

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

中興工程 167

SINOTECH ENGINEERING

1983 年 10 月 創刊 | 2025 年 04 月 出刊 | ISSN 0257-554X



封面故事 · 中興工程顧問社 新任董事長李俊毅

提升工程地質鑽探品質之初步探討

臺灣沿岸藍碳碳匯與減量的機會與挑戰

孔內電井測訊號推估模式建立 - 以濁水溪沖積扇為例



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

工程不只源於需求 更在於生活價值的實現



財團法人中興工程顧問社係以提昇我國工程相關技術水準為宗旨之研發機構，並經行政院國科會評鑑為「科技研發機構」土木工程領域之優等單位。

中興工程顧問

主要研發領域：水利與電力工程／大地工程／環境工程／資訊應用／結構與地震工程／工程材料／工程管理／交通運輸



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

臺北市內湖區新湖二路280號 Tel:886-2-87919198 / Fax:886-2-87912198
<http://www.sinotech.org.tw> / E-mail:sinotech@sinotech.org.tw

誠信 創新 品質 服務

中興制振・智慧防震

防震設備產品

中興社自主研發「國產液流黏滯阻尼器」及各種防震設備，
以提供優質臺灣製造之產品選擇及技術服務！
從零件加工至組裝品管測試皆採用臺灣在地化生產，
並通過認證合格實驗室的多項性能試驗，以確保產品品質與消費者權益。



液流黏滯阻尼器(FVD)
FLUID VISCOUS DAMPER



位移型消能斜撐(SDB)
STEEL DAMPING BRACE



地震力分散裝置(STU)
SHOCK TRANSMISSION UNIT



效能監測系統(EMS)
EFFICIENCY MONITORING SYSTEM



鋼板制震壁(SDW)
STEEL DAMPING WALL



防震力學試驗室(SML)
SINOTECH MECHANICAL LABORATORY
FOR VIBRATION

防震制振技術研究中心

專業服務

防震設備研製

新型消能元件研發
設備隔震技術研發
消能元件性能試驗

振控設計技服

防震系統規劃設計
高樓防震/減振工程
設施隔震設計規劃

國防減振研製

高效能減振機械研發客製
國防減振測試方法開發

監測系統技服

工程智慧監測系統
防震效能監測系統

聯絡資訊

A 114065 臺北市內湖區新湖二路280號

W www.sinotech.org.tw

T (02)8791-9198#225 F (02)8792-3070

E ast-ctr@sinotech.org.tw

誠信・創新・品質・服務



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



防震制振

廣告

防災科技研究中心 專業服務

重要實績

- ✓ 農村水保署 土石流數值模擬與災害風險評估
- ✓ 離岸風電 地震數值模擬及地震危害分析
- ✓ 公路局 公路邊坡科技分析管理技術
- ✓ 新加坡 AI於天災風險之廣域資料分析

針對各項天然災害之防災技術，進行研究發展、技術服務、諮詢業務，跨領域整合地質、地工、地震、水保、水利、地球物理、地理資訊、遙測資訊等專業技術，提供全方位具體之國土保育與防災規劃，以確保公共工程之永續經營。

聯絡資訊

114065臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：dptrc-ctr@sinotech.org.tw
<https://dptrc.sinotech.org.tw>

誠信 創新 品質 服務
財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



重要實績 專業服務

蓄水庫安全檢監測及風險管理
隧道安全維護管理系統建置
離岸風場地工試驗與詮釋
隧道鄰近地下水 資源影響評估
二氧化碳封存規劃、監測與風險管理

大地工程研究中心

配合國家永續政策，以傳統地工技術為基礎，針對關鍵基礎設施營運安全、環境保育與綠能產業等相關地工技術進行研發，結合理論與實務，提供高品質之技術服務。

所屬大地工程試驗室為TAF認可，國內目前地工試驗認證項目最完整之試驗室。

聯絡資訊

114065台北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail: gerc-ctr@sinotech.org.tw
<https://gerc.sinotech.org.tw>

誠信 創新 品質 服務



財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





部門重要實績

鐵道系統營運規劃、營運機構安全管理系統導入
臺鐵第四代票務系統開發、台灣高鐵營運規劃決策輔助系統
鐵公路業者班表及票務分析

長庚醫療財團法人建物耐震評估檢查申報
明志科技大學結構安全監測系統建立
南科管理局振動干擾分析改善

地理資訊系統於國內外之土木、水利、環保、
道路、城市設施維護、風力發電、工業區等領域之應用



土木水利及 軌道運輸研究中心

鐵道系統之運轉及安全管理整合技術服務擊劃
公共運輸營運數據整合分析
耐震評估補強、結構安全監測、振動分析防治、耐久性評估
地表水（河川、水庫、河口等）水理、污染質及泥砂傳輸
模擬分析
工程專業領域電子政務、地理資訊、手持式巡查等資訊系統
之研發與開發

聯絡資訊

地 址：臺北市內湖區新湖二路280號
電 話：(02) 8791-9198
E-mail: chrc-ctr@sinotech.org.tw



誠信 · 創新 · 品質 · 服務
財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



- 創刊日期 / 中華民國 72 年 10 月
 - 行政院新聞局登記局版臺誌字
第 03793 號
 - 中華郵政登記執照北臺字第 1023 號
 - 發行人 / 李俊毅
 - 編審小組
 - 委員 / 張國揚 嚴世傑 蔡文豪
孫世勤 周頌安 冀樹勇
鍾志成
 - 召集人 / 游麗慧
 - ISSN / 0257-554X
 - 出版者 / 財團法人中興工程顧問社
 - 社址 / 114065 臺北市內湖區新湖二路 280 號
 - 電話 / (02) 8791-9198
 - 傳真 / (02) 8791-2198
 - 電子信箱 / adm-dpt@sinotech.org.tw
 - 網址 / www.sinotech.org.tw
 - 印刷 / 鴻友印前數位整合股份有限公司
- ※ 本刊圖文未經同意不得轉載 ※

徵 稿 簡 則

- 一、本刊歡迎有關水利、電力、地工、環工、都市計畫、交通運輸、生態工法及其他土木工程之論著、譯述、專題研究、新技、新知及報導等學術性文稿，請投稿至「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄，來稿請加註中、英文篇名、摘要及關鍵字。
 - 二、有關介紹工程之遊記、工程界人物軼事等報導性文稿之文體應力求輕鬆活潑，請投稿至「工程窗外」專欄，惟此專欄僅接受中興工程集團之現職或退休同仁投稿。
 - 三、來稿請附「中興工程季刊投稿人暨稿件資料表」並連同文稿電子檔(.doc) E-mail 至 adm-dpt@sinotech.org.tw，撰寫時請參考「文稿格式範本」及「英文摘要範本」（上述表單及範本請至本社網站 www.sinotech.org.tw 下載，或洽本社行政處提供）。
 - 四、「工程窗外」文稿以 5,000 字為限；「工程技術」及「案例／計畫報導」文稿以排印後 8 頁（約 8,500 字）為原則。
 - 五、本刊所有度量衡單位請採用 SI 國際單位。
 - 六、來稿文責由作者自負，請勿侵害他人智慧財產權或違反其他法律規定。來稿如引用他人論文或著述，務請註明其出處，並儘可能依序將原作者姓名、出版年份（加小括弧）、引用文獻名稱、書刊名稱、卷號、期別、頁次等在參考文獻中註明。所附圖表或照片等須為作者自行創作，或取得原創者授權刊登使用。
 - 七、本刊稿件之審查係由編審小組送請學者專家評審，審查通過後方具刊登資格，惟本刊編審小組保有最終刊登與否之權力。
 - 八、來稿經刊載後將發給稿酬，其著作財產權即為本社所有；本刊對來稿有增刪權。不用稿件，恕不退還。
 - 九、本刊每年刊印四期，逢一、四、七、十月出版，如蒙來稿請於出版前六個月送交本社行政處中興工程季刊編審小組。
- 註：本刊經行政院公共工程委員會名稱為水利工程、土木工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、機械工程、冷凍空調工程、電機工程、電子工程、資訊、工業工程、水土保持、應用地質、交通工程等科技師執業執照換發辦法內之「國內外專業期刊」，歡迎踴躍投稿，兼可取得換發執業執照所需積分。作者只需於申請技師訓練積分審查時附上「中興工程」季刊目錄及文稿（前開工程類相關文稿）影印本作為證明，經該會審核確認後，每篇文稿即可獲得六十分，作者兩人以上者，平均分配得分。

自第 166 期起，本刊「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄僅印製中英文摘要。
掃描 QR Code 可連結至電子閱覽系統瀏覽及下載全文。



中興工程第 167 期目錄

封面故事

中興工程顧問社新任董事長李俊毅.....中興工程編審小組..... A1

工程技術

提升工程地質鑽探品質之初步探討.....丁 禕・陳勉銘・許鈞傑・陸挽中.....B1
輕質混凝土於橋梁工程應用.....連冠華・陳柏佑・林舜元・詹文宗・羅財怡.....C1
山區公路隧道水文地質特徵與出水紀實數據之探討.....周柏儀・辜炳寰..... D1
RRR 加勁路工構造物設計方法探討與案例介紹.....蔣 榮・朱蕙蘭・陳致宇・江政恩.....E1
臺灣環境技術查證制度的發展與推動.....江宗諺・郭霈宸.....F1
梨山地區 G1 排水廊道與 W6 集水井調查及評估作業.....
.....林伯勳・賴承農・王宇彤・許振崑・陳俊愷・陳鶴勳・吳敏富・詹坤哲..... G1
城市軌道運輸管理／指揮／控制系統（UGTMS）IEC62290-1 規範導讀.....
.....林義昌・王鈺元・邱偉銘・廖正堅..... H1
地震後之土石流潛勢溪流評估劃設—以花蓮 0403 地震為例.....
.....簡榮興・曹鼎志・陳振宇・黃效禹・游雅筑..... I1
捷運三鶯線主線特殊軌施工作業程序研討.....
.....李政安・蔡慶賢・魏德輝・林俊彥・潘彤健..... J1

案例／計畫報導

核一廠三維地質模型建置.....莊松棧・林英傑..... K1
臺灣沿岸藍碳匯與減量的機會與挑戰.....林幸助・郭霈宸・朱敬平・陳冠宇・呂佳宜.....L1
台北捷運萬大—中和—樹林線（第 2 期工程）CQ891 標捷運疊式高架橋於轉彎段路口處
墩柱配置考量.....嚴和熙・周易陵・陳則銘.....M1

研發成果介紹

孔內電井測訊號推估模式建立—以濁水溪沖積扇為例.....
.....蔡文瀚・黃全謐・陳耐錦・柯建仲・梁嘉宏・賴慈華..... N1



中興工程顧問社 新任董事長李俊毅

中興工程編審小組

主權 AI× 數位轉型，打造工程顧問新標竿

李俊毅董事長來自公共行政領域，過去在國會期間參與過多項基礎建設、公共工程及永續發

展相關法案的推動，對臺灣工程建設相關產業的需求與發展有著深刻了解。憑藉過去在公共行政經驗與產業協調能力，李董事長將帶領中興工程集團成為臺灣工程顧問產業主權 AI 領航者，積極推動智慧工程、數位轉型及國際合作。



財團法人中興工程顧問社董事會於 114 年 3 月 6 日推選李俊毅先生為董事長，隨後於經濟部陳處長素枝監交下，完成卸任、新任董事長交接程序。

財團法人中興工程顧問社（以下簡稱中興社）、中興工程顧問股份有限公司（以下簡稱中

興工程公司）及其子公司，協助公民營機構推動臺灣重大基礎建設至今已超過 55 年，中興社與中



興工程公司所組成的中興工程集團，不僅是臺灣工程顧問行業領航者，更在國內外各大建設計畫中發揮關鍵作用。李董事長指出，今日的中興工程是所有同仁共同努力的成果，從基層到治理層的每位同仁，都是集團發展的重要貢獻者，大家都應以感恩的心看待今日的成果。

李董事長坦言，自己期望中興工程能成為國家級的第一工程團隊，中興工程的成立與存在，是以回應國家的需求為首要任務，因此必須持續應對快速變化的外部環境與公共期待。例如被 CNN 列為 2025 年全球十一大工程之一的淡江大橋，即是因應大臺北生活圈的公共需求所推動的重大工程，其設計與施工方式特殊，與傳統橋梁截然不同。國家的建設需求與時俱進，因此中興工程集團必須隨時準備配合國家發展政策、精進工程技術以面對各種未來新挑戰。

工程顧問升級，迎接智慧永續趨勢

工程顧問的服務範圍非常大且複雜，涵蓋工程可行性研究、規劃、設計、監造到營運階段，每個環節都需要許多專業技術人員密切合作，而全球工程建設發展趨勢正朝向智慧化與永續化邁進。

李董事長認為，臺灣的工程顧問產業需要升級，以提高競爭力。中興工程集團多年來已經在國內外累積了大量工程實績，已擁有豐富的工程技術知識、資料庫、分析模擬程式與專業人力，這些資產將可為發展臺灣工程顧問行業的主權 AI，提供關鍵推力。

近幾年，中興工程公司致力於流程優化與數位轉型，應用建築資訊建模（BIM）將設計圖立體化，整合材料規格、成本和施工計畫等資訊，讓工程專案的所有參與者，如建築師、結構工程師、機電工程師…等，可以隨時接收最新資訊，

提高溝通效率，減少出錯機率。此外，亦將新興資訊科技導入設計及監造查驗，建立起全套無紙化數位查驗平台，並結合工程管理資訊系統 PMIS 應用，將工地現場數位查驗推廣至所有監造業務，較傳統紙本查驗節省 43% 之文書作業時間，提升監造品質，獲得各界肯定。

中興社則將創新技術作為核心發展動力，推動數位轉型、淨零轉型，將資訊科技應用在環境、大地、深地質、防災、軌道運輸和結構耐震等領域，發展碳封存、地熱發電、軌道安全、資源循環利用等前瞻性技術的研發，並與政府機關如水利署、國土署、環境部、交通部等、各縣市政府、國營事業及民間企業攜手合作，為政策的推動和技術的發展提供強有力的協助。

展望未來，面對快速變化的市場需求，AI 科技的發展將顯著改變工程顧問產業的競爭力。中興工程集團將積極推動智慧工程技術應用、加速 AI 技術的導入，從而提高工程顧問服務的精準度和效率；並同時深化與政府、學術機構及民間企業的合作，增進產業鏈的整合，並專注於專業工程人才的培訓與技術交流，確保臺灣工程顧問產業能持續吸引優秀人才投入國家建設。

產業升級新動能：AI 2.0 與主權 AI

李董事長認為，放眼全世界，人工智慧（AI）不再只是科技產業的話題，而是深刻改變每一個產業核心運作的驅動力。尤其在近幾年，生成式 AI 的風潮，逐漸改變各個產業，被稱為第四次工業革命或是 AI 2.0。為因應國家的發展需求，工程業也必須走向智慧化。他以黑莓機在市場上的興衰案例舉例，如果組織內部抗拒新技術及挑戰，則最終可能遭到市場淘汰，因此中興工程必須積極面對 AI 轉型。



談到智慧化與 AI 時代的來臨，李董事長認為 AI 已成為全球各個產業轉型的關鍵力量，無論是企業治理或是個人生活細節，AI 都迅速融入其中。他表示，AI 是一個典範革命，早期的工程師都是慢慢畫設計圖、算數量、換算公式，未來的工程師則是會帶著 AI 助理。他以個人經驗舉例，家人喜歡他煮的西班牙燉飯，而他的燉飯做法就是向 AI 學來的，說明 AI 不僅限於科技或產業，而是全面融入人們日常的工具。

AI 2.0 所帶來的變革，包括生成式 AI、自動化決策、資料驅動治理，正加速滲透到交通、能源、建築、金融等各個層面。AI 2.0 技術的導入將可能提升工程顧問的作業效率、降低成本和創造價值，甚至升級新的服務模式。然而，AI 技術的成功應用並非一蹴可幾，需要面對大量資料及模型管理、演算法及工具、整合性系統、法規、文化…等挑戰。各國政府無不加緊佈局，將 AI 視為關鍵基礎建設之一。從歐盟的「AI 法案」、日本的「AI 戰略會議」到美國的「國家 AI 計畫」，全球正走向一場高層次、全面性的 AI 技術競賽，主要國家也紛紛建構起自己的主權 AI。今年初，賴總統在中國 DeepSeek 問世後亦宣示：臺灣需要

加快腳步發展我們的主權 AI 技術，針對臺灣特色資料做出統整，並擴大各領域 AI 應用服務，強化資料治理架構，與民主同盟國家緊密鏈結。



針對 AI 應用可能引發的資安與治理風險，李董事長認為，應建立主權 AI，而非商業開放式的 AI，使工程顧問產業的 AI 應用符合國家法律與資訊安全政策，避免機敏性資料受到潛在的惡意攻擊。主權 AI (Sovereign AI) 是指由國家或地區自主開發、控制和管理的人工智慧技術與基礎設施，以確保 AI 發展符合本國的戰略利益、安全需求及經濟發展目標。這一概念強調對 AI 技術的主權，避免過度依賴外國技術或供應鏈，並確保 AI 的資料、模型、運算方法和應用符合本地法律與價值觀。

李董事長表示，工程就是以人類的力量來克服大自然中的不利或是危險來解決人類的需求。而在這個過程中，基本的物理原理是不變的，但工程的材料和方法會與時俱進，並隨著科技發展，變化會越來越快。在人類需求、材料及方法的快速變動下，雖然 AI 無法執行工程，但它具有工具價值，可以協助進行工程優化，對執行工程有很



大的助益，因此我們應該積極引入 AI、善用並發揮其長處。而導入運用 AI 最重要的關鍵仍然是「人」，所以要如何引進人才，是我們要重視的最根本議題。

得人才得天下：治理心態與制度的調整

「得人才得天下」，李董事長多次強調，治理群的心態要改變，要虛心地打開心胸、打開整個集團的文化，並接受人才、瞭解年輕世代的需求。

他坦言，組織內部難免會有忌諱人才的心理，導致不敢任用能力更強的人才，但這是必須調整的治理心態，否則整個集團將如同黑莓機般遭到淘汰。因此我們應該積極引進優秀人才，讓新進同仁有充分發揮的舞台，為集團營造更良好的發展環境。

他也提到，不應期待學校為產業提供完全符合需求的人才，企業不能將培養人才的責任全推給學界，而是應提供機會，並由具有專業經驗的資深前輩帶領，這才是人才培訓的方式。



作為先行者，穩健踏上轉型之路

談到未來規劃與期許時，李董事長認為，中興工程目前的定位，就是先行者。轉型雖然存在一定風險，但提早準備、累積更多經驗，才能在未來激烈的市場競爭中具備優勢，這將有利於集團未來三十年到五十年的發展。

李董事長立志帶領中興工程集團做好心理與能力上的準備，並落實主權 AI 的建立，在智慧工程、數位轉型和國際合作等領域，為臺灣的工程顧問產業開創全新的局面，維持中興工程集團在產業內的領導地位，並拓展到國際市場，成為亞洲具代表性的工程顧問品牌。



李俊毅

中興工程顧問社董事長

學歷：

國立政治大學公共行政學系畢業

國立政治大學公共行政研究所碩士畢業

經歷：

當選第三屆、第四屆、第五屆、第六屆、第七屆立法委員

台南長榮大學、馬偕護專講師

民進黨中央黨部第 14 任副秘書長

蔡英文總統候選人特別助理

民進黨中央黨部第 16 任副秘書長

臺灣中小企業聯合輔導基金會董事長立法院顧問



提升工程地質鑽探品質之初步探討

Preliminary Study on Improving the Quality of Engineering Geological Drilling

丁禕 I Ting¹ 陳勉銘 Mien-Min Chen² 許鈞傑 Chun-Chieh Hsu³
陸挽中 Wan-Chung Lu⁴

摘 要

工程地質調查中，地質鑽探係瞭解地下地質資訊之直接且重要之方式，可由鑽探所獲得之岩心辨釋，瞭解地下地質材料之組成與分佈、土岩性質及地下構造等訊息。在地質鑽孔進行調查、試驗與觀測，可瞭解地下水位、地下水分層分布狀況及其水位變化，以及瞭解地中變位滑動面位置與滑動速率。而提取之岩心，經室內土壤與岩石試驗，可瞭解地質材料之物理及力學特性，得到相關參數，據以建立工程地質模型。我國多項法規，規定土地開發或工程建設前，須辦理基地地質調查及地質鑽探，然業界為節省成本與時間，常將本工作簡單帶過，僅滿足契約工項數量要求，缺乏對基地地質提出整體深入評估，致屢有工程問題。地質鑽探屬專業工作，然各廠商水準不一，無同業公會，商業司營業登記項目無「地質鑽探」，亦無法規直接管理，僅由各自督導人員監督管理。由長遠角度觀之，如在地質調查階段充分提升地質鑽探品質，可有效降低後續工程可能遭遇之風險，對於工程之金錢成本、時間以及安全性，皆有正面助益。本文就下列面向提出相關探討或建議，希冀有助提升工程地質鑽探品質：鑽探制度、鑽探紀實與日報表管理、鑽探配合之工作管理、岩心辨釋、地質鑽探報告品質管理等。

關鍵字：工程地質、地質鑽探、岩心辨釋、營業登記項目

Abstract

In engineering geological investigations, geological drilling is a direct and crucial method for understanding subsurface geological information. Through the interpretation of core samples obtained from drilling, we can understand the composition and distribution of underground geological materials, soil and rock properties, and subsurface structures. Additionally, by conducting investigations, tests, and observations in geological boreholes, we can understand groundwater levels, the distribution of groundwater layers, and their fluctuations, as well as identify the positions and rates of subsurface displacement and sliding surfaces. The extracted core samples can undergo soil and rock tests in the laboratory to determine the physical and mechanical properties of geological materials, obtaining relevant parameters to establish an engineering geological model.

From a long-term perspective, adequately improving the quality of geological drilling during the geological survey stage can effectively reduce potential risks in subsequent engineering projects, benefiting the project's financial cost, time, and safety. This paper discusses and suggests measures to improve the quality of engineering geological drilling, focusing on aspects such as the drilling system, drilling documentation and daily report management, work management in coordination with drilling, core sample interpretation, and quality management of geological drilling reports.

Keywords: Engineering geology, Geological drilling, Core sample interpretation, Business registration items

¹ 中興工程顧問社大地工程研究中心副研究員 Senior Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 經濟部地質調查及礦業管理中心組長 Division Head, Geological Survey and Mining Management Agency, Ministry of Economic Affairs

³ 經濟部地質調查及礦業管理中心技正 Technical Specialist, Geological Survey and Mining Management Agency, Ministry of Economic Affairs

⁴ 經濟部地質調查及礦業管理中心簡任技正 Senior Technical Specialist, Geological Survey and Mining Management Agency, Ministry of Economic Affairs



一、前言

臺灣是地質條件與地形變化皆高度複雜之島嶼，其上人口稠密，高度社會發展使土地開發利用成為重要議題。一方面需瞭解基地是否具有潛在地質災害風險，一方面也需瞭解土地開發利用行為，對環境所造成之衝擊。因此，我國土地開發利用相關法規中，多要求在開發基地及鄰近區域進行地質調查，並將地質調查結果作為土地開發利用或是工程建設的規劃設計參考之重要依據。

地質調查的範疇包括地表地質調查、地球物理探查、地質鑽探，以及地表與地下監測等工作。其中，地質鑽探是瞭解地下地質資訊最直接之重要方式，大部分土地開發利用相關法規中，對於地質調查或地基調查的規範，多有要求須進行地質鑽探，然而各法規對地質鑽探之要求，依其法規屬性與目的，各有不同規定，缺乏對地質鑽探規範的一致性與完整性。同時，對於「地質調查」與「地質鑽探」之主從關係，也缺乏清楚定義，故業界常見一現象，依法所應辦理之地質調查報告中，內容以地質鑽探、相關孔內試驗與監測、岩心取樣試驗所得到之相關參數等結果為主，缺乏地表地質調查之相關資訊。事實上，地質鑽探雖然可以瞭解特定點位的地下地質資訊，但整體而言仍須整合地表地質調查與其他調查成果，才能對該調查範圍做出合理評估。

地質鑽探無疑在土地開發與工程建設的工程地質調查裡，扮演舉足輕重的角色，但國內迄今仍無管理地質鑽探的官方主管機關，民間亦無相關工會組織，管理方面仍只能靠契約或是業主與廠商之間的合作模式來約束，因此容易有鑽探品質良莠不齊之狀況。然而，在許多大地工程與土木工程的規劃設計裡，又必須依靠地質鑽探所產出的相關參數，彼此之間牽一髮而動全身。地質鑽探既重要卻又缺乏具體管理的矛盾狀態，多年

來一直存在。

本文嘗試在下列面向提出相關建議，包括鑽探制度討論、鑽探紀實與日報表管理、鑽探配合之工作管理（包括鑽探取樣、孔內試驗與監測等）、岩心辨釋、地質柱狀圖建立、地質鑽探報告品質管理等。

二、國內「地質鑽探」制度之探討

（一）「地質鑽探」營業登記之探討

儘管國內大地工程、土木工程、水土保持與建築業相關法規，普遍要求須進行地質鑽探工作，然而弔詭的是，我國迄今仍無「地質鑽探業」這項行業（依據經濟部商業司 2024 年資料）。雖然平時業界普遍通稱為「鑽探公司」，然實際上各家業者所登記之營業項目常見為 I101 開頭（技術顧問業）、E1 開頭（營造業）、EZ 開頭（其他工程業）等，例如 I10106 工程技術顧問業、E10306 營建鑽探工程專業營造業以及 EZ99990 其他工程業等。

上述營業登記項目中，「E10306 營建鑽探工程專業營造業」雖然有執行地質鑽探、岩石土壤取樣工作、水位觀測儀器埋設等工作，但本身必須是營造業者方可登記。許多「鑽探公司」僅進行地質鑽探、岩石土壤取樣工作、水位觀測儀器埋設及各種現地試驗工作，與營造業無關，因此須另外登記其他項目。

此外，經查許多「鑽探公司」在營業登記項目中，同時登記 EZ07010 鑽孔工程業。然 EZ07010 鑽孔工程業，其意義係指於壁面或管面以機具打孔，再進行材料切割與安裝工作，鑽孔深度通常不超過十數公分，鑽孔直徑多僅數公分左右，常見於裝潢或修繕等室內裝修業與相關營造業，與地質鑽探為性質截然不同之工作。

法規制度上沒有「地質鑽探業」，目前現行



制度亦無同業公會。歷史上曾經於民國 80 年前後由資深地質專家申請成立「中華民國地質鑽探試驗工程技術同業公會」，提出鑽探業管理規則草案初稿（謝敬義，1991），並將業務範圍明訂為「從事於工程地質鑽探、鑿井取水以及與鑽探有關之調查試驗等業務之公司或商號」。然因法規種種限制，此公會惜未正式成立，後續亦無重新申請，使地質鑽探業無公會之狀態，持續至今。

（二）「地質鑽探」人為部分影響之探討

執行地質鑽探工作之主力，係現地鑽探師傅與工班人員，其經驗與技術，直接影響地質鑽探工作品質。包括地質鑽探之取心品質（如鋼索取樣技術、提取率、岩心完整度）（侯與黃，1995）、鑽孔過程（如避免發生坍孔、在破碎地層中遭遇卡鑽或湧水之處理、未固結地層之鑽探技術）（蘇與賴，1995）、後續建置工作（如安裝傾斜觀測管或地下水位觀測設備、擴孔設置水井等），不但影響工作成果品質優劣，也會影響後續岩心判釋、岩心取樣及室內分析等成果之品質。

對於地質鑽探的營業機具設備、合約內容、價格標準、技術人員管理、品質管理與品質保證等，仍無對應之相關法規。然而目前業界現況，鑽探管理內容由各契約自行訂定，鑽探師傅與工班人員承擔地質鑽探品質最直接的主要責任，其他如工作之環境安全、保險與保障，仍有許多不足之處，反映了仍需要進一步之法規推動，促使此類工作者，有更充分之保障，並提升此類產業之整體環境與成果品質（劉武志，1995a, 1995b；謝敬義，1990）。

三、鑽探基本資料與鑽探日報表管理 討論

（一）鑽探基本資料管理

鑽探基本資料包括計畫內容與鑽探點位資料。計畫內容包括計畫名稱、執行單位（或委託單位）、計畫主持人、計畫目的、計畫起始與完成日期、計畫區域範圍位置、計畫圖資等。鑽探點位資料包括地質鑽探點位編號、鑽探工程名稱、鑽探公司名稱、鑽探點位地點／位置／高程／座標與深度等。

此兩項內容中，品質管理較易出現落差之項目是鑽探點位資料。業界之報告常見狀況有：1. 鑽探點位之座標系統錯置，TWD 67 與 97 誤植。2. 未妥善處理或說明座標點位與高程值之誤差。關於第 1 點，建議將座標數值與地圖相互比對，可檢覈座標系統正確與否。關於第 2 點，凡測量必有誤差，可容許之誤差範圍須視出圖比例尺與精度而定，建議註明清楚。此外，點位座標須使用專業定位儀器，不得僅靠肉眼推估，避免造成過大誤差（謝敬義，1995）。

（二）鑽探日報表管理

關於鑽探日報表，大多數契約常見有類似內容：鑽探日報表當日紀錄到任何疑似有異之狀況，鑽探領班應立即通報鑽探公司及委託單位，及時採取因應措施等等。在業界案例中，確實有許多工程施工事故在事件發生後，追溯當初鑽探日報表，發現紀錄中早已可見端倪。鑽探日報表作為釐清事件細節的重要事證，其重要性不在話下。

每日都應如實將各鑽探孔位之資訊，記錄在鑽探日報表中，包括日期、天氣、開工前地下水位、完工後地下水位、鑽孔位態、鑽探方法、沖洗介質、鑽串規格、岩心回收率、鑽進速率、標準貫入、取樣紀錄、迴水情況、鑽進速率、各深度地層紀錄、鑽孔水位、鑽探過程之漏水或湧水狀況……等。

然而，實務上鑽探紀錄表的品質管理，缺乏管理平台與統一標準，端看契約是否訂定相關內



容、業主方現地督導人員、以及執行方鑽探領班之管理情況，人為影響成份大。業界常見鑽探日報表累積多日，再一次填畢之現象。此種作法若遇到任何地質影響風險時，疏漏事件徵兆，來不及在第一時間進行通報與應變，恐釀工安事件。

因此，鑽探日報表的每日紀實，確實非常重要，在此提出幾點針對鑽探日報表的管理建議：

第一：地質鑽探工作進行期間，每日如實填寫鑽探日報表，紀錄每日進度。鑽探領班、督導者或稽核者皆應簽名。督導者或稽核者如果不在現地，建議至少建立線上簽核管理機制，目的是若有異常狀況，可即時通報與針對狀況有因應作為。

第二：鑽探日報表所列項目，若實際鑽探工作中無此項目，應填寫「無」或註記說明，不應空白。例如鑽探期間皆無水，則水位欄應填「無」，表示無水。若空白，代表「應填而未填」。亦不可填寫「0」取代「無」。因數字有具體意義，0表示水位高度與地表高度相同。

第三：鑽孔水位部分，原則上須每日紀錄開工前與結束後之水位深度（以孔口為0），以瞭解水位變化狀況。需注意鑽探期間所紀錄之水位，因受到沖洗介質與鑽探行為影響，可能非真正地下水位。若該工程須瞭解地下水分層與行為，通常契約會明訂後續地下水觀測工作事項。

第四：透過鑽探日報表可初步瞭解地下水層分布狀況。若記錄到原本孔內有水，鑽到某深度開始漏水；或是孔內本來無水，鑽到某深度開始湧水，可根據紀錄推斷出含水層深度，以及是否有多個含水層。因此地下水之紀錄有確實詳記之必要。

四、鑽探配合之工作管理

鑽探配合之工作管理，主要常見項目包括鑽

探取樣、孔內試驗、孔內觀測與室內試驗取樣。這些項目本身皆有各別之專項規範與細節，本文僅就鑽探與配合之部分進行討論。

（一）鑽探取樣

地質鑽探主要配合之取樣工作為 SPT（標準貫入試驗）劈管取樣。SPT 工作程序以及劈管取樣器規格，須遵照 ASTM D1586/D1586M-18e1（2022）標準規範，本文不多贅述。

值得探討的是，實際現地工作中，如何管理 SPT 與劈管取樣品質？以目前一般工程地質探查現況來說，SPT 與劈管取樣雖然是常見基本工作，但工作品質常隨現地管理差異而落差極大。以經濟部所公告之「土壤液化調查與風險評估計畫執行作業要點」（2022）之附件一「鑽探工程一般施工規範」與附件二「標準貫入試驗（SPT）鑽桿打擊能量檢測作業準則」為例，因 SPT-N 值係評估土壤液化潛勢重要參數，故對執行細節有細膩之規範，契約也多見要求 SPT 過程需全程錄影。然而劈管樣本之保存與包裝，並不在全程錄影之列。

劈管樣本的包裝與運送，建議採多層緩震材料包裹，避免運送過程中擾動或水份蒸發。運送的期程也應清楚指定，避免時間拖太久影響到物理性質（含水量等）。若樣本送達指定處所時，已失原狀，則視契約內容，依契約指定方式（如新鑽孔）達成樣本數量。

（二）孔內試驗

地質鑽探所配合之孔內試驗，為鑽孔施鑽過程中或完鑽後，在裸孔狀態進行之試驗，例如呂琴試驗即在施鑽過程中配合施作。裸孔最大風險係坍孔，不同地質條件之鑽孔，坍孔風險不同，鑽探配合方式也應有所不同。未固結或膠結不佳地質材料之坍孔風險高，鑽探完畢宜盡快執行孔



內試驗。

變質岩區與火山熔岩區，相較於沉積岩區可能坍孔風險較小，然而也需視該地區破碎狀況、弱面（節理／劈理／裂隙）發育狀況，進一步評估。注意岩心破碎等區段之井壁處理，沖洗介質如超泥漿對於井壁穩定性之影響，以維持孔內試驗期間穩定為原則，惟應適當評估孔壁穩定措施對於試驗果可能之影響。

而這些評估工作，在鑽探陸續取出岩心時，藉由岩心辨釋工作，即可知道該區之破碎或穩定程度，地質師應在岩心初步辨視結果後，與鑽探師傅溝通討論鑽探完成後的孔內試驗銜接工作，降低坍孔風險。

常見包括孔內攝影、孔內電井測、孔內流速試驗、孔內側向載重試驗、孔內岩體裂隙水力試驗、孔內岩盤透水試驗（呂琴試驗）等。

（三）孔內觀測

孔內觀測包括地下水觀測與孔內變位觀測。

地下水觀測的部分，理想的地下水觀測涵蓋一個完整的水文年，但除了研究計畫外，大部分以營造為目的之地下水位監測，通常難以持續如此長時間。本文建議至少涵蓋雨季全期監測數據，尤其暴雨期間水位抬升情況，納入設計參數，對於結構物規畫設計較為妥善，有助於預防結構物遇高水位而上浮，或其他可能因水位或水壓變化而誘發之安全問題。

設置何種類型水位觀測井，攸關鑽探工作規劃與過程，應從觀測目的、地質狀況、水文狀況等，進行事先評估與規劃，再開始鑽探。

鑽探是初步瞭解地下水層分布之有效方式，若原本孔內有水，鑽到某深度則漏水；或是孔內本來無水，鑽到某深度則湧水，可以推斷出含水層深度，以及是否有多個含水層（通常近地表者為自由含水層，岩層內為受壓含水層）。

孔內變位觀測可瞭解坡地岩盤或岩體內部應力狀態、變形性、滑動面位置與深度，以研判邊坡滑動或破壞型態與機制。若整合水文觀測，可進一步建立水文地質模型，瞭解降雨促崩、水文條件引致地質災害之關聯性。

然而在鑽探工作裡，著重於鑽探前與鑽探期間之配合事項，例如鑽探孔徑與監測管管徑大小之空間分配、監測管理設方式等。這些項目在鑽探工作進行前，即要與鑽探師傅充分溝通，規劃妥需預留之空間及安裝監測設備之配合作業。通常這些項目會在契約中另列出施工配合費用。

（四）室內試驗取樣

室內試驗取樣係指針對鑽探岩心進行取樣，送至試驗室進行各項試驗工作。取樣目標主要為選擇合適之岩石物理試驗樣本，及岩石力學試驗樣本。依目的與需求，選取之岩心樣本可能不同，例如建立基礎乘載力參數，可能同時需有新鮮固結岩盤岩心樣本以及風化岩心樣本。

不同試驗，需要選取的岩心長度與組數也各不相同。一般物性通常取岩心直徑 2.5 倍以上長度，而其他力學試驗則依各試驗需求選取。

然需注意的是，樣本選取原則，以獲取充分參數為目的。例如在一岩心中，若 A 岩性普遍完整、RQD 值較高，而 B 岩性普遍破碎，RQD 值較低，在選取樣本時，儘管 B 岩性較難取樣，但為了獲取 B 岩性相關參數，仍應盡量設法取足，或是調整試驗方法，避免 B 樣本數量過少，而缺乏能代表 B 岩性之試驗結果與參數。

取樣者的部分，優先建議由地質師會同設計工程師執行選樣工作。然而實際業界執行時若受限時間人力因素，可由鑽探公司人員選取，地質師會同設計工程師檢核。運送岩心時，使用減震包材，妥善包裝岩心樣本，送至試驗室。



五、岩心辨釋相關建議

業界地質鑽探報告中，常見使用名詞包括有岩心「鑑定」、「判釋」、「鑑識」、「辨識」等詞彙。「判釋」之不確定性較高；「鑑定」之論斷性較強烈，若遇到不同地質技師抱持不同見解，易引起爭議。本文採用立場較為中性的「辨識」一詞。

（一）岩心辨識通則

岩心辨識最重要目的，係劃分地質單位，紀錄各地質單位之深度範圍，以及各地質單位特性。岩心辨識工作包括岩心影像紀錄，以及文字描述。

進行岩心辨識前，務必清除表面穩定液或泥漿，避免造成誤判。例如圖 1 所示之平原區鑽探岩心，未刮開前，單由表面觀之，係黃色具黏性泥夾礫石，然而刮開表層後，實際地質材料為含石英質粗至中砂，無黏性。



圖 1 平原區鑽探岩心表層刮開範例

此外，也需先檢視岩心是否有人為損壞、上下顛倒、位置不正等狀況。

岩心辨識必須是岩心實體視觸鑑別，照片或影像智慧工具可作為輔助，但不得為了節省時間，僅靠照片或影像智慧工具撰寫岩心辨識紀錄。因為岩心之組成顆粒與基質、岩心裂隙內是否夾泥、夾泥之顏色與剪裂特性等重要特徵，皆無法單靠照片或影像智慧工具得知，須有岩心實體專業視

觸鑑別，才能作為真正岩心辨識成果。

（二）土層辨識

土層係指岩盤上方未固結物質之統稱，非嚴謹土壤學定義。土層辨釋於現場以視觸鑑別當場分辨，包括組成顆粒粒徑範圍、顏色、淘選度、級配、氣味、層理、圓度、組構與沉積構造等。

（三）岩盤辨識

岩盤辨識重點包括確認新鮮固結岩盤面位置（以深度表示）、岩盤之岩性地層劃分，以及各岩性地層之特性。

岩盤之岩心辨識描述，需包括岩性、弱面或裂隙描述（弱面包括層面、劈理面、葉理面、節理面、不整合面、不規則破裂面等）、弱面或裂隙中是否夾泥以及夾泥之顏色、是否有剪裂帶以及剪裂帶情況、石英脈或方解石脈、是否銹染以及銹染範圍、RQD 值、沉積構造或化石等。

（四）岩心拍照建議事項

岩心拍照前，須先確認岩心箱蓋已正確填寫鑽探資訊，岩心照深度依序擺放，表面穩定液或泥漿已清除。拍攝須注意光源方向與拍攝角度，使照片呈現岩心真實色澤及特徵。照片建議採橫向，完整涵蓋岩心箱，解析度建議 300 dpi 以上。

若岩心有取樣，則應拍攝取樣前後照片，另置於報告附錄中。

岩心照片拍攝者建議由地質師親自拍攝，但若有困難，亦可由鑽探廠商人員協助拍攝，地質師檢核。然而就實際執行經驗，還是由地質師親自拍攝最佳。理由是，若照片有任何問題或不詳盡之處，地質師拍完後自我檢視，立即能當場重新拍攝，效率最佳。若由他人拍攝，地質師事後檢核，一旦有問題，再由他人重新拍攝，除時間勞力成本外，重新拍攝之照片，亦存在無法百分



之百符合地質師標準之機率。如此一來一往的檢核與重拍過程，對工作效率與成本，益處不大。本文站在提升地質鑽探品質之立場，仍建議由地質師本人親自拍攝岩心照片。其他岩心拍照建議與說明，如表 1 所示，岩心拍照常見錯誤態樣及改善建議，如圖 2 所示。

表 1 岩心拍照建議與說明

項次	建議	說明
1	拍照前以水將岩心表面濡濕	(1) 岩心表面穩定液（泥漿）皆清除乾淨。 (2) 濡濕岩心表面，避免岩心因受日曬曝曬而乾裂，延長岩心保存，亦可清楚呈現岩心真實顏色，呈現細微構造。 (3) 濡濕岩心之方式，以水潑濕、噴濕或用刷子抹濕皆可，以維持岩心保持濕潤狀態為原則。
2	相機鏡頭位於岩心箱正上方	(1) 垂直向下之正向角度拍攝，使岩心照片不偏斜。 (2) 岩心箱應位於畫面正中且佔據大部分畫面，避免製作報告時因放大照片而造成模糊狀態。 (3) 拍攝岩心時，注意焦距，應對焦在岩心上。避免對焦至後方地面。
3	留意光源方向，避免陰影出現在岩心照片上	(1) 岩心照片若出現陰影，會影響岩心照片品質及辨識紀錄。常出現之陰影類型包括人影、樹影、建物影，以及岩心箱本身陰影。 (2) 改善方式包括移動岩心箱位置，或旋轉岩心箱方向。
4	色卡、岩心箱深度註記文字、取樣後填補於岩心箱內之保麗龍塊	(1) 拍攝前確認下列事項是否齊備：色卡、岩心箱側邊鑽孔編號及深度註記文字、取樣後填補於岩心箱內之保麗龍塊及其註記文字。 (2) 保麗龍塊通常依取樣型態，註記相關文字，包括：孔號、取樣深度、試驗項目、SPT 紀錄等。 (3) 上述物件，拍攝時皆須清楚完整。
5	拍攝天氣與室內拍攝注意事項	(1) 理想拍攝條件為：1. 室外自然光，2. 晴朗有雲或陰天。 (2) 不建議於天候炎熱之晴天正午拍攝，陽光直曬易使岩心乾裂，拍攝色澤易偏白或是反光。改善方式：利用棚架、外帳或傘等工具，將岩心箱置於陰影下拍照。 (3) 不宜天色昏暗，照片不易拍清楚。 (4) 若為室內拍攝，建議為白光且充分照明。若為黃光則易產生色差，難以後製校正回真實顏色。故白光較合宜，避免黃光。也應避免照明不足。



(A) 岩心箱本身陰影遮住部分岩心。建議改善方式：將岩心箱轉 90 度。



(B) PVC 管遮住部分岩心。建議改善方式：拍照前檢查並調整 PVC 管。



(C) 人影與樹影。建議改善方式：移至遮陰處拍攝，避免產生影子，也可控制照片的白平衡。

圖 2 岩心拍照常見錯誤態樣及改善建議



項次	建議	說明
6	岩心提取後，盡快完成拍攝工作	(1) 鑽探岩心取出後，容易解壓開裂，或因水分流失而乾裂。 (2) 岩心放越久，接觸空氣之故，開裂或乾裂機率越高。應儘速完成拍攝工作。 (3) 拍攝完盡快蓋上岩心箱蓋板。
7	增加拍照數量	(1) 每箱岩心多拍幾張照片，有備無患

(五) 建立地質柱狀圖建議事項

岩心辨釋與紀錄後下一步重要工作，係據此建立地質柱狀圖，將文字紀錄圖元化。而從文字轉為圖元之過程，需考慮：(1) 將岩心分層與文字紀錄得越詳細，對岩心狀況越能瞭解，也有助於岩心之間的對比。但分層太過細緻，對於後續的工程設計參數會造成困難。(2) 岩心紀錄轉換為地質柱狀圖的圖元化過程，需要適度整合或整併地質分層，作為工程設計參數所需。

因此由詳細岩心紀錄，整合或整併為工程地質單元過程，有幾項建議原則：(1) 三大岩類（沉積岩、火成岩、變質岩）彼此之間不能整併，只有同樣岩類，才能互相整併。不同岩類必須獨立為不同單元。(2) 同一岩類，若其中有一兩種岩性規律交替出現，可整併為一個工程地質單元，例如沉積岩的砂岩與泥岩以薄互層方式交替出現，可整併為砂泥岩互層、厚層砂岩夾薄泥岩、厚層泥岩夾薄層砂岩、厚層泥岩夾透鏡狀砂岩……等。(3) 較特殊之地質材料，可能是指準層，例如以泥岩或粉砂岩為主之地質區，有一厚層砂岩；或沉積岩中夾有煤；或含有特定化石之地層等，皆可做為指準層。將指準層獨立出來，可協助地層比對、繪製地質剖面圖之用。

(六) 岩心箱之存放

岩心箱存放前，應先於存放地點，規劃好各

計畫岩心箱擺放區域與位置。依計畫、孔號、深度等，分區依序堆疊放置。各計畫岩心箱集中擺放，每孔岩心箱堆疊順序，建議越深之岩心箱疊越下層，越淺之岩心箱疊越上層，以利後續檢視岩心工作。

岩心箱存放位置，通常為倉庫、貨櫃或空地。空地不宜長期擺放，因降雨或日曬易毀損岩心箱或岩心。倉庫或貨櫃較能長期存放，然存放期間之長短，是否租賃存放空間等問題，需視各契約規定辦理。

(七) 岩心辨釋屬於紀實性成果抑或分析性成果？

同一孔岩心，由不同地質師執行辨釋工作，可能肇因地質師本身受過的訓練，以及岩心辨釋目的不同，而有不同的辨釋結果與地質單元分層。例如，工程地質目的的辨識重點與地質單元劃分，會與古生物分析或是沉積岩層序地層分析，有很大差異。

如此情況下，岩心辨釋之性質，應屬於紀實性成果還是分析性成果？

本文建議，不論何種目的之岩心辨釋，皆可列為紀實性成果。理由是，雖辨識成果可能因人而異，但岩心本身係客觀存在之實體，持不同意見或論點之專家，皆可就岩心本體進行討論，交換意見，取得共識。故可以將岩心辨釋結果，認定為具有客觀證據之紀實性成果。

六、地質鑽探報告建議

地質鑽探報告係完整地質調查報告之一部份。地質鑽探報告不等於地質調查報告，亦無法取代地質調查報告。

這項原則之理由是，所謂「地質調查」，係指基地及鄰近地區之地表地質調查與地下地質探



查，而地質鑽探係基地區域地下地質探查其中之一項。故，從屬關係上，地質調查報告應為主報告，地質鑽探報告應為附錄，並摘錄地質鑽探報告之重點，列於主報告中。

由於岩心辨識紀錄與地質鑽探成果報告，涉及後續土地開發或工程建設之規畫設計，攸關安全考量，故在責任考量上，由地質師負責撰寫工作，而非由鑽探公司或鑽探師傅撰寫，再交由技師蓋章。

七、結論與建議

地質調查中的地質鑽探，係各項土地開發與工程建設最前期，用以瞭解地表下之大地特性、潛在風險以及地質影響因素之重要工作。地質鑽探是一門技術與知識皆高之專業工作，須由具備足夠經驗與能力之鑽探師傅與地質技師相互配合，方能得到良好之地質鑽探成果。以及，為了獲取良好地質鑽探成果，不能僅將地質鑽探視為滿足契約工項數量之 SOP，簡易帶過走完程序，而是必須忠實呈現地質鑽探的各項成果與細節，才是地質鑽探的真正目的。

本文提出關於制度、日報表、鑽探配合、取樣、岩心辨識與成果報告撰寫等建議，然而在有限篇幅中，仍無法將許多鑽探現地所遇到的各種狀況詳細羅列與討論，僅能就大原則與大方向提供初步建議。

未來仍希冀進一步深入探討地質鑽探工作對工程與土地開發之影響，期能讓這項專業工作有更好之貢獻與發展。

誌 謝

感謝經濟部地質調查及礦業管理中心提供計畫經費使本文得以順利完成。於計畫執行與本文

撰寫期間提供協助之財團法人中興工程顧問社工作同仁，亦一併感謝諸位對本研究所付出之努力，特此謝忱。

參考文獻

- ASTM D1586/D1586M-18e1 (2022 updated) Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.
- 侯秉承、黃俊鴻（1995），「鋼索取樣法的介紹及應用實例」，地工技術雜誌，第 49 期，第 57-71 頁。
- 經濟部中央地質調查所（2022），「土壤液化調查與風險評估計畫執行作業要點」：附件一「鑽探工程一般施工規範」、附件二「標準貫入試驗（SPT）鑽桿打擊能量檢測作業準則」。
- 劉武志（1995a），「取岩心鑽探機具」，地工技術雜誌，第 49 期，第 5-26 頁。
- 劉武志（1995b），「取岩心鑽鑿技術」，地工技術雜誌，第 49 期，第 27-38 頁。
- 謝敬義（1990），「技術講座專欄— 6. 地質鑽探」，地工技術雜誌，第 31 期，第 106-123 頁。
- 謝敬義（1991），「地質鑽探業管理制度之探討」，地工技術，第 89 期，第 83-92 頁。
- 謝敬義（1995），「地質鑽探資料之蒐集與解析」，地工技術雜誌，第 49 期，第 39-49 頁。
- 蘇泰維、賴典章（1995），「淺談未固結地層之地質鑽探方式」，地工技術雜誌，第 49 期，第 51-56 頁。



輕質混凝土於橋梁工程應用

Application of Lightweight Concrete in Bridge Engineering

連冠華 Kuan-Hua Lien¹ 陳柏佑 Po-Yu Chen² 林舜元 Syun-Yuan Lin³
詹文宗 Wen-Tsung Chan⁴ 羅財怡 Tsair-Yi Luo⁵

摘 要

輕質混凝土 (Lightweight Concrete) 係由輕質粒料取代傳統天然粒料、具有輕質、隔熱保溫及耐火性能好，結構用輕質混凝土則可符合大部分工程設計強度之需求。因此在國外已經將輕質混凝土推向實務面並完成許多應用，尤其是北歐的挪威亦有將近二十年之歷史，將輕質混凝土應用於橋梁工程，並搭配預力之使用，設計更細長之輕質混凝土橋。相較於國外輕質混凝土的盛行，國內首度將輕質混凝土應用國道 6 號石灼巷跨越橋，惟其輕質混凝土於泵送過程發生塞管以致澆置困難，因此國道 4 號臺中環線豐原潭子段以透過輕質粒料之選擇、預濕處理、配比設計等方法進行施工性之改善，解決泵送問題，且首次將輕質混凝土納入主線橋梁設計。

基於此，本文針對輕質混凝土性能、塞管改善因應、國內外工程應用案例進行說明，並以中山高跨越橋型研選過程中方案作為案例，分析比較上構採常重混凝土與部分採用輕質混凝土之差異。分析比較結果顯示若上構部分採用輕質混凝土對比採常重混凝土設計，可有效減輕上部結構自重、地震力及上構預力鋼腱用量等，以提升工程經濟效益及節能減碳作為。

關鍵字：輕質混凝土、橋梁工程、工程應用、節能減碳

Abstract

Lightweight Concrete is made of lightweight aggregates instead of traditional aggregates. It possesses many advantages, such as light weight, high strength, good thermal insulation and fire resistance. Lightweight concrete for structural use can meet the demands of strength in most engineering design. Therefore, lightweight concrete has been pushed into practice and many applications have been completed around the world. In particular, Norway in Northern Europe has adopted lightweight concrete for bridge engineering in the past 20 years. Slender bridges can be designed by combination of lightweight concrete and prestressing. Compared with the prevalence of lightweight concrete among the world, Shizhuo Overpass Bridge is the first bridge designed and constructed with lightweight concrete of National Freeway No.6 in Taiwan. However, there was pumping problem encountered during construction in 2007. Therefore, the Fengyuan Tanzi section of Taichung Ring Road in National Freeway No.4, the constructability was improved through methods, such as adopting lightweight aggregates, pre-wet treatment and proportion design to solve the pumping problem. It's the first time to bring into lightweight concrete in bridge design of freeway main lane.

As mentioned above, this paper illustrates the performance of lightweight concrete, the improvement of clogged pipes, and engineering application around the world. The overpass of Freeway No. 1 is also used as an example to analyze and compare the difference between fully normal weight concrete and partially lightweight concrete for superstructure. The results shows that the use of lightweight concrete instead of normal weight concrete can effectively reduce the self-weight of superstructure, seismic force, and the amount of prestressing tendons. It not only improves the economic benefits of engineering, but also saves energy and reduces carbon emissions.

Keywords: Lightweight concrete, Bridge engineering, Application of engineering, Save energy and reduce carbon emissions

¹ 中興工程顧問公司結構工程部工程師 Engineer, Structural Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

² 中興工程顧問公司結構工程部計畫副經理 Assistant Manager, Structural Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

³ 中興工程顧問公司結構工程部橋梁組技術經理 Technical Manager, Structural Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

⁴ 中興工程顧問公司結構工程部資深協理 Senior Associate Vice President, Structural Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

⁵ 交通部高速公路局規劃組副組長 Deputy Division Chief, Planning Division, Freeway Bureau, Ministry of Transportation and Communications



一、前言

輕質混凝土 (Lightweight Concrete) 係由輕質粒料取代傳統天然粒料、強度可符合工程需求之優點。因此在歐美等先進國家於二十世紀初即開始生產輕質混凝土，並應用於結構性工程（橋梁、高層建築等）與非結構性（牆體材、隔熱砌塊等）用途上。一般而言，橋梁之自重佔總載重之大部分，尤其是近年來常用之預力橋梁，自重部分往往可達總載重之約 70%~80%，採用輕質混凝土構築，可有效減輕上部結構自重及地震力影響，減少墩柱與基礎尺寸及基礎開挖數量，降低砂石材料用量，以全生命週期之永續工程觀念看待輕質混凝土，其具有降低對環境衝擊之效益。

國內首度將輕質混凝土應用於國道 6 號石灼巷跨越橋。延續國 6 地方道路跨越橋之關鍵技術，進一步拓展應用於國道 4 號臺中環線豐原潭子段，擴大輕質混凝土之使用範圍，首次將輕質混凝土納入主線橋梁上構設計。其中石灼巷跨越橋施工過程中，曾發生泵送過程塞管情形，但經由國道 4 號豐原潭子段工程改善因應，排除塞管情形。基於此，本文針對輕質混凝土性能、塞管改善因應、國內外工程應用案例進行說明，並以中山高跨越橋型研選過程中方案作為案例，分析比較上構採常重混凝土與部分採用輕質混凝土之差異。

二、輕質混凝土性能與材料配比

（一）輕質混凝土性能

輕質骨材混凝土 (Lightweight Concrete) 是一種利用人造或者天然輕質骨材替代普通骨材的混凝土，必要時加入化學藥劑和礦物摻料配製而成，一般規定 28 天齡期的氣乾單位重不大於 2,000 kgf/m³。其具有輕質、隔熱保溫及耐火性能好，

結構用輕質混凝土則可符合大部分工程設計強度之需求，綜合的經濟技術效果好等顯著優點，使其在大跨度橋梁工程等工程應用中具有巨大的技術經濟優勢，已成為現代混凝土的一個重要發展方向。

輕質混凝土與常重混凝土相比，由於使用較多的水泥用量，加上輕質骨材具有孔隙率較高、吸水較多等顯著特點，這使得輕質混凝土的許多特性如拌和、水化硬化的階段、延展性、失效模式、抗滲性能與常重混凝土都有很大的區別，因此於拌和、製造、輸送和澆置作業上，皆需加以適當的調整。

（二）輕質混凝土材料配比

依據國道 6 號石灼巷跨越橋及國道 4 號豐原潭子段工程經驗，輕質混凝土配比建議如下：

（1）輕質混凝土單位重，依 ASTM C567

測得之 90 天齡期氣乾單位重應 $\leq 1,900 \text{ kg/m}^3$ 。

（2）膠結材料中所含高爐石粉、飛灰及矽

灰重量百分率，總計不得高於 45%（其中飛灰及矽灰之各別重量百分率不得高於 10%），另於輕質混凝土中應添加膠結材總量 4% 以上之矽灰，可強化整體砂漿之強度，並增加新拌混凝土之稠度，以降低輕質粒料於澆置過程產生粒料上浮現象。

（3）配比設計應依施工技術規範第 03053 章、CNS 12891 之規定及參考 ACI 211.2、ACI 213R 辦理。

（4）結構用輕質混凝土配比設計之目標平均抗壓強度應依照 CNS12891 決定。

輕質粒料（如圖 1）除需符合 CNS 3691 要求之檢驗項目外，本工程規範另針對輕質粒料之比重、吸水率、筒壓強度、磨損率、硫酸鈉健度等作相關規定。輕質粒料主要性質要求與試驗結果如表 1 所示。



圖 1 輕質粒料（明春窯業燒製石門水庫淤泥）

表 1 輕質混凝土粗粒料之規格

項 目	規格值	試驗方法
烘乾相對密度（比重）	≥ 1.2	ASTM C127
筒壓強度	$> 4\text{MPa}$	CNS 14779
磨損率	$\leq 40\%$	CNS 490
經五循環硫酸鈉健度試驗所損失之重量	$\leq 9\%$	CNS 1167
24 小時吸水率	$\leq 13\%$	ASTM C127

三、輕質混凝土泵送問題探討與因應

輕質混凝土在拌和與澆置階段，由於輕質骨料的孔多、吸水性質會影響輕質混凝土的工作性能。輕質混凝土以泵送方式澆置時，會比常重混凝土更易於發生塞管問題，主要原因是壓力泵送過程，多孔的輕質骨材會吸入水分，使混凝土黏稠度變大而導致無法泵送，另一原因是當混凝土坍度過大或黏滯性不佳時，輕質骨材在泵壓作用下會被先要向前送出，遺留大量砂漿沉積在管線或彎頭中，嚴重的沉積就會造成塞管。

有鑑於國道 6 號石灼巷跨越橋上部結構之輕質混凝土於泵送過程發生塞管以致澆置困難（如圖 2 所示），及至 105 年國 4 豐原潭子段工程設計階段，便藉由上述經驗回饋，委託財團法人臺灣營建研究院成立研究計畫，蒐集國內外輕質混凝土泵送之相關研究與工程經驗，再以實際試作探究輕質混凝土泵送之關鍵問題後，採用研究成果，以透過輕質粒料之選擇、預濕處理、配比設計等方法進行施工性之改善，解決泵送問題。以

下便針對該項輕質混凝土工程作業執行內容進行相關說明。

- （一）輕質混凝土應在拌和廠生產，應設置浸水池以供輕質粒料浸泡，浸水池之體積應能符合施工中輕質混凝土產製及澆置之需求；輕質粒料在混凝土拌和之前應做充分之浸泡預濕至少 48 小時，浸泡預濕時應使輕質粒料完全浸沒於水中。
- （二）為避免輕質粒料因過多表面游離水造成混凝土工作性及品質變異，以及避免輕質粒料內含水量過度下降可能造成輕質混凝土泵送過程之塞管問題，輕質粒料自浸水池取出後建議先堆置於遮陰處靜置至少 2 小時，並於取出後 6 小時以內進行拌和；另承包商應辦理輕質粒料含水量隨時間變化之關係曲線試驗，作為拌和產製之參考。
- （三）為利於輕質混凝土順利泵送，不論前端鋼管或末端可撓管均應採 5 英吋泵送管；另在泵送開始前，應先清潔管道並以水泥砂漿潤滑管壁，以降低塞管之機率。



圖 2 國 6 石灼巷跨越橋輕質混凝土泵送塞管

四、輕質混凝土國內外橋梁工程應用

- （一）國外應用案例



建立在充分的研究基礎上，國外已經將輕質混凝土推向實務面並完成許多應用，尤其是北歐的挪威亦有將近二十年之歷史，將輕質混凝土應用於橋梁工程，並搭配預力之使用，設計更細長之輕質混凝土橋，以下就挪威與美國具有代表性的輕質混凝土橋作簡要介紹。

1. Stolma Bridge (Norway)

1998 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，跨徑配置為 $94\text{m} + 301\text{m} + 72\text{m} = 467\text{m}$ ，梁深為 $3.5 \sim 15\text{m}$ ，橋梁寬為 9m 。主跨中央處 184m 採輕質混凝土，如圖 3 所示。



圖 3 Stolma Bridge

2. Raftsundet Bridge (Norway)

1998 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，跨徑配置為 $86\text{m} + 202\text{m} + 298\text{m} + 125\text{m} = 711\text{m}$ ，梁深為 $3.5 \sim 14.5\text{m}$ ，橋梁寬為 10.3m 。主跨中央處 224m 採輕質混凝土，如圖 4 所示。



圖 4 Raftsundet Bridge

3. Sundøy Bridge (Norway)

2003 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，跨徑配置為 $120\text{m} + 298\text{m} + 120\text{m} = 538\text{m}$ ，梁深為 $3.5 \sim 15\text{m}$ ，橋梁寬為 9m 。主跨中央處

298m 採輕質混凝土，如圖 5 所示。



圖 5 Sundøy Bridge

4. Sandsfjord Bridge (Norway)

2015 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，全橋長為 580m ，主跨徑為 290m ，梁深為 $3.5 \sim 14\text{m}$ ，橋梁寬為 10m 。全橋採輕質混凝土，如圖 6 所示。



圖 6 Sandsfjord Bridge

5. Rugsund Bridge (Norway)

2001 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，全橋長為 302m ，主跨徑為 190m ，梁深為 $2.4 \sim 8.5\text{m}$ ，橋梁寬為 9.5m 。主跨中央處 190m 採輕質混凝土，如圖 7 所示。



圖 7 Rugsund Bridge



6. Parrotts Ferry Bridge (USA)

1978 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，全橋長為 393m，主跨徑為 195m，全橋採輕質混凝土，如圖 8 所示。



圖 8 Parrotts Ferry Bridge

(二) 國內應用案例

國內於近年來亦逐漸推動輕質混凝土於橋梁工程實務中。國內首度將輕質混凝土應用國道 6 號石灼巷跨越橋，國道 4 號臺中環線豐原潭子段首次將輕質混凝土納入主線橋梁上構設計。

1. 國道 6 號石灼巷跨越橋

2007 年完工，橋梁形式為預力中空版梁，跨徑配置為 $14\text{m} + 29\text{m} + 14\text{m} = 57\text{m}$ ，梁深為 1.0m，橋梁寬為 10.1m。全橋採輕質輕質混凝土，如圖 9 所示。



圖 9 國道 6 號石灼巷跨越橋

2. 國道 4 號 豐勢交流道連絡道橋 (A1 ~ P4)

2022 年完工，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，跨徑配置為 $30\text{m} + 35\text{m} + 40\text{m} + 40\text{m} = 145\text{m}$ ，梁深為 2.6m，橋梁寬為 8.6 ~ 10.15m。全橋採輕質輕質混凝土，如圖 10 所示。



圖 10 國道 4 號豐勢交流道連絡道橋 (A1 ~ P4)

五、設計案例分析

本文以中山高跨越橋（用途係數 $I = 1.2$ ）橋型研選過程中方案作為分析案例，橋梁形式為預力混凝土箱形梁，跨徑配置為 $126\text{m} + 210\text{m} + 126\text{m} = 462\text{m}$ ，橋梁寬為 12.4m ~ 14.2m，柱高為 33 ~ 38m，橋梁平立面請參見圖 11。箱梁剖面則如圖 12 所示，墩柱採剛接（Rigid）形式，以提升耐震能力，並於國道主線不落墩，降低施工期間對國道影響。本設計案例採 RMV8i 橋梁套裝軟體建立 3D 有限元素結構模型（請參見圖 13），並依據交通部頒「公路橋梁設計規範」及「公路橋梁耐震設計規範」辦理設計，相關設計參數如下所列：

（一）上構輕質粒料鋼筋混凝土單位重 $\gamma_c = 1.9\text{t/m}^3$ ，下構橋墩常重鋼筋混凝土 $\gamma_c = 2.4\text{t/m}^3$ ，混凝土強度均為 $f'_c = 350\text{kgf/cm}^2$ ，鋼筋降伏強度 $f_y = 4200\text{kgf/cm}^2$ ，預力鋼腱採用 7 線高拉力低鬆弛鋼絞索，其極限抗拉強度 $f_s' = 19,000\text{kgf/cm}^2$ 。

（二）輕質粒料鋼筋混凝土之楊氏係數依內政部頒「混凝土結構設計規範」公式 $E_c = w_c^{1.5} 4270 \sqrt{f'_c}$ ，經計算為 $E_c = 209,215\text{ kgf/cm}^2$ 。

（三）輕質粒料鋼筋混凝土所相應之乾縮潛變量與預力損失行為趨勢同常重混凝土（國四監測成果報告），因此依常重鋼筋混凝土計算方式辦理。

（四）混凝土握裹應力、開裂應力及剪力強度等均依交通部頒「公路橋梁設計規範」計算。

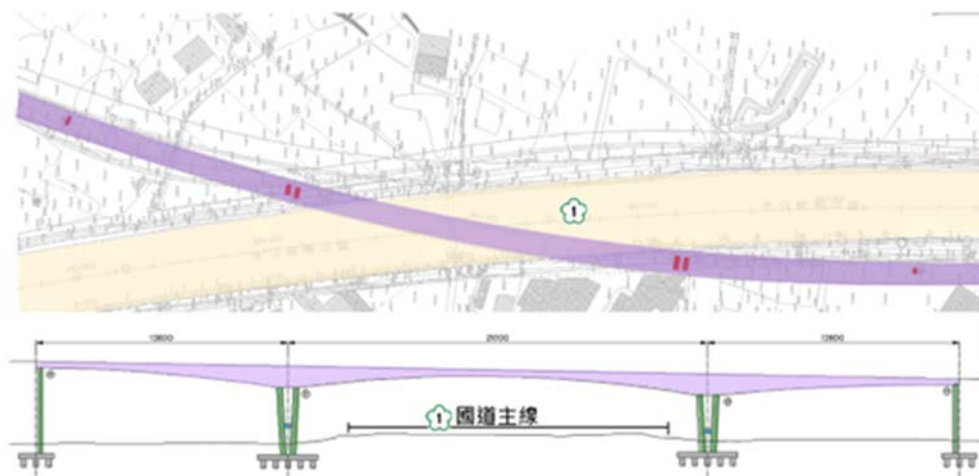


圖 11 橋梁平立面圖

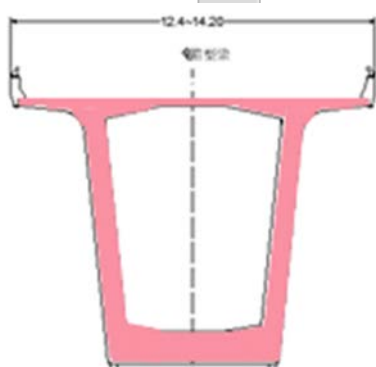


圖 12 箱形梁斷面

- (一) 配置於低應力區 (圖 15)。
設於大梁應力較小處，結構安全性佳。
- (二) 應用於懸臂施工尾端節塊
懸臂施工較遠處節塊與主跨中央閉合段，減重效益最大。
- (三) 提升鋼腱使用效益
懸臂施工尾端節塊重量減輕，柱端梁彎矩降低效益顯著，降低懸臂鋼腱需求。

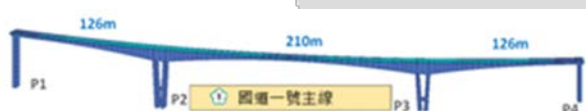


圖 13 RMV8i3D 結構模型

輕質混凝土單位重較常重混凝土輕 21%，因此上構部分採用輕質混凝土，可減少重量。而針對部分採用輕質混凝土，部分區域選擇，如圖 14 所示，其原則如下：



圖 14 上構部分採用輕質混凝土區域

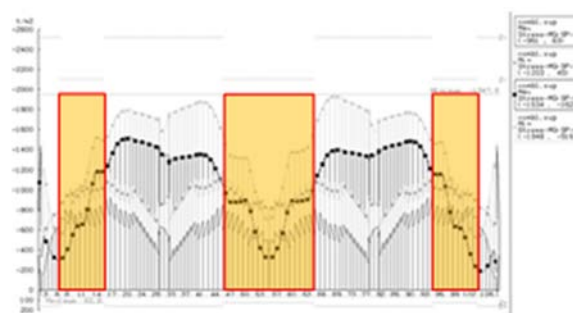


圖 15 上部結構低應力區

本案例分析針對上構採常重混凝土與上構部分採用輕質混凝土之梁深、鋼腱量、柱頭壓應力及地震力變化進行比較。

上構採常重混凝土與上構部分採用輕質混凝土



土分別經結構設計後，可知靜載重由 26,802tf 減少至 24,961tf，如表 2 所示。梁深由 11.5m 縮小至 10.5m；鋼腱需求由 65kg/m^2 減少至 62kg/m^2 及柱頭壓應力由 232kg/m^2 減少至 204kg/m^2 ，如圖

16 所示。地震總橫力由 2,261tf 減少至 2,134tf，如表 3 所示。墩柱傳遞至基礎之軸力、剪力及彎矩可減少約 6.0%~6.5%，如圖 17 所示，前述相關變化彙整結果則如表 4 所示。

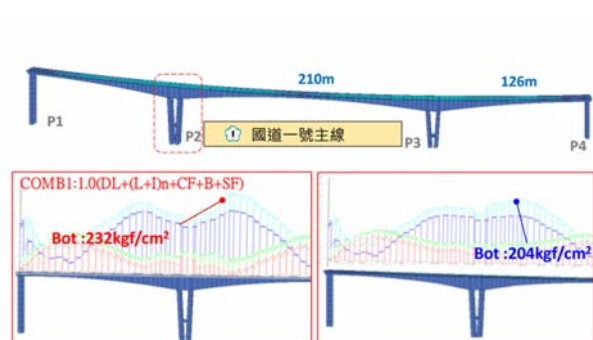


圖 16 常重與部分採輕質混凝土之柱頭壓應力

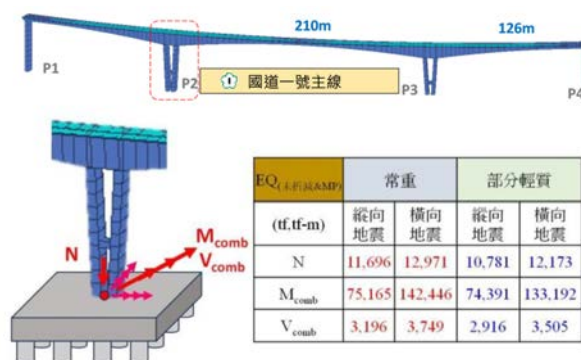


圖 17 常重與部分採輕質混凝土之基礎地震力

表 2 常重與部分採輕質混凝土之靜載重

DL (tf)	常重		部分輕質	
	結構靜重	附加載重	結構靜重	附加載重
上構	19,892	3,592	18,051	3,592
下構	6,910	0	6,910	0
總計	26,802	3,592	24,961	3,592

表 3 常重與部分採輕質混凝土之橋墩地震力

EQ (tf)	常重		部分輕質	
	縱向地震	橫向地震	縱向地震	橫向地震
P1	225	236	222	215
P2	800	834	749	781
P3	881	841	825	848
P4	355	283	338	283
總計	2,261	2,193	2,134	2,128

表 4 輕質混凝土應用評估比較

橋型	常重預力混凝土箱形梁橋		部分輕質預力混凝土箱形梁橋	
圖示				
上部結構	梁深 3.0 m ~ 11.5 m 鋼腱量約 65 kg/m^2 柱頭壓應力： 232 kg/m^2	可	梁深 3.0 m ~ 10.5 m (較小) 鋼腱量約 62 kg/m^2 (減少約 4.6%) 柱頭壓應力： 204 kg/m^2 (減小約 12%)	優
下部結構	DL+SDL 約 30394 tf 地震總橫力約 2261 tf	可	DL+SDL 約 28553 tf (減小約 6.0%) 地震總橫力約 2134 tf (減小約 5.6%)	優
基礎	地震垂直力約 12971 tf 地震彎矩約 142446 tf-m 地震剪力約 3749 tf	可	地震垂直力約 12173 tf (減小約 6.0%) 地震彎矩約 133192 tf-m (減小 6.5%) 地震剪力約 3505 tf (減小約 6.5%)	優



六、結 語

- (一) 有鑑於國道 6 號石灼巷跨越橋上部結構之輕質混凝土於泵送過程發生塞管，以致澆置困難，國道 4 號豐原潭子段工程在輕質混凝土的泵送問題，以透過輕質粒料之選擇、預濕處理、配比設計等方法進行施工性之改善，解決泵送問題。
- (二) 國外已經將輕質混凝土推向實務面並完成許多應用，尤其是北歐的挪威亦有將近二十年之歷史，將輕質混凝土應用於橋梁工程，並搭配預力之使用，設計更細長之輕質混凝土橋。國內首度將輕質混凝土應用國道 6 號石灼巷跨越橋，國道 4 號臺中環線豐原潭子段首次將輕質混凝土納入主線橋梁上構設計。
- (三) 本文以中山高跨越橋橋型研選過程中方案作為分析案例，若上構部分採用輕質混凝土對比採常重混凝土設計，可有效減輕上部結構自重、地震力及上構預力鋼腱用量等，以提升工程經濟效益及節能減碳作為。
- (四) 國道 6 號石灼巷跨越橋開啟國內輕質混凝土應用於橋梁工程大門，再藉由國道 4 號工程經驗，輕質混凝土之應用技術往前跨一大步，成功解決輕質混凝土澆置問題，並且對於輕質混凝土之品質特性有更深一層之認識與掌握。藉由國內輕質混凝土設計應用及施工經驗的累積，可作為後續輕質混凝土應用於橋梁工程施作之重要參考。

失，博士論文，中興大學，2024 年 1 月。
顏志欽、黃志勇，結構用輕質粒料混凝土於國 4 豐潭段之應用實務，混凝土科技第 17 卷第 3 期，2023 年 7 月。
王心慈，輕質骨材混凝土應用於橋梁及高樓結構之耐震分析及經濟效益評估，碩士論文，臺灣科技大學，1993 年。
羅財怡、馮焱明、曹永德 3、顏志欽、陳柏佑及王正中，國道 4 號豐原潭子段輕質粒料混凝土橋梁，2017 台灣混凝土學會混凝土工程研討會，2017 年 11 月。
交通部高速公路局，豐勢交流道 絡道橋輕質混凝土橋梁監測計畫成果報告，2023 年 12 月。
財團法人臺灣營建研究院，輕質骨材混凝土泵送性能之探討，2016 年 11 月。

參考文獻

內政部，混凝土結構設計規範，2021 年。
交通部，公路橋梁耐震設計規範，2019。
郭呈彰，輕質粒料混凝土預力箱梁的工程性質和預力損



山區公路隧道水文地質特徵 與出水紀實數據之探討

An Investigation into Hydro-geological Characteristics and Documented Water Inflow Events in Mountain Highway Tunnels

周柏儀 Po-Yi Chou¹ 辜炳寰 Bing-Huan Ku²

摘 要

近年來，臺灣的隧道工程逐漸向東部山區延伸，面臨更多山岳隧道的挑戰，如已完工的臺9線蘇花公路改善計畫及通過環評的安全提升計畫。隧道建設需謹慎評估安全性與穩定性，並兼顧山區水文地質環境，以避免水資源流失。豐沛降雨和地質破碎導致山岳隧道施工常遇滲水問題，因此，初期調查和出水量預估為相當重要之課題。地下水在山區中流動主要受到地質結構、重力和壓力的影響，當隧道開挖時可視為岩體應力場的改變或應力重新分佈，從而導影響水壓梯度與流動路徑，促使地下水向壓力較低的隧道內流動，形成湧水現象。然而，初期地質調查受限於調查點位置、數量、機具，一般只能獲致隧道沿線大致之水文地質條件，而隧道於實際開挖通過複雜水文地質環境時，隧道沿線所遭遇之複雜水文地質條件往往隨著施工階段進行始漸漸揭露，於施工階段期間的出水紀實數據，除可以提供原始分析相當重要的反饋依據，若能結合山區公路隧道水文地質特徵進行系統性探討，更可提升水文地質評估模型的真實性與可靠度，本研究藉由相關經驗的歸納，希冀提供隧道工程推動與相關水文地質評估作業參考。

關鍵字：隧道出水、水文地質模式、地下水資源變化

Abstract

Tunnel construction in Taiwan has expanded into mountainous regions, such as in the Suhua Highway Improvement and Safety Enhancement Projects. These projects face frequent water ingress due to intense rainfall and fractured geology. Groundwater flow, governed by geological structures and pressure gradients, is altered during excavation as stress fields redistribute, often causing groundwater to flow into tunnels.

Early hydrogeological investigations are limited in scope, and actual conditions are revealed progressively during excavation. Water inflow records collected during construction provide essential feedback for refining initial assessments. By analyzing these records in relation to geological conditions, predictive models can be improved. This study summarizes relevant field experiences to support future planning and hydrogeological evaluations in mountain tunnel projects.

Keywords: Tunnel excavation, Water inflow monitoring, Hydro-geological investigation

¹ 中興工程顧問社大地工程研究中心高級研究員 Principal Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社大地工程研究中心副研究員 Associated Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.



一、研究背景及動機

山區公路隧道是現代交通基礎設施建設中的重要組成，也是跨越地理障礙的關鍵，其在改善交通效率、縮短行車時間以及促進經濟發展方面具有重要意義。尤其特別是在地形複雜山區，若恰位處地緣經濟上的交通樞紐，隧道建設自然成為公路系統中關鍵的一環。以連接新北市坪林區與宜蘭縣頭城鎮全長 12.9 公里的雪山隧道為例，其克服山脈阻隔或海岸路線迂迴的限制，於 2006 年正式通車後大幅縮減了台北與宜蘭的行車時間，交通效率明顯提高，促進了我國北部地區的區域一體化發展，更強化了台北都市圈的經濟輻射效應。

然而，山區隧道經常穿越大量剪裂帶、斷層等地質構造帶，一旦這些區域屬於地下水主要通道，剪切變形和裂隙擴展易使地下水沿裂隙滲入，產生動水壓力、靜水壓力和劈裂作用，當滲流速度達到或超過管湧臨界流速，造成地層中的細顆粒被沖出，致使結構變得鬆散和不穩定，進而形成空洞或通道，增加地層坍塌或地面下沉的風險；穿越褶皺區域時，岩層的傾角和應力狀況常發生顯著變化，增加隧道設計和施工的複雜性。而一旦遇到地層結構不良之含水層或高壓水體，地下水的滲透和湧出也有可能對隧道結構的穩定性產生不利影響，並包括伴隨坍塌、設備損壞等次生災害，增加了施工風險和工程成本；而如果隧道排水系統設計不合理或營運維護不到位，隧道完工後內部仍可能會出現滲漏積水、結構腐蝕、路面損壞等問題，對隧道的正常運行和使用壽命帶來影響。以臺 9 線蘇花公路山區路段改善工程計畫（簡稱蘇花改）為例，從多年現地工作經驗可知，台灣東部山岳地層岩性與地質構造特性變化大，岩體存在各種不連續面且滲透性差異顯著，這導致以往在進行隧道開挖工程時屢屢有地下水

湧入或土石意外坍塌的案例發生，造成工程進度延宕與環境風險增加。

然而，山區公路隧道在施工前對於出水行為的預測相當困難，必需通過詳細的地質探勘、水文調查、現場試驗，結合複雜數學模型的運算，才得以針對隧道施工過程中可能的出水行為和趨勢進行推估。特別是當規劃和設計階段涉及深埋長隧道的地質調查工作時，受限於探查技術的精確度及自然條件的限制，前人經驗即指出一般隧道工程設計階段的地質調查主要偏重於工程地質，對於水文地質調查則略有不足，欲準確定點定量預測隧道高程於困難地質段的水文地質狀況並不容易。如臺 9 線蘇花公路山區路段改善計畫隧道群的中仁隧道曾針對隧道已開挖段在持續豪雨過後的大量出水問題，提出了三項施工對策：（1）出水區段之減漏灌漿施工；（2）變更設計，將隧道兩側均設置排水暗溝及排水管，以增加隧道排水容量；（3）考量隧道無仰拱路段為潛在滲水區，故在大量出水區段之路基增設 RC 底板，降低地下水由路面滲入風險。另在出水量較少區段，則於路基增設縱向導排水設施，以避免地下水可能由下方滲入影響路基穩定（辜炳寰等，2019）。

本研究將以臺 9 線蘇花公路山區路段改善計畫之東澳隧道及觀音隧道為例，探討公路隧道的水文地質特徵及其出水紀實數據，藉由具體工程案例的分析，歸納隧道施工與營運過程中常見之水文地質問題，並提供水文地質資料於隧道設計與風險評估之應用參考。

二、隧道水文地質特徵與出湧水評估

（一）隧道水文地質特徵基本概念

隧道開挖出湧水量是評估隧道內部或周邊地下水系統特性的指標，因為湧水點常位於是隧道與地下水系統交匯處，初始階段湧水量通常較



大，受隧道周圍地質條件的儲水能力和水力條件影響，湧水量會隨時間遞延而趨於穩定（圖1）。而隧道湧水量由靜儲量（Static storage）和動儲量（Dynamic storage）兩部分組成（圖2），而造成突發湧水出砂的情況主要是由於靜儲量（黃棟良等，2006）。孫謀等（2008）提到靜儲量是隧道圍岩內空隙中的地下水，其大小取決於圍岩岩體儲水和給水能力；動儲量是含水圍岩中的地下逕流，與地表水或其它地下水體直接連接，其大小取決於圍岩岩體規模、自然補注、地表逕流和滲出條件。

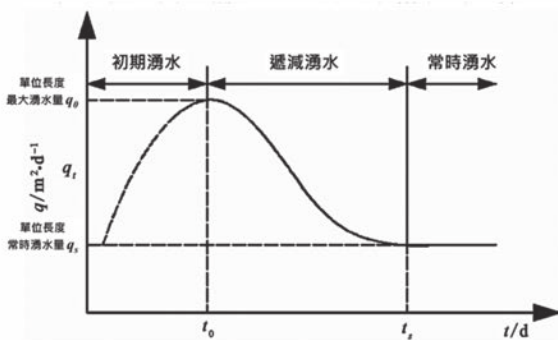


圖1 隧道湧水量變化概念圖
(改繪自吳建等，2019)

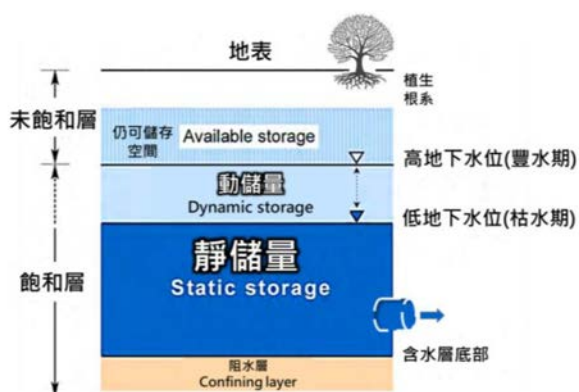


圖2 含水層靜動儲量概念圖
(改繪自Kresic, 2023)

在一理想的未固結地層中，當隧道湧水主要由靜儲量構成時，初期由於隧道挖掘造成圍岩內

的壓力釋放，空隙中的地下水會迅速湧出（示意圖3(a)），隨著時間推移，隧道周圍的地下水儲量逐漸減少，一般可在5~10天排完（韓行瑞，2004）湧水量也會逐步減少，最終達到穩定的低湧水量。容易構成靜儲量的地質條件舉凡鬆散堆積層、含水性斷層、具溶蝕作用的碳酸鹽岩地質條件等。而若當隧道湧水主要由動儲量構成時，由於動儲量涉及地下逕流，與地表水體或其他地下水體有直接水力聯繫，湧水量在初期不會有顯著的高峰，而是保持相對穩定的流量。此外，動儲量湧水行為容易受到外界環境的影響，例如降雨量、地表水位變化以及季節性補注變化等，可能導致湧水量產生變化。若在補注穩定且充分的情況下，湧水量可能長期保持穩定；但在補注條件變化的情況下，湧水量會隨之波動。相對而言，在理想的已固結地層中（示意圖3(b)），若湧水係由地層靜儲量主導，則可能呈現初期水量較高但遞減相當快的行為趨勢，若由動儲量構成時，因為地下水補注相對穩定，因此隧道湧水量隨著時間推移而下降幅度也多半較緩。

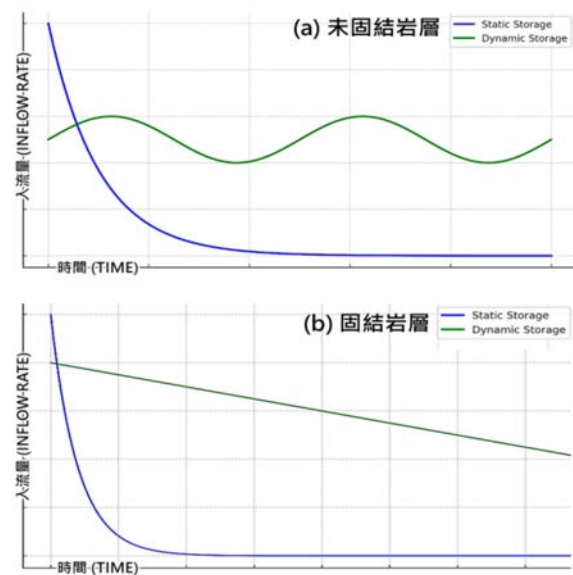


圖3 靜儲量或動儲量構成隧道湧水量之時序變化示意圖（(a)：未固結岩層，(b)：已固結岩層）



是故，通過觀察湧水的來源、流量和變化的理當可了解地下水系統的流動方向、速度和流量特徵，其反映地下水在隧道周圍的流動模式；湧水量大致與隧道周圍岩層的滲透性和水力傳導性有正相關，高湧水量通常表明岩層具有高滲透性和良好的水力傳導性，而低湧水量則表示岩層滲透性可能不佳。隧道湧水量越大、岩體通常越破碎，其對圍岩特性的影響越顯著。然而，隧道開挖所引發之湧水行為會受很多不確定性因素的控制，包括地質條件的差異、裂隙系統的不規則性、地下水系統的變動、自然災害和氣候變化，都使得預測和管理湧水風險變得相當具有挑戰性。特別是山岳地區含水層型態相當多樣，水文地質參數變異性遠較平原區複雜，在現地調查資料有限的情形下，可行的對策係根據工程地質條件、地形地貌特徵和水文邊界條件來建立水文地質概念模型，搭配數值方法依適用條件求解來預測隧道出水潛勢，並隨現地工程進度以水文觀測數據與湧水量進行透水性參數、系統或含水層邊界修正，滾動式精進模型預測結果。例如在湧水量觀測中，地下水系統的異質性表現在不同區域隧道段落的湧水量差異上。在隧道穿越高透水性的含水層時，湧水量可能會急劇增加，顯示該區存在具高滲透性的裂隙或斷層帶；當隧道穿越緻密的岩層或低透水性區域時湧水量則可能會大幅減少。而當隧道穿越順向坡或具有優勢裂隙的區域時，特別是在層理平行隧道的情況下，湧水往往集中於特定方向，而其他方向則顯示相對較低流量的現象。

（二）不同含水層地質構造條件可能的出湧水型態

水文地質概念模型可視為為一概括描述目標場址的簡化模型，基於模型建構者對地下水系統和其周圍地質環境的理解，考量地表水系、地形、地質構造、地層位態及水文特性後，組建出可體

現含水層水文地質邊界和分區特徵的模型來模擬或解釋地下水流動行為。而其驗證一者需依據隧道實際開挖時的地質構造條件，二者應參考隧道實際開挖時出湧水狀態來佐證。具體而言，每種地質結構都有獨特的水力行為，取決於與地下水儲層和流動通道相關的地質特性，而湧水行為多會隨時間逐漸衰減，亦可能形成穩定的湧水點，隧道開挖後若無適當控制則自然可能導致地下水位降低或流場重新分布。

在絕對理想化的假設情境下，若隧道路線所在地質條件為未固結孔隙含水層，粒徑分布和層理結構均勻，進行隧道開挖時可能遭遇的湧水型態如示意圖 4 (a) 所示，初始湧水量較大，受含水層補注速度和隧道的排水能力影響，在長時間尺度上，湧水行為隨時間呈現逐漸遞減，且可能伴隨一定程度波動。倘若，地質條件顯示隧道穿越的地層係由低透水泥層和高透水砂岩交替組成，在不透水層對地表水補注具明顯限制的情況下，則可能遭遇的湧水型態如示意圖 4 (b) 所示，出水量在長時間尺度可能出現不規則陡降。

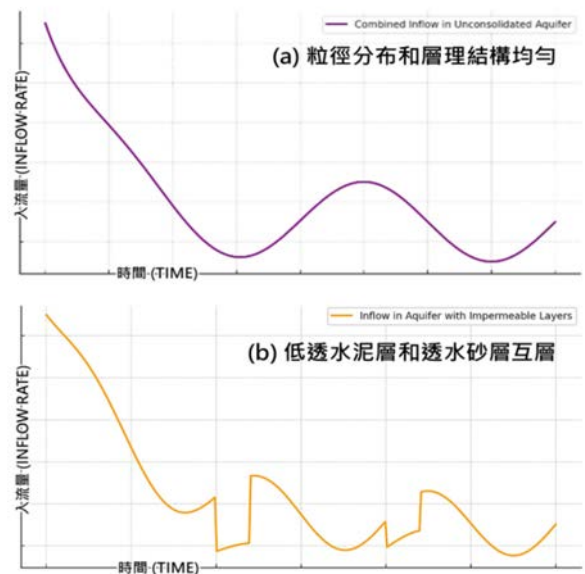


圖 4 隧道開挖湧水量時序變化示意圖 ((a): 粒徑分布和層理結構均勻, (b): 低透水泥層和透水砂岩互層)



三、研究區域與隧道概況

(一) 山區地理與地質環境概況

台灣位於歐亞板塊與菲律賓板塊交界處，地質複雜且破碎，臺9線蘇花公路長期以來常因地震或強降雨導致山區石塊鬆動崩落、滑動形成土石流而多次造成公路阻斷。交通部公路局自2011年推動「臺9線蘇花公路山區路段改善工程計畫」，於2020年元月完工通車，其總長38.8公里，其中隧道總長約24.5公里，佔工程比例達63%（李民政等，2014；邵厚潔等，2015）。而通過水文地質觀測計畫，蘇花改計畫全程記錄隧道施工期間出水情況，用以評估工程對鄰近區域地下水資源的影響，係國內山岳隧道工程先驅，提供山岳隧道工程施工與營運階段許多研究性參考（蕭富元等，2015；辜炳寰等，2019；財團法人中興工程顧問社，2020）。

蘇花改區域地質係屬於中央山脈東翼（太魯閣帶）地質區，受到板塊擠壓和構造運動的影響，形成了複雜的地質構造。本區主要斷層包括小帽山、猴猗山、東猴猗山、東澳嶺、南澳、樟樹山、觀音、鼓音、谷風與和中斷層等，多呈東西、南北或東北—西南方向延伸，寬度從數十公尺至約200公尺不等。由於斷層帶岩體破碎，易成為地下水流動及儲存的重要通路。

從水文地質單元來看，蘇花改計畫的蘇澳至東澳段自北向南依次為蘇澳層、南蘇澳層、東澳片岩、源頭山片麻岩及楓樹山角閃岩；南澳至和平段為南澳嶺片岩、武塔片岩及漢本大理岩；和平至崇德段主要為大理岩和片麻岩。東澳片岩與武塔片岩可進一步細分為石英片岩、綠色片岩、黑色片岩及大理岩，在隧道開挖階段湧水量時序變化可能更為複雜。各地層的主要岩性和地質特性如圖5和表1所示。

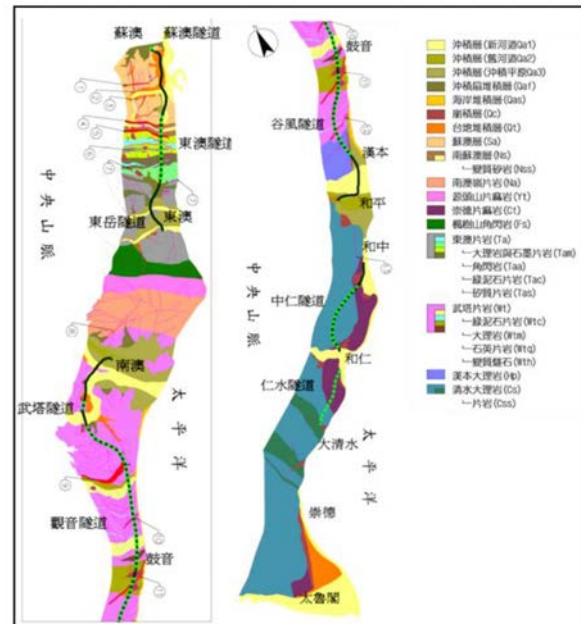


圖5 研究區地質分布概況（出處：財團法人中興工程顧問社，2020）

表1 蘇花改計畫沿線地層主要岩性與地質特性彙整（出處：財團法人中興工程顧問社，2020）

地層	主要岩性與地質特性說明
蘇澳層	板岩主要夾有薄層細粒變質砂岩和硬頁岩，局部夾有厚層變質砂岩。岩體葉理發達，易沿葉理滑移形成斷層或破碎帶，風化深度可達地表下一至二百公尺。
南蘇澳層	由板岩和變質砂岩及其互層構成。北側與蘇澳層以小帽山斷層為界，南側與東澳片岩以猴猗山斷層為界。
源頭山片麻岩	片麻岩呈淡灰色，中至粗粒，新鮮岩體強度甚高。
南澳嶺片岩	厚層石英片岩為主，夾有黑色片岩和矽質片岩，呈東西向帶狀分布，局部受南澳斷層影響，岩體較為破碎。
崇德片麻岩	出露於和平溪以南至立霧溪以北區域，位於清水大理岩東側。和中一帶岩體因受和中斷層影響較為破碎。
楓樹山角閃岩	角閃岩和角閃石片岩呈綠至暗綠色，塊狀岩體東西延伸，長16公里，南北寬約1.5公里，新鮮岩體强度高。
東澳片岩	在猴猗山至東澳南溪附近延伸約5公里，主要由黑色片岩、矽質片岩、綠色片岩、角閃岩及大理岩組成。片岩中常見沿片理滑移的斷層或破碎帶，大理岩多呈角礫狀破碎，易成為地下水滲流通道。



表 1 蘇花改計畫沿線地層主要岩性與地質特性彙整
(出處：財團法人中興工程顧問社，2020) (續表)

地層	主要岩性與地質特性說明
武塔片岩	岩性包括黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩、大理岩與變質燧石等。黑色片岩較多，大理岩以薄層為主，片岩中常見沿片理滑移的斷層或破碎帶。
漢本大理岩	淺灰色及白色細粒至粗粒大理岩組成，偶夾薄層綠色片岩、矽質片岩及變質燧石。在地表陡峭邊坡常見大量破裂面，開口寬度在數公釐至數公分間，推測接近地表處因解壓作用影響，開口內多無物質填充，局部有岩屑或泥質填充，常見鐵染現象。

整體而言本區變質岩岩性複雜，不同岩性間的接觸帶因岩體性質差異，在地體構造作用下常發展為層間滑移剪動帶，形成不同規模的剪裂破碎帶，這些有很大機會成為地下水流通的主要通道，在隧道開挖過程中構成潛在之滲流與湧水區域。

(二) 隧道工程概況與施工期間出水紀錄蒐集

臺 9 線蘇花公路山區路段改善計畫隧道分布範圍大致位於蘇澳至大清水間沿線，可分為蘇澳—東澳段、南澳—和平段及和中—大清水段等三個施工路段，為蘇花改計畫的關鍵工程。蘇澳—東澳段地層岩性多樣，且有高強度和良好滲水性

的特點，由於岩體葉理發育，隧道施工常遭遇沿葉理滑移形成之斷層構造或破碎帶。南澳—和平段包括南澳嶺片岩、武塔片岩及漢本大理岩。這些岩層具高強度，但受南澳斷層影響，岩體局部較為破碎。和中—大清水段主要包括大理岩和片麻岩，岩性多樣，强度高。該路段相對較為完整，僅部分區段受和中斷層影響而比較破碎。整體而言，除少數覆岩厚度較小區段外，隧道出水對周遭環境影響亦較輕微外，多數隧道沿線岩體破碎程度顯著，易發生滲水現象，施工難度大。

為掌握隧道施工對鄰近區域水資源環境影響，施工期間即佈設觀測儀器並持續進行資料監測與蒐集，瞭解區域水文地質環境變化情形。如表 2 所示為計畫執行期間所辦理之水文地質觀測項目、資料取得方式與其目的應用，其中「隧道洞口排水量觀測」為本研究所依據的重要項目之一，提供本研究山區公路隧道水文地質特徵與出水紀錄數據之探討時應用，除了回顧施工期間洞內與洞口湧水程度，亦可宏觀推估隧道出湧水的型態係以靜儲量或動儲量為主（如表 3 所示），前者為隧道圍岩內空隙中所賦存的地下水主導，出水量大小取決於圍岩規模、蓄水和排水能力，後者以地下徑流形式出現於圍岩並與地表水體有直接水力聯繫，出水量大小取決於補注、逕流和水力連通條件。

表 2 蘇花改計畫水文地質觀測項目與目的彙整表

項次	觀測項目	資料取得方式	資料頻率	資料取得目的與應用	備註
1	隧道開挖面地質紀錄	隧道施工廠商辦理	開挖輪進	瞭解隧道開挖面揭露地質（含岩性、節理弱面與滲水情形），提供水文地質單元分層調整參考	
2	隧道開挖面出水量觀測	隧道施工廠商辦理	每日一次	瞭解隧道開挖出水量，提供水文地質參數率定與模式修正依據，分析釐清隧道施工對鄰近區域水資源環境影響。	設置量水堰
3	隧道洞口排水量觀測	隧道施工廠商辦理	每日一次	瞭解隧道洞口排水量，提供水文地質參數率定與模式修正依據，分析釐清隧道施工對鄰近區域水資源環境影響。	設置量水堰
4	雨量觀測	自記式雨量站	連續記錄	瞭解計畫區降雨補注狀況，研判隧道出水行為與雨量關係，並提供三維水文地質模式率定與分析評估依據。	每月下載資料



表 2 蘇花改計畫水文地質觀測項目與目的彙整表（續表）

項次	觀測項目	資料取得方式	資料頻率	資料取得目的與應用	備註
5	河川流量觀測	自記式河川流量站	連續記讀	瞭解計畫區溪流水量變化，解析河川基流量，提供區域地下水補注評估參考。	每月下載資料
6	隧道洞口地下水位觀測	隧道施工廠商辦理	每日一次	瞭解隧道洞口地下水位變化，研判施工影響，並提供三維水文地質模式率定與分析評估參考。	
7	鄰近集水區地下水位觀測	自記式地下水位計	連續記讀	瞭解鄰近集水區地下水位變化，研判施工影響，並提供三維水文地質模式率定與分析評估參考。	每月下載資料
8	鄰近鐵路隧道洞口排水量	人工量測	每月一次	瞭解鄰近隧道洞口排水量，研判施工影響，並提供三維水文地質模式率定與分析評估參考。	

表 3 隧道洞口累積出湧水程度分級

分級	洞口累積出水量 Q		地質複雜程度	地層斷層穩定程度	誘發環境問題程度
	$\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$	$\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$			
小型	$Q < 2,400$	$Q < 1,677$	簡單	小型斷層，掉塊	無
中型	$2,400 \leq Q < 12,000$	$1,677 \leq Q < 8,333$	中等	中型與大型地層斷層穩定程度欄中間分隔線去除	特殊情況可能出現環境問題
大型	$12,000 \leq Q < 50,000$	$8,333 \leq Q < 34,722$	複雜		施工、防治不當，可能誘發環境問題
重大	$50,000 \leq Q < 100,000$	$34,722 \leq Q < 69,444$	極度複雜	大型斷層破碎帶、自穩能力差、可能引起大型失穩坍塌	可能造成重大環境災害
特大	$Q \geq 100,000$	$Q \geq 69,444$			

出處：參考修改自水利水电工程隧洞超前地質預報規程（2023）、韓行瑞（2004）

四、分析及關連性探討

本研究以蘇花改已完工營運之東澳隧道及觀音隧道為範例，實際探討隧道水文地質特徵與出水紀實數據之關連性，說明如下：

（一）東澳隧道

蘇花改東澳隧道位於蘇澳東澳段中段，路線大致與北迴鐵路永春隧道及新永春隧道平行，於2013年8月開挖進洞，於2018年2月5日通車營運，是蘇花改計畫中地質複雜及困難度相當高之隧道。東澳隧道出水量觀測工作執行至2018年10月止。東澳隧道北洞口出水歷時變化曲線如圖6所示。東澳隧道開挖施工過程北口遭遇的出水狀況說明如下：

1. 隧道北口段開挖遭遇板岩、千枚岩、變質砂岩、變質輝綠岩、片岩及大理岩等多種岩性變化呈互層交替分佈，尤其小帽山斷層與猴猗山斷層與隧道正交通過，破碎帶寬度在150～200公尺以上，其擾動帶內岩體破碎，常伴隨剪裂構造及夾泥現象，對隧道施工造成顯著困難，施工期間不僅多次發生抽坍事件，岩性變化處亦觀察到規模不等的出水情形，瞬間最大出水量約達2,050（L/min）左右。
2. 東澳隧道開挖除北口段的斷層與破碎帶外，主要湧水現象發生於里程5K+300～5K+400處的厚層大理岩段，大量地下水沿大理岩裂隙滲出，同時隧道頂拱及側壁的岩栓鑽孔遭遇地下水流出，施工期間曾出現瞬間高壓噴水現象，後續岩栓鑽孔持續有出水情形導致北上線隧道



洞口排水量大幅增加，北上線隧道貫通時的洞口排水量觀測值約 6,500 (L/min)，如圖 6 所示；而南段大理岩（里程 6K+250 附近）之開挖出水規模則明顯較小，開挖面出水量觀測值低於 500 (L/min)，且隧道開挖通過南段大理岩後，湧水量迅速下降少。

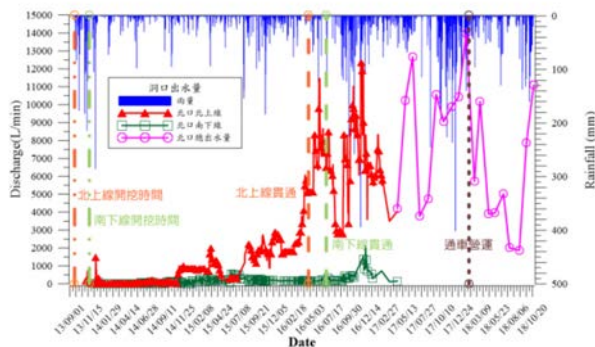


圖 6 東澳隧道北洞口排水量觀測歷時曲線圖
（出處：財團法人中興工程顧問社，2020）

整體而言，從出水紀實數據來看東澳隧道湧水以動儲量主導型態為主，隧道北口在北上線貫通時曾發生數次大規模湧水事件（日累積 10,000 m³ 或 8,333 L/min 以上），據經驗判斷出水主要來自東澳嶺地區的降雨補注，降雨入滲後沿岩盤裂隙及透水性佳大理岩流動，依地形起伏與隧道高程所形成之水力梯度，部分地下水滲流入隧道內，由隧道排水系統排出，部分則補注至東澳嶺地區之地表溪流（如圳頭溪），往北匯流至蘇澳河流域。

（二）觀音隧道

蘇花改觀音隧道是蘇花改計劃中最長的一座隧道，所處地質區屬中央山脈東翼大南澳片岩，地質條件亦相當複雜多變，施工經驗指出在片岩岩層中葉理構造發達，導致岩體呈現異向性，若遇剪裂帶且伴隨地下水，常出現自立性不佳的現象（周允文等，2014）。其於 2012 年 10 月開挖

進洞，隧道施工利用廢棄的舊北迴隧道設置 4 座施工橫坑，並增設多處開挖工作面，觀音隧道於 2016 年 5 月全線貫通，2020 年 1 月 6 日通車營運。觀音隧道北洞口出水量觀測歷時曲線如圖 7 所示。

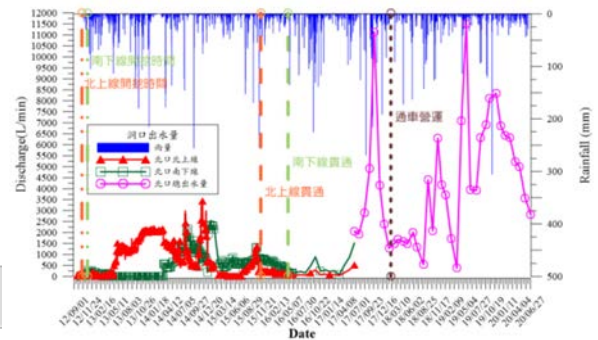


圖 7 觀音隧道北洞口排水量觀測歷時曲線圖
（出處：財團法人中興工程顧問社，2020）

觀音隧道路線高程最高處約在里程 4K+060 附近，以北的隧道出水由北口排出，以南之出水則引流至舊觀音隧道南、北洞口及里程 7K + 572 橫坑海側排出。觀音隧道開挖施工過程遭遇的出水狀況說明如下：

1. 觀音隧道沿線地層以黑色片岩為主雖岩性表觀上較為單純，但受多期構造作用影響，片岩褶皺劇烈，出現發育厚度不一之夾泥剪裂帶，且局部破碎，造成地下水流動呈現特定方向性，並有水包型地下水蓄存現象，惟因集水區範圍不大，隧道開挖過程並未發生具災害性之突發湧水事件。
2. 觀音隧道開挖主要出水發生在里程 3K+300 及里程 3K+600 附近的褶皺破碎地層，褶皺構造頂部發育張力裂隙，並與上方地表沖蝕溝相連通，導致開挖明顯出水，出水量觀測值約 1,400 ~ 2,100 (L/min)；里程 7K+173 開挖面出現多道剪裂帶，岩體破碎，出水量觀測值約 1,100 (L/min)，經施作管幕灌漿後順利克服地質困難；其餘區段開挖出水量不顯著，出水量低於 10 (L/min)。



3. 觀音隧道開挖通過里程 6K+100 時曾發生特殊出水現象，該處開挖面並未遭遇出水，但後續安裝主計測斷面儀器時，左側壁鑽孔施工出現異常出水情形，鑽孔出水量持續增加，並伴隨細粒料夾帶流出，出水量觀測值達約 1,400 (L/min)。隧道繼續前進開挖，開挖面亦仍未直接遭遇湧水，但里程 6K+100 處持續出水數個月後方始減少，研判係因側壁高角度節理連通水路所致，亦顯示此區域片岩受多期構造作用影響，優勢裂隙主導地下水流通路與方向。

觀音隧道上半斷面開挖貫通後，持續進行仰拱降挖及襯砌澆築等作業，2017 年上半年北口北上線排水量大致約 39 ~ 530 (L/min)，北口南下線排水量大致約為 77 ~ 1,520 (L/min)；下半年受降雨增加影響，北洞口排水量亦增加至約 1,931 ~ 11,140 (L/min)。通車營運後，北口總排水量大致約位於 377 ~ 11,521 (L/min)，高峰出水量主要出現在 5 月梅雨季及 9 ~ 12 月颱風及雨季期間。整體而言，從出水紀實數據來看，觀音隧道前半段湧水量為動儲量主導型態，後半段湧水量則以靜儲量為主。

五、結論與建議

山岳隧道施工常面臨滲流與湧水問題，因此在規劃初期非常需進行現地水文地質調查，以確切瞭解山區公路隧道的水文地質特徵，並作為後續設計與風險評估之依據。預先評估隧道開挖可能的出水量是設計前的重要課題，然而初期地質調查常受限於調查點位置、數量及儀器設備等條件，通常只能獲得隧道沿線的大致水文地質條件。實際開挖過程中，隧道沿線的複雜水文地質條件往往隨著施工進展逐步揭露。

施工期間的出水紀錄數據不僅提即時且關鍵的回饋資訊，還有助於分析山區公路隧道的水文

地質特徵。本研究以蘇花改工程中的東澳隧道和觀音隧道為例，探討開挖過程中的出水紀錄數據，回顧施工期間的湧水情形，並嘗試與鄰近區域的水文地質特徵進行對應與關聯性探討。這些數據可用來推估隧道出水狀況與型態，並協助後續數值分析模型校正與驗證的重要依據。期望本研究之分析成果，能對未來隧道工程及相關水文地質評估作業提供實務參考與技術支援。

參考文獻

- Kresic, N. (2023). Hydrogeology 101: Introduction to groundwater science and engineering. Published by Blue Ridge Press LLC, Book, Lecture, 2 (3), P27.
- 中国水利学会 (2023)，水利水电工程隧洞超前地质预报规程（征求意见稿），T/CHES 107-2023。
- 吳建、周志芳、李鳴威、陳朦 (2019)，隧洞湧水量預測計算方法研究進展，工程地質學報，第 27 卷，第 4 期，第 890-902 頁。
- 李民政、李怡德、侯秉承 (2014)，台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫之推動與特色。中興工程，第 123 期，第 71-78 頁。
- 周允文、吳慶輝、郭育安 (2014)，蘇花改觀音隧道遭遇地質弱帶施工案例探討，中華技術，第 104 期，第 70-83 頁。
- 邵厚潔、林蔚然、蔡立盛、陳正勳、吳文隆 (2015)，臺 9 線蘇花公路山區路段改善計畫隧道規劃及特殊考量。中華技術，第 105 卷，第 66-83 頁。
- 孫謀、劉維寧 (2008)，隧道湧水對圍岩特性影響分析，隧道建設，第 28 卷，第 2 期，第 143-147 頁。
- 財團法人中興工程顧問社 (2020)，臺 9 線蘇花公路山區路段改善計畫—隧道水文地質模式檢測與區域水資源環境影響分析委託專業服務工作，交通部公路總局蘇花公路改善工程處，宜蘭。
- 辜炳寰、蕭富元、邵厚潔、林廷彥 (2019) 大理岩隧道開挖出水特性與因應對策案例探討，第十八屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，四川重慶。
- 辜炳寰、蔡文瀚、蕭富元、高憲彰 (2019)，高出水潛勢隧道施工水文地質調查與地下水資源影響分析，中興季刊，第 143 期，第 57-67 頁。
- 黃棟良、羅偉奇、劉文劍、吳湘濱 (2006)，雪峰山隧道局部湧水模型探討，探礦工程（岩土鑽掘工程），第 7 期，第 62-63 頁。
- 蕭富元、高憲彰、邵厚潔、林廷彥 (2015)，蘇花改隧道施工對地下水文影響評估，地工技術，第 146 期，第 33-42 頁。
- 韓行瑞 (2004)，岩溶隧道湧水及其專家評判系統，中國岩溶，第 3 期，第 209-218 頁。



RRR 加勁路工構造物設計方法探討與案例介紹

Design Method and Case Study of RRR Construction Method

蔣榮 Jung Chiang¹ 朱蕙蘭 Huei Lan Jhu² 陳致宇 Zhi-Yu Che² 江政恩 Chen-En Chiang³

摘 要

目前國內外已有工程案例採用加勁構造物作為鄰近或通過斷層帶之鐵公路路堤與橋台等，透過加勁構造物容許較大變形量之特性，降低地震力與斷層錯動之影響，避免發生倒塌，達到減災與快速修復之目的，如國道4號臺中環線豐原-潭子段工程即採用回包式加勁擋土牆作為路堤，以降低車籠埔斷層可能帶來之影響。然而，由於加勁構造物柔性與牆面不連續之特性，受震時牆面容易產生較大之側向位移，造成路堤或橋台頂部沉陷，影響鐵公路行車之安全。由日本東京大學龍岡文夫教授提出之 RRR 加勁路工構造物（Reinforced-Soil Road Structures with Rigid Facing）被廣泛應用於九州與北海道新幹線鐵路建設中，由於高速鐵路容許沉陷量小，透過於回包式加勁擋土牆面施作全高度連續之刚性牆面（Full-Height Rigid Facing），使土壓力有效傳遞至牆面與加勁材中，以降低受震時牆面側向位移與上方軌道板沉陷量。本文依據日本 RRR 工法設計規範及實際工程參訪成果，討論 RRR 加勁路工構造物設計方法與技術，作為未來鐵公路鄰近斷層、通過活動斷層及震後受損修復之方案參考。

關鍵字：RRR 加勁路工構造物、RRR 工法、RRR 橋台、RRR 一體橋

Abstract

Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS) structures have been implemented in engineering practice to mitigate the impact of earthquake hazards. For example, a GRS embankment was constructed across the Chelungpu Fault in the extension project of National Highway No. 4. Although studies have proven the benefits of using GRS structures against earthquake hazards, the discontinuity of the flexible facing of a GRS structure could cause relatively large wall displacement, resulting in potential settlement of the overlying rail track or pavement. The Reinforced-Soil Road Structures with Rigid Facing (RRR), which consists of a full-height rigid (FHR) facing and a wrapped-around GRS wall, have been widely used in the construction of high-speed rail in Japan. The firm connection of the FHR facing to the wrapped-around facing could distribute the earth pressure to the FHR facing, leading to a extremely small wall displacement. The aim of this paper is to introduce the design methodology and case studies of RRR construction methods.

Keywords: RRR construction method, RRR bridge abutment, RRR reinforced soil integral bridge

¹ 國立臺北科技大學土木工程系助理教授 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Taipei Tech.

² 中興工程顧問公司大地工程部工程師 Engineer, Department of Geotechnical Engineering, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

³ 中興工程顧問公司大地工程部協理 Associate Vice President, Department of Geotechnical Engineering, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.



一、前言

1999 年集集地震造成車籠埔斷層附近房屋與結構物的倒塌與破壞，目前國內已於建築技術規則中明訂，依據地震歷史規模紀錄，活動斷層兩側 30 m 至 100 m 內不得進行建築開發，然而公共基礎建設如鐵公路等線性結構仍無法避免由斷層帶通過。由於地震力與斷層錯動往往造成傳統 RC 擋土構造物破壞，目前國內外已有工程案例採用加勁構造物作為鄰近或通過斷層帶之鐵公路路堤與橋台等，透過柔性加勁構造物容許較大變形量之特性，降低地震力與斷層錯動之影響，避免發生倒塌，達到減災與快速修復之目的，如國道 4 號臺中環線豐原——潭子段即是採用加勁擋土牆作為路堤，以降低車籠埔斷層可能帶來之影響。然而由於加勁路堤或橋台銜接橋梁處往往以簡支梁的方式進行設計，且加勁路堤或橋台與橋面板結構勁度不同，地震力作用下可能發生破壞甚至是落橋等，加上其牆面以回包式或模塊（板）為主，因其柔性與不連續之特性，受震時牆面容易產生較大之側向位移，造成加勁路堤或橋台頂部軌道板或鋪面沉陷與破裂等，影響鐵公路行車之安全。

近年來鐵公路柔性加勁構造物之應用與研究漸成熟，由日本龍岡文夫教授與 RRR 工法協會（Association of RRR Construction System）提出之 RRR 加勁路工構造物（Reinforced-soil Road structures with Rigid facing）被廣泛應用於九州與北海道新幹線鐵路建設中，由於高速鐵路容許沉陷量小，透過於回包式加勁擋土牆面施作全高度連續之剛性牆面（Full-height Rigid Facing），即 FHR 牆面，使土壓力有效傳至牆面與加勁材中，以降低受震時牆面側向位移與沉陷量。此外，由於一般 RC 擋土牆於受震時牆體承受較大之側向土壓力及地震慣性力，底部承受較大之彎矩，地震發生時易發生傾倒破壞，而 RRR 加勁路工構造

物透過 FHR 牆面與加勁土緊密結合，提升擋土構造物之耐震與穩定性，使其於較大之地震作用力下仍可維持穩定。

二、RRR 工法技術與設計方法

（一）RRR 工法介紹

RRR 加勁路工構造物依據功能性可區分為 RRR-A、RRR-B、RRR-C 及 RRR-D。其中 RRR-A 為加勁橋台，RRR-B 為加勁擋土牆，RRR-C 為錨定式擋土牆，RRR-D 則為加勁臨水構造物。其中 RRR 擋土牆（RRR-B）與 RRR 橋台（RRR-A）應用最為廣泛。RRR 擋土牆（RRR-B）之工法示意圖如圖 1。FHR 牆面厚 $t = 30\text{ cm}$ ，大多採垂直施作。加勁材分為兩種長度鋪設，短加勁材垂直間距 $S_v = 30\text{ cm}$ ，鋪設長度為 RRR 擋土牆總高度之 35%，長加勁材則每 1.5 m 鋪設一層，鋪設長度需達回填土摩擦角延伸之潛在破壞面範圍（如圖 1）。RRR 橋台（RRR-A）則於 FHR 牆面頂部以簡支梁方式支撐橋面板，較 RC 橋台經濟且耐震性高，RRR 橋台之工法示意圖如圖 2，短加勁材垂直間距 $S_v = 30\text{ cm}$ ，鋪設長度為總高度之 35%，長加勁材則是每 90 cm 鋪設一層，與 RRR 擋土牆不同，長加勁材於底部鋪設較長，頂部則

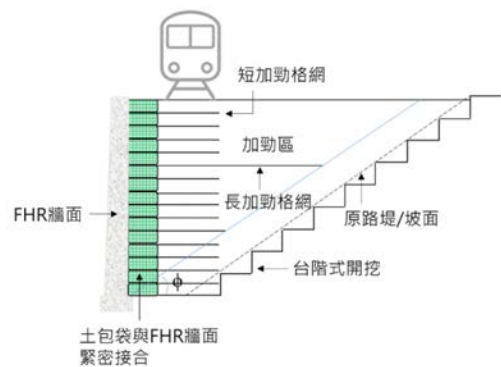
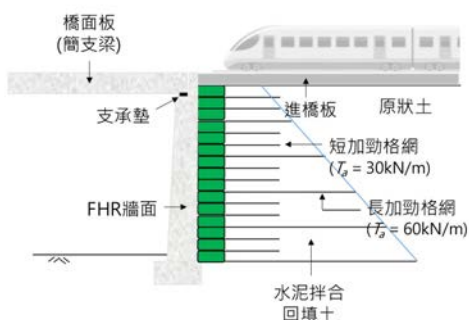


圖 1 RRR-B 擋土牆工法示意圖



較短，主要因為減緩加勁區與未加勁區勁度不同產生差異沉陷之影響（通行方向垂直牆面）。

鋪設長度則是於頂部退縮 2 m，向下以 1：1.5 比例之延伸線範圍。



(a) 工法示意圖



(b) 照片（取自 Tatsuoka et al., 2014）

圖 2 RRR-A 橋台

此外，RRR 橋台若將橋面板與 FHR 牆面直接連，則稱為 RRR 一體橋（RRR Reinforced Soil Integral Bridge），如圖 3 所示，較簡支梁 RRR 橋台穩定且經濟，耐震性高，牆面位移小，可有效降低牆位移及沉陷對軌道板之影響，且不會發生落橋，日本 311 大地震後多用於受海嘯側向力

與上浮力作用翻覆之橋面板修復，Tatsuoka et al. (2016) 透過全尺度試驗評估 GRS 一體橋受地震力作用下之穩定性，模擬一高 4 m 之 GRS 綜合橋梁受 1995 年阪神大地震之最大地表加速度作用於牆面頂部，試驗結果顯示牆頂僅位移 20 mm，橋面板中心沉陷量僅 1.4 mm，遠低於容許設計值。

RRR 擋土牆之施工流程為先施作 FHR 牆面

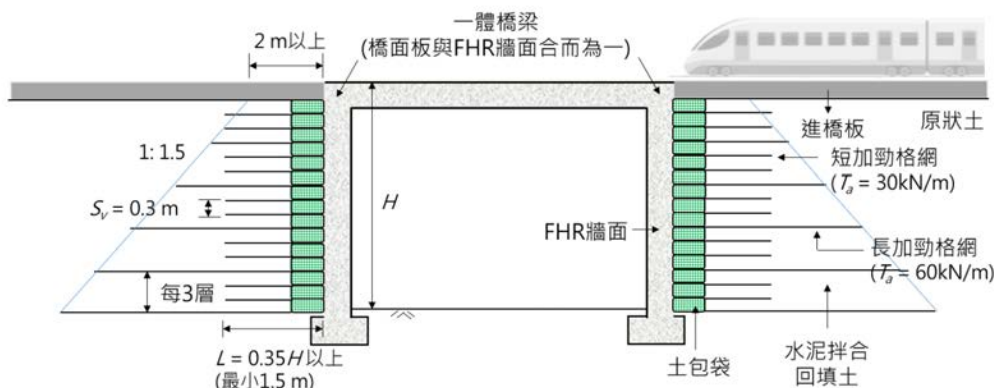


圖 3 RRR 一體橋（RRR-A）工法示意圖

（二）施工技術與流程

RRR 擋土牆之施工流程為先施作 FHR 牆面

之底部基礎，接著回填夯實施作全高度之回包式加勁擋土牆，待加勁擋土牆沉陷穩定後，再進行 FHR 牆面施作（圖 4）。FHR 牆面之施作採現場



安裝模板並澆置混凝土之方式進行，澆置時部分混凝土會進入土包袋中，使土包袋與 FHR 牆面緊密結合，FHR 牆面連接示意圖如圖 5 所示。由於土包袋與 FHR 牆面之結合提供主動區較高之圍束應力，相較於柔性牆面之加勁擋土牆，FHR 牆面承受較大之側向土壓力，加勁材亦承受較大之張力，因而提供較高之整體穩定性 (Tatsuoka et al., 2014)，FHR 牆面之力學機制如圖 6。

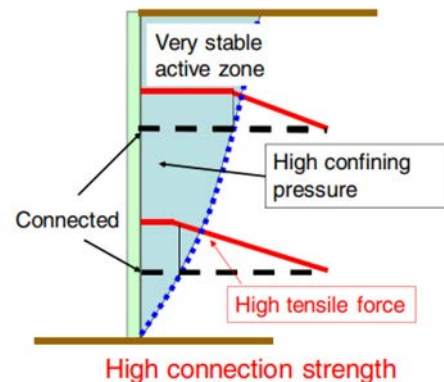


圖 6 FHR 牆面力學機制
(Tatsuoka et al., 2014)

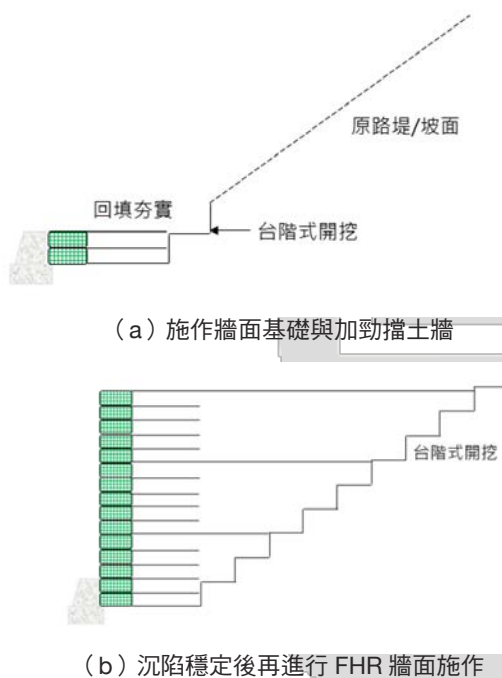


圖 4 RRR 擋土牆施工流程

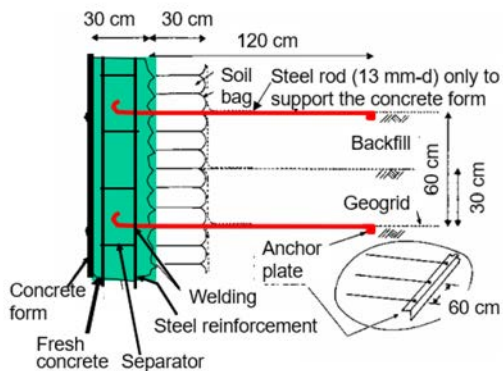


圖 5 FHR 牆面連接示意圖
(改自 Tatsuoka et al., 2014)

(三) 功能設計法

RRR 構造物之設計分析方法依據 RRR 工法協會及日本鐵道綜合技術研究所 (Railway Technology Research Institute, RTRI) 之規範 (鐵道綜合技術研究所, 2011、2013、2017)，採功能設計，考量不同作用組合 (永久、變動及地震作用) 及作用係數，依據各構造物之重要程度 (分為 I 至 III 級) 決定必要之檢核項目，包含安全性 (Safety)、使用性 (Serviceability) 及修復性 (Restorability) 三類，RRR 加勁路工構造物之功能設計檢核項目如表 1。其中性能等級越重要 (如高速鐵路即為性能等級 I 之重要路工構造物)，則設計時需檢核之項目越多，其中安全性與修復性需考量地震力對構造物穩定之影響並進行檢核，惟兩者考量之地震力大小不同，安全性檢核時考量 L1 地震力之影響，修復性則考量 L2 地震力之影響 (與 1995 年日本阪神大地震相同之地表加速度)，檢核時需使用不同之折減係數，以符合功能設計需求；使用性檢核則不必考慮地震情況。設計分析時需配合由鐵道綜合技術研究所開發之分析軟體 Design RRR 以 Two Wedge Method 計算作用於 FHR 牆面之土壓力，並進行內、外穩定檢核。



表 1 RRR 加勁路工構造物性能項目與指標
(改自 RRR 工法協會, 2020)

性能	項目		指標
安全性	破壞	牆面	剪力、彎矩
		加勁材 拉出拉斷	拉出阻抗張力強度
	安全	基礎土壤	沉陷量、液化指標
		加勁材 內、外穩定	滑動、彎矩
使用性	軌道維護	加勁回填土	累積變形量
		基礎土壤	沉陷量
	外觀	牆面	裂縫寬度
修復性	損傷	牆面	剪力、彎矩
		加勁材 拉出拉斷	拉出阻抗張力強度
	殘餘變位	基礎土壤	殘餘變位
		加勁回填土	

4. 變形量計算：FHR 牆面位移量、RRR 構造物之滑動、傾倒及剪切變形量。

三、RRR 工法案例與應用

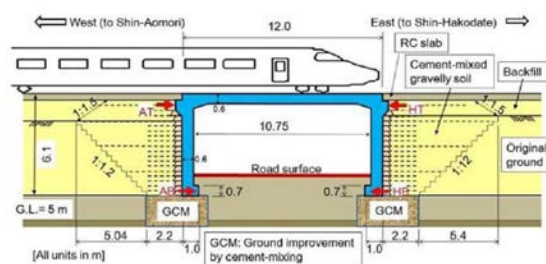
(一) 北海道新幹線木古內站一體橋 (RRR-A)

本案例位於日本北海道新幹線木古內站。為 RRR 一體橋，橋梁高度 6.1 m，跨距 10.75 m。橋面板與 FHR 牆面合而為一，形成一個整體。回填土材料以 4% 水泥拌合，其優點為牆面位移及沉陷量小，耐震性高，圖 7 為日本北海道新幹線木古內站 RRR 一體橋的工法示意圖及照片。由於本案例為日本第一座應用於新幹線之 RRR 一體橋，且建造場址位於溫度變化較顯著之北海道區域，為確保 RRR 一體橋之穩定性，建造時即持續進行各種監測。監測結果顯示截至 2015 年 4 月，牆面頂部側向位移量最大約為 3 mm，橋梁長度變化約為 6 mm，佔橋梁總長度 0.05%，加勁材張力皆未超過加勁材之容許張力。

(四) 分析軟體介紹

Desgin RRR 可計算作用於 FHR 牆面之土壓力，並進行內、外穩定性檢核。此外，由於 RRR 構造物之功能性設計需依據不同作用組合，針對構造物安全性、使用性及修復性進行檢核，運算量大，該分析軟體透過性能等級自動設定所需之阻抗係數，以滿足功能性設計需求，此外也可用於計算 RRR 構造物動態地震力作用下之位移量，其主要功能及特性如下：

1. 計算功能：RRR 構造物內、外穩定檢核、牆面土壓力計算 (Two Wedge Method)，以及 L2 地震力作用下之位移量等 (Newmark Method)。
2. 載重類型：RRR 構造物自重、上部靜載重與交通載重、FHR 牆面所受之風力、鐵路電極荷重等。
3. 係數自動化設定：作用係數、構造物係數、材料係數、內穩定阻抗係數、圓弧滑動阻抗係數。



(a) 工法示意圖



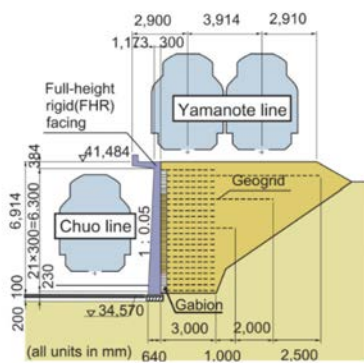
(b) 照片

圖 7 日本北海道新幹線木古內站 RRR 一體橋
(取自 Tatsuoka et al., 2016)



(二) 山手線新宿車站附近擋土工程 (RRR-B)

本案例位於日本東京新宿車站附近 JR 中央線與山手線交會處。由於山手線新規劃之路線緊鄰原山手線之高架橋，且因山手線運量較大，施工時需維持鐵路之營運，在建造空間不足的情況下，使大部分擋土工法無法施工，因此最後選用 RRR 工法 (RRR-B 擋土牆)，如圖 8。此案例之特殊之處在於 RRR-B 擋土牆可於鐵路路堤頂部施工，包含後方回包式加勁擋土牆之施作及 FHR 牆面灌漿等，且由於 FHR 牆面與加勁擋土牆直接接合，因此鐵路軌道可設置鄰近 FHR 牆面，減少擋土構造物所需之建造空間。



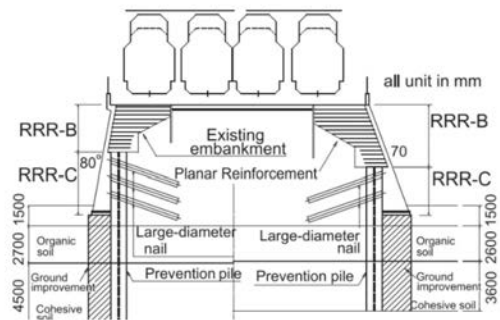
(a) 工法示意圖 (取自 RRR 工法協會網站)



(b) 照片

圖 8 山手線新宿車站附近擋土工程

先兩線道之東橫線鐵路路堤擴增為四線道，如圖 9，此案例採用 RRR-B 及 RRR-C 工法，首先於高 7 m 之原鐵路路堤下方兩側施作 RRR-C 擋土牆，以直徑 20 至 40 cm 之水泥拌合式錨栓加固，並將錨栓中心之拉力鋼件連接於前方 FHR 牆面，該型式之錨栓也被稱為 Radish Anchor。當 RRR-C 錨錠式擋土牆完成後，在其上方接著施作 RRR-B 擋土牆，並將兩者 (RRR-B 及 RRR-C) 之 FHR 牆面連接，形成一完整且連續之 FHR 牆面。此案例之特殊之處在於 RRR 擋土牆可於鐵路路堤頂部施工，包含後方回包式加勁擋土牆之施作及 FHR 牆面灌漿等，以減少施工道路管制對居民通行之影響。



(a) 工法示意圖 (取自 RRR 工法協會網站)



(b) 照片

圖 9 東急東橫線擴增工程

(三) 東急東橫線擴增工程 (RRR-C)

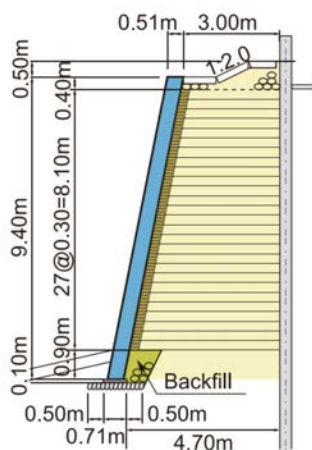
本案例為位於日本東京東急電鐵元住吉站出口段 (往橫濱方向) 之鐵路路堤擴增工程，將原

(四) 西湘濱海公路修復工程 (RRR-D)

本案例位於日本東京大磯西湘濱海公路，該濱海公路於 2007 及 2017 年間因颱風造成原先下



方重力式擋土牆因海浪掏刷地基翻覆而破壞，最終採用 RRR 臨水構造物（RRR-D）進行修復，並於趾部加固，如圖 10 所示。RRR 臨水構造物之優點在於 FHR 牆面可防止海浪進入擋土構造物。此外，為防止修復期間可能導致之進一步的破壞發生，本修復案例採階段性施工，於 RRR 臨水構造物施作達一半設計高度時即先將 RRR 構造物頂部以混凝土板封固，避免海浪由頂部滲入。牆面排水管設有逆止閥系統，確保海水不會逆流至構造物中，影響其穩定性。



(a) 工法示意圖（取自 RRR 工法協會網站）



(b) 照片

圖 10 西湘濱海公路修復工程

(五) RRR 工法於國內之未來展望

依據 RRR 工法協會統計，目前日本 RRR 加勁路工構造物共計 RRR-A 橋台 39 座、RRR-A 一

體橋 8 座、RRR-B 擋土牆 1275 座，以及 RRR-C 錨定式擋土牆 258 座（統計至 2019 年 4 月），其中不乏應用於對沉陷與變形量要求較高之新幹線工程中，且目前並未有任何 RRR 構造物之破壞案例，足見 RRR 工法之優異性。由於台灣活動斷層分布密集，地震頻繁，RRR 工法可作為鐵公路鄰近斷層、通過活動斷層之方案，以減緩地震力作用導致路堤下沉及軌道板變位之影響，未來可用於高速鐵路延伸屏東案（降低通過旗山斷層對高鐵行車安全之影響）與北延宜蘭案（減少翡翠水庫集水區汙染，以利通過環評）等高速鐵路工程中。此外，RRR 工法亦可作為鐵公路震後災害修復之方案，亦或應用於蘇花公路安全提升計畫相關工程中。

四、結語

本文依據 RRR 工法協會之規範及相關案例，摘要其工法特色與設計要點如下

(一) RRR 加勁路工構造物透過於回包式加勁擋土前方施作全高度連續之剛性牆面，使 FHR 牆面與加勁土形成一個整體，將土壓力有效傳遞至牆面與加勁材中，以降低受震時牆面位移與牆頂沉陷量。由於 FHR 牆面與土包袋接合提供了較高的穩定性，加勁材鋪設長度短，建造範圍小，施工時需待加勁擋土牆沉陷穩定後，再行施作 FHR 牆面，避免 FHR 與回包式牆面發生相對位移。

(二) RRR 橋台（RRR-A）於 FHR 牆面頂部以簡支梁的方式支撐橋面板。與 RRR 擋土牆（RRR-B）不同，RRR 橋台長加勁材於底部鋪設較長，頂部則較短，主要原因為減緩加勁區與未加勁區勁度不同產生差異沉陷之影響。RRR 一體橋（RRR-A）則是



將橋面板與 FHR 牆面直接連接，較簡支梁 RRR 橋台穩定且經濟，耐震性高，牆面位移量小，且可使用水泥拌合回填土，有效降低牆位移及沉陷對軌道板之影響。

- (三) RRR 加勁路工構造物採功能設計，考量不同作用組合、作用係數，以及構造物之性能等級決定必要之檢核項目，包含安全性、使用性及修復性。檢核時依據 RRR 工法協會規範之規定計算作用於 FHR 牆面之土壓力，並針對 RRR 構造物之內、外穩定進行檢核。

參考文獻

RRR 工法協會網站，<https://www.rrr-sys.gr.jp/>。

鐵道綜合技術研究所（2011），「鐵道構造物等設計標準

同解說——土留め構造物」。

鐵道綜合技術研究所（2013），「鐵道構造物等設計標準同解說——土構造物」。

鐵道綜合技術研究所（2017），「補強盛土一体橋梁（GRS 一体橋梁）の設計・施工指針」。

Association of RRR Construction System (2020), "Manual for the Design and Construction of RRR Geosynthetic-Reinforced Soil Structures".

Association of RRR Construction System (2019). "Materials manual of reinforced embankment structures by RRR method".

Tatsuoka, F., Tateyama, M., Koda, M., Kojima, K., Yonezawa, T., Shindo, Y. and Tamai, S. (2016). "Research and construction of geosynthetic-reinforced soil integral bridges", Transportation Geotechnics, 8, 4-25

Tatsuoka, F., Tateyama, M., Koseki, J. and Yonezawa, T. (2014). "Geosynthetic-reinforced soil structures for railways in Japan", Transportation Infrastructure Geotechnology, 1(1), 3-53.

叢書訊息

(一) 堆填壩施工手冊(增修版)

邱鴻章 編著

2022 年 2 月初版

(二) 廢污水生物急毒性檢測與應用評析

許國恩、林宜璇、吳佳娟、
鳥春梅、林淑滿等 編著

2020 年 11 月初版

(三) 台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究

詹穎雯、陳育聖、邱暉仁、
何季軒等 編著

2020 年 7 月初版



臺灣環境技術查證制度的發展與推動

The Development and Promotion of Environmental Technology Verification in Taiwan

江宗諺 Tsung-Yen Chiang¹ 郭霈宸 Pei-Chen Kuo²

摘 要

環境技術查證（ETV）制度旨在應對環境污染問題，協助企業和個人選擇合適的技術和廠商。臺灣正依據 ISO 14034 標準建立了自己的 ETV 制度，未來預期可涵蓋空氣、水、廢棄物、土壤及地下水污染等領域，透過第三方查證／試驗機構進行技術驗證，以提供公正可靠的技術查證評估程序。為推動技術的國際化，臺灣計劃參與國際聯合查證組織或與其他國家簽署聯合查證計畫，以促進技術出口，提升國內環境技術的國際競爭力。臺灣的環境技術查證（ETV）制度在推行初期，重點在於建立完整的執行架構，確立各相關機構的角色與職責，並制定相應的法規和行政規則。未來，臺灣將透過國際推廣活動來提升 ETV 制度的認知度，並協助環境技術廠商在國際市場上取得競爭優勢，除了有助於國內更有效解決環境污染問題，還能促進環保技術的創新與應用，提升臺灣技術的國際地位，並促進環境產業的整體發展。

關鍵字：環境技術查證、創新優化環境技術、ISO14034、ISO17020、ISO17025

Abstract

The Environmental Technology Verification (ETV) system aims to address environmental pollution issues and assist companies and individuals in choosing appropriate technologies and manufacturers. Taiwan is establishing its own ETV system based on the ISO 14034 standard, which is expected to cover air, water, waste, soil, and groundwater pollution in the future. Technical verification will be carried out by third-party verification/testing agencies to provide a fair and reliable technical verification and evaluation process. To promote the internationalization of technology, Taiwan plans to participate in international joint verification organizations or sign joint verification plans with other countries to promote technology exports and enhance the international competitiveness of domestic environmental technology. In the early stages of implementing Taiwan's Environmental Technology Verification (ETV) system, the focus was on establishing a complete implementation framework, defining the roles and responsibilities of each relevant agency, and formulating corresponding laws and administrative rules. In the future, Taiwan will use international promotion activities to increase awareness of the ETV system and assist environmental technology manufacturers in gaining a competitive advantage in the international market. In addition to helping the country solve environmental pollution problems more effectively, it will also promote the innovation and application of environmental technology, enhance the international status of Taiwan's technology, and promote the overall development of the environmental industry.

Keywords: Environmental technology verification, Innovative environmental technology, ISO 14034; ISO 17020; ISO 17025

¹ 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員 Assistant Researcher, Environmental Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社環境工程研究中心副研究員 Associate Researcher, Environmental Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.



一、前言

對一般企業或個人而言，環境問題與其改善方式大多是陌生的挑戰，一旦發現環境存在問題，不僅需要應對問題所帶來的困境，同時也需要尋找適當的廠商和技術來解決問題，將是一項棘手的挑戰，且考量到環境整體因素，其專業性和複雜性使得一般人難以準確判斷；面對這樣的情境，合適的技術和廠商的選擇變得尤為關鍵，需要倚賴專業知識和經驗的支持。

因此，協助需求者取得可靠的污染整治方案並有效地應對環境問題變得至關重要，這突顯了推動環境技術查證制度的必要性，確保整治技術的可信度和有效性，提供需求者明確且可靠的方向，使其在面對環境污染問題時，能夠作出適當的決策。

國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）於 2016 年 11 月 15 日頒布環境管理 - 環境技術查證（Environmental management - Environmental technology verification, ETV）的新規範（ISO 14034：2016），旨在提供可信且可靠的技術查證評估程序，透過第三方查證 / 試驗機制，促進研發或推廣創新或優化的環境新技術，除可提高其有效性與完整性，也使市場利害關係人（包含開發者、投資者、購買者）更有保障。

目前，各國 ETV 制度推動之間存在差異。因此，為提供國內環境問題可信賴且實用之應用技術，同時促進我國優良技術廠商對開發技術之深耕投資與推廣，環境工程研究中心協助環境部以 ISO14034 ETV 標準為基礎，建立我國「環境技術查證」制度，透過蒐整國內外 ETV 制度推展情形，統整歸納並建立與國際接軌之環境技術及設備驗證制度，透過國內外環境技術發展現況，研析相關技術申請環境技術查證可行性，更逐步擴充對國內外

環境技術資訊的統整，強化本土技術能力的證明，提供廠商在進行海外市場競爭時，能擁有通過第三方環境技術查證標準與驗證之實績與技術能力的證明文件，在完備我國技術查證制度的前提下，同時提升廠商在國際市場的競爭力，協助廠商在海外市場推廣優良技術，促進環境產業發展。

二、ETV 發展進程

環境技術是產生環境附加價值或確認環境衝擊的量測參數之技術，範圍包含產品、程序以及服務。此類技術旨在處理環境污染挑戰，或是產生環境附加價值，對於永續發展的重要性亦日益漸增；然而，在污染預防與改善上，各環保設備廠商的技術水準不一，污染防制的成效亦有所不同。因此，美國為協助環保業者確認研發技術效能，1995 年起積極投入「建立環境技術驗證體系」，後續並擴展至其他國家，如加拿大、日本、韓國、歐盟及菲律賓等。2008 年，美國、加拿大、日本、韓國、歐盟及菲律賓等國負責運作 ETV 計畫之機構，派出國際專家代表組成 ETV 國際工作團隊（The International Working Group on ETV, IWG-ETV），其目標係為探索及加速國際協調及對 ETV 計畫查證相互認可的方法。

而後，IWG-ETV 經討論達成共識，向國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）提出申請書，期建立全球 ETV 標準化查證流程以確保環境技術之可信度及穩定性，ISO 在 2016 年 11 月 15 日正式公告 ETV 國際標準 ISO 14034。

ETV 係用於查證環境技術績效的可信度與可靠性，查驗機構受技術持有方委託，依相關標準規範，進行創新環境技術之公正第三方查證，並向社會大眾公開查證結果，賦予技術持有方使用 ETV 標誌，促進創新環保技術的推廣與應用。



ETV 不對技術優劣進行評鑑，係透過公正第三方解決創新技術推廣訊息可信度及技術使用資訊可能缺失之問題。依 ETV 制度提供的客觀證據，佐證具創新功能或性能無法用現行標準評估的環境技術，將可協助政府部門進行相關查證程序的認可，並提升及促進創新環境技術之市場發展。

在臺灣，經濟部標準檢驗局於 2023 年 8 月 30 日依據 2016 年發行之第 1 版 ISO 14034，制定公布 CNS 14034：2023 Q2029 標準，其目錄架構包含：適用範圍、引用標籤、用語及定義、一般原則與要求事項，以及環境技術查證關鍵程序。

三、各國 ETV 發展現況

歐盟於 2011 年 12 月啟動了歐盟 ETV 試點計畫 (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/54c25cf1-98f6-11e7-b92d-01aa75ed71a1#:~:text=The%20objective%20of%20Environmental%20Technology%20Verification>)，歐盟成員國可以自願加入試點計畫，歐洲各地將設立多個核查機構，承擔歐盟 ETV 試點計畫下的核查相關任務。查／驗證機構必須根據 ISO 17020、ISO 17025 和 EU ETV 通用驗證協議的要求獲得認證。於 2021 年，歐盟將 ETV 事務下放由各會員國獨立執行後，ETV 已由民間查證機構主導運行，進入商業市場走向主導機制。

美國與加拿大 ETV 體系如同歐盟，ETV 制度起始之初由官方執行運作，在運作約二十年後，ETV 從官方主導轉交由民間查證機構執行，亦進入由商業市場主導走向，目前兩國在 ETV 事務上皆參與 VerifiGlobal 聯合查證組織 (VerifiGlobal | Global platform for performance measurement and verification - Verifyglobal)，除了在自身國內行銷，亦透過跨國互認機制使國內研發之創新技術能透過共同組織，行銷國際市場。

相對歐美地區，日本、韓國、菲律賓等亞洲國家仍以官方作為計畫主要管理者，通常由類似我國環境部角色之權責機關負責事務統籌，再由權責機關下轄查證機構進行查證，通過查證之技術可獲得核發證明，因此亞洲地區所核發證明多有官方背書的意味。

上述國家在跨國查證互認方面，多以參加聯合查證組織為主，例如 VerifiGlobal 或是 EU Voluntary Scheme，有助降低組織成員國間技術往來進出口之壁壘；而韓國與菲律賓之間則是簽署聯合查證計畫，所產出之創新優化環境技術可在兩國之間互相承認。因此可見，若要推動我國技術出口海外市場，除了建立完整 ETV 制度外，參與國際聯合查證組織，或與目標國家簽署聯合查證計畫為首要之重。

四、臺灣 ETV 架構建立與推行

(一) ETV 架構建立

ETV 在臺灣屬於新推動的制度，尚未進入公共大眾視野，故在推行初期建立完整的執行架構為首要，依據「110-112 年度土壤及地下水技術認證制度推動計畫」中之長期階段計畫中所提議，各國 ETV 環境查證技術的制度以歐盟最為完整，因此以 ISO 14034 納入歐盟實行制度，規劃我國 ETV 執行架構，通過由政府機關主導環境技術查證，採取以第三方機構進行書面審查為主，必要時才需經過試驗的查證制度，來進行我國環境技術查證之架構執行，除可使已有實驗室測試數據及實際應用經驗廠商免除額外試驗費用負擔，提升申請意願之外，亦可透過科學化的第三方查／驗證程序使創新優化環境技術獲得公認，俾利取得證明之環境技術跨越國界障礙，進軍國際市場。ETV 制度中各組織及單位之功能分述如下，各角色間關係如圖 1 所示：

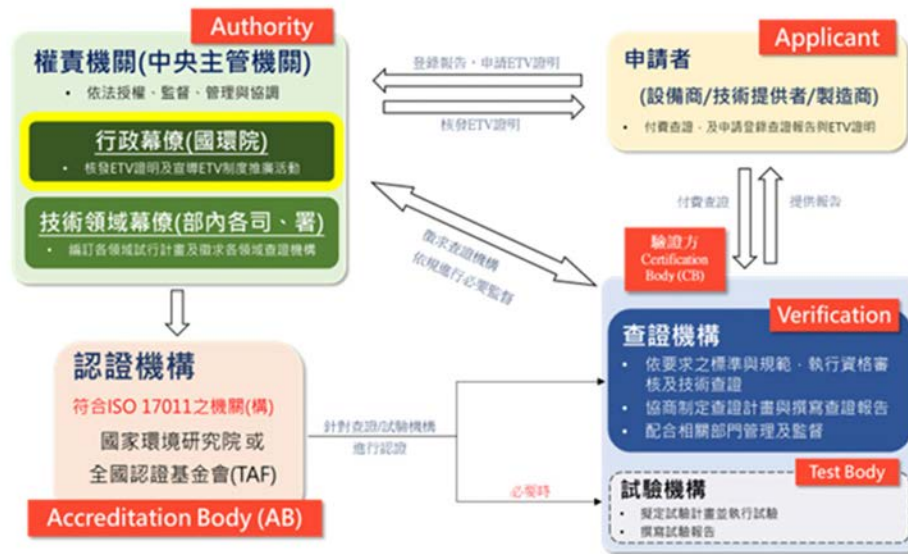


圖 1 我國 ETV 制度建議規劃架構

1. 權責機關：責任為確保 ETV 試行計畫的所有合作工作及監督管理能順利進行。運作方式是督導並管理行政幕僚與技術幕僚。透過管理 ETV 試行計畫之規範，主要為一般查證程序（General Verification Process，GVP）的內容制定及 ETV 試行計畫所參與之技術領域。查證完成後，權責機關將會登記及出版所有經查證者許可之查證聲明，或授權其他組織進行登記。
 2. 技術工作小組：資格方面，每個技術領域或次領域都會建立一個技術工作小組，以調和查證組織能夠在不同領域及不同參與國之間執行 ETV 程序，且確保查證結果，尤其指查證聲明，具有相同程度之品質。
 3. 認證機構：認證機構應遵從 ISO/IEC 17011 之規範，並遵循 ISO17020 之規範進行查證組織之認證，以及 ISO17025 之規範進行試驗組織之認證。
 4. 查證組織：合格之查證組織需符合 ISO 17020 之規範，並組建專家小組以審查申請案件，負責管理特定技術領域的查證計畫。
 5. 試驗機構：當查證組織決定必須進行測試時，則指派予試驗機構。試驗機構之資格為滿足 ETV 計畫之 GVP 相關品質管理需求。一試驗機構透過認證證明其符合規範，如 ISO 17025 是對於測試及校正實驗室之勝任能力的一般規範，受到 ISO 17025 規範之試驗機構可認定為符合 ETV 計畫之 GVP 的相關要求（針對品質管理及一般測試需求）。
 6. 申請者：申請者可以是任何法人或是自然人，技術供應商或是技術供應商所授權之代表。若技術供應商同意，申請者可以是一個正在執行許多技術之特定查證計畫的利益相關者。
- (二) 一般查證程序（GVP）建立與試查證
- 為使 ETV 制度能順利施行，需建立適合臺灣的 GVP。在參考歐盟及國際上對於環境技術查證領域的執行與推動經驗後，以歐盟 GVP 規範作為臺灣 GVP 建立基礎，納入日本環境技術查證試驗規範，並綜合考量臺灣環境產業因素，將其重新修改調整內容後，建立出第一版適合我國國情的 GVP 規範。建立 GVP 的主要規劃執行步驟如下：
1. 建立初步規範：依據歐盟 GVP 和日本環境技術



查證試驗規範，初步建立適合我國的 GVP 規範，並確保規範的完整性和適用性。

2. 申請表單設計與測試：在完成初步規範的基礎上，設計並建立 ETV 申請表單，供合作廠商協助執行試查證。
3. 試查證優化：在試查證階段，記錄合作廠商填表時遇到的問題，針對試查證過程中的問題進行分析，找出可優化的部分進程序及表單修正，以利制度正式執行時，廠商可更順利完成填表申請。
4. 討論與最終確立：將優化後表單與試查證報告提交土基會進行討論，根據討論結果，確立我國的 GVP 規範。這個過程將確保規範的可行性和實用性，並使其符合 ISO 14034 標準。
5. 在第一版 GVP 建立完成後，邀請對 ETV 制度有興趣的富立業工程顧問股份有限公司進行合作，該公司負責協助填寫未來欲申請 ETV 查證之技術相關表單。在試查證過程中，針對發現的可優化部分進行調整，並確立最終規範。此舉旨在俾利後續 ETV 內容與我國的環境技術驗證制度能夠與國際接軌，提升國際競爭力。

目前 ETV 推動狀況而言，以環管署土基會所職掌之土壤及地下水污染整治技術類別最為積極，透過三階段證明發放，以第一階段的污染控制場址解除列管證明，表揚優良廠商協助污染行為人解除場址列管，到第二階段技術有效性自我宣告證明，鼓勵廠商投入開發研究污染整治技術，期能促進我國土水污染整治成效，最後導入 ETV 制度概念，希望能協助技術開發人員或廠商，將研發的創新優化技術行銷海外，開創海外市場。藉由三階段證明，使主管機關與環境產業從業者站在同一戰線，希望能透過此完整規劃，促進環境產業發展，吸引人才加入充滿艱鉅挑戰的環境產業。

環境產業領域範圍遼闊，除了土壤地下水領域之外，其涵蓋了空、水、廢、土、毒等傳統領域，以及近年為人熟知的能源技術與碳封存技術等，上述技術類別在臺灣有許多技術開發方投身其中，且環境技術隨著科技發展亦有新領域逐漸誕生，例如導入 AI 技術所打造的智慧電力／空調控制系統等，因此 ETV 制度必須將各種可能盡力納入，並且居中協調環境部下轄各機關間的跨司署合作，甚至跨部會的配合。目前規劃，ETV 制度查證技術領域將依照環境部各司署執掌類別以及環境領域技術趨勢做初步分類，如圖 2 所示。

(三) 擴大推行領域



圖 2 我國 ETV 制度建議查證技術領域



五、國際互認機制建立

ETV 查證制度的國際互認在實現技術外銷層面是相當重要的部分，但也需要透過互認國家雙邊的協商並達成共識方能實現（ETV applicants | Platforma wiedzy o ETV (etv-hub.eu)），其中將涉及如何實現以及何時實現的問題，二者均涉及到達成ETV制度國際互認的資源投入與評估，因此需要透過擬定相對的推動策略與方案規劃，方能有效率與有效益的達成ETV制度互認的目標。

為能加速ETV制度國際化的腳步，雖現階段我國的ETV制度雖尚在規劃與建置階段，但考量前面所討論之國際趨勢，建議應以ISO14034的規範為設計基準。在執行面上可以先啟動與優先及次優先互認國家的雙邊溝通與協商，並以推動ETV制度互認為目標，藉由視訊會議、前置作業會議以及雙邊交流訓練等機制，努力增進互認國家之間的了解，以利後續確實篩選最具ETV制度互認潛力的國家，並可據以擬定相對應的推動策略與行動方案主要的多邊與雙邊國際合作平臺包括亞太土壤及地下水污染整治工作小組（Technical Working Group on Remediation for Soil and Groundwater Pollution of Asian and Pacific Region, ReSAG）、以及臺美、臺越以及臺韓等雙邊合作，其中臺韓雙邊合作歷經10年在土壤與地下水領域的合作交流，於2023年完成階段性任務，將雙邊合作關係回歸至ReSAG區域合作平臺。自2014年開始至今（2023年），ReSAG成員國已達12個國家，分別為日本、韓國、菲律賓、印尼、越南、泰國、馬來西亞、印度、斯里蘭卡、澳大利亞、紐西蘭及臺灣。藉由ReSAG區域合作平臺，藉由各項交流活動（如季度線上會議、年度事務會議、台美講習會以及官員訓練課程、以

及本年度增加之技術論壇），加強我國與各會員國之間的關係再向外延伸至雙邊的協商與推廣，前述之臺韓與臺越雙邊合作協議即為藉由ReSAG平臺發展而建立的。此外，目前推動中之臺泰交流活動，也是由ReSAG連結成型的合作關係，由此可見，ReSAG平臺在亞太區域國家合作關係拓展上的重要性。本計畫進一步評估與篩選，各成員國中具備ETV互認潛力的國家，先行收集各成員國的指導委員之聯絡資訊，以利為啟動聯繫進行準備。

現階段設定之目標國家，透過ReSAG平臺以及網路資源，建立相關的聯絡管道。於溝通過程中也發現各個國家對於ETV機制互認的機制有不同的思維，其中歐美國家（如丹麥）多不再由官方主導，因此不論是否跨國進行查證，多已採用民間商業化模式進行。相對的，亞太國家則仍多有官方組織管理與推動，並建立官方或民間機構支援ETV技術的查／驗證。

ETV制度的最後目標則是建立國際間均可互相承認地ETV制度的架構與程序，而不再受限於單一國家或區域的ETV制度的要求或條件。惟現階段我國的發展狀況，仍朝向以聯合查證與共同查證二種機制為主。在方法的選擇上，原則上可以依照制度設計與互認研商時，選擇適合國內技術開發／擁有者的特性互認方式。



圖3 於ReSAG論壇推廣介紹我國ETV制度



六、結論與建議

面對日趨複雜的環境議題，許多技術開發人員結合現場經驗及日益更新的科學，研發出許多創新優化的環境技術，為控管與這些創新優化制度的完整性及有效性，環境查證制度之推動有其必要性。

在透過建立我國完整 ETV 查證架構以及 GVP 之後，必須盡力推動各司署之間的協同合作，除了確立各司署間的角色執掌之外，還需因應此制度之誕生，建立相對應的一系列法源與行政規則，進一步在國際相關場合中宣傳推廣我國 ETV 制度的建立與機制，透過宣傳過程接觸目標國家，並與其建立聯合查證計畫，可有效幫助推行我國 ETV 計畫，並協助環境產業進軍海外市场，使我國包含官產學界的环境產業鏈，形成穩固堅定的環境產業關係網，促進我國相關產業發展。

參考文獻

環管署（原行政院環境保護署），土壤及地下水技術認證制度推動計畫成果報告，2023

土水整治技術認證制度上路 協助國際共用技術，〔環管署土污基管會〕，環管署環保新聞專區：<https://enews.epa.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/3dec0d3-d6cb-4344-8d33-3b5b6846a91e>，2011

環管署（原行政院環境保護署），污染場址整治技術解列證明、審查與核發程序討論會議 會議資料，2021。

環管署（原行政院環境保護署），土壤及地下水整治技術認證制度推動與規劃，2021。

ISO 14034:2016 (en) Environmental management — Environmental technology verification (ETV) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14034:ed-1:v1:en>

「土壤及地下水污染整治綠色創新技術推動與技術驗證示範計畫」工作報告，環管署（原行政院環境保護署），2020

Environmental Technology Verification Program, USEPA, 2013

韓國 ETV 官方網站，<https://www.koetv.or.kr/home/info/introduce01.do?menuId=0101&memGubun=>

日本 ETV 官方網站，<https://www.env.go.jp/policy/etv/system/index.html>

EU Environmental Technology Verification (ETV), EU, https://green-business.ec.europa.eu/eu-environmental-technology-verification_en

環境技術查證作業實施要領，日本環境省，2024

Environment Canada, Environmental Technology Verification General Verification Protocol (GVP), 2012

Environmental Technology Verification Pilot Programme, 2018, European Commission

臺美環境保護技術合作協定簡介—美國—雙邊合作—國際合作—環評與教育訓練—環境主題—環管署

The Working Group on Remediation for Soil and Groundwater Pollution of Asian Countries

ETA-Danmark (2023) ETV-Environmental Technology Verification (<https://www.etadanmark.dk/en/environmental-technology-etv>), 2023.

ITDI (2015) Application Form-Environmental Technology Verification, Industrial Technology Development Institute, Department of Science and Technology, Philippines.

KEITI (2023) 環保新技術宣傳手冊，韓國環境工業與技術院（Korea Environmental Industry Technology Institute, KEITI）

KEITI and GLOBE (2017) System for Sludge Advanced Fuel and Energy (SAFE) Technology Fact Sheet for EnbioCons Co. Ltd., Environmental Technology Co-Verification, Korean ETV-Canadian ETV Verified, 2017.

USEPA, ETV Joint Verification Statement, ECLOX Handheld Luminometer with LUMIStherm Thermoblock and LUMISsoft4 Software, USEPA, DANETV, and ETV Canada. (2010)

日本環境省，環境技術實證事業之 ETV 事業國際動向（<https://www.env.go.jp/policy/etv/system/index5.html>），2017

日本環境省（2018）環境省主催 ETV ワークショップ開催報告，資料 6-2, 2018

環境部環管署（2023）土壤及地下水技術認證制度推動計畫（計畫案號：110A274）成果報告，2023

經濟部標準檢驗局（2023）環境管理—環境技術查證 (ETV), CNS 14034-2023-Q2029, ICS 13.020.10, 2023

Environment Technology Verification pilot Programme Environment GVP Version 1.3



梨山地區 G1 排水廊道與 W6 集水井調查及 評估作業

Inspections and Assessments of the Drainage Tunnel (G1) and Catchment Well (W6) in the Lishan

林伯勳 Bor-Shiun Lin¹ 賴承農 Cheng-Nung Lai² 王宇彤 Yu-Tong Wang³
許振崑 Chen-Kun Hsu⁴ 陳俊愷 Chun-Kai Chen⁵ 陳鶴勳 Ho-Hsin Chen⁶
吳敏富 Min-Fu Wu⁷ 詹坤哲 Kun-Che Chan⁸

摘 要

本文係以梨山地區 G1 排水廊道與 W6 集水井為例，依農村水保署臺中分署「G1 排水廊道（含 W6 集水井）管理計畫」作業流程之定期巡查方式，逐項調查細部設施並記錄相關劣化狀況及環境作業，據以延長使用年限，以確保工程能持續發揮功能，提升梨山地滑區土體穩定性，並可保護周遭聚落人民生命及財產。

關鍵字：梨山地區、G1 排水廊道、W6 集水井、工程構造物巡查

Abstract

This article presents a case study of the drainage tunnel (G1) and the catchment well (W6) in the Lishan area, conducted in accordance with the regular inspection procedures specified in the "Drainage Tunnel (G1) and Catchment Well (W6) Management Plan" by the Taichung Branch, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, Ministry of Agriculture. The comprehensive inspections of these facilities include detailed documentation of deterioration conditions and environmental operations. The primary objectives are to extend the lifespan of the infrastructure, ensure continued functionality, improve soil stability in the landslide-prone regions of Lishan, and safeguard the lives and property of nearby residents.

Keywords: Lishan area, Drainage tunnel, Catchment well, Engineering structure inspections

¹ 中興工程顧問社防災科技研究中心前資深研究員兼組長 Former Chief and Principle Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社防災科技研究中心副工程師 Associate Engineer, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 中興工程顧問社防災科技研究中心前助理研究員 Former Assistant Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁴ 中興工程顧問社防災科技研究中心高級工程師 Principle Engineer, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁵ 中興工程顧問社防災科技研究中心高級研究員 Chief and Principle Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁶ 農業部農村發展及水土保持署正工程司 Secretary and Senior Engineer, Taichung Branch, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA.

⁷ 農業部農村發展及水土保持署副工程司 Associate Engineer, Taichung Branch, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA.

⁸ 農業部農村發展及水土保持署科長 Section Chief, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA.



一、前言

隨著社會發展逐漸穩定，加上人口成長趨緩，對於新建公共建設的需求將日趨緩和，為維持既有設施之功能，利用巡查、檢查、檢測、補強及調整等維護方式以增加其使用年限，屬已開發國家面臨工程構造物延壽重要課題。歷年來農村水保署為保護山坡地範圍內人民生命與財產，投入大量經費設置水土保持工程設施，包含排水廊道、集水井、防砂構造物、農路、農塘、崩塌地處理工程、橋梁、加勁構造物等（如圖1），但受到氣候變遷導致豐水期、枯水期降雨更極端，使其功能容易喪失，例如結構材料易老化、護岸基礎嚴重淘刷或人工邊坡傾倒、集水井斷裂、排水管阻塞失效等，可能造成保全對象的生命財產損失。



圖1 水土保持工程設施配置圖
（摘自農村水保署臺中分署，2023）

農村水保署臺中分署（以下簡稱臺中分署）於民國84年於梨山地區設置最具代表性水土保持工程設施，包括G1排水廊道、W6集水井排水廊道及為數眾多的橫向排水管等。主要考量梨山地區位於中央山脈地質區，武陵斷層以東至環山斷層以西，地形坡度較陡、地質岩層破碎、坡地排水不良，舊崩塌不易復育。歷經民國88年921地震及93年七二水災（敏督利風災），岩體擾動、

地下水流向變化，造成土體負荷過大，以致道路下陷、淺層地層滑動，影響集水區內武陵農場、環山、松茂、梨山、老部落（舊梨山部落）、新佳陽等聚落保全對象生命財產，以及農產品生產運銷等受損疑慮。採用對策為施作分散式地下排水工程（集水井、排水廊道、橫向排水管等），目的在於降低滑動土體內的孔隙水壓，使地層滑動趨於穩定。梨山地區集水井向下打設並配合本身橫向集水管發揮收集地下水的功能，可排除地層內較深層的地下水。在颱風期間或連續性豪大雨時，部分區域有地下水位上升的情況，此時集水井即能發揮加速地下水排除的功能，使地下水水位下降，以維持土體的安定。相關地下排水工程自民國84年至91年，期間歷經8年整治過程中梨山地區現有共設置15座集水井、2座排水廊道以及為數眾多橫向排水管，其中W6集水井及G1排水廊道，分別於民國88年及民國91年陸續完工；W6集水井另於民國100年貫通至G1排水廊道，迄今分別已達25年及22年以上，如圖2所示。

為使設施能長期營運，延長使用年限，臺中分署於110年12月擬訂「G1排水廊道（含W6集水井）管理計畫」，本文依據訂定相關作業流程、巡查頻率以及透過定期巡查方式，瞭解排水廊道及集水井設施結構與周圍環境變遷狀況，相關巡查成果，以及可做為工程改善及後續維護之參考依據。

二、梨山G1排水廊道與W6集水井

本文係以梨山G1排水廊道與W6集水井等重要水土保持設施為案例，依序分別說明梨山地區內地理位置、地形、地質、G1排水廊道與W6集水井工程基本資料、剖面圖等，分項說明如下：

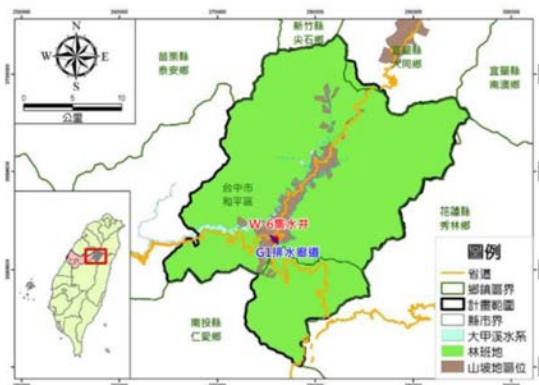


資料來源：農村水保署臺中分署（2023）

（一）地文

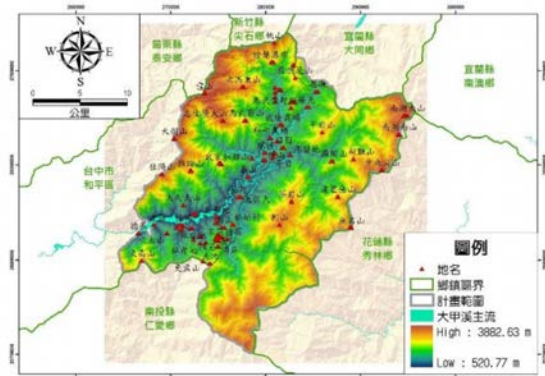
梨山地區行政區域隸屬，東、西側屬於臺中市、南側屬南投縣、北側屬宜蘭縣，大部分區域位於臺中市和平區，次為南投縣仁愛鄉，小部分在宜蘭縣大同鄉（農村水保署，2012），地理位置如圖 3 所示。

梨山地區整體地形複雜，海拔介於 520 至 3,883 公尺之間，主要為東北往西南走向，自梨山以上則屬於大甲溪上游源頭區，河流兩岸山嶺的高度多在 2,000 公尺以上，2,000 公尺以上佔 76%，地形分布如圖 4 所示。自發源地至梨山一帶，為河流最陡的一段，當中可見沖積扇、河階、肩 平坦稜、角階、通谷與環流丘等地形。



資料來源：農村水保署（2012）

圖 3 梨山地區地理位置圖

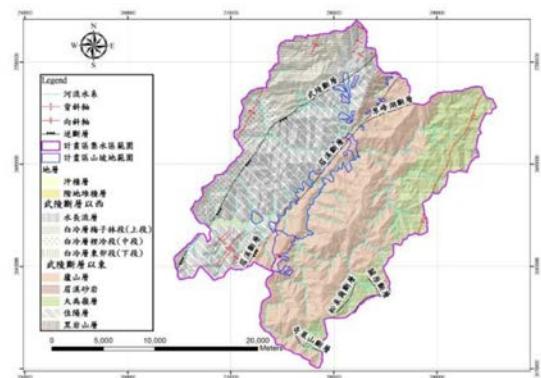


資料來源：農村水保署（2012）

圖 4 梨山地區地形圖



梨山地區地層岩性主要分布為中新世及漸新世的變質岩，屬於中央山脈地質區，藉由武陵斷層，可分為東、西兩大區塊（如圖 5），武陵斷層以東，主要為本研究區山坡地分布範圍，地層由年輕至老分別為中新世的大禹嶺層、眉溪砂岩與廬山層、漸新世的佳陽層，以及漸新世以前黑岩山層；而武陵斷層以西，主要出露地層為始新世至漸新世的水長流層及白冷層，其中，水長流層主要以暗灰色頁岩或硬頁岩組成；白冷層由下到上依據岩性可再細分為東卯段、裡冷段、梅子林段。



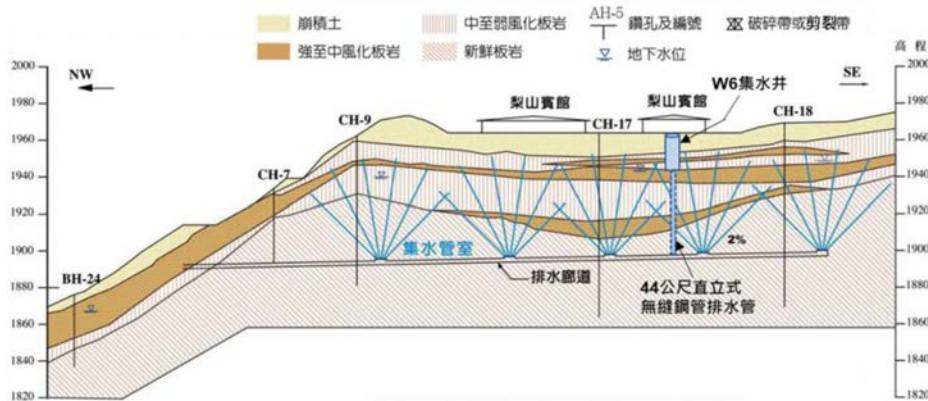
資料來源：農村水保署（2012）

圖 5 梨山地區地質圖

（二）G1 排水廊道與 W6 集水井

G1 排水廊道與 W6 集水井係位於臺中市和平區梨山地區之梨山賓館停車場旁，上述構造物係位於梨山地區大規模地滑區範圍內，皆屬大型邊坡構造物，用於蒐集及匯流邊坡地下水，並導引

至適當地點排放，以維持地滑區周邊地層之穩定，W6 集水井為梨山地區所有集水井中流量最大之一座，因終年收集大量地下水，皆維持每秒 20 公升（0.02cms）以上之流量，梨山地區 G1 排水廊道與 W6 集水井位置剖面如圖 6 所示。



資料來源：農村水保署臺中分署（2023）

圖 6 G1 排水廊道與 W6 集水井剖面圖

表 1 G1 排水廊道與 W6 集水井基本資料

工程設施名稱	竣工年度 (民國)	結構材質 型式	尺寸	附屬設施
W6 集水井	88	混凝土環片式	直徑 3.5 公尺，圓形總深度 20 公尺。	1. 地下深度 6.0 公尺、11.0 公尺與 16.5 公尺處分別設置各 6 支不同方向之橫向集水管。 2. 集水井底部則設置兩支排水管，總長度約計 50 公尺，以及 44 公尺直立式排水管，將蒐集之地下水直接排至 G1 排水廊道。
G1 排水廊道	91	鍍鋅鋼襯板、 H 型鋼共構	長度約 350 公尺，馬蹄形 斷面高寬 2 公尺。	5 處集水室集水管，長度總計 4,863 公尺。

資料來源：農村水保署臺中分署（2023）



三、巡查作業程序

本文依臺中分署「G1 排水廊道（含 W6 集水井）管理計畫」工作流程（如圖 7），針對定期巡查部份摘述「巡查對象」、「巡查時機」、「巡查內容」等，說明如下：

（一）巡查對象：

G1 排水廊道、W6 集水井（地表垂直向下之直徑 3.5 m 井筒，並於內鑿鑿橫向集（排）水管，收集地下水，再由排水管排出，匯流入排水廊道）及橫向排水管。

（二）巡查時機：

分為定期巡查（屬於例行性檢查）、特別巡查（屬於預防性檢查）

（三）巡查內容

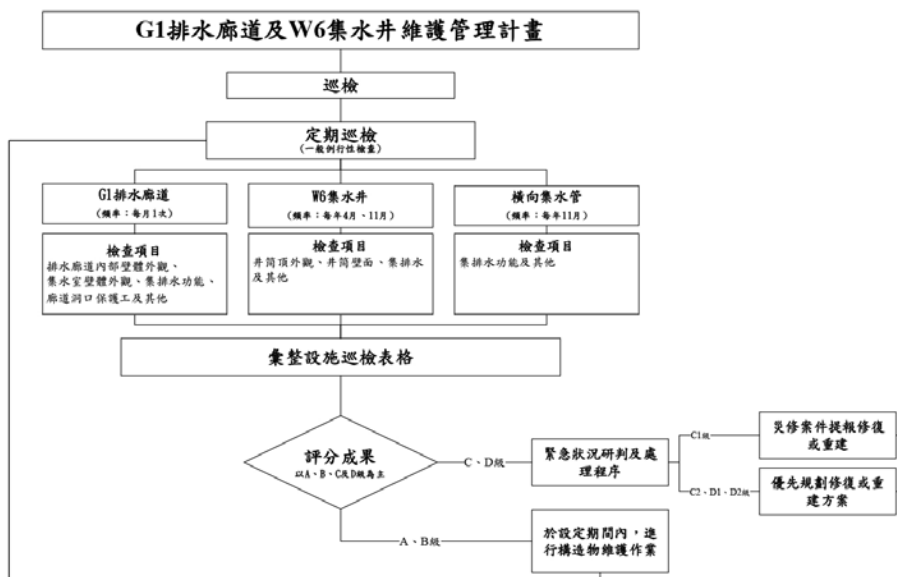
1. 定期巡查：應以工程構造物本體及其所處環境為主，並且依構造物調查表進行填寫（如表 2、表 3）。

（1）巡查時機：G1 排水廊道每月 1 次定期巡查，W6 集水井每半年（4 月、11 月）進行一次之定期巡查，橫向排水管每一年（11 月）進行 1 次定期巡查。

（2）檢查項目

- G1 排水廊道：排水廊道內部壁體外觀、集水室壁體外觀、集排水功能、廊道洞口保護工及其他，照片如圖 8 所示。
- W6 集水井：井筒頂外觀、井筒壁面、集排水及其他。
- 橫向排水管：集排水功能及其他。

2. 特別巡查：檢查時機係於颱風豪雨來臨前後，豪雨達 150 mm、地震之震度達 5 級以上、監測儀器異常及重大災害後，立即巡查。檢查項目與定期巡查項目一致。



資料來源：農村水保署臺中分署（2023）

圖 7 臺中分署「G1 排水廊道（含 W6 集水井）管理計畫」工作流程



資料來源：農村水保署臺中分署（2023）

圖 8 排水廊道檢查項目照片



資料來源：農村水保署臺中分署（2023）

圖 9 集水井檢查項目照片



資料來源：農村水保署臺中分署（2023）

圖 10 集排水功能檢查項目照片

表 2 G1 排水廊道巡查表

填寫人/單位： 檢查日期：民國 年 月 日

基本資料	所屬分署		現場照片	
	縣(市)及鄉(鎮、區)			
	集水區			
	工程編號			
	工程 GPS 定位 (TWD97_TM2)		E	
			N	
	排水廊道長度(公尺)			
廊道內集水管總數量(隻)				
廊道壁面材質型式 (鋼襯鐵/混凝土)		評估結果		
設施				
地點描述				
檢查項目		檢查狀況記錄	分數	評分
排水廊道內部壁體外觀	最大裂縫寬度	<input type="checkbox"/> 無裂隙	0	
		<input type="checkbox"/> 0.25mm≤寬度<1cm	1	
		<input type="checkbox"/> 1cm≤寬度<3cm	2	
		<input type="checkbox"/> 3cm≤寬度	3	
		<input type="checkbox"/> 0 處	0	
	裂隙處數	<input type="checkbox"/> 1 處≤處數<3 處	1	
		<input type="checkbox"/> 3 處≤處數<5 處	2	
		<input type="checkbox"/> 5 處≤處數	3	
		<input type="checkbox"/> 無滲水	0	
		<input type="checkbox"/> 輕度滲水(壁面潮濕)	1	
滲水	<input type="checkbox"/> 中度滲水(水滴形成)	2		
	<input type="checkbox"/> 嚴重滲水(水流形成)	3		
鏽蝕	<input type="checkbox"/> 無鏽蝕	0		
	<input type="checkbox"/> 輕微鏽蝕(目測研判)	1		
	<input type="checkbox"/> 局部面積鏽蝕((目測研判)	2		
	<input type="checkbox"/> 嚴重大面積鏽蝕(目測研判)	3		
	<input type="checkbox"/> 無外擠變形	0		
外擠變形	<input type="checkbox"/> 輕微外擠變形(惟略有微兆)	1		
	<input type="checkbox"/> 局部外擠變形(目測研判，惟變形相當有限)	2		
	<input type="checkbox"/> 嚴重大面積外擠變形(目測研判，且相當明顯)	3		
	<input type="checkbox"/> 無阻塞	0		
	<input type="checkbox"/> 輕微淤積(淤積 1/4)	1		
排水溝	<input type="checkbox"/> 明顯淤積(淤積 1/3)	2		
	<input type="checkbox"/> 嚴重淤積(1/2 以上)	3		
	<input type="checkbox"/> 無阻塞	0		
集水室壁體外觀	最大裂縫寬度	<input type="checkbox"/> 無裂隙	0	
		<input type="checkbox"/> 0.25mm≤寬度<1cm	1	
		<input type="checkbox"/> 1cm≤寬度<3cm	2	
		<input type="checkbox"/> 3cm≤寬度	3	
		<input type="checkbox"/> 0 處	0	
	裂隙處數	<input type="checkbox"/> 1 處≤處數<3 處	1	
		<input type="checkbox"/> 3 處≤處數<5 處	2	
		<input type="checkbox"/> 5 處≤處數	3	
		<input type="checkbox"/> 無明顯變形	0	
		<input type="checkbox"/> 鋼襯螺絲或錨釘鬆落(混凝土牆面不平整)	1	
壁面變形	<input type="checkbox"/> 鋼襯板變形(混凝土牆面外凸)	2		
	<input type="checkbox"/> 鋼襯環型鋼變形(混凝土牆面破損)	3		
	<input type="checkbox"/> 集水管 0 管無排水	0		
集排水功能	集水室	<input type="checkbox"/> 集水管總量的 1/5~1/3 無集水	1	
		<input type="checkbox"/> 集水管總量的 1/3~1/2 無集水	2	
		<input type="checkbox"/> 集水管總量的 1/2 以上無集水	3	
		<input type="checkbox"/> 無淤積	0	
	排水溝	<input type="checkbox"/> 輕微淤積(淤積 1/4)	1	
		<input type="checkbox"/> 明顯淤積(淤積 1/3)	2	
		<input type="checkbox"/> 嚴重淤積(1/2 以上)	3	



表 2 G1 排水廊道巡查表 (續表)

廊道洞口保護工	地錨	<input type="checkbox"/> 錨頭保護外觀正常	0
		<input type="checkbox"/> 錨頭保護外觀破損	3
	擋土牆裂隙除	<input type="checkbox"/> 無裂隙	0
		<input type="checkbox"/> 0.25mm≤寬度<1cm	1
		<input type="checkbox"/> 1cm≤寬度<3cm	2
		<input type="checkbox"/> 3cm≤寬度	3
	裂隙處數	<input type="checkbox"/> 0 處	0
		<input type="checkbox"/> 1 處≤處數<3 處	1
		<input type="checkbox"/> 3 處≤處數<5 處	2
		<input type="checkbox"/> 5 處≤處數	3
其他 (依檢查判斷自行填列)	<input type="checkbox"/> 1.依現況檢查情況進行分類說明：	0	
	<input type="checkbox"/> 2.依現況檢查情況進行分類說明：	1	
	<input type="checkbox"/> 3.依現況檢查情況進行分類說明：	2	
	<input type="checkbox"/> 4.依現況檢查情況進行分類說明：	3	
評分加總			分
評估計算方式		評分加總÷(檢查項目×3)=	
評估成果	評估成果<0.15		<input type="checkbox"/> A 級：構造物狀況良好，功能健全；
	0.15≤評估成果<0.3		<input type="checkbox"/> B 級：些微磨損，仍可維持原功能；
	0.3≤評估成果<0.5		<input type="checkbox"/> C 級：部分受損，影響功能性； <input type="checkbox"/> C1 級：工程重要性屬一般者； <input type="checkbox"/> C2 級：工程重要性屬重要者；
	0.5≤評估成果		<input type="checkbox"/> D 級：全部損毀或功能喪失。 <input type="checkbox"/> D1 級：工程重要性屬一般者； <input type="checkbox"/> D2 級：工程重要性屬重要者
建議處理方式		<input type="checkbox"/> 定期例行巡查 <input type="checkbox"/> 進行建檔管理及不定期巡查，並建議評估補強方案與緊急處理提報。 註 ¹ 評估成果為 A 級及 B 級，則進行定期例行巡查。 註 ² 評估成果為 C 級及 D 級，或任一檢查項目分數達 3 分，則進行建檔管理並進行不定期巡查，且建議評估補強方案與緊急處理提報。	

備註：除需符合「職業安全衛生法」之所有規定外，若「從事局限空間作業，有缺氧空氣、危害物質致危害調查人員之虞者，應置備測定儀器，於作業前確認氧氣及危害物質濃度，並於作業期間採取連續確認之措施」。

資料來源：農村水保署(2022)

表 3 W6 集水井巡查表

填寫人/單位： 檢查日期：民國 年 月 日

基本資料	所屬分署		現場照片		
	縣(市)及鄉(鎮、區)				
	集水區				
	工程編號				
	工程 GPS 定位 (TWD97_TM2)	E			
		N			
	地表高程(正高,公尺)				
	井筒內徑(公尺)		評估結果		
設施地點描述	井壁材質(鋼襯/混凝土)				
	井深(公尺)				
設施地點描述					
檢查項目		檢查狀況記錄	分數	評分	
井筒頂外觀	混凝土類壁面	<input type="checkbox"/> 無裂隙	0		
		<input type="checkbox"/> 0.25mm≤寬度<1cm	1		
		<input type="checkbox"/> 1cm≤寬度<3cm	2		
		<input type="checkbox"/> 3cm≤寬度	3		
	裂隙處數	<input type="checkbox"/> 0 處	0		
		<input type="checkbox"/> 1 處≤處數<3 處	1		
		<input type="checkbox"/> 3 處≤處數<5 處	2		
		<input type="checkbox"/> 5 處≤處數	3		
	鋼襯類壁面	<input type="checkbox"/> 無破損斷裂或扭曲變形	0		
		<input type="checkbox"/> 有破損斷裂或扭曲變形	3		
<input type="checkbox"/> 無破損斷裂或扭曲變形		0			
<input type="checkbox"/> 有破損斷裂或扭曲變形		3			
井頂保護蓋(網)	<input type="checkbox"/> 無破損	0			
	<input type="checkbox"/> 有破損	3			

表 3 W6 集水井巡查表 (續表)

井筒壁面	混凝土類壁面	最大裂縫寬度	□無裂隙	0	其他 (依檢查判斷自行填列)			
			□0.25mm≤寬度<1cm	1				
			□1cm≤寬度<3cm	2				
			□3cm≤寬度	3				
	裂隙處數	□0 處	0					
		□1 處≤處數<3 處	1					
		□3 處≤處數<5 處	2					
		□5 處≤處數	3					
	鋼襯類壁面	鋼襯版	□無破損斷裂或扭曲變形	0				
			□有破損斷裂或扭曲變形	3				
集排水	鋼支撐	□無破損斷裂或扭曲變形	0					
			□有破損斷裂或扭曲變形	3				
	滲水	□無滲水	0					
			□輕度滲水(壁面潮濕)	1				
			□中度滲水(水滴形成)	2				
			□嚴重滲水(水流形成)	3				
	集水管	□有集水	0					
			□無集水	3				
	排水管	□水位維持在靜水線周緣	0					
			□水位明顯上升無維持於固定高程	3				
		□無淤積	0					
靜水槽		□輕微淤積	1					
		□明顯淤積	2					
		□嚴重淤積	3					
	□1.依現況檢查情況進行分類說明：			0				
其他	(依檢查判斷自行填列)	□2.依現況檢查情況進行分類說明：	1					
		□3.依現況檢查情況進行分類說明：	2					
		□4.依現況檢查情況進行分類說明：	3					
		評分加總						
分								
評估計算方式								
評分加總÷(檢查項目×3)=								
評估成果	評估成果<0.15							
	0.15≤評估成果<0.3							
	0.3≤評估成果<0.5							
	0.5≤評估成果							
建議處理方式								
□定期例行巡查								
□進行建檔管理及不定期巡查，並建議評估補強方案與緊急處理提報。								
註 ¹ 評估成果為 A 級及 B 級，則進行定期例行巡查。								
註 ² 評估成果為 C 級及 D 級，或任一檢查項目分數達 3 分，則進行建檔管理並進行不定期巡查，且建議評估補強方案與緊急處理提報。								


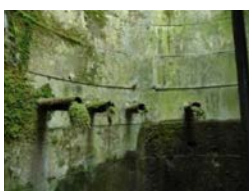



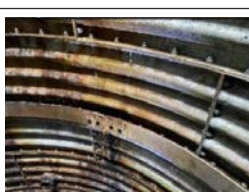

備註：除需符合「職業安全衛生法」之所有規定外，若「從事局限空間作業，有缺氧空氣、危害物質致危害調查人員之虞者，應置備測定儀器，於作業前確認氧氣及危害物質濃度，並於作業期間採取連續確認之措施」。				
資料來源：農村水保署(2022)				

(四) 劣化處理對策

針對集排水、井筒壁及井筒頂管理、補強、維修等、遭遇問題及處理對策等彙整如表 4。



表 4 集排水、井筒壁及井筒頂外觀結構劣化問題與處理對策

巡查項目		遭遇問題	處理對策	照片示意
集排水	排水管	排水不良、排水面溢淹	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若集水面尚未超過靜水槽頂，且人員可達井底，初步進行排水口外部堵塞物清除，觀察其排水狀況。 2. 若集水面已超過淨水池頂，可先利用抽水機優先於井口進行抽水，將內部沉水排除，再初步進行排水口外部堵塞物清除，觀察排水狀況。 3. 檢查排水口外部出口端，是否遭異物堵塞影響排流。 4. 若屬排水管內部堵塞狀況，於人員安全許可且機具設備可達作業條件下，建議利用洗管機器，進行阻塞物清除。 5. 若排水口無濾網設置，可進行管口濾網加裝，以阻隔大型異物進入，並透過定期維管清理管口異物。 	
	集水管	土砂淤泥、礦物結晶、集水管堵塞	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若集水井內工作梯、載檯面且內部作業空間條件狀況許可下，利用洗管機器設備進行阻塞物清除，使其暢通。 2. 若洗管機器設備作業空間不足、人員施工安全性條件有疑慮時，嘗試利用工作梯針對可達管路，以便攜器具（如鐵鎚、電鑽、洗管器等），建議利用人力進行表面堵塞物質清除，使其暢通。 	
	靜水槽	沉砂空間土砂淤積、落葉雜物堵塞排水管	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用便攜工具進行靜水槽土砂雜物清除。 2. 若井頂網狀保護蓋間距過大，可進行加密處理，並同時整理集水井周邊植生環境，減少落葉雜物飛落。 	
井筒壁面	變形	壁面或支撐結構變形	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若集水井內載檯面且內部作業空間條件狀況許可下，針對變形區局部增加鋼襯版、加勁環、H 型垂直鋼柱或 H 型橫向支撐鋼樑等，進行結構補強加勁。 2. 若無法進行結構補強，配合定期巡查或變位監測，持續觀察其變形發展。 	
	裂隙	壁體龜裂結構骨材外露、外部土砂或淤泥滲入	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若屬混凝土類壁面裂隙，其寬度大於 1cm 則利用混凝土或環氧樹脂材料進行壁面補強，以防止外壁地下水、土砂、淤泥滲入，加強防護阻水，以維持結構穩定。 2. 若屬鋼襯類壁面裂隙，其寬度大於 1cm 則利用可密封裂隙之阻水材料或環氧樹脂進行壁面補強，以防止外壁地下水、土砂、淤泥滲入，加強防護阻水，以維持結構穩定。 	
	滲水	壁面滲水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若滲水於不影響結構安全條件下，配合定期巡查時觀察滲水量變化，持續觀察其發展即可。 2. 若滲水夾帶土砂或淤泥，可利用高壓灌注將環氧樹脂等止漏材料注入滲漏處以阻水或減緩滲水擴大，再配合定期巡查時觀察滲水量變化，持續觀察其發展即可。 	
井筒頂外觀	井頂保護蓋	鎖頭損壞、環境雜物阻礙、保護蓋未密合	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定期進行集水井外圍圍籬以及井頂出入口蓋管制鎖保養。 2. 受雜物及植生落葉阻礙，建議定期進行清除。 3. 井頂保護蓋與主體脫落，建議重新進行焊接或加強固定。 	

資料來源：農村水保署臺中分署（2023）



四、G1 排水廊道及 W6 集水井巡查

本文依臺中分署「G1 排水廊道（含 W6 集水井）管理計畫」，以目視檢查之方式，記錄構造物外觀、滲漏水、集排水狀況以及現場環境狀況等，以作為後續維護管理之依據。針對 112 年 11 月 G1 排水廊道及 W6 集水井巡查辦理乙次定期巡檢，分述如下：

（一）G1 排水廊道巡查結果

1. 排水廊道內部壁體外觀：以壁面裂隙、滲水、鏽蝕、外擠變形以及排水溝為主要檢查項目，在廊道壁體鋼襯鈹面目測研判輕微鏽蝕，其餘項目檢查檢查結果正常。
2. 集水室壁體外觀：以壁面裂隙及壁面變形為主要檢查項目，檢查結果正常。
3. 集排水功能：以集水室及排水溝為主要檢查項目，第一～五集水室排水溝旁地面有些許結晶情形，第二、三集水室排水管水量較大，檢查結果正常。
4. 廊道洞口保護工：以地錨、擋土牆裂隙為主要檢查項目，檢查結果正常。



(a) 第一集水管 (b) 第五集水管

圖 11 集排水功能檢查項目照片

整體而言，依表 2 各項檢查項目，評分加總為 4 分，針對評分加總、檢查項目配分進行計算評估成果數值，G1 排水廊道評估成果數值為 0.09，此數值小於 0.15，功能評估等級屬 A 級，

代表構造物狀況良好，功能健全，建議持續進行定期例行巡查。

（二）W6 集水井巡查結果

1. 井筒頂外觀：依壁面材質，以混凝土類壁面、鋼襯類壁面，以及井頂保護蓋（網）為主要檢查項目，檢查結果正常。
2. 井筒壁面：依壁面材質，以混凝土類壁面、鋼襯類壁面，以及滲水為主要檢查項目，在第一層橫向集水管左上壁面有潮濕情形，其餘項目檢查檢查結果正常。
3. 集排水：以集水管、排水管、以及靜水槽為主要檢查項目，檢查結果正常。

整體而言，依表 3 各項檢查項目，評分加總為 1 分，針對評分加總、檢查項目配分進行計算評估成果數值，W6 集水井評估成果數值為 0.03，此數值小於 0.15，功能評估等級屬 A 級，代表構造物狀況良好，功能健全，建議持續進行定期例行巡查。



(a) 第一層集水管 (b) 第三層集水管、井底

圖 12 W6 集水井現場巡查照片

五、結論與建議

本文以梨山地區 G1 排水廊道與 W6 集水井為例，依臺中分署「G1 排水廊道（含 W6 集水井）管理計畫」作業流程之定期巡查方式，辦理乙次定期巡檢，透過巡檢作業評估，逐一檢視 G1 排水廊道與 W6 集水井外觀是否有劣化以及影響結



構功能情形，並以記錄其環境變異，以提供後續處理對策；是項巡檢工作實有必要持續辦理，以利工程延壽以及永續運用，確保工程能夠持續發揮其最大保護效益以及價值。

致 謝

感謝農業部農村發展及水土保持署臺中分

署，提供計畫（編號 ARDSWC-112-173）經費補助，作者深表謝忱。

參考文獻

- 農村水保署（2012）「大梨山地區山坡地整體調查規劃」
農村水保署（2022）「110 年度水土保持工程設施調查及土砂易致災關注區評估」
農村水保署臺中分署（2023）「112 年度臺中分局水砂觀測維護設置及水土保持構造物巡查計畫」

財團法人中興工程顧問社歷年之研發成果，已開發下列程式，若有需要，歡迎洽購。
聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467 陳小姐
E-MAIL：louise@sinotech.org.tw
網 址：http://www.sinotech.org.tw

序號	程式名稱	版次
1	泛用型非線性靜動態平面結構分析程式	V1.0
2	深開挖土層參數回饋分析 (DEXC-OPT) 深開挖土層參數回饋分析 (RUIP)	V1.0
3	進出港操船模擬分析程式	V1.0
4	預力混凝土中空矩形斷面橋墩重力應變關係分析程式	V1.0
5	單目標多座水庫系統運轉程式 (ORES)	V1.0
6	區域流量延時曲線分析程式	V1.0
7	台灣地區水庫資訊系統	V1.0
8	台灣電子地圖網站	V1.0
9	岩盤隧道施工資料自動化處理	V1.0
10	預力預鑄混凝土橋柱分析	V1.0
11	非線性混凝土結構分析系統	V1.0
12	加長型單肋板補強梁柱接頭設計輔助程式	V1.0
13	區域水資源系統即時操作模式建立	V1.0
14	結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式	V2.0
15	混凝土非破壞檢測儀 (Sino-NDT-IE) 之改良	V1.0
16	SinoPad 中興現地調查系統	V1.0
17	隧道支撐設計整合系統	V1.0
18★	二維泛用地表水分析軟體 (註)	V2.5
19	柔性加勁檔土牆之設計參數與數值分析方法研究	V1.0
20	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (一)	V1.0
21	RFID 設施巡檢系統、RFID 設備盤點系統、RFID 主動式監測系統	V1.0
22	隧道 (1) 輸進資料、(2) 地質 資料、(3) 監測資料等處理系統及 (4) 隧道施工資料查詢系統	V2.0
23	沖刷監測預警裝置開發	V1.0

(註)：序號 18★之程式現階段僅開放政府機關申購。



城市軌道運輸管理／指揮／控制系統 (UGTMS) IEC62290-1 規範導讀

Urban Guided Rail Transportation Management/Command/ Control System (UGTMS) IEC62290-1 Standard Guide

林義昌 Yi-Chang Lin¹ 王鈺元 Cheng-Yuan Wang² 邱偉銘 Wei-Ming Chiu³
廖正堅 Cheng-Chien Liao⁴

摘 要

近年來由於科技進步的幅度和速度與日俱增，尤其在電腦及無線通訊產業方面有日進千里之感，鐵道工業伴隨著這波進步的浪潮衍生出系統層面上的進化，目前號誌控制系統的主流已經由移動式區間取代了傳統的固定式區間，列車運行的方式也逐漸演進到無人列車運行模式，系統雖然可以隨著科技進步而有所改變，但是若沒有標準規範可以依循，必定會產生各種疑慮、誤解，以至於建置的系統無法發揮預期的效能甚至以失敗收場，所幸歐盟的 IEC 協會針對城市軌道運輸管理／指揮／控制系統 (UGTMS) 的功能、系統和界面需求制訂了 IEC 62290 標準規範，這部標準規範可以對應到各類型的系統列車運行方式，從非自動化的司機員駕駛系統到無人駕駛運行操作系統的廣泛操作需求。IEC 62290 標準規範系列目前已經是國際鐵道工業在系統設定及設計上可以遵循、奉行的圭臬，但國內尚未有針對該標準規範系列進行系統的入門導讀，爰萌生撰寫本文的動機期能拋磚引玉，希望能藉此促使更多專業菁英、先進參與，使國內軌道業在規範自主上能更進一步落實，本文係導讀 IEC 62290 標準規範系列的第一篇 IEC 62290-1。

關鍵字：城市軌道運輸管理／指揮／控制系統、都會區軌道運輸系統、自動化等級

Abstract

In recent years, due to the magnitude and speed of technological progress is very fast, especially in the computer and wireless communications industry, the railway industry is also accompanied by this wave of progress derives from the evolution of the system level, the mainstream of the current signal control system has been replaced by moving block system to the traditional fixed block system, and the way of train operation has also gradually evolved to an unmanned train operation system that does not require accompanying personnel, however, although the system can be changed with technological advances, but if there is no standard to follow will certainly generate a variety of concerns, misunderstandings, so that the construction of the system cannot play the expected performance or even failure. Fortunately, the European Union's IEC association has formulated the IEC 62290 standard specification series for the function, system and interface requirements of the Urban Guided Rail Transportation Management/Command/Control System (UGTMS). This standard series can correspond to various types of system train operation mode, and the wide range of operational need from Non-Automatic Driver Driving System to Unmanned Driving Operation System, The IEC 62290 standard series is now the standard that the international railway industry can follow and pursue in system setting and design. However, there is no advanced systematic introductory introduction material for this standard series in Taiwan, so I was motivated to write this paper expecting to prompt more professional elites to participate in making the domestic railroad industry in the standard autonomy to be able to further implement, this paper will be directed to the first IEC 62290-1 of the IEC 62290 standard specification series to do the introductory reading.

Keywords: UGTMS, UGT, GOA

¹ 桃園市政府捷運工程局總工程司 Chief Engineer, Department of Rapid Transit Systems, Taoyuan

² 桃園市政府捷運工程局機電科長 E&M Division Chief, Department of Rapid Transit Systems, Taoyuan

³ 台灣里卡多鐵路有限公司號誌專業顧問 Signaling Consultant, Ricardo Rail (Taiwan) Limited

⁴ 中興工程顧問公司機電監造工程部協理 Associate Vice President, E&M Construction Supervision Dept., Sinotech Engineering Consultants, Ltd.



一、概 述

IEC 62290 標準規範系列規範了城市軌道運輸管理／指揮／控制系統（UGTMS）的功能、系統和界面需求。

註：此標準規範系列不適用於根據特定鐵路法規營運的路線，除非交通管轄相關單位另有規定。

這些系統在這份標準規範系列中被指定為城市軌道運輸管理／指揮／控制系統（UGTMS）。UGTMS 涵蓋了從非自動化（GOA1）到全自動無人駕駛（GOA4）操作的廣泛操作需求，因為在歐洲鐵路網系統龐雜在某些長途路線上可能其全部或僅其中一部分配備了 UGTMS。

註：這份標準規範系列是以歐洲鐵路路線為環境基礎來做為編撰依據。

要特別注意的是這份標準規範系列並不適用於解決安全相關的議題，然而，安全需求的各個相關方面考量，本系列規範仍做了與安全相關的規範說明，可用於參考並完善制定城市軌道運輸系統內的安全規範。

本系列規範的主要目標是實現互通性、互換性和相容性（interoperability, interchangeability and compatibility）；並推薦給那些希望引入互通性、互換性和相容性設備（或系統）的運輸當局（業主）來做為參考依據。

運輸相關單位有責任根據交通管轄相關單位之決定，來應用本系列規範並將他們的特殊需求一併納入設計考量。

IEC 62290 系列還同時支援既有號誌和控制系統升級時的應用。若是在這種情況下本系列規範只能為新增的 UGTMS（升級的）設備確保互換性和相容性（後續新增系統相容原有的舊系統），然確認現有系統（設備）是否具備升級的可能性和升級之後與新舊系統之間互通性的水準

是運輸相關單位的責任。

考量到歐陸的鐵路系統繁雜，本系列規範的應用必須考慮到在不同國家營運的各種路網之間的差異，這些差異包括營運公司和監管單位之需求以及不同的安全文化。

本系列規範定義了 UGTMS 的需求索引，並將之分為強制性和選項功能，系統所使用的功能係基於滿足業主端需求的特定自動化等級（GOA level），系統供應商可以創建一個或多個通用應用程序，包括所有強制功能和所有（或部分）選項功能，通用應用程序將於事先定義的特定應用程序條件之下實現互通性，制定一個通用應用程序將在同時考慮到當地的條件下創建一個特定的應用程序，例如軌道線型和行車間距的需求，通用或特定應用程序增添附加功能是供應商和業主端合議之後的決定，本系列規範將不介紹這些附加功能。

根據 IEC 62278 業主端有責任在與交通管轄相關單位達成協議後，考慮到他們自身的風險接受原則，對每個特定應用進行對應的危害和風險分析，每個特定應用程序功能的安全級別必須通過與其對應的風險分析來確定。

因為本系列規範並非安全分析相關的規範，故系列規範中所提及「安全相關命令」、「安全條件」、「安全車站發車」等術語時並未涉及任何危害分析。

IEC 62290 系列規範由四個部分組成：

（一）第 1 部分 IEC 62290 -1「系統原理和基本概念」介紹 UGTMS（城市軌道運輸管理／指揮／控制系統）的主要概念、系統定義、原理和基本功能。

其他三個部分對應於 UGTMS 過程中所需的三個步驟（見圖 1），並相互對應地使用規範。

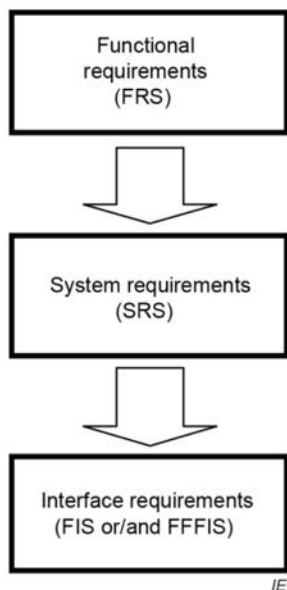


圖 1 UGTMS 標準規範遵循的三步流程

(二) 第 2 部分 IEC 62290-2「功能需求規範」制定了與第 1 部分基本功能相關的功能需求，以及在第 1 部分中所定義的系統邊界和界面。

FRS (功能需求規範) 定義了運行城市軌道交通系統所必需的功能，特定的自動化等級可以區分兩種類型的功能：強制性功能——mandatory functions (例如：列車偵測) 和選項功能——optional functions (例如：與乘客資訊和乘客監控系統的界面)，除非另有特別標註，否則功能需求具有相對應的配當。

(三) 第 3 部分 IEC 62290 -3「系統需求規範」說明系統的結構，以及將第 2 部分中的需求和功能配當發展其架構，SRS (系統需求規範) 制定了 UGTMS 系統的架構，包括強制性和選項的部分。

(四) 第 4 部分 (目前仍在 IEC 仍在編撰中)「界面規範」說明第 3 部分所確定的可操作相容和可互換部分的界面定義及其交換的資料 (FIS 和 FFFIS)；對於 UGTMS 各組成部分之間的界面，綜合考量①邏輯界面②

FIS (功能界面規範) ③實體與邏輯界面④ FFFIS (外形與功能界面規範)。

UGTMS 系統需求的定義：在不考慮技術相關的解決方案的前提下，滿足業主所需求的安全且有序的營運所需之所有營運需求。

在描述需求時所選擇的詳細程度，可以使業主方和交通管轄相關單位能夠確保不同供應商所提供的通用應用程序，將至少涵蓋與 IEC 62290 標準規範系列中列出的相同功能。

本系列所確定的需求都使用與所描述之功能對應的相關需求識別編碼來做清楚標示。

二、IEC 62290-1「系統原理和基本概念」

(一) IEC 62290-1 全篇共分為 6 個章節：

- | | |
|-------|----------------------|
| 第 1 章 | 範圍 |
| 第 2 章 | 規範參考資料 (請自行參閱規範內容) |
| 第 3 章 | 術語、定義和簡稱 (請自行參閱規範內容) |
| 第 4 章 | 概念 |
| 第 5 章 | 系統環境及邊界 |
| 第 6 章 | 整體需求及基本功能說明 |

在第 1 章範圍中先概略介紹了本規範，並討論了都會區軌道運輸系統中使用的 UGTMS (城市軌道運輸管理／指揮／控制系統) 的主要概念、系統定義、原理和基本功能線路和網絡，IEC 62290-1 適用於新建線路或升級現有信號和命令控制系統。

(二) IEC 62290-1 適用於使用以下內容的應用

1. 連續數據傳輸，
2. 透過列車保護曲線對列車運行進行連續監控，
3. 通過外部道旁設備或列車回報機制對列車進行



定位。

（本標準發布日前之既設系統或進行中的專案不適用上述條款）

而第4章概念先就何謂 Urban Guided Transport (UGT) 都會區軌道運輸系統做出定義，即為城市環境中的公共交通系統，具有自驅式動力車輛並在軌道上運行，與一般道路和行人交通隔離，除非主管當局另有規定，否則屬於特定鐵路法規運營的鐵道路網一部分的鐵路基礎設施不包括在內。

規範再就運營設施（指為運營服務的所有裝置和設備）做出說明，例如（軌道佈局示例如圖2所示）：

- 1.電力設備（設施）（如牽引供電、照明設備、通信設備、指揮控制系統、管理系統、維護系統等）
- 2.列車導引設施（車站、脫軌器（出軌轉轍器）、岔心、可動式岔心、平交道口、防洪閘、月台軌區、站間軌道等）。站台軌道和站間軌道可用於單向或雙向運行；
- 3.車站是乘客在道旁和列車之間換乘的地方。車站包括「候車區」（可選配乘客服務和票務設施）和乘客「換乘區」作為站台和列車之間的界面。
- 4.側線被認為是存放電聯車和電聯車折返的地方通常不用於營運載客。
- 5.機廠用於維護和駐儲電聯車通常不用於營運載客。

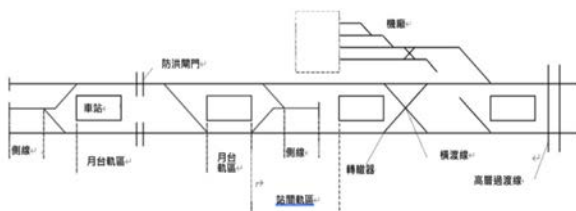


圖2 軌道佈局

而其4.2節中就GOA等級作出的表列說明可謂本規範的精華所在，UGT可以在其定義的不同自動化等級下運行，自動化等級的定義源於在操作人員和系統之間分配列車運行給定基本功能的責任。

在路線或路網上設定自動化等級的列車運行的強制性基本功能在表1中定義並在規範內文中有更詳盡的說明。

（三）自動化等級說明

1. Grade of Automation 0 (GOA0) : On-sight train operation 目視運行。

在這種級別的自動化中，駕駛員承擔全部責任，不需要任何系統來監督他的活動。然而，轉轍器和軌道狀況可以由系統部分監控。

2. Grade of Automation 1 (GOA1) : Non-automated train operation 非自動列車運行。

在這種級別的自動化中，駕駛員在列車的駕駛室觀察軌道並在出現危險情況時停止列車。加速和煞車由駕駛員根據道旁號誌機或駕駛室號誌設備所發出的指令。GOA1系統可以監督駕駛員的活動，這種監督可以在特定位置進行，可以是半連續的或連續的，特別像是號誌機和速度限制的顯示。而列車安全離站（包括關門）則是駕駛員的責任。

3. Grade of Automation 2 (GOA2) : Semi-automated train operation 半自動列車運行。

在這種級別的自動化中，駕駛員在列車的駕駛室觀察軌道並在出現危險情況時停止列車。加速和煞車是自動的，並且速度由系統連續監控。列車安全離站由駕駛員負責（乘客上下車安全由駕駛員監控而車門開關可以自動完成）。

4. Grade of Automation 3 (GOA3) : Driverless train operation 自動化列車運行

在這一級別的自動化中，與GOA2相比，需



要採取額外的措施，因為列車沒有駕駛員來觀察軌道並在出現危險情況時停止列車。

在這種自動化級別中，車上需要有一名隨車操作人員。列車安全離開車站（包括關門）可以由隨車操作人員負責也可以自動完成。

5. Grade of Automation 4 (GOA4) : Unattended train operation 全自動無人駕駛行車運行在這個級別的自動化中，與 GOA3 相比還需要採取額外的措施，因為車上沒有隨車操作人員所以列車從車站安全出發，包括關門，都必須自動完成。

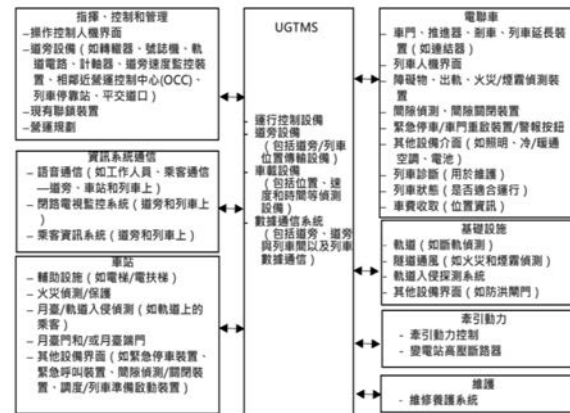


圖 3 UGTMS 系統環境

表 1 自動化等級

列車運行基本功能		目視運行	非自動	半自動	無人駕駛	無人
		GOA0	GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
確保列車安全移動	確保安全距離	X (由系統下令/控制轉彎)	系統	系統	系統	系統
	確保列車安全距離	X	系統	系統	系統	系統
	確保安全車速	X	X (部分由系統監督)	系統	系統	系統
	確保列車安全	X	X	系統	系統	系統
駕駛列車	控制加速/減速	X	X	系統	系統	系統
監控導軌	預防碰撞障礙物	X	X	X	系統	系統
監控乘客安全	防止人員在車廂之間或月臺與列車之間受傷	X	X	X	X	系統
確保安全停車條件	確保安全停車條件	X	X	X	X	系統
列車營運	投入及撤離營運	X	X	X	X	系統
監控列車狀態	監控列車狀態	X	X	X	X	系統
確保緊急狀況	偵測火災/煙霧、偵測出軌、偵測列車異常性、緊急停車請求(移動/自動、監控)	X	X	X	X	由系統和/或OCC控制員

X記號 = 營運人員的職責
(可透過 UGTMS 系統實現)

系統 = 應透過 UGTMS 系統實現

(四) UGTMS 的基本組成部分

UGTMS 營運行控制設備負責整個路線或路網的營運管理和監控。營運控制中心（OCC—行控中心）的 UGTMS 設備為整個 UGTMS 功能提供與操作員人機界面，同時也可以為系統中非 UGTMS 的部分提供界面。

UGTMS 路旁設備（UGTMS WS）負責確保列車在線路特定區域內的運行。假設在使用舊有的聯鎖裝置的情況下，UGTMS WS 必須相容舊有的聯鎖裝置所提供功能的界面。

UGTMS 車載設備（UGTMS OB），負責確保與特定列車相關的列車運行。

資料通信系統，提供 UGTMS 各組成部分之間的資料交換。

* UGTMS 的系統運作與資料傳輸介質無關，特別是道旁資料通信與 UGTMS OB 之間的資料傳輸介質（線路電纜、無線電等）。

更具體地說，該系統支援在發生危險情況和緊急情況（例如乘客疏散）的危害偵測和管理。而一些更高等級的危險情況或緊急情況，例如列車出軌或偵測到煙霧或火災，可能需要工作人員干預；因此制定一個完善緊急應變計畫在使用全自動無人駕駛行車運行系統上是一件至關重要的措施。

第 5 章系統環境和邊界規範以一張圖例（圖 3）展示了基本 UGTMS 系統環境，其中包含了系統的一般組成架構及其系統邊界和所需的外部界面。

第 6 章整體需求及基本功能說明，本章的內容非常重要且內容繁多共分為兩個大章節：6.1 整體需求及 6.2 基本功能說明在此僅作約略的整理介紹，其中整體需求這一章節的部分共有以下 12 個小節：



1. 系統實踐做法
2. RAMS 需求
3. 電磁相容性
4. 節能
5. 現地狀況（考慮當地氣候和自然特徵以及當地條件）
6. 與其他路網之間的運輸連接
7. 與相鄰的 UGTMS 路網之間的互通性
8. 確保行動不便旅客出行的措施
9. 正常模式、降級模式、緊急情況
10. 系統基本性能（以下項目應被視為 UGTMS 的基本標準需求）
 - (1) 安全
 - (2) 可用性
 - (3) 技術和操作後備模式
 - (4) 可維護性
 - (5) 可靠性
 - (6) 適應性
 - (7) 可測試性
 - (8) 最大速度
 - (9) 車間距
 - (10) 旅程時間
 - (11) 營運速度
 - (12) 停準度
 - (13) 所需的反應時間
11. GOA 升級需求
12. 路線新增的需求

另一部分為基本功能說明以 1. 列車運行基本功能 2. 營運管理和監督的基本功能 兩個方面來撰述，IEC 62290 系列也是從這一章所列出的需求（系統需求及功能需求）發展出需求樹，進而完善 IEC 62290 系列規範的完整性及實用性。

在列車運行基本功能所呈現的為所有城市軌道運輸管理／指揮／控制系統（UGTMS）的功能

需求，從列車運行基本功能開始再述及駕駛列車、監控軌道、監控旅客換乘、電聯車營運以及確保發現和管理緊急情況。

在營運管理和監督的基本功能中說明包括：

1. 管理每日 刻表
2. 管理列車營運
3. 監管列車運行
4. 控制牽引電力
5. 提供操作人員界面
6. 為乘客和工作人員提供與通信系統的界面
7. 提供與乘客資訊系統的界面
8. 提供與乘客監視系統的界面
9. 支援維修養護系統
10. 管理電聯車和工作組員資源

IEC 62290-1 完整地將城市軌道運輸管理／指揮／控制系統（UGTMS）做出定義，並將系統主體及子系統之間的關係以及外部界面都做了完整的敘述，同時也將其對應的需求項目都做了清楚的交代為了後續的 IEC 62290-2 做了完美的鋪陳，並對各個（GOA）自動化等級做了嚴謹的劃分，最後亦對營運管理也做了詳盡的規劃和介紹，可謂是全面性的將 UGTMS 系統說明得非常清楚，而對於功能需求有更深入需要的讀者可以參照圖 1 中 UGTMS 標準規範遵循的三步流程，在後續的 IEC 62290-2 及 IEC 62290-3 尋得更詳盡的內容及其對應關係。

三、結論與建議

IEC 62290 標準規範系列目前已出版的 IEC 62290-1 到 -3 共 3 個部分，這一系列規範之第 4 部分「界面規範」目前仍在 IEC 仍在編撰中，然而雖然本標準規範系列尚未全數完成，它仍然是目前全球鐵道業界的指標性文件，尤其 IEC 62290



標準規範定義了列車運行的自動化等級（GOA）且劃分明確，從而能精確地確認各個等級的系統設計及設備的需求。

在專案實際應用上，IEC 62290 -1「系統原理和基本概念」介紹了 UGTMS（城市軌道運輸管理／指揮／控制系統）的主要概念、系統定義、原理和基本功能；非常適合機關（業主）和專業顧問在構建系統計畫之前藉著本規範了解各個 GOA 等級之差異，結合專案的現地環境訂定最佳的運輸方案，抑或是提供交通主管機關在制定相關法規及規範時有所依據，甚至提供專職的教育機構界本規範導入專業的軌道運輸課程。

雖然近年來我國的軌道工業發展日益蓬勃，但相關的系統規範、技術規範及論文卻仍然稀缺，只能仰賴的國際上（甚至中國大陸）的規範及文獻，或者是各方在先前專案中累積的經驗，若在軌道系統設計或是專案執行上遇到爭議，難免會因為各方傳承的經驗不同或各自理解上的差

異而僵持不下，未來國內的軌道工業如需更穩健的蓬勃發展，在奠定國內標準和規範方向是絕對不可或缺的，也建議未來國內系統規劃規範架構應參考或優化技術需求規範，以利 SMS 能夠系統化、邏輯化的描述系統需求，如此可以避免對系統需求認知所產生的混淆引發爭議，希望這分導讀能夠對我國的鐵道規範發展略盡棉薄之力，文中若有未竟之處再請各方前輩及讀者指教。

誌 謝

本文能夠順利得以完成，特別感謝鐵道技術研究及驗證中心劉秋樑主任，提供寫作建議並剖析問題關鍵故特此致謝。

參考文獻

EN62290-1-2014 Urban guided transport management and command control systems Part 1 System principles andfundament

中興社研發叢書及電腦程式銷售

中興工程顧問社已發行研發、編譯叢書 317 種及電腦程式 23 套，多屬規劃、設計、施工、管理等方面之工程技術，其叢書及程式目錄、售價、摘要、申購表、繳款方式及信用卡繳費單等，皆已上「中興工程顧問社」之網站 www.sinotech.org.tw，歡迎上網查閱選購；若需進一步查詢請電話或傳真至電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐，或傳真：(02)8791-2198



地震後之土石流潛勢溪流評估劃設 ——以花蓮 0403 地震為例

Post-Earthquake Assessment and Mapping of Potential Debris Flow Torrents—Example of 0403 Hualien Earthquake

簡榮興 Jung-Hsing Chien¹ 曹鼎志 Ting-Chi Tsao² 陳振宇 Chen-Yu Chen³
黃效禹 Hsiao-Yu Huang³ 游雅筑 Ya-Chu Yu³

摘 要

2024 年 4 月 3 日於花蓮地區發生芮氏規模 7.2 地震，並同時誘發東部山區大量邊坡崩塌，本研究參考農村水保署於震後影像判釋之 1,942 處新生崩塌（面積約 1,521.03 公頃），初步將新生崩塌與鄰近住戶等資料比對後，針對新生崩塌非位於土石流潛勢溪流集水區，且具溪谷地形及周遭疑似具保全住戶等條件之野溪，進一步辦理現勘以評估劃設為土石流潛勢溪流。本研究以 4 月 11 日所判釋之 Type B 一合 9 丁 65.5K 和仁車站土石流為例，於現地勘查後新增為土石流潛勢溪流，該條溪流於 0403 地震後，分別於 2024 年 4 月 22 日、6 月 29 日之降雨條件引致土石流，造成下游臺鐵員工宿舍及鐵、公路淤埋，本研究將事件後之災害範圍驗證影響範圍之合理性，期能提升土石流防災工作。

關鍵字：0403 花蓮地震、新生崩塌、土石流、影響範圍

Abstract

A magnitude 7.2 earthquake occurred on April 3, 2024 in the Hualien area, the earthquake induced massive slope failures in the eastern Taiwan. 1,942 newly triggered landslides (1,521.03 hectares) were identified by the Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation (ARDSWC) after the earthquake. For newborn landslides that are not located in the watershed of current potential debris flow torrents but with the topography of the valley and residents nearby, further investigation to evaluate if the torrent fulfill the elements of enlisted as a potential debris flow torrents. This study took the torrent at Provincial Highway 9D 65.5K and Heren Train Station for example, it was added as a potential debris flow torrent after the on-site investigation in late April. The rainfall events on April 22, 2024 and June 29, 2024 caused debris flows, which resulted in the damage of Taiwan Railway dormitories and the railway and highway. This study compared the designated area and the disaster area to show the effectiveness of the mapped inundation range. The result of this study is the fundamental data for disaster prevention work of debris flow.

Keywords: 0403 Hualien Earthquake, Landslide; Debris flow, Impact area

¹ 中興工程顧問社防災科技研究中心副工程師 Associate Engineer, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社防災科技研究中心資深工程師兼副主任 Senior Engineer and Deputy Director, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 農業部農村發展與水土保持署減災監測組 Disaster Mitigation and Monitoring Group, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA.



一、前言

2024年4月3日上午7時58分9秒於花蓮縣壽豐鄉發生芮氏規模7.2地震（氣象署，2024；王國隆等，2024；黃明偉等，2024），地震深度約為22.5公里，此次地震於全臺各地均有災情傳出，尤以距震央最近之花蓮最為嚴重，其中位於花蓮和平、太魯閣等地區之最大震度達到6以上，本次地震為1999年921地震後迄今25年所發生之最大規模地震，依據過往於地震後之經驗，除造成山區邊坡崩塌鬆散，並可能有大量崩塌進入河道，若遇強降雨極易引發土石流等二次災害。（Keefer et al., 2000；Dadson et al., 2004；Chiou et al., 2007；Chen et al., 2011；Li et al., 2021；林美玲等，2000；張振生等，2004；陳振宇，2018；李寧等，2020；郎介等，2021；李易諭，2024）。

土石流係擁有多種樣貌之流動特徵（如圖1所示），總結以往的相關定義，普遍認為土石流是一種飽含泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔的一種高濃度且流動快速的兩相流（Two-phase flow），具有明顯或至少可以辨識的坑溝流路，其下游側經常有舌狀或耳狀淤積段，且淤積段前緣有巨大石礫聚集（農村水保署，2017）。

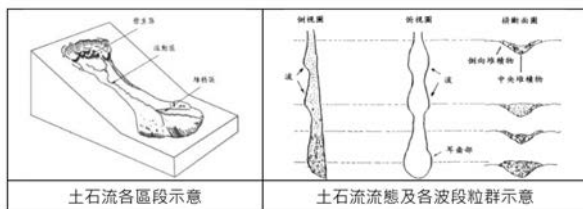


圖1 土石流特徵示意（農村水保署，2023）

依過往研究指出，若歷經規模大於7以上之強震後，誘發土石流之降雨門檻將於第一年急遽

下降（如圖2所示），其最大有效降雨量僅需震前的1/2～1/9，證實地震對誘發土石流造成一定影響（Lin et al., 2003；張喬貴，2002；陳俞旭，2008；黃文舜，2012；陳宏宇，2014）。

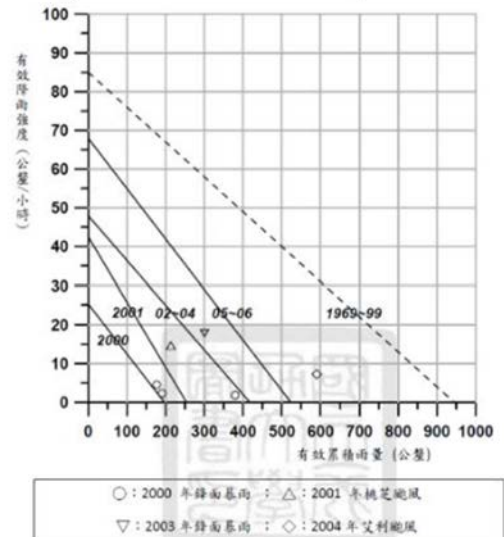


圖2 921地震前後於九九峰地區誘發土石流之臨界雨量研究（陳俞旭，2008）

二、0403 花蓮地震後新生崩塌

本研究參考農業部農村發展與水土保持署（以下簡稱農村水保署）於震後影像分析判釋，由BigGIS巨量空間資訊系統資料得知，此次地震造成全臺共計1,942處新生崩塌，主要分布於花蓮縣、宜蘭縣、南投縣及臺中市等4縣市、9鄉鎮市區（如表1所示），總計新生崩塌面積為1,521.03公頃（農村水保署，2024；李易諭，2024）。

循過往地震後之經驗，未來臺灣東部地區遭受山崩與土石流之災害發生頻率更勝於以往，本研究依據農村水保署於花蓮0403地震後之新生崩塌分類及處理原則（如圖3所示），以新生崩塌、是否具溪谷地形及重要保全對象臨近等相關條件進行檢視，並初步遴選出以下三類：



表 1 花蓮 0403 震後新生崩塌之行政區統計

行政區		新生崩塌面積 (ha)
花蓮縣	秀林鄉	1,481.05
	萬榮鄉	6.57
	壽豐鄉	4.94
	豐濱鄉	1.24
	吉安鄉	1.83
宜蘭縣	大同鄉	1.25
	南澳鄉	22.30
	蘇澳鎮	0.23
南投縣	仁愛鄉	1.01
臺中市	和平區	0.61
總計		1,521.03

註：新生崩塌定義：係指在災害前後，挑選兩期無雲覆影像進行比對判釋，並根據可用影像的解析度，藉由多光譜資訊判釋地表顯著崩塌變化範圍（面積 0.1 ha 以上者），再以人工數化方式圈繪出判釋後的新生崩塌區。

資料來源：農村水保署，2024

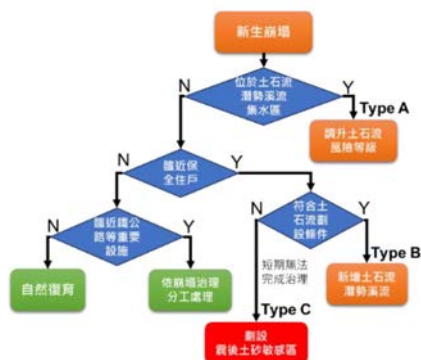


圖 3 0403 震後新生崩塌分類及處理原則
(陳振宇，2024)

(一) Type A—評估調整土石流潛勢溪流風險等級：係指震後衛星影像判釋之新生崩塌位於既有土石流潛勢溪流集水區者（如圖 4 所示）；

(二) Type B—評估新增土石流潛勢溪流：係指震後衛星影像判釋之新生崩塌具備溪谷地形與保全住戶，但非位於土石流潛勢溪流集水區者（如圖 5 所示）；

(三) Type C—評估劃設震後土砂敏感區：係指震後衛星影像判釋之新生崩塌經評估其崩落

土砂之影響範圍內具保全住戶，但未具備溪谷地形者（如圖 6 所示）。

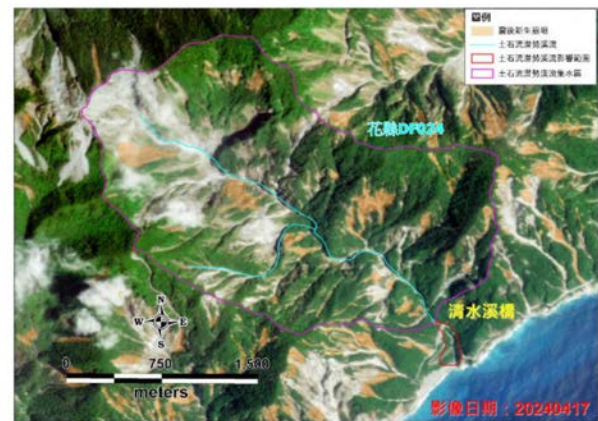


圖 4 0403 震後新生崩塌位於既有土石流潛勢溪流集水區 (Type A 示意圖)



圖 5 0403 震後新生崩塌具備溪谷地形與保全住戶，但非位於土石流潛勢溪流集水區 (Type B 示意圖)

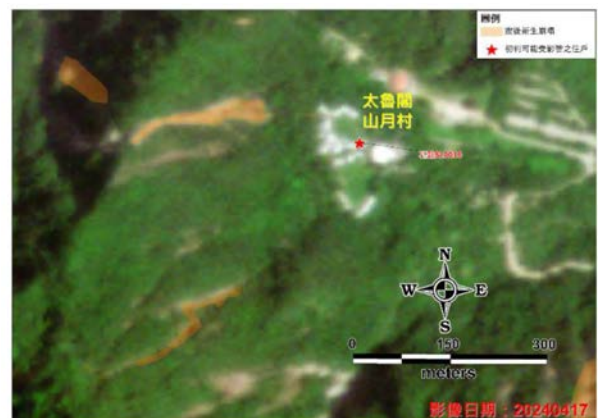


圖 6 0403 震後新生崩塌經評估具保全住戶，但未具備溪谷地形 (Type C 示意圖)



本研究針對 Type B—評估新增土石流潛勢溪流之判定原則，研擬 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單篩選流程（如圖 7 所示），須滿足以下條件同時成立，方能列入 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單：

- （一）具有 0403 震後衛星影像判釋之新生崩塌；
- （二）具有溪谷地形，其溪床坡度 10 度以上之集水區面積須大於 3 公頃；
- （三）非位於農業部已公開之土石流潛勢溪流；
- （四）周遭之疑似保全住戶與溪床小於 10m 高差，且具門牌地址或有水、電等居住事實之住戶。

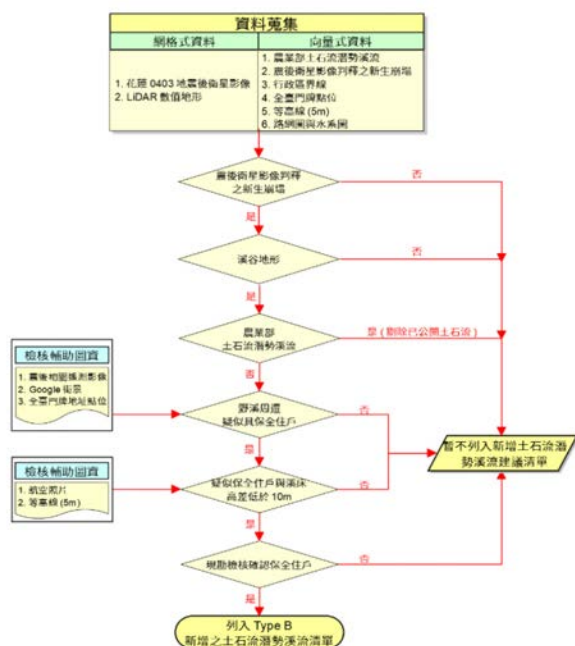


圖 7 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單篩選

三、震後新增土石流潛勢溪流劃設

本研究針對花蓮 0403 地震後造成 Type B 野溪集水區上游坡面殘有大量不安定土砂，後續若

遭受強降雨誘發新崩塌或使舊崩塌擴大，極易引發土石流等二次災害。以 Type B 之台 9 丁線 65.5K（鄰近和仁車站）野溪為例（如圖 8 所示），其溪流長度約 0.816km，集水區面積約 30.46 公頃，最高海拔約為 990m，地勢往東陡降至海拔 65m，高差約為 925m。溪流共有 4 次歷史災害記錄，分別為 2009 年莫拉克颱風、2012 年蘇拉颱風、2024 年 0403 花蓮地震後之 4 月 22 日豪雨及 6 月 29 日豪雨，均曾發生土石流災害，同時皆導致下游蘇花路廊阻斷（如圖 9 所示）。

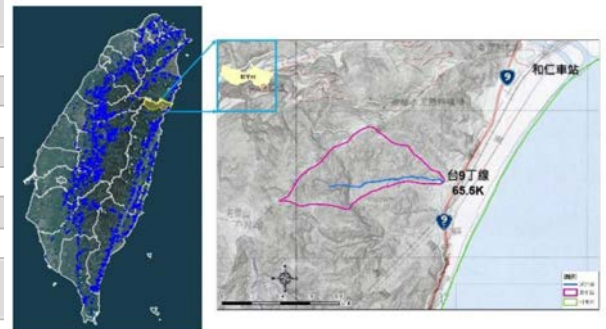


圖 8 Type B 之台 9 丁線 65.5K 野溪（鄰近和仁車站）地理位置



圖 9 Type B 之台 9 丁線 65.5K 野溪（鄰近和仁車站）土石流災害歷史紀錄

本研究參考農村水保署於 0403 震後判釋之新生崩塌，依前述圖 7 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單篩選流程操作，於 4 月 11 日即判釋台 9



丁線 65.5K 野溪具引發土石流等二次災害之跡象，該地區於 4 月 22 日降下震後首場豪雨，即爆發大規模之土石流災害，並造成下游臺鐵員工宿舍淤埋及北迴線鐵路、台 9 丁線交通阻斷。

於 4 月 22 日土石流事件後，因集水區內仍殘存大量不安定土砂，接續於 6 月 29 日晚間再次爆發震後第 2 次土石流災害，同時下移之土石也阻斷台 9 丁線，所幸前次事件後，公路局於台 9 丁線 65.3K 至 65.6K 處，已預先採用前次流下之巨石修築臨時土堤，並於此次事件發揮攔阻功能，未造成土石流侵入省道下方之北迴線鐵路。

本研究針對 0403 地震後之兩次誘發土石流之降雨初步探討（如圖 10 所示），4 月 22 日豪雨為震後首次發生土石流災害事件，因當時和仁車站鄰近並未設置雨量站，故此事件參考雨量站以和仁車站南側約 2.8 公里之清水斷崖（C0Z310）代表，震後首次誘發土石流約為 4 月 22 日下午兩點二十分左右，由測站資料得知，當時累積雨量僅約 50mm 左右（時雨量約 21mm/hr），即引發大規模之土石流災害。因該事件之參考雨量站距台 9 丁線 65.5K 野溪較遠，可能未能實際反應現地降雨情形，故於 4 月 22 日事件後，農村水保署於台 9 丁線 65.5K 野溪附近另增設和仁車站（81T1B0）雨量站。

於 6 月 29 日第二次土石流事件期間，本研究改以和仁車站（81T1B0）雨量站進行研判，由測站資料顯示，推估此次土石流發生時間介於晚上七點至八點之間，當時誘發土石流之累積雨量約為 210mm（時雨量 60mm/hr），其累積雨量較前次 4 月 22 日事件多降下 110mm 才驅動土石流運移，研判歷經首次土石流事件後，集水區內之不安定土砂量可能有逐漸遞減趨勢。

本研究於震後 4 月 22 日首次土石流事件後，於 5 月 8 日至現地勘查（如圖 11 所示），據現場訪談臺鐵人員得知，4 月 22 日土石流約在下午兩點二十分左右發生，土石流發生流動後先阻斷台 9 丁線，並於兩點四十分左右淤埋東、西正線鐵路，該次事件造成台 9 丁線及鐵路分別遭土砂掩埋長度約 130m 及 150m。

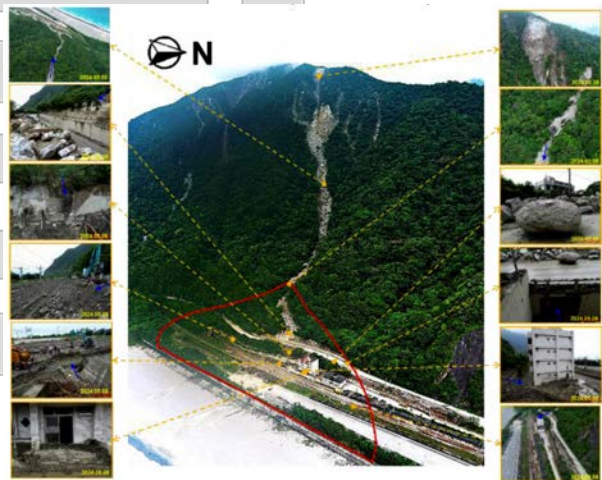


圖 11 0403 震後土石流現勘調查

溪流位於省道台 9 丁線 65.5K（鄰近和仁車站），於現勘時於省道東側路面可見公路局以前次土石流事件流下之材料，構築約 2 ~ 3m 高之土堤，道路上尚可見長約 3m 之巨石停駐，溪流下游以箱涵型式（通水斷面寬 2m、高 1m）通過台 9 丁線後，即進入下方之臺鐵路廊，於軌道路堤下方設有長約 70m 之地下箱涵（通水斷面寬、高各約 2.5m），位於左岸之臺鐵宿舍（和仁 71

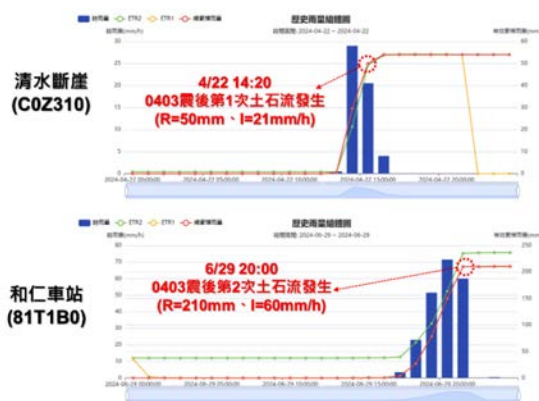


圖 10 0403 震後兩次土石流發生之降雨組體圖
(FEMA, 2024)



之1號、71之2號1樓之1及71之2號1樓之2)曾於2012年蘇拉颱風及2024年4月22日豪雨遭土石流淤埋,觀察71之1號住戶旁之河道,其河寬僅約2m之排水溝,溪床坡度約4度。

台9丁線上游河道設有長約25m、高約6m之梳子壩,為2012年蘇拉颱風後所建。距梳子壩上游約100m之地形開闊處起點,屬流動區與堆積區之交界處,經研判符合溢流點之地形特徵,並於溢流點處溪床可發現一顆高約15m之巨石,若後續再次發生土石流運移,恐對下游蘇花路廊及保全住戶有進一步之危害。

於溢流點以上之流動區河道有明顯土石流流動與拓寬跡象,河道中殘有大量不安定土砂堆積,溪床坡度約35度。觀察發生區上游可見0403地震誘發之新生崩塌,出露之岩性多以高度變質之片麻岩與大理岩為主,裸露之崩塌總面積約8.76公頃,集水區崩塌率約為29.19%。

本研究經現勘後,評估源頭崩落地及坡面上之不安定土砂仍可能提供土石流料源,且下游左岸臺鐵宿舍緊鄰溪岸恐有再次受災之虞,故建議新增為土石流潛勢溪流。本研究針對土石流影響範圍之劃設,建議以台9丁線上游之地形開闊處起點作為溢流點,於溢流點處先以105度夾角展開,並依池谷浩經驗公式計算淤積長度604m向下游劃設,再依據LiDAR坡度圖修正影響範圍前緣並以等坡線2度處作為邊界,最後依現勘地形修正影響範圍不可能到達之區域及兩側高出10~12m進行影響範圍調整(如圖12所示)。

四、土石流影響範圍劃設檢討

針對初步劃設後之影響範圍以剖面資料進行相關比對(如圖13所示),於縱剖面部分,可得知溢流點以下至影響範圍末端之堆積區平均坡度約為13度;溢流點以上之流動區平均坡度約為

35度;源頭崩塌之發生區平均坡度約為47度。

本研究之台9丁65.5K野溪土石流堆積區及流動區坡度均高於一般常見土石流堆積區坡度(介於3~6度)及流動區坡度(介於6~15度),研判可能係位於蘇花路廊西側之中央山脈,均為地形陡峭之高峻山峰,溪床傾斜陡急,以致本區之土石流堆積區及流動區坡度較一般土石流高。

於A-A'橫剖面部分,本研究係檢視影響範圍兩側邊界劃設之合理性及保全住戶與溪床是否滿足10~12m之高差,經檢視溪床與左岸臺鐵宿舍高差未達10m,若發生土石流研判仍有受災之虞。

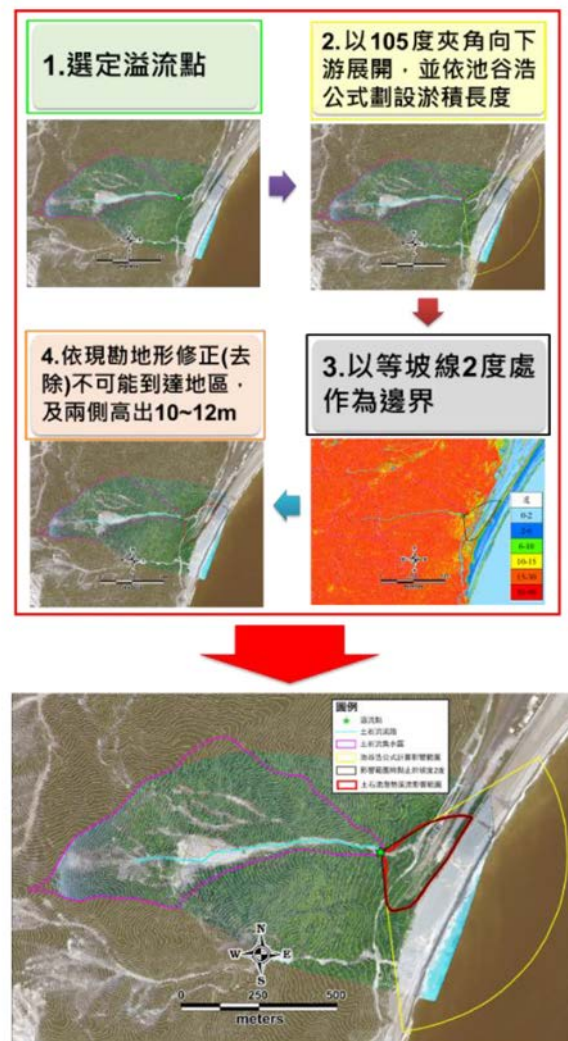


圖12 土石流影響範圍劃設評估操作示意

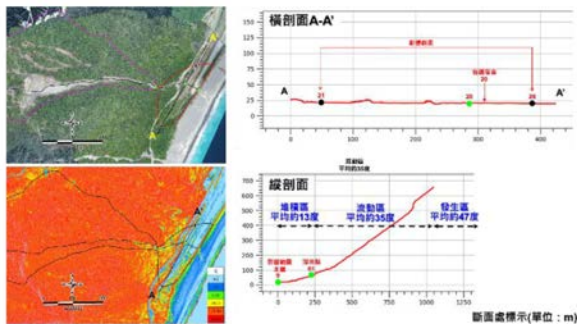


圖 13 以坡度分析及剖面資料檢視影響範圍劃設之合理性

另針對劃設後之土石流影響範圍與 0403 花蓮地震後之 2 次土石流事件（4 月 22 日及 6 月 29 日）災害範圍進行比對，由如圖 14、表 2 得知，本研究劃設之土石流影響範圍面積約 4.61 公頃，而 4 月 22 日及 6 月 29 日之土石流災害範圍面積分別為 1.43 公頃及 0.46 公頃，僅占土石流影響範圍各約 31.02% 及 9.98%，且震後 2 次事件之土石流災害範圍均未超出土石流影響範圍，顯示本研究劃設之影響範圍較為保守，但整體評估尚屬合理。



圖 14 0403 地震後二次土石流災害範圍檢討影響範圍劃設之合理性

表 2 0403 震後土石流影響範圍與災害範圍之比對

	劃設面積 (ha)	占土石流影響 範圍比率
本研究劃設之 土石流影響範圍	4.61	-
土石流災害範圍 (2024/4/22)	1.43	31.02%
土石流災害範圍 (2024/6/29)	0.46	9.98%

五、討論與建議

本研究針對花蓮 0403 地震之新生崩塌，以非位於土石流潛勢溪流集水區，且具溪谷地形及周遭疑似具保全住戶等條件之野溪，研擬 Type B 新增土石流潛勢溪流篩選清單，並進一步辦理現勘以評估新增為土石流潛勢溪流，再以科學方式劃設合理之土石流影響範圍。

本研究案例之 Type B 一台 9 丁 65.5K 野溪，農業部已於 113 年 6 月公開為花縣 DF172 土石流潛勢溪流，屬高風險等級，土石流警戒基準值設定為 200mm。該溪流於震後 2 次土石流事件之災害範圍均未超出土石流影響範圍，顯示本研究劃設之影響範圍尚屬合理，其公開之土石流潛勢溪流影響範圍應能滿足震後土石流事件之防災需求，有效降低人員傷亡。

花蓮 0403 地震造成山區邊坡大量新生崩塌，依過往研究，震後誘發土石流之降雨門檻將於第一年急遽下降，最大有效降雨量可能僅需震前 1/2 ~ 1/9 即可誘發土石流，因目前具新生崩塌之集水區仍處於高風險地區，建議結合歷史土石流的成因和特性，進行詳細之土石流調查與評估，並對集水區殘坡內之不安定土砂辦理必要疏浚工作。並針對震後高風險地區建立相關預警監測系統，以能有效掌握並提早預發災防告警細胞廣播訊息（CBS），傳遞災害告警通知相關單位，以降低土石流災害之人員財產損傷。

謝 誌

本研究承蒙農村水保署提供相關資料與經費，特此感謝。

參考文獻

Chen, N. S., Hu, G. S., Deng, M.F., Zhou, W., Yang, C.L.,



- Han, D., and Deng, J. H. (2011). "Impact of earthquake on debris flow-a case study on the Wenchuan earthquake," *Journal of Earthquake and Tsunami* Vol. 05, No. 05, pp. 493-508.
- Chiou, S. J., Cheng, C.T., Hsu, S.M., Lin, Y. H., and Chi, S.Y. (2007). "Evaluating Landslides and Sediment Yields Induced by the Chi-Chi Earthquake and Followed Heavy Rainfalls along the Ta-Chia River," *Journal of GeoEngineering*, 2(2), pp.73-82.
- Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W. B., Lin, J. C., Hsu, M. L., Lin, C. W., Horng, M. J., Chen, T. C., Milliman, J., and Stark, C. P. (2004). "Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt," *Geology*, 32(8), 733-736.
- Keefer, D. K. (2000). "Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution — the 1989 Loma Prieta, California event," *Engineering Geology*, 58, 231-249.
- Li, N., Tang, C., Zhang, X., Chang, M., Shu, Z., Bu, X. (2021). "Characteristics of the disastrous debris flow of Chediguan gully in Yinxing town, Sichuan Province, on August 20, 2019," *Scientific Reports* volume 11, Article number: 23666.
- Lin, C. W., Shieh, C. L., Yuan, B. D., Shieh, Y. C., Liu, S. H., and Lee, S. Y. (2003). "Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyulan River watershed, Nantou, Taiwan," *Engineering Geology*, 71, 49-61.
- 中央氣象署 (2024), 第019號4月3日7時58分規模7.2花蓮縣政府南南西方14.9公里(位於花蓮縣壽豐鄉), 資料連結: <https://scweb.cwa.gov.tw/zh-tw/earthquake/details/2024040307580972019>
- 王國隆、謝佑明、林聖琪、柯明淳、塗冠婷、林俊廷 (2024), 地表變形與崩塌初步研析, 土木水利, 51卷特刊, 第38-46頁。
- 林美玲、游繁結、林炳森、范正成、王國隆 (2000), 集集震後土石流二次災害危險性之評估, 地工技術, 81期, 第97-104頁。
- 張振生、王志豪、劉維、廖禎茹、陳信雄 (2004), 921地震後溪頭水文分佈特性與土石流防災相關之研究, 中華林學季刊, 37卷3期, 第283-292頁。
- 張喬貴 (2002), 集集大地震後南投地區土石流發生之雨量預警基準, 碩士論文。
- 李寧 (2020), "5·12"地震後汶川縣泥石流特徵與演化分析, 工程地質學報, 28(6), 第1233-1245頁。
- 李易論 (2024), 從地震的角度看坡地災害, 資料連結: <https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=31b5b8a0-a72a-4a0d-8371-94bfb202ac69>
- 李易論 (2024), 從0403花蓮地震探討氣候變遷對地震帶國家的衝擊, 資料連結: <https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=faa9a48d-5188-40bc-abff-923f301993d7>
- 郎介、陳昆廷 (2021), 2017年"8·8"九寨溝地震後之土石流致災特性調查—以九寨溝景區為例, 中華防災學刊, 13卷1期, 第17-24頁。
- 陳宏宇 (2014), 防災工作與土地利用, 103年中國礦冶工程學會年會, 國家災害防救科技中心簡報。資料連結: <https://www.cimme.org.tw/images/Publications/3-seminar/103/103-seminar-1.pdf>
- 陳俞旭 (2008), 地震對崩塌與土石流發生影響之研究, 博士論文。
- 陳振宇 (2018), 921地震後坡地災害風險與因應對策, 農業部農村發展與水土保持署簡報, 資料連結: <https://www.ardswc.gov.tw/symposium/ReadFile/?p=Article&n=e90530cc6f984e92800edfb83deca073.pdf>
- 陳振宇 (2024), 花蓮地震新生崩塌判釋、影響範圍劃定及注意值設定, 農業部農村發展與水土保持署簡報。
- 黃明偉、柯明淳、楊清淵、塗冠婷、林佳瑩、吳佳容、謝蕙如、于宜強、柯孝勳、李維森 (2024), 花蓮地震應變與情資整合, 土木水利, 51卷特刊, 第47-51頁。
- 黃文舜 (2012), 降雨變遷及地震因素對土石流發生影響之研究, 博士論文。
- 農業部農村發展與水土保持署 (2017), 水土保持手冊。
- 農業部農村發展與水土保持署 (2023), 土石流潛勢溪流劃設作業流程與方法。
- 農業部農村發展與水土保持署, 土石流及大規模崩塌防災資訊網, 網址: <https://246.ardswc.gov.tw/>
- 農業部農村發展與水土保持署, BigGIS 巨量空間資訊系統, 網址: <https://gis.ardswc.gov.tw/news/map/223>
- 農業部農村發展與水土保持署, FEMA 土石流及大規模崩塌防災應變系統, 網址: <https://fema.ardswc.gov.tw/>
- FB 臉書粉絲專頁—以蘇花公路即時路況為主的平台, 資料連結: <https://www.facebook.com/photo?fbid=817166973779663&set=pcb.817167283779632>
- FB 臉書粉絲專頁—國營臺灣鐵路股份有限公司, 資料連結: https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=857236483117722&id=100064941331907&mibextid=WC7FNe&rdid=2PYRunRGDgUBPddr
- Google Map 街景 (拍攝日期 2009/10), 資料連結: <https://www.google.com/maps/@24.2356687,121.7085086,3a,75y,358.37h,78.49t/data=!3m7!1e1!3m5!1ssRRmNN8qnr0f52q6i9MENg!2e0!5s20091001T000000!7i13312!8i6656?c=oh=205409&entry=ttu>
- PeoPo 公民新聞, 資料連結: <https://www.peopo.org/news/99335>



地震後之土石流潛勢溪流評估劃設 ——以花蓮 0403 地震為例

Post-Earthquake Assessment and Mapping of Potential Debris Flow Torrents—Example of 0403 Hualien Earthquake

簡榮興 Jung-Hsing Chien¹ 曹鼎志 Ting-Chi Tsao² 陳振宇 Chen-Yu Chen³
黃效禹 Hsiao-Yu Huang³ 游雅筑 Ya-Chu Yu³

摘 要

2024 年 4 月 3 日於花蓮地區發生芮氏規模 7.2 地震，並同時誘發東部山區大量邊坡崩塌，本研究參考農村水保署於震後影像判釋之 1,942 處新生崩塌（面積約 1,521.03 公頃），初步將新生崩塌與鄰近住戶等資料比對後，針對新生崩塌非位於土石流潛勢溪流集水區，且具溪谷地形及周遭疑似具保全住戶等條件之野溪，進一步辦理現勘以評估劃設為土石流潛勢溪流。本研究以 4 月 11 日所判釋之 Type B 一合 9 丁 65.5K 和仁車站土石流為例，於現地勘查後新增為土石流潛勢溪流，該條溪流於 0403 地震後，分別於 2024 年 4 月 22 日、6 月 29 日之降雨條件引致土石流，造成下游臺鐵員工宿舍及鐵、公路淤埋，本研究將事件後之災害範圍驗證影響範圍之合理性，期能提升土石流防災工作。

關鍵字：0403 花蓮地震、新生崩塌、土石流、影響範圍

Abstract

A magnitude 7.2 earthquake occurred on April 3, 2024 in the Hualien area, the earthquake induced massive slope failures in the eastern Taiwan. 1,942 newly triggered landslides (1,521.03 hectares) were identified by the Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation (ARDSWC) after the earthquake. For newborn landslides that are not located in the watershed of current potential debris flow torrents but with the topography of the valley and residents nearby, further investigation to evaluate if the torrent fulfill the elements of enlisted as a potential debris flow torrents. This study took the torrent at Provincial Highway 9D 65.5K and Heren Train Station for example, it was added as a potential debris flow torrent after the on-site investigation in late April. The rainfall events on April 22, 2024 and June 29, 2024 caused debris flows, which resulted in the damage of Taiwan Railway dormitories and the railway and highway. This study compared the designated area and the disaster area to show the effectiveness of the mapped inundation range. The result of this study is the fundamental data for disaster prevention work of debris flow.

Keywords: 0403 Hualien Earthquake, Landslide; Debris flow, Impact area

¹ 中興工程顧問社防災科技研究中心副工程師 Associate Engineer, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

² 中興工程顧問社防災科技研究中心資深工程師兼副主任 Senior Engineer and Deputy Director, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 農業部農村發展與水土保持署減災監測組 Disaster Mitigation and Monitoring Group, Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA.



一、前言

2024 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分 9 秒於花蓮縣壽豐鄉發生芮氏規模 7.2 地震（氣象署，2024；王國隆等，2024；黃明偉等，2024），地震深度約為 22.5 公里，此次地震於全臺各地均有災情傳出，尤以距震央最近之花蓮最為嚴重，其中位於花蓮和平、太魯閣等地區之最大震度達到 6 以上，本次地震為 1999 年 921 地震後迄今 25 年所發生之最大規模地震，依據過往於地震後之經驗，除造成山區邊坡崩塌鬆散，並可能有大量崩塌進入河道，若遇強降雨極易引發土石流等二次災害。（Keefer et al., 2000；Dadson et al., 2004；Chiou et al., 2007；Chen et al., 2011；Li et al., 2021；林美玲等，2000；張振生等，2004；陳振宇，2018；李寧等，2020；郎介等，2021；李易諭，2024）。

土石流係擁有多種樣貌之流動特徵（如圖 1 所示），總結以往的相關定義，普遍認為土石流是一種飽含泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，以重力作用為主，水流作用為輔的一種高濃度且流動快速的兩相流（Two-phase flow），具有明顯或至少可以辨識的坑溝流路，其下游側經常有舌狀或耳狀淤積段，且淤積段前緣有巨大石礫聚集（農村水保署，2017）。

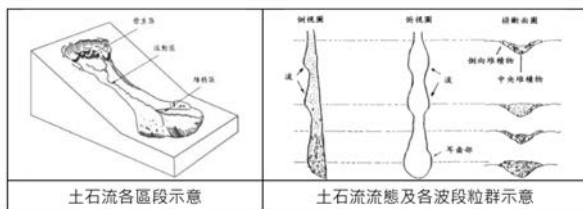


圖 1 土石流特徵示意（農村水保署，2023）

依過往研究指出，若歷經規模大於 7 以上之強震後，誘發土石流之降雨門檻將於第一年急遽

下降（如圖 2 所示），其最大有效降雨量僅需震前的 1/2 ~ 1/9，證實地震對誘發土石流造成一定影響（Lin et al., 2003；張喬貴，2002；陳俞旭，2008；黃文舜，2012；陳宏宇，2014）。

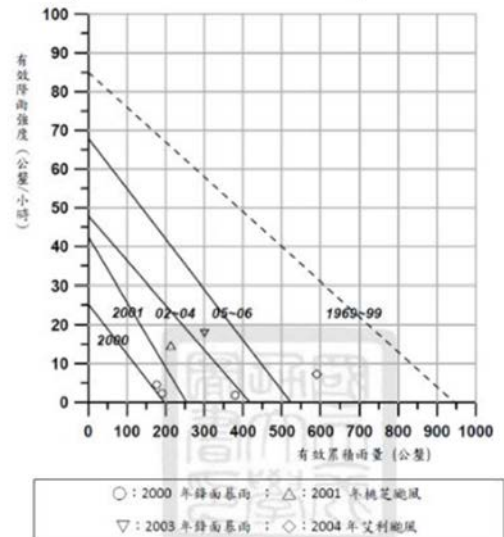


圖 2 921 地震前後於九九峰地區誘發土石流之臨界雨量研究（陳俞旭，2008）

二、0403 花蓮地震後新生崩塌

本研究參考農業部農村發展與水土保持署（以下簡稱農村水保署）於震後影像分析判釋，由 BigGIS 巨量空間資訊系統資料得知，此次地震造成全臺共計 1,942 處新生崩塌，主要分布於花蓮縣、宜蘭縣、南投縣及臺中市等 4 縣市、9 鄉鎮市區（如表 1 所示），總計新生崩塌面積為 1,521.03 公頃（農村水保署，2024；李易諭，2024）。

循過往地震後之經驗，未來臺灣東部地區遭受山崩與土石流之災害發生頻率更勝於以往，本研究依據農村水保署於花蓮 0403 地震後之新生崩塌分類及處理原則（如圖 3 所示），以新生崩塌、是否具溪谷地形及重要保全對象臨近等相關條件進行檢視，並初步遴選出以下三類：



表 1 花蓮 0403 震後新生崩塌之行政區統計

行政區		新生崩塌面積 (ha)
花蓮縣	秀林鄉	1,481.05
	萬榮鄉	6.57
	壽豐鄉	4.94
	豐濱鄉	1.24
	吉安鄉	1.83
宜蘭縣	大同鄉	1.25
	南澳鄉	22.30
	蘇澳鎮	0.23
南投縣	仁愛鄉	1.01
臺中市	和平區	0.61
總計		1,521.03

註：新生崩塌定義：係指在災害前後，挑選兩期無雲覆影像進行比對判釋，並根據可用影像的解析度，藉由多光譜資訊判釋地表顯著崩塌變化範圍（面積 0.1 ha 以上者），再以人工數化方式圈繪出判釋後的新生崩塌區。

資料來源：農村水保署，2024

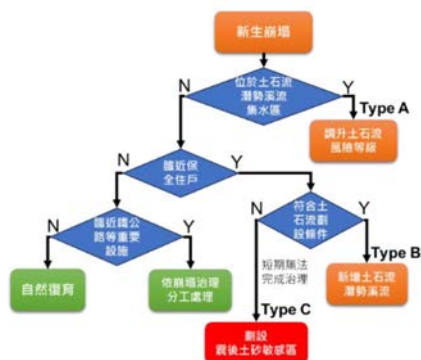


圖 3 0403 震後新生崩塌分類及處理原則
(陳振宇，2024)

(一) Type A—評估調整土石流潛勢溪流風險等級：係指震後衛星影像判釋之新生崩塌位於既有土石流潛勢溪流集水區者（如圖 4 所示）；

(二) Type B—評估新增土石流潛勢溪流：係指震後衛星影像判釋之新生崩塌具備溪谷地形與保全住戶，但非位於土石流潛勢溪流集水區者（如圖 5 所示）；

(三) Type C—評估劃設震後土砂敏感區：係指震後衛星影像判釋之新生崩塌經評估其崩落

土砂之影響範圍內具保全住戶，但未具備溪谷地形者（如圖 6 所示）。

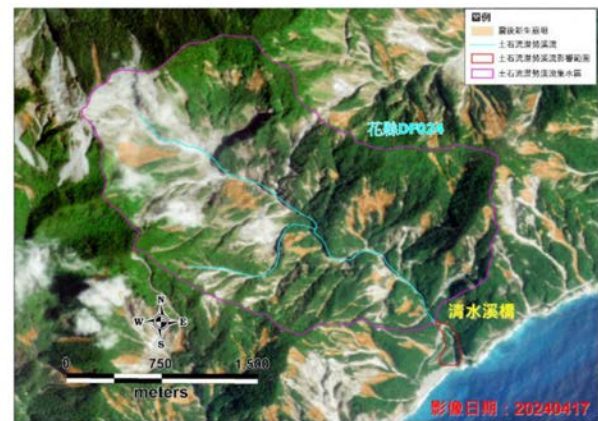


圖 4 0403 震後新生崩塌位於既有土石流潛勢溪流集水區 (Type A 示意圖)

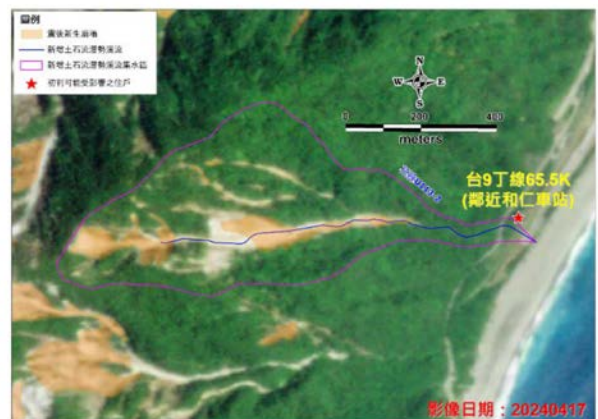


圖 5 0403 震後新生崩塌具備溪谷地形與保全住戶，但非位於土石流潛勢溪流集水區 (Type B 示意圖)



圖 6 0403 震後新生崩塌經評估具保全住戶，但未具備溪谷地形 (Type C 示意圖)



本研究針對 Type B—評估新增土石流潛勢溪流之判定原則，研擬 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單篩選流程（如圖 7 所示），須滿足以下條件同時成立，方能列入 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單：

- （一）具有 0403 震後衛星影像判釋之新生崩塌；
- （二）具有溪谷地形，其溪床坡度 10 度以上之集水區面積須大於 3 公頃；
- （三）非位於農業部已公開之土石流潛勢溪流；
- （四）周遭之疑似保全住戶與溪床小於 10m 高差，且具門牌地址或有水、電等居住事實之住戶。

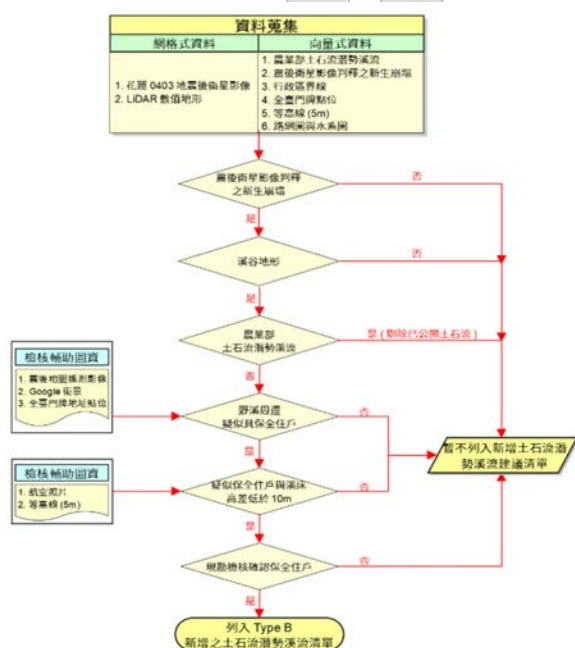


圖 7 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單篩選

三、震後新增土石流潛勢溪流劃設

本研究針對花蓮 0403 地震後造成 Type B 野溪集水區上游坡面殘有大量不安定土砂，後續若

遭受強降雨誘發新崩塌或使舊崩塌擴大，極易引發土石流等二次災害。以 Type B 之台 9 丁線 65.5K（鄰近和仁車站）野溪為例（如圖 8 所示），其溪流長度約 0.816km，集水區面積約 30.46 公頃，最高海拔約為 990m，地勢往東陡降至海拔 65m，高差約為 925m。溪流共有 4 次歷史災害記錄，分別為 2009 年莫拉克颱風、2012 年蘇拉颱風、2024 年 0403 花蓮地震後之 4 月 22 日豪雨及 6 月 29 日豪雨，均曾發生土石流災害，同時皆導致下游蘇花路廊阻斷（如圖 9 所示）。



圖 8 Type B 之台 9 丁線 65.5K 野溪（鄰近和仁車站）地理位置



圖 9 Type B 之台 9 丁線 65.5K 野溪（鄰近和仁車站）土石流災害歷史紀錄

本研究參考農村水保署於 0403 震後判釋之新生崩塌，依前述圖 7 Type B 新增土石流潛勢溪流候選清單篩選流程操作，於 4 月 11 日即判釋台 9



丁線 65.5K 野溪具引發土石流等二次災害之跡象，該地區於 4 月 22 日降下震後首場豪雨，即爆發大規模之土石流災害，並造成下游臺鐵員工宿舍淤埋及北迴線鐵路、台 9 丁線交通阻斷。

於 4 月 22 日土石流事件後，因集水區內仍殘存大量不安定土砂，接續於 6 月 29 日晚間再次爆發震後第 2 次土石流災害，同時下移之土石也阻斷台 9 丁線，所幸前次事件後，公路局於台 9 丁線 65.3K 至 65.6K 處，已預先採用前次流下之巨石修築臨時土堤，並於此次事件發揮攔阻功能，未造成土石流侵入省道下方之北迴線鐵路。

本研究針對 0403 地震後之兩次誘發土石流之降雨初步探討（如圖 10 所示），4 月 22 日豪雨為震後首次發生土石流災害事件，因當時和仁車站鄰近並未設置雨量站，故此事件參考雨量站以和仁車站南側約 2.8 公里之清水斷崖（C0Z310）代表，震後首次誘發土石流約為 4 月 22 日下午兩點二十分左右，由測站資料得知，當時累積雨量僅約 50mm 左右（時雨量約 21mm/hr），即引發大規模之土石流災害。因該事件之參考雨量站距台 9 丁線 65.5K 野溪較遠，可能未能實際反應現地降雨情形，故於 4 月 22 日事件後，農村水保署於台 9 丁線 65.5K 野溪附近另增設和仁車站（81T1B0）雨量站。

於 6 月 29 日第二次土石流事件期間，本研究改以和仁車站（81T1B0）雨量站進行研判，由測站資料顯示，推估此次土石流發生時間介於晚上七點至八點之間，當時誘發土石流之累積雨量約為 210mm（時雨量 60mm/hr），其累積雨量較前次 4 月 22 日事件多降下 110mm 才驅動土石流運移，研判歷經首次土石流事件後，集水區內之不安定土砂量可能有逐漸遞減趨勢。

本研究於震後 4 月 22 日首次土石流事件後，於 5 月 8 日至現地勘查（如圖 11 所示），據現場訪談臺鐵人員得知，4 月 22 日土石流約在下午兩點二十分左右發生，土石流發生流動後先阻斷台 9 丁線，並於兩點四十分左右淤埋東、西正線鐵路，該次事件造成台 9 丁線及鐵路分別遭土砂掩埋長度約 130m 及 150m。

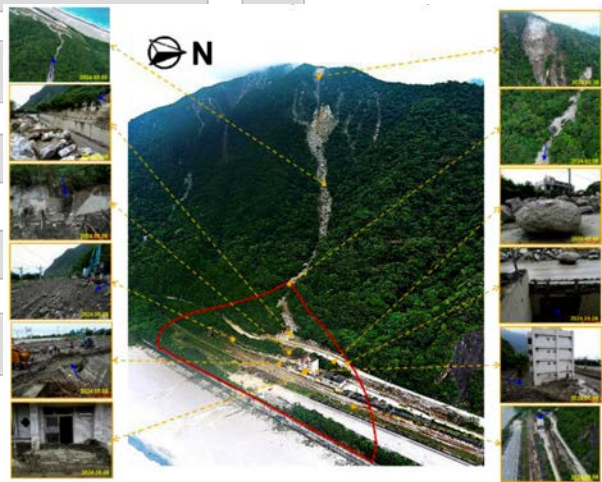


圖 11 0403 震後土石流現勘調查

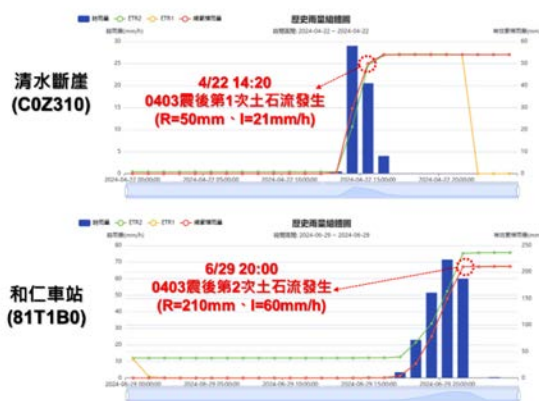


圖 10 0403 震後兩次土石流發生之降雨組體圖
(FEMA, 2024)

溪流位於省道台 9 丁線 65.5K（鄰近和仁車站），於現勘時於省道東側路面可見公路局以前次土石流事件流下之材料，構築約 2 ~ 3m 高之土堤，道路上尚可見長約 3m 之巨石停駐，溪流下游以箱涵型式（通水斷面寬 2m、高 1m）通過台 9 丁線後，即進入下方之臺鐵路廊，於軌道路堤下方設有長約 70m 之地下箱涵（通水斷面寬、高各約 2.5m），位於左岸之臺鐵宿舍（和仁 71



之1號、71之2號1樓之1及71之2號1樓之2)曾於2012年蘇拉颱風及2024年4月22日豪雨遭土石流淤埋,觀察71之1號住戶旁之河道,其河寬僅約2m之排水溝,溪床坡度約4度。

台9丁線上游河道設有長約25m、高約6m之梳子壩,為2012年蘇拉颱風後所建。距梳子壩上游約100m之地形開闊處起點,屬流動區與堆積區之交界處,經研判符合溢流點之地形特徵,並於溢流點處溪床可發現一顆高約15m之巨石,若後續再次發生土石流運移,恐對下游蘇花路廊及保全住戶有進一步之危害。

於溢流點以上之流動區河道有明顯土石流流動與拓寬跡象,河道中殘有大量不安定土砂堆積,溪床坡度約35度。觀察發生區上游可見0403地震誘發之新生崩塌,出露之岩性多以高度變質之片麻岩與大理岩為主,裸露之崩塌總面積約8.76公頃,集水區崩塌率約為29.19%。

本研究經現勘後,評估源頭崩落地及坡面上之不安定土砂仍可能提供土石流料源,且下游左岸臺鐵宿舍緊鄰溪岸恐有再次受災之虞,故建議新增為土石流潛勢溪流。本研究針對土石流影響範圍之劃設,建議以台9丁線上游之地形開闊處起點作為溢流點,於溢流點處先以105度夾角展開,並依池谷浩經驗公式計算淤積長度604m向下游劃設,再依據LiDAR坡度圖修正影響範圍前緣並以等坡線2度處作為邊界,最後依現勘地形修正影響範圍不可能到達之區域及兩側高出10~12m進行影響範圍調整(如圖12所示)。

四、土石流影響範圍劃設檢討

針對初步劃設後之影響範圍以剖面資料進行相關比對(如圖13所示),於縱剖面部分,可得知溢流點以下至影響範圍末端之堆積區平均坡度約為13度;溢流點以上之流動區平均坡度約為

35度;源頭崩塌之發生區平均坡度約為47度。

本研究之台9丁65.5K野溪土石流堆積區及流動區坡度均高於一般常見土石流堆積區坡度(介於3~6度)及流動區坡度(介於6~15度),研判可能係位於蘇花路廊西側之中央山脈,均為地形陡峭之高峻山峰,溪床傾斜陡急,以致本區之土石流堆積區及流動區坡度較一般土石流高。

於A-A'橫剖面部分,本研究係檢視影響範圍兩側邊界劃設之合理性及保全住戶與溪床是否滿足10~12m之高差,經檢視溪床與左岸臺鐵宿舍高差未達10m,若發生土石流研判仍有受災之虞。

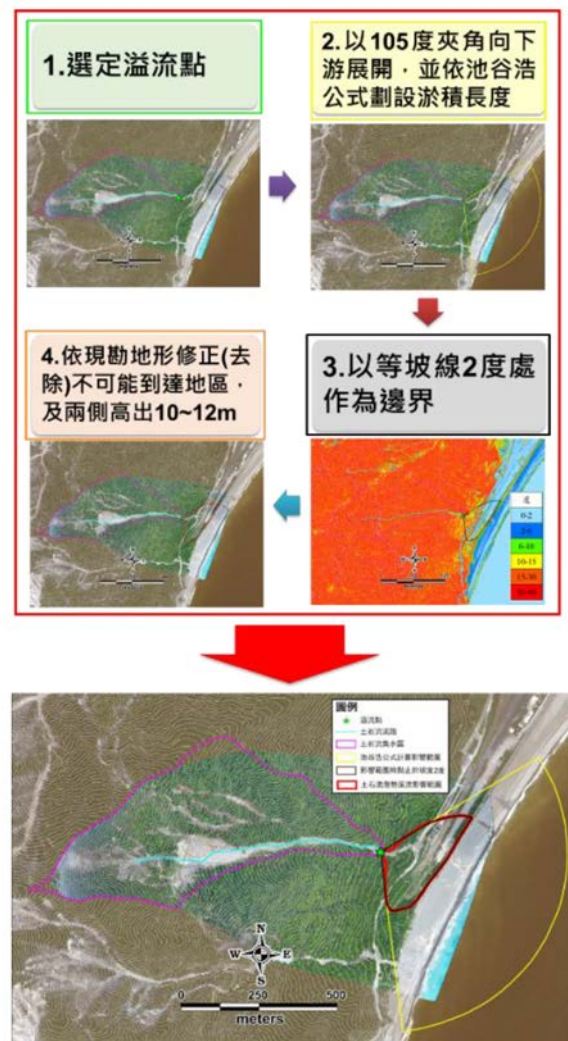


圖12 土石流影響範圍劃設評估操作示意

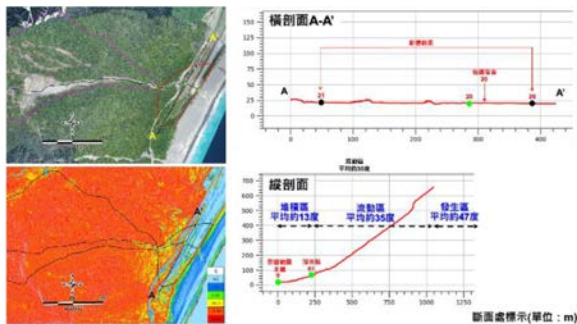


圖 13 以坡度分析及剖面資料檢視影響範圍劃設之合理性

另針對劃設後之土石流影響範圍與 0403 花蓮地震後之 2 次土石流事件（4 月 22 日及 6 月 29 日）災害範圍進行比對，由如圖 14、表 2 得知，本研究劃設之土石流影響範圍面積約 4.61 公頃，而 4 月 22 日及 6 月 29 日之土石流災害範圍面積分別為 1.43 公頃及 0.46 公頃，僅占土石流影響範圍各約 31.02% 及 9.98%，且震後 2 次事件之土石流災害範圍均未超出土石流影響範圍，顯示本研究劃設之影響範圍較為保守，但整體評估尚屬合理。



圖 14 0403 地震後二次土石流災害範圍檢討影響範圍劃設之合理性

表 2 0403 震後土石流影響範圍與災害範圍之比對

	劃設面積 (ha)	占土石流影響 範圍比率
本研究劃設之 土石流影響範圍	4.61	-
土石流災害範圍 (2024/4/22)	1.43	31.02%
土石流災害範圍 (2024/6/29)	0.46	9.98%

五、討論與建議

本研究針對花蓮 0403 地震之新生崩塌，以非位於土石流潛勢溪流集水區，且具溪谷地形及周遭疑似具保全住戶等條件之野溪，研擬 Type B 新增土石流潛勢溪流篩選清單，並進一步辦理現勘以評估新增為土石流潛勢溪流，再以科學方式劃設合理之土石流影響範圍。

本研究案例之 Type B 一台 9 丁 65.5K 野溪，農業部已於 113 年 6 月公開為花縣 DF172 土石流潛勢溪流，屬高風險等級，土石流警戒基準值設定為 200mm。該溪流於震後 2 次土石流事件之災害範圍均未超出土石流影響範圍，顯示本研究劃設之影響範圍尚屬合理，其公開之土石流潛勢溪流影響範圍應能滿足震後土石流事件之防災需求，有效降低人員傷亡。

花蓮 0403 地震造成山區邊坡大量新生崩塌，依過往研究，震後誘發土石流之降雨門檻將於第一年急遽下降，最大有效降雨量可能僅需震前 1/2 ~ 1/9 即可誘發土石流，因目前具新生崩塌之集水區仍處於高風險地區，建議結合歷史土石流的成因和特性，進行詳細之土石流調查與評估，並對集水區殘坡內之不安定土砂辦理必要疏浚工作。並針對震後高風險地區建立相關預警監測系統，以能有效掌握並提早預發災防告警細胞廣播訊息（CBS），傳遞災害告警通知相關單位，以降低土石流災害之人員財產損傷。

謝 誌

本研究承蒙農村水保署提供相關資料與經費，特此感謝。

參考文獻

Chen, N. S., Hu, G. S., Deng, M.F., Zhou, W., Yang, C.L.,



- Han, D., and Deng, J. H. (2011). "Impact of earthquake on debris flow-a case study on the Wenchuan earthquake," *Journal of Earthquake and Tsunami* Vol. 05, No. 05, pp. 493-508.
- Chiou, S. J., Cheng, C.T., Hsu, S.M., Lin, Y. H., and Chi, S.Y. (2007). "Evaluating Landslides and Sediment Yields Induced by the Chi-Chi Earthquake and Followed Heavy Rainfalls along the Ta-Chia River," *Journal of GeoEngineering*, 2(2), pp.73-82.
- Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W. B., Lin, J. C., Hsu, M. L., Lin, C. W., Horng, M. J., Chen, T. C., Milliman, J., and Stark, C. P. (2004). "Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt," *Geology*, 32(8), 733-736.
- Keefer, D. K. (2000). "Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution — the 1989 Loma Prieta, California event," *Engineering Geology*, 58, 231-249.
- Li, N., Tang, C., Zhang, X., Chang, M., Shu, Z., Bu, X. (2021). "Characteristics of the disastrous debris flow of Chediguan gully in Yinxing town, Sichuan Province, on August 20, 2019," *Scientific Reports* volume 11, Article number: 23666.
- Lin, C. W., Shieh, C. L., Yuan, B. D., Shieh, Y. C., Liu, S. H., and Lee, S. Y. (2003). "Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyulan River watershed, Nantou, Taiwan," *Engineering Geology*, 71, 49-61.
- 中央氣象署 (2024), 第019號4月3日7時58分規模7.2花蓮縣政府南南西方14.9公里(位於花蓮縣壽豐鄉), 資料連結: <https://scweb.cwa.gov.tw/zh-tw/earthquake/details/2024040307580972019>
- 王國隆、謝佑明、林聖琪、柯明淳、塗冠婷、林俊廷 (2024), 地表變形與崩塌初步研析, 土木水利, 51卷特刊, 第38-46頁。
- 林美玲、游繁結、林炳森、范正成、王國隆 (2000), 集集震後土石流二次災害危險性之評估, 地工技術, 81期, 第97-104頁。
- 張振生、王志豪、劉維、廖禎茹、陳信雄 (2004), 921地震後溪頭水文分佈特性與土石流防災相關之研究, 中華林學季刊, 37卷3期, 第283-292頁。
- 張喬貴 (2002), 集集大地震後南投地區土石流發生之雨量預警基準, 碩士論文。
- 李寧 (2020), "5·12"地震後汶川縣泥石流特徵與演化分析, 工程地質學報, 28(6), 第1233-1245頁。
- 李易論 (2024), 從地震的角度看坡地災害, 資料連結: <https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=31b5b8a0-a72a-4a0d-8371-94bfb202ac69>
- 李易論 (2024), 從0403花蓮地震探討氣候變遷對地震帶國家的衝擊, 資料連結: <https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=faa9a48d-5188-40bc-abff-923f301993d7>
- 郎介、陳昆廷 (2021), 2017年"8·8"九寨溝地震後之土石流致災特性調查—以九寨溝景區為例, 中華防災學刊, 13卷1期, 第17-24頁。
- 陳宏宇 (2014), 防災工作與土地利用, 103年中國礦冶工程學會年會, 國家災害防救科技中心簡報。資料連結: <https://www.cimme.org.tw/images/Publications/3-seminar/103/103-seminar-1.pdf>
- 陳俞旭 (2008), 地震對崩塌與土石流發生影響之研究, 博士論文。
- 陳振宇 (2018), 921地震後坡地災害風險與因應對策, 農業部農村發展與水土保持署簡報, 資料連結: <https://www.ardswc.gov.tw/symposium/ReadFile/?p=Article&n=e90530cc6f984e92800edfb83deca073.pdf>
- 陳振宇 (2024), 花蓮地震新生崩塌判釋、影響範圍劃定及注意值設定, 農業部農村發展與水土保持署簡報。
- 黃明偉、柯明淳、楊清淵、塗冠婷、林佳瑩、吳佳容、謝蕙如、于宜強、柯孝勳、李維森 (2024), 花蓮地震應變與情資整合, 土木水利, 51卷特刊, 第47-51頁。
- 黃文舜 (2012), 降雨變遷及地震因素對土石流發生影響之研究, 博士論文。
- 農業部農村發展與水土保持署 (2017), 水土保持手冊。
- 農業部農村發展與水土保持署 (2023), 土石流潛勢溪流劃設作業流程與方法。
- 農業部農村發展與水土保持署, 土石流及大規模崩塌防災資訊網, 網址: <https://246.ardswc.gov.tw/>
- 農業部農村發展與水土保持署, BigGIS 巨量空間資訊系統, 網址: <https://gis.ardswc.gov.tw/news/map/223>
- 農業部農村發展與水土保持署, FEMA 土石流及大規模崩塌防災應變系統, 網址: <https://fema.ardswc.gov.tw/>
- FB 臉書粉絲專頁—以蘇花公路即時路況為主的平台, 資料連結: <https://www.facebook.com/photo?fbid=817166973779663&set=pcb.817167283779632>
- FB 臉書粉絲專頁—國營臺灣鐵路股份有限公司, 資料連結: https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=857236483117722&id=100064941331907&mibextid=WC7FNe&rdid=2PYRunRGDgUBPddr
- Google Map 街景 (拍攝日期 2009/10), 資料連結: <https://www.google.com/maps/@24.2356687,121.7085086,3a,75y,358.37h,78.49t/data=!3m7!1e1!3m5!1ssRRmNN8qnr0f52q6i9MENg!2e0!5s20091001T000000!7i13312!8i6656?c=oh=205409&entry=ttu>
- PeoPo 公民新聞, 資料連結: <https://www.peopo.org/news/99335>



捷運三鶯線主線特殊軌施工作業程序研討

Discussion on the Special Track Construction Procedures for the Main Line of MRT Sanying Line

李政安 Zhengan Li¹ 蔡慶賢 Qingxian Cai² 魏德輝 Dehui Wei³
林俊彥 Junyan Lin⁴ 潘彤健 Tungchien Pan⁵

摘 要

新北市捷運三鶯線高架段無道碴道床特殊軌道區採用之軌床型式與台北捷運已營運之路段採用相同之混凝土版設計，因其控制鋼軌扣件安裝位置的平整性要求高，且需兼具施工便利性、工區環保之維護與確保施工品質穩定等特性，故在混凝土版施築完成後，自鋼軌扣件之錨定套管植入及承載面製作等階段之作業程序和品質，常影響特殊軌組裝整體品質與穩定，雖此一階段作業屬環節中一部分，惟常扮演決定性的角色。本文就施工廠商規劃混凝土版施築、特殊軌組裝前之鋼軌扣件之錨定套管植入之獨特工法、基版位置以預留 2.5cm 深之凹槽製作承載面之施工方式及特殊軌安裝過程中之作業程序分別說明，供後續新北市捷運軌道施工參考。

關鍵字：特殊軌、錨定套管、安裝

Abstract

The rail bed type used in the special track bed-less track area of the elevated section of the Sanying Line of the New Taipei City MRT is the same concrete plate design as that of the Taipei MRT operating section. Because of its high flatness requirements for controlling the installation position of rail fasteners, It also needs to combine the characteristics of construction convenience, maintenance of environmental protection in the work area and ensuring stable construction quality. Therefore, after the completion of the concrete slab construction, the operating procedures from the anchoring sleeve implantation of the rail fasteners to the production of the bearing surface and other stages are required. Quality often affects the overall quality and stability of special rail assembly. Although this stage of operation is part of the process, it often plays a decisive role. This article discusses the construction manufacturer's plan for concrete slab construction, the unique construction method of anchoring sleeve implantation of rail fasteners before assembling special rails, the construction method of reserving a 2.5cm deep groove at the base plate position to create a bearing surface, and the special rail The operating procedures during the installation process are explained separately for reference in subsequent New Taipei City MRT track construction.

Keywords: Special trackwork, Anchoring sleeve, Installation

¹ 新北市政府捷運工程局局長 Commissioner, Department of Rapid Transit Systems, New Taipei City Government

² 新北市政府捷運工程局三鶯工務所主任 Director, Sanying Engineering Office, Department of Rapid Transit Systems, New Taipei City Government

³ 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處副督導 Deputy Supervisor, Sanying MRT Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants Co., Ltd.

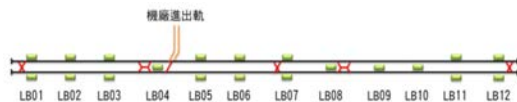
⁴ 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處經理 Manager, Sanying MRT Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants Co., Ltd.

⁵ 中興工程顧問公司三鶯捷運工程處軌道所主任 Director, Track Engineering Office of the Sanying MRT Engineering Department, Sinotech Engineering Consultants Co., Ltd.



一、前言

捷運三鶯線主線特殊軌：單開 #7 道岔共 24 組，雙開道岔共 4 組，菱形岔心共 3 組，鋼軌伸縮接頭 (REJ) 共 10 組。機廠特殊軌：單開 #6 道岔共 20 組，單開 #7 道岔共 12 組。



特殊軌組成幾何尺寸較一般運行軌複雜，故軌道支承通常以混凝土版之型式居多。新北捷運軌道工程之無道碴道床軌道施工中，特殊軌區之作業具有施作精度高、人力分工細密及反覆調整需求高之特性，故在組裝作業環節中，需有系統化之作業分工並確實掌握每一細節，以提供良好之組裝品質。過去特殊軌施作之程序分三階段，而三鶯線基於提升軌道品質，特別於各階段中納入新的步驟，第一階段為混凝土版軌床施築（為 Bottom-Up 工法施作），第二階段為將特殊軌材料置於版上透過鋼軌扣件將兩者結合所構成（包含 Top-Down 工法施作扣件錨定套管預埋件、基板承載面處理及特殊軌安裝），軌條間銜接則經

由銲接或鋼軌接頭組合成連續性之運行軌道，第三階段為導電軌安裝（本階段不屬於本文範圍）。混凝土版施築及特殊軌組合無論在模板系統運用、人力調配、組裝調整技術與工藝水準已相當成熟，施工廠商均能吸取及沿用前行標之優點並提出本工程獨特之施工方式，提供定形化之特殊軌組裝程序與熟練技能。捷運三鶯線得標廠商為日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所共同承攬（HRH），在三鶯線進行特殊軌區之版塊施築及接續特殊軌組裝時，掌握鋼軌扣件錨定套管植入與扣件定位細節與品質之過程中，以達到提昇作業效率與施工品質之做法做說明與探討。

二、施工作業程序

捷運三鶯線特殊軌軌道鋪設分三個階段施作，第一階段：特殊軌軌道道床（混凝土基座）（程序 1～4）。第二階段：特殊軌軌道鋼軌鋪設及鎖固（程序 5～12）。第三階段：導電軌安裝（程序 13）。無道碴道床（特殊軌）施工作業流程如圖 1 所示。

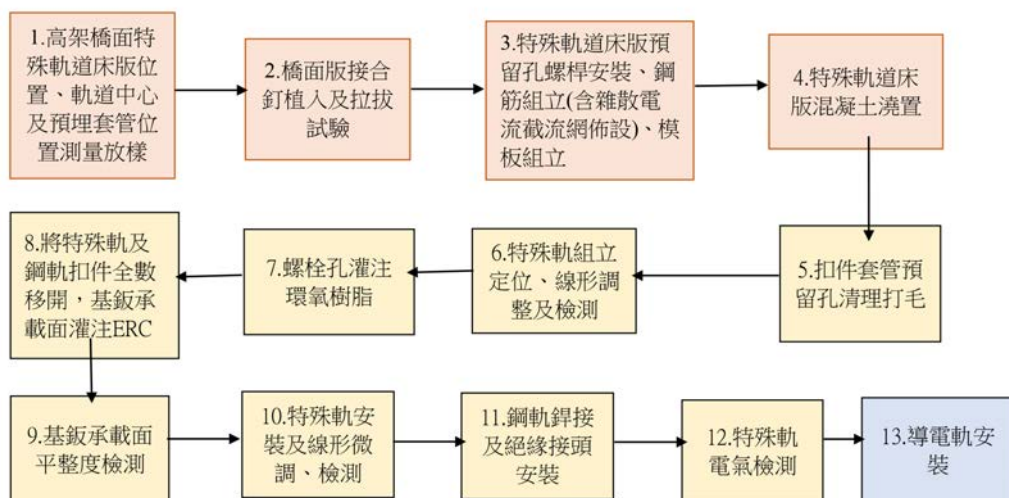


圖 1 無道碴道床軌道—（特殊軌）施工作業程序流程圖



(一) 第一階段：特殊軌軌道道床施作採 Bottom-Up 工法

施工步驟：1. 土建移交工區後之道床範圍橋梁完成面收方測量及特殊軌組裝各控制點、軌道中心點測量放樣。2. 接合釘植入。3. 特殊軌基鈹螺栓套筒及轉轍器馬達螺栓套筒位置，於鋼筋綁紮前，測量放樣於橋面板上，並安裝臨時設備於其上，依基鈹螺栓套筒不同直徑之尺寸，導軌段標準型基鈹螺栓錨定套管位置預留泡棉直徑為10cm，尖軌段及岔心段基鈹螺栓錨定套管位置預留泡棉直徑為5cm（如圖2所示泡棉不同尺寸）。施工過程套管的位置能先避開鋼筋，澆置前測量隊將各預埋件頂面調整至澆置面高程，同時可兼具控制混凝土澆置面高程。

之過程中時有鑽斷道床版鋼筋之情況發生，因預埋套管的位置能先避開鋼筋，可避免鑽孔時鑽斷鋼筋，同時各預埋件頂面亦可作為混凝土澆置時高程控制之基準，可維持較佳之道床版品質。而三鶯線捷運為高架橋梁，施工期間若採鑽孔之方式，於橋梁伸縮縫尚未施作之路段，泥漿會沿著橋梁伸縮縫空隙流至橋墩帽梁及墩柱影響外觀，後續需再進行外觀修飾耗時耗工，若橋下為在平面道路上，有污染道路且危及車輛、行人之安全之虞。故廠商研討採此工法，雖施工過程前段工序複雜，惟可提高工程品質及衍生之公安及環保問題。）

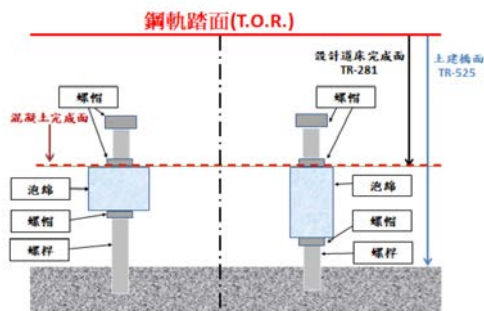


圖2 預留孔設備裝設示意圖



照片2 基鈹螺栓預留孔施作完成



照片1 基鈹螺栓預留孔施作

（註：此工法在台灣捷運系統屬首創，首次使用於三鶯線捷運特殊軌安裝，以往前行標錨定螺栓孔均採用混凝土基座澆置後鑽孔之方式，惟鑽孔

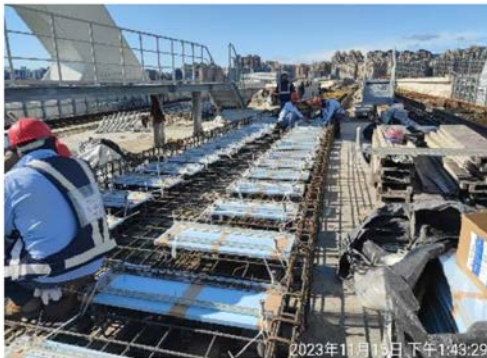


照片3 基鈹螺栓預留孔高程檢測

4. 鋼筋組立（含雜散電流截流網佈設）、模板組立。前期施作特殊軌混凝土基座，有發生澆置後混凝土面高程大於軌道允收標準，需敲除或研磨高出之混凝土，廠商經討論擬於特殊軌基鈹



位置埋設厚 2.5cm 同基鈹尺寸之保麗龍板，板面頂部高程與混凝土澆置面齊平，澆置後將保麗龍板移除，基鈹位置則會留出 2.5cm 深之凹槽，後續安裝特殊軌時依軌面高程以環氧樹脂砂漿回填，環氧樹脂砂漿回填至基鈹之四個預留螺栓套管頂面高程齊平，並經研磨至符合平整度。



照片 4 特殊軌基鈹位置保麗龍板裝設



照片 5 澆置後將保麗龍板移除，基鈹位置留出 2.5cm 深之凹槽



照片 6 特殊軌道床版混凝土澆置

5. 特殊軌道床版混凝土澆置及養護



照片 7 特殊軌道床版混凝土養護

(二) 第二階段：特殊軌安裝

1. 在已完成之混凝土道床上標定特殊軌的 TC 點、主側線軌道中心，並在混凝土版面上彈墨線標記道岔的線形。(如圖 3)

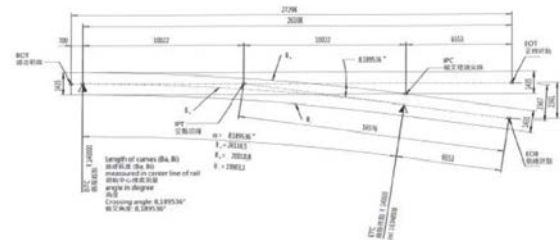


圖 3 特殊軌線形尺寸示意圖

2. 於基本軌上先行將 TC 點之相對位置標記清楚，再將混凝土道床版面上 TC 點以垂直於線形向左右延伸，彈墨線於混凝土版面上，同時也將 TC 點引測於防脫緣石面。
3. 依據測量軌道中心點位（垂直於軌道中心）向左及向右各約 678mm（軌足內側），以粉筆作記號於版面，作為方便軌條佈放之臨時記號。將特殊軌直線段前中後之軌道中心引測於防脫緣石面，並以鋼釘固定標示。
4. 以破碎機將預留孔內壁打毛，同時也將彈性基鈹位置之道床表面混凝土打毛。隨後將預留孔內及混凝土表面之碎屑或雜物清理乾淨（如圖 4）。

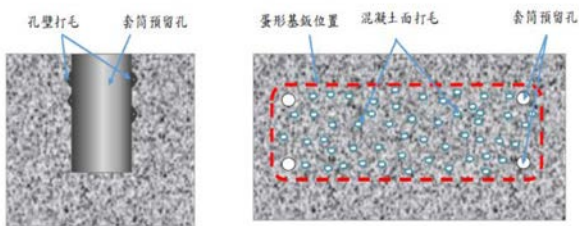


圖 4 預留孔及道床表面混凝土打毛示意圖



照片 10 特殊軌彈性基鉸調整架安裝

5. 運送整組特殊軌之鋼軌、基鉸、鋼軌扣件及零組件至安裝區域，並在基本軌底標記基鉸編號。
6. 將特殊軌之尖軌段、導軌段及岔心段分別組裝鋼軌與基鉸、鋼軌扣件、錨定螺栓及套管，並依線形大致排列，各鋼軌接頭處先以臨時魚尾鉸加以鎖固，以維持鋼軌線形之連續性與完整性。並安裝調整架（可調整軌道高程及方向）其間距為 2 ~ 3m 一處，且其位置應錯開特殊軌蛋形基板位置。

7. 調整軌道調整架並使用軌道中心尺控制直基本軌起點，直到與地面墨線之軌道中心線及 TC 點樁位重疊為止。直基本軌終點及中間各點位亦採用此方法。另於直線側基本軌外側拉水線，量測緣石面軌道中心控制點至水線之距離，輔助控制直基本軌方向。



照片 8 特殊軌導軌段調整架安裝



照片 11 特殊軌岔心段軌道中心檢核



照片 9 特殊軌尖軌段調整架安裝



照片 12 特殊軌尖軌段軌道中心檢核



照片 13 特殊軌 TC 點樁位引至緣石面

8. 特殊軌安裝調整至設計位置高程後，以高壓空氣機將錨定螺栓預留孔內雜物再次清理乾淨，調和環氧樹脂並將之灌入預留孔內直至約與混凝土凹槽頂面齊平為止。（註：此階段非常重要，關係到後續特殊軌安裝線形之正確性，特殊軌位置高程之檢測務必確實。）



照片 14 特殊軌基鈹錨定螺栓孔灌注環氧樹脂



照片 15 特殊軌基鈹錨定螺栓孔灌注環氧樹脂

9. 將特殊軌拆移至緣石面並妥為固定，將環氧樹脂與砂以核准之比例秤量並充分攪拌均勻，

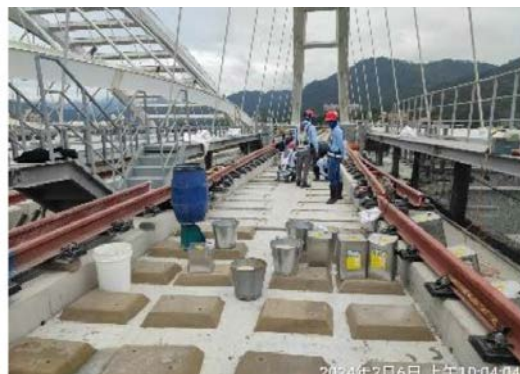
混凝土毛面先以環氧樹脂塗佈，再將拌合完成之環氧樹脂砂漿填充於基鈹位置之凹槽中，以每個基鈹處之四個錨定螺栓套管頂面作為環氧樹脂砂漿（ERC）完成面之高程基準，後研磨至規定之平整度，並需經檢測合格。（註：此工項施工宜於晴天施作，空氣中濕度太高或雨天均不可施作，新北市春季及冬季雨天較多，故會影響安裝進程。）



照片 16 基座混凝土毛面先以環氧樹脂塗佈



照片 17 特殊軌彈性基鈹承載面環氧樹脂砂漿施作



照片 18 特殊軌彈性基鈹承載面環氧樹脂砂漿施作



10. ERC 完成面平整度及預埋套管拉拔力試驗合格，將特殊軌之尖軌段、導軌段及岔心段分別組裝，經微調線形檢測合格後，將基鈑及扣件螺栓鎖固，完成特殊軌之安裝，鋼軌接頭處再以鋁熱銲接（鋼軌鋁熱銲接施工程序另案研討）。



照片 19 特殊軌鋼軌安裝及線形調整



照片 20 特殊軌鋼軌接頭處鋁熱銲

時間。

（二）特殊軌錨定螺栓套管採於混凝土版上預留孔方式，因套管的位置能先避開鋼筋，已避免鑽孔時鑽斷鋼筋，同時亦控制混凝土完成面高程之準確性，已維持較佳之道床版品質；避免因鑽孔泥漿影響橋墩帽梁及墩柱外觀及流至橋下平面道路所衍生之公安及環保問題。

（三）錨定套管預留孔位內部打毛雖可增加錨定套管、環氧樹脂及混凝土間之握裹效果，錨定套管之拉拔試驗均合格惟此一動作仍需多增加工時，建議可採用「鋼製套管＋螺紋」之方式，於道床版混凝土初凝時即可自混凝土旋開，可完整保留套管所需之粗造度及節省打毛所耗費之工時，且該套管亦可重複使用。

（四）彈性基鈑位置之範圍進行表面打毛增加混凝土版與 ERC 材料間糙度，提高 ERC 與混凝土面結合效果，惟 ERC 施作受天候因素影響，故後續特殊軌安裝若條件許可儘量避開春季及冬季。

（五）特殊軌混凝土版預留號誌轉轍馬達錨定螺栓孔，增加了號誌轉轍馬達安裝時之調整範圍，減少特殊軌與轉轍馬達間界面障礙。

三、探討與建議

特殊軌從混凝土版施工至鋼軌扣件安裝完成定位，廠商採用之特殊工法，所呈現之特點經檢討可獲得如下成效：

（一）特殊軌混凝土版澆置前基鈑位置預留凹槽之工法，解決了特殊軌安裝過程高程調整之難題亦節省後續磨除高程過高所耗費之

四、結語

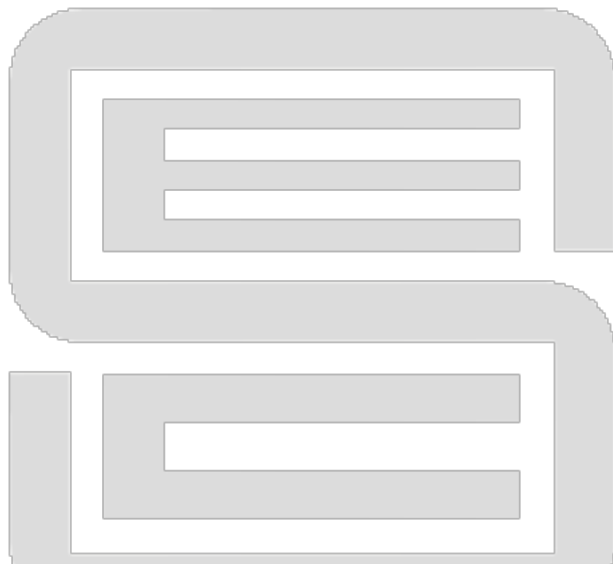
特殊軌為軌道工程中極為重要之項目，更為列車運行平順與否的重要構件。本文章旨在描述三鶯線軌道從混凝土版施工至鋼軌扣件安裝完成定位，廠商採用之特殊工法，並介紹在施工過程中同時採行細膩之作業方式，提高作業品質之過程。經由上述的施工特殊工法說明，廠商的規劃



與提昇品質之努力與做法值得肯定。提高軌道系統之品質，達到國際一流之水準，最終達成提供安全、舒適捷運系統的目的，而在提供便捷之外亦能讓捷運系統沿線居民擁有不受干擾之生活環境，都是未來努力的目標。

參考文獻

- 魏道佳—蘆洲線特殊軌組裝前置作業施工程序之演進
「三鶯線捷運系統計畫統包工程」軌道工程細部設計圖
（特殊軌道（含鋼軌伸縮接頭）一期未送審 0 版
「三鶯線捷運系統計畫統包工程」軌道工程之無道碴特殊
軌施工計畫（含示範段）0 版



水利工程應用程式

公 開 發 售

SEC-HY21 (二維泛用地表水分析軟體)

- 網格及地形建立等前處理介面、電腦繪圖及流場視覺化
- 定床水理模組
- 水中生物物理棲地分析模組

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02)8791-2198

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw



核一廠三維地質模型建置 Construction of the Three-Dimensional Geological Model for the Chin-Shan Nuclear Power Plant

莊松棱 Sung-Leng Chuang¹ 林英傑 Ying-Chieh Lin¹

摘要

本文對第一核能發電廠（以下簡稱核一廠）近年來鑽孔資料進行彙整，並對於核一廠區內的乾華溪流域範圍進行三維水文地質模型建置工作。通過詳細分析 2010 至 2023 年間的 17 份地質調查報告與文獻，整合了 188 孔鑽孔資料與 82 條地質剖面，本研究建立了一套分析流程，來建置核一廠的三維地質模型。本文不同於傳統地質模型依賴二維剖面與柵狀圖來建構地質模型，採取直接對各孔位賦予不連續面特徵空間資訊的方法，進行三維地質模型建置，透過將乾華溪流域細分為 11 個分區進行模型建置，並在過程中進行二維剖面檢核和控制點的調整，有效地提升了地質模型的可靠度和準確性。

本文的成果揭示了核一廠三維空間的地質特性，如河道位置基盤深度以及沉積物厚度的變異性等。對於河道邊界和缺少鑽孔資料的區域，本研究參考過去地質調查成果於地質模型內新增控制點，透過這一策略確保了模型準確性。本研究不僅為核一廠的除役工作和後續地下水防護相關工作提供了重要的支持，同時所開發的三維地質模型建置方法和流程，對於其他需要進行地質建模的核能設施或相關工程項目提供了寶貴的參考與應用價值。

關鍵字：地質概念模型、三維模型、第一核能發電廠

Abstract

This study presents a comprehensive integration of drilling data for the Chin-Shan Nuclear Power Plant (CS NPP) and develops a three-dimensional geological model within the Gan-Hua Creek watershed area of the CS NPP facility. Through the detailed analysis of seventeen geological survey reports and associated literature spanning from 2010 to 2023, incorporating data from 188 drill holes and 82 geological cross-sections, we have formulated an analytical framework for the construction of the CS NPP's three-dimensional geological model. Departing from the conventional approach of building geological models based on two-dimensional cross-sections and grids, this research employs a novel methodology that attributes spatial information related to discontinuous surfaces directly to each drill hole location for the assembly of the three-dimensional geological model. By segmenting the Gan-Hua Creek watershed into eleven distinct zones for the model's development, and refining two-dimensional cross-sections and control points throughout the modeling process, we have significantly enhanced the geological model's dependability and precision.

The findings of this study illuminate the three-dimensional geological attributes of the CS NPP, highlighting the variability in river channel locations, bedrock depths, and sediment thicknesses. In addressing the challenges posed by river channel boundaries and areas deficient in drilling data, our research incorporated additional control points into the geological model, informed by historical geological survey findings. This approach has fortified the model's precision. Beyond providing critical support for the decommissioning efforts and groundwater protection initiatives at CS NPP, the development of this three-dimensional geological modeling technique and its accompanying methodology serves as a valuable resource and application for geological modeling required by other nuclear facilities or related engineering endeavors.

Keywords: Geological conceptual model, Three-dimensional, Chin-Shan Nuclear Power Plant

¹ 中興工程顧問公司核能後端專案工程師 Engineer, Nuclear Back-End Project, Sinotech Engineering Consultants, Ltd.



一、前言

位於新北市石門區的第一核能發電廠（以下簡稱核一廠）自 1971 年底啟動施工，並於 1978 年 12 月 10 日與 1979 年 7 月 15 日分別開始了一號機與二號機的商業運營。隨著運營執照滿 40 年，這兩部機組於 2018 年 12 月 6 日及 2019 年 7 月 16 日分別宣布進入除役階段，它們坐落於乾華溪下游的出海口。為了確保核電站的運營安全，核一廠在其運營期間持續進行地質調查工作，以評估邊坡穩定性、新建設施的安全評估、斷層及地震活動的影響、火山活動範圍以及土壤液化潛勢等評估。這些調查工作豐富了核一廠區內的地質鑽孔數量，隨著 2010 年地質法的實施，鑽孔資料得以更加完善且具有可追溯性。本文蒐集 2010 至 2023 年間的地質調查報告與相關文獻，共計得到 17 份文獻（詳見參考文獻條列），以此為基礎彙整文獻中 188 孔鑽井資料與 82 條地質剖面，並建立三維水文地質模型。

在過往的三維地質模型建構過程中，首先依照鑽孔設置的位置，建立一系列的二維剖面，這些剖面的關鍵在於確定各層面（亦即不連續面）的位置，隨後將這些二維剖面轉換為三維空間中的柵狀圖，並運用適當的軟體進行不連續面的整合，並構建三維的塊體模型。然而，面對核一廠大量的鑽孔資料，採用上述的建模流程相當複雜且效率較低，本研究旨在建立一套能夠建置三維地質模型的方法及流程，能夠迅速而有效地整合所有鑽孔資料，並且在建立過程中可以逐步確認模型正確性。

二、三維地質模型作業方法

本研究的分析流程被細分為兩大步驟，首先，步驟一為鑽探資料的前處理作業，如圖 1 (a)

所示。其次，步驟二在提升三維地質模型的可靠性，詳細的作業流程展示於圖 1 (b)。以下將逐一闡述各步驟的具體內容。

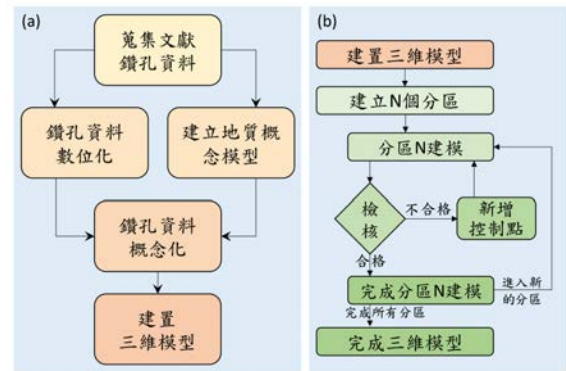


圖 1 資料分析流程

(一) 前處理作業流程

1. 蒐集文獻鑽孔資料：彙整核一廠過往進行的地質調查報告與鑽孔資料，這包括「地質鑽孔記錄表」、「地質剖面」與「水文地質模型」等相關資料。
2. 鑽孔資料數位化：對蒐集到的鑽孔資料進行數位化處理，並建立一個資料庫，這個資料庫應該至少包含孔位座標（X、Y）和不同岩層與深度（Z）之紀錄。
3. 建立地質概念模型：根據蒐集到的文獻資料與其中的地質剖面，建立一個地質概念模型，用於連接不同鑽孔之間的關係，並作為缺乏鑽孔資料區域建模的基礎。
4. 鑽孔資料概念化：將「鑽孔資料數位化」後的表單內各岩層深度，依據「地質概念模型」進行彙整與更新，例如「鑽孔資料數位化」後表單內的若干岩層，在「地質概念模型」中均被定義為基盤，因此會將被定義為基盤的岩層整理並合併為同一層後，重新輸出成為「鑽孔資料概念化」之表單。這樣做的意義可以幫助建立各孔位資料間該如何串接之依據，包含依據



截切定律設定地層形成順序與截切關係，並讓建模成果可以更符合計畫目的，例如「研究河道變遷」與「模擬地下水流場」，因重視的地質特徵不同，所建立的地質概念模型就會有所差別。此外，「鑽孔資料概念化」之表單除了包含整併後的 XYZ 資訊外，另應依據地質調查報告或概念模型，在表單內建立不連續面的空間資訊，包含傾向（Strike）與傾角（Dip）。不連續面的空間資訊無需每一個孔位都要有資料，但最低資訊需求是進入電腦分析前，整份「鑽孔資料概念化」表單各不連續面至少要有 1 筆空間資訊，因此可以僅針對不確定性較低的位置輸入不連續面空間資訊，不確定性較高之位置則可以省略此資訊。例如河道上和台地上表層沉積物的不連續面是呈現水平分佈，此資訊不確定性較低，而山坡則不確定其傾角，此資訊不確定性較高，因此可以只輸入河道與台地的不連續面空間資訊，山坡的不連續面資訊將由軟體依據其他孔位內不連續面的 XYZ 內插整合而成。在完成上述資料整理後，即可使用 Python 程式計算三維建模所需之前處理作業。

（二）提升建模可靠度的作業流程

因為核一廠鑽孔資料多達 188 孔且空間分布不均，為避免局部地區因資料不足而導致模型在該局部區域誤差較大，或是為避免因為數位化過程產生人為錯誤。因此圖 1（b）之作業流程，目的是優化模型建置成果的可靠度。這包括將建模範圍細分為若干分區，並對每個分區使用關鍵剖面進行檢核，透過分區概念，避免因一次性大量數據分析造成檢核困難。

首先將建模範圍細分為數個分區，每個分區應包含一條關鍵剖面作為檢核，據此進行分析且輸出三維模型 V1 版，並將 V1 版與關鍵剖面 and 概

念模型做比較，若有不符合的情況出現，應釐清其原因並修正參數，若原因為部分區域資料數不足導致建模形狀偏差，則應依照概念模型新增控制點，並重新輸出三維地質模型 V2 版，並將模型 V2 版與關鍵剖面 and 地質概念模型再次進行比較，若仍有不符合則重複前述步驟，若相符合則可以納入另一個新的分區範圍，並重複前述之建模流程，直到完成所有範圍之建模。作業流程如圖 1（b）。

通過這種逐步擴展分區範圍並逐一納入新的鑽探資料的方法，確保了每一個鑽孔位資料的準確性，並減少了數位化過程中可能出現的人為錯誤，從而有效地提升了三維模型的整體可靠度。

三、鑽探資料前處理說明

（一）文獻鑽孔資料

彙整 2010 至 2023 年共 17 份地質調查報告或文獻，可取得鑽孔孔位 188 孔，地質剖面 82 條。各鑽孔位置與文獻內之地質剖面位置彙整如圖 2。

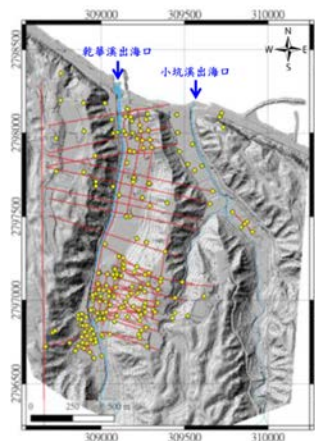


圖 2 核一廠文獻資料位置

（二）鑽孔資料數位化

將 188 孔鑽孔資料進行數位化後，建立表單



內容包含孔位 XY 座標，以及各岩性之頂部與底部之深度代表 Z 座標，因此可將數化後之各鑽孔資料繪製如圖 3 所示，圖中深棕色代表砂岩與砂頁互層等較緻密之岩層，綠色為頁岩層，淡紅色為火山碎屑岩（含表層風化層之紅土），淡藍色為礫石層，黃色則為粉土與黏土，最後將人工回填層設定為黑色。上述不同岩性的深度，也同時代表著不連續面的深度，最終共完成建置 684 筆不連續面資料。

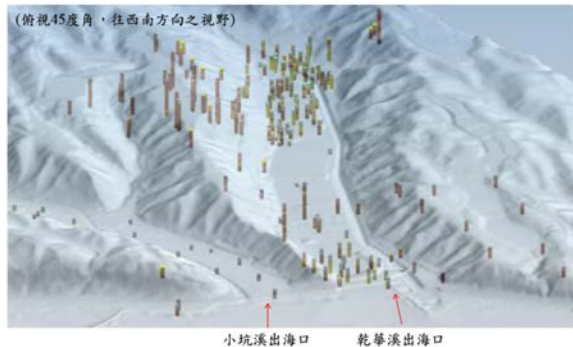


圖 3 鑽孔資料數位化

（三）地質概念模型

核一廠 2 座機組位於乾華溪出海口處，乾華溪流域上游最高峰為海拔高度 1,094 m 的竹子山北峰，屬於大屯火山群的一部分。大屯火山群約在 2.8 Ma 前開始活動，下覆第三紀沉積物桂竹林層與南莊層。大屯火山群噴出的岩漿冷卻後，在火山口附近形成今日的安山岩與玄武岩，安山岩為構成大屯火山群的主要岩性。從火山口向四周漫溢的熔岩流冷卻後，形成今日地表廣泛區域可見的火山碎屑岩，並形成火山台地的地形，火山台地高度約 100 m~150 m。火山地形在第四紀受到乾華溪的侵蝕作用，形成乾華溪流域，並在河道上堆積第四紀沉積物。

為建構地質概念模型，從文獻中的 82 條地質剖面挑選 3 條展示如圖 4 (a) (b) (c)，各剖面內主要特徵為基盤、河道沉積物與火山台地。

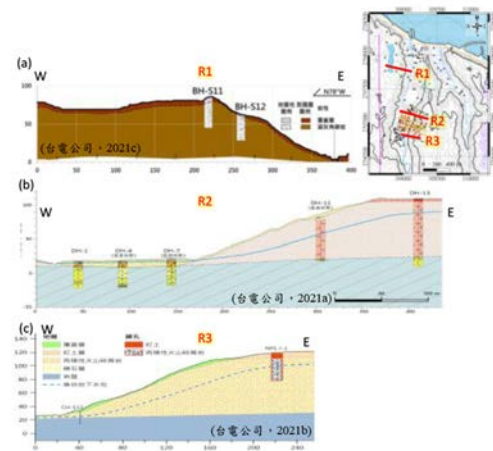


圖 4 既有文獻剖面特徵

1. 基盤

在圖 4 (a) 可見基盤高程在乾華溪出海口處約 EL. 0m，圖 4 (b) 可見在河道之基盤高程約 EL. 1 m，圖 4 (c) 左側可見在河道中之基盤高程約 EL. 20m，基盤整體趨勢朝南逐漸上升。基盤由桂竹林層構成，岩性以厚層或塊狀之灰白色中至粗粒純淨砂岩，或青灰色細粒泥質砂岩為主，間夾青灰色至暗灰色頁岩或砂、頁岩互層。

2. 河道沉積物

在河道處位置，有河道沉積物覆蓋於基盤之上，河道沉積物厚度約 8.90 m ~ 23.55 m，由岩塊、細砂、粉土質砂及黏土所組成。

3. 火山台地

由火山碎屑岩組成，火山碎屑岩由原生或再積之安山岩質礫石夾大量之火山灰落物質構成，為構成火山台地之主體，在火山台地地表處，則有風化之紅土所覆蓋，厚度小於 10 m。

基於上述論述，建立核一廠地質概念模型如圖 5，其中 S1 代表基盤，S2 代表火山碎屑岩，S3 代表河道沉積物。S3 基盤高程在核一廠廠區範圍南端約 EL. 20m，往北逐漸降低，並在海岸



線處約 EL.-10 m。在河床處，大部分河床區域底下仍有代表火山碎屑岩的 S2，但局部地區會因為河川下蝕較強，而造成 S3 與 S1 直接接觸。另外，在海域位置，因為缺乏直接鑽井資料或震測剖面等其他資料，因此參考海岸鑽井資料內之沉積物厚度約 10m，假設近岸海床均有厚度約 10 m 之沉積物。

（四）鑽孔資料概念化

將「鑽孔資料數位化」表單內 684 筆不連續面，依照「地質概念模型」進行分類與彙整後，最後完成「鑽孔資料概念化」之表單，此表單內含 2 類不連續面，分別是代表 S3 與 S2 交界面的 L1 有 89 筆，以及與代表 S2 與 S1 交界面的 L2 有 59 筆，上述資料數量之深度均是「直接」來自鑽孔資料。另外，新增了「間接」來自鑽孔資料的 L1 共 8 筆，以及 L2 共 40 筆，這些間接來自鑽孔資料的來源，共有 3 個原因。

原因 1：因為建模過程考量沉積學的截切定律，因此當 L1 高程比 L2 高，代表侵蝕順序彼此不會交錯影響，因此岩層從上（地表）往下（地底較深處）可以分別呈現出 S3、S2 與 S1 之順序，反之，當 L2 比 L1 高，代表河道侵蝕穿過 S2，因此岩層從上（地表）往下（地底較深處）將會呈現出 S3 與 S1，S2 將因為被侵蝕掉而不會出現在該位置。換句話說，某些岩心在河床只有 S3 與 S1，則需要自行增加設定 S2 高程且必須比 S1 高。

原因 2：另外有部分岩心位置沉積物較厚，因此岩心資料只有出現 S3，沒有 S1 與 S2，若此位置未給予設定 L1 和 L2，則可能會被週圍鑽孔資料的深度內插而未顯示出有較厚沉積物之特徵，因此針對只有出現 S3 的岩心，仍給予 L1 與 L2 之假設參數且高於地表，代表該材料已被侵蝕掉。

原因 3：鑽孔深度未達基盤，因此依據概

念模型，在該孔位假設其 L2 之深度，據此新增 L2，此類位置主要分布於火山台地區域。

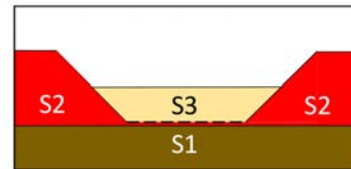


圖 5 地質概念模型

四、提高模型可靠度說明

（一）建立分區

為避免局部地區因資料不足而造成不符合概念模型的錯誤建模，或是避免因為數位化過程之人為錯誤，因此將核一廠內的乾華溪流域，分為 11 個分區進行建模，透過分區的概念也可避免一次大量處理數據，分區 1 的建模範圍如圖 6（a）所示，使用少量鑽孔資料與一條檢核剖面進行模型建置，以確保每一孔鑽井資料之正確性。在完成分區 1 之建模後，向外擴展建模範圍進行分區 2 之建模作業如圖 6（b）所示，分區 2 之範圍包含了分區 1，採用新區域鑽孔資料並使用一條新的檢核剖面建模。藉由逐步新增分區範圍，以及逐步納入少量鑽探資料進行檢核，可以有效掌握每一個孔位資料，並確保建模成果符合概念模型，以及避免數位化過程之人為錯誤。

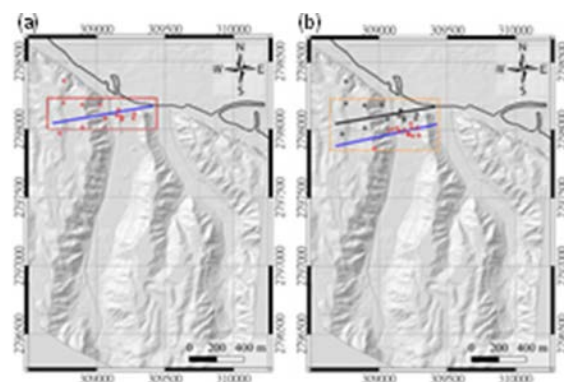


圖 6 分區建模



(二) 檢核與新增控制點

以分區 1 的建模過程為例子，首先將「鑽孔資料概念化」之表單輸入軟體進行建模，可得到分區 1 的 V1 版模型與圖 7 (a) 之檢核剖面，當中 S3 河道沉積物的分布範圍明顯不合理，因此在確認鑽孔資料均正確無誤後，新增河道邊界之控制點，重新建模後得到分區 1 的 V2 版模型與圖 7 (b) 之檢核剖面，在深度 50 m 以下才出現基盤，經檢討後確認該區域為鑽孔資料外插的結果，因此基於概念模型之背景，在圖 7 (b) 右側無鑽孔資料位置處，新增基盤控制點，重新建模後得到分區 1 的 V3 版模型與圖 7 (c)，並在三維視角中旋轉角度確認各方向輪廓均符合概念模型後，將分區 1 之三維模型定稿，並在分區 2，開始重複前述步驟來建置分區 2 之模型，之後分區 3、分區 4……最後逐步完成核一廠區之乾華溪範圍之建模如圖 8。

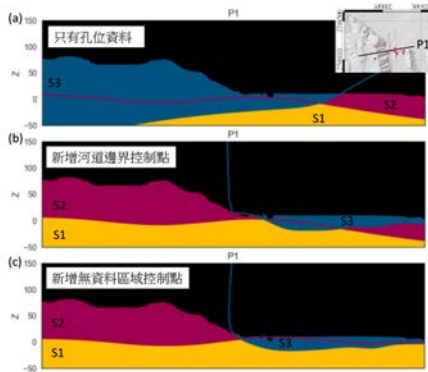


圖 7 檢核與新增控制點

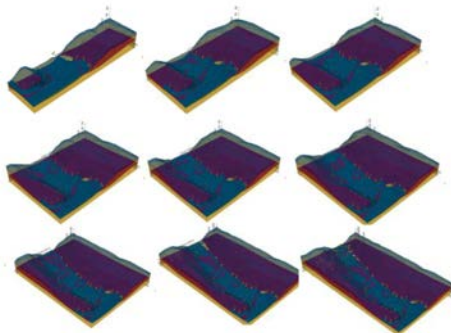


圖 8 各分區逐步建模

五、成果展示

核一廠區之乾華溪建模範圍如圖 9 紅框，使用資料除了有直接或間接鑽孔資料外，另外使用了河道邊界控制點如圖 9 藍點，以及補充缺少鑽孔資料之控制點如圖 9 紅點，根據上述資料完成三維模型建置，展示如圖 10 (a) 是從東北方的鳥瞰視角，圖 10 (b) 是從東南方的鳥瞰視角。

將三維模型進行剖面展示，在乾華溪下游東西向剖面 EW1 如圖 11 (a)，相較於上游的東西向剖面 EW2 如圖 11 (b)，可見下游有較厚之河道沉積物。乾華溪南北向剖面因為長度較長，因此拆成南段的 NS-1 如圖 11 (c) 與北段的 NS-2 如圖 11 (d)，可見基盤在南側較高，往北逐漸下降之趨勢。

綜整整個三維模型特徵，可見藍色河道沉積物 S3 僅分布於河道中，兩側山丘均由紅色的火山碎屑岩 S2 構成，黃色的基盤 S1 則分佈在最下層。此外，藍色河道沉積物 S3 局部區域會覆蓋在基盤 S1 之上，另有部分則 S3 會直接覆蓋在 S2 之上，此類特徵在圖 10 (a) (b) 的三維模型，以及圖 11 (a) (d) 之剖面，均可以看見此特徵之分布。

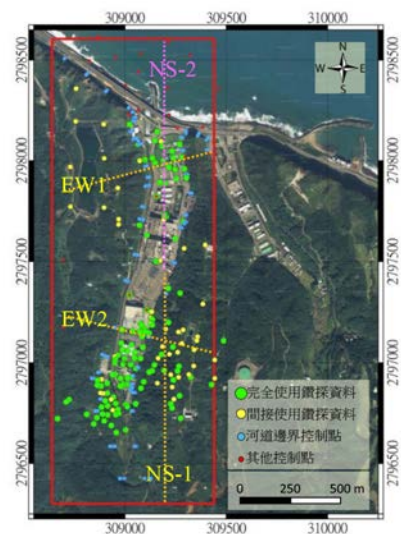


圖 9 建模範圍與使用資料位置

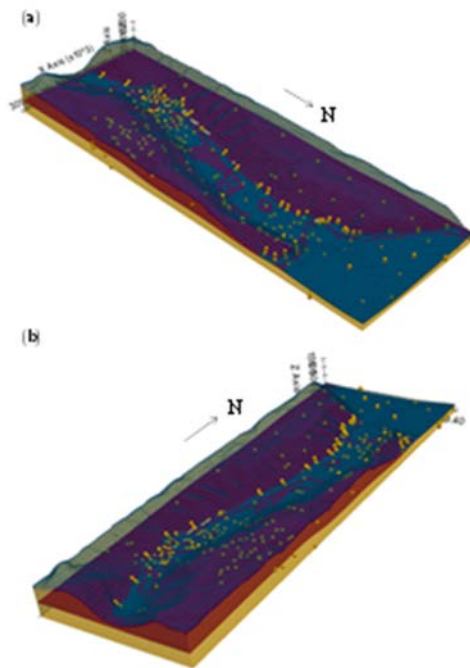


圖 10 建模成果展示

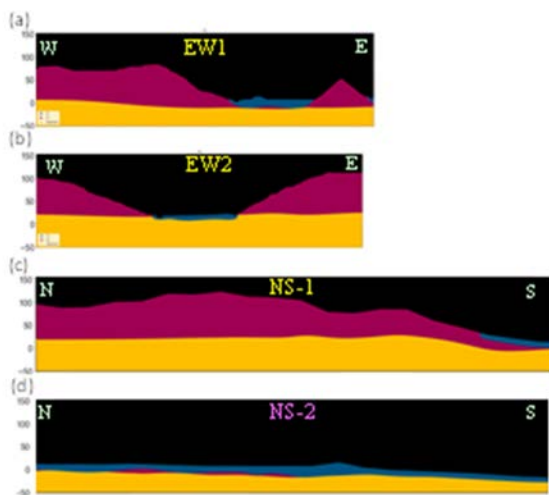


圖 11 模型剖面展示

六、結論與建議

本研究彙整核一廠既有 188 個鑽孔資料，搭配 82 條地質剖面資料，建置了核一廠三維地質模型，以下為結論與建議：

(一) 針對核一廠場址特性，鑽孔資料反應出其河道位置之基盤深度有其變異性，非均質穩定地往北逐步遞減，局部地區會有緩增之現象。此外，沉積物厚度也有其變異性，並且局部地區覆蓋在基盤之上，局部則會覆蓋在火山碎屑岩上。

(二) 針對三維地質模型建模流程，本文直接針對鑽孔孔位內不連續面位置賦予空間資訊，並對其直接建模，相較於傳統藉由柵狀圖與內插建模之方式，可加快建模之作業時間，並藉由細分建模範圍並逐一檢核，成功提升了模型的可靠度，尤其是在河道邊界和沉積物厚度變化複雜區域的模型精度。局部地區會因為缺少鑽孔資料而需要新增控制點，此類控制點主要分布於鑽孔資料外插之範圍。

參考文獻

- 工程地質資料庫網站，2013，網頁資料：<https://geotech.gsmma.gov.tw/imoeagis/Home/Map?lng=121.59307&lat=25.29081>，擷取日期：2023/1/18。
- 工程地質資料庫網站，2020，網頁資料：<https://geotech.gsmma.gov.tw/imoeagis/Home/Map?lng=121.58587&lat=25.27885#>，擷取日期：2023/1/18。
- 台電公司，2010a，核一廠用過核子燃料乾式貯存計畫 - 第二期場址特性調查評估技術服務工作——綜合評估報告（停車場區）。
- 台電公司，2010b，核一廠用過核子燃料乾式貯存計畫 - 第二期場址特性調查評估技術服務工作 - 綜合評估報告（西南民家區）。
- 台電公司，2011a，核能一、二及三電廠生水系統耐震評估及補強設計技術服務工作——鑽探及大地力學試驗評估報告。
- 台電公司，2011b，營運中核能電廠補充地質調查工作核一二廠地質鑽探試驗工作——附錄三成果資料。
- 台電公司，2013，核一廠 3600 噸生水後備水源生水系統耐震評估、補強設計及增設明管設計技術服務工作——地質調查、鑽探及大地力學試驗成果報告書。
- 台電公司，2014，核一、二及三廠增設防海嘯牆規劃設計技術服務工作——地質調查工作（含鑽探及大地力學



試驗)成果報告書(核能一廠)。

台電公司，2015，核能電廠緊急應變作業場所新建工程規劃設計技術服務工作——核一廠地質調查、鑽探及大地力學試驗工作(含地盤微地動量測)成果報告書。

台電公司，2016，核一廠用過核子燃料第二期乾式貯存設施興建計畫補充場址地質特性調查評估工作——場址特性調查綜合評估報告。

台電公司，2017，核一廠除役計畫保留區(暫貯)設施場址地質特性調查評估工作——場址特性調查綜合評估報告。

台電公司，2019a，核一、二廠機率式斷層位移危害度分析技術服務工作總結報告。

台電公司，2019b，核能電廠因地震、豪雨誘發之順向坡滑移、山崩及廠區因發生強震致重要道路液化等之調

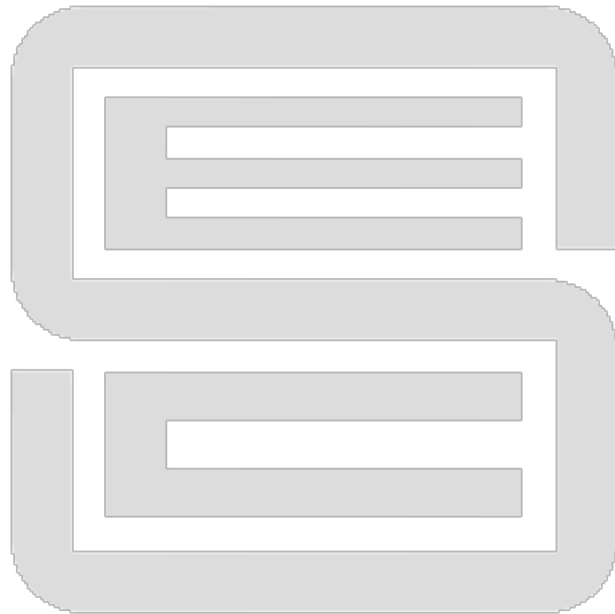
查暨評估工作——核能電廠廠區重要道路基礎受地震液化潛勢評估綜合報告。

台電公司，2021a，核一廠二期乾式貯存設施水保範圍及場址補充地質調查評估技術服務工作-場址特性調查綜合評估期末報告。

台電公司，2021b，核一、二廠放射性廢棄物貯存設施邊坡及土石流調查與評估工作-綜合評估報告附錄二地質鑽孔記錄表。

台電公司，2021c，核能電廠因地震、豪雨誘發之順向坡滑移、山崩及廠區因發生強震致重要道路液化等之調查暨評估工作——核一廠山崩潛勢評估及重點邊坡複合式災害影響評估報告。

台電公司，2023，核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作成果總結報告。



新書推介

(一) 環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發

許國恩、劉婉儀、吳佳娟、
林宜璇、吳紗糸、李品蕙、
楊淑娟、林淑滿 編著

2023年2月初版



臺灣沿岸藍碳碳匯與減量的機會與挑戰

Opportunities and Challenges of Coastal Blue Carbon Sinks and Reduction in Taiwan

林幸助 Hsing-Juh Lin¹ 郭霈宸 Pei-Chen Kuo² 朱敬平 Ching-Ping Chu³
陳冠宇 Kuan-Yu Chen⁴ 呂佳宜 Chia-I Lu⁵

摘要

因應全球氣候變遷挑戰，各國積極推動溫室氣體減量措施，其中「自然碳匯」技術成為重要策略之一，本文闡述藍碳生態系統的重要性，包括紅樹林、海草床和潮汐鹽沼等。藍碳生態系統能有效地吸收和固定大量碳，具有減緩氣候變遷的潛力，亦是生物多樣性的自然解方之一。國際上已有許多藍碳減量專案取得成果，例如紅樹林復育專案。然而，推動藍碳減量專案面臨多重挑戰，包括政策支持、技術科學與人力資源投入、社會意識提升以及國際合作等方面。建議臺灣在推動藍碳減量專案時，加強科學研究和技術創新，提高社會對藍碳減量的認識和支持，並積極參與國際合作，以實現海洋生態保育和氣候變遷應對的雙重目標，促進永續發展。

關鍵字：自然碳匯、海洋碳匯、藍碳、溫室氣體、減量方法學、自然解方

Abstract

Natural carbon sinks are critical strategies for achieving net-zero emissions. This study highlights the importance of coastal blue carbon ecosystems, such as mangroves, seagrass beds and tidal salt marshes. Coastal blue carbon ecosystems effectively absorb and sequester significant amounts of carbon, offering the potential to mitigate climate change while also serving as natural-based solutions for biodiversity conservation.

However, advancing coastal blue carbon projects faces multifaceted challenges, including securing policy support, investing in technology and human resources, raising public awareness, and fostering international collaboration. Recommendations for Taiwan include strengthening scientific research and technological innovation, enhancing societal understanding of coastal blue carbon, and promoting global partnerships. These efforts aim to achieve the dual goals of coastal ecosystem protection and climate resilience, thereby advancing sustainable development.

Keywords: Natural carbon sinks, Coastal blue carbon, Greenhouse gases, Reduction methodologies, Nature-based solutions

¹ 國立中興大學生命科學系終身特聘教授 Lifetime Distinguished Professor, Department of Life Sciences, National Chung Hsing University

² 中興工程顧問社環境工程研究中心助理研究員 Associate Researcher, Environmental Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

³ 中興工程顧問社環境工程研究中心副主任 Deputy Director, Environmental Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

⁴ 國立中興大學生命科學系研究助理 Research Assistant, Department of Life Sciences, National Chung Hsing University.

⁵ 國立中山大學碳權研究與服務中心研究員 Engineer, Net Zero Office, ASE Technology Holding Co., Ltd.



一、前言

為達長期溫室氣體減量目標，各國陸續訂出「國家自定貢獻（Nationally Determined Contribution, NDC）」，並制定碳稅、碳排放交易系統、效能標準與減量目標等各式碳管理政策。我國亦於2023年2月15日公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」以凸顯我國完備氣候法制的指標意義。

透過「自然碳匯」之負碳技術為抵減溫室氣體排放之方法之一，其生態系服務亦能帶來多樣化的共同效益（Co-benefits）。在臺灣淨零排放推動的規劃中，「自然碳匯」即為達成淨零轉型重要關鍵戰略之一，「自然碳匯」包括透過森林（綠碳）、海洋（藍碳）、土壤（黃碳）與生物體固定自然界的碳。其中，海洋碳匯即為透過保育、復育與有效管理海洋和沿岸生態系統，使其儲存空氣中的碳，以減緩大氣中溫室氣體的增加。保護和管理海洋生態系統，不僅確保其能夠持續儲存碳，還能夠提供其他生態系統服務，將是未來的重要任務之一。

臺灣四面環海，是典型的海島國家，因具備優越地理位置、海域棲地型態多樣性高與生態交會區效應等多重因子，使臺灣具有相當豐富且多元的海洋自然資源，亦具有發展「海洋碳匯」之潛力。因此，本文將針對藍碳生態系、海洋碳匯進行介紹，並研析國際間發展現況、減量方法學與藍碳保育和復育專案實例。通過深入研究海洋碳匯，可以更好地瞭解藍碳在臺灣淨零排放戰略中的角色和價值，並為未來政策制定和實踐提供有益的參考。

二、藍碳生態系

藍碳生態系分為海洋與沿岸植被生態系統，

然而，由於海洋碳匯技術因成本及風險高，缺乏國際公認之方法學（Board, 2021），因此，近年藍碳生態系主要係指紅樹林（Mangroves）、海草床（Seagrass Beds）及潮汐鹽沼（Tidal Salt Marshes）等沿海植被生態系統（Mcleod et al., 2011）。這些生態系統在減緩氣候變遷、保護海岸線、提供棲息地等方面均扮演著關鍵角色。

藍碳生態系以高等維管束植物為主，這些植物具有極高的生產力，可以有效吸收大氣中的二氧化碳，將碳固定在植物體當中。而這些植物在死亡後產生大量的枯枝落葉及死亡根系殘體會形成碎屑，並被埋藏於土壤中。

由於沿岸地區的藍碳生態系易受潮汐週期性影響，長期海水浸淹使得土壤保持在厭氧狀態，降低土壤中有機質的分解速率，進而增加土壤有機碳的累積（Chmura et al., 2003）。因此，比起陸域森林（綠碳）生態系，藍碳生態系具有更高的碳匯能力（Macreadie et al., 2019; Mcleod et al., 2011）。

儘管藍碳生態系面積僅佔了近岸海域的不到2%，但其有機碳埋藏率遠高於其他生態系統，佔據了海洋沉積物的一半以上有機碳埋藏量（Duarte et al., 2005）；其中，以紅樹林的單位面積土壤碳埋藏量最高，其次為潮汐鹽沼，海草床最低（Hiraishi et al., 2014）。藍碳生態系在全球分佈區位上，紅樹林主要分布在熱帶及亞熱帶地區，鹽沼主要在溫帶至極區附近，海草則是三者中全球分佈範圍與面積最廣的，橫跨熱帶及溫帶地區（Davidson et al., 2019）。

三、藍碳減量專案與方法學

為減少溫室氣體的排放量（如更換為高效率設備），或增加從大氣中移除溫室氣體的量（如造林與植林），聯合國清潔發展機制（Clean



Development Mechanism, CDM) 建立一套減量專案認定之執行步驟，包括專案識別、專案設計與描述、專案批准、專案確證、專案註冊、監測與實施、減排量之查證與驗證，及核發已驗證減量額度 (Certified Emission Reductions, CERs) 等八個步驟；其專案週期 (Project Cycle) 包括建立專案活動、分別向投資國及地主國提出專案申請、專案登錄、專案執行監督、查證與驗證短期額度 (temporary CERs, tCERs) 及長期額度 (long CERs, ICERs) 核發等六項主要工作項目。

碳信用額度申請者 (市場參與者) 在執行上述工作前，應先確認欲申請減量專案所在國家之相關規範與可應用之減量方法學。減量方法學提供包括該方法學之範疇、適用條件、生效日期、名詞定義、專案邊界與分層、土地合格性、碳庫及溫室氣體排放源之計算項目、專案期與計入期、基線情境鑑定與外加性證明、基線排放、專案排放、洩漏、減量、監測程序及相關附錄等參考對應資訊，供碳信用額度申請者進行減量專案之規劃與設計。其目的是為了在符合原則之情況下，協助碳信用額度申請者估算減排量 (或移除量)。

目前國際上 CDM 和 Verra 所頒布的自願性減碳 (Verified Carbon Standard, VCS) 已經建立了一系列針對藍碳碳匯專案的方法學，如 CDM 的紅樹林減量方法學「劣化紅樹林棲地的造林與植林 (Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats, AR-AM0014)」，VCS 的海草床減量方法學「潮間帶濕地與海草床復育 (Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration, VM0033)」，濕地減量方法學「沿岸濕地復育 (Methodology for Coastal Wetland Creation, VM0024)」以及溫室氣體評估方法學「潮汐濕地復育與保育專案中基線碳儲量變化與溫室氣體排放的估計 (Estimation of Baseline Carbon Stock Changes and Greenhouse

Gas Emissions in Tidal Wetland Restoration and Conservation Project Activities, VMD0050)」及「潮汐濕地復育與保育專案中碳儲量變化與溫室氣體排放與清除的方法概述 (Methods for Monitoring of Carbon Stock Changes and Greenhouse Gas Emissions and Removals in Tidal Wetland Restoration and Conservation Project Activities, VMD0051)」等。這些方法學已為各國和組織在實施藍碳保育和復育專案時提供必要的參考依據，促進了藍碳領域的發展和應用。

然而，國際間減量方法學內容具有專業性與複雜性，直接在臺灣推行較為不易，故須進一步考量臺灣之法律規範、在地環境狀況、實際造林作業方式、監測程序之操作技術與專案執行可行性等。

為此，環境部針對國內溫室氣體自願減量專案之申請與應用之減量方法學公告相關規範，然而，截至目前 (2025 年 4 月)，國內僅有五項與碳匯相關之減量方法學，可運用於溫室氣體自願減量專案上，包括 4 項綠碳 (森林碳匯) 及 1 項黃碳 (土壤碳匯)。現階段環境部核可與藍碳相關之減量方法學，僅國外 CDM 的減量方法學，包含「AR-AM0014 Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats」和「AR-AMS0003 Afforestation and reforestation project activities implemented on wetlands」。為提升國內藍碳領域的研究和執行能力，海洋委員會 (以下簡稱海委會) 於 2023 年起開始針對藍碳領域進行國外執行經驗研析，與藍碳減量方法學之研擬，以建立符合臺灣環境條件且具可行性及品質之紅樹林棲地造林與植林碳匯效益評估方法，確保專案所產生碳匯量可進行量測、報告、查證，並促進臺灣紅樹林棲地造林與植林專案的溫室氣體自願性減量專案之碳交易。

海委會已與農業部於 2024 年初共同向環境部



提送 2 項藍碳相關減量方法學進行審查，若未來藍碳減量方法學建立完成，預期將可進一步作為加強科學研究和監測工作之參考依據，輔助我國深入瞭解海洋生態系統的碳匯能力和儲存潛力，為未來制定政策和專案提供科學依據，推動臺灣藍碳保育和復育工作的持續發展，與保護和維護海洋生態系統的健康。

四、國際藍碳保育和復育專案

在國際上，藍碳保育和復育專案已逐漸取得相關成果，目前已開發專案以紅樹林專案為主，其內容包含劣化或喪失紅樹林區域之造林，或紅樹林保護和永續利用等；例如位於東非的肯亞家齊灣（Gazi Bay）的 Mikoko Pamoja 專案計畫書主要係對紅樹林進行保護，藉此取得碳抵換量，預期每年可獲得 2,482 噸二氧化碳當量（CO_{2e}）之效益（Mikoko_Pamoja, 2020）。中國大陸「湛江紅樹林造林專案」自 2015 至 2020 年間於廣東湛江紅樹林國家級自然保護區陸續進行紅樹林造林，專案係依據 VCS 和 CCB（氣候、社區和生物多樣性，Climate Community and Biodiversity）雙重標準認證進行開發，預計每年可貢獻 4,020 噸 CO_{2e} 減排量，計入期總抵換量預計為 160,781 噸 CO_{2e}，而減排量之交易收益重新投入紅樹林復育管理與環境教育等（中國綠色碳匯基金會，2024），形成永續管理機制。

自 2009 年起至 2023 年 12 月止（計入期開始日期，Crediting Period Start Date），使用 AR-AM0014 方法學向 VCS 申請的專案筆數，共計 18 筆（其中 1 筆，使用超過 1 份的方法學），上述 18 筆資料未包含使用其他濕地方法學的專案，申請地區包括亞洲的東帝汶、印度、緬甸、沙烏地阿拉伯、巴基斯坦；非洲的迦納、馬達加斯加、喀麥隆、塞內加爾、塞拉利昂；美洲的墨西哥、

美國；歐洲的義大利等。惟各專案單位復育面積之預期減量存在極大的差異，如：美國 Virginia Coast Reserve Seagrass Restoration Project 專案每年預計可減少碳排放量約 1,349 公噸（復育面積為 66,452 公頃），巴基斯坦 Delta Blue Carbon 專案每年預計可減少碳排放量約 12,407,629 噸（復育面積為 350,000 公頃）。

各專案單位復育面積之預期減量，差異原因可能包括專案區域的地理條件、生態系統自然狀態和土壤特性、生態系統復育前的受損程度不一、復育專案的實施方式和管理效率不同、當地社會經濟背景和政策支持程度等因素，或各專案區域對於藍碳減量潛力的評估標準和方法亦可能存在差異，導致減量差異擴大。

透過觀察國際藍碳保育和復育專案的情形，可發現在推動藍碳減量上，存在我國不可避免會遇到的問題與挑戰，建議進一步研析專案區域的地理條件和生態狀態，因此，未來相關專案減量計畫可以制定精確的復育計畫與管理措施。同時，加強對復育專案的監測和評估，以確保預期的減量效果得以實現。此外，促進各地區之間的交流和合作，分享成功經驗和最佳實踐，亦是實現藍碳保育和復育目標的重要途徑。

五、藍碳復育之其他效益

（一）聯合國生物多樣性公約（CBD）

1992 年，巴西里約熱內盧的地球高峰會，各國簽署「生物多樣性公約（Convention on Biological Diversity, CBD）」，以（1）保育生物多樣性；（2）重視與鼓勵生物多樣性資源之永續利用；（3）公平合理的分享利用遺傳資源所產生的惠益等為三大目標，期減緩生物多樣性的喪失。

2022 年，第 15 屆締約方大會（COP15）「昆明-蒙特婁全球生物多樣性框架（Kunming-



Montreal Global Biodiversity Framework)」進一步提出 2050 年人與自然和諧共生之願景，訂出四大長期目標，及 23 項於 2030 年前完成的生物多樣性行動目標。

「以自然為本解決方案（Nature-based Solutions, NbS）」，亦稱自然解方，在因應氣候變遷與保護生物多樣性方面扮演著重要角色。其定義為「採取行動保護、保育、復育、永續利用和管理自然或經改造的陸地、淡水、沿海和海洋生態系統，以有效和適應性地應對社會、經濟和環境挑戰，同時對人類福祉、生態系統服務、韌性和生物多樣性產生惠益」（李玲玲，2022）。

而推動藍碳保育和復育專案將有助於保護和恢復海洋與沿岸生態系統，提供包含「支持」、「供給」、「調節」及「文化」等功能的健全「生態系統服務（Ecosystem Services）」，達到調適與減緩氣候變遷，同時保護生物多樣性之目的，亦是自然解方之一。

（二）永續發展目標

「永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」為聯合國（United Nations）於 2015 年通過 2030 永續發展議程，提出 17 項核心目標（如圖 1），旨在解決經濟、社會和環境三個層面的全球挑戰，提升社會價值和永續性。



資料來源：<https://globalgoals.tw/>

圖 1 聯合國永續發展目標

藍碳保育和復育專案之推動對於實現 SDGs 有著顯著的潛力，包括通過吸收和儲存二氧化碳，減少全球溫室氣體排放；通過保育與復育海洋和沿岸生態系統，維護健康的海洋生態系統，與保護陸地生物多樣性，亦可為沿岸社區提供漁業資源，提升生計和經濟收入，以消除貧窮和飢餓；或創造生態旅遊、保育和漁業管理等方面之就業機會。

以中國推動之「海南文昌、昌江紅樹林復育專案」（計畫期程為 2021 年至 2061 年）為例，該專案之執行預期將有助於實現 SDG 1 消除貧窮、SDG3 健康與福祉、SDG5 性別平等、SDG 13 氣候行動、SDG14 海洋生態、SDG15 陸地生態等永續發展目標。而美國推動之「維吉尼亞海岸保護區海草復育專案」（計畫期程為 2015 年至 2045 年），則預期將有助於實現 SDG 13 氣候行動、SDG14 海洋生態等永續發展目標（林幸助，2023）。

建議我國未來於推動藍碳復育專案時，可同時考慮連結藍碳復育專案與永續發展目標（SDGs），檢視專案對全球永續發展目標之貢獻，提供整體評估框架和推動藍碳專案之實施。透過對減量專案與 SDGs 的對比，期更清晰地瞭解各專案在推動永續發展目標方面的效果，並進一步指導專案的設計和實施，以最大程度地促進全球的永續發展。

六、國內推動藍碳減量專案的機會與挑戰

由於臺灣周圍海域之地質、地形、氣候、潮汐與波浪作用不同，而產生多樣化型態的海洋生態系，且臺灣亦有被稱之為「藍碳生態系統」的紅樹林、海草床以及鹽沼等棲地，紅樹林主要分布於臺灣西海岸及零星分布於澎湖與金門；海草

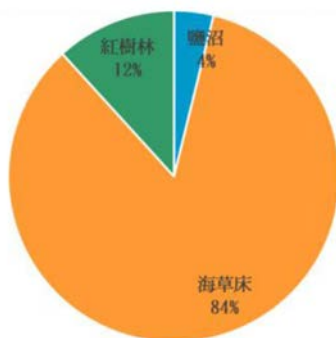


床主要分布於東沙環礁、澎湖及零星分布於臺灣西海岸與恆春半島；鹽沼則主要分布於臺中高美濕地（林幸助，2020），顯見我國極具發掘藍碳自然碳匯之潛力。

根據 2024 年調查結果，全臺沿岸藍碳生態系面積共 8,945 公頃，以海草床所佔面積最大約 7,818 公頃，其中，98% 面積位於東沙環礁（約 7,716 公頃），其次為紅樹林共 939 公頃，鹽沼面積則為 188 公頃，分布比例如圖 2。三種藍碳生態系碳匯能力每年約為 485,544 公噸 CO_2e ，每年每公頃碳匯量依次為海草床、紅樹林、潮汐鹽沼（圖 3）。累積碳儲量約為 1,686,157 噸 CO_2e ，其中，由於紅樹林棲地底質可深達數公尺，故其累積之碳儲量最高，達 876,139 噸 CO_2e ，大於占地最大之海草床的 751,355 噸 CO_2e ，而潮汐鹽沼累積之碳儲量則最低，也有 58,663 噸 CO_2e （圖 4）（林幸助，2024）。

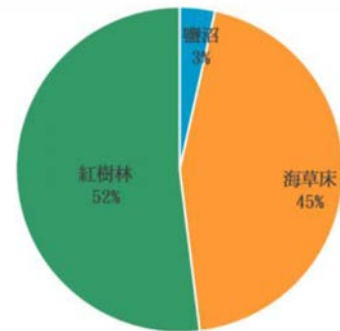
資料來源：林幸助，2024 年 4 月。

圖 2 我國藍碳生態系面積分布比例



資料來源：林幸助，2024 年 4 月。

圖 3 我國藍碳生態系每年碳匯能力分布



資料來源：林幸助，2024 年 4 月。

圖 4 我國藍碳生態系累積碳儲量分布

2020 年世界銀行的報告指出全球有 61 個國家已實施或正在規劃碳定價機制，30 個國家使用碳稅機制，31 個國家使用碳排放交易體系。許多企業也紛紛設立供應鏈碳中和目標，例如 Apple 公司，亦使得其下游廠商得透過碳交易等機制達成減排，甚至碳中和之目標，國內企業亦面臨跨國交易及供應鏈要求降低碳排放之需求；由此可見，碳交易市場之需求將在未來幾年成為推動削減碳排放之重要動力之一。根據李堅明（自然資源與環境管理研究所，臺灣碳交易之父）指出，全球碳市場將成為兆元產業（以美元計算），臺灣方面，若將環評增量抵換需求與碳費抵減需求合計，預期每年將有 420 萬到 500 萬噸的碳權抵減需求，以每噸 10 美元計價，市場規模約新台幣 15 億元（聯合線上公司政策新知，2024）。

然而，臺灣推動藍碳減量專案將涉及到政策、技術、資源、社會意識和國際合作等多個面向，為：（一）政策面：政府已開始積極推動淨零排放，於 2023 年 2 月 15 日公布修正「氣候變遷因應法（以下簡稱氣候法）」，將氣候變遷議題納入國家政策規劃的核心；且在氣候法授權下，於同年 10 月 12 日公布「溫室氣體自願減量專案管理辦法」，以完善自願減量專案申請之法源依據，為推動溫室氣體減量專案提供了政策支持和法律依據。



(二) 技術和科學面：藍碳復育專案需要精密的科學研究和監測技術，以確保減量效果的準確性和可靠性；國內已有研究單位（林幸助，2023）使用如密閉罩蓋法進行溫室氣體之監測，相關監測技術簡述如下：

1. 通量塔：設於現地可長期收集數據，其優點為可連續監測，反應棲地大氣的溫室氣體濃度變化；缺點為價格昂貴、易受颱風強風大浪等風險影響。
2. 氣相層析法（GC）：設置現地罩蓋，隨時間採集氣體樣本，採集氣體回到實驗室分析。優點為可提高重複數，不需增加儀器數量；缺點為需將氣體樣本帶回實驗室，樣本攜回過程中具有洩漏等不確定性。
3. 現地密閉罩蓋法（常用罩蓋如圖 5）：為可攜帶式氣相色譜分析儀，概念與氣相層析法類似，可於現地進行短時間連續監測，取得氣體溫度變化。主要係將

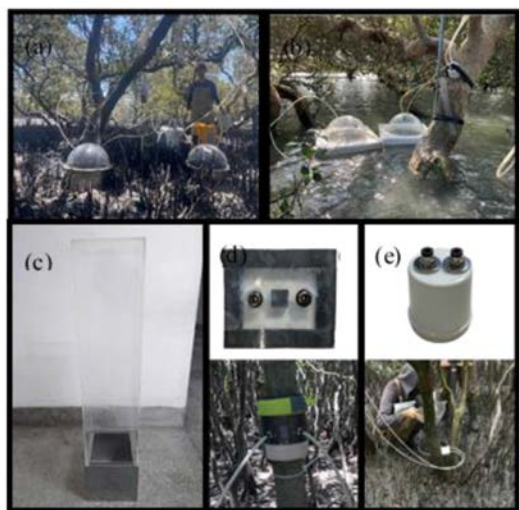
密閉罩蓋（常用罩蓋如圖 5）在棲地土壤、水體或植物體上，再連接至溫室氣體分析儀，計算罩蓋內溫室氣體濃度隨時間的變化量（Lin et al., 2020）。優點為可直取得現地氣體濃度變化結果，比 GC 更有代表性，缺點為密閉罩蓋會使腔室內溫度、氣壓升高，因此，每次測量以 5-7 分鐘為限，且因現地作業時間考量，需要增加儀器數量，因此，成本較氣相層析法高。

(三) 人力與資源面：為維持專案的持續運作和有效實施需要相應的人力與資源，包括具備豐富專業知識和技能之專業人才，足夠的財政支持提供專案執行所需的設備、資材和進行數據分析及報告撰寫等工作人力成本。

(四) 社會意識：需提高民眾對於藍碳減量專案的認識與理解，建議加強宣傳和教育工作，提高民眾對於藍碳減量的認識與支持，以促進「海洋碳匯」順利推展。

(五) 國際合作：未來與其他國家和組織進行合作，將涉及到複雜的國際政治和經濟關係。初步規範階段時，應同步考量藍碳減量專案符合國際標準和規範之需求，以保障其效益和持續性。

國內推動藍碳減量專案已具備良好的地理、政策和技術，建議未來能夠充分利用這些機會，加強政策引導和技術支持，推動社會廣泛參與，並積極開展國際合作，實現藍碳減量專案的全面發展。



(a) 土壤圓形罩蓋 (b) 水體浮體罩蓋 (c) 土壤長柱體罩蓋 (d) 樹幹半剛性罩蓋 (e) 樹幹圓柱形罩蓋。

資料來源：林幸助，海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法學期末報告，海洋委員會，2023 年 11 月。

圖 5 紅樹林溫室氣體量測常用之各類型罩蓋

七、結論與建議

海洋藍碳生態系統在維護海洋生態平衡、保護沿岸生態環境等方面扮演著重要角色，臺灣身為位於海洋環繞的島嶼型國家，海洋生態系統對



於生態和經濟發展至關重要，同時也具有推展「海洋碳匯」之潛力，亦是自然解方之一。本文探討國內在推動藍碳減量專案的過程中，可能面臨的機遇和挑戰，如政策、技術、社會意識和國際合作等不同面向之關鍵問題。為實現氣候變遷和環境保護，則需克服這些挑戰，以進一步促進藍碳減量之發展。

我國可以提供的市場供給項目包含植樹造林、濕地恢復和農業土地管理等自然解方，其涉及適用土地利用及管理措施的面積；例如，海草床復育專案可適用於低利用漁港、廢棄鹽田及魚塢等地，甚至包含原先有海草分布或已劣化的海草床。各種自然解方項目可執行的面積，需要統籌各主管機關資料，才能進一步評估國內自然為本的解方在碳交易市場的供給潛力。

亦可利用豐富的專業人才和科學研究機構提供技術支持和科學研究基礎，透過技術研究與創新，逐步理解藍碳儲存二氧化碳機制，提高藍碳保育和復育專案的效益和成效。同時，本文亦建議加強環境保護意識，積極推動海洋藍碳生態系統的復育；並強調強化相關減量方法學研究與應用之必要性，以實現對海洋生態環境之永續發展與保護，從而為臺灣的永續發展做出更大的貢獻。與此同時，亦建議研擬相關規劃時，宜確保藍碳減量專案符合國際標準和規範，俾利未來參與國際合作，共同應對全球氣候變化挑戰，達到海洋生態保護與因應氣候變遷問題之雙重目標。

參考文獻

- Board, O.S., National Academies of Sciences, Engineering & Medicine, A Research Strategy for Ocean-based Carbon Dioxide Removal and Sequestration (Washington: National Academies Press, 2021) .
- Davidson, N.C., and Finlayson, C. M. "Updating global coastal wetland areas presented in Davidson and Finlayson," 70 (Jan. 2019): 1195-1200.
- Duarte, C. M., Middelburg, J. J., and Caraco, N. "Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle," Biogeosciences 2 (Feb. 2005): 1-8.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G., 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands (Switzerland: IPCC, 2014).
- Lin, C. W., Kao, Y. C., Chou, M. C., Wu, H. H., Ho, C. W., and Lin, H. J. "Methane emissions from subtropical and tropical mangrove ecosystems in Taiwan," Forests 11 (Apr. 2020): 470.
- Macreadie, P.I., Anton, A., Raven, J.A., Beaumont, N., Connolly, R.M., Friess, D.A., Kelleway, J.J., Kennedy, H., Kuwae, T., and Lavery, P.S. "The future of Blue Carbon science," Nature communications 10 (Sep. 2019): 1-13.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R., and Lynch, J.C. "Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils," Global biogeochemical cycles 17 (Dec. 2003): 1111.
- Mikoko Pamoja, Plan Vivo Project Design Document (PDD), 2020.
- 陳光程、王靜、許方宏、楊袁筱月、范敏、黃山楓、王振楊、楊彪、聶曦、陳順洋、張晶、陳彬，《濱海藍碳碳匯項目開發現狀及推動我藍碳碳匯項目開發的建議》，應用海洋學學報 41（2021 年）：177-184。
- 林幸助，《我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃》，高雄市國家海洋研究院，2020 年 8 月。
- 林幸助，《臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫期末報告》，海洋委員會海洋保育署，2022 年 12 月。
- 林幸助，《海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法學期末報告》，海洋委員會，2023 年 11 月。
- 林幸助，《臺灣海洋碳匯潛力復育點調查與評估計畫期末報告》，海洋委員會海洋保育署，2024 年 4 月。
- 李玲玲，基於自然的解決方案（Nature-based Solutions, NbS）與淨零排放，名家觀點，2022 年 9 月。
- 邱祈榮、林俊成，《森林碳匯與抵換機制》，洪葉文化，2023 年。
- 聯合線上公司政策新知：<https://ubrand.udn.com/ubrand/story/123646/7729798>，2024 年 1 月。
- 中國綠色碳匯基金會，紅樹林變「金樹林」助推實現碳中和——廣東湛江紅樹林造林項目，2024 年 1 月。
- 永續發展目標：<https://globalgoals.tw/>。



台北捷運萬大—中和—樹林線（第2期工程） CQ891 標捷運疊式高架橋於轉彎段路口處墩 柱配置考量

Consideration of Pier Configuration at Turn Section Intersection for Taipei MRT Wanda-Zhonghe-Shulin Line (Phase 2 Project) CQ891 Viaduct Bridge

嚴和熙 Ho-Hsi Yen¹ 周易陵 Yi-Ling Chou² 陳則銘 Tser-Ming Chen³

摘要

台北捷運萬大—中和—樹林線（第2期工程）CQ891 標，目前正於施工進行中，本文將針對施工中服務面臨現場施工疑義之基礎及橋梁墩柱結構配置進行探討說明。第二節簡述說明台北捷運萬大—中和—樹林線第二期工程。第三節主要說明於施工中面臨現場狀況之橋墩議題及如何調整結構並與其他專業界面組協調解決問題，以鋼橋墩 P1401～P1403 及 RC 橋墩 P1616～P1622 設計案為例；最後於第四節結論與建議，歸納本文橋梁結構於施工中面臨之議題探討及後續設計精進建議。

關鍵字：萬大二期、橋梁結構、鋼橋墩、疊式高架橋、施工中服務

Abstract

The Taipei MRT Wanda-Zhonghe-Shulin Line Phase 2 Project CQ891 is currently under construction. This paper discusses and explains the foundation and bridge pier structural configuration considerations for addressing on-site construction ambiguities. Chapter 2 provides a brief overview of the Taipei MRT Wanda-Zhonghe-Shulin Line Phase 2 Project. Chapter 3 primarily discusses bridge pier issues encountered during construction and how structural adjustments were made, along with coordination with other professional interfaces to resolve problems, using design cases such as steel bridge piers P1401~P1403 and RC bridge piers P1616~P1622. Finally, Chapter 4 summarizes conclusions and recommendations, summarizing the discussion of issues faced by bridge structures during construction and providing suggestions for future design improvements.

Keywords: Wanda Phase 2, Bridge structure, Steel bridge pier, Viaduct bridge, On-site construction services

¹ 中興工程顧問公司軌道工程一部結構工程師 Structure Engineer, Railway Engineering Dept., Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

² 中興工程顧問公司軌道工程一部技術經理 Technical Manager, Railway Engineering Dept., Sinotech Engineering Consultants, Ltd.

³ 中興工程顧問公司軌道工程一部協理 Associate Vice President, Railway Engineering Dept., Sinotech Engineering Consultants, Ltd.



一、前言

台北捷運萬大—中和—樹林線（第2期工程）CQ891 標現階段正處於施工階段，營造廠於施工中面臨現場狀況，當橋梁結構無法依照土木工程契約結構設計圖說施作，橋梁結構將如何配合現場狀況調整原有結構並與其他相關專業組別做界面協調來解決問題，以確保結構設計強度無虞，過程詳如後續章節所述。

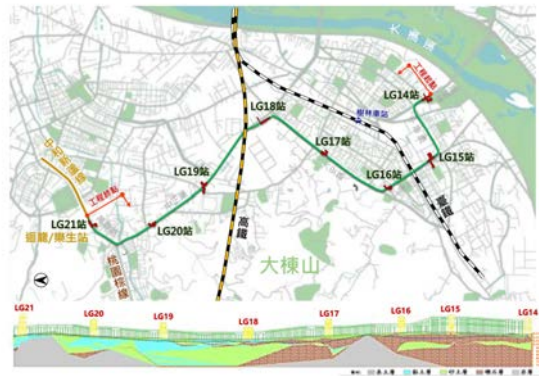


圖 1 萬大線（第二期工程）CQ890 區段標工程範圍

二、計畫簡介

現今臺北市中正區、萬華與新永和板橋土城及樹林區沿線廊帶都市發展密集，運輸需求量大，聯外橋梁如華中、浮洲等交通尖峰擁塞，現有捷運系統仍服務不及之處。考量區域性之運輸需求及因應地方民意之強烈期待，亟須儘早進行捷運系統設計以滿足萬華、中和土城樹林地區等各精華帶間之旅運需求，分散未來尖峰時段捷運新莊線、土城線、環狀線各路之間的轉乘旅次，並擴大臺北都會區大眾捷運系統服務範圍，期能發揮最大化整體運輸效益。

萬大線（第二期工程）CQ890 區段標工程範圍路線全長約 6.66 公里，全線皆為高架段。於 LG14 車站（含）銜接高架段路線轉至樹林區中華路並於八德街上設置 LG15；沿八德街直行於大安路口附近之八德街上設置 LG16；後轉大安路於樹人家商附近設置 LG17 由大安路轉樹林區中正路並於中正路南側路外基地設置 LG18；LG19 高架車站位於中正路與光武街路口之中正路上方；LG20 位於中正路與三俊街路口之中正路上方；續行中正路轉桃園市萬壽路一段至新莊區迴龍站旁之中正路上設置 LG21，LG21 站與捷運新莊線迴龍站、桃園捷運棕線交會轉乘；共設 8 座高架車站。

CQ891 標為 LG14 站（含）至 LG17 站（含）間高架段土木工程，CQ892 標為 LG17 站（不含）至 LG21 站（含）間高架段土木工程。

橋梁設計部分配合設計載重及營運需求，原則上標準制式橋主梁以 U 型梁為主，其他於跨越較大路口、曲線段、跨越既有鐵路處，所需跨度較大情形下採用鋼箱型梁結構。

本標工程橋梁由於沿線均位於交通要道上，為維護環境、維持交通須暢及利於工程順利推展，原則以制式 U 型梁長為 25 公尺及 27 公尺兩種，採小 U 梁型式，上下行軌分別承載於一小 U 型梁上，以全跨預鑄吊裝工法方式施工，期能縮短施工工期、降低施工期間對週遭環境之影響。

於溪城路、中華路及八德街路段，由於路幅寬度較小（中華路僅 20 公尺），因此採疊式高架橋型式以減少橋寬，降低對兩側鄰房的影響。八德街地下道段高架橋梁落柱需考慮維持現有車道數以免影響交通，同時亦須避免影響地下道西側既有壓力箱涵結構。

於大安路及中正路段，路幅寬度有 30 公尺，採制式 U 型梁配置為原則，跨越一般路口或人行天橋部分，可搭配擴頭帽梁橋墩跨越；大型路口處則採預力混凝土箱型梁或者鋼箱型梁配置，可避免影響路口交通之運轉。

於工程後段中正路轉至萬壽路一段後，萬大



線須與桃園棕線共線，高架橋須採雙層橋梁型式，共構橋梁上下部結構皆採鋼結構，可滿足雙線共構需求，降低對交通之衝擊。

三、橋墩議題

CQ891 標於施工階段期間，因面臨橋墩及基礎與既有管線、排水箱涵或永久路型中央分隔島有衝突，因此無法依照原契約結構設計圖說施作，造成上述衝突原因為設計階段之管線調查成果與實際管線位置或有不同，進而橋梁結構需配合現場狀況調整原有結構，以下將分別就管線調查、鋼橋墩及 RC 橋墩議題個別說明。

(一) 設計階段及施工階段之管線調查

1. 高架橋橋墩、基礎與既有管線、排水箱涵或分隔島衝突為捷運工程常見議題，本節主要說明細設階段調查及實際管線差異原因。
2. 於設計階段之管線調查僅能依據既有管線之竣工圖資判讀後，於現場人孔處以淺挖 2.5m 進行管線調查既有管線之位置，並依各個人孔位置假定人孔與人孔間之管線皆為直線，因此只能得知管線大致走向，無法確定管線真正之路徑及角度；全斷面試挖於設計階段同樣也是依據竣工圖資判讀，取某一管線較多路段淺挖 2.5m 調查，同樣只能得知該斷面管線之分布，並判斷管線大致之走向，無法確切得知管線全貌。
3. 施工階段時，營造廠除可全方面施作圍籬並逐墩進行試挖，得知於每支橋墩處下方管線的實際深度及數量，同時採慣性定位方式進行管線調查，慣性定位採陀螺儀及角動量守恆定律之理論依據，將設備儀器透過人孔放置於空管中定位後，自開始點延著管線移動至停止點，可即時記載既有管線之實際走向及路徑，精確度相較於設計階段之管線調查高，更接近於實際

管線路徑。

4. CQ891 標路線段空間本就較為狹窄，於設計階段考量之施工空間較侷限，因此當實際管線位置與設計階段管線調查成果有差異時，將影響橋墩及基礎配置位置。

(二) 鋼橋墩議題

1. 本節為說明鋼橋墩於施工中面臨議題，及橋梁結構如何配合調整，以 P1401 ~ P1403 鋼橋墩為案例說明：

(1) P1401 ~ P1403 橋墩位於新北市溪城路上，皆為鋼橋墩，上構單元為 B1401 ~ B1403 單元，B1401 ~ B1402 為疊式簡支鋼橋、B1403 為疊式三跨連續曲線鋼橋。

(2) 溪城路既有排水箱涵 - 沙崙大排位於路面下方，屬無法遷移管涵，且緊鄰設計基礎。

(3) 依據營造廠現場測量成果，基礎樁帽覆土不足 1m，將導致鋼橋墩基座板凸出地面，且將超過中央分隔島範圍。

(4) 橋墩位置及方向須配合現場狀況加以調整。

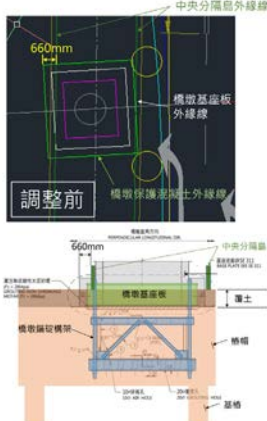
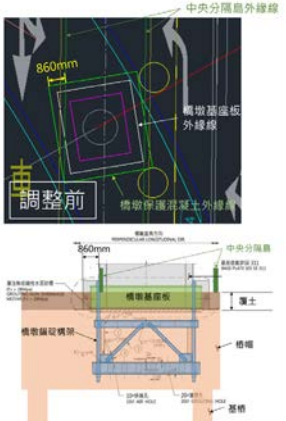
(5) P1401 ~ P1403 鋼橋墩於施工階段差異說明如下表 1：

表 1 鋼橋墩於施工階段衝突疑義

橋墩編號	議題
P1401	<p>覆土不足，橋墩混凝土基座及橋墩基座板將超過中央分隔島範圍及凸出地面。</p> <p>P1401- 超出分隔島約 440mm</p>



表 1 鋼橋墩於施工階段衝突疑義（續表）

橋墩編號	議題
P1402	<p>覆土不足，橋墩混凝土基座及橋墩基座板將超過中央分隔島範圍及凸出地面。</p>  <p>P1402- 超出分隔島約 660mm</p>
P1403	<p>覆土不足，橋墩混凝土基座及橋墩基座板將超過中央分隔島範圍及凸出地面。</p>  <p>P1403- 超出分隔島約 860mm</p>

2. 橋梁細設階段結構設計考量

- (1) 以往設計經驗，考量力量傳遞方向、鋼構銲接施工性，橋墩一般皆與定線正交。
- (2) 永久路型之路緣石不一定與定線平行，橋墩與定線正交之前提下，橋墩則不會與路緣石平行。
- (3) 橋墩結構外緣之保護混凝土不可超出中央分隔島路緣石。
- (4) 一般正常狀況，基礎帽梁頂之覆土深度會

盡量確保於 2 m 以上，以防鋼橋墩錨定構架與基座版會凸出地面。

3. 橋梁結構調整方案

- (1) P1401 ~ P1403 橋墩由於偏心約 6.5m ~ 7m，設計階段已採用高強度鋼材 A709 HPS70W ($F_y=4900\text{kgf/cm}^2$)，鋼橋墩結構應力比已達 0.98，結構尺寸已無法縮減。
- (2) 由於 P1401 ~ P1403 於沙崙大排上方，基礎頂覆土不足導致基座板會凸出地表面並超出中央分隔島。
- (3) 上述 2 種狀況，為同時確保結構安全性及不與中央分隔島衝突支條件下，提出橋墩調整方案，如下表 2。

表 2 橋墩配合現場施工疑義調整方案

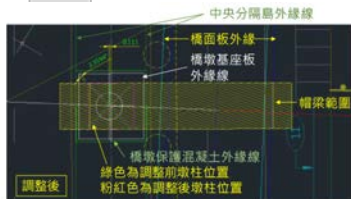
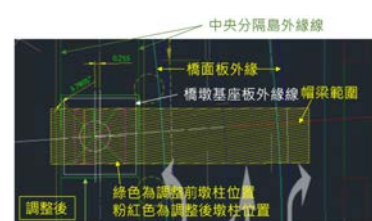
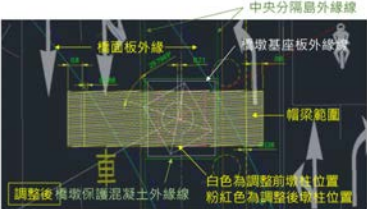
橋墩編號	調整方案
	<ol style="list-style-type: none">1. 橋墩保護混凝土座由 400mm 縮至 150mm。2. 調整橋墩位置，將橋墩平行並置中於 4m 中央分隔島內3. 橋墩與定線角度調整為 2.36°（原本為正交）。
P1401	
P1402	<ol style="list-style-type: none">1. 橋墩保護混凝土座由 400mm 縮至 150mm。2. 調整橋墩位置，將橋墩平行並置中於 4m 中央分隔島內。3. 橋墩與定線角度調整為 -3.78°（原本為正交）。 



表 2 橋墩配合現場施工疑義調整方案（續表）

橋墩編號	調整方案
P1403	<ol style="list-style-type: none">橋墩保護混凝土座由 400mm 縮至 150mm。調整橋墩位置，將橋墩平行並置中於 4m 中央分隔島內。橋墩與定線角度調整為 -29.79°（原本為正交）。疊式帽梁橋墩加寬 1.4m 以符合上行線橋面板結構淨空需求。 

調整方案分析模型 (P1401、P1402)

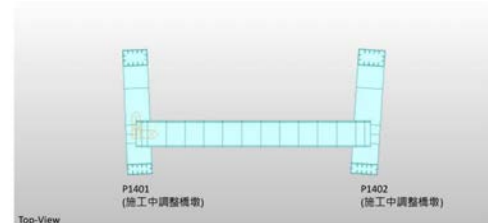
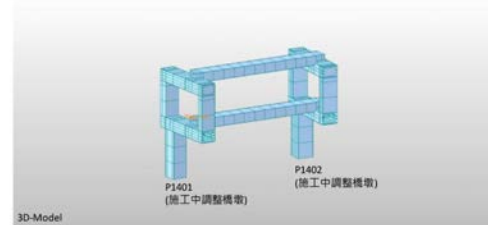

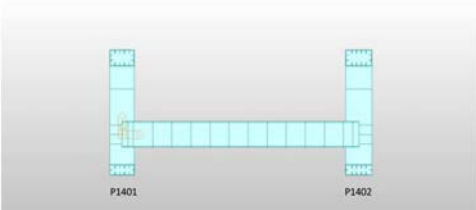


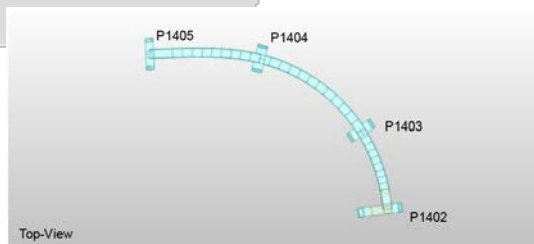
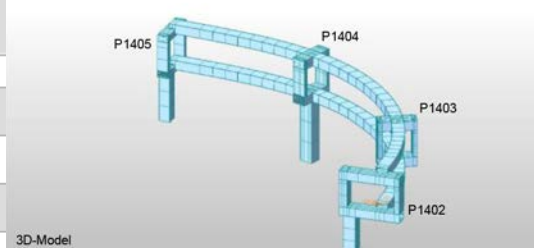
表 4 P1402、P1403 橋梁單元分析模型

- (4) 依照表 2 調整方案，與現場確認橋墩結構不會與既有管線及分隔島有衝突後，重新進行結構分析，檢核橋墩結構強度及耐震強度是否足夠，P1401～P1403 橋梁單元分析模型如表 3 及表 4。
- (5) 重新提供柱底力供地工組檢核基礎設計及尺寸是否有需要調整。

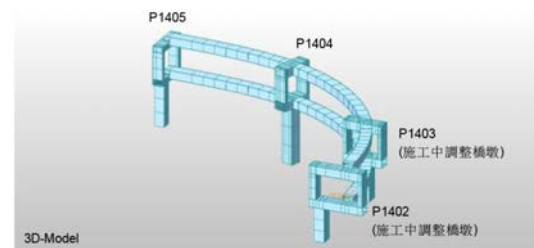
表 3 P1401、P1402 橋梁單元分析模型

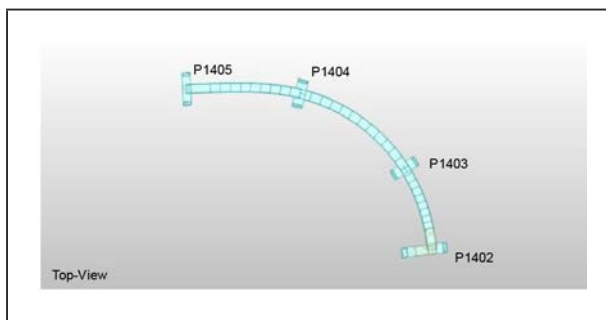
原設計模型 (P1401、P1402)



原設計模型 (P1402、P1403)



調整方案分析模型 (P1402、P1403)





(三) RC 橋墩議題

1. 本節為說明 RC 橋墩於施工中面臨議題，及橋梁結構如何配合調整，以 P1617 ~ P1622 RC 橋墩為案例說明：

- (1) B1615 橋梁單元位於新北市大安路上，原設計為 4@30+26+34 之連續預力混凝土箱型梁。
- (2) 大安路既有 161kv 特高壓管線於路面下方，覆土不足 2m，且屬無法遷移管線。
- (3) 依據營造廠現場測量成果調查 161Kv 及污水管，P1617 橋墩及基樁與既有 161Kv 管線略有衝突，如下圖 2 所示。
- (4) 橋墩位置及方向須配合現場狀況加以調整。



圖 2 營造廠 161Kv 特高壓慣性定位座標資料及污水管調查資料套繪橋墩

2. 橋梁結構調整方案

- (1) 由於 B1615 單元橋梁位於定線道岔段，不可有伸縮縫，因此原設計為六跨連續預力箱型梁。
- (2) 原設計橋梁總長度 180m 不變動的前提下，

調整結構配置為 22.5+3@32+27.5+34，以確保橋墩不會與 161kV 管線有衝突，如圖 3。

- (3) 由於原設計為預力橋梁，雖總長度不變，但各橋梁跨度改變，因此預力鋼鍵縱向位置需要重新布設，並重新檢核預力鋼鍵強度是否足夠；且因結構配置調整，需再重新檢核原有 RC 橋墩柱結構尺寸是否足夠，尤其 P1617 ~ P1620 四支橋墩，因其支撐之橋跨度由 30m 增加為 32m，需確認其強度及配筋量是否足夠；本案例經檢討設計階段之橋墩尺寸及配筋量皆足夠，無須變更。



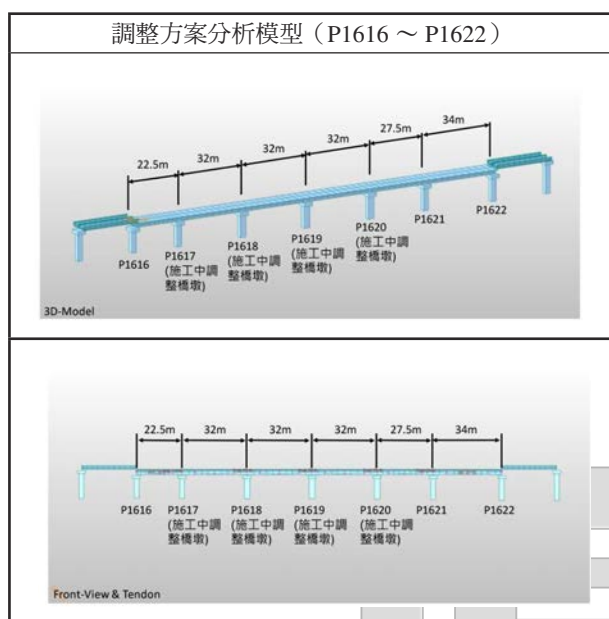
圖 3 配合現場狀況，調整橋墩及基樁位置，以確保不會與既有管線衝突

表 5 P1616 ~ P1622 橋梁單元分析模型

原設計模型 (P1616 ~ P1622)	
<p>3D-Model</p>	
<p>Front-View & Tendon</p>	



表 5 P1616 ~ P1622 橋梁單元分析模型 (續表)



有管線避免衝突或確保施工空間足夠避免施工階段造成管線破壞。

由於設計階段之管線調查囿於交通維持，無法全面開挖測量、全斷面試挖也僅能調查局部路段之剖面且淺挖僅 2.5m，人孔至人孔間之管線路徑走向僅能假定為直線，於諸多限制條件下，管線調查有其侷限性；施工階段因可全方面施作圍籬，進行較詳細之管線調查，故而實際管線與設計階段難免會有衝突產生。

於管線調查階段，盡可能縮小與實際路徑之差異，為減少此衝突及適時因應，建議除有效減緩結構與管線界面衝突議題之發生，本文亦提供相關經驗，俾利後續工程師遭遇相似議題時可快速排除。

四、結論與建議

參考文獻

高架橋梁結構於都會區常存在之界面，包括永久路型配置、既有管線、排水箱涵與基礎結構衝突。

目前台北捷運萬大 - 中和 - 樹林線 (第 2 期工程) CQ890 區段標施工中服務 (CQ891 標及 CQ892 標) 中，目前施工狀態主要面臨到之議題為「既有管線與橋墩或基礎、基樁衝突」、「鋼構橋墩基座板或錨定構架突出樁帽」、「鋼橋墩與定線正交突出永久路型中央分隔島」等類型議題。

各種衝突狀況在與廠商討論時，兩方皆期望以原設計最小幅度之變動為原則下來進行，若是恰巧遇到無法遷移之既有管線狀況，只能調整結構配置滿足現場狀況以利後續施工。

由於近年高架結構路線段幾乎位於較為狹窄之路段，因此於設計階段考量之施工空間本身就較為侷限緊縮不如以往寬裕；而橋墩及基礎之配置又須仰賴管線調查成果，以利於設計時避開既

- 萬大—中和—樹林線 (第二期工程) 委託技術服務 DQ126 設計標細部設計執行服務報告書
- 萬大—中和—樹林線 (第二期工程) 契約標號 CQ890 區段標 CQ891 施工標設計計算書
- 萬大—中和—樹林線 (第二期工程) 契約標號 CQ890 區段標 (第肆冊第一卷) CQ891 施工標土木工程契約圖說 (2/3)



孔內電井測訊號推估模式建立 ——以濁水溪沖積扇為例

蔡文瀚¹ 黃全謚² 陳耐錦³ 柯建仲⁴ 梁嘉宏⁵ 賴慈華⁶

一、前言

電井測（electric logging）為一種地球物理探勘方法，早期主要應用於石油及天然氣工程，為瞭解地層油氣蘊藏量及發掘適合儲油氣之地質構造，近年來，井測也普遍運用在地下水、工程地質、岩石力學等相關研究領域中。（謝秉志、林再興，2006）

水文地質領域中，在地質鑽探完成後，孔內調查（岩心判釋、井測或水力試驗）為獲取水文地質相關參數最主要的手段（李在平等人，2017），其中岩心在鑽探作業提取中可能會造成樣品的破碎，使判釋過程難以區別碎裂為自然形成或是機具提取過程中導致（張國欽等人，2019），而水力試驗通常需要花費較多時間進行，且試驗進行後仍需對試驗數據進行整理分析方能獲得相關參數，電井測具有直接且快速瞭解地層水文地質狀況之特性，此測量方法在裸孔狀態下較能透過探測器量測代表性數值，而普遍來說在平原區地層相較於山區岩層結構鬆散，雖然實務上在鑽探完成後立即將鑽桿拉起進行電井測，仍無法完全避免起管後井壁失去支撐而發生崩塌的風險，而洗井過程雖可將岩層碎屑清除，但仍容

易造成孔壁軟弱而坍孔，為能全盤瞭解地層之結構及水文地質特性，本研究將建立一套適用於濁水溪沖積扇平原區地層環境之電井測訊號推估模式，藉由鑽桿內量測資料與裸孔量測資料之關係式，來建構量測風險相對較低之鑽桿內電井測訊號資料推估裸孔狀態之地層電井測訊號技術，一方面在現場遭遇坍孔情況下仍能提供具有高度代表性之完整孔內水文地質調查資料供埋管評估參考，另一方面也能降低孔內水文地質調查期間坍孔所可能造成探測儀器損傷或埋沒之風險。

二、研究區域地質概述

（一）區域地質

本研究場址範圍主要分布在八卦臺地西側平原區，即一般泛稱的「彰化平原」，此平原區包含在台灣規模及地下水儲水量最大的沖積扇——「濁水溪沖積扇」北扇，其地理位置位處濁水溪以北與烏溪以南的平原區域，西臨臺灣海峽，東以八卦臺地山脊線為界，平原區面積及地表高程由北逐漸向南遞增，如圖 1 所示。

區域地質構造演育方面，雛形乃於 3Ma 年前中段雪山山脈隆起，荷重造成前路凹陷，而形成

¹ 中興工程顧問社深地質研究專案計畫前副研究員

² 中興工程顧問社深地質研究專案計畫正研究員

³ 中興工程顧問社深地質研究專案計畫組長

⁴ 中興工程顧問社深地質研究專案計畫副理

⁵ 經濟部地質調查及礦業管理中心資源地質組技正

⁶ 經濟部地質調查及礦業管理中心資源地質組科長



一系列斷層，斷層依形成先後次序為雙冬斷層、車籠埔斷及彰化斷層，在彰化斷層形成後使得前陸盆地轉變為豬背盆地，亦即現代的臺中盆地，其西側隆起處則為八卦山背斜與大肚山背斜，而盆地北側則以屯子腳斷層為邊界。因此，區域內主要為更新世至全新世的地層，如：卓蘭層（Cl）、錦水頁岩（Cs）、頭嵙山層香山砂岩（Tks）、頭嵙山層火炎山礫岩（Tkh），以及未固結的堆積層與沖積層，其中沖積層主要以礫、沙、淤泥及粘土組成，約有 0 ~ 200 公尺，屬於全新世非海相沖積層，地下水蘊藏豐富。為瞭解研究區域範圍內之礫石層分布範圍及增加地質剖面之精準度，本研究於區域範圍內鑽設及建置水文地質孔，依據鑽探成果顯示，本區域多以礫石、砂、泥及黏土質之地質材料為主，除利用鑽探岩心紀錄來建立地層柱的資訊外，並透過孔內電井測之調查方式來協助建構地層之真實環境資料，以利後續地質及地下水數值分析模型建置之參考。

（二）地質分層

本研究之電井測訊號推估技術所取用地質鑽探資料，係為 112 年度執行經濟部地質調查及礦業管理中心「地下水層水文地質特性調查及地下水資源評估（2/5）」之鑽探孔位，取其中有完整量測資料之孔位，做為推估分析之資料庫建立及驗證之用，計有芬園站、村東站、山湖站、萬來站及僑義站等 5 站，其鑽探之岩心柱狀圖如圖 2 所示，於芬園、村東及山湖站多以礫石層分布，偶有夾砂或泥質層；萬來站在表層及底層多為礫石層，在中段主要為砂或泥質層交錯分布；僑義站則主要為砂層分布，偶有夾礫石層或泥質層，整體而言，地質鑽探深度仍位於沖積層範圍內，越近八卦臺地礫石層分布較廣，而越遠離八卦臺地之岩性則主要為砂或泥質，此與麓山帶之河川

沖積造成淘選及堆積作用有關。

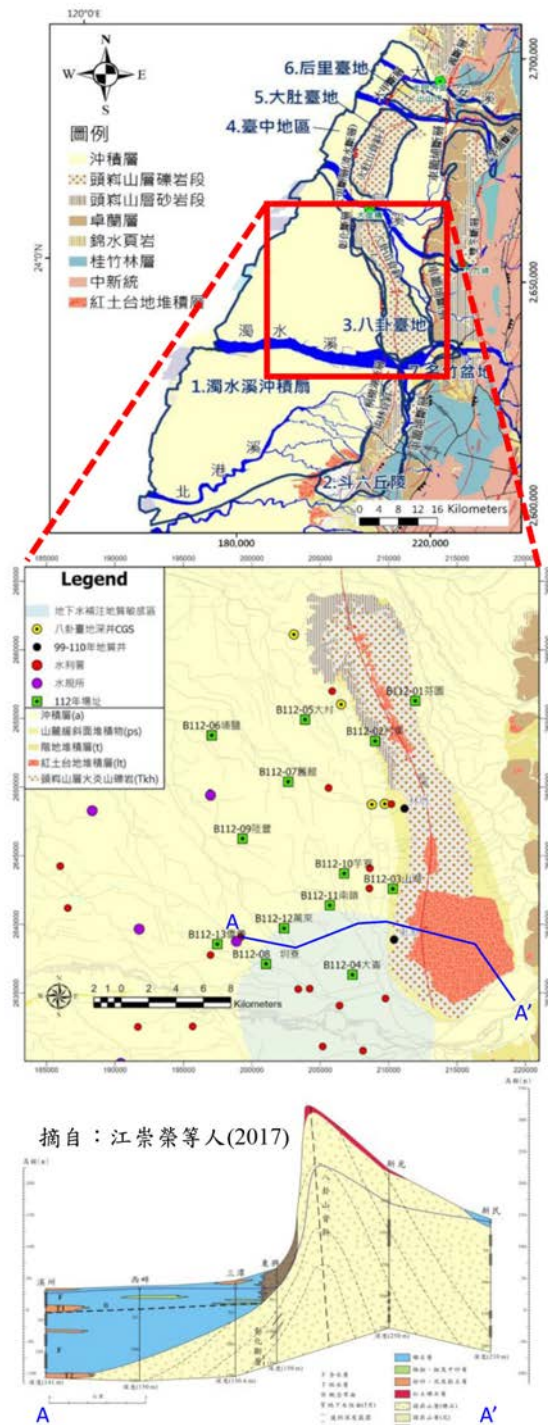


圖 1 彰化平原區八卦臺地區域地質圖、地質剖面圖與研究區鑽探點位分布圖

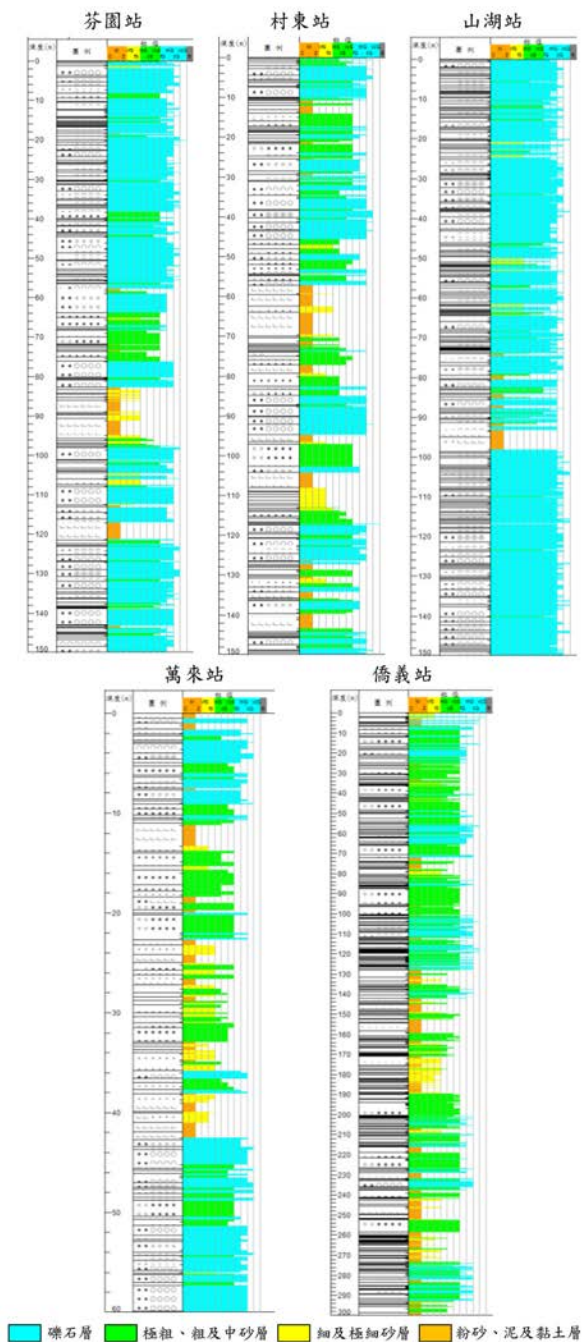


圖 2 研究區地質鑽探岩心柱狀圖

三、電井測訊號推估模式建立

本研究之電井測數據推估模式建置過程主要依序分為(1)迴歸分析資料庫建立(2)資料前

處理(3)迴歸分析等三個階段進行，如圖3所示，說明如下：

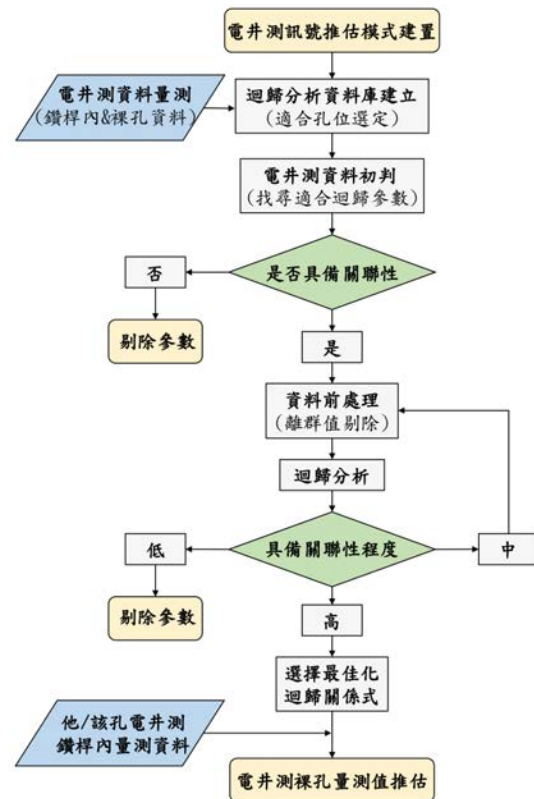


圖 3 電井測訊號推估模式建置流程圖

(一) 迴歸分析資料庫建立

本研究首先以井體穩定且可全段量測之鑽孔，進行鑽桿內及裸孔狀態之電井測（自然伽瑪、電阻、自然電位），建立受外部材質阻隔及非阻隔量測環境之迴歸分析用基礎數據資料庫，用以排除阻隔影響及判斷出不同地層材料合理之地球物理訊號特徵，進而可依據迴歸分析建立之經驗式推估不同鑽孔之電井測數值。

本研究經實際電井測調查過程，評估選用位於彰化縣之芬園站之量測結果來建置迴歸分析之資料庫，本站於鑽探過程中，全孔井壁狀況穩定，施作期間也未遭遇太多結構鬆散岩層，且井測前亦完成洗井作業，降低孔內泥漿濃度與排除其對



電井測訊號之影響，故其電井測訊號較具地層特徵之代表性，芬園站電井測鑽桿內及裸孔量測結果如圖 4 所示。

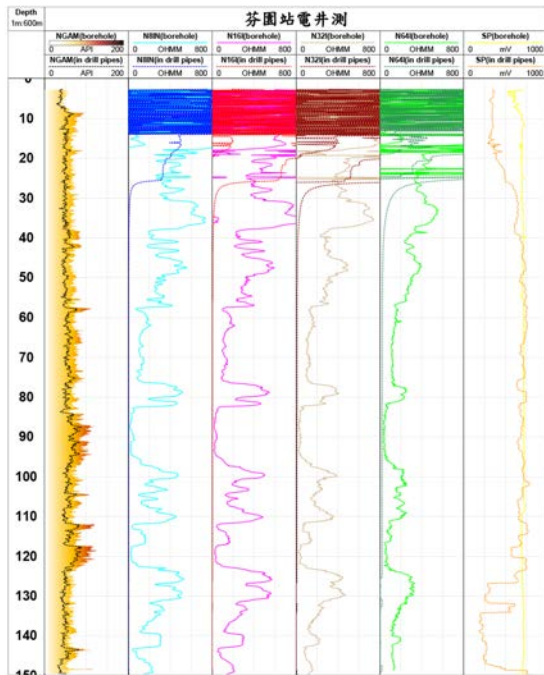


圖 4 芬園站鑽桿內及裸孔狀態之電井測量測結果

由圖 4 量測結果可得知，鑽桿內之量測結果除自然伽瑪值外，其餘正長距及正短距之電阻值及自然電位值與裸孔量測值呈現不同趨勢，且初步判斷並無相關性，而自然伽瑪值則具有穿透性，可直接量測地層岩石或土壤顆粒中吸附放射性元素的多寡，如顆粒較細之地層可吸附較多放射性元素，藉此可用來區分不同地層材料特性，而電阻和自然電位則易受鑽桿屏蔽，而無法直接獲取地層特徵之訊號，無法以鑽桿內量測資料代表地層特性，然電阻訊號除可瞭解地層顆粒結構組成外，並可搭配二維地球物理探測之量測檢核逆推成果之合理性，及透過正長距及正短距電阻間之分離度來瞭解地下水流交換區段。本研究基於地質統計之概念及建立合理性之推估模式，將優先

建置不同地層材料之自然伽瑪值經驗關係式且完成驗證比較後，未來將進一步發展不同測距之電阻率分布推估模式。

(二) 資料前處理

本研究於迴歸分析之前處理程序，係將參數比對資料繪製鑽桿內及裸孔狀態之數據分布圖，判斷是否有需剔除之離群值或極端值，圖 5 為芬園站井測參數比對資料處理前及處理後之情況，井測資料經過初判與刪除比對參數或離群值之後，再接續進行迴歸分析可以有效提升分析之效率，找出適合比對參數與最佳化迴歸關係式。

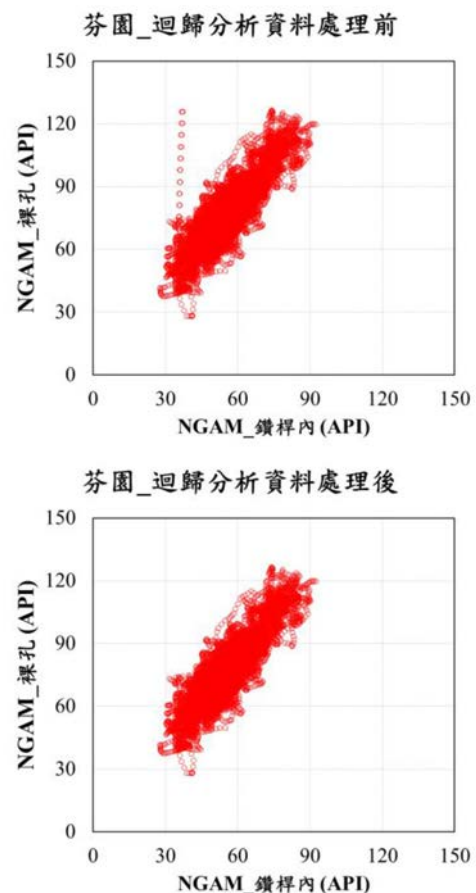


圖 5 芬園站井測參數比對資料處理前後差異

(三) 迴歸分析

綜合先前之論述與結果，本研究透過具有參



考性之鑽桿內自然伽瑪值，推估裸孔狀態量測之自然伽瑪值，因此鑽桿內自然伽瑪值（NGAM_d）可視為自變數（independent variable，通常以 X 代替），裸孔自然伽瑪值（NGAM_b）則可視為應變數（dependent variable，通常以 Y 代替），由於已知之自變數僅有一個，所以適用簡單迴歸分析（simple regression analysis）（余桂霖，2012；古永嘉、楊志清，2018），當已知之自變數有兩個或兩個以上時才適用多元迴歸分析（multiple regression analysis）（張貽火等人，2007；賀順義等人，2008）。

目前進行簡單迴歸分析在市面上有許多商業軟體（EXCEL、SPSS、Matlab）可供使用，本研究則採用普遍使用的 EXCEL 來進行迴歸分析，並測試不同擬合方法（線性方程、指數方程、對數方程、乘冪曲線模型、二次多項式）對決定係數（Coefficient of determination，簡寫為 R^2 ）的影響，以決定最佳化擬合關係式，進行後續裸孔量測值推估。決定係數（ R^2 ）又稱為判定係數，是一種普遍使用於迴歸模型中，對於自變數（X）解釋應變數（Y）程度之指標（Draper and Smith，1998），假設一組數據包含有 n 個觀察值 y_1, y_2, \dots, y_n ，其相對應迴歸模型推估值為 $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n$ ，則平均觀察值（ \bar{y} ）、總平方和（total sum of squares, SS_{tot} ）、迴歸平方和（regression sum of squares, SS_{reg} ）、殘差平方和（residual sum of squares, SS_{res} ）可分別定義為

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (式1)$$

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (式2)$$

$$SS_{reg} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (式3)$$

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (式4)$$

$$SS_{tot} = SS_{reg} + SS_{res} \quad (式5)$$

SS_{reg} 代表自變數可解釋應變數的部分， SS_{res} 則代表自變數不可解釋應變數的部分，因此自變數可以解釋應變數的比例可以由式 5 改寫為

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (式6)$$

式 6 即為決定係數之定義，由式 6 可知當觀察值等於推估值時，即 $y_i = \hat{y}_i$ ，則 $SS_{reg} = 0$ ， $R^2 = 1$ ，當觀察值為定值時，即 $\bar{y} = \hat{y}_i$ ，則 $SS_{reg} = SS_{tot}$ ， $R^2 = 0$ ，由此可知 R^2 為介於 0 到 1 之間的數值，而當 R^2 越接近 1 則表示在此迴歸模型中，自變數對應變數的可解釋程度越高，表示迴歸模型的推估值越準確，反之亦然。

表 1 為芬園站井測資料迴歸分析結果，結果顯示 NGAM_d-NGAM_b 在線性方程及二次多項式擬合方法均有較佳之結果， R^2 分別為 0.7466 及 0.7485，由於兩者 R^2 相近，本研究以通用性較廣泛之線性方程為擬合方法，其迴歸關係式如式 7 所示。

$$NGAM_b = 1.224 (NGAM_d) + 8.4631 \quad (式7)$$

表 1 芬園站電井測資料迴歸分析結果

擬合方法	NGAM _d
	NGAM _b
	R^2
線性方程	0.7466
指數方程	0.7093
對數方程	0.7236
乘冪曲線	0.7095
二次多項式	0.7485

註：下標 d 為鑽桿內量測值，下標 b 為裸孔量測值， R^2 為決定係數。

若將他孔井測所量測之鑽桿內自然伽瑪值代



入上述式 7 之迴歸關係式，即可獲得其裸孔量測推估值。

四、推估模式應用成果

(一) 推估模式驗證

本研究利用芬園站迴歸分析所得到之最佳化擬合關係式，分別對彰化縣之村東站、山湖站與萬來站進行電井測裸孔量測值之推估，取裸孔及鑽桿內重複且連續量測區段進行模式驗證，村東站取深度 3 ~ 140 公尺，山湖站取深度 2 ~ 122 公尺，萬來站取深度 23 ~ 57 公尺，分析結果如圖 6 至圖 8 所示，透過上述三站連續之裸孔現場量測值資料，以推估值 (\hat{y}_i)、現場量測值 (y_i)

與現場量測值之平均值 (\bar{y}_i) 進行比對，並採用平均相對誤差 (average relative error, ARE) 及 Nash-Sutcliffe 效率係數 (Nash-Sutcliffe efficiency, NSE)，分別驗證與評估推估技術準確度及模式可信度，驗證結果如表 2 所示，而平均相對誤差定義如式 (13)，Nash-Sutcliffe 效率係數定義如式 (14) 所示 (Nash and Sutcliffe, 1970)。

$$ARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \right) \times 100 \quad (\text{式 13})$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (\text{式 14})$$

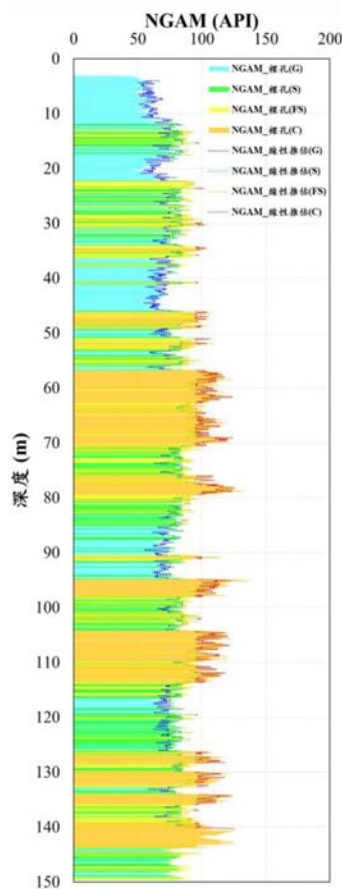


圖 6 村東站之自然伽瑪裸孔量測值推估結果

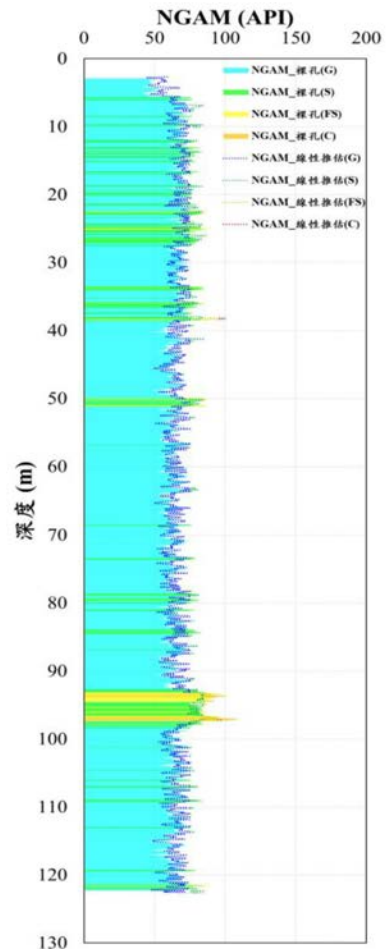


圖 7 山湖站之自然伽瑪裸孔量測值推估結果



表 2 自然伽瑪值推估模式驗證結果

孔位	NGAM _{bc}	
	ARE	NSE
	(%)	
村東	7.99	0.7870
山湖	8.92	0.3142
萬來	7.76	0.5138

註：下標 bc 為裸孔推估值，ARE 為平均相對誤差，NSE 為 Nash-Sutcliffe 效率係數。

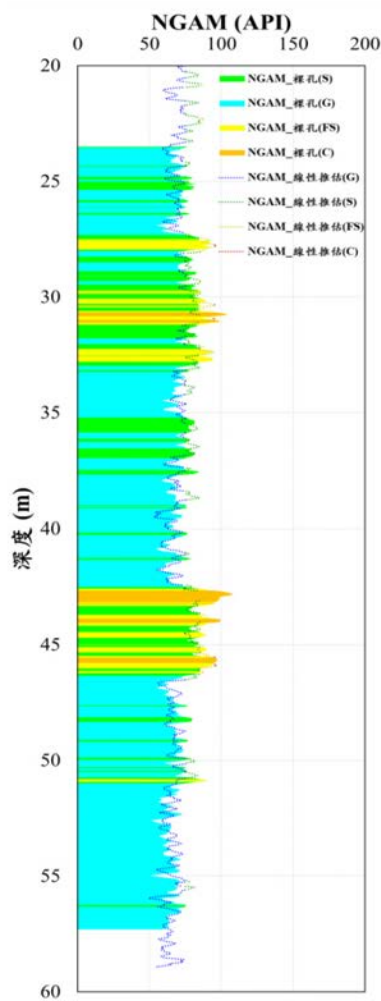


圖 8 萬來站之自然伽瑪裸孔量測值推估結果

結果顯示，村東站之自然伽瑪值 ARE 低於 8%，且 Nash-Sutcliffe 效率係數結果顯示，推估模式於村東站有較佳之可信度，NSE 高於 0.75，不同地層材料之自然伽瑪推估值合理性高，顯示

推估模式具有相當程度之代表性，而山湖站與萬來站之自然伽瑪值 ARE 雖介於 7~9% 之間，但 Nash-Sutcliffe 效率係數結果顯示，推估模式於山湖站與萬來站呈現較差之可信度，NSE 均低於 0.6，研判原因為山湖站與萬來站於鑽探施作期間曾進行大範圍灌漿固結孔壁，進而影響地層自然伽瑪訊號。圖 6 至圖 8 之岩性分類粒徑由大而小，依序分為礫石層 (G)，極粗、粗及中砂層 (S)，細及極細砂層 (FS)，粉砂、泥及黏土層 (C) 等四大類。

(二) 推估模式應用案例

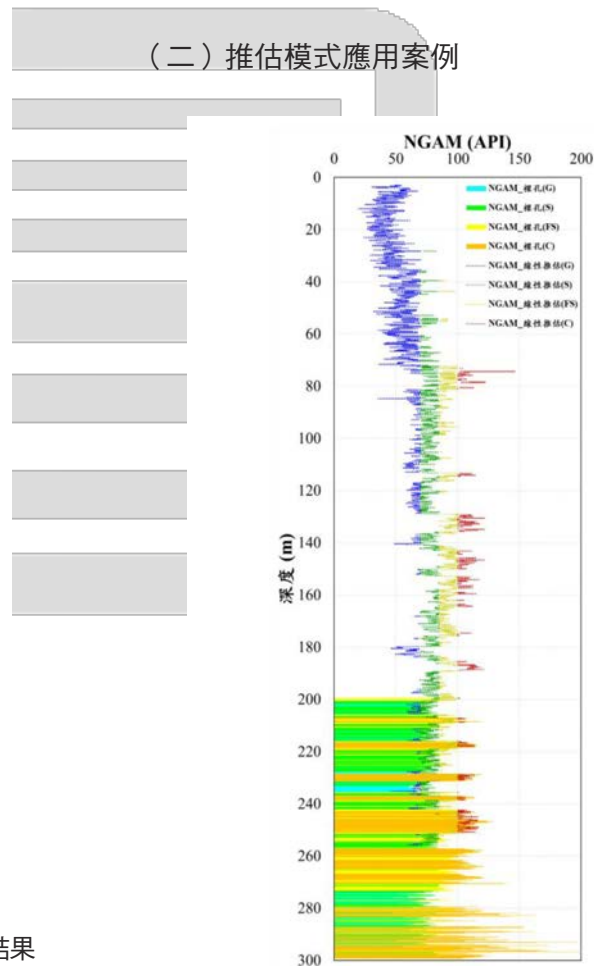


圖 9 僑義站之自然伽瑪裸孔量測值推估結果

因利用迴歸分析資料庫所得到之最佳化擬合關係式可能因井體狀況之差異，而無法適用於進行電井測量測值之推估，故為有效改善推估適用



廣度及增加分析準確度，本研究將以同一孔部分區段鑽桿內及裸孔量測資料建立其迴歸分析資料庫，接著推估該孔位非鑽桿內之裸孔區段量測值，以驗證本模式之應用性。

本研究以位於彰化縣溪湖鄉之僑義站為應用分析案例，本孔鑽探深度為 300 公尺，其電井測鑽桿內量測深度為 0 ~ 256 公尺，而裸孔量測深度為 200 ~ 300 公尺，利用兩者深度 200 ~ 256 公尺之重複量測區段做為迴歸分析資料庫，透過前述之推估技術，首先透過僑義站裸孔及鑽桿內重複且連續量測段（深度 200 ~ 256 公尺）進行模式驗證，接著進行裸孔未量測段（深度 0 ~ 200 公尺）推估，其迴歸分析與推估結果如表 3 與圖 9 所示。結果顯示， $NGAM_d$ - $NGAM_b$ 在線性方程及二次多項式擬合方法均有不錯且近似之結果， R^2 分別為 0.7427 及 0.7480，採線性方程為最佳化關係式。

表 3 僑義站自然伽瑪之迴歸分析與推估結果

擬合方法	$NGAM_d$	
	$NGAM_b$	
	R^2	
線性方程	0.7427	
指數方程	0.7339	
對數方程	0.7200	
乘冪曲線	0.7188	
二次多項式	0.7480	
孔位	$NGAM_{be}$	
	ARE	NSE
	(%)	
僑義	7.84	0.7427

註：下標 d 為鑽桿內量測值，下標 b 為裸孔量測值，下標 be 為裸孔推估值， R^2 為決定係數，ARE 為平均相對誤差，NSE 為 Nash-Sutcliffe 效率係數。

由表 2 及表 3 比較僑義站與其他站推估值之

誤差可發現，自然伽瑪值推估已有較高準確度，ARE 低於 8% 以下，而由圖 9 自然伽瑪推估值與裸孔量測值結果圖可看出，在資料重複段（深度 200 ~ 256 公尺），推估情況吻合度高且符合數值變化趨勢，且 NSE 約為 0.75，表示推估模式於不同地層材料之自然伽瑪推估值合理性高，由此可知，在未量測段（深度 0 ~ 200 公尺）之推估具有相當程度代表性，可依此作為鑽探完成後井體設計之評估參考。

五、結論與建議

本研究初步建立以自然伽瑪值為主之電井測訊號推估模式及分析流程，具體之研究成果可歸納如後。

（一）多孔電井測訊號推估技術

利用不同孔位自然伽瑪量測訊號資料作為迴歸分析資料庫，進行他孔裸孔量測值推估，當地質條件相似且井況相近時能獲得較好推估結果，而當孔位井況之差異及外部因素較多時（如：鑽探施工期間灌漿處理範圍、泥漿調和濃度、師傅施作工法等），其推估結果須進一步校驗及修正。

（二）單孔電井測訊號推估技術

利用單一孔位部分區段井測已量測資料作為迴歸分析資料庫，進行該孔位未量測段裸孔量測值推估，可改善多孔井下推估模式之缺點，有效排除井況因素，使推估結果較符合現場實際情況。

綜合上述成果，如遇孔位之間地層分布情況相似、井況穩定，則適用多孔電井測訊號推估模式，不需再對迴歸分析資料庫進行資料前處理工作，可快速且便利地獲得推估結果；如遇孔位之間地質條件具有異質性或異向性、井況差異大，則適用單孔井下測量推估技術，雖然每次需對迴



歸分析資料庫進行更新及資料前處理工作，較為費時，但可有效提升推估準確度。

另自然伽瑪值與不同測距電阻值可能存在反比關係，自然伽瑪值高的區段，該區段電阻值有較低情形，而自然伽瑪值低的區段，該區段電阻值則有較高情形，未來也將持續針對電井測不同特性井測資料（自然伽瑪、電阻、自然電位），發展本研究進階版推估模式，以探討與分析其相關性及增加推估模式之適用性。

第 129-131 頁。

賀順義、師永民、謝楠、張志翔、李翠萍（2008）。根據常規測井資料求取岩石力學參數的方法，新疆石油地質，第 29 卷，第 5 期，第 662-664 頁。

謝 誌

感謝經濟部地質調查及礦業管理中心 B11245 提供研究經費，並感謝參與本研究所有長官及同仁的協助與努力，特此誌謝。

參考文獻

- Draper, N. R. and Smith, H. (1998). Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, Inc.
- Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. 10 (3): 282–290.
- 謝秉志、林再興（2006）。井測法——地層岩性及石油蘊藏探勘，科學發展，第 407 期，第 44-51 頁。
- 李在平、張淑君、陳柏瑞、柯建仲（2017）。先進水文地質調查技術應用 - 場址地質描述模型建置，工程，第 90 卷，第 2 期，第 22-36 頁。
- 張國欽、葉信富、林榮潤、陳耐錦、柯建仲、陳榮俊（2019）。結合鑽探與地球物理方法調查八寶寮崩塌地之水文地質特性，中華水土保持學報，第 50 卷，第 2 期，第 73-88 頁。
- 江崇榮、陸挽中、林燕初、張閔翔、陳瑞娥（2017）。八卦山 - 內林背斜之水文地質特性，經濟部中央地質調查所特刊第二十九號，第 1-17 頁。
- 余桂霖（2012）。多元迴歸分析，五南圖書出版股份有限公司。
- 古永嘉、楊志清（2018）。統計學大數據分析 - EXCEL 實務應用與操作，新陸書局股份有限公司。
- 張貽火、景鋒、丁仕奇、彭書生（2007）。三維初始地應力場反演與工程應用，人民長江，第 38 卷，第 1 期，



財團法人中興工程顧問社經累積多年之研發成果，已出版下列各項工程類別之銷售叢書，其內容精闢專業，深具參考價值。若有需要，歡迎申購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

網址：http://www.sinotech.org.tw

類別	序號	書 名	編 號
水利工程類	1	台灣南部區域枯旱特性	R-HY-01-01
	2	河川水理輸砂模式 SEC-HY11	R-HY-01-02
	3	台灣地區地面水及地下水調查與運用	R-HY-01-03
	4	混凝土壩非線性分析商業化程式發展（一）	R-HY-01-04
	5	攔河堰二維水理分析軟體 SEC-HY20	R-HY-01-05
	6	敲擊彈性波技術應用在巨積混凝土結構物裂縫之檢測	R-HY-01-06
	7	近岸地形變化之數值模式	R-HY-01-07
	8	敲擊回音儀器改善開發及在混凝土波速與裂縫檢測上之應用	R-HY-02-02
	9	巨積混凝土非破壞品質檢測技術之研發	R-HY-02-03
	10	橋基側向侵蝕防治技術與設計指引（彩色版）	R-HY-02-04
	11	水平二維動床模式之應用	R-HY-02-05
	12	多座水庫系統聯合運轉模式（四）多目標水庫串聯系統與攔河堰聯合運轉	R-HY-02-06
	13	混凝土壩應力分析之工程應用模式建立（一）	R-HY-03-01
	14	即時逕流與河川演算人機介面模式	R-HY-03-02
	15	敲擊回音儀器改善開發及其在巨積混凝土裂縫與隧道襯砌厚度檢測上之應用	R-HY-03-04
	16	區域水資源系統即時操作模式之建立	R-HY-04-02
	17	混凝土壩非線性分析商業化程式發展（二）	R-HY-04-03
	18	混凝土壩非線性分析商業化程式發展（三）	R-HY-04-04
	19	河川水理、輸砂及污染質傳輸模式 SEC-HY11	R-HY-05-01
	20	混凝土非破壞檢測儀（Sino-NDT-IE）之改良	R-HY-05-04
	21	含自由液面之三維不可壓縮黏性流動數值模式發展與應用	R-HY-05-05
	22	類神經網路於河川洪水預報系統	R-HY-07-02
	23	蝶閥啟閉過程中閘體受力之數值模擬	R-HY-07-03
	24	橋梁水理資訊系統	R-HY-09-01
	25	蓄水庫風險管理（二）風險辨識與風險控制及壩安全導則研訂	R-HY-09-02
	26	水平二維動床模式之研發及應用（二）岸壁冲刷	R-HY-10-01
	27	都市水岸縫合與環境改善研究——以美崙溪為例	R-HY-13-01
	28	宜蘭東澳地區海洋深層水多目標園區可行性研究	R-HY-14-01
	29	集集南岸三小水力發電計畫可行性研究	R-HY-16-01
大地工程類	1	堆石壩靜態與動態行為研究（二）軟岩材料含量對工程性質之影響	R-GT-01-01
	2	大地工程流形數值分析方法之發展（一）流形方法之引進與大地工程上之應用	R-GT-01-02
	3	隧道設計整合系統之發展（一）隧道支撐設計	R-GT-01-03
	4	隧道水文地質調查準則（含解說）	R-GT-01-04
	5	基樁完整性檢測技術發展與應用	R-GT-02-01
	6	多功能壓密沉陷數值程式之開發、模擬與驗證〔二〕施工模擬與尺寸效應	R-GT-02-02
	7	軟弱土層特性與深開挖行為〔三〕深開挖施工訊息化系統	R-GT-02-03
	8	岩盤隧道施工資料自動化處理系統	R-GT-02-04
	9	鬆軟地盤改良作業之評估、設計與檢驗方法	R-GT-03-01
	10	Seismic Resistance Design of Earth Structures and Deep Foundation-(1) Dynamic Effective	R-GT-03-02
	11	隧道施工專家系統	R-GT-04-01
	12	節理岩體力學特性研究（二）實際工程岩體力學參數之評估與應用	R-GT-04-02
	13	大地工程流形數值分析方法之發展（二）節理岩體斷裂破壞程式發展	R-GT-04-03
	14	地震時潛盾隧道與既有建築物之互制分析	R-GT-04-04
	15	樁基礎分析及設計程式發展	R-GT-05-01
	16	粉土細砂現地觸探結果設計參數之 CPT 標度	R-GT-05-02
	17	隧道交叉段力學行為與支稱對策	R-GT-05-03
	18	地理資訊系統於大地工程之應用（一）地質資料輸入、地質模型建立與地工分析模式發展	R-GT-05-04
	19	新興感測科技於環片計測之應用（一）	R-GT-06-01



大地工程類	20	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發（一）	R-GT-06-02
	21	預力混凝土既有應力非破壞檢測技術開發	R-GT-07-01
	22	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法	R-GT-07-02
	23	台灣地區地震危害度分析程式發展與強地動減模式建立	R-GT-09-01
	24	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發（二）台灣地區隱沒帶強震資料建立	R-GT-09-03
	25	暨有混凝土橋梁內部損傷監測資料無線傳輸技術開發及應用測試（二）無線音射資料感測模組研製	R-GT-10-01
	26	落石問題分析技術	R-GT-10-02
	27	隧道施工專家系統整合應用與改進	R-GT-10-03
	28	集水區土砂災害分析	R-GT-10-05
	29	遙測技術於土木水利工程上之應用（一）——台灣中部地區土石災害潛勢研究	R-GT-10-06
	30	景美礫石層降水工法於大台北都會區深開挖工程之應用	R-GT-10-07
	31	隧道前方地質弱帶探查技術	R-GT-12-01
	32	高岩覆對隧道設計與施工影響研究——完整岩盤隧道影響探討	R-GT-12-02
	33	隧道開炸振動環境影響評估與技術準則之研訂	R-GT-12-06
	34	堆填壩施工手冊（增修版）	E-GT-12-01
	35	台灣山區地下水資源調查與評估技術之建立	R-GT-13-01
	36	隧道施工資料管理系統（二）——應用與改進	R-GT-13-02
	37	地下水補注敏感區判釋與評估技術之建立	R-GT-15-02
	38	流體注儲行為之力學機制研究與工程應用	R-GT-16-01
	39	高岩覆對隧道設計與施工影響研究（二）脆性破壞特性評估與因應對策	R-GT-17-01
環境工程類	1	加速型溶劑萃取法萃取底泥樣品中有機錫	R-EV-01-01
	2	土壤樣品中 Cu、Cd、Hg 和 Pb 的直接分析——利用 USS-ETV-ICP-MS 法	R-EV-01-02
	3	粉狀活性碳在降低消毒副產物生成之應用	R-EV-01-03
	4	界面活性劑液相層析質譜分析方法	R-EV-01-04
	5	自來水水質生物穩定性評估方法	R-EV-01-05
	6	應用固相萃取法偵測水中微量亞拉生長素	R-EV-01-06
	7	消毒系統在工業區廢水處理之應用	R-EV-01-07
	8	國內污水下水道管材使用現況與發展趨勢	R-EV-02-01
	9	去除染整廢水中色度及殘餘 COD 高級處理技術	R-EV-02-02
	10	石化業製程廢水及污泥處理技術	R-EV-02-03
	11	以 Fenton 法處理柴油污染之土壤	R-EV-02-04
	12	工業區污水處理廠提昇生物處理技術	R-EV-02-05
	13	下水道污泥之矽直接分析	R-EV-02-06
	14	粉狀活性碳對自來水中土臭味物質之控制應用	R-EV-03-01
	15	自來水處理之薄膜積垢物去除技術	R-EV-03-02
	16	空氣污染排放總量及背景空氣品質預測	R-EV-03-03
	17	利用陰離子界面活性劑移除土壤中重金屬	R-EV-03-04
	18	利用不要的米（Unwanted Rice）製造活性碳之技術研發	R-EV-03-05
	19	周界空氣中揮發性有機物分析 TO-14A 樣品製備及質譜鑑定分析	R-EV-03-06
	20	水中鹵化乙酸（HAA）之鑑定	R-EV-03-07
	21	幾丁聚醣擔體固定化細胞技術處理水中 VOCs	R-EV-04-01
	22	不明廢棄物棄置（掩埋）調查採樣計畫及污染判定標準程序訂定	R-EV-04-02
	23	以 HPLC/Fluo 分析環境空氣中真菌含量	R-EV-04-03
	24	空氣污染控制策略及成本效益分析	R-EV-04-04
	25	彰濱金屬區電鍍廢水高級處理與資源化技術	R-EV-04-05
	26	地下水 MTBE/BTEX 油品污染之物理處理技術	R-EV-04-06
	27	固定化微生物擔體於反應式阻牆技術之應用	R-EV-04-07
	28	以化學氧氣法處理受有機物污染之土壤	R-EV-04-08
	29	自來水供水系統微量臭味物質鑑定技術	R-EV-05-01
	30	塑膠管長期管剛性評估機制（一）	R-EV-05-02
	31	污染場址水文地質調查技術之發展	R-EV-05-03
	32	高錳酸鉀氧化技術於地下水污染整治之應用	R-EV-06-01
	33	薄膜海水淡化廠出水水質穩定化控制技術	R-EV-06-02



環境工程類	34	含高濃度 BTEX 尾氣之處理技術評估	E-EV-06-01
	35	生物反應式透水阻牆整治工法應用研究——材質開發與模場驗證	R-EV-06-03
	36	工業區污水處理廠放流水再生利用	R-EV-07-01
	37	三合系統於場址評估之應用與方法建立	R-EV-07-02
	38	塑膠管長期管剛性評估機制（二）	R-EV-07-04
	39	Bio-MF 應用於都市污水處理之探討研究	R-EV-07-05
	40	交通噪音振動改善措施研究	R-EV-08-02
	41	生物性緩釋材之開發與應用	R-EV-08-03
	42	MBR 薄膜系統原型機開發與應用	R-EV-08-04
	43	廢水處理廠生物即時監測系統	R-EV-09-01
	44	現地氧化試劑配方之快速評估程序開發	R-EV-09-03
	45	以截流式微過濾膜回收淨水場快濾池反沖洗水並產生污泥餅之研究	R-EV-10-01
	46	不同化學氧化法搭配生物復育技術降解土壤中 BTEX 污染物	R-EV-10-02
	47	生質物之造粒、裂解與氣化	R-EV-11-01
	48	中空絲超過濾膜膠體性阻塞趨勢與系統效能之評估	R-EV-11-02
	49	以末端過濾操作微過濾薄膜分離富含油脂之藻類	R-EV-12-02
	50	以液相層析串聯質譜儀建立水中全氟化物及抗生素之分析方法	R-EV-12-06
	51	溫室氣體總量管制政策工具應用於能源技術服務之法規機制可行性評估	R-EV-12-08
	52	以雙槽式薄膜反應器（Dual MBR）進行小球藻培養及濃縮之研究	R-EV-13-02
	53	碳抵換合作模式分析研究	R-EV-13-03
	54	人工濕地作為低碳污水處理單元之生命週期研究——以高雄洲仔濕地為個案探討	R-EV-15-01
	55	添加生物炭對土壤污染之影響研究——針對重金屬污染土壤與酸洗後土壤改良之評估	R-EV-16-01
	56	廢污水生物急毒性檢測與應用評析	R-EV-20-01
	57	環境水體關切藥物及六溴環十二烷分析方法開發	R-EV-23-01
結構與耐震工程類	1	高壓阻尼器之研發	R-ST-01-01
	2	封閉式液流阻尼器結構減震之模型試驗	R-ST-01-02
	3	加長型單肋板補強梁柱接頭耐震行為與設計	R-ST-01-03
	4	鋼筋混凝土耐震結構性能設計法（二）直接位移法及其結構實驗	R-ST-01-04
	5	鐵路橋梁耐震設計可靠度分析（三）RC 連續橋梁地震反應分析	R-ST-01-05
	6	雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（一）——軸力與彎矩	R-ST-02-01
	7	斜張橋空氣動力穩定性之風洞實驗與數值分析	R-ST-02-02
	8	遲滯型消能器減震技術改良與應用加勁阻尼系統之結構耐震性能設計方法	R-ST-02-03
	9	預鑄混凝土橋墩之耐震行為（三）綜合應力行為	R-ST-02-04
	10	鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（一）鋼骨箱型柱肋板補強梁柱接頭耐震行為	R-ST-02-05
	11	地震工程性能設計法之應用（一）單自由度橋柱及建築物之耐震性能評析與設計	R-ST-02-06
	12	鋼筋混凝土耐震結構性能設計（三）消能隔減震系統之位移設計法	R-ST-03-01
	13	液流阻尼器全尺寸結構防振功能之振動台測試	R-ST-03-02
	14	雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（三）中空雙鋼管混凝土柱與基礎接合耐震行為	R-ST-03-03
	15	斜張橋空氣動力穩定性之風動實驗與數值分析（二）	R-ST-03-04
	16	高韌性鋼橋柱耐震行為（一）——先期試驗	R-ST-03-06
	17	流場引致結構物振動之分析技術現況評析	R-ST-03-07
	18	垂提式閘門振動分析及評估指南	R-ST-04-03
	19	鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（二）箱型柱與鋼梁偏心接合耐震行為	R-ST-04-04
	20	載荷 100 噸級液流阻尼器特性試驗及技術推廣之預備工作	R-ST-05-03
	21	加消能裝置鋼構架位移設計法之試驗	R-ST-05-04
類	22	建築結構之多振態性能評析與設計方法應用（一）考慮多振態之位移導向耐震評估與設計	R-ST-06-01
	23	特殊形狀建築物承受風壓分析——Phoenix 軟體應用手冊	E-ST-10-01
	24	雙間隙液流阻尼器	R-ST-10-01
	25	工程保險巨災風險評估模型開發	R-ST-10-02
	26	不規則建築物耐震性能導向設計與評析	R-ST-12-01
	27	建築物環控分析 Flair 軟體應用指引	E-ST-12-01
	28	橋梁監測及緊急調查回報系統	R-ST-14-02



資訊應用類	1	台灣地區水庫資訊系統 (二)	R-CS-01-01
	2	電腦繪圖支援系統 (一)——Visual Fortran 繪圖程式庫	R-CS-01-02
	3	地理資訊系統的發展及在營建工程上的應用與研發	R-CS-01-03
	4	向量式地理資料在 Internet-Intranet 之應用	R-CS-01-04
	5	台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統 (一)	R-CS-02-01
	6	PDA 圖型編繪核心及無線通訊、GPS 整合	R-CS-03-01
	7	Development of Neural Networks for Seismic Safety Evaluation of Prestressed Concrete Bridges	R-CS-03-02
	8	PDA 與無線通訊、GPS 整合之應用——現場調查	R-CS-04-01
	9	知識管理系統 (一) 電子圖書館	R-CS-04-02
	10	PDA 圖形編繪核心與 Web GIS 整合	R-CS-06-01
	11	台灣地區大眾捷運安全管理系統 (I)：緊急應變及視訊監控子系統	R-CS-08-01
	12	台灣地區水庫資訊系統：水庫安全評估子系統 (二)	R-CS-08-02
	13	射頻識別應用在設施與設備安全管理之研究	R-CS-12-01
	14	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (二)——設施巡檢、監測預警與基於風險之決策支援子系統	R-CS-12-03
工程管理类	1	工程契約模式 (一) EPC 統包與簡易型工程契約 EPC 統包與簡易型工程契約中興樣本	R-CM-02-02
	2	公共工程施工管理與作業要點第一篇工務管理與作業標準 (全兩冊)	E-CM-03-03
	3	契約管理常見問題及其解決預防之道	E-CM-03-05
	4	契約管理作業概要	E-CM-04-01
	5	公共工程品質管理作業指南	E-CM-05-01
	6	公共工程施工品質查核常見錯誤應樣及改善對策	E-CM-06-01
	7	工程專業管理人員處理及預防工程爭議之研究	R-CM-07-01
	8	工程規劃設計階段之安衛風險管理研究	R-CM-09-01
	9	工程契約管理與爭議處理案例研析	E-CM-10-01
	10	公營事業閒置土地資產活化開發模式研究——以台鐵局及都更再開發案為例	R-CM-14-01
工程材料	1	於地熱環境下澆置的鋼筋混凝土強度與耐久性	R-MT-06-01
	2	自充填混凝土施工監造技術指引	E-MT-06-01
	3	混凝土問題診斷與處理對策	E-MT-07-01
	4	新舊混凝土黏結介面品質之非破壞檢測評估	R-MT-07-02
	5	卜作嵐混凝土使用手冊	E-MT-07-03
	6	自充填混凝土最佳化配比與水合特性之整合	R-MT-08-01
	7	混凝土結構物修補技術指引	E-MT-09-01
	8	混凝土工程監造技術指引	E-MT-09-02
	9	高流動化混凝土材料配比及施工規範探討	R-MT-10-01
	10	開發應力波檢測技術以推估混凝土之早齡期強度	R-MT-12-01
	11	高飛灰摻量混凝土於中興社研發大樓新建工程之應用	R-MT-13-01
交通運輸	1	台北與東部運輸走廊交通預測模式建立	R-TR-07-01
	2	台灣高鐵營收管理模式研發 (一)	R-TR-08-01
	3	鐵路車站轉乘設施設計準則	R-TR-11-03
防災科技	1	遙測技術於土木水利工程上之應用 (二)——土砂災害資料倉儲系統建置及莫拉克災區案例分析	R-DP-13-01
	2	坡地災害風險管理及其應用 (一) 莫拉克颱風災區坡地災害研究	R-DP-13-02
	3	因應地質法與極端氣候研擬坡地防災調適策略——以坡地住宅及土地利用為例	R-DP-14-01
	4	應用雷達影像評估坡地災害	R-DP-16-01
其他	1	軌道運輸系統營運模式現狀評估	R-MS-01-01
	2	半導體廠製程排氣設計方法 (二)	R-MS-01-02
	3	捷運地下車站火災時人員安全避難容許時間之探討與分析模式	R-MS-01-03
	4	3C 最佳化風管設計方法	R-MS-02-01
	5	發電系統穩定度	R-MS-02-03
	6	寬頻接取技術現況與趨勢	R-MS-02-04
	7	長隧道通風研究 (一) 列車隧道空氣動力模擬程式研發	R-MS-08-01
	8	長隧道通風研究 (二) 隧道空氣動力模擬程式視窗展示前後處理軟體研發	R-MS-09-01
	9	建築節能之被動冷卻系統分析法——FDS5 軟體應用指引	E-MS-12-01
	10	台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究	R-MS-20-01

智慧科技結合工程實務 / BIM及VR技術整合

數位技術創新應用

■ 持續整合BIM及VR等數位技術能力

中興公司強化新式資訊設備與技術於工程與管理的應用，並積極導入更多元的智慧科技與創新構想於工程實務，有效且持續提升工程品質與管理效率。中興具備優異的BIM設計自動化及跨專業整合能力，有效地將工程計畫所含項目及其設施之物理和功能特性，以數值方式儲存，整合成資訊並轉化為共享的知識資源，作為工程全生命週期決策支援之依據。應用BIM技術促進資訊整合與溝通，大幅減少工程生命週期各階段或跨階段可能遭遇的問題、降低工程施作的時間與成本，有效管控工程品質，進而降低風險。

BIM協同作業平台功能模組：元件共享、程式更新、模型管理、模型預覽、議題追蹤、整合報表、工作會議

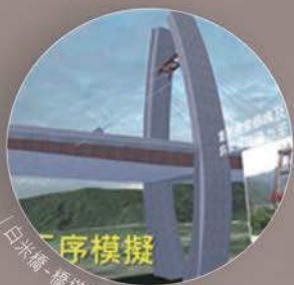
■ 虛擬實境技術的工程應用三軸向

◆ 勾勒願景-工程規劃與設計構想的實現 /

盡可能準確傳達工程規劃與設計的理念與構想，讓利害關係者能夠適切的了解提案內容，進而接受設計理念或至少能夠聚焦議題，避免因為認知上的落差，導致不斷反覆修正、產生不信任等負面觀感。除應用於工程規劃或設計概念的體現，中興工程並應用VR進行人因工程的檢討，提升規劃設計成果的品質。



昌興桐樂大樓-虛擬實境



白米橋-橋樑工序模擬

◆ 重現實景-設計成果與施工過程之實景體現 /

透過VR完整而充分地回顧工程設計特色及施工管理的過程與細節，對內可以提升團隊的榮譽感並建立知識傳承，對外則是設計監造服務成果的品質保證以及能力展現。中興公司結合計畫管理資訊系統(PMIS)的影像與工序資料保存，以擴增虛擬實境的觀念打造虛擬展示空間；成功應用VR重現關鍵工法及工序。



VR應用-工安教育訓練

◆ 訓練技職-施工現場危害預防之落實 /

中興公司於2019年通過ISO 45001驗證，基於對於勞工安全衛生的高度重視，將VR技術應用於重要工程監造工安教育訓練。根據工程管理專業經驗彙整之高危險、高重複性之工安與品管檢查項目，結合各式建模技術並與工地實景整合，完成極具臨場感的VR教材，強化相關人員掌握工地現地狀況、確保安全的能力。

正派經營 品質保證 追求卓越 創新突破



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.



核能技術業務

掌握關鍵專業技術
成就人們更好生活而努力

> 推動放射性廢棄物中期貯存設施進行政治、社會面之策略規劃分析，提出利害關係人溝通、土地房屋取得補償、回饋等配套計畫。

> 其次，對我國放射性廢棄物特性、中期貯存設施場址條件設施初步設計、設施營運與初步安全分析等相關工項進行研究並參考經濟部頒定編審要點格式，完成各列分項評估結果之可行性研究報告供台電公司陳報目的事業主管機關審查核定。

放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究

SINOTECH





風力開發工程

廣博深奧的綠能技術 點亮世代的重要推手

> 綠色新能源“風能”可提供乾淨新能源 中興工程顧問公司是全方位的工程技術單位具有高專業技術，將持續推動綠色新能源之發展並為人們打造節能減碳及永續發展環境持續前進。

離岸風力發電業務

SINOTECH

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告

正派經營 品質保證 追求卓越 創新突破



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.



橋梁建設

縱橫阡陌的城鄉中
用心串築兩地的永續情感

淡江大橋位於新北市八里區及淡水區
跨越淡水河出海口。本工程包括八里端引橋段

淡江大橋主橋段、淡水端引橋及匝道

主橋結構為鐵公路共構設計

設計使用年限 120 年，可縮短淡水與八里通行距離

不須繞行關渡大橋，減少台 2 線竹圍路段

及關渡大橋 30% 交通量，紓解交通壅塞。

淡江大橋跨河主橋段長 920m，橋塔高 211m

主跨距 450m，背跨距 175m

橋面最寬處約 70m，為世界主跨最長之單塔不對稱跨

距斜張橋，考量日落位置與淡水河岩盤深度

橋塔設立於河道中央偏淡水側，並於河道深槽區保留

200m 寬、至少 20m 淨高的船舶運航空間。

淡江大橋背後的設計理念，其斜張橋型流動的靈感其

實是來自雲門舞集舞者們跳躍的姿態

與移動時的光影；而中央的主塔猶如雙手合十一般

在淡水河口的夕陽餘暉下，為台灣祈福。

新北市淡江大橋・設計・監造

SINOTECH

本廣告圖文未經同意不得轉載
中興工程顧問集團廣告

正派經營 品質保證 追求卓越 創新突破



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.



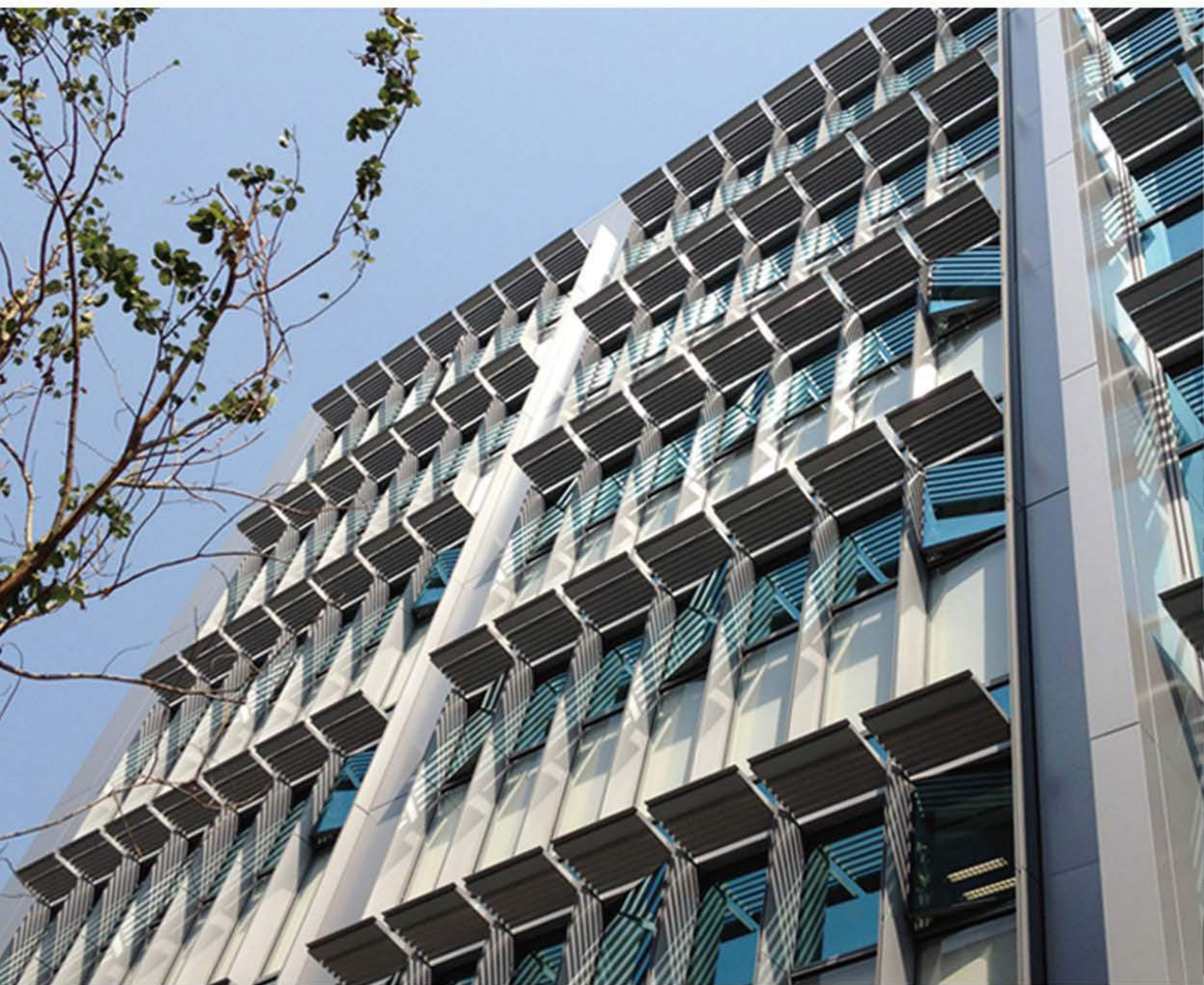
正派經營・品質保證・追求卓越・創新突破
工程不只源於需求，更在於生活價值的實現

中興工程顧問

業務範圍：水利／電力／環境／交通／建築／機電

封面(底)照片 | 中興工程研究大樓

由中興工程顧問公司規劃、設計與監造，為地上7層鋼骨結構，地下3層RC結構，總樓地板面積為15,286平方公尺，設計與建造採用中興社多項研發成果，包括高飛灰摻量混凝土、加強型鋼結構耐震梁柱接頭、液流阻尼器、強震監測及健康診斷等，並運用BIM模組、太陽光集光導引照明系統、水回收系統等新技術，是一座融合節能減碳、耐震安全與E化之智慧型大樓。



中興工程 Vol.167 / APRIL 2025

ISSN 0257-554X



ISSN 0257-554X



9 770257 554007 >

出版者：財團法人中興工程顧問社

社址：114065 臺北市內湖區新湖二路280號

電話：(02) 8791-9198

傳真：(02) 8791-2198

網址：www.sinotech.org.tw

E-mail：adm-dpt@sinotech.org.tw

* 本刊圖文未經同意不得轉載 *

誠信·創新·品質·服務



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.