

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

August
2019



ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 46, No. 4

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

ACECC成立
20週年

賀詞

專輯

工程生態檢核

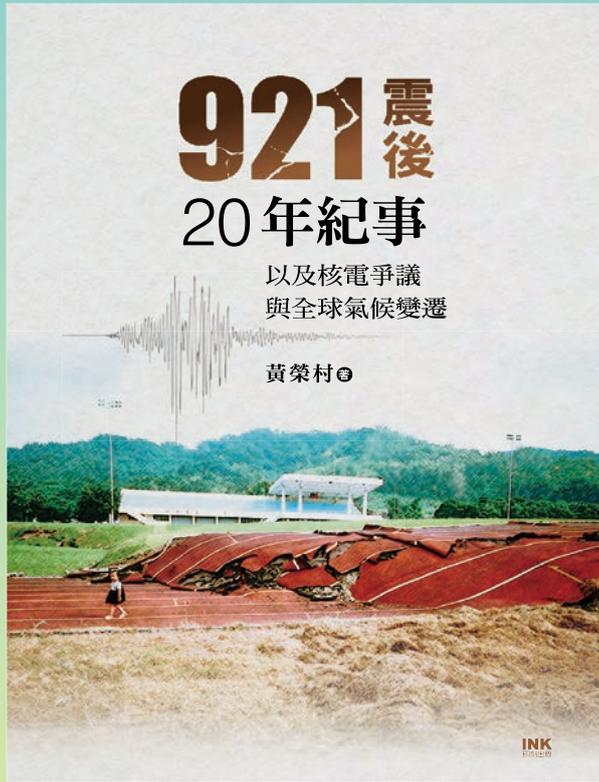
921地震
二十週年

特輯

921 震後 20 年紀事

以及核電爭議與全球氣候變遷

黃榮村先生最新著作 · 2019 年 9 月 9 日出版 · 印刻出版社



自序

921 這個災難魔術數字，已經成為台灣集體記憶的一部分，就像二二八、四六、八七、與八八一樣，每到這個日子就是要靜下來想一想，不只是一定要回憶過去，更要看向未來。

對我來講，921 假如剛好來到十周年或是二十周年，總覺得有責任好好坐下來寫一些文字或講些話，至少交代兩個要點，一個是從 921 的救災與重建經驗中，我們究竟學到了什麼防救災經驗可以交給下一代，來當為建設韌性城鄉與韌性社會的參考；另外一個則是，如何將台灣在大災難中令人感動的患難與共情感，擴散到社會的每個角落，讓台灣在下一個大災難出現時，得以更快凝聚這種患難與共的情感，讓它發展得更為強大，協助大家度過難關。

921 之後世界上發生了很多更大規模的天然災難，有些是地震、風災水災，有些則是台灣比較陌生但威力無窮的海嘯。整個地球更面臨著百年內一定會發生的海平面上升災難，台灣不可避免的，也很快會捲入這個全球氣候變遷所帶來的困境之中，出現能源供應短缺、核電廠爭議、西部海岸區域遷移、與國土規劃等問題。本書將這些問題彙總在一起，分輯編列，每一件事都與台灣面臨的災難有關，從過去到現在，一直連往未來，希望大家一起來正視它們並謀對策。

黃榮村先生簡介

1947 年出生於台灣彰化，1965 年曾就讀於台大歷史系，後轉往台大心理系修讀學士、碩士與博士學位，主攻認知心理學、人類知覺、與決策行為。1977 年開始於台大心理系任教，歷任講師、副教授、教授與系所主任，共二十餘年，期間曾赴美國哈佛大學、Carnegie-Mellon 大學、聖路易大學與 UCLA 擔任訪問學者及客座教授，另並出任澄社社長與台灣心理學會理事長。後期出任政府職務，包括國科會人文與社會科學處處長、行政院政務委員、行政院九二一震災災後重建推動委員會執行長、教育部長等職，合計七年。之後出任中國醫藥大學校長（2005.8 ~ 2014.1），現任該校生物醫學研究所講座教授，以及台大心理學系名譽教授。著有《當黃昏緩緩落下》、《在槍聲中且歌且走—教育的格局與遠見》、《台灣 921 大地震的集體記憶：921 十周年紀念》、《大學的教養與反叛》、《從沒停止過的思念》、《在困境與危機中做決策—學術、政治與領導的糾葛》、《生命之歌》等。

目次

輯一 九二一震後 20 年紀事

1. 20 年後，誰還記得 921
2. 史無前例的 293 所學校重建
3. 遊走在災區的集體焦慮與生命的火光
4. 921 之後的世紀性災難
5. 思念在風中，相逢大甲溪畔

輯二 古今中外的災難想像與教訓

1. 小行星撞擊與恐龍滅絕
2. 聖經災難故事的現代考證
3. 環太平洋火環帶與地震預測

輯三 核電爭議與全球氣候變遷

1. 福島核一廠事故與台灣核電爭議
2. 全球氣候變遷與海平面上升

輯四 預測災害與污染下的群體動態行為

1. 災害與污染下，如何預測群體的動態行為



最年輕的勘災者，
在光復國中操場的隆起大斷層

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



發行人：王昭烈

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非（國立臺灣大學土木學系教授、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

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

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

社團法人中國土木工程學會第二十三屆理監事

 (依姓氏筆劃排序)

理事長：王昭烈

常務理事：陳仲賢 楊偉甫 歐來成 歐善惠

理事：朱旭 余信遠 吳瑞賢 宋裕祺 沈景鵬 林呈 林其璋

胡宣德 胡湘麟 高宗正 張荻薇 許泰文 陳彥伯 黃炎龍

廖學瑞 劉沈榮 劉恒昌 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：李元唐 李建中 周功台 陳清泉 楊永斌 薛春明

中國土木工程學會任務

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

921地震二十週年特輯

- | | |
|---------------------------------|----|
| 📖 921地震回顧—照片集 | 3 |
| 📖 921地震二十週年回顧與省思研討會—議程 | 14 |
| 📖 921地震二十週年回顧與省思研討會—邀請講者介紹及演講摘要 | 15 |

水鐸集：土木與文明

- | | |
|-------------|--------|
| 📖 土木工程與永續發展 | 洪如江 26 |
|-------------|--------|

「工程生態檢核」專輯 (客座主編：施上粟副教授)

- | | |
|--|--------------------|
| 📖 專輯序言：工程生態檢核 | 施上粟 36 |
| 📖 河溪工程生態檢核初探 | 胡通哲 37 |
| 📖 利用物理性棲地品質驗證生態檢核之效益—以頓阿巴娜野溪流域為例 | 田志仁 44 |
| 📖 納入綠網與生態系服務概念的計畫型生態檢核
—以台中市筏子溪景觀環境營造計畫為例 | 林笈克／蘇維翎／黃于玻／王順加 57 |
| 📖 微藻於生態工程檢核應用：貢寮地區獨立溪的案例研究 | 周傳鈴 65 |
| 📖 河川治理與管理工程中生態檢核機制之落實 | 郭品含 72 |

ACECC 20週年賀詞

- | | |
|---|----|
| 📖 Message for the ACECC 20th Anniversary
亞洲土木工程聯盟 ACECC 成立 20 週年誌賀感言 | |
| 曾元一董事長 Chairman Yen-Yi TSENG | 79 |
| 陳振川執行長 Prof. Jenn-Chuan CHERN | 80 |
| 王炤烈理事長 President Jaw-Lieh WANG | 82 |
| 張陸滿主任委員 Prof. Luh-Maan CHANG | 83 |
| 📖 Record of the Past Awardees of ACECC Awards / 歷屆 CECAR 得獎名單 | 86 |

廣告特搜

- | | |
|--|-------|
| 經濟部水利署北區水資源區 — 石門水庫永續藍圖 | 封底 |
| 新書介紹 — 921震後20年紀事 黃榮村著·2019年9月9日出版·印刻出版社 | 封面裡 |
| 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心做好每一件事情 | 封底裡 |
| 經濟部水利署南區水資源區 — 促進南部地區水源聯合運用 | 34-35 |



921 地震回顧

照片提供：洪如江／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、中國土木水利工程學會 會士



921 大地震之後，九九峰西南端的禿頭景觀（1999.10.10）

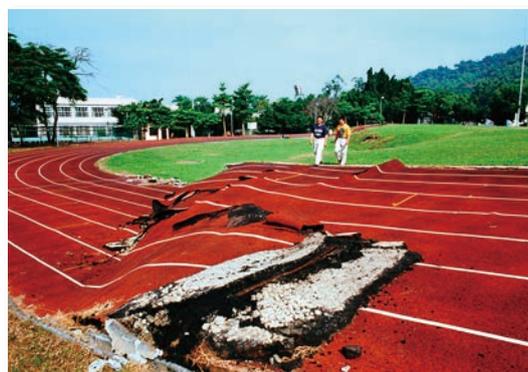


鳥瞰大甲溪石岡壩（齊柏林拍攝）

光復國中



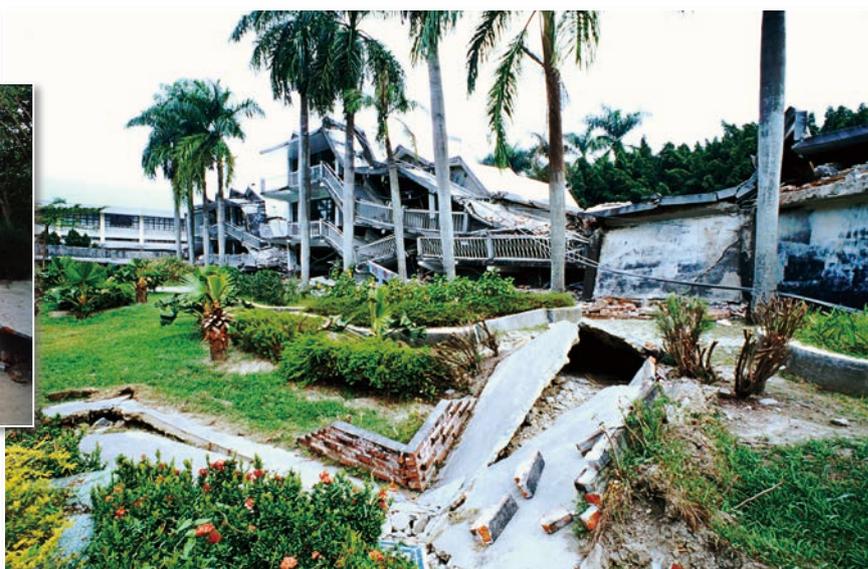
最年輕的勘災者，在光復國中操場的隆起大斷層



操場南跑道之處，由斷層上盤俯視下盤



在下盤觀察逆斷層與上盤的北棟建築



逆斷層切過光復國中校舍之北棟建築



光復國中北棟建築東端倒塌

建築物



中興新村



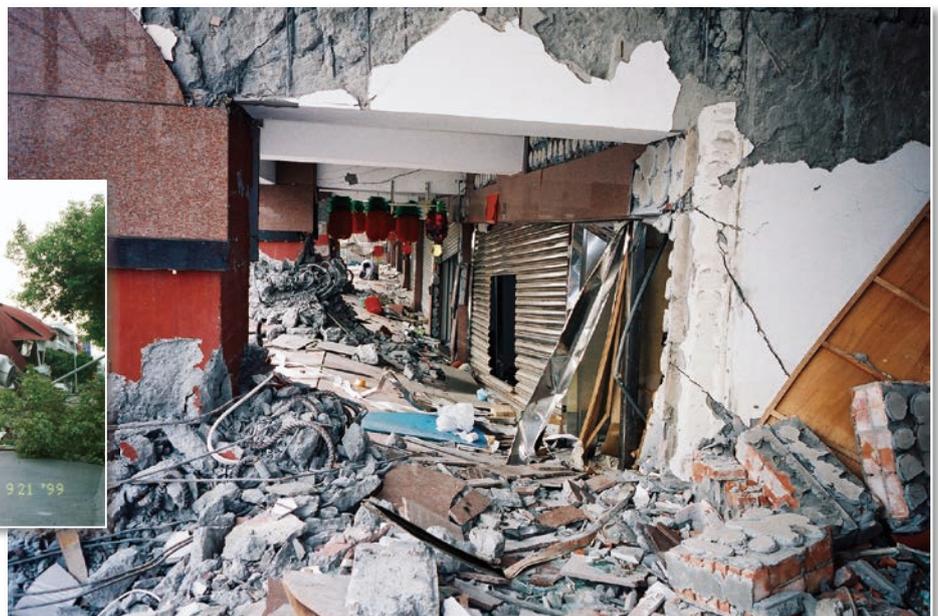
中興新村鐘塔



員林大樓



霧峰鄉



太魯閣、斷橋、東勢 (1999.12.02)



台北東興大樓 (1999.09.21)



豐原 (2000.10.09)

石岡壩、石圍橋



大甲溪的石岡水壩 (1999.10.03)



大甲溪石岡壩因車籠埔斷層錯動而破壞



東勢鎮石圍橋 (1999.10.03)

埤豐橋



埤豐橋



鳥瞰大甲溪埤豐橋 (齊柏林拍攝)

坡地破壞



德基水庫 (齊柏林拍攝)



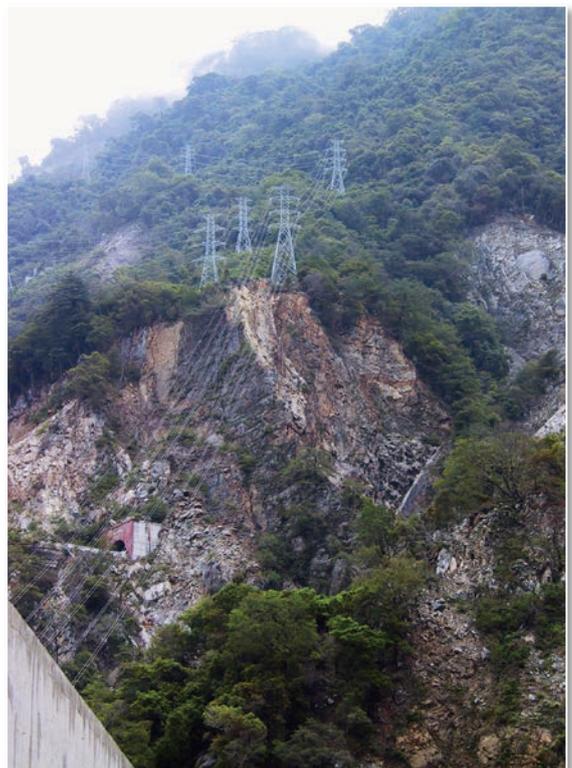
921 大地震造成草嶺順向坡滑動及飛山 (1999.10.18)



古坑鄉華山村 (2000.06.06)

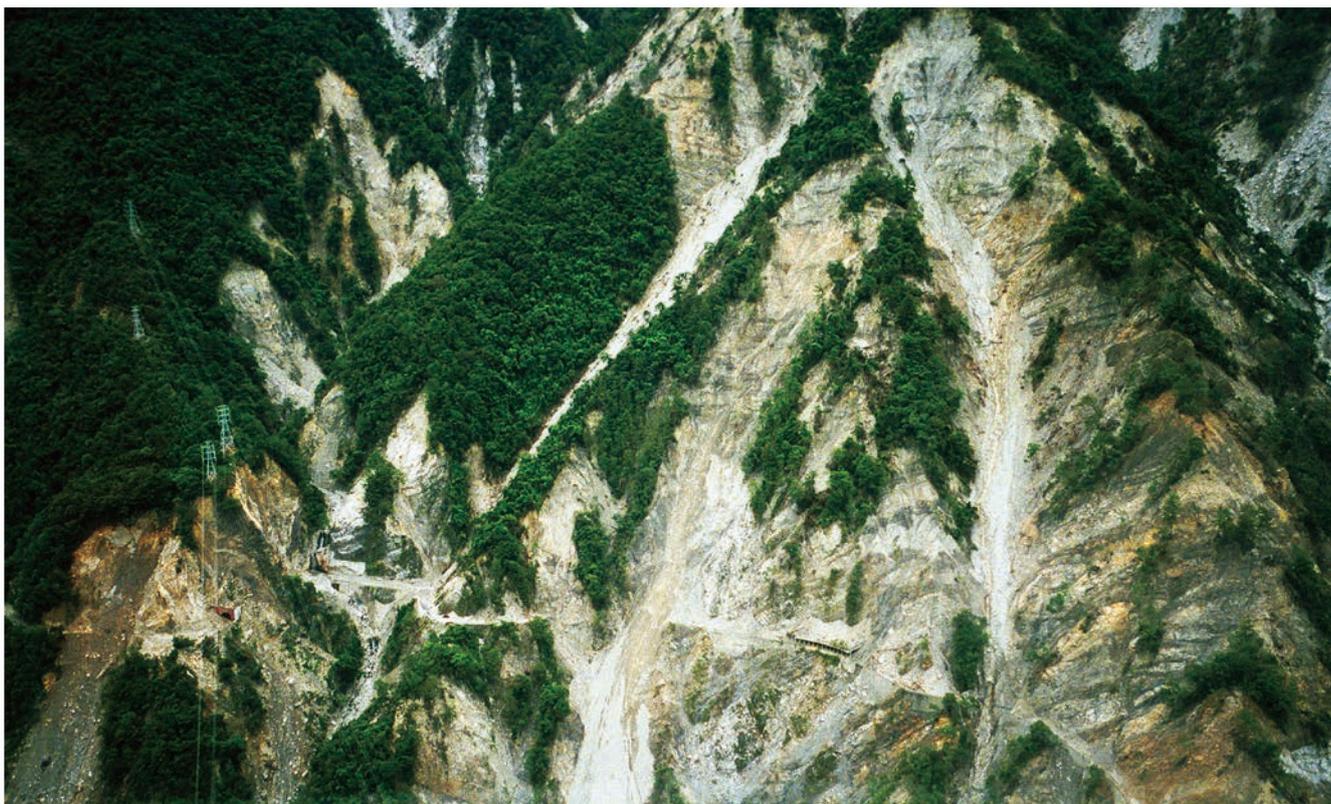


台電德基水庫大壩

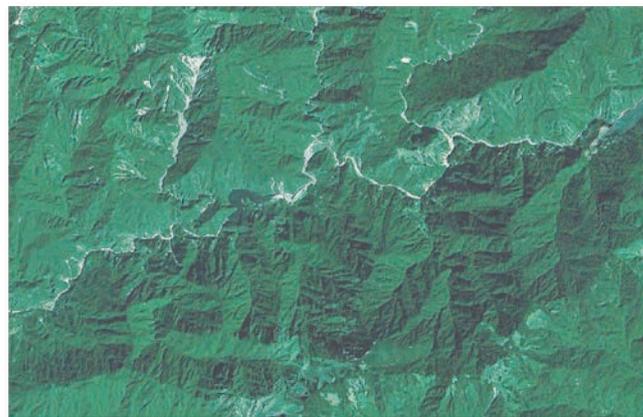


谷關

中橫公路



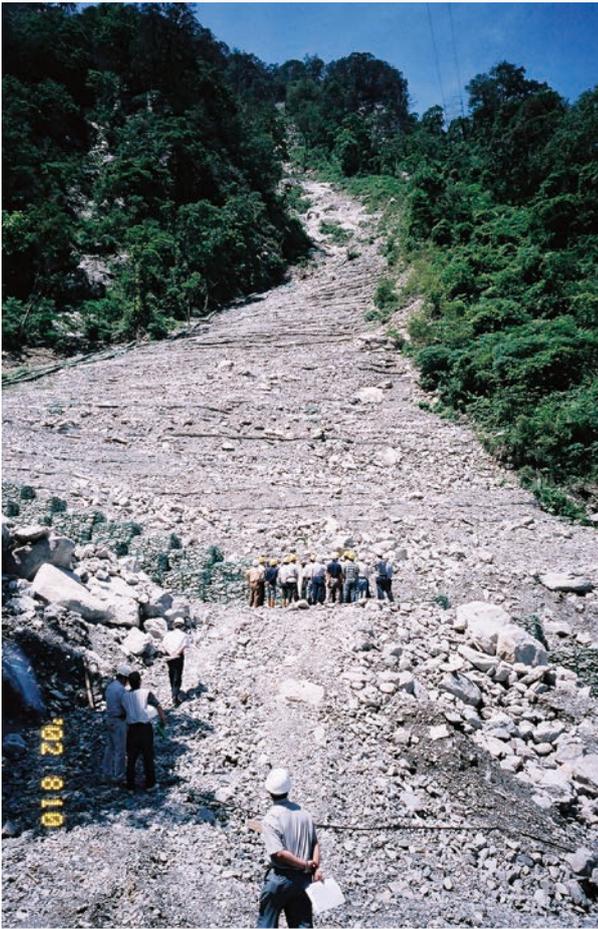
921 大地震之後，中橫公路谷關至德基段中 38K + 400 至 39K + 300 的鳥瞰景觀 (林銘郎攝於 2000 年 7 月)



中橫地區上谷關德基段崩塌前 (88.04.01) 平面影像



中橫地區上谷關德基段崩塌後 (88.09.27) 平面影像

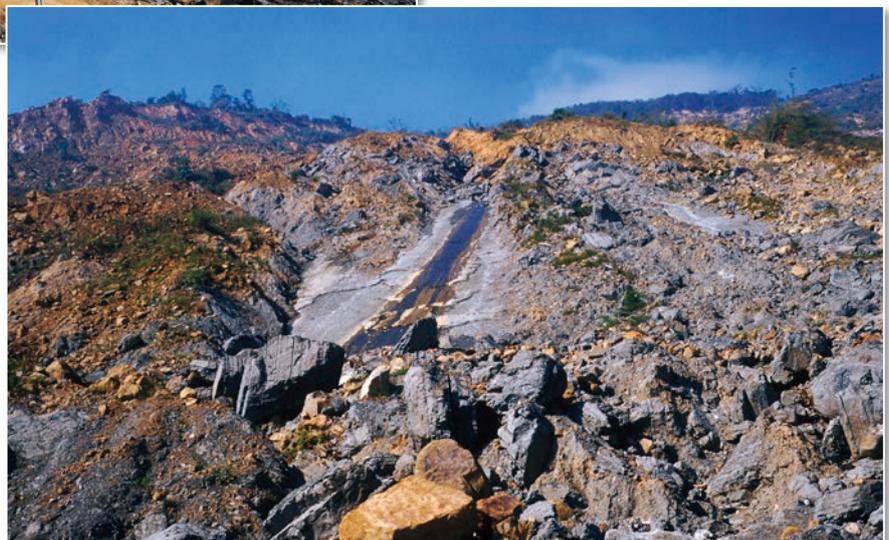
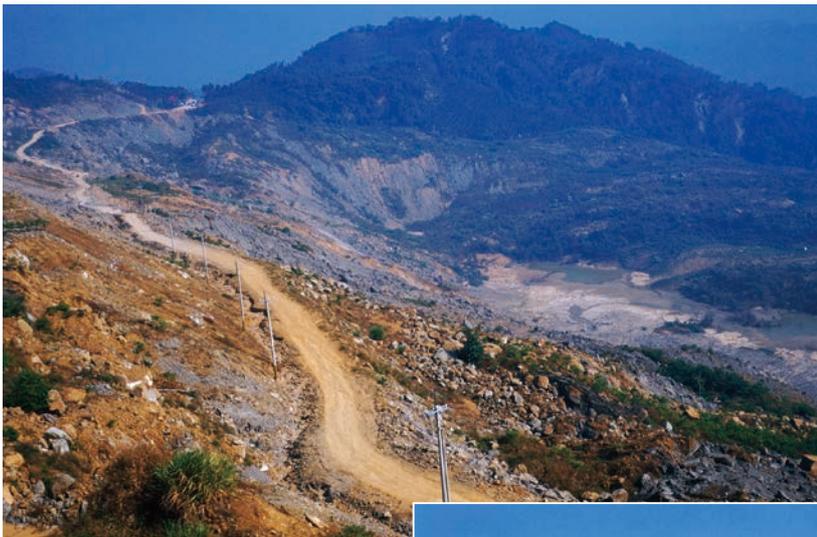


中部橫貫公路



中部橫貫公路 (2001.07.21)

九份二山



九份二山 (2000.11.25)



九份二山順向坡之殘



九份二山 (1999.10.10)



南投縣國姓鄉的九份二山震災紀念園區—傾斜屋



回顧與省思研討會

921地震二十週年回顧與省思研討會

日期：9/19、9/20 (四、五)

地點：國立臺北科技大學 科技大樓 B1F 國際會議廳

主辦單位：中國土木水利工程學會

協辦單位：行政院公共工程委員會、行政院災害防救辦公室、交通部中央氣象局、交通部公路總局、交通部高速公路局、內政部營建署
 國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心、國立臺北科技大學土木工程系、國立臺灣大學土木工程學系、
 (依筆畫排序) 中華民國土木技師公會全國聯合會、中華民國全國建築師公會、中華民國結構工程技師公會全國聯合會、
 中興工程顧問股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、林同棧工程顧問股份有限公司、
 臺灣建築學會、財團法人台灣建築中心、財團法人臺灣營建研究院

9/19 (四)

時間	題目	講演人/職稱	單位
8:50-9:10	20min 開幕致詞		
9:10-10:00	50min 專題演講一：20年後回看921重建	黃榮村 講座教授	(主持人：洪如江教授)
10:00-10:20	20min 茶敘		
議題一：地震觀測與應變		(主持人：張國鎮教授)	
10:20-10:50	30min 921地震後氣象局地震測報工作之進展	蕭乃祺 副主任	中央氣象局地震測報中心
10:50-11:20	30min 集集地震後台灣強地動領域之應用	溫國樑 教授	國立中央大學地球科學學系
11:20-11:50	30min 地質災害事件之衝擊與對應	陳宏宇 主任	國家災害防救科技中心
11:50-12:10	20min 綜合討論 (主持人：張國鎮教授)		
12:10-13:30	80min 中餐		
議題二：勘災與重建		(上半場主持人：陳宏宇主任、下半場：陳國隆副局長)	
13:30-14:00	30min 從勘災重建經驗談-橋梁震害與防災策略	張荻薇 理事長	結構技師全聯會
14:00-14:30	30min 建築勘災及重建	蔡克銓 教授	國立臺灣大學土木工程學系
14:30-15:00	30min 土壤液化災害之回顧與防災思維	陳正興 教授	國立臺灣大學土木工程學系
15:00-15:20	20min 茶敘		
15:20-15:50	30min 從921地震談土木技師震損調查	賴建宏 技師	土木技師公會
15:50-16:20	30min 回顧921震害談近年結構工程技術的發展	藍朝卿 理事長	新北市結構技師公會
16:20-16:50	30min 921地震後之橋梁耐震補強	黃炳勳 資深協理	台灣世曦工程顧問公司
16:50-17:10	20min 綜合討論 (上下半場主持人共同主持)		

9/20 (五)

時間	題目	講演人/職稱	單位
9:00-9:50	50min 專題演講二：921及莫拉克災後之永續工程重建	陳振川 教授	(主持人：王炤烈理事長)
9:50-10:10	20min 茶敘		
議題三：技術、規範變革與法律		(主持人：蔡克銓教授)	
10:10-10:40	30min 建築物耐震設計規範及解說更新重點	蔡益超 教授	國立臺灣大學土木工程學系
10:40-11:10	30min 921地震後國內耐震技術之研發與應用	張國鎮 教授	國立臺灣大學土木工程學系
11:10-11:40	30min 災難事故與救援之法律議題	王正嘉 教授	國立中正大學法律學系
11:40-12:10	30min 921築巢專案執行機制與成果	呂良正 院長	臺灣營建研究院
12:10-13:30	80min 中餐		
議題四：建物災害與補強		(上半場主持人：呂良正院長、下半場：鄭宜平理事長)	
13:30-14:00	30min 大規模地震後復原重建之對策	林傑 處長	行政院公共工程委員會
14:00-14:30	30min 建築耐震補強政策作為	高文婷 組長	營建署建築管理組
14:30-15:00	30min 從建築物使用管理的角度探討其對RC建築結構耐震能力之影響	陳澤修 主任委員	中華民國全國建築師公會
15:00-15:20	20min 茶敘		
15:20-15:50	30min 校舍耐震之演進	鍾立來 副主任	國家地震工程研究中心
15:50-16:20	30min 安全的守護-全面啟動耐震特別監督	李明濤 經理	臺灣建築中心
16:20-16:50	30min 危險老舊建築物耐震能力判定、處理之發展與建議	宋裕祺 院長	國立臺北科技大學
16:50-17:10	20min 綜合討論 (上下半場主持人共同主持)		

邀請講者介紹及演講摘要



黃榮村

中國醫藥大學生物醫學研究所講座教授
國立臺灣大學心理學系名譽教授
財團法人高等教育評鑑中心基金會
(HEEACT) 董事長

演講題目：20 年後回看 921 重建

演講時段：9/19 (五) 9:10-10:00

學歷：

國立臺灣大學心理學系學士 (1965-1969)

國立臺灣大學心理學系碩士 (1970-1972)

國立臺灣大學心理學系博士 (實驗認知心理學) (1972-1976)

經歷：

國立臺灣大學心理學系(所)教授 (1983-2000)

中央研究院社科所合聘研究員 (1984-1994)

國科會人文及社會科學發展處處長 (1996-1999)

行政院政務委員兼 921 重建會執行長 (2000-2002)

教育部部長 (2002-2004)

中國醫藥大學校長 (2005-2014)

專業簡述：

人類知覺、心理聲學、決策與選擇行為、認知科學

專題演講：20 年後回看 921 重建

20 年前的 921 地震是 20 世紀全球最大之海島型地震，創出很多國內外知名之特殊事例。921 震災粗估直接損失 3,646 億，重建編列經費超過 2,700 億，另有民間捐款 354.9 億。本文討論幾個當時發生的重建議題，包括：(1) 推動工程與重建施作之快慢分界線為何。(2) 面對生態工法與治水爭議，啟動具整合性之四大流域整治方案。(3) 調整足以呼應住宅重建直接需求的法令與政策，啟動大規模地籍重測等項前置作業，以加速最困難的住宅重建。(4) 討論 921 重建中很特殊的集體焦慮與工程控管問題。(5) 討論台灣從賀伯、921、桃芝、與八八遷村，到未來海平面上升後西海岸的大遷徙問題。(6) 討論如何善用民間力量與捐款。本文最後整理出在 921 重建時所曾發生過，在不確定狀態下做決策的典型實例，並提出 20 年後對未來防救災與重建之展望。



陳振川

財團法人唐獎教育基金會執行長
國立臺灣大學土木工程學系名譽教授
俄羅斯國際工程院副院長及台灣分會
理事長

演講題目：921 大地震及莫拉克颱風災後之永續工程重建

演講時段：9/20 (五) 9:00-9:50

學歷：

美國西北大學 土木工程博士

美國萊斯大學 土木工程碩士

國立臺灣大學 土木工程學士

經歷：

台灣營建研究院創院院長、台灣混凝土學會創會會長

中國工程師學會理事長、中國土木水利工程學會理事長

行政院政務委員兼公共工程委員會主任委員

行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會執行長

國立臺灣大學土木工程學系終身特聘教授、系主任、

國立臺灣大學總務長

專業簡述：

公共工程建設政策、防救災與重建、橋梁工程、營建工程與材料等

專題演講：921 大地震及莫拉克颱風災後之永續工程重建

二十年前 921 大地震及十年前莫拉克颱風皆為臺灣造成鉅大創傷，導致重大財產損失及人命傷亡，也為脆弱的國土造成遍地的創傷。其中，因地震、暴洪所致之橋梁道路水利設施及住宅社區重建或遷村，及因災後產生大量建築廢棄物處置，皆是重大挑戰。

這種大規模之複合型災害，所需對應之動員規模極大，面臨新問題考驗，如何制定適切政策、制度及辦法，並有效執行落實，使災民及早生活安定，災區重建完成，恢復社會經濟活力，是重建成敗關鍵。如何尊重多元文化，納入民眾參與，結合產官學界力量，有效利用資源及團隊人力，並能納入專業、創新及永續發展作為，方是前瞻進步做法。本文將從永續工程介紹本人參與 921 大地震及莫拉克颱風之災後工程相關重建經驗供交流分享。

議題一：地震觀測與應變



蕭乃祺

中央氣象局地震測報中心副主任

演講題目：921 地震後氣象局地震測報工作之進展

演講時段：9/19 (四) 10:20-10:50

學歷：

2007/05 國立中央大學地球物理研究所博士

1991/06 國立中央大學地球物理研究所碩士

1988/06 國立中央大學地球物理系學士

經歷：

2010/01~2018/04 交通部中央氣象局地震測報中心技正

2002/01~2009/12 交通部中央氣象局地震測報中心課長

1995/12~2001/12 交通部中央氣象局地震測報中心技士

專業簡述：

地震速報預警、強地動觀測、地震資料處理、地震觀測網管理

921 地震後氣象局地震測報工作之進展

921 地震後，中央氣象局 20 年來持續發展地震測報工作，進一步提升臺灣地震監測的能力，其進展主要為全面現代化地震觀測設備，以及建立完整的地震測報作業。由於地震觀測網儀器的優化與穩定運作，氣象局建立了臺灣地區完整的地震目錄，對於地震活動觀測與孕震構造研究提供完整的基礎資料。為有效發揮地震測報防災應用的功能，氣象局發展完整的地震速報作業流程，速報資訊包括強震即時警報、行政區震度速報以及有感地震報告，除第一時間提供民眾強震訊息緊急應變外，同時發布以鄉鎮市區為尺度的細緻化震度資訊以及震源資訊，對於防救災與公共設施單位提供地震應變調度重要的參考資訊，並可適時降低民眾的恐慌。921 地震發生後，氣象局與學術界密切合作，開始發展地震前兆的觀測與研究，並獲得相當的進展。



溫國樑

中央大學地球科學系教授

演講題目：集集地震後台灣強地動領域之應用

演講時段：9/19 (四) 10:50-11:20

學歷：

國立中央大學地球物理研究所／強地動特性／博士

經歷：

中央大學地球科學系教授 (1999.8-)。

國家災害防救科技中心地震災害防治組共同召集人 (2003-2012)。

國家實驗研究院國家地震工程研究中心副主任 (2008-2010)。

國家地震工程研究中心強地動組組長，2000-2019；兼任研究員 (2019-)。

中央大學應用地質研究所所長，2000-2003。

中央研究院地球科學研究所助理研究員、副研究員、研究員 (1981-1999)

專業簡述：

工程地震、強地動特性、非線性場址效應

集集地震後台灣強地動領域之應用

1999 年集集地震為台灣近年來災害最嚴重的地震，此地震對於台灣地區地震工程領域之發展為一重要的分水嶺，此前，地震觀測之紀錄十分缺乏，且對於地震工程應用亦缺乏相關之發展。舉例而言，對於 1990 年代所建置之台灣強地動觀測計畫 (Taiwan Strong Motion Instrumental Program, TSMIP) 測站，其場址條件之描述不夠詳細、對於強地動地震觀測與強地動模擬之技術尚無法達到工程應用之需求、缺乏對於大規模致災地震之強地動特徵瞭解。因此，國家地震工程研究中心 (National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan, NCREE) 對於缺乏強地動觀測資料的部分，嘗試引入特定規模距離且為國外區域之資料，進行耐震設計評估、將強地動觀測資料引入地震工程研究此一重要議題亦由於集集地震之發生得到足夠之紀錄進行分析。本篇即將簡介 NCREE 近二十年來之強地動方面之相關應用，包含三個將引入至建築物耐震設計地震之主軸方向，包括地動特徵、機率式地震危害度分析 (probabilistic seismic hazard analysis, PSHA) 及近斷層效應。地動特徵則可細分為對於 TSMIP 測站建置之場址資料庫、強震測站淺層速度構造模型之建置、台灣本土化發展之高頻地動模擬模型及技術發展、為了現地型地震預警系統

建置之地震速報資訊等。同時，對於 PSHA 之進展而言可細分為台灣地區微分區、設計地震及新一代地動衰減模式。最後，亦整理全球之近斷層脈衝型震波以供強地動近斷層效應研究使用。



陳宏宇

國家災害防救科技中心主任

演講題目：地質災害事件之衝擊與對應

演講時段：9/19 (四) 11:20-11:50

學歷：

英國倫敦大學地質系博士

經歷：

國家災害防救科技中心主任（迄今）

國立台灣大學理學院副院長

台大地質科學系系主任

國立台灣大學地質科學系教授（迄今）

英國劍橋大學訪問教授

行政院國家永續發展委員會委員

中華民國工程環境學會理事長

臺灣災害管理學會理事長

專業簡述：

於 1989 年於英國倫敦大學地質科學系獲得博士學位。專長領域為地質災害、山坡地開發、工程地質及防災科技。除了擔任國際期刊在地質災害相關領域之編審外，常與諸多國外學者共同發表學術論文。

自 2014 年 5 月起擔任國家災害防救科技中心主任，帶領中心全體同仁積極從事防災科技的研發應用。在平時，便會針對防災與減災的議題，進行研發規劃與應用落實的研究。於災害應變期間，協助「中央災害應變中心」進行情資研判的工作，與其他部會署合作進行相關作業，彙整部會資訊，提出綜合評估建議。

地質災害事件之衝擊與對應

921 地震過後的 20 年來，台灣東西部主要集水區之輸砂量，從過去 2009 年莫拉克颱風所帶來的 5 倍增量，緩慢的下降至過去的平均值。西部濁水溪、高屏溪，以及東部卑南溪等幾個主要集水區流域，在沒有颱風暴雨的媒介中，仍然不時的出現 2 倍左右增量的沖刷狀況。這主要是由於

近年來 5-6 月份汛期期間，頻繁的短延時強降雨的因素所致。這個意義顯示，極端氣候的影響，也會觸發災害事件的產生，直接間接也同樣會衝擊大家生命財產的安全。

國家災害防救科技中心建置了「災害情資網」系統的大數據平台，提供了颱風、豪雨、淹水、山崩、落石、土石流、乾旱與地震等的各項即時資訊。這些訊息都是利用圖文說明的方式來呈現，並配合著各類自動化的介面，展示出更友善的加值服務，讓使用者能夠很方便、清楚而簡單地從自己身旁的平板、電腦，或手機中，了解生活周遭最切身的天然災害訊息。也就是讓防災資訊生活化，才是我們與大自然共存共榮的生活方式。

議題二：勸災與重建



張荻薇

中華民國結構工程技師公會全國聯合會理事長

演講題目：從勸災重建經驗談一橋梁震害與防災策略

演講時段：9/19 (四) 13:30-14:00

學歷：

台北工專土木工程系、日本東北大學土木工程系學士、碩士、博士課程

經歷：

中華顧問工程司 / 台灣世曦工程顧問公司組長、經理、副總經理、總經理、副董事長、代理董事長

國立台灣大學土木工程系、國立台北科技大學防災所等兼任副教授

國家實驗研究院地震工程研究中心諮詢委員

行政院公共工程委員會工程技術鑑定委員委員

中國土木工程學會 2006 年「工程獎章」

中華民國地震工程學會 2009 年「地震工程傑出貢獻獎」

中國工程師學會 2014 年「工程獎章」

中國土木工程學會會士及榮譽會員

中華民國結構工程學會會士及榮譽會員

專業簡述：

發表有關橋梁工程、結構工程、地震工程、防災工程等相關論文約 200 餘篇。

從勘災重建經驗談——橋梁震害與防災策略

張荻薇、曾榮川

橋梁平時肩負著交通運輸任務，災時是防救災體系重要結點。橋梁若在地震中受災而功能喪失，將會阻礙救災、復原工作進行，而使災情擴大，對社會、經濟將會造成持續性的傷害，故橋梁震後繼續維持交通功能是極為重要的課題。

從地震的勘災經驗中可以發現，多種自然災害若是接連發生，將會相互影響而產生連鎖性、複合型的重大災害。此種不同自然災害的交互效應，所產生之災害形態，是橋梁防災上必須因應的新課題。此外，目前耐震設計仍無法充分納入考量的“地震伴隨現象”如：超越設計考量地震、大規模地表錯動或邊坡滑動等災害，在近期的大地震中經常發生。因災害威力已超出所有的防禦設施及防災對策的極限，而嚴重影響橋梁的安全。因此，如何減小地震伴隨現象之災害風險，提升橋梁之危機耐性，是今後橋梁地震防災必須面對的重大課題。

時值 921 地震二十週年之際，本文將以多年來參與國內外地震勘災與重建經驗，扼要說明橋梁之震害現象及其成因，並概述 921 地震橋梁之災後重建與強化對策等。文中也將談及台灣的工程建設在天災的教訓中，所學習到的防災新思維與防災策略，供產官學研各界參考。



蔡克銓

國立臺灣大學土木工程學系教授

演講題目：建築勘災及重建

演講時段：9/19 (四) 14:00-14:30

學歷：

國立台灣大學 / 土木工程 / 學士 (1977)

美國史丹福大學 / 結構工程 / 碩士 (1980)

美國柏克萊加州大學 / 結構工程 / 博士 (1988)

經歷：

國立台灣大學工學院地震工程研究中心 / 主任 (1999-2003)

國家地震工程研究中心 / 主任 (2003-2010)

Skidmore, Owings and Merrill, San Francisco/Structural Engineer (1980-1984)

專業簡述：

鋼結構工程，結構動力學，結構耐震模擬實驗，結構耐震分析與設計

建築勘災及重建

葉錦勳、陳家漢、蔡克銓

1999 年集集地震是繼 1935 年新竹台中烈震後，台灣地區首次遭遇死亡超過千人、半倒或全倒建築超過萬棟、斷層破裂帶達百公里的巨震；本報告回顧當時震災發生後採用的建築震害勘災方式及結果。並介紹在災後重建過程中，政府及民間在公有與私有建築重建或耐震補強所努力的方式與成果。由於當時震後一般應變人員並無實際處理類似大規模建築震災的經驗，導致勘災及重建初期有些慌亂。本報告回顧並反省當時建築緊急勘災及損害建築普查過程，極有值得借鏡也有值得改進之處。隨著網路資訊技術和智慧型行動通訊裝置日益發達，可協助勘災調查和災情彙整的工具和技術已十分成熟；權責單位應予以重視和整合，以備未來不時之需，尤其應建置完整的災情資料庫供後人研究參考。本報告亦反省政府及民間在公有與私有建築重建或補強所採的方法與成果，以供未來參考。



陳正興

國立臺灣大學土木工程學系名譽教授

演講題目：土壤液化災害之回顧與防災思維

演講時段：9/19 (四) 14:30-15:00

學歷：

加州大學柏克萊校區 土木系博士 (1980-1984)

國立臺灣大學土木系碩士 (1976-1978)

國立臺灣大學土木系學士 (1970-1974)

經歷：

國立臺灣大學土木系副教授、教授 (1985-2016)

地工技術研究發展基金會 董事長 (2009-2011)

中華民國大地工程學會 理事長 (1999-2001)

中國土木水利工程學會大地工程委員會主委 1996-1997

國家地震工程研究中心組長、副主任 1992-1997、2004-2016

專業簡述：

地震工程，地盤振動，數值分析，基礎分析

土壤液化災害之回顧與防災思維

二十年前，921 集集地震震驚了台灣，造成有史以來最嚴重之災害，死亡二千五百餘人，建築物與學校校舍倒塌者不計其數，斷層線上之橋梁則幾乎全毀，而在大地工程方面之災害亦非常廣泛，除斷層錯移與山崩地滑所造成之嚴重災害外，亦發生了有史以來最嚴重之土壤液化災害。地震發生時造成土壤液化現象乃自然現象，自 1964 年日本新潟地震與美國阿拉斯加地震發生嚴重土壤液化災害後，掀起世界各國研究土壤液化之序幕，土壤液化頓時變成顯學；而 1999 年 921 集集地震之土壤液化災害則是國內開始重視土壤液化災害之敲門石，頓時吸引了大量學者投入土壤液化之研究。近年來，國內外土壤液化災害仍頻傳，尤其在 2016 年 0206 美濃地震造成台南市區之土壤液化後，國內輿論譁然，又掀起一波研究土壤液化之熱潮。

本文主要探討土壤液化之災害，首先回顧 921 集集地震之土壤液化災情，繼則綜整近年國內外主要之土壤液化案例，包括：2016 年 0206 美濃地震、2017 年 0206 美崙地震、1994 年日本阪神地震、2011 年東日本大地震、2011 年紐西蘭基督城序列地震等，探討易發生土壤液化現象之敏感地區，以及結構設施之損壞情形，綜合歸納，提出土壤液化防災思維，供地震防災與工程設計之參考。

綜合世界各地震土壤液化災情之比較，可歸納數點結論供地震防災之參考。地震時發生嚴重土壤液化現象者大多為區域性，與土地之生成歷史有密切之關係，建築設計時應特別重視地質調查，調查除地質鑽孔外，應包含環境、舊濕地、歷史液化地區，高地下水位之回填地與新沖積地層，經驗顯示這些地區均為液化敏感地區，地震發生時，淺層地盤易發生土壤液化現象，且伴隨噴砂現象，導致災損較嚴重。故應加強地質資料之蒐集、評估各地區之液化潛勢，製作液化潛勢圖供防災之參考。對於建築物而言，小面積大載重結構物之液化損害風險高，易產生沉陷與傾

斜，因此位於中高液化潛能區之基礎設計應採用大面積之完整基礎版，且應盡量避免不均勻載重；另外，地盤改良、基礎加深、基礎結構加強均可有效減小液化災損。對於維生管線而言，極易因土壤液化而受損，尤其是汙水管線之受損更是普遍而又難修復，嚴重影響民生問題，更是未來土壤液化防災研究與實務之重要課題。



賴建宏

台北市土木技師公會副理事長
台灣省、新北市土木技師公會理事
中華工程仲裁協會理事

演講題目：從 921 地震談土木技師震損調查

演講時段：9/19 (四) 15:20-15:50

學歷：

臺北科技大學土木工程系

臺灣科技大學營建工程系碩士

經歷：

萬鼎工程服務股份有限公司 / 結構工程師

中華顧問工程司 / 土木工程師

台灣世曦工程顧問股份有限公司 / 正工程師

專業簡述：

公路工程、土地開發、土木工程、工程爭議鑑定

從 921 地震談土木技師震損調查

民國八十八年九二一地震造成許多建築物倒塌，回顧當時臺灣南投地方法院檢察署特就建物倒塌委託土木技師公會進行鑑定工作。並就房屋損壞原因，有無設計錯誤、有無按圖施工、有無偷工減料等面向進行檢討藉以釐清損壞之因果關係。

時至民國一零五年 0206 發生高雄美濃地震，及民國一零七年 0206 發生花蓮地震，分別由臺灣台南地方法院檢察署、臺灣花蓮地方法院檢察署委託土木技師公會進行維冠金龍大樓、雲門翠堤大樓倒塌原因進行鑑定工作。

本文將從九二一震災而至近來兩次的 0206 震災所引致建築物倒塌事件，從損壞原因，有無設計錯誤、有無按圖施工、有無偷工減料等面向進行綜整研討。



藍朝卿

社團法人新北市結構工程技師公會理事長

演講題目：回顧 921 震害—談近年結構工程技術的發展
演講時段：9/19 (四) 15:50-16:20

學歷：
國立台灣大學土木研究所結構組碩士

經歷：
台北市結構工程技師公會理事長
台灣省結構工程技師公會理事長

專業簡述：
1. 高樓結構設計
2. 房屋安全鑑定
3. 建築耐震評估

回顧 921 震害—談近年結構工程技術的發展

藍朝卿、王紹烈

九二一震殤為台灣帶來無比傷痛，不但造成無數生命傷亡，亦導致數萬棟結構物倒塌損毀，當時有很多結構技師深入災區，參與救災與勘災，並蒐集各種結構損壞情形。就專業技術層面，該次地震的破壞，亦是千載難逢機會，可供我們更瞭解自然界力量與當時結構工程問題，進而提昇我國結構工程技術，增進防災能力。

本文除將回顧 921 地震時，結構技師的勘災與救災工作，並簡述主要損害情形，尤其將從各種建築結構破壞現象，探討損害原因，及針對各種震害，探討近年我國結構技術發展情形，瞭解對避免再發生類似之震害是否有幫助。例如對軟弱層、細長柱、短柱效應等結構系統問題，或是對箍筋不足、主筋續接、梁柱接頭等鋼筋細節問題，以及斷層因素、盆地效應等設計地震力問題的情況。



黃炳勳

台灣世曦工程顧問股份有限公司資深協理

演講題目：921 地震後之橋梁耐震補強
演講時段：9/19 (四) 16:20-16:50

學歷：
交通大學土木工程研究所碩士

經歷：
中華顧問工程司第二結構部工程師、組長
台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部技術經理、協理

專業簡述：
土木、結構工程規劃、設計

921 地震後之橋梁耐震補強

台灣於民國 88 年發生 921 集集大地震，芮氏規模達 7.3，地震係因車籠埔斷層錯動引起，鄰近斷層及震央附近之交通建設在此次地震中遭受重大損害。

921 集集大地震後，交通部為因應實際震害狀況，於 89 年修訂公路橋梁耐震設計規範部分耐震設計規定與震區劃分，續於 98 年及 108 年依地震危害度分析、第一類活動斷層位置與地震紀錄，重新進行震區劃分。

國道、省道為台灣地區交通動脈，高速公路局及公路總局於震後著手推動轄管橋梁耐震補強工程，期能提昇橋梁之耐震性能，肩負整體防災計畫運輸維生功能重任。

目前橋梁耐震補強計畫持續推動中，除傳統補強工法外，亦藉由結構系統補強方式之應用與持續研發，例如應用隔減震支承或地震力分散補強等，以減少工程規模與經費，提升強梁耐震補強技術。

議題三：技術、規範變革與法律



蔡益超

國立臺灣大學土木工程學系名譽教授

演講題目：建築物耐震設計規範及解說更新重點
演講時段：9/20 (五) 10:10-10:40

學歷：
國立臺灣大學土木工程學系碩士

經歷：

國立臺灣大學土木工程學系講師、副教授、教授
國立臺灣大學地震工程研究中心主任
中華民國結構工程學會理事長

專業簡述：

建築物、橋梁耐震分析與設計；耐震能力初步與詳細評估；耐風工程；鋼筋混凝土設計

建築物耐震設計規範及解說更新重點

我國自民國 63 年 2 月頒布建築技術規則以來，就有耐震設計的相關規定。民國 86 年 5 月將規範與規則分離，耐震設計規範的內容就更加完備。本演講針對以下 8 部分介紹各次修訂版本的更新重點：

1. 63 年 2 月頒布的建築技術規則
2. 71 年 6 月頒布的建築技術規則
3. 78 年 5 月頒布的建築技術規則
4. 86 年 5 月頒布的建築物耐震設計規範及解說
5. 88 年修訂的建築物耐震設計規範及解說
6. 95 年 1 月頒布的建築物耐震設計規範及解說
7. 100 年頒布的建築物耐震設計規範及解說
8. 建築物耐震設計規範及解說擬繼續修訂的重點

建築物耐震設計規範主要的重點為設計水平總橫力的計算，主要影響的因素包括工址地震危害度、各種地盤加速度反應譜、用途係數、結構系統韌性容量、與週期和韌性容量有關的結構系統地震力折檢係數、是否臨近斷層、是否位處台北盆地等。各版本對此些因素的表達方法不同，不過都是朝更合理的方向修訂。本演講會仔細說明此些因素表達方式的演進。

除設計水平總橫力的計算外，規範也逐次納入弱層檢核的規定、既有建築物之耐震能力評估與補強的規定、隔震建築物設計、被動消能系統的規定，使耐震設計規範的內容更加完備。

目前還有一些修訂已送營運署審查中，主要包括近斷層地震危害度的修訂、地盤放大係數的修訂、弱層檢核的修訂、既有建築物之耐震能力評估與耐震補強的修訂等，都會在本演講中提及。



張國鎮

國立臺灣大學土木工程學系教授

演講題目：921 地震後國內耐震技術之研發與應用

演講時段：9/20 (五) 10:40-11:10

學歷：

State Univ. of NY at Buffalo 土木工程博士

State Univ. of NY at Buffalo 土木工程碩士

國立台灣大學 土木工程學士

經歷：

國立台灣大學土木工程系 主任

國立台灣大學土木工程系 教授

國家地震工程研究中心 主任

專業簡述：

1. 研發橋梁安全監測系統，在即時沖刷監測上更屬國際首見，已應用於實際監測作業，並獲本院 2009 傑出科技貢獻獎 - 技術發展類玉山獎之肯定。
2. 從事橋梁耐震研究，並首先提出功能性支承耐震設計之構想，已協助交通部完成多項橋梁耐震設計及評估補強規範之研修及訂定，備受橋梁研究及實務界之肯定。
3. 專研隔減震系統於抗震結構上之應用及新工法之開發，前者已落實於國內耐震設計規範上，後者亦為落實實際橋梁之興建。

921 地震後國內耐震技術之研發與應用

九二一地震於一九九九年襲擊中臺灣，二千多人因而喪失寶貴的生命。臺灣位處環太平洋地震帶，自西元 1736 年迄今，平均 15~20 年發生一次劇災型地震，平均每年因地震死亡人數超過 70 人，年經濟損失亦超過 300 億元，且災後政府尚須耗費天文數字般的經費，來進行善後重建工作。然而，若透過加強地震工程耐震技術相關研究，運用其成果以修訂各種結構物（新建、既有）耐震補強法規及相關配套措施，並提升各項結構（如建築、橋梁及維生線等）之抗震能力，據估計至少可減少 20 % 的地震災害損失。以九二一地震的震災損失而言，即可減少 900 億元以上之直接損失。本報告在回顧二十年，臺灣在耐震技術的發展包括危害度分析、土壤液化、地震早期預警、震損境況模擬、早期震損評估、耐震設計、耐震補強與隔震消能等方面之成果及展望。



王正嘉

國立中正大學法律學系教授

演講題目：災難事故與救援之法律議題

演講時段：9/20 (五) 11:10-11:40

學歷：

國立台灣大學法律學院法學博士

經歷：

國立中正大學法律學系教授 (現任)

執業律師

專業簡述：

法律專業，專攻刑事法。

災難事故與救援之法律議題

在九二一大地震後的隔年 2000 (民國 89) 年 6 月 30 日立法院通過災害防救法，該法乃為健全災害防救體制，強化災害防救功能，以確保人民生命、身體、財產之安全及國土之保全，而制定的災難事故與救援的基本法，實施至今已將近三十年，對於在災難事故發生與救援時所產生的法律議題，同時可能涉及到民法與刑法乃至於行政法等相對應法律，在學界仍少有見到討論。

針對該法律的相關問題，本文主要聚焦在幾個法律議題來研討：1. 災害發生的轉嫁型緊急避難的違法性；2. 災害應變救助者與刑法第 24 條第 2 項之間的關係；3. 政府基於災害預防所 的緊急勸告或強制措施的法理 (第 24 條) 與衍生的國家賠償問題；4. 108 年新增訂的災害謠言或不實訊息罪 (第 41 條第 2 項) 的法理與應然。



呂良正

國立臺灣大學土木工程學系教授

財團法人臺灣營建研究院院長

演講題目：921 築巢專案執行機制與成果

演講時段：9/20 (五) 11:40-12:10

學歷：

康乃爾大學理論與應用力學博士 (1994)

國立臺灣大學土木工程學系碩士 (1989)

國立臺灣大學土木工程學系學士 (1987)

經歷：

國立臺灣大學土木工程學系系主任 (2010/2-2016/7)

國立臺灣大學地震工程研究中心主任 (2003/8-2006/7)

國立臺灣大學土木工程學系副系主任 (2001/8-2004/7)

專業簡述：

結構非線性分析與設計、計算力學、結構最佳化設計

921 築巢專案執行機制與成果

921 集集地震是臺灣 20 世紀末發生芮氏規模 7.3 的強烈地震，造成中臺灣重大災情，依行政院九二一震災災後重建推動委員會統計，受損戶屬集合住宅者有 198 棟，約有 2.5 萬戶，佔受損戶 24%；其中部份損壞情形並不嚴重，只要藉由適當的補強設計與施工，便可提高原建物的耐震能力，如此一來，不僅能符合災後重建資源有效利用的要求，更可減少國家整體資源的耗損。

財團法人九二一震災重建基金會，結合財團法人臺灣營建研究院推出「築巢專案」，來協助可以補強修復方式復原之集合住宅，以加快受損集合住宅災後復原。「築巢專案」共分三步驟，一為初步設計；二為詳細設計；三為補強施工，藉由 921 築巢專案推動機制與成果，期能提供政府推動此類老舊建築進行耐震評估補強工作，以提昇都市建築耐震防災之借鏡。

議題四：建物災害與補強



林傑

行政院公共工程委員會技術處處長

演講題目：大規模地震後復原重建之對策

演講時段：9/20 (五) 13:30-14:00

學歷：

國立臺灣大學土木工程學系營建管理博士、大地工程碩士

英國倫敦大學大學學院營建經濟與管理碩士

國立交通大學土木工程學系學士

經歷：

行政院公共工程委員會 副處長、專門委員、科長、技正、技士
臺北市政府工務局新工處 技士

專業簡述：

重大公共工程及災後復建工程經費審議、工程產業全球化之推動、再生粒料運用於公共工程、技師法、顧問公司管理條例、政府採購法及促進民間參與公共建設法。

大規模地震後復原重建之對策

臺灣位於歐亞大板塊與非賓海板塊交界處，大板塊的擠壓碰撞使得地震活動頻繁，再加上近年來全球氣候變遷影響下，大規模災害頻傳，在九二一震災、桃芝及納莉颱風之後，從災害經驗中學習，研擬復原重建對策變得相當重要，如：災前重建計畫、災後重建法規鬆綁、建物重建對策、財源籌措、受災戶協處及災後調查、資源整合及紀錄等，災前的重建準備，即能在災害發生後迅速地啟動重建機制，俾利重建時程的加快。

藉此，本議題透過去（107）年與中央各部會及相關地方政府以座談會討論方式，依據情境模擬災損推估結果，在房屋倒塌災情相當嚴重之情況下，進行意見交流，並整合提出大規模地震後復原重建之對策，作為未來發生重大災害災後復原重建工作之參考依據，以能迅速處理此類大規模災害之重建需求。

此外，行政院公共工程委員會就地方公共設施災後復原重建部分，已與各中央審議機關及地方政府建立完整的啟動、提報、審議及執行機制，歷年平均約有 3,000 件、約 60 億元的案件執行中，相信在大規模地震來襲時，就地方公共設施部分，相關的復原工作亦可有效地加速執行。

**高文婷**

內政部營建署建築管理組組長

演講題目：建築耐震補強政策作為

演講時段：9/20（五）14:00-14:30

學歷：

中國文化大學建築及都市設計研究所博士

經歷：

內政部營建署建築管理組組長
臺北市政府建築管理工程處處長

專業簡述：

建築管理、都市設計、都市計畫、住宅管理

建築耐震補強政策作為**一、地震災害背景說明：**

臺灣地區位處環太平洋地震帶上，平均每年發生之地震達數千次之多，有感地震超過百次。根據統計 20 世紀初至今，近百個地震在臺灣地區造成人命傷亡及財產損失。

二、建築物耐震能力補強背景說明：

公有建築物耐震能力評估與補強工作推動多年，已完成耐震補強之校舍，經多次規模 6 以上地震，未出現結構性損壞，表示耐震補強之推動已有成效。

三、建築物耐震相關法規訂（修）定過程：

民國 63 年修正發布之建築技術規則建築構造編始有地震力之規定，以為建築物耐震設計之依據。民國 86 年 5 月 1 日修正發布之建築技術規則，並訂定「建築物耐震設計規範及解說」。

民國 88 年 12 月 29 日、94 年 7 月 1 日及 100 年 7 月 1 日多次修正建築物耐震設計規範及解說，強化耐震設計相關規定。

民國 107 年 2 月 21 日修正發布「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」第 7 條規定，強制規定私有供公眾使用建築物辦理耐震能力評估檢查。

四、耐震補強及重建相關鼓勵政策：

政府為推動建築物耐震補強及重建，先後訂定「私有建築物耐震性能評估補強推動先行計畫」、「安家固園計畫」、「危險及老舊建築物加速重建條例」、「107 年建築物耐震重建輔導試辦計畫」及「全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強計畫（108-110 年）」等政策。

**陳澤修**

中華民國全國建築師公會
特殊結構審查委員會主任委員

演講題目：從建築物使用管理的角度探討其對 RC 建築結構耐震能力之影響

演講時段：9/20 (五) 14:30-15:00

學歷：

淡江大學 建築碩士
台灣科技大學 營建管理博士班

經歷：

陳澤修建築師事務所 主持建築師
內政部建築研究所 協同計畫主持人
台北科大、中國科大 講師

專業簡述：

建築設計規劃、隔震建築、智慧綠建築、營建技術及工法、特殊結構審查

從建築物使用管理的角度探討其對 RC 建築結構耐震能力之影響

每當地震發生時，所產生的建築物破壞與傾倒，其所發生的原因都非單一因素所造成，除了最常被歸咎的建築與結構設計、施工品質不良外，建築物於震災所產生的破壞因素，我們應該還要探討混凝土的結構裂縫長期未修補、結構材料老化、漏水混凝土產生白華、壁面發霉、鋼筋生銹膨脹保護層脫落、鋼筋外露、增加違建、變更使用等因素，了解這些因素對結構耐震能力的減損所發生的影響。

檢視歷次發生的震災損害的建築物大多是屋齡 20~30 年以上 (民國 86 年以前) 的老舊 RC 建築物居多，我們由建築材料老化、混凝土裂縫、建築物維護管理等因素，檢討其對建築結構行為之影響，可以了解到，建築物的耐震強度，除了需要符合新建時期的結構設計規範及施工品質的要求外，建築物經長期使用後，我們也要考慮建築物的使用期限及建築管理維護所造成之影響。

本研究建議應增加適當的建築物使用管理規範，以作為未來建築使用管理法規及物業維護管理的配套參考。



鍾立來

國家地震工程研究中心副主任

演講題目：校舍耐震之演進

演講時段：9/20 (五) 15:20-15:50

學歷：

美國紐約州立大學水牛城土木工程博士
美國紐約州立大學水牛城土木工程碩士
國立臺灣大學土木工程學系學士

經歷：

國家地震工程研究中心研究員
國立臺灣大學土木工程學系教授
國立成功大學土木工程學系教授

專業簡述：

地震工程、耐震設計、結構評估與補強，振動控制

校舍耐震之演進

民國 88 年 9 月 21 日集集地震奪走二千多位同胞寶貴的生命，導致全國國中小 1,439 校、高中職 190 校嚴重損毀，校舍甚至倒塌，校舍儼然成為最為脆弱之建築物。有感於校舍結構之脆弱度，國家地震工程研究中心隨即投入人力物力，致力於結構耐震評估與補強技術之研究與開發，相關成果彙集成技術手冊，並辦理技術講習會，移轉予工程師，供執行業務之參考。自民國 92 年起，進一步接受教育部之委託，研擬校舍結構耐震能力提升之策略，訂定推行之行政程序，並建置資料庫，掌握每一棟校舍之耐震狀態及履歷。自民國 98 年起教育部委託國家地震工程中心協助辦理老舊校舍及相關設備補強整建計畫，經二十年之努力，全國公立高中職以下校舍之解除列管率已達 97.34%。



李明濤

財團法人台灣建築中心應用推廣部經理
／主任工程師

演講題目：安全的守護—全面啟動耐震特別監督

演講時段：9/20 (五) 15:50-16:20

學歷：

西北大學／營建管理／碩士

經歷：

台灣建築中心／應用推廣部／經理
美國 C D K Contracting / Project Engineer
唐榮鐵工廠營建部／城中施工處／工程師

專業簡述：

耐震建築、住宅性能評估、營建管理、建築資訊建模 (BIM)、住宅檢測、資訊管理、坡地自主防災、無障礙

安全的守護—全面啟動耐震特別監督

民國 88 年 921 地震造成台灣地區嚴重的人命傷亡與財產損失，其中建築物的震害更是前所未有，據內政部建築研究所調查資料顯示，主要歸納為「耐震設計標準不足」及「施工監造不良」等因素所致。

台灣建築中心自民國 92 年起，針對前述施工監造不良的部分，自發性的率先推動「耐震標章」制度，主要目的為協助業主興建耐震安全的建築物，並使民眾可藉由標章認證，購買到結構耐震安全的房子，此外在依循既有法令及制度的規定下，俾儘速彌補建築物耐震工程品質管理的盲點，以提升建築結構的耐震品質。

在台灣建築中心十餘年的努力下，「耐震標章」制度逐漸獲得政府及社會大眾的重視與肯定，「都市危險及老舊建築物建築容積獎勵辦法」及「都市更新建築容積獎勵辦法」已將耐震標章納入給予容積獎勵，除此之外臺北市府、新北市政府、桃園市政府等相關政府機關陸續將耐震標章與綠建築標章、智慧建築標章、無障礙住宅標章納入興建公共住宅計畫中之基本要求，全力為市民打造健康、智慧、安全、友善之耐震好宅。

**宋裕祺**

國立台北科技大學教授、工程學院院長

演講題目：危險老舊建築物耐震能力判定、處理之發展與建議

演講時段：9/20 (五) 16:20-16:50

學歷：

國立臺灣大學土木工程學研究所博士
國立清華大學動力機械研究所碩士
國立台北工專土木工程科

經歷：

1. 國立臺北科技大學土木系土木與防災研究所
助理教授、副教授、教授、系主任暨所長
2. 行政院公共工程委員會委員
3. 中華民國結構工程學會第十三屆理事長
4. 財團法人國家實驗研究院地震工程研究中心兼任組長
5. 中華顧問工程司 正工程師

專業簡述：

地震工程、結構耐震、結構最佳化、人工智慧於結構工程之應用

危險老舊建築物耐震能力判定、處理之發展與建議

內政部 2019 年 2 月統計資料顯示，全台屋齡超過 30 年的建築物約有 410 萬戶。台北市領有使用執照之建築物有 114,884 棟，其中屋齡超過 50 年、40 年與 30 年的建築物之棟數與佔比分別為 24,862 (21.6%)、69,661 (60.6%) 與 96,269 (83.7%)。雖然老舊建築物不全然等同於危險建築物，但由於 (1) 早期建築結構設計與施工規範不若現行標準嚴格；(2) 建築物經年使用，材料劣化與鋼筋腐蝕等造成結構耐久性降低；(3) 建築物歷經以往地震、颱風或人為不當使用等因素造成結構損壞以致結構安全性降低等諸多原因，一般而言老舊建築物之耐震能力相對較低，因此有關老舊建築物耐震能力之評估乃至為重要，若經判定為危險建築物，其後續處理對於都會區之發展影響甚鉅。

2017 年政府通過「都市危險及老舊建築物加速重建條例」冀能迅速有效加速危老建築物之重建，同時達到符合結構安全，美化都市景觀與迎合高齡社會之多重需求。內政部 2018 年更公布「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」，規定 1999 年 12 月 31 日以前領得建造執照，私有供公眾使用的建築物，如車站、學校、醫院等使用之樓地板面積累計達 1000 m² 以上，且該建築物同屬一所有權人或使用人者，須辦理耐震能力評估檢查。

此均顯示危險老舊建築物耐震能力之判定與處理是目前當務之急，本講題將簡介此一重要議題之現況，並探討其未來發展。近年來全世界有關近斷層地震引發的建築物災害及其影響多有研究，目前做法除提升地震力作為設計考量外，尚欠缺具體因應對策。本講題將根據最近研究成果，就近斷層結構耐震設計與補強改善因應方法，提出具體建議。



土木工程與永續發展

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、中國土木水利工程學會 會士

引言

永續發展，指：我們這一代所使用的資源，不透支後代賴以生存的資源。

永續發展，必須「經濟」、「環境」與「社會」這三大支柱的均衡發展。這三大支柱，只要一支太短，或一支太長，必定發生人類文明大廈的傾斜或倒塌。

更高的理想是：導引大自然龐大資源於保護眾生及人類和平且永續生存。為這理想，土木工程師的力量雖然有限，但勿以善小而不為。何況，土木工程建設，常耗費龐大資源，包括人力、物力、自然資源。

人類文明演進所面臨的危機

全球暖化 (Global Warming) 與 氣候變遷 (Climate Change) (環境問題)

人類燃燒化石能源，排放二氧化碳 (CO₂) 於大氣之中，導致氣候變遷，甚至於極端氣候：例如颱風（美洲稱颶風）豪雨、乾旱、全球暖化（氣溫上升）、懸浮微粒。雖然火山爆發及森林野火，也排放二氧化碳，但其量遠遠低於人為者。

全球氣溫及空氣中二氧化碳濃度，在第一次工業革命（19世紀）期間（燃燒煤炭），明顯上升；第二次

工業革命（20世紀）期間（燃燒煤炭及石油），上升加快；二次大戰結束之後，全球人口快速增加，50%以上已經居住城市之中。台灣人口的80%以上已經居住城鎮之中。城市的土建工程，使用大量水泥、木材、鋼鐵、塑膠、等等材料。其開採、運輸、加工、使用，都耗用大量能源。城市生活，消耗大量電力於電梯、空調、照明、等等，消耗大量煤氣於烹飪，更消耗大量汽油及柴油於大量的汽、機車。總結而言，城市消耗全球飲用水的60%、能量的75%，排放80%的溫室氣體（Andrew Ka-Ching Chan, 2016）。

2018美國加洲森林（766,439公頃）野火，97平民及6消防隊員遇難，受傷者80多人（參考Wikipedia）。希臘雅典附近海邊野火，91人遇難。日本高溫（東京氣溫超過40度C），已知125人遇難。經濟學人週刊（2018.08.04～10）封面用超大字標題 In the line of fire Losing the war against climate change。

今年，巴西亞馬遜雨林野火燃燒日益嚴重，全球震驚，但巴西總統拒絕外援。

Nature 11 July 2019 VOL 571 “Europe’s mega-heatwave boosted by climate change”（作者 Quirin Schiermeier）指出：法國（位於北溫帶）東南部

Gallargues-le-Montueux 鎮的氣溫高達 45.9°C。

FT Weekend 3 August/4 August 2019（作者分別為 Ian Mount 與 Anjli Raval and Leslie Hook）顯著報導，並指出：亞非兩洲人口快速增加，預估 2040 將增加 25%，其能源需求必然大增；且強調：須注意航空器及船隻的影響。

全球暖化，氣溫上升，北極冰地萎縮，冰川後退，海面上升。一些海島與臨海城市的部分面海陸地有被海水淹沒的危機。生物多樣性也可能因而減少。

對於氣候變遷及全球暖化，聯合國（UN），歐盟（EU），美國，都努力提出對策，但似乎趕不上全球性變遷。因為：

- 世界人口日增，摩天大樓比多比高且越建越多，耗能急增
- 政治人物以拼經濟為號召，獲得相當多的支持，投資耗能產業
- 電動汽車可以減少城市的空氣污染，但必須增加電力供應
- 森林面積，因砍伐及野火燃燒，有縮小的傾向

空氣污染（環境問題）

18 世紀，英國的第一次工業革命，工廠機器、火車、輪船、戰艦，以及家庭，燃燒大量煤炭，空氣污染迅速增強。

20 世紀初，美國深井採油成功及煉油工業的發達，促進內燃機與發電機的發明。燃燒石油的汽機車開始佔領城市、鄉村、公路。工廠（包括電廠）燃燒大量的煤炭、石油、及天然氣、等化石能源。空氣污染更加嚴重。

世界衛生組織（WHO）2018 報告：全世界因空氣污染而死亡人數，室外達 420 萬人，室內達 380 萬人。

Lelieveld, *et al.* (2015, **Nature** Vol 525) Table 1 指出：2010 年因室外 PM2.5 及 O3（危害度遠小於 PM2.5）而英年早逝（premature death）者達 3.3 百萬人；主要發生在亞洲，且以含碳顆粒（carbonaceous particles）最毒。且預估，在 2050 年，全球因之而英年

早逝者將加倍。

Ting-Chun Lai, *et al.* (2017, **Journal of the Formosan Association**, Vol 116, Issue 1) 顯示：台灣在 2014 年因 PM2.5 而死亡者達 6281 人；其中，新北市 874 人，高雄市 829 人，台北市 619 人。

Li, *et al.* (2019, **Nature** Vol 570) 指出，空氣污染最大的元兇是 **PM2.5** 懸浮微粒。其粒徑等於或小於 2.5 微米（micrometer，百萬分之一米）。可以經由呼吸貫入人體的肝臟、心臟、血管系統。

Mark Pelling and Matthias Garschagen (2019, **Nature** Vol 569) 指出，窮人因開發落後及氣候變遷，經常受到洪水、乾旱、熱浪、等等的損傷。

在空氣傳播的自然界（例如沙漠）灰塵及微生物顆粒，也是有害的污染源。

自然災害（環境問題）

世界銀行（The World Bank, 2005）的 **Natural Disaster Hotspots, A Global Risk Analysis** 一書，指出全球可能發生自然災害的熱點（Hotspots）。該書列出暴露在 3 種或 3 種以上危險（Hazards）的 15 個國家或地區的名稱，也列出暴露在 2 種或 2 種以上危險（Hazards）的 60 個國家或地區的名稱。並特別強調：台灣有 73.1% 的面積及 73.1% 的人口，曝露在最多 4 種危險（Hazards）的威脅。

台灣的地形，還在幼年期，隆起作用與削平（物理侵蝕）作用，在快速進行中。

根據李遠輝（1975）所調查的侵蝕率（公厘/年）：

- 台灣中央山脈 5.5 公厘/年
- 台灣西部丘陵 1.5 公厘/年
- 歐洲萊茵河流域的阿爾卑斯山區 0.53 公厘/年

台灣，大甲溪岸，太魯閣溪岸，舊蘇花公路臨海段峭壁，坡度近乎垂直而且解壓節理（裂縫）發達，常因地震或豪雨而崩塌，而發生路斷災害。

台灣城鎮（台灣 80% 人口居住所在），常在颱風豪雨的八月中淹水成災，大眾傳播媒體顯著報導。

美國在其西北部太平洋山脈 1556 ~ 1976 四百多年的調查研究發現：自然力量（重力，颱風豪雨，地

震)所引發的坍方設為1,砍伐森林所引發的坍方約為10,開路上山所引發的坍方約為100或更大(Heiken, 1997)。但一般人,甚至於科技人員,常將山坡地的坍方稱為自然災害或自然山崩。

過度開發導致自然生態環境的崩潰(環境問題)

- 行政院經濟建設委員會主任委員胡勝正(國94年)在行政院經濟建設委員會發行的**悲歌美麗島**一書(齊柏林攝影,陳慧屏撰文)的序中第一段文字:

台灣經濟快速發展的背後,由於長期對自然資源保護的不足及配合經濟發展需要而造成過度開發,國土資源遭受到難以復原的傷害。

進一步了解台灣之美、台灣大地受到天災及人為傷害的第一手紀錄,參見:

- 齊柏林,2013初版,2018第35刷,**我的心,我的眼,看見台灣**,圓神出版。
- 齊柏林空拍紀錄短片,2013,**鳥目台灣**,台灣阿布電影公司出品發行影片光碟。
- 齊柏林攝影,劉克襄文字,2013,**鳥目台灣:齊柏林空拍紀錄攝影文集**,發行人文化實驗室出版紙本。
- 游牧笛撰文,影像來源台灣阿布電影公司,2016,**看見齊柏林**,大石國際文化有限公司由National Geographic Society授權出版。

人口爆增並向城市集中(環境問題,社會問題)

世界人口呈爆炸性成長,地球將更為擁擠,而擁擠必然增加衝突的機會;居住、糧食、用水、等等問題將更趨嚴重。世界人口最多的國家是中國與印度。到2050年,中國人口將達14.37億,印度人口將暴增至16.28億。開發中國家,人口超過千萬的巨無霸城市,持續增加、膨脹。

混凝土叢林逐步取代天然叢林。大部分的人類,在城市之中忍受擁擠、汽機車廢氣、噪音、熱島效應、等等遠離自然的生活。

城鄉差距拉大,年輕人多到城市討生活,鄉村多留下老人和小孩。

貧富差距擴大,可能引發貧富衝突(經濟問題,社會問題)

世界銀行(2017)**World Development Indicators**一書,對2015年217個國家的研究報告,大致上可以貧、富,將全世界分為下列四地區:

- **最富裕地區**:北美(人均國民所得在\$5萬以上)
- **次富裕地區**:歐洲及中亞(人均國民所得約\$2.5萬)
- **中下所得地區**:東亞及太平洋地區(人均國民所得略低於\$1萬)
- **貧窮地區**:南亞,非洲撒哈拉沙漠以南(人均國民所得低於\$2千)

一般而言,城市人口百分比(%)較高的國家,多較為富裕,但貧富懸殊。

貧富差距擴大,必然發生不同型態與不同程度的「貧富衝突」。這不但是一個國家內部問題,也是區域性問題,甚至是全球性的問題。

摩天大樓空屋:新時代的金字塔(經濟問題,社會問題)

台灣空屋高達80多萬戶,許多年輕人卻因為買不起房屋而不敢結婚生子,成為國家級的危機。

這些空屋,多在摩天大樓之內,耗費龐大的財力,排擠教育、科技研發、基礎建設、社會福利、國防、等等急需的資源,相當於埃及古文明與馬雅古文明的金字塔。筆者稱之為:新時代的金字塔。中華民國,假使難以永續生存的話,這些新型態的金字塔會是原因之一。

面對人類文明演進危機的對策

全球暖化問題的對策

對全球暖化問題的對策,多主張停止利用化石能源於發電,而以再生能源(例如太陽能、風能、生質能、水力)發電,但進展緩慢。

汽機車、土建工程的施工機械,宜改用電力。數量龐大的飛機及輪船,除了少數核能軍艦艇之外,目前看不出改用電力的可能。

面對核能發電的疑慮，土木工程界或可以加強核電廠的縱深防衛工程及核廢料深埋地下（包括深地下坑洞）的設計及安全性，向社會說明。日本六所村（遠離人口眾多及水源地）的核廢料再處理工程，宜先由工程界前往了解後，再邀請民意代表及有意了解的民眾前往參訪，消滅疑慮。但該再處理工程，必須花費很長時間及很龐大經費。

德國已經決定：以再生能源取代核能發電與化石燃料發電，參考 2015 年 11 月 *國家地理雜誌* (*National Geographic*) 中文版 NO 168 期；其封面大標題為：為地球退燒，降溫求生指南。其 42 頁至 65 頁一文標題為「向高溫挑戰 改變的決心」，撰文 Robert Kunzig，攝影 Luca Locatelli。

核融合 (Fusion) 發電，已經有幾個國家，或國家集團，開始研發；例如 ITER，最快可能在 20 年後發電，參見 Wikipedia 大幅報導。土木工程界的任務，有如大哈得龍對撞機 (Large Hadron Collider，重約 30,000 噸) 工程一樣，任務艱鉅。

綠色植物，尤其是森林，在雨天，可以由樹體及根系網絡所及的土地，儲存大量水分 (圖 1)，形成自然地下水庫，於乾旱時經由樹葉蒸發水汽，降低氣溫。

綠色植物，以光合作用吸收空氣中的二氧化碳 (CO_2)，經根系共生微生物網絡分解成樹木所需要的

養分及氧氣；將氧氣釋放至空氣之中，將多餘養份，分享給落葉樹或矮樹，加快其成長，一起吸收更多二氧化碳 (CO_2)。

關於樹林與空氣 (溫度、品質) 的研究，非常之多，僅舉例如下：

- 鍾彥儒、萊恩，威廉斯，2018 年 6 月「會溝通的樹木」，*國家地理雜誌* (*National Geographic*) 中文版 NO 199。
- Schiermeier, Quirin, 11 July 2019, “Europes mega-heatwave boosted by climate change”, *Nature*, Vol 571 / Issue 7764。
- Steidinger, B.S. et al, 16 May 2019, “Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest – tree symbioses”, *Nature*, Vol 569 / Issue 7756。
- Ambasz, Emilio, 1992, *Invention, The Reality of the Ideal*, Rizzoli International Publications, Inc. (360 pages)。本書著作者 Ambasz，以道法自然哲思，將樹林結合房屋建築及少數土木工程。有的長橋，居然在每一橋柱頂端種樹，雖然稀罕，卻是高度創新之作，值得效法。



圖 1 在豪雨侵襲下，樹林保水能力最強 (台灣水土保持局野外模型實驗) (洪如江攝)

瑞典首都斯德哥爾摩住宅區與森林共生遠景，示於圖 2；其近景示於圖 3。

中國新疆火焰山地區酷熱，寸草不長（圖 4）。其吐魯番，以「坎兒井」地下隧道導引天山溶化冰水造林為綠洲（圖 5），灌溉生產大量水果（尤其是葡萄，圖 6）。

巴黎舊高架鐵路原線，改為森林步道（圖 7），與兩側住宅區共生。

義大利米蘭（Milan）的高樓 Bosco Verticale，樓頂及四周凸出外牆的陽台種滿樹林，減少污染並冷卻夏季高溫。參見 Joy Lo Dico, “Breathing life into the city”, *FTWeekend Asia edition*, 10 August/11 August 2019

文章及照片。

台灣，也已經有些建築結合綠化，值得尊敬；但多是孤軍奮鬥。新加坡以長期規劃，建設 17 個新市鎮（New Town，或稱花園城市）及永久保護區，新加坡城市的公共綠色空間百分比（% of public green space）高達 47%，世界第一。



圖 2 瑞典首都斯德哥爾摩住宅區與森林共生遠景（洪如江攝）↑



圖 3 瑞典首都斯德哥爾摩住宅區與森林共生近景（洪如江攝）→



圖 4 新疆吐魯番的火焰山，高溫，乾燥，無雨（洪如江攝）



圖 5 中國新疆沙漠火焰山地區的吐魯番，以「坎兒井」地下隧道引天山冰水從事造林及灌溉而成為綠洲，並生產大量水果（尤其是葡萄）（洪如江攝）

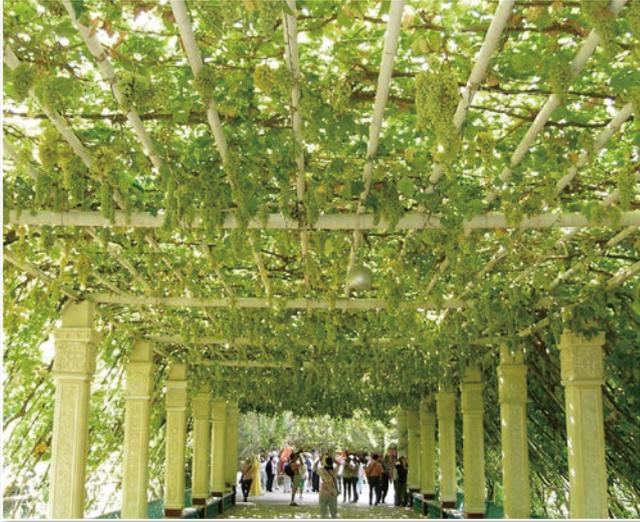


圖 6 吐魯番葡萄園近景 (洪如江攝)



圖 7 法國巴黎舊高架鐵路，改為森林步道，與兩側住宅區共生 (洪如江攝)

空氣污染問題的對策

開發再生能源及核融合 (Fusion) 發電 (參見：作者 / 菲利浦 鮑爾、譯者 / 高英哲，2019.01，「核融合的逆襲」，《BBC 知識》國際中文版 *Knowledge, vol.89*)。

文中並列出世界上 6 個研發中的核融合發電機的實體反應爐照片及說明。

茂密的樹林 (參考圖 1 至圖 7)，其葉片氣孔及絨毛，不但可以吸收空氣中的二氧化碳 (CO₂)、排放新鮮氧氣及汽態水、調節微氣候；還可以吸附空氣中的懸浮微粒。整棵樹體，也有吸收空氣中污染物質的能力。

住家房間內，難免累積有害 (甚至於有毒) 氣體及懸浮微粒。室內綠色植物盆栽是一種自然之道，除了去污、消毒之外，也具有賞心悅目功能。當然，摩登而不想費力於盆栽的人，可以替每一個房間買一部電動去污機。

瑞士，上山多採用纜車、或三軌電力火車 (洪如江，2017.12，「土木工程與自然」，*土木水利雙月刊* 第 46 卷第 6 期圖 15。台灣山路，宜多用纜車。

新加坡城的公共綠地百分比 47%，管制私人小汽車總量，建設 17 個英國式花園城市 (新市鎮)，並以多層次 (綠草，花木、矮樹、高樹) 綠帶隔開住宅區與過境汽車道。並提供軌道式捷運系統至每一新市鎮，降低國民購車需求。

台灣城市的公共綠地百分比，普遍太小。為市民



圖 8 台北市大安森林公園北端部分 Google Earth 影像 (credit Google Earth)

健康及生命，應該多建類似大安森林公園 (圖 8) 的公共綠地 (樹林、草地、水池)。

自然災害問題的對策

老子道德經第 25 章「人法地，地法天，天法道，道法自然」。我們應該：

- 了解大地 (地形，地質，水域) 的靜態現象及動態演化的各種法則。
- 了解大地的許多靜態現象及動態演化及其受到天域制衡的各種法則。
- 了解常態天氣及氣候變遷 (Climate Change) 對大地及人類的影響；進而善用相關科技，在土木工程作業 (規劃，設計，施工，使用，復育) 的每一階段中，遵循大地及天域的法則。

針對城市淹水問題，日本東京，積極將街道改為透水鋪面（圖 9，圖 10）；並且建設一個大型地下蓄洪（水）空間（圖 11）及完善的進水及排水管道。



圖 9 日本東京街道的透水鋪面（洪如江攝）



圖 10 日本東京街道透水鋪面近照（洪如江攝）



圖 11 日本東京的一個地下蓄洪（水）空間局部（陳正興教授攝）

過度開發導致自然生態環境崩潰問題的對策

嚴禁濫墾濫伐，減少不必要的開發。必要的開發，採用足用的最小量體並與自然和諧的工程方法。參考洪如江（201712）「土木工程與自然」，洪如江（201804）「土木工程與文化（二）土木工程之美」；洪如江（201902）「土木工程與環境」。

人口爆增及向城市集中問題的對策

針對全球人口爆增問題，至少有三種方法解決：

- 學習中國新疆吐魯番，引水將沙漠變綠地，建立新社區，生產水果及糧食。準此，可以利用廣大的沙漠土地。
- 阿拉伯聯合大公國可以將沙漠邊緣小鎮變成全世界最富裕城市杜拜，證明傳統土木工程結合現代科技可以開發沙漠成為有名的富裕城市。
- 嘗試經濟學人週刊（*The Economist*）2011.12.03 的 Cities on the Ocean（封面，p12 ~ p14）的構想。土木工程應有能力先在海床樹立多支巨柱，支撐規模遠遠大於大西洋北海的鑽採油平台。或以預力混凝土建造浮在海域的巨型平台，然後在其上建設城市。

針對人口向城市集中的問題，倫敦以寬約 20 公里永久綠帶環繞城市，使之不向外擴張成巨無霸城市。並將倫敦東區已經沒落的工業區內居民，保持其社會關係，搬遷到永久綠帶之外新建而高品質（包括就業機會）的花園城市（新市鎮）。

針對台灣鄉村青少年移居城市就讀或就業的問題，應該向新加坡學習，以長期規劃，將已經沒落的鄉村（或空地），建設為新市鎮，使相當部分就業人口在其居住的新市鎮上班，每一新市鎮對外交通都有軌道式捷運系統的便利，方便居民對外活動。

貧富差距擴大，可能引發貧富衝突的對策

南（半球）北（半球）貧富差距的基本原因在於「氣候」與「地理」。地球上最適合人類文明誕生與發展的地區在溫帶。地球的北溫帶（北緯 23.5 度～66.5 度），有一片非常大的歐亞大陸、北美洲大陸、與北非。在南溫帶（南緯 23.5 度～66.5 度）中，只剩狹窄的非洲南端、美洲的南端、澳洲、紐西蘭、一些孤立的小島。南半球的大面積陸地集中在熱帶。人類科技再厲害，也不可能把地球的陸塊重新加以改變。北半球的富裕國家有義務將財富分一小部分給南半球窮人。

科技與工程，在改善世界窮人的生活環境，應該還有更大的努力空間；在這一方面，佛教慈濟基金會已經在做，而且已經很有成就。

在科技與工程能有所貢獻的面向，應該在於提供全民能夠共享的維生系統（自來水、電力、瓦斯、等等）、大眾捷運系統、步道、腳踏車道、公園綠地、公共開放空間、等等基礎建設。

摩天大樓空屋問題的對策

台灣幾個大城的摩天大樓空屋已經太多，公共綠地公園少得荒謬，不該為極少數人想炒高地價發大財而再增建摩天大樓、而使得年輕人（甚至於中年人）因買不起住宅而不敢結婚的國安危機。

應該效法西班牙的巴塞隆納，將政府所有的空屋或空地（例如台北市仁愛路的舊空軍總司令部），改建公共開放空間或公共綠地公園。一個偉大的城市，應該加強發展城市文化（City Culture），而不是把城市擠滿摩天大樓創造更多空屋。

參考文獻

1. Heiken, Doug (1997), Landslides and Clearcut: What does the Science Really Say 網頁。
2. Huntington, Samuel P. (1996), *The Clash of Civilizations and the Remaking of World Order*, Simon & Schuster, NY.
3. Lelieveld, et al. (2015), "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale," *Nature* 525, 367-371.
4. Ting-Chun Lai, et al. (2017), Burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure in Taiwan. *Journal of the Formosan Association*, January 2017, Volume 116, Issue 1, Page 32-40.
5. 其他參考文獻，已在文中列舉者，不在此重複；請見諒。

附錄 A、台灣永續發展的國際評鑑

A1 經濟競爭力

世界經濟論壇（World Economic Forum，縮寫 WEF）評估 2018 年全球 140 國家（或地區，例如香港）的全球競爭力指標（Global Competitiveness Index，縮寫 GCI）排行榜（Rankings），前 20 名依序為：美國（1）、新加坡（2）、德國（3）、瑞士（4）、日本（5）、荷蘭（6）、香港（7）、英國（8）、瑞典（9）、丹麥（10）、芬蘭（11）、加拿大（12）、**台灣（13）**、澳洲（14）、韓國（15）、挪威（16）、法國（17）、紐西蘭（18）、盧森堡（19）、以色列（20）。這 20 個經濟競爭力最強的國家之中；多是社會主義國家，或市場經濟國家。

A.2 環境成就

耶魯大學 2017 年對全球 178 國家所作的**環境成就指標**（Environmental Performance Index）排行榜（Rankings），**台灣排名第 46**。前 15 名依序為：瑞士、盧森堡、澳洲、新加坡、捷克、德國、西班牙、奧地利、瑞典、挪威、荷蘭、英國、丹麥、冰島、斯洛凡尼亞。

A.3 社會進步指標

Wikipedia 2015 的**社會進步指標**（List of countries by Social Progress Index）排行榜前 15 名為：挪威、瑞典、瑞士、冰島、紐西蘭、加拿大、芬蘭、丹麥、荷蘭、澳洲、英國、愛爾蘭、奧地利、德國、日本。台灣未列入排名。

ROBECOSAM 2016 年 10 月的**國家永續性排行榜**（Country sustainability ranking），**台灣名列第 21**，在台灣之前者為：挪威、瑞典、芬蘭、瑞士、紐西蘭、荷蘭、加拿大、丹麥、澳洲、盧森堡、愛爾蘭、英國、德國、奧地利、美國。

A.4 國民幸福感排行榜

根據 Helliwel, J., Layard, R., and Sachs, J. (2019) World Happiness Report，世界 120 國家在 2016～2018 年的幸福感排行榜，其前 10 名為：芬蘭 1、丹麥 2、挪威 3、冰島 4、荷蘭 5、瑞士 6、瑞典 7、紐西蘭 8、加拿大 9、奧地利 10。美國 19，台灣 25，新加坡 34，南韓 54，日本 58，俄羅斯 68，香港 76。🇳🇵

促進南部地區水源聯合運用

增加供水管道 降低缺水風險

確保穩定供水 促進經濟發展

曾文南化聯通管工程計畫

設計理念及工程目的

建置南部地區供水雙迴路系統，完成後可提供80萬噸/日(CMD)緊急備援能力，提升曾文水庫-烏山頭水庫-南化水庫-高屏溪攔河堰供水系統彈性調度能力。

曾惜水源，南得好水



為落實政府廉政效能，營造公平、公正、公開之採購環境，已於108年6月17日成立曾文南化聯通管工程計畫廉政平台，優質水利建設需要您的支持。



經濟部水利署南區水資源局 廣告

<http://www.wrasb.gov.tw>





工程生態檢核

專輯序言

專輯客座主編 施上粟／國立臺灣大學土木工程學系 副教授

傳統土木水利工程科系教導學生許多力學知識，主要目的在培養具備工程規劃設計的工程師，工程規劃設計的主要目的在增加人類社會福祉、提高人類社會安全性、舒適度，所以土木水利工程是為大眾服務的專業領域。但曾幾何時，自詡為大地雕刻師的土木水利工程人員開始被冠以自然環境破壞的直接或間接、實際規劃或被動執行的角色，觀諸近年許多水利工程常遭環境保護意識的挑戰可見一斑，常因此導致原規劃設計方案遲滯無法落實執行，不但浪費國家公帑也常見社會對立。這中間當然有專業領域上知識的落差，也有許多時空背景、法規層面的問題。簡言之，台灣社會正逐步走向更加重視人與自然的和諧共處、自然資源的永續利用，及追求人類社會的永續發展，此變化正符合國際社會疾呼重視生態系統服務功能及生態系統防減災功能的先進潮流，因此單純以工程為本位的思考模式已不敷需求。

那麼如何取得工程與環境保護的平衡？或更進一步的說，工程有否可能為環境保護做服務？答案是肯定的。工程的設計要納入生態保育、環境保護需要相關的生態數據轉化為工程設計參數方為可行，也較能被工程

師所接受，此有賴科學數據支撐而逐步推展，非一蹴可幾。但現行的情況是，因知識及本位落差，大部分工程在規劃設計之初罕有思考生態系統受到的衝擊程度，故行政院公共工程委員會於 106 年召開「公共工程生態檢核機制」共識會議，隨後發文要求各政府機關執行公共工程時應依照「公共工程生態檢核機制」先行評估，並納入一般民眾參與的程序。觀諸工程生態檢核機制，其目的是期望能在工程規劃之初就小心避免不必要的生態干擾或生態破壞，若非不得以需有相關工程措施，也盡量在生態系統服務功能的角度下，展開生態系統的修復或補償，以落實生物多樣性保育與維護生態系統服務功能。此可謂立意良善，實際上也可能降低工程因遭抗爭而無法落實所衍伸的時間及財務成本，但工程生態檢核在實務推動上仍有許多挑戰需要克服，能否達致預期目的也不無疑慮。本專輯即在此理解下，邀請數位近年在第一線參與工程生態檢核的研究人員、生態調查人員、工程人員，就其參與過的生態檢核案例提出看法及論述，希望拋磚引玉引起重視及迴響，或能進一步引出工程生態檢核機制的滾動式檢討策略。





河溪工程生態檢核初探

胡通哲 / 國立臺灣大學水工試驗所 副研究員

本文進行河溪治理相關工程的工程生態檢核探討。文初闡明健康的河溪生態，具有承受干擾的恢復能力，不論是洪水干擾或人為工程的干擾，並以蘇澳鎮圳頭坑溪為例，說明在梅姬颱風洪水土石流的天然干擾後，魚類數量恢復時間為3年，並期許治理工程的恢復期，應小於3年。本文並以規劃設計階段的河溪治理生態保育策略（迴避、縮小、減輕、補償），就各項保育策略，舉例說明。文末以現今的生態成效評估要求，說明如何在有限的計畫期限內，達成量化評估的工作，並據以反饋到規劃設計或施工上。

前言

河溪工程生態檢核可略分為核定、規劃設計、施工及維護管理四個階段，每個階段做法各有不同，若將河溪治理工程視為人的心臟血管阻塞（通洪斷面不足）而進行治療，在核定階段，先進行體檢（檢核）以先瞭解河溪整體，是要進行服藥（非工程手段）或手術（工程手段）處理，有無特別需要注意的地方，若核定之後決定要進行治理，則進入規劃設計階段；此階段宛如擬定手術計畫，規劃設計上應注意迴避、縮小、減輕、補償等生態保育原則，以維護河溪生態環境最大利益為目標；施工階段，宛如進手術室，應落實設計階段擬定之各項生態保育措施；完工維護階段，宛如術後的照護，需進行治理工程的追蹤評估與檢討。

現行的河溪治理相關工程，通常是通洪斷面不足、保護人民生命財產安全而進行，但往往因做了不符合生態保育原則的規劃設計，肇致一些批評，有些位於高度敏感地區的河溪治理工程案，甚至在保育團體的抗議中，做了大幅度的轉彎或戛然而止，虛耗政府單位、設計單位（顧問公司）、施工單位（營造廠）三方的時間精力。

目前工程生態檢核作業事涉五方，包含業主、顧問公司、營造廠、工程生態檢核單位、NGO或保育團體。現行的做法，加入工程生態檢核單位（第四方），

冀望可在提案或規劃階段，及時發現問題並修正。本文著重於河溪治理工程生態檢核的時候，所可能發生的問題與對策進行探討。

河溪的干擾

健康的河溪生態，應具有干擾的恢復能力，干擾分為人為干擾與天然干擾，在臺灣的河溪受到最顯著的天然干擾，應屬於颱風伴隨的洪水，而在進行河溪治理時，被視為一種人為干擾，如何規劃設計使河溪在最短時間以自營力恢復生態，是努力的目標。

洪水干擾對河溪生態恢復的時間長短為何？這個問題沒有標準答案，因為每個地區的河溪特性不同、遭遇洪水的規模不同、過去治理工程設施介入程度不同，推論具有侷限性，但或可參考。

以蘇澳鎮的圳頭坑溪為例，這是一條位置接近蘇花改工程白米脊背橋的溪流，過去吾人做過幾年的魚類調查（2004～2013），期間遭遇聖帕、芭瑪、梅姬、蘇拉等大型風災，颱風洪水對水域生態影響最大^[1]，其中以梅姬颱風期間（單日降雨939.5 mm）爆發土石流對河溪生態損害最大，颱風過後土石淤砂將河床堆滿，目測估計河床淤高3～6公尺不等。由於在梅姬颱風前與颱風後皆有調查，將魚類數量調查結果繪製如圖1，梅姬

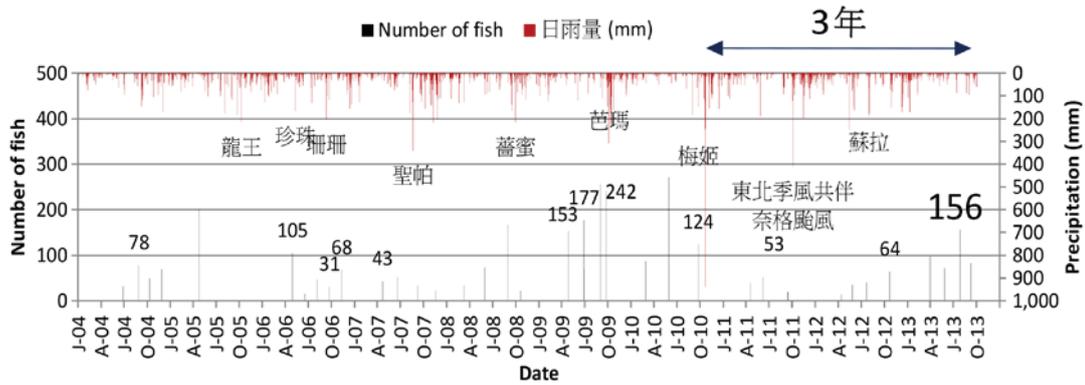


圖 1 圳頭坑溪魚類數量與颱風洪水關係

颱風前 2010/9/23 調查到 124 尾，2010 年 10 月梅姬颱風來襲後魚類數量銳減，到 2013/7/28 恢復到 156 尾，魚類數量恢復程度超越以往，期間大約 3 年，推論圳頭坑溪洪水干擾恢復的時間約為 3 年。

河溪治理之類的人為干擾，應使其恢復生態的時間越短愈好，因此在工程生態檢核，就迴避、縮小、減輕、補償等保育原則，進行評估前，應檢核河溪工程對生態而言，有無恢復的機會。若是要進行生態調查評估成效，2~3 年後進行較妥適，完工後當年度調查結果，較難推論成效。

河溪治理工程，視為人為干擾，有可能造成生態系統不可回復的狀態，應極力避免。

河溪治理生態保育策略

河溪治理工程被視為一種人為干擾，但過去某些三面光的設計，往往造成生態不可回復的狀態，以現在工程生態檢核的觀點，已難再現，但如何規劃設計才能使河溪生態有機會恢復，或至少不要踩到保育團體的「地雷」，事涉生態保育策略、生態專業及水利專業。目前工程生態檢核的相關作業程序，已有林務局的「國有林治理工程生態友善機制作業程序手冊」、水土保持局的「環境友善措施標準作業書」、水利署的「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」可供參考，自不在本文敘述的重點，本文提出一些河溪治理應該注意的保育策略，如迴避、縮小、減輕、補償等相對應的做法或案例。

迴避

迴避包含空間的迴避與時間的迴避，河溪治理工程量體與臨時設施物之設置，應避開有生態保全對象

或生態關注物種的區域，施工過程應避開動物大量遷徙或繁殖的時間。

時間的迴避

以臺灣瀕臨絕種野生動物寬尾鳳蝶為例，它們在每年 5、6 月份由太平山飛往棲蘭，期間會在鳩之澤溫泉停留，雄蝶會停留鳩之澤的多望溪河床吸取溫泉結晶物，為未來繁殖做準備，期間河溪工程若有影響到其棲息停留的噪音與震動，應先停工，重車應停止出入道路，迴避其遷徙的季節，此為時間上的迴避。

空間的迴避

河溪治理工程，對於法定的生態敏感地區，如國家公園、自然保留區、自然保護區、沿海保護區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境等，應特別注意，能迴避盡量迴避，不能迴避者應採縮小策略，或提出減輕、補償措施。

如果設計區域有保育類野生動物，則考量其生態特性，以宜蘭縣三星鄉出水溪為例，在進行整治工程規劃設計時，原有堤岸規劃設計砌石護岸，但在該階段的工程生態檢核工作中，側流坑溝附近架設的紅外線自動相機，記錄到珍貴稀有（第二級）保育類野生動物食蟹獾，食蟹獾常棲息在溪流旁的森林內，覓食時會移動到溪流附近。有鑑於此，設計上迴避其通行的路徑，在安全無虞情形下，護岸開缺口，使其可以由高處天然林內棲地，經由坑溝移動到出水溪後安全返回，完工後景象如相片 1。

河溪中的巨石與大樹，施工階段應盡可能迴避，巨石能夠保留盡量保留，因為它是穩定河床的要角，也是重要的魚類棲息場所（fish pocket）。如果因故無法迴避，也應該縮小範圍。



相片 1 出水溪護岸開缺口（動物通道）

縮小

上述提到迴避敏感物種的棲地，若無法迴避，則採縮小措施，修改設計，縮小工程量體，減少對自然棲地的干擾範圍。

河溪施工過程中的施工便道與土方堆置兩項，對溪流生態有影響，施工便道應縮小，勿開設寬達兩輛重車寬度的便道，土方堆置區域妥慎規劃並縮小。

以坪林的北勢溪支流溪畔崩場地處理工程為例（相片 2），工區位置位於北勢溪上游，屬於水質水量保護區內，不處理的話，土砂會伴隨豪大雨流入翡翠水庫，工程手段有其必要性，而崩場地內有大葉楠樹一株，估計基部到樹冠層的高度與根系深度約略相同，植物根系抓取土壤是坡地穩定很重要的角色，在規劃設計階段，以縮小工區的方式，並圍警示帶避開大葉楠，完工後查看，樹木並未受損，仍維持穩定坡地的功能。



相片 2 崩場地治理工區的大葉楠

減輕

減輕係指減輕工程對環境與生態系功能的衝擊。例如限制臨時設施物對工程周圍環境的影響、保護施工範圍內之既有植被與水域環境、設置動物通道、研擬環境回復計畫等，或採對環境生態傷害較小的工法。

魚道（動物通道）

魚道的建造屬於「減輕」策略的一種，過去對象是魚蝦蟹，現在則擴充解釋為河溪動物通道的一種。有些個人對臺灣山區溪流的防砂壩魚道持負面的看法，認沒有建造之必要（最好是拆壩），本文提出一些看法。

認定魚道有無功效，牽涉到魚道評估的方法是否客觀。魚道評估的方法有多種，例如上下游樣站電捕法、標示再捕法、水中攝影法，吾人認為應以較客觀的方法為主。較合適的魚道功能評估，應為陷阱法，若可將魚類溯上通過路徑，設置只能進入陷阱而被捕獲，較為可行。

過去曾在砂婆礑溪魚道上游設置陷阱，此魚道因內部阻流材磨損嚴重，初判魚類難利用，但經過一週陷阱的放置時間，卻捕獲相當數量的粗糙沼蝦，超出原來的想像，原來雖然魚類難利用魚道，但其他生物仍在利用此魚道。

也有人質疑，設置魚道會使的外來種魚類入侵，曾以過去的調查資料統計，實際上不會造成此情形^[2]。

某些泥砂產量大的山區河溪，因為仍不穩定，若要建造魚道，應儘量建造全斷面型態。過去的經驗，若土砂收支分析顯示該河段屬淤積量大，以全斷面型



相片 3 砂婆礑溪防砂壩魚道陷阱籠捕獲的粗糙沼蝦

態魚道為主，若土砂收支分析為沖刷或淤積量較小，方可考慮進行水槽型態的魚道。而全斷面型態魚道造價較高，扇形魚道為折衷方式，相片 4 為位於八仙山收費站河段的十文溪第四號潛壩魚道，屬於扇形魚道（註：設計上要注意讓水流往中央集中）。

工程單位在規劃設置魚道時，若被要求設置給哺乳動物通行的通道設施，其實大可不必，如果是旁邊有碎石道路或林道，就可讓哺乳類動物通過，野外觀察經驗，常看到山羌往來於林道間，行走其間真的要比走魚道安全多了。

石梁工

河溪設置固床工，為控制縱向坡度的慣行作法，雖然現在工程生態檢核要求固床工與水面之落差不得太大，已經比過去進步，但若採生硬的矩形斷面橫向構造，對水域生態仍有影響的疑慮。

如果仔細觀察未受干擾山區溪流河段的空拍圖，自然河川其實有一道道的天然石梁，這些石梁通常隱沒在水流的瀨區之下，若能採較自然的規劃設計仿照之，例如日本福留脩文的拱型石梁工法，構造上較為自然，石梁下方魚窩地，亦可供魚類棲息（如相片 5），石梁的「輪石」上方形成瀨區，有水棲昆蟲與矽藻，可提供魚類覓食處所。

對拆壩的看法

臺灣的河溪過去建造很多的防砂壩，有些團體主張拆壩，而這些壩，過去確有穩定河床的功能，拆除後會有一段時間處於不穩定的狀態，如何設計維持拆壩的河床縱坡，可使河床加速穩定且生態棲地得到保全，目前已有設計方式可以滿足（不在此贅述）。

如果僅是單純的拆（不論是水平或垂直），而沒有輔助設計，就要審慎。以巴陵壩潰壩後的例子作說明



相片 4 十文溪四號潛壩扇形魚道
（註：該案獲 107 年金質獎水利工程類優等）



相片 5 出水溪整治工程石梁工下游的魚窩地

(如相片 6)，巴陵壩在 2007 年 9 月韋帕颱風侵台期間潰壩，潰壩可被視為拆壩的一種（自然力量拆掉），但後續因潰壩上游端使淤砂坡度因河道下切（incision）、溯源沖蝕（headcutting）使河床下降，導致兩側邊坡裸露，過去長年被土砂掩埋區域，暴露後易被風化而「軟腳」，造成上方邊坡崩塌，反而造成大量的土石進入河床。另外這些原來堆積在河床的細顆粒泥砂土石（細沙、淤泥），在下次洪水可能埋掉下游河床原有的深潭與淺灘，成為「細砂填縫」現象。根據在吾人大漢溪調查結果，下游魚類棲地的魚類族群與多樣性，並沒有因潰壩而增加。另外，巴陵壩上游有一些居民憂心地反映，過去大漢溪的溪水就在他們家門前的腳底下，現在溪水深度卻距離他們家有兩層樓高，也就是河床已明顯下降，後續邊坡可能持續風化，他們擔心自家房屋會滑到溪裡面。

再以蘭陽溪支流的粗坑溪與田古爾溪的魚類調查說明，這兩條溪流經過多年的魚類調查，粗坑溪調查期間為 2002 ~ 2013，田古爾溪為 2007 ~ 2013，調查方法採用電捕法（理論上電捕範圍的魚類均可捕獲），同一組人、相同方式調查。粗坑溪的防砂壩有三座，皆附設魚道，田古爾溪過去有防砂壩（高壩），因為某些因素有段時間未進行治理，因此從蘭陽溪到田古爾溪上游，對魚類洄游需求是暢通的，但是河床極不穩定，上游多處崩塌，只要下大雨，土砂即劇烈移動，本文將溪流調查樣站的魚類數量繪製如圖 2，其中粗坑溪魚類數量明顯比田古爾溪多，魚種豐度與多樣性較多，而田古爾溪 39 站次調查中，有 13 次是完全抓不到魚（約有 1/3 的機率）。推測粗坑溪雖有高壩但附設魚道有作用，而田古爾溪雖然沒有縱向障礙，但棲地不穩定，大尺度河相與棲地的穩定，要比縱向生物通道議題重要。



相片 6 巴陵壩潰壩後景象（2010/6/20 攝）

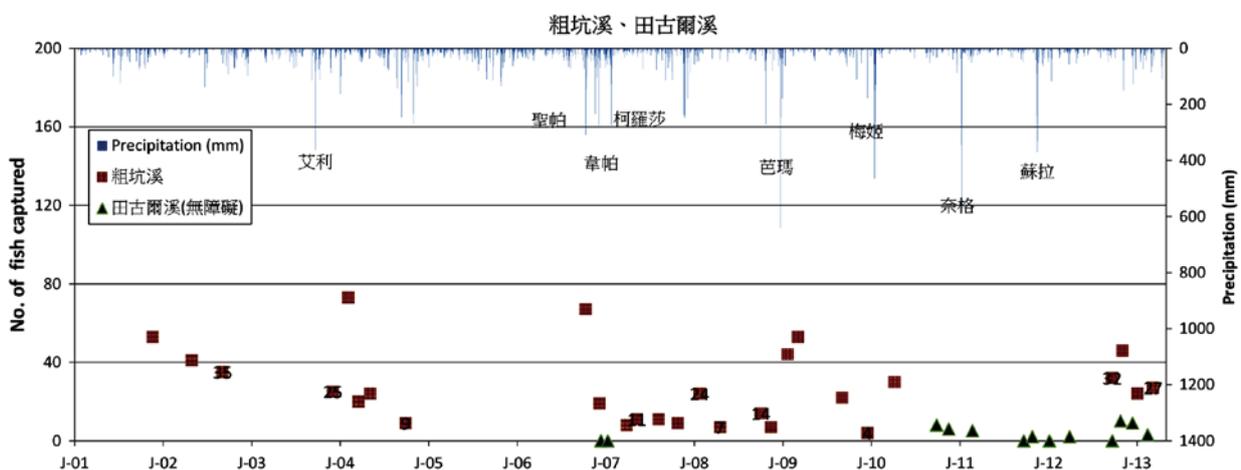


圖 2 粗坑溪、田古爾溪魚類調查數

在進行河溪壩體生態面向改善的檢核時，若河川是屬於 U 型河谷，降低原有壩的高度搭配河床縱坡度的維持（有一些工法可行），兩側的邊坡影響比較小，如果是 V 型河谷，兩側邊坡就是高聳的山壁，要審慎考量。除非是國寶魚的棲地，為生物暢通洄游路徑但大尺度的河相與棲地卻不穩定，造成細砂填縫與土石流風險，可能會持續地調整十數年，是否值得？，該進一步思考。

拆壩是「減輕」的一種保育措施，但本文採保守看待的態度。

坑溝

對於河溪治理工程，河道與河灘地採用對生態環境友善的做法，是一般性的共識，但坑溝與河溪的連結處，容易被忽略，其實該處是很重要的動物通道連結點。進行河溪治理，盡量避免阻斷側向的生物通道，側坑溝往往是山羌、食蟹獾及其他小型哺乳類動物進出河溪重要通道，避免用垂直落差的方式處理。

曾經在颱風期間，看到蘭陽溪的土場附近，大量的臺灣白甲魚（苦花）聚集在坑溝的集水井中，原來它們在颱風，會從蘭陽溪主流，跑到坑溝避難。

護岸

對於河溪的護岸，用地條件許可的話，師法自然的設計較佳。盡量不要用垂直的混凝土護岸，採用 1:1 或更平緩的坡度，在臨水的外側護岸覆土更佳，溪蟹科的螃蟹（如宜蘭澤蟹、灰甲澤蟹），會挖洞築巢約 50 公分深度，若全採用土堤，有被鑿洞漏水的風險，採用內裡是混凝土核心，外面再加一覆土，溪蟹可築巢，亦避免螃蟹挖洞破壞。

落差處理

河溪中的人工垂直落差，在下游端採凌亂拋石減低落差的做法，並非好的做法。原因是凌亂拋石在流量大的時候，雖然可以降低落差，但是在流量小的時候，水流會從石頭之間下滲，原本有機會跳過去的魚類，反而因為水流下滲成為伏流水，適得其反，鰕虎科的魚類更不用說了。

河溪棲地評估

進行河溪棲地評估時，有十項因子：底棲生物的棲地基質、河床底質包埋度、流速水深組合、沉積物堆

積、河道水流狀態、人為河道變化、湍瀨出現頻率、堤岸穩定度、河岸植生覆蓋狀況、河岸植生帶寬度。本文認為評估者應親自到評估對象河溪進行調查，例如穿越線調查量測（可以穿越的條件下施行），沿穿越線上量測每公尺水深流速，以及估算底質的組成，底質可以分成六級或五級，一般是採用六級較多（大漂石、小漂石、圓石、卵石、礫石、砂或更細的黏土粉粒等）。評估者掌握河溪特性，對於上述十項因子中的第 1、2、3、4、5、6、7 等項，較能做出合理可信的評估。

補償

為補償工程造成的重要生態損失，以人為方式於他處重建相似或等同之生態環境，例如：於施工後以人工營造手段，加速植生與自然棲地復育。對於河溪需要實施的情形，如下：

生態基流量

上游取水工程，造成下游河溪斷流最不該，管理機構應該維持生態基流量，這是「補償」措施應做的最低限度，可在工程生態檢核之維護管理階段進行。

相片 7 中的河段受上游取水而水量大減，魚類退縮到快乾涸的水塘，成群的白鷺鷥圍住水塘（好像在討論要如何開始享用大餐），令人印象深刻。

魚類可用棲地可由水理模擬計算流速水深，推估工程案的影響，若會造成可用棲地面積大幅減小，儘早規劃棲地改善方案，作為補償。

施工便道

施工時不可避免要開闢施工便道，而施工便道量體縮小是原則，可採裸露地植生進行補償，完工後河灘地的施工便道需移除復舊，但河灘地到堤頂的便道可做部分保留，作為兩爬類的生物通道，以補償因施工受損的自然生物通道。

替代設施

魚類在颱風洪水時，經常躲避到與溪流相連接的坑溝內，若該處因為進行排水改善而需要拆除，應設置優於原來條件的設施，例如仿自然的生態溝。

生態成效量化評估

目前實施的河溪治理工程生態檢核案，如何在有



相片 7 受上游取水影響而幾近乾涸的溪流（白鶯園水塘成一圈）

限時間（多數計畫為一年期）內得到量化的生態成效結果？若要進行生物調查，往往河溪生態在施工後尚未復原，數量變化不明顯，或有成效不彰的結論。

可運用無人空拍機 UAV 的功能，以無人機 UAV 拍攝施工前、完工後相片，進行解算後取得數值地表模型，另以重要值分析決定模擬的目標魚種，進行魚類棲地適合度（Habitat suitability index, HSI）計算，以比較施工前後 HSI 面積大小，量化生態面向的成效。

過去在大興村錦豐橋的河段曾進行魚類棲地適合度評估，另在大甲溪上游八仙山遊樂區收費站附近的十文溪河段^[3]，也有進行類似評估工作。有賴 UAV 空拍工區範圍的相片，再帶回進行解算，可以產出正射影像、DSM 及 3D 模型，經由二維水理數值模式計算流速與水深，配合目標魚種的適合度，推算每格點的棲地適合度，再利用空間內插方法，繪製二維的魚類棲地適合度空間分布，經由上述的魚類棲地適合度計算檢核的步驟，可得知河溪棲地工區完工後棲地的變化。

若是施工後的河溪復舊未確實執行，HSI 數據即可顯示，即用以反饋到施工監造的改進；若規劃設計的成效良好，使棲地往正面發展，可用來展現成效。

結論與建議

河溪人為干擾（治理工程），有可能造成生態系統不可回復的狀態，應極力避免。治理工程的生態回復，雖難以預測，但以三年為努力目標，亦即在三年後進行「完工後生態友善措施執行狀況評估」相關調查，較為妥適，完工當年度進行生態調查，操之過急。

現有的河溪治理工程，生態保育策略：迴避、縮小、減輕、補償等四種中，以「減輕」策略最多，未來工程規劃設計階段，應多方探討其他策略與措施的可能性。

河溪治理工程生態成效量化評估，除了進行施工前、施工中及施工後的調查，瞭解生物的數量與指數變化，亦可進行魚類棲地適合度 HSI 計算，以水理模擬方式，在短期內得到量化的成果並回饋到工程的施工階段檢核，作為施工監造檢討改進的輔助工具。

參考文獻

1. Chen Yu-Chi, Tung-Jer Hu and Yan-Chyuan Shiau (2013), A study on the Potential Disaster Caused by Precipitation for the Aquatic Ecology of Zuntoukeng Stream in Taiwan, *Disaster Advances* 6(S6): 93-101.
2. 胡通哲、林志明、黃至用、吳文欽（2015），國有林溪流魚道與外來魚種入侵問題之探討，*臺灣林業期刊* 41(3): 67-70。
3. 胡通哲（2018），「東勢處轄內野溪縱橫向構造物多元功能研究」計畫成果報告，林務局東勢林區管理處委託辦理。
4. 林務局（2018），國有林治理工程生態友善機制作業程序手冊（初稿）V1.1。

作者介紹

作者胡通哲現為台大水工所副研究員，研究興趣為河溪生態工程，曾任職於經濟部水資源統一規劃委員會、農委會特有生物研究保育中心等，從事河溪生態相關研究計畫逾八十件，著有 2 本生態水利學的專書「河川廊道棲地復育—理論與實證」、「水域生態工程」。



利用物理性棲地品質驗證 生態檢核 之效益 — 以頓阿巴娜野溪流域 為例

田志仁 / 觀察家生態顧問有限公司 研究員、技術經理

「生態檢核機制」自 2007 年研發推廣，至今已累積 12 年以上之案例經驗。本文應用底棲棲地多樣性、水域環境多樣性、堤岸植被完整度、縱橫向連結性等物理性棲地指標，評估治理形式涵括傳統混凝土工法和考量生態設計的頓阿巴娜野溪流域。初步結果呈現在 6 年觀察期間，該溪在經歷自然災害與人為整治等擾動後，治理工程納入生態考量，其棲地品質與生態功能之恢復速度是為慣行混凝土工程的 2 倍以上，顯示良好操作的「生態檢核機制」有其正面效益。建議未來建立長期資料庫以因應海量的棲地評估數據，研議維持評估資料的質量與水準。

生態檢核是什麼？它有效嗎？

「生態檢核機制」自 2007 年在上游集水區發展運用，歷經 12 年以上之研發、試行、發展與推動^[1,2]，到今日中央管工程與前瞻計畫相關新建工程之全面實施，已成為臺灣在既有環境影響評估制度之外，唯一可將生態納入工程設計之可行制度^[3]。「生態檢核機制」在運用之初，導入工程流程之時機是在計畫核定前後，即將生態需求納入工程案眾多設計考量之一^[1,2]。「生態檢核機制」是臺灣歷經十年之民意、環團、生態、工程與機關等領域，多方協調溝通後，由下而上逐步推動的進步。生態檢核機制的主軸有二，一是生態專業人員參與，另一是民眾參與和資訊公開^[1,2]，其目的皆在於納入多元意見和專業領域，避免在單一視角下產生盲點，造成無法回復的損失。

然而，我們總是在生態大腸花論壇、城鄉河溪論壇等網路社群，甚至是在新聞媒體看到一件件被揭露，無必要性或是過度開挖的野溪治理工程後，辦理機關和工程單位總會出面澄清，說明該工程有辦理「生態檢核」，

所以不會有生態上之問題。當然這些說法往往引起網路鄉民們情緒上的對立和酸言。另外，公部門和其生態團隊，常舉出獲得金質獎或優良農村建設等，集聚資源打造的頂尖個案，呈現在生態上積極之作為，希望獲得民眾掌聲。然而這些獲獎明星身上的光彩，卻和公路上瞥見的野溪經的整治或改造模樣相比天差地別。這些由極端案例所構成的自身經驗，讓人對生態檢核產生質疑和不信任感，然而，我們所看到的案例是普遍的真實嗎？

河溪治理工程在良好的生態檢核的執行過程中，生態專業人員會根據預定工區的生態議題和棲地敏感度，給予相對應的生態友善措施建議^[1,2]，例如預定治理溪段位在森林等高度敏感區域旁邊時，就會建議該溪段在非攻擊岸處，迴避而不佈設護岸，或是以減輕手段設計砌石護岸以增加其孔隙度和柔韌性，最後甚至撒播植生原生草木加速復原以做補償植被損失，促進施工裸露面恢復。同時也會設置動物逃生通道或是緩坡，以供森林中可能潛在的動物上下護岸。然而，許多的作法其實是根據生態學學理、人類對各種動植

物有限的知識、零星的實驗和有限的調查資訊，去整合、推理和假設所獲得的。

筆者最常遵循的程序，是依照棲地－群聚－物種－個體等層次之優先順序，逐層界定議題，在每一個層次，依序擬定迴避、縮小、減輕、補償之策略，並思考對應的實作對策和措施。簡而言之的操作心法，是優先保留棲地，在棲地難以保留時，則設法保留棲地自我恢復潛力。

生態檢核機制整合多方專業領域，釐清災害成因，採取合理的工程治理手段等過程，是否對於生態系統之保護和恢復有所幫助？該怎麼知道在生態檢核中，一連串的努力、溝通、設計、投資和安全風險承擔，最後的確帶來正面的生態效益？在過去 12 年生態檢核發展歷程中，這個部分的研究極少，也缺乏整體之統計數據支持其有效性。在生態界和工程界仍停留在正面與負面個案論述的層級。

因此，筆者為驗證河溪治理工程中生態檢核機制實施在生態層面的效益，彙整頓阿巴娜野溪流流域長達 6 年之觀察和研究，應用簡易快速的物理性棲地評估指標，建立起一套兼具正負控制組，納入時間和空間維度的研究模型，用於比較在不同時期不同工程設計下，物理性棲地的恢復速度^[4,5]。這套研究模型希望未來也可以套用在其他流域或地區，作為在生態檢核中監測物理性棲地恢復之工具。

茶山頓阿巴娜野溪流流域具多元治理型態和豐富生態環境

頓阿巴娜野溪是有常流水之野溪，其位於嘉義縣阿里山鄉茶山村，隸屬於曾文水庫集水區之茶山子集水區，溪流長度為 4612 公尺，集水面積 314 公頃。頓阿巴娜野溪少受人為干擾，水質潔淨，是茶山地區的主要水源。該野溪鄰近人口約 4 百人之茶山村（珈雅瑪部落），以鄒族最多，亦混居布農族與漢人。部落經濟以農業與生態觀光與地方深度旅遊為主，近年以部落公園化為方向，結合頓阿巴娜野溪流流域的生態資源，發展出獨特原民文化和生態主題的民宿村（圖 1）。

頓阿巴娜野溪曾在 2009 年莫拉克颱風期間，最大三日累積降雨量達 2,704 毫米，在超過 200 年重現期距下，引發土石流災害，造成溪床淤積、河床抬升、流心擺盪不穩，導致兩岸嚴重沖刷及橋梁中斷，危及部落生財產安全。

莫拉克風災後，行政院農業委員會水土保持局南投分局與阿里山鄉公所，為保全部落、茶山國小與嘉 129 線道路等重要民生目標，在 2010 年至 2013 年間，在頓阿巴娜野溪投入 7 件整治工程，包括清疏工程、第一至第五期整治工程與上游崩場地處理工程等，以穩定河道，防洪導流，維持水源與保護下游聚落安全。並依各階段需求採用多樣化工法設計（圖 2）。



圖 1 茶山村珈雅瑪部落，生態旅遊和體驗是其重要經濟來源



圖 2 頓阿巴娜野溪各期整治工程位置、明細與現場概況

第一期至第三期整治工程（2011 年），為災後的即時搶災救險工程，避免災害擴大，採用傳統混凝土防砂壩與固床工之設計形式治理（圖 3），未考慮生態面向，也沒有執行生態檢核，本文中稱為負控制組。

前三期整治工程之後，為了兼顧在地生態資源之保育與永續利用，後續治理工程設計在防災之外，同時導入生態概念。因此第四期整治工程（2011 年）開始諮詢生態專家，使用砌石護岸作有限度治理，保留大部分自然溪段、岩盤隘口與瀑布，並鋪設稻草蓆保持土壤濕度，部分區域灑播草籽，加速濱溪植被生長。後續在原防砂壩上開口降低落差改善，現已成為當地民宿漂浮戲水生生態體驗之重要景點。

第五期整治工程（2011 年）進一步納入部落意見，以近自然的生態工法建構（圖 4），利用現地塊石

全段砌石並保留現地巨石，維持塊石底質和水流複雜性，營造多樣性棲地與自然景觀，保留生物通道與設置緩衝帶。在歷年枯水期，相較於第一期至第四期整治工程的溪水伏流或斷流，仍有地下水滲出形成地表逕流水，維持水域生態運作。

第六期整治工程（上游崩場地處理工程，2013 年），水土保持局開始導入生態檢核機制^[6]，在工程設計初期即邀集生態團隊參與，提出 7 項生態友善策略，包括迴避周邊森林與大樹、縮減固床工數量，與設計高通透性梳子壩、利用現有便道、導水維持地面逕流與加強沉砂池等方式，限縮混凝土使用與開挖面，減輕工程之生態衝擊，加速環境恢復速度（圖 5）。

第四期、第五期、第六期整治工程在本文稱為生態作為組，至今已融入溪流地景中，難在空照圖中發現。



圖 3 第一期至第三期整治工程是負控制組，以傳統工法施作



圖 4 第五期整治工程以近自然的生態工法建構



圖 5 第六期整治工程設計梳子壩，水陸域棲地恢復快速

頓阿巴娜野溪歷經多年災害治理，展現出臺灣難得的多元治理形式，同時呈現了野溪治理工程在不同階段的思維與工法，依其特性將其分成傳統工法區（第一、二、三期）、生態作為區（第四、五、六期）與自然溪段。水土保持局指定頓阿巴娜野溪為水庫集水區保育治理工程之示範區，獲得 105 年國家永續發展獎（圖 6）與 101-102 年優良農建工程獎。

茶山部落周邊食宿便利，儼然成為活生生之水土保持工程和生態教育、研究的重地。筆者藉其地利與方便，結合當地生態民宿，多次協助政府機關、大學和民間環境團體，在頓阿巴娜野溪辦理教育訓練和生態調查訓練，宣導生態保育之餘，同時活絡地方經濟，促進部落保育環境之熱情（圖 7）。



圖 6 國家永續發展獎在頓阿巴娜野溪現場評選

如何描述和量化一條野溪的棲地和生態功能？

生態檢核應用物理性棲地評估指標，描述和量化河溪的物理性棲地品質和相關生態功能，在歷年執行過程中，作者調整現行「河溪棲地評估指標」，就台灣地理環境條件和針對河溪治理工程的評估目的，作在地化與本土化之調整，以更完整呈現臺灣溪流生態的真實面貌。

「河溪棲地評估指標」是一快速評估河溪物理性棲地之方法，參考美國環境保護署針對溪流物理性棲地品質所制訂的「快速生物評估準則」(Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers) 第二版第五章^[7]所列之棲地評估方法，原用



圖 7 臺南大學生態暨環境資源學系水生物學戶外訓練課程

於支援在溪流中執行以魚類、底棲無脊椎動物（水棲昆蟲）和附著藻類為指標生物之「快速生物評估」法時，描述物理性棲地之方法。這個方法廣泛應用於美國的州級水資源單位。

在臺灣，則應用「河溪棲地評估指標」於評估河溪治理工程之生態影響上。水利署於 2016 年公告「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」即納入^[3]，該手冊是臺灣目前最完整之生態檢核規範，工程會的工程生態檢核機制^[8,9]也引用之。「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」^[3]利用「河溪棲地評估指標」高坡度部分作為快速棲地評估方法，成為制式工作項目之一。其用於評估野溪治理施工前、中、後之物理性棲地品質，可明確指出工程的影響，是屬於短期效應或是後續需要追蹤改善的重點，同時也提供工程設計和教育訓練之指導原則。

「河溪棲地評估指標」在臺灣之應用，常遭遇的一個問題，是該指標系統源於美國環境保護署^[7]，根據北美大陸之溪流「快速生物評估」需求所發展。其 10 項次指標項目、評分尺規與原則，是否適用於臺灣高山島嶼治理工程導向的需求？因此筆者在 2016 ~ 2017 年即協助水土保持局釐清評估需求愈範疇，建置適合臺灣河溪治理工程的生態評估指標^[4,5]。參考「河溪棲地評估指標」之精神和評量尺規，依臺灣河溪環境在地特性、治理工程特性和常見生態議題，歸併具相依關係之次指標，同時新設計「縱向棲地連結性」、「橫向棲地連結性」、「溪床裸露寬度變化」等新設指標，建立「野溪治理工程生態回復追蹤評估指標」，以強化評估河溪治理工程生態影響的應用潛力。

「野溪治理工程生態回復追蹤評估指標」使用 10 項次指標評估與描述河溪物理環境的四大面向，包括底棲棲地多樣性、水域環境多樣性、堤岸植被完整度、縱橫向連結性與河相變化等。應用次指標量化評估河溪物理性棲地的品質時，可視現場調查時目視可及約 100 公尺溪段內之環境狀況，依各項次指標所提供的評分尺規與原則，分別給予 0 ~ 20 分的評分，10 項加總積分最高 200 分。

「野溪治理工程生態回復追蹤評估指標」具科學性程序整合之評估方法，其優點是以環境利益為基礎，量化河溪的棲地品質，快速回報大量調查點的調查結果給決策者，由結果看出河溪環境需要提升改善的項目，以轉換為管理方針與公共政策。在實務上我

們也彙整各項次指標之精神與其對應的河溪物理環境重要面向，除了回饋保育對策及提供治理工程設計方案上，生態議題鎖定和對應友善措施建議之具體參考項目，也是相關河溪生態治理工程教育訓練，和民眾宣導之課程設計重點。

底棲棲地多樣性

底棲棲地多樣性可由「底棲生物的棲地基質」和「河床底質包埋度」2 項次指標描述，當多樣性底棲棲地比例越高，則無機性自然基質如卵石、礫石、塊石、大石和巨石等，和有機性自然基質如落葉、枝條、樹幹等越多，代表溪床有越充足多元的微環境和孔隙度，提供水生昆蟲、鰕虎、爬岩鰕與蝦蟹等底棲水生生物棲息、覓食、繁殖、躲藏、避難，可以供養越豐富多樣的水生生物越豐富。

底棲棲地常因河溪治理工程施工過程中，為了取用現地自然資材、維持通洪順暢或完工後驗收之美觀等原因，往往移除、打除溪床大石巨石與塊石，或是整平河道使之渠道化，最極端者是混凝土化後形成為三面光樣貌。或是在自然災害或施工過程中大量土砂進入水體，增加水體濁度，導致自然棲地基質與其中孔隙，因沉積物或土砂沉積覆蓋包埋而消失。以上自然或人為過程，均可能導致理想棲地基質的種類、面積與數量縮減，易造成棲地單一化、基質和底棲棲地多樣性降低，溪流緩衝抵抗人為與自然擾動能力降低等後果，溪床基質之生態服務功能因此衰減或消失。

生態檢核發已發展出較具生態效益之方法，避免對底棲棲地多樣性負面影響之作法，依序如下：(1) 優先保留自然溪段及其穩定多樣化的石質底質結構（迴避）；(2) 避免移除、整平、混凝土封埋溪床（迴避）；(3) 從源頭控制土砂來源，降低施工過程中開挖擾動地表之範圍（縮小），避免土砂堆置溪床，或將之推入道路下邊坡野溪（減輕）；(4) 強化土砂與濁度管理，如設置土砂控制設施或措施如沉沙池、施工遠離流水區等，防止土砂進入下游溪床（減輕）；(5) 完工後以拋鋪塊石或其他方式復原或營造基質多樣性等（減輕）。

水域環境多樣性

水域環境多樣性可由「流速水深組合」、「河道水流狀態」和「湍瀾出現頻率」3 項次指標描述，包括了不同流速和水深的排列組合如淺瀾 ($v > 30 \text{ cm/sec}$, $d < 30$

cm，急流淺水，激起水花）、淺流（ $v > 30 \text{ cm/sec}$, $d < 30 \text{ cm}$ ，緩流淺水無水花）、深流（ $v > 30 \text{ cm/sec}$, $d > 30 \text{ cm}$ ，急流深水）、深潭（ $v < 30 \text{ cm/sec}$, $d > 30 \text{ cm}$ ，緩流深水）、岸邊緩流（ $v < 30 \text{ cm/sec}$, $d < 10 \text{ cm}$ ）等 [10]，也考慮水量或基流量之多寡，和溪段中湍瀨的出現頻率。當以上各項因子交錯的複雜度越高，野溪就越可能容納各種物種如魚、蝦、蟹、水棲昆蟲等，和不同大小的成魚和仔魚。仔魚與蝌蚪利用岸邊緩流區覓食並躲藏掠食者，溪流中上層魚類偏好緩流深水與急流深水的空間，底棲魚類如爬岩鰍則偏好急流淺水等湍流棲地，偏好清潔性或好高溶氧的水生昆蟲也聚集於這區。

河溪中水量或水位高低的程度，直接影響水域生態系存續，當水量水深足夠時，水生動植物將有足夠生存的空間，可降低其生存壓力，增加其多樣性和豐多度，即生態基流量之概念。溪流水深應當維持在水生生態系需求之最下限，避免伏流斷流等導致溪河生態系崩潰消失的極端狀況發生。當旱季水深不足時，深潭或水窪可提供水生生物避難所，生態價值相對重要。

在河溪治理工程之設計上，往往以固床工和防砂壩，拓寬河道調整溪床坡降，當坡降變緩，淺瀨與深潭即可能因為土砂淤積而減少或消失，最極端之狀況是溪床渠底混凝土化。在施工過程中，常為了取用現地塊石等自然資材、通洪順暢或完工後驗收之美觀等，移除可激起水花的溪床塊石，打碎可以形成深潭的大石巨石，或是整平河道使之渠道化，形成淺流或漫流之環境。以上影響可能造成水流平淺、瀨潭消失、流速水深組合貧乏等單調化現象，最後導致水域環境多樣性喪失。

河溪常因眾多原因而斷流，包括壩體的上游鬆軟土石堆積後，地表逕流走地面下而伏流，或是上游有截流、分流及引水等人為取水工程，或是枯水期自然乾涸，或是淺薄漫流因蒸散或入滲等。當評估溪段乾涸斷流，表示溪流生態系已然崩潰消失。

水域環境多樣性之維持與復原方法，依序如下 (1) 優先保留全段或部分天然溪段或少見的水域棲地類型（迴避、縮小）；(2) 保留溪床 2 ~ 3 公尺以上大石或塊石不移除打除（迴避）；(3) 設計圖面維持河道自然起伏線不整平，或是設計 V 型斷面、低水流路、深槽導溝等集中水流避免漫流溪床（迴避）；(4) 以近自然工法設計和復原營造，參考施工前溪流之特徵，利用塊石拋鋪、砌石、弧形固床工、多階、深潭等自然工法設計，設計合理瀨潭頻率等方法加以改善等（減輕）。

河岸植被完整度

河岸植被完整度可由「堤岸的植生保護」和「河岸植生帶寬度」2 項次指標描述。涵括了堤岸濱溪植被帶的組成層次、型態和佔治理工程之長度比例和寬度。濱溪植被帶的重要性，在近年的研究中逐漸揭露，濱溪植被帶是溪流生態系及陸域生態系間之緩衝過渡帶，具重要的生態功能和高生物多樣性，包括了連結水陸域生態系統、制洪蓄洪涵養水源、穩定堤岸保持水土、減少土壤侵蝕、調節養分循環、提供遮蔽穩定水溫水質、提供溪流生態系食物與能量來源、緩衝人為干擾與污染等。濱溪植生帶的生態敏感度，以多層次最優，喬木優於灌叢，草本次之；在林相上是天然林優於人工林，竹林、果園次之，草生地較差，道路建物與混凝土鋪面最差。

濱溪植被帶同時也提供動植物的棲地、避難所和縱橫向移動通道。許多動物如翠鳥、兩棲爬行類、小型哺乳類、蜻蛉、螢火蟲等豐富之生物，仰賴濱溪植被帶之庇護。食蟹獾是濱溪帶水陸連結功能的重要指標動物，其在陸域棲息，在水域環境覓食，頻繁進出濱溪植被帶與溪流間，是常見於臺灣野溪的哺乳動物。溪流型蛙類與龜鱉類在溪河環境棲息，在濱溪陸地繁殖，缺一則將阻斷溪流型蛙類生活史，導致其難以存續。

濱溪植被帶在工程領域，往往被視為沒有經濟效益的草生荒地或雜木林，而在河溪治理過程，因設置施工便道與土砂機具堆置場、疏浚土砂回填於護岸上、施工超出預定施工範圍以外、工程慣行的驗收前整理和地方民眾藉工程之勢進入開發利用等等原因而被移除。治理工程清除邊坡植生、溪畔林地與大樹後，導致多層次自然濱溪林地面積與棲地核心區域縮減或消失，濱溪緩植生帶提供的緩衝功能和連結水陸域棲地功能，也常因施工便道或農地等人為設施沿溪縱布而阻斷。濱溪植被帶在完工後的混凝土量體上植被難以生長回復。

治理工程對濱溪植被帶之負面衝擊，可藉由良好的治理工程設計與施規畫下而有效降低，依序如下：(1) 工程設計時優先採迴避原則，保留層次完整涵括喬木、灌叢和草本植被的良好濱溪帶；(2) 限制濱溪帶之開挖面積或限縮護岸回填區，保留其中大樹母樹，保留後續恢復所需之多樣化微棲地和植物種源（迴避、縮小）；(3) 施工便道與堆置場所設置優先使用既有便

道、空地和生態敏感度低之區塊等（迴避、縮小）；(4) 如果因工程或安全之必要性，而不得不移除濱溪植被帶，則可採補償之原則，規畫有效之植生復育計畫，灑播原生適生之草種、灌木和喬木，甚至實行二次植生，以確保完工後裸露面有機會在數年後恢復原生複雜多層次之理想濱溪林樣貌；(5) 設計多孔隙材質護岸，或在溪床留存灘地或回淤區提供濱溪植被生長，均有利植物生長，恢復植生帶寬度（減輕）；(6) 避免因驗收或長官視察作過度的坡岸整理（迴避）。

縱向棲地連結性

「縱向棲地連結性」次指標，用於描述河溪縱向廊道暢通與阻隔程度，量化溪流水生生物包括魚與蝦蟹類，在評估溪段中縱向溯游所會遇到的最大阻隔，以量測垂直落差呈現。自然野溪落差低，因為塊石交疊形成連續灘潭和各種流速水深組合，足以提供水生生物為了生存、生育、避難、迴游所需之順暢縱向移動通道，尤其是迴游生物如鱸鰻、日本禿頭鯊、湯鯉、枝芽鰕虎、毛蟹與陸蟹等，需依賴良好的縱向連結以完成其生活史。因此除非遇到瀑布等特例，縱向阻隔在自然野溪並不常見。縱向順暢的溪流溪床，也可以提供陸生生物覓食、移動與逃生之縱向路徑。從更大的環境與生態學尺度來看，在臺灣切割破碎之環境條件與極端降雨與洪水的氣候條件下，溪流良好的縱向連結性，可以維繫上下游水生生物族群之連結，流域中不同族群之個體可以交流、擴散、遞補，以分散物種存續所面臨之環境、氣候或人為干擾等風險，在基因層級亦可避免長期族群隔離所造成之遺傳品質劣化。

臺灣河溪經過連年治理，上下游主支流布滿防砂壩、固床工等人造橫向構造物，其落差往往數公尺以上，形成溪流水生生物縱向移動過程中，一道到難以躍過的牆。高聳的防砂壩與固床工往往直接截斷溪流，限制水生動物縱向移動。枯水期時缺乏雨水補注，農用截水，加上橫向構造物設置其上游因鬆軟土砂淤積，溪水往往伏流入地而形成斷流現象，也是造成水生生物之縱向阻隔的原因。因此應予以正視和納入評估。

河溪中橫向構造物對水生生物族群與棲地之縱向阻隔，對於溪流魚類有以下影響：(1) 阻斷迴游性生物之生活史：當迴游性生物在不同生長階段，往來河海之間繁殖與棲息之需求被阻斷，則族群難以存續，尤其是在

目前迴游生物仍是豐富的東部、東北部與東南部河溪，縱向通道之維持至為重要；(2) 造成河溪棲地破碎化：限制溪流內各棲地水生生物族群間之交流與補充，也限制水生生物可以利用的溪段、空間資源與分布範圍，在學理上容易造成各族群基因層面之劣化、單調化和極端化；(3) 降低水生生物之活動空間與避難選擇：水生生物在颱風洪水或極端降雨來襲前，為避免被洪水沖走，常朝上游或是支流移動避難，當避難路徑被阻斷，則可能影響族群在災害中的存續。

「縱向棲地連結性」之評估標準建立，是彙整相關研究數據，歸納臺灣常見原生魚類之跳躍高度以 50 公分為限。當橫向構造物落差低於 50 公分，則評估為無或低縱向阻隔；當落差高於 50 公分以上，則可能對水生生物游溯產生縱向阻隔，視流量多寡而定；當落差高於 100 公分以上時，則原生魚類難以通過。

根據聯合報願景系列「尋找溪望救水路」專題，「回家是一條撞牆之路，魚群擱淺的悲慘命運」報導，其引述了人禾基金會於 2018 年 3 月北部地區豐水期時，在貢寮野溪針對固床工縱向阻隔的觀察調查、居民訪談與影像紀錄。這次調查記錄了魚類前仆後繼試圖跳躍過約 1 公尺落差之固床工至上游產卵的過程，結果跳躍上溯的魚類全數撞上固床工壁面，無一成功躍過。筆者從拍攝影像中估計，在水量豐沛，魚類可以衝刺之潭區深度充足之下，12 公分左右之溪哥、苦花、馬口魚等常見溪流魚類，跳躍高度可達 70-80 公分，仍難以達到一般固床工之落差。

較友善的防砂壩與固床工設計，可提供水生生物游溯與動物縱向通行。維持基本「縱向棲地連結性」的生態友善措施，依序如下：(1) 優先從整體流域考量橫向物設置必要性，避免設置新壩（迴避），進而拆除或改善既有舊壩；(2) 其次是精算工程與安全需求，盡可能減少壩體數目與壩體高度（縮小）；(3) 然後再使用較友善的防砂壩與固床工設計如開口或高通透壩體設計、或連續式低壩取代高壩、降低落差等減輕縱向阻隔之設計，可提供水生生物游溯與動物縱向通行；(4) 最後才考慮斜坡、魚道、疊石等輔助設施（減輕）。

橫向棲地連結性

「橫向棲地連結性」1 項次指標，用於描述溪流水陸域間之連結功能和阻隔程度。主要是針對縱向構造

物如護岸，或施工便道建置、濱溪植被或溪畔林移除等，以上行為對於周邊動物，尤其是依賴水陸域連結之食蟹、龜蟹、蛙類與陸蟹等，可能阻隔切斷其進出溪流與陸域棲地之橫向通道。「橫向棲地連結性」指標以量測評估溪段的坡岸／護岸坡度和佔溪段之比例而呈現。在自然野溪中，自然的溪流坡岸形成多樣的坡度，可供動物上下通行的緩坡與路徑選擇多，兩岸濱溪植物帶茂密完整，可提供動物順暢橫向移動通道與隱蔽環境。因此除非遇到岩壁等特例，橫向阻隔在自然野溪問題不大。

然而在河溪治理後，各型護岸坡度往往近乎垂直，落差可達數公尺，延綿溪岸，形成動物難以跨越的長城。傳統型式的護岸，切割阻隔水陸域棲地與通道，不但阻斷動物回家的路，同時也阻隔了人的親水機會，增加急難救援之難度。

以護岸為主的人造縱向構造物，對濱溪動物有以下影響：(1) 切斷動物進出水陸域之路徑：尤其是須從森林進入溪流覓食的「橫向連結性」指標生物食蟹獾，受護岸設置影響最大，其他如白鼻心、鼬獾、臺灣野豬、麝香貓、山羌，甚至是梅花鹿等，也是筆者在溪畔設置紅外線自動相機時，常拍攝紀錄之哺乳動物，這些動物皆有進出水陸域間，以滿足棲息、覓食、飲水、避難等需求，而現行傳統高陡之護岸設計，往往限制這些動物利用溪流之需求；(2) 阻斷濱溪動物之生活史：棲息於溪流的蛙類和龜蟹類，仰賴濱溪陸地作為繁殖場，棲息於森林底層的陸蟹，則需以溪流為通道降海繁殖，當這些生物之生活史被護岸阻斷後，影響其族群存續；(3) 人造設施形成陷阱區：小型動物如小型哺乳類、蛙類、兩棲爬蟲類或龜蟹類等，常受困於護岸和固床工之間，或周邊相關的人造設施如靜水池、消能池、U型溝等，這些人造設施如果沒有設計逃生通道，將形成陷阱區，造成動物受困死亡，或是大水時無路逃生。

較友善的護岸設計與施工管理，可保留動物橫向通行路徑。生態友善措施依序是：(1) 優先從整體流域考量護岸設置必要性，避免設置新護岸（迴避），甚至拆除或改善既有舊護岸；(2) 其次是精算工程與安全需求，盡可能保留自然坡岸，減少護岸長度，避免連續性混凝土垂直護岸（縮小）；(3) 限縮護岸上方之回填區

與裸露面，可促進植被恢復與掩蔽處（縮小）；(4) 然後再考慮使用較友善和多樣化的護岸設計，如砌石等多孔隙工法、緩坡、低矮化設計、善用支流匯口作為橫向通道等（減輕），在海拔 800 公尺以下，另需考慮攀爬能力較差的龜蟹類需求；(5) 在材質選擇上，自然邊坡優於乾砌和其他多孔隙設計，其次是漿砌，混凝土最差（減輕）；(6) 最後手段才是設置動物坡道或是通道等輔助設施（減輕）。

河相改變程度

利用「溪床寬度變化」這項次指標評估野溪治理前後，溪床寬度的改變比例，描述河溪治理工程對河相之改變程度。溪床寬度除了直接影響溪流河相、水域棲地多樣性與功能外，同時反映在溪床的兩岸植生罩蓋度與營養累積程度上。溪寬較窄，植生罩蓋度佳之溪流，水溫偏低也相對穩定，降低溪床因曝曬而高溫之機率，有助於良好水域生態維持。溪寬較窄，植物有機碎屑容易進入溪流食物鏈中成為食物與能量來源。溪床寬度亦反映了動物從兩岸森林移動往來至流水區之距離，其間距離越小，動物利用溪流移動的困難度與風險越低，友善度與可利用性越高。

河溪治理為了確保有足夠通洪空間疏排洪水，往往根據通洪計算結果，拓寬河道溪床至不會溢淹致災的寬度，完工後溪床往往寬廣裸露，大幅改變溪流的棲地與河道樣貌，影響溪流生態存續與恢復。在經驗上，河溪上游與支流之坑溝與溪溝（寬約 5~6 公尺），拓寬後溪床寬度的增加的比例越高，往往可達原溪床寬度之 3 倍，在溪幅稍寬之野溪（寬約 8~10 公尺），拓寬幅度平均約為原溪床寬度之 1.5 倍。如果有滯洪空間等之特殊考量，則拓寬幅度更大。溪床拓寬幅度越大，對於水域棲地環境、濱溪植被、高灘地植被、溪中小島等之移除面積越大，溪流之生態功能在施工後往往改變、消失而不易恢復。

為鼓勵與提醒工程設計人員避免過度設計，回歸最低限度之合理近自然溪寬，建議減少「溪床寬度變化」的生態友善措施，依序如下：(1) 優先從整體流域考量溪床拓寬之必要性，避免於棲地與生態功能良好之溪段施工（迴避）；(2) 其次是精算工程與防災安全需求，盡可能降低溪床拓寬幅度（縮小）。

應用「野溪治理工程生態回復追蹤評估指標」於頓阿巴娜野溪流域

筆者應用「野溪治理工程生態回復追蹤評估指標」10項次指標，評估頓阿巴娜野溪流域中各期治理工程的物理性棲地品質，以瞭解治理工程對野溪棲地之影響程度與恢復速度。

蒐集彙整頓阿巴那野溪流域 2011 至 2016 年間歷次現勘與調查所累積之資料 [4-6,11-13]，重新檢視評估數據，量化評估不同工程設計之物理性棲地品質。嘗試從時間與空間尺度，建立頓阿巴娜野溪的物理性棲地基線和恢復模型，作為各機關後續建立溪流基礎生態資料時之可行範例。

如何比較不同時期不同設計工程下生態之恢復速度？

頓阿巴娜野溪各期整治工程，施作之年份和終始時間不一，難以直接比較，必須經過標準化處理方能互相比較。因此筆者嘗試將開工到竣工這段時間，壓縮成一個時間點，稱為施工階段。從經驗上論，在施工階段除非具有極優良之工程設計與施工管理，在臺灣正常施工過程中，因整地、布設施工便道、土砂機具堆置場、工程施作、伏流斷流與驗收前整理等，與各種難以控制之行為如超越河裡施工範圍或不當開挖等影響下，施工階段期間各項物理性指標評分往往低落，因此筆者在呈現暫時將這施工階段壓縮，視其為一個時間點和經工程擾動後棲地恢復的起始點。

在施工階段以前，預定施工溪段因尚未受到人為干擾，因此可視為自然溪段正控制組；在施工階段以後，則可觀察不同治理工程設計下溪段之指標值恢復速度。因此可以藉上述方法，建立頓阿巴娜野溪物理性棲地品質之自然波動幅度，和在各種工程設計思維下，產生的不同恢復曲線和模型。這些資料，除了可以用以呈現生態檢核的效益，也用以預測在這條野溪中其他工程的恢復潛勢。

圖 8 是將頓阿巴娜野溪各期整治工程之 10 項指標評估值，利用散點圖比較各工程的數值，在時間維度中之升降與恢復狀況，以描繪各區域或溪流在自然狀態與受干擾後之恢復基線，以提供人為改善與未來周邊治理工程參考。其中 Y 軸是施工前後之時間序列，以月分作為基本單位，各工程竣工後觀察 3~6 年；X 軸則是各工程在每一個評估時間點的 10 項指標評估值的加總積分，最高 200 分。正控制組為 2 組自然溪段，以亮色實心點表示，各施工溪段施工前之指標值也可視為正控制組之一，其分布幅度表示涵括野溪受各種自然因素影響，包括枯豐水期與季節在內的自然波動範圍；負控制組是未考慮生態之傳統工法區（第一、二、三期），以深色空心點表示。生態作為組則是涵括生態考量區（第四期）、生態工法區（第四期）和生態檢核區（第六期）之溪段，以深色實心點表示。筆者同時將歷次生態調查／勘察中所紀錄之水陸域物種標示在圖中，用以初步瞭解物理性棲地品質與生物棲息／活動間之關聯性。

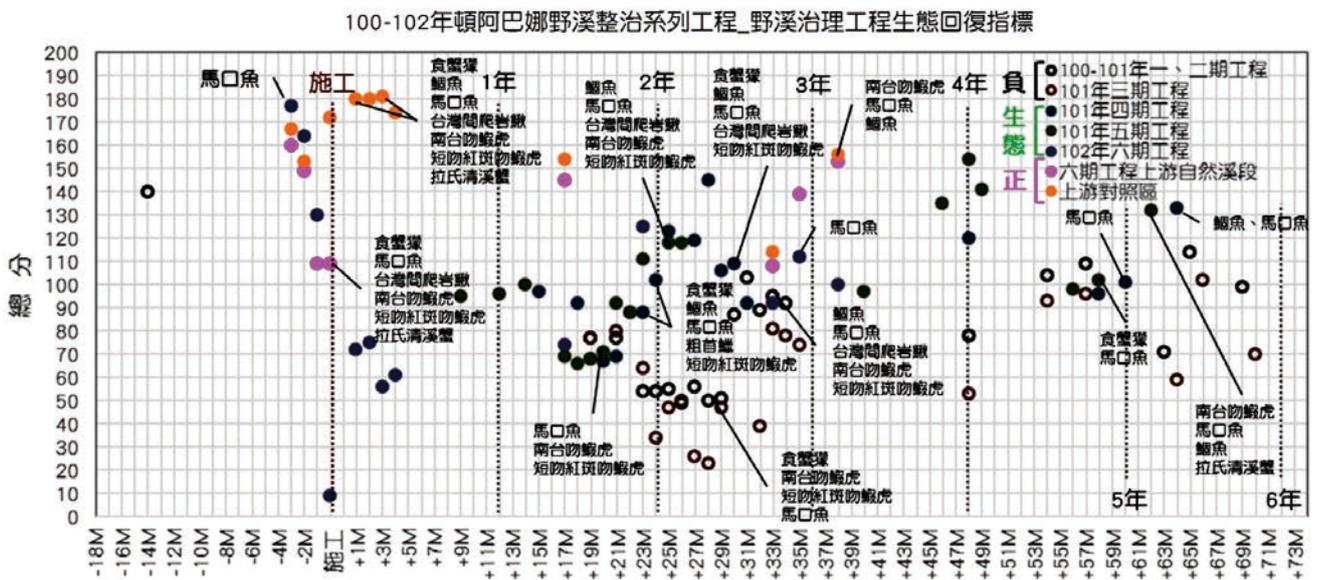


圖 8 頓阿巴娜野溪流域 10 項物理性棲地指標 6 年評估成果彙整

導入生態思維的工程案例恢復速度優於傳統混凝土工法

綜觀頓阿巴娜野溪各工區不同評估時間點，10項物理性棲地指標之總分分布範圍（圖8），顯示各工區在施工前介於130~180分間，和作為正控制組的自然溪段介於110~185分間差異小，可以綜整推估頓阿巴娜野溪物理性棲地總分的自然波動範圍介於110~180分間。當生態作為組或負控制組的總分恢復達正控制組自然波動範圍的低限110分以上時，即可視為恢復至自然溪段水準。

各工程在災後和施工階段，總分降至最低點約10分，可視為物理性棲地品質開始恢復之起點。生態作為組之工程，約需時1年11個月以恢復至正控制組的低限110分，負控制組傳統工法區至少需時4年9個月以上恢復時間。在完工後1~3年間，生態作為組各評估時間點的總分分布，高於負控制組傳統工法區。從以上數據可以證實，執行生態檢核/生態考量/生態工法，導入生態專業思維與設計的治理工程案例，其物理性棲地恢復之速度，高於傳統工法案例。也證實可從不同工程設計與施作方法，預測不同恢復趨勢。

結合物理性棲地指標數據和生物調查數據可歸納出警戒/改善之閾值

生態學是描述生物和環境間交互作用的一門學科，撰文至此，是時候提問本文的介紹的物理性棲地指標所描述的棲地品質，是否可以反映和生物分布或與其行為間之關聯性？

筆者嘗試將歷年觀察和調查野溪過程中紀錄之水生生物和食蟹獾資料^[4-6, 11-13]，匯入阿巴娜野溪各工區各時期指標評估資料中（圖8），希望能歸納出物理因子和生物因子間的關係。頓阿巴娜野溪常見魚類有鯛魚、臺灣馬口魚、粗首鱖、臺灣間爬岩鰍、南台吻鰕虎、短吻紅斑吻鰕虎等，另有拉氏清溪蟹與粗糙沼蝦。結果從圖8中可以發現，無論水生生物或是食蟹獾，在頓阿巴娜野溪之分布有一個約50分左右的下限值，此時仍有食蟹獾、南台吻鰕虎、紅斑吻鰕虎和臺灣馬口魚等出現，低於這個下限值，則難發現生物蹤跡。

筆者歸納物理性棲地指標和生物記錄等資訊後，建議以生態作為組魚類分布總分之下限70分為警戒值，總分低於70分時即需觀察警戒，因物理性棲地之品質下降劣化，可能對評估溪段水生生物造成壓力和

負面影響；總分低於50分整體生物記錄之下限值時，顯示該溪段整體環境條件已不適合水生生物之生存，和支持食蟹獾之覓食活動，如果不是自然因素所導致，則應採取改善行動，降低人為影響，避免棲地品質與生態功能繼續惡化。以上所建議的警戒/改善的閾值，應隨著中長期勘查、記錄和調查的數據累積，而作更精確的調整。

分類個別指標恢復模式估計恢復速度

分析個別指標的恢復狀況，主要可以分成「漸隨時間恢復」、「難隨時間恢復」、「枯豐水期與降雨影響大於工程影響」三種模式。

「漸隨時間恢復」的指標有溪床自然基質多樣性、河床底質包埋度、堤岸的植生保護、河岸植生帶寬度等4項，屬於底棲棲地多樣性與堤岸植被完整度。無論是負控制組傳統工法區或是生態作為組工程，皆有隨時間而正向恢復的趨勢。筆者彙整與估計不同組別在數值上恢復至正控制組最低限所需要之時間，顯示生態作為組工程之恢復速度，遠高於負控制組之現象（表1）。

以溪床自然基質多樣性為例（圖9），第四期工程保留自然溪床底質、第五期工程完工後拋鋪塊石營造石質底質（減輕）、第六期工程縮小工程擾動面、保留自然溪床等措施，皆能保留溪床自然基質多樣性的恢復潛勢，小於10個月即可恢復到正控制組下限，高於負控制組傳統工法區整平溪床渠道化後，需超過2年6個月後方能恢復。

以河岸植生帶寬度之恢復為例（圖10），第四期工程與第六期工程限制開挖面（縮小）、保留大面積森林成為種源（迴避）之作法，有利於促進坡岸濱溪植被帶之恢復，恢復時間需時2年。第五期工程因水患災害和施工中未限制開挖面等因素，完工後裸露面大，所以恢復稍慢。負控制組傳統工法區因兩岸為植物難以生長的混凝土護岸，且有農地與道路等干擾，幾乎沒有恢復潛勢，估計恢復時間遠多於5年10個月以上。

表1 依各指標散點圖估計生態作為組與負控制組之恢復時間

指標	生態作為組 第四、五、六期 工程	負控制組 第一、二、三期 工程
溪床自然基質多樣性	< 10月	> 2年6月
河床底質包埋度	< 9月	< 1年7月
堤岸的植生保護	> 2年6月	>> 5年10月
河岸植生帶寬度	> 2年	>> 5年10月

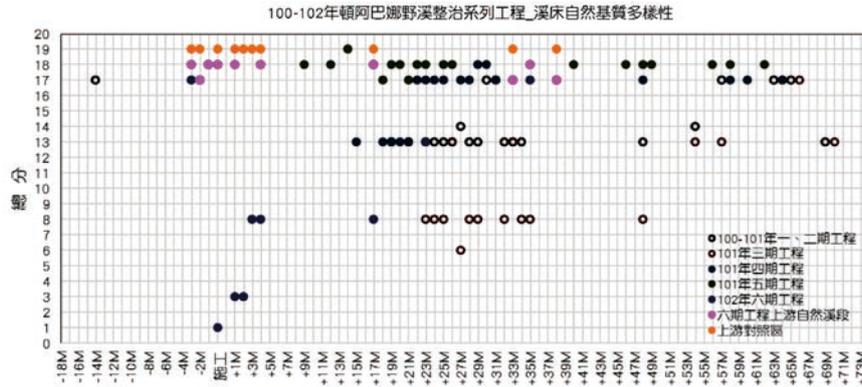


圖 9 以溪床自然基質多樣性為例，指標評估值隨時間逐漸恢復

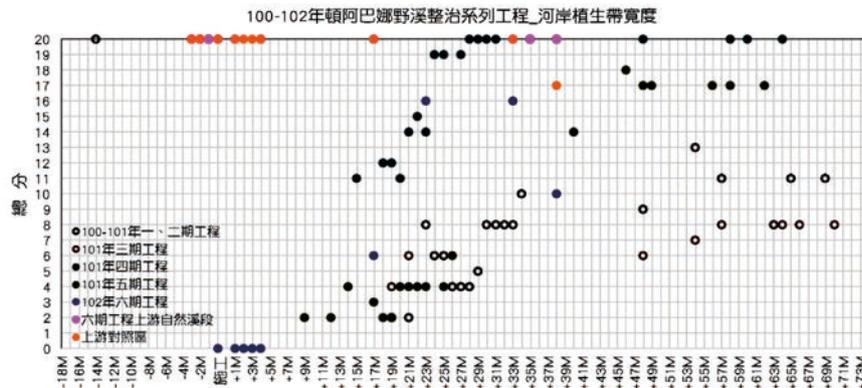


圖 10 以河岸植生帶寬度為例，指標評估值隨時間逐漸恢復

「難隨時間恢復」的指標有縱向棲地連結性、橫向棲地連結性、溪床寬度變化 3 項，無論是負控制組傳統工法區或是生態作為組工程，評估數值在完工後即穩定持平，難隨時間而有正向恢復的趨勢。換言之，這 3 項指標的評分，決定於工程設計形式選擇之當下，例如防砂壩、固床工與溪床間之落差，護岸的坡度和材質，或是河道拓寬幅度等。完工後短、中期內自然力難以介入改變硬性工程結構，失去自然恢復潛勢，除非經由後續的人力介入改善。因此在工程初期將這 3 項指標所代表之生態功能和棲地需求納入設計考量，至為重要。

以橫向棲地連結性為例（圖 11），負控制組第一、二、三期工程，全段護岸皆為 1：0.3 接近垂直之混凝土構造，不利各種動物攀爬進出，其評分是零分趴底，至近完工後第 6 年，仍然無恢復跡象。生態作為組第四期與六期工程，保留自然坡岸，或護岸使用砌石之多孔隙材質，因此動物的橫向連結與通道狀況良好。生態作為組五期工程雖使用 1：0.3 漿砌石護岸，在坡度上仍不適合各種動物上下，因此在 2014 年完工後數年未觀察到中型哺乳類動物在此出沒^[11]，直到

2017 年砌石護岸長出草木與灌叢，恢復易攀爬和足夠掩蔽後，方發現食蟹獾活動之排遺，2017～2018 年經由紅外線自動相機監測^[12,13]，拍攝食蟹獾與麝香貓等中型哺乳類，利用護岸與固床工壩翼垂直角處，踩著樹根和砌石攀爬上下護岸之影像（圖 12、圖 13）。即使如此，五期護岸仍不適合小型動物如蛙類或小型哺乳類通行，可能受困溪床，因此評分介於第四、六期工程與負控制組之間。

「枯豐水期與降雨影響大於工程影響」的指標，包括流速水深組合、湍瀨出現頻率、河道水流狀態等 3 項，皆是與水域環境多樣性相關的指標（圖 14、圖 15）。從正控制組散佈廣泛偏向兩極的分布範圍，可以歸納出當在豐水期時，水域環境多樣性偏高，枯水期時則偏向單調的現象，顯示降雨量對於這 3 項指標之影響，可能不亞於工程形式之影響。儘管有降雨量因子干擾，數據分散而無規律，仍可以觀察到，生態作為組比負控制組有更多機率得到更高的評分。這是一件好事，顯示具有生態設計的治理工程，水域環境多樣性和變異性可能更為高。目前的數據證實難以以上的假設，需作更多的觀察，使用更細緻的分析方法試圖釐清這種可能性。

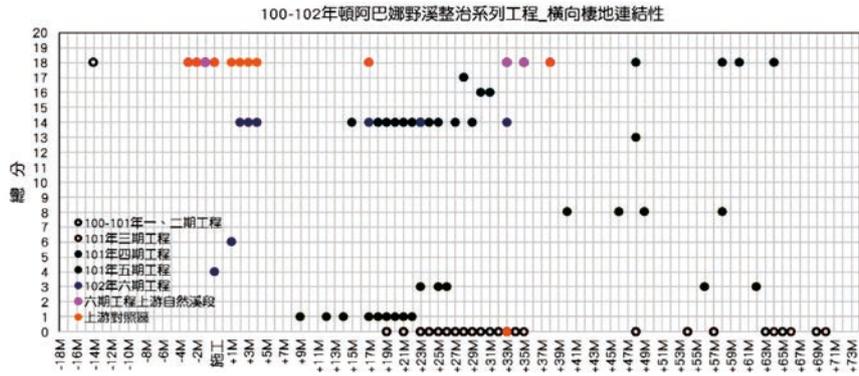


圖 11 橫向棲地連結性難隨時間恢復，設計時應納入生態考量



圖 12 利用紅外線自動相機紀錄中型哺乳類食蟹獾白天上下長滿樹木灌叢的砌石護岸



圖 13 利用紅外線自動相機紀錄中型哺乳類麝香貓夜晚上下長滿樹木灌叢的砌石護岸

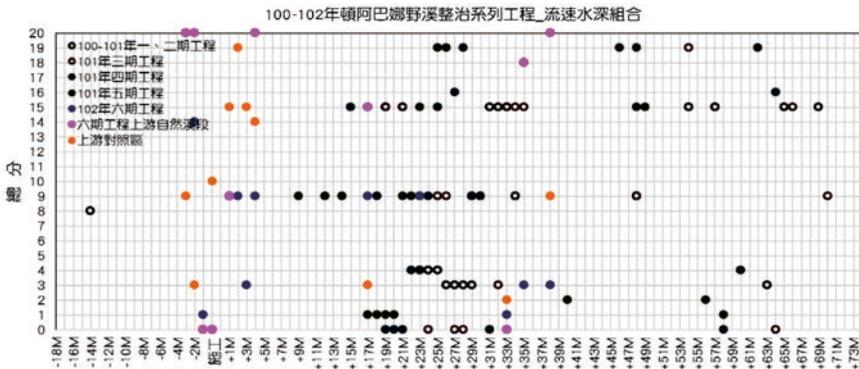


圖 14 以流流水深組合為例，受枯豐水期影響大，生態作為組之變異較負控制組高

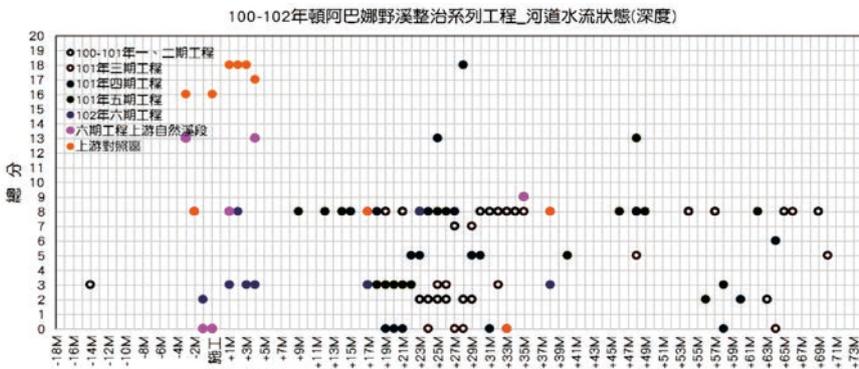


圖 15 以河道水流狀態為例，受枯豐水期影響大，生態作為組之變異較負控制組高

結語

本文以頓阿巴娜野溪為觀察對象，證實採取生態作為或導入生態檢核的治理工程，其物理性棲地包括

底棲棲地多樣性、堤岸植被完整度之恢復速度較傳統混凝土治理工法快，縱向和橫向連結性較佳，水域環境多樣性變異較大。過程中建立頓阿巴娜野溪流域之自然基

線，和經過天災和人為治理工程干擾後的恢復曲線，並搭配既有生態調查資料建立警戒和改善之閾值。

筆者建議，未來應就個別流域或區域，應建立適地之基線、恢復曲線與警戒／改善值，方能作時間與空間上的評估資訊比較。

從個別指標值的分析中，亦歸納出保留自然溪床、縮小工程擾動面和營造塊石底質等措施，有利於底棲棲地多樣性之恢復；限制開挖面、保留大面積森林成為種源之作法，有利於促進坡岸濱溪植被帶之恢復。

本文也指出，縱向橫向棲地連結性和溪床寬度變化，難以自然恢復，需從工程早期設計階段即納入設計考量方能確保生態效益。

最後回到最初的問題，生態檢核它有效嗎？筆者在本文所觀察的結果顯示，生態檢核機制在河溪治理災害治理的安全需求、自然環境條件與機關治理規範的層層限制下，利用迴避保留自然河溪棲地之彈性有限，然而在良好確實的規劃執行縮小、減輕和補償之策略與措施下，棲地仍有機會保有自我恢復之潛勢。後續，仍然需要更細緻之觀察標的與實驗設計，和更多之研究資源投入，取得更多實例和證據，回饋機制之檢討調整。

未來展望

以上自頓阿巴娜野溪流域所建立之研究與分析系統，適用於臺灣河溪治理工程的生態檢核作業，可提供各機關後續建立生態檢核基礎生態資料庫時之可行範例。本文所述之物理性棲地指標，僅適用中高海拔高坡降河溪，低海拔下游河段和區域排水，未來仍需根據臺灣低坡降的河溪環境特性作指標項目作調整。

物理性棲地指標是瞭解生態現況的工具之一，應參考其他面向的生態資料與專家建議，避免過度窄化與簡單化而低估野溪的生態獨特性，也需持續思考物理性棲地指標與生物因子間之連結關係。在使用本文所述的物理性棲地指標和研究與分析系統的同時，我們也應認知，野溪被破壞後的棲地恢復，不代表獨特的生態相與物種會回來。

生態檢核機制在中央管工程全面實行^{[8][9]}後，可以預見其實行範圍將會隨時間而越趨擴大，未來也將會累積海量的物理性棲地指標數據。因此建立一長期資料庫，常態性和系統性的收集台灣各地河溪背景資料，避免這些資訊隨時間流逝，具有彙整記錄當代環境變遷的重大意義，也可供做未來劣化環境重建的依據。除了資

料庫建立外，如何維持生態調查、評估、檢核等從業人員之專業素質和水準，以確保物理性棲地評估資料的品質，將是未來生態和工程領域必須面臨之課題。

參考文獻

1. 黃于坡主編，水庫集水區工程生態檢核成果彙編，經濟部水利署，台中市（2015）。
2. 黃于坡主編，水土保持工程導入生態保育—生態檢核之運用，行政院農業委員會水土保持局，南投（2016）。
3. 經濟部水利署，水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊，經濟部水利署台北辦公區，台北，第2-4頁（2016）。
4. 觀察家生態顧問有限公司，105年度工程生態保育措施推廣，水土保持局委託專業服務案成果報告，南投（2016）。
5. 觀察家生態顧問有限公司，106年度工程生態課題分析及復育評估，水土保持局委託專業服務案成果報告，南投（2017）。
6. 觀察家生態顧問有限公司，水庫集水區落實生態檢核機制及保育治理需求評估，水土保持局委託專業服務案成果報告，南投（2013）。
7. Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., and Stribling, J.B. *Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers*, EPA 841-B-99-002, Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, pp. 5-1-5-31 (1999).
8. 行政院公共工程委員會，公共工程生態檢核機制，行政院公共工程委員會工程技字第10600124400號函（2017）。
9. 行政院公共工程委員會，公共工程生態檢核注意事項，行政院公共工程委員會工程技字第1080200380號函修正（2019）。
10. 汪靜明，大甲溪水資源環境教育，經濟部水資源局台北辦公區，台北市（2000）。
11. 觀察家生態顧問有限公司，103年度工程環境友善措施評估與建議，水土保持局委託專業服務案成果報告，南投（2014）。
12. 觀察家生態顧問有限公司，生毛樹溪等集水區（含幼葉林大規模崩塌地區）環境友善評估，水土保持局南投分局委託專業服務案成果報告，南投（2017）。
13. 觀察家生態顧問有限公司，南投分局轄區水庫集水區環境友善及生態檢核措施管理計畫，水土保持局南投分局委託專業服務案成果報告，南投（2018）。

作者介紹

作者田志仁現職觀察家生態顧問有限公司的研究員兼技術經理，嫻熟相關之案例實作、制度和評估方法研發與生態效益研究。自2013年起參與生態檢核制度發展歷程中各重要階段，包括2013～2015年間曾文、南化、烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫中，水利署、水土保持局、林務局與公路總局等單位之生態檢核；2015～2019年協助水土保持局建立生態檢核相關制度與執行專業委託案；2018年起執行前瞻基礎建設計畫高雄市和屏東縣水與安全之生態檢核。作者專業涵括環境工程、溪流生態與環境微生物，業務與研究方向著重於河溪治理工程和相關流域開發等人類干擾行為，對於河溪生態系統產生的影響，並尋求改善之道。



納入綠網與生態系服務概念的計畫型生態檢核

—以台中市筏子溪景觀環境營造(車路巷橋至永安橋及礫間淨化)計畫為例

- 林笈克 / 觀察家生態顧問有限公司生態工程部 技術經理、東海大學生命科學研究所 碩士、東海大學環境科學暨工程學系 兼任講師
- 蘇維翎 / 觀察家生態顧問有限公司 協理、臺灣大學環境工程研究所 碩士、環境工程技師、臺灣科技大學營建工程系兼任講師
- 黃于玻 / 觀察家生態顧問有限公司 總經理、東海大學環境科學研究所 碩士、中原大學景觀系 兼任講師
- 王順加 / 以樂工程顧問股份有限公司 總經理、臺灣大學土木工程研究所 碩士

生態檢核機制以生態保育、公民參與及資訊公開為基礎，常見採用迴避、縮小、減輕、補償的策略，減少工程對環境生態的影響。而針對工程改善過度干擾的劣化環境，有別於以治理為目的工程生態檢核，可採「計畫型生態檢核」納入綠網與生態系服務概念，並透過公民參與工作積極引導，改善民眾對於溪流環境的態度，讓劣化環境朝生態系恢復方向發展。台中市筏子溪景觀環境營造—車路巷橋至永安橋及礫間淨化計畫，為首度納入綠網與生態系服務概念於生態檢核作業的前瞻水與環境建設計畫。執行之計畫型生態檢核，包含納入綠網概念：盤點及改善大肚台地與筏子溪大尺度生物棲地的連結性、擴大計畫區生物棲地面積與垂直性棲地結構、細部盤點區內水陸域生態課題。納入生態系服務概念，含支持性：維持溪流與農田生態系統服務功能；供給性：提升筏子溪供應人民食物品質；調節性：周邊環境微氣候調節；文化性：透過淨溪、近溪、敬溪公民參與活動規劃，提升民眾溪流知識，改變民眾對於溪流環境的態度。透過計畫型生態檢核，預期此環境營造工程可達成前瞻水與環境計畫恢復河川生命力的目標。

前言

政府為著手打造未來 30 年國家發展所需的基礎建設，遂於民國 106 年推動「前瞻基礎建設計畫」，其中包含因應氣候變遷的水環境建設，涵蓋「水與發展」、「水與安全」及「水與環境」三大建設主軸^[1]。根據核定計畫，「水與環境」願景為「與水共生、共存、共榮」，積極推動治水、淨水、親水一體，結合生態保育、水質改善及周邊地景之水環境改善，以加速改善全

國水環境，期能恢復河川生命力及親水永續水環境^[1]。同時公共工程委員會為減輕公共工程對生態環境造成之影響，並落實生態工程永續發展理念，維護生物多樣性資源與環境友善品質，於 106 年 4 月 25 日頒布「公共工程生態檢核機制」。目前所有前瞻水環境計畫均積極落實生態檢核機制。

生態檢核機制，包含生態保育、公民參與及資訊公開等三面向，常見透過這些作業擬定出工程可採迴

避、縮小、減輕、補償的方式，減少對於環境生態的影響 [2]。然而，針對劣化棲地，迴避、縮小、減輕、補償的策略考量，並無法改善環境，讓自然生態復甦成效積極展現。

生態檢核機制的三個面向作業，具十足的彈性，並未僅侷限於擬定迴避、縮小、減輕、補償四個策略。其執行核心精神，即為在公共工程流程中，納入過往忽略的生態考量，期待藉由程序上的逐步確認，發揮環境永續功能，保有良好生態，或進行改善，讓環境朝向更友善生態的方向發展。公共建設重點在於服務人民，故而公共建設的生態考量，需以人民可從生態系中獲得利益為基礎。生態系服務 (Ecosystem services) 是連結生態系統與人類福祉的主要模型 [3]，即生態系統中，無論直接或間接，可提供人類生活中相當的福利及必要的服務。公共建設中納入生態系服務的概念，執行方面可透過生態檢核機制，盤點既有生態環境資源，以為設計基礎，提供人民最佳生態系統服務的公共建設方案。另外，生態檢核作業著重於棲地屬性盤點，目前國內土地開發利用壓力強大，生態棲地受到切割，生態系統破碎化，使生物多樣性逐漸消滅。多數生物因棲地隔離，若無補救措施，族群將逐漸減少，甚或有滅絕的風險。政府對此提出國土生態保育綠色網絡建置計畫，借鏡國際提倡里山倡議經驗，跨域整合，期待與農業、交通、水利政府單位及民間夥伴協力推動友善環境，透過點、線、面的串連，架構整體國土綠色生態網絡保育架構，嘗試營造人與自然和諧共生的環境，使臺灣生態系更為健全 [4]。

結合生態保育，期能恢復河川生命力的前瞻水與環境建設計畫，有別於以治理為目的工程計畫，可採用「計畫型生態檢核」，納入國土綠網與生態系統服務概念，讓恢復河川生命力的目標，建構在實質的生態系功能回復的基礎上。盤點河川生態系統恢復過程，可以服務人民的種類及項目，讓恢復河川生命力，可以更明確的從恢復河川生態系的角度，隨著時間演進，逐漸強化對民眾提供生態系統服務。最終，達到符合河川自然發展與社會多數人認同的「恢復河川生命力」之目標。目前，台中市筏子溪景觀環境營造一車路巷橋至永安橋及礮間淨化計畫，設計內容即納入綠網及生態系統服務的概念，提出「恢復河川生命

力」願景 [5]。除公部門相關水利單位認可，納入此兩項概念，同時引導民眾參與淨溪、近溪、敬溪的規劃，更獲得公民團體公開肯定。

筏子溪簡介

筏子溪源頭位於台中市大雅區，由大雅排水與十三寮排水在大雅區橫山里振興路埤仔腳福德祠會合後，始稱為筏子溪。主流由大雅區起，從北北東轉南南南向，流經西屯區、南屯區，於烏日區匯流入烏溪。與台灣多數溪流發源自島中央的群山山脈不同，筏子溪是一條沿著大肚山台地與台中盆地交會的平地河川，溪床寬淺。主要功能為提供沿岸農田灌溉和城鄉排水之用。早期，筏子溪位處舊台中市與台中縣交會區，流域腹地大，多為農業利用，城市新興建築較少。當時交通規劃將許多穿越台中的台灣南北幹線集中於此，例如中山高速公路、台灣高速鐵路、台 74 線中彰快速道路，皆係沿著筏子溪的兩側建構。

筏子溪為設定一百年防洪頻度的溪流，防洪治理工程已經接近全面達成。一百年防洪頻度設定的河幅寬度，提供筏子溪水陸域自然生態發展空間。加上許多河岸治理工程採用生態工法，如柳枝工法、砌石工法、河堤拋石鋪面等。經過自然恢復，諸多區段河堤已經長滿樹木不見水泥鋪面，擴大筏子溪的自然景觀，也提供更多生物棲息利用的空間。主流沿線擁有豐富的魚類及鳥類資源，已成為台中市民環境教育、休閒娛樂的重要場域。

筏子溪的生態資源，主流現存 38 種魚類 (含原生與外來種)，包含紅皮書極危的有兩種魚類：巴氏銀鮪、日本鰻。巴氏銀鮪為台灣特有種，屬一級保育類野生動物，僅侷限分布於烏溪流域之中，族群量少且不穩定。日本鰻為洄游性種類，不管在台灣或是全球皆為珍貴種類，族群狀況皆受到威脅。其他物種包含易危種類：台灣爬岩鰍以及接近受脅種類：鯰魚、短吻小鰻、高體鰻。陸域生態資料顯示，哺乳類 6 種、鳥類 80 種、兩棲類 5 種、爬行類 9 種、蝴蝶 33 種及蜻蜓 14 種，計有鴛鴦、灰面鵟鷹、東方澤鶩、彩鶉、紅隼、黑翅鳶、紅尾伯勞、八哥、柴棺龜、草花蛇等保育類記錄。植物共有 94 科 263 屬 332 種，河道內值得關注植物，分別為瓜科的合子草與眼子菜科的馬來眼子菜、馬

藻。顯示筏子溪雖經過全面的整治，但隨著時間自然發展，除了溪流常見的動植物棲息生長，也有許多稀有、保育類的物種逐漸在筏子溪棲居繁衍。

環境問題上，水利署第三河川局 108 年 5 月公告訊息表示，筏子溪治理工程完成率已達 97%。以往筏子溪由公部門主動清理遭棄置河川之大量垃圾廢棄物，惟每年清理垃圾量不減反增，究其原因係民眾缺乏公德心及社會環境教育不足所致。另外，台中市政府環保局於筏子溪烏橋（上游）、永安橋（中游）、筏子溪橋（下游），每個月均進行溶氧量、總磷、生化需氧量、化學需氧量，及懸浮固體水質監測。統計近一年來（107 年 6 月至 108 年 4 月）資料顯示，筏子溪的水質呈現上游水質差，至中下游，水質大幅改善後趨於穩定（圖 1）。顯示筏子溪主流具有淨化水質的能力，但溪流無法自行消化的塑膠等各式固態垃圾，則是目前筏子溪嚴重的污染源。

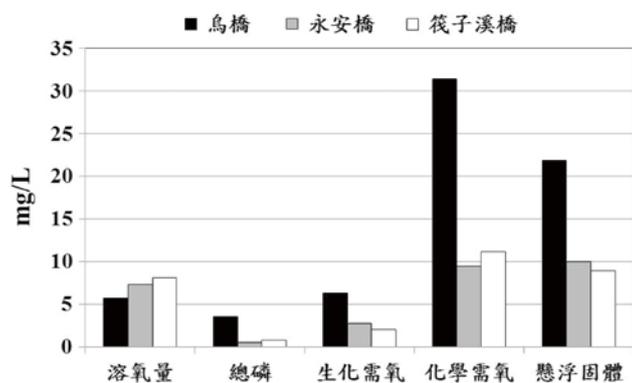


圖 1 上中下游筏子溪水質變化趨勢

台中市筏子溪景觀環境營造—車路巷橋至永安橋及礫間淨化計畫

本計畫範圍涵蓋筏子溪車路巷橋至永安橋（長度約 740 公尺）水陸域環境，以及林厝排水系統沿線及林厝排水出口右岸礫間淨化場址（文中預定地 2.4 公頃），計畫包含水質改善、攔水堰及固床工改善、景觀營造等三大項目（圖 2）^[5]：

水質改善工程

主要針對林厝排水系統，優先以 RPI 值高於 6（嚴重汙染）或接近 6 之生活污水流入口為截流標的，設置截流管線，將污水匯流至礫間淨化廠區，處理後放流至林厝排水下游再匯流至筏子溪。林厝排水出口右岸礫間淨化場址屬於文中預定地（圖 2），為台中市西苑中學規劃棒球練習場預定地，礫間淨化廠區利用棒球場至林厝排水間的邊緣畸零地規劃設計，並進行廠區周邊環境整體營造。

攔水堰及固床工改善工程

針對筏子溪下埤圳攔水堰及林厝排水既有毀損的固床工（圖 2）進行改善。下埤圳為台中市農田水利會取水堰，既有攔水堰壩體落差高，阻擋水域生物上溯。且原壩體高度不足，導致攔水量少，需要透過堆置砂石袋墊高高度（圖 3）。壩體基礎長時間受沖蝕掏空，目前以消波塊堆置下游處（圖 3），防止掏蝕致壩體毀損。每逢豪雨洪水，砂石袋被沖毀，外袋與許多垃圾卡在消波塊上，各式四散的塑膠類垃圾破壞景觀

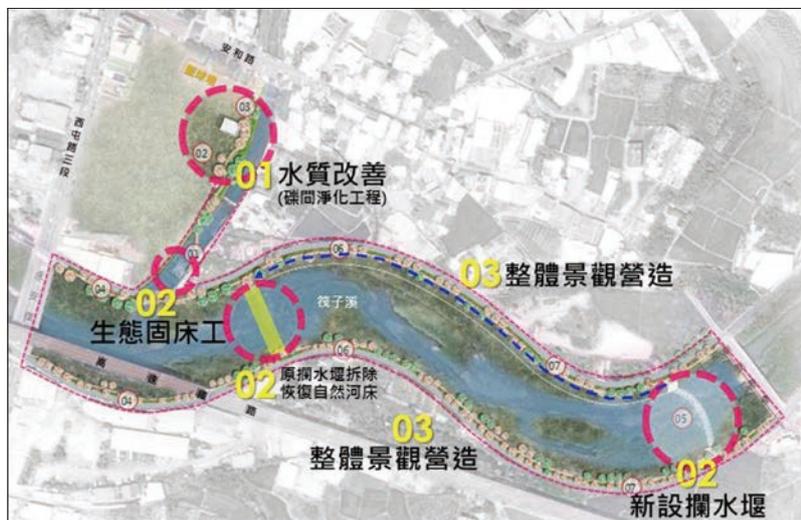


圖 2 計畫三大工項配置



圖3 下埤圳攔水堰（上）與林厝排水固床工（下）現況

也汙染筏子溪。現有的下埤圳攔水堰攔截許多筏子溪垃圾，汙染水源與破壞景觀，為極需改善的區域。本溪段右岸林厝排水的固床工，也因長年流水侵蝕，崩壞毀損（圖3）。過往設計未考量生態友善，加上目前逐漸劣化的水質與垃圾汙染問題，都需要針對整體環境考量，故一併納入本計畫工程進行改善。

景觀營造工程

計畫事前蒐集長期關注此溪段公民團體的訴求，透過生態檢核作業，盤點既有的生態與環境特色，公民、在地居民關注焦點，以未來發展性，提升環境品質的前瞻概念進行景觀營造設計。共規劃林厝維修便橋、林厝維修步道、礫間維修步道、城市水岸散步道、筏子溪固床工工程教育水岸、水岸綠色隧道景觀、田園水岸景觀大道等營造工程。

生態檢核

經濟部水利署生態檢核作業包含三大主軸，資訊公開、公民參與、生態保育。計畫型生態檢核仍秉持三大主軸的基礎，導入綠網和生態系服務的概念，並透過公

民參與工作積極引導，讓劣化環境朝生態系恢復方向發展。確立計畫目標後，以工程生態檢核流程操作，施工過程採用迴避、縮小、減輕、補償策略，減少對環境生態的影響。「台中市筏子溪景觀環境營造一車路巷橋至永安橋及礫間淨化計畫」，資訊公開作業，根據台中市水利局的程序辦理。公民參與方式，除召開說明會，納入符合在地的設計，更藉由規劃「淨溪」、「近溪」、「敬溪」活動，讓民眾共同參與溪流環境維護，移除溪流垃圾，持續性「淨溪」，喚起民眾對溪流的關心；邀請關心筏子溪民眾，觀察溪流生態、參與親近溪流的「近溪」活動，從中獲得對於筏子溪的知識，改變民眾對於溪流的態度；隨著越來越多人關注溪流，漸漸讓更多民眾可以學習尊重溪流、尊重環境，希望最終可達到「敬溪」，喚起更多民眾共同愛護溪流環境。生態保育作業方式，盤點關鍵棲地與生物種類資訊，納入綠網及生態系服務概念，回饋工程設計。提升民眾環境意識的公民參與及納入綠網及生態系服務概念的生態保育作業，讓此溪段規劃更具備前瞻性，期能達到實質恢復筏子溪河川生命力的目標。

納入綠網概念

盤點及改善大尺度生物棲地的連結性

計畫工區位於台中市西屯區，屬於筏子溪的中上游。計畫區南北連接筏子溪的藍帶水域生物棲地，在河堤內的高灘地保有濱溪植被綠帶，提供陸域生物棲息。加上堤防外的農田地，形成筏子溪南北狹長藍綠帶連結的整體性景觀。筏子溪西側為大肚山台地，台地西半部保有大面積荒草地，連接南側位於大肚區及烏日區的大面積樹林與草地，為目前台中市人口密集區最大面積的綠帶型棲地。與筏子溪藍綠帶銜接，構成環大肚山台地U型狀的生物棲地（圖4）。位於U型棲地中間，屬大肚台地東側坡面，尚有南屯區的樹林、東海大學、台中都會公園等綠色植被區塊散佈其間（圖4）。考量大肚台地及筏子溪間綠色網絡的連結性，以計畫工區為中心，沿林厝排水往西側延伸，改善部分構造物阻隔，有機會讓既有連續性的U型棲地，形成O型環狀棲地（圖4），直接擴大生物棲地的連通性。故本工程特別針對林厝排水，往上游盤點可能阻隔生物流通的工體構造物。發現福雅路排水口落差超過2公尺，於此排水口設計動物坡道，提供動物通行。即目前棲息於筏子溪與大肚台地U型狀棲地的動物，未來隨族群發展，可利

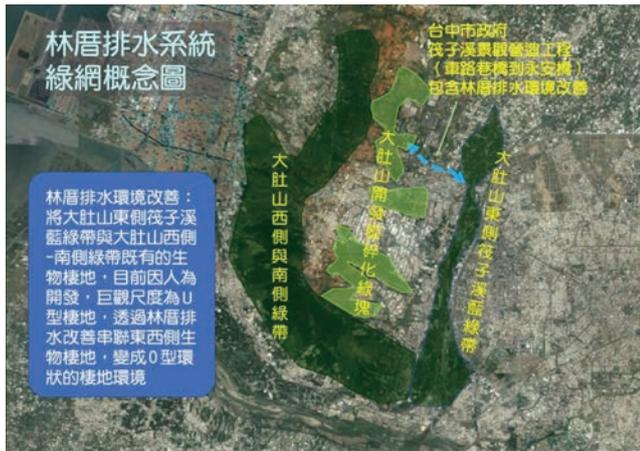


圖 4 林厝排水生態綠網概念圖

用改善後的林厝排水系統直接通行於筏子溪與大肚山西半部的棲地，讓 U 型棲地經過本計畫環境營造，變成生物流通更便利的 O 型環狀棲地。逐漸建構出台中市生物棲息的綠色網絡。

工區生態關注區

生態關注區域係指在工區周邊具有生態資源豐富或具有生態課題的區域。應參考包含法定保護區、文獻紀錄、現地調查結果與蒐集當地訪談資料在內等生態資訊，以圖面呈現工程影響範圍內生態敏感之環境區位，作為工程規劃設計之參考^[6]。透過現地調繪或空照圖判斷工程影響範圍內的主要棲地類型，依其生態環境特性劃分為高度敏感（標示紅色圖區）、中度敏感（標示黃色圖區）、低度敏感（標示綠色圖區）及人為干擾（建築構造物等）四種等級，並標註具重要生態價值的保全對象，呈現應關注之生態敏感區域。

本計畫範圍筏子溪沿線兩側土地多為人為建築物、道路與高鐵路，為人為干擾度極為明顯的區域（圖 5）。兩側土地包含大範圍的稻田等農地及少量校園綠地，屬於野生動物會活動利用的土地類型，但這一類型土地，人為活動干擾度仍然偏高，在生態敏感度屬於低度敏感區（圖 5）。本計畫區河堤內的高灘地，長期維持自生高莖禾草類密生的景觀。除公部門進行環境維護工作時會擾河堤內高灘地，一般時期河堤內受到人為活動干擾度低，提供濱溪野生動物棲息活動的棲地。故河堤內高灘地環境屬於本計畫區段的中度敏感區（圖 5）。計畫區內並無生態高度敏感區。

大尺度生物棲地盤點，改善林厝排水人工構造物阻隔，可以讓大肚山台地原有 U 型棲地變成流通性較佳的 O 型棲地。改善後的 O 型棲地，車路巷橋至永安



圖 5 計畫範圍生態關注區圖

橋區段即成為連接生態廊道的關鍵性棲地。本計畫區景觀營造，擬將此關鍵性棲地擴大，提供更大的生物棲息利用範圍。即透過工程營造，讓生態關注區圖的黃色區域範圍擴大。採用方式，設計接近堤防側水防道路多種植一排樹木的方式，形成濱溪樹林帶，增加水防道路的綠覆率（圖 6）。此一雙排樹木，同時營造自行車道成為綠色隧道，區隔出自行車、行人與機汽車通行道路，增加休憩民眾的安全性。雙排樹木非採並排種植，而是採交錯式栽種（圖 7），讓樹冠生長空間具備最大發展性。設計栽種第二排樹木的方式，包含樹幹交錯可減少飛行動物穿越樹幹間隙機會，進而提昇飛行高度越過樹冠（圖 7）；縮減水防道路則可降低汽機車通行速度。均預期可減少飛行動物被汽機車撞擊的機率。

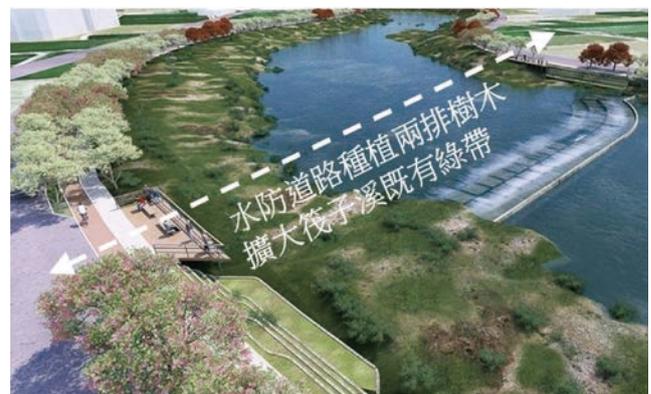


圖 6 水防道路種植雙排樹木擴大綠帶

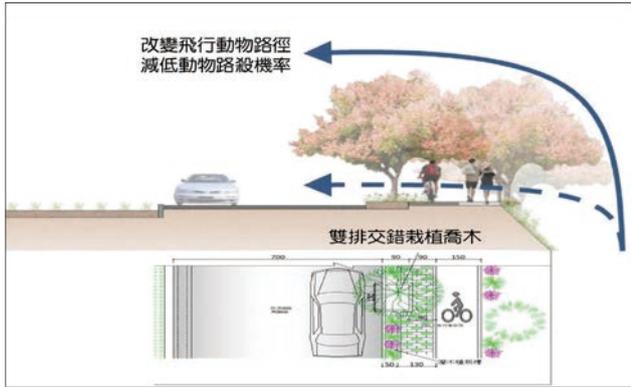


圖 7 樹木交錯栽植設計

工區內生態課題分析

1. 水域生態課題分析

依據目前調查結果及現地狀況，整理水域課題如表 1 所列，詳述如下。

洄游性魚類的生活史中，必須降海產卵或是上溯至上游產卵。但溪流中的攔河堰、固床工易造成河川斷面落差及造成棲地單調化（圖 8），導致溪流被分隔成獨立的上下游棲地及棲地劣化，使得洄游魚類或其他物種無法順利洄游或阻礙其自由遷徙於河川上下游環境。亦無法提供多樣性棲地空間，且在枯水期容易造成斷流，改變溪流型態，導致對水質耐受性較低之原生種無法生存，而對水質耐受性較高之外來種大量繁殖。

水域生態調查雖無稀有或高度受關注之物種紀錄，但下埤圳下游區段調查記錄特有魚類包含：臺灣石賓、粗首馬口鱖、明潭吻鰕虎、短吻紅斑吻鰕虎。本計畫預計透過主要工程項目完工後，水域生態的棲地環境將有顯著的改善。建議未來施工保育對策如下：

- (1) 施工期間枯水期施工，避開生物春夏繁殖期，降低對生物影響程度，並設置截流溝及沉砂池，避免污水直接進入自然水體。

- (2) 原有攔河堰、固床工拆除及新建皆採半半施工，確保水域生物遷移路徑不受阻礙，也避免施工影響水質濁度。
- (3) 固床工改善為複式斷面及具有低水路開口，以維持低水路流量及枯水期能可維持水路連續性，保持水路暢通不斷流，維持水域生物遷徙廊道。
- (4) 原有攔水堰、固床工拆除後高灘地順坡整理，將上游面淤積的土方適度培厚下游面的高灘地，降低土石可能被大量沖刷至下游的可能性。
- (5) 施工便道鋪設避免直接橫越行水區，減輕對水域環境的擾動。



固床工導致溪流斷流



固床工造成縱向阻隔

圖 8 林厝排水人工構造物現況

表 1 水域生態課題

課題	課題說明	保護對策
人工構造物造成棲地阻隔	筏子溪攔河堰落差，造成河道上下游河道阻隔，如洄游性生物如粗糙沼蝦遷徙受阻，及魚類（台灣石賓、粗首馬口鱖等）無法自由上下游區域遷移。	建議攔河堰可採取如複式斷面可有低水路之開口。 固床工改多階梯以降低落差高度。
阻礙水域生物遷徙移動	於林厝排水有數個固床工，雖高度不高，於枯水期時容易造成棲地隔離、切割水路廊道，造成水域生物（蟾鬍鯰）無法上溯下游。	維持河川水量穩定，不造成斷流現象，使得水路廊道通暢。 利用現地水流型態推砌塊石，營造淺瀨棲地水域，提高水中溶氧，及增加棲地多樣性。
改變棲地特性	水量不足時造成斷流，部分棲地無流水，降低水中含氧量，易導致水質耐受性較低之原生魚類（明潭吻鰕虎、短吻紅斑吻鰕虎）無法生存，而水質耐受性較高之外來種（吉利非鯽、綠鰭、豹紋翼甲鯰）大量繁殖。	移除外來種，減少對原生種魚類生存威脅壓力。

(6) 林厝排水可採多階梯固床工，每階建議在 30~50 公分間，降低落差，階梯內斜可積水提供水域生物棲空間，有利水域生物遷徙攀爬利用及利於水質耐受性較低之原生魚種生存。

2. 陸域動物生態

計畫範圍沿線人為活動頻繁，自然棲地破碎且自然度低，除接近匯流口處的文中 42 用地（礫間淨化廠址）和匯流後的筏子溪高灘地有較大面積植被覆蓋外，其他區域多工廠、大樓和道路等人工建物，林厝排水兩側護岸大多高且陡直，因此發現的鳥類多為白頭翁、鳩鵲科和燕科等對人為干擾耐受程度較高的都會區常見種類。

文中 42 用地於調查期間為較大面積裸露荒地，植被單調，少數鳥類利用。本區須關注的鳥種為保育類紅尾伯勞為常見過境和冬候鳥，各類小面積荒地、林緣或都會區綠地都可發現；保育類八哥數量少，但筏子溪沿線仍有穩定紀錄，其會利用人工構造物的孔隙築巢繁殖。本計畫採擴大綠帶的方式，接近堤防側水防道路多種植一排樹木的環境營造，可擴大筏子溪鳥類利用的棲地。

3. 植物生態課題分析

調查區內無較敏感之植物種類，物種組成以外來種為主，特別是礫間水質淨化區，河道兩岸雖有種植原生種行道樹，但整體而言敏感性低。主流河道內以禾本科與莎草科等喜好潮濕的草本植物為主，如象草、大黍、巴拉草等物種，此類物種雖多為外來植物，但仍可以提供動物棲息與部分食物，建議在未影響排洪的功能的情況下，可以選擇性保留部分植被，若有需要刈草移除時，則建議分期分區進行移除，避免全面性擾動。調查區附近的珍貴樹木，未來均不會受到工程直接影響，建議可配合未來整體環境教育規劃，落實保護珍貴樹木。

納入生態系服務概念

生態系服務包含：支持，維持其他生態系服務功能所需；供給，如食物、飲水、藥物等；調節，如微氣候調節、水源淨化等；文化，如美感體驗、遊憩、教育等^[1]。過往研究多著重於如何將生態系所提供的服務，換算成貨幣價值。然而，在本計畫中，更關鍵的步驟為運用生態系服務所提出的概念，作為設計時的目標與實際內容指引，使計畫在河溪整治與功能設計

上，能更為完善，並整合生態系健全與提升周圍居民生活福祉。

1. 支持性生態系服務：盤點本區嚴重影響生態環境的問題，包括水質及垃圾汙染、工程結構阻礙水域生態流通等。影響涵蓋筏子溪主流的生態系統，以及農田水利會於林厝排水下游截取水，提供筏子溪下游農用灌溉，對農地生態系亦造成汙染。故本計畫要維持這兩大生態系統服務功能所需。

(1) 透過工程設置截流溝及礫間淨化場，直接改善林厝排水水質，也間接提升筏子溪主流水質條件。

(2) 林厝排水上游柵欄及固床工改善，提供攔阻垃圾流入筏子溪。而原下埤圳壩體改善工程，包含三階穩固基礎的消能混凝土塊踏步式固床工（圖 6），可以攔截由上游流下之垃圾，方便人員步行其上進行清除。這幾種工項設計，有助於計畫範圍及筏子溪下游垃圾問題改善。

(3) 下埤圳攔水堰及林厝排水固床工，均設計低水流路或低落差跌水設施，提供水域生物通過，打通原本構造物阻隔現象。

2. 供給性生態系服務：改善後的水資源，對於林厝排水下游農田水利取水，以及筏子溪下游知高圳、王田圳取水灌溉，增加農業用水的安全性。對於筏子溪中下游農業提供民眾食物安全性也會提升。另外，許多民眾會於筏子溪釣魚、捕魚。食用捕獲的日本鰻、鱸鰻、鯰魚、土虱、斑鱧、吳郭魚、泰國鰱。亦有口訪漁人會販售筏子溪漁獲。水質及垃圾汙染改善，直接改善魚類棲息環境，有助於提升筏子溪供應人民食物的品質。

3. 調節性生態系統服務：本計畫景觀營造，其中一項重點工項為打開水防道路柏油鋪面，多種植一排樹木，採擴大筏子溪整體綠帶，縮減水防道路寬度。整排新種植樹木，樹冠遮陰可降低水防道路受日照產生的熱輻射，調節筏子溪周邊環境微氣候，提供親近溪流民眾遊憩休閒更舒適的環境。

4. 文化性生態系服務：本計畫生態檢核公民參與作業，除舉辦地方說明會，將工程擬定改善環境的方向，讓參與民眾充分了解。另外，配合工程期程，邀請關注筏子溪的民眾及附近國小師生，從設計階段開始，常態性共同撿拾筏子溪垃圾。以民眾實地共同維護環境，進行環境解說，令參與者瞭解筏子溪的環境現況，喚起其對於溪流環境的責任心。未



圖 9 計畫過程常態的淨溪（上左）與近溪（下右）活動

來，完工後環境改善，再廣邀民眾親近溪流，體驗整個溪流環境改善前後的變化，讓民眾了解本項公共建設的價值。改善後的環境，除可提供更多民眾遊憩，如騎乘自行車、散步。現地河溪恢復的環境與生態，可提供知識性的資訊服務，落實教育面向的生態系服務。透過實地參與環境改善過程，加強民眾對於溪流環境重視，與對公共建設肯定。即規劃民眾參與淨溪、近溪活動，同時導入水環境改善公共建設資訊，再藉由完工後近溪活動，希望提升社會大眾愛護環境、尊敬溪流的觀念，讓「敬溪」理念內化。達成改善環境，也同步改變民眾對於溪流環境的態度的雙向目標。

結論

目前生態檢核作業具備彈性，不僅可從擬定迴避、縮小、減輕、補償友善措施，減少工程施作對於環境的影響。亦可透過計畫性生態檢核，協助工程改善劣化環境。以本計畫水環境改善提升河川生命的案例，納入綠網及生態系統服務的概念，透過計畫性生態檢核盤點不同尺度的生態課題，以工程關鍵性的施

作，未來提供人民從改善後的環境生態體系獲得利益，同時納入民眾參與實地環境問題，體驗改善前後的變化。相信可以藉由計畫性生態檢核作業，除工程納入友善設計改善環境，也改變民眾對於環境的生活態度。希望透過計畫性生態檢核作業，能更前瞻的提升整體社會對於水環境的觀念，加速改善水環境，實際恢復河川生命力。

參考文獻

1. 經濟部水利署，前瞻基礎建設計畫—水環境建設全國水環境改善計畫，行政院經濟部（2017）。
2. 行政院公共工程委員會，公共工程生態檢核注意事項，行政院公共工程委員會工程技字第 1080200380 號函修正，台北（2019）。
3. 吳孟珊，生態系服務的定義與特性，林業研究專訊，21 期，台北，第 54-57 頁（2014）。
4. 農委會林務局，國土生態保育綠色網絡建置計畫（107 至 110 年度），行政院農委會（2018）。
5. 以樂工程顧問股份有限公司，筏子溪景觀環境營造（車路巷橋-永安橋及礫間淨化）規劃設計，台中市政府水利局，台中（2018）。
6. 經濟部水利署，水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊，經濟部水利署台北辦公區，台北（2016）。
7. 行政院公共工程委員會，公共工程生態檢核機制，行政院公共工程委員會工程技字第 10600124400 號函，台北（2017）。



微藻於生態工程檢核應用： 貢寮地區獨立溪的案例研究

周傳鈴 / 國立臺灣大學生態學與生物演化學研究所 博士候選人

河川為藻類重要的棲地，特別是在溪流廣泛生長的矽藻。矽藻生長受到水中營養鹽濃度和水體擾動影響，反映在種屬群聚組成之差異尤其明顯。本實驗於台灣東北部的貢寮地區進行三條獨立溪藻類調查，並參照矽藻生態功能群分類，歸類樣區矽藻群聚類型。實驗結果顯示溪流量和流速變化，為控制急流型或緩流型附生矽藻種間競爭的重要物理因子。其次，營養有效性可能次於水體擾動，成為引發藻類組成改變的化學因子。利用矽藻相同資源共存的群聚比例，可用來區別棲地環境水的流速和營養鹽濃度。本實驗樣區之急流、緩流和高營養需求的矽藻群聚變化，可以解釋貢寮地區的氣候和地形條件，對獨立溪藻類生態的影響，使得水域浮游植物調查項目不僅僅只呈現樣區浮游植物生態多樣性，亦可達到棲地生態環境評估之應用功能。

前言

台灣位於降雨豐沛的亞熱帶地區，雨水是重要的水資源，河川為水資源的載體，也是微藻重要的棲地，特別是在溪流廣泛生長的矽藻類群^[1]。河流從上游淙淙順流而下的過程，水流力量將河床侵蝕、擺動或堆積，形塑出如深潭（pool）、淺灘（riffle）、深流（run）、淺流（glide）等不同的水深和流速狀況。此外地形起伏變化，地勢陡峭的河段（常見於上游區段），水流運動常可掀起河床底部的泥砂造成擾動，地勢平坦的河段（常見於中下游區段）土地用途增加，支流匯入並挾帶的多種營養鹽因子和生物物種，直到下游區段概括承受所有水體運行的負荷。這些水體的物理因子（如光照、溫度、水色、水深和流速）、化學因子（如酸鹼度、導電度、營養鹽濃度、鹽度或是重金屬有毒物質）和生物因子（如養分競爭和動物掠食）都會直接或間接影響矽藻的生長和分佈^[2,3]。

矽藻的生長受到水中營養鹽濃度和水體擾動影響，反映在種屬群聚組成的差異尤其明顯^[4,5]。營浮游生活

的浮游藻（Phytoplankton），經常懸浮在平坦的水面上，越接近河口比例越高^[6]；底棲藻（Benthic algae）在水底基質或沉積物裡游走，對環境營養需求比較高^[7-9]；附著藻（Periphyton）附著在水裡的石頭、枯木、植物根系或淺水底砂等各式各樣的基質上生長。許多學者依照附生藻著生的基質，給予多樣的名稱如：石表附生性（epilithon）、植物附生性（epiphytes）、枝條附生性（epidendron）、沙粒附生性（epipsammon）、泥表附生（epipelon）以及動物附生性的（epizoic）等^[10,11]。台灣溪流底質遍布大小不一的石塊，河溪整治工程也偏重石材的構造物，因此溪流附生藻多以石附生矽藻最常見，數量也最多。一般來說，附生矽藻是利用流水帶來的養份維持生命，不過水流強度變化快，能否牢固黏在基質上，跟它們的附著型態有關^[12]。有些矽藻以短小膠質柄，緊緊伏貼基質對抗急流；有些矽藻以直立長條的或分枝的膠質柄，黏住基質逐漸往上堆高發展，這類型矽藻僅能在緩流區生長，大水一來很快被沖走。台灣溪流最常見的附著型態（如圖 1）有以下五種，(1) 伏貼

型，如曲殼藻和卵形藻；(2) 單獨直立型，如橋彎藻；(3) 放射獨立型，如針竿藻和脆桿藻；(4) 樹狀直立型，如異極藻；(5) Z字鍊群體型，如等片藻。伏貼型和單獨直立型較能應付急流，而放射獨立型、樹狀直立型和Z字鍊群體型則適合在緩流的環境，不同種類的附著型式跟流速條件有關。國外學者 Passy 以矽藻於基質附著型態的群聚生長樣式 (life-form) 區分成三個矽藻生態功能群 (diatom ecological guilds)：(1) 壓低伏貼型的藻種，適於急流、低營養鹽環境；(2) 堆高型的藻種，適於緩流、高營養鹽環境；(3) 單獨細胞快速游移型的藻種，適於擾動、高營養鹽環境等群聚樣式 [13]。利用矽藻相同的資源共存 (co-exist) 的成員群聚比例，可用來區別棲地水的流速和營養鹽濃度 [4,14-16]。本實驗調查結果參照此矽藻生態功能群分類方法，歸類調查期間的樣

區矽藻群聚類型，來討論貢寮獨立溪藻類棲地水域生態環境的變化。

材料與方法

獨立溪樣區如圖所示 (2)，範圍涵蓋台灣東北部的貢寮地區，包括遠望坑溪、南勢坑溪和北勢坑溪，這三條獨立溪皆為天然野溪。由於中央山脈地形偏東，台灣東部平原腹地比較狹小，雨水通過短小的獨立溪河道便流入海洋，水流停留時間不長。此外三條獨立溪各測站仍有些微棲地差異。遠望坑溪上游地底有湧泉供水，該測站水流狀況變化最小；南勢坑溪上游河道環境鬱閉陰暗，大岩塊上面可見深紅斑狀的胭脂藻 (Hildenbrandia rubra) 生長 (如照片 1)，屬於淡水型的紅藻，胭脂藻生長的石塊上幾乎沒有其他藻類附著，

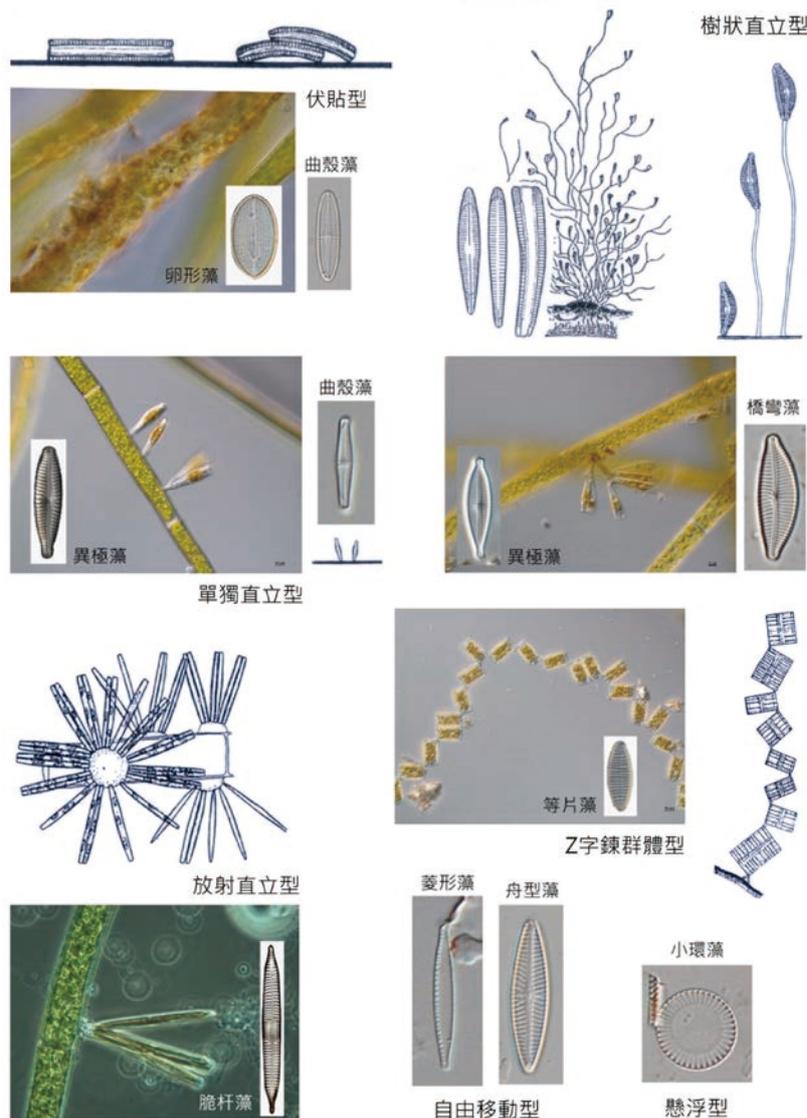


圖 1 矽藻於基質上附著型態的群聚生長樣式 (藻田公司製表；繪圖部分仿製日本淡水矽藻圖鑑 [17]，照片由藻田公司提供)

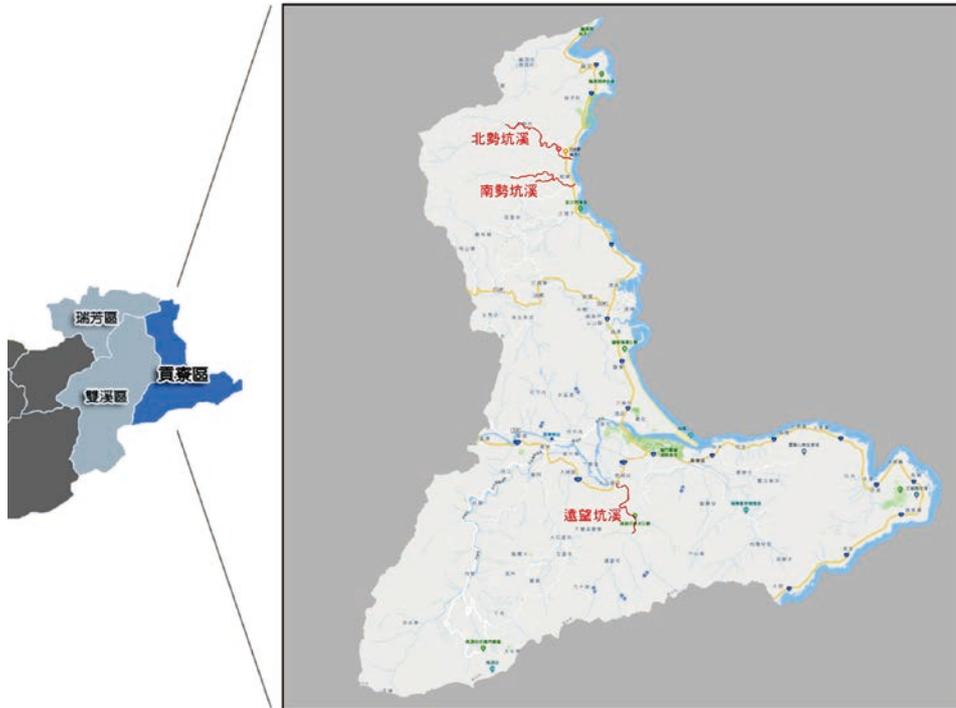


圖 2 貢寮區獨立溪流相關位置

該測站藻類相變化最大；北勢坑溪上游測站和其它中下游測站河床地勢平緩。本實驗在此三條獨立溪上游、中游和下游三個河段進行藻類調查，三條獨立溪兩次調查計共有 18 個樣本。調查季節涵蓋夏秋兩季，第一次調查（2018 年 7 月 16 日）採樣前一星期因鋒面通過，樣區各測站水流量大。第二次調查（2018 年 10 月 4 日）採樣前段時間幾乎沒有降雨，地勢平坦的測站部分河灘地已裸露出來，河道限縮在低窪處。

採樣方法參考環署檢字第 1000109874 號公告『湖河池泊水庫藻類採樣方法』（NIEA E504.42C），於採集樣區流動的表水，添加適量之陸戈氏碘溶液（Lugol's iodine）予以固定後經常溫保存。附著性藻類的採集是在樣區附近水域，選取不同地點之石頭五塊，以毛刷將藻類自石頭上刷下，經添加適量之陸戈氏碘溶液予以固定後，攜回實驗室製作定量和矽藻定性片。

定量片製作

在實驗室將樣品經定量離心（3000 g × 10 分鐘）方式濃縮藻細胞，倒去上清液，然後滴加一滴可馬西藍（Coomassie blue）染液於沈澱之藻細胞，於室溫下靜置五分鐘，再以減壓過濾方法，將藻樣過濾於 0.45 μm 孔徑之硝酸纖維濾膜上，俟濾膜乾燥後，滴加顯微鏡浸油使之變為透明，滴加封片膠（Entellan, Merck）

後蓋上蓋玻片，最後在顯微鏡下觀察和計數藻細胞數目，供定量計數之玻片樣本。

矽藻片之製作

在實驗室將樣品經離心濃縮之藻細胞，倒去上清液，添加混酸液（冰醋酸 + 硫酸 = 9:1）約 5 mL，在 100°C 下加熱 5 分鐘，冷卻後離心，倒去上層液，加水 5 mL 洗之，再離心，如此反覆三次。取微量塗抹於玻片上，俟完全乾燥後，滴加封片膠（Naphrax, RI 1.73, Brunel Microscopes Ltd., Chippenham, U.K.）後蓋上蓋玻片，製作成永久玻片，最後在顯微鏡下之觀察、計數和鑑定藻種，供矽藻定性計數之玻片樣本。

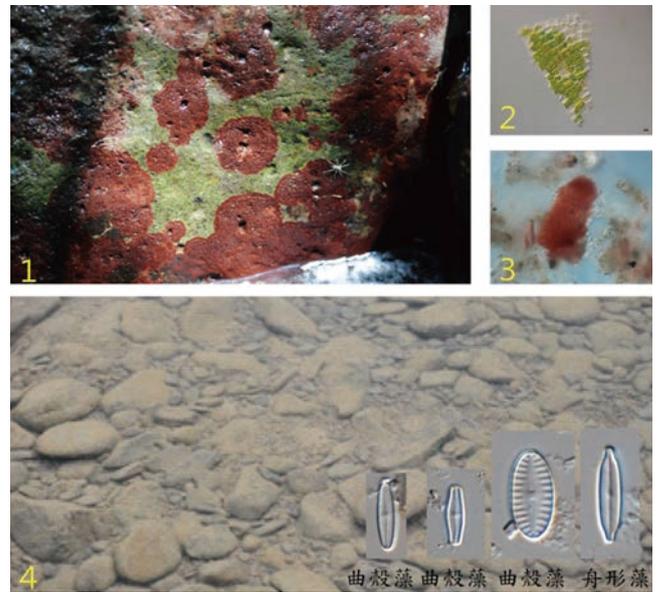
研究結果

本實驗於獨立溪樣區進行夏秋兩季藻類調查，第一次調查（夏季）雨水多，各測站水流量大；第二次調查（秋季）雨水少，地勢平坦測站水流變緩，兩次調查因氣候降雨的影響，形成樣區水流量和流速的差異。兩季出現的藻屬種數結果如下：遠望坑溪出現 18 屬 64 種，南勢坑溪出現 26 屬 89 種，北勢坑溪出現 25 屬 78 種，所有樣區共記錄 30 屬 113 種。藻類豐度兩季平均結果（每毫升藻類細胞數 cells/mL）依序是：遠望

坑溪 (521)、北勢坑溪 (436) 和南勢坑溪 (352)。整體而言，各溪流藻類種數和藻類豐度差異不大，南勢坑溪出現的矽藻物種比較多一點，遠望坑溪原水中的藻類密度較高 (詳見附表)。

附生藻類群落調查是以石附生矽藻為主，將所有藻類調查結果進行三種矽藻生態功能群：「急流低營養型」、「緩流高營養型」和「底棲高營養型」之分類。兩次調查之平均 (上中下游河段) 結果，分別敘述如下 (如表 1)。首先，三條獨立溪皆以「急流低營養型」矽藻為優勢，整體平均比例都超過 40% 以上 (圖 3)，代表藻屬是曲殼藻屬 (*Achnanthes*)、卵形藻屬 (*Cocconeis*) 以及異極藻屬 (*Gomphonema biceps*)，前兩者是匍匐黏在基質上，後者則混在絲狀藍綠菌中生長 (如照片 2)，這些矽藻比較能適應急流擾動環境。二「緩流高營養型」矽藻在第二次調查，水流趨緩以後比例上升，代表藻屬是橋彎藻屬 (*Cymbella*)、針桿藻屬 (*Synedra*)、脆杆藻屬 (*Fragilaria*) 和其它的異極藻屬 (*Gomphonema spp.*)。這類矽藻會在細胞一端分泌長膠質柄，黏在緩流的基質上，或彼此鏈結

成群，由於鏈結結構鬆散，較不耐水流擾動。三「底棲高營養型」在第二次調查水流趨緩以後，整體平均



照片 1 南勢坑溪基質上的紅藻和附生矽藻生長樣式 (1-1 大岩塊上深紅斑狀為紅藻胭脂藻，紅藻生長的基質上幾乎沒有附生藻生長；1-2 和 1-3 胭脂藻細胞 (400 倍率)；1-4 中游平坦向陽石頭表面的附生矽藻 (1000 倍率)。照片由藻田公司提供)

表 1 107 年貢寮獨立溪兩次調查平均 (上中下游河段) 結果藻類生長類型比例

藻類棲地類型	遠望坑溪			南勢坑溪			北勢坑溪		
	矽藻屬名	頻度%		矽藻屬名	頻度%		矽藻屬名	頻度%	
		第一次	第二次		第一次	第二次		第一次	第二次
急流低營養	<i>Achnanthes</i>	26.1	10.8	<i>Achnanthes</i>	36.5	25.5	<i>Achnanthes</i>	24.7	26.1
	<i>Achnanthydium</i>	1.1	1.1	<i>Achnanthydium</i>	0.7	6.1	<i>Achnanthydium</i>	2.9	1.2
	<i>Adlafia</i>	0.5	5.0	<i>Cocconeis</i>	2.8	10.3	<i>Adlafia</i>	0.1	
	<i>Cocconeis</i>	11.7	3.5	<i>Gom. biceps</i>	8.3	3.3	<i>Cocconeis</i>	4.4	9.2
	<i>Gom. biceps</i>	17.1	26.6	<i>Reimeria</i>	-	0.2	<i>Gom. biceps</i>	9.2	8.9
							<i>Reimeria</i>	0.2	0.2
	小計	56.4	46.9	小計	48.4	45.4	小計	41.5	45.7
緩流高營養	<i>Amphora</i>	1.3	0.4	<i>Amphora</i>	0.8	1.2	<i>Amphora</i>	3.2	3.3
	<i>Cymbella</i>	13.1	22.9	<i>Caloneis</i>	-	0.6	<i>Cymbella</i>	5.5	6.4
	<i>Diploneis</i>	0.1	-	<i>Cymbella</i>	8.3	12.3	<i>Encyonema</i>	0.1	0.7
	<i>Fragilaria</i>	1.0	0.6	<i>Diploneis</i>	-	0.1	<i>Eunotia</i>	0.3	0.1
	<i>Gomphonema</i>	3.8	8.2	<i>Fragilaria</i>	0.3	0.4	<i>Fragilaria</i>	2.5	2.1
	<i>Halamphora</i>	0.2	-	<i>Gomphonema</i>	3.8	10.4	<i>Gomphonema</i>	1.6	7.3
	<i>Melosira</i>	2.9	1.0	<i>Halamphora</i>	0.6	0.2	<i>Halamphora</i>	0.5	0.4
	<i>Surirella</i>	-	0.3	<i>Melosira</i>	1.7	0.6	<i>Melosira</i>	2.2	0.8
	<i>Synedra</i>	0.3	0.8	<i>Staurosira</i>	-	0.6	<i>Orthosira</i>	0.2	-
	<i>Tabularia</i>	0.1	-	<i>Surirella</i>	0.4	0.5	<i>Staurosira</i>	1.7	-
				<i>Synedra</i>	-	1.6	<i>Surirella</i>	-	0.3
小計	22.8	34.2	<i>Tabularia</i>	0.3	-	<i>Synedra</i>	1.0	2.6	
底棲型高營養			小計	16.1	28.7	小計	18.8	24.1	
	<i>Bacillaria</i>	-	0.3	<i>Bacillaria</i>	-	0.7	<i>Bacillaria</i>	0.1	0.2
	<i>Navicula</i>	9.7	6.8	<i>Caloneis</i>	-	0.3	<i>Caloneis</i>	0.3	0.3
	<i>Nitzschia</i>	11.1	11.5	<i>Geissleria</i>	-	0.2	<i>Navicula</i>	22.0	15.5
			<i>Gyrosigma</i>	0.1	0.1	<i>Nitzschia</i>	15.4	14.1	
			<i>Hippodonta</i>	-	0.1	<i>Pinnularia</i>	0.1	-	
			<i>Navicula</i>	20.4	12.6	<i>Simonsenia</i>	0.4	-	
			<i>Nitzschia</i>	11.5	11.3	<i>Stauroneis</i>	0.8	0.1	
			<i>Pinnularia</i>	0.3	-				
			<i>Simonsenia</i>	0.7	-				
			<i>Stauroneis</i>	1.9	0.3				
		<i>Staurosira</i>	0.7	-					
小計	20.8	18.6	小計	35.5	25.7	小計	39.2	30.3	
其它	<i>Cyclotella</i>	0.0	0.2	<i>Cyclotella</i>	0.0	0.2	<i>Cyclotella</i>	0.4	0.0
	小計	0.0	0.2	小計	0.0	0.2	小計	0.4	0.0

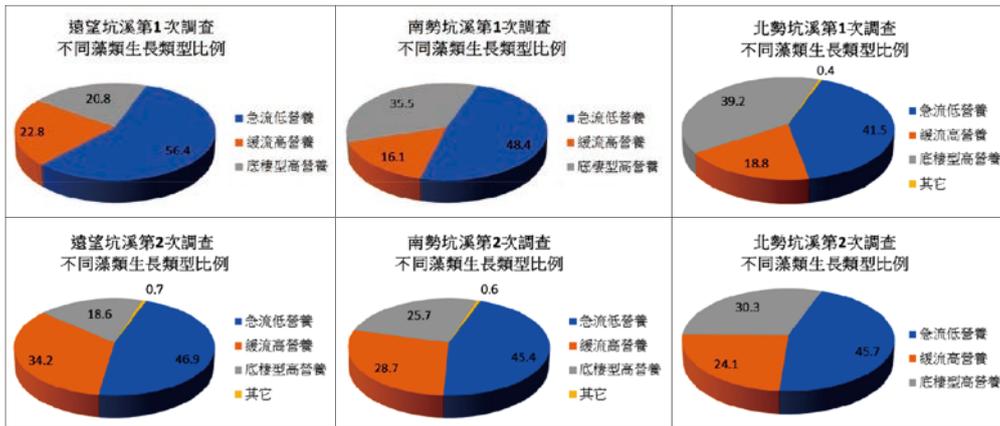
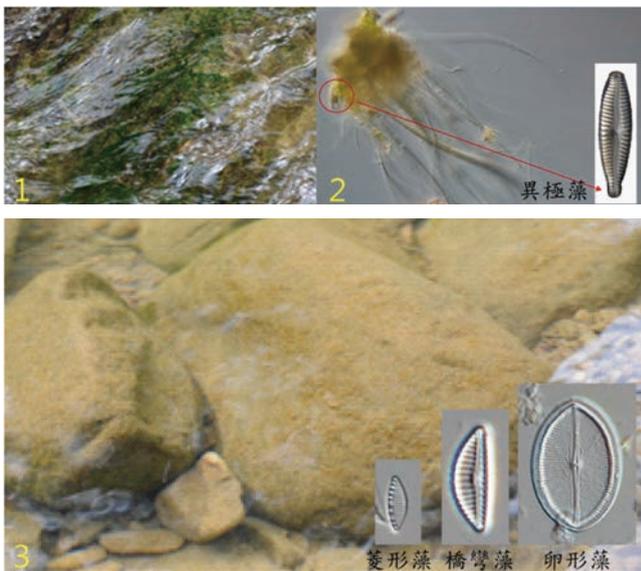
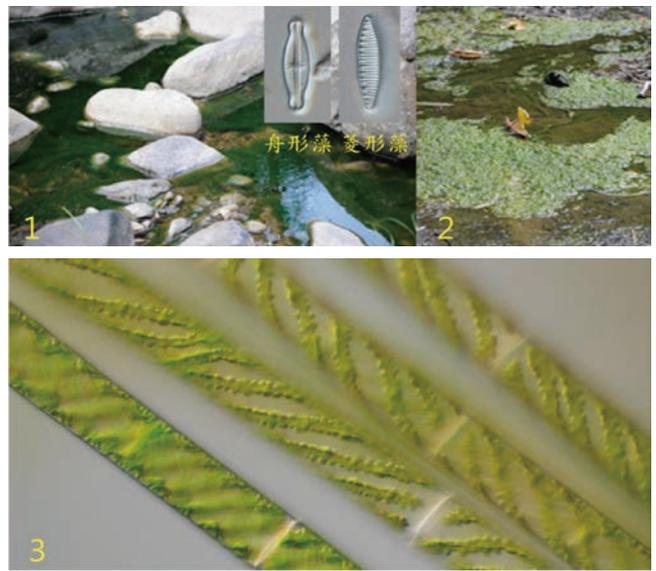


圖 3 107 年貢寮 3 條獨立溪兩次調查藻類生長類型比例



照片 2 遠望坑溪基質上附生矽藻生長樣式 (2-1 大岩石斜壁的眉藻; 2-2 眉藻與異極藻混生; 2-3 向陽的石塊表面上有豐富的附生矽藻 (1000 倍率)。照片由藻田公司提供)



照片 3 北勢坑溪基質上藻類生長情形 (3-1 北勢坑溪上游的靜止水體有大型藻水棉生長和兩種自由行走型矽藻 (1000 倍率); 3-2 水綿被微生物瓦解後隨後衍生水體腐化問題; 3-3 水綿 (1000 倍率) 顯微鏡照片。照片由藻田公司提供)

比例下降一些，變化不大。但以個別河段來看（參見附表），第一次調查的北勢坑溪上游測站「底棲高營養型」矽藻出現相當優勢比例（64.6%），該測站有多樣的舟形藻屬（*Navicula*），尤其以 *Navicula thienemannii* 占的比例最高（占整體之 16.7%）。該藻種實際野外生態研究並不多，在此參照生態功能群，該藻歸屬於營養有效性需求高的舟形藻屬。此外，第二次調查的北勢坑溪中游測站水量少，河灘地到處有大型藻水棉（*Spirogyra*）生長（如照片 3），茂密的水棉覆蓋水面，限制附生矽藻生長光線，之後水綿競爭死亡被微生物瓦解，衍生水體腐化成為水中營養，隨後吸引舟形藻屬（*Navicula*）和菱形藻屬（*Nitzschia*）這類游走

型底棲矽藻，使該測站「底棲高營養型」比例上升。

藻類組成相似性群聚分析：三條獨立溪（包含上游、中游和下游河段）之兩次調查，共計有 18 個測站，利用多變量生態統計軟體（PRIMER 6）中的多元尺度法（multidimensional scaling, MDS）進行矽藻組成的相似性（40% ~ 60%）分析，結果如圖 4 與圖 5 所示，可將 18 個測站分成五組，包括第 1 組：「南勢坑溪上游 - 第 1 次調查」、第 2 組：「南勢坑溪上游 - 第 2 次調查」、第 3 組：「北勢坑溪上游 - 第 1 次調查」、第 4 組：「遠望坑溪上游 - 第 1 和 2 次調查」以及第 5 組：「北勢坑溪上游 - 第 2 次調查和所有第 1 和 2 次

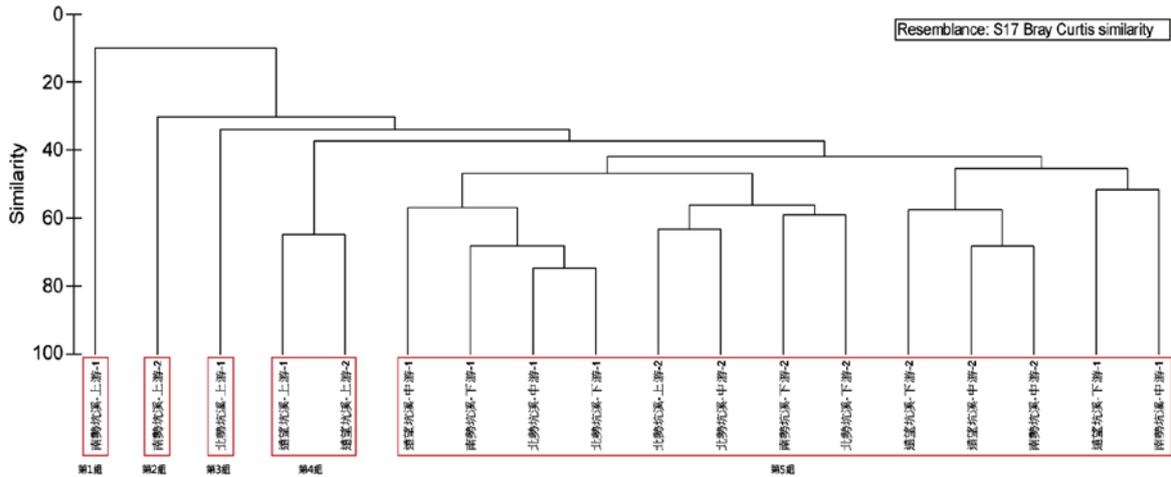


圖 4 貢寮三條獨立溪（上中下游）兩次調查之藻類組成群聚相似性分析圖

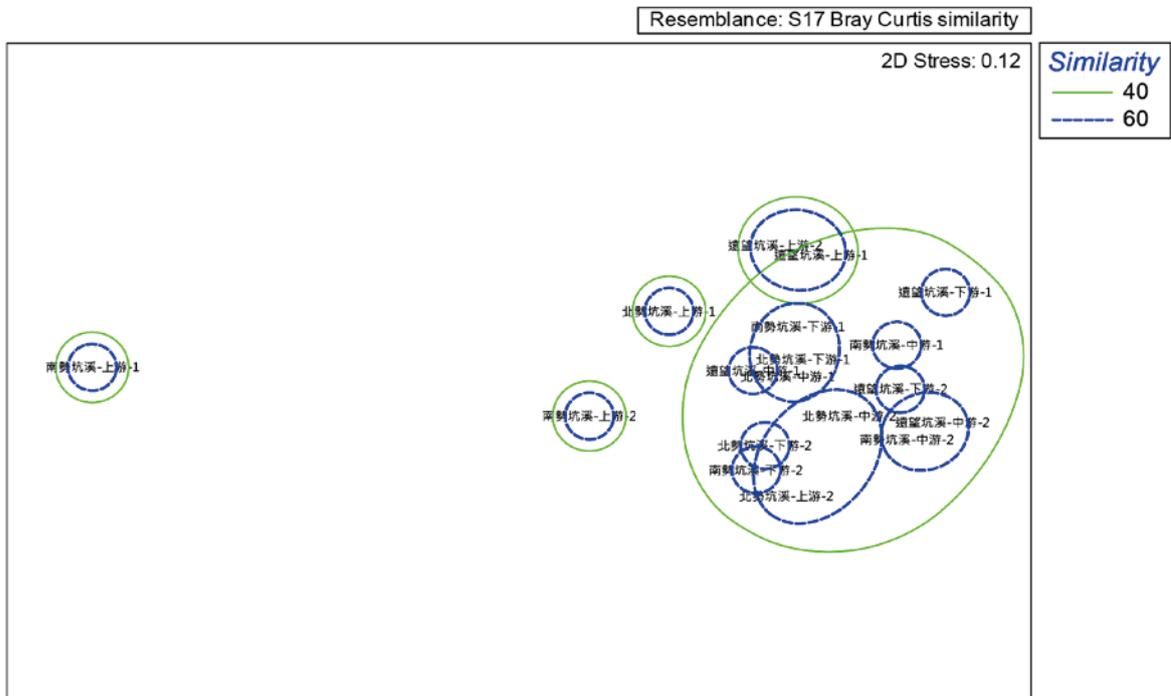


圖 5 貢寮三條獨立溪（上中下游）兩次調查之藻類組成 MDS 分析圖

調查之中下游測站」。再進一步利用相似度貢獻分析法（species contributions to similarity, SIMPER）於 40% 相似性尋找形成分組的棲地特徵。第 1 和第 2 組皆為南勢坑溪上游測站，該測站環境陰暗不利優勢藻生長，藻類相變化大，矽藻多樣性較高形成分群；第 3 組則是北勢坑溪上游測站，該測站出現優勢的底棲矽藻—舟形藻屬（*Navicula*）形成分群；第 4 組為兩次調查的遠望坑溪上游測站，該測站水流湍急，急流矽藻（*Gomphonema biceps*）優勢生長而集群；第 5 組也是最大的一組，皆因緩流矽藻（*Cymbella silesiaca*）生長而將所有河床地

勢平坦的中下游測站集成一群。藻類群聚分析結果顯示，棲境的異質性如光線（南勢坑溪上游測站）、養分有效性（第一次北勢坑溪上游測站）、水體擾動（遠望坑溪上游測站）和河床地勢（大部分樣區中下游測站）等因素造成各測站藻類組成差異的重要因子。

結論與建議

獨立溪樣區實驗結果，矽藻生態功能群是以伏貼型的「急流低營養型」矽藻為主，其次才是以直立膠質柄型的「緩流高營養型」或是在底質游走的「底棲高營養型」矽

藻。季節降雨產生之水體擾動，能抵抗急流和低營養需求的矽藻比例會特別高，一旦雨水少水流減緩後，適合緩流和高營養鹽需求的矽藻比例隨之上升。由於獨立溪河道較短，水流快速通過河道便流入海洋，實驗結果顯示，溪流樣區的水量和流速變化，為控制急流型或緩流型附生矽藻種間競爭的重要物理因子。其次，平坦溪流地形因積水導致水質腐化，吸引游走型矽藻，因此營養有效性可能次於水體擾動，成為引發藻類組成改變的化學因子。利用矽藻相同資源共存成員的群聚比例，可用來區別棲地水的流速和營養鹽濃度。本實驗參照矽藻生態功能群 (diatom ecological guilds)^[4] 分類方法，歸類樣區之急流、緩流和高營養需求的矽藻群聚變化，可解釋貢寮地區的氣候和地形條件，對獨立溪藻類生態的影響，使得水域浮游植物調查項目不僅僅只呈現樣區浮游植物生態多樣性，亦可達到生態環境評估之應用功能。然而藻類的微棲地環境複雜，例如本實驗樣區測站環境鬱閉（南勢坑溪上游）以及地底湧泉水源（遠望坑溪上游）等環境條件，導致測站藻種差異。其它還有拓殖隨機過程、水生動物掠食以及人為擾動，對棲地藻種組成影響更是無法被忽視^[18-20]。近年全球暖化導致氣候異常暴雨成災，治水防洪工程多偏重結構設施的完備，對於整治前後之流速、水深及底床變化關注不多，鮮少去顧及這些以溪流為家，附著在水裡的各式各樣基質上生長的矽藻類群。溪流是微藻重要的棲地，微藻提供生態系重要之氧氣和食物的功能與服務。在此建議公共工程施作將藻類生態納入生態檢核表之棲地評估項目之中，以加強生態保育措施之落實。近幾年矽藻成為藻類指標應用在水質評估的適用性高^[20]，藻類生態功能群的研究逐漸得到生態學界的重視^[21]。儘管如此，矽藻功能群仍需有更多在相同微棲地條件下之研究，來測試和驗證藻類生態功能群的適用性。

參考文獻

- Smol J.P. and Stoermer E.F. (2010), Applications and uses of diatoms: Prologue. In: Smol J.P. and Stoermer E.F. (eds.), *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, and edition, Cambridge University Press, 3-7.
- Lavoie, I., Campeau, S., Darchambeau, F., Cabana, C., and Dillon, P.J. (2008), Are diatoms good integrators of temporal variability in stream water quality? *Freshwater Biol.* **53**, 827-841.
- Smucker, N.J. and Vis, M.L. (2011), Diatom biomonitoring of streams: reliability of reference sites and the response of metrics to environmental variations across temporal scales. *Ecol. Indic.* **11**, pp. 1647-1657.
- Passy, S.I. (2007b), Differential cell size optimization strategies produce distinct diatom richness-body size relationships in stream benthos and plankton. *Journal of Ecology* **95**, pp. 745-754.
- 周傳鈴、吳俊宗、李俊億 (2014a), 淡水河流域的矽藻群聚與地理區位相關性研究, 台灣法醫學誌, 第 6 卷第 1 期, 第 41-55 頁。
- 周傳鈴、陳慶旺、譚智宏、蔡逸文 (2014b), 以藻類消長探討河道施工對生態環境之衝擊—以北勢溪及金瓜寮溪為例, 農業工程研討會論文集, 第 1025-1036 頁。
- Berthon, V., Bouchez, A., and Rimet, F. (2011), Using diatom lifeforms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south eastern France. *Hydrobiologia* **673**, pp. 259-271.
- Tudesque L., Grenouillet G., Gevery M., Khazraie K., and Brosse S. (2012), Influence of small-scale gold mining on French Guiana Stream: Are diatom assemblages valid disturbance sensors? *Ecol. Indic.*, **14**, pp. 100-106.
- Lengyel, E., Padišák, J., and Stenger-Kovács, Cs. (2015), Establishment of equilibrium states and effect of disturbances on benthic diatom assemblages of the Torna-stream. Hungary. *Hydrobiol.* **750**, pp. 43-56.
- Winter, J.G. and Duthie, H.C. (2000), Stream epilithic, epipelic and epiphytic diatoms: habitat fidelity and use in biomonitoring. *Aquatic Ecology* **34**, pp. 345-353.
- Townsend, S.A. and Gell, P.A. (2005), The role of substrate type on benthic diatom assemblages in the Daly and Roper rivers of the Australian wet/dry tropics. *Hydrobiologia* **548**, pp. 101-115.
- Reavie, E.D. and Smol, J.P. (1997), Diatom-based model to infer past littoral habitat characteristics in the St. Lawrence River. *Journal of Great Lakes Research* **23**, pp. 339-348.
- Passy, S.I. (2007a), Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* **86**, pp. 171-178.
- Round, F.E., Crawford, R.M., and Mann, D.G. (1990), *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747pp.
- Rimet, F. and Bouchez, A. (2012), Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* **406**, pp. 1-14.
- B-Béres, V., Török, P., Kókai, Zs., Lukács, Á., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., and I. Bácsi, (2017), Ecological background of diatom functional groups: Comparability of classification systems. *Ecol. Indic.* **82**, pp. 183-188.
- Watanabe, T., Ohtsuka, T., Tuji, A., and Houki, A. (2005), *Picture Book and Ecology of the Freshwater Diatoms*. Uchida-rokakuho, Tokyo, Japan, pp. 1-666.
- Finlay, B.J. (2002), Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science* **296**, pp. 1061-1063.
- Vyverman, W., Verleyen, E., and Sabbe, K. *et al.* (2007), Historical processes constrain patterns in global diatom diversity. *Ecology* **88**, pp. 1924-31.
- B-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., Kókai Zs Novák, Z., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., and Bácsi, I. (2016), Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream. *Ecol. Indic.* **64**, pp. 31-38.
- Padišák, J., Crossetti, L.O., and Naselli-Flores, L. (2009), Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* **621**, pp. 1-19. 



河川治理與管理工程中 生態檢核機制之落實

郭品含 / 國立臺灣大學水工試驗所 博士後研究員

工程生態檢核之目的為透過專業調查及評估，以對於整個生態系統能有更多的了解與掌握，減少工程對於生態系統產生不可逆的衝擊；然而，近期幾個備受關注在水環境營造對既有生態系統產生影響的工程案，凸顯了生態檢核機制似乎無法確實迴避工程對於生態環境產生的衝擊。河川是一個動態變動的生態系統，每一個自然因素或人為因素都可以誘發整個系統的變動，反映在下一個時刻裡河川系統呈現的樣貌。本文透過河川生態系統的介紹及生態檢核工作參與的經驗，反思河川治理與管理工程中生態檢核機制及執行工作中之重點檢核工作並提擬執行建議，期以實踐檢核工作的目標—緩解工程對生態環境的衝擊。

前言

早期的河川治理與管理業務僅涉及「防洪」及「灌溉」兩大面向，直至民國 90 年代，隨著人類對於生態環境的關切，臺灣興起了生態工法（Ecotechnology）的觀念，河川治理與管理工程中開始納入生物多樣性保育及永續發展的理念。而因應永續發展的理念，掌管河川治理與管理工程業務的經濟部水利署亦自民國 98 年起開始推動「工程生態檢核作業」，期以透過生態資料蒐集、調查、評估，將生態保育的概念融入工程方案，以降低工程對生態環境的衝擊，維持治水與生態保育的平衡。然而，近期幾個備受關注在水環境營造對既有生態系統產生影響的工程案（如：金門金沙溪護岸工程阻斷水獺移動與棲息廊道、苗栗大安溪水岸公園破壞石虎棲地、屏東保力溪堤防建造帶來陸蟹生存的危機），凸顯了生態檢核機制似乎無法確實迴避工程對於生態環境產生的衝擊，是檢核機制出現了問題？還是執行過程出現了問題？筆者嘗試藉由過去參與河川疏濬工程生態檢核工作的經驗，反思河川治理與管理工程中生態檢核機制及執行工作中之重點檢核工

作及執行建議，提供後續相關檢核工作參考，期以達到緩解工程對生態環境衝擊的目標。

水利工程生態檢核作業

工程生態檢核機制為在工程生命週期裡的四個階段：工程計畫提報、調查設計、施工及維護管理，透過專業調查及評估，了解各工程場址之生態系統、生態敏感區位及工程執行在各場址生態系統服務項所衍生的競合關係，以適時、適當地納入迴避、縮小、減輕、補償等策略，減緩工程施作對於既有生態系統產生不可逆之負面影響。於民國 106 年年初，行政院公共工程委員會已函文各公共工程主管機關，規範各公共工程計畫應將生態檢核機制納入各工程執行之應辦事項中（依據：行政院公共工程委員會 106 年 4 月 25 日工程技字第 10600124400 號函）；因此，經濟部水利署於民國 106 年年中依循水利工程及水域生態特性提擬了水利工程生態檢核機制（圖 1、圖 2），並將此檢核機制全面融入刻正執行之前瞻基礎建設 - 水環境建設相關工程規劃中。

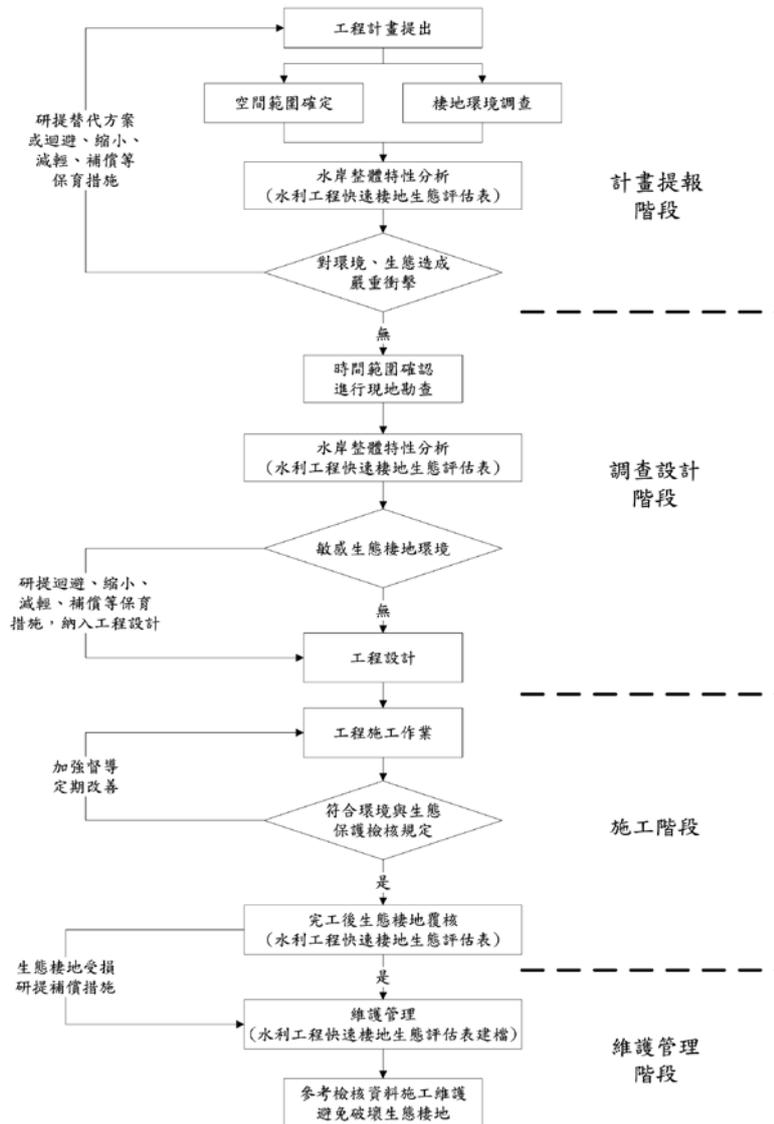


圖1 水利工程生態檢核作業流程（資料來源：水利署 106 年 6 月 23 日經水河字第 10616068460 號函）

然而，河川流域是一個系統，其也支持及建構著相應之生態系統，生活在這個系統上的人們又構成了一個社會系統；因此，每一個工程的執行皆牽動著系統性的變化，檢核工作不應該僅單點式的聚焦於工程場域，更不應該淪為條列式的勾選。筆者於民國 107 年曾參與經濟部水利署第十河川局主辦之臺北防洪計畫（大漢溪、新店溪及二重疏洪道河段）清疏以維生態策略研擬計畫（施上粟^[1]）中之「江子翠（二重疏洪道入口堰）疏濬規劃」之工程生態檢核工作，此檢核工作中為以水利工程生態檢核作業流程為基礎，進一步融入「河川系統」、「生態系統」、「權益相關者之權衡和選擇」三大面向的分析探討，促成了一個同時考量社會（People）、環境（Planet）、經濟（Profit）永

續發展三基線（triple bottom line, TBL）要素之規劃方案。以下茲就如何將流域、生態及權益相關者之分析成果納入工程生態檢核工作中，希冀本工作經驗可以作為未來河川治理與管理工程中，執行生態檢核工作之參考案例。

河川系統

河川系統之範疇擴及整個流域，從河相學的角度來看，整個河川系統的變動與流態（flow regime）、輸砂量（sediment yield）、地形特徵（geomorphic characteristics）等環境因子皆有所關連；此外，人為活動也是一個牽動河川系統變遷的主要因素（圖3）。因此，河川系統涉及水域、土地、生態資源、人文社經

計畫名稱		河川名稱	計畫日期	計畫人	
工程名稱		設計單位	紀錄日期		
工程期程		監造廠商			
主辦機關		施工廠商			
工程基本資料	現況圖	<input type="checkbox"/> 定期連續開界照片 <input type="checkbox"/> 工程段地形照片 <input type="checkbox"/> 水域棲地照片 <input type="checkbox"/> 水岸及護地照片 <input type="checkbox"/> 水塘生物照片 <input type="checkbox"/> 相關工程計畫索引 <input type="checkbox"/> 其他：_____ (視現況圖及相關照片等列附件)	檢核項目	評估內容	檢核事項
	基地位置	行政區：_____(縣) 市(鎮) Y：_____	一、專家參與	是否有生態背景工程工作團隊生態衝擊、擬定生態保育原則 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否：_____	是否組成含生態背景及工程專業之跨領域工作團隊? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	工程目的		二、調查設計	1. 區位：(法定自然保護區) 2. (法定自然保護區包含自然物重要棲息環境、國家保護區、國家重要濕地、)	是否根據本利工程快速棲地生態評估成果提出生態保育措施及工程方案，並透過生態及工程人員的意見往復確認可行性後，完成細部設計。 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
	工程概要		三、資訊公開		
	預期效益		階段		
			檢核項目	評估內容	檢核事項
			一、專家參與	是否有生態背景及工程專業團隊 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否：_____	是否組成含生態背景及工程專業之跨領域工作團隊? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
			二、施工廠商	1. 是否辦理施工人員及生態背景人員現場動員，確認施工廠商清楚瞭解生態保全對象位置? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 2. 是否編定施工前環境保護教育訓練計畫，並將生態保育措施納入宣導。 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
			三、施工計畫書	施工計畫書是否納入生態保育措施，說明施工擾動範圍，並以圖面呈現與生態保全對象之相對應位置。 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
			四、生態保育	1. 履約文件是否有將生態保育措施納入自主檢查? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 2. 是否編定工地環境生態自主檢查表及其管理處理計畫? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 3. 施工是否確實依編定之生態保育措施執行，並於施工過程中注意對生態之影響，以確認生態保育成效? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 4. 施工生態保育執行狀況是否納入工程督導? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
			五、生態保育管理措施	是否邀集生態背景人員、相關單位，在地民眾與關心相關團體辦理施工說明會，蒐集、整合並溝通相關意見? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
			六、地方說明會	是否邀集生態背景人員、相關單位、在地民眾與關心相關團體辦理地方說明會，蒐集、整合並溝通相關意見，畫構想方案、生態影響、因應對策，並蒐集回應相關意見。 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
			七、計畫資訊公開	是否主動將工程計畫內容之資訊公開? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否：_____	
			八、完工履約	是否將工程生命週期之生態棲地檢核成果資料建檔，以利後續維護管理參考，避免破壞生態? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
			九、施工管理	是否將工程生命週期之生態棲地檢核成果資料等資訊公開? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	
		十、資訊公開	評估資訊公開 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否：_____		

圖 2 水利工程生態檢核自評表 (資料來源:水利署 106 年 6 月 23 日經水河字第 10616068460 號函)

活動等面向，現今談及河川治理與管理時，亦已導向流域整體治理與管理規劃。然而，流域治理的落實仍然面臨著許多挑戰 (施上粟^[2])，而隨著臺灣政府組織改造，民國 107 年行政院院會通過環境資源部組織法草案，是否可以透過主管機關的整合，發揮流域治理的目標仍有待觀察。

淡水河發源自雪霸國家公園內的品田山，河流幹流長約 159 公里，為臺灣第三長之河流，流域面積為 2,726 平方公里，亦為臺灣第三大之流域面積。淡水河具有三大支流：大漢溪、新店溪、基隆河，主流中、下游貫穿了大臺北都會區，因此河防安全一直是淡水河流域治理與管理的重點議題，且隨著都市的開發、經濟活動的發展及人口的拓展，加劇了臺北防洪系統的負擔。

淡水河流域防洪建設經歷了多次的檢討、修正、提升，就目前防洪能力分析結果，淡水河自重陽橋往上游至大

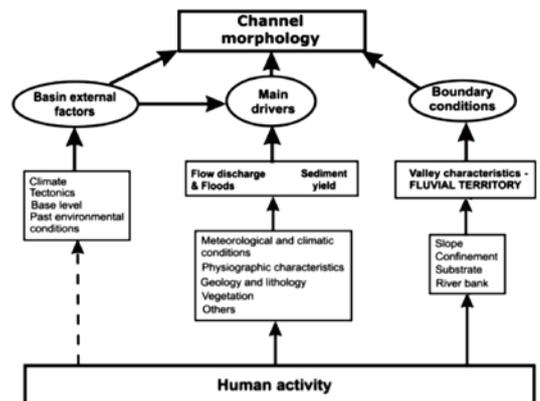


圖 3 河川系統中造就河相演變的相關因子 (圖資來源: Ibisate et al. [3])

漢溪浮洲人工溼地間之河段，其現況 200 年重現期距洪水水位有高於計畫洪水位的現象（圖 4），造成洪水位提高的原因推測與河道淤積（包含未完全清除的蘆洲垃圾山及三重垃圾山）、河岸植群擴張及新建橋墩有關。綜合性分析淡水河流域河防提升的可行方案，考量淡水河流域中、下游已歷經長年開發，從河川通洪能力提升為考量的策略，可行的方案實屬有限，河川疏濬為其中相較可行性之作法之一。

生態系統

流域亦可視為一個生態系統，而河川為貫穿這個系統的廊道；河川中物理因子的多樣性和異質性，造就了不同的棲地樣貌，提供多樣性的物種利用空間，而河川中物理、生物、化學、人為等因子間的交互作用，也牽動著整個生態系統的變化。Vannote *et al.* [4] 提出的「河川續動學說（river continuum concept）」說明了每一個時間點上，河川系統中物理因子的改變，都會在空間上產生生物項的差異，也因此從縱向層面來看，河川上游、中游、下游具有不同的生態結構（圖 5）；而河川的橫向層面也藉由水體做為媒介，連接了不同的介面，Junk *et al.* [5] 提出的「洪水脈衝概念（flood pulse concept）」闡述了每一次的洪水氾濫，都會促進河川水、陸間能量與物質的傳遞與交換，為提升河川生態系

統生產力的重要推手。此外，在空間及時間尺度上，河川系統可再區分不同層級（圖 6），也因此探討河川系統時需跨越不同空間及時間尺度，以避免僅落在某一個層級的分析（Wiens [6]），因而疏忽了系統中不同層級間由下至上（bottom-up）或由上至下（top-down）的影響，因而對整個系統做出錯誤的推斷（Allen *et al.* [7]）。這也提醒著河川工程生態檢核工作中，應以整個系統為範疇，且檢核工作需涵蓋不同的空間及時間尺度。

人類可以直接或間接從生態系統中獲取到之效益稱為生態系統服務（ecosystem services），其可分供應（provision）、調節（regulation）、文化（culture）與支持（supporting）四大功能面向（Millennium Ecosystem Assessment, MA [10]）。淡水河流域中、下游具備了多樣的棲地型態如：水域、草澤、裸灘地、草地、林地、人工綠地等；謝蕙蓮 [11] 藉由專家系統問卷彙集水利、生態及文化、人文或景觀學等三大類背景共 20 位專家學者的意見，針對淡水河生態系重要的次系統、生態功能、生態服務及人類福祉項目進行評比，發現淡水河生態系最重要的四大生態次系統為紅樹林、潮間帶草澤、內陸淡水河道及河口河道，提供知識系統、食物、土壤肥沃度、遊憩機會及可耕地五大生態系統服務項。就江子翠（二重疏洪道入口堰）疏濬規劃這個區位來看，其主要之棲地型態為草澤、裸灘地，可以提供之生態系統

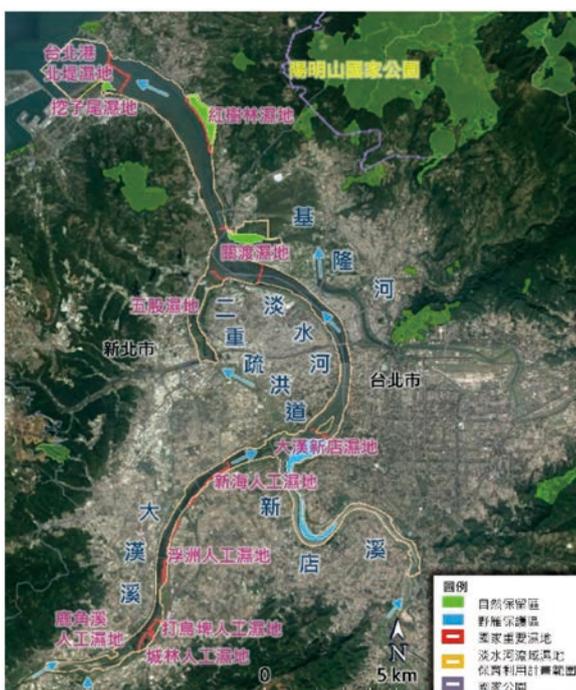
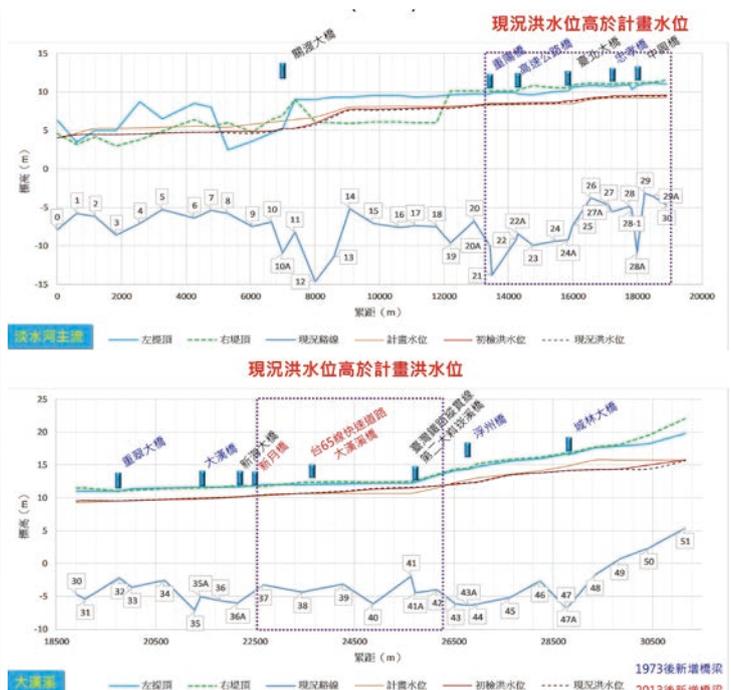


圖 4 淡水河主流現況洪水水位分析結果（圖資來源：施上粟 [1]）



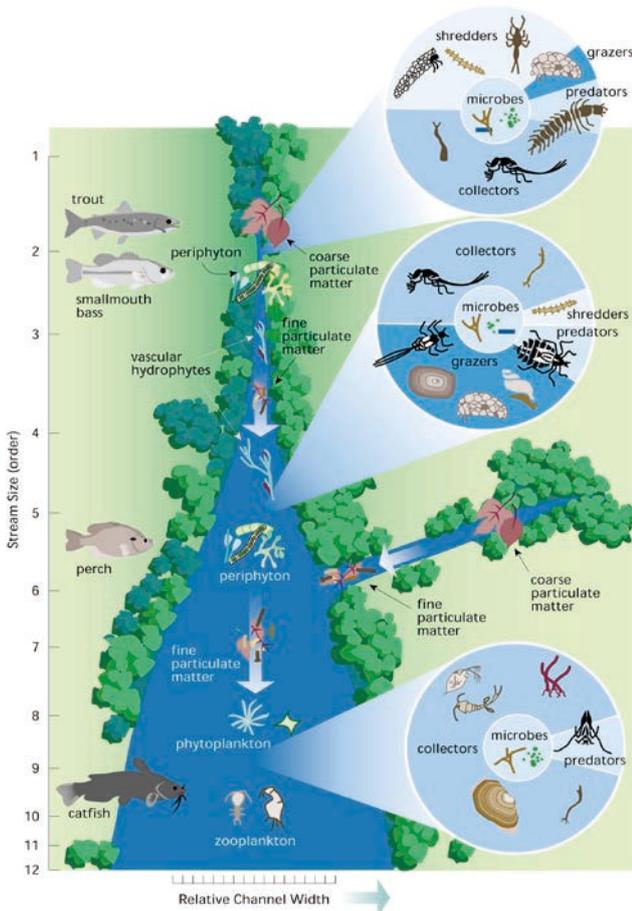


圖 5 河川續動概念中生態結構及功能屬性關係示意圖 (圖資來源: USDA [8])

服務項包含：生物化學物質供給、遺傳資源、氣候調節、水質淨化、自然災害減緩、授粉、心靈、娛樂、美學、教育、營養循環；而河道減糙、疏濬工程對於各個生態服務項可能帶來正面或負面的影響（表 1）。由於每一個生態系統服務項都有其獨特性及不同程度的需求，因此在工程生態檢核工作中，應以生態系統建構與維持為基礎，完整地探討生態系統帶來之服務功能與價值，以免落入單一面向的評估。

表 1 江子翠（二重疏洪道入口堰）生態系統服務項評估

江子翠（二重疏洪道入口堰）生態系統服務項			
供應	調節	文化	支持
<ul style="list-style-type: none"> • 生物化學物質 (+/-) • 遺傳資源 (+/-) 	<ul style="list-style-type: none"> • 氣候調節 (+/-) • 水質淨化 (-) • 土壤留存 (-) • 自然災害減緩 (+) • 授粉 (-) 	<ul style="list-style-type: none"> • 心靈 (+/-) • 娛樂 (+/-) • 美學 (+/-) • 教育 (+/-) 	<ul style="list-style-type: none"> • 營養循環 (+/-)

註：“+”指河道減糙、疏濬工程對生態系統服務具有提升機會；“-”河道減糙、疏濬工程對生態系統服務指具有潛在衝擊；“X”指河道減糙、疏濬工程對生態系統服務無影響。

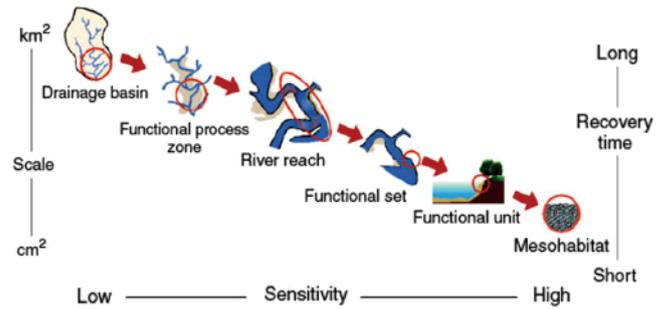


圖 6 河川系統於空間及時間尺度上的探討尺度，每一個層級對於環境變動的敏感性及恢復能力亦有所差異。(圖資來源: Parsons et al. [9])

權益相關者

公民參與機制是工程生態檢核工作中重要的一環，而公民參與不應該停留在說明會、公聽會等單向資訊傳輸的模式，反之需要透過雙向對話平台與機制的建立，與權益相關者對話、互動、互學，以掌握河川系統多元之價值，建構權益相關者間互信之夥伴關係。就淡水河流域而言，其提供多樣性之生態系統服務項（表 1），而對於共享這些資源及共同承擔這個流域災害風險的權益相關者，各有不同關注之議題。其中，與自然災害調節服務項相關的「河防安全」為淡水河流域河川治理管理主管機關—經濟部水利署第十河川局的職責所在，無疑地為其首要關注的課題，而其他權益相關者在乎的是什麼呢？筆者參與之工作團隊導入了參與式設計（倫迪鶴斯特及張聖琳 [12]）之概念，透過卡片遊戲設計（圖 7）由長期關注淡水河流域河川治理管理之在地 NGO（水患治理監督聯盟、台灣永續聯盟、自然步道協會、台北市野鳥學會、荒野保護協會）挑選淡水河流域現有生態系統服務項中最重要之五項服務項，統計受訪者之調查成果，受訪者認為最重要的生態系統服務項為「氣候調節」與「教育」，其次分別為娛樂、水質淨化、遺傳多樣性、自然災害減緩、食物供給、營養循環與心靈，顯示不同的群眾個體，在生態系統服務項上，確實具有不同的關注面向及關注程度上的差異，也提醒著公民參與機制需盡可能地擴及不同屬性的權益相關者，才能匯集完整之意見、凝聚最大之共識。

工程執行過程中及完成後，對於原本的生態系統具有潛在之影響，在各生態系統服務項所衍生的競合關係，需透過權益相關者間進行對話與溝通做出權衡和選擇。「聆聽」為對話與溝通的第一步，在透過訪談、卡片遊戲等方式了解各方關注的議題後，接著還



圖 7 卡片遊戲設計—透過視覺化的圖卡設計，讓受訪者可以直接地選擇心中最關心的議題

維持皆有所助益，且為權益相關者具有共識且支持的議案。因此，工作團隊進一步於疏濬方案中納入棲地營造規劃，參考計畫區內重要的物種—小水鴨 (*Anas crecca*) 於區域中最適合之棲地環境條件：坡度介於 0.7% 至 1.4% 間、地表高程介於 EL. 0.3 m 至 EL. 0.7 m (黃國文^[13])，作為工程設計方案 (圖 8)。然而，每個工程的執行對於原本的生態系統一定具有潛在之影響，應以整體生態系統維持與營造為考量，且儘管是一個已將生態保育的概念融入，兼顧河防安全與生態系統服務價值雙贏的工程方案，仍有可能對既有生態資源產生之衝擊，不能貿然的行

需要透過「目標擬定」、「方案評估」等步驟，整合權益相關者之意見，達到多方共識。工作團隊進一步透過討論會的形式，邀集權益相關者進行對話，工作團隊亦提供科學研究數據 (流域水理分析、棲地環境分析、生態調查數據等) 作為對話的基礎。雖然權益相關者各自關注的議題看似沒有交集，但透過對話找到了相同的關鍵的因子—河川淤積；淤積影響了通洪能力、棲地品質，對於自然災害減緩、教育等各自關心的生態系統服務項皆造成了負面影響，也因此「疏濬」成為了各權益相關者關注與支持的議案。從這個案例筆者想拋出的建議是：公民參與機制不是工程規劃與執行的最後一項工作，更不是單向的告知，而是在規劃與執行的過程中，工作團隊基於對環境的了解，協助權益相關者進行對話與溝通，建立互動與互信之夥伴關係，共同擬定目標、評估可能之方案。河川工程生態檢核工作中，公民參與機制不應該只是有沒有辦理地方說明會，而是有沒有在工程生命週期裡的每一個時刻，提供權益相關者實質參與的機會，與權益相關者對話與溝通，將河川系統能夠提供給各權益相關者的生態系統服務項完全地納入考量。

雙贏方案 (win-win solution)

江子翠 (二重疏洪道入口堰) 位於淡水河系大漢溪及新店溪匯流口，屬淡水河左岸、二重疏洪道入口堰外，對岸為華江濕地，此區域亦位屬淡水河重要濕地—大漢新店濕地範圍內 (圖 4)。根據淡水河流域之防洪能力分析與生態系統及其服務項之盤點與探討，於江子翠地區進行適當的疏濬與植生移除，使原已逐漸陸域化之河岸轉為裸灘地，對於河防安全提升及生態系統建構與

動，必需考量必要的生態衝擊緩解策略，如：為避免施工過程中可能對既有生態資源產生之衝擊，工程施作期應避開生物高度利用時間如水鳥渡冬季；若施作期確實無法迴避時，應確定本規劃河段週邊具有其他相似之棲地，做為施工期間之替代棲地。其也提醒著我們：河川工程生態檢核工作中之生態保育措施及工程設計方案，亦需將生態衝擊緩解策略納入評估機制。

結語

河川是一個動態變動的生態系統，系統中的每一個元素在時間上具有變異性 (variability)、在空間上具有異質性 (heterogeneity)，而每一個自然因素或人為因素都可以誘發整個系統的變動，反映在下一個時刻裡河川系統呈現的樣貌。透過工程手段解決環境問題，應是基於對於這個環境的了解，藉由外力來參與這個系統變動的過程，達到所設定的目標；然而，每一個工程的執行對於生態系統也是一個擾動、一個選擇，其透過外力替這個系統選擇，轉換到一個設定好的系統模式。解決一個環境問題，有時候反而會製造另一個環境問題，為了避免落入這樣的窘境，因此有了工程生態檢核機制；此機制的設立為確保在工程規劃、設計、施工及維護管理的各階段中，能夠透過專業調查及評估，對於整個生態系統能有更多的了解與掌握，減少工程對於生態系統產生不可逆的衝擊。但，生態檢核機制絕對不是避免工程對於生態系統造成負面衝擊的萬靈丹，面對複雜的生態系統，仍需有更系統性的概念去評估、更嚴謹的科學數據去佐證、更開放的態度去學習。

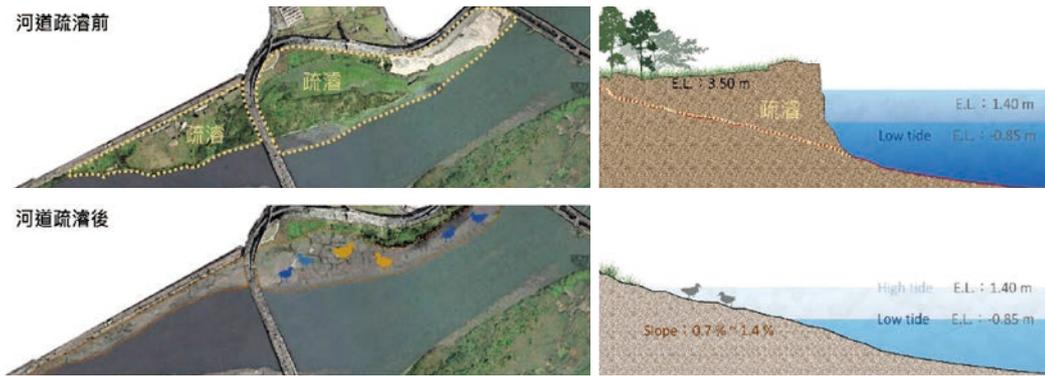


圖 8 江子翠疏濬方案 (圖左：平面圖；圖右：側面圖) (圖資來源：施上粟^[14])

對於生態系統的了解，仍需透過做中學、學中做的過程，不斷地學習、檢討、修正。因此，筆者想透過淡水河流域江子翠（二重疏洪道入口堰）疏濬規劃之工程生態檢核工作執行經驗，思考工程檢核機制及執行工作是否有可以強化的地方，讓檢核工作可以更實質地減少工程對生態系統帶來的負面影響。就河川工程生態檢核工作，筆者提出四項建議：(1) 檢核工作之空間及時間尺度上的分析範疇應擴及整個系統（流域系統、生態系統）；(2) 檢核工作中探究之生態議題應以生態系統建構與維持為基礎，完整地探討生態系統帶來之服務功能與價值；(3) 檢核工作中除了關注在工程設計方案外，亦需將工程生命週期中每一個時刻應採取的生態衝擊緩解策略納入評估機制；(4) 檢核工作中之公民參與機制應擴及多元之群眾個體，在工程生命週期裡的每一個時刻，落實權益相關者之意見傳達與雙向溝通，將河川系統能夠提供給各權益相關者的生態系統服務項完全地納入考量。

最後，筆者想要再提出一個反思，工程檢核的目的是為了避免或減輕工程對於生態系統產生不可逆的衝擊，換句話說就像是對於生態系統的一個補救措施。然而，在一個工程提擬之前是不是少了一步檢核工作——「工程執行必要性及合理性的檢核」？如果工程規劃不具備必要性及合理性，那工程規劃理因不得執行，也不再需要配套之補救措施。因此，筆者建議應將工程執行必要性納入工程檢核流程的第一步，其也是不可缺少的一步。

參考文獻

1. 施上粟 (2018)，臺北防洪計畫（大漢溪、新店溪及二重疏洪道河段）清疏以維生態策略研擬，成果報告，經濟部水利署第十河川局，臺灣、臺北。
2. 施上粟 (2017)，水利防災中水生生態系統面臨的挑戰，土木水利，第四十四卷、第五期。
3. Ibsate, A., Ollero, A., and Diaz, E. (2011), Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats, *Limnetica*, **30**(2), pp. 169-182.

4. Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., and Cushing, C.E. (1980), The river continuum concept, *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, **37**(1), pp. 130-137.
5. Junk, W.J., Bayley, P.B., and Sparks, R.E. (1989), The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: Dodge, D.P., Ed., *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication 106, NRC research press, Ottawa.
6. Wiens, J. A. (1989), Spatial scaling in ecology, *Functional Ecology*, **3**, pp. 385-397.
7. Allen, T.F.H., O'Neill, R.V., and Hoekstra, T.W. (1987), Inter-level relations in ecological research and management: some working principles from hierarchy theory, *Journal of Applied Systems Analysis*, **14**, pp. 63-79.
8. USDA (U.S. Department of Agriculture), (2001), *Stream Corridor Restoration: Principles, Process and Practices*. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, USDA.
9. 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), pp. 401-410.
10. Millennium Ecosystem Assessment (MA), (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water*. Island Press, Washington, USA.
11. 謝蕙蓮 (2013)，「淡水河生態系生態服務機制探討」，成果報告，國科會，臺灣、臺北。
12. 倫迪鶴斯特、張聖琳 (1999)，「造坊有理：社區設計的梦想與實驗」，三民書局，臺灣、臺北。
13. 黃國文 (2012)，「華江濕地小水鴨度冬棲地之適應性管理」，國立臺灣大學土木工程學系博士論文，臺灣、臺北。
14. 施上粟 (2019)，「淡水河主流及其周邊河道減糙及疏濬策略研擬」，期初報告，經濟部水利署第十河川局，臺灣、臺北。

作者介紹

作者郭品含博士目前為國立臺灣大學水工試驗所博士後研究員，研究議題著重於環境中之實質議題如洪災管理、海岸濕地變遷、濕地管理等，研究主軸為透過現地調查與實驗、水理模式計算、生態系統服務功能分析、決策支援系統應用等方法，分析不同時間與空間尺度之水文律動與表面水體流動過程，以探究各研究議題中水理因子與環境因子之交互關係。此外，作者於研究工作中亦強調公眾參與與環境教育工作的實踐，希冀以研究成果為基礎，建構權益相關者間對話的橋樑，以發揮實質助益。



Message for the ACECC 20th Anniversary



亞洲土木工程聯盟

ACECC 成立 20 週年誌賀感言



Chairman Yen-Yi TSENG

Chairman of ASE Culture and Education Foundation(2015--)
 Chairman of Hung Ching Co., Ltd., the ASE Group.(1999-2015)
 President of Ret-Ser Engineering Agency (1991-1998)
 President of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineers (1999-2000)
 Executive Director of Asian Civil Engineering Coordinating Council (ACECC)

曾元一

日月光文教基金會董事長 (2015--)
 宏環建設董事長 (1999-2015)
 榮工處處長 (1991-1998)
 中國土木水利工程學會理事長 (1999-2000)
 ACECC 執行委員會主席

During 1999 and 2000, I served as the 13th President of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering (CICHE). Considering the importance of civil engineering development and cooperation in Asia, CICHE and 4 other organizations, ASCE, JSCE, KSCE, and PICE jointly signed to establish the Asian Civil Engineering Coordinating Council (ACECC). Twenty years on, the ACECC continues to thrive as Asia's economies take off. By 2019, 14 organizations had joined, with a total population of more than 710,000 engineers. The long term effort is truly a remarkable achievement and one to be congratulated on!

As we celebrate the 20th anniversary of ACECC, I would like to take this opportunity to thank all CICHE partners for working together. Mr. Chi-Shou HSIEH and I ran along to set up ACECC. Mr. Jenn-Chuan CHERN and Mr. John Chien-Chung LI have made long-term contributions to ACECC. Many predecessors, Mr. Chin-Der OU, Mr. Ching-Peng SHEN, as well as many other outstanding scholars and engineers in various fields, your contributions have reached exceptional achievements today. Thank you. I certainly want to share with you all the twenty years of honor.

Looking ahead, ACECC will play a more critical role in the cooperation and promotion of civil engineering in Asia and even the world. It is my sincere hope that more up-and-coming stars will continue previous efforts to help ACECC to flourish and CICHE to shine more brightly in the world.

1999年我擔任CICHE第13屆理事長，經過多次奔走，由CICHE與ASCE, JSCE, KSCE及PICE五個國家之土木工程組織，共同創設Asian Civil Engineering Coordinating Council, ACECC。時光飛逝轉眼20載，此期間適逢亞洲經濟起飛，ACECC不斷茁壯，於2019年統計已有14個組織加入，總人數超過71萬人。這真是個了不起的成就，可喜可賀！

在慶祝ACECC二十週年的同時，我要藉此機會感



Signing ceremony of ACECC establishment in 1999



Chi-Shou HSIEH



Jenn-Chuan CHERN



John LI



Za-Chieh MOH



Chin-Der OU



Ching-Peng SHEN

謝所有CICHE一起打拼的夥伴。謝季壽先生與我一起奔走創設ACECC；陳振川先生、李建中先生等長期貢獻於ACECC；還有多位前輩，歐晉德先生、沈景鵬先生、周南山先生等，以及各領域優秀的教授學者、卓越的工程師專家們，有你們的貢獻才有我們今天的成果。感謝您們，這二十年的榮譽要與您們共享。

展望未來，ACECC對亞洲甚至全世界，於土木工程領域的合作及推動，將扮演更重要的角色。希望更多後起之秀，接續前人力，協助ACECC組織蓬勃發展，讓CICHE在國際舞台發光發熱！



Prof. Jenn-Chuan CHERN

Chair of ACECC Committee (1999-2003)
 President, CICHE (2003-2005)
 Chairman of the ACECC (2004-2007)
 CEO of the Tang Prize Foundation (2012-)
 Professor Emeritus of Civil Engineering, National Taiwan University

陳振川

中國土木工程學會 ACECC 委員會主任委員 (1999-2003)
 中國土木工程學會理事長 (2003-2005)
 亞洲土木工程聯盟主席 (2004-2007)
 唐獎教育基金會執行長 (2012-)
 國立臺灣大學土木工程系名譽教授

The Asian Civil Engineering Coordinating Council, ACECC, was established in 1999. Under the continuous past efforts, it has grown from 5 founding member organizations to 14 member organizations in the past 20 years. In the Asian region with the largest population, rapid economic development and the largest number of infrastructure projects, ACECC is an important coordination organization of the Civil Engineering Society of the Asian countries. Established in 1985 as ASCE, ECCE (22 member organizations) established in 1985, and WCCE established in 2005 by 24 member organizations from Europe, Africa and South America, ACECC represents Asia as a civil engineering coordinating organization in this world fastest growing region. ACECC, as an important part of the world civil engineering organization, provides the service to member organizations and also participates in the world engineering community technology exchanges. We are pleased with the establishment and development of the ACECC by expressing our gratitude to those who had contributed to this organization and blessing for a great future.

The ACECC organized the Asian Civil Engineering Summit in 2006. After more than eight months of development and in-depth discussions, on June 26, 2007, 41 presidents, past presidents and senior representatives of 41 civil engineering leaders from all over the world were at the Taipei 101, the tallest building then, jointly signed the "Taipei Declaration on Sustainable Development", which shows the future direction of the civil engineering and is also an important moment in the history of the world civil engineering society.

This year, the 20th anniversary of the establishment of the ACECC, we see that the responsibility of civil engineers seems to be heavier, regardless of people's food and clothing, recreational, disaster relief and reconstruction, energy and urban development, how to increase the resilience to disasters and adaption to the climate Changes and efforts to save energy and reduce carbon are important tasks for engineers. We believe that sustainable development is endless hard work, and engineers must use this as a concept and implement it together in action. Moreover, civil engineers should also be committed to the promotion of circular economy, make good use of resources, reduce environmental pollution, share our experience and enhance the level of our member organizations in the Asian region.

It is also the ACECC should strive to promote development.

Dr. Samuel Yin of Runtex Group founded the International Award "Tang Prize Award" in 2012 and set up the "Sustainable Development" award category to recognize those who have made extraordinary contributions to the sustainable development of human societies, especially through groundbreaking innovations in science and technology. I also especially encourage ACECC and civil engineers to work together towards this goal, to bring innovation value and positive change to the world, and to become the driving force for continuous efforts in the new era. (www.tang-prize.org)

亞洲土木工程聯盟 ACECC 成立於 1999 年，在歷屆努力下，20 年來已經從成立時 5 個會員組織，迄今已經發展成 14 個會員組織。在人口最多、經濟發展快速、工程建設數量最多的亞洲地區，ACECC 是亞洲地區各國土木工程學會之重要協調組織。和 1985 年成立的 ASCE，1985 年成立的 ECCE (22 個會員組織)，暨由歐洲、非洲及南美洲為主體於 2005 年成立之 WCCE (24 個會員組織)，ACECC 代表亞洲成為此地區土木工程界服務之重要組織，也是世界土木工程組織重要一環，參與世界工程界交流。我們為 ACECC 的成立及順利發展感到喜悅，表示感謝及祝福。

ACECC 於 2006 年籌辦亞洲土木工程高峰會，歷經八個多月研擬及深入討論，在 2007 年 6 月 26 日由 41 位各國土木工程界會長、前會長及各界高層代表人 41 位於當時世界最高樓台北 101 共同簽署「台北永續發展宣言」，前瞻的彰顯土木工程界未來發展具體方向，也是世界土木工程界歷史上重要一刻。

今年，適逢 ACECC 成立滿二十週年，我們看到土木工程師的責任似乎更重，不論人們的食衣住行育樂、防救災及重建、能源及城鄉發展，如何增加抗災韌性及調適氣候變遷，並努力節能減碳，均是工程師重要職務。我們相信永續發展推動是永無止盡，工程師們也要以此為念，共同落實於行動。而且，土木工



Past ACECC chairs in CECAR 4



Signing Ceremony in Taipei 101



Signing Ceremony at the Asian Summit



Closing Ceremony in CECAR 4



ACECC Taipei Declaration on Sustainable Development, 2006

程師也應該致力於循環經濟推動，善用資源，減少環境污染，而分享及提升會員國組織於亞洲地區之水準，也是 ACECC 應該致力發展推動。

潤泰集團尹衍樑博士於 2012 年創立國際大獎「唐獎」，並設置「永續發展」獎項以表彰對人類在地球上永續生存與發展具開創性及卓越貢獻者。我也特別鼓勵 ACECC 和土木工程師共同朝此目標努力，致力於為世界社會帶來創新價值與改變，成為嶄新時代不斷努力的動力。



Tang Prize Awarding Ceremony (James Hansen)



President Jaw-Lieh WANG

President of Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering (2017-present)
 Chair of Concrete Engineering Committee, CICHE (2010-2018)
 Board Director & Senior Advisor of CECI Engineering Consultants Inc. Taiwan (2019-present)
 President of CECI Engineering Consultants Inc. Taiwan (2016-2019)
 President of Taiwan Institute of Steel Construction (2018-present)



The 14 Presidents of 14 ACECC Members (2019.4..16)

I would like to represent CICHE, one of five founding members, to congratulate the 20th anniversary of the ACECC establishment. Especially her great success on promoting the collaboration efforts in the infrastructure sustainable development within the Asian region.

As we all know on the date of April 16 this year all the members signed the 2019 ACECC Tokyo Declaration, among all the initiatives, I personally consider the most important function of ACECC shall be the experience and technology development sharing in various regions, organizations and disciplines.

In the last decades, Taiwan has been suffered varies catastrophes, for examples: 921 Earthquake (Sep. 21, 1999), Morakot Typhoon Disaster (Aug. 8, 2009), it not only devastated Taiwan economics and transportation systems, but also caused huge casualties.

As a professional Civil & Hydraulic engineer organization, CICHE is playing an important role to document all the damages, looking for the solutions to improve construction materials, to revise the design regulation & specification, to help the government passing the new polices. As a member of ACECC, we would like to have more opportunities to share and exchange our experience with all the members.

Although civil engineering is the oldest engineering category in the human history, however due to the changes in the global environment and the development of science



Signing ceremony of ACECC Tokyo Declaration in 2019

and technology, civil engineer is facing the great challenges. Big data, GIS, AI and ...etc. will all speed up the next generation revolution in our field of practice, at this moment we do not know what kind of achievement can be reached in the next 20 years, but one thing CICHE know is that CICHE is proud to be a member of the ACECC and is ready to work with and cooperate with ACECC for the next 20 years.

Happy 20th Anniversary !!!



Prof. Luh-Maan CHANG

Chair of ACECC Committee, CICHE (2008-present)
 Chair, IAC Committee, CICHE (2009-2013)
 Chair Professor for High-Tech Fab Engineering,
 College of Engineering, National Taiwan University (2019-2021)

Thank all of ACECC friends. CICHE has been actively participating in every ECM meeting and constructively contributing to every CECAR conference since 1999. With your steadfast support, CICHE is looking forward to working closely with you for better quality of life in the coming years.

At the 20th Anniversary of ACECC, I would like to take this opportunity to make a few of my observations into the Message Book. In my view, the most significant endeavor made by ACECC in the last 20 years is on the subject area of **Sustainable Development**.

The endeavor has continuously been underscoring since ACECC was established on September 27, 1999. At the day one, ACECC clearly set her holy goal “to promote collaborative work towards **Sustainable Development** of infrastructure within the Asian regions.” This terminology or its synonym has also been highlighted in her triannual CECARs as shown in the following table.

Sustainable Development can be sourced back to 1987 when the World Commission on Environment and Development (WCED) of United Nations published the Brundtland Report “Our Common Future.” In the report, Sustainable Development is defined as the “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.” <https://en.wikipedia.org/>



Presidential Meeting in CECAR 4



Discussion for Taipei 101 Declaration

CECAR	DATE / PLACE	FOCUS POINT
1	Feb. 19-20, 1998 Manila, Philippines	Conference Theme: Asian Infrastructure, Sustainable Development and Project Management
2	Apr. 16-20, 2001 Tokyo, Japan	Resolution of Presidential Meeting: The 1st objective among four ACECC objective was “to promote and advance the science and practice of civil engineering and related professions for sustainable development in the Asian region.”
3	Aug. 16-19, 2004 Seoul, Korea	Conference Theme: Moving Asia to the Future The sole Keynote Speech on “Environmental Issues and Sustainable Development in Northeast Asia” by Dr. Myungia Kim
4	Jun. 25-28, 2007 Taipei, Taiwan	Conference Theme: Working for Asian Sustainability Resolution of Presidential Meeting was “Taipei Declaration on Sustainable Development ”
5	Aug. 8-12, 2010 Sydney, Australia	Conference Theme: Innovative Community Building Resolution of Presidential Meeting was Presidents’ Communiqué “to recommit to the aims and objectives of the ACECC and draw attention to the world wide benefit of promoting sustainable communities .”
6	Aug. 20-22, 2013 Jakarta, Indonesia	Conference Theme: “Embracing the Future Through Sustainability ”. Resolution of Presidential Meeting was “ Jakarta Protocol: Civil Engineering for a Sustainable Future ”.
7	Aug. 31- Sep. 2, 2016 Hawaii, U.S.A.	Conference Theme: “Building a Sustainable Infrastructure in the Asian Pacific Region
8	April 16-18, 2019 Tokyo, Japan	Conference Theme: Resilient Infrastructure in Seamless Asia Resolution of Presidential Meeting was ACECC Tokyo Declaration 2019 “ACECC will continue to conduct activities to promote the sustainable development of infrastructure facilities in order to the improvement of the quality of people’s lives.”

wiki/Our_Common_Future.

This also laid the groundwork for the convening of the 1992 Earth Summit (Rio de Janeiro Earth Summit.) Since then, Earth Summit functions as a platform for many UN Member States to collaborate. https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_Summit. In 2012, the United Nations held another Conference on Sustainable Development at Rio again, called “Rio Earth Summit 2012” or the renowned “Rio+20.” https://en.wikipedia.org/wiki/United_Nations_Conference_on_Sustainable_Development.

Obviously, the call for Sustainable Development is because the ongoing global economic development is overdone. The over-development cannot be ignored anymore and needs collaborative effort for sustainable development on earth. There are many economic, social and political factors causing the over-development. In my observations and personal opinions, one of the most critical factors is the exponent growth of world population. If one looks at the following population projection table, it is easy to comprehend that there would be about 8.1 billion people living on earth in 2025 and about 9.7 billion in 2050. The 2025 generation will have about 0.4 billion more people and the 2050 generation will have about 1.6 billion more people than 2019 generation’s. Both generations of 2025 and 2050 must need more resource to develop more infrastructures and to supply more foods, goods and service for accommodating their needs. https://en.wikipedia.org/wiki/World_population

If their needed resource cannot be supplied abundantly due to the limited resource and/or unbalanced supply, they must compete for the limited and unbalanced resource. If the competition gets intensive, the law of the jungle would likely rule. the fittest would survive. The weak most likely become the prey of the strong; the poor for the rich; the disadvantaged for the advantaged; the underdeveloped for the developed and so forth. If this is fighting for few foods, they may either kill each other or starve to death. Therefore, to prevent the tragedy of unconstructive competition and/or self-killing among human beings, human being as a whole has to search for civilized solutions to resolve the potential catastrophe resulted from the present explosive growth of human population.

Besides the to-be-overcrowded world population, it is well known that the present means for economic development consumes a lot of coals and oils for generating energy. However, the burning of the coals and oils not only produces carbon dioxide, but also methane and other toxic pollutants. Carbon dioxide and methane induce greenhouse-effect that causes global warming, climate change, and eventually tricks numerous natural disasters on earth as well as depletes the

natural resources needed for the future generations. Moreover, the toxic pollutants have been found that they are accountable for many healthy problems and fatal diseases. Moreover, the pollutants are terminating some of rare species and gradually changing genes of many other species. Consequently, they endanger the eco-environmental balance and human beings’ harmonious co-exist with other species.

There are many convinced reports, using renewable energy is one of the best solutions for preventing the pitfalls resulted from the use of the coal and fossil fuel which will be eventually depleted and leave nothing but polluted earth for the future generations. Renewable Energy is energy from a source that can be maintained in a constant supply over time. Their sources are from sun, wind, water, bio-energy and earth. They are much safer and cleaner. Their applications are such as Photovoltaic Electricity (Sun), Solar Hot Water (Sun), Wind Generator (Wind), Hydropower (water), Hydrogen Fuel Cell (Water), geothermal (within Earth), Bio mass-grain and waste (bio-energy) and so forth.

In addition, according to HASTAC (Humanities, Arts, Science, and Technology Alliance and Collaboratory, <https://www.hastac.org/>), “education benefits economic growth and stability on both personal and national levels. It enhances personal lives and gives assistance to societies to run smoothly. It also means helping people to learn how to do things and support them to think about what they learn. It’s also important for educators to teach ways to find and use information.” Meanwhile, as Wikipedia’s statements, “Education is about teaching, learning skills and knowledge. It also means helping people to learn how to do things and support them to think about what they learn. It’s also important for educators to teach ways to find and use information. Through education, the knowledge of society, country, and of the world is passed on from generation to generation.” (<https://simple.m.wikipedia.org/wiki/Education>.)

The over-growing human population and continual production of carbon dioxide, methane and toxic pollutants, have caused many human and natural disasters. We had better get the help from education. Not only we need to educate ourselves and the coming generation of civil engineers on the imminent threats to our comfort existence and peaceful co-existence with other species on earth, but also, to continuously and collaboratively promote Sustainable Development while we are building infrastructures in Asian regions and around the world. If we could collaboratively fix them now, we would not regret later. Thus, we could leave a safe, secure and clean earth with abundant resource for the next generations. These are my messages and my best wishes!

Year	World Population (Billion)	Increased population (Billion)	Population Growth Rate (%)	Asia Population (Billion)	Increased population (Billion)	Population Growth Rate (%)
2050	9.7	1.6	197.5	5.3	0.5	104.2
2025	8.1	0.4	51.9	4.8	0.2	43.5
2019	7.7	0.4	54.8	4.6	0.2	45.5
2015	7.3	0.4	58.0	4.4	0.2	37.2
2010	6.9	0.4	61.5	4.2	0.3	87.7
2005	6.5	0.5	83.3	3.9	0.2	54.1
1999	6.0			3.7		



CECAR 4 Exhibition Opening Ceremony



Reception Ceremony before CECAR 5



After CECAR 6 Tour



The 1st ABM Workshop in CECAR 6



After L.J. Leu's Keynote Speech in CECAR 7



CICHE Delegate Team in CECAR 8



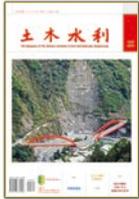
CICHE Youth Delegates in the 29th ECM



Get Together Photo in the 34th ECM

Record of the Past Awardees of ACECC Awards 歷屆 CECAR 得獎名單

VENUE	DATE	COUNTRY	CITY	AWARDS	NOMINATED BY	AWARDEES
CECAR1	1998/2/19-20	Phillipines	Manila	-	-	-
CECAR2	2001/4/16-20	Japan	Tokyo	-	-	-
CECAR3	2004/8/16-19	Korea	Seoul	-	-	-
CECAR4	2007/6/25-28	Taiwan	Taipei	ACECC Award for Technology	JSCE	Recovery Project from the Niigata-Chuetsu Earthquake
					KSCE	Cheong Gye Cheoun Restoration Project,
					CICHE	Hsuehshan Tunnel (Taipei-Ilan Expressway Project)
					EA	Bayu-Undan Development- Phase 1
				VFCEA	Technology of Movable Caisson Dam	
				ACECC Award for Achievement	JSCE	Prof. Fumio Nishino
					CICHE	Dr. Ching Lung Liao
ASCE	Dr. Robert A. Crist					
CECAR5	2010/8/8-12	Australia	Sydney	ACECC Civil Engineering Project Award	JSCE	Bali Beach Conservation Project
					CICHE	Taiwan High Speed Rail Project (Outstanding Award)
					KSCE	Incheon Bridge
				ACECC Civil Engineering Achievement Award	ICE(I)	Delhi Metro Rail Corporation Limited
					JSCE	Prof. Hideo Nakamura
					CICHE	Prof. Jenn-Chuan Chern
CECAR6	2013/8/20-22	Indonesia	Jakarta	ACECC Civil Engineering Project Award	JSCE	The Shin-Tomei Expressway
					KSCE	Four Rivers Restoration Project
					CICHE	Taipei MRT Nangang eastern Extension
				ACECC Civil Engineering Achievement Award	PICE	PICE PGEP Philgreen School Buildings
					JSCE	Dr. Hiroshi Okada
					KSCE	Dr. Chun-Su Chon
CECAR7	2016/8/30-9/2	USA	Honolulu	ACECC Civil Engineering Project Award	HAKI	Dr. Wiratman Wangsadinata
					KSCE	Yi Sun-sin Bridge
					JSCE	Yamate Tunnel on the Central Circular Route
					CICHE	National Freeway No. 1 Widening Project, Wugu to Yangmei
				ACECC Civil Engineering Achievement Award	HAKI	North Kalibaru Container Terminal Phase I Port of Tanjung Priok
					VFCEA	Lai Chau Hydropower Project
					JSCE	Dr. Yukihiko Sumiyoshi
CECAR8	2019/4/16-18	Japan	Tokyo	ACECC Civil Engineering Project Award	KSCE	Dr. Tai Sik Lee
					CICHE	Dr. Za-Chieh Moh
					IEB	Eurasia Tunnel Project
					IEP	Taiwan Taoyuan International Airport Access MRT System Project
					IEP	Emergency 2007 Cyclone Recovery and Restoration Project
				ACECC Civil Engineering Achievement Award	IEP	Housing Reconstruction Awaran (HRA)
					JSCE	Shinjuku Terminal South Gate Area Infrastructure Project
					MACE	Underground Critical Facilities Construction at Oyutolgoi of Mongolia
					JSCE	Dr. Yumio Ishii
IEP	Dr. Sahibzada Farooq Ahmad Refeeqi					
EA	Mr. Paul Louis Mitchell					
CICHE	Dr. John Chien-Chung Li					



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：

46.5 46.6 47.1 47.2 47.3 47.4 共 次
(10月) (12月) (2月) (4月) (6月) (8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

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：
商號 (請蓋公司印)

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)		收款戶名	社團法人中國土木工程學會
報名費	<input type="checkbox"/> 繳納 _____ 研討會 報名費 _____ 元	寄款人	主管：
繳納會費	<input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200 元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300 元	姓名	
訂閱土木水利雙月刊，一年六期	<input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 300 元 <input type="checkbox"/> 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	地址	□□□□—□□□□
訂閱中國土木工程學刊，一年四期	<input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800 元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40 元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100 元 自第 _____ 卷第 _____ 期起 _____ 年期學刊 _____ 份	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 注：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，入會費一人僅需繳交一次	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
身分證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 300元 <input type="checkbox"/> 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
卡別 <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB			訂閱中國土木工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡卡號			白天聯絡電話
信用卡簽名欄最後三碼			通信地址
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)



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

— 石門水庫及其集水區 整治計畫重要成果 —



新建中庄調整池



電廠防淤功能改善



增設分層取水工

水庫為穩定供水必要設施，因此既有水庫永續經營為首要任務，將在符合環境保護、經濟發展及社會正義等面向，朝永續發展之願景前進。



生態多樣性維護



多元化水源



土地管理



汙染削減策略



水庫與集水區
居民安全保障

永續石門



維持庫容



公眾參與



區域水資源
調配

— 石門水庫永續藍圖 —

