

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

動態維度搜尋法應用於

河川不恆定流模式自動率定之研究

Application of Dynamically Dimensioned Search Algorithm to Automatic  
Calibration of a Unsteady River Flow Model

杜晨豪

Tu, Chen-Hao

指導教授：蔡丁貴 教授

Advisor: Tsay, Ting-Kuei, Prof.

中華民國 98 年 6 月

June 2009

國立臺灣大學 (碩) 博士學位論文  
口試委員會審定書

動態維度搜尋法應用於

河川不恆定流模式自動率定之研究

Application of Dynamically Dimensioned Search Algorithm to  
Automatic Calibration of a Unsteady River Flow Model

本論文係杜晨豪君 (R96521320) 在國立臺灣大學土木工程學系碩(博)士班完成之碩 (博) 士學位論文，於民國 98 年 06 月 29 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

蔡丁貴

(簽名)

(指導教授)

楊德良

徐年明

系主任

張國鎮

(簽名)

## 誌 謝

求學生涯至今近 20 載，最感謝的莫過於我的家人。感謝爸爸始終支持著我們全家，不論遇到甚麼困難你是永遠最可靠的爸爸；感謝媽媽無微不至的照料，有妳的維持才能讓家中總是充滿溫暖；感謝姊姊、小阿姨及小姨丈常常幫我處理許多瑣碎雜事，使我能更專注於課業之上；還有兩位可愛的表妹－雪琳及雪茜，願妳們繼續健康快樂的成長。

感謝大學學長－彥章，一路指點研究生活中的各項細節，傳承他的經驗，使我得以順遂畢業；感謝威翰、蒙提作為我少數的好友，包容我的脾氣，分擔我的苦悶；感謝創價學會的大家，讓我不僅只能成為一個獨善其身的人，而是知道如何以自身的力量對社會做出貢獻；感謝研究團隊，除了研究問題之外，我們也一起攜手度過了惱人的吃飯時間，可喜可賀。

另外，感謝蔡丁貴教授與吳宜嶺學長，在研究的過程中給予諸多指點，使本篇論文得以出版，特別是在口試結束後至離校前這階段，你們聯手所帶來的考驗，敝人定將永生難忘，故於此留下紀念。最後，祝獨立建國大業早日達成...

## 摘要

動態維度搜尋法 (Dynamically Dimensioned Search Algorithm) 係由 Bryan A. Tolson 於 2007 年所發表的新型態搜尋演算法，屬於一種啟發式演算法 (Heuristic Algorithm)。

本研究應用動態維度搜尋法於全流域河川不恆定流模式 (Wu et al., 2007) 之阻力參數率定最佳化研究，並以淡水河流域作為研究區域，選取 2007 年流域中重大的柯羅莎颱風事件之洪水位觀測資料，進行河川阻力參數率定。率定完成後，再利用不同颱風事件 (韋帕颱風與米塔颱風, 2007) 之洪水位觀測資料來驗證動態維度搜尋法之適用性。其中，以新海橋、河口、中正橋、大華橋作為河川上游邊界點，在研究區域中依河道特性分為 20 個河段 (reach)，每個河段同時率定中低水位阻力參數與高洪水位阻力參數，共計有 40 個待定參數。

本研究問題在前人的研究中 (詹明修, 2004) 與 (黃怡君, 2006)，均是以遺傳演算法 (Genetic Algorithm) 做為主要的搜尋法則。雖然遺傳演算法在高維度求解空間中具有良好的搜尋能力，但由於可行求解空間 (Feasible Region) 過於龐大 ( $41^{16} \times 61^{24} \approx 10^{68}$ )，加上遺傳演算法較為複雜的演算流程，使得求解效率偏低，亦即在率定出合理的參數之前，所需花費的計算時間過長，故本文嘗試利用動態維度搜尋法，建立一個可以在合理時間內自動率定出一組可靠最佳解的方法。

研究結果顯示：本文所使用的方法於率定全流域河川不恆定流模式之阻力參數上，除了可使模式較過往研究成果更加精確地描述淡水河流域的流況外，在率定成果的效率及穩定度上亦有所提升，故此動態維度搜尋法確實為一兼具有多樣性與強健性的自動化參數率定方法。

關鍵字：動態維度搜尋法、全流域河川不恆定流模式、自動率定

## Abstract

Dynamically dimensioned search algorithm is a new type of heuristic algorithm which was originally developed by Bryan A. Tolson in 2007.

In this study, the dynamically dimensioned search algorithm is applied to automate the calibration process of a unsteady river flow model (Wu et al., 2007) in the Tamshui river basin. The observed data of Krosa (2007) typhoon flood levels are used for calibrating the resistance coefficients. Different flood events, Wipha (2007) and Mitag (2007) typhoons, are used to verify the applicability of calibrated resistance coefficients. In the studied area, the whole river systems are divided into 20 reaches, and each reach has two resistance coefficients ( $n_d$  and  $n_u$ ) to be determined.

Automatic calibration proposed in the past (Chan, 2004; Huang, 2006) are based on genetic algorithms which has potentials of solving high-dimension space with good search capabilities. Since the feasible solution region in the unsteady river flow model (CCCMMOC) is too large ( $41^{16} \times 61^{24} \approx 10^{68}$ ), the complex calculus process of the genetic algorithm becomes inefficient. As a result, the dynamically dimensioned search algorithm is proposed to calibrate automatically an optimal solution set in a reasonable period of time.

The results showed that the dynamically dimensioned search algorithm is not only improving on the efficiency but also increasing the stability of calibrated results. Therefore, the dynamically dimensioned search algorithm is indeed a diverse and robust method for automatic calibration of the unsteady river flow model, CCCMMOC.

Keywords : Dynamically dimensioned search algorithm; CCCMMOC; Automatic calibration

# 目 錄

誌 謝.....	I
摘 要.....	II
Abstract.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	X
第一章 緒 論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 文獻回顧.....	2
1.4 論文架構.....	5
第二章 動態維度搜尋法.....	6
2.1 動態維度搜尋法 (Dynamically Dimensioned Search Algorithm).....	6
2.2 函數最佳化之測試.....	10
第三章 問題描述與研究範圍.....	16
3.1 淡水河流域概況.....	16
3.2 研究範圍.....	17
3.3 河川水理模式建置.....	18
3.4 參數率定之優選模式建立.....	18
3.5 參數自動率定流程.....	23
第四章 河川阻力係數之自動率定與驗證結果.....	24
4.1 動態維度搜尋法：案例測試.....	24
4.2 以實際觀測水位值進行參數率定之計算結果.....	44
4.3 以實際觀測水位值進行驗證之計算結果.....	64

第五章 結論與建議.....	90
5.1 結 論.....	90
5.2 建 議.....	91
參考文獻.....	92



## 圖目錄

圖 2.1 候選解空間分佈圖 (前 100 次搜尋結果) .....	11
圖 2.2 Rastrigin function graph: for $n=2$ .....	13
圖 3.1 淡水河流域河系圖 .....	17
圖 3.2 河段位置與水位站示意圖 .....	19
圖 3.3 參數自動率定設計流程圖 .....	23
圖 4.1 動態維度搜尋法測試案例流程 .....	25
圖 4.2 測試案例之目標函數收斂圖 .....	27
圖 4.3 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較圖 .....	27
圖 4.4 預設與率定所得之高水位阻力參數比較圖 .....	28
圖 4.5 測試案例之計算水位比較 (貴陽水位站) .....	33
圖 4.6 測試案例之計算水位比較 (六館水位站) .....	33
圖 4.7 測試案例之計算水位比較 (台北橋水位站) .....	34
圖 4.8 測試案例之計算水位比較 (迪化水位站) .....	34
圖 4.9 測試案例之計算水位比較 (土地公鼻水位站) .....	35
圖 4.10 測試案例之計算水位比較 (雙園水位站) .....	36
圖 4.11 測試案例之計算水位比較 (五堵水位站) .....	37
圖 4.12 測試案例之計算水位比較 (江北橋水位站) .....	37
圖 4.13 測試案例之計算水位比較 (社后橋水位站) .....	38
圖 4.14 測試案例之計算水位比較 (南湖大橋水位站) .....	38
圖 4.15 測試案例之計算水位比較 (成美長壽橋水位站) .....	39
圖 4.16 測試案例之計算水位比較 (南京水位站) .....	39
圖 4.17 測試案例之計算水位比較 (陽光橋水位站) .....	40
圖 4.18 測試案例之計算水位比較 (北安水位站) .....	40
圖 4.19 測試案例之計算水位比較 (大直橋水位站) .....	41
圖 4.20 測試案例之計算水位比較 (建國水位站) .....	41



圖 4.21 測試案例之計算水位比較 (承德橋水位站) .....	42
圖 4.22 測試案例之計算水位比較 (劍潭水位站) .....	42
圖 4.23 測試案例之計算水位比較 (社子水位站) .....	43
圖 4.24 測試案例之計算水位比較 (洲美一水位站) .....	43
圖 4.25 目標函數收斂圖 .....	48
圖 4.26 貴陽水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	53
圖 4.27 六館水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	53
圖 4.28 台北橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	54
圖 4.29 迪化水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	54
圖 4.30 土地公鼻水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	55
圖 4.31 雙園水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	56
圖 4.32 五堵水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	57
圖 4.33 江北橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	57
圖 4.34 社后橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	58
圖 4.35 南湖大橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	58
圖 4.36 成美長壽橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	59
圖 4.37 南京水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	59
圖 4.38 陽光橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	60
圖 4.39 北安水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	60
圖 4.40 大直橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	61
圖 4.41 建國水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	61
圖 4.42 承德橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	62
圖 4.43 劍潭水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	62
圖 4.44 社子水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	63
圖 4.45 洲美一水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風) .....	63
圖 4.46 貴陽水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風) .....	67
圖 4.47 六館水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風) .....	67

圖 4.48	台北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	68
圖 4.49	迪化水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	68
圖 4.50	土地公鼻水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	69
圖 4.51	雙園水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	70
圖 4.52	五堵水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	71
圖 4.53	江北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	71
圖 4.54	社后橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	72
圖 4.55	南湖大橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	72
圖 4.56	成美長壽橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	73
圖 4.57	南京水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	73
圖 4.58	陽光橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	74
圖 4.59	北安水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	74
圖 4.60	大直橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	75
圖 4.61	建國水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	75
圖 4.62	承德橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	76
圖 4.63	劍潭水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	76
圖 4.64	社子水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	77
圖 4.65	洲美一水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風洪)	77
圖 4.66	貴陽水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	80
圖 4.67	六館水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	80
圖 4.68	台北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	81
圖 4.69	迪化水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	81
圖 4.70	土地公鼻水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	82
圖 4.71	雙園水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	83
圖 4.72	五堵水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	84
圖 4.73	江北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	84
圖 4.74	社后橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風洪)	85

圖 4.75 南湖大橋水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	85
圖 4.76 成美長壽橋水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	86
圖 4.77 南京水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	86
圖 4.78 陽光橋水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	87
圖 4.79 北安水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	87
圖 4.80 建國水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	88
圖 4.81 承德橋水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	88
圖 4.82 劍潭水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	89
圖 4.83 社子水位站計算與觀測水位比較（驗證：米塔颱風洪） .....	89



## 表目錄

表 2.1 測試函數一：實驗收斂結果.....	11
表 2.2 測試函數二：實驗收斂結果.....	13
表 2.3 測試函數三：比較 DDS、RvcNGA 與 TSARvcNGA 之收斂情形.....	15
表 3.1 曼寧粗糙參數表（王如意，1992）.....	22
表 4.1 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較（大漢溪與淡水河流域）.....	29
表 4.2 預設與率定所得之高水位阻力參數比較（大漢溪與淡水河流域）.....	29
表 4.3 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較（新店溪流域）.....	30
表 4.4 預設與率定所得之高水位阻力參數比較（新店溪流域）.....	30
表 4.5 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較（基隆河流域）.....	31
表 4.6 預設與率定所得之高水位阻力參數比較（基隆河流域）.....	32
表 4.7 觀測資料來源.....	45
表 4.8 各採用河段斷面說明（大漢溪與淡水河流域）.....	45
表 4.9 各採用河段斷面說明（新店溪流域）.....	46
表 4.10 各採用河段斷面說明（基隆河流域）.....	47
表 4.11 比較 DDS 與 TSARvcNGA 參數率定結果.....	49
表 4.12 淡水河全流域各水位站計算誤差分析（柯羅莎颱風）.....	50
表 4.13 率定所得之阻力參數值（大漢溪與淡水河流域）.....	51
表 4.14 率定所得之阻力參數值（新店溪流域）.....	52
表 4.15 率定所得之阻力參數值（基隆河流域）.....	52
表 4.16 驗證組颱風事件列表.....	64
表 4.17 淡水河全流域各水位站計算誤差分析（韋帕颱風）.....	66
表 4.18 淡水河全流域各水位站計算誤差分析（米塔颱風）.....	79

# 第一章 緒 論

## 1.1 研究動機

河川阻力參數—曼寧  $n$  值，為水利工程規劃設計中，用於計算水流之重要水理參數。正確的水理參數若能適切地配合不恆定洪水數值模擬模式，則能模擬颱風時期計算流域內的高低洪水位變化，以減少生命財產的可能損失。所以河川阻力參數估計之準確與否，其結果將影響到河川水位計算、渠道之規劃、設計、操作及輸水效率等水理演算的精確度。而不同的流域其河道特性各異，故每一河段的阻力參數自然不同。傳統上，經常是使用人為試誤法 (Trial and Error) 來調整阻力參數值，使觀測水位及模式計算水位相近，但此方法在率定的過程中往往過於耗時，且不能保證所找到的參數是最佳阻力參數值，亦即無法通過驗證過程的測試；因此有自動率定的研究開始出現。過往的研究雖然能有系統且有效地率定出一組阻力參數，使其可以合理描述出真實河道的粗糙程度，但是所需花費的計算時間少則一個星期、多則需要將近一個月，可知目前的研究在效率上仍有不足之處。特別在防災作業中「時效性」是最為重要的，所以如何在不影響計算精度的前提下，縮短參數率定時間以及提高參數收斂的穩定度，即成為本研究之出發動機。

## 1.2 研究目的

本文的研究目的是應用動態維度搜尋法 (Dynamically Dimensioned Search Algorithm)，建立自動優選河川阻力參數的演算法，同時結合全流域河川不恆定流模式 (Wu et al., 2007) 進行洪水位模擬之研究，以期提供日後水理分析人員一套有效、易於操作、同時具有穩定性和準確性的參數自動率定演算法。

## 1.3 文獻回顧

### 1.3.1 河川阻力參數—曼寧 n 值

在多數的河道演算模式中，通常都包含有無法或是難以直接量測的參數值，而河川阻力係數是其中一項影響因子，一般在使用上多需仰賴有經驗的人員進行判斷。

Strickler (1923)，以經驗公式推估 n 值。直接採取河床上的砂石進行粒徑分析，求出 $d_{50}$ 後，再代入 (1-1) 式，即可求出 n 值。

$$n = \frac{d_{50}}{21.1} = 0.047d_{50}^{\frac{1}{6}} \quad (1-1)$$

Cowan (1956)，依據渠道底部的材料、河道彎曲度、植生分佈與人工結構物等因素所造成的阻力效應，提出河川阻力參數的推估公式如 (1-2) 式所示：

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (1-2)$$

其中，

$n_0$ ：代表渠底材料之阻力參數

$n_1$ ：代表不規則程度之阻力參數

$n_2$ ：代表斷面變化之阻力參數

$n_3$ ：代表障礙作用之阻力參數

$n_4$ ：代表受植生與流況影響之阻力參數

$m$ ：代表河道蜿蜒程度之阻力參數

此外，許多明渠水力學的教科書亦整理了各種河道狀況的阻力參數估計值，如 Chow (1959)、Henderson (1966) 等，但此類型的推估方法容易因為個人主觀判斷而產生差異，經驗也不易傳承。

### 1.3.2 河川阻力參數自動率定

有別於傳統上勞力密集式的人為試誤法 (Trial and Error)，自動率定乃為建立一套有系統的最佳化演算流程，將所欲率定之參數代入模式中，計算出模擬數值並與觀測資料進行比較，藉以將待定參數導向預期的方向，如此反覆執行之過程。以下文獻為前人分別以不同研究方法嘗試進行河川阻力參數之自動率定：

Becker 及 Yeh (1972)，以影響係數法 (Influence Coefficient Algorithm)，嘗試率定單一規則斷面 (one reach) 之河川阻力參數與水力半徑的指數。兩位作者再於 1973 年提出前一年的研究並擴展為多河段 (multiple reach) 之河川阻力參數及水力半徑指數之率定。

Lal Wasantha (1995)，探討以 Singular Value Decomposition (SVD) 來率定尼加拉河 (Niagara River) 上游段之河川阻力參數，總共率定 27 個阻力參數，但研究流域中僅有 7 個水位 (或流量) 站。該論文作者認為：一個 under-determined (欲率定參數個數大於可供檢定的水位站或流量站數) 的參數檢定問題，可以藉由將參數分群 (群內每個參數值均相等) 的方法來減少需率定參數個數，進而轉換為一個 even-determined (欲率定參數個數等於可供檢定的水位站或流量站數) 或 over-determined (欲率定參數個數小於可供檢定的水位站或流量站數) 的參數檢定問題。該論文結果顯示，最佳的分群數為 3 群，而最多的分群數到達 7 群，但不同的分群數所率定出的 27 個阻力參數並不相同，顯示此方法之參數率定並不具穩定性。

楊尊華 (2001)，探討以共軛梯度法 (Conjugate Gradients Method) 來進行石門大圳渠道的阻力係數率定。該研究是以兩個量測點之水深來檢定兩個河段的阻力係數，僅能適用於簡單之河段。

詹明修 (2004) 與黃怡君 (2006) 均採用全流域河川不恆定流模式，配合遺傳演算法或是再加入模擬退火演算法，並以計算水位與觀測水位之均方根誤差作

為目標函數，推求最能合理描述實際流況之河川阻力係數；但率定的效率是一個需要改善的問題。

### 1.3.3 啟發式演算法

現行的自動率定方法可大致分為兩類：(1)梯度法(Gradient Search Method)與(2)啟發式演算法(Heuristic Algorithm)。

梯度法雖然有嚴謹的理論基礎，但基於以下兩點原因，使其不適用於求解多維度最佳化問題。第一：搜尋解的範圍僅侷限於初始解附近，若無法取得良好的初始解，則會因為演算機制中沒有可以跳脫困境的設定，極易發生落入區域最佳解(Local Optimal Solution)的情形，此乃缺乏多樣性(Diversity)的搜尋功能；第二：梯度法只能處理導數存在的問題。但在自然界中，實際問題描述往往是不連續的，故進而限制了求解的可能。

啟發式演算法即是為了克服梯度法的缺點而開始發展。啟發式演算法主要在利用人工智慧技術(Artificial Intelligence, AI)的協助，期望在可行解空間中，以比較有效率或效能的方法來搜尋最佳解。學者們藉由模仿自不同之自然智慧，發展出不同演算機制的演算法。

現今啟發式演算法應用於解決參數最佳化問題已常見於各領域中，如電機、資訊、工程、經濟等。而最佳化之求解需要先將所面對的問題，以目標函數式與限制式公式化(Formulating)，對於各種不同問題，其所設定之目標函數式與限制式亦不相同，考量問題之規模與尺度，選擇最適合的設定，方可最有效率與效能地達到最佳化目的。目前最為人所知的啟發式演算法有：禁忌搜尋法(Tabu Search)、遺傳演算法(Genetic Algorithm)、模擬退火法(Simulated Annealing Algorithm)、或是類神經網路(Neural Network)、模糊(Fuzzy)等方法，而本文所使用的動態維度搜尋法(Dynamically Dimensioned Search Algorithm)為近幾年來新興的演算方法，國外之相關研究亦不斷的出現，例如(Tolson, B. A., and



Shoemaker, C. A., 2007)、(Behrangi et al., 2008) 等。啟發式演算法最大的優點就是能在合理的時間內，快速地找到優良的解，並設計出具有避免落入局部最佳解的機制，如禁忌搜尋法中的禁忌名單 (Tabu List) 機制、遺傳演算法中的突變運算元，而模擬退火法跳脫出局部最佳解的方式則是依溫度的變化，設定解移動至鄰近區域的機率。以上這些搜尋方法，不外乎均為聰明試誤法，透過利用各種自然法則、學習能力、機率特性、模糊概念、記憶功能等組合，目的在於建構出更加具有最佳化求解能力之演算方法，以因應高科技發展所可能帶來的龐大解問題。

#### 1.4 論文架構

本文架構：第一章為緒論，以研究動機引導出本文的研究目的，並參閱相關文獻與描述全文架構；第二章為本文研究方法，介紹動態維度搜尋法，說明其演算流程，並以多峰多谷函數進行測試，討論本研究方法之適用性；第三章進行問題與研究範圍的描述；第四章以淡水河流域之颱風時期做為研究案例，將本研究方法應用在河川水理模式，進行河川阻力參數自動優選之率定及驗證結果；第五章為結論與建議。

## 第二章 動態維度搜尋法

本章首先概述動態維度搜尋法的發展及特點，接著介紹其演算機制與流程，最後再利用三組具有多峰多谷特性的函數進行最佳化測試，並與不同參數率定方法比較，藉以了解本研究方法在多維度問題中之求解能力。

### 2.1 動態維度搜尋法 (Dynamically Dimensioned Search Algorithm)

#### 2.1.1 動態維度搜尋法之概述

本節之內容，主要參考自 “Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration” (Tolson, B. A., and Shoemaker, C. A., 2007)。

動態維度搜尋法設計目的主要為解決多參數的率定問題，為了應用在需要龐大計算時間的最佳化問題，此搜尋法沒有複雜的參數調整方式，即演算法中無需另行調整的控制參數，例如：模擬退火法的起始溫度、溫度遞減因子；遺傳演算法的突變機率、族群個數等，減少演算法中的不確定性因子，得以盡可能節省所有計算時間於搜尋最佳解，此外，演算法的另一特點在於可依照使用者對計算時間的要求而設定最大搜尋次數，並且依照所設定之最大搜尋次數調整搜尋範圍，而此項設計卻也不會影響到搜尋解的多樣性與強健性，下節將詳細說明演算的機制。

#### 2.2.2 動態維度搜尋法演算機制

動態維度搜尋法的演算特點在於不論使用者設定搜尋次數的多寡為何，在候選解 (Candidate Solution) 的搜尋上，均可由全域式 (globally) 的搜尋朝區域式 (locally) 的搜尋方向進行。此項調整機制為隨著機率的變化，降低每一次搜尋時待定參數之搜尋個數。而下一次所產生的候選解，則是根據前一次更新的解進

行調整而得，並將兩組解代入目標函數式中進行比較，若能降低目標函數值，候選解將取代現有解，成為下一次搜尋時之現有解，反之，則不接受此次的搜尋結果，再由現有解產生另一組新的候選解，如此反覆執行直到滿足收斂條件或是到達最大搜尋次數。

動態維度搜尋法包含三項主要演算步驟：1. 初始解設定、2. 候選解選取、3. 更新現有解。以下針對各個步驟詳細說明：

## 1. 初始解設定

在開始最佳解的搜尋之前，有三項參數需要先進行設定，分別是鄰近解擾動參數 (Neighborhood Perturbation Size Parameter,  $r = 0.2$ )、最大搜尋次數 ( $m$ ) 與待定參數之上下界 ( $\mathbf{x}^{\min}, \mathbf{x}^{\max}$ )。接著即可在可行解區域內，隨機產生一組解做為整個率定過程之初始解，並將初始解代入目標函數式( $F$ )，完成初始解設定。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^0 &= [x_1, \dots, x_D] \\ \text{Set } F_{\text{best}} &= F(\mathbf{x}^0), \text{ and } \mathbf{x}^{\text{best}} = \mathbf{x}^0 \end{aligned} \quad (2-1)$$

## 2. 候選解選取

在最佳解搜尋過程中，將搜尋到的解稱作「現有解」。由現有解進行下一次的搜尋時，必須依照各個演算法的演算機制改變現有解，在此過程中所有可能成為下一階段現有解之可行解均稱作為「鄰近解」，所有鄰近解的集合則稱為「鄰近解空間」(Neighborhood,  $\{N\}$ )，而獲選的解則暫時稱為「候選解」，如何在這過程中同時滿足求解的多樣性與強健性，正是啟發式演算法的核心，同時也就是不同演算法的差異所在。以下是動態維度搜尋法的候選解選取法則。

在鄰近解空間的  $D$  個待定參數中，按照機率  $P(i)$  選取  $J$  個，如 (2-2) 式所示，其中  $i$  為目前搜尋次數，隨著搜尋次數的增加，每次獲選的參數個數將逐次減少，相當於由初始的全域式搜尋，逐漸朝區域式搜尋移動，直至滿足收斂條件或是到達最大搜尋次數。

$$P(i) = 1 - \ln(i)/\ln(m) \quad (2-2)$$

Example :

$$\begin{cases} \text{待定參數個數, } D = 10 \\ \text{最大搜尋次數, } m = 1000 \Rightarrow P(1) = 1 - \ln(1)/\ln(1000) = 1 \\ \text{目前搜尋次數, } i = 1 \end{cases}$$

因此,在第一次搜尋過程中,每個待定參數被挑選出來進行更新的機率為100%,以此類推。

### 3. 更新現有解

將上一步驟中所獲選的參數,以(2-3)式進行更新。

For  $j = 1, 2, \dots, J$

$$x_j^{\text{new}} = x_j^{\text{best}} + \sigma_j \times N(0,1) \quad (2-3)$$

Where  $\sigma_j = r(x_j^{\text{max}} - x_j^{\text{min}})$

$N(0,1)$  : Standard normal random variable

若更新過後的參數超出了下邊界,則以(2-4)式調整。

If  $x_j^{\text{new}} < x_j^{\text{min}}$

$$x_j^{\text{new}} = x_j^{\text{min}} + (x_j^{\text{min}} - x_j^{\text{new}}) \quad (2-4)$$

But if  $x_j^{\text{new}} > x_j^{\text{max}}$ , set  $x_j^{\text{new}} = x_j^{\text{min}}$

若更新過後的參數超出了上邊界,則以(2-5)式調整。

If  $x_j^{\text{new}} > x_j^{\text{max}}$

$$x_j^{\text{new}} = x_j^{\text{max}} - (x_j^{\text{new}} - x_j^{\text{max}}) \quad (2-5)$$

But if  $x_j^{\text{new}} < x_j^{\text{min}}$ , set  $x_j^{\text{new}} = x_j^{\text{max}}$

參數更新後，再代入目標函數式中計算目標函數值，如 (2-6) 式所示。

If  $F(\mathbf{x}^{\text{new}}) \leq F_{\text{best}}$

$$F_{\text{best}} = F(\mathbf{x}^{\text{new}}), \text{ then } \mathbf{x}^{\text{best}} = \mathbf{x}^{\text{new}} \quad (2-6)$$



## 2.2 函數最佳化之測試

為了證明動態維度搜尋法（以下簡稱作 DDS）可以有效率地搜尋到全域最佳解，本研究列舉以下三個多峰多谷函數進行不同目的之測試，

### 2.2.1 測試函數一

選擇此函數的目的在於測試動態維度搜尋法在搜尋解過程中的多樣性能力。利用搜尋一多峰多谷函數  $f_1(x)$  的最小值過程中，挑選前 100 次所得之候選解，討論候選解的分佈情形。其中，目標函數  $f_1(x)$  與變數  $x$ ，如下式表示，而測試結果如圖 2.1 所示。

Minimize :

$$f_1(x) = \sin(0.07x) \times \exp(0.0004x) + 2$$

Search domain :

$$0 \leq x \leq 1000$$

In this case :

$$\text{已知全域最佳解為：} x^* = 965, f_1(x^*) = 0.5289$$



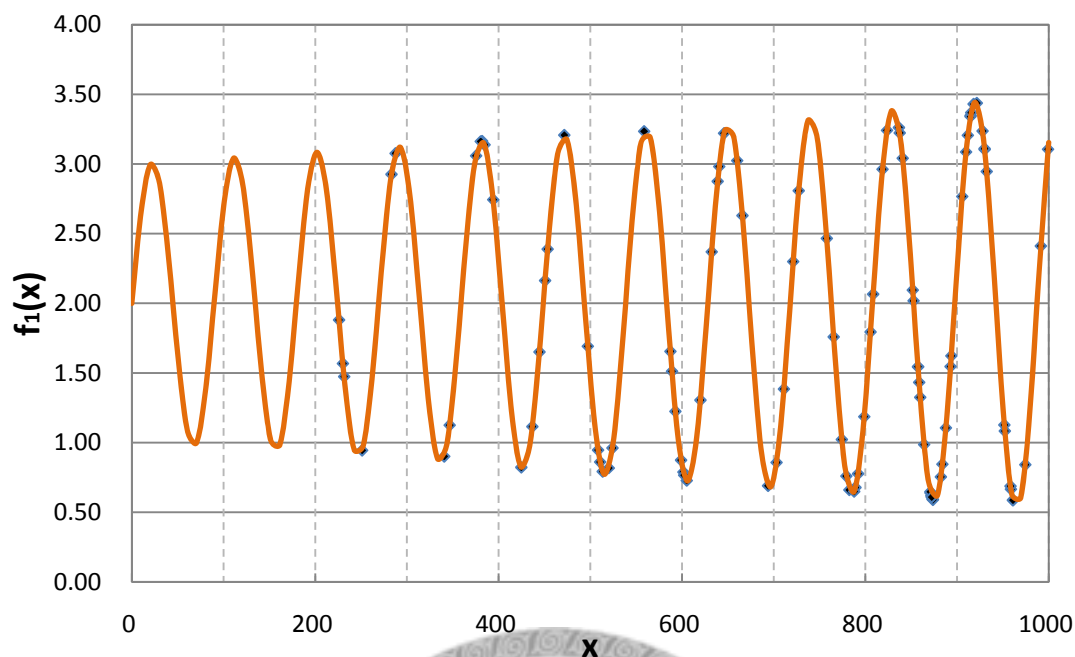


圖 2.1 候選解空間分佈圖（前 100 次搜尋結果）

由圖中之候選解（黑點）的分佈情況可以清楚發現，本研究方法在初始的搜尋過程中（前 100 次搜尋），即能廣泛地在可行解空間裡尋找候選解，多方探索各個的解區域，表示動態維度搜尋法在處理最佳化問題時，確實有廣泛搜尋之能力，此特點可加速獲得全域最佳解並有縮短收斂時間的可能。

表 2.1 測試函數一：實驗收斂結果

30 組實驗結果之比較（變數個數：1）			
方法	平均誤差	求得全域最佳解之組數	平均呼叫函數次數
DDS	0	30/30	5,932

此外，利用 30 組不同初始解所進行的搜尋結果整理於表 2.1，取 30 組實驗組數的目的在於滿足統計上之可靠度。而本測試問題的全域最佳解為 0.5289，計

算結果顯示每一回的搜尋最終均能獲得全域最佳解，平均的函數執行次數為 5,932 次。

## 2.2.2 測試函數二

在了解到動態維度搜尋法於搜尋解的多樣性能力後，本節將進一步藉由 Rastrigin function 來測試動態維度搜尋法在最佳解搜尋上的表現，為滿足統計上之可靠度，測試過程採用 30 組不同初始值進行實驗，並記錄其目標函數值之平均誤差、求得全域最佳解之總組數與收斂時平均呼叫函數次數。目標函數  $f_2(x)$  與變數  $x$ ，如下式所示，圖 2.2 為測試函數的示意圖，表 2.2 為實驗收斂結果。

Minimize Branin function :

$$f_2(x) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i))$$

Search domain :

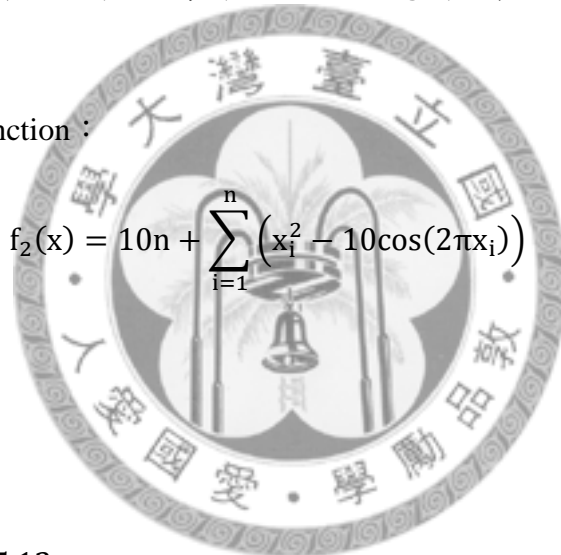
$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$$

In this case :

$$n = 5$$

已知全域最佳解為： $x^* = (0, 0, \dots, 0)$ ， $f_2(x^*) = 0$





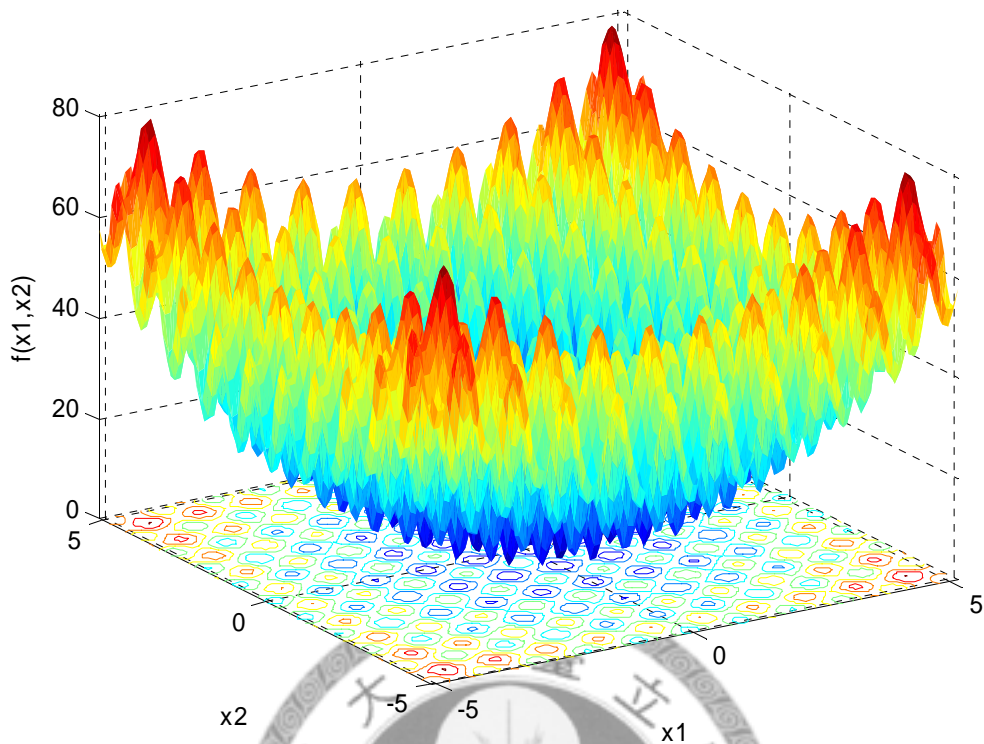


圖 2.2 Rastrigin function graph: for n=2

表 2.2 測試函數二：實驗收斂結果

30 組實驗結果之比較 (變數個數：5)			
方法	平均誤差	求得全域最佳解之組數	平均呼叫函數次數
DDS	0	30/30	20,492

由計算結果可以得知，在這 30 組初始值的測試過程中，動態維度搜尋法均能求取得全域最佳解，而平均的函數執行次數為 20,492 次，顯示本研究方法不僅具備多樣性的求解能力，更重要的是在多次的測試中，均能有效地進行求解，以上足以表現此研究方法在多維度問題上的良好尋優能力。

### 2.2.3 測試函數三

經過前兩組函數的測試，我們得以了解到動態維度搜尋法在處理最佳化問題上，確實可以滿足搜尋解的多樣性與強健性條件。而本研究目的乃在於應用動態維度搜尋法，來率定全流域河川不恆定流模式所需之河川阻力係數，在前人研究中（詹明修，2004）與（黃怡君，2006），分別是使用實數編碼利基遺傳演算法（RvcNGA）與實數編碼利基退火遺傳演算法（TSARvcNGA）進行率定，為比較本研究方法之可靠度與效率，在此嘗試將以上三種方法，透過一個複雜度雖然較率定河川阻力係數為低，但同樣具有非線性及多峰多谷特性的函數，進行最佳化測試，如此可使我們對動態維度搜尋法的尋優能力有更客觀的認識。目標函數  $f_3(x)$  與變數  $x$ ，如下式所示，而表 2.3 為實驗收斂結果。

Minimize :

$$f_3(x) = \sum_{i=1}^n \sin(0.07x_i) \times \exp(0.0004x_i) + 4$$

Search domain :

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$0 \leq x_i \leq 1000$$

In this case :

$$n = 15$$

已知全域最佳解為： $x^* = (965, 965, \dots, 965)$ ， $f_3(x^*) = -18.0659$ 。

表 2.3 測試函數三：比較 DDS、RvcNGA 與 TSARvcNGA 之收斂情形

30 組實驗結果之比較 (變數個數：15)				
方法	收斂世代數	平均誤差	求得全域最佳解之組數	平均呼叫函數次數
DDS		0.0073	28/30	9626
RvcNGA	2160	7.3694	0/30	86400
TSARvcNGA	132	0.0189	22/30	10596

表 2.3 所呈現的是動態維度搜尋法 (DDS)、實數編碼利基遺傳演算法 (RvcNGA) 與實數編碼利基退火遺傳演算法 (TSARvcNGA)，三種最佳化求解方法之計算結果，結果顯示實數編碼利基遺傳演算法在本問題中求得全域最佳解之組數為 0，亦即完全無法得到收斂的結果；實數編碼利基退火遺傳演算法的測試結果也僅有約 1/3 的機會能夠收斂至全域最佳解。故由以上分析可以發現，動態維度搜尋法不論是到達收斂條件時的平均誤差或是求得全域最佳解組數之表現上，均明顯優於另外兩種方法。

#### 2.2.4 測試本研究方法之結論

由前三節的函數測試結果可以歸納出以下兩點：

1. 動態維度搜尋法在最佳解的搜尋過程中，具有多樣性的表現及強健性的收斂能力。
2. 在與實數編碼利基遺傳演算法與實數編碼利基退火遺傳演算法等前人研究方法的比較上，本文之研究方法除了可獲得更佳的收斂結果外，在到達收斂條件時，程式所需執行的次數亦較少，表示在相同條件之下，動態維度搜尋法能夠更有效地節省計算時間，此項優點與本文研究的目的相符合，即如何在合理時間內獲得率定的結果。

## 第三章 問題描述與研究範圍

### 3.1 淡水河流域概況

本研究所推求的河川不恆定流模式阻力參數最佳化之河系為淡水河流域。淡水河流域位於台灣之北端，東北向及西北向以大屯山、觀音山等與海岸相隔，東南向以阿玉山，紅葉山等與蘭陽溪為界，西南向則以品田山，大壩尖山等與大甲、大安、頭前諸溪為鄰，流域面積 2,726 平方公里，主流長 158.7 公里，為台灣第三大川。淡水河主要支流有三：最南者為大漢溪，中為新店溪，兩者匯流於台北市附近之江子翠，北為基隆河，於關渡匯入淡水河。

大漢溪原名大嵙崁溪，本溪發源於品田山，流經新竹縣之尖石鄉，關西鎮於桃園縣之復興鄉、龍潭鄉、龜山鄉、大溪鎮及台北縣之三峽鎮、鶯歌鎮、樹林鎮、土城市、板橋市、新莊市與三重市，於江子翠匯入淡水河，形成淡水河本流之主流，長 135 公里，流域面積 1,163 平方公里，平均坡降 1/37，主要支流有永福溪（亦稱烏塗堀溪）及三峽河。本溪上游為石門水庫集水區，集水面積 759 平方公里。本流域上游為山谷地，中下游為台地及沖積平原，境內交通發達，屬大台北都會區，地位重要。

新店河流域，其上游主流南勢溪發源於棲蘭山，流經烏來、龜山、屈尺、直潭、新店、景美，至江子翠與大漢溪交會，全長約 82 公里，流域面積 910 平方公里，主要支流有桶後溪，北勢溪與景美溪。上游河段兩岸山巒起伏，峽谷地勢雄偉，直至新店碧潭大橋以下始出山區地形，山坡地面積約佔全流域面積的 89%。本溪水源豐沛，為台北縣市重要之水源地區。

基隆河發源於台北縣平溪鄉菁桐山，先後匯合鱒魚坑溪、東勢坑溪、暖暖溪、鶯歌石溪、瑪陵坑溪、友蚋溪、北港溪、大坑溪等大小支流，流經平溪鄉、瑞芳鎮、基隆市、汐止鎮、台北市，於關渡注入淡水河。主流長達 89.4 公里，流域面積 490.77 平方公里。自侯硐介壽橋到七堵大華橋為上游段，平均坡降約為 1/250；自大華橋起到南湖大橋為中游段，平均坡降約為 1/4,900；自南湖大橋到

河口為下游段，河床平均坡降約為 1/6,700，流域境內河道平緩、蜿蜒。(經濟部水利署第十河川局，2009)

### 3.2 研究範圍

在資料蒐集上，由於淡水河流域擁有較為完整的斷面資料及觀測水位站數，故本研究區域以淡水河流域為主，其範圍包括：基隆河（自大華橋以下）、大漢溪（自新海橋以下）、新店溪（自中正橋以下）、淡水河（自河口以上）等河段。如圖 3.1 所示。

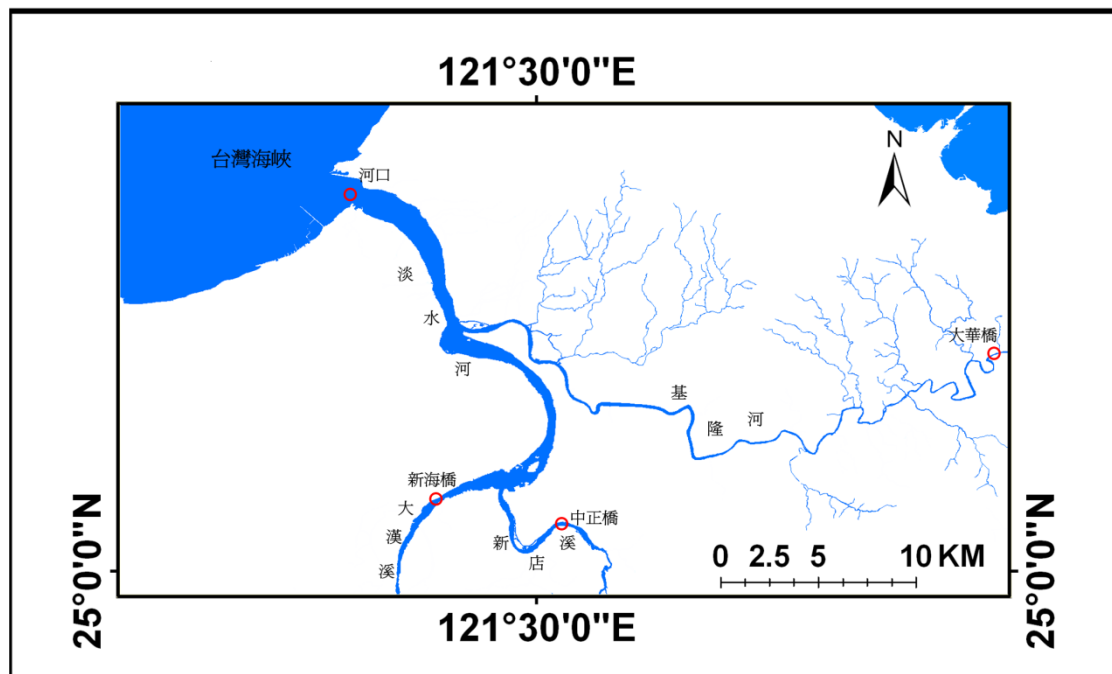


圖 3.1 淡水河流域河系圖

### 3.3 河川水理模式建置

本研究採用的水理分析模式為全流域河川不恆定流模式 (Wu et al., 2007)。該模式主要利用特性法 (Method of characteristics) 解基本明渠不恆定流方程式 (Saint-Venant's equations)，是為一個實用性強、穩定度高、計算準確的水理模擬模式，可同時處理感潮流、洪水流與因為天然或人為因素所導致的急變流，並可應用於複合一複雜渠道系統 (Compound-complex channel system)。

一般河川水理模式多為處理恆定流流況，其阻力參數大抵設定為定值即能有效進行計算，然而，在自然狀態下，隨著水位漲落，河道的通水斷面會隨之變化，此時表面的粗糙程度必會有所不同，為確實掌握洪水位變化以進行全洪水歷程之模擬，確保模式在中低水位及高洪水位時期皆能一併保有相同之計算準確度，故在此採用河川阻力參數得在預先設定的水位範圍內自動調整，其調整機制如(3-1)式所示：

$$\begin{cases} n = n_d & z < z_d \\ n = n_d + m \times (z - z_d), & z_d \leq z \leq z_u \\ n = n_u & z > z_u \end{cases} \quad (3-1)$$

Where  $m = (n_u - n_d) / (z_u - z_d)$

其中， $m$  為河川阻力係數於水位上下限間之變化斜率； $z_u$ 與 $z_d$ 分別為各河段允許水位變化之上下限； $n_u$ 與 $n_d$ 則分別為相對應於水位 $z_u$ 與 $z_d$ 時之阻力係數 (蔡丁貴，2005)。當實際應用時， $z$  值可依現場實地觀察決定，而曼寧  $n$  值的率定即為本研究之目的，在下一章中將選用流域內重大颱風事件之洪水位資料進行率定，待率定完成後，再利用不同颱風事件之洪水位資料來驗證率定結果之適用性。

### 3.4 參數率定之優選模式建立

本研究所欲推求最佳化參數之河系為淡水河全流域河系，範圍包括基隆河(大華橋以下)、大漢溪(新海橋以下)、新店溪(中正橋以下)及淡水河(入口堰以下

至河口)之河道，共設計有 130 個渠段(segment，兩斷面間謂之渠段)，依河道特性區分為 20 個河段(reach)。其中，河段 1 至河段 7 屬於主流系統—大漢溪及淡水河；河段 8 屬於支流系統—新店溪；河段 9 至河段 20 屬於支流系統—基隆河。如圖 3.2 所示。

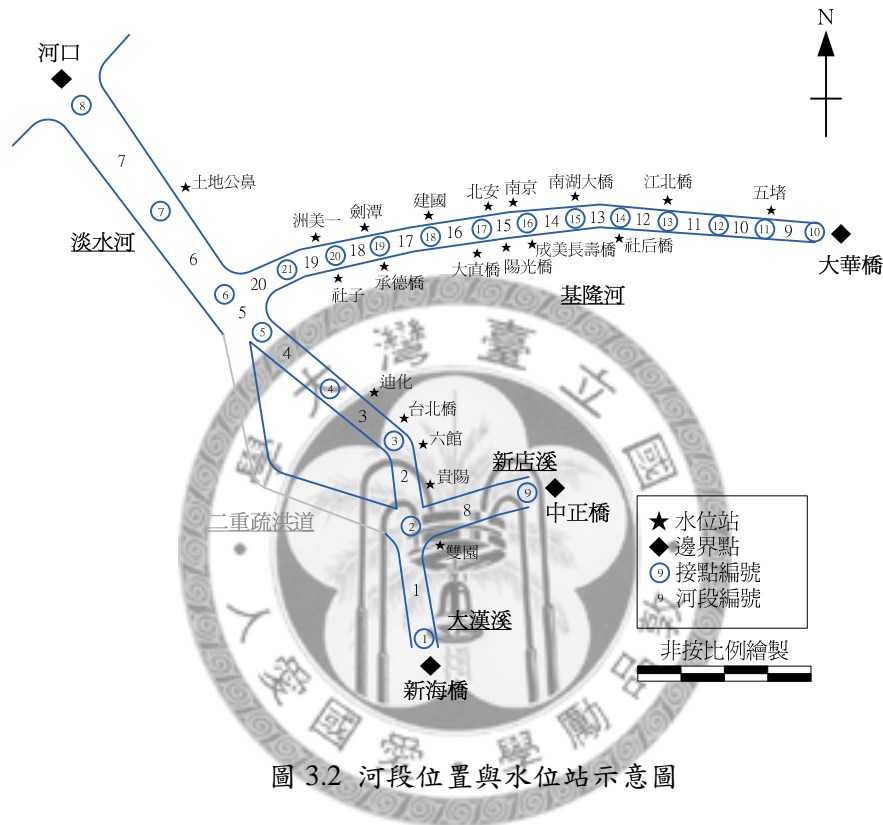


圖 3.2 河段位置與水位站示意圖

### 3.4.1 參數個數之決定

每個河段各有兩個阻力參數 $n_d$ 與 $n_u$ 需要率定，合計為 40 個參數。依該模式的初始設定原應以各渠段為率定之目標，但由於研究區域內可提供模式進行率定的觀測水位站數(本河系共有 20 個水位站)遠少於參數個數，為了降低待定參數因為觀測資料不足所造成的不確定性誤差，故改以河段為率定目標。

### 3.4.2 目標函數

本優選模式之目標函數為將計算水位與觀測水位之均方根誤差 (RMSE) 最小化，如 (3-2) 式所示：

$$\text{Min} \left[ \frac{1}{T} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N [z_{n,t}^o - z_{n,t}^c]^2 \right]^{1/2} \quad (3-2)$$

其中， $z_{n,t}^o$  為第 n 個水位站在第 t 個時刻之觀測水位； $z_{n,t}^c$  為第 n 個水位站在第 t 個時刻之模式計算水位；T 為總時段個數；N 為水位站的個數。此目標函數之訂定，主要目的在將計算水位歷線儘可能模擬接近觀測水位歷線。

### 3.4.3 限制式

本優選模式之限制式有兩項，即全流域河川不恆定流模式與河川阻力參數值之上下限，分述如下：

#### (1) 全流域河川不恆定流模式

本文採用全流域河川不恆定流模式 (Wu et al., 2007) 進行水理計算。本模式主要依據基本明渠不恆定流方程式 (Saint-Venant's equations) 所建立之數學模式，經轉換為特徵方程式後，以第二型多方式特徵法 (MMOC-II) 做為數值解之基本架構。

#### (2) 參數檢定時之上下界

由於本文探討自然河川阻力參數之率定問題，故在率定前並無法確定參數確切的範圍，若給予過大的範圍，則造成可行解空間過大，影響收斂時間；過小則無法率定出合理參數值。而 Cowan (1956) 根據渠道底部的材料、河道彎曲度、



植生分佈與人工結構物等因素所造成的阻力效應，提出河川阻力參數推估公式如 (3-3) 式所示：

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (3-3)$$

同時，參照一般常用之曼寧粗糙參數表，如表 3.1 所示，在本研究區域—淡水河流域中，考量大漢溪、新店溪及淡水河等河道多為已經過整治且河道寬闊之河段，設定阻力參數上下限為 0.020 至 0.060 之間；而基隆河各河段阻力參數上下限則主要參考自蔡丁貴與賴經都（2002）之研究成果，設定在 0.020 至 0.080 之間。



表 3.1 曼寧粗糙參數表 (王如意, 1992)

計算公式： $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$			
水道條件		數值	
水道材料	土質	$n_0$	0.020
	岩石		0.025
	細卵石		0.024
	粗卵石		0.028
不規則程度	平滑	$n_1$	0.000
	微		0.005
	普通		0.010
	極不規則		0.020
斷面變化	無	$n_2$	0.000
	偶有變化		0.005
	經常變化		0.010~0.015
障礙作用	可忽略	$n_3$	0.000
	微		0.010~0.015
	顯著		0.020~0.030
	極劇		0.040~0.060
植物	低短	$n_4$	0.005~0.010
	普通		0.010~0.025
	高大		0.025~0.050
	極高大		0.050~0.100
蜿蜒程度	微	$m$	1.000
	顯著		1.150
	極劇		1.300

### 3.5 參數自動率定流程

本文處理參數自動率定之主要步驟為利用動態維度搜尋法反覆地執行全流域河川不恆定流模式。首先於待定參數之上下界範圍內產生一組初始解後，代入全流域河川不恆定流模式進行水位模擬，並計算其與觀測水位之均方根誤差，再將模擬結果回傳至動態維度搜尋法產生新的候選解，如此反覆迭代直到滿足收斂條件或是到達預設之最大搜尋次數，目的在於最小化此目標函數值。完整設計流程如圖 3.3 所示。

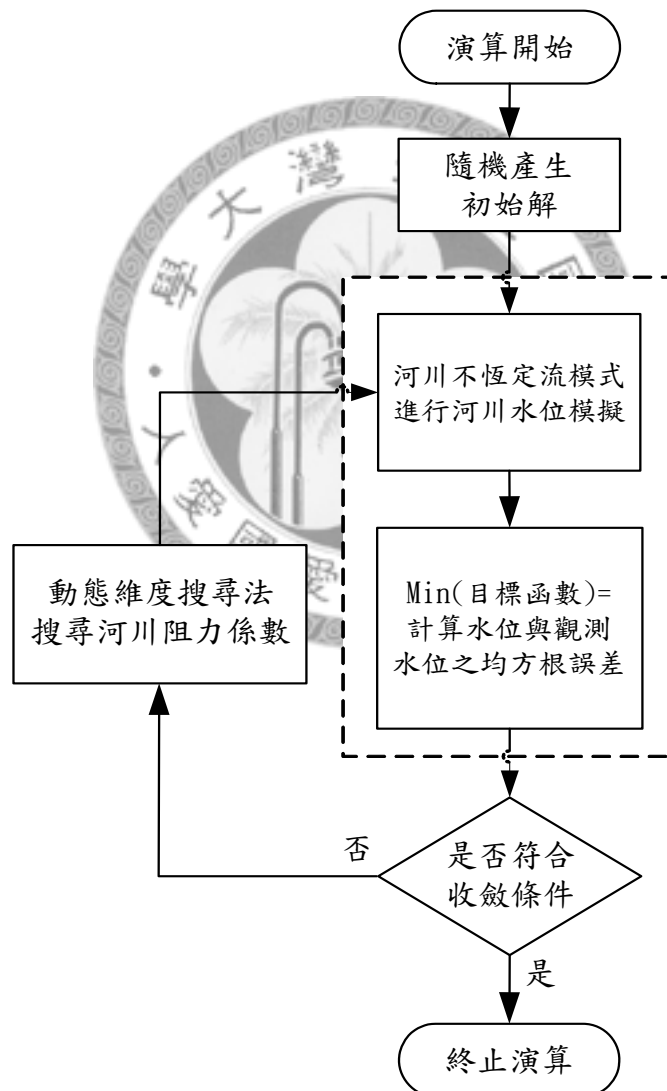


圖 3.3 參數自動率定設計流程圖

## 第四章 河川阻力係數之自動率定與驗證結果

### 4.1 動態維度搜尋法：案例測試

本研究在使用實際觀測水位資料進行參數優選時，可能會因為下列之因素，而影響到參數優選之結果：

#### 1. 水位觀測之誤差

一旦觀測資料有誤差出現，會影響參數優選時目標函數之變化，進而影響到優選所得之參數。

#### 2. 河段的分段數、位置

對於自然河川等較複雜的研究範圍，以區分河段的方式來進行參數設定，可以較少的參數來表現實際河道特性，大幅降低最佳化過程之困難度，但是相對的，根據區分河段方式的不同，參數優選之結果亦會有所差異。

因此為證明動態維度搜尋法確實具有解決本研究問題之能力，在此節將先進行模擬測試，亦即排除待定參數在優選過程中之各項潛在不確定性因素，以期能順利優選出全域最佳解。

測試之步驟大致可分為兩階段。在第一階段中，由於無法得知淡水河流域中，河川阻力參數之真值，故在此預先設定一組 $n_d$ （中低水位阻力參數）及 $n_u$ （高水位阻力參數）值，將該組參數預設值假定為阻力參數之真值，並把該預設值輸入並執行全流域河川不恆定流模式，完成水位模擬；當水位模擬完成後，再假設第一階段中的模式參數為未知，配合模擬所得之水位資料以動態維度搜尋法進行率定，目的在於檢驗原先所假定的阻力參數與率定而得之結果是否能收斂至相近的值，此測試案例之流程如圖 4.1 所示。

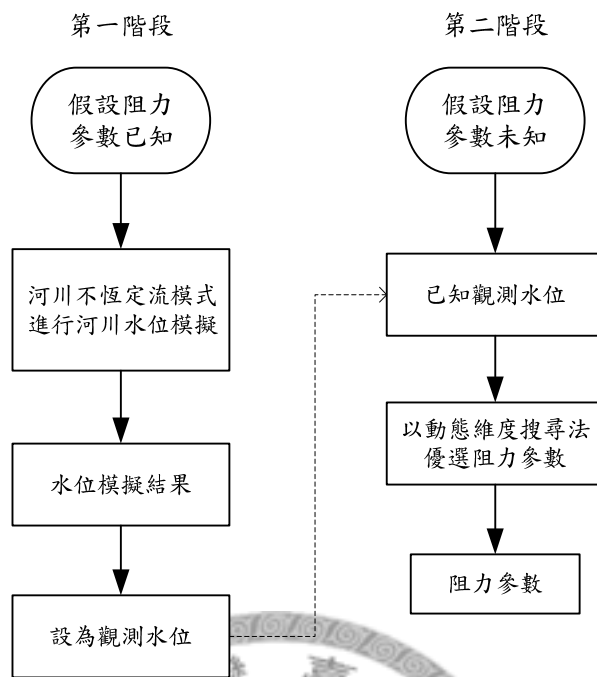


圖 4.1 動態維度搜尋法測試案例流程

#### 4.1.1 測試案例設定

本測試案例中先仿照淡水河全流域，設計一較實際問題單純之簡例河川，在模擬的範圍內，依河道特性區分成 20 個河段，並依照淡水河流域中 20 個水位站之對應位置，於簡例河川中設置 20 個假設水位站分佈在河道上，而全流域河川不恆定流模式的邊界點為新海橋，河口，中正橋與大華橋，各水位站之空間分佈如圖 3.2 所示，每個河段各有一組  $n_d$  與  $n_u$  值，待定參數合計 40 個。

將四個邊界水位站之觀測水位，以及由河川阻力參數預設值所計算而得之各假設水位站水位，輸入河川水理模式進行模擬，納入率定時間為 2008/9/27 15:00~2008/9/30 12:00，其時距為 20 分鐘，故每個水位站均採用 208 筆水位觀測資料。在本測試案例中，每一次的演算都會經過動態維度搜尋法產生一組候選解，演算之停止條件是設定 100,000 次的最大搜尋次數。

### 4.1.2 測試結果

從測試結果得知目標函數在模式執行 41,361 次後開始收斂，程式每次的執行時間約為 17 秒，亦即在開始進行測試後，經過 238 個小時達到收斂，收斂之最小誤差值為 0.03 公尺，其收斂過程如圖 4.2 所示。而預設與率定所得之參數比較如圖 4.3（中低水位阻力參數， $n_d$ ）、圖 4.4（高水位阻力參數， $n_u$ ）所示；確切參數值的比較分別列於表 4.1~表 4.6，其中，表 4.1 為大漢溪與淡水河流域的中低水位阻力參數、表 4.2 為大漢溪與淡水河流域的高水位阻力參數、表 4.3 為新店河流域的中低水位阻力參數、表 4.4 為新店河流域的高水位阻力參數、表 4.5 為基隆河流域的中低水位阻力參數、表 4.6 為基隆河流域的高水位阻力參數。此外，將這兩組參數輸入不恆定流模式計算各假設水位站之水位，繪製成水位歷線圖並加以比較，圖 4.5~圖 4.24 分別為 20 個假設水位站之計算水位比較圖，由比較結果可以觀察出每個水位站均可獲得相當密合之模擬結果。

綜合以上，可以觀察到預設之阻力參數值與測試所得之阻力參數值雖然未達完全之吻合，但其趨勢與分佈情形已經相當接近，模擬所得之水位數據亦支持此項測試結果。而造成無法完全獲得參數真值的可能因素為過於龐大的求解空間，導致求解後期搜尋時間的增加，儘管如此仍不影響求解前期的高效率搜尋，此部分顯示，在往後的研究中若能合理限縮目前所設定的求解空間，並有效地排除各項可能發生之誤差與不確定性因素，則動態維度搜尋法在本研究問題上是確實具有穩健的求解能力，欲優選出全域最佳解亦屬於合理的期待。

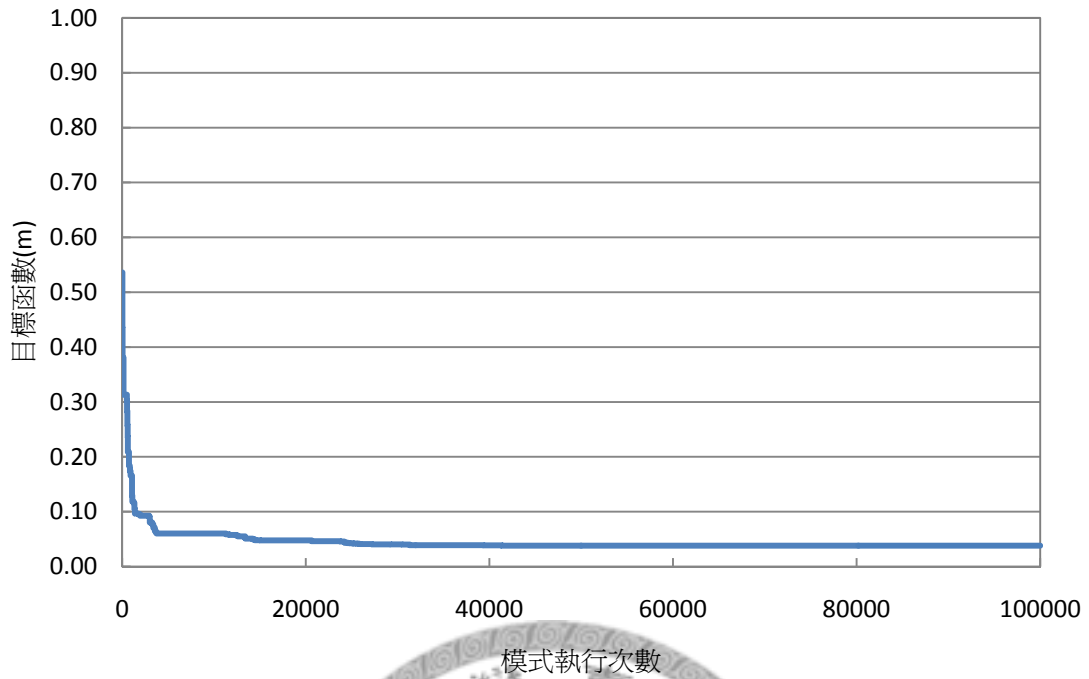


圖 4.2 測試案例之目標函數收斂圖

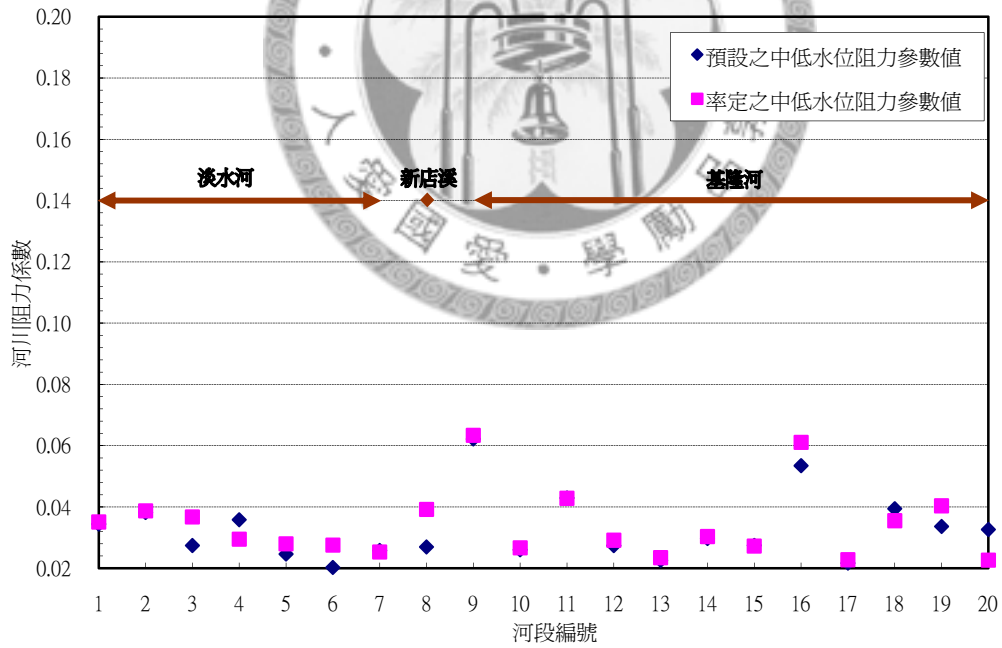


圖 4.3 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較圖

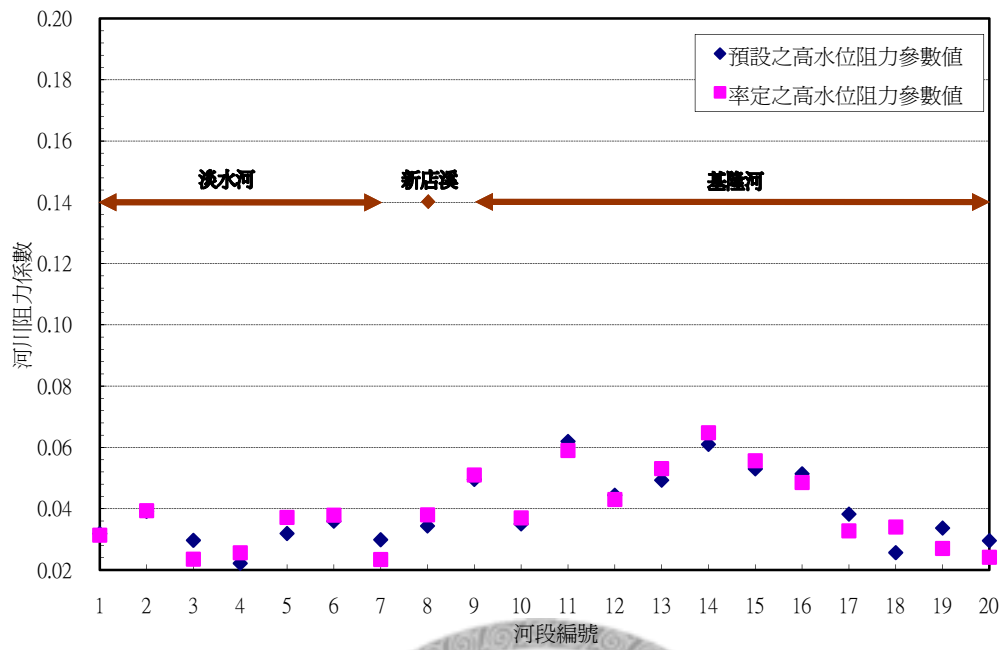


圖 4.4 預設與率定所得之高水位阻力參數比較圖





表 4.1 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較（大漢溪與淡水河流域）

新海橋至河口				
河心距 (m)	河段編號	說明	預設 $n_d$ 值	率定 $n_d$ 值
23,870~21,215	1	T36. A~T32	0.034	0.035
21,215~16,775	2	T32~T24. A	0.038	0.039
16,775~13,600	3	T24. A~T20	0.027	0.037
13,600~9,830	4	T20~T14	0.036	0.029
9,830~8,920	5	T14~T13	0.025	0.028
8,920~6,075	6	T13~T09	0.020	0.028
6,075~0	7	T09~T00	0.026	0.025
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離				

表 4.2 預設與率定所得之高水位阻力參數比較（大漢溪與淡水河流域）

新海橋至河口				
河心距 (m)	河段編號	說明	預設 $n_u$ 值	率定 $n_u$ 值
23,870~21,215	1	T36. A~T32	0.032	0.031
21,215~16,775	2	T32~T24. A	0.039	0.039
16,775~13,600	3	T24. A~T20	0.030	0.024
13,600~9,830	4	T20~T14	0.022	0.026
9,830~8,920	5	T14~T13	0.032	0.037
8,920~6,075	6	T13~T09	0.036	0.038
6,075~0	7	T09~T00	0.030	0.023
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離				

表 4.3 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較（新店溪流域）

中正橋至入口堰附近				
河心距 (m)	河段編號	說明	預設 $n_d$ 值	率定 $n_d$ 值
27,495~21,215	8	H10. A~H01	0.027	0.039
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離				

表 4.4 預設與率定所得之高水位阻力參數比較（新店溪流域）

中正橋至入口堰附近				
河心距 (m)	河段編號	說明	預設 $n_u$ 值	率定 $n_u$ 值
27,495~21,215	8	H10. A~H01	0.034	0.039
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離				



表 4.5 預設與率定所得之中低水位阻力參數比較（基隆河流域）

大華橋至關渡附近				
河心距 (m)	河段編號	說明	預設 $n_d$ 值	率定 $n_d$ 值
40,577~34,727	9	K94~K80	0.062	0.063
34,727~29,817	10	K80~K68	0.026	0.027
29,817~27,828	11	K68~K61	0.043	0.043
27,828~23,912	12	K61~K50	0.027	0.029
23,912~20,602	13	K50~K43	0.023	0.023
20,602~16,958.5	14	K43~K35	0.030	0.030
16,958.5~10,496.5	15	K35~K19.A	0.027	0.027
10,496.5~9,346.5	16	K19.A~K17	0.053	0.061
9,346.5~7,772	17	K17~K14	0.022	0.023
7,772~5,625	18	K14~K10	0.039	0.036
5,625~2,525	19	K10~K05	0.034	0.040
2,525~0	20	K05~K01	0.033	0.023
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至 K01 斷面之距離				

表 4.6 預設與率定所得之高水位阻力參數比較（基隆河流域）

大華橋至關渡附近				
河心距 (m)	河段編號	說明	預設 $n_u$ 值	率定 $n_u$ 值
40,577~34,727	9	K94~K80	0.050	0.051
34,727~29,817	10	K80~K68	0.035	0.037
29,817~27,828	11	K68~K61	0.062	0.059
27,828~23,912	12	K61~K50	0.044	0.043
23,912~20,602	13	K50~K43	0.049	0.053
20,602~16,958.5	14	K43~K35	0.061	0.065
16,958.5~10,496.5	15	K35~K19.A	0.053	0.056
10,496.5~9,346.5	16	K19.A~K17	0.051	0.049
9,346.5~7,772	17	K17~K14	0.038	0.033
7,772~5,625	18	K14~K10	0.026	0.034
5,625~2,525	19	K10~K05	0.034	0.027
2,525~0	20	K05~K01	0.030	0.024
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至 K01 斷面之距離				

## 淡水河主流流域

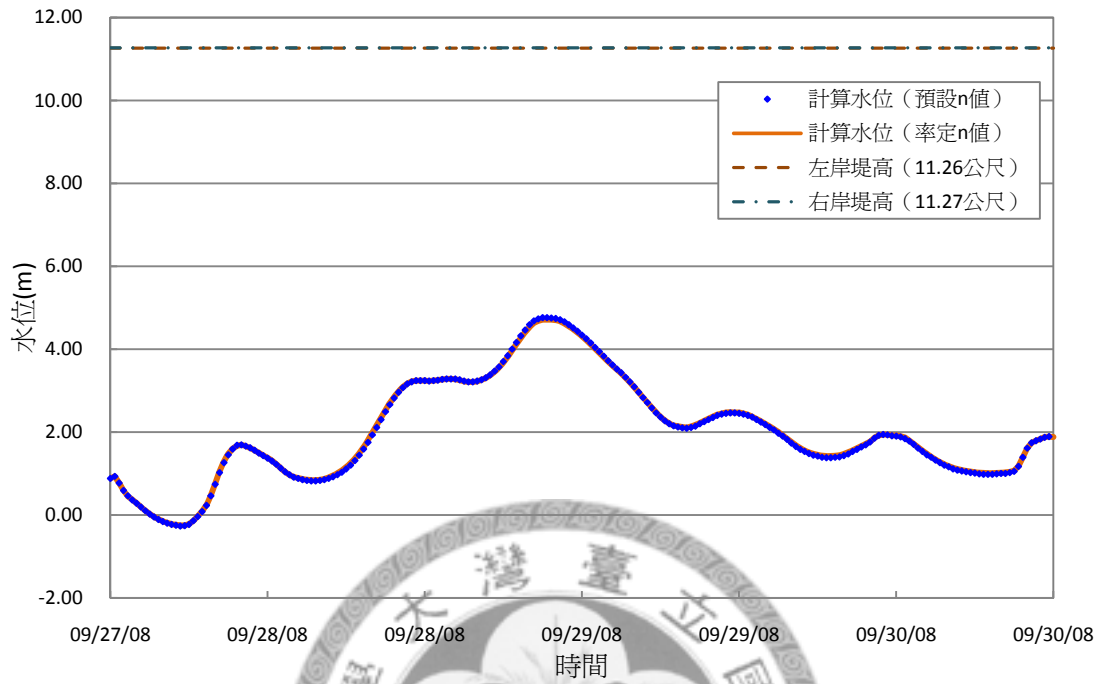


圖 4.5 測試案例之計算水位比較 (貴陽水位站)

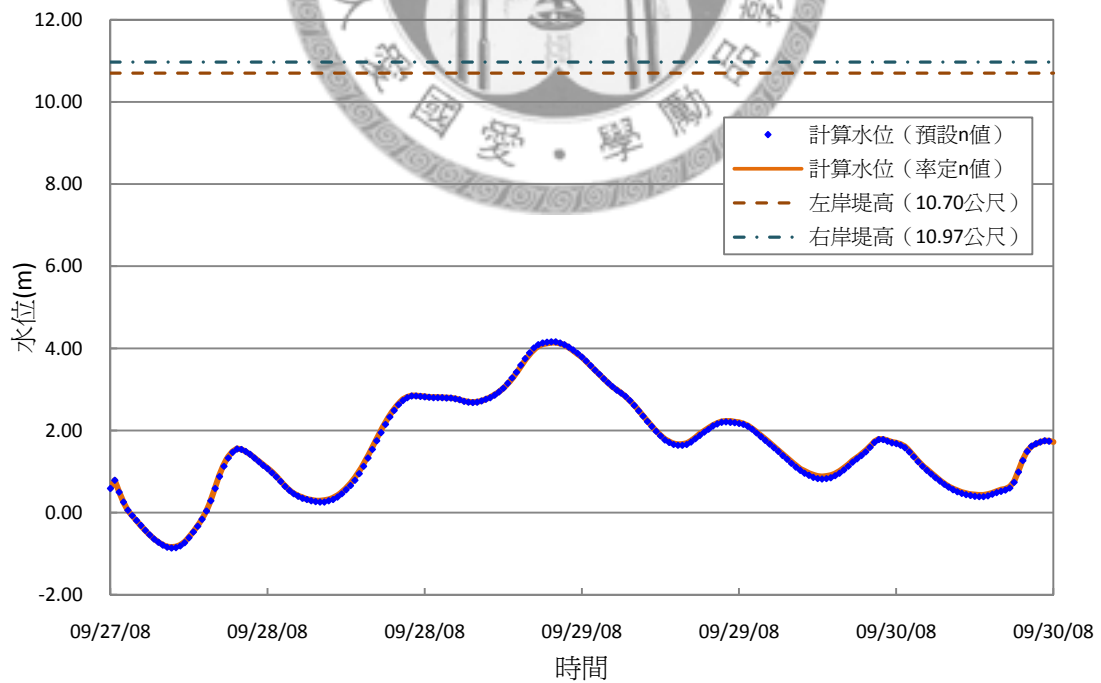


圖 4.6 測試案例之計算水位比較 (六館水位站)

## 淡水河主流流域

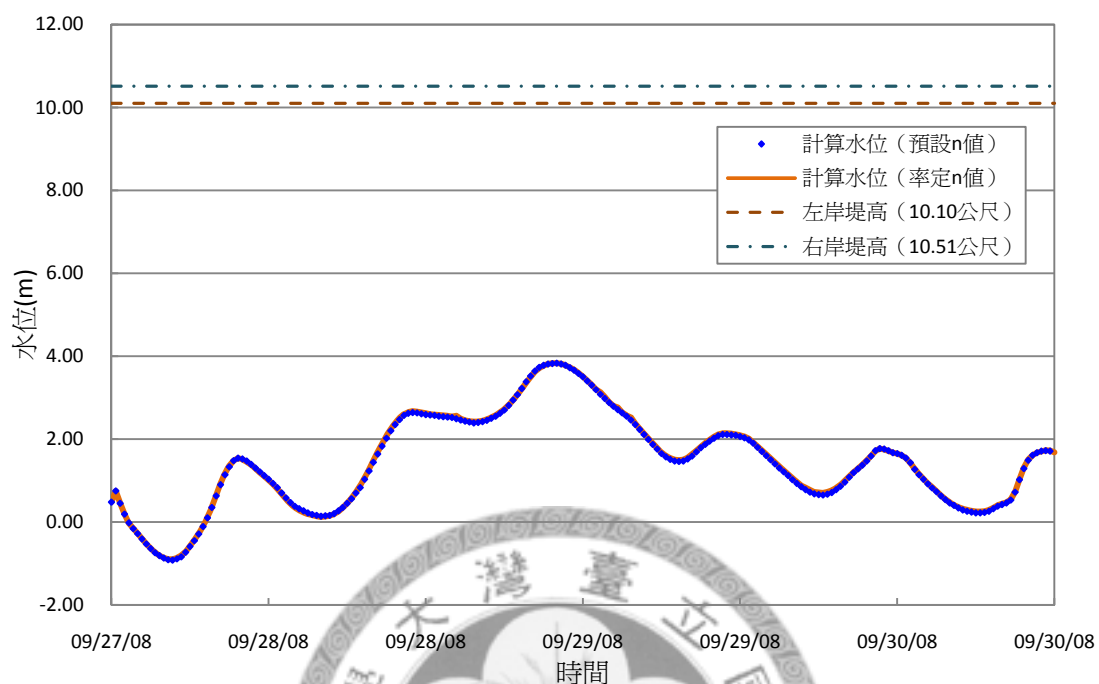


圖 4.7 測試案例之計算水位比較（台北橋水位站）

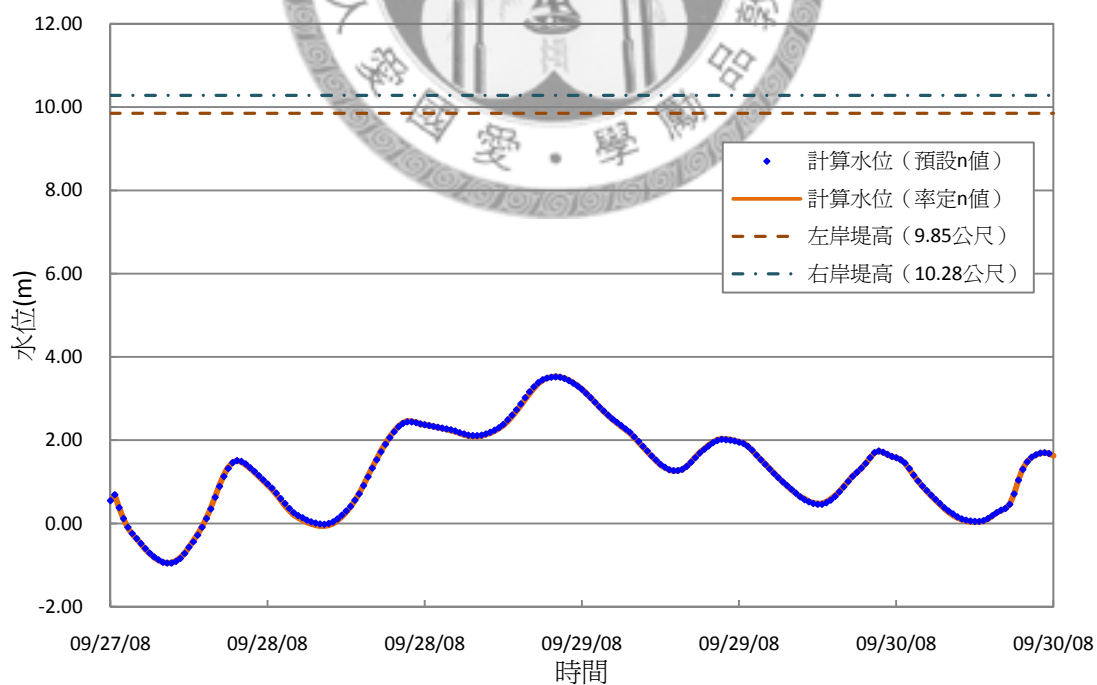


圖 4.8 測試案例之計算水位比較（迪化水位站）

## 淡水河主流流域

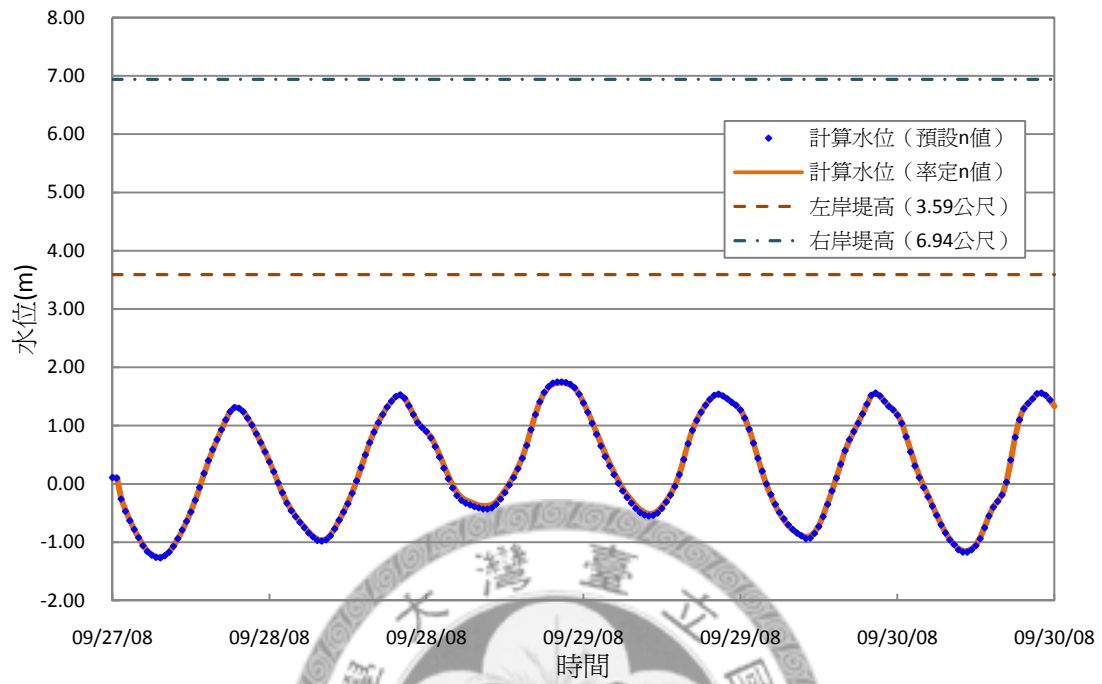


圖 4.9 測試案例之計算水位比較 (土地公鼻水位站)

# 新店溪流域

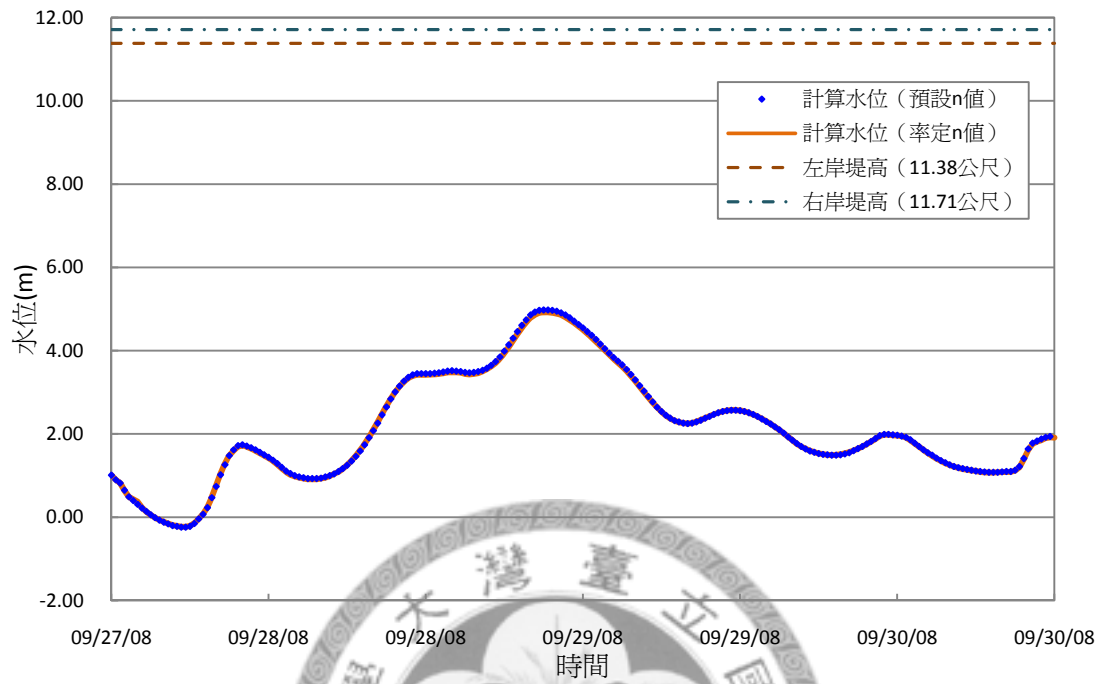


圖 4.10 測試案例之計算水位比較 (雙園水位站)



# 基隆河流域

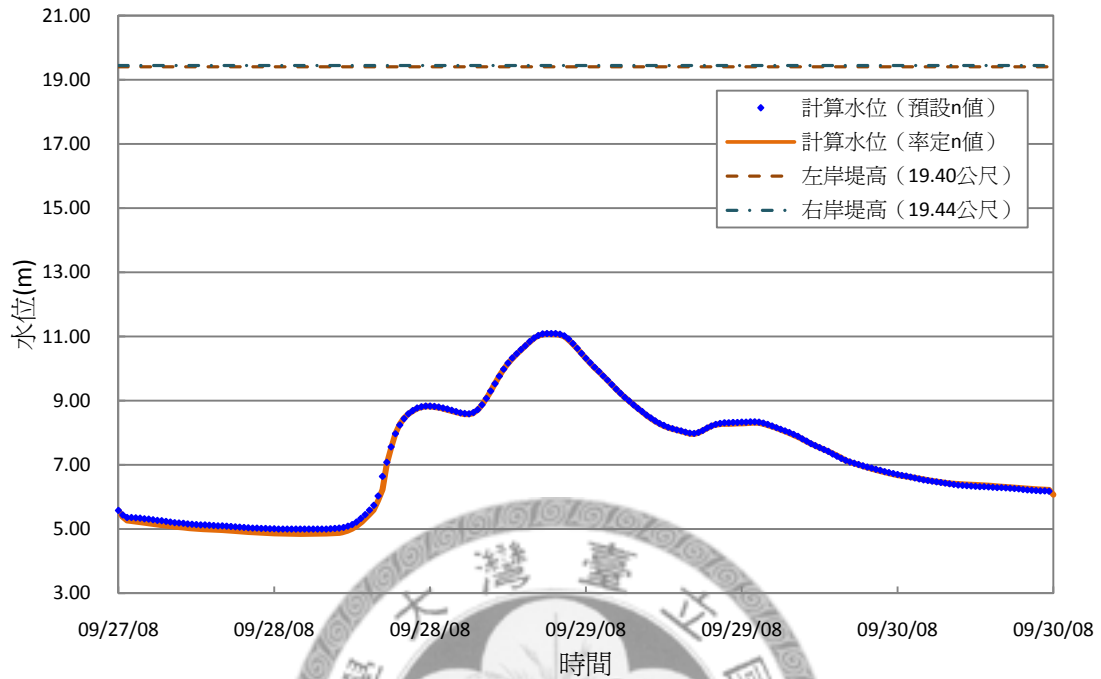


圖 4.11 測試案例之計算水位比較 (五堵水位站)

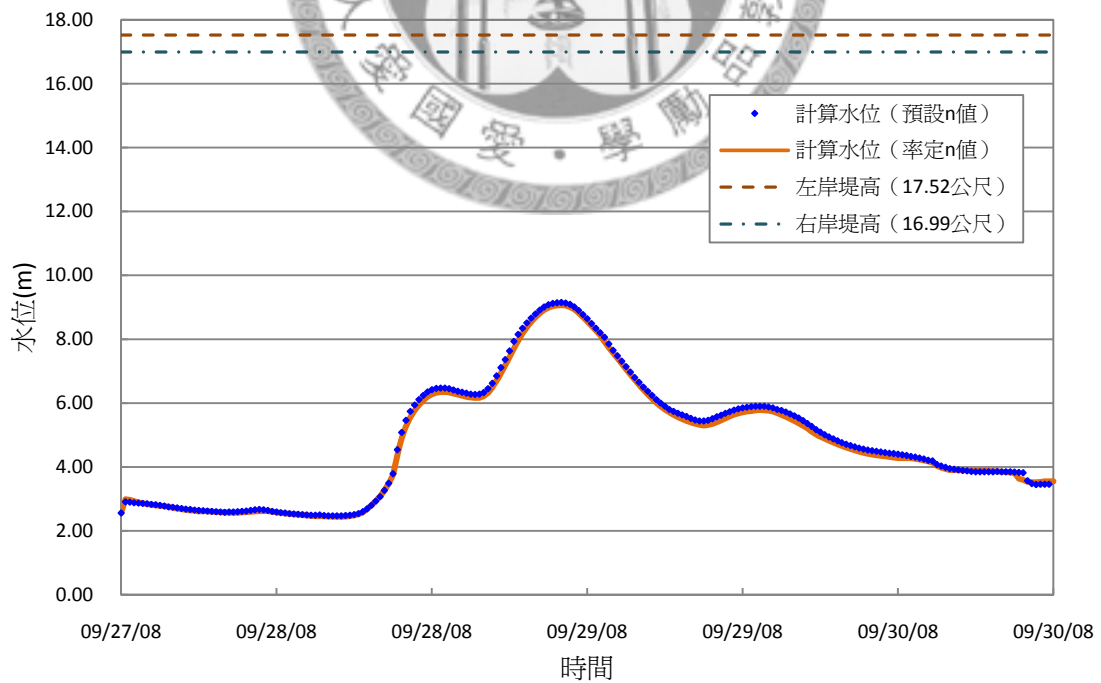


圖 4.12 測試案例之計算水位比較 (江北橋水位站)

## 基隆河流域

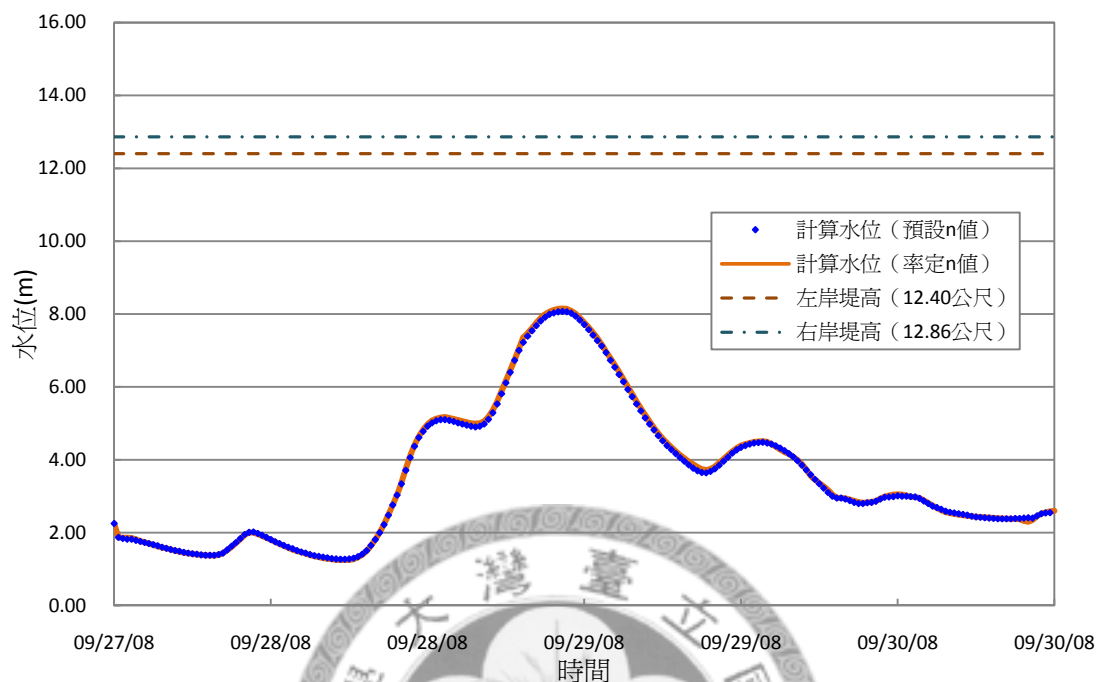


圖 4.13 測試案例之計算水位比較 (社后橋水位站)

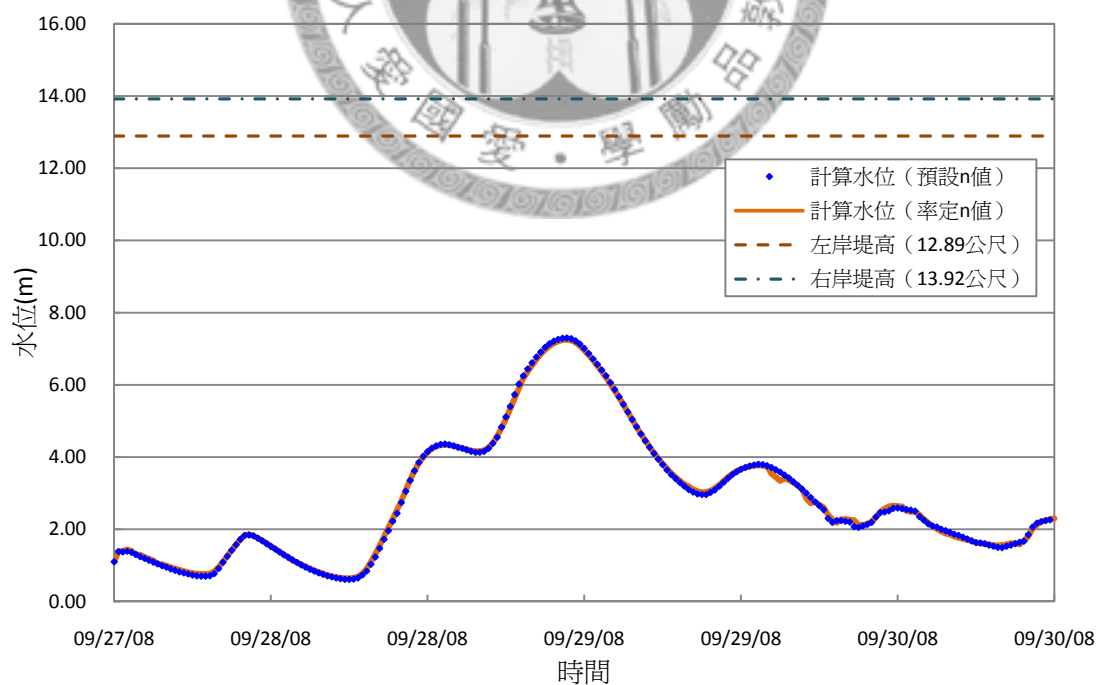


圖 4.14 測試案例之計算水位比較 (南湖大橋水位站)

## 基隆河流域

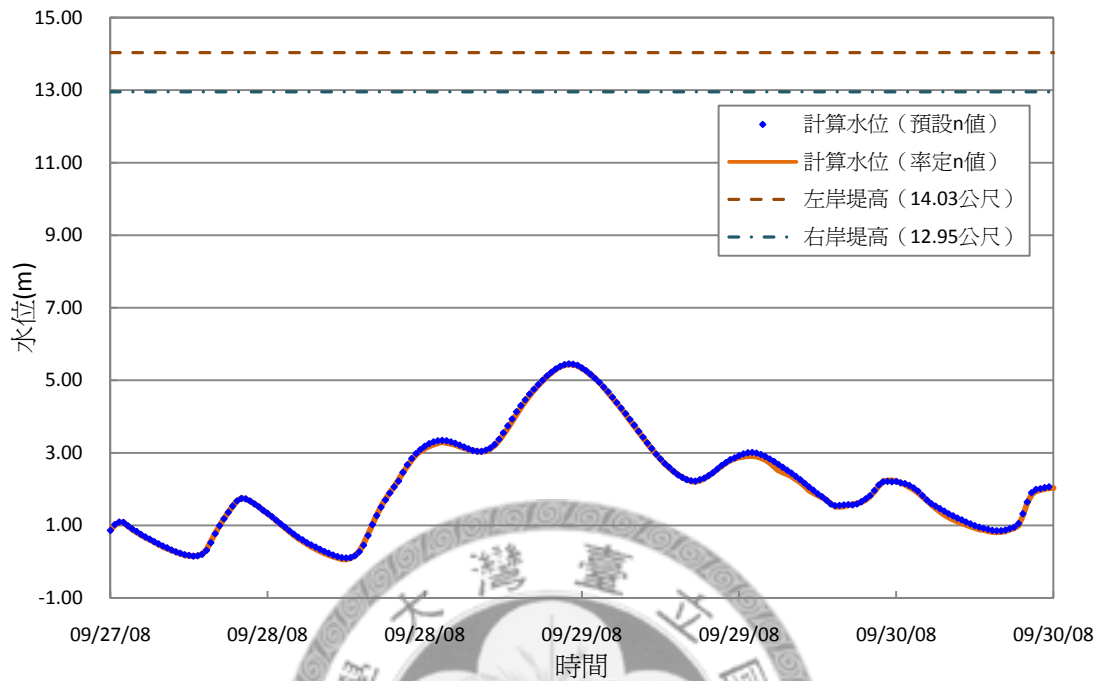


圖 4.15 測試案例之計算水位比較 (成美長壽橋水位站)

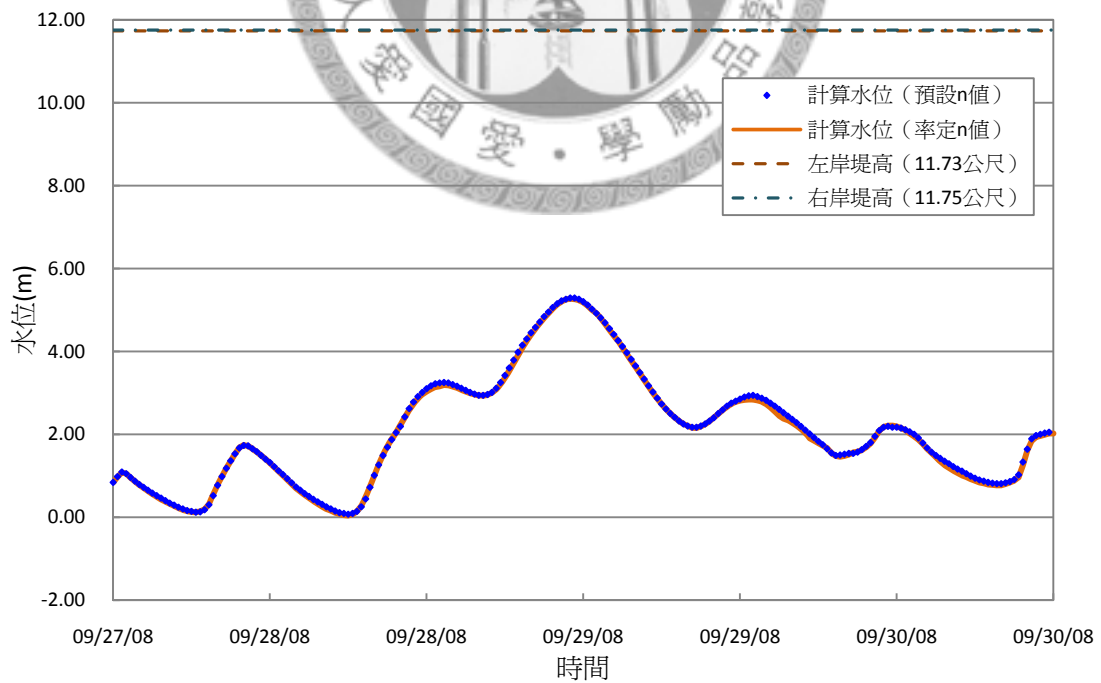


圖 4.16 測試案例之計算水位比較 (南京水位站)

# 基隆河流域

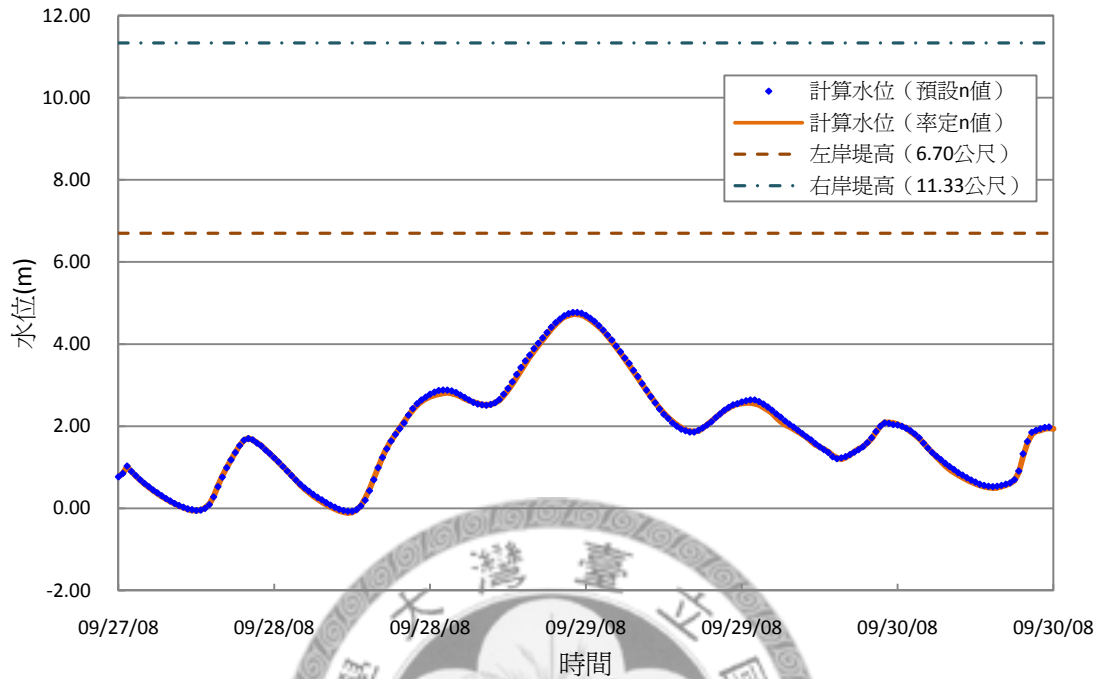


圖 4.17 測試案例之計算水位比較 (陽光橋水位站)

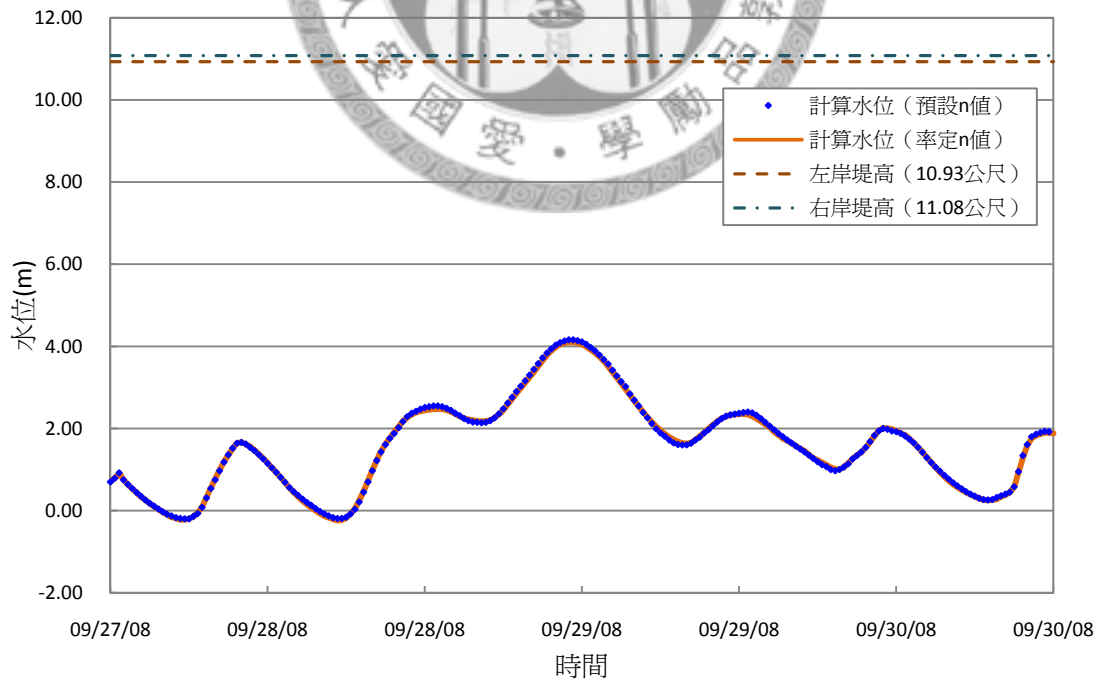


圖 4.18 測試案例之計算水位比較 (北安水位站)

# 基隆河流域

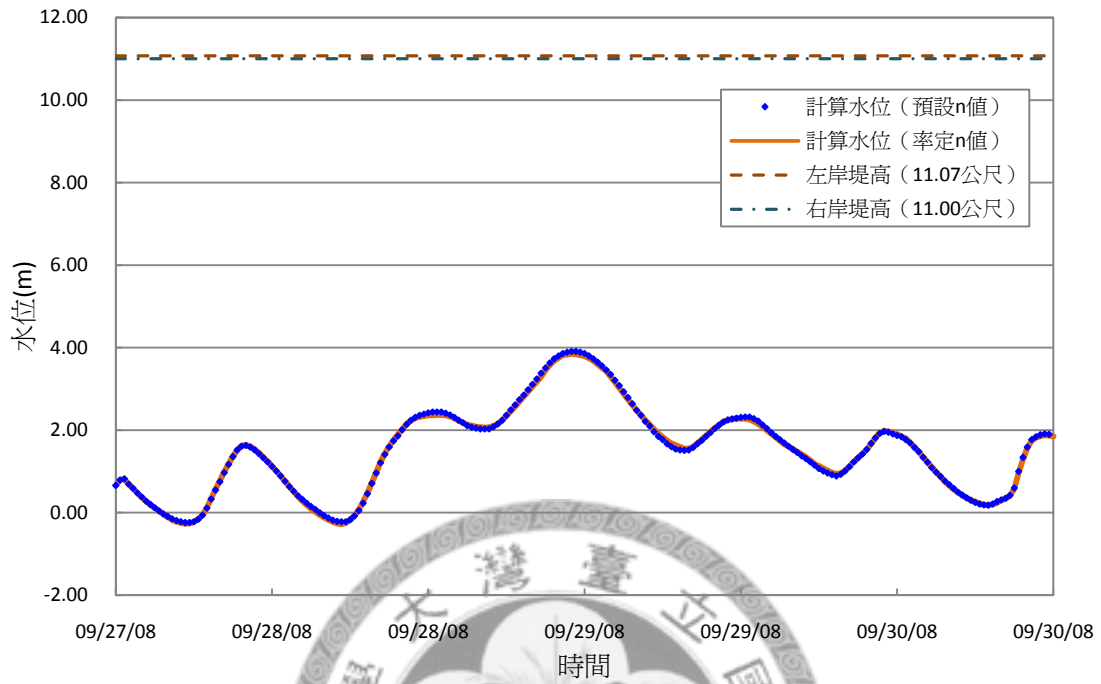


圖 4.19 測試案例之計算水位比較 (大直橋水位站)

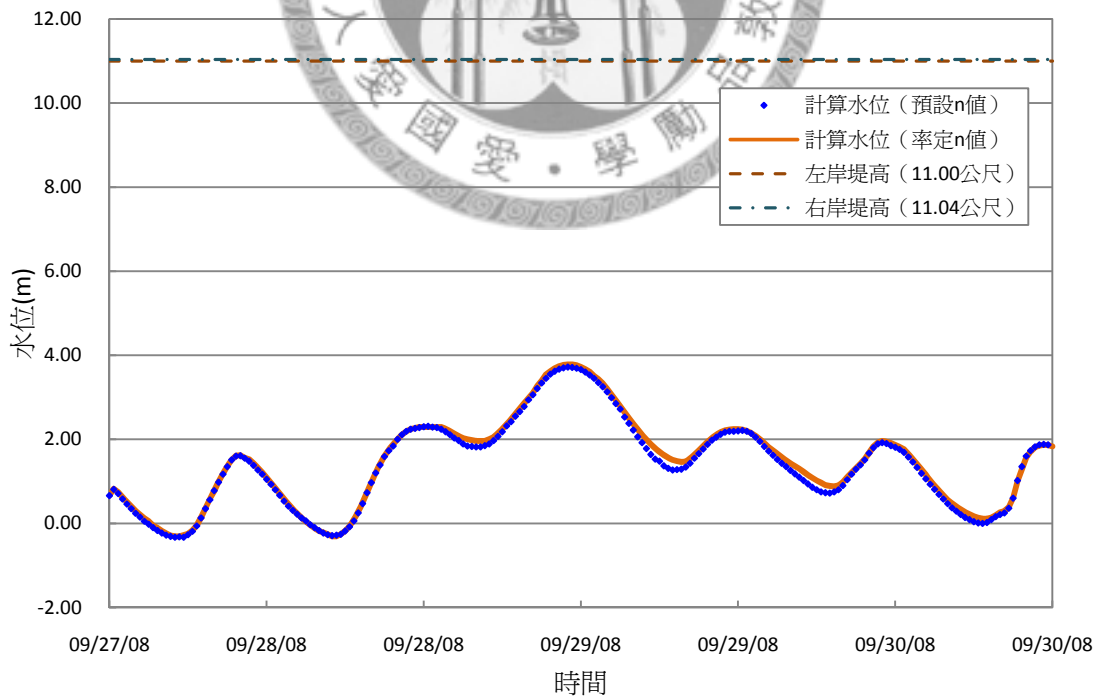


圖 4.20 測試案例之計算水位比較 (建國水位站)

## 基隆河流域

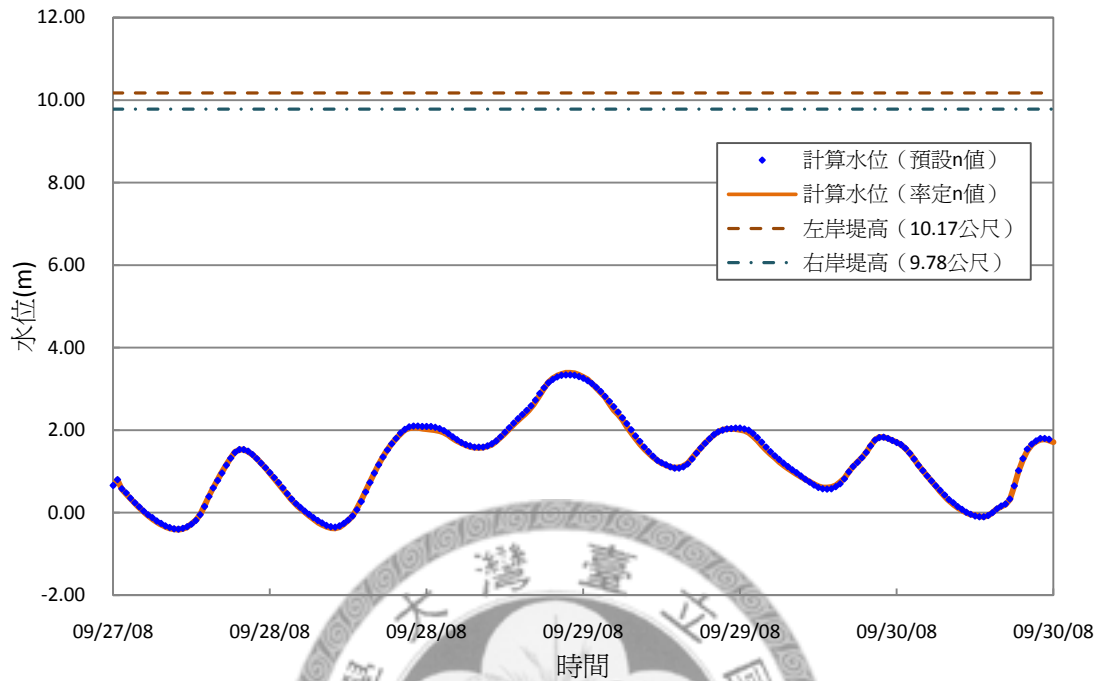


圖 4.21 測試案例之計算水位比較 (承德橋水位站)

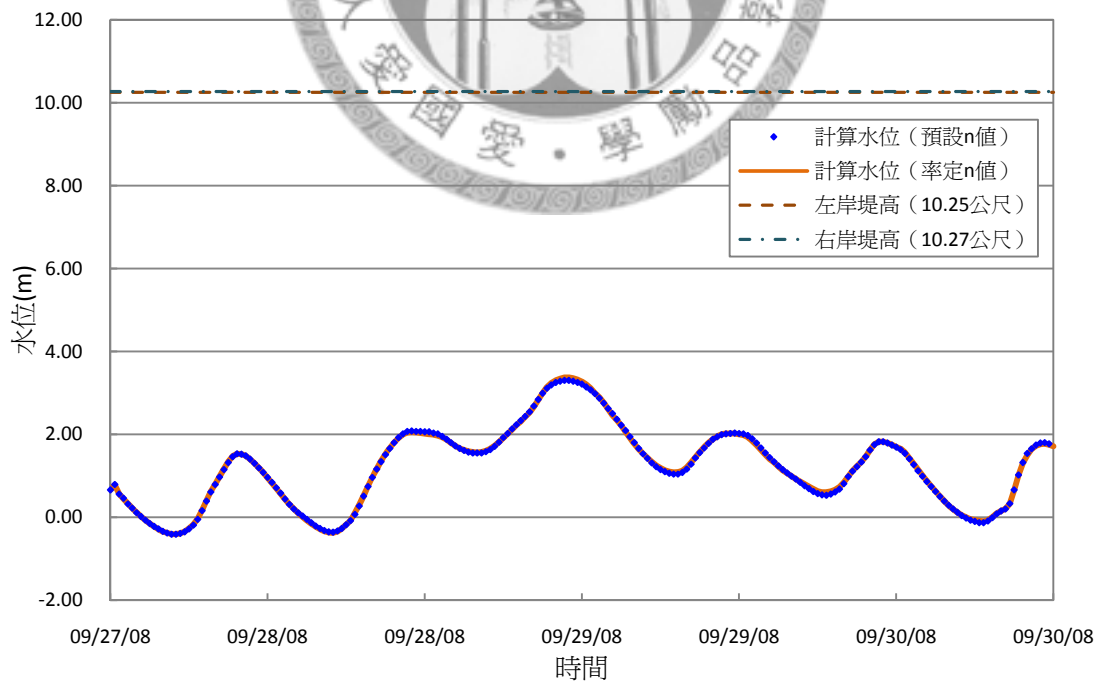


圖 4.22 測試案例之計算水位比較 (劍潭水位站)

## 基隆河流域

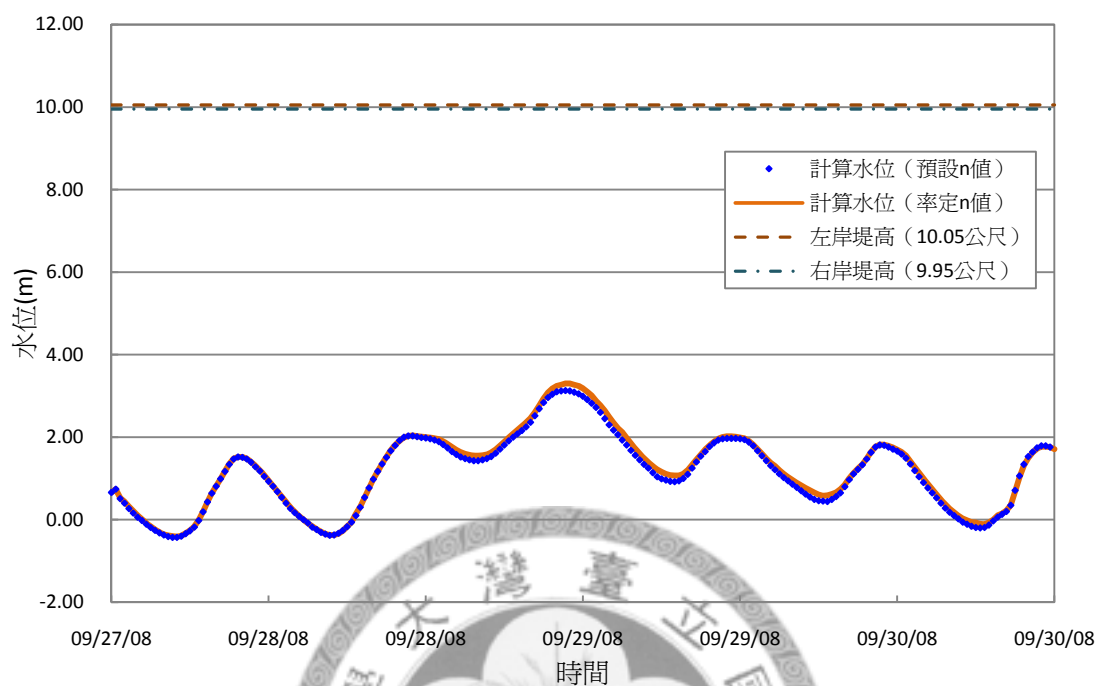


圖 4.23 測試案例之計算水位比較 (社子水位站)

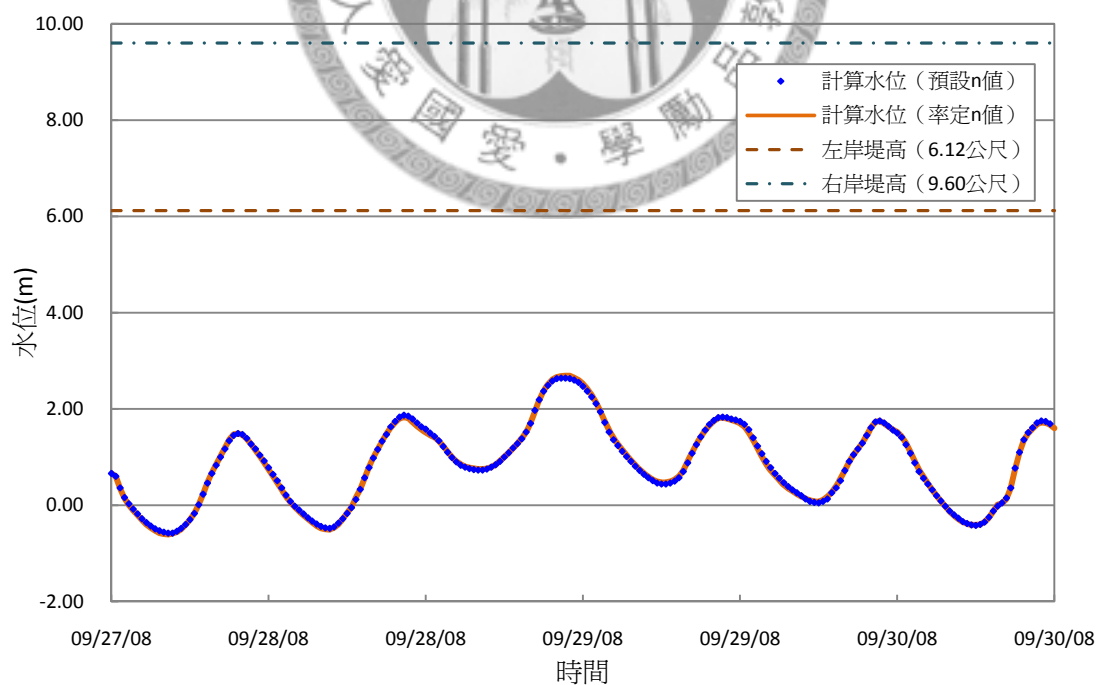


圖 4.24 測試案例之計算水位比較 (洲美一水位站)

## 4.2 以實際觀測水位值進行參數率定之計算結果

在前一節中，本研究以自行設計之測試案例，利用動態維度搜尋法優選假設之阻力參數，以探討本研究方法對於河川阻力參數之優選能力。本節將進一步以實際颱風事件之水位觀測值進行參數率定。本研究之河段範圍及水位站分佈位置如圖 3.2 所示，以 2007/10/5~2007/10/8 柯羅莎颱風事件 (Krosa) 之洪水位變化來率定河川阻力參數 $n_d$ 及 $n_u$ 值，並以 2007/09/17~2007/09/20 韋帕颱風 (Wipha) 與 2007/11/25~2007/11/28 米塔颱風 (Mitag) 做為驗證。

柯羅莎颱風為 2007 年台灣中央氣象局 (以下簡稱作氣象局) 於台北時間上午 10 時左右所發布的第 15 號颱風，其路徑類似於 1996 年的賀伯颱風。氣象局於 10 月 4 日 17 時 30 分，對台灣東部海域發布海上颱風警報第 1 報，在 10 月 5 日 5 時 30 分的第 5 報中，對台灣海上陸上皆發出警報。10 月 7 日 17 點 30 分，氣象局解除台灣本島的陸上颱風警報，23 時 30 分解除海上颱風警報，整個颱風過程一共發出 26 個警報單。根據氣象局所測得資料，柯羅莎威力最強時的中心最低氣壓為 925 百帕，7 級暴風半徑 300 公里，近中心最大風速為 16 級風，瞬間最大陣風達 17 級風。配合入秋以來漸強的東北季風，產生會對北台灣帶來較多降水的共伴效應，使得柯羅莎在接近台灣的過程中，氣象局一再上修北台灣的雨量預測。根據行政院農業委員會統計，截至 10 月 9 日下午為止，台灣各地農業損失總金額超過新台幣 37.5 億元，損失總額遠遠超過 2006 年全年損失總額，為近年來災情十分嚴重之颱風事件。

在進行水理參數率定時，納入計算目標函數值之時間為 2007/10/5 15:00~2007/10/8 12:00，其時距為 20 分鐘，故每個水位站均採用 208 筆水位觀測資料。採用的觀測水位站在大漢溪流域及淡水河主流為新海橋、貴陽、六館、台北橋、迪化、土地公鼻及河口等水位站；在新店溪流域為中正橋、雙園等水位站；在基隆河流域為大華橋、五堵、江北橋、社后橋、南湖大橋、成美長壽橋、南京、陽光橋、北安、大直橋、建國、承德橋、劍潭、社子、與洲美一等水位站。其中



新海橋、河口、中正橋及大華橋為模式邊界點水位站。各水位站觀測資料來源如表 4.7 所示，共計有 20 個水位站納入目標函數值計算。而表 4.8（大漢溪與淡水河流域）、表 4.9（新店河流域）及表 4.10（基隆河流域）分別為各水位站所在之河段斷面資料說明。

表 4.7 觀測資料來源

資料來源	觀測站名
第十河川局	大華橋、五堵、江北橋、社后橋、南湖大橋、大直橋、中正橋、新海橋、台北橋、土地公鼻、河口
台北市政府養工處 (抽水站外水位)	貴陽、六館、迪化、雙園、成美長壽橋、南京、陽光橋、北安、建國、承德橋、劍潭、社子、 洲美一

表 4.8 各採用河段斷面說明（大漢溪與淡水河流域）

新海橋至河口		
河心距 (m)	斷面編號	說明
23,870	T36. A	新海橋
19,330	T29	貴陽
17,635	T26	六館
16,775	T24. A	台北橋
15,141	T23	迪化
6,075	T09	土地公鼻
0	T00	河口
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離		

表 4.9 各採用河段斷面說明（新店溪流域）

中正橋與雙園		
河心距 (m)	斷面編號	說明
27,495	H10. A	中正橋
22,125	H02	雙園
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離		



表 4.10 各採用河段斷面說明（基隆河流域）

大華橋至關渡附近		
河心距 (m)	斷面編號	說明
40,577	K94	大華橋
34,727	K80	五堵
27,828	K61	江北橋
23,912	K50	社后橋
20,602	K43	南湖大橋
17,228.5	K35.A	成美長壽橋
16,342.5	K34.A	南京
13,941.5	K27.A	陽光橋
12,016.5	K201	北安
10,496.5	K19.A	大直橋
9,346.5	K17	建國
7,772	K14.A	承德橋
7,022	K13	劍潭
5,625	K10	社子
3,775	K07	洲美一
0	K01	基隆河與淡水河 匯流處
<p>1. 河心距資料來自第十河川局</p> <p>2. 河心距為該斷面至 K01 斷面之距離</p>		

自動率定之目標函數收斂過程如圖 4.25 所示，目標函數約在執行 10,998 次以後開始收斂，收斂之最小誤差值為 0.318 公尺，程式每次的執行時間約為 17 秒，此時模式總執行時間約為 2 天，使用的電腦硬體設備為 CPU 2.66GHz，RAM 2024MB。

為了實際呈現動態維度搜尋法 (DDS) 在收斂成果與時間上的優勢，在本計算案例上，利用相同電腦設備以實數編碼利基退火遺傳演算法 (TSARvcNGA) 進行率定，率定結果：目標函數於演算 86 世代後開始收斂，模式執行次數為 10,984 次，收斂之最小誤差值為 0.264 公尺，此時模式總執行時間約為 7 天。由率定結果的比較，可以容易判斷出本文之計算成果，在維持一定的模擬準確度之下，於提升計算效率方面確實較過往研究來得優異，詳細計算數據結果之比較如表 4.11 所示。

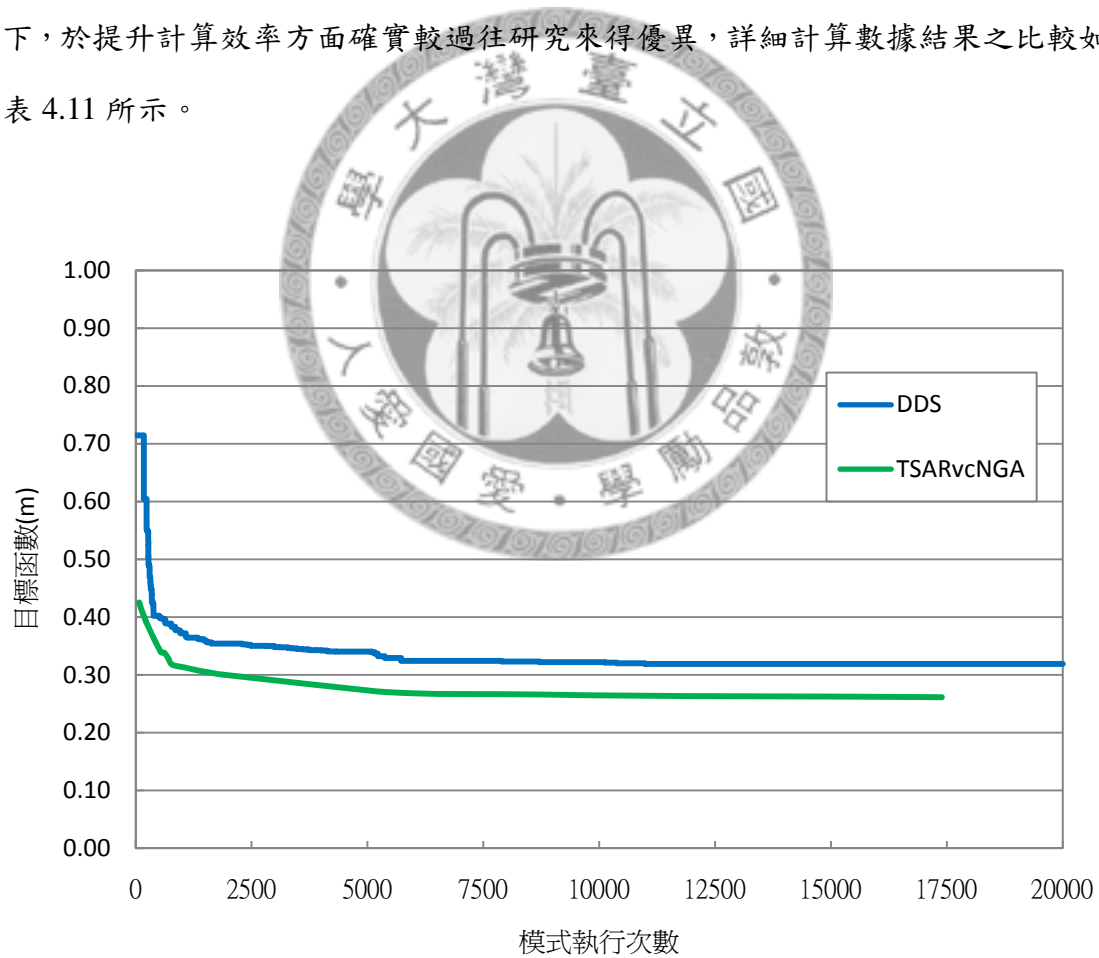


圖 4.25 目標函數收斂圖

表 4.11 比較 DDS 與 TSARvcNGA 參數率定結果

方法	收斂世代數	函數執行次數	目標函數值 (公尺)	率定時間 (小時)
DDS		10,998	0.318	49
TSARvcNGA	86	10,984	0.264	172

此外，為了進一步分析計算水位之準確度，以下將利用觀測水位來計算個別水位站之平均誤差與相對誤差。相對誤差乃以颱風歷程中，觀測與計算水位相對於實際水深之誤差百分比（相對誤差 =  $\frac{1}{T} \left( \sum_1^T \frac{|z_t^o - z_t^c|}{h^o} \times 100\% \right)$ ）作為表示。其中，T 為總計算時段個數； $z_t^o$  為第 t 個時刻之觀測水位； $z_t^c$  為第 t 個時刻之模式計算水位； $h^o$  為實際水深，是為觀測水位與河川底床高程之差值。誤差分析結果如表 4.12 所示。根據水位誤差分析顯示：

(1) 大漢溪、新店溪與淡水河流域各水位站計算水位之平均誤差約在 14~27 公分之間，而平均相對誤差則約 2.7%。

(2) 基隆河流域各水位站計算水位之平均誤差約在 18~45 公分之間，而平均相對誤差則約 5.6%。其中較大誤差出現在五堵至陽光橋間，平均誤差超過 35 公分，此外誤差皆控制在 26 公分以內。

表 4.12 淡水河全流域各水位站計算誤差分析（柯羅莎颱風）

河川別	水位站	誤差分析	
		平均誤差 (m)	相對誤差 (%)
大漢溪與淡水河	貴陽	0.27	2.8%
	六館	0.23	3.1%
	台北橋	0.27	2.7%
	迪化	0.22	2.5%
	土地公鼻	0.14	1.8%
新店溪	雙園	0.20	3.0%
基隆河	五堵	0.45	13.3%
	江北橋	0.37	10.5%
	社后橋	0.33	6.9%
	南湖大橋	0.31	4.1%
	成美長壽橋	0.36	6.9%
	南京	0.29	5.7%
	陽光橋	0.31	6.4%
	北安	0.23	5.2%
	大直橋	0.23	4.6%
	建國	0.26	4.8%
	承德橋	0.26	3.4%
	劍潭	0.18	2.0%
	社子	0.19	2.1%
	洲美一	0.23	2.7%

而按各河段所率定而得之阻力參數值，分別整理於表 4.13 (大漢溪與淡水河流域)、表 4.14 (新店河流域) 及表 4.15 (基隆河流域)。而圖 4.26~4.45 為各水位站觀測水位與經自動率定所得之阻力參數的計算水位比較圖。其中，圖 4.26~圖 4.30 為淡水河流域 (貴陽抽水站、六館抽水站、台北橋水位、迪化抽水站與土地公鼻水位站)，圖 4.31 為新店河流域 (雙園抽水站)，圖 4.32~4.45 為基隆河流域 (五堵水位站、江北橋水位站、社后橋水位站、南湖大橋水位站、成美長壽橋抽水站、南京抽水站、陽光橋抽水站、北安抽水站、大直橋水位站、建國抽水站、承德橋抽水站、劍潭抽水站、社子抽水站與洲美一抽水站)。

表 4.13 率定所得之阻力參數值 (大漢溪與淡水河流域)

新海橋至河口				
河心距 (m)	河段編號	說明	$n_d$	$n_u$
23,870~21,215	1	T36. A~T32	0.037	0.040
21,215~16,775	2	T32~T24. A	0.023	0.059
16,775~13,600	3	T24. A~T20	0.021	0.047
13,600~9,830	4	T20~T14	0.020	0.052
9,830~8,920	5	T14~T13	0.022	0.049
8,920~6,075	6	T13~T09	0.031	0.044
6,075~0	7	T09~T00	0.034	0.053
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離				

表 4.14 率定所得之阻力參數值（新店河流域）

中正橋至入口堰附近				
河心距 (m)	河段編號	說明	$n_d$	$n_u$
27,495~21,215	8	H10. A~H01	0.028	0.041
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至河口之距離				

表 4.15 率定所得之阻力參數值（基隆河流域）

大華橋至關渡附近				
河心距 (m)	河段編號	說明	$n_d$	$n_u$
40,577~34,727	9	K94~K80	0.040	0.048
34,727~29,817	10	K80~K68	0.027	0.041
29,817~27,828	11	K68~K61	0.020	0.049
27,828~23,912	12	K61~K50	0.021	0.040
23,912~20,602	13	K50~K43	0.022	0.043
20,602~16,958.5	14	K43~K35	0.026	0.043
16,958.5~10,496.5	15	K35~K19. A	0.036	0.047
10,496.5~9,346.5	16	K19. A~K17	0.024	0.041
9,346.5~7,772	17	K17~K14	0.023	0.043
7,772~5,625	18	K14~K10	0.023	0.041
5,625~2,525	19	K10~K05	0.021	0.042
2,525~0	20	K05~K01	0.035	0.050
1. 河心距資料來自第十河川局 2. 河心距為該斷面至 K01 斷面之距離				



## 淡水河主流流域

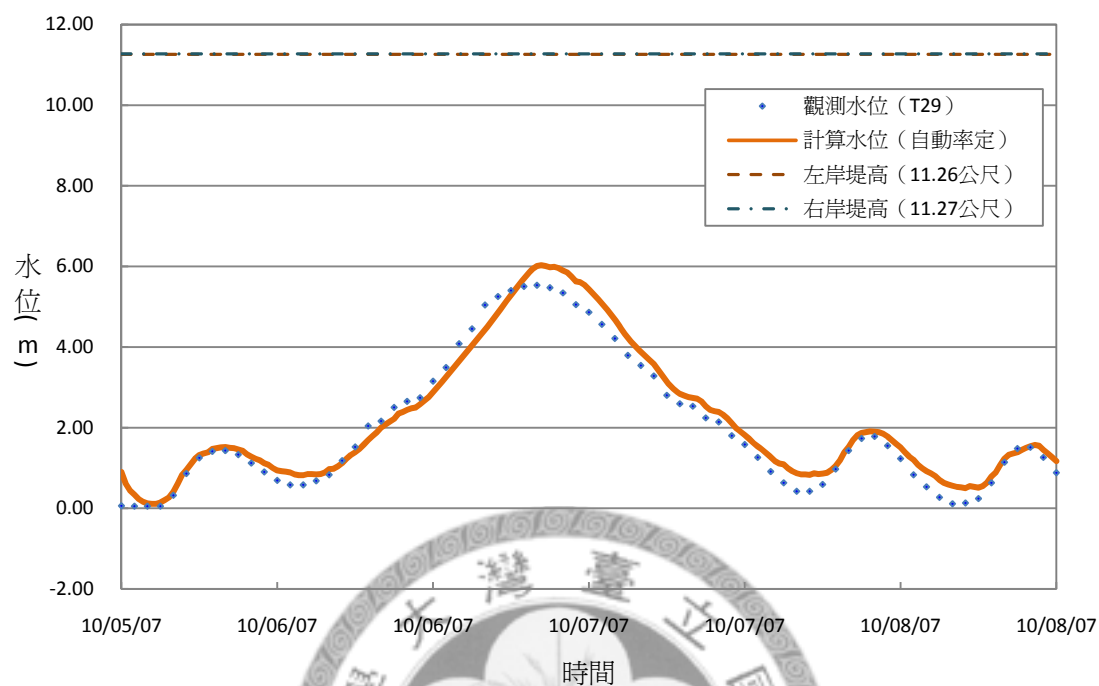


圖 4.26 貴陽水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

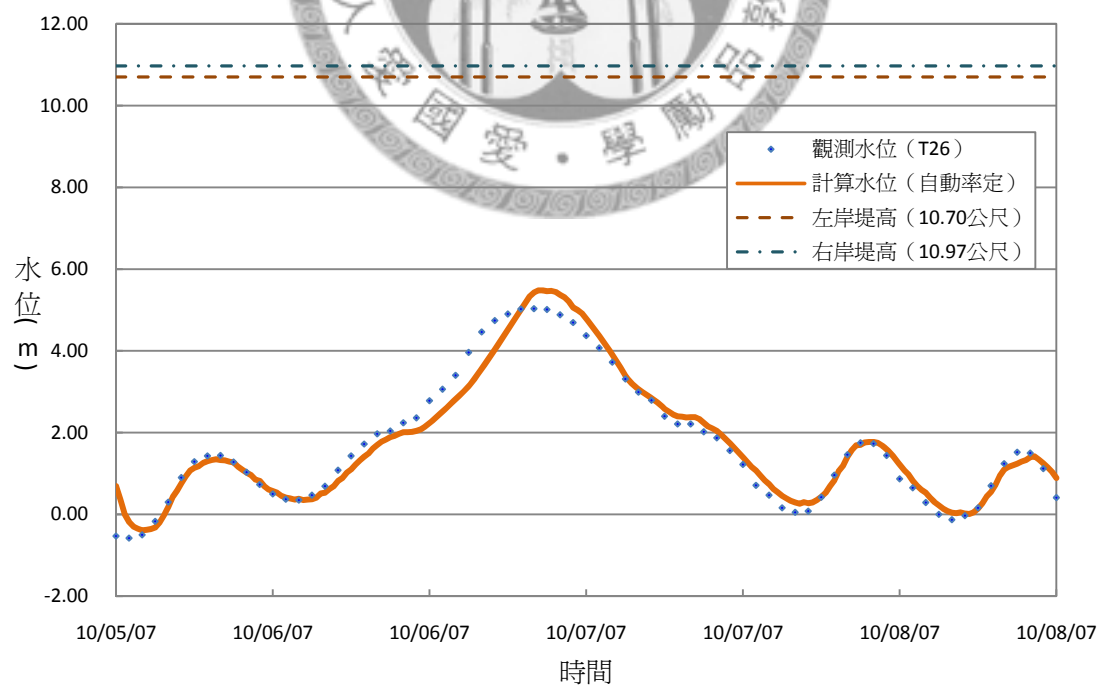


圖 4.27 六館水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 淡水河主流流域

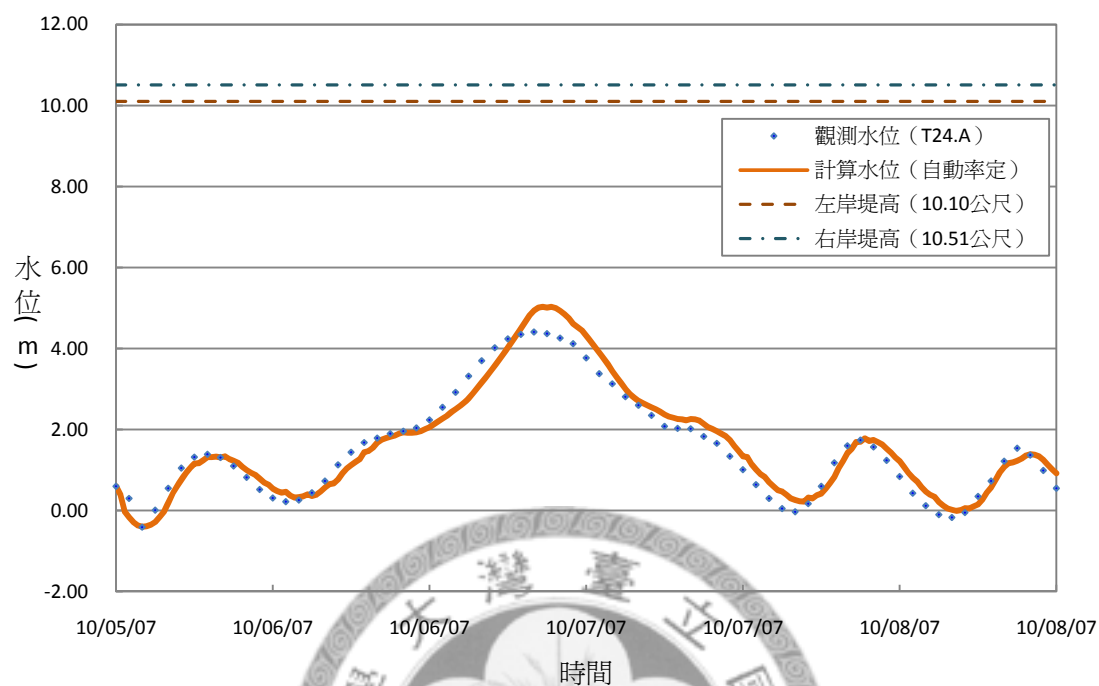


圖 4.28 台北橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

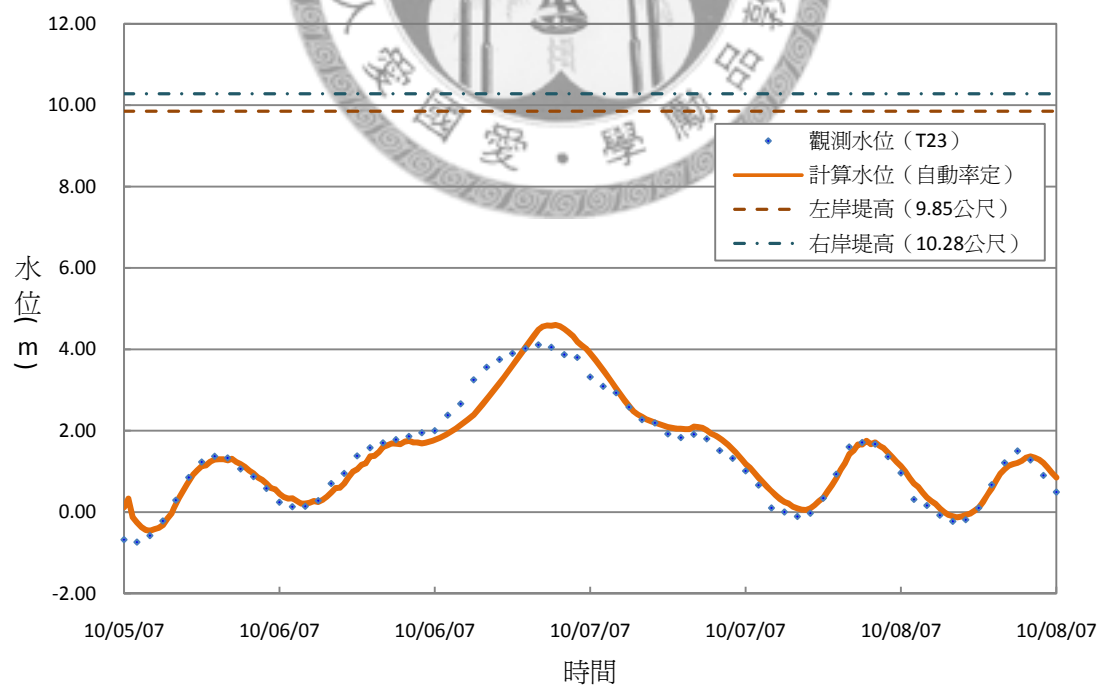


圖 4.29 迪化水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)



# 新店溪流域

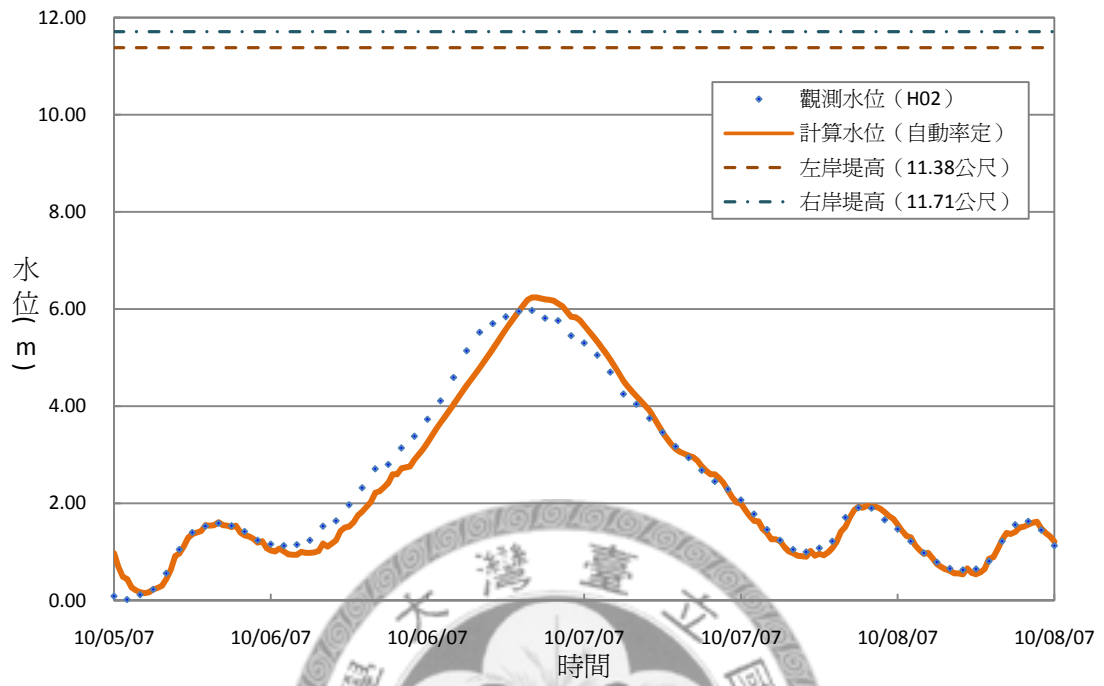


圖 4.31 雙園水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 基隆河流域

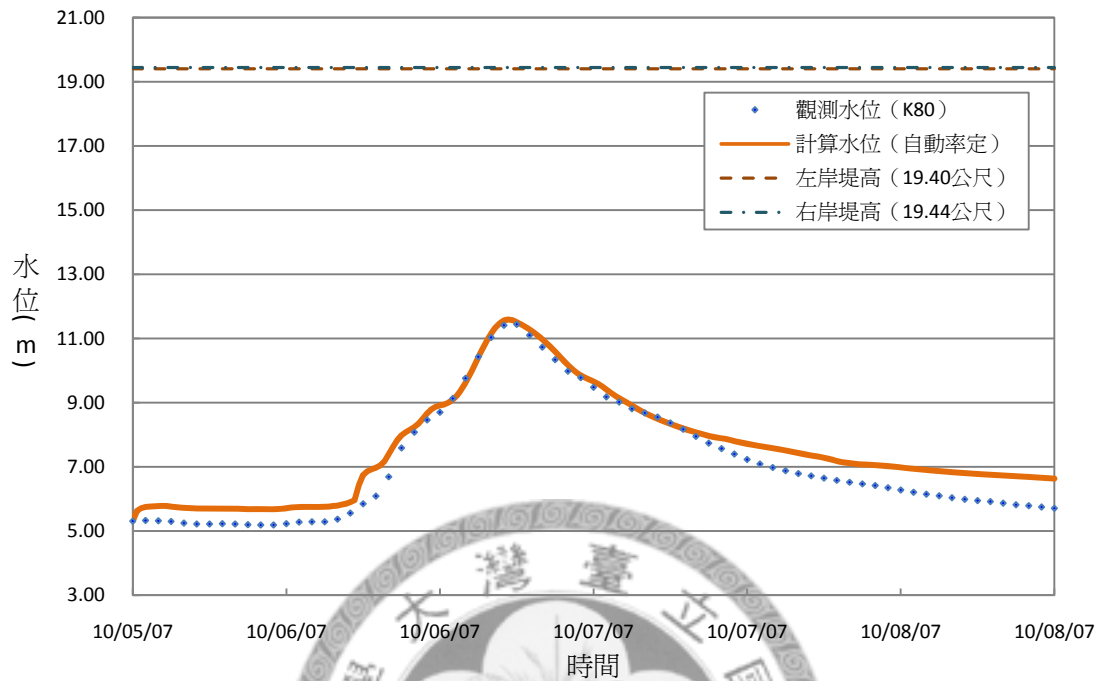


圖 4.32 五堵水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

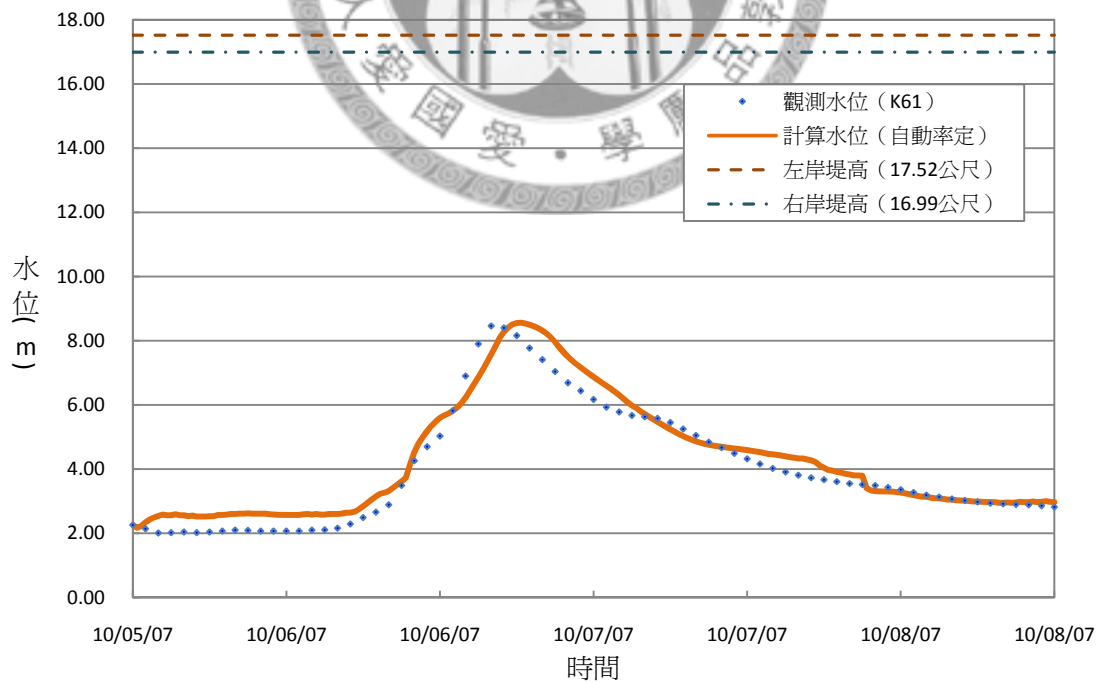


圖 4.33 江北橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 基隆河流域

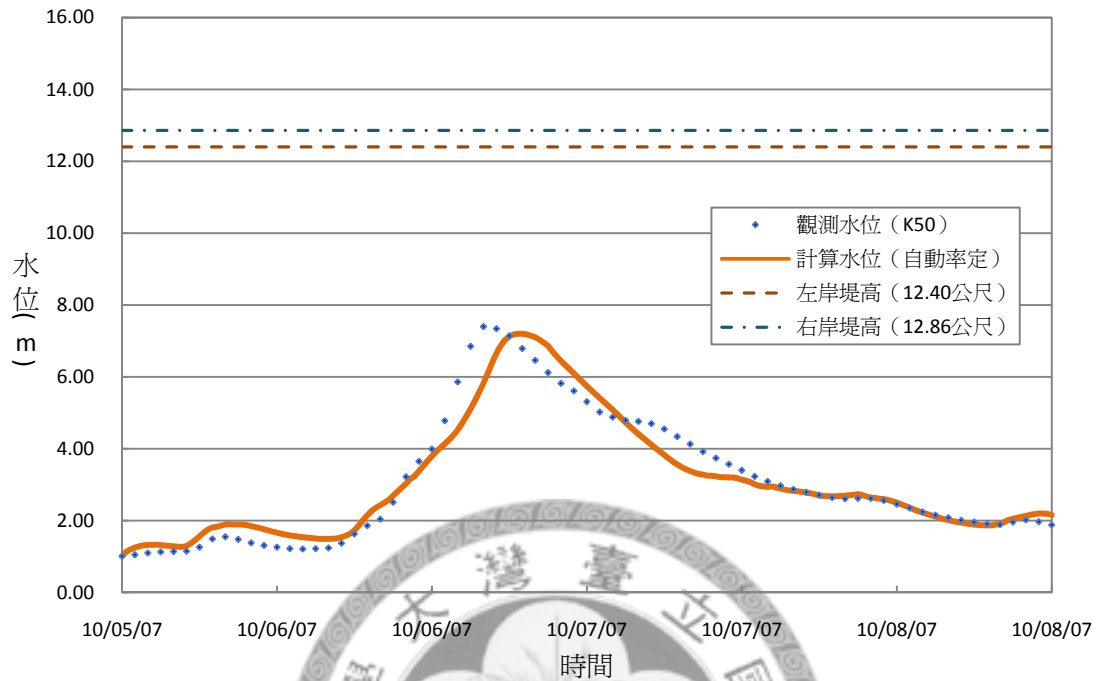


圖 4.34 社后橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

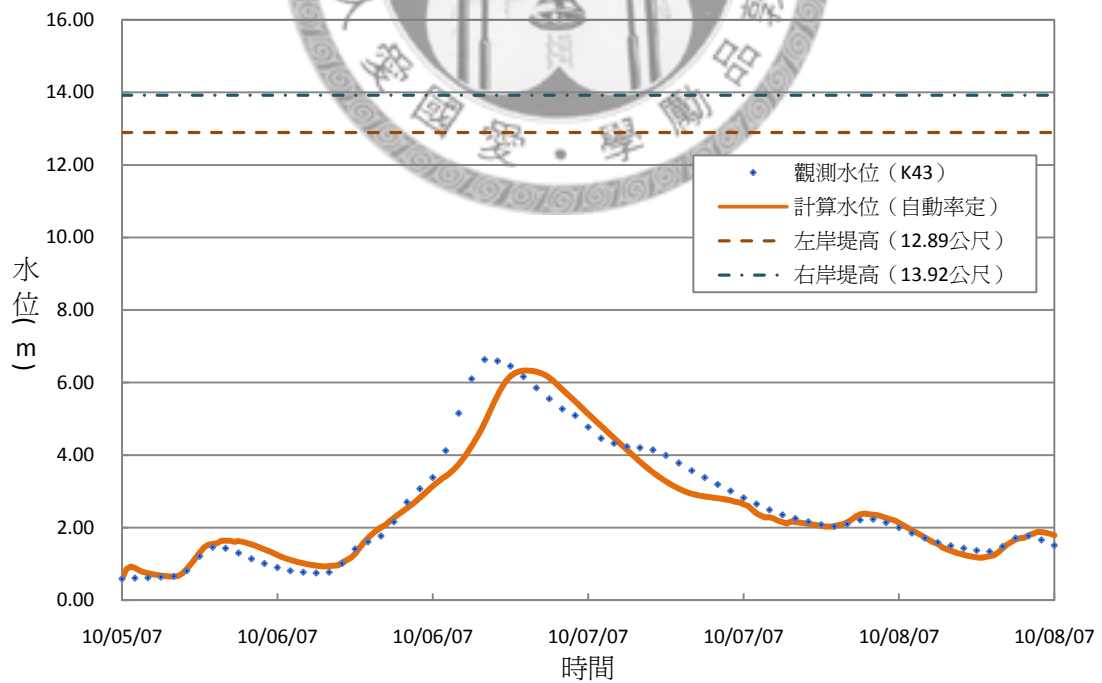


圖 4.35 南湖大橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 基隆河流域

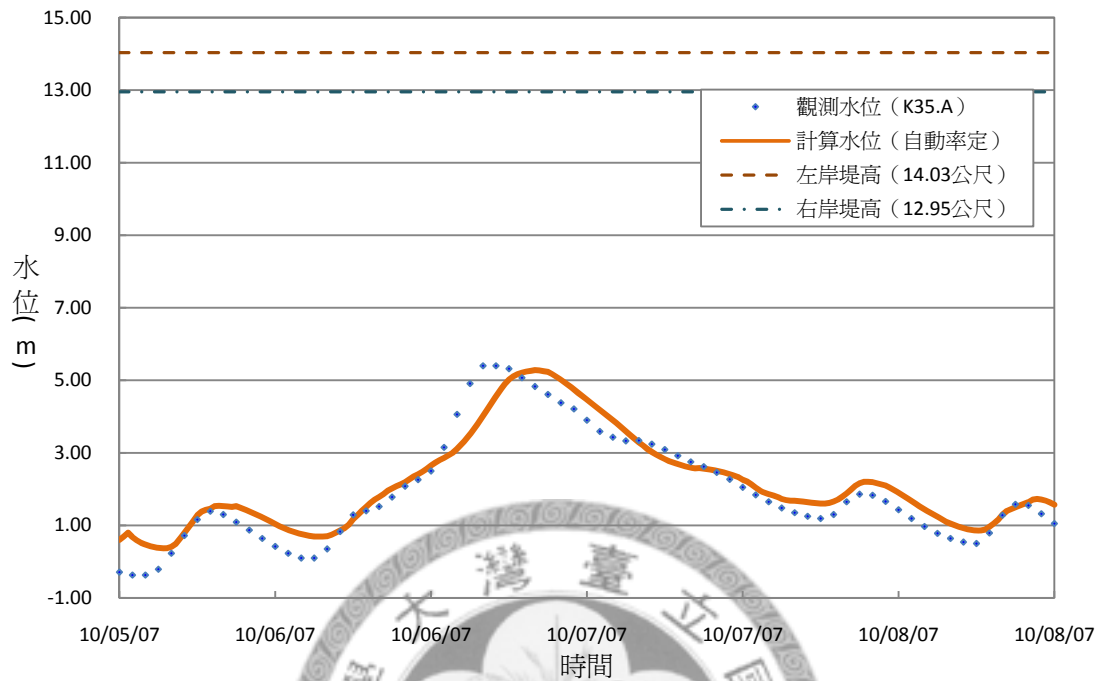


圖 4.36 成美長壽橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

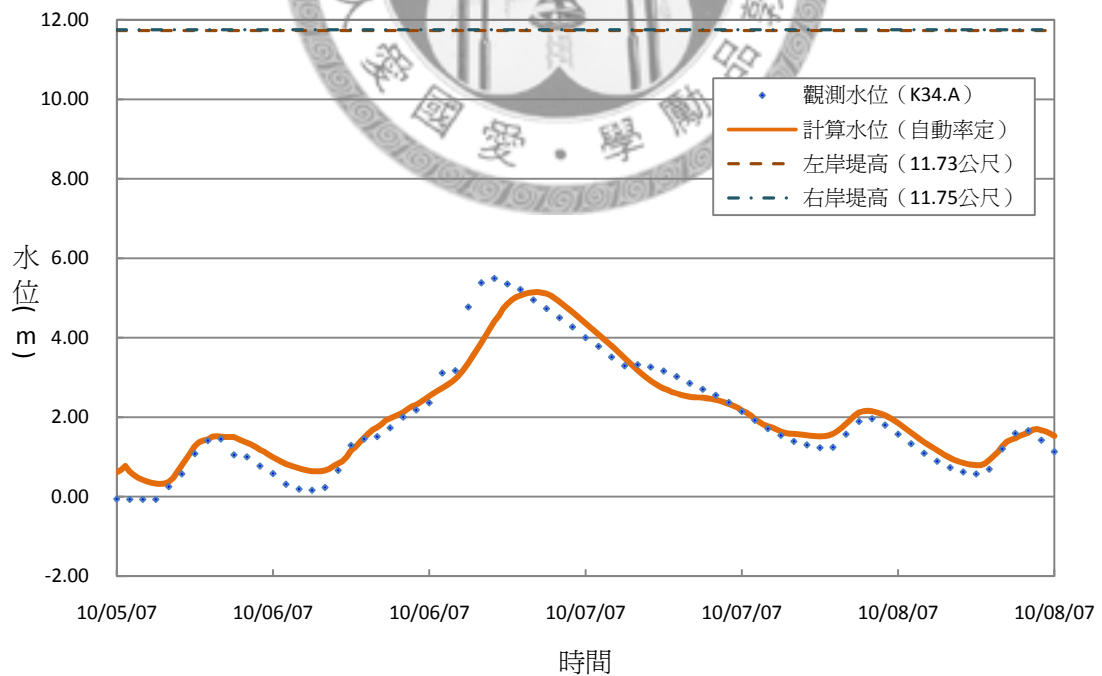


圖 4.37 南京水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 基隆河流域

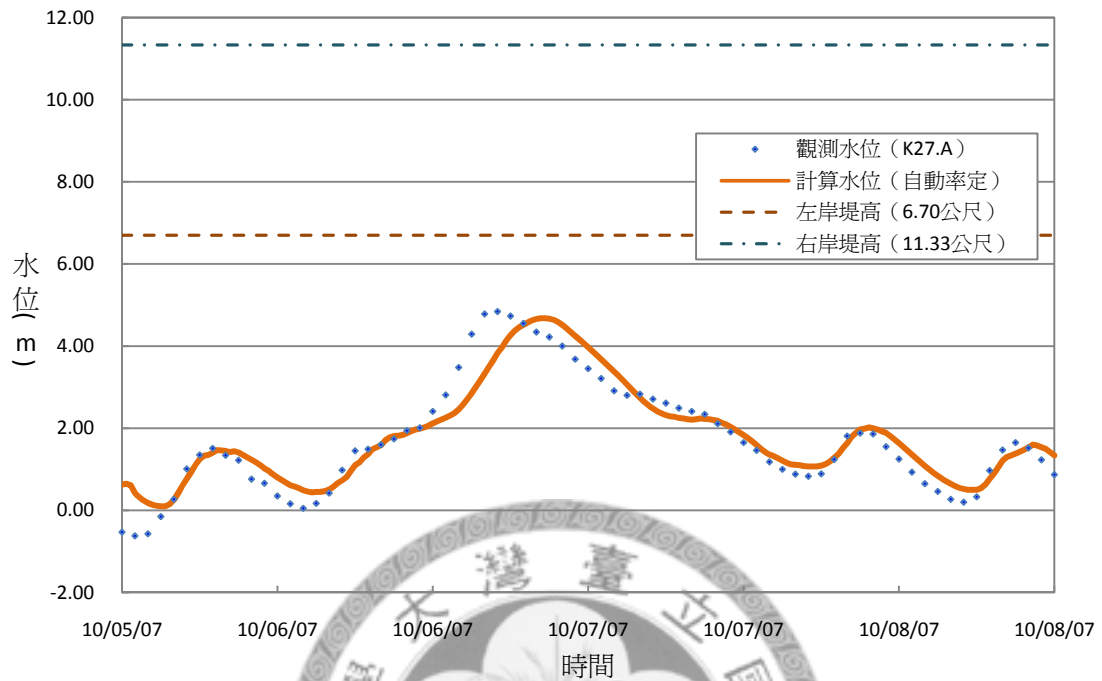


圖 4.38 陽光橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

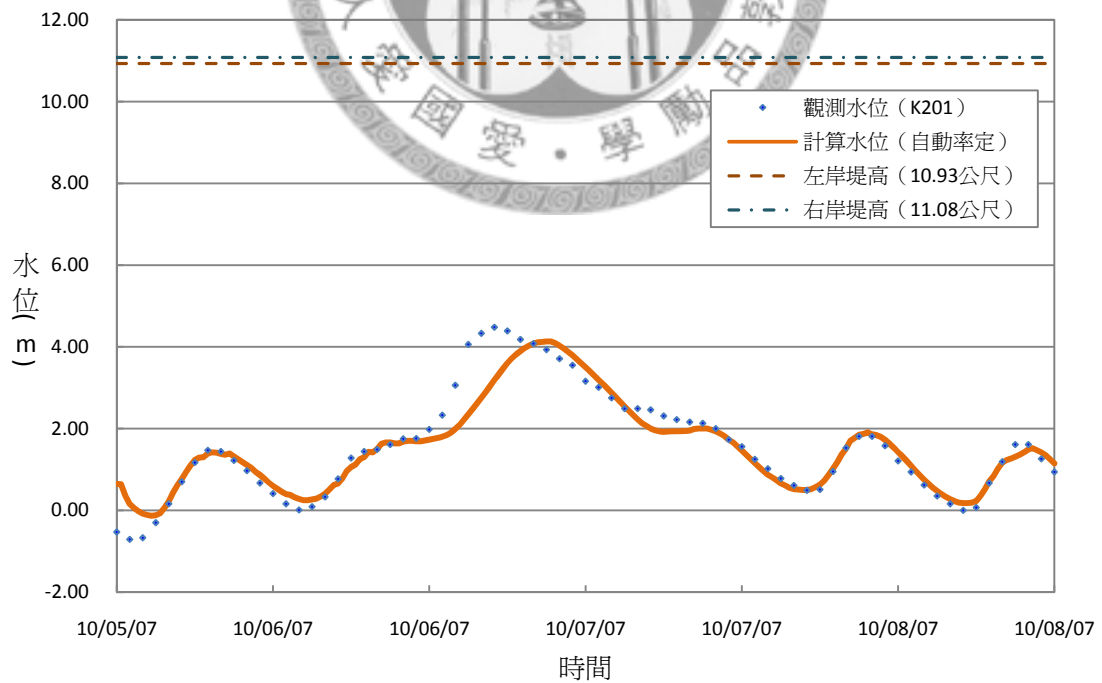


圖 4.39 北安水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)



## 基隆河流域

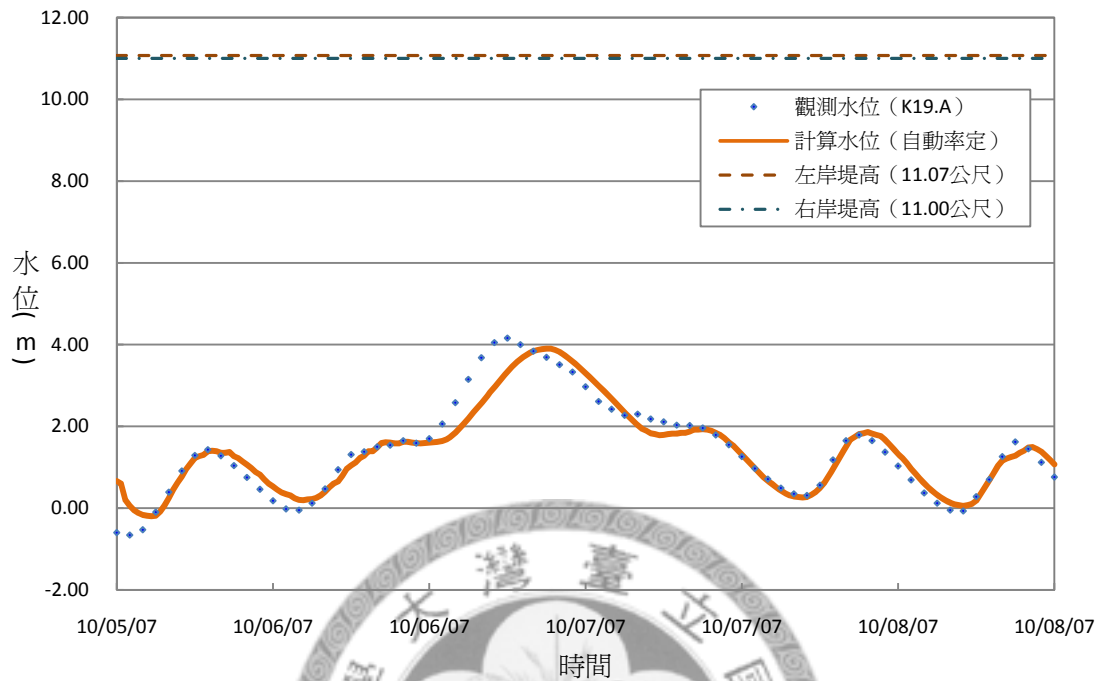


圖 4.40 大直橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

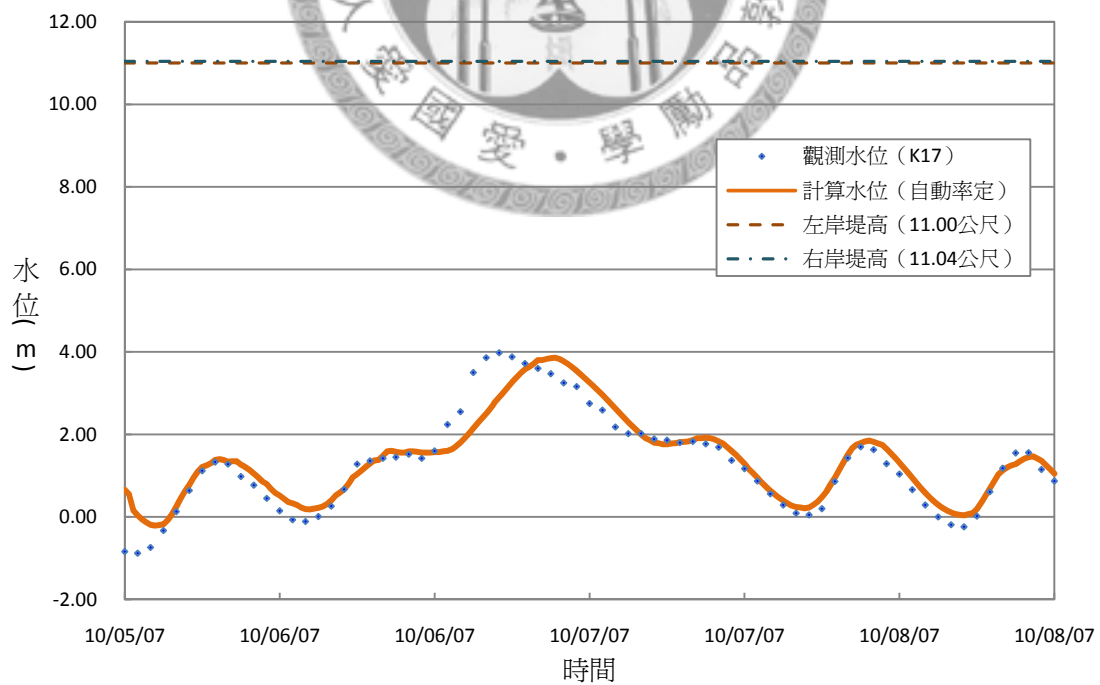


圖 4.41 建國水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 基隆河流域

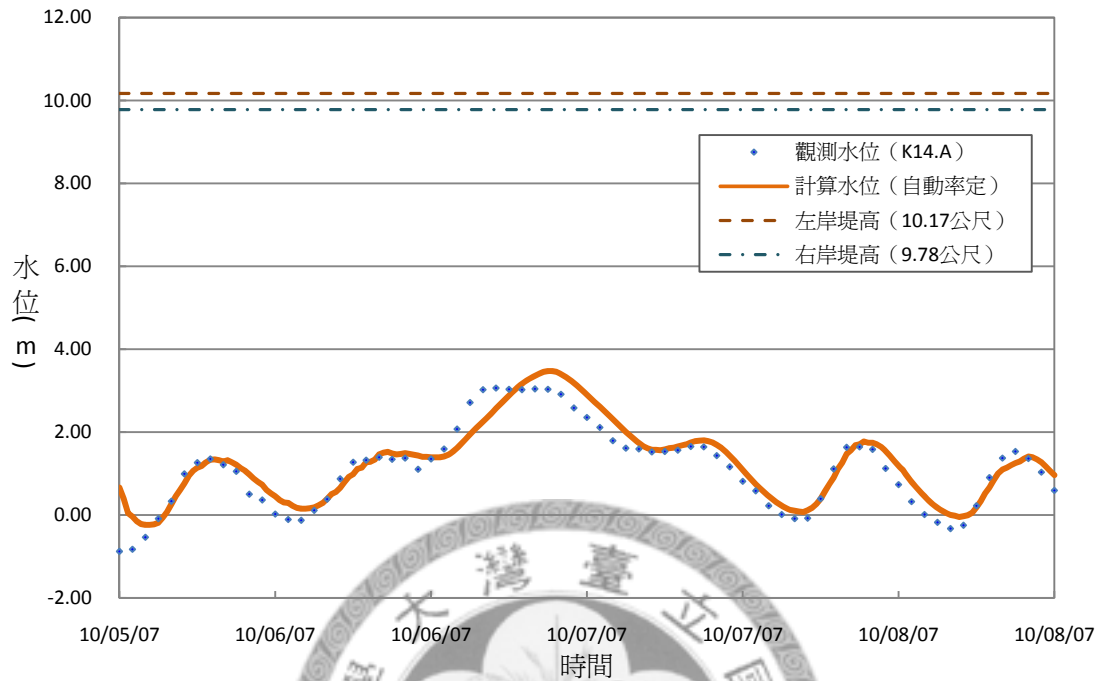


圖 4.42 承德橋水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

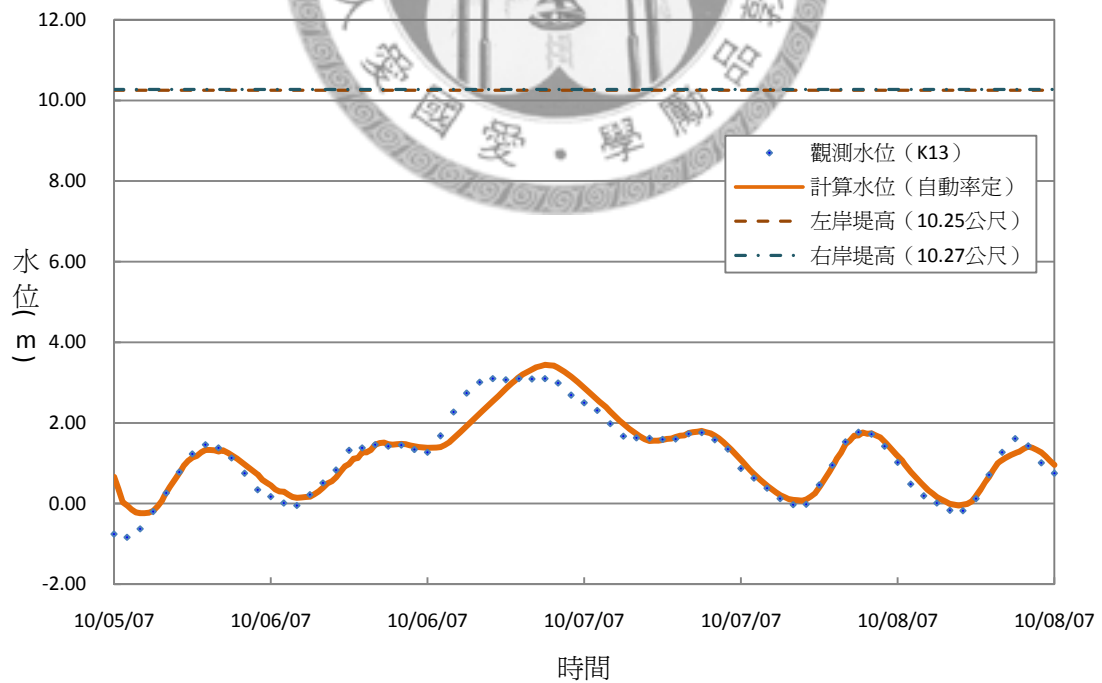


圖 4.43 劍潭水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

## 基隆河流域

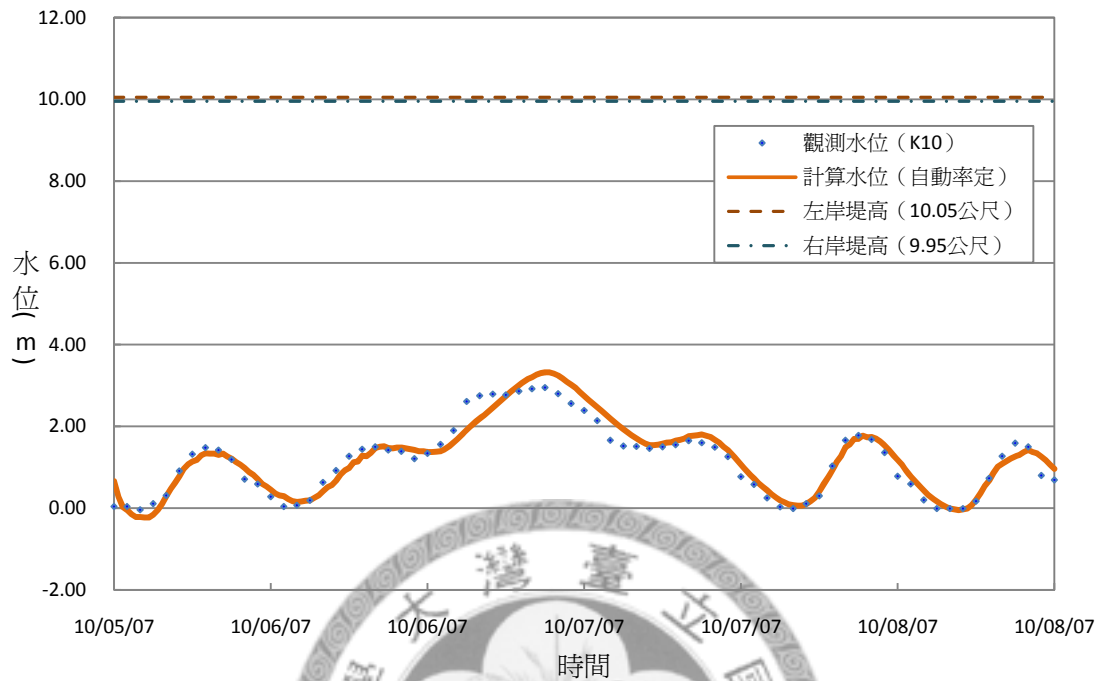


圖 4.44 社子水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

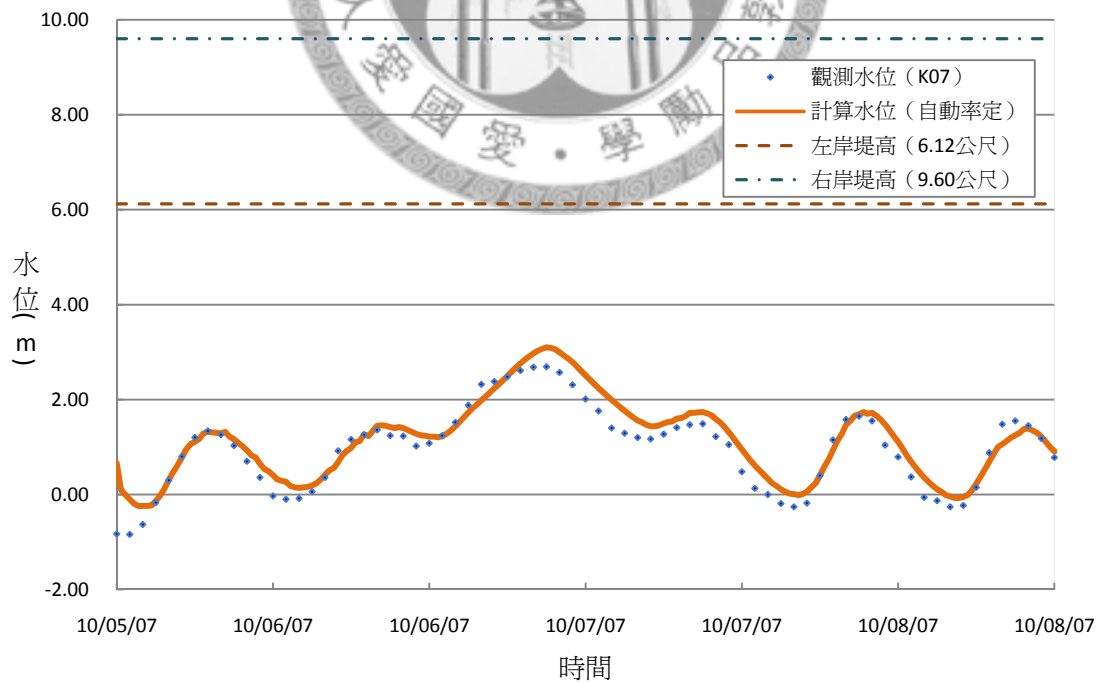


圖 4.45 洲美一水位站計算與觀測水位比較 (率定：柯羅莎颱風)

### 4.3 以實際觀測水位值進行驗證之計算結果

率定完成河川阻力係數後，為了解率定所得之參數是否能真確反應出實際的河道粗糙程度，故須進行驗證。在此將率定所得之參數組再次輸入全流域河川不恆定流模式，模擬不同颱風事件之計算水位，表 4.16 為驗證組颱風事件之基本描述。

表 4.16 驗證組颱風事件列表

名稱	英文名稱	警報期間	強度	近中心最低氣壓 (hPa)	七級暴風半徑 (km)
韋帕	Wipha	2007 09/17~ 2007 09/19	中度	935.0	200
米塔	Mitag	2007 11/26~ 2007 11/27	中度	955.0	200

#### 4.3.1 韋帕颱風 (Wipha)

納入計算目標函數值之時間為 2007/9/17 15:00~2007/9/20 12:00，其時距為 20 分鐘，故每個水位站均採用 208 筆水位觀測資料，獲得計算水位後再與觀測水位進行比較，計算出均方根誤差為 0.272 公尺，與率定結果相近。而各水位站之誤差分析結果如表 4.17 所示。根據水位誤差分析顯示：

(1) 大漢溪、新店溪與淡水河流域各水位站計算水位之平均誤差約在 9~15 公分之間，而平均相對誤差僅約 1.5%。

(2) 基隆河流域各水位站計算水位之平均誤差約在 20~62 公分之間，而平均相對誤差則約 7.6%。其中較大誤差出現在五堵至陽光橋間，平均誤差超過 37 公分，此外誤差皆控制在 29 公分以內。

驗證之結果見圖 4.46~圖 4.65，內容為各水位站觀測水位與經自動率定所得之阻力參數的計算水位比較圖。其中，圖 4.46~圖 4.50 為淡水河流域（貴陽抽水站、六館抽水站、台北橋水位、迪化抽水站與土地公鼻水位站），圖 4.51 為新店溪流域（雙園抽水站），圖 4.52 ~4.65 為基隆河流域（五堵水位站、江北橋水位站、社后橋水位站、南湖大橋水位站、成美長壽橋抽水站、南京抽水站、陽光橋抽水站、北安抽水站、大直橋水位站、建國抽水站、承德橋抽水站、劍潭抽水站、社子抽水站與洲美一抽水站）。



表 4.17 淡水河全流域各水位站計算誤差分析（韋帕颱風）

河川別	水位站	誤差分析	
		平均誤差 (m)	相對誤差 (%)
大漢溪與淡水河	貴陽	0.15	1.8%
	六館	0.09	1.4%
	台北橋	0.12	1.3%
	迪化	0.09	1.2%
	土地公鼻	0.07	0.9%
新店溪	雙園	0.12	2.4%
基隆河	五堵	0.62	20.3%
	江北橋	0.25	8.0%
	社后橋	0.26	7.8%
	南湖大橋	0.21	3.7%
	成美長壽橋	0.51	11.2%
	南京	0.39	9.0%
	陽光橋	0.36	9.4%
	北安	0.19	5.9%
	大直橋	0.19	4.9%
	建國	0.28	6.3%
	承德橋	0.29	4.2%
	劍潭	0.20	2.5%
	社子	0.19	2.2%
	洲美一	0.27	3.5%

## 淡水河主流流域

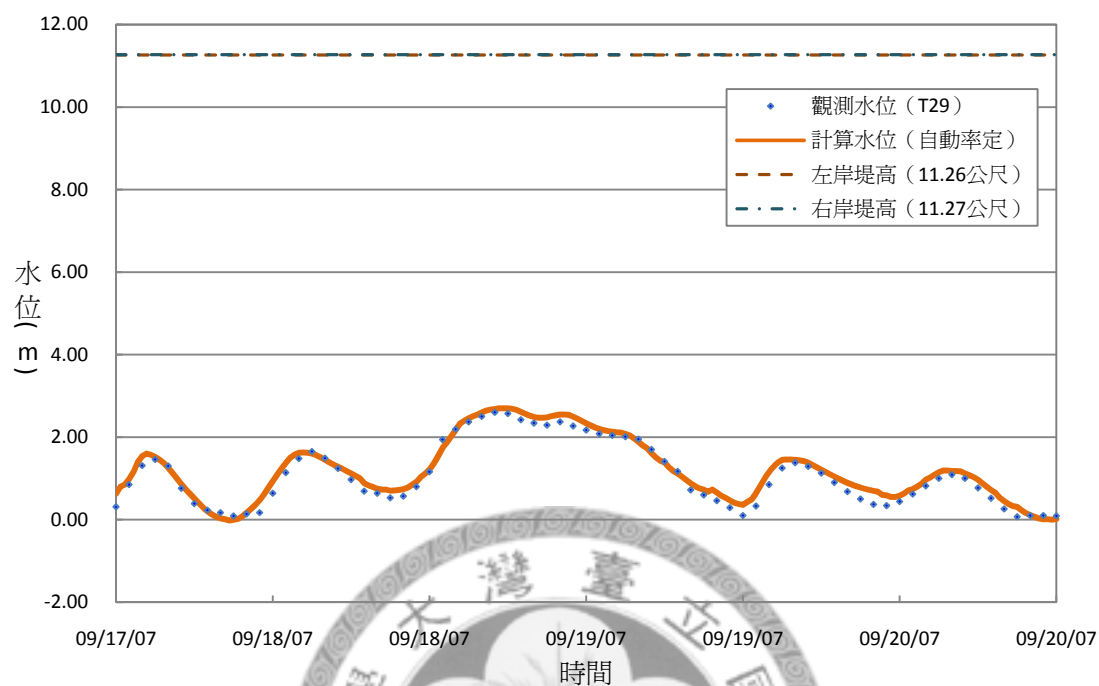


圖 4.46 貴陽水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

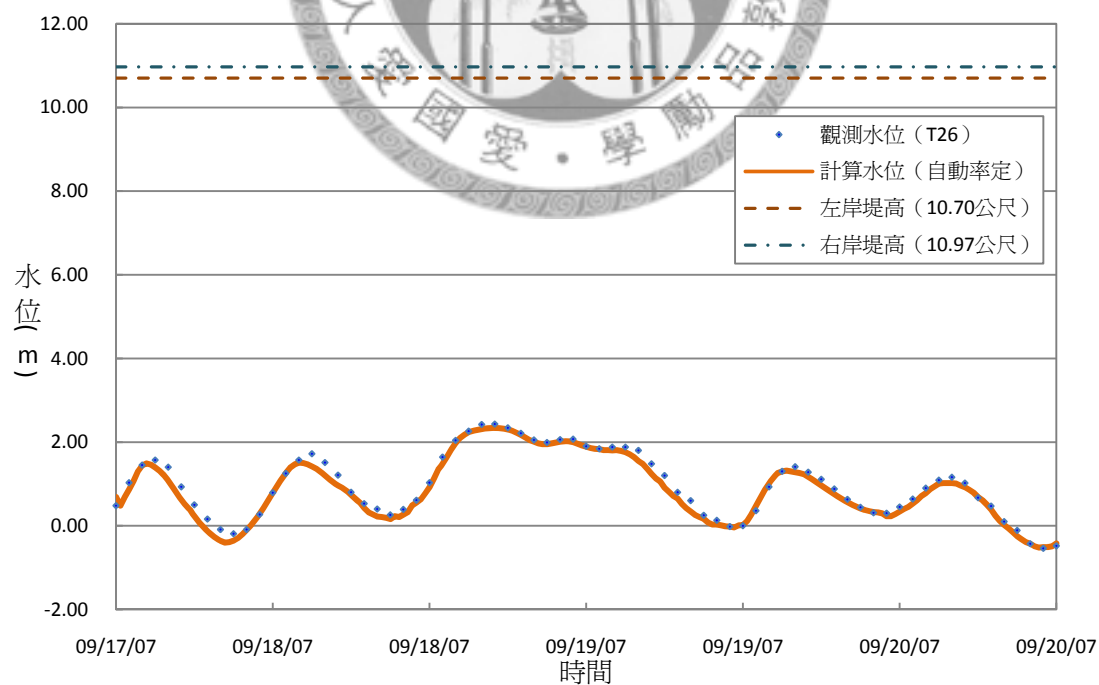


圖 4.47 六館水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

## 淡水河主流流域

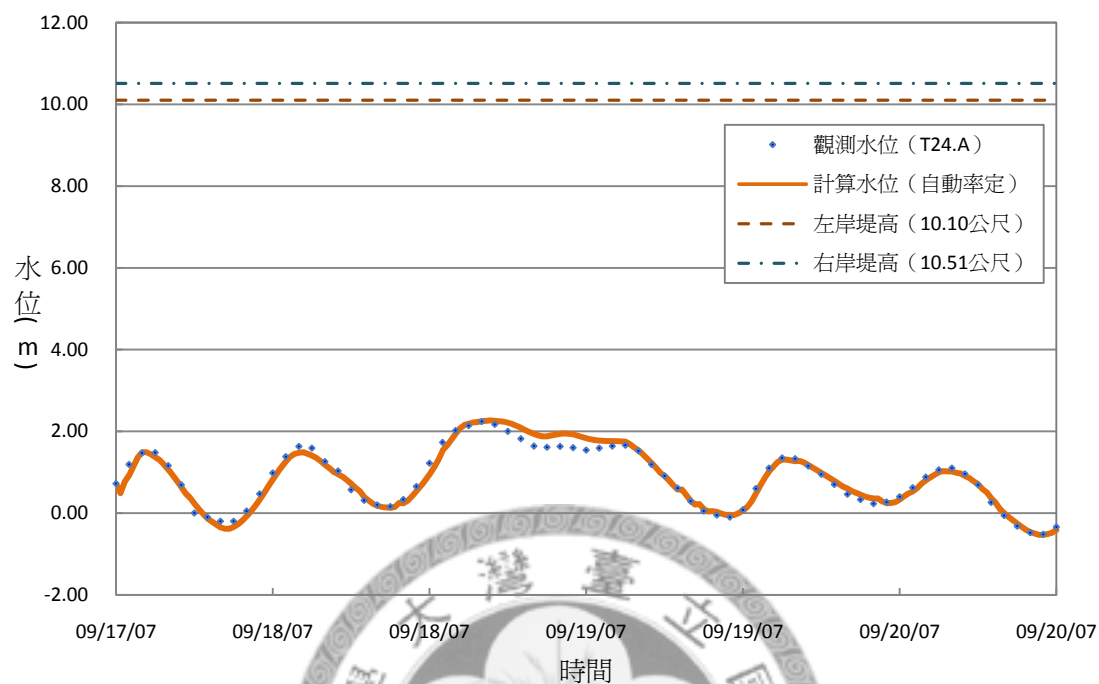


圖 4.48 台北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

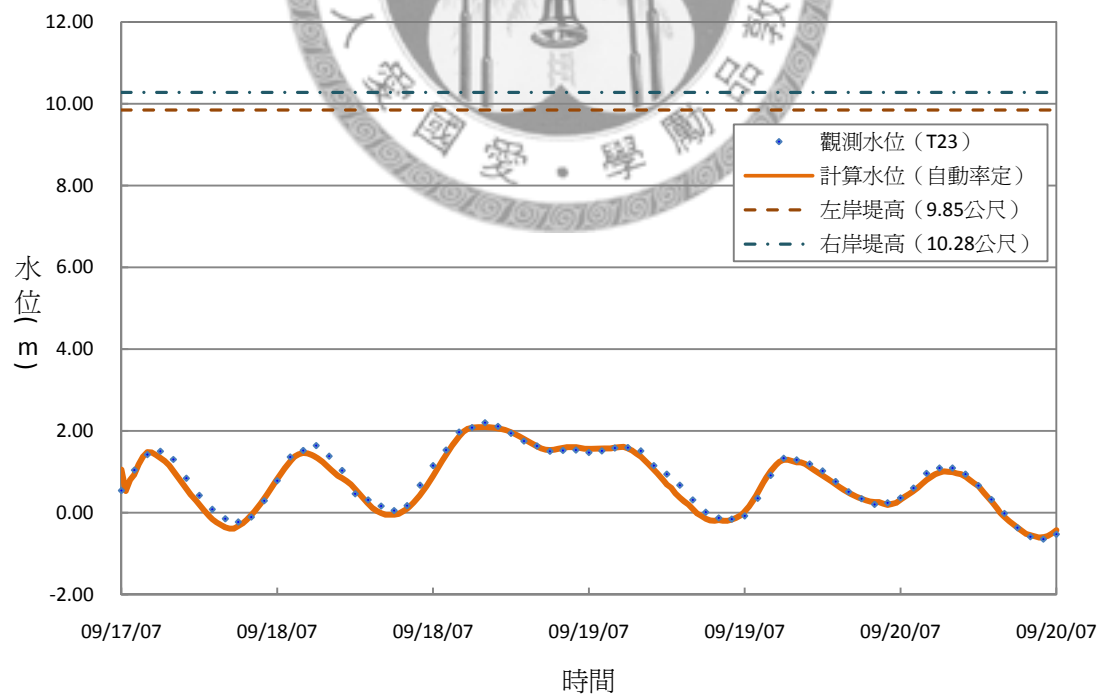


圖 4.49 迪化水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)



## 淡水河主流流域

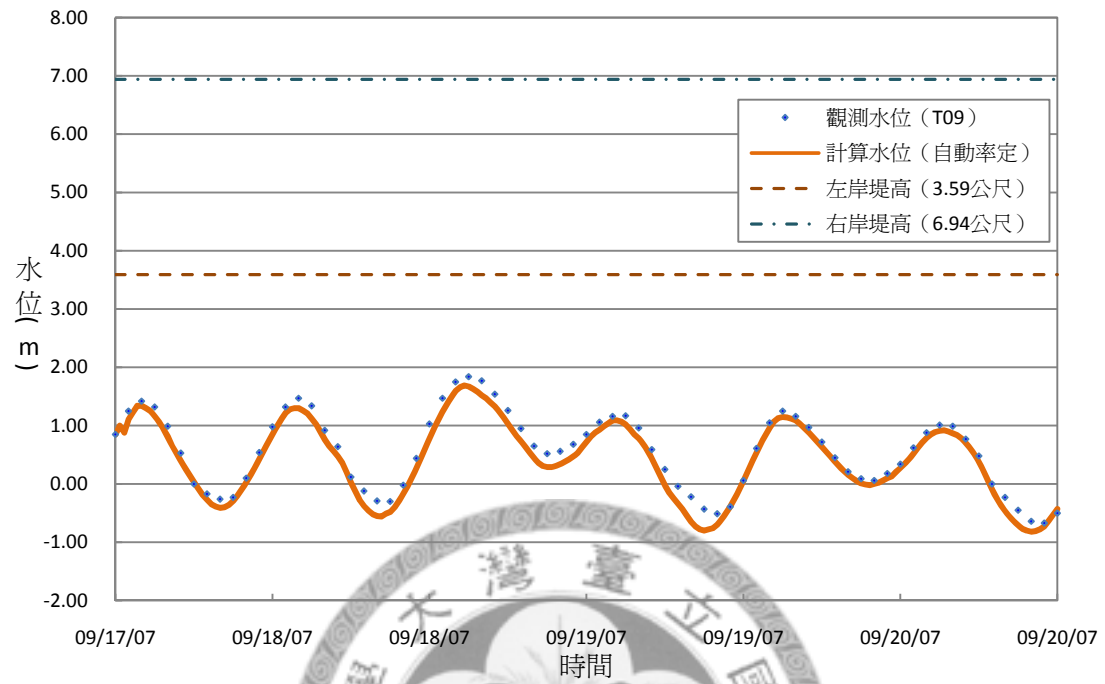


圖 4.50 土地公鼻水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

# 新店溪流域

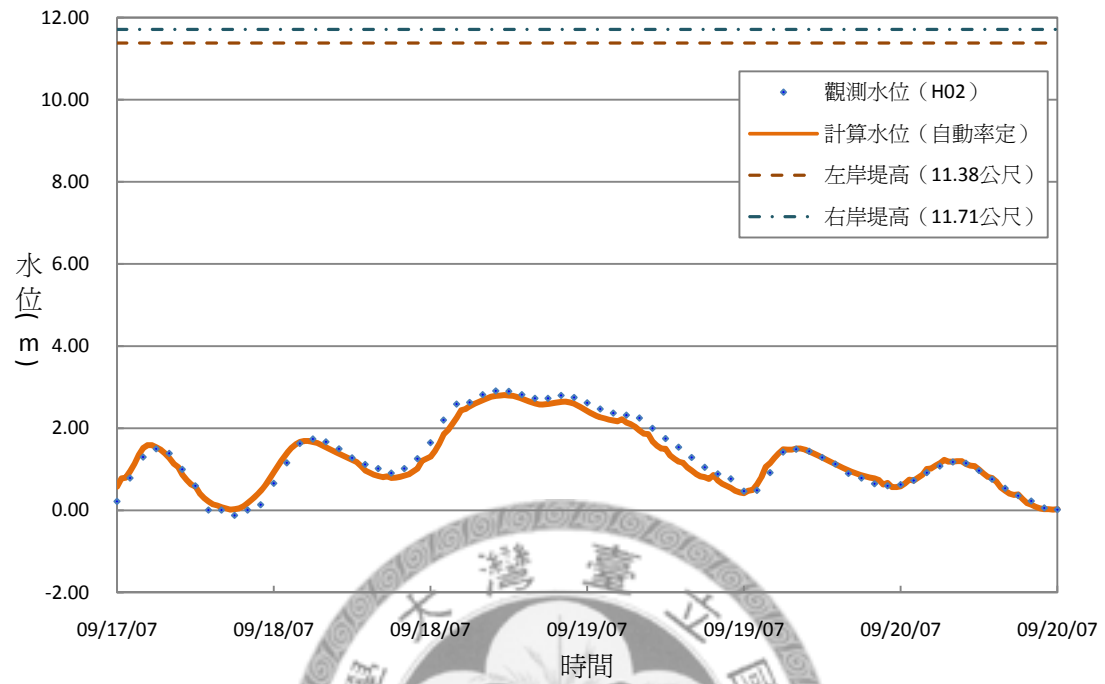


圖 4.51 雙園水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)



## 基隆河流域

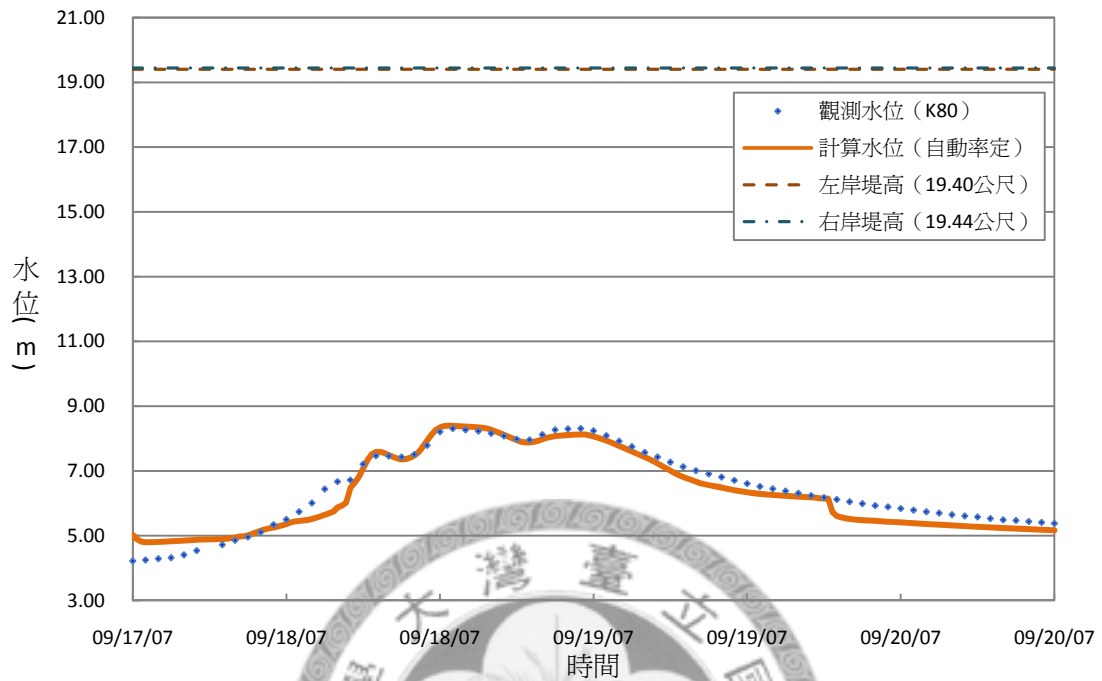


圖 4.52 五堵水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

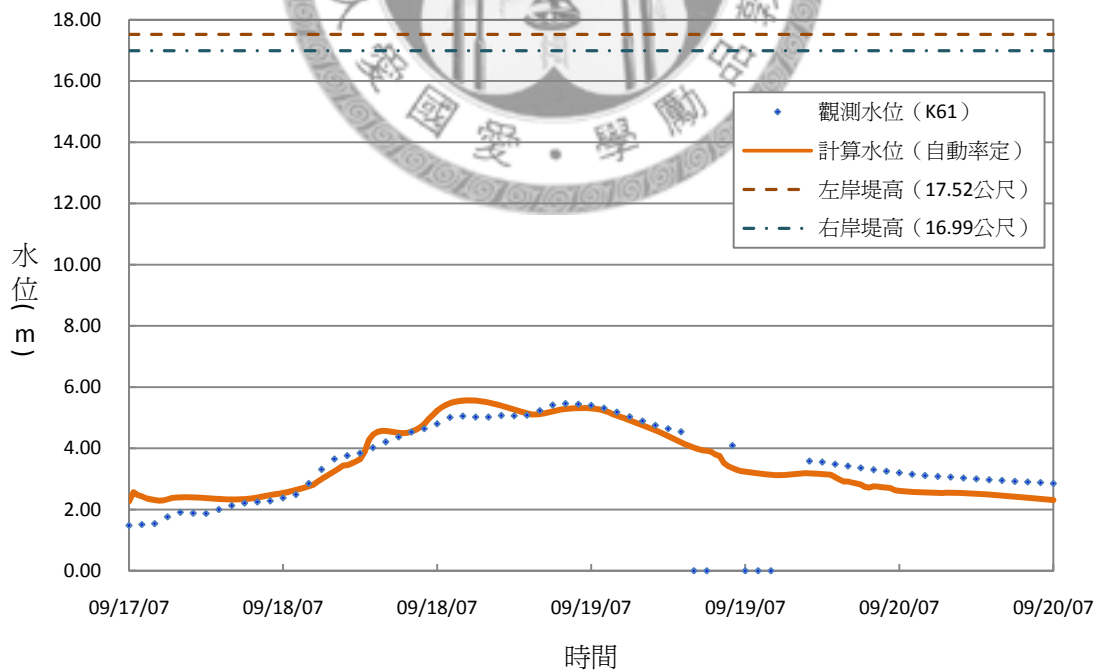


圖 4.53 江北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

## 基隆河流域

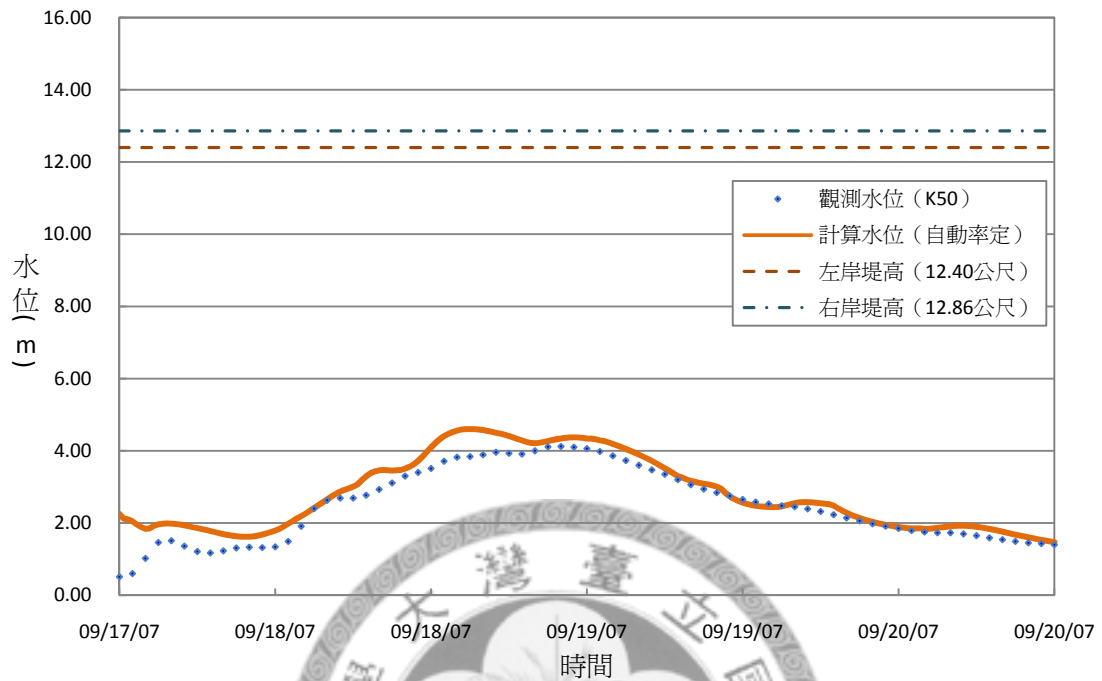


圖 4.54 社后橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

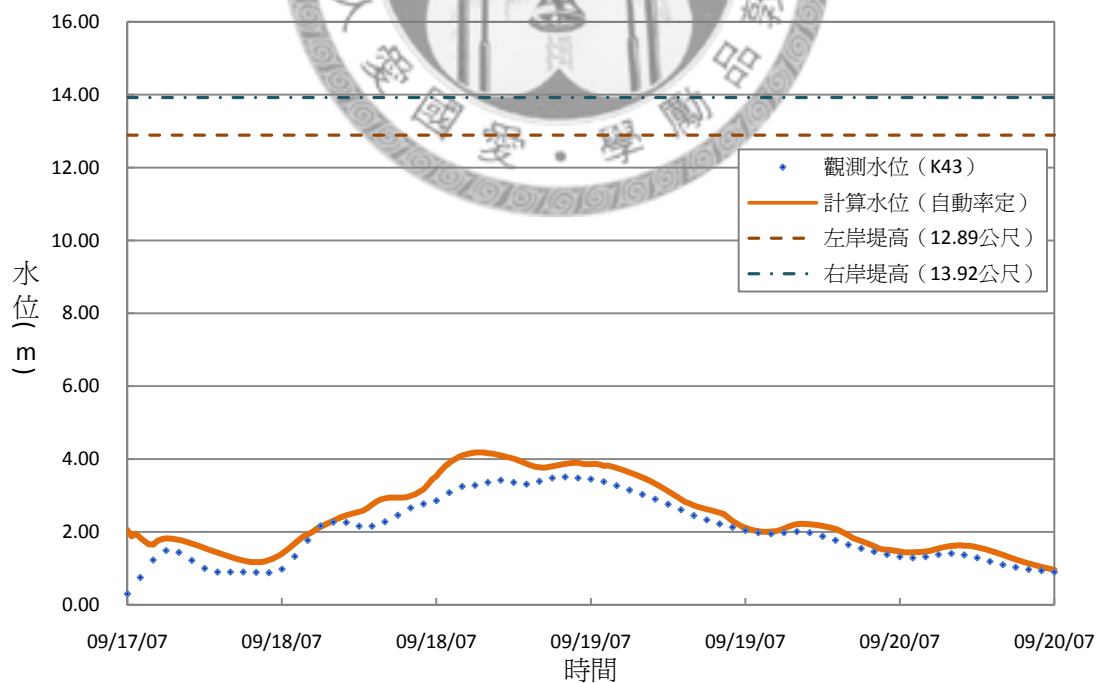


圖 4.55 南湖大橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

## 基隆河流域

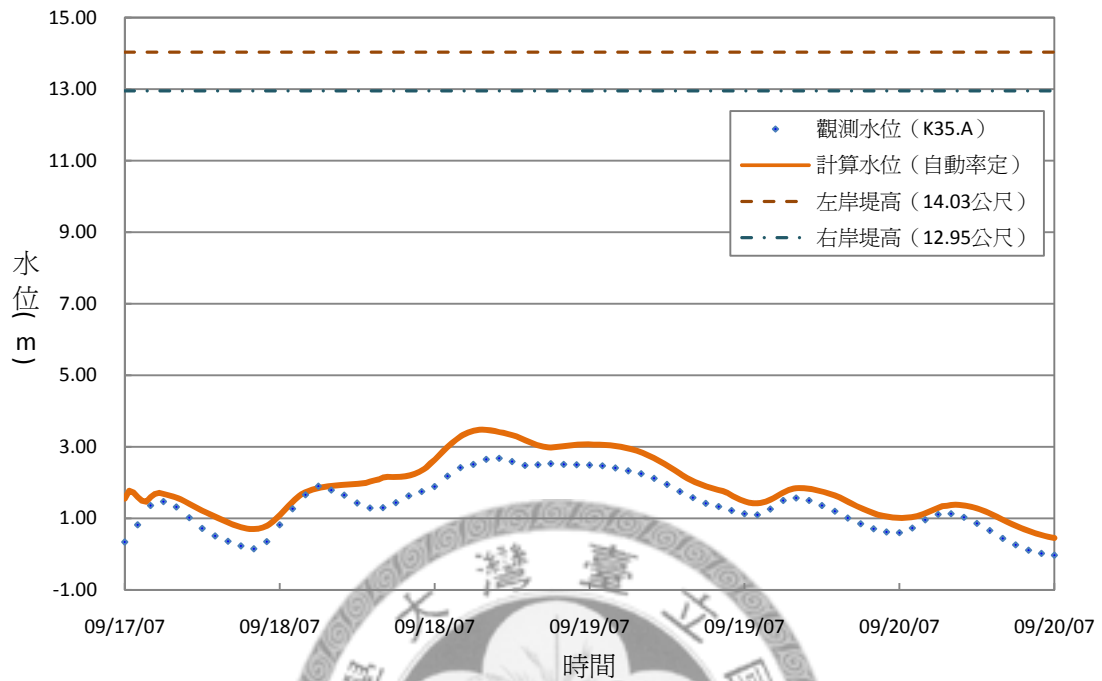


圖 4.56 成美長壽橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

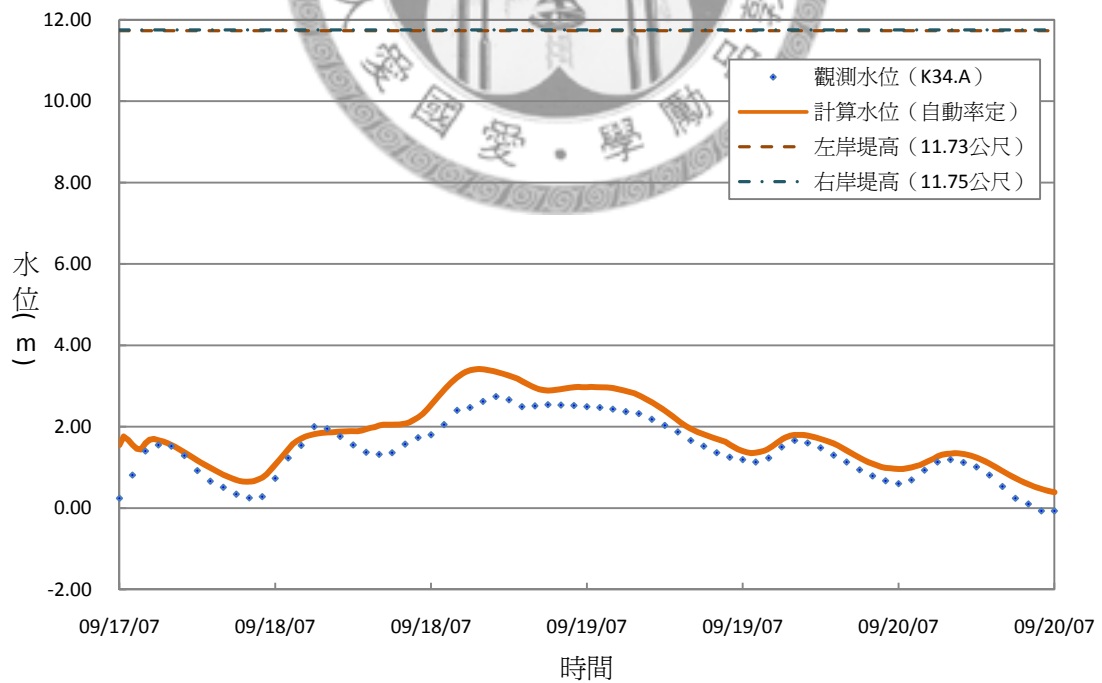


圖 4.57 南京水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

## 基隆河流域

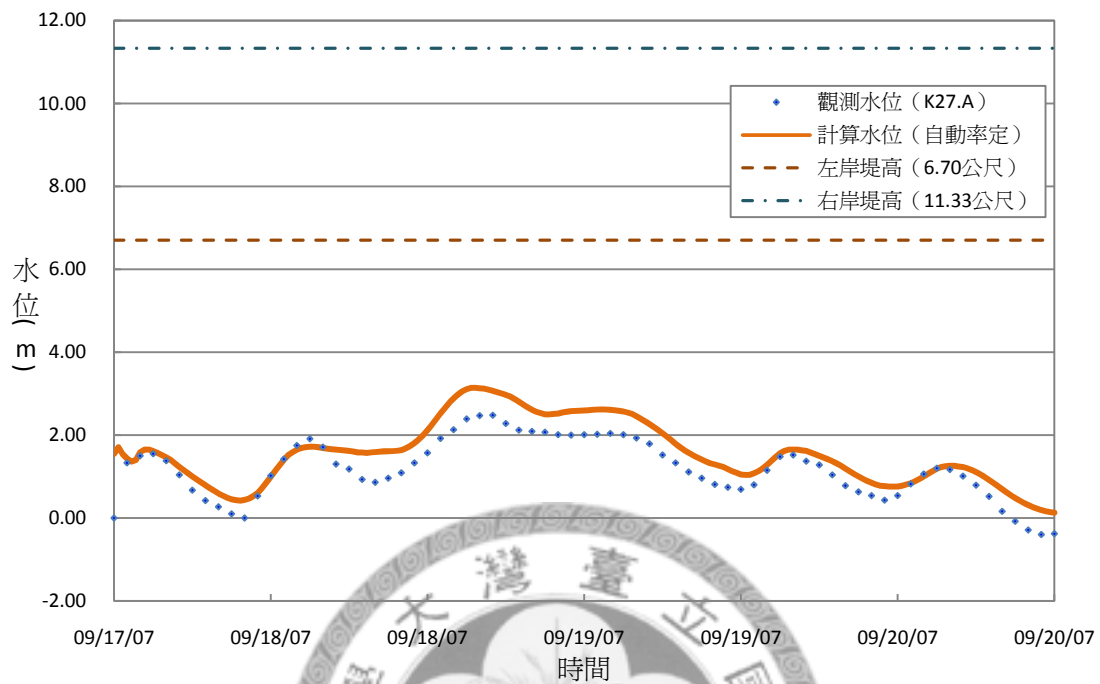


圖 4.58 陽光橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

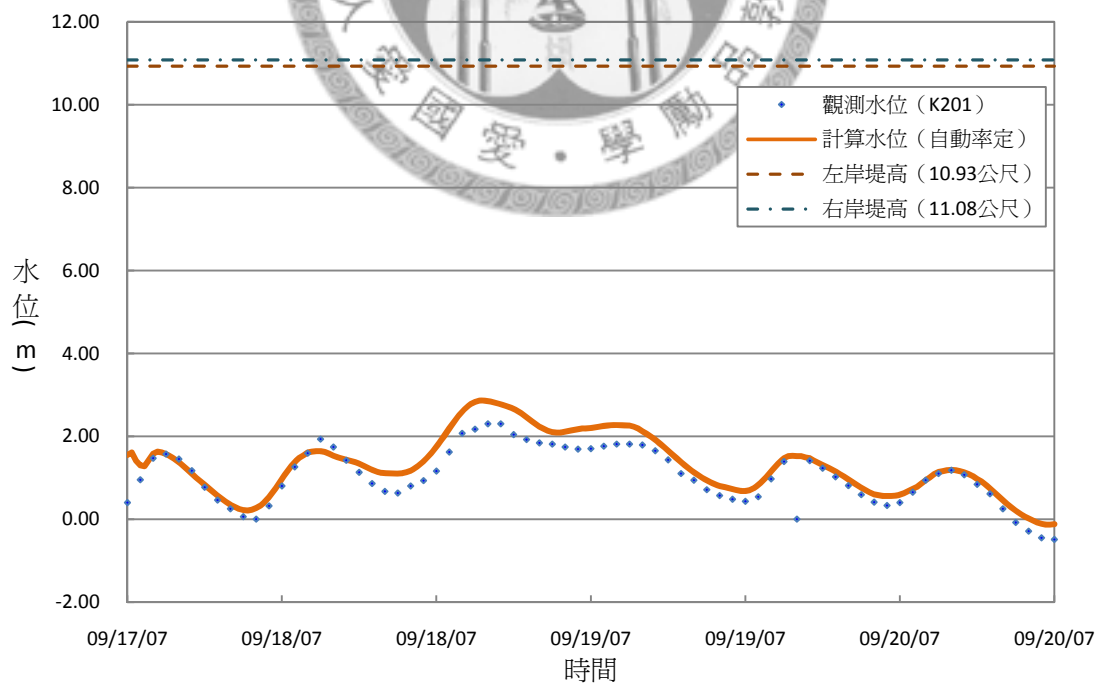


圖 4.59 北安水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

## 基隆河流域

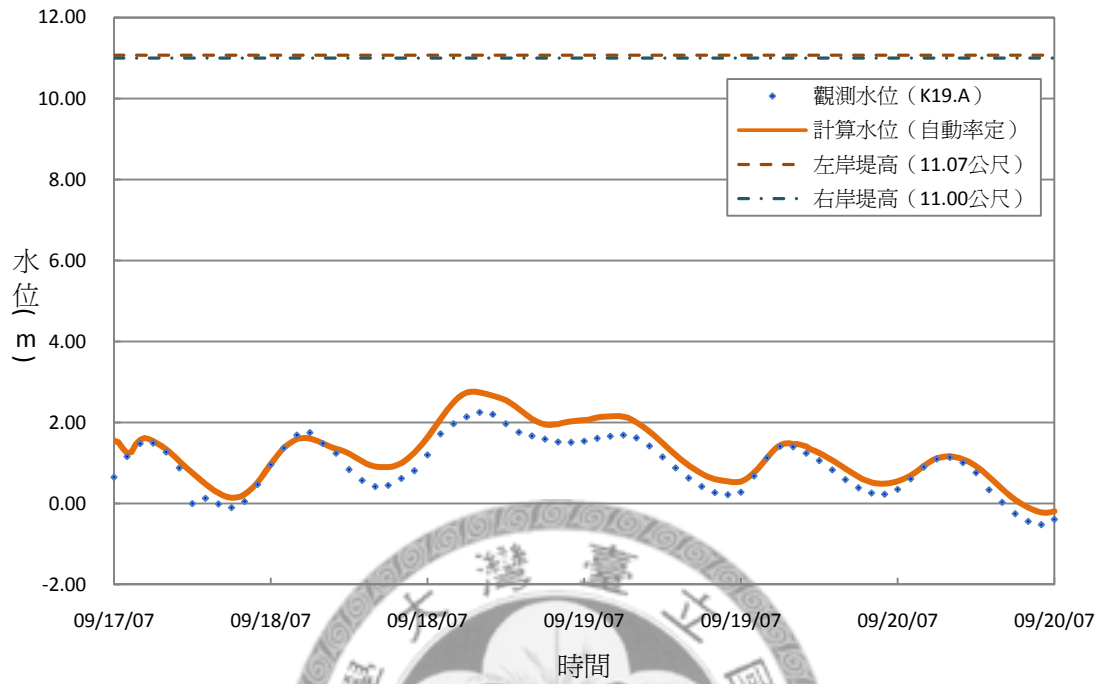


圖 4.60 大直橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

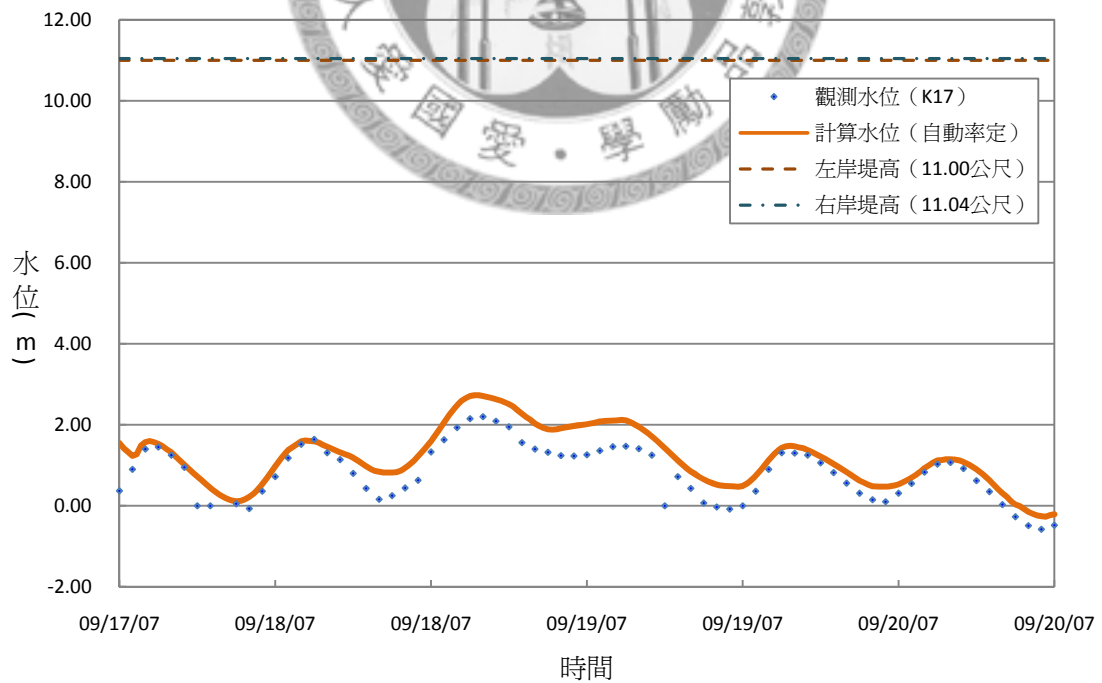


圖 4.61 建國水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

## 基隆河流域

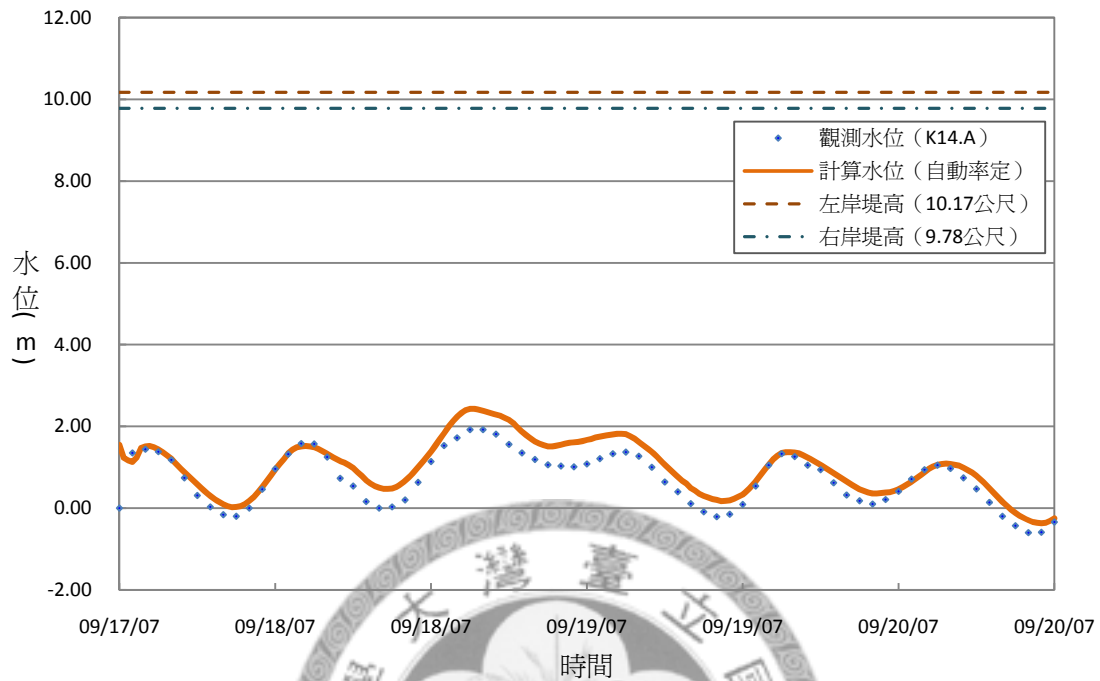


圖 4.62 承德橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

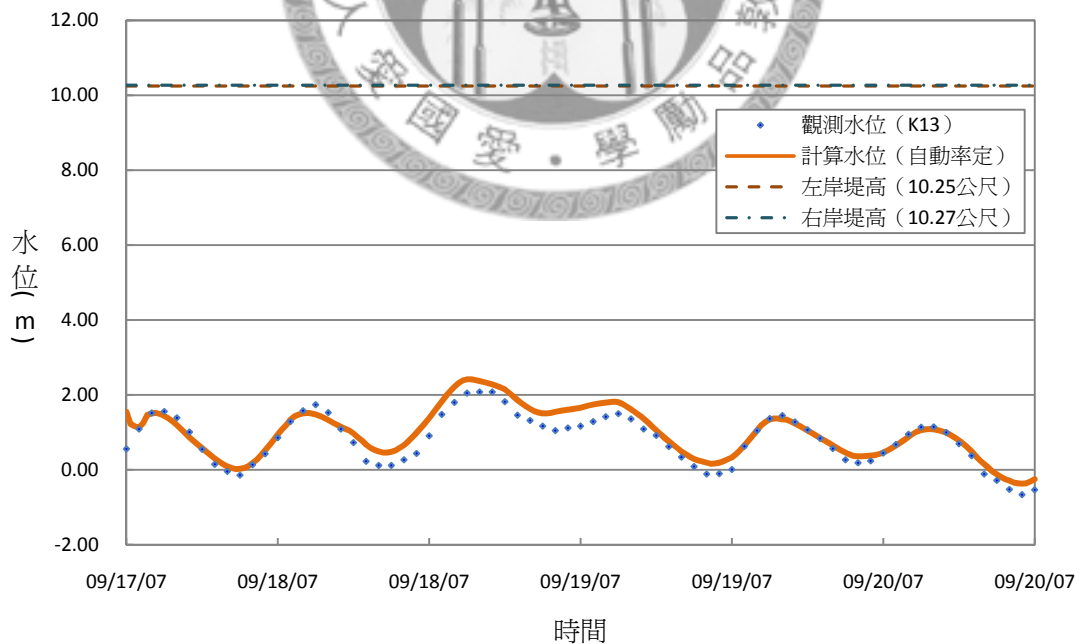


圖 4.63 劍潭水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)



## 基隆河流域

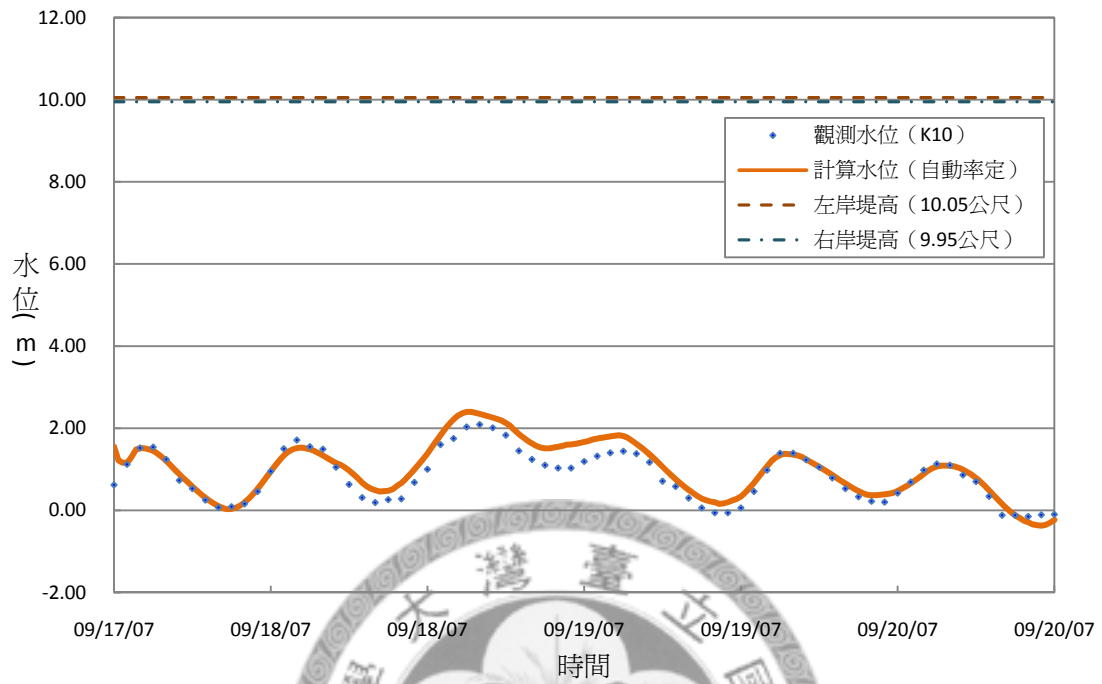


圖 4.64 社子水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

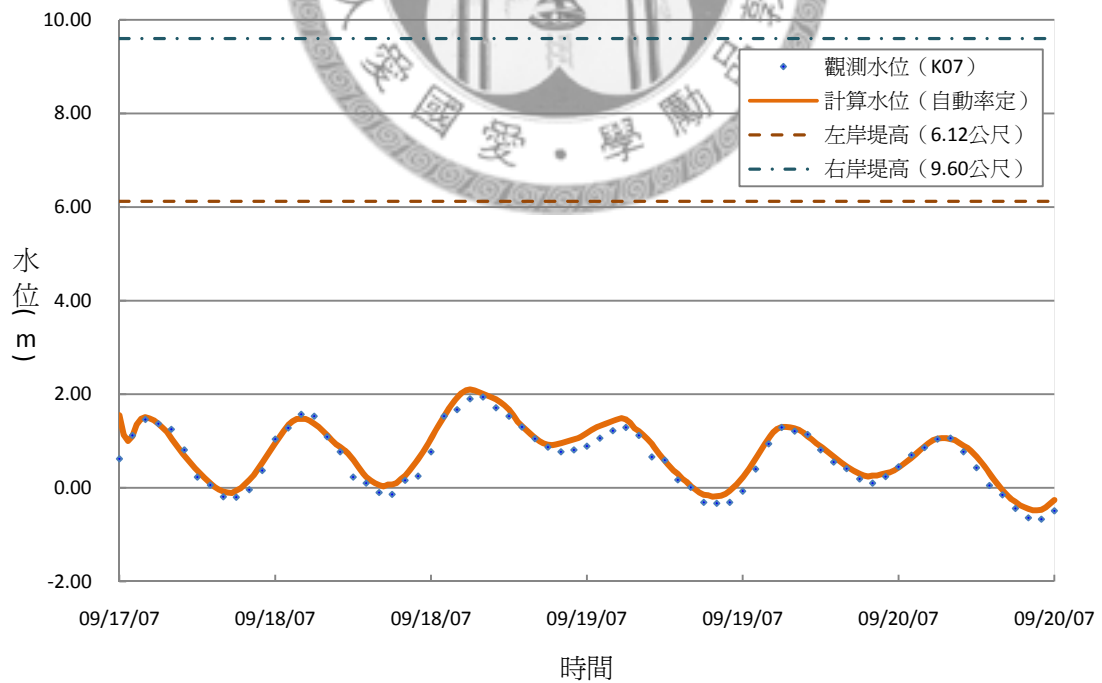


圖 4.65 洲美一水位站計算與觀測水位比較 (驗證：韋帕颱風)

### 4.3.2 米塔颶洪 (Mitag)

納入計算目標函數值之時間為 2007/11/25 15:00~2007/11/28 12:00，其時距為 20 分鐘，故每個水位站均採用 208 筆水位觀測資料，獲得計算水位後再與觀測水位進行比較，其中大直橋與洲美一等水位站因為觀測資料缺漏，故不納入誤差計算，最終計算出均方根誤差為 0.302 公尺，與率定及上一節的驗證結果相當接近，顯示率定的成果應用在不同場颶洪事件中，均能有優異且穩定的計算表現。各水位站之誤差分析結果如表 4.18 所示。根據水位誤差分析顯示：

(1) 大漢溪、新店溪與淡水河流域各水位站計算水位之平均誤差約在 8~19 公分之間，而平均相對誤差則約 2.2%。

(2) 基隆河流域各水位站計算水位之平均誤差約在 14~59 公分之間，而平均相對誤差則約 7.5%。其中較大誤差出現在五堵至北安間，平均誤差超過 45 公分，此外誤差皆控制在 26 公分以內。

驗證之結果見圖 4.66~圖 4.83，內容為各水位站觀測水位與經自動率定所得之阻力參數的計算水位比較圖。其中，圖 4.66~圖 4.70 為淡水河流域（貴陽抽水站、六館抽水站、台北橋水位、迪化抽水站與土地公鼻水位站），圖 4.71 為新店溪流域（雙園抽水站），圖 4.72 ~4.83 為基隆河流域（五堵水位站、江北橋水位站、社后橋水位站、南湖大橋水位站、成美長壽橋抽水站、南京抽水站、陽光橋抽水站、北安抽水站、大直橋水位站、建國抽水站、承德橋抽水站、劍潭抽水站、社子抽水站與洲美一抽水站）。

表 4.18 淡水河全流域各水位站計算誤差分析（米塔颱風）

河川別	水位站	誤差分析	
		平均誤差 (m)	相對誤差 (%)
大漢溪與淡水河	貴陽	0.19	2.4%
	六館	0.11	2.0%
	台北橋	0.13	1.5%
	迪化	0.16	2.0%
	土地公鼻	0.08	1.1%
新店溪	雙園	0.17	4.0%
基隆河	五堵	0.43	9.8%
	江北橋	0.55	17.8%
	社后橋	0.58	10.9%
	南湖大橋	0.59	7.9%
	成美長壽橋	0.35	6.8%
	南京	0.39	7.5%
	陽光橋	0.30	7.0%
	北安	0.39	10.1%
	建國	0.26	5.8%
	承德橋	0.18	2.6%
	劍潭	0.20	2.4%
	社子	0.14	1.8%

## 淡水河主流流域

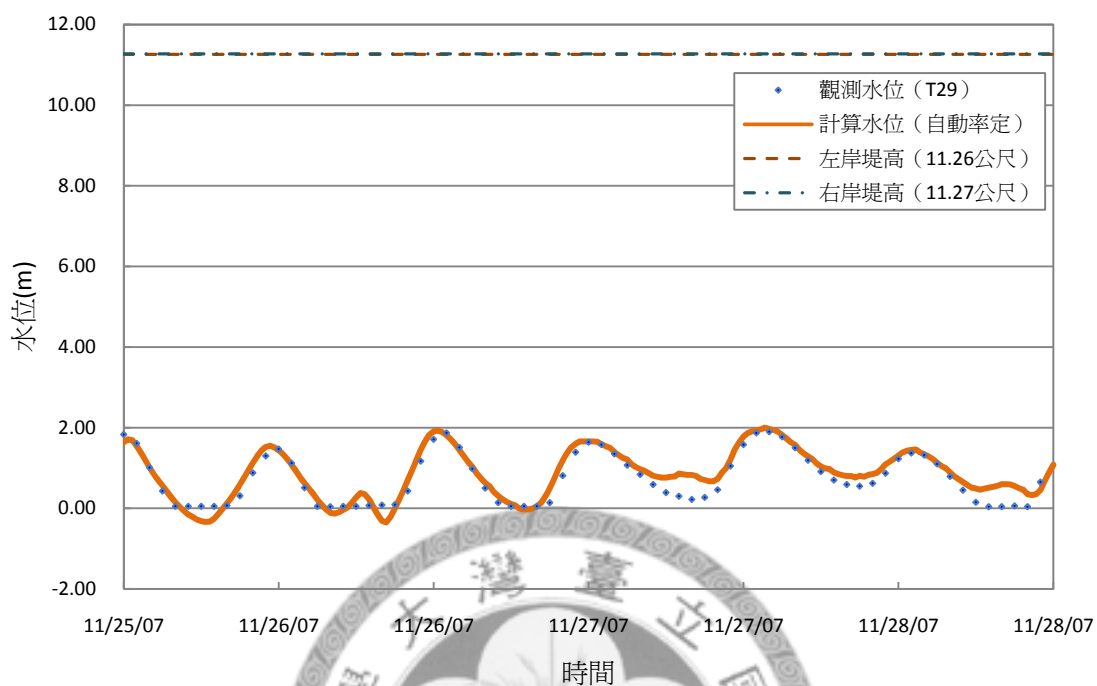


圖 4.66 貴陽水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

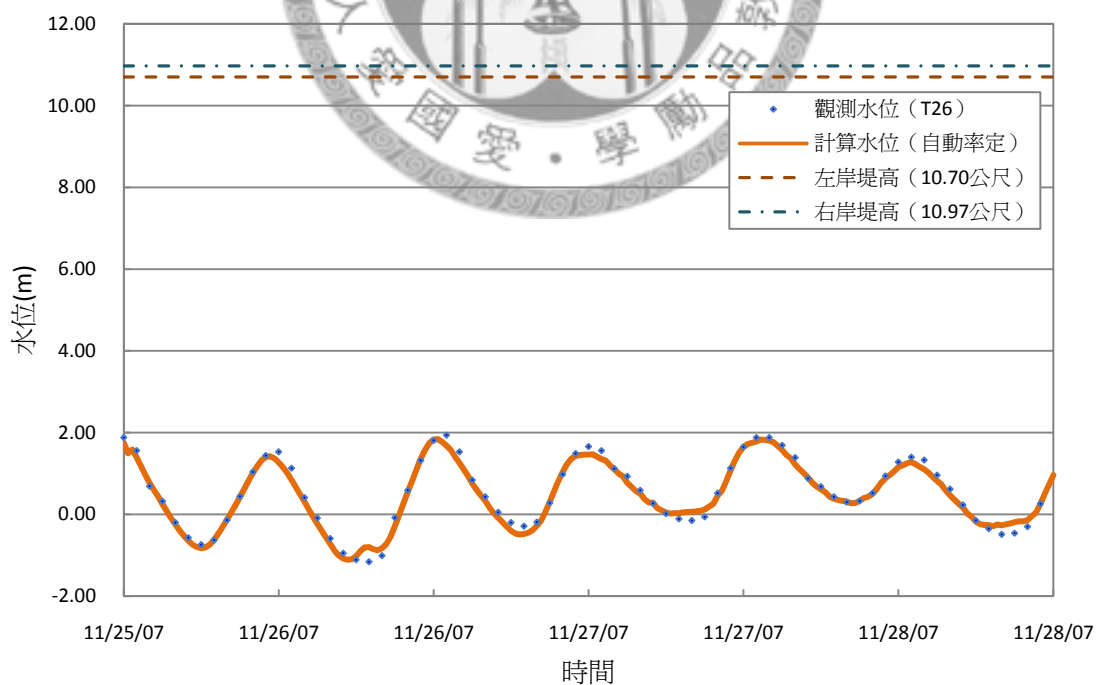


圖 4.67 六館水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

## 淡水河主流流域

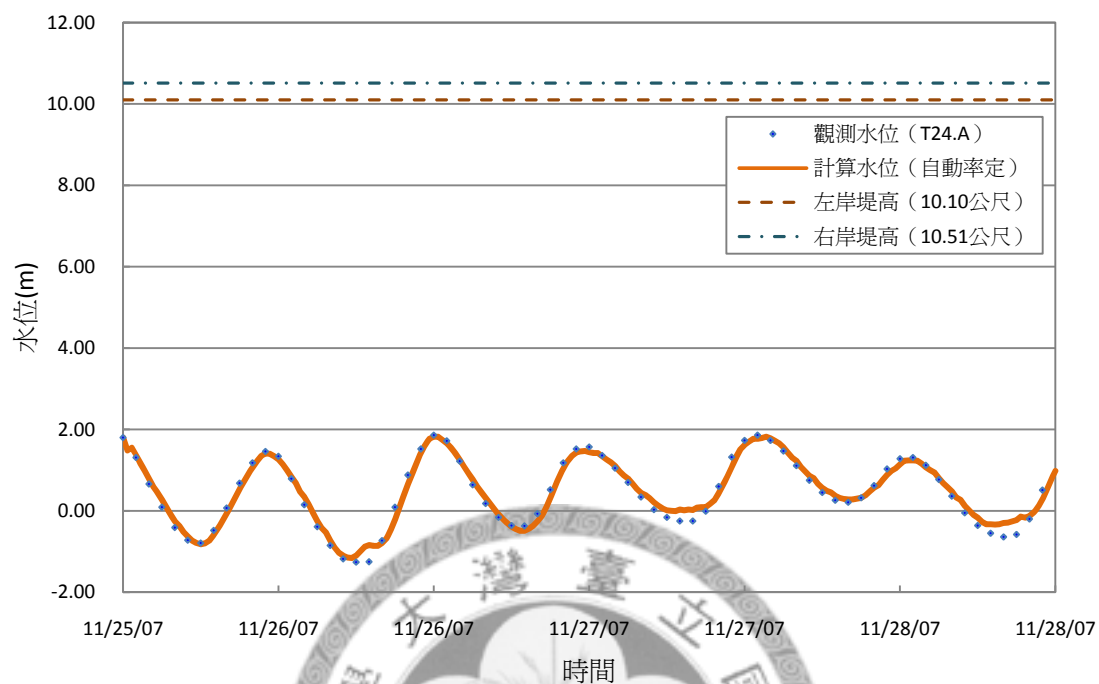


圖 4.68 台北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

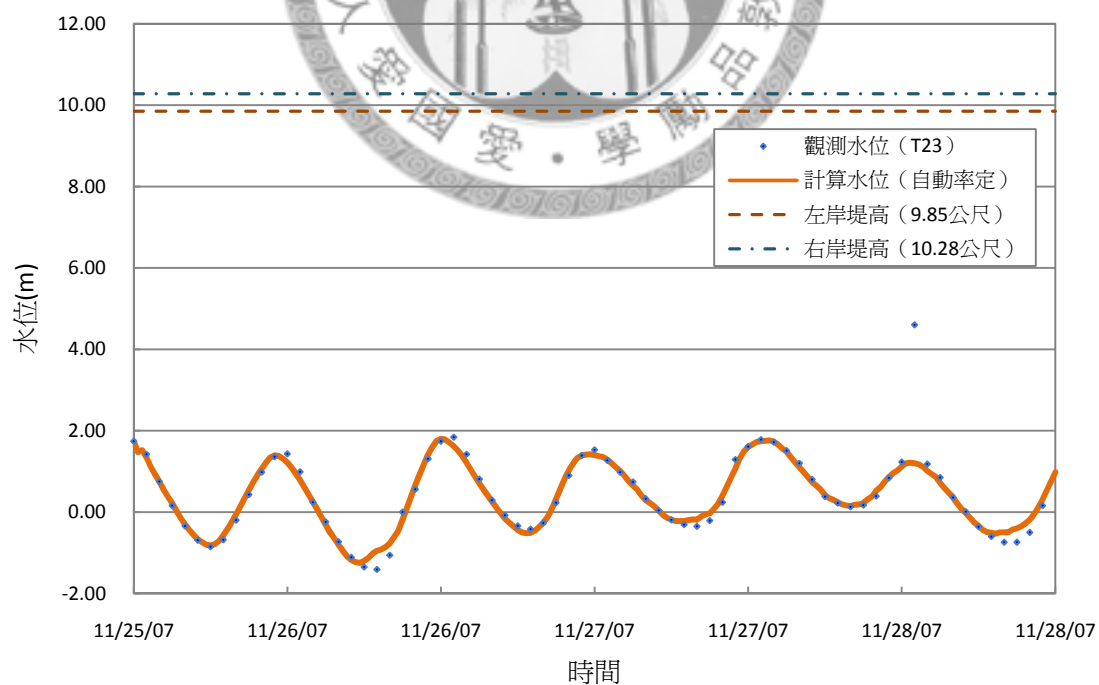


圖 4.69 迪化水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

## 淡水河主流流域

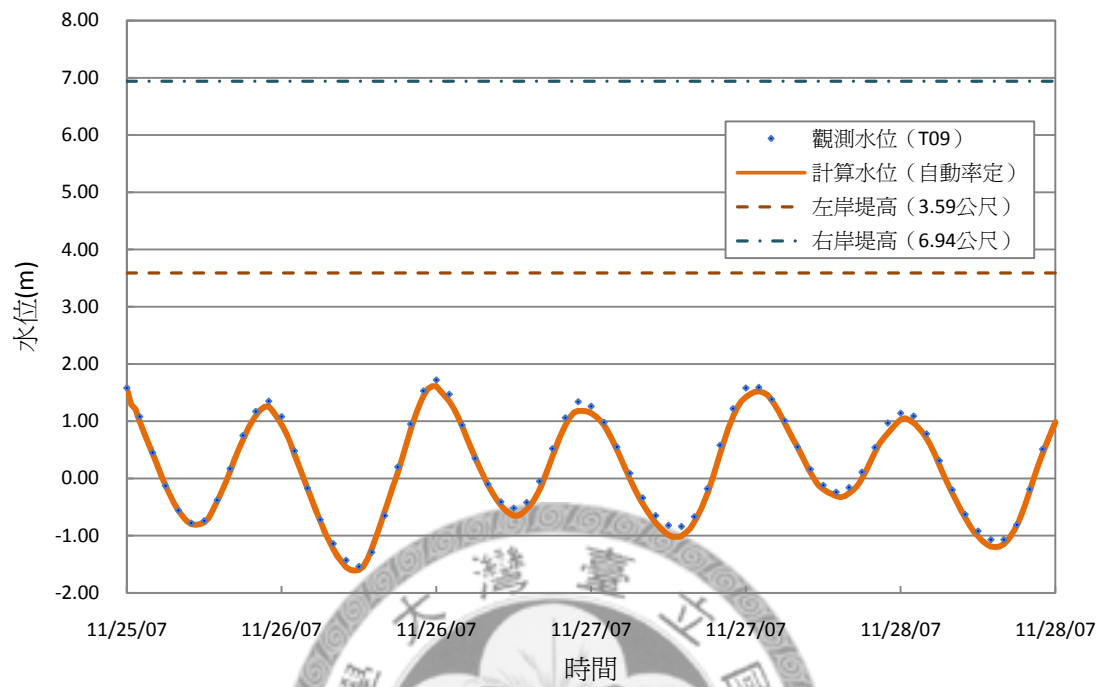


圖 4.70 土地公鼻水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

# 新店溪流域

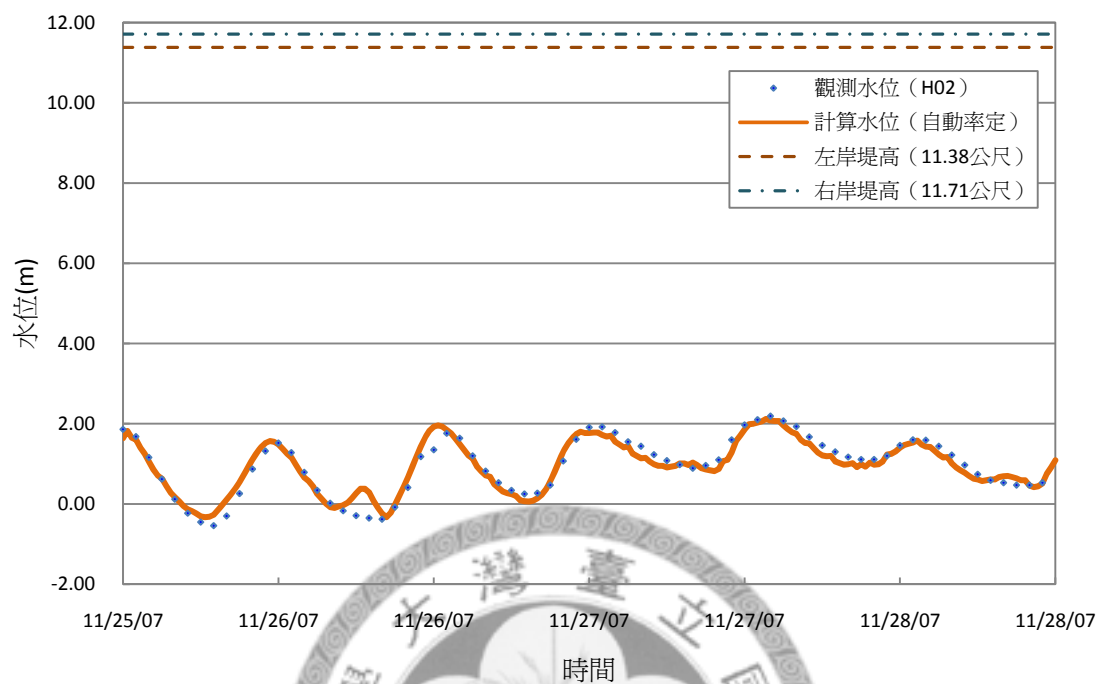


圖 4.71 雙園水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)



## 基隆河流域

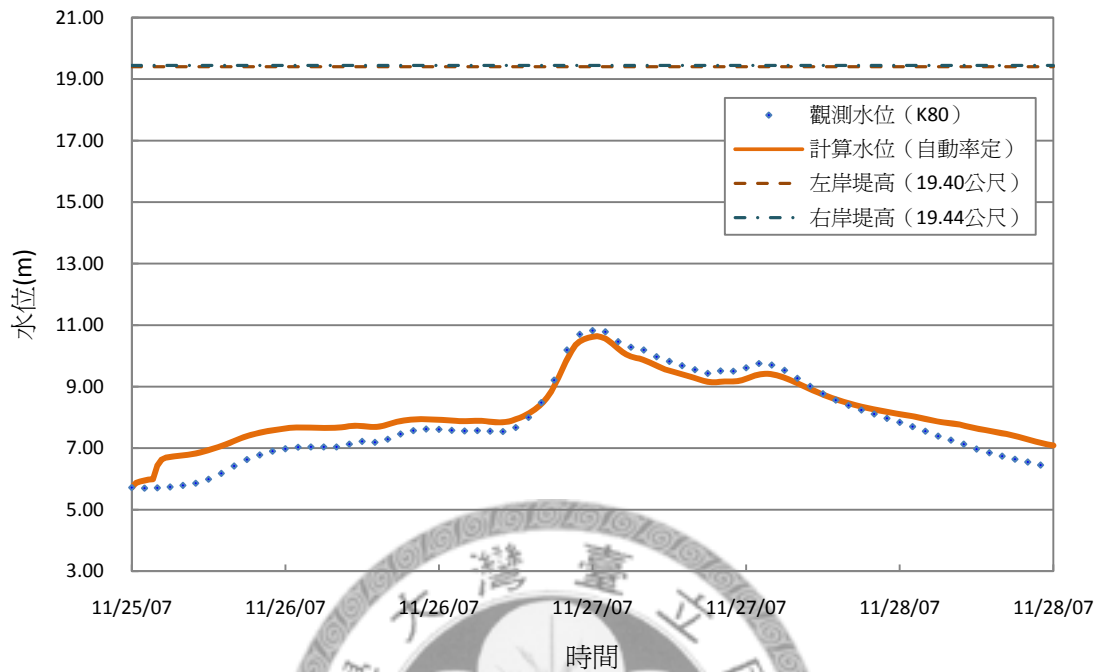


圖 4.72 五堵水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

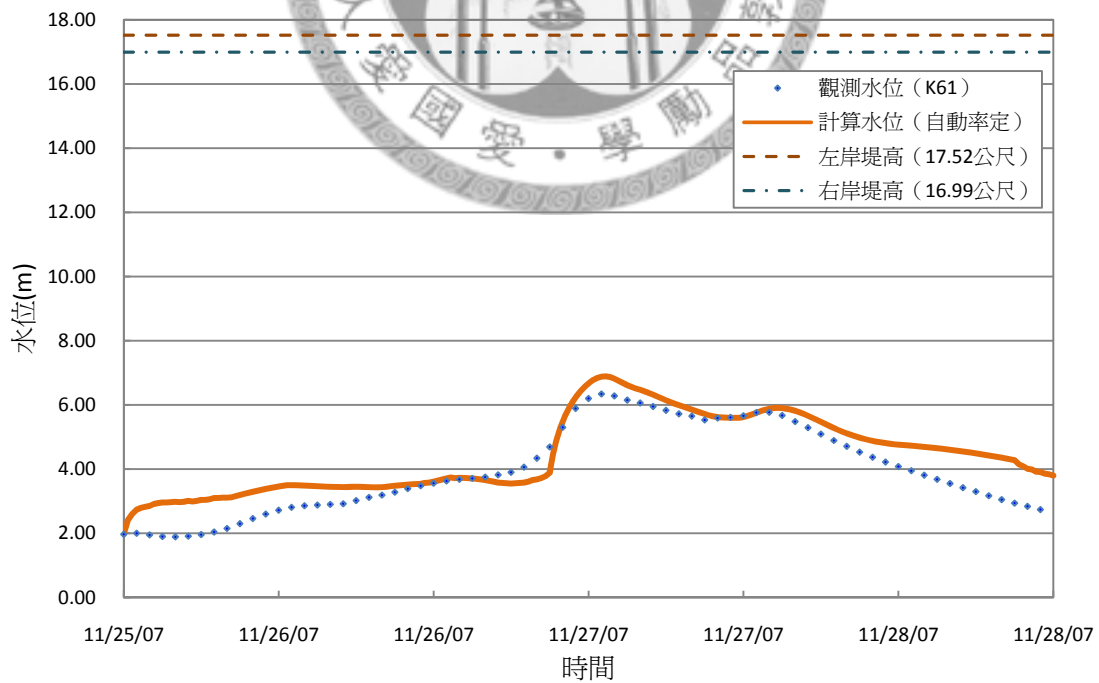


圖 4.73 江北橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)



## 基隆河流域

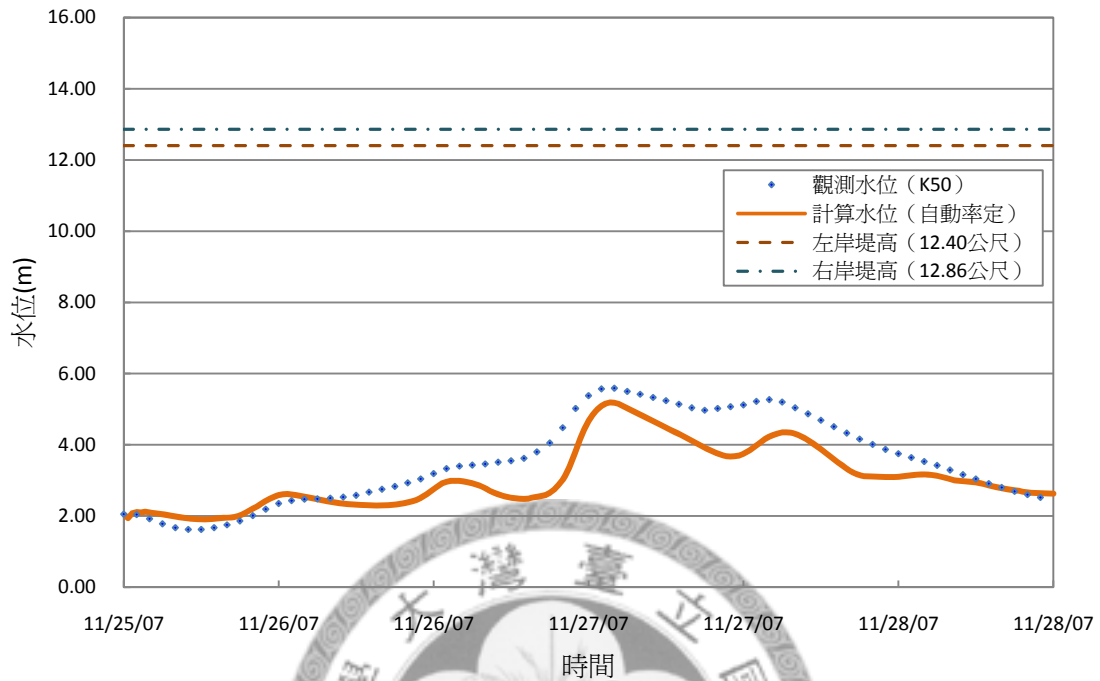


圖 4.74 社后橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

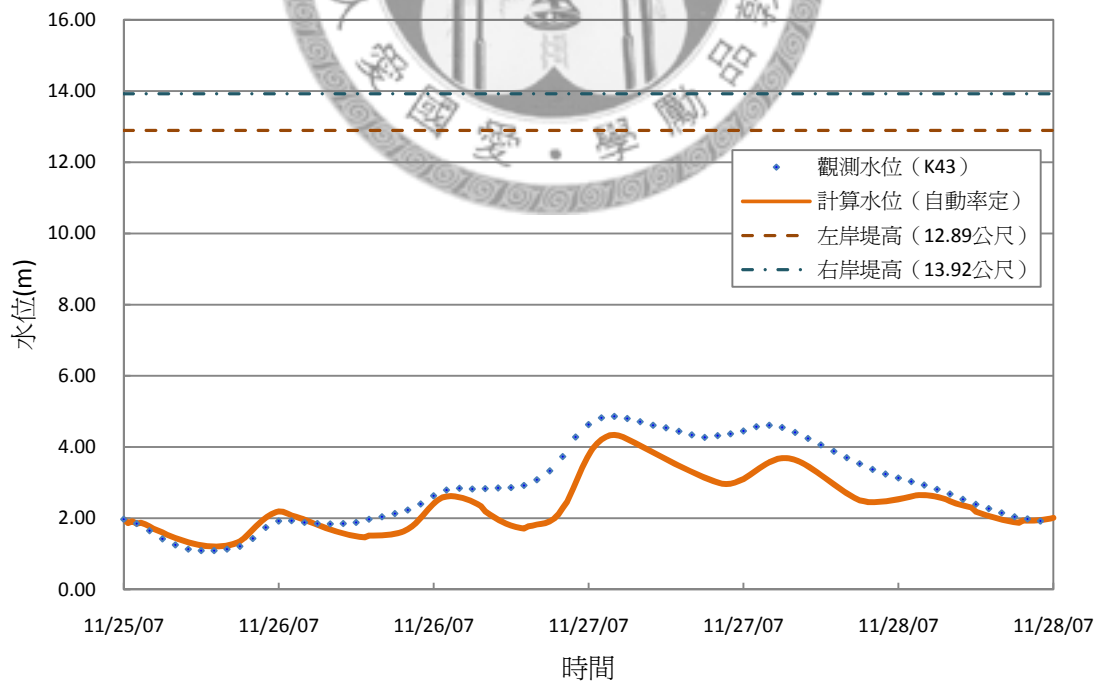


圖 4.75 南湖大橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

## 基隆河流域

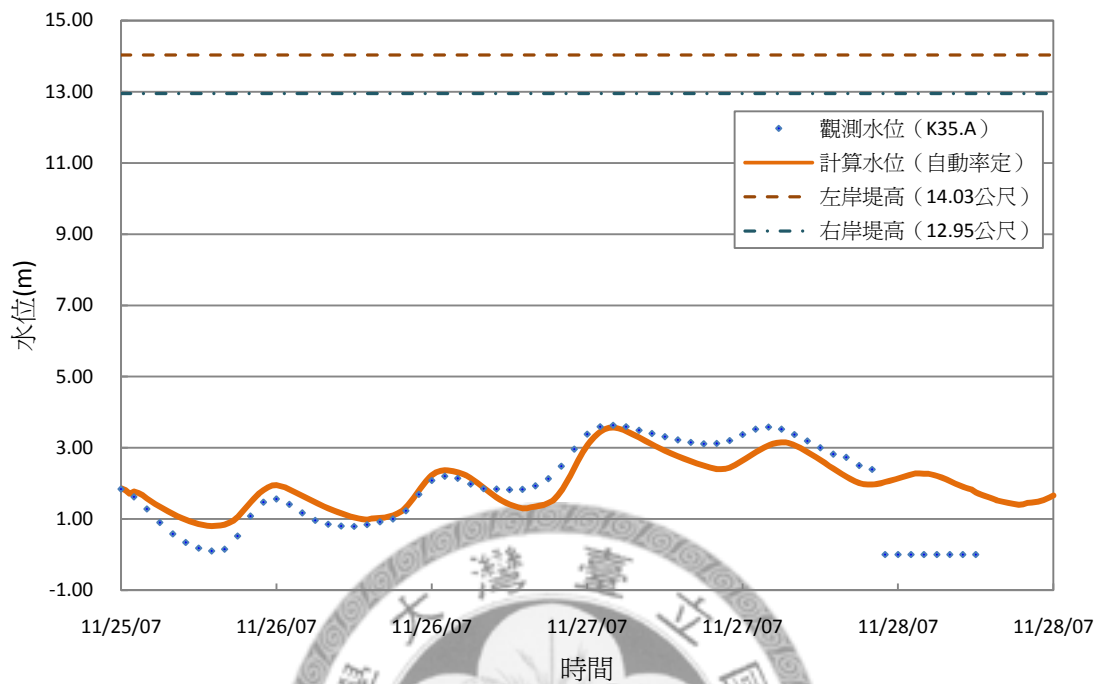


圖 4.76 成美長壽橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

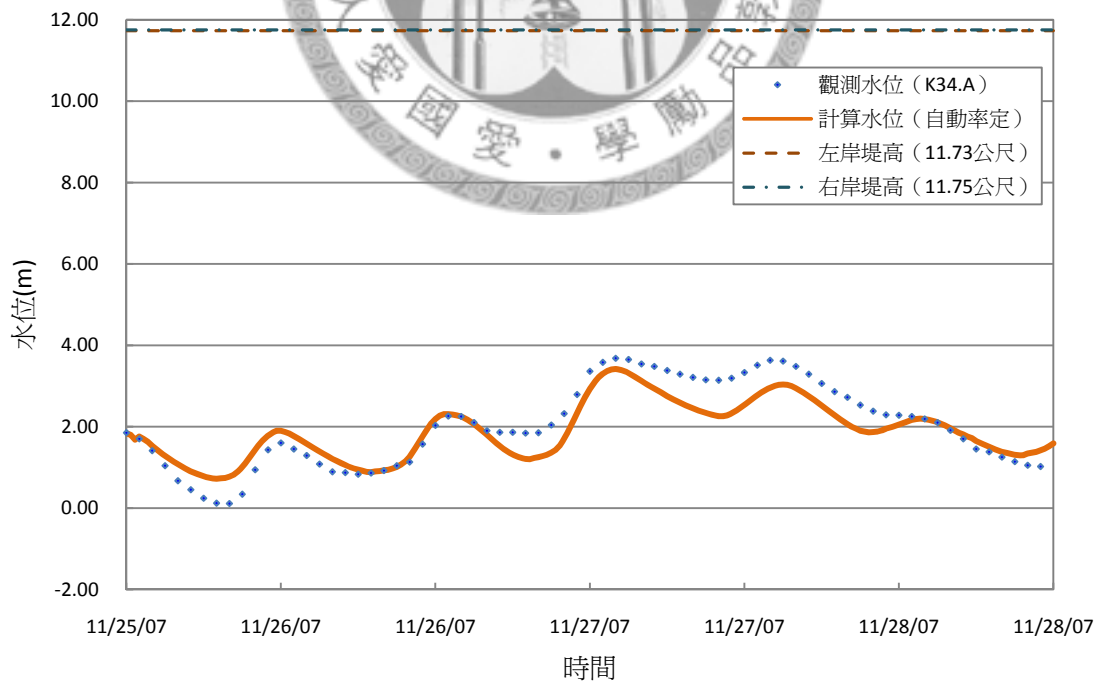


圖 4.77 南京水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

## 基隆河流域

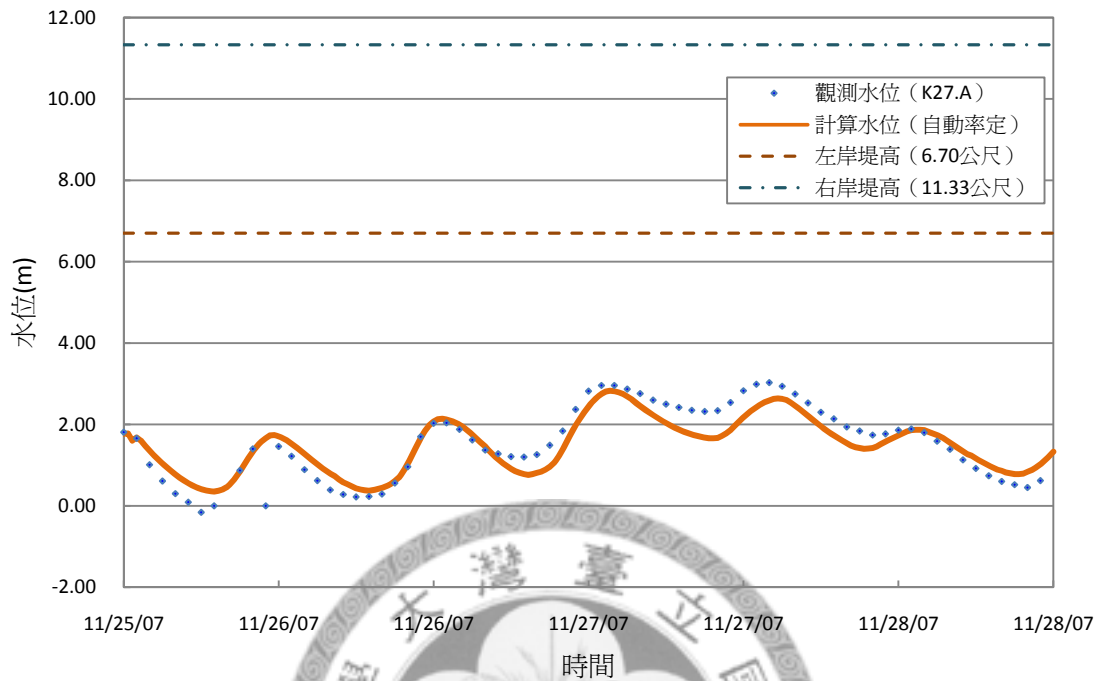


圖 4.78 陽光橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

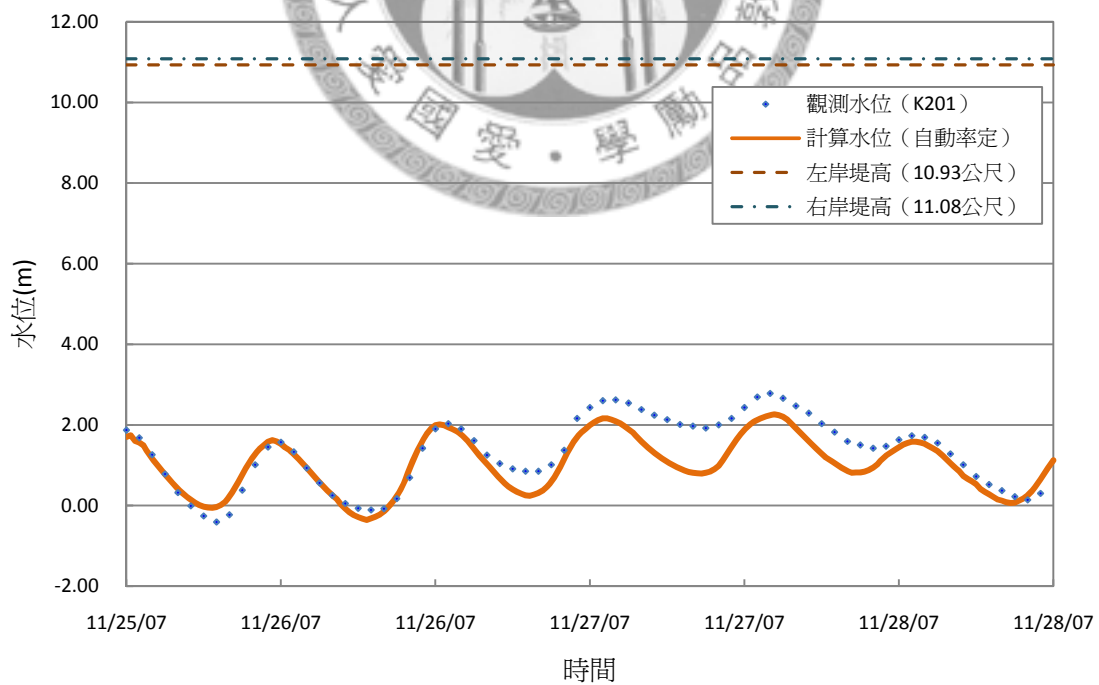


圖 4.79 北安水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

## 基隆河流域

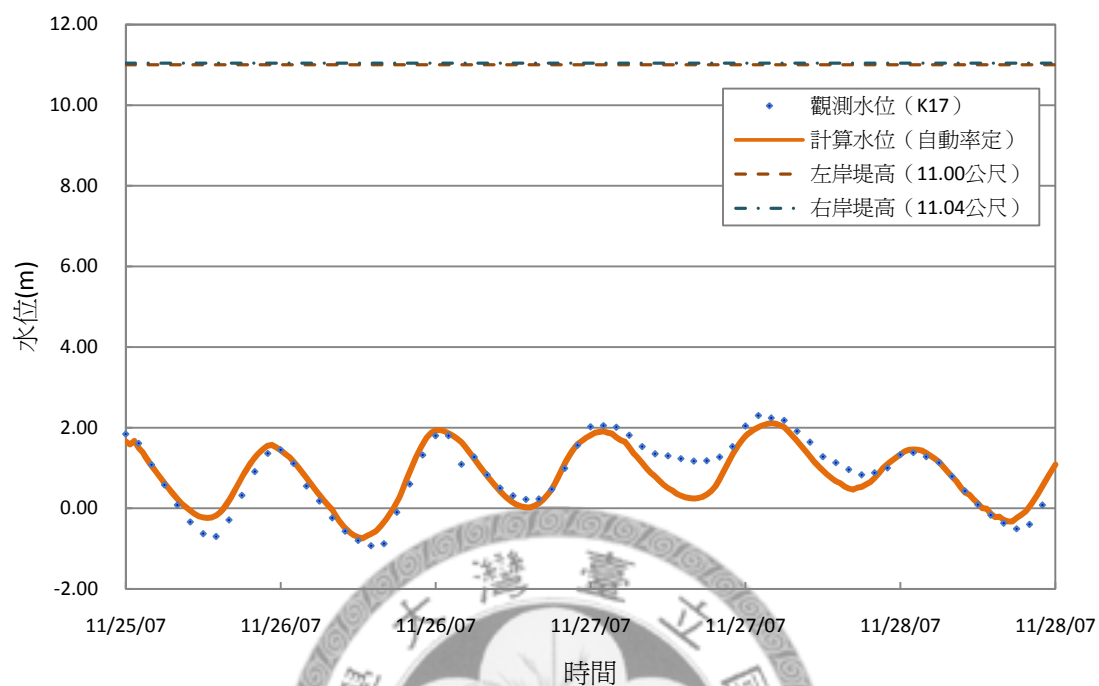


圖 4.80 建國水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

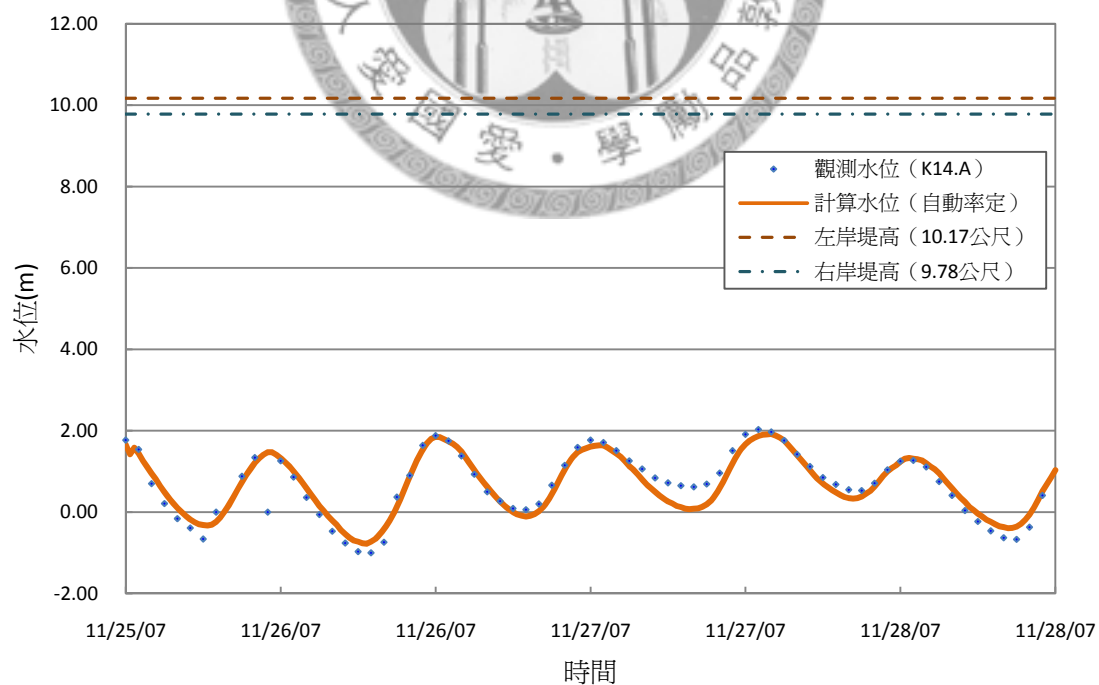


圖 4.81 承德橋水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

# 基隆河流域

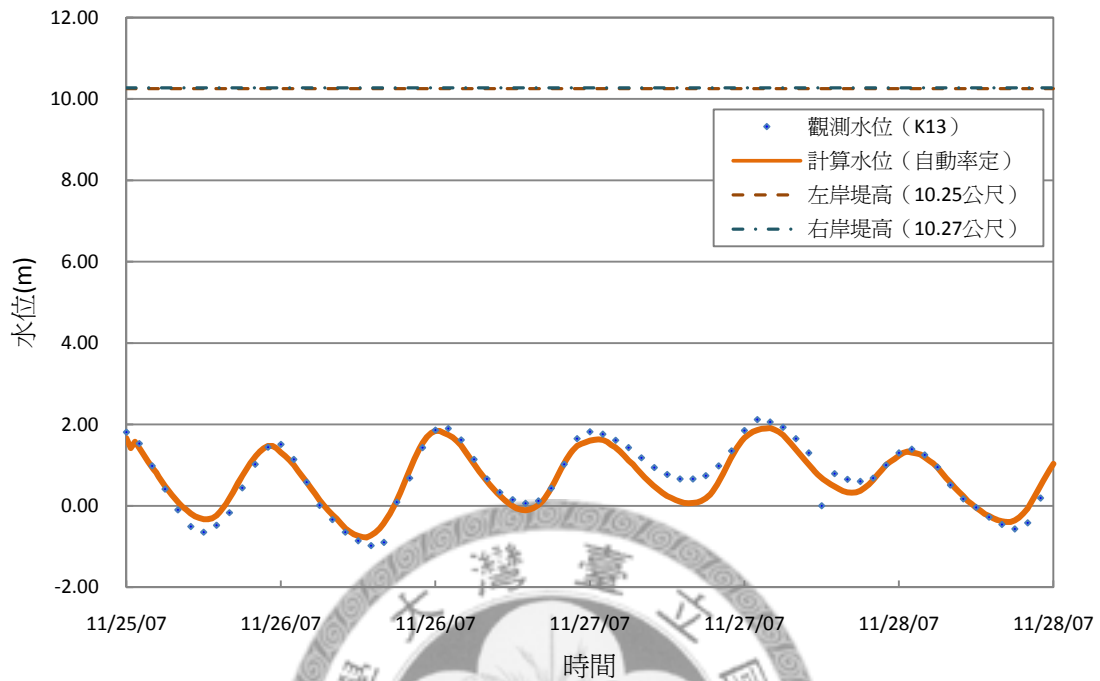


圖 4.82 劍潭水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

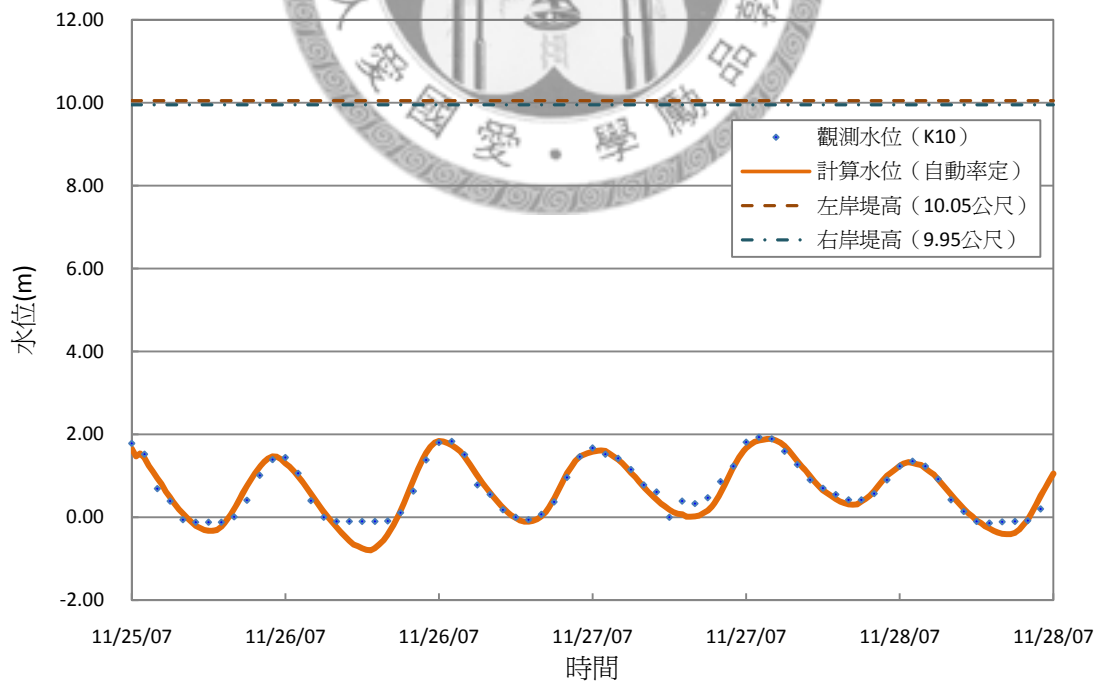


圖 4.83 社子水位站計算與觀測水位比較 (驗證：米塔颱風)

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結 論

1. 動態維度搜尋法可避免許多最佳化演算法本身仍有控制參數需要率定的問題，例如：模擬退火法的起始溫度、溫度遞減因子；遺傳演算法的突變機率、族群個數等。演算步驟簡易，便於操作，可將受到人員變動之影響程度降至最低。
2. 本研究仿照研究區域設計一個參數優選之測試案例，目的為排除觀測資料本身的不確定因素，測試結果證明動態維度搜尋法確實能在龐大的解空間中 ( $41^{16} \times 61^{24} \approx 10^{68}$ )，成功地搜尋出假設參數值，並且模擬出與假設相當密合之洪水歷程。
3. 由測試案例與實際率定所得之結果比較可知，在現實條件下所進行的參數優選，會受到觀測資料的誤差、河段分區選擇的不同等不確定性因素影響，因此難以獲得真實阻力係數值是可被預期的，但透過對研究區域進行分析，加以簡化所優選出的參數，仍可合理且有效地模擬出最接近實際情形的流況。
4. 本研究問題所使用的電腦硬體為 CPU 2.66GHz，RAM 2024MB，約 2 天即可完成參數優選。相較於近期黃怡君 (2006)，「實數編碼利基退火遺傳演算法應用於河川水理模式阻力參數自動率定之研究」，在相同條件下，到達收斂條件需時 7 天，顯示動態維度搜尋法除了具有強健的求解能力外，亦能縮短率定時間，提升效率。

## 5.2 建議

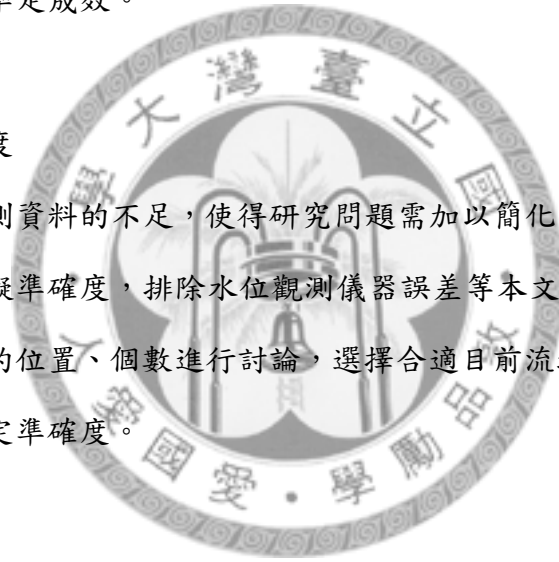
動態維度搜尋法對於河川阻力係數自動優選的研究，在不影響模擬準確度的前提下，於縮短率定時間上已經達到相當程度的突破，以下分別就這兩方面，提出可供未來改進的方向：

### 1. 縮短率定時間

對研究流域進行現地調查，了解各河段之植生分佈、河道特性等水道條件，以作為設定阻力參數上下限之依據，若能合理的限縮求解空間，如此應可獲得更佳的率定成效。

### 2. 提升模擬準確度

受限於觀測資料的不足，使得研究問題需加以簡化，造成不確定性因素產生，影響模擬準確度，排除水位觀測儀器誤差等本文無法抗拒之問題外，對於河段分佈的位置、個數進行討論，選擇合適目前流域條件的分段數，應有助於提升率定準確度。



## 參考文獻

1. Becker, L. and Yeh, W.W-G. (1972), "Identification of parameters in unsteady open channel flows" , Water Resources Research, 8 (4), pp. 956-965.
2. Becker, L. and Yeh, W.W-G. (1973), "Identification of multiple reach channel parameters" , Water Resources Research, 9 (2), pp. 326-335.
3. Behrangi et al. (2008), Comment on "Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration" by Bryan A. Tolson and Christine A. Shoemaker, Water Resour. Res., 44, W12603.
4. Lai, C.T. (1999), "Simulation of unsteady flows in a river system" (Operational manual), Hydrotech Research Inst., National Taiwan University.
5. Lai, C.T., Tsay, T.K., et al. (2009), "Real-time flood forecasting" , American Scientist, 97(2), doi:10.1511/2009.77.118
6. Cowan, W.L. (1956), " Estimating hydraulic roughness coefficients " , Agricultural Engineering, 37(7), pp. 473-475.
7. Henderson, F.M. (1966), "Open-channel Flow" , The Macmillan Publishing Co., Inc., New York, N.Y.



8. Wu, I.L., Tsay, T.K. and Lai, C.T. (2007), “An unsteady-flow simulation model for basin-wide river systems” , 2nd International Conference on Urban Disaster Reduction, Taipei, Taiwan, Nov. 27-29.
9. Lal Wasantha, A. M. (1995), “Calibration of riverbed roughness” , Journal of Hydraulic Engineering, 121(9), pp. 664-671.
10. Molga, M. and Smutnicki, C. (2005), “Test functions for optimization needs” , <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>
11. Strickler, A. (1923), “Beitraege zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen fuer Stroeme Kanaele und geschlossene Leitungen” , Mitteilungen des Eidgenoessischer Amtes fuer Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, 16.
12. Tsay, T.K. and Wu, I.L. (2008), “Development of Basin-Wide River Numerical Model and Dynamic Simulation for Flood Scenarios” , 6th Taipei International Digital Earth Symposium, Taipei, Taiwan, May 15-16.
13. Tolson, B. A. and Shoemaker, C. A. (2005), “Comparison of optimization algorithms for the automatic calibration of SWAT2000” , SWAT 2005 3<sup>rd</sup> International Conference, Zurich, Switzerland, July 13-15.
14. Tolson, B. A. and Shoemaker, C. A. (2007), “Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration” , Water Resour. Res., 43, W01413, doi:10.1029/2005WR004723

15. Chow, V.T. (1959), "Open-channel Hydraulics" , McGraw-Hill, New York, pp. 680.
16. 王如意、易任 (1992), "應用水文學", 茂昌圖書有限公司。
17. 林嘉佑 (2005), "應用模擬退火法於 QUAL2E 模式參數最佳化之研究", 碩士論文, 國立台灣大學生物環境系統工程學系。
18. 黃怡君 (2006), "實數編碼利基退火遺傳演算法應用於河川水理模式阻力參數自動率定之研究", 碩士論文, 國立台灣大學土木研究所。
19. 童慶斌 (2002), "啟發式演算法與水資源管理講義", 國立台灣大學生物環境系統工程學系, 永續發展研究室。
20. 詹明修 (2004), "實數編碼利基遺傳演算法應用於河川不恆定流模式阻力參數率定之研究", 碩士論文, 國立台灣大學土木研究所。
21. 楊尊華 (2001), "梯形明渠曼寧 n 值之參數檢定方法", 碩士論文, 國立台灣大學土木工程研究所。
22. 蔡丁貴、賴經都、簡振和、吳宜嶺 (2005), "全流域即時動態洪水預報模式之研發與應用—以淡水河為例, 子計畫一: 全流域河川洪水位即時動態模擬模式之研發 (I)", NSC93-2625-Z-002-015, 國科會補助研究計畫。
23. 賴經都、蔡丁貴等 (2002), "基隆河洪水預報模式建置計畫", W10D90C008, 經濟部水利署。

24. 經濟部水利署第十河川局網站 (2008), <http://www.wra10.gov.tw/>

25. 台北市政府工務局養護工程處雨量水位資訊系統網站 (2008),  
<http://www.heo.taipei.gov.tw/>

