

中 | 華 | 技 | 術 | 133

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2022. 1. 31 出版

創新營建科技 傳承歷史軌跡



國內
郵資已付

台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／

交通部政務次長胡湘麟

台灣中油公司副總經理方振仁

沉箱製作浮船塢工法施工實務—以中油第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程為例

金門跨海大橋主橋造型墩柱及橋塔施工規劃與挑戰

營建工程遭遇文化遺構之處理—以鐵路地下化工程臺南車站南、北轉車台遺構為例

國內首座鐵路橋側推創新工法—臺鐵南迴鐵路雙軌化工程北勢溪橋施工

數位轉型內化升級：亞洲矽谷創新研發中心PMIS應用再進化

財團法人中華顧問工程司 發行

CECI 台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製



創新營建科技
傳承歷史軌跡

CONTENTS

中華技術 133

目錄

專輯前言

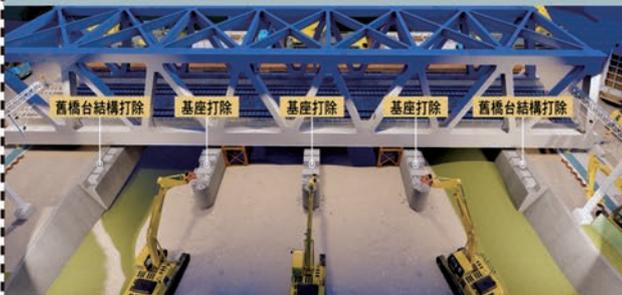
1 | 人物專訪

8. 訪交通部政務次長胡湘麟談「鐵道營運產業與智慧運輸的發展」.....

..... 整理：陳世光・攝影：詹朝陽

20. 訪台灣中油股份有限公司副總經理方振仁談「國內天然氣政策」.....

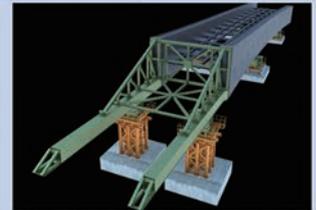
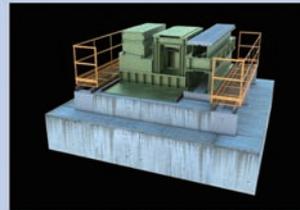
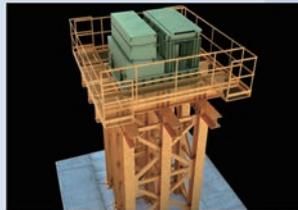
..... 整理：林聰能・攝影：詹朝陽



發行人 周永暉
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段185號28樓
電話 (02)8732-5567
網址 <http://www.ceci.org.tw>

編審工作小組
總召集人 施義芳
副總召集人 廖學瑞
133期召集人 林曜滄
133期審查委員 邱水碧、鄧建華、陳志鴻、莊明哲、周昌典
總編輯 張鈺輝
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨、許舜雅
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街323號
電話 (02)8797-3567
網址 <http://www.ceci.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎



2 | 工程論著

32. 職業安全衛生數位轉型發展策略
.....鄒子廉、李柏昌、李文進、李秉展

3 | 專題報導

44. 沉箱製作浮船塢工法施工實務—以中油第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程為例.....
...黃榮裕、高偉騰、張致豪、邱水碧、林聰能、洪博勝、李永安、林張城

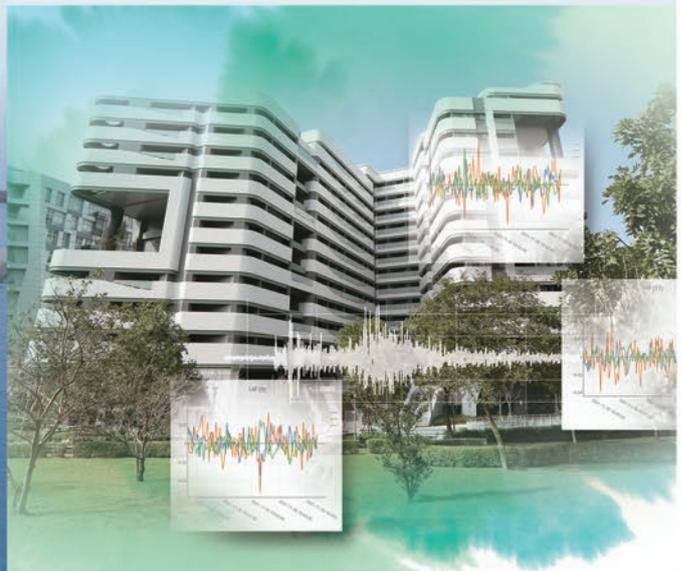
56. 金門跨海大橋主橋造型墩柱及橋塔施工規劃與挑戰.....
.....郭呈彰、柯明佳、謝克岱、盧建州、黃俊憲

68. 營建工程遭遇文化遺構之處理—以鐵路地下化工程臺南車站南、北轉車台遺構為例.....
.....吳佩儒、林峻毅、陳志鴻、馬良俊、劉雲生

82. 國內首座鐵路橋側推創新工法—臺鐵南迴鐵路雙軌化工程北勢溪橋施工.....
.....劉雲生、羅逸建、莊明哲、謝政璋、江明珊、王玉璋

90. 國內首座捷運橋梁採頂昇滑移創新工法—高雄捷運岡山路竹延伸線第一階段跨阿公店溪橋施工.....
.....莊明哲、謝政璋、葉錦璋、林正國

100. 數位轉型內化升級：亞洲矽谷創新研發中心PMIS應用再進化.....
.....柯婷玟、陳玟蓁、黃景威、羅挺洋、賴鈺蓓



108. 建築結構健康監測平台開發研究—以瑞光社宅為例.....
.....蘇瑞育、王淑娟、林志全

編後語



專輯前言

營建是傳統工業也是帶動所有產業的火車頭，是國家經濟發展的重要一環，舉凡交通、國防、能源、水利、農工以及民生樂利的經濟建設皆與營建產業息息相關。行政院主計處2016年國內關聯表中，營建工程投資的向後關聯性達2.09，表示營建產業每投入1萬元，就能帶動其他產業創造2.09萬元以上的產值。

雖然營建業是火車頭產業，台灣營建產值卻遠遠落後先進國家50%以上。根據主計處統計，營建業對台灣GDP的貢獻僅佔2.5%，遠低於歐美先進國家，例如英國的營建產值佔GDP 6.0%，日本佔5.7%，美國營建產值的貢獻相對低，仍達GDP的4.0%。因此，必須積極提升營建產業的生產與工程管理技術，方能提高營建產業的產值。

相較先進國家已走向技術密集，台灣營建產業還是以勞力密集為主，且台灣面臨高齡化、少子化的衝擊，讓營建業受勞力短缺的衝擊更甚其他產業，尤其2020-2021年疫情影響全球產業與經濟，對民眾生活及消費型態產生改變，更讓營建產業面臨巨大的挑戰。而營建產業所面臨的危機，包括缺工斷料、傳統工法與技術思維的問題累積已久，應以創新思維積極導入新工法新技術，讓台灣營建產業轉型升級，借鏡日本、英國等先進國家在營建科技轉型的做法，才能提高營建產值對台灣GDP的貢獻。

營建技術創新是營建業競爭力之來源，也是在高科技時代營建產業發展之必然趨勢，對營建產業可積極發揮長遠之效益，然而營建產業創新之程度相較其他高科技產業遲緩。在面對科技進步與數位轉型的趨勢浪潮中，營建產業勢必要掌握及善用技術，將新興科技技術融合應用，以追求創新之技術工法、材料設備之

改良、營建科技之管理技術，以提升競爭力，尤其面對國際物料短缺，供應鏈中斷，物資與工資上漲，人力缺乏之重大環境影響，更應以創新思維積極布局與全面性因應。

本期特別專訪交通部政務次長胡湘麟談「鐵道營運產業與智慧運輸的發展」，分享推動高鐵機捷等軌道工程建設之經驗，以及擘劃國內未來智慧運輸計畫之創新思維。專訪台灣中油公司副總經理方振仁談「國內天然氣政策」，指出中油公司在配合政府「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」能源轉型目標，所採取之國內天然氣政策，提供及分享各界參考。

另邀請勞動部職業安全衛生署鄒子廉署長針對專題提出專業論著，主題為「職業安全衛生數位轉型發展策略」，藉由探討國際訂定職安標準的最新發展趨勢，分享推動營建業數位轉型的作法，包括管理作為、科技應用與防災趨勢。

本期專題報導將以「創新營建科技、傳承歷史軌跡」為編輯主題，其內容係以「營建工程與文資保存並進」、「創新工法新技術」與「營建 e 化」為三大主軸。

■ 營建工程與文資保存並進

「永續發展」已逐漸成為普世價值，是現今社會之主流意識，也是營建工程之核心價值，工程除了須具備專業技術外，也須兼顧人類歷史遺產之保護，並將其融入工程規劃設計、施工、營運，以至於全生命週期的每一個階段。



專輯前言

專題「營建工程遭遇文化遺構之處理—以鐵路地下化工程臺南車站南、北轉車台遺構為例」，說明於規設階段即加強古蹟車站(臺南火車站)與新站之整體結合及活化再利用，於施工階段依據文化資產保存法辦理文化遺址監看與發掘搶救，提供工程建設遭遇文化遺構之處理經驗，傳承先民留下的文史寶藏，及建設的歷史軌跡，也提供讀者面對此課題之省思與學習。

■ 創新工法新技術

科技進步之巨輪永不歇止，營建工程必須適應時代進步提供之科技技術，搭配應用科技技術的創新工法與管理，克服施工障礙，降低施工風險，以達到增進施工品質，降低成本，提升施工效率之目標。

國內橋梁工程施工技術日新月異，為配合嚴苛環境要求、維持營運需求、及施工空間受限等因素，施工技術與工法也不斷推陳出新。專題「國內首座鐵路橋側推創新工法—臺鐵南迴鐵路雙軌化工程北勢溪橋施工」與「國內首座捷運橋梁採頂昇滑移創新工法—高雄捷運岡山路竹延伸線第一階段跨阿公店溪橋施工」，介紹橋梁施工之創新技術工法，及事先導入BIM施工模擬與衝突檢核，超前布局，以降低設備成本、縮短施工時程及提高施工安全，並且採用空拍機空拍攝影記錄施工歷程，監看施工過程以降低施工風險。

■ 營建e化

利用科技化工具搭配工程管理手法，加速施工資訊交換並展現執行績效，已逐漸形成營建業界廣泛共識，也是產業提升相對

競爭力的必然趨勢與機會。導入數位科技與創新，運用BIM的建築模型及資料庫的建立，可直接應用於施工階段衝突檢查與現場查驗，後續維運管理時，搭配智慧科技之導入，除提供預警、防災功能外，亦能快速進行設備管線的修繕管理與維護。

專題「數位轉型內化升級：亞洲矽谷創新研發中心PMIS應用再進化」，為本公司辦理「亞洲矽谷創新研發中心」專案管理工作，結合排程網圖及要徑管理升級PMIS工作管控輔助功能，強化行動查報APP、查驗表格快速組合、動態表單產製應用使工程管理之發展更具全面性。透過與主辦機關共同研討蒐集建議，以整合式資訊呈現為目標，透過提供圖型化及警示燈號之易讀介面，建立數位戰情中心以提供遠端管理人員快速掌握現地狀況。

專題「建築結構健康監測平台開發研究-以瑞光社宅為例」，係介紹本公司辦理瑞光社會住宅專案管理，為落實建築生命週期維護管理，以強震儀進行結構健康監測開發平台，整合中央氣象局的地震資訊、現地的強震儀數據，除了可提供專家所需的數據與圖表，也提供給非結構專業的管理人員掌握軟硬體即時狀態及震後的評估結果，未來結合物聯網(Internet of Things, IoT)、建築數據及整合智慧演算，以呈現建築物的健康指標，亦可作為結構修復補強之依據。整合式的平台可提升大樓結構健康之自我診斷與安全評估，並可達成防災、預警的最終目標。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

代理副總經理

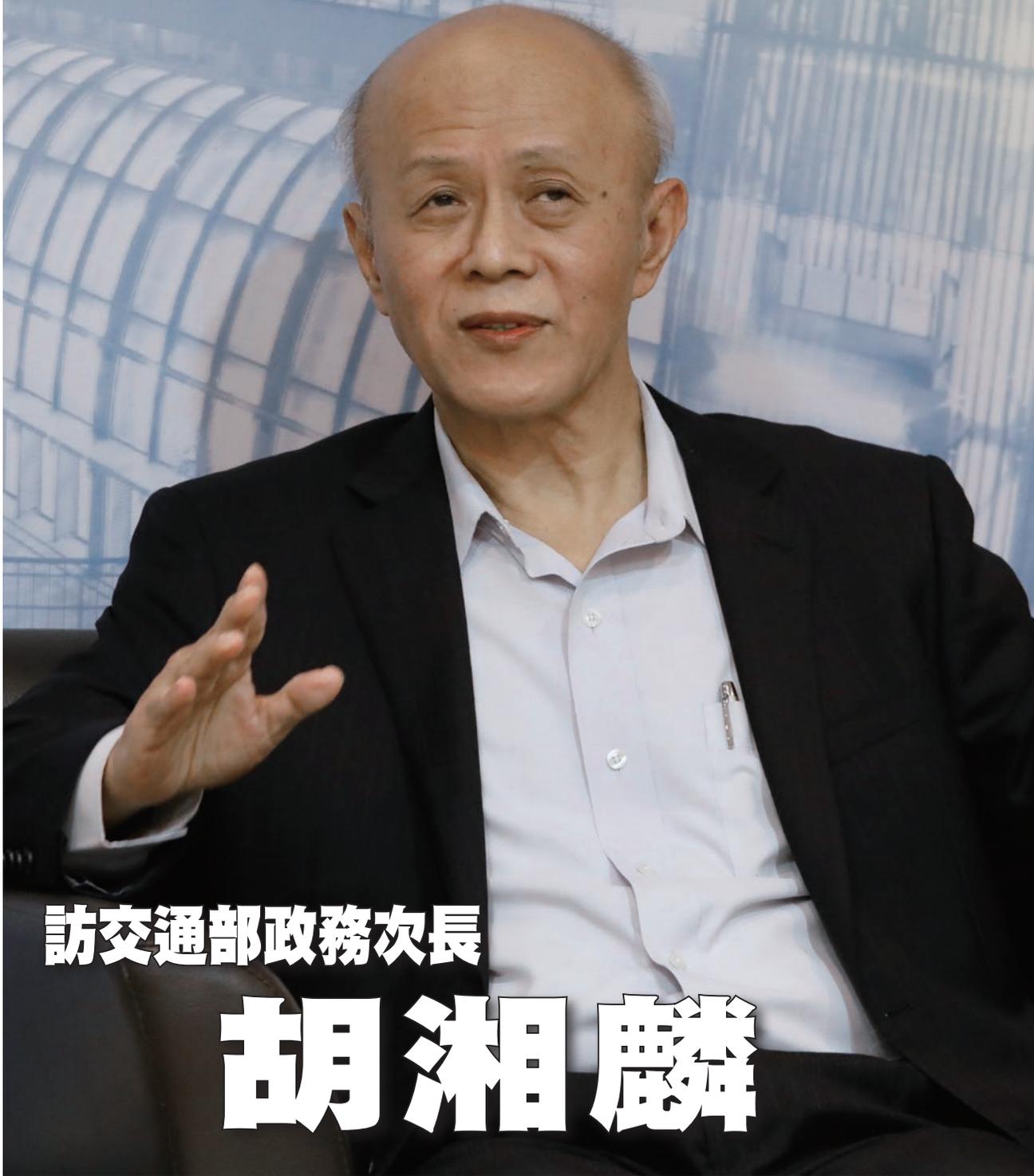
林曜滄

1

人物專訪

| 中 | 華 | 技 | 術 |

INTERVIEW



訪交通部政務次長

胡湘麟

談

鐵道營運產業與智慧運輸
的發展

整理：陳世光 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

交通部政務次長胡湘麟，畢業於國立交通大學運輸管理學系，歷任交通部運輸研究所工程師、高鐵局科長、副組長、組長等職務，自96年1月起擔任高鐵局副局長，102年6月起代理局長職務，103年9月升任交通部高速鐵路工程局局長，並代理交通部鐵路改建工程局局長職務，107年6月交通部整併兩局為交通部鐵道局後，出任鐵道局首任局長職務。

最早在運輸研究所任職時，即參與大型專案計畫，奠定日後系統性的宏觀視野。公務生涯多年來領導鐵道專業同仁，積極推展台灣高鐵及涵蓋機場捷運等各項捷運工程建設。高鐵成立籌備處之初，就全程參與推動高鐵建設計畫，包括催生辦理BOT的法源依據—獎參條例之立法作業、辦理各項先期規畫作業、徵求民間投資招商作業、招標甄審作業、興建營運合約之議約、融資協助、簽訂合約等。興建階段更是無役不與，領導監督工程團隊，逐步興建完成通車營運。台灣高鐵的運輸功能，改變台灣南北各項民生商業往來模式，並取代了當時已營運多年的北高航線，為國內公共工程BOT建設模式立下了里程碑，完成歷史性的任務。

於高鐵局任職期間，廣續接辦交通部交付推動機場捷運建設計畫，始終秉持優良的工程專業推動機場捷運建設，尤其機場捷運機電系統進度一度落後，歷經一年餘的努力，獲致突破性進展，讓國外各家關連廠商更緊密結合進行各項測試作業，完成完工通車的艱鉅任務，提供國內外旅客優質「無接縫」公共運輸服務，再創臺灣交通建設的新紀元。

今年110年4月，以其學養俱佳，積極任事與創新思維，銜命接任交通部政務次長之要職。本期刊很榮幸於民國110年11月30日專訪胡次長，以下是訪談紀要。

貳、訪談紀要

問：您在鐵道建設上擁有非常傑出的經歷，接任次長要職實至名歸，可否請您談談，在這一段時間的心路歷程？

答：我過去從事公職的經驗，是由台北捷運規劃進入交通部運輸研究所，在運研所的時候，

大概都是接辦大型專案計畫，例如當時稱為南宜高速公路計畫(南港-宜蘭)的北宜計畫。後來到高鐵成立籌備處，參與了BOT形式的高鐵建設計畫，以及傳統設計施工形式的機場捷運，一直就持續直到110年4月。



這一路走來，現在回頭去看是蠻幸運，能有機會參與兩項國家重大建設，「台灣南北高速鐵路建設計畫」於2007年3月2日正式營運，及其後的「臺灣桃園國際機場聯外捷運系統計畫」亦於2017年3月2日正式營運，兩項重大建設開始營運相差10年，又很巧合的於同月同日正式營運，台灣南北高速鐵路我也是其中一位從無見證到有；桃園機場捷運在遇到機電系統整合嚴重滯後時交到我手上，想一想能夠碰到這樣機會的人不多，這個經驗其實回頭去看，真是難得。因為台灣高鐵從內部作業來看，讓我碰到許多比較先進的工程技術面，當然工程技術主要都在高鐵公司去執行。另外是從一個政府的角度的看待BOT案時，我們更要去處理有關這個BOT案的法規面、財務面的事情，在一般公務機關的相關公務人員不太容易接觸到，這些系統性的經驗，我相信是有助於現階段交通部的業務。

畢竟台灣高鐵這個BOT合約特許期長達70年，環顧全世界大型BOT計畫，僅用薄薄的一本契約來規範，因此這個契約必須要有互相互信處理共識，才有辦法走到現在，而且後續還要繼續執行近50年，政府與BOT廠商間的充分互信，才是這個BOT契約順利成功的關鍵。

今年4月發生太魯閣事件之後，交通部最優先是要處理台鐵的事情，雖然當時我大概再

三個月就要屆齡退休，但經考慮還是接下這個任務來協助處理台鐵這個重大事件；同時也非常謝謝台灣世曦公司的協助，當時及時提供專業人力及技術上的幫忙，讓這個事件得以在二週之內，就檢測及搶修完成恢復通行。

目前在交通部內的工作，主要還是推動鐵道方面的業務，老實講，我仍還在調適自己，儘量在我熟悉的鐵道工作之外，推展到其他方面。但是七個月的時間，我發覺時間還是不太



夠，仍有非常多瑣碎，但與鐵路有關的事情，佔用了大量時間。在現階段來講，如果有時間、有機會，希望這些經驗，能夠在其他方面政策推動上襄助部長。

問：交通部業務涵蓋全國陸海空各項重大交通建設，其中包括了持續推動4年(2021~2024)智慧運輸計畫等，可否請您談談交通部推動智慧運輸計畫的現況與願景？

答：我初到交通部來的時候，記得當時部長特別說了一件事情，就是智慧運輸，他認為智慧運輸在處理上面，還是以鐵道局來主導比較適合。這個領域面向很廣，參與的單位也很多，施董事長也在ITS鐵道智慧運輸小組中協助推動，台灣世曦公司也設有智慧運輸專業部門、專業工程師，並且在智慧運輸系統ITS的領域上有所發揮，展現優異的成果。

剛來部接觸到這領域時，聽到的好像大



(中左)施義芳董事長 (中右)胡湘麟次長 (右3)陳文瑞司長 (右2)魏瑜科長 (右1)邱水碧協理
(左1)陳志鴻協理 (左2)何泰源資深協理 (左3)林曜滄代理副總經理 (左4)廖學瑞代理總經理

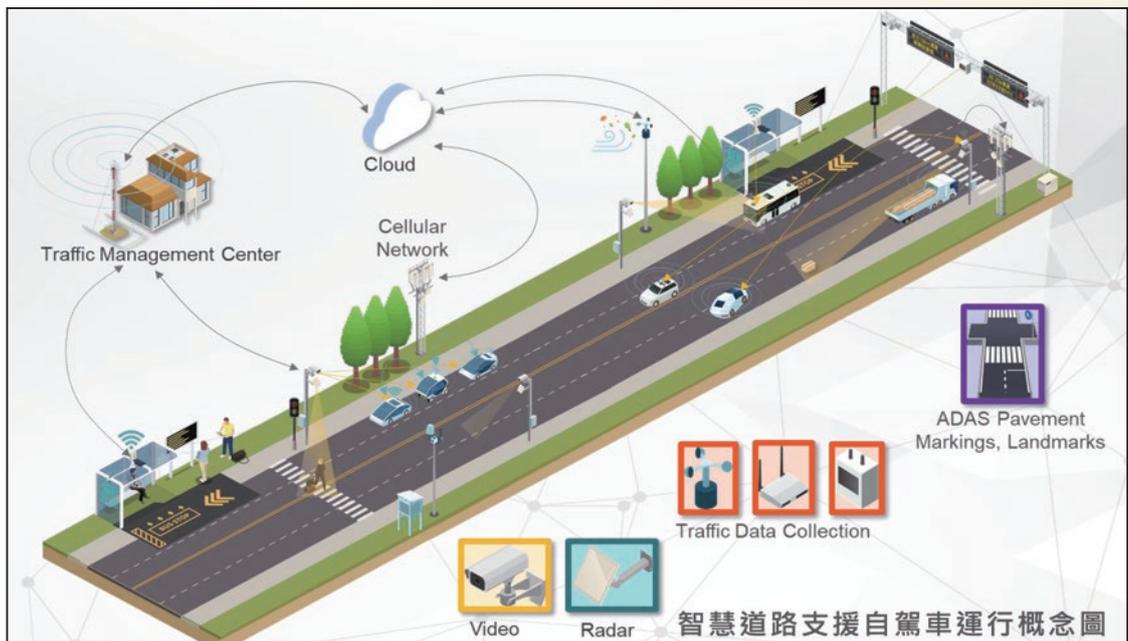


家都在談ITS，或者我們講白話點就是在指自駕車，可是我發現交通部的同仁可能和大家一樣，都關注在自駕車業務方面，但可能分不太清楚，交通部在自駕車這個領域應該要做什麼！於是開始思考交通部在智慧運輸的領域，應該朝什麼方向來發展，現在由我在處理智慧運輸方面的業務，我不希望智慧運輸的議題僅聚焦在自駕車上；所以在溝通過後稍微把它整理一下向部長報告，先選擇「智慧道路」，因智慧道路是最優先的，當談及這方面的應用時，又想到會與鐵路最有關係的，那就是「自駕公車」。

自駕公車是從自駕車所衍生出來的，但這中間的區別就是，自駕車的智慧技術應該是經濟部、科技部的領域，由專業技術的部會去思考及解決該怎麼去做。而交通部在自駕車的

領域該做的是什麼，我覺得交通部在剛開始的時候，可能沒那麼慎重去想，從智慧道路的觀點，交通部的角色，不是由自駕車來引導交通部去跟著做，而是反過來應該去訂定對於自駕車實際行車安全的規範要求。

為什麼我會先提這件事情，也許是過去從事鐵路軌道運輸安全的關係，比較會從系統面的角度去思考，不是零零散散片段式的解決。無論如何，交通部在自駕車這方面的應用或者管理發展，最要重視的就是在道路安全方面的把關。也就是我們可以把自駕車的自身安全技術，由出廠車商的專業技術去解決，由專業的部會去規範審查，再交到交通部來作相對應的監理，也就是應該在自駕車實際開上道路前，規範有關車輛、道路智慧設施的實際應用到位。如果交通部不把車輛、道路的安全做為最





重要的考量，可能就沒有展現出智慧運輸的原始目標。

問：次長提到智慧道路導向自駕公車的推動方向，是否有考量到自駕公車與一般車輛如有發生交通事故時，如何來界定事故的責任判斷？

答：我們在推動自駕公車的direction上，是計畫先選擇一個比較固定範圍的場域來辦理，目前將道路按發生事故的可能性與嚴重度分為五個等級，作為選擇自駕公車場域道路的參考，應該

可以減少事故的發生。當然這類事故的問題，還是可以由地方之監理單位先去了解及判斷。但智慧道路之原始基本意義，就是我們最初說的，以安全為首要的考量。

我們以交通部正在推動的機車車聯網系統來說，就是要利用現有某一個場域路段來建置，其實適度的機車車聯網可減少參加者事故發生率，在這樣狀況，也正研討如何解決參加者與未參加者的衝突。另外我們也在研討一種減少駕駛的智慧運輸，比如由前1車人駕加上後4車自駕的模式，所以在這領域的技術上、管理



上以及需要其他一般車輛的配合部分，這個問題應該會在自駕公車上路階段，有比較明確規範。



施董事長所提自駕公車是一種服務的思考，建議可在目前高鐵桃園車站特定區，總面積為490公頃，也許我們可以考量在這個特定區，規劃一個自駕公車的小規模案例。甚至將來可以推廣到更大一些的区域，成為智慧城市的一環。

智慧道路其實已經推動多年，例如交通號誌聯鎖、電腦化等等。另外在台鐵方面電務智慧化，例如號誌電子聯鎖系統，六年前就已經在使用，逐漸將原來繼電聯鎖號誌在各路段逐步更新為電子聯鎖號誌系統。

有關5G通訊應用，後續將以建置整體智慧交通管理中心、智慧化號誌控制器等，其中智慧化號誌控制器，將由中央與各界研議定義標準，以配合未來5G時代各種車路聯網需求，建

置新一代號誌控制器，避免屆時空有先進車輛或設備，但卻受限於全國道路路側相關設施無法配合而減緩我國先進建設的腳步。

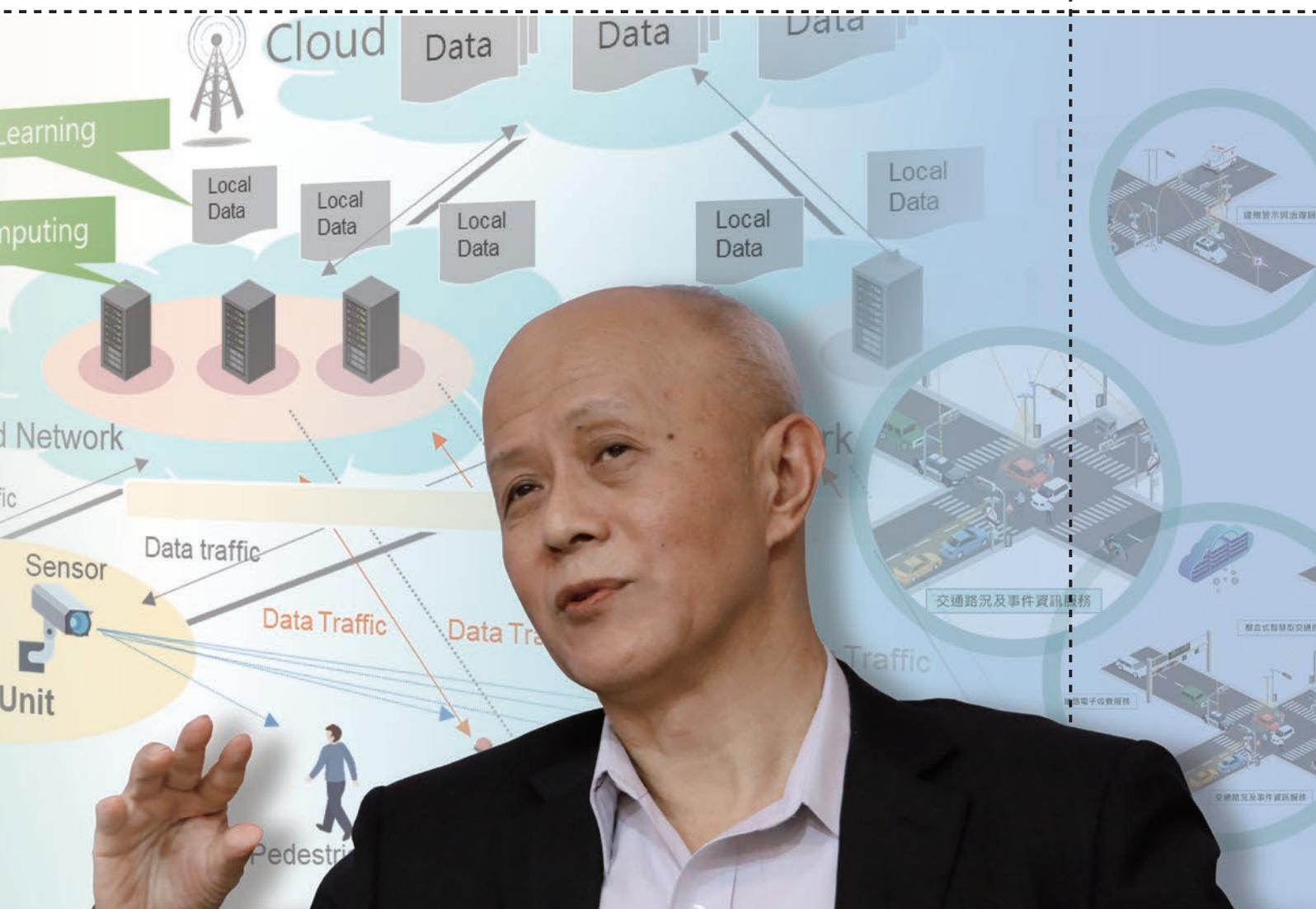
現階段4G電腦化已經沒有問題，如何在未來5G環境下，納入相關回饋資料，在不同時間、空間運用於解決旅客問題、管理運作方案，是為最大的方向。

例如早期在高鐵開始營運時，經常因高鐵轉轍器故障影響行車車次，而造成旅客會擠在車站售票口前注意有關高鐵運行狀況的廣播；當下我就在思考若高鐵售票口上方也能架設一個類似台鐵板橋車站多元資訊電子看板，可顯示更多相關資訊，就能有效的提供旅客重要訊



息，這也是運用智慧化運輸服務的好例子。但若繼續要求台鐵局提出如何運用下一代科技，展現應用的功能，重要的就是要由許多專業人員去集體思考技術解決的與應用的方案，才能達到預期的成果。





1
人物專訪

胡湘麟次長於專訪中表示，為配合未來5G時代各種車路聯網需求，必須提前建置新一代號誌控制器，以避免屆時空有先進車輛或設備，卻受限於全國道路路側相關設施無法配合，而減緩我國先進建設的腳步。



問：交通部的業務涵蓋對鐵道營運監理業務與管理，尤其在高鐵與捷運方面，算是一個當時前無先例的情況，可否談談您在實際執行層面上的看法？

答：首先是為了維護高鐵或捷運營運設施的安全，如有鄰近鐵道的新建構造物，都必需符合大捷法禁限建的規定。這個禁限建的規定，我的了解是從高鐵才開始實行，主要是由BOT投資的角度(營運不受影響)去要求的，所以才會有這個規範誕生，後來慢慢從規章放到大捷法中去規範。我們要求申請單位的建設內容，對高鐵、捷運既有設施安全性影響的分析計算，必須經過專業技師的簽證，這方面非常感謝施董事長在技師公會技師先進們的協助，包括在鄰近施工期間的監測，以及相關警戒、行動處理，讓公務機關可以非常放心。

雖然高鐵是BOT的案子，我覺得這段時間的參與，從各種角度及面向去看待時，都對於傳統的公共建設推動上，提供正向的引導。

禁限建的規定，在公路方面或許會有些屬於技術層面的做法，但在法規面上還沒有相關的規定。當然，如果從法規面切入，一定會把工程技術納入探討，但是我覺得這在某些方面是一些進步，在我們這個國家環境裏面，推動

一些公共建設會碰到這些問題，可以思考在公路方面，是否需有進一步的做法。

再來就是，當時台灣高鐵開始營運初期，BOT契約進入營運期的階段，以及營運後的情況，我們就面臨一個挑戰，就是民間公司進到我們政府機關公務部門，這件事情是過去我們所沒有經歷過的，尤其是在鐵路方面，這麼大的工程，當然接下來就是要處理鐵路與民間之間的事情。

當時這個過程中，我們了解鐵路法原來是以台鐵為主要的對象來制定，也許鐵路法是抄襲自日本的規定，雖然鐵路法中有稱為民營鐵路，也許民營鐵路在國外有這樣的案例，但早期我國並沒有民營鐵路這種情況，而鐵路法雖有民營鐵路這個名詞，可是真正在執行時，要以鐵路法現有法規去監督台灣高鐵公司時，才發現完全不行。

最簡單來說，例如鐵路駕駛考照這項業務，我們先就公路監理來看，現在民間遊覽車的駕駛，政府如何辦理發照，讓民間經營遊覽車載運旅客民眾，相同的，一般公車也是一樣，都是由交通部統一考照的規定，經過一定考照程序，再發照給客運車的駕駛，並有定期的監理規定，來保障旅客的乘車安全。

可是若引用到鐵路的情況，就會馬上面臨交通部對鐵路駕駛要如何要求與認可。當時我也好奇民營的高雄捷運初期營運時，有沒有也注意到這種問題？但因為高雄捷運主管機關是高雄市政府，所以也是參考台北市政府與台北捷運的監理作業，由地方政府捷運公司自己來發照。但發照這作業，不應該是由地方政府去做，仍應由交通部統一方式來辦理捷運駕駛執照發給。當然相對地方捷運若有事故狀況，例如台北捷運若發生事故，目前還是找台北市政府機關負責。由於高雄捷運是屬於BOT民間經營形式，與台北捷運屬公營型式不太一樣，也幸好迄今尚未發生相關事故，否則這些責任釐清就會有點困難。

高速鐵路的車速更快，也許民眾更關心高鐵的技術層面、安全層面的問題。因此原來的高鐵局要如何監理台灣高鐵，台灣高鐵公司是一個正派的公司，對於安全營運採取與政府一樣的立場，但是要如何監理台灣高鐵，對於適用於台灣高鐵的營運，仍應修正鐵路法，除了要適用於國營鐵路，也需適用於民營鐵路。相對的，我們對於民營鐵路的規範要求，也要適用於國營鐵路的管理與監督。我曾提到我們的法案可以監督飛安，但不一定能監督鐵路，因此相關法案，實際上要能涵蓋擴大適用到民營鐵路及國營鐵路。

問：2016年高鐵台北站向北延伸段到南港站，是在原有高鐵BOT契約內，但是原契約內並未包含再向北延伸到宜蘭、向南延伸到屏東，這時如果有某財團公司表達承做的意願，在契約上將採取何種方式處理？

答：我所了解延伸到宜蘭或屏東這個問題，目前應該還沒有財團公司提出這樣的表態。高鐵向北延伸到宜蘭，向南延伸到屏東的情況，確實也都不在原有BOT契約的範圍，但不管任何工程角度，都不是重點。這些延伸計畫，政府將會透過現在促參法的規定來辦理，當政府提出這樣規定，各投標廠商就會搶到最低點，這時候政府就必需與各投標廠商來協商。目前雖然並還未發生這種情況，但基於車輛及系統機電設施、軟體等相互續接連結的考量，又勢必將與既有的BOT契約廠商(台灣高鐵公司)都有密切的關聯。

由於原契約只涵蓋延伸到南港，其餘路段並不在原約之內，台灣高鐵公司也許會表示這事與它無涉，可能提出拒絕協商的態度。但高鐵雖屬BOT形式的契約，現在來講，高鐵在財改之後，已經成為所謂準國營事業，以這個角度來看，應該是屬於政府所掌控的案件，如果是在財改之前完全還在台灣高鐵公司控權的情況，台灣高鐵公司表態要或不要執行，都將



有契約上的困擾。但無論它說有關或無關，都要重新納入協商，因為在延伸路段的情況下，對於各項營運設施包括車輛、軌道、維養等等都已與原約條件不同。因此在政府機關介入之後，這個機會就掌握在政府的手上，政府要不要做或怎麼做，要多久時間去做，這些都是我們後面要去處理的問題。

但是回頭來講，現在交通部也沒有完全敲定，延伸案是否一定要交予原來的契約廠商(台灣高鐵公司)來執行建設計畫，但是將來就會知道執行這項計畫的方式應該不那麼單純，交通部一定會思考以另覓廠商或交給原廠商來執行，將採取最有利於政府的方式進行協商。

另最近曾有環島高鐵的議題，提出由宜蘭接到屏東，對此一想法我也非常鼓勵，台灣東部未來也許會有高鐵，不過，那應該是一個較長遠的計畫。

問：高鐵BOT案從興建到營運，對於軌道產業的發展有一定程度的影響，可否請您談談交通部及鐵道局目前推動的情形？

答：我記得早在1997年當時高鐵局前任廖慶隆局長，大約在任期4~5年時間曾經花了很多

精神去籌劃，一個專為國內鐵道產業的各項重要產品辦理認證的研究機構，希望在燕巢總機場這塊基地上保留一小部分用地，用來建置鐵道技術研究及驗證中心(鐵研中心)，執行有關鐵道技術相關設備的研究、研發以及各種測試驗證，藉以推動軌道產業的發展，目前鐵研中心行政大樓土建工程已經完成，期望能接續完成實驗室及各項機電、測試設備安裝及測試，早日投入推動產業的行列，預計可以在2022年啟用營運。

在機場捷運興建期間，因為處理丸紅機電契約的事情，有接觸到很多系統機電的事務，3年多來，我覺得在系統機電方面，應該是交通部比較陌生的事務。另外藉由協助處理台鐵的列車採購案，有機緣與經濟部交流並交換有關產業發展的經驗，這些都是可以在發展軌道產業上，對於交通部有所幫助。

問：本公司十分榮幸參與台南鐵路地下化、嘉義鐵路高架化、桃園鐵路地下化等軌道建設計畫，請教次長可否談談對於計畫的指導與期許？

答：台灣世曦公司參與的這些鐵道地下化/高架化工程技術服務，都是重大的軌道工程計畫，交通部對於貴公司就會有更高的期望與要



(中左)施義芳董事長 (中右)胡湘麟次長 (右4)陳文瑞司長 (右3)邱水碧協理 (右2)魏瑜科長 (右1)陳世光技術經理
(左1)陳志鴻協理 (左2)何泰源資深協理 (左3)林曜滄代理副總經理 (左4)廖學瑞代理總經理

求，由近期太魯閣事件看來，工程契約上的要求有許多不足，因此臨軌工程在設計階段就要訂定充分周全的安全專業規定，我相信貴公司在這方面的專業沒有問題。更重要的是，在施工監造階段，在工安、品質方面監造的要求，研討出可行的方法，讓施工廠商一定要落實，維護台鐵營運中的設施安全，不能再造成事故。

後記

感謝胡次長在百忙之中撥冗接受專訪，在一個半小時餘的專訪中，指出了台灣軌道產業未來的發展方向，相信在胡次長的指導及支持

下，必能讓本公司本於專業發展，順利完成長官期許的目標，並為智慧運輸計畫的推動，繼續貢獻心力。



(左)施義芳董事長 (右)胡湘麟次長



訪台灣中油股份有限公司副總經理

方振仁

談

國內天然氣政策

整理：林聰能 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

方振仁副總經理為國立臺灣大學造船工程學系（工程科學及海洋工程學系前身）碩士畢業，具工程、管理專業，目前所派督導業務為中油公司工程、探採、人資、採購等業務。

本刊很榮幸能獲方副總允諾，在百忙之中抽空接受專訪，茲將專訪內容重點整理如後，以饗工程界先進。

貳、訪談紀要

問：副總經理是在什麼機緣下進入中油公司服務？也曾兼任中油公司發言人，其工作內容為何？

答：我在研究所畢業後高分發至中船公司（台灣國際造船股份有限公司前身）工作，自民國74年轉至中油公司服務，一開始辦理運油船舶興建、維修、營運等工作，後來由海上工程轉至陸上工程工作，歷經基層工程師、組長、總工程師及天然氣事業部執行長等職務歷練。

承總經理之命曾兼任中油公司發言人兩年，公司發言人係公司經營的化妝師，是代表公司第一線經由媒體面對大眾的人。如何扮演好公司發言人的角色，不僅僅是整合資料為資訊，適當揭露公司重要資訊外，更重要的是公司形象的塑造與持續維護。

問：請問中油公司在配合政府「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」能源轉型目標，所採取之國內天然氣政策？

答：政府於2016年底提出能源轉型計畫，以展綠、增氣、減煤、非核之潔淨發電為方向，目標朝2025(114)年發電占比燃氣50%、燃煤30%、再生能源20%。

依能源局110年7月30日預測國內2025(114)年天然氣需求量達2,363萬噸。其中以發電部門的需求最高，約佔75%。

另為維持供氣穩定，能源局亦於107年8月27日公告修正《天然氣生產或進口事業自備儲槽容量》，逐年調整儲槽容積天數，116年起至少24天，事業存量天數不得低於14天。



台灣中油公司接收站目前面臨高負載操作，近年整體接收站負載率均大於或接近100%，營運風險增高，台灣中油公司除加強船期調度，因應近年天然氣大幅提升之需求外。另積極規劃天然氣新(擴)建計畫，俟計畫陸續完工後，2030年本公司接收站負載率將降低至60-70%，發揮接收站相互調度之功能，降低操作風險，增加安全裕度，確保國內天然氣供應穩定與安全。

台灣中油公司因應作為：

■ 採購LNG氣源多元化

台灣中油公司以氣源多元化為目標，採中長期契約為主、短約現貨為輔之採購策略，整體進口來源遍及中東、東南亞、蘇俄、澳洲、美洲、非洲及歐洲，貨氣進口來源分布全球，穩定供應國內用氣需求。

■ 加強供氣穩定

新(擴)建LNG輸儲設施，完備北中南區供輸體系，台灣中油公司正積極進行台中二期、三期、四期、觀塘(第三)接收站、台中至通霄新設36吋陸管及永安增建儲槽等天然氣輸儲設施增擴建供氣計畫。



(左1)林聰能技術經理 (左2)邱水碧協理 (左3)張欽森代理副總經理

■ 新增LNG灌裝營運，擴大天然氣應用

因應政府新能源政策、管制空氣汙染物及改善空氣品質，推廣改用低汙染潔淨能源，惟對於管線無法到達偏遠地區，台中液化天然氣接收站推動建置 LNG 灌裝場並以 LNG 槽車運送至客戶端之供應鏈模式，擴大天然氣應用與營運範疇，提升潔淨能源普及率。

1

人物專訪



(左4)廖學瑞代理總經理 (中左)方振仁副總經理 (中右)林曜滄代理副總經理 (右1)王嫻文副理

為確保民生及發電燃料供應穩定安全，將以強化基礎設施、完備輸氣網絡，以因應未來國內整體天然氣成長需求及充分穩定供應國內天然氣需求，穩定電力供應能力。

打造低碳環境部分，本公司亦希望對於國內有所貢獻，目前在地熱發電及氫能方面亦逐步進行相關研議推動中。

問：請問中油公司在推動各接收站營運及相關擴建計畫所遭遇困難及解決對策？

答：

一、興(擴)建計畫遭遇居民及環保人士反對



國內目前環境不利接收站、儲槽之興建，以觀塘(第三)接收站為例，環保團體主張三接的開發將對當地藻礁生態產生危害，而發起一連串的抗議行動，雖然本公司研提「迴避替代修正方案」，僅使用既有填區，不開發G1、G2及G3區，避開潮間帶藻礁生態等環評承諾事項，並於107年10月8日通過環現差及環差，惟環保團體認為仍會對水下礁體造成影響，110年發起觀塘(第三)接收站遷離大潭公投案。

觀塘(第三)接收站外推方案維持觀塘潮間帶藻礁區(G1、G2區)保留現況未開發，持續受到保護；工業港外推到水深15公尺以上的海域，進一步避開港內沙埋的礁體，且不浚挖，不破壞水下礁體。

目前外推方案已進行詳細評估，並針對港內海床下地質狀況、港域生態等提出更多科學實證，已於110年9月16日將環差報告提送環保署，並已於110年10月12日進行第一次小組審查，結論為補充說明後續審。



方振仁副總經理說明第三座天然氣接收站之興建重要性

政府為善意回應環保團體訴求，在兼顧能源供應穩定及生態保護的前提下，台灣中油公司提出對能源轉型影響最小、藻礁保護最大的工業港外推方案，並於110年5月3日對外公佈。

二、公共工程、基礎建設大量釋出，致招商不易

近年來國內因前瞻基礎建設的推出、台商回流、能源轉型之影響，國內重大公共工程陸





續釋出，產生勞動力排擠效應，潛在廠商傾向優先選擇施工風險較低利潤較高之廠內工程，加上COVID-19疫情影響外籍勞工引進，致工程招商不易，台灣中油公司除積極邀標外，將放寬廠商投標資格等相關因應作為，以吸引更多潛在廠商投標。

問：由於藻礁及多杯孔珊瑚生態問題，環團抗爭不斷，並將在110年12月18日辦理藻礁公投，是否請您說明第三座天然氣接收站之興建重要性，及在施工過程中油公司所採取減少對生態影響之作為？

答：目前台灣只有台中、高雄，設有液化天然氣接收站，導致北部電廠，必須靠中南部接收站「送氣」，台灣正在走向能源轉型，為了因應核能除役、減少燃煤發電、平衡北部用電供需，所以在北部桃園觀塘新增第三接收站，就近供應大潭電廠新增機組用氣需求，且既有的永安及台中2座天然氣接收站負載率過高，觀塘(第三)接收站除了滿足未來達成能源轉型政策的需要，更扮演著區域穩定供電的關鍵角色。

大潭電廠是北部供電的關鍵設施，其新增第8、9號機組將依續於112年起陸續商轉，而由於既有永安、台中接收站及連接管線無法依時程提供其所需用氣，經研議在台中、觀塘及

台北港興建或擴建之可行性，僅觀塘工業區興建接收站在時程上方能符合時需。依台電公司評估，若三接無法興建，大潭8、9號機組無法商轉，國內天然氣電力供應將短缺137億度，則將勢必由燃煤電廠補足，其所用煤量將新增500萬噸，碳排放量及空污量亦將相對大增，因此三接的興建對我國能源轉型的達成，是非常關鍵的基礎建設。

經濟發展與生態保育是可以共存共榮，同而兼顧的。以三接為例，環團主張藻礁生態具7500年的價值，不容破壞。本公司也重視環境永續，但遷離不做是不是唯一的選項?則是大家可以再考慮之處。為兼顧經濟發展與生態保育，我們提出三接友善具體保育作為：



一、三接陸域興建範圍侷限在既有填區上，避開藻礁區，G1到G3潮間帶不開發。

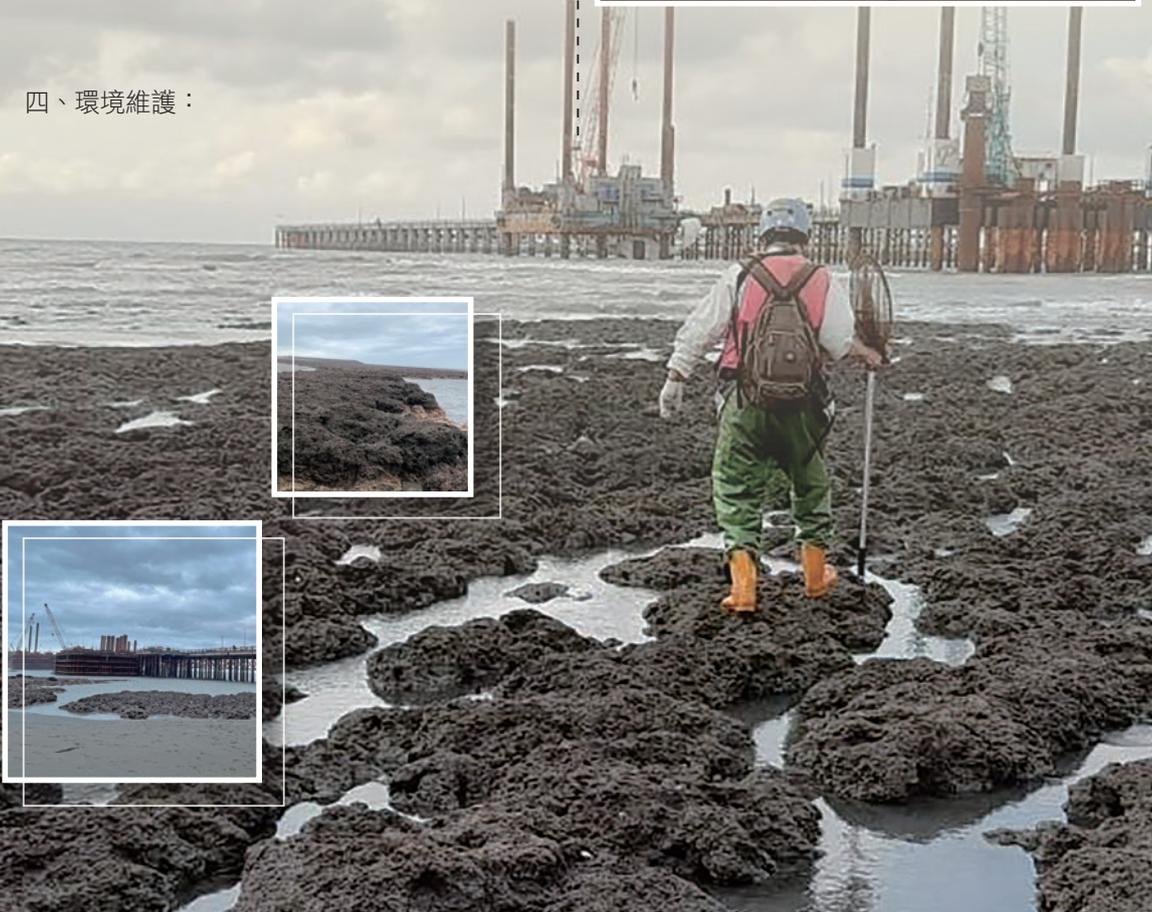
二、依照107年10月環評決議，防波堤已向外海平移20公尺，離岸742公尺。目前計畫將整個工業港再外推455公尺，使工業港離岸約1.2公里，更遠離潮間帶藻礁區域，同時航道不浚深，外海21公頃填區亦取消，大潭藻礁完全保留。

三、工業港採離岸開放式配置，不影響南北向之沿岸流，港區間海水可以維持自然流動交換；棧橋施工區域範圍設置污染防止膜，防止漂沙影響藻礁生態。

四、環境維護：

■ 定期清理海岸垃圾

中油公司自108年起，委託清潔公司定期清理大潭海岸，2年共清理出111.2公噸海岸垃圾。





■ 定期辦理大型海岸淨灘活動

中油公司自108年起，每年辦理大型海岸淨灘活動，每次參與活動人數超過300人，累積清理4.1公噸海岸垃圾。

■ 協助成立社區巡守隊

配合桃園市環保局，推動社區參與工業區周邊溪流（大堀溪、觀音溪、小飯壠溪、新屋溪及社子溪）之河口水質監測，並結合社區組織，推動河川及海岸巡護工作。

桃市府海管處於108年7月成立觀塘工業區(港)藻礁生態巡守隊，中油公司協助成立大潭里巡守隊，負責大潭G1、G2、G3範圍，主要關注內容為附近水域是否有汙染物排放及藻礁是否被破壞。

■ G1、G2未開發區設置CCTV及訂定管理辦法

中油公司已承諾大潭G1、G2區將維持現況，並不會有開發行為，為確保藻礁生態不受人為破壞，因而設置CCTV及訂定管理辦法，以類似保護區管理方式，避免非必要人員進入，使藻礁生態得以完整保存。

■ 藻礁生態定期監測

自108年開始，觀塘及鄰近區域潮間帶(藻礁)依據物種、環境因子定期進行監測。藻礁生物方面，藻類及潮間帶水質每年進行9次監測；鳥類、魚類及底棲動物每季監測1次。監測結果每季向觀塘生態保育執行委員會及環保署報告及繳交監測成果。

大型海藻（含殼狀珊瑚藻）的藻種多樣性，在108年的調查結果發現共有35種藻類，其中14種為大型藻，21種殼狀珊瑚藻；109年時，調查得總藻種數為40種，大型藻15種而殼狀珊瑚藻有25種。

漁類調查在108年四季共監測到有56種，出現909隻次；109年觀察到69種魚種，868隻次。椰子深鰕虎是調查範圍內各藻礁區的優勢種。

鳥類調查在108年四季共監測到有26種，出現1182隻次；109年觀察到21種鳥種，1141隻次。太平洋金斑鴿與東方環頸鴿是調查範圍內各藻礁區的最多數物種。

自108年至109年，共調查得底表動物36種，底內動物68種。最優勢種為黑瘤海蜆，其次為庫氏寄居蟹。

1

人物專訪

■ 柴山多杯孔珊瑚群體定期調查、監測

每季於柴山多杯孔珊瑚生長區域(大潭 G1、G2藻礁區)進行調查。

柴山多杯孔珊瑚主要分布在低潮帶(水深-2m以下)區域，每次調查其群體數皆超過80個。表示柴山多杯孔珊瑚族群穩定。

每次調查柴山多杯孔珊瑚群體數量變化，主要受氣候及調查時退潮程度影響。

嘉義、彰化、宜蘭地區，自8月起陸續飛離台灣向南半球前進。

中油公司自108年起致力於小燕鷗棲地營造與繁殖監測，營造4處繁殖棲地，每年小燕鷗平均繁殖成功率達70%左右。(往年小燕鷗平均繁殖成功率為17-33%)

■ 施工作為採取以下措施

構造物設計增加生態補償概念，採三種方法：

(一)港內海堤採用消波式沉箱。

(二)護基方塊採用開孔式方塊。

(三)增設海流定期監測。

減輕或避免棧橋設施對藻礁及柴山多杯孔珊瑚影響：

(一)LNG儲槽及氣化區採陸上施工，不會在發現柴山多杯孔珊瑚的中下潮帶位置進行工程。

(二)本計畫施工期間將架設CCTV全程監控藻礁區，並嚴格管制施工人員及機具進入。

夏季颱風暴雨易帶來淤泥

別擔心！淤泥會消退 柴山多杯孔珊瑚一直都會在！

中油自108年持續監測柴山多杯孔珊瑚，發現夏季暴雨常導致河川底泥或上游土石沖到沿岸，造成藻礁區積沙淤泥，研判近日環圍指藻礁被淤泥覆蓋，應與前一陣子2次颱風與連續性暴雨有關。

中油調閱環圍指被淤泥覆蓋的同一群團柴山多杯孔珊瑚照片，發現：

108/9/16
棧橋立柱開始施工

109/7/11
第一座沉箱施工

108/8/1

109/9/21

110/4/29



淤泥明顯可見
柴山多杯孔珊瑚被淤泥覆蓋



淤泥逐漸消退
柴山多杯孔珊瑚部分露出



淤泥一乾二淨
柴山多杯孔珊瑚清晰可見

110/9/7
三接棧橋施工空拍圖



海域乾乾淨淨
三接沒有帶來淤泥

■ 小燕鷗繁殖復育

小燕鷗每年4月自南半球(澳洲)飛抵臺灣，5至7月為繁殖期，主要繁殖棲地在澎湖、



(三)跨徑較大，施工期間僅設單側施工棧橋，影響海域環境範圍相對較小且集中。

(四)橋墩採群樁型式，單樁樁徑約2m，遠小於波長，對波場影響甚小。

(五)墩柱打樁施工時配合設置污染防止膜。

(六)加大橋墩間距，減少落墩數，減少礁體破壞。橋墩採流線性設計，減少影響範圍。

(七)施工前橋墩位置進行柴山多杯孔珊瑚調查，必要時調整落墩位置。

於觀新藻礁北永續利用區、G2藻礁區設置懸浮固體濃度監測點，如懸浮固體濃度持續300小時達100mg/L以上，即採取設置污染防止膜、降低浚挖施工功率等應變措施，以減少施工衍生之懸浮質對藻礁之影響。

實施環境教育訓練與宣導：

(一)針對進場人員進行關注物種之生態告知與宣導並提醒違反野生動物保育法之相關罰則，避免觸法。

(二)不定期辦理環境或生態教育課程，有效提升環境生態素養。

問：副總經理長期在中油公司工作，有哪些工作，是副總經理認為最有意義的成就？

答：我在中油公司已工作36年，長期督導工程，工程管理重點主要是工安、品質及進度三部分，工程的執行應在工安、品質的基礎上努力達成進度，甚至超前，亦即沒工安及品質就沒有進度，回顧自己在中油公司各階段服務過程，在98年擔任總工程師時，經由整個工程團隊的努力，在中油公司工程管理制度的建立、品質提昇及進度管控上均有明顯的改善，是自認為最有意義的成就。藉這個機會，我也感謝公司及各級長官對我的栽培與照顧，讓我能與時俱進，同時也讓我有發揮的空間。

一、品質提昇

推動品質管理系統，建制成立總公司及各單位品質查核小組，建立品質管理機制及品管文件標準化。

二、進度管控

訂定工程說明書標準版本，統一工程規範及相關規定，對於工程執行及進度管控產生相當大的效益。

1

人物專訪



(右4)方振仁副總經理 (右3)林曜滄代理副總經理 (右2)洪博勝計畫經理 (右1)王嫻文副理
(左1)林聰能技術經理 (左2)邱水碧協理 (左3)張欽森代理副總經理 (左4)廖學瑞代理總經理

後記

承蒙中油方振仁副總經理於百忙之中撥冗接受本刊專訪，在訪談過程中，方副總清楚說明中油所採取之國內天然氣政策、工程推動所遭遇困難及解決對策。同時暢談興建第三座天然氣接收站之重要性，及在施工過程所採取減少對生態影響之作為。感謝方副總不吝指教與分享，藉由此次專訪，讓我們了解中油為配合政府「確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」能源轉型目標所做

的規劃與努力。僅將本次的訪談內容與大家分享，以供各界參考。



(左)廖學瑞代理總經理 (右)方振仁副總經理

職業安全衛生數位轉型 發展策略

Digital Transformation Strategy for Occupational Safety and Health

關鍵字(Key Words)：職業安全衛生(Occupational Safety and Health)、數位轉型(Digital Transformation)、數位科技(Digital Technologies)、營造安全(Construction Safety)

勞動部職業安全衛生署／署長／鄒子廉 (Tzou, Tzu-Lien) ❶

勞動部職業安全衛生署／副署長／李柏昌 (Li, Bo-Chang) ❷

勞動部職業安全衛生署／組長／李文進 (Li, Wun-Jin) ❸

月進整合科技有限公司／博士／李秉展 (Lee, Pin-Chan) ❹

摘 要

隨著新興數位科技的發展，建築資訊模型、地理資訊系統、物聯網、人工智慧、無人機、沉浸式科技等數位科技，在職業安全衛生都有良好的應用，且能有效提高風險管理能力。職業安全衛生數位轉型不僅成為了國際發展趨勢，而疫情的衝擊更加速其腳步。因此，本文藉由探討歐盟、國際勞工組織、日本建災防與國際相關標準等的發展，以分析職業安全衛生數位轉型的情況，並歸納科技應用以及未來數位轉型推動作法。此外，本文也介紹營造安全數位轉型的策略發展架構，包括營造精進減災策略(策略發展)、科技新知技術摘要(科技應用)、營造業職業安全衛生電子報(未來洞察)，提供給事業單位參考。



Abstract

Owing to the rapid growth of emerging digital technologies, building information model, geographic information system, artificial intelligence, unmanned aerial vehicle, and immersive technology have demonstrated well applications in occupational safety and health (OSH) and can effectively improve the risk management ability. OSH digital transformation has become a global trend and the impact of COVID-19 also accelerate the progress. Therefore, this paper concludes the promotion methods of OSH digital transformation, i.e., strategy development, technology application, and future insight, by discussing the practices of EU, ILO, Japan, and the related international standards. Besides, this paper also explains the strategy framework of construction safety digital transformation, including the construction advanced injury reduction strategy, the technical notes of emerging technologies, and the construction safety newsletter.

壹、前言

數位轉型是職業安全衛生的必然發展過程，也是國際發展的趨勢。從EHSToday的「解鎖安全科技價值(Unlocking the Value of Safety Technology)」報告中可知^[1]，數位科技在職業安全應用已經從「為什麼(Why)要推動數位科技」轉變成「何時(When)要推動數位科技」。自2015年起，職業安全衛生數位轉型成為了一種趨勢，而疫情衝擊的影響更加速了其腳步，不僅在技術層面形成大量應用，也成為了國家、行業、組織的發展策略要項。

本文藉由探討國際推動職業安全衛生數位轉型的情況，歸納出推動數位轉型的作法，以提供未來發展方向的參考。此外，本文也介紹營造安全數位轉型的策略發展架構，對照國際數位轉型推動作法，提出我國營造精進減災策略、科技新知技術摘要與營造業職業安全衛生電子報等內容，提供給事業單位參考。

貳、國際推動職業安全衛生數位轉型的情況

本文彙整歐盟、國際勞工組織、日本建災防以及國際相關標準等，在職業安全衛生數位轉型的發展情況，以提供精進的可能面向。

一、歐盟

歐盟工作安全衛生署(European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA)為了因應與管理數位轉型對職業安全衛生所帶來的變化，在2018年提出了「數位化有關的新興職業安全衛生風險之2025遠見(Foresight on new and emerging occupational safety and health risks associated with digitalisation by 2025)」報告^[2]。該報告探討在2025年時，數位科技可能

對職業安全衛生產生什麼影響，並將這些場景提供給決策者參考，以因應未來數位轉型的變化，塑造更安全、更健康的工作場所。此外，歐盟工作安全衛生署也在2015至2019期間，針對各項數位科技提出未來影響的報告^[3-9]，包括：

- (一) 使用外骨骼機器人在職業安全衛生的衝擊(The impact of using exoskeletons on occupational safety and health)
- (二) 工作場所的第四次工業改革與社會創新(The fourth industrial revolution and social innovation in the workplace)
- (三) 職業安全衛生與未來工作：工作場所人工智慧工具的效益與風險(OSH and the Future of Work: benefits and risks of artificial intelligence tools in workplaces)
- (四) 大數據與機器學習在安全衛生檢查效率的未來角色(The future role of big data and machine learning in health and safety inspection efficiency)
- (五) 工作場所監測科技(Monitoring technology in the workplace)
- (六) 3D列印：新的工業改革(3D printing: a new industrial revolution)
- (七) 工作的未來：機器人(The future of work: robotics)

歐盟工作安全衛生署歸納各項數位科技的應用，並在2019年提出一份「數位化與職業安全衛生(Digitalisation and occupational safety and health)」報告^[10]。該報告探討智慧協作機器人(collaborative and smart robots, cobots)、外

骨骼機器人、大數據、人工智慧與演算法、智慧個人防護具、虛擬實境與增強實境、3D列印等數位科技在職業安全衛生的應用、效益與挑戰，並指出數位科技可促進工作場所的安全以及提供創新的潛力。同時，該報告也探討了在數位化的過程中，移動數位裝置(mobile digital devices)與線上平台(online platforms)將成為人們彈性工作的主要模式，但也可能造成工作生活失衡、不穩定工作形式的風險。

由於COVID-19的疫情大流行，不僅對全球造成重大衝擊，也加速了歐盟的數位轉型之路。因此，歐盟在2021年提出「歐洲邁向數位化十年之路的指針(2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade)」報告^[11]，第一句話就指出「在短短一年之內，COVID-19從根本上改變了數位化在社會與經濟的角色與認知，並加快了其腳步。數位科技對於工作、學習、娛樂、社交、購物，以及從健康服務到文化等已不可或缺(In just a year, the COVID-19 pandemic has radically changed the role and perception of digitalisation in our societies and economies, and accelerated its pace. Digital technologies are now imperative for working, learning, entertaining, socialising, shopping and accessing everything from health services to culture)」。在該報告中，歐盟將從技能(Skills)、政府公眾服務的數位化(Government: Digitalisation of public services)、企業的數位轉型(Business: Digital transformation of businesses)、安全與永續的數位基礎設施(Infrastructures: Secure and sustainable digital infrastructures)等面向，推動歐盟的數位轉型之路，同時也加速了職業安全衛生的數位轉型與建立策略發展的價值。

因此，歐盟在2021年同時提出「歐盟2021-2027職業安全衛生策略架構：在世界工作變化中的職業安全衛生(EU STRATEGIC FRAMEWORK

ON HEALTH AND SAFETY AT WORK 2021-2027: Occupational safety and health in a changing world of work)」報告^[12]，如圖1所示。該報告中指出，歐盟的職業安全衛生策略架構著重於三個關鍵目標，包括：

- (一) 變化：預料與管理世界因為綠色轉型、數位轉型與人口結構轉型所帶來的工作新變化(anticipating and managing change in the new world of work brought about by the green, digital and demographic transitions)
- (二) 預防：工作場所事故與疾病的預防改進(improving prevention of workplace accidents and illnesses)
- (三) 準備：做好準備以因應未來可能影響健康的潛在危機(increasing preparedness for any potential future health crises)

從報告中可知，數位轉型(digital transformation)成為歐盟職業安全衛生策略發展架構的重點之一，並在歐盟層級、國家層級、行業層級與企業層級都規劃相應的行動計畫。

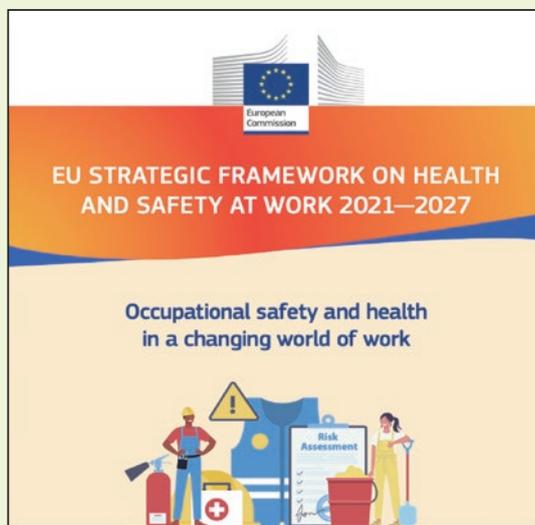


圖1 歐盟職業安全衛生策略架構^[12]

二、國際勞工組織

同樣因為疫情的影響，國際勞工組織(ILO)在2021年國際工作安全衛生日(World Day for Safety and Health at Work)中，呼籲各國立即投資建立韌性職業安全衛生系統以因應未來可能發生的緊急事件，並發佈「立即投資韌性的職業安全衛生系統以對危機進行預知、準備與回應(Anticipate, prepare and respond to crises: Invest now in resilient OSH systems)」的報告^[13]，如圖2所示。



圖2 ILO立即投資韌性職業安全衛生管理系統報告^[13]

ILO在報告中，建議從以下面向來完善國家職業安全衛生體系的韌性，以因應目前與未來可能面臨的危機(Looking forward: Resilient OSH systems to face the next crisis)，包括：

- (一) 國家職業安全衛生政策與管理架構(National OSH policy and regulatory frameworks)
- (二) 國家職業安全衛生制度架構(National OSH institutional frameworks)

- (三) 職業健康服務(Occupational Health Services)
- (四) 職業安全衛生資訊、諮詢服務與培訓(Information, advisory services and training on OSH)
- (五) 職業安全衛生資料蒐集與研究(Data collection and research on OSH)
- (六) 強化事業單位的職業安全衛生管理系統(Strengthening OSH management systems at the enterprise level)

其中，在強化事業單位的職業安全衛生管理系統韌性中，提出下列三個建議方向：

- (一) 促進管理者、工作者與工作場所代表間的合作(Promoting cooperation between management, workers and representatives in the workplace)
- (二) 實施全面的風險評估(Conducting a comprehensive risk assessment)
- (三) 建立彼此支援機制以協助中小型企業與非正式的經濟活動，逐步改進職安衛條件(Support mechanisms for progressive improvement of OSH conditions in MSMEs and the informal economy)。

隨著數位科技的快速發展，其應用有助於推動上述的建議方向，包括：利用數位科技提高職業安全衛生管理系統的應變能力；提高職業安全衛生管理系統的監視與趨勢觀察能力並提前預知；提高職業安全衛生管理系統識別並安排作業順序的能力；提高職業安全衛生管理系統的學習能力。因此，從ILO的報告中可知，數位轉型也是強化職業安全衛生管理系統韌性

的有效方法。

三、日本建災防

日本建災防(建設業労働災害防止協会)也重視數位轉型對職業安全衛生的影響。因此，從2019年起建立「職災預防ICT應用資料庫(労働災害防止のためのICT活用データベース)」，鼓勵事業單位分享職災預防ICT應用案例與ICT研發案例，藉由共同參與及分享的模式和作法，形成良好的「應用↔研發」循環，為事業單位推動職業安全衛生數位轉型提供參考。日本建災防將數位科技應用分為四大領域，包括：

- (一) 無人化・省力化：允許工作者在不接近或接觸危險區域的情況下工作的施工方法/設備(人間が危険場所等に接近、接触せずに作業ができる工法・機器等)。例如：GPS・GNSS技術、人工智慧技術、無人機技術、施工設備遠程控制技術、施工設備自動控制技術、BIM技術、CIM技術、ICT設備、電子小黑板、各種作業機器人、無石綿清除技術、資機材自動搬移技術等。
- (二) 人・行動感知：支援工作者感知與能力的設備(人間に感知させる、人間の能力を支援する機器等)。例如：穿戴式感知器技術、生命/心率感知器技術、中暑感

知警告設備等。

- (三) 機器感測：由機器檢測和控制的設備等(機械によって感知、制御する機器等)。例如：應變測量技術、地面位移測量技術、車輛重量檢測技術、行車紀錄器使用技術、障礙物檢測技術、軌道位移測量系統、現場天氣條件觀測技術、粉塵濃度測量攜帶型儀器、現場氣味測量技術、GPS機器監控系統、低頻抑制技術、降噪系統等。
- (四) 能力支援等：上述外之其他工具(1・～3・以外のツール)。例如：VR技術、重型設備VR模擬技術、VR教育、外骨骼機器人、IC標籤技術、平板電腦/智慧手機等終端設備使用技術、現場勞工管理軟體、工期排程軟體、現場各種數據發送/接收技術、各種資訊視覺化(可視化)技術等。

日本建災防提供不同的檢索方式，協助事業單位尋找合適的數位科技應用案例，包括工程類型分類(土木工程、建築工程、設備工程、其他工程)、職災類型分類(墜落、滾落、崩塌、倒塌等)、數位科技類型分類(人工智慧、平板電腦・智慧型手機、施工設備、軟體・應用程式、無人機、感測器、測量・定位・位移、船舶、機器人、相機)等。如圖3所示，可查詢與參

【ICT活用事例】建設機械の自動化による次世代の建設生産システム [A⁴CSEL[®] (クワッドアクセル)]



圖1 自動化装備した振動ローラー



圖2 A⁴CSEL[®]のダム堤体での施工イメージ

圖3未完請接下頁↓

概要・活用方法

・汎用の建設機械（ブルドーザー、振動ローラー、ダンプトラックなど）に自動運転機能を付加し、それらに対して人間がタブレット端末で複数の機械に作業計画を指示することにより、無人で自動運転を行う技術。

特徴・効果

・専用の自動機械を使うのではなく、汎用の建設機械にGPS、ジャイロ、レーザスキャナなどの計測機器及び制御用PCを搭載することによって自動機能を付加し、自動運転を実現している。
・少人数で多数の建設機械を扱うことが可能。

活用上の注意点

・定型的な繰り返し作業については自動化が比較的容易だが、非定型作業は不得意。
・自動運転建設機械と作業者との作業区分を明確に行う必要がある。

登録番号	5-5
活用分類	無人化・省力化/機械センシング
適用工事	【土木工事】 土工工事/土石流の到達するおそれのある現場での工事/道路工事/ダム工事/砂防工事/土地整理土木工事
作業	・土工工事
価格等	社外販売の予定はありません
活用実績(件数又は現場数)	3
特許・実用新案	特許：有 実用新案：無
当該技術所有企業	[技術の所有権] 自社
第三者評価・表彰等	第19回国土技術開発賞 最優秀賞 平成28年度土木学会賞 技術開発賞 第46回日本産業技術大賞 文部科学大臣賞
当該事例紹介ウェブサイト	https://www.kajima.co.jp/tech/c_ict/automation/index.html#!body_01
掲載日	2019年4月15日

【カテゴリ】

【活用分類】 無人化・省力化/機械センシング

【土木工事】 土工工事/土石流の到達するおそれのある現場での工事/道路工事/ダム工事/砂防工事/土地整理土木工事

【抑止可能なリスク（災害の種類）】 過労

【危険作業対策】 災害復旧工事/車両系建設機械作業

圖3 日本建災防職災預防ICT應用資料庫案例^[14]

考職業安全衛生數位科技應用案例，對於事業單位要解決問題或研擬研發方向都有所助益。

四、國際相關標準

在國際相關標準方面，由於事業單位(組織)面對越來越不確定的衝擊，包括不斷變化的技術發展與產業競爭(甚至是疫情等)，事業單位都應該更好地辨識與評估各類衝擊的風險，並採取適切的處置措施，以實現永續發展目標。為此，許多國際相關標準都以風險管理為導向，歸納各項風險評估技術與數位科技以提供組織參考使用。

以ISO/IEC 31010: 2019標準為例，國際標準組織(ISO)與國際電工技術委員會(IEC)於2019年出版「風險管理—風險評估技術(ISO 31010: 2019 Risk management — Risk assessment techniques)」標準，係以ISO 31000: 2018標準的風險管理過程為架構，提供各種情況下評估風險的技術選擇與應用說明。這些技術有助於在不確定情況下進行決策，且能提供特定風險的資訊以及作為。ISO/IEC 31010: 2019標準提供41種風險評估技術，多於前一版ISO/IEC 31010: 2009標準的31種。

此外，英國標準協會(BSI)亦於2018年提出「使用BIM結構化安衛資訊的協作分享與使用規範(PAS 1192-6:2018 Specification for collaborative sharing and use of structured Health and Safety information using BIM)」。該規範提出一個風險資訊循環(Risk Information Cycle)，包括風險辨識(Risk Identification)、風險資訊使用(Risk Information Use)、風險資訊分享(Risk Information Sharing)、一般化(Generalization for Re-use)，並歸納每個步驟可使用的技術與數位科技，包括LiDAR、3D/4D模型、環景攝影、地理資訊系統、物聯網、人工智慧等。

從國際相關標準的發展來看，為因應不確定衝擊造成的影響，以及提高事業單位持續營運的韌性，事業單位應以風險管理為導向來發展風險評估技術與數位科技應用，以邁向永續發展。

叁、營造安全數位轉型發展策略架構

從國際職業安全衛生數位轉型發展情況可知，大致可分為三種推動作法，包括：未來洞察（提出或分析未來職業安全衛生數位轉型的預測或遠見）、科技應用（歸納與分享數位科技應用資訊與案例）、策略發展（將數位轉型納入職業安全衛生發展策略中），如圖4所示。

營造業由於勞力機具密集、工作環境複雜等特性，一直以來都是高風險產業。國際相關研究認為^[15-17]，活用數位科技與推動數位轉型能有效提升營造安全管理能力。因此，我國之營造安全數位轉型的發展策略架構，應呼應國際職業安全衛生數位轉型推動作法，同步推動營造精進減災策略、科技新知技術摘要以及營造業職業安全衛生電子報，如圖4所示，三大策略說明如下：

	未來洞察	科技應用	策略發展
歐盟	<ul style="list-style-type: none"> 數位化有關的新興職業安全衛生風險之2025遠見 	<ul style="list-style-type: none"> 數位化與職業安全衛生 	<ul style="list-style-type: none"> 歐洲邁向數位化十年之路的指針 歐盟2021-2027職業安全衛生策略架構：在世界工作變化中的職業安全衛生
ILO			<ul style="list-style-type: none"> 立即投資韌性的職業安全衛生系統以對危機進行預知、準備與回應
日本 (建災防)		<ul style="list-style-type: none"> 職災預防ICT應用資料庫 	
ISO/IEC		<ul style="list-style-type: none"> ISO/IEC 31010: 2019 風險管理—風險評估技術 	
BSI		<ul style="list-style-type: none"> PAS 1192-6:2018 使用BIM結構化安衛資訊的協作分享與使用規範 	
台灣	<ul style="list-style-type: none"> 營造業職業安全衛生電子報 國際職業安全衛生數位轉型發展趨勢 	<ul style="list-style-type: none"> 科技新知技術摘要 介紹數位科技應用新知 	<ul style="list-style-type: none"> 營造精進減災策略 數位轉型作為營造減災策略的重要面向
<p>營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台</p>			

圖4 國際推動職業安全衛生數位轉型發展策略作法

一、營造精進減災策略

國內營造精進減災策略分為檢查、輔導、宣導三大方向，共有加強監督檢查、健全法規制度、整合跨機關資源、推動自主管理機制、提升輔導改善機制、落實防災教育訓練、運用科技減災、擴大宣傳行銷量能等八個面向，如圖5所示。

質、空氣污染、水污染、土壤污染以及其他污染造成的死亡及疾病人數。

- SDGs 8.8 - 保護勞工的權益，為所有工人創造安全和有保障的工作環境，包括外籍移工，尤其是婦女、移工以及從事危險工作的勞工。

		營造精進減災策略面向	重點工作項目	永續發展	合宜工作
檢查	1	 加強監督檢查	<ul style="list-style-type: none"> 勤查嚴罰 增加檢查量次 高風險工程優先檢查 		 
	2	 健全法規制度	<ul style="list-style-type: none"> 強化源頭管理法規 研修跨部會防災法規 發展風險評估及施工安全設計技術指引 訂定檢查注意事項 		  
	3	 整合跨機關資源	<ul style="list-style-type: none"> 部會國公營平台減災 跨部會聯合檢查 跨機關合作及安全伙伴 區域聯防 		 
輔導	4	 推動自主管理機制	<ul style="list-style-type: none"> 推動營造工地自主管理機制 提升營造工程水準輔導 推廣營造安衛管理系統 工程金安獎獎勵 	  	  
	5	 提升輔導改善機制	<ul style="list-style-type: none"> 建置監造單位現場檢查督導系統 中小型工地輔導審查淘汰機制 建置中小型工地輔導手冊及程序 		 
	6	 落實防災教育訓練	<ul style="list-style-type: none"> 推廣臺灣職安卡教育訓練 宣導5條2事前風險評估 提升營造檢查員專業技能 		 
宣導	7	 運用科技減災	<ul style="list-style-type: none"> 發展無人機監督檢查 開發AI危害自動辨識技術 推廣物聯網IoT防災工具 引進BIM事前評估機制 	 	  
	8	 擴大宣導行銷量能	<ul style="list-style-type: none"> 提供檢查機構宣導輔導經費 與營造相關團體共同宣導 強化營造業安衛促進團體效能 建置提升營造水準技術網站 		   

數位轉型協助推動其他面向的實現

圖5 營造精進減災策略

從圖5可知，營造精進減災策略的目標在於實現永續發展(SDGs)與合宜工作(Decent Work)的相關指標。在永續發展方面，營造精進減災策略相關的SDGs指標為3.9、8.8與16.6，其指標內容為：

- SDGs 3.9 - 2030年前，大幅減少危險化學物

- SDGs 16.6 - 建立各級有效率、負責且透明的制度。

在合宜工作方面，營造精進減災策略相關的合宜工作指標為2、6、7、8、10，其指標內容為：

- DW 2 - 國際勞工標準(INTERNATIONAL LABOUR STANDARDS)：國際勞工標準的批准與應用。
- DW 6 - 灰色經濟(INFORMAL ECONOMY)：灰色經濟的正規化。
- DW 7 - 勞動檢查(LABOUR INSPECTION)：藉由勞動檢查促進工作場所的合規性。
- DW 8 - 不可接受的工作形式 (UNACCEPTABLE FORMS OF WORK)：保護勞工免於不可接受的工作形式。

- DW 10 - 雇主與勞工的組織(EMPLOYERS' AND WORKERS' ORGANIZATIONS)：強大且具有代表性的雇主與勞工組織。

在營造精進減災策略中，「運用科技減災」不僅實現營造精進減災策略中的數位轉型，同時亦能協助企業推動永續發展等其他面向的實現。

二、科技新知技術摘要

在營造安全數位科技應用新知分享方面，營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台的「營造減災精進文件下載」區，以微學習的概念整理國內外營造安全數位科技應用技術摘要，包括數位技術在營造安全的應用現況、技術架構、國際案例、未來發展、參考文獻、延伸閱讀以及國內相關案例等，如圖6所示，提供

科技新知技術摘要
IoT: 物聯網在預防機具碰撞的應用

應用現況
物聯網科技在營造安全... 應用於人員定位、個人防護具偵測、環境變化監測等... 預防機具碰撞的物聯網設計策略... 機具或車輛碰撞是營造工作場所常見的職業災害風險... 在建築工程也可能會發生機具碰撞的風險... 在 Kanan et al. (2018) 的研究中提出一個預防機具碰撞的物聯網設計策略... 該設計採用 868MHz 射頻、定向天線、40kHz 超音波，建立出一個碰撞風險警告區域。

技術架構
藉由工作者配戴的穿戴式設備... 偵測的紀錄將自動彙整於雲端平台中，進一步協助風險決策與提高安全管理能力。

未來發展
物聯網科技所偵測到的數據不僅主動 (active)，且能形成營造安全的領先指標 (leading indicator)...

造安全的人工智慧物聯網設計策略 (AI-based IoT)，提供物聯網實體監測與資料層上分析的互動與回饋，如圖 3 所示。

國際案例
在日本建築防 TICT 系統... 具碰撞預防的應用案例，顯示這個應用方向具有效果與發展潛力。

參考文獻
Costin, A., Wehle, A., & Adibfar, A. (2019). Leading indicators—A conceptual IoT-based framework to produce active leading indicators for construction safety. *Automation in Construction*, 88, 73-86.

圖6 營造安全數位科技應用新知

事業單位參考。

從國際研究成果可知^[15]，提高相關資訊與知識的可支援性(availability)，將有助於事業單位推動營造安全數位轉型。因此，除了在營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台提供科技新知之外，也會在營造業北區、中區及南區職業安全衛生促進會的會員會議上進行科技新知分享與互動，並從會員互動中分析需求以持續擴充所需的科技新知。

三、營造業職業安全衛生電子報

在未來洞察方面，營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台的「營造業安全衛生電子報」提供國際職業安全衛生數位轉型發展趨勢，包括國際推動情況、政策解讀以及最新研究綜述等。此外，營造安全衛生電子報也將從各年度職業安全衛生優良工程金安獎中分析國

包括管理作為、科技應用與防災趨勢，以提供給事業單位參考。未來應由政府與民間共同合作，一方面事業單位應朝向完善的職業安全衛生管理系統並融合科技作法提升技術力，另一方面由勞動檢查機構透過宣導、檢查、輔導等策略，統合各界資源始能更加精進我國營造業的職業安全衛生水準，共同保障事業單位工作者的安全與健康。

參考文獻

1. EHSToday. (2019). Unlocking the Value of Safety Technology.
2. Foresight on new and emerging occupational safety and health risks associated with digitalisation by 2025

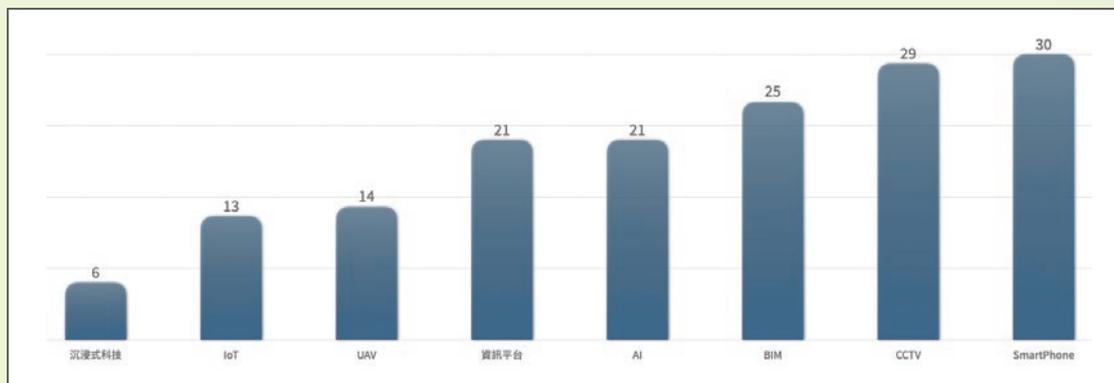


圖7 109年度優良工程金安獎數位科技應用分析

內營造安全數位科技應用的情況，如圖7所示，提供事業單位掌握營造安全數位轉型的方向。

結語

本文從歐盟、國際勞工組織、日本建災防與國際相關標準等的最新發展趨勢，歸納國際推動營造業職業安全衛生數位轉型的作法，

3. European Agency for Safety and Health at Work. (2019). The impact of using exoskeletons on occupational safety and health.
4. European Agency for Safety and Health at Work. (2019). The fourth industrial revolution and social innovation in the workplace.

5. European Agency for Safety and Health at Work. (2019). OSH and the Future of Work: benefits and risks of artificial intelligence tools in workplaces

6. European Agency for Safety and Health at Work. (2019). The future role of big data and machine learning in health and safety inspection efficiency

7. European Agency for Safety and Health at Work. (2017). Monitoring technology in the workplace.

8. European Agency for Safety and Health at Work. (2017). 3D printing: a new industrial revolution.

9. European Agency for Safety and Health at Work. (2015). The future of work: robotics

10. European Agency for Safety and Health at Work. (2019). Digitalisation and occupational safety and health (OSH).

11. European Commission. (2021). 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade.

12. European Commission. (2021). EU STRATEGIC FRAMEWORK ON HEALTH AND SAFETY AT WORK 2021-2027: Occupational safety and health in a changing world of work.

13. International Labour Organization. (2021). Anticipate, prepare and respond to crises: Invest now in resilient OSH systems. International Labour Office - Geneva: ILO.

14. 建災防. (2019). ICT活用事例 建設機械の自動化による次世代の建設生産システム [A⁴CSEL[®] (クワッドアクセル)] Available at: https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/ict/entry/002927.html

15. Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Technologies for safety and health management in construction: Current use, implementation benefits and limitations, and adoption barriers. *Journal of Building Engineering*, 29, 101212.

16. Okpala, I., Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Utilizing emerging technologies for construction safety risk mitigation. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(2), 04020002.

17. Calvetti, D., Mèda, P., Chichorro Gonçalves, M., & Sousa, H. (2020). Worker 4.0: The Future of Sensored Construction Sites. *Buildings*, 10(10), 169.

沉箱製作浮船塢工法 施工實務——以中油第 三座液化天然氣接收 站建港及圍堤造地新 建工程為例

關鍵詞 (Key Words)：防坡堤 (Breakwater)、沉箱 (Caisson)、浮船塢工法 (Floating Dock)

- 台灣中油股份有限公司／液化天然氣工程處／處長／黃榮裕 (Hwang, Rong-Yuh) ❶
台灣中油股份有限公司／液化天然氣工程處／副召集人／高偉騰 (Gau, Woei-Teng) ❷
台灣中油股份有限公司／液化天然氣工程處／所長／張致豪 (Chang, Chih-Hao) ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／協理／邱水碧 (Chiu, Shui-Pi) ❹
台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／經理／林聰能 (Lin, Tsung-Neng) ❺
台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／計畫經理／洪博勝 (Hung, Po-Sheng) ❻
台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／監造主任／李永安 (Lee, Yung-An) ❼
台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／計畫工程師／林張城 (Lin, Chang-Cheng) ❽



摘要

防波堤常見以圍堰、拋石及沉箱構成圍堤主體，作為海岸防護及維護港域的主要設施，尤其外廓防坡堤常處於較深海域，需採用大量拋石及巨型沉箱作為基礎，而本文以「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地工程」為例，說明在臺北港以浮船塢工法製作巨型沉箱施工實務，期為後續相關工程建設之參酌。



Construction practice of floating dock method for caisson - Take the construction of the third LNG receiving terminal of CNPC as an example

Abstract

The main parts of the breakwater are usually composed of cofferdams, rubble mound and caissons, as the important facility of coastal protection and port area maintenance, especially the outer breakwaters, usually located in relatively deep water, and a large number of ripraps and giant caissons are used as foundation.

This article takes "The Construction of the Third LNG Receiving Terminal and the Reclamation Project" as an example to illustrate the construction practice of making giant caisson with the floating dock method in Taipei Port, and is expected to be the reference for the subsequent relevant construction projects.

3

專題報導

壹、前言

「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地工程」(以下簡稱本工程,如圖1)為國家能源轉型之重要建設,完工後將建構國內完整天然氣供應系統,確保供氣穩定,以達成非核家園之能源政策。

本工程規模創國內單一標案預算最大之港灣工程,各式外廓防坡堤及護堤長達8,270m,規劃使用沉箱共303座,最大沉箱尺寸為25m×25m×25m(不含異型沉箱),空載重量約為2,531T~9,242T,浮游吃水深約為7.6m~15.9m,不論是數量、尺寸、重量及浮游吃水深,於港灣工程中皆屬於罕見的規模,故沉箱製作之選址及工法將是施工規劃重要的課題。

一、製作基地選擇

本工程觀塘工址為一處開闊水域(如圖2),既有臨時碼頭因閒置多年遭遇歷年冬季季風及颱風波浪侵襲影響,護岸設施已遭受破壞,而該址水深條件為EL.-4.5m至EL.-6.0m,無法滿足新建沉箱之浮游吃水深度(約為7.6m~15.9m)需求,故必須尋找其他適合地點製作沉箱。

在考量交通運輸距離、後現場地大小及水域條件等因素,本工程選擇臺北港N8及N9場地作為沉箱製作基地(如圖3),規劃使用碼頭長度約680m,後線場地使用面積約54,400m²,船席水域浚深至15~16m,設定停泊2艘15,000T級浮台船、2艘8,000T級浮台船,製作初期構築2座臨時施工構台作為沉箱二次加高使用(之後改



圖1 第三座液化天然氣接收站示意

貳、製作基地與工法選擇

國內設計防波堤及碼頭結構普遍採用沉箱作為基礎。本工程主要的構造型式為重力式沉箱堤,其製作數量龐大,應考量能否維持穩定產能及方便儲存,首要面臨為基地與工法選擇。

建為停泊構台),依本基地條件,最大船席數量可以容納4~5艘浮台船同時作業。

沉箱臨時儲存區規劃北外堤處,面積約6公頃,並依照沉箱尺寸分區分為10.5m、13m及17m三種水深分別儲存,在製作高峰期約可容納40座沉箱,以因應海象氣候良好時,進行沉箱

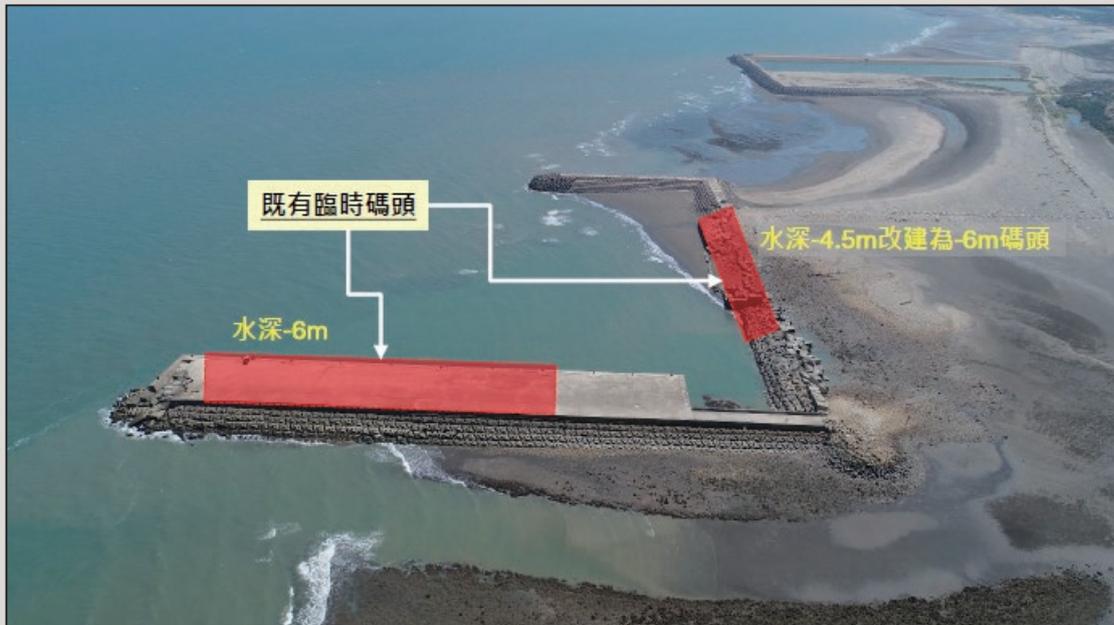


圖2 觀塘臨時碼頭空拍圖



圖3 臺北港空拍圖(N8、N9及北外堤)

拖航觀塘工址安放之需求。

以下為評估沉箱製作基地之因素：

- (一) 工程規模：
製作場地應考慮沉箱尺寸、重量及各階段使用數量是否適合。
- (二) 場址距離：
製作場地與觀塘工址距離不宜太遠。
- (三) 區域環境：
地形平緩、海氣象及水域穩定。
- (四) 後線容量：

後線場地足以作為施工材料加工、儲存及補給。

(五) 水域水深：
水深條件為海事施工規劃之根本，應符合製作工法需求。

(六) 船機資源：
需有適合停泊地方、船機作業能量及動員能力。

(七) 技術資源：
所需協力廠商、人員與設備資源取得，對產能的影響。

二、工法選擇

施工團隊依據基地條件、設計內容及履約期限，分別就海域及陸域工法方式予以比較，如表1所示。

因本工程的沉箱工程規模龐大、工期緊迫且海氣象環境惡劣，製作工法需有工期效率性(作業循環週期較短)和製程擴充彈性大(不受既有生產線限制)的優點，考量區域環境、陸域後線、水域水深、環境生態及在臺北港內製作之匹配性，最後採用較為普遍及成功率高的浮船塢工法(如圖4)。

表1 浮船塢工法及陸上軌道工法比較一覽表

施工法	浮船塢工法 (一次)	浮船塢工法 (二次)	陸上軌道工法 (如圖5)
船機及機具	浮台船、拖駁船、沉箱活動模板、吊車。	浮台船、拖駁船、沉箱活動模板、吊車。	浮台船、拖駁船、沉箱活動模板、吊車、軌道系統、鋼製托盤。
浮台船需求	製造+出塢 需可載重整座沉箱。	製造+出塢(半高) 不需載重整座沉箱。	出塢 需可載重整座沉箱。
碼頭水深	本工程有就地出塢之需求，需考慮沉箱浮游吃水深度。	需考慮沉箱浮游吃水深度。	本工程有就地出塢之需求，需考慮沉箱浮游吃水深度。
後線場地	施工材料加工及補給之用。	施工材料加工及補給之用。	施工材料加工及補給之用，需增加軌道切換之場地。
製作效率	約20天/座。	約22天/座。	約20天/座。
優點	國內經驗豐富，技術風險低。場地需求小、投產速度快。於船上製作可直接移動，提高沉箱移動之機動性及安全性，或是可以就地出塢。	國內經驗豐富，技術風險低。製作完成後，沉箱可直接裸拖儲存。浮台船載重較小，節省船機動員時間。船上及二次加高工作面可同時施作，提升工率。	為陸上製作過程，不受限水域影響(但出塢有)。視軌道規劃數量，可同時進行沉箱製作，縮短整體製作時間。浮台船僅作為出塢使用，出塢時間短，可減少浮台船數量。
缺點	需處於穩定較為靜態之水域製作沉箱。每艘浮台船產能固定，短期無法有效提升產能。國內調度浮台船不易或是過於老舊。新建浮台船製作成本及時間高。	二次加高時，平衡穩定性差，對於靜態之水域要求更高。單座沉箱總製程較一次工法耗時。水深需滿足沉箱浮游吃水深。	機械設備需經常保養，一旦故障將直接影響產能。初期準備工作長，投產速度慢且成本高。此工法國內經驗較少，技術風險較高。



圖4 浮船塢工法(臺北港亞昌七號)



圖5 陸上軌道工法(高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫)

參、沉箱製作

一、浮台船承載能力

沉箱載重計算應包含空載重(視沉箱大小而定)、活動模板及工作平台載重(含模組、鋼筋材料及施工人員約200T)及完成後設置安全設施載重(如安全蓋板、發電機等約20T)。在實務上，浮台船可承載重量應乘上安全係數約0.8~0.9(視船齡及使用狀況)較為安全。

在載重條件許可下，浮台船可視沉箱尺寸同時施作二座沉箱，此時需要考慮沉箱與沉箱之間及沉箱與塔柱之間的安全距離，一般需保留2.5m距離，沉箱之間應加裝導架或碰墊，以避免沉箱起浮時發生碰撞，若無法保持或控制安全距離時，則應施作一座沉箱為宜。

本工程施工初期船組為3艘浮台船，分別為石川七號(載重8,000T)、駿逸一號及駿逸二號(載重4,500T)，採用一次完成工法及二次加高工法製作沉箱；施工中期因新購浮台船陸續到港，即變更船組為4艘浮台船，分別為亞昌一號和亞昌二號(載重13,500T)、亞昌六號(維修後載重9,900T)及亞昌七號(維修後載重7,665T)，因浮台船載重能力提升，故皆採用一次完成工法施作。

二、沉箱製作流程

(一) 施工流程(如圖6)

浮船塢工法係於浮台船上製作沉箱完成後，利用浮台船特性，可使船緩慢下沉坐底於海床上，讓沉箱下沉至浮游吃水深度，即可自動上浮脫離浮台船，之後由拖船接手拖沉箱至儲存區，而浮台船可再緩緩上浮即完成沉箱出塢作業，並重新靠泊碼頭循環製作下一座沉箱。

浮船塢工法可依照沉箱尺寸、水深、浮台船載重能力等條件，分為一次完成工法及二次加高工法，並採用滑動模板施作；沉箱製作流程包含底板放樣及組模(固定模板)、PE布鋪設及鋼筋綁紮、底板混凝土澆置養護、內外艙牆活動模板組立及試車、艙牆鋼筋組立(包含預埋件組裝，如外牆進水口、內艙牆通水管、拖索環及安全掛鉤等…)及混凝土澆置，此流程重覆進行至到達沉箱完成高度為止，而最後一升層混凝土應適當養護後(至少24小時，冬季時期通常會更久)，再進行拆模作業，以免破壞混凝土完成面或產生嚴重裂縫。

本工程沉箱製作時間一般估計約為20日，包含底板放樣1日、底板組模繫筋3日、底板澆置及養護2日、活動模板組立4日、滑模爬昇作業6日及活動模板拆除4日。而上述各節點作業時間大致不會變動，除了滑模爬昇作業時間以外，經常因天候、氣溫、混凝土出凝時間以及沉箱尺寸而有所差異。



圖6 沉箱製作流程

(二) 活動模板

活動模板系統係由內隔艙模及外牆模組成(如圖7)，其構件大致可分為模板體、軛架設施、頂昇設施及工作平台，滑動模板爬昇過程係藉由油壓千斤頂內之鎖扣，緊扣爬升桿作為固定端，以利傳遞反力至甲板，並同時舉昇千斤頂產生爬昇力量，透過軛架設施傳遞至內外側鋼模，得使活動模板順利往上爬昇，其施工流程如圖8所示；一般每座油壓千斤頂需具3T以上揚昇力，並依

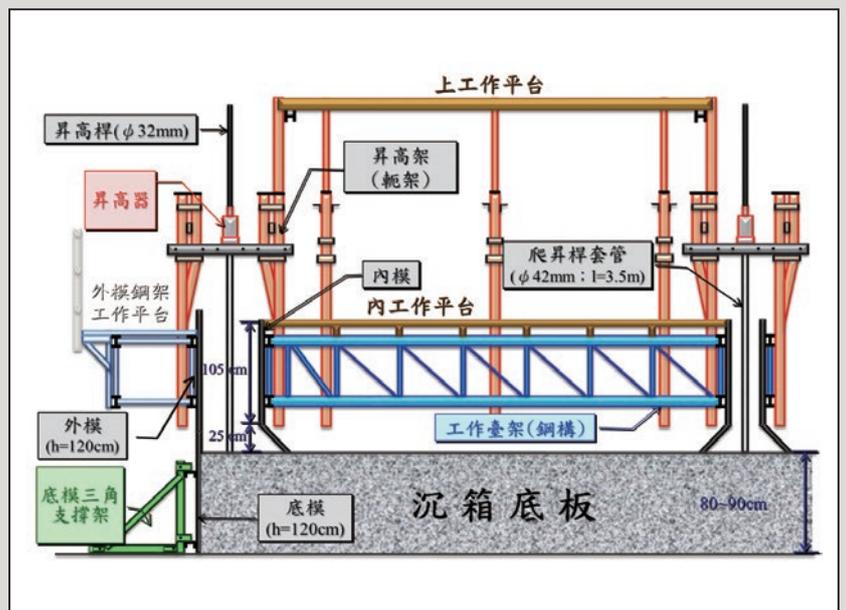


圖7 滑動模板系統



圖8 滑動模板施工流程

照沉箱尺寸配置油壓千斤頂數量，本工程採用147~180座千斤頂約可提供441T~540T之揚昇力。為減少模板爬昇時與混凝土產生之摩擦阻力，鋼模底部模距會大於頂部模距(其斷面如喇叭狀)約3~5mm(約1/100傾斜度)，以使順利爬昇。

滑動模板爬昇速度，需依天候、氣溫、混凝土初凝時間、現場鋼筋組立速度及混凝土供應情形等配合條件而定，每次澆置混凝土高度約40cm，並依初凝時間控制每6~8分鐘昇模一次，每次昇高約2~3cm，估算連續作業12小時約可昇高約2.0m~2.5m。

系統化之活動模板相較於傳統式固定模板，有工期短、節省人力、安全性高、會凝土飾面佳及水密性良好等優點，目前已普遍運用於沉箱製作工法上。

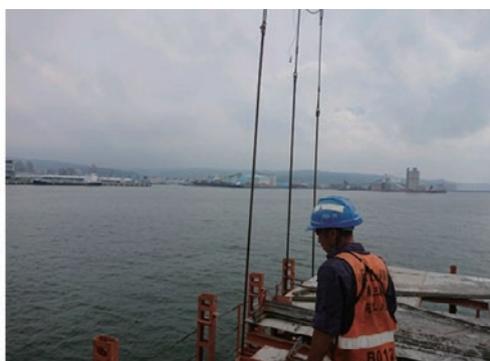
(三) 拆模作業

沉箱澆置完成後至少需要養護24小時，即可開始拆模，作業順序為吊起爬升桿、拆移外模及拆移內模軛架、內隔艙鋼模，最後是工作平台及施工樓梯，拆除過程需由內而外，每拆除一座內隔艙模板應立即加設防墜網或是安全蓋板，以確保人員施工安全，如圖9所示；所有軛架、爬升桿、內、外鋼模、吊架、工作台跳板等，運卸於指定地點堆放，整體修復時應鏟除黏著之水泥漿，並塗油備用。

並注意拆模需防摔碰，螺栓、鐵件應妥與收存；鏟灰塗油後即需詳查尺度；而後緊結鬆開之螺栓，板面如有不平，須予修平。沉箱拆模作業階段屬高風險危害之高架作業，應做安全防墜網、安全護欄措施。

肆、出塢及臨時儲存作業

沉箱在養護完成後，即可安排出塢儲存，以利下一循環沉箱製作，本工程於臺北港北外堤位置，規劃一處約6公頃之臨時儲存區域，預計可存放40座沉箱，以下說明出塢作業應注意事項。



爬升桿拆除作業



外箱樑鋼模拆除



內隔艙鋼模拆除



模具拆除完成並加設防墜網蓋板

圖9 滑動模板拆模流程

一、船隊組成

沉箱出塢儲存採用裸拖方式進行，所需工作船為主拖船1艘，需具船舶自動辨識系統以確認航道，聲納探測水深，配置備用拖纜等設施、副拖船1艘，協助主拖船拖航並注意航道及沉箱狀況、警戒船1艘，注意沉箱吃水情形(如圖10)。施工前應檢核主拖船拖曳能力是否足以執行任務，以本工程最大沉箱 $25\text{m}\times 25\text{m}\times 25\text{m}$ 為例，所需拖曳力為4,500匹馬力，故主拖船應達5,000匹以上較為保守(可能會遭遇逆流，故安全係數採用1.1為保守)。

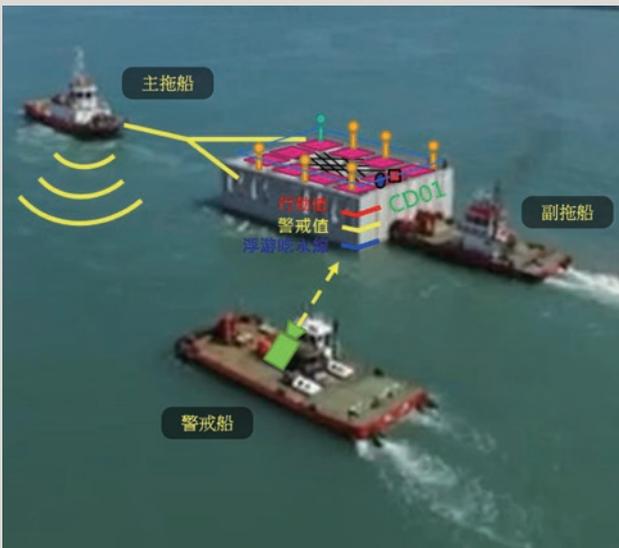


圖10 拖航儲存作業船隊示意圖

二、水深檢核

沉箱出塢前，應考慮沉箱浮游吃水深度、浮台船舷高、水域深度、潮汐落差，還需加上脫離安全高度(0.5m)，以本工程CI沉箱為例，浮游吃水深11.87m、使用浮台船舷高6.55m、臺北港南堤出塢水域水深17.93m、漲退潮汐6小時內差距1.23m-1.14m及脫離安全距離0.5m，水深檢核試算如下：

(一) 漲潮時：

$$(17.93+1.23)-(11.87+6.55+0.5)=0.24\text{m}\cdots\text{檢}$$

核為正值OK

(二) 平潮時：

$$(17.93+0.00)-(11.87+6.55+0.5)=-0.99\text{m}\cdots\text{檢核為負值NG}$$

(三) 退潮時：

$$(17.93-1.14)-(11.87+6.55+0.5)=-2.13\cdots\text{檢核為負值NG}$$

由上例所示，潮汐差異將影響出塢成敗與否，故出塢作業當日必須在既定時間內完成出塢作業，以免海象由漲潮逆轉為退潮時發生意外，如果作業發生延遲時，應立即評估是否繼續作業或擇日進行。

三、作業前確認

(一) 儲存位置確認：

規劃出塢路線，確認儲存區水深是否足夠，以及儲存位置有無障礙物，必要時施放浮筒標記儲存角點。

(二) 通報信號塔台：

作業前1~2日辦理通報，協調港內航道使用時間。

(三) 氣象潮汐調查：

查詢中央氣象局臺北港潮位表及氣象預報，依據潮汐表資料確認水深條件辦理出塢作業。

(四) 召開安全會議：

出塢作業前1日召集工作人員，說明船隊動員狀況、作業危害告知、人員值勤內容及預報氣象潮汐狀況，並做成書面資料留存紀錄。

(五) 出塢條件檢查：

依據施工技術規範，沉箱拖航條件為澆置

完成後7日或混凝土強度到達80%方可辦理出塢。

(六) 安全設施確認：

沉箱頂部安全設施，應完成打浮設備(發電機、抽水馬達及抽水管)、安全蓋板、安全網、安全護欄、吃水深度標線、進水閘啟閉正常及纜繩繫配等(如圖11)。



圖11 沉箱出塢前安全衛生設施

四、作業中管理

(一) 安全確認：

作業前辦理危害告知，確認天候及潮汐是否異常。

(二) 塔台通報：

起拖前通報塔臺，並依預定航行路線進入儲存區，作業結束後仍需通報告知，出塢期間隨時與塔台保持聯繫。

(三) 施工規範：

依規定拖航及安放時需風平浪靜，波高應在0.5m以下。

(四) 人員監看：

岸上人員全程錄影，並隨時以無線電與主拖船聯繫瞭解拖航狀況。

(五) 海上監看：

警戒船人員應隨時注意沉箱吃水線標示是否正常，如沉箱有異常下沉，可能是進水閘未關閉完全或是沉箱壁體進水造成，應立即返航或尋找安全地點就地進行沉箱坐底。

(六) 吃水線標示：

1. (藍線)浮游吃水標線：屬於正常情形，可續行拖航並持續觀察。
2. (黃線)警戒標線：吃水深度大於浮游安定曲線所載深度100公分時，應立即減速並確認箱內是否漏水，必要時須停止作業檢視沉箱狀況。
3. (紅線)行動標線：吃水深度大於浮游安定曲線所載深度150公分時，應立即停止作業並檢視沉箱狀況，必要時返回構台或尋找安全地點就地進行沉箱坐底。

五、沉箱坐底施工管理

(一) 確認沉箱儲存位置是否位於所規劃之儲存地點(如圖12)，並應先予整平且有適當水深。



圖12 臺北港北外堤沉箱儲存區

(二) 儲存地點應不受強浪打擊，更不得影響船舶之航行。

(三) 為避免進、出水過程中各相鄰艙水壓差過高，以不超過1.6m為原則。

(四) 每一階段進水高度需小於1.5m，待水位穩定後才可進行下一階段進水。

(五) 沉箱須保持水平下沉

(六) 沉降速度為 8-10cm/min

(七) 過程中指揮手應配合水位觀測員及沉箱狀況，以對講機指揮操作員調整進水量。

(八) 沉箱儲存場應有適當水深，沉箱頂至少高於高潮水位1m以上為原則，使海水不致漫入箱內，而中潮位時可起浮沉箱為原則。

(九) 避免沉箱坐底於軟弱或不均勻土層產生不均勻沉陷，造成沉箱受力不均勻。

(十) 坐底後派遣潛水人員進行檢查，確認完畢始可撤離器材及人員。

結語

本工區受東北季風之影響，外海每年可工作之月數約僅7個月，本工程必須把握每次有利的氣候及海況進行拖航及安放，而沉箱基地需預先作好準備，為確保製作品質與進度，需選擇適當的工法及制定完善的生產流程，配合熟稔之經驗完成每一座沉箱之製作，得以符合工程需求。

活動模板施工關乎於混凝土品質良好、澆置方法正確、鋼筋組立正確性及效率性確實

掌控、滑模設備精良、滑模組合正確等互相配合，才能順利進行。

沉箱儲存作業雖然單純，但準備工作不得馬虎，應謹慎調查海域情況並掌握潮汐變化，並確實做好安全防護設施勿便宜行事，繼而在經驗豐富之工程人員配合下，才能達到施工迅速及品質良好之目的。

參考文獻

1. 劉彥忠，「由外廓防波堤之規劃設計談巨型沉箱之製作及拖航」，水利會訊NO.12期，2009年。
2. 阮振興、彭國源、陳懿佐、陳謙武，「重力式沉箱製作及拖放施工監造實務」，中華技術NO.100期，2013年。
3. 「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程」監造技術服務工作服務建議書，2017年。
4. 「第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程」施工服務建議書，2018年。
5. 第三座液化天然氣接收站建港及圍堤造地新建工程」沉箱製作滑動設備及模板結構計算書，2020年。

金門跨海大橋主橋 造型墩柱及橋塔施 工規劃與挑戰

關鍵詞(Key Words)：金門大橋(The Kinmen Bridge)、跨海橋梁(Sea-crossing Bridge)、脊背橋(Extradosed Bridge)、造型墩柱(Pier with Distinct Form)、橋塔(Pylon)、系統模板(System Formwork)、混凝土拌和船(Concrete Mixing Vessel)、物料管理(Material Management)

交通部高速公路局／第二新建工程處／處長／郭呈彰 (Kuo, Cheng-Chang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中工處／副理／柯明佳 (Ko, Ming-Chia) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中工處／計畫副理／謝克岱 (Hsieh, Ke-Tai) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中工處／工務所主任／盧建州 (Lu, Chien-Chou) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中工處／工程師／黃俊憲 (Huang, Chun-Hsien) ❺

摘要

金門大橋工程為國內少見之大型跨海橋梁，除了海水面下基樁及樁帽鋼箱圍堰施工極為困難外，出水面後主橋五塔混凝土結構造型墩柱為工程另一大特色。

主橋墩柱與橋塔設計整體呈現高粱結穗飽滿的意象，亦提供脊背橋外置預力鋼索張拉功能，由於造型線條複雜、結構線形變化大，加上位於海上施工，其經驗值得提供後續國內跨海橋梁施工參考。

本文以海上造型墩柱及橋塔施工為主題，詳述海上施工特殊考量，並由規劃、施工、管理等各層面環節做一完整介紹，期藉以分享特殊經驗。



Construction Planning and Challenges for the Piers and Pylons of the Kinmen Sea-crossing Bridge

Abstract

Kinmen Bridge is a large first sea-crossing bridge seldom seen in the nation which features a number of significant challenges including the construction of pile and pile cap steel cofferdam along the underwater surface as well as the construction of concrete structure piers above the water for the five pylons of the main bridge.

The overall design of the main bridge's piers and pylons aesthetically resembles the ears of sorghum grain and structurally provides an anchor for the external pre-stressed cable of the extradosed bridge. Owing to the bridge's complex shape comprising a continuously varied structural formation, along with the undertaking of construction works located off-shore, it is well worth documenting these experiences so as to provide a valuable reference for the construction of future off-shore bridges.

The main topic of this paper is to address the distinct form of the bridge's pier and pylon construction, describing the special considerations of the off-shore construction works in detail and thoroughly introducing every aspect of its planning, construction and management for the purpose of sharing and highlighting the key features of this unique bridge construction experience.

3

專題報導

壹、前言

金門大橋工程（以下簡稱本工程）為國內少見之大型跨海橋梁，其建設目的為提供大、小金門間全天候陸運交通服務，以解決小金醫療匱乏、土地利用失衡及水路交通限制等問題，並期達到活化大小金門與促進觀光產業發展之願景。

本工程路線全長5.41公里，跨海橋梁段共4.77公里（圖1），其中跨越深槽區最深之主橋共落有5墩（橋墩編號P44~P48），橋長1,050公尺，為金門大橋主跨路段。主橋橋墩柱提供跨徑200公尺之脊背橋梁支撐及金烈水道5000噸級客輪通過大橋淨空所需，墩柱最高39.15公尺，

貳、穗心傳語 風情再現

金門大橋主橋造型係由金門縣縣民進行票選，最終由「穗心傳語 風情再現」之高梁穗心造型獲得勝選，設計者利用三條不同曲率半徑的線條及墩柱分單、雙柱等結構線形變化進行設計，充分將金門縣在地的高粱文化與橋梁結構結合為一體（圖2）。墩柱的造型在出水面後由單柱收縮腰身再分支成雙柱與上部結構聯結後再順延結合，整體橋塔呈現高粱結穗飽滿的意象，橋塔除為整體造型一部份，亦提供脊背橋外置預力鋼索張拉功能（圖3）。

由於墩柱線條複雜、結構線形變化大，每昇層曲率鋼筋續接量達上千支；而橋塔呈現內

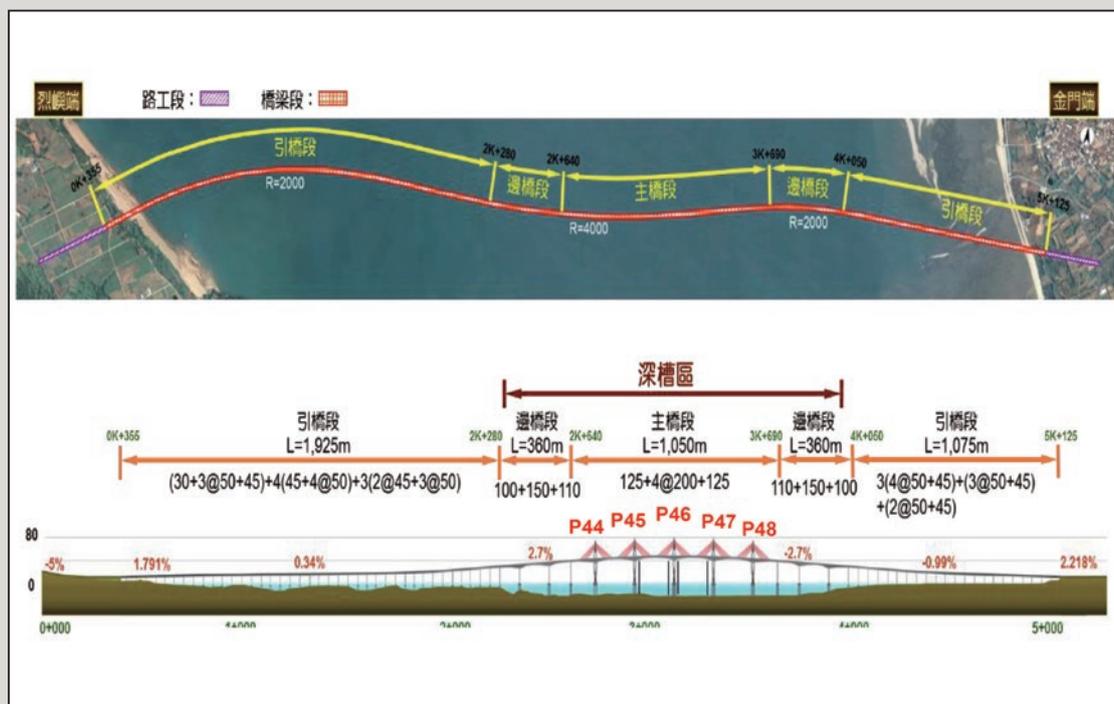


圖1 金門大橋橋梁配置圖

連同橋塔總高為78.5公尺，整體造型呈現「高粱穗心」意象。本文以海上造型墩柱施工為主題，冀望藉由經驗之分享提供後續國內相關施工作業參考。

1/14、外1/8不同斜率直線漸變收頭，結構需搭配外置預力鋼殼及內置預力鋼棒等複雜界面。如何準確呈現整體橋型結構之優美線條，並在海上環境的背景管理作業空間得以完美呈現此造型橋墩柱，為工程師一大挑戰。



圖2 金門大橋造型墩柱 - 穗心傳語 風情再現

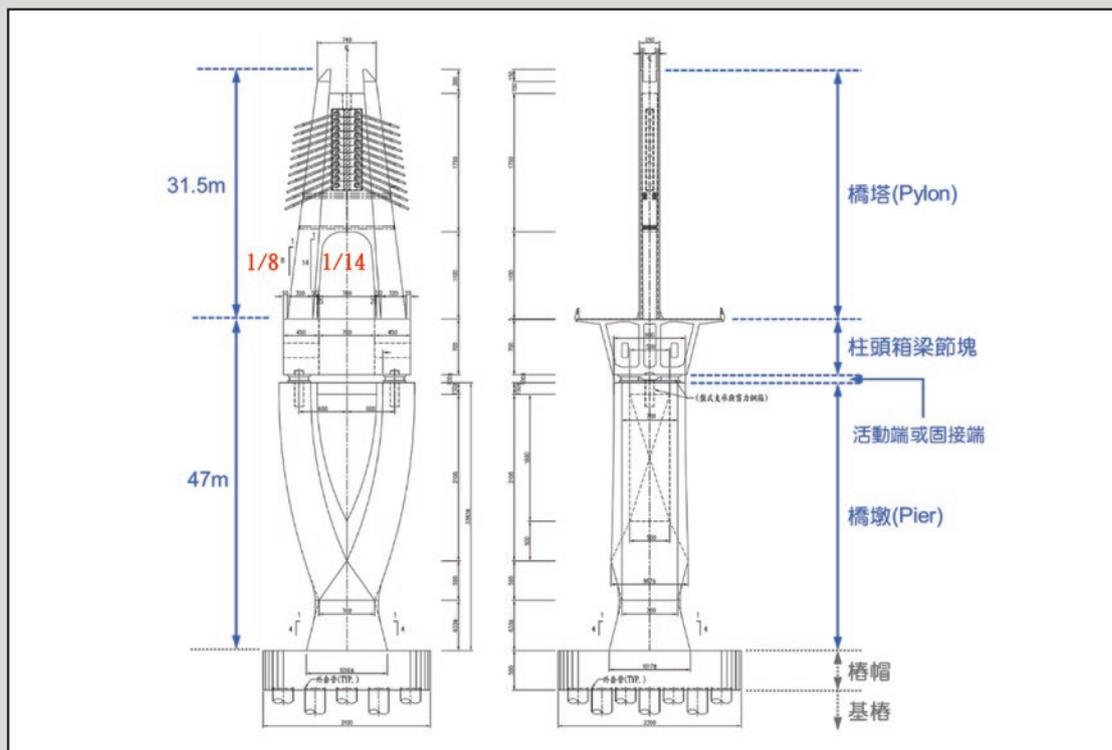


圖3 金門大橋造型墩柱立面圖

參、海上施工特殊考量

一、海域施工機具及空間規劃

海域深槽區每一墩位宛如獨立孤島工作面，施工初期須設置墩柱施工所需之吊車站立位置及物料堆置空間，故分別規劃以打設施工構台或搭配平台船施工。

承載起吊機具方式分為二階段：第一階段為墩柱1~3昇層構築，此時由於墩柱尚低於海水高潮位，僅能採施工構台或平台船承載吊車進行物料吊裝；第二階段墩柱昇層已高於海水水面，則規劃於樁帽頂部預埋塔吊基座(圖4)，改採用塔式吊車施作其餘墩柱昇層及橋塔等水面上之構造物，此時施工構台或平台船則改作為物料暫置空間。



圖4 樁帽基礎預埋塔吊基座

為了在海水面上爭取更多常時乾式作業環境，在墩柱完成第3昇層後，特規劃於樁帽頂端構築內構台(圖5)，放置海上人員上下設備、發電機、人員休息區等人機設備。



圖5 樁帽頂部內構台設置

二、施工控制測量

受限於海上佈設固定控制點有其困難度，若於近岸採傳統式全測站經緯儀則因測距過長精度不易控制，故現場施工測量主要以衛星定位系統(GPS)搭配即時動態定位(RTK)為主，精度可控制在2公分誤差範圍內，近距則以全測站經緯儀為輔。為降低測量誤差，需增加測回及衛星收測時間予以消彌。

三、鋼筋材料特殊管理

深槽區墩柱位於飛沫區，屬極嚴重鹽害

區，鋼筋採用熱浸鍍鋅鋼筋；而橋塔結構其高度已遠離飛沫區，則採用一般鋼筋搭配加大保護層進行防蝕。

本工程墩柱鍍鋅鋼筋採高強度管理尤為特殊，由於墩柱曲率造型，每支鋼筋均具有方向性及專屬尺寸，加上每墩有5千對以上的續接器匹配，在離島地區鋼筋材料全數依賴台灣端運輸供應的背景，一旦錯誤短缺即無法遞補。以鍍鋅鋼筋生產及運輸流程來說，每支主筋在台灣端鋼鐵廠出廠後，需經過續接器加工廠、彎扎加工廠、鍍鋅廠，經高雄港海運至金門料羅港，下料後再陸運至工地暫置區，進行分料後運至搶灘碼頭，最後藉由平台船分送至海上各獨立工作面，其中只要任何一環節發生遺漏，即出現缺料問題。為因應此情況，規劃分別於台灣端及金門工區現場各設專員管理，管制每站到料數量並需逐支清點。

四、鋼筋施工特殊考量

受限海上作業空間，所有鋼筋材料均於金門端岸上清點後，利用船機運送至現場暫置，再依序以吊車或塔吊分別吊至施工位置綁紮。

為克服墩柱造型變化，主筋於加工階段即將各斷面設計曲率預彎成型，考量鋼筋曲率各種變化及工作性，規劃高度每6公尺續接1次(此續接長度遠較一般直線主筋續接每9公尺一處縮短許多，其考量於下段詳述)，由於鋼筋為曲線續接，現場於鋼筋角度調整完成後，採3件式續接器對鎖施工以維持鋼筋曲線方向性(圖6)，箍筋、繫筋長度亦隨墩柱造型漸變，綁紮時搭配符合結構需求的搭接方式施工，施工過程中鍍鋅鋼筋若有損傷，則依本工程特訂條款05081規定，以高鋅成份94%以上之富鋅漆3度修補。

橋塔造型相對單純，但塔身仍有1/14及1/8不同斜率之造型變化，鋼筋組立前先於岸上預



圖6 墩柱主筋3件式續接器對鎖施工

組樣架，再整座吊裝至工作面以控制鋼筋位置並符合保護層要求(圖7)，另考量橋塔於第5、6昇層尚有永久預力鋼棒套管、鋼殼底座空間配置，設計單位於施工前即進行優化主筋配置，妥善空間利用，避免發生施工抵觸情形。



圖7 橋塔鋼筋施工

五、各項預埋件安裝

橋梁監測設備及假設工程預埋件於施工前預先規劃，於施工階段進行放樣預埋。配合場鑄柱頭節塊施工埋設施工托架預留孔(圖8)、活動端柱頭板臨時固定設施、塔吊或上下設備墩柱連結預埋件，以及圖說各項盤式支承下盤安裝樁孔、剪力鋼箱、腐蝕感測器(圖9)、排水PVC管、避雷針接地管線…等，均需預埋於準確位置。



圖8 柱頭節塊施工托架預留孔埋設



圖9 鋼筋腐蝕感測器埋設

六、墩柱EFCO系統模板規劃

墩柱規劃選用EFCO系統模板，EFCO系統模板具有支撐系統化、模板客製化，並提供施工平台作業空間等優點，適合墩柱線型變化及海上作業環境所需。主橋墩柱5墩依高度及型式不同分為3種Type(表1)，高度各為33.83、38.07及39.15公尺，分別規劃採16~18昇層施工，並因應各昇層斷面變化，每昇層高度由1.32~4.22公尺不等(圖10)。

工地備有二套墩柱模板，在前一昇層拆模之前，次一昇層模板即可於陸域端依斷面需求配置修改單模尺寸並進行地組(圖11)，在鋼筋綁紮完成經由船機將模板運至海上工作面進行吊裝組立(圖12)。因本工程位於極嚴重鹽害區，橋墩主鋼筋之保護層規定為12cm、箍筋之保護層

表1 深槽區主橋墩柱型式統計表

墩位	橋墩型式	支承型式	剪力鋼箱型式	昇層階數	昇層高度	墩柱高(m)	Type
P44	活動端支承	5000tonf 雙向活動型	2000tonf 縱向活動型	16	1.325m ~ 3.98m	33.83	1
P45	固接端	-	-	17	1.825m~4.22m	38.07	2
P46	固接端	-	-	18	1.30m ~ 4.00m	39.15	3
P47	固接端	-	-	17	1.825m~4.22m	38.07	2
P48	活動端支承	5000tonf 雙向活動型	2000tonf 縱向活動型	16	1.325m ~ 3.98m	33.83	1

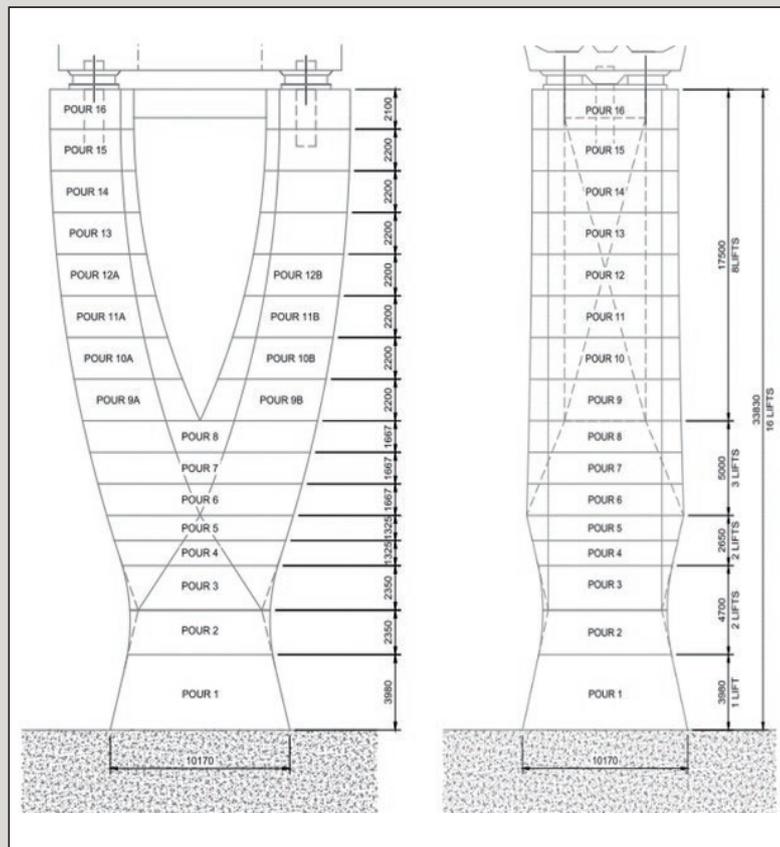


圖10 Type1橋造型墩柱分層圖示

為10cm，弧型模板完成定位後，保護層厚度為本階段施工檢查重點。

七、橋塔PERI系統模板及鋼模規劃

主橋五橋塔高度均為31.5公尺，規劃分為11昇層施工(圖13)。因應橋塔結構及造型，規劃1-5昇層模板採用PERI系統模板，6-11昇層因配有鋼殼導管，為提升施工效率，廠商特增購2套鋼模施工。

PERI系統模板以各項構件組成構架，以18mm芬蘭板作為模板面，模板面可隨橋塔斜率變化進行裁



圖11 EFCO系統模板陸域端地組圖



圖12 EFCO系統模板現場組立

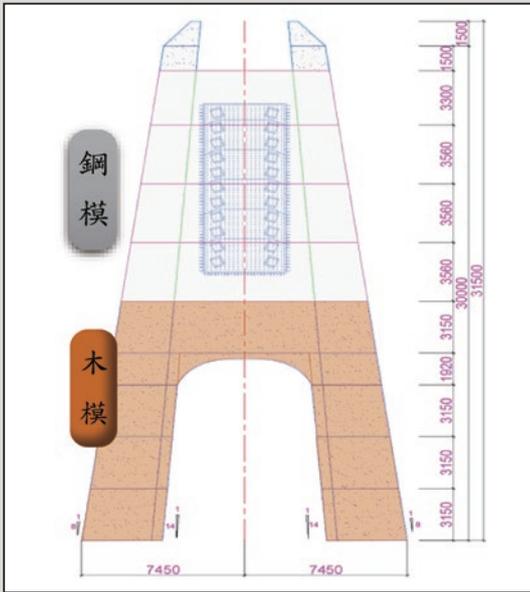


圖 13 橋塔分層規劃

切，塑造所需造型，1-5昇層高度以1.92-3.15公尺規劃(圖14)(圖15)。囿於海上空間有限，PERI



圖 14 橋塔PERI系統模板組裝情形

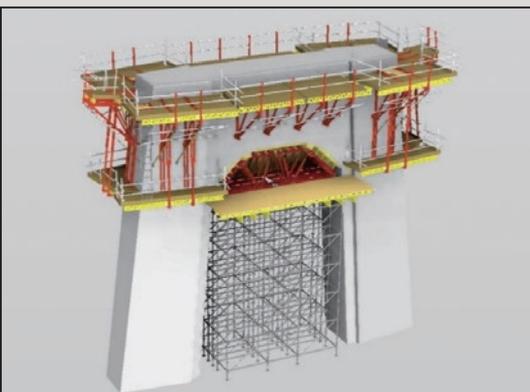


圖 15 橋塔PERI系統模板第5昇層3D模擬

模板同樣需於陸域端先行地組再運至現場組裝，工地備有二套PERI系統模板，提供二座橋塔同時施工需求。

橋塔6-11昇層則規劃以鋼模施工，其優點主要在於減少鋼殼導管處及內置預力鋼棒錨頭開孔封模問題加快組裝速度，鋼模同樣備有二套提供二塔同時施工，每昇層則分別以3.0-3.56公尺變化使用(圖16)。二種不同模板系統之銜接，則利用第5昇層混凝土澆置完成後設置鋼模底座做為銜接介面。



圖 16 橋塔鋼模組裝情形

八、橋塔外置預力鋼殼安裝

橋塔鋼殼總高度10.1公尺，分6個分塊(表2)，於鋼構廠製作完成後進行假組立、密合度及防蝕處理等檢驗後運達工地。由於第一塊鋼殼起始位置將控制整座鋼殼預力套筒準確性，安裝前特規劃型鋼底座以確保定位正確(圖17)。另由於鋼殼第一塊分塊重量大於塔式吊車額定荷重，首次吊裝需以850T起重船或於橋面板站立90噸吊車進行吊掛作業，以上5個分塊則以塔式吊車吊裝即可，依序配合橋塔昇層安裝至完成。

表2 橋塔鋼殼分塊數據表

分塊尺寸 分塊編號	寬(M)	高(M)	長(M)	重(T)	數量	備註
P44-48-1	1.40	2.28	4.20	17.40	5	第一昇層吊裝
P44-48-2	1.40	1.80	4.20	16.03	5	
P44-48-3	1.40	1.80	4.20	16.03	5	
P44-48-4	1.40	1.80	4.20	16.03	5	第二昇層吊裝
P44-48-5	1.40	1.80	4.20	16.03	5	
P44-48-6	1.14-1.40	3.30	1.14-4.20	10.54	5	

車附掛洩料斗方式進行混凝土澆置(圖19)，均採連續澆置方式完成。

墩柱及橋塔設計均採用 350kgf/cm^2 自充填混凝土，澆置前先以清水清洗澆置面(圖20)，以免鹽分附著影響品質。澆置時施工人員持長桿或PVC管沿模板面緩慢上下抽動以利空氣之排出，避免拆模後外觀有過大之氣泡產生。由於海上施工淡水取得不易難以濕

治養護，故拆模後以噴灑或塗抹養護劑為主(圖21)。



圖17 鋼殼及導管組裝情形



圖18 墩柱昇層拌和船澆置



圖19 橋塔昇層混凝土澆置

九、海上混凝土澆置規劃

各主橋墩柱位於海上深槽區，混凝土澆置作業需倚賴海上混凝土拌和船進行供料。本工程設有二艘混凝土拌合船，每艘滿載混凝土量約 800M^3 。依昇層規劃，墩柱每昇層混凝土約 $43\sim 386\text{M}^3$ ，橋塔每昇層則為 $17\sim 80\text{M}^3$ ，拌合船單艘量體即可滿足單次最大澆置量，澆置規劃採用單艘拌和船作業，另一艘則作為備用或支援，澆置時需將海上拌和船錨碇完善。

混凝土之運送，墩柱採用拌和船搭載之泵送車及輸送管直接供料(圖18)，橋塔部份由於高度已達70餘米，泵送無法到達，則改採塔式吊



圖20 澆置面清洗

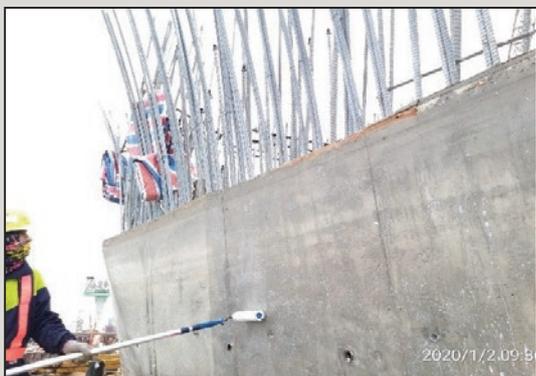


圖21 養護劑塗抹

肆、海域造型墩柱施工經驗分享

一、曲線造型鋼筋施工

本工程造型墩柱主筋單層續接量最多達1020支，單墩續接器最多6180個，是極為困難富挑戰的工作，再加上墩柱造型變化，原採用二件式鋼筋續接器鎖固後無法配合墩柱角度塑型，經重新檢討後改採用三件式續接器，其特點可固定上下曲線鋼筋，再藉由第三件反向螺牙進行鎖固，藉以克服曲線鋼筋具方向性問題。

以往經驗，墩柱續接一般規劃採9公尺長度續接以減少損耗及提升工率，惟實際施工時發現曲線鋼筋因自重易下垂對接不易，且受限海上作業僅能以一部吊車或塔吊逐一吊裝續接，

以一個斷面需續接上千支主筋而言，工率無法有效提升。在起吊機具資源受限之下，為能加快鋼筋續接速度，重新檢討將主筋縮短為6公尺續接1處為原則計算，除克服鋼筋下垂不易控制問題，將D36單支重量降到47公斤上下，鋼筋吊至定點入牙即可脫離由人力接手，並輔以樣架支撐，可分成2組人員分別進行對接及鎖固動作，雖然縮短鋼筋後會增加續接器數量，但藉由減少機具依賴調整為人工分組組裝結果，可提昇工率達50%。

在解決主筋續接及工率問題後，墩柱箍、繫筋綁紮亦為施工挑戰，隨造型墩柱斷面不斷變化，除箍、繫筋長度隨之改變外，箍筋設計內、外各三層，最長達8公尺，繫筋最長則達13.3公尺，綁紮時需平行穿過層層主筋鉤掛於正確位置。施工初期以整段箍、繫筋定尺作料，由於鋼筋較長，在僅2.5公尺寬作業平台的有限空間環境下搬運具相當之危險性，且因曲率造成箍、繫主筋鉤掛品質控制不易。經與設計單位研議，同意將箍、繫筋拆解，增加搭接及彎鉤以縮短鋼筋長度，減少對穿以增加工作性，改變作法後工率提昇達33%。

二、材料精確管理

本工程位於離島地區，物料補給本就不易，所有材料皆需仰賴台金間之貨船運輸。以造型墩柱鍍鋅鋼筋為例，工作初期曾以一般過磅秤重的方式管控鋼筋，結果於施工過程發現支數短缺造成作業停滯，由於每層鋼筋亦有專屬尺寸在變化，幾乎無法於鋼筋短缺時遞補使用。為改善此狀況，工地採用提早於施工前30天下單方式提早到料，盤點缺料有餘裕時間即刻補料，並於數量計算時增加備用數量，分料及派船運送前由專人負責清查，始徹底解決鋼筋補給問題。

大型物料(如預組之模板或鋼筋樣架)運輸至

海上需倚賴平台船進行搶灘運補，此時均需配合漲退潮位，若未提前妥善安排，一旦錯過即造成延遲等待；再者，平台船空間有限，則需要依賴有效物流管理及空間精準有效規劃。

三、系統模板選用

墩柱採用EFCO系統模板、橋塔採用PERI系統模板施工，二系統皆以各項構件組成構架，以芬蘭板作為模板面，模板面可隨造型變化進行裁切，塑造所需造型。

EFCO系統設有2.5公尺寬工作平台，並預埋32號螺栓鎖固(圖22)，設計荷重700kgf/m²。PERI系統設有2.2公尺寬工作平台，並預埋HEX BOLT ISO4014-M24*120-10.9號螺栓鎖固，設計抗拉、剪為4000kgf/支。二系統設計之工作平台除作為模板可調斜撐支點外，最重要的是提供人員安全作業之空間(圖23)。

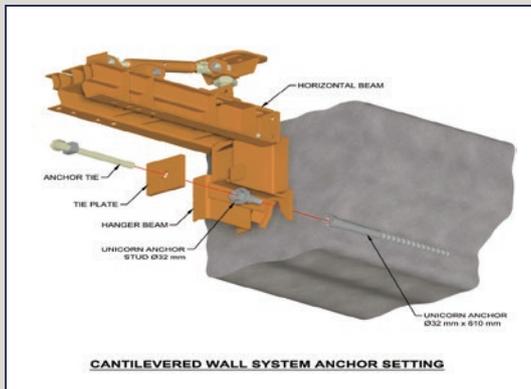


圖22 【EFCO】D32mm*6.1cm unicorn—anchor



圖23 系統模板工作平台

由於主橋各墩5-8昇層為單柱分成雙柱之前置階段，造型變化相對複雜，該部份除EFCO系統模板外，另搭配訂製造型鋼模作為輔助(圖24)，縮短作業時程，並藉以完成主橋造型墩柱(圖25)。



圖24 墩柱搭配鋼模造型位置



圖25 墩柱完成情形

考量橋塔造形及斜率，除1-5昇層採PERI系統模板施工，為加速施工效率、作業安全及鋼殼導管安裝，於6昇層開始以特製鋼模銜接施工至塔頂完成(圖26)。



圖26 橋塔完成情形

結語

本工程造型墩柱及橋塔施工經驗累積至今，謹彙總施工心得如下：

一、審慎規劃：

有效規劃平台船上有限空間，物料資源精準管理運補。

二、良好施工性：

系統模板預先拆解及地組、減少高空作業壓力。

三、模板系統適時轉換：

依造型階段性，以適當鋼模輔助塑型。

四、分層確實：

昇層澆置明確、準確控制外觀斜率及曲率。

五、掌握施工契機：

配合海象研判最佳施工時機、適時投入資源全力邁趕。

參考文獻

1. 金門大橋建設計畫第CJ02-2C標金門大橋接續工程，施工技术規範第03110章【場鑄混凝土結構用模板】。第03214章【熱浸鍍鋅鋼筋】。第03315章【自充填混凝土】。EFCO系統模板施工圖。PERI系統模板施工圖。橋塔鋼模施工圖。



營建工程遭遇文化 遺構之處理——以鐵 路地下化工程臺南 車站南、北轉車台 遺構為例

關鍵詞(Key Words)：鐵路工程(Railway Engineering)、臺南車站(Tainan Train Station)、
文化資產(Cultural Heritage)、轉車台(Railway Turntable)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／吳佩儒 (Wu, Pei-Ru) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／工程師／林峻毅 (Lin, Chin-Yi) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／協理／陳志鴻 (Chen, Chih-Hung) ❸

交通部鐵道局／南部工程處／第三工務段／段長／馬良俊 (Ma, Liang-Chun) ❹

交通部鐵道局／南部工程處／處長／劉雲生 (Liu, Yum-Sheng) ❺

摘要

臺南市鐵路係日治時期沿府城聚落東緣興建，鐵路以西為聚落所在、以東則是荒埔、軍事校場等，並沿著今北門路形成貨物交易興盛之「市仔街」。現今因應臺鐵轉型及消除臺南車站對市區發展之阻隔，「C212標臺南車站地下化工程」於108年11月29日開工，包含臺南車站及臨時後站之站體新建工程、站區景觀及道路工程等。本工程於施工期間發現南、北轉車台文化遺構，兩處轉車台皆建於日治時期，具有見證臺灣鐵道建設歷史之重要價值，本工程依照文化資產保存法及工程契約相關規定，辦理施工監看、文化遺構處置建議方案研討後，經主管機關決議進行南轉車台原地保留及北轉車台移置暫存，本文討論營建工程遭遇文化遺構之法令規範及實務執行面，期能提供文化資產保存及工程推動雙贏的案例經驗。



Treatment of cultural heritage encountered in construction project : The case of the south and north turntables of Tainan Station in Tainan Urban District Railway Underground Project

Abstract

The Tainan Railway was built along the eastern edge of the old town during the Japanese Occupation. The east is uncultivated arable lands and military schools, etc. The west of the railway is the settlements and along the present Beimen Road, where prosperous goods trade is formed. In response to the transformation of Taiwan Railways and the elimination barriers that Tainan Station brings to urban development, the "C212 Tainan Station Underground Project" started on November 29, 2019, including the new construction, the landscape engineering, and road engineering of Tainan Station and temporary rear stations. The cultural heritages of the south and north turntables were discovered during the construction of this project. Both turntables were built during the Japanese Occupation period and have the important value of witnessing the history of Taiwan's railway construction.

In accordance with the "Cultural Heritage Preservation Act" and the project contract, the project handles construction supervision and formulates cultural heritage disposal suggestions. After the resolution of the competent authority, the south turntable is retained in place, and the north turntable is temporarily relocated and stored. This paper discusses the decree and actual implementation process of cultural heritages during construction projects and the extension of the win-win cases for cultural heritage preservation and engineering promotion.

3

專題報導

壹、前言

因應臺鐵轉型及臺南車站地區都市更新發展、消除鐵路對市區之阻隔、疏解日益嚴重的都市交通、整合都會區運輸系統，行政院於98年9月9日核定「臺南市區鐵路地下化計畫」，於105年12月29日核定修正計畫。其中「C212標臺南車站地下化工程」位於臺南車站區段（鐵路里程UK357+470~UK358+161），即自臺南車站北端小東路地下道以南至四維地下道以北，全長約691公尺(如圖1)，開挖深度約18.8-25.4公尺，於108年11月29日開工，包含臺南車站及臨時後站之站體新建工程、站區景觀及道路工程等。

臺南市為一文化古都，具有豐富的歷史文化及數量眾多的古蹟，本工程有國定古蹟「臺南火車站」比鄰，因此規劃設計階段即強化古蹟車站與新站之整體結合及活化再利用，施工期間亦確實辦理文化遺址監看與發掘搶救。爰本文以「C212標臺南車站地下化工程」施工期間發現之南轉車台、北轉車台兩案例說明營建工程遭遇文化遺構之因應處理課題及經驗分享。

貳、營建工程與文化遺構之交會

一、文化資產保存法

「文化資產保存法」(以下簡稱文資法)自71年5月26日公布施行，迄今經7次修正，係為保存及活用文化資產，保障文化資產保存普遍平等之參與權，充實國民精神生活，發揚多元文化而制定。其中與營建工程相關之條文摘要彙整如表1，其明文規定營建工程或其他開發行為進行中，發見第33條之建造物、第57條之疑似考古遺址、第77條之具古物價值者或第88條之具自然地景價值之區域或自然紀念物，應即通報主管機關處理。

二、工程契約

依據文資法相關規定，本標工程契約特定條款第壹章第四節第三十條第23項訂有「…乙方對本工程範圍研提施工期間文化遺址監看計畫，經臺南市政府文化主管機關核定後實施，另監看成果應按季提送甲方。施工中如發現相關史前遺物或文化層出土，需即刻停工，並報



圖1 C212標工程範圍

表1 文化資產保存法與營建工程相關之條文規定摘要表

文化資產保存法第33條第2項	營建工程或其他開發行為進行中，發見具古蹟、歷史建築、紀念建築及聚落建築群價值之建造物時，應即停止工程或開發行為之進行，並報主管機關處理。
文化資產保存法第34條	營建工程或其他開發行為，不得破壞古蹟、歷史建築、紀念建築及聚落建築群之完整，亦不得遮蓋其外貌或阻塞其觀覽之通道。 有前項所列情形之虞者，於工程或開發行為進行前，應經主管機關召開古蹟、歷史建築、紀念建築及聚落建築群審議會審議通過後，始得為之。
文化資產保存法第57條第2項	營建工程或其他開發行為進行中，發見疑似考古遺址時，應即停止工程或開發行為之進行，並通知所在地直轄市、縣（市）主管機關。除前項措施外，主管機關應即進行調查，並送審議會審議，以採取相關措施，完成審議程序前，開發單位不得復工。
文化資產保存法第77條	營建工程或其他開發行為進行中，發見具古物價值者，應即停止工程或開發行為之進行，並報所在地直轄市、縣（市）主管機關依第六十七條審查程序辦理。
文化資產保存法第88條第2項	營建工程或其他開發行為進行中，發見具自然地景、自然紀念物價值者，應即停止工程或開發行為之進行，並報主管機關處理。
文化資產保存法施行細則第27條	主管機關依本法第五十七條第二項就發見之疑似考古遺址進行調查，應邀請考古學者專家、學術或專業機構進行會勘或專案研究評估。 經審議會參酌前項調查報告完成審議後，主管機關得採取或決定下列措施： 一、停止工程進行。 二、變更施工方式或工程配置。 三、進行搶救發掘。 四、施工監看。 五、其他必要措施。 主管機關依前項採取搶救發掘措施時，應提出發掘之必要性評估，併送審議會審議。

請地方主管機關，依現行文化資產保存法辦理發掘搶救及相關後續處置作業。相關成果報告須提送甲方轉主管機關及行政院環境保護署備查。乙方於施工前應對開挖施工人員進行文化資產保存講習4小時，於進行施工監看時應按月提報監測成果[監測成果內容應包括日期、施工位置、施工項目及內容摘要、施工情形照片、監看紀錄與位置示意圖、紀錄人(簽名)以及施工單位(簽名)等]，並按季提送主管機關及環保署備查」之規定。

本工程開工初期即辦理提報「文化遺址監看計畫」並於109年3月10日經臺南市文化資產管理處(以下簡稱臺南市文資處)同意核備，而後施工開挖期間皆確實進行施工監看作業及定期提送成果報告，施工監看及遭遇文化遺留之處理程序如圖2。

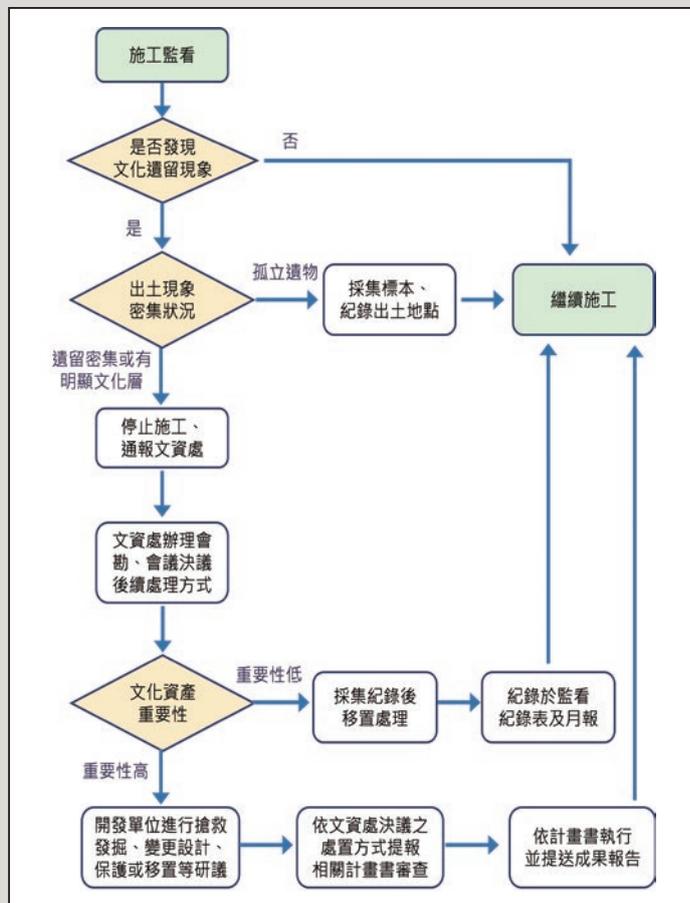


圖2 施工監看及遭遇文化遺留之處理程序圖

三、臺南車站轉車台遺構發現緣起

本工程於109年3月進行地上物(原零擔月台、停車場、辦公室、原車棚、工具室、道班房地坪)拆除，於109年3月23日施工監看時，在北側發現火車轉車台遺構，即刻停工；另於109年4月8日進行跨站天橋基礎開挖，發現地下構造物(南側火車轉車台遺構)，於同日停工，轉車台相對位置如圖3。



圖3 轉車台位置圖

後經施工監看單位(庶古文創股份有限公司)進行調查、清理並確定遺構現況，主管單位(臺南市文資處)分別於109年3月24日及109年4月9日辦理北側及南側轉車台遺構會勘(圖4、圖5)，而後於109年4月30日函請施工單位清理2處轉車台遺構，並於109年5月21日辦理文資委員現勘，依據文獻、歷史圖資及轉車台半徑尺寸研判，兩處轉車台均為日治時期設置之鐵道設施。其中，南轉車台設置於日治初期，因半徑較短，於日治中期便已停止使用；北轉車台設置於日治中期，因半徑較長、能兼容多種火車



圖4 北轉車台會勘



圖5 南轉車台會勘

型號，仍持續使用至戰後，約至民國70年代鐵路電氣化後才停止使用。於109年8月11日召開文化資產價值評估暨列冊追蹤審查會議，依據文獻、歷史圖資及轉車台半徑尺寸研判，決議列冊追蹤。

參、轉車台遺構的今昔

一、南轉車台

(一) 南轉車台沿革

臺南火車站係於明治32年(1899年)11月29日竣工並同時開始營業。由1915年之《臺南市全圖》中可見，車站東南側已出現一圓形設施(圖6)，與現今南轉車台發現之地點相近，推測圖面上所標示者可能即為轉車台設施。依1924年臺南市全圖中，此一圓形設施依然可



圖6 1915年臺南市全圖，南轉車台已出現

見，至1945年臺南車站台帳圖面所示，南轉車台則已被零擔月台建築所覆蓋，而北轉車台已出現（如圖7）。

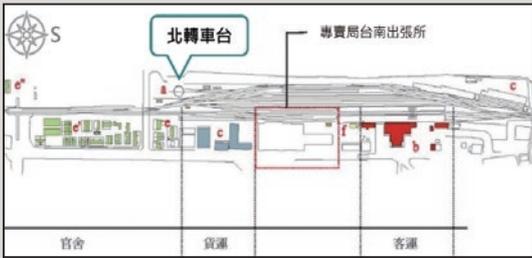


圖7 1945年臺南車站台帳圖面，南轉車台已被月台建築所覆蓋，北轉車台已出現（陳豐文，2008）

(二) 南轉車台型制規模及現況

南轉車台於本工程發現時已僅存一部分，推測西半側以及南側部分已因後期零擔月台之興建而破壞(如圖8)。轉車台本體結構為混凝土材質，呈圓盤狀，外徑約16.5公尺，最外圍為一厚約40公分之環狀混凝土矮牆，矮牆往中心側深度約85公分，外側距地面約1公尺，地面下方約有10公分厚之砂礫級配鋪設，矮牆內側底部為一寬幅1.1公尺之環狀混凝土平台，平台上可

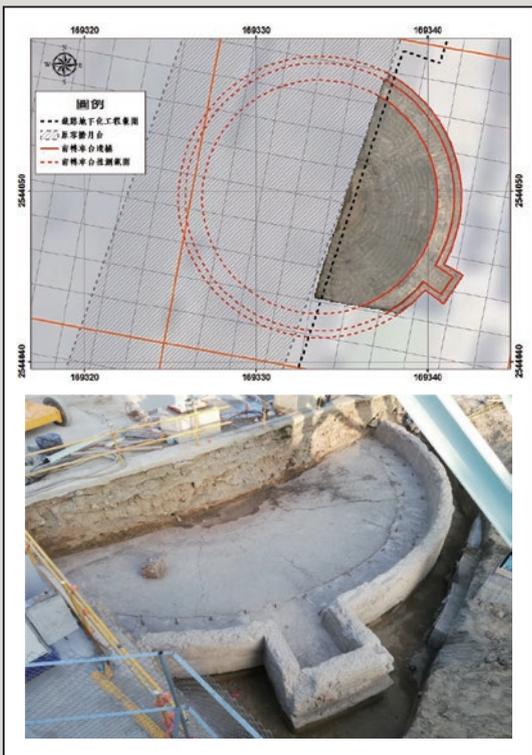


圖8 南轉車台範圍及現況

見兩根一組之鋼筋環狀扣夾基座（已腐蝕），此扣夾應是固定鋼軌之用。轉車台轉軸基座部分，因臺南站後期興建零擔月台已敲除移除。

二、北轉車台

(一) 北轉車台沿革

依1945年臺南車站台帳圖面所示，北轉車台已出現（如圖7）。1947年、1951年持續至1975年之航照圖（圖9）中北轉車台仍有所見。依庶古公司訪談尚在職之臺鐵員工所得，北轉車台約至民國七十年代才廢棄不用，而後上方新建臺鐵臺南工務分駐所之房舍，該房舍也於本次工程前期被拆除，僅殘餘基礎。



圖9 1975年臺南車站北側航照圖

(二) 北轉車台型制規模及現況

北轉車台外圍直徑約20公尺，涵蓋範圍約314平方公尺，遺構西側上方則為民國70年代興建之臺南工務分駐所基礎所疊壓(如圖10、圖11)。

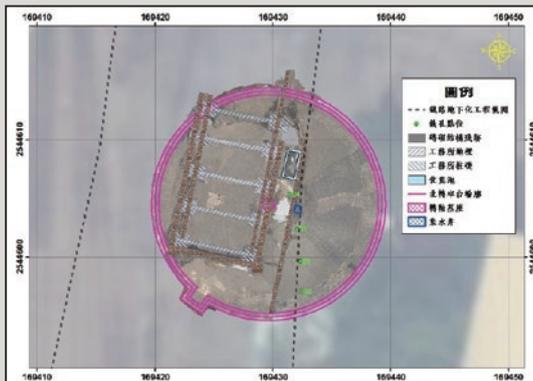


圖10 北轉車台與上方工務所基礎殘跡俯視圖



圖11 臺南工務分駐所基礎殘跡

轉車台本身以混凝土建造而成，外形為圓盤狀，中間向內斜下呈漏斗狀。整體可分成以下五部分（如圖12、表2）：

1. 外牆：混凝土材質，外徑20.3公尺，內徑約19.1公尺。外側總高約1.5公尺，牆體頂部由外往內呈二階加高，總厚度約60公分。另在此一外牆之西南側則有一U型凸出結構，疑為火車頭進出轉車台之導溝槽，外側長寬為2.25×0.9公尺。
2. 環形鐵軌平臺：混凝土材質，平臺與外牆一體成形，約1公尺寬，平臺鋪設有轉台環形鋼軌，鋼軌直徑約17.55公尺，現僅存鋼軌下方之扣件基座。
3. 混凝土集水斜坡面：斜面由平台內側往轉車台中心緩降斜下，距最深處約5.5公

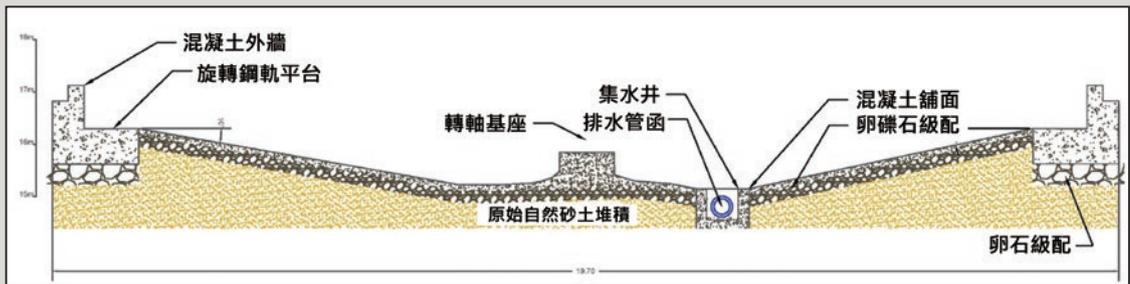


圖12 北轉車台剖面示意圖

表2 北轉車台各部分構造

<p>(1)外牆：混凝土材質，金屬探測無金屬反應。</p>	<p>(2)西南側之U形凸出結構，疑為火車頭進入轉車台之導溝槽。</p>
<p>(3)環形鐵軌平臺外圍之鐵軌扣件基座</p>	<p>(4)混凝土集水斜坡面銑孔作業</p>



(5)近中央最低處之集水井



(6)轉台軸心基座

尺處接一方形集水井。於109年9月28日召開之「臺南市古蹟歷史建築紀念建築聚落建築群史蹟及文化景觀審議會109年度第4次會議」時，徵得委員同意，先初步以銑孔方式取得集水斜坡面之結構資料。銑孔係以手持式鑽石鑽孔機進行銑孔取樣，共計鑽探4孔（位置如圖10）。由結果可見，混凝土集水斜坡面係上方鋪設約12~15公分左右厚之混凝土，下方則鋪墊約20~25公分不等之卵礫石級配，總厚度約35~40公分。

4. 集水設施：方形，外緣為80×80公分，內緣為60×60公分，南北兩端各有一圓形管涵入口，內徑約30公分。以金屬探測器探測後得知斜坡面沿管涵延伸方向下方有明確金屬反應，推測下方埋設有金屬質地之管涵。
5. 軸心基座：位於轉台中央最深處，直徑約1公尺，高度約70公分，上方殘存四支直立鋼筋，做為轉台之中心基座。

肆、轉車台遺構保存處置方式

開發單位(交通部鐵道局中部工程處)於109年6月11日函請監造及承商會同設計單位就現地保存可行性進行評估，並同步要求施工承包商提交文資臨時保護及後續移置計畫。

一、南轉車台

(一)可行性評估-原地保留

南轉車台遺構位於里程358k+060東側連續壁附近及跨站天橋基礎區正上方，經套繪與跨站天橋T7基礎衝突(如圖13)。經設計單位檢討評估，為避開並確保施工中南轉車台結構安全，

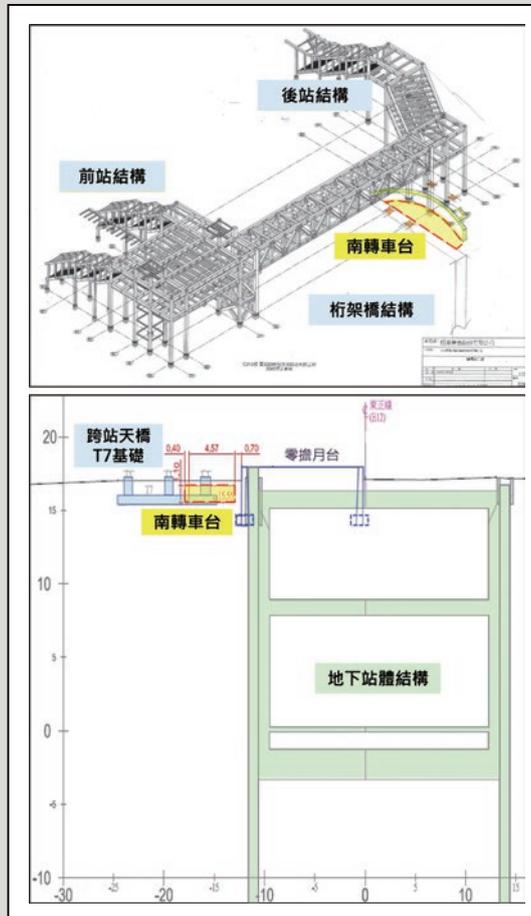


圖13南轉車台遺構與跨站天橋T7基礎衝突示意圖

及跨站天橋T7墩柱基礎變更最小化，採用調整臨時後站及跨站天橋鋼結構墩柱形式及位置，變更設計以避開南轉車台(如圖14)，使南轉車台可原地保留。此評估方案業經109年9月28日臺南市文資處召開「臺南市古蹟歷史建築紀念建築眾落建築群史蹟及文化景觀審議會109年度第4次會議」討論後同意辦理。

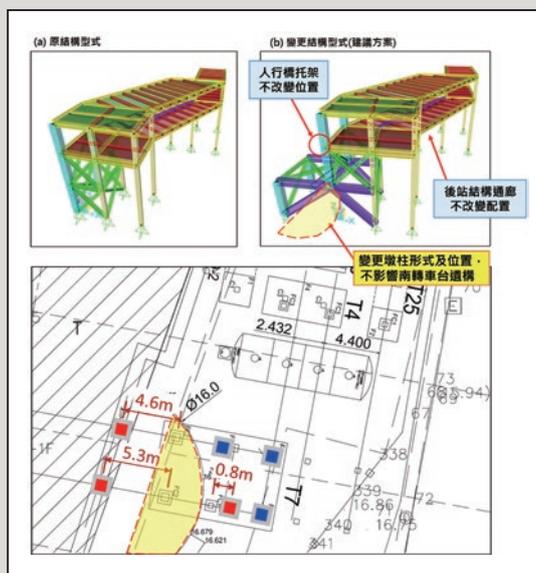


圖14 跨站天橋T7基礎墩柱移設示意圖

(二)南轉車台遺構保護計畫書

「南轉車台遺構保護計畫書」於110年9月28日經臺南市文資處審查通過，遺構保護程序共分為以下工作程序(如圖15)：

1. 鋼筋扣件套管保護：遺構上方尚有原旋轉鐵軌基座之鋼筋構件出露，在進行必要之除、防鏽後，即套管保護。
2. 不織布隔離：於清理完成面上鋪設不織布，以便與後續回填之客砂進行隔離。
3. 客砂回填：為區隔自然地層以及人工填覆地層，在不織布上方將以粗砂作為填覆。
4. 低強度混凝土覆蓋：避免重物掉落等之可能性撞擊或擠壓；後續若欲重新發掘時，有利於清理作業。
5. 防撞桿警示標誌設置：為避免重車駛入或重物置放，圍以反光回復型防撞桿及警示標誌，以避免損壞。

(三) 辦理情形

南轉車台109年12月16日開始就地保護作業，於109年12月30日施作完成，並已提報「南轉車盤保存維護成果報告書」於110年3月29日經臺南市文資處審查通過。相關施作過程彙整如表3。

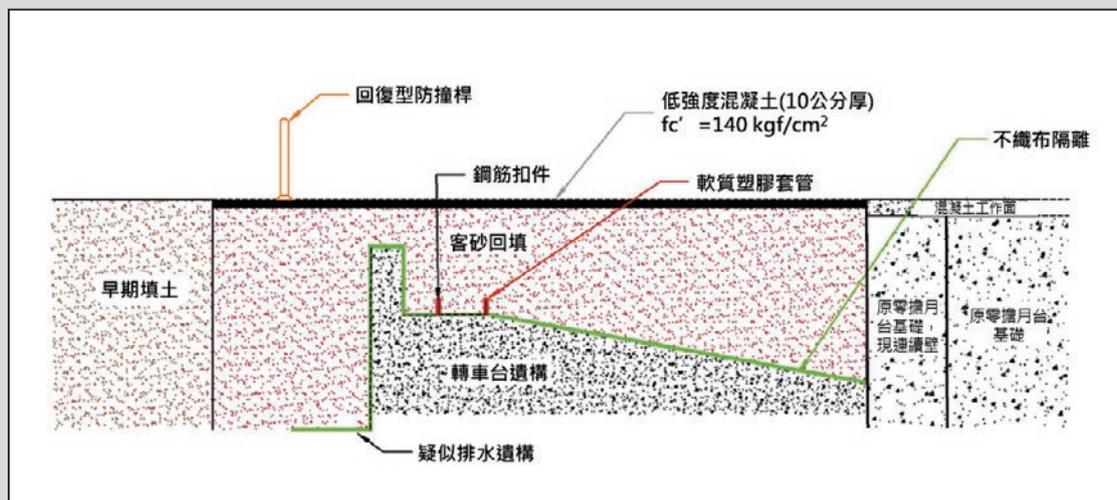


圖15 南轉車臺保存維護措施斷面示意圖

表3 南轉車台遺構保護施工彙整表

	
<p>(1)鋼筋扣件套管保護</p>	<p>(2)不織布隔離</p>
	
<p>(3)客砂回填</p>	<p>(4)低強度混凝土覆蓋</p>
	
<p>(5)防撞桿警示標誌設置</p>	<p>(6)南轉車台保護完成</p>

二、北轉車台

(一)可行性評估-移置暫存

北轉車台遺構位於里程357k+500東側連續壁及車站開挖區正上方，經套繪，北轉車台近3/4位於本標工程範圍內，因月台及軌道空間需求，故無法西移縮減開挖範圍。若連續壁東移擴增開挖範圍，則北側轉車台將全部位於開挖區內，導致開挖擋土中間樁及支撐無法施作，且其與新建永久車站之結構體頂板結構重疊約13公尺，開挖時亦無法現地保留轉車台(如圖

16)。若變更設計或工法變更對於本工程及整體計畫影響甚鉅，評估其困難性後無法現地保存。此評估方案業經109年9月28日臺南市文資處召開「臺南市古蹟歷史建築紀念建築眾落建築群史蹟及文化景觀審議會109年度第4次會議」討論後，同意先行切割保留重要構件，移置暫存，並要求後續以「移回原址」之原則另提重組方式評估報告及建議方案。

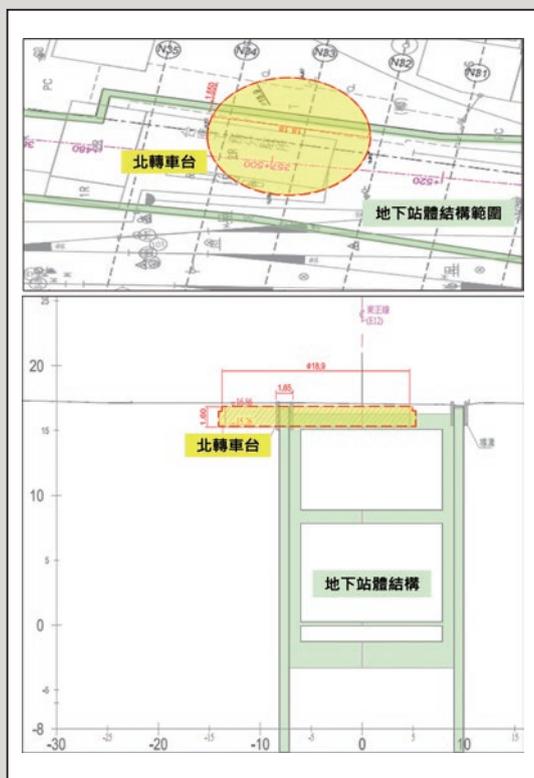


圖16 北轉車台遺構與永久車站結構體衝突示意圖

(二)北轉車台上方殘跡移除及遺構移置計畫

「北轉車台上方殘跡移除暨遺構異地移置暫存計畫書」於110年3月8日經臺南市文資處審查通過，殘跡移除及遺構移置程序共分為以下三部分：

1. 臺南工務分駐所基礎殘跡移除：
磚砌結構(分駐所週邊溝渠、擋土牆)以手持震動機具或人工敲除後清運移除，敲除時週邊舖以軟墊，避免磚塊掉落撞擊下方遺構而遭到損壞。混凝土結構(地樑、基礎及化糞池)採鏈鋸方式分區切割，切割時，以吊車懸吊住該單元，避免切割時脫落，並於調離現場後於鄰近空地擊碎，避免損壞轉車台遺構。
2. 補充測繪、掃瞄、攝影記錄：
在移除臺南工務分駐所及相關附屬設施殘跡後，針對先前轉車台受遮蔽部分補

充進行測繪、掃瞄、攝影，對遺構之每個單元進行完整地定位及高程紀錄，作為後續重組或展示時使用。

3. 北轉車台切割提取：

移置標的包括外牆、環形鐵軌平臺、集水井及其管路等全面提取，而針對混凝土斜坡面，僅擇取整個斜坡面約十二分之一，做為後續復舊時之參考依據。另因應運送上之限制，寬幅原則上不能超過3公尺，而重量在25公噸以下，因此切割之區塊規劃總計38塊(如圖17)。最外圍至外側圓形鋼軌鋪設平台為第一

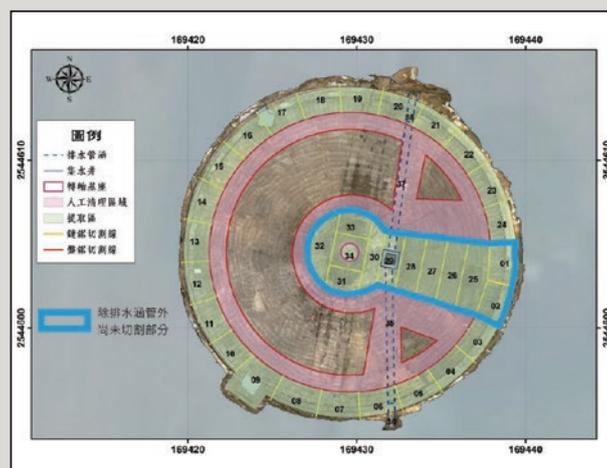


圖17 北轉車台分割單元示意圖

帶，共切割為24個區塊(編號1~24)；內側混凝土斜坡面僅保留部分，共分為5個區塊(編號25~29)，其中第五區塊(編號29)中間為集水井所在；轉軸軸心週邊約2.5公尺之範圍內坡面則均分為4塊提取(編號30~33)；集水井排水管涵提取南、北側各一段，而轉車台外側仍見排水管涵延伸，因此提取近轉車台處約1公尺長之管涵，共分4塊提取(編號35~38)。各區塊長度、寬度與推估重量如表4。

表4 北轉車台分割塊數及尺寸

圈數 (由外往內計)	編號	分割塊數	長度 (公尺)	寬幅 (公尺)	面積 (平方公尺)	單元估計最大重量 (公噸)	備註
第一圈	1-24	24	2.6	1.75	3.9	14.04	
第二圈	25	1	4.3	1.2	4.73	12.0	厚度暫依第一外圈底部為 參考依據估算
第三圈	26	1	4.0	1.2	4.4	11.5	
第四圈	27	1	3.7	1.2	4.07	11.0	
第五圈	28	1	3.4	1.2	3.74	10.0	
第六圈	29	1	3.2	1.2	3.52	9.0	中間為集水井
南側排水涵管	35-36	2	7.5	0.4	3	3.0	
北側排水涵管	37-38	2	7.5	0.4	0.4	3.0	
轉軸基座週邊斜坡	30-33	4	3.5	1.5	4	6.5	
轉軸基座	34	1	2.0	2.0	4	10.0	含上方基座
小計		38					

切割工法的部分，為降低切割損耗，採用盤鋸切割以及鏈鋸切割兩種方式。其中盤鋸切割主要用在厚度較薄之混凝土斜坡面之表層切割（圖17紅色虛線），鏈鋸切割則用在提取物件之切割分離（圖17黃色實線）。

(三) 辦理情形

北轉車台於109年12月7日復工進行殘跡移除作業，接續施作包覆保護及切割作業，吊運及移置入庫作業從110年3月22日至110年5月8日移置完成，相關施作過程彙整如表5。

表5 北轉車台殘跡移除及遺構移置施工彙整表

	
(1)臺南工務分駐所基礎殘跡移除	(2)排水管涵包覆及切割
	
(3)轉軸基座及周邊斜坡包覆及切割	(4)混凝土斜坡面包覆及切割

本表未完請接下頁↓



(5)外牆及軌道平臺切割



(6)外牆及軌道平臺提取移置



(7)註記編號及運送入庫



(8)北轉車台遺構移置完成

結語——營建工程與文化資產保存 新舊並進

文化資產保存與開發工程存在著衝突與競合，如何兼顧保存與開發已然成為近年之重要課題，《文化資產保存法》施行迄今，除由主管機關予以審查外，亦需各單位共同討論、整合協調。營建工程於施工期間如遇文化遺構，因需邀集文資委員會勘、查找資料研議、召開文資大會等行政程序，短則停工數日、長則停工數個月，對於施工進度及整體計畫期程皆有一定的影響，本工程於施工期間發現之兩處轉車台遺構，南轉車台區段於109年4月8日停工至109年7月31日復工，北轉車台區段於109年3月23日停工至109年12月7日復工，有賴業主機關、監看單位、施工單位及設計監造單位積極配合臺南市政府文資處之會勘、會議審查及文書作業，以加速推動處理時程，本文期能給予營建工程遭遇文化遺構之因應處理案例及經驗分享。

參考文獻

1. 陳豐文，《由地圖分析日治時期台灣車站地區空間之變遷——以台中及台南車站為例》，私立東海大學建築學系碩士論文，2008
2. 交通部鐵道局網站
3. 文化遺址監看計畫
4. 南轉車台遺構保護計畫書
5. 南轉車盤保存維護成果報告書
6. 北轉車盤上方殘跡移除暨遺構異地移置暫存計畫書
7. 臺南車站轉車台遺構現地保存可行性評估



3

專題報導

國內首座鐵路橋側推創新工法—臺鐵南迴鐵路雙軌化工程北勢溪橋施工

關鍵詞(Key Words)：單跨不落墩(Single Span Without Falling Pier)、側推工法(Side Push Method)、試推(Try Push)、滑軌床(Sliding Rail Bed)、滑靴(Sliding Boots)、托軌工程梁(Support Rail Engineering Beam)、二硫化鉬(MoS₂)、早強無收縮水泥砂漿(Early Strength Non-Shrinkage Cement Mortar)、模擬動畫(Simulation Animation)、紅外線感知器(Infrared Sensor)

交通部鐵道局／南部工程處／處長／劉雲生 (Liu, Yun-sheng) ❶

交通部鐵道局／南部工程處／第一工務段／段長／羅逸建 (Luo, Yi-jian) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／協理／莊明哲 (Chuang, Ming-Che) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／技術經理／謝政璋 (Hsieh, Cheng-Chang) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／副理／江明珊 (Chiang, Ming-Shan) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／計畫經理／王玉璋 (Wang, Yu-Chang) ❻

摘要

國內橋梁工程施工，配合嚴苛環境要求、維持營運需求及施工空間受限等因素，工法也不斷推陳出新。位於屏東縣枋寮車站北端之北勢溪橋，為滿足防洪需求，納入臺鐵南迴鐵路電氣化工程建設計畫進行改建，該橋因緊鄰車站及平交道，腹地不足，在不興建臨時橋梁及臨時軌，可大幅節省經費，另為維持鐵路營運、號誌系統更新再切換、減少施工風險及減少工期，北勢溪橋改建採側推工法，本工法係第一次運用於臺灣鐵路橋梁。側推切換當晚，先將舊鋼橋及托軌工程梁吊離，新舊橋台間之障礙物清除及舊橋墩上之RC基座敲除，利用千斤頂、滑軌床及滑靴等設備，將新橋側推定位、軌道銜接及砸道，花了12小時作業時間達成無縫接軌並恢復軌道營運，希望藉由本工法的分享，讓橋梁工藝技術能再精益求精，更上一層樓。



Innovative Construction Method of Side Pushing of the First Railway Bridge in Taiwan - Construction of Beishixi Bridge of Taiwan Railway Nanhui Railway Double Track Project

Abstract

In the construction of domestic bridge projects, in line with stringent environmental requirements, maintaining operational requirements, and limited construction space, construction methods are constantly being updated. The Beishixi Bridge, located at the northern end of Fangliao Station in Pingtung County, was rebuilt after being included in the design drawing of the electrification project of the Taiwan Railway Nanhui Railway in order to meet flood control needs. The bridge is close to the station and level crossings and the hinterland is not sufficient to build temporary bridges and temporary rails. It can save a lot of money, and in order to maintain the railway operation, update and switch the signal system, reduce construction risks and reduce the construction period, the reconstruction of Beishixi Bridge adopts the lateral push construction method, and this construction method is applied to the Taiwan railway bridge for the first time. On the night of the side push switch, the old steel bridge and the supporting rail engineering beam were lifted, the obstacles between the new and old abutments were removed, and the RC foundations on the old piers were knocked out. It took 12 hours for the new bridge to push the positioning, track connection, and smash the track. It took 12 hours of work to achieve a seamless connection and resume track operation. It is hoped that through the sharing of this construction method, the bridge technology can be refined and improved.

3

專題報導

壹、工程案例介紹

北勢溪橋位於臺鐵屏東線之枋寮站北端，舊橋長度約50公尺(詳圖1)，有3座橋墩及4跨鋼橋。因橋梁老舊橋齡高、通洪斷面不足、河床沖刷嚴重、承載能力及耐久性不足且補強困難，配合屏東縣河川治理計畫，計畫河寬60公尺，納入臺鐵南迴鐵路電氣化工程建設計畫進行改建。自108年6月開始橋梁基樁施作，新北

勢溪橋的橋梁跨距為76公尺，單跨不落墩，鋼橋長度增為77.5公尺，採下路式雙面桁架內含2股軌道(詳圖2)，鋼橋自重約1,259公噸，含混凝土、道碴、軌枕、鋼軌及防振橡膠墊之總重約2,100公噸，於110年4月24日(六)跨25日(日)側推切換完成啟用。本文分別以該工法特性、施工流程、施工關鍵重點、科技應用及創新作為概要說明，分享各界。

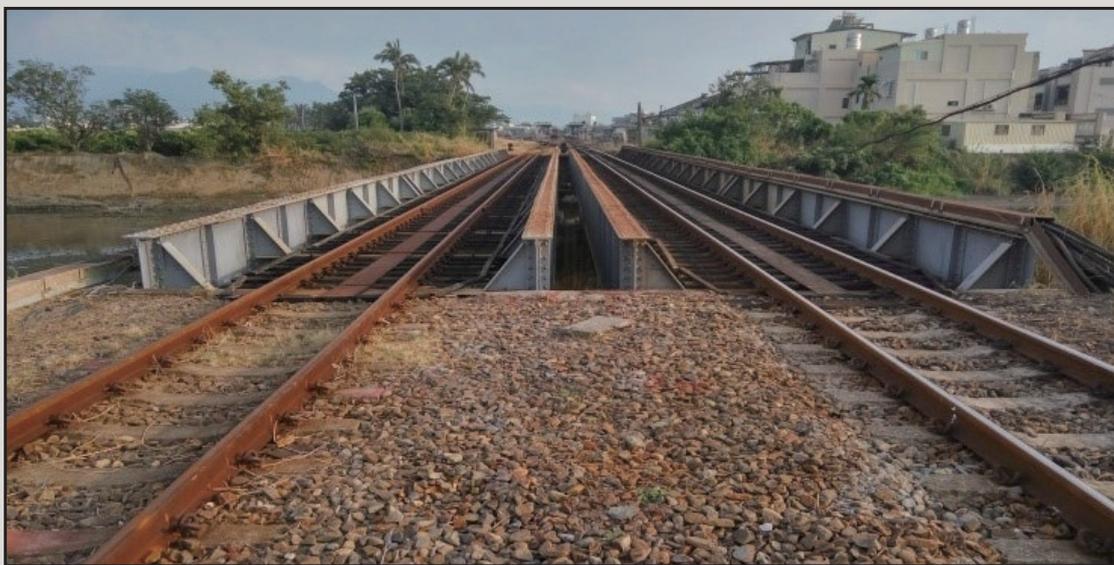


圖1 北勢溪舊鋼橋(下路式鋼板梁橋)



圖2 北勢溪新鋼橋(下路式鋼桁架橋)

貳、工法特性

一、國內鐵道工程首次鋼橋側推工法

北勢溪橋所在之腹地範圍，主要受用地範圍及枋寮站進站道岔之線形限制，若採以往在舊橋旁新建臨時軌的方式，還得要徵收土地及拆遷補償，為擷節臨時軌工法約3.6億元費用，爰決定新鋼橋採側推工法。

二、施工期間維持橋梁單軌通行

配合新建橋梁抬高及枋寮站場分次切換改建，需維持鐵路營運、避免影響旅客，施工期間屬高風險作業。

三、新建橋梁基樁分2階段施作

為配合維持橋梁單軌通行，施工機具需配合動員分2次(山側、海側)進場施作基樁，臨軌施工增加挑戰及困難度。

四、單跨不落墩下路式鋼桁架橋

河中不落墩，可增加通洪斷面及避免橋墩基礎沖刷，亦可避免河中下構作業影響水流及施工風險。

五、鋼橋內含2股軌道1次側推定位

與傳統鋼橋直接吊裝定位不同，緊鄰電器化鐵路先於營運軌道旁的北勢溪河床上，架設臨時施工構台及暫撐架，施工構台主要做為運輸動線及材料堆置，再將鋼構件吊裝於暫撐架上組裝，鋼桁架橋組裝完成並澆置橋面板及鋪設軌道，利用千斤頂側推定位。

六、考量多方因素，決定側推時間

因機具需下至河床進行舊橋墩上之RC基座敲除作業，本橋位置距出海口僅約1.3公里，需參考潮汐表選擇退潮時段辦理。配合臺鐵局環島營運班次及車輛調度，經臺鐵局重大工程審查，利用夜間時段搭配減班公路替運措施，又為避免影響通勤旅客及學生，側推時間選在週六晚上跨週日辦理。

七、同步拆除舊橋並側推新橋，施工挑戰及難度高

整個作業流程包含拆除電力及號誌系統、拆除舊鋼橋、側推新橋、定位後軌道銜接及砸道、電力及號誌系統復原測試等作業，總計花了12小時作業時間(單次鐵路切換時間最長)。

參、施工流程

一、山側施工及第1次橋梁切換

(一)山側舊橋抬升

配合枋寮站場抬高，山側舊橋墩上新增RC基座，抬升(50-60cm)至設計高程。

(二)山側基樁施工

新建橋台山側基樁(南、北端各4支)(樁徑150cm、樁長64公尺)施工。

(三)山側設置托軌工程梁

於山側橋台範圍設置托軌工程梁支撐軌道，俾利後續開挖施作橋台基礎。

(四)第1次橋梁切換

配合枋寮站山側之第二月台及第三臨時月台啟用，切換至山側軌道營運。

二、海側施工及第2次橋梁切換

(一) 拆除海側舊橋及橋台施工

拆除海側舊鋼橋，新建橋台海側基樁(南、北端各4支)(樁徑150cm、樁長64公尺)施工，採鋼板樁及二階水平支撐之擋土設施，開挖施作

鋼桁架橋試推1m作業(由距離軌道中心8.12公尺推進至7.12公尺)，先行確定千斤頂能量(180t×2)，滑軌床及滑靴設備符合需求。

(四) 新建鋼桁架橋側推及第2次橋梁切換

山側舊鋼橋及托軌工程梁吊離，新舊橋台間之障礙物清除及舊橋墩上之RC基座敲除，鋼橋側推7.12公尺(詳圖4)，定位後調整至設計高程(以滑靴內250t千斤頂與375t頂升千斤頂搭配

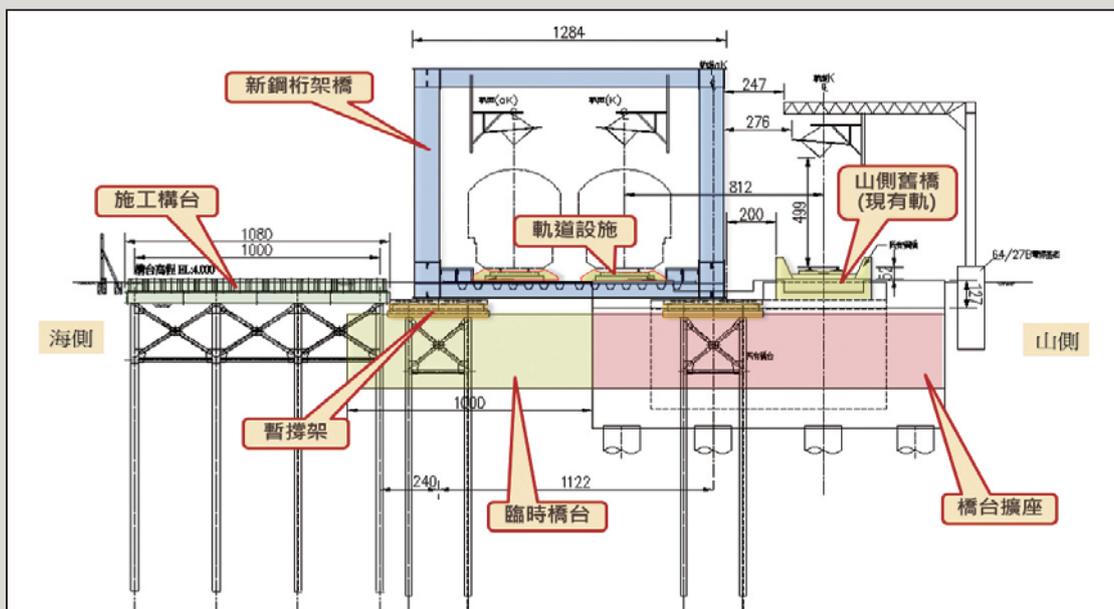


圖3 北勢溪新鋼橋側推前橫斷面示意圖

橋台基礎與牆身(含橋台擴座)，並接續於海側施作臨時橋台(新鋼桁架橋組立時支撐)。

(二) 搭設施工構台及新橋組裝

於海側搭設施工構台及河中暫撐架，地組及吊裝鋼桁架橋、澆置橋面板及鋪設軌道(詳圖3)，山側橋台後方回填並完成RC引進板，俾利側推後鋪軌銜接。

(三) 試推1m作業

千斤頂、滑軌床及滑靴設備安裝，新建



圖4 鋼橋側推作業

型鋼墊塊)，盤式支承組模及澆置早強無收縮水泥砂漿，新鋼橋軌道銜接及砸道，恢復山側軌道營運。

三、第3次橋梁切換

北勢溪橋海側南、北端鋪軌，配合枋寮站第一月台啟用及切換，改由鋼橋海側進枋寮站。

肆、施工關鍵重點

一、解決側推設備空間

原有橋台座寬度僅170cm，盤式支承即已占據大部分空間，考量側推系統設備置放及橋梁承載所需，沿橋台前方之基礎邊緣施作188cm寬度RC擴座與橋台座齊平，以解決側推設備空間問題。

二、鋼梁內部加勁補強

考量千斤頂及滑軌支撐處之鋼梁需承載橋重，於鋼橋製造時即於下弦鋼梁內側增設加勁板補強，避免應力集中造成鋼板變形。

三、鋼桁架支承穩定性

為組裝鋼桁架橋支承所需，於永久橋台之海側施作臨時橋台，兩者間以植筋連結，另考量直接基礎及樁基礎之承載差異，於臨時橋台底部灌漿補強避免差異沉陷，確保側推過程順利。

四、山側舊有鋼橋吊離

因新鋼橋試推後距離舊橋僅1m，舊橋單跨重量約22t，舊橋吊離屬側推前關鍵作業，為使當晚吊裝順利，先行請大型吊車廠商現地勘查吊車站位及動線，最終採2台400t吊車及1台300t吊車順利吊離舊橋。

五、降低側推摩擦阻力

新鋼橋總重約2,100t，採用2組180t側推千斤頂，於滑軌床採電鍍鋼板，滑靴底面為HDPE板，並於滑軌床塗抹二硫化鉬降低摩擦係數。二硫化鉬於重負荷及高溫之工作條件，有優良的潤滑作用外，更具有壓力大時摩擦係數更小優越特性，摩擦係數約為 $\mu=0.03\sim 0.09$ 。因此，在考量摩擦係數為 $\mu=0.09$ 的條件下，側推所產生摩擦阻力計算如下：

$$R_f = \mu N = 0.09 \times 2100 = 189\text{tf}$$

以 $189/2=94.5\text{t}$ 計算，每組採用180t側推千斤頂，能量可滿足需求。

六、鋼梁側推設備精進

如採傳統式之千斤頂反力座(詳圖5)，需使用人力拆裝及鎖固，時程不易掌控，每一衝程所需時間約15分鐘；經創新改採滑軌(含鯊魚齒U形溝槽)及反力座桿(詳圖6)，不需使用人力拆裝及

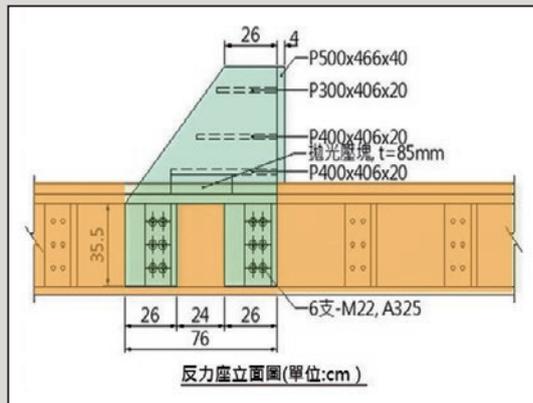


圖5 傳統之千斤頂反力座

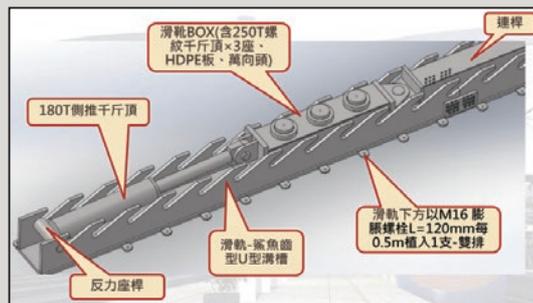


圖6 創新之千斤頂反力座

鎖固，由千斤頂自身伸縮作動，時程大幅減少，每一衝程所需時間約9.3分鐘；鋼橋側推距離7.12公尺，以每次衝程45cm計算共需16次衝程，側推所需時間由原來240分鐘縮短為150分鐘。

七、採早強無收縮澆置

盤式支承底部採用早強無收縮水泥砂漿，考量於側推定位軌道銜接後，當天即恢復列車通行，為避免列車經過之振動影響結構強度之生成，經試拌抗壓結果於3小時即可達350kgf/cm²之設計強度需求。

伍、科技應用及創新作為

一、空拍機空拍及攝影

北勢溪鋼橋屬立體建物改建，因鄰軌作業具有高風險，適合以空拍機定期紀錄(詳圖7)施

工歷程，亦可監測工區鐵路沿線軌道路基、電纜槽及路線邊坡等完整性，確保鐵道營運安全。

二、縮時攝影及模擬動畫

利用縮時攝影紀錄北勢溪橋側推工法，包含鋼橋組立及側推過程等，做一系統性整理，可作為教育訓練及爾後相關工程參考。另利用模擬動畫(詳圖8)，細部分解施工步驟並發現界面動線衝突，可先行檢討解決方案，藉由針對現場施工人員進行側推前教育訓練，可增加施工團隊默契及熟悉度，使側推當晚工作順利完成。

三、鄰軌側輔助設置紅外線感知器

鋼橋於營運軌道旁吊裝組立，為預防物料、機具及人員侵入軌道，現場除瞭望員及指揮人員外，更於鄰軌側輔助設置紅外線感知器(詳圖9)，如有侵入情形則會發出預警聲響，確保行車安全。

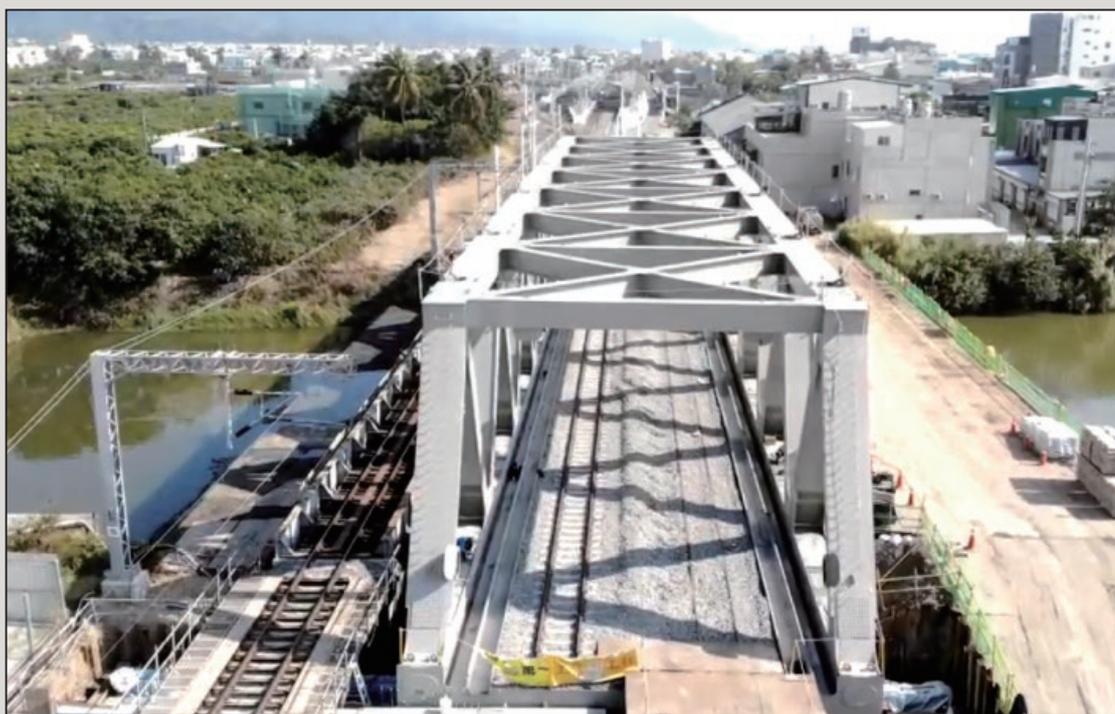


圖7 北勢溪鋼橋空拍截圖

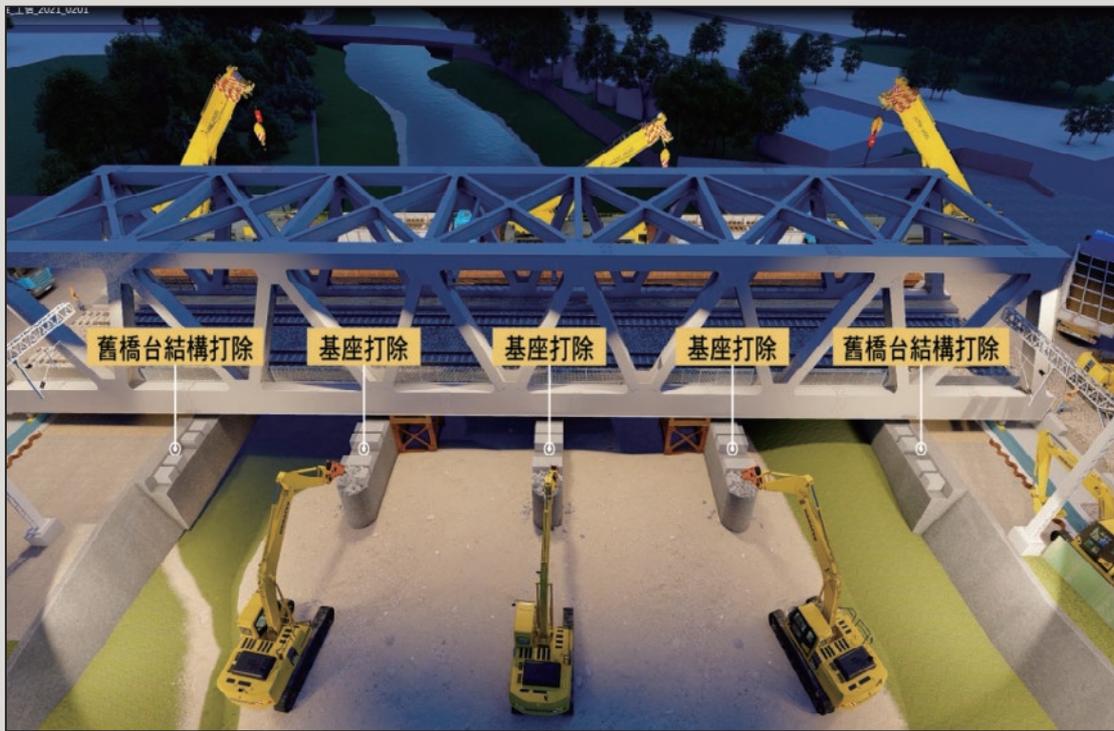


圖8 北勢溪鋼橋側推之模擬動畫



圖9 山側營運軌旁設置紅外線感知器

結語

為配合屏東縣河川治理計畫進行北勢溪橋改建，工法選擇為鋼橋側推工法。此工法選定

後，不同於其他公路新建橋梁之側推，因鐵路營運路線之單一性及時效性不容許失敗，執行過程雖然有諸多外界不看好聲音，惟透過整個施工團隊的相關管理作為，監造單位召開37次專案協調會議及側推前模擬演練會議，事前解決疑義及衝突，包含橋台增設擴座及底部加勁，鋼梁內側增設加勁板補強、至工廠檢視側推千斤頂設備效能、鋼橋試推1M後之檢討精進及盤式支承底部採早強無收縮水泥砂漿等精進作為

一一解決諸多問題，並經臺鐵局重大工程審查同意，配合利用假日夜間時段搭配減班公路替運措施，使側推當晚工作順利完成，寫下國內鐵路橋梁施工之歷史新頁。

國內首座捷運橋梁採頂昇滑移創新工法—高雄捷運岡山路竹延伸線第一階段跨阿公店溪橋施工

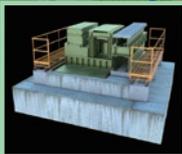
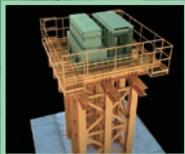
關鍵詞(Key Words)：全跨不落墩(Span Without Falling Pier)、同步千斤頂(Simultaneous Operation Jack)、頂昇滑移(Jacking Slip)、鋼橋(Steel Bridge)、捷運(MRT)、自動控制(Automatic Control)、支撐架(Support Frame)、模擬動畫(Simulation Animation)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／業務經理／莊明哲 (Chuang, Ming-Che) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／技術經理／謝政璋 (Hsieh, Cheng-Chang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／副理／葉錦璋 (Yeh, Jin-Jhang) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高雄工程處／主任／林正國 (Lin, Jeaq-Gwo) ❹



摘要

國內鋼構橋梁的施工技術日新月異，在國1五楊拓寬工程林口跨越橋採用水平旋轉工法，在泰山林口雙層高架橋段鋼橋採用自走式高空工作車逐跨吊裝工法，在高鐵烏日車站附近之高鐵橋梁跨中彰快速道路及筏子溪的大跨度桁架橋，採用推進工法，台北市社子大橋橋塔(105m高)採垂直旋轉工法，另台鐵南迴鐵路電氣化工程-潮州枋寮段北勢溪桁架橋採用橫移工法等均推陳出新。

「高雄都會區大眾捷運系統岡山路竹延伸線(第一階段)土建統包工程」針對跨阿公店溪橋歷經1年的設計、施工構想，考量工址複雜環境、地質條件、施工時程、空間受限及施工安全等因素，透過風險評估，工程團隊集思廣益，研擬新式並安全的橋梁施工工法。本文介紹案例為國內首創鋼橋頂昇滑移工法，跨越河道段維持通水斷面，使用電腦控制設備，同步將橋梁滑移至定位閉合，可達縮短工期、降低臨時設備成本、克服鋼橋熱脹冷縮閉合問題並降低施工風險之目標，藉由本工法分享，提供工程界參考。



The study of lifting and slipping of MRT bridge mining- The case of Gangshan District, Kaohsiung City

Abstract

The construction technology of domestic steel bridges improves every day, such as the construction of Linkou overpass in the Wuyang Widening Project on National Highway No. 1 adopting the horizontal rotation method and the steel bridge of the double-deck viaduct between Taishan and Linkou adopting a span-by-span hoisting method with self-propelled aerial work platform. In addition, the long-span truss bridge of the high-speed rail bridge near the high-speed rail Wuri Station crossing the Zhongzhang Expressway and Fazi River is used the launching method. Furthermore, the pylon (105m high) of the Shezi Bridge in Taipei City adopts the vertical rotation construction method and Taiwan Railway Electrification Project of the South-Link Line between Chaozhou and Fangliao, Beishixi truss bridge, adopts the horizontal movement method. The above are the innovations in bridge construction methods.

The "Civil Engineering Turnkey Project of Kaohsiung Metropolitan Mass Rapid Transit System Gangshan-Lujhu Extension Line (stage 1)" has gone through 1 year of design, construction schemes, considering the complex environment of Agongdian River Bridge, geological conditions, construction schedule, space constraints and construction safety. By assessing the risks, the engineering team researches latest type and safe bridge construction methods. The case of this article is the domestic pioneer of steel bridge jacking-slip construction method. It can maintain the original water section across the river section, use the computer-controlled equipment and slide the bridge to the position and close it. It also can shorten the construction schedule, reduce the cost of temporary equipment, overcome the problems of thermal stress of steel bridge and reduce the construction risks. Provide engineering for reference by sharing this construction method.

3

專題報導

壹、工程案例介紹

本工程範圍起點為高雄捷運南岡山站(R24)北端尾軌，往北爬坡穿越介壽路橋及跨越阿公店溪，路線轉至臺1線路線往北至臺鐵岡山車站前，計畫長度約1.193 公里，設置一座高架岡山車站(簡稱RK1車站)，計畫路線示意圖詳圖1。案例橋址位於阿公店溪，滑移段鋼橋全長為72.5m(A101-P101)，主橋分為上下行線，鋼橋

初始考量傳統吊裝工法(大型移動式起重機)，惟於路線西側台1線阿公店溪橋上吊裝，既有橋梁設計載重恐無法負荷大型移動式起重機，於路線東側則需於阿公店溪內施設棧橋及架設暫撐架，因阿公店溪之地質多為沉泥，評估棧橋需打設40m以上的鋼管樁。另施工期間勢必跨越汛期，鋼管樁間距緊密排列再加上暫撐架坐落於深槽區，恐影響行水斷面甚大，除對河防安全有極大影響外，人員於溪上及溪底頻



圖1 計畫路線工程平面圖及案例位置

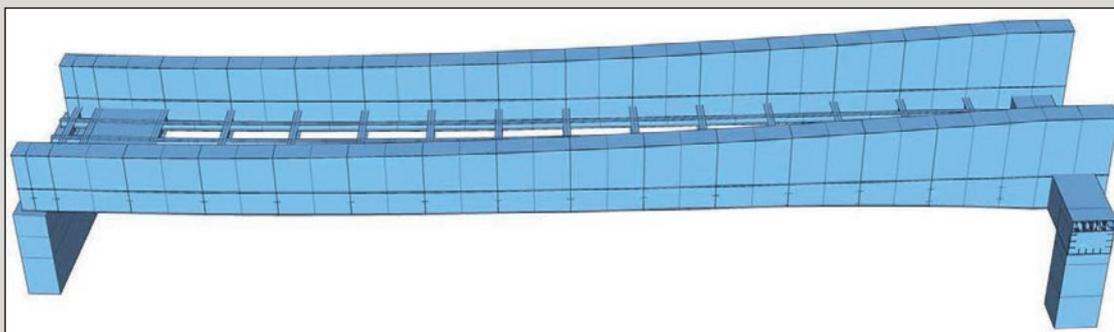


圖2 跨阿公店溪鋼橋3D模擬圖

寬度為13.4m，鋼橋兩側為鋼箱結構，組合成鋼U型斷面，兩側鋼箱中間每隔5m設置一道橫梁、縱向設置4道縱梁作為橋面結構，鋼重約900t，詳圖2。

本座鋼橋已於110年7月18日頂昇滑移定位完成。本文將分別針對工法特性、施工流程、施工關鍵重點、科技應用及創新作為概要說明。

貳、工法特性

一、國內鋼橋工程首次頂昇滑移工法

繁作業亦有極大臨水作業風險，爰決定鋼橋採用頂昇滑移工法。

二、施工期間維持更大通洪斷面

配合阿公店溪通洪需求，需維持通洪斷面，施工期間僅於高灘地上設置1處暫撐架，汛期可將影響降至最低，亦可降低施工風險。

三、鋼橋頂昇滑移分4階段施作

為配合3節鼻梁拆除作業，滑移作業需分作4次進程，過程中未知變數仍充滿挑戰及困難。

四、採用橋體自重作為前進動能

頂昇滑移工法為將位能轉為前進動能，無需施作龐大反力座，亦減小施工腹地並排除機械因素。

五、鋼橋於地面組裝完成提高品質

與傳統鋼橋吊裝空中定位不同，全跨鋼橋均於地面段組立查驗完成再行滑移，可提高鋼橋構件接合及鎖固品質並縮短時程。

六、滑移時間不受汛期影響

因全部施工作業採油壓系統於岸上施工，人員無需進入河道中作業，相關滑移作業較不受天候影響。

參、施工流程

一、鋼橋地面組立

利用A101橋台南方做為鋼橋就地組裝區，因橋梁縱坡拱度限制，先設置臨時支撐架(B01、B02、B03及B04)，初期B03及B04組裝5單元鋼橋及前端鼻梁，待頂昇滑移11m再組裝第6單元，頂昇滑移18m組裝第7單元。(詳圖3、4)

二、前端鼻梁安裝

考量鋼橋結構以及滑移跨距等因素下，經分析於鋼橋主梁前方設置滑移用之前導鼻梁設施，經規劃其總長度為27公尺，兩側共二組中間設置橫向支撐梁。

三、滑移座設置

滑移座及暫撐架依鋼橋重量進行結構設計

及製作，楔形座的角角度依據本案特性，設計角度為10度，頂昇用主千斤頂能量選用1000噸，同步油壓缸(阻尼千斤頂)採用30噸之規劃設置。(詳圖5)

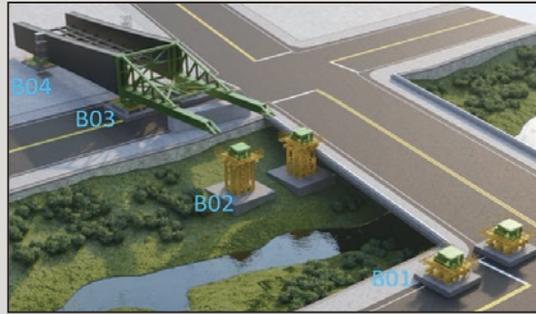


圖3 B03及B04組裝5單元鋼橋及鼻梁

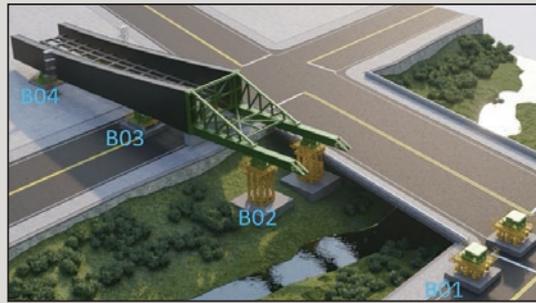


圖4 組裝7單元鋼橋



圖5 頂昇滑移設備

四、橫向千斤頂設置

因受縱坡及橫坡限制，每一進程均需確認左右方向、前後方向之偏移量，同時進行高程及點位測量，以回歸校正鋼橋下一進程之滑移量及方向。

五、頂昇滑移前置作業

頂昇滑移系統之楔形座及調整座定位至支撐結構，連結固定同步千斤頂、頂昇千斤頂，測試滑移設備同步。

六、主千斤頂將鋼橋頂昇

高度視所需滑動距離計算，過程中同步千斤頂同步向後，滑移距離一致，如需要進行單側滑移距離調整則暫停，以手動單座調整。

七、主千斤頂將鋼橋下降

使用鋼橋自重以及同步千斤頂自動控制縮缸使鋼橋向前滑移，直到同步千斤頂行程回縮

到底後，重覆前項步驟(詳圖6)。滑移速度理論可達6m/h，本次實際操作控制為5m/d，滑移速度的增加和減少由於液壓系統的特性以及電腦程式控制的原因，加速度極小，以至於可忽略不計，這使整體滑移的安全性提高。

八、滑移定位及閉合

鋼橋滑移超越B01後，拆除鼻梁，完成拆除鼻梁繼續滑移至閉合前1公尺暫時定位，再組裝P101門型鋼帽梁。再利用B01頂昇滑移系統(主千斤頂控制上下、橫移千斤頂控制左右、滑移阻尼千斤頂控制端進)控制前進3D方向，慢慢與P101鋼帽梁柱頭執行閉合作業(詳圖7)。

肆、施工關鍵重點

一、解決地面組立空間

鋼橋組立為使用捷運箱涵路堤段腹地，因鋼橋具有縱坡，受到高程限制，地組空間應事先規劃吊車及鋼橋構件進場動線順序。

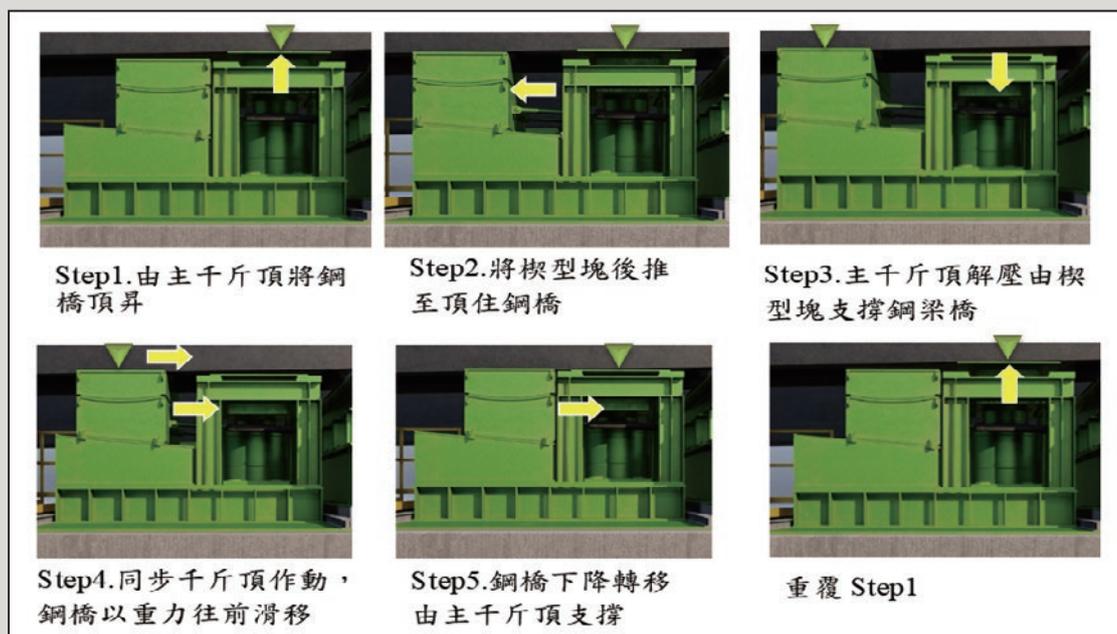


圖6 頂昇滑移動作程序示意圖



圖7 頂昇滑移現場施工情形

二、臨時支撐架

(VE採1年施工期)及風力(使用10年回歸週期風速)之影響(詳圖8)。

除考量鋼構靜載重外，另考量施工中地震

施工載重 LL=129270kgf	水平力 H=20862kgf	風力 Wx=548kgf	風力 Wy=548kgf
地震力 Vx=0.055x 構件重	地震力 Vx=0.055x14620(上方推橋設備靜重)=804gf	地震力 Vy=0.055x 構件重	地震力 Vy=0.055x14620(上方推橋設備靜重)=804kgf

圖8 臨時支撐架荷重分析

三、基礎檢核

本案於河道高灘地中設有一處臨時支撐架及基礎，需向河川局申請跨河構造物申請，並設置石籠加強河道中基礎沖刷防護，河道高灘地設置基礎範圍，其地盤承载力經工地平板載重試驗後回饋設計技師檢核符合需求，相關基礎結構亦依計算分析結果設置。

四、鼻梁結構檢核

以最大反力為42m跨距計算(詳圖9)，安裝時機應依所檢核鋼橋重心安排，並考量既有橋梁之交維動線。

六、鋼橋頂昇滑移設備

如採傳統式之千斤頂反力座施工，需設置大型反力座，並使用人力拆裝及鎖固，時程較久並需考量結構及推橋過程之穩定；本案曲線鋼橋為國內首創採頂昇滑移座施工(詳圖10)，不需使用人力拆裝及鎖固，由主千斤及同步千斤頂同時作動，時程大幅減少，每一衝程所需時間約5分鐘；鋼橋滑移距離78公尺，以每次衝程30cm計算共需260次衝程，所需總工作時間縮短為22小時即可完成。

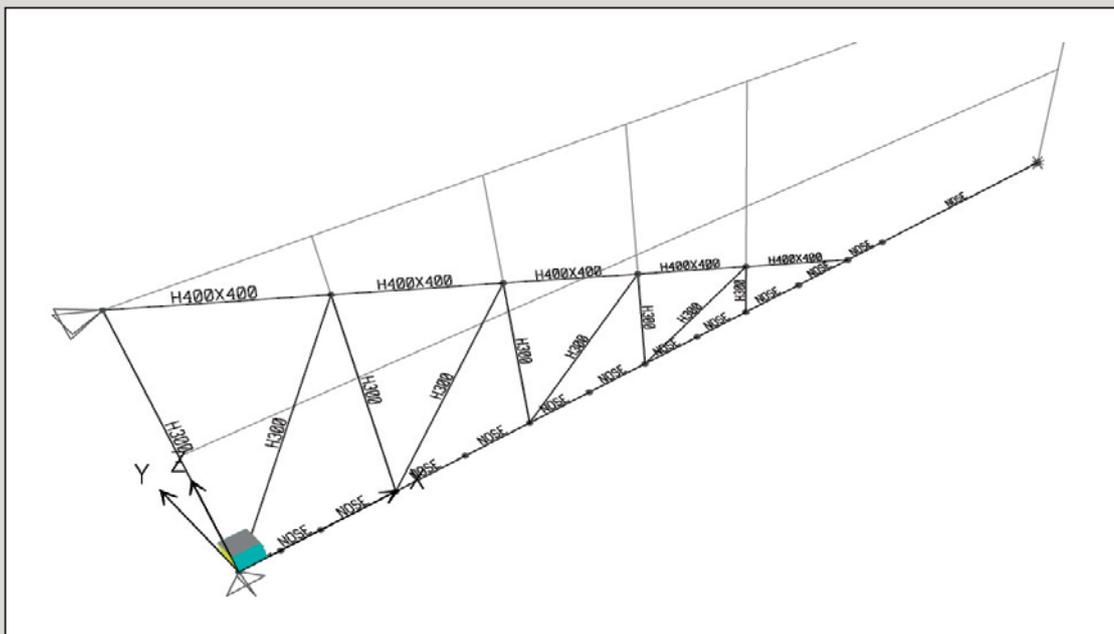


圖9 鼻梁結構檢核

五、減小摩擦力消失時之動能

鋼橋總重約900t，滑移時採用8組30t同步千斤頂作動，滑移啟動時之摩擦力需降為最小，影響鋼橋啟動滑移時之穩定，滑移介面材料使用HDPE板，具有表面摩擦係數小之特性，摩擦係數約為 $\mu = 0.07 \sim 0.4$ ，設置於本工程之滑移座斜面減少摩擦阻力。

七、橫向千斤頂設置

考量於頂昇滑移過程，每5m需測量鋼橋座標位於滑移路徑，為避免橫向偏移量過大，於確認偏移量後以橫向千斤頂調整，將偏差量分配於後續滑移衝程中，配合縮小偏移量至設計線形路徑為止。

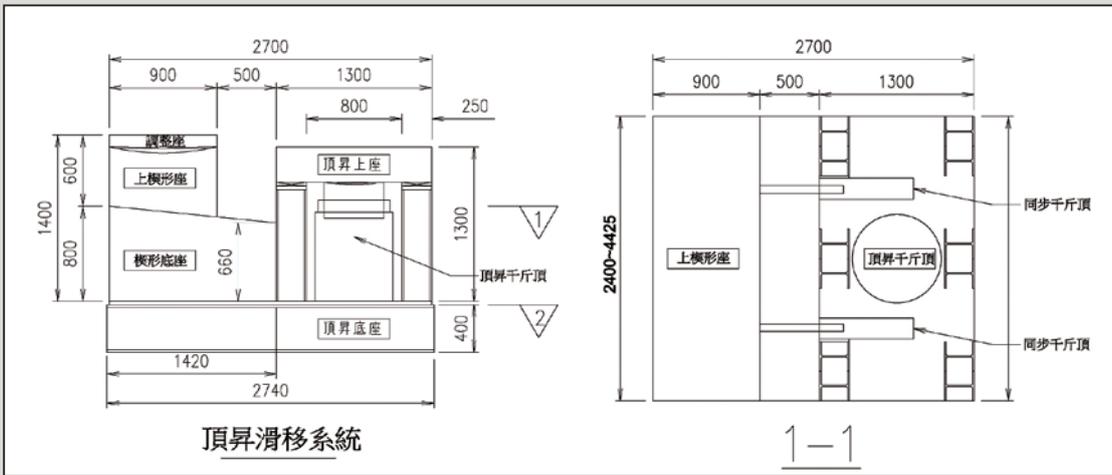


圖10 創新之頂昇滑移設備

伍、科技應用及創新作為

一、頂推滑移工法

(一)降低成本

鋼橋前進原理採位能轉換動能，動力來源為橋體自重，無需設置龐大的反力設備，大幅降低施工成本。

(二)提高安全

以橋梁工法支撐先進為基礎理念，設置少數臨時支撐座4座及加裝鼻梁，使鋼橋利用重心轉換，緩慢端進，安全又可靠，大幅降低施工風險。

(三)提高穩定度

利用類碗形結構當主梁下翼板非水平狀時，可藉此機制進行調整，避免垂直支撐座有集中應力產生。

(四)提高精度及預警

電腦控制液壓同步千斤頂，通過資料回饋

和控制指令傳遞，可全自動實施同步多點頂昇動作，包含負載均衡、行程矯正、應力控制、操作閉鎖、過程顯示和故障報警等功能，詳圖11。



圖11 同步千斤頂電腦控制設備

二、縮時攝影及模擬動畫

利用縮時攝影紀錄跨溪橋頂昇滑移工法，包含鋼橋地組、鼻梁組立及滑移全過程紀錄，將作為教育訓練及爾後相關工程參考。另引入BIM模擬衝突檢核(詳圖12)，分解施工步驟並檢核界面衝突，檢討研擬解決方案，於施工前使工作團隊瞭解程序及可能發生之問題進行探討，使相關進程順利完成。

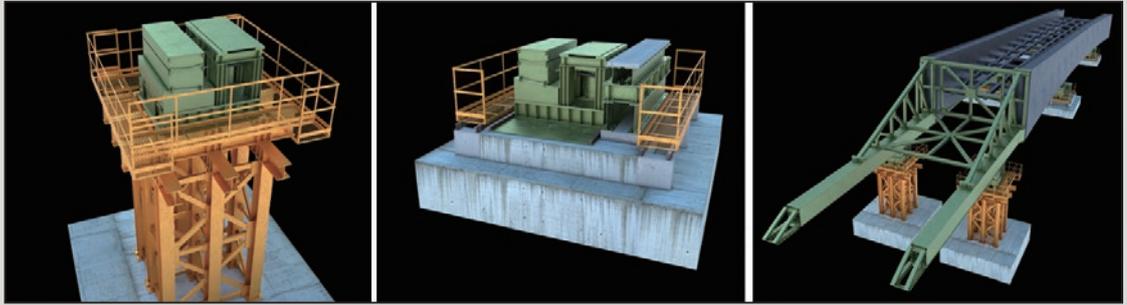


圖12 跨阿公店溪橋之BIM模擬檢核應用

三、使用空拍攝影定期紀錄

檢視橋梁線形及河道區域是否有異常狀況，藉由高空多角度檢視，可查察地面檢視無法確認之衝突，並啟動相關因應措施，詳圖13。



圖13 空拍攝影定期紀錄施工歷程



數位轉型內化升級 日亞洲矽谷創 新研發中心PMIS 應用再進化

關鍵詞(Key Words)：專案管理系統(PMIS)、要徑管理(Critical Path Management)、工程查核表單(Construction Inspection Form)、LINE整合應用(LINE Application)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／柯婷玟 (Ke, Ting-Wen) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／陳玫蓁 (Chen, Mei-Chen) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／黃景威 (Huang, Ching-Wei) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／正工程師／羅挺洋 (Lo, Ting-Yang) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／副理／賴鈺蒨 (Lay, Yuh-Chiann) ❺

亞洲·矽谷

PMIS

摘要

工程管理搭配科技化工具，以加速施工資訊交換並展現執行績效，已逐漸形成營建業界廣泛共識。產業轉型的下一階段施力重點則將著重於數位能力之內化、深化，讓原本輔助強化既有機制之附加效益，演進成企業內部的核心能力。台灣世曦工程顧問股份有限公司(以下簡稱世曦)數十年來積極投入專案管理系統 (Project Management Information System, 簡稱PMIS)研發工作，以既有報表集中管理為核心，透過系統自動擷取、轉製及彙整產生不同層級所需管控之資訊。而伴隨現場人員資訊應用能力進化，世曦嘗試將全E化作業重新以不同的面向導入工地管理，除透過結合行動裝置及通訊軟體之特性，開發查驗APP整合應用，以加速工地訊息回傳效率及即時性。同時亦嘗試引入AI自動辨識機制，協助管理大量施工相片資訊，進而提昇工務管理之便捷性。



Digital transformation, internalization and upgrading: evolution of PMIS in Innovation R & D Center of Asia Silicon Valley

Abstract

Construction project management combined with technological tools to accelerate exchange of construction information and demonstrate execution performance has gradually formed a broad consensus in the construction industry. The next stage of industrial transformation will focus on the internalization and deepening of digital capabilities, so that the original supplementary benefits of the existing mechanisms will evolve into the core capabilities of the enterprise. CECI has been actively engaged in the research and development of Project Management Information System (PMIS) for decades. With the centralized management of existing reports as the core, the system automatically captures, transposes, and integrates the management and control information required at different levels. With the evolution of on-site personnel's information application capabilities, CECI tried to re-introduce all E-based operations into construction site management with different aspects. In addition to developing inspection APP integration applications by combining the characteristics of mobile devices and communication software, to accelerate the return of construction site information efficiency and immediacy. At the same time, it also tried to introduce AI automatic identification mechanism to manage a large number of construction photo information, thereby enhancing the convenience of public works management.

3

專題報導

壹、進度管理輔助升級：整合排程網圖及要徑管理

工程專案管理首重監控進度及契約主要工項完成數量依時推展，同時透過現地影像紀錄以掌握實況。而進度管理除透過現場人員填寫日誌回報，另一面向則為排程網圖之管理應用。專案管理透過分解施工要項及對應工期建立排程網圖控管時程已為常用之手法，工程主辦機關亦多會要求廠商進場前須完成工作排程，業界已備Primavera P6、Microsoft Project等成熟之軟體推動應用。世曦辦理「亞洲·矽谷創新研發中心統包工程」委託專案管理(含監造)技術服務，首度結合排程網圖進一步升級PMIS工作管控制輔助功能於該專案應用，期使工程管理之發展更具全面性。

一、整合排程資訊掌握工進

近年來各大型計畫之推動紛紛引入國際團隊，透過建立資訊集中管理及同步化的環境，以利參與成員單位皆能使用正確一致的最新資訊。工作排程網圖亦為跨界團隊工作管理應用常見之機制，運用共同之工具以利針對要徑工

作推進時程有效進行掌握，並隨工進推展及現地環境隨時更動關注之工作，亦可有效落實進度控管。PMIS結合排程網圖管理機制如圖1所示，其主要重點包括：

(一)結合軟體功能加成管理效率

專案管理業界已備完整且成熟之排程管理軟體如P6及Project，其操作便利性及功能完整性皆因應多年來產品的發展漸趨完整。秉持「站在巨人的肩膀上」讓系統發展之視野更加長遠，世曦PMIS嘗試整合P6及Project產出之成果，不以發展重複操作功能為目標，而為尋求更加精進有效之應用為原則，將繁瑣且重複性之操作保留於原軟體功能中實現，透過擷轉排程檢討之結果，整合PMIS既有功能以強化系統控管機制。

(二)轉製展示介面強化決策輔助功能

前期PMIS進度圖示主要資料來源為監造報表預定/實際進度，透過繪製S-Curve加入估驗進度以利管理人員掌控工進。透



圖1 PMIS結合排程網圖管理機制

過將P6或Project XML格式之排程網圖資料匯入PMIS，即可自動產出bar chart如圖1所示，以供現場人員即時於系統線上查詢各工作要項之細部作業安排及預計執行進度，並可進一步與現地實況進行比較。

二、擷取要徑工作續行提醒

(一)要徑工項納入列管

過去許多軟體廠商發展排程管理多以工作要項進度之回報及彙算為主要應用，唯徑應工作要項依工程規模少則數十多則數百項，現場人員每日逐項回報進度有其困難，在無法確實取得現地實況之前提下該項功能將失去有效性。世曦發展排程應用初期即以有效輔助現地控管為目標，而網圖中影響工進的關鍵即為要徑工項，故世曦擬透過自動擷取排程中之要徑工作內容預定開始及結束時程，擷轉至PMIS中，同時結合待辦事項追蹤功能續行控管作業。

(二)工作啟動預先警示

所稱要徑工項即為當該項目延時產生即可能直接造成整體工進延遲，故有效控管工項最晚啟動時間及結束時間，對於工期掌握將可提供直接之效益。世曦PMIS即透過擷取排程要徑轉匯待辦事項模組，結合首頁行事曆提醒，以利現場人員進入系統即可第一時間掌握該月份須啟動或待完成之工作，系統亦將自動針對尚未回報啟動之待辦工項發送警示通知，避免同仁因公務繁忙未留意相關工作開辦事宜。相較於逐項進度回報之繁雜作業，藉由資訊工具輔助同仁掌握要徑工作，將可發揮系統應用最大效益。

貳、行動查報APP強化：動態表單產製應用

早期推動工程查核表單電子化不易之原因，除因網路發展未成熟，現地表單樣式眾多且各業主要求填報之內容多有差異，加上各類查核皆須因應工程特性及實況所需動態調整，著實不利於資訊開發工作推展。近年來透過結合網路雲端服務與新興科技應用，對於各類表單之快速開發應用已具備成熟技術。世曦於民國98年辦理「行政院國家科學委員會線上審查管理作業共用平台案」即投入動態表單之應用開發，以因應科技部補助之各類專題與研究計畫之申請審查表單產製。其後因工地現場查核表單電子化需求，世曦持續投入研發應用於工程查核紀錄動態設定，其表單之架構設計主要特色列舉說明如下：

一、同類查驗表格快速組合

有別於過去個別開發單張表單方式，世曦團隊建置一動態表單共用顯示介面，應用關聯式資料庫特性，將表單內容拆解為題目及答案紀錄表設計。每一查核項目即可視為一題目組合，填寫查核結果即為各題對應答案。因應不同查核題型對應答題方式可為下拉式選單、單選選項、多選選項、文字說明及數字。各題目除可設定必要查核(必填選項)，亦可因應規範標準設定上下限(例如：鋼筋間距)，或提供預設值以減少現場輸入操作。甚至可針對表單項目間設定關聯稽核，限制前項查驗結果勾稽後項查核必須至少保留之基礎數值(例如：最小間距)。而查核結果針對後續將作為統計應用或僅為套表紀錄分存兩張資料表，以利延伸進行統計或儀表板介面展示應用。

透過此一動態架構設計，程式開發團隊僅須維護單一表單展示介面、資料存取及套表轉製介面，所有表單格式皆以設定方式展開，將

可大幅減少表格內容異動時須改動程式之作業時間。而逐項查核題目設定方式之設計，亦可因應不同工程屬性需求，透過複製勾選所需題型方式，快速且便利的產出適用表單。此一機制已成功應用於前國科會專案中，並透過導入世曦專管/監造計畫，依據現地反饋建議持續改善，於110年取得專利證書如圖2所示。

三、多樣化表單樣式套印

表單設定及線上填寫完成後，最後關卡即為套表產出之設定。工程查核許多表單內容與工程會建議之格式內容相似，唯表頭或部分格式略有不同。透過分離介面方式設計，各工地即可配合不同業主需求選擇適用之格式套用。



圖2 動態表單設定維護構想概念圖

二、手寫簽核影像紀錄

為減少重複作業及加速現地回傳資訊效率，動態表單設計同時可於行動裝置中以web APP方式操作，同仁於現場監造執行查核作業時可直接填寫送出。同時考量現地簽核作業需求，應用html 5 canvas技術實現手寫簽名機制，紀錄其簽名影像加密回傳，配合伺服器端套表產出查核紀錄PDF檔案。世曦團隊辦理「桃園航空城計畫區段徵收工程進度控管系統委託資訊服務」即應用此一機制，搭配使用者身份驗證，以完成線上簽核作業及電子流程推進之架構設計。

早期世曦團隊應用XSLT技術搭配產出資料擷轉PDF格式，考量提供監造專管同仁更易理解之操作介面，則改以運用Microsoft Word標籤設定方式，提供現地人員以常用表單為基底，自行設定標籤上傳，即可提供程式自動套用轉檔。

世曦團隊辦理「桃園航空城計畫區段徵收工程進度控管系統委託資訊服務」即實際導入此一機制應用。透過蒐集公共工程施工品質管理作業要點、桃園市政府公共工程估驗計價標準作業程序書、桃園市政府所屬各機關公共工程職業安全衛生須知等工程管理相關表單，經訪談實務單位確認需求，轉換為數位格式以供相關單位上線填報。應用此一機制管理表單樣版，如有微調異動，則不須再修改程式，僅

須調整表單設定介面重新載入即可快速完成更新，提供不熟悉程式撰寫的管理人員亦可自行維護表單設定。

參、整合LINE同步訊息：加速現場資料流通

行動裝置的蓬勃發展改變了人與人之間通訊機制，對於工程管理團隊更因此面臨多方訊息管理之挑戰。世曦團隊早年即投入PMIS專用APP開發，期運用行動裝置不受空間限制的特性達成走動式管理的目標。近年來即時通訊軟體的便利性及快速傳達，則造就機關習慣運用通訊軟體蒐集資訊或發佈工作訊息，對於現場人員而言，除即時回應指示事項，有效管理並紀錄歷程資訊亦為PMIS系統發展之重要需求。世曦團隊自107年即著手發展LINE專用機器人機制，以協助現地完成訊息管理作業。各計畫將PMIS機器人加入專用群組以有效收存文件檔案、相片影音紀錄，並透過開發專用查詢功能整合於PMIS系統中，以利相關作業辦理追蹤。

近年來因應現地同仁反映希望整合為單一介面，不須持續切換使用軟體，透過LINE即可有效查詢PMIS相關資訊，世曦團隊即著手發展同步機制，針對PMIS常用系統功能提供整合應用介面如圖3所示，主要應用重點包括：

一、建立計畫LINE專用服務

有鑒於工地安全日益受到重視，除透過經驗傳承方式進行危害告知提醒，台灣世曦內部亦彙整多年經驗編製一監造手冊，具體列出各項工程應注意之作業細節及高風險事項，以利新進同仁查閱參考。早期PMIS行動應用之發展已針對廠商提報預定辦理高風險工作日程，紀錄於計畫行事曆進行待辦提醒，並提供現場監造同仁透過手機即時查閱監造手冊中提示該項高風險工作相關應注意事項。配合業主透過LINE指示相關作業，為增加訊息查詢時效，於LINE介面完成PMIS系統認證後，即可於LINE即時連線至公司查詢監造手冊及相關作業要點。



圖3 PMIS結合即時通訊軟體掌握訊息

二、結合戰情室查詢現地進度

世曦辦理大型計畫為有效呈現計畫進度及提供資訊揭露，配合PMIS系統應用亦同步建置專案戰情室。唯各計畫戰情室之展示及查詢過去須透過登入PMIS或紀錄特定網址連結，世曦團隊於亞洲矽谷創新研發中心專案階段已完成PMIS戰情室與LINE介面整合，透過身分認證完成，即可直接於LINE機器人聊天室介面直接查詢戰情室展示畫面。

三、提供會議預備提醒機制

參與單位眾多之計畫多半須辦理許多大型或跨單位整合之會議，為節省各方成員須另外開啟瀏覽器登入PMIS查詢專案會議時程，世曦團隊同樣整合PMIS使用者認證機制，提供同仁可直接於LINE上查詢專案工作會議，並同樣於LINE介面與其他使用者討論協調會議時程而無須再另外切換使用軟體。

四、LINE線上反映PMIS問題

最直接應用LINE通訊軟體之特性則為線上問題反映機制之建立，過去PMIS問題反映機制須登入系統填寫線上網頁，透過LINE整合應用系統認證PMIS帳號後，即可直接於專案聊天室介面發送問題，針對有疑問之畫面亦可直接透過LINE傳遞予系統管理人員續行處理追蹤。

肆、PMIS智慧應用再進化：影像辨識技術導入

當工地現場已逐漸習慣導入系統作業，PMIS功能之發展將再度回歸整合資訊應用，目前世曦團隊已引入空間整合及智慧化管理機制，以進階強化專案管理系統工具。以工地影像管理為例，各工程自起始至竣工階段將收存大量相片紀錄，透過人工標註屬性始可有效延伸應用，唯現場資料過多，在繁重的工作之餘

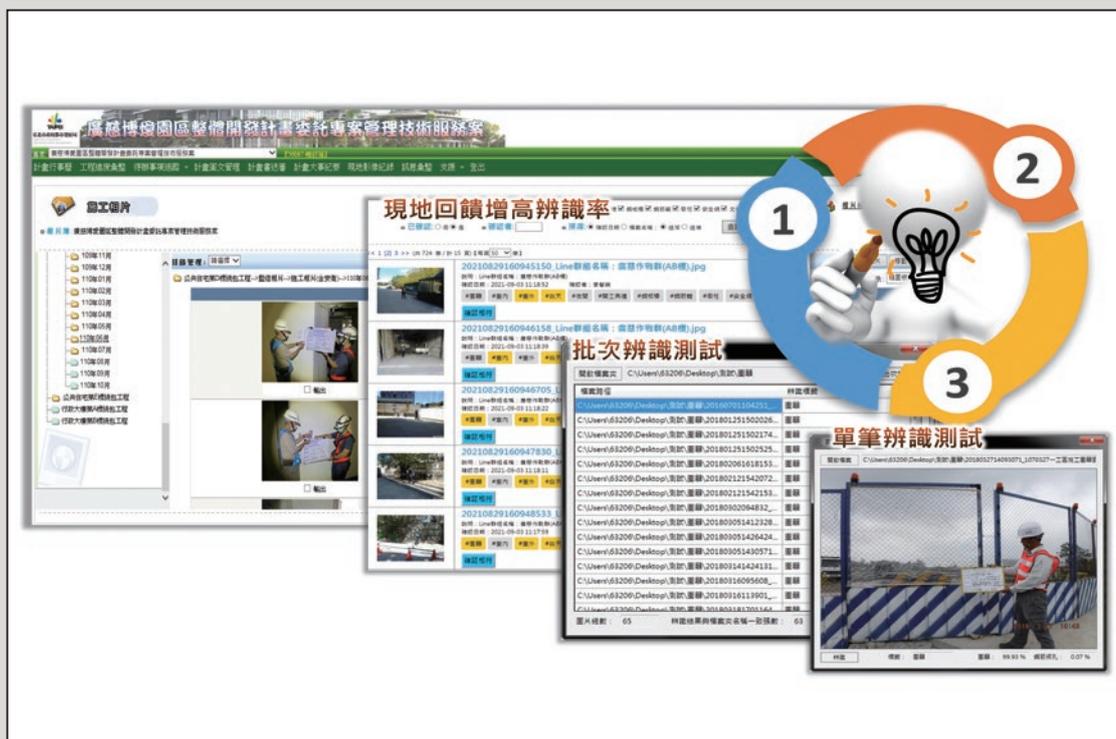


圖4 工地相片應用影像辨識機制

同仁能手動完成屬性標註之數量有限。為有效提升資訊應用效率，世曦團隊嘗試應用ML.NET Model Builder模型產生器建立機器學習模型，先透過開發單機程式以單張相片進行模型辨識測試，續於初步效果產生後續行批量測試，並於辨識度達一定數值後，將模型佈設至世曦PMIS專案，針對系統中線上之大量相片進行自動辨識並賦予標籤，配合開發專用介面提供現地人員持續回饋辨識標籤正確性，以持續進行模型訓練，進而提高模型辨識率。冀於未來透過自動化模型進行第一階段篩選，即可初步提供查詢應用，同仁則針對關鍵工作紀錄相關照片進行標註管理，以有效減輕現地作業負擔並提昇資訊應用效益。(圖4)

結語

數位轉型已成為各類型產業積極推動之重點趨勢，經由內部觀念的轉化、資源的重新

調配及組織的調整改變了管理流程，進而完成產業轉型之預備作業。PMIS推廣起始階段以完成試點計畫為目標，藉由應用試驗場域及培養種子人員，建立成功範例以延伸其他計畫應用。下一階段推動之重點則將因應各計畫管理所需，發展其專用之特色整合機制。世曦團隊於辦理「亞洲矽谷創新研發中心」專案管理工作，透過與主辦機關桃園市政府工務局新建工程處共同研討蒐集建議，以整合式資訊呈現為目標，透過提供圖型化及警示燈號之易讀介面，建立數位戰情中心以提供遠端管理人員快速掌握現地狀況。圖5為PMIS跨界整合應用之概念圖示，世曦團隊於「桃園航空城計畫區段徵收工程進度控管系統委託資訊服務」計畫將進一步搭配3D空間資訊及現地即時影像、結合IoT智慧化設施導入及電子設備訊號介接，期使PMIS應用再進化。



圖5 PMIS跨界整合數位儀表板概念圖

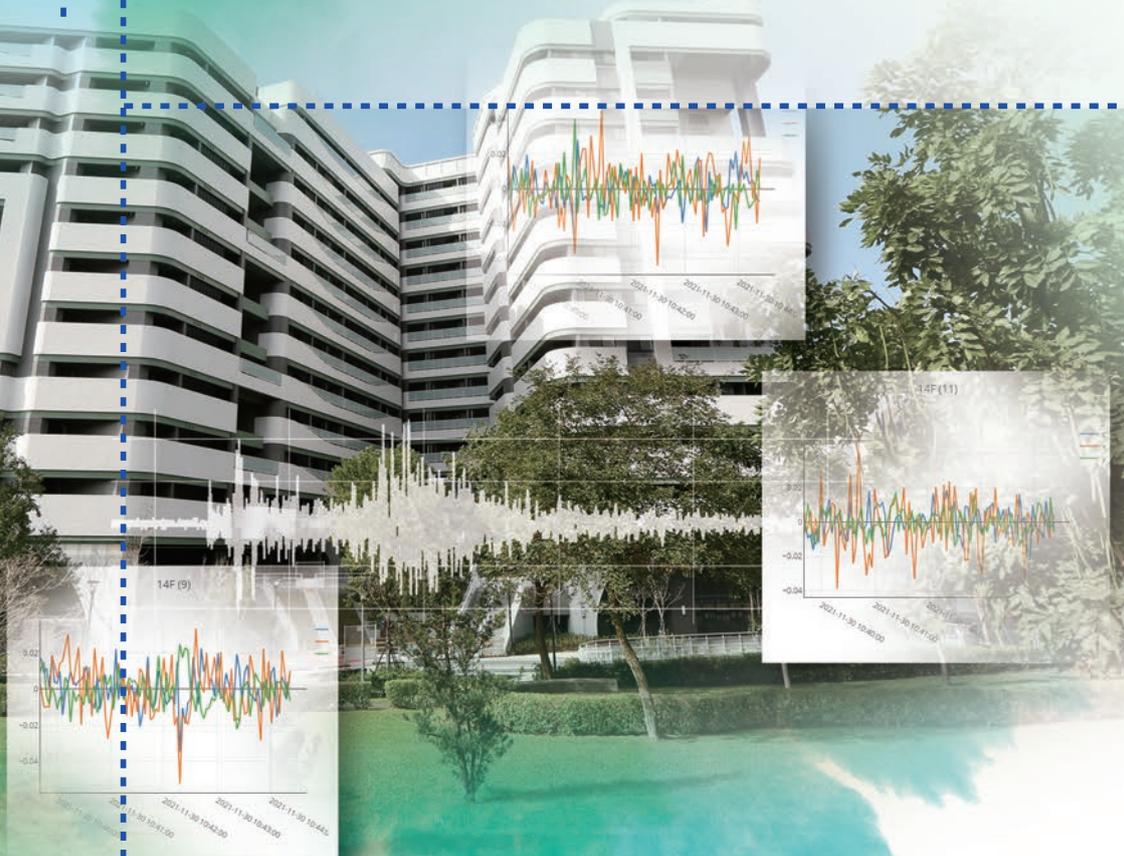
建築結構健康監測 平台開發研究—以 瑞光社宅為例

關鍵詞 (Key Words)：基因演算法 (Genetic Algorithm)、結構健康診斷 (Structural Health Monitoring)、建築資訊模型 (BIM)、物聯網 (IoT)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／副理／蘇瑞育 (Su, Jui-Yu) ❶

朝陽科技大學／營建工程系／副教授／王淑娟 (Wang, Shu-Jyuan) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／BIM整合中心／工程師／林志全 (Lin, Chih-Chuan) ❸



摘要

台灣世曦為瑞光社會住宅專案管理團隊，為了落實建築生命週期維護管理，台灣世曦將瑞光社宅以強震儀進行結構健康監測平台開發計畫。具體是應用王淑娟教授過去發展的頻率域之遞迴式改良型基因演算法進行系統識別，並利用識別之參數進行結構健康診斷，從而建立對應之健康監測系統。首先以結構物所收集到之地震反應進行分析，探討該結構物動態時變特性及比較不同地震反應下之差異。針對每個地震反應事件所分析之結果建立該結構物分析報告書，並比較不同地震事件之反應，建立識別及診斷報告。另一方面，在標的建築物收到每次地震紀錄後，可先進行結構損壞快篩，利用紀錄計算局部變位角，進而初步判別結構受損狀況，做為後續是否發布震後警示或危險等燈號的依據。

結構健康監測展示平台之開發主要分為三個區塊模式：一、可視化BIM結構模型互動展示區，可顯示11顆強震儀位置、即時狀態及數據，並呈現快篩或診斷識別結果以視覺化呈現於互動展示區；二、即時強震儀監測數據展示，透過局部變位角快篩結構初步受損程度，提供後續檢核、修復及避難指引之參考；三、提供結構健康診斷之識別及報告書，並呈現整體軟化指標及近似局部樓層(勁度)損壞指標，作為決定後續必要之修復補強等處置之依據。



Development the structural health monitoring system – Case study of Ruiguang Social Housing

Abstract

CECI is the project management team of Ruiguang Social Housing. In order to implement the life-cycle maintenance and management program for this building, CECI is endeavored to develop the structural health monitoring system of Ruiguang Social Housing by installing accelerographs on this building. Specifically, the recursive hybrid genetic algorithm in the frequency domain developed by the applicant for system identification will be used to identify the modal parameters. In the implementation of this method, the time history of the measurement will be divided into a series of time intervals, and then the model of equivalent linear system is employed to identify the modal parameters of the system for each time interval. The identified parameter will be used in structural damage assessment. By employing the maximum softening index, Approximate Story Damage Index and Modal Assurance Criterion, we can determine the damage states of these buildings. On the hand, eight sets of drift ratios will be developed and employed to rapidly assess the damage state for this building and locate the damage parts of the building. According to the damage state, the warning signal or danger signal can be provided by the health monitoring system.

3

專題報導

壹、前言

近年來，建築結構的理論與實驗研究已有長足的進步，並促使耐震法規日益完備，處於環太平洋地震帶之台灣於1999年9月21日遭受九二一大地震摧殘，造成近2454人死亡，2萬6千棟房屋倒塌。因為地震可造成結構物損壞、人員傷亡及財物損失，所以耐震設計的重要性日益彰顯，也使得新式之隔震及消能技術發展日益蓬勃。

但就傳統建築結構耐震設計而言，都以彈性塑性變形的理念，以韌性抗彎矩的構架來承受地震作用力。耐震設計的目標要求只是：小震不壞，中震可修，大震不倒。到目前為止，我們仍然無法預測地震發生的時間、地點和規模大小，故只能根據規範，將耐震設計理念融入建築物設計中，從而將地震發生後之財物損失及人員傷亡減至最小，以確保生命財產安全。

結構物受震之動態行為乃是耐震設計的重要考慮因素之一，傳統動力分析是以直接分析法來分析結構物的反應，假定系統的數學模型為已知，並定義系統所受之外力，分析求得結構之反應。然而結構物真實的動力特性和設計時採用的常不一致，除因設計時假設的模型相對理想化外，因施工方式不當或是於使用期間內遭受地震力、風力等之反覆作用，使得材料強度因降伏或疲乏而折減時，導致結構系統參數設計值與原先設計值有差異，其動力特性亦將因結構受損而改變，所以結構物是否仍然具有當初設計時之強度便不得而知。因此發展了所謂逆運算方法(Inverse problem)，亦即在實際的結構體中於適當位置放置感應器，利用地震發生時實測之輸入(地表加速度)、輸出(量測加速度反應)資料，來反推結構物之行為特性以做為耐震設計之參考，此過程稱為系統識別。

系統識別之技巧目前正被廣泛地應用於改

善既有結構系統之分析模式上，因此近年來以非破壞性動態試驗方式估測結構系統實際上之動力反應參數之研究相當多。以動力行為特性之系統識別而言，所謂系統量測是以強震儀之動力反應最具代表性。因為此時之反應即為地震時應預估之反應，而且結構物之非線性反應皆在強震時表現出來。

交通部中央氣象局在全國各地設置了689座自由場測站，收集完整的強震紀錄，以瞭解地震時不同地質條件之地動特性；此外並建立結構物地震監測系統，期能於地震發生時即時而準確地紀錄結構物之地震反應，以為震後結構診斷，損壞評估及警示應變之依據。由於地震量測儀器設置普及且量測結果更趨準確，再加上電腦運作速度迅速增快，因此有效利用這些地震資料分析結構受震時之動力特性，即系統識別，成為一種新趨勢。

臺灣高樓大廈林立，921集集地震對土木及建築設施造成嚴重損壞，2016年高雄美濃地震及2018年花蓮地震等，都對台灣部分地區造成人員的傷亡及房屋等結構物嚴重的損壞，研發建築物震後損壞診斷乃當務之急。另一方面，在量測感應器輕巧化、資料擷取高速化與傳輸無線化的進展帶動下，裝設結構健康監測系統以進行損壞診斷，評估結構健康狀態、損壞程度及損壞位置，是現今國內外學術界及業界重點研究課題。

貳、結構健康監測展示平台

台北市政府瑞光社會住宅位於內湖區瑞光路及陽光街交叉口，緊鄰台灣世曦內湖總部大樓，瑞光社宅是多目標使用社會住宅，一樓設置規模約390坪的智慧超級市場，提供389戶社會住宅及社福設施進駐，本計畫也是台北市社會住宅智慧社區示範計畫的示範場域。

台灣世曦為瑞光社會住宅專案管理團隊，為了落實建築生命週期維護管理，亦落實耐震標章作業要點於保固期間，對於建築之耐震性能計畫予以檢核與維護，台灣世曦與台北市政府合作將瑞光社宅以強震儀進行結構健康監測系統開發計畫。具體是應用王淑娟教授過去發展之頻率域之遞迴式改良型基因演算法進行系統識別，並利用識別之參數進行結構健康診斷，從而建立對應之健康監測系統。首先以結構物所收集到之地震反應進行分析，探討該結構物動態時變特性及比較不同地震反應下之不同。針對每個地震反應事件所分析之結果建立該結構物分析報告書，並比較不同地震事件之反應分析，建立識別及診斷報告。另一方面，在標的建築物收到每次地震紀錄後，可先進行結構損壞快篩，即利用紀錄計算局部變位角，進而初步判別結構受損狀況，及做為後續是否發布震後警示或危險等燈號的依據。

瑞光社會住宅主要分為左棟、中棟及右棟三個部分。左右兩邊強震儀設置樓層相同，在地下4樓底、7樓頂和14樓頂設置一個強震儀。中間棟設置的強震儀較多，地下4樓底、3樓

頂、7樓頂、10樓頂和14樓頂各設置一個強震儀，且在一樓設置中控室主機。各強震儀所在樓層可參考圖1。

結構健康安全診斷平台(SHMPB, Structural Health Monitoring Platform of Buildings)的系統開發活動圖參考圖2，從持續連線監測並解析11台強震儀的Modbus TCP資料、訂閱Cube地震警報終端的MQTT服務及接收MQTT地震告警後取得該地震的數據，取得地震數據後撰寫程式對齊地震資料、計算每個瞬時的18個方向位移量、計算局部變位角、最後比較最大局部變位角與四種損壞狀態之局部變位角門檻值，判別結構健康狀態，以上是基本資料的收錄歷程。

結構健康安全診斷平台預設三個角色：管理者、分析者及使用者。管理者負責使用者權限，本計畫協作人員除了公司同仁外，另有王淑娟教授及其研究生的分析團隊，因此創新導入「邀請碼」功能，提供邀請碼給分析團隊，該團隊人員利用邀請碼即可註冊為本平台的分析者，邀請碼管理參考圖3。

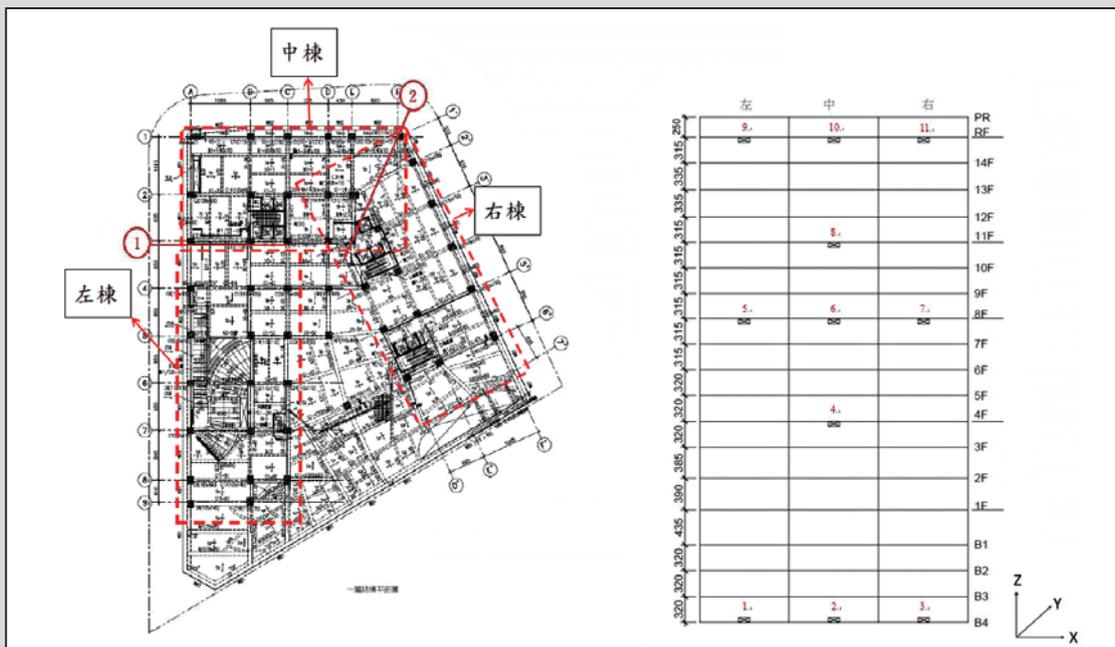


圖1 建築物分棟及強震儀所在樓層立面示意圖

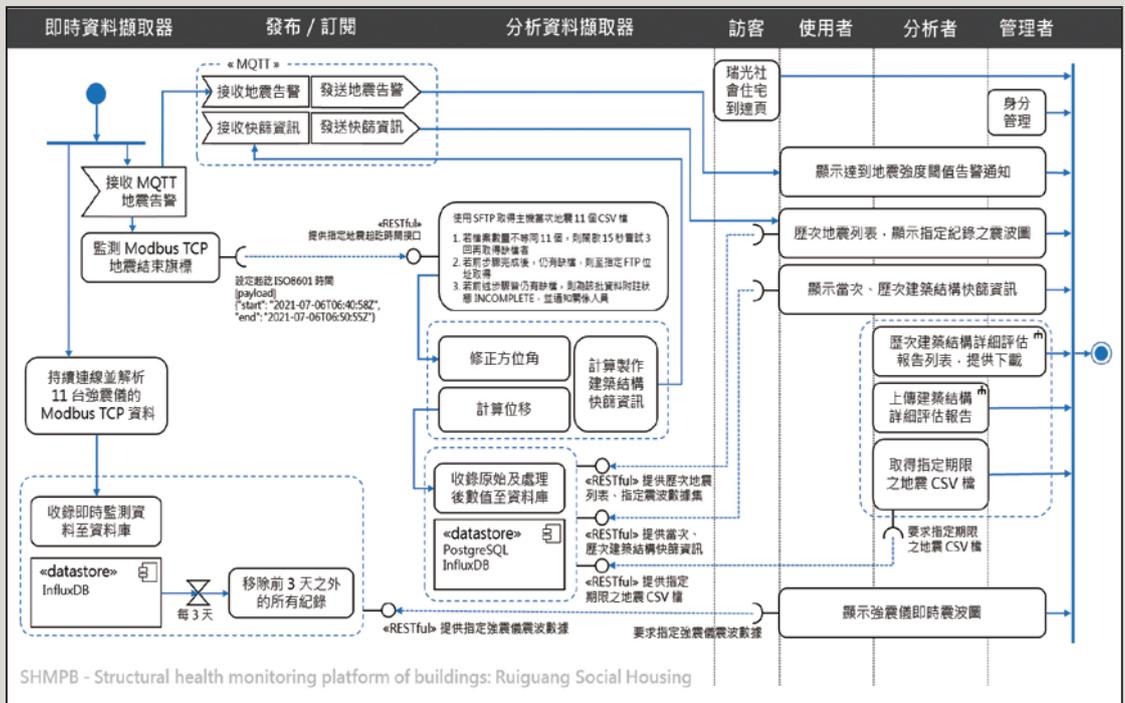


圖2 SHMPB系統開發活動圖

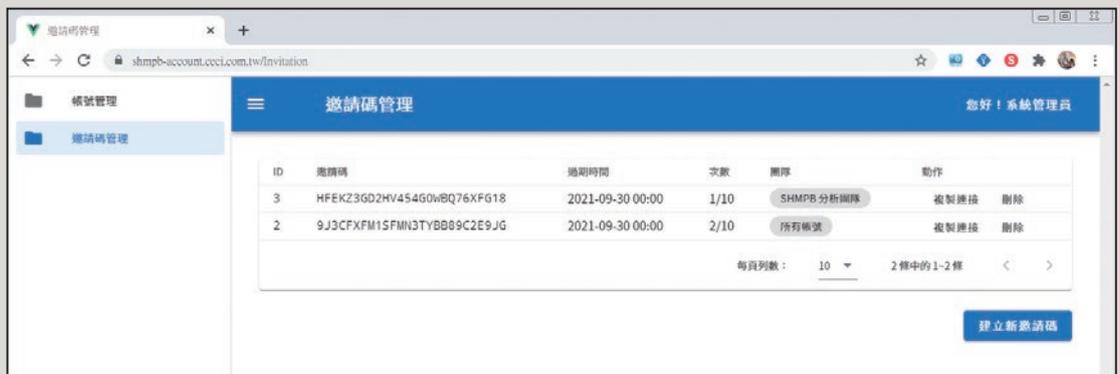


圖3 邀請碼管理參考圖

分析團隊登入結構健康安全診斷平台後，可以即時檢視強震儀的即時加速度值（如圖4）及歷史地震記錄（如圖5）。從歷史地震記錄的功能頁中，平台已將歷次收錄的地震資料自動計算位移、18個方向位的最大位移及最大變位角，並依據變位角門檻值線上快速判別結構健康狀態(快節)，關於結構損壞快節的理論依據請參考本文第三節。以圖5的圖表來看，2021/9/26日的地震經快節計算後，各局部變位均判斷為“無損壞”。分析團隊可線上檢視該

次地震的地震波形（如圖6）及即時下載資料庫中的加速度資料、位移資料、18個方位的位移資料及變位角資料，經王教授結構健康診斷後，即可線上交付及取得完整的診斷報告書。

結構健康安全診斷平台除了提供專業資訊給分析團隊與維護管理團隊外，本計畫針對一般使用者提供視覺化的檢視模組(如圖7)，從圖中可以直覺化、即時看出中央氣象局發佈的地震和瑞光公宅測得的地震之間的關係，以

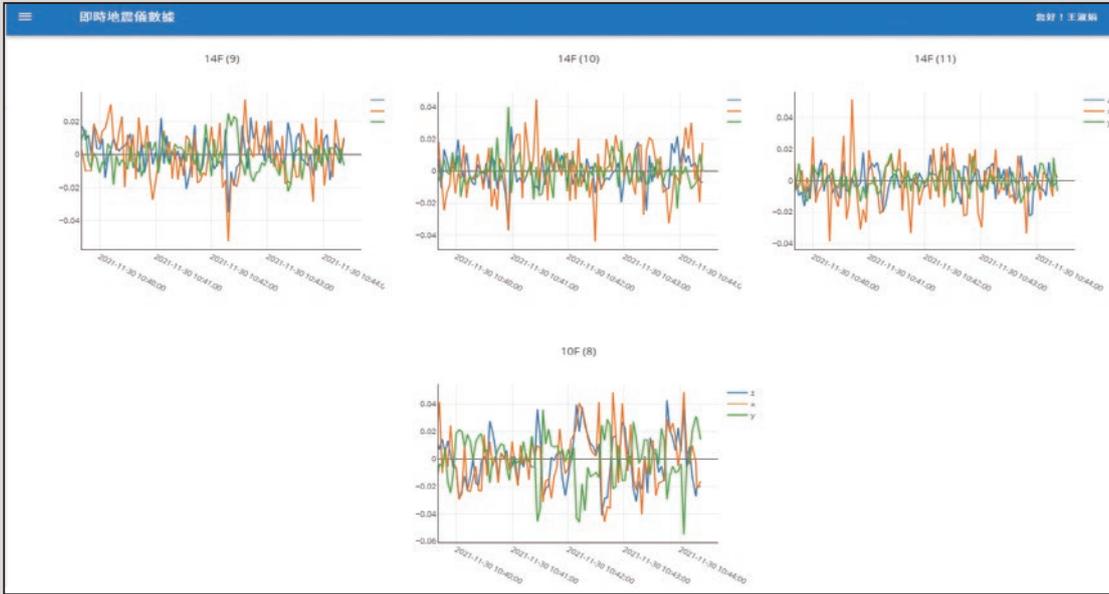


圖4 即時地震記錄參考圖

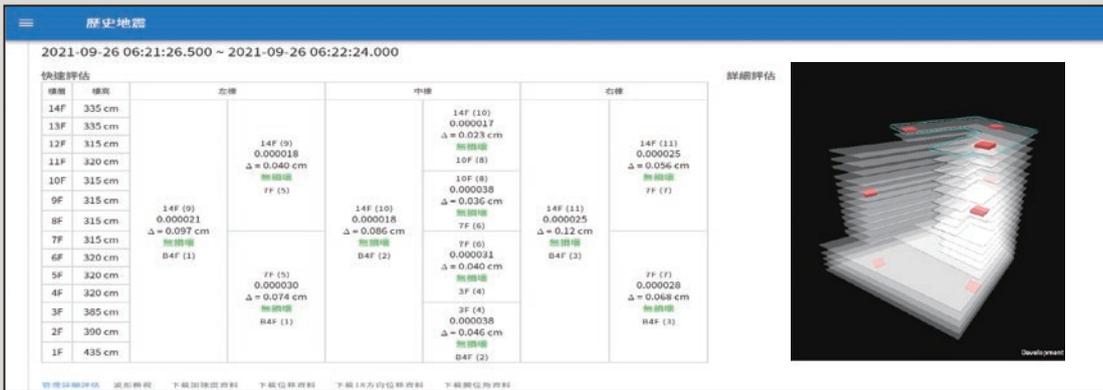


圖5 歷史地震記錄參考圖

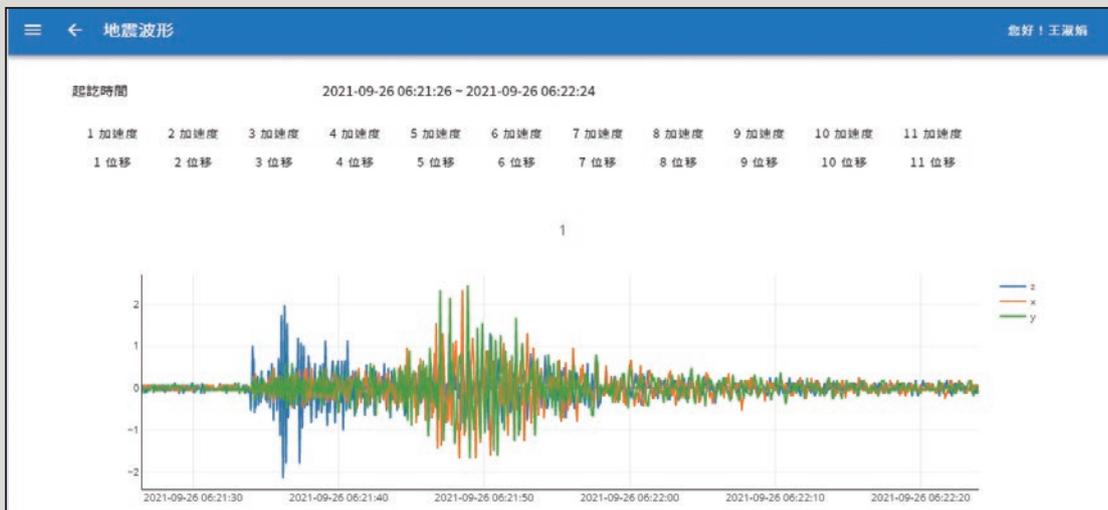


圖6 地震波形參考圖

2021/9/13日中央氣象局測得震央在南投縣的5.6級地震，台北市2級，瑞光公宅同步也記錄到該筆地震；另外從界面中也可直接瞭解每月份偵測到的地震數量及即時強震儀數據收錄的品質狀態，圖7顯示11個強震儀中有1台出現異常，需儘快請廠商維護，以確保系統的可靠性。

結構健康安全診斷平台另外也以3D視覺化的方式顯示強震儀的快篩診斷結果，如圖8所示，2021/9/26日的台北市3級地震，經快篩診斷呈現藍色（無損壞），並透過3D視覺化呈現該強震儀的位置。

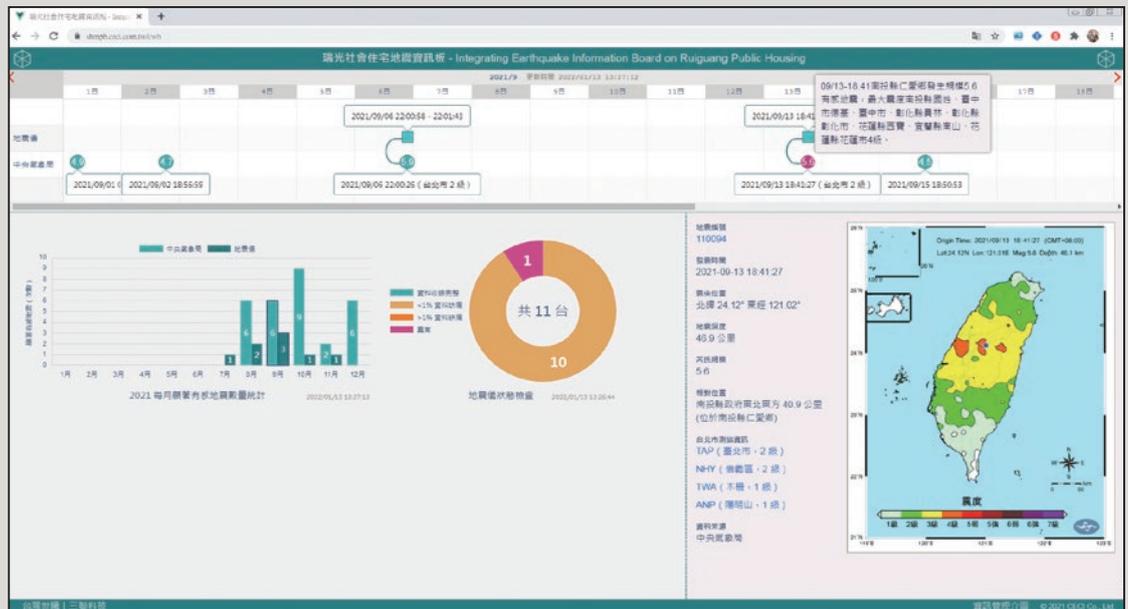


圖7 平台視覺化參考圖

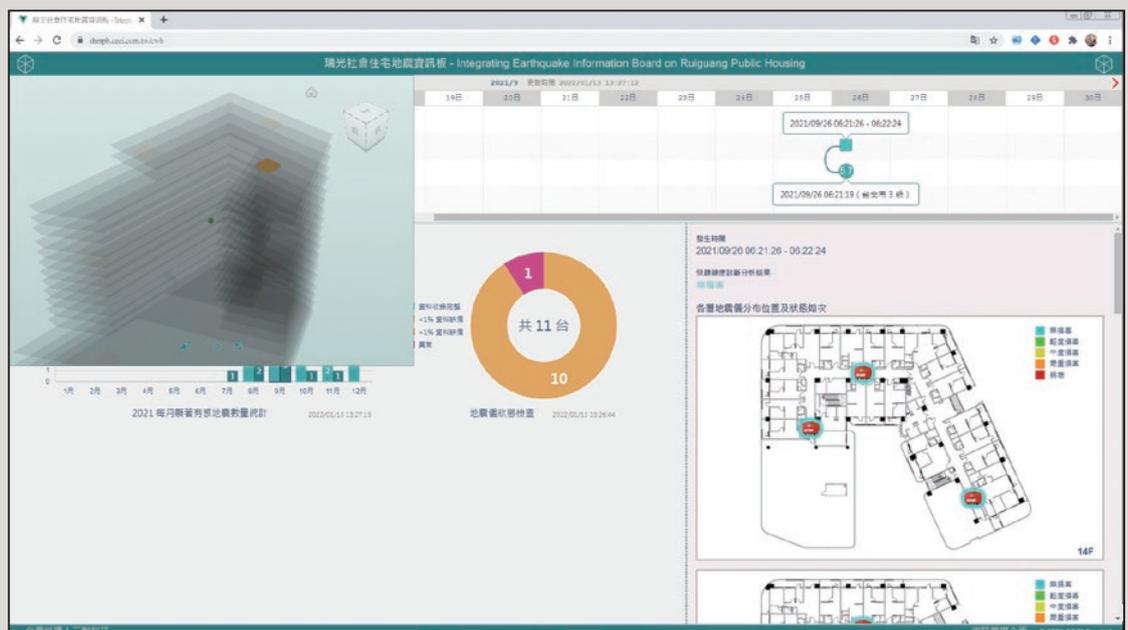


圖8 平台視覺化參考圖

參、結構損壞快篩評估方法

當建築物配置一定數量之加速度計時，可分析收集地震時之加速度觀測數據，建立結構的健康監測系統。在這些配置中，變位角(Drift Ratio)可當作結構或部分結構損壞狀況的主要參數指標，其中位移的即時測量可由加速度計的時間序列數據的雙重積分得到。變位角與建築物的性能水平相關，根據性能設計法規，建築物屋頂（相對於其基礎）的相對位移值表示其性能。在重大地震事件發生後，該位移可提醒所有者和其他授權方做出明智的決策並採取後續的行動。

瑞光社會住宅為鋼筋混凝土建築物，結構系統為抗彎矩構架，屬表1之C1H類之建築物【1】，快篩標準則採表2中C1H類的輕度損壞、中度損壞、嚴重損壞、完全損壞等四種損壞狀態之層間變位角門檻值【1】來判別結構健康狀態。

變位角對規則性建築物可分X向及Y向，惟公宅為不規則性建築物，最大變位角不一定發

生在X向或Y向。因此本文將求得每個瞬時18個方向的局部變位角(圖9)，求任一方向所有瞬時局部變位角之最大值，即為該方向最大局部變位角。最後求18個方向的最大局部變位角之最大值，即為最大局部變位角。比較最大局部變位角與四種損壞狀態之層間變位角門檻值，來快速判別結構健康狀態。

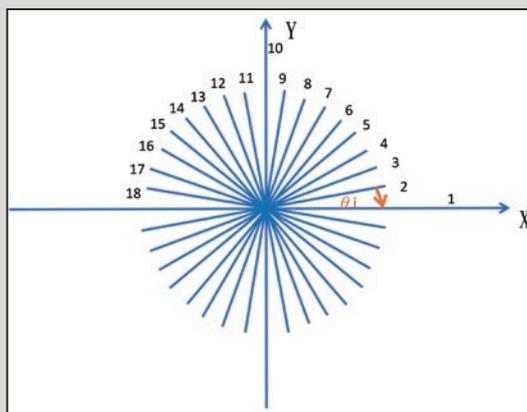


圖9 18個位移方向示意圖

肆、系統識別與結構健康診斷方法

系統識別的應用上可利用基因演算法優越全域的搜索能力來找尋符合系統之參數值，洪忠儀【2】結合基因演算法與局部搜尋法，以

表1 Hazus混凝土抗彎矩構架建築物結構系統之符號及定義

#	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1-3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4-7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120

表2 Hazus 混凝土四種損壞狀態之層間變位角門檻值

Type	Building Properties		Inter-Story Drift Ratio at Threshold of Damage State			
	Height					
	(Inches)					
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
C1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
C1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
C1H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400

彌補基因演算法中缺乏局部搜尋(Local Search, LS)的能力，加強基因演算法的搜尋能力，並減少基因演算法在微調上的計算時間，使之能更快的找到最佳解。由於可使用的局部搜尋法有很多種類，在洪忠儀【2】的研究中使用傳統最佳化方法中的高斯-牛頓法(Gauss-Newton method)，希望藉由結合基因演算法與高斯-牛頓法的混合運算策略識別出最佳解並且縮短其計算時間。

由於識別時，參數會隨著地震震度之大小而改變，尤其在強震作用下，地震前後段震度較小時和地震中段強度較大時，參數會變化很大，若用整段方式識別，識別結果之誤差將會很大，因此蔡永勤【3】提出遞迴式改良型基因演算法。所謂遞迴式代表意義為將識別反應自動分段，各分段視為等值線性系統，參數可不一樣，並將各分段之起始位移及起始速度設定為識別參數，藉由改良型基因演算法之搜索能力進行識別。因為當每段紀錄所需之起始值皆由改良型基因演算法來進行搜尋時，識別之精準度可大幅增加，並且能減少手動分段之不便性。

但在運算過程中，上面方法求解估測反應時須利用數值積分法解代表系統動力特性之微分方程式，所需之運算量較為龐大。為解決上述之問題，李穎睿【4】提出頻率域之遞迴式改良型基因演算法，將微分方程式轉換至頻率域後，可利用代數方式求解反應。具體作法為先將地震紀錄做分段，再利用有限傅立葉轉換將輸入之分段紀錄轉換到頻率域上，在頻率域上求解估測反應，該頻率域求解估測反應僅需利用代數方式運算，故可以大幅減少求解反應運算時間。

頻率域之遞迴式改良型基因演算法已應用於單自由度及多自由度數值模擬系統之含有雜訊的數值模擬地震紀錄及反應的動力特性識

別，驗證其可行性。也已將本法應用於真實建築物，並且利用最大軟化指標、ASDI指標及MAC指標的方式來判斷建築物之損壞程度，根據兩棟建築物為輕微損壞、一棟建築物的中度損壞及一棟建築物嚴重損壞的狀況，初步設定各損壞指標之門檻值。因此可利用前述已發展之系統識別與健康診斷技術，建立新建建築物及現有建築物之健康監測系統，再參考修正先前初步建立之損壞門檻值(表3)，發布警示或危險等燈號。

表3 Hazus 四種損壞狀態之層間變位角門檻值

Damage index range					
	Safe	Slight	Moderate	Extensive	Complete
DM	DM≤0.1	0.1<DM≤0.25	0.25<DM≤0.5	0.5<DM≤0.8	0.8<DM
ASDI	ASDI≤0.25	0.25<ASDI<0.4	0.25<ASDI≤0.7	0.7<ASDI≤0.9	0.9<ASDI

一、頻率域之遞迴式改良型基因演算法

基因演算法並不同於一般傳統的最佳化演法，它是採用隨機選取的方式產生許多個點同時搜索最佳解，族群中的每一個個體都相當於一個搜索點，經過世代的演化後，每個搜索點都朝向最佳解邁進，由於基因演算法有此一特性，使得它找到絕對極值的機會較其它方法大為提高。一般基因演算法使用的演化步驟，包含了複製(Reproduction)、交配(Crossover)、突變(Mutation)與世代替換(Reinsertion)等運算機制。而洪忠儀【2】之研究所使用之基因演算法為推廣式基因演算法，與一般的基因演算法相比採用多個族群的觀念，增加了遷移(Migration)與競爭(Competition)二個步驟，使得演算過程能更接近自然界的進化法則。

使用局部搜尋法的主要目的為彌補基因演算法在微調上的能力不足，及增加基因演算法局部搜尋的能力，以加快運算的時間。使用局部搜尋法的目的不是一定要搜尋出最佳的解，只求能在局部的區域中搜尋到更好的解，即使

用的局部搜尋法其全域的搜尋能力並不是一定要非常強，局部搜尋法的使用上採用傳統的最佳化方法居多。高斯-牛頓法(Gauss-Newton method)於估計誤差與最佳化的問題方面，已被證明是一個很有效率的方法，且已經被使用在很多種類型的問題上，皆有不錯的結果。故本文中採用的局部搜尋法為高斯-牛頓法。

結合基因演算法與局部搜尋法之改良型基因演算法，本文採用的局部搜尋法為高斯-牛頓法，利用該方法在局部的空間中搜尋較佳的個體，然而在使用結合推廣式基因演算法與高斯-牛頓法的改良型基因演算法時，何時進行高斯-牛頓法之局部搜尋及如何選擇個體進行局部搜尋等問題皆是非常重要的。洪忠儀【2】利用單自由度線性系統之識別問題進行局部搜尋法設定方式的測試，測試結果為：(1)基因演算法競爭步驟完成後再進行局部搜尋；(2)選擇各族群最佳個體進行局部搜尋；(3)局部搜尋最大迭代次數為5；(4)每十代進行局部搜尋。

遞迴式改良型基因演算法是時間域上的改良型基因演算法，所謂遞迴式代表之意義為自動分段，其主要目的是將改良型基因演算法由手動式改為自動式之分段識別，並將各分段之振態參數及起始位移與速度設定為識別參數，藉由改良型基因演算法之搜索能力進行識別，進行下一分段識別時，保留前一分段適存度排名前幾名之個體至下一分段第一代個體。因此，當每段紀錄所需之起始值皆由改良型基因演算法來進行搜尋時，識別之精準度可大幅增加，並且能減少手動分段之不便性。

頻率域之遞迴式改良型基因演算法【4】係將微分方程式轉換至頻率域後，可利用代數方式求解反應。具體作法為先將地震紀錄做分段，再利用有限傅立葉轉換將輸入之分段紀錄轉換到頻率域上，在頻率域上求解估測反應。進行多自由度系統識別時，先設定遞迴式改良

型基因演算法之相關參數，接著依欲識別之自由度數及振態數設定模擬系統參數、振態始末位移差值和振態始末速度差，其識別流程如圖10，藉由分段識別之參數值可了解結構是否有損壞之情況及程度【4】

二、損壞指數

損壞指數主要目的有：一為判別建築物有無損壞和損壞程度，二為訂定建築物損壞的位置。結構動態特性參數隨著損壞而變化，目前許多學者針對不同的損壞程度發展出許多損壞指標，本文使用

(a)最大軟化損壞指標 D_M (Maximum Softening)

Dipasquale and Cakmak【5】定義在一微分方程案例的最大軟化指標：

$$D_M = 1 - \frac{T_{und}}{T_m} \quad (1)$$

其中， T_{und} 為建築物未損壞時之基本振動週期， T_m 為建築物於反應歷程中之最大基本振動週期。

(b)樓層勁度損壞指標SDI(Story Damage Index)【6】

$$SDI_l = 1 - \frac{k_l^*}{k_l} = 1 - \frac{\omega_j^{*2} \sum_{i=1}^N \frac{m_i \phi_{ij}^*}{m_l \Delta \phi_{ij}^*}}{\omega_j^2 \sum_{i=1}^N \frac{m_i \phi_{ij}}{m_l \Delta \phi_{ij}}} \quad (2)$$

其中， ω 和 ω^* 代表未損壞和已損壞之頻率， ϕ_{ij} 和 ϕ_{ij}^* 分別代表未損壞和已損壞之振態向量， m 代表質量，SDI是以不同振態值和頻率來描述損壞程度，當SDI值等於1表示損壞，越接近0表示未損壞。

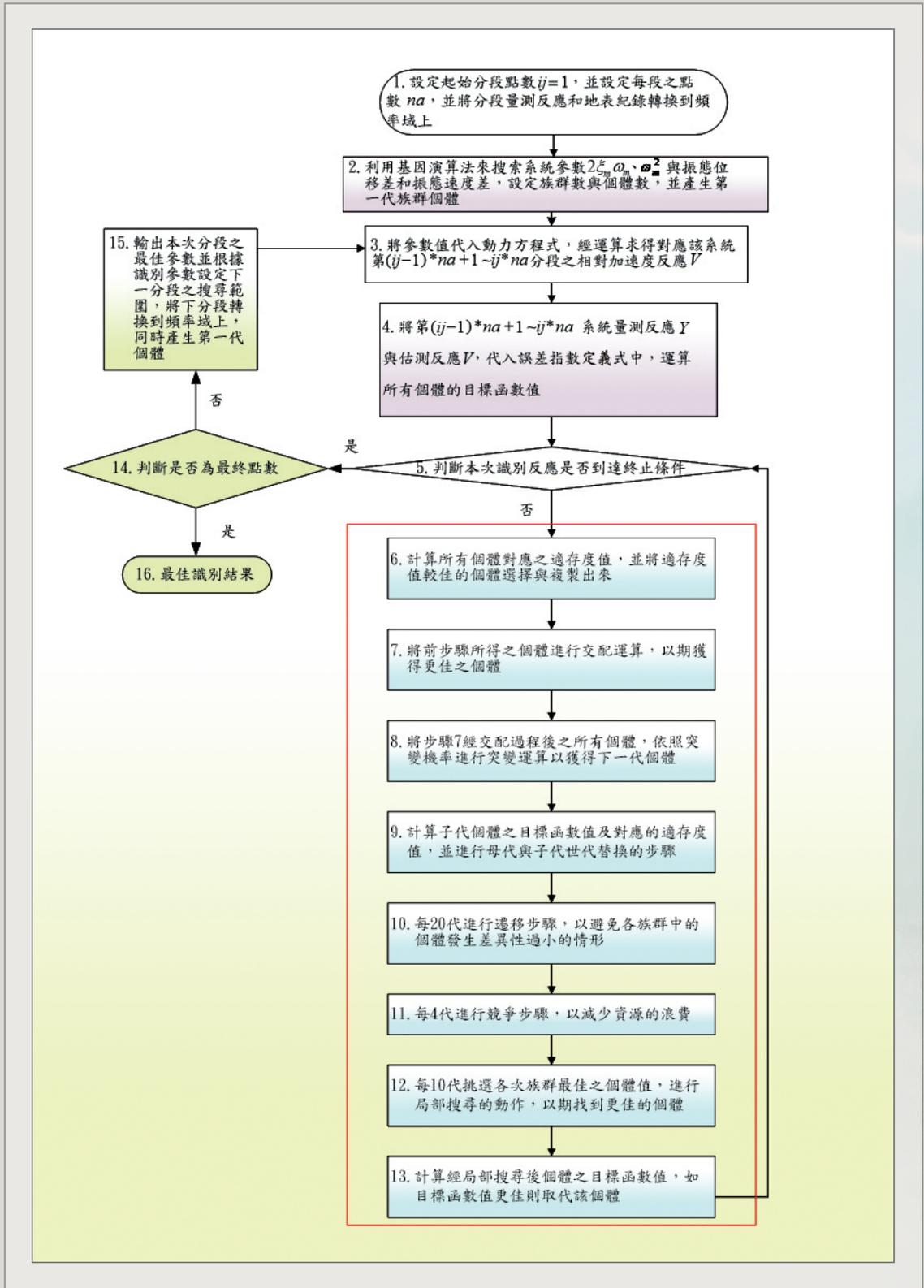


圖 10 頻率域遞迴式改良型基因演算法應用於多自由度線性系統之運算流程圖

伍、結構健康診斷-以台北市瑞光社宅為例

一、地震資料之收集及處理

瑞光社宅之強震儀自佈設後，因各種原因一直沒收到完整11個測站地震紀錄。目前將驅動強震儀收集紀錄的震度由原先的2級降成1級後，始於110年7月8日凌晨6時收集到第055號花蓮縣壽豐鄉規模5.5的地震紀錄。該地震震央位置在北緯23.89度，東經121.57度，震源深度8.2公里，花蓮縣最大震度4級，台北市最大震度2級，詳見圖11。瑞光社宅於110年8月又收集到兩次宜蘭外海之地震紀錄，分別為8月5日之77號地震及8月6日之79號地震，地震規模分別為6.1及5.6，9月26日又收集到震央花蓮之地震規模5.7的96號地震。

研究所使用之加速度反應為相對加速度反應，地下4樓之加速度紀錄當作輸入之地震紀錄，故識別前須將3樓、7樓、10樓與頂樓所量測之絕對加速度反應減去地下4樓加速度，得到輸出之相對加速度反應。將7月8日第055地震中棟3樓、7樓、10樓與頂樓之相對加速度反應利用快速傅立葉轉換，得到之傅氏振幅譜如圖12~15所示。由圖中可觀察出Y向皆在14 (rad/sec)左右有高峰，而X向在10到15(rad/sec)間會有兩處高峰，三向皆以RF振幅最高。

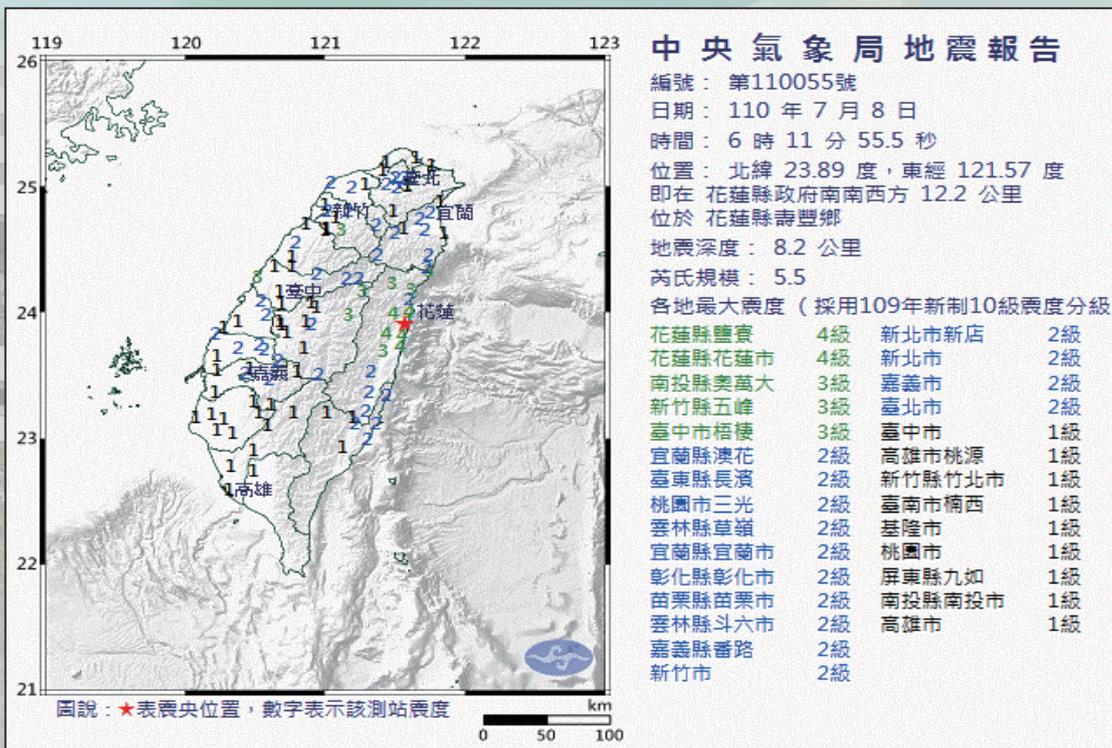


圖11 第055號花蓮縣壽豐鄉規模5.4的地震紀錄

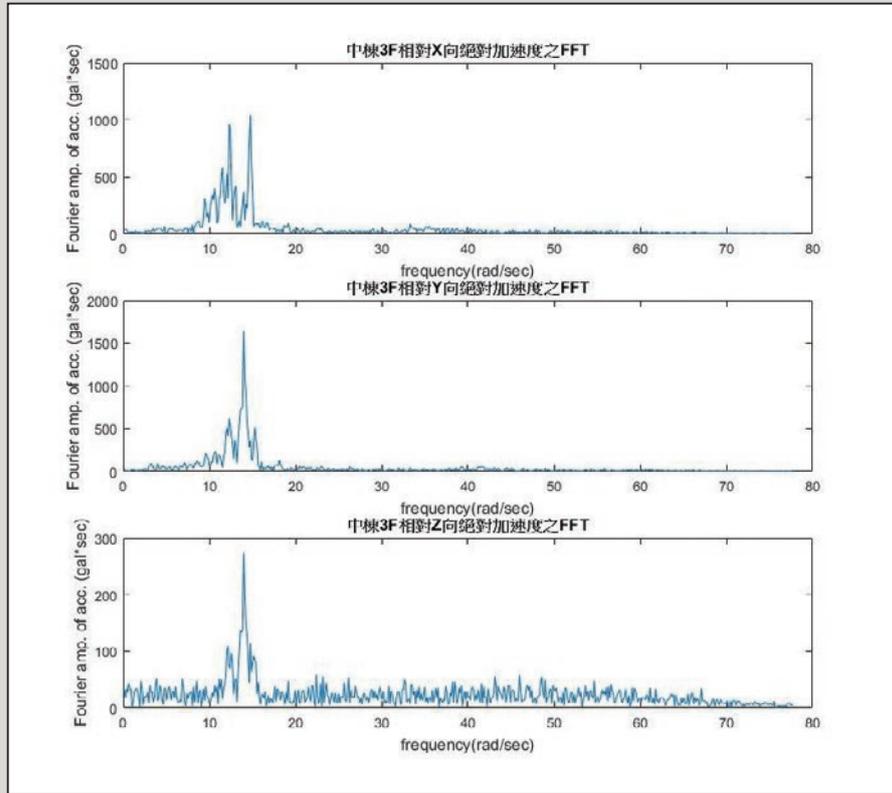


圖12 0708地震中棟3F相對加速度之傅氏振幅譜

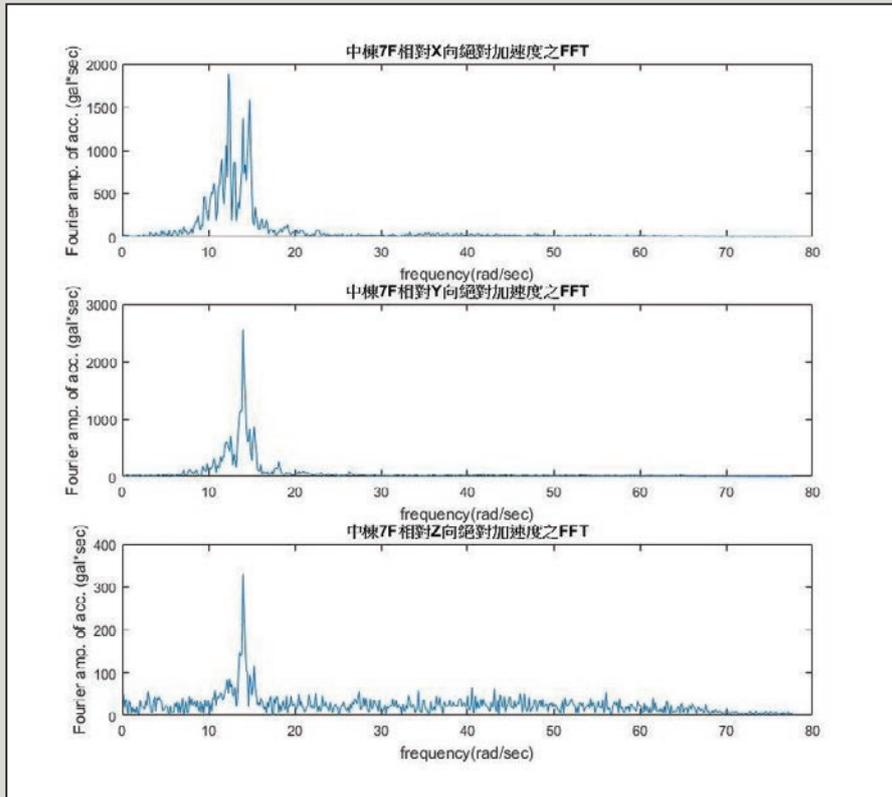


圖13 0708地震中棟7F相對加速度之傅氏振幅譜

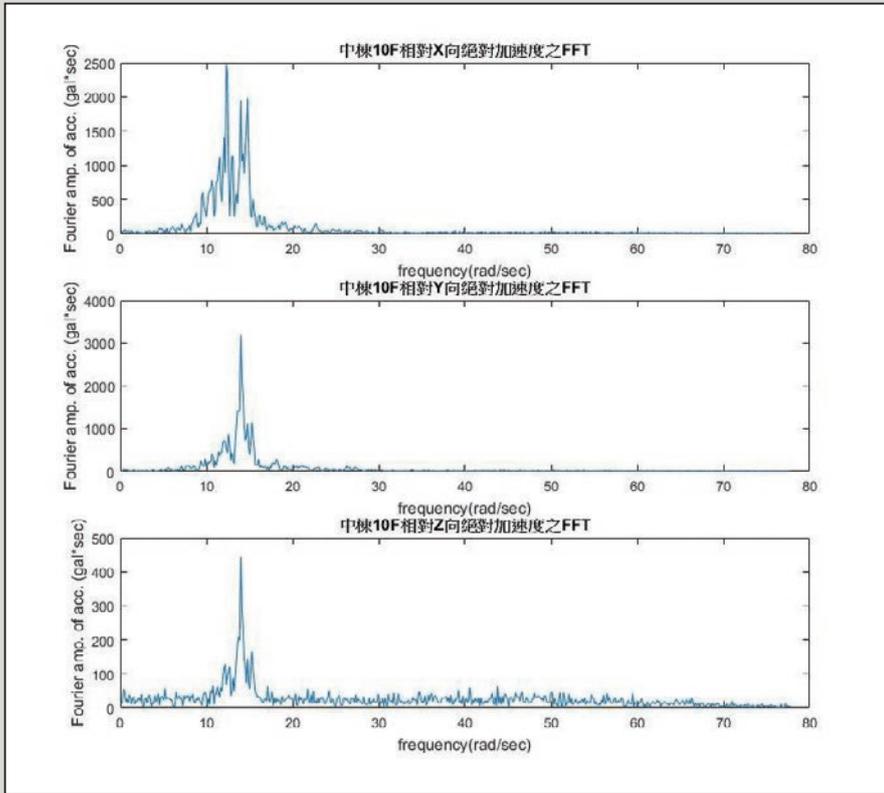


圖14 0708地震中棟10F相對加速度之傅氏振幅譜

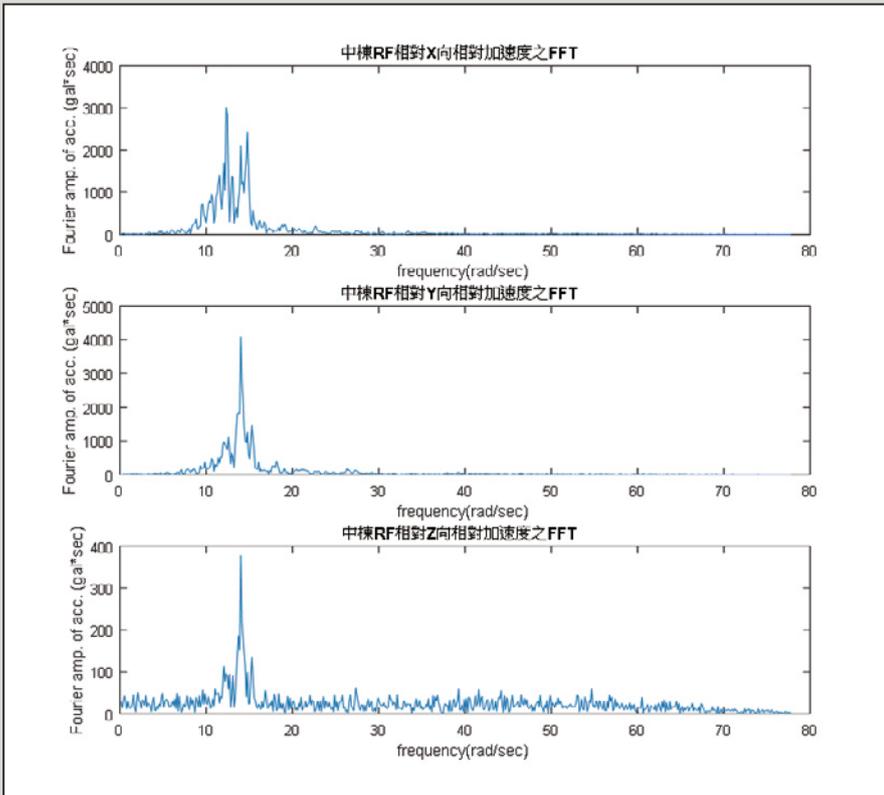


圖15 0708地震中棟RF相對加速度之傅氏振幅譜

二、快篩診斷結果

由於公宅中棟3樓、7樓、10樓與頂樓有加速度量測記錄，可積分成位移紀錄來計算1樓至3樓局部變位角(θ_{1F-3F})、3樓至7樓局部變位角(θ_{3F-7F})、7樓至10樓局部變位角(θ_{7F-10F})及10樓至頂樓局部變位角(θ_{10F-RF})，比較局部變位角與損壞狀態之層間變位角門檻值可得個局部樓層目前損壞狀態。由於左棟及右棟7樓及頂樓都有量測，亦可計算 θ_{1F-7F} 及 θ_{7F-RF} 等兩個局部變位角並利用上述快篩標準判別損壞狀態。表4-7為四次地震之快篩結果，皆處無損壞狀態。

表4 0708地震之快篩結果

0708地震	最大局部變位角	對應方向 (θ°)
中棟 RF-10F	1.485102e-05	0
中棟 10F-7F	1.344965e-05	10
中棟 7F-3F	1.810436e-05	140
中棟 3F-1F	2.393327e-05	150
左棟 RF-7F	5.215460e-05	130
左棟 7F-1F	4.277559e-05	110
右棟 RF-7F	1.609426e-05	20
右棟 7F-1F	1.660143e-05	50

表5 0805地震之快篩結果

0805地震	最大局部變位角	對應方向 (θ°)
中棟 RF-10F	2.837757e-05	50
中棟 10F-7F	3.199098e-05	120
中棟 7F-3F	6.383853e-05	130
中棟 3F-1F	8.686535e-05	170
左棟 RF-7F	1.731829e-04	100
左棟 7F-1F	1.417781e-04	170
右棟 RF-7F	5.375826e-05	70
右棟 7F-1F	4.838747e-05	40

表6 0806地震之快篩結果

0806地震	最大局部變位角	對應方向 (θ°)
中棟 RF-10F	1.301171e-05	140
中棟 10F-7F	1.745403e-05	160
中棟 7F-3F	2.436622e-05	160
中棟 3F-1F	3.273785e-05	130

左棟 RF-7F	7.159675e-05	110
左棟 7F-1F	4.711260e-05	90
右棟 RF-7F	3.379934e-05	70
右棟 7F-1F	2.746499e-05	60

表7 0926地震之快篩結果

0926地震	最大局部變位角	對應方向 (θ°)
中棟 RF-10F	1.742554e-05	40
中棟 10F-7F	3.806976e-05	50
中棟 7F-3F	3.123799e-05	20
中棟 3F-1F	3.778698e-05	60
左棟 RF-7F	1.784048e-05	0
左棟 7F-1F	2.959439e-05	40
右棟 RF-7F	2.504848e-05	100
右棟 7F-1F	2.750086e-05	80

三、結構之系統動力參數識別及健康診斷

將7月8日3樓、7樓、10樓與頂樓X方向反應進行識別，將分段點數設定為每段1000點，設定好之識別參數與每段之地震紀錄及反應代入頻率域之遞迴式改良型基因演算法進行二個振態之參數識別，將頂樓X向量測反應及估測反應繪於圖16，其誤差指數為19.49%，圖中可看出量測反應與估測反應之差異不大。接著將X向第一振態的參數識別結果經過繪於圖17，第一振態阻尼比在0.73%~3.18%之間變化，第一振態頻率在12.44 *rad/sec* ~12.81*rad/sec*之間變化。

將3樓、7樓、10樓與頂樓Y方向反應進行一個振態識別，將頂樓Y向量測反應及估測反應繪於圖18，其誤差指數為15.11%，圖中仍可看出量測反應與估測反應之差異不大。接著將Y向第一振態的參數識別結果經過繪於圖19，第一振態阻尼比在0.86%~1.87%之間變化，第一振態頻率在14.08 *rad/sec* ~14.25 *rad/sec* 之間變化。

再對其他三個地震紀錄及反應進行識別，接著將X向的第一振態頻率識別結果繪於圖

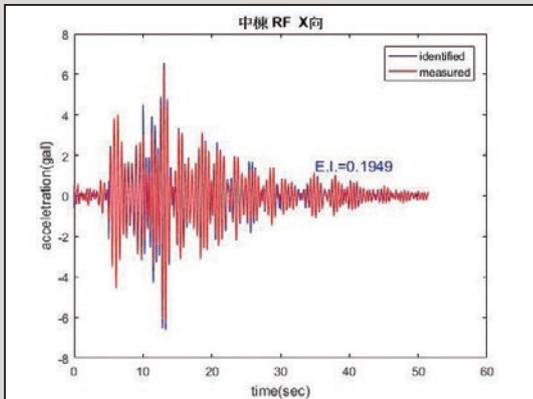


圖 16 0708地震頂樓X向之量測反應與估測反應

20-22；同樣亦可識別Y向之第一振態的參數。

接著進行損壞評估，首先計算軟化指標，以0708地震識別之參數平均值為參考值，將三個地震X向最大軟化指標計算結果繪於圖23中，三次地震之軟化指標皆小於輕微損壞之門檻值10%，因此X向為無損壞狀態。同樣計算Y向最大軟化指標，計算結果繪於圖24中，三次地震之軟化指標仍小於輕微損壞之門檻值10%，因此Y向亦為無損壞狀態。

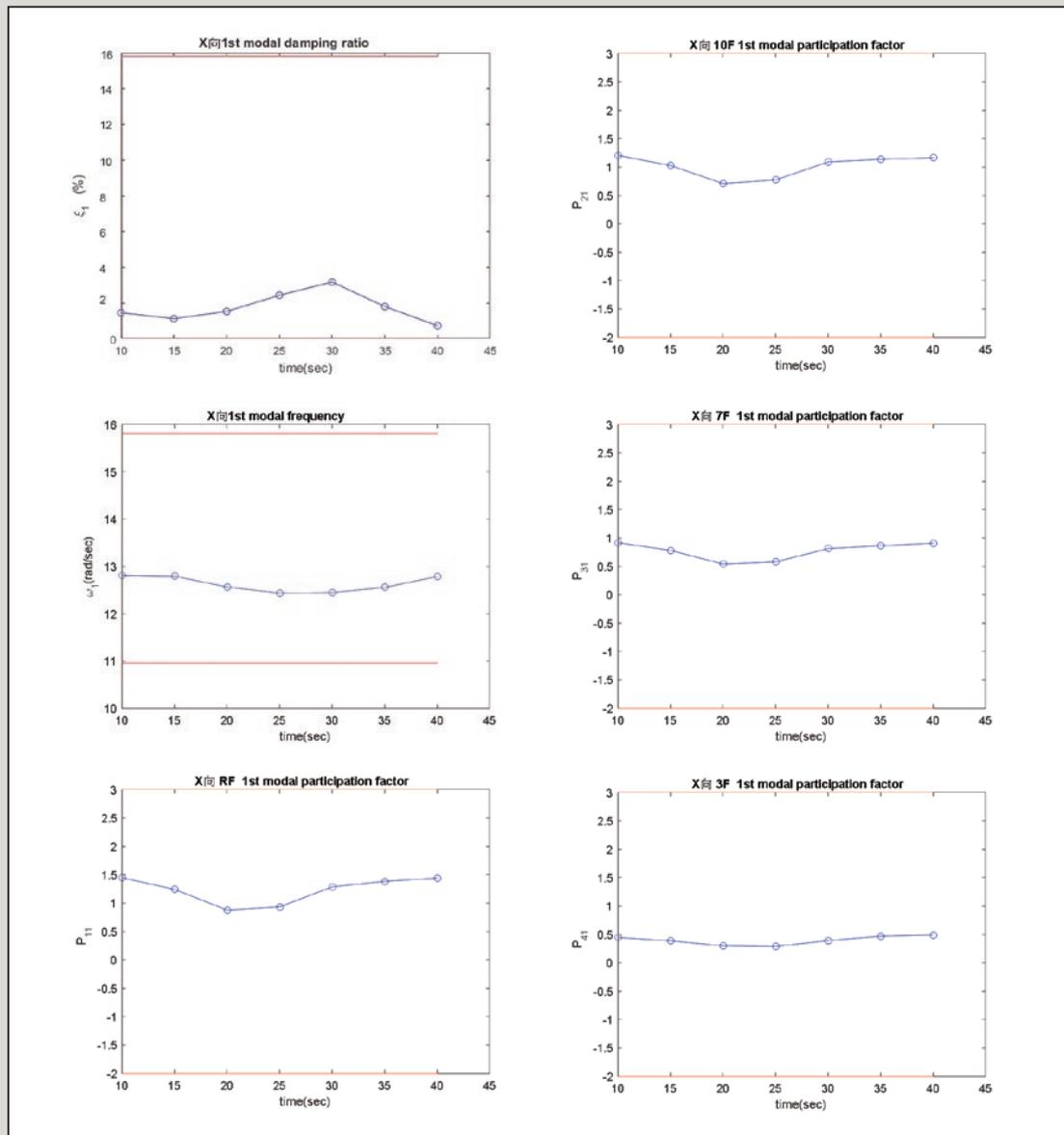


圖 17 0708地震X向第一振態的參數識別結果

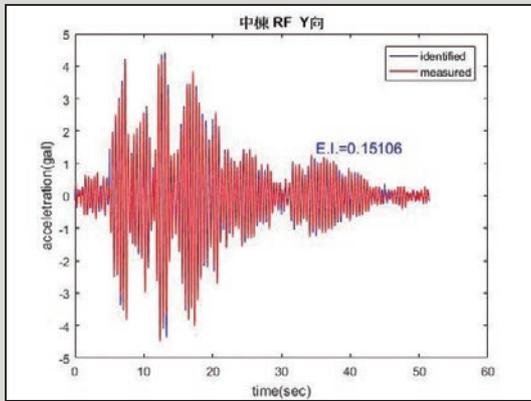


圖18 0708地震頂樓Y向之量測反應與估測反應

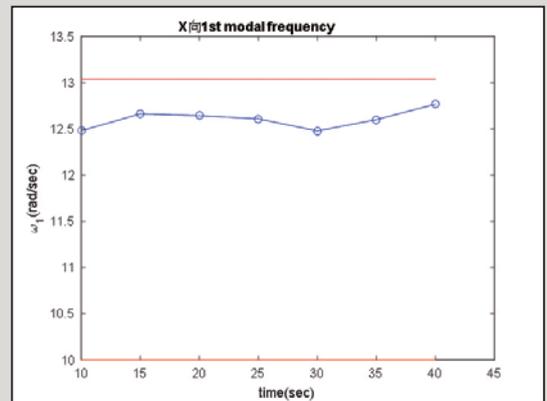


圖21 0806地震X向第一振態的頻率識別結果

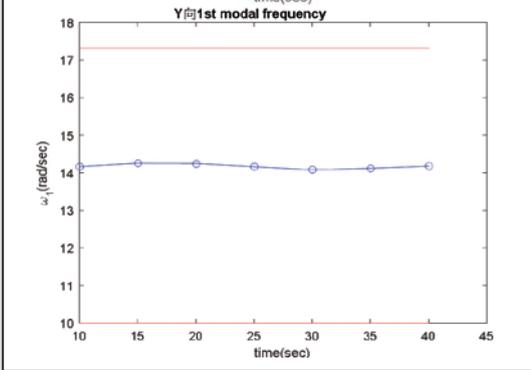
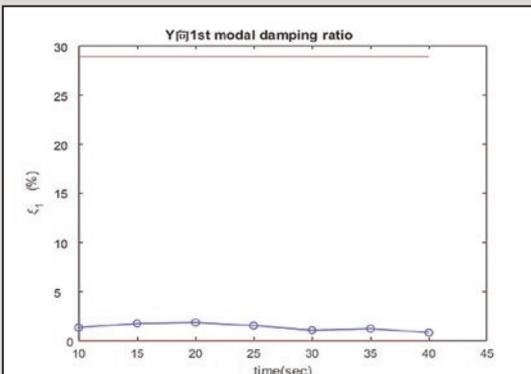


圖19 0708地震Y向第一振態的參數識別結果

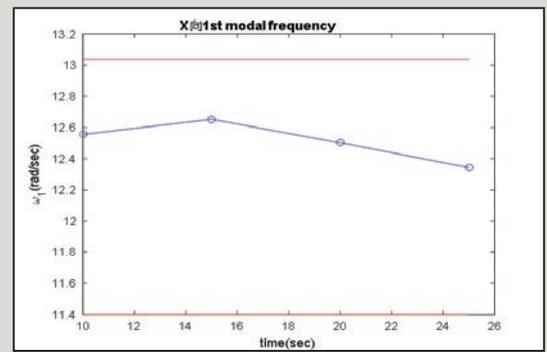


圖22 0926地震X向第一振態的頻率識別結果

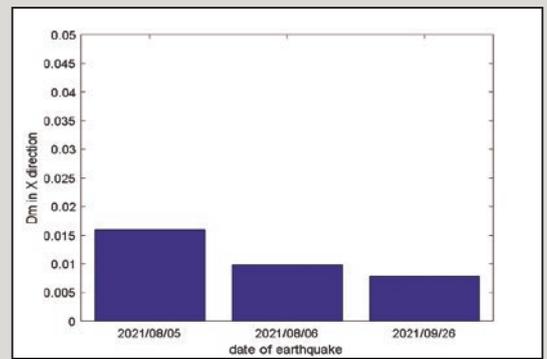


圖23 各地震X向第一振態之最大軟化指標

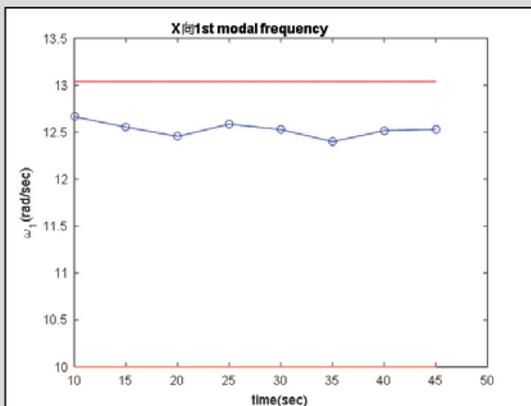


圖20 0805地震X向第一振態的頻率識別結果

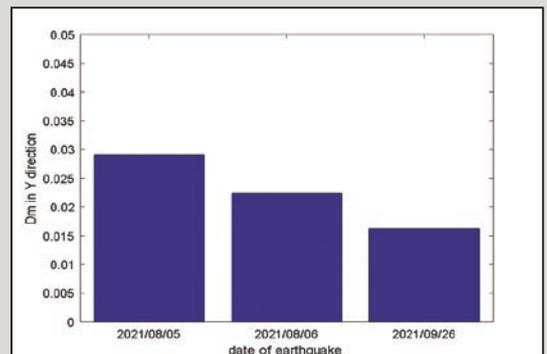


圖24 各地震Y向第一振態之最大軟化指標

接著利用SDI指標進行 RF-10F、10F-7F、7F-3F及3F-1F之X向SDI指標結果繪於圖25。ASDI值同樣以平均值來敘述，若指標計算為負值表示該次地震之局部樓層勁度比參考地震為大，該圖將負值指標改為0繪製圖上。由圖中顯示結構物在0805地震作用下，RF-10F、7F-3F及3F-1F之SDI指標皆小於5%。在0806地震作用下RF-10F及3F-1F之SDI指標值分別上升至17%及11%左右；接著0926地震作用下，RF-10F及3F-1F之SDI指標值分別上升至22%及16%左右。Y向SDI指標結果繪於圖26，由該圖顯示結構物在0805地震作用下，10F-7F及7F-3F之SDI指標皆小於12%。在0806地震作用下RF-10F、10F-7F、7F-3F及3F-1F之SDI指標值皆小於6%；接著0926地震作用下，10F-7F及7F-3F之SDI指標皆小於11%。

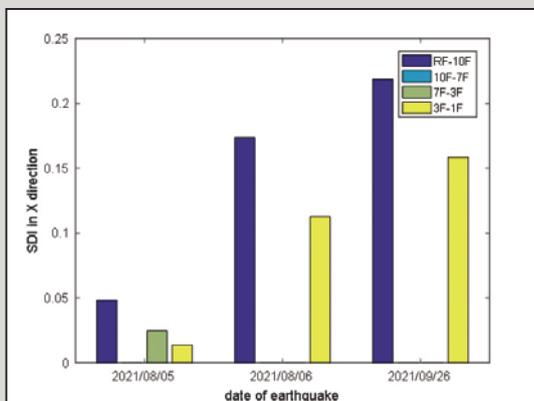


圖25 各地震X向第一振態之SDI指標

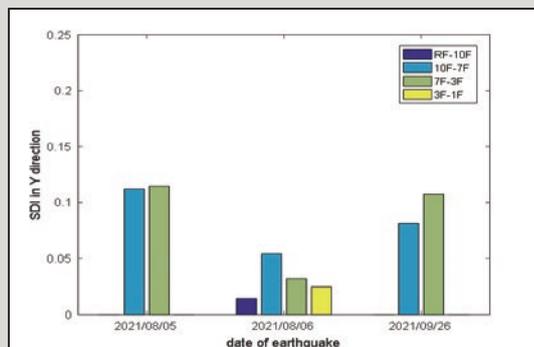


圖26 各地震Y向第一振態之SDI指標

結語

本計畫佈設了11個強震儀，自佈設瑞光公宅之強震儀監測系統後，因各種原因一直沒收到完整11個測站地震紀錄。將驅動強震儀收集紀錄的震度由原先的2級降成1級後，始於7月8日收集到第055號花蓮縣壽豐地震紀錄。目前已經發展一套快篩診斷系統，能先即時分析收集的地震紀錄，初步了解公宅健康狀態。該快篩系統是以局部變位角為基礎，搭配Hanus Loss Estimation Methodology定義之輕度損壞、中度損壞、嚴重損壞、完全損壞等四種損壞狀態的層間變位角門檻值。

此外本計畫亦收集地震事件之歷時加速度紀錄與反應(進行前處理即傅立葉轉換)，利用傅立葉振幅譜的峰值位置可作為後續系統識別之參考。利用頻率域之遞迴式改良型基因演算法探討結構物振頻、阻尼比及振態形狀，並探討結構物動態特性之時變性，並建立基線狀態參數。研究所得之各結構相關的資料皆存檔備存，可供後續的研究參考與相關應用。最後可利用最大軟化指標(Maximum Softening Index)及局部樓層(勁度)損壞指標(SDI)來判斷目標結構物之損壞程度。分析結果得到以下結論：

- 一、利用建立的八組最大局部變位角，即可了解結構受震後受損的樓層範圍。以7月8日收集到第055號花蓮縣壽豐地震紀錄進行快篩診斷，八組最大層間變位角皆小於輕度損壞平均層間變位角門檻值，因此社宅之結構系統處於無損壞狀態。8月5日，8月6日及9月26日之三次地震亦是處於無損壞狀態。
- 二、前三次地震快篩結果皆為左棟的最大局部變位角最大，中棟則以1F-3F最大局部變位角最大。0926地震則為中棟10F-7F最大局部變位角最大。

三、利用頻率域之遞迴式改良型基因演算法識別四次地震X向兩個振態及Y向一個振態的參數，包括頻率、阻尼比及振態形狀，並探討結構物動態特性之時變性。

四、以0708地震建立基線狀態參數，再利用最大軟化指標(Maximum Softening Index) 及局部樓層(勁度)損壞指標(SDI)來判斷目標結構物之損壞程度。軟化指標在後續三地震之分析結果皆小於輕微損壞門檻值10%。局部樓層(勁度)損壞指標在後續三地震之分析結果皆小於輕微損壞門檻值25%

因應本計畫所需而開發的建築結構健康監測平台，過程中必須協調各領域的專業，包括內部網路、外部網路、通訊協定及相關軟硬體設定等問題，以確保穩定取得完整的地震數據，進而提供給分析團隊進行結構安全診斷。平台具備完整的基礎建設後，整合中央氣象局的地震資訊、現地的強震儀數據、初步快篩評估及詳細結構分析診斷，根據不同的使用需求設計不同的視覺化應用模式，平台除了能夠提供給專家所需的數據與圖表，也提供給非結構專業的管理人員掌握軟硬體即時狀態及震後的評估結果。雖本平台係為本計畫而開發，預期未來能收容更多的物聯網(Internet of Things, IoT) 相關數據及整合其他智慧演算，以視覺化的方式呈現建築物的健康指標。

參考文獻

1. FEMA, Hazus Earthquake Model Technical Manual (Hazus 4.2 SP3), 2020.
2. 洪忠儀，「結合基因演算法與局部搜尋法於結構動力系統識別」，碩士論文，私立朝陽科技大學營建工程研究所，臺中，2005。

3. 蔡永勤，「應用頻率域改良型基因演算法與遞迴式改良型基因演算法於結構動力系統識別」，碩士論文，私立朝陽科技大學營建工程研究所，台中(2010)。

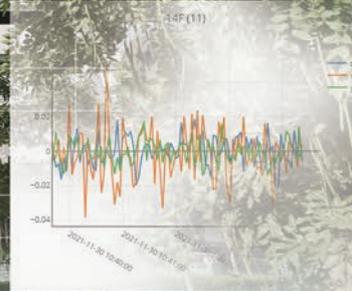
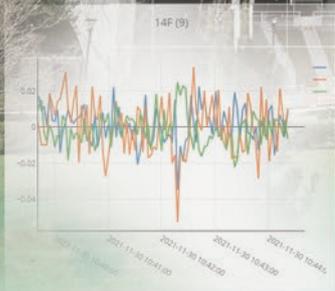
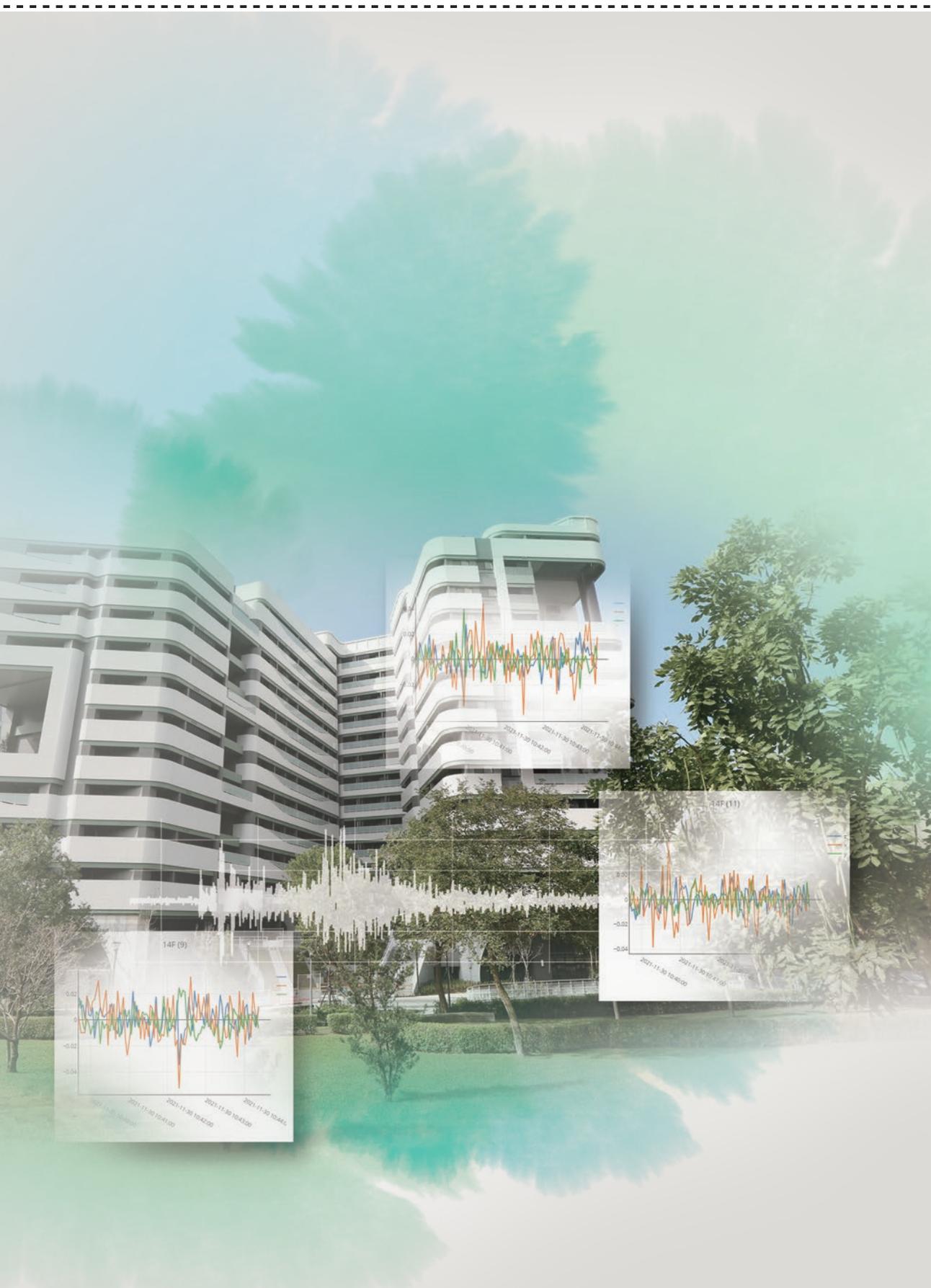
4. 李穎睿，「應用頻率域之遞迴式改良型基因演算法於結構系統識別」，碩士論文，私立朝陽科技大學營建工程研究所，臺中，2013，指導教授：王淑娟。

5. 蘇瑞育、王淑娟、林志全(2020)，「數位分身：BIM結合IoT於大樓營運階段之創新應用」，中華技術，第128期，第64-74頁。

6. Dipasquale, E., and Cakmak, A.S., "Seismic Damage Assessment Using Linear Models," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 9, No. 4, pp.194-215, 1990.

7. Jer, F.W., Chi, C.L., and Shih, M.Y., "A story damage index of seismically-excited buildings based on modal frequency and mode shape," *Engineering Structures*, Vol 29, pp 2143-2157, 2007

8. Alampalli, S., Fu, G., and Dillon, E., "Signal Versus Noise in Damage Detection by Experimental Modal Analysis," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 123, pp.237-245, 1997.



3

專題報導

稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目/作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1, 2, 3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977).

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973).

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏河流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).



編後語

營建工程與我們的生活息息相關，是非常古老而傳統的產業，惟隨著新科技資通訊技術之發展，營建產業該如何掌握及導入創新科技與數位轉型的演化，要隨時代巨輪蛻變應非一蹴可及，為未來保持競爭優勢及產業升級，則必須從創新產業之思維，進行全面性之因應調整與精心布局。

本期中華技術內容聚焦在營建工程之創新科技轉型中的創新工法以及技術之提升，於高風險不利環境中如何尋求突破與克服困難，於施工遭遇文化遺構時基於保護歷史文資紀錄之處理經驗，以及利用科技化工具搭配工程管理手法，應用於工程全生命週期的每個階段專案管理，也是營建e化之具體表現。

謹此特別感謝交通部胡湘麟次長及台灣中油公司方振仁副總經理在百忙中接受專訪，指引未來智慧運輸的新思維及政府能源政策之方向，以及撰寫專題的諸位作者的貢獻心力，提供寶貴的實務經驗分享，相信能為營建產業帶來一些省思與交流學習。

附記：

本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式乙份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。

 財團法人中華顧問工程司
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

台北市10637辛亥路二段185號28樓
28F, No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>

CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



金門大橋工程



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

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

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

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

用心 做好每一件事情

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