

# 華江濕地清疏浚挖之二維水理與輸砂 模擬

## The Two Dimensional Hydraulic and Sediment Transport Simulation of Dredging Scenarios in Huajiang Wetland

張 向 寬\*

HSIANG-KUAN CHANG

國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心  
副研究員

李 豐 佐

FONG-ZUO LEE

國立中興大學土木工程學系  
助理教授

程 于 芬

YU-FEN CHENG

國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心  
計畫研究專員

### ABSTRACT

In recent years, rapid development and extensive construction of structures have taken place along the riverside parks on both sides of the Tamsui River Basin, resulting in an increased burden on flood control for the Tamsui River. In addition, the elevation measurement data of river sections over the years reveals the gradual regression of riverbed elevations of the Tamsui River and Xindian River to levels observed in 1969, the year when open sand mining began. (Water Resources Agency, 2021). This shows that the Tamsui River and Xindian River channels silt-up progressively and the high riverbanks in recent years. Among them, the Huajiang Wetland has experienced a significant increase in territorialization. Prolonged siltation has resulted in the silted up original inland channel and the growth of tall trees in the area, which significantly deteriorated the quality of the wild duck habitat in the Huajiang Wetland. The siltation of channels and wetlands will affect the river's flood conveyance capacity and increase the flood control pressure in the upper reaches of Xindian River. Therefore, this study focuses on planning wetland restoration and improving the high riverbank at the confluence of the Tamsui River and Xindian River, as well as their surrounding environment. This study aims to reduce the risk of river flood control, carry out ecological conservation and environmental restoration. By using the Sedimentation and River Hydraulics-Two-Dimension (SRH-2D) developed by the U.S. Bureau of Reclamation for two-dimensional hydraulic and sediment transport simulation, we will analyze the flood level of Xindian River in the flood control plan discharge, the two-dimensional flow distribution and sediment accumulation of each dredging scenarios in Huajiang Wetland. The study will serve as an important reference for the planning and management of high riverbank dredging, flood control and wetland restoration in future.

**Keywords:** wetland restoration and improvement, risk of river flood control, two-dimensional hydraulic and sediment transport simulation, sediment accumulation.

### 摘 要

近年來淡水河流域河道兩岸高灘地河濱公園陸續闢建，急速的人為開發與構造物興

\* 通訊作者，國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心副研究員，106台北市大安區羅斯福路四段1號，[akuanchang@gmail.com](mailto:akuanchang@gmail.com)

建，已使淡水河的防洪負擔加劇，另外依據歷年河川大斷面高程測量資料，淡水河與新店溪河床高程已逐漸回淤至1969年(開放採砂第一年)的河床高程(水利署，2021)，顯示近年來淡水河與新店溪河道及高灘地有逐年淤積的趨勢，其中華江濕地陸域化態勢已相當嚴重，經過長年的淤積不僅原有內河道已淤積無法通水，區域內亦生長許多高大之樹木，造成華江濕地雁鴨棲地品質惡化相當明顯；而河道及濕地淤積會影響河川的通洪能力，並增加新店溪上游的防洪壓力，因此本研究針對新店溪淡水河匯流口高灘地及周邊環境進行濕地整治及改善等規劃工作，以降低河川防洪風險、生態保育與環境復育等為目標，並利用美國墾務局所發展河川水理動床數值模式(Sedimentation and River Hydraulics-Two-Dimension, SRH-2D)進行二維水理與輸砂模擬，分析各改善方案在防洪計畫流量之新店溪洪水位、濕地二維流場與底床泥砂回淤情形，以作為未來高灘地疏濬防洪與溼地復育規劃管理之重要參考。

**關鍵詞：**濕地整治及改善，河川防洪風險，二維水理與輸砂模擬，底床泥砂回淤。

## 一、前言

淡水河流域之主要支流大漢溪、新店溪及基隆河沖積出富庶的臺北盆地平原，由於地形特殊且洪水量大，而臺北橋及關渡隘口段，河道行水區較為狹窄，洪水無法即時暢洩，故颱風時期，兩岸低窪地區經常氾濫成災。為保護區內數百萬人民生命財產安全，促進地區發展，政府自1980年起，即開始進行臺北地區防洪計畫之相關防洪工程建設，對淡水河水系沿岸之河川防護產生重大之效益，堤後生命財產受到更完善之保護，自然與人文發展已隨之轉變。近幾年來，地方政府逐年逐步在既有安全的防洪架構下，將綿延數十公里的河道兩岸開發成為民眾休閒遊憩的重要場所，而華江濕地之「華江自然公園」過去主要為雁鴨棲地，然而依據空照圖與歷年河川大斷面測量結果顯示，淡水河與新店溪近年河道及高灘地有逐年淤積趨勢，而華江濕地經長年淤積已大範圍陸域化，原有濕地已逐漸消失，使華江濕地雁鴨棲地品質惡化，且淤積之灘地高程升高影響淡水河排洪能力及增加新店溪上游的防洪壓力，因此本研究針對新店溪淡水河匯流口高灘地及周邊環境進行濕地整治及改善等規劃工作，以更進一步朝防洪疏濬、生態棲地保留及復育等方向邁進。

本研究參考前人於河道流況及河床沖淤變化之相關研究成果，Shimizu and Itakura (1989)創新應用二維數值模式結合泥砂傳輸方程式演算河床沖淤變化，劉宗和(2006)應用二維沖淤模式進行攔河堰庫區底床沖淤及溢洪道排砂模擬演算，

評估最佳排砂效率之溢洪道；廖仲達等(2011)創新研發具軟岩沖刷機制之水平二維動床模式探討河道底床沖淤變化；李豐佐(2021)以二維數值模式(SRH-2D)建置新店溪碧潭堰上下游河段模型，模擬與探討不同攔河堰型式對於河道防洪及輸砂之影響；李豐佐(2022)針對石門水庫清淤排砂策略，探討下游河道泥砂濃度變化、河床淤積模擬與其引起的洪水水位影響。此外，臺北市政府動物保護處(2012，2013)針對華江濕地研析生態特性，運用小水鴨棲地適合度指標，考量河相特性，規劃研擬復育方案，以水理模式進行數值模擬，並以專家問卷計算各評估項目權重，進行綜合評估，建議短中長程棲地復育及管理策略，施上粟(2015)研擬華江溼地棲地復育方案，並結合專家問卷及模糊層級分析法，考量工程成本、減淤成效、工程干擾、棲地適合度、觀賞及環境教育指標，以決定方案優先順序；經濟部水利署北區水資源局(2019，2021)針對淡水河流域之水質、生態及底質條件調查分析、河道粒徑及懸浮質採樣及分析，輔以數值模擬水文事件對生態影響程度與範圍。由過去相關之研究成果得知，華江濕地位於新店溪淡水河匯流口，且接近二重疏洪道入口，其流場與底床輸砂行為複雜，故一維模擬結果無法滿足華江濕地疏濬挖規畫所需水理條件，因此本研究採用平面二維數值模式，提供更為精確之二維平面水位與流場分布與底床輸砂資訊，且由過去研究成果參考華江濕地雁鴨棲息之較佳環境、灘地坡度與高程、濕地水域深度與高程、具植被之島與降低棲地清淤干擾頻率、水理輸砂模式建置方法與水理輸砂公式及參數，

作為後續訂定濕地清疏浚挖改善方案之規劃原則、建置二維水理與輸砂模式與設定參數之參考；為探討各改善方案在防洪計畫流量之新店溪洪水位、濕地二維流場與底床泥砂回淤情形，本研究採用二維水理輸砂數值模式SRH-2D (Lai, 2010)為基礎，結合模式內建之Parker (1990)輸砂公式模擬在不同重現期水文條件下，分析模擬比較各清疏浚挖改善方案之二維水流現象及底床泥砂運移情形，可作為華江濕地清疏浚挖工程規劃設計之參考依據，並符合降低洪水災害與溼地環境復育之目標。

## 二、研究區域概述與清疏浚挖方案

### 2.1 研究區域概述

本研究區域位於淡水河新店溪匯流處，一般泛稱為「華江濕地」，範圍自萬板大橋至中興橋之右岸灘地，灘地大部分屬於「臺北市野雁保護區」範圍，另東北側部分灘地屬於新北市範圍，西南側部分則「華江自然公園」，面積約84.73公頃，相關位置與現況詳圖1及圖2所示。華江濕



圖1 研究位置與範圍圖



圖2 研究位置現況鳥瞰圖

地位於淡水河感潮河段且屬淤積段，每日的漲退潮帶來了豐富的營養鹽造就了華江地區豐富的鳥類與其他物種，每年9月至次年4月造訪此地的雁鴨數以千計，指標物種小水鴨最大數量可達鳥類總數90%以上，因此華江濕地最早於民國72年(1983)劃設為「臺北市中興橋、華江橋候鳥生態保育區」範圍約70公頃，後於民國83年(1994)擴大劃設更名為「臺北市中興橋、華中橋野生動物保護區」範圍約200公頃，而現行「臺北市野雁保護區」民國86年(1997)劃設完成，北起中興橋，南至永福橋，東以萬華區河濱公園側低水護岸，西至雙北縣市界，範圍約245公頃，沿線亦包含龍山、雙園、華中、馬場町、中正、古亭等河濱公園，是一個兼具防洪、生態、遊憩的重要廊道。近年來，華江濕地淤積與陸域化問題日趨嚴重，除了導致河道斷面縮減與糙度加大而影響防洪安全之外，對於度冬鳥類中陸鳥及鷺科鳥類多樣性逐步攀升，鴨科及鵝科鳥類的趨勢是遞減狀態，對於以雁鴨為名的保護區而言，未來棲地復育必須考量雁鴨的生存空間。另外為提升淡水河水系之河防安全，政府早於民國49年(1960)起即著手進行規劃臺北地區整體防洪計畫，行政院於民國53年(1964)核定「臺北地區防洪治本計畫第1期實施工程」，工程於民國54年7月(1964)完工，歷經長期研究於民國62年由經濟部水資源局統一規劃委員會提出建議方案報奉行政院核定，民國68年(1979)至78年(1989)陸續核定臺北地區防洪第1~3期實施計畫，辦理項目於民國88年(1999)以前全部完成。

根據水利署北區水資源局(2021)針對淡水河河道縱剖面分析成果，民國78年(1989)禁採河砂後，淡水河主流感潮段幾乎所有斷面皆為淤積趨勢，且愈往下游淤積量愈高，其中部分斷面的淤積情況甚至已超越民國58年(1969)之河床高程(如圖3所示)，已造成許多區域的河床或灘地出露，若不進行適當疏濬可能影響河防安全。另外本研究彙整1994年至今在研究範圍關鍵斷面位置如淡水河斷面T28與T31、新店溪斷面H01與H05等歷年橫斷面變化如圖4至圖7，可觀察新店溪及淡水河河道斷面變化之重要趨勢：

1. 新店溪出口段深槽多偏向左岸，且有明顯刷深趨勢，近年已有回淤現象。

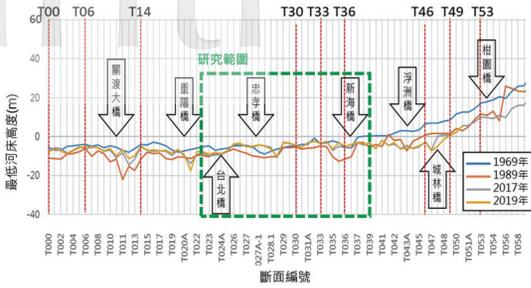


圖3 淡水河縱斷面高程變化圖

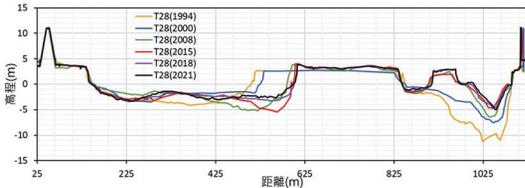


圖4 淡水河T28斷面高程變化圖

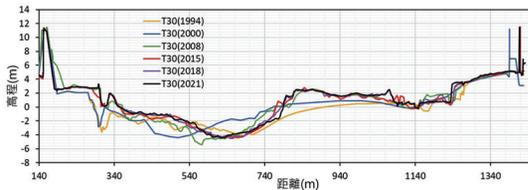


圖5 淡水河T30斷面高程變化圖

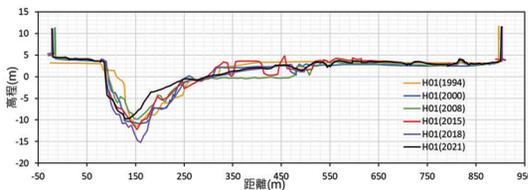


圖6 新店溪H01斷面高程變化圖

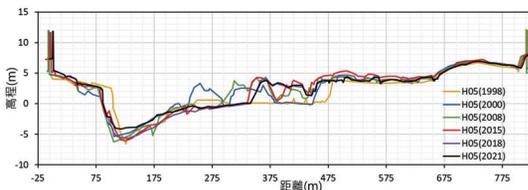


圖7 新店溪H05斷面高程變化圖

2. 新店溪下游段深槽最低點從2018年EL.-15.2m演變至2021年EL.-9.83m，顯示新店溪下游段屬淤積河段。
3. 蘇迪勒颱風(2015年)帶來豐沛的雨量與滾滾泥砂，洪水導致新店溪高灘地、自行車道、運動球場皆被淹沒，洪水漫淹過後，各大斷面

高灘地均有大量泥砂淤積的情況。

4. 大漢溪新店溪匯流口河道及高灘地有逐年淤積現象。
5. 淡水河主河道深槽區則呈現往右岸沖淤偏移之情況。
6. 華江濕地砂洲於2000年時未成形，仍屬泥灘地，至2008年砂洲成形，之後經歷了十多年，砂洲岸線及高程已趨穩定，其潮溝與內河道亦呈沖淤平衡狀況。

## 2.2 清疏浚挖方案

目前華江濕地現況高程約-0.5~4.5公尺，喬木生長旺盛陸域化嚴重，實質灘地面積不大，除了已非雁鴨良好的棲息地之外，亦危害河川防洪安全，因此本研究首先依據生態與防洪需求訂定改善目標，並研擬濕地清疏浚挖改善方案，進行二維水理與輸砂模擬，最後評析各改善方案之洪水位影響、濕地流速變化與底床泥砂回淤情形等，整體研究方法與流程如圖8所示。

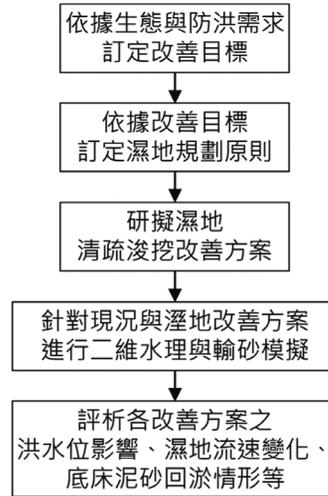


圖8 研究方法與流程圖

本研究針依據生態與防洪需求，對華江溼地進行清疏浚挖方案規劃，主要改善目標如下：

1. 降低水道風險：淡水河河道過度淤積，易造成濕地陸域化而降低生態品質，並增加防洪壓力，而依據經濟部水利署水利規劃試驗所(2021)也提到新店溪中下游淤積導致新店溪及景美溪兩岸洪氾風險增高，故適當疏濬有助於降低溢淹風險。

2. 物種保育與棲地改善：引入活水，增加溶氧量，將陸域化濕地調整為感潮濕地，由於潮汐及上游河流帶來豐富的有機物質，使得許多軟體動物、甲殼類、節肢動物、魚類及底棲生物得以在當地繁衍，藉以營造多元濕地型態。

依據上述之改善目標，訂定規劃原則如下：

1. 灘地面積擴大：擴大灘地面積、營造適合小水鴨之灘地，可提供較佳的棲息環境。
2. 和緩坡度灘地：規劃高程介於EL.0.0m至EL.0.5m之間，可控制水生植物生長的關鍵高程；坡度介於0.7%~1.4%，配合潮汐漲退潮營造較長水際線時間。
3. 水域高程：小水鴨主要於淺水區覓食底棲無脊椎動物，因此其最喜好棲地為高程略高於平均潮位，因此灘地高程控制在小於EL.0.5m。漲潮時灘地、潮溝、潮池皆位於水面下，退潮時水往潮溝方向流動，潮溝與主河道漲退潮原則上同步或略緩，但潮池能維持約50公分以上水深，灘地則在退潮時裸露出來。
4. 具植被之島：於灘地間與淡水河主河道營造具植被之島，提供其他鳥類及漲潮時小水鴨休憩之位置。
5. 棲地干擾頻度降低：新店溪淡水河匯流口屬

主要淤積河段，因此，評估棲地營造之後不易淤積且能維持較長時間不回淤，即可避免每年在野雁保護區進行清疏作業，讓底棲生物棲地免於遭受干擾，使棲地有足夠時間演變成生物喜歡的環境。

依據改善目標與規劃原則，本研究於華江濕地開闢第二河道作為方案主軸，研擬5個改善方案，說明如表1所示，各清疏浚挖方案地形圖如圖9所示。

### 三、水理模擬結果與分析

#### 3.1 模式介紹

二維水理輸砂模式(Sediment and River Hydraulic-Two-Dimension model, SRH-2D)為美國墾務局所發展考量河川系統環境之二維水理模式，可以模擬動床泥砂運移水理模式，常使用在河川之主河道流體計算，含單一或多數流入主流以及水庫流況計算，模式可模擬複雜天然環境之自由液面流、輸砂等機制，同時模式可應用於實驗室或天然河川之定量流、變量流、紊流流場等分析，目前已成功應用於臺灣淡水河、大甲溪及濁水河流域等。SRH-2D模式係由流域

表1 各清疏浚挖方案說明與規劃理念

方案	方案概述	規劃理念
方案1	營造寬90 m~100 m灘地(高程EL.0.0m)。	以營造灘地為主，降低河川糙度，提升流速，達到營造生態棲地及提升防洪能力之目標。
方案2	開闢寬40 m之第二河道(上游高程EL.-2.5m，下游高程EL.-3.5m)。	以開闢河道為主，提升防洪能力與流速，降低洪犯風險。並考量土方量及經費，採河寬40 m作為最小開闢寬度。
方案3	開闢寬80 m之第二河道(上游高程EL.-2.5m，下游高程EL.-3.5m)。	以開闢河道為主，提升防洪能力與流速，降低洪犯風險，採河寬80 m作為最大開闢寬度。
方案4	1. 開闢寬40 m之第二河道(上游高程EL.-2.5m，下游高程EL.-3.5m)。 2. 開闢2條寬25 m潮溝(上游高程為EL.-1.0m，下游高程為EL.-1.5m)。 3. 營造大範圍灘地(高程為EL.0.0m至EL.0.5m)。	生態棲地還原，開闢河道導入河水，以改善現況。開闢河道，提升防洪能力與流速，降低洪犯風險，並考量土方量及經費，採河寬40 m作為最小開闢寬度。營造大範圍感潮多元灘地，降低濕地陸域化程度。
方案5	1. 開闢寬80 m之第二河道(上游高程EL.-2.5m，下游高程EL.-3.5m)。 2. 開闢2條寬25 m潮溝(上游高程為EL.-1.0m，下游高程為EL.-1.5m)。 3. 營造局部灘地(高程為EL.0.0m至EL.0.5m)。	生態棲地還原工程方案，開闢河道導入河水，以改善現況。開闢河道為主，提升防洪能力與流速，降低洪犯風險，採河寬80 m作為開闢寬度。營造局部感潮多元灘地，降低濕地陸域化程度。

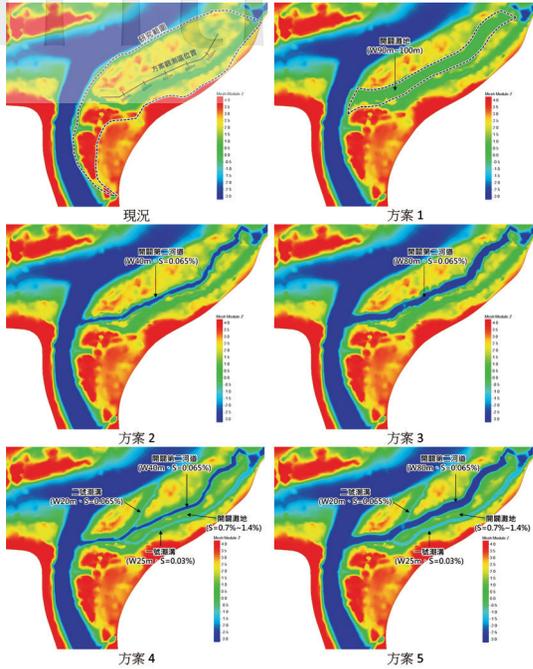


圖9 各清疏浚方案地形圖

水理輸砂模式(Sedimentation and River Hydraulic-Watershed, SRH-W)演進而來，能處理二維動態的波動方程式，即水深方向平均的Venant方程式；就建模能力而言SRH-2D可以與很多現有的模型結合，例如RMA-2 (美軍工兵團，1996)以及MIKE21 (DHI軟體，1996)，SRH-2D在格網的要求上相當有彈性，結構網格、非結構網格及混合網格皆可使用。SRH-2D模式常見的適用範圍：

- 感潮段河川之主河道流體計算，包含單一或多數流入主流支。
- 水庫流況計算。
- 洪水溢淹圖繪製。
- 水工結構物附近之水理計算。

SRH-2D模式所使用的水流控制方程式為二維水平波動方程式(St. Venant equation)，如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial hUU}{\partial x} + \frac{\partial hVU}{\partial y} &= \frac{\partial hT_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + D_{xx} + D_{xy} \\ \frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial hUV}{\partial x} + \frac{\partial hVV}{\partial y} &= \frac{\partial hT_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + D_{yx} + D_{yy} \end{aligned}$$

其中， $t$ 為時間， $h$ 為水深， $U$ 和 $V$ 分別為 $x$ 及 $y$ 方向平均流速之分量， $g$ 是重力加速度， $D_{xy}$ ， $D_{yx}$ ， $D_{yy}$ 為水深平均之擴散項， $\rho$ 為密度， $z$ 為底床高程。 $\tau_{bx}$ ， $\tau_{by}$ 為底床剪應力。其中紊流應力( $T_{xy}$ ， $T_{yx}$ ， $T_{yy}$ )主要採用Boussinesq方程式：

$$\begin{aligned} T_{xx} &= 2(v+v_t) \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3}k, \\ T_{xy} &= 2(v+v_t) \left( \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial V}{\partial x} \right), \\ T_{yy} &= 2(v+v_t) \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3}k \end{aligned}$$

其中 $v$ 是運動黏滯度(kinematic viscosity)， $v_t$ 為紊流渦流黏滯度(turbulent eddy viscosity)， $k$ 為紊流動能。

河道動床沖淤之一般沖刷主要源自於懸移質與推移質之河床粒料傳輸，為適切模擬本研究區清疏浚挖前後之底床地形變動影響，且能包含粗粒料與細粒料之運移情形，因此本研究於SRH-2D二維數值模式採用Parker之推移質公式(1990)，進行動床模擬以及一般沖刷深度之計算，SRH-2D動床模擬中對於泥砂粒徑為第 $k$ 類之傳輸方程式表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{q_{t,k}^* g(s-1)}{(\tau_b/\rho)^{1.5}} &= \frac{Y_g [4\pi(d_k/2)^3/3]/\rho_o g(s-1)}{(\tau_b/\rho)^{1.5}} = P_{ak} G(\phi_k); \\ \phi_i &= \frac{\theta_k}{\theta_r} \left( \frac{d_k}{d_{50}} \right)^\alpha \\ G &= \begin{cases} 11.933(1-0.853/\phi_i)^{4.5} & \phi > 1.59 \\ 0.00218 \exp[14.2(\phi_i-1)-9.28(\phi_i-1)^2] & 1.0 \leq \phi \leq 1.59 \\ 0.00218\phi_i^{14.2} & \phi < 1.0 \end{cases} \end{aligned}$$

$q_{t,k}^*$ 為單位寬輸砂量； $g$ 為重力加速度； $s = \rho_s/\rho - 1$ ； $\rho$ 與 $\rho_s$ 為水與泥砂之密度； $Y_g$ 為單位寬一般沖刷深度； $\rho_o$ 為土壤孔隙率； $P_{ak}$ 為 $k$ 類泥砂粒徑在床面之容積率； $\tau_b$ 為河床剪應力； $\theta_k = \tau_b/[\rho g(s-1)d_k]$ 代表 $k$ 類泥砂之Shield參數； $\theta_r$ 為Shield參數，值範圍為0.03~0.08； $d_k$ 為 $k$ 類泥砂直徑； $d_{50}$ 為底床混合料粒之中值粒徑； $\alpha$ 為曝露因數，值範圍為0.2~0.9；本研究 $\theta_r$ 及 $\alpha$ 值分別採用0.04和0.65。

### 3.2 地文資料與邊界條件說明

二維模式模擬範圍針對新店溪與淡水河匯流

口局部地區，上游至大漢溪新海橋、新店溪永福橋，下游則至淡水河臺北橋(模擬範圍如圖10所示)，為了解河道大斷面間行水區之高灘地及水下地形變化，以利水理輸砂數值模式建置更接近真實之地形網格資料，因此蒐集相關細部地形測量資料、最新地形圖資料及相關工程竣工圖，包括110年水利署淡水河流域河道大斷面資料、110年臺北市都發局110年版1/1000地形圖、111年水利署二重疏洪道現地調查及數值水理模型建置工作地形測量資料，模式河道底床地形高程分布如圖10所示。

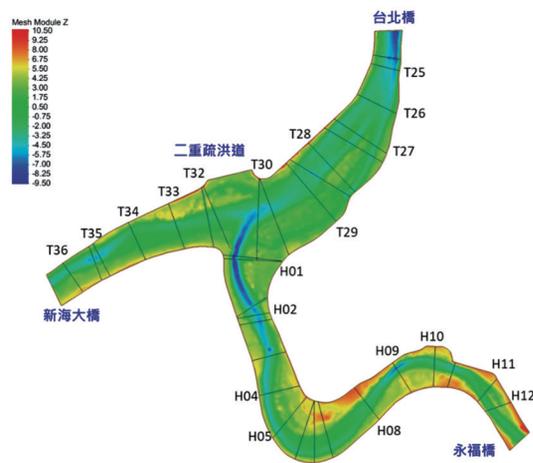


圖10 模擬範圍與模式地形圖

本研究根據經濟部水利署北區水資源局(2021)之淡水河底床質粒徑調查資料可知，2020年淡水河及大漢溪泥砂粒徑 $d_{50}$ 大部分介於0.1至

0.5 mm之間、 $d_{90}$ 約為0.7至5 mm之間，新店溪泥砂粒徑 $d_{50}$ 介於1.28至1.35 mm之間、 $d_{90}$ 約為7 mm左右，其中淡水河T30斷面位置之泥砂平均粒徑為1.14 (mm)、中值粒徑為0.72 (mm)，新店溪H05斷面位置之泥砂平均粒徑為1.72 (mm)、中值粒徑為1.35 (mm)。另外依據經濟部水利署北區水資源局(2019)「107-108年度石門水庫排洪排砂對下游河道生態及沖淤影響研究(1/2)」計畫中提及，民國81年至105年(1992-2016)水文年報中流量與輸砂量實測資料進行流量—輸砂量率定曲線分析，其中大漢溪三鶯橋站之流量與輸砂量率定關係為 $Q_s = 7.61Q^{1.12}$ ，而新店溪秀朗站之流量與輸砂量率定關係為 $Q_s = 4.59Q^{1.16}$ ，其中 $Q$ 為流量(cms)， $Q_s$ 為輸砂量(ton/day)。

目前淡水河防洪標準為重現期200年，因淡水河臺北橋隘口沿岸房屋密集無法拓寬，因此開關二重疏洪道，以分洪方法疏解新店溪及大漢溪之洪流，然而自臺北地區防洪計畫完成後，因諸多自然演變及人為改變因素，致二重疏洪道分洪能力恐有下降之虞，進而影響整體防洪功能。依據十河局目前公告之淡水河200年頻率洪峰流量，其中新店溪為10,300秒立方公尺，大漢溪為13,200秒立方公尺，另外二重疏洪道目前通洪能力部分，參考經濟部水利署第十河川局(2012)之各重現期流量資料，另外經濟部水利署水利規劃試驗所(2021)亦有重現期200年之流量資料。各重現期流量水位邊界條件如表2所示。

表2 本研究水理模擬採用之各重現期流量水位邊界條件

重現期	流量(cms)			臺北橋水位 (公尺)	備註
	大漢溪	新店溪	疏洪道		
2年	2,280	2,800	-	2.69	資料來源1
5年	4,600	4,800	650	4.62	資料來源1
10年	6,500	6,300	1,700	5.43	資料來源1
20年	8,100	7,500	2,500	6.14	資料來源1
50年	10,400	9,300	4,100	7.10	資料來源1
100年	11,500	10,200	5,300	7.64	資料來源1
200年(河口水位2.3 m)	13,200	10,300	6,300	8.11	資料來源1
200年(河口水位3.05 m)	13,200	10,300	6,500	8.58	資料來源2

資料來源：

1. 經濟部水利署第十河川局，民國101年(2012)，「二重疏洪道通洪能力檢討總報告書」。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國110年(2021)，「二重疏洪道疏洪能力改善或維持之策略措施數值模擬及水工模型試驗成果」。

### 3.3 模式檢定驗證

#### 3.3.1 二維水理檢定驗證

模式率定之主要工作為決定一組合理之參數，以供模式進行後續各方案之水理分析，首先根據最新地形資料、植生與河床質等資料，參考河道與灘地之粗糙係數曼寧n值建議值(周文德，1956)，再輸入洪水事件之流量，與現場實測水位進行比較，依地貌特性與模擬水位結果調整不同土地利用區域對應之粗糙度值，模式中河道與灘地之粗糙係數曼寧n值設定值分布如圖11所示；其中主河道粗糙係數曼寧n值採用0.019~0.022，一般高灘地粗糙係數曼寧n值採用0.030~0.033，稀疏灌木及喬木、濃密雜草之高灘地採用0.045~0.070，樹木林立夾雜些許灌木叢之高灘地採用0.09，濃密樹木林立之高灘地採用0.12。

檢定驗證事件採用民國110年(2021)之烟花颱風與璨樹颱風，模式分別輸入上下游之流量與水位邊界條件(如表3所示)，模擬之水位分布如圖12所示，檢定驗證洪水位成果如表4所示，

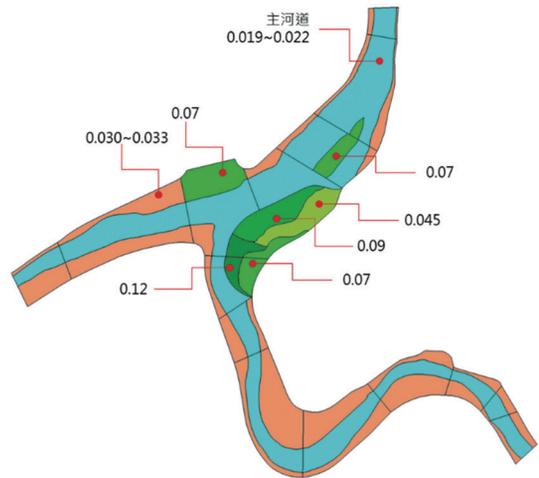


圖11 模式底床粗糙係數曼寧n值設定值分布範圍

兩場颱風之模擬水位與觀測水位誤差均在合理範圍，因110年之颱風事件流量較小且無洪水經由二重疏洪道分洪，因此再挑選新店溪流量較大之104年蘇迪勒颱風進行洪水位模擬之模式驗證，瞭解在大型洪水事件下模擬範圍之水位變化趨勢，蘇迪勒颱風之模式驗證洪水位成果如表4所示，因驗證之颱風事件發生於不同年份，乃計

表3 模式檢定驗證採用事件之邊界條件

時間	事件名稱	大漢溪流量(cms)	新店溪流量(cms)	台北橋水位(m)
110/7/21	烟花颱風	2,798	1,950	2.63
110/9/10	璨樹颱風	545	748	2.24
104/8/8	蘇迪勒颱風	7,954	6,946	5.17

資料來源：經濟部水利署第十河川局

表4 各颱風事件模式水位檢定驗證結果

水位站	觀測水位(m)	模擬水位(m)	水位誤差(m)
	110/7/21 烟花颱風		
入口堰	3.50	3.50	0.00
中正橋	4.33	4.30	-0.03
110/9/10 璨樹颱風			
入口堰	2.45	2.42	-0.03
中正橋	(2.69) <sup>註1</sup>	2.72	0.03
104/8/8 蘇迪勒颱風			
雙園抽水站(調整水位)	6.91 (6.85) <sup>註2</sup>	7.05	0.20
中正橋(調整水位)	8.60 (8.16) <sup>註2</sup>	8.20	0.04

註：1. 中正橋水位站無水位紀錄，依據經濟部水利署十河局模式估算。

2. 調整水位：計算發生颱風事件該年度洪水位(原始水位)之斷面通水面積相對應於目前模式年度地形斷面之相同通水面積之水位值。

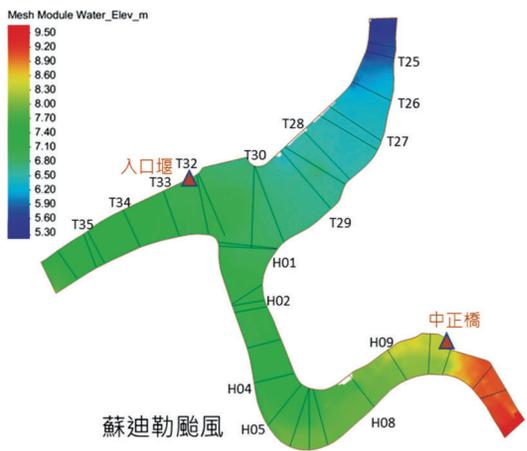
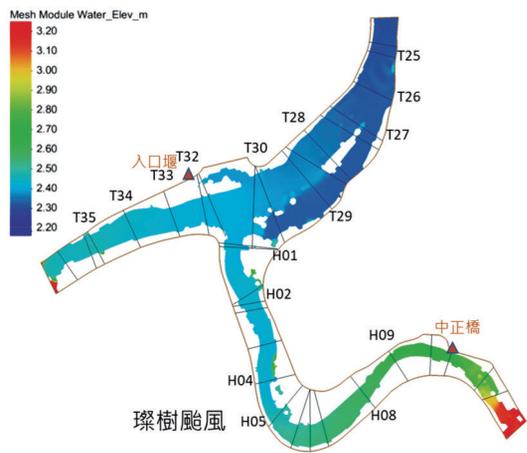
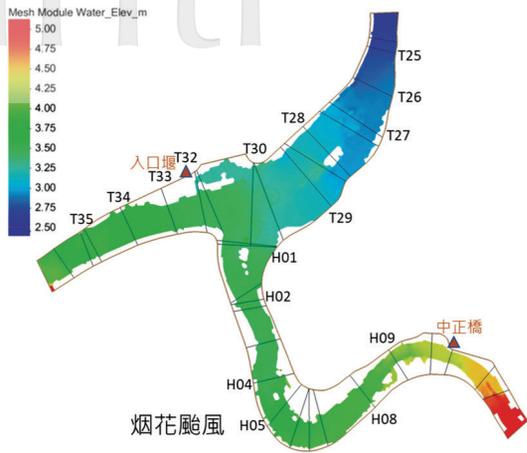


圖12 各颱風事件模擬水位分布圖

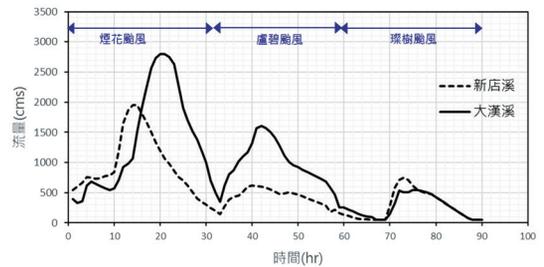
算發生颱洪事件該年度洪水位(原始水位)之斷面通水面積相對應於目前模式年度地形斷面之相同通水面積之水位值(調整水位)，誤差在合理範圍內。

### 3.3.2 二維底床輸砂檢定驗證

為了解新店溪與淡水河匯流口華江濕地之各改善方案之底床沖淤情形，故進行SRH-2D二維底床輸砂模擬，採用民國110年(2021)煙花、盧碧與燦樹颱風三場颱風進行斷面高程變化之檢驗工作，模式網格高程採用民國109年(2020)之河道大斷面資料，依據颱風時間發生順序連續輸入上游大漢溪與新店溪邊界流量(如圖13所示)及下游臺北橋邊界水位(如圖14所示)，其中底床粗糙係數如前節內容所述，其他二維底床沖淤模擬之參數設定如下：

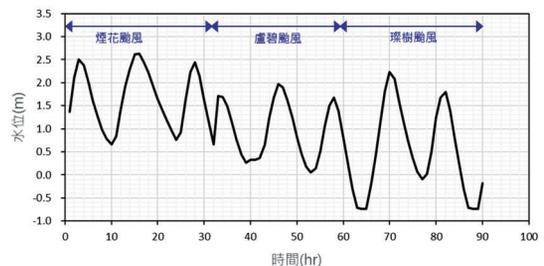
1. 泥砂比重：2.65。
2. 底床粒徑分布與上游輸砂量：根據3.2節所述實測資料。
3. 河道沖淤之一般沖刷公式：Parker之推移質公式(1990)。
4. 底床調適長度：1,000公尺。
5. 主動層厚度：0.25公尺。

由民國110年(2021)煙花、盧碧與燦樹颱風三場颱風之底床沖淤模擬結果，分別繪出匯流



資料來源：經濟部水利署第十河川局

圖13 2021年煙花、盧碧與燦樹颱風之新店溪與大漢溪流量歷線



資料來源：經濟部水利署第十河川局

圖14 2021年煙花、盧碧與燦樹颱風之台北橋水位歷線

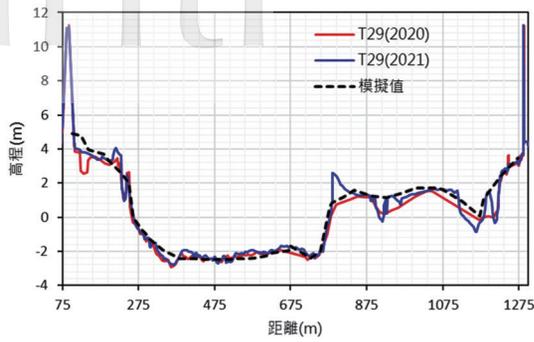


圖 15 淡水河斷面編號T029之底床檢定結果

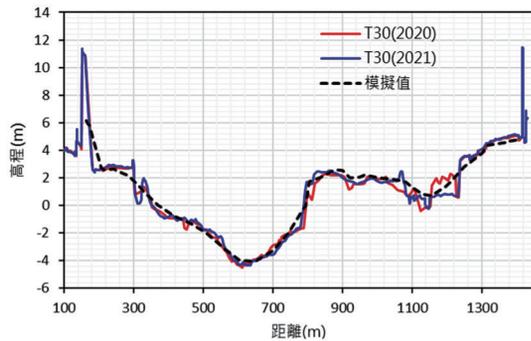


圖 16 淡水河斷面編號T030之底床檢定結果

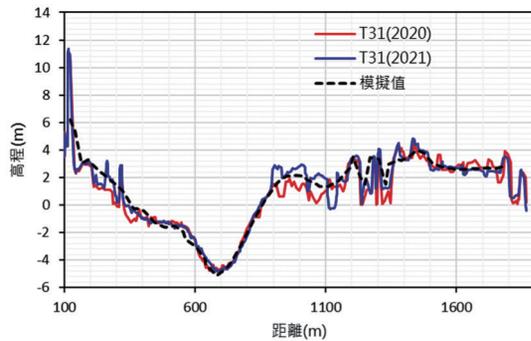


圖 17 淡水河斷面編號T031之底床檢定結果

口華江濕地附近斷面編號T029、編號T30與編號T31之底床高程變化如圖15至圖17所示，由大斷面高程實測值可知，斷面主深槽地形在2020及2021年間之變化不明顯，主要在右岸高灘地大都有淤積現象，而模式能適切的反應其沖淤趨勢，在主深槽之底床沖淤模擬同樣沒有明顯地沖淤變化，而模式在高灘地亦有淤積現象，主要為尖峰流量時洪水曾上灘，且此區域高灘地之流速不高，因此被帶上灘之細顆粒泥砂落淤在高灘地上；由模擬結果顯示，本研究二維水理底床沖淤

模式能適切的反應新店溪與淡水河匯流口華江濕地現況之沖淤行為。

### 3.4 濕地清疏浚挖之水理模擬

本研究共規劃五組新店溪與淡水河匯流口華江濕地清疏浚挖改善方案(方案1至方案5)，各方案地形高程分布如圖9所示，首先針對各重現期流量進行模擬，其模擬結果之水位分布如圖18所示。接著模式配合各方案預計清疏調整粗糙係數曼寧n值，新生灘地因保留部分喬木，n值由0.09調降為0.08，華江大橋上下游因喬木疏伐，僅保留高莖植物，n值由0.12調降為0.06。為了解改善方案對新店溪上游水位影響，以重現期200年計畫流量且河口水位為3.05公尺進行水理模擬，表5為各方案在重現期200年之模擬水位，由模擬

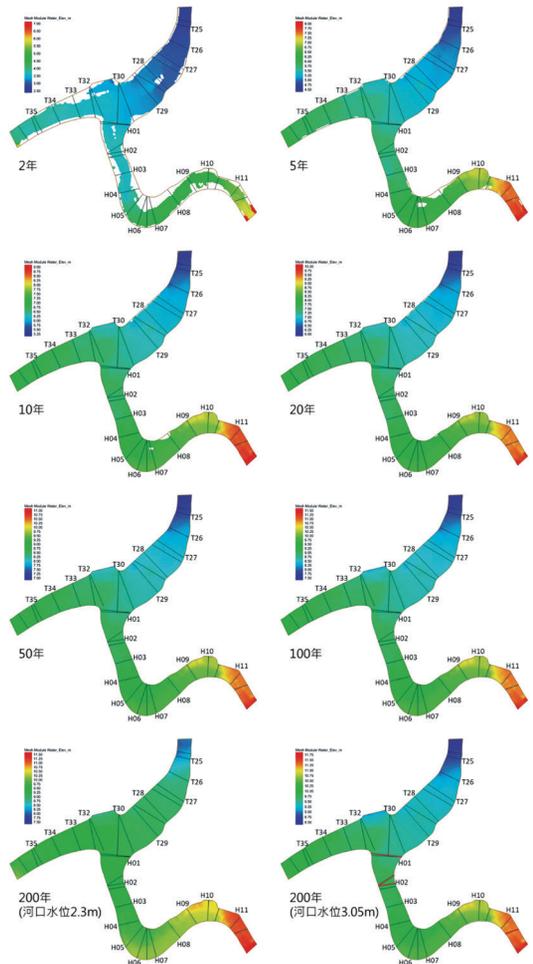


圖 18 各重現期現況水位分布圖

表5 各方案地形之重現期200年水位(河口水位為3.05 m)

斷面編號	現況水位	方案1水位(m)	方案2水位(m)	方案3水位(m)	方案4水位(m)	方案5水位(m)	方案1差值(cm)	方案2差值(cm)	方案3差值(cm)	方案4差值(cm)	方案5差值(cm)
T026	9.088	9.088	9.088	9.088	9.088	9.088	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T027	9.266	9.267	9.268	9.268	9.268	9.269	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
T027A	9.287	9.289	9.289	9.290	9.290	9.291	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
T028	9.349	9.352	9.353	9.354	9.354	9.355	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6
T028A	9.392	9.396	9.397	9.399	9.399	9.401	0.4	0.5	0.7	0.7	0.9
T029	9.370	9.391	9.392	9.395	9.394	9.398	2.1	2.2	2.5	2.4	2.8
T030	9.482	9.499	9.500	9.499	9.499	9.498	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6
H01	9.578	9.570	9.569	9.566	9.564	9.560	-0.8	-0.9	-1.2	-1.4	-1.8
H01A	9.571	9.564	9.563	9.559	9.558	9.554	-0.7	-0.8	-1.2	-1.3	-1.7
H01B	9.761	9.705	9.703	9.700	9.698	9.694	-5.6	-5.8	-6.1	-6.3	-6.7
H02	9.763	9.710	9.708	9.704	9.703	9.699	-5.3	-5.5	-5.9	-6.0	-6.4
H02A	9.767	9.714	9.713	9.709	9.708	9.704	-5.3	-5.4	-5.8	-5.9	-6.3
H02B	9.793	9.740	9.739	9.735	9.734	9.730	-5.3	-5.4	-5.8	-5.9	-6.3
H03	9.793	9.740	9.739	9.735	9.734	9.730	-5.3	-5.4	-5.8	-5.9	-6.3
H04	9.982	9.933	9.931	9.928	9.927	9.923	-4.9	-5.1	-5.4	-5.5	-5.9
H05	10.157	10.110	10.109	10.105	10.104	10.101	-4.7	-4.8	-5.2	-5.3	-5.6
H06	10.232	10.186	10.185	10.182	10.181	10.177	-4.6	-4.7	-5.0	-5.1	-5.5
H06A	10.213	10.167	10.166	10.163	10.162	10.159	-4.6	-4.7	-5.0	-5.1	-5.4
H07	10.243	10.198	10.197	10.194	10.193	10.189	-4.5	-4.6	-4.9	-5.0	-5.4
H08	10.368	10.325	10.324	10.321	10.320	10.316	-4.3	-4.4	-4.7	-4.8	-5.2
H09	10.566	10.528	10.527	10.524	10.523	10.520	-3.8	-3.9	-4.2	-4.3	-4.6
H10	10.654	10.620	10.619	10.616	10.616	10.613	-3.4	-3.5	-3.8	-3.8	-4.1
H10A	10.757	10.729	10.728	10.726	10.725	10.722	-2.8	-2.9	-3.1	-3.2	-3.5
H11	11.251	11.237	11.236	11.234	11.233	11.231	-1.4	-1.5	-1.7	-1.8	-2.0
H12	11.258	11.249	11.248	11.246	11.246	11.243	-0.9	-1.0	-1.2	-1.2	-1.5
H13	11.651	11.651	11.651	11.649	11.649	11.647	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.4

結果顯示，於新店溪斷面H01B水位下降最多，方案1下降5.6公分，方案2下降5.8公分，方案3下降6.1公分，方案4下降6.3公分，方案5下降6.7公分，各方案在新店溪愈往上游其水位下降幅度越小，方案1及方案2至新店溪斷面編號H12附近水位無明顯變化與現況水位相同，方案3、方案4及方案5至新店溪斷面編號H12附近水位還有些許波動，但影響已不明顯。另外就發生機率而言，低重現期流量為較易發生之洪水量，重現期2年與5年局部流速分布如圖19與圖20所示。以重現期2年流量條件為例，其模擬結果顯示，華江濕地現況流速約在0.5 m/sec以下，方案1改善後，灘地流速可提升至0.6 m/sec左右，方案2及方案3改善後第二河道流速可提升至0.8 m/sec左右，方

案4及方案5改善後第二河道同樣可提升至0.8 m/sec左右，且有較多區域之流速跟隨提升，顯示河道清疏後對於流速皆有一定程度上的幫助；在重現期5年流量條件下，第二河道上游入口處受新店溪主流迴流區影響流速降低，但在中段後大部分之最高流速約為0.8 m/sec；而整體改善方案之華江濕地流速皆比現況流速提升，此主要原因為流速受淡水河主河道動能帶動影響。

### 3.5 濕地清疏浚挖之底床輸砂模擬

依據前述五組新店溪與淡水河匯流口華江濕地清疏浚挖改善方案地形與重現期2年、5年與10年之計畫流量與邊界水位進行二維底床沖淤模擬。為了解各改善方案在各重現期流量下，其

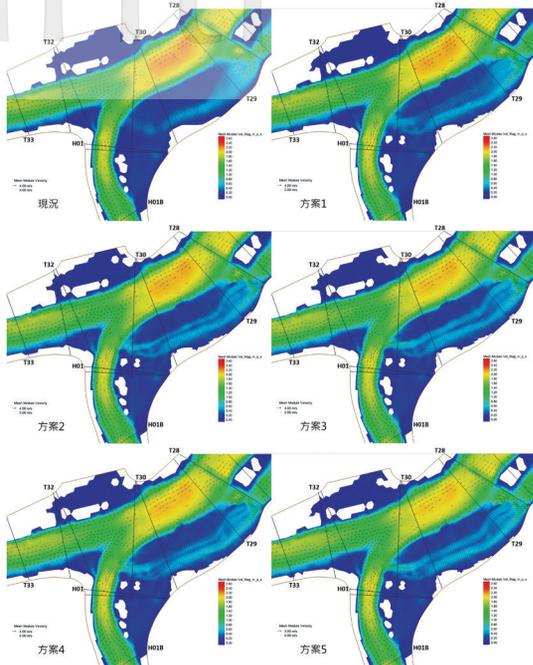


圖19 現況及各改善方案局部流速分布圖(重現期2年)

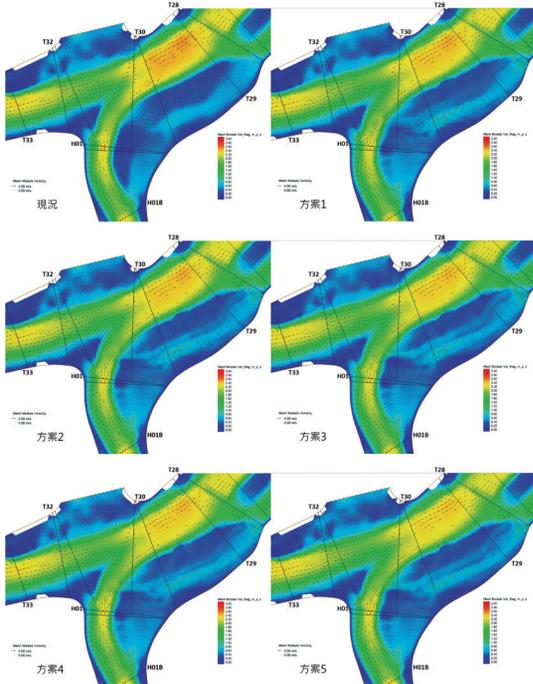


圖20 現況及各改善方案局部流速分布圖(重現期5年)

第二河道之沖淤前後高程變化與泥砂濃度，因此規劃方案觀測區(線)，位於預計開闢第二河道位置(如圖9現況地形圖)，分別輸出各重現期此

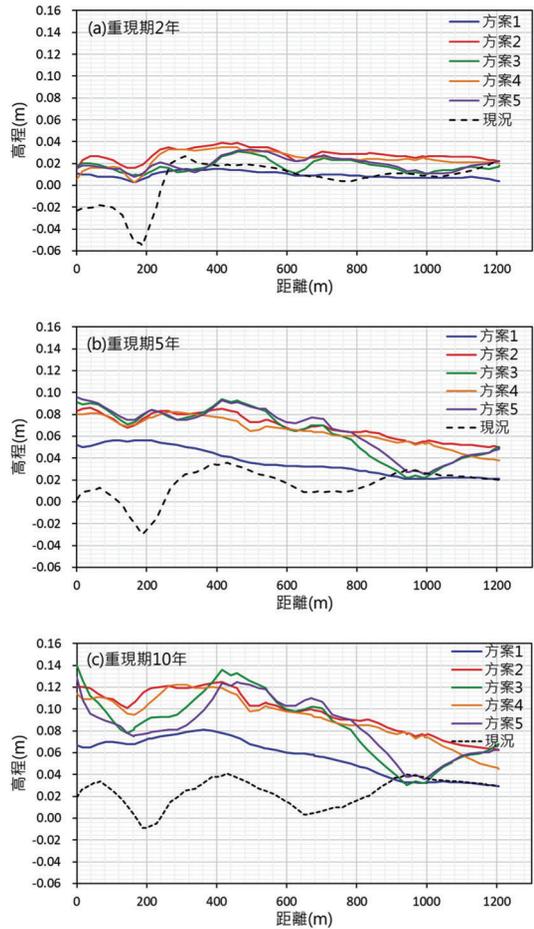


圖21 各方案觀測區沖淤前後高程差異(重現期2、5、10年)

觀測區(線)由上游至下游之前後高程變化與泥砂濃度。圖21為現況與各改善方案地形之重現期2年、5年與10年新闢之第二河道觀測區沖淤前後高程差異圖，由模擬之沖淤前後高程差異數據顯示，在重現期2年流量條件下，方案1之淤積現象最輕微，其淤積深度在0.02公尺以下，而方案2與方案4之淤積深度最高，其淤積深度接近0.04公尺；在重現期5年流量條件下，同樣方案1之淤積現象較低，其淤積深度在0.06公尺以下，而其他方案2至方案5之淤積深度互有高低，其淤積深度接近0.10公尺；在重現期10年流量條件下，方案1之淤積現象較低，其淤積深度約為0.08公尺，而其他方案2至方案5之淤積深度互有高低，其淤積深度接近0.14公尺。

另外由現況與各改善方案地形之重現期2

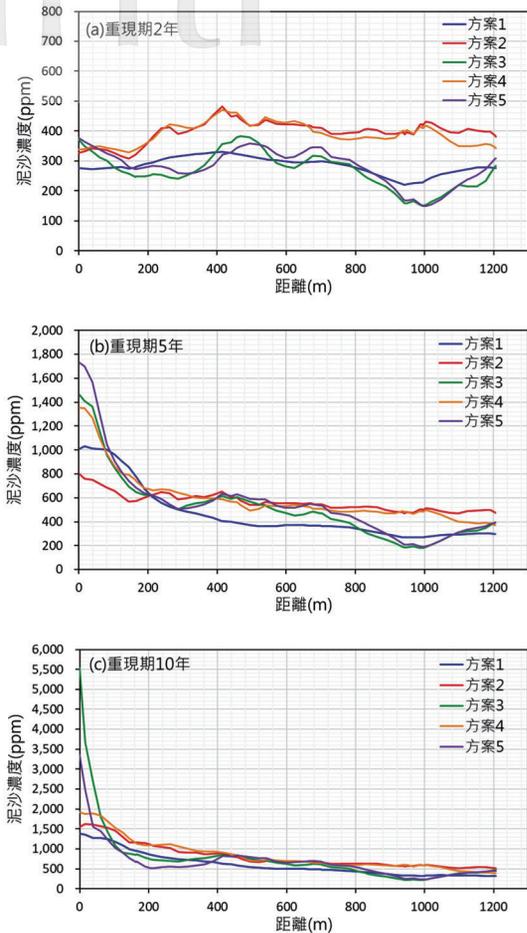


圖22 各方案觀測區之泥砂濃度(重現期2、5、10年)

年、5年與10年之新闢第二河道觀測區之泥砂濃度模擬結果顯示(如圖22所示), 在重現期2年流量條件下, 方案2與方案4有較高的泥砂濃度; 而重現期5年與10年流量條件下, 隨著流量愈大, 在開挖第二河道越接近上游入口處其泥砂濃度越高, 尤其方案3與方案5較其他方案泥砂濃度高, 而由新闢第二河道觀測區沖淤前後高程差異模擬結果亦顯示越上游處之淤積深度越高, 亦即在新闢第二河道入口處很容易回淤。圖23為重現期10年現況與各方案之底床沖淤高程差異分布模擬結果, 由模擬分析結果顯示, 底床沖刷區域大部分都位於接近河道主深槽且原地形高程較高之區域, 底床淤積區域主要位於灘地低流速區域, 尤其在新開闢之第二河道帶狀處, 有較明顯之淤積現象, 而隨著上游重現期來流量愈大, 其淤積之現象愈明顯。

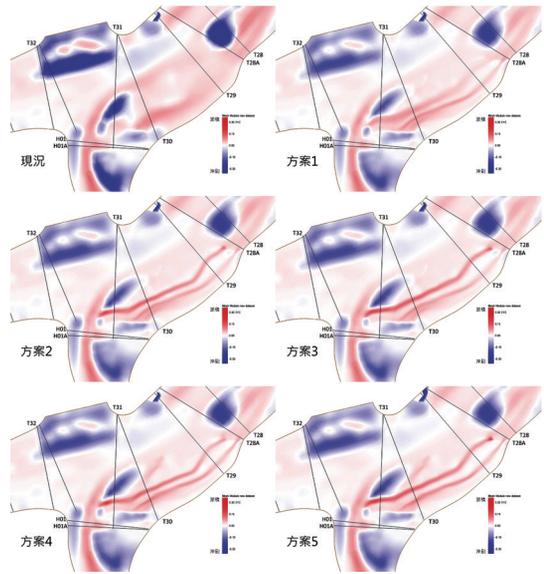


圖23 各方案之重現期10年沖淤前後高程差異分布圖

#### 四、結論與建議

新店溪淡水河匯流口華江濕地陸域化問題日趨嚴重, 新生灘地上長滿喬木, 導致河川底床粗糙度上升, 嚴重影響防洪安全; 另外亦改變棲地生態, 造成鳥類棲息數量下降。本研究針對華江濕地進行清疏浚挖之改善研究分析, 降低灘地高程後濕地面積擴大, 將可配合潮汐漲退潮營造較長水際線時間, 有助物種保育與棲地改善, 並期望棲地營造之後不易淤積且能維持較長時間不回淤, 達到生態保育與環境復育等為目標, 並同時降低新店溪河川防洪風險。因此利用美國墾務局所發展河川水理動床數值模式SRH-2D進行二維水理與底床輸砂模擬, 分析各清疏浚挖之改善方案在防洪計畫流量之新店溪洪水位、濕地二維流場與底床泥砂回淤情形。

目前華江濕地現況地表高程約-0.5~4.5公尺, 各方案改變之局部地形高程與地貌, 首先會影響上游流況而降低新店溪上游洪水位, 另外若有洪水漫淹上高灘地, 因該區域屬於流速較小之區域, 其底床較易發生淤積現象。一般當流速較小時, 較容易發生泥砂沉降, 但因流速較小同時上游來流之泥砂濃度亦會較少; 當流速較大時, 底床容易發生沖刷, 但因流速較大同時上游來流之泥砂濃度亦會較多, 因此底床高程最終會沖

表6 二維水理與底床沖淤模擬總整表

重現期200年 水位最大降幅 (cm)			各重現期底床高程變化(cm)									底床高 程總變 化(cm)	回淤高 度百分 比(%)
			觀測區入口段			觀測區中段			觀測區末段				
			2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年		
方案1	5.6	最大值	1.1	5.6	7.3	1.5	5.6	8.1	1.0	3.3	5.9	-	-
		最小值	0.3	5.0	6.5	1.0	3.3	6.0	0.4	2.1	2.9	-	-
		平均值	0.7	5.4	6.9	1.3	4.3	7.3	0.8	2.5	4.0	11.07	4.43%
方案2	5.8	最大值	2.7	8.6	12.0	3.9	8.5	12.5	3.1	7.0	10.0	-	-
		最小值	1.5	6.8	10.1	2.7	6.8	9.9	2.2	5.0	6.2	-	-
		平均值	2.1	7.7	11.2	3.5	7.9	11.5	2.7	5.9	8.1	20.20	3.67%
方案3	6.1	最大值	2.0	9.1	14.0	3.1	9.4	13.6	2.5	7.0	10.2	-	-
		最小值	0.9	7.1	7.8	1.2	6.7	9.2	1.0	2.2	3.0	-	-
		平均值	1.4	8.2	9.8	2.1	8.3	11.5	1.7	4.3	6.2	17.83	3.24%
方案4	6.3	最大值	1.7	8.1	11.4	3.5	8.2	12.2	2.6	6.6	9.7	-	-
		最小值	0.3	6.9	9.5	2.1	6.5	9.8	2.0	3.8	4.5	-	-
		平均值	1.2	7.6	10.4	3.2	7.5	11.2	2.3	5.4	7.5	18.77	3.41%
方案5	6.7	最大值	1.8	9.6	12.9	3.3	9.3	12.5	2.8	7.7	11.0	-	-
		最小值	0.8	7.5	7.5	1.2	7.3	7.9	1.1	2.5	3.6	-	-
		平均值	1.4	8.4	8.9	2.4	8.3	10.6	1.9	4.8	6.7	17.80	3.24%

註：1. 觀測區(圖9)入口段為0~200公尺，中段為200~700公尺，末段為700~1200公尺。

2. 底床高程總變化以連續經歷一次重現期2年、5年及10年洪水事件為高程變化評估。

3. 回淤高度百分比(%)：底床高程總變化/浚挖深度。

刷降低或淤高，除了受流速與底床剪應力影響之外，亦與來流泥砂濃度、水深、泥砂種類及粒徑分布有關。由二維水理與底床沖淤模擬結果總整如表6所示，就計畫洪水水位降幅情況、底床回淤淤積高度、回淤高度百分比、灘地浚挖施作範圍與搬運土方量等，整理各方案之優劣順序如下。

1. 若只考量防洪標準重現期200年洪水水位降幅情況，則水位最大降幅為方案5，其餘依序為方案4、方案3、方案2與方案1；
2. 若考量發生機率較高之重現期2年、5年、10年流量條件下第二河道整體之回淤狀況，則為方案1淤積高度最低，其餘依序為方案5、方案3、方案4與方案2；
3. 若考量回淤變化量相對於開挖深度百分比來評估，方案3與方案5之回淤高度百分比最低，可以維持較久時間再進行清淤保養；
4. 另外各方案之灘地浚挖施作範圍與搬運土方量由低至高分別為方案1、方案2、方案3、方案4與方案5。

綜合上述二維模擬成果之水理分析及底床輸

砂模擬，本研究分析華江濕地各清疏浚挖方案對於新店溪水位影響、濕地流速變化與第二河道回淤情形，未來可再配合現地生態調查、施工成本與工期、工程干擾與公民參與等項目，進行權重分配與估算，以作為華江濕地清疏浚挖設計規劃之參考依據，並達到降低洪水災害與溼地環境復育之目標。

## 參 考 文 獻

- Danish Hydraulic Institute "MIKE21 hydrodynamic module users guide and reference manual," Treviso, Pa, USA (1996).
- Fong-Zuo Lee, Jihn-Sung Lai, Tetsuya Sumi, 2022, "Reservoir Sediment Management and Downstream River Impacts for Sustainable Water Resources-Case Study of Shihmen Reservoir", Water 2022, 14(3), 479.
- Lai, Y. G., "Two-Dimensional Depth-Averaged Flow Modeling with an Unstructured Hybrid Mesh," Journal of Hydraulic Engineering, 136(1), 12-23 (2010).

- Parker, G. "Surface-based bed load transport relation for gravel rivers," J. Hydraulic Research, 28(4), 417-436 (1990).
- Shimizu, Y. and Itakura, T., "Calculation of Bed Variation in Alluvial Channels," J. Hydraulic. Eng., 115(3) 367-383 (1989).
- SRH-2D (2008) "Theory and User's Manual," version 2, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center.
- U. S. Army Corps of Engineers "Users' guide to RMA2-Version 4.3," Waterway Experiment Station, Hydraulic laboratory, Vicksburg, USA (1996).
- 李豐佐、黃茂松、劉政其、宋德仁、劉桂南、闕蓓德，2021，「應用二維數值模式分析攔河堰型式影響河道防洪及輸砂之研究」，農業工程學報，第67卷2期，P32-43。
- 周文德，1956，「OPEN-CHANNEL HYDRAULICS」。
- 施上粟、黃國文、俞維昇、陳有祺、方偉達，2015，「華江溼地小水鴨棲地復育方案選擇評估」，農業工程學報，第61卷1期，P65-80。
- 廖仲達、葉克家、陳春宏，「二維軟弱岩盤河道冲刷模式之研發與應用」，中國土木工程學刊，第二十三卷，第二期，237-244，2011。
- 經濟部水利署第十河川局，2012，「二重疏洪道通洪能力檢討總報告書」。
- 經濟部水利署北區水資源局，2019，「107-108年度石門水庫排洪排砂對下游河道生態及沖淤影響研究」。
- 經濟部水利署北區水資源局，2021，「109-110年度石門水庫排洪排砂對下游河道生態及沖淤影響研究」。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2021，「二重疏洪道疏洪能力改善或維持之策略措施數值模擬及水工模型試驗成果」。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2021，「淡水河流域整體改善與調適計畫(1/2)」
- 臺北市動物保護處，2012，「臺北市野雁保護區鴨棲息地改善規劃(華江橋與中興橋段)案」
- 臺北市動物保護處，2013，「臺北市華江濕地雁鴨棲息整體改善規劃技術服務案」
- 劉宗和，「集攔河堰底床沖淤與排砂之二維數值模擬之研究」，博士論文，國立成功大學水利及海洋工程學系研究所，2006。

收稿日期：2023年03月23日

修正日期：2023年04月20日

接受日期：2023年04月26日