

# 土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

April  
2023



宜蘭縣政府文化局

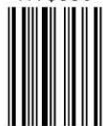


ISSN 0253-3804



9 770253 380006

NT\$350



Volume 50, No. 2

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

從監造作業全數位化  
談公共工程三級品管  
制度

工程技術及發展

專 輯

井孔觀測相關技術  
於現今工程上  
之應用與展望

南方澳跨港大橋  
重建工程之設計與施工

特別報導

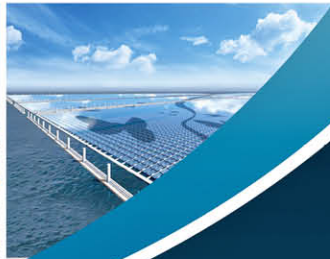


亞新工程顧問股份有限公司  
MOH AND ASSOCIATES, INC.

台北 | 台中 | 高雄 | 仰光 | 曼谷 | 新加坡 | 香港 | 澳門 | 北京



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



# Our World-Our Work

亞新集團創業於 1975 年，多年來的經營發展，已逐漸成為亞洲地區居於領先地位的國際工程顧問公司。亞新集團主要是為東亞及東南亞地區政府及私人企業提供包括基礎建設、土地開發、建物結構、環境工程及資訊科技等綜合性國際化技術與管理的全方位專業服務。

目前，亞新集團有一千二百餘位具有不同專業領域的技術人員，分公司及關係企業依地理位置主要分布於大中華地區（台北、台中、高雄、香港、澳門、北京），東南亞地區（仰光、曼谷、新加坡），藉著從事專業活動的溝通與互動，將這些地區緊密的結合創造一個共同體，建構分享一個完整的專業服務網絡。



221411 新北市汐止區新台五路一段112號22樓（東方科學園區A棟）

Tel: (886-2) 2696-1555 Fax: (886-2) 2696-1166 Website: [www.maaconsultants.com](http://www.maaconsultants.com)

E-mail: [maagroup@maaconsultants.com](mailto:maagroup@maaconsultants.com)

# 土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊



南方澳跨港大橋不同時期照片

## 先進工程

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

## 永續發展

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

## 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

## 教育學習

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

## 學會活動

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

## 出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊

## 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

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

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十五屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：宋裕祺

常務理事：伍勝園 高宗正 楊偉甫 廖學瑞

理事：王宇睿 余信遠 李政安 林子剛 林聰利 胡宣德 高銘堂

張大鵬 張荻薇 莊均緯 許泰文 陳仲賢 曾榮川 黃慧仁

壽克堅 歐善惠 賴建信 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：王藝峰 李建中 沈景鵬 林其璋 邱琳濱 劉國慶

## 中國土木工程學會任務

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

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

中國土木工程學會和您一起成長！

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

## 特別報導

- 📖 南方澳跨港大橋重建工程之設計與施工 黃炳勳／蔣啟恆／劉 珊／蘇彥彰／李振璋 3

## 「井孔觀測相關技術於現今工程上之應用與展望」專輯 (客座主編：吳泓昱助理教授)

- 📖 專輯序言：井孔觀測相關技術於現今工程上之應用與展望 吳泓昱 13
- 📖 井下測量技術探明地表下地層資訊之現況—以成大資源工程系教學井為例 黃鈺祐／吳泓昱 14
- 📖 臺南台地現今地殼變形機制爭議之初步探討及來自成大資源工程系教學井之暗示  
景國恩／陳松春／吳泓昱／蔡佩京／蕭詩涵／陳芊如 19
- 📖 微地動資料在地層判識上之應用—以成大資源工程系教學井為例 吳澄峰／饒瑞鈞／陳英琪／吳泓昱 23
- 📖 台南地區地下水層水化學特性時序變化—以成大資源工程系教學井為例  
李孟璇／劉厚均／陳彥宏／吳泓昱 27
- 📖 電腦斷層掃描於井孔岩芯上之應用—以成大資源工程系教學井為例 郭慶利／吳泓昱／陳靜玟 30
- 📖 米崙斷層鑽井計畫—跨米崙斷層帶地震監測系統 林彥宇／郭俊翔 34
- 📖 波速量測對地動評估之重要性及常見方法之比較 郭俊翔／謝宏灝／林哲民／黃雋彥／賴翔威 38
- 📖 海域反射震測影像於鑽探場址調查之應用 張頌平／許鶴瀚／張日新／林亮甫／劉家瑄／陳姿婷 42

## 工程技術及發展

- 📖 從監造作業全數位化談公共工程三級品管制度 呂斌豪／唐士宸／林芳輝 45

## 學會資訊看板

- 📖 土木水利電子報 歡迎瀏覽 秘書處 53

## 廣告特搜

- 皇昌營造股份有限公司 — 廣慈博愛園區整體開發計畫工程 封底
- 亞新工程顧問股份有限公司 — Our World Our Work 封面裡
- 經濟部水利署南區水資源局 — 曾文水庫放水渠道及擴大抽泥工程 封底裡
- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 夢想和幸福 零距離的接軌 55
- 中華民國土木技師公會全國聯合會 — 土木技師 國之棟樑 56
- 財團法人臺灣營建研究院 — 工程技術與管理・產業資訊與推廣・工程與法務鑑識 57
- 巨廷工程顧問股份有限公司 — 品質・效率・溝通・協調・負責 57
- 財團法人中興工程科技研究發展基金會 — 科普・獎學・工程交流 58
- 交通部公路總局 — 吹海風的路・台61線新竹路段 58



# 南方澳跨港大橋 重建工程之設計與施工

黃炳勳 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 土建事業群副總經理

蔣啟恆 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部協理

劉 珊 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部技術經理

蘇彥彰 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部計畫副理

李振瑋 / 台灣世曦工程顧問股份有限公司 第二結構部計畫工程師

108年10月1日宜蘭縣蘇澳鎮「南方澳跨港大橋」無預警倒塌造成漁港航道受阻及民眾傷亡事件；108年10月7日交通部指示相關計畫由公路總局主政；108年11月23日依政府採購法第22條第1項第3款「遇有不可預見之緊急事故」之規定，得採限制性招標，故委由台灣世曦設計及監造。

本工程全線總長796.53公尺，橋梁總長595公尺，為本工程主要項目，西側引橋配置預力U型梁吊裝工法，跨越南方澳漁港航道採用預力箱型梁懸臂工法，東側引橋配置預力箱型梁場鑄逐跨工法銜接至既有道路。本工程工址位於臨海區域，海水、海風等外在條件易對混凝土構造物造成侵蝕危害，考量橋梁耐久性，於規劃設計階段依照公路橋梁設計規範耐久性章節，依據工址位置、設計年限進行耐久性設計。

關鍵詞：重建工程、耐久性

## 工程概述

本工程位於宜蘭縣蘇澳鎮南方澳大橋原址辦理重建，工程總長共796.53公尺，新建橋梁主體全長約595公尺，工程起點銜接移山路口，路線於里程 $0k + 150 \sim 0k + 420$ 路段為碼頭區，南側鄰近南方澳第三漁港拍賣市場與蘇澳漁檢站，路廊東側豆腐岬地形變化較大，且里程 $0k + 565 \sim 0k + 590$ 北側鄰近山崩與地滑地質敏感區，工程終點順接跨港路線形，過既有路口往南即可通達豆腐岬風景區，本工程範圍詳如圖1所示。

本工程主要內容包含拆橋工程、橋梁工程、擋土牆工程、道路工程、排水工程及其他配合工程。橋梁段長度為595公尺，可區分為西側引橋、主橋與東側引橋三區域。主橋採懸臂工法，跨徑配置為 $80 + 140 + 80 = 300$  m，上部結構形式為預力混凝土箱型梁；西側引橋採用U型梁吊裝工法，共2單元，跨徑配置為 $2@40 = 80$  m與 $3@40 = 120$  m，上部結構形式為預鑄預力U型梁；東

側引橋採用場鑄逐跨工法，共1單元，跨徑配置為 $2@36 + 23 = 95$  m，上部結構形式為預力混凝土箱型梁。橋墩與基礎採用場鑄鋼筋混凝土構造，基礎形式採用150 cm直徑之全套管基樁，橋梁配置圖詳如圖2所示。

## 南方澳大橋歷史

### 跨漁港航道高架橋時期 (1976年10月~2000年4月)

早年從南方澳第三漁港到對岸造船廠需繞行經過內埤或搭乘渡輪，較為不便，故於十大建設蘇澳港建港時期建設一跨港橋，由南方澳第三漁港南碼頭跨越60公尺航道，直到坡仔腳下，為南方澳第一座跨越漁港航道的橋梁。此橋為鋼筋混凝土橋，橋高9公尺、橋寬8.1公尺，總長60公尺分為5個各12公尺的跨距，中間橋面最高使橋體呈現拱形，因此漁民稱其為駝背橋。後續由於跨距太窄及橋下高度過低，導致大船無法順利進出，漁船及其雷達天線通過時也常有碰



圖 1 工程範圍示意圖

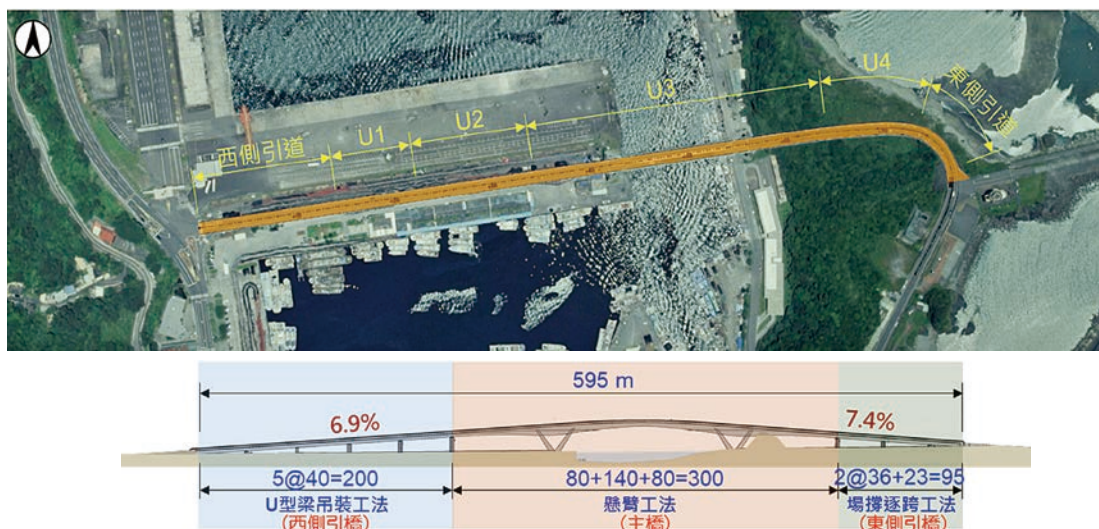


圖 2 橋梁配置圖

撞。在地方人士爭取之下，臺灣省政府同意補助 1 億多元在第三漁港北岸新建跨港大橋。本橋於 2000 年 4 月動工拆除。駝背橋照片詳圖 3 所示。

### 舊南方澳大橋時期 (1998 年 ~ 2019 年 10 月)

舊南方澳大橋由臺灣省政府建設基金專案補助，基隆港務局委託宜蘭縣政府農業局代辦施工，由亞新工程顧問股份有限公司設計監造、立永營造有限公司施工，採雙叉式單鋼拱橋型式，以耐候性高強度低合金鋼的鋼材打造。在 1996 年 1 月 27 日開工，耗時 2 年在 1998 年 6 月 20 日完工。通車當時是亞洲第一座、世界唯二的雙叉式單拱橋。南方澳大橋主橋長 140 公尺、寬 15 公尺，橋面離海平面 18.5 公尺，解決大型



圖 3 駝背橋照片

漁船無法通行的困境，使南方澳漁港得以長遠發展。舊南方澳大橋照片詳圖 4 所示。



圖 4 舊南方澳大橋照片

## 重建歷程

108 年 10 月 1 日宜蘭縣蘇澳鎮「南方澳跨港大橋」無預警倒塌造成漁港航道受阻及民眾傷亡事件；108 年 10 月 7 日交通部黃次長於「跨港大橋災害處理小組第六次執行會議」中指示：「請公路總局、航港局、港務公司進行後續施工場地安排，相關計畫由公路總局主政，兩週完成代辦契約簽訂及初步計畫書預計一個月上網完成招標規劃橋梁興建時，請航港局、港務公司應就地方反應意見及發展做整體考量，與交通部先行討論。」；108 年 10 月 7 日行政院吳政務委員於「南方澳大橋坍塌案損害賠償及復原工程規劃會議」中指示：「… 地方人士殷切期盼南方澳跨港大橋復原工程早日完工，請交通部加速辦理，並注意跨徑、淨高要符合漁船進出需求淨高，採購作業請本院公共工程委員會全力協助。」；108 年 10 月 15 日交通部林部長於斷橋事件後續處理簡報會議中，聽取交通部公路總局有關「重建工程規劃推動情形報告」後指示：「有關橋梁重建之規劃應考量納入人行步道、觀景等功能，並傾聽地方意見與發展需求…。」

本工程依政府採購法第 22 條第 1 項第 3 款「遇有不可預見之緊急事故」之規定，得採限制性招標，故於 108 年 11 月 13 日委由台灣世曦設計及監造。

108 年 11 月 14 日蘇花改工程處辦理「南方澳跨港大橋重建工程」設計階段民眾說明會，會議中地方團體及民眾陳情建議「北移重建橋址」，以致重建橋址與工程用地無法確定。經相關權責單位多次會商後，於行政院公共工程委員會 109 年 3 月 18 日召開「中央地方建設協調會報—南方澳大橋重建橋址（第 2 次）」會議中，橋梁採原址重建並於北側新增二線車道之方案，至此重建方案獲得確立。

## 設計理念

新南方澳跨港大橋以安全、美觀與快速為出發點，施工階段採用快速施工工法，不影響漁港運作，完工後提供東、西兩岸安全通行道路，並形成觀光新景點。

高架橋長 595 公尺，橋上設置「雙魚·豐收」藝術裝置，兩條魚於跨港大橋交會，小魚從漁港迴游出海，大魚豐收入港，藉此表達對海洋漁業永續經營的態度。

## 安全考量

本橋梁主要構件皆以設計年限 100 年進行設計，結構造型選用流暢、圓順結構外型，並配置合適結構尺寸，控制裂縫發展。耐久性設計方面，依據公路橋梁設計規範耐久性章節之規定，本工程屬於臨海地區，雖未有橋墩直接位於海水之中，但考慮橋墩於港區中，基礎長期受潮汐影響，並工址長期遭受強烈海風吹拂，基於安全考量，全橋以「極嚴重鹽害區」進行耐久性設計，使用提高混凝土強度、最大水膠比及保護層厚度等作為，讓橋梁主要構件達 100 年使用年限，本工程混凝土及鋼筋保護層詳如表 1 所示。另外混凝土使用  $C_3A$  含量適度之 TYPE II 水泥，可抵抗中度硫酸鹽侵蝕。

橋梁設計地震力將依 108 年 1 月「公路橋梁耐震設計規範」規定辦理，橋址所屬行政區考慮之震區實地盤短週期與一秒週期之設計水平譜加速度係數  $S_5''$ 、 $S_1''$  與最大考量水平譜加速度係數  $S_5'''$ 、 $S_1'''$  如表 2 所示。

## 快速施工

整個施工時期，皆維持第 3 拍魚市場運作。

- 舊橋拆除階段：採用鏈鋸切割工法，降低環境污染又不影響魚市場安全。
- 基礎與橋墩施工階段：規劃施工順序，搭配交雜移設，降低對魚市場之衝擊。
- 上部結構施工階段：設計 PCU 梁吊裝工法，縮短施工時程。

而跨航道水域採用懸臂工法預力箱型梁設計，施工期間不影響漁船進出，也無須在水域搭設大規模便橋，影響水域生態；另在里程  $0k + 565 \sim 0k + 590$  北側鄰近

表 1 混凝土及鋼筋保護層

橋梁部位		28天最小抗壓強度 $f'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	最大 水膠比	最小保護層厚度 (cm)		備註
預力混凝土	箱型梁橋、U型梁橋	420	0.4	橋面板頂面	7.5	施預力時之起始抗壓強度 $\geq 336$ kgf/cm <sup>2</sup>
				箱型梁外側	7.5	
				箱型梁內側及隔梁	4	
鋼筋混凝土	橋墩	350	0.4	橋柱	10	自充填混凝土
				鋼筋混凝土墊	10	
	橋墩基礎	350	0.4	10		自充填混凝土
	橋台	350	0.4	軀體、翼牆	10	自充填混凝土
				基礎	10	
				進橋板頂面及側面	7.5	
		進橋板底面	10			
	場鑄基樁	350	0.4	10		水中混凝土設計強度 350 kgf/cm <sup>2</sup> 28天規定抗壓強度 $f'_c$ 依據補充 施工說明書第03050章第2.1.1節 辦理
	橋護欄、分隔島	280	0.5	4		
	緣石	280	0.5	4		
	U型梁橋面板	350	0.4	頂面	7.5	
底面				7.5		
擋土牆	350	0.4	牆身	10		
			基礎	10		
無筋混凝土	重力式擋土牆	$\geq 210$				
	基礎墊底	80				

表 2 震區短週期與一秒週期之設計與最大考量水平譜加速度係數

縣市	鄉鎮市區	$S_S^{II}$	$S_I^{II}$	$S_S^{III}$	$S_I^{III}$	臨近之斷層
宜蘭縣	蘇澳鎮	0.8	0.45	1.0	0.55	無

山崩與地滑地質敏感區，使用懸臂工法亦可避免對山崩與地滑地質敏感區進行開挖或支撐。地質敏感區套疊成果如圖 5 所示，懸臂工法施工照片如圖 6 所示。

### 美觀設計

配合在地的海洋漁港風情及南方澳有鯖魚故鄉之美名，本工程之景觀設計將以鯖魚、海浪兩種元素作為概念主題，將結構形式、欄杆、街道傢俱、造型燈具、鋪面圖型等多項橋梁設計元件，配合主題故事鋪陳，以突顯整體景觀意象，並以簡潔重複的造型單元進行設計，以達整體風格與設計語彙統一，成功融入當地漁港聚落地景。既有環境景觀特色示意照片如圖 7 所示。

以南方澳「鯖魚的故鄉」為設計發想，擷取鯖魚的造型轉化為設計元素，並結合當地既有特色景觀元素及造型，塑造橋梁自明性並融入自然環境。

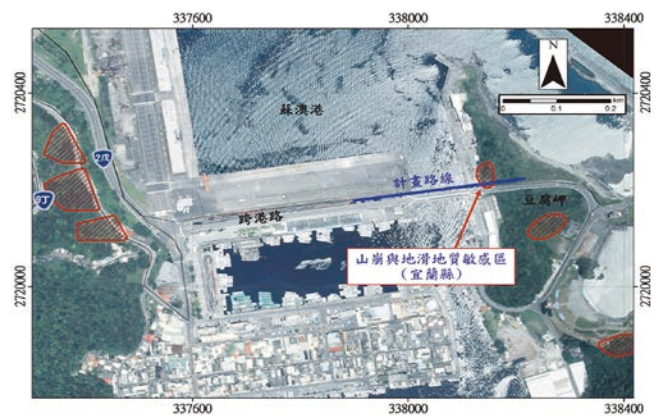


圖 5 地質敏感區套疊成果



圖 6 懸臂工法施工照片





圖 7 既有環境景觀特色示意照片

### 整體設計主題

本基地主要橋梁設計造型以鯖魚為主題元素，整體重建路段搭配以海洋元素作為配景，以增加全線景觀活潑性，並利用日間自然光影與夜間照明的色彩變化來強化，塑造「魚悠遊於大海」的整體景觀意象。整體設計構想概念示意圖如圖 8 所示。

### 橋梁造型主題

主題源自於南方澳為鯖魚的故鄉的美名，因此以鯖魚作為橋梁造型主題，擷取鯖魚魚體各部份的特色，轉化為橋梁造型特色元素，相關配置與設計示意如下，詳圖 9 所示。

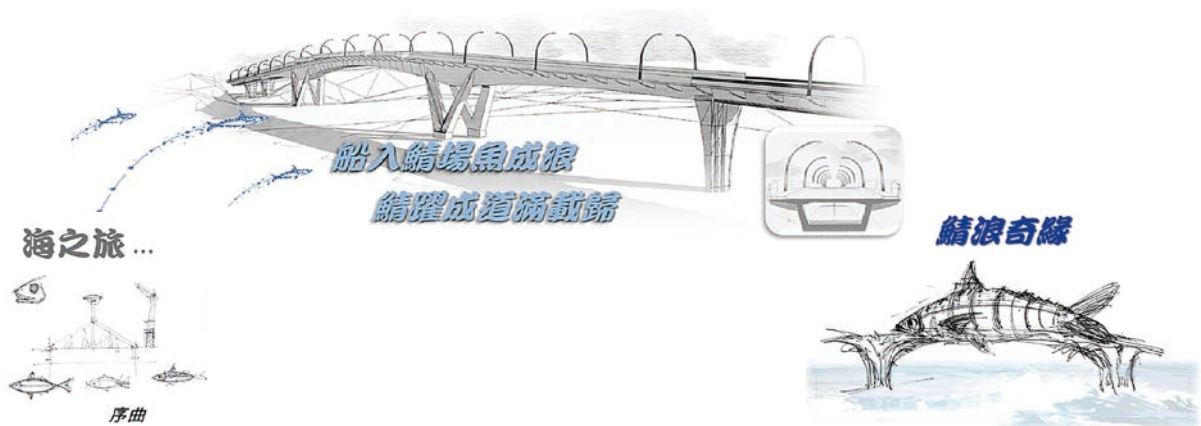


圖 8 整體設計構想概念示意圖

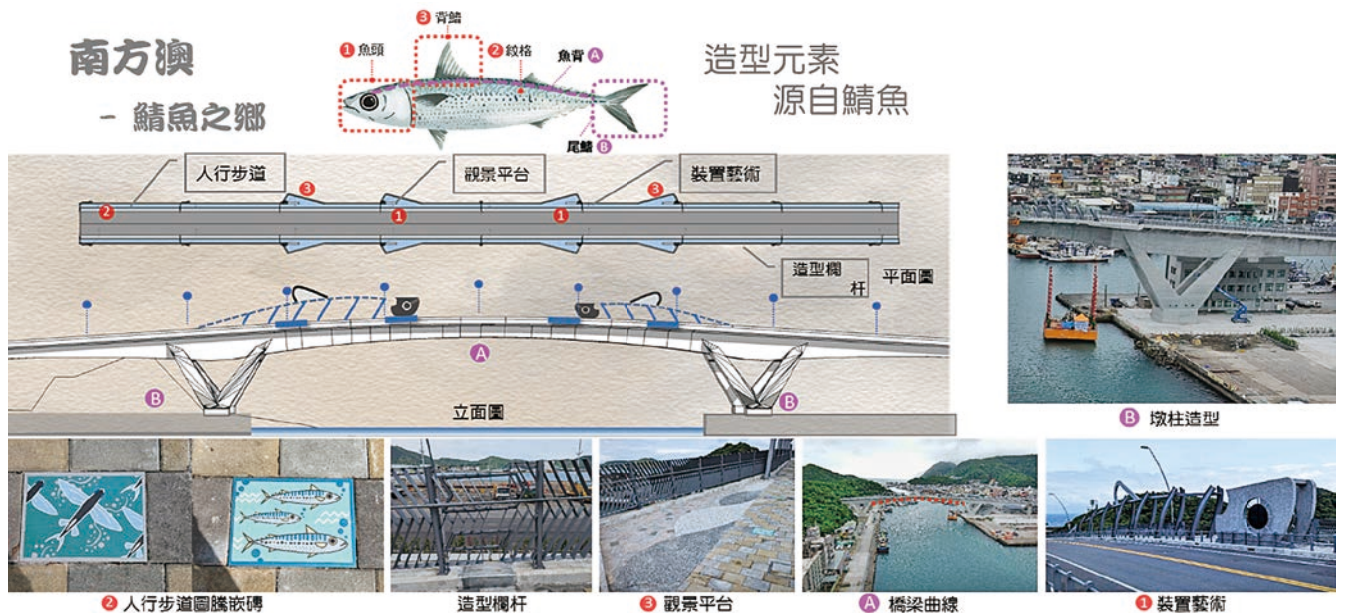


圖 9 橋梁造型設計配置示意圖

### 維護管理

因本工程工址鄰近海洋高腐蝕環境，故本工程皆設計混凝土橋梁以降低維管需求，另外橋上鯖魚裝置藝術、欄杆以不銹鋼加上烤漆設計，減低維修更換頻率。

另考量鄰近第 3 拍魚市場的橋墩，因完工後橋下空間開放使用，車輛進出頻繁，特地將洩水管採內嵌方式設計，藉此減少洩水管因外力損壞之維修頻率。橋墩洩水管預留槽詳圖 10 所示。

橋梁完工後，顧問公司協助撰寫維護管理手冊，方便後續管養單位定期檢測橋梁構件時參考使用。橋梁設計階段箱型梁隔梁皆留設人孔，確保主橋段之檢修通道順暢，人孔高度設計加大，並考量人體工學設置必要爬梯與扶手，便於巡檢人員通行。箱梁人孔示意圖詳圖 11 所示。

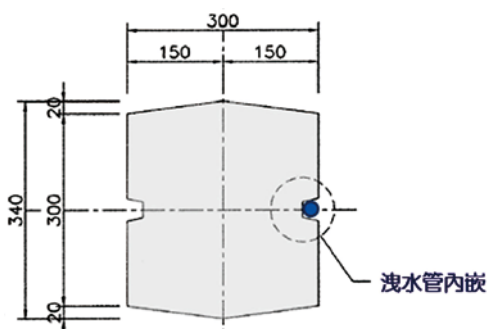


圖 10 橋墩洩水管預留槽

### 拆橋規劃

舊南方澳跨港大橋無預警倒塌後，除主橋因阻擋漁船航道，已盡快移除外，其餘引橋及引道皆維持原狀，所以在新橋施工之前必須先進行拆橋工程。

考量第 3 拍魚市場幾乎全年無休，因此須於安全考量下以最迅速之方式拆除既有橋梁。設計規劃舊橋拆除採用鏈鋸切割工法，除可提昇安全性及加快拆橋速度外，亦可降低環境衝擊。設計規劃先以架設臨時支撐後，利用鏈鋸切割橋梁成單元節塊，再利用海運將其運至東岸回填區後進行打除，打除後的混凝土經處理後，可用於填海造陸，達到資源再生，節能減碳。拆橋規劃與施工照片詳圖 12 所示。

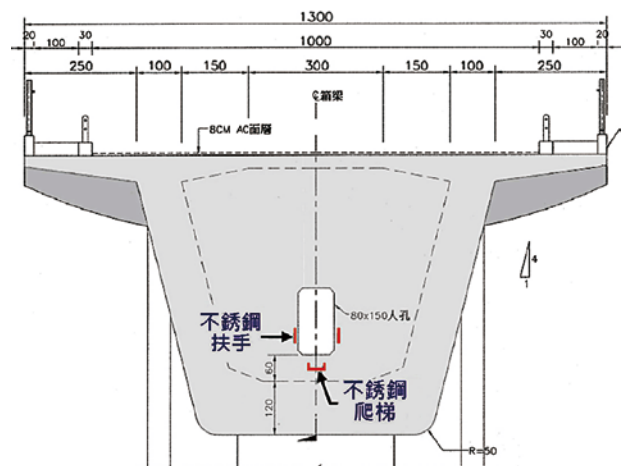


圖 11 箱梁人孔示意圖

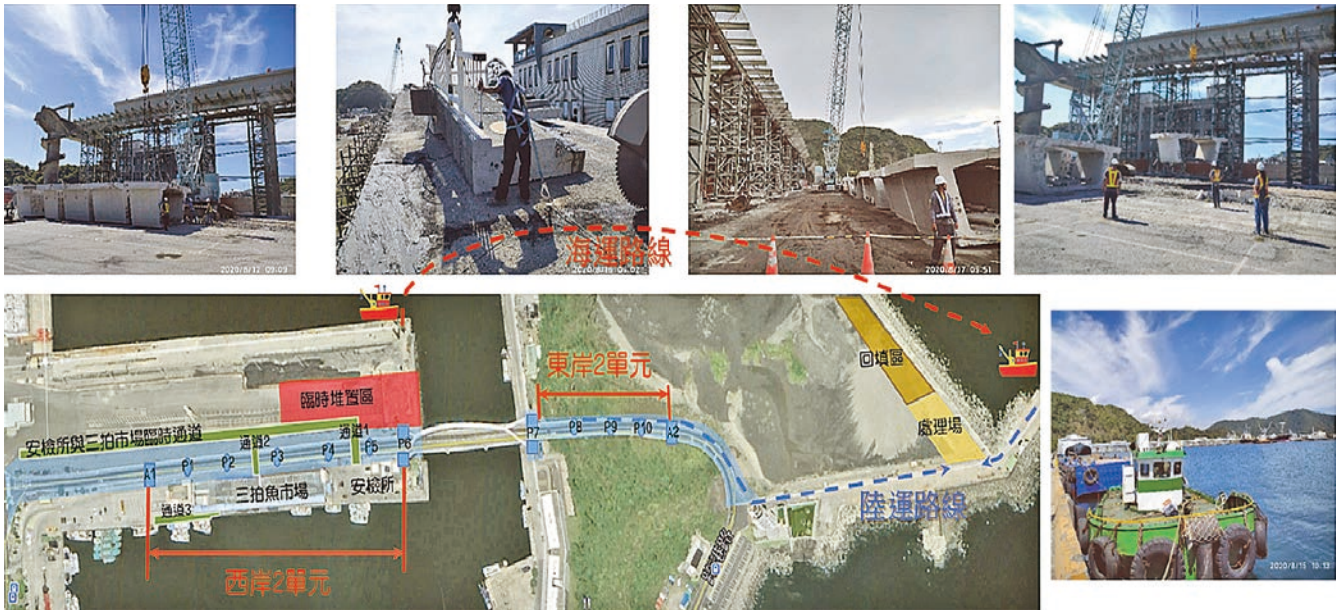


圖 12 拆橋規劃與施工照片

## 施工階段遭遇困難

### 工址氣候、海水漲退潮

因工址屬於臨海區域，現況海風強烈，依氣象局資料開工至 111 年 12 月 18 日共 886 天，降雨天數多達 284 天，施工期間約有 1/3 比例為下雨天，整體施工環境不佳，大幅影響施工進度。

另基礎擋土開挖工程因海水漲退潮問題，導致施工期間基礎開挖會有湧水情況，需進行抽水作業，方可維持施工環境，大幅影響施工難度。

### 疫情

施工期間時逢嚴重特殊傳染肺炎三級警戒，影響人力安排與出工規定，待疫情趨緩後，增加設備與人力全力趕工。

### 地下回填物（填海造地）

因工址西側碼頭（第 3 拍魚市場前）屬於舊有堤防填海造地而成，其舊有堤防係於 50 多年前完成，後經多次增、修建，地下障礙物難以預測，導致 A1 ~ P3 基礎擋土支撐施工時，遭遇許多混凝土地下障礙物，以致鋼板樁無法順利打設，後續施工廠商採用變更工法，以氣動錘排除舊堤防障礙物，再補打鋼板樁擋土設施，鋼板樁打設遭遇地下障礙物照片如圖 13 所示，混凝土地下障礙物如圖 14 所示。



圖 13 鋼板樁打設遭遇地下障礙物



圖 14 混凝土地下障礙物

## P6 橋墩基礎開挖

110年1月21日~23日，施工廠商為了避免預壘樁水泥砂漿滲流，導致海域遭受污染，故決定P6橋墩基礎臨海側改採鋼板樁加上引孔工法替代預壘樁施作，其餘維持原設計以預壘樁方式施工。110年2月17日~19日進行臨海側鋼板樁引孔及打設，遭遇地下障礙物無法順利引孔達到預定深度。待預壘樁全部完成，110年3月7日~9日改採用螺旋鑽桿機引孔及H型鋼引孔擊打拋石方式大致克服困難，貫入設計深度，惟東南角隅因遭遇不明構造物，現場判斷為既有堤防地下混凝土塊石堆疊方式有入侵基礎範圍等之情形，致該區鋼板樁因此有無法貫入設計深度之情形。P6橋墩基礎擋土支撐照片如圖15所示。

在P6橋墩基礎擋土支撐完成後，因東南角隅無法貫入設計深度，於基礎開挖過程中，因漲退潮發生基礎底部多處冒水最後演變為砂湧情形，先以設置排水管導至集水井，設置抽水設備共8部，且打設350 kgf/cm<sup>2</sup>水中混凝土封底等處理。惟東南角隅仍持續發生湧水情形，依110年5月31日會議中專業廠商所提灌漿計畫先行執行，積極於110年6月4日灌漿設備及化學材料進場，並於110年6月16日完成止水化學灌漿，經降水後成效良好。P6基礎與止水灌漿施工示意圖如圖16所示。

## 懸臂工法 P7 橋墩第 7 節塊工作車下陷

施工廠商於111年5月27日(五)進行P7懸臂西車第7節塊混凝土澆置，於澆置過程中，因發生工



圖 15 P6 橋墩基礎擋土支撐照片

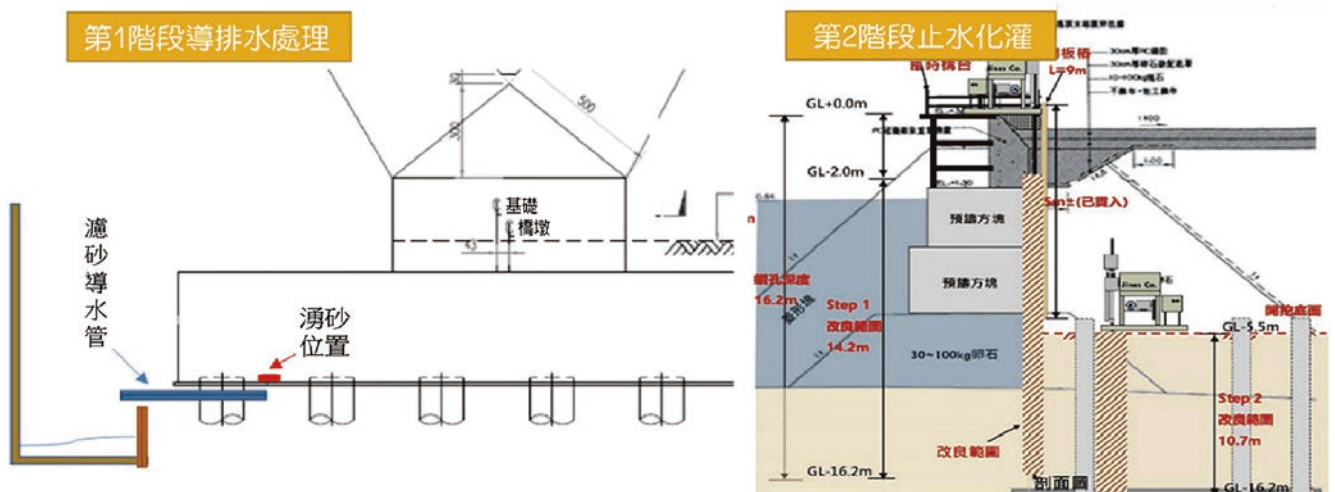


圖 16 P6 基礎與止水灌漿施工示意圖

作車支撐千斤頂滑脫，節塊支撐瞬間陷落，並造成該節塊扭轉傾斜，單側下陷達 34 cm。工作車鋼墊塊變形照片如圖 17 所示，工作車下陷後橋面現況照片如圖 18 所示。

由工地現場施工相片可知，陷落時混凝土澆置面上仍有裸露之預力套管及鋼筋。經由一連串的討論與試驗後，雖然該節塊可能符合使用強度，但考量南方澳跨港大橋係要使用百年之重要橋梁，不該存在任何

安全疑慮，故決定將該節塊拆除，重新施作。

由於 P7 橋墩懸臂西車第 7 節塊位於河道上方，考量不影響河道通行，故施工廠商提出鏈鋸切割成小塊節塊搭配吊車吊離方式施作，以此方式拆除至鋼筋搭接範圍內時，改以採用人工鑿除（氣動水泥破碎機，液壓劈裂機，水刀等），將 1.1 m 範圍混凝土鑿除，並將鋼筋保留，復原之鋼筋採銲接搭配螺栓鎖緊型鋼筋續接器進行搭接處理。節塊打除作業如圖 19 及圖 20 所示。



圖 17 工作車鋼墊塊變形



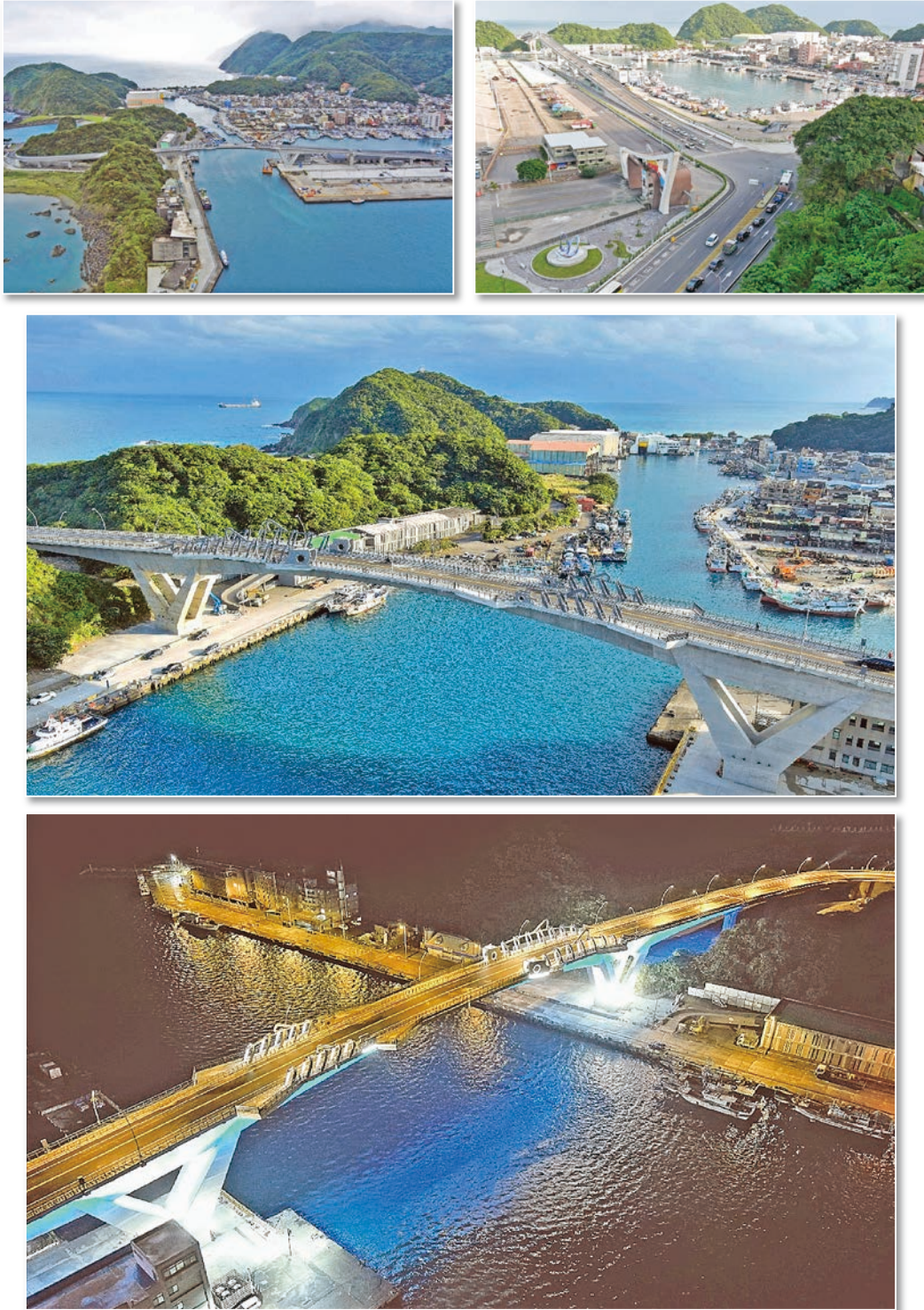
圖 18 工作車下陷後橋面現況



圖 19 節塊打除作業 (1)



圖 20 節塊打除作業 (2)




南方澳跨港大橋完工照片

## 結語

本工程為全國矚目之重建工程，雖然設計時程很短，但依然全力規劃出一座對於整個環境友善，符合業主、當地居民期待的安全橋梁。

新橋將鯖魚融入設計元素，打造一座符合功能性與景觀性之橋梁，冀望能熱絡南方澳漁港之觀光，讓

地方商圈更繁榮，交通便利順暢。

在有限的時程下，由公路總局蘇花改工程處、施工廠商、監造單位與設計單位的團隊合作下，克服各式困難下，於 111 年 12 月 18 日通車。完工照片詳如上所示。 



## 專輯序言

# 井孔觀測 相關技術於 現今工程上之 應用與展望


專輯客座主編 吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

台灣現代化之油氣鑽探，始於 1946 年之苗栗台灣油礦探勘處。而科學化的油氣探查，必須包含地質、地化、地物、鑽探等對於地下無法直接衡量之儲集層做高解析度的評估。在上述之各個方法中，也只有鑽探可以藉由工程上的實務操作，進而一窺地層下的狀態與性質。然而，在台灣本島油氣開採逐漸枯竭之時，鑽探的工作與進程也隨之減緩與停滯。近年來，由於環保意識高漲，對於綠色能源與節能減碳的需求日益增加，無論是風力發電，地熱發電，乃至於二氧化碳封存等議題，皆需要探勘與工程上的通力合作，方能在各項綠能探勘後，進入到實際應用之階段。

2022 年起，在成功大學工學院的支持下，成功大學資源工程學系於系館四周鑽探了一口一百米之教學研究井與三口二十米之水文觀測井，並於 2022 年 8 月完工。此井採用全取樣的取芯方式，收集了總長 160 米之岩芯，與各種現地的井孔測量資料。除了教學實習與研究的功能外，本井也是臺南台地上，目前唯一完整包含岩芯與井測之大孔徑（3.5 英寸）工程井。藉由此井的設置，我們得以收集臺南台地下之地層資訊，與各項井孔觀測技術的實踐。

於本期會刊中，將介紹各項現今先進之井孔觀測技術並施做於教學研究井中，這些觀測技術不但能收集地層下的物理特性，並藉由高解析度的聲波造影得以親眼確認地層的傾角與裂隙分佈。而本井場也藉由成大測量與空間資訊學系景國恩老師的協助，於各井座上設

立了基礎水準點，藉由水準點的高程變化與井測資料的分析，探討臺南台地之變形機制；成大地球科學系的劉厚均老師藉由收集井下之地下水樣品，探討了台南地區地下水層水化學特性的時空變化；成大地球科學系饒瑞鈞老師與吳澄峰博士更藉由校園內的微地動資料並整合井測中的波速測量技術，探討了此兩項資料整合對於地層速度判識的可能性，也對於工程上之岩盤深度判斷有更近一步的了解。在岩芯的分析上，為求保持岩芯之完整與長期研究之需求，在成大醫學院影像醫學部的協助下，使用了醫療級之電腦斷層掃描技術，在不破壞岩芯狀態下，記錄了岩芯內部之影像。並於文章中討論了此技術在岩芯分析上的應用。中央大學地球科學系的林彥宇老師，則介紹了在目前科學鑽井中，對於斷層帶的地震監測系統的規劃與設計；中央大學地球科學系的郭俊翔老師，更提供了地層波速量測下，對於地震時地表震動與位移的評估方法與比較，也為成大教學研究井的未來研究，提供了更多的選項。最後則由成大地球科學的張頌平老師，介紹在鑽探之前，反射震測技術在場址選擇上，能提供的相關資訊。

在現今地熱探勘與二氧化碳封存等計畫與工程，正於台灣如火如荼的進行中，對於場址的調查與地層下的狀態探明，更顯得益發重要。本期的系列文章期望藉由各項技術與方法的討論，促成學界與工程界在井孔相關觀測技術的研發與應用上，有更多跨領域與單位的合作。 



# 井下測量技術

## 探明地表下地層資訊之現況 — 以成大資源工程系教學井為例

黃鈺祐／國立成功大學資源工程學系 研究生

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

井下電測（以下簡稱井測）技術最早出現在油氣產業的探勘應用上，井測的優勢在於能夠取得連續性的地層資料，因此在資源探勘上井測是一種非常重要的技術手段，其可以利用在油氣、地下水、金屬、非金屬的探勘上。井測是透過物理學的方法和原理，利用各類岩石間不同的物理特性例如導電性、聲波、放射性等物理性質，透過專門的儀器取得連續的地層資料後，由專業人員以取得的井測資料為基礎，進一步推估地層的狀況，並規劃適當的開發方案。

### 井測現有方法

#### 電阻電測（Resistivity log）

電阻率為一種基本的材料特性，其用來表示材料抵抗電流的強度，大多數造岩礦物本質上是絕緣體，而它們封閉的流體是導體。所有的傳導都經由液相進行，因此電阻主要取決於孔隙流體及其鹽含量。碳氫化合物是一個例外，因其具有無限大的電阻。當地層是多孔的並且含有鹽水時，總電阻率會偏低。當地層中含有烴類亦或是孔隙度較低時，其電阻率會偏高。電阻率也是孔隙水相對於岩石體積的量（孔隙率）和岩石中孔隙分佈（滲透率）的函數<sup>[1]</sup>。電阻井測必須在含有可導電的鑽井泥漿的作為導體的狀態下使用，每個電阻值取決於鑽井泥漿深入地層的程度，電阻井測原理為電極使電流流經地層，透過不同地層具有不同的材料特性，測出地層之電位差，再利用歐姆定律計算而得到該地層之電阻率，電阻率單位為  $\text{ohm}\cdot\text{m}^2/\text{m}$  或  $\text{ohm}\cdot\text{m}$  ( $\Omega\text{m}$ )。而地層的電阻率取決於地層水的電阻率、存在的水量以及孔隙的結構和幾何形狀，可表示為式 1。

$$R = \frac{r \times A}{L} \quad (1)$$

式 1 中的  $R$  為電阻率 ( $\text{ohm}\cdot\text{m}$ )， $r$  為電阻 ( $\text{ohms}$ )， $A$  為橫截面面積， $L$  為電流流經的長度 ( $\text{m}$ )<sup>[2]</sup>。根據電流極與測定極的間距，電極間的距離越大能夠測得的地層範圍距離越大（與井口的水平距離越遠），其測得的垂直解析度越低。

#### 聲波井測（Sonic log）

聲波測井工具是由一個聲波發射器及一個或多個聲波接受器組成，從聲波發射器每秒發出一個聲波，將聲波傳入井周圍的地層後，在距發射器幾英尺的接收器中接收到發出的聲波，並記錄地層中聲波的速度（圖 1）。聲音到達接收器間經過的時間差是所需的傳播時間，聲波在經歷發散（波能在時間和空間上的傳播）和衰減（通過地層吸收能量而損失能量），其速度取決於地層中岩石的孔隙分佈及膠結物的性質，正常情況下孔隙越大，聲波在岩石的間隔傳遞時間越長，依此可估算地層的孔隙率。而聲波井測並非直接測得



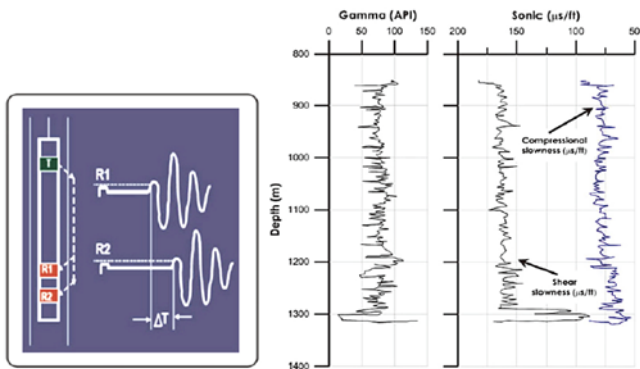


圖 1 針對砂岩－頁岩層序的聲波和伽馬井測資料及聲波井測工具示意圖 [2]

孔隙率，而是慢度（Slowness）常使用的單位為  $\mu/m$ 。由於水中的聲速（此處指孔隙水）遠低於礦物和岩石中的聲速，因此測得的聲波大多數與岩石孔隙率成反比。在砂岩中，少量的膠結物可能會產生具有高強度和速度的顆粒，儘管保留了相對較高的孔隙率。在泥岩和頁岩中，孔隙度和速度會隨粘土礦物和碳酸鹽或石英膠結物的存在而產生較大的變化 [2]。

### 伽馬井測（Natural Gamma Ray log）

伽馬射線（Gamma Ray, GR）測井為量測地層中自然伽馬輻射，伽馬井測之優勢在於可穿透鋼製或水泥套管，常用單位為 API [3]。伽馬輻射源自鉀（K40）和鈾－釷和釷系列的同位素，鉀是三種元素中含量最多的，相對於其重量，鉀對總放射性的貢獻佔比較低。三個元素皆會自然發射伽馬射線。它們發射能量很大但沒有質量和電荷的光子。伽馬射線的特徵之一是當它們穿過任何材料時，它們的能量會逐漸被吸收。這種效應被稱為康普頓散射，因伽馬射線和電子間的碰撞產生能量衰減。伽馬井測可被用來判別地層岩性、估算頁岩體積、沉積環境的分析。

伽馬井測的一個主要應用是區分不同的岩性（圖 2）。雖其不能單靠伽馬井測來定義地層岩性，但伽馬井測提供的訊息可與其他井測提供之訊息結合作判識。富含有機質的頁岩和火山灰顯示出最高的伽馬值，而岩鹽、硬石膏、煤、潔淨砂岩、石灰岩和白雲石的伽馬值最低。頁岩和砂岩、碳酸鹽岩之間的這種放射性差異使伽馬井測能夠區分頁岩和非頁岩。因大自然並非制式化的生產線其會產出各式各樣不同的岩石，例如乾淨的砂岩可能含有長石（長石砂岩）、雲母（雲母砂岩）或兩

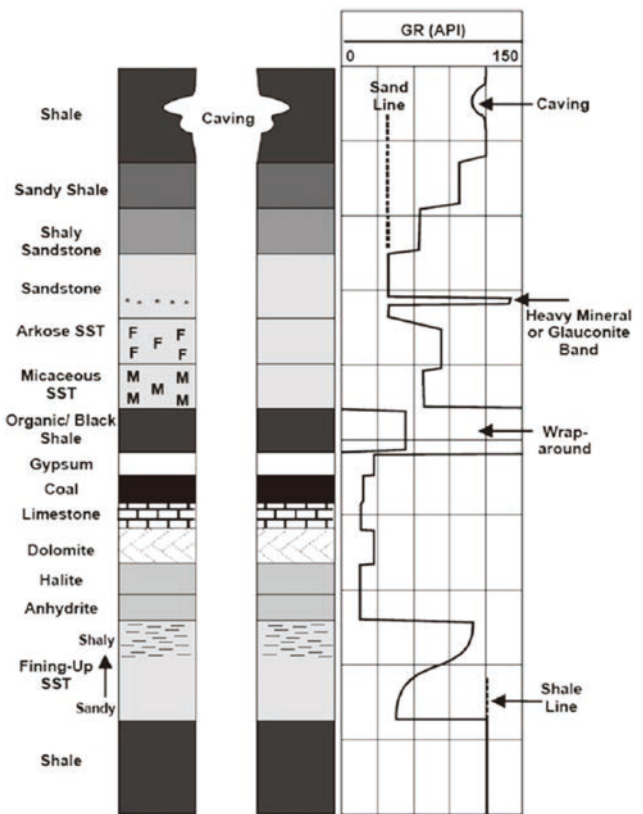


圖 2 常見岩性伽馬射線測井影響 [4]

者兼有（雜砂岩）、海綠石或重礦物，其中任何一種都會使砂岩具有比純石英岩預期更高的伽馬射線值砂岩。特別是黑色頁岩（例如煙源岩），由於其大量有機物含量，在伽馬射線測井中產生顯著影響，因為其通常比其他頁岩具有更高的鈾含量。以北海的 Kimmeridge（上侏羅紀）頁岩為例，其含有 2 ppm ~ 10 ppm 的鈾，通常被稱為「熱頁岩」（Hot shale）。通常頁岩含有 <1 ppm 的鈾，但含有 10 ppm ~ 12 ppm 的鈾，佔總放射性的約 50%。石灰石的 U、Th 和 K 濃度非常低，伽馬射線響應也非常低。然而，在蒸發岩序列中，伽馬測井是鉀鹽非常敏感的指標。

伽馬井測有助於識別地層薄層，因此廣泛用於不同測井作業之間的岩性對比和深度匹配。如前所述，伽馬井測通常用於測量地層的頁岩含量。實際上，頁岩含量往往不是突然變化的，而是隨著深度逐漸變化的。這種逐漸變化代表了岩石的岩相和沈積環境，且受相和沈積環境控制的粒度和分選的變化有關。圖 3 分析了各種沉積環境的伽馬井測影響的形狀。圓柱形代表均勻沉積，並被解釋為風成沙丘、潮汐沙、河流和濁積岩通道以及近端深海扇沉積。鐘形代表向上變

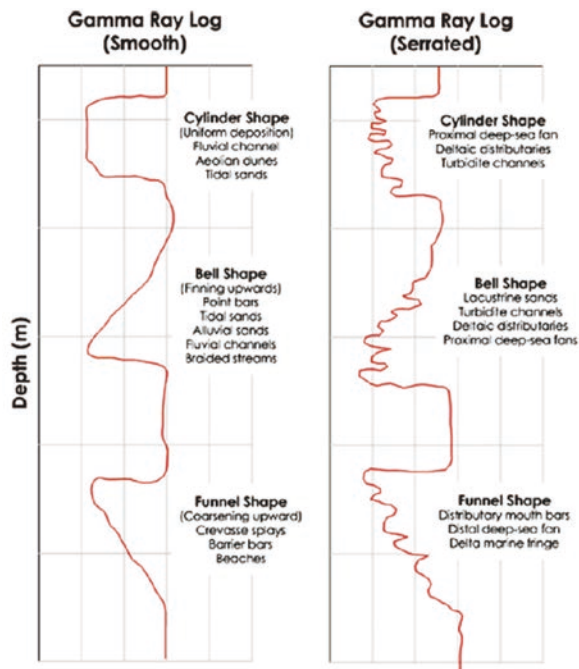


圖 3 伽馬井測影響及其在解釋沉積相和沈積環境中的應用 [2]

細的順序，並被解釋為潮汐砂、沖積砂、河流通道、河曲沙洲、湖泊、三角洲、濁度通道和近端深海扇沉積。漏斗形狀表示向上粗化序列 被解釋為堰洲、沙灘和決口扇、分流河口沙壩和遠端深海扇沉積 [2]。

### 高解析度超音波攝影 (High Resolution Acoustic Televier)

使用高解析度超音波攝影可生成連續且定向的 360 度井壁視圖，從中可以定義地層結構特徵、關係和方向 (圖 4)。

高解析度超音波攝影內有設置 0.5 MHz ~ 1.5 MHz 的訊號傳感器，紀錄聲波的傳輸時間及振幅，收回的聲波信號被記錄為依方位排列之時間-震幅集成的圖像，時差數據可用於生成高解析度之井下影像 (圖 5)。常用的 Acoustic Televier (ATV) 工具。

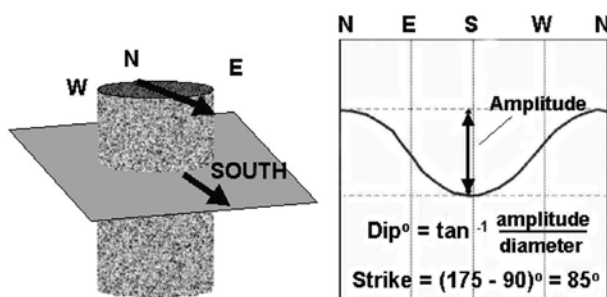


圖 4 井內定向 360 度圖像和方位角和傾角計算 [5]

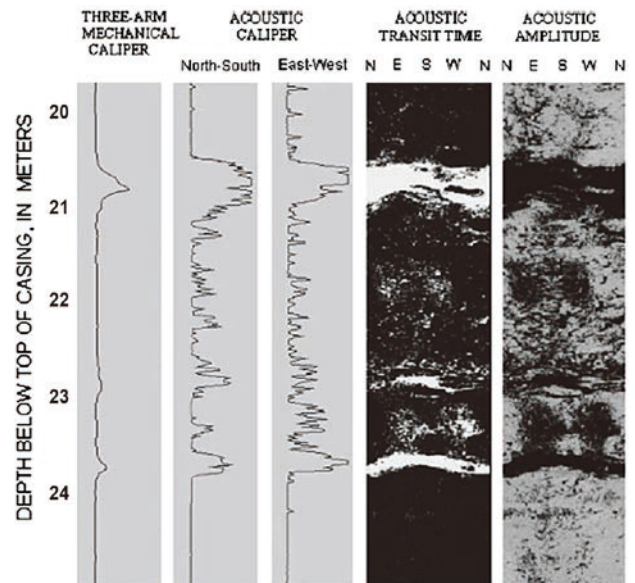


圖 5 150 毫米直徑鑽孔中的三臂機械和聲學測井儀測井以及聲波時差和振幅電視圖像 [5]

## 成功大學資源工程學系教學井

### 教學研究井設置目的

成功大學於資源工程學系系館周圍設置一口研究教學井其深度為 100 m (圖 6)，而其目的以教導學生對於地球物理調查及地層資料收集為主要教學目標，並配合相對應的實習課程如地球物理探勘、井測學、高等油井測估、水文學、岩石力學、大地工程學、觀測地震學等專業且跨領域的課程，藉由此教學井的設置，使學生充分的了解地球物理調查與及工程地質上實際的測量流程、資料處理及解析。教學研究井除了教學用途外，也進行了地層速度與地層透水性相關監測、地下水成分與組成、台南台地之沉積環境分析、成功大學地表抬升監測、教學井下地層抬升速率監測、台南台地近地表之岩石土壤力學參數設定、三維大地電磁與地電阻之測量等相關研究項目。

### 台南地區地質概述

台南地區地層主要為新第三紀碎屑狀沈積岩，多為淺海相至濱海相的沈積環境，該地質環境中所含的化學性或生物性沉積岩不多，僅有不規則之石灰岩體夾雜於不同層位中。台南地區的地面地質主要為現代沖積層 (如圖 7)，東側周緣之丘陵地則出露上新世至更新世之地層，有卓蘭層、古亭坑層、頭嵙山層及台地堆積層；丘陵以東之山區 (大尖山斷層及左鎮斷層

之東側) 則出露中新世至上新世之地層, 有南莊層、桂竹林層、卓蘭層及頭崙山層。

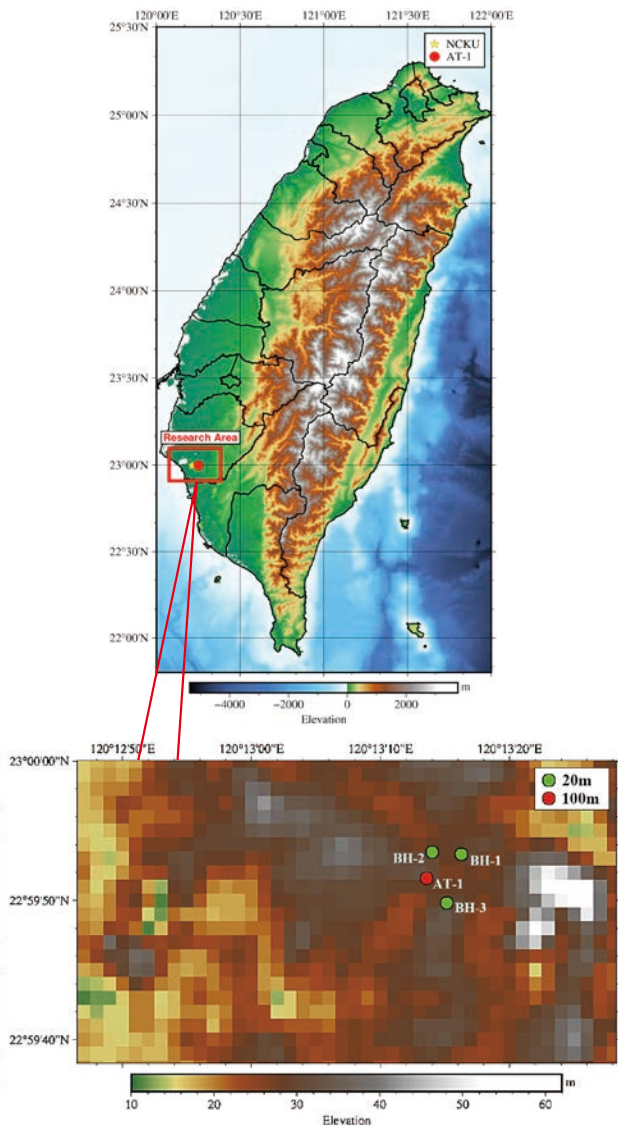


圖 6 成功大學資源工程學系教學井井位圖

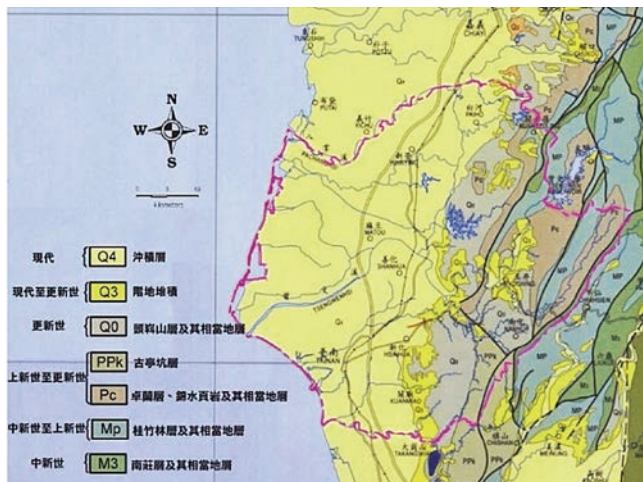


圖 7 臺南地區區域地質圖 [6]

## 施作之井下測量項目

此次測量使用了三種不同的井測探測儀器, 分別是傳統式地球物理井測、聲波井測、井下超音波影像。

### 傳統式地球物理井測

探針長 3.1 公尺、直徑 44 毫米 (參見圖 8a), 由五個電極與一個自然伽馬感測器組成, 能夠在 0 ~ 70°C 及約 204 Atm 大氣壓之溫壓下進行作業, 量測的項目包含:

- (a) 自然伽馬 (Natural Gamma-ray, GR)
- (b) 電阻率 (Resistivity, RES)
- (c) 井下溫度 (Temperature, Temp)
- (d) 自然電位差 (Self Potential, SP)

### 聲波井測

探針長 2.8 公尺、直徑 45 毫米 (參見圖 8b), 由一個發射器與三個接收器組成, 能夠在 0 ~ 70°C 及 204 Atm 的溫壓下進行作業, 量測的項目包含:

- (a) 自然伽瑪 (Natural Gamma-ray, GR)
- (b) 聲波波形圖 (Waveform)
- (c) 聲波到時 (TX-RX1/2/3)

### 井下超音波影像

探針長 1.6 公尺、直徑 48 毫米 (參見圖 8c), 由一組超音波發射器及接收器組成, 能夠在 0 ~ 70°C 及約 204 Atm 的溫壓下進行作業。量測的項目包含:

- (a) 傳遞時間 (Travel time)
- (b) 振幅 (Amplitude)



圖 8 三種井測儀器示意圖及實體照片

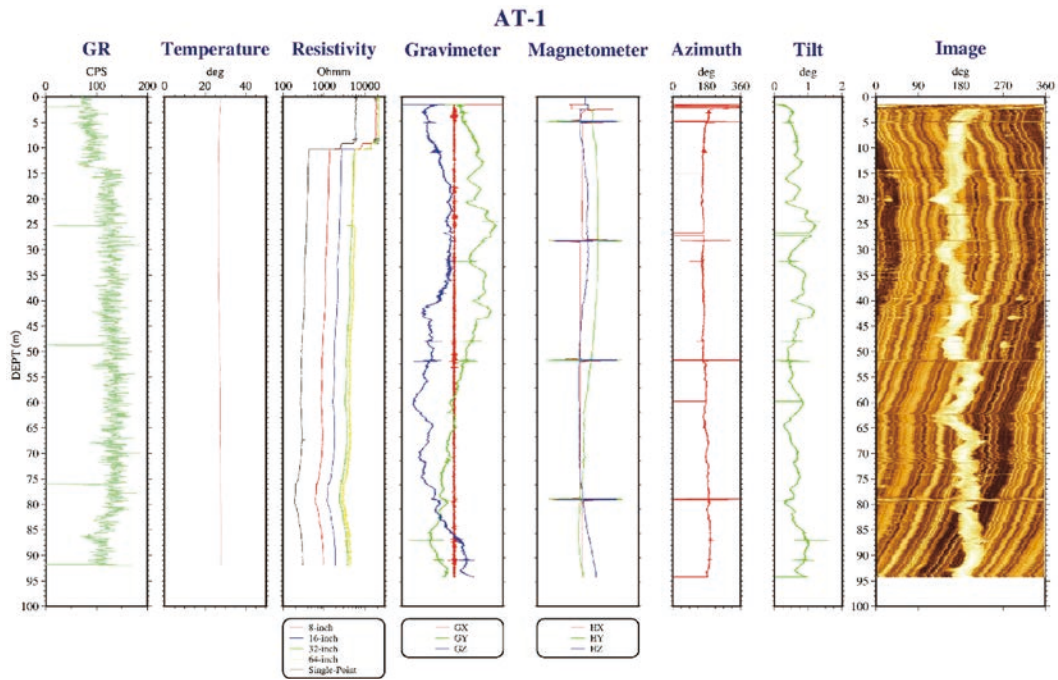


圖 9 教學研究井測資料

超聲波影像的方位需透過井孔當下的方位與傾角進行校正，而探針內設置三軸加速度計與磁力計，透過軟體計算可以得到井偏（Azimuth）與傾角（Tilt）。

### 井測資料處理及結果呈現

本團隊利用相關的商用井測資料處理軟體處理蒐集到的井測資料。井偏（Azimuth）及井斜（Tilt）是由探針內建的三軸磁力計及加速度計的資料計算得出，其結果呈現如圖 9。在 Natural Gamma Ray（GR）的讀值中我們可以發現在 GR 值在 13 m 處開始明顯上升，這代表 13 m 以上的地層其可能為透水性較佳的透水砂層，從 13 m 至 80 m 處 GR 值相對較高其可能為透水性較低之頁岩或泥岩。80 m 以下之深度 GR 值有逐漸降低之趨勢，判斷其可 80 m 至 92 m 以下之地層逐漸從透水性低的頁岩或泥岩轉變成透水性較佳之砂岩層。在設置有磁環的位置處，GR 及磁力計（Magnetometer）之讀數產生較大的變化，日後可藉由定期的量測得到地層的壓縮量以瞭解地層不同深度之沉陷變化。

### 結論

井下電測技術隨著科技的進步，讓我們逐步可以得到地表下高解析度的資料，從初步只能依靠單一井測資料去猜測地層的岩性，到可以運用高解析度超音

波攝影圖像去判別地層的裂隙、傾角走向等地層資訊。這項技術在現代的油氣探採上早已成為鑽探過程的必要工作之一，井下電測技術近年來也運用到地下水資源的調查及工程地質的研究中，近期台灣在地熱能源開發上遭遇到地熱可開發資源不明確的議題，井下電測技術可以針對這項議題提供相關的地層資訊建立相關的地質模型進行儲集層的分析及模擬。進行井下電測技術的測量如同醫生，此技術就是地質學家們的聽診器，透過測得的資料幫助了解地層的真实狀況，並給出最適合的診斷方式去開發、探採。

### 參考文獻

1. MONDOL, Nazmul Haque. (2015). Well logging: Principles, applications and uncertainties. *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*, 385-425.
2. GLOVER, Paul WJ. (2000). *Petrophysics*. University of Aberdeen, UK, 270.
3. KEYS, W. Scott, et al., (1971). *Application of borehole geophysics to water-resources investigations*. Washington, DC: US Government Printing Office.
4. Rider, M.H. (2004). *The Geological Interpretation of Well Logs*. Blackie, Glasgow, 280 pp.
5. Williams, J.H. and Johnson, C.D. (2004). Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies. *Journal of Applied Geophysics*, 55(1), 151-159. doi:https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2003.06.009
6. 經濟部中央地質調查所 (2000)，台灣地質圖，五十萬分之一。



# 臺南台地 現今 地殼變形 機制爭議 之 初步探討 及來自 成大資源工程系教學井之暗示

景國恩／國立成功大學測量及空間資訊學系 副教授

陳松春／經濟部中央地質調查所 科長

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

蔡佩京／國立成功大學測量及空間資訊學系 研究助理

蕭詩涵／國立成功大學測量及空間資訊學系 博士生

陳芊如／國立成功大學測量及空間資訊學系 研究助理

臺灣西南部現今構造活動之成因是否和泥貫入體有關，一直是個極大的爭議。此外泥貫入體現今的活動性也和國土利用規劃、防災與各項建設之設計、維護息息相關。為了釐清泥貫入體對構造發育及其災害型態之特性，本研究藉由臺南地區與國立成功大學成功校區及自強校區之野外調查發現，研究區域之建築物破壞的分布地點是廣泛的散佈在整個台地，且建築物破壞的尺度大小也各異。上述特性並無法用斷層活動來解釋，但卻能用泥貫入體淺部泥貫入筒的發育來解釋。此外，根據成功大學資源工程學系設置之教學井數據分析結果指出，成功大學成功校區之地下水流動方向也可能受到泥貫入筒的發育所影響。

## 前言

臺灣西南部位於馬尼拉隱沒系統至臺灣碰撞造山的過渡帶，是海域一直延伸到陸域之造山前緣增積楔構造；與此同時，藉由震測資料的判釋也指出，一系列的泥貫入體沿著此增積楔構造走向在發育，而且這些泥貫入體所形成之線形排列，可以延伸至陸域一系列雁形排列之背斜構造<sup>[1]</sup>，暗示著陸域的背斜構造可能和泥貫入體的發育有關<sup>[2-4]</sup>（圖 1a）。因此，臺灣西南部便一直存在著一個爭議：「現今之構造活動是由活動斷層還是由泥貫入體在主導？」<sup>[5,6]</sup>若活動斷層主導臺灣西南部之地殼變形，則此地區之地震潛勢與風險將非常高；反之，若由泥貫入體在主導，雖然地震潛勢會大幅下降，但是泥貫入體平時不斷活動所帶來之不

均勻地表變形則會對建物或各項基礎設施帶來持續的危害與破壞，如南二高中寮隧道之案例<sup>[7]</sup>。

臺南台地的發育是探討上述爭議之最佳地點（圖 1b），根據震測與重力之研究成果，臺南台地在過去一直被視為泥貫入體<sup>[4,8-10]</sup>。然而，現今之陸域泥貫入體是否仍然活躍的問題卻一直沒有被釐清，因此，透過 DInSAR 的研究 Fruneau *et al.*<sup>[5]</sup> 指出臺南台地正在抬升，且其台地形貌為西緩東陡，比較接近逆衝與背衝斷層共同形成之上拱構造（pop-up structure），為一系列向東傾斜之逆衝斷層隨著造山前緣構造不斷的向西遞進，最終逆衝斷層的發育主導了現今西南部地表變形之型態<sup>[5]</sup>。由於上拱構造發育之機制更加符合臺灣位於板塊擠壓環境所可能造成之構造型態，因此後續的

研究工作多採用斷層構造發育的角度進行解釋，例如臺灣西南部之脫逸構造 (tectonic escape) [6,11]，而臺南臺地則位於構造脫逸的最西緣。

由於泥貫入體現今的活動性除了會改變我們對臺灣西南部地質活動的認知，更和國土利用規劃、防災與各項建設之設計、維護息息相關，因此本研究將由建築物損壞情形與分布特性的觀點，提出泥貫入體活動的可能性及其危害度，同時也將提出未來持續探討泥貫入體活動的建議作法。

### 臺南地區建築物損壞情形及分布之特性

根據陳松春等人 [10] 的野外地質調查指出，臺南台地有 11 處學校校舍建築物發生抬升損壞情形，分別為台南都會公園、德高國小、中華醫事科大、臺南榮總、崑山科大、臺南大學、後甲國中、成大自強校區、台南二中、台南高工及南臺科大等 (圖 1c)。這些建築物之

抬升都以主結構物抬升，造成結構物和邊溝脫離斷裂為主，建築物相對地表抬升約 3 ~ 10 cm 不等 [10]。根據此調查結果，本研究注意到：(1) 建築物破壞的分布地點並非集中在背斜軸部或是斷層線沿線位置；相反地，建築物破壞的分布是廣泛的散佈在整個台地，甚至是斷層下盤的位置。(2) 建築物破壞的尺度大小差異也各異，由約 100 m × 100 m 大小的教學大樓 (如長榮大學之教學大樓)，至約 1.2 m 寬之一條操場跑道大小 (如德高國小之操場跑道)。

本研究也在國立成功大學成功校區與自強校區進行初步之野外調查，初步了解國立成功大學校園內之建物破壞分布特性 (圖 2a)。計算機與網路中心所在之大樓周圍，皆可見到不論是人行道或是樓梯皆向四周傾斜，且即便沒有植物生長，這些人行道與樓梯皆佈滿破裂裂隙，指出計算機與網路中心大樓正往上抬升中。相對地，其鄰近之地球科學系系館則無此建物破壞型態，顯見此建物抬升僅侷限在計算機與網路中心大樓。另外，測量系館外之道路與工學院大道的道路交叉路口，有一約 4 m × 4 m 大小之約 10 公分路面抬升突起位置。資源工程學系與資訊工程學系新舊系館間，可以見到一向西傾斜的坡面，顯見新建大樓至長榮路之間位處抬升之區域，但是面積大小並不明確。位於自強校區的自強操場，也可以見到操場相對於四周是相對抬升，此抬升所造成之坡面，在操場和化學工程學系與儀器設備大樓之間的東西向道路最明顯，沿林森路之南北向邊緣也可見到。此外，在自強校區機械工程學系及電機新館前之南北向道路，可以見到向北傾斜的坡面，顯見南側之電機工程學系系館與成功大學工學院皆落在地表抬升的位置，但是具體範圍並不明確。此初步之調查結果同樣指出，(1) 建築物破壞的分布地點並非集中在某些特定地區，且 (2) 建築物破壞的尺度大小差異也各異。

根據過去的研究指出，若臺南台地現今之抬升主要是由斷層活動 (後甲里斷層或是臺南斷層) 所主導 [5]，則預期建物破壞會集中在臺南背斜軸部位置，或是背斜兩側斷層線位置上 (圖 1c)。然而，根據目前的初步調查結果顯示，不論是以整個臺南地區的尺度來看 [10]，或是以成大校區的尺度來看，皆指出建物之破壞範圍有其獨立性，並非完全由建築物特性所影響，且地表變形或

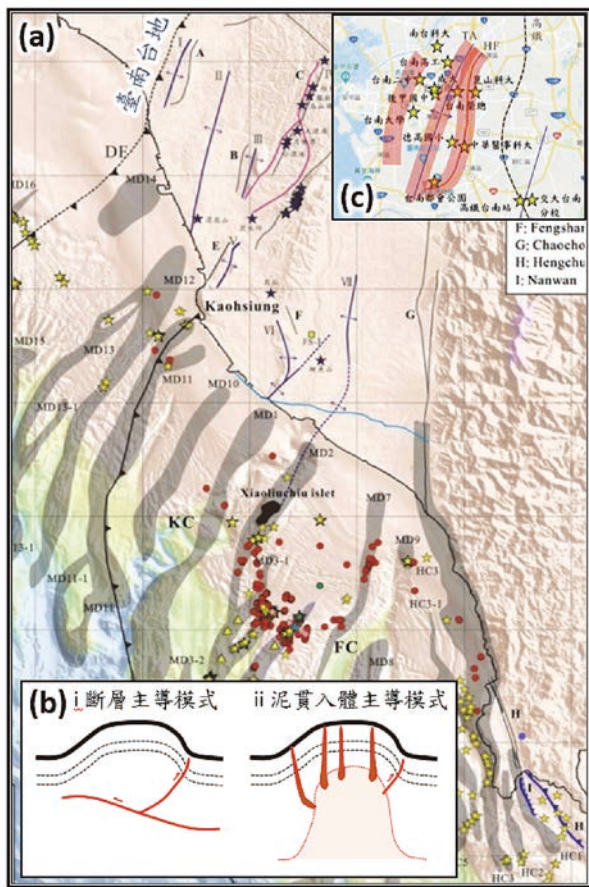


圖 1 臺灣西南部外海泥貫入體與陸域背斜分布位置圖 (修改自陳松春等人 [10])。(a) 泥貫入體 (灰色區域) 與背斜分布位置圖 (藍色實線)。(b) 臺南台地構造發育模式概念圖。(c) 臺南地區建築物破壞分布圖 (黃色星號) 與斷層主導模式預期之建物分布位置 (紅色粗線)。



圖 2 國立成功大學建築物破壞分布位置圖（底圖取自 2009 年成大校園環境藝術節校園分布圖）。(a) 建築物破壞分布位置（紅色方框）與對應之照片。(b) 泥貫入體發育模式<sup>[20]</sup>。

是建物破壞之大小範圍皆不相同。因此，這些建築物之破壞，顯然並非和斷層活動有直接的關係。

## 泥貫入體與後甲里斷層

後甲里斷層多被認為是背衝斷層，大致位於臺南台地東緣，與南北向之中山高速公路平行，並和臺南台地的發育有關<sup>[5,12-14]</sup>。由於臺灣西南地區的深部存在一個低傾角之滑脫面，在這滑脫面上的地層受到從東南往西北方向的大地構造應力，造成上部地層往西滑移，並在臺南台地下方造成向西傾向的後甲里背衝斷層。然而，根據經濟部中央地質調查所在後甲里斷層的調查研究，不論從槽溝開挖或鑽探結果，均未挖掘到後甲里斷層的主斷層帶<sup>[15,16]</sup>，僅可見到多組不同方向的小型斷層，並且臺南層及其上更年輕的地層受劇烈擾動，造成地層撓曲、傾斜及液化等現象。後甲里斷層的活動多是根據現今地表變形數據與數值斷層模型推論而來<sup>[5,12]</sup>。換言之，後甲里斷層是否存在，或後甲里斷層是否為發震構造等問題，其實並沒有非常明確的證據可以支持。

相反地，上述的地質調查證據，或是地表變形分析成果，其實也可以用泥貫入體發育之模式進行描述。泥貫入體是因為快速沉積作用下，沉積物內之水分排出

速度遠小於沉積物的累積速度，隨著沉積荷重之快速增加，造成沉積物中孔隙水壓力之持續上升，再因板塊聚合之側向擠壓力作用，使得深部泥質沉積物往上抬昇，將上部地層上拱形成類似背斜構造，且常伴隨大量流體及甲烷<sup>[17-19]</sup>。由於泥貫入體的活動可以造成背斜構造，且在泥貫入體的抬升過程中，因受到來自東南方向的構造應力作用，在淺部地層形成非發震構造之後甲里背衝斷層。故此泥貫入體與後甲里斷層交互作用之地質模型，將可以解釋目前臺南台地所蒐集到的地質及地球物理證據，同時也可以解釋為何後甲里斷層過去皆沒有地震發生之紀錄。此外，根據 Brown<sup>[20]</sup>對於泥貫入體的描述指出，泥貫入體除了多呈現一包一包類似金針菇的獨立型態<sup>[10,20]</sup>，其淺部也常常有泥貫入筒（diatreme）的發育（圖 2b）。這些泥貫入筒的發育，恰好可以解釋為何臺南台地的建築物破壞是散佈在整個臺南地區，且尺度大小均不一致。

## 來自成大資源工程系教學井之暗示

根據國立成功大學資源工程學系於 2022 年設立之 1 口教學井與 3 口觀測井資料，4 口井之伽瑪射線值之數據分析顯示，除教學井外，其餘 3 口井內皆有一含水層位於地表下 16 m 之 18 m 之間。其中，觀測 3 號

井之地下水層訊號（17 m）相對其餘兩口水文井之深度更低，觀測 1 號井與 2 號井之伽瑪射線曲線有非常高之一致性。因此就含水層深度加以推斷，教學井應位於此區之相對高區，含水層的走向由北向東南遞降。

此結果若是結合在成功大學測量系館外之道路與工學院大道的道路交叉路口，有一約 4 m × 4 m 大小之約 10 公分路面抬升突起位置（圖 2a），以及資源工程學系與資訊工程學系新舊系館間一向西傾斜的坡面，將暗示這 4 口井位可能位於成功校區中一南北向之地下構造低區位置，且北側略高。換言之，成功大學成功校區之地下水流動方向可能受到地下構造發育所影響。

## 結論與建議

臺灣西南部一直存在著現今之構造活動，是由活動斷層還是由泥貫入體在主導的爭議。本研究藉由臺南地區及國立成功大學成功校區與自強校區之野外調查，從地表變形與建築物損壞情形與分布特性的觀點進行探討。結果指出，研究區域之建築物破壞分布地點是廣泛的散佈在整個台地，甚至是斷層下盤的位置；建築物破壞的尺度大小差異也各異，由約 100 m × 100 m 大小的教學大樓，至約 1.2 m 寬之一條操場跑道大小都有可能。結合過去對於臺南台地的地質與地球物理調查成果指出，泥貫入體的活動可以造成背斜構造，且在淺部地層形成非發震構造之後甲里背衝斷層。另外，泥貫入體淺部泥貫入筒的發育，可以解釋為何臺南台地的建築物破壞是散佈在整個臺南地區，且尺度大小均不一致。最後，根據成功大學資源工程學系設置之教學井數據分析結果指出，成功大學成功校區之地下水流動方向可能受到地下構造（泥貫入筒）發育所影響。

## 參考文獻

1. Doo, W.-B., S.-K. Hsu, C.-L. Lo, S.-C. Chen, C.-H. Tsai, J.-Y. Lin, Y.-P. Huang, Y.-S. Huang, S.-D. Chiu, and Y.-F. Ma (2015), Gravity anomalies of the active mud diapirs off southwest Taiwan, *Geophys. J. Int.*, 203, 2089-2098.
2. Pan, Y.S. (1968), Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies over southwestern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 6, 197-207.
3. 翁群評 (2001)，小崗山斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 84 頁。
4. Chen, Y.-G. and T.-K. Liu (2000), Holocene uplift and subsidence

along an active tectonic margin southwestern Taiwan, *Quat. Sci. Rev.*, 19, 923-930.

5. Fruneau, B., E. Pathier, D. Raymond, B. Deffontaines, C.-T. Lee, H.-T. Wang, J. Angelier, J. P. Rudant, and C.-P. Chang (2001), Uplift of Tainan Tableland (SW Taiwan) revealed by SAR interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3071-3074.
6. Lacombe, O., F. Mouthereau, J. Angelier, and B. Deffontaines (2001), Structural, geodetic and seismological evidence for tectonic escape in SW Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 323-345.
7. 楊名、景國恩、楊智堯、吳宗翰、吳文隆、蕭秋安 (2018)，廣域大地變位之利用 GPS 監測分析與解算—以國道 3 號田寮 3 號高架橋及中寮隧道大地變位監測為例，*中華技術*，第 119 期，第 122-135 頁。
8. Hsieh, S.-H. (1972), Subsurface geology and gravity anomalies of the Tainan and Chungchou structures of the coastal plain of southwestern Taiwan, *Petro Geol Taiwan*, 10, 323-338.
9. 郭炫佑 (1999)，後甲里斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 83 頁。
10. 陳松春、景國恩、羅祐宗、陸挽中 (2020)，台南背斜及中洲背斜之泥貫入體特徵、活動性及地質安全，*經濟部中央地質調查所彙刊*，第三十三號，第 1-32 頁。
11. Ching, K.-E., R.-J. Rau, J.-C. Lee, and J.-C. Hu (2007), Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995-2005, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 262, 601-619.
12. 饒瑞鈞、景國恩、劉宗訓、余致義、侯進雄、李元希、胡植慶、詹瑜璋、李建成、洪日豪 (2003)，台南台地的地表變形與地震潛能。*經濟部中央地質調查所特刊*，第 14 號，第 161-171 頁。
13. 林耕霽 (2012)，利用永久性散射體差分干涉法探討台南地區之地殼形變。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 81 頁。
14. Le Béon, M., Huang, M.-H., Suppe, J., Huang, S.-T., Pathier, E., Huang, W.-J., Chen, C.-L., Fruneau, B., Baize, S., Ching, K.-E., and Hu J.-C. (2017), Shallow geological structures triggered during the Mw 6.4 Meinong earthquake, southwestern Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 28, 663-681.
15. 陳文山、李錫堤、陳于高 (2003)，地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫 (2/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 92-7 號。
16. 陳文山、陳于高、楊小青 (2006)，地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫 (5/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 95-7 號。
17. Brown, K. and G.K. Westbrook (1988), Mud diapirism and subcretion in the Barbados Ridge accretionary complex: the role of fluids in accretionary processes, *Tectonics*, 7, 613-640.
18. Pérez-Belzuz, F., B. Alonso, and G. Ercilla (1997), History of mud diapirism and trigger mechanisms in the Western Alboran Sea, *Tectonophysics*, 282, 399-422.
19. Kopf, A.J. (2002), Significance of mud volcanism, *Rev. Geophys.*, 40, 1005, doi:10.1029/2000RG000093.
20. Brown, K.M. (1990), The nature and hydrogeologic significance of mud diapirs and diatremes for accretionary system, *J. Geophys. Res.*, 95, B6, 8969-8982.





# 微地動資料在 地層判識上之應用 — 以成大資源工程系教學井為例

吳澄峰／國立成功大學地球科學系 助理研究學者

饒瑞鈞／國立成功大學地球科學系 教授

陳英琪／國立成功大學地球科學系 博士後研究員

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

微地動 (microtremor)，又或稱為環境噪聲 (ambient noise)，主要是由自然現象 (如海浪、風、微地震活動) 或人類活動所產生，由於微地動訊號在傳遞過程中，帶來地底下豐富的構造信息，經由適當的量測規劃與資料分析，我們將可藉此了解地下之構造特徵 (如：速度分布及層面位置)，甚至可進行構造的推論 [1]。為探討成功大學校園附近之地下構造背景，我們選擇在資源工程學系系館前從事微地動量測，速度構造結果顯示場址下方 300 m 內之 S 波速度值隨深度漸增，且於深度 45 m 附近有較大的速度梯度變化，此深度與共振主頻 (1.83 Hz) 所推估之界面相一致。再者，綜合微地動量測與懸盪式波速井測資料，地層 (100 m) 大致可分為五個速度層，然而兩者在近地表處仍存在一些速度差異。透過不同地球物理方法之結果整合，我們對於地層分布的解釋將會更有把握。

## 微地動量測規劃

2022 年 8 月 15 日成功大學於成功校區的資源工程學系系館前完成一口 100 m 之教學研究井 (AT-1，圖 1)，為了解成功大學校園附近之地下構造背景，並提供不同地球物理方法間之結果比對，本研究團隊於 2021 年 9 月，在教學井附近完成了微地動陣列 (取名為 RE) 的規劃及量測工作。本研究量測所使用之儀器為 DiGOS 公司所出產之 DATA-CUBE<sup>3</sup> 紀錄器和 HG-6 Geophone 感震器，根據現地可佈設儀器的狀況，我們以 16 部地震儀，採五個同心圓 (三角形) 方式同步量測 (圖 1 中藍色三角形)，最小測站距約為 4 m，最大達 110 m，不同測站距將影響可探測的深度。施測時

為提高量測資料的解析度，將儀器的增益 (gain) 值提高至 16 dB，每秒取樣率為 200 點，記錄時間總長度為 5.5 小時。為避免風直接吹向感震器而影響其在低頻的表現，量測期間，我們使用防潮箱罩住感震器作為防風措施，現地擺設情形如圖 1 照片所示。此外，為了豐富教學井在未來課程教學及研究上之多樣性，本研究團隊於 2022 年 8 月下旬委請工程顧問公司，在 AT-1 教學井從事懸盪式波速井測 (P-S logging)，用以獲得 P 波、S 波速度及波松比 (Poisson's ratio) 隨深度之變化，我們將以此資料與微地動量測所得結果進行比對與討論。

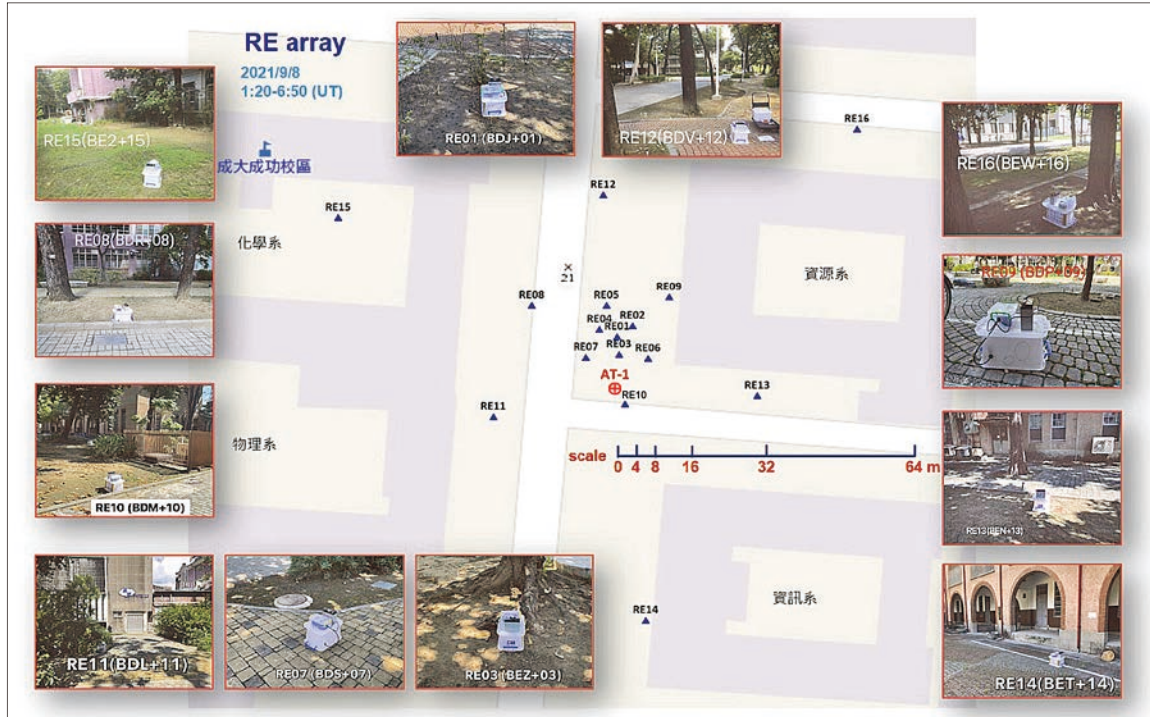


圖 1 成大資源工程系井測 (AT-1) 位置 (⊕) 及微地動 RE 陣列量測位置 (▲) 分布圖

## 陣列資料分析流程

目前微地動陣列常用的分析方法有空間自相關 (SPAC) 法 (spatial autocorrelation method) [2] 及高解析頻率-波數 (F-K) 法 (high-resolution frequency wavenumber method) [3]。本研究採用 F-K 方法進行陣列資料的分析, 以獲得表面波頻散曲線, 並輔以逆推技術, 估算淺層 S 波速度構造。資料處理流程如圖 2 所示, 其步驟如下:

- 取得所有測站之垂直分量紀錄, 並剔除人為干擾之時間段。
- 以 Geopsy 軟體 (Wathelet *et al.* [4]) 進行 F-K 分析。分析時, 以頻率作為擷取視窗 (time window) 長度之依據, 即高頻和低頻分別使用較短及較長視窗作分析。經 F-K 分析後可獲得不同頻率之相速度值, 將相速度資料進行篩選, 並計算平均值和標準差即可得到最後之平均雷利波頻散曲線。利用陣列最小展距 ( $l$ )、最大展距 ( $L$ ) 與波長 ( $\lambda$ ) 之間的關係 (分析結果中將有詳細之說明), 可計算不同頻率 ( $f$ ) 下合理之相速度值 ( $C$ ), 我們可依此作為頻散曲線挑選之依據。
- 為加速收斂逆推過程中理論與與觀測相速度之結果, 我們將圖 2(b) 中之觀測資料, 透過波長與可探

測深度之轉換, 計算出一條 S 波速度隨深度變化之回歸式, 依此進行初始模型的假設。初始模型的地層數設定為 100 層, 每一層厚度皆相同, 泊松比則參考井測資料設定為 0.44。

- 於逆推過程中, 當每層 S 波速度相鄰逆推結果之差值小於 0.001 km/s 時, 則逆推終止, 並謹慎評估觀測值與理論值的差值, 以獲得合理之 S 波速度構造。
- 為獲得地層之細微速度變化情形, 本研究使用表面波逆推方法 (Hermann [5]) 中的 differential 逆推技術來推估 S 波速度構造。

## 單站資料分析流程

藉由單站頻譜比 (HVSR) 法 (horizontal-to-vertical spectral ratio method) [6] 分析微地動資料, 可獲得主頻與放大倍率分布的情況, 每一測站記錄的資料處理流程如圖 3, 其步驟如下:

- 取得微地動速度紀錄的三分量 (南北、東西及垂直) 資料。
- 將三分量的視窗資料各別經由快速傅立葉轉換 (FFT) 至頻率域。分析過程中, 以 40.96 秒為一單位對微地動資料進行視窗擷取, 為增加分析樣本

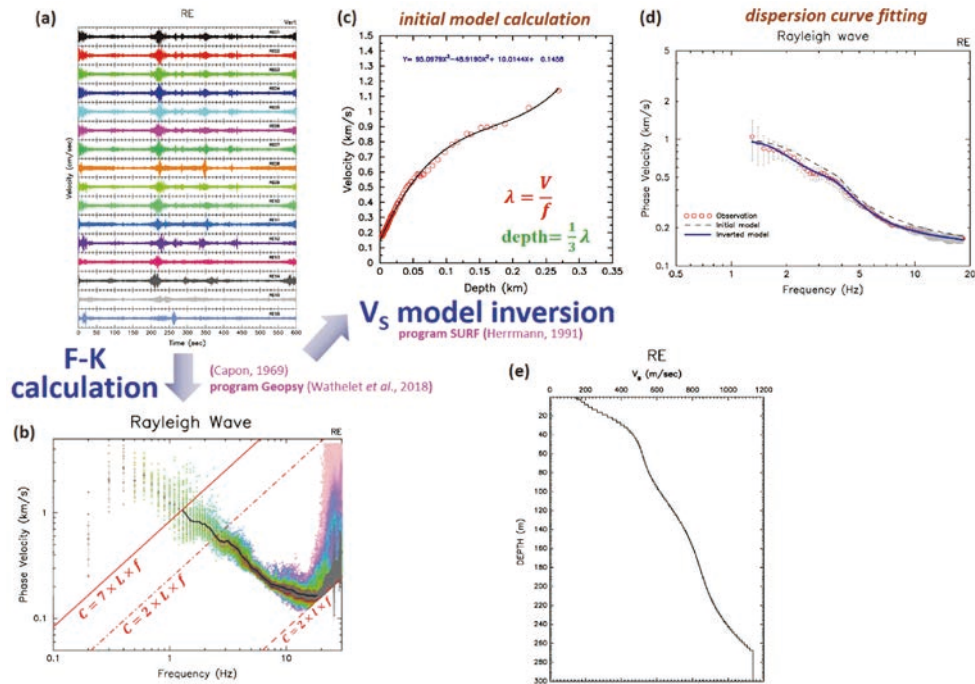


圖 2 微地震陣列分析方法流程圖：(a) 微地震陣列量測之垂直向波形圖；(b) 經 F-K 分析所得之相速度－頻率分布圖；(c) 逆推速度模型過程中初始模型之計算方式；(d) 理論與觀測頻散曲線擬合情形；(e) 經平滑化逆推技術 (differential inversion technique) [6] 所得之速度模型。

數，採用移動視窗 (moving windows) 方式，將截取的兩個視窗訊號重疊 50%。另外，為避免訊號擷取後，產生突兀不連續的情形，於視窗擷取時，對視窗兩側使用餘弦窗函數 (cosine taper) 作修邊。

(c) 東西向 (EW)、南北向 (NS) 以及水平向之均方根 (RMS) 傅氏頻譜各別除以垂直向傅氏頻譜，將所有視窗的頻譜比進行平均可得到 HVSR 曲線和對應之標準差。HVSR 計算過程中，為避免虛峰值的產生，採用頻寬 0.25 Hz 的 Hann 窗函數進行平滑化處理。

(d) 利用陣列所得速度模型 ( $V_s$ ) 及 HVSR 所得之共振主頻 ( $f_0$ )，我們可估算單站頻譜比所反應之主要地層界面深度 ( $H$ )。

## 分析結果與討論

透過 F-K 的分析，可獲得相速度在不同頻率下之分布情形，這反應著地下速度構造變化的趨勢與特徵。圖 2(b) 為 RE 陣列之雷利波 (Rayleigh wave) 相速度分析結果，其中橫座標代表頻率，縱座標為相速度值，每個資料點的顏色代表其機率密度函數 (probability density function, PDF) 的大小，越接近深紅色，表示相速度資料越集中。當頻率  $> 2$  Hz 時，相速度值相當收斂，高頻可延伸至  $\sim 18$  Hz；當頻率  $< 1.5$

Hz 時，相速度值則略為發散。根據理論的奈奎斯特波數 (Nyquist wavenumber) 計算，最小波長與最小測站距之關係約為 2；另最大波長與最大測站距之關係其範圍較大 (約 2~7) [7]，然而控制一個場址之最大可探測波長的因素，除了取決陣列的尺寸外，場址下方之波場特性亦會造成分析結果之差異。依上述波長與展距的關係，我們畫出圖 2(b) 中之紅色線，用以決定挑選頻散曲線的範圍，圖中黑色實線即為最終選取之頻散曲線，依此做為逆推速度構造之依據，其頻率最低及最高分別為 1.3 Hz 及 18.3 Hz。若根據表面波可解析的深度為波長的 1/3 倍，RE 陣列可解析之最大深度  $\sim 270$  m，經速度構造的逆推，我們獲得 RE 陣列 300 m 內之速度模型 (圖 2(e))。

圖 2(c) 為 RE01 (陣列中心點測站) 之平均單站頻譜比結果，橫座標代表頻率的大小 (0.1~20 Hz)，縱座標為頻譜比值。圖中藍色、綠色及紅色線分別為南北 (NS)、東西 (EW) 及均方根 (即 NS 和 EW 取 root mean square, RMS) 之 HVSR 結果，灰色區塊代表其 RMS 的平均值加減一個標準偏差，結果顯示標準偏差不大，代表所得頻譜比值相當穩定。再者，NS 及 EW 分量之 HVSR 結果差異不大，可得知此場址下方的地層特性其側向不均的現象不顯著。由圖上可明顯看出於 1.54~

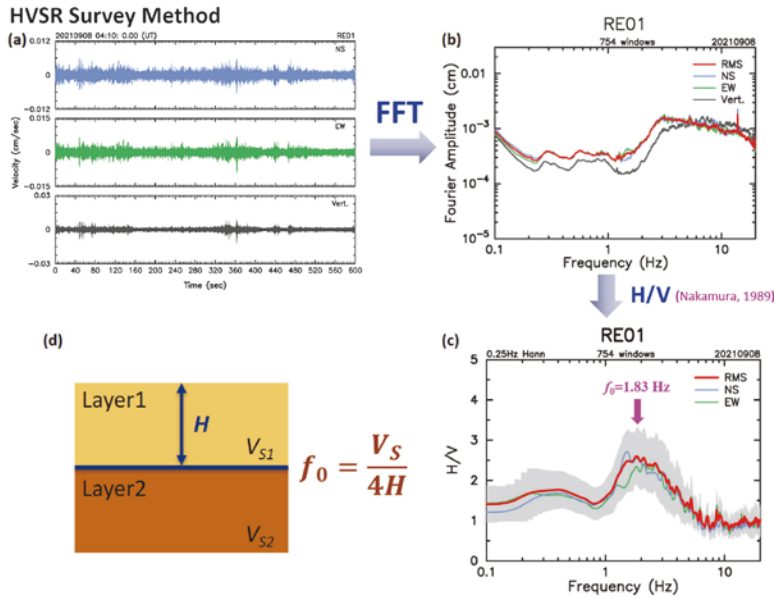


圖 3 微地動單站分析方法流程圖。(a) 微地動單站 (RE01) 量測之三分量波形圖；(b) 經 FFT 計算所得之三分量及水平向之均方根傅氏頻譜；(c) 經頻譜比計算後之 HVSR 曲線及其標準差；(d) 結合單站頻譜比結果與陣列之 S 波速度模型 (圖 2(e))，可推估 HVSR 中共振主頻所反應之地層界面深度。

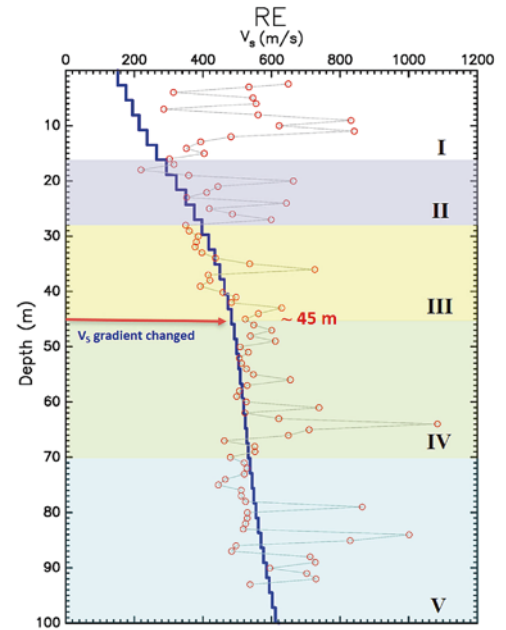


圖 4 微地動陣列所得之 S 波速度構造 (藍色線) 與懸盪式波速井測資料 (空心圓) 之比對結果

2.61 Hz 附近為放大倍率高區，其中共振主頻 ( $f_0 = 1.83$  Hz) 處放大倍率值為最大 (2.6)，此表示淺層處存在一界面，其上下地層速度對比明顯。而當頻率  $< 1$  Hz 時，於 0.4 Hz 附近有些微放大情形 (放大倍率  $\sim 1.77$ )，代表在此場址下方深處存在一速度對比不明顯之界面層。

最後，利用微地動陣列、單站及井測資料進行綜合討論：根據 RE 陣列及井測資料在深度 100 m 內之 S 波速度構造比對結果 (圖 4)，在某些深度，井測速度值會有突然驟升的現象，尤其在淺層 15 m 內，井測速度異常的高，於施測期間，此深度在訊號判讀上亦非常不穩定，其資料的可靠度，需後續進一步與其他物探資料 (如井下攝影或岩芯粒徑分布) 進行比對才能確認。根據陣列與井測所得之速度變化趨勢，在 100 m 的深度範圍內，我們大致可將地層分為五個速度層 (圖 4 中 I-V)，界面深度大約位於 16 m、28 m、45 m 及 70 m。根據陣列結果，平均 S 波速度依序為 (I) 213 m/s、(II) 349 m/s、(III) 446 m/s、(IV) 511 m/s 及 (V) 572 m/s；井測結果則依序為 (I) 536 m/s、(II) 428 m/s、(III) 470 m/s、(IV) 585 m/s 及 (V) 595 m/s。除第一層之外，兩方法所得 S 波速度值相當接近，顯示微地動陣列所得結果相當具參考價值。另外，利用圖 3(d) 所提之公式，可推估 1.83 Hz 附近之共振土層深度約為 45 m，此結果恰

位於陣列及井測所得之 S 波速度梯度變化 (轉折) 位置。綜合上述研究結果，微地動資料分析提供了另一個探討地層分布之有效方法。然僅使用單一地球物理探勘資料進行地層判識，仍存在一些不確定性，若整合不同方法之結果，可彌補各方法不足之處，在地層的解釋上將更有說服力。

### 參考文獻

1. Wu, C.F. and Huang, H.C. (2019). Detection of fracture zone using microtremor array measurement. *Geophysics*, 84(1), B33-B40.
2. Aki K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, 415-457.
3. Capon, J. (1969). High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. *Proceedings of the IEEE*, 57(8), 1408-1418, 10.1109/PROC.1969.7278.
4. Wathelet, M., Chatelain, J.L., Cornou, C., Giulio, G.D., Guillier, B., Ohrnberger, M., and Savvaidis, A. (2020). Geopsy: A user friendly open source tool set for ambient vibration processing. *Seismological Research Letters*, 91, 1878-1889.
5. Hermann, R.B. (1991). Surface wave inversion program (from computer program in seismology volume IV).
6. Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute, *Quarterly Reports*, 30(1).
7. Wu, C.F. and Huang, H.C. (2015). S-wave velocity structure of the Taiwan Chelungpu-Fault Drilling Project (TCDFP) site using microtremor array measurements. *Pure and Applied Geophysics*, 172(10), 2545-2556.



# 台南地區地下水層 水化學特性時序變化 — 以成大資源工程系教學井為例

李孟旋／國立成功大學地球科學系 碩士研究生

劉厚均／國立成功大學地球科學系 助理教授

陳彥宏／國立成功大學地球科學系 研究助理

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

地球表面約有 71% 的面積被水覆蓋。透過蒸發、凝結、降雨，水循環形塑了地表的形貌、調節地表溫度、還孕育了無數的生命。在這樣的過程中，水分子無時無刻與周遭的環境進行反應：溶解與釋放氣體分子、不同水團的混合、溶解各種岩石礦物材料、供應所需營養鹽給動植物等。因此，解析水地球化學參數（溫度、pH、溶氧量、氧化還原狀態等）與水化學組成（陰陽離子），能夠重建與追溯水循環的傳輸途徑與反應過程，諸如水岩交互作用與各種生物地球化學的反應，對於探究環境的變遷是一項相當重要的工具。儘管地表水源豐沛，然而淡水資源僅佔整體水資源的 3%，相當珍稀。地下水為地表最大的可用淡水資源（30.1%；68.7% 為山麓冰川及冰原，河川 < 0.1%），了解不同環境與氣候狀態下，地下水的水化學特性變化，對於水資源保護與永續使用，將有極大的助益。

## 成大資源系教學井時間序列水化學分析

在國立成功大學的資助下，成大資源系於 2022 年 8 月完成一口地下 100 公尺及三口地下 20 公尺之教學觀測井。觀測井的設置，除了肩負了實作教學的重任，對於台南地區沈積環境、地表抬升速率、地下水位、地下水化學成分及土壤力學參數等多項觀測研究饒富多重層面的科學意義。有關地下水的化學組成與特性，成功大學地球科學系非傳統穩定同位素實驗室（Non-traditional Stable Isotope Laboratory, NSI）針對 100 公尺主觀測井（出水深度估為 90 公尺深）進行時間序列的採樣，長期分析地下水多種水化學參數與化學元素的組成，以了解不同乾濕季氣候條件下，台南地區地下水的化學變異特性。

自 2022 年 9 月起，本團隊在主觀測井以雙週為頻率進行地下水採樣分析。在井口清除表面附著物後，先以 Hanna HI9829 多參數水質測試儀深入井內現地測量地下水水溫、pH、氧化還原電位及導電度；而後，使用抽油管汲取井水裝入潤洗過的 250 ml 高密度聚乙烯塑膠瓶，攜回實驗室之後即以孔徑 0.2  $\mu\text{m}$  的尼龍纖維濾紙過濾水樣並進行陰陽離子分析。

地下水主要化學元素（鈉、鉀、鈣、鎂、鋇、鋇、矽、氯及硫）係以 Spectro Arcos 感應耦合電漿放射光譜儀（Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy, ICP-OES）分析。水樣以 5%  $\text{HNO}_3$  稀釋 100 倍之後，以實驗室配置之高純度元素標準液（High-Purity Standards, United States）進行定量，分析誤差

(RSD) 約在 ±3% 以下。溶解無機碳濃度 (Dissolved inorganic carbon, DIC:  $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{CO}_3^{2-}$ ) 係根據 Chen *et al.* [1] 方法, 由採樣點測得之導電度與溫度參數計算  $\text{pH}_{\text{HCO}_3^-}$  當量點。取 50 ml 地下水樣品, 使用 905 Titrandro 自動電位滴定儀以 0.1 M 之 HCl 及 NaOH 來回滴定, 先獲得水樣之總鹼度, 再根據以上參數藉由 CO2SYS 程式計算出 DIC 濃度。

### 初步時間序列觀測結果

本研究目前已經收集約三個月的觀測資料 10 個觀測時間點 (2022/9 ~ 2023/1, 圖 1), 觀測時間均屬於台南乾季季節。現地觀測結果顯示: 水溫介於 24.0°C ~ 29.5°C; pH 介於 7.09 ~ 7.61; 導電度介於 19.62 ~ 49.71  $\text{ms cm}^{-1}$ ; 氧化還原電位介於 -272.6 ~ -95 mV。溫度 (< 3%) 與 pH (~ 8%) 的變化不大, 導電度 (~ 20%) 及氧化還原電位 (~ 36%) 在時序上呈現較大的變異程度, 反應該時間段地下水的離子濃度和化學反應有所改變。



圖 1 100 公尺主觀測井水質觀測採樣時井口狀態變化

水化學組成方面, 鈉 ( $479 \sim 1356 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 是最主要的陽離子, 其次依序是鈣 ( $178 \sim 367 \text{ mg kg}^{-1}$ )、鎂 ( $102 \sim 235 \text{ mg kg}^{-1}$ )、鉀 ( $40 \sim 89 \text{ mg kg}^{-1}$ )、鋇 ( $7 \sim 16.6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 及鋇 ( $1.61 \sim 4.60 \text{ mg kg}^{-1}$ ); 氯 ( $6.6 \sim 16.5 \text{ g kg}^{-1}$ ) 則是最主要的陰離子, 濃度遠高於碳酸氫根離子 ( $14.1 \sim 46 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 與硫酸根離子 ( $6.1 \sim 7.6 \text{ mg kg}^{-1}$ )。過去三個月的離子濃度變化趨勢, 除了硫酸根離子 (8%) 與碳酸氫根離子 (33%) 除外, 其他所有離子濃度的變異程度約在 20% 左右, 與導電度的變化幅度相近 (圖 2)。

初步的觀測結果, 以視覺化的方式將陰陽離子的

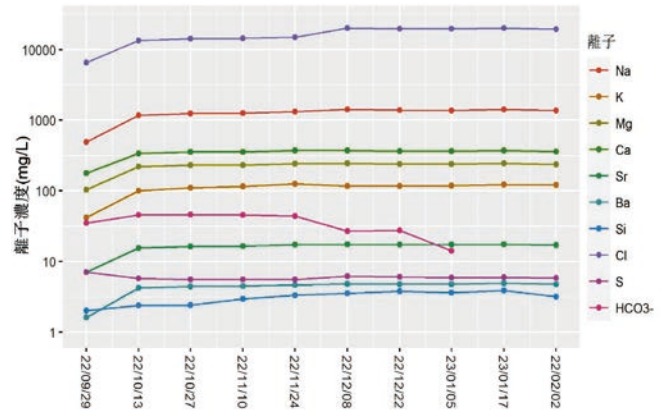


圖 2 2022/9 ~ 2023/1 成大資源系主觀測井地下水主樣陰陽離子濃度變化趨勢

平均濃度呈現在地圖圖資上 (圖 3), 並與行政院環保署環境資料開放平台區域地下水水質監測資料做相應比較, 以了解本觀測井水質的概況與特色。綜觀而言, 最大的差異為: 成大觀測井之地下水陰陽離子濃度均比鄰近測站歷史資料為高。但是, 在此必須強調, 由於每個測站的水面距離井口深度不同, 地下水的水質可能代表不同地層的地下水特性。因此, 此圖僅能作為概略了解成大井地下水離子濃度與鄰近測站觀測資料上的差異與特色, 數據之間並無地理上等因果之關係; 相關之討論需有更詳盡的資料與數據來佐證。

### 未來展望

截至目前為止, 成功大學資源系觀測井地下水化學特性長期監測計畫, 已經獲得約三個月的觀測資料。儘管目前在計畫初期資料有限, 但本計畫在配合相關課程教學之下, 可以達到長年持續進行觀測的目標。未來在累計多年的觀測資料後, 將有利於探討台南台地深層儲水層 (約 93 公尺深) 季節性或週期性的水化學變化與特性; 結合岩芯樣本的礦物學與化學分析, 將有助於解釋地下水化學組成變化之原因。上述基本水文與水化學特性基礎觀測完備後, 長程規劃以適當之同位素系統, 以同位素地球化學方法來溯源地下水金屬元素的源匯模型 (source to sink), 進一步反應地下水在逕流過程中的相關生物地球化學反應過程。長期觀測研究成果將有助於了解台南地區地下水的特性、反應途徑、水質狀態及對地表水的影響等, 對於環境保護及有效水資源利用將有所助益。

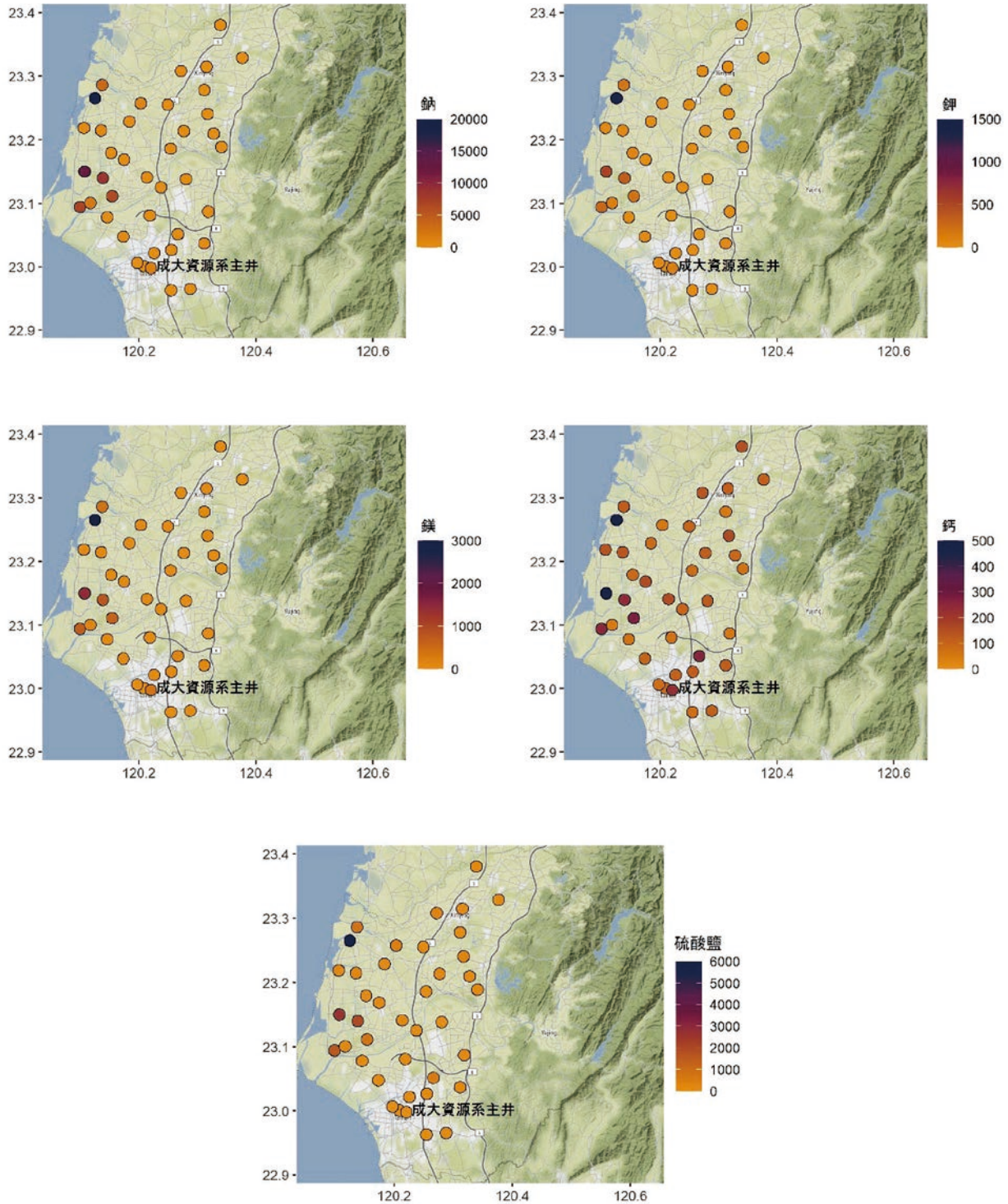


圖 3 成大資源系主觀測井地下水平均陰陽離子濃度與鄰近測站歷史資料對照圖，濃度單位均為 mg/kg。  
 (測站點位資料：環保署環境資料開放平台—區域性地下水水質監測井基本資料<sup>[2]</sup>；化學元素濃度  
 數據：環保署全國環境水質監測資訊網—歷史數據：2022 年第四季地下水水質監測資料<sup>[3]</sup>。)

### 參考資料

1. Chen, Y., Zhang, L., Xu, C., and Vaidyanathan, S. (2016). Dissolved inorganic carbon speciation in aquatic environments and its application to monitor algal carbon uptake. *Science of the Total Environment*, 541, 1282-1295.
2. 環保署環境資料開放平台—區域性地下水水質監測井基本資料 ([https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/WQX\\_P\\_07](https://data.epa.gov.tw/dataset/detail/WQX_P_07))
3. 環保署全國環境水質監測資訊網—歷史數據 (<https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/ConService/DownLoad/HistoryData.aspx>)



# 電腦斷層掃描於 井孔岩芯上之應用 — 以成大資源工程系教學井為例

郭慶利／國立成功大學資源工程學系 大學專題生

吳泓昱／國立成功大學資源工程學系 助理教授

陳靜玟／成大醫院影像醫學部 組長

岩芯 (core) 是指由鑽探取得的圓柱狀岩石樣本，提供同一區域在沈積環境時間序列上的地層的變化資訊，是了解地層性質最直觀的研究方法之一。岩芯最初應用於油、氣田的探勘開採，透過分析岩芯的組成、密度及孔隙率，便可知悉地層的構造、物化性質和所含流體情況，從而應用於地質調查、儲集層探勘等。國立成功大學資源工程學系在成功大學工學院的協助下，於系館周圍鑽取了三口研究井及一口研究教學井，以供研究及教學上的使用，在全程取岩芯的設計下，我們使用了研究教學井之深層岩芯分析臺南台地之地層環境，並使用了醫學上之電腦斷層掃描。

## 岩芯分析方法

在岩芯的分析上，密度及孔隙率是影響地層性質的重要參數，傳統上會採用 MAD 法 (Moisture and Density) 實際對沉積物進行採樣，藉由測量乾、濕重等數值計算出密度及孔隙率，但此種方法必須對岩芯進行樣本的採樣，且此破壞性的測量方法會損壞岩芯的完整性，產生的誤差也可能在 10% ~ 20%<sup>[1]</sup>。在某些特殊的狀況下，外在環境的改變會對岩芯內部結構造成影響，因此最重要的便是在岩芯回收後、內部性質未曾改變前盡快分析取得其物理性質的資料。例如內含天然氣水合物 (gas hydrate) 的岩芯，由於天然氣水合物會因環境溫度、壓力的改變而迅速氣化而散失，導致岩芯的密度及孔隙率會在數小時內快速改變，故分析的過程便刻不容緩。有鑑於此，近年來具備快速且非破壞性的 X 光電腦斷層掃描技術已逐漸成為地質材料分析的主要方法。

## XCT 簡介

X 光電腦斷層掃描 (X-ray Computed Tomography, XCT) 是一種非破壞性及非侵入性的成像技術，最初是作為醫療用途所研發，藉由量測多角度 X 光入射物體後的衰減程度，獲得二維的橫截面圖像，更可進一步重建三維的內部結構。而在地球科學的研究上，同樣可從連續 XCT 圖像中密度及原子的組成變化，還原出材料的內部結構。X 光的強度會隨著入射的路徑長及線性衰減係數 (linear attenuation coefficient, LAC) 而改變。線性衰減係數是指 X 光在穿越每單位厚度的材料時因吸收或散射所造成的光子數衰減比例，其數值受材料的化學組成及密度所影響，而被量化後的線性衰減係數即為亨氏單位 (Hounsfield unit, HU)，亦即 CT 值 (CT number)，定義如式 1：

$$CT\ number = \left( \frac{\mu_r - \mu_w}{\mu_w - \mu_a} \right) \times 1000 \quad (1)$$



$\mu_t$  為材料之線性衰減係數， $\mu_w$  及  $\mu_a$  則分別為水和空氣之線性衰減係數，由於空氣的線性衰減係數趨近於零，故式 1 可簡化為式 2：

$$CT\ number = \left( \frac{\mu_t - \mu_w}{\mu_w} \right) \times 1000 \quad (2)$$

因此，CT 值可看作是材料相對於水的衰減程度 ( $CT_{water} = 0$ )，當 CT 值為正時，代表 X 光在材料中的衰減程度比在水中要來的大；反之，CT 值為負代表其衰減程度較小，譬如空氣的 CT 值即為 -1000。

在對材料進行 XCT 掃描後，便會將各類 CT 值以黑白的灰階形式呈現。在一般情況下，CT 值會與材料密度呈正比，密度愈小者，其 CT 值愈小（負值），顏色會愈黑，而密度越愈大如堅硬岩顆粒則會呈現白色（CT 值 > 2000）（圖 1），如此便可對岩芯的密度及孔隙率做初步的估算。

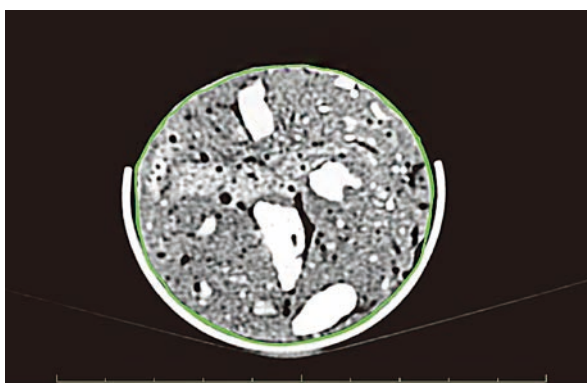


圖 1 岩芯 XCT 圖，其中白色塊狀物則為密度較大的岩石顆粒，黑色部分為孔隙（資源系 BH-1 研究井 0~1 m 岩芯橫截面）。

然而，由於圖像在處理上的複雜性，許多分析技術往往都帶有主觀及偏見，例如，不同的圖像分段方法（segmentation methods）和操作者的偏差都會導致截然不同的結果，尤其圖像分段是影響後續定量分析的重要關鍵<sup>[2]</sup>。

### 利用 CT 值估算密度及孔隙率

此處將介紹另一種研究方法，相較於以往針對岩芯的 XCT 圖進行分析，這裡則是採用成像前的原始數據，也就是 CT 值來估算孔隙率及密度，可以更快速、更準確地了解沉積物的性質。以 GE Discovery CT750 system XCT 設備為例，其 X 光電流為 50 mA，電壓

為 120 kV，單次掃描 20 mm 厚的岩芯可得 32 張 XCT 圖的連續成像，故每張圖像所含的岩芯厚度為 0.625 mm，而圖像的生成數據是由 90 mm × 90 mm 截面積上的 X 光線性衰減值所組成，為 512 × 512 像素，也因為每個像素有 0.625 的厚度，因此可以用三維的體素（voxel, 0.176 mm × 0.176 mm × 0.625 mm）來表示（圖 2），每個體素都會因內含的固、液、氣體比例不同而有相異的 CT 值。

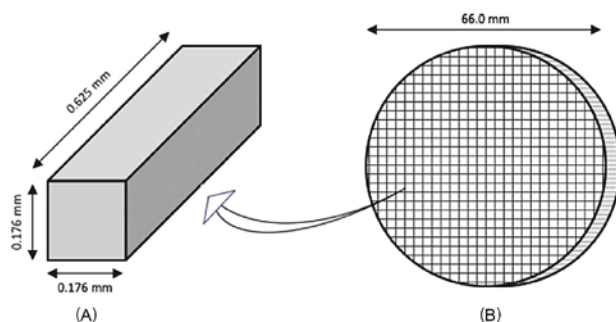


圖 2 由體素組成的岩芯示意圖<sup>[1]</sup>

首先，需使用已知平均 CT 值和密度的不同材料進行 XCT 校正，以獲得兩者間的校正曲線，關係式如式 3：

$$Density = \left( \frac{CT\ number}{1250} \right) + 0.9237 \quad (3)$$

值得注意的是，此處不論使用何種材料進行校正，其迴歸方程式的斜率都應為 1/1250，因為 X 射線對靶材的密度影響為常數，不受其他特性影響。如 Ashi<sup>[3]</sup> 使用六種不同密度（1.6 ~ 2.0 g/cc）的膨潤土（bentonite），（圖 3）Gupta *et al.*<sup>[1]</sup> 則使用空氣、水、鉛塊製成的岩芯模型及壓克力、木片、岩石等，兩者校正後所得的斜率均為 1/1250，決定係數也都趨近於 1，呈高度相關，再次證明了 CT 值與材料密度呈正比，而截距的值則會因校正材料的密度範圍不同產生小範圍的變動。

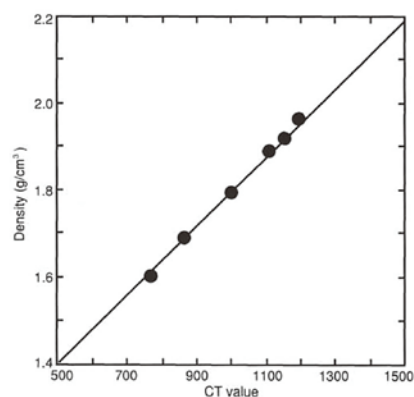


圖 3 Ashi<sup>[3]</sup> 所得之 XCT 校正曲線

有了式 3，便可在已知平均  $CT$  值的情況下快速估算材料密度。由於所有平均  $CT$  值都是由 XCT 圖中的 ROI 處分析獲得，若 ROI 的圈選區域為異質化學組成，則所得密度即為容積密度 (bulk density)；相反地，若 ROI 內為均值組成，則其密度應為顆粒密度 (grain density) [1]。

### 孔隙率計算

孔隙率的定義為總流體體積除以總沉積物體積，直觀的計算方法如下。前文提及，XCT 圖中的單個體素的體積為  $0.176 \times 0.176 \times 0.625 = 0.019 \text{ mm}^3$ ，而岩芯的最小體積就相當於是體素的集合體，在 0.625 mm 厚的 XCT 圖中體素總數約為 111000 個，如此便可估算總沉積物體積。另一方面，總流體體積的計算卻面臨較大的問題，體素是由不定比例的空氣、水及沉積物所組成，故需分別測得每個體素中的流體體積才可獲得總流體體積，但由於體素在空間解析度 (spatial resolution) 上的限制，XCT 無法辨識小於 0.176 mm 的結構，因此只得另外尋求方程式解出體素中的固、液、氣體比例關係。然而此法甚為繁複，故需改由已知的  $CT$  值著手求解。

如前所述，每個體素的  $CT$  值會依其內含物比例不同而產生大幅度的變化，經醫學斷層掃描建模軟體 OsiriX 分析得出  $CT$  值後，便可由 EXCEL 的 Pivot Table 統計具有相似  $CT$  值的體素在 XCT 圖中出現的頻率，只要相同  $CT$  值出現的次數越多，其對孔隙率所占的權重影響就越大。接著，在假設岩芯為均值組成的前提下，直接假設或以 MAD 法測得其顆粒密度，並代入校正公式計算只含固體之體素的  $CT$  值 ( $CT_G$ ) (式 4)， $CT_G$  也就是眾體素中最大的  $CT$  值，可以由此來對各體素的  $CT$  值進行權重分配。

$$CT_G = (\text{Grain Density} - 0.9237) \times 1250 \quad (4)$$

在已知  $CT_G$ 、 $CT_{air} = -1000$ 、 $CT_{water} = 0$  的狀況下，我們便可藉  $CT$  值概括地將體素分為三類，流體體素、半流體體素及固體體素。當  $CT$  值為負時，代表體素中充斥著氣體及液體，因此屬流體體素；當  $CT$  值為正但不趨近於  $CT_G$  時，說明體素中同時包含液體及固體，屬於半流體體素；而當  $CT$  值大於或趨近於  $CT_G$  時，則代表體素內幾乎都由固體所組成，為固體體素。

在權重分配方面，因為全由固體組成的固體體素不會對孔隙率造成任何影響，因此只有流體體素及半流體體素會根據其出現次數對孔隙率的影響進行加權，對這些體素而言，「 $CT$  值大於並趨近於零時的權重」會大於「 $CT$  值近似  $CT_G$  時的權重」。計算如式 5：

$$V_w = \left( \frac{CT_G - CT_M}{CT_G} \right) + V_x \quad (5)$$

$CT_M$  是某體素的  $CT$  值， $V_x$  為該體素的出現頻率， $V_w$  則是該體素所占之權重。然後，將所有體素權重的和 ( $\sum V_w$ ) 加上流體體素權重的和 ( $\sum V_{CT_M < 0}$ )，除以總體素數量 ( $\sum V_{all}$ ) 後，即可得到 XCT 圖之基礎孔隙率 (based porosity) (式 6)：

$$\text{Porosity} = \left( \frac{\sum V_w + \sum V_{CT_M < 0}}{\sum V_{all}} \right) \quad (6)$$

### 成功大學資源工程學系教學井

國立成功大學資源工程學系於系館四周設置了三口研究井、一口研究教學井，共計四口教學井，其中研究井深二十公尺，實驗教學井深一百公尺 (圖 4)。

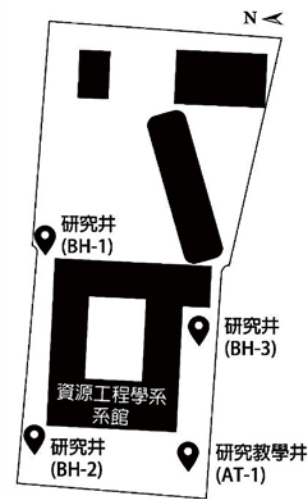


圖 4 成功大學資源工程學系教學井位置分布

教學井除了能進行各式地球物理的相關研究探測，亦成為了課堂上的實習場域，增進學生在研究上的實務經驗。從井中鑽取的岩芯同樣是了解地層的重要材料，如沉積環境分析、地層含水量、滲透率分析等。所有岩芯皆是以一公尺為單位、四公尺為一箱進行存放，如圖 5。並於鑽探完後，就近送往成大醫學院影像醫學部，進行岩芯的斷層掃描量測。

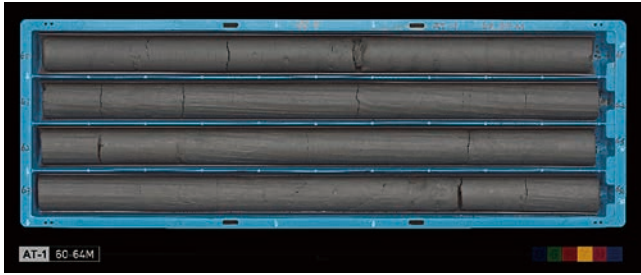


圖 5 資源系 AH-1 研究教學井 60~64 m 岩芯

## 台南地區地質概述

臺南台地主要是由西部麓山帶西側全新世之台南層所構成，可再分為四段。最下段是青灰色泥或粉砂及黃灰色砂質、細粒砂等之互層組成，含豐富有孔蟲及貝類化石；第二段為黃灰至黃褐色之細粒砂及粉砂質組成，含豐富貝類及有孔蟲化石，局部有交錯層理；第三段以交錯層又發達之黃褐色薄層狀砂構成，有少量有孔蟲化石，基底部有時含持續之化石床；第四段則為暗灰色乃至淡黃色之粉砂構成，呈塊狀而無層理，局部夾有灰色硬質粉砂之凸透鏡體<sup>[4]</sup>。

## 教學井岩芯分析

教學井的岩芯同樣可藉由 XCT 進行性質分析。我們將三口研究井的岩芯樣本送交大醫院進行 X 光電腦斷層掃描，使用標準電壓電流 120 kV、40 mA，獲得以一毫米為單位的 XCT 連續圖像，接著使用 OsiriX 圈選 ROI (圖 6)，便可重建出三維的岩芯立體圖像 (圖 7)。

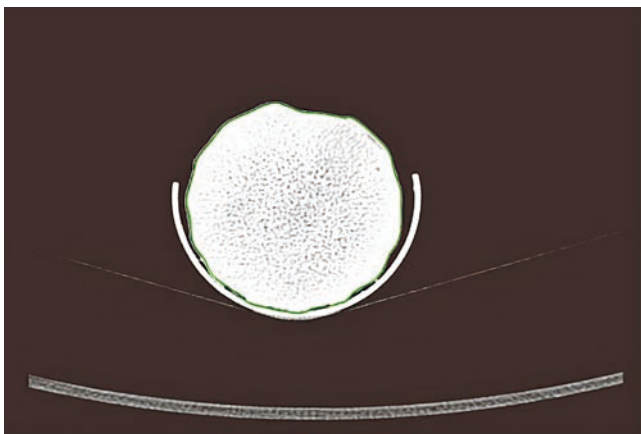


圖 6 圈選出岩芯於橫截面的範圍，亦即 ROI (資源系 BH-1 研究井 10~11 m 岩芯)



圖 7 將連續的 XCT 圖重建為三維岩芯模型 (資源系 BH-1 研究井 10~11 m 岩芯)

## 結論

XCT 除了醫療相關的用途，同時也是地球物理探測上非常實用的材料分析方法，譬如岩芯分析，XCT 可以在不破壞樣本的前提下，於短時間內獲得與傳統分析方法相一致的結果。其中，由體素 CT 值著手的基本性質估算更是兼具快速及高準確性。從岩芯回收後進行 XCT 掃描、以醫學斷層掃描建模軟體圈選 ROI 並進行 CT 值分析、最後套入公式獲得密度及孔隙率，整個流程可在一小時內完成，避免了岩芯性質改變所造成的誤差，大幅地確保數據的準確性。在工程探測上，應可快速的判斷該深度的岩芯狀況，孔隙率與含水量的狀況，作為地盤改良的準確依據。

## 參考資料

- Lallan P. Gupta, Wataru Tanikawa, Yohei Hamada, et al. (2019). Examination of gas hydrate-bearing deep ocean sediments by X-ray Computed Tomography and verification of physical property measurements of sediments. *Marine and Petroleum Geology*, Volume 108, Pages 239-248 <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.05.033>
- Iassonov, P., Gebrenegus, T., and Tuller, M., (2009). Segmentation of X-ray computed tomography images of porous materials: a crucial step for characterization and quantitative analysis of pore structures. *Water Resour. Res.* 45, W09415. <https://doi.org/10.1029/2009WR008087>.
- Ashi, J. (1995). CT scan analysis of sediments from Leg 146. In: Carson, B., Westbrook, G.K., Musgrave, R.J., and Suess, E. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 146 (Pt. 1)*, 191-199.
- 台南市政府 (2008 年 3 月)，變更台南縣將軍漁港 (中心漁港) 開發計畫—基地環境資料分析。



# 米崙斷層鑽井計畫

## — 跨米崙斷層帶 地震監測系統

林彥宇／國立中央大學地球科學系、地震災害鍊風險評估及管理研究中心 助理教授

郭俊翔／國立中央大學地球科學系、地震災害鍊風險評估及管理研究中心 助理教授

2018 年花蓮地震造成嚴重地震災害，許多前人的研究顯示，此地震的滑移分布在多個斷層上，而主要造成破壞為花蓮市附近之美濃斷層滑移產生之速度脈衝波。在中研院關鍵突破計畫及教育部高教深耕計畫經費支持下，「花蓮米崙斷層科學鑽探：地震活動及前兆井下監測計畫」於 2021 年起，開始於米崙斷層北段花蓮七星潭區域進行科學鑽探。此鑽探計畫於米崙斷層之上盤及下盤各鑽 700 公尺（井 A）及 500 公尺（井 B）之科學探測井。本計畫於井 A、井 B 中及地面佈設跨斷層帶之地震監測系統，內含光纖地震儀與井下地震儀，是世界首例之「跨米崙斷層帶地震監測系統」，開啟地震觀測「光」世代。本計畫主要監測目標為米崙斷層構造探索、米崙斷層的複癒行為、斷層帶微地震震源特性、花蓮外海區域強地動特性及場址效應。

### 前言

2018 年 2 月 6 日 15 時 50 分 41.6 秒 (UTC)，花蓮北部外海發生芮氏規模 6.3 之地震。此次地震雖然僅為中型地震，但卻重創花蓮市區，造成 17 人罹難、291 人受傷、5 棟大樓倒塌及多棟房舍受損。許多前人的研究顯示，2018 花蓮地震的滑移分布在多個斷層上，其主要的滑移區域 (asperity) 位於深度 8~10 公里傾角向西之斷層面，部分滑移分布於淺部之米崙斷層上<sup>[1-4]</sup>，然淺部之米崙斷層同震位移造成之速度脈衝波 (pulse-like velocity ground motion) 最大振幅為 ~150 cm/s，為造成花蓮市重大災情的罪魁禍首<sup>[5,6]</sup>。雖然米崙斷層本身錯動產生的地震矩 (seismic moment) 僅佔 2018 花蓮地震之 25%，相當一個規模 5.9 之地震，卻主導了整個花蓮市地災情<sup>[6]</sup>。相似的情形發生於 1951 年 M7.3 花蓮地震，地震震央亦為花蓮外海且接近 2018 年花蓮地震震央，當時米崙斷層同震位移 2 公尺 (林朝榮<sup>[7]</sup>；中央地質調查所<sup>[8]</sup>) 並造成 85 人傷亡。此歷史地震資料顯示，米崙斷層有潛力發生比 2018 年花蓮地震更大

之同震位移及產生振幅更大的速度脈衝地動<sup>[6]</sup>，對於目前人口密集之花蓮市勢必會造成重大災損，急需列為國家防災的重點區域。

在中研院關鍵突破計畫及教育部高教深耕計畫經費支持下，由馬國鳳老師帶領的「花蓮米崙斷層科學鑽探：地震活動及前兆井下監測計畫」(Milun Fault Drilling and All-inclusive Sensing project，簡稱 MiDAS 計畫) 於 2021 年起，開始於米崙斷層北段花蓮七星潭區域進行科學鑽探。此鑽探計畫於米崙斷層之上盤及下盤各鑽 700 公尺 (井 A) 及 500 公尺 (井 B) 之科學探測井，並於井 A 旁 30 公尺處，加鑽 700 公尺深之井 C，用以觀測斷層帶的水氣變化。本計畫於井 A、井 B 中及地面佈設跨斷層帶之地震監測系統，內含光纖地震儀與井下地震儀，是世界首例之「跨米崙斷層帶地震監測系統」，開啟地震觀測「光」世代。圖 1 為 MiDAS 地震觀測系統地表觀測設置位置，而圖 2 為東西向剖面圖，其中內含 9 部井下地震儀及總長 7,500 公尺光纖地震儀。

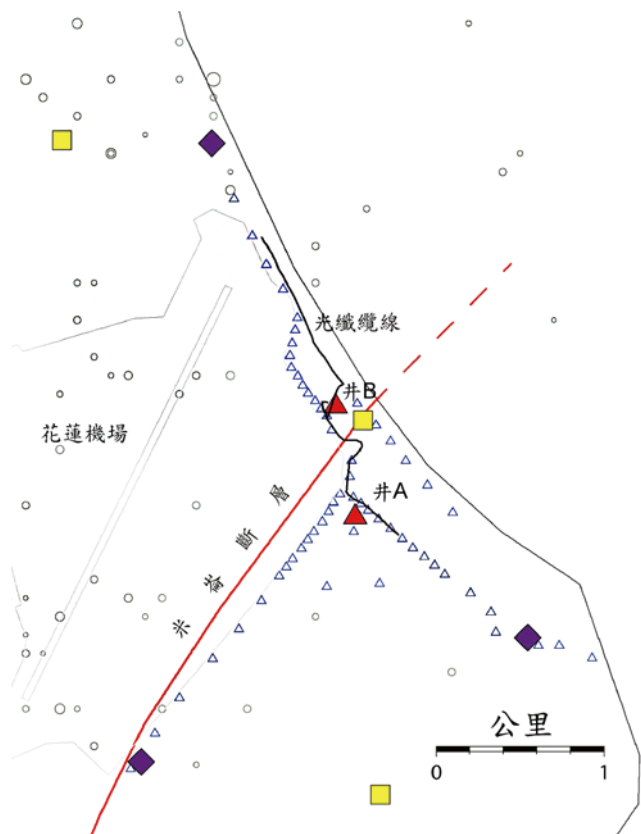


圖 1 跨米崙斷層帶地震監測系統地表設置圖。紅色三角形為井場位置；紫色菱形為地表短週期地震儀；黃色方框為地表強震儀；黑色粗線為光纖地震儀纜線；藍色三角形為臨時地震站 Smartsolo 位置。灰色空心圓圈為背景地震活動。

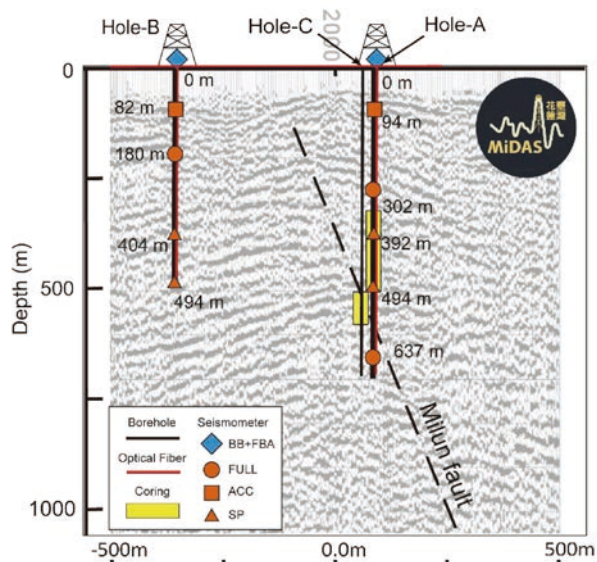


圖 2 跨米崙斷層帶地震監測系統垂直剖面圖。黑色粗線為米崙鑽井；橘色符號表井下地震儀儀器位置；三角形表短週期地震儀 (SP)；方型代表強震儀 (ACC)；圓圈代表全頻段儀器 (FULL)；紅色線為光纖地震儀系統配置；黃色區域為鑽井取岩心深度位置；藍色菱形為地表強震儀 (FBA) 和寬頻地震儀 (BB)。背景震測剖面修改自張文彥等人<sup>[9]</sup>之成果。

## 光纖地震儀及井下地震儀配置

整體跨斷層帶地震監測系統已經於 2022 年 11 月中全部設置完畢。光纖地震儀量測光纖沿著傳輸方向之動態應變率 (dynamic strain-rate) 隨時間的變化，其中每 4 公尺一個應變率記錄節點，7,500 公尺長的光纖線纜則提供 1,875 個記錄節點，為跨斷層帶提供超高空間解析度的資訊。其中光纖線纜於地表沿馬路或步道佈設，而井下則安裝於套管 (casing) 外，由地表佈設至地底並繞回至地表以接續其他光纖線纜。其中一些應變率節點與井下地震儀測站共站，則可以比較應變率與地動速度值的轉換方式，並提供井下深度校準。光纖地震儀的記錄器採用英國 Silixa 公司的 iDAS (intelligent Distributed Acoustic Sensor) 設備，其空間分辨率可達  $10^{-12}$  公尺，可量測非常精準且細小之變化。目前時間取樣率為每秒 1,000 資料點。而井下地震儀部分，本計畫於上盤井 A 中配置兩部全頻段儀器 (Full band sensor set) 於深度 302 及 637 公尺，其中包含三分量光學加速度儀 (optical accelerometer) 及 4.5 Hz 短週期地震儀 (short-period borehole seismometer)；兩部 4.5 Hz 短週期儀器於深度 392 及 494 公尺，其中位於 494 公尺之短週期地震儀位於米崙斷層帶中；一部光學加速度儀於 94 公尺。下盤井 B 中，裝設兩部 4.5 Hz 短週期儀器於深度 404 及 494 公尺；一部全頻段地震儀於 180 公尺及一部加速度儀於 82 公尺。記錄器採用 REF TEK Wrangler，以連續紀錄的方式運行，資料取樣率與光纖地震儀一致為每秒 1,000 資料點。圖 3 為發生於井場附近之規模 3.8 的光纖地震儀應變率與井下地震儀加速度紀錄比較圖，圖中可以看到光纖地震儀的高頻儀器雜訊較井下地震儀紀錄大，但應變率與地動加速度於 P 波的相位非常類似但極性相反。

## 米崙斷層構造探索及微地震監測

本計畫主要監測目標為米崙斷層構造探索、斷層帶微地震震源特性及花蓮外海區域強地動特性。目前米崙斷層系統之構造仍有許多的討論，但利用「跨米崙斷層帶地震監測系統」配合震測 VSP (Vertical Seismic Profiling) 及區域地震訊號，則有機會瞭解米崙斷層系統之形貌、米崙斷層與外海斷層之聯繫與中央山脈斷層之位置等議題。此外，透過不同時間的施測，可解

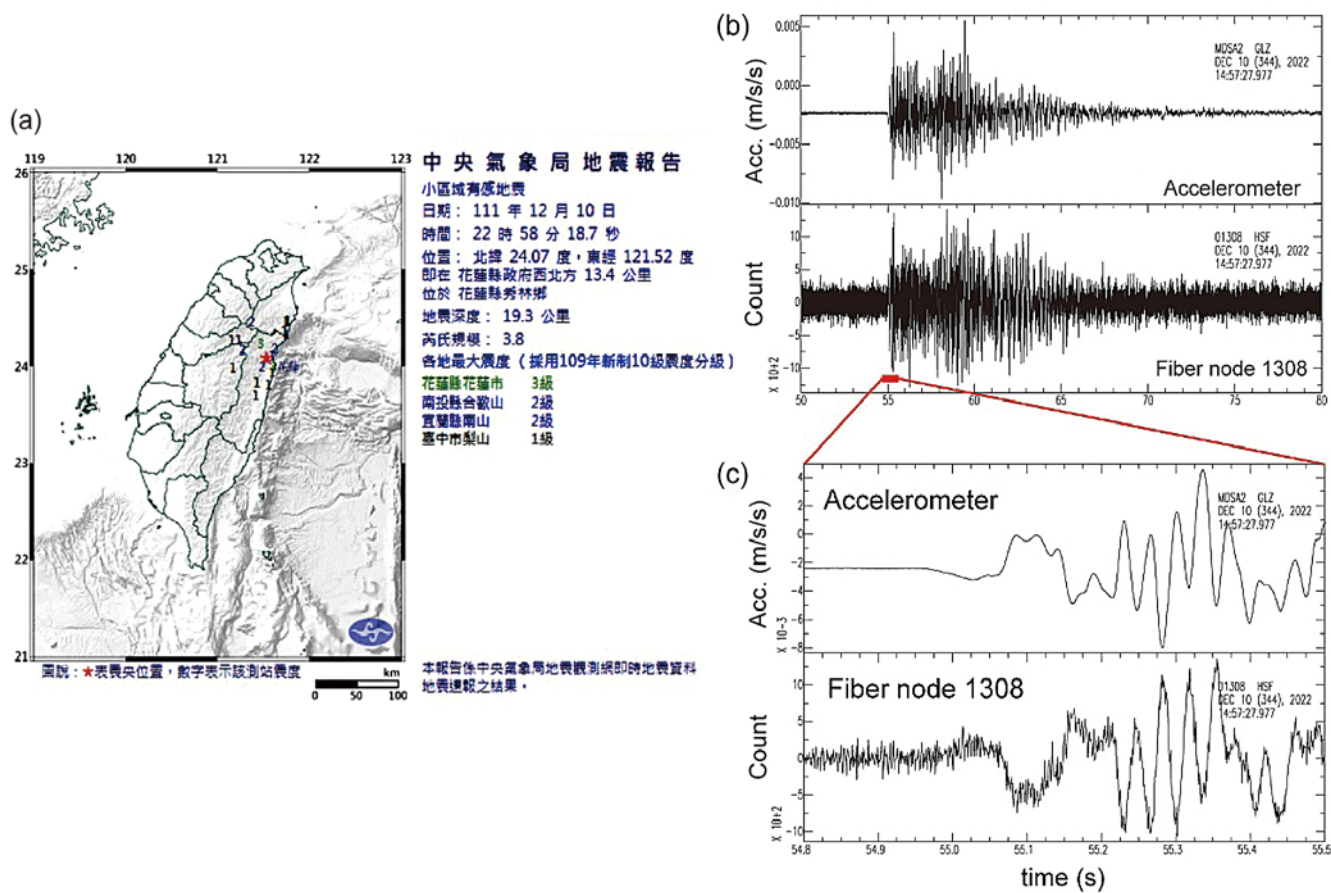


圖 3 2022 年 12 月 10 日規模 3.8 地震之 (a) 氣象局地震報告、(b) 井下強震儀及光纖地震儀 Node 1308 紀錄及 (c) 其 P 波波形。

析米崙斷速度構造隨時間變化，用以瞭解米崙斷層的複癒情況，這有幫助我們瞭解米崙斷層之物理特性。圖 4 為「跨米崙斷層帶地震監測系統」包覆米崙斷層斷層之三維透視圖。

此外本計畫將利用「跨米崙斷層帶地震監測系統」監測活動週期短之米崙斷層帶上的微地震活動，這些地震因振幅太小無法被地表地震站所記錄到。這些微地震活動隨時間的變化為米崙斷層即時的活動資訊，而微地震活動的區域與米崙斷層的破碎帶亦有關聯，這些監測可研究重複滑移週期 (recurrence interval) 僅有 60 年的米崙斷層，在間震期是否有特殊物理意義的微地震活動及可能的地震前兆模式。此外，透過「跨米崙斷層帶地震監測系統」監測區域地震，也可瞭解米崙斷層與深部其他斷層的連結及外海斷層之連結，這些資訊可幫助理解所謂 2018 年花蓮地震發生時，許多專家稱米崙斷層為「被動滑移」之物理意義。另外，由於花蓮地區及外海地震活動頻繁，「跨米崙斷層

帶地震監測系統」對於淺層地震波傳遞時，因場址效應放大的行為有非常高空間解析度的波形紀錄，這可幫助地震學家更瞭解淺層低速帶對於地震波振幅放大的因子及特性，對地震工程領域研究甚有幫助。

「跨米崙斷層帶地震監測系統」內含高空間解析度之光纖地震儀系統及傳統之井下地震儀，與過去傳統之地表地震網有更高的空間及時間解析度，勢必能將臺灣地震學研究推向另一個新的境界，在此感謝 MiDAS 團隊努力不懈的付出。

### 參考文獻

- Huang, M.H. and Huang, H.H. (2018). The complexity of the 2018 Mw 6.4 Hualien earthquake in east Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 45(24), 13-249.
- Lee, S.J., Lin, T.C., Liu, T.Y., and Wong, T.P. (2019). Fault to fault jumping rupture of the 2018 Mw 6.4 Hualien earthquake in eastern Taiwan. *Seismological Research Letters*, 90(1), 30-39.
- Lo, Y.C., Yue, H., Sun, J., Zhao, L., and Li, M. (2019). The 2018 Mw6. 4 Hualien earthquake: Dynamic slip partitioning reveals the spatial transition from mountain building to subduction. *Earth and*

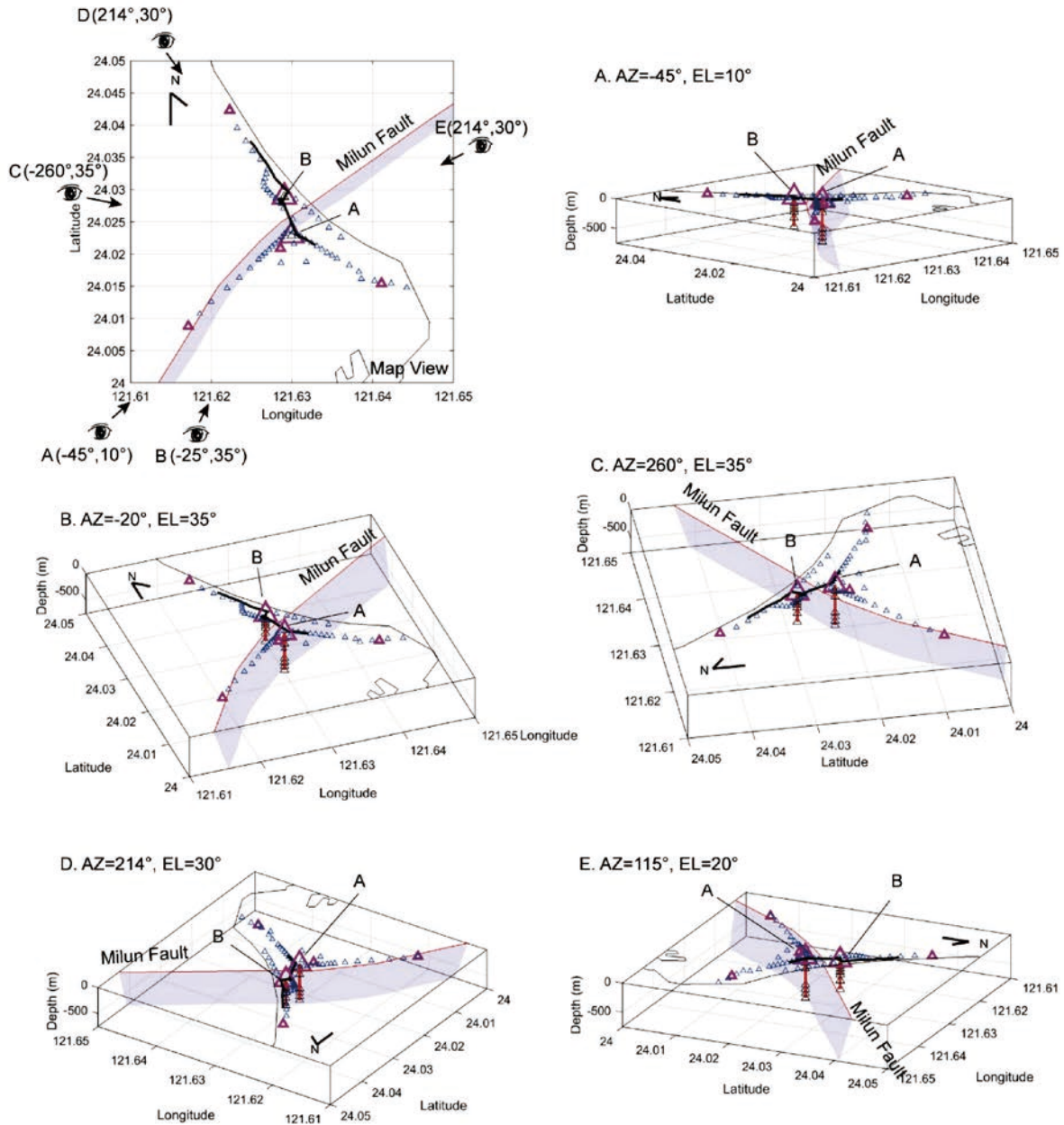


圖 4 地震測站及米崙斷層三維示意圖。米崙斷層三維模型（紫色區塊）取自台灣地震模型（Taiwan Earthquake Model）2020 年版<sup>[10]</sup>。紫色大型三角形為米崙鑽井井場 A 及 B；紫色小三角形為地表短週期測站；紅色線及黑色線為光纖地震儀系統於井下及地表位置；黑色三角形為井下地震儀；藍色三角形為地表臨時 Smartsolo 測站；黑色細線為海岸線。

*Planetary Science Letters*, 524, 115729.

4. Wen, Y.Y., Wen, S., Lee, Y.H., and Ching, K.E. (2019). The kinematic source analysis for 2018 Mw 6.4 Hualien, Taiwan earthquake. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 30, 377-387.
5. Kuo Chen, H., Guan, Z.K., Sun, W.F., Jhong, P.Y., and Brown, D. (2019). Aftershock sequence of the 2018 Mw 6.4 Hualien earthquake in eastern Taiwan from a dense seismic array data set. *Seismological Research Letters*, 90(1), 60-67.
6. Lin, Y.Y., Kanamori, H., Zhan, Z., Ma, K.F., and Yeh, T.Y. (2020). Modelling of pulse-like velocity ground motion during the 2018 M w 6.3 Hualien earthquake, Taiwan. *Geophysical Journal International*,

223(1), 348-365.

7. 林朝榮 (1962)，花蓮地方的第四系—臺灣之第四紀研究（三）。國家長期發展科學委員會研究報告，共 42 頁。
8. 中央地質調查所 (2018)，20180206 花蓮地震地質調查報告。
9. 張文彥、王乾盈、馬國鳳 (2020)，2018 花蓮地震米崙斷層震測調查、地震觀測及台灣東部地震研究中心、前兆觀測園區維運計畫（1/3）期中進度報告，共 57 頁。
10. Shyu, J.B.H., Yin, Y.H., Chen, C.H., Chuang, Y.R., and Liu, S.C. (2020). Updates to the on-land seismogenic structure source database by the Taiwan Earthquake Model (TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 31(4).



# 波速量測 對 地動評估 之重要性及常見方法之比較

郭俊翔／國立中央大學地球科學系 助理教授

謝宏灝／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

林哲民／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 研究員

黃雋彥／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 副研究員

賴翔威／國立中央大學地球科學系 碩士班研究生

近期研究指出使用地動預估式 (GMM) 搭配量測所得之  $V_s30$  (地表至深度 30 公尺地層之平均剪力波速)，則可獲得較低的測站殘餘項標準差 (相較於推估所得之  $V_s30$ )，代表地動預估之準確性較高；若要進行地盤反應分析時，建立可靠且深度足夠的剪力波速剖面是相當重要的步驟，由上述兩點可突顯波速量測對地動評估之重要性。本研究使用實際案例說明常見的侵入式和非侵入式波速量測方法，針對國內外近年實際使用的改良式地盤反應分析程序，需要建立較完整的工址波速剖面 (百公尺以上等級) 時，採用被動式震源的微地動陣列法為相當合適的技術。

## 前言

近地表地層的波速特性對地動特性及其評估有相當重要的影響，而波速量測是瞭解地層波速特性最直接可靠的方法。在常見的地盤反應分析 (seismic site response analysis) 方法 (如 SHAKE) 中，地層的剪力波速剖面、密度和阻尼比為最重要的地層參數。從 1990 年代開始，地表至深度 30 公尺之平均剪力波速值，即所謂的  $V_s30$ ，也開始被美國國家地震減災計畫 (NEHRP) 及統一建築規範 (UBC) 等建議作為耐震設計規範中的場址參數，特定場址的設計反應譜必須根據工址所在震區設計值，並調查工址的  $V_s30$  以決定工址的場址分類，乘上其所對應的場址放大係數，才能得到工址的設計反應譜。而國內現行的《建築物耐震設計規範及解說》(內政部<sup>[1]</sup>) 也採用類似的原理。

雖然  $V_s30$  僅是一簡化的場址參數，並不能完全反映場址效應的複雜性，但因其數值和不同週期的震波

放大係數具有正相關性 (圖 1)，因此  $V_s30$  的使用越來越為普遍。臺灣位於板塊活動極為活躍的區域，強震測站相當密集<sup>[2]</sup>，早在 1980 年代就有 SMART1 強震儀陣列，將重要的強震資料提供給全世界使用，是全世界強地動記錄主要提供者之一。集集地震發生後，大量的近斷層強震記錄再次造成相當熱門的需求，強震站的場址條件也因此成為資料分析和使用時重要的參考資訊，經過多年調查與研究，目前臺灣島內約有半數的強震站都能具有實測波速剖面<sup>[3]</sup>，而絕大多數的強震測站也都已具有可靠的  $V_s30$  數值<sup>[4,5]</sup>。

當進行特定場址的地動預估或地動模擬時，詳細且可靠的波速剖面仍是必要的資料。本研究將說明波速量測對地動評估之重要性，並比較幾種常見的波速量測方法應用在淡水氣象站和七股氣象站的波速量測結果，另外會說明波速剖面探測能力達數百公尺以上的量測技術之重要性。



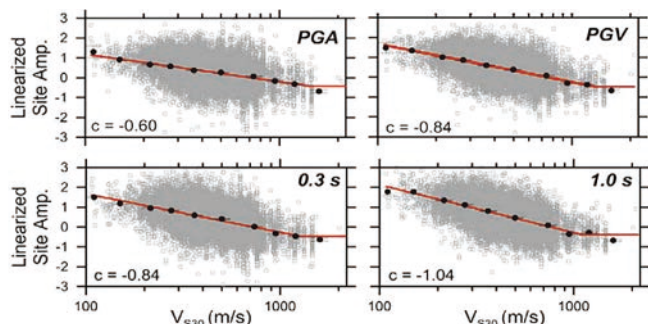


圖 1 不同週期震波的放大倍率 (Y 軸) 都和  $V_{s30}$  (X 軸) 具相關性，放大倍率隨  $V_{s30}$  減小而升高。(取自 Seyhan and Stewart [6])

## 波速量測之重要性

由於  $V_{s30}$  在地動模型 (GMM) 相關研究和耐震規範中的重要角色，近年來有許多推估  $V_{s30}$  的方法被提出，當中以利用地質年代 (geological age)、地形坡度 (slope)、高程 (elevation)、和地貌類別 (geomorphic categories) 等代理參數 (proxy) 推估  $V_{s30}$  的方法最被廣泛使用 [4,7]，其所得  $V_{s30}$  結果雖準確度較低，但因這種方法可分析現有的高密度數值高程模型 (DEM) 資料，進而獲得廣大區域內的高密度  $V_{s30}$  格點化資料，這類方法獲得  $V_{s30}$  的能力在空間分布上的優勢遠大於傳統波速井測或其他地球物理方法，使用者若直接採用美國地質調查所 (USGS) 的全球  $V_{s30}$  地圖 [8]，其波速調查成本甚至為零。然而最新研究 (Chao *et al.* [9]) 採用臺灣資料分析後指出，地動模型若使用波速量測結果所得的  $V_{s30}$ ，其特定測站殘差 (station-specific residual) 之標準差能顯著低於使用間接推估 (inferred) 而得的  $V_{s30}$  (圖 2)，證明透過波速量測所得的  $V_{s30}$  能較佳地反映地動場址特性。

當然在使用各種 proxy 推估  $V_{s30}$  時，必須找出各種 proxy 和  $V_{s30}$  之間的相關性，故某區域仍必須有依靠量測而得的地層波速資訊和  $V_{s30}$ ，才能建立起較好的 proxy 和  $V_{s30}$  之關係式；再者，當工址屬於特殊地盤或結構物具特殊重要性時，會需要更正確地計算其地盤反應，只有  $V_{s30}$  數值並無法滿足此類的需求，必須要進行現地波速量測來瞭解工址的剪力波速剖面，並依此進行地盤反應分析。

## 平均波速與波速剖面

波速量測方法可分為侵入式 (invasive) 與非侵入式 (noninvasive)，侵入式方法需要將感測器或人工震源經由鑽孔置入地層中，再進行地層波速的探測，其優點

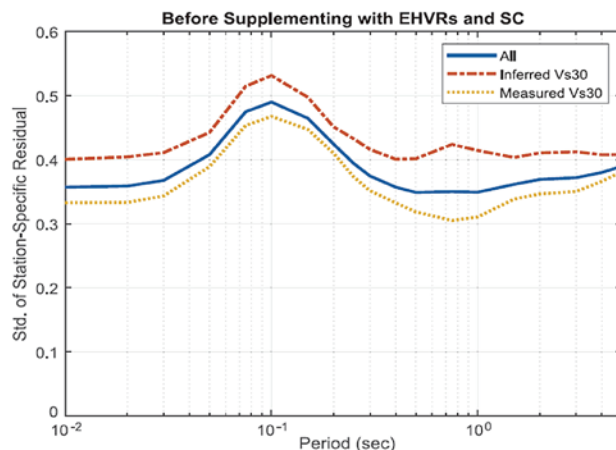


圖 2 不同方法所得  $V_{s30}$  的特定測站殘差之標準差比較。量測所得之  $V_{s30}$  的標準差在所有週期都明顯低於推估所得  $V_{s30}$ 。(取自 Chao *et al.* [9])

是直接進入地層中量測，方法簡單，且能藉由鑽孔過程得知地層種類、密度和其他物理性質，缺點為價格較為昂貴、施工時間較長等；非侵入式方法則將儀器置於地表施測，利用受波器的幾何分布與其訊號之間的到時差以獲得波速資訊，其優點為施測和分析所需時間較短、成本較為低廉，缺點為分析方法較為複雜。值得注意的是，侵入式方法在鑽孔過程中所採用的方法和施工品質會影響周圍地層擾動程度，管壁套管的材質與灌漿方式也會影響施測結果。

常見的幾種波速量測方法包括下孔式 (Downhole)、跨孔式 (Crosshole)、懸盪式 (Suspension)、震錐測試法 (SCPT)，以上為侵入式；多頻道表面波頻譜分析法 (MASW) 和微地動陣列法 (MAM) 則為非侵入式，量測方法在此不多做介紹。國研院國家地震工程研究中心過去在淡水氣象站 (TAP055) 和七股氣象站 (CHY115) 分別以上述的方法 (微地動陣列法除外) 進行波速量測，圖 3 為量測所得結果，兩個工址在該試驗中各規劃 3 個鑽孔，鑽孔之間的距離約在 3 ~ 5 公尺，其中一個為裸孔 (深度 20 公尺) 進行懸盪式井測，另外兩個 (深度 35 公尺) 以 PVC 套管保護並在孔壁和井壁間灌漿，分別進行下孔法、跨孔法及懸盪式等井測。在裸孔進行懸盪式井測施測時考慮到井測儀器可能會因坍塌而埋沒的風險，因此設計施測深度小於 20 公尺，結果以紅色虛線表示，此試驗也證實若能適當地使用 PVC 套管和灌漿，則量測的剪力波速 ( $V_s$ ) 結果相當接近；跨孔法有兩組結果，分別將震源與接收器置於相鄰 5 公尺的兩個鑽孔中並互相調換，下孔法和懸盪法在同一孔深度 35 公尺的鑽孔也完成施測；SCPT 法在淡水氣象站僅 9.8 公尺，因地層中含安山

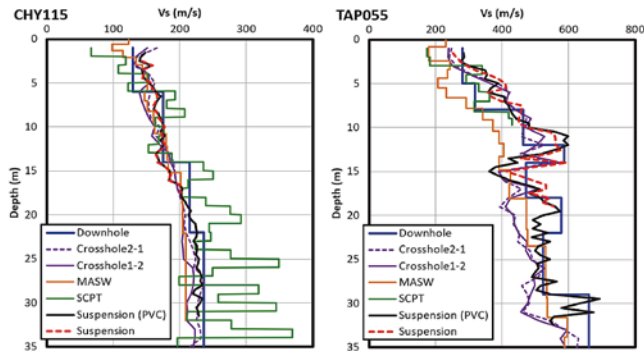


圖 3 各種波速量測方法所得之波速剖面在 (左) 七股氣象站 (CHY115) 和 (右) 淡水氣象站 (TAP055) 之結果

岩塊故中止施測。在七股氣象站的各波速剖面彼此間的一致性較高，但 SCPT 之 Vs 剖面在深度 15 公尺以上出現異常高值，初步審視波形情況正常，波速高值可能為其他因素所造成，尚待進一步研究；在淡水氣象站的波速剖面彼此間的差異較為顯著，為該工址地層中散布風化程度和粒徑大小不一的安山岩塊所造成。

各種方法所得的 Vs30 也有所差異，如表 1 所列，淡水氣象站的 Vs30 明顯地高於七股氣象站，而其誤差分布的中位數 ( $\mu_{\ln V_{S30}}$ ) 和標準差 ( $\sigma_{\ln V_{S30}}$ ) 也列於表中。誤差分布的標準差高低常被用來評估某種預測模型的優劣，在此我們以懸盪法之結果為基準來做計算， $\sigma_{\ln V_{S30}}$  在七股站和淡水站分別為 0.03 和 0.09，郭俊翔等人 [9] 比較臺灣實測 Vs30 的  $\sigma_{\ln V_{S30}}$  為 0.06，由數字上看這次試驗和過去的結果差異不大，而在美國 (NGA-W2) 之分析結果為 0.1。

國內的耐震設計規範中也使用 Vs30 區分地盤種類和場址放大係數，而對工址 Vs30 之取得可採現地量測或是由標準灌入 N 值換算 Vs 值後而獲得。我們若採用目前規範所建議的公式來計算上述兩個測站的 Vs30，則所得結果分別為 214.4 m/s (CHY115) 和 235.6 m/s (TAP055)。雖然七股站的差異尚能接受，但在淡水站兩者的差異顯著，此比較更突顯基於實測方法獲取 Vs30 之重要性。

表 1 各方法所得之 Vs30 及其誤差 (residual) 分布

	七股氣象站 Vs30	淡水氣象站 Vs30
Downhole	183.7	431.7
Crosshole 1-2	184.0	412.6
Crosshole 2-1	177.9	414.2
MASW	172.4	350.3
SCPT	175.6	-
Suspension w/PVC	185.5	444.6
Mean Vs30	179.8	410.7
$\mu_{\ln V_{S30}}$	0.04	0.07
$\sigma_{\ln V_{S30}}$	0.03	0.09

### 更完整的速度構造

利用前述的波速井測方法和主動震源的表面波頻譜分析方法，可獲得詳細的速度剖面及工址的波速剖面變化範圍，各種波速量測方法的震源頻率不同、震波傳遞的路徑也有差異，因此會造成波速剖面不盡相同而有某種變化範圍。我們計算圖 3 中各波速剖面的平均和標準差後，可將其結果表示為圖 4，可清楚看到淡水站的速度剖面存在較大的變異性，和表 1 當中 Vs30 所呈現的結果類似。

某些區域的沖積層很厚，使用波速井測法所費不貲，也不一定能夠達到預期成果。圖 5 代表兩個測站

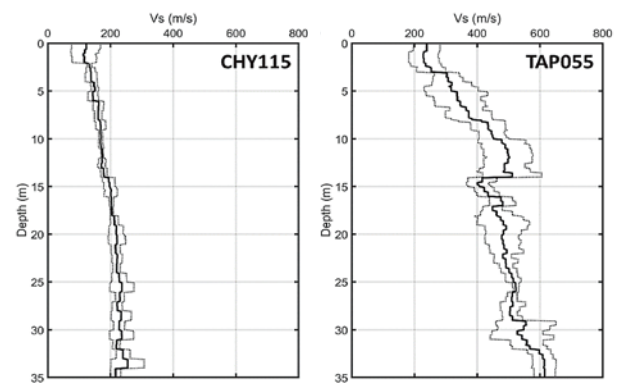


圖 4 七股氣象站 (CHY115) 和淡水氣象站 (TAP055) 之平均 Vs 剖面及其標準差

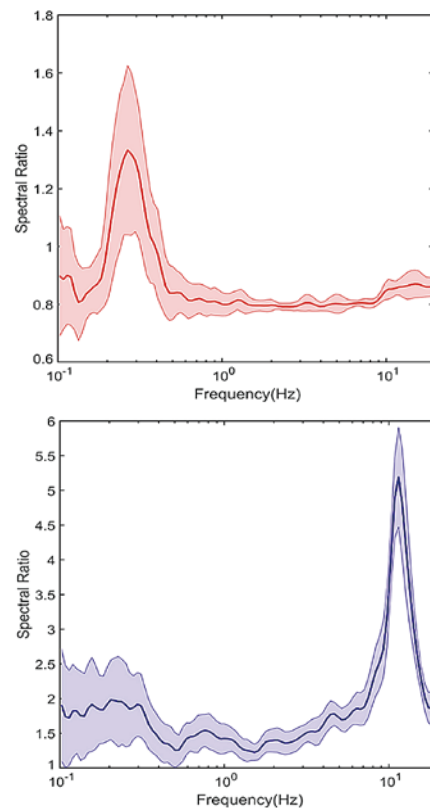


圖 5 微地動單站頻譜比在 (上) 七股氣象站 (CHY115) 和 (下) 淡水氣象站 (TAP055) 之結果，分別顯示其地盤主頻出現於低頻和高頻的頻率。

的微地動單站頻譜比，其主頻（dominant frequency）可代表地盤自然頻率，由分析結果可見淡水站的主頻為 11.4 Hz，因該處沖積層厚度在 10 公尺以內，但七股站的主頻為 0.27 Hz，代表其重要的場址效應會作用在此頻率，若要使用井測瞭解此處的完整的波速剖面則需要準備深度數百公尺以上的鑽孔，成本和難度相對提高許多。使用被動震源的表面波分析法，即微地動陣列法（MAM）可解決此一難題，此技術在日本和歐洲使用相當普遍且行之多年，國內也有許多研究採用此技術以求得數百公尺以上深度的剪力波速構造<sup>[10-14]</sup>。

近年來美國 DCPD（Diablo Canyon Power Plant）的地盤反應分析採用一改良程序，而臺灣 SSHAC Level 3 的地盤反應分析也採用同一方法進行<sup>[15]</sup>，採用此方法時需要有較深的工址剪力波速剖面，才能與通用地盤剖面有較佳的介接以達到更好的分析效果，此時微地動陣列法則為最合適的速度剖面分析方法。

## 結論

由於地動模型相關研究的蓬勃進展，使用場址參數  $V_s30$  表示地動場址效應的情況越來越普遍，各種估算  $V_s30$  的技術也更加多元化，已有許多不需要依靠實際波速量測也能獲取大量  $V_s30$  的方法。這種基於 proxy 預估的  $V_s30$  在原本缺乏鑽探資料的區域是相當有用的資訊，然而若要達成特定場址尺度且可靠度足夠的地動預估，使用 GMM 預估岩盤條件的地動值後仍必須進行地盤反應分析（site response analysis），此時仍須仰賴地層波速實測。

對地質調查資料原本就較多的國家或區域（如日本、臺灣、加州等）而言，基於 proxy 預估的  $V_s30$  因其涵蓋範圍大但精確度較低的特性，可將其視為輔助性的使用，根據 Chao *et al.*<sup>[9]</sup> 的研究，若能有實測資料所得的  $V_s30$  則利用 GMM 估算出的地動值準確度較高，對於重要場址的地動評估將是較佳的選項，本研究所比較的下孔法、跨孔法、懸盪法及 MASW 都是非常見且可靠的波速調查方法。而目前國內耐震設計規範所建議的 N 值換算  $V_s$  公式對臺灣許多地點的地質特性而言，無法達到足夠準確的估算（如本研究所列之淡水氣象站）。

傳統地盤反應分析採用的剪力波速模型深度範圍多在數十公尺以內，而近年來國內外開始採用的改良程序（張毓文等人<sup>[15]</sup>）會需要深度數百公尺的地層

模型，若要調查百公尺以上尺度的剪力波速剖面，使用鑽孔加上波速井測需有較高經費並花費較多時間，MAM 法具備量測時間短、成本較便宜、不需主動震源對附近環境及居民較為友善等優勢，使用幾何分布設計得宜之 MAM 法可以有效達到改良程序剪力波速模型建立的需求。

## 參考文獻

1. 內政部（2022），《建築物耐震設計規範及解說》。
2. Shin, T.C., C.H. Chang, H.C. Pu, H.W. Lin, and P.L. Lu (2013). The geophysical database management system in Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 24, 11-18.
3. Kuo, C.H., K.L. Wen, H.H. Hsieh, C.M. Lin, T.M. Chang, and K.W. Kuo (2012). Site Classification and  $V_s30$  estimation of free-field TSMIP stations using the logging data of EGD. *Engineering Geology*. 129-130, 68-75.
4. Kwok, O.L.A., Stewart, J.P., Kwak, D.Y., and Sun, P.-L. (2018). Taiwan-specific model for  $V_s30$  prediction considering between-proxy correlations. *Earthquake Spectra* 34, 1973-1993.
5. 郭俊翔、林哲民、章順強、溫國樑、謝宏灝（2017），臺灣強震測站場址資料庫，國家地震工程研究中心，NCEE-17-004，共 80 頁。
6. Seyhan E and Stewart JP (2014). Semi-empirical nonlinear site amplification from NGA-West2 data and simulations. *Earthquake Spectra* 30(3): 1241-1256
7. Wald, D.J. and Allen, T. I. (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97, no. 5, 1379-1395.
8. Heath, D., Wald, D.J., Worden, C.B., Thompson, E.M., and Scmocyk, G. (2020). A Global Hybrid  $V_s30$  Map with a Topographic-Slope-Based Default and Regional Map Insets”, *Earthquake Spectra*, Vol. 36, 3: pp. 1570-1584.
9. Chao, S.C., C.M. Lin, C.H. Kuo, J.Y. Huang, K.L. Wen, and Y.H. Chen (2021). Implementing Horizontal-to-Vertical Fourier Spectral Ratios and Spatial Correlation in a Ground-Motion Prediction Equation to Predict Site Effects. *Earthquake Spectra*, 37(2), 827-856.
10. Lin, C.M., T.M. Chang, Y.C. Huang, H.J. Chiang, C.H. Kuo, and K.L. Wen (2009). Shallow S-wave Velocity Structures in the Western Coastal Plain of Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 20(2), 299-308.
11. Kuo, C.H., C.T. Chen, C.M. Lin, K.L. Wen, J.Y. Huang, and S.C. Chang (2016). S-Wave Velocity Structure and Site Effect Parameters Derived by Microtremor arrays in the Western Plain of Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences*. 128, 27-41.
12. Yamada, M., I. Cho, C.H. Kuo, C.M. Lin, K. Miyakoshi, Y. Guo, T. Hayashida, Y. Matsumoto, J. Mori, Y.T. Yen, and K.C. Kuo (2020). Shallow subsurface structure in the Hualien basin and the relevance to the damage pattern and fault rupture during the 2018 Hualien earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110(6), 2939-2952.
13. Chen, C.T., C.H. Kuo, C.M. Lin, J.Y. Huang, and K.L. Wen (2022). Investigation of shallow S-wave velocity structure and site response parameters inferred from microtremor analysis in Taiwan. *Engineering Geology*, 297, 106498.
14. 顏銀桐、謝寶珊、林哲民、冀樹勇、溫國樑（2017），微地動探查之地盤構造解析及應用，*中興工程*，136 期，45-52 頁。
15. 張毓文、許尚逸、劉勳仁、張哲瑜、郭俊翔、林哲民、張志偉、簡文郁、吳俊霖、蔡明欣、溫國樑、孫一鴻（2019），基於通用地盤修正之地盤反應分析程序，*土工技術*，162 卷，27-36 頁。



# 海域 反射震測影像 於 鑽探場址調查 之應用

張頌平 / 國立成功大學地球科學系 助理教授

許鶴瀚 / 國立臺灣大學海洋研究所 助理教授

張日新 / 國立臺灣大學海洋研究所 助理教授

林亮甫 / 國立臺灣大學海洋中心 博士後研究員

劉家瑄 / 國立臺灣大學海洋中心 名譽教授

陳姿婷 / Applied Ocean Physics and Engineering, Woods Hole Oceanographic Institution, USA 博士後研究員

近期臺灣海峽許多海域的土木工程，收集了密度高的地球物理探勘資料。其中反射震測影像在解析地層側向延續和岩層聲學特徵上，具有許多優勢。本文利用玄武岩層的反射震測特徵，結合地質鑽井和地工現地試驗等參數，綜合建立區域性的地下空間分佈，並用於場址調查和地質模型上。用以強調海域的土木工程如整合地球物理探勘之結果，可在海域工程上大幅增加風險評估的準確性。

## 前言

近年來，臺灣海峽大量設置離岸風場，如何在安裝風機和纜線之前，精準評估場址的地下地質成為重要的課題。目前興建的風場中，水下文化資產調查規範收集地質鑽探和地球物理探勘等資料，成為了建立地質模型重要的資料來源<sup>[1]</sup>。地球物理探勘提供場址地下地層的各種物性，反射震測資料解析海床下地層反射面的幾何樣貌。利用二維或三維的施測方式，有效提供各岩層空間分布的重要基礎資訊<sup>[2]</sup>。如進一步結合地質鑽探和現地試驗資料，更可將井位的參數側向延伸至場址內的其他位置，推算出地質模型內的各地層的地工參數。海域的石油工程和近期臺灣海峽興建的離岸風力發電廠址皆廣泛應用在場址調查和建置地質模型上<sup>[3-5]</sup>。本研究以最近臺灣海峽海域進行的反射震測的地質調查為例，說明地球物理探勘在地質調查和場址調查上的重要性。

## 海域反射震測施作方法

海域地質調查使用的反射震測為主動聲源，聲波傳播至具聲學阻抗差異的介質邊界，隨即產生反射波傳回海面上的接收器。因此在震測剖面上可描繪出隨深度的地質構造。依不同頻率波段提供不同尺度的解析能力，本研究展示高頻的火花式放電和低頻的空氣槍（圖1）。其中火花式放電的理論解析度可達到達到1公尺<sup>[6]</sup>，在海域鑽探達百公尺的工程很適合使用此聲源。接收器可由數量分成單頻道或多頻道反射震測，或是增加多條接收器形成三維震測，如P-cable。皆是透過增加接收器數量，或是接收三維空間的反射波，更準確掌握地下地層的特徵。經過後續的資料處理，包含聲源和接收器的定位、濾波、消除雜訊、同反射點訊號疊加等，可將地下地層的幾何與聲學特徵描繪出來。

## 反射震測資料於臺灣海峽海域之應用

臺灣海峽在彰雲沙脊區域水深淺於 50 公尺深，因此遠離海岸線仍然適合成為離岸風力發電的場址。該區域靠近澎湖的海域在風機安裝基樁的深度內，會在淺層

地層中鑽遇玄武岩層，厚度估計可達數十米不等 [7]，可與澎湖群島上陸域的玄武岩層做對比（圖 1）。而根據岩漿噴發和入侵的特性，該岩層侷限分佈在部分區域，水平連續性不佳，導致場址內地層物質不均向性高。

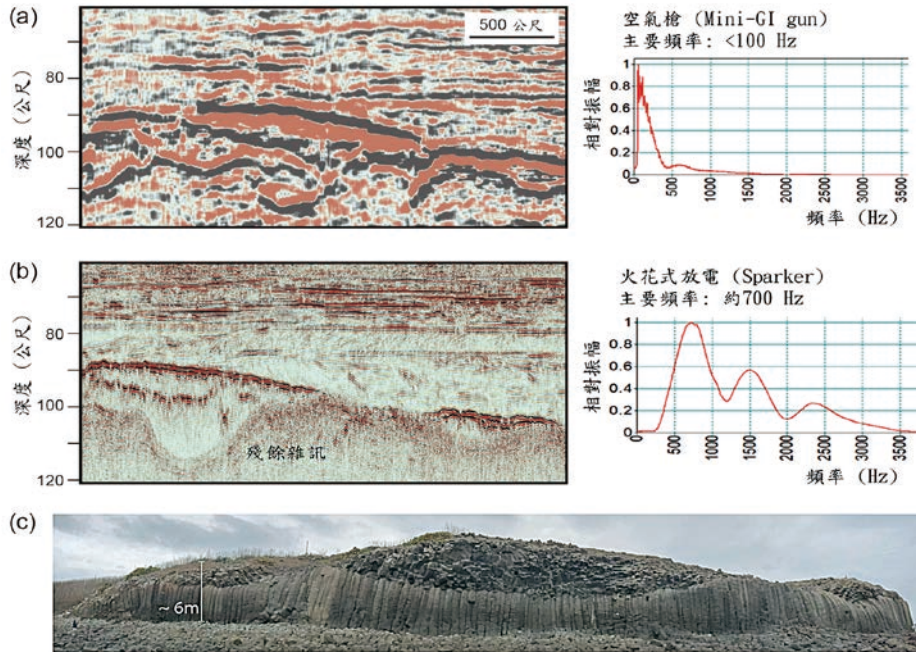


圖 1 不同聲源之反射震測影像，(a) 空氣槍與 (b) 火花式放電的剖面 and 對應之主要頻率；(c) 澎湖群島上陸域出露至地表之玄武岩層。

為了有效的獲得玄武岩層的空間分布，本研究使用測線間距密的二維震測資料進行評估。利用玄武岩層傳播波速和密度高的特性，在反射震測影像中解析該岩層頂部和底部兩個強振幅的反射面，分別為圖 2 (b) 紅色色塊的上界和下界。相同反射層往剖面的東側延伸，此兩個反射面則會逐漸尖滅。在強振幅反射面的深度，地質鑽井和 CPT 圓錐貫入試驗的地工資料也有相同對應的試驗結果，取得玄武岩岩石。在兩振幅尖滅的位置，鑽井獲得受侵蝕風化的玄武岩礫石。另外在圖二最東側的井位，在相同反射層取得砂泥岩互層的岩層，並可對應至震測影像上弱振幅的反射層。確認有強振幅反射層出現的地方多為玄武岩層的位置

除了辨識玄武岩等堅硬地層之外，在建立地質模型也能起非常重要的資料來源。如覆蓋在玄武岩層之上的後期沈積物可大致依照震測相 (Seismic Facies) 區分成兩期地層 (圖 2(b))，分別為下層的大陸棚和上層的三角洲沉積物。顯示反射震測剖面可以很有效的掌握地下岩層的聲學特性，並且解析各地層的側向分

佈。能進一步將這些水平連續良好的地層分層套用至場址區域，並且搭配地質工程并取得的岩性資料，能建立各層序的岩性與現地試驗的各個參數。

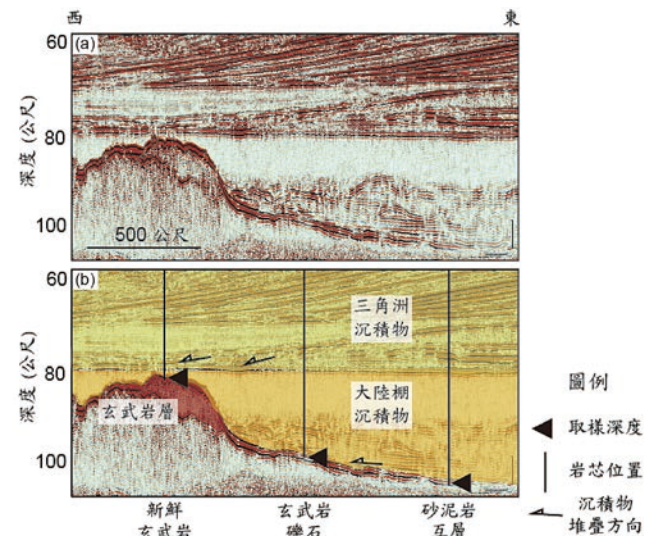


圖 2 火花式放電聲源之反射震測原始影像 (a) 和地質解釋 (b)。剖面中解釋出玄武岩層和後期覆蓋在上面的兩期沉積物。圖修改自 [7]。



圖 3 經濟部地質調查所建置之反射震測影像資料庫。畫面截至離岸風電地質與環境感知系統網站。

## 未來發展

臺灣因地體構造活躍，許多地質作用導致許多地層並非水平方式分布，導致地質的側向岩性不均性高，玄武岩即為一個例子。因此在建立地質模型時，除了使用地質鑽探和現地試驗建立的二維和三維柵狀剖面，可以結合反射震測剖面顯示的地下地層幾何樣貌，掌握鑽井之間的地層變化。且此資料皆為水下文化資產保存法規必要收集的資料，一同納入地質模型建置可減少地質模型內部的不確定因素。近期國內外更利用人工智慧演算法，將部分區域的地工參數套入至整個場址，成為初始地質模型<sup>[8-10]</sup>。並在施工的過程中，隨時將新增的地質井更新約束此初始模型。

經濟部中央地質調查所於 2023 年，公開臺灣海峽海域震測資料與其他地質資訊的線上資料庫（圖 3）。在反射震測資料上有空氣槍和火花式放電等兩種聲源，將海域的地下地質資訊提供初步且珍貴的地質資訊。除了如玄武岩層等堅硬地層之外，如在鑽探階段發現未預期的地質條件不佳的場址，可在反射震測影像判釋為何種地層的深度以及反射特徵，並了解其側向延伸的範圍。將可有效的做出風險評估和場址調查等多項事項，也建立地質模型確立各層序之空間分布。

## 結論

反射震測資料有效的提供地下岩層的側向分佈，在地質鑽井之間的岩層延伸，成為有利提供地下地質的重要資料。本文以臺灣海峽為例，利用玄武岩層的

聲學特徵和反射層分佈，有效的辨識出場址內的玄武岩層分佈。成為風機站位選擇和建立地質模型等方面，皆提供重要的地質數據。未來可以與地工現地試驗和地質鑽井結合，大幅提升地質模型中的準確性。

## 參考文獻

1. 吳章諾、丁哲庸（2022），離岸風力發電場址地質調查方法適用性初探與三維地質模型建置案例介紹，大地技師線上期刊，第 25 期。
2. 謝欣崧、許鶴瀚、楊懿丞、盧翊維、陳姿婷、張日新、林哲銓、邱協棟、劉家瑄（2018），海洋地質及球物理調查於離岸風電場址評估之應用，海洋及水下科技季刊，第 42-47 頁。
3. 邱協棟、馬玉芳、許鶴瀚、陳姿婷、劉家瑄、姚大鈞（2015），高解析地層剖面調查於填海造陸工程之應用，海洋及水下科技季刊，第 25 卷，第 2 期，第 16-21 頁。
4. 連誌航、許鶴瀚、張頌平、劉家瑄（2022），高精度海床與震測資料探討南觀音凹陷淺層流體移棲特徵，2022 臺灣地球科學聯合學術研討會，臺北南港，6 月 7~9 日。
5. 曾湧翔（2021），彰濱外海高解析度震測地層及流體特徵分析。國立臺灣大學理學院海洋研究所，碩士論文，共 106 頁。
6. 楊懿丞、許鶴瀚、吳俊鼎、溫修敏、陳姿婷、連政佳、洪瑋廷、劉家瑄（2020），地形與震測地層剖面分析於離岸風電場址調查之應用，臺灣能源期刊，第七卷，第三期，第 253-268 頁。
7. 張頌平、林亮甫、Arif Mirza、劉家瑄、謝獻祥、許鶴瀚（2021），臺灣海峽玄武岩之震測特性初探，2021 地質物年會暨學術研討會，臺北，11 月 22~24 日。
8. Han, W., Lu, Y., and Lo, S. (2020). Seismic prediction of soil distribution for the Chang-Bin offshore wind farm in the Taiwan Strait. Interpretation, 8(4), T727-T737.
9. Vardy, M.E., Clare, M.A., Forsberg, C.F. and Dix, J.K. 2018, Seismic Inversion for Site Characterisation: When, Where and Why Should We Use It, OTC-28730-MS.
10. Klinkvort, R.T., Sauvin, G., Forsberg, C.F. and Vanneste, M. (2019), Integrated ground modelling from a geotechnical perspective, 4th International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics. Austin, Texas, USA.



# 從監造作業全數位化談 公共工程三級品管制度

呂斌豪／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 技術經理

唐士宸／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 組長

林芳輝／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 資深協理

隨著科技發展的日新月異及營建環境的快速變化，營建產業的數位轉型已為不可逆的趨勢。基於公共工程三級品管的精神，並依據 PDCA 循環的品質管理概念，公共工程三級品管制度數位轉型，端賴監造作業全數位化，再以此為核心，向上、下二端以拓展數位深度與廣度方得以落實。本文以中興公司執行監造作業全數位化思維與模式，說明藉由專案管理資訊系統 (PMIS) 為核心串聯不同的數位平台，藉由資訊數據串聯，以藉由朝向全數位化監造作業的管理，將有助於累積工程資訊，並予以進一步應用分析，將有助於提升監造效率、品質管控和經驗回饋，促進公共工程監造作業更加高效、精確及累積數位資訊的加值應用，向下利用與承包商之聯繫介面擷取資料，向上開放平台以傳遞管理資訊，進而達成三級品管制度數位轉型及永續發展的國家政策目標。

關鍵詞：工程管理數位化、三級品管制度、專案管理資訊系統 (PMIS)、監造科技管理

## 背景及緣由

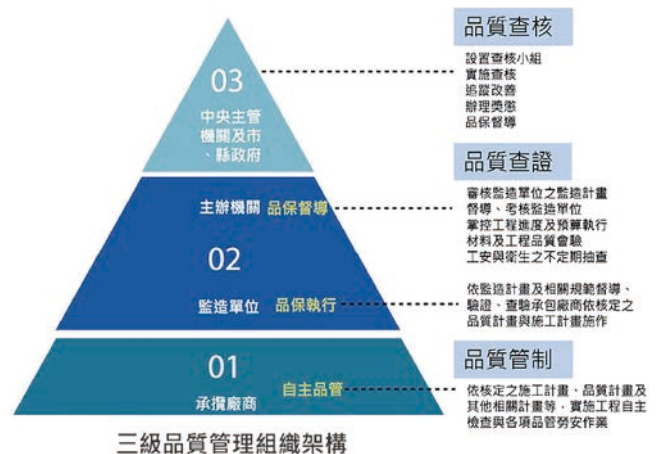
### 公共工程三級品管制度

為提升公共工程品質及施工成果符合其設計及規範之品質要求，行政院公共工程委員會（以下簡稱工程會）建構「公共工程三級品管制度」，包含施工廠商之「施工品質管制」、工程主辦機關及監造單位之「施工品質保證」、工程會及工程主管機關之「施工品質查核」等三層次品質管理制度，其架構如圖 1。

### 公共工程管理數位化轉型

政府亦為因應雲端、大數據、超寬頻、物聯網暨數位網路的時代來臨，乃以「數位國家、智慧島嶼」為總政策綱領，擘劃「數位國家 創新經濟發展方案（2017~2025 年）」以期帶動臺灣產業轉型加值應用。

工程會即基於強化各項公共工程之履約管制及提升施工品質，從工程三級品管所需進行的品質管制、



三級品質管理組織架構

圖 1 三級品管架構圖

資料來源：臺中市政府建設局 [1]

品質查證、及施工查核之系統架構推動公共工程工地管理資訊化管理作業。自 2017 年即推動公共工程履約文件電子化，啟動電子化開端，於 2019 年遵行電子化政府政策，推展工地履約管理資訊化，乃至 2021 年 2

月倡導將「營建自動化」納入技術服務案評選項目，致力進行公共工程品管制度數位化轉型。

### 營建環境變化下的監造管理趨勢

依據國家發展委員會之公共建設經費近期資料顯示，自 2019 年由新台幣 4,416 億元到 2022 年的 5,448 億元，近四年相關經費之平均增幅達 23.4%，相關營建市場近期經濟發展規模趨勢如圖 2 所示。

近期在營造業大幅缺工、缺料的情況下，國內營建產業現階段卻屬擴張區位情況。但就業人力資源受到少子化的影響，整體大專院校畢業生每年以 -2.6% 遞減且無回升跡象，而工程學門畢業生數量也持續探底。加上近來社會價值觀的不變，工程相關科系畢業生投入營建工地現場的意願低落，營建產業面臨整體性嚴峻的人力短缺，有關工程學門之畢業人數統計，如圖 3 所示。

傳統監造人力已呈現高齡化趨勢的同時，因剛畢業之新進人力往往偏好從事設計業務，加上監造業務需同時具備實務與管理的培訓方能勝任相關業務的本職學能，公共工程之技術服務契約對監造人員資格條件，常要求具備一定年資之工作經驗及相關證照，導致聘用從事監造人員不易。



圖 2 營建市場經濟規模走勢圖

資料來源：林芳輝等人 [2]



圖 3 工程學門畢業人數走勢圖

資料來源：林芳輝等人 [2]

為因應國際化潮流趨勢及配合政府政策的同時，如何在監造管理作為上精進以面對國內少子化及監造人力高齡化的情境，公共工程監造管理朝向數位化的管理模式已成為必然且不可逆的趨勢。

### 品質查證與 PDCA 循環

在三級品管的架構中，主辦機關或監造單位應建立「施工品質查證」管理系統，藉由 PDCA (Plan、Do、Check、Act) 循環以建構工程施工階段品管制度進行管理以持續優化。監造作業品管圈融入 PMIS 系統之概念，如圖 4 所示，相關意涵說明如下：

1. 計畫 (P)：工程在開工之前，在編制監造計畫時，需根據工程規模、性質等因素，制定監造範圍、組織及權責分工、品質計畫審查作業程序、施工計畫審查作業程序、材料與設備抽驗程序及標準、施工抽查程序及標準、品質稽核、文件紀錄管理系統等內容，以規劃監造品質查證工作的具體實施方案。
2. 執行 (D)：監造單位需實施施工品質查證工作，包括對廠商相關書面作業落實執行狀況的確認、材料取樣、抽驗、檢試驗及核對、試驗數據整理分析、管制、對現場施工工法、施工進度、施工過程與施工結果的持續性監督與查證、不合格品瑕疵列管、改善追蹤管制等，並對施工安全衛生管理進行監督查核。
3. 檢查 (C)：監造單位需基於監造計畫內容以及工程契約之規定對所辦理之監造工作的實施效果進行稽核，以保證監造品質查證管理制度的落實及各項監造工作有效實施。
4. 改進 (Act)：監造單位需根據檢查及稽核的結果對監造計畫進行評估與調整，對監造計畫的內容、流程、方法等進行改進，以達到更好的監造效果。並將相關工程經驗進行記錄、回饋與分析。

### 監造全生命周期數位管理

#### 專案管理資訊系統

中興工程顧問股份有限公司（以下簡稱中興公司）數位化已多年，各部門就其轄管業務建置作業平台。



一個工程標案自取得投標資訊起，經過備標、投標、得標、成立計畫、執行計畫、結案過程，總需經過重重疊疊的內部各部門作業需求，填寫各管理單位所需資料。為有效管控多元且複雜的計畫資訊，自1998年起即持續發展專案管理資訊系統（Project Management Information System, PMIS）以提供監造（專管）有效執行業務之工具，系統功能約有分為知識管理（KM）、現場查驗（Spot Check）、內部稽核（Internal Audit）、計畫控管（Project Control）等四大類，除包含文檔雲端儲存管理等基本功能外，並透過擷取各監造（專管）計畫執行情況數據，如工程進度、估驗進度及服務契約執行進度等，統合管理介面並以進入系統之權限管理架構提供不同管理階層或利害關係人掌握所屬相關計畫訊息<sup>[3]</sup>。有關PMIS平台介面案例，如圖5所示。

中興公司亦以PMIS為核心，架構各類功能之監造作業模組與數位平台入口，藉由數位資訊的串聯與儲存，進一步於不同資訊數位平台後端進行資訊分析、統計及加值應用，以作為監造全生命週期數位管理的內涵，對於監造管理作業範疇相關重要之數位平台分別說明如下：

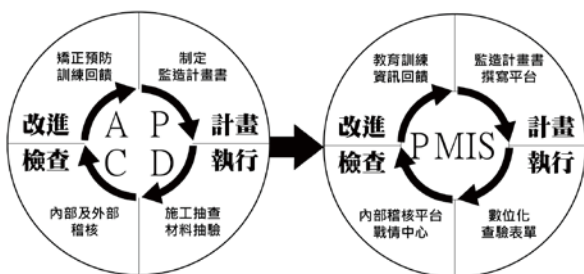


圖4 監造管理PDCA循環圖



圖5 PMIS平台介面

## 監造計畫撰寫平台

監造計畫的制定是監造工作PDCA循環中的「P」項目。是監造單位依據工程會之監造計畫製作綱要、技術服務契約、工程承攬契約、公司規章及相關法令等據以撰寫成冊，提供施工階段相關團隊成員依循之重要文件。依據工程會規定的章節內容包括監造範圍、監造組織及權責分工、品質計畫審查作業程序、施工計畫審查作業程序、材料與設備抽驗程序及標準、施工抽查程序及標準、品質稽核、文件紀錄管理系統，其中每一項都需要進行仔細的規劃，以確保監造計畫的實施效果。

依據中興公司統計以往監造計畫首版的產出，平均需要14天，約有82%的時間資源花費在專案查驗標準及查驗表單的製作，14%的時間資源花費在監造管理作業流程的制定，有關傳統監造計畫建置之耗時統計，如圖6所示。因提交時程緊迫，撰寫計畫者常有直接範本引用，致有參照錯誤或重複建置之疏漏。爰此，為縮短計畫撰寫時間，並整合各專責部門控管平台及PMIS資訊，提升平台效益避免重工，遂建置數位化監造作業撰寫平台。

監造計畫撰寫平台係藉自計畫開始至結案之數位軌跡，串聯相關既有數位資源，經由平台，擷取數位軌跡相關資料，整合為該標案監造計畫書。執行過程當中，監造計畫撰寫平台與各平台即資料庫的介接，主要分為兩種方式，第一種是直接由應用程式介面（Application Programming Interface, API）介接資料作業平台截取相關資料，如監造計畫之第一章的工程概述即從公司內部之「標別管理模組」資料庫取得；另外五、六、七章之材料抽驗、設備運轉測試、施工抽查表單係由PMIS的查驗表單資料庫擷取。另一種撰寫方式是建立UI（User Input）介面，由使用者填寫必要資訊，再套用已製作完成的板模預留區，主要應用於內容變異性小的章節，如監造計畫之第二、三、四、八、九章。如果有新產製的數位表單或施工項目管理

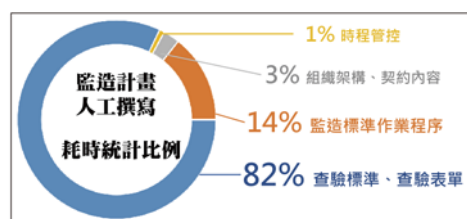


圖6 傳統監造計畫建置耗時統計比例

標準，經專業權責人員審核通過後，可持續納入相關資料庫，以作為後續可再利用的數位資源。有關監造計畫撰寫平台架構圖如圖 7 所示。

執行中新建表單或意見的饋入，係屬 PDCA 循環亦可視為監造工作中的「A」項目，由撰寫平台架構及運作模式可知，其作業模式改變了傳統先行撰寫監造計畫書再發展監造管理架構的既定模式，而轉變成先行自監造專案執行背景資料完善為開始，藉由串聯既有公司數位資料庫內容，再依據專案特性彙整執行流程、查驗表單、管理標準後再微調而綜整為監造計畫書，將有益於監造計畫對工程執行內容的符合度提升，強化監造品質與控管。話雖如此，但計畫的撰寫平台實際上僅扮演了專案資訊整合的 UI 介面工具，但撰寫平台數位化的深度，端賴公司整體的數位化程度，即數位化深度決定了監造計畫撰寫平台的效益及速率。

### 監造查驗數位平台

中興公司 PMIS 功能多元，有關文件、記錄等基本功能，詳土木水利第四十八卷第四期之「從公共工程之監造科技管理—淺談數位轉型」內容。有關監造作業品質查證工作，即工程監造管理 PDCA 循環中的「D」項，中興公司藉由 PMIS 執行，以落實對施工品質的監控與管制，確保施工品質符合標準，並對不合格品瑕疵進行列管和改善追蹤，並透過數位化的資料分析得到彙整資訊統計。相關監造查驗數位紀錄總覽表及統計介面，如圖 8、圖 9 所示。

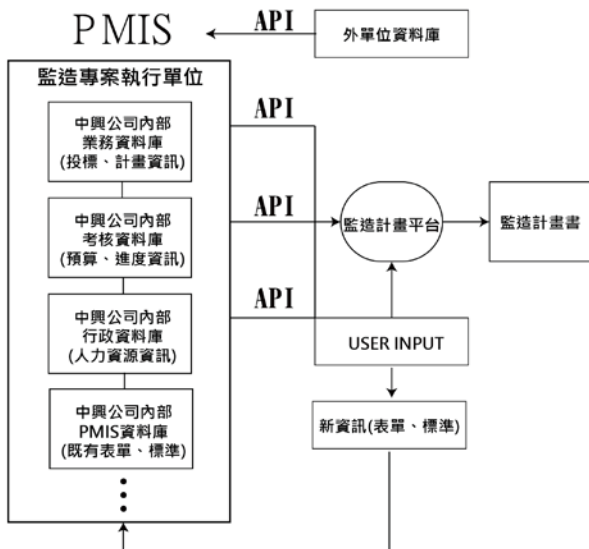


圖 7 監造計畫撰寫平台工作循環架構圖



圖 8 監造查驗數位紀錄總覽表



圖 9 監造查驗數位統計資訊表

為提高現場工程師查驗工作效率，將傳統查驗作業，從紙本的填寫、掃描、上傳至文件歸檔的繁複作業程序藉由作業流程 (Work Flow) 的優化以達到簡化的目的，監造數位化查驗後採取平台作業填報後逕自歸檔的模式，以簡化操作者之作業程序。

本於科技管理始終不離人本的精神，中興公司之監造查驗數位平台訂定以下功能目標，亦回饋操作者之使用經驗以求精益求精：

- (1) 建置工作作業平台，資訊透明，減少重工；
- (2) 優化作業流程，簡化執行程序，合理簡化；
- (3) 下拉式選單預設數值規格，減少輸入錯誤；
- (4) 依據公共工程三級品管體系精神，尊重各層級各自數位化發展，再予以介接整合。

而建構施工查驗自動化作業子平台，除可做為施

工查驗申請及承攬廠商一級查驗成果上傳的介面外，亦可以搜尋雲端資料庫之規範、圖說確認申請資料及查驗時間，並在手機或平板等行動裝置上查閱圖說規範，及執行數位化查驗工作。並於查驗後完成簽核並上傳雲端資料庫，以提升查驗便利性，優化使用體驗。其平台作業流程可概分五個階段：

- (1) 建置監造施工查驗表單資料庫。
- (2) 建置承攬廠商之查驗申請介面。
- (3) 建置施工查驗結果之填報介面。
- (4) 權責人員簽核介面及資安確保。
- (5) 制定紀錄上傳介面及檔案規格。

相關監造數位化查驗及回饋機制係中興公司邁向企業高效管理與達成公共工程節能減碳的重要的關鍵第一步。

### 內部稽核數位平台與三重稽核

在工程監造管理的 PDCA 循環中的「C」項係以稽核方式確保監造單位的作業方式及內容符合相關法令規定和公司品質規範，並能夠達到預期的品質、安全、環保和效益目標。

中興公司已通過 ISO 9001（品質管理系統）及 ISO 45001 及 CNS 45001（職業安全衛生管理系統）認證，除定期辦理相關認證標準之外部稽核外，亦搭配各項 ISO 標準系統所辦理的內部稽核，並以公共工程品質查核模式為基準，設立工地輔導小組，定期對標案執行工地內部稽核，形成了中興公司完整而縝密的監造稽核三重管理制度。有關三重品質稽核的架構內容，如圖 10 所示。

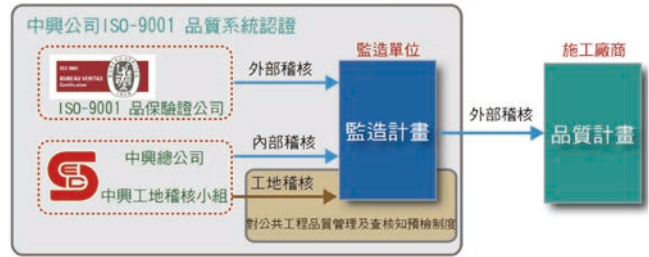


圖 10 中興公司內部三重品質稽核制度

其中三重稽核的部分係以工地輔導小組針對中興公司監造及專管各計畫，就各項 ISO 標準系統所要求之項目與參考「工程施工查核小組查核品質缺失扣點紀錄表」編制中興公司「工地內部稽核查對表」，據以辦理各計畫之監造業務管考的同時，輔以「工地內稽及施工查核平台」為工具介面，旨在藉由工地內稽執行所見缺失進一步彙整統計外，並進行計劃管理執行之風險預防性。有關工地內部稽核平台入口介面如圖 11 所示。

中興公司工地內部稽核係以每一工程標案為稽核對象。其中監造標案每年至少實施 2 次，專管計畫每年至少實施 1 次。稽核作業以數位平台方式操作，可進行系統化的統計分析，並蒐集各計畫之施工查核缺失建置缺失錯誤樣態資料庫，以為其他計畫借鏡，並運用數化管理機制，主動傳遞該業務錯誤樣態供執行者參考，以避免缺失重複發生。藉此以更有效的辦理資訊記錄和管理，進一步提高監造（專管）技術服務的正確、精確和效率。有關工地稽核小組以稽核平台確認項目之平台介面案例，如圖 12 所示。

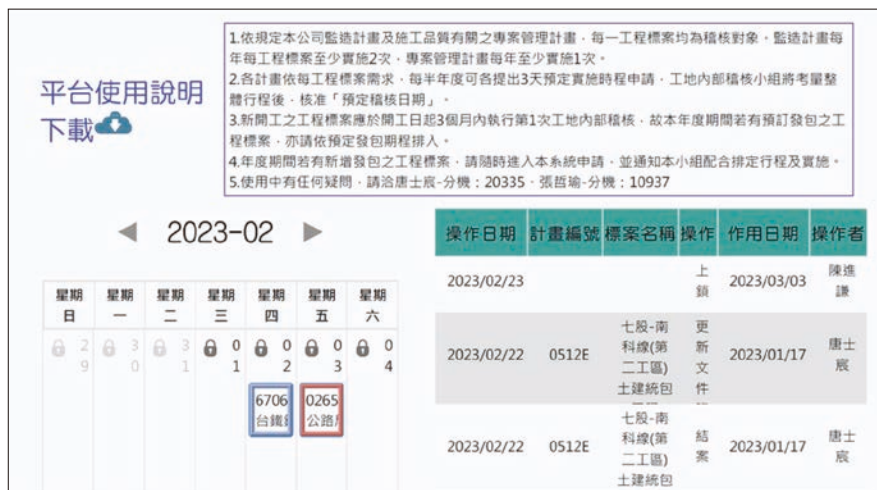


圖 11 工地內部稽核平台介面案例



圖 12 工地內部稽核平台核對內容案例

經平台統計及蒐集履約管理缺失態樣基本資料，彙整相關案例分析結果及編撰標準化訓練教材，藉此提升監造同仁本質學能。相關缺失態樣檢討之案例，如圖 13 所示。並藉由平台將公共工程最新法令規章、相關單位及公司之近期重點管理，以主動方式提醒監造單位於執行時之參考，以減少管理時效上之落差，達成與時俱進之目的。

### 專案資訊戰情中心

為節省工地重複提報各單位管理資訊及報表彙整作業時間，透過建立集中式數位戰情中心平台，運用視覺化管理技巧，將轄管各標業以需管控項目，藉由介接各標案 PMIS 量化數值，再加以運算建立量化指標，將不同專案之個別及整體管理資訊轉化為圖形化數位儀表板介面，以利監造計畫主管及相關管理階層人員迅速掌握專案脈動、判斷專案可能風險，以期快

速鎖定工程推展關鍵趨勢，並作出應變之判斷。有關之整體專案戰情中心介面，如圖 14 所示。

藉由串聯本公司各數位化平台執行資訊，包含工程實際進度 (A)、計畫執行進度 (B)、請款進度 (C)，輔以健康指數的設定，制定標準值以評估計畫履約管理成本管控，由各項指標差異性判斷專案執行的健康度，據以研判專案執行的順暢與否及適時注意可能的管理風險。以下說明初步設定之專案健康指數的定義，包含：

- (1) 計畫進度異常 (S) :  $|A-B| > 10\%$
- (2) 請款進度異常 (I) :  $A-C > 10\%$
- (3) 成本管控異常 (C) :  $B-C > 10\%$

除健康指數，儀表板亦串聯 PMIS 執行數據，如公文逾期件數，並設定提醒機制，以督促計畫主管加速辦理逾期公文，避免發生履約逾期事項，達預防及主動管理之效。



圖 13 查核常見缺失態樣 (混凝土) 檢討

序號	計畫編號	計畫名稱	PMIS 日均站 數量	計畫 健康指數	標案名稱	工程 實際進度		工程 進度 符合度		計畫 實際進度		計畫 進度 符合度		人員實際 使用度		收文 逾期數	
						工程 預計進度	工程 進度 增加平均	計畫 預計進度	計畫 進度 增加平均	計畫 預計進度	計畫 進度 增加平均	人員使用 計畫	人員使用 實際				
1	0024E	公路局台9線萬里溪橋改建監造	48.62	SC	01 台19線 242K+592-243K+600萬里溪橋改建工程	100.00%	0%	100.00%					230.22	9.37%	96%	1	
2	0095E	進豐里汴寮水力發電水運橋監造	50.34	SC	先二橋 第二階段先期土木	8.96%	-52.1%										
					期-A橋 第一階段土木	0.82%	0%	1.34%	53.58%	1.22%	209.82	-16.84%	41%	0			
					期-B橋 第一階段土木	0.82%	0%		52.36%		252.31						
					期-C橋 第二階段土木	0.51%	0%										
3	0107E	高公橋沙止交流道增設後橋改修工程監造	72.20	SC	11015 電橋1號沙止交流道增設後橋改修工程	61.99%	7%	61.99%	80.27%	-14.17%	65.35	-20.37%	69%	0			

圖 14 整體專案戰情中心介面案例

同時運用警示燈號搭配資訊圖台顯示，將有效協助掌握異常警訊以利快速反應。進一步實現數據的可視化、分析、綜合評估等功能，從而提高了監造管理工作的效率和品質，預判潛在履約議題，如：工期展延、契約變更...等，提早由相關部門或專業人員提供協助妥處，以滿足利害關係人之期許，落實履約風險管理。

目前於 PMIS 上所建立之戰情中心介面，可依管理者需求整合既有數位平台資訊，以儀表板為基礎，納入施工查核、工地內稽、計畫收入/支出资訊，制定量化管理標準，藉由系統輔助演算，提供管理資訊。有關個別專案之戰情資訊中心案例，如圖 15 所示。

### 資訊平台整合

監造作業全數位化的落實來自於監造作業數位程度的深度與廣度，也體現執行單位組織數位內化的程度。

深度的部分來自於由監造計畫自起始、規劃、執行、控制與結案的過程中的每一個環節，在 PDCA 的循環模式中，都能以數位方式收集資訊、並建立個別專案及跨專案間的趨勢整合、問題剖析後的對策，這些分析成果將作為企業數位資產的累積，藉以產生數位資產。

廣度的部分則在於由執行計畫的單位，對企業內部不同部門資訊的整合與連結，在進一步由內而外擷取資訊的多元化架構能否匯集資訊。

故這些作業平台隨著監造作業的持續進行，除了提供監造作業中之數位資訊的持續建立，並透過應用程式介面 (Application Programming Interface, API) 串聯公司內部與外部資訊的數據交換，除了可以保障數據的安全性和可靠性，以實現資訊共享和相互對接，

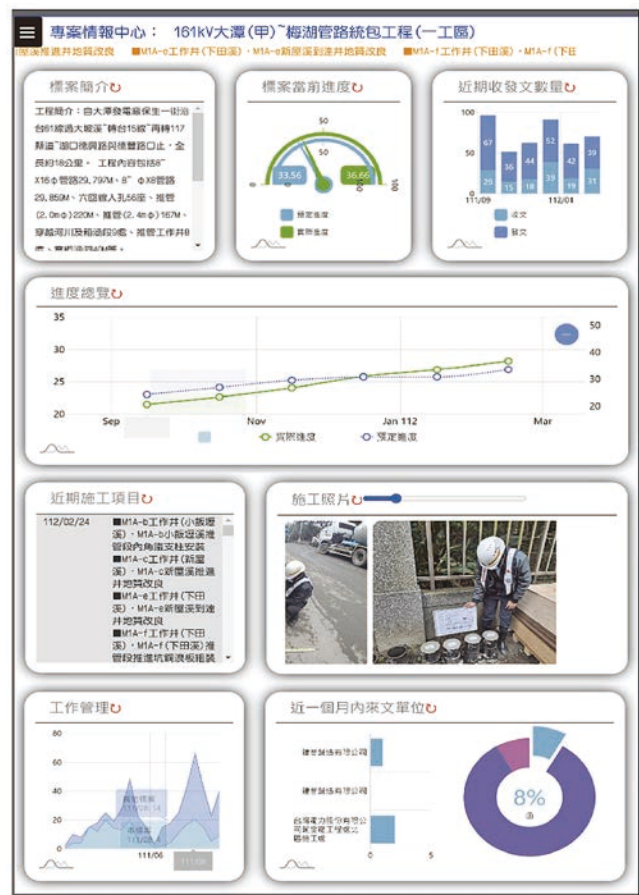


圖 15 個別專案資訊中心介面案例

一方面是提供資訊整合，方便各方資訊共享和交流，另一方面也可以實現數位管理的效益，減少人力和時間成本，提高監造工作的協調性和一致性，提升公共工程品質。

中興公司監造作業全面數位化，係利用 API 串聯企業內部及外部資訊平台化的操作，除了實現了數據的互通、平台的串聯、資訊的交流等效果，可以解決

數位孤島 (Isolated Data Island) 的問題。並促進民間企業與政府部門各自發展核心業務之數位平台，而非建立以主觀角度發展之管理大平台，以單一平台介面收集數位資訊。中興公司於發展數位化時即建立共同的標準與通用格式，串聯各單位所產製的數據，將有助於跨單位間合作的溝通與維護成本，更加速整體數位資源的交換，達成數位資源的擴大累積，進一步轉化為各單位未來的數位資產，為公司的數位轉型營造更有利的運作。

## 建議及展望

### 由數位轉型提昇至永續轉型

中興公司建立監造全周期數位管理，以監造「無紙化」數位查驗為公共工程「數位轉型」及企業「永續轉型」邁開第一步。在導入數位化查驗的過程中，從監造數位化的「工具面」、「流程面」與「服務價值層面」三大關鍵層面進行深入的盤點與思考，以 PMIS 系統串聯不同平台，將監造全周期數位管理逐漸落實完整。並藉由資訊流程回饋及教育訓練使中興公司監造同仁接新納變，也體現中興公司監造之科技、環保與人本的核心價值。

根據聯合國氣候變遷小組 (IPCC) 報告，最快在 2030 年，最晚在 2052 年，全球平均溫度將升溫 1.5°C，2050 年淨零排放已成全球共識，政府並於 2023 年 2 月公佈「氣候變遷因應法」正式將 2050 淨零目標納入法律中，強化碳排放管制措施，並增訂碳費徵收機制，在面對日趨嚴格的環境法規及國際零碳排趨勢下，各單位皆應落實永續概念致業務每一環節。藉由「數位轉型」邁向「永續轉型」是一個必然趨勢，無論是民間企業或政府部門應有更宏觀前衛的思考，來面對未來的挑戰。

### 工程全生命週期數位化作業

公共工程執行階段的管理成效應自規劃設計階段開始落實。除了利用建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 技術將所有設計、施工等交付營運的資料集成在數位模型中，以實現信息的交互和流通外。有關預算單價編列正確性、規範完整及周延性，亦攸關公共工程執行成果的良窳。

故於工程發包前利用數位化平台建立預算規範審

查機制，工程執行中納入 BIM 模型進行現場比對與檢討，施工作業流程的數位化成果再建立回饋的機制，再建立數據分析和風險管理評估模型。經由以上各項機制的整合，構成了全生命週期數位化管理的完整面向。

除了數據和資訊的流通、儲存與管理外，工程品質的確保才是監造作業的重點。而執行數位化監造作業的人員應藉由完整的教育訓練具備完整的工程監造專業技能，並輔以優質數位素養和技能，善用數位平台及數位工具輔以回饋機制，以確保監造作業落實設計圖說、規範的原意，保障正確、安全的監造現場管理，同時可將公共工程數位資訊、資源與資產持續累積，落實工程監造 PDCA 管理圈。

### 落實數位價值與改變觀念

公共工程監造作業的數位化是一個必然趨勢，但營造工程生命週期所涉及事項廣泛，目前大多數廠商及機關尚處於表單電子化階段 (紙本填報掃描後傳遞儲存雲端)，查驗紀錄之數據因仍尚未數位化。惟科技的快速發展將逐漸改變產業的走向，隨著人工智能 (Artificial intelligence, AI) 的興起，數位世代的工作模式逐漸成型，若政府機關仍固守原有既定的作業模式，勢必將與整體社會發展脈動與國際趨勢潮流脫節。

隨著「數位國家、創新經濟發展方案」的推動，政府已制定一系列數位轉型相關配套措施，更加上淨零轉型入法等趨勢衝擊，「延伸數位應用深度、善用科技工具布局、重構組織資源布局」應對策略，政府與民間企業應建構數位文化體質、發展多元應變策略。期盼業主機關能自公共工程數位化資訊交換的標準訂定、無紙化電子查驗表單及電子簽章的呈現，以及將數位化作業平台建置及工具作為技術服務或工程具體計價項目等方式，落實以數位科技強化政府治理，帶動產業轉型的目標。

### 參考文獻

1. 臺中市政府建設局 (2019)，「監造單位於施工及驗收階段督導精進作為一專案報告」，第 4 頁。
2. 林芳輝、張建信、何祖皜、蔡宗翰，「從駐外人力管理平台建置—談人力效益最大化」，中興工程季刊，第 158 期，第 69-77 頁 (2023)。
3. 林芳輝、郭鴻祥、黃正緯，「從公共工程之監造科技管理淺談—數位轉型」，中國土木水利學刊，第 48 卷，第 4 期，第 95-101 頁 (2021)。

# 土木水利電子報 歡迎瀏覽

「土木水利電子報」於 2022 年 7 月 5 日創刊，目前已發行 21 期電子報及 1 則號外，平均每月發行兩期。主要內容為國內外科技新知、工程報導、及世界最新趨勢等。例如，與科技相關的專題有：無人機、AI 人工智慧、BIM、數位影像、數位雙生等；永續及防災相關的有：淨零碳排、極端氣候、水資源危機、土石流監測、循環經濟等；配合時事的有：土耳其大

地震、後疫情時代、ChapGPT 等；與設計相關的有：卓越建設、隧道工程、離岸風電、構造物耐震補強、特殊基礎建設等；以及談教育的未來工程專業人才，內容多元且豐富。除上述之專題報導外，亦會不定期刊登工程技術、創新研發、機關來函、法規新聞等相關資訊。完整電子報內容請詳見官網 [www.ciche.org.tw](http://www.ciche.org.tw)，歡迎瀏覽。





### 土木水利電子報 編輯委員

林子剛／陽明交通大學土木工程學系教授兼系主任  
林主潔／大陸工程股份有限公司副總經理  
邱必洙／建國工程股份有限公司所長  
黃宗宸／環球測繪股份有限公司總經理  
林錦隆／高雄科技大學營建工程學系副教授

楊尊華／陽明交通大學土木工程學系副教授  
黃謝恭／中興大學土木工程學系助理教授  
蘇昱臻／中央大學土木工程學系助理教授  
詹滢潔／臺灣大學土木工程學系助理教授  
林靖文／陽明交通大學土木工程學系助理





# 夢想和幸福

## 零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，  
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，  
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，  
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號  
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568  
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw

# 土木技師 國之棟樑

逢山開路，遇水架橋  
高樓擎天，資源再造



高雄港 大港橋

 中華民國土木技師公會全國聯合會  
CHINESE UNION OF PROFESSIONAL CIVIL ENGINEERS ASSOCIATIONS

理事長 施義芳

地址：(105)台灣台北市東興路26號9樓

Address：9th Fl.,26,Tung-hsing Rd.  
,Taipei,Taiwan 105, Republic of China

電話：02-2748-1699

傳真：02-2748-1038

網址：<http://www.cupcea.org.tw>

E-mail：[cupcea@tpce.org.tw](mailto:cupcea@tpce.org.tw)

## 業務範圍

本院以問題導向之整合研究為出發點，將基礎研究的成果加以拓展，並轉化成產業界立即可用之服務推廣和教育訓練，以服務營建產業中相關之廠商、行政單位以及研究單位，以滿足其在運作上之需求。另一方面，亦同時加強與國內外產官學界之交流合作，以掌握最新的產業發展資訊，並加強與世界之互動關係。

## 我們的服務



離岸風電海工技術研發中心

營建產業循環經濟推動辦公室

工程估價師認證制度



中華民國營建業創新建築驗收制度  
開始推動



選定土價標準  
三級品管有保證



### 工程技術與管理研究所

1. 非破壞性檢測技術之應用研究
2. 施工困難工程之處理研究
3. 設施維護管理之參數分析與管理研究
4. 工程災害及工程風險之規劃與評估研究
5. 永續生態工程研究
6. 大地構造物設計程序及規範研究
7. 新材料 / 工法應用可行性分析  
審查與驗效 / 規範產出與市場化服務
8. 兩岸合作交流服務
9. PMIS雲端系統服務
10. BIM建築資訊模型導入服務
11. 工務資訊系統導入服務

### 產業資訊與推廣處

1. 工程概估資料庫建置與維護
2. 常用價格資料庫建置與維護
3. 維護策略檢討及維護預算編列
4. 規範維護與管理標準化服務
5. 促參案件評估與輔導活動
6. 履約及專案管理
7. 都市更新及規劃顧問諮詢服務
8. 教育訓練及工程品質訪視輔導
9. 設施安全鑑定與產品性能驗證

### 工程與法務鑑識中心

1. 施工損害鄰房鑑定
2. 建物結構安全評估、監測 / 監控鑑定
3. 建物瑕疵修補及估價鑑定
4. 給付訴訟之價格及數量鑑定
5. 大地工程或特殊地質鑑定
6. 建材規範衍生之爭議鑑定
7. 跨領域之事故鑑定 ( 土建工程事故涉及機電、化工或其他特殊領域 )
8. 起訴前或訴訟中之展延工期事由評估、衍生費用評估

出版品 營建知訊 / 營建物價 / 綠建材專刊 / 植栽手冊



財團法人臺灣營建研究院  
TAIWAN CONSTRUCTION RESEARCH INSTITUTE

TEL: (02)8919-5000 FAX: (02)2911-3541 歡迎向本院洽詢  
231新北市新店區中興路二段190號11樓 www.tcric.org.tw

## GTI TEAM

巨廷工程顧問股份有限公司  
G T International

- 監造服務作業
- 文宣及動畫製作
- 工程可行性規劃
- 總顧問及諮詢服務
- 工程基本及細部設計
- 技術轉移及教育訓練
- 計畫許可申請及審查資料
- 研討會 / 座談會 / 工作坊

台北公司 台北市中山區南京東路三段  
215號2樓  
(02)8712-8966

台中公司 台中市西屯區大墩十九街  
186號2樓之1  
(04)2328-3866



服務領域

防災預警  
水質處理  
水文技術  
設施營運

管路系統  
綜合治水  
施工管理  
河道治理

永續水庫  
防洪排水  
海綿城市  
水力發電

環境影響  
水資源規劃  
水環境營造  
集水區治理

- 刊行工程科技叢刊 / 專題研究、工程技術叢刊編撰、翻譯。
- 工程科技及學術交流活動 / 專題演講、參訪交流。
- 工程建設研參活動 / 工程技術現地觀摩活動、海外重要工程現地見習活動。
- 經費獎勵學金 / 國內研究生獎助學金及其他員額贊助、培養本國高階工程建設人才。

# 科普 / 獎學 / 工程交流

# Sinotech



### • 創設宗旨

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



**財團法人  
中興工程科技研究發展基金會**  
SINOTECH FOUNDATION FOR RESEARCH & DEVELOPMENT  
OF ENGINEERING SCIENCES & TECHNOLOGIES

10595 臺北市松山區南京路四段186號4樓之9  
電話：(02) 2577-4567 傳真：(02) 2577-3667

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



吹海風的路  
台61線新竹路段



交通部公路總局

廣告



茲附上廣告式樣一則  
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致  
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊  
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

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

刊登月份：

50.3  50.4  50.5  50.6  51.1  51.2 共 次  
(6月) (8月) (10月) (12月) (2月) (4月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；  
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣

元整

隨單繳送請查收摺據  
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：  
商號

(請蓋公司印)

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

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

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

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

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

繳納會費

- 常年會員年費 1,200 元  
 初級會員年費 300 元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期

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

訂閱中國土木工程學刊，一年八期

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

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

- ◎ 寄款人請注意背面說明  
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

# 社團法人中國土木工程學會

## 信用卡繳納通知書

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

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

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

### 郵政劃撥存款收據

#### 注意事項

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

### 請寄款人注意

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

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

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m<sup>2</sup> 模) 保管五年 (拾大)



## 計畫效益

- 增加落水池至東口間抽泥暫置量 410萬 $\text{m}^3$
- 增加清淤量約306萬 $\text{m}^3/\text{年}$
- 減少至東口間河道滲漏量約3,700萬 $\text{m}^3/\text{年}$ (約0.47座烏山頭水庫蓄水量)

## 放水渠道工程

導水箱涵全長4,530m，入口段銜接一號導水隧道出口並設有排洪閘門及取水閘門控制。

## 擴大抽泥工程

增設2支 $\phi 500\text{mm}$ 抽泥鋼管，輸泥管線自曾文水庫右壩座碼頭，沿曾庫公路佈設，終點過曾文一號橋後結束，長度約10,750m。

## 特高壓配電工程

於曾文電廠開關場內設置20/25MVA配電變壓器(容量約20,000kW)，並設置高壓電纜傳輸至壩前既有配電站，線路長度約1.4km，以供抽泥船擴大抽泥範圍。

## 壩前碼頭改善工程

改善既有碼頭道路以維持至少10m路寬，優化轉向半徑及設置迴轉平台，道路總長約564m。

配置2條 $\phi 400\text{mm}$ 及2條 $\phi 500\text{mm}$ 之HDPE管固定於庫區邊坡，減少對航運之影響。

**擴大抽泥** **恢復庫容**



經濟部水利署南區水資源局

廣告



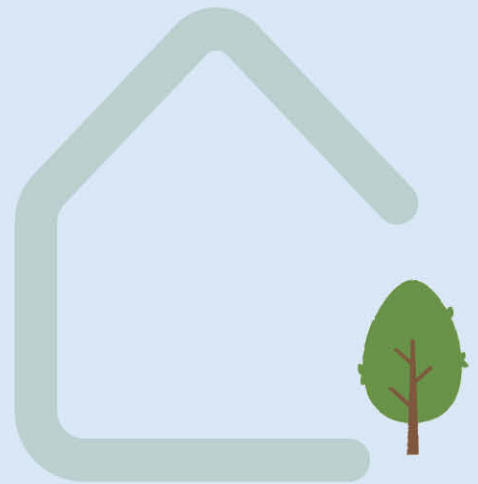
# 皇昌營造股份有限公司

Hwang Chang General Contractor Co., Ltd



本公司承攬之臺北市信義區廣慈博愛園區整體開發計畫公共住宅第D標統包工程

**本** 工程以鋼骨鋼筋混凝土(SRC)之特殊抗彎構架系統做為結構系統，並採用逆打+雙順打工法進行結構體施作。設計結合「綠建築」及「智慧建築」理念(如節能管理、安全防災、健康舒適等)，並導入先進資通訊(ICT)科技方案作為發展願景，提升公共住宅生活及服務水準。



台北市內湖區潭美街539號23樓、(02)2792-2988、[www.hcgc.com.tw](http://www.hcgc.com.tw)