後，再據以收集整理水文資料，以達到事半功倍的效果。

2. 收集觀測資料並檢討其正確性

根據前述的了解，收集並整理所有水文資料，再進行資料的正確性檢討，以確認資料的正確性，錯誤的資料實與垃圾無異(學術界所稱「Garbage in, garbage out.」)。應檢討的項目包括：

- (1) 流域邊界，流域邊界直接影響總降雨體積，將直接影響逕流體積及洪峰流量，故應自最新地形圖上重新檢查流域邊界是否改變，若改變則重新繪製流域邊界。
- (2) 雨量測站位置及其觀測結果之檢討，雨量站位置是否變更？其位置應於地形圖上清楚標示，必要時，至測站位置觀察其週遭環境是否有遮蔽物而影響觀測。雨量觀測資料在某降雨事件之總降雨量應予檢查，並與周圍測站比較，檢查是否合理？
- (3) 流量資料，河川流量資料通常是利用水位觀測紀錄，根據水位流量關係圖表對照而得，故水位觀測是否正確？是否有人為阻塞情況？水位流量關係是否適用高流量？均高度影響水文模式檢定結果。

3. 進行模式模擬，並計算下列評估指標：

效率係數：

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - Q_{cal}(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - \bar{Q}_{obs})^2}$$

體積誤差係數： $VER = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{cal}(i) - \sum_{i=1}^n Q_{obs}(i)}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}}$

$$\text{洪峰誤差係數: } EQ_p = \frac{Q_{p,cal} - Q_{p,obs}}{Q_{p,obs}} \times 100\%$$

$$\text{洪峰到達時間誤差: } ET_p = T_{p,cal} - T_{p,obs}$$

效率係數越接近 1，模式檢定在線型方面越好。體積誤差係數越接近 0，在逕流體積總量方面越好。洪峰誤差越接近 0，在洪峰流量

方面越好。洪峰到達誤差越接近 0 越佳。

REFOR 模式中的降雨逕流模式係採用水桶模式，模式參數檢定採用民國 87 年發生之瑞伯颱風，模式驗證則採用民國 89 年之象神颱風及民國 90 年之納莉颱風洪水事件。此項檢定與驗證係離線進行(off-line)，完成後再將參數提供洪水預測模式使用。

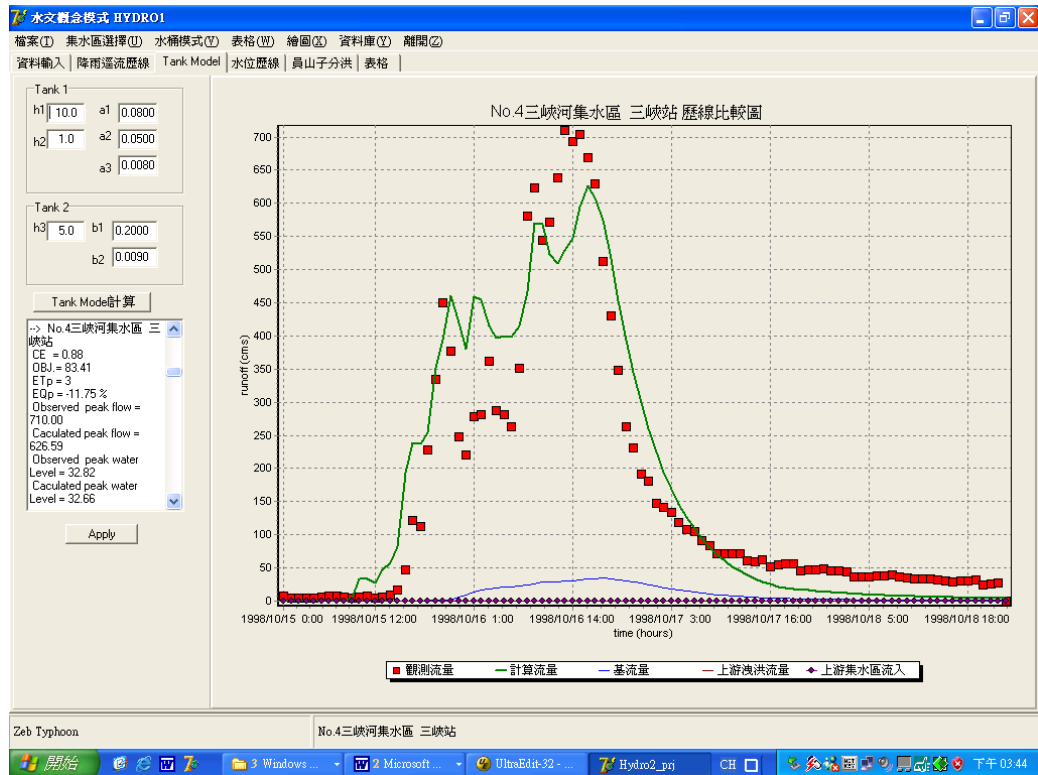


圖 7-1 瑞伯颱風三峽站水桶模式參數檢定結果

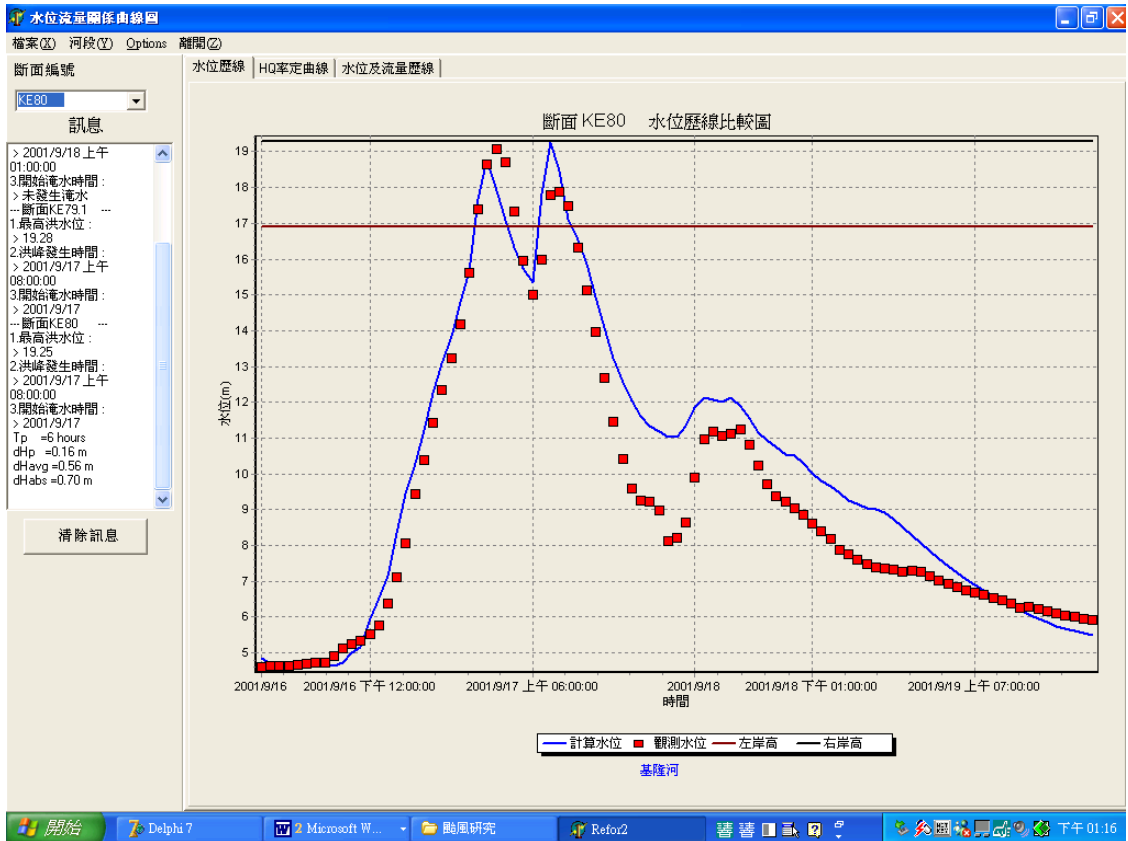


圖 7-2 納莉颱風模式驗證結果(水位歷線)

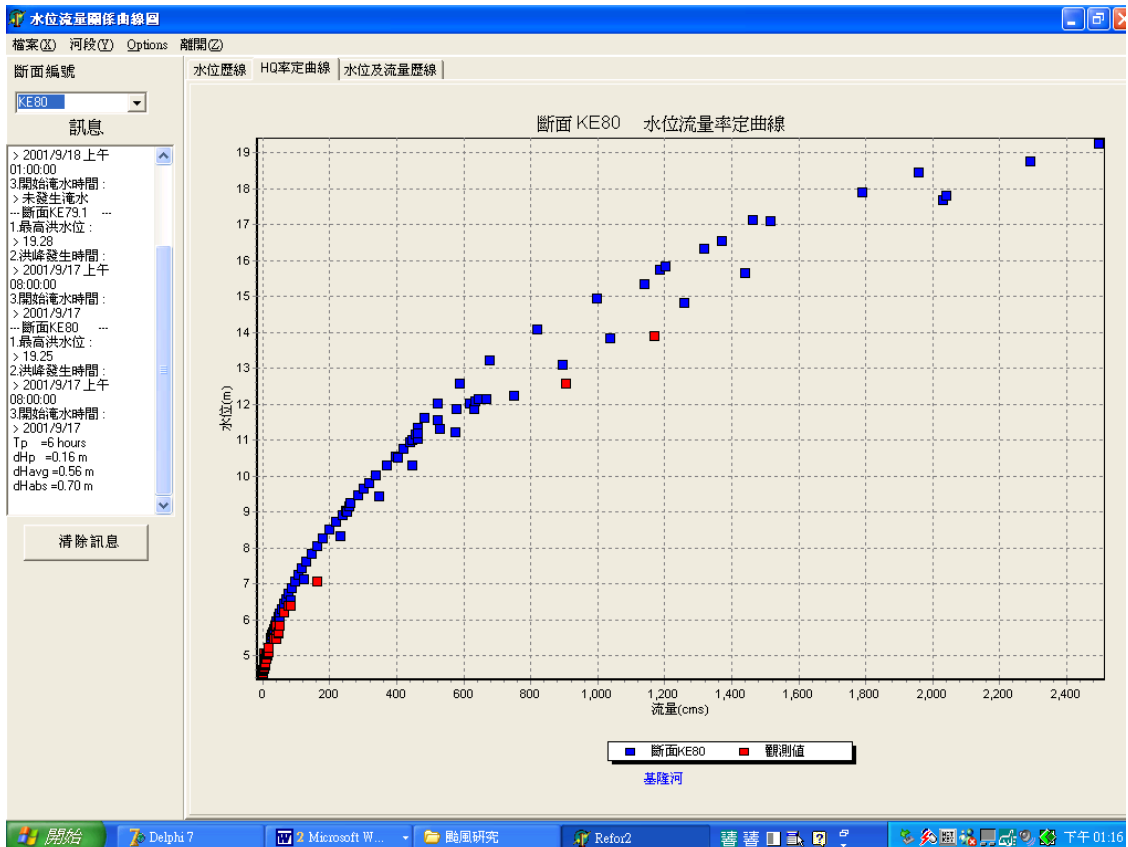


圖 7-3 納莉颱風模式驗證結果圖(水位流量率定曲線)

表 7-1 瑞伯颱風水桶模式檢定與驗證結果

集水區	面積 (km ²)	CE	ETp (hr)	EQp (%)	Qp,obs (cms)	Qp,cac (cms)	Hp,obs (m)	Hp,cac (m)
介壽橋	94.75	0.55	1	42.39	664	945	47.25	48.03
五堵-介壽橋	113.25	0.88	-1	-11.79	1620	1429	16.02	15.18
秀朗-屈尺	105.11	0.85	-4	4.78	3730	3908	9.4	9.59
三峽	125.34	0.88	3	-11.75	710	629	32.82	32.66
橫溪	52.88	0.78	1	-1.41	380	374	24.88	24.86
三鶯-石門	78.60	0.88	1	2.38	3786	3876	36.70	36.76
寶橋	111.04	0.88	12	4.19	884	921	16.73	16.93
翡翠	307.00	---						

表 7-2 象神颱風水桶模式檢定與驗證結果

集水區	面積 (km ²)	CE	ETp (hr)	EQp (%)	Qp,obs (cms)	Qp,cac (cms)	Hp,obs (m)	Hp,cac (m)
介壽橋	94.75	0.78	0	-26.84	1628	1191	49.54	48.62
五堵-介壽橋	113.25	---	1	-5.19	1780 註	1931	16.69	17.30
秀朗-屈尺	105.11	0.92	-1	10.08	5209	5734	10.88	11.35
三峽	125.34	0.91	1	-5.99	725	681	32.85	32.77
橫溪	52.88	0.89	-3	-6.27	421	394	25.04	24.94
三鶯-石門	78.60	0.79	1	5.81	1218	1288	34.1	34.2
寶橋	111.04	0.87	0	35.58	1245	1687	18.55	120.52
翡翠	307.00	0.74	-1	-10.62	4051	3621	---	---

表 7-3 納莉颱風水桶模式檢定與驗證結果

集水區	面積 (km ²)	CE	ETp (hr)	EQp (%)	Qp,obs (cms)	Qp,cac (cms)	Hp,obs (m)	Hp,cac (m)
介壽橋	94.75	0.79	0	-39.94	2218	1332	50.6	48.94
五堵-介壽橋	113.25	0.93	6	2.92	2402	2472	19.09	19.34
秀朗-屈尺	105.11	0.93	5	2.96	4065	4185	9.76	9.88
三峽	125.34	0.71	29	-24.33	1333	1008	33.81	33.34
三鶯-石門				78.60	觀測資料不全			
寶橋	111.04	0.74	-1	39.89	1243	1738	18.54	20.73
翡翠	307.00	0.9	-1	-20.86	3783	2994	---	---

註：瑞芳介壽橋水位受貨櫃阻塞呈現不正常壅高現象。

表 7-4 瑞伯颱風事件 REFOR 模式檢定結果表

測站名稱	洪峰時間誤差 (hr)	洪峰水位誤差 (m)	水位誤差 平均值(m)	水位誤差絕對值 之平均值(m)
淡水河				
新海橋	0	0.38	0.23	0.26
入口堰	0	0.47	0.05	0.20
台北橋	0	0.90	0.27	0.28
獅子頭	0	-0.17	-0.09	0.14
土地公鼻	-1	-0.13	-0.08	0.11
基隆河				
五堵	-3	0.43	-0.10	0.41
長安橋	-1	0.34	-0.11	0.40
大直橋	5	0.05	0.09	0.33
新店溪				
秀朗橋	-2	0.23	0.13	0.25
中正橋	-3	0.86	0.38	0.41

表 7-5 象神颱風事件 REFOR 模式檢定結果表

測站名稱	洪峰時間誤差 (hr)	洪峰水位誤差 (m)	水位誤差 平均值(m)	水位誤差絕對值 之平均值(m)
淡水河				
新海橋	0	-0.21	0.11	0.19
入口堰	0	-0.32	-0.01	0.16
台北橋	0	0.20	0.18	0.24
獅子頭	0	-0.42	-0.26	0.30
土地公鼻	0	0.04	0.11	0.15
基隆河				
五堵	1	0.32	(因淹水而缺測)	(因淹水而缺測)
長安橋	1	0.84	(因淹水而缺測)	(因淹水而缺測)
大直橋	-1	-0.65	-0.22	0.61
新店溪				
屈尺	-1	0.50	-0.10	0.57
秀朗橋	-1	-0.40	0.35	0.44
中正橋	-2	1.15	0.40	0.43

表 7-6 納莉颱風事件 REFOR 模式檢定結果表

測站名稱	洪峰時間誤差 (hr)	洪峰水位誤差 (m)	水位誤差 平均值(m)	水位誤差絕對值 之平均值(m)
淡水河				
新海橋	-1	0.39	0.29	0.36
入口堰	26	0.35	0.03	0.37
台北橋	27	0.68	0.34	0.42
獅子頭	-2	-0.11	0.17	0.26
土地公鼻	-1	0.19	0.01	0.15
基隆河				
五堵	6	0.18	0.47	0.74
長安橋	8	0.45	(因淹水而缺測)	
新店溪				
秀朗橋	9	0.16	0.24	0.34
中正橋	6	1.66	0.58	0.67

捌、洪水預報實務應用

REFOR 模式在洪水預報實務上以艾利颱風及 911 豪雨等兩次洪水事件分別敘述如下：

一、艾利颱風

REFOR 模式完成於 93 年 4 月底，當時係採用單機操作方式，在艾利颱風時期，首次實際應用。在實際應用時，係將模式預測結果稱為「客觀預測」；若將模式預測結果做為人為主觀的修改，則稱為「主觀預測」，雖稱為主觀，但仍以當時觀測水位與模式預測水位之差值，做為修改預測水位之依據。例如，當某水位站之觀測水位高於模式計算水位 0.5 公尺時，則建議將預測水位一律增加 0.5 公尺，將可望減少預測誤差。但是，仍需視實際情況而定，並不一定要修改模式預測結果，因為在颱風洪水時期，河川水位的變化因素甚多，觀測水位並不能保證是完全正確的水位，此時，若是盲目的採信觀測水位而修改模式預測結果，則並不能保證預測水位的精確度。因此，除非觀測水位是相當可靠無疑慮的情況下，才需要依據觀測水位修改預測水位，否則應相信經過完成整檢定驗證過程之預測模式的計算結果。

艾利颱風的降雨量集中在大漢河流域，其中，又以石門水庫上游集水區之降雨量為最大，使得石門水庫持續高流量的洩洪，洩洪量最高達 9000cms，係石門水庫完成以來次高的洩洪量，也造成大漢溪河川水位高漲，新海橋水位站之最高水位達 7.3 公尺，為歷史上最高洪水位。在 93 年 8 月 25 日凌晨，石門水庫洩洪量達 5000cms 且持續增加、翡翠水庫洩洪量達 1000cms，且河口潮位逐漸升高，此時，社子島因堤頂高程僅為 6 公尺，各界關心是否會發生河水溢堤現象？經由 REFOR 模式之預測結果，即使石門水庫以 10000cms、翡翠水庫以 3000cms 洩洪，再加上潮汐的影響，社子島外的河川水位最高達 3.5 公尺，仍屬於安全範

圍，故僅需加強市區排水即可安然度過。實際上，社子島附近最高洪水位僅 3.36 公尺(8/25 8:00)。

至於其他水系的洪水預測結果詳表 8-1，其中，以獅子頭水位站的絕對值誤差 0.17 公尺為最小；而以五堵站的絕對值誤差 1.09 公尺為最大。其中五堵站預測誤差的來源，以降雨預測的誤差為主，未來可利用氣象局發展之 QPESUMS 降雨量預測，來提升 REFOR 模式的預測準確度。

二、911 豪雨

911 豪雨發生於 93 年 9 月 10~11 日，降雨集中於基隆河流域，五堵站最高洪水位(16.01m)發生於 9 月 11 日 10 時，洪峰流量約 1900cms。REFOR 模式預測 3 小時的洪峰水位為 17.72m，詳表 8-2，洪峰到達時刻為 9 月 11 日 10 時，與觀測洪峰到達時刻相同。大直橋水位站的最高洪水位為 5.97m，發生於 9/11 11 時，而 REFOR 模式預測 3 小時的洪峰水位為 7.43m，洪峰到達時刻較實測提前 1 小時，詳表 8-3。由 3 小時的預測結果得知，預測洪峰水位高出觀測洪峰水位 1.5 至 1.7m，而洪峰到達時刻與實測值接近，因此，3 小時的預報水位可滿足防洪預警的時效及精度上之要求。

若由預測 6 小時的結果來看，預測洪峰水位高於觀測洪峰水位達 2.4~2.9 公尺，洪峰到達時刻則落後 1~2 小時，未來要採用 6 小時預報水位做為防汛參考時，應考慮修正預報水位並將洪峰到達時刻予以提前，才能獲得良好的預測結果。

艾利颱風淡水河預測水位與實測水位比較表

單位：公尺

報次	警報發佈時間	秀朗橋			寶橋			長安橋			五堵			入口堰			獅子頭			新海橋			江北橋			南湖大橋		
		預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差	預測	實測	誤差
第一報	93/8/24 10:30 93/8/24 13:00	6.50	6.50	0.00	11.54	11.42	0.12	3.76	3.87	-0.11	6.04	6.53	-0.49															
第二報	93/8/24 13:30 93/8/24 16:00	6.42	6.15	0.27	11.65	11.99	-0.34	3.71	4.49	-0.78	5.92	7.50	-1.58															
第三報	93/8/24 17:30 93/8/24 20:00	6.85	7.57	-0.72	12.60	14.61	-2.01	6.36	7.32	-0.96	8.58	10.08	-1.50	3.13	3.88	-0.75												
第四報	93/8/24 19:30 93/8/24 22:00	7.34	8.92	-1.58	14.20	15.51	-1.31	9.80	8.20	1.60	11.50	10.84	0.66	3.75	4.57	-0.82												
第五報	93/8/24 20:30 93/8/24 23:00	8.21	9.60	-1.39				9.93	8.27	1.66	12.55	10.65	1.90	4.38	5.11	-0.73												
第六報	93/8/24 21:30 93/8/25 00:00	8.40	9.98	-1.58							10.95	10.01	0.94	4.50	5.47	-0.97												
第七報	93/8/24 22:30 93/8/25 01:00	9.34	10.24	-0.90							10.07	9.44	0.63	4.66	5.86	-1.20												
第八報	93/8/24 23:30 93/8/25 02:00	10.10	10.21	-0.11							10.02	9.01	1.01	5.78	6.02	-0.24												
第九報	93/8/25 00:30 93/8/25 03:00	10.31	10.09	0.22										5.98	6.28	-0.30												
第十報	93/8/25 01:30 93/8/25 04:00	10.50	9.85	0.65										6.47	6.44	0.03												
第十一報	93/8/25 05:30 93/8/25 08:00	9.38	9.11	0.27										6.69	6.62	0.07	3.33	3.36	-0.03	7.32	7.26	0.06						
第十二報	93/8/25 07:30 93/8/25 10:00	9.44	9.00	0.44										6.61	6.53	0.08	3.51	3.30	0.21	7.30	7.31	-0.01						
第十三報	93/8/25 09:30 93/8/25 12:00	8.58	8.34	0.24	15.30	13.65	1.65							6.41	6.03	0.38	3.13	2.91	0.22				8.83	9.05	-0.22	7.69	7.35	0.34
第十四報	93/8/25 10:30 93/8/25 13:00	8.15	7.98	0.17	13.53	12.95	0.58							6.00	5.55	0.45	2.94	2.71	0.23				8.85	8.50	0.35	7.24	6.96	0.28
第十五報	93/8/25 13:30 93/8/25 16:00	7.19	6.60	0.59										5.55	4.00	1.55							8.00	6.49	1.51	6.00	5.24	0.76
第十六報	93/8/25 16:30 93/8/25 19:00	5.98	5.89	0.09										3.35	3.00	0.35												
平均誤差			-0.21			-0.22			0.28			0.20			-0.15			0.16			0.03				0.55			0.46
絕對值誤差			0.58			1.00			1.02			1.09			0.57			0.17			0.04				0.69			0.46

表 8-1 艾利颱風洪水預報結果表

表 8-2 0911 豪雨五堵水位站 REFOR 模式洪水預測結果

觀測洪峰水位 = 16.01(m)
觀測洪峰時間 = 2004/09/11 10:00

預測時間 (hr)	絕對值 誤差	平均值 誤差	相關係數	洪峰水位	峰值誤差 (%)	預測洪峰 時間
0	1.00	0.65	0.81	16.05	0.25	2004/09/11 09:00
1	1.00	0.65	0.81	16.33	2.00	2004/09/11 09:00
2	1.02	0.67	0.80	17.06	6.56	2004/09/11 09:00
3	1.11	0.67	0.79	17.72	10.68	2004/09/11 10:00
4	1.24	0.68	0.77	18.12	13.18	2004/09/11 11:00
5	1.40	0.69	0.73	18.32	14.43	2004/09/11 12:00
6	1.54	0.69	0.71	18.43	15.12	2004/09/11 12:00

表 8-3 0911 豪雨大直橋水位站 REFOR 洪水預測結果

觀測洪峰水位 = 5.97(m)
觀測洪峰時間 = 2004/09/11 11:00

預測時間 (hr)	絕對值 誤差	平均值 誤差	相關係數	洪峰水位	峰值誤差 (%)	預測洪峰 時間
0	0.19	-0.11	0.99	6.31	5.70	2004/09/11 10:00
1	0.19	-0.10	0.98	6.35	6.37	2004/09/11 10:00
2	0.21	-0.09	0.98	6.80	13.90	2004/09/11 09:00
3	0.24	-0.08	0.96	7.43	24.46	2004/09/11 10:00
4	0.29	-0.06	0.94	7.98	33.67	2004/09/11 10:00
5	0.35	-0.05	0.91	8.49	42.21	2004/09/11 11:00
6	0.42	-0.05	0.88	8.90	49.08	2004/09/11 12:00

玖、結語

- 一、洪水預報為非工程防措施之一，其目的在於預先將河川水位未來的變化告知河川沿岸低窪地區居民，預為避洪準備，必要時疏散居民，以減少人民生命財產損失。臺灣地區河川坡度陡峭，河川水位豐枯差距極大，以基隆河五堵水位站為例，平時水位僅 4.5 公尺，200 年頻率洪水位卻達 17.5 公尺，相差 13 公尺，又水位上升速率達每小時 1.8 公尺，變化甚大，對於洪水預測工作是極大的挑戰。
- 二、由防災避洪的角度而言，通知居民避災至安全地點的時間至少需要 2 小時，警消人員出動至低窪地區約 2 小時，洪水預測結果研判到發出人員疏散命令需 1 小時，因此，至少需要 5 小時的時間才能完成人員疏散工作，也就是需要至少 5 小時的預警時間。淡水河流域的集流時間大於 6 小時，因此，利用觀測雨量進行 6 小時的洪水預警是合理的，也恰好滿足防災避洪所需的預警時間。
- 三、洪水預報缺少法源，洪水預報並未出現在水利法及相關法規，因此，水利單位並無法律上的

- 義務及權利發表洪水預測結果。反之，災害防救法對於災害預防則有相當明確的規定，但是並不明確。建議由水利署及氣象局仿照日本及美國的運作方式，擬定我國洪水預報作業規範，以取得法律的授權，符合依法行政之目標。
- 四、洪水預報是一項集團的工作，包括水文觀測系統、資料傳輸系統、資料儲存與品管系統、洪水預測模式、預測結果展示系統及預警發布系統，要達成洪水預報的目標需要先完成以上的各種系統，各系統應各自獨立測試完妥後，再整合測試。淡水河洪水預報系統自民國 60 年代開始發展，至今有 30 年歷史，累積相當質量的水文資料及技術，目前已完成到一定的水準與規模，其發展的經驗可供其他地區之參考。
- 五、洪水預測模式建立及運用，需要有非常專業且實務經驗豐富的水利人才，目前的情況是由學術機構研發模式，公家機關提供水文資料，學術機構提供人員代為操作。這樣的運作方式有以下的缺點：
 - (一) 學術機構的人力經常更動，且多數屬於部分時間工作之人力，模式建立者並非全時投入於洪水預測業務，其專業能力雖強但

普遍缺乏實際工作經驗，對於實際上的洪水預測需求往往無法深入體會，而且隨著人員的更動使得模式的維護更加困難。

- (二) 水文資料質量不足，使得水文資料提供者及洪水預測模式建立者均無法確認水文資料的完整性及正確性，模式建立者只好將所有水文資料當作是完全正確的資料，忽略了不正確的資料會造成模式參數的錯亂，將大幅度降低洪水預測結果的精確度以及預測模式的穩定度。

將來可朝向成立洪水預報專業機構，從水文觀測、水文資料品管到洪水預測模式的研發與運用，由水文分析的基本功夫著手，訓練並留住專業人才，長期研究發展，逐漸紮根，才能在國際上佔有一席之地。

- 六、REFOR 模式對於降雨的預測是採用慣性法，未來只要有更為精確的預測方法，也可以將其預測結果當作 REFOR 模式的輸入資料進行預測。未來也可以增加橋樑、疏洪道及其他水工構造物之變量流計算，並且進一步銜接河道溢淹的預測模式。

- 七、對於台灣其他流域要發展洪水預報系統的建言：

- (一) 開始定期進行河道大斷面之測量。
- (二) 流量觀測技術提升，尤其是高洪水流量的觀測及水位流量率定曲線的正確運用。
- (三) 自動化水文觀測及資料傳輸系統之建立。
- (四) 自動化水文資料庫及資料品管系統之建立。
- (五) 根據流域的水文水理特性建立適當的洪水預測模式。
- (六) 應維持長期穩定的洪水預報專業人力。

參考文獻

1. Chow, Ven Te, Open-Channel Hydraulics, 1959.
2. Chow, Ven Te, David R. Maidment, Larry W. Mays, Applied Hydrology, international edition, McGraw-Hill, Inc, 1988.
3. Henderson, F. M., Open Channel Flow, Macmillan Company, New York, 1966.
4. French, R. H., Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill international editions, 1986.
5. Gerald, Curtis F., Patrick O. Wheatley, Applied Numerical Analysis, third edition, Addison Wesley, 1984.
6. Kennedy, E. J., Discharge Ratings at Gaging Stations, Chapter 10, Techniques of water-resources investigations of the USGS. , 1984.
7. 經濟部水利署第十河川局，91 年及 92 年水文年報表。
8. 陳燦煌，陳周造編著，「Delphi 5.0 徹底研究」，博碩文化，2000 年七月初版二刷。
9. 顏清連等，「淡水河整體洪水預報模式」，參考手冊及技術手冊，1996 年。
10. 蔡丁貴等，「基隆河洪水預報模式建置計畫期末報告」，2002 年。
11. 日本河川情報中心，「淡水河洪水預報模式更新與改善規劃報告」，臺灣省水利局委託，1993 年。
12. 臺灣省水利局，「海堤規劃手冊」，1970。
13. 劉文俊，「台灣的潮汐」，1999 年 1 月第二版。
14. 王如意，易任，「應用水文學」，茂昌圖書公司，1980。
15. 經濟部水資源統一規劃委員會，「臺北地區防洪計畫規劃檢討報告」，美國陸軍工兵團審查報告中譯本，1969。
16. 李戎威，「適用於淡水河水系之水位流量率定曲線研究」，第十四屆水利工程研討會論文集，2004 年 7 月。
17. 顏清連，「渠道變量流」上課筆記，臺大土木研究所，1987 年。
18. 經濟部水利署第十河川局，「淡水河即時洪水預報模式技術參考手冊」，2005 年版。