

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

April
2022



ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 49, No. 2

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

橋梁耐震補強工法
臨時箱涵改道施工

工程技術及發展

專 輯

推動與落實生態水利
的方法與案例

恭喜！
亞洲土木聯盟
榮獲雙料大獎

學會資訊看板

 遠揚營造
工程股份有限公司

創新工法

www.fegco.com.tw

客家在地特色

遠東百貨竹北
新世紀購物中心新建工程

自動爬架

板橋通訊園區
集合住宅新建工程

預鑄制震

板橋通訊園區
停車塔新建工程

無支撐圓形預鑄



防洪與生態雙贏的水利工程—大漢溪
(經濟部水利署第十河川局提供)

土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利半月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水部分會
- 土水東部分會

土木水利

社團法人中國土木水利工程學會會刊



發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木水利工程學會

主任委員：詹錢登 (國立成功大學水利系特聘教授兼工學院院長、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥 00030678 號 社團法人中國土木水利工程學會

會址：10055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木水利工程學會第二十五屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：宋裕祺

常務理事：伍勝園 高宗正 楊偉甫 廖學瑞

理事：王宇睿 余信遠 李政安 林子剛 林聰利 胡宜德 高銘堂

張大鵬 張荻薇 莊均緯 許泰文 陳仲賢 曾榮川 黃慧仁

壽克堅 歐善惠 賴建信 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：王藝峰 李建中 沈景鵬 林其璋 邱琳濱 劉國慶

中國土木水利工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木水利工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第 518 號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第 0248 號



臺灣之光

THE ASIAN CIVIL ENGINEERING COORDINATING COUNCIL

2022 ACECC Outstanding Civil Engineering Project Award

2022 亞洲土木優良工程 首獎

Project Name: SUHUA Highway Improvement Project 台9線蘇花公路山區路段改善計畫

Owner:  中華民國交通部公路總局
Directorate General of Highways, MOTC

THE ASIAN CIVIL ENGINEERING COORDINATING COUNCIL
ACECC website: <http://www.acecc-world.org/>

Acecc
For a Better Quality of Life

Chairman:
Dr. R. M. Vasan
Institution of Civil Engineers (India)

Members:
American Society of Civil Engineers
Chinese Institute of Civil & Hydraulic Engineering
Engineering New Zealand
Engineers Australia
Federation of Myanmar Engineering Societies
Institute of Engineers (India)
Institution of Engineers, Bangladesh

Secretary General:
Dr. Uday P. Singh
American Society of Civil Engineers
E-mail: udaysingh10@gmail.com

Institution of Engineers, Pakistan
Japan Society of Civil Engineers
Korean Society of Civil Engineers
MD Korean Society of Civil Engineers
Mongolian Association of Civil Engineers
Nepal Engineers' Association
Philippine Institute of Civil Engineers
Vietnam Federation of Civil Engineering Associations

April 12, 2022

Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering (CICHE)
4th Fl., 1, Jen-Ai Rd, Sec.2,
Taipei, Taiwan, R.O.C

Re: Announcement of the 2022 ACECC Award Winners

Dear Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

On behalf of the Asian Civil Engineering Coordinating Council, I am pleased to inform you that

SUHUA Highway Improvement Project

nominated by CICHE, was approved as the "2022 ACECC Outstanding Civil Engineering Project Award" winner, out of the six winners of the 2022 ACECC Civil Engineering Project Award, at the ACECC 42nd Executive Committee Meeting which was hosted virtually by HAKI in Jakarta, Indonesia, on March 29, 2022. The project was decided to be awarded through a highly selective reviewing and screening process by the Sub-committee on ACECC Awards chaired by Dr. Luh-Mann Chang.

We would like to present the ACECC Outstanding Civil Engineering Project Award to the award winners at ACECC Awards Ceremony during the 9th CECAR (Civil Engineering Conference in the Asian Region). The ceremony will be held from 17:00-18:00 on Thursday, September 22, 2022, at Hotel Taj Resort and Convention Center, Goa, India. Please refer to the CECAR website: <http://www.cec9.com/>.

Please inform the project representative of this announcement. The project representative is highly requested to attend the ACECC Awards Ceremony on September 22, 2022.

Please note, according to the organizing committee, that the project representative needs registration for the conference, or needs to apply for complimentary registration which has already been provided to each ACECC member, and there will be no financial support for travel expenses.

Please also note that your society is requested to present a **three-minute video** to introduce the awarded project during the 9th CECAR, instructions from ICE(I) will be forthcoming.

We are looking forward to seeing your delegation including the awardees at the 9th CECAR in Goa.

Sincerely,



Dr. Uday P. Singh
ACECC Secretary General

c/o American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive, RESTON, VA 20191, USA Phone: +1 (510) 813-7254; Secretary General email



Suhua Highway Location (left) and Plan of Project Route (right)



Baimi (Rice) Bridge and Nanao Beixi Bridge used as Theme of Stamps by the Post Office in Remembrance of the Highway Operation



Main Tunnel, Excavation Tunnel, and Smoke Extraction Tunnel for the Renshuei Tunnel with Two-way Traffic in a Single Tube



Dongao Tunnel



Guanyin Tunnel



Blihun Tunnel



Zhongren Tunnel



Renshuei Tunnel

THE ASIAN CIVIL ENGINEERING COORDINATING COUNCIL

2022 ACECC Civil Engineering Achievement Award

2022 亞洲土木個人成就獎



恭喜!

Name: Wei-Fuu Yang 楊偉甫先生

Education:

M.S. Colorado State University, 1984 Civil Engineering
B.S. National Chung Hsing University, 1974 Civil Engineering

Major Experience:

Chairman, Taiwan Power Company, Taiwan, R.O.C., October 2017 - March 2022
Vice Minister, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C., January 2015 - October 2017
Director-General, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C., October 2009 - January 2015
Deputy Director-General, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C., December 2005 - October 2009
Chief Engineer, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C., October 2003 - December 2005
Director of Central Regional Water Resources Office, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, Taiwan, R.O.C., February 2001 - October 2003

Contribution:

Promoting the first small hydroelectric power plant project operated under the BOT model in Taiwan

Incorporating the mechanisms for the publication of government information and public participation into Shimen Reservoir and its Catchments Management Project



THE ASIAN CIVIL ENGINEERING COORDINATING COUNCIL
ACECC website: <http://www.acecc-world.org/>

Chairman:
Dr. R. M. Vasan
Institution of Civil Engineers (India)

Secretary General:
Dr. Uday P. Singh
American Society of Civil Engineers
E-mail: udaysingh1@gmail.com

Members:
American Society of Civil Engineers
Chinese Institute of Civil & Hydraulic Engineering
Engineering New Zealand
Engineers Australia
Federation of Myanmar Engineering Societies
Indonesian Society of Civil and Structural Engineers
Institution of Civil Engineers (India)
Institution of Engineers, Bangladesh

Institution of Engineers, Pakistan
Japan Society of Civil Engineers
Korean Society of Civil Engineers
MD Russian Society of Civil Engineers
Mongolian Association of Civil Engineers
Nepal Engineers' Association
Philippine Institute of Civil Engineers
Vietnam Federation of Civil Engineering Associations

For a Better Quality of Life

April 12, 2022

Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering (CICHE)
4th Fl., 1, Jen-Ai Rd. Sec.2,
Taipei, Taiwan, R.O.C

Re: Announcement of the 2022 ACECC Award Winners

Dear Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

On behalf of the Asian Civil Engineering Coordinating Council, I am pleased to inform you that

Mr. Wei-Fuu Yang

nominated by CICHE, was approved as a "2022 ACECC Civil Engineering Achievement Award" winner, one of four awarded individuals, at the ACECC 42nd Executive Committee Meeting which was hosted virtually by HAKI in Jakarta, Indonesia, on March 29, 2022. This individual's recognition was decided to be awarded through a highly selective reviewing and screening process by the Sub-committee on ACECC Awards chaired by Dr. Luh-Mann Chang.

We would like to present this ACECC Civil Engineering Achievement Award to the winners at the ACECC Awards Ceremony during the 9th CECAR (Civil Engineering Conference in the Asian Region). The ceremony will be held from 17:00-18:00 on Thursday, September 22, 2022, at Hotel Taj Resort and Convention Center, Goa, India. Please refer to the CECAR website: <http://www.cecarnet.com/>.

Please inform Mr. Wei-Fuu Yang of this announcement. They are highly requested to attend the ACECC Awards Ceremony on September 22, 2022.

Please note, according to the organizing committee, that the award winner needs registration for the conference, or needs to apply for complimentary registration which has already been provided to each ACECC member, and there will be no financial support for travel expenses.

We are looking forward to seeing your delegation including the awardees at the 9th CECAR in Goa.

Sincerely,


Dr. Uday P. Singh
ACECC Secretary General

c/o American Society of Civil Engineers, 1801 Alexander Bell Drive, RESTON, VA 20191, USA Phone: +1 (510) 813-7254; Secretary.General@acecc.org

Conducting the first concrete arch dam, Ronghua Dam, in Taiwan



Incorporating ecological conservation measures into in Hushan Reservoir Project



Promoting Taiwan Power Company offshore wind power phase 1 project



Incorporating an ecological inspection system into Shimen Reservoir and its Catchments Management Project



Promoting the design of stratified intake for Shimen Reservoir



Promoting Jinshan small hydropower plant project



恭喜！亞洲土木聯盟榮獲雙料大獎

- 📖 亞洲土木聯盟2022亞洲土木優良工程首獎：蘇花改工程 2
- 📖 亞洲土木聯盟2022亞洲土木個人成就獎：楊偉甫先生 3

「推動與落實生態水利的方法與案例」專輯 (客座主編：黃國文研究員、詹錢登特聘教授)

- 📖 專輯序言：推動與落實生態水利的方法與案例 黃國文／詹錢登 5
- 📖 漫談生態水利自然解方 施上粟 6
- 📖 生態水利的起點—知己知彼從環境調查開始 郭品含／黃耀陞／黃守忠／黃國文 11
- 📖 河川生態評估指標用於河川工程之探討 孫建平／邱宏彬 17
- 📖 河川水域與濱溪棲地品質分析—以水璉溪為例 胡通哲／陳淑媛／陳彥旭／陳兆鈿 21
- 📖 基隆河四斑細蟪基礎調查與復育試驗 鍾權昱 27
- 📖 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／楊連洲／曹榮顯／黃國文／施上粟／李偉哲 32

工程技術及發展

- 📖 國道8號之橋梁耐震補強工法解析 趙汝凱／林邦奎／張發魁／林建志 39
- 📖 捷運萬大線廈安站臨時箱涵改道至車站頂版上方之施工實務 邱志榮／劉振忠／姚國舜 46
- 📖 關鍵基礎設施防護與工程師之二—防護整備作業探索 張清祥／廖東成／林祐正 52

學會資訊看板

- 📖 第25屆會員代表選舉預定時程公告 59
- 📖 會員資料更新表 (本表將由學會另郵寄給會員，再請回覆。) 封底裡

廣告特搜

- 台灣電力公司 時拿九穩 分分回回 — 智慧電網 封底
- 遠揚營造工程股份有限公司 — 創新工法 封面裡
- 華光工程顧問股份有限公司 — 專業・人本・樂活 38
- 利德工程股份有限公司 — 信譽・效率・安全・競爭力 60
- 亞新工程顧問股份有限公司 — 服務品質ASSET：先進・安全・滿意・經濟・準時 60
- 財團法人中興工程科技研究發展基金會 — 科普 獎學 工程交流 61
- 裕鼎工程科技有限公司 — 掛網岩栓護坡 61
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心 做好每一件事情 62



推動與落實 生態水利 的方法與案例 專輯序言

專輯客座主編 黃國文／國立臺灣大學水工試驗所 研究員
詹錢登／國立成功大學水利及海洋工程學系 特聘教授

人類社會文明發展過程中常衍生一些環境問題，現今第一要務為減緩氣候變遷影響，再則為降低對生態環境之衝擊，尤其在河川及濕地等敏感的水域環境，因人類安全或經濟發展等因素，需進行相關水利工程，常對生態環境造成重大影響。所幸在人類的反思下，數十年前已開始推動近自然工法或生態工法等觀念，期於人類發展過程中，降低對環境的衝擊。

近年國內政府部門貫徹執行工程生態檢核，以及自然解方（Nature-based Solution, NbS）等措施，在行政院公共工程委員會頒佈「公共工程生態檢核注意事項」的行政要求下，致使全國幾乎每項工程皆需辦理生態檢核作業，惟仍偶有對環境造成嚴重衝擊之案例發生，主要乃工程人員未確實瞭解環境之敏感程度，對生態未有適當管道深切認知。以水域環境而言，生

態水利學（Ecohydraulics）藉由研究水域環境與生態結構、功能、系統之關係，提供工程人員深入瞭解之法門，若配合量化方法，更可讓工程人員運用於工程中。整合生態與水利兩種專業的生態水利，提供工程人員得以量化瞭解水利與生物特性之整合機制。本專輯由生態水利自然解方談起，進而討論生態水利環境調查之重要性，分析河川生態評估指標原理及適用性，將棲地適合度指標（Habitat Suitability Index）運用於河川水域與濱溪棲地品質分析，以及珍稀物種四斑細鰻復育之應用，最後介紹大漢溪防洪與生態雙贏的河道改善工程案例。本專輯希望藉由學者專家提供之理論分析及實際案例，持續推動生態水利於水域環境之運用，各界可持續研發推廣生態水利，共創永續之水域環境。🌱



漫談 生態水利 自然解方

施上粟／國立臺灣大學土木工程學系 副教授

近代水利工程面對許多不同型式的挑戰，包括氣候變遷、人居環境改變、永續發展需求等，因此有需要思考如何由過去的單解方（single solution）轉換至全解方（total solutions）的思維。本文以生態水利學、生態系統服務、生態系統防減災等相關知識帶來的跨領域課題，漫談近年熱門的自然解方的概念相關案例，希望能起著拋磚引玉之功，引發思考下一階段的典範轉移發生的可能性。

前言

聯合國在 2015 發表了未來 15 年永續發展的議程，同時提出 17 項發展目標，其中與水科學領域直接相關的目標至少有三項，揭示永續發展以水科學為核心的概念為強調人與自然的和諧共處。近年來，學術社群及聯合國相關組織強調如何保護和改善生態系統以降低災害風險的重要性，為降低氣候變遷對人類社會帶來的威脅，2015 年第三屆聯合國防災大會宣布推動「生態系統防減災」（ecosystem-based disaster risk reduction），建議積極維護生態系的健全以提升生態系統對人類社會的服務品質（ecosystem services toward human welfare），並利用生態系統服務中災害調節及支持的功能，達到防減災及永續發展的目標。此亦呼應 1987 年提出「Our Common Future」的 Brundtland Report 中「Towards Sustainable Development」篇章的建議「Merging Environment and Economics in Decision Making」。

臺灣的水文時空間變化大加上坡陡流急的水域特性，使得台灣水利防災及水資源規劃面臨艱鉅的挑戰，面對氣候變遷可能加深危害度、擴大暴露度而增加風險程度，如何強化人居水環境的災變容受力及災復韌性變的刻不容緩。傳統土木水利知識在處理日益複雜的課題上似已逐漸顯露捉襟見肘之感，對於更多的挑戰，水利相關領域需要導入更多的先驅及跨域知識加以因應，並經由跨域合作的過程產出本土知識以

深化知識程度。土木及水利工程天職是服務大眾、建構人類社會安全、健康、宜居的環境，雖常自詡大地雕刻師，卻也常被詬病是自然環境破壞者，其正反面角色極端差異的關鍵為工程師在規劃設計時，是否將永續概念融入於降低生態環境衝擊，並將衍生的外部成本納入考量，以符合永續發展的精神。臺灣具備國際間難得的極端環境條件，因此研究成果具備獨特性，如：面積小卻具高度生物多樣性、人口集中且土地高度開發、降雨量多但可用水資源匱乏等，故國外經驗很難適用臺灣，亟需進行本土數據的累積及理論知識、工程技術、調查方法的研發工作。

生態水利

水域生態系統如溪流、河口、湖泊、濕地、沿岸、海洋等，是由多重空間和時間尺度上的物理、生物和化學過程相互作用而構成^[1]。因此牽涉到生態系統需要跨領域研究團隊來解決這些跨越傳統學科界限的問題，生態水利學（ecohydraulics）是這些新興研究領域之一，吸引了生物學家、生態學家、河流地貌學家、沉積學家、水文學家、水利工程師的投入及合作，除了推進科學和關鍵管理問題以維持自然生態系統的基礎科學問題，也回應現代社會對健康永續環境的要求^[2]。因此，生態水利學扮演水力學 / 流體力學和生物學 / 生態學之間的中間領域角色，用以銜接或解決兩個領域難以處理而關鍵的科學或工程問題，

例如特定物種群聚、物種競爭與棲息地環境特性的關係 (species-habitat relationship) 等接近棲地保育、復育課題^[2,3]，或高灘地植生對自然洪氾系統的影響 (floodplain vegetation-ecohydraulics) 等較類近生態系防減災權衡概念的課題^[5,6]。換言之，生態水利學的核心研究重點之一是提供生態系服務 (ecosystem services) 進行科學量化時的估算基礎 (包括貨幣化評估工程成本及預期效益)。

生態系服務是生態系結構與功能，以直接及間接的方式提供人類社會的福祉，成為決定自然資本的基礎^[7]。生態系統的服務和產生它們的自然資本存量對於地球生命支持系統的運作至關重要，同時也直接或間接為人類福利做出貢獻，雖然這些屬於地球總經濟價值的一部分但常被低估其價值^[8]。實務上，生態系統功能對人類所提供的服務常有相左情形，因此有時必須以權衡 (tradeoff) 的觀念進行積極有效的管理，以使服務功能達到最佳化。

自然解方

自然解方 (Nature-based Solution, NbS) 最早在 2008 年由世界銀行公開此概念，強調保護生物多樣性對氣候變化減緩與適應的重要性^[9]；緊接著，國際自然保護聯盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 2009 年時向聯合國氣候變化框架公約第 15 屆締約國大會提交的工作報告中，強調 NbS 在應對氣候變化中可發揮的作用，並將其定義為「Nature-based Solutions are actions to protect, sustainably manage, and restore natural and modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.」 (<https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions>)。自然解方作為生態系統相關方法的總括概念，其總體目標是為了解決日益嚴峻的社會挑戰，像是糧食安全、氣候變化、水安全、人類健康、災害風險及社會和經濟發展等 (圖 1)。一般可分為五個類別，包括：生態系統復育方法、生態議題相關方法、基礎設施相關方法、生態系統管理方法、生態系統保護方法^[10]。

實際上，過去已有許多與 NbS 概念相近的理論或想法被提出，如：生態系統功能與服務 (ecosystem functions and services)、生態防減災 (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction, Eco-DRR)、綠色基礎



圖 1 自然解方主要關注重點及總體目標^[10]

設施 (Green Infrastructure, GI)、低衝擊開發 (Low Impact Developments, LIDs)、最佳管理措施 (Best Management Practices, BMPs) 等，這些名詞在不同國家採用的名稱也不盡相同，現今歐洲地區普遍使用 NbS 統稱這些理論與想法，與其他名詞不同的是，NbS 為一個整合許多想法與理論的方案，考慮的面向除了水資源永續管理，同時也對氣候變遷、生物多樣性、人民健康及生活品質的議題納入考量^[11]。

其中，綠色基礎設施 GI 的概念約於 2010 年前後由低衝擊開發 LID 演變而來，是一種聚焦於利用自然過程調適水患，並能帶來環境、社會、經濟利益的方法。傳統上的洪災管理方式包含堤防、水庫、下水道系統、抽水站等，全世界每年耗費大量經費在強化諸如此類的灰色基礎設施 (grey infrastructures) 以防護水患；然而這些作為也有可能增加淹水風險，比如同一條河川兩側保護標準不一時，低保護地區的受災頻率就會上升^[12]；且政府需要花費額外支出，以彌補地景價值損失 (如綠美化堤岸)、水質淨化等生態系統服務功能喪失 (如興建污水處理廠)，顯示不同考量及需求間存在競爭及權衡的問題需要克服。綠色設施在許多情況下都能作為洪災管理架構下的一個關鍵因子，形式上包含濕地、緩衝帶、綠屋頂、樹穴、透水鋪面等，這些措施可與現有都市的灰色設施進行整合規劃，幫助減少洪水衝擊以強化城市韌性能力，並提高整體人居的環境品質。綠色基盤可用於控制地表逕流以降低都市淹水潛勢，同時也扮演調節蒸發散、補充地下水、改善都市微氣候條件的角色；相較於傳統措施，綠色基盤的開發與運維成本皆較低廉，其建造成本至多可節省 30%，而全生命週期成本則便宜 25%^[13]。

事實上，近代水利工程計畫的規劃及設計不再是水利工程師的專屬領域，有更多不同領域的研究人員或環境關懷團體提出創意思維，因此如何與生態學、經濟學、社會科學和行政科學等其他學科的合作對於找到可接受的解決方案至關重要。參與或主導此類水利工程計畫的專家會發現，僅僅根據正確的物理定律、嚴格的防洪標準及水資源調度計畫並不能保證在此類過程中被利益相關者所重視，因此水利工程師必須學會如何在比以前更複雜的決策過程中有效貢獻水利方面的專業知識。亦即，工程計畫中應該從一開始就將利益相關者關注的內容納入其中，如何從原本「最大限度地減少和減輕一組設計的影響」的相對被動或單一的思維，跳脫至相對積極的思考「如何優化所有功能和生態系統服務」，是未來水利工程師必須積極面對的挑戰。

案例介紹

美國基西米河重塑蜿蜒河道及濕地復育

美國基西米河（Kissimmee River）在佛羅里達州曾經有著蜿蜒 103 英里的河道（直線僅 50 餘英里），當雨季來臨時，上昇的河水位會緩緩漫過廣大的沼澤地，其河道周圍 3 英里都會是魚類和涉禽的天堂，其流域包括了 24 個以上的湖泊、相關支流與氾濫平原，請詳圖 2a。在 1947 年的一次長時間淹水事件後，民眾要求聯邦政府治水，於是 1948 年美國國會授權美國陸軍工兵團著手佛羅里達州中南部治水計畫，目標是把基西米河截彎取直、拓寬再挖深（圖 2b），計畫提出後，生物學家即提出警告，認為此工法會對當地生態系統帶

來毀滅性的後果。1962 至 1971 年間，基西米河已渠道化並命名為 C-38 運河，水深 30 英尺總長 56 英里，這條以防洪為考量建造的運河，使當地氾濫平原的排水速度加快，因此顯著降低了洪水衝擊，更提供了大量畜牧、農業、居住用新生地，但也大幅傷害了原有氾濫區的生態系統。許多依賴該系統的瀕危物種、特有種、魚類及濕地動物也顯著受到衝擊甚至滅絕，如：超過 90% 的濕地水禽（waterfowl）消失，位於食物鏈頂端的禿鷹（bald eagle）群落數量也減少了 70%。

美國國會在 1992 年啟動跨聯邦復育計畫，希望讓基西米河回到它過去生態盎然的樣貌，此結果展示了相關團體對美國政府的遊說力量，同時也可視為美國政府對錯誤環境決策懸崖勒馬的魄力，這中間當然有評估環境破壞後再復原的代價做為決策的基礎之一。此斥資 9.8 億美金的復育計畫於 1999 年正式執行，工程內容包括購買土地（3 億美金）還地於河、拆除舊有河堤、重新挖出舊河道並拆除洩洪道、總長 56 英里的運河有 22 英里將回填。並重塑出 24 英里的蜿蜒河道，舊有洪氾平原再次氾濫；在 2007 年的大旱災中，復育完成的河段比起人工運河，展現了對大自然極端氣候更快速的反應與承受力。在一連串以環境為優先的操作中，周圍人民財產的防洪標準並沒有下降，因為原本的氾濫區已歸還於基西米河。復育後的土地經濟活動收入，則可由觀光和急速復甦的休閒垂釣與打獵活動所取代補足。受惠於天然濕地的含水功能，當地供水在旱季也不會受影響，航運在極端乾季也能維持 90% 以上正常運作，下游歐基求碧湖的營養鹽輸入量，也可望因為上游基西米河草澤恢復後過濾吸收而降低。截至 2008 年該計畫已回填 8 英里的運河，並重

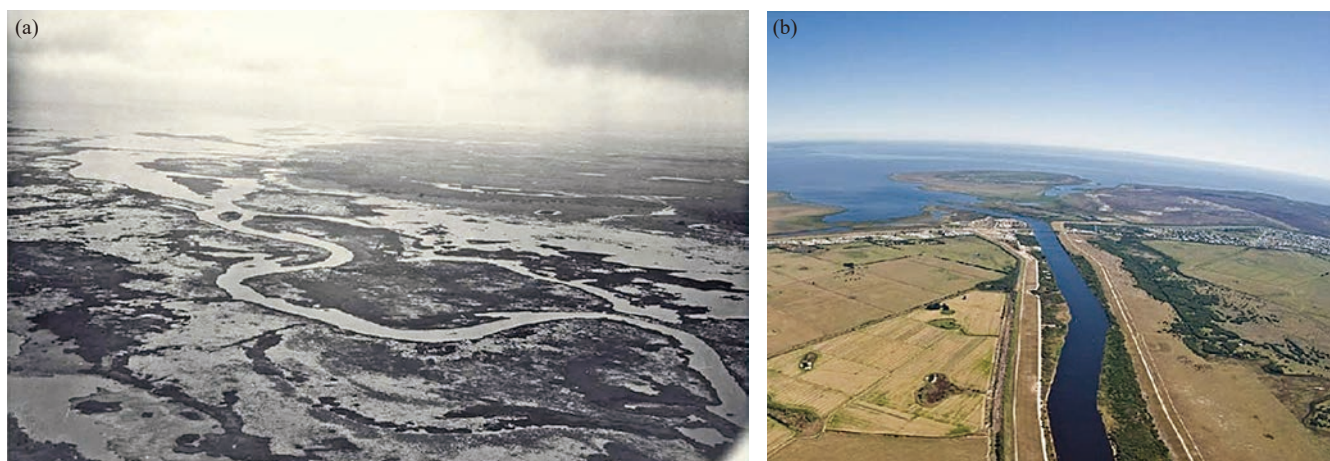


圖 2 (a) 截彎取直工程施工前的基西米河；(b) 截彎取直工程施工後的基西米河

塑出 24 英里的蜿蜒河道，舊有洪氾平原再次氾濫。基西米河上游流域長期監測計畫由 2010 年開始，2015 年的監測結果指出，比起復育計畫啟動前，有害的浮水植物與墊狀植生被原生挺水植物取代；水底有機物質累積量降低了 71%，幫助重建了沙洲，與鳥類、無脊椎動物的棲地；水體溶氧則上升了 6 倍之譜，進而讓魚類整體數量顯著上昇，且休閒魚種比例由魚類組成的 38% 上升至 68%，長期衰退的休閒垂釣價值也再次繁榮起來；長腿涉禽數量回復比預期高了 2 倍、短腿鴨也回到河中、另有 8 種水鳥重新回到復育流域。

日本荒川彩湖生態滯洪池營造計畫

流經日本東京都的荒川發源於本州埼玉縣，流經東京都後注入東京灣中，河川全長 173 公里，流域面積達 2,940 平方公里。荒川自古有「狂暴之河」之譽，因此水性湍急時常氾濫成災，如 1947 年的凱薩琳颱風就造成了嚴重的大淹水，自此後日本當局就開始建設各種防洪設施。荒川彩湖滯洪池初始設計是以防洪與儲水資源為主要目的，於 1997 年完成荒川儲水池，之後再於 2004 年完成荒川彩湖滯洪池，總面積 5.8 平方公里，儲水量 3,900 立方公尺。

意識到環境議題的重要性，彩湖滯洪池 1993 年由荒川周遭各縣市首長所組成的「荒川滯洪池周邊檢討維護委員會」，為保護荒川滯洪池周邊自然生態，而訂

立具有遠景的 3 個目標，並依目標劃分不同的保護區域及保護強度，以做進一步的維護與管理，包括：(1) 與自然共生：除了保護現有荒川的自然生態的同時，也將再活化與創造出人與動、植物間共生的自然空間；(2) 善用空間：離市中心 20 公里的範圍內的精華地區，提供人們舒壓與戶外活動的空間；(3) 回歸自然：人與自然間接觸的空間增加後，培育新的文化與自然知識。

因此荒川彩湖滯洪池設計時考慮到閘門及堤防的聯合操作策略，在平時下游的水門通常呈現開啟狀態，讓河水能夠自由流動，以維持營養鹽及生物間的自然交換機制，達到櫻草保育及水鳥等水生物利用的目的外，也提供市民假日很好的戶外活動場域，汛期時則可依漲水、洪峰到退水等不同時期，而有不同的閘門操作步驟。荒川滯洪池調節量為 850 m³/s，滯洪池內的儲水池（彩湖）設有淨化設施，每日最大可處理 302,400 m³ 的日常用水。復育後的彩湖滯洪池，其平時的水門開啟，如此能讓水流在滯洪池內部流動，型塑濕地功能，如維持營養鹽及生物間的自然交換機制，保育櫻草及提供水鳥棲息利用，同時也是市民假日很好的戶外活動場域，提供優質的休憩場所；而在發生颱風或豪雨事件時，又能發揮遲滯荒川及鴨川洪峰的功能，有效保障民眾的生命財產安全。其閘門及堤防之操作策略簡述如圖 3 和圖 4：

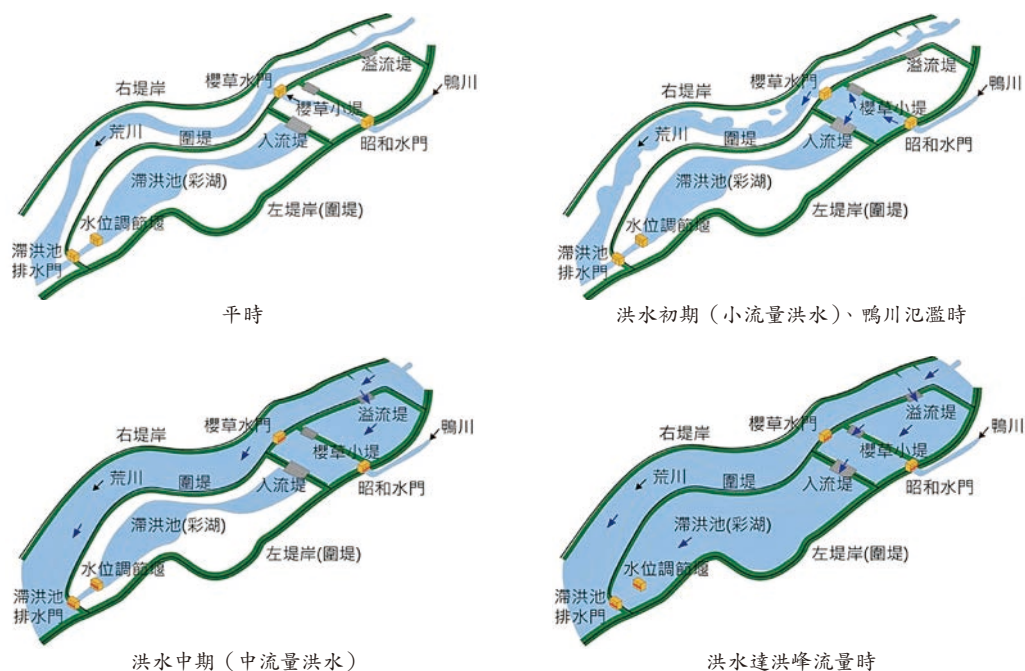


圖 3 荒川彩湖滯洪池調蓄洪水過程示意圖



圖 4 荒川彩湖滯洪池 (a) 平時及 (b) 洪氾時期空照圖

1. 平時：

下游的水門通常呈現開啟狀態，讓河水能夠自由流動，以維持營養鹽及生物間的自然交換機制，並靠水位調節堰調節彩湖的水位。

2. 洪水初期（小流量洪水）、鴨川氾濫時：

首先需立即關閉滯洪池水門，以確保滯洪池內的蓄洪空間，為確保櫻草棲息地水量不變，在洪水初期時會打開昭和與櫻草水門。

3. 洪水中期（中流量洪水）：

滯洪池水門、昭和與櫻草水門都需關閉，鴨川的排水由排水水磊排出。而荒川水位上升後，則經由溢流堰直接進入滯洪池調節水位。

4. 洪水達洪峰流量時：

上游區塊蓄水池滿後，升高的水經過下個區塊的入流堤，進入下游蓄水池中進行洪水調節。此後隨著荒川的流量降低，再開啟滯洪池排水門進行排水作業。

參考文獻

- Dauwalter, D.C., Splinter, D.K., Fisher, W.L., and Marston, R.A. (2007). Geomorphology and stream habitat relationships with smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*) abundance at multiple spatial scales in eastern Oklahoma. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64, 1116-1129.
- Maddock, I., Harby, A., Kemp, P., and Wood, P. (2013). *Ecocydraulics: An Integrated Approach*. John Wiley & Sons, Ltd., UK.
- Shih, S.S. (2020). Spatial habitat suitability models of mangroves with *Kandelia obovata*. *Forests*, 11(4), 477.
- Kuo, P.H., Shih, S.S., and Otte, M.L. (2021). Restoration recommendations for mitigating habitat fragmentation of a river corridor. *Journal of Environmental Management*, 296, 113197: 1-12.
- Shih, S.S. and Chen, P.C. (2021). Identifying tree characteristics to determine the blocking effects of water conveyance for natural flood management in urban rivers. *Journal of Flood Risk Management*, e12742: 1-15.
- Shih, S.S., Hsieh, H.L., Chen, P.H., Chen, C.P., and Lin, H.J. (2015). Tradeoffs between reducing flood risks and storing carbon stocks in riverine mangroves. *Ocean & Coastal Management*, 105, 116-126.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press.
- Costanza, R. et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- MacKinnon, K., Sobrevila, C., and Hickey, V. (2008). *Biodiversity, climate change, and adaptation: Nature-based solutions from the World Bank portfolio*. The World Bank, Washington, D.C.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., and Maginnis, S. (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN Commission on Ecosystem Management (CEM) and IUCN World Commission on Protected Areas (WCPA), Switzerland.
- Ruangpan, L., Vojinovic, Z., Di Sabatino, S., Leo, L.S., Capobianco, V., Oen, A.M.P., McClain, M.E., and Lopez-Gunn, E. (2020). Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: A state-of-the-art review of the research area. *Nature Hazards Earth System Science*, 20(1), 243-270.
- Nature Conservancy (2014). *A flood of benefits—using green infrastructure to reduce flood risk*. Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Garrison, N. and Hobbs, K. (2011). *Rooftops to rivers II: Green strategies for controlling stormwater and combined sewer overflows*. Natural Resources Defense Council.
- de Vriend, H.J., van Koningsveld, M., Aarninkhof, S.G.J., de Vries, M.B., and Baptist, M.J. (2015). Sustainable hydraulic engineering through building with nature. *Journal of Hydro-environment Research*, 9(2), 159-171.
- Müller, F. and Burkhard, B. (2012). The indicator side of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 1, 26-30.
- 荒川（関東）[http://ja.wikipedia.org/wiki/荒川_\(関東\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/荒川_(関東))。
- 荒川第一調節池 <http://ja.wikipedia.org/wiki/荒川第一調節池>。
- 彩湖自然学習センター トッ荒川第一調節池 プ <http://www.city.toda.saitama.jp/433/432448.html>。



生態水利的起點 — 知己知彼從環境調查開始

郭品含／國立宜蘭大學土木工程學系 助理教授

黃耀陞／國立臺灣大學土木工程研究所 碩士生

黃守忠／社團法人台灣濕地學會 研究員

黃國文／國立臺灣大學水工試驗所 研究員

健康檢查為透過病史檢閱、理學檢查與評估診斷，了解人體身心健康狀況；環境也一樣，透過環境資料的爬梳、環境採樣與檢測，以及環境指標計算與評估，得以了解環境的概況。而不管是人體的健康檢查抑或環境的調查監測，該做什麼項目、多久做一次、如何判斷檢測數據等問題，總涉及了資源、設備等多面向的考量，需藉由經驗與專業的指引，選擇當下的最適方案。而環境調查成果呈現了環境的現況、反映著環境的變遷，也是環境管理之基礎，本文將以無尾港濕地 2017 至 2019 年間完成之監測工作做為案例，透過無尾港濕地過去的環境監測經驗與成果，共同來反思其適合之環境健檢方案。

無尾港濕地

無尾港濕地位於宜蘭縣新城溪出海口處，面積約 642 公頃，濕地內水源主要來自於太平洋、新城溪、港口大排，並經由濕地內之水道傳遞（圖 1）。而無尾港濕地之地理位置恰於秋冬季候鳥過境的必經路徑上，區域內土地型態以沼澤為主，加上濕地內蘊藏豐富之水生動植物，提供鳥類食物來源，吸引大批鳥類在此利用；每年 10 月至翌年 3 月是候鳥前來蘭陽平原渡冬及過境的季節，在濕地及其周邊有數以千計的雁鴨科水鳥棲息利用的紀錄，為宜蘭地區雁鴨數量最多的地點，也是北臺灣兩大小水鴨度冬區之一。因此，國際水禽研究中心（IWRB）及國際自然保育聯盟（IUCN）於 1988 年將無尾港濕地列入台灣十二大重要濕地，1993 年宜蘭縣政府依「野生動物保育法」公告其為無尾港水鳥保護區，1998 年行政院農業委員會依「野生動物保育法」公告為野生動物重要棲息環境，2007 年內政部選定其為國家級重要濕地。

環境核心特徵

生態水利學為探討水與生態系統間之相互作用，而涉及「水」與「生態」之議題，則需以系統為範疇，見樹又見林的角度來探討。水系統的形成來自於水的循環，從水蒸氣在空中凝結形成水滴降落在地表上、進入地表，再透過蒸發、蒸散回到大氣中，稱為水文循環，成就了水系，進而構成集水區，也就是生態水利學相關議題之空間尺度範疇，再以流域或集水區往下區分不同層級（圖 2），每個層級涉及之空間及時間尺度，及其對於環境變動的敏感性與恢復能力亦有所差異^[1]。而不同時間與空間下之環境資料，則成為評估此系統之重要資訊；如同人體，透過體溫、脈搏、呼吸、血壓等生命徵象之量測即可了解生理之狀況，水環境中亦有幾項重要之環境健康評估因子包含：水文、河相、物理棲地、生物、水質等（圖 3）。

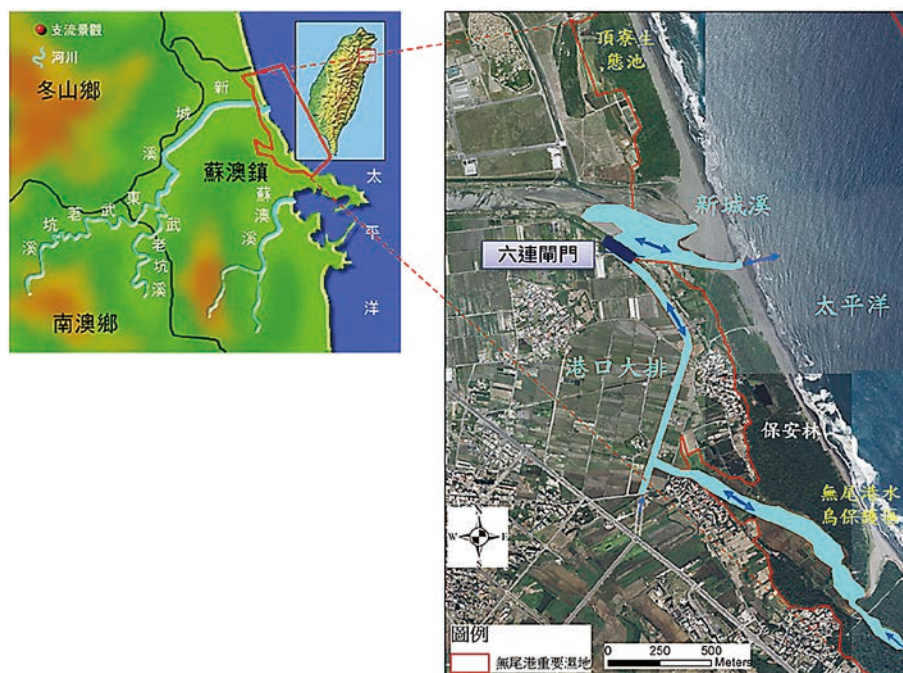


圖 1 無尾港濕地位置圖^[2]

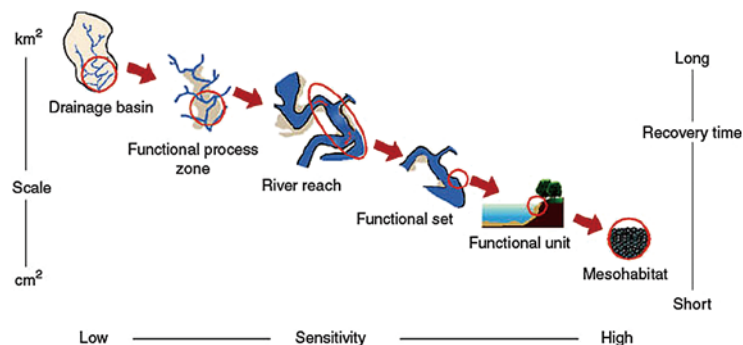


圖 2 河川系統於空間及時間尺度上的探討尺度^[1]

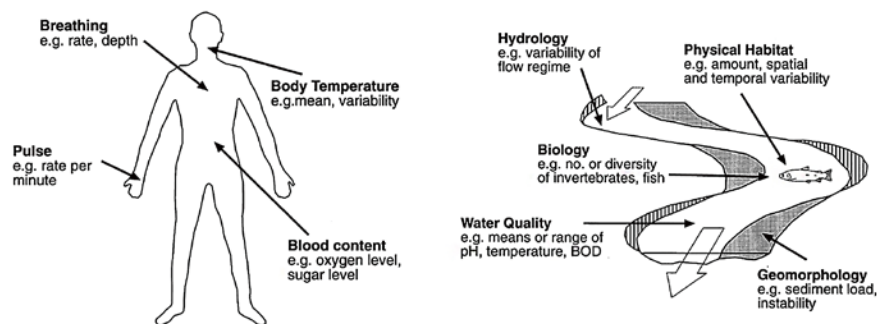


圖 3 人類與河川環境健康診斷之類比^[3]

如無尾港濕地水位調查計畫，其位屬於新城溪流域下游，濕地內之水鳥保護區具有水道與港口大排連接再匯入新城溪，最後流入太平洋（圖 1）；新城溪水位、港口大排水位、潮汐等都影響著濕地內每一個點位的水深。因此，無尾港濕地之環境調查計畫考量其

環境特性，水位調查工作在空間上佈置 7 個自計式水位站，每 30 分鐘記錄一筆資料，並搭配經濟部水利署蘭陽溪噶瑪蘭橋河川水位站、中央氣象局蘇澳潮位站及冬山雨量站監測資料輔佐分析（圖 4）；根據調查結果（圖 5）：濕地內的常時水位隨潮汐影響，每日的水

位差介於 20 cm 至 40 cm，並以位於新城溪出海口的測站（測站編號：G，測站名稱：閘門外）最為明顯，透過長期水位調查資料，可協助釐清濕地內不同空間及時間尺度下水環境的變化，並有助於了解濕地內水資源的流動情形。此外，長期調查資料亦可即時掌握極端事件之影響，輔佐管理及應變策略研擬，以 2017 年尼莎颱風（7 月 28 至 7 月 30 日）為例，期間內累積降雨量約 176 mm，並於 7 月 29 日 21:00 記錄到最大時雨量 48 mm，達中央氣象局定義之大雨（heavy rain）等級，且於蘇澳潮位站亦發現潮位可能受颱風暴潮影響，高潮位較平時高出約 0.5 m，進一步對比颱風期間及其前後水位資料可發現：颱風期間內無尾港濕地內之水位較颱風前高約 1 m，並隨颱風降雨趨緩後下降，約 3 天後水位復歸常時情況（圖 5），顯示颱風期間之降雨及暴潮直接影響濕地水位。

環境調查與監測方案

環境的調查與監測跟身體健康檢查一樣，根據不同需求與目的具有不同的方案，透過調查與監測計畫的研擬，將調查工作及相應之數據分析方法系統性地規劃，才能展現調查與監測成效。簡單來說，環境調查與監測方案可依循檢測目標分為五大方案：快速評估（Snapshot Assessment）、檢定監測（Compliance Monitoring）、執行監測（Implementation Monitoring）、績效監測（Effectiveness Monitoring）、驗證監測（Validation monitoring），每種調查方案又跨越了不同的空間及時間調查尺度與調查努力量（圖 6^[4]）。

快速評估（Snapshot Assessment）

快速評估的目的為針對環境場域進行一次系統性之調查，以反映調查當下環境場域的狀態，其調查項依其調查目標而有所不同，且通常會搭配環境指標之計算，輔佐調查數據之解讀。實務應用上已有許多專

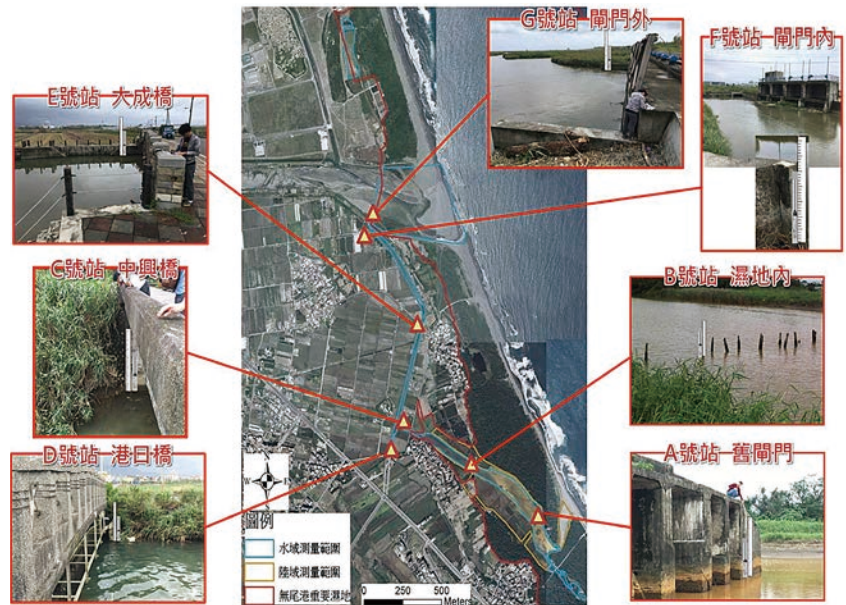


圖 4 無尾港濕地自記式水位計及水尺佈置圖。各點位係參考濕地水系、流況進行佈置，優先設置點位包含：濕地水系上、下游邊界、濕地內其他入流邊界及閘門上下游等可透過人為操作影響水位之水利設施；此外，儀器架設時需選擇於流況及斷面型態較穩定處^[2]。

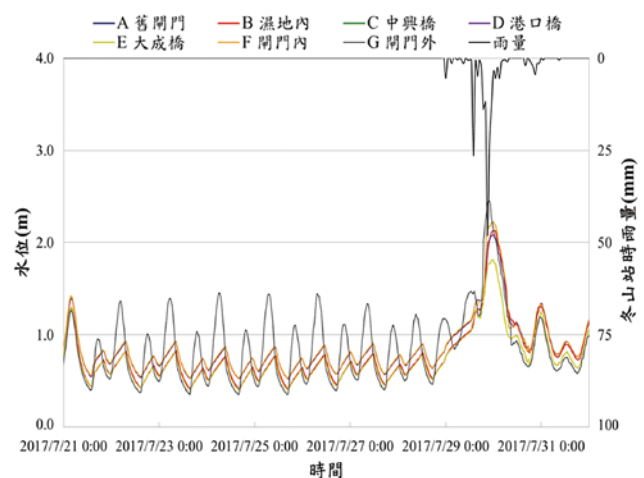


圖 5 無尾港濕地水位監測紀錄^[2]

Monitoring Intensity		Monitoring Type	
Increasing ↓	Routine	Compliance	
	Extensive		Implementation
	Intensive		Effectiveness
	Applied Research		Validation

圖 6 不同目標之環境調查與監測方案調查努力量比較^[4]

家針對不同場域及調查目標提出調查及評估方法，如：林幸助等人^[5]曾提出濕地棲地快速評估法（圖 7），其依循濕地水域特性訂立相應之調查指標及其分級計分方式，以無尾港濕地中之靜水域為例，透過現地的水色、

圖 7 濕地棲地快速評估流程^[5]

植被品質、基質品質、緩衝區型態、暴雨影響、人為活動及集水區活動幾大面向的紀錄，即可初步評斷其濕地棲地概況。

檢定監測（Compliance Monitoring）

檢定監測的目的為搭配相關法規之檢測項目進行環境的調查與監測，並據以評斷其與是否滿足相關規約，如行政院環境保護署依循水污染防治法建立了「地面水體分類及水質標準」，用以評斷各水體之適用性質。以無尾港濕地水質調查計畫為例，濕地內依循其環境特性佈置了 5 處樣站進行一季一次之水質監測工作，根據 2019 年之四季調查成果（圖 8）可發現：濕地內四季之水質介於地面水體分類標準之乙級至戊級間，其中大坑罟樣站之調查成果在四季具有顯著的差異，於秋季（10 月 16 日）之水質最佳，符合陸域地面水體乙級分類標準，可提供二級公共用水、一級水產用水、一級工業用水、灌溉用水及環境保育用途；而春季（4 月 17 日）之水質最差，為戊級水體，其水體僅可作為適用環境保育用途。

執行監測（Implementation Monitoring）

執行監測的目的為透過監測資料，探討場域內是否達成其訂立之相關目標，如無尾港重要濕地（國家級）保育利用計畫^[7]中訂立「提供水禽候鳥遷移棲息區域」為其濕地保育利用計畫目標之一，濕地內自 2016 年即開始執行鳥類調查計畫，針對濕地內 8 個樣區及濕地外 2 個樣區（圖 9），每個月進行一次鳥類調查工作。以 2019 年之 12 次調查成果為例，其共記錄



2019 年無尾港濕地水質調查成果－水體分類

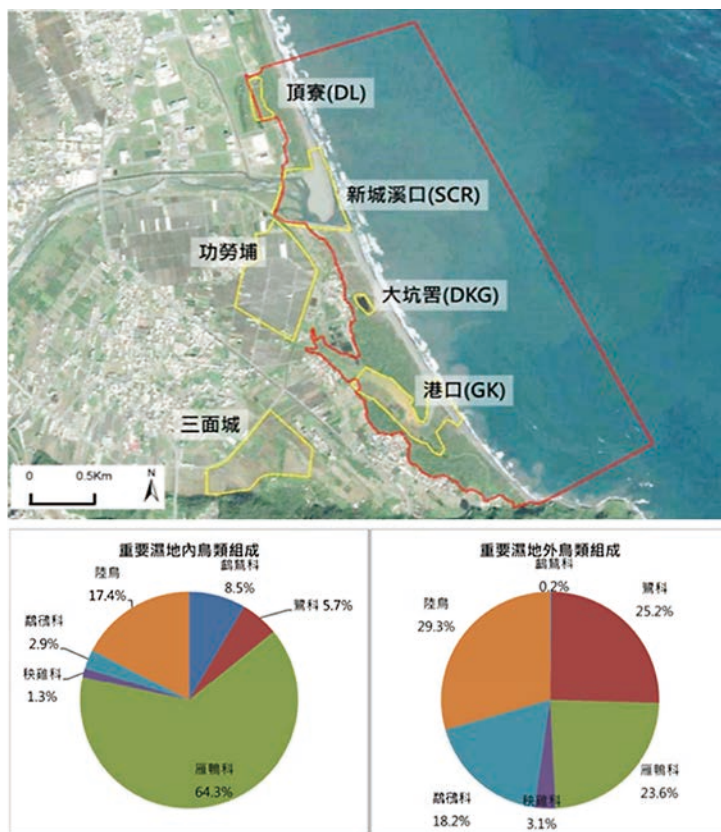
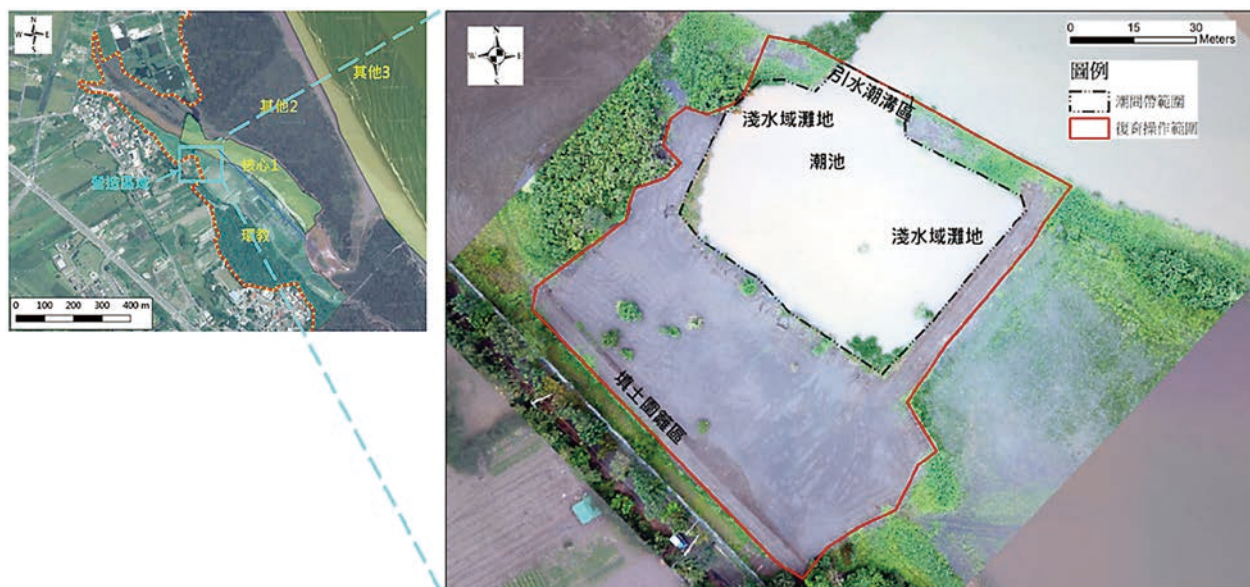
測站	冬 (02/21)	春 (04/17)	夏 (07/17)	秋 (10/16)
頂寮 (DL)	丁	丁	丁	丙
新城溪口 (SCR)	丁	丁	丁	丁
六連關門 (SLG)	丁	丁	丁	丁
大坑罟 (DKG)	丁	戊	丁	乙
中興橋 (GK)	丁	丁	戊	丁

圖 8 無尾港濕地水質調查點位及調查成果^[6]

到 40 科 94 種鳥類共計 16,111 隻次的鳥類，其中水鳥佔 79.6%、陸鳥佔 20.4%，而濕地內水鳥類別主要包括雁鴨科、鸕鶿科、鷺科、以及鷗鷺等（圖 9）；其中，保育利用計畫中關注之雁鴨科仍為濕地最優勢的水鳥種類，未來透過持續性之監測與資料比對，即可反映本保育利用計畫之執行成效是否達標。

績效監測（Effectiveness Monitoring）

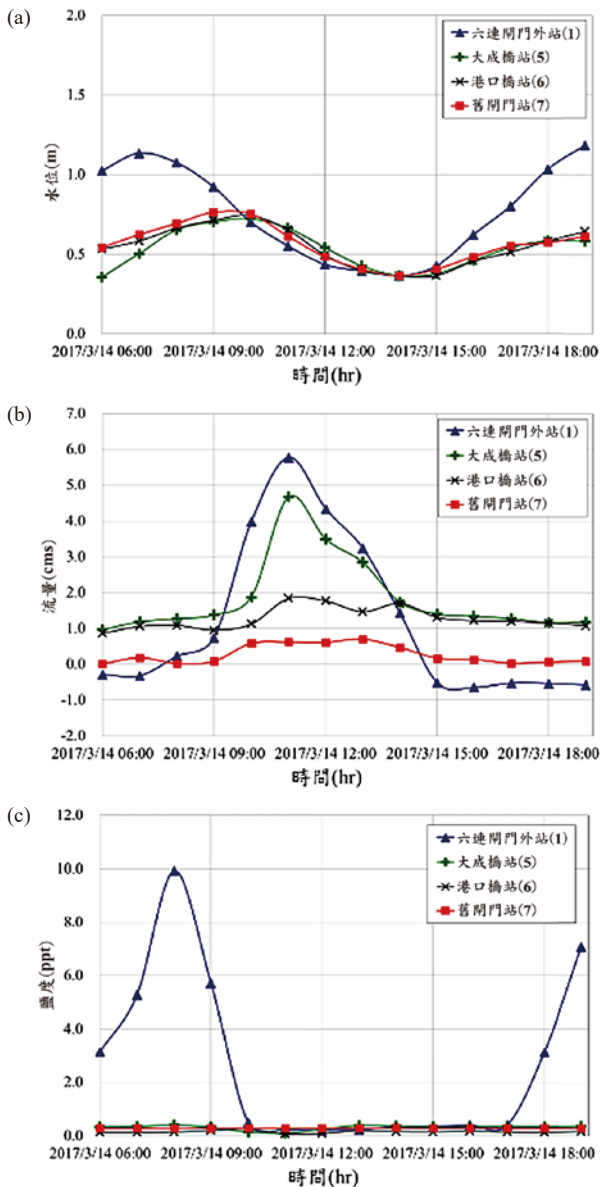
執行監測的目的為透過監測數據，比較場域內管理計畫或方案執行前後之差異，據以評估其執行績效。如宜蘭縣政府農業處於 2018 雇工在無尾港濕地內進行 0.88 公頃之棲地改善工作（圖 10），計畫執行團隊因而規劃相應之鳥類及底棲動物調查工作，了解其成效，作為後續相關執行方案參考。

圖 9 無尾港濕地鳥類調查樣區及鳥類調查成果^[6]圖 10 無尾港濕地棲地營造^[6]

驗證監測 (Validation monitoring)

驗證監測則為搭配實驗設計，藉由實驗過程中之監測數據，以對環境場域有更多的了解。如無尾港濕地具有感潮特性，但早期對於潮汐影響濕地之水環境範圍與程度卻無法掌握，直至 2017 年之全潮測量，其

依循環境特性及預測佈置調查點位進行水位、流量、鹽度之調查，調查結果（圖 11）顯示其水環境變動與預測之潮汐影響現象吻合，此調查結果輔佐無尾港濕地鹽度感潮及水力感潮範圍之劃定，及輔佐進一步之環境模擬工作。

圖 11 無尾港濕地全潮調查成果^[2]

反思與整備－環境調查計畫

本文透過 2017 至 2019 年於無尾港濕地完成之環境調查成果^[2,6]輔佐介紹不同調查方案之差異，以及說明每一筆環境調查資料所蘊含之環境資訊。可以發現的

是：不管調查目標為何，環境因子在空間場域及時間尺度上具有變動性，跟人體各項健康指標一樣，需要透過定期檢查達到預防及保健的效益；因此，持續推動及落實環境場域之定期環境調查為守護環境場域的基礎。而為了達到有限資源的應用，環境調查工作應研擬完整的環境調查計畫，美國環境保護署根據執行經驗，整理出環境調查與監測計畫應涵蓋之十大要素，其包含：(1) 策略之整合與研擬、(2) 目標擬訂、(3) 調查與監測方法設計、(4) 環境指標、(5) 調查品質管理、(6) 調查數據管理、(7) 數據分析與解讀、(8) 調查報告研擬、(9) 調查成效評估、(10) 資源與設備之整合^[8,9]；知己知彼，參考相關經驗，搭配此十大環境調查與監測要素，進行盤點與分析，研擬環境場域之環境計畫書並實際執行之，對於環境場域將有更多的了解與照護。

參考文獻

1. Parsons, M., Thoms, M.C., and Flotemersch, J.E., (2017). Eight river principles for navigating the science-policy interface. *Marine and Freshwater Research*, 68(3), 401-410. <https://doi.org/10.1071/MF15336>
2. 宜蘭縣政府 (2017)。無尾港重要濕地水文環境調查及模擬分析委託專業服務案報告書。國立臺灣大學。
3. Maddock, I. (1999). The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biology*, 41(2), 373-391. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00437.x>
4. Stratford, C.J. (2018). *Monitoring of Wetlands: Overview*. The Wetland Book, 1767-1778. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_289
5. 林幸助等人 (2009)。濕地生態系生物多樣性監測系統標準作業程序。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
6. 宜蘭縣政府 (2020)。107～108 年度無尾港重要濕地（國家級）生態水質調查、棲地維護規劃、環境教育推廣及民間團體整合溝通計畫。社團法人台灣濕地學會。
7. 內政部 (2018)。無尾港重要濕地（國家級）保育利用計畫。
8. USEPA (2003). *Elements of a state water monitoring and assessment program*. USEPA Assessment and Watershed Protection Division, Washington, DC.
9. USEPA (2006). *Application of elements of a state water monitoring and assessment program for wetlands*. USEPA Wetlands Division, Washington, DC.



www.ciche.org.tw
下載入會申請書

歡迎加入學會

e-mail: service@ciche.org.tw
電話：(02) 2392-6325
傳真：(02) 2396-4260



中國土木工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING



河川生態評估指標用於河川工程之探討

孫建平／國立成功大學水利及海洋工程學系 教授兼系主任

邱宏彬／國立成功大學水利及海洋工程學系 博士級研究員

過去河川工程的施作，往往是以人的生命財產安全作為主要考量，生態及環境的部分幾乎不重視，使得工程的完工雖可保護人的生命財產安全，卻破壞了原有的生態及環境。隨著民眾對生態環境保育的重視，河川工程的施作及管理不再只是單純考量人的安全部分，還必須考量對於週遭生態環境的影響，因此有多個相關的河川生態評估指標開始用於臺灣的河川工程或河川復育工作，但過去對於工程人員的教育及培訓少有涉及河川生態評估指標的知識、學理及發展過程。不同的河川生態指標對於生態及環境的評估不同，如何應用合適的生態指標於河川工程或河川復育工作亦相當重要，而本文將針對多數河川生態指標使用上需注意的細節進行探討說明。

前言

自古以來，人類的生存和文化起源與河川分不開，因河川是人類重要的水資源之來源，提供了農業灌溉、飲食和發電等功能，但由於工業發展及人類的過度開發，導致洪水、崩塌、土石流等災害日漸增加，威脅到人類生命財產安全，因此用於保護人類生命財產安全的人工構造物也出現在河川內，有的是用來保護兩岸、有的是用來保水取水或攔截土砂、有的則是用來控制水流流速及方向，但無論是哪一種，目的都是以保護人類的生命財產安全為優先，生態和環境的考量較有限。上述的人工構造物可簡略分為縱向和橫向構造物，縱向構造物諸如護岸、堤防等；橫向構造物諸如固床工、潛壩及防砂壩等，而這些構造物都會造成溪流棲地狀態產生改變^[1]。

河川除了是人類重要的水資源，對於動、植物來說也是重要的棲地環境，棲地環境受水深、流速、底質、水質、河寬、甚至生物等的影響，會產生急流、湍瀨、深潭等不同的形式，河川中水域環境之異質性愈高，生物的多樣性亦會有相對較高的機會^[2,3]。由於當人類的生命財產安全感受到河川之威脅時，便建造人工構造物而造成河道溝渠化，使得水文環境改變，棲地環境亦變得單一，而後續為維持防洪功能所進行

的疏浚工程，更對於棲地的復原較為不利^[4]，影響了水生生物的生存^[5]。

隨著民眾對生態環境保育的重視，工程的施作及管理不再只是以人為最主要的考量，而是兼顧考量對週遭生態環境之影響，為了方便溝通及有效管理，因而發展出多個河川生態評估指標應用在河川工程檢核及評估之目的。藉由指標評估的結果，希望能反應工程對於生態及環境的影響，並適時的提出改善建議，達到兼顧人及生態環境之保護效果，但河川生態評估指標的相關知識、學理及發展過程，工程人員一般少有接觸，因此本文將針對幾個常用的評估指標，在使用上要注意的事項進行探討。

河川生態評估指標簡介

目前在臺灣有許多河川生態評估指標被廣泛的運用，可簡略分為綜合型、環境型和生物型評估指標。綜合型包含快速棲地生態評估方法（Rapid Habitat Ecological Evaluation Protocol, RHEEP）、河溪環境快速評估系統（Stream Environment Rapid Assessment System, SERAS）、溪流複合式評估指標（Stream Integrity Assessment Model, SIAM）、快速生物評估法（Rapid Bioassessment Protocol, RBP）等；環境型包

含河川污染指標 (River Pollution Index, RPI)、水質指數 (Water Quality Index, WQI)、定性棲地評價指標 (Qualitative Habitat Evaluation Index, QHEI) 等；生物型包含藻屬指數 (Genus Index, GI)、Hilsenhoff 生物指標 (Hilsenhoff's Biotic Index, BI)、科級生物指標 (Family-Level Biotic Index, FBI)、生物完整性指標 (Index of Biotic Integrity, IBI) 等^[6]。

本文將不對以上各個指標的使用方式一一做說明，主要是要針對這些指標在應用時，工程人員需要先了解基本之考量，並知道其使用時的限制。

使用國外所發展指標應有的修正

一個評估指標的發展常常需要耗費大量的時間及財力，才能對所應用的區域做有效的反應。目前在使用的一些指標是由國外所發展的指標，再依照臺灣的地理及生態環境特性，做或多或少的修正，成為許多工程報告拿來做生態分析的工具，但是實際上由於投入的時間有限，還是有許多該修正的內容需要花更多的時間來驗證，例如 FBI 及 IBI 便是如此。科級生物指標 0 ~ 10 分的分數是不是可以直接拿到臺灣來應用？臺灣特有的物種應該有一定的重要性，但若又沒有出現在目前的給分表中要如何修正？其他如快速生物評估法 (RBP) 及生物完整性指標 (IBI) 都有類似的問題，不過目前很多許多工程報告都直接拿來做生態調查成果分析。

分數界定標準之考量

河川生態評估指標可常被用來當做評定「河川健康 (River Health)」的一個工具，不過為了管理上的考量，會將分數給予不同的等級，要如何界定分數的上界是一大困難，在評估工具的發展過程中，是要有一個所謂的參考樣站 (reference site)，即被認為優良的樣站，這樣的樣站在臺灣中上游可能有機會存在，在臺灣河川中下游由於人為的影響，其實已經不太容易有一個可以被認定優良的樣站，藉以定出中下游應有的分數上界標準。在實務操作過程中，如水利工程快速棲地生態評估表能拿到超過八成分數的樣站是少之又少，一個大家認為極為優良的參考樣站，在這樣的評估表中似乎也無法拿到接近滿分的情形，再加上表中所謂的指標生物定為臺灣石鮒和田蚌，是否有其他的生物可以做替代？為何是選這兩種生物？且各個河段都適用，也限制了這個評分表的給分。

指標數字的迷思

指標評估最後的結果，往往是以數字或者是等級類型的方式來呈現，對於管理者來說，這樣的呈現方式是很好的比較與管理的工具，在呈現上很容易理解好讀，溝通上也比較方便，是否達到符合標準（及格）的數字或等級類型，便成為最後關注的焦點，但也正由於如此，大家最後看到的就只是一個數字，或者是等級的結果，指標中各個分項目，或者是原始調查成果的細節，都無法在這個數字或者是等級類型中呈現，相同數字或者是等級類型，可能由截然不同的環境調查成果所組成，背後的生態環境更是不同。更嚴重的是，有時為了達到符合標準（及格）的數字，可能會專門就單一小事來特別加強來提高評估分數數字的成果，以期能達到標準的區域，之後就卻又不會再花更多的心力去改善。

主觀給分之考量

有些評估方式希望以簡單快速完成的方式做一初評，讓工程人員對其生態環境有一初步概括的了解，其實這也是有一定的必要性。其中就以快速棲地生態評估方法 (RHEEP) 及修正後的相關方式在工程報告中為常用。許多單位在做生態檢核時，所使用的水利工程快速棲地生態評估表（河川、區域排水），部份項目就是評估人員以肉眼直接觀察後評分，而在分析這些評分時應注意以下的事項：(1) 到底是應該訓練所有的評估人員，在評同一區域時都要有相同的給分結果？或者是如工程人員與生態人員依其不同的角度，去給不同的給分結果？在實務操作過程中，常常不同人評估所得到的分數就有可能不同，過去就有工程生態檢核例子在水利工程快速棲地生態評估表中所描述的水域型態，和現場勘查紀錄表所描述的水域型態就有不小的差異，不同人評估所認定的環境狀況就有可能不同。(2) 以水的顏色來代表水域生產者，來檢視水體中藻類及浮游生物（生產者）的含量及種類是否適合，各顏色是否能有一定的生態代表意義？另外對於顏色的判定是否精準？也有不同的認定。(3) 一般大家在給分數時，很差的環境條件容易給低分，通常要給到滿分都會有所考量，所以中等分數很多，也有部分很低的分數，但是高分卻常常為少數。

簡化的河川物理環境參數

工程上常用平均水深及平均流速來描述河段及做工程設計，以期達到那個河段安全上的需求，而這與在河

相學及生態學通常強調的是深槽線，也就是河道最深水深處的連線（thalweg）不同，一個是簡化方便設計，另一個則是了解變化並重視最深處。自然河川在河段各處縱向及橫向都有不同的水深及流速數值，生物也在這種複雜的環境中生存，並有其個別的棲息地偏好特性，棲息地適合度指數（Habitat Suitability Index, HSI）就被拿來作為描述這個偏好的方式，後來也被作為很多工程設計上考量生物特性的參考。先不論其棲息地適合度指數的求取方式可能有五、六種以上，目前的偏好程度數字也是有要注意的部分。近年來由特有生物研究保育中心及水利規劃試驗所研究而得的魚類棲地適合度指數，在計畫執行收集資料的過程中，是以 3 公尺乘上 1.5 公尺的範圍當作其採樣的區域，再在這 4.5 平方公尺的區域中測量 4 個角落及中心點的流速及水深，5 個點平均之後的水深及流速數值當作該區域調查到所有生物棲地使用的水深及流速。要知道這一區域範圍內，地形可能可以有極大的差距，但為求得方便的表示方式，便以平均值來代表，而某些魚類可能只集中在這 4.5 平方公尺的一個角落，可能是最淺最急的地方，但是平均後這個訊息就無法得知了，而且計畫採樣的方式是由人進入河道中調查，所以水深原則上不會超過 1.2 公尺，所以也就不容易有超過 1.2 公尺以上的數據，尤其是將區域中 5 個點平均之後，更會缺乏在較小（接近 0 處）及較大數據（超過 1），此外，區間間隔內採樣格數太少或單一採樣格有過大的魚類採樣隻數結果，都會影響到整個指數值的變化。而當 HSI 應用到工程的設計上時，最常是以工程河段區域畫網格後，透過流場（水理）模擬軟體求得每小格網格的水深及流速，但是在實地測量時，不可能整個水下平面都測量到，所以是以內插法的方式，推估其各個網格格地形變化，再計算而得水深及流速，當然結果可能和實際狀況有更多的差異，而且河床是變動的，在另外一個流量事件發生後，所有網格格子的水深，也可能會跟著改變，求得的水深及流速也就更不是真實的狀況，而於應用棲地適合度指數求得的權重可利用面積（Weighted Usable Area, WUA）所作的規劃和相關分析，就要先了解這些環境參數在過程中都有許多的簡化。

河川上中下游應有不同的應用標準

為了管理和使用上的方便，指標往往在一定區域範圍有相同的考量設定，但生態環境會往往因為區域而有所不同，臺灣雖然面積不大，但是從上游的高山河川到下游的平原河川，其環境都不甚相同，再加上北中南各區域的水文條件有差異，在指標的應用上，若都只是考量單一區域完全相同，則會產生一些問題，只是在行政管理及工程實務單位，希望就是一個單一的系統能一體適用，比較有均一性而好操作管理。例如在魚類調查後最常使用的生物完整性指標（IBI）就是個典型的例子，大家最常引用的朱達仁等人^[6]之選用矩陣及其評分標準（如表 1），當初是在新北市后山仔坑溪研究所發展的成果^[7]，若要以表 1 所給定的分數範圍運用到臺灣中上游所有河川（甚至還有用在中下游河川的），是沒辦法完全適用的，其中最明顯的就是第一項及第八項應該會隨著河川級序的大小（上中下游）而有不同的給分標準範圍，上游的魚類種數及個體總數量應該會與下游有不同的數字（應該也要規範努力量），而且下游還可能有海水魚的加入而更為複雜，第二到第五項也應有類似上中下游的考量。此外，由 Karr^[8]原來發展的十二項改為現在臺灣使用的九項是不是合適的考量？又是另一個議題了。類似的問題如前段所述的魚類棲地適合度指數，是否可以目前做出的指數曲線在臺灣北中南區都適用？還是應依區域再做修正？不過這又增加了許多經費的考量及複雜度。

表 1 IBI 選用矩陣及其評分標準^[6]

Metrics	Scoring criteria		
	5	3	1
1. Total number of fish species	≥ 10	4 ~ 9	0 ~ 3
2. Number of water column species	≥ 2	1	0
3. Number of benthic species	≥ 2	1	0
4. Number of fast-moving species	≥ 3	1 ~ 2	0
5. Number of intolerant species	≥ 3	1 ~ 2	0
6. % of individuals as omnivores	< 60%	60% ~ 80%	80%
7. % of individuals as insectivorous	> 45%	20% ~ 45%	< 20%
8. Number of individuals in sample	≥ 101	51 ~ 100	0 ~ 50
9. Shannon diversity, H'	> 1.52	1.17 ~ 1.52	< 1.17

水域棲地型態分類之考量

不同的生物會在不同的棲地環境下生存，而為了描述這些水域棲地的多樣性，往往會以工程人員最熟悉的水深及流速的可測量方式來描述，在一般手冊規範中最常出現的水域型態分類就是根據汪靜明^[9]所提出之方式進行分類，主要分為 5 類（淺流、淺瀨、深流、深潭、岸邊緩流），如表 2 所示。棲地類型的量化對於工程人員

的判斷確實有一定的幫助及方便性，但綜觀國內外的研究，對於棲地類型分類的描述卻不盡相同，如 Vadas and Orth^[10] 是在北美維吉尼亞州的幾條溪流裡將棲地分為 7 類；Azzellino and Vismara^[11] 則是針對阿爾卑斯山脈的 16 條支流將棲地分為 4 類。生態人員往往是以觀察到的水域棲地型態，以文字描述性的方式來做分類，與汪靜明^[9] 所強調水深流速的 30 公分和 30 公分 / 秒作為分類的標準有所不同。汪靜明^[9] 的分類標準，當初是以大甲溪中游的水域環境所訂出的這個數值，但是由於河川上中下游及各個不同大小類型的河川，都有潭瀨的分布且大小有所差異，無法簡單的以此 30 公分的標準來做分類，後來雖然有研究改良以福祿數（Froude number, Fr）的方式做分類，但都要記得潭瀨的類型會因為河川的級序大小（上中下游）而會有不同的水深流速範圍，不適合以現在所有工程在討論水域棲地型態時，都是以表 2 之標準來運作。未來在面對棲地型態營造時，應思考真正能營造出多樣且符合該河段河川營力的棲息地。

表 2 水域棲地型態分類^[9]

棲地類型	流速	水深	河床底質	備註
淺流	> 30 cm/s	< 30 cm	砂土、礫石、卵石	流況平緩，較少有浪花出現
淺瀨	> 30 cm/s	< 30 cm	漂石、圓石	水面多出現流水撞擊大石頭所激起之浪花
深流	> 30 cm/s	> 30 cm	漂石、圓石、卵石	常為淺瀨、淺流、與深潭中間之過渡水域
深潭	< 30 cm/s	> 30 cm	岩盤、漂石、圓石	河床下切較深處
岸邊緩流	< 30 cm/s	< 10 cm	砂土、礫石	河道兩旁緩流

多樣性指標

一般在生物調查完成之後，為了要表示比較水棲昆蟲、底棲大型無脊椎動物、魚類、兩棲類、爬蟲類等水生生物的多樣性，通常都會以幾個生物多樣性指標（如 Shannon-Wiener's Index，Evenness Index）來描述，但使用這些多樣性指標除了如前述只比較數字大小而無法呈現物種組成的重要訊息外，另外一個問題就是沒有把本土種與外來種，或者是本土入侵種等不同生態意義的物種加以區隔計算，若只就計算出的數字進行比較，無法反映本土種或臺灣特有物種的重要性。

綜合型指標 vs. 單一指標

綜合型指標所標榜的就是可以同時考量不管是物理性棲息地，或者是生物的棲地需求，甚至考量多種

不同生物的需求，看起來是考量的非常全面，但是，可能會有不同指標所呈現的結果不盡相同，甚至互相牴觸（是優點也是缺點），抑或許以單一指標就已達到綜合型指標的結果，在節省人力跟物力的考量下也是較為經濟的做法。

總結

河川生態評估指標的種類相當多，每一種指標的評估都有其評估的項目和方法，並有其背後的发展過程及考量，因此在看指標的分析結果時，就要去思考本文所討論到的內容，是不是會影響到工程生態評估時的結果？這些討論都可以分別成為不同的研究課題，或者是由水利規劃試驗所及特有生物研究保育中心合作，把這些評估工具做成一個可供工程人員參考的規範，未來做相關評估時，才能夠有所依據，也能達到應有的公信力。

參考文獻

1. 陳樹群、安軒霏、方琦萱（2012）。河防構造物對河溪物理棲地之量化影響。水土保持學報，第 44 卷，第 2 期，第 101-120 頁。
2. Castella, E., Richardot-Coulet, M., Roux, C., and Richoux, P. (1991). Aquatic macroinvertebrate assemblages of two contrasting floodplains: the Rhône and Ain rivers, France. *Regulated Rivers: Research & Management*, 6(4), 289-300.
3. Obrdlik, P. and Garcia-Lozano, L.C. (1992). Spatio-temporal distribution of macrozoobenthos abundance in the Upper Rhine alluvial floodplain. *Archiv für Hydrobiologie*, 124(2), 205-224.
4. 劉建榮、許少華、潘俊弘（2011）。卵礫石河床型態演變對物理性棲地影響之實例研究。中華水土保持學報，第 42 卷，第 1 期，第 48-56 頁。
5. Gualdoni, C.M., Boccolini, M.F., Oberto, A.M., Principe, R.E., Raffaini, G.B., and del Carmen Corigliano, M. (2009). Potential habitats versus functional habitats in a lowland braided river (Córdoba, Argentina). *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, EDP Sciences, 45(2), 69-78.
6. 朱達仁、施君翰、汪淑慧、張睿昇（2006）。溪流環境評估常使用的量化生態指標簡介。台灣林業期刊，第 32 卷，第 2 期，第 30-39 頁。
7. 朱達仁（2005）。臺北縣后港仔坑溪應用生態工法整治之生態評估。台灣水利，第 53 卷，第 3 期，第 90-101 頁。
8. Karr, J.R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21-27.
9. 汪靜明（2000）。大甲溪水資源環境教育。經濟部水資源局，第 30-34 頁。
10. Vadas, R.L. and Orth, D.J. (1998). Use of physical variables to discriminate visually determined mesohabitat types in North American streams. *Rivers*, 6(3), 143-159.
11. Azzellino, A. and Vismara, R. (2001). Pool quality index: New method to define minimum flow requirements of high-gradient, low-order streams. *Journal of Environmental Engineering*, 127(11), 1003-1013.



河川水域與濱溪棲地品質分析— 以水璉溪為例

胡通哲／國立臺灣大學水工試驗所 副研究員

陳淑媛／水土保持局花蓮分局 前分局長

陳彥旭／水土保持局花蓮分局 課長

陳兆鈿／水土保持局花蓮分局 副工程師

本研究以花蓮縣水璉溪的溪流治理工程施工前後為例，進行水域與濱溪棲地品質量化分析探討，水域以二維水理模式（HECRAS-2D）計算流速、水深，據以進行水域型態分類、魚類棲地適合度計算，其中水域型態完工後深潭面積占比增加為 2 倍，棲地適合度以大吻鰕虎為目標魚種，完工後權重可用棲地面積增加為 1.8 倍。濱溪棲地以綠覆率（VARI）、地景碎形理論進行分析，綠覆率因為完工未久，綠地面積占比稍有下降，但地景碎形分析的結果，完工後核心區面積占比增加為施工前的 1.3 倍。

前言

河川溪流的环境友善措施，若以量化方式分析水域陸域棲地品質，較能客觀區分工程前後品質的差異，本文以花蓮縣水璉溪北坑一號橋上游改善二期工程的工區範圍，以河段的空間尺度觀點，進行水陸域棲地品質量化分析，以了解溪流環境是否可用科學化分析來評估。本文共有 4 項主題：(1) 水域型態分類、(2) 魚類棲地適合度（Habitat Suitability Index, HSI）、(3) 綠覆率（可見光大氣阻抗植被指數 Visible Atmospherically Resistant Index, VARI）、(4) 地景碎形（Landscape Fragmentation）。

本文以二維水理模式分析（HECRAS-2D）為基礎，計算模擬範圍流速水深值，再利用水域型態分類的標準（水利署河川情勢調查作業要點）修改，將水域區分為深流、淺瀨、淺流、緩流、深潭等 5 種類型。再利用流速水深計算值，配合目標物種適合度曲線^[1,2]，計算魚類棲地適合度、權重可用棲地面積（Weighted Usable Area, WUA），該項計算方式，過去曾應用在花蓮縣大興溪^[1]、鰲溪^[2]。另外，利用 UAV 空拍施工前

後，產製正射圖，以可見光計算濱溪區域指定範圍的綠覆率，採適用於 UAV 空拍正射圖的可見光大氣阻抗植被指數（VARI），加入陰影消去計算，將設定範圍區分為裸露地與綠地，計算綠地的面積占比。再以美國康乃狄克大學（University of Connecticut）土地利用教育研究中心的地景碎形工具程式 LFT v2.0^[3]，配合地理資訊系統軟體 ArcGIS 10，進行 4 項地景元素（核心區、破碎區、區塊、邊緣）量化與視覺化計算，用以推估核心區位置、棲地補償參考。

研究方法

本研究蒐集花蓮縣水璉溪集水區的基本資料，作為生態友善措施初步判斷，衡量在安全與生態兩端，工程施作的必要性。並描述 4 項棲地品質量化分析方法，其中水域型態分類、魚類棲地適合度，係以二維水理模式（HECRAS-2D）為基礎，利用流速與水深格點計算值，依據設定的分類標準加以推估水域型態，亦利用流速與水深值，計算目標魚種的棲地適合度。

水域型態分類

利用二維水理模式，計算出模擬範圍格點的流速水深，配合棲地的水域型態（深流、淺瀨、淺流、緩流、深潭等 5 種）的流速水深條件進行流量的水域型態分類判釋，水深流速條件參考林務局^[4]對於水域型態的條件分類，加以修改。本文設定「深流」的流速 ≥ 0.3 m/sec、水深 ≥ 0.3 m；「淺流」的流速 ≥ 0.3 m/sec、水深 < 0.3 m；「深潭」的流速 < 0.3 m/sec、水深 ≥ 0.3 m；「緩流」的流速 < 0.3 m/sec、水深 < 0.3 m（註：岸邊緩流原來條件為水深 < 0.1 m）；汪靜明^[5]以及「河川情勢調查作業要點」（104 年版），水域型態「淺瀨」水深流速條件與淺流相同，但在溪流中，水流會撞擊石頭產生水花的水域，通常流速較快，依該溪流水域調查經驗，以電磁式流速計量測淺流與淺瀨區域的流速，發現淺瀨的流速多數高於淺流，因此設定水域型態（淺瀨）的流速 ≥ 0.9 m/sec，計算後再加以對照實際的水域型態分布，以確認是否可行，此為需要隨不同區域調整的參數。

魚類棲地適合度

利用二維水理模式，模擬格點流速水深，配合指標魚種之水深適合度（ S_d ）、流速適合度（ S_v ）、底質適合度（ S_s ），特有生物研究保育中心^[6]接受水利規劃試驗所委辦計畫，曾提出多種臺灣原生魚種的適合度曲線，本文參考其大吻鰕虎適合度水深流速適合度曲線。計算棲地適合度（HSI），若缺合適的底質適合度，數值暫設為 1.0。陳淑媛等人^[2]棲地適合度計算方式，係利用 ArcGIS 空間模組進行空間內插分析，繪製魚類的棲地適合度空間分布圖，係因 CCHE-2D 模式輸出的元素位置不規則，因此需進行空間內插，而 HECRAS-2D 輸出計算值，係以數值地形解析度為主，例如精度 $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ 數值地形，計算值輸出成規律排列，因此不需再進行空間內插分析，避免因內插分析產生誤差。權重可用棲地面積（WUA），係以各格點棲地適合度與面積相乘後累加，所得的權重，用以判斷魚類棲息的棲地品質。

棲地適合度為水深適合度（ S_d ）、流速適合度（ S_v ）、底質適合度（ S_s ）三者相乘後開立方根^[7]，如下式：

$$HSI = \sqrt[3]{S_d \cdot S_v \cdot S_s} \quad (1)$$

綠覆率 VARI

本文以可見光大氣阻抗植被指數（VARI）分析綠覆率，可見光大氣阻抗植被指數包含紅光波段、綠光波段

與藍光波段三項因子，過去 Gitelson 等人^[8]曾比較地表植物之歸一化植被指數（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）與 VARI，發現其反應較 NDVI 敏感。另外因為使用空拍正射圖 RGB 值計算，所以相較於 NDVI 比較不會受大氣散射影響，適合計算單位面積內植物覆蓋面積。基於此概念，以濱溪區域設定的範圍正射圖計算 VARI，並進行陰影消除處理，推估設定範圍綠覆率變化面積，並將模擬區域分為綠地（VARI 值大於 0）與非綠地（VARI 值小於 0）兩部分，藉以量化綠覆率變化。

將紅光波段、綠光波段與藍光波段值，計算相對應的可見光大氣阻抗植被指數（式（2））（註：VARI 可見光計算方式參考 <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm>）。

$$VARI = \frac{(G - R)}{(G + R - B)} \quad (2)$$

式中：G 為綠光波段值；R 為紅光波段值；B 為藍光波段值。

地景碎形

Vogt 等人^[3]開發地景碎形（Landscape Fragmentation）工具（LFT v2.0），利用 ArcGIS 功能的工具箱（Toolbox），能夠直接利用 ArcGIS 直觀視覺化的方式執行地景碎片化分析，雖然此方法最初用於森林的分析，但 LFT v2.0 也適用於任何感興趣的土地利用類型分析。本計畫利用地景碎片應用在棲地評估工作，藉以了解工程對於週邊森林植被的量化分析。

LFT v2.0 將感興趣的土地覆蓋類型分為 4 個類別：區塊（patch）、邊緣（edge）、破碎帶（perforated）、核心區（core）。核心區，根據核心區的面積進一步可分為小核心、中核心和大核心，在與河川工程（河段）的地景生態屬小尺度，可能只有小核心（面積小於 100 公頃）產出判釋圖，若以流域空間尺度大範圍分析，會產出大核心（面積大於 200 公頃）區域。

結果與討論

集水區基本資料蒐集

本研究水璉溪工區位於花蓮縣壽豐鄉水璉村，採 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 精度數值地形資料計算，推算工區的集水區範圍與水系、河川級序（stream order）、降雨量分析（徐昇多邊形法）、地文分析等，作為生態友善措施初判與工程必要性的參考。

以 ArcGIS 計算繪製水璉溪工區上游集水區範圍與水系，標示集水區與水璉村所在的相對位置（圖 1），集水區面積 1,022 公頃。計算河川級序，工區所在的河川級序 3。依據經驗，河川級序 3 的溪流，需再參考集水區面積，該區域集水區大於 1,000 公頃，溪流洪水過去有攻擊溪流上方道路的路基的致災潛勢，工程有施作應有其必要性。

以 ArcGIS 計算繪製集水區高程分布，集水區內之最高點為 614 公尺，其中以高度 151 ~ 250 公尺所佔的面積為最多（占 23%）以 ArcGIS 進行集水區坡度計算，坡度分布以三級坡（ $15\% < S \leq 30\%$ ）分布最多，面積約占全區面積 52%，屬山區的集水區。坡向以東南向所占面積最多，占全區面積 21%，其次為坡向東，占全區面積 19%，水璉溪東臨太平洋，計算與東向（東、東北、東南）有關的面積占比，達半數（50%），亦即從東邊侵台的颱風，有半數的土地位於迎風面的降雨區。

以 ArcGIS 徐昇多邊形法計算鄰近雨量站與集水區關係，受到月眉山、水璉氣象站的影響，徐昇多邊形法計算面積權重分別為 62%、38%。月眉山氣象站平均雨量為 2,201 mm，水璉氣象站年平均雨量為 2,178 mm，加權計算年均雨量 2,192 mm。

棲地品質分析

棲地品質分析分為水域與陸域（濱溪）兩種。水域，以水理分析為基礎，計算網格的流速、水深，進

而計算水域型態、魚類棲地適合度等。陸域，計算綠覆率與地景碎形。

本文水理模式採用 HECRAS-2D 模式，美國陸軍工兵團水文中心於 2021 發布 HEC-RAS 2D 6.1 版，功能漸趨完善，除二維水理分析外亦可進行沖淤分析，且為免費軟體，容易推廣使用。

水理分析

(1) 施工前

以水璉溪北坑一號橋上游改善二期工程上游的模擬河段施工前 UAV 空拍數值地形（空拍日期 109 年 2 月 24 日），輸出 0.3 公尺 × 0.3 公尺精度地形，匯入 HECRAS-2D 的 RasMapper 模組，建立地形（如圖 2），後再進入 HEC-RAS 2D 的 Geometric data/2D Flow area 模組，選取水域模擬範圍（圖層面積為 13,580 平方公尺），模擬範圍套疊正射圖，如圖 3。選擇計算間距（ ΔX ）、間距（ ΔY ）為 0.6 公尺，共有 38511 網格（cells），後設定上下游邊界條件，上游邊界輸入穿越線測定的流量 0.23 cms（110 年 6 月 27 日量測），下游邊界以正常水深（normal depth）條件計算，河床坡度 1%。

設定的模擬範圍，匯入 ArcGIS，利用影像辨識（Image Classification）模組，經過影像辨識監督訓練，採最大概似法（maximum likelihood classification），將模擬範圍區分為河道、河灘地、植被區三個區域，再使用 HEC-RAS 2D 的土地覆蓋（Landcover）模組設定曼寧 n 值，參考 HEC-RAS 2D 參考手冊的曼寧 n 值表，由於模擬範圍多為礫石河床，河灘地曼寧 n 值為 0.035，河道曼寧 n 值較小為 0.03，植被區粗糙度較大設為 0.05。



圖 1 工區上游集水區（水璉溪）位置

設定模擬時間間距 (Δt) 1 秒，總模擬時間 (T) 為 5 小時，因為模擬範圍為淺水型態，計算的水理方程式採 Shallow water equations。流量 0.23 cms 模擬輸出的水深分布如圖 4，流速分布如圖 5。

(2) 完工後

以完工後 UAV 空拍數值地形 (空拍日期 110 年 5 月 29 日)，輸出上述相同的精度地形，匯入 HECRAS-2D 的 RasMapper 模組，建立地形 (如圖 6)，後再進入

HEC-RAS 2D 的 Geometric data/2D Flow area 模組，選取相同的水域模擬範圍，模擬範圍如圖 7。選擇計算間距 (ΔX)、間距 (ΔY) 為 0.6 公尺，網格數與前相同，設定上下游邊界條件，輸入相同的流量 0.23 cms，下游以正常水深條件計算，河床坡度 0.5%。

設定相同模擬時間間距 (Δt)、總模擬時間 (T)、模擬水理方程式，流量 0.23 cms 模擬輸出的水深分布如圖 8，流速分布如圖 9。

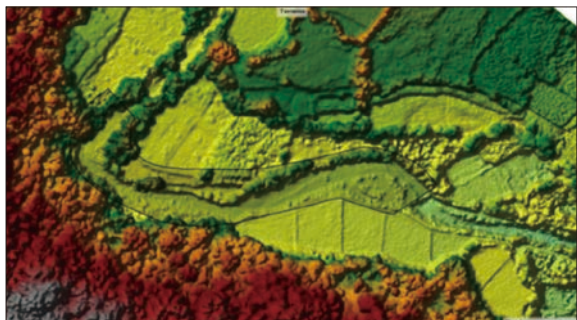


圖 2 河床地形 (施工前)

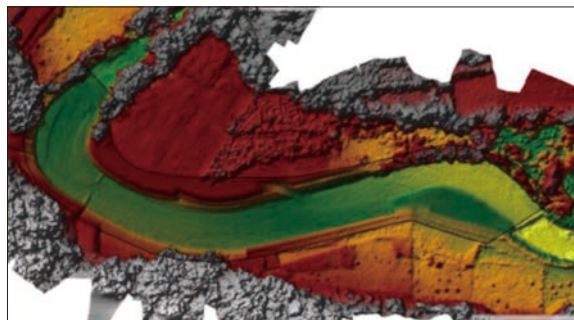


圖 6 河床地形 (完工後)



圖 3 正射圖與模擬範圍 (施工前)



圖 7 正射圖與模擬範圍 (完工後)



圖 4 水深分布圖 (施工前)

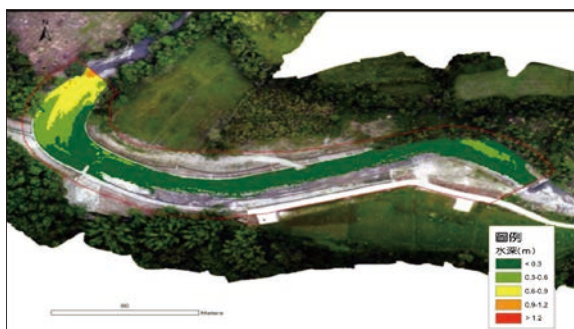


圖 8 水深分布圖 (完工後)



圖 5 流速分布圖 (施工前)

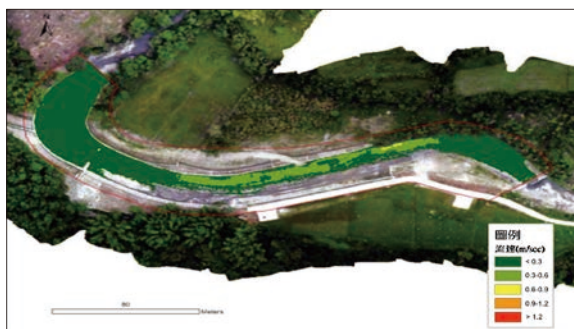


圖 9 流速分布圖 (完工後)

水域型態分類

以流量 0.23 cms 模擬的水深流速值，量化水域型態棲地的分類。判釋不同水域型態（深流、淺瀨、淺流、緩流、深潭），在試算表 Excel 中完成，連同格點坐標（X、Y）輸入地理資訊系統 ArcGIS，施工前、後水域型態判釋，其分布如圖 10 和圖 11，比較施工前後水域型態面積占比變化，淺瀨減少（需追蹤），而深潭、緩流增加。

魚類棲地適合度

水璉溪北坑一號橋河段洄游性魚類優勢種為大吻鰕虎，以魚類的水深流速對應的適合度^[6]，水深適合度橫軸最大值依該溪流狀況修正。計算各格點的棲地適合度（水深、流速、底質適合度相乘開立方根）後，繪製施工前、後棲地適合度分布圖，如圖 12 和圖 13，大吻鰕虎 WUA 從 1,744 m² 增加為 3,185 m²。

綠覆率與地景碎形指數

以 UAV 正射圖，採 ArcGIS 計算可見光大氣阻抗植被指數 Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)。設定計算範圍，包含河道與濱溪區域，設定範圍的面圖層面積

為 55,039 平方公尺。其中可見光大氣阻抗植被指數 VARI 小於 0，屬於裸露地部分，可見光大氣阻抗植被指數大於 0，視為綠地部分，VARI 計算施工前、後綠地空間分布如圖 14 和圖 15，其中綠地面積占比為 88%、68%。

利用綠覆率分布資料（區分綠地、非綠地），計算地景碎形：區塊（patch）、邊緣（edge）、破碎區（perforated）、核心區（core）的面積，核心區面積越大，表示棲地核心區域應該被保護，邊緣面積大，表示動物來往於不同棲地的邊緣多，棲地越佳，可用以比較不同棲地範圍或同一棲地不同時間的狀況，可視覺化判釋地景元素的核心區或破碎區，若堤岸工程因施工損害棲地（例如喬木砍除），欲加以補償，棲地補償位置的決定，可找尋核心區內的破碎區，進行植生補償，另外核心區位置，與生態敏感關注區域的高度敏感區，通常有高度重疊，可採現場判釋與圖面視覺化計算結果相互比對。

地景碎形的計算，提供圖面上視覺化的輔助，需要輸入參數為邊緣寬度（edge width），本研究視為野生動物從森林核心區出入可能的活動範圍，依現場生物調查而定，本研究現場調查到的野生動物哺乳類為山羌，假設為 3 公尺（註：數值尚需較大規模調查）。



圖 10 水域型態（施工前）



圖 12 大吻鰕虎棲地適合度分布（施工前）

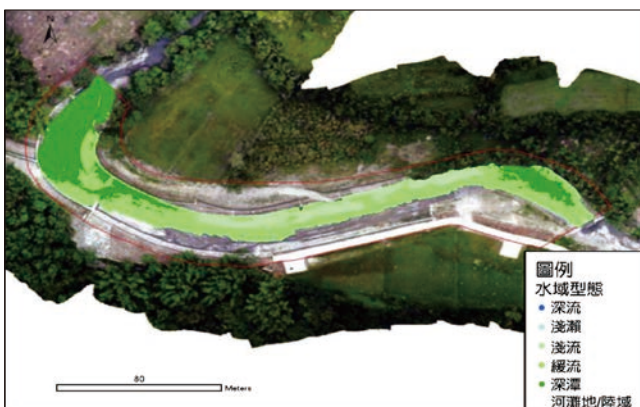


圖 11 水域型態（完工後）

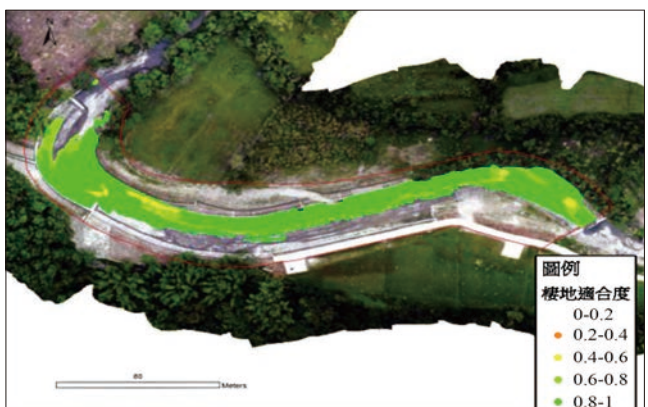


圖 13 大吻鰕虎棲地適合度分布（完工後）



圖 14 綠覆率 VARI 判釋圖 (施工前)



圖 16 地景元素指數核心區 (施工前)



圖 15 綠覆率 VARI 判釋圖 (完工後)



圖 17 地景元素核心區 (完工後)

施工前的地景碎形判釋，將地景元素的核心區單獨呈現，如圖 16，其與天然森林等高度敏感區有高度重疊處（註：需人工判讀輔助）。完工後的地景碎形判釋，將核心區單獨列出，如圖 17，完工後核心區面積占比增加為施工前的 1.3 倍（47.6% → 60.9%）。施工過程難免有所破壞，但完工後的核心區、邊緣等地景元素，有所增加，雖然綠覆率（VARI）分析結果微下降，但核心區增加，推測與工區周邊的農作生長有關，有待後續追蹤調查。

結論

1. 本文在水域棲地品質分析，以二維水理模式 HECRAS-2D 為基礎，推算施工前後水域型態分類與棲地適合度變化，其中深潭面積占比從 19% 增為 38%。
2. 水域棲地，計算權重可用棲地面積（WU），目標魚種大吻鰕虎施工前為 1,743 平方公尺，完工後增為 3,185 平方公尺，增加為 1.8 倍。
3. 濱溪棲地，採可見光綠覆率（VARI）計算，主要配合 UAV 產製正射圖紅藍綠可見光，完工後綠地面積占比 68%，稍有降低，需要時間讓植被恢復，建議再追蹤調查。
4. 陸域棲地，本研究採地景碎形理論計算區塊、邊

緣、破碎區、核心區等 4 項地景元素的面積占比，可視覺化標示核心區的位置，完工後核心區增加。但有部分地區（河道左岸）核心區內有破碎情形，在進行棲地補償位置指認時，優先考慮補償；計算的核心區，觀察與天然森林等高度敏感區高度重疊，可作為生態關注區域圖繪製的參考。

參考文獻

1. 陳淑媛、郭瑞民、宋有、胡通哲、周有任（2019）。河溪環境友善量化評估—以大興溪魚類棲地適合度為例。中華水土保持學報，50(3)，116-123。
2. 陳淑媛、陳兆鈿、胡通哲、蘇上瑄（2020）。二維水理模式與 ArcGIS 空間內插法評估生態基流量—以鰲溪為例。中華水土保持學報，51(2)，43-54。
3. Vogt, P., Riitters, K.H., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T.G., and Wickham, J.D. (2007). Mapping spatial patterns with morphological imageprocessing. *Landscape Ecol.*, 22, 171-177.
4. 林務局（2018）。國有林治理工程生態友善機制手冊。第附二-7 頁。
5. 汪靜明（2000）。大甲溪水資源環境教育。經濟部水利署。
6. 特有生物研究保育中心（2019）。河川原生魚種及棲地適合度曲線調查與資料庫建置成果報告。水利規劃試驗所委辦。
7. Gillenwater, D., Granata, T., and Zika, U. (2006). GIS-based modeling of spawning habitat suitability for walleye in the Sandusky River, Ohio, and implications for dam removal and river restoration. *Ecological Engineering*, 28, 311-323.
8. Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., and Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80, 76-87.



基隆河 四斑細蟴 基礎調查 與 復育試驗

鍾權昱／荒野保護協會臺北分會 主任秘書

四斑細蟴屬於 IUCN 紅皮書保育名錄中的近危等級物種，自 2005 年於臺灣發現後，由荒野保護協會長期調查至今，其已知範圍仍局限於淡水河流域下游的五股、磺港溪口、社子島濕地內小區域分布。其棲地偏好專一，生活於半鹹水且擁密度高植群的河口濕地。在過去數年面臨濕地陸域化、高強度植被清除、遊憩設施開發、抽水站設置等天然與人為的多重壓力，因此急需積極的復育行動。本文透過 2018 年至 2020 年所累積的基隆河流域四斑細蟴監測資料、水質數據，初步歸納出四斑細蟴對於鹽度、生化需氧量、溶氧的耐受或喜好範圍，並整理 2019 年至 2021 年荒野保護協會與臺北市政府工務局水利工程處合作經營四斑細蟴復育試驗池之營造過程與現況，期待彙整公私部門合力之多年成果，能夠使四斑細蟴守護工作再向前邁進一步。

四斑細蟴與保育歷程

四斑細蟴（*Mortonagrion hirosei* Asahina, 1972）是一種中小型的豆娘（如圖 1），體長僅有 2.5 至 3.0 cm，屬於蜻蛉目均翅亞目細蟴科，體色為深綠色或黑色，腹部各節具有淺綠或白色環紋，最主要的特徵則如其名，是位於頭胸部的四個淺綠色斑點^[1]。

四斑細蟴最早於 1971 年在日本被發現，香港也有其族群分布。臺灣則直到 2005 年，一位參加五股濕地（如圖 2）導覽的小男孩詢問了解說員這個小巧物種的名稱，發現是未曾見過的物種，在林業試驗所專家的協助下，才正式確認是臺灣首次發現四斑細蟴。當時四斑細蟴在國際自然保育聯盟（International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN）紅皮書中屬於瀕危（Endangered, EN）等級的物種。因此荒野保護協會在隔年（2006 年），在觀察家生態顧問公司的協助下，開始投入四斑細蟴的保育調查。

雖然在 2013 年四斑細蟴被 IUCN 調降為近危等級（Near Threatened, NT），但是根據荒野保護協會歷年的調查資料，四斑細蟴屬於族群數量波動極大的物種。2012 年調查仍有上千隻的發現紀錄，但是同年由於五

股濕地水閘門底部的管湧被修復，進入濕地的水量及鹽度減少，對預防洪患雖屬好事，卻加速了五股濕地的陸域化進程，後續的調查則記錄到四斑細蟴的族群數量連年下降。而在基隆河支流磺港溪匯流口的磺港溪口濕地，如圖 2，2019 年 3 月承包廠商在一次清除濕地垃圾的工作中，將整片屬於四斑細蟴棲地的蘆葦叢連同垃圾一同清除，連帶影響當年度的四斑細蟴族群數量，2018 年全年調查尚有 82 隻次，2019 年卻僅剩 8 隻次。



圖 1 四斑細蟴照片

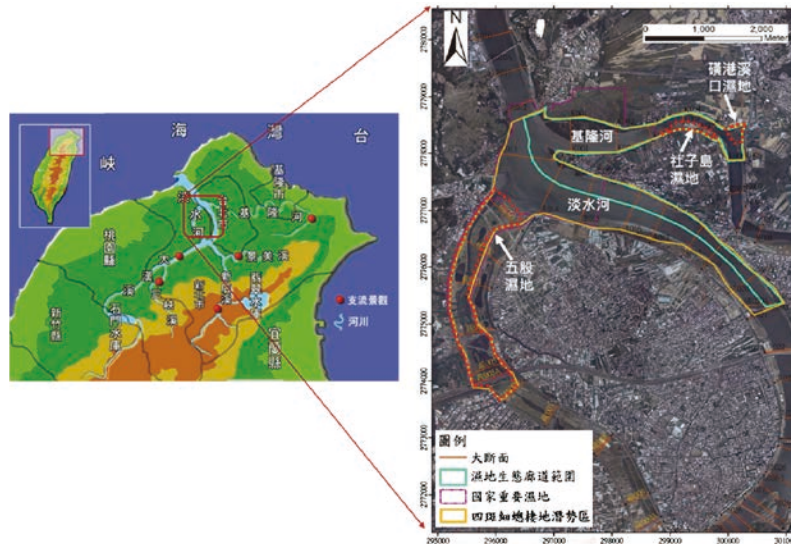


圖 2 基隆河磺港溪口濕地、社子島濕地及五股濕地位置圖

四斑細蟕喜好的環境為半鹹水感潮地帶的高莖植物濕地，其中以蘆葦叢最為典型，但是蘆葦不會被視為重要植物，感潮的河岸地帶也經常面臨著道路開發、河濱公園、壘球場、自行車越野場、抽水站等等設施開發的壓力，甚至是例行的除草作業都可能傷及其生存環境。四斑細蟕存在於高莖植物環境即是因為其飛行能力較差，因此才需要茂密的植物為其阻擋風力。在面臨棲地破壞時，較差的飛行能力也將使其難以移動到其他適合生存的庇護所。

因此若在自然波動下的族群低點，棲地又受到人為的破壞，極有可能造成四斑細蟕族群區域性的滅絕，故須積極進行四斑細蟕復育作為。

復育棲地營造與監測

2018 年底荒野保護協會與臺北市政府工務局水利工程處合作，開始於磺港溪口鄰近之北投自行車越野場嘗試營造屬於四斑細蟕的復育試驗池（如圖 3），共分為 A、B、C 三池（如圖 4 及圖 5），讓三座池皆與磺港溪的潮水相通，其中 C 池更特別營造不同地形梯度，試著呈現不同水深的環境差異。以機具完成後水池主體後，再由志工以人力挖掘直線或分叉潮溝，讓潮水退去時能留下淺水域，營造出四斑細蟕稚蟲偏好的棲息環境。

營造完成初期，先不進行任何干擾，等待植物自行生長，此時因為水池及其周遭區域非常開闊，能夠觀察到許多大型蜻蜓、豆娘造訪，如杜松蜻蜓、猩紅蜻蜓、侏儒蜻蜓、彩裳蜻蜓、溪神蜻蜓、青紋細蟕。

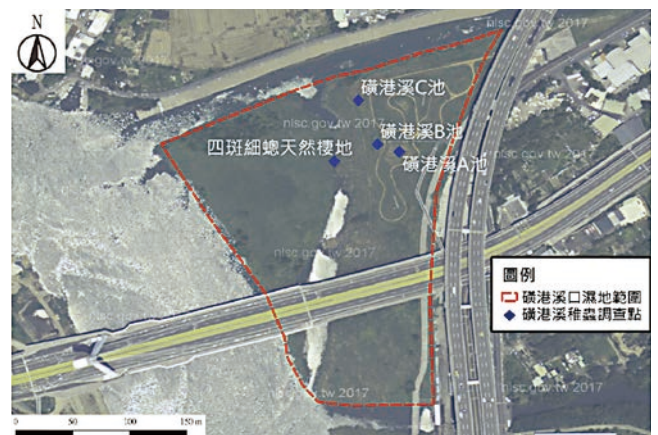


圖 3 磺港溪口濕地範圍圖



圖 4 磺港溪復育試驗池 A、B 池範圍（攝於 2019 年 12 月 10 日）



圖 5 磺港溪復育試驗池 C 池範圍（攝於 2019 年 12 月 10 日）

復育試驗池 A 池與 B 池因面積小且水深較淺，以蘆葦、巴拉草為主的水生植物開始進入水域，水池周圍請水利工程處降低除草強度，水池岸邊也有高密度的陸生植物圍繞，此時期 A、B 池即開始有零星的四斑細蟬稚蟲出現，並在復育試驗池岸邊植物叢發現大量的橙尾細蟬活動，四斑細蟬成蟲則在最靠近磺港溪口濕地的 B 池邊緣曾有發現紀錄。首次營造的復育試驗池高程與原生棲地的高程相比仍高出許多，退潮泥沙容易淤積，因此在最初的一年間，三座復育試驗池都面臨嚴重淤積的狀況。

四斑細蟬稚蟲之水質棲地適合度指標

復育試驗池營造後，在臺北市水利處的濕地監測計畫^[24]中也加入了復育試驗池的水質採樣，並與四斑細蟬原生棲地－磺港溪口潮溝的水質數據一比較，嘗試找出四斑細蟬偏好的水質範圍。磺港溪口濕地水質資料使用期間包含 2017 年 6 月至 2020 年 6 月，其中 2019 年 7 月起至 2020 年 6 月則包含乾滿潮兩次採樣數據；磺港溪復育試驗池採樣期間則是 2019 年 7 月至 2020 年 6 月，皆包含乾滿潮數據；另外同樣是四斑細蟬天然棲地的社子島舊堤內、舊堤外兩樣區（如圖 6），則採用 2019 年 5 月至 2020 年 6 月，2019 年 7 月後資料包含乾滿潮數據。

水質項目包含鹽度、生化需氧量（BOD）、溶氧（DO），並配合四斑細蟬稚蟲調查結果，採用適合度指標進行計算。磺港溪口潮溝、社子島舊堤內側、社子島舊堤外側三處調查時段皆在接近乾潮時間，因此刪除滿潮資料，以符合實際調查情形。

適合度指標計算方式：

以三處調查資料中，單次紀錄到最多隻次（12 隻）的紀錄作為分母，該點紀錄隻數作為分子，計算出四斑細蟬稚蟲適合度，其數值範圍介於 0~1 間。



圖 6 社子島濕地稚蟲調查樣點

$$\text{適合度指標} = \frac{\text{該點紀錄隻數}}{\text{最大調查隻數}}$$

水質資料套用適合度指標的結果，並於圖上以適合度 = 1 為中心，以直線畫出適合度大略趨勢方向，結果見圖 7 至圖 9。

鹽度適合度 = 1，鹽度為 8.3 psu，範圍約落於 1.2 ~ 18.8 psu（圖 7），四斑細蟬屬於半鹹水濕地物種，此鹽度範圍也印證四斑細蟬稚蟲在鹽度上具有廣適應性，能承受潮汐帶來的鹽度變化。生化需氧量適合度 = 1 時，BOD = 7.1 mg/L，範圍約落於 1.1 ~ 18.0 mg/L 間（圖 8）；溶氧適合度 = 1 時，DO = 4.9 mg/L，範圍約落於 2.7 ~ 7.1 mg/L（圖 9）。

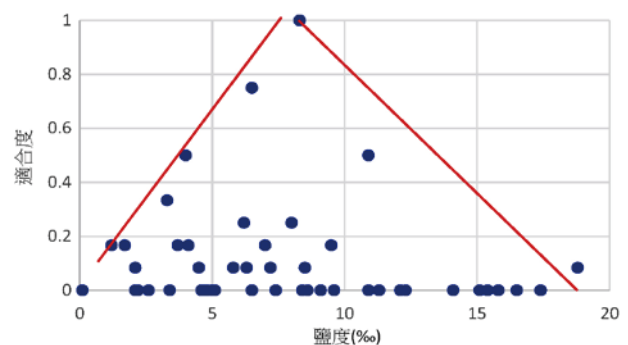


圖 7 四斑細蟬稚蟲棲息環境水質適合度－鹽度

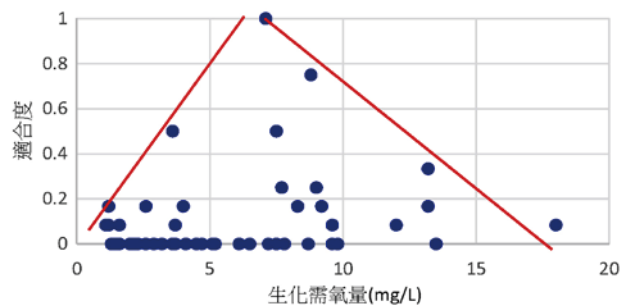


圖 8 四斑細蟬稚蟲棲息環境水質適合度－生化需氧量（BOD）

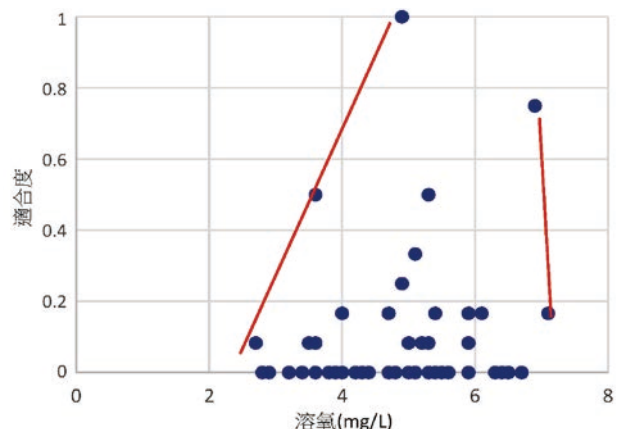


圖 9 四斑細蟬稚蟲棲息環境水質適合度－溶氧（DO）

生化需氧量與溶氧多用於檢驗水體是否受污水排放影響，以生化需氧量（BOD）的河川水質污染標準， $BOD \leq 3.0$ 屬於未（稍）受污染、 $3.0 < BOD \leq 4.9$ 為輕度污染、若 $5.0 \leq BOD \leq 15.0$ 屬於中度污染、 $BOD > 15.0$ 屬於重度污染。生化需氧量適合度 = 1 時， $BOD = 7.1 \text{ mg/L}$ 屬於中度污染，有稚蟲發現紀錄的調查月份，BOD 範圍為 $1.1 \sim 18.0 \text{ mg/L}$ 橫跨了未（稍）受污染與重度污染之間。

而溶氧（DO）之河川水質污染標準， $DO \geq 6.5$ 屬於未（稍）受污染、 $6.5 > DO \geq 4.6$ 為輕度污染、若 $4.5 \geq DO \geq 2.0$ 屬於中度污染、 $DO < 2.0$ 屬於重度污染。以溶氧適合度 = 1 進行對照， $DO = 4.9 \text{ mg/L}$ 屬於輕度污染，有稚蟲調查記錄的溶氧範圍 $2.7 \sim 7.1 \text{ mg/L}$ 則介於未（稍）受污染到中度污染之間，已 BOD、DO 適合度結果來看，推測四斑細蟕可能有較佳的污染耐受能力。

復育棲地調整與成效

經過 2019 至 2020 年兩年的觀察後，復育試驗池主要遭遇兩個問題，一是 C 池遲遲沒有植物進入水域（圖 10），第二則是三座復育試驗池都有泥沙淤積的問題。因此在 2021 年 3 月將五股濕地的鹹草移植到 C 池中，嘗試仿造五股濕地在 2012 年調查到最多四斑細蟕成蟲的環境，也與 A、B 池以蘆葦為主的環境做出區別。

同年 6 月開始進行復育試驗池的高程降挖工程，A、B 池的池底與聯通管的高程同步降挖，C 池則將連通水道再擴大，希望漲退潮水位高程能更接近原生棲地，同時加大漲退潮的水流量，讓泥沙在退潮時能被水流一起帶走。工程完成後，也再次號召志工挖掘潮溝。工程施作雖然使得 A、B 池池面再次裸露，不過蘆葦生長快速，很快又佈滿水池，C 池的鹹草生長狀況良好（如圖 11），而池邊蘆葦也逐漸延伸到池中，3 座復育試驗池都逐漸接近原生棲地的茂密狀態。

根據 2019 到 2021 年稚蟲調查的成果^[3-5]，A 池四斑細蟕稚蟲數量（如圖 12）依序為 2 隻、3 隻、15 隻，其他豆娘稚蟲為 37 隻、1 隻、0 隻，蜻蜓稚蟲 13 隻、0 隻、0 隻，四斑細蟕稚蟲數量逐漸上升，其他豆娘與蜻蜓的稚蟲則在 2020 年開始快速下降。

B 池四斑細蟕稚蟲調查（如圖 13），2019 年到 2021 年數量依序為 0 隻、3 隻、0 隻，其他豆娘稚蟲為 62 隻、27 隻、1 隻，蜻蜓稚蟲 38 隻、9 隻、0 隻。同樣也是其他豆娘與蜻蜓的稚蟲快速下降，但是僅在 2020 年有發現四斑細蟕稚蟲，2021 年則無發現紀錄，可能與 B



圖 10 磺港溪復育試驗池 C 池（種植鹹草前）
（攝於 2020 年 7 月 29 日）



圖 11 磺港溪復育試驗池 C 池（種植鹹草後）
（攝於 2022 年 4 月 11 日）

池潮溝深度不足，造成退潮後留水狀況不佳有關。2022 年 3 月再次投入志工將潮溝挖深，持續改善棲地狀況。

C 池四斑細蟕稚蟲調查數量（如圖 14），2019 年到 2021 年依序為 0 隻、2 隻、7 隻，其他豆娘稚蟲為 0 隻、9 隻、0 隻，蜻蜓稚蟲 8 隻、65 隻、0 隻。復育試驗池建造初期，C 池是狀況最差的試驗池，因為過於開闊、無任何水生植物，第一年僅有少量的蜻蜓稚蟲，第二年高程降挖，水深變深後，水面仍然維持開闊，蜻蜓稚蟲則遽增至 65 隻，仍有少量的四斑細蟕與其他豆娘稚蟲，2021 年種植鹹草以及蘆葦生長至水域內後，水面覆蓋率增加，蜻蜓與其他豆娘稚蟲皆消失，四斑細蟕稚蟲數量略增。

結語

根據本文彙整資料，四斑細蟕稚蟲在鹽度上為廣適應性物種，耐受範圍約為 $1.2 \sim 18.8 \text{ psu}$ ；從 BOD 及

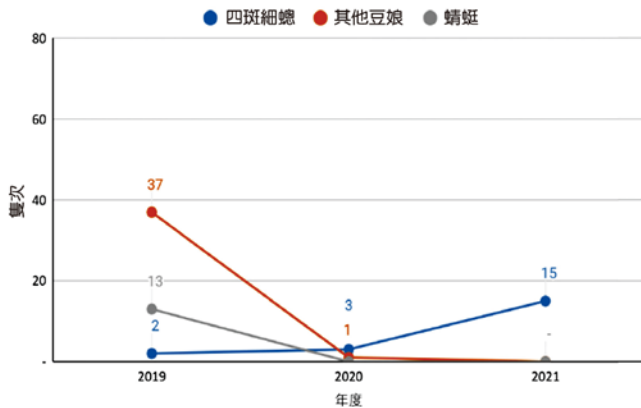


圖 12 磺港溪復育試驗池 A 池－蜻蛉目稚蟲數量

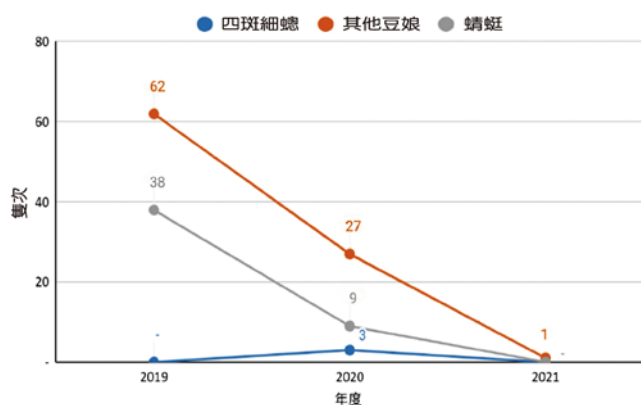


圖 13 磺港溪復育試驗池 B 池－蜻蛉目稚蟲數量

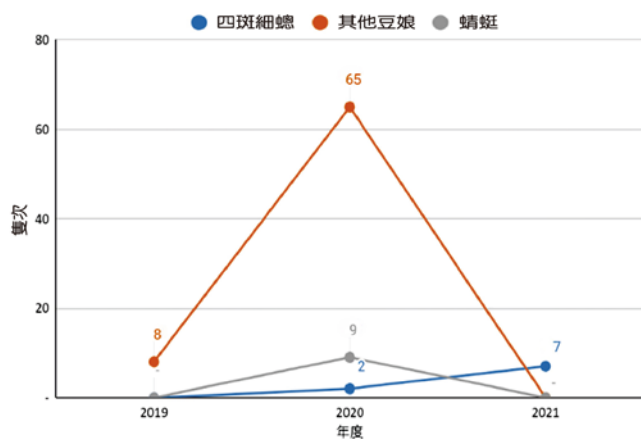


圖 14 磺港溪復育試驗池 C 池－蜻蛉目稚蟲數量

DO 適合度指標看，其在未（稍）受污染與重度污染水質皆有調查記錄，推測四斑細蟴稚蟲可能有較佳的污染耐受能力。

就目前的資料來看，水質條件並非是四斑細蟴稚蟲棲息的主要限制因子，建議以地理資訊系統結合機器學習，使用已知棲地的條件提供給人工智慧進行學習，嘗試篩選出適合四斑細蟴稚蟲棲息的潛力棲地，再進一步安排調查計畫。

磺港溪口復育試驗池，歷經高程降挖、種植鹹草及人工挖掘潮溝等方式進行調整，在 2021 年已初見成效，2022 年調查雖僅執行 1 至 3 月，但 A、B、C 池分別已有 3 隻、8 隻、15 隻四斑細蟴稚蟲的調查紀錄，尤其 C 池狀況最為良好，連續 3 個月都有的發現稚蟲的紀錄，第一季總隻次共 15 隻也是 3 個復育池中最高，顯示四斑細蟴族群可能已由天然棲地逐漸擴散至 C 池，或是穩定使用人工的復育試驗池，極有潛力成為四斑細蟴的人工庇護所。

但是不論是人工復育試驗池或天然棲地，對於大部分的人來說依然是個無用之地，因此近幾年持續不斷地遭遇開發壓力，如棒壘球場、都市規劃下的新建抽水站，甚至壯年運動會的國際級自行車場地，都不斷地覬覦這片對四斑細蟴來說少有的天然棲地，以及這塊耗時 3 年並且投入無數經費與人力終見成效的復育試驗池。未來荒野保護協會也將持續探討，是否能將復育試驗池營造的經驗，複製到磺港溪口鄰近區域，甚至是其他濕地，也期待更多人重視四斑細蟴族群與棲地的脆弱性，在進行河岸維護管理與開發規劃時，將其納入考量，避免四斑細蟴面臨地區滅絕的危機。

誌謝

臺北市政府工務局水利工程處生態管理站對於復育試驗池計畫的支持，特生中心林斯正老師、觀察家生態顧問有限公司、羽林生態股份有限公司，以及荒野保護協會志工暨四斑細蟴調查小組組長 陳鴻旻、荒野保護協會志工陳瑞禮、陳江河、黃國文、以及所有曾參與四斑細蟴調查工作的志工夥伴，才能有機會呈現此成果。

參考文獻

- 曹美華，臺灣 120 種蜻蜓圖鑑，社團法人臺北市野鳥學會（2005）。
- 羽林生態股份有限公司，106 年度社子島周邊濕地生態監測技術服務，臺北市政府工務局水利工程處（2018）。
- 羽林生態股份有限公司，107 年度水利處轄管濕地及滯洪池生態監測技術服務，臺北市政府工務局水利工程處（2019）。
- 羽林生態股份有限公司，108 年度水利處轄管濕地及滯洪池生態監測技術服務，臺北市政府工務局水利工程處（2020）。
- 羽林生態股份有限公司，109 年度水利處轄管濕地及滯洪池生態監測技術服務，臺北市政府工務局水利工程處（2021）。



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；水質次指標主要考量綜合性水質狀況；植生次指標主要考量植物及生態推移帶；鳥類次指標主要考量綜合鳥類相狀。

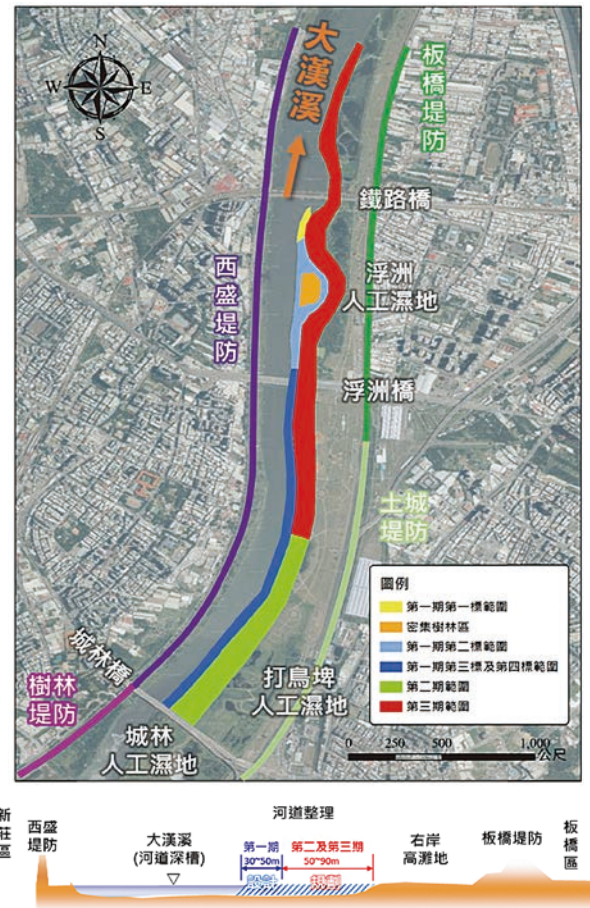


圖 1 大漢溪鐵路橋附疏濬範圍圖

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	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 IWC IWC 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

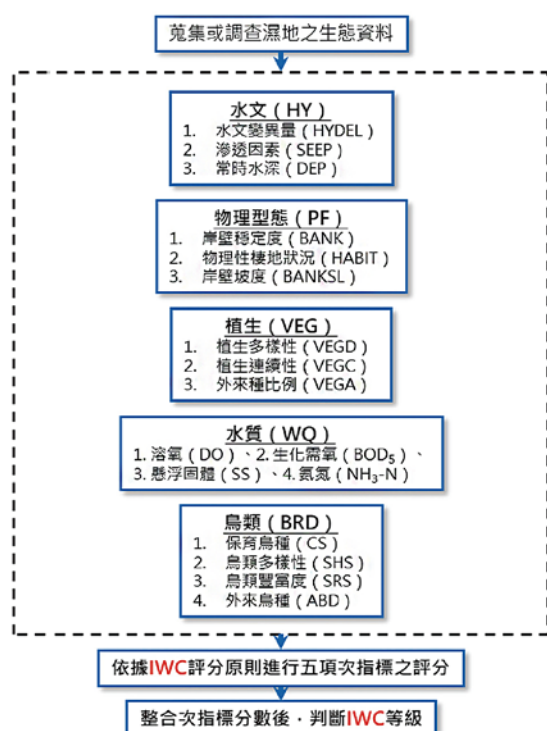


圖 2 濕地狀況指數 IWC 評估流程圖

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

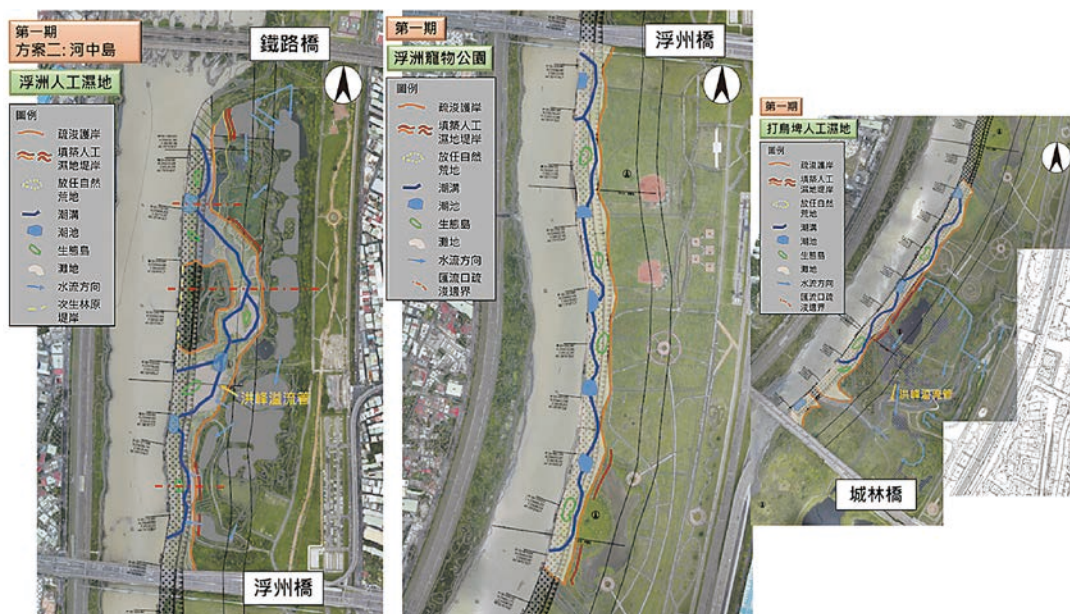


圖 3 河中島方案平面圖

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 $2,500 \text{ g/m}^2$ ^[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 $> \text{MHW}$ ，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]

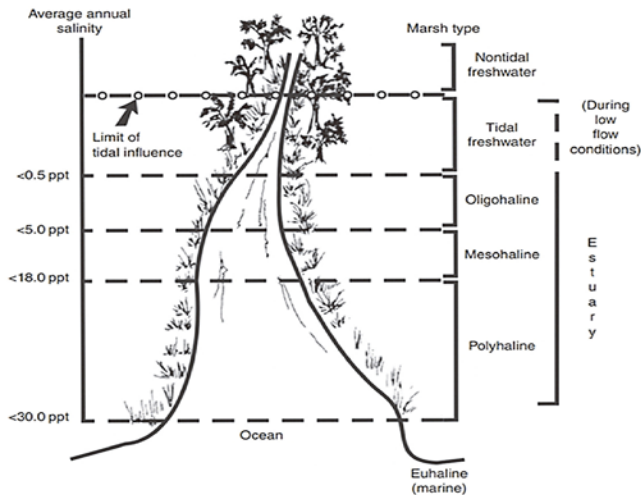


圖 5 河口濕地依據鹽度之濕地分類示意圖

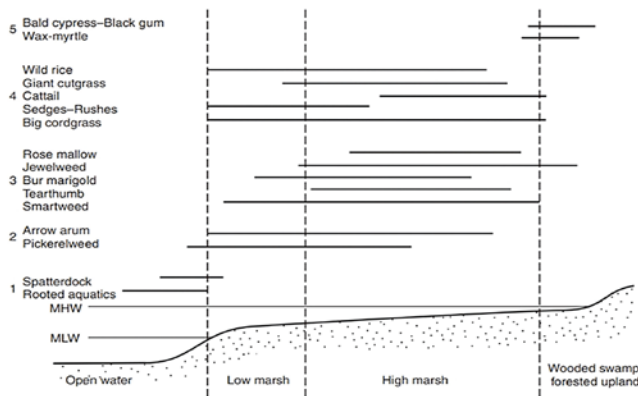
資料來源：Odum *et al.* [7]

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。

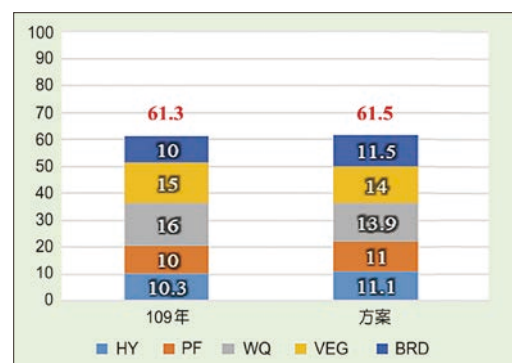


圖 7 浮洲人工濕地與河中島方案之 IWC 評分

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。

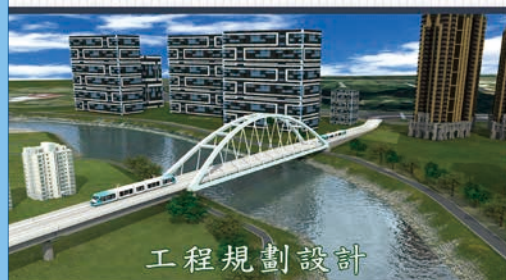
參考文獻

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., Steudler, 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

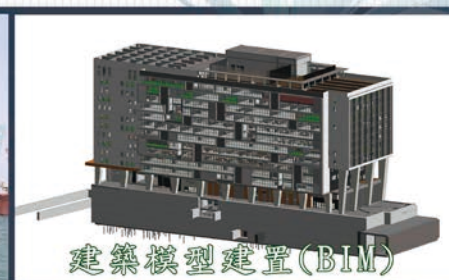
公 共 工 程 規 設 檢 測
廠 商 施 工 技 術 服 務
環 境 監 測 材 料 分 析 改 善
營 建 試 驗 驗



工程規劃設計



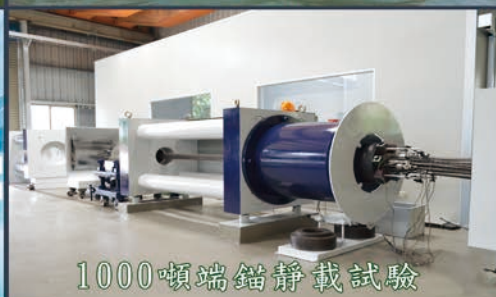
施工技術服務



建築模型建置(BIM)



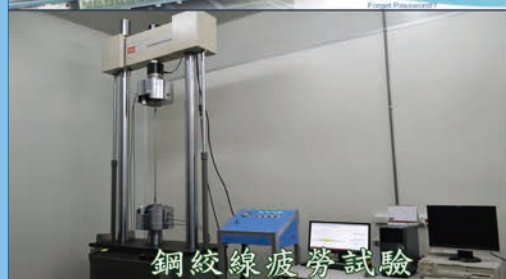
專案管理資訊系統(PMIS)



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



國道8號之橋梁耐震補強工法解析

趙汝凱／交通部高速公路局第二新建工程處第三工務所 正工程司

林邦奎／宏義工程股份有限公司 總經理

張發魁／台灣世曦工程顧問股份有限公司高工處 計畫經理

林建志／台灣世曦工程顧問股份有限公司高工處 技師

台灣位處環太平洋地震帶及颱風路徑要衝，屬高溫炎熱、潮濕之海島型氣候，受溼氣及空氣污染影響，工址環境嚴苛，橋梁易受多重災害威脅，再加上隨著使用時間增長，材料劣化老舊，在在都將減損橋梁原本的性能及承載能力，因此提升橋梁耐震與耐洪能力，建立妥適之防蝕對策，以延長橋梁之生命週期，實屬重要交通議題。據統計全台灣國道河川橋、高架橋、穿越橋、跨越橋、匝道橋墩座多達一千餘座，採用橋梁之補強工法多達十餘種，常見包括，橋墩基礎補強、鋼板包覆補強、帽梁補強、增設混凝土止震塊、設置液態黏滯性阻尼器、更換 LRB 支承等，足見國內在橋梁耐震補強領域，已具備領先各國的管理經驗；本工程執行迄今已累積一定程度之橋梁施工成果，藉由施工經驗分享，冀望可為後續國道相關補強作業，略盡棉薄之力。

國8橋梁耐震補強工法介紹－M81標

國8肩負台南地區關鍵運輸責任，為台灣重要生命線救災道路，既有橋梁之耐震補強標準以再服務50年為原則，並考慮河川沖刷與邊坡穩定影響，以補強工程費不超過同型式橋梁新建工程費45%為本，提昇原橋梁耐震能力與延長使用年限，達到全橋結構安全及耐震均一性。本文旨述「國道後續路段橋梁耐震補強工程（區段2-2）第M81標－國8全線暨國3新化段」，範圍位於國8全線及國3新化系統交流道至鹽水溪橋（詳圖1），全長30公里，橋址分別座落於台南市安定區、新市區及新化區，在工法設計與耐震施工時，必須避免交通中斷，減小封路衝擊，常有穿著衣服改衣服之感，此為補強工程與新建工程最大差異之處；本案就國8現地環境與橋梁全生命週期，作有效與適當的耐震補強施工，相關工法（詳圖2）概述如下：

支承系統補強

1. 支承補強：包括更換鉛心橡膠支承（LRB）。

2. 上構防落補強：主要為增設鋼板止震裝置及混凝土止震塊、增設剪力樺等防落橋設施。

基礎墩柱補強

1. 基礎補強：可分為深基礎與淺基礎，深基礎主要於既有基礎四周，增加基樁，並配合加大基礎樁帽，回填復舊；淺基礎則以斜坡明挖或擋土支撐方式，加大既有基礎RC結構。
2. 橋墩墩柱、帽梁補強：主要於墩柱、帽梁位置，採鋼板包覆及混凝土包覆等工法增加結構韌性、強度，包括必要之銜接面（水刀）處理、化學植筋、無收縮水泥砂漿灌注、鋼板外露防水及塗裝等。
3. 其他補強工程（既有混凝土面劣化修補）：耐震補強施工前，先進行目視調查既有劣化情形，調查項目包含裂縫、蜂窩、剝落、鋼筋外露銹蝕等，若發現有劣化現象，採相片及錄影方式紀錄，依序辦理修繕作業。



圖 1 M81 標耐震補強範圍示意圖

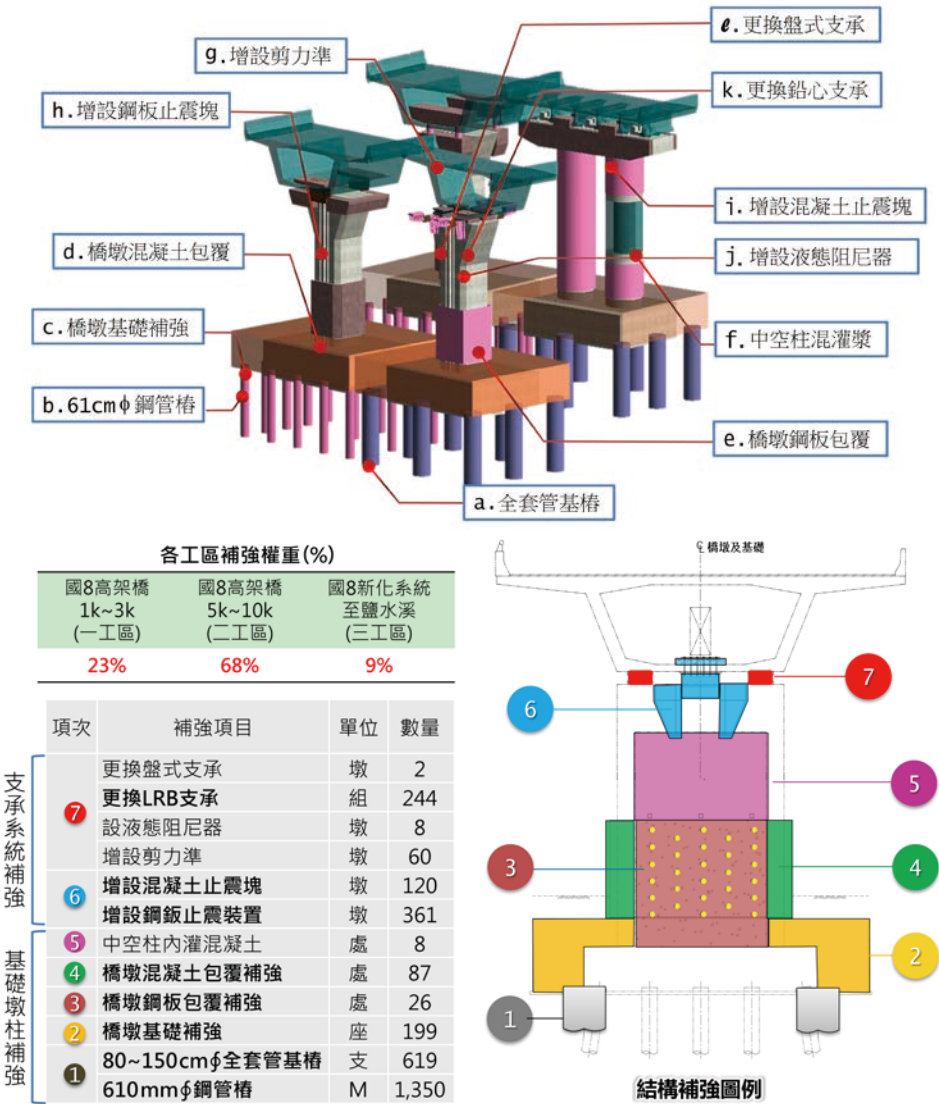


圖 2 M81 耐震補強工法一覽表

支承系統補強，以更換鉛心支承為例

國道 8 號（總長 15 km，1 k ~ 15 k）民國 82 年設計，採用 76 年公路橋梁設計規範進行地震力設計，並於民國 88 年竣工，其中 1 k ~ 3 k 補強內容為將既有盤式支承更換為鉛心橡膠支承（LRB），以延長基本振動週期及增加橋梁單元系統阻尼，達消散地震能效益；鉛心橡膠支承以水平隔震為原則，其垂直向須能完全承受結構垂直載重，運用鉛支隔震元件柔性延長結構系統震動週期，貢獻額外阻尼消能，遇震時可減輕橋梁上構之慣性力及加速度反應，進而降低下構耐震設計需求。

國 8（1 k ~ 3 k）上構補強墩數 226 墩，更換 LRB 達 244 組，主因為工址地表加速度及震區劃分改變、老舊橋梁耐震能力不足，既有基礎檢核已無法滿足現行耐震需求，再加上橋下限高、用地等因素，經系統評估優選更換 LRB 作為模組化工法。鉛心橡膠支承相對於盤式支承有較小之水平勁度、阻尼比高，可達「延遲地震震動週期、增加橋梁阻尼係數」進而衰減橋梁在地震中最大加速度，增加使用壽命，LRB 相關施工流程、品質控管作為，說明如下（詳圖 3）。

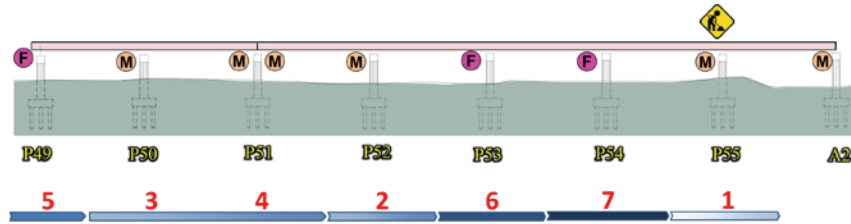
1. 鉛心支承在進場前須進行成品尺寸檢查及原型測試、實體測試、性能保證測試，確保各項試驗數

值符合新頒耐震規範需求。

2. 進行橋梁頂升，須同步垂直加壓且上升量不得大於 5 mm，頂升設備（千斤頂）採偶數配置，避免產生偏心旋轉，每加壓 100 噸量測頂升高度，避免過度抬昇橋梁受損。
3. 頂升完成後，辦理既有盤支拆除，過程中應注意粉塵、人因工程對人員之危害，且在臨路側鋪設防塵網，以維行車安全。
4. 鉛支吊裝及定位測量傾斜度（許可差 $\pm 0.003\text{rad}$ ， $\pm 0.17^\circ$ ），循序安裝支承。
5. 進行鉛支調整座無收縮水泥砂漿澆注，屆齡期強度移除頂升設備。
6. 施工過程中，為避免突逢地震增加頂升落橋風險，LRB 更換工序為，先做活動端、伸縮縫，最後才可進行固定端支承更換，且同一單元不得同時進行多個支承更換作業，如圖 4。
7. 精進作為，地震發生時（震度 4 級以上），監造、技服、廠商，共同研擬監測作為，建立地震後即時檢查機制（率定警戒值、行動值），同步成立技師團督管巡檢，透過電子測距輔以測量圖形模組化，達到操作容易與落實監測的目的，國道技師團督導作為，如圖 5。



圖 3 鉛心支承施工流程及品質控管作為



更換原則：

- ① 同一橋梁單元**更換順序**：
中隔梁(原活動端 **M**)→端隔梁伸縮縫端→中隔梁(原固定端 **F**)
例：P55→P52→P50→P51→P49→P53→P54
- ② 同一單元不得同時進行多個支承更換作業

圖 4 鉛心支承安裝工序 (以橋梁單元 P49~P54 為例)

監測項目	時機	頻率	警戒值	動作	行動值	動作
垂直變位觀測	頂昇完成後	每周2次	相對位移大於3mm	加強觀測	相對位移大於5mm	加壓頂昇
水平位移觀測	頂昇完成後	每周2次	相對位移大於2mm	加強穩定裝置	相對位移大於4mm	立即停工研討後續作為

地震(震度4級以上)發生時，監測頻率每小時1次

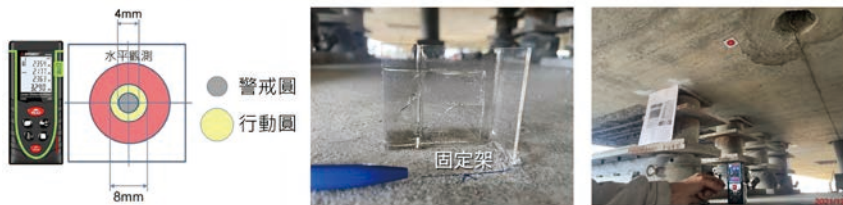


圖 5 鉛心支承監測作為

基礎墩柱補強，以鋼管樁為例

本工程基礎補強可分為增樁擴基與基礎頂板加厚，基礎板主筋採用銲接延伸至新設基礎，新舊混凝土界面則於既有混凝土面水刀打毛後(水壓 2,760 bar, 40,000 psi)，配置化學黏著錨筋(具中空鑽頭吸塵效果)，以增加新舊介面之抗剪能力。本文基礎增樁舉特色工法「鋼管樁打設」為例，因橋下常須配合既有結構及現地施工限制因素，如：橋下淨空不足、受限

施工開挖範圍等，須另採低淨空($H = 6\text{ m} \sim 8\text{ m}$)小口徑樁機施作(樁徑 610 mm)，內灌混凝土鋼管樁工法(Cast-in-Steel-Shell piles, 簡稱 CISS piles)因此孕育而生，相關材料規格及驅動設備，如圖 6 所示，此種工法係於樁頭 10 m 範圍內設置鋼筋籠，形成鋼管鋼筋混凝土的複合斷面，除可有效增加樁載彎矩容量外，亦成功克服環境限制，將耐震能力提升至足夠標準，建造一條安全回家的路。



圖 6 鋼管樁規格及驅動設備

鋼管樁施工相較於全套管基樁具有低噪音、減少開挖範圍與縮短工期等特性，有效減低因傳統基樁施工所造成的土方暫置與鄰損問題，滿足敦親睦鄰趨勢

發展，儼然已成近年來橋梁耐震補強的新興工法，相關圖說、施工流程、品質控管、安全管理作為，如圖 7-1 至圖 7-4。

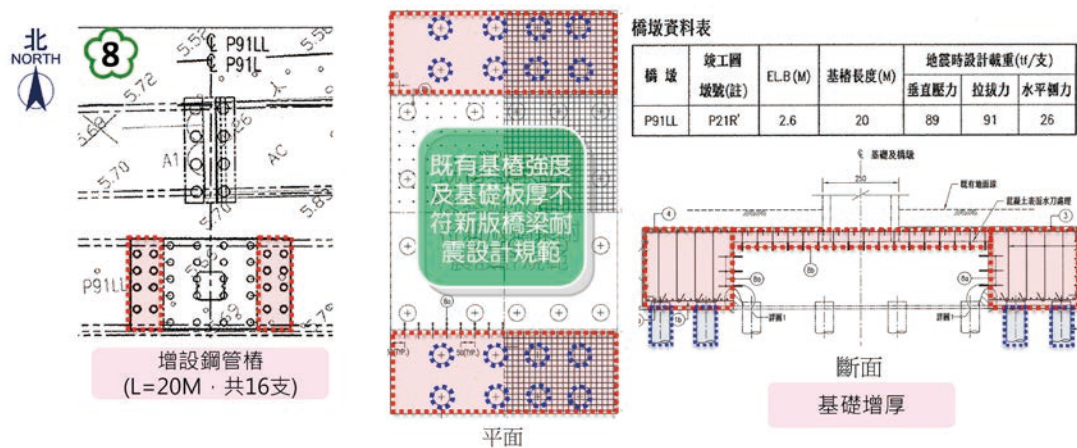


圖 7-1 鋼管樁施工圖



圖 7-2 鋼管樁施工流程



圖 7-3 鋼管樁品質控管

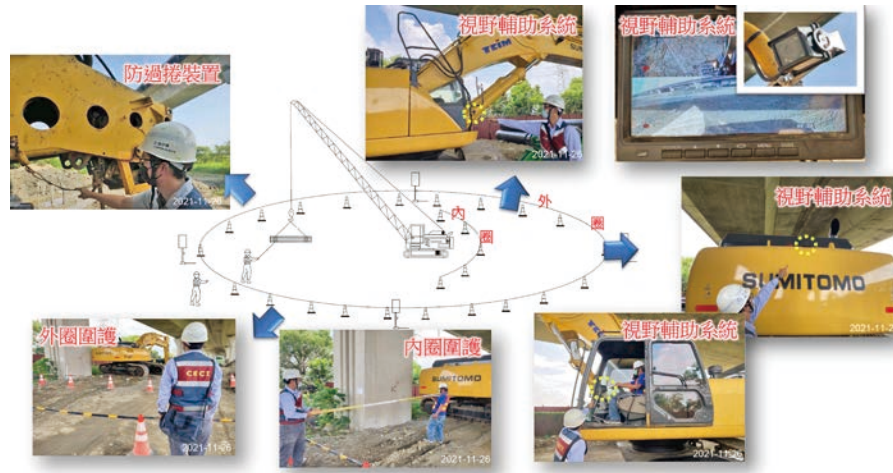


圖 7-4 鋼管樁安全管理作為



圖 8 環頸雉監看作為

國道建設之生態友善作為

國道建設已邁入環境永續發展為主的 3.0 思維，生態友善規劃係採「打造環境可永續發展之綠色國道」為目標，追求運輸服務安全度提升的同時，能融入減量、減廢，強調順應環境、自然穩定、低維護管理的粗放式生態景觀，建構更強韌的國道環境，因此進行國道橋梁耐震評估補強之前，匡列重要的生態課題—環頸雉、蝙蝠，提報監看成果。

環頸雉物種特性及監看作為

1. 在調查範圍的既有道路上，於日出後至中午 12:00 前，慢速前進，搭配 8~10 倍的雙筒望遠鏡搜尋，同時輔以鳴叫聲辨識，紀錄沿途看到或聽到

的環頸雉座標位置、數量，若發現育雛行為需加註雛鳥或幼鳥的數量和座標，紀錄時注意活動的位置及方向，監看作為，如圖 8 所示。

2. 主食是野生植物之果實，雄鳥捍衛地盤、雌鳥負責育雛。
3. 臺南系統交流道為高架路段，橋梁補強工程須進入橋下空間，施工時避開 4~5 月間之繁殖高峰期，降低對環頸雉之干擾。
4. 工程完成後的橋下空間，保留栽植原生於當地之植物，使環頸雉能持續棲息使用，並且能穿越橋下空間，進入交流道下方等綠地環境，避免因人造設施造成棲地切割，或迫使環頸雉需要穿越平面道路等負面影響。



圖9 蝙蝠監看作為

蝙蝠物種特性及監看作為

1. 蝙蝠為夜行性哺乳動物，在人為活動較頻繁之地區，蝙蝠常利用屋瓦縫隙、建築物夾層、箱涵、橋梁下方等人造設施作為日棲所。
2. 蝙蝠具有高度的生態多樣性，提供了包括植物授粉（如榴槤、山竹）、種子傳播與控制經濟作物害蟲數量（秋行軍蟲）等具高度經濟價值的生態系統服務，使其成為反映陸域生態系環境狀況的生物指數。
3. 本工程配合國道耐震補強上構期程，執行施工路段箱室之蝙蝠族群清查作業，並依循勞安法規穿著安全防护裝備（侷限空間），進入箱梁內進行調查，依序對箱梁進行編號，紀錄各箱梁內蝙蝠棲息種類及數量，相關監看作為，如圖9所示。
4. 施工前、中、後由專業生態人員進行蝙蝠監看，作業內容包括，生態異常狀況通報及處理（單一箱室內發現 ≥ 10 隻蝙蝠屍體，或單座橋梁發現總數 ≥ 20 隻蝙蝠屍體）、定期舉辦環境生態教育訓練、生態保護作為成果報告（含音軌輔以影像紀錄）。
5. 工程完成後的橋下空間，保留原生當地植物，除可提升植被覆度，亦可增加昆蟲棲地及全對象之食物來源，使蝙蝠能持續棲息使用，避免因人造設施造成棲地切割，降低國道建設對環境之干擾。

結語

1. 原橋補強工程，雖有竣工圖作為參考依據，惟實

際基礎尺寸、高程及位置，常與圖說有所偏差，加上施工時原橋尚在通車使用，圖說澄清全仰賴工程團隊的同心協力，使橋梁耐震補強工作更臻完善，符合國人對工程人員之期望。

2. 本案的耐震補強施工經驗，成功延壽國道8號的生命週期與營運軌跡，期許全台興建中的國道高速公路，持續守護橋梁安全再創台灣奇蹟。
3. 國道耐震補強刻不容緩，筆者深感橋梁之美的魅力，本著國道美學再進化，交通建設納入生態、永續、經驗傳承、世代共鳴的初心，型塑台南地標，自詡為美好台灣貢獻心力。
4. 工程進行中不免遇設計圖說未臻周詳之處，如地下管線衝突、材料取得困難、施工差異，全仰賴訓練有素的工程團隊平時即就圖說、規範及疑義澄清主動進行檢討，藉本文給辛苦的主辦機關、監造單位與施工廠商，讚美喝采。

誌謝

本文承蒙交通部高速公路局第二新建工程處與第三工務所之指導及支持，謹致謝意。

參考文獻

1. 交通部高速公路局（2021）。橋梁耐震補強設計注意事項。
2. 交通部高速公路局（2018）。橋梁耐震補強設計及維護管理手冊。
3. 陳韋丞（2018）。國道橋梁應用隔減震支承系統耐震補強之案例分析與探討。第14屆結構工程研討會，台北。



捷運萬大線 廈安站 臨時箱涵改道 至車站頂版上方之施工實務

邱志榮／台灣世曦工程顧問股份有限公司 專案經理

劉振忠／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 正工程司

姚國舜／臺北市政府捷運工程局第二區工程處 副工程司

都會區捷運工程基於運量效益考量，路線多行經位於開發成熟且維生管線系統及排水設施完備之都會區，各路段工程條件均具有不確定性，欲配合捷運工程需求，除調整地下已滿佈之各種管線系統及排水箱涵，並確保各管線及排水功能前提下，有賴縝密調查與專業分工加以因應；現今施工中之捷運萬大線亦然，LG03（廈安）站在設計階段調查位於臺北市中正區西藏路下方存在既有有寬度約 11.6 公尺、高 3.9 公尺之大型雙孔排水箱涵站，為目前捷運車站設站位置所遭遇最大箱涵，影響工程施工及工期甚鉅。本站連續壁、中間柱、建物保護攪拌樁等相關施工項目施工階段，均先依照地下管線探挖報告及既有箱涵位置，於現地進行放樣再予探挖地下障礙物，並妥適予以管線保護或臨遷處理及臨時箱涵施作完成後，再進行後續站體施工。

關鍵詞：捷運萬大線、箱涵施工

工程概述

廈安車站（LG03 車站）為一座地下 2 層島式月台車站（車站寬度 18.35 m、深達 21.5 m），位置座落於中正區西藏路介於惠安街口至中華路二段路口間，車站設有 2 處出入口：A 出入口位於捷十用地、B 出入口位於忠義國小用地（圖 1）。

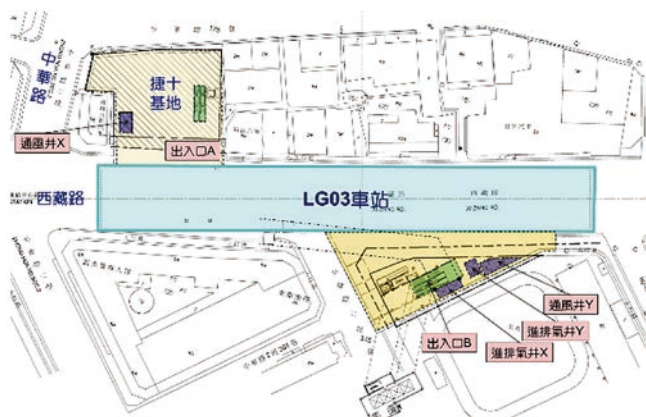


圖 1 捷運萬大線廈安車站平面位置圖

廈安車站站體施工工序為交維、連續壁工程、覆蓋版系統、開挖及擋土支撐系統、結構工程、復舊工程等作業，首先面臨的即是西藏路工區下方的 22KV 台電高壓、電信、自來水、瓦斯管線及內徑 5 m × 3.1 m 雙孔既有排水箱涵，管線尚可採用吊掛或遷移方式來進行排除，施工階段既有排水箱涵配合車站開挖工序，辦理臨遷及永遷勢必是本工程施工重點（圖 2）。

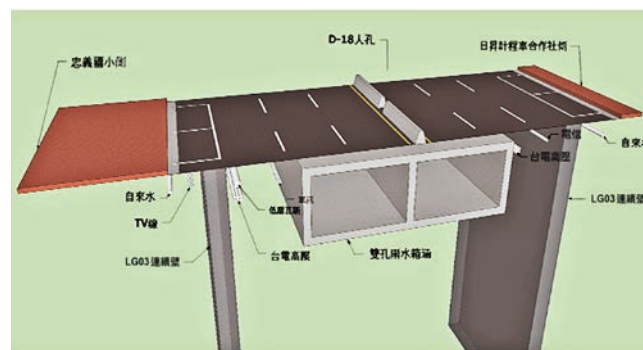


圖 2 捷運萬大線廈安車站西藏路剖面圖

既有箱涵由來

捷運 LG03（廈安）站位由於西藏路前身為古河道屬新店溪支流，舊稱赤河（河深約 15 m、寬約 25 m）（圖 3）。早期水流清澈，水裡可見魚蝦，是市民戲水老魚蝦甚至泛舟的娛樂場所，後因民國 50 年代因臨近工廠排入廢水而造成溝道阻塞發臭，因此被當地居民戲稱為黑龍江（圖 4），直至民國 68 年北市府將西藏路由汀洲路往西至環河南路，分段為特三號排水溝加蓋，西藏路變成為一條 30 公尺大馬路，成為雙園地區東、西主要幹道，也帶動雙園地區往來新店溪對岸的板橋與中和知交通更加便捷，更令雙園地區南北連成一氣，開啟了當地繁榮發展（圖 5）。



圖 3 古河道舊稱「赤河」



圖 4 民國 50 年代阻塞發臭戲稱為「黑龍江」



圖 5 特 3 號排水溝

施工依據

依據臺北市政府工務局水利工程處 105 年 10 月 28 日北市工水下字第 10562718100 號函核定之「臺北都會區大眾捷運系統萬大線 DQ121 設計標 CQ840 區段標（CQ843 施工標）排水計畫」辦理臨時排水箱涵施工。

既有箱涵臨遷計畫

既有箱涵位於廈安車站站體正上方，因道路空間有限導致無法完全臨遷至連續壁外側，所以施工開挖階段將配合站體施作進行排水改道；在不縮減原排水斷面前提下，以新建兩個同斷面臨時排水箱涵取代既有箱涵，車站結構完成後，再於原址依原尺寸辦理排水箱涵復舊（圖 6 至圖 9）。

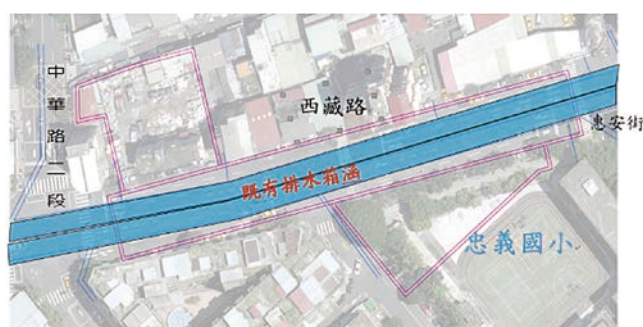


圖 6 廈安站站體與既有箱涵原況平面圖

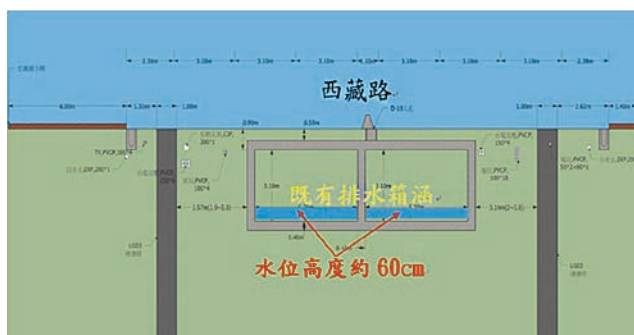


圖 7 廈安站西藏路既有排水箱涵剖面圖



圖 8 廈安站站體與新建臨時箱涵平面圖

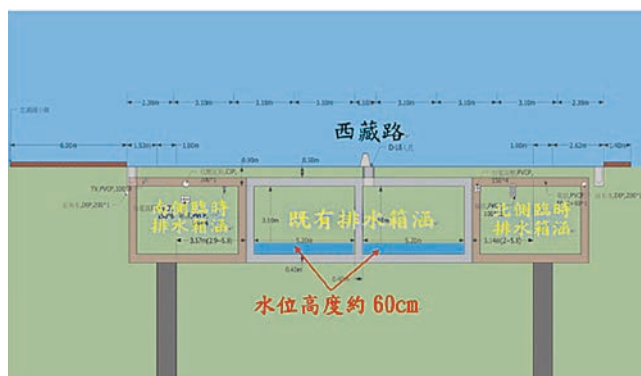


圖 9 廈安站西藏路臨時排水箱涵剖面圖

臨遷排水箱涵建於連續壁上，採先建後拆工序，保持排水功能正常，可排除防汛期無法施工之因素，從而縮短工期（圖 10）。

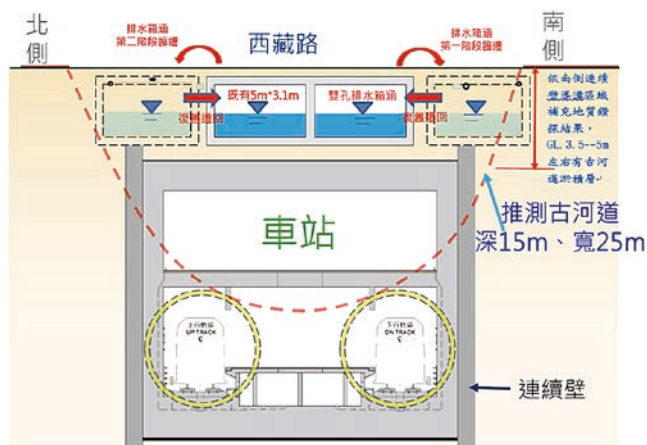


圖 10 廈安站西藏路排水箱涵遷移示意圖

臨時箱涵支撐系統原設計採用托底施工方式，車站頂版至托底下緣空間狹小而無法鋪設頂版防水膜，而且，托底方式新增支撐柱位於軌道版，影響軌道工程施工；經過協調與設計後，若改成預留吊掛鐵板懸吊施工方式，則可克服防水膜鋪設及使軌道工程順利施工（圖 11 和圖 12）。

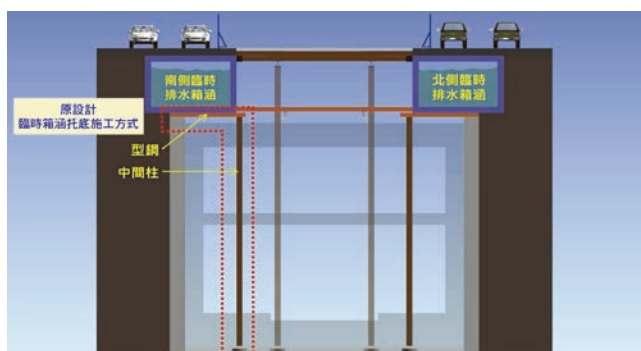


圖 11 臨時箱涵托底施工方式示意圖

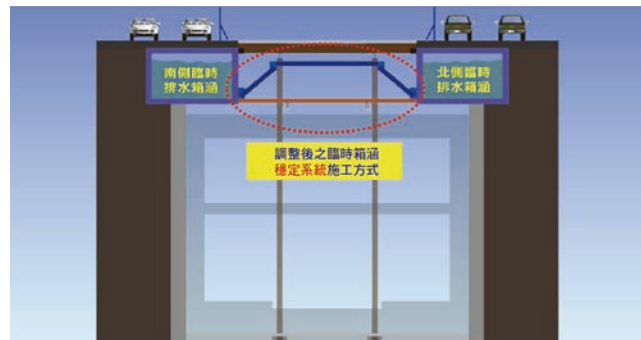


圖 12 臨時箱涵預留吊掛鐵板懸吊施工方式示意圖

既有箱涵臨遷施工規劃

臨時箱涵施工前置作業

- 配合連續壁施工進行交維改道
- 地質軟落弱，連續壁導溝施作前先行地質改良，後續依交維階段進行連續壁施工。
- 既有箱涵版底施作止水灌漿
- 建物保護鋼板樁及扶壁施作
- 連續壁頂植筋

臨時箱涵施工流程

步驟 1：施作東西向（南側）直線段及局部橫置連續壁（圖 13）。

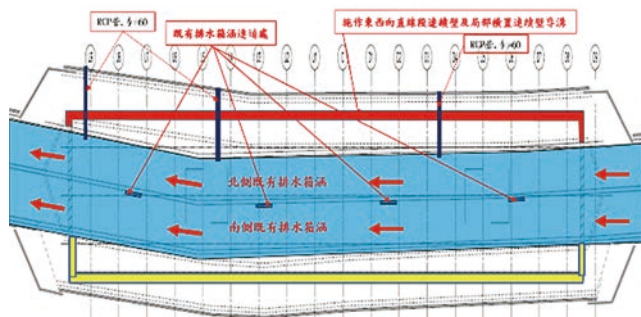


圖 13 臨時箱涵施工步驟 1 示意圖

步驟 2：施作南側臨時排水箱涵，此階段施工期間北側既有排水箱涵仍保持暢通，可降低排水改道影響時間（圖 14）。

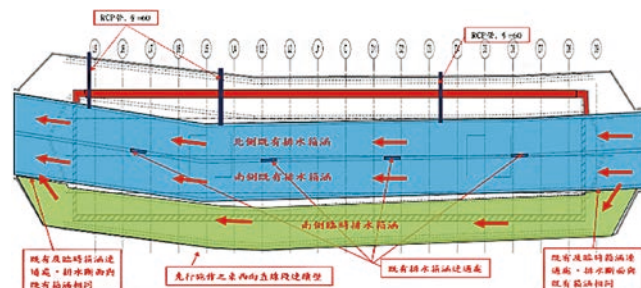


圖 14 臨時箱涵施工步驟 2 示意圖

步驟 3：施作北側及部分東西向橫置連續壁階，此段計有三處箱涵進行排水（圖 15）。

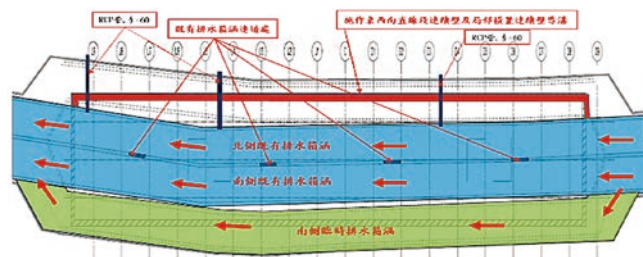


圖 15 臨時箱涵施工步驟 3 示意圖

步驟 4：施作北側扶壁式建物保護灌漿、北側臨時排水箱涵第一階段鋼板樁、東西側隧道到達端地盤改良（圖 16）。

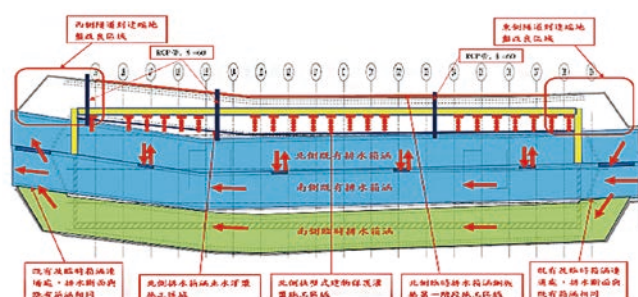


圖 16 臨時箱涵施工步驟 4 示意圖

步驟 5：施作北側臨時排水箱涵第二階段鋼板樁（圖 17）。

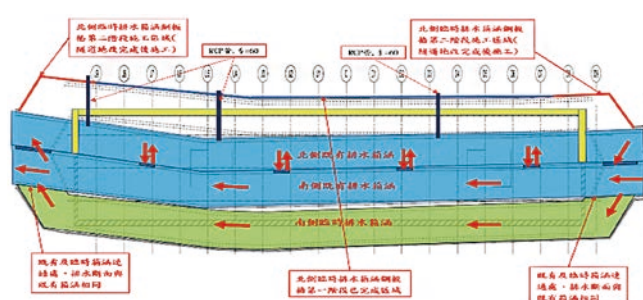


圖 17 臨時箱涵施工步驟 5 示意圖

步驟 6：施作北側臨時排水箱涵開挖及結構施作（圖 18）。

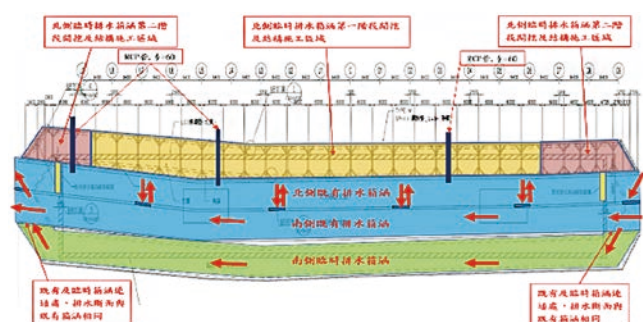


圖 18 臨時箱涵施工步驟 6 示意圖

步驟 7：以太空包堆疊擋水封閉及打除南北向橫置連續壁處既有箱涵，並利用南北向臨時排水箱涵進行排水（圖 19 和圖 19-1 至圖 19-5）。

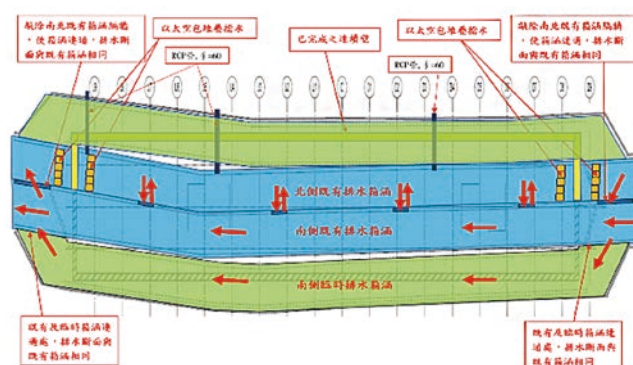


圖 19 臨時箱涵施工步驟 7 示意圖

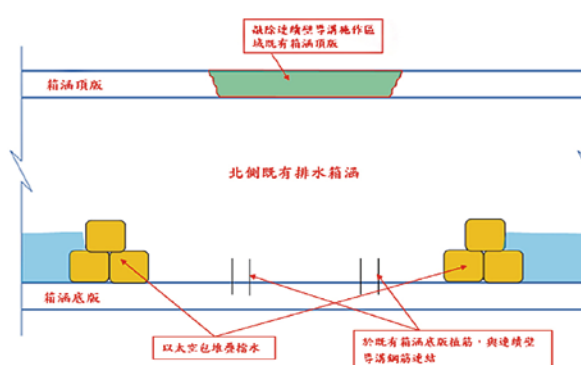


圖 19-1 箱涵範圍連續壁施工示意圖 1

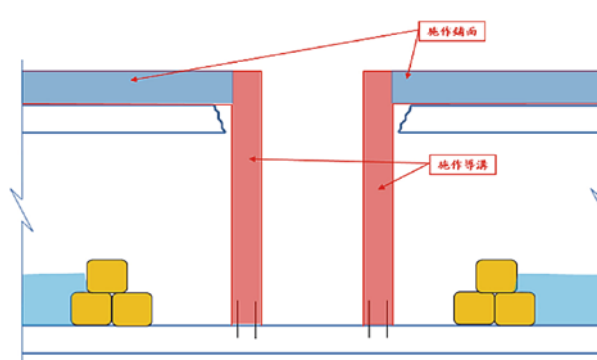


圖 19-2 箱涵範圍連續壁施工示意圖 2

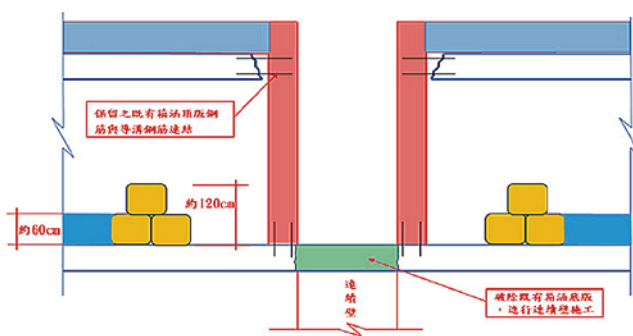


圖 19-3 箱涵範圍連續壁施工示意圖 3

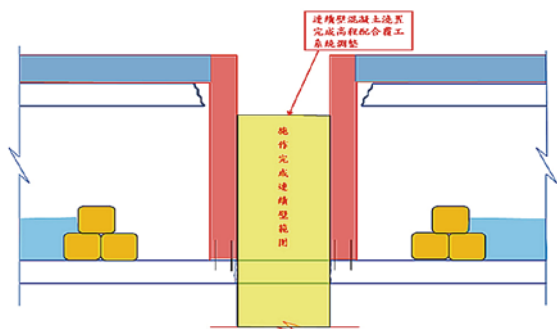


圖 19-4 箱涵範圍連續壁施工示意圖 4

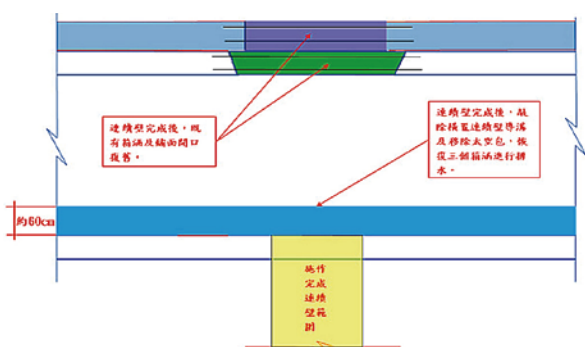


圖 19-5 箱涵範圍連續壁施工示意圖 5

步驟 8：北側臨時排水箱涵開始排水。新舊排水箱涵結構銜接以植筋方式處理，臨時排水箱涵結構完成後，僅敲除連通處既有排水箱涵側牆，既有排水箱涵底版及頂版皆不敲除（圖 20 和圖 20-1 至圖 20-2）。

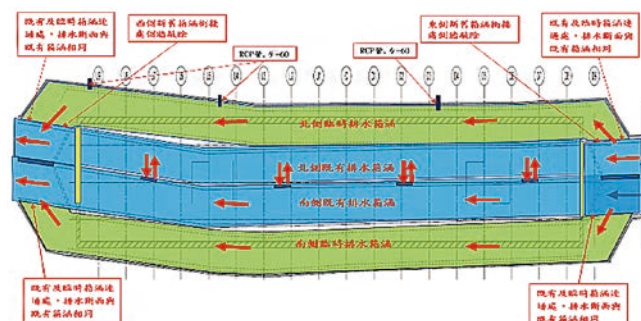


圖 20 臨時箱涵施工步驟 8 示意圖

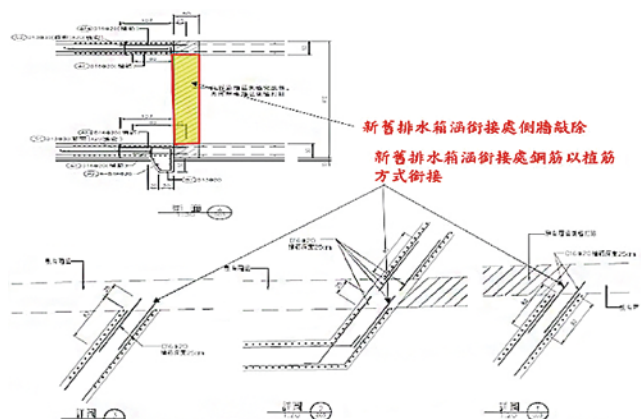


圖 20-1 臨時及既有排水箱涵結構銜接方式（一）

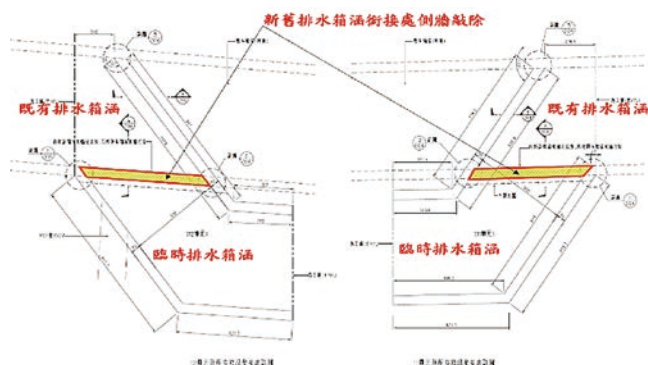


圖 20-2 臨時及既有排水箱涵結構銜接方式（二）

步驟 9：以太空包堆疊擋水（圖 21）。

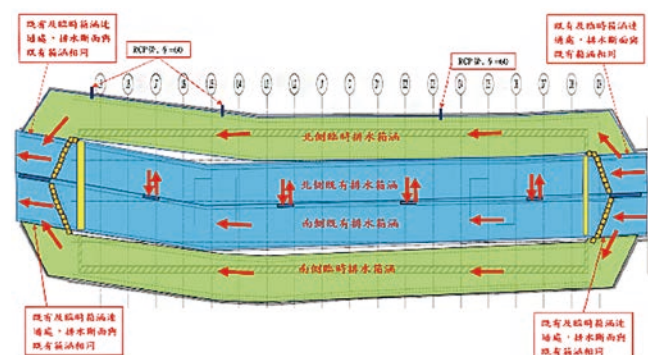


圖 21 臨時箱涵施工步驟 9 示意圖

步驟 10：施作既有排水箱涵擋水牆（圖 22）。

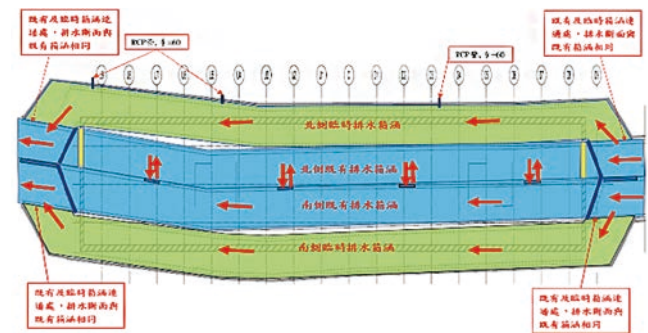


圖 22 臨時箱涵施工步驟 10 示意圖

步驟 11：隧道到達端地盤改良及中間柱完成後，敲除北側既有排水箱涵敲除範圍（圖 23）。

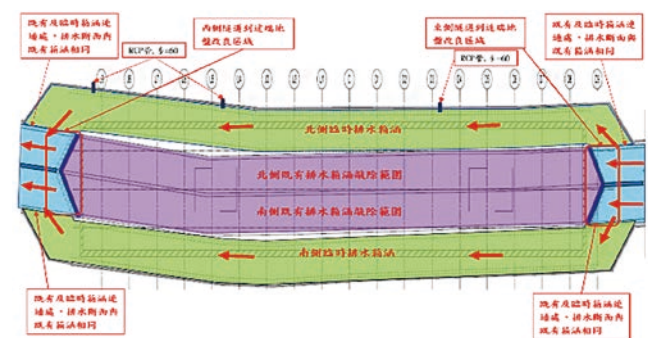


圖 23 臨時箱涵施工步驟 11 示意圖

既有箱涵臨遷施工照片



1. 連續壁施工



2. 建物保護（靜壓式鋼板樁）施作



3. 連續壁頂端植筋



4. 臨時箱涵底板鋼筋綁紮



5. 臨時排水箱涵預埋托底鋼板



6. 臨時箱涵一昇牆模板支撐



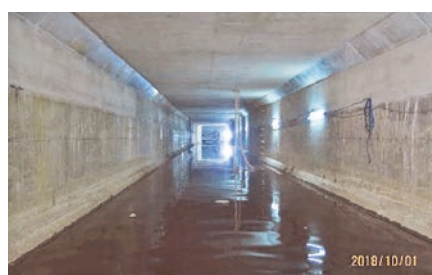
7. 箱涵銜接處鋼筋綁紮



8. 臨時箱涵頂版混凝土澆置



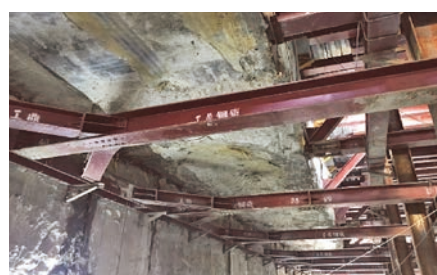
9. 臨時箱涵與既有箱涵銜接



10. 臨時箱涵完成



11. 懸吊支撐系統



12. 箱涵座落連續壁之上

結論

本案採用臨遷排水箱涵設置於兩側連續壁頂端，再藉由臨時箱涵中間的間隔區域來進行站體開挖，成功地克服了汛期無法施工的困擾，讓地下站體工程可以流暢地依進度進行施工，另施工中對臨時箱涵之支撐，改用預留吊掛鋼板懸吊調方式施工，克服頂版防水膜鋪設施工困難及提前供軌道標準進場縮短工時。

臨時排水箱涵施工過程中需確保施工品質合格，避免箱涵滲漏水而影響站體後續施工，確保箱涵強度

可以承受懸吊支撐系統。地下站體開挖過程中，支撐系統及鄰近建物之安全監測則需加強，爭取在第一時間可以採取應有之應變措施。

參考文獻

1. 臺北市政府工務局水利工程處。捷運萬大線 CQ840 標 LG03 站西藏路臨時排水箱涵施工計畫（107.12.10）。
2. 社團法人中華民國大地工程學會參賽簡報（110.8.26）。
3. LG03 車站臨時排水箱涵施工說明簡報（107.12.10）。 



關鍵基礎設施 防護與工程師 之二

— 防護整備作業 探索

張清祥／前行政院 參議、土木・大地工程 技師

廖東成／蘭陽技術學院建築與室內設計系 副教授

林祐正／國立臺北科技大學土木工程系 教授

關鍵基礎設施（Critical Infrastructure, CI）肩負社會服務、國家永續運作的命脈任務，關係民眾生活至巨，如何維護其服務正常，各界關心，更是工程師基本使命。工程師不但在其規劃、設計階段著力，營運階段功能的確保的角色亦不可或缺，扮演基礎設施全生命週期的保母角色，故如何預防、因應與善後各種威脅風險等各種整備工作，值得關心、探索與究竟。國際上，尤其是美國，歷經數件重大事件之後，既有的國土安全議題，再度被關注，其中涉及關鍵基礎設施防護（Critical Infrastructure Protection, CIP）議題更是重心，而工程師原本著重的任務焦點範疇也隨之拓展，深入到全生命週期的防護整備工作。本文繼續探索工程師與關鍵基礎設施防護關係，就防護整備工作做進一步介紹，供各界參考，尤其是以專業技術服務為基本的工程師與機構，並期不吝指正。

關鍵字：基礎設施防護、整備、情境規劃、總體任務清單、目標能力要項

關鍵基礎設施為何要防護整備？

張清祥等人^[1]提出國土安全參與者與工程師於關鍵基礎設施防護應具備有的素養，涉及各種背景人物、輪廓、範疇均相當的多樣、豐富，也點出後續精進的方向。本篇針對關鍵基礎設施防護（Critical Infrastructure Protection, CIP）核心任務，亦即防護整備工作，做更進一步的探索介紹。純「整備（Preparedness）」就內涵言，一般解讀各有立場與定義，也常與「準備」一詞常交互出現，就本質言，是一體兩面。

基礎設施支撐政府的運作、社經的活動與民眾的生活，尤其是具關鍵性的設施，亦即 CIP，其重要性不言而喻。而持續（Continuity）則是一個國家／企業，甚至是個體存在的必要條件，基礎設施亦然。以美國為例，曾由總統公布其國家持續策略，揭示其持續國家的基本功能運作為國土安全推動的目標，而確保關鍵服務正常為

國家的基本功能。過去國際發生過的災害案例與經歷，造成政府、社會與企業機構運作中斷，帶來極大衝擊。維持持續運作、確保設施安全與韌性（功能正常），是設施防護基本任務，而防護的一體兩面－整備工作，更是核心。工程師此刻扮演的更是「非我莫屬」保母角色。今回溯之前的 CIP 相關介紹，如 CI 的輪廓與威脅^[2]：

關鍵基礎設施輪廓

以美國（國土安全部）說法，CI 內容包括資產、系統與網絡。其他如歐盟、澳、加、紐亦有類似定義。國內，資通安全管理法亦有類似定義。這些範疇、定義雖有差異，但防護追求目標（核心功能）並無差別。關鍵基礎設施的概念起源於二戰^[3]，與今天的認知方式大不相同的形式。以前是戰爭開始選擇敵方影響的對象為標的，亦即關鍵的基礎設施，作為攻擊的目標，藉以癱瘓對手，爭取勝利，如今戰爭已被各

種威脅所取代，關鍵基礎設施防護已經演變成一種防禦策略，亦即防護措施屬關鍵者被納入，範疇更加擴大；由於各有不同的環境、背景、年代等因素，因而有不同的主張，且差異頗大。前曾整理一些國家對 CI 的分類，整理如表 1。雖然主張分歧，但卻離不開其訴求的基本功能核心對象。

表 1 國際間一些關鍵基礎設施的範疇

對象	關鍵基礎設施範疇	備考
美國	化學 / 商業設施 / 通訊 / 關鍵製造業 / 水壩 / 國防工業基地 / 緊急服務 / 能源 / 金融服務 / 糧食與農業 / 政府設施 / 醫療保健與公共衛生 / 信息技術 / 核反應器、材料與廢棄物 / 運輸系統 / 水和廢水系統	16
英國	通信 / 緊急服務 / 能量 / 金融服務 / 食物 / 政府 / 健康 / 運輸 / 水	9
法國	糧食 / 水管理 / 健康 / 民眾活動 / 法律活動 / 軍事活動 / 能源 / 金融 / 運輸 / 通訊、技術和傳播 / 工業 / 太空與研究	12
比利時	能源 / 交通 / 金融 / 電子通訊	4
日本	情報通信 / 金融 / 航空 / 鐵道 / 電力 / 天然氣 / 政府 / 醫療 / 水道 / 物流 / 化學 / 信用卡服務 / 石油工業	13
臺灣	能源 / 水資源 / 通訊傳播 / 交通 / 金融 / 緊急救援與醫院 / 政府機關 / 科學園區與工業區	8

基礎設施的威脅

基礎設施的威脅也有多元，災害威脅呈現的多樣性、難預測性與破壞性，對人類生活造成極大的衝擊，其中有很大部分係因設施被摧毀所導致。至於威脅種類各有範圍：

1. 以美國國土安全部國家防護計畫（NIPP, National Infrastructure Protection Plan）的報告，分為五大類，即：極端氣候（Extreme Weather）、意外疏忽（Accidental/Technical Failure）、網絡威脅（Cyber Threats）、恐怖活動（Acts of Terrorism）及疫病（Pandemics）^[4]。
2. 歐盟關鍵基礎設施保護計畫（EPCIP）分人為、技術和自然災害，恐怖主義威脅優先考慮^[5]。
3. 日本將威脅劃分天然與人為災害兩大類，並各細分為 3 及 5 類。除了以人為為主要對象外，且幾乎亦與設施相關。之中 5 種人為災害包括戰爭、管理不當、行政處置欠妥、謠言、警報錯誤及人類能力不足所造成災害等^[6]。

4. 臺灣災害防救法將災害條列 22 種^[7]，主要包括風災、水災、震災等天然災害與人為等因素所造成的災害，加上生物病原、動植物疫病等對象。另依中央氣象局災害的分類，災害的發生原因主要有：天然變異與人為影響。分為天然災害、人為災害、天然人為災害與人為天然災害四類^[8]。
5. 此外亦有對威脅分惡毒力量與惡性力量（Malevolent Forces vs. Malignant Forces）^[9] 成兩大類。其中惡毒力量是威脅物理攻擊和破壞基礎設施正常運行的外部力量；而惡性力量則主要是使基礎設施惡化的自然力量。

對此，曾被整理歸納成六類^[2]，包括：天然災害（Natural Disaster）、人為災害（Manmade Disaster）、網絡威脅（Cyber Threats）、疫病（Pandemics）、老化（Aging）與管理災害（Management Disaster）。

CIP 工作是國土安全整備的一環，故探索 CIP 整備工作內涵不得不從宏觀角度切入，方得窺全貌。目前國際上各國的國土安全的整備工作，並非一步到位，而是歷經一些事件逐步演化而來，並持續進行中。回顧過去經驗，所遭遇的事件及背景，以美國經歷較為豐富，也是切入較深，或稱投入最為積極的國家。其輪廓從國家持續政策以降，包括國家整備系統（National Preparedness System, NPS）、國家關鍵基礎設施防護計畫（National Infrastructure Protection Plan, NIPP）、部門防護計畫、個別機構防護計畫，以及管理、訓練與研發等配套機制進行防護工作，值得探究、學習與介紹，是本篇探索的主要範疇。

整備作業的內涵為何？

國內機制

在行政院網頁國土安全政策會報^[10]中有全貌的介紹。國內係以全災害（All-hazard）的角度推動關鍵基礎設施防護，目前除於災害防救領域、資訊通信安全持續推動之外，有關國土安全部分，在美國 911 之後，行政院已成立了專責單位推動，從政策會報以下，包括應變機制、應變計畫與關鍵基礎設施防護等，亦積極在相關事業機構 / 單位推動，期對政府運作、社會經濟活動與民眾生活確保正常，即使遭遇各種事件、災害下亦能快速應變與恢復運作。由於環境、背景等條件不同，比起一些國家，運作機制相對精簡。

他山之石

就以美國言，國家整備系統（National Preparedness System, NPS）的建立，以國家規劃系統律定將整備計畫，將整個組織參與可執行的策略、程序和戰術方法三層級做有效的推動。整個國土安全推動輪廓以整備系統為核心，包括：預防、防護、減災、應變與復原 5 大領域任務。

關鍵基礎設施防護則有 NIPP 做為指引，運用 NPS 系統機制，以風險管理（Risk Management, RM）架構作為主軸，進行防護工作，從策略、計畫、執行與迄第一線人員應變的操作與指揮，堪稱龐大、豐富且具系統化^[11]。

在美國其 CI 民間企業佔有重要角色（曾被提出比重高達 85%），加上防護工作是龐大工程，單獨由政府推動難竟其功，其總統亦提出指令（Presidential Policy Directive 21, PPD 21）整合公、私部門，中央與地方政府，律定方向，讓所有單位能密切接合，成為夥伴關係，共同防禦可能的衝擊，構成維持國家基本功能的一環，並與其國家持續運作政策銜接。在推動過程 NIPP 2013 亦曾揭示推動核心準則，當然，整備工作必須透徹了解所處環境（威脅）狀況，進而進行防護。

防護整備關鍵工作 3 元素：

設施環境威脅如此多元，所需的防護整備工作到底需要那些？以及作業項目到底有那些？均需要相當的清楚、明確，方能有效推動。一般作業鮮有對此做詳細的探討（僅有簡單的描述或介紹），但在龐大的體系內若未分類則難以管理，遑論防護績效的評估。為改善或克服這些情況，目前也有一些作法，常見於軍事與防衛相關領域，在美國也有類似推動，其過程、

作為值得參考。於 2001 年 911 事件之後，針對防護整備推動提出指導綱要，端出一些關鍵要項，除威脅情境是基礎元素之必須掌握之外，其具體作為就是先調查任務內的任務清單 UTL（Universal Task List），作為參與者應熟悉的工作範圍、項目，也作為參與人員能力培訓推動的基礎；另外針對任務 / 工作清單如何承擔，承擔能力的標準也提出應有相對的處理能力需求，亦即目標能力要項 TCL（Target Capability List），做為整備防護工作的關鍵元素。宛如說文解字一般，將複雜的威脅情境、渾沌的任務工作與能力需求，蒐羅、整理與分類，做為整備防護工作的基礎。因此，威脅情境、總體工作清單與目標能力要項構成防護整備工作的關鍵 3 元素。

威脅情境規劃

於任何緊急或威脅狀況下應處是設施防護整備的基本功，然威脅是開放性的，任何狀況都可能出現，如何有效因應，確實是挑戰，舉世皆然。對此，在美國國土安全部國土安全委員會制定的國家規劃方案定義了國家必須準備的各種事件，目前共列出 15 種情境，參表 2。來面對一系列可能的攻擊、自然災害和其他緊急情況的威脅。雖然它們沒有解決所有潛在的威脅或危害，但它們提供了一個關於國家必須準備的事件範圍和策略框架，也給後續發展預防、防護、減災、應變和復原等整備作的方向，利於整備工作的推動。

總體任務清單（UTL）

為了支持實現國家備災目標，國土安全部、州和地方政府制定了 UTL，定義任務所需 / 可能遭遇的項目。它是在與聯邦、州、地方和部落實體以及國家協會密切協商後開發的，是一種用於協助基層實施根據

表 2 威脅規劃情境項目（美國）

1.簡易核裝置 (Improvised Nuclear Device)	9. 大地震 (Major Earthquake)
2.氣溶膠炭疽 (Aerosol Anthrax)	10. 大颶風 (Major Hurricane)
3.流行性流感 (Pandemic Influenza)	11.放射擴散裝置 (Radiological Dispersal Device)
4.瘟疫 (Plague)	12.簡易爆炸裝置 (Improvised Explosive Device)
5.吸塑劑 (Blister Agent)	13.食物污染 (Food Contamination)
6.有毒工業化學品 (Toxic Industrial Chemical)	14.外來動物疫病 (Foreign Animal Disease)
7.神經毒劑 (Nerve Agent)	15.重大網絡攻擊 (Major Cyber Attack)
8.氯氣筒爆炸 (Chlorine Tank Explosion)	

法令建立的基於能力的規劃過程的工具，UTL 是一份「活的」文件，在付諸實踐時將滾動式發展。UTL 的目的是列出需要執行的「什麼」任務，同時保留確定「誰」應該執行它們以及「如何」執行的靈活性。預計沒有一個機關或機構可以自行執行每一項任務。相反地，各個機關將需要根據自己的特定角色、使命和職能來評估和選擇任務。完全開發後，UTL 將包含有關可能影響任務績效的條件（實體、環境、政治）的通用語言以及評估績效的措施。

UTL 是一個圖書館和國土安全任務區的任務層次結構。基於能力的準備鼓勵靈活性並需要協作。更重要的是，它有助於確保全國的運營規劃人員和計畫在進行規劃、培訓、設備和其他投資時可以使用通用工具和流程，並可以產生可衡量的結果。有關指南如何促進特定國土安全能力發展的更多信息。

UTL 定義了聯邦、州、地方和部落管轄區以及私營部門需要執行那些任務，以預防、防護、應變國家規劃方案中定義的事件並從中恢復。UTL 2.1 版確定了大約 1,600 項獨特的任務。

目標能力要項 (TCL)

UTL 是定義能力要項 TCL 的基礎，這些目標能力是執行預防、防護、應變和復原等國家重大事件的任務所需的。充分發展的 UTL 和 TCL 將為各級單位提供框架，用於評估他們的整體準備成果，同時將資源做有效的配置。

TCL 是在對 UTL 中的關鍵任務進行分析之後開發的。關鍵任務被定義為在重大事件期間必須執行的任

務，以防止發生、減少生命損失或重傷、減輕重大財產損失或對成功完成國土安全任務至關重要。在 UTL 2.1 版中發現的大約 300 項任務已被確定為關鍵項目。TCL 1.1 版提出了 36 項目標功能要項。幾經演化，目前已稱為核心功能，分為 5 大領域，共有 32 項，做為整備工作能力的共通語言。如表 3。

如何進行整備作業？

在美國為例，以國家備災系統協助、指導各級政府、私營和非營利部門建立和維持國家備災的能力目標。國家備災系統包括對規劃、組織、設備、培訓和演習的指導，提供一種全國性、系統化的方法，並隨著時間的推移，建立和維持一個整備活動循環週期，參圖 1。建立和維持整備作業，其主要活動摘述如後：

鑑別和評估風險

做好整備工作首先要了解要準備那些風險以及如何準備這些風險。為了支持、標準化和衡量風險以及管理風險的活動，FEMA 通過其國家風險和能力評估產品開發了一套評估工具。評估結果為利益相關者提供數據，以通過降低風險或發展能力來進行有針對性的準備投資。再者，當綜合考評時，結果還有助於更廣泛地了解國家風險、能力和差距。此類分析每年都會呈現在年度國家整備報告中，作為後續精進的參考依據。

衡量能力需求

國家整備系統強調基於能力需求的規劃，開發和維護應對威脅和危害的知識、技能和能力，而不是為每個潛在的場景做準備。在確定相關風險後，選擇能

表 3 國家整備系統各領域所需核心能力^[11]

預防	保護	減災	應變	復原
		• 規劃 • 公共資訊與預警 • 作業協調		
• 情報分享 • 攔阻與瓦解 • 篩選，搜索和檢測	• 社區抗災能力 • 持續減少漏洞 • 防災韌力 • 辨識威脅和危害		• 基礎設施系統	
• 蒐證和究責	• 擷取控制和身份驗證 • 網路安全 • 實體保護措施 • 風險管理 • 供應鏈的完整性和安全性		• 關鍵運輸 • 降低環境影響 • 傷亡事故管理 • 消防管制 • 後勤與供應鏈 • 眾大保健 • 大規模搜救 • 現場保安與執法 • 作業通信 • 公衛與緊急醫療 • 服務狀況評估	• 經濟復原 • 衛生和社會服務 • 住房 • 自然和文化資源

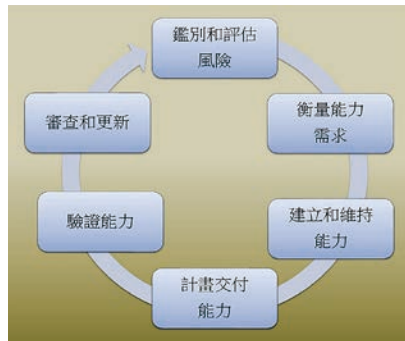


圖 1 國家整備系統 (USA)

力來應對這些風險。某些功能可能已經存在，某些可能需要開發其他方法來解決明顯的差距。如果衡量標準未達到目標，則需要解決差距，以滿足任務所需。

建立和維持能力

各單位面臨優先考慮資源的挑戰，以開發他們最需要的能力，來解決可能遭遇與嚴重後果的威脅。鼓勵夥伴合作，包括州、地方、部落和領地政府，通過規劃、裝備、培訓和其他準備活動來提高他們的能力。

如前所述，能力的發展涉及整個政府和非政府團體的許多利益相關者。為確保成功交付這些能力，FEMA 開發了國家事故管理系統 (National Incident Management System, NIMS)。NIMS 提供必要的「共享詞彙、系統和流程」，以確保預防、防護、減災、應變和復原活動的整備作業。NIMS 提供如何管理提供核心能力的資源，如何提供對這些資源的命令和控制，以及如何傳達有關這些資源活動的信息。NIMS 的主要功能包括事件指揮系統、互助指南、國家資格系統和資源分類。根據 NIMS 指南建立和維持能力可確保該能力能夠與夥伴機構相結合。一些聯邦機構也採用 NIMS 提供準備補助金的依據。

計畫交付能力

國家規劃架構規定了整備活動的協調，提供了一種讓整個團體參與並同步準備工作的方法。每項任務領域都有一個整備架構：預防、保護、減災、應變和復原機制，每一個領域都提供核心能力的策略和原則，利於能力的分享與合作。

驗證能力

在開發和規劃能力之後，透過演習得到驗證。演習提供了一種低風險、具有成本效益的方法來測試計畫、政策和程序，並確定差距、需要改進的領域和最佳實踐。為確保緊急演習系統地進行，FEMA 制定了一

套指導綱要，根據國土安全演習和評估計畫來構建其設計、開發、實施和評估。該方針包括評估能力績效、確定需要改進的領域以及在行動後報告和改進計畫中推薦糾正措施的方法。通過這個過程，各單位可以提高自己的能力和計畫，從而縮小整備的落差。

審查和更新

FEMA 確認定期審查能力、資源和計畫的重要性，並鼓勵整備工作的不斷發展。FEMA 的許多核心文件都提到了持續改進，強調適應不斷變化的威脅形勢和能力概況，以面對未來的可能威脅。

整關鍵基礎設施整備作業如何推動？

前揭的整備工作是國土安全的範疇，而其中涉及 CI 部分，則有更細緻的推動方案，亦即以整備的機制，推動 CI 的防護。

國家基礎設施防護計畫

NIPP 2013：關鍵基礎設施安全和韌性合作，簡稱國家基礎設施防護計畫 NIPP 2013^[4]，指導國家努力管理國家關鍵基礎設施的風險。其內容包括的演化歷程，2013 版提出願景、任務與目標、CI 風險環境、核心原則、協同管理風險、參與管理風險與行動呼籲等項目。

關鍵基礎設施風險的社區範圍廣泛，由所有者和運營商之間的伙伴關係組成；聯邦、州、地方、部落和地區政府；區域實體；非營利組織；和學術界。

採用整合方法管理來自實體和網絡關鍵基礎設施的重大威脅和危害的風險：

- 識別、阻止、檢測、破壞和整備對國家關鍵基礎設施的威脅和危害；
- 減少關鍵資產、系統和網絡的脆弱性；和
- 減輕事故或不利事件對關鍵基礎設施的潛在後果。

這種方法的成功取決於利用關鍵基礎設施社區和相關利益相關者的全方位能力、專業知識和經驗。這需要在夥伴之間有效共享信息，以利決策因應。NIPP 2013 還與國家整備系統保持一致，國家整備在風險、政策和運營環境的背景下，關鍵基礎設施部門和跨部門合作結構提供了一個框架來指導合作夥伴的集體活動。

NIPP 2013 的核心是行動呼籲，它指導關鍵基礎設施社區的協作努力，以在三大活動類別下提高安全性和韌性：建立在夥伴關係的基礎上；創新風險管理（強調資訊分享）；並注重結果。

夥伴關係是 NIPP 的核心

對於建立夥伴關係，特別提出七個核心原則，期以有效的資源調配，達到防護計畫的執行效果。尤其對於維生設施、通訊、能源、交通運輸、水資源管理等跨領域、跨層級管理的設施部門，做為提升安全韌性的參考依據。七個核心原則包括：

- 風險辨識與管理應由關鍵設施相關機構共同協調及整合，使得後續投入的安全防護和提高韌性的資源能有效分配。
- 瞭解跨部門間相依性及風險，有助提高關鍵基礎設施的安全與韌性。
- 相關部會、業者間必須分享關鍵基礎設施的資訊情報，有助於瞭解設施風險與相依性。
- 熟悉不同部門的觀點和優勢並建立夥伴關係，有助於設施安全防護與韌性的執行方案。
- 區域與地方夥伴關係的建立是改善關鍵基礎設施安全和韌性的關鍵。
- 關鍵基礎設施需要考量跨國合作、互助及其他合作協議。
- 資產設施、系統及網絡於規劃設計階段，即應考量安全防護和韌性。

導入風險管理與強化持續營運

NIPP 2013 延續了 NIPP 2006 提出之關鍵基礎設施風險管理架構，在 NIPP 2013 提出之風險管理架構中，強調實體、資通訊以及人員是關鍵基礎設施安全及韌性防護的三大要項。風險管理必須整體考量此三大要項，並透過目標制定、關鍵設施辨識、風險分析、管理行動執行及衡量成效等五步驟進行風險管理。更加強調的是資訊分享，藉由資訊分享串起整個程序與參與單位。關鍵基礎設施風險管理架構，如圖 2。

NIPP 2013，內容強調整體考慮關鍵設施的網絡與實體的安全與韌性，並且要求以企業手段進行風險管理，以達到降低脆弱度與失效影響後果，辨識威脅及破壞，加速應變和復原，確保關鍵基礎設施功能持續運作的重要目的。與最近推動「企業持續營運管理

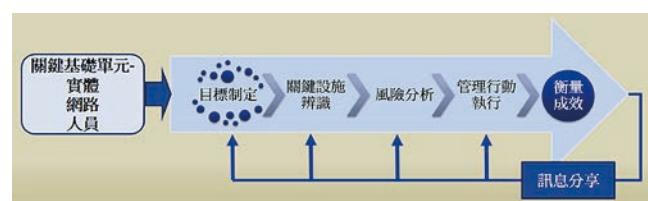


圖 2 關鍵基礎設施風險管理架構^[12]

（Business Continuity Management, BCM）」的目標一致，也與國家持續政策不謀而合。

注重結果與計畫管理

利用效果驗證，根據事件實際應變成果或演習結果，追蹤計畫成效，進而藉以調適精進。整體用計畫管理手段來推動追蹤評估目標實現的進展。

小結

利用風險管理技術，套用事後檢討機制（After Action Review, AAR）與計畫管理（Program Management, PM）精神，強調夥伴關係，推動關鍵基礎設施防護。

防護計畫階層式推動

防護計畫推動，以交通部門為例，國家關鍵基礎設施龐大，以美國當前共分 16 類，各有相對的防護計畫推動。以交通運輸部分為例，交通部門亦依照規定（NIPP 2013），提出防護計畫，亦即 USA TS SSP（Transportation Systems Sector-Specific Plan）。TS SSP 根據國家不同交通系統的獨特運營條件和風險格局，量身定制國家基礎設施保護計畫，NIPP 2013 則提供策略指導。

TS SSP 代表聯邦部門和機構之間的協作努力；州、地方、部落和領地（SLTT）政府；非政府組織；以及公共和私人關鍵基礎設施所有者和運營商，以實現共同的目標和優先事項，降低關鍵基礎設施風險。它還反映了部門夥伴關係的成熟以及推動以來該部門在應對不斷變化的風險及運營和政策環境方面的進展。此計畫係一種管理安全和韌性工作的方法，同時提高對該部門政府和行業合作夥伴的能力和資源的有效利用。

TS SSP 定義了政府和私營企業的角色和職責，並提出了目標、優先事項和活動，以管理風險並為國家安全和復原目標做出貢獻。TS SSP 並確定相關活動，包括針對 NIPP 2013 行動呼籲和國家聯合優先事項的具體行動和流程。

選定的活動還考慮了政府政策、國家整備以及國家整備系統的保護、預防、減災、應變和復原任務的核心能力的開發。負責實施活動的官員並啟動衡量方法。以上係從上到下針對管理面向指導或要求作為。在實務上的作為，交通部門所轄的，如軌道系統安全，則依循 TS SSP 為主軸，推動其防護計畫。

至於交通部門更細的任務，如在軌道系統，其安全是服務的首要考慮目標，威脅是軌道安全關鍵的議題，也防護對策之鑰，其中如：法令規章的制定、安全管理

的執行等，這些都是實務上必須克服與完善的工作。加上威脅一直都存在，難以全面掌握，尤其近年來，環境更嚴峻，既有的作為，必須調適、改善與精進。

結論與前瞻

如何在國土安全的領域下推動關鍵基礎設施防護？工程師如何於關鍵基礎設施防護整備中扮演更稱職的角色？美國推動經驗帶來相當大的啟示，其中整備工作的奠基工程，即是前揭的：威脅情境定錨、任務清單與需求能力要項等的啟發、整備系統的籌建與運作、關鍵基礎設施防護計畫推動等，為工程師拓展既有視野的關鍵基礎工作。

整備工作雖然本質涉及範疇實在太廣，而關鍵基礎設施防護亦然，「千里之行，始於足下」，雖然複雜、龐大，但本質上與當前工程師任務卻有相當大的重疊，只要觀念調整一些，目標就在眼前。前揭章節已將整備與 CIP 的輪廓摘述，惟仍有幾個觀點值得提出供參考、分享：

隨環境調適

以工程師的使命言，工程師工作除了傳通統的工程標的規劃、設計、施工與營運所關心的領域外，由於內、外在環境影響日益複雜，也直接或間接對基礎設施造成影響，有些因素是工程師不能忽略的角色。因此，從 CI 的整備工作內涵、範疇、所需的能力，與工程師角色關聯密切且具關鍵。以往任務擔負的傳統視野必須隨環境調適，以不負社會所賦予的使命。

關心整備的核心與運作

美國 NPS 包括 5 大領域，32 項核心能力，勾勒出 CIP 人員所需素養的輪廓。至於 NPS 所涉及 CIP 的部分其實很難分離出，惟可以確認的是，有些工作則非工程師專業不可。從另一角度觀察，這期間的參與者，應有工程背景從事任務，且經常亦可能橫跨多種角色，可能是指揮官、幕僚長、功能主管、領班、或純工程師；亦即，除工程專業技術之外，應考慮到設施全生命週期的所需的整備防護能力，強化在國土安全專業的素養。

技術邁向管理

工程師實際就是國土安全或 CIP 領域的專業人員。工程技術是工程師的基本素養，專業素養為在工作上所需具備的能力。以功能導向的部門，隨著時間

的消逝，工作的薰陶，原本基層的工程師角色也會隨之調整，成為主管、首長等領導者，甚至更高位階。當然，素養也隨著職位調整而變化，涉入的領域，除本身原有專業的部分外，也會（需要）提升來面對並擔負起該有的責任。若為純工程技術服務者，則亦應提升對客戶工作的認知，來強化其專業的形象。故，即使是工程師，在服務過程，「鐵打的衙門、流水的官」，隨著職位變更而調整角色，工程師也是往後國土安全與 CIP 領域的管理者、領導者。

健全機制不能缺席

一個較完整的 CIP 需有適當的配套來約制與推動，美國有其體系，且非一次到位，而是歷經內、外在條件逐漸演化而成，目前仍隨著遭遇狀況與經歷在調適，如資訊安全、疫病等狀況調整。其所耗人力、物力與資源相當浩大，有其背景，其作法足堪參考，但基於內、外的環境、體制、國情等的不同，若擬全面推廣，須考慮從制度面檢討、整合，健全機制，推動方可能事半功倍，且後續機制的優化與推動工程師不能缺席。

參考資料

- 張清祥、廖東成、林祐正 (2020)。關鍵基礎設施防護與工程師之一—專業素養探索。土木水利，47(5)，58-66。doi:10.6653/MoCICHE.202010_47(5).0011
- 張清祥 (2019)。關鍵基礎設施防護與工程師。工程，92(3) (工程與技術)。doi:http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10809_chapter08.pdf
- Oliver, D. and Haney, M. (2018). Curriculum development for teaching critical infrastructure protection. *Journal of The Colloquium for Information System Security Education*, 5(2).
- Homeland Security (2013). *National Infrastructure Protection Plan 2013 (NIPP 2013): Partnering for Critical Infrastructure Security and Resilience*. USA.
- Lazari, A. (2017). *ERNICIP Training for Professionals in Critical Infrastructure Protection: From Risk Management to Resilience*. EUR 28657 EN. Luxembourg, Publications Office of the European Union, JRC105204.
- 歐陽嶠 (2005)。防災都市計畫。國立中央大學土木工程學系主編。土木工程防災概論，藝軒圖書出版社。
- 內政部 (2019)。災害防救法。
- 辛在勤 (2015)。天然災害災防問答集。交通部中央氣象局。
- Toffler Associates (2008). *Five critical threats to the infrastructure of the future—Leading infrastructure protection experts discuss strategies for protecting your enterprise*.
- 行政院 (2022)。行政院國土安全政策會報，Retrieved from <https://ohs.ey.gov.tw/>
- Homeland Security (2011). *National Preparedness System*. USA.
- FEMA. (Last updated July 31, 2020), *National Preparedness System*. Federal Emergency Management Agency, USA. Retrieved from <https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/mission-core-capabilities>





社團法人中國土木水利工程學會

第25屆會員代表選舉

預定時程

項次	工作內容	主辦單位	需要時程
1	印製候選人登記表	秘書處	5/12 (四)
2	函會員辦理候選人登記	秘書處	5/20 (五) ~ 6/20 (一)
3	整理候選人名冊	秘書處	6/21 (二) ~ 6/22 (三)
4	審查各區選舉人名冊、應選會員代表人數、候選人名單	司選委員會會議	6/23 (四) ~ 6/27 (一)
5	核定各區選舉人名冊、應選會員代表人數、候選人名單	第25屆第5次理監事聯席會議	6/29 (三)
6	函請各辦理投票單位同意 (各區投票所)	秘書處	6/30 (四)
7	印製選票	秘書處	6/30 (四) ~ 7/8 (五)
8	寄發選舉通知單及選票 (各會員)	秘書處	7/15 (五)
9	寄發各投票所選舉須知 (各區投票所)	秘書處	7/27 (三)
10	各投票所辦理會員代表選舉投票	各區投票所	8/5 (五)
11	結束後投票箱由各區投票所寄回秘書處	各區投票所	8/8 (一) ~ 8/12 (五)
12	辦理開票	監事會監督 (請中興協助)	8/15 (一)
13	核備當選人名單	第25屆第6次理監事聯席會議	8/17 (三) (暫定)
14	提報內政部核備	秘書處	8/31 (三)

依據人民團體法第十三條、第十六條、第二十八條，人民團體選舉罷免辦法第四十條，本會章程第十三條、第二十六條及本會會員代表大會代表選舉辦法訂定之辦理。

◎ 人民團體法

第十三條 (會員代表)

人民團體之會員代表係指由會員單位推派或下級團體選派或依第二十八條規定分區選出之代表；其權利之行使與會員同。

第十六條 (會員權利)

人民團體會員 (會員代表) 有表決權、選舉權、被選舉權與罷免權。每一會員 (會員代表) 為一權。

第二十八條 (劃分地區開會員大會)

人民團體會員 (會員代表) 人數超過三百人以上者，得劃分地區，依會員 (會員代表) 人數比例選出代表，再召開代表大會，行使會員大會職權。前項地區之劃分及應選代表名額之分配，應報請主管機關核備。

◎ 人民團體選舉罷免法

第四十條 (分區選舉)

人民團體會員 (會員代表) 人數超過三百人以上者，得劃分地區依會員 (會員代表) 人數比例選出出席會員代表大會之代表。

前項分區選舉辦法，應提經理事會通過報請主管機關核備後實施。

◎ 本會章程

第十三條

本會以會員大會為最高權力機構，討論重大議案。大會閉幕期間，理事會代行其職權。

前項重大議案之範圍由理事會訂定之。

會員人數超過三百人以上時得分區比例選出會員代表，召開會員代表大會，行使會員大會職權。會員代表任期二年，連選得連任。

會員代表大會代表選舉辦法另訂之。

第二十六條

本會會員 (會員代表) 大會，分定期會議 (年會) 與臨時會議二種，由理事長召集之。定期會議每年召開一次；臨時會議於理事會認為必要或經會員五分之一以上之請求、或監事會函請召集時召開之。

前二項會議之時間及地點，由理事會決定。

本會辦理法人登記後，臨時會員大會由會員十分之一以上請求時召開之。



花蓮箭瑛大橋

橋梁

隧道

水利

港灣

土木建築

地盤改良

邊坡穩定

結構補強



利德工程股份有限公司
RAITO ENGINEERING CORPORATION



10047 臺北市中正區館前路20號9樓
TEL:886-2-2311-8772
FAX:886-2-2311-5625



信譽
REPUTATION

效率
EFFICIENCY

安全
SAFETY

競爭力
COMPETITION



亞新工程顧問股份有限公司
MOH AND ASSOCIATES, INC.



大地工程 | 結構工程 | 運輸工程 | 環水工程 | 專案及施工管理 | 建築、都市計劃、景觀及室內設計 | 機電工程 | 數位工程



地址：221411 新北市汐止區新台五路一段 112 號 22 樓（東方科學園區 A 棟）

電話：(886-2)2696-1555

傳真：(886-2)2696-1166

Website: www.maaconsultants.com

E-mail: maagroup@maaconsultants.com

- 刊行工程科技圖書刊 / 專題研究、工程技術刊編撰、翻譯、
- 工程科技及學術交流活動 / 專題演講、參訪交流、
- 工程建設研習活動 / 工程技術地勘學活動、海外重要工程現場見習活動、
- 臺灣學術獎金 / 國內研究獎助學金及其他獎助學金、培養本國高階工程建設人才、

科普 / 獎學 / 工程交流



廣告

財團法人

中興工程科技研究發展基金會

SINOTECF FOUNDATION
OF ENGINEERING SCIENCES & TECHNOLOGIES

10595 臺北市松山區南京東路四段186號4樓之9

電話: (02) 2577-4567 傳真: (02) 2577-3667

E-mail: sinotect@ms32.hinet.net https://www.sinotect.org.tw

• 創設宗旨
中興工程科技研究發展基金會係由中興工程顧問社
捐助成立之非營利、經濟事務財團法人。
以提升我國工程科技水準，配合國家政策
促進經濟建設之發展及科技之普及推廣為宗旨。



裕鼎工程科技有限公司 Yudee Eng. Science Co., Ltd.

新北市板橋區文化路二段88號18樓 Tel: (02) 2257-3939 Fax: (02) 8252-1243

E-mail: yudee53416941@gmail.com

掛網岩栓護坡

南橫公路邊坡治理



中橫公路隧道保護



高強度性能設計◆克服險峻破碎岩坡◆耐候抗蝕塗裝◆原生植被復原◆工序簡單快速

落石邊坡整治 - 近自然工法

CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



金門大橋工程



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

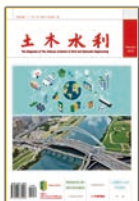
No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel: (02) 8797-3567 Fax: (02) 8797-3568

<http://www.ceci.com.tw> E-mail: pr@ceci.com.tw

用心
做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質
誠心，才足以貫徹「人本」信念
悉心，才可以恢宏「關懷」情操
台灣世曦永遠以「心」為出發
持續履行對土地、對人民不變的承諾
一個環境永續的生態樂園
一個幸福溫馨的生活家園



茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登位置	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏／封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3 期 9 折， 4 期以上 8.5 折	

刊登月份：

○ 49.3 ○ 49.4 ○ 49.5 ○ 49.6 ○ 50.1 ○ 50.2 共 次
(6月) (8月) (10月) (12月) (2月) (4月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收掣據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)
商號

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: service@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款 帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金 額 新台幣 (小寫)	仟	萬	佰	萬	拾	萬	萬	仟	佰	拾	元
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

繳納會費

- ☐ 常年會員年費 1,200 元
☐ 初級會員年費 300 元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期

- ☐ 國內・個人會員 新台幣 300 元
☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800 元
自第 卷第 期起， 年期雙月刊 份

訂閱中國土木工程學刊，一年八期

- ☐ 國內・個人會員 新台幣 1,600 元
☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600 元
☐ 國外・個人 美金 80 元
☐ 國外・機關團體 美金 200 元
自第 卷第 期起 年期學刊 份

收款戶名	社團法人中國土木工程學會	
姓名	寄 款 人	
地 址	主管：	
電 話	經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

- ◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓 名		款 別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	繳納會費 ☐ 常年會員年費 1,200 元 ☐ 初級會員年費 300 元
會員證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 ☐ 國內・個人會員 新台幣 300 元 ☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800 元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
身分證號碼			訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期 ☐ 國內・個人會員 新台幣 1,600 元 ☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600 元 ☐ 國外・個人 美金 80 元 ☐ 國外・機關團體 美金 200 元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
卡 別 ☐ VISA ☐ MASTER CARD ☐ JCB			白天聯絡電話
信用卡卡號			通訊地址
信用卡末三碼			
信用卡有效期限 (月 / 年)			
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請 寄 款 人 注 意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)



社團法人中國土木工程學會

會員資料更新表

本表將由學會另郵寄給會員，再請回覆。

2022 會員資料庫改版，需確認及補充資訊 (日後聯絡以 **E-mail (1)** 為主、**通訊地址** 為輔)

中文姓名		會員證號	
電話(1)：	電話(2)：	手機：	傳真：
E-mail (1)：※ 請留正確 E-mail，日後聯絡以 E-mail (1) 為主		E-mail (2)：	
通訊地址： ※ 請注意： 會員分區 及 紙本寄送 皆以「 通訊地址 」為依據 ☐ 通訊指定用 公司地址： ☐ 通訊指定用 戶籍地址： ☐ 通訊指定用 其他： □□□□□ 市/縣 市/區/鄉/鎮 路/街 段 巷 弄 號 樓之			
※ 個人資料保護告知暨同意事項 ※ 個人資料保護告知暨同意事項為保護您在社團法人中國土木工程學會（下稱「本學會」）的個人資料。謹此依個人資料保護法（下稱「個資法」）第 8 條及第 9 條規定，告知您以下事項：蒐集目的、個人資料類別、利用期間、地區、對象及方式。 為提供您有關本學會各項服務或活動及其最新資訊並有效管理會員資料或進行滿意度及消費統計分析調查（下稱「蒐集目的」），本公司或關係企業將於上開蒐集目的消失前，在臺灣、金門、馬祖地區或完成上開蒐集目的之必要地區內，蒐集、處理、利用或傳輸您填載於會員申請書之個人資料或日後經您同意而提供之其他個人資料。 權利行使事項： 您可透過本學會秘書處行使下列權利，除個資法另有規定外，本學會不會拒絕，亦不收取任何費用費用： 1.查詢或請求閱覽您的個人資料。2.製作給您個人資料複本。3.補充或更正您的個人資料。 4.停止蒐集、處理、利用或國際傳輸您的個人資料。5.刪除您的個人資料。6.您的拒絕接受行銷。 注意事項： 如您不同意提供個人資料或刪除或停止蒐集、處理、利用或國際傳輸您的個人資料，您瞭解本學會可能因此無法進行資格審核及相關處理作業或提供您完善的服務，尚請見諒。			

請勾選、並請簽名

☐ 同意 ☐ 不同意

請簽名：

回覆請利用 本學會官方 Line ID：<https://line.me/R/ti/p/%40vef0316n> (可用 Line 回覆)

或 電子郵件：public@ciche.org.tw 傳真：(02) 2396-4260 電話：(02) 2392-6325 #19



可用 Line 回覆給學會

歡迎會員訂閱 111 年會刊、學刊 (會員優惠價) 請填寫表單回覆，謝謝

- ☐ 訂閱 紙本「土木水利」每年 300 元 (一年四期) 電子版「土木水利」公開於學會官網，歡迎下載！
☐ 訂閱「中國土木工程學刊」每年 1,600 元 (一年八期) (www.ciche.org.tw)

付款方式：

1. 郵政劃撥：帳號：儲金存款第 00030678 號帳戶 戶名：社團法人中國土木工程學會

2. 信用卡授權書：

卡 號：_____ 末三碼：_____ 有效期限：_____月_____年

持卡人簽名：_____ 付款金額：NT\$ _____

連絡電話：_____ 刷卡日期：_____

3. 網路付款：<https://cart.cashier.ecpay.com.tw/qp/pKm8>



可網路付款

kW
kW Design Award
盃設計獎
20th 首獎

時
拿
九
穩
分
分
回
回

智慧電網

穩。定供電
時間電價
通訊回報
用電分析