



### 國有林 韌性 防災 與調適 治理

#### 專輯企劃

通往山林的生命線  
藤枝聯外道路的韌性重建

石公溪與崇德板下的防災實踐

重啟溪流生命力  
河相學與溪流治理與復育

防災與減碳同行  
國有林防災工程的永續願景

健全森林路網  
疫後林道設施修復成效

#### 專題

臺灣中部臺灣紅豆杉  
育苗試驗記事

樹木維護管理與環境美學

#### 專欄

與林同行  
順勢而為、利用自然  
運用自然解方的水患治理

林故事  
六龜的林下經濟實踐  
邂逅臺灣的原生山茶

森羅萬象  
與野共生  
打開工程與生態對話之門

# 封面故事

文／張志仁



阿里山國家森林遊樂區神怡橋下方的野溪整治工程設有弧形、S型固床工，減緩沖蝕，營造瀑布景觀，獲得第21屆公共工程金質獎水利類的優等獎。

(林業及自然保育署嘉義分署提供)

提到了韌性，是不是常會混淆為任性  
仔細去瞭解它的定義  
是指在逆境中也能保持堅強，  
不輕易被打倒的個性特質。  
韌性，不只用於人格發展  
韌性，更是農業及林業的行動策略  
在劇烈的氣候變遷及蓬勃的工業衝擊下  
順應時序與空間的變換與挑戰  
找出最妥適的國有林經營方針  
發揮林業經營的韌性  
讓山林防災與環境永續  
同時並進

06<sup>2025</sup>  
J u n

51 卷 3 期

雙月刊

創刊日期 1974年12月  
出版日期 2025年6月  
出版機關 農業部林業及自然保育署  
地址 臺北市中正區杭州南路一段2號  
電話 (02) 2351-5441

發行人 林華慶  
總編輯 張岱  
編輯委員 李允中、李志珉、沈怡伶、  
林宜羣、邱立文、范家翔、  
孫宗志、高宗賢、陳連晃、  
黃綉娟、楊欣佳、劉忠憲、  
羅尤娟(依姓名筆劃排序)

主編 鐘立偉  
編輯 張雅玲  
編輯部信箱 tfj@forest.gov.tw

定價 NT\$160元  
G P N 2011200018  
I S S N 02555816  
設計印刷 財團法人豐年社  
臺北市大安區溫州街14號  
(02) 2362-8148

執行編輯 張雅茹  
美術編輯 溫柔茜



台灣林業雙月刊  
線上免費電子版



本書使用FSC認證環保紙張

## 編者的話

---

01/ 韌性治林 共迎風險挑戰

## 專輯企劃 國有林韌性防災與調適治理

---

- 05/ 通往山林的生命線  
藤枝聯外道路的韌性重建  
臧運忠、陳俞旭、林昂、陳欣妤、林彥志、陳建良
- 15/ 石公溪與崇德板下的防災實踐  
李國維、康耿豪、黎璧瑞、梁志榮
- 23/ 重啟溪流生命力  
河相學與溪流治理與復育  
楊佳寧、林孟穎
- 33/ 防災與減碳同行  
國有林防災工程的永續願景  
詹勳全、王依蘋、李膺讚
- 45/ 健全森林路網  
疫後林道設施修復成效  
許中立、紀再仲、張瑛瑄

## 專題

---

- 51/ 臺灣中部臺灣紅豆杉育苗試驗記事  
李淑敏
- 57/ 樹木維護管理與環境美學  
許榮輝、曹明利



## 專欄

---

- 61/ **與林同行**  
順勢而為、利用自然  
運用自然解方的水患治理  
廖桂賢、洪諭瑩
- 67/ **林故事**  
六龜的林下經濟實踐  
邂逅臺灣的原生山茶  
梁啓暉
- 73/ **森羅萬象**  
與野共生  
打開工程與生態對話之門  
張景棠
- 77/ **林業通訊**

## 韌性治林 共迎風險挑戰

本期主題為「國有林韌性防災與調適治理」。首篇文章〈通往山林的生命線 藤枝聯外道路的韌性重建〉探討藤枝聯外道路 18K 處自 2007 年來邊坡多次崩塌與地表位移，透過多年調查及分析、整合跨機關溝通與演練，逐步建立大規模崩塌潛勢區的警戒值、應變機制與疏散計畫。此區預計於 2025 年納入崩塌警戒發布範圍，藉由滾動式檢討與機制精進，期有效降低災害衝擊，提升整體防災韌性。

花蓮縣秀林鄉石公溪與崇德板下地區在 2024 年 0403 地震後連續 3 場颱風衝擊下發生邊坡崩塌與土砂災害。〈石公溪與崇德板下的防災實踐〉一文透過遙測判釋與現地調查，提出緊急對策，並以累積雨量為基準建立預警值，建議持續監測並調整防災策略，達到重塑災後韌性的目標。

國有林位於流域上游，溪流治理對下游水砂輸送影響深遠。〈重啟溪流生命力 河相學與溪流治理與復育〉一文主張應發展可調整、與環境共融的治理工法，並建立實用河相指標，協助判讀溪流變化與選擇適切措施。透過累積案例經驗，逐步推動以自然為本的治理方法，促進溪流復育與山林生態平衡。

因應政府 2050 年淨零排放目標，〈防災與減碳同行 國有林防災工程的永續願景〉說明林業及自然保育署推動「國有林防災工程碳排分析與減碳評估」，全面盤點國有林治理與工程活動的碳排放量，並訂定國有林防災工程的減碳基準年。藉由建立專業可行的碳排計算與控管方法，使工程人員掌握操作流程，逐步實踐減碳行動，展現防災與環境永續並進的林業治理新方向。

〈健全森林路網 疫後林道設施修復成效〉，指出森林路網對林業經營與木材運輸至關重要，亦關聯國產木材自給率提升。2023-2025 年間，政府投入 7 億元



進行林道修建，改善因年久失修或中斷的道路瓶頸，有效促進木材採運與生產，未來將持續推動林道建設，並納入生態友善、低碳環保與智慧管理理念，促進永續林業發展。

臺灣紅豆杉因種子難發芽、無性繁殖不易，育苗工作挑戰重重。〈臺灣中部臺灣紅豆杉育苗試驗記事〉記錄林業及自然保育署臺中分署自 1981 年起採穗育苗歷程，2000 年開始系統性觀察母樹開花情況，並與林業試驗所合作，發現雄、雌毬花成熟期不同，是導致授粉與結實率偏低的主因。本文彙整臺灣紅豆杉繁殖經驗，對未來育苗技術的發展與累積，具重要的參考價值。

都市綠化雖具高度環境價值，卻面臨空間狹隘、設計與維護不當等問題。〈樹木維護管理與環境美學〉從設計、施工到後續維護管理等層面，分析都市樹木常見困境與應避免的缺失。唯有從理解樹木生理出發，營造兼具功能與美感的綠化環境，選擇適地適種的樹種，並透過苗木品質的提升與自然導向的設計理念，才能建立一套符合都市特性、管理制度與樹木生長需求的永續管理機制。

〈順勢而為、利用自然 運用自然解方的水患治理〉一文，由長年投入流域整治與溪流復育的教授廖桂賢撰寫，主張應從河相特性與自然演替出發，導入與環境共融的治理思維，並透過社區參與重建人水關係，實踐減災與減碳並行的治水新方向。

〈六龜的林下經濟實踐 邂逅臺灣的原生山茶〉介紹林業試驗所與高雄六龜茶農攜手推動原生山茶產業化的努力，結合科研與實作，使臺灣原生植物不再只是保育對象，更成為林下經濟與山村永續的新希望。

〈與野共生 打開工程與生態對話之門〉則以同名專書為主軸，呈現如何透過插畫、工程圖與深入淺出的解說，引導大眾理解國有林工程的生態檢核與友善設計。期望在治理行動中，真正落實生態考量，開啟工程與自然的對話與共生之路。

# 國有林韌性防災 與調適治理

---

山林是臺灣最珍貴的資產，  
但也是最容易受到極端氣候衝擊的場域。

面對地震、豪雨帶來的崩塌與土石災害，  
我們需要的不只是修補，  
而是提升整體的防災韌性與調適能力。

從調查監測、預警機制到綠色工程，  
從河川治理、林道修復到減碳評估，  
國有林正一步步實踐與自然共生的防災治理。

當山能自我修復、林能自行呼吸，  
我們才能真正邁向生態永續的未來。





# 通往山林的生命線 藤枝聯外道路的韌性重建

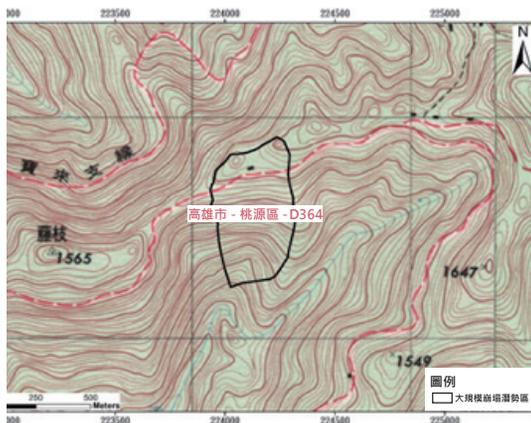
文、圖／臧運忠（國立成功大學防災研究中心副主任）  
陳俞旭（國立成功大學防災研究中心組長）  
林 昂（國立成功大學防災研究中心副組長）  
陳欣妤（國立成功大學防災研究中心工程師）  
林彥志（林業及自然保育署屏東分署集水區治理科科长）  
陳建良（林業及自然保育署屏東分署集水區治理科技正）

## 從艱困中韌性成長

藤枝聯外道路 18K 自 2007 年起即受邦腹北溪向源侵蝕影響，蝕溝持續上溯。2009 年受莫拉克颱風侵襲影響開始，頻繁發生邊坡崩塌及道路龜裂、坍方等土砂災害，因藤枝聯外道路是連繫上游藤枝國家森林遊樂區、警察局，以及藤枝研究中心唯一的聯外道路，經年累月的邊坡崩塌及滑移，

已嚴重影響當地住戶與遊客的交通及公共安全。

2025 年開始，高雄市-桃源區-D364 已納入大規模崩塌警戒發布區，藉由歷年工程及坡面監測，持續進行邊坡局部穩定及監測作業，並透過地形調查、雨量及地表位移分析，以及各行政單位縱橫向溝通，有效評估並提出雨量與位移警戒值及疏散避難計畫，以因應並推動大規模崩塌防災應變。



■ 2024 年 5 月 6 日藤枝聯外道路 18K 處崩塌中心位置與空拍圖

## 大規模崩塌災害調查、評估

### 環境概述

#### ■ 地理位置

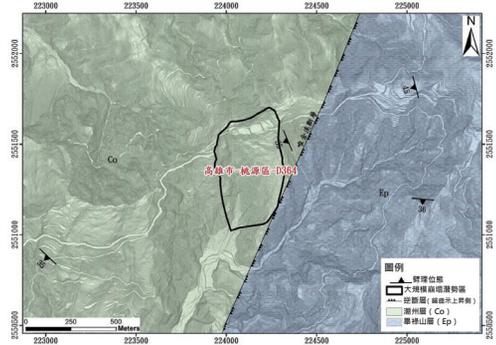
本區位於高雄市桃源區寶山里，隸屬於荖濃溪事業區第 69 及 70 林班，位於邦腹北溪右岸，主要聯外道路是藤枝聯外道路，藤枝聯外道路位於邦腹溪北側的坡面，全長約 20 公里，全線路段地質較為脆弱，容易因集中降雨、地震等外力影響，造成落石、坡面滑落及路基下移等。而近末端的 18K 處因邦腹北溪向源侵蝕導致坡面產生深層滑動，崩塌中心坐標約 TWD97 (224134,2551361)，崩塌區面積約為 20 公頃，長約 700 公尺，寬約 380 公尺，高程的最低點約 1,180 公尺，最高點約 1,567 公尺，高程差約 387 公尺，平均坡度為 35°，坡面主要朝西南向。

#### ■ 地表地形特徵

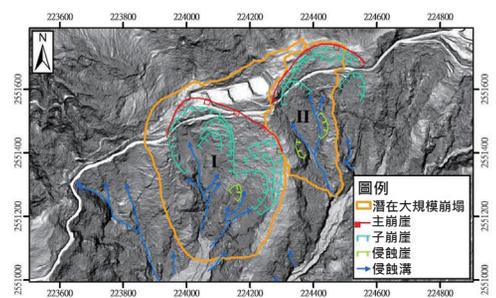
此區主要出露地層是潮州層及畢祿山層，潮州層岩性以硬頁岩或板岩間夾透鏡狀砂岩體為主，畢祿山層岩性以板岩為主間夾變質砂岩，夾有變質火成岩透鏡體；唯金溪斷層以東北-西南向通過潛勢區東南角。依據鄰近劈理位態 N23°W/33°SW 與潛勢區的坡向關係為順向坡，坡面多覆蓋鬆軟碎石，露頭也已遭強烈風化，東側坡面露頭為劈理發達的硬頁岩層，岩體多破碎，偶夾薄層石英脈，坡面冠部

板岩露頭有明顯的劈理及節理，坡趾滑坡處則褶皺緊密，節理凌亂。

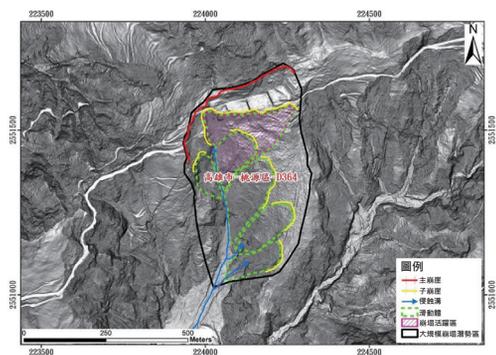
藉由 2010 年及 2017 年空載 LiDAR 數值地形特徵判釋，可發現坡頂稜線處崖面明顯，坡面整體呈現上緩下陡起伏，且坡向朝西南方。坡頂較為平



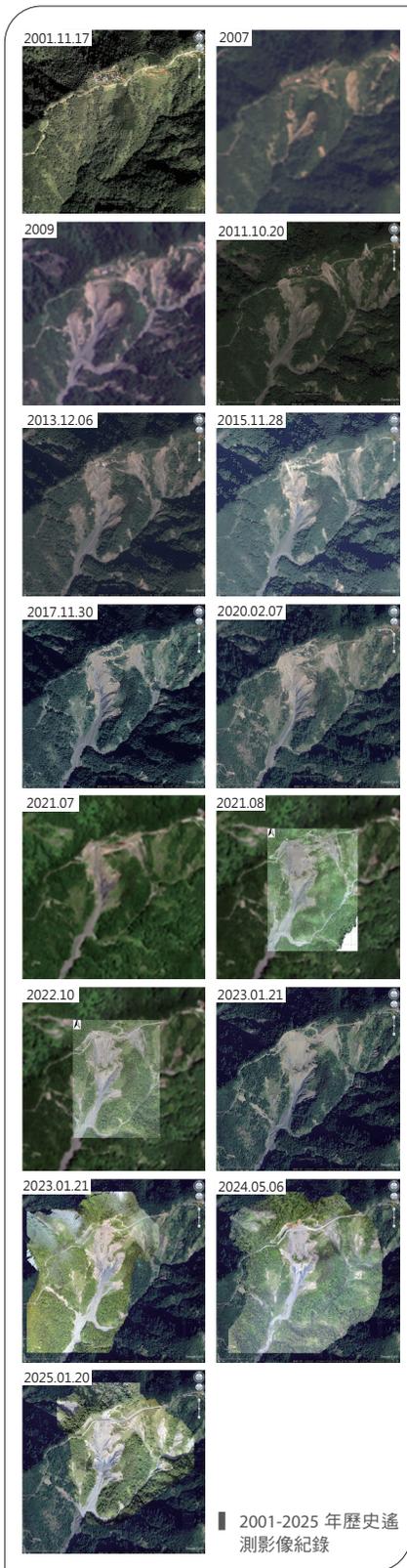
■ 鄰近區域地質圖 (全臺流域地質圖幅，2009)



■ 高精度數值地形特徵判釋圖 (2010-2015 年內政部光達案)



■ 高精度數值地形特徵判釋圖 (2016-2017 年內政部光達更新案)



坦且有產業道路通過，坡腹以崩崖與舊崩塌的陡峭地形為主，主崩崖分布在崩塌內部，明顯而連續，子崩崖呈現圓弧形，有侵蝕溝於潛勢區南側趾部匯流後朝南流出。崩塌特徵判釋結果顯示，冠部主崩崖地形明顯，其下方分作多區子崩崖及其滑動體，坡面子崩崖地形陡峭，且受侵蝕溝發育影響已有明顯崩塌及崩崖發育；位於南側邊界侵蝕溝匯流處已有土砂堆積的河道地形特徵。坡面上仍有殘餘的土體材料堆積，是具崩塌潛勢的地形特徵，坡趾處則是侵蝕溝發育區域，呈樹枝狀水系，坡面侵蝕溝主要發育至坡頂崩崖面，並往南流出後於趾部溪流匯流，可見坡面侵蝕溝已有舊崩塌的土砂材料流出狀況。

#### ■ 歷史影像紀錄

本區坡體長期出現位移，最早自2007年即有明顯邦腹北溪向源侵蝕情形，後續歷年持續受到降雨、地震與重力影響，經年累月的邊坡崩塌及滑移，崩塌持續擴大，頻繁發生邊坡崩塌及道路龜裂、坍方等土砂災害。

#### 地下地質探測成果

藉由彙整各期（2012-2022年）鑽探岩心資料，透過崩塌坡面內的地質鑽探資料，大略得知本區剪裂帶分布深度，並利用地質鑽探提取岩心進行判釋，並繪製地質剖面圖，評估主要滑動

岩性厚度 (m)	D364 (藤枝18K)			
	C12	C11	EX18-1	C2
崩積層或風化表土	3.3	6	4.2	3.2
板岩	41.7	42.5	31	41.1

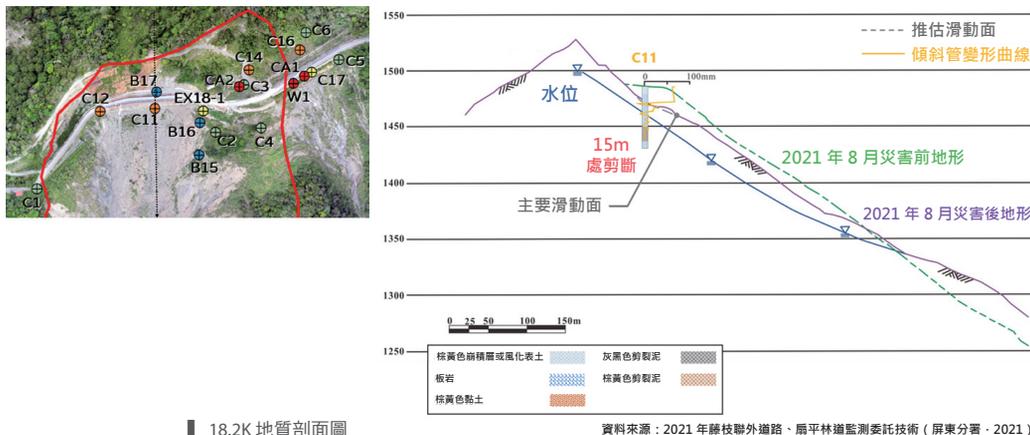
深度 (m)	C12	C11	EX18-1	C2
	棕黃色黏土	-	14-20.5	9.3-15.5
灰黑色剪裂泥	-	-	32.9-45	36-50.7
剪裂帶深度	14.7-15 18.4-19.4 25.7-26.3 35.2-36.4	33.25-33.5	21.6-22 27.2-27.6	13.7-21.6 26.8-30



■ 鄰近剪裂帶分布情形

### 歷年地質鑽探資料

鑽探年度	點位	深度 (m)	說明
2012	B15	60	610 豪雨後，地表位移 1.5 cm，豪雨後無法抵達
	B16	60	2012 年 5 月於 55 m 處剪斷
	B17	60	610 豪雨後，於 9 m 處剪斷
2013	C1	52	損壞
	C2	70	2013 年 8 月潭美颱風後，於 36 m 處剪斷
	C3	50	2013 年 7 月蘇力颱風後，於 45.5 m 處剪斷
	C4	58	2013 年 8 月潭美颱風後，於 44.5 m 處剪斷
	C5	56	損壞
	C6	47	2013 年 10 月 21 日，於 11.5 m 處剪斷
2020	C17	55	損壞
	EX18-1	65	豪雨後明顯變動 (500 mm)，水位井於 2021 年 6 月剪斷
2021	C11	54	2021 年剪斷前，於 15 m 處發生滑動面，8/3 剪斷
	C12	45	2021 年因搶修工程而損壞
	C14	52	2021 年剪斷前，於 21 m 處發生滑動面，8/10 剪斷
	C16	45	2021 年剪斷前，於 20 m 處發生滑動面
2022	CA1	50	傾斜管 (持續監測中)
	CA2	60	傾斜管 (持續監測中)
	W1	40	水位井 (持續監測中)



18.2K 地質剖面圖

資料來源：2021年藤枝聯外道路、扁平林道監測委託技術（屏東分署，2021）

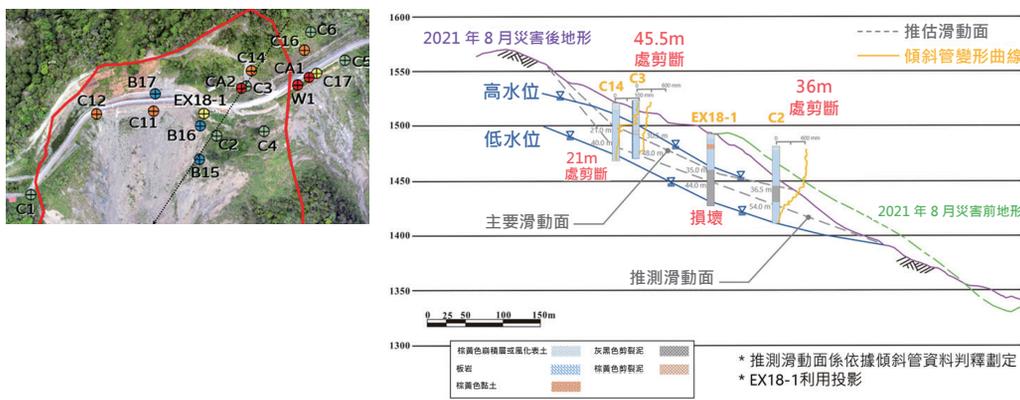
面及推測滑動面，主要針對 2021 年盧碧颱風前後地形變化劇烈區域（18.2K、18.3K）繪製坡面進行比對。

### 18.2K

18.2K 剖面是過去頻繁發生崩塌的位置，2021 年盧碧颱風前後的地形變化劇烈，導致 C11 傾斜管有 60 公釐的位移變化量，並於深度 15 公尺處剪斷。

### 18.3K

18.3K 剖面是目前高度關注的坡面塊體，剖面線上 3 個傾斜管（C2、C3、C14）約有 100-600 公釐的位移變化量，顯示此區域在降雨事件發生後，地下水位升高，邊坡狀態較不穩定且位移趨勢明顯，傾斜管剪斷深度皆大於 20 公尺，其主要滑動面及推測滑動面皆較深層，若遭遇颱風或豪雨



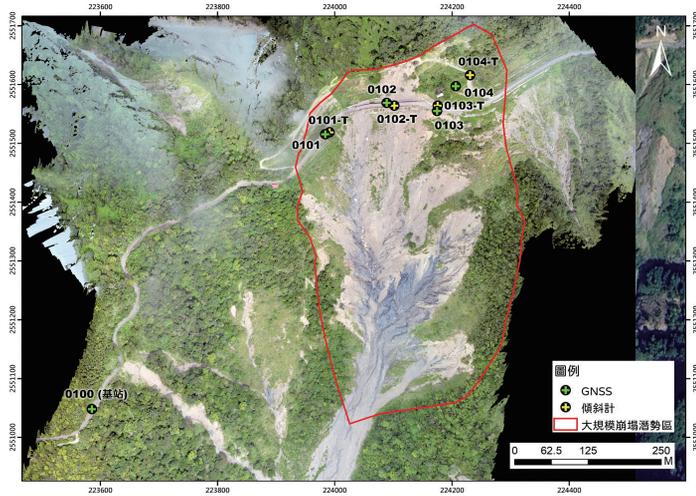
18.3K 地質剖面圖

資料來源：2023年藤枝聯外道路、扁平林道監測委託技術（屏東分署，2023）

\* 推測滑動面係依據傾斜管資料判斷  
\* EX18-1利用投影



■ 高雄市 - 桃源區 - D364 大規模崩塌影響範圍



■ 高雄市 - 桃源區 - D364 儀器配置示意圖

事件，有深層崩塌的風險，因此需密切關注此坡面塊體的位移狀況。

## 高雄市 - 桃源區 - D364 大規模崩塌潛勢區

### ■ 影響範圍

本區依據「大規模崩塌潛勢區影響範圍劃設作業流程」的經驗法，採用堰塞湖型進行影響範圍劃設，其崩塌影像範圍包括潛勢區坡面及下游邦腹北溪流域。

### ■ 監測設備

自 2023 年 12 月設置 5 組 GNSS 位移監測站（含 1 基站），以及 4 組傾斜計，分布於大崩潛勢區內。GNSS 及傾斜計可觀察與監測坡面地表位移情形，藉由 2 種儀器的比鄰設置，

可相互比對其數據，進一步驗證坡面位移趨勢是否一致，以確保監測的可靠性。監測期間遭遇較大豪雨事件為 2024 年 7 月凱米颱風及 10 月康芮颱風，坡面皆有下降的趨勢。

### ■ 雨量警戒值

考量雨量的資料代表性及使用穩定性，雨量資料採用鄰近氣象局雨量站 - 藤枝 (C1V600) 作為參考依據，其與大崩潛勢區的相對位置，藤枝雨量站於 2013 年 4 月至今共累積 11 年雨量資料，雨勢多集中於 5-9 月夏季低壓豪雨及颱風季節。利用有效累積雨量 (ETR2)，藉由蒐集歷史雨量紀錄及其曾經發生崩塌的雨量紀錄，經綜合研判監測數據、降雨量，以及現地狀況，建議有效累積雨量值 700 公釐作為雨量警戒值。



■ 高雄市 - 桃源區 - D364 代表雨量站 (藤枝 C1V600)

### ■ 地表位移警戒值

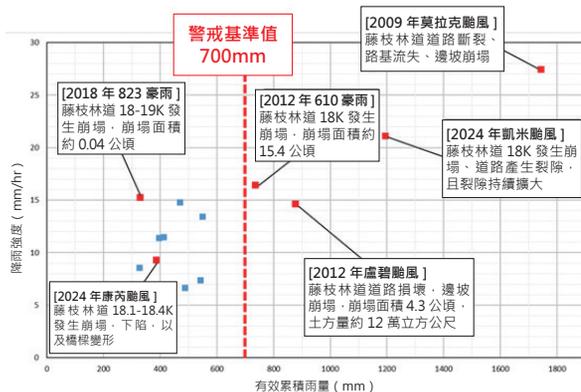
透過前期資料蒐集、細部調查、歷年雨量分析，以及近年（2023-2025年）監測資料分析，彙整高雄市 - 桃源區 - D364 大崩塌潛勢區的地表位移警戒值，可作為颱風及豪雨期間避難疏散與防災應變的參考。

## 大規模崩塌災害潛勢應變

依據林業及自然保育署（簡稱林業保育署）大規模崩塌潛勢區的警戒發布規劃，各區須於發布前訂定影響範圍與紅、黃色警戒基準值，而警戒發布後，則進一步對應到地方政府、

社區或相關林業設施的避難疏散機制，包含防救災資源盤點、疏散避難計畫研擬等後續工作，考量到大規模崩塌的發生條件較一般崩塌、土石流嚴苛，所需的降雨量較高，因此疏散避難的發布時機、實務操作可能遭遇的問題、最佳化疏散避難路線、第二道防線等，都需透過相關單位的訪談與意見整合，以確保避難疏散的各種可能性與可行性，符合颱風豪雨當下可能遭遇的各種狀況，達到最佳減災的目標。

為能順利推動大規模崩塌災害自主防災，林業保育署擬定推動六大執行架構分別為：「資料彙整與評估影響範圍」、「議定防災警戒值」、「影響範圍保全對象分類」、「現有防災機制盤點」、「建立防災應變機制」及「兵棋 / 演練 / 疏散避難計畫」，且依據林業保育署轄管國有林特性，除一般保全對象外，尚有林道、森林遊樂區等林業設施保全，不同類型大規模崩塌自主防災推動執行架構一表則彙整在不同保全對象類型中，列出各個推動架構的差異性。



■ 高雄市 - 桃源區 - D364 警戒雨量評估

事件	日期	降雨強度 (mm/hr)	累積降雨量 (mm)	ETR2 (mm)
莫拉克*	2009/8/6-08/10	27.5	2525	1742
610 豪雨*	2012/6/9-6/12	16.4	1166.5	734
蘇力	2013/7/11-7/13	11.4	502	395
潭美	2013/8/20-8/22	8.6	402.5	326
麥德姆	2014/7/21-7/23	11.5	621.5	412
蘇迪勒	2015/8/06-8/9	13.5	807.5	548
梅姬	2016/9/26-9/28	14.8	798.5	468
603 豪雨	2017/5/30-6/4	7.4	879	542
823 豪雨*	2018/8/22-8/24	15.2	718.5	330
815 豪雨	2019/8/8-8/16	6.7	1274.5	487
盧碧*	2021/8/04-8/7	14.6	1099.5	876
凱米*	2024/7/23-7/26	21.1	1456.5	1192
康芮*	2024/10/31-11/1	9.3	447.5	385

\* 為有發生災害的事件

## 高雄市 - 桃源區 - D364 大崩塌潛勢區之地表位移警戒值

地表位移警戒值	注意值	警戒值
GNSS	30 mm / 日，120 mm / 7 日	50 mm / 日，200 mm / 7 日
傾斜計	1200 s / 日，2400 s / 7 日	1800 s / 日，3600 s / 7 日



■ 大規模崩塌災害自主防災執行架構圖

### ■ 資料彙整與評估影響範圍

蒐集大規模崩塌潛勢區的環境背景資料，以及歷年調查監測資料，並由各地區分署與監測團隊的監測成果、歷史災害等參考資料，評估大規模崩塌的發生機制與可能運移機制，綜合評估其影響範圍。

### ■ 議定防災警戒值

經由各潛勢區歷史災害雨量資訊蒐集與評估後，提出建議的警戒雨量值，

並透過林業保育署專家諮詢委員會審議通過，訂定雨量警戒值及其影響範圍，此警戒值將成為後續疏散避難的參考。

### ■ 影響範圍保全對象分類

由於林業保育署轄管國有林特性，除一般保全對象外，尚有林道、森林遊樂區等林業設施保全對象，並不僅止於民眾，因此須清查潛勢區範圍內，除確認直接保全民眾外，需再進一步區分為直接影響保全對象、

間接影響保全對象，直接影響保全對象於避難疏散時為必須撤離對象，間接影響保全對象則視其可能影響程度，討論後由各縣市政府、公所評估是否列入保全對象於警戒發布後一同撤離。

#### ■ 現有防災機制盤點

各大規模崩塌潛勢區的保全因為特性不同，牽涉管理單位眾多，針對有住戶的潛勢區，須進一步實際踏查，並與地方防災相關單位、社區組織討論後，彙整防災相關資源與社區環境、組織特性，以及防災相關經驗進行調整與建議，提出符合在地特性的大規模崩塌災害自主防災的運作方式。若為無直接保全住戶的潛勢區，則因影響範圍為林業設施、道路、森林遊樂區等，並無既有社區自主防災組織，則更應釐清潛勢區可能的致災特性，如孤島潛勢、二次土砂運移災害等，與相關管理單位充分討論，釐清現有各單位現有防災應變機制，進而加入大規模崩塌防災應變措施與流程，作為後續防減災的運作依據。

#### ■ 建立防災應變機制

整合防災資源盤點成果，確認防災應變相關單位，串連各管理單位的綜向與橫向聯繫，召開防災應變座談會，確認其聯繫機制與未來聯繫職位、窗口，進而建立其防災應變流程與機制。

#### ■ 兵棋 / 演練 / 避難疏散計畫

擬定潛勢區範圍內的疏散避難計畫初稿，藉由辦理管理單位及保全對象的兵棋推演，初步確認屬於防災應變機制實際可行，最終辦理實兵演練，實際推演從大規模崩塌防災減災的整備、應變與災後復原流程，完成疏散避難計畫，並交由地方操作、滾動更新。

推動大規模崩塌防災應變機制，著重在林業保育署各地區分署與縣市政府、公所的地方防災應變整合，建立完善的雙向聯繫機制，在預防性休園運作同時，保持與地方公所防災應變中心的資訊互通，若有臨時發生意外，如道路突發性中斷、登山遊客臨時狀況等，透過地方公所防災資源，妥善照護與收容，建立林業保育署與地方、相關單位（如公路單位、電力供應單位等）的整合防災機制，減少突發性狀況對森林遊樂區經營可能造成的風險。

在大規模崩塌防減災元素加入前，林業保育署屏東分署與高雄市政府，皆已建立明確的防災機制與應變流程，並透過多年的實務操作累積豐富經驗，因應現場狀況完成遊客、工作人員與可能的地方居民疏散撤離作業。如林業保育署在森林遊樂區管理，過去已建立有完善的防災應變機制，尤在颱風豪雨之前，設定有預防性休園、售票口管制等措施，在可能的災害到來之前，提前疏散撤離遊客與工作人員，並有完善的檢查機制，確保遊客皆可安全離開。但因過去各單位間防災聯繫機制多以確認、

## 不同類型大規模崩塌自主防災推動執行架構

六大執行架構	直接保全住戶	林道、重要道路	森林遊樂區
1. 資料彙整與評估影響範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>林業保育署大規模崩塌整備會議署內討論</li> <li>專家諮詢委員會審查後，始決定其影響範圍與降雨警戒值</li> </ul>		
2. 議定防災警戒值			
3. 影響範圍保全對象分類	保全住戶	道路潛在（常）用路人、各機關（構）及遊樂區遊客、旅客與雇員、相關工作人員等。	
4. 現有防災機制盤點	社區防災組織運作	現存管理單位防災機制盤點與確認。	
5. 建立防災應變機制	預期建立組織分工，警戒巡查，並建立公所聯繫通報機制。	預期建立組織分工，警戒巡查、（常）用路人通知等大崩防災應變機制，並建立公所、分署、森林遊樂區經營團隊聯繫通報機制。	
6. 兵棋 / 演練 / 疏散避難計畫	以社區及公所為主體辦理兵棋推演及演練，研擬避難疏散計畫建議協助地方公所提報。	以森林遊樂區、林道或道路管理單位、地方公所、村里為主體，辦理兵棋推演及演練，並協助檢視、強化既有道路、森林遊樂區的防災機制，研擬避難疏散計畫建議協助地方公所提報。	

通知為主要目的，透過大規模崩塌防減災的推動與討論，進一步建立起雙向的縱橫向聯繫溝通機制，可以擴大加強因應意外的突發狀況，如確認與強化警消任務、提升收容處所的能量、潛在影響範圍與工作人員撤離機制，建立更嚴謹的防災管理機制，強化原有防災應變的準備與管理工作。

### 以科學監測守護山林通道

防減災工作並非一成不變，仍須持續的滾動精進，大規模崩塌的防減

災工作，不僅是中央的管理工作，更牽涉縱向的地方政府、公所與民眾參與，以及各相關防災應變單位的橫向聯繫工作，透過橫跨不同單位與利害關係人的多次訪談與深入討論，提升防災能量與地方韌性，並確保各種防災聯繫窗口的暢通，記錄每次防災應變的運作成果，持續維持各防災相關單位、社區對於保護家鄉的熱誠與目標，讓大規模崩塌災害的影響減至最小，不僅是為了保障民眾生命財產安全，更是對山林永續通行權的積極守護。🌲

# 石公溪與崇德板下的防災實踐

文、圖／李國維（陽明交通大學防災與水環境研究中心專案助理研究員）  
康耿豪（合昱工程顧問有限公司應用地質技師／負責人）  
黎璧瑞（林業保育署花蓮分署集水區治理科科长）  
梁志榮（林業保育署花蓮分署集水區治理科技正）

## 重塑災後韌性山川

花蓮縣秀林鄉 2024 年受地震及颱風豪雨影響，頻繁發生邊坡崩塌及土砂災害，嚴重影響當地交通運輸及公共安全，尤以石公溪及崇德板下崩場地最為顯著，如何有效調查及評估此類災害並提出適切的防減災策略，成為刻不容緩的重要課題。

本研究節錄部分「113-116 年度花蓮分署 0403 震災後調查評估工作」（林業及自然保育署花蓮分署，2024）計畫成果，進行崩場地緊急調查與災況量化分析，分析兩處崩場地的災害成因與發展過程，並提出具體的緊急處理對策及長期管理策略，旨在提升災後韌性與公共安全。

### 本文研究方法

#### ■ 基本資料蒐集

蒐集地形及區域地質資料，蒐集鄰近自動氣象站歷史降雨資料及近期災害事件，進行降雨特性與災害事件相關性之分析。

#### ■ 航遙測影像分析

透過多期航遙測影像、內政部光達資料、災後 UAV 空拍影像，掌握崩塌事件前後之地形變遷行為。

#### ■ 崩場地現況調查與災況量化分析

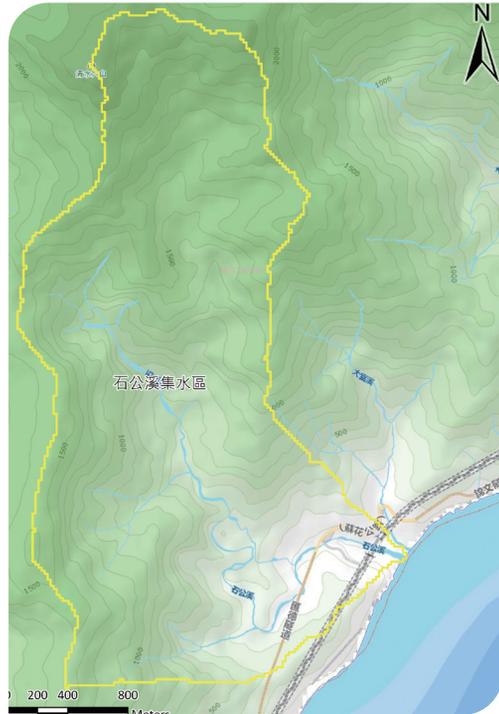
包含災後緊急現勘、記錄災情資訊，評估崩塌機制及未來可能致災風險。利用不同時期正射影像及數值地形模型（DSM）相減估算崩塌堆積體積，計算崩塌與堆積分布範圍，分析可能向下運移路徑與範圍，進行災情量化分析，提出具體的防減災策略。



## 石公溪與板下地區災況

### 石公溪崩塌地區地質及災情

石公溪為花蓮縣縣管河川，集水區位於林業及自然保育署花蓮分署（簡稱花蓮分署）立霧溪事業區第9林班地，集水區面積約9平方公里，地勢自清水大山東降至太平洋。區域地質以九曲大理岩與白楊片岩為主，九曲大理岩因岩體堅硬，在地形上常形成峽谷或陡峭的崖壁，為石公溪集水區內的主要岩性。白楊片岩岩性以綠色片岩與變質燧石為主，綠色片岩中片狀礦物多呈順向排列，形成發達的葉理面，有時可見2組以上的葉理構成夾皺劈理，本層出露在石公溪遷急點附近。



石公溪集水區範圍（臺灣通用電子地圖）



臺9線161.3K處凱米颱風後照片  
資料來源：交通部公路局

2024年0403花蓮地震造成石公溪集水區上游崩塌、許多岩塊及土砂堆積在坡面與河道，2024年7月凱米颱風侵襲臺灣，大量土石流出造成臺9線交通中斷、161.3k（匯德隧道北口）被土石溢淹覆蓋約5公尺高，同時也造成臺鐵K53+800小清水溪橋梁西正線沖毀、東正線軌道土石淤積。同年10-11月山陀兒颱風、康芮颱風，

石公溪土石持續流出溢淹蘇花公路，影響交通運輸與用路人安全。

### 崇德板下崩塌地區域地質及災情

崇德板下崩塌地位於臺9線164.5公里處之公路上方邊坡，坡向朝東，地勢由立霧山自海拔1,274公尺急降至海岸線，崩塌地坡度陡峭且地勢落差大，地層以九曲大理岩、白楊



北迴線 K53+800 凱米颱風後照片  
資料來源：臺灣鐵路公司



崇德板下崩塌地地理位置（臺灣通用電子地圖）

## 清水斷崖雨量站 2024 年有發颱風警報雨量統計

颱風名稱	警報期間	近臺強度	最大時雨量 (mm) / 重現期	最大 3 小時雨量 (mm) / 重現期	最大 6 小時雨量 (mm) / 重現期	最大 12 小時雨量 (mm) / 重現期	最大 24 小時雨量 (mm) / 重現期
康芮	10/29-11/1	強烈	30.5	56.5	94	159	244.5 (2-5)
山陀兒	9/29-10/4	強烈	34.5	37.5	50.5	62	86.5
凱米	7/22-7/26	強烈	87 (10-20)	192.5 (25-50)	262.5 (25-50)	334.5 (25-50)	441.5 (25-50)

片岩為主，岩體多處風化且節理裂縫豐富。

本場址自 2024 年 0403 地震後坡面即有鬆動堆積現象，2024 年 7 月凱米颱風豪雨挾帶土砂流出造成臺 9 線及臺鐵多處中斷，其中臺 9 線 164.2K-164.5K 路段邊坡坍方超過 1 萬立方公尺，臺鐵北迴線 K56+920 堆積約 2.5 萬方土石量。2024 年 9 月 8 日強降雨引發上方邊坡鬆動，土石及泥流覆蓋臺 9 線 164.5K 路段，並淹沒臺鐵崇德至和仁間東正線 K56+950。後續山陀兒颱風、康芮颱風再次造成邊坡土石往下運移，由於既有排水設施通洪斷面不足，導致部分土石、泥流溢淹鐵路同時也有許多大岩塊從坡面崩落堆積公路及鐵路周圍。

## 2024 年三颱侵臺 清水斷崖雨量統計全紀錄

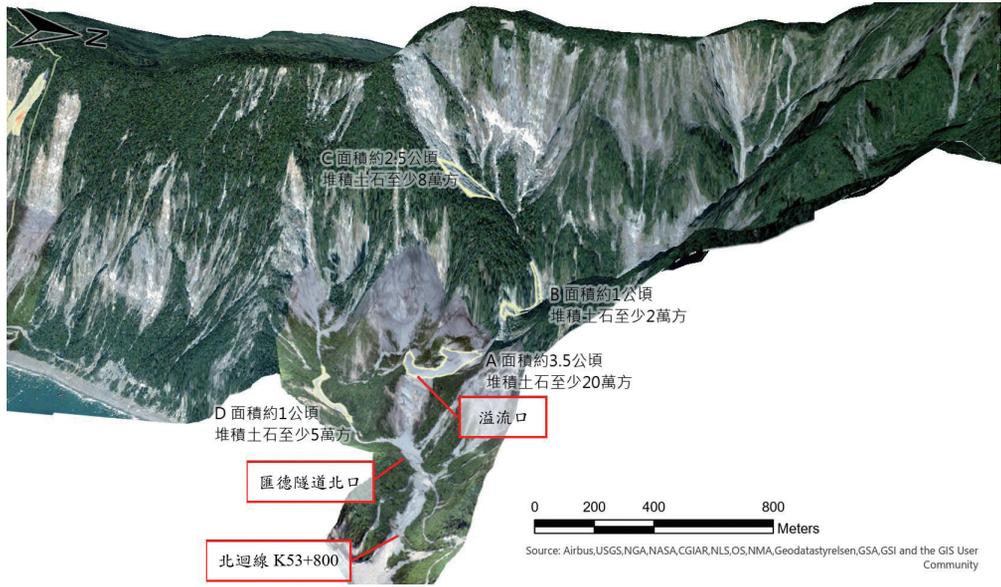
本研究蒐集鄰近清水斷崖雨量站於 2024 年有發颱風警報期間統計雨

量，參考和中雨量站之頻率分析，凱米颱風期間清水斷崖雨量站最大 3、6、12 及 24 小時累積雨量重現期為 25-50 年，1 小時累積雨量重現期為 10-20 年。

山陀兒颱風期間雨量站各延時累積降雨均小於 2 年重現期。康芮颱風期間最大 12 及 24 小時累積雨量重現期為 2-5 年，其餘延時均小於 2 年重現期。

## 石公溪崩場地調查與分析

石公溪集水區因 2024 年 0403 花蓮地震後大量岩塊土砂堆積，凱米颱風帶來的暴雨引發河道淤積後溢流改道，形成高差約 200 公尺、坡度約 45 度的河道遷急點。前後期 DSM 相減結果顯示崩塌土石堆積總量超過 30 萬方，主要分布在 4 處主要堆積區域。其中堆積體 A 面積約 3.5 公頃、體積至少 20 萬方，堆積於溢流口上方。目前溢流處已形成一處明顯缺口。



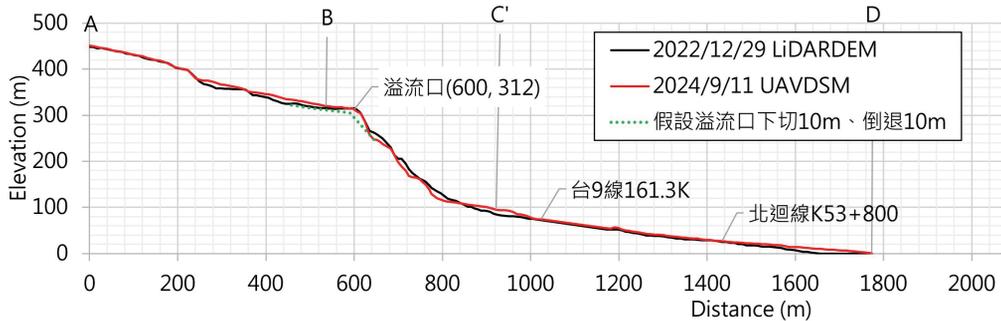
石公溪坡面堆積土石量體位置 3D 視角



石公溪原河道及新河道位置



石公溪溢流口下方保全對象



石公溪河道縱剖面圖

2024年凱米颱風從溢流口衝出大量土石，其中約2萬方的土石堆積於臺9線161.3K路段，造成臺9線交通中斷、匯德隧道北口被土石溢淹覆蓋高度約5公尺。部分土石與水流越過臺9線後，繼續往下游搬運移動，造成臺鐵K53+800小清水溪橋樑西正線沖毀，東正線軌道土石淤積。本計畫假設未來發生多場降雨事件後溢流口擴大，遷急點後退10公尺、下切10公尺的情境。此一情境造成堆積在東豐礦場舊址至少20萬方土石逐漸、分次往下游運移，可能影響鐵公路交通與用路人安全。

### 崇德板下崩塌地調查與分析

崇德板下崩塌地位於臺9線164.5K附近，0403地震後坡面已有明顯崩塌土石堆積，隨後在凱米、山陀兒及康芮等多次颱風豪雨期間，堆積在坡面上的堆積物受暴雨沖刷、往下邊坡運移、土砂流出堆積於鐵公路造成災害。崇德板下上邊坡為常見之破壞機制，由3組不連續面連通後形成岩塊崩落，這些不連續面主要是片理（或層理）、張力裂縫、或是蝕溝沖刷形成的弱面。降雨沖蝕將坡面土石帶出、堆積在坡趾形成堆積扇。這些堆積物材料組成鬆散，容易因降雨入滲、地表逕流沖刷造成局部崩滑、土石夾帶泥水流出。

綜合以上，本場址為上邊坡陡峭、坡面有數道蝕溝，坡趾土石堆積且蝕

溝持續下切的崩塌地。坡面破壞機制以落石為主，強降雨將崩落土石沿著沖刷溝帶到坡趾形成堆積扇，目前仍不穩定，未來降雨入滲及沖刷均可能加速土石泥流繼續流出，衝擊下方鐵公路交通。

### 從崩塌危機到應變行動

#### 石公溪崩場地緊急處理對策

目前石公溪河道仍堆積大量土石，後續颱風事件可能造成溢流口持續沖刷擴大，導致堆積在溢流口後方



■ 崇德板下崩塌地災後現勘照片

河道約 20 萬方的土石往下游運移，影響鐵公路交通及用路人安全。建議於溢流口下方堆積區域施作護岸、固床工及防砂壩等工程，並配合鐵公路上邊坡側增加囚砂空間、減少可能直接衝擊鐵公路的土砂量，並於公路下方增設排水箱涵將洪水迅速排向出海口，減少土砂溢淹路面的狀況。

花蓮分署刻正辦理「石公溪及小清水溪集水區溪流環境調查分析及棲地改善計畫」，從石公溪集水區治理和監測的角度，進行地質調查、水

文水理分析、土砂收支分析，定期評估土石運移及淤砂量之改變、評估致災風險，探討河道變遷趨勢與穩定策略。

### 崇德板下崩塌地緊急處理對策

目前崩塌地趾部（臺 9 線上邊坡）尚有約 10 萬方的土石量體，建議於坡面施作噴凝土縱溝、邊坡掛網、自由格樑、鋪設稻草蓆等邊坡防治作業，減緩地表沖刷。崩塌地源頭區海拔 1,000 公尺處尚有約 11 萬方的土石量

■ 崇德板上下邊坡破壞機制，由 3 組不連續面連通後形成岩塊崩落。





■ 坡趾堆積物材料組成鬆散，容易因降雨入滲、地表逕流冲刷造成局部崩滑、土石夾帶泥水流出（2024/9/16）。

體堆積坡面，因無道路可及性，建議透過定期航拍的方式持續追蹤，並評估空中撒播草種之可能，加速植生復育、減緩崩塌範圍擴大。建議改善現有箱涵、增加通洪斷面，並定期清理公路下方箱涵與箱涵上游集水井。可於道路上邊坡設置囚砂區，作為強降雨時土砂流出的緩衝區域，避免土石泥流溢淹鐵公路。

根據2024年災害及雨量統計結果，可考慮先以豪雨特報（200mm/24h 以上或 100mm/3h 以上雨量）作為可能發生土石、泥流溢淹路面的管理基準值，以便及早啟動應對措施，並由後

續降雨事件持續建立雨量與坡面災害之關係，滾動式修正管理基準值。

### 強化調查、監測與韌性對策

本研究透過地形地質、水文資料與多時期航遙測分析，搭配災後現地勘查，掌握石公溪及崇德板下崩塌地災害特性與成因，提出短期緊急處理對策及後續建議，希冀達到重塑災後韌性山川的目標。透過提出有效且務實的防減災方案，可有效提升研究區域之災後韌性及長期防災能力，未來應持續加強相關監測與分析工作，維護居民安全及集水區治理永續發展。🌱

# 重啓溪流生命力

## 河相學與溪流治理與復育

文、圖／楊佳寧（通訊作者 | 中興工程顧問股份有限公司水利部組長）  
林孟穎（中興工程顧問股份有限公司水利部規劃師）

### 從約束到共生

山區溪流常讓人覺得變幻莫測，時而乾涸見底，時而澎湃洶湧，甚至挾帶著大量土石衝擊下游。為了控管災害，有時治理單位需替鬧事的溪流穿上「約束衣」，但當災修工程告一段落，人們的生活重獲平靜，縱橫向的水泥構造物卻往往成為眾多山林生命移動的阻礙，使溪流難以在事件後恢復自然律動與生態功能。

這樣的結果絕非治理人員所樂見，但治山防災工作的難處，很大原因是在於工具的不足。正因為山區溪流個性難掌握，學術界的理論發展規律是從下而上。下游平原河川水流和

緩，河床不易變動，泥砂均質性高，只需做好水位控制即完成防災工作。反觀山區溪流的治理，需面對各式各樣的渦流、大小混雜的顆粒、迭蕩起伏的溪床，連流體都可以瞬間從牛頓變成非牛頓……這些水文水理與產砂輸砂機制，是流體力學、泥砂運動力學的前沿課題，使得治理策略難以依循標準模式制定。

河相學是一門描述河川不同尺度的形貌生成與變動機制的學問，源自地形、地質、水文、泥砂運動、棲地生態學等多種跨領域學門。本文總結林業及自然保育署（簡稱林業保育署）「應用河相學於國有林溪流治理與復育」自2021-2025年二期的計畫成果，



嘗試在防災與生態之間，尋找更有韌性與共生可能的治理途徑，恢復溪流生命力。

## 溪流河相的基本法則

臺灣島的造山運動已持續數百萬年，山體抬升率與剝蝕率之間也達動態平衡，稱為平衡山脈。由於大部分的山體都在經歷風化、崩塌、土壤生成的循環，因此土壤厚度局部變異大，這是崩塌區位難以掌握的主要原因。然而溪流有既定的造型法則，並非無法預測。水流最基本的形態是波動，從而生成階潭（step-pool）及不同形態的砂洲（bars）。安定的溪床具有階梯、石組等特徵。

在谷壁侷限又多塊石的溪流，石頭會在洪水作用下隨機碰撞或卡合，自然淘汰的結果，只有符合力學原理的形態能留存。當石頭與石頭的咬合點連成拱或其他可傳力的形態，且兩端有大石或岸壁，便可形成安定的階梯。階梯處的跌水會形成小型潭區，一系列的階梯與潭區便構成階潭地形。

如果來砂多使溪谷淤高，大石的粒徑也不及河寬的 1/10，此時石頭無法卡成階梯，但會發展出砂洲。溪谷埋積越高，溪床越寬，砂洲也從單列發展成雙列、多列。這樣的溪床也有一些形態特徵顯示河床質經過洪水作用，已相對安定。如個別石頭會先朝上游傾斜「叩首」，再堆疊成形狀類

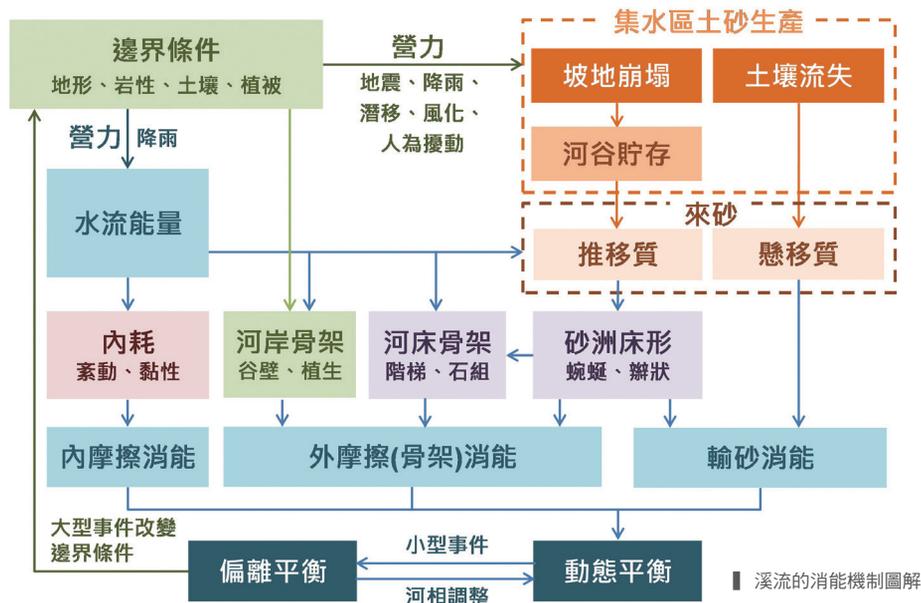
似覆瓦的群組。這些石組若有一半以上的量體深埋於河床，代表溪床相當穩定。

## 溪流的消能機制：最小內耗率原理

溪流的能量來自本身的流量與坡度。流量取決於降雨，坡度則是地表長期演化的結果，因此溪流能量是與生俱來的。這能量必須透過 3 種方式來消耗：1. 搬運土砂作功（輸砂消能）；2. 與水流以外的東西碰撞（外摩擦消能）；3. 水流內部透過黏性、紊動而變成熱能消散（內摩擦消能）。近年基於熱力學的河相研究已經證實，溪流的能量法則是讓內摩擦的損耗率朝向最小，可稱為「最小內耗率原理」。基於這個原理，山區溪流的消能機制可用圖解說明。

在給定的地形地質與降雨條件下，溪流會盡可能地搬運土砂，但碰到搬不走的東西，像岩壁、岸壁植生、卡好的階梯石組等（統稱為「骨架」），就變成外摩擦或骨架消能。輸砂的同時，河床順應波動法則發育成蜿蜒或辮狀的形態，此過程兼有輸砂與骨架消能，有時稱為「擺盪消能」。剩餘的能量才以黏性、紊動的方式耗散。當內摩擦能耗率達到最小，即達到所謂的動態平衡。

最小內耗率原理雖然簡單，但已包含了山區溪流完整的河相演變機制。例如大崩塌或土石流事件後，河道淤



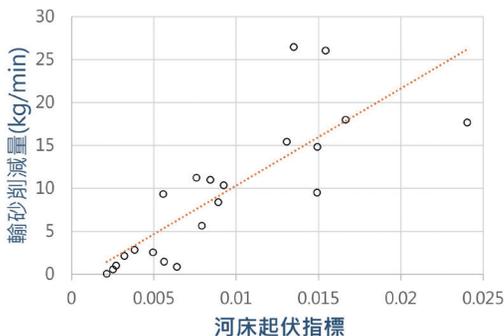
高，之後很長一段時間，來砂都不虞匱乏，因此輸砂率維持在最大值（稱為飽和輸砂量）。此時為達最小內耗率，河流會發育出多列砂洲以減少流速，也會透過蜿蜒擺盪來增加外摩擦，因而形成埋積河道常見的瓣狀流路。

若水流有夠長時間消化埋積，溪床會在流路較窄處卡出階梯或石組，使床面呈波狀起伏。床面起伏越劇烈，消能效果越好。水槽實驗證實，在條

件允許形成階梯之處，階梯骨架是終極的消能機制，溪流最終是透過外摩擦最大化、輸砂最小化來達成最小內耗率。骨架形成後，在清水流冲刷下，最終底床的侵蝕量均接近零，說明階梯骨架確實為天然固床工。

## 山區溪流的河相分類

我們所見的溪流樣貌，是水流量與消能機制交互作用的結果。規劃工作通常始於集水區尺度，這個階段雖然還沒去現地調查，也沒做水文水理分析，但可以先利用簡單的河相指標，初步掌握溪流的個性。若說山區溪流變化多，或許對治理而言最需要的分類方法，就是評估溪流易變的程度。計畫成果的一部分，是整理全島尺度的圖資數據，製作出 4 個可用的河相指標。



■ 水槽實驗中床形發育程度與輸砂削減量的關係

- 逕流功率指標  $\omega_n$ ：由水土保持常用的降雨沖蝕指數 R、坡降 S 組合而成，代表水流能量。
- 坡地崩塌指標  $L_n$ ：山崩分布圖的崩塌面積可轉換成平均崩塌深度，代表產砂量。
- 塊石生產指標  $B_n$ ：以山崩類型中的落石占比代表粗料的生產。
- 細料生產指標  $F_n$ ：土壤沖蝕指數 K 與降雨沖蝕指數 R、坡降 S 可組成土壤流失量，代表細料的生產。

這些指標轉化為 0-10 的數值後，可以直觀地比較與操作。逕流功率指標  $\omega_n$  與坡地崩塌指標  $L_n$  構成水砂平衡判定：當  $\omega_n - L_n > 2$ ，表示具沖刷趨勢；當  $L_n - \omega_n > 2$ ，具埋積趨勢；當  $|\omega_n - L_n| \leq 2$ ，具有時沖時淤的變換趨勢。塊石生產指標  $B_n$  與細料生產指標  $F_n$  構成粒徑分布判定：當  $B_n - F_n > 2$ ，表示塊石相對較多，當  $F_n - B_n > 2$ ，表示細料多而塊石少；當  $|B_n - F_n| \leq 2$ ，代表粗細料的量相當。

這樣的分類法則如何使用呢？首先，溪流河相可能具有區域性的共通點。若將水文與地形、地質條件近似的相鄰流域整併為「流域區」，並只看 500 公尺以上山區，可以歸納各區的平均類型。右圖中 10 個流域區的山區平均值，僅臺北盆地為沖刷趨勢，竹苗丘陵及臺中盆地周邊平均為粗料埋積型，再往南的嘉南平原山區地質更軟弱，細料比例增加，為粗細埋積型。屏東平原山區屬細料變換型，恆春半島及蘭陽平

原山區平均為粗細變換型。變換型溪流沒有長期的沖刷或淤積趨勢，且細料越多越不易卡合成骨架，使此類溪流的沖淤變化劇烈。東部的花東縱谷、海岸山脈、蘇花海岸平均為粗料變換型，進入河道的崩塌物質容易卡合成骨架，沖淤變化相對緩和。

到集水區尺度，可發現同一流域區內，溪流個性也可能截然不同。水砂平衡（沖刷、埋積、變換）以及粒徑分布（粗料、細料、粗細兼具）的組合，理論上可歸納出 9 種河相分類，但檢視了 25 個代表性集水區，計算指標，發現唯獨沒有細料沖刷型的溪流。這也合理，因為如果集水區的細料多而塊石少，表示它不可能維持險峻的地勢，產砂量也一定大，所以不會是沖刷型。

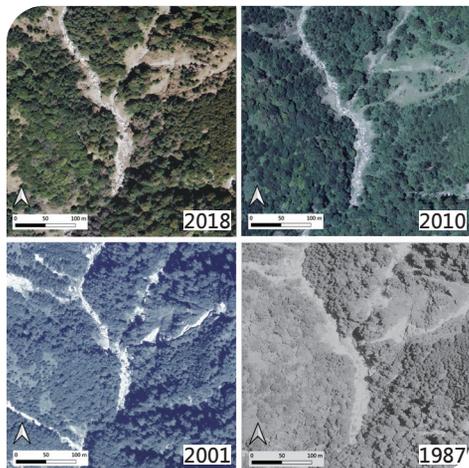
由於 4 個河相指標本身具統計意義，因此可以描述河相變化。它們所



流域區山區與代表性集水區的溪流河相分類

構成的 8 種類型，填補了過往山區溪流缺乏描述與分類的問題。使用者必須認知到，分類結果相當程度取決於落石量、崩塌量、面積體積公式、K 值與 R 值這些原始資料的精度。然而目前基於這些圖資產出的消能指標，已經可與經驗觀察比對校核。觀察不同年代的航照影像，會發現這些分類結果相當準確也直觀。

例如臺中盆地周邊山區的萬大北溪為粗料埋積型，即便已經接近源流，因坡地的崩塌土砂供應充足，溪床處於長期埋積的狀態，河道中可見塊石堆積，但不一定有夠窄的溪床來卡成骨架。嘉南平原山區的草蘭溪為細料埋積型，集水區多頁岩或泥岩，河道粗細顆粒混雜，塊石並沒有形成骨架。雖然也是埋積型，但溪床寬度變化大，在莫拉克颱風後的 2010 年，溪寬可達 200 公尺，約是 1993 年的 10 倍。

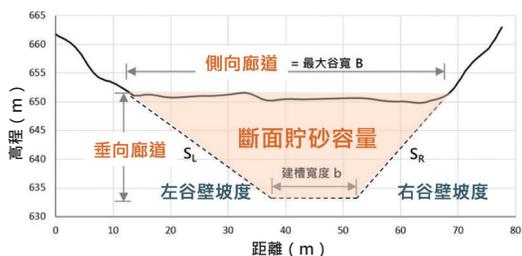


■ 臺中盆地周邊的萬大北溪歷年正射影像（粗料埋積型）

## 從水系指認沖淤潛勢河段

雖然溪流朝向動態平衡演化，但局部河段會因為地形地質的差異及崩塌事件，而有不同的沖淤潛勢。為了瞭解沖淤潛勢的沿程變化，本計畫發展出「溪流指標」，也就是在河道內評估水流能量與土砂量的方法。在這裡，水流能量用極端事件（50 年重現期洪水）的總溪流功率  $\Omega$  來表達，為水的比重量、流量與河床坡度之乘積。河道土砂量則從航照影像與數值高程模型（DEM），求取斷面貯砂容量  $V_s$ 。從歷年埋積最嚴重的影像及骨架最顯著的影像，可得到 B 與 b，從 DEM 則可量得兩岸谷壁的坡度。梯形所對應的空間，也描述了該斷面在側向與垂向可能的變動範圍，稱為「沖淤廊道」。

$\Omega$  與  $V_s$  每 100 公尺計算一次，並標示在同一張圖上，便可判斷一條溪流沿途的沖淤潛勢。但上述指標的數值需先經過匹配，才容易直觀判斷，我們假設河道的「平衡庫容」是以 Q50 清水流沖刷 2-10 倍集流時間，能帶走的土砂量。用此匹配原則所產出的 2

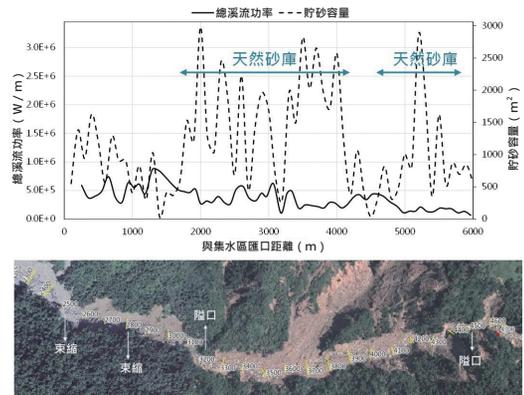


■ 断面貯砂容量 ( $V_s$ ) 的定義

指標沿程變化圖稱為  $\Omega$ -Vs 圖，其判釋方法與例子如下表與圖。

選擇代表性集水區的主流河段來計算溪流指標，並從航照影像對照橫向構造物所在位置，可以發現大型構造物容易使  $\Omega$  出現劇烈振盪，下游為高點，上游為低點，代表溪流集中於構造物下方消能。Vs 則容易在構造物上游出現局部高點，不過當構造物淘空破損，振盪就減緩了。

觀察影像的同時，也發現某些特定的地質、地形條件，會構成「天然砂庫」。例如山區常見的砂頁岩互層，使岩壁或溪床岩石每隔一段距離即出露，形成隘口；又例如掘鑿曲流急彎的地形條件，使得來砂自然落淤。這些砂庫溪段常呈現寬窄互現的囚砂口袋，其本身即具有讓土砂平緩釋放的調節功能。



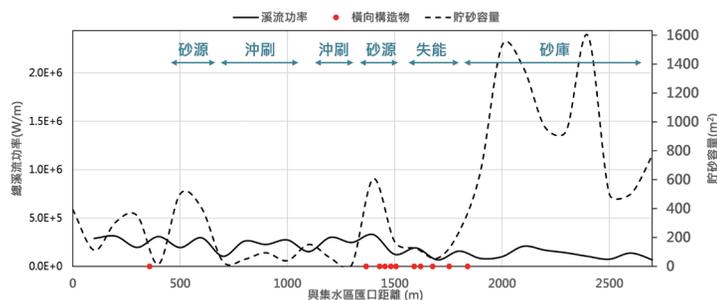
塔乃庫溪砂、頁岩差異侵蝕形成系列貯砂口袋。

### 分析河段風險與健康

進入河段尺度，為能掌握特定規模的洪水及土砂事件的可能影響，就需要水文分析與水理模擬。過往在只考量防災的前提下，面臨自然因素種種的不確定，水文水理分析趨於保守。舉例而言，常用的「合理化公式」容

### 從沿程溪流功率與沿程貯砂容量判斷河段特性

		溪流功率 $\Omega$	
		低	高
消能機制	貯砂容量 Vs 低	失能段	沖刷段
	貯砂容量 Vs 高	砂庫區	砂源區



土場溪  $\Omega$ -Vs 圖及指認的潛在沖淤河段

易高估流量；常用的曼寧  $n$  值會高估流速；而常見輸砂公式並未考量溪流骨架安定溪床的效果，以致高估輸砂量。最後的結果是，工程被過度設計，溪流背離自然平衡的樣貌。

### 估算代表流量

為滿足國有林溪流治理與復育的需求，建議選擇至少 3 種代表流量：50 年重現期洪峰時流量 (Q50)、2 年重現期洪峰時流量 (Q2)、90% 超越機率日流量 (Q90%)。

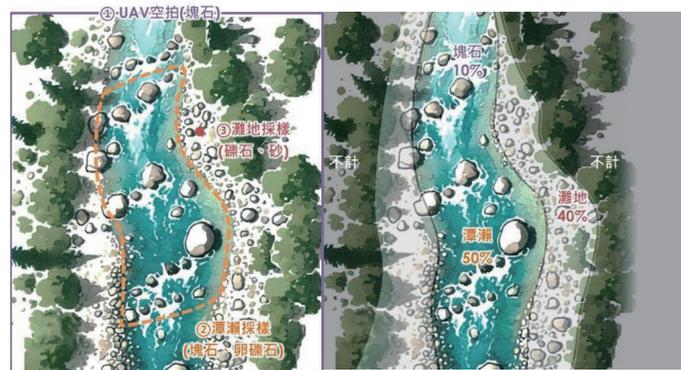
- Q50：這是規範要求的設計流量，可選擇鄰近有 40 年以上觀測紀錄的流量站或雨量站，直接從紀錄中取最大值，再用面積比法轉換。如果流量站紀錄年分不夠，選擇有 40 年以上觀測紀錄的雨量站，取最大降雨，如果這個時間有對應的流量紀錄則取用，否則要用比例法轉換（假設流量與雨量成正比）。
- Q2：即所謂的建槽流量或造床流量，溪床表面大部分的河床質都能啟動，因此 Q2 左右了溪流平時的樣貌及棲地環境。日本一級河川的統計結果顯示，如果有 10 年以上的流量紀錄，取每年最大時流量加以平均，即相當接近頻率分析所得之 Q2。經實際操作比較，可以發現這個簡便的原則亦適用於臺灣河川。
- Q90%：這是低於旱季平均值的流量，此時水域生物可能需要移動來避旱。經過實際測試，如果有 10 年

以上的流量紀錄，可以使用年最小日流量的平均值，來概估 Q90%。

### 河床質調查

河床質的顆粒大小及組成比例，對判釋溪床變動特性十分重要，也是二維動床模擬的基本輸入資料，需透過現地調查取得。山區溪流的河床質粒徑範圍大，調查方法也不同於中下游，可視情況選擇以下的調查方法，再給予不同權重，得到合成的粒徑分布。

- UAV 空拍：溪床若有許多露出水面的大塊石，不易直接在溪床量測，此時可用空拍機拍攝正射影像，影像範圍需包括數個潭瀨區間，再用影像分析軟體判釋各塊石之中軸粒徑，得到粒徑分布。可設定 250 公釐以上之塊石為分析對象，並排除不可動的崩積岩塊。
- 潭瀨採樣：主要調查水面下塊石及卵礫石的粒徑分布，露出水面但未達空拍判釋閾值的石頭也要採樣。調查範圍需包含至少一個潭



■ 河床質調查方法（左）及分析權重（右）示意圖

瀨區間，使用隨機撿拾法 (pebble count)，採取材料 100 顆以上，採樣點盡可能均布於整個調查區間。以固定步距每移動一步，即用手指特定部位接觸床底（避免視覺選擇），撿拾或直接量測觸碰的顆粒，量取中軸粒徑。直徑 1 公尺以上的大塊石排除不量，2 公釐以下材料不量測但紀錄。

- 灘地採樣：一般分為「表面法」與「體積法」。灘地表層經水流作用帶走細顆粒後，會形成粗顆粒的護甲層。如果目的是模擬 Q2 規模的小洪水，可假設僅啟動護甲層，調查表面粒徑分布即可。但更大的洪水可能破壞護甲層，捲起整個河床，此時需用體積法採樣。

1. 表面法：選擇高於平時水面、無植生的裸灘為採樣點，放置標尺照相，再用粒徑分析軟體自動判釋顆粒。也可使用潭瀨採樣所用的隨機撿拾法。
2. 體積法：在表面法的相同採樣點，移除護甲層的大顆粒後，挖小型坑取樣，將樣本攜回曬乾後再過篩分析。

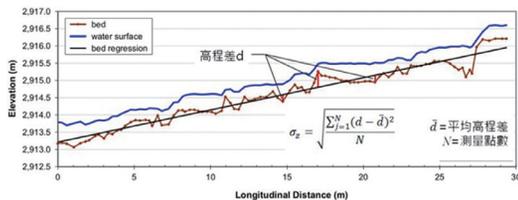
### 曼寧 n 值的估算

外摩擦消能常透過曼寧粗糙係數  $n$  來量化。一般常用水深與代表粒徑（如  $D_{50}$ 、 $D_{84}$ ）的比值來表達曼寧  $n$  值，但應用於山區溪流時，成效常不理想。美國農業部於 2014 年出版了一本曼寧

$n$  值參考圖冊，收錄美國華盛頓州、科羅拉多州、智利、阿根廷、紐西蘭、義大利等地的山區溪流野外調查的實測  $n$  值，可比對照片判斷  $n$  值。這些資料的河床坡降界於 0.02-0.2，適用於臺灣的山區溪流。此外，圖冊中也包含一個相當實用的公式：

$$n = 0.41 \left( \frac{h_m}{\sigma_z} \right)^{-0.69}$$

式中  $h_m$  為河段平均水深； $\sigma_z$  為河床測量高程與縱剖面線性回歸值之間的標準差，代表床形發育的程度，稱為河床起伏指標。調查成果指出，垂向發育出床形的山區河道，曼寧  $n$  值普遍大於 0.1，而且階梯床形發育越成熟， $n$  值越大，表示消能效果越好，有瀑階的溪流  $n$  值甚至高達 0.5。相比之下，經典教科書（Chow 1959 年的明渠水力學）所列的山區溪流曼寧  $n$  值僅 0.03-0.07，大幅低估了階潭床形的消能效果。



資料來源：[https://www.fs.usda.gov/biology/nsaec/assets/yechumetal\\_2014\\_gtr-323.pdf](https://www.fs.usda.gov/biology/nsaec/assets/yechumetal_2014_gtr-323.pdf)

### 河床起伏指標的定義

### 山區溪流的動床模擬

山區溪流可用的輸砂公式不多。以常用的免費水理模擬軟體 HEC-RAS

為例，收錄的輸砂公式中，Wu et al. (2000) 及 Wilcock & Crowe (2003) 的推移質公式都考慮大小粒徑互相堆疊覆蓋的「遮蔽效應」，比較適合山區溪流。後者除考慮遮蔽，也強調含砂量對整體輸砂的影響，適合岩質較弱、含砂量偏高的河川。當整個河床的含砂量 >10%，卵礫石不容易接觸卡合，輸砂量會大幅上升。

這 2 個公式雖沒有考慮床形發育，但都包含水流阻力係數。若使用河床起伏指標正確估算  $n$  值，並用斷面貯砂容量 ( $V_s$ ) 的定義推估骨架所在高程，將卡好的階梯骨架視為不可動，那麼過往輸砂公式大幅高估卵礫石輸砂量的問題，似乎就能得到解決。

有了上述的調查方法與計算工具，才能進一步分析河段尺度的河相。本計畫選擇的河段尺度河相指標如下表所示。

## 各類型溪流治理原則與適用工法

從河相法則，可以大致推出不同類型溪流的治理原則。要兼顧防災與

生物多樣性，工法是重中之重。如果不使用混凝土，還有哪些選擇呢？其實世界各地在前混凝土時代，約 20 世紀之前，就發展出不少因地制宜的傳統工法，1980 年代環境意識高漲後，德國、瑞士、美國、日本等地，也各自研發出許多順應河相的護岸及防砂工法，在本文通稱為近自然工法。

沖刷型及變換型的沖刷期，重點是維護或重建溪流骨架，適用工法依據不同溪流環境（坡度、寬度）與用途來設置。

埋積型及變換型的埋積期，治理重點為防止土石流災害，以及事件後讓溪流恢復常態。土砂事件後的搶險重點是疏濬及導正流心，接著必須評估現況溪床在側向廊道、垂向廊道的位置，以掌握保全對象的風險。建議的工法有透過型壩、木工沉床、聖牛（橋樑）、竹蛇籠等等。

不論是埋積型或變換型，多細料溪流的變化非常劇烈，因此必須同時納入沖刷型及埋積型的原則。除此之外，沖刷期的重點是促淤及邊坡植生保護，以避免土砂流失，建議之工法

### 河段尺度指標分析架構

代表流量	水流能量	消能機制
設計流量 (Q50)	洪峰水深、洪峰流速、 洪峰單位溪流功率、 寬深比 (Q2)	貯砂率、河床起伏指標 飽和輸砂量、卡合比 (Q2)
建槽流量 (Q2)		
早期流量 (Q90%)	其他健康河相指標 水域縱向連續度、潭區尺寸、瀨區間距、自然河岸長度比	

## 不同河相溪流之建議治理原則

溪流河相	溪流治理與復育原則
<b>沖刷型</b> 粗料沖刷 粗細沖刷	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 維持溪流天然骨架。</li> <li>2. 避免施作連續、光滑的縱向構造物。</li> <li>3. 避免施作混凝土材質的橫向構造物。</li> <li>4. 避免疏濬及土砂採取。</li> <li>5. 若溪流天然骨架已破壞，可視需要以自然材料建構丁壩、固床工等骨架。</li> </ol>
<b>變換型</b> 粗料變換 粗細變換	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 辦理工程前，需先評估側向、垂向廊道範圍；若溪床骨架出露，表示現況已不再有疏濬需求。</li> <li>2. 構造物基礎需深於垂向廊道下限。若施做橋梁，橋面須高於垂向廊道上限。</li> <li>3. 施做通透且可調整或自然分解的防砂設施，只攔截大事件的土砂，事件後引導土砂無害下移。</li> </ol>
<b>埋積型</b> 粗料埋積 粗細埋積	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 善用地質或地形條件形成的天然砂庫。</li> <li>5. 視需要在大規模埋積後清疏河道，整理流路，形成流心。</li> <li>6. 避免施作連續、光滑的縱向構造物及混凝土材質的橫向構造物。</li> <li>7. 於流路迫近岸邊保全對象之處，可施做粗糙且可透水的護岸或丁壩。</li> </ol>
<b>多細料</b> 細料變換 細料埋積	除採變換型與埋積型的管理原則外，另建議： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 維護溪床、溪岸自然骨架（包括植生）。</li> <li>2. 採柔性護坡植生工法。</li> <li>3. 避免不透水或低糙度的表面。</li> <li>4. 採柔性防砂工程，事件後土砂無害下移。</li> <li>5. 泥質環境避免使用混凝土，以免快速淘空。</li> </ol>

如打樁編柵結合稻草蓆、麻網/椰纖網護坡、透過型丁壩與植生護岸、柔性防砂工程（如殘材壩）。

## 掌握河相，順應自然

國有林位於流域的最上游，直接面對水砂營力，溪流的治理方式對下游的來水來砂有深遠的影響。目前常見的作法，是在淤積階段興建橫向構造物攔阻上游土砂，或建護岸阻擋邊坡土砂；在沖刷階段則會碰到既有構造物破損，需要修復。掌握河段的沖淤變化並採取因時、因地制宜的策略，

發展及應用可調整、可融入環境的工法，是目前溪流治理的重要課題。

在此前提下，我們的計畫任務是發展實用的河相指標，提供可操作的分類方法，希望幫助治理人員掌握各地溪流的個性。河相學近數十年來的研究進展，已經在理論、規劃工具等各方面，為山區溪流的治理與復育工作提供了逐漸完整的指引。與生態共融的近自然工法數十年來也在世界各地持續發展，並逐漸累積實務案例。相信隨著本土案例的增加，臺灣的溪流治理可以累積更多與自然共好的經驗，進而調整規範，逐步朝向自然解方前進。♻️

# 防災與減碳同行

## 國有林防災工程的永續願景

文、圖／詹勳全（通訊作者 | 國立中興大學水土保持學系教授）

王依蘋（國立中興大學國土資源保育中心副研究員）

李膺讚（林業及自然保育署集水區治理組科長）

### 林業減碳行動起步

隨著氣候變遷議題日益受到關注，「減碳」已不再只是政策口號，而是逐步融入國家政策與民生各層面。在國有林治山防災工程的推動過程中，從工程材料的製造與運輸，到施工期間的能源使用等，均為溫室氣體排放的來源。因此，如何在確保防災安全的同時，兼顧減碳目標，達成永續發展，已成為當前的重點課題。

為有效降低並管理防災工程所產生的碳排放，林業及自然保育署（簡稱林業保育署）參考水利署與農村發展及水土保持署（簡稱農村水保署）的相關經驗，開始推動國有林防災工程碳排放盤查的前期作業。此作業內容包括：調查與分析現階段國有林防災工程的碳排情形、建立碳排放量化方法、規劃碳排放強度上限及管理機制等。此外，林業保育署亦選擇具體工程案例進行碳盤查實務操作與驗證，以建立具參考價值的實務基礎。

此外，林業保育署也透過系統化的教育訓練課程，協助並輔導本署及各地區分署第一線同仁瞭解碳排放的估算方法與管理機制。藉由這樣的培育過程，逐步提升同仁對減碳工作的認識與參與度，同時也為邁向 2050 年「淨零排放」的目標預作準備，期望在確保工程安全的同時，推動環境永續，攜手邁向林業永續的新里程。

### 國有林工程碳排放計算依據

為呼應臺灣 2050 年淨零排放政策，並與國際社會共同邁向減碳目標，ISO/TS 14067 技術規範已於 2018 年正式修訂為國際標準《ISO 14067》，使產品碳足跡(Carbon Footprint of Products, CFP) 的評估與計算有統一的國際依據。該標準整合了 ISO 14040 系列與英國 PAS 2050 等相關規範，現已成為全球廣泛採用的碳足跡盤查基礎。臺灣亦與國際同步推動碳足跡管理作業，並採用《ISO 14067:2018》（簡稱 ISO

14067) 作為碳盤查與減量工作的標準依據；林業保育署也參照該標準架構，建立適用於林業防災工程的碳排放量評估方法。

$$\text{碳足跡} = \text{活動數據} \times \text{排放係數} \times \text{全球暖化潛勢 (GWP)}$$

ISO 14067 提供多種碳排量化方法，其中最常見且通用性較高的是「排放係數法 (Emission Factor Method)」<sup>1</sup>。林業保育署採用此方法導入防災工程碳盤查作業，並透過 3 項主要參數進行碳排量估算，包括：1. 活動數據 (Activity Data)；2. 排放係數 (Emission Factor)；3. 全球暖化潛勢 (Global Warming Potential,

GWP)。此一方法可應用於工程各階段的碳排放計算，有助於未來制訂具體可行的減碳策略，進而落實淨零排放的長期目標。

其中，「活動數據」是指產品在生產或服務提供過程中所使用的材料、能源或交通運輸等之實際使用量；「排放係數」則表示每單位活動數據所對應產生的溫室氣體排放量；至於「全球暖化潛勢 (GWP)」則是用來將各類溫室氣體轉換為二氧化碳當量 (Carbon Dioxide Equivalent, CO<sub>2</sub>e) 的參數。

GWP 可作為不同氣體對氣候變遷影響程度的比較基準。下表列出了幾種常見溫室氣體的 GWP 數值，作為後續碳排量估算之依據。

### 常見溫室氣體全球暖化潛勢

溫室氣體種類	TAR, 2001	AR4, 2007	AR5, 2013	AR6, 2021
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1
甲烷 (CH <sub>4</sub> )	23	25	28	27.9
氧化亞氮 (N <sub>2</sub> O)	296	298	265	273
氫氟碳化物 (HFCs)	12-12,000	124-14,800	1-12,400	0.004-16,200
全氟碳化物 (PFCs)	5,700-11,900	7,390-17,700	1-17,400	0.002-18,500
六氟化硫 (SF <sub>6</sub> )	22,200	22,800	23,500	24,300
三氟化氮 (NF <sub>3</sub> )	10,800	17,200	16,100	17,400

資料來源：環境部 (2024)

### 確立工程系統邊界

ISO 14067 是以「生命週期評估」(Life Cycle Assessment, LCA) 為基礎，強調需從產品或服務的整體生命週期角度，全面評估其碳排放量。因此，明確界定碳排放來源與涵蓋範圍，是進行碳足跡盤查的首要步驟。該標準核心在於以「生命週期觀點」(Life Cycle Perspective) 進行碳排放計算，涵蓋從原料取得、生產製造、運輸配送、使用階段，直到廢棄處理等各個階段，全面掌握溫室氣體的排放與移除情形。

在執行碳盤查時，必須清楚定義盤查的系統邊界與功能單位，並依循 6 項基本原則進行資料的蒐集與分析，包括：相關性、完整性、一致性、連貫性、準確性與透明度。此外，亦需考量資料的獨立性，避免重複計算。透過產品碳足跡的量化結果，可有效辨識產品或工程生命週期中的碳排放熱點，進而擬定具體的減碳策略，協助實現溫室氣體移除與淨零排放的目標。

依據 ISO 14067 的規範，於進行任何產品或服務的碳足跡盤查前，應依循「第三類環境宣告」(Type III Environmental Declaration) 或「足跡溝通計畫」中所訂定的「產品類別規則」(Product Category Rules, PCR)。

此一程序旨在確保同類產品由不同單位進行碳足跡評估時，能遵循一致的方法學，產出具有可比性之結果。

目前我國已公告多項產品與工程之 PCR 規則，相關資訊可於「產品碳足跡資訊網」查詢。

系統邊界的界定是碳盤查作業的起點。「系統邊界」是指盤查所涵蓋的範圍與內容，包括所涉及的能源與資源類型、排放源追蹤對象，以及生命週期的各階段。明確劃定系統邊界，有助於建立碳排放估算的基礎，並直接影響後續活動數據的完整性與一致性。

在界定系統邊界後，下一步即為活動數據的蒐集。這些數據需涵蓋系統邊界內所有會產生碳排放的項目，例如：原物料使用量、運輸距離與運輸方式、施工機具的操作時間與燃料消耗量等。接著，將所蒐集的活動數據搭配相對應的排放係數與 GWP 參數，即可完成工程項目的碳排放量計算。

根據國內《橋梁及道路碳足跡產品類別規則》(CFP-PCR) 指出，碳足跡的評估範疇可涵蓋施工建造階段與營運管理階段。其中，施工建造階段包括施工過程中使用的工程材料、施工機具所消耗的燃料與能源，以及施工期間管理單位相關作業所產生的活動數據；營運管理階段則以橋梁在未來 50 年營運期間的操作與維護作業為評估對象，涵蓋材料使用、能源消耗與燃料使用等項目。

對於實際工程施作而言，無論是建造或營運階段，其工作項目、工程規模、材料使用數量與材質選擇等內

容，皆會反映在契約詳細表的各項工項中。因此，可透過契約詳細表中各項工項的活動數據（即數量），結合對應的碳排放係數，進而推算出整體工程的碳排放總量。

以國有林防災工程為例，每項工程在展開修復作業前，林業保育署會先派員進行現地損壞評估，並研議是否進行修復作業。經核定後，委由設計監造公司依據實際需求進行防災工程設施之規劃與設計。

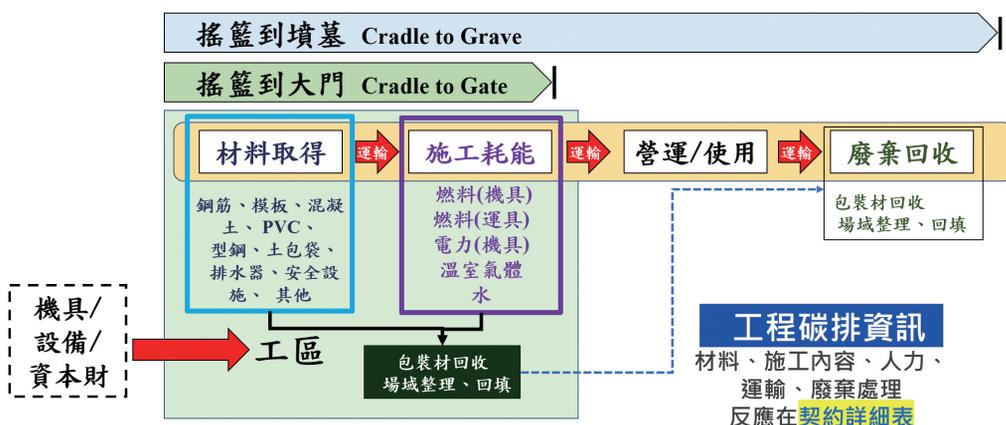
設計單位在進行規劃時，會詳實估算工程所需的材料種類與數量、施工機具配置、施工規模與期程、協調溝通需求，及預估的廢棄物處理方式等，並將上述資訊納入契約詳細表。由於契約詳細表涵蓋材料費、運輸費、施工費、廢棄物處理費及其他雜項支出，完整反映材料取得、工程施工與清理階段的資訊，因此可作為精準估算工程碳排放量的依據。

此方法具備資料可追溯性高、計算結果準確性佳的優點，特別適用於碳足跡量化作業。下圖說明國有林防災工程生命週期碳足跡的涵蓋範疇，主要以「材料取得」及「施工耗能」階段為計算範圍。至於未於詳細價目表中明列的工項，則不納入碳排計算範圍。

### 國有林防災工程的活動係數收集

林業保育署於 2024 年進行工程碳足跡的初次盤查作業。在展開減碳措施之前，首先需要設定減碳基準年並進行碳盤查，以便在獲得工程碳排預估模型後，擬定具體的減碳目標。

根據國內外相關單位選取碳排基準年的依據，通常有以下幾種方式：1. 參考國際公約或法律條文的發布年份；2. 以首次進行盤查的年度為基準，例如水利署選擇以 2019-2021 年的 3 年平均值作為碳排基準年，農村水保署則以 2020-2021 年的 2 年平均值為基



國有林工程生命週期碳足跡範疇

準年；3. 選擇資料深入分析的年份，如聯合國 IPCC 報告中，近期基礎年選定為 2019 年。

由於本計畫自 2024 年 3 月起正式執行，且當年度大部分工程仍處於執行或發包階段，林業保育署選擇以 2022、2023 年的工程資料作為碳排基準年進行統計與分析。根據「公共工程節能減碳檢核注意事項」的第二點規定，災後緊急工程、搶修及復建工程等類型，不需要進行節能減碳檢核，因此這些類型的工程不會納入此次碳盤查清單。

在選定 2022、2023 年為減碳基準年後，林業保育署收集上述年度的工程結算明細表，對施工工項進行整理。工項大致可分為：工程材料使用（包括植栽樹種）、施工機具操作、燃油或電力能源消耗、各類運輸等，這些活動均涉及碳排放，這些活動的使用量或操作量即為所需的活動數據。

根據 ISO 14067:2018 標準，進行碳足跡盤查時，若某些排放源對碳排放的貢獻不具實質性，則可以將其排除在盤查範圍之外。因此，在資料有限或存在缺漏的情況下，部分工程的碳排放項目可能未納入盤查範圍，相關的情況如下。

- 人工相關活動：根據「產品與服務碳足跡計算指引」（環境部，2010），如人力、行政管理、維護、行銷與銷售、員工私人運輸及員工

差旅等排放源，因與供應鏈過程無直接關聯，可排除在碳排放評估範圍之外。

- 單位為「式」的活動：若進行碳排放估算時，某些活動（如施工放樣、環境整理、施工測量等）所占的碳排放比例不足 1%，則可不納入碳足跡盤查範圍。然而，若該活動為重要工項（如機具搬運費），則需依照工程經費與碳排放之間的關係式來進行估算。
- 臨時設施與設備：對於可重複使用的臨時設施或設備（如施工圍籬、警示標誌、臨時擋土樁等），因為這些設施或設備在不同工程間可能會重複使用，因此不納入碳排放量的評估範圍，以避免重複計算。

### 國有林防災工程排放計算

根據工程工單內容，蒐集國內外對應的原物料、工料及能源資源的排放係數，以估算工程的碳排放量。所蒐集的碳排放係數來源包括環境部產品碳足跡資訊網提供的多種產品排放係數，例如建材、能源、金屬製品和水泥製品等材料的碳排放係數；林業保育署（2011）專案研究「新興公共工程計畫落實節能減碳評估」中收集的碳排放係數；水利署（2022）所發布的「水利工程減碳作業參考指引」中的工作項目碳排放係數參考表；以及農村水保署（2023）「水土保持工程參考指引」中的工作項目碳排放係

### 工程碳足跡計算項目

A、原物料的生產碳排

$\Sigma$  (工程材料用量×工料排放係數)

B、材料及施工機具運輸排碳

$\Sigma$  (燃料用量×燃料排放係數)

C、工程施作之能源消耗碳排

$\Sigma$  ( $\Sigma$  機具操作時數×機具單位時間能資源耗用量)×能資源排放係數

D、廢棄物的運輸與處置排碳

$\Sigma$  (廢棄物量×處理排放係數)

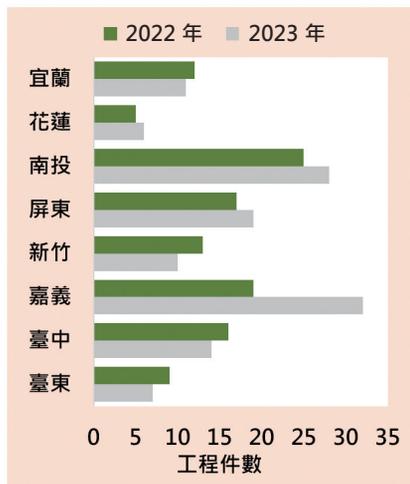
資料來源：林業保育署 (2024)

數參考表。上述資料已彙整於林業保育署 2024 年的國有林防災工程碳排分析與減碳評估報告中，作為碳盤查實務應用的參考。此碳盤查方法採用「排放係數法」，對原物料使用、施工機具操作、運輸過程、能源消耗與廢棄物處理等項目進行碳排量估算。

### 國有林減碳基準年的碳排計算

#### 基準年工程件數

林業保育署在 2022、2023 年計辦理 318 件工程，涵蓋崩塌地處理、防砂工程、林道改善工程及緊急處理工程 4 種工程類型。其中，緊急工程



■ 基準年工程數量  
資料來源：林業保育署 (2024)

地區分署	防砂工程	林道工程	崩塌地處理	總計	%
宜蘭	6	6	11	23	9.5
花蓮	1	6	4	11	4.5
南投	25	20	8	53	21.8
屏東	14	14	8	36	14.8
新竹	5	10	8	23	9.5
嘉義	33	9	9	51	21.0
臺中	15	11	4	30	12.3
臺東	1	9	6	16	6.6
總計	100	85	58	243	100

根據「公共工程節能減碳要點」的規定，無需進行節能減碳檢核作業。因此，基準年碳排放分析將以崩塌地處理、防砂工程和林道改善工程為主，共計分析了 243 件工程。在這些工程中，南投分署的工程數量最多，共有 53 件，占總工程量的 21.81%；其次是嘉義分署，工程數量為 51 件，占 20.99%。而花蓮分署與臺東分署的工程數量相對較少，平均每年少於 10 件。

本次統計涵蓋的國有林工程共計 243 件，相關分布情況如圖所示。為提升辨識度，圖以不同顏色標示各類工程項目：崩塌地處理以土色標示、防砂工程以淡藍色表示、林道工程則以綠色標示。各地區分署工程件數分布概況如下：

- 宜蘭分署共 23 件工程，以崩塌地處理為主要類型。
- 新竹分署有 23 件工程，以林道工程為主。
- 臺中分署共 30 件工程，以防砂工程為主要類型。

- 南投分署共 53 件工程，防砂工程和林道工程占比相近。
- 嘉義分署共 51 件，以防砂工程為主。
- 屏東分署有 36 件工程，以防砂工程、林道工程為主。
- 臺東分署有 16 件工程，以林道工程居多。
- 花蓮分署有 11 件工程，以林道工程居多。

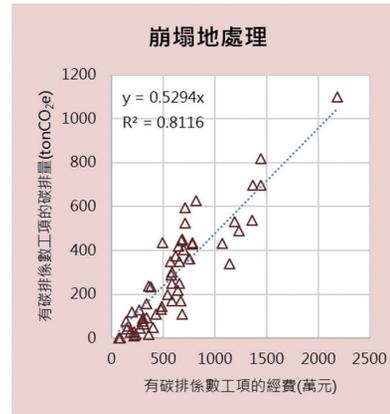
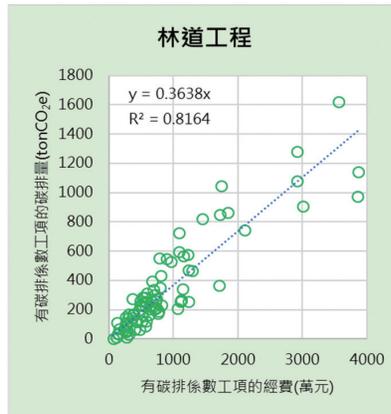
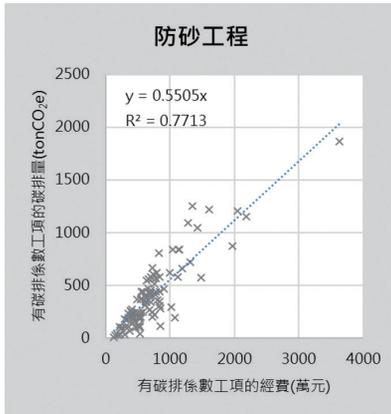
### 基準年的工程碳排分析

林業保育署根據上述 243 件工程的契約詳細表，統計每項工程所使用的材料種類、施工機具使用量、碳排放總量及經費支出等資料，並進行碳排放總量的計算與分析。針對每一工項和材料，填入對應的碳排放係數，逐一計算並加總各工項的碳排放量，最終得出每件工程的總碳排放量。年平均約有 121 件工程，依據不同工程類型的碳排放年均值分別為：

- 防砂工程：約 21,336.82 tonCO<sub>2</sub>e
- 林道工程：約 15,406.90 tonCO<sub>2</sub>e

工程類型	宜蘭	花蓮	南投	屏東	新竹	嘉義	臺中	臺東	總計
防砂工程	6	1	25	14	5	33	15	1	100
林道工程	6	6	20	14	10	9	11	9	85
崩塌地處理	11	4	8	8	8	9	4	6	58
合計	23	11	53	36	23	51	30	16	243

■ 國有林之工程項目統計  
資料來源：林業保育署（2024）



■ 國有林防災工程之經費與碳排關係式  
資料來源：林業保育署（2024）

- 崩塌地處理：約 8,458.92 tonCO<sub>2</sub>e
- 總計年度碳排放量為 45,202.64 tonCO<sub>2</sub>e

## 碳排放強度管控

由於每年工程的規模和發包數量會根據需求與規劃有所變動，例如強颱與地震對工程設施的衝擊程度，會影響修復規模、經費和資源的分配，因此難以僅以工程總量來進行控管，為符合實際災害經費之運用情形，「碳排放強度」（即每萬元經費之碳排放量，計算方式為總碳排放除以總經費）作為控管依據，則是較合理的碳排管理。

## 建立工程碳排的上限和管控

為使工程主辦機關在設計或預算書編列前，即能初步掌握工程碳排之上限，林業保育署建置各類工程型態之經費與碳排放對應預估模型，

得出各類工程型態之碳排放強度轉換係數（即每萬元經費所對應之碳排放量）。再透過工程預算金額進行加乘，即可推估該工程之碳排放量。同理，如將轉換係數依據碳排放強度目標進行調整，則可設定出各工程類型之碳排放上限值，將有助於工程主辦機關進行碳排放總量管控及目標管理。

碳排放強度轉換係數透過以下 2 個步驟來建立：

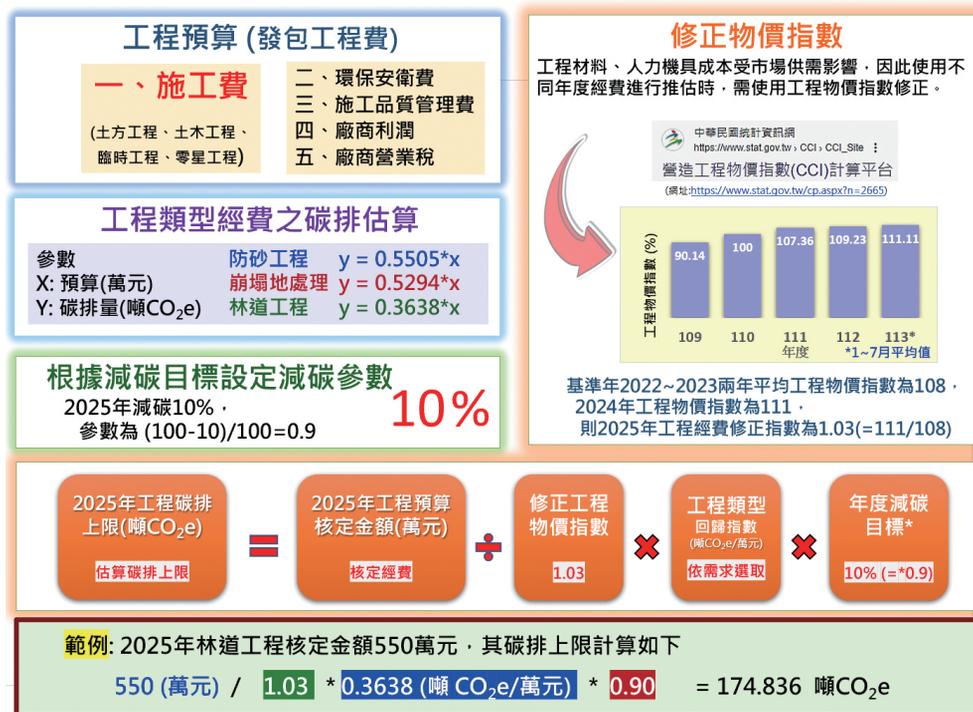
- 建立碳排預估模型（迴歸分析法）：本計畫透過碳排放係數法，計算每件工程的實際碳排放量。接著，將「工程碳排放量」與「工程經費」進行線性迴歸分析，以求得能代表兩者關係的迴歸方程式及決定係數（R<sup>2</sup>）。通過此模型，只需知道工程的經費，即可快速推估其預期的碳排放量。
- 建立工程類型碳排放強度：針對防砂工程、林道工程、崩塌地處理工程 3 類主要工程，進行「每萬元經

費對應碳排量 (tCO<sub>2</sub>e/萬元)」的統計與分析。並利用多件工程案例進行模型驗證與誤差測試，探討以經費估算碳排放時可能出現的偏差原因，如工項組成差異、材料種類或地形條件等。

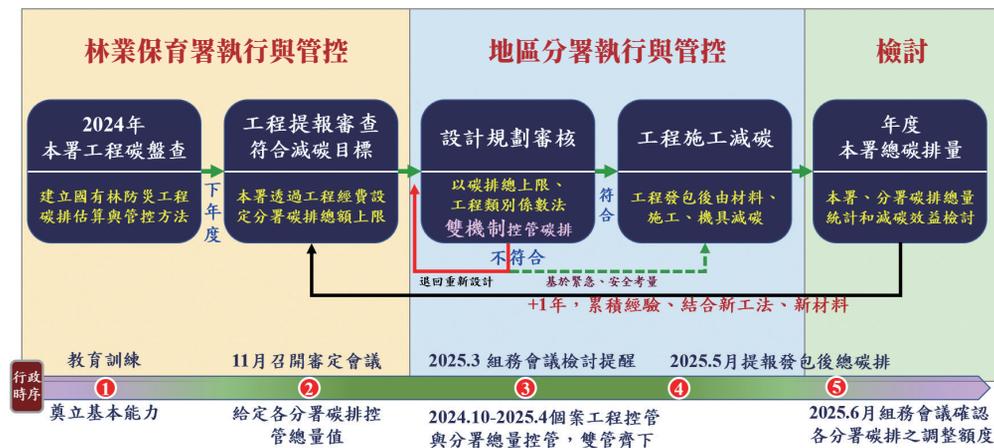
碳排強度參數（以每萬元工程經費對應的碳排放量表示）：

- 防砂工程：0.5505 ton CO<sub>2</sub>e / 萬元
- 林道工程：0.3638 ton CO<sub>2</sub>e / 萬元
- 崩塌地處理工程：0.5294 ton CO<sub>2</sub>e / 萬元

以 2025 年林道工程為例，根據工程類型選取相應的林道工程碳排強度 0.3638 ton CO<sub>2</sub>e/萬元，並設立減碳 10% 的目標。考慮到通貨膨脹因素，將基準年與 2024 年的物價指數比值納入考量，因為 2025 年工程通常在 2024 年底設計並發包，故物價指數以 2024 年為主。根據這些參數，修正並估算出該工程的排放上限管控值。透過上述分析方法與管理模組的建立，林業保育署未來將能在工程規劃初期即納入碳排放評估機制，進一步提升防災工程的永續性與環境友善性。



■ 碳排上限使用參數  
資料來源：林業保育署（2024）



■ 國有林防災工程之減碳管理  
資料來源：林業保育署（2024）

### 國有林工程之減碳管理

為推動國有林防災工程系統性減碳，林業保育署構建完整的行政管控流程與減碳策略目標。國有林工程減碳管理機制分為 3 個階段，由林業保育署及各地區分署共同執行與管控，逐步將減碳措施納入整體流程。3 個階段的詳細說明以下：

#### ■ 林業保育署執行與管控

本計畫首先建置「國有林防災工程碳排估算與管控方法」，並於 2024 年 9 月進行教育訓練，向各地區分署及相關單位推廣工程碳排估算操作方式。林業保育署將依此方法，結合年度工程經費，為各地區分署設定碳排總量上限，設定短期減碳目標，逐步實施並推展碳排管理制度。

#### ■ 地區分署執行與管控

各地區分署將根據林業保育署所核定的年度碳排總量上限，並結合「工程類別碳排係數法」進行雙軌碳排管理機制，進行工程設計規劃與審核控管。於工程發包後，各地區分署將落實材料選用、施工方法及機具操作的減碳措施，並於施工階段進行減碳檢核，確保工程實施過程符合減碳目標。

#### ■ 檢討與修正

每年，林業保育署將統合各地區分署執行成果，進行工程碳排總量統計與減碳效益檢討，並作為後續滾動式修正與政策調整的依據。整體流程強調經驗累積、資料深化及新技術導入，以確保工程減碳管理得以落實執行。

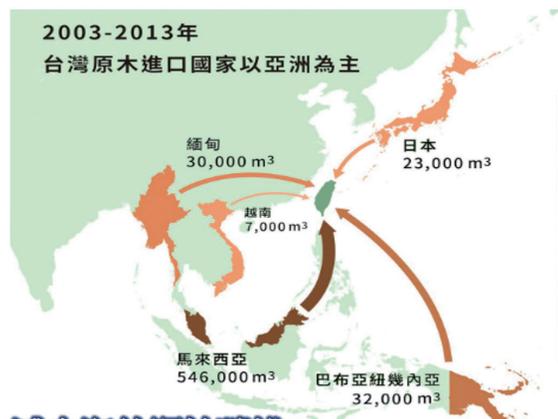
因應淨零排放策略，農業部訂定了四大主軸政策，分別為「減量、增匯、循環及綠趨勢」，其中國有林工程屬於「減量」範疇。為實現 2040 年逐步達成淨零排放的目標，國有林工程以 2022、2023 年為基準年（設定減碳強度為 100%），逐步減少碳排放量。短期減碳目標之設定為，2024 年減碳目標為 5%，並且林業保育署已順利達成此目標。2025 年減碳目標定為 10%，後續將持續追蹤與評估減碳效益，確保達成預定的減排目標。

透過上述分析與工具的建置，林業保育署未來將能在工程規劃初期即納入碳排放考量，進一步提升防災工程的永續性與環境友善性。目前，國

有林工程尚未完全納入正式的碳排放管制範疇，但林業保育署已積極導入碳排放資訊管理與減碳制度，並結合行政規劃、技術應用與教育推廣，朝向低碳永續的政策願景邁進。

## 減碳有方 防災不減力

為同時達成防災、減碳與永續治理的多重目標，林業保育署參考農村水保署推動水土保持工程減碳制度的經驗與作法，並根據基準年所執行的國有林防災工程資料進行彙整與分析，作為設定減碳基準年的依據。透過統計各項工項活動數據，並結合材料使用、施工工序、運輸方式及廢



### 減少海外運輸碳排

國產材  
陸運



進口材  
海運  
+  
陸運



國產材買賣



活絡森林資源



國產材設施



提升木材自給率



國產材工程

推廣利用國產木材  
資料來源：林業保育署（2024）



林業保育署期以科學方法管理碳排，兼顧防災工程，展現永續治理的方向。

棄物處理等排放係數，本計畫計算出 3 類主要工程的排放強度：防砂工程為 0.5505 ton CO<sub>2</sub>e / 萬元、林道工程為 0.3638 ton CO<sub>2</sub>e / 萬元、崩塌地處理工程為 0.5294 ton CO<sub>2</sub>e / 萬元。除此之外，本計畫還建立了相應的工項排放係數清單，為後續的碳排估算與管控制度提供基礎。未來，林業保育署將透過工程碳排上限與年度減碳目標管控的雙軌機制，作為國有林工程規劃、審查與執行階段的重要依據。並配合後續的追蹤與滾動式檢討，適時評估實際減碳成效並調整管控策略。

為確保工程碳排制度能夠有效落實，除了建立減碳機制外，第一線現場人員的操作熟悉度也是關鍵。為此，林業保育署將辦理國有林防災工程減碳教育訓練，推廣碳排計算方法，並協助各地區分署與承辦人員熟悉碳排上限設置與管控流程。藉由林業保育署與轄內各地區分署的共同參與，持續累積執行經驗與資料基礎，並透過滾動式檢討與新技術及低碳材料的整合，逐步優化整體工程碳排管理機制，穩定邁向 2040 年大幅減少工程碳排放的目標，實現防災與減碳並行的國有林工程永續願景。♾️

# 健全森林路網 疫後林道設施修復成效

文、圖／許中立（國立屏東科技大學水土保持系教授）  
紀再仲（林業及自然保育署集水區治理組科長）  
張瑛瑄（林業及自然保育署集水區治理組技士）

## 臺灣林道現況與挑戰

臺灣擁有超過 60% 的山坡地覆蓋率，孕育豐富而多樣的森林資源，然而林業經營無論是伐採、集運、造林、撫育、防護（病蟲害防治、森林防救火與治山工程等）、生態與森林資源調查及巡管均與森林路網的建設有關。目前林業及自然保育署（簡稱林業保育署）列管的林道 84 條，總長度接近 1,700 公里，部分受到地質、地震及歷年風災影響而中斷，且通車路段每年亦需要 2 億餘元的維護，因此對於中斷之後林班地多只能採保育的方向進行管制，本土林業發展受到限制長期仰賴進口木材。根據統計，臺灣過去的木材使用高達 99% 以上來自進口，國產材自給率甚至不足 1%。為了改變這一現況，政府於 2017 年宣布「國產材元年」，希望在 2027 年提升國產木材自給率至 5%。然而，要活絡林產業經營，除了增加國產木材的使用比例，健全森林路網更是不可或缺的關鍵。

森林路網對於林業經營至關重要，它不僅影響木材的運輸成本與伐採效率，更關係到林業的永續經營與森林資源的合理利用。長期以來，受制於經費與林業經營政策，臺灣的森林路網缺乏妥善的恢復，勢必影響林業發展。要提高國產材市場競爭力，並促進林農經濟發展，需仰賴完善的森林路網規劃，藉此降低伐採與運輸成本。

此外，健全森林路網還能強化森林管理，提升森林防災能力。良好的林道系統可在森林火災、崩塌與土石流等災害發生時提供快速應變的通道，減少環境與社會經濟損失。同時，也能促進生態旅遊與森林休憩產業，創造多元收益，讓林業經營不再侷限於伐木。

目前林業主管機關透過推動森林認證與永續經營機制，提高社會對國產木材的信任，亦是健全森林路網與臺灣林業永續經營的重要基礎。打造完善的森林路網，隨著需求進程維護既有可行車林道並適時修復中斷林道系統，是活絡林產業經營的起步，可實現國產木材永續發展，並帶動整體綠色經濟成長。



▣ 花蓮分署瑞穗林道（林業  
保育署花蓮分署提供）

## 如何增加臺灣木材自給率

在全球永續發展趨勢下，臺灣木材產業正面臨提高自給率的挑戰。由於長期依賴進口木材，國內林業發展受到諸多限制，然而，透過完善的森林經營計畫、強化木材生產與加工技術，以及修建合理的森林路網，臺灣仍有機會提升木材自給率，實現森林資源的有效管理與利用，而這個政策的基礎便植基於森林路網的建設及維護。

## 強化森林經營提高木材生產潛力

要提升木材自給率，首要條件在於增加國內木材的可供應量。臺灣擁有豐富的森林資源，透過適當的森林經營管理，人工林與天然林皆可成為穩定的木材來源。加強人工林的撫育

管理，如適度疏伐、選擇性伐採與更新造林，能有效提升林木生長速率與品質，縮短生長周期，提高單位面積的木材產量。同時，推動永續森林經營，確保森林生態系統的平衡，透過科學化的經營模式，使木材生產與環境保育並行不悖。此外，政府可提供補助或技術支援，鼓勵私人林地主積極投入森林管理，提高林業生產力，進而擴大國內木材供應來源。

## 修建森林經營路網提升運輸效率

森林路網的完備程度，對木材生產與運輸有著決定性的影響。目前臺灣部分林道路況不佳，影響伐木作業與木材運輸成本，因此，加強林道建設與維護，是提升木材自給率的重要策略之一。優先改善木材生產重點區



■ 大坪林道 1K 及 4K 支線道路修復工程 (林業保育署提供)

域的林道，確保伐木作業的可行性與木材運輸的便利性，能有效降低生產成本，提高林業經營效率。

## 政策支持與市場推動創造國產木材需求

政府的政策引導，對提升木材自給率具有關鍵作用。政府可透過立法或補助，鼓勵公共建設與民間建築優先使用國產木材，創造穩定的市場需求。同時，推動碳權交易制度，讓森林經營者能透過碳匯收益獲得額外的經濟誘因，提高造林與林業管理的積極性。此外，加強消費者教育與行銷推廣，使國人瞭解國產木材的環保與永續價值，提升市場接受度，減少對進口木材的依賴。

## 整治林業道路增加林業生產效益

整治林業道路不僅改善了林木採運的便利性，還可有效降低運輸成本與時間，進一步提升林業生產效益。過去，

因道路年久失修或地形受限，木材運輸過程常受阻，導致生產效率低落。然而隨著林道的修復與升級，林農與業者能夠更順利進入林區，進行採伐與運輸，使人工林經營更加順暢。同時，完善的道路基礎設施能吸引更多資源投入林業發展，促進國產木材市場的穩定供應，帶動整體林業產值提升。

除了實質的林業產值提升，林道修建也帶動了人工林經營的便利性，改善林木運輸條件，進一步提升國產材的生產與市場供應能力。根據統計，國產材自給率已由 2023 年的 1.47% 提升至 2024 年的 2%，預計 2025 年更達到 2.3%。林道建設不只是交通改善，更是林業轉型與復甦的催化劑。

同時，林道工程也兼顧環境永續與碳中和目標。改善設計融入排水、防蝕與植生等自然工法，有效防止土石流與地貌破壞，同時降低碳排，呼應永續公共工程政策。林業單位亦透過觀摩、研習與經驗分享，強化林道設計與品質管理專業知能，為未來工程品質奠定基礎。

疫情之後，林業保育署透過「疫後強化經濟與社會韌性及全民共享經濟成果特別預算」，編列預算投入林道修建，改善過去因年久失修或廢棄而中斷的道路，解除木材採運與林業經營的瓶頸。2023-2025 年間，計畫推動 63 件林道改善及修復工程，遍及宜蘭、新竹、臺中、南投、嘉義、屏東、臺東與花蓮等地，工程內容涵蓋路基、

路面、擋土牆、防落石柵、排水溝、崩塌地整治與植生工程等，預期修復林道 60 公里及崩塌地處理 40 公頃，全面提升既有林道功能與安全，讓後續林業經營車輛可以安心運駛。

以林業保育署新竹分署「蓬萊林道路面修復工程」為例，修復完成後帶來的林木利潤達 528 萬元；林業保育署南投分署「人倫林道 18K-21K 林道修復及邊坡處理工程」亦創造超過 572 萬元的價值；而林業保育署臺中分署的「裡冷林道 7K-14K 改善工程」則更創下超過 1.4 億元的林木生產價值，顯示完善的林道建設對提升林業效益的明顯助益。這些成果不僅展現了疫後計畫在林道建設上的成效，也與國產材自給率政策相輔相成，根據統計資料顯示，林業保育署近年積極投入林道修建資源以提升國產木材的自給率，成效逐漸顯現。

於 2023 年政府投入新臺幣約 3.48 億元推動林道建設與整修，成功使

我國木材自給率從原本不到 1% 提升至 1.47%。接續在 2024 年再投入約 2.83 億元，木材自給率達到 2%。而在 2025 年儘管預算相對縮減至 0.69 億元，預期自給率仍可穩定上升至 2.3%。

當前的統計與執行成果顯示，若能在前期階段即投入充足資源，規劃林道完善的施工計畫，後續將可大幅降低維護成本，同時持續發揮提升木材自給率的長期效益。透過良好的道路建設與結構性整理，不僅可有效打通林產運輸瓶頸，開發人工林資源，還能在不需大量追加經費的情況下，使國產木材的自給率穩定成長。換言之，前期的林道整備屬於一次性關鍵性投入，後續則可透過較低的維運支出，延續林業生產力的提升與政策目標的推進，實現高效益、永續性並存的林業經營模式。

3 年的修建森林經營基礎路網計畫合計共投入新臺幣約 7 億元，推動全國各地共計 63 件林道改善及修復工

工程現場勘查





■ 臺中分署裡冷林道 7K-14K 改善工程完工圖（林業保育署臺中分署提供）

程，促成國產材自給率整體提升了約 1.3 個百分點。若進一步換算，每提升 1 個百分點的木材自給率，平均需投入約 5.38 億元。這樣的投入資金與效益比顯示，林道基礎設施若規劃的完善，對提升林業產能與國產材流通能力具有關鍵作用，也突顯出基礎建設在林業政策推動中的核心地位。

值得注意的是，自給率在短短 2 年間已實質成長逾 56%，反映出臺灣

林業在疫後振興資源與政策導引下，逐步從過度依賴進口邁向自主生產，這不僅是數字的提升，更代表著森林資源管理模式的轉變，及對本土木材生產與市場系統的韌性強化。

若以目前的投資效益推估，為達成「國產材元年」政策所設定之 5% 自給率目標，尚需從目前的 2.3% 進一步提升 2.7%。依據目前平均成本估算，這將需額外投入約新臺幣 14.53 億元。

### 近 3 年投入林道修建資源與國產木材自給率

年度	投入金額 (單位：億元)	木材自給率 (%)	年度增幅 (百分點)
2023	3.48	1.47	約 +0.47% (假設起始為 1.00%)
2024	2.83	2.00	+0.53%
2025	0.69	2.30	+0.30%

未來持續推動林道建設計畫，不僅能進一步開發潛力人工林區，提升木材採運與處理的效率，同時也將鞏固臺灣林業走向永續經營、在地經濟與碳中和目標的根基。

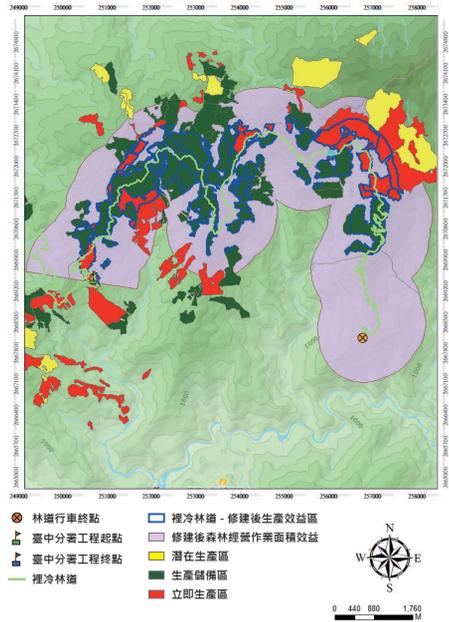
透過提升林業基礎設施，有效促進國產木材供應鏈的暢通，不僅開啟林區的經營潛能，也讓伐採、搬運與加工流程更為順暢。並為林業經營創造更大價值，進一步推動國內林業自給率的成長。

## 臺灣森林道路永續經營與發展

森林道路的永續經營與發展是林業生態與產業經濟發展的關鍵要素。為了確保森林資源得以長期利用並維持生態平衡，林道建設必須遵循低衝擊發展原則，減少對自然環境的干擾。透過合理規劃與環境友善工法，如鋪設透水性鋪面、設置綠化邊坡、強化水土保持工程以及動物通道設置等方式，不僅能有效減少土壤侵蝕與水源污染，也能提升生物多樣性，確保生態環境的穩定。



■ 阿里山林業鐵路 (林業保育署提供)



■ 裡冷林道 19K-37K 改善工程 - 林業生產效益成果圖

完善森林路網有助於提升林業經營效率，使國產木材的採收、運輸與管理更加順暢，同時降低碳排放，符合低碳經濟與碳中和目標。林業單位應持續推動森林經營管理制度的現代化，透過智慧監測技術，即時監控林道使用狀況與環境變化，確保林道的可持續運行。此外，應建立長期維護機制，定期檢修與補強林道設施，以確保其穩定性與安全性。

未來，臺灣森林道路的發展應朝向「生態友善」、「低碳環保」與「智慧管理」的方向邁進，透過政府與民間協力，打造兼顧經濟效益與環境保護的永續林業體系，確保森林資源能夠在合理利用與生態保育的平衡中，持續為社會創造價值。🌱

# 臺灣中部臺灣紅豆杉 育苗試驗記事

文、圖／李淑敏（林業及自然保育署臺中分署雙崎工作站技正）

臺灣紅豆杉（南洋紅豆杉）（*Taxus celebica* Li）為臺灣稀有珍貴樹種，常綠喬木，分布中高海拔 1,800-2,300 公尺的山區，雌雄異株，於 1980 年代時製藥價值廣為人知，逐漸重視到其木材、根部及其相關副產物利用價值，盜採及盜伐情形日益嚴重，為保存珍貴自然資源，故希以人工育苗方式來繁殖。

烏石坑及八仙山苗圃的臺灣紅豆杉及牛樟的無性繁殖復育工作，從 1980 年代的野外母樹種源採穗，到 1990 年代建立採穗園，由林業及自然保育署臺中分署（簡稱臺中分署）前秘書陳啟源所創建，後續才有 2000 年代的收穫種子，並大量培育實生苗的具體成果。其對營養系林業的先知卓見，以及應用無性繁殖扦插育苗技術，後人難望項背，雖退休多年但典範猶存，特撰文誌念。

## 臺灣紅豆杉樹種簡介

於 1996 年出版的臺灣稀有及瀕危植物分級彩色圖鑑中，臺灣紅豆杉列為瀕臨滅絕，於 2017 年的臺灣維管束植物紅皮書名錄，仍被列為國家瀕危（NEN），即族群的成熟個體數少於 2,500 株，在 10 年內

下降 50% 以上，分布的面積及範圍持續下降中。

臺灣紅豆杉於臺灣中部中高海拔和平區鞍馬山、畢綠溪和華崗，及仁愛鄉的瑞岩溪地區，曾有大量天然分布。惟於 1960 年代後因伐木，天然族群數量急劇減少，又 1980 年代因藥用價值聲名之累，頻遭人為盜採鋸切，故林業及自然保育署列為珍貴樹種，由臺中分署積極辦理人工復育繁殖工作。

## 無性繁殖復育工作

### 採穗園的母樹種源蒐集

因其天然採種不易，種子亦不易發芽，無性繁殖亦屬發根困難樹種，故嘗試以人工育苗，並於 1990 年起於海拔約 1,000 公尺，臺中市和平區烏石坑和八仙山苗圃建立採穗園，株行距為 1.5×1.5 公尺，母樹計栽植 2,200 株。為遷地復育的第一步，以就近集約培養管理及觀察物候。

臺灣紅豆杉採穗園 1993 年 5 月栽植於烏石坑苗圃，據協助採穗的鞍馬山工作站詹前茂先生表示，枝條採自 210 林道 5K、200 林道 39K（工寮上方約 600 公尺），及 200 林道 41K 舊工作站辦公室前母樹，



■ 單主幹的採穗母樹（2001年4月攝於畢綠溪）



■ 多分叉主幹的採穗母樹（2001年4月攝於畢綠溪）



■ 臺灣紅豆杉採穗園（2004年10月攝於烏石坑苗圃）



■ 臺灣紅豆杉採穗園（2009年6月攝於八仙山苗圃）

海拔約 2,100 公尺，故營養系數目為 3 個，種源為鞍馬山。

中橫臺八線畢綠溪，海拔約 1,920 公尺，及臺 14 甲線瑞岩溪，海拔約 2,350 公尺母樹種源扦插苗，於 85 年起陸續栽植於八仙山苗圃作為採穗園。

### 開花結實等物候觀察

臺灣紅豆杉採穗園母樹呈叢狀生長，推測種源母樹即為多分叉；亦可能因枝條採自高大的成熟母樹，故有較大的生理年齡，或枝條採自側枝故呈惰性生長；加上不適應低海拔的溫暖乾燥氣候，不利植株



■ 枝條滿布雄毬花苞（著生葉面上方）



■ 已開放的雄毬花（橘色）

高大的營養生養，故轉向生殖生長，或所謂的早熟性，故於栽植約 10 年後即開花結實可供採種。

於南投仁愛鄉的瑞岩溪地區採穗時，資深的現場同仁謝松源先生表示，通常雄株有較直立的主幹，而雌株則主幹多分叉且樹型較歪斜，亦是相當特別及有趣的林業實務經驗。

於 2000 年代常發現烏石坑和八仙山苗圃臺灣紅豆杉毬花開滿樹，但無法結實，推測雄雌毬花成熟期不一致可能是主因。除氣候因子每年的變異外，採穗園海拔低於採穗母樹原生育地海拔達 1,000 公尺以上，造成物候表現異常，故種實收穫量不穩定。

惟為集約經營管理或促進開花結實，種子園或母樹園一般會設在氣候較溫暖、地勢平坦及交通較易到達的地方，故雖採穗園海拔較原生地低，無法正常高大直立生長，惟已達成工作人員可就近觀察臺灣紅豆杉的生長及開花結實物候，順利達成採種及採穗，及培養健壯苗木的目地；若為採取枝葉萃取紫杉醇等成分，即副產物的生產，亦是相對樂觀其成。

採穗園母樹初期生長緩慢（除緊鄰造林地旁較陰濕部分的母樹），明顯非直立即惰性生長，且不耐修剪，成活率不佳常需補植。陳啟源秘書認為是施用除草劑，及舊苗床經運苗卡車壓實，故排水不佳所



■ 烏石坑苗圃採穗園結實情形（楊正釗提供）



■ 育苗籃播種萌芽的種子苗



■ 1年生的臺灣紅豆杉種子苗



■ 3年生的臺灣紅豆杉種子苗

導致，故堅持承包商須用鋤頭全面鋤草，及以鐮刀植穴除草，該區母樹經多年生長後亦多呈叢狀。

於2001年起陸續觀察到開花結實，為進一步瞭解臺灣紅豆杉的開花物候，及採種和種子發芽促進處理，於2004年起與林業試驗所合作委託研究。雄毬花橘黃色，約於10-12月成熟飛散，惟全年可觀察到不同發育階段的雄毬花，又雄毬花常滿布枝條的兩側，生長方向為突出或與葉平行。5-7月可見雌毬花或幼種實呈墨綠色，於8-10月間假種皮轉黃紅色，至11-12月間成熟，通常每一枝條於葉背僅著果2-3個。

曾嘗試以大容器培養母樹，亦可順利開花結實，惟母樹因以容器限制根系正常生長，母樹樹勢不佳，且枝條呈現下垂老化的情形。

### 收穫種子培育實生苗

於2004年12月採取種子約2,000粒，2005年結實量稀少，2006年結實良好，約採取1,000粒種子以上，於2006年3-4月調查，其中70株有結實，約占總株數的1/2以上（已確定雄株22株，雌株96株）。

並採種後進行枝條疏剪，2007年無觀察到開雌毬花故無結實。並經林業試驗所觀察指出雄毬花和雌毬花成熟時間不太一致，當雄毬花成熟時，雌毬花仍在發育中，因此可能導致雄雌毬花雖然皆有開花，但因成熟期不一致，無法授粉，因此無法結實。

果實採集時，應注意成熟果實採收後，應迅速運送至種子處理室，不可在山上，或運送過程拖延數天之久，如果無法在短期內運回，必須打開果實袋子，使空氣流通；洗除假種皮的時間亦愈短愈好，否則種子活力易喪失。換言之，運送回來當天或隔天就應該完成。有關育苗方法請參考林業試驗所林業叢刊第79號〈臺灣紅豆杉種子發芽育苗和休眠機制〉。

### 復育造林的困境

於中海拔培養的苗木，運回原生地海拔2,000公尺以上的地區造林，建議應先至造林地附近的林間苗圃，馴化培養至少一年，較為可行。

在順利培育扦插苗及種子苗後，陸續擇谷關、裡冷及梨山地區進行林下間植，或濫墾地收回復育造林。谷關擇杉木造林

■ 雌穗花著生於葉背下方，前方為授粉滴。(楊正鈞提供)

地林下造林，成活及生長情形良好。裡冷地區造林順利成活，但枝葉多遭野生動物嚙食。最接近種源物候的梨山地區造林，則因盛名之累多遭盜採，僅存的植株則亦有發現結實的情形，故林業現場同仁的復育造林意願不高。

## 營養系林業的應用實例

### 臺灣扁柏種子園

於大安溪事業區第 98 林班，海拔高度 2,000 公尺之林木伐採跡地，於 1981 及 1982 年建造 20 個營養系 556 株嫁接木之 2 公頃種子園，並於同一地點設立紅檜、香杉及華山松之小型營養系庫（陳啟峰，1984）。

於 1991 年左右於出雲山苗圃建立小型的紅檜嫁接種子園，由彭水養先生負責嫁接母樹之採穗、嫁接及母樹培養。依據顧懿仁（1971）指出前聯合國林業及森林工業發展計畫，於 1966-1969 年期間曾進行二葉松、濕地松、紅檜及香杉等樹種之嫁接工作，除濕地松嫁接失敗，紅檜操作困難未見成效外，二葉松及香杉嫁接成活率達 80% 以上。因此於東勢處（臺中分署前

身）轄內，補足前聯合過計畫未完成之扁柏及紅檜種子園，實屬不易。

依據彭水養先生口述紅檜種子園亦建立於出雲山苗圃，因位屬海拔 1,000 公尺左右的中低海拔，雜草藤蔓生長旺盛，且對紅檜生長海拔稍嫌過低，後續因未積極撫育成果並未留存相當可惜。

### 香杉扦插苗造林

位於烏石坑苗圃大門前，沿 530 林道兩側的香杉造林地，據陳啟源秘書口述，係因苗圃有 3 年生以上老化及徒長的香杉苗木（最適出栽為 2 年生苗木），汰苗燒毀可惜，故剪取其上部枝條，擇雨季直插於造林地，成活率高，且生長迅速，林相優美直立健壯生長至今，此為扦插苗造林成功的實例（陳啟源，1975）。已於 1993 年（即 921 大地震前）移撥生物多樣性研究所（前特有生物研究保育中心）低海拔試驗站。

### 以無性繁殖苗建立採穗園

#### ■ 臺灣杉

採穗園位於苗圃第二區，約 830 株，面積 0.30 公頃，營養系數目為 15 個（依

據 1990 年度造林工作業務報告），據陳啟源秘書口述，是在 1989 年以扦插苗栽植，初期有惰性生長，經修剪後重新萌芽為直立健壯生長的植株，此為針葉樹扦插苗，改善惰性生長缺點的實例。

同時亦建立烏心石採穗園，惟主幹纖細樹冠狹小且缺株頗多，因生理年齡老化，或不適應立地生長勢不佳，故於 2006 年更新為牛樟採穗園。

### ■ 臺灣紅豆杉

於 2000 年進行八仙山苗圃紅豆杉採穗園母樹的截幹及修剪（分矮籬及直立型）的試驗，探討自採穗園採穗扦插的可能性。結果樹高 1 公尺以上截幹者全數死亡。修剪惰性生長枝條約 1/3 者（即修剪為直立型），生長勢尚可，樹形略成直立狀，惟葉仍於枝的兩側生長，呈平面狀（如側枝）。非直立主幹之葉，即葉沿枝條呈螺旋立體狀生長。

仿採茶的矮籬形修剪，以促進樹冠萌發大量向上的年輕枝條，作為扦插材料，可提高發根率及苗木品質（枝條粗壯），惟萌發的新枝仍呈惰性生長，即保持葉沿枝條兩側呈平面生長的側枝性狀。又自採穗園年輕健壯的母樹，採穗扦插的苗木生

長，較野外老熟母樹的扦插苗，生長速度旺盛並形質佳，惟無法改善其惰性生長的遺傳特性。

相對的在闊葉樹的牛樟及土肉桂的無性繁殖育苗及造林中，則扦插苗較易萌發直立生長的枝條，較無惰性生長的問題。

於 2001 年後因間距過小呈生長過密，故於冬季休眠期進行枝條修剪，全面修剪約 1/2-1/3 惰性生長及樹高 1 公尺以下枝條，生長未受影響。

### 播下希望的種子

於 2000 年代起，採穗園的臺灣紅豆杉雌雄株母樹，陸續大量開花及收穫種子，經由林業試驗所協助種子發芽促進處理，方有種子苗成功培育，實屬不易。亦是林業人員難得的珍貴針葉樹種物候觀察及育苗經驗。

樂見林業產官學界重視森林副產物的開發應用，有效擴大林業以往局限於木材生產的產業發展。而目前無採種及育苗需求的採穗園，亦可視為遷地種源保育，及生產副產物採穗材料來源的母樹園，與天然林內擇優選定的母樹林，及有明確家系標示的種子園，皆是未來林業發展重要的基礎。🌱

（參考文獻請逕洽作者）

### 烏石坑苗圃建立沿革

原為大雪山林業公司之第二苗圃，為中海拔播種苗圃（海拔高約 960 公尺，屬大安溪事業區第 122 林班（臺中市和平區），面積 7.65 公頃，年可育成苗木（1-0，即 1 年生之裸根苗）約 300 萬株，地勢平坦氣候溫和，相當適合培育造林苗木。除部分開闢為苗圃外，尚可發展為風景區以供遊樂（摘錄自大雪山林業史話）。



專業人員正在對樹木進行風險評估

## 樹木維護管理與環境美學

文、圖／許榮輝（七星農業發展基金會執行長）  
曹明利（臺灣省園藝技師公會）

都市樹木綠化的效益是全面性的，健康的樹木除了增加都市景觀及識別度外，更有助於城市微氣候調適、減緩都市熱島效應、淨化空氣、涵養水分，供應生物的覓食與棲息等。對於城市環境的營造來說，在於提供遮蔭、減緩噪音、形塑社區及城市美學的景觀印象，就城市居民而言，也具有舒緩、療癒與親近自然的效果。

都市樹木管理與環境美學營造，並片面非單一環節就能解決，需要全面及宏觀的思維規劃與推動，讓協助城市綠美化的

園藝、景觀、環境等相關產業的綠美化知識昇華與精進，提升城市街道樹木景觀的品質，更需從教育來長遠推廣與養成。良好的觀念、充足編列的經費與持續檢討修正的規範制度、配合專業學術的研究與綠色照護及安全檢查的扎根。是以落實都市樹木景觀美學的基本，更是都市林維護管理的務實面。

強化樹木特性與自然樹型構成在嚴苛的都市環境中，更需有對抗極端氣候的挑戰與適應力。尤其是分布於市民日常生活

周遭場域的行道樹，但若行道樹木出現結構不良、棲地環境惡劣、病蟲害感染等不良因素時，就會提高樹木倒伏、斷枝而傷及市民之致災風險。臺灣都市樹木遇到的困境多是為了符合街道植栽設計規範、計畫需求或遷就既有設施與空間，忽略了樹木棲地與鄰近土地使用的空間關係。在公園樹木設計上，亦常見在公園更新設計時，忽略原地樹木生育空間高程與排水需求，多會造成生長障礙與生長勢弱化，直接影響公園綠地植栽景觀美學。

## 管理從瞭解樹木生理開始

從設計、施工到維護管理若發生一連串的錯誤，樹木只能等著在颱風強襲而無聲倒下。植栽工程及維護管理上長期不被重視，整個綠化工程雖有在前端的設計階段及到現場的施工團隊，若沒有專業人員的協助與監督，自然就少了稽核驗證與管理的效能及優良的綠化品質。

優質的街道景觀設計，須有嚴密的施工監造與施做管理的配合，以協助整合施工界面的流暢與綠化品質精進。完工後，維護管理的單位也常缺乏相關植栽維護知識，若面對錯誤的現況也無能為力修正。樹木除適應在都市嚴苛的環境，也經常面臨不當或過度修剪導致樹木腐朽與切面傷口無法癒合，這些不良的修剪措施、棲地硬化及排水透氣劣化，環境嚴苛與維管不全都將成為都市綠化的隱憂。

樹木維護除在具備樹木生理知識，透過樹木修剪的判別加上實際操作示範與練習，有助於維護管理現場精準操作。所以

對於樹木生理構造、生長激素的原理與癒合組織發展、土壤基盤調查與需求和樹種選擇的知識與應用，都是都市樹木維護的重點，也是降低樹木風險，促進樹木健康成長形成優質街道景觀美學的基石。



■ 應對極端氣候，都市樹木須有相應調適與準備。



■ 從使用小規格苗木種植開始

## 樹木美學與環境營造

都市樹木選種、選定與利用，在樹木種類多樣性的比例，目前各大城市大致上以美國 Frank Santamour 博士的「10/20/30」法則為參照，也建議城市樹木若要達成多樣性的種植，以環境及都市性質，選定樹種、適地適木。以新北市而言，都市行道樹在種的層級中，以樟樹占了 12.69%，其次為榕樹占了 12.01%，兩者數量均超過 10% 基準，其餘則符合 10/20/30 的基準。盤點樹木生命週期的規劃，當知行道樹從規劃種植到長成預設樹型，往往要 15-20 年以上的時間，而樹木長到預設樹形後，還會隨著時間推展而壯大。然而現在都市中的樹木生育棲地設計，往往都忽略思考樹木生長所需要的空間去做完整規劃。

都市植栽綠化的品質與成效，代表著一座綠色城市發展的遠見與永續，更是建構生態城市的基礎。都市樹木綠化在環境生態上扮演著重要的角色，其不但能改變生活環境品質，更可改善都市街道景觀及城市印象，對都市環境功能更可延伸至都市美學、環境改善、城市景觀風貌、創造價值及環境生態等諸多效益。尤其是居住在繁華的城市中對於擁有大片綠地的渴望，

綠意盎然的綠地猶如串聯都市綠帶的活水，穿梭在都市的每一角落與空間，也期待每個城市皆有如此的街道景觀與風貌。攜手創造優質的環境美學。

## 選擇樹種 適地而植

瞭解公園、綠地、行道樹等景觀綠化植物種類及其根系發展的特性，就等於是掌握植栽綠化基本功，也是都市環境綠美化的關鍵。對於植物生長所需要之土壤環境，提供有效的植穴空間，在於因應根系發展需要基盤面積及土層深厚等的條件滿足，皆須有充分周延考慮。

在都市中公園及綠地開發建設，按計畫推動與執行，除須透過縝密的環境調查，更須因地理環境慎選植物，以達到適地適木之需求，給予適當的生長與基盤環境的規範，建立完善的管理制度與安全有效率的環境，才能有優質的城市美學與環境。

## 關鍵在苗木優質化

檢討並訂定對苗木生產的標準化、規格化、分級化才是提升公園綠地及行道樹優質化的基本。若按目前的景觀綠化工程苗木參考訂定價格的基礎，在於只以苗木規格定價。且在實際執行景觀綠化工程招標說明的規範中，對於所需苗木在高度(株高)、寬度(樹冠幅)、胸徑(米徑或 DBH)等作為選擇苗木有明確之規格，但欠缺確實對所來源之苗木的樹形、樹勢及苗木田間管理作業等要求。苗木在整枝修剪管理等對景觀苗木品質有重大之影響，若能將



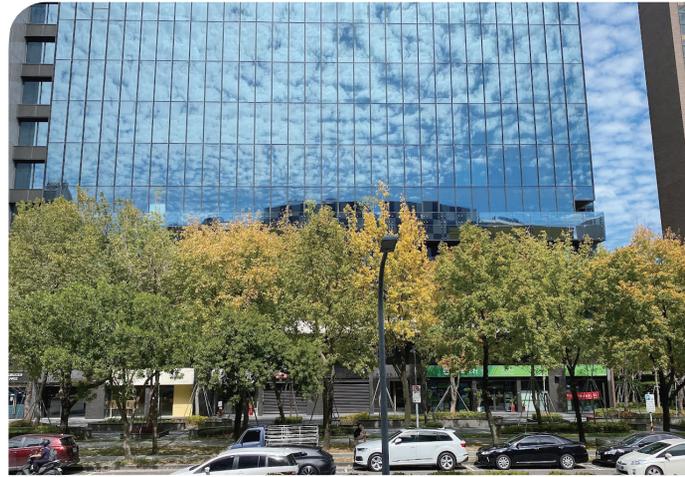
■ 土壤基盤調查是都市樹木維護的重點之一

景觀苗木進行分級或將優質苗木有較好的價格誘因，鼓勵生產培育形態優良、健康苗木的植栽材料，應有助於提升都市樹木景觀與城市綠色美學。

## 管理以樹 道法自然

都市公園管理維護工作中，樹木的管理與草坪、花壇、綠籬及地被植物的管方式較為不同，樹木因植株高大，多年的撫育栽培才能生長茁壯，達到預期目標的樹型或功能。不同樹種之間常有不同程度的特性、頂端優勢及樹形、姿態的差異，在維護管理作為就會有些許調整。

樹木管理在其維護執行上就不應只有一套方法、單一流程或一紙規範，應因地制宜的先從瞭解這些植物種類、生長特性，並據以制定一套符合城市環境、符合管理體制及符合樹木需要，並具長期永續的管理措施。尤其在樹種選擇、苗木種植培育、樹木修剪管理、營養管理與基盤改善，利用每種樹木的特性，妥善施予專業的維護管理知識與技能，才是邁向永續、綠色、優質美學的健康城市最佳途徑。🌿



■ 時序分明的植栽選擇



■ 正確維護都市街道樹木

## ■ 營造舒適優質的人行空間



# 順勢而為、利用自然

文、圖／廖桂賢（臺北大學都市計劃研究所教授、台灣河溪網協會理事長）  
洪諭瑩（台灣河溪網協會研究員）

## 運用自然解方的水患治理

「人定勝天」，在臺灣已被普遍被視為過於天真，然而臺灣的「水患治理」（flood hazard management）背後信念，卻仍為「控制自然」，仍持續強調「防洪」，堅信唯有防止洪水發生才能安全，因此極盡可能以工程手段來抵擋洪水。但是，這樣的觀念早已落伍。

防洪排水工程仍有極限，無法抵擋超過設計保護標準的洪水，因此不可能完全排除淹水，仍存在殘餘風險。因為這樣的體認，30多年前，國際上水患治理的觀念已從「防洪」（flood defense）轉變為「洪水風險管理」（flood risk management）。這樣的新觀念強調多元治理手段，更重視「非工程手段」（nonstructural measures），而近年來受到國際重視的「自然解方」（nature-based solution），就是水患治理非工程手段的其中選項。

### 水患治理自然解方定義

水患治理的自然解方可定義為：「著眼流域尺度，透過保護、復育、師法水域生態系及流域之自然水文與自然形態



■ 為降低河道坡度與減緩水流能量，伊薩河河道上原本設有水泥固床工，然而這些設施阻斷水域動物移動，河川復育工程以多層次、不規則排列的天然石階取而代之，保留消能功能，也利水域動物移動。伊薩河復育工程同時也創造了淺灘、急流與水潭等多樣微棲地環境。



■ 伊薩河的復育計畫拓寬河道，增加河川通洪斷面，同時移除低水護岸，使河川在高水位時能自然漫溢至高灘地，有效提升滯蓄洪能力，減輕下游水災風險。此舉亦改善河川的橫向連結性，恢復自然的侵蝕、堆積與氾濫作用，讓河道型態不再僵化，重新展現動態演替的生命力。

之水患治理手段。」其精髓可說是：順勢而為，利用自然。傳統的堤防、護岸、疏濬、疏洪道等工程手段，劇烈改變河相、水文、生態，都是反河川之道而行，當然都不是自然解方。此外，水患治理自然解方是對河川生態有所「增益」的，而非僅是「減輕生態衝擊」的工法；例如，以砌石或石籠護岸來取代自然河岸，雖然生態衝擊可比混凝土小，但仍劣化原有自然河川生態，也不能算是自然解方。

自然解方雖然是新名詞，但在水患治理領域中並非新觀念，國外已經累積不少以順應自然河性的方式來防減災的案例。為利讀者瞭解水患治理自然解方的相關作法，以下介紹 2 個國外案例：美國加州的優洛分洪道以及德國慕尼黑的伊薩河復育計畫。

## 美國加州的優洛分洪道 (Yolo Bypass)

1930 年代、將近一百年前就設立的優洛分洪道，全長 66 公里、寬 4.8 公里，面積廣達 2.4 萬公頃，位於美國加州北部，大水來時可為沙加緬度河 (Sacramento River) 分洪，以減少下游都市沙加緬度 (Sacramento) 的水災風險。優洛分洪道

本來就是沙加緬度河洪氾平原的一部分，地勢平坦有悠久的農業開墾歷史，超過 7 成的土地為私人農地。政府透過對優洛分洪道的私人土地取得「保育地役權」（conservation easement），讓過去被堤防限制在河道內的洪水可溢淹到這些私人土地，但地主仍保有土地所有權，且可獲得補償與稅收減免，且在非汛期的春夏季仍可耕作。

優洛分洪道內另外約 6,500 公頃的非私人土地，則劃為「優洛分洪道野生生物園區」（Yolo Bypass Wildlife Area），因此優洛分洪道也兼具生物棲地的功能，尤其在秋冬的汛期更成為逾 500 種生物的大型濕地，成為北加州著名的賞鳥景點。為確保優洛分洪道兼顧農業、水患治理、生態保育，1998 年集結農民、生態專家、政府部門、NGOs 等利害關係人成立的「優洛分洪道工作小組」，定期召開會議，以協調討論分洪道野生生物園區的經營管理事宜。

洪水需要空間容納，築堤束水只是將水患災害轉移，唯有讓洪水有去處，才能有效防減災。優洛分洪道原本就是河川自然氾濫的空間，其設置可算是「還地於河」，正符合自然解方順應自然的精神。

透過洪氾平原的滯蓄洪，優洛分洪道不但為下游都市減洪，保護近百萬人口與龐大經濟體，秋冬的滯蓄洪期間還能促進地下水補注；而洪水帶來的沈積物可提升土壤肥力，進而提高春夏季的農業生產力，支持約 1.5 兆美元的農業年產值；此外，作為野生生物園區，優洛分洪道亦提供休閒遊憩與環境教育機會，完美結合水患治理、農業、生態保育，可說是多贏計畫。



■ 伊薩計畫拆除伊薩河兩側原本的水泥護岸，重新連結河川與鄰近土地，連結水域與陸域生態系，也讓人們可以更親近伊薩河。伊薩計畫不僅改善生態系，也改變了城市與河川的關係，使河川成為城市日常生活的一部分，而非被隔離的危險地帶。



■ 伊薩河經過復育後，高灘地成為「荒野型」的親水空間，市民可以在河岸散步、野餐、戲水等，無需遠行便可在城市中心享受近自然的休閒體驗，讓伊薩河成為提升城市生活品質的重要公共空間。

## 德國慕尼黑的伊薩計畫 (Isar Plan)

伊薩河 (River Isar) 流經德國第三大城、約 150 萬人口的慕尼黑，如同歐洲許多河流，為了水力發電，河道中有一道又一道的堰壩以攔截水流，同時也被護岸及堤防束縮以防洪。諸多人為工程劇烈改變了伊薩河的水文與生態，此外，氣候變遷下，上游阿爾卑斯山區的強降雨頻率增加，讓下游慕尼黑面臨高漲的水災風險。

在德國民眾高度的生態環境意識下，1995 年啟動的「伊薩計畫」，揚棄過去「防洪安全必定得犧牲河川健康」的信念，反而是透過恢復河川健康的「河川復育」(river restoration) 來治理水患。伊薩計畫在於改造慕尼黑市區內的 8 公里長的河段，企圖同時達到 3 個目的：減少水災風險、改善河川生態環境、提升休閒遊憩與景觀品質。

伊薩河在自然狀態下其實是辮狀河，但經工程整治後，低水護岸束縮為單一河道、高灘地為平整草皮，成為河相單調的典型都市河川。伊薩計畫在防減災面向上，移除低水護岸且河岸削灘，將原本 50 公尺寬的河道拓寬至 90 公尺，讓原本不容易溢淹的高灘地可自由氾濫，提升伊薩河的通洪與滯蓄洪能力。在生態改善面向上，則重建伊薩河的橫向與縱向連結性：上述低水護岸的移除，讓河岸可被水流自然侵蝕，恢復健康河相所需的氾濫、侵蝕、堆積等自然作用；此外，亦



■ 復育後的伊薩河高灘地成為自然的「草原」而非僅是樣貌單一的「草皮」，僅設置簡易人行空間與運動設施，也能有高度的休閒功能。此設計兼顧洪水期的蓄水與乾季的人本使用，維持地景彈性，並為昆蟲與鳥類提供棲息空間，讓人與野生動物得以在城市中共存。

拆除了阻礙魚類移動並影響視覺品質的水泥固床工與攔河堰，以樣貌較自然的石階取代，允許水域動物移動且提升棲地多樣性的同時，也兼顧消能功能。護岸、固床工、堰堤等人為構造物的移除，使河道能更自然變動，讓水路恢復自然蜿蜒，讓河川可自我重建礫石沙洲、淺瀨、深潭等多樣微棲地。伊薩計畫也包括濱溪帶的生態復育，將單調的草皮轉變為野化的草地。

上述種種改善河川生態環境的作為，同時也為愈來愈偏好自然景觀的慕尼黑市民改善了伊薩河的休閒遊憩空間，提供如郊外野溪般的高品質的親水場域。

值得一提的是，伊薩計畫的主軸雖然是河川復育，但也包含了傳統工程手段。作為都市河川的伊薩河，雖有一定寬度的河川區域，兩側仍有堤防束縮；伊薩計畫為了讓河川可在兩側堤防內的區域內自由氾濫、擺盪，無可避免地得以鋼板強化原有堤防，以避免潰堤，此手段為兼顧水患治理與生態復育的權衡之計。

## 還地於河 重塑水患治理之道

相較於傳統防洪排水工程僅具單一效益（防洪）、卻有無數副作用（生態破壞、製造安全假象降低民眾災害意識等），從優洛分洪道和伊薩計畫的案例中可以看到，水患治理自然解方除了主要的防減災效益，還具備其它「共效益」（co-benefits）：增益生態健康，且不但沒有犧牲原本的社會功能（例如農業與休閒遊

態），還可能提升原有功能（例如增加地力、提升休閒品質與景觀美質）。在人類面對氣候變遷、生物多樣性流失等多重嚴峻挑戰的今天，自然解方正是因為具備多重效益，才會在國際上受到極大重視。

此外，上述2個案例都採取了「還地於河」策略，說明水患治理自然解方需要「土地」。因為，自然解方跟「築堤束水、加速排水」的傳統治水理念反其道而行，其上位原則是「給水空間、減輕水勢」。唯有先瞭解河性，順勢而為，利用自然河川本身就具備的通洪、滯洪、蓄洪機制（也就是河川生態系服務中的「洪水調節」功能），才是水患治理的治本之道。

## 擁抱與河共生的自然解方

自然解方之所以能增益生態，正因為是透過「修復自然」的方式來防減災。讓被約束的河川恢復氾濫、侵蝕等自然作用，是河川復育的重要一環；而河川要能自然作用，必定需要足夠的空間。因此，水患治理自然解方是跨領域、多專業的事務，除了工程專業者，更需要生態保育與空間規劃專業者的投入。

國際學界已累積了可觀研究，國外也累積了大量實務案例，無論是理論或實務都告訴我們，可以同時因應社會挑戰並增益生態的自然解方，並非不切實際的理想，能不能落實不在於技術，而取決於觀念與意志。臺灣目前仍處於自然解方的摸索階段，腳步緩慢，仍未有政策明確引導推動，另一方面，政府仍持續投注大量經費於傳統防洪排水工程。

臺灣可否邁開大步擁抱自然解方？讓我們盡快透過自然解方，重新連結人、洪水、生態，從抵禦到共好，真正達到與河流和諧共生的境界。🌿



伊薩計畫將河岸改造為緩坡，部分地點設置石階，讓民眾能安全且自由地接近河水，甚至進入游泳。無過度人工化的親水設施，而是鼓勵人們以自己的方式與河川互動，觀察水流變化與生物活動，或單純感受自然。這樣的空間不僅增進人與自然的情感連結，也培養對河川復育的認同與支持。

# 六龜的林下經濟實踐

圖／方智達、汪澤宏、劉士輔  
文／梁啓暉（豐年社特約記者）

## 邂逅臺灣的原生山茶

說到臺灣茶業，多數人腦海中或許會浮現出高山烏龍、金萱，或是碧螺春等耳熟能詳的茶類，這些已成為臺灣飲茶文化的一部分。然而，位於臺灣南部荖濃溪上游，靜謐的六龜山林中還生長著一種臺灣原生茶樹「臺灣山茶」（*Camellia formosensis*），默默散發著屬於山野林間獨有的清香。這股茶香也隨著時間推移，在這片土地上逐漸茁壯、日益濃郁，更在 2021 年底，由林業及自然保育署（簡稱林業保育署）與林業試驗所宣布，將臺灣山茶正式納入「林下經濟」品項，開啟臺灣山茶與土地共生的新篇章。

高雄市六龜區（舊稱為六龜里），位於屏東平原與中央山脈的丘陵交接處，不僅山川地貌豐富、風土條件獨特，與臺灣的飲茶文化也有相當深厚的連結，而六龜與臺灣原生茶樹「臺灣山茶」的淵源，同樣根植在兩者深厚的地理與歷史脈絡。除了行政劃分的六龜區外，包含茂林、寶山等廣闊林區，都是臺灣山茶的原生分布棲地。

### 山林的自然饋贈 六龜與臺灣山茶的不解之緣

早在數百年前，漢人先民拓墾至今日的六龜區域，在那個年代，閩南人和客家人都有自製茶葉的習慣，便一併將飲



■ 深入高雄六龜，邂逅野生的臺灣山茶。

茶習慣融入日常生活。當他們在六龜這片土地上定居時，發現了這些野生的茶樹，便開始採摘茶葉，自己製茶自己喝。早期的漢人常稱其為「仙茶」，閩南語發音意指「老天爺給的茶」或「神仙給的茶」。這個充滿意境的名稱，反映了先民對野生茶樹的珍視，也道出了臺灣山茶在他們心中的地位。



■ 製作臺灣山茶，需摘取其頂端新生嫩葉。

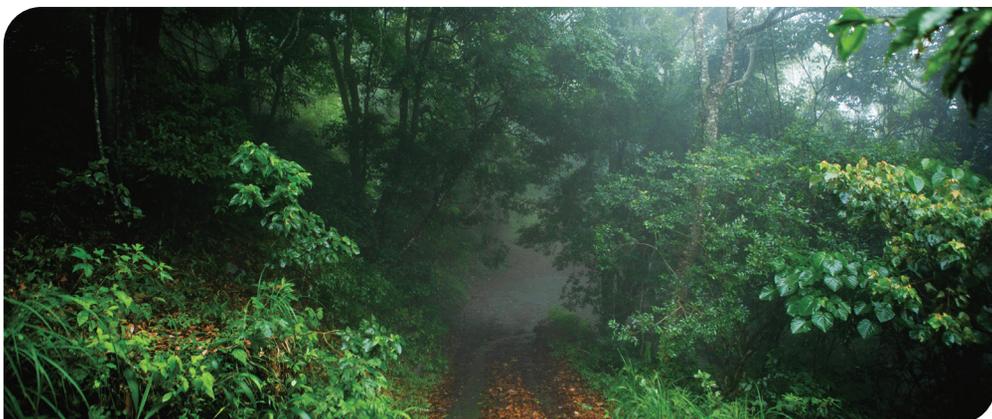
時至今日，六龜地區之所以成為臺灣山茶的重要據點，除了得天獨厚的地緣分布，更因部分山茶棲地位於國有林內，受到人為開發干擾較小，得以保留珍貴的野生茶樹資源，也因此為後續產業發展提供了珍貴的茶菁資源。

適逢臺灣山茶在十多年前開始被大力推廣，加上當地茶農與有志之士投注熱情與心力，讓六龜山茶的名聲逐漸遠播，喚醒更多人對土地與茶的記憶。這些自然與人文的積累，也為臺灣山茶納入林下經濟實踐，鋪展出一條寬厚的道路。

## 林下經濟新篇章 臺灣山茶的崛起

臺灣山茶在 2021 年正式納入林下經濟政策當中，其背後也是歷經多方評估後的結果。林業試驗所六龜研究中心副研究員孫銘源解釋道，「林下經濟的核心理念在以不影響山林、不干擾森林生態為前提，利用臺灣原生植物發展經濟副產品，為在地農民或林農開闢新的收益途徑。」而臺灣山茶則完美契合了這一系列條件。

在生態保育面向，孫銘源也提到臺灣山茶屬於中下層植物，不會與主要造林木爭奪陽光與空間，具備「共生不干擾」的優勢。作為臺灣的原生植物，臺灣山



■ 臺灣山茶分布於六龜山林中，需經一段路途才能到達。



林業試驗所六龜研究中心副研究員孫銘源分享林下經濟納入臺灣山茶的契機

茶不僅具備良好的本土適應性，也蘊含待開發的經濟潛力。隨著推廣腳步加快，其獨特的風味與健康價值逐漸受到消費者關注。

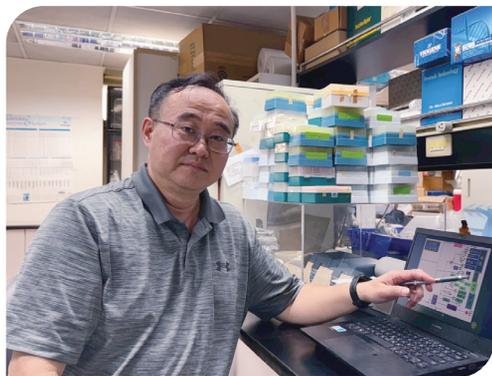
如今由林業保育署推動林下經濟政策，不但讓更多人認識臺灣山茶，也鼓勵更多人投入、加深在地意識；既保護原有的林木資源，還提高臺灣山茶的能見度與市場價值，同時也為在地農民生計新闢一條道路。

## 從 DNA 找到純粹 分子標誌下的臺灣山茶

野外生長的原生茶樹，難免會因為時間推移、環境變遷，加上人為引進的小葉種與阿薩姆茶等外來品種影響，而出現雜交變種的情況，然而要如何確認臺灣山茶的「血統」純正，避免林下經濟推廣的茶樹出現「混種」狀況，林業試驗所汪澤宏博士與其團隊所投入的分子標誌技術，在此發揮了關鍵作用。

「是否為純種的臺灣山茶從形態不容易鑑定，所以要有一套客觀、公平的標準來檢測它。」雖然汪澤宏的專業背景是昆蟲學，但他在分子標誌技術方面的造詣，為臺灣山茶的研究帶來新的突破。

分子標誌簡單來說，便是從茶樹的DNA下手，看看基因裡是否藏有其他外來種茶樹的痕跡。經過分子鑑定程序之後，就如同發給茶樹「身分



林業試驗所汪澤宏博士用結果指出臺灣山茶在不同地區的分枝親緣分析（汪澤宏提供）

證」，不僅能夠保證臺灣山茶的純正基因、幫助臺灣山茶在林下經濟的應用實踐，還能從分子標誌中發現更多臺灣山茶的故事。

研究臺灣山茶的過程中，汪澤宏除了再次證明臺灣山茶屬於獨立的臺灣特有種，也發現特定區域的臺灣山茶擁有獨特的基因特徵。他指出：「分子標誌能為地方政府或是在地農民提供客觀且有力的科學背書，在一定程度上能夠支持地方創生與品牌推廣。」

此外，臺灣山茶難以使用種子方式長期儲存，需用活體植株的方式進行保育，而透過分子標誌技術，能更精準地保留各地的原生茶樹基因，例如，在嘉義地區進行復育時，可以確保種回的是帶有嘉義特有 DNA 的純種臺灣山茶後代。不但為林下經濟的推動提供了「身分驗證」的標準程序，確保在國有林地上種植的是純正的臺灣原生特有種，也有助於未來的物種保育與發展。

## 從工程師到茶農 劉士輔的山茶旅程

在六龜臺灣山茶的發展歷程中，劉士輔的茶農之路相當具有戲劇色彩。劉家世代都是高雄六龜的茶農，但到了劉士輔這一代，父親希望他們不要再務農，所以他最初是在科技業擔任工程師。然而，2009 年的莫拉克風災重創了整個六龜地區，也成為劉士輔開啟山茶人生的轉捩點。「其實我沒想過有一天會回來，甚至在決定回鄉的前兩天，我原本還要升遷為課長，」劉士輔回憶當時的情況。

決定回到六龜後，劉士輔開始學習製茶、茶葉買賣的相關知識，後來選擇野生臺灣山茶作為發展方向，原因是它在六龜的分布最為密集，且看好其未來性。但在當時臺灣山茶並非主流，很少有人接觸，有趣的是，他對臺灣山茶最初的印象是「很難喝」，覺得它既苦又澀，需要稀釋才能入口。

面對困境，劉士輔也一度想放棄，後來發現以烏龍茶製程方式並無法展現臺灣山茶的特性。所以利用時間前往中國學習製茶技術，並與父親不斷精進製茶技術，改變製茶方式，尤其是烘焙方法，使臺灣山茶的風味產生巨大的變化，從最初的苦澀難忍，搖身一變為沈穩、厚實的清香風味。

由於劉士輔堅持使用野生的臺灣山茶，一年僅有一收，再加上野生茶樹散布在原始山林中，難以架設梯子等輔助工具，對於部分較高



從螢幕鍵盤到山林茶香，劉士輔與臺灣山茶結下不解之緣。



■ 烘製後的臺灣山茶，香氣清新、口感溫厚。

的茶樹只能徒手攀爬，使採集嫩葉的難度大幅提升；同時，基於生態保護考量，這些野生茶樹完全不能施肥、不能噴灑農藥，必須讓它們在最自然的狀態下生長。這種嚴格的限制條件，使得每一片臺灣山茶都格外珍貴。

劉士輔專注於野生山茶的發展路線，面對臺灣市場初期的冷淡反應，他選擇轉向國際舞臺參賽，為自己與臺灣山茶打開知名度。2021年，他參加第13屆國際名茶評比，一舉奪下雙金獎殊榮，不僅成為他個人的重要里程碑，也再次為六龜的山茶產業注入一劑強心針。

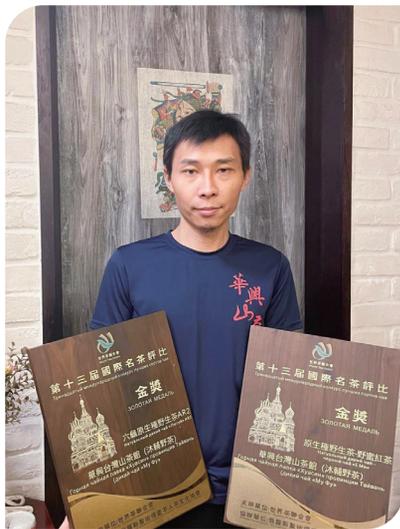
## 臺灣山茶的未來之路 原生種的存續與保育

隨著臺灣山茶被正式納入林下經濟體系，如何確保其原生血統的延續與永續發展，成為接下來的重要課題。孫銘源負責的原生種採集與復育工作，肩負起保育與基礎研究的關鍵任務。

目前，孫銘源與團隊成員已從全臺 22 個山頭採集約 180 株臺灣山茶母樹的種原。這項工作充滿挑戰，許多原生山茶分布於無道路可達的深山林地，尋找與採集需仰賴大量人力與現地經驗。完成採集後，團隊進一步確認茶樹的差異與風味特性，並培育扦插苗木為材料，作為未來育種、研究與異地保種的重要基礎。

臺灣山茶的未來發展，需在生態保育、經濟效益與永續利用之間取得平衡。從保育的角度來看，種原實地採集與分子標誌技術的結合，為各地臺灣山茶族群的遺傳多樣性保護奠定了科學基礎，並確保復育行動所使用的是具在地性的純種個體，避免外來種混入。

而在經濟層面，臺灣山茶作為林下經濟中的物種，其原生、野生的故事背景，加上獨特的風味與稀有性，在市場上逐漸展現出高度競爭力，為六龜等產地帶來實質回饋。這條來自山林的茶路，正一步步鋪展出屬於臺灣原生植物的新篇章。🌱



劉士輔參加 2021 年第 13 屆國際名茶評比，獲得雙金獎殊榮。（劉士輔提供）



位於林業試驗所六龜研究中心的溫室裡，整齊排列的原生種苗皆是研究團隊的心血。

# 與野共生

圖／吳尚鴻、林業及自然保育署  
文／張景棠（豐年社特約記者）

## 打開工程與生態對話之門

2016年起，林務局（今林業及自然保育署）開始推動「國有林治理工程生態友善機制」，目的在於減少工程對環境的擾動，在人（當地居民）、生物與環境中找出最合適的工程設計，藉由聚落保全、自然保育及公眾溝通等不同層面開始著手，開啟治理工程和生態保育的對話。

由景澤創意有限公司企劃製作、林業保育署出版的《與野共生——國有林區治理工程友善生態圖輯》，彙整收錄了16個力求自然生態與居民安全共創雙贏的工程案例，透過深入淺出的文字、生動有趣的插畫、詳盡的工程結構圖和趣味親子讀本，帶領讀者認識工程與自然環境的關係，希望以這本書作為跨領域對話的橋樑，共同學習成長，推動韌性工程和環境永續的理念。

### 工程治理思維的改變

「我很喜歡這本書的封面，我們的綠地過往都被水泥所覆蓋，現在要做的就是將水泥打開，打開之後就會有一些生命進來。」景澤創意有限公司執行長吳思儒解釋，國內對於工程治理開始反思，反省人與環境的關係是否只從人類需求來思考，現在慢慢導向除了照顧人的需求之外，同時關照到不同族群，甚至環境生態的需求。



景澤創意有限公司執行長吳思儒





■ 《與野共生 - 國有林區治理工程友善生態圖輯》專書，封面以打開水泥，讓生命進來為概念。

傳統工程在成本限縮及管理維護便利性之下，往往忽視了外部的環境成本，對於生態環境造成難以回復的破壞，每一個工程都有它的目標需求，例如，工程目的是為了解決居民通行安全及便利，但也造成棲地水泥化、動物受困、生態環境破碎化等問題，此時便需要溝通協調，權衡出對於環境相對友善的設計。

「排水道路從 U 型邊溝改為 L 型邊溝便是兼顧人與動物的友善設計，它不是技術上的轉變，而是思維上改變的最好例子。」吳思儒指出，傳統 U 型邊溝雖然容量大、排水效果良好，但表面光滑，容易使掉入的動物難以脫困，車輛輪胎也容易陷落，再者，在清理維護上需依賴挖土機與人力配合。L 型邊溝和緩的降坡和粗糙的表面利於動物爬行，也避免車輛陷落的風險，管理維護上只需要一臺小山貓鏟土機便可有效清理。甚至還有改良版的 L 型邊坡，一次一次的下降，這些積水和落葉的地方就是小生物最好的棲地，這樣友善生態的工程設計有效的減少對環境的擾動。

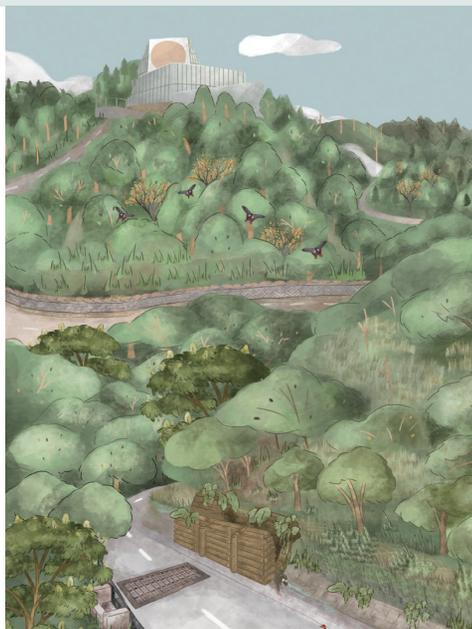
治理工程思維上的改變也反映在工程材料上，例如在南投魚池鄉日月潭的案例中，減少混凝土等人造建材的使用，改為使用疏伐木（為保持森林和林下棲地健康而伐除的樹木即為疏伐木）來製作節制壩，為了保護邊坡，減緩水流衝擊的木製節制壩，不僅在景觀上更趨近自然樣貌，木材和塊石之間多孔隙，有利於排水及提供生物躲藏棲息之處。吳思儒表示：「當時這個工程受到很多挑戰，一些前輩認為怎麼可以用木樁結構作為設計，林業保育署做了，並且持續監測，證明了這個設計具有一定的穩定性和實用性。」

## 多元思考 溝通協調 權衡出共好的未來

為了製作這本書，吳思儒帶領團隊全臺走透透，盡可能到當地勘查，瞭解每一個案件的內容與面對的挑戰，吳思儒：「我們會先看整體環境，理解保全對象的



■ 書的編輯設計能夠協助讀者理解這些案件工程設計的想像（林業及自然保育署提供）



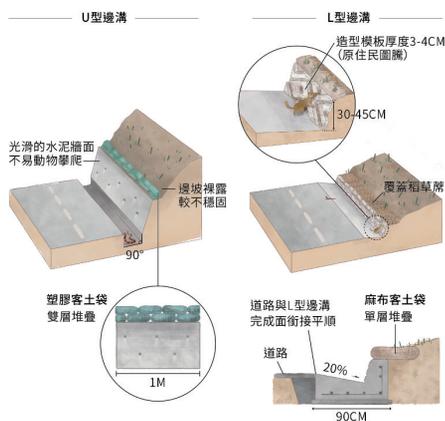
■ 每一個案例前面都有一個大景，書中穿插的生動插畫能夠協助讀者理解。（林業及自然保育署提供）

需求，這個地方受到的潛勢災害是什麼？工程面對什麼樣的困難？如何去克服？接著進入生物和棲地環境的觀察，像是溪流、水窪，這是非常有價值的調查，能夠真實看到生物與環境之間的關係。」

每一次的現勘經驗都讓他印象深刻，對於自然資源與環境管理背景出身的吳思儒來說，在現場看到不同背景的角色混雜在一起的時候，讓他不禁反思，該如何將聚落居民納入思考，如何去權衡？吳思儒：「在現勘中看到一些狀況，高山環境裡有許多土石崩落的情況，不得不做相關的防護工程，一些聚落居民可能世代居住在這些土石易崩落的災害區域，我們在環境正義與對人的關懷中間拉扯，現勘的訪談讓我們更加深覺意識到，這些都是活生生的人，這些案子並不只著重在生態環境，關懷對象還有人，我們必須關心這些居民。」他表示，參與的過程不斷地在團隊心中激盪，他們需要更多的溝通協調，更加多元的思考，創造出共好的想像。

## 從體驗自然環境開始

景澤創意有限公司專注在社區營造、生態推廣教育等環境議題，在某一次對工程單位的生態推廣體驗活動中，



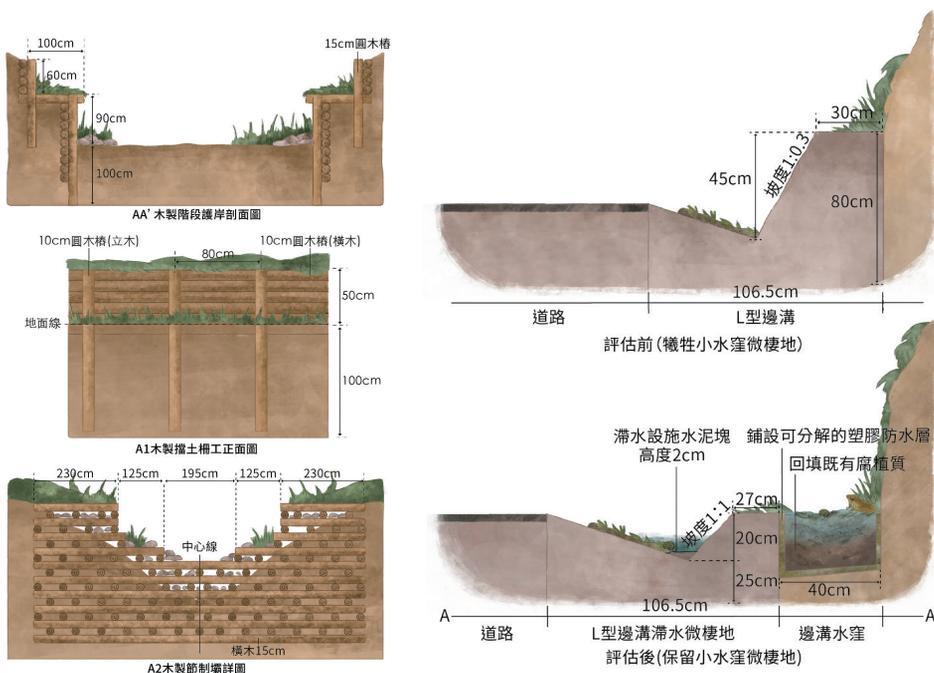
■ L型邊溝是工程思維改變的最佳範例，書中的工程圖畫得非常詳盡專業，希望讓工程師也能夠深入理解。（林業及自然保育署提供）

吳思儒帶領工程師們進入水域觀察，一位工程師分享：「以前看河床裡面石頭就是石頭，沒辦法想像裡面竟然有這麼多小生物！」吳思儒認為，要推廣友善生態環境的觀念必須從體驗開始，必須先認識環境，實際進入場域裡面感受。

吳思儒指出，現代社會的人們與自然環境日益脫節，對自然的認識多半來自媒體與視覺影像的刺激，缺乏親身接觸。「實際進入自然的感受是五感的，盡可能讓大眾有更多的五感體驗，讓大家認識自然的美好與危險，甚至在國民義務教育裡把這樣的體驗放進去，當有這樣的概念後，就有能力去思考更複雜的問題。」吳思儒也強調，多元文化是臺灣的重要特質，不同文化對自然資源有各自的認識與使用邏輯，這些都需要被理解與尊重。

面對極端氣候的挑戰，我們必須師法自然，嘗試與自然系統對話。吳思儒提出：「我們的社會要走向哪裡？應該是一個與生態環境共存共榮的社會，在一個系統裡碰到什麼樣的問題，牽涉到工程和管理，有不同的操作策略，在一個完整的系統決策過程中，工程師是最後處理問題的人，如果我們前端都搞不清楚，怎麼能苛求後端的工程師？」

他呼籲，體驗生態不該只屬於專業人員，而應是全民的權利與責任。「對自然的理解應成為一種公民素養。當你知道了，你就會有所選擇。」



■ 南投魚池鄉日月潭的木製節制壩案例，將疏伐木多元利用，打造利於植生與排水的木造防災設施。（林業及自然保育署提供）

■ 在臺中和平區八仙山林道案例中，道路邊溝的水窪是水生昆蟲（黃胸黑翅螢）的重要營養來源，在平衡排水與蓄水之間，權衡人與環境的需求。（林業及自然保育署提供）

# 林業通訊



04 / 08

林業保育署屏東分署聯合嘉義與臺東分署，辦理「2025年汛期前防備漂流木跨區聯合演練」，邀集高雄市、屏東縣政府及風景區、國家公園、水利署第七河川分署、海巡與警察等14個機關共32人參與。透過實地演練強化橫向聯繫與分工合作，確保未來災後漂流木應變作業能迅速到位，落實「減災、整備、應變」目標。

—— 林業保育署 林耿民



跨區各打撈清理機關聯合演練漂流木辨識註記  
(攝影 / 林業保育署 林耿民)

04 / 09

林業保育署臺東分署與關山鎮農會合作，於臺東關山鎮成立首間「山林製造」加盟店，共同推廣永續森林經營與在地農特產業。臺東分署分署長吳昌祐與理事長林大順簽署合作授權書，象徵雙方攜手跨域推動農業與森林永續發展。

—— 林業保育署臺東分署 莊承錦



「山林製造」臺東縱谷線第一家加盟店 - 關山米國學校加盟店  
(攝影 / 林業保育署臺東分署 賴欣怡)

04 / 10

澎湖保安林是島嶼生態與防災的重要屏障。為提升地方認同，林業保育署屏東分署首度為澎湖保安林命名，經居民參與，將位於湖西鄉的第2903號與2904號保安林，正式命名為「龍門保安林」與「菓菓保安林」，象徵澎湖保育工作邁入新階段，也為離島生態保育寫下重要篇章。

—— 林業保育署屏東分署 富張曜驛



菓菓村保安林命名說明 (攝影 / 林業保育署屏東分署 陳信宏)

04 / 12

為保護布農族珍貴的傳統文化地景，林業保育署南投分署攜手拉芙嵐文教推廣協會及信義鄉雙龍國小舉辦「守護拉芙嵐，根回舊部落」植樹活動，結合布農族部落族人與學童在舊部落遺址週邊種下原生種樹苗，為土地劃出記憶的界線，也為文化延續扎根。

—— 林業保育署南投分署 簡盈宜



「守護拉芙嵐，根回舊部落」植樹活動  
(攝影 / 林業保育署南投分署 陳千佩)

04 / 12

林業保育署嘉義分署攜手阿里山林業鐵路及文化資產管理處與嘉義市政府舉辦「綠織林業村 嘉義好森活」植樹活動，由林業保育署副署長張岱、嘉義市市長黃敏惠等人率領根基營造、雄獅旅行社等企業與社區，共同栽植苦楝、青剛櫟、臺灣梭羅木等原生樹種。透過多樣樹種交錯配置，營造都市綠島，打造兼具生態與景觀效益的林業村景緻，豐富鐵路高架化周邊綠意。

—— 林業保育署嘉義分署 蔡佩芳



栽植區毗鄰森林之歌及臺鐵鐵道，將配合鐵路高架化完工後開放。(攝影 / 林業保育署嘉義分署 黃勝謙)

04 / 15

林業保育署臺中分署攜手惠來大雪山股份有限公司舉辦「大雪山國家森林遊樂區住宿餐飲等設施增改修建、營運移轉案」簽約儀式，並由林業保育署副署長張岱見證，未來將引進電動接駁車與露營車服務，打造舒適低碳旅遊模式，並透過公私協力，攜手推動大雪山國家森林遊樂區之觀光發展、環境教育及生態環境的維護。預定 2025 年底前全面提供專業優質之餐飲、住宿等服務。

—— 林業保育署 謝書綺



大雪山國家森林遊樂區住宿餐飲設施 ROT 案簽約儀式  
(林業保育署臺中分署分署提供)



大雪山 43K 遊客中心、餐飲住宿區空拍影像。  
(林業保育署臺中分署分署提供)

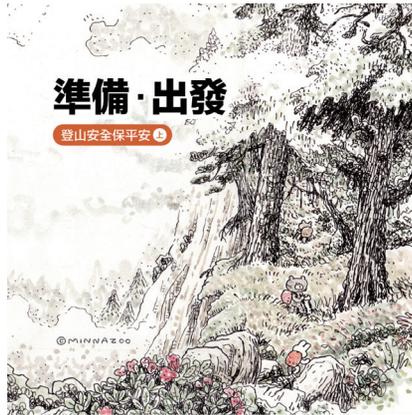
## 04 / 15

林業保育署啟動「山林知事村」平臺，並串聯 21 處育樂場域與戶外用品店設立實體站點，建構全臺登山諮詢網絡，推廣登山安全與無痕山林，強化國人登山風險意識與環境保育觀念，以負責任態度親近山林。

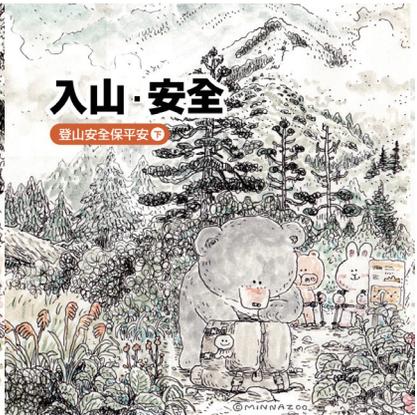
—— 林業保育署 賴佩忻



「山林知事村」LINE 數位平臺（林業保育署提供）



實體站點可免費索取登山安全摺頁《準備篇》與《入山篇》，彙整入山前規劃準備與途中注意事項。（林業保育署提供）



## 04 / 16

林業保育署新竹分署與內政部空中勤務總隊第二大隊於五峰鄉大坪苗圃停機坪，辦理空中滅火實地訓練。新竹分署自 2020 年成立 10 人後勤支援隊，專責直升機吊掛水袋與火場物資支援，並定期檢討編組。此次訓練針對新進人員，進行水袋裝卸與消防池取水演練，情境擬真，提升操作熟練度與安全意識，強化山林滅火應變效率。

—— 林業保育署新竹分署 涂錦璋



林業保育署新竹分署配合空勤教官進行水袋裝設訓練（攝影 / 林業保育署 涂錦璋）

## 04 / 16

林業保育署臺中分署長期推動大甲溪沿岸里山計畫，融合永續理念與友善棲地營造，2025 年第一季分析斯可巴社區樣點之紅外線自動相機成果，發現 2024 年 11 月首次拍攝到石虎影像，並記錄食蟹獾、臺灣葉鼻蝠等 17 種野生動物，展現與社區合作營造石虎棲地的具體成果，連結國有林地與淺山，打造「森川里海石虎廊道」，社區夥伴亦備受鼓舞。

—— 林業保育署臺中分署 許雅青



林業保育署臺中分署於斯可巴社區架設紅外線自動相機記錄到石虎出沒（林業保育署臺中分署提供）

## 04/16

林業保育署屏東分署於屏東縣高樹鄉屏東智慧農業學校辦理「友善草鴉農產品標章成果發表暨生態餐會」，為屏東地區 9 位友善耕作農友頒發「友善草鴉標章」，並布置「友善草鴉標章首登展」，邀請屏東縣政府、屏東市公所、全聯福利中心小農直採、國立屏東科技大學野生動物保育研究所等單位參與，共同見證林業保育署推動國土綠網的里程碑。

—— 林業保育署屏東分署 詹靜怡



「友善草鴉農產品標章」成果發表  
(攝影 / 林業保育署屏東分署 陳又嘉)

## 04/18

為推動臺灣林業邁向永續與淨零轉型，林業保育署與國立中興大學共同舉辦「國產材 × 碳匯」論壇，吸引逾 200 位跨領域產官學研代表參與。論壇聚焦森林碳匯與國產材應用，並公開林產品碳匯試算平臺，協助企業進行碳盤查與 ESG 揭露。林業保育署副署長張岱強調，透過標準化、數據化與追溯機制，國產材可望成為碳市場的重要資產。

—— 林業保育署 林彥丞



林業保育署副署長張岱致贈感謝紀念品予國立嘉義大學林翰謙校長，表彰對國產材研究及碳匯應用的長期貢獻。  
(林業保育署提供)

## 04/19

林業保育署臺東分署於臺東縣海端鄉坎頂村布農族射耳祭期間，成立臺東第一個狩獵自主管理的組織「臺東縣坎頂村傳統狩獵文化永續發展協會」，並舉辦狩獵證頒發儀式，象徵原住民狩獵自主管理制度正式啟動。本次共有 34 位獵人（含 4 位女性）獲頒狩獵證，通過者老審查與多項訓練，涵蓋傳統知識、生態保育、安全操作與急救技能。臺東分署將持續輔導更多部落，推動山林永續與文化復振雙軌發展。

—— 林業保育署臺東分署 林孟怡



「臺東縣坎頂村傳統狩獵文化永續發展協會」舉辦狩獵證頒發儀式 (攝影 / 林業保育署臺東分署 廖裕凱)

04 / 22 ◦

林業保育署辦理《不可思議的森之島》新書發表會活動，書中結合生態科普與藝術美學，以精緻插畫與溫暖文字，從「樹的自然脈絡」、「樹的生態秘密」、「樹的生活感知」三大主軸切入，介紹臺灣原生樹木的自然特性、生態功能與人文應用，為首本以臺灣原生植物為題材的繪本。內容涵蓋地質、氣候、物候、動植物互動、林業產物與民俗智慧，深入淺出地展現臺灣森林的多元樣貌與生態定位。

—— 林業保育署 藍佩芬



04 / 22 ◦

林業保育署嘉義分署攜手嘉義筍農推動「諸羅樹蛙友善棲地管理標章」認證，並輔導「嘉義縣諸羅樹蛙友善蔬果生產合作社」將兼顧生態與品質的標章竹筍送至消費者手中。凱基證券響應世界地球日，以標章竹筍入菜舉辦「凱基諸羅記」主題餐會，董事長許道義親自出席支持保育行動，嘉義分署由副分署長魏郁軒致謝。農地不僅生產糧食，更是野生動物的家，期盼更多企業與通路共同推廣，讓消費成為守護諸羅樹蛙的力量。

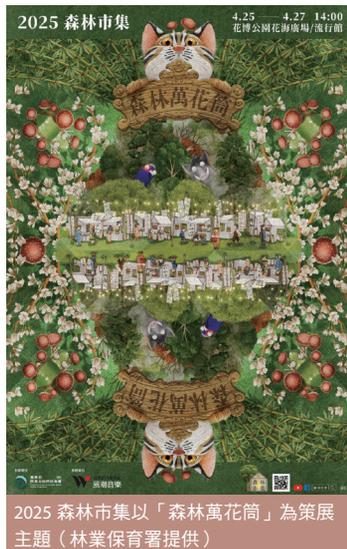
—— 林業保育署嘉義分署 汪琮璋



04 / 25 - 04 / 27 ◦

林業保育署舉辦「2025 森林市集」活動，首次移師臺北圓山花博公園花海廣場及流行館舉行，林業保育署攜手臺灣各地國產木竹材及林產品開發應用超過 60 家業者及社會團體以「森林萬花筒」為策展主題，帶領民眾認識國產木竹材、森林副產物利用，並首次推出森林香氛品牌特展、森林療癒活動體驗及提供森林生態旅遊遊程規劃建議，更有來自山村的森林蜜、香菇等精緻好物，邀請民眾從多元角度發掘自然之美，體驗森林的有形與無形惠益。

—— 林業保育署 林佳儒



04 / 28

阿里山林鐵與日本黑部峽谷鐵道再度攜手，自 2025 年 5 月 3 日起至 11 月 30 日止推出票券互惠專案，臺灣旅客憑阿里山林業鐵路「遊樂區內支線周遊 2 日券」及護照，即可免費兌換黑部峽谷鐵道「宇奈月 - 貓又」或「宇奈月 - 笹平」來回車票。全票換全票、半票換半票，惟不開放 10 人（含）以上團體兌換。

—— 阿里山林業鐵路及文化資產管理處 鍾雅婷



黑部峽谷鐵道美景（黑部峽谷鐵道株式會社提供）

04 / 29 - 04 / 30

林業保育署與生物多樣性研究所於麻必浩部落及富州社區辦理「中區實務工作者交流工作坊」，邀集在地實務工作者、社區、部落等參與，除透過實地訪查，體驗麻必浩部落原住民傳統智識傳承、富州社區結合多元資源進行石虎保育與社區營造等，更針對「社會 - 生態 - 生產地景保全活用」所涉及之問題、目標、行動計畫等議題進行討論。

—— 林業保育署 蔡孜奕



TPSI 中區實務工作者交流工作坊參訪麻必浩部落（生物多樣性研究所提供）

04 / 30

林業保育署宜蘭分署邀集國有財產署、宜蘭縣政府、新北市政府、基隆市政府、臺北市政府等單位約 80 人，在南澳海灘辦理 2025 年度漂流木防災處理示範演練。演練重點包含：災前分工整備、清理通報機制啟動、具標售價值漂流木的辨識與集運、漁民拾得木材處理，以及公告檢拾與登記流程。透過實地操作，提升各機關協作默契，並響應「向海致敬」海岸清潔行動。

—— 林業保育署宜蘭分署 陳冠璋



林業保育署宜蘭分署聯合跨機關整備辦理漂流木示範演練（攝影 / 林業保育署宜蘭分署 徐珮菁）

## 04 / 30

國際森林管理委員會（FSC）總部、亞太區辦公室、加拿大辦公室等相關人員，偕同臺灣取得FSC驗證的業者代表，於FSC臺灣辦公室成立後實地訪查，包括南庄事業區第10林班永續經營區、「森林小站」共管平臺，以及南庄苗圃的林業資材循環示範場。FSC代表高度肯定臺灣在政府與原住民族合作下，推動森林永續、落實標準，並結合部落文化與生計的創新模式，展現環境、社會與經濟各面向兼顧的優良典範。

—— 林業保育署新竹分署 顏翊卉



販售賽夏林下經濟及在地特色產品的森林小站  
(攝影 / 林業保育署新竹分署 顏翊卉)

## 04 / 30

林業保育署臺中分署針對高美濕地周邊陸蟹保育議題，舉辦臺中生態綠網平臺會議，集結中央與地方機關、在地里長、專家學者及NGOs，凝聚共識以自然解方（NbS）概念與社區參與，協力推動高北番仔寮防風保安林濕地修復與陸蟹保育。透過公私協力逐步推動海堤全面斜坡化、埤塘連通與國有土地認養營造棲地等策略，建構兼具生態保育與滯洪功能的濕地系統，落實沿海環境永續治理行動。

—— 林業保育署臺中分署 張韋雅



高北番仔寮防風保安林以自然為本，期望建構完整濕地生態系統。（觀察家生態顧問有限公司提供）

## 05 / 01

林業保育署花蓮分署攜手玉里鎮公所、花蓮縣牛犁社區交流協會，簽署「國土生態綠網之三民養殖區水雉棲地營造合作備忘錄」，以公所土地為基礎，營造水雉及水鳥繁殖棲地，串聯花東縱谷濕地保育軸帶。三方將依循「國土生態綠網」目標，合作共享生態調查與棲地營造成果，強化生態系服務功能，作為在地生物多樣性保育與環境教育資源，推動跨機關合作，共同守護水雉。

—— 林業保育署花蓮分署 徐仲禹



林業保育署花蓮分署、玉里鎮公所及牛犁社區交流協會簽署水雉棲地營造合作備忘錄。（攝影 / 林業保育署花蓮分署 徐仲禹）

05 / 02

林業保育署屏東分署分署長楊瑞芬與六龜工作站同仁前往高雄市桃源區梅山部落，親自向4月9日通報臺灣黑熊受困案件的當事人，及參與救援的顏國經與顏國明致贈感謝狀、表彰其保育貢獻，因此次黑熊得以及時獲救，關鍵在於通報者的迅速反應與積極協助，能夠原地野放，對於黑熊保育深具意義，同時也是高雄地區首例，更具有指標意義。

—— 林業保育署屏東分署 張世勳



林業保育署屏東分署分署長楊瑞芬親自致贈感謝狀予通報救援臺灣黑熊的族人顏國經先生（攝影 / 林業保育署屏東分署 張世勳）



嘉義分署與中華電信期盼植樹活動為好美保安林注入新生機，提高保安林景觀與生態韌性，也吸引更多遊客到訪。（攝影 / 林業保育署嘉義分署 黃勝謙）

05 / 04

為響應生態保育與減碳永續發展，中華電信攜手林業保育署嘉義分署於嘉義縣布袋鎮好美保安林舉辦植樹活動，邀請羽球天后戴資穎現場助陣，與企業志工、社區居民及好美國小師生共同植樹，展現守護生態的決心。林業保育署副署長張岱則感謝中華電信對政府造林工作及聯合國永續發展目標（SDGs）的貢獻與行動力，也期盼透過中華電信的模範案例，吸引更多企業加入 ESG 專案行列，一同營造永續生態家園。

—— 林業保育署嘉義分署 呂宜馨

05 / 05

卑南鄉下賓朗部落兩位族人在斑鳩地區林地發現一隻受困套索的臺灣黑熊，並即刻通報林業保育署 24 小時專線。林業保育署臺東分署與野灣野生動物保育協會緊急救援，惟該隻 55 公斤亞成年公熊因敗血症不治，創下臺東黑熊救援最低海拔紀錄（僅 440 公尺），距民宅僅約 130 公尺，顯示臺灣黑熊活動已向平地擴展。突顯人熊共存與獵具管理的迫切性。臺東分署近年推廣改良式獵具與黑熊生態服務給付計畫，此次即為部落主動通報的正面成果。針對事發地區，將與部落合作清查不明獵具，持續加強保育宣導，減少人熊衝突風險。

—— 林業保育署臺東分署 林孟怡



野灣團隊現場緊急醫療處置（攝影 / 林業保育署臺東分署 徐惠君）

## 05 / 06

林業保育署於知本國家森林遊樂區舉辦「島嶼構竹」新銳建築展，希望透過竹構築的設計與實作，連結竹工專家、建築設計者及一般大眾，為「傳承」、「創新」、和「行銷」臺灣竹文化與產業發展，讓臺灣竹構築文化從實驗走向實踐，從美學走向日常。

—— 林業保育署 蔡國書



第三空間（夜景 | 覆於結構外的透光布，在室內照明的掩映下顯影出竹環的結構，夜間遠望猶如發光的巨型瓢蟲。）（臺灣竹會提供）



在若亭（日景 | 人們在不同的角度可以看到涼亭微妙的曲線變化）（臺灣竹會提供）

## 05 / 14

東勢林業文化園區以「木作育成中心」為發展定位，為鼓勵在地學子投入木工藝創作，與臺中市東勢高工合作舉辦「設計類群學生作品展」，作品涵蓋家具設計、室內空間設計、建築等 96 位學生的創作成果，運用數位科技、傳統榫接等木材加工技術，結合永續理念及在地化元素等多元設計，展出逾百件作品。自 2022 年起林業保育署臺中分署與東勢高工合作舉辦設計類群學生作品展，至今已邁入第 4 屆，透過成果展的舉辦，讓學生作品走出校園，提供創作作品展示機會，激發學生專長與無限潛力。

—— 林業保育署臺中分署 尤丰君



「設計類群學生作品展」讓學生作品走出校園，提供展示機會。（攝影 / 林業保育署臺中分署 尤丰君）



設置簡易路標預防迷途（攝影 / 林業保育署花蓮分署 陳孟莉）

## 05 / 15 - 05 / 18

為提升著名百岳路線 - 馬博橫斷東出口中平林道路段的登山安全，減少山區垃圾，林業保育署花蓮分署攜手卓溪鄉登山協會、中華民國山難救助協會東區搜救委員會及森悅戶外有限公司前往中平林道，進行營地環境整理、簡易路標設置及危險地形的繩索架設等多項工作，包括在林道 35K 工寮至 19K 之間，每 500 公尺設置一枚菱形反光路牌，降低迷途風險；在林道 35K 營地清理約 40 公斤的廢棄物，使營地恢復潔淨的自然風貌。

—— 林業保育署花蓮分署 陳孟莉



臺灣黑熊族群擴張 (林業保育署提供)

05 / 16

舉辦「臺灣黑熊族群分布現況與保育政策」記者會，發布 2011 年以來的黑熊監測與發現紀錄點位的分析，說明黑熊族群相對豐度正逐年上升；不論是海拔 1,200 公尺以上的中高海拔山區，或是以下的低海拔地區，黑熊紀錄都持續增加，分布範圍也擴及更多鄉鎮。因應黑熊族群分布的擴張，人熊和平共處將是未來保育政策的首要目標。

—— 林業保育署 王佳琪

05 / 21

林業保育署舉辦「公私協力 - 解鎖自然資本新契機論壇」幫助企業瞭解如何在 ESG 轉型中的挑戰有所突破，並在 TCFD 與 TNFD 的發展脈絡中，促使企業的決策者、投資人、利害關係人等正視自然資源對企業經營所帶來的影響與挑戰。論壇亦協助企業之輔導與增能，鼓勵民間共同參與，進而達成淨零永續的國家政策與目標。

—— 林業保育署 林韋利



中華民國企業永續發展協會秘書長莫冬立、安永台灣氣候變遷、永續發展與 ESG 諮詢服務負責人曾于哲、光林智能國際研發中心生態照明研發經理彭耀祈、中租青年展望基金會秘書長李昆穎與林業保育署署長林華慶合照。  
(林業保育署提供)

05 / 22

林業保育署臺中分署自 2024 年起與臺中市野生動物保育學會、水利署第三河川分署合作，在大里旱溪排水生態池設置救援庇護池，從野外搶救約 70 隻巴氏銀鮡，經一年照養與自然繁殖，已成功回放超過 700 隻至烏溪原生棲地。2025 年國際生物多樣性日再啟動台積電中科廠區為域外庇護備援棲所，將旱溪庇護池救援與繁殖個體轉移至台積電備援庇護池，以多點式庇護策略穩定族群、拓展分布範圍。

—— 林業保育署臺中分署 張韋雅



林業保育署臺中分署、水利署第三河川分署、臺中市政府農業局、中  
科管理局等公私部門共同參與台積電中科廠區巴氏銀鮡庇護池啟用。  
(台灣積體電路製造股份有限公司提供)



台積電中科廠區生態池作為巴氏銀鮡域外庇護備援棲所  
(台灣積體電路製造股份有限公司提供)

## 05 / 22

林業保育署新竹分署於國際生物多樣性日當天，舉辦 2025 年「新竹分署石虎保育工作跨域平臺會議」，邀集苗栗、新竹縣政府、公路、水利、民間組織等 15 個單位及多位專家學者，針對竹苗淺山區域石虎族群關鍵節點之改善，及規劃保育軸帶以串聯石虎族群活動廊道等議題進行深度交流，並獲公路、水利等相關單位承諾納入友善石虎措施，為未來跨機關協力奠定基礎。

—— 林業保育署新竹分署 林葭瑛



會議邀請各權益關係方及專家學者與會，期待共同為石虎保育努力，打造更完整的生態廊道。  
(觀察家生態顧問有限公司提供)

## 05 / 27

為推動「國土生態綠網計畫」，林業保育署宜蘭分署致力強化蘭陽平原濕地棲地功能，近期於冬山鄉松樹門湧泉辦理「瀕危物種棲地營造環境教育活動」，因應優養化導致藻類過度繁生、壓抑石龍尾生長問題。宜蘭分署與冬山鄉公所、鹿埔村辦公室及鎮安宮合作，邀集在地居民、志工與同仁共 50 人，透過講解與實地清藻行動，改善湧泉生態，守護珍稀石龍尾生育環境，並深化社區保育參與意識。

—— 林業保育署宜蘭分署 張詠嫻



冬山鄉松樹門湧泉瀕危物種棲地營造活動參與者大合照  
(攝影 / 林業保育署宜蘭分署 謝懷心)

## 05 / 29

為持續推動國產竹材的創新應用與美學發展，林業保育署屏東分署延續「山・村共生 Living with Nature」展覽理念，繼於林後四林平地森林園區生態池區域設置《納》作品之後，接續與藝術家游文富合作，以國產桂竹、刺竹為材料，於林後四林打造第二座大型竹構藝術作品《穿越》，並於 29 日舉行啟用儀式，由來義鄉鄉長莊景星等單位代表共同見證下正式啟用。

—— 林業保育署屏東分署 蔡耀文



啟用活動參與貴賓於作品前合影  
(攝影 / 林業保育署屏東分署 蔡耀文)



# 台灣林業

Taiwan Forestry Journal



## 約稿說明

- 一、《台灣林業》雙月刊（以下簡稱本刊），每年雙月出版，計發行一卷六期，以報導國內外林業，範疇包含林業政策、森林經營、育林、林產、水土保持、森林遊樂及自然生態保育等研究領域，並傳播中外有關林業之新知識、新技術，以發展林業為宗旨。凡與本刊宗旨有關之論著、譯述、報導、商業機會或與林業經營相關，且能展現森林之美的封面、封底及幻燈片等稿件，均歡迎賜稿。
- 二、稿件務請書明標題、各作者之姓名、服務機關及職銜、聯絡電話及地址或電子郵件帳號等，並請註明通訊作者；如為譯文，請註明原出處並附原文影本及著編輯部作人授權翻譯書，以利審查。
- 三、惠稿文字請務求清晰明瞭，文字以 4,500 字為原則；常見單位、符號寫法請一致性；動植物學名請用斜體字或正楷拉丁文下加橫線標示；圖表、照片請儘量使用原件以求製版清晰，並應加註圖表說明及作者或出處來源。
- 四、來稿文件如係電腦打字，請檢附電子檔案一併投稿（或以電子郵件方式傳送至本刊編輯部，專屬帳號為 [tfj@forest.gov.tw](mailto:tfj@forest.gov.tw)）。文章如有電子圖片，解析度需在 300dpi (1,280×960pixel) 以上，圖片大小請大於 10cm 見方，並請勿將圖片附在 word 文件以及 PowerPoint 檔案格式裡。來稿（含電子檔、照片、幻燈片等）經本刊接受後恕不退還，請作者自行留底。
- 五、本刊有刪改權，發表時如用筆名或不願刪改者，請於稿內註明，文責自負。稿件經本刊接受並排版後，將送請通訊作者親校一次。稿件一經刊載，本刊將致贈稿酬及當期期刊 1 冊。
- 六、本刊不接受一稿數投。來稿如獲審查通過，本刊將請作者簽署「著作授權同意書」，作者須同意非專屬授權本刊以紙本或數位方式出版，並授權本刊得再授權國家圖書館『遠距圖書服務系統』或其他資料庫業者納入資料庫中提供服務。
- 七、本刊稿酬支給標準：撰稿費每千字 1,000 元；譯稿每千字 800 元，表格依大、中、小分 180、120、80 元，文章內之照片每張 300 元，圖每張 60 元；封面照片每張 800 元、封底照片每張 500 元、封面故事每則 800 元。

## 投稿方式

台灣林業編輯部 e-mail: [tfj@forest.gov.tw](mailto:tfj@forest.gov.tw)





圖片提供 公共電視

## 《還河復野種瓜坑溪 | 減法工程修復野溪生態》

臺灣有許多自然野溪，一旦疏忽保育，工程開發常造成生態危害。不過，在南投縣國姓鄉種瓜坑溪，有一群人以溪流復野為名，希望打造一片森林，創造自然共生的環境，並打算拆除水泥構造物，進行生態復育工程。

最後，在政府協助下建立溝通平臺，讓鄰近居民瞭解工程理念，種瓜坑溪成功拆除了200多公尺的護岸，改建成壘石緩坡，挖除河道內的固床工，用拋石營造自然河道，將被破壞的野溪，恢復自然。



影片連結

台灣林業  
農業林業及自然保育  
Taiwan  
Forestry  
Journal



9770255581005

ISSN 02555816  
GPN 2011200018  
定價 NT\$160元