



防洪與生態 雙贏的水利工程 — 大漢溪 城林橋 至 鐵路橋 右岸河道改善工程

陳健豐／經濟部水利署第十河川局 局長

楊連洲／經濟部水利署第十河川局 副局長

曹榮顯／經濟部水利署第十河川局工務課 課長

黃國文／國立臺灣大學水工試驗所 研究員

施上粟／國立臺灣大學土木工程學系 副教授

李偉哲／創聚環境管理顧問股份有限公司 技術總監

在社會發展壓力下，河防安全更形重要，尤其是都市區域河川常有疏濬或興築防洪設施之需求，惟疏濬或相關工程常會擾動該河川已穩定之生態系統，造成生態衝擊影響。本文以大漢溪城林橋至鐵路橋右岸河道改善工程為例，因大漢溪該河段左岸加固工程，右岸需進行疏濬以改善河防安全，而疏濬範圍為已穩定之處理水質人工濕地。故水利主管機關以減少疏濬人工濕地面積、保留鳥類較常運用之密集樹林區及營造自然感潮濕地等方式進行疏濬作業，替代原本為人工濕地之生態環境。設計時並分成數個工區，以保留生物可選擇之替代棲地空間，降低河道改善工程對生態衝擊之影響。如此運用生態水利學觀念之防洪與生態雙贏的水利工程，可作為其他河道改善工程之重要參考案例。

大漢溪鐵路橋河段防洪

行政院民國 78 年核定之「台北地區防洪計畫第三期實施計畫（台灣省部分）」，大漢溪於鐵路橋處計畫河寬自 750 公尺縮小為 520 公尺，以減少合法房舍及地上物之拆遷，並配合局部疏濬以達 200 年頻率洪水量之保護標準，惟該河段高灘地過去為前臺北縣政府垃圾堆置場址，土方垃圾含量高，垃圾清除經費龐大迄今無法辦理。隨後新北市政府環境保護局為處理土城區、板橋地區之晴天污水，於民國 98 年完成大漢溪右岸「浮洲人工濕地」、「打鳥埤人工濕地」及「城林人工濕地」，因大漢溪右岸城林橋至鐵路橋段通洪能力未能符合大臺北防洪計畫訂定之計畫洪水位，同時亦因高灘地之影響，河道流心偏向左岸，左岸基礎可能產生淘刷現象，影響左岸既有堤防結構，危害堤後民眾安全。

經濟部水利署水利規劃試驗所於民國 90 年完成「大漢溪河道疏濬工程（城林橋至鐵路橋段）通洪能力檢討」報告書，大漢溪右岸城林橋至鐵路橋段下游為通洪能力瓶頸段，須辦理河道疏濬。行政院公共工程委員會 108 年 7 月 30 日召開「大漢溪新莊鐵路橋到樹林柑園大橋第二期左岸道路工程—堤外便道工程可行性協商第三次會議」會議結論辦理大漢溪鐵路橋至城林橋上游河段河道整理整體規劃方案。

由於計畫疏濬範圍高灘地底下之土方垃圾含量高，應辦理廢棄物清除作業，同時因右岸高灘地過於寬大且有陸化現象，河道流心偏向左岸，其掏刷問題愈趨嚴重，因此需辦理大漢溪右岸城林橋至鐵路橋段之河道疏濬作業，如圖 1，以解決鐵路橋處通洪瓶頸段問題，同時清除高灘地底下之廢棄物，改善河道整體環境。

濕地狀況指數

河川常因自然驅動力 (Driving Force)、人為影響或分期治理工程，需於穩定的河段進行疏濬或相關整治工程，此時將擾動河川生態環境，而如何將此人為干擾轉化為對生態有助益之人為驅動力，成就防洪與生態雙贏的水利工程，乃是極為最重要之議題，亦為目前河川整治或環境營造工程所面臨之課題。本文以大漢溪城林橋至鐵路橋右岸河道改善工程為例，探討在防洪需求時，如何考量該河域之生態環境特性，包括生物、水文、地文等因子；瞭解該河域所面臨之威脅壓力，包括自然驅動力、人為影響等；整合生態水利考量，運用整合型指標進行評估；以生態工程之迴避、縮小、減輕、補償觀念，進行雙贏方案規劃。

本文提出濕地狀況指數 IWC (Index of Wetland Condition) 進行綜合評估，作為量化評估人工濕地生態功能的指標系統，可以綜合分數評估不同濕地、不同年份的差異，也可針對各次指標分析其時間、空間差異，以作為濕地規劃或改善的參考依據。目前建立之 IWC 指數是基於國外 ISC 河溪狀態指數^[1,2] 及國內滯洪濕地狀態指數^[3] 等相關理論及應用經驗而改良。

IWC 整體架構內容及評估項目整理如表 1 所示，共有 2 個類別及 5 項次指標，包括「環境因素」及「生物因素」兩類，「環境因素」包括：水文、物理型態、水質等 3 個次指標，「生物因素」包括：植生及鳥類等 2 個次指標。水文次指標主要考量常流量與洪水流量型態，其中水文變異量之水位變動週期、影響地表與地下水交換之滲透因素、常時水深之變化情形皆為評估內容；物理型態次指標主要考量岸壁穩定度與物理性棲地品質

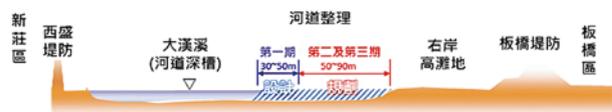
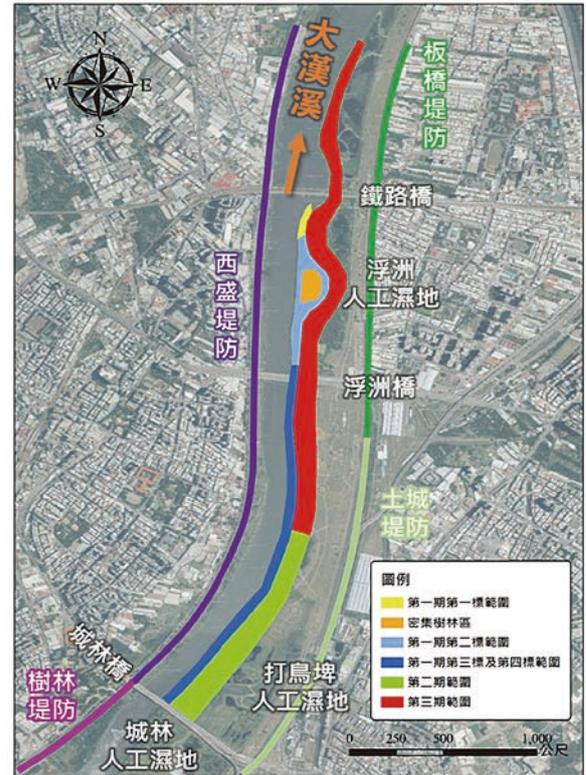


圖 1 大漢溪鐵路橋附疏濬範圍圖
資料來源：經濟部水利署第十河川局^[4]

性棲地品質，其中岸壁是否沖蝕、崩壞之穩定度、底床高程變化程度之物理性棲地狀況、岸壁是否平緩之坡度皆為評估內容；水質次指標主要考量綜合性水質狀況，以水質污染指數 RPI (River Pollution Index) 的項目及數值範圍為評估內容；植生次指標主要考量植物及生態推移帶，而植生多樣性、植生覆蓋百分比及

表 1 濕地狀況指數 IWC 構成因素

類別	次指標	代碼	評估對象	評估內容
環境因素	水文	HY (hydrology)	常流量與洪水流量型態	1. 水文變異量 (hydrological differential): 水位變動週期 2. 滲透因素 (seepage): 影響地表與地下水交換 3. 常時水深 (depth): 常時水深之變化情形
	物理型態	PF (physical form)	岸壁穩定度與物理性棲地品質	1. 岸壁穩定度 (bank stability): 是否沖蝕、崩壞 2. 物理性棲地狀況 (habitat): 底床高程變化程度 3. 岸壁坡度 (bank slope): 是否平緩
	水質	WQ (water quality)	綜合性水質狀況	水中溶氧量 (DO)、生化需氧量 (BOD5)、懸浮固體 (SS)、與氨氮 (NH3-N) 等 4 項水質參數之濃度值
生物因素	植生	VEG (vegetation)	植物及生態推移帶	1. 植生多樣性 (Diversity) 2. 植生覆蓋百分比 (Cover) 3. 植生外來種比例 (Alien)
	鳥類	BRD (bird)	綜合鳥類相狀況	保育物種 (Conservation Species)、鳥類多樣性、豐富度、外來鳥種 (Alien) 比例進行綜合分數計算

資料來源：經濟部水利署第十河川局^[4]

表 2 濕地狀況指數 IWCIWC 狀況評等

IWC 指數評分	狀況評等	
90-100	優 (excellent)	A
70-89	佳 (good)	B
50-69	尚可 (marginal)	C
30-49	差 (poor)	D
< 29	劣 (very poor)	E

資料來源：經濟部水利署第十河川局^[4]

植生外來種比例為評估內容；鳥類次指標主要考量利用濕地的鳥類相指標綜合狀況，保育物種、鳥類多樣性、豐富度、外來鳥種比例綜合分數為評估內容。

IWC 的計算方式如式 (1) 所示，其總分為 100 分，各次指標滿分為 20 分，分數越高代表濕地環境及生物條件接近自然狀態。IWC 指數評分 90 ~ 100 為優 (excellent) 等，記為 A 等；評分 70 ~ 89 為佳 (good) 等，記為 B 等；評分 50 ~ 69 為尚可 (marginal)，記為 C 等；評分 30 ~ 49 為差 (poor)，記為 D 等；評分 < 29 為劣 (very poor) 等，記為 E 等，如表 2，評估流程如圖 2。

$$IWC = HY + PF + WQ + VEG + BRD \quad (1)$$

生態疏濬

目前大漢溪人工濕地受到污水用戶接管率上升等因素，作為水源的污水來源有持續減少的趨勢，人工

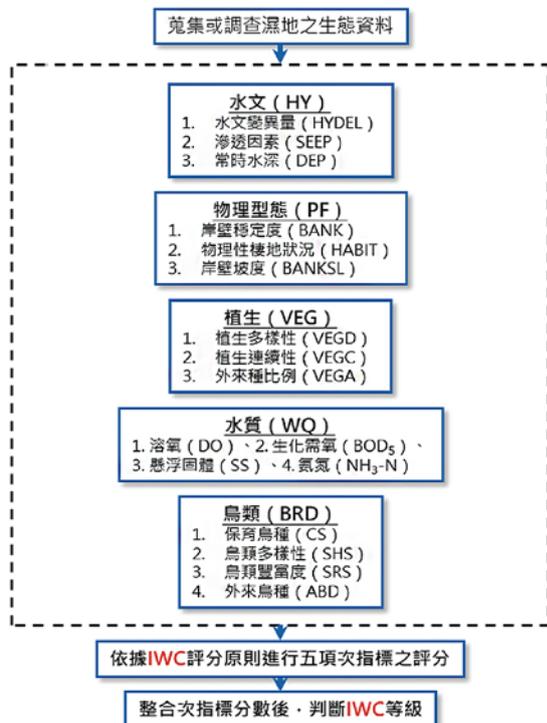


圖 2 濕地狀況指數 IWC 評估流程圖
資料來源：經濟部水利署第十河川局^[4]

濕地恐於未來數年內因缺乏足夠水源而逐漸陸化、造成生態系統劣化，若能及早將其部分轉型為自然感潮濕地並適度營造棲地，則有機會在疏濬範圍內自然演化出更具韌性的生態系統。

生態補償設施原則

本文以大漢溪濕地生態廊道尺度，評估第一期、第二及第三期工程對濕地生態系統服務功能及濕地生態廊道之影響，並以迴避、縮小、減輕、補償等原則，進行疏濬方案研擬。期望藉由高灘地疏濬需求，同時進行濕地棲地補償營造，主要目的在增加濕地廊道連通性（橫向連通、縱向連通）及創造濕地棲地多樣性。

1. 配合疏濬之區位，規劃為多樣性水域及緩坡灘地，平均高程約為平均低潮位，形成高低潮位間之灘地，並可配合生態島、潮溝及潮池之規劃設計，使環境呈現多元化樣態，促進棲地多樣性。
2. 規劃之生態島以保留原有樹木為原則，可於滿潮時露出水面，適合鳥類停棲休憩。
3. 規劃之自然感潮濕地，具緩坡條件，可於退潮時，提供裸灘地，供水鳥、底棲動物等生物運用；滿潮時灘地被淹沒，可營造淺水灘地，該棲地型態可供底棲動物、大型水鳥等生物使用。
4. 規劃之潮溝底部低於平均低潮位約 1.0 公尺，可於退潮時，可將部分泥砂帶至河川主深槽，且仍有部分緩坡溝壁及深槽水域棲地，可供水鳥覓食及休憩；滿潮時潮溝被淹沒，營造較深水域，該棲地型態可供魚類使用。
5. 規劃之潮池原則上底部低於平均低潮位約 1.5 公尺，可於退潮時，保留局部較大範圍水域環境，供水鳥、底棲動物、魚類等生物運用；滿潮時潮池水深更深，可供大型魚類使用。

人工濕地復舊、轉型規劃原則

1. 配合疏濬之區位，現有人工濕地部分將挖除，因此人工濕地需重新調整規劃。人工濕地之規劃，將優先釐清未來人工濕地之功能，確認是以污水處理為主或者以多樣性棲地營造為主。
2. 若以污水處理為人工濕地之主要目的，則將考量污水來源及水量，濕地水流路配置，濕地各單元面積形狀及水力效率等濕地處理污水之關鍵因子，並評估後續維護監測管理之經費。
3. 若以營造多樣性棲地為人工濕地之主要目的，則

將依據文獻及調查成果之生態特性，作為規劃人工濕地部分挖除後，濕地營造之目標物種或生態環境特性。

- (1) 需考量濕地營造之水源及水量，儘量以重力方式引水，故可能以高灘地蓄水池（滯留天然雨水）等觀念，進行水源水量規劃。
- (2) 儘量以棲地多樣性原則規劃濕地，避免回復為營造人工濕地前之陸域棲地環境。
- (3) 以營造深水、淺水及緩坡灘地等多樣性棲地為原則。
- (4) 如將尚未疏濬之人工濕地納入動力抽水系統（可設置小型再生能源系統），將末端水池之池水抽取至初始水池使其循環，有機會緩解枯水期之水源問題。

以浮洲人工濕地而言，由於污水截流系統建置影響進入人工濕地的水量，在水源逐漸匱乏的情況下將面臨陸化的危機。計畫範圍內大漢溪仍屬水理感潮範圍，如採復舊方式維持人工濕地運作，考量主深槽的水位與高灘地之間相差約 4 m，則可考慮建置動力取水泵浦抽取大漢溪之河水至浮洲人工濕地的植栽浸潤池，以維持人工濕地功能；如改以轉型為感潮濕地，則可將部分區域疏濬至平均低潮位附近，並填補單元疏濬後缺口、以緩坡銜接感潮濕地與堤防周邊高灘地，則能夠營造出大範圍的潮間帶棲地環境，藉此增加本河段的生物多樣性，且感潮濕地的水源均為重力

供水，無機電設備的新增需求。

復舊與轉型為感潮濕地兩者各有其優點，也可透過控制疏濬範圍使兩者均能併存及發揮功能。復舊的部分可持續淨化尚未截流或接管的污水排放，以避免使得水質不佳的大漢溪河水更加惡化，如未來疏濬不再擴大，則可於未來協助淨化大漢溪主深槽的河水；轉型為感潮濕地則能夠營造蜿蜒、緩坡環境，增加主河道與高灘地間的連通性，較利於生物利用及橫向移動。

疏濬方案

依據前述生態補償及人工濕地轉型原則，規劃保留密集樹林區及營造自然感潮濕地，河中島方案之規劃成果平面圖，如圖 3 所示。

1. 本方案係參考生態檢核之保育措施擬定，成果指出樹林區內之植生樣態相當符合樹棲型鳥類生活樣態，經定點調查樹林區內鳥類多為鳳頭蒼鷹、白頭翁、斯氏繡眼、黑領棕鳥等樹棲性鳥類，故映證生態檢核報告之推斷，其中鳳頭蒼鷹為保育類，鳳頭蒼鷹於中低海拔的山林到都會區皆可能會出現，因此本處可能為其短暫停棲處所之一。又浮洲濕地樹林區為 1 公里範圍內樹木相對密集區域，故建議保留樹林區作為樹棲型鳥類停棲空間。浮洲人工濕地附近之平面及剖面示意圖，如圖 4 所示。
2. 於現有高灘地往右岸堤防方向疏濬約 30 ~ 50 公尺寬度，惟於浮洲人工濕地範圍保留樹林區，以繞

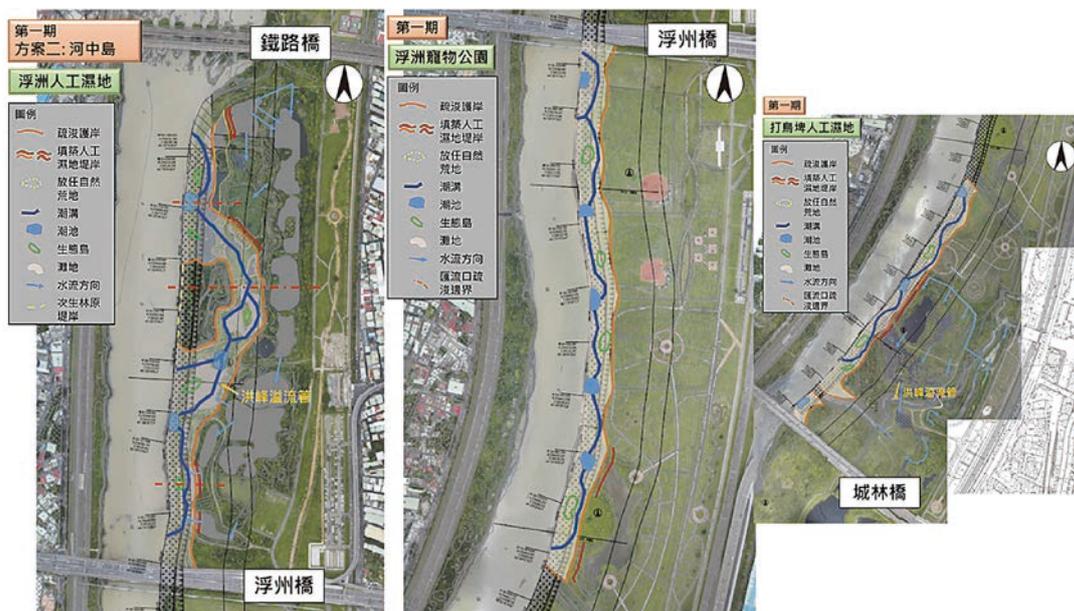


圖 3 河中島方案平面圖

資料來源：經濟部水利署第十河川局^[4]

流方式，疏濬較靠右岸堤防之範圍，其餘仍依高程蜿蜒佈設疏濬後之岸線。

3. 疏濬時，以盡量保存現有人工濕地處理單元之堤岸為原則。若有因人工濕地水域縮減需求而移除原濕地堤岸，將另行填築人工濕地堤岸方式保留重要水域。
4. 疏濬後，若有小面積之原人工濕地水域無蓄水功能，則另進行水源評估後，原則上放任演化為自然荒地。
5. 疏濬後之平均高程約為平均低潮位之 -0.05 公尺，形成高低潮位間之自然感潮濕地，做為人工濕地面積減少之補償。
6. 於自然感潮濕地營造潮溝（最低位置為 -1.00 公尺）、潮池（最低位置為 -1.50 公尺）、生態島（最高位置為 2.15 公尺，約高於平均高潮位 0.50 公尺），各單元之坡度盡量以緩坡為原則。
7. 生態島：以保留樹林之既有喬木密集區為原則。
8. 潮溝及潮池：主要目的在提升感潮濕地之棲地多樣性。

第二及第三期疏濬方案範圍更廣更大，預期帶來之防洪效益更顯著，完工後有機會在疏濬範圍內自然演化出更具韌性的生態系統，但施工過程中也可能帶來更大的生態衝擊。瞭解本區濕地的主要驅動力（driving forces），以利後續研議人工濕地轉型的基礎。規劃方案的效益、衝擊評估流程與第一期做法類似，將先評估

防洪提升效益（通洪斷面積增加程度、洪水位下降率等），再以大漢溪濕地生態廊道尺度，評估第一期、第二及第三期工程對濕地生態系統服務功能及濕地生態廊道之影響，並以迴避、縮小、減輕、補償等原則，進行疏濬方案研擬。

本文參考圖 5 及圖 6 之濕地分類原則，依據本河段濕地特性，進行棲地補償時，若棲地高程位於 MLW（平均低潮位）至 MHW（平均高潮位）之間則定義為感潮淡水濕地（tidal freshwater wetlands）。以生態多樣性的角度而言，感潮淡水濕地受潮位而有週期性浸淹，增加了土壤曝氣，鹽度與浸淹對生物的衝擊影響較低，通常有高的生物多樣性及初級生態力^[5]，其生物量（biomass）會隨棲地與生物類型影響，大約介於 400 至 2,500 g/m² [6-7]。感潮淡水濕地的植生分布通常由近水側的草本植物，轉為近陸地側的灌木與喬木^[8]。濕地通常鄰近都市區域，都市有較高的營養鹽承載率（nutrient loading rate），而濕地因有豐富植生，使有機質分解率高，營養鹽的內部循環是其能夠維持高生產力的主因之一^[9]。若高程 > MHW，則營造為類似原人工濕地之季節性濕地（水文收支、水質處理效益另進行評估），並盡量保留此區豐富而多樣的複層結構植生以營造生物多樣性，以提供水質處理功能為主，亦將引入 BMP 概念。此規劃目的主要是建立高灘地濕地與河道間的橫向廊道，另外也期待此新增的潮間帶棲地可增加該區域的生態多樣性。



圖 4 河中島方案平面及剖面示意圖
資料來源：經濟部水利署第十河川局^[4]

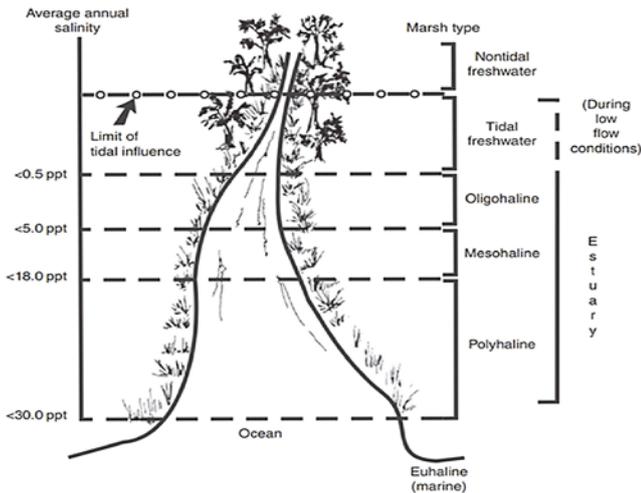


圖 5 河口濕地依據鹽度之濕地分類示意圖
資料來源：Odum *et al.* [7]

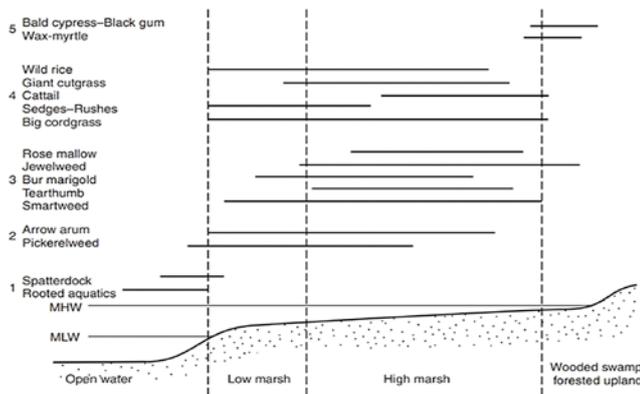


圖 6 河口濕地依據高程與水位關係之濕地分類示意圖
資料來源：Odum *et al.* [7]

浮洲人工濕地濕地狀況

現況

依據新北市政府高灘地工程管理處民國 101-109 年人工濕地生態水質調查成果，以 IWC 進行評估，各項次指標分數加總後，可獲得 IWC 指標分數如表 3 所示。浮洲人工濕地在水文 (HY) 前 5 個年度皆較高分；物理型態 (PF) 次指標 9 個年度皆無變化；水質 (WQ) 則以 102 年度最高，107 年度最低；而植生指標 (VEG) 整體變化不大；鳥類 (BRD) 則是呈現長期遞減趨勢。

依據 IWC 指數評等分類標準，浮州人工濕地除了 101、103、105 年度達「佳 (good)」，其餘年度皆屬「尚可 (marginal)」等級。將 IWC 分以環境因素及生物因素探討，可得 9 個年度之環境因素變化，在 27.8 ~ 38.8 之間；生物因素變化則於 24.9 ~ 35.8 之間，歷年 IWC 大致屬於尚可 (marginal) 等級。

表 3 浮洲 9 個年度 IWC 指標各次指標分數表

年度	HY	PF	VEG	WQ	BRD	IWC
101	12.3	10	15.2	13.0	20.0	70.5
102	12.3	10	15.5	16.5	15.0	69.3
103	12.3	10	15.6	14.5	20.0	72.4
104	12.3	10	15.4	8.0	20.0	65.7
105	12.3	10	15.8	13.5	20.0	71.6
106	10.3	10	14.9	10.0	10.0	55.2
107	10.3	10	15.7	7.5	15.0	58.5
108	10.3	10	15.1	10.0	10.0	55.4
109	10.3	10	15.0	16.0	10.0	61.3

資料來源：經濟部水利署第十河川局 [4]

工程施做後

本文依據河中島方案內容進行 IWC 評估計算，並與 109 年浮洲人工濕地分數比較，如圖 7，河中島方案以 61.5 分略大於浮洲人工濕地現況之 61.3 分；換言之，以河中島方案濕地狀況而言，略佳於浮洲人工濕地現況。以各次指標來看，HY：河中島方案 11.1 分、現況 10.3 分，顯示疏濬範圍開挖後滲透性較佳，且受感潮影響範圍增加；PF：河中島方案 11 分、現況 10 分，顯示營造灘地地形變化較為多元；WQ：河中島方案 13.9 分、現況 16 分，由於水質條件假設同為 109 年，河道深槽水質整體較人工濕地水池差；VEG：河中島方案 14 分、現況 15 分，顯示入侵種可藉機械移除，但灘地未來植生不明，可能降低多樣性；BRD：河中島方案 11.5 分、現況 10 分，顯示開挖較多似能吸引更多水域鳥類，但恐影響陸域及樹棲鳥類。

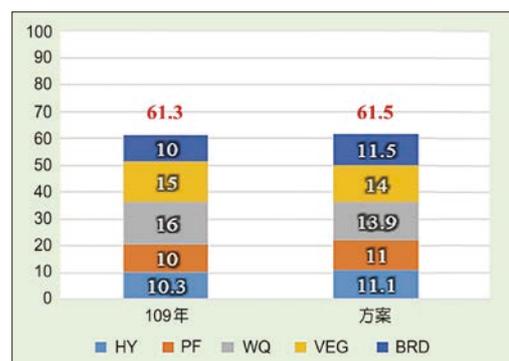


圖 7 浮洲人工濕地與河中島方案之 IWC 評分
資料來源：經濟部水利署第十河川局 [4]

結語

在穩定河段進行疏濬或相關河道改善工程時，需考量生態環境特性，將工程衝擊力轉換為復育營力，可創造防洪與生態雙贏的水利工程。本文以大漢溪城林橋至鐵路橋右岸河道改善工程為例，考量人工濕地面臨污

水水源減少之壓力，並依據大漢溪該河段感潮特性，保留浮洲人工濕地密集樹林區，研擬河中島方案，符合生態檢核之迴避、縮小、減輕、補償原則，以及自然解方（Nature-based Solution, NbS）之精神。以濕地狀況指標 IWC 評估營造之自然感潮濕地，河中島方案之 IWC 分數略大於現況，顯示方案內容將可略為改善濕地狀況。方案施工中及完工後，需持續進行包括水文、地文及生物等因子之生態監測，以利評估實際完工後之濕地狀況。本文以大漢溪生態疏濬案例，可作為類似河道改善工程與生態雙贏之重要參考案例。

誌謝

感謝新北市政府高灘地工程管理處提供大漢人工濕地部分水質及生態資料，以及經濟部水利署第十河川局、國立臺灣大學水工所及創聚環境管理顧問股份有限公司相關協助同仁。

參考文獻

1. Ladson, A.R. and White, L.J. (1999). Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia.

Freshwater Biology, 41, 453-468.

2. Hu, T.J., Wang, H.W., and Lee, H.Y. (2007). Assessment of stream condition on Nan-Shih Stream in Taiwan. *Ecological Indicators*, 7 (2), 430-441.

3. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2013)。滯洪池之濕地生態功能評價及改善研究。

4. 經濟部水利署第十河川局 (2022)。大漢溪右岸城林橋至鐵路橋段整體改善工程委託規劃設計技術服務計畫。創聚環境管理顧問股份有限公司。

5. Odum, W.E., Odum, E.P., and Odum, H.T. (1995). Nature's pulsing paradigm. *Estuaries*, 18, 547.

6. Whigham, D.F., McCormick, J., Good, R.E., and Simpson, R.L. (1978). Biomass and primary production in freshwater tidal wetlands of the middle Atlantic coast. In: Good, R.E., Whigham, D.F., Simpson, R.L. (Eds.), *Freshwater Wetlands. Ecological Processes and Management Potential*, Academic Press, New York, pp. 3e20.

7. Odum, E.P. (1984). The mesocosm. *BioScience*, 34(9), 558-562.

8. Leck, M.A. and Crain, C.M. (2009). Northeastern North American case studies - New Jersey and new England. In: Barendregt, A., Whigham, D.F., Baldwin, A.H. (Eds.), *Tidal Freshwater Wetlands*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

9. Bowden, W.B., Vörösmarty, C.J., Morris, J.T., Peterson, B.J., Hobbie, J.E., Stuedler, P.A., and Moore III, B. (1991). Transport and processing of nitrogen in a tidal freshwater wetland. *Water Resources Research*, 27, 389e408.

10. 新北市政府高灘地工程管理處 (2020)。109 年度新北市高灘地人工溼地經營管理與功能效益分析計畫。 




華光工程顧問股份有限公司
CECI Nova Technology Co., Ltd.
HTTP://WWW.CECI-NOVA.COM.TW

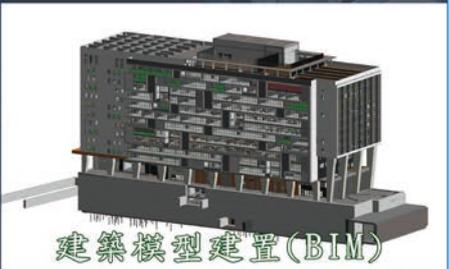
公廠 共工 程規 設檢 測
廠商 施施 工技 術服 務
環環 監監 工測 技技 分分
營營 建建 材材 試試 驗驗 改改
營營 建建 材材 試試 驗驗 檢檢 善善
營營 建建 材材 試試 驗驗 驗驗 驗驗



工程規劃設計



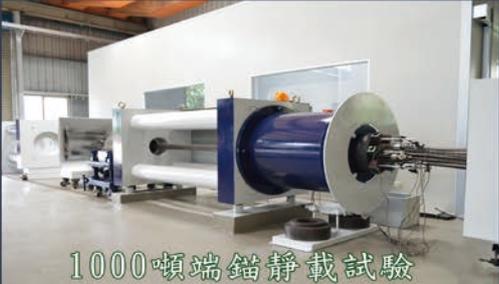
施工技術服務



建築模型建置(BIM)



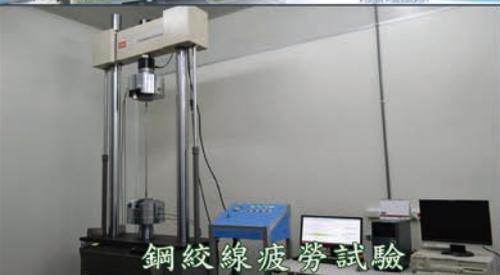
專案管理資訊系統 (PMIS)



1000噸端錨靜載試驗



2000噸端錨動態疲勞試驗



鋼絞線疲勞試驗



鋼絞線彎折拉伸試驗



環境監測