

國立中央大學

水文科學研究所
碩士論文

淡水河口與近海三維水動力模式
之模擬與應用

指導教授：蔡武廷 博士

研究生：陳偉柏

中華民國九十四年七月



國立中央大學圖書館

碩博士論文電子檔授權書

(93年5月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

- ()**同意** (立即開放)
()**同意** (一年後開放)，原因是： _____
()**同意** (二年後開放)，原因是： _____
()**不同意**，原因是： _____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 陳偉柏

論文名稱：淡水河口與近海三維水動力模式之模擬與應用

指導教授姓名：蔡武廷 博士

系所：水文科學研究所 所 博士 碩士班

學號：92625004

日期：民國 94 年 06 月 21 日

備註：

1. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
2. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
3. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

摘要

河口及感潮河段為河川流域與近岸海洋水和物質交換所必經之道，所以對於此一河川水理狀況之瞭解可幫助預測污染物質自河川排放至近海的傳輸過程。淡水河系為台灣最大之感潮河川，其感潮河段包括三大支流，分別是大漢溪、新店溪及基隆河。淡水河系除了受潮汐與淡水流量所引起的正壓流 (Barotropic flow) 影響外，鹽分入侵所引致斜壓流 (Baroclinic flow) 是造成河口傳輸的另一重要機制。

本研究應用 UnTRIM (Unstructured grid Tidal, Residual, Intertidal Mudflat) 三維水動力數值模式對淡水河系及其近海進行潮流與鹽度之模擬，此模式是以不規則正交網格 (Unstructured orthogonal grid) 來模擬複雜的邊界外形，它的優點是可以只在重要的地方增加網格數目而不需要將整個模擬區域的網格數增加，能有效地降低電腦在模式運算中所耗費的時間。

模式演算時上游邊界分別是：城林橋 (大漢溪)、秀朗橋 (新店溪) 以及江北橋 (基隆河)，淡水河外海為下游邊界。本研究先以 M_2 潮為外海邊界潮汐的驅動力，初步檢定 Chezy 係數 (C_z)，再以五個分潮之綜合潮做細微調整，使模式模擬結果各分潮之振幅與相位角與實測數據之調和分析結果相近。模式檢定後以 2000 年實測數據來驗證，以實測之振幅及相位角為外海邊界條件，各流量站實測之日流量為上游邊界條件；比較各測站之實測與模擬結果之水位、流速和鹽度以及殘餘流速之時間序列變化後，顯示本三維水動力模式之正確性。

模式經檢定與驗證後，應用於探討淡水河系於上游流量為平均流量與 Q_{75} 低流量作用下之河口環流與鹽分分佈之比較；另模式亦應用於探討基隆河截彎取直前後對於基隆河殘餘流速與鹽分分佈之影響。

關鍵字：河口與近海； UnTRIM-3D 模式；水動力；鹽分；檢定與驗證；模式應用；截彎取直。

Abstract

The estuary is the primary conduit for the transport of water and material from its drainage basin to the coastal ocean. The ultimate fates of land-derived materials, such as pollutants, depend on the water movement in the estuaries. To predict the fate and transport of materials from land to the ocean requires the knowledge of water movement through this stretch of water body. The Danshuei River system is the largest estuarine system in Taiwan. It consists of three major tributaries: Tahan Stream, Hsintien Stream and Keelung River. In addition to the barotropic flows forced by the tide and river discharges, the baroclinic flow forced by seawater intrusion is another important transport mechanism in the Danshuei River estuarine system.

In this study, a three-dimensional hydrodynamic model (UnTRIM-3D) was used to simulate tidal current and salinity distributions in the Danshuei River estuarine system and adjacent coastal sea. The unstructured orthogonal grid in this model is adopted to fit complicated boundaries. It is flexible to permit local mesh refinements in areas of interest only and to reduce computational time.

The upstream boundaries of the computation domain are: Cheng-Ling Bridge (Tahan Stream), Hsiu-Lang Bridge (Hsintien Stream), Jiang-Bei Bridge (Keelung River) and downstream boundary is at the coastal sea. First, a single constituent M_2 tidal was used as forcing function at the coastal sea boundary for preliminary model calibration of the value of Chezy friction coefficients. The use of a single constituent tide expedites the extraction of tidal ranges from model outputs for comparison with prototype data. Five-constituent tidal was then used for fine-tune calibration by matching the observed amplitudes and phases of the five tidal constituents. Using the field data in 2000 for model verification, the model was run to simulate the prototype condition. The

comparisons between model results and field data of tidal elevation, current velocity, salinity, and residual current indicate that the model is accurate and suitable for the Danshuei River estuarine system.

After the model calibration and verification, the 3D model was applied to investigate the residual circulation and salinity distributions under mean and low (Q_{75}) flow conditions. The model was also used to evaluate the effects on residual current and salinity distributions in the Keelung River due to the channel regulation of Keelung River.

Key words: Estuary and coastal sea; UnTRIM-3D model; hydrodynamic; salinity; calibration and verification; model application; channel regulation.

目錄

摘要	I	
Abstract	II	
目錄	IV	
圖目錄	VI	
表目錄	IX	
第一章	導論	1
	1-1 前言	1
	1-2 研究目的	2
	1-3 文獻回顧	3
第二章	淡水河系及近海概述與水理資料蒐集分析	6
	2-1 淡水河系概況	6
	2-2 淡水河近海概述	7
	2-3 水文與水理等基本資料之蒐集與整理	8
	2-4 實測潮位資料之分析	8
	2-4-1 資料之篩選	8
	2-4-2 潮位調和分析	9
	2-5 潮波傳遞	10
	2-6 全潮測量流速數據分析	10
第三章	模式建立	16
	3-1 基本方程式	16
	3-2 邊界條件	18
	3-2-1 自由液面	18
	3-2-2 底部	19
	3-2-3 上游邊界	19
	3-3 紊流閉合模式	20
	3-3-1 垂直紊流黏滯係數垂直紊流擴散係數	20
	3-3-2 水平紊流黏滯係數水平紊流擴散係數	21
	3-4 f 平面	21
	3-5 數值網格的產生	21
第四章	模式之檢定與驗證	26
	4-1 模式之初步檢定	26
	4-2 綜合潮之細部檢定	28
	4-3 模式之驗證	28
	4-3-1 水理之驗證	28
	4-3-2 鹽度之檢定	29

	4-5 河口殘餘流與環流之分析	30
第五章	模式應用	66
	5-1 Q_{75} 流量與平均流量下之殘餘流速與鹽分入侵 終點	66
	5-2 基隆河截彎取直對殘餘流速與鹽度之影響	67
第六章	結論	81
參考文獻		83

圖目錄

圖 2-1	淡水河系之示意	14
圖 2-2	TSNOW 模式模擬分析之台灣海峽 M_2 分潮之等振幅與等相位圖	14
圖 2-3	淡水河各支流民國 89 年日流量	15
圖 2-4	淡水河系及外海水深圖	15
圖 3-1	不規則正交網格	23
圖 3-2	Argus One 網格生成軟體所產生淡水河系與外海之網格圖	23
圖 3-3	模式與實測深泓線之比較 (淡水河-大漢溪)	24
圖 3-4	模式與實測深泓線之比較 (新店溪)	24
圖 3-5	模式與實測深泓線之比較 (基隆河)	25
圖 4-1	UnTRIM 之數值網格與外海邊界圖	35
圖 4-2	淡水河-大漢溪模式模擬平均潮差與實測結果之比較	36
圖 4-3	新店溪模式模擬平均潮差與實測結果之比較	36
圖 4-4	基隆河模式模擬平均潮差與實測結果之比較	37
圖 4-5	淡水河河口實測水位與模式模擬水位之比較	38
圖 4-5	淡水河河口實測水位與模式模擬水位之比較 (續)	39
圖 4-6	土地公鼻實測水位與模式模擬水位之比較	40
圖 4-6	土地公鼻實測水位與模式模擬水位之比較 (續)	41
圖 4-7	台北橋實測水位與模式模擬水位之比較	42
圖 4-7	台北橋實測水位與模式模擬水位之比較 (續)	43
圖 4-8	入口堰實測水位與模式模擬水位之比較	44
圖 4-8	入口堰實測水位與模式模擬水位之比較 (續)	45
圖 4-9	新海橋實測水位與模式模擬水位之比較	46
圖 4-9	新海橋實測水位與模式模擬水位之比較 (續)	47
圖 4-10	中正橋實測水位與模式模擬水位之比較	48
圖 4-10	中正橋實測水位與模式模擬水位之比較 (續)	49
圖 4-11	大直橋實測水位與模式模擬水位之比較	50
圖 4-12	富基漁港實測水位與模式模擬水位之比較	51
圖 4-13	淡水河外海觀測樁實測水位與模式模擬水位之比較	51
圖 4-14	漲潮時之沿河道速度 (紅色箭頭所示)	52
圖 4-15	退潮時之沿河道速度 (紅色箭頭所示)	52
圖 4-16	全潮觀測流速與模式模擬結果之比較(關渡橋與台北橋)	53

圖 4-17	全潮觀測流速與模式模擬結果之比較(新海橋與中正橋)	54
圖 4-18	全潮觀測流速與模式模擬結果之比較(百齡橋)	55
圖 4-19	實測時序鹽度與模式模擬鹽度之比較	56
圖 4-19	實測時序鹽度與模式模擬鹽度之比較 (續)	56
圖 4-19	實測時序鹽度與模式模擬鹽度之比較 (續)	57
圖 4-20	河口環流示意圖	57
圖 4-21	淡水河河口殘餘流速之時序變化	58
圖 4-21	淡水河河口殘餘流速之時序變化(續)	58
圖 4-21	淡水河河口殘餘流速之時序變化(續)	59
圖 4-22	關渡橋殘餘流速之時序變化	60
圖 4-22	關渡橋殘餘流速之時序變化(續)	60
圖 4-22	關渡橋殘餘流速之時序變化(續)	61
圖 4-23	台北橋殘餘流速之時序變化	62
圖 4-23	台北橋殘餘流速之時序變化(續)	62
圖 4-23	台北橋殘餘流速之時序變化(續)	63
圖 4-24	模式模擬關渡之鹽分時序變化	64
圖 4-24	模式模擬關渡之鹽分時序變化(續)	64
圖 4-24	模式模擬關渡之鹽分時序變化(續)	65
圖 5-1	淡水河系與近海示意圖 (基隆河截彎取直後)	70
圖 5-2	淡水河系與近海示意圖 (基隆河截彎取直前)	70
圖 5-3	模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (淡水河-大漢溪)	71
圖 5-4	模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (新店溪)	71
圖 5-5	模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (基隆河)	71
圖 5-6	模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (淡水河-大漢溪)	72
圖 5-7	模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (新店溪)	72
圖 5-8	模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (基隆河)	72
圖 5-9	模式模擬平均流量下之殘餘流速 (淡水河-大漢溪)	73
圖 5-10	模式模擬平均流量下之殘餘流速 (新店溪)	73
圖 5-11	模式模擬平均流量下之殘餘流速 (基隆河)	73
圖 5-12	模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (淡水河-大漢溪)	74
圖 5-13	模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (新店溪)	74
圖 5-14	模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (基隆河)	74
圖 5-15	模式模擬基隆河截彎取直前後台北橋鹽度時序變化	75
圖 5-16	模式模擬基隆河截彎取直前後百齡橋鹽度時序變化	75

圖 5-17	模式模擬基隆河截彎取直前後百齡橋之頂層流速時序變化	76
圖 5-18	模式模擬基隆河截彎取直前後百齡橋之底層流速時序變化	76
圖 5-19	模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點（淡水河-大漢溪）	77
圖 5-20	模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點（新店溪）	77
圖 5-21	模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點（基隆河）	77
圖 5-22	模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點（淡水河-大漢溪）	78
圖 5-23	模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點（新店溪）	78
圖 5-24	模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點（基隆河）	78
圖 5-25	模式模擬平均流量下之殘餘流速（淡水河-大漢溪）	79
圖 5-26	模式模擬平均流量下之殘餘流速（新店溪）	79
圖 5-27	模式模擬平均流量下之殘餘流速（基隆河）	79
圖 5-28	模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速（淡水河-大漢溪）	80
圖 5-29	模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速（新店溪）	80
圖 5-30	模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速（基隆河）	80

表目錄

表 2-1	近海潮位資料調和分析之結果	12
表 2-2	淡水河系潮位資料調和分析之結果	13
表 4-1	淡水河系之平均潮差	32
表 4-2	以 M_2 分潮初步檢定結果	32
表 4-3	外海東、西邊界所使用之振幅與相位角	33
表 4-4	模式模擬與實測數據分潮振幅與相位角之比較	33
表 4-4	模式模擬與實測數據分潮振幅與相位角之比較 (續)	34
表 5-1	淡水河系上游邊界條件之淡水流量	69

第一章 導論

1-1 前言

河口 (Estuaries) 及感潮河川 (Tidal river) 是連繫海洋暨河川的關卡，因為水量充足、航運方便，水體利用價值高，往往成為人口集中、商業價值高之區域，世界上很多著名之大港及重要都市皆座落於河口或感潮河川上。工業革命後，由於工商發達，人口大量集中，人類對於河川的高度利用，很多河口及感潮河川之水體已呈不勝負荷之狀態，不僅水生環境與水生資源遭受破壞，甚至有污染嚴重者，水質惡劣到影響人體健康、都市景觀。故近數十年來，各工業化國家對河口及感潮河川的研究及整治，皆不遺餘力，主要是在求瞭解河口及感潮河川之水理及水質狀況，掌握水體之污染物涵容能力，以用來對水體做高度的有效利用，期能保持水體之清潔與水中之生態。

感潮河段是連接河川與海洋兩大具有其獨特性質體系的區域。上游河川的主要特色為兩側具有固體邊界、流體為淡水、沿著流向有底床坡度、且洪水波具有傳播之性質；下游為海洋，其特色為沒有固體邊界、流體為鹽水、沒有固定之流向、潮水波組成成份複雜。由於此兩大系統的交會，造成此處豐富且多變與複雜的生態環境，可提供人類食物、水源，並可作為連接海洋、內陸間運輸之管道，因此自古以來人類國際貿易的發源地多在河口。

河口區域是一個半封閉的沿海岸水體，與鄰近的海域自由流通，既具有內陸河流的特徵：如逕流流量的洪、中、枯水期等的季節變化，又有海洋的某些特徵：如潮汐的漲落，大、中、小潮的變化，而且還受風浪的作用，對流速會產生影響。同時，在河口區由於海水與淡水在此交會，兩者的密度不同，故會有鹽分入侵的問題，其水理特性亦特別複雜。

臺灣四面環海，對於河口資源利用頗多，相對地也對河口之環境造成影響。隨著都市人口之增長、工商業之發達、大型社區的開發等污染源之污染，河川水質不佳。繼而受感潮作用之影響，污染物於下游感潮河段往內推移、沈積，使河川與海洋污染情形與日俱增。要防治污染必需先瞭解污染物在河川與海洋中對流及擴散之情形，才能有效提出防治對策。

河口與近海水動力程序於複雜地形及底床變化中，通常包括三維潮流的作用，河口之潮汐環流及質量傳輸主要仍受到複雜地形及底床的影響，局部的地形及底床變化可以影響不同河口及近海之流況及物質之傳輸。因此，精確模擬因為潮汐、風及密度流所引致的河口及近海流況，數值模式必須能夠精確及有效地解決不同垂直邊界層的動力及複雜的地形及底床變化。

河口與感潮河段為河川流域及近海海洋水與物質交換必經之通道，淡水河系為台灣最大之感潮河川，其感潮河段包括三大支流：大漢溪、新店溪與基隆河，而淡水河近海因有八里污水處理與截流污水管線之海洋放流，排放之廢污水是否會隨著近岸潮流，將廢污水迴流入淡水河系是值得探討之問題。因此對於河口、感潮段與近海潮流動力之瞭解更為重要。

1-2 研究目的

感潮河川、河口及近岸海域之水理流況與鹽分分佈之模擬，對污染物在河、海間傳輸之瞭解甚為重要，此與河川水體生態保育及河口生態系統環境有著密切的關聯性。本研究將以三維水動力模式做為理論基礎，發展一適用於淡水河系、河口及近海三維水理與鹽分分佈模

式，以作為後續研究河口及感潮河段細泥傳輸的先驅工具。模式應用於探討淡水河河口及近海之水動力特性與鹽分分佈變化，模式建立後，將以實測之水理數據（水位、流速等）及鹽分分佈數據，作為三維模式檢定與驗證之依據。

1-3 文獻回顧

國外有關河口水理之研究 Pritchard (1952, 1954, 1956)發表其在 James River 及 Chesapeake Bay 的研究成果後，河口感潮川之水理研究如雨後春筍般的發展，發表之文獻也日益增多，重要學者有 Hansen and Rattray (1965, 1966, 1967)對河口環流所作之理論解析，Ippen and Halem (1966) 對潮波傳遞之探討，Ianuiello (1977)推導潮流所引起之餘流(Residual Current)、Haas (1977)首先闡述大潮、小潮週期之變化對鹽分垂直分佈之影響，Elliott (1978) 觀測河口環流隨氣象因子化，Dyer (1973, 1977, 1989) 首先重視河道彎曲及斷面變化對側向環流(Transverse Circulation)之形成，以及 Pritchard (1989)所作之綜合性討論及河口水理研究之展望。不久後 Kuo et al. (1990)對河口環流之穩定性及其與淡水河流量之關係有更深入之研究。

由於電腦科技的快速發展，國外目前有許多的河口及近海三維數值模式，例如用於美國東岸邊界適用格網法之三維水理模式 (Sheng, 1989)，Chesapeake Bay 之 CH3D-WES (Curvilinear Hydrodynamics in Three-Dimensions-Waterways Experiment Station, Johnson et al., 1993)，三維邊界適合河口環流模式 (Muin and Spaulding, 1997)，曲線三維多層河口及海岸模式 (Wang, 1994)，HEM-3D (Three-dimensional Hydrodynamic-Eutrophication Model, Park et. al., 1995)，POM (Princeton Ocean model, Mellor, 1996)，UnTRIM

(Unstructured Grid for Tidal, Residual, Inter-tidal Mudflat-3D, Casulli and Walters, 2000), ECOM (Estuarine, Coastal and Ocean Model, Blumberg, 2001), GLLVHT (Generalized Longitudinal Lateral and Vertical Hydrodynamic and Transport Model, Edinger et. al., 2003), LESS3D (Lake & Estuarine Simulation System in Three-Dimensions, Chen, 2004) ELCIRC (Eulerian-Lagrangian Circulation Model Zhang et. al., 2004)。

有關國內河口水理之研究，大都侷限於潮流與河川淡水流之觀測與分析，較少作河口環流與鹽分分層之觀測與研究，有鑑於淡水河流經台北都會區之重要性，台灣省水利局（現已併入經濟部水利署）於 1965 年開始設立觀測站，觀測河川水理狀況，復於 1969 年成立「淡水河水理觀測隊」對淡水河之水理作長期觀測，每年擇期觀測全潮潮水位及流速之變化並測量河道斷面，數十年來累積不少資料。又台北區衛生下水道規劃小組於 1969 年對淡水河系之河川水質作系統性之長期觀測。在數據分析方面的有前經濟部水資會（現已併入經濟部水資源局，後更名為經濟部水利署）對土地公鼻及獅子頭的潮水位作調和分析，計算各主要分潮之振幅與相差，另有張瑞津、石再添（1989）對淡水河系感潮段作一系列的觀測與數據分析，描述潮波之傳播，並簡略歸納海水鹽分之分佈狀況，是國內對河口及感潮河川作較系統性的研究之一。

國內數值模式之發展，早期有許時雄（1969）採用河口與關渡兩個斷面，寫成方程式的差分式之初步研究，另歐陽嶠暉用 Camp（1963）之方程式和台北區衛生下水道規劃小組蒐集之數據，對淡水河溶氧分佈情形加以研究。對於淡水河感潮河段水理數值模式之廣泛利用，主要在 1980 年之後，包括顏清連與許銘熙（1982），前經濟部水資會

(1983), 郭振泰與陳樹群(1984), 溫清光(1988), 洪政豐(1988), 陳筱華(1989), 許銘熙、張尊國、柳文成與連上堯(1989, 1990), 柳文成(1990), 李禎昌(1990), 王順明(1992), 陳建維(1994), 李鴻源(1994), 劉景毅(1999)等。

上述國內發展之河口與感潮河川之數值模式, 無法模擬河口鹽分分層及河口環流現象, 及至近期許銘熙、郭義雄、郭振泰及柳文成(1995, 1996, 1997), 柳文成(1998)才發展出淡水河系之感潮河川及河口垂直二維模式, 可用以模擬淡水河系之水理狀況、鹽分分佈及河口環流現象。由於垂直二維模式無法模擬淡水河近海之水理及鹽分分佈, 仍需要三維模式將河口邊界推展至近海, 使得河口與近海聯成一系予以模擬。

第二章 淡水河系及近海概述與水理資料蒐集分析

2-1 淡水河系概況

淡水河位於台灣北部，源於標高 3,529 公尺之品田山，主流自發源地至出海口之平均坡降約四十五分之一；整個河系流域面積 2,726 平方公里，就流域面積及河流長度而言，則次於高屏溪及濁水溪，為全省第三大河川。歷年平均逕流量則僅次於高屏溪，淡水河流域由三條主要支流匯流而成，為大漢溪、新店溪及基隆河(如圖 2-1 所示)，其中南北向之大漢溪及新店溪於江子翠匯流後構成淡水河本流，流至關渡再與東西向之基隆河匯流，最後在淡水鎮油車口附近流入台灣海峽。

淡水河系河道總長約計 327.6 公里，三條支流中以大漢溪為最長，全長約 135 公里，流域面積約 1163 平方公里，主要支流有三峽河與橫溪。新店溪全長約 84.6 公里，流域面積 916 平方公里，其主要支流為北勢溪與南勢溪，兩溪於龜山下游匯合後始稱為新店溪。基隆河發源於台北縣菁桐山，流經瑞芳鎮、基隆市之暖暖區、七堵、汐止，再沿著台北市內湖與南港交界，由內湖與台北市舊市區之邊界進入士林，最後沿著士林、北投交界，在關渡附近與淡水河匯流。主流全長 87 公里，流域面積 501 平方公里，為三條支流中流量最小者。大漢溪與新店溪在江子翠匯流後始稱淡水河，自匯流處至出海口長 21 公里，流域面積 146 平方公里。

就流域區之雨量而言，以基隆河流域年雨量 3,969 公厘為最高，其次為新店溪流域為 3,251 公厘，而以大漢溪流域 2,430 公厘最小。就流量而言，淡水河流域水位流量觀測始於民國 25 年，歷年來共設水位站 27 處，流量站(包括水位流量站及流量站)48 處，目前淡水河

流域內有 14 處水位站及 20 處流量站仍在繼續觀測中。根據各觀測站的統計分析得知，淡水河流域三支流之流量以新店溪最大，大漢溪次之，而以基隆河最小；枯水期則略有不同，大漢溪與新店溪為每年十一月至翌年五月，而基隆河則為三月至八月。

淡水河本流全屬感潮河段，而大漢溪感潮範圍遠至城林橋附近，故淡水河至大漢溪主流感潮長度約 32 公里，其河床坡度於浮洲橋以上急劇變陡且河床漸高於海平面，平均潮差於浮洲橋以上逐漸變小。新店溪自新店溪口至秀朗橋上游 3 至 4 公里處均屬感潮河段，長約 13 公里，新店溪河床自秀朗橋以上逐漸增高且漸高於海平面。至於基隆河自基隆河口至汐止江北橋均屬感潮河段，感潮終點約為江北橋以上至五堵水文站間，感潮長度約 31 公里，平均潮差自江北橋以上逐漸減小。淡水河系之潮汐動力源自河口潮波由河口向上游傳播，河口站接近外海，其水位之變動主要為主太陰半日潮(M_2 tide)，常年平均潮差 2.17 公尺，大潮潮差可高達 3 公尺，潮波向內傳播，因受河道收縮與潮波反射等因子之影響，潮差有增加之趨勢，在新店溪中正橋處，高潮水位比河口高潮水位高，低潮水位則比河口處低，而高低潮的時間比河口站晚，新店溪秀朗橋已接近感潮段之終點，其感潮現象相當微弱(柳文成等, 2003)。

2-2 淡水河近海概述

淡水河近海的地形變化由近岸向外海處逐漸加深，潮波的傳遞是由北海岸向南傳遞。圖 2-2 為海科中心台灣海峽即時預報模式(Taiwan Strait Nowcast System, TSNOW)所模擬之結過經分析所得 M_2 之分潮之等振幅線與等相位角線，由等相位角線可知潮波由台灣東北角向南

傳播，至台灣中部因北向南及南向北潮流交會，振幅高達 2 公尺。中央氣象局於淡水河沿岸近海之潮位觀測站有桃園竹圍、淡水漁港、石門麟山鼻，非中央氣象局的潮位測站則有台電核一廠站；另國科會海洋科學研究中心於富基漁港及淡水河外海之觀測樁設有潮位觀測站。

2-3 水文與水理等基本資料之蒐集與整理

三維數值模式所需資料包括幾何斷面形狀、潮位資料、上游流量記錄，圖 2-3 為淡水河系各支流民國 89 年之日流量(包括有三鶯橋、三峽河、橫溪、秀朗橋、五堵站等非感潮段最下游之流量站)、全潮觀測流量、水位、流速等資料均取自經濟部水利署第十河川局。本研究蒐集淡水河、大漢溪、新店溪及基隆河民國 89 年之幾何斷面資料，由河川的大斷面資料再加以內差，形成較密的河川大斷面，以便於後續數值網格的產生；至於近海之水深資料則由國家海洋科學研究中心的網站下載後加以整理分析，淡水河系與其近海之水深圖見圖 2-4 所示，圖中深度單位為公尺。本研究為考慮模擬實際狀況，亦由中央氣象局蒐集 89 年之淡水站風象與風速資料，進行分析並輸入三維模式中予以模擬。而逐時鹽分資料則由工研院能資所蒐集，以上資料將可提供模式檢定與驗證之用。

2-4 實測潮位資料之分析

2-4-1 資料之篩選

由經濟部水利署第十河川局蒐集之民國 89 年(2000 年)逐時潮位資料包括有河口、土地公鼻、台北橋、入口堰、新海橋、中正橋、大直橋等站，因潮位資料中偶有因淤砂或測站附近施工而短缺或有明顯

不合理值，予以剔除不用；偶有部分時段無水位紀錄資料者均予以捨棄。另外由中央氣象局蒐集淡水河近海沿岸民國 89 年之潮位逐時資料，包括有桃園竹圍、淡水漁港、石門鄉麟山鼻等測站，及富基漁港及淡水河外海觀測樁之潮位觀測站。利用上述潮位站逐時觀測資料加以分析。

2-4-2 潮位調和分析

水面在高、低潮間之水位差稱為潮差(Tidal Range)，潮差會受到地形限制或大小潮之影響而有不同之變化。由於日、月、地球之相對位置亦有長則一年，短至半天的週期變化，故利用調和分析分離出不同之週期分潮對潮差之影響。

影響台灣外海之主要分潮為 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 及 O_1 分潮(Jan et al., 2001)，其分潮週期分別為 12.42 小時、12 小時、12.66 小時、23.93 小時及 25.82 小時，其中 M_2 、 S_2 及 N_2 分潮屬於半日潮， K_1 及 O_1 分潮為全日潮。為了分析各種週期分潮之影響，本研究分別選用 5 個分潮作調和分析，其中調和分析的結果會得到殘餘水位差(Residual Water Surface Elevation Difference)是由調和分析所得綜合潮之水位與實測水位之差的均方根，即是；

$$RWSED = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\eta(t_i) - \eta_p(t_i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

式中， $\eta(t)$ 為實測水位； $\eta_p(t)$ 為綜合潮之水位；

$\eta_p(t) = \bar{\eta} + \sum_{k=1}^m a_k \cos(w_k t - \theta_k)$ 。 $\bar{\eta}$ 為實測平均水位分潮； w_k 為分潮之角速度

(Angular velocity)，即是 $\frac{2\pi}{T_k}$ ， T_k 為個分潮之週期， a_k, θ_k 分別為調和

分析後所得之振幅及相位角； m 為使用之分潮數目。潮波能量比

(Energy ratio)則代表綜合潮所代表之能量與實測水位波動能量之百分比，可表示為(Hsu et al, 1999)：

$$ER = \frac{\sum \left[\eta_p(t_i) - \bar{\eta} \right]^2}{\sum \left[\eta(t_i) - \bar{\eta} \right]^2} \times 100\%$$

若殘餘水位差愈小，潮波能量比愈趨近於1.0，意即綜合潮愈接近於實測水位高程。表2-1與表2-2為調和分析後所得之結果，分別為近海與淡水河主流、大漢溪、新店溪及基隆河各潮位測站五個分潮之分潮振幅及相位角。

2-5 潮波傳遞

潮波自外海沿河道往上游傳播，在不考慮河床摩擦力之假設下，潮波傳播速度受河流水深及流速之影響，可依重力波理論估計：

$$V_w = \sqrt{gh} - V_f$$

式中， V_w ：潮波傳波速度 (L/T)；

V_f ：淡水流速 (L/T)；

h ：水深 (L)。

在一般常流狀況，淡水流速比 \sqrt{gh} 小得多，故假設 $V_w \approx \sqrt{gh}$ ，所以低潮傳播速度較高潮為慢，因為低潮時水位較高潮為淺。

2-6 全潮測量流速數據分析

經濟部水利署第十河川局於民國 89 年 5 月 5 日於淡水河系不同

之測站斷面(Cross section)進行全潮測量，每半小時量測一次，延續一個潮汐週期，在水深方向量測 2 個測點，分別是 0.2 與 0.8 倍之水深，在寬度方向依河寬之大小，於每個斷面設置四至六艘測船，其全潮量測之測站有關渡橋、台北橋、新海橋、中正橋及百齡橋。本研究依據全潮量測資料作為模式對流速(Barotropic flow)檢定及驗證之數據。

表 2-1 近海潮位資料調和分析之結果

分潮	桃園竹圍		淡水漁港		石門麟山鼻	
	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)
M_2	123.59	178.98	104.41	177.52	75.74	177.18
S_2	34.52	-5.50	28.56	-9.99	20.10	-12.97
N_2	22.52	-80.13	20.19	-81.42	14.61	-87.21
K_1	21.20	-113.92	20.72	-118.98	20.11	-119.99
O_1	17.48	75.02	17.26	71.48	17.25	67.58

分潮	淡水河外海觀測樁		富基漁港	
	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)
M_2	107.40	176.18	68.84	170.18
S_2	30.51	-8.20	17.93	-17.04
N_2	22.04	-75.26	15.16	-102.76
K_1	22.05	-125.00	22.72	-119.00
O_1	17.35	68.47	17.54	68.25

表 2-2 淡水河系潮位資料調和分析之結果

分潮	淡水河河口		土地公鼻		台北橋	
	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)
M_2	105.68	179.34	104.83	-168.62	103.45	-166.20
S_2	29.02	-8.10	26.21	4.88	24.44	11.29
N_2	19.97	-81.79	17.98	-67.98	20.06	-63.02
K_1	20.76	-117.70	17.10	-113.65	14.10	-111.14
O_1	17.01	72.60	13.27	76.35	10.45	68.47

分潮	入口堰		新海橋		中正橋		大直橋	
	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)	振幅 (公分)	相位角 (度)
M_2	104.44	-149.32	103.27	-154.36	102.22	-155.18	95.94	-143.95
S_2	26.22	31.32	26.14	27.10	28.15	24.56	22.36	39.43
N_2	17.68	-48.09	18.55	-53.66	19.86	-53.74	14.24	-41.62
K_1	14.68	-104.72	14.50	-106.86	16.15	-106.56	11.80	-92.19
O_1	11.15	84.08	11.75	80.50	12.61	84.38	11.32	85.83

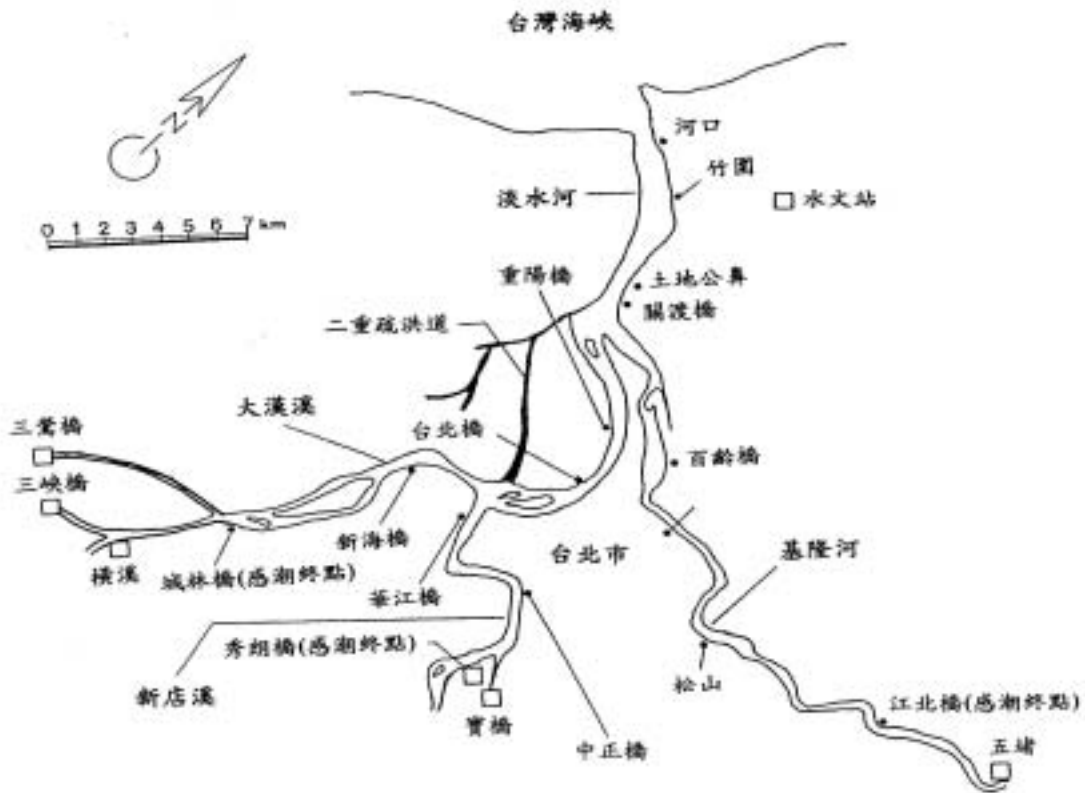


圖 2-1 淡水河系之示意

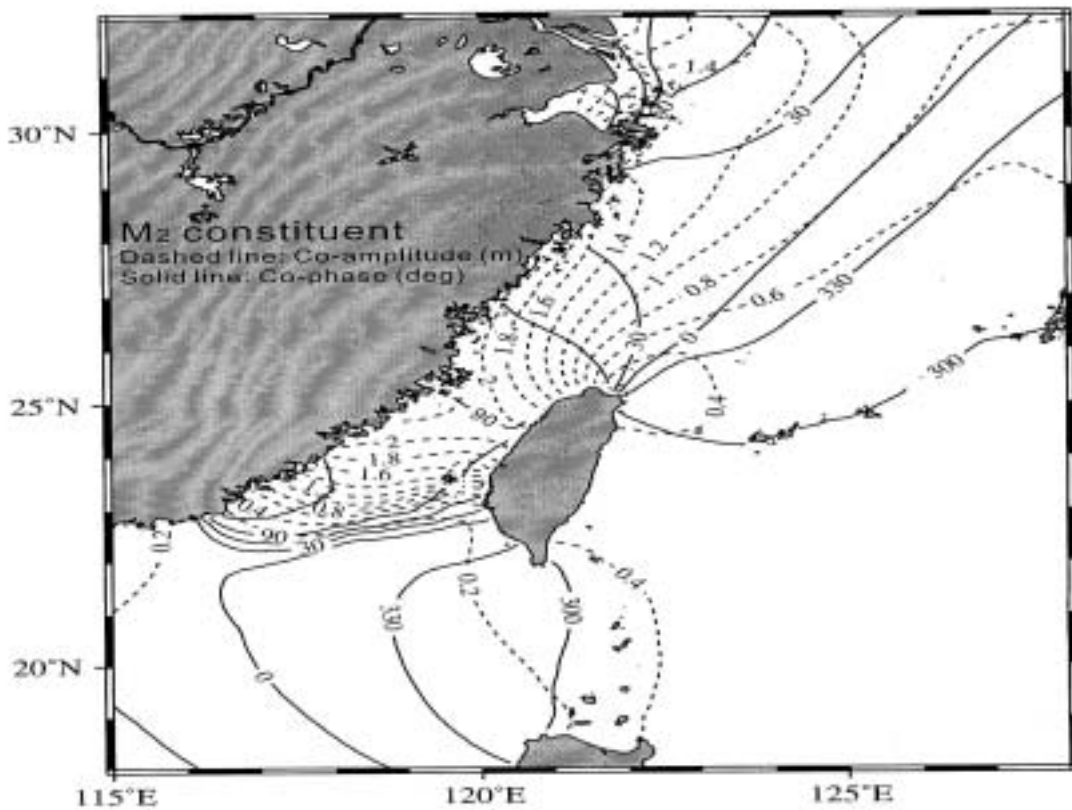


圖 2-2 TSNOW 模式模擬分析之台灣海峽 M_2 分潮之等振幅與等相圖

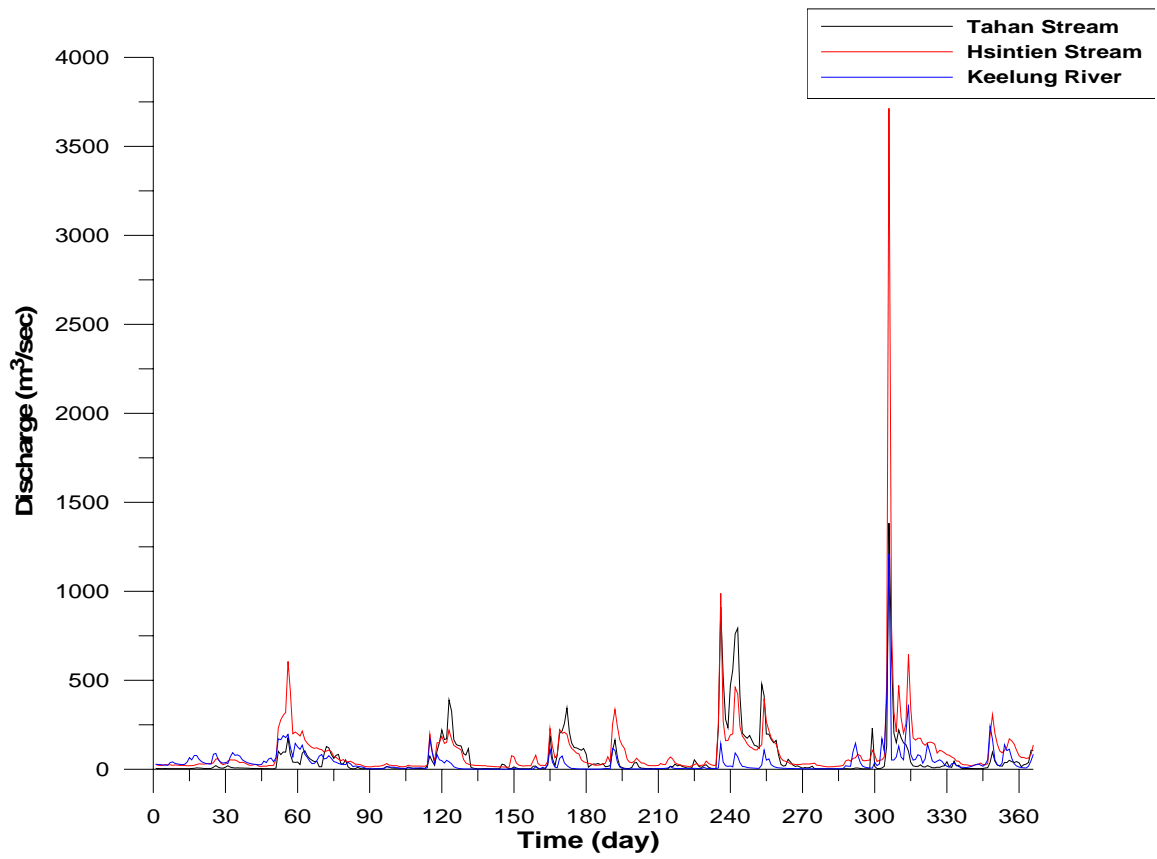


圖 2-3 淡水河各支流民國 89 年日流量

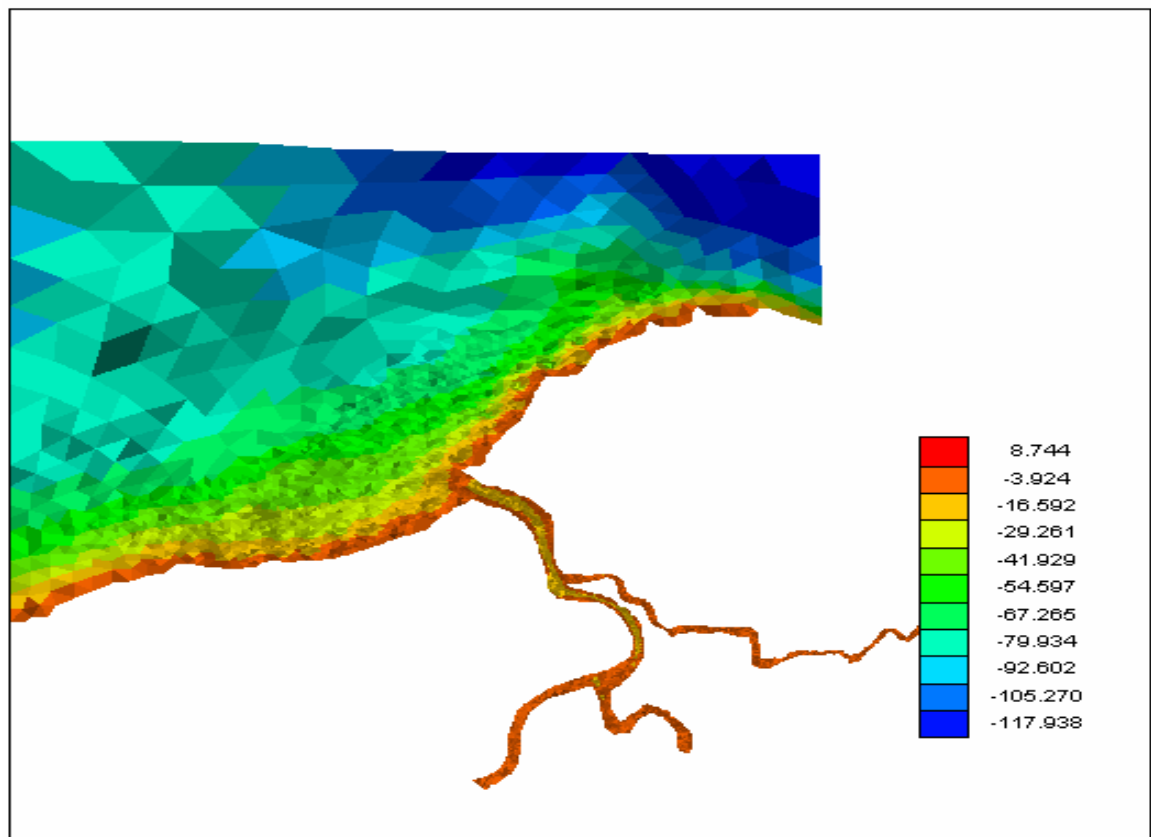


圖 2-4 淡水河系及外海水深圖

第三章 模式建立

本研究採用 Casulli (2002) 所發展的三維水動力模式 UnTRIM (Unstructured grid for Tidal, Residual, Inter-tidal Mudflat), 它的特點是使用不規則正交網格 (unstructured orthogonal grid), 其定義為每一各多邊形的邊線既是邊界線, 亦是鄰近多邊形的邊線, 且假設每一個多邊形裡均存在一個點, 稱之為中心點, 而相鄰多邊形的中心點之連線與多邊形之邊線是正交的, 若此中心點位於多邊形之外, 則將其與鄰近之多邊形結合成一個新的多邊形, 無論是三角形或四邊形均須位於一圓內, 見圖 3-1; 此不規則網格可以擬合複雜的邊界外型, 能於重要部位加密網格, 而無須將整個模擬區域的網格加密, 可大大節省電腦運算時間, 另外亦可求解靜水壓 (hydrostatic) 和非靜水壓 (non-hydrostatic) 的三維動量方程式。

3-1 基本方程式

Casulli (2002) 發展之三維水動力模式可模擬流場狀況 (水位、流速) 及鹽分濃度。採用三維垂直座標, 以河口方向為 X 軸, 水平面上垂直 X 軸為 Y 軸, 垂直向上為 Z 軸。

基本方程式如下：

1. 不可壓縮流(incompressible flow)之動量方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{\partial p}{\partial x} + V^h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(V^v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3-1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{\partial p}{\partial y} + V^h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(V^v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3-2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + V^h \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(V^v \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \frac{\rho}{\rho_0} g \quad (3-3)$$

上式中壓力項 p (normalized pressure) 可表示成 :

$$p(x, y, z, t) = p_a(x, y, t) + g[\eta(x, y, t) - z] + g \int_z^\eta \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} d\zeta + q(x, y, z, t) \quad (3-4)$$

代入(3-1)-(3-3)可改寫成下列之動量方程式 :

$$\frac{du}{dt} - fv = -\frac{\partial p_a}{\partial x} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial q}{\partial x} - g \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_z^\eta \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} d\zeta \right] + V^h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(V^v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3-5)$$

$$\frac{dv}{dt} + fu = -\frac{\partial p_a}{\partial y} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial q}{\partial y} - g \frac{\partial}{\partial y} \left[\int_z^\eta \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} d\zeta \right] + V^h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(V^v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3-6)$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{\partial q}{\partial z} + V^h \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(V^v \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (3-7)$$

本研究為靜水壓假設，故 (3-7) 式可省略且 $q = 0$

2. 連續方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3-8)$$

將 (3-8) 垂直積分液面到底部的深度可得自由液面方程式 :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_{-h}^\eta u dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\int_{-h}^\eta v dz \right] = 0 \quad (3-9)$$

3. 質量守衡方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (uC)}{\partial x} + \frac{\partial (vC)}{\partial y} + \frac{\partial [(w - w^s)C]}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K^h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K^h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K^v \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (3-10)$$

4. 狀態方程式

$$\rho = \rho_0(1+KS) \quad (3-11)$$

式中：

u 、 v 、 w ：為流速在 x 、 y 、 z 方向之分量 (LT^{-1})；

f ：柯氏參數；

V^h 、 V^v ：水平與垂直之紊流黏滯係數 (L^2T^{-1})；

p ：壓力 ($ML^{-1}T^{-2}$)；

p_a ：大氣壓力 ($ML^{-1}T^{-2}$)；

q ：非靜水壓力 ($ML^{-1}T^{-2}$)；

g ：重力加速度 (LT^{-2})；

ρ 及 ρ_0 ：鹽水密度及淡水密度 (ML^{-3})；

η ：自由液面高於平均海平面之高度 (L)；

h ：平均海平面以下之深度 (L)；

C ：任意傳輸物之濃度 (ML^{-3})；

K^h 及 K^v ：水平及垂直擴散係數 (L^2T^{-1})；

w^s ：傳輸物之沉降速度 (LT^{-1})；

K ：常數 ($7.8 \times 10^{-4} \text{ppt}^{-1}$)；

S ：鹽分之濃度 (ppt)。

3-2 邊界條件

3-2-1 自由液面

(1) 動量方程式在自由液面之邊界條件：

$$V^v \frac{\partial u}{\partial z} = \gamma_T (u_a - u) ; V^v \frac{\partial V}{\partial z} = \gamma_T (V_a - V) ; \text{在 } z = \eta \text{ 處}$$

式中， u_a 、 v_a 為風速在 x 及 y 方向分量

$$\gamma_T = r_T \sqrt{(u_a - u)^2 + (v_a - v)^2}$$

r_T ：風應力係數

$$r_T = \frac{\rho_a}{\rho_0} \times \left(0.63 + 0.066 \sqrt{u_a^2 + v_a^2} \right) \times 10^{-3} \quad (\text{Smith and Banke, 1975})$$

式中， ρ_a 為空氣密度 (ML^{-3})

(2) 質量傳輸方程式之自由液面邊界條件

$$K^v \frac{\partial C}{\partial z} - (w - w^s) C = \alpha_T + \beta_T (C_T - C) ; \text{在 } z = \eta \text{ 處}$$

模式中假設無通量條件 (no-flux condition)

因此， $\alpha_T = \beta_T = C_T = 0$; C_T ：頂部濃度。

3-2-2 底部

(1) 動量方程式在底部之邊界條件

$$V^v \frac{\partial u}{\partial z} = \gamma_B u ; V^v \frac{\partial v}{\partial z} = \gamma_B v ; \text{在 } z = -h \text{ 處}$$

$$\gamma_B = r_B \sqrt{u^2 + v^2}$$

$r_B = \frac{g}{C_z^2}$; C_z ：Chezy 係數。

(2) 質量方程式在底部之邊界條件

$$-K^v \frac{\partial C}{\partial z} + (w - w^s) C = \alpha_B + \beta_B (C_B - C) ; \text{在 } z = -h \text{ 處}$$

模式中假設無通量條件 (no-flux condition)

$\alpha_B = \beta_B = C_B = 0$; C_B : 底部濃度。

3-2-3 上游邊界

上游邊界位於感潮河段終點，故可輸入河川流量於模式中，進行運算。

3-2-4 下游邊界

由於模式之下遊邊界延伸至外海，故海面高程使用在不同邊界網格輸入不同調和函數（振幅與相位角）來模擬海面水位高程。

3-3 紊流閉合模式

3-3-1 垂直紊流黏滯係數與垂直紊流擴散係數

垂直紊流黏滯係數 (V^v) 及垂直紊流擴係數 (K^v) 會受到流速、河道相對粗糙度以及垂直分層的強烈影響。

Rossby and Motgomery (1935) 提出混合長度形式：

$$V^v = \alpha \cdot H^2 \left(1 - \frac{H}{h} \right)^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \phi_M (R_i) \quad (3-12)$$

$$K^v = \alpha \cdot H^2 \left(1 - \frac{H}{h} \right)^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \phi_S (R_i) \quad (3-13)$$

其 H 為離水面之距離；

α 為實驗常數；

ϕ_M 與 ϕ_S 分別是動量穩定函數與質量穩定函數。

R_i 為判斷穩定度之 Richardson number 定義如下：

$$R_i = -\frac{g}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^{-2}$$

Richardson number 代表浮力與慣性力之比值。

ϕ_M 與 ϕ_s 一般形式為 (Bowden & Hamilton, 1975 ; Bfumberg 1986)

$$\phi_M = (1 + \beta_M R_i)^{q_M} \quad (3-11)$$

$$\phi_s = (1 + \beta_s R_i)^{q_s} \quad (3-12)$$

式中 β_M 、 β_s 、 q_M 和 q_s 為經驗所得之常數，在數值模式及本研究中則是透過模式檢定來決定。其中 q_M 及 q_s 本研究採用 Munk-Anderson (1948) 所提出之值， $q_M = -1/2$ ， $q_s = -3/2$ 。這是表示在一個穩定的密度下垂直的紊流質量交換之減少會大於垂直的紊流動量交換之減少。 β_M 與 β_s 可以透過守恆性物質（如鹽分）在模式結果與實測結果之比較來檢定。另外因密度結構在動量和質量（鹽分）的影響差異已經包含在 q_M 及 q_s 的選擇上，所以本研究假設 $\beta_M = \beta_s$ 。

3-3-2 水平紊流黏滯係數與水平擴散係數

水平紊流係數 (V^h) 與水平擴散係數 (K^h) 在模式中使用常數，在值約介於 $1 \sim 10 \text{ m}^2/\text{sec}$ (Talbot, 1974)，將經由模式檢定求得。

3-4 f 平面

在水平距離小於 100 公里(總模擬面積小於 100×100 平方公里)時，可以假設在一平面上作業，此一平面稱作 f 平面 (f-plane)，此時柯氏參數 (Coriololis parameter) f 可以假設為一常數：

$$f = 2\Omega \sin \Phi \quad (3-13)$$

Φ 為此一平面之中心緯度值；

Ω 為在此一緯度之地球自轉角速度。

3-5 數值網格的產生

三維數值模式之計算很重要的步驟是數值格網的建立，因模式涵蓋淡水河系與外海，在產生正交(Orthogonal)的網格並不容易，本研究使用 Argus One 網格生成軟體，使用不規則正交網格(Unstructured orthogonal grid)來建立淡水河系與其近海之數值網格見圖 3-2。淡水河系中大漢溪之上游邊界位於城林橋，新店溪之上游邊界位於秀朗橋，基隆河之上游邊界位於江北橋，下游邊界則延伸至外海，總模擬區域約 50×50 平方公里。由於有部分河川大斷面資料是採用內插方式形成，且在 Argus One 網格生成軟體中亦是以內插方式產生數據，故網格生成後仍須對照實測河川斷面資料予以修正，見圖 3-3 至 3-5。

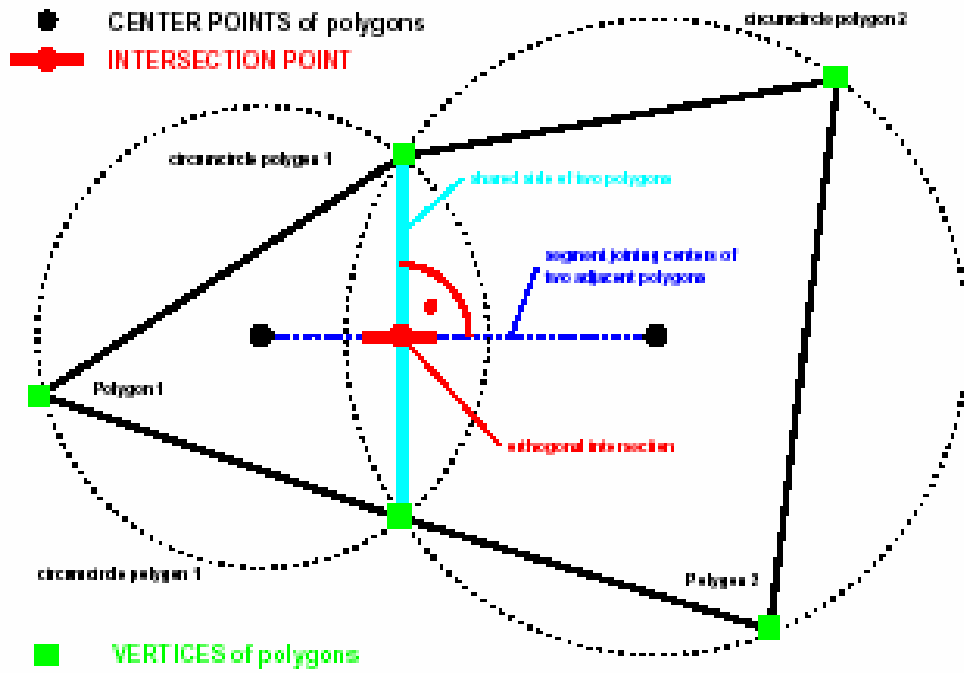


圖 3-1 不規則正交網格(Unstructured orthogonal grid)

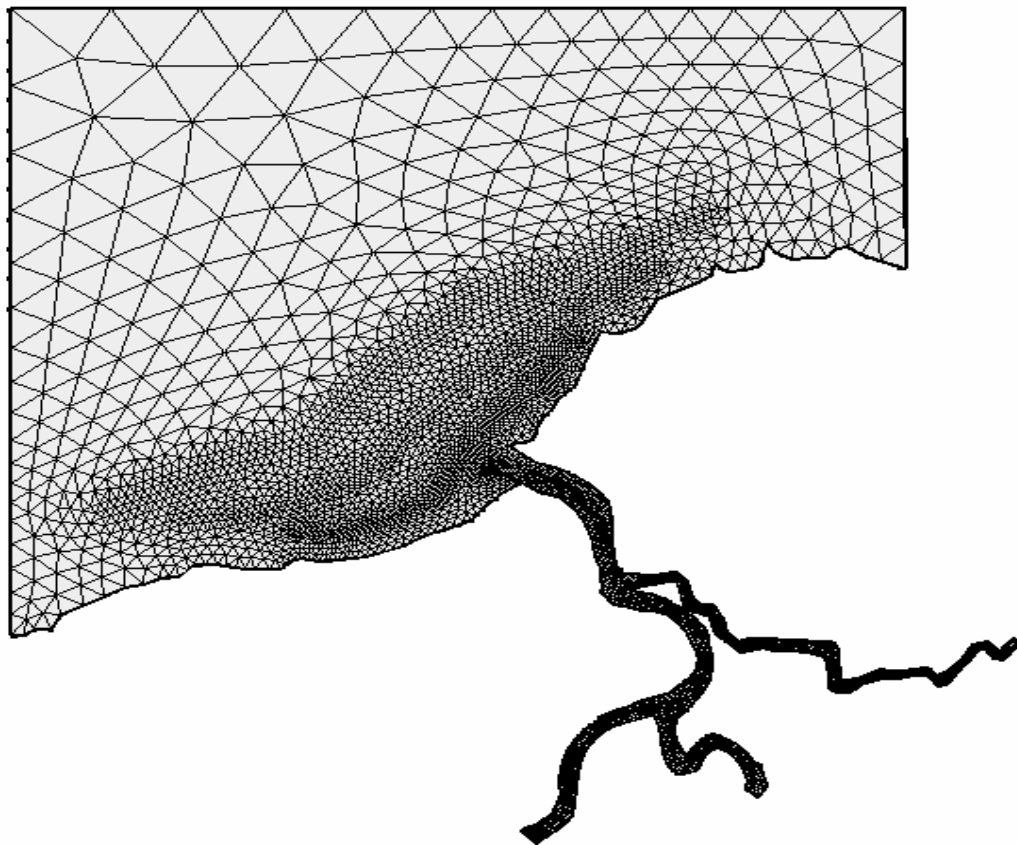


圖 3-2 Argus One 網格生成軟體所產生淡水河系與外海之網格圖

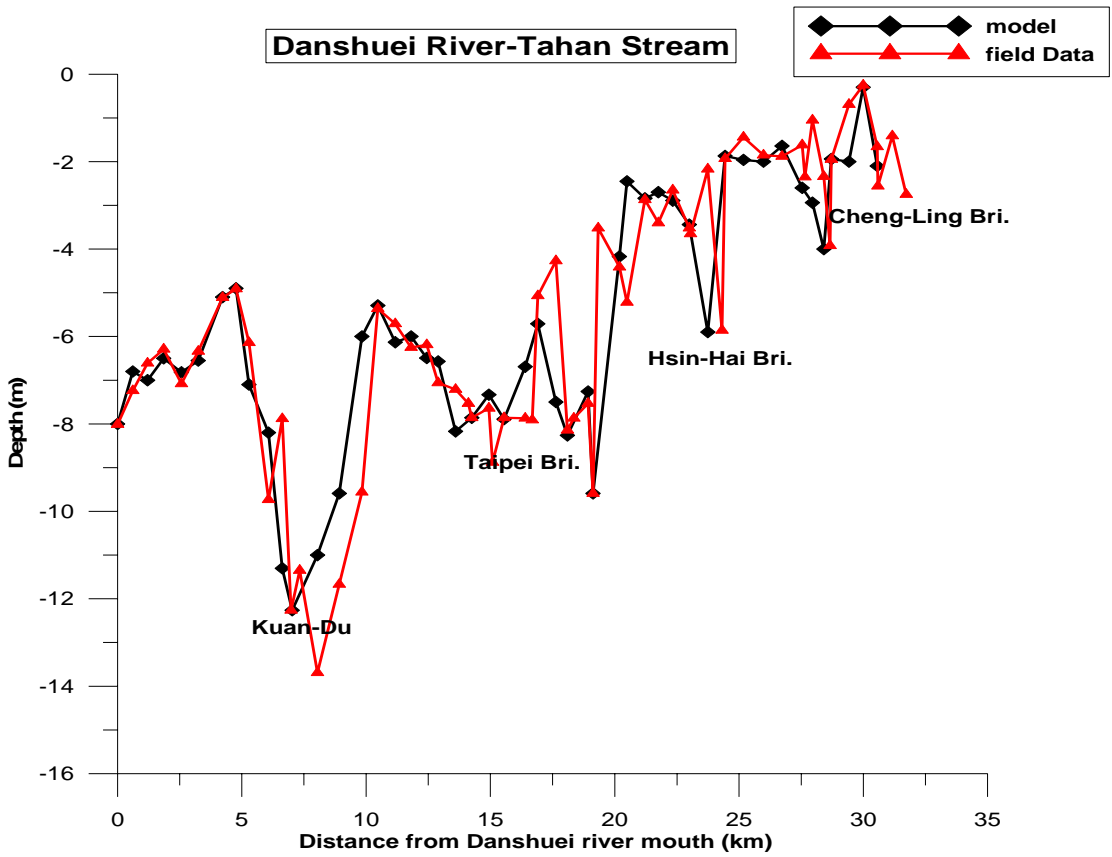


圖 3-3 模式與實測深泓線之比較 (淡水河-大漢溪)

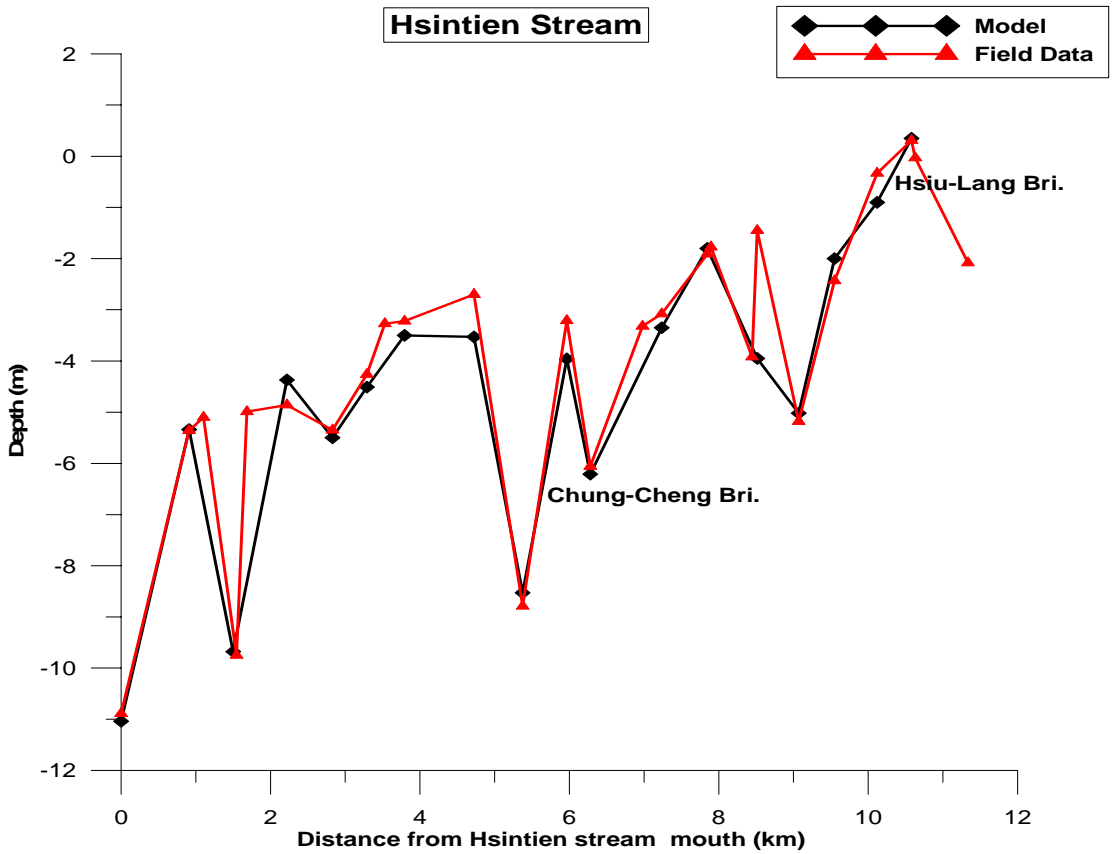


圖 3-4 模式與實測深泓線之比較 (新店溪)

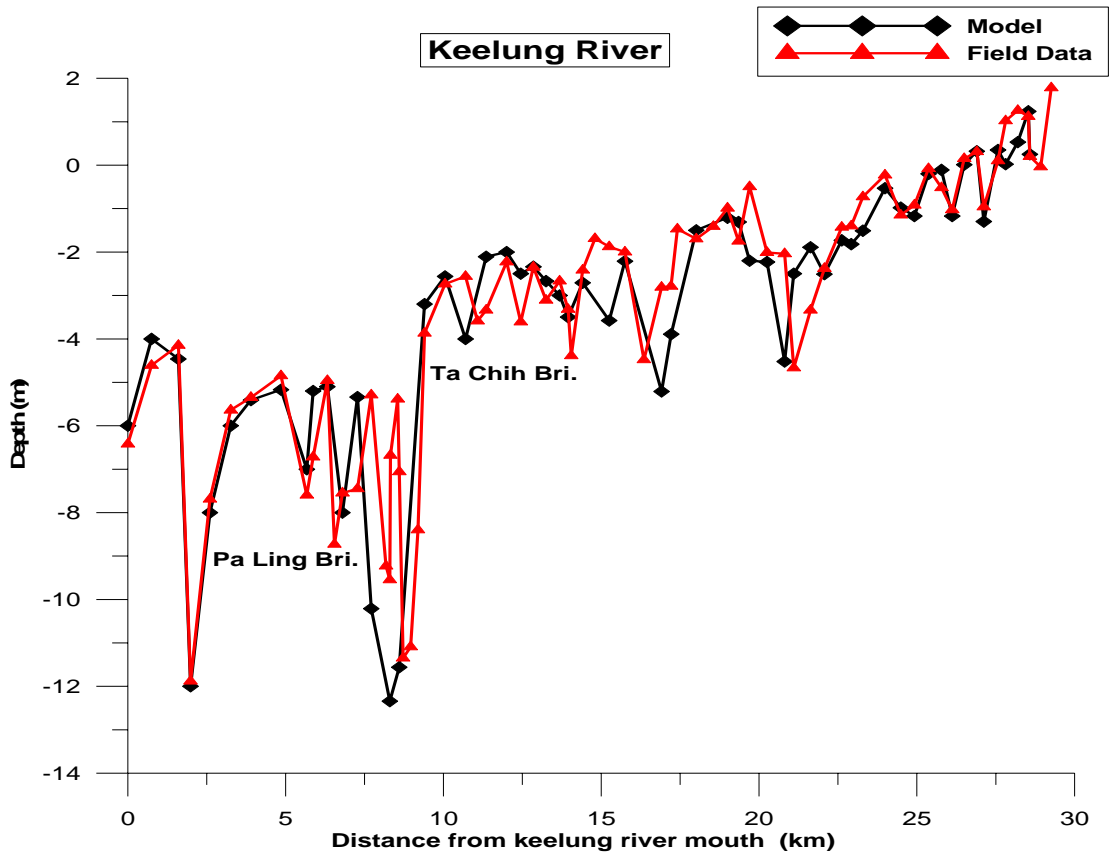


圖 3-5 模式與實測深泓線之比較 (基隆河)

第四章 模式之檢定與驗證

模式建立後，其適用性必須經過適當的參數檢定(Calibration)與驗證(Verification)後方可確定；任何一種模式都有其特定之參數，須要對應用之水體加以檢定。檢定後之模式用於模擬，並以模擬值與另組實測值相比較，倘若結果相符，誤差不大，即完成模式之驗證工作。

潮汐現象主要是受到地球、月球與太陽等天體之吸引力及相對運動作用而產生水面波動，其振幅與相位角因地點及地形之影響而異。外海潮位受潮汐影響，其水位除颱風暴潮之影響除外，呈現規則的簡諧運動，於常潮狀況下其水位受潮波傳遞之影響，往淡水河口及上游傳播，亦作規則性之漲落變動。故潮汐為外海與淡水河系感潮段水流動之主要動力，於本模式中以底床摩擦係數(C_z)來表示底床之粗糙程度，亦為水動力模式之檢定參數。

本研究所要進行檢定與驗證之參數即為水理模式之底床摩擦係數(C_z)，因為它是影響潮波傳遞、潮時、潮流及潮位之主要參數。

4-1 模式之初步檢定

本模式演算之邊界條件為上游邊界位於江北橋(基隆河)、城林橋(大漢溪)及秀朗橋(新店溪)，上游邊界給定流量，下游邊界因位於外海，故有東、西與北邊界，外海邊界給定潮位(見圖4-1)，網格數共為8181個，每一網格均需要給予 x 、 y 之二度分帶座標與 z 水深，數值模式於垂直方向係採用 z 座標系統，本研究於垂直方向分成十層，除最底層外，每層厚度為1公尺。

潮波由外海向內陸傳遞時，因為摩擦阻力作用而使潮波能量損失，地形的變化與摩差阻力之大小可決定沿外海與河道縱長方向之潮差變化，因此本文使用外海與沿河道縱長方向之潮差分佈情形來檢定底床摩擦係數。主太陰半日潮(M_2 潮)為影響潮汐一天兩次漲落之主要因子，故先以 M_2 潮進行參數之檢定。本研究根據經濟部水利署第十河川局於淡水河-大漢溪，新店溪和基隆河實測之潮位資料，計算民國89年間河口(淡水河)、土地公鼻(淡水河)、台北橋(淡水河)、入口堰(大漢溪)、新海橋(大漢溪)、中正橋(新店溪)與大直橋(基隆河)之平均潮差，因89年之潮位實測資料偶有缺少數日，或測站淤砂於低潮位時有不合理之數據，大直橋潮位資料甚至有缺少達一個月以上，故由調和分析之結果再衍生填補潮位後，再計算其平均潮差，其結果見表4-1所示。

在模式檢定過程中，模式演算以河口平均潮差之半(1.08 m)為基準，向外海增加作為 M_2 潮之振幅，以為下游之邊界條件，相位角則先不予考慮；上游邊界之河川流量則採用民國89年之平均流量，大漢溪為 $59.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ，新店溪為 $87.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ，基隆河為 $32.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ；模式計算時距(Time step)為360秒。在平均潮差檢定中，鹽分濃度之影響可以予以忽略。模式檢定時，以試誤法重複調整底床摩擦係數與適當調整地形變化，以達模式演算結果之平均潮差與實測值相近為止。模式模擬結果，如圖4-2至圖4-4所示，並整理如表4-2。圖中分別為大漢溪-淡水河、新店溪及基隆河實測數據平均潮差及模式模擬之潮差比較，兩者之比較結果相當吻合。三條支流均顯示，接近上游邊界因底床漸高於低潮位，潮差趨近於零。根據各潮位測站實測數據平均潮差與模擬潮差計算得平均絕對誤差(Mean absolute error)為0.04公尺，均方根誤差(Root-mean-square error)為0.02公尺。

4-2 綜合潮之細部檢定

利用外海(東、西與北邊界)五個分潮之振幅及相位角為外海邊界條件，五個分潮分別為 M_2 (12.42小時)、 S_2 (12小時)、 N_2 (12.66小時)、 K_1 (23.93小時)及 O_1 (25.82小時)，外海東岸、西岸及東北、西北邊界所使用之五個分潮振幅與相位角見表4-3所示，邊界之間則採線性內差方式進行設定；上游邊界大漢溪，新店溪及基隆河之河川流量採用民國89年之平均流量，模式計算二個月之水理狀況，將模擬結果輸出後再進行調和分析，其結果列於表4-4，表所示為實測數據與模擬結果五個分潮之分潮振幅及相位角之比較，包括有近海富基漁港、淡水河外海觀測樁、淡水河口、大漢溪-淡水河之土地公鼻、台北橋、入口堰及新海橋，新店溪之中正橋，基隆河之大直橋，顯示實測與模擬結果綜合潮之分潮振幅及相位角誤差尚稱吻合，模式檢定後之底床摩差係數(C_z)為 $55 m^{\frac{1}{2}} / sec$ 。

4-3 模式之驗證

4-3-1 水理之驗證

三維水動力模式經過初步檢定與綜合潮之細部檢定後，再以實測資料進行模式之時序水位之檢定。本研究於外海邊界仍採用五個分潮之合成潮；於上游邊界則採用民國89年每日之實測流量，包括大漢溪、新店溪及基隆河；民國89年淡水站之風速與風向亦輸入模式中。

模式模擬時間自民國89年3月1日起，經過長時間的演算，與實測資料進行比對。模式模擬之各潮位與外海潮位站及淡水河系之潮位歷線之比較詳如圖4-5至圖4-13所示，圖中顯示為5月、8月與12月之潮位歷線，圖中可見8月潮位歷線中新海橋、中正橋與大直橋受到淡水

流量下注之影響水位有明顯的抬升現象，但於台北橋、土地公鼻、淡水河河口與近海受到淡水流量下注之影響則逐漸減低。於圖中顯示模式模擬之水位與實測水位大致吻合。

三維水動力模式模擬結果可得不同網格位置之時序X向分量速度與Y向分量速度，此分量速度無法與水利署第十河川局全潮量測之速度直接進行比較，故需要將模式模擬的分量速度經過程式轉換計算，以求得該位置的主軸方向(Principal axis)，再計算沿河道方向(見圖4-14與4-15)之速度與沿橫向斷面(Cross section)的速度，由計算所得之沿河道方向的速度即可與水利署第十河川局全潮量測之速度進行比較，其結果如圖4-16至圖4-18所示，圖中分別為模式模擬之縱向(沿河道方向)速度與全潮測量實測速度之比較，包括關渡橋、台北橋、新海橋、中正橋與百齡橋等站。圖中顯示頂層之速度較大，而底層速度因受底床剪應力作用，故速度較小。潮波傳遞速度受水深影響($V_w \approx \sqrt{gh}$)故退潮的時間較長，漲潮的時間較短，模式模擬與實測結果均呈現相同的現象，於下游之關渡橋縱向速度比其他各站速度大很多，整體而言，模式模擬結果與實測狀況大致吻合。

4-3-2 鹽度之檢定

在三維水理模式中鹽分需要檢定的是紊流閉合模式中垂直黏滯係數與垂直擴散係數，因此本研究採用試誤法調整此參數，利用模式模擬的鹽度與實測鹽度進行比較，以獲得較合適之參數值。鹽度的檢定程序是以民國89年工研院於淡水河下游段竹圍紅樹林之實測鹽度作為依據，上游邊界於大漢溪、新店溪與基隆河分別輸入實測之日流量進行模擬。圖4-19為模式模擬之鹽度與實測鹽度之時序比較。圖中為11月16日至12月26日之鹽度比較結果，實測位置位於水面下深度

1.5公尺，模擬位置為水面下深度1.0公尺，由模式模擬之鹽度於實測鹽度於趨勢上大致是一致的，於高流量時實測鹽度降低，於高流量過後恢復至常流量時鹽度亦隨之上升，模式模擬結果亦呈現相同的狀況，紊流閉合模式經檢定後之 α 值為0.0115， $\beta_M = \beta_S$ 之值為0.75。

4-5 河口環流與殘餘流之分析

影響河口水理之因素，包括有河道淡水流、潮流、密度流、地形流與氣象流等，交互作用，錯綜複雜。因海水與淡水之交互作用，導致鹽分分層現象，又因為密度差而產生密度流，為一斜壓流(Baroclinic flow)，河口環流(Estuarine circulation)是淡水流與密度流綜合而成，水面淨流向外海，深處淨流向內陸。其主要動力是平均水面坡度與鹽分梯度(或密度梯度)，前者使淡水往外海流，淡水得以宣洩，後者使海水往內陸流，鹽分得以入侵，兩者互相抗衡，視兩者之相對力量(見圖4-20所示)，河口環流之存在與否及其強弱，隨時地而異。

本研究以數值模擬結果作為探討淡水河系河口環流之依據，即將模式模擬之時序流速，經過36小時之低頻過濾器(Low pass filter)，將高頻率之潮流濾除，剩下的低頻率流速即可代表殘餘流速(Residual current)。圖4-21至圖4-23分別為淡水河河口、關渡橋與台北橋於3月1日到12月31日之主軸方向殘餘流速，從圖示中可以看到當上游流量較大時，此三站的主軸流速均為正值，即流向外海；當上游流量小時主軸流速則於底層易出現負值，即流向內陸；其中顯示關渡橋之底層有明顯的河口環流作用，底層大部分時間殘餘流速為負值，表示水流往上游前進，大流量出現時殘餘流速在各站上、中、下層有很明顯均為正值的現象，表示水流往下游傳播，此時段係因為大漢溪、新店溪與

基隆河上游有高流量產生之故，導致淨向流速往下游；至於淡水河河口底層有微弱的殘餘流速向上游傳播，底層大部分時間殘餘流速是指向下游；對台北橋而言，無論表層或底層殘餘流速幾乎是指向下游，顯示無河口環流作用。由上述可知，關渡橋因其底床深度較深，且位置接近河口，鹽度較高，所以密度差所造成的水平斜壓（Baroclinic）梯度大，使得該處河口環流顯著，鹽分分層現象明顯(由模擬數據可以得知，見圖4-24)，而越往上游因水深變淺，且鹽分較小，故較少出現河口環流作用。

表 4-1 淡水河系之平均潮差

測站	淡水河 河口	土地公鼻	台北橋	入口堰	新海橋	中正橋	大直橋
原實測數據計算之潮差	2.21	2.11	2.11	2.21	2.26	2.34	1.91
實測數據經調和分析後計算之潮差	2.16	2.13	2.19	2.18	2.12	2.19	2.21

單位:公尺

表 4-2 以 M_2 分潮初步檢定結果

測站	淡水河 河口	土地公鼻	台北橋	入口堰	新海橋	中正橋	大直橋
以 M_2 潮經模式初步檢定	2.16	2.10	2.24	2.25	2.2	2.25	2.19
實測數據經調和分析後計算之潮差	2.16	2.13	2.19	2.18	2.12	2.19	2.21
絕對差值	0	0.03	0.05	0.07	0.08	0.06	0.02
平均絕對誤差	0.04						
均方根誤差	0.02						

單位:公尺

表4-3 外海東、西邊界所使用之振幅與相位角

分潮	東岸邊界		東北邊界		西岸邊界		西北邊界	
	振幅 (m)	相位角 (degree)	振幅 (m)	相位角 (degree)	振幅 (m)	相位角 (degree)	振幅 (m)	相位角 (degree)
M_2	0.47	172.37	0.6711	171.33	1.236	181.03	1.3716	180.42
S_2	0.12	-28.25	0.1866	-27.75	0.3452	-5.50	0.3987	-4.80
N_2	0.10	-99.26	0.1370	-99.65	0.2252	-80.12	0.2526	-80.59
K_1	0.21	-127.67	0.2223	-125.80	0.2121	-113.94	0.2275	-113.31
O_1	0.17	67.54	0.1700	67.05	0.1748	75.02	0.1866	74.4

表 4-4 模式模擬與實測數據之分潮振幅與相位角之比較

河口					土地公鼻				
	實測		模擬			實測		模擬	
	振幅	相位角	振幅	相位角		振幅	相位角	振幅	相位角
分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)	分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)
M2	1.06	179.34	1.07	176.96	M2	1.05	-168.62	1.08	-163.92
S2	0.29	-8.10	0.28	-7.79	S2	0.26	4.88	0.27	4.76
N2	0.20	-81.79	0.21	-75.47	N2	0.18	-67.98	0.19	-56.77
K1	0.20	-117.70	0.20	-118.13	K1	0.17	-113.65	0.18	-109.50
O1	0.17	72.60	0.17	68.67	O1	0.13	76.35	0.15	73.93
台北橋					入口堰				
	實測		模擬			實測		模擬	
	振幅	相位角	振幅	相位角		振幅	相位角	振幅	相位角
分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)	分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)
M2	1.03	-166.20	1.06	-161.07	M2	1.04	-149.32	1.04	-143.90
S2	0.24	11.29	0.25	9.81	S2	0.26	31.32	0.24	26.85
N2	0.20	-63.02	0.20	-56.62	N2	0.18	-48.09	0.19	-40.28
K1	0.14	-111.14	0.15	-105.42	K1	0.15	-104.72	0.14	-99.81
O1	0.11	68.47	0.11	61.82	O1	0.11	84.08	0.11	82.65

表 4-4 模式模擬與實測數據之分潮振幅與相位角之比較(續)

新海橋					中正橋				
	實測		模擬			實測		模擬	
	振幅	相位角	振幅	相位角		振幅	相位角	振幅	相位角
分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)	分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)
M2	1.03	-154.36	1.03	-148.45	M2	1.06	-155.18	1.05	-152.45
S2	0.26	27.10	0.23	25.81	S2	0.28	24.65	0.25	19.60
N2	0.19	-53.66	0.19	-46.84	N2	0.19	-53.74	0.19	-48.58
K1	0.15	-106.89	0.14	-100.86	K1	0.16	-106.56	0.15	-102.10
O1	0.12	80.50	0.11	73.83	O1	0.13	84.38	0.15	77.47
大直橋					富基漁港				
	實測		模擬			實測		模擬	
	振幅	相位角	振幅	相位角		振幅	相位角	振幅	相位角
分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)	分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)
M2	0.96	-143.95	0.98	-141.00	M2	0.69	170.18	0.67	169.17
S2	0.22	39.43	0.21	33.82	S2	0.18	-17.04	0.17	-19.84
N2	0.14	-41.62	0.16	-38.01	N2	0.15	-102.76	0.14	-96.26
K1	0.12	-93.19	0.12	-92.34	K1	0.23	-119.00	0.23	-125.03
O1	0.11	85.83	0.11	78.65	O1	0.18	68.25	0.17	67.44
淡水外海觀測樁									
	實測		模擬						
	振幅	相位角	振幅	相位角					
分潮	(m)	(degree)	(m)	(degree)					
M2	1.07	176.18	1.05	174.19					
S2	0.31	-8.20	0.30	-8.58					
N2	0.22	-75.26	0.21	-72.66					
K1	0.22	-125.00	0.20	-120.07					
O1	0.17	68.47	0.17	67.78					

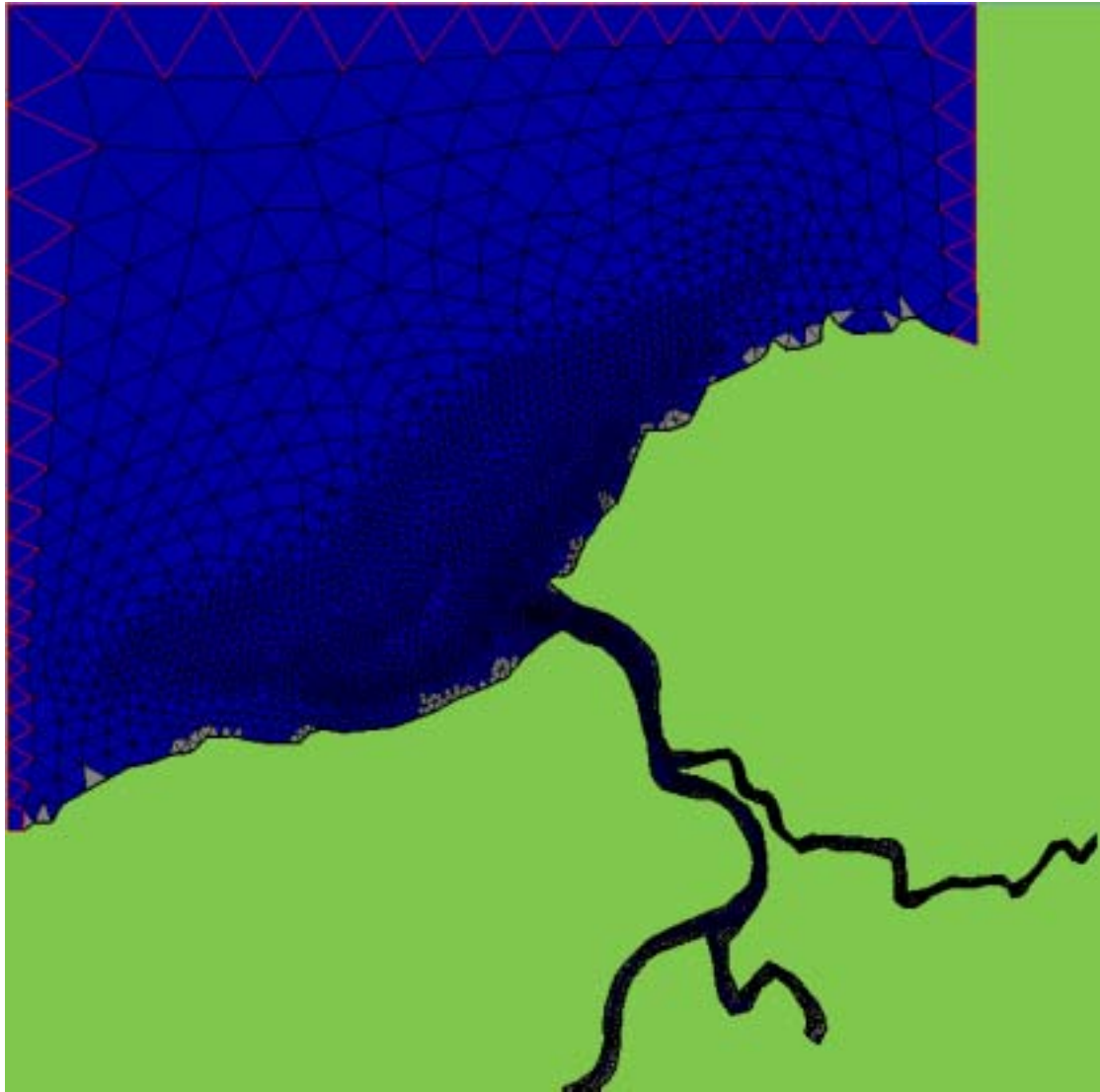


圖 4-1 UnTRIM 之數值網格與外海之邊界

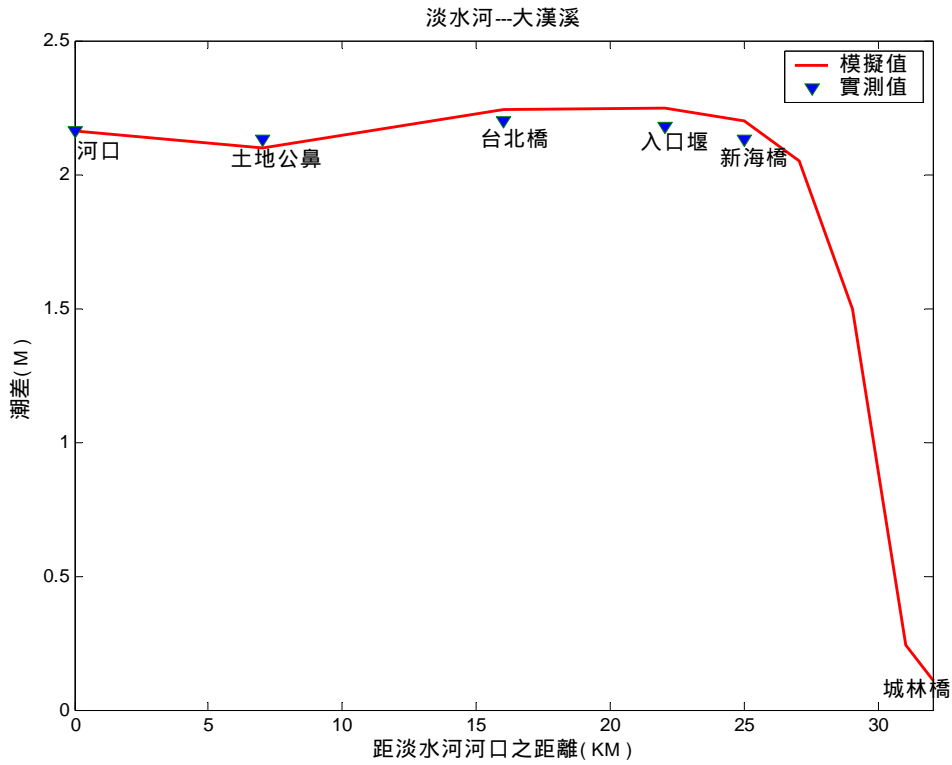


圖4-2 淡水河 - 大漢溪模式模擬平均潮差與實測結果之比較

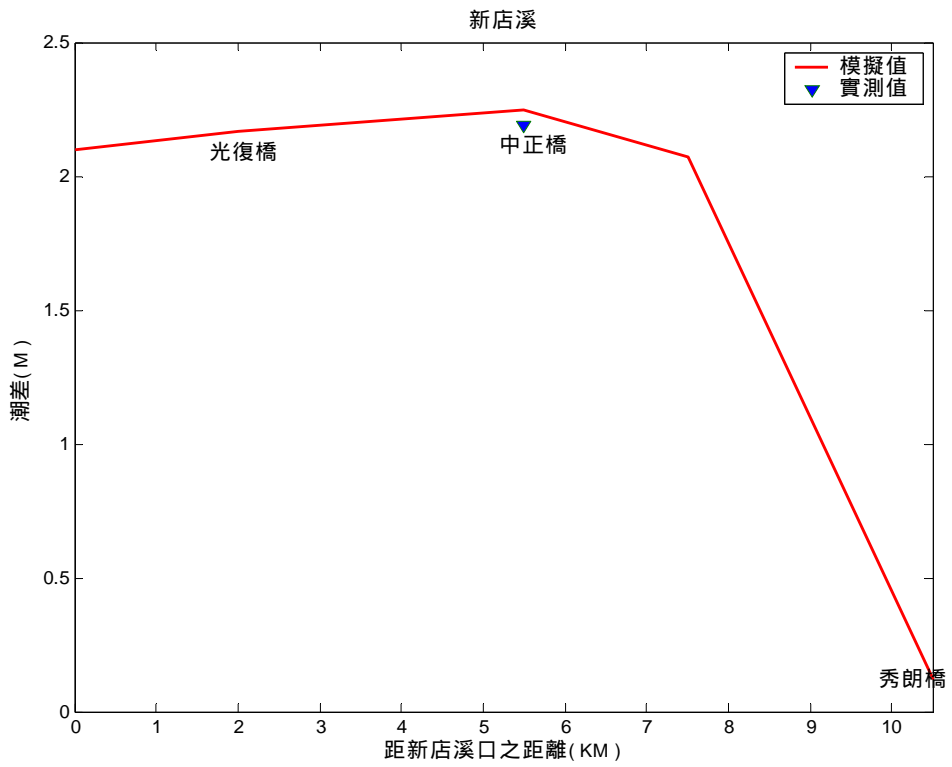


圖4-3 新店溪模式模擬平均潮差與實測結果之比較

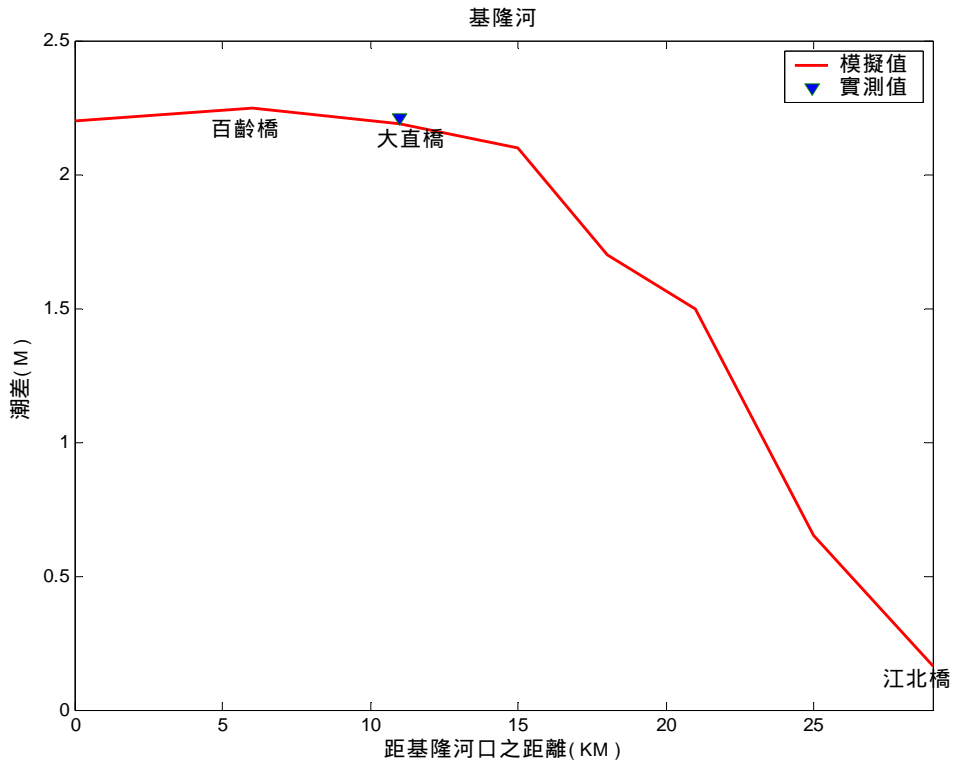


圖4-4 基隆河模式模擬平均潮差與實測結果之比較

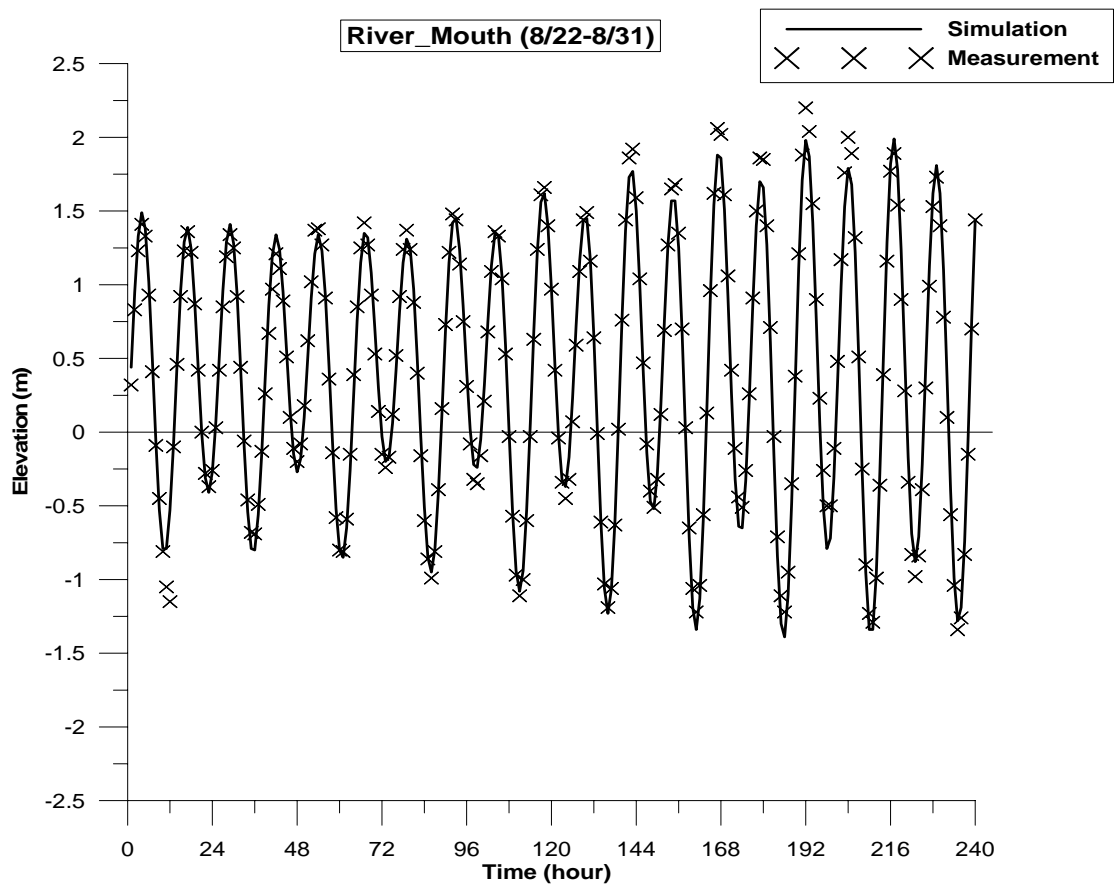
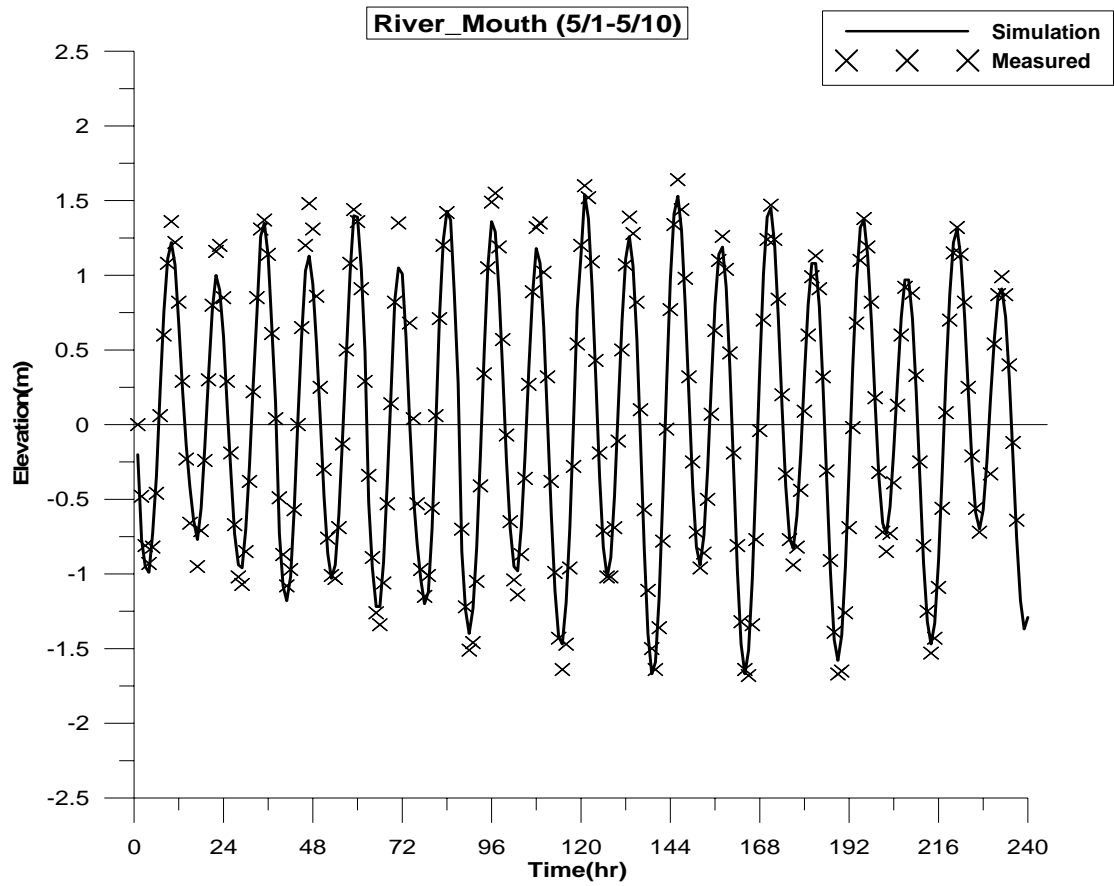


圖 4-5 淡水河河口實測水位與模式模擬水位之比較

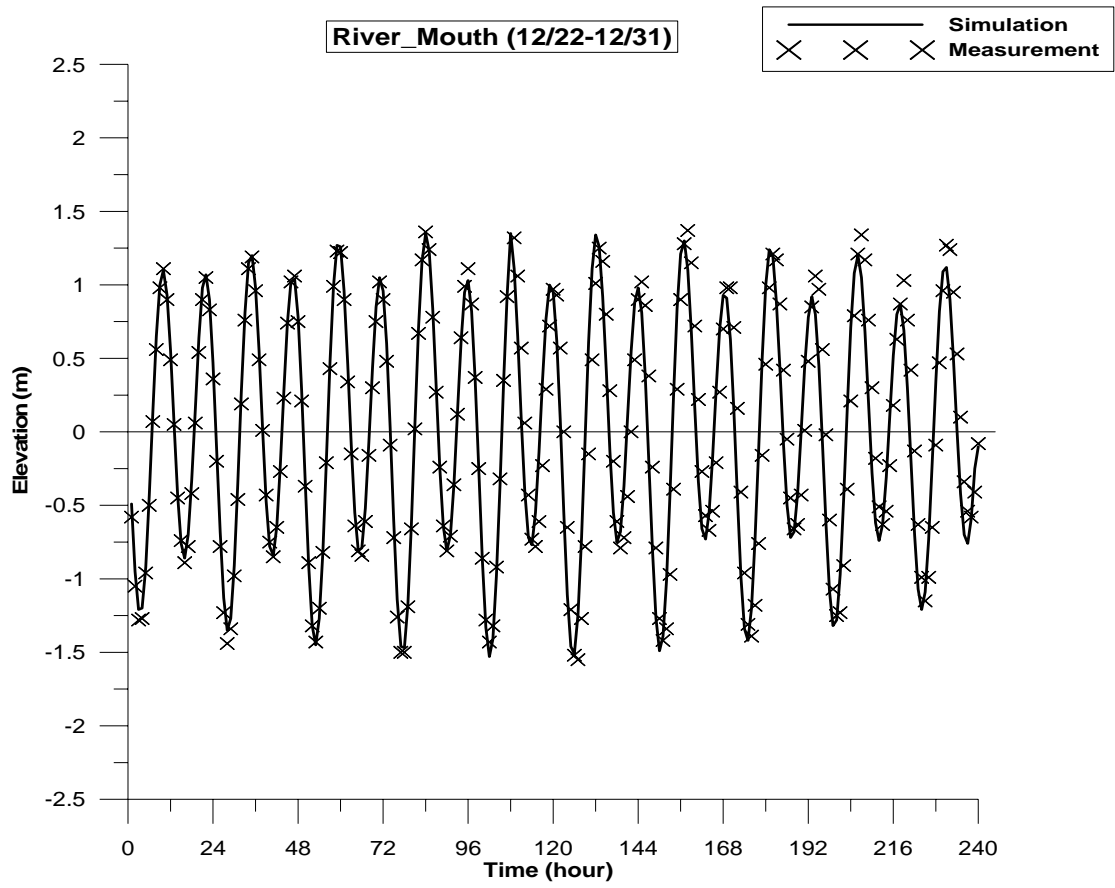


圖 4-5 淡水河河口實測水位與模式模擬水位之比較(續)

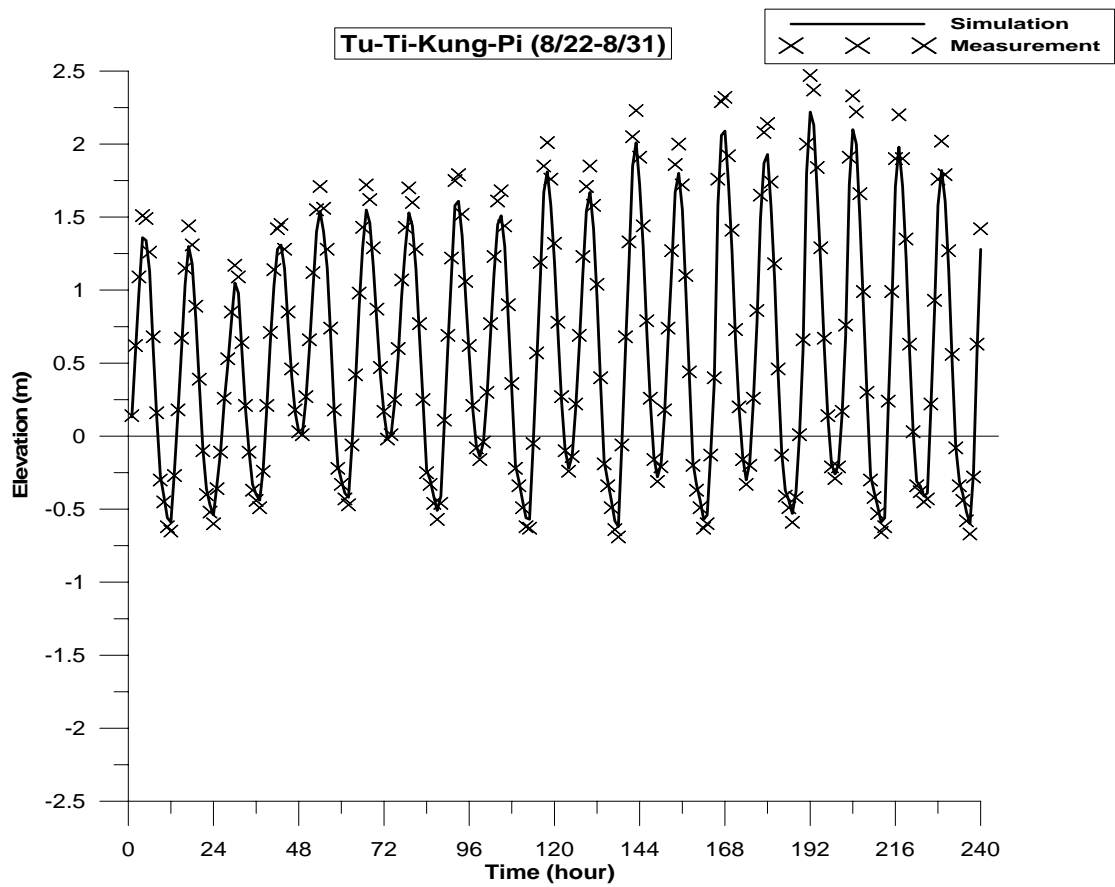
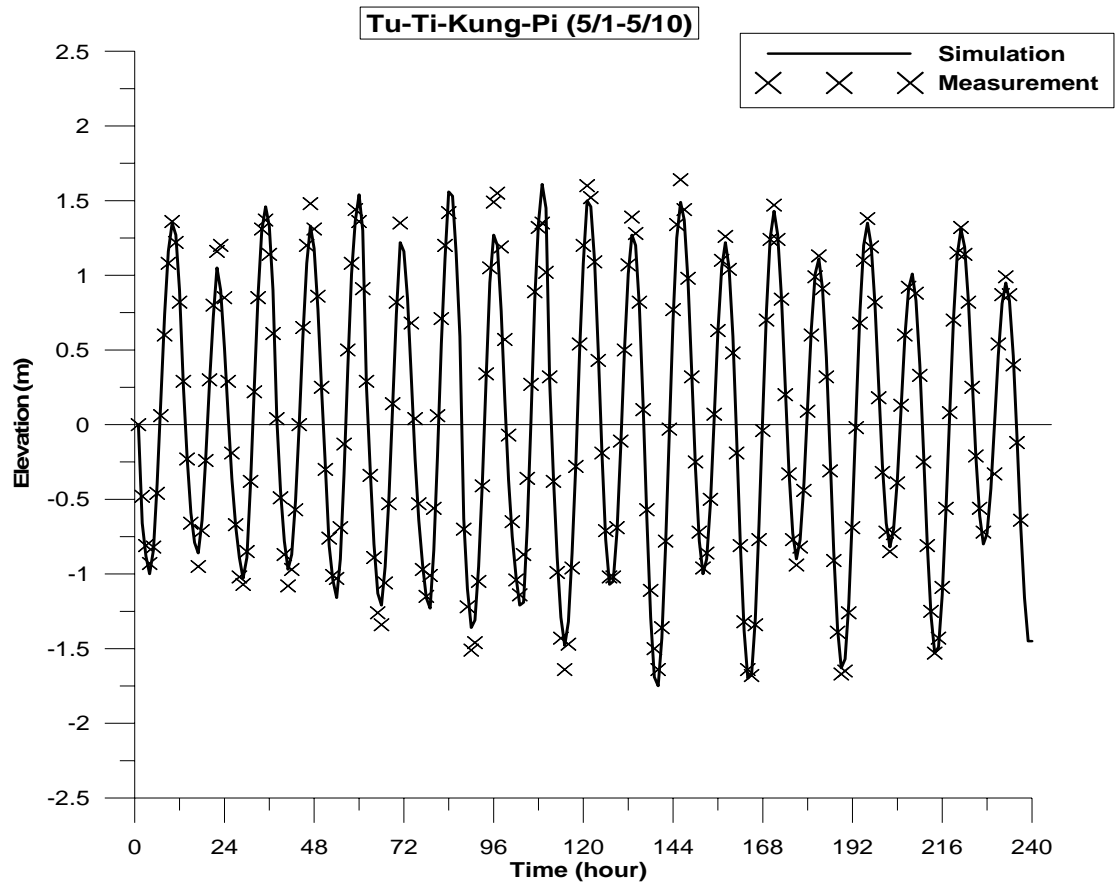


圖 4-6 土地公鼻實測水位與模式模擬水位之比較

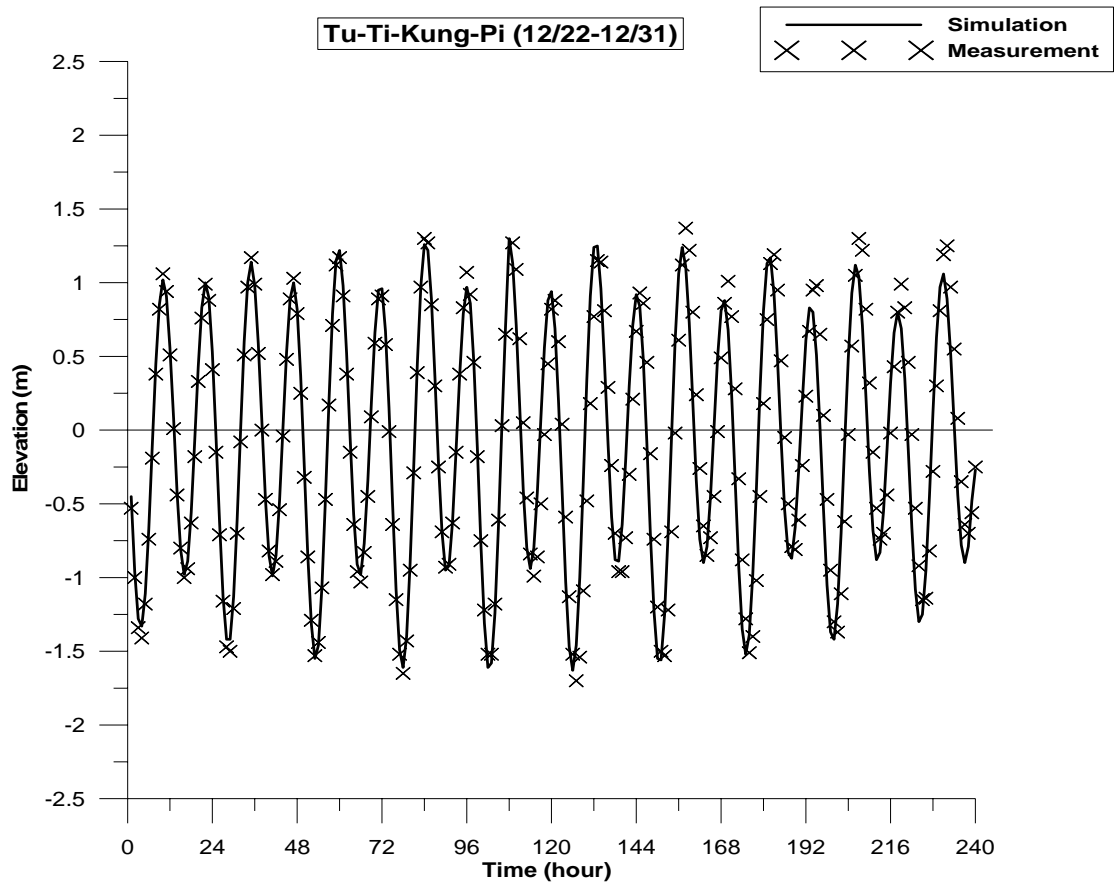


圖 4-6 土地公鼻實測水位與模式模擬水位之比較(續)

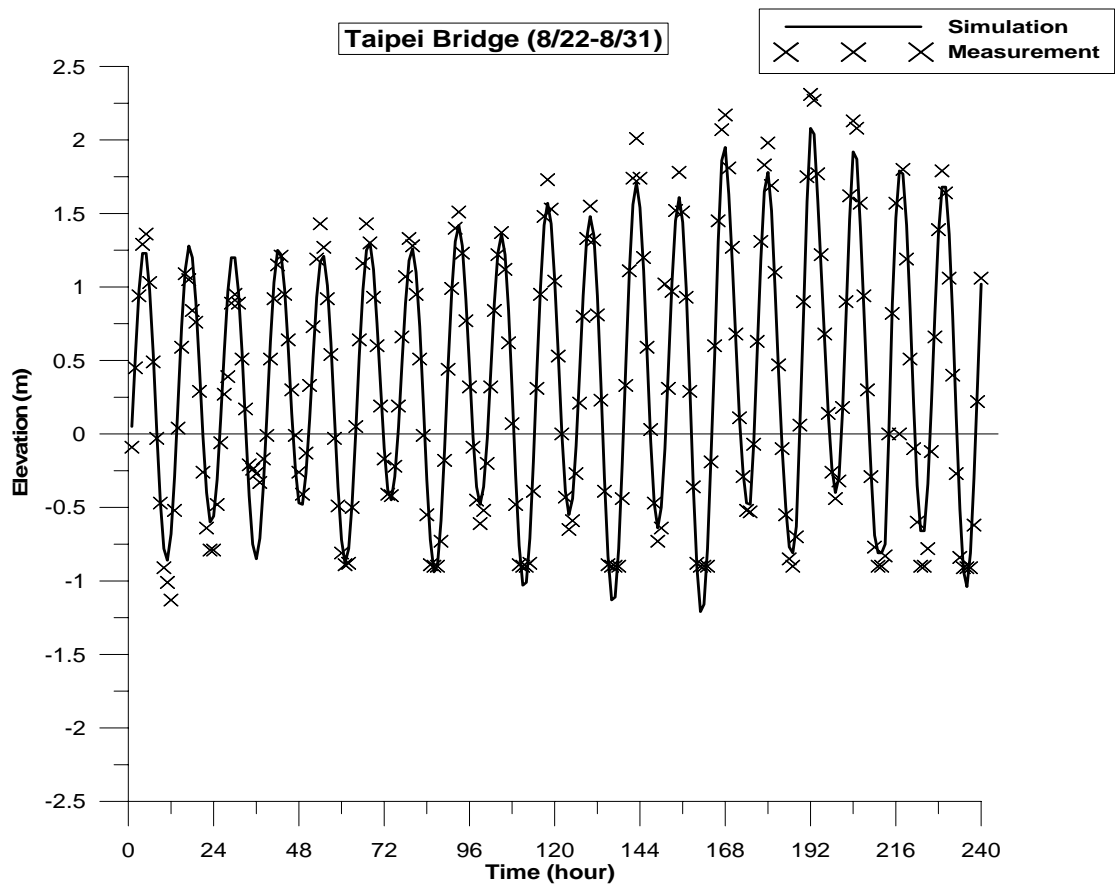
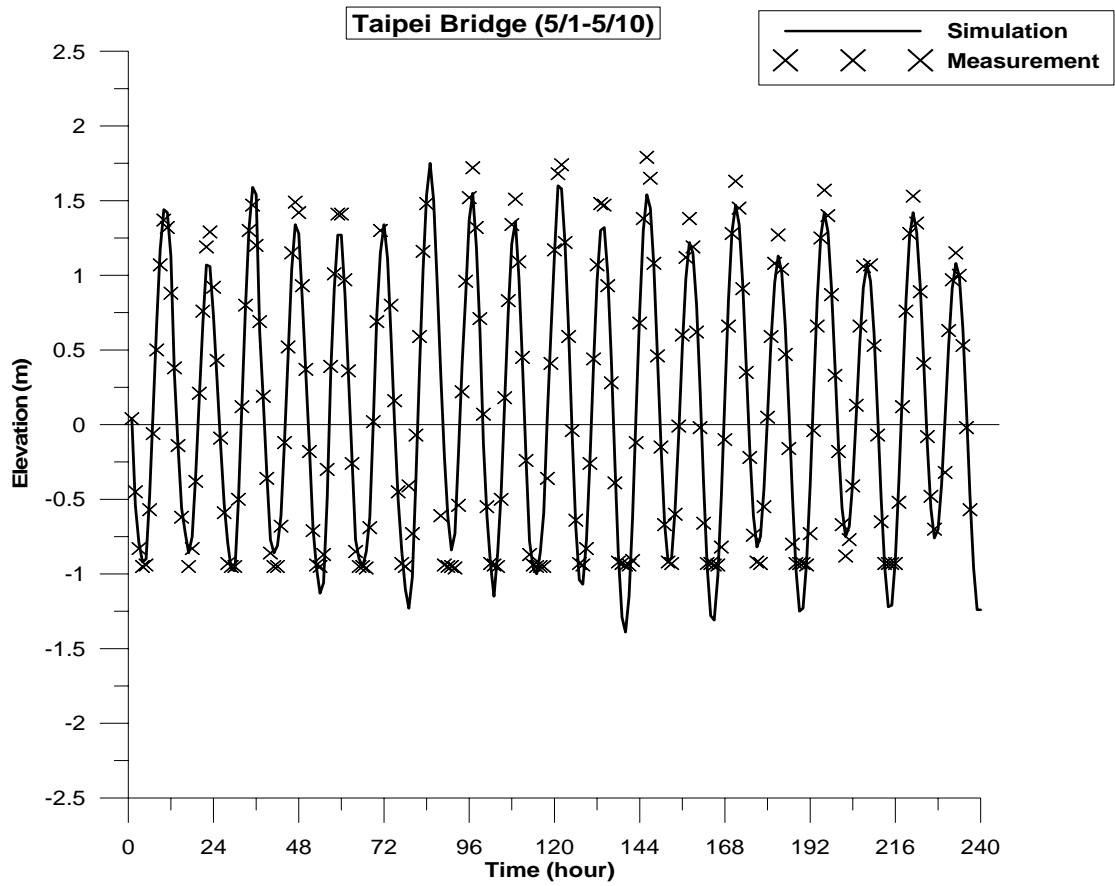


圖 4-7 台北橋實測水位與模式模擬水位之比較

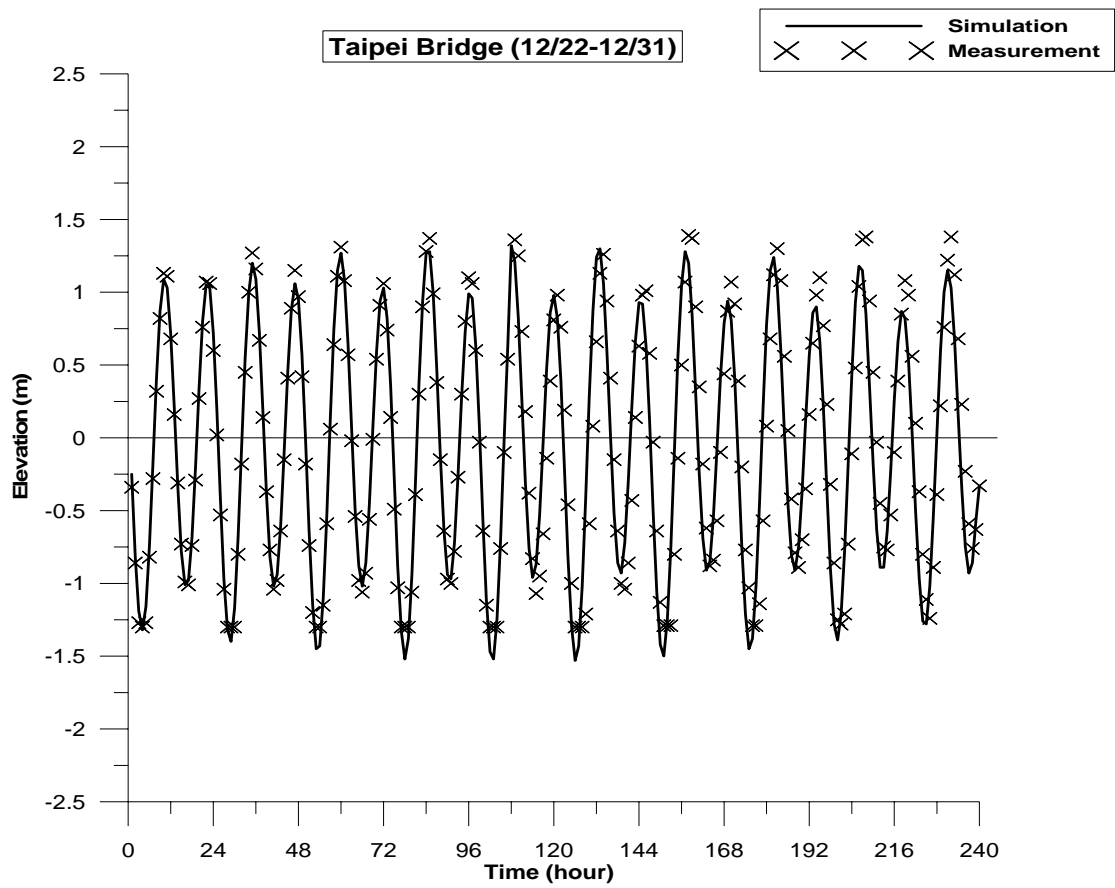


圖 4-7 台北橋實測水位與模式模擬水位之比較(續)

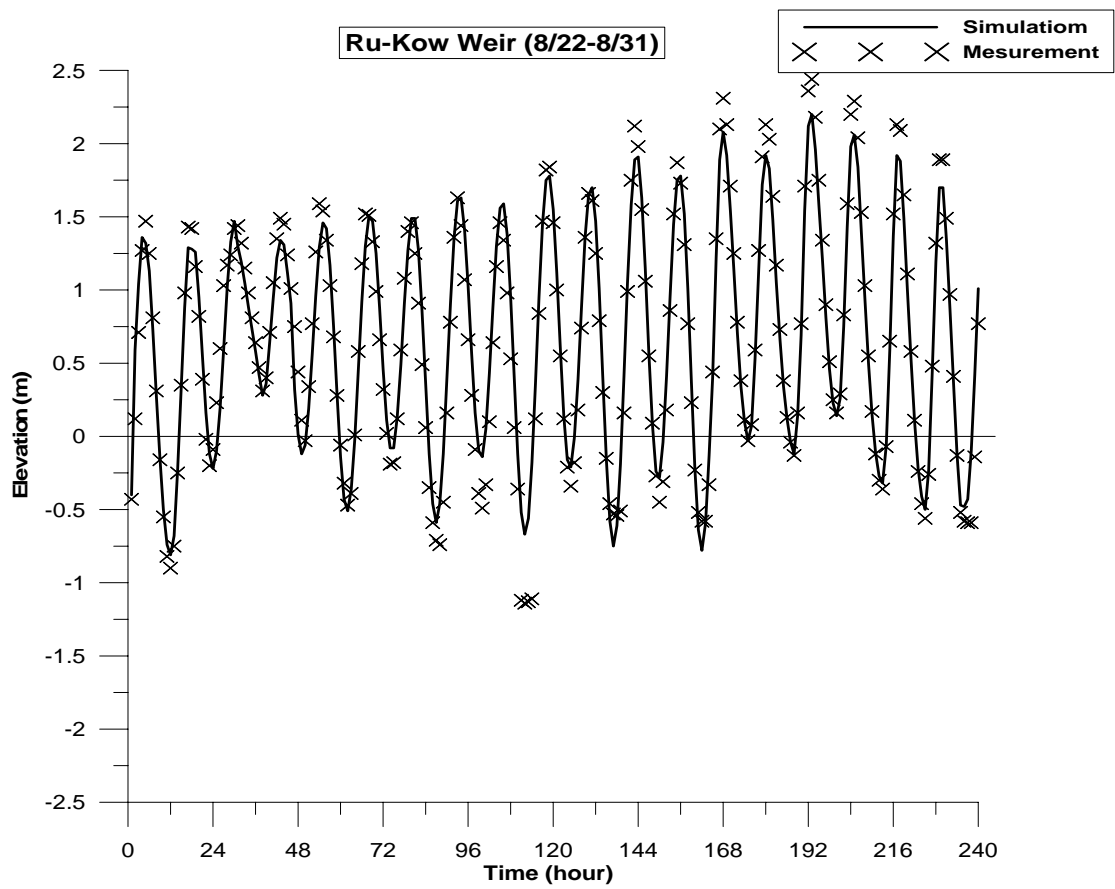
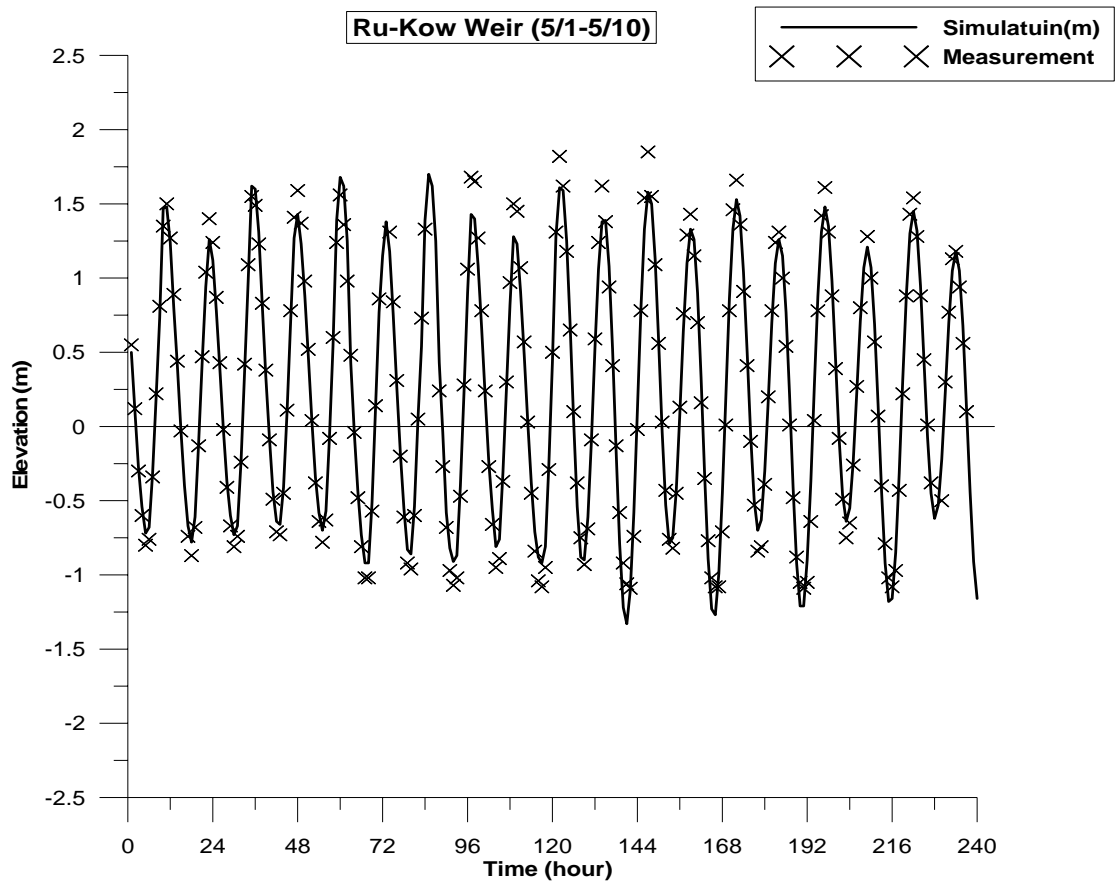


圖 4-8 入口堰實測水位與模式模擬水位之比較

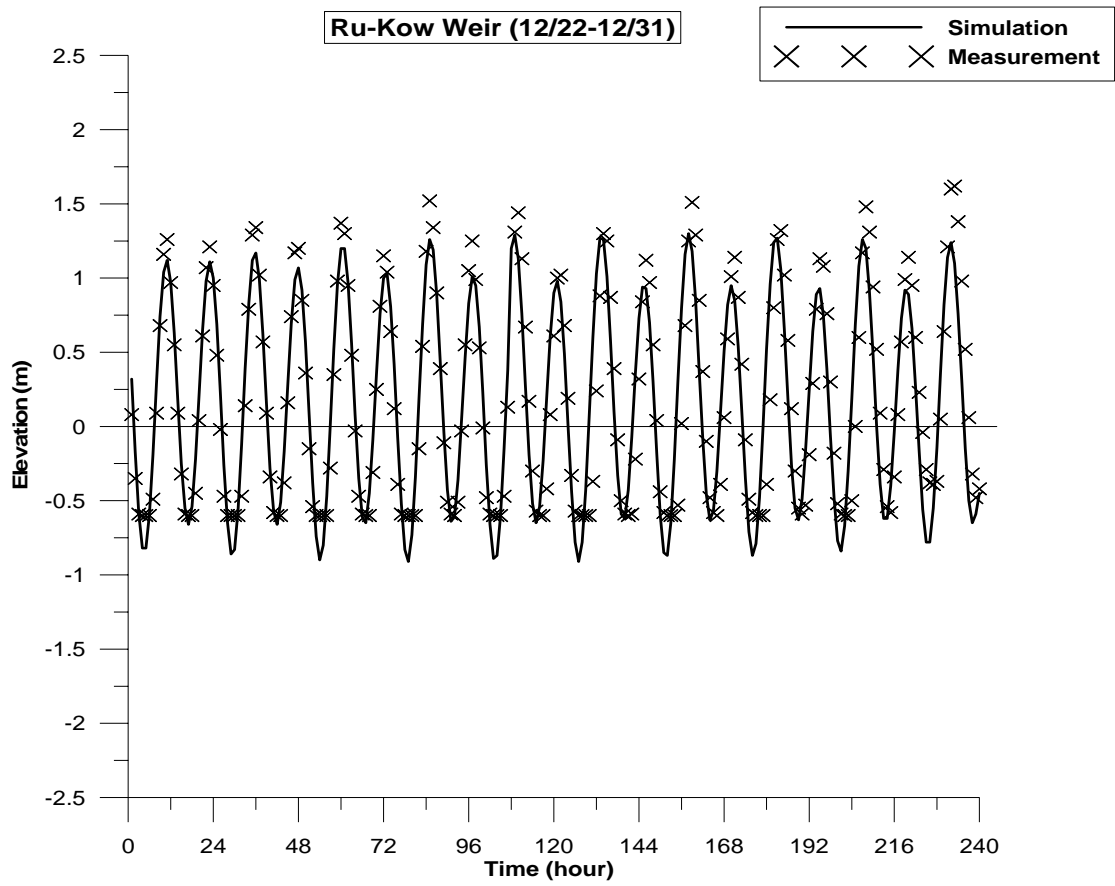


圖 4-8 入口堰實測水位與模式模擬水位之比較(續)

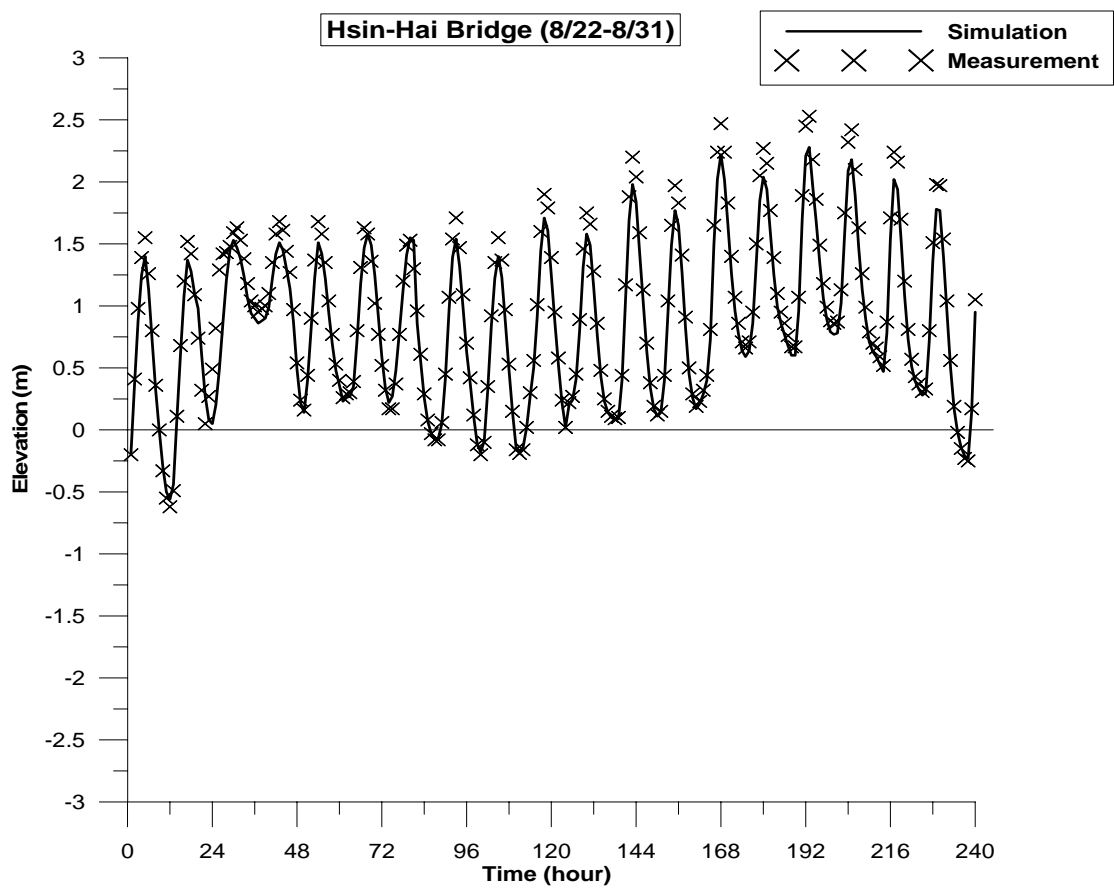
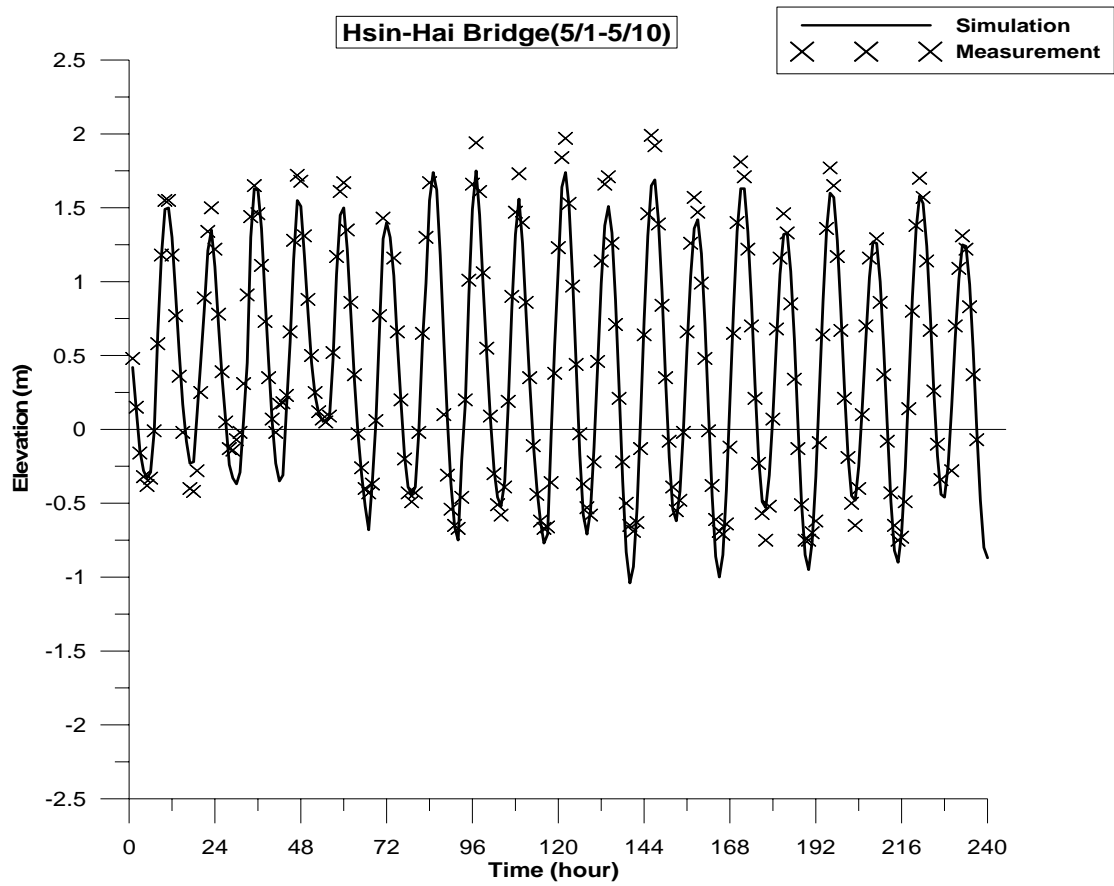


圖 4-9 新海橋實測水位與模式模擬水位之比較

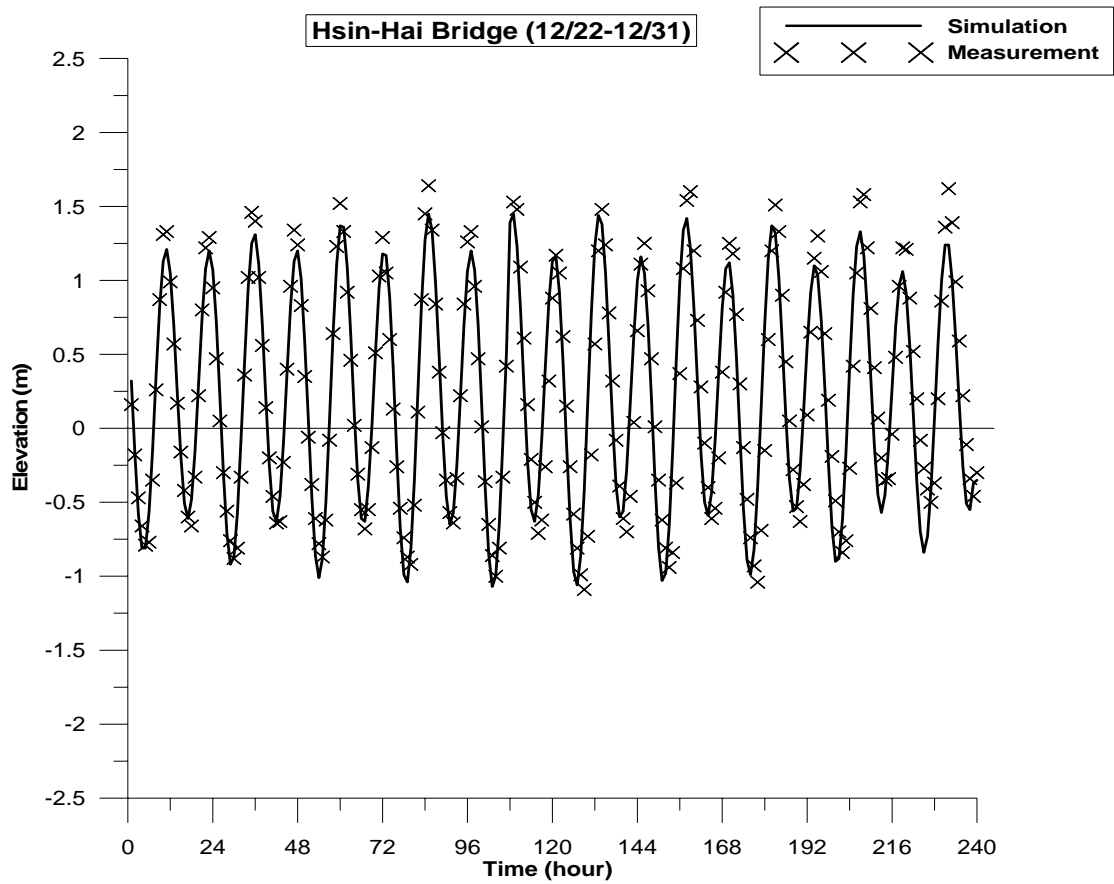


圖 4-9 新海橋實測水位與模式模擬水位之比較(續)

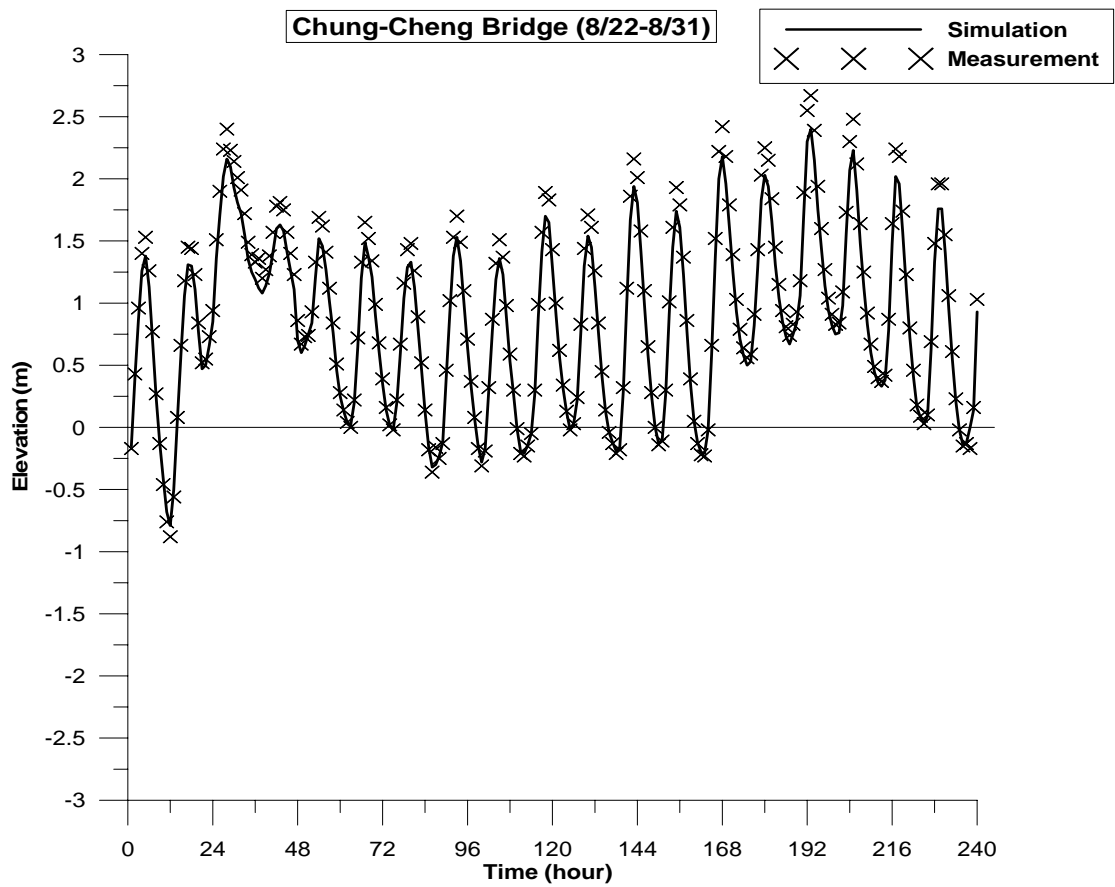
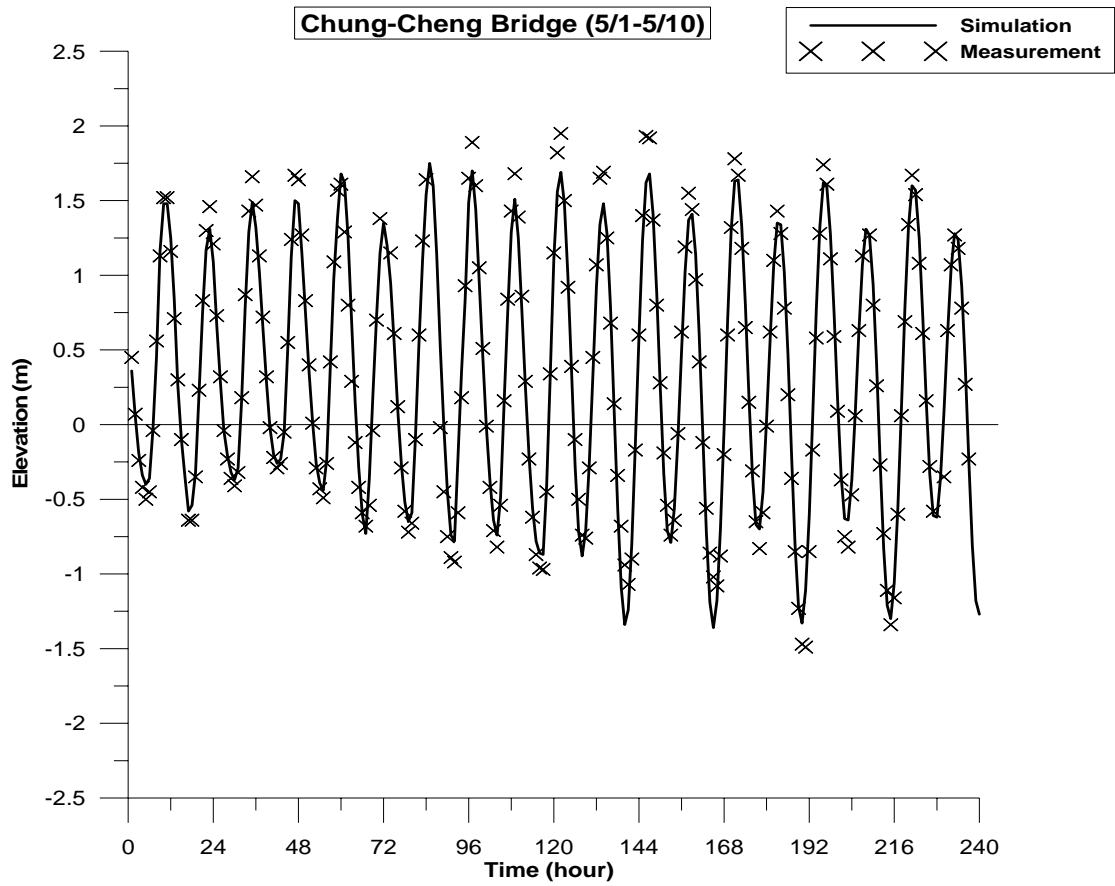


圖 4-10 中正橋實測水位與模式模擬水位之比較

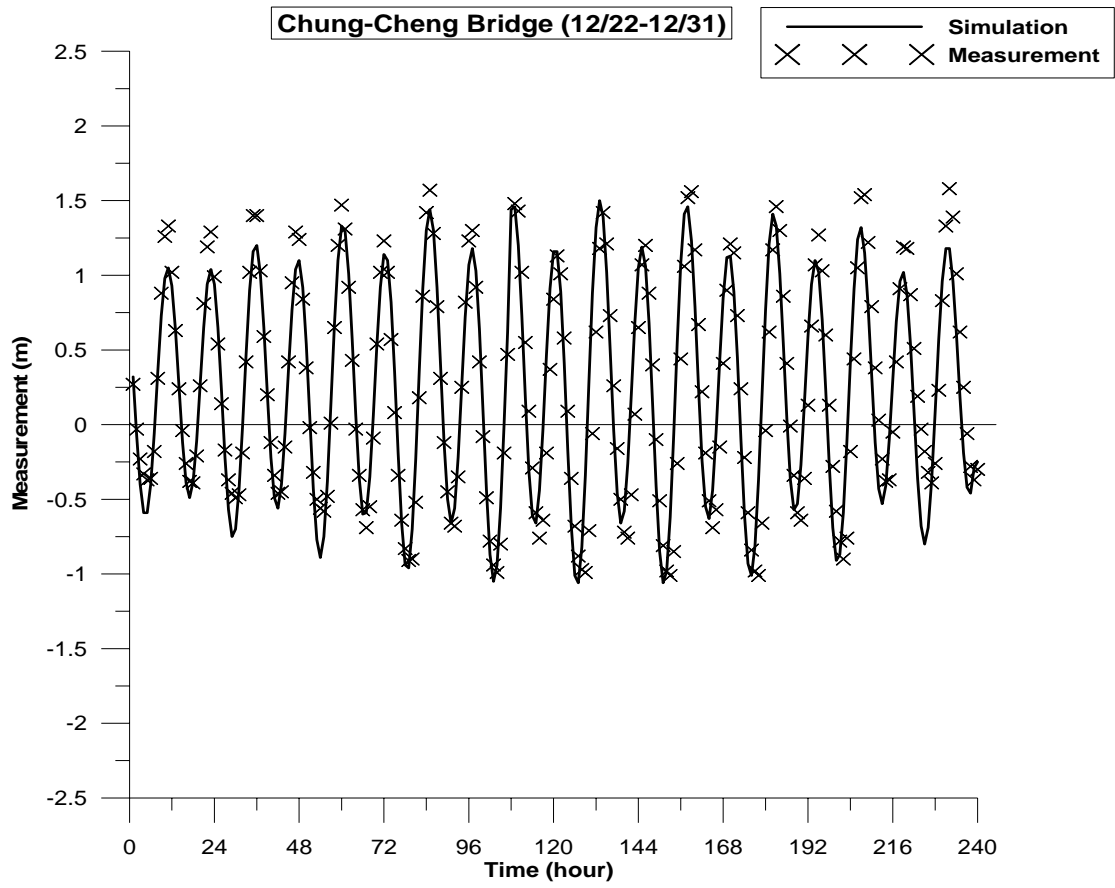


圖 4-10 中正橋實測水位與模式模擬水位之比較(續)

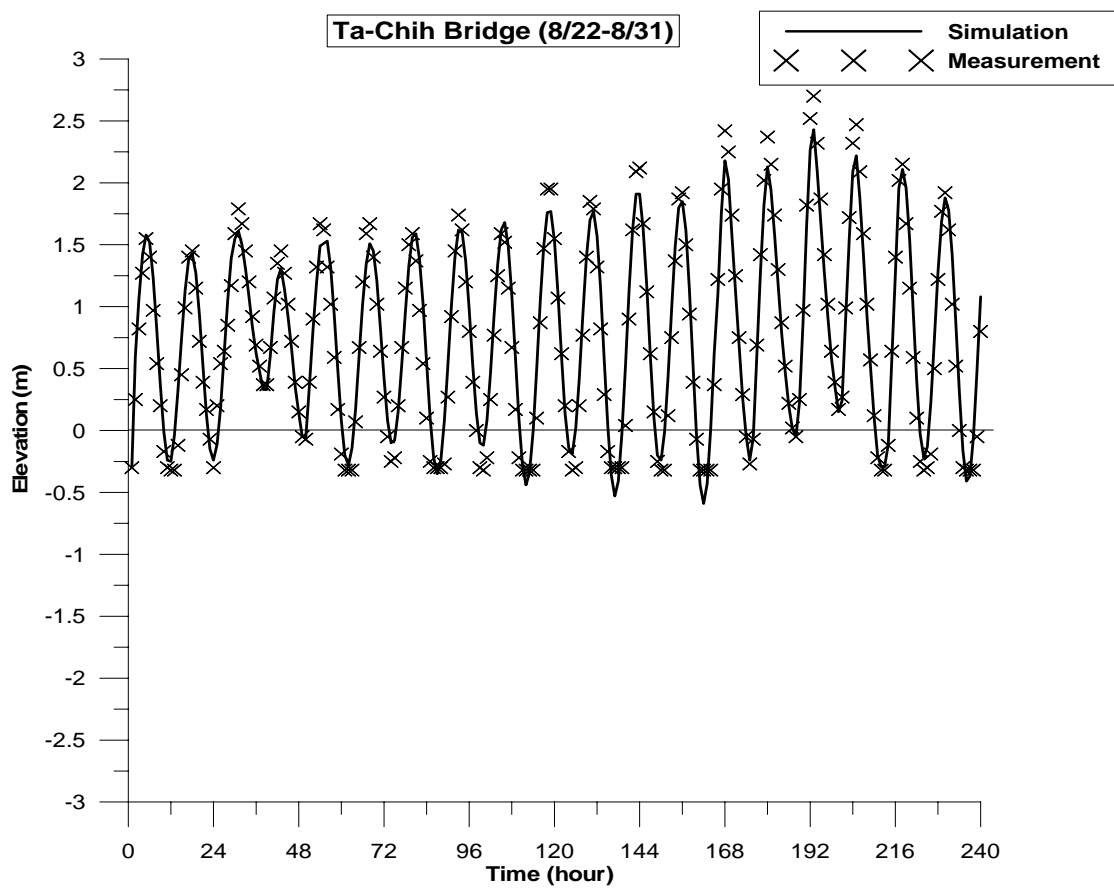
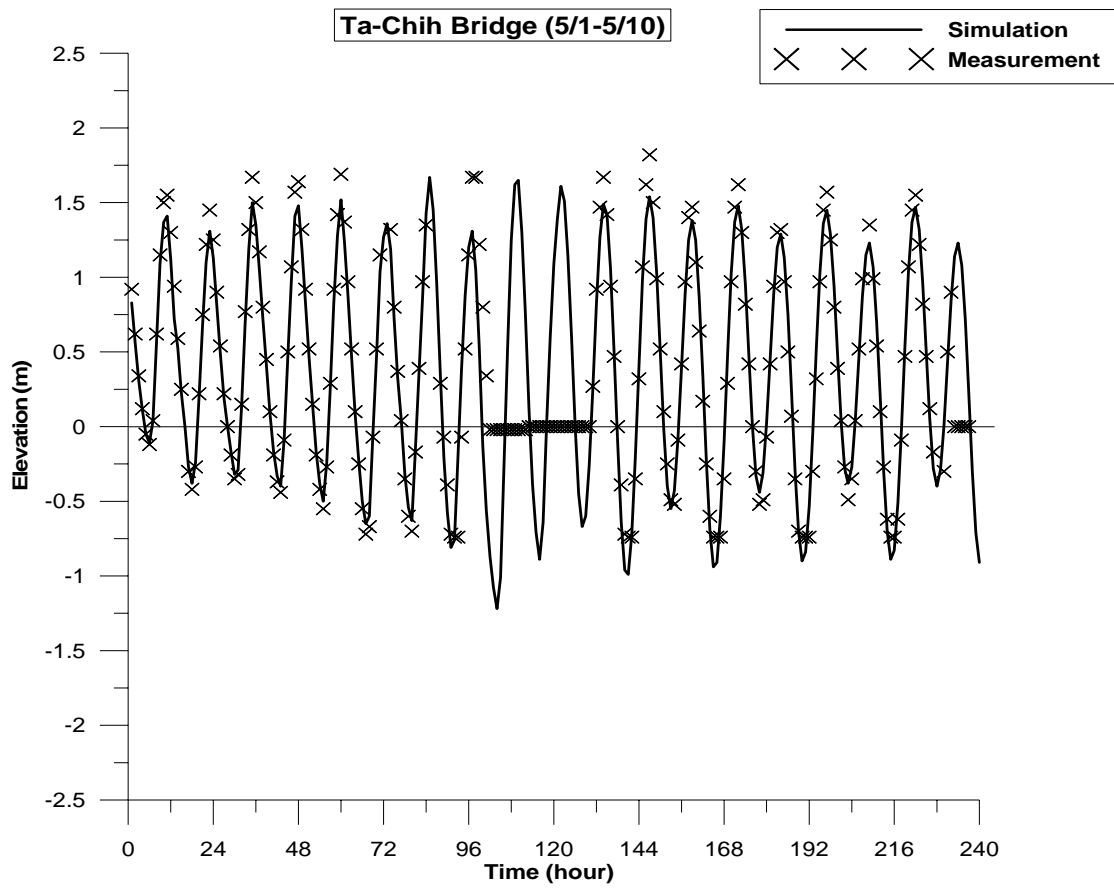


圖 4-11 大直橋實測水位與模式模擬水位之比較

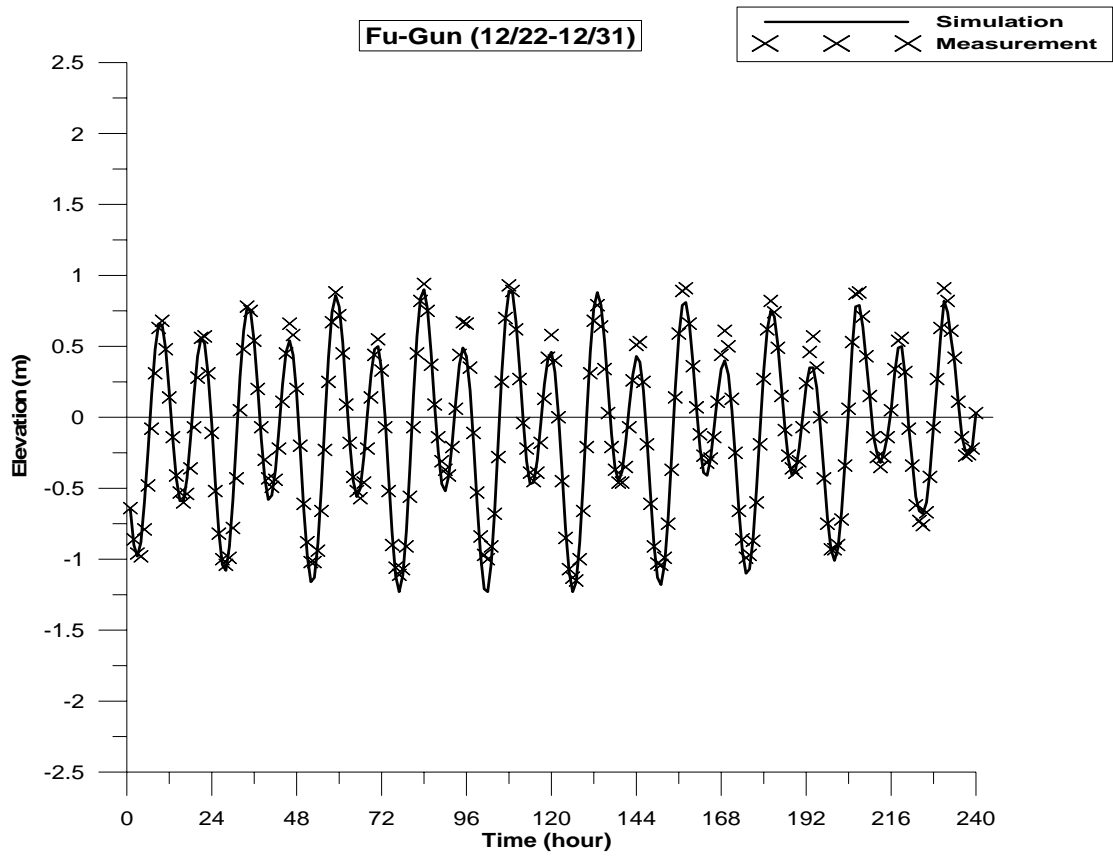


圖 4-12 富基漁港實測水位與模式模擬水位之比較

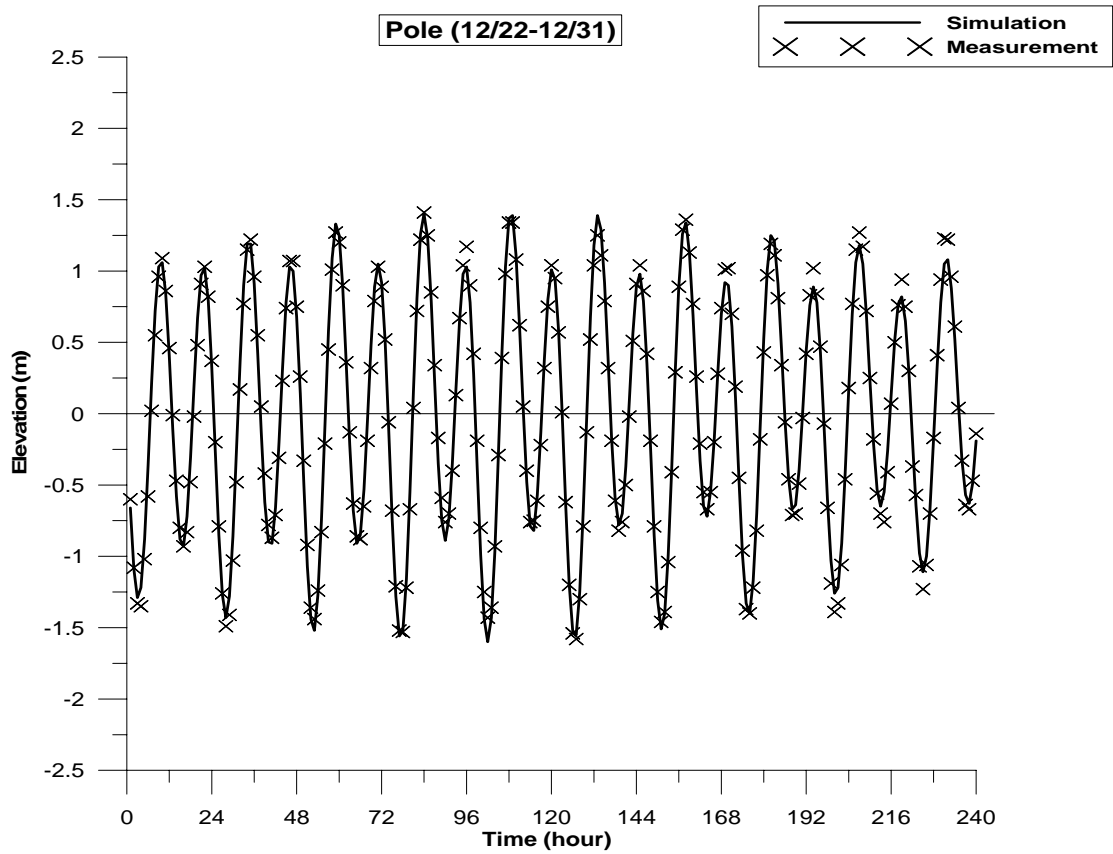


圖 4-13 淡水河外海觀測樁實測水位與模式模擬水位之比較

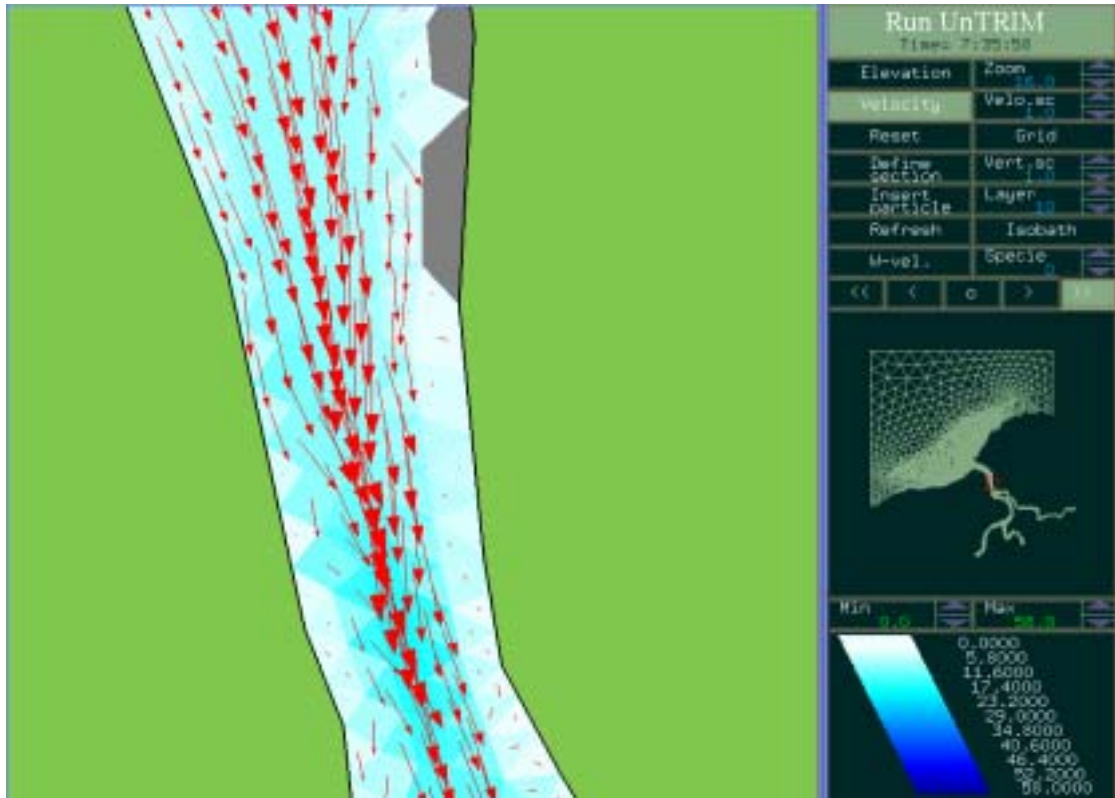


圖 4-14 關渡站漲潮時之沿河道速度（紅色箭頭所示）

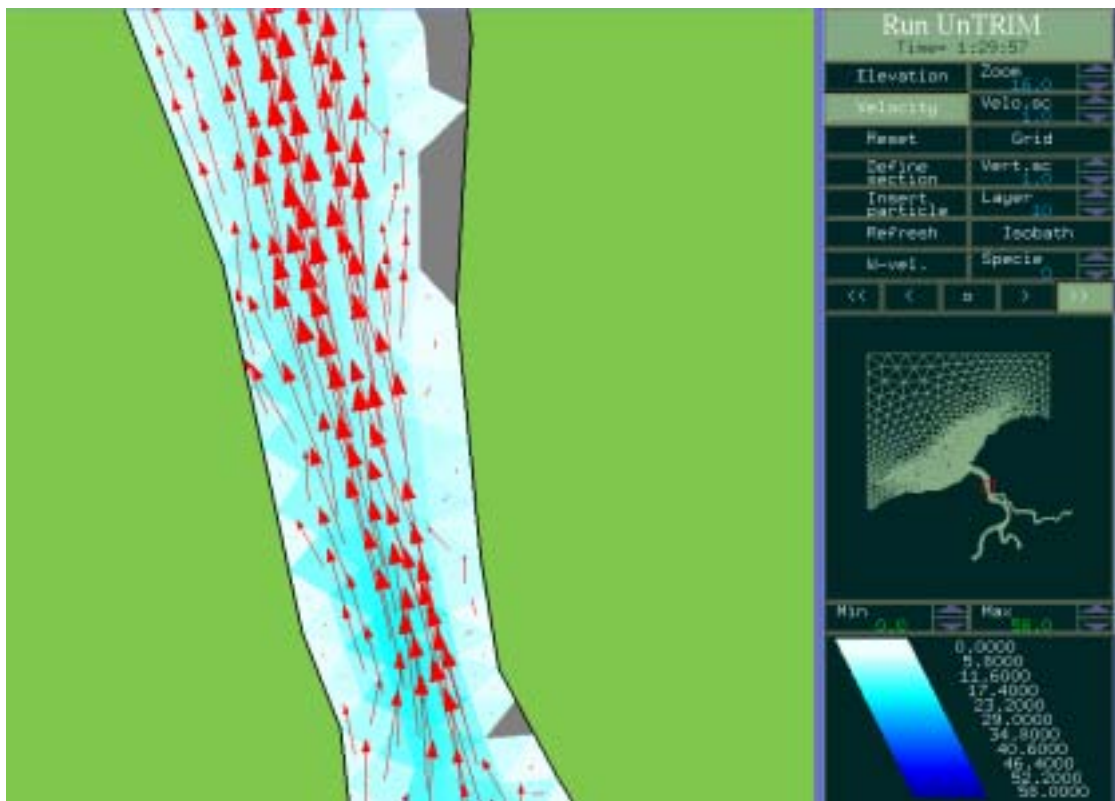


圖 4-15 關渡站退潮時之沿河道速度（紅色箭頭所示）

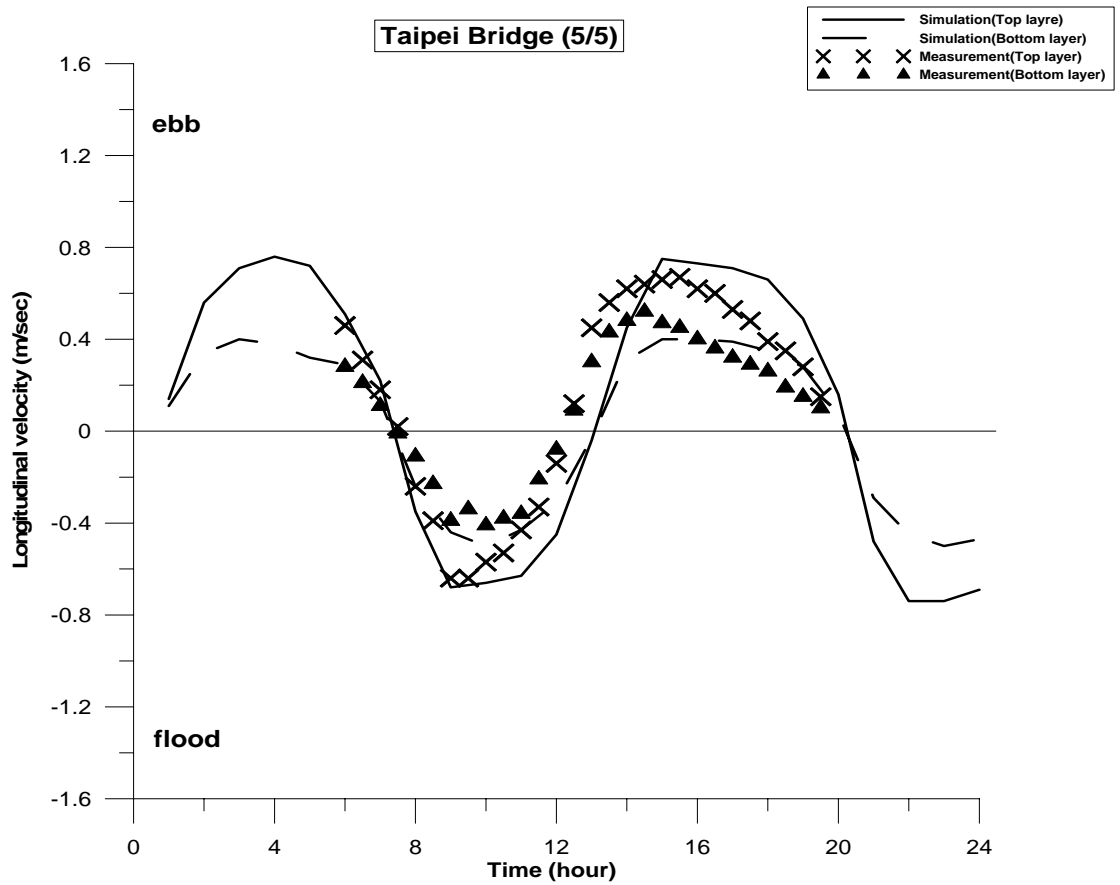
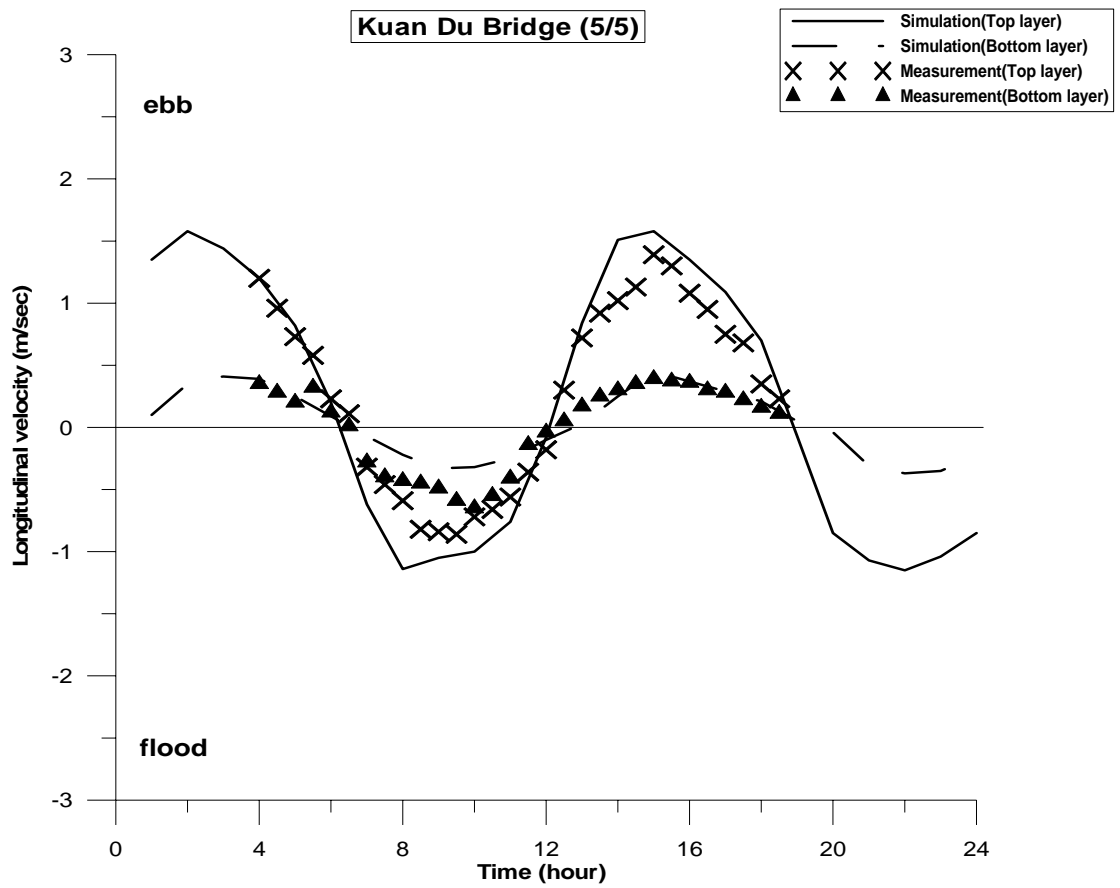


圖4-16 全潮觀測流速與模式模擬結果之比較(關渡橋與台北橋)

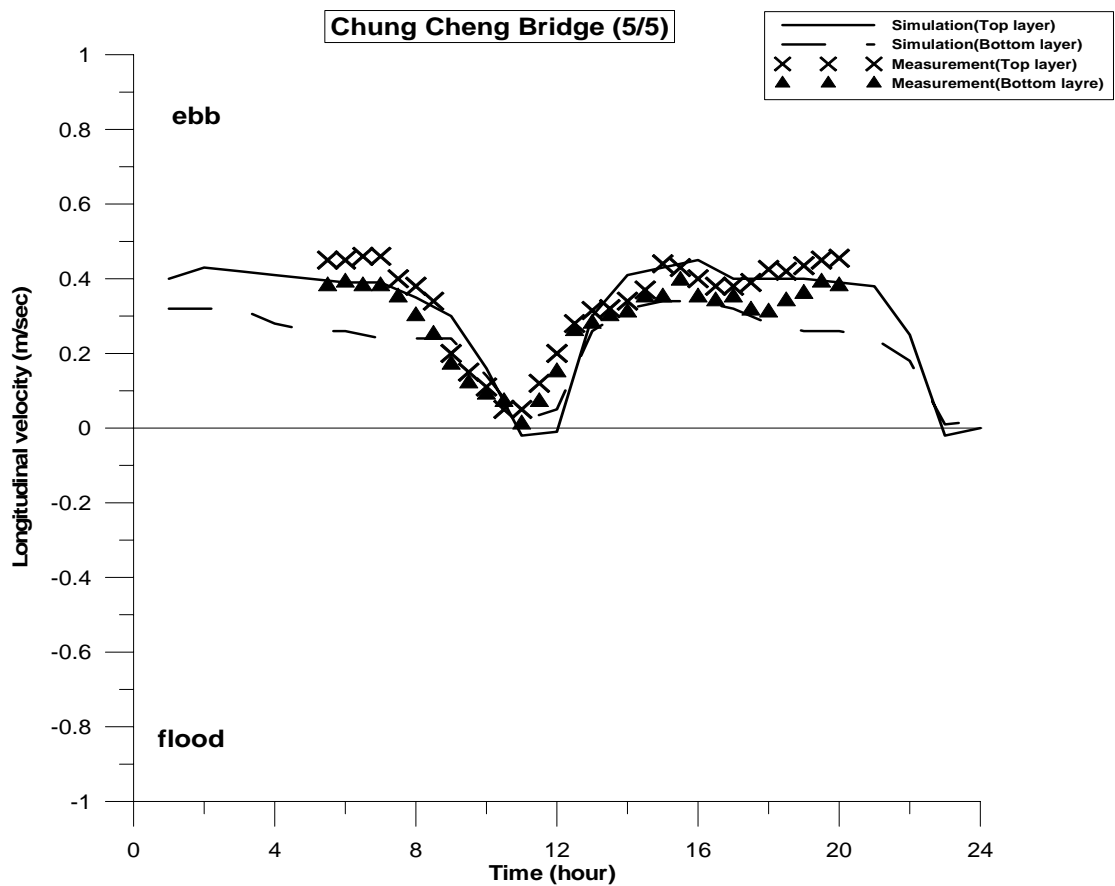
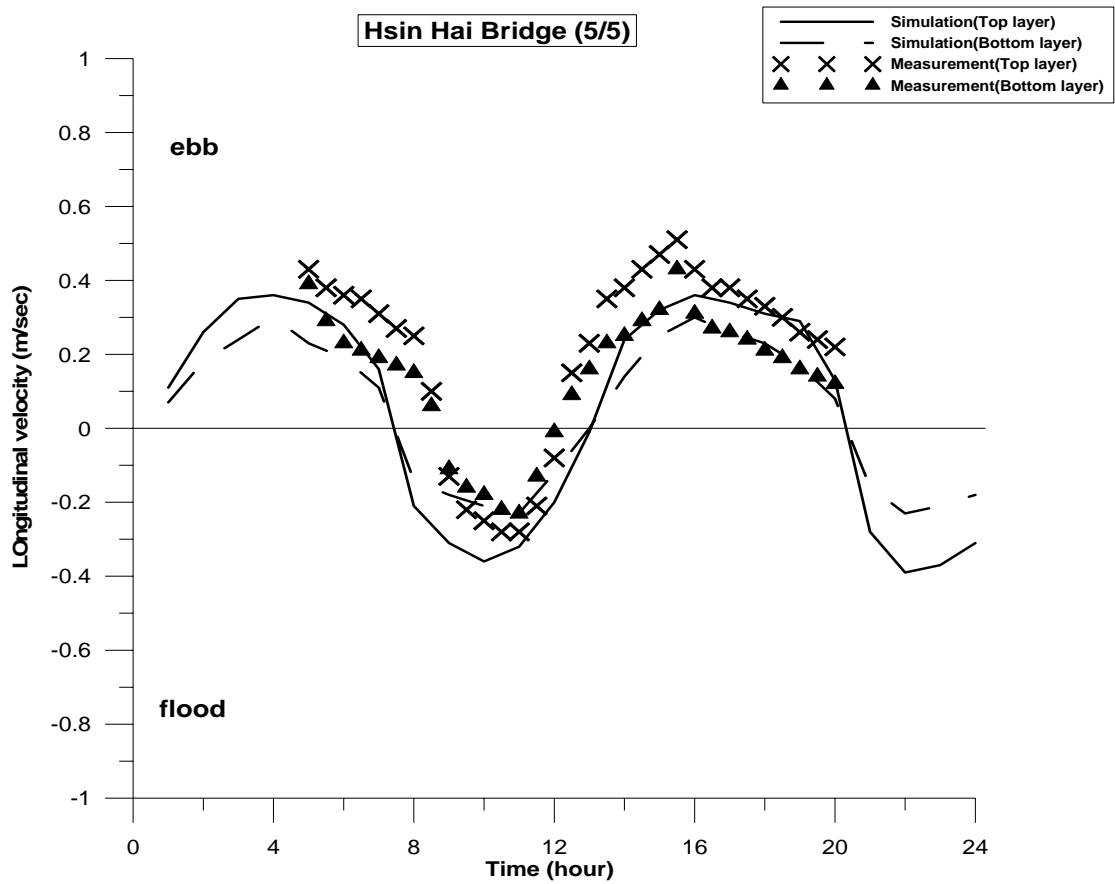


圖4-17 全潮觀測流速與模式模擬結果之比較(新海橋與中正橋)

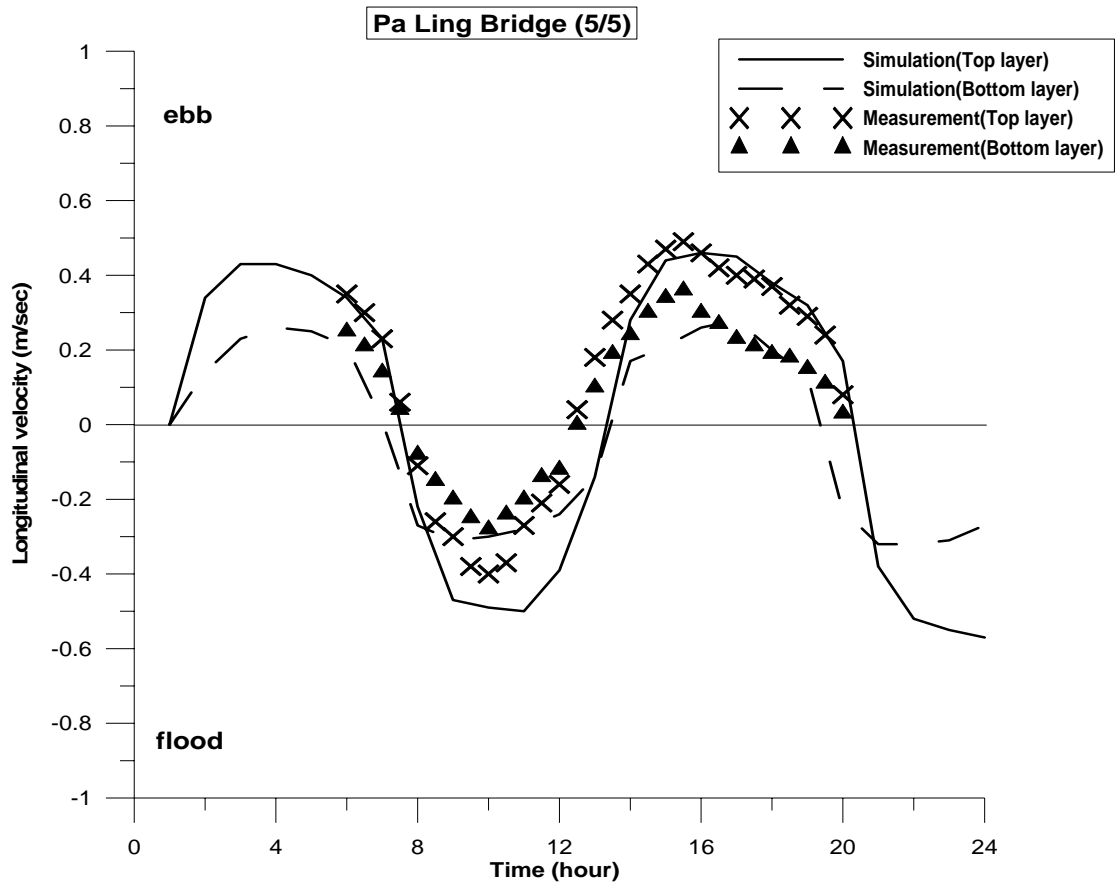


圖4-18 全潮觀測流速與模式模擬結果之比較(百齡橋)

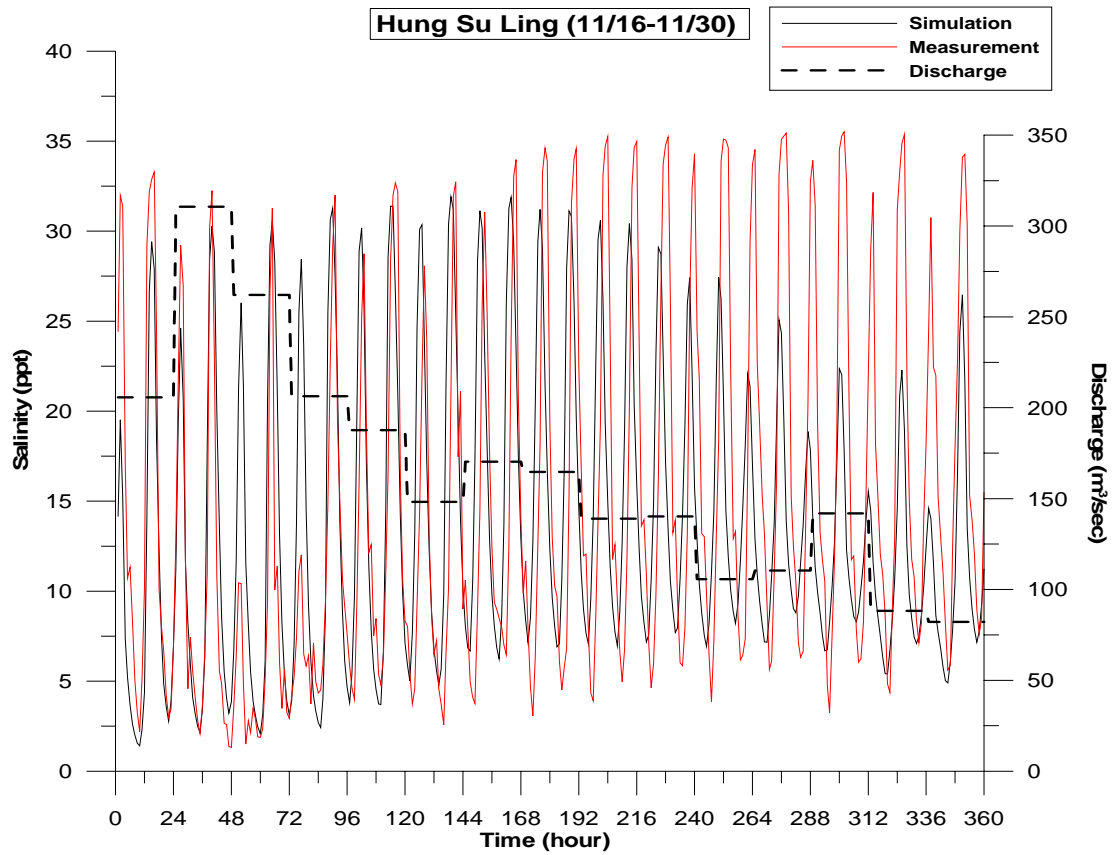


圖 4-19 實測時序鹽度與模式模擬鹽度之比較

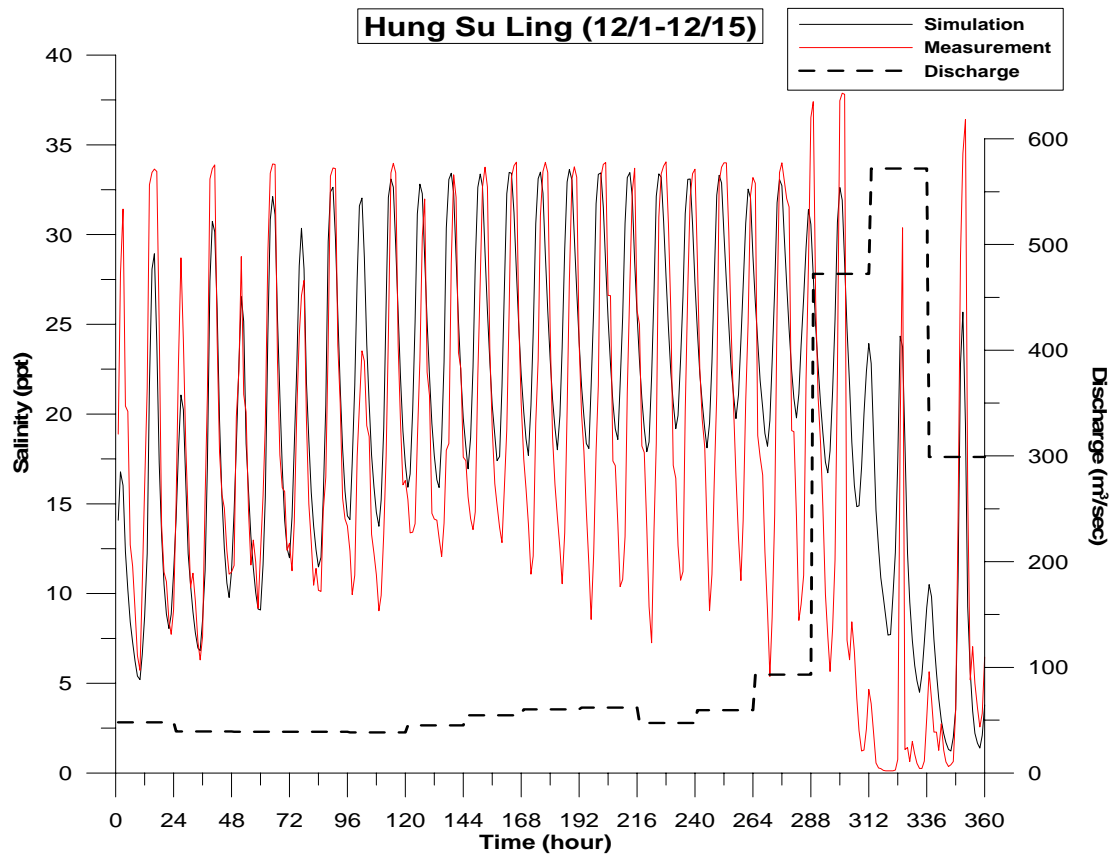


圖 4-19 實測時序鹽度與模式模擬鹽度之比較(續)

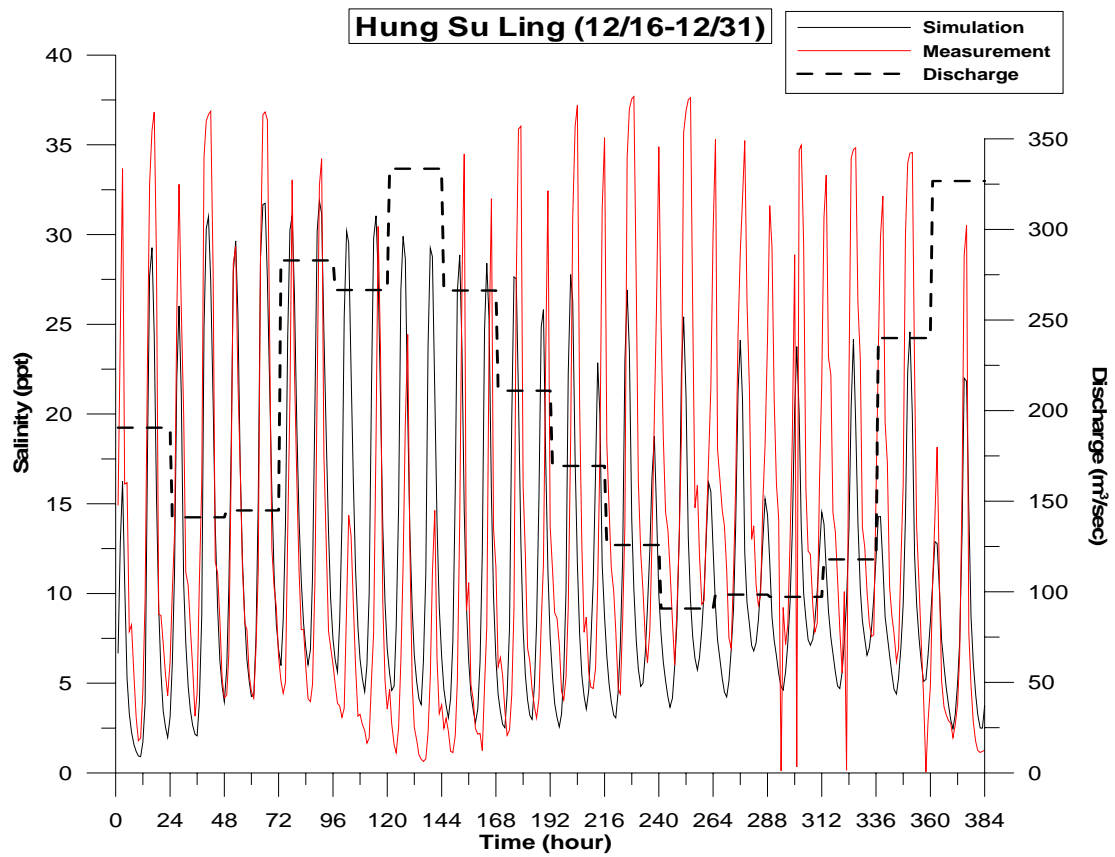


圖 4-19 實測時序鹽度與模式模擬鹽度之比較(續)

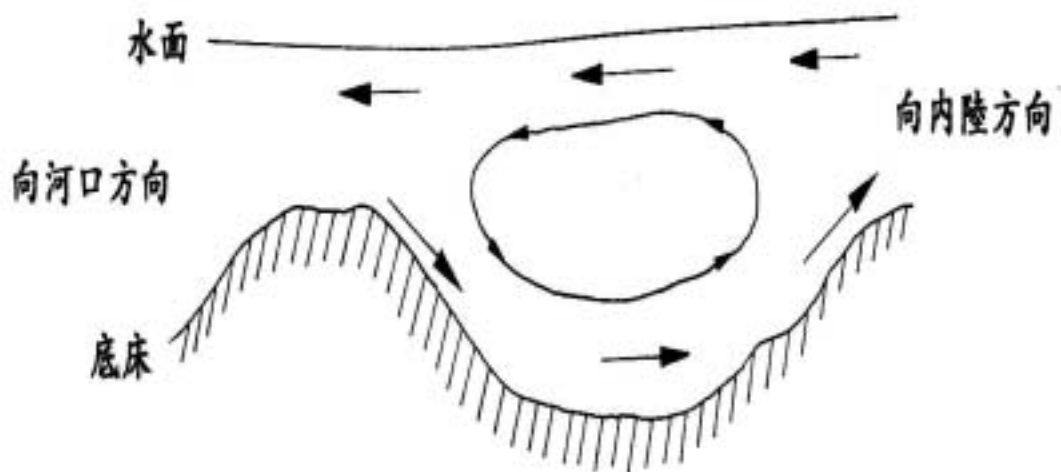


圖4-20 河口環流示意圖

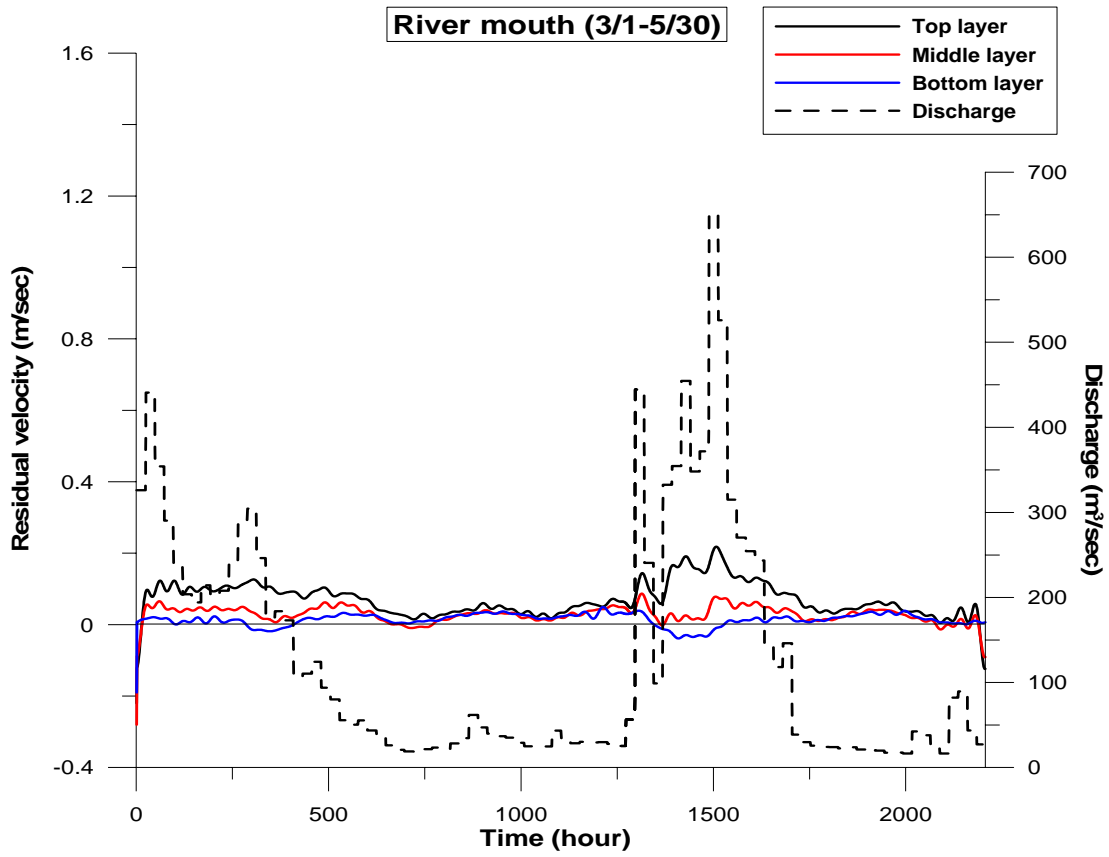


圖4-21 淡水河河口殘餘流速之時序變化

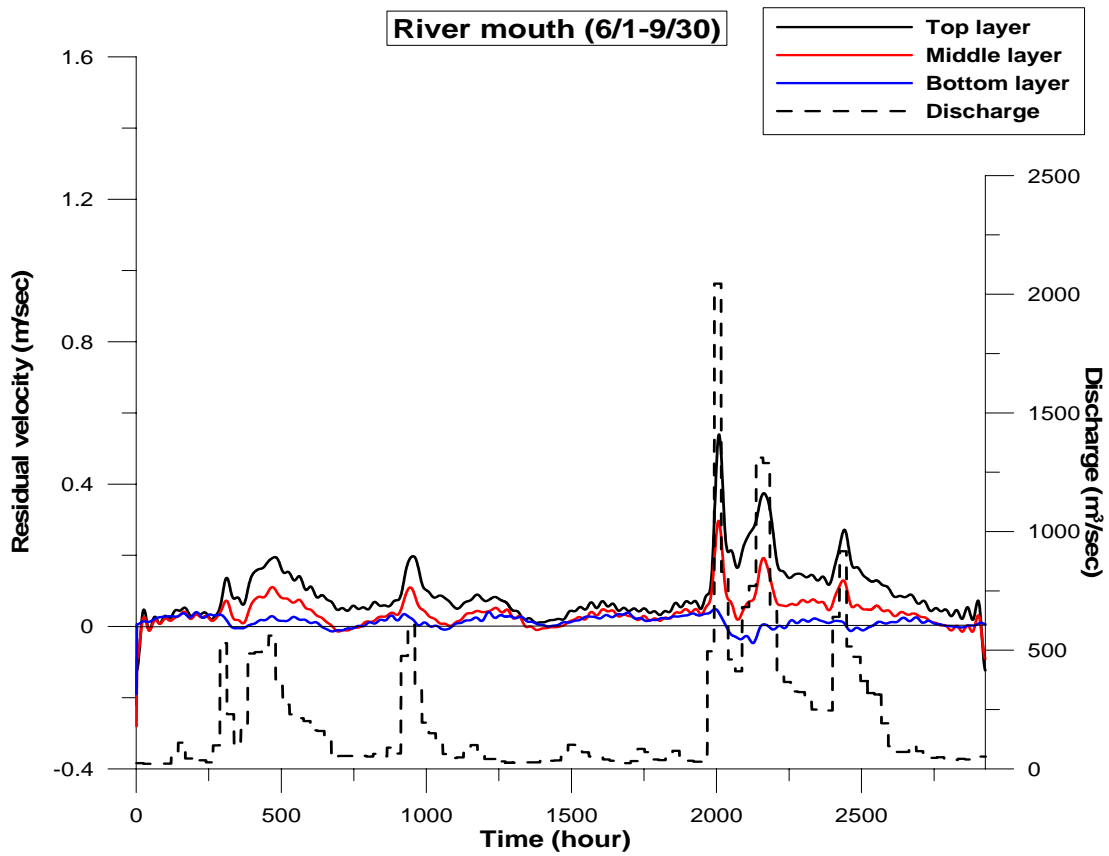


圖4-21 淡水河河口殘餘流速之時序變化(續)

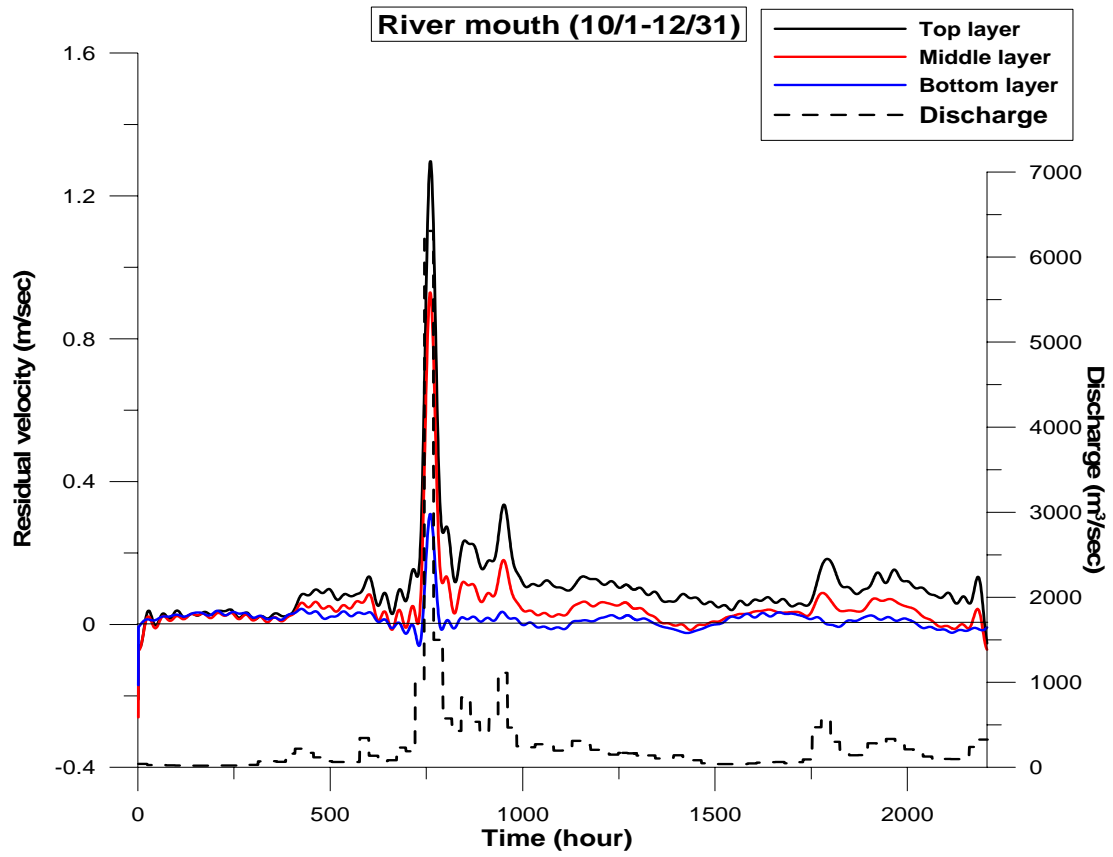


圖4-21 淡水河河口殘餘流速之時序變化(續)

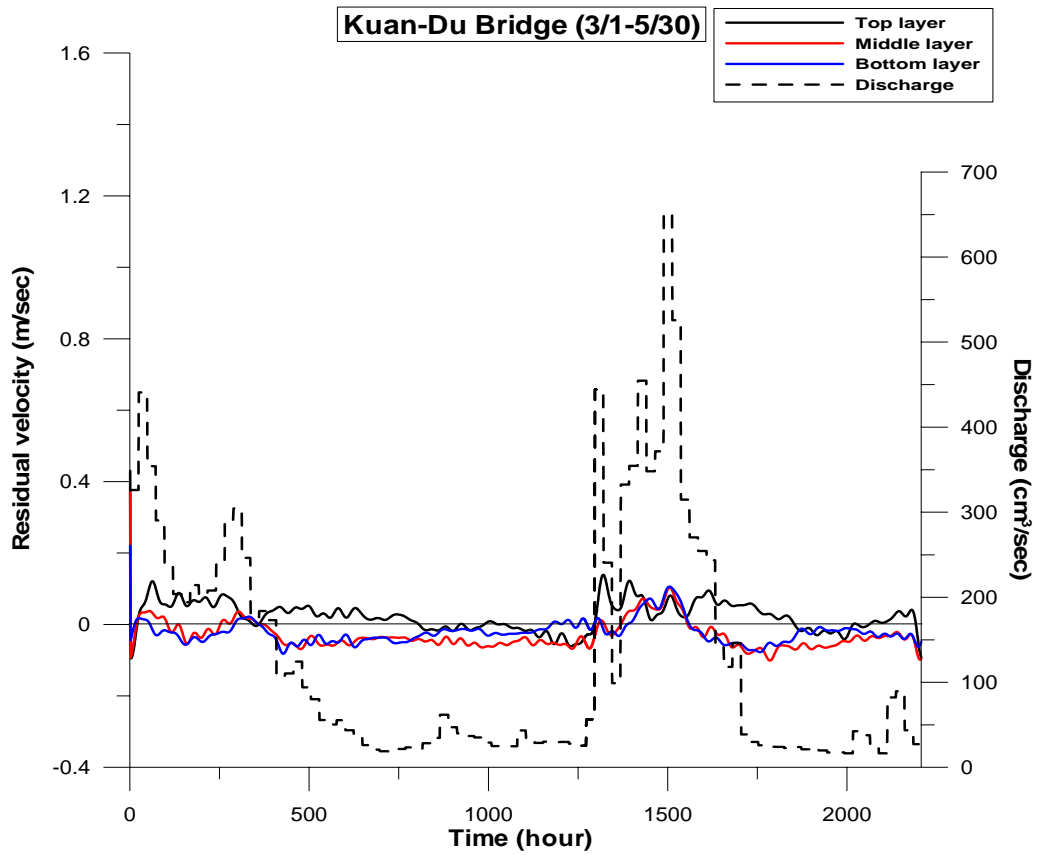


圖4-22 關渡橋殘餘流速之時序變化

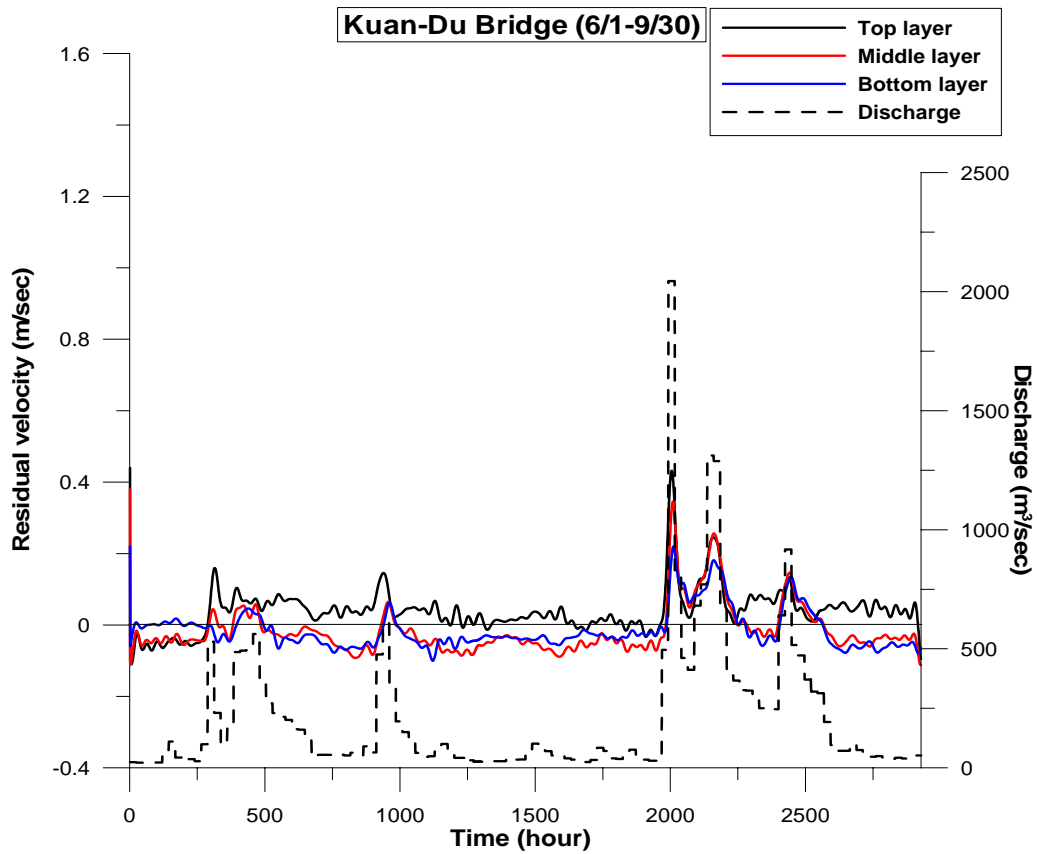


圖4-22 關渡橋殘餘流速之時序變化(續)

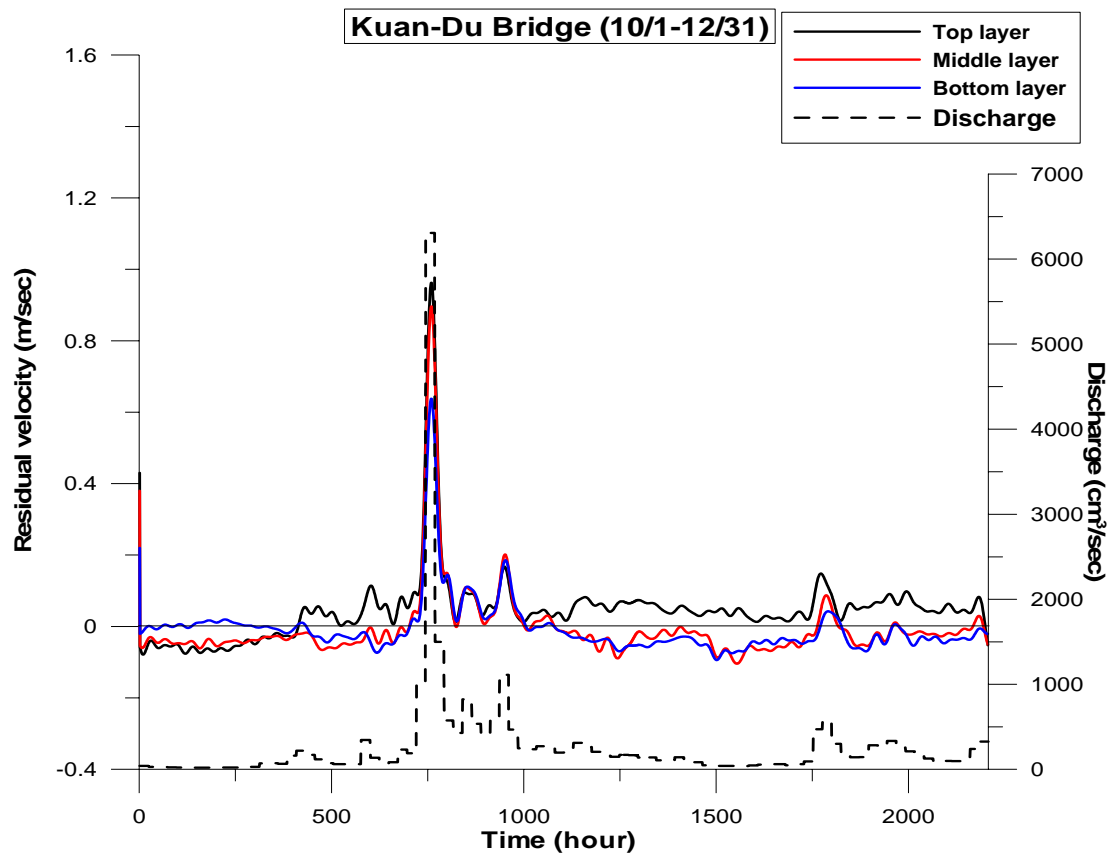


圖4-22 關渡橋殘餘流速之時序變化(續)

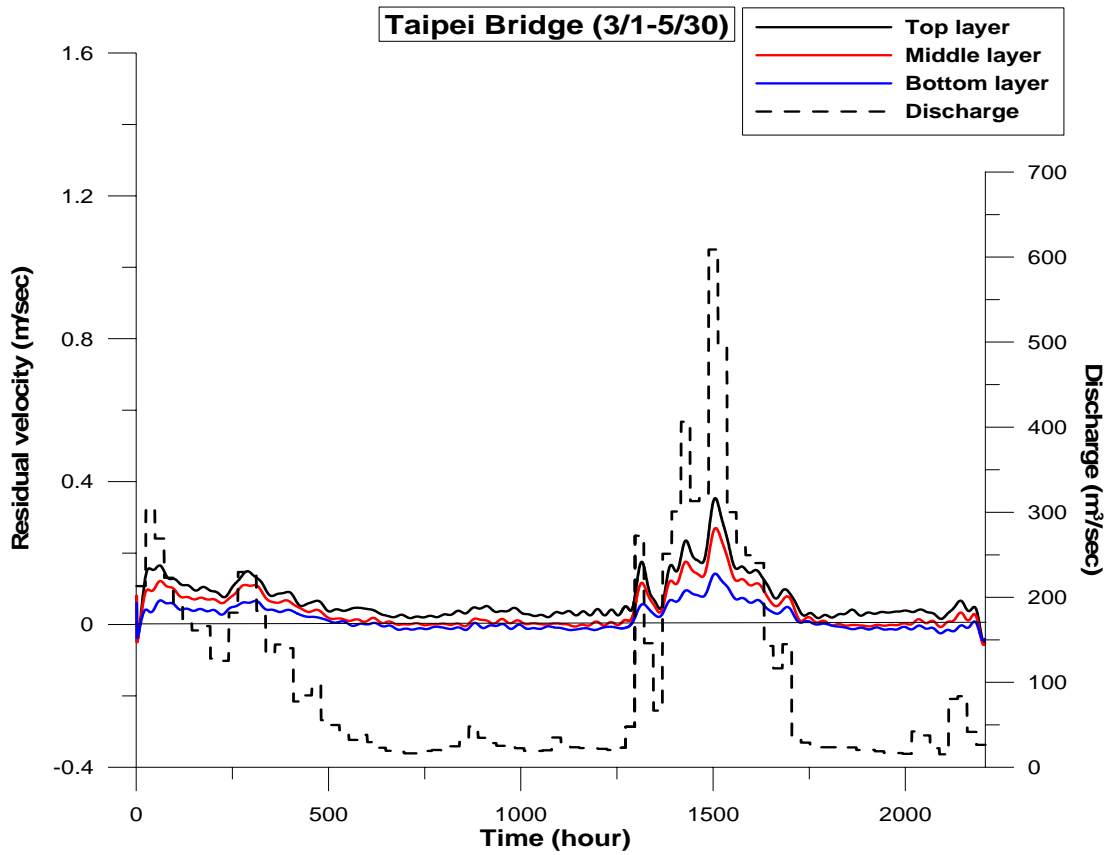


圖4-23 台北橋殘餘流速之時序變化

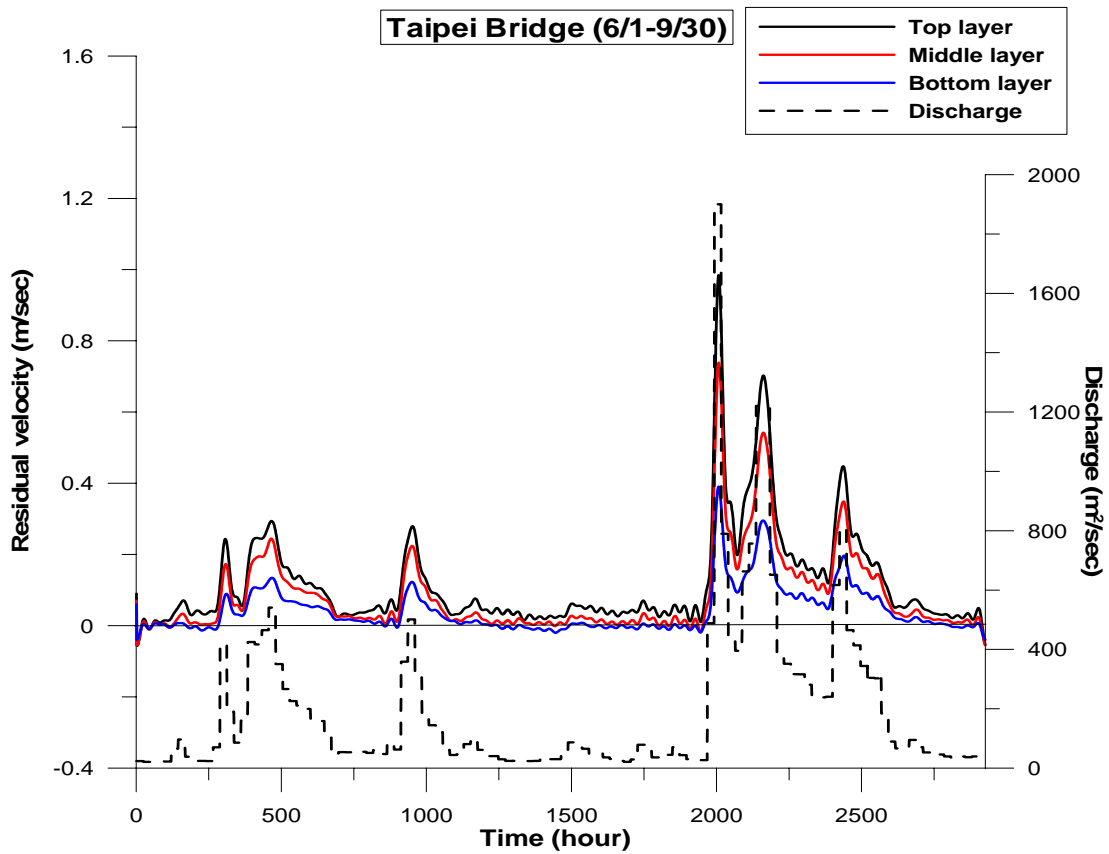


圖4-23 台北橋殘餘流速之時序變化(續)

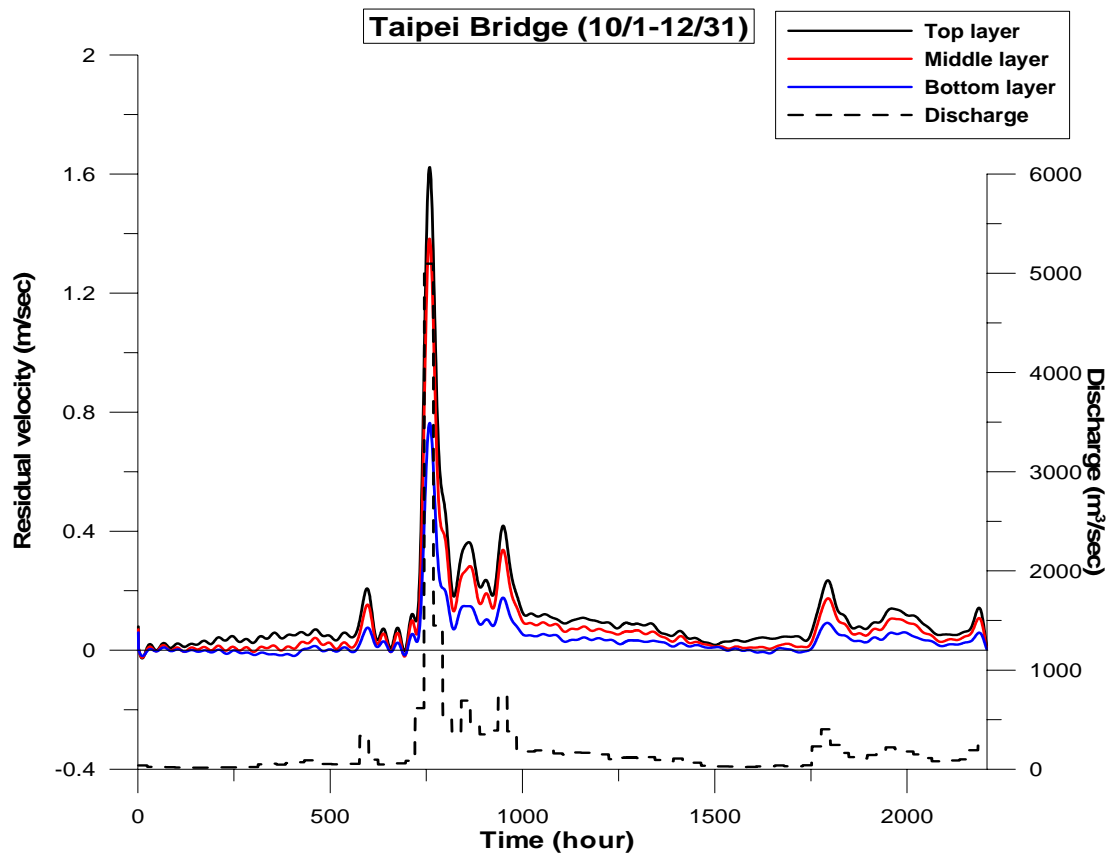


圖4-23 台北橋殘餘流速之時序變化(續)

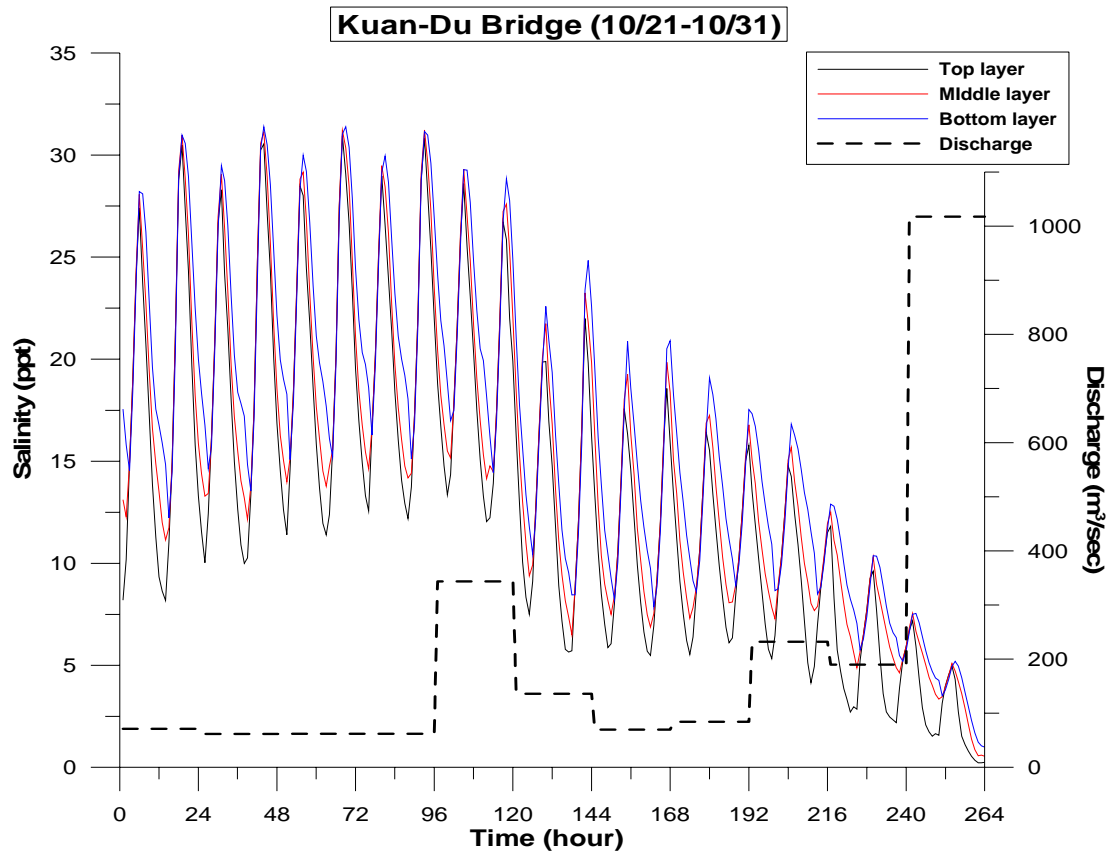


圖 4-24 模式模擬關渡之鹽分時序變化

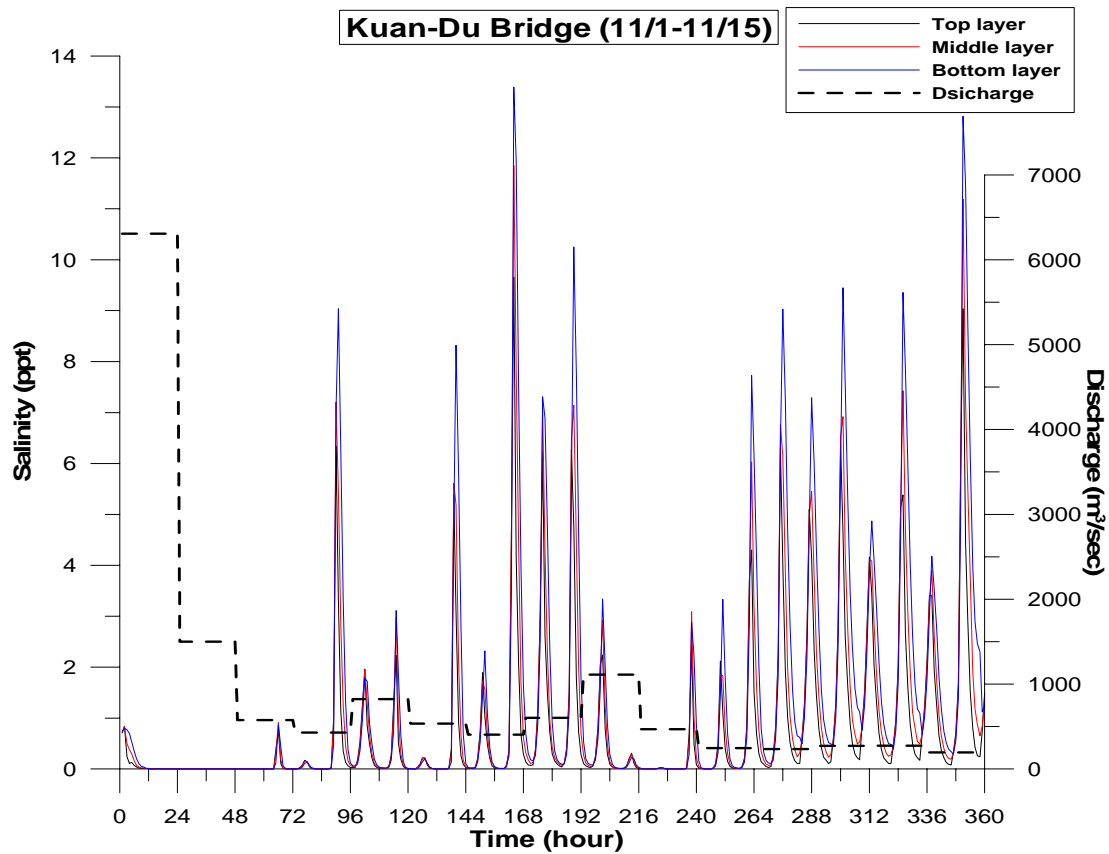


圖 4-24 模式模擬關渡之鹽分時序變化(續)

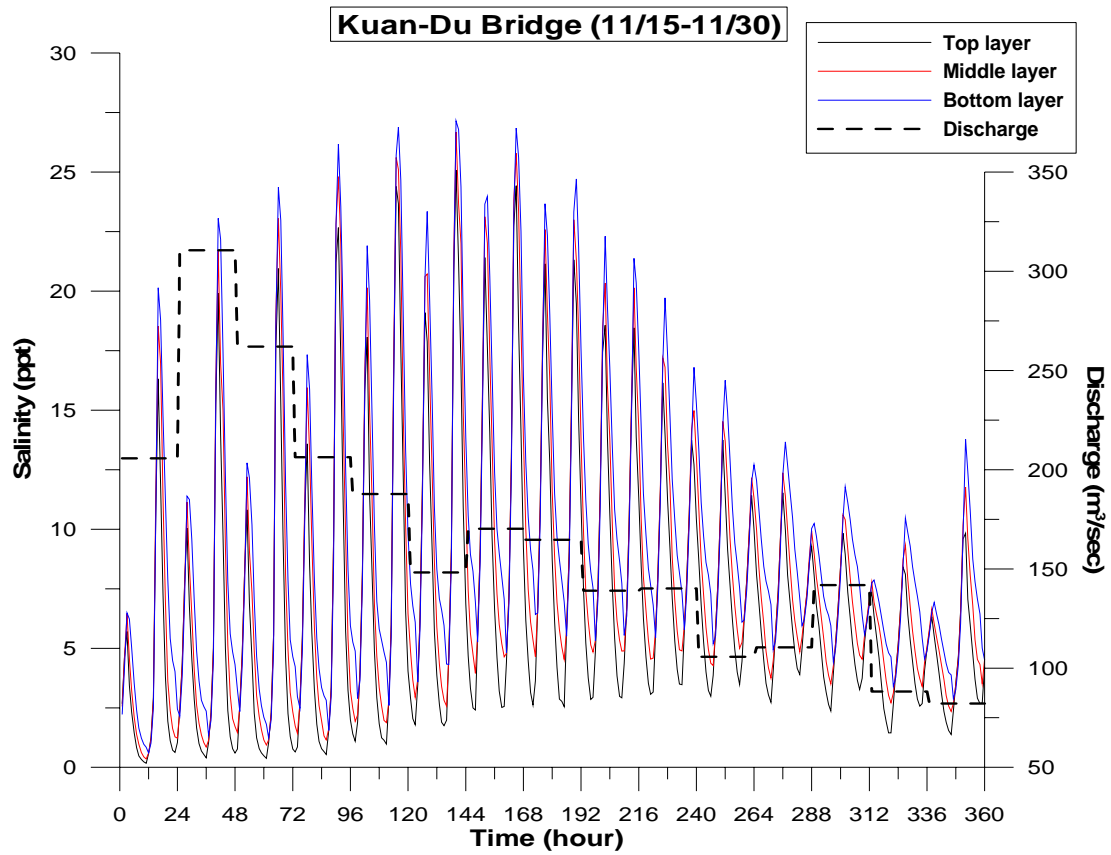


圖 4-24 模式模擬關渡之鹽分時序變化(續)

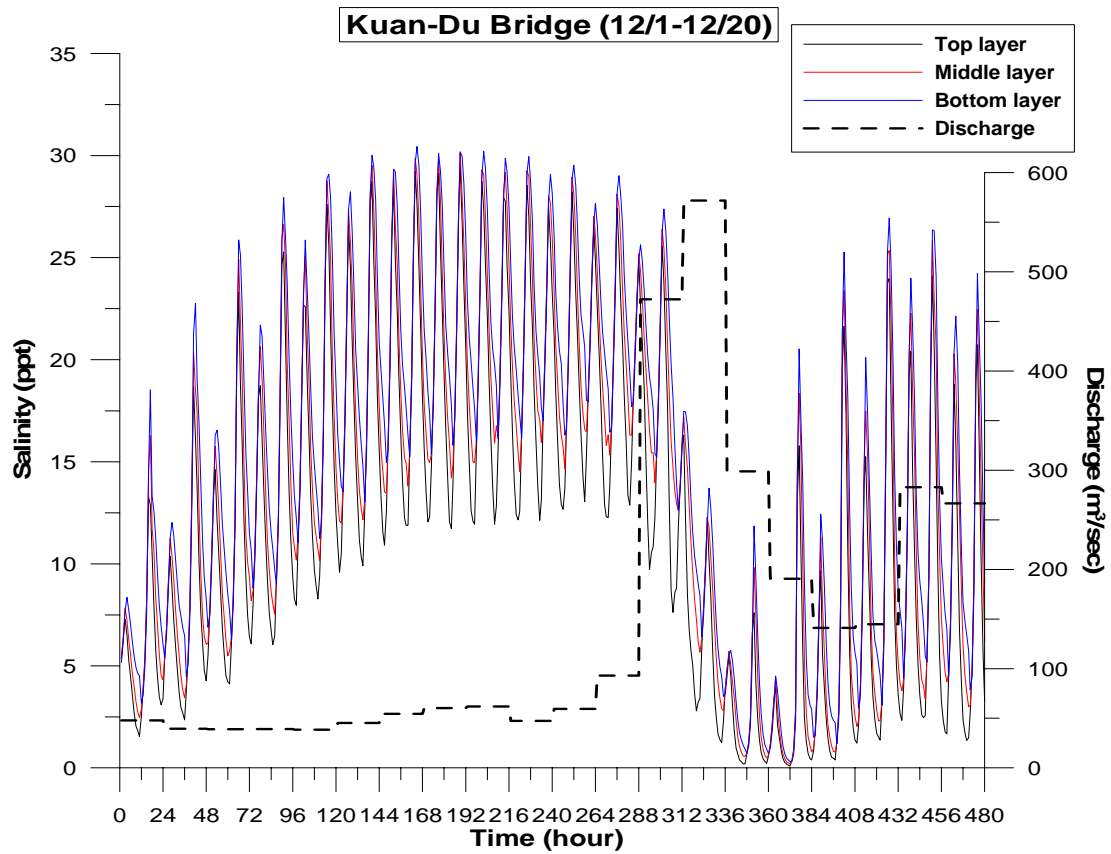


圖 4-24 模式模擬關渡之鹽分時序變化(續)

第五章 模式應用

潮流為影響淡水河系及近海之主要動力，其水理狀況受潮汐傳播之控制，作週期性變化，容易預測，然而淡水河系上游河川流量有季節性及難預測的短暫變化，亦會影響河川潮波之傳遞，其影響之程度以上游河段較為顯著。

在淡水河上游流量很低的情形下，整個淡水河感潮段的水理狀況，完全為潮波傳遞所控制，其水理狀況通常是作為河川水質規劃時之設計條件，故模式應用係採用上游邊件條件為 Q_{75} 之流量（低流量），大漢溪上游為 $4.79 \text{ m}^3/\text{s}$ ，新店溪上游為 $25.32 \text{ m}^3/\text{s}$ ，基隆河上游為 $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ；及平均流量下，大漢溪上游為 $59.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ，新店溪上游為 $87.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ，基隆河上游為 $32.8 \text{ m}^3/\text{s}$ （見表 5-1 所示），外海邊界仍採用五個分潮來驅動。模式模擬三個月，以作為流場與鹽度分析之依據。

模式模擬之結果用以探討下列水理及鹽度分佈現象：

- (1) 淡水河系在 Q_{75} 流量與平均流量下，各主、支流殘餘流速、河口環流與潮週平均之鹽分分佈的差異。
- (2) 基隆河於截彎取直前後（見圖 5-1 及 5-2）上游流量條件相同下之時序鹽度、時序速度、殘餘流速與潮週平均鹽分分佈的差異。

計算所得之結果除可補充實測資料不足處外，亦可提供數據，作為研究影響水理因素相互關係之依據，模式本身更可作為預測水理狀況之工具。

5-1 Q_{75} 流量與平均流量下之殘餘流速與鹽分入侵終點

依據理論推斷感潮河段在低流量鹽分入侵終點會較平均流量下之鹽分入侵終點往感潮河段上游上溯，而當上游低流量下，水面坡度較小，鹽分上溯力量增大時則較易產生河口環流。本研究依據模式所模擬之結果來驗證模式模擬與理論是否吻合。圖 5-3 與圖 5-5 為模式模擬上游為平均流量下淡水河系各主、支流之潮週平均鹽分分佈；鹽分入侵終點於淡水河-大漢溪約至距淡水河河口 12 公里處未達台北橋，新店溪無鹽分入侵，基隆河則未達百齡橋；圖 5-6 至 5-8 為模式模擬上游為 Q_{75} 流量下淡水河系各主、支流之潮週平均鹽分分佈；淡水河-大漢溪約至新海橋附近，新店溪鹽分入侵終點到達距淡水河匯流口約 4 公里左右，基隆河則延伸到近大直橋附近。模擬結果與前人之研究結果(Hsu et.al., 1999)相差不大。

圖 5-9 至 5-11 為平均流量下，模式模擬淡水河系各主、支流之殘餘流速，結果顯示於平均流量下除關渡橋外，其餘無河口環流現象產生；圖 5-12 至 5-14 為 Q_{75} 流量下，模式模擬淡水河系各主、支流之殘餘流速，結果顯示除了關渡橋的河口環流現象有增強外，新店溪(距新店溪口 1.8 公里左右)及基隆河(距基隆河口 8 公里左右)亦產生微弱的河口環流現象，模擬結果與(Hsu et al., 1999)研究所得相符，亦即在上游為低流量時，水面坡度較小，鹽分上溯力量增大，較易產生河口環流。

5-2 基隆河截彎取直對殘餘流速與鹽度之影響

另一個演算是將模式應用在基隆河截彎取直前的地形，圖 5-15 為基隆河截彎取直前後上游為 Q_{75} 流量下台北橋的鹽度時序變化，兩

者差異不大；圖 5-16 為基隆河截彎取直前後上游為 Q_{75} 流量下百齡橋的鹽度時序變化，兩者有顯著之差異，即基隆河截彎取直前之鹽度要較截彎取直後為高。圖 5-17 與圖 5-18 則為基隆河截彎取直前後，百齡橋頂層及底層之流速時序變化，模擬結果亦顯示，基隆河於截彎取直前之流速要較截彎取直後為大；此現象應是截彎取直前之河道較截彎取直後之河道為長（約六公里），故潮稜（Tidal prism）較大所造成。本研究亦探討基隆河截彎取直前上游在平均流量及 Q_{75} 流量下，淡水河系各主、支流之殘餘流速與潮週平均之鹽分分佈。圖 5-19 與圖 5-21 為模式模擬基隆河截彎取直前，上游為平均流量下淡水河系各主、支流之潮週平均鹽分分佈（平均流量下新店溪無鹽分入侵）；圖 5-22 至 5-24 為模式模擬基隆河截彎取直前上游為 Q_{75} 流量下淡水河系各主、支流之潮週平均鹽分分佈。模式模擬結果顯示，淡水河-大漢溪及新店溪在截彎取直前後，平均流量與 Q_{75} 流量下鹽分入侵終點幾乎沒有改變，而基隆河在截彎取直前之鹽分入侵終點比截彎取直後要往上游偏移。

圖 5-25 至 5-27 為模式模擬基隆河截彎取直前上游平均流量下淡水河系各主、支流之殘餘流速，模式結果顯示，基隆河截彎取直前後於淡水河-大漢溪及新店溪殘餘流速幾無差異；但於基隆河之殘餘流速則截彎取直前要稍大於截彎取直後；另外，模式結果亦顯示，基隆河截彎取直前於上游平均流量下，除關渡橋外其餘各支流無河口環流現象產生；圖 5-28 至圖 5-30 為上游 Q_{75} 流量作用下，模式模擬基隆河截彎取直前淡水河系各主、支流之殘餘流速，模擬結果顯示，基隆河截彎取直前後於淡水河-大漢溪及新店溪殘餘流速之大小與河口環流之強弱差異不大；但於基隆河則顯示出，截彎取直前之殘餘流速與河口環流要稍大於截彎取直後。雖然模式模擬基隆河在截彎取直前，鹽

分入侵要較截彎取直後上溯，但因大直橋附近河床深度淺，鹽度不高，分層亦不顯著，故於截彎取直前後基隆河在低流量下可能產生河口環流之位置大致相同（距基隆河口 8 公里左右）。

表5-1 淡水河系上游邊界條件之淡水流量

上游邊界	流量 平均流量 (m^3/sec)	Q_{75} 流量 (m^3/sec)
大漢溪	59.2	4.79
新店溪	87.1	25.32
基隆河	32.8	5.0

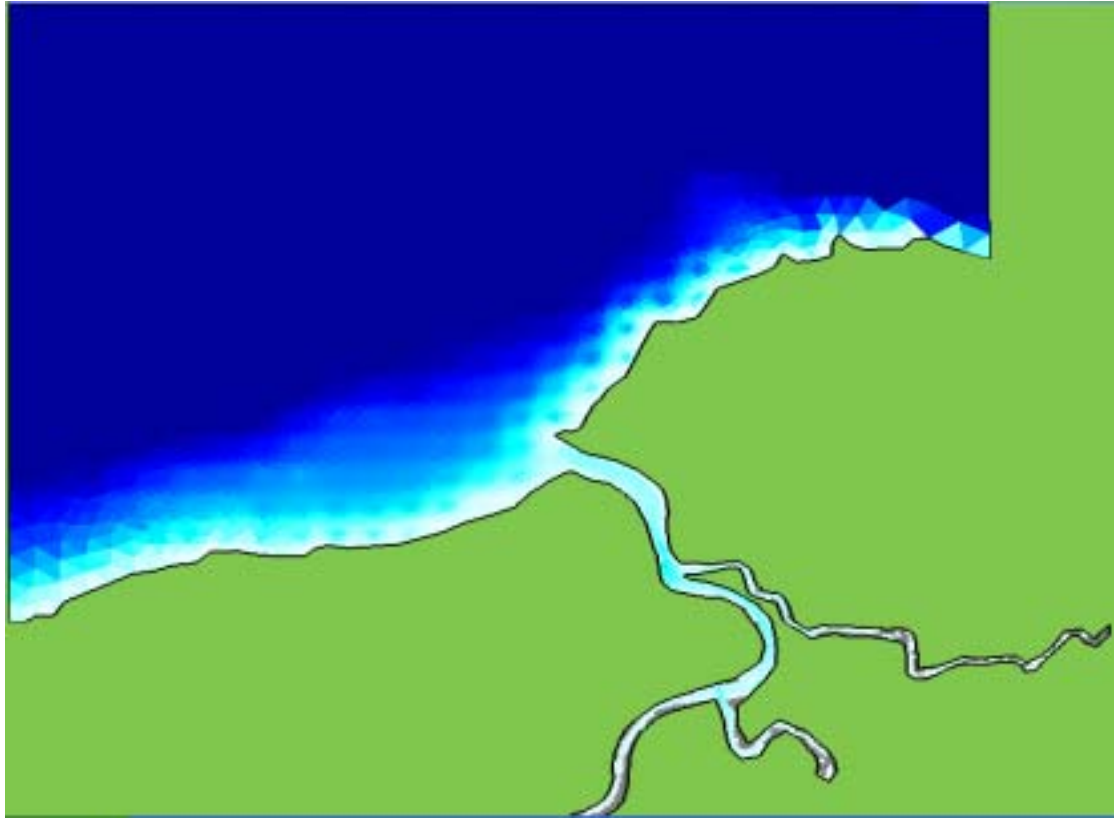


圖 5-1 淡水河系與近海示意圖（基隆河截彎取直後）

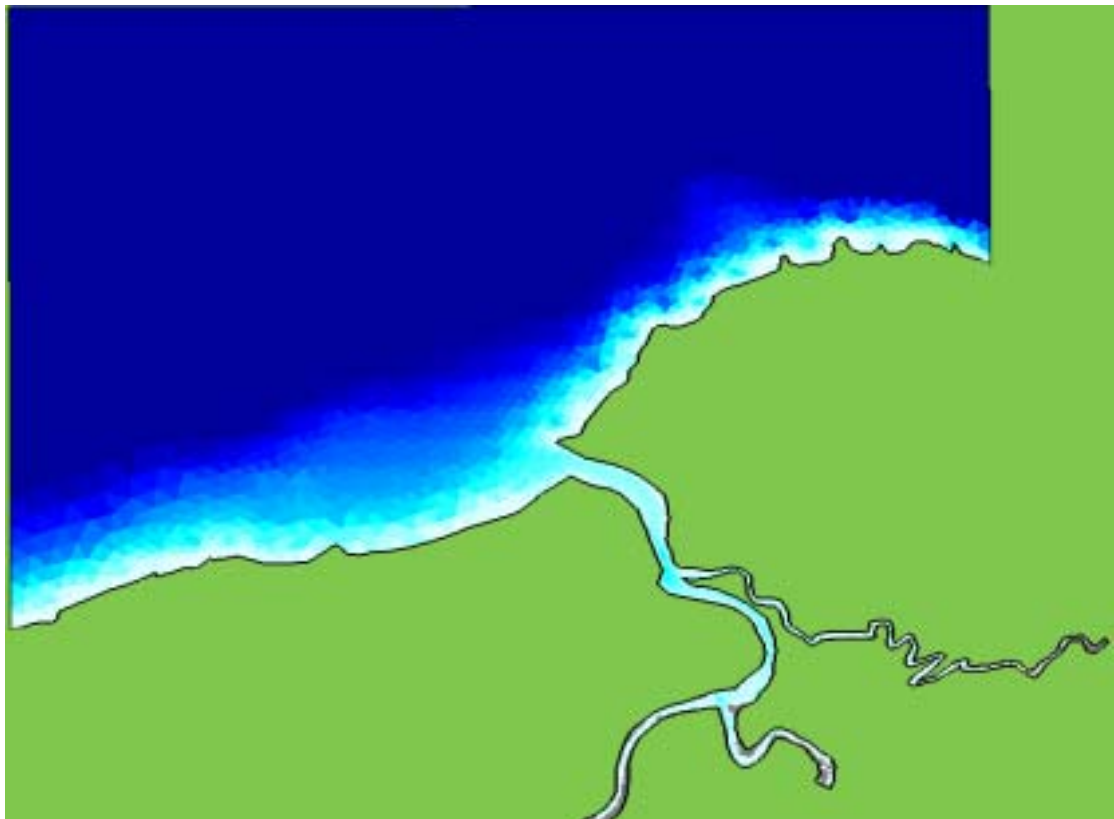


圖 5-2 淡水河系與近海示意圖（基隆河截彎取直前）

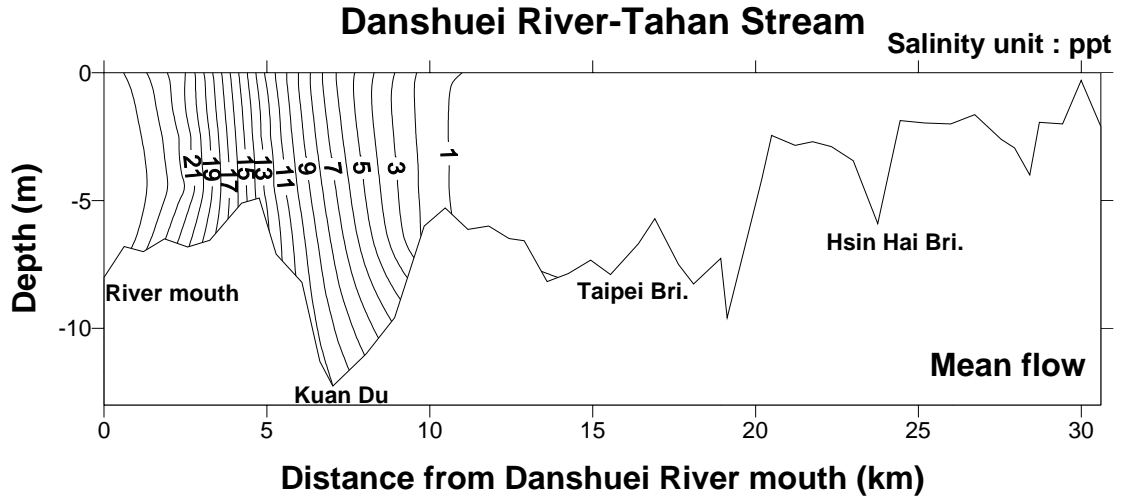


圖 5-3 模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (淡水河-大漢溪)

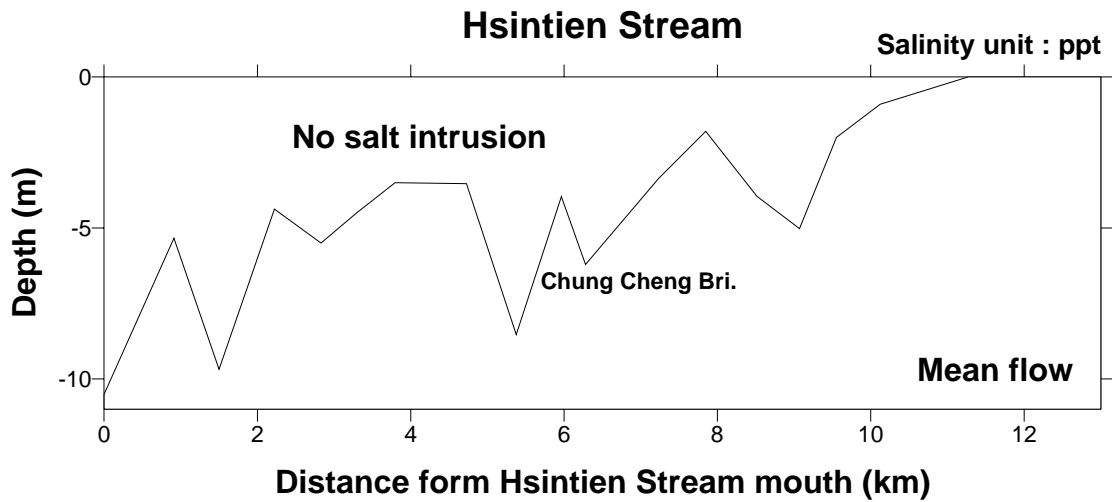


圖 5-4 模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (新店溪)

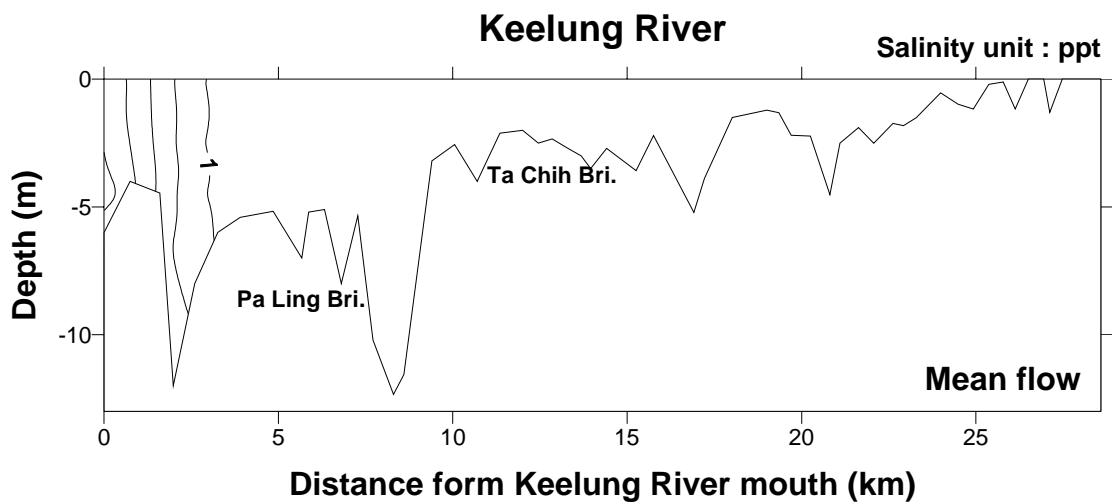


圖 5-5 模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (基隆河)

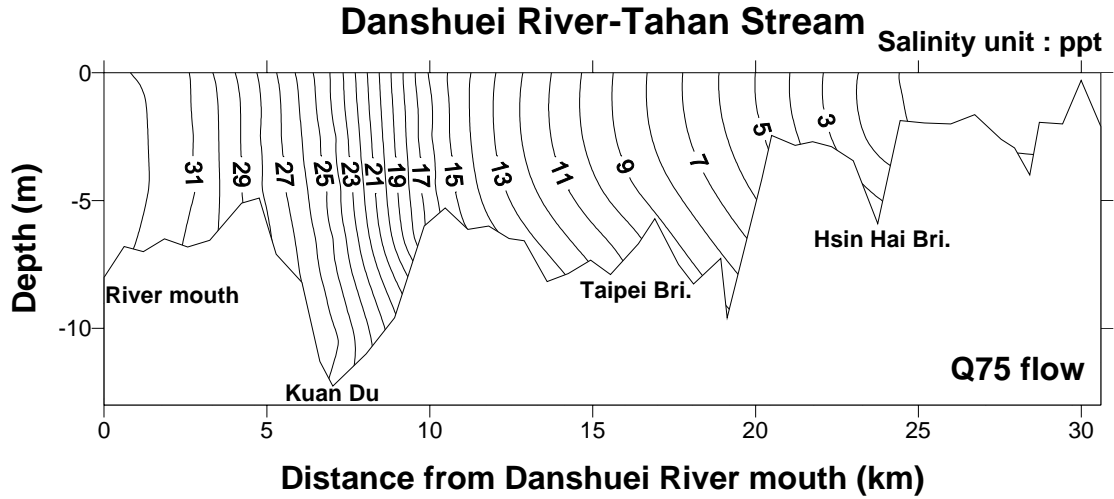


圖 5-6 模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (淡水河-大漢溪)

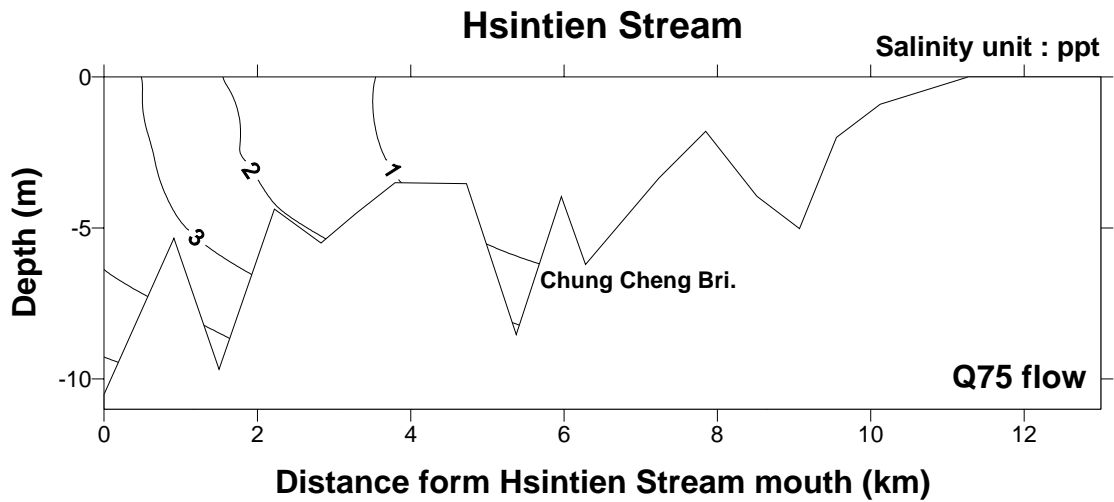


圖 5-7 模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (新店溪)

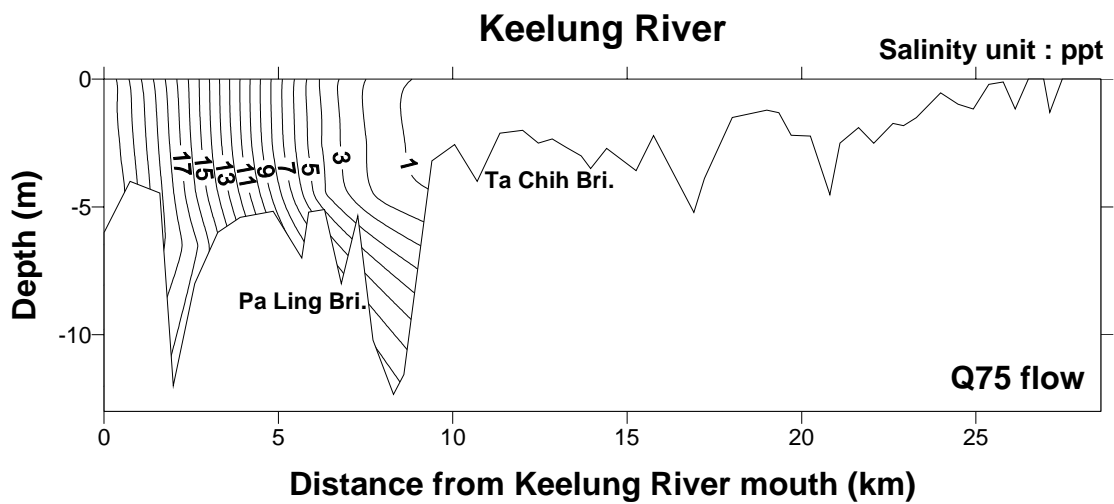


圖 5-8 模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (基隆河)

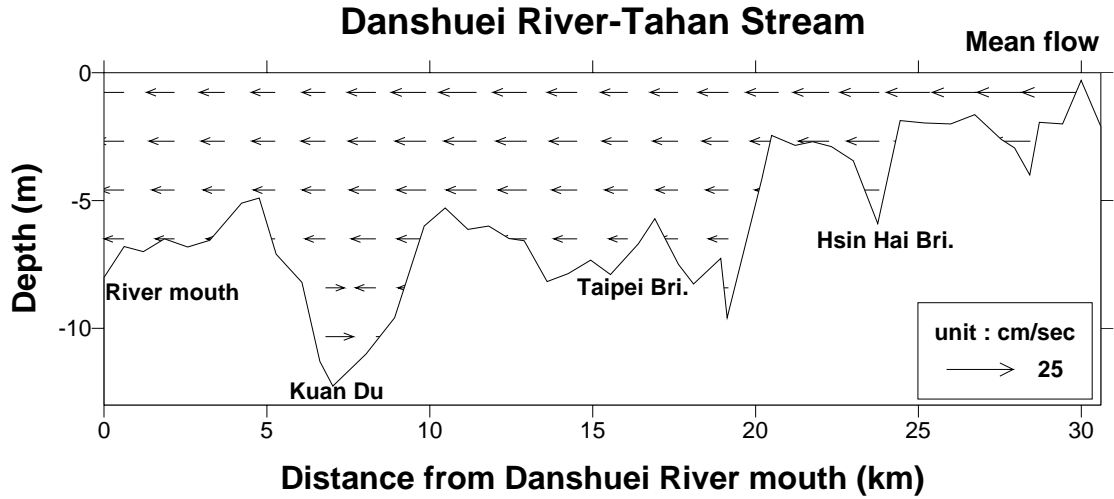


圖 5-9 模式模擬平均流量下之殘餘流速 (淡水河-大漢溪)

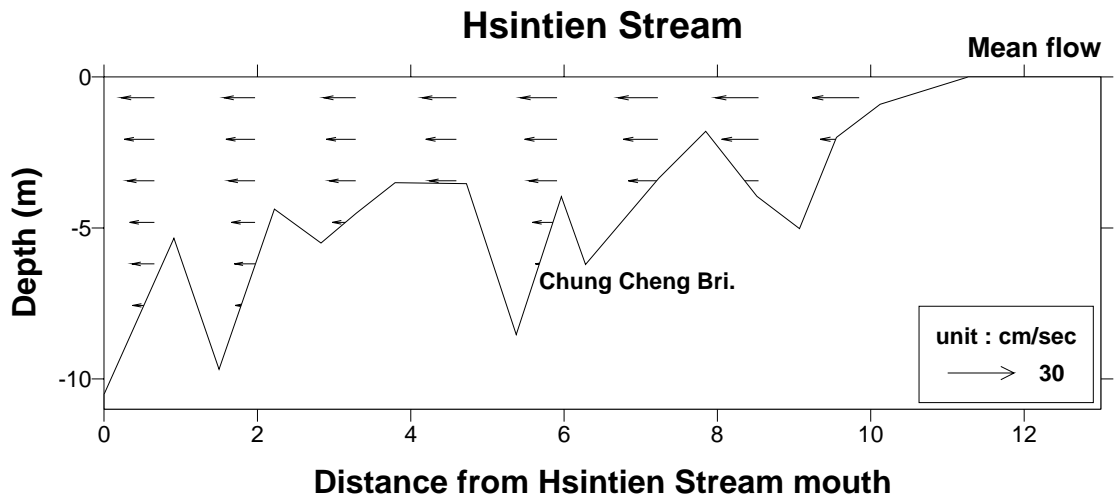


圖 5-10 模式模擬平均流量下之殘餘流速 (新店溪)

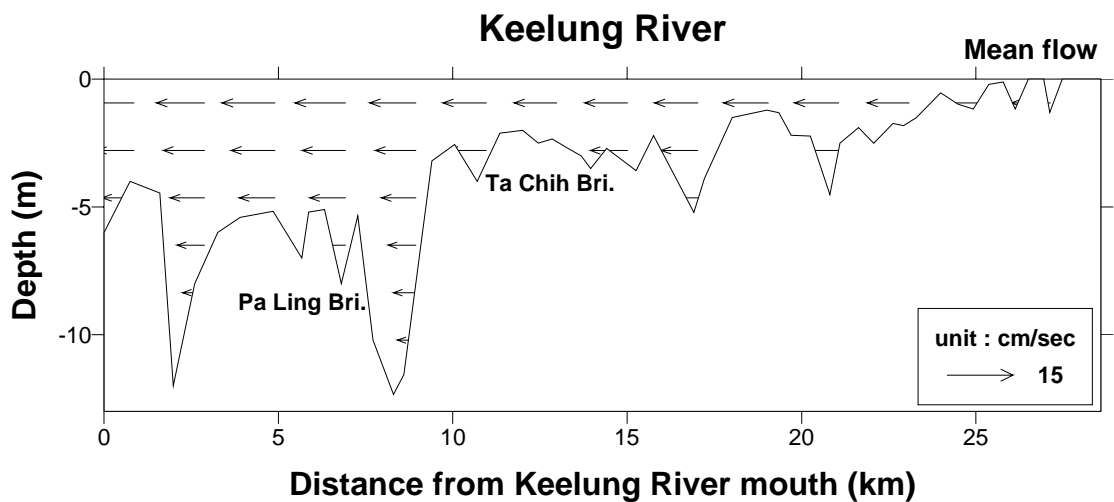


圖 5-11 模式模擬平均流量下之殘餘流速 (基隆河)

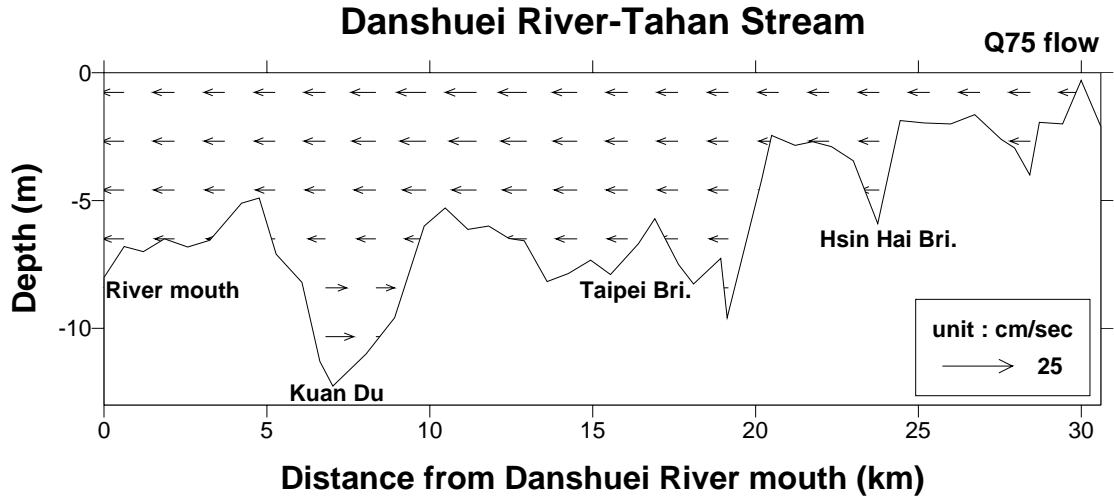


圖 5-12 模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (淡水河-大漢溪)

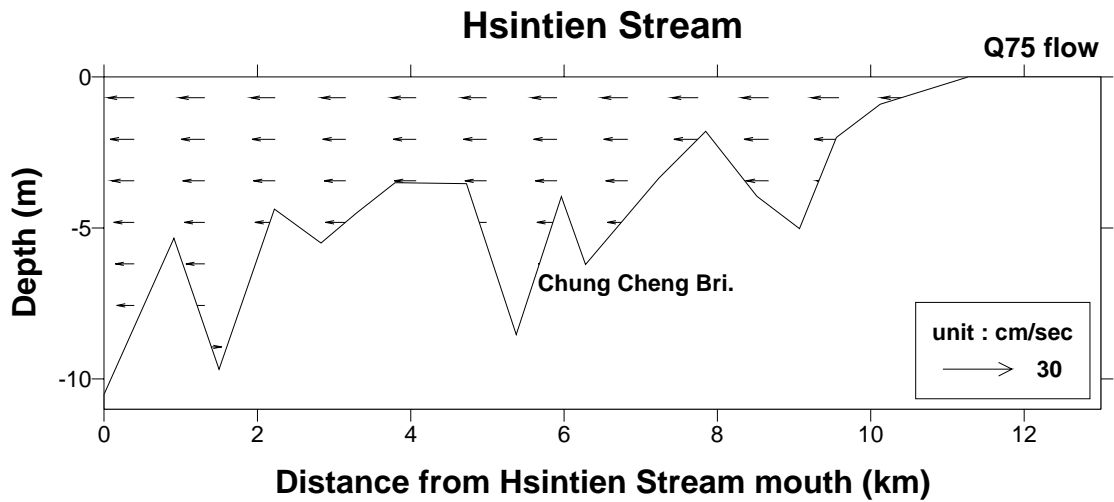


圖 5-13 模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (新店溪)

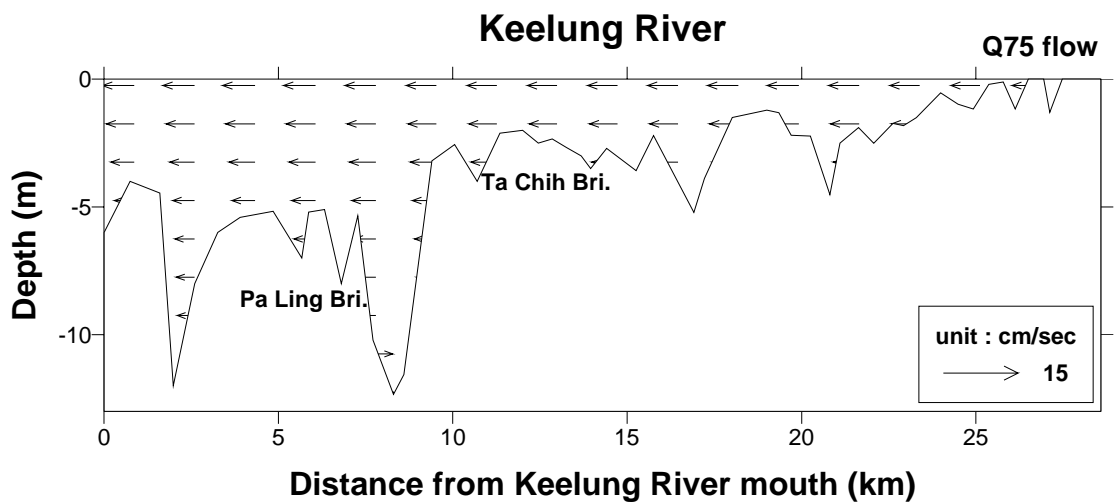


圖 5-14 模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (基隆河)

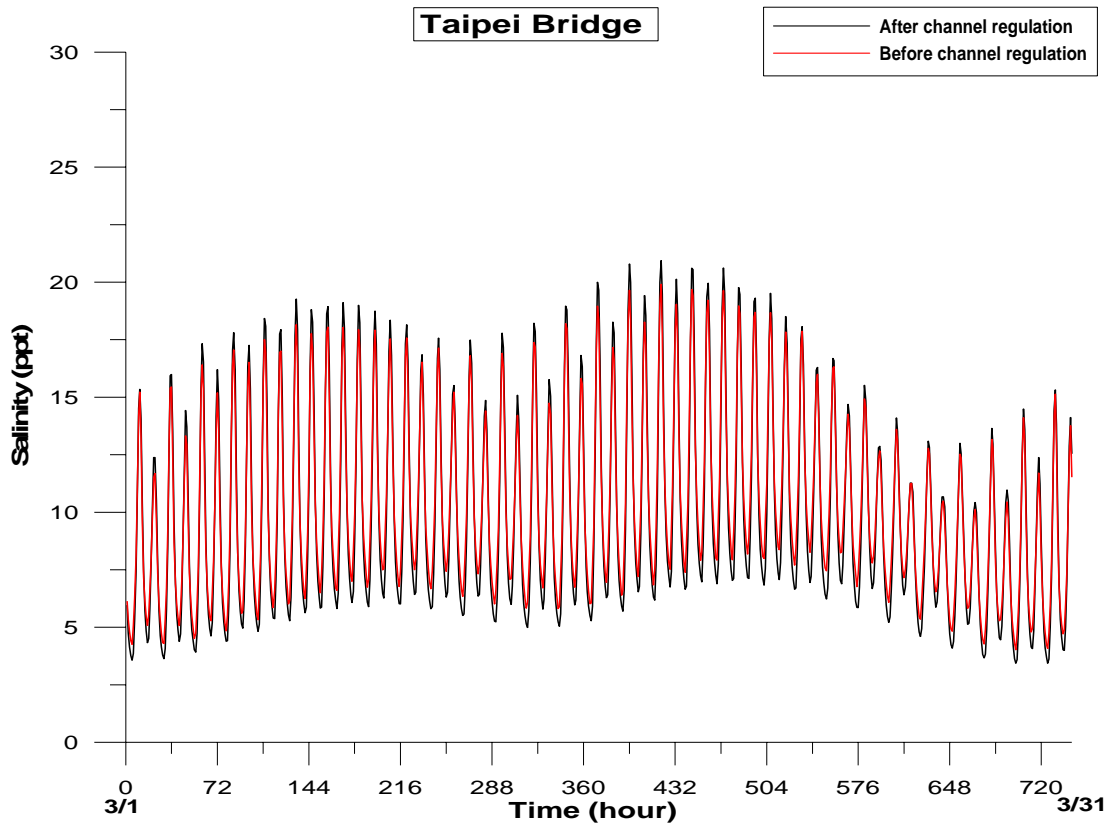


圖 5-15 模式模擬基隆河截彎取直前後台北橋之鹽度時序變化

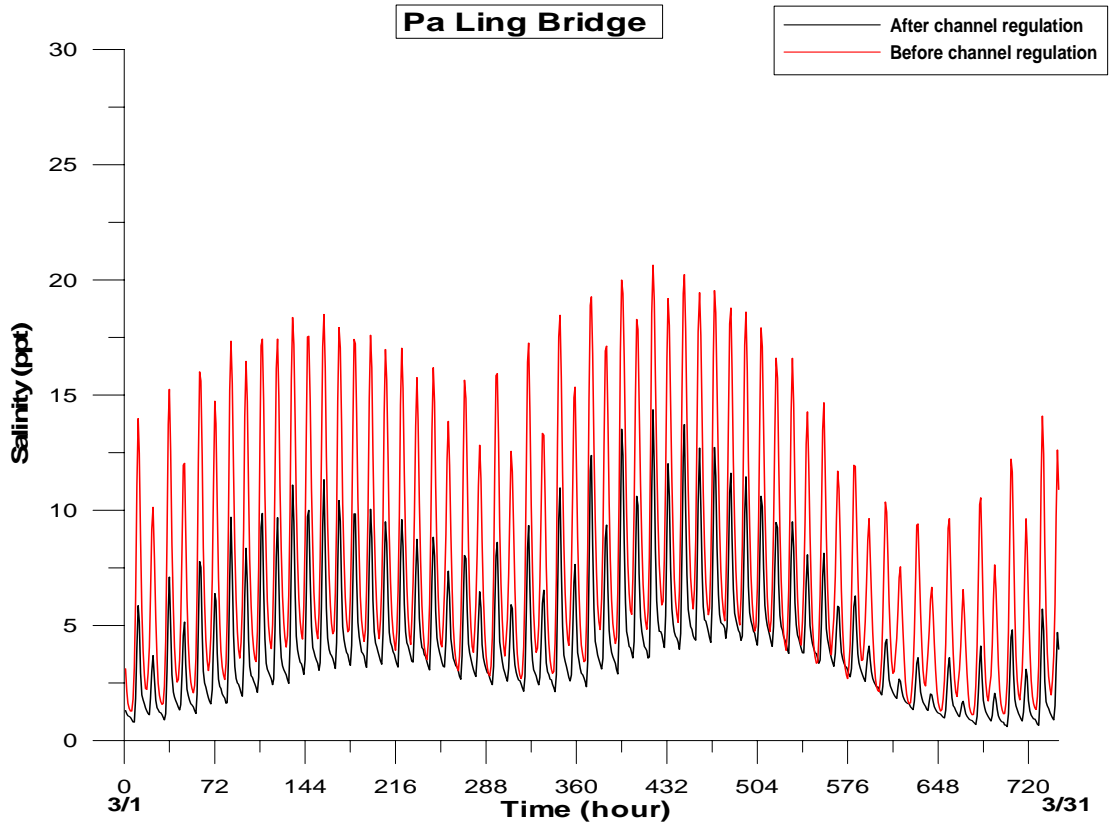


圖 5-16 模式模擬基隆河截彎取直前後百齡橋之鹽度時序變化

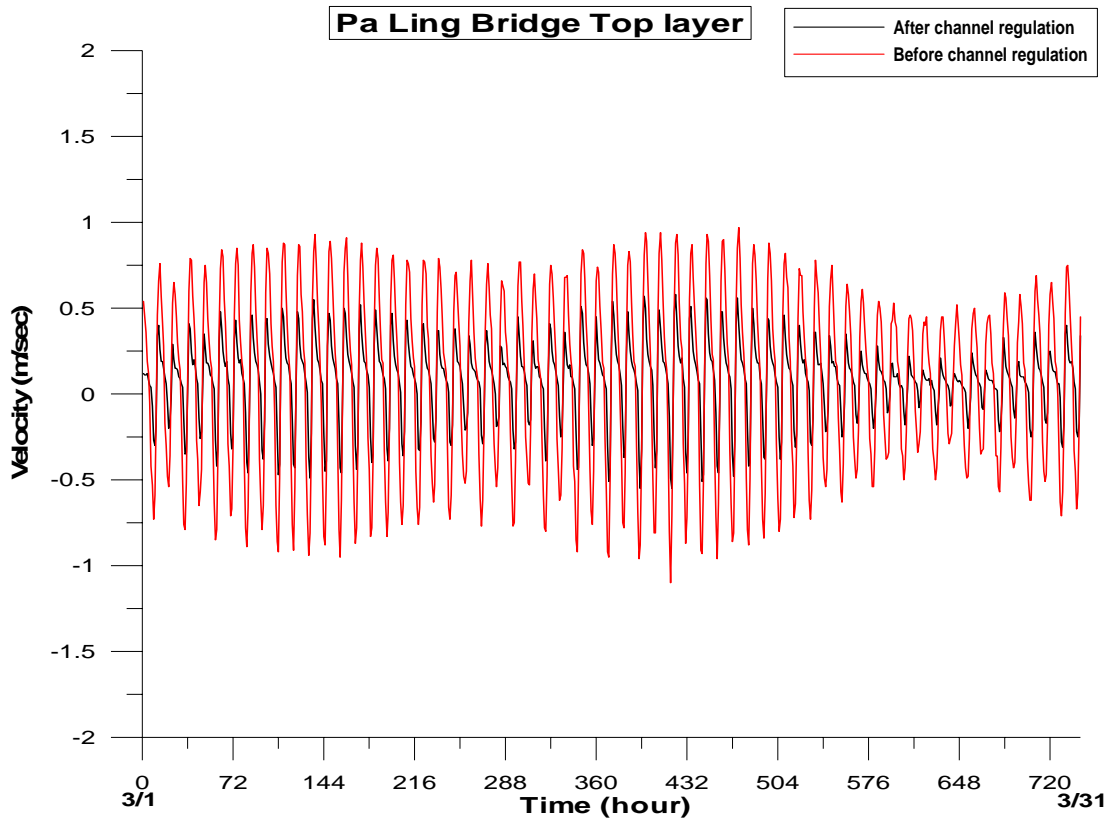


圖 5-17 模式模擬基隆河截彎取直前後百齡橋之頂層流速時序變化

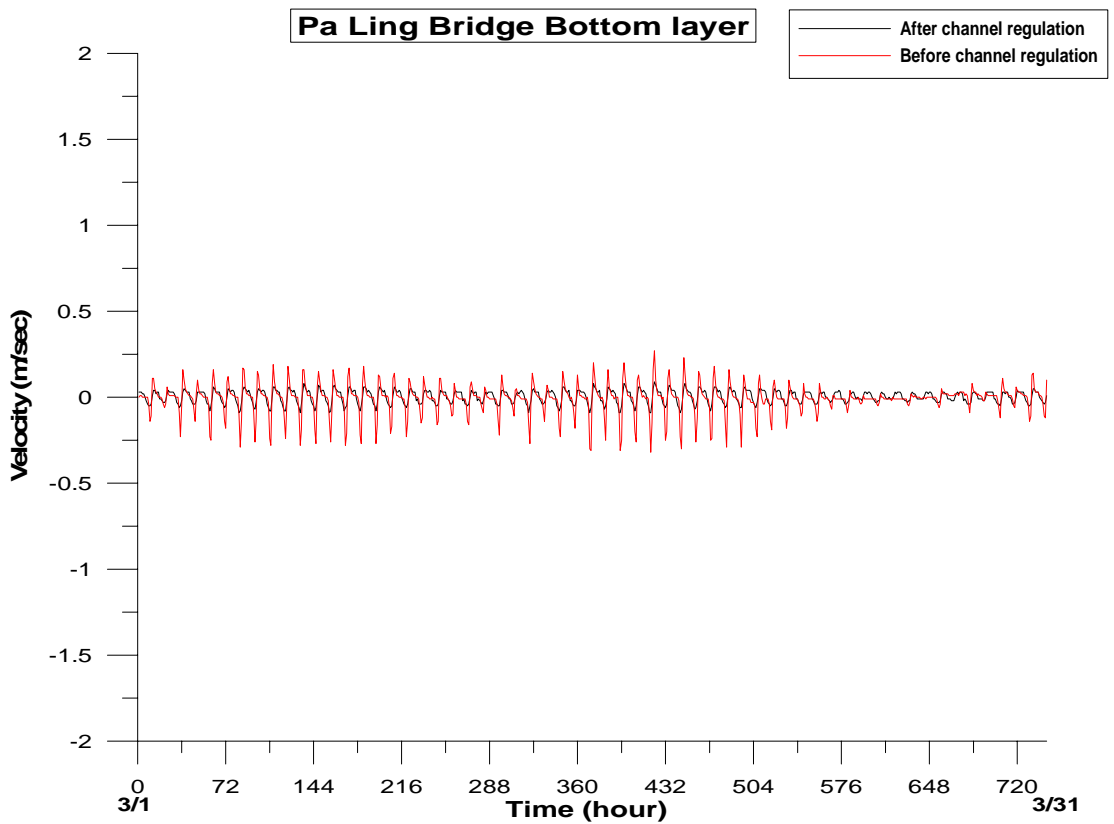


圖 5-18 模式模擬基隆河截彎取直前後百齡橋之底層流速時序變化

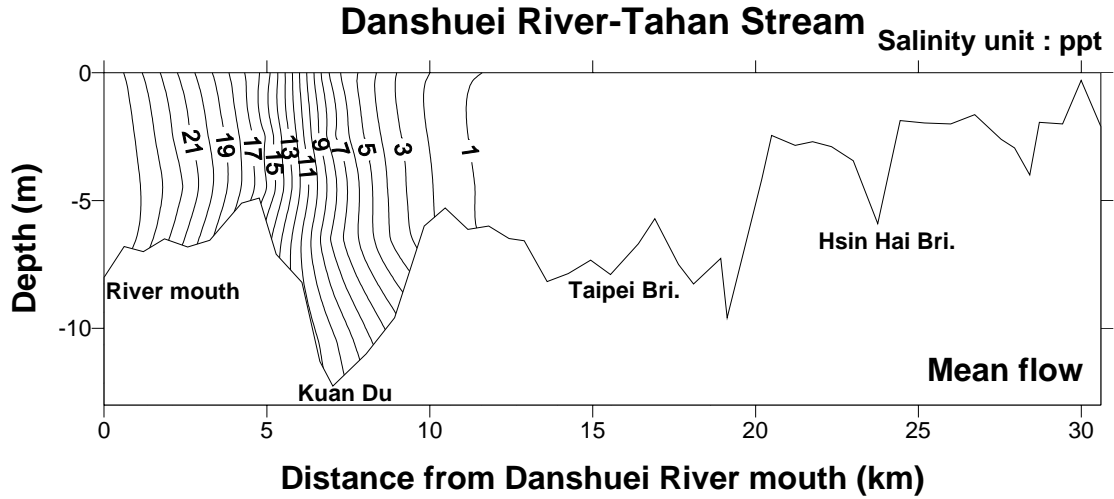


圖 5-19 模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (淡水河-大漢溪)

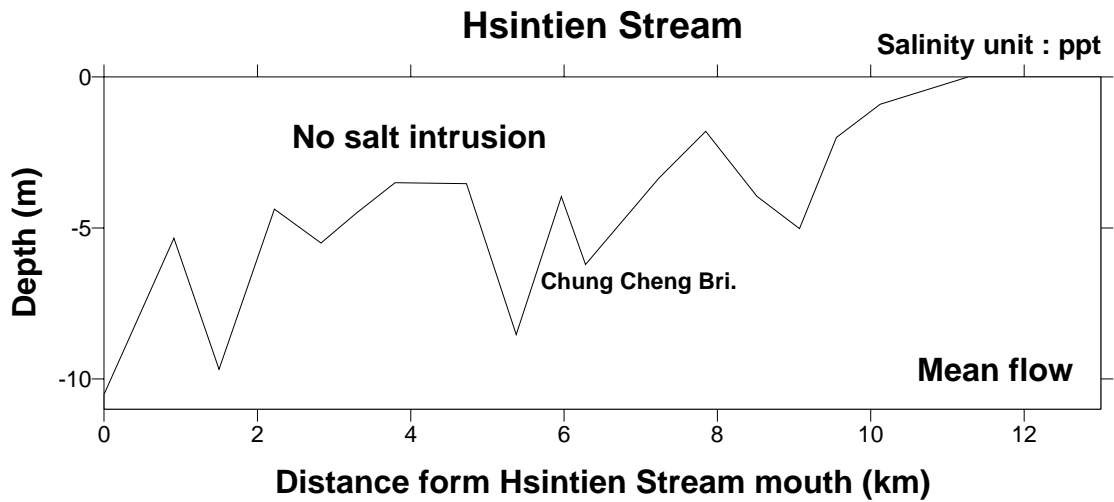


圖 5-20 模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (新店溪)

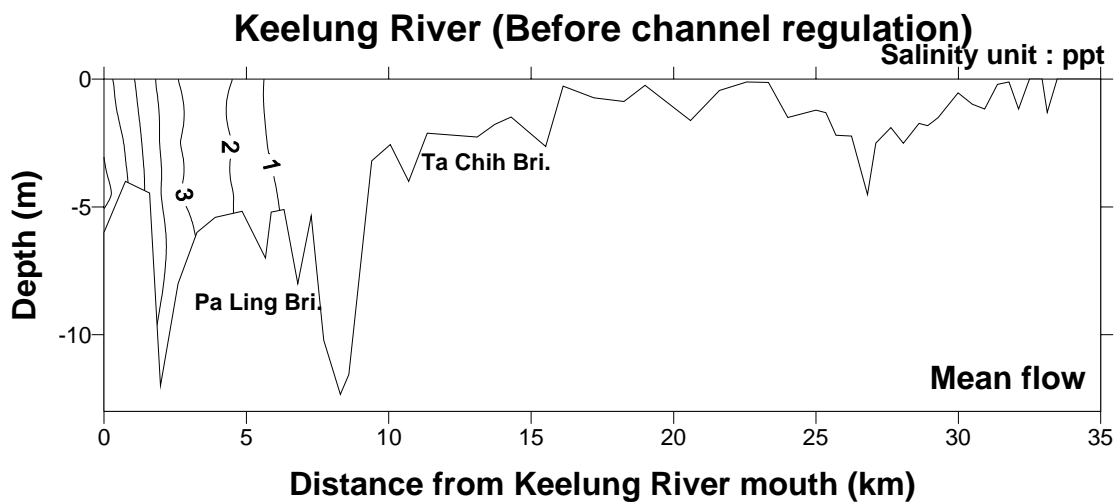


圖 5-21 模式模擬平均流量下之鹽分入侵終點 (基隆河)

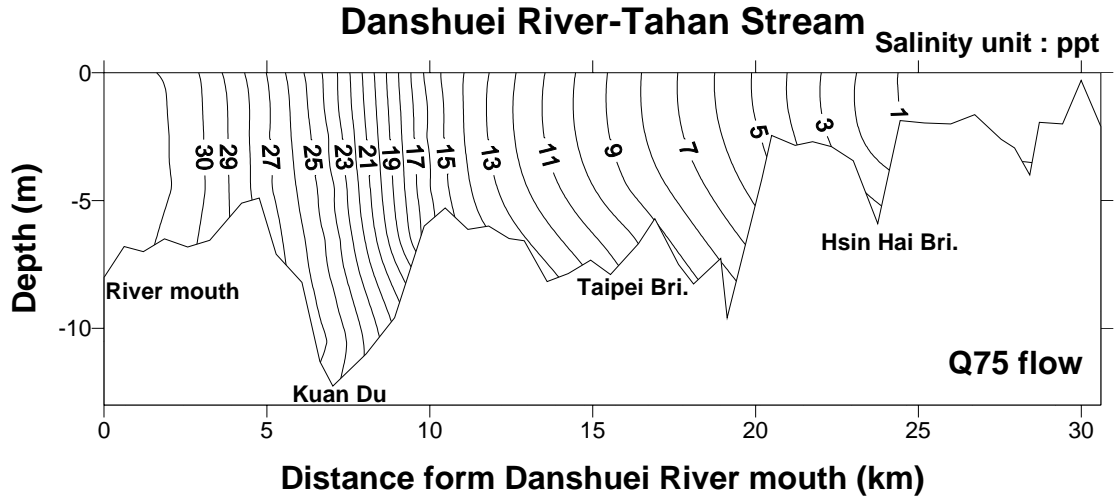


圖 5-22 模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (淡水河-大漢溪)

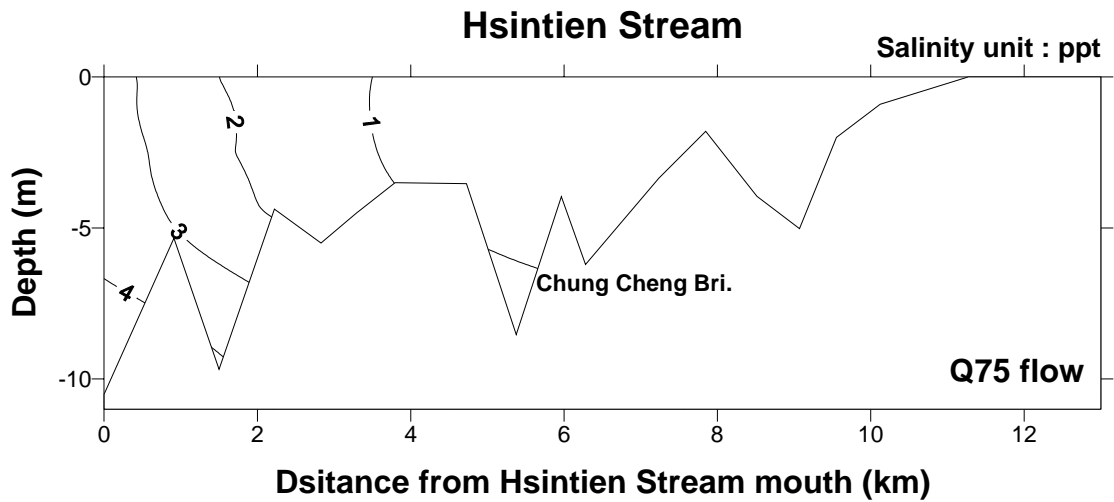


圖 5-23 模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (新店溪)

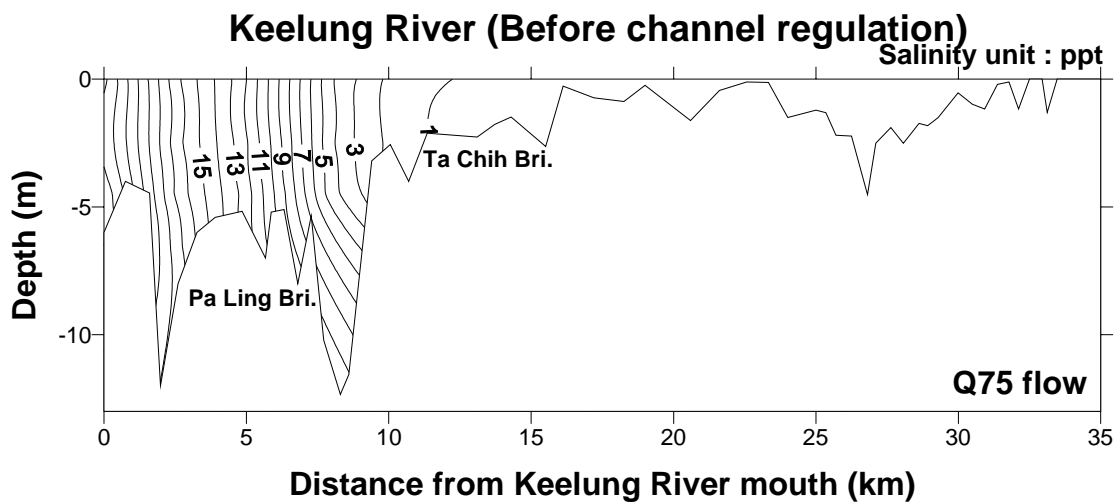


圖 5-24 模式模擬 Q_{75} 流量下之鹽分入侵終點 (基隆河)

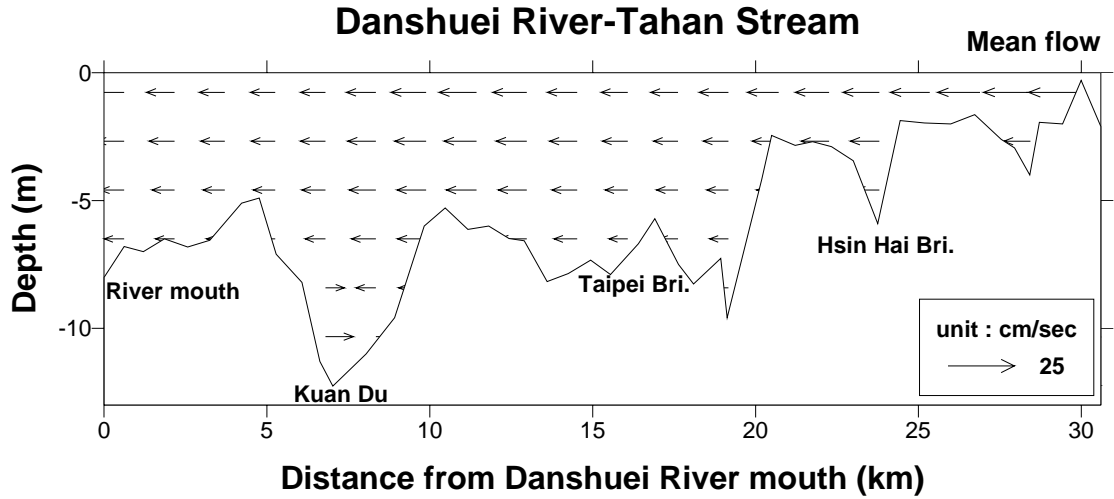


圖 5-25 模式模擬平均流量下之殘餘流速（淡水河-大漢溪）

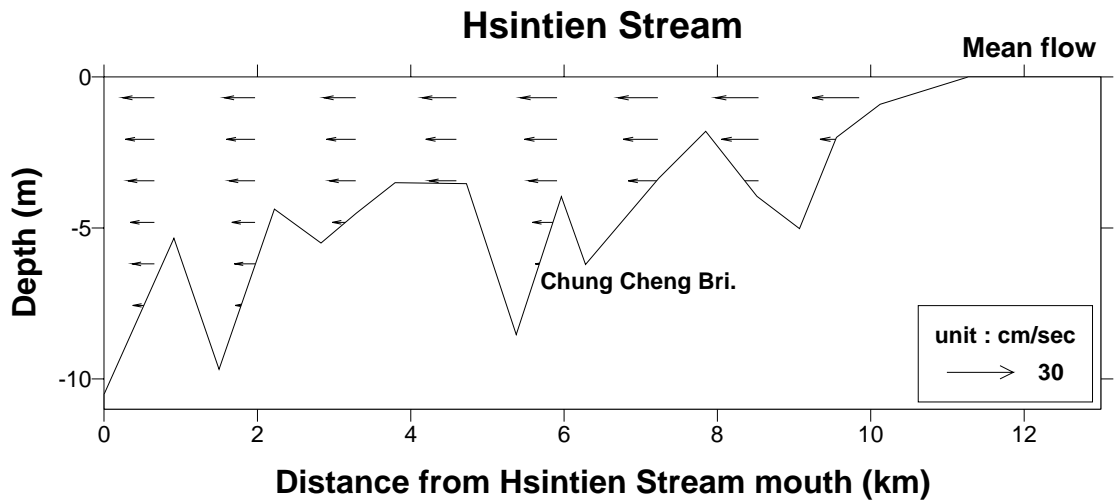


圖 5-26 模式模擬平均流量下之殘餘流速（新店溪）

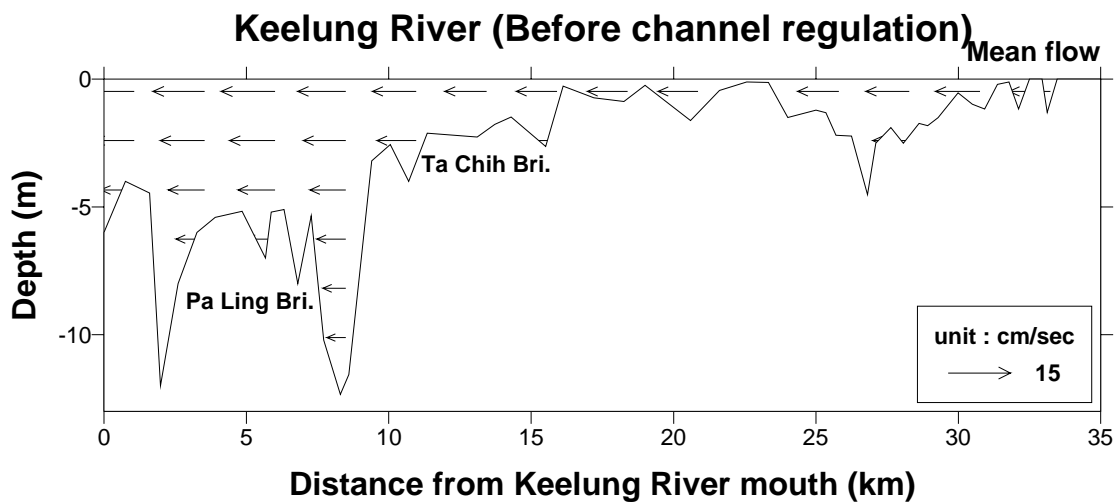


圖 5-27 模式模擬平均流量下之殘餘流速（基隆河）

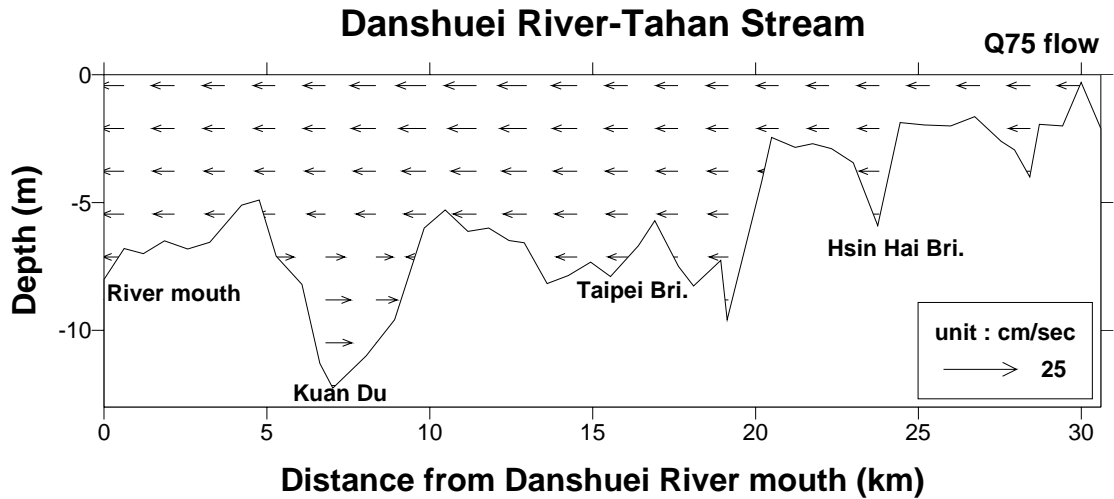


圖 5-28 模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (淡水河-大漢溪)

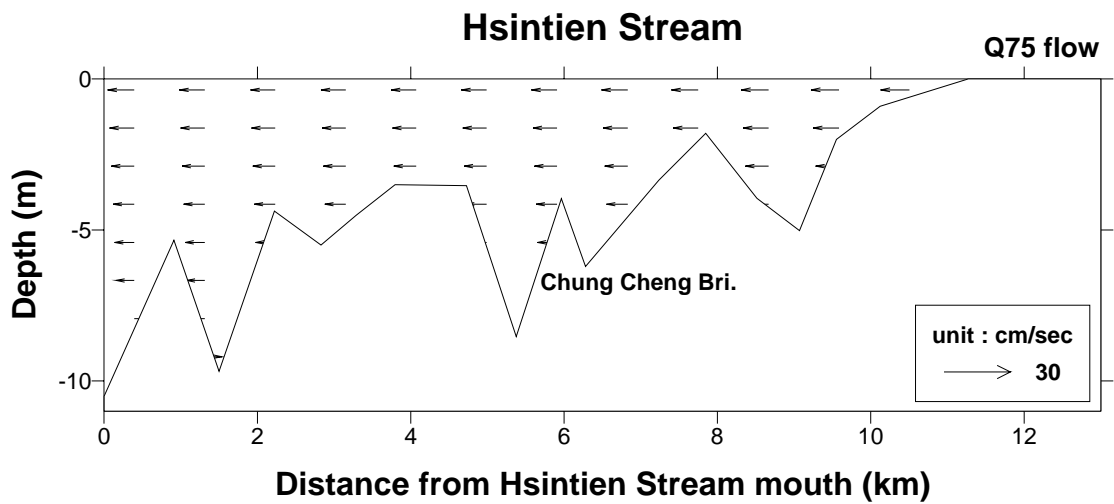


圖 5-29 模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (新店溪)

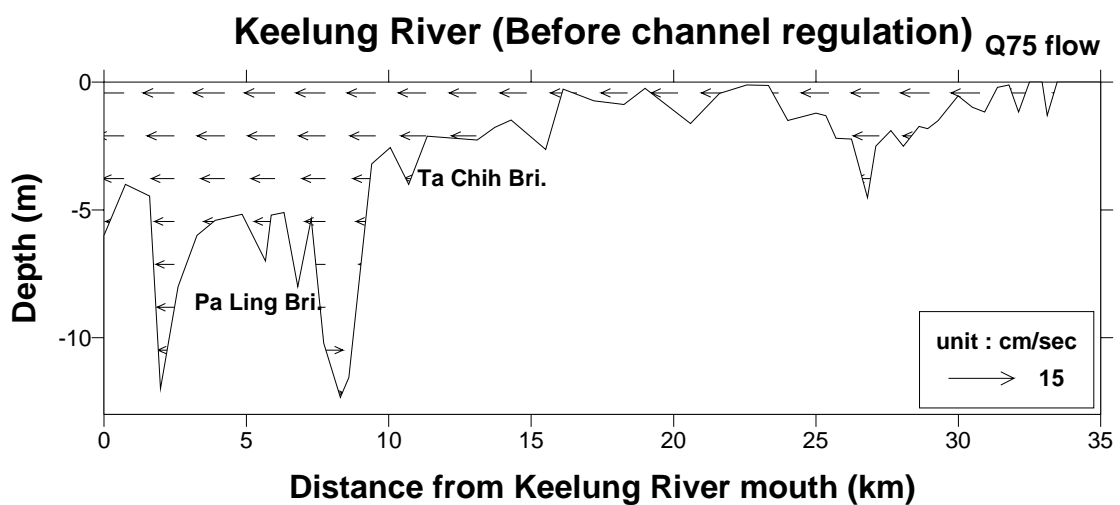


圖 5-30 模式模擬 Q_{75} 流量下之殘餘流速 (基隆河)

第六章 結論

本研究所完成的工作有三維河口與近海水理與鹽度分佈模式之建立、模式檢定、驗證與模式應用等，所獲致的主要結果簡述如下：

1. 已完成河口與近海三維數值水理與鹽分分佈模式之建立，並應用於淡水河系及其近海之數值模擬。
2. 模式以 M_2 分潮初步調整底床摩擦係數，再於外海使用五個分潮之綜合潮進行細部調整，模式模擬結果經調和分析之潮差與相位角與實測數據經調和分析之潮差與相位角頗為吻合，再以實測上游流量與外海使用五個分潮之綜合潮進行模式驗證，顯示本三維模式之適用與正確性。
3. 以經濟部水利署第十河川局於民國89年5月5日於淡水河系各測站之全潮觀測流速資料與三維模式模擬結果經程式轉換成主軸流速後進行比較，兩者的趨勢大致相同。
4. 以民國89年之實測之時序鹽度與模式模擬結果比較，於高流量時鹽度劇降；低流量時，鹽度較高，兩者趨勢頗為吻合。
5. 由河口環流分析結果顯示，淡水河關渡站因底床較深，於底層大部分的時間殘餘流速是往上游流，表層之殘餘流速是向下游流動，形成顯著的河口環流。
6. 模式應用於探討淡水河系各主、支流在平均流量與 Q_{75} 流量下，殘餘流速及河口環流產生與否之情況，模式結果與Hsu et al., (1999) 研究所得相符，即低流量較高流量易產生河口環流。
7. 模式模擬結果顯示在上游平均流量下淡水河-大漢溪鹽分入侵約至距淡水河河口12公里處，未達台北橋，新店溪未有鹽分入侵，基隆河則未達百齡橋；於上游 Q_{75} 流量時，淡水河-大漢溪鹽分入侵約

至新海橋附近，新店溪鹽分入侵達距新店溪口約4公里處，基隆河則延伸至近大直橋處。

8. 模式模擬淡水河系在基隆河截彎取直前，平均流量與 Q_{75} 流量下，各主、支流之殘餘流速，結果顯示淡水河-大漢溪與新店溪在基隆河截彎取直前後，殘餘流速相近，但基隆河之殘餘流速則顯示截彎取直前要稍大於截彎取直後，而在 Q_{75} 流量下所產生之河口環流也呈現出相同情形；鹽分入侵終點於淡水河-大漢溪及新店溪截彎取直前後幾無差異，但於基隆河模式模擬結果則顯示截彎取直前較截彎取直後往上游偏移。
9. 外海流場狀況則顯示，漲潮時潮流由東北往西南流；退潮時潮流則是從西南流向東北。

參考文獻

- (1) 許時雄,「淡水河下游感潮變量流之研究」,水利復刊第七期,(1969)。
- (2) 歐陽嶠暉,「淡水河水系水污染調查及河川自淨能力之研究」,台灣水利,第19卷3期,(1971)。
- (3) 顏清連、許銘熙,「河川體系變量流之數值模擬」,台大土木工程學研究報告,水利7105,(1982)。
- (4) 經濟部水資會,「淡水河流域河川水質數學模式之研究」,(1983)。
- (5) 顏清連、王如意、朱紹鎔、許銘熙、呂建華、張守陽,「基隆河水理特性之研究」,水利7203,國立台灣大學土木工程學研究所,(1984)。
- (6) 陳樹群,「河川動態水質數學模式之建立與應用」,碩士論文,國立台灣大學土木工程學研究所,(1984)。
- (7) 連上堯,「枯水期基隆河水理與水質模式之研究」,碩士論文,國立台灣大學農業工程學研究所,(1988)。
- (8) 洪政豐,「潮流對河川污染質影響之研究」,碩士論文,國立成功大學水利及海洋工程研究所,(1988)。
- (9) 許銘熙、張尊國、柳文成、連上堯,「基隆河水理暨水質特性之研究(一)截流系統對河川水理之影響」,行政院國科會專題研究計畫報告,(1989)。
- (10) 張瑞津、石再添,「淡水河下游感潮的研究」,地理學研究第13期,(1989)。
- (11) 陳筱華,「河川污染特性及水質數學模式之探討 以基隆河為例」,碩士論文,國立台灣大學環境工程學研究所,(1989)。

- (12) 許銘熙、張尊國、柳文成、連上堯，「基隆河水理暨水質特性之研究(二)截流系統對河川水質之影響」，行政院國科會專題研究計畫報告，(1990)。
- (13) 柳文成，「截流系統對基隆河水質影響之研究」，碩士論文，國立台灣大學農業工程學研究所，(1990)。
- (14) 王順明，「基隆水質監測站網之優選與模擬」，碩士論文，國立台灣大學環境工程學研究所，(1992)。
- (15) 陳建維，「基隆河截彎取直對鹽分分佈影響之模擬」，碩士論文，國立台灣大學環境工程學研究所，(1994)。
- (16) 李鴻源，「淡水河感潮特性之探討(二)」，國立台灣大學水工試驗所，(1995)。
- (17) 許銘熙、郭振泰、郭義雄、柳文成，「淡水河系潮流、河口環流與鹽分佈之研究(一)、(二)」，國立臺灣大學水工試驗所研究報告239及273號，(1996, 1997)。
- (18) 柳文成、許銘熙、郭義雄、郭振泰，「淡水河河口環流特性之研究」，台灣水利，第46卷第一期，pp. 33-42，(1998)。
- (19) 許銘熙、郭義雄、郭振泰、柳文成，「淡水河感潮段垂直二維水理與水質動態傳輸模式(一)、(二)」，行政院國科會專題計畫研究成果報告，(1998, 1999)。
- (20) 劉景毅，「二維與三維水理數值模式在淡水河海域之應用與比較」，中國土木水利工程學刊，第11卷，第三期，pp. 579-587，(1999)。
- (21) Blumberg, A, F., 1975. A numerical investigate into the dynamics of estuarine circulation. Technical Report No. 91, Chesapeake Bay Institute. The Johns Hopkins Univ.

- (22) Blumberg, A. F., Khan, L. A. and John, J. St., 1999. Three-dimensional hydrodynamic model of New York harbor region. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 125(8), pp.799~816.
- (23) Blumberg, A. F. and Mellor, G. L., 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Three-dimensional coastal ocean Models*, Heaps, N. S. (ed.), American Geophysical Union, pp.1~16.
- (24) Blumberg, A. F., Ahsan, Q., Li, H., Kaluarachchi, I. D. and Lewis, J. K., 2001. Circulation, sediment and water quality modeling in the northern Gulf of Mexico, *Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress*, Orlando, Florida.
- (25) Blumberg, A. F. and Mellor, G. L., 1980. A coastal ocean numerical model, In *Mathematical Modeling of Estuarine Physics*, *Proceedings of an International Symposium*.
- (26) Bradbury, R., 1997. *User's Guide for Argus One*. Argus Interware, Inc.
- (27) Casulli, V., 1999. A semi-implicit finite difference method for non-hydrostatic, free-surface flows. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 30, pp.425~440.
- (28) Casulli, V. and Walter, R. A., 2000. An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 32, pp.331~348.
- (29) Chen, X. J., 2004. A Cartesian method for fitting the bathymetry and tracking the dynamic position of the shoreline in a three-dimensional, hydrodynamic model. *Journal of Computational Physics*, 200, pp. 749-768.

- (30) Dyer, K. R., 1973. Estuaries: a physical introduction. Wiley & Sons, New York, NY, U.S.A.
- (31) Dyer, K. R., 1977. Lateral circulation effects in estuaries. In Estuaries, Geophysics and the Environment, National Academic of Sciences, Washington.
- (32) Elliott, A. J., 1978. Observations of the meteorological induced circulation in the Potomac Estuary. Estuarine and Coastal Marine Science, 6, pp.285~299.
- (33) Hansen, D. V. and Rattray, Jr. M., 1965. Gravitational circulation in straits and estuaries. Journal of Marine Research, 23, pp.104~122.
- (34) Hansen, D. V. and Rattray, Jr. M., 1966. New dimensions in estuarine classification. Limnology and Oceanography, 11, pp319~326.
- (35) Hasen, D. V., 1967. Salt balance and circulation in partially mixed estuaries. In: Lauff, G. H. (ed.), Estuaries, American Associate Advance Science.
- (36) Ianuiello, J. P., 1977. Tidally induced residual currents in estuaries of constant breadth and depth. Journal of Marine Research, 35, pp.735~786.
- (37) Ippen, A. T. and Harleman, D. R. F., 1966. Tidal dynamics in estuaries. In: Ippen, A.T. (ed.), Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, pp. 493~545.
- (38) Kim, S. C., Shen, J., Kim, C. S. and Kuo, A. Y., 2000. Application of VIMS HEM-3D to a macro-tidal environment. Estuarine and Coastal Modeling, Proceedings of the 6th

- International Conference, Spaulding, M.L. et al. (eds.) ASCE, pp.238~249.
- (39) Kuo, A. Y., Hamrick, J. M. and Sisson, G. M., 1990. Persistence of residual currents in the James Estuary and its implication to mass transport. *Coastal and Estuarine Studies*, 38, pp.398~401.
- (40) Muin, M. and Spaulding, M., 1997. Application of three-dimensional boundary-fitted circulation model to Providence River. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 123(1), pp.13~20.
- (41) Pritchard, D. W., 1952. Estuarine hydrography. In: *Advances in Geophysics*, Vol. 1, Academic Press Inc. New York, NY, pp.243~280.
- (42) Pritchard, D. W., 1954. A study of the salt balance in a coast plain estuary. *Journal of Marine Research*, 13(1), pp.133~144.
- (43) Pritchard, D. W., 1956. The dynamic structure of a coastal plain estuary. *Journal of Marine Research*, 15(1), pp.33~42.
- (44) Wang, K. H., 1994. Characterization of circulation and salinity change in Galveston Bay. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 120(3), pp.557~579.
- (45) Wu, J., Buchak, E. M., Edinger, J. E. and Kolluru, V. S., 2001. Simulation of cooling-water discharges from power plants. *Journal of Environmental Management*, 61, pp. 77-92.
- (46) Zhang, Y., Baptista, A. M., Mayers, E. P., 2004. A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plum-shelf system: I. Formulation and skill assessment. *Continental Shelf Research*, 24, pp.2187~221

