96-57-7271
MOTC-IOT-95-H2EB003

95 年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

交 通 部 運 輸 研 究 所
國 立 成 功 大 學
合 作 辦 理

中華民國 96 年 4 月

96-57-7271
MOTC-IOT-95-H2EB003

95 年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

著者：江玟德、呂珍謀、蔡長泰
翁俊鴻、陳祉吟、何良勝

交通部運輸研究所
國立成功大學
合作辦理

中華民國 96 年 4 月

96 95年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

交通部運輸研究所

GPN：
定價　　元

95 年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

著　　者：江玫德、呂珍謀、蔡長泰、翁俊鴻、陳祉吟、何良勝
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：台北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)
電　　話：(04)26587176
出版年月：中華民國 96 年 4 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 30 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所網站
定　　價：　元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：**95 年臺北港對淡水河輸砂影響之探討**			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 96-57-7271	計畫編號 95-H2EB003
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：江玟德 聯絡電話：04-26587126 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立成功大學 計畫主持人：呂珍謀 協同主持人：蔡長泰 研究人員：翁俊鴻、陳祉吟 地址：台南市大學路 1 號 聯絡電話：06-2757575		研究期間 自 95 年 5 月 至 95 年 11 月

關鍵詞：**沖積河流動床二維模式、土壤沖淤模式、河口**

摘要：

臺北港港址位於淡水河出海口西南岸之八里地區，鄰近海岸(八里、林口等)係屬砂岸地形，其波浪場、海流流場及海岸漂砂運行機制會受到臺北港建置之影響。淡水河自淡水至淡海間之河口段，雖斷面寬度漸縮，但出海口斷面急劇放寬，河道水所挾帶之泥砂因流速變緩而落淤。海岸漂砂再與河川輸砂雙重作用下，增加臺北港鄰近海岸地形變遷之複雜性，而地形變遷也可能影響淡水河排洪之順暢性。

以往對臺北港地區之海岸地形變遷皆著重在臺北港建置對波浪場、海流流場及海岸漂砂運行機制之影響。然而淡水河為北部第一大河，其洪水量及輸砂量皆相當可觀，洪水量及輸砂量對鄰近海域及河口內地形之變遷影響，本計畫模擬臺北港建置完成後，對河口海岸之地形侵淤變化，探討淡水河河口地形變遷之原因及地形變遷對淡水河洪水之影響。

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
96 年 4 月	136		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：

□密□機密 □極機密 □絕對機密

（解密【限】條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: **Impact of Taipei Harbor on Tamshui River Sediment Transport**

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
		96-57-7271	95-H2EB003

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-sheng
PROJECT STAFF: Jiang Wen-der
PHONE: (04) 26587126
FAX: (04) 26560661

PROJECT PERIOD
FROM May2006
TO
November 2006

RESEARCH AGENCY: National Cheng Kung University
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liu Jan-mou
ASSISTANCE INVESTIGATOR: Tsai Chang-tai
PROJECT STAFF:
ADDRESS: ADDRESS: No.1, UNIVERSITY ROAD, TAINAN, TAIWAN 70101, R.O.C
PHONE: (06)-2757575

KEY WORDS:
Alluvial River-movable-bed-two-dimensional Model, Soil Erosion-deposition Model, Estuary

ABSTRACT:

The Port of Taipei is located at southwest of Tanshui River outlet in Bali district. The geology attribute of neighboring Bali and Linkou seacoasts is a sandy one. Therefore, the construction of Taipei Harbor will have impacts on above mentioned seacoasts' waves field, ocean current and motion mechanism of seacoast floating sand. Moreover, although the breadth of estuary from Tamshui to Tamhai is diminishing, it is widening dramatically while reaching the sea. Of that, floating mud and sand traveling with river water will silt and cause sediment because of slowing down river current. The effect of seacoast floating sand plus river-carried-sand is increasing the complexity of terrain changing in the nearby seacoast. And seacoast terrain changing is likely to have influence on flood discharge capacity of Tamshui River. The study of terrain changing of seacoast in Taipei Port region emphasized on how Taipei Port construction will affect waves field、ocean current and motion mechanism of seacoast floating sand. However, being the largest river in the north of Taiwan, Tamshui River's capacity of flood discharge and sand conveyance is both remarkable. Hence, it will, as well, have influence on terrain changing of neighboring seacoast and river outlet. These projects simulate how the nearby seacoast and river outlet terrain might change after Taipei Harbor will have been built. In addition, this project will study reasoning that lead to river-outlet terrain changing and its consequence towards Tamshui River's capacity of flood discharge.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2007	136		☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ▒UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目　錄

目　錄 III
表目錄 V
圖目錄 VI
第一章　緒論 1
1.1 計畫緣起 1
1.2 計畫目的 2
1.3 計畫工作內容 3
第二章　研究區域基本資料概述 5
2.1 流域概況 5
2.1.1 水系現況 7
2.1.2 地質土壤 10
2.2 臺北港 11
2.3 水文資料建置 13
2.3.1 水庫資料 13
2.3.2 雨量資料 15
2.3.3 水位及潮位資料 16
2.4 地文資料 17
2.4.1 關渡大橋至臺北港海域數值高程 17
2.4.2 淡水河流域數值高程 23
2.4.3 土地利用 25
2.4.4 河床質特性 26
第三章　理論基礎 29
3.1 RCPWAVE 波場模式 29
3.2 集水區地文性土壤沖淤模式 30

3.2.1 水流演算基本方程式.....30
3.2.2 土壤沖淤演算基本方程式.....32
3.2.3 數值方法.....34
3.3 二維地形變遷模式.....35
3.3.1 水流基本控制方程式.....35
3.3.2 沉滓輸運基本控制方程式.....38
3.3.3 數值方法.....41
3.4 二維地形變遷河道流場模式驗証.....46
3.4.1 八掌溪道將圳上游動床水工模型試驗驗証.....46
3.4.2 二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証.....52
第四章 模式計算.....57
4.1 計算資料滙整.....57
4.1.1 地文性沖淤模式.....57
4.1.2 二維地形變遷模式.....58
4.1.3 颱風基本資料.....60
4.1.4 邊界條件.....61
4.1.5 海域波高、波向及週波數參數.....65
4.2 模式演算結果.....65
4.2.1 河口流況.....66
4.2.2 河口輸砂變化.....73
4.2.3 懸浮載濃度之影響.....79
第五章 結論與建議.....85
5.1 結論.....85
5.2 建議.....86
參考文獻.....87
附錄 A 報告審查意見處理情形表.....A-1
附錄 B 期末報告投影片.....B-1

表目錄

表 2.1　淡水河流域各主支流概況 6
表 2.2　石門水庫詳細資料 14
表 2.3　翡翠水庫詳細資料 15
表 2.4　臺北港海域第五分區(淡水河口至渡船頭)歷年侵淤量比較表 19
表 2.5　臺北港海域第五分區 85 年~89 年侵淤量比較表 20
表 2.6　臺北港海域第五分區 90 年~94 年侵淤量比較表 20
表 2.7　底質採樣分析測點之經緯度、水深及 D50 27
表 3.1　模型比尺對照表 53
表 4.1　艾利海棠颱風侵臺期間臺北港海域海象資料 61
表 4.2　艾利颱風期間淡水河流域雨量站日累積雨量(單位：公厘) 62
表 4.3　海棠颱風期間淡水河流域雨量站日累積雨量(單位：公厘) 62
表 4.4　艾利颱風期間淡水河河口(0 號斷面)排出總輸砂量(單位：公斤)
..... 72

圖目錄

圖 1.1　淡水河河口保留區相關位置如圖 2
圖 2.1　淡水河流域相關位置(經濟部水利署第十河川局) 6
圖 2.2　淡水河水系之集水區範圍圖 8
圖 2.3　台灣北部活動斷層分佈圖 11
圖 2.4　淡水河河口地形衛星像圖 12
圖 2.5　臺北港鄰近區位圖[http://www.tpport.gov.tw] 12
圖 2.6　淡水河流域雨量站位置圖 16
圖 2.7　淡水河流域水位站位置圖 17
圖 2.8　臺北港海域地形擷取區域比較範圍示意圖 18
圖 2.9　臺北港海域地形擷取斷面位置示意圖 18
圖 2.10　93 年 5 月與 93 年 10 月第五分區海域地形比較色階圖 21
圖 2.11　94 年 5 月與 94 年 10 月第五分區海域地形比較色階圖 21
圖 2.12　斷面 8 歷年 5 月(冬季季風)地形剖面變化比較圖 22
圖 2.13　斷面 8 歷年 10 月(夏季颱風)地形剖面變化比較圖 22
圖 2.14　斷面 9 歷年 5 月(冬季季風)地形剖面變化比較圖 22
圖 2.15　斷面 9 歷年 10 月(夏季颱風)地形剖面變化比較圖 23
圖 2.16　關渡大橋至臺北港海域數值高程 23
圖 2.17　淡水河集水區數值高程 24
圖 2.18　淡水河集水區坡度分佈圖 24
圖 2.19　淡水河集水區坡向分佈圖 25
圖 2.20　淡水河土地利用分佈圖 26
圖 2.21　底質採樣分析測點位置示意圖[交通部運輸研究所，2005].. 27
圖 2.22　各測點底質採樣粒徑分析結果[交通部運輸研究所，2005].. 28
圖 3.1　水流演算時邊界條件之示意圖 45
圖 3.2　動床水工模型試驗之平面配置圖 47

圖 3.3　動床試驗區斷面量測點平面位置圖 48
圖 3.4　2 年頻率洪水(模型流量 0.0966cms)之底床沖淤演變 49
圖 3.5　5 年頻率洪水(模型流量 0.147cms)之底床沖淤演變 50
圖 3.6　10 年頻率洪水(模型流量 0.179cms)之底床沖淤演變 51
圖 3.7　20 年頻率洪水(模型流量 0.209cms)之底床沖淤演變 52
圖 3.8　模型試驗範圍示意圖(水深地形資料 2004 年 5 月測量)..... 53
圖 3.9　校核試驗平均低潮位(-0.06m)之流場分佈圖 （冬季波浪）.. 55
圖 3.10　校核試驗平均高潮位(0.84m)之流場分佈圖 （冬季波浪）.. 55
圖 3.11　校核試驗平均潮位(0.31m)之流場分佈圖 （冬季波浪）..... 56
圖 3.12　校核試驗造波延時 0 – 177 分鐘水深地形平面侵淤圖 56
圖 4.1　颱風侵颱路徑[氣象局 TDB 防災颱風資料庫網頁系統]..... 57
圖 4.2　淡水河流域之格區劃分(不含石門及翡翠水庫)..... 58
圖 4.3　計算區域與計算區域數值高程..... 59
圖 4.4　包含臺北港港區之計算區域數值高程..... 59
圖 4.5　不包含臺北港港區之計算區域數值高程..... 60
圖 4.6　艾利颱風行經路線(中央氣象局網站)..... 60
圖 4.7　海棠颱風行經路線(中央氣象局網站)..... 61
圖 4.8　艾利颱風期間石門水庫及翡翠水庫放水量..... 63
圖 4.9　海棠颱風期間石門水庫及翡翠水庫放水量..... 64
圖 4.10　關渡大橋在艾利颱風期間之水位歷線及計算流量..... 64
圖 4.11　關渡大橋在海棠颱風期間之水位歷線及計算流量..... 65
圖 4.12　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 68
圖 4.13　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 68
圖 4.14　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 69
圖 4.15　海棠颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 69
圖 4.16　海棠颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 70
圖 4.17　海棠颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 70

圖 4.18　臺北港鄰近海域及淡水河河口數值等高線圖..... 71
圖 4.19　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 71
圖 4.20　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈..... 72
圖 4.21　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/24 20:00)..... 74
圖 4.22　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/24 22:00)..... 75
圖 4.23　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/25 00:00)..... 75
圖 4.24　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/25 03:00)..... 76
圖 4.25　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/25 11:00)..... 76
圖 4.26　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/24 20:00)..... 77
圖 4.27　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/24 22:00)..... 77
圖 4.28　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/25 00:00)..... 78
圖 4.29　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/25 03:00)..... 78
圖 4.30　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/25 11:00)..... 79
圖 4.31　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/24 20:00) 80
圖 4.32　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/24 22:00) 80
圖 4.33　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/25 00:00) 81
圖 4.34　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/25 03:00) 81
圖 4.35　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/25 11:00) 82
圖 4.36　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/24 20:00) 82
圖 4.37　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/24 22:00) 83
圖 4.38　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/25 00:00) 83
圖 4.39　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/25 03:00) 84
圖 4.40　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/25 11:00) 84

第一章　緒論

1.1 計畫緣起

臺北港港址位於淡水河出海口西南岸之八里地區，鄰近海岸(八里、林口等)係屬砂岸地形，其波浪場、海流流場及海岸漂砂運行機制會受到臺北港建置之影響。淡水河自淡水至淡海間之河口段，雖斷面寬度漸縮，但出海口斷面急劇放寬，河道水所挾帶之泥砂因流速變緩而落淤。海岸漂砂再與河川輸砂雙重作用下，增加臺北港鄰近海岸地形變遷之複雜性，而地形變遷也可能影響淡水河排洪之順暢性。

以往對臺北港地區之海岸地形變遷皆著重在臺北港建置對波浪場、海流流場及海岸漂砂運行機制之影響。然而淡水河年平均逕流量為 70 億立方公尺(民國 39~89 年)，年平均輸砂量為 1,145 萬頓(民國 39~89 年) ，洪水量及輸砂量對鄰近海域及河口內地形之變遷均會產生有影響。再加上淡水河河口有淡水河紅樹林自然保留區、關渡自然保留區及挖子尾自然保留區，對淡水河在颱風期間之行洪能力亦造成重大之影響。相關位置如圖 1.1。

本計畫模擬臺北港建置完成後，對河口海岸之地形侵淤變化，探討淡水河河口地形變遷之原因及地形變遷對淡水河排洪之影響，並提供淤積改善對策。

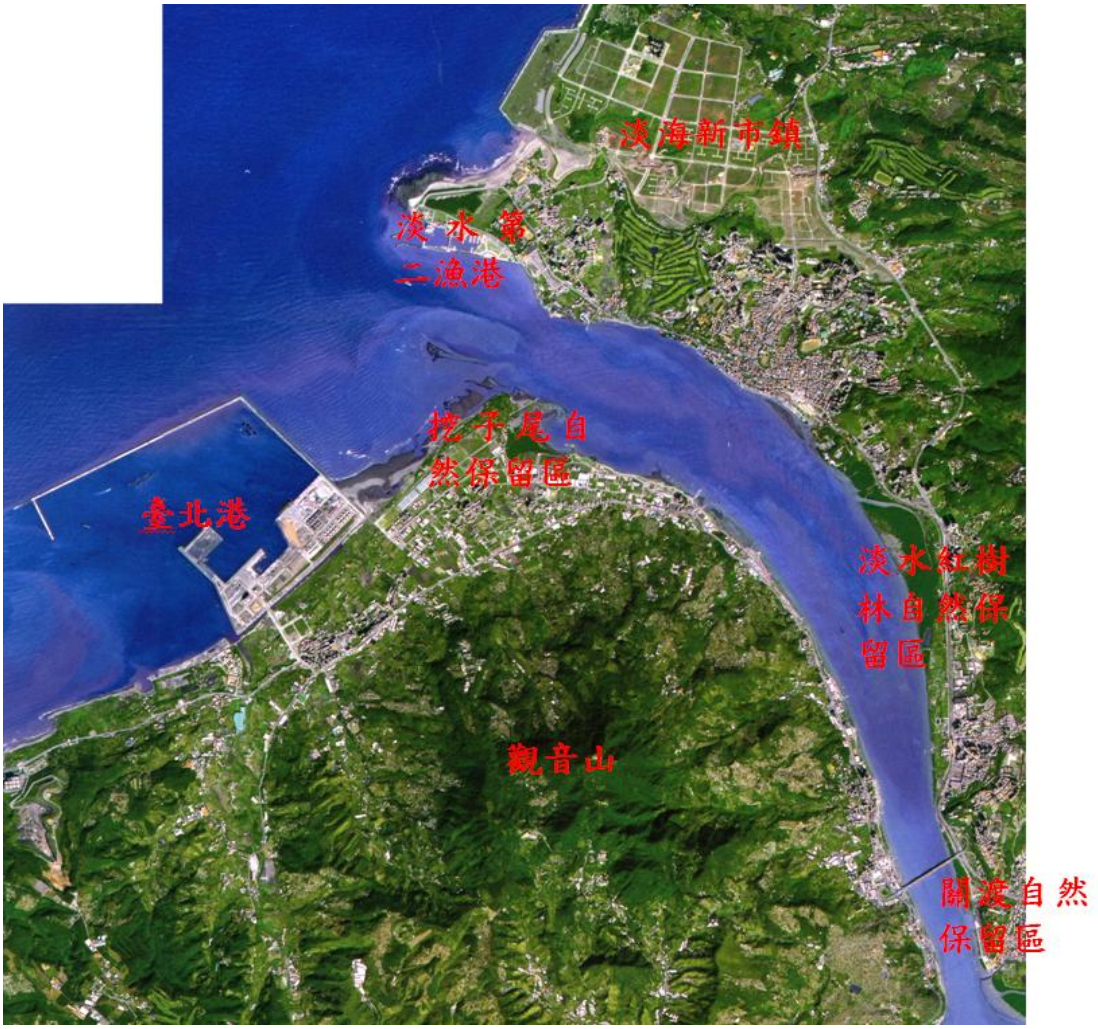


圖 1.1　淡水河河口保留區相關位置如圖

[中央大學太空及遙測研究中心，2005]

1.2 計畫目的

本研究計畫之研究目的為：

1. 建立淡水河河口及相鄰海岸地區之土壤沖淤模式。
2. 建立淡水河河口及臺北港海域二維地形變遷模式。
3. 應用所建立之模式模擬臺北港建置前後，對淡水河輸砂及河口海岸之地形侵淤變化。
4. 探討淡水河河口地形變遷之原因及地形變遷對淡水河洪水之影響。

1.3 計畫工作內容

本計畫分三年執行，第一年完成土壤沖淤模式和海域二維地形變遷模式之建立及模式應用於淡水河河口及臺北港海域之參數檢定，第二年結合土壤沖淤模式和海域二維地形變遷模式模擬淡水河河道及河口地形變遷，第三年探討淡水河流域地形變遷之原因及地形變遷對淡水河洪水之影響。分年之工作項目如下：

第一年

1. 歷年淡水河系基本資料蒐集整理分析。
2. 建立淡水河河口及相鄰海岸地區之土壤沖淤模式。
3. 建立淡水河河口及臺北港海域二維地形變遷模式。
4. 淡水河河口及相鄰海岸地區土壤沖淤及臺北港海域地形變遷演算所需之參數檢定。

第二年

1. 補充蒐集淡水河系相關資料。
2. 建立淡水河河口高灘地及潮間帶植生對土壤沖淤及海域地形變遷之影響。
3. 結合土壤沖淤和海域二維地形變遷模擬淡水河河道及河口地形變遷。
4. 初步提供淡水河河口淤積改善對策。

第三年

1. 持續補充蒐集淡水河系相關資料。
2. 探討淡水河河口地形變遷之原因及地形變遷對淡水河洪水之影響。
3. 提供淡水河河口淤積改善對策。
4. 彙整三年之執行成果，提出綜合檢討、判斷與建議，提供決策單位參考。

第二章　研究區域基本資料概述

本研究模擬臺北港建置完成後，對河口海岸之地形侵淤變化，探討淡水河河口地形變遷之原因及地形變遷對淡水河排洪之影響，並提供淤積改善對策。本研究之研究範圍主要區分為兩部分：

1. 自淡水河河口以上包含淡水河各支流—大漢溪、新店溪及基隆河，利用土壤沖淤模式計算淡水河流域之流量及產砂量。
2. 自淡水河關渡大橋以下至臺北港附近海域止，利用二維地形變遷模式演算臺北港對淡水河輸砂之影響。

本年度以海棠颱風(2005/07/17~2005/07/20)及艾利颱風(2004/08/24~2005/08/25)為討論對象，以下將概述研究範圍內之相關水文和地文資料，以及淡水河流域之現況。

2.1 流域概況

淡水河系發源於於中央山脈北端標高3,529公尺之品田山，共有大漢溪、新店溪、景美溪及基隆河等主要支流，主流長度（包括本流及大漢溪）為159公里，流域面積達2,726平方公里，佔全臺灣地區的7.6%，為臺灣第三大河川、北部第一大河川，流經區域包括台北市全部，台北縣大部分，和部分基隆市、桃園、新竹及宜蘭縣。流域內工商業發達，是政治、經濟及文化中心，流域人口約為6,340,000人。主流上游為大漢溪，為淡水河本流，支流新店溪及基隆河蜿蜒於台北地區平地，分別於江子翠及關渡地區兩地匯入本流，最後於淡水鎮油車口注入台灣海峽本流至關渡和基隆河匯流。淡水河流域各主支流概況見表2.1，相關位置如圖2.1所示。

表 2.1　淡水河流域各主支流概況

流域	淡水河主流	大漢溪		新店溪				基隆河
		主流	三峽河支流	主流	北勢溪支流	南勢溪支流	景美溪支流	
發源地	品田山	品田山	熊空山	棲蘭山			玉貴嶺	菁桐山
流域面積 (km^2)	2,726	1,163	137	916	310	332	120	501
主流長度 (km)	159	135	23	84	50	45	25	86
平均坡度	1/45	1/37	1/30	1/54	1/110	1/38	1/73	1/118

資料來源：行政院環境保護署，1995

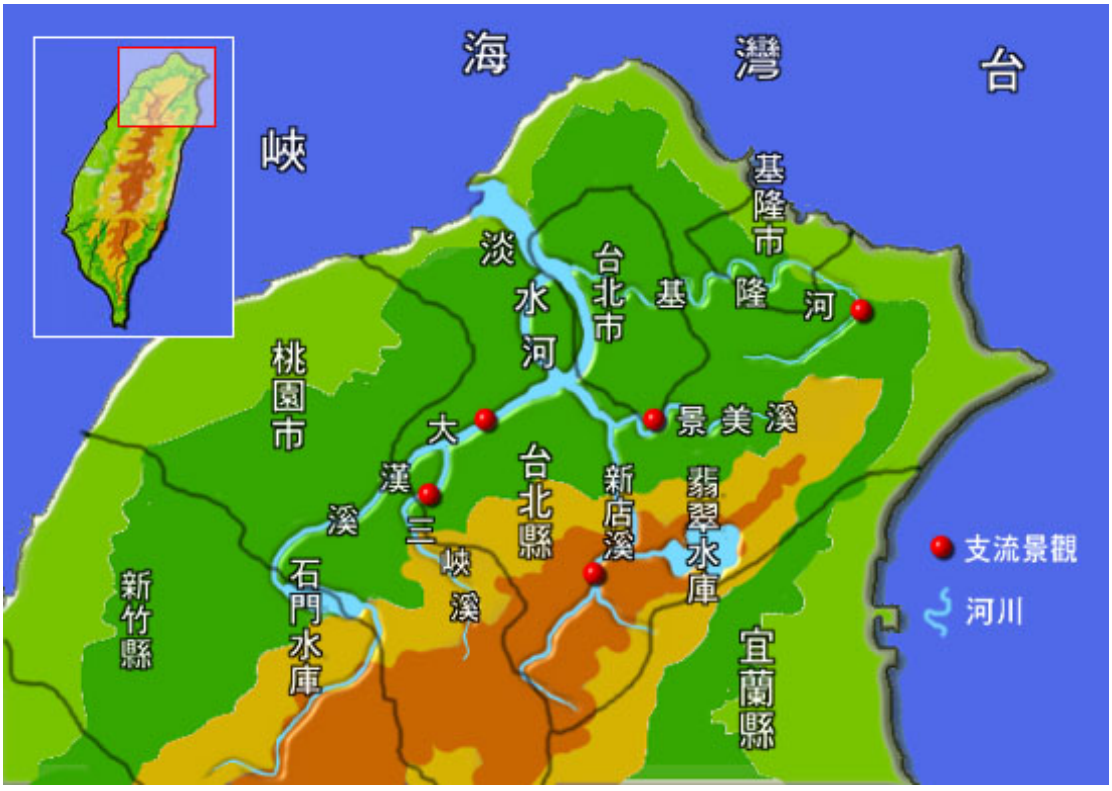


圖 2.1　淡水河流域相關位置(經濟部水利署第十河川局)

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；枯水月份則略有不同，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[李振豪，2004]。根據民國 38 年至 83 年歷年資料統計，逕流量方面，淡水河之平均年逕流量則以淡水河本流（6,592 百萬立方公尺）最高，新店溪（2,417 百萬立方公尺）次之，而以基隆河（1,755 百萬立方公尺）最小。

淡水河為台灣最大感潮河川，淡水河流域河川之天然特性，感潮與非感潮河段之邊界不甚分明，其中淡水河主流全屬感潮河段，長約 24 公里。大漢溪自大漢溪口至城林橋附近屬感潮河段，長約 11 公里，其河床坡度於城林橋以上，急劇變陡且河床高於平均潮位，潮汐影響僅止於城林橋處。新店溪自新店溪口至秀朗橋附近屬感潮河段，長約 13 公里，新店溪河床標高自秀朗橋上游起，已高於平均潮位約 1 公尺以上，因此潮汐影響範圍最遠亦僅達秀朗橋。景美溪雖在秀朗橋下游，惟其河床從河口起即高於平均潮位，故均屬非感潮河段。基隆河自基隆河口至社後橋附近屬感潮河段，長約 31 公里。基隆河因河床坡度平緩，集水區地勢低窪，故感潮河段最長[李振豪，2004]。

根據淡水河流域內各雨量站之月雨量分配，全流域分雨季（每年五至十月）與乾季（每年十一月至翌年四月）兩個季節之雨量分配型態，僅基隆河與主流有別，基隆河月雨量分配頗為平均，雨季與乾季不甚明顯[李振豪，2004]。

2.1.1 水系現況

淡水河水系係由本流和大漢溪、新店溪及基隆河三大支流匯集而成，其集水區範圍如圖 2.2 所示。

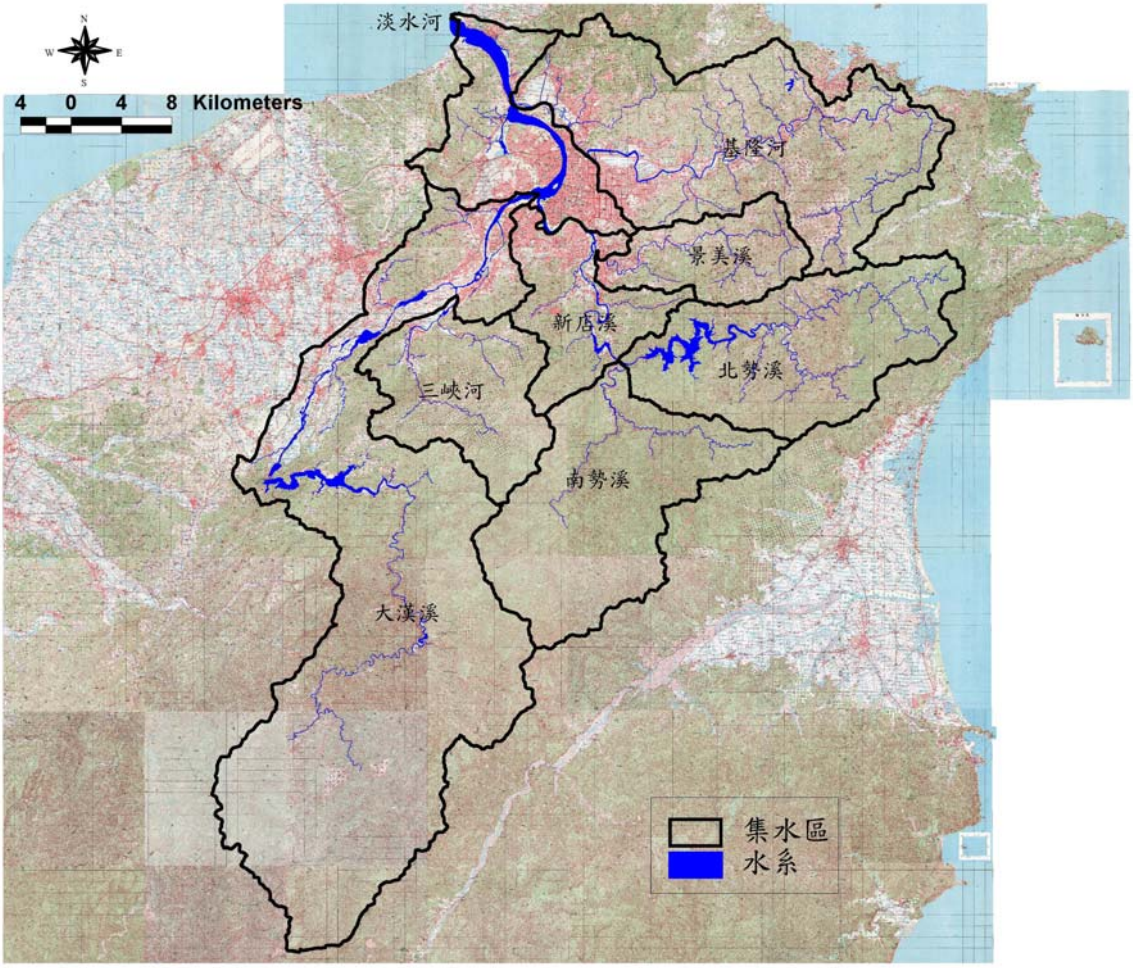


圖 2.2　淡水河水系之集水區範圍圖

1.淡水河本流

淡水河本流全長為 24 公里，流域面積 1,563 平方公里，由大漢溪和新店溪交會於新莊、艋舺，至關渡匯基隆河而成，沿途形成華江橋下、關渡、竹圍等沙洲地，成為北部最重要的水鳥與紅樹林保護區。淡水河下游流域內之行政區包含板橋市、三重市、新莊市、五股鄉、蘆洲鄉、八里鎮、淡水鎮、台北市萬華區、大同區、士林區、北投區等[杜榮偉，2005]。

2.大漢溪

大漢溪原名大嵙崁溪，發源於品田山（標高 3,529 公尺），至秀巒村一段稱塔克金溪，在秀巒匯合薩克央溪後，北行約 1 公里轉東流，

至三光與三光溪會合，復轉向北流經高義村至拉號上游附近又轉西流，溪源至石門壩址一段，流勢湍急，河谷狹窄，兩岸多懸崖；石門以下則山勢收斂，河谷漸寬，流速趨緩，並有支流永福溪（又稱烏塗窟溪）、橫溪及三峽河相繼匯入，至江子翠匯入主流淡水河，流長約135 公里，流域面積約 1,163 平方公里。大漢溪流經之主要行政區包括新竹縣之尖石鄉、關西鄉與桃園縣之復興鄉、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、三重市等，支流三峽河位於台北縣東南方，發源於三峽鎮熊空山、喀博山、羅培山、塔開山及東眼山等，至匯合處會合五寮溪後稱三峽河，自此往北流經三峽鎮到溪北里處與支流橫溪交會，繼續向東北流至土城鄉頂埔村附近注入大漢溪，流長約 29 公里，流域面積約 186 平方公里[李淑惠，2004][杜榮偉，2005]。

3.新店溪

新店溪上游南勢溪發源於棲蘭山（標高 2,130 公尺），河道於深谷中蜿蜒北行，流經烏來與龜山兩地分別有支流桶後溪及北勢溪由東來會，北勢溪匯流處以下河段即稱為新店溪。上游河段兩岸山巒起伏，峽谷地形雄偉，至新店碧潭大橋以下始出山區；溪水奔流至景美，由東向有支流景美溪匯入，最後於江子翠與幹流大漢溪會合形成主流淡水河。流長約 82 公里，流域面積約 910 平方公里。新店溪流域內之行政區包含雙溪鄉、坪林鄉、石碇鄉、深坑鄉、台北市文山區、新店市、永和市、烏來鄉等。[李淑惠，2004][杜榮偉，2005]

4.基隆河

基隆河發源於台北縣平溪鄉菁桐山，自上游而下有鰷魚坑溪、東勢坑溪、深澳坑溪、暖暖溪、鶯歌石溪、瑪陵坑溪、友蚋溪、北港溪等支流匯入，於關渡附近匯入淡水河。主流全長約 86.4 公里，流域面積 501 平方公里。本流域除下游台北盆地及中、上游局部狹小之河床平原外，其餘皆為丘陵地、山地與台地，坑溝密布，地形複雜，河道蜿蜒，因此成為淡水河流域內防洪工程密集處。本流域內之行政區包

含瑞芳鎮、平溪鄉、基隆市的暖暖區與七堵區、汐止市，台北市南港區、內湖區、松山區、士林區、北投區等。[李淑惠，2004][杜榮偉，2005]

2.1.2 地質土壤

淡水河流域之地層，新店溪與大漢溪流域同屬雪山地塊，由第三紀始新世亞變質岩、中新世汐止群及中新世三峽群等地層所構成，主要岩性為砂岩、頁岩、硬頁岩及板岩。地層大致呈東北—西南走向，向東南或西北方向傾斜。本流域主要之逆斷層由北向南，計有屈尺斷層、金瓜寮斷層及石嘈斷層，均為延續數十公里之大斷層；所出露之斷層分別為金山斷層、山腳斷層及南崁斷層為活動斷層，根據地質調查所資料顯示，山腳斷層為第二類活動斷層，如圖 2.3 所示[財團法人成大研究發展基金會，2004]。

淡水河沿岸有一極厚之細砂層，在統一土壤分類法上為疏鬆之細砂(ML-SM)，此砂土層之透水性及移動性均佳，且又臨淡水河，其地下水位自然較高。在基隆河與淡水河匯流處之關渡濕地的土壤質地大部分為黏土或黏壤土，即黏粒含量在 30%以上，砂粒含量在 30%以下。體積含水量在 60%-80%，具有較佳的保水性。

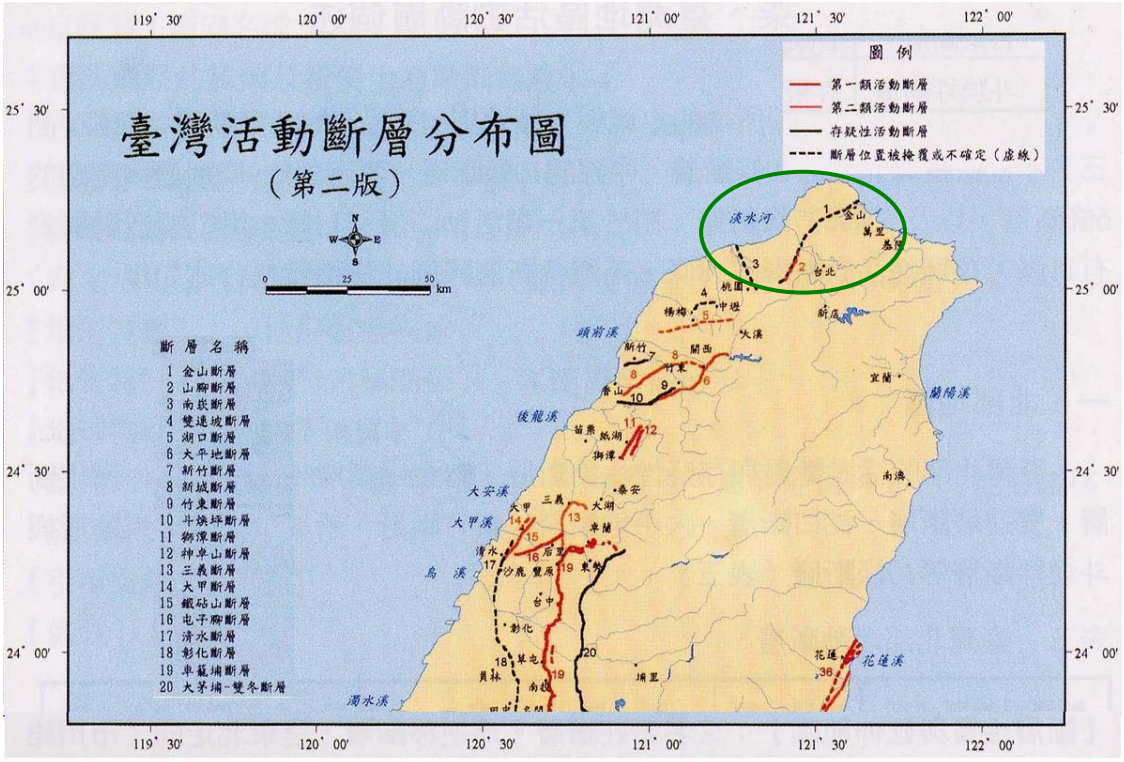


圖 2.3　台灣北部活動斷層分佈圖

2.2 臺北港

臺北港商港區域界限，於民國八十八年九月，奉交通部核定，民國八十八年十月，基隆港務局公告臺北港商港區域界限（原淡水港港區範圍同時廢止），其位於台灣北端淡水河入海口西南岸，以觀音山為屏障，濱臨台灣海峽，東距基隆港 34 浬，南距台中港 87 浬，西距中國福州港 134 浬，海運航線便捷，地理條件優越。「臺北港」商港區域北起八里污水處理廠南界，南迄林口鄉瑞樹坑溪口近岸海域，涵蓋總面積為 3,102 公頃，相關位置見圖 2.4，鄰近區位圖見圖 2.5[http://www.tpport.gov.tw]。

臺北港港址位於淡水河出海口西南岸之八里地區，鄰近海岸（八里、林口等）係屬砂岸地形，其波浪場、海流流場及海岸漂砂運行機制會受到臺北港建置之影響。淡水河從關渡大橋至出海口，河床寬度約 500~1500 公尺，關渡大橋至淡水間之河輻漸寬，而淡水至淡海與挖

子尾之間(0 斷面)，則河寬漸縮，過淡海後之原始地形為急劇放寬，但臺北港建置後，使淡水河口向外延伸，在海岸漂砂與河川輸砂雙重作用下，使影響地形變化之因素複雜化。

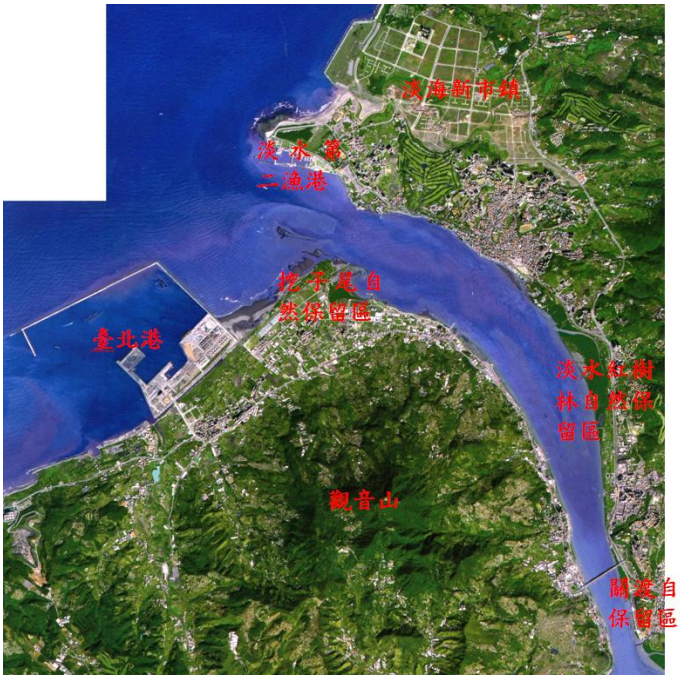


圖 2.4　淡水河河口地形衛星像圖

[中央大學太空及遙測研究中心，2005]

圖 2.5　臺北港鄰近區位圖[http://www.tpport.gov.tw]

2.3 水文資料建置

根據本計畫之研究範圍區分，水位及潮位資料為二維地形變遷模式演算關渡大橋至臺北港附近海域之邊界條件，而淡水河流域雨量資料及上游水庫放流量為土壤沖淤模式計算淡水河流域之產砂量及流量，以做為二維地形變遷模式之上游邊界條件。以下分別簡介所需之水文資料。

2.3.1 水庫資料

淡水河流域內包含兩個水庫，在於大漢溪上游之石門水庫及位於新店溪上游的翡翠水庫。水庫放流係屬人為操作調整，亦為土壤沖淤模式之邊界條件。以下簡述石門水庫及翡翠水庫之概況。

1.石門水庫

石門水庫位於大漢溪中上游段，橫跨龍潭及大溪兩鄉鎮。因為溪水出口處有雙峰對峙，狀如石門而得名。水庫竣工於民國五十三年六月，壩高 133 公尺，集水區面積 763.4 平方公里，水庫容量 309.12 百萬立方公尺，設有後池堰、發電廠、石門大圳及環湖道路，具有灌溉、給水、防洪、發電、觀光等多功能的水庫，是台灣光復初期所完成之大型水庫，也是東南亞最大的水利工程，詳細資料如表 2.2 所示[http://wrm.hre.ntou.edu.tw/wrm/dss/ntou.htm]。

2.翡翠水庫

翡翠水庫位於新店溪支流北勢溪上，完成於民國 76 年，臺北市政府成立翡翠水庫管理局負責運轉及維護，水庫集水區面積 303 平方公里，水庫容量 4.06 億立方公尺。水庫功能為給水、發電、防洪等多目標營運，在台北自來水系統主要取水口青潭及直潭兩處之可靠出水量為每秒 40 立方公尺，相當每日 345.6 萬立方公尺，水庫蓄水能滿足供應大台北地區計畫目標 119 年各用水標的之需水要求。附帶年平均發電量 2.227 億度；並且水庫完成後增加下游河道枯旱期之流量，以稀

釋河川污染濃度，詳細資料如表 2.3 所示
[http://wrm.hre.ntou.edu.tw/wrm/dss/ntou.htm]。

表 2.2　石門水庫詳細資料

項目			概述				備註
興建原由			興建石門水庫對北部地區農業之改進、工業之發展、人民生活水準之提高、就業機會之增加以及防止水旱災害以利經濟快速成長.				
管理機關			台灣省石門水庫管理局				
計畫標的			灌溉、發電、給水、防洪				
位置			桃園縣				
河系			主流	淡水河	支流	大漢溪	
水庫	集水面積		763.4 平方公里				
	標高	正常蓄水位	245 公尺				
		最高洪水位	249.5 公尺				
	滿水位面積		800 公頃				
	總蓄水量		309,120,000 立方公尺				
	計畫有效蓄水量		235,669,000 立方公尺				民國 77 年測量
	計畫年運用水量		815,205,600 立方公尺				
壩	壩型		土石壩				
	壩頂標高		252.1 公尺				
	最大壩身高度		133.1 公尺				
	壩頂長度		360 公尺				
	壩頂寬度		11.2 公尺				
	壩體積		7,060,000 立方公尺				
灌溉	規劃面積		54,540 公頃				
	現有面積		37,400 公頃				
	稻穀		260,000 公噸				
自來水	計畫供水量		34,689,600 立方公尺				
	現有年供水量		220,752,000 立方公尺				
發電	裝機容量		90,000 千瓦				
	計畫年發電量		210,000,000 度				
防洪	降低洪峰		700cms				
	調節洪水量		64,000,000 立方公尺				
計畫效益			石門水庫是一個多目標水利工程,具有灌溉、發電、公共給水、防洪、觀光等效益。				

資料來源:台灣地區重要水庫網際網路暨決策支援系統[http://wrm.hre.ntou.edu.tw/wrm/dss/ntou.htm]

表 2.3　翡翠水庫詳細資料

項目			概述				備註
管理機關			台灣翡翠水庫管理局				
計畫標的			以供應大台北地區自來水為目標,可滿足民國119年自來水供應所需水源之要 求附設七萬伍發電廠.				
位置			台北縣新店市				
河系			主流	新店溪	支流	北勢溪	
水庫	集水面積		303平方公里				
	標高	正常蓄水位	170公尺				
		最高洪水位	171公尺				
	滿水位面積		1,024公頃				
	總蓄水量		406,000,000立方公尺				
	計畫有效蓄水量		327,000,000立方公尺				完工後50年
	計畫年運用水量		1,196,000,000立方公尺				與南勢溪合併運用
壩	壩型		雙向彎曲、變厚度混凝土拱壩				
	壩頂標高		172.5公尺				
	最大壩身高度		122.5公尺				
	壩頂長度		510公尺				
	壩頂寬度		7公尺				
	壩體積		710,000立方公尺				
自來水	計畫年供水量		763,000,000立方公尺				與南勢溪合併運用
發電	裝機容量		70,000千瓦				
	計畫年發電量		222,700,000度				
計畫效益			台北市自來水系統主要取水口青潭處之可靠出水量為每秒40立方公尺（相當於每日3,456,000立方公尺）年平均發電量超過222,700,000度，並增加下游河道枯旱期之流量。				

資料來源:台灣地區重要水庫網際網路暨決策支援系統[http://wrm.hre.ntou.edu.tw/wrm/dss/ntou.htm]

2.3.2 雨量資料

本計畫收集淡水河流域之中央氣象局雨量站共 28 站，分別為大豹站、山佳站、福山站、桶後站、屈尺站、大尖山站、社子站、外雙溪站、大直站、石牌站、天母站、永和站、士林站、內湖站、南港站、信義站、三重站、下盆站、石碇站、火燒寮站、瑞芳站、新莊站、五股站、木柵站、南勢角站、公館站、關渡站及四十份站，並利用徐昇網法，劃分各雨量站所控制之面積，以做為土壤沖淤模式之雨量輸入

資料，徐昇網法與各雨量站相關位置如圖 2.6 所示。

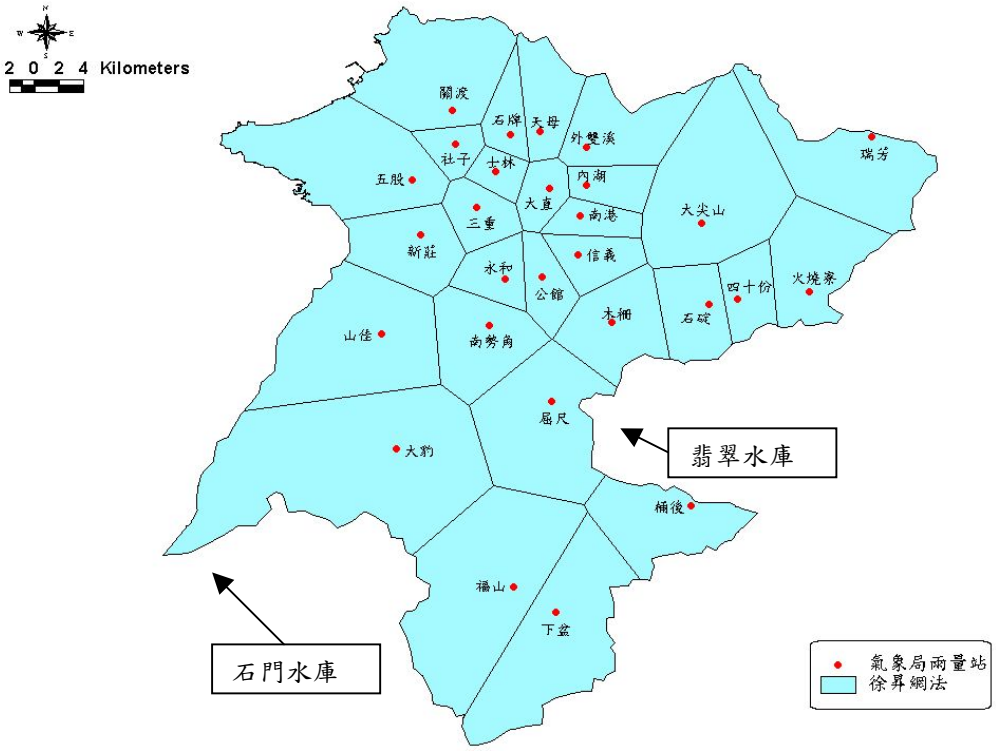


圖 2.6　淡水河流域雨量站位置圖

2.3.3 水位及潮位資料

經濟部水利署於淡水河流域設置十五處水位站以觀測該流域。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；枯水月份則略有不同，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。根據民國 38 年至 83 年歷年資料統計，逕流量方面，淡水河之平均年逕流量則以淡水河本流（65.92 億立方公尺）最高，新店溪（24.17 億立方公尺）次之，而以基隆河（17.55 億立方公尺）最小[李振豪，2004]。

本計畫以中央氣象局淡水水位測站，利用地文性土壤沖淤模式建立海棠及艾利颱風期間土地公鼻之入流流量，做為二維地形變遷模式之上游邊界條件，並作為二維地形變遷模式演算之下游邊界條。各水位站相關位置如圖 2.7 所示。

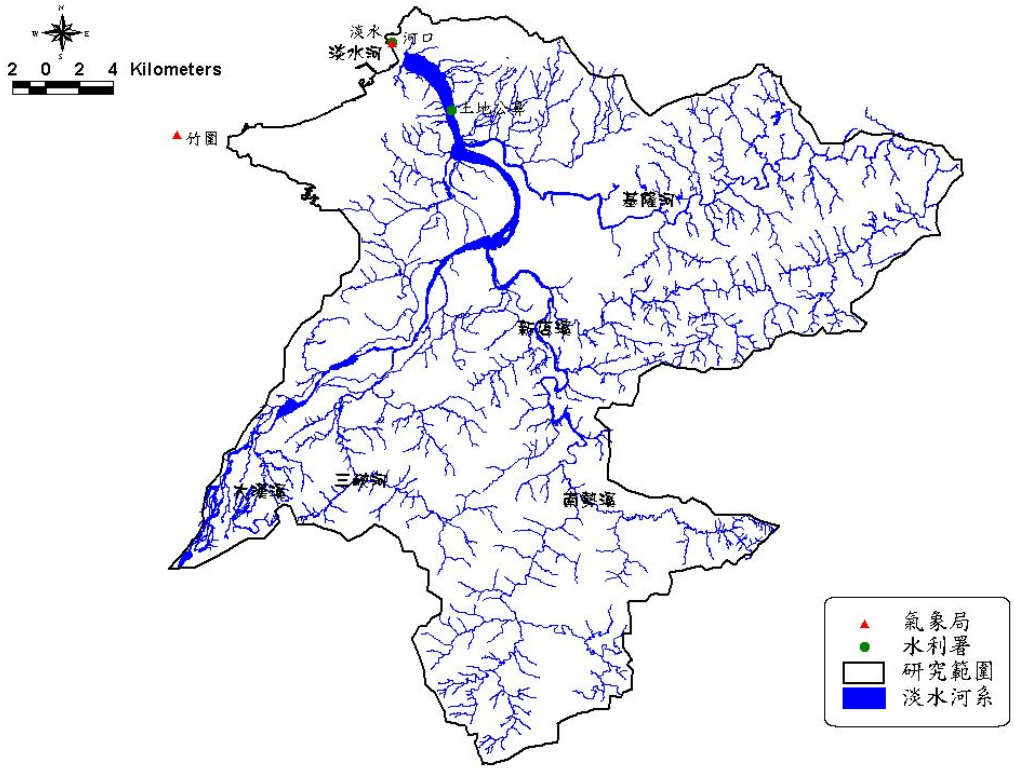


圖 2.7　淡水河流域水位站位置圖

2.4 地文資料

根據本計畫之研究範圍區分，關渡大橋至臺北港海域數值高程及河床質性質為二維地形變遷模式所需之地文資料，而淡水河集水區數值高程及土地利用資料為土壤沖淤模式所需之地文資料。有關此地文資料整理分析之如下：

2.4.1 關渡大橋至臺北港海域數值高程

本所港灣技術研究中心自民國 85 年起，每年春秋兩季由淡水河口北岸至林口發電廠間約 15 公里長，及由岸側至水深約-25 公尺寬海域，並包含淡水河口至渡船頭間河域範圍，進行總計共 20 次全面海岸地形之水深測量。將量測範圍劃分成五個區域分別為淡水河出海口南岸至臺北港為第一區，臺北港北堤外側為第二區，淡水河口北岸為第三區，臺北港西南側為第四區，淡水河口至渡船頭為第五區，相關範圍示意

圖如圖 2.8 所示。並於測區內截取 24 條斷面作為地形斷面分析之用，斷面位置如圖 2.9 所示。本研究範圍為第五區，包含斷面 8~斷面 14。

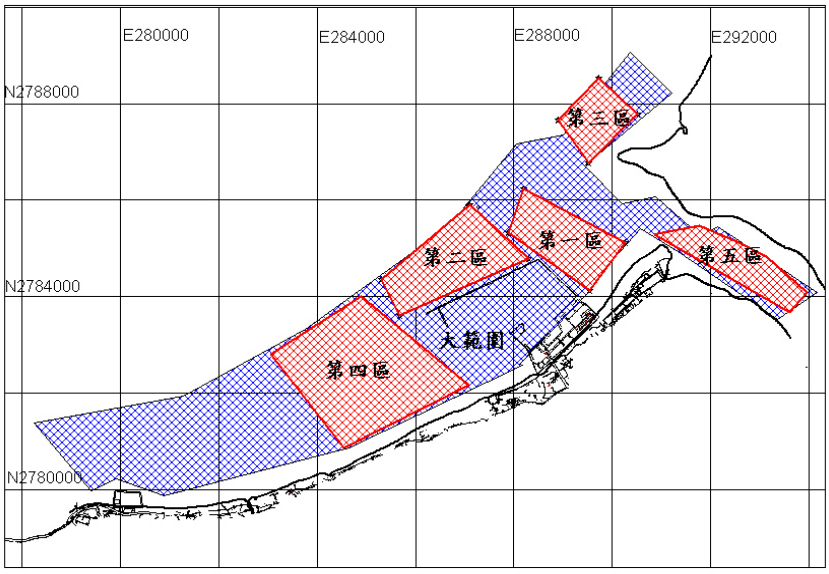


圖 2.8　臺北港海域地形擷取區域比較範圍示意圖

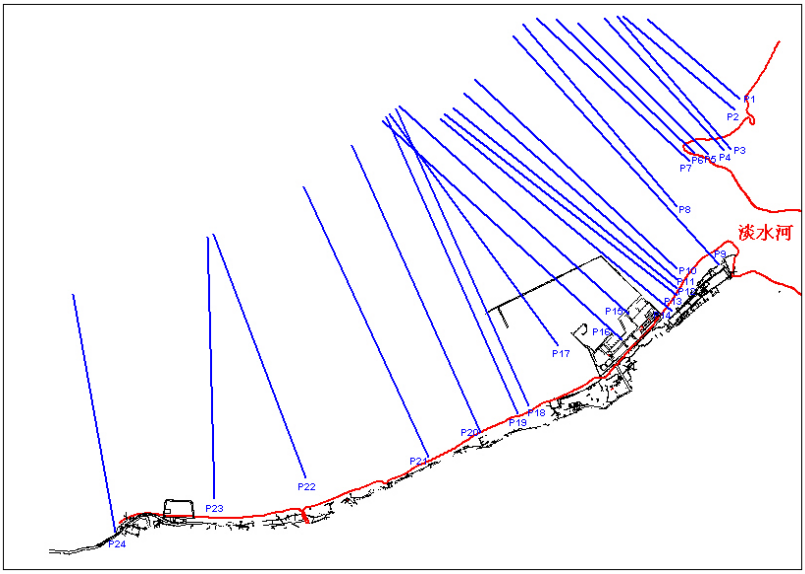


圖 2.9　臺北港海域地形擷取斷面位置示意圖

表 2.4 為淡水河口至渡船頭間水域之第五分區歷年地形侵淤量變化比較，由表中結果得知，各次之侵淤情況互現。其中有侵蝕之年份為 86 年 10 月、86 年 10 月、88 年 6 月、89 年 5 月、89 年 10 月、92 年 9 月、92 年 11 月、93 年 5 月及 94 年 5 月，而淤積量較大者為 88 年 6 月~88 年 10 月及 93 年 5 月~93 年 10 月，而其中以 88 年 6 月與其

前後季比較之總侵淤量變化比較，其呈現大量侵蝕後再在於下一季又大量淤積，此可能為本季有系統性之測量誤差所致；而 93 年度夏季期間，可能受數個颱風侵襲影響，致使 93 年 5 月與 10 月兩次地形侵淤量之比較，呈現較大量之淤積現象。

由表 2.5 及表 2.6 以民國 89 年分界之侵淤量統計資料顯示，於 89 年前其總侵淤量高程變化為淤積 0.48 公尺，而 90 年~94 年之總侵淤量高程變化為淤積 1.18 公尺。圖 2.10 及圖 2.11 分別為本分區 93 年 5 月~10 月與 94 年 5 月~10 月之地形變化色階比較圖。[交通部運輸研究所，2005]

表 2.4　臺北港海域第五分區(淡水河口至渡船頭)歷年侵淤量比較表

比較年份	侵淤量(立方公尺)	高程變化量（m）
85 年 05 月-85 年 10 月	1,139,769	0.59
85 年 10 月-86 年 05 月	-149,853	-0.08
86 年 05 月-86 年 10 月	-76,707	-0.04
86 年 10 月-87 年 07 月	493,854	0.25
87 年 07 月-87 年 10 月	281,848	0.14
87 年 10 月-88 年 06 月	-2,464,421	-1.27
88 年 06 月-88 年 10 月	1,900,179	0.98
88 年 10 月-89 年 05 月	-185,522	-0.10
89 年 05 月-89 年 10 月	-10,036	-0.01
89 年 10 月-90 年 05 月	802,753	0.41
90 年 05 月-90 年 10 月	517,864	0.27
90 年 10 月-91 年 05 月	273,952	0.14
91 年 05 月-91 年 10 月	671,211	0.35
91 年 10 月-92 年 09 月	-1,183,004	-0.61
92 年 09 月-92 年 11 月	-443,390	-0.23
92 年 11 月-93 年 05 月	-28,125	-0.01
93 年 05 月-93 年 10 月	1,628,484	0.84
93 年 10 月-94 年 05 月	-105,853	-0.05
上述歷年總侵淤量	3,063,003	1.58
94 年 05 月-94 年 10 月	151,902	0.08
上述歷年總侵淤量	3,214,906	1.65

＋為淤積，－為侵蝕

所擷取試算範圍面積為 1.944 平方公里

表 2.5　臺北港海域第五分區 85 年~89 年侵淤量比較表

比較年份	侵淤量(立方公尺)	高程變化量（m）
85 年 05 月-85 年 10 月	1,139,769	0.59
85 年 10 月-86 年 05 月	-149,853	-0.08
86 年 05 月-86 年 10 月	-76,707	-0.04
86 年 10 月-87 年 07 月	493,854	0.25
87 年 07 月-87 年 10 月	281,848	0.14
87 年 10 月-88 年 06 月	-2,464,421	-1.27
88 年 06 月-88 年 10 月	1,900,179	0.98
88 年 10 月-89 年 05 月	-185,522	-0.10
89 年 05 月-89 年 10 月	-10,036	-0.01
上述歷年總侵淤量	929,111	0.48

＋為淤積，－為侵蝕

所擷取試算範圍面積為 1.944 平方公里

表 2.6　臺北港海域第五分區 90 年~94 年侵淤量比較表

比較年份	侵淤量(立方公尺)	高程變化量（m）
89 年 10 月-90 年 05 月	802,753	0.41
90 年 05 月-90 年 10 月	517,864	0.27
90 年 10 月-91 年 05 月	273,952	0.14
91 年 05 月-91 年 10 月	671,211	0.35
91 年 10 月-92 年 09 月	-1,183,004	-0.61
92 年 09 月-92 年 11 月	-443,390	-0.23
92 年 11 月-93 年 05 月	-28,125	-0.01
93 年 05 月-93 年 10 月	1,628,484	0.84
93 年 10 月-94 年 05 月	-105,853	-0.05
94 年 05 月-94 年 10 月	151,902	0.08
上述歷年總侵淤量	2,285,795	1.18

＋為淤積，－為侵蝕

所擷取試算範圍面積為 1.944 平方公里

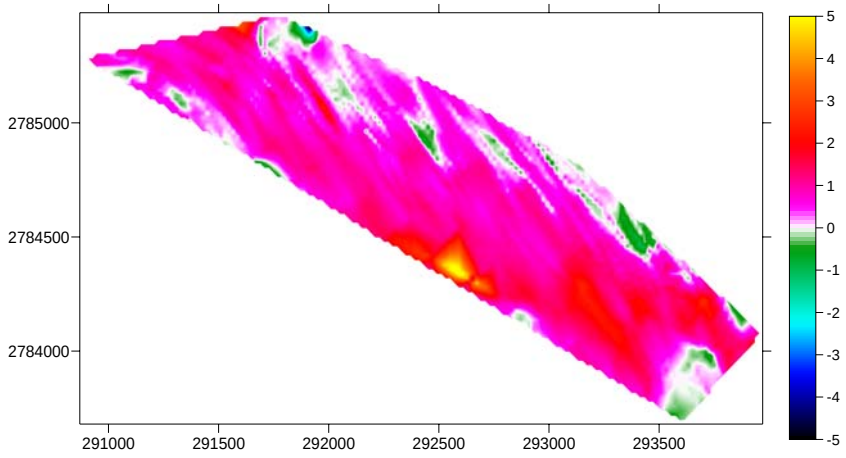


圖 2.10　93 年 5 月與 93 年 10 月第五分區海域地形比較色階圖

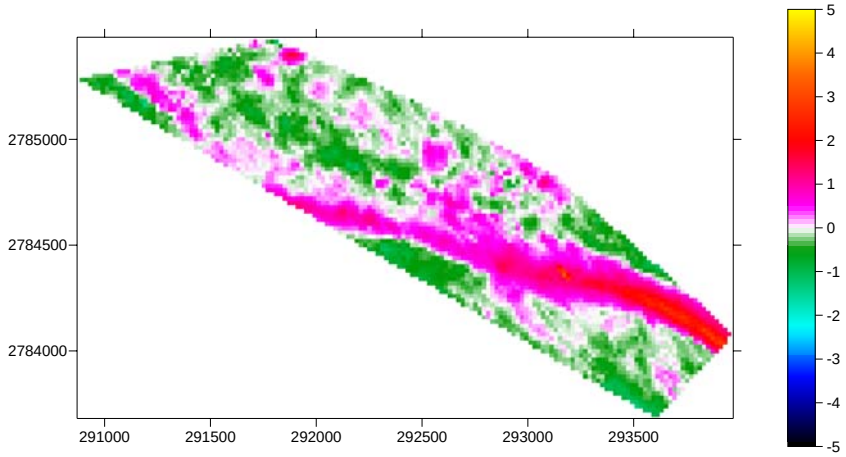


圖 2.11　94 年 5 月與 94 年 10 月第五分區海域地形比較色階圖

以臺北港海域地形測量斷面各年次 5 月(冬季季風影響)及 10 月(夏季颱風影響)為區分，擷取河口斷面 8~斷面 9 之變化結果，如圖 2.12~圖 2.15 所示。

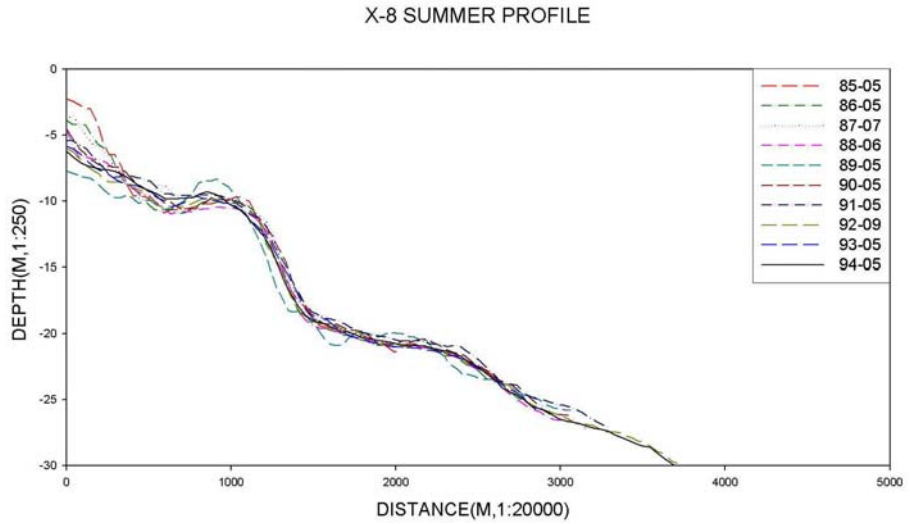


圖 2.12　斷面 8 歷年 5 月(冬季季風)地形剖面變化比較圖

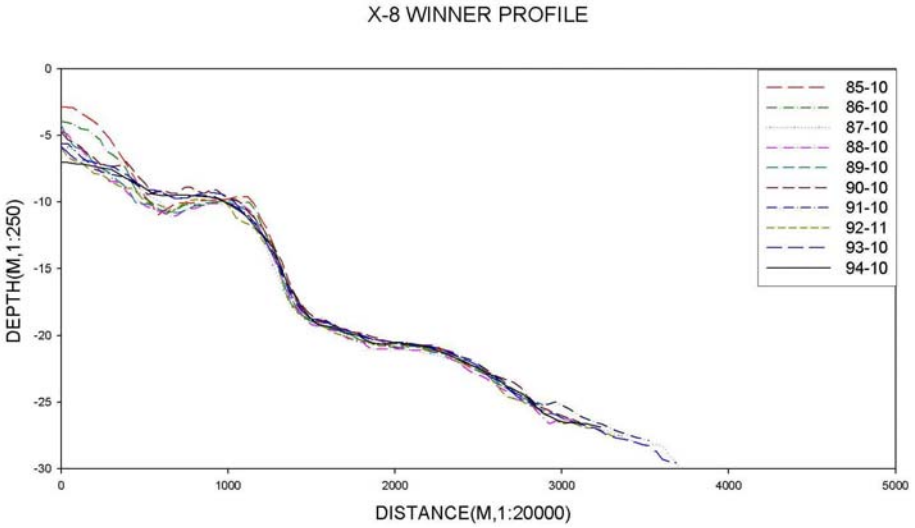


圖 2.13　斷面 8 歷年 10 月(夏季颱風)地形剖面變化比較圖

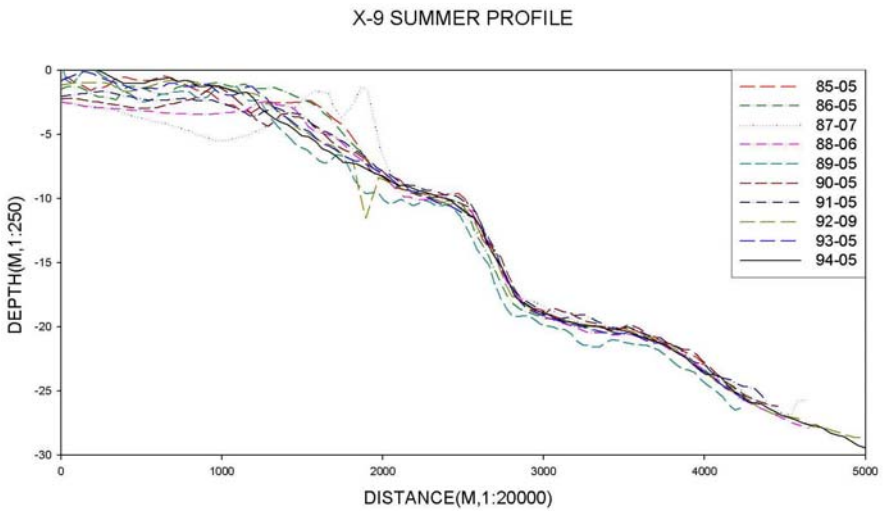


圖 2.14　斷面 9 歷年 5 月(冬季季風)地形剖面變化比較圖

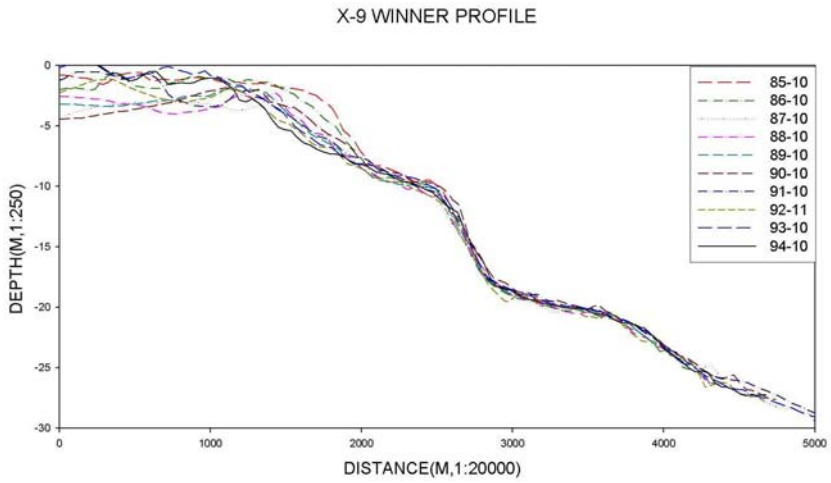


圖 2.15　斷面 9 歷年 10 月(夏季颱風)地形剖面變化比較圖

本計畫採用本所港灣技術研究中心於民國 94 年 10 月對關渡大橋至臺北港海域所量測之數值高程，進行二維地形變遷模式演算，解析度為 50 公尺×50 公尺(如圖 2.16 所示)。

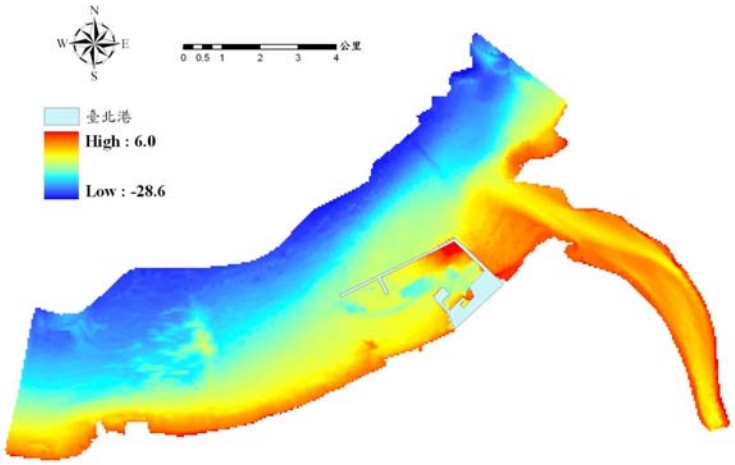


圖 2.16　關渡大橋至臺北港海域數值高程

2.4.2 淡水河流域數值高程

本計畫對於淡水流域採用內政部地政司所提供之 40 公尺×40 公尺網格式系統之數值高程資料。由數值地形資料可計算出各點位之高程，再依據研究範圍之集水區及河流地形地貌及水系，利用地理資訊

系統將演算範圍自動劃分為若干非結構型格區，這些格區分成坡地格區與河流格區，各格區內之參數，亦利用地理資訊系統(ArcView 水文分析模組)分析運算而得，研究區域之數值高程、坡度、坡向分佈圖，如圖 2.17、圖 2.18 及圖 2.19 所示。

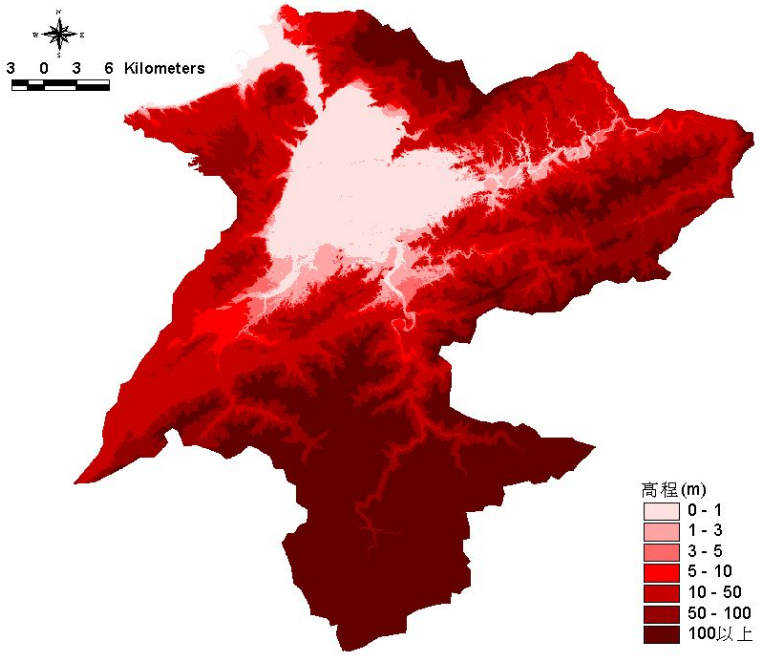


圖 2.17　淡水河集水區數值高程

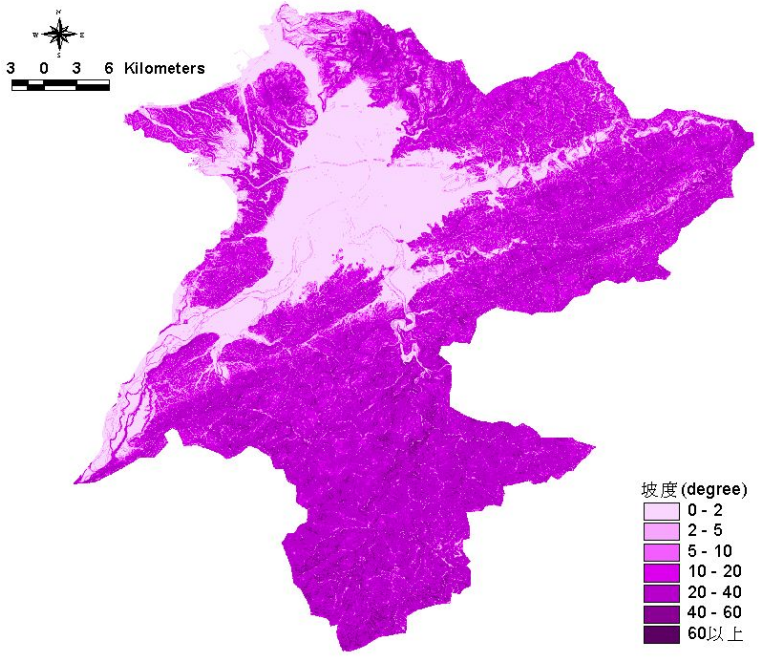


圖 2.18　淡水河集水區坡度分佈圖

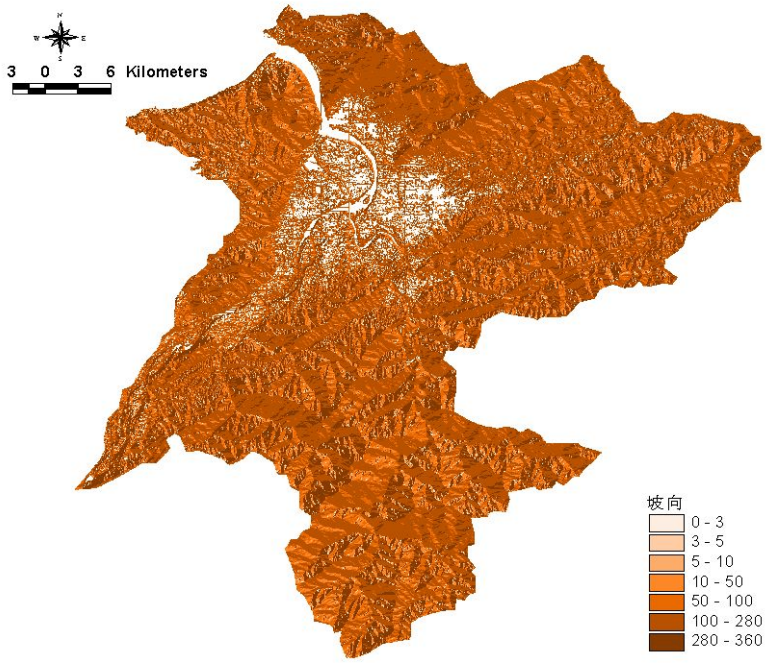


圖 2.19　淡水河集水區坡向分佈圖

2.4.3 土地利用

淡水河流域平原地區之淹水現象與全流域之地形地貌及土地利用相關。故為劃分淹水演算及洪流演算格區，應收集淡水河河道兩岸土地開發利用情形，淡水河主支流與重要排水路之河道縱、橫斷面資料，以及淡水河集水區之重要交通系統及土地利用資料等。

淡水河所流經之鄉、市、鎮之土地使用型態大部份已都市化，根據台北市及台北縣之土地使用分區面積統計資料顯示，其面積共二千三百二十四點三七平方公里，都市土地佔總面積之 45.5%，其中台北市二百七十一點八平方公里均為都市化土地[http://www.wra10.gov.tw]。

地表土地利用情形大多為農田及工商業住宅區。研究區域內主要鐵公路系統，鐵路有縱貫、北迴及淡水等線分別通往南、北及東部；公路有中山國道、台一及台三兩省道通達中南部及基隆，北部橫貫公路沿大漢溪銜接中橫公路宜蘭支線可達宜蘭、梨山，新店溪流域有北宜、北烏及石碇至坪林等公路通過其間，如圖 2.20。

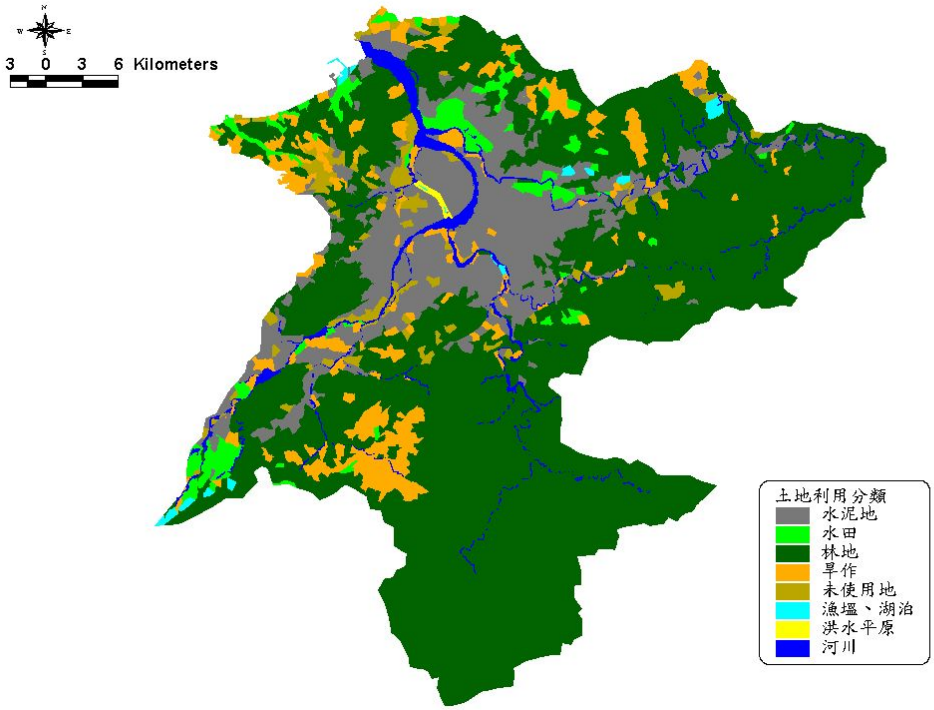


圖 2.20　淡水河土地利用分佈圖

2.4.4 河床質特性

淡水河攜帶泥砂由上游向下游運送，沿途經過水壩及部分篩選過程，至河口地區又會受波浪及河口循環流的篩選作用。依據交通部運輸研究所辦理之「台北港（92-94 年）海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業」計畫於淡水河重陽橋向海方向間隔採取底質砂樣，基隆河支流三個採樣點，至河口外海水約深 27 米處共 16 個測點。各測點之經緯度、水深及粒徑如表 2.7，其位置示如圖 2.21。各測點之粒徑分析結果如圖 2.22，淡水河底質粒徑由上游往下游方向粒徑逐漸增加，在測點 11 處達到最大，然後往外海方向逐漸減小。其中基隆河支流之底質粒徑較粗，可能是其上游沒有大型水庫攔阻，所以較粗顆粒能沿河沖流至下游地區；而淡水河上游之新店溪及大漢溪各有翡翠水庫及石門水庫攔阻主要砂源，能隨水流流至下游者只有較細的水庫污泥、及其它較小支流及颱風洪流所挾帶的較粗砂粒。

本計畫演算引用測點 9~測點 15 之 D_{50} 粒徑資料，分配至二維地形

變遷模式中。

表 2.7　底質採樣分析測點之經緯度、水深及 D_{50}

	東經		北緯			
測點	度	分	度	分	水深(m)	D_{50}(μm)
1	121	30.160	25	5.119	4.0	7.4
2	121	29.470	25	5.763	6.0	8.5
3	121	28.374	25	6.196	4.2	137.0
4	121	27.561	25	6.553	3.8	11.4
5	121	29.384	25	6.913	4.0	193.0
6	121	29.585	25	6.838	7.0	258.0
7	121	28.501	25	6.637	4.4	211.0
8	121	27.425	25	7.538	5.8	20.3
9	121	27.282	25	8.585	3.0	102.0
10	121	26.854	25	9.578	4.7	153.0
11	121	26.133	25	10.031	4.8	397.0
12	121	25.337	25	10.329	5.6	290.0
13	121	24.192	25	10.767	6.0	289.0
14	121	23.508	25	10.962	14.0	164.0
15	121	22.814	25	11.043	18.0	172.0
16	121	21.974	25	11.116	27.0	28.14

資料來源：交通部運輸研究所，2005

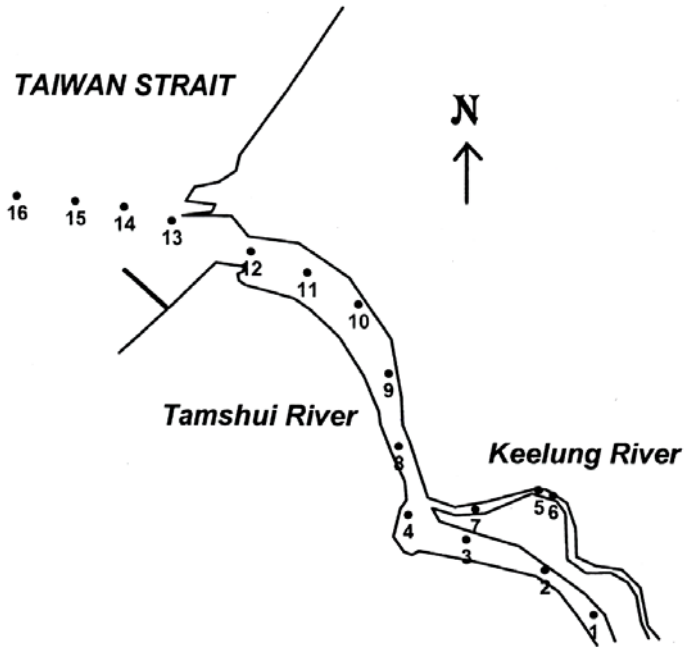


圖 2.21　底質採樣分析測點位置示意圖[交通部運輸研究所，2005]

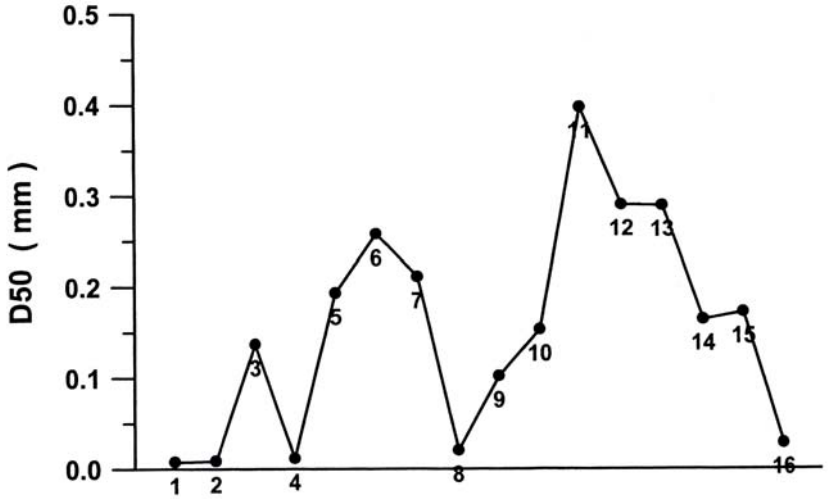


圖 2.22　各測點底質採樣粒徑分析結果[交通部運輸研究所，2005]

第三章　理論基礎

本計畫之數值模式演算分為海域波場模式、集水區地文性土壤沖淤模式與二維地形變遷模式等三項演算，由海域波場模式及集水區地文性土壤沖淤模式計算海域波浪成份(如輻射應力等)和關渡大橋上游邊界(如流量等)條件，提供二維地形變遷模式進行演算。茲就相關各模式之建立予以說明如後。

3.1 RCPWAVE 波場模式

波場計算係以美國工兵團之RCPWAVE(Regional Coastal Processes Numerical Modeling System)模式為基礎，計算研究範圍內之波高、波向(含波向線)及周波數等之分佈，提供沖積河流動床二維模式計算海域輻射應力。

RCPWAVE 模式以 ae^{iS} 型式（a 為波浪振幅函數，S 為相位函數）取代波浪速度勢能函數Φ，代入式 (3-1-1) 後可獲得一振幅函數 a 的方程式，以及相位函數 S 的方程式 (Ebersole 等人，1986) ：

$$\frac{1}{a}\{\frac{\partial^2 a}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 a}{\partial y^2}+\frac{1}{CC_g}[\nabla^2 a\cdot\nabla(CC_g)]\}+k^2-\left|\nabla S\right|^2=0 \quad \text{.....(3-1-1)}$$

$$\nabla\cdot(a^2CC_g\nabla S)=0 \quad \text{.....(3-1-2)}$$

其中波浪相位函數的梯度為非旋性，即 $\nabla\times\nabla S=0$。RCPWAVE 模式假設反射波浪可被忽略，並利用有限差分法來模擬波浪的傳遞，數值求解方法近似於 REF/DIF-1 模式。

RCPWAVE 模式對於網格的限制只需要格點間距小於 1/5 的波長即可，因此計算時間可明顯縮減。不過當波浪傳遞方向與格網邊界軸

線夾角超出20^o時，程式的收斂效率將會降低。因波浪相位函數以式(3-1-2) 另行求解，所計算得的波浪軌跡將不會相互交錯。

3.2 集水區地文性土壤沖淤模式

本研究所建立之集水區地文性土壤沖淤模式(Physiographic Soil Erosion-Deposition model)係依據集水區及河流地形地貌及水系，利用地理資訊系統將演算範圍自動劃分為若干格區，這些格區分成坡地格區與河流格區，各格區內之水文、地文資料，亦利用地理資訊系統分析運算而得。模式分成水流演算與土壤沖淤演算兩部分。

3.2.1 水流演算基本方程式

水流演算主要是演算降雨逕流在集水區及河流(含兩岸高灘地)之傳播過程，每一格區之水位變化應滿足水流連續方程式，以任一格區，如i格區而言，則其連續方程式如(3-2-1)式所示：

$$A_i \frac{\partial Z_i}{\partial t} = \sum_k Q_{i,k}(Z_i, Z_k) + P_{ei}(t) \quad \text{.....(3-2-1)}$$

t為時間；A_i為i格區之面積；Z_i、Z_k分別為i格區與k格區之水位；$Q_{i,k}$為由與i格區相鄰之k格區流入i格區之流量；P_{ei}為i格區每秒之有效降雨體積。而各格區間之水流交換可視格區交接處之狀況選擇適當之流量律。說明如下：

1.川流連接型

若格區與格區間之水流交換無局部障礙物，可應用曼寧公式計算流過兩格區交界面之流量。以i格區而言，由k格區流至i格區的流量為：

$$Q_{i,k} = \frac{Z_k - Z_i}{|Z_k - Z_i|} \cdot \Phi(\overline{Z}_{i,k}) \cdot \sqrt{|Z_k - Z_i|} \quad for \quad \frac{\partial Q_{i,k}}{\partial Z_i} \le 0 \quad \text{.....(3-2-2)}$$

$$Q_{i,k} = \Phi(Z_k) \cdot \sqrt{|Z_k - Z_i|} \qquad for \quad \frac{\partial Q_{i,k}}{\partial Z_i} > 0 \qquad \text{.....(3-2-3)}$$

式中 $\overline{Z}_{i,k}$ 為 i 格區與 k 格區交界處之水位。而 $\Phi(h)$ 為：

$$\Phi(Z) = \frac{\frac{1}{n} A(Z) R^{2/3}(Z)}{\sqrt{\Delta x}} \qquad \text{.....(3-2-4)}$$

Δx 為 i、k 兩格區之中心距；n 為兩格區間之曼寧糙率係數；$A(Z)$、$R(Z)$ 分別為兩格區交界處之通水面積和水力半徑。

2.堰流連接型

若格區與格區之間以道路、堤防、田埂或岸壁等為交界，則可將交界視為寬頂堰，以堰流公式來計算兩格區間之流量。若以 $Z_k > Z_i$ 之情形而言，可分為自由堰流及潛沒堰流兩種形式：

(1) 自由堰流　$(Z_i - Z_w) < \frac{2}{3}(Z_k - Z_w)$：

$$Q_{i,k} = \mu_1 b \sqrt{2g} (Z_k - Z_w)^{3/2} \qquad \text{.....(3-2-5)}$$

(2) 潛沒堰流　$(Z_i - Z_w) \geq \frac{2}{3}(Z_k - Z_w)$：

$$Q_{i,k} = \mu_2 b \sqrt{2g} (Z_i - Z_w)(Z_k - Z_i)^{1/2} \qquad \text{.....(3-2-6)}$$

以上二式中，Z_w 為堰頂高程，即交界處之路面、堤頂或地面高程；b 為堰頂之有效寬度，即相鄰兩格區之交界長；g 為重力加速度；μ_1、μ_2 分別為自由堰流及潛沒堰流之堰流係數，μ_1=0.36~0.57，μ_2=2.6μ_1。

3.2.2 土壤沖淤演算基本方程式

以任一格區 i 而言，懸浮載連續方程式及底床變動連續方程式分別為：

$$\frac{\partial V_{si}}{\partial t} = \sum_k Q_{SC_{i,k}} + Q_{sei} - Q_{sdi} + R_{DTi} \quad \text{.....(3-2-7)}$$

$$(1-\lambda)\frac{\partial V_{di}}{\partial t} = \sum_k Q_{SB_{i,k}} - Q_{sei} + Q_{sdi} - R_{DTi} \quad \text{.....(3-2-8)}$$

以上式中，V_{si} 為 i 格區水體中懸浮之泥砂體積($=A_i \times D_i \times C_i$，$C$ 為懸浮載體積濃度)；λ 為孔隙率；V_{di} 為 i 格區沖積層體積；$Q_{SC_{i,k}}$、$Q_{SB_{i,k}}$ 分別為由與 i 格區相鄰之 k 格區流入 i 格區之懸浮載流量與底床載流量；R_{DTi} 為 i 格區降雨分離率；Q_{sei} 為 i 格區地表土壤與河道底床之捲增率；Q_{sdi} 為 i 格區底床之沉降率。

1.降雨分離率

降雨分離對土壤的沖蝕型態，除了受土壤種類、地表植生之影響外，地面水膜厚度亦為影響降雨分離率之主要因素。但當水膜厚度大於 3 倍雨滴粒徑時，雨滴撞擊將失去影響力，即降雨分離率可視為零。雨滴粒徑可由降雨強度求得：

$$d_{50} = 1.560 I^{0.096} \quad \text{.....(3-2-9)}$$

d_{50} 為雨滴之中值粒徑(mm)；I 為降雨強度 (mm/hr)。

當地面水膜厚度小於 3 倍雨滴粒徑時，格區之降雨分離率為：

$$R_{DTi} = a \cdot I^b \cdot A_i \quad \text{.....(3-2-10)}$$

a、b為待定係數。本文取a值為 20，b值則取為 1。

2.底床之捲增與沉降

Itakura and Kishi (1980)提出單位面積泥砂之底床捲增率為：

$$q_{se}=0.008\sqrt{sgd}\left[0.14\frac{\rho}{\rho_s}\left(14\sqrt{\tau_*}-\frac{0.9}{\sqrt{\tau_*}}\right)-\frac{\omega_s}{\sqrt{sgd}}\right] \quad \text{.....(3-2-11)}$$

式中$s=(\rho_s-\rho)/\rho$，為有效密度係數，ρ_s、ρ分別為泥砂和清水之密度；d 為泥砂之粒徑；ω_s為泥砂之沉降速度；τ_*為無因次底床剪應力$(=u_*^2/sgd$，u_*為摩擦速度)。單位面積泥砂之底床沉降率q_{sd}為：

$$q_{sd}=\omega_s C_a \quad \text{.....(3-2-12)}$$

C_a為近底床處之懸浮載體積濃度，可以距底床 0.05 水深處之懸浮載體積濃度近似之。因此，i 格區底床之捲增率與沉降率即分別為：

$$Q_{sei}=q_{se}\cdot A_i \quad \text{.....(3-2-13)}$$

$$Q_{sdi}=q_{sd}\cdot A_i \quad \text{.....(3-2-14)}$$

3.底床載輸運率

底床載是因為水流之動力作用而在底床附近運動之泥砂，本文採用 Meyer-Peter and Muller 公式計算之：

$$(\frac{k_n}{k'})^{3/2}\gamma DS_f=0.047(\gamma_s-\gamma)d+0.25(\frac{\gamma}{g})^{1/3}\left(\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\right)^{2/3}q_b^{2/3} \quad \text{.....(3-2-15)}$$

S_f為摩擦坡度；γ_s、γ分別為泥砂和清水之比重；q_b為單位寬度之

底床載輸運率；k_n 為 Strickler 糙率係數；$k' = 26/d_{90}^{1/6}$，d_{90} 為粒徑級配曲線中，通過百分率為 90%之顆粒粒徑。

3.2.3 數值方法

1.格區水位之演算

集水區依地形地貌劃分成若干格區，每一格區可有如(3-2-1)式之水流連續方程式，格區間之交換流量則以適當之流量公式計算，如(3-2-2)式至(3-2-6)式。本研究以顯式有限差分離散化(3-2-1)式，可得：

$$A_{si}^{j}\frac{\Delta Z_i}{\Delta t} = P_i^{j} + \Sigma Q_{i,k} \quad \text{.....(3-2-16)}$$

A_{si}^{j}、P_i^{j} 及 $Q_{i,k}^{j}$ 各為 i-格區在 t^j 時間之水平面積、降雨強度及由 k-格區流入 i-格區之流量；Δt 為 t^j 時間至 t^{j+1} 時間之時距；ΔZ_i 為 i-格區在 Δt 時間中之水位增量。利用顯式差分法，以 i 格區為例，可將式(3-2-1)差分化為：

$$Z_i^{m+1} = Z_i^{m} + \frac{\left(\sum_k Q_{i,k}^{m} + P_{ei}^{m}\right)}{A_i}\cdot \Delta t \quad \text{.....(3-2-17)}$$

式中，上標 m 表示 t_m 時刻之已知物理量；上標 $m+1$ 表示 t_{m+1} 時刻之未知格區水位；Δt 為演算時距。相鄰格區間之流量 $Q_{i,k}$ 與格區水位 Z_i、Z_k 之函數關係，由(3-2-2)式、(3-2-3)式或(3-2-5)式、(3-2-6)式表示。因此，利用(3-2-18)式與降雨資料並配合格區內之水文、地文資料，即可求得各格區之水位歷線，而格區之水深則為：

$$D_i = Z_i - z_i \quad \text{.....(3-2-18)}$$

D_i 為格區之水深；z_i 為格區之底床高程。

2.懸浮載體積濃度和底床變動演算

對於任一格區 i 而言，以顯式差分法，可將(3-2-7)式差分化為：

$$C_i^{m+1}=\frac{\left(\sum_k Q_{SC_{i,k}}^m+Q_{sei}^m-Q_{sdi}^m+R_{DTi}^m\right)}{A_i D_i^{m+1}}\cdot\Delta t \quad \text{.....(3-2-19)}$$

相鄰格區間之懸浮載流量 $Q_{SC_{i,k}}$ 可由 $Q_{i,k}$ 之流向決定，若水流由 k 格區流進 i 格區則 $Q_{SC_{i,k}}=\left|Q_{i,k}\right|\times C_k$ ；若水流由 i 格區流進 k 格區，則 $Q_{SC_{i,k}}=-\left|Q_{i,k}\right|\times C_i$ 。而 Q_{sei} 、 Q_{sdi} 、 R_{DTi} 可分別由(3-2-14)式、(3-2-15)式及(3-2-10)式求得。 D_i 則由水流演算時之(3-2-18)式求得。

同理，(3-2-8)式可差分化為：

$$\Delta z_i=\frac{\left(\sum_k Q_{SB_{i,k}}^m+Q_{sei}^m-Q_{sdi}^m-R_{DTi}^m\right)}{A_i(1-\lambda)}\cdot\Delta t \quad \text{.....(3-2-20)}$$

Δz_i 即為 i 格區之底床變動量，正值表示格區發生淤積；負值表示格區發生沖刷。相鄰格區間之底床載流量 $Q_{SB_{i,k}}$ 則由 $Q_{i,k}$ 之流向決定正負值。以 i 格區而言，若水流流進 i 格區，則可利用(3-2-15)式求出 $Q_{SB_{i,k}}$ ，其值為正；若水流由 i 格區流出，則 $Q_{SB_{i,k}}$ 為負值。

3.3 二維地形變遷模式

本研究利用水深平均法將物理量沿深度方向積分，化簡三維水流控制方程式為水深平均之二維控制方程式，從而建立二維地形變遷模式。

3.3.1 水流基本控制方程式

模式係以河道水流及近岸水流之水深平均二維連續方程式及 x、y 方向動量方程式為流場之控制方程式，可分別表為：

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=0 \quad \text{.....(3-3-1)}$$

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t}+\frac{\partial (u\,uh)}{\partial x}+\frac{\partial (u\,vh)}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left(2\varepsilon h\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left[\varepsilon h\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]-\frac{\tau_{bx}}{\rho}-gh\frac{\partial Z}{\partial x}+S_x$$

.....(3-3-2)

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t}+\frac{\partial (v\,uh)}{\partial x}+\frac{\partial (v\,vh)}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\varepsilon h\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left(2\varepsilon h\frac{\partial v}{\partial y}\right)-\frac{\tau_{by}}{\rho}-gh\frac{\partial Z}{\partial y}+S_y$$

.....(3-3-3)

以上式中，t 為時間；u、v 分別為 x、y 方向之水深平均流速；h 為水深；Z 為水面高程(水位)；ε 為渦動黏滯係數；τ_{bx}、τ_{by} 分別為底床剪應力在 x 及 y 方向之分量；S_x、S_y 分別為 x 及 y 方向之輻射應力。河道水流之流速於水深方向之分佈可假設為對數律分佈，故水深平均渦動黏滯係數為 $\varepsilon=\kappa u_* h/6$，$\kappa$ 為 von Karman 常數，取為 0.4；u_* 為摩擦速度，取為 $\sqrt{ghS_f}$。而在近岸水流中，$\varepsilon=N\ell\sqrt{gh}$，N 為小於 0.016 之常數，$\ell=h/\tan\beta$ 為離岸距離之特徵長度。

河道水流之 τ_{bx}、τ_{by} 分別為：

$$\tau_{bx}=\frac{\rho g n_m^{\,2}}{h^{1/3}}u\left(u^2+v^2\right)^{1/2} \quad \text{.....(3-3-4a)}$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho g n_m^{\ 2}}{h^{1/3}} v\left(u^2+v^2\right)^{1/2} \quad \text{.....(3-3-4b)}$$

n_m為曼寧係數。而近岸水流由於同時受到浪與流之交互作用，因此其τ_{bx}、τ_{by}則分別為：

$$\tau_{bx} = \rho C_f \left[\left(W + \frac{W_b^{\ 2}\cos^2\theta}{W}\right)u + \frac{W_b^{\ 2}\cos\theta\sin\theta}{W}v\right] \quad \text{.....(3-3-5a)}$$

$$\tau_{by} = \rho C_f \left[\frac{W_b^{\ 2}\cos\theta\sin\theta}{W}u + \left(W + \frac{W_b^{\ 2}\sin^2\theta}{W}\right)v\right] \quad \text{.....(3-3-5b)}$$

式中C_f為無因次係數，其階次為 0.01。而W、W_b分別為：

$$W = \frac{1}{2}\left[\sqrt{u^2+v^2+W_b^{\ 2}+2\left(u\cos\theta+v\sin\theta\right)W_b} + \sqrt{u^2+v^2+W_b^{\ 2}-2\left(u\cos\theta+v\sin\theta\right)W_b}\right] \quad \text{.....(3-3-6a)}$$

$$W_b = \frac{\omega H}{\pi \sinh kh} \quad \text{.....(3-3-6b)}$$

ω為角頻率；k 為週波數；H和θ分別為任意水深之波高及波向角。

輻射應力使近岸平均水位發生變化因而造成流動現象，故對於近岸流之流場計算扮演重要角色，但對於河道水流之流場計算則可忽略不計。近岸流之S_x和S_y可表示為：

$$S_x = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right) \quad \text{.....(3-3-7a)}$$

$$S_y = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right) \quad \text{.....(3-3-7b)}$$

S_{xx}、S_{xy}、S_{yx}、S_{yy} 分別為 x 及 y 方向之輻射應力分量，可表為：

$$\begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{bmatrix} = E\begin{bmatrix} \left(2n-\frac{1}{2}\right)\cos^2\theta + \left(n-\frac{1}{2}\right)\sin^2\theta & -n\sin\theta\cos\theta \\ -n\sin\theta\cos\theta & \left(2n-\frac{1}{2}\right)\sin^2\theta + \left(n-\frac{1}{2}\right)\cos^2\theta \end{bmatrix}$$

.....(3-3-7c)

式中 E 為波浪能量；n 為群波速度與波速之比。E、n 分別為：

$$E = \frac{1}{8}\rho g H^2 \quad \text{.....(3-3-7d)}$$

$$n = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}\right] \quad \text{.....(3-3-7e)}$$

3.3.2 沉滓輸運基本控制方程式

水深平均之懸浮載體積濃度對流擴散方程式為：

$$\frac{\partial(ch)}{\partial t} + \frac{\partial(uch)}{\partial x} + \frac{\partial(vch)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(e_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(e_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + q_{se} - q_{sd} \quad \text{.....(3-3-8)}$$

c 為懸浮載之體積濃度；e_x、e_y 分別為水流之 x 方向、y 方向之泥砂擴散係數；q_{se} 為單位時間、單位面積自河床面捲增(entrain)至水流中之泥砂體積；q_{sd} 則為單位時間、單位面積沉降至河床面之泥砂體積。

由紊流理論中可知，擴散現象中之擴散係數 e 與動量交換中之動量交換係數ε是相當的。從實測之懸浮載濃度及流速剖面，繪出泥砂擴散係數和動量交換係數在垂線上之分佈，這兩條曲線雖然外形上十分

相似，但數量上並不相等。因此通常假定為：

$$e = \beta' \varepsilon \quad \text{.....(3-3-9)}$$

$$\beta' = 1 + 2(\omega_s / u_*)^2 \quad , \quad for \quad 0.1 < \omega_s / u_* < 1 \quad \text{.....(3-3-10)}$$

式中 ω_s 為泥砂顆粒之沉降速度。現有的室內及野外試驗中，仍無法精確得知 e_x 與 e_y 之關係，因此在未有充分的試驗資料與理論分析之情況下，本模式假設 $e_x = e_y$ 。

底床捲增項 q_{se} 及沉降項 q_{sd} 分別可表為：

$$q_{se} = 0.008\sqrt{s'gd}\left[0.14\frac{\rho}{\rho_s}(14\sqrt{\tau_*} - \frac{1}{\sqrt{\tau_*}}) - \frac{\omega_s}{\sqrt{s'gd}}\right] \quad \text{.....(3-3-11)}$$

$$q_{sd} = \omega_s c_b \quad \text{.....(3-3-12)}$$

式中 $s' = (\rho_s - \rho)/\rho$ ，為泥砂在水中之比重， ρ_s 為泥砂之密度；d 為泥砂之粒徑； τ_* 為無因次底床剪應力，為：

$$\tau_* = u_*^2 / s'gd \quad \text{.....(3-3-13)}$$

c_b 為近底床處之懸浮載體積濃度，可以距底床 0.05h 處之參考濃度 (reference concentration)近似之。若假設懸浮載體積濃度之分佈可以指數律表示，則可得：

$$c_b = \frac{\varphi c}{1 - \exp(-\varphi)} \quad \text{.....(3-3-14)}$$

式中 $\varphi = \omega_s h / \varepsilon$ 。

由於水流之動力作用而在底床附近運動的泥砂稱為底床載，本研究擬採用 Meyer-Peter and Muller 公式(簡稱 MPM 公式)，計算底床載輸運率：

$$\left(\frac{k_n}{k'}\right)^{3/2}\gamma hS_f = 0.047(\gamma_s-\gamma)d_m + 0.25\left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3}\left(\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}\right)^{2/3} q_b^{2/3} \quad \text{.....(3-3-15)}$$

式中，q_b 為單位寬度之底床載輸運率；k_n 可以曼寧係數之倒數 $(=1/n_m)$表之；d_m 為泥砂之平均粒徑。k'則以 Strickler 之顆粒糙度公式計算：

$$k' = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \quad \text{.....(3-3-16)}$$

d_{90} 為粒徑級配曲線中，通過百分率為 90%之顆粒粒徑，其單位為公尺。

如前所述，底床變動是因各處之泥砂輸運率不同所致，故此一底床變動量可由泥砂連續方程式得之：

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda}\left[\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} + \left(q_{se} - w_s c_b\right)\right] = 0 \quad \text{.....(3-3-17)}$$

式中，Z 為底床高程；λ 為底床質之孔隙率，$\lambda = 0.245 + 0.0864/d_m^{0.21}$，$d_m$ 之單位為公分。q_{bx}、q_{by} 分別為 q_b 在 x 及 y 方向之分量。q_{bx}、q_{by} 若依流速分量來分配，則可表為：

$$q_{bx} = \frac{u}{\sqrt{u^2+v^2}} q_b \quad \text{.....(3-3-18a)}$$

$$q_{by} = \frac{v}{\sqrt{u^2+v^2}} q_b \quad \text{.....(3-3-18b)}$$

3.3.3 數值方法

由於計算域包括河道，而天然河流斷面底床高程變化大，且洪水過程中底床沖淤變化劇烈，易造成水深梯度較大之情形，故本模式發展較易處理這類情形之 MacCormack 顯式差分法。MacCormack 顯式差分法分為預測(predictor)及修正(corrector)兩個步驟，以推求下一時刻之新值，其中預測步驟一般採用前向差分，而修正步驟採用後向差分。

(3-3-1)式之連續方程式用來計算水深 h，(3-3-2)式之 x 方向動量方程式用來計算 u，(3-3-3)式之 y 方向動量方程式用來計算。利用前向差分，可將(3-3-1)至(3-3-3)式之水流控制方程式差分處理，經移項整理後可得預測步驟之預測值：

$$h_{i,j}^{*} = h_{i,j}^{n} + \Omega'_{hf} \quad \text{.....(3-3-19)}$$

$$u_{i,j}^{*} = u_{i,j}^{n} \frac{h_{i,j}^{n}}{h_{i,j}^{n+1}} + \Omega'_{uf} \quad \text{.....(3-3-20)}$$

$$v_{i,j}^{*} = v_{i,j}^{n} \frac{h_{i,j}^{n}}{h_{i,j}^{n+1}} + \Omega'_{vf} \quad \text{.....(3-3-21)}$$

同理，利用後向差分差分處理(3-3-1)至(3-3-3)式，可得修正步驟之修正值：

$$h_{i,j}^{**} = h_{i,j}^{n} + \Omega'_{hb} \quad \text{.....(3-3-22)}$$

$$u_{i,j}^{**} = u_{i,j}^{n} \frac{h_{i,j}^{n}}{h_{i,j}^{n+1}} + \Omega'_{ub} \quad \text{.....(3-3-23)}$$

$$v_{i,j}^{**} = v_{i,j}^{n} \frac{h_{i,j}^{n}}{h_{i,j}^{n+1}} + \Omega'_{vb} \quad \text{.....(3-3-24)}$$

由預測值及修正值可計算下一時刻之新值：

$$h_{i,j}^{n+1}=\frac{1}{2}\left(h_{i,j}^{*}+h_{i,j}^{**}\right) \quad \text{.....(3-3-25)}$$

$$u_{i,j}^{n+1}=\frac{1}{2}\left(u_{i,j}^{*}+u_{i,j}^{**}\right) \quad \text{.....(3-3-26)}$$

$$v_{i,j}^{n+1}=\frac{1}{2}\left(v_{i,j}^{*}+v_{i,j}^{**}\right) \quad \text{.....(3-3-27)}$$

以上式中，上標“n”表示第 n 時刻之已知物理量；上標“n+1”表示第 n+1 時刻之未知物理量；上標“*”表示第 n+1 時刻之預測值；上標“**”表示第 n+1 時刻之修正值；i 為 x 方向之計算格點點位，j 為 y 方向之計算格點點位。Ω'_{hf} 、Ω'_{uf} 、Ω'_{vf} 、Ω'_{hb} 、Ω'_{ub} 、Ω'_{vb} 為經移項整理後第 n 時刻 h、u、v 等所組合成之已知函數。

應用有限差分法求解時，若使用之差分法截尾誤差之前導項為偶次導式，則所得之解會有分散誤差(dissipative errors)；若前導項為奇次導式，則會有延散誤差(dispersive errors)。延散誤差常使陡波前(steep wave fronts)附近之計算結果產生數值振盪，此種振盪來自於數值誤差，與所模擬之物理現象無關。為降低振盪現象，通常加入人工滯性項(artificial viscosity)改善數值振盪的情形，且水深和流速之模擬結果並無太大差異。n+1 時刻水深計算值，定義：

$$v_{x_{i,j}}=\frac{\left|h_{i+1,j}-2h_{i,j}+h_{i-1,j}\right|}{\left|h_{i+1,j}\right|+2\left|h_{i,j}\right|+\left|h_{i-1,j}\right|} \quad \text{.....(3-3-28a)}$$

$$v_{y_{i,j}}=\frac{\left|h_{i,j+1}-2h_{i,j}+h_{i,j-1}\right|}{\left|h_{i,j+1}\right|+2\left|h_{i,j}\right|+\left|h_{i,j-1}\right|} \quad \text{.....(3-3-28b)}$$

$$\varepsilon'_{xi-1/2,j} = \kappa' \max(\nu_{x_{i-1,j}}, \nu_{x_{i,j}}) \quad \text{.....(3-3-28c)}$$

$$\varepsilon'_{y_{i,j-1/2}} = \kappa' \max(\nu_{y_{i,j-1}}, \nu_{y_{i,j}}) \quad \text{.....(3-3-28d)}$$

式中，ε'_x、ε'_y為變數梯度正常化型(normalized form)之參數。κ'為一常數，用於調整平滑程度。κ'值對演算結果之敏感度並不高，依Chaudhry(1993)之建議，取$\kappa' = 0.3$。故 n+1 時刻 h、u、v 之計算值修正為：

$$\begin{aligned} h_{i,j}^{n+1} = h_{i,j}^{n+1} &+ [\varepsilon'_{xi+1/2,j}(h_{i+1,j}^{n+1} - h_{i,j}^{n+1}) - \varepsilon'_{xi-1/2,j}(h_{i,j}^{n+1} - h_{i-1,j}^{n+1})] \\ &- [\varepsilon'_{y_{i,j+1/2}}(h_{i,j+1}^{n+1} - h_{i,j}^{n+1}) - \varepsilon'_{y,j-1/2}(h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j-1/2}^{n+1})] \end{aligned} \quad \text{.....(3-3-29)}$$

$$\begin{aligned} u_{i,j}^{n+1} = u_{i,j}^{n+1} &+ [\varepsilon'_{xi+1/2,j}(u_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1}) - \varepsilon'_{xi-1/2,j}(u_{i,j}^{n+1} - u_{i-1,j}^{n+1})] \\ &- [\varepsilon'_{y_{i,j+1/2}}(u_{i,j+1}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1}) - \varepsilon'_{y,j-1/2}(u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j-1/2}^{n+1})] \end{aligned} \quad \text{.....(3-3-30)}$$

$$\begin{aligned} v_{i,j}^{n+1} = v_{i,j}^{n+1} &+ [\varepsilon'_{xi+1/2,j}(v_{i+1,j}^{n+1} - v_{i,j}^{n+1}) - \varepsilon'_{xi-1/2,j}(v_{i,j}^{n+1} - v_{i-1,j}^{n+1})] \\ &- [\varepsilon'_{y_{i,j+1/2}}(v_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^{n+1}) - \varepsilon'_{y,j-1/2}(v_{i,j}^{n+1} - v_{i,j-1/2}^{n+1})] \end{aligned} \quad \text{.....(3-3-31)}$$

若計算過程中，河道中出現乾點的現象，則需針對此種無水區域加以適當處理。一般而言，若僅從事水理模擬或底床沖淤情形並不顯著且演算時間內計算域的無水區域只佔極小部分時，可定義一參考水深h_d，h_d之值可依模擬案例之尺度而加以選擇。由前一時刻計算得之水深值與h_d比較，以判斷計算點上之乾濕狀況。若水深$h \geq h_d$，則該計算點處於有水流動之狀態，無須做任何特殊處理，即可進行差分計算或矩陣演算。若水深$h < h_d$，則表示該計算點上無水流動或已接近無水狀態，可令此格點上之流速分量為零；並令$h = h_d$，以維持數值計算過程之穩定性。然而此法只適用於計算域中僅出現局部且極少部分的乾

點，若乾點數較多，則數值計算過程仍容易導致發散(divergence)。

天然沖積河流在底床演變的過程中，由於底床之沖淤，導致動床模擬時可能出現的乾點分佈範圍常較定床模擬時既多且廣。而變量流過程中，無水區域範圍也將因水位漲退以及河口潮位的影響而有很大的改變。若模式未能針對此種無水區域加以適當處理，不僅模式之應用受限，更會在計算過程中發生數值發散，因此應適當考慮洪水漲退及潮位漲退過程中，計算域出現的乾地及水域範圍的改變。

本模式處理乾濕元素之方式，首先定義參考水深h_{dry}，h_{dry}之值可依模擬案例之尺度而加以選擇。由前一時刻計算之水深值h_{dry}^{n}與h_{dry}比較，以判斷計算格點所在之差分網格之乾濕狀況，分為三種元素：

1. 若$h_{i,j}^{n} \geq h_{dry}$，則稱(i，j)差分網格為濕元素，表示該網格皆處於有水流動之狀態，無須做任何特殊處理。
2. 若$h_{i,j}^{n} \leq h_{dry}$，且相鄰格點$h_{i+1,j}^{n}, h_{i-1,j}^{n}, h_{i,j+1}^{n}, h_{i,j-1}^{n}$之值亦均小於$h_{dry}$時，則稱該網格為乾元素，表示網格內無水流動。可令流速分量 u、v 為零，並令$h_{i,j}^{n+1} = h_{dry}$，以維持數值計算過程之穩定。
3. 若非上述兩種情形，則稱該網格為部份濕元素，表示網格內僅一部份區域有水。此時水流動量通量之影響效應可予以忽略，不應用動量方程式計算流速，可令流速為 0，只由連續方程式計算元素間水流進出之流量。

進行河口及海域之水流演算時之邊界條件包含：河道上游邊界、河道側壁邊界、岸線邊界、兩側邊界、外海邊界。河道上游邊界條件應為流速分量 u、v，但一般實測之流速歷線資料較不易取得，而僅有流量歷線資料；且上游邊界之底床高程變化甚大，流速分佈並不均勻。此時可以輸水因子(conveyance)分配上游邊界計算格點之流量，再進一步求出流速。外海邊界條件則為潮位歷線。由於河道兩岸與海岸線為固體邊界，故在側壁邊界處可令垂直邊界之流速為零，而平行側壁邊界之流速，可依處理方式不同而分可滑側壁邊界條件(free-slip sidewall boundary condition)及不可滑側壁邊界條件(no-slip sidewall boundary

condition)。本模式之側壁邊界條件取為可滑條件，即假設沿河道側壁及海岸線之流動為平行流(parallel flow)，而海域兩側邊界之邊界條件則取 $\partial v/\partial y = 0$ 。水流演算時邊界條件之示意圖，如圖 3-1 所示。

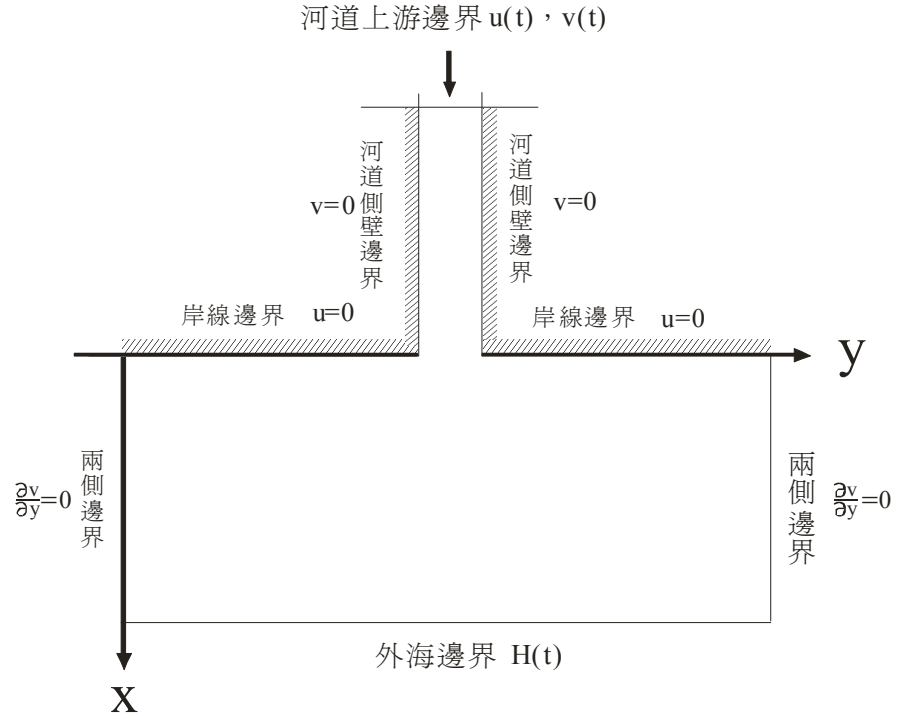


圖 3.1　水流演算時邊界條件之示意圖

在泥砂之演算方面，差分處理懸浮載對流擴散方程式(3-3-8)與泥砂連續方程式(3-3-17)，以計算懸浮載體積濃度 c 與底床高程 z，結合成底床沖淤模式。利用中央差分處理(3-3-8)式時，為避免對流項(convection term)所可能產生之數值不合理現象，故以一階上風法(upwind scheme)差分處理對流項，可得：

$$c_{i,j}^{n+1} = \frac{c_{i,j}^{n} h_{i,j}^{n}}{h_{i,j}^{n+1}} + \Omega_c'\left(h^n, u^n, v^n, c^n\right) \quad \text{.....(3-3-32)}$$

Ω_c' 為移項整理後第 n 時刻 h、u、v、c 等所組合成之已知函數。同理，利用中央差分處理(3-3-17)式，可得：

$$z_{i,j}^{n+1} = z_{i,j}^{n} + \Omega_z' \quad \text{.....(3-3-33)}$$

Ω'_z 為移項整理後第 n 時刻 h、u、v、c、z 等所組合成之已知函數。

底床沖淤演算時，單位寬度底床載輸運率之河道上游邊界條件為：

$$q_{bx} = \frac{Qs_a(t)}{B} \quad , \quad q_{by} = 0 \qquad \text{.....(3-3-34)}$$

上式中，Qs_a 為上游邊界斷面之實測底床載輸運率；B 為河寬。若無實測之底床載輸運率，則可由上游邊界之水力特性及底床載公式(如式 3-3-15)估算之。而懸浮載體積濃度之河道上游邊界條件為：

$$c = c_a(t, x, y) \qquad \text{.....(3-3-35)}$$

c_a 為河道上游實測之懸浮載體積濃度，可由河道上游邊界之懸浮載率定曲線得之。若懸浮載之入流體積濃度無實測數據，則可假設懸浮載之入流濃度為平衡濃度，即上游邊界處之捲增量與沉降量相等，$q_{se} = q_{sd} = \omega_s c_b$。而河道側壁邊界、岸線邊界、兩側邊界、外海邊界之邊界條件則為：

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \qquad \text{.....(3-3-36)}$$

3.4 二維地形變遷河道流場模式驗証

3.4.1 八掌溪道將圳上游動床水工模型試驗驗証

以動床水工模型試驗之試驗結果，驗證所建立數值模式之模擬能力。模型為八掌溪道將圳上游動床水工模型試驗，試驗場地位於經濟部水利處水利規劃試驗所之水工試驗室，長約 35 公尺，寬約 12 公尺，模型配置分為：引水區、加砂區、試驗區、分流區及量水區等，如圖 3.2 所示。

模型用水經由頭水箱之梯形量水堰後，以自由跌水流至靜水池，再經過寬 3.5 公尺，長 10.8 公尺之引水區，穿過靜水柵隨即折向進入寬 8.0 公尺，長 20.5 公尺之直線段渠道模型。包括長 0.5 公尺，坡度 3/100 之加砂區，便進入長 18 公尺之動床試驗區。水流最後由分流區分別流入兩座量水池，再經迴水溝流回大水池循環使用。模型比例尺採 1：30，模型用砂採用 d_{50}＝0.1mm、d_{90}＝0.15mm、d_m＝0.1mm，可視為均勻砂。動床試驗區依八掌溪忠義橋(斷面 89)至道將圳攔河堰(斷面 88)民國 85 年之實測地形鋪設底床泥砂。動床試驗區斷面量測點平面位置如圖 3.3 所示，由於斷面 R2 至 R3 間設置取水口模型，故模式數值模擬之範圍為 R3 斷面至 R9 斷面。

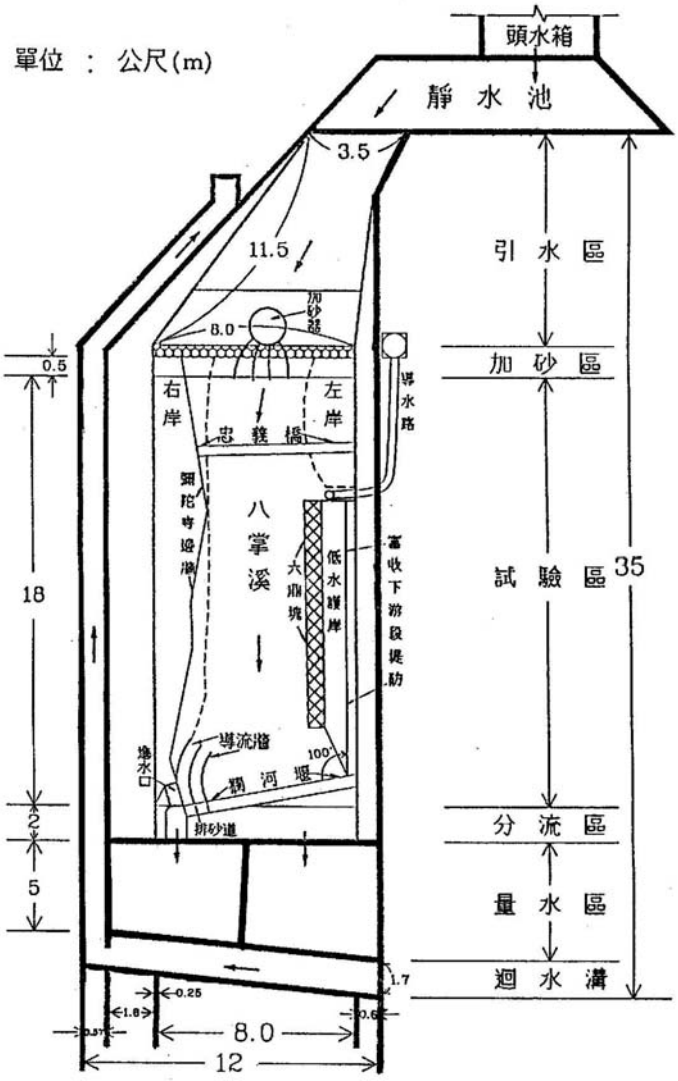
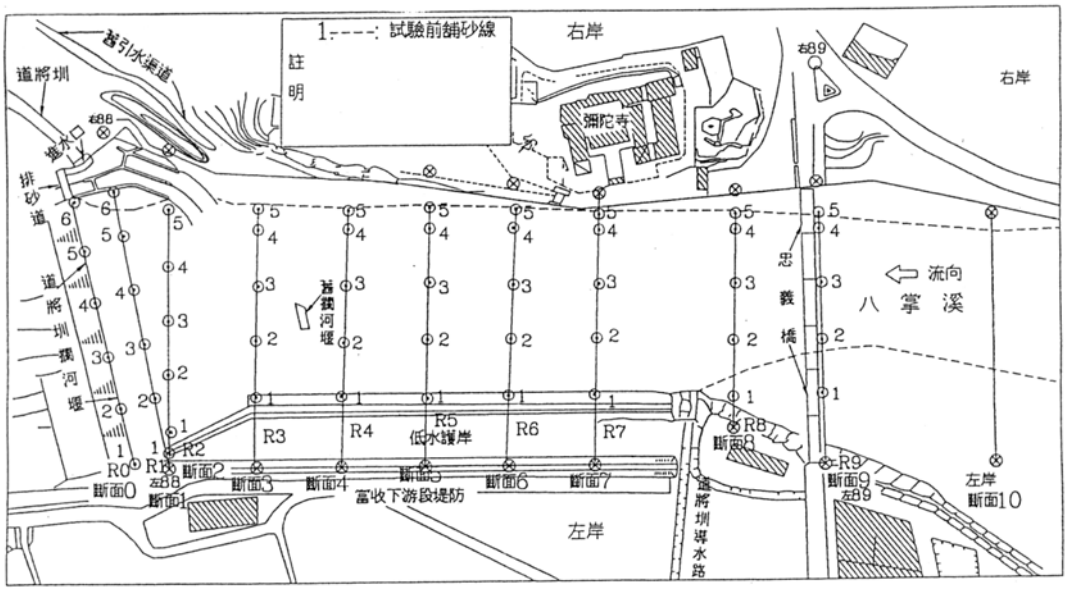


圖 3.2　動床水工模型試驗之平面配置圖



「道將圳取水口」模型之河道斷面(R 斷面)動床量測點平面位置圖

圖 3.3　動床試驗區斷面量測點平面位置圖

定量流沖淤實驗依放水量分四種情形：0.0966cms、0.147cms、0.179cms、0.209cms，分別相當於此河段 2 年頻率、5 年頻率、10 年頻率、20 年頻率之洪水量，放水時間為一小時。放水時，先施放少許流量，待動床砂面含水量已達飽和，再施放指定流量。計算格網採 $\Delta x = \Delta y = 0.234m$ 之方形網格，計算網格數為 1433，演算時距 Δt 為 0.02 秒，底床載公式選用 Meyer-Peter and Muller(MPM)公式。

圖 3.4 至圖 3.7 分別為 0.0966cms、0.147cms、0.179cms、0.209cms 四種流量下的底床變化與水位之比較。水面線大致上有良好的模擬結果，而各斷面之底床高程演算結果亦與觀測底床之沖淤趨勢相當符合。經由演算值與觀測值的比較，顯示模式具有良好之模擬能力。

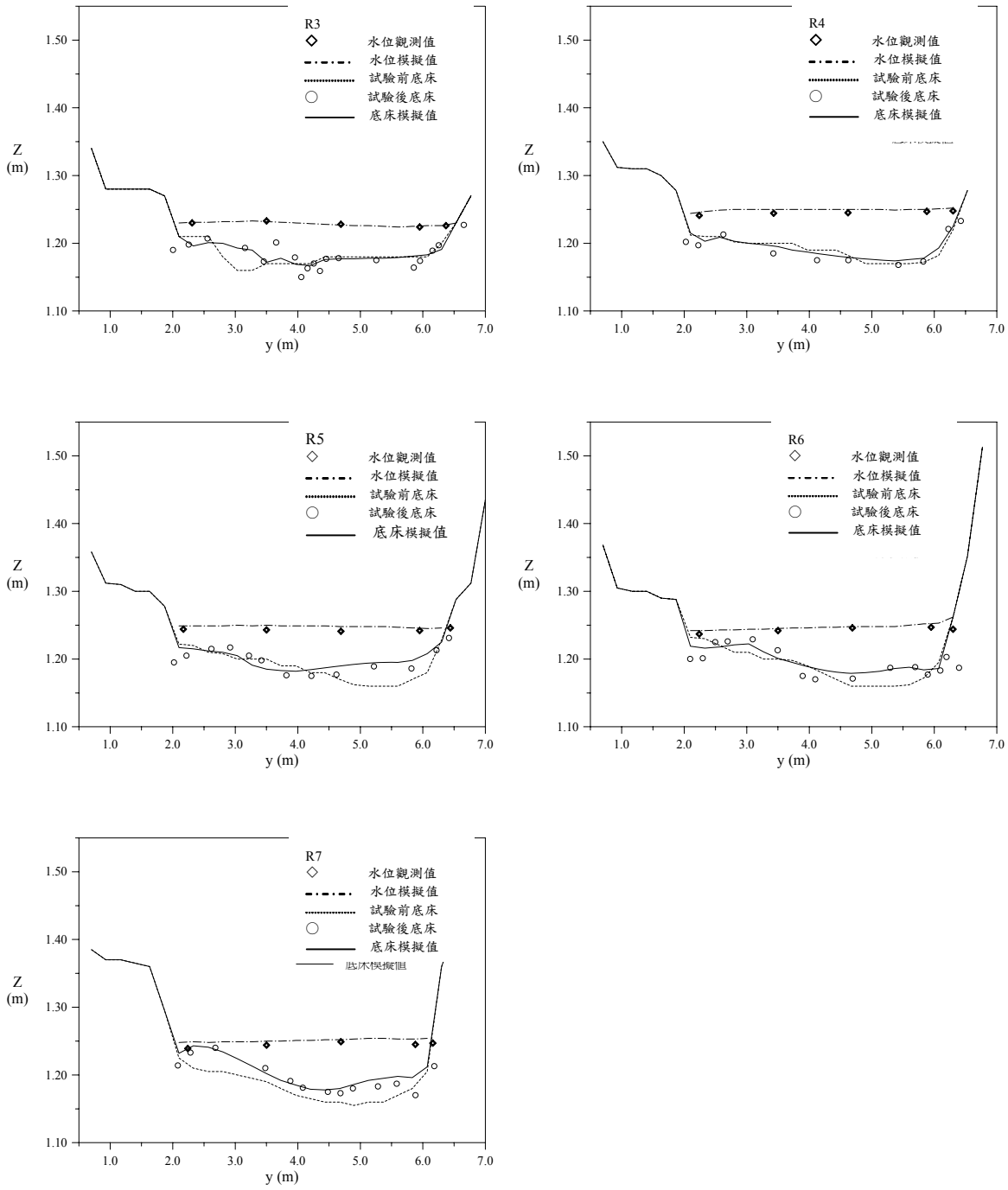


圖 3.4　2 年頻率洪水(模型流量 0.0966cms)之底床沖淤演變

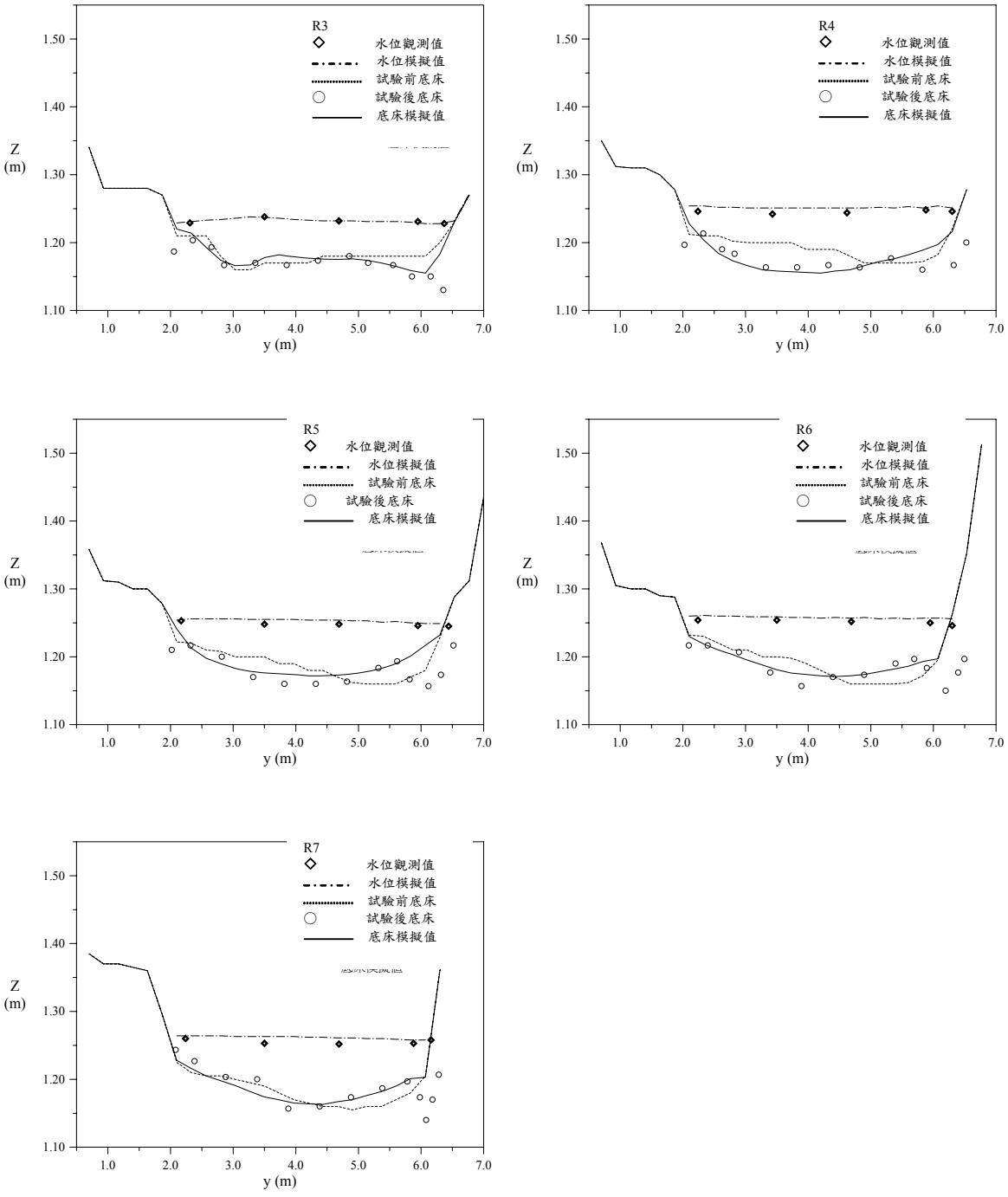


圖 3.5　5 年頻率洪水(模型流量 0.147cms)之底床沖淤演變

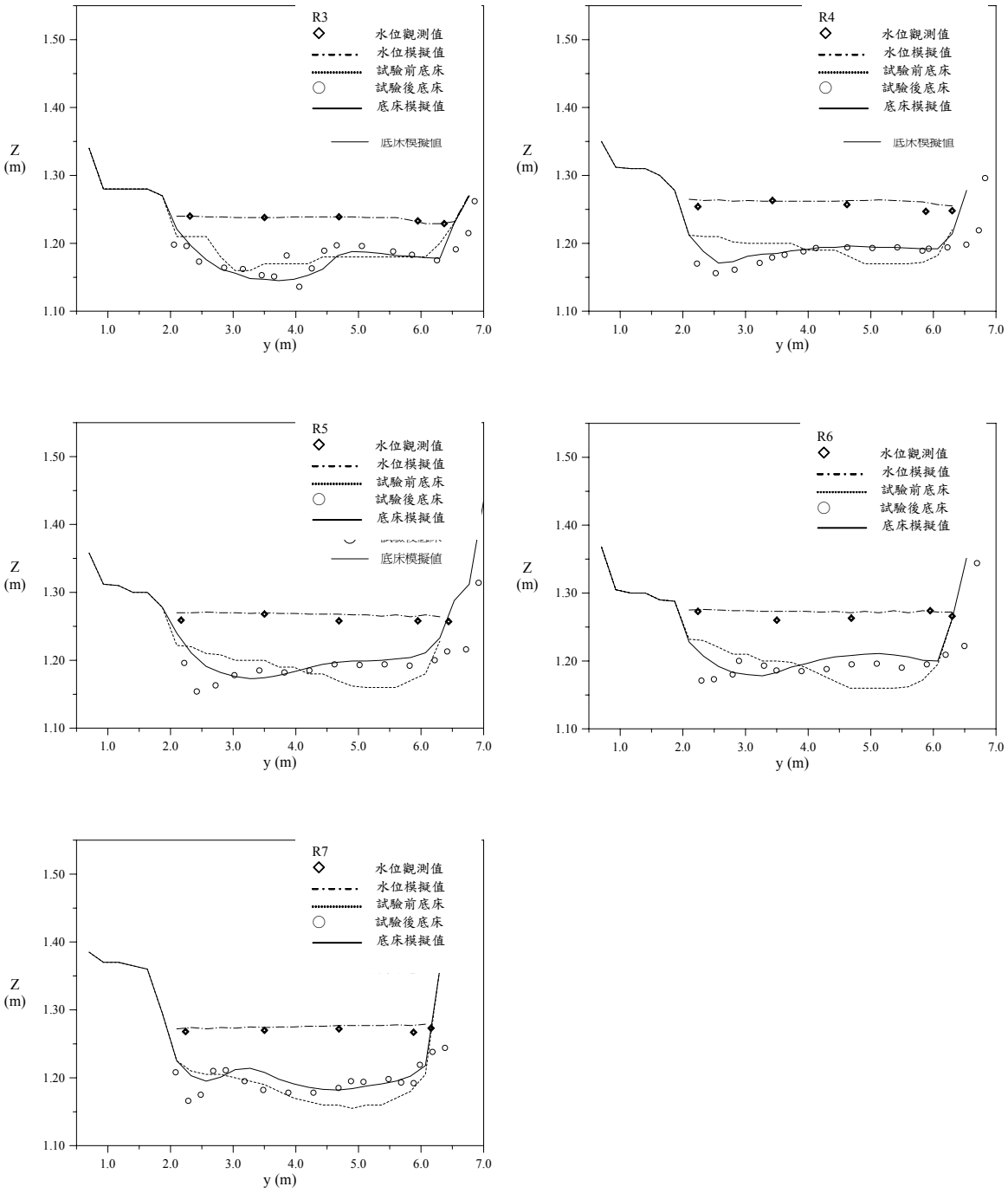


圖 3.6　10 年頻率洪水(模型流量 0.179cms)之底床沖淤演變

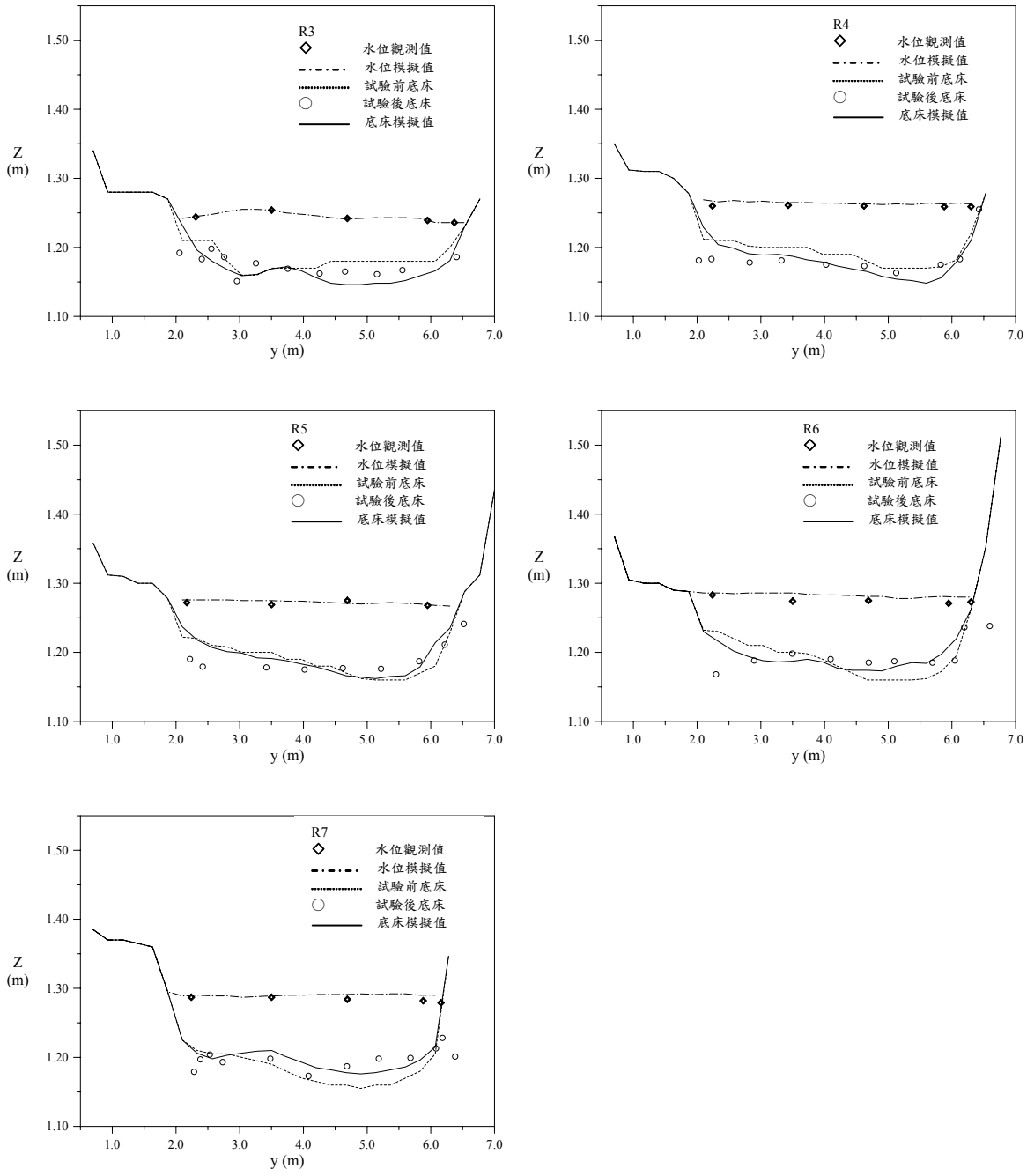


圖 3.7　20 年頻率洪水(模型流量 0.209cms)之底床沖淤演變

3.4.2 二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証

以二仁溪河口為中心，南北共約 3 公里海岸，水深約至-10 公尺範圍，其位置範圍如圖 3.8 所示。採用水平與垂直不等比模型，基於動床

試驗應儘量採用大比尺，以免模型失真，並考慮試驗範圍、水池尺寸、造波機擺放位置等因素，定水平比尺為 1/100，其它各項試驗條件實體與模型之物理量彙整如表 3.1。

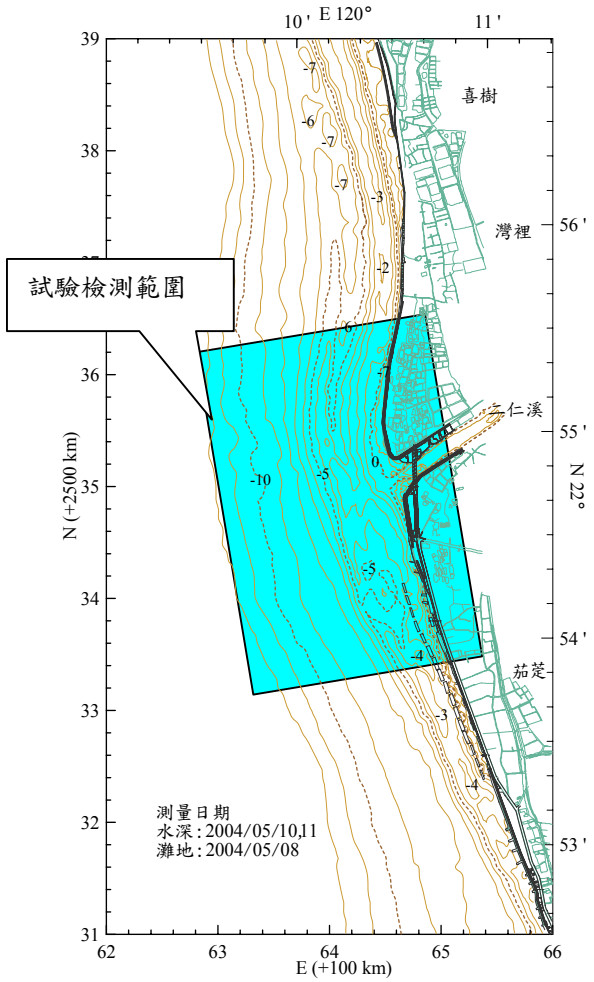


圖 3.8　模型試驗範圍示意圖(水深地形資料 2004 年 5 月測量)

表 3.1　模型比尺對照表

比尺種類	比尺大小	相關物理量
水平 λ_l	1/100	水平坐標
垂直 λ_Z	1/36	高程、潮位
時間 λ_T	1/6	波浪週期
波高 λ_{Ho}	1/11	波高
漂砂時間比尺	1/1633	

試驗條件為冬季波浪波高 142cm、週期 6sec、波浪前進方向為 78 度，平均低潮位-0.06m、平均潮位 0.31m、平均高潮位 0.84m。將潮汐水位變化依平均潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位、平均潮位等五個階段水位變化進行，且各水位之作用時間依 1：3：2：3：1 之比例進行分配，其中 step1 之造波延時為 5.9 分、step2~step5 之造波延時分別為 17.7、11.8、17.7 與 5.9 分，總計一回潮汐水位變化需時 59 分。模擬比較之地形為冬季波浪作用 177 分鐘後之地形侵淤結果（即相當於現場 200 日）。河口地形變遷數值模式之流場與地形侵淤模擬結果說明如後。

圖 3.9 至圖 3.11 分別為冬季波浪校核試驗平均低潮位、平均高潮位、平均潮位之計算流場分佈圖。圖中可看出河口附近水流偏北流動，北岸沿岸流速較小，大約在等深線-1m 以下始有較大流速並沿灘線向北側流動；南岸沿岸流速較大甚至紊亂，尤其是突堤群與離岸堤群間之流速。河口南岸等深線-2m 附近水流順著灘線轉向離岸堤群北側往南側外海流動。南北岸沿岸流場與河口附近流場皆與水工試驗流跡相近。

圖 3.12 為冬季波浪作用於校核試驗造波延時 177 分鐘後之地形侵淤模擬結果，相對於原始水深地形之侵淤情形比較顯示，茄萣海域北側新建突堤附近有淤積情形且往北延伸，淤積範圍大致發生在等深線-1m 至-3m 間。南側新建突堤則產生侵蝕，模擬結果與試驗結果大致相符。南側離岸堤間之沖刷亦可充分模擬，不過離岸堤東側有一小塊淤積，試驗結果並無此現象。二仁溪河道主深槽在河口處產生淤積，河口北岸的淤積範圍沿著灘線向北延伸，河口南岸沿海岸發生淤積，淤積長度約 250m，模擬結果與試驗結果相近。灣裡海域等深線-4m 附近及等深線-5m 至-8m 間各有一處三角形之淤積、等深線-2m 至-3m 間則發生沖刷，模擬結果與試驗結果相符。河口北岸等深線-1m 至-3m 間與河口南岸等深線 0m 至-3m 間皆有大範圍沖刷，此亦與試驗結果相符，惟試驗之沖刷範圍稍大。模擬與試驗結果之河口外海等深線 3m 附近亦皆有沖刷發生，然模擬結果在南方之沖刷範圍較小。試驗結果在外海之沖刷處可達等深線-8m 以下，但模擬結果只達等深線-5m 左右。整體

而言，除了外海較深處之沖刷無法模擬外，河口及等深線-5m 以上海域之侵淤模擬皆屬合理。

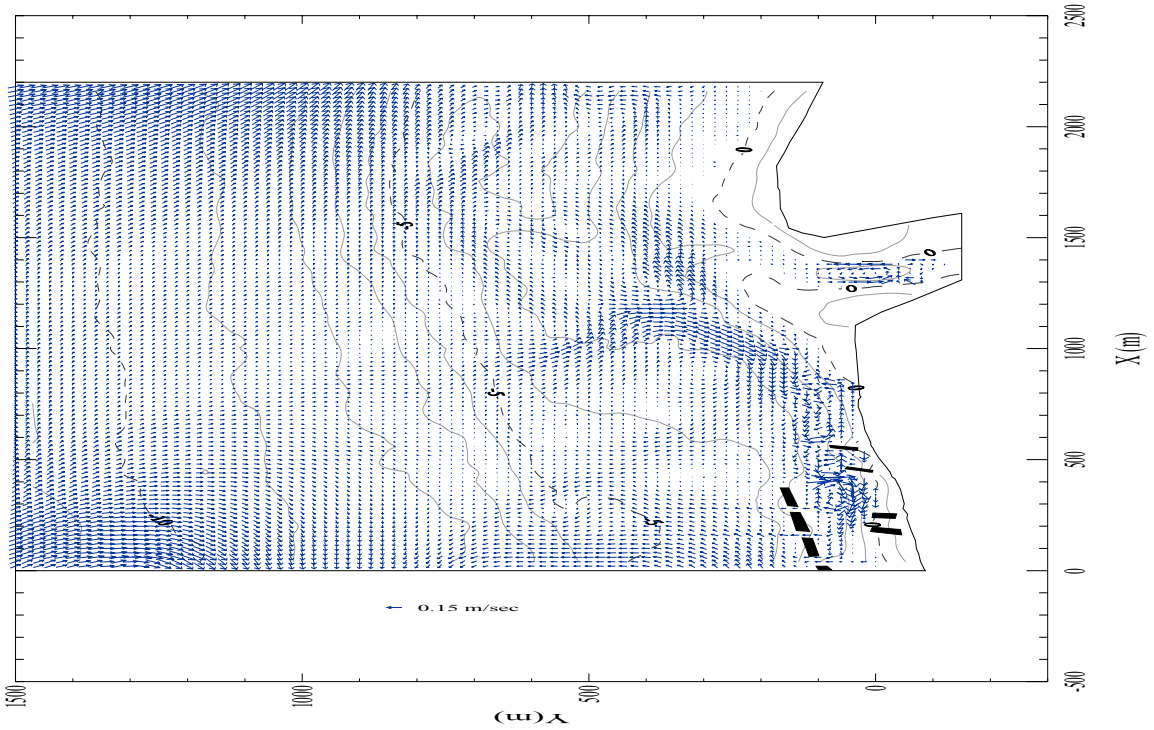


圖 3.9　校核試驗平均低潮位(-0.06m)之流場分佈圖 （冬季波浪）

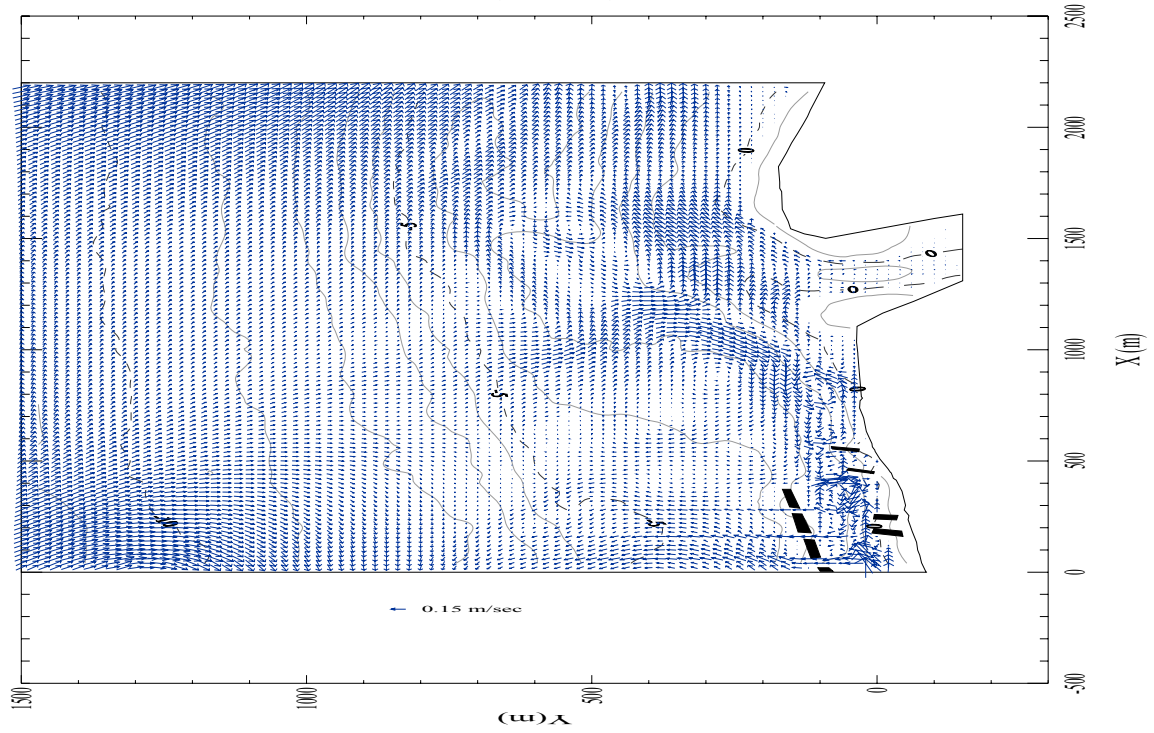


圖 3.10　校核試驗平均高潮位(0.84m)之流場分佈圖 （冬季波浪）

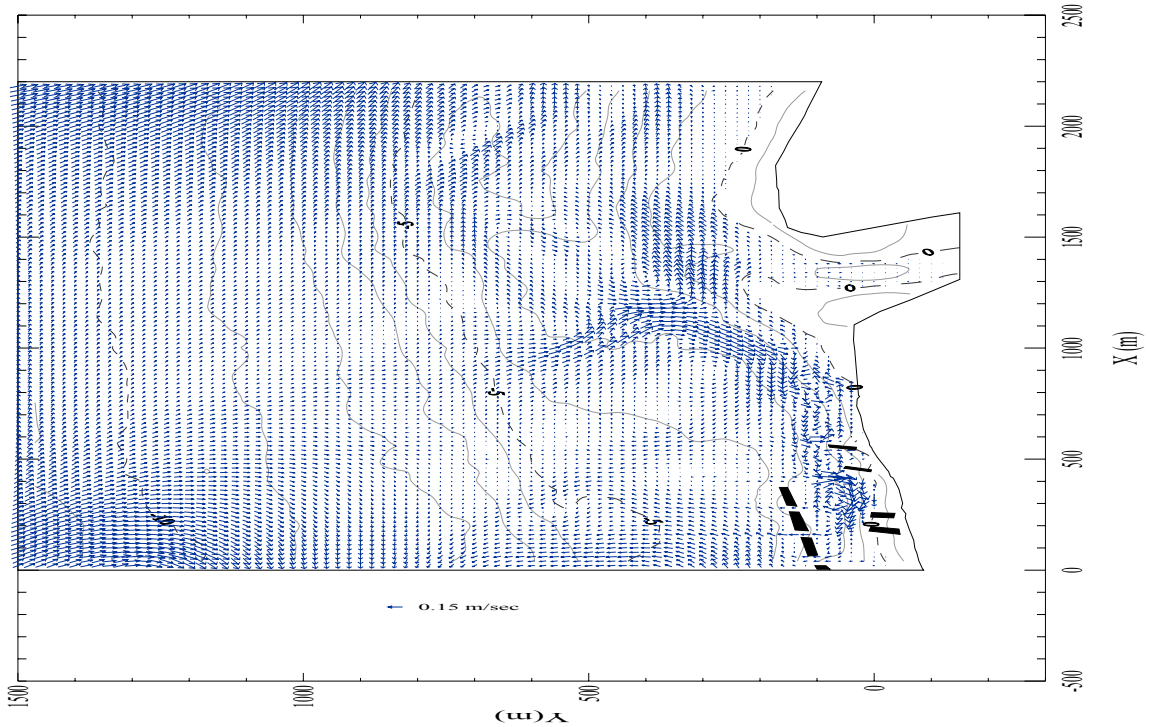


圖 3.11　校核試驗平均潮位(0.31m)之流場分佈圖　（冬季波浪）

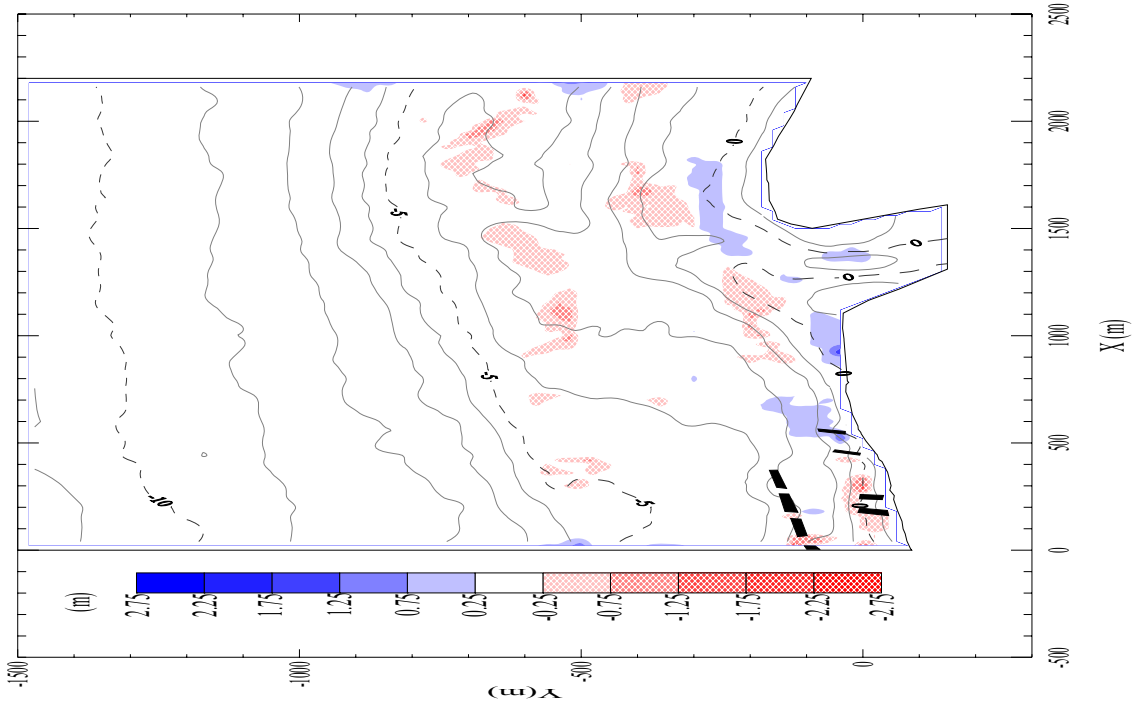


圖 3.12　校核試驗造波延時 0 – 177 分鐘水深地形平面侵淤圖

（冬季波浪）

第四章　模式計算

本計畫之目的在探討臺北港對淡水河輸砂之影響，採用資料以侵台颱風為主，本年度選用 1 號侵颱路徑(如圖 4.1)之艾利(93 年)及海棠(94)為模式計算對象，檢定地文性土壤沖淤模式及二維地形變遷模式之參數。

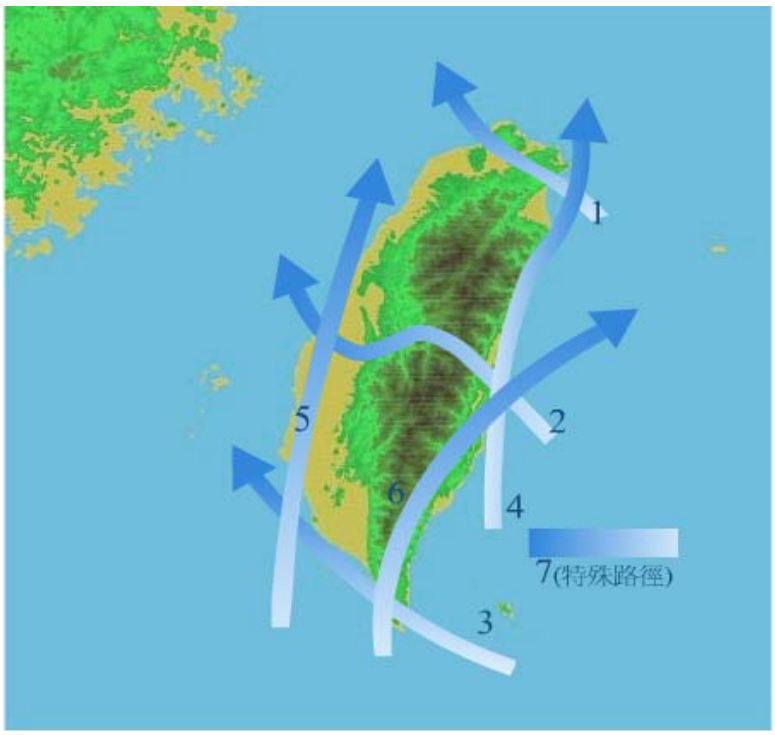


圖 4.1　颱風侵颱路徑[氣象局 TDB 防災颱風資料庫網頁系統]

4.1 計算資料滙整

4.1.1 地文性沖淤模式

運用 40 公尺*40 公尺數值高程(DTM)資料，以 Arc View 水文分析模組並配合所發展之格網自動劃分，進行淡水河集水區格區劃分，描繪出研究區域水系中各大小支流之集水區。再進一步對集水區格網套疊鐵路及公路，而將格網細分；若有格區間過大者，則配合等高線將過大格區載作細分；若有過小之格區面積，則可與相鄰格區做適當之

合併，以完成演算區域之格網劃分，本研究研究區域之格網劃分如圖 4-2 所示，共 5,005 個格區。

4.1.2 二維地形變遷模式

本計畫採用本所港灣技術研究中心於民國 94 年對關渡大橋至臺北港海域所量測之數值高程，河道數值高程以關渡大橋下游水利署土地公鼻水位站為上游計算邊界，下游海域邊界北起淡海新市鎮，南至臺北港南方(包含臺北港)。計算範圍如圖 4.3 所示，計算格網大小為 50 公尺*50 公尺，在計算範圍內共有 18,111 個格子。

為比較臺北港對淡水河輸砂之影響，本年度以民國 94 年現況高程為主，分兩部分進行演算：

(1) 將臺北港港區之高程提高至海水無法越過。(圖 4.4)

(2) 將臺北港港區之高程移除，臺北港港區之高程直由附近之高程內插得到。(圖 4.5)

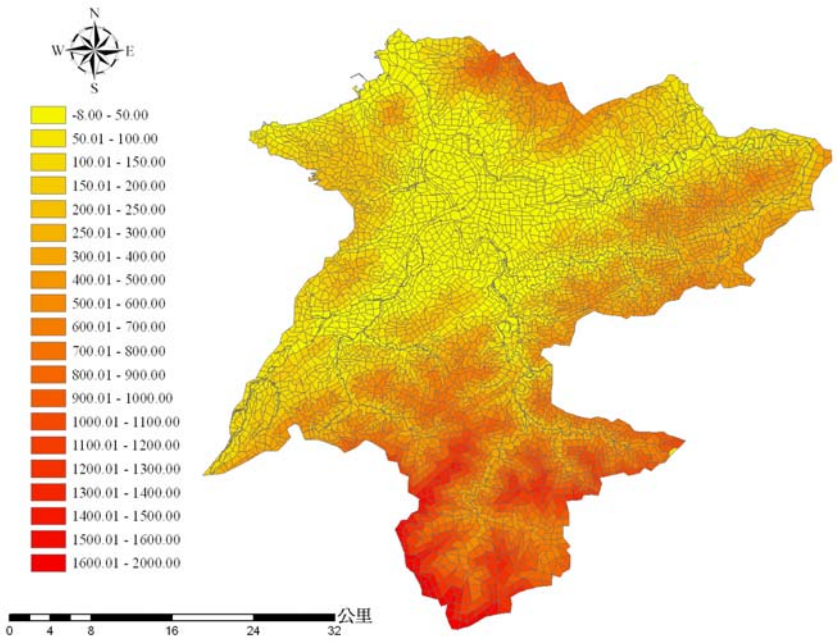


圖 4.2　淡水河流域之格區劃分(不含石門及翡翠水庫)

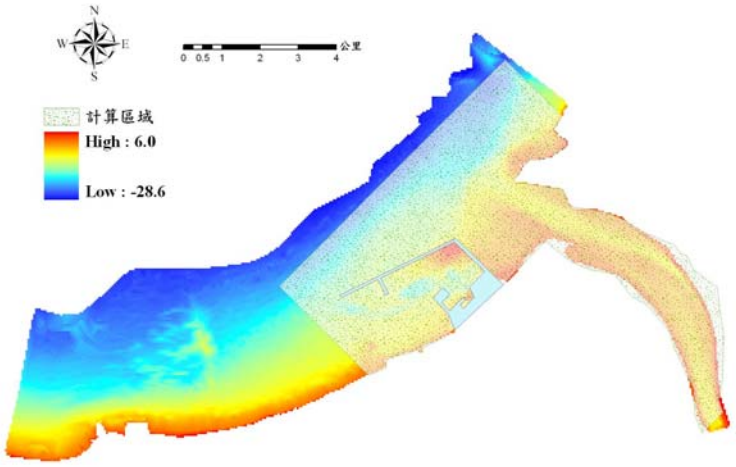


圖 4.3　計算區域與計算區域數值高程

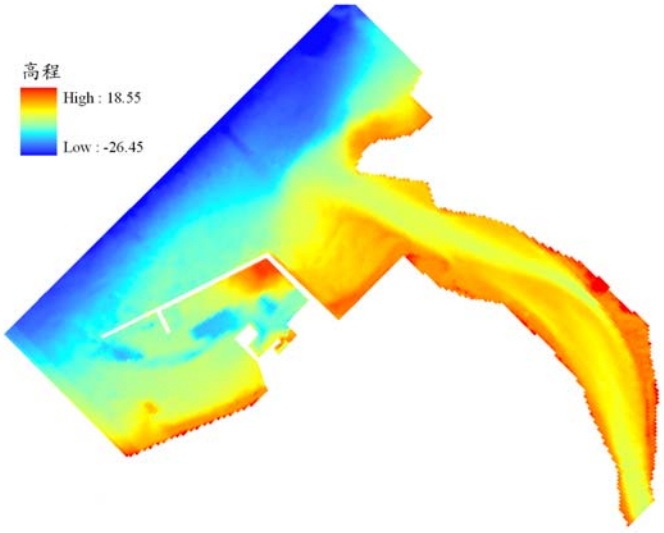


圖 4.4　包含臺北港港區之計算區域數值高程

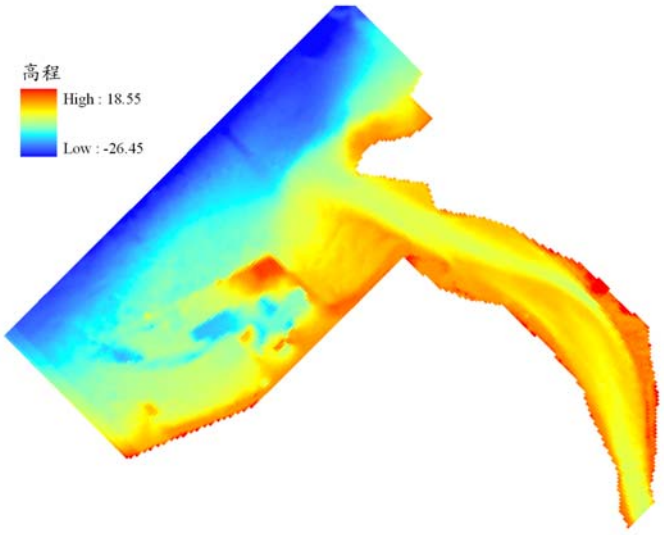


圖 4.5　不包含臺北港港區之計算區域數值高程

4.1.3 颱風基本資料

本計畫海棠颱風(2005/07/17~2005/07/20)及艾利颱風(2004/08/24~2005/08/25)為模式模擬對象，圖 4.6 及圖 4.7 為艾利颱風及海棠颱風之行經路線。根據「臺北港（92-94 年）海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業」，艾利及海棠颱風侵臺期間臺北港海域海象資料如表 4.1。

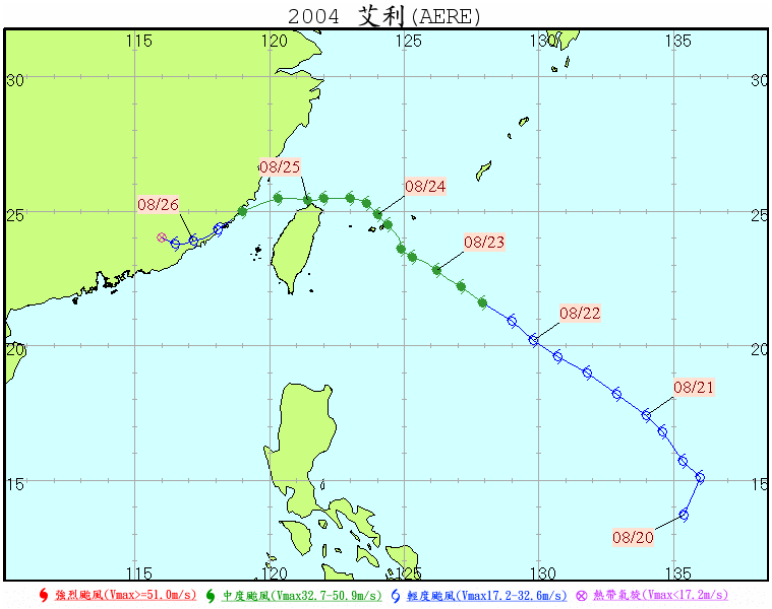


圖 4.6　艾利颱風行經路線(中央氣象局網站)

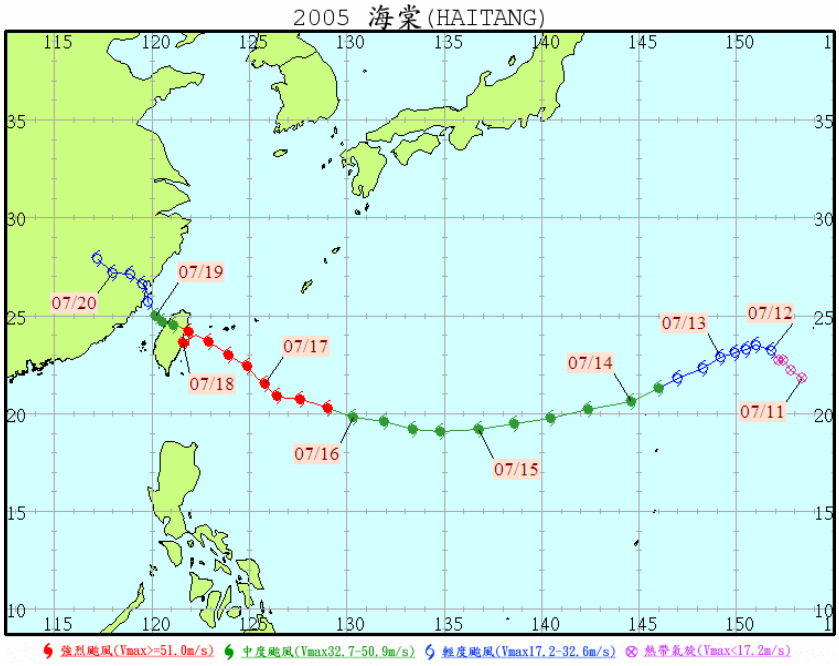


圖 4.7　海棠颱風行經路線(中央氣象局網站)

表 4.1　艾利海棠颱風侵臺期間臺北港海域海象資料

	艾利	海棠
時間	8 月 24 日 20:00	7 月 18 日 07:00
波浪(Hs)	6.11	4.01
對應(Ts)	7.3	6.3
波向	N	NNE

4.1.4 邊界條件

1.雨量邊界條件

雨量資料主要作為地文性土壤沖淤模式之輸入條件，本計畫引用氣象局 28 站雨量資料，分別為大豹站、山佳站、福山站、桶後站、屈尺站、大尖山站、社子站、外雙溪站、大直站、石牌站、天母站、永和站、士林站、內湖站、南港站、信義站、三重站、下盆站、石碇站、火燒寮站、瑞芳站、新莊站、五股站、木柵站、南勢角站、公館站、

關渡站及四十份站等，相關位置圖如圖 2.6，各雨量資料在艾利颱風及海棠颱風期間之日雨量如表 4.2 及表 4.3。

表 4.2　艾利颱風期間淡水河流域雨量站日累積雨量(單位：公厘)

時間/站	2004/8/23	2004/8/24	2004/8/25	2004/8/26	總計
大直 C0A9A	16.5	284.5	95	0	396
石牌 C0A9B	56	323	114	0.5	493.5
天母 C0A9C	34.5	393	115	0	542.5
永和 C0A9D	14.5	130.5	118.5	0	263.5
士林 C0A9E	36.5	184.5	98.5	0	319.5
內湖 C0A9F	13	290.5	118	0	421.5
南港 C0A9G	0.5	492	321	0	813.5
信義 C0A9H	7.5	226.5	88.5	0	322.5
三重 C0A9I	47	123	101.5	0.5	272
大豹 C0A51	88	269.5	145	0	502.5
山佳 C0A52	36.5	210	135.5	0	382
福山 C0A56	27	585	208.5	0	820.5
桶後 C0A57	73	301.5	81	0	455.5
屈尺 C0A58	20.5	254.5	122.5	0	397.5
大尖山 C0A59	16	118.5	91.5	0	226
社子 C0A98	0	0	1	0	1
外雙溪 C0A99	12	240.5	111	0.5	364
四十份 C1A9N	46	309	116.5	0	471.5
下盆 C1A63	40	453.5	95	0	588.5
石碇 C1A64	25	265	152.5	0	442.5
火燒寮 C1A65	56.5	268.5	148.5	0.5	474
瑞芳 C1A66	8	47.5	0	0	55.5
新莊 C1A67	26	187.5	128	0	341.5
五股 C1A68	0	0	0	1	1
木柵 C1A69	15.5	210	93.5	0	319
南勢角 C1A70	24	118.5	86.5	0	229
公館 C1A73	5.5	240	126	0	371.5
關渡 C1A97	7.5	60.5	89.5	1	158.5

表 4.3　海棠颱風期間淡水河流域雨量站日累積雨量(單位：公厘)

時間/站	2004/7/16	2004/7/17	2004/7/18	2004/7/19	2004/7/20	2004/7/21
大直 C0A9A	0	86	80.5	23	2	191.5
石牌 C0A9B	0	59	154.5	31	1.5	246
天母 C0A9C	0	81	191.5	30	2	304.5
永和 C0A9D	0.5	58.5	87	21	2	169
士林 C0A9E	0	68.5	116.5	32	2	219
內湖 C0A9F	0	57	101	13.5	2	173.5
南港 C0A9G	0	68	144.5	21.5	2	236
信義 C0A9H	0	64	158	18	2	242
三重 C0A9I	0	87	108.5	30.5	2.5	228.5
大豹 C0A51	0	183	0	24.5	3	210.5

山佳 C0A52	0	61	52	29	2.5	144.5
福山 C0A56	0	198.5	365.5	9	11.5	584.5
桶後 C0A57	0	0	0	1	4	5
屈尺 C0A58	0	226.5	211	11	5.5	454
大尖山 C0A59	2	60.5	257	0.5	0.5	320.5
社子 C0A98	0	50	71	21.5	2	144.5
外雙溪 C0A99	0.5	39.5	167.5	51	3	261.5
四十份 C1A9N	1.5	230.5	257	13.5	3.5	506
下盆 C1A63	0	218.5	384.5	7.5	5	615.5
石碇 C1A64	0	182.5	217	15.5	2.5	417.5
火燒寮 C1A65	0.5	77	222	34	2.5	336
瑞芳 C1A66	6	32	150	6	0	194
新莊 C1A67	0	65	68	31.5	2.5	167
五股 C1A68	0	45.5	73.5	31	2.5	152.5
木柵 C1A69	0	153	205.5	16.5	3	378
南勢角 C1A70	0	95	108	21	4	228
公館 C1A73	1.5	59	129	19	2.5	211
關渡 C1A97	0	62	148.5	37.5	3	251

2.水庫放流邊界條件

水庫放流量係屬人為操作，與集水區降雨量同為地文性土壤沖淤模式之輸入資料。淡水河流域共有石門及翡翠兩座水庫，經向翡翠水庫管理局及北區水資源局申請，艾利颱風及海棠颱風期之放流量如圖 4.8 及圖 4.9。

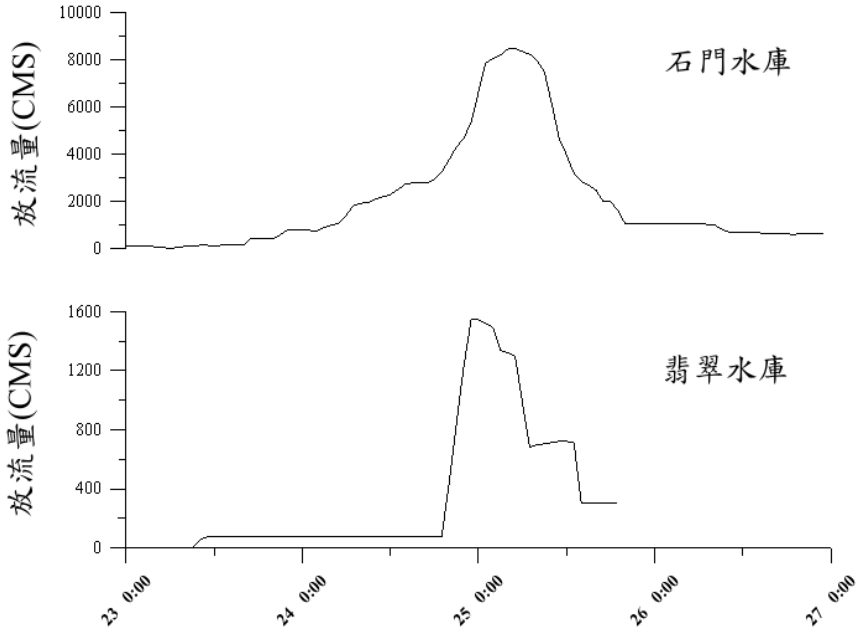


圖 4.8　艾利颱風期間石門水庫及翡翠水庫放水量

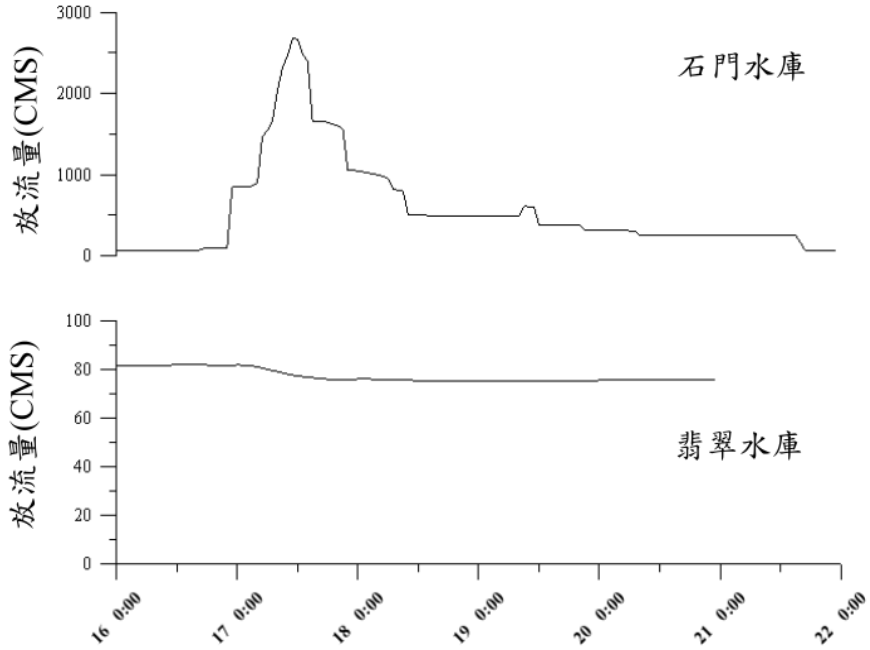


圖 4.9　海棠颱風期間石門水庫及翡翠水庫放水量

3.流量及水位邊界條件

因淡水河屬感潮河段，各水位站並無水位流量率定曲線，無法提供二維地形變遷模式所需之上游入流量邊界條件，本計畫以地文性土壤沖淤模式計算關渡大橋之流量歷線。圖 4.10 及圖 4.11 為艾利颱風及海棠颱風期關渡大橋計算流量與淡水水位站水位之歷線圖。

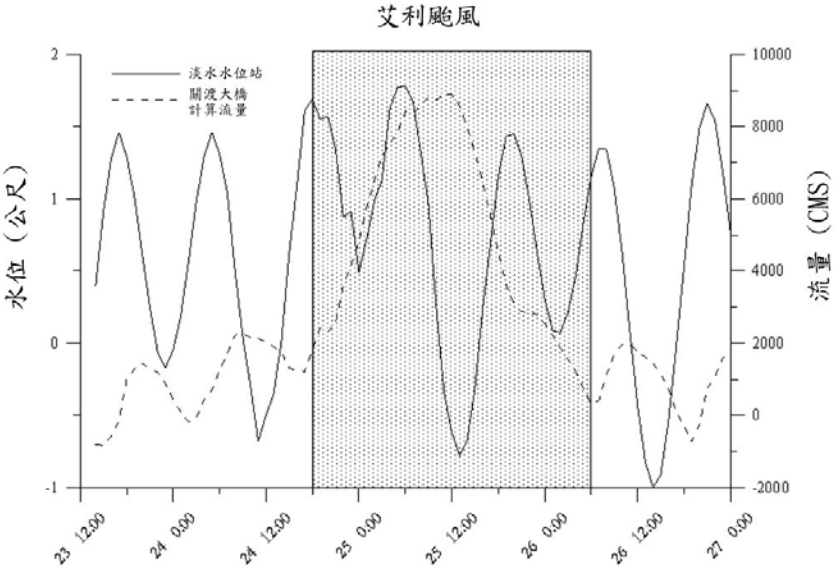


圖 4.10　關渡大橋在艾利颱風期間之水位歷線及計算流量

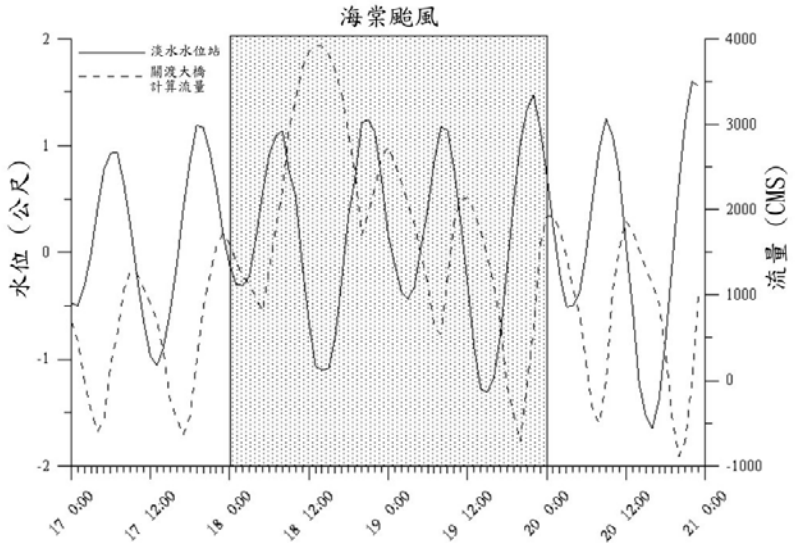


圖 4.11　關渡大橋在海棠颱風期間之水位歷線及計算流量

4.泥砂邊界條件

依據本所辦理之「台北港（92-94 年）海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業」計畫之 93 年度報告，淡水河平時懸浮載濃度約在 1000ppm 以下，在山區豪雨或颱風季節時浮載濃度可能高達 20000 至 40000ppm。另參考 94 年度報告，各颱風時期之浮載濃度約為 4~6 g/L (4000~6000 g/M^3)，本計畫以 6000ppm 及 10000ppm 兩種浮載濃度計算艾利颱風懸浮載濃度分佈情形。

4.1.5 海域波高、波向及週波數參數

以表 4.1 艾利颱風及海棠颱風之海象資料，結合圖 4.5 及圖 4.6 之數值高程，利用美國工兵團之 RCPWAVE 模式計算海域波高、波向及週波數，提供二維地形變遷模式計算海域輻射應力。

4.2 模式演算結果

探討二維地形變遷模式演算臺北港鄰近海域及淡水河河口之適用性，分成三部分進行分析檢討：

1. 以現況測量資料(94 年 10 月)演算海棠颱風及艾利颱風時淡水河河口之流況。
2. 以現況測量資料(94 年 10 月)，配合上游懸浮載入流濃度(C=6000ppm)，演算臺北港鄰近海域及淡水河河口在有臺北港高程(CASE I)與無臺北港高程(CASE II)時之懸浮載濃度分佈。
3. 以現況測量資料(94 年 10 月)，配合上游輸入不同懸浮載濃度(C=6000ppm、C=10000ppm)，演算臺北港鄰近海域及淡水河河口在有臺北港高程(CASE I 及 CASE III)與無臺北港高程(CASE II 及 CASE IV)時之懸浮載濃度分佈。

以下就各項計算結果進行分析。

4.2.1 河口流況

圖 4.12 至圖 4.14 為艾利颱風期間臺北港鄰近海域及淡水河河口二維地形變遷模式之計算流場分佈，圖 4.15 至圖 4.17 為海棠颱風期間臺北港鄰近海域及淡水河河口二維地形變遷模式之計算流場分佈。

由數值等高線(圖 4.18)可知，在淡水河河道主深槽在經過挖子尾保護區後，仍向外海延伸，主深槽中心(-7 公尺)與主深槽邊緣到臺北港北防波堤間(-1 公尺)之高程差約 6 公尺。颱風洪水期間，在淡水河河口流況可明顯分成兩部分：

1.淡水河主深槽流況：

在主深槽的部分流速較快，流向也較一致，水流在經過淡水河河口後(淡水第二漁港)，因艾利及海棠颱風在程式計算時輸入與垂直海岸線之夾角各為 45 度(波向 N)及 67.5 度(波向 NNE)，所以在水流方向會向南偏移，偏移位置與淡水第二漁港的距離則隨流速增大而向外遞增。

2.主深槽邊緣到臺北港北防波堤間：

主深槽邊緣到臺北港北防波堤間則因地形較緩，在此區域之流速

較緩且流向較為紊亂。

在外海部分因下游水位邊界條為淡水水位站，並無考慮潮流的影響(南北開放邊界無水位差)，故外海的流況受淡水河水流流向及海域輻射應力之影響。在淡水河河口以北流向與波向約一致，淡水河河口以南則受淡水河水流所影響。

進一步比對有無臺北港高程對臺北港鄰近海域及淡水河河口流況之影響，以艾利颱風為例，圖 4-18 及圖 4-19 為 2004/8/25 03:00 及 2004/8/25 11:00 二維地形變遷模式所計算流況，藍色代表有臺北港高程之流況，紅色代表無臺北港高程之流況。兩種流況重疊後可以發現，在淡水河河口之流況並無明顯之差異存在，而在臺北港港區之流況則因臺北港港區之阻檔而有明顯之不同。初步判斷可能因為淡水河主深槽與主深槽邊緣到臺北港北防波堤間之高差較大(6 公尺)，而致使淡水河在艾利颱風期間之洪水量主要靠主深槽排洪，再加上主深槽邊緣到臺北港北防波堤間地勢平緩流速變化不大，所以淡水河河口流況較不受臺北港影響。

表 4-4 為艾利颱期間淡水河河口(0 號斷面)在洪峰前之總排出輸砂量，除 2005/08/24 18:00 為零及 2005/08/24 19:00 因總排出輸砂量較小而有較大的相差百分比外，在淡水河河口(0 號斷面)總排出輸砂量在有無臺北港的條件下，相差在 2%以下，顯示在洪峰到達前淡水河河口(0 號斷面)總排出輸砂量約一致。

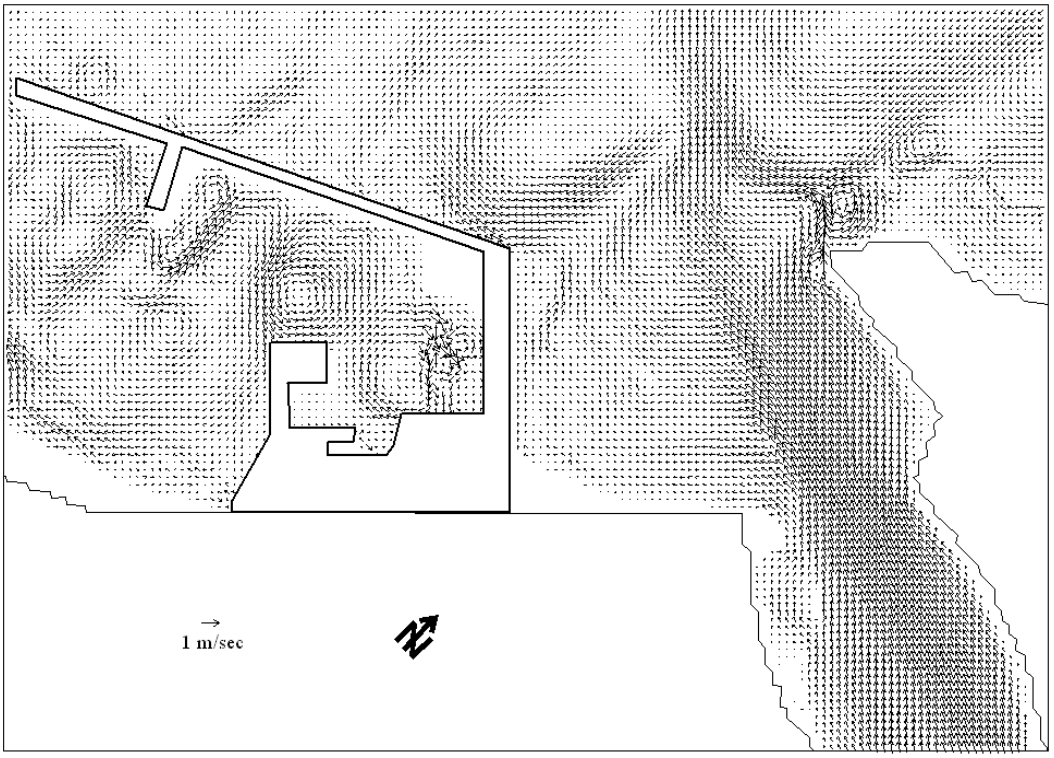


圖 4.12　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2004/8/24 20:00)

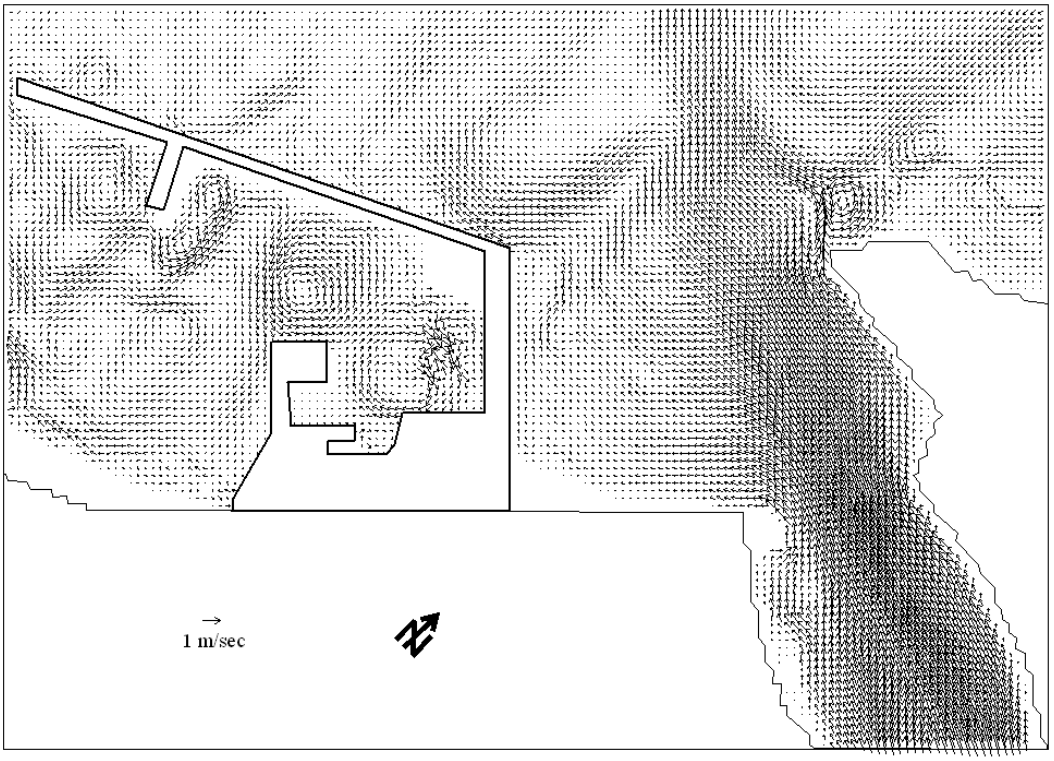


圖 4.13　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2004/8/25 03:00)

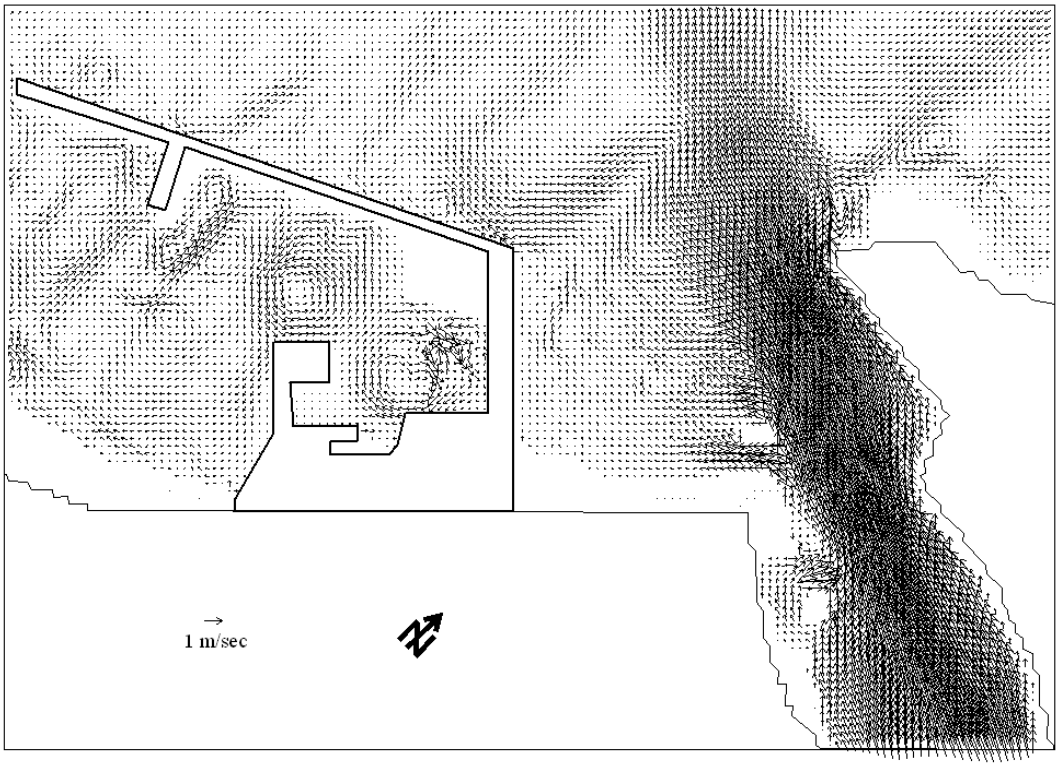


圖 4.14　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2004/8/25 11:00)

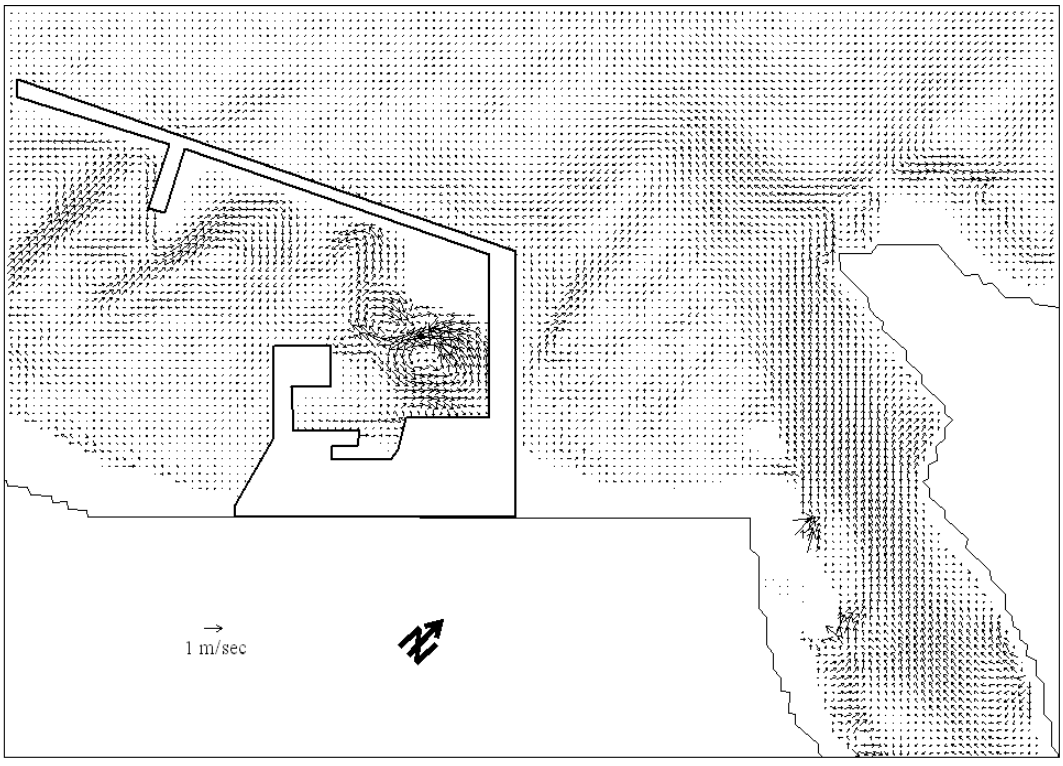


圖 4.15　海棠颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2005/7/18 02:00)

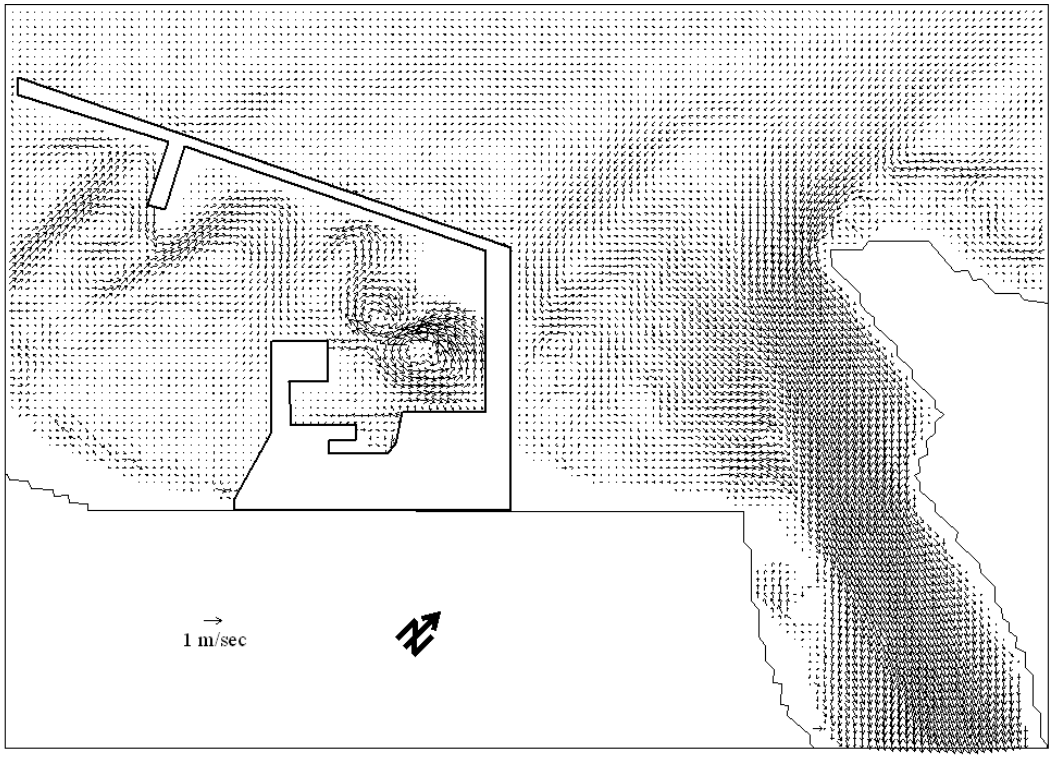


圖 4.16　海棠颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2005/7/18 06:00)

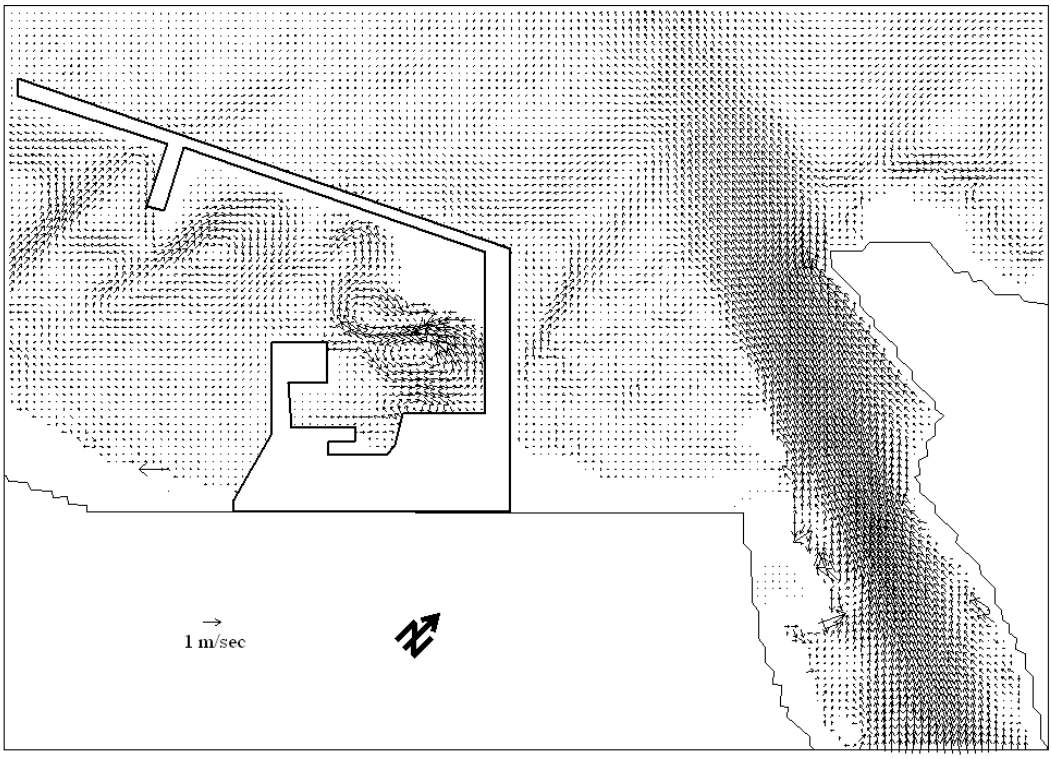


圖 4.17　海棠颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2005/7/18 13:00)

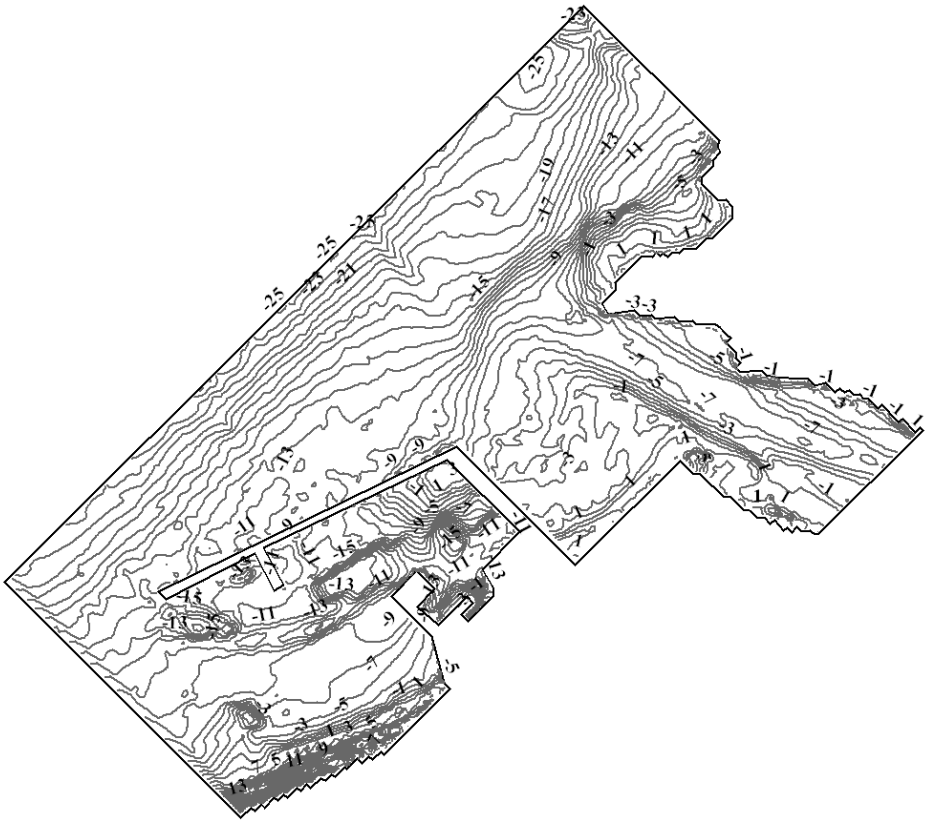


圖 4.18　臺北港鄰近海域及淡水河河口數值等高線圖

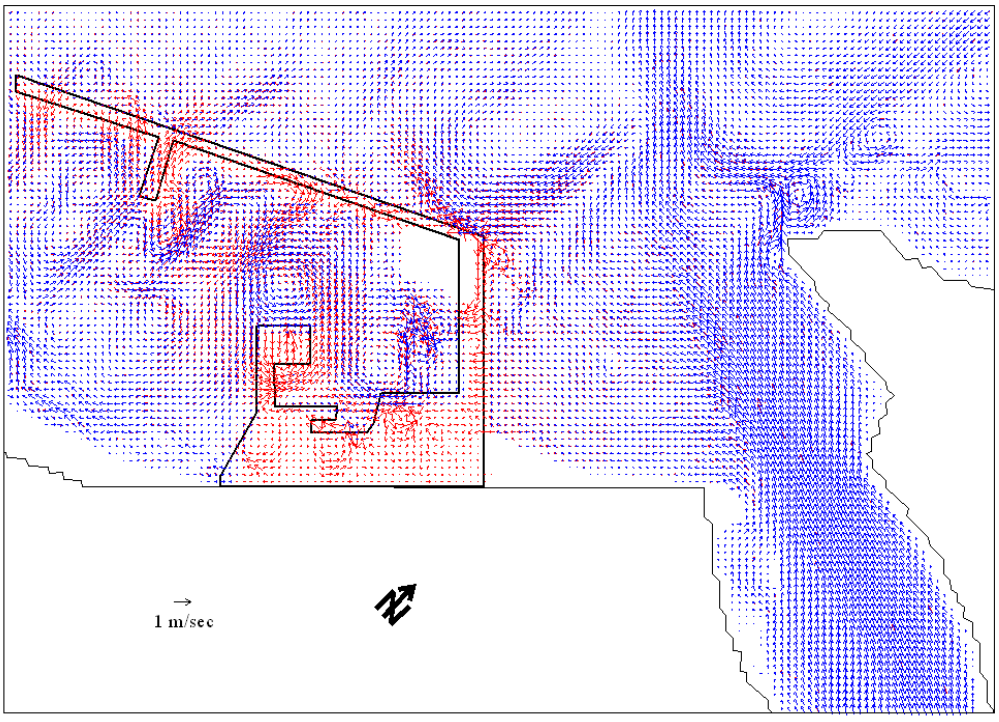


圖 4.19　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2004/8/25 03:00)

(紅色表無臺北港洪區高程，藍色表有臺北港洪區高程)

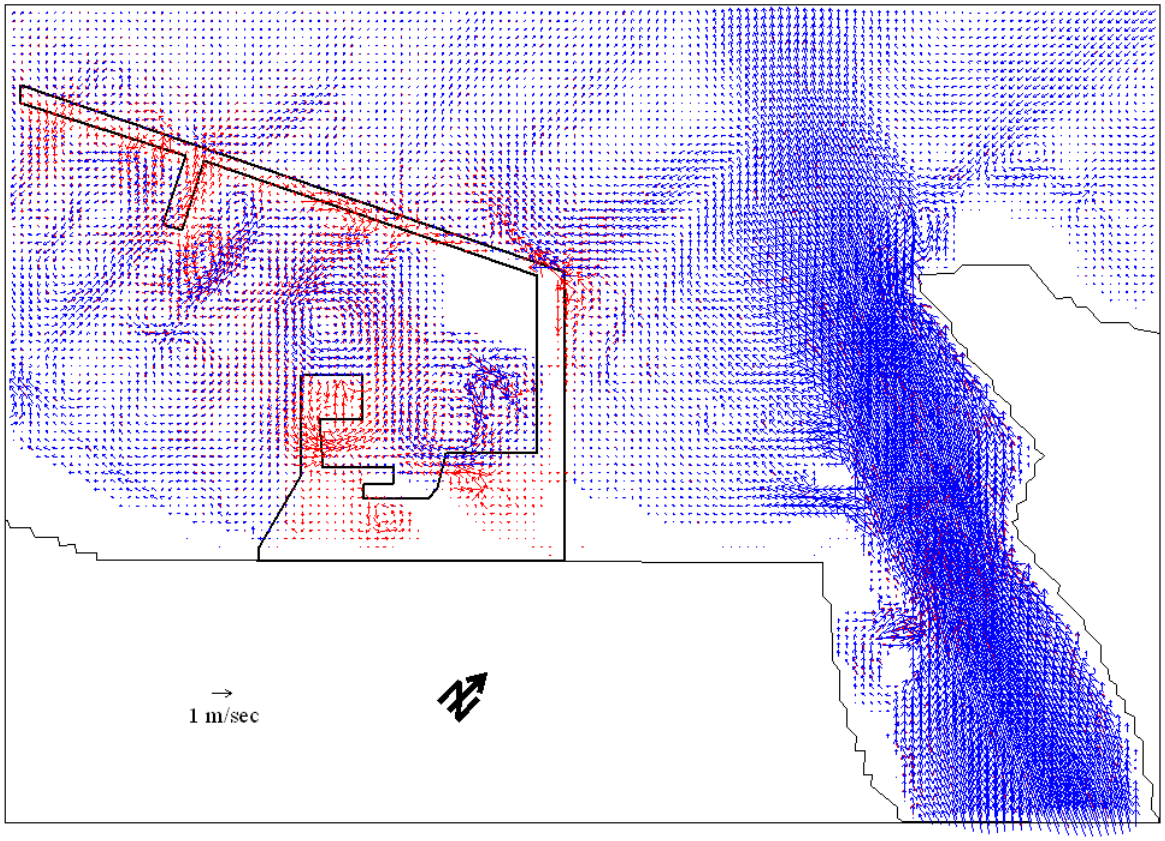


圖 4.20　艾利颱風臺北港鄰近海域及淡水河河口流場分佈

(2004/8/25 11:00)

(紅色表無臺北港洪區高程，藍色表有臺北港洪區高程)

表 4.4　艾利颱風期間淡水河河口(0 號斷面)排出總輸砂量(單位：公斤)

時間	有臺北港	無臺北港	相差	百分比
2005/08/24 18:00	0	0	0	
2005/08/24 19:00	9.36	10.44	-1.08	-11.54
2005/08/24 20:00	6420.6	6525	-104.4	-1.626
2005/08/24 21:00	95042.52	95106.6	-64.08	-0.067
2005/08/24 22:00	104648.76	104630	18.72	0.018
2005/08/24 23:00	156227.4	156268.8	-41.4	-0.026
2005/08/25 00:00	170054.64	170093.5	-38.88	-0.023
2005/08/25 01:00	202109.4	202241.2	-131.76	-0.065

2005/08/25 02:00	222128.28	222259	-130.68	-0.059
2005/08/25 03:00	217861.92	218583.7	-721.8	-0.331
2005/08/25 04:00	252253.08	252460.8	-207.72	-0.082
2005/08/25 05:00	256876.2	257199.8	-323.64	-0.126
2005/08/25 06:00	256014	256122	-108	-0.042
2005/08/25 07:00	273069.72	273340.1	-270.36	-0.099
2005/08/25 08:00	270093.6	270377.6	-284.04	-0.105
2005/08/25 09:00	277236.36	277500.6	-264.24	-0.095
2005/08/25 10:00	275926.32	280892.2	-4965.84	-1.8
2005/08/25 11:00	271535.4	271753.6	-218.16	-0.08

[註]上游輸入懸浮載濃度 C=10000ppm

4.2.2 河口輸砂變化

圖 4.21 至圖 4.25 為包含臺北港高程及上游輸入懸浮載濃度 C=6000ppm，在艾利颱風期間臺北港鄰近海域及淡水河河口二維地形變遷模式之計算懸浮載濃度分佈(以下簡稱 CASE I)；圖 4.26 至圖 4.30 為不包含臺北港高程及上游輸入懸浮載濃度 C=6000ppm，在艾利颱風期間臺北港鄰近海域及淡水河河口二維地形變遷模式之計算懸浮載濃度分佈(以下簡稱 CASE I)。

由圖 4.21 及圖 4.26 得知，在淡水河河道中，懸浮載主要集中在主深槽輸運，在通過挖子尾保護區後，因斷面擴大致使部分懸浮載向臺北港北防波堤輸運(圖 4.22 及圖 4.27)。隨著時間變化，懸浮載輸運至臺北港北防波堤(圖 4.3 及圖 4.28)，若無防波堤阻擋則懸浮載則如圖 4.29 向南輸運，若有臺北港港區地形則懸浮載會沿臺北港北防波堤往海域輸運。在外海部分，因前述所提外海邊界條件並無引入潮流條件，在淡水河出淡水第二漁港後，北方之懸浮載沿河道方向向外延伸，南方之懸浮載則往南輸運。

在比較臺北港港區地形阻擋之影響，比對圖 4.25 及圖 4.30 後，可以發現在有臺北港港區地形的條件下懸浮載較集中於河道主深槽及其延伸至海域的區域上，而無臺北港港區地形阻擋之懸浮載則較為分散。

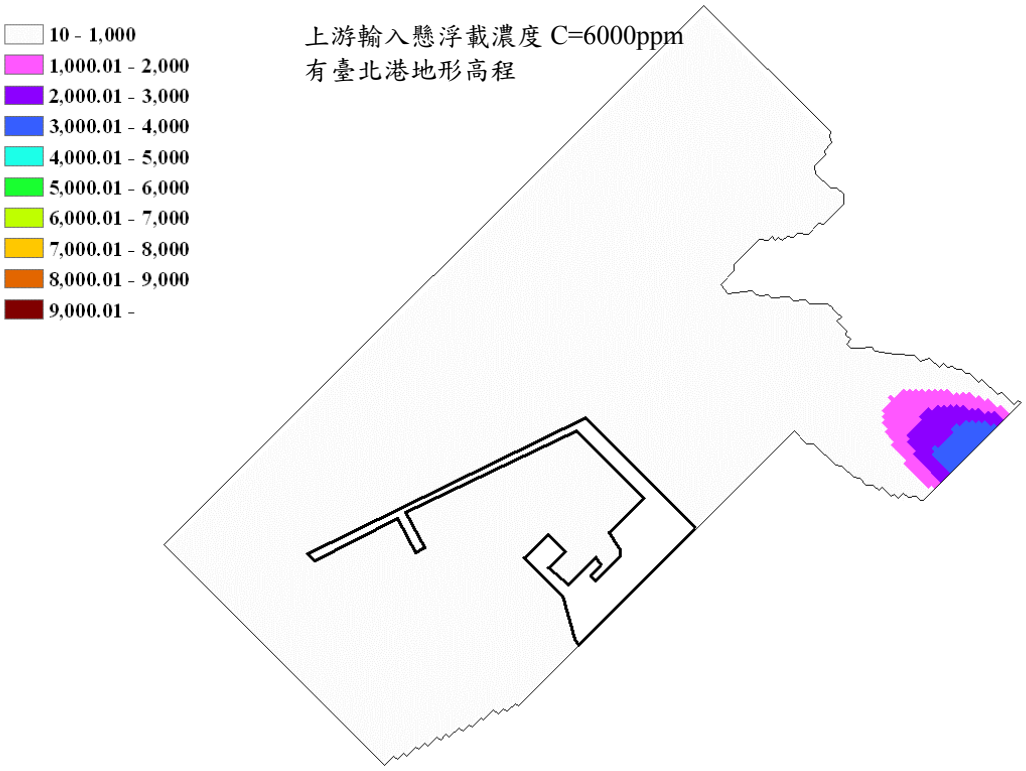


圖 4.21　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/24 20:00)

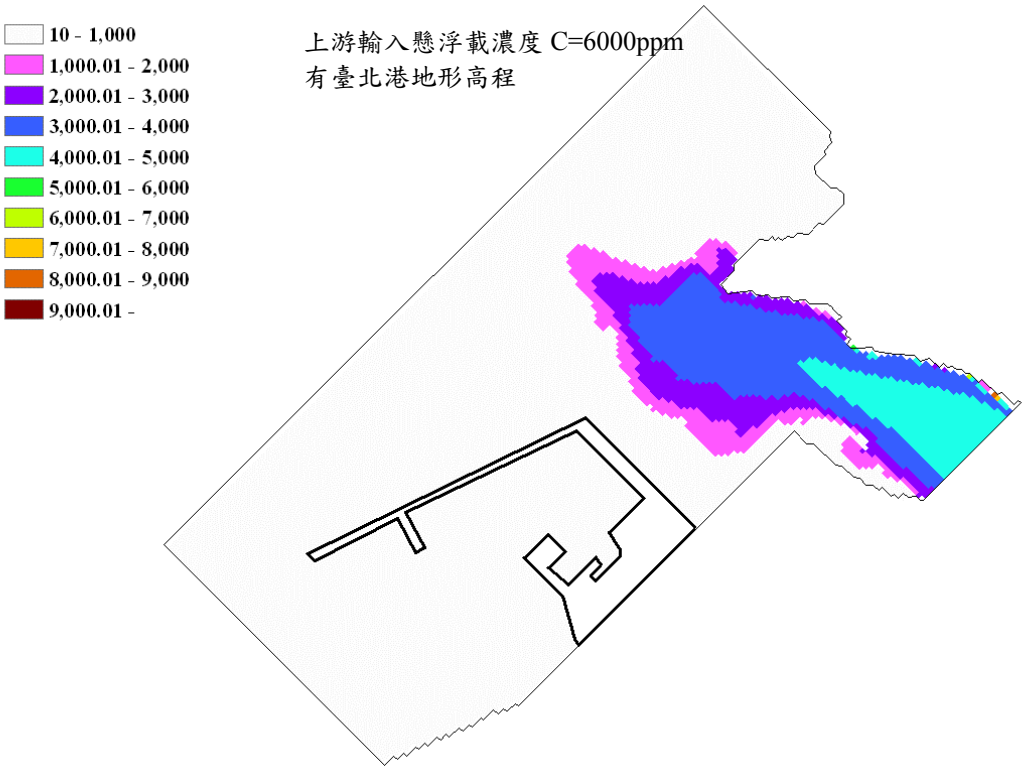


圖 4.22　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/24 22:00)

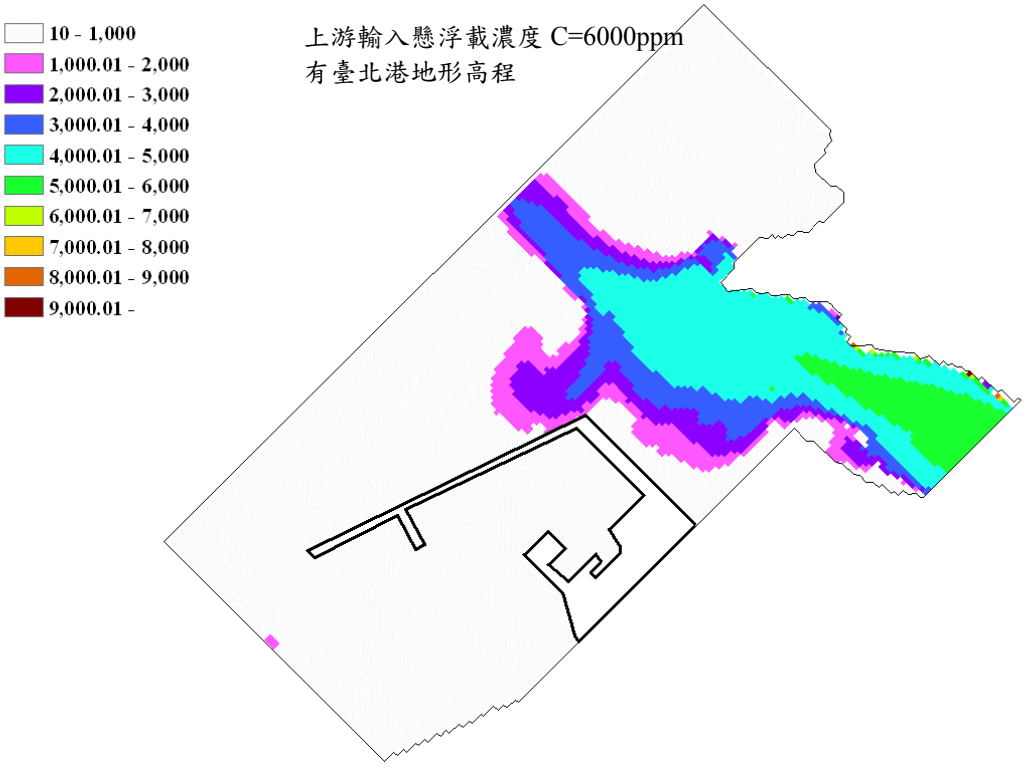


圖 4.23　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/25 00:00)

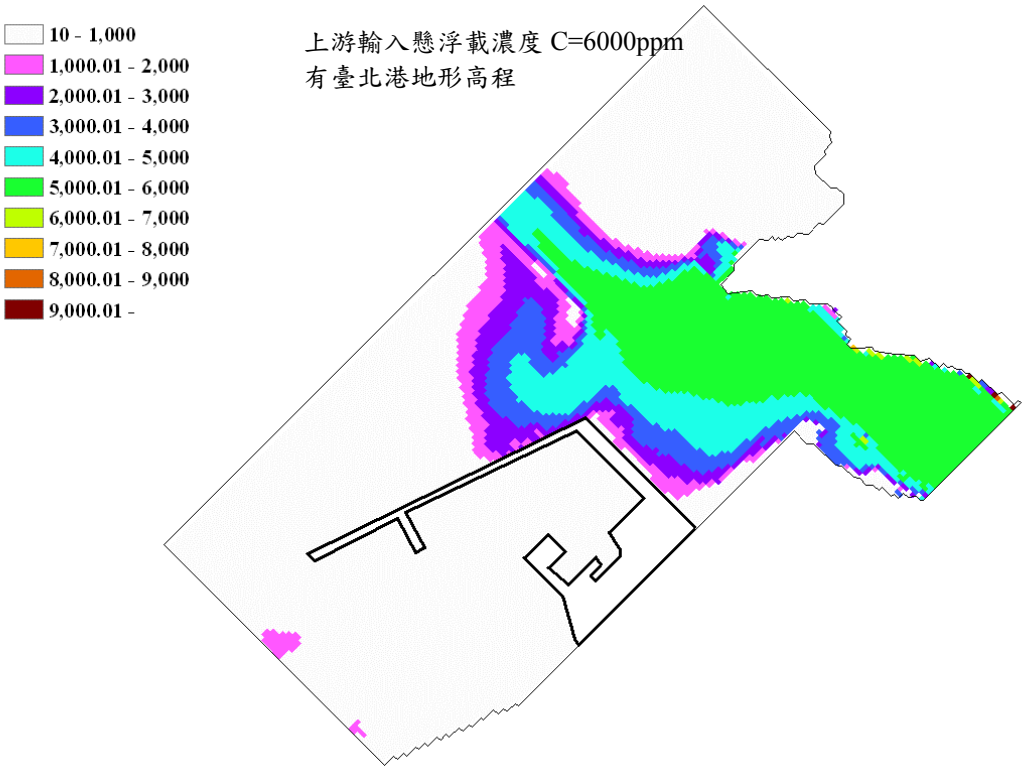


圖 4.24　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/25 03:00)

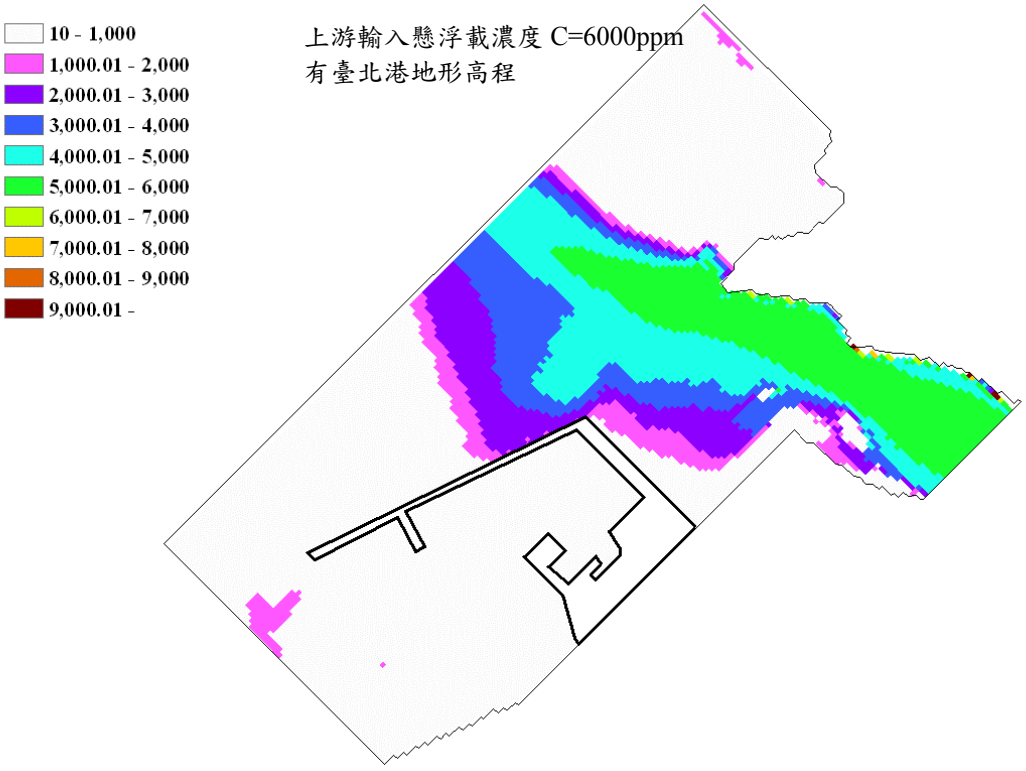


圖 4.25　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE I，2004/8/25 11:00)

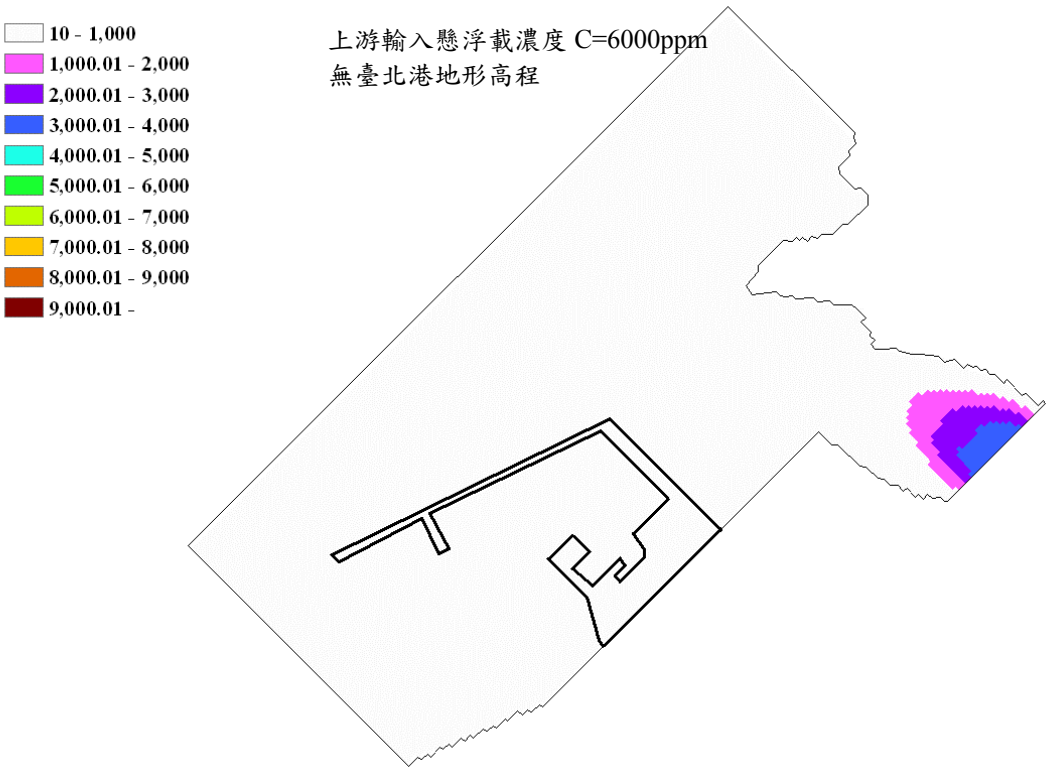


圖 4.26　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/24 20:00)

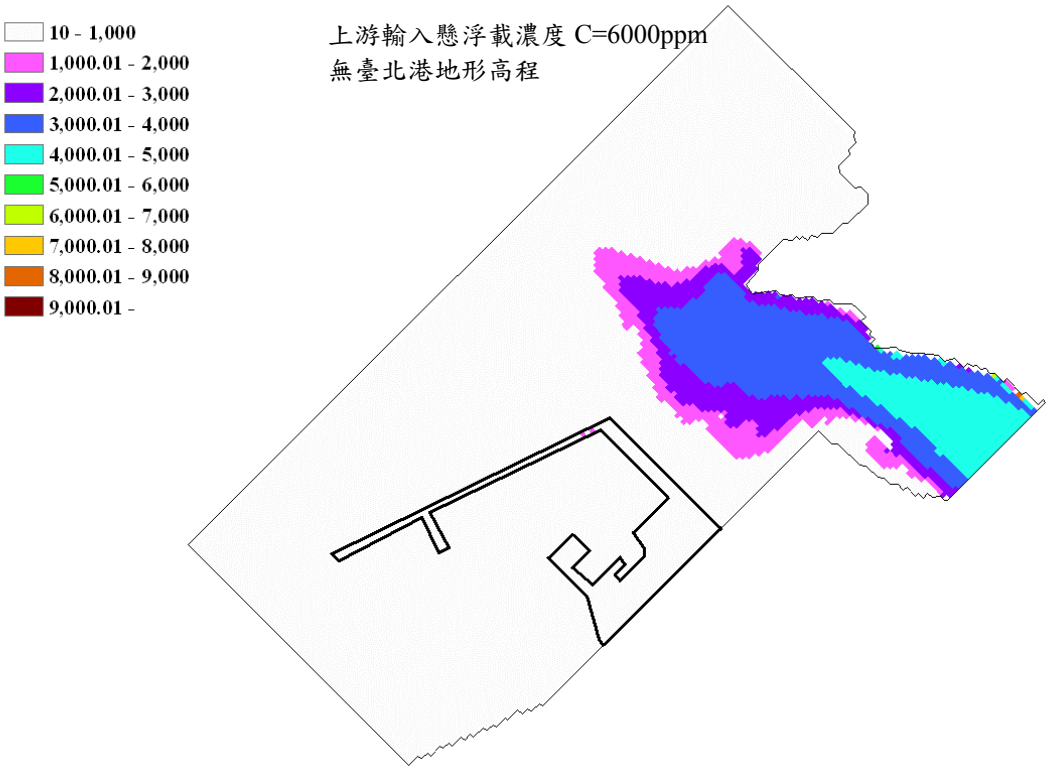


圖 4.27　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/24 22:00)

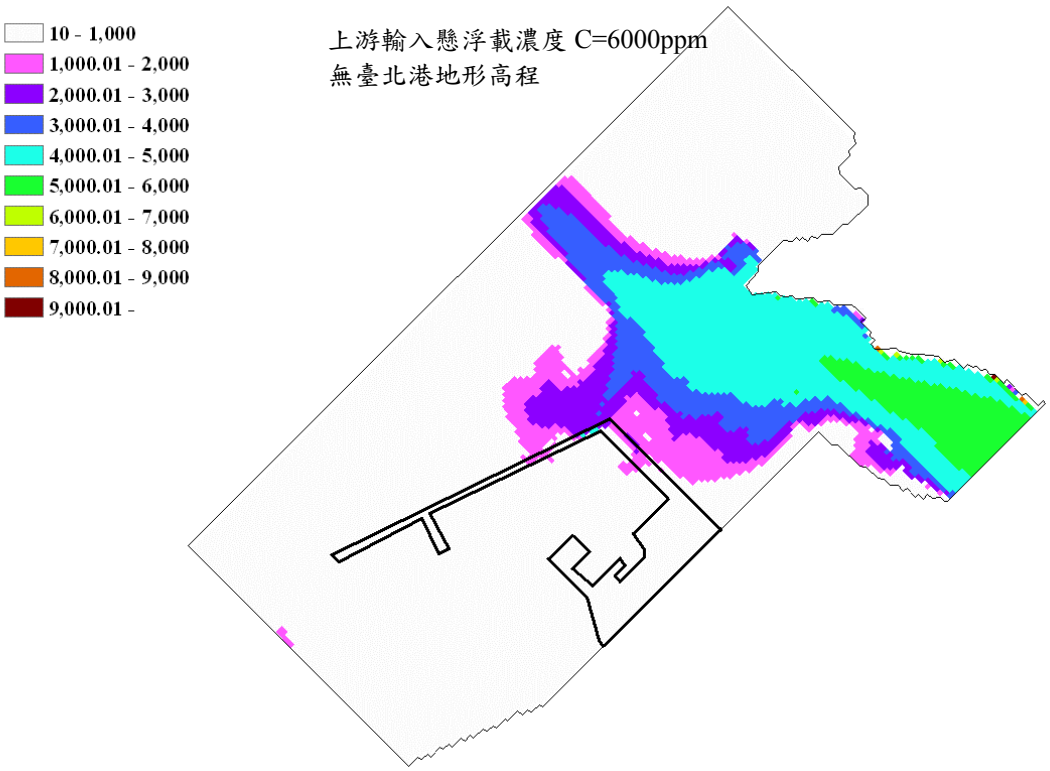


圖 4.28　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/25 00:00)

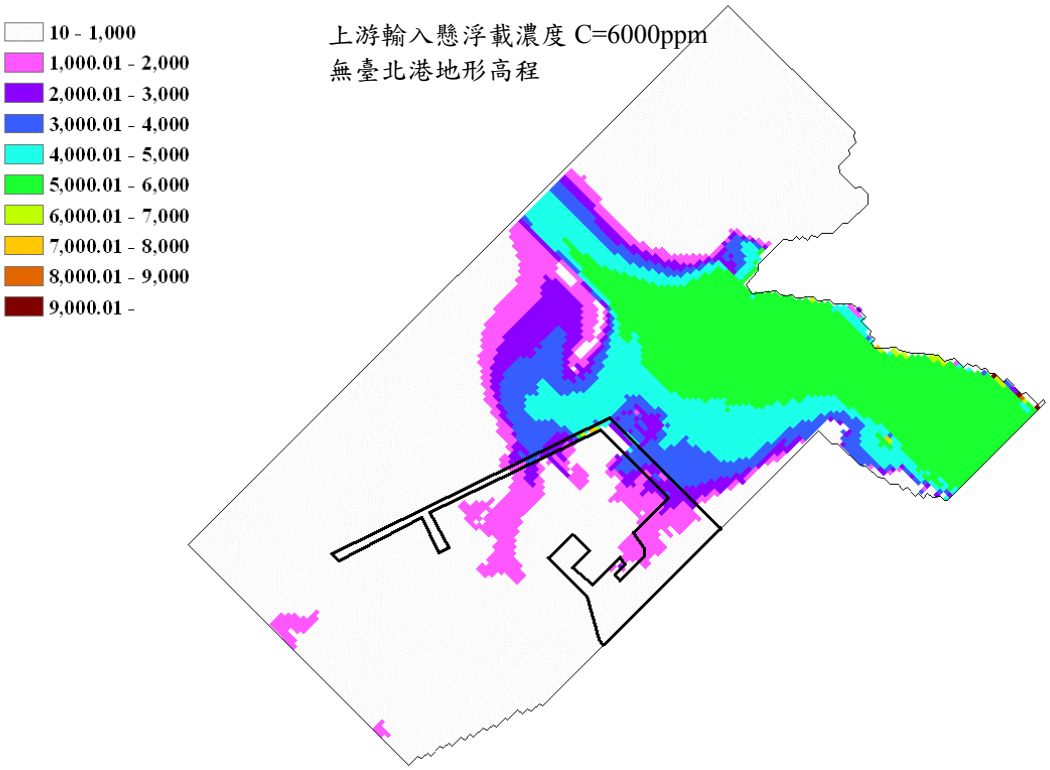


圖 4.29　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/25 03:00)

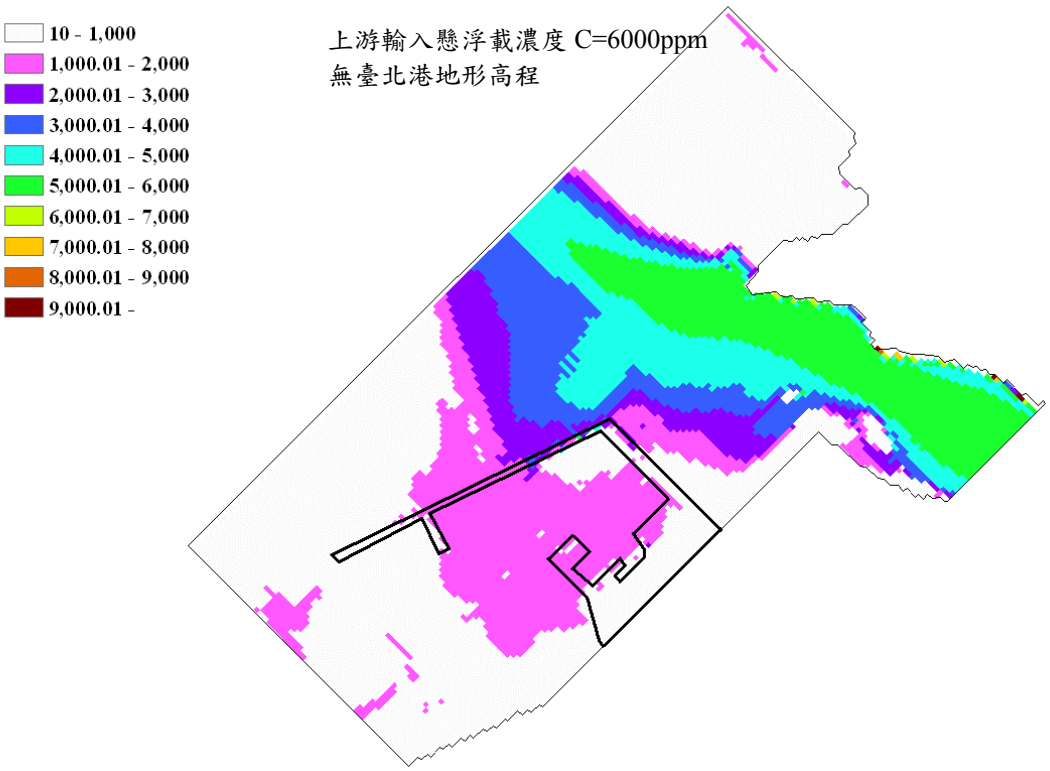


圖 4.30　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE II，2004/8/25 11:00)

4.2.3 懸浮載濃度之影響

圖 4.31 至圖 4.35 為包含臺北港高程及上游輸入懸浮載濃度 C=10000ppm，在艾利颱風期間臺北港鄰近海域及淡水河河口二維地形變遷模式之計算懸浮載濃度分佈(以下簡稱 CASE III)；圖 4.36 至圖 4.40 為不包含臺北港高程及上游輸入懸浮載濃度 C=10000ppm，在艾利颱風期間臺北港鄰近海域及淡水河河口二維地形變遷模式之計算懸浮載濃度分佈(以下簡稱 CASE IV)。

由圖 4.21~圖 4.25 與圖 4.31~圖 4.35 比較得知，懸浮載濃度 C=6000ppm 及 C=10000ppm 在有臺北港高程的條件下，除濃度不同外，其計算結果之分佈範圍約相同。而在無臺北港高程的條件下，懸浮載濃度 C=10000ppm 之分佈範圍較廣。(比對圖 4.30 與圖 4.40)

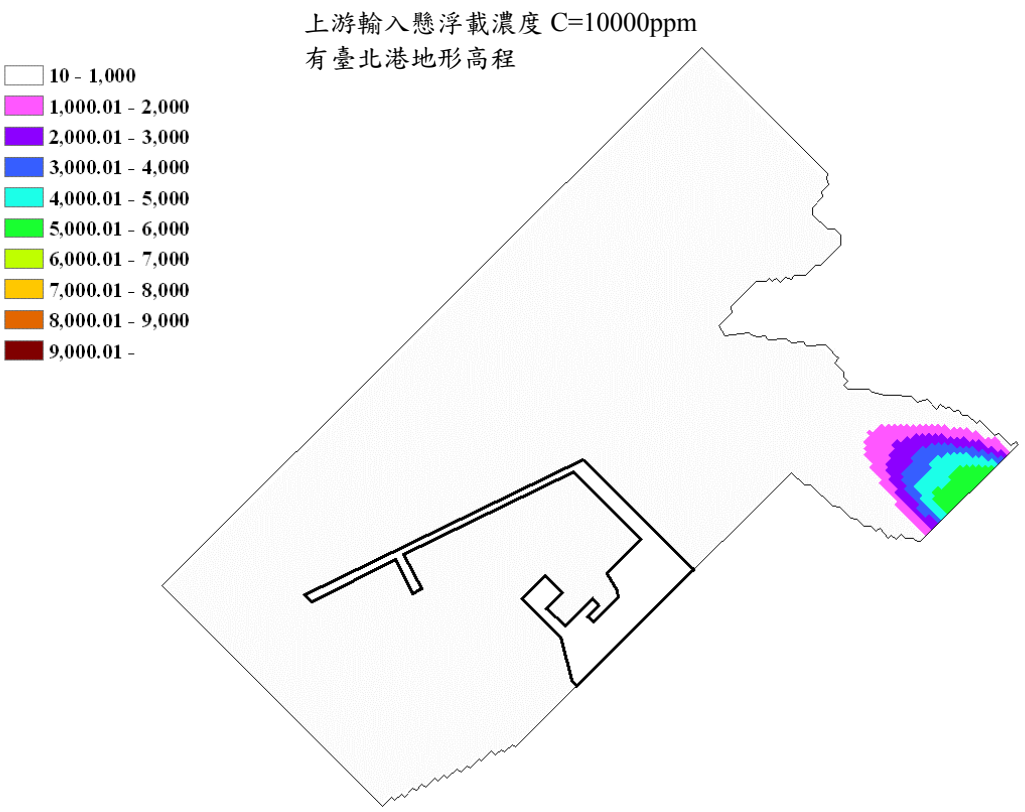


圖 4.31　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/24 20:00)

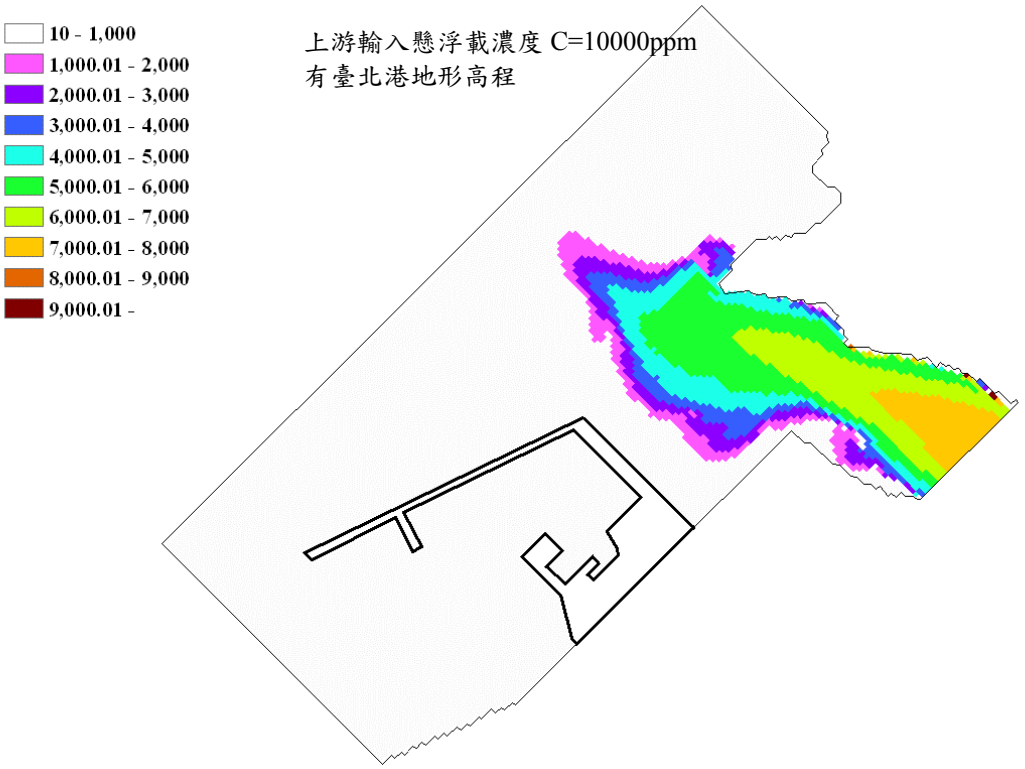


圖 4.32　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/24 22:00)

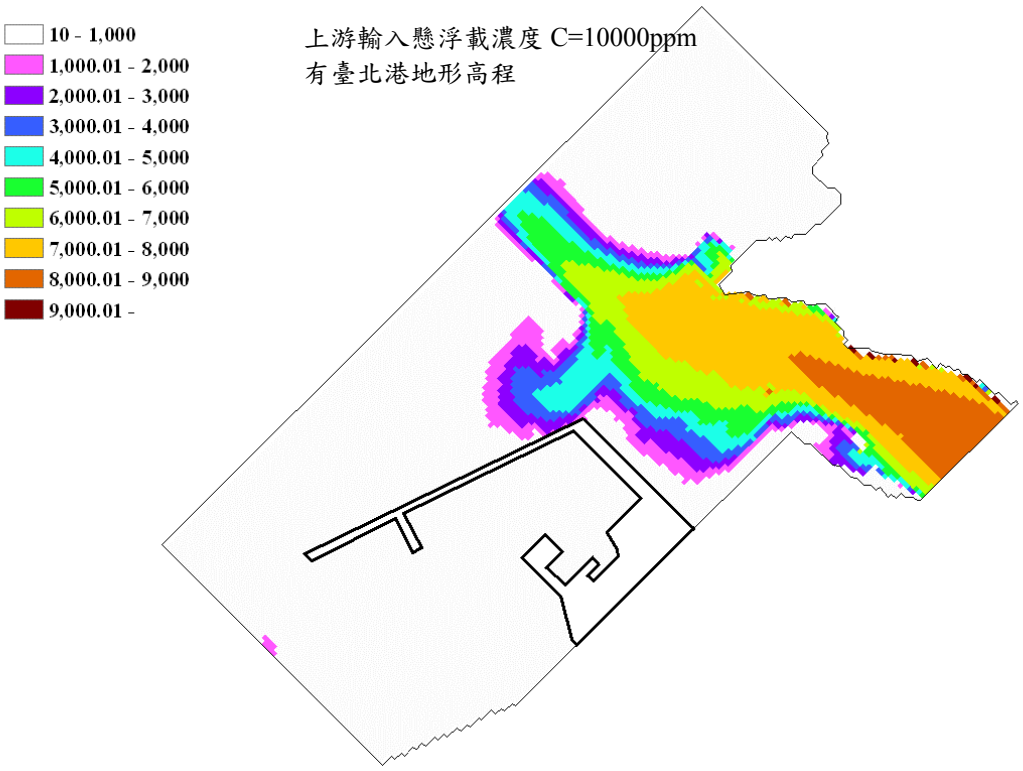


圖 4.33　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/25 00:00)

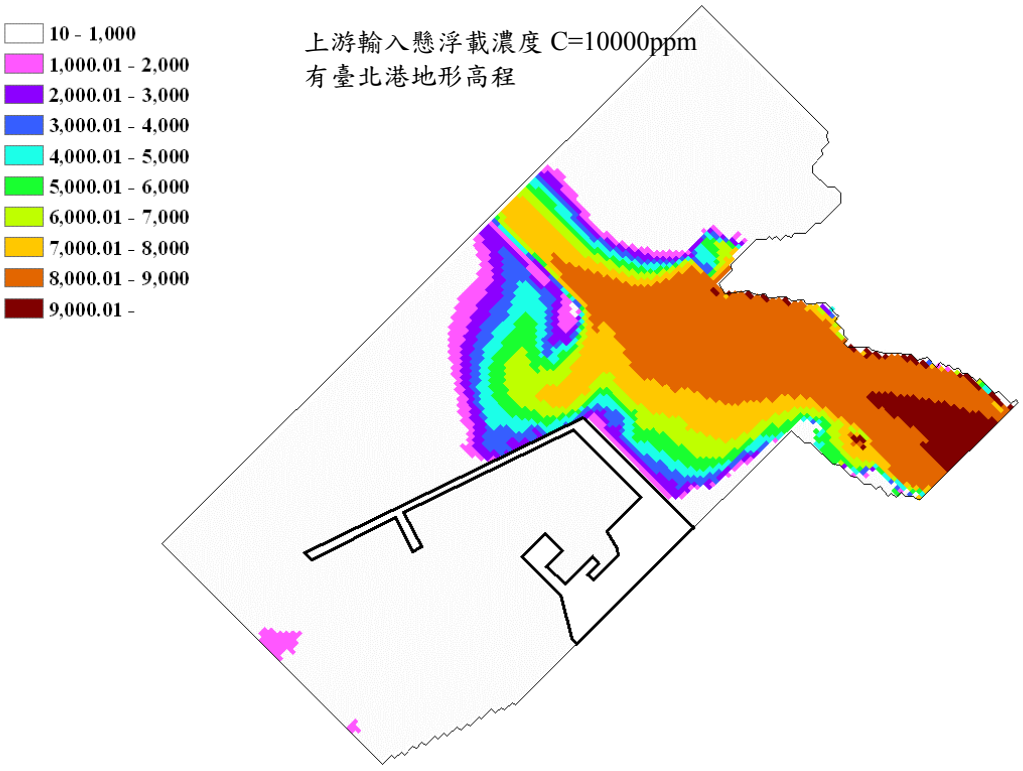


圖 4.34　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/25 03:00)

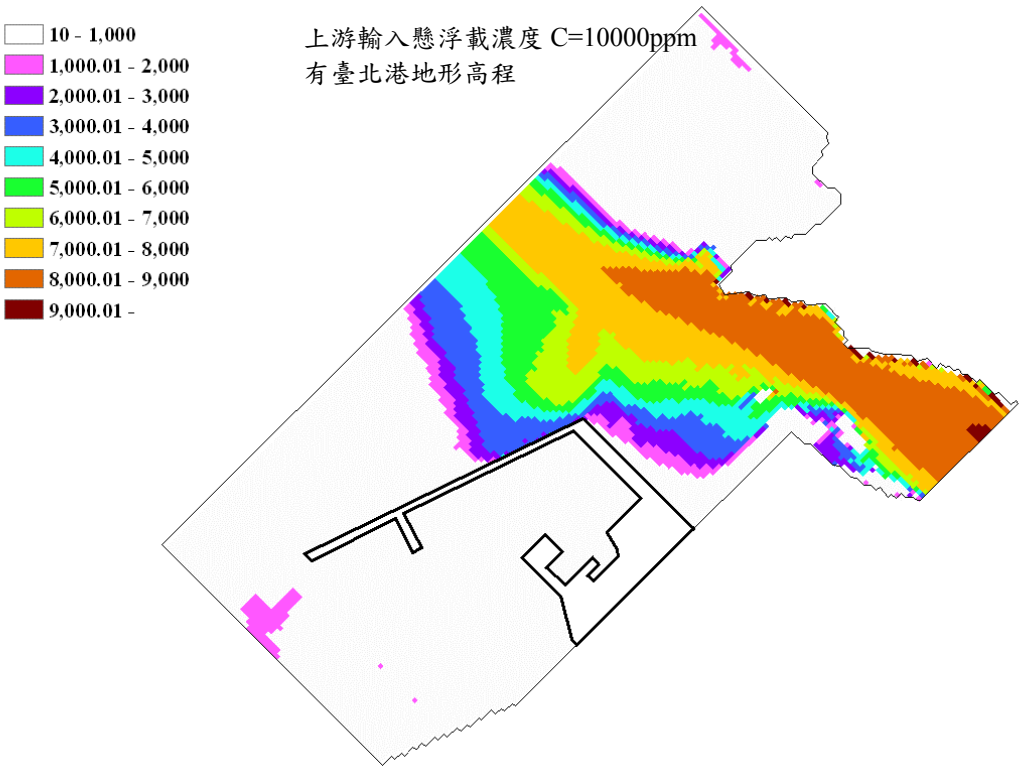


圖 4.35　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE III，2004/8/25 11:00)

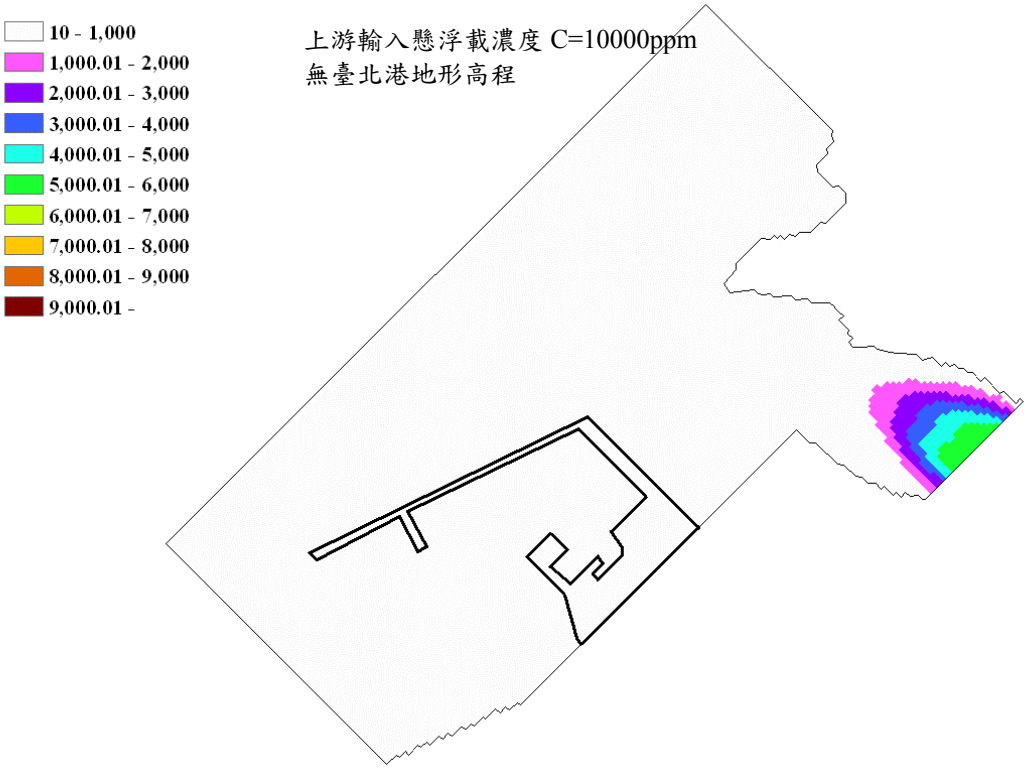


圖 4.36　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/24 20:00)

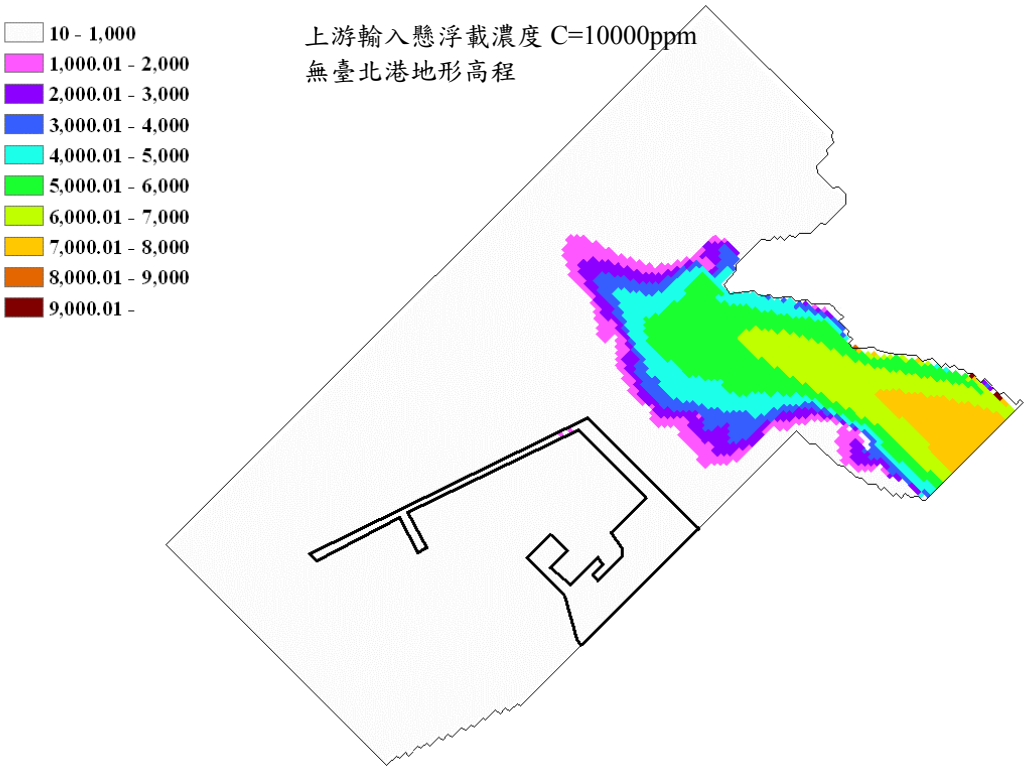


圖 4.37　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/24 22:00)

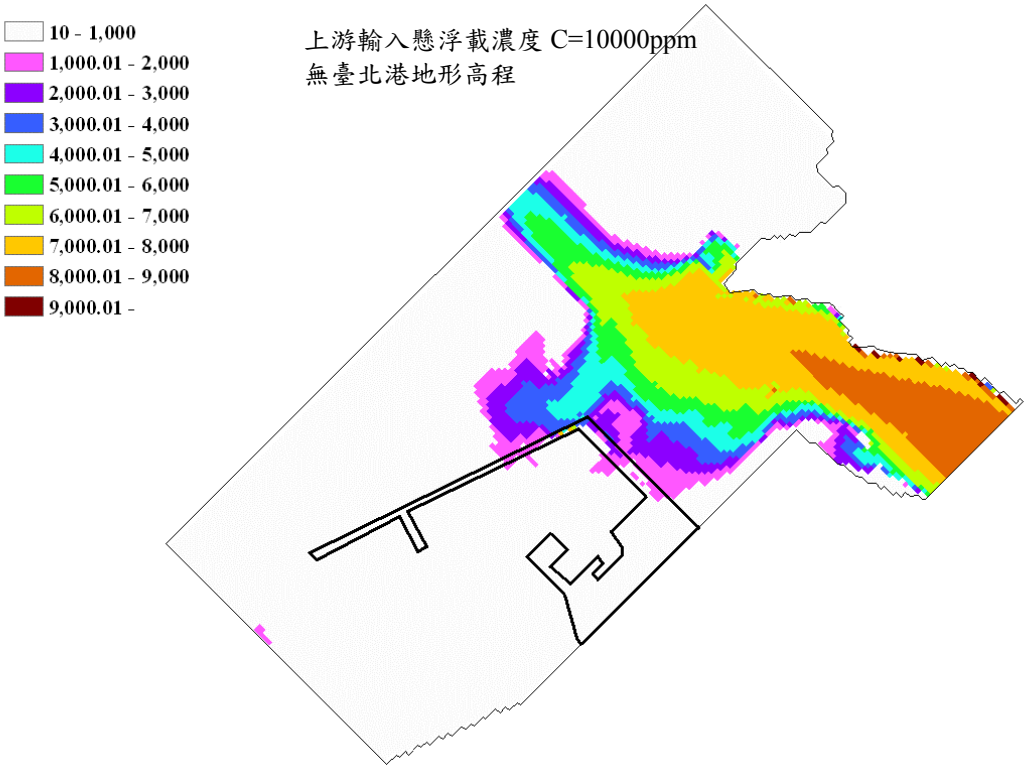


圖 4.38　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/25 00:00)

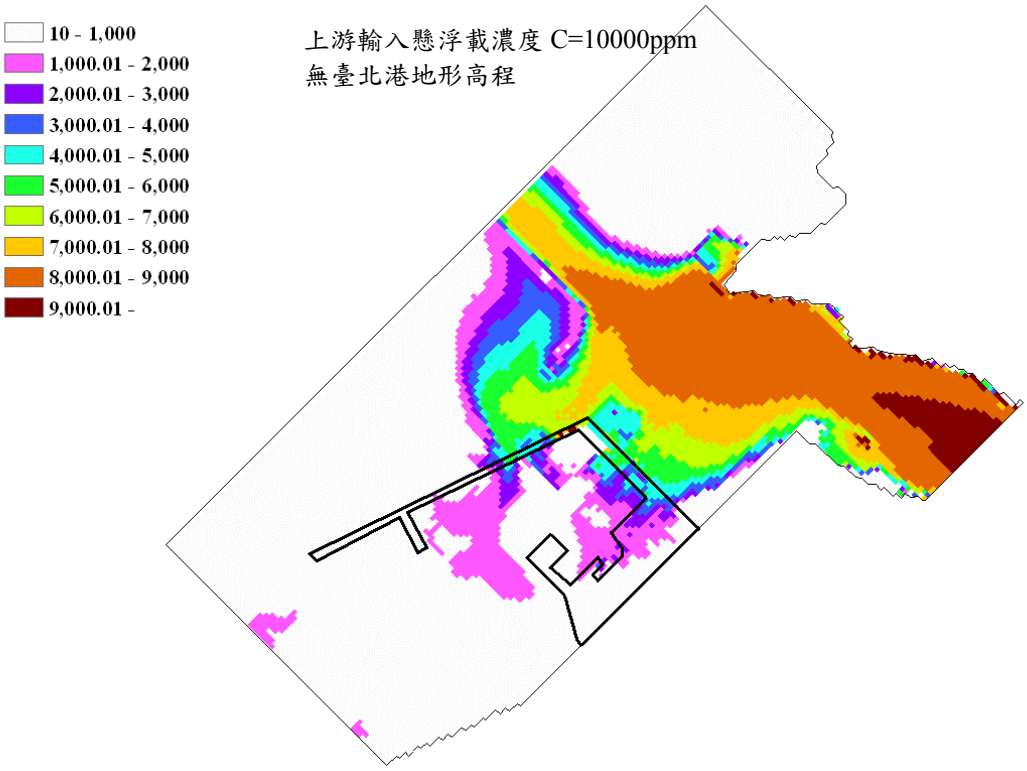


圖 4.39　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/25 03:00)

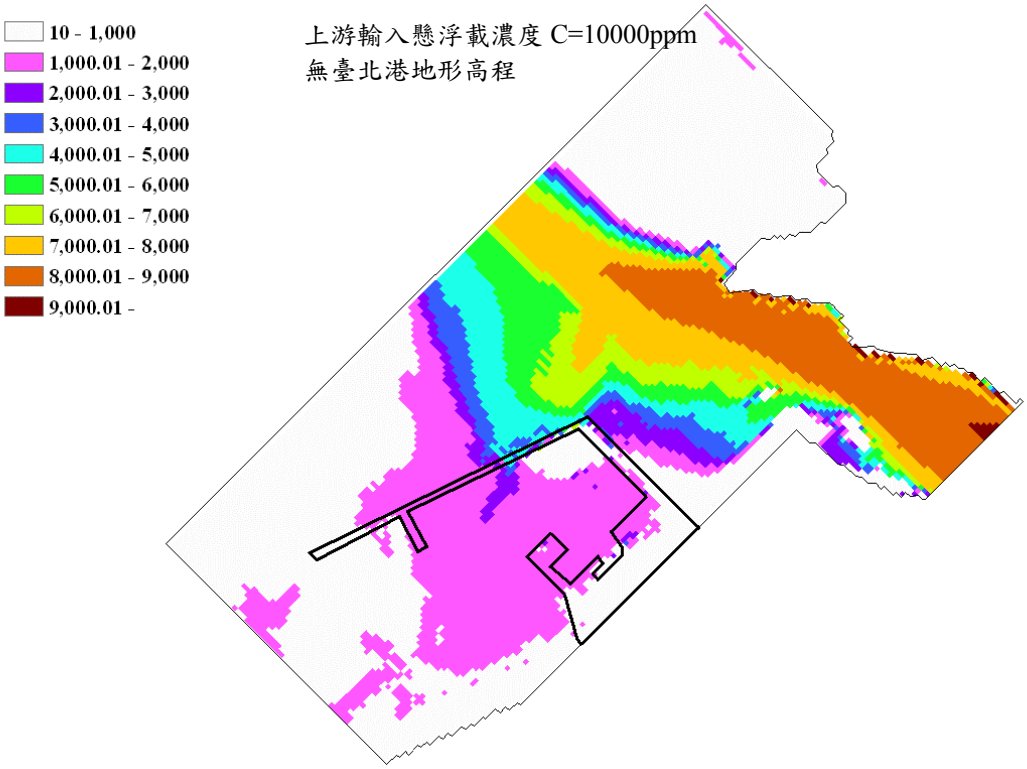


圖 4.40　艾利颱風期懸浮載濃度分佈(CASE IV，2004/8/25 11:00)

第五章　結論與建議

5.1 結論

為瞭解臺北港建置對淡水河輸砂之影響，本計畫利用數值地形資料劃分研究區域之數值高程、坡度、坡向及格網，應用於地文性土壤沖淤模式配合集水區降雨量及水庫放流量，計算出二維地形變遷模式之上游流量邊界條件，再以二維地形變遷模式模擬臺北港建置對臺北港鄰近海域及淡水河河口輸砂排洪之影響。由演算結果之分析，可得初步結論如下：

1. 二維地形變遷模式應用於模擬八掌溪道將圳上游河床演變模型試驗及二仁溪河口鄰近海域模型試驗，經由模式演算值與模型實驗觀測值的比較，顯示二維地形變遷模式具有模擬河床及河口海域地形變遷之能力。
2. 二維地形變遷模式演算臺北港鄰近海域及淡水河河口，演算結果顯示淡水河河口主深槽之流速較快，主流向沿主深槽向外海，水流在經過淡水河河口後(淡水第二漁港)，水流方向會向西南偏移，流速越大偏移量越大。
3. 二維水理模擬結果顯示在沒有考慮南北邊界潮位差及海流的狀況下，臺北港對淡水河河口內之主流流況尚無明顯影響，但臺北港港區週圍之流況則與無臺北港時明顯不同。
4. 二維模式模擬懸浮載濃度分佈之結果顯示主深槽之懸浮載濃度最大，經過挖子尾保護區及淡水第二漁港後，在沒有考慮南北邊界潮位差及海流，但有輻射應力影響時，懸浮載沿淡水河主流方向向外延伸輸運，並偏西南擴散，有臺北港時向南之擴散受北防波堤之限制。

5.2 建議

1. 本計畫採用 RCPWAVE 計算臺北港海域波高、波向及週波數，外海邊條件為淡水水位站水位資料，建議可與其它相關計畫合作，提供臺北港海域波高、波向、週波數及外海邊條件，做為二維地形變遷模式計算之參考。
2. 本計畫採用之外海邊條件均為淡水水位站資料，所以沒有反應潮流之變化，建議引用其它計畫的研究成果，加入海域潮流變化及南北邊界潮位差。
3. 本計畫在計算無臺北港狀況時，臺北港港區數值高程採用 94 年 10 月之測量資料，可能直接影響水流流經此區域之流速及流向，建議可適度調整高程資料或引用臺北港建置前之數值高程，方能比較臺北港對淡水河輸砂之影響。
4. 本計畫採用 Meyer-Peter and Muller 輸砂公式，建議可採用不同之輸砂公式進行比較，選擇較適合臺北港海域及淡水河河口之輸砂公式。

參考文獻

1. Akanbi, A. A. and Katopodes, N. D. (1988),Model for Flood Propagation on Initially Dry Land,Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 114, No. 7, pp. 689-706.
2. ASCE(1997), Channel Stability Assessment for Flood Control Projects, Technical Engineering and Design Guidelines as adapted from the US Army Corps of Engineers，No. 20.
3. Chaudhry, M. H. (1993), Open-Channel Flow, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
4. Ebersole,B. A., Cialone M. A. and Prater M. D.(1986), "Regional coastal processes numerical modeling system", Department of the Army, Waterway Experiment Station, Corps of Engineers.
5. Henderson, H. F.(1961), Stability of Alluvial Channels, Journal of Hydraulics Division, ASCE, 87（HY6）.
6. Itakura, T., Kishi, T. (1980), "Open Channel Flow with Suspended Sediments, "Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 106, No. HY8, pp. 1325-1343.
7. Nishimura, H.(1982), Numerical simulation of nearshore circulations, Proceeding of 29th Japanese Conference On Coastal Engineering, Sendai, JSCE, pp. 137-145.(in Japanese)
8. 工研院能資所(1999)，台北桃園海岸遙測變遷分析研究，工研院能資所，93頁。
9. 中央大學太空及遙測研究中心(2005)，臺北港衛星影像照片。
10. 中興工程顧問股份有限公司(1998)，淡水河流域治理及管理整體規劃，經濟部水資源局。

11. 水利署(2004)，中華民國九十三年臺灣水文年報，經濟部水利署。
12. 王文江(2003)，水利工程中之泥砂問題，中興工程科技研究發展基金會。
13. 王如意， 陳鴻霞(1983)，淡水河問題研究(一)─大漢溪沿岸集水區逕流模式之建立與驗證，國立台灣大學水工試驗所。
14. 王如意,李光敦(1985)，淡水河問題研究(三)─基隆河沿岸集水區逕流模式之建立與驗證，國立台灣大學水工試驗所。
15. 王如意，簡振和(1984)，淡水河問題研究(二)─新店溪沿岸集水區逕模式之建立與驗證，國立台灣大學水工試驗所。
16. 台灣省水利局(1964)，淡水河防洪治本計劃編，臺灣省水利局。
17. 台灣省水利局(1965)，淡水河防洪治本計劃修訂方案，臺灣省水利局。
18. 交通部運輸研究所(2005)，臺北港(92-94年)海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業，交通部運輸研究所。
19. 李振豪(2004)，淡水河上游流量對潮汐傳播之影響，國立臺灣大學環境系統工程學研究所碩士論文。
20. 李淑惠(2004)，淡水河潮波非線性現象分析，國立中山大學海洋物理研究所碩士論文。
21. 杜偉榮(2005)，以物質流分析淡水河流域內之有機物質與懸浮固體，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
22. 林豐福、洪憲忠(2004)，臺北港海域運輸安全之探討(II)--臺北港海域潮流流場數值模擬分析，交通部運輸研究所計畫編號MOTC-IOT-92-SAA09。

23. 洪佐承(1998)，淡水河感潮段之動態水質模擬，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
24. 財團法人成大研究發展基金會(2004)，鹽水溪及南科相關排水整體治理規劃檢討—洪流分析及淹水模擬、淹水潛勢分析，經濟部水利署水利規劃試驗所。
25. 唐建章(1985)，淡水河全流域洪水演算模式，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
26. 張海燕(1990)，「河流演變工程學」科學出版社，新華書店，北京。
27. 張菀文(2002)，淡水河口地形變遷之研究，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
28. 許時雄(1969)，淡水河感潮變量之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
29. 許泰文等人(2002)，建立波潮流與海岸線變遷模式，成功大學水利及海洋工程學系報告。
30. 許泰文等人(2005)，臺北港海域運輸安全之探討(IV)—臺北港海域流況預報系統之建立，交通部運輸研究所計畫編號MOTC-IOT-94-SB008。
31. 郭金棟、蔡長泰、謝正倫（1993），淡水河口南北海岸地形穩定之研究，國立成功大學水利及海洋工程學所。
32. 廖慶堂、楊文衡(2004)，臺北港海岸地形變遷數值監測模式研究(II)，交通部運輸研究所計畫編號MOTC-IOT-93-H2-EB014。
33. 蔡智恆(2000)，定岸沖積河流水理及底床演變之模擬，國立成功大學水利及海洋工程學所博士論文。

34. 賴春婷(2003)，河口短時距地形變動之研究—以淡水河口挖子尾為例，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
35. 簡仲和等(2005)，台南高雄海岸復育研究(1/2)，經濟部水利署第六河川局。
36. 羅志堅(1995)，淡水河口處海岸變遷之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
37. 台北港港埠資訊入口網，http://www.tpport.gov.tw。
38. 台灣地區重要水庫網際網路暨決策支援系統，http://wrm.hre.ntou.edu.tw/wrm/dss/ntou.htm。
39. 經濟部水利署第十河川局，http://www.wra10.gov.tw。

附錄 A　報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：95 年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

執行單位：財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
李忠潘教授：	
1.近岸漂沙集中於碎波帶，碎波為主要動力，故本研究以波的流場，恐難正確預測沿岸的漂沙量。	1.謝謝指教。
2.臺北港對淡水河輸砂的影響，主要在波浪受遮蔽後的改變，因此造成河口漂沙量的改變，進而改變原來的侵淤範圍與位置。	2.謝謝指教。
3.第三章內不同模式所用的符號請儘量一致，此外，亦請能註明各參數或方程式的出處。	3.依審查意見修正。
4.模式應比較有、無臺北港的結果，故邊界及參數均應有所對應。	4.依審查意見補充。
余進利教授：	
1.表4-1提到海棠颱風侵臺期間臺北港海域海象資料，波浪的波向寫為NINE是否筆誤。	1.依審查意見修正。
2.上游邊界利用土地公鼻水位資料，但此站有受感潮影響，是否有將潮汐的影響過濾掉。	2.模式演算有考量潮汐變化，所以並沒有過濾潮汐的影響。
3.建議仍對淡水及竹圍潮位站的資料作進一步的查核。	3.將進一步查核淡水及竹圍潮位站的資料。
林意楨教授：	
1.報告中言及利用地理資訊系統分析運算得到水流演算與土壤沖淤演算及自動劃分格區等功能，執行單位應將所利用的GIS是那一種(Arc View or…？)說明清楚。	1.本計畫採用之地理資訊系統為ArcView，將依審查意見修正。
2.報告中p.21、22表2-4實測之D_{50}甚小，輸砂公式應否考慮另外之公式(非Meyer)較合理。	2.本計畫初步以Meyer-Peter公式測試，未來將考慮其它輸砂公式。
3.關渡橋至臺北港海域數值高程之解析度為50^{m}x50^{m}，屆時波流交互作用時二者之銜接須請特別留意。	3.謝謝指教，對波流交互作用區域將會特別注意。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
臧效義教授：	
1.期中進度能按計畫完成。	1.謝謝。
2.地文資料中之河床質特性，建議深入討論粒徑分佈之意義，尤其海域與河流域之測站資料應分開討論。	2.依審查意見於第二章補充說明。
3.建議加入海岸地區靠近河口處之海岸縱向高程剖面之年變化結果(最近數年)。	3.依審查意見於第二章補充說明。
林柏青研究員：	
1.缺圖1-1。	1.依審查意見修正。
2.圖2-8的數值高程以灰階表示，容易混淆，期末報告希望能改以彩色圖標示。	2.依審查意見修正。
3.圖2-10高程尺標的第一個白色灰階是代表多少？如果是0-5，為何還有1-3及3-5的灰階出現？請說明。	3.第一個白色灰階代表0.5，將於期末報告中修正。
4.圖2-12的坡向尺標-1-3,3-5,5-10只有2°到5°的區別，為什麼要分那麼細？為何沒有280-359的坡向？	4.依審查意見修正。
5.本計畫採用二維地形變遷模式，上游邊界由關渡橋附近開始往下游推算，既然港研中心已經有提供從關渡到河口甚至到外海水深27公尺的底質粒徑分佈資料，粒徑變化由關渡橋的0.0203mm逐漸變粗到淡水捷運站的0.397mm，往外海又逐漸變細為0.028mm，由泥到砂粒徑變化達20倍，底質特性差異太大，推算過程中使用的底床捲增及沉降公式是否通體適用請再研究。至少在沉降速度及底質粒徑不能將所有不同粒徑平均當作唯一粒徑，應該按已知粒徑分佈逐區計算捲增及沉降量。	5.依審查意見修正，將各測點之粒徑考量到模式中。
6.模式上游邊界在土地公鼻，淡水河輸砂的複雜性在匯入土地公鼻的兩條支流分別有不同入流量、含砂量、砂粒特性(基隆河砂粒粒徑是新店溪砂粒粒徑的10倍)，所以在模式上游邊界應由實測資料分別給予入流量及懸浮載體積濃度。	6.目前計算區域為關渡大橋以下至臺北港海域，上游只能給予一組入流量及懸浮載體積濃度。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
林柏青研究員：	
7.淡水河口的鹽楔入侵會影響河口環流系統，鹽度分佈造成的斜壓梯度會推動底部鹽度較高水向上游流動，形成雙層循環，所以模式中水流基本控制方程式缺少鹽分的質量平衡方程式。	7.本計畫目前尚無考量鹽度分佈。
8.本計畫演算海棠颱風通過時的河口流場變化，意義不大，因為沒有現場資料可作驗證。以八掌溪動床水工模型驗證本模式，也只能說沖淤趨勢符合，既然淡水河及近岸海域已經有多年，每年兩次的地形調查資料，河川上游以及下游也都有歷年觀測資料，應該可以作為模式驗證使用。	8.依審查意見於第三章補充二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証。
9.圖4-5的竹圍潮位，暴潮達2米多，資料來源是否正確？	9.將進一步查核淡水及竹圍潮位站的資料。
10.4-5計算近岸海域波高不能直接用淺化係數推算，因為波浪接近近岸時會折射擴散，波高降低，波向改變；但有時會因底床地形，波能集中使波高變大。淡水河口水深線並非完全平行，又有堤防往外海延伸，加上河口底沙淤積，因此必須同時考慮波浪的折射、繞射以及碎波造成的沿岸流等效應，尤其碎波沿岸流是帶動近岸漂沙的主要動力之一，可惜本模式沒考量這些。	10.依審查意見修正，於第三章補充利用RCPWAVE模式計算海域波高、波向及波數，提供二維地形變遷模式計算輻射應力。
何良勝科長：	
1.計畫主要在探討短期性、局部區域之輸砂排洪影響，因此，有關4-7節之二維地形變遷模式演算的範圍。	1.依審查意見修正。
2.有關4-6節之二維地形變遷河道流場模式，本研究中以八掌溪為例作為驗證，是否適用於淡水河之情況。	2.依審查意見於第三章補充二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証。
3.建議本研究可應用港研中心於關渡橋下之相關實測資料。	3.在二維地形變遷模式中使用之流量邊界條為地文性土壤沖游模式所計算得到，貴所在關渡大橋下之實測資料項目(水位及流)暫時尚未引用。

交通部運輸研究所合作研究計畫
□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：95 年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

執行單位：財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
林意楨教授：	
一、有無臺北港之分析時，總排出之輸砂量應該檢驗是否一致。	依審查意見比對有無臺北港總排出之輸砂量，補流說明於 4-2-1。
二、結論三提到淡水河口之流況，不因臺北港而有所差異，這結果應該是海況模擬太過簡化及外海模擬範圍過小所致，應作補充說明。	依審查意見於討論及結論補充說明。
三、河川模擬的範圍與過程應再說明清楚，如有無利用、流域內之坡向、坡度資料(p25)。	流域內之坡向、坡度資料為地文性土壤沖淤模式製做格區時所依據資料。
余進利教授：	
一、 模式計算中對臺北港影響部份只考慮防波堤部份，建議將預定港域疏浚之後地形納入，以符合實際狀況。	謝謝建議，將進一步研究探討。
二、 表 4.1 中波向 N，然而 pp.60 輸入波向為 45°，兩者不一致。	依審查意見修改。
三、 pp.61 演算結果說〝淡水河河口流況較不受臺北港港區高程影響〞，這是不考慮潮流的情況，實際上潮流是存在的，流況當然會受臺北港的興建而受影響。	本模式今年所模擬之條件較為簡化，未來考慮潮流之影響，可進一步分析臺北港港區對淡水河河口之影響。
四、建議將臺北港港區高程修正為臺北港港區地形水深。	依審查意見修正。
臧效義教授：	
一、應補上中英文摘要。	依審查意見補充。
二、第一年計畫之執行成果值得肯定。	謝謝肯定。
三、建議增加淡水海岸區域的海象條件歷年統計結果。	謝謝建議，將列入下年度之工作項目。
四、後續的計畫執行，是否考慮增加幾個近年內對此海岸較有影響之颱風影響的模擬？	謝謝建議，將列入下年度之工作項目。

林柏青研究員：	
一、 仍然缺圖 1-1。	因編排遺漏，已依審查意補充於第一章。
二、圖 4-21~4-40，圖中懸浮載濃度標尺，可以不用標示到小數第 6 位。	依審查意見修改。
三、今年工作為建立模式、檢定參數，明年才實際跑模式，模擬河口及近岸地形變遷，檢定參數即視模式試跑結果是否合理，圖 4-13 及 4-19，8/25 03:00 的流場圖 5:13 為高潮頂，圖中 03:00 應為漲潮流，但圖示結果卻為退潮流，與實際不符。懸浮載由流輸送，流場應儘量正確。	由圖 4-10 得知，關渡大橋計算流量在這段期間為 7000~8900 立方公尺/秒，二維地形變遷模式根據此條件計算，流場狀況會抵消漲潮所帶來之影響。但由於目前假設條件較為簡化，所以未來將會進一步詳細探討。
四、3-3-1 近岸流場只有考慮波浪輻射應力，所以在北風浪中模式懸浮質只會往外往南帶，其實該海域存在一節以上的東南-西北向潮流，應考慮放入模式中，即便在近岸碎波帶內，潮流影響會使沿岸流產生振蕩。	謝謝建議，將於後續研究中探討。
五、流場分佈圖希望能加入箭矢流速說明。	依審查意見修改。

附錄 B　期末報告投影片

95年臺北港對淡水河輸砂影響之探討

呂珍謀、蔡長泰

民國九十五年十二月十四日

內 容

- 計畫緣起與目的
- 理論基礎
  - RCPWAVE波場模式
  - 集水區地文性土壤沖淤模式
  - 二維地形變遷模式
  - 二維地形變遷河道流場模式驗証
- 模式計算
  - 計算資料滙整
  - 模式演算結果
- 結論與建議

2

計畫緣起與目的

- 計畫緣起
  - 淡水河口及海岸地形變遷原因?(臺北港建置後)
    - 淡水河年平均逕流量為70億立方公尺(民國39~89年)，年平均輸砂量為1,145萬頓(民國39~89年)，洪水量及輸砂量對鄰近海域及河口內地形之變遷會有影響。
    - 淡水河河口有淡水河紅樹林自然保留區、關渡自然保留區及挖子尾自然保留區，對淡水河在颱風期間之行洪能力及沖淤是否有影響?
    - 臺北港建置完成後，是否影響河口海岸之地形侵淤變化及淡水河之排洪能力?
    - 改善對策?

3

計畫緣起與目的

- 研究目的
  - 建立淡水河河口及相鄰海岸地區之土壤沖淤模式。
  - 建立淡水河河口及臺北港海域二維地形變遷模式。
  - 應用所建立之模式模擬臺北港建置前後，對淡水河輸砂及河口海岸之地形侵淤變化。
  - 探討淡水河河口地形變遷之原因及地形變遷對淡水河洪水之影響。

4

計畫緣起與目的

- 本計畫之工作項目如下：
  - 歷年淡水河系基本資料蒐集整理分析。
  - 建立淡水河河口及臺北港海域二維地形變遷模式。
  - 建立淡水河河口及相鄰海岸地區之土壤沖淤模式。
  - 淡水河河口及相鄰海岸地區土壤沖淤及臺北港海域地形變遷演算所需之參數檢定。

5

計畫緣起與目的

- 本計畫係針對臺北港建置對淡水河輸砂之影響探討，研究範圍分為兩部分：
  - 自淡水河關渡大橋以下至臺北港北防波堤止，利用二維地形變遷模式演算臺北港對淡水河輸砂之影響。
  - 自淡水河河口以上包含淡水河各支流—大漢溪、新店溪及基隆河，利用土壤沖淤模式計算淡水河流域之產砂量。

6

理論基礎

- 本計畫之數值模式演算分為：
  - 海域波場模式
  - 地文性土壤沖淤模式
  - 二維地形變遷模式
- 由海域波場模式及集水區地文性土壤沖淤模式計算海域波浪成份(如輻射應力等)和關渡大橋上游邊界(如流量等)條件，提供二維地形變遷模式進行演算。

7

理論基礎

- RCPWAVE波場模式
- 集水區地文性土壤沖淤模式
- 二維地形變遷模式
- 二維地形變遷河道流場模式驗証

8

RCPWAVE波場模式

- RCPWAVE模式以ae^{iS}型式（a為波浪振幅函數，S為相位函數）取代波浪速度勢能函數Φ，可得以下方程式：

$$\frac{1}{a}\{\frac{\partial^2 a}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 a}{\partial y^2}+\frac{1}{CC_g}[\nabla^2 a\cdot\nabla(CC_g)]\}+k^2-|\nabla S|^2=0$$

$$\nabla\cdot(a^2CC_g\nabla S)=0$$

- 應用美國陸軍工兵團RCPWAVE模式計算。
- 邊界條件：波高、週期及波向。

9

地文性土壤沖淤模式

- 集水區地文性土壤沖淤模式(PSED- model)
  - 水流演算基本方程式

$$A_i\frac{\partial h_i}{\partial t}=\sum_k Q_{i,k}(h_i,h_k)+P_{ei}(t)$$

t為時間；A_i 為 i 格區之面積；h_i、h_k 分別為 i 格區與 k 格區之水位；$Q_{i,k}$ 為由與 i 格區相鄰之 k 格區流入 i 格區之流量；P_{ei}為 i 格區每秒之有效降雨體積。

10

地文性土壤沖淤模式

- 流量律
  - 川流連接型

$$Q_{i,k} = \frac{h_k - h_i}{|h_k - h_i|} \cdot \Phi(\bar{h}_{i,k}) \cdot \sqrt{|h_k - h_i|}$$

$$Q_{i,k} = \Phi(h_k) \cdot \sqrt{|h_k - h_i|}$$

  - 格區交界處之水位

$$\Phi(h) = \frac{\frac{1}{n} A(h) R^{2/3}(h)}{\sqrt{\Delta x}}$$

11

地文性土壤沖淤模式

- 流量律
  - 堰流連接型
    - 自由堰流

$$Q_{i,k} = \mu_1 b \sqrt{2g} (h_k - h_w)^{3/2}$$

    - 潛沒堰流

$$Q_{i,k} = \mu_2 b \sqrt{2g} (h_i - h_w)(h_k - h_i)^{1/2}$$

12

地文性土壤沖淤模式

- 土壤沖淤演算基本方程式
  - 懸浮載連續方程式及底床變動連續方程

$$\frac{\partial V_{si}}{\partial t} = \sum_k Q_{SC_{i,k}} + Q_{sei} - Q_{sdi} + R_{DTi}$$

$$(1-\lambda)\frac{\partial V_{di}}{\partial t} = \sum_k Q_{SB_{i,k}} - Q_{sei} + Q_{sdi} - R_{DTi}$$

V_{si}為i格區水體中懸浮之泥砂體積；λ為孔隙率；V_{di}為i格區沖積層體積；$Q_{SB_{i,k}}$、$Q_{SC_{i,k}}$分別為由與i格區相鄰之k格區流入i格區之懸浮載流量與底床載流量；R_{DTi}為格區降雨分離率；Q_{sei}為i格區地表土壤與河道底床之捲增率；Q_{sdi}為i格區底床之沉降率。

二維地形變遷模式

- 二維地形變遷模式
  - 水流基本控制方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial (uh)}{\partial t} + \frac{\partial (u\,uh)}{\partial x} + \frac{\partial (u\,vh)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(2\varepsilon h \frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left[\varepsilon h\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - gh\frac{\partial Z}{\partial x} + S_x$$

$$\frac{\partial (vh)}{\partial t} + \frac{\partial (v\,uh)}{\partial x} + \frac{\partial (v\,vh)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\varepsilon h\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left(2\varepsilon h \frac{\partial v}{\partial y}\right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} - gh\frac{\partial Z}{\partial y} + S_y$$

以上式中，t為時間；u、v分別為x、y方向之水深平均流速；h為水深；Z為水面高程；ε為渦動黏滯係數；τ_{bx}、τ_{by}分別為底床剪應力在x及y方向之分量；S_x、S_y分別為x及y方向之輻射應力。

二維地形變遷模式

- 沉滓輸運基本控制方程式
  - 水深平均之懸浮載對流擴散方程式

$$\frac{\partial(ch)}{\partial t}+\frac{\partial(uch)}{\partial x}+\frac{\partial(vch)}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left(e_x\frac{\partial c}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(e_y\frac{\partial c}{\partial y}\right)+q_{se}-q_{sd}$$

c為懸浮載之體積濃度； e_x、e_y分別為水流之x方向、y方向之泥砂擴散係數；q_{se}為單位時間、單位面積自河床面捲增(entrain)至水流中之泥砂體積； q_{sd}則為單位時間、單位面積沉降至河床面之泥砂體積。

  - 底床變動量之沉滓連續方程式

$$\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{1}{1-\lambda}\left[\frac{\partial q_{bx}}{\partial x}+\frac{\partial q_{by}}{\partial y}+(q_{se}-w_sC_b)\right]=0$$

z為底床高程；λ為底床質之孔隙率， q_{bx}、q_{by}分別為q_b(單位寬度底床載輸運率)在x及y方向之分量。

15

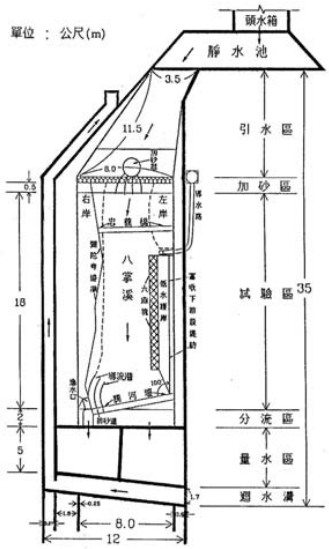
二維地形變遷河道流場模式驗証

- 八掌溪道將圳上游動床水工模型試驗驗証
- 二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証

16

八掌溪道將圳上游動床水工模型試驗驗証

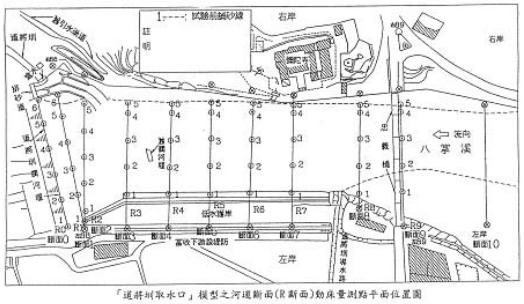
- 模型為八掌溪忠義橋至道將圳攔河堰間動床水工模型試驗，模型比例尺採1：30 。
- 模型用砂d_{50}=0.1mm、 d_{90} = 0.15mm、 d_m=0.1mm。
- 放水量分四種情形：0.097*cms*(2年頻率) 、0.147*cms* (5年頻率) 、0.179*cms* (10年頻率)、0.209*cms* (20年頻率) ，放水時間為一小時。



17

八掌溪道將圳上游動床水工模型試驗驗証

- 數值模擬之範圍R3~R9。
- 計算格網採之方形網格，計算網格數為1433，演算時距為0.02秒。
- 底床載公式選用Meyer-Peter and Muller (MPM)公式。

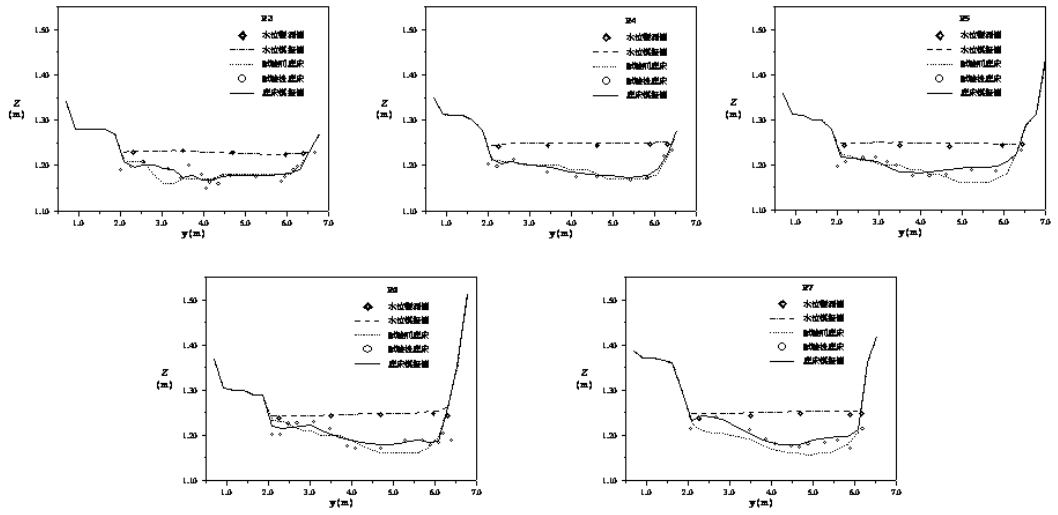


「道將圳取水口」模型之河道斷面(R斷面)動床量測點平面位置圖

18

模型流量0.097*cms*之底床沖淤演變

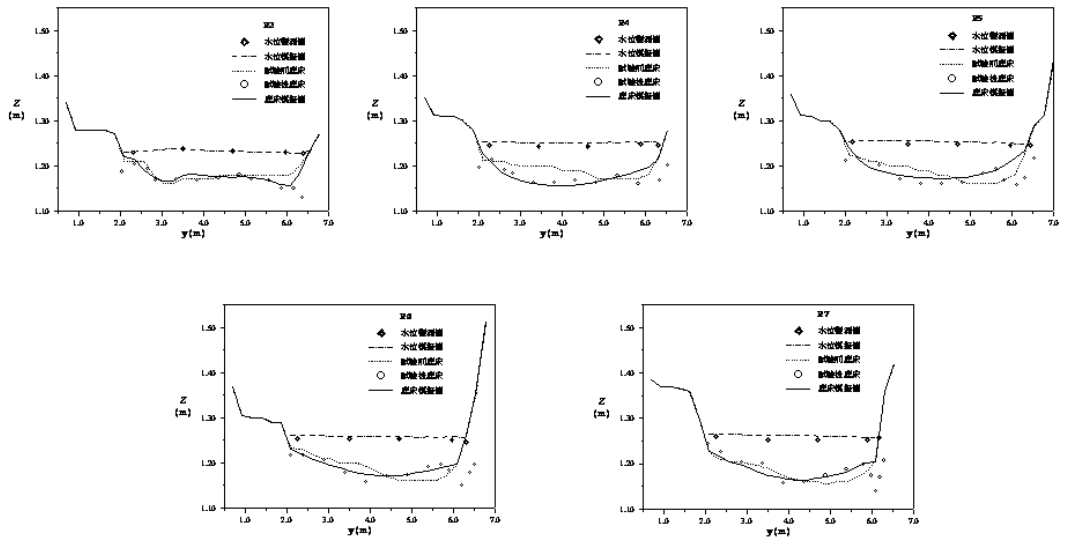
(相當於2年頻率之洪水)



19

模型流量0.147*cms*之底床沖淤演變

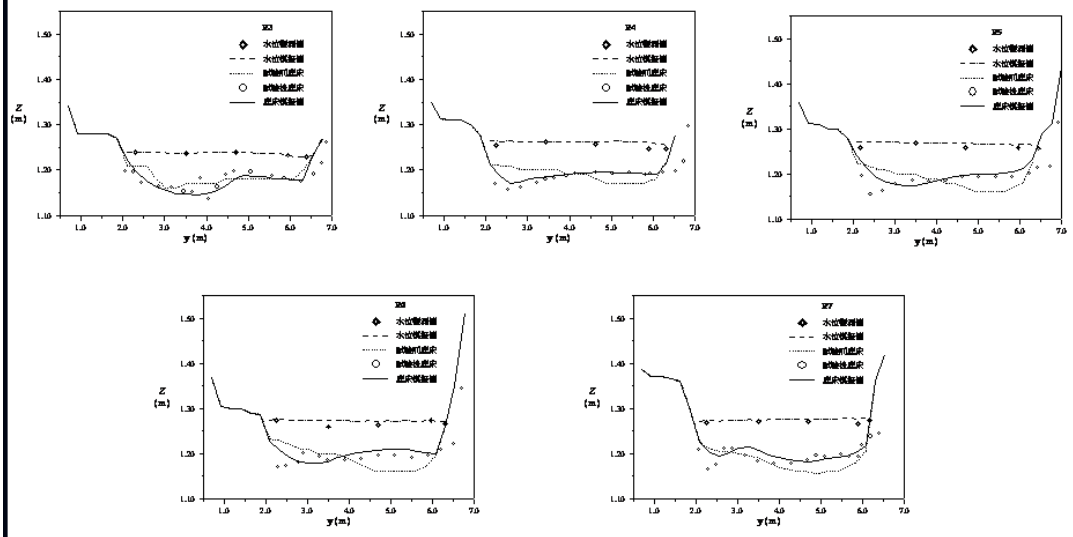
(相當於5年頻率之洪水)



20

模型流量0.179*cms*之底床沖淤演變

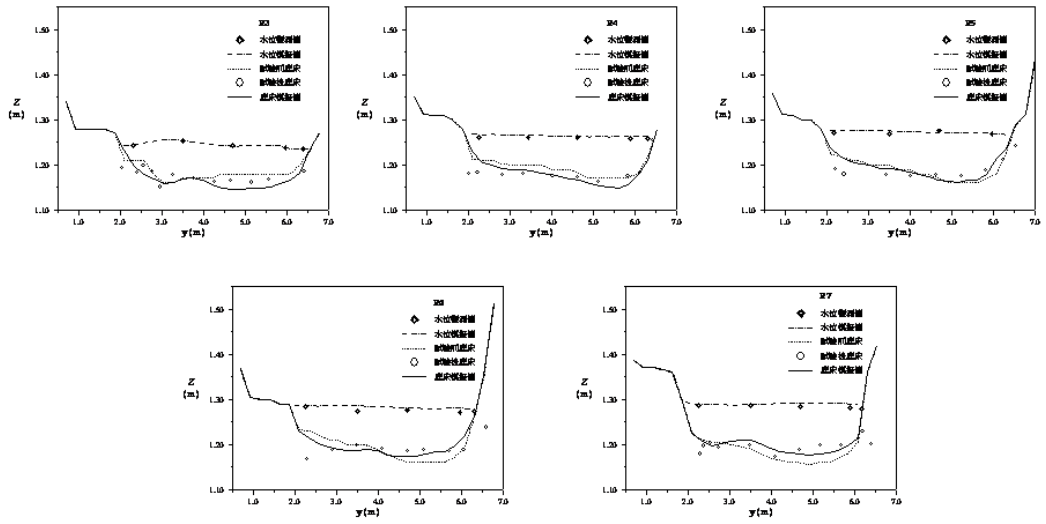
(相當於10年頻率之洪水)



21

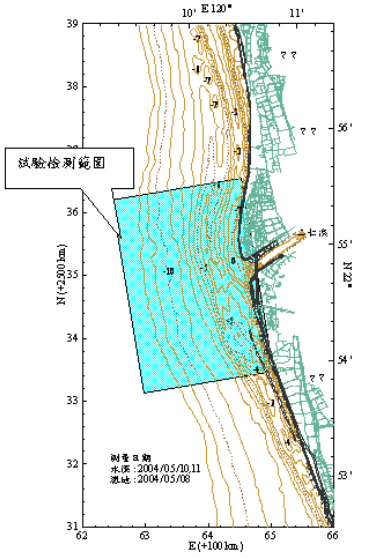
模型流量0.209*cms*之底床沖淤演變

(相當於20年頻率之洪水)



22

二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証



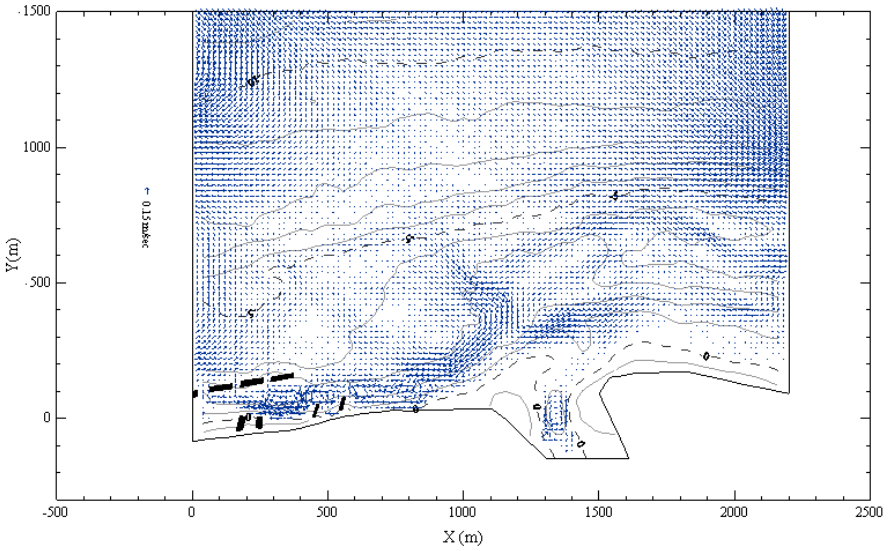
二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証

■ 模型比尺對照表

比尺種類	比尺大小	相關物理量
水平 λ_l	1/100	水平坐標
垂直 λ_Z	1/36	高程、潮位
時間 λ_T	1/6	波浪週期
波高 λ_{Ho}	1/11	波高
漂砂時間比	1/1633	

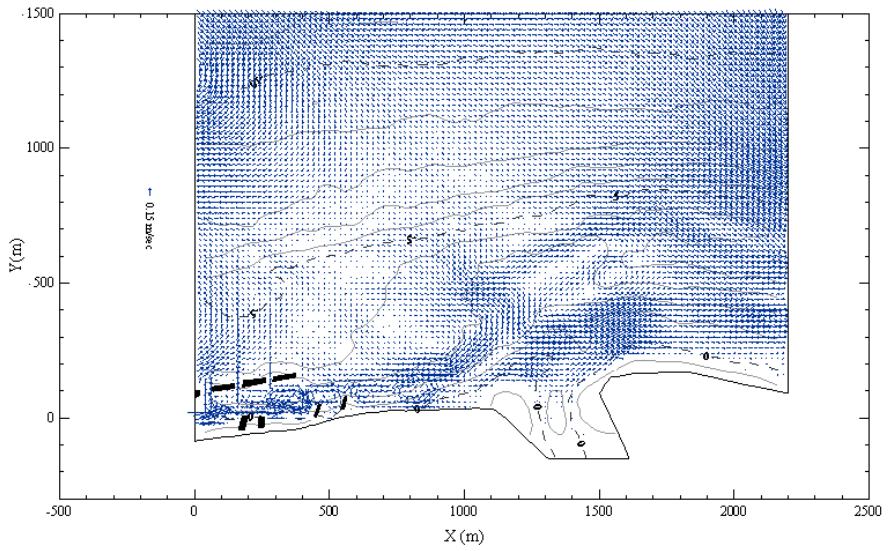
■ 試驗條件
- 冬季波浪波高142cm
- 週期6sec
- 波浪前進方向為78度
- 平均低潮位-0.06m
- 平均潮位0.31m
- 平均高潮位0.84m。

校核試驗平均低潮位(-0.06m)之流場分佈圖



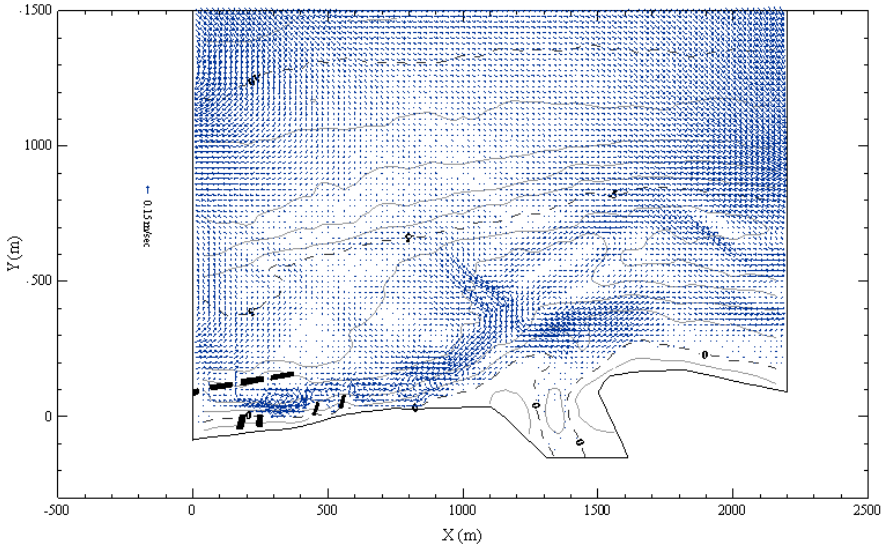
25

校核試驗平均高潮位(0.84m)之流場分佈圖



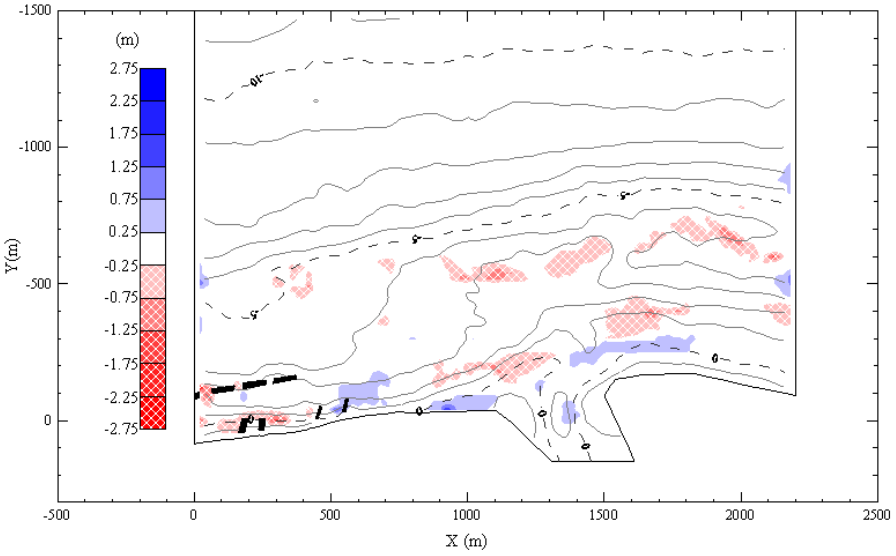
26

校核試驗平均潮位(0.31m)之流場分佈圖



27

校核試驗造波延時0－177分鐘
水深地形平面侵淤圖



28

二仁溪河口鄰近海岸數值模擬驗証

- 南北岸沿岸流場與河口附近流場皆與水工試驗流跡相近。
- 模擬與試驗結果除了外海較深處之沖刷無法模擬外，河口及等深線-5m以上海域之侵淤模擬皆屬合理。

29

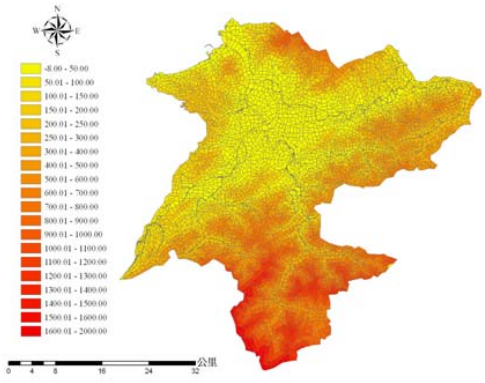
模式計算

- 計算資料滙整
  - 地文性沖淤模式
  - 二維地形變遷模式
  - 颱風基本資料
  - 邊界條件
  - 海域波高、波向及週波數參數
    - 以美國陸軍工兵團之RCPWAVE模式計算
- 模式演算結果
  - 河口流況
  - 河口輸砂變化
  - 懸浮載濃度之影響

30

地文性沖淤模式

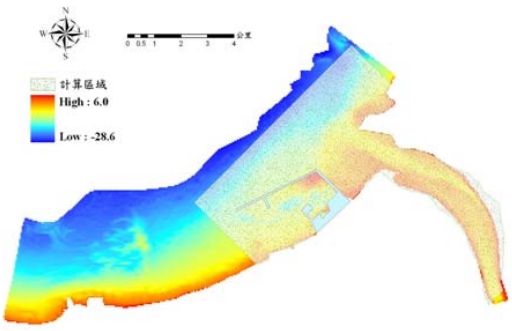
- 數值高程：40公尺*40公尺。
- 使用工具：Arc View水文分析模組及格網自動劃分。
- 共5,005個格區。



31

二維地形變遷模式

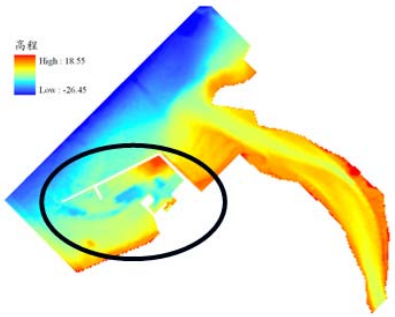
- 數值高程：港灣技術研究中心94年測量資料
- 上游計算邊界：水利署土地公鼻水位站
- 下游海域邊界北起淡海新市鎮，南至臺北港南方(包含臺北港)。
- 格網大小：50公尺*50公尺，在計算範圍內共有18,111個格子。



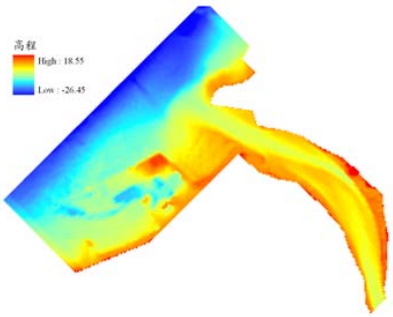
32

二維地形變遷模式

包含臺北港港區之計算區域數值高程



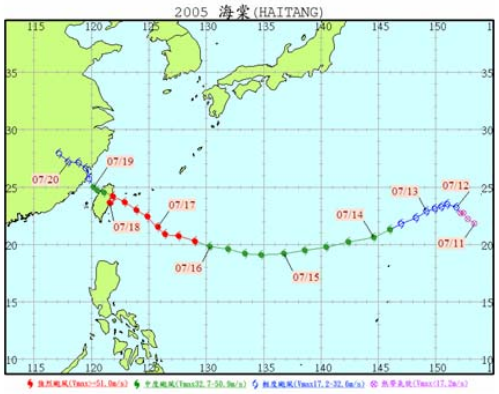
不包含臺北港港區之計算區域數值高程



33

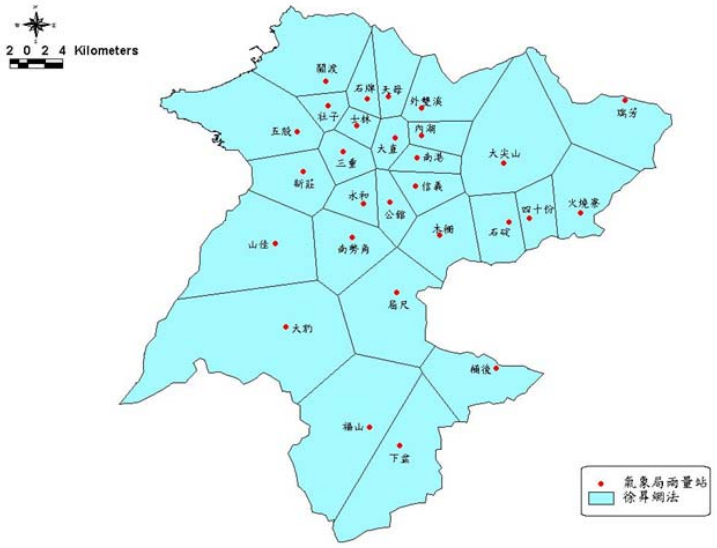
颱風基本資料

0	時間	波浪(Hs)	對應(Ts)	波向	時間	海流	當時流向
艾利	8月24日 20:00	6.11	7.3	N	8月25日 10:00	74	WSW
海棠	7月18日 07:00	4.01	6.3	NNE	7月18日 06:00	31.5	NE



34

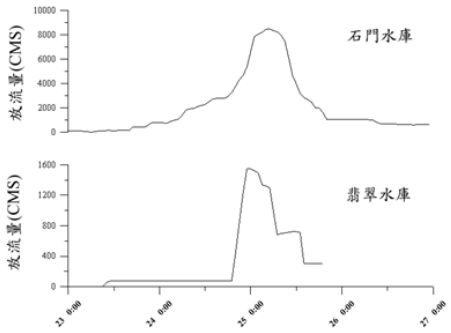
邊界條件—雨量邊界條件

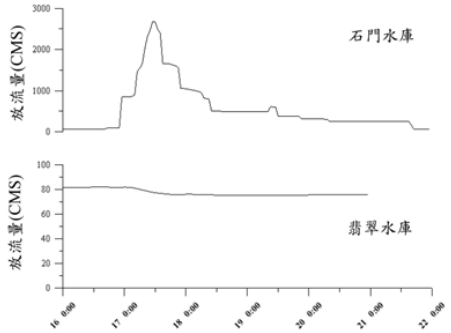


35

邊界條件—水庫放流邊界條件

- 艾利颱風
- 海棠颱風

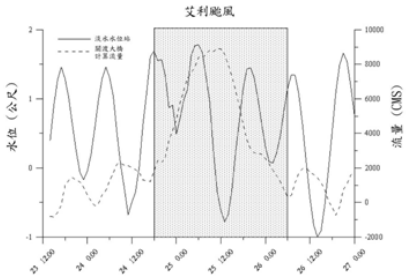


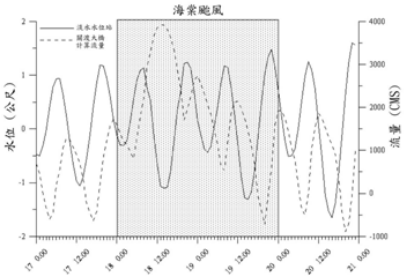


36

邊界條件—流量及水位邊界條件

- 艾利颱風
- 海棠颱風





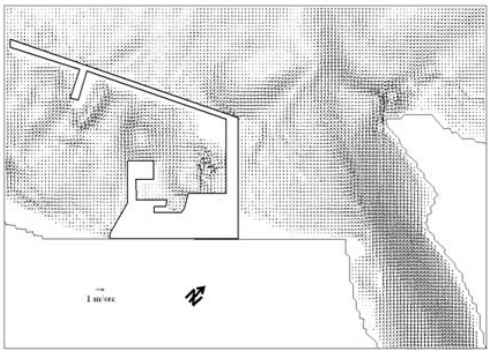
37

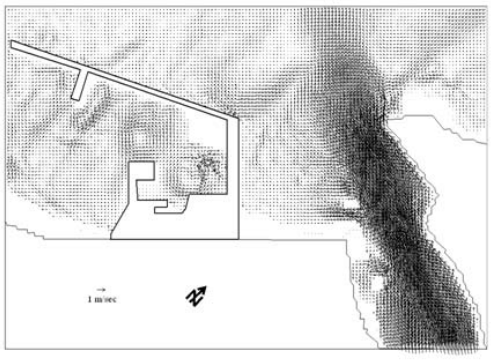
邊界條件—泥砂邊界條件

- 淡水河平時懸浮載濃度約在1000ppm以下，在山區豪雨或颱風季節時浮載濃度可能高達20000至40000ppm。(「台北港（92-94年）海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業」計畫之93年度報告)
- 「台北港（92-94年）海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷監測作業」計畫之94年度報告，各颱風時期之浮載濃度約為4~6g/L(4000~6000g/M^3)。
- 本計畫以6000ppm及10000ppm兩種浮載濃度計算艾利颱風懸浮載濃度分佈情形。

38

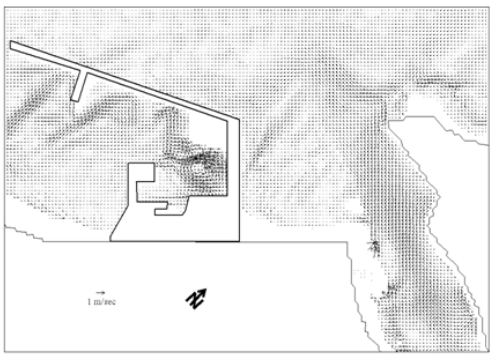
河口流況-艾利颱風

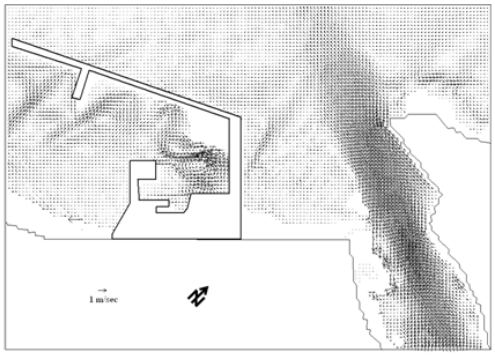




39

河口流況-海棠颱風

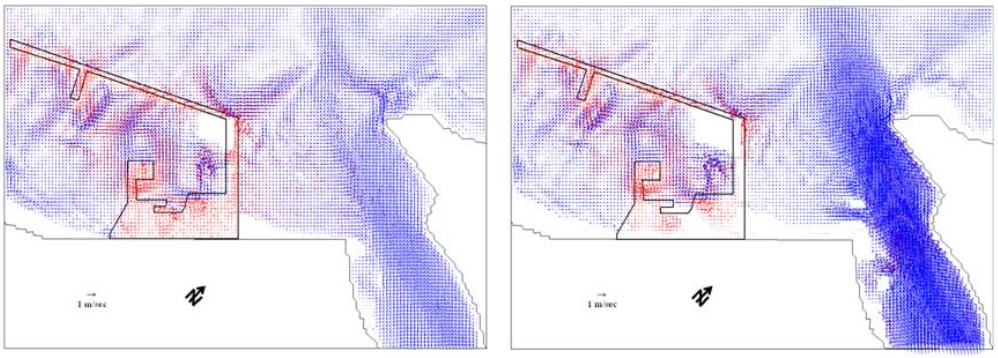




40

有無臺北港對河口流況之影響

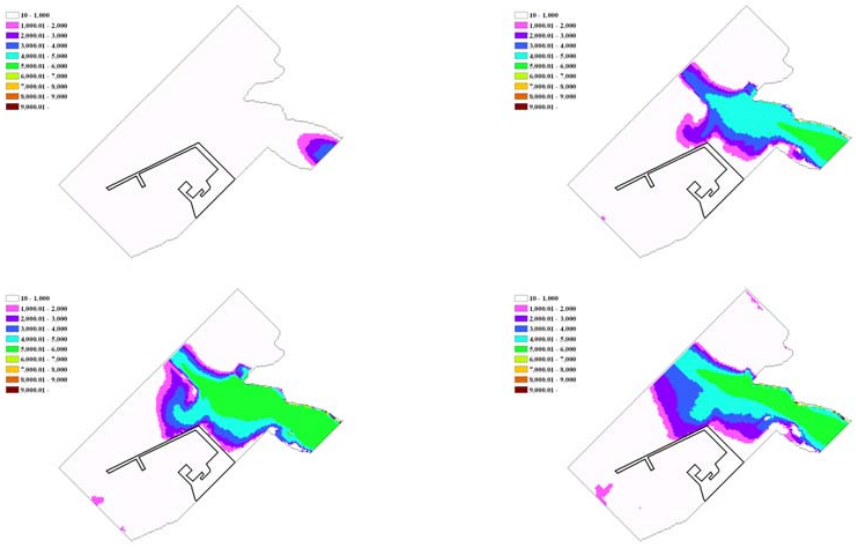
-以艾利颱風為例



41

艾利颱風期懸浮載濃度分佈

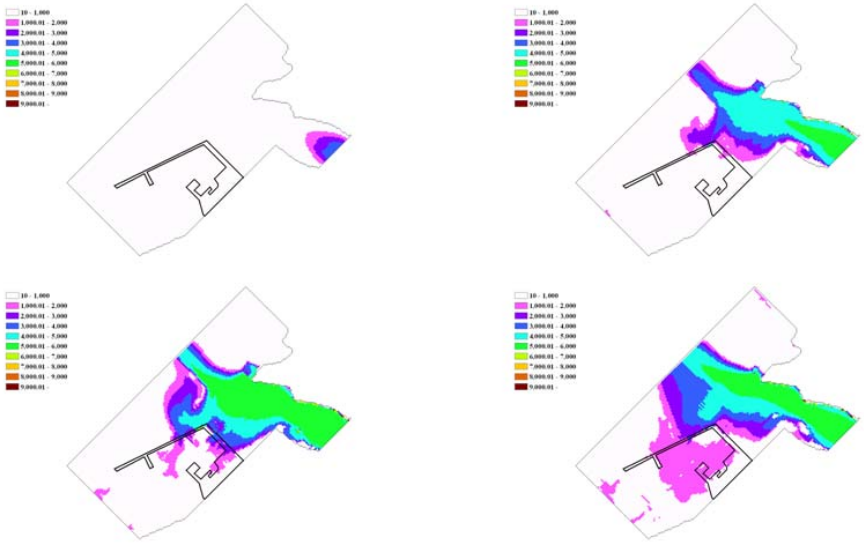
上游輸入懸浮載濃度C=6000ppm，有臺北港地形高程



42

艾利颱風期懸浮載濃度分佈

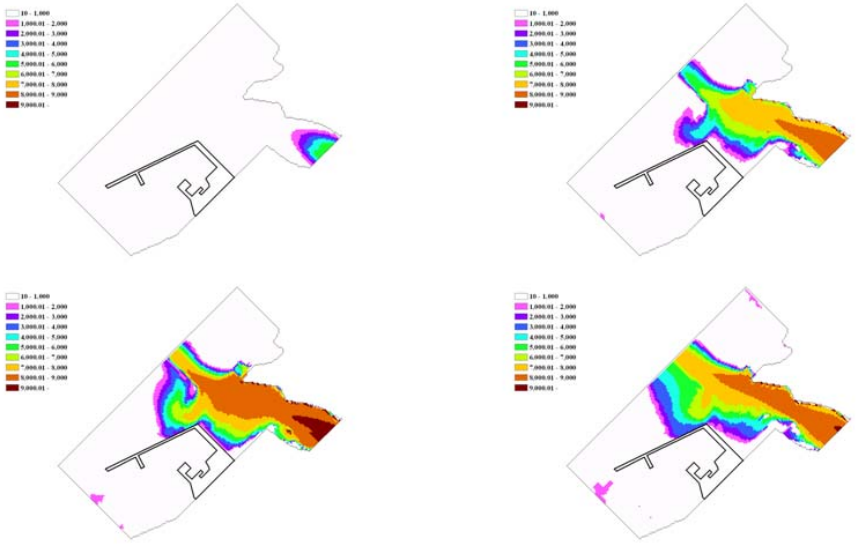
上游輸入懸浮載濃度C=6000ppm，無臺北港地形高程



43

艾利颱風期懸浮載濃度分佈

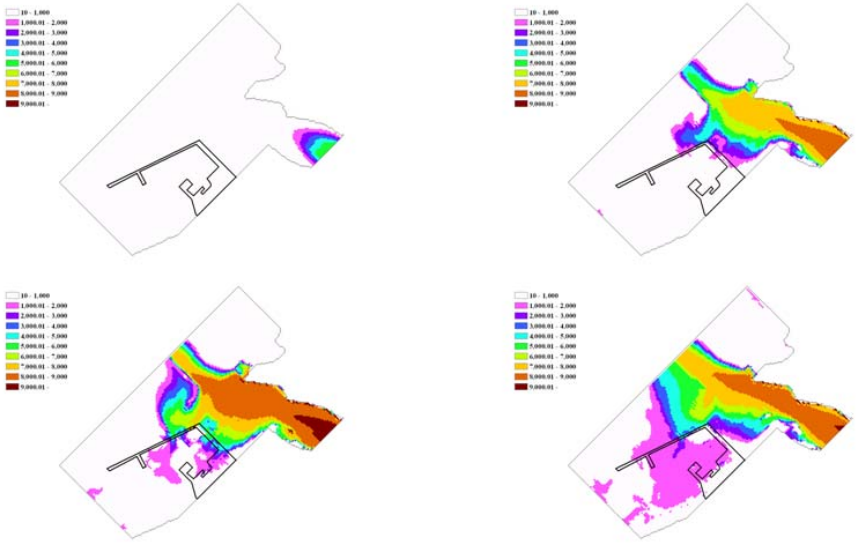
上游輸入懸浮載濃度C=10000ppm，有臺北港地形高程



44

艾利颱風期懸浮載濃度分佈

上游輸入懸浮載濃度C=6000ppm，無臺北港地形高程



45

結論

- 利用數值地形資料劃分研究區域之數值高程、坡度、坡向及格網，應用地文性土壤沖淤模式配合集水區降雨量及水庫放流量，可計算出二維地形變遷模式之上游流量邊界條件。
- 二維地形變遷模式應用於模擬驗証八掌溪道將圳上游河床及二仁溪河口鄰近海岸，經由演算值與觀測值的比較，顯示模式具有良好之模擬能力。

46

結論

- 二維地形變遷模式模擬淡水河河口主深槽流況，流速較快流向也較一致，水流在經過淡水河河口後(淡水第二漁港)，水流方向會向南偏移，偏移位置與淡水第二漁港的距離則隨流速增大而向外遞增。
- 二維地形變遷模式模擬懸浮載分佈，模擬結果顯示懸浮載會先沿主深槽輸運，經過挖子尾保護區後向臺北港北防波堤分散，出了淡水第二漁後，受輻射應力影響，會沿主深槽河道方向向外延伸輸運。

47

結論

- 臺北港對輸砂之影響：
  - 二維地形變遷模式模擬有無臺北港港區高程對臺北港鄰近海域及淡水河河口流況之影響，模擬結果顯示淡水河河口之流況並無明顯之差異存在，而在臺北港港區之流況則因臺北港港區之阻檔而有明顯之不同。
  - 有臺北港港區高程阻擋的條件下，懸浮載在經過挖子尾保護區後，從主深槽分散至北防波堤，再沿北防波堤往外海輸運
  - 無臺北港港區高程，則懸浮載會直接往南邊輸運。
  - 整體而言，懸浮載濃度的分佈以無臺北港港區高程較為均勻，而有臺北港港區高程阻擋下，懸浮載較集中在主深槽河道向外延伸之方向上。

48

結論

- 懸浮載濃度C=6000ppm及C=10000ppm在有臺北港港區高程的條件下，其計算結果之分佈範圍約相同。而在無臺北港港區高程的條件下，懸浮載濃度C=10000ppm之分佈範圍較廣。

49

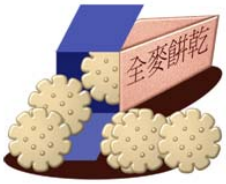
建議

- 本計畫採用RCPWAVE計算臺北港海域波高、波向及週波數，外海邊條件為淡水水位站水位資料，建議可與其它相關計畫合作，提供臺北港海域波高、波向、週波數及外海邊條件，做為二維地形變遷模式計算之參考。
- 本計畫採用之外海邊條件均為淡水水位站資料，所以沒有反應潮流之變化，建議引用其它計畫的研究成果，加入海域潮流的變化。

50

建議

- 本計畫在計算無臺北港狀況時，臺北港港區數值高程採用94年10月之測量資料，可能直接影響水流流經此區域之流速及流向，建議可適度調整高程資料或引用臺北港建置前之數值高程，方能比較臺北港對淡水河輸砂之影響。
- 本計畫採用Meyer-Peter and Muller輸砂公式，建議可採用不同之輸砂公式進行比較，選擇較適合臺北港海域及淡水河河口之輸砂公式。

51

簡報完畢