

# 中|華|技|術|137

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2023. 01. 31 出版

## 營建區域連結與 智慧幸福好宅



台北郵局許可證  
台北字第3758號

專訪人物／

交通部高速公路局趙興華局長

前臺北市都市發展局黃一平局長

金門大橋規劃設計之挑戰與突破

金門大橋下部結構施工實務

智慧社宅園區資通訊領域營建管理特色—以廣慈博愛園區開發計畫為例

打造友善社區環境之減震智能宅—臺中勤美之森

人本考量之車輛維修工廠—臺鐵潮州機廠

光纖變位量測技術之運用



財團法人中華顧問工程司 發行



台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製





# 營建區域連結與 智慧幸福好宅



# CONTENTS

中華技術 137

## 目錄

### 專輯前言

#### 1 | 人物專訪

8. 訪交通部高速公路局局長趙興華  
談「高速公路建設於營建區域連  
結之擘劃與願景」.....

.....整理：潘其良・攝影：詹朝陽

20. 訪前臺北市府都市發展局局  
長黃一平談「建構都市永續發  
展藍圖，營造優質都市環境之  
台北策略」.....

.....整理：黃實翰・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  
137期召集人 何泰源  
137期審查委員 鄧建華、莊明哲、陳志鴻、林聰能  
蔣啟恆

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

### 36. 金門大橋主、邊橋上部結構預鑄節塊懸臂吊裝工法介紹.....

..... 郭呈彰、張震宇、潘小珍

## 3 | 專題報導

### 58. 金門大橋規劃設計之挑戰與突破.....

黃炳勳、蔣啟恆、陳炳宏、劉珊、吳弘明、陳明谷

### 76. 金門大橋下部結構施工實務.....

..... 謝克岱、柯明佳

### 98. 智慧社宅園區資通訊領域營建管理特色—以廣慈博愛園區開發計畫為例....

..... 林聰能、黃寶翰、夏偉根、羅銅城



### 116. 打造友善社區環境之減震智能宅—臺中勤美之森.....

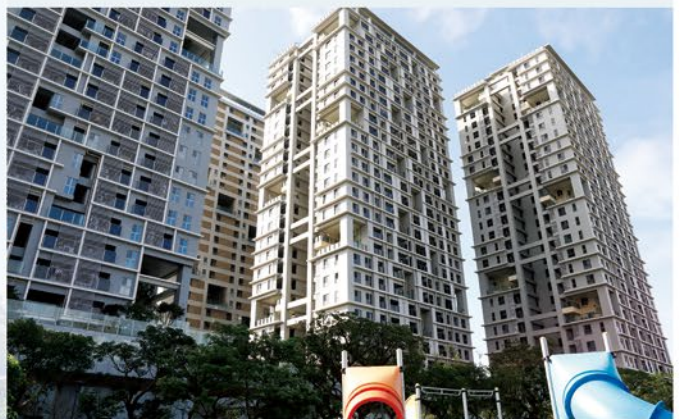
..... 陳協良、鄧建華、郭光宜、吳昌忠、莊曜聰、王功裕

### 130. 人本考量之車輛維修工廠—臺鐵潮州機廠.....

.... 姜登凡、謝進崑、莊明哲、劉醇宇、陳純全

### 138. 光纖變位量測技術之運用.....

..... 許文貴、顏俊銘、陳志鴻、林睿遠



## 4 | 特稿

### 152. 結構健康監測的定位與價值.....

..... 陳銘鴻、蔡欣局、黃進國

## 編後語



# 專輯前言

營建工程以改善環境與便捷民生為目標，隨著科技的進步，創新技術的應用，使得營建產物不再侷限於單一面向的工程而已，而是涵蓋「連結」與「整合」的機制，藉由點、線、面的通盤考量，透過資通訊、光纖、網路等類似精密神經系統的鏈結，使營建產物也開始有了「智慧性」，而這些變化，正悄悄地改善我們的居住與工作環境。

另一方面，在科技發展下，許多生活科技亦被應用到「建築」中，所謂「智慧建築」等概念，即是透過多元的網路及科技設備適當地導入及應用，使得建築空間本身具備智慧化功能，提升使用上的便利及安全性。同時在永續性提升上，智慧建築所預期達成之功效與「綠建築」有些許重疊，而且智慧建築更探討科技生活便利性及防災的安全性，因地制宜導入各項管制策略，甚至推廣工地智慧管理至其他大型公共工程，兼顧建設與環境品質，營造友善共好的幸福生活。

本期中華技術以「營建區域連結與智慧幸福好宅」為主題，



很榮幸邀請到交通部高速公路局趙興華局長接受專訪，暢談金門大橋工程的過往挑戰與寶貴經驗，以及趙局長對於高公局與高速公路建設未來發展之期許及願景。另外也特別拜訪前臺北市政府都市發展局黃一平局長，分享首善之都永續發展藍圖的擘劃與政策方向，並解析如何運用科技治理，營造優質人本居住環境，再塑臺北嶄新風貌。

本期專題報導首先探討跨海橋梁，甫於111年10月底通車的金門大橋，以「三分交通、七分觀光」為功能定位，跨越金烈水道，銜接大、小金門，為國內首座大規模跨海橋梁，主橋位於水深20~23m之深槽區，為5塔6跨、主跨徑200m之脊背橋，採金門縣民票選之「穗心傳語、風情再現」橋型。跨海大橋工程險峻，需克服堅硬花崗岩、海域水深、潮差變化、高腐蝕環境、氣象與海象、小三通航道等各種影響，復以興建期間數次波折，施工團隊殫精竭慮，仰賴船機與構台築起臨時跳島，構建深槽區的主、邊橋，實屬難能可貴的工程經驗，故本刊以專題探討金門大橋工程的規劃設計、下部結構施工，並敦邀交通部高速公路局第二新建工程處郭呈彰處長賜稿，介紹主、邊橋上部結構預鑄節塊懸臂吊裝工法，內容精闢，以饗讀者。



# 專輯前言

在集合住宅方面，借鏡臺北市政府廣慈博愛園區開發計畫導入智慧社宅園區資通訊(ICT)之設計，結合「綠建築」、「智慧建築」及「循環經濟」理念應用於建築空間後再擴展至社區，在綠建築及智慧建築基礎上，引進能源管理系統及資通訊技術整合方案，開創社會住宅之營建與營運之全新觀點與作法；而由勤美集團開發之「勤美之森」計畫，著眼於土地與市民之對話，重視開發對居民的影響，以智慧建築、綠建築設計導入低碳建築思維，引進智能抽水，自動化監測設備、IoT（物聯網）、大數據分析及抽水控制系統等，精準控制水量，落實水資源共享，另在結構減震方面，搭配速度型及位移型阻尼器，使建築消能效果與抗震能力獲得充分發揮，同時導入地震預警系統(EEWs)，提升民眾居住安心感。

最後，在鐵道工程方面，本專輯將帶您初探臺鐵潮州機廠這座流程順暢化、設備現代化及布置效率化的廠房，其檢修作業不僅可縮短車輛停留時間、減少中斷待工情形、有效提高周

轉率，並讓各維修區間可互補調配，降低運營及維修成本，以提高檢修品質

與效率；另分享應用在鐵路變位測量的分布式光纖技術，由於光纖具有質輕易裝及靈敏精準的特性，可跟各種受測物件相互結合，成為結構的感應神經，本項技術除了應用於國內的軌道沉陷監測，在國外也有使用成功之案例，包括地鐵車站的連續壁變形測量、超高大樓的樓高短縮測量等，可預期此項技術將為工程界帶來革新與便利。

誠如本期主題「營建區域連結與智慧幸福好宅」闡述，創新科技的引進，屢屢突破土木建築固有的界限，整體實踐尤其展現出工程人不畏艱難的硬頸精神，唯有如此兼容並蓄、相輔相成、同心同力為建設環境而奉獻的精神，方能帶給民眾更便利與舒適的生活，期許為子孫與這片土地打造更美好的明天！



台灣世曦工程顧問股份有限公司

代理副總經理

何泰源





訪交通部高速公路局局長

**趙興華**

**談**

**高速公路建設於營建  
區域連結之擘劃與願景**

整理：潘其良 · 攝影：詹朝陽

## 壹、前言

趙興華局長畢業於國立成功大學土木工程研究所碩士，歷任交通部科長、簡任技正、公路總局主任秘書、副局長、局長、交通部技監等職務，資歷、學經歷俱豐，於民國105年10月接任高速公路局局長，帶領國家級道路建設從經濟安全邁向智慧永續的「第四代高速公路」。

趙興華局長就任時被當時的賀陳旦部長賦予的第一件重大工程正是金門大橋接續工程，經重新上網招標順利於民國105年11月29日決標。金門大橋接續工程經歷6年的施工，趙局長帶領團隊，克服海象惡劣，挑戰堅硬的花崗岩地質，全長5.4公里的金門大橋遂於民國111年10月30日通車，完成此重大艱鉅的任務，將分開數萬年的大、小金門島藉由大橋的通聯串連起來。過去從金門搭船到列嶼（小金門）約15至20分鐘，金門大橋通車後，開車路程僅5分鐘，不再因天候、海象和船舶問題等影響而中斷。金門大橋特殊之脊背橋以線條堆疊「高粱穗心」多元的串連為造型，向上箭頭象徵金門和烈嶼（小金門）的連結，搭配金烈水道海天一體的天然景緻，這座大橋不僅是金門地區海上新地標，也是國內規模最大的跨海大橋。為確保用路人以及橋梁安全，橋上設置了联控、氣象偵測設備及全時鋼纜監測，讓安全更有保障。

本刊很榮幸於民國111年11月1日專訪趙局長，跟我們暢談金門大橋過去的經歷、當下的挑戰與未來對高速公路及跨海大橋的期許，專訪內容經整理如後。

## 貳、訪談紀要

問：局長歷任多項公職帶領各項建設，對高公局未來的期許與願景？

答：高速公路為國內公路等級最高的道路，也肩負了城際運輸的重要使命。回顧高速公路的發展歷程，從第一代追求施工品質、道路平整度與提升行車速度為目標，至第二代加入景觀及美學概念，到了第三代，隨著環保意識逐

漸提升，我們也將生態及環境保護納入考量。而因應科技技術的發展，現階段第四代高速公路，更進一步運用多重科技，使國道服務更具智慧化。

確保國道交通與設施安全是我們的首要任務，為了減少事故發生，藉由肇因分析來對症下藥，除透過各種管道加強交通安全宣導外，更主動在各服務區設置駕駛人休息室，讓駕駛人能夠充分休息，避免因疲勞駕駛導致事故發





生。在設施安全方面，則針對路面、邊坡、橋梁、隧道等四大國道設施進行安全監測與養護工作，以預防性維護的概念，導入全生命週期管理制度，藉由落實巡查、安全檢測、維修補強，並依安全評估的結果來進行改善，確保設施整體結構的穩定，保障用路人行車安全。

另外，因應全球氣候變遷，以及環保意識的抬頭，國道工程的興建不僅僅只是單純考量施工品質，對於生態環境的維護更是極具重視，除了在規劃設計階段即藉由生態調查來瞭解當地原生物種以及自然環境樣貌外，在施工過程中儘量予以迴避或妥善保護，施工完成後，亦適時適地種植合宜的多樣性樹種，以利儘速恢復當地原有生態，務求降低工程對環境所造成的衝擊。

高速公路的路網架構已漸趨完整，不過我們仍然持續致力於國道設施服務的再提升與再進化，包括瓶頸及危險路段的改善、串聯高速公路系統、強化海空港聯外交通，期能構建一個完善且便捷的高快公路路網系統。同時將有效結合電子收費與氣象偵測資料，透過先進科技、雲端運算技術及大數據的應用，推動新一代交通管理措施與精準路況資訊，提供更豐富完整的訊息，使用路人能夠適切地規劃行旅時間與路線，避開壅塞時段及路段，減輕道路壅塞情形，有效提升國道運輸效率。

展望未來，我們仍然秉持著永續發展的理念向前邁進，除了打造「國道-綠廊道」，讓國道與生態環境共存共榮外，更期許自己能夠為國人提供一個安全往返、便捷行旅、舒適體驗、順意暢行的優質國道。

問：局長在肩負各項交通建設等繁重業務下，對於新建工程(如金門大橋等)每日進度細節仍能瞭若指掌，這樣高強度管理以局長位階非常不易，局長如何在百忙中堅持不輟？請局長分享個人對於工程管理的理念。



(左3)卓明君組長 (左4)林生發組長  
(左1)吳佩蓉副總工程司 (左2)陳妙幸正工程師

答：本人本來就是工程背景出身，職場生涯不論之前在交通部或是公路總局，一直都在推動國內的重大公路交通建設，對於公共工程推動有一定程度的熟悉。

我們知道所有的工程，都會從動員準備、初始動工、逐步提升施工動能，從而進入施工高峰，然後再到完工收尾階段。而每一項工程都有它的施工關鍵，所以我會從掌握每項工程關鍵部分著手，要求第一線工地同仁對於自己負責的工程，要能整理及掌握關鍵課題及施工重點。

除了藉由工地定期的每週回報，提醒工地同仁注意關鍵及重點的項目外，過去在交通部以及公路總局督導重大公共工程的經驗，讓我在瀏覽這些施工訊息同時，不僅可以瞭解並掌握工地的狀況，另外可以提醒同仁預判未來3-6個月廠商可能遭遇的施工風險與困難，以提早做好準備因應。尤其金門大橋屬於海事工程，施工船機受天候、海象之影響尤其劇烈，如何協助廠商、同仁往正確方向做決策，是我在局長這個職位要掌握的重要工作。



(中左)趙興華局長 (中右)施義芳董事長  
(右4)廖學瑞代理總經理 (右3)何泰源代理副總經理 (右2)鄧建華資深協理 (右1)潘其良經理





# 1

## 人物專訪

問：金門大橋在貴局合情合理合法協助施工廠商、解決各項困難挑戰下順利通車，如走訪銀行團、移工引進等問題，這是機關很難得的作為，請局長能分享其中艱辛歷程與寶貴經驗。

答：金門大橋是國內第一座大型跨越航行海域之橋梁，我們肩負實現完工通車的責任，在國內廠商缺乏經驗及高工程技術難度下，本就是个艱鉅的挑戰。但在歷經2次重新發包過程，加諸當年金融環境氛圍因素，接續工程得標廠商很早便向我反應其所接觸銀行業者都對金門大橋後續推動抱持悲觀的態度，致使廠商在取得銀行融資擔保產生極大困難。

我個人思考銀行本身是金融專業，但對於橋梁工程應該不熟悉，所以我起心動念陪同廠商拜訪銀行高層，用工程專業來介紹金門大橋的工程特性，我認為只要使用對的機具、對的方法，金門大橋工程是有很大的機會完成的。在這樣的積極走訪解釋過程，最後也許是施工廠商老闆的熱情感動了銀行業者，也許是我們的說明讓他們瞭解金門大橋在臺灣的施工技術是可以做到的。在此也要感謝幾家銀行的支持，提供廠商足夠的融資，才有金門大橋今日通車的成就。



趙興華局長和施義芳董事長參加金門大橋通車典禮



趙興華局長和金門大橋風獅爺橋名柱合影

移工引進部分，其實主要是配額問題，金門大橋因為是在金門地區施工，大部分的臺籍工班對於前往離島工作意願是較低落的，所以金門大橋的勞工不足問題一直困擾施工廠商，只能依靠外籍移工的引進，但又因為新冠肺炎疫情，國外移工受限當地的法令管制，本島又有幾項大型電子廠房正在推動，對於金門大橋外籍移工的引進造成一些影響。面對這樣的問題，我們研究當時「外國人從事就業服務法第四十六條第一項第八款至第十一款工作資格及審查標準」(109年07月31日版)第18條第1項及同項第2款「…但個別工程有下列情事之一，



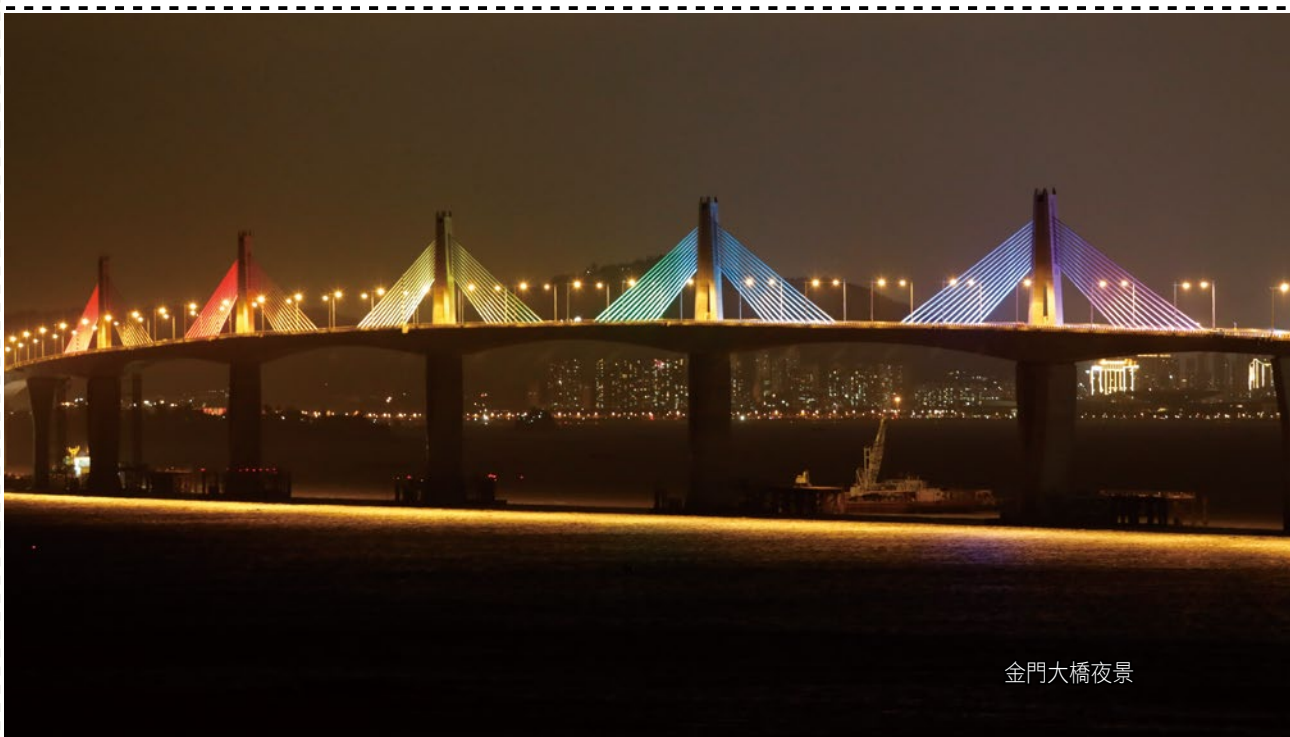


1

人物專訪

趙興華局長訪談中表示，金門大橋是國內第一座大型跨越航行海域之橋梁，在國內廠商缺乏經驗及工程技術難度下，是個艱鉅的挑戰，但在工程團隊齊心合力的努力下，終於在111年10月30日通車。





金門大橋夜景

# 1

## 人物專訪

分別依各該款規定計算之：…2.中央目的事業主管機關認有增加外國人核配比率必要，報經行政院核定者。」等規定，認為金門大橋有重要性及象徵性，應該可以嘗試專案陳報行政院核定增加外國人核配比率。在這裡要感謝行政院公共工程委員會吳主任委員澤成，他在瞭解專案申請案的前因後果後，迅速要求召開跨部會協調，並做出同意增加外國人核配比率決議，從而解決金門大橋缺工的部分問題。

問：金門大橋為國內首座長跨距橫越深槽區之跨海大橋，其施工歷經相當多的險阻，也已克服萬難順利通車，請問局長如何為國內保留如此難得的經驗？而這些經驗如何應用在未來國道

### 工程技術及對未來跨海大橋之期許？

答：金門大橋是國內最長之跨海大橋，全長約5.4公里，其中約4.77公里位於海上，且工址地盤為堅硬多變花崗岩，受到海象、氣象條件及海上作業等因素影響，從兩側近3公里施工棧橋架設開始，到基樁鑽掘、鋼箱圍堰基礎、高梁穗心造型的墩柱、橋塔、預鑄節塊的吊裝等等都是在海域完成的，箇中艱難及挑戰，真是許多心情故事的組成。為了記錄這一路走來的心得及經驗，我們有記錄工程技術的中英文專輯及工程紀錄影片，而為了普羅大眾，我們也有製作短片在影音平台及我們高速公路臉書播放，這些都可以提供大家參考。而金門大橋的海域工程技術及施工經驗，在國內工程界算是

相當珍貴且極具價值，為了推廣介紹，我們在108年4月及111年8月舉辦2次金門大橋工程研討會，邀請國內產官學研各界人士共同參加，期許藉由這樣的方式來推廣。

本局對國道工程技術提升向來是不遺餘力，以金門大橋而言，最主要是海域施工部分，尤其是金門地區特有的花崗岩堅硬地質，過程中，我想我們學習到應該是工程人員面對大自然的謙卑，如何選用適當的機具來回應大自然真實的試煉。對於國內未來的跨海大橋，

我想首先要從認識環境做起，再選擇對的機具、對的方法，要穩健踏穩每個步驟，謙卑面對大自然，最後終將會有成果的。

問：近期918臺東地區發生規模6.8地震後，西部物資動員到東部救災僅能走花東公路的路程著實遙遠，更加突顯中部地區東西向高速公路區域連結的重要性，貴局目前闢建之國4豐潭段即將完工，請問後續是否有國道6號延伸的規劃？另對於國道橋梁的維護與耐震補強，請問貴局有何規劃與想法？

答：

#### 一、國道6號延伸規劃

國道6號由埔里東延至花蓮須穿越中央山脈，不確定因素甚多，除工程技術困難度極高，並具有造價高、工期長及環境衝擊巨大等高度爭議性；依目前規劃之初步路廊將通過關刀山斷層、眉溪斷層、五甲斷層、奇萊山斷層、天長山斷層、龍溪斷層、清流斷層以及壽豐斷層等8處斷層，大地震發生時亦可能因道路中斷



金門大橋日景





致救災物資無法運送之困境。另依據110年辦理之「國道6號南投段東延至花蓮初步評估報告資料蒐集更新及專家顧問諮詢」初步評估成果，目前已知關鍵課題並無明確之解決方案，因此本局後續將依據交通部函囑，持續探討本案工程可行性，並就目前研析所遭遇困難點研議解決對策。

## 二、國道橋梁維護與耐震補強

921地震後本局即啟動國道橋梁耐震補強工程計畫，並分為多項計畫逐步推動，刻正辦理「國道高速公路後續路段橋梁耐震補強工程計畫」，該計畫分3個區段執行，其中區段1及2皆已完成工程發包，刻正施工中，區段3目前辦理規劃設計作業，預計於112年辦理工程發包作業，該計畫預計針對1,182座橋梁進行補強，完工後可建構臺灣高效率的地震救災緊急公路系統，並使國道橋梁達到「中度地震不壞、設計地震可修、最大考量地震避免落橋或崩塌」耐震理念，達成國家整體防災之永續發展總目標。

問：近年來因原物料上漲、施工人員短缺及疫情影響，造成公共工程缺工、缺料與覓商不易，因而影響工程計畫執行期程，局長對於現階段工作推動有怎樣的因應策略與想法？



答：

### 一、疫情影響

於招標文件納入無償提供本局收費站宿舍，供外勞檢疫隔離之用。





國道1號五股楊梅段拓寬工程

## 二、原物料上漲

適時檢討經費之合理性，依市場行情調整工項單價，並提高廠商管理費、保險及利潤之比例。

## 三、缺工能量不足

檢討勞動條件及廠商能量，放寬招標條件，增加工期。





#### 四、交維困難

工程需維持既有道路通行，困難度高，於招標文件放寬招標條件，給予適當時間申請交維計畫，並俟地方政府審核同意後再起計工期。

問：局長對於我國高速公路建設之未來發展，如新的區域連結路網規劃、解決經常壅塞路段問題(國道1號楊梅至頭份路段、臺中區路段等)、提升用路人更安全舒適之行車環境、智慧運輸系統發展等，有何期許及願景？

答：為滿足客貨運輸需求、健全區域路網效益及提升國道服務水準，本局持續辦理高快速公路整合優化工作，共分為三大面向：

一、海空港聯外計畫：因應桃園機場聯外交通需求(預估2040年貨運量420萬噸、年旅次量8,200萬人次)，辦理「國道1號甲線計畫」、「國道2號甲線計畫」；另為因應高雄港貨運需求(預估2041年貨運量1,589萬TEU)，辦理「國道7號高雄路段計畫」，相關計畫都已通過環評審查，將展開規劃設計作業。



國道7號高雄路段計畫示意圖

圖片來源：交通部高速公路局網站

二、強化高快速公路路網連結：目前高快速路網計有5縱(3國2快)18橫(6國12快)，為串聯高快速公路，已辦理國1銜接台65線(預計111年底動工)、國3銜接台66線(預計113年春節前達通車標準)、國1銜接台74線(預計113年春節前達通車標準)及國4銜接台74線(預計112年春節前通車)等系統交流道工程。另為解決國5末端塞車情形，已規劃「國道5號銜接蘇花改工程」。

### 三、高速公路瓶頸路段改善：針對國道1號

【容量不足】、【交流道運轉不佳】路段，刻推動「五堵至汐止路段拓寬(行政院111年8月9日核定可行性評估)、楊梅至頭份路段拓寬(行政院109年5月6日核定可行性評估，刻辦理環評作業)、后里至大雅路段拓寬(行政院111年1月10日核定可行性評估，刻辦理規劃及環評作業)」及「臺北及圓山、林口交流道改善」；另外在南部路段也將配合土庫排水橋改建、岡山第二交流道、橋頭科學園區增設匝道及後勁溪橋改建等工程，利用既有路權拓寬主線兩側各1車道，以提高國道容量。

透過前述三大面向健全並優化路網功能，提供更優質國道服務。

### 後記

承蒙趙局長於百忙之中撥冗接受本刊專訪，深信高公局在趙局長的帶領下必能運用多重科技智慧轉型、串聯高快速公路系統、強化海空港聯外交通，讓國道成為安全、順暢、智慧化的優質道路！僅將本次的訪談內容與大家分享，以供各界參考。



(中左)趙興華局長 (中右)施義芳董事長  
(右3)廖學瑞代理總經理 (右2)何泰源代理副總經理 (右1)鄧建華資深協理  
(左1)潘其良經理 (左2)陳妙幸正工程師 (左3)卓明君組長 (左4)林生發組長





訪前臺北市政府都市發展局局長

黃一平

談

建構都市永續發展藍圖，營  
造優質都市環境之台北策略

整理：黃寶翰 · 攝影：詹朝陽

## 壹、前言

黃一平局長歷任交通部國道高速公路局拓建工程處副處長、臺北市政府都市發展局主任秘書、臺北市政府新建工程處處長、臺北市政府工務局副局長等公職，退休後曾擔任民間台船環海風電公司籌備辦公室主任職務，於107年再次回到公職接任新北市政府城鄉局局長，110年2月念及與北市府同仁情誼，接任臺北市政府都市發展局局長一職，並於111年12月受邀轉任臺北市政府工務局局長，其市府資歷豐富完整，對臺北市都市計畫、社宅、都更等議題熟識又有經驗。

本期刊很榮幸於民國111年11月7日專訪黃局長，以下是專訪紀要。

## 貳、訪談紀要

問：您在土木建築建設上有非常傑出及完整的經歷，可否請您談談個人就參與都市建設及城市規劃的心路歷程？

答：回顧個人參與公共建設的經歷，從早期投入中央機關國道高速公路新建工程，接續承擔地方都市規劃、更新及工務部門的工作，亦曾接受民間公司為臺灣離岸風電市場提供全方位之海事工程服務的任務，其工程專業領域的屬性或許有所不同，但一路走來心路歷程著實有相當體驗。

在任職台船環海風電公司期間，因國內離岸風電工程尚處國外技術初期引入階段，在爰引適用國內法令、工法技術及職安法規方面，

深刻體認及累積相當溝通、協調與整合確認之經驗，其後任職新北市政府對於都市計畫服務工作，更體認因應新北市轄管幅員廣闊、推動政策應注意各行政區地域、城鄉差異的特性，執行策略強調更細膩、貼心與周延。

而擔任北市府都市發展局局長職務，因應北市各城區發展期程先後的成熟與需求條件不同，或甚至期待軸線翻轉，透過都市計畫通盤檢討以因應整體都市發展，乃首都未來轉型的契機，個人能將過往工作經驗回饋首善之都的城市治理，除滿足地方爭取開發建設之需求，更為建構台北永續發展藍圖，營造優質都市環境風貌，提出城市治理的策略。





問：請教局長您對於市府建構都市永續發展藍圖的主張與政策方向為何？

答：2050淨零排放已成為全球共識，各國及城市無不亟力尋求淨零新解方，以加速遏止全球暖化造成的氣候衝擊。臺北市作為臺灣首善之都，展現推動淨零政策決心，於今年3月發布「臺北市2050淨零行動白皮書」，具體提出氣候行動預算與計畫；此外，「臺北市淨零排放管理自治條例」也於今年6月在市議會支持下三讀通過，為臺北市擘劃未來淨零轉型的永續發展藍圖。

達成城市淨零目標需要公私協力，市府透過「由公而私，由內而外」原則，針對住商、運輸、廢棄物及農林四大部門因地制宜規劃減碳行動，逐步在市民的日常生活中推廣及貫徹，並扣合三大淨零核心關鍵路徑（智慧零碳建築、綠運輸低碳交通及全循環零廢棄），政策執行重點包括：

#### 一、住商部門：提升建築能效，落實分級管理

透過新建築能效要求、既有建築翻修及新舊建築能效盤查揭露，掌握及控管建築能源使用情形，朝向智慧零碳建築發展，並持續擴大透水鋪面、雨撲滿等調適措施，提升本市氣候

韌性。

#### 二、運輸部門：加速運具電動化，營造友善綠色交通

建構大眾綠運輸為基礎，同時完善低碳運具環境，推動運具電動化及燃油運具汰換補助，擴增自行車道，整合永續運輸與人本交通的規劃理念，以創造友善綠運輸環境。



(左)黃寶翰副理 (中)黃一平局長

### 三、廢棄物部門：減廢減塑，資源全循環 零廢棄

擴大環保容器循環系統及提升資源回收率，達源頭減廢減塑之效。另將焚化爐底渣、路面刨除瀝青再生利用，採雨水回收、中水利用系統，推動資源循環；同時將焚化廠轉型綠能發電廠，成為綠能循環園區，逐步導入碳捕捉再利用技術，降低廢棄物處理過程之碳排放。

### 四、農林部門：增綠常綠，提升及管理生態碳匯

投入綠資源提升及管理工作的，結合田園城市、公園綠地、行道樹等空間，持續增加人工林碳匯及既有濕地保育，提升城市綠覆率。

淨零排放涉及能源、建築、運輸、廢棄物等多面向議題，臺北市希望透過掌握淨零轉型契機，帶動城市綠色經濟成長，將減碳挑戰化



(右3)廖學瑞代理總經理 (右2)何泰源代理副總經理 (右1)林聰能代理協理





# 1

## 人物專訪

為產業轉型與提升競爭力的驅動力。但淨零目標並非單靠市府可獨立達成，亦非一蹴可及，更需要企業及民眾共同支持配合，市府也會持續汲取國內外淨零推動經驗，公私協力努力邁向淨零未來。

另配合國土計畫法發布實施，依立法意旨因應氣候變遷，確保國土安全，保育自然環境與人文資產，促進資源與產業合理配置，強化國土整合管理機制，並復育環境敏感與國土破壞地區，追求國家永續發展等，思考全市空間發展原則如何銜接全國國土計畫，從跨域發展、用地規劃、保育韌性及多元風貌等面向為基礎，依循國土計畫法精神辦理本市國土功能分區劃設及研擬本市空間發展原則與策略，兼顧保育與都市再生，以TOD、EOD二大計畫工具進行城市空間再布局，促使本市朝2050淨零排放目標及宜居永續城市的願景前進。

**問：在引導城市空間轉型，近年市府推動TOD及EOD期望帶動城市發展為何？**

**答：**臺北市建城超過百年，在可發展用地飽和情況下，促進都市再生與空間轉型是未來重要的都市規劃策略，2021年聯合國氣候變遷大會（COP26）已將「2050淨零排放」作為全世界

標準，於此目標下，「2050淨零排放」與城市空間再布局的課題，臺北市將透過TOD跟EOD作為達成目標的重要途徑。

「TOD」為「Transit-Oriented Development」，也就是「大眾運輸導向發展的都市發展」，是結合良好大眾運輸條件、高密度之混合使用、友善人行環境辦理之都市規劃。相較於其他國外城市的規劃手法，臺北市應如何發展屬於臺北市的TOD策略，都市發展局透過專家學者座談，可發現臺北市本身已具有土地混合使用的特性，在TOD的3D理論中，反而都市設計（Design）的層面最為缺乏，所



中山線型公園結合捷運站出口呈現浪漫北歐聖誕風

以市府過去推動的TOD成果，多融入都市設計整體規劃，如臺北市的東、西區門戶計畫，屬於大街廓的TOD整體規劃，臺北捷運公司打造的捷運綠廊（如：心中山），以人本交通的理念，留設良好的通行環境並保留與周邊商業空間的互動性，這是成功的TOD設計，目前尚有更多TOD案的規劃正在進行。





1

人物專訪

黃一平局長訪談中表示，思考全市空間發展原則如何銜接全國國土計畫，以TOD、EOD二大計畫工具進行城市空間再布局，並朝向2050淨零排放目標及宜居永續城市的願景前進。





# 1

## 人物專訪

另外，除市府主導的案件外，臺北市為引導民間共同協力更新都市環境，推動「修訂臺北市大眾運輸導向可申請開發許可地區細部計畫案」，將全市93場站周邊500公尺範圍劃定為可申請容積獎勵之地區，並增設提供開放空間及轉乘空間之容積獎勵項目、訂定法定停車空間折減規定、提高建築基地綠覆率，並要求需取得綠建築銀級標章，進一步達到淨零排放的目標，藉此引導提出低碳建築等構想，以公私協力的方式，逐步改善已建成環境，朝都市永續發展邁進。

EOD則是「市有建物及用地整合運用導向的都市發展」，「E」所代表涵蓋「教育Education」、「經濟Economy」、「生態Ecology」、「公平Equity」、「都市進化Evolution」等5E原則。

因應社會高齡少子化趨勢，並考量臺北市現有236所學校，未來15年內，將近70%校舍面臨改建的議題，基於學校均質分布各行政區的特性，目前EOD基地將由學校出發，於校園重建過程中，透過垂直整合及水平整合，在維持原有土地使用機能前提下，評估導入社區所需的公共服務，以創造土地複合利用效益。

臺北市2021年高齡（65歲以上）人口占全市人口比例已達20%，推估至2029年14歲

以下人口占全市比例約降至10%；城市公共服務應有新的思考：孩童減少，學校有部分空間開放社區使用的機會；未來老人增加，城市需要更多銀髮照護的服務。高齡者服務的相關設施，包括關懷據點、社區式長照機構及住宿式長照機構等，均應檢討提供，未來學校可作為全市長照布局的重要節點，以社區為基礎的照護系統，藉此實現在地托老之理想。

除人口結構改變外，在氣候變遷下，學校是重要的防災避難空間，升級學校建物，建立具備韌性城市、都市防災之機能，加強地區防洪及基地保水；並結合周邊社區之完整防災動線與避難點，提供避難、收容災民、消防、醫療、物資運送中繼、指揮站等機能之可能性。

EOD的目標是以優先滿足學校發展及教學需求，餘裕空間再評估作為公共福利設施，整合社區所需各項公共服務需求，包括托嬰、托幼、托老、社宅及居民活動中心…等，以韌性城市、防災耐震理念，並藉由公民參與事宜優化溝通，以進行學校改建規劃，讓市民有新的社區生活方式去適應城市未來面臨的各項挑戰。

以內湖舊潭美國小EOD案為例，配合基地周邊及建物條件，第一期開發即採保留部分可用建築，引入地方目前所需要的公共設施，如



臺北市內湖區潭美國小EOD案舊校舍整修為東區社福園區

(圖片來源：臺北市政府工務局新建工程處網站)

托嬰、非營利幼兒園及社區活動空間，第二期則將以市政儲備基地理念，配合未來市政及地方所需，再適時導入所需機能，如社宅、社福、托老等功能。



臺北市內湖區潭美國小EOD案非營利幼兒園教室透視圖

(圖片來源：臺北市政府工務局新建工程處網站)

TOD及EOD可以說是推動臺北市整體都市計畫二大行動主軸，重新建構不只是屬於臺北，而是整個臺北與周邊城市共有共好的都市發展輪廓，作為未來30年帶動都市再生的長期計畫，結合TOD與EOD都市發展，勢必可兼顧城市集約、環保、活力、複合、友善及再生之

發展目標，逐步邁向2050淨零排放及宜居永續之願景。

問：臺北市政府歷經軸線翻轉、危老都更，再加上近年各行政區社會住宅陸續完工啟用，在重塑都市意象有何目標？

答：臺北市因應都市發展變遷，配合中央鐵路地下化政策，釋出新興待開發土地，促使本府以都市計畫、都市更新等手段縫合鐵路兩側發展緩慢及邊界未能整體規劃之課題；同時以高鐵、臺鐵，及捷運路網系統，建置臺北主要運輸動脈及樞紐，並結合友善人行通道計畫，以串聯市區及鄰里尺度之交通動線。建構在臺北





完善交通路網的優勢下，以東西向的兩大交通樞紐為端點，串聯舊城翻轉的西區門戶到工業區轉型的東區門戶，並以相關再生策略計畫作為南北向再發展的指引。

為有效提升公有土地資源運用、公共環境、交通、社會福利設施、商業活動等機能，即以大眾運輸導向（TOD）及市有建物及土地資源整合運用導向（EOD）為都市發展策略，引入地區再發展動能，並公告公劃更新地區、興辦社會住宅、推動公辦都更等建設，透過前開市府投入的重大建設等發展資源，以有效引導都市再生；並藉由都市計畫通盤檢討、都市設計管制等強化留設開放空間、建置立體連通系統，落實建置人本交通環境，並鼓勵民眾發展綠建築及智慧建築等智慧化、具能源循環利用系統之建築物，以呼應本府2050淨零碳排、節能減碳等政策方針。同時為提升社區公共服務，於規劃社會住宅、公辦都更或TOD、EOD策略基地時，會考量在地需求與周遭未來的變化，引入適切公益社福據點，例如活動中心、托老托幼、長照、教育文化等社會福利設施，規劃更豐富多元的社區服務，讓市民享受更便利、符合使用需求之公共資源。

過去，南港區工廠林立，是大家印象中的「黑鄉」，但是隨著臺北城市的持續向東發展，南港將成為臺北市下一階段發展的重點。

東區門戶計畫以國門意象為定位，提出具有城市發展重要戰略地位的整合性計畫。配合1980年代基隆河截彎取直、鐵路地下化、重工業遷離的土地釋出，本府啟動都市計畫以發展五大中心計畫，包括車站、軟體、會展、生技、文創中心等，南港正在快速蛻變。進一步考量南港的發展潛力，將東區門戶計畫重點聚焦於產業升級與轉型、鐵路地下化空間再利用及周邊環境重新發展等目的。



臺北市TOD大眾運輸導向推動計畫倡議專家學者研討會簡報

(簡報來源：臺北市政府都市發展局)

東區門戶計畫以南港車站三鐵共構站區為核心，提出八大構想41項子計畫(不含私人開發案)，亮點的子計畫包含：台北流行音樂中心表演廳及文化館啟用、瓶蓋工廠台北製造所開幕，東明、中南及小彎社會住宅已招租入住，後續經貿、南港機場、玉成社會住宅亦將陸續完工，共計興建6處社宅可提供3,122戶，並建立總長度近4公里24小時開放之立體連通路廊系統，串聯南港車站與周邊重要場站，以



瓶蓋工廠台北製造所



台北流行音樂中心表演廳

東區門戶計畫／ 東區門戶計畫以南港車站三鐵共構站區為核心，過去南港區工廠林立，是大家印象中的「黑鄉」，但是隨著臺北城市的持續向東發展，南港將成為臺北市下一階段發展的重點。





建構流暢及舒適之人行環境；另預計於113年完成長約800公尺之示範性生態綠廊，創造都市休憩及停等之綠蔭空間。

又為解決過去「客廳即工廠」的經濟政策造成南港工業區內普遍存在著「住工混合」、環境窳陋卻不得改建等問題，於配合東區門戶計畫啟動之108年南港通檢內變更工業區為產業生活特定專用區，面積合計約52公頃、並劃定111個更新單元，更成立產專區駐地工作站，協助整合居民意願。嗣後為都更整合實際執行需求，檢討產專區老舊聚落認定標準，朝簡政便民提高更新意願為方向，並於111年11月3日經本市都市計畫委員會審議通過。盼能滿足產業使用需求，也能兼顧老舊聚落居住需求，以加速工業區都市更新與轉型。

期盼透過東區門戶計畫建立南港區為流行文化產業群落、國家級貿易會展中心，並打造新創產業進駐基地，引入具競爭力及創新元素之活力，提供在地多元就業服務；同時透過興辦社會住宅及老舊聚落都市更新來改善整體居住環境，今日的南港已出現嶄新風貌與契機。

另外值得一提的「西區門戶計畫」自104年啟動，從公有地利用全面檢討，以8年期程為開發架構，整合盤點市府內各部門資源，重新規劃臺北車站地區內土地、交通及現有建

築物使用狀況，建設以人為本的都市空間。自105年春節忠孝橋引橋拆除後，以形塑北門意象為規劃重點，針對北門廣場進行完整規劃，翻轉眾人對於臺北車站周邊的工區印象。



臺北市TOD大眾運輸導向推動計畫倡議專家學者研討會簡報

(簡報來源：臺北市政府都市發展局)

該計畫分為智慧化建設、公共環境整備、文化資產活用及土地開發建設4大類別、19項子計畫，目前已完成13項，增加3.7公頃之公共開放空間、改善周邊1.1公里人本環境，並持續推動區內大型開發案，導入產業能量，實際挹注投資在西區，如：市議會舊址、C1/D1雙子星聯合開發、臺北郵局公辦都更及E1/E2特定專用區都更案等指標性開發案等，市府同時要求開發案提供公益回饋項目，如市議會舊址提供臺北城博物館，呈現臺北都市規劃與未來願景，也展示過去臺北歷史，E1/E2都更案留設大量開放空間及綠地串連以供人行，C1/D1土地開發案留設國門客廳的觀景平台、城市美術展覽館及綠色運具示範區等，這些公益

空間未來都將與市民共享，創造優良的空間循環。

問：市府積極推動及落實社會住宅政策，近年陸續完成廣慈園區、行善社宅，後續南港社宅也將完成，對於「落實居住正義」是否已達標？抑或接續努力方向為何？

答：市府推動及落實社會住宅政策已獲得初步成果如下：

### 一、市府8年已推動社宅2萬戶，未來朝向5萬戶目標努力

市府自104年起即大力推動、興辦社會住宅，就臺北市的住宅存量推估所需的社會住宅量(5%)，將目標訂在五萬戶，8年來多元興辦達22,515戶高於全國水準，提供租屋族良好的租屋環境並且減輕住宅支出的負擔；同時仍有1.5萬戶的社會住宅正在施工、規劃，持續進行公有土地資源盤點整合。

### 二、現階段整合公私資源，提供4.8萬戶以上居住資源

目前本市既有如出租國宅等公有住宅數

量為4,472戶，市府多元興辦社會住宅數量為22,515戶，另外運用民間住宅資源提供租金補貼及社會住宅包租代管資源2萬餘戶，整合公私有資源規劃合計提供約4.8萬戶以上居住資源。

除了政府直接興建的社會住宅外，透過「租金補貼」及「包租代管」的機制強化民間租屋協助，滿足市民居住需求並提升生活品質，達到「住者適其屋」的目標。

(一) 租金補貼：從原先的一口價補貼方式，開始在民眾(家庭)的需求及負擔能力間衡量最適合的補助方式，並在107年率先全國推出「分級租金補貼」方案補貼金額3,000至11,000元，使弱勢家庭居住福利資源更完善。

(二) 包租代管：配合中央推行的計畫，運用民間現有資源媒合房東及房客。對於房東鼓勵釋出空屋進入租屋市場，增加收益、不再閒置，政府也給予修繕、安檢等補助；而對於房客則協助找尋合適的租屋處，依身分別提供租金補助。

### 三、公有土地可開發資源減少、市府量能有限，改以多元方式提升土地利用效益





未來市府將從大面積公有地興辦轉向獎勵捐贈、EOD、TOD等多元利用方式取得社宅戶數，並促進閒置建物活化、建立自主營運模式，持續創造新的居住型態。

臺北市地狹人稠，可供開發的土地在大力推動社會住宅興辦的期間，已經大致盤點完畢並投入資源興建。為了達成長期5萬戶之政策目標，市府轉為以都更獎勵回饋、EOD、TOD等多元方式長期推進，透過整合土地使用、垂直化的空間發展，強化學校用地使用及公共服務提供，亦借助於民間財源的投入與公益性共享原則，盡量補足本府興辦量能不足之處，並持續推動社會住宅相關政策。

#### 四、社宅總量穩定增加後考量不同族群需求，推動多元居住協助方案

隨著市府興辦社會住宅總量提升，希冀透過各項協助方案滿足不同族群居住需求，強化既有住宅政策資源之提供，從「量」的提供走向「質」的追求。針對不同族群的居住資源型態，創造更多元的提供方式（例如評估年輕人或年輕家庭自行管理營運社宅的可能性、控留都更中繼住宅、推出高齡友善換居方案、考量弱勢族群的住宅需求），讓租金可以負擔的同時，也增加更多住宅類型。

另為提供更有彈性的弱勢照顧協助，本府亦推動「NPO承租社會住宅」政策，讓具有社福專業的NGO或NPO跨足住宅領域擔任平台，媒合轉租社宅給弱勢民眾作為中繼住所，導入民間力量，提供在地化的福利服務並與住宅管理連結。目前除了莒光社宅的試辦計畫，後續也將評估在信義區廣慈社會住宅C棟（特境婦女中繼住所）、萬華區青年二期社會住宅（弱勢市民中繼住所）持續擴大推動，完善弱勢居住服務。

**問：為提升生活、辦公居住環境，因此各類建物複合使用用途更趨複雜，強化建築管理及善用科技技術(BIM、社宅雲等)之策略為何？**

**答：**臺北市為落實居住正義，積極以多元方式增加社會住宅存量，為提升後續社宅營運維護管理服務之品質與效率，以建構智慧化建築為目標，積極導入BIM應用於規劃設計、工程管理及設施維護階段。

BIM導入主要目的在於有效整合及管理工程內容，將社宅工程生命週期從規劃、設計、施工、竣工各階段資訊，置入BIM模型加以整合運用。在設計階段，每週進行設計圖面會議充分檢討，過程均使用BIM視覺化界面，圖





廣慈博愛園區社會住宅





說亦均由BIM模型產出，也包含ICT模型檢討等；在施工階段，BIM的主要功能是為施工營造方法及順序、工程預算、設備及構件的配置與組裝等提供完整模型和圖說依據，透過BIM各種模擬方式，檢討施工規劃動線、解決各工程界面衝突、進行模型、圖面及現場實際比對。在工程竣工階段，BIM模型為資產資訊模型（Asset Information Model, AIM）須考量到營運維護階段之物業管理需求，因此應滿足資產資訊需求（Asset Information Requirement, AIR），故BIM模型能夠從規劃設計、施工階段、竣工階段，持續至營運維護階段加以應用。

圖資倉儲管理及大數據分析應用是社會住宅BIM建置的重要目的，我們透過以下幾項作為，來完善社宅相關管理層面：

### 一、積極推動智慧建築4.0（BIM）

所有社宅均要求建構BIM模型，制定「臺北市社會住宅圖文管理標準手冊」，定義圖文管理及審核機制，規定工程執行各階段BIM建置標準、交付流程與審查機制。並建構社宅圖資倉儲系統，完整收存竣工階段交付之竣工圖說、技術文件、BIM元件模型及BIM專案模型等資料。更彙整所有社宅數位資訊，以IoT物聯網概念，進行大數據蒐集及應用。

### 二、建立社宅戰情中心網站，全民督工

全國首創工程戰情資訊系統，透過網路數位化紀錄社宅相關工作進度，即時檢視施工現場狀況，另市民可透過戰情中心，了解本市社宅工程之施工職業安全衛生及品質，反映予市府，以達全民督工之目的。108年上線迄今已累積約70萬筆瀏覽次數。



社宅戰情中心網站

### 三、成為智慧城市產業實驗場域

為使社會住宅成為智慧社區示範場域，以營建經費外加3-5%建置智慧化設施，帶動營建ICT產業，落實科技智慧應用於設計興建與管理維護，提供整合創新服務之解決方案。近期配合台北智慧城市專案辦公室進行概念性驗證（POC）計畫，目前已有「物聯網安全帽實證



(左1)林聰能代理協理 (左2)何泰源代理副總經理 (中)黃一平局長 (右2)廖學瑞代理總經理 (右1)黃寶翰副理

計畫、XR及BIM為基礎之情境感知設施維護管理模式驗證計畫、智慧電表數據-AI大數據分析進行節能計畫、智慧防汛計畫、社會住宅物業管理報修客服機器人計畫、社會住宅長期修繕計畫服務應用導入計畫」等案執行中。致力於民眾參與及公私協力，運用智慧科技、創新決策來解決市民的問題，打造「宜居永續社會住宅」。

未來，因應臺北市社會住宅存量逐年增加，相關的工程圖資與元件的留存維護，透過大數據資料庫之建置與分析應用，更完善BIM圖資倉儲管理系統的基礎上，以逐步邁向循環

建築所需導入之建材循環利用目標，將是後續思考的方向。

## 後記

感謝黃一平局長在百忙之中接受專訪，在這次專訪中說明「建構都市永續發展藍圖，營造優質都市環境」的臺北策略，也指出運用科技技術於城市治理的未來發展方向，相信有助於工程顧問、建築營建產業能本於專業，共同參與及協助推動市府建設，營造優質人本、居住環境的政策，持續貢獻心力。



# 金門大橋主、邊橋上部結構預鑄節塊懸臂吊裝工法介紹

## Introduction of Precast Segmental Cantilever Method for Main and Side of Superstructure in Kinmen Bridge

**關鍵字(Key Words)：**金門大橋 (Kinmen Bridge)、預鑄節塊工法 (Precast Segmental Method)、長線鑄造 (Long Line Segment Casting)

交通部高速公路局／主任秘書／郭呈彰 (Kuo, Cheng-Chang) ❶

交通部高速公路局／第二新建工程處／第五工務所／主任／張震宇 (Chang, Chen-Yu) ❷

交通部高速公路局／第二新建工程處／第五工務所／副主任／潘小珍 (Pan, Hsiao-Chen) ❸

### 摘 要

預鑄節塊懸臂吊裝工法具有品質易於控制、混凝土乾縮效應影響較小、有效降低施工風險及縮減整體工期等優勢，適合於海域橋梁工程施工，然本工程主、邊橋為減少橋梁自重、營造橋梁外觀輕巧造型，預鑄節塊斷面尺寸配合箱梁所受應力大小設計為漸變，導致產製過程每一節塊均需逐一調整，遂採用模組化鋼模及設置鋼筋樣架等方式，縮短節塊鑄造循環工率。現場以鋼絞線連結吊裝軀梁，利用千斤頂內上下夾片循環夾放鋼絞線進行節塊吊升，至預定高度後以EPOXY塗抹結合面，再施加臨時預力使相鄰節塊結合密實。本文謹分享本工程預鑄節塊懸臂吊裝工法特性及施工經驗，供各界參考。



## Abstract

The precast segmental cantilever method has the advantages of quality control easily, less influence of concrete shrinkage, reduction of construction risks and shortening of the overall construction period, etc. It is suitable for the construction of bridges in the sea area.

In order to reduce the self-weight and create a light shape of bridge, the section of the segment block was designed to reduce with the changing stress on the box girder gradually, and it led to the need to adjust each segment one by one in the production process. So the steel frame and other methods was adopted to shorten the cycle rate of segment casting. On site, steel strands were used to connect the hoisting yoke beams, and the upper and lower clips in the jack were used to clamp and release steel strands to lift the segments cyclically. After reaching the predetermined height, the joint surface was painted with EPOXY, and then a temporary pretension was applied to make the adjacent segment combine densely. This article would like to share the characteristics and construction experience of the precast segmental cantilever method for the reference in this industry.



## 壹、金門大橋橋梁型式介紹

本工程工址位於金門海域，橋梁跨越金門港道銜接金門島及烈嶼島，橋梁型式考量海域水深區分為主橋段、邊橋段及引橋段，平面配置詳如圖1。

主橋為1個橋單元，主要跨越小三通航道及深槽區水深23公尺海域，考量深槽急流區域施工困難度及配合未來發展以5,000GT客貨輪航行需求等，主橋以變梁深預力混凝土箱型梁脊背橋設計，橋跨配置為 $125+4@200+125=1,050$ 公尺，採5塔6跨配置，主跨徑200公尺，橋寬18.8公尺、梁深3.3~7公尺，橋下淨高維持39.16公尺，考量金烈海域施工環境特性及施工性，設計直徑2.5公尺大口徑全套管基樁，樁長35~58公尺。另為達三分交通七分觀光之計畫目標，塑造金門地區新的亮點地標以增加觀光資源，橋

墩造型依金門縣民票選之高梁穗心型設計，橋塔墩柱高度為78公尺。主橋模擬及實際完成後之照片如圖2及圖3。

主橋2側各配置1個邊橋單元，亦為變梁深預力箱形梁橋，考量延伸主橋之超大跨徑及銜接引橋之中長跨徑，邊橋跨徑採 $100+150+110=360$ 公尺漸變方式配置，橋寬15公尺，梁深3~7.5公尺，基樁直徑為2公尺，樁長31~63公尺。

引橋為銜接海上橋梁至陸域引道，考量經濟性及施工性，配合國內常用之支撐先進工法設計，採用中跨徑之等梁深預力混凝土箱型梁橋，主跨徑50公尺，大金端引橋長度1,050公尺，小金端引橋為1,950公尺，梁深3公尺，基樁直徑為1.5公尺，樁長17~50公尺。

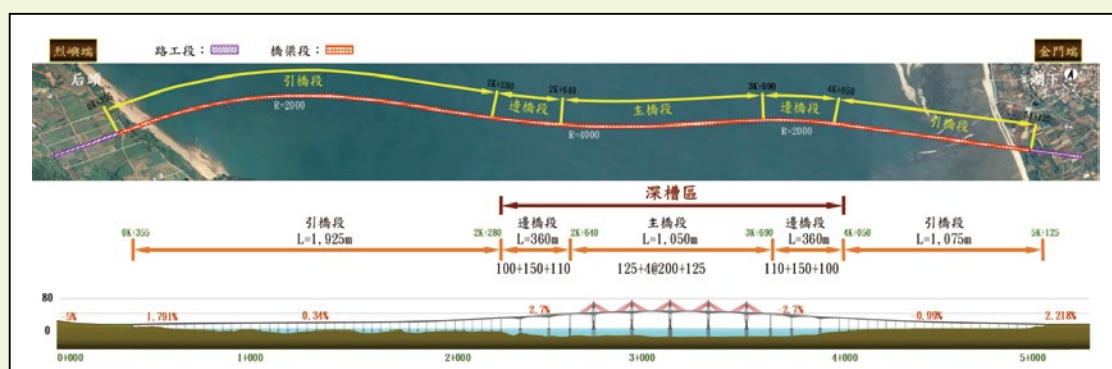


圖1 金門大橋工程橋梁配置示意圖



圖2 主橋單元三維模擬示意圖



圖3 主橋單元完成照片

## 貳、預鑄箱梁節塊產製

金門大橋主、邊橋原設計採場鑄懸臂工法，為降低海域高空長時間施工風險、縮短工期、確保品質及精度易於控制並提高效率，第CJ02-2C標承包商東丕營造公司於得標後依契約規定提出替代方案，改採預鑄節塊懸臂吊裝工法施工，經高公局及設計單位組成審查小組，就東丕公司所提替代方案有利及不利情形之評估結果，審查符合本工程特訂條款「第0123A章替代方案」相關規定，同意承包商所提替代方案。

### 一、節塊規劃配置

主、邊橋預鑄節塊依據原設計場鑄懸臂工法所設定之結構尺寸，於變更工法時並未有太大變動，主橋節塊共224塊，邊橋節塊共152塊，結構尺寸及配置如表1，預鑄場之荷重設備、多軸板車及吊裝工作車在設計之初，均須考量節塊最大重量設計之，主、邊橋節塊數量亦為規劃預鑄場梁床數量分配考慮因素。

表1 主邊橋節塊數量表

| 節塊類型     | 梁寬(m) | 梁深(m)   | 節塊長(m)   | 自重(tf) | 數量  |
|----------|-------|---------|----------|--------|-----|
| 主橋懸臂預鑄節塊 | 18.8  | 3.3~7.0 | 3.25~5.0 | <268   | 218 |
| 主橋閉合預鑄節塊 | 18.8  | 3.3     | 2.7      | <110   | 6   |
| 邊橋懸臂預鑄節塊 | 15.0  | 3.3~7.5 | 3.0~5.0  | <178   | 146 |
| 邊橋閉合預鑄節塊 | 15.0  | 3.0~3.3 | 2.7、4.7  | <75    | 6   |
| 合計       |       |         |          |        | 376 |

\*預鑄節塊107.11.01開始鑄造，110.12.08鑄造完成。



## 二、預鑄場址及場區配置

預鑄場之選址條件，須承載條件良好、場地取得容易且面積符合需求、運輸道路路面狀況良好且交通便利等，金門大橋工程之節塊預鑄場地原規劃為鄰近工址之金門后豐港區，惟因地質條件不佳、地盤改良費用高及混凝土材料取得不易等諸多因素影響，幾經權衡最終定案於高雄市茄萣區興達港北側區域，鑄造完成之預鑄節塊再藉由陸運及海運方式運至金門工區。

方式鑄造箱梁節塊，依據主、邊橋節塊數量及其產製時程，配置2條梁床供製作主橋單元節塊、1條梁床供製作邊橋單元節塊(圖5)，其他主要施工設備包括測量塔、鋼筋樣架、模組化鋼模、門型天車、提梁機等。由於金門工區腹地有限，無暫存節塊之地點，故在生產線後線區域，依鑄造單元分區設置儲存區暫存節塊。

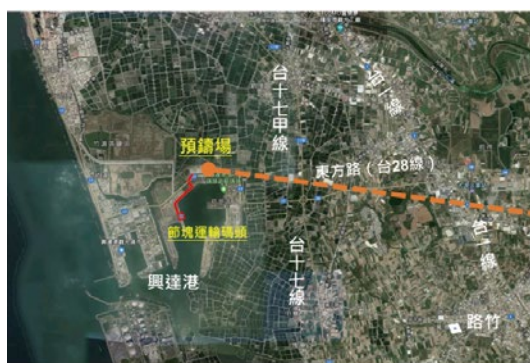


圖4 金門大橋預鑄場址及場區配置

本工程預鑄場面積約6.6公頃(場區位置及配置詳如圖4)，應屬國內佔地最大之預鑄場地，場區內設置3條預鑄梁床，以長線接合

## 三、節塊產製過程所遭遇困難

一般常見之預鑄箱梁工法，橋梁型式大多採單一斷面設計，且其跨度多小於55m，節塊吊裝時常見以全跨工作車進行全跨節塊吊裝，俟濕接縫現場澆置且已發揮至預力施拉強度時，再行全跨施拉預力。

為降低海域施工風險及困難性，本工程主、邊橋以大跨徑設計以減少於海域落墩，又為減少自重、營造橋梁外觀輕巧造型，斷面配合箱梁所受應力大小設計為漸變，於製程中遭遇到以下困難：

(一) 節塊斷面及尺寸逐塊變化(圖6~圖8)：

主、邊橋單元預鑄箱梁節塊長度自2.7m變



圖5 預鑄節塊生產梁床空拍(左2為生產主橋節塊、右1為生產邊橋節塊)

化至5.0m，梁深由3.3m變化至7m，且每節塊之腹板及底板厚度亦隨逐塊節塊變化，底板厚度由0.3m變化至1m、外腹板寬度0.5m-0.7m、內腹板寬度0.3m-0.55m，施工過程鋼筋及模板均需配合調整，產製過程難度較傳統預鑄箱梁工法高。

(二) 主橋預鑄節塊之橫向加勁梁（圖9）：

主橋節塊設計以橫向加勁梁作為箱梁斷面補強用途，因加勁梁的設置，本工程之節塊內模系統製作、組拆及推進等難度均較傳統預鑄箱梁工法為高。

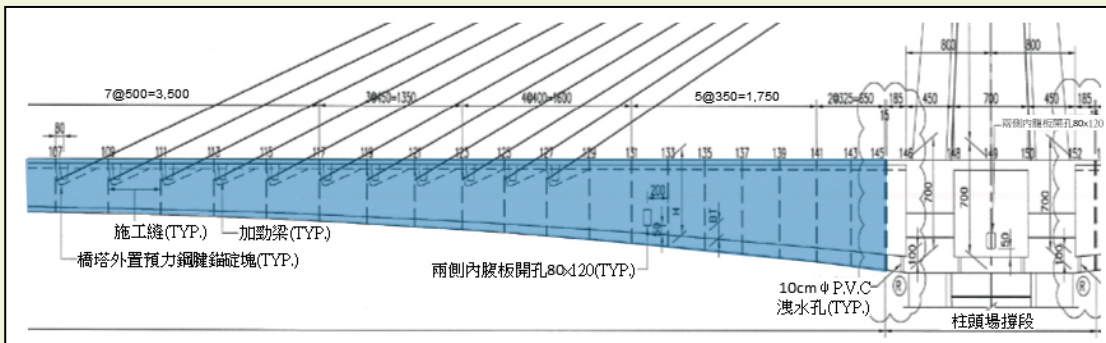


圖6 主橋單元梁深變化示意圖

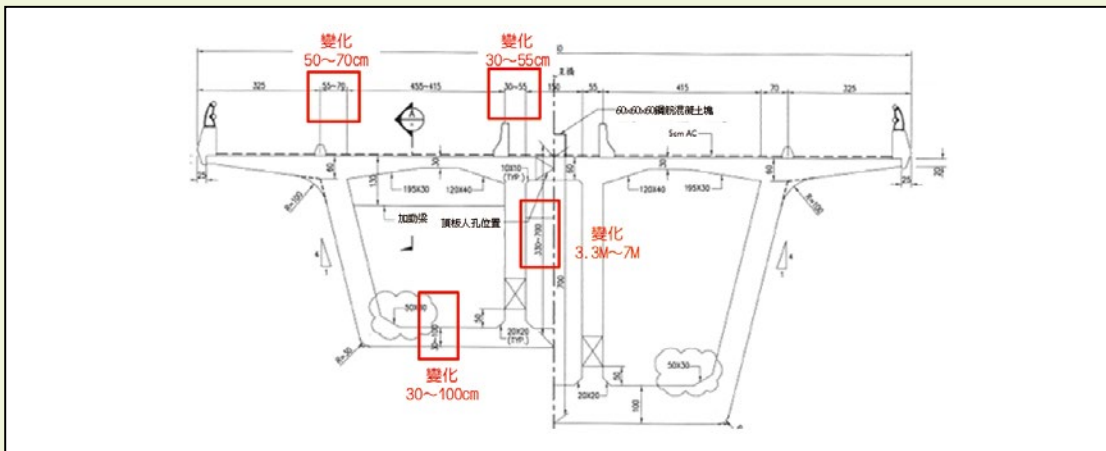


圖7 主橋單元斷面尺寸變化示意圖



圖8 主橋單元斷面變化照片



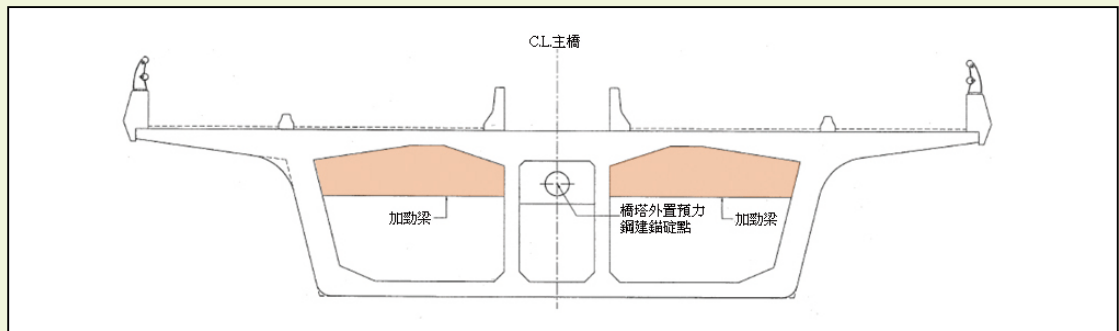


圖9 主橋單元橫向加勁梁示意圖

(三) 內置預力與剪力樺逐塊變化（圖10）：

每節塊剪力樺數量需依節塊梁深漸變而增加，且每節塊之預力套管位置亦為漸變，預埋預力套管或端錨易與剪力樺位置衝突而須逐塊調整。

(四) 主橋預鑄節塊之外置預力鋼導管（圖11）：

主橋每節塊預埋之橋塔外置預力鋼鍵鋼導管角度因配置位置不同，導管角度自16.3度變化至25.0度，且須精準埋設以便節塊吊裝後，橋塔外置預力鋼鍵穿線能夠順利施工。

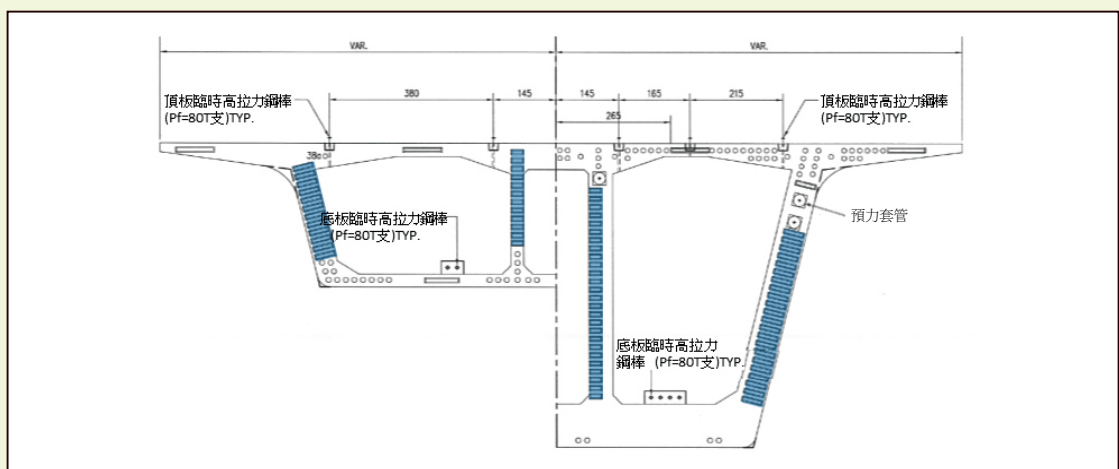


圖10 節塊接合面剪力樺變化情形

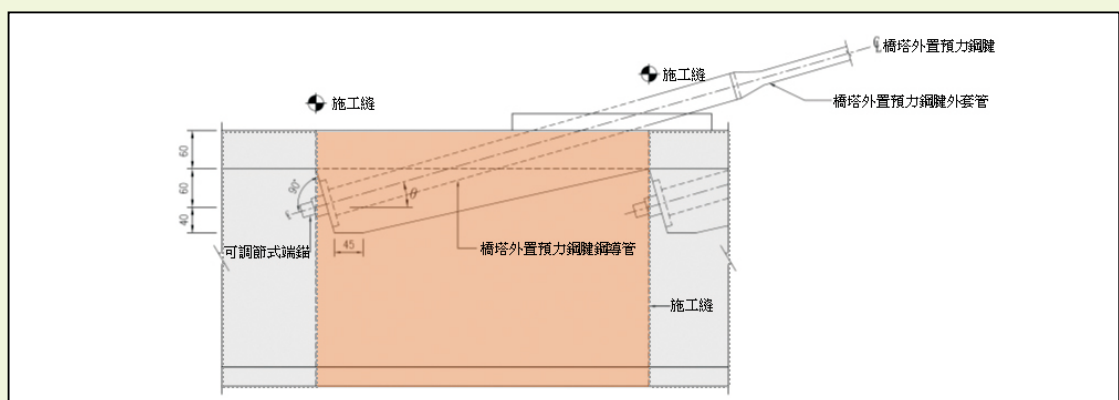


圖11 主橋單元外置預力鋼導管位置示意圖

#### 四、預鑄節塊製程及品管

接合鑄造規劃可分為長線接合鑄造及短線接合鑄造兩種方式，其中長線接合鑄造法具有線形易於控制之優勢，惟其場地面積需求較大，所需投入成本較為可觀，而短線接合鑄造法則較可節省機具設備等建置成本，惟其鑄造誤差較易累積而不易控制。本工程節塊以長線接合鑄造，產製流程詳圖12。

節塊，其係以完成之節塊作為下一個節塊之側模，接續製造下一個節塊，主要目的為求節塊間之密合性及線形之平順性；後續吊裝時，則於不同鑄造單元間，諸如預鑄節塊與場鑄柱頭節塊間，或與預鑄閉合節塊間之介面，以現場施作濕接縫方式作為接合；相關鑄造單元規劃方式詳如圖13。



圖12 節塊產製流程

製造過程應注意事項如下：

(一) 節塊接合鑄造，確保密合接觸

預鑄箱梁工法以長線接合鑄造方式產製

(二) 模組式模板及鋼筋預組，確保節塊箱梁施工品質

本工程預鑄節塊為變斷面型式，模板採模組式規劃，因應每節塊之尺寸變化，節塊鋼

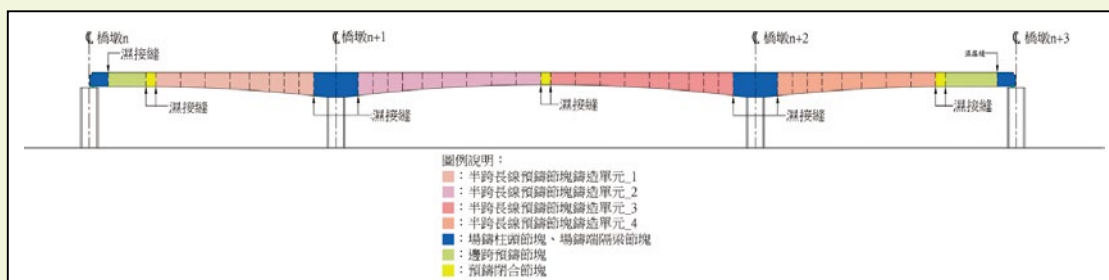


圖13 本工程預鑄節塊之鑄造單元規劃示意圖





圖14 模組化模板及鋼筋樣架

筋利用樣架先行於地面預組，以縮減節塊鋼筋綁紮時間，提高節塊生產循環工率，設備詳圖14。

### (三) 準確幾何控制，確保完成線形

預鑄節塊產製高程為設計縱坡及預拱值（即各吊裝施工階段之檢核分析拱值累計），先以測量塔控制全床定位梁之線形及高程，再以定位梁(如圖15)控制各預鑄節塊之斷面控制點，以確保各預鑄節塊斷面之變化確符設計值。

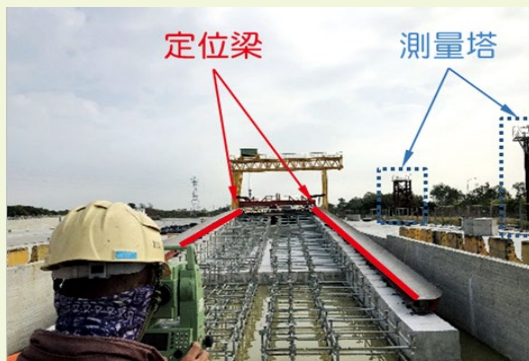


圖15 定位梁高程檢測

### (四) 節塊對接面施工與脫離作業嚴謹，確保接合面完整

預鑄箱梁工法於節塊接合面均會設計剪力樺，其成形結果關乎剪力傳遞及吊裝精度，故端頭模剪力樺部分使用橡膠材料(如圖16)，以

免拆模時衍生崩角缺失；在節塊鄰接之新舊混凝土表面，先塗佈防黏合薄膜或設置隔離膜材(如圖17)，以確保已完成之預鑄節塊間可順利分離。



圖16 橡膠材質剪力樺模具



圖17 防黏合薄膜塗佈

### (五) 預力套管順接及漏漿防治

預鑄節塊之預力套管不若場鑄工法方便順接，故在施作時即須特別注意，本案承包商以特製橡膠塞頭(如圖18)確保節塊間之預力套管之位置一致，並可防止混凝土灌漿漿體滲入套管

內影響後續預力穿線作業。



圖18 特製橡膠塞頭

#### (六) 節塊編號儲存，確保吊運正確

節塊完成後吊運至儲存區暫存，續經過陸運及海運，運抵金門工區後於吊裝前亦須暫置於平台船上，於箱梁內側標示節塊編號(如圖19)，可有利搬運過程及吊裝時辨識，維管階段亦有助於橋梁檢測時標定位置。



圖19 節塊編號情形

## 五、節塊運輸

本工程節塊運輸路徑分為陸運及海運，所使用設備及運輸路線詳如圖20。在預鑄場區內之運輸工作，係使用提梁機將鑄造完成之節塊逐一吊運至儲存區，儲存區至興達港區自設臨時裝運碼頭間之運輸工作，則使用多軸板車載運。提梁機為輪型固定式起重設備，荷重能量280T，吊運功率15m/min，行駛路徑可自行操控；所選用之多軸板車載重能量270T，載運速度15m/min，具備自動回饋調整水平功能，可因應路面高程變化及轉彎需求調整，以維持節塊於運輸過程之平穩度。

節塊運至興達港區臨時裝運碼頭處，接續利用構架式節塊提升起重設備，將節塊吊運至平台船。

海運期間，為配合現場吊裝期程，規劃使用3艘大型平台船輪流載運節塊，依據平台船尺寸每航次可載運10~14節塊，實際載運前亦須考量天候預報情形確認航行日期，本工程擬訂標準為中央氣象局風浪分級8級以下方可進行航運，實際執行自興達港至金門工址之航行時間平均約需36~44小時，統計共花費39航次於111年6月27日才將376塊節塊全部運送完成。



圖20 預鑄節塊運輸設備及路徑



由於本工程陸域範圍狹小，大小金門2端為潮間帶及礁岩區，設置節塊暫存區有其困難性及轉運不便性，故預鑄節塊海運至金門工區後先暫置於平台船上（如圖21），於吊裝前夕再轉置至另一艘起重船上，以進行節塊方位調整、預埋預力套管孔位周邊防漏處理、安裝節塊臨時預力鋼棒錨碇裝置及裝設提升吊具等前置作業。

## 參、節塊吊裝主要施工機具與施工

### 一、本工程懸臂吊裝工作車組成及功能概述

本工程懸臂吊裝工作車構造（如圖22）及基本原理與一般場鑄懸臂工作車類似，屬上行後錨碇式工作車，主要構件組成包括主桁架與前後側向連結桁架、前後上橫梁、主千斤頂、後



圖21 預鑄節塊暫置於平台船

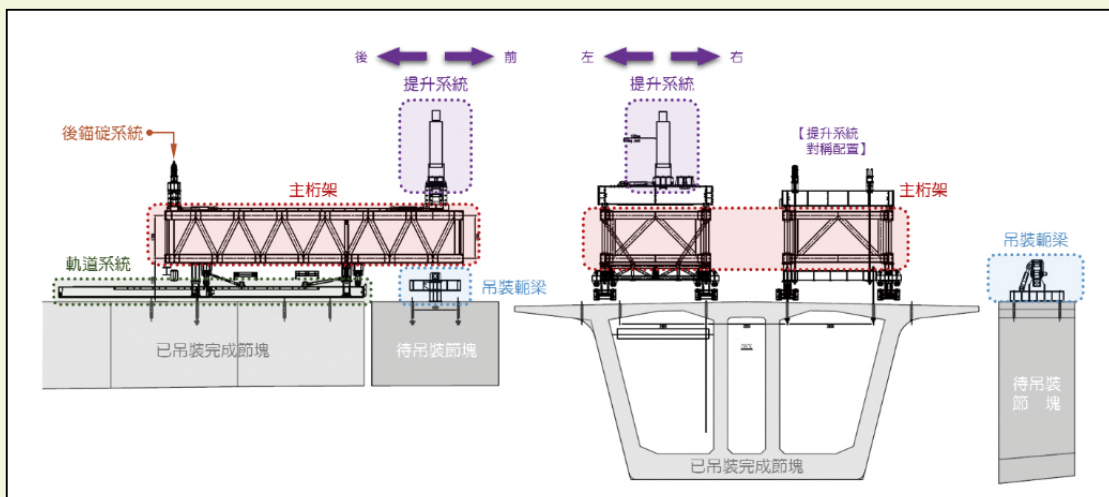


圖22 預鑄節塊懸臂吊裝工作車主要組成示意圖

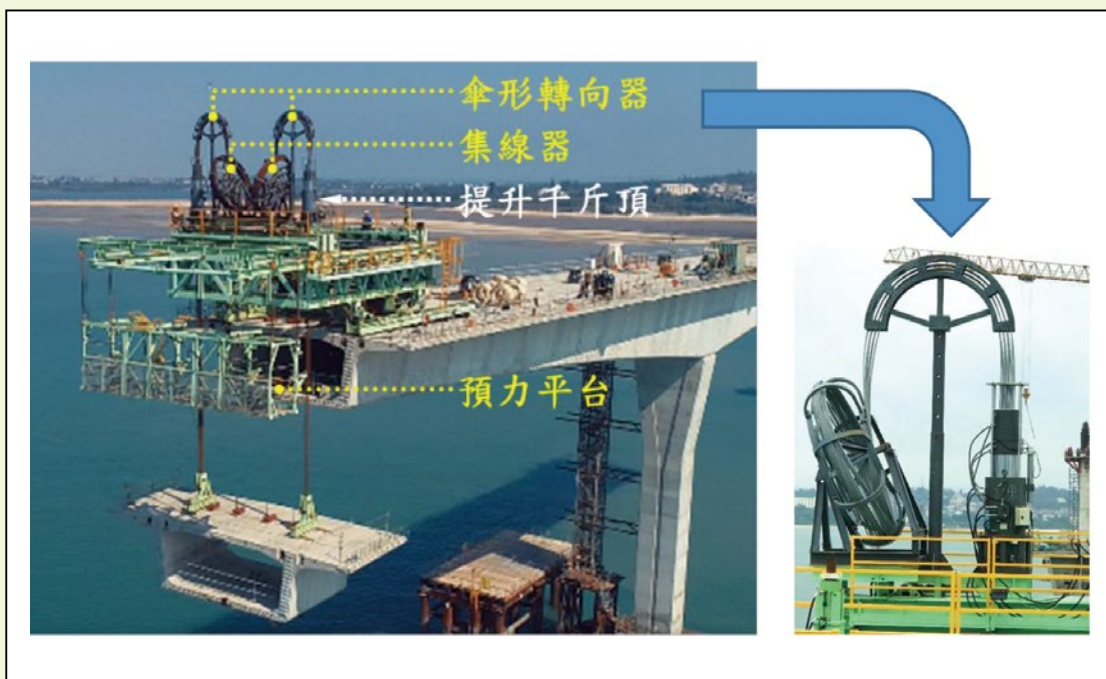


圖23 懸臂吊裝工作車之附屬設施

錨碇系統、軌道系統、提升設備系統與吊裝軛梁等，附屬設備（如圖23）包含傘形轉向器、集線器、預力平台、控制箱及油壓幫浦等。

前方上橫梁主要功能為承載提升設備及節塊施工載重等，與一般懸臂工作車不同之處，在於其具備前後移動功能，以利節塊吊升至預定高程時，可接續進行定位、塗佈環氧樹脂及拉近接合等作業；前方上橫梁係架設於主桁架上方軌道，並以水平向油壓千斤頂驅動。

提升系統主要設備為垂直向之中空油壓千斤頂，每座千斤頂提升能量為300噸，其接合於一鋼製墩座並置於前方上橫梁所設軌道，藉由水平向油壓千斤頂驅動以利左右移動調整節塊位置。

吊裝過程以19條直徑15.2mm之鋼絞線連結吊裝軛梁以提升節塊，千斤頂內設上下夾片藉以循環夾放鋼絞線，油壓缸每次作動高度約50cm，節塊平均提升速率約為每小時上升

14m，過程中以控制箱儀控操控荷重及提升高度，鋼絞線則經由設置於工作車前上橫梁上方之傘形轉向架及集線器收納。由於本工程節塊提升油壓千斤頂是利用上下層夾片咬合方式進行節塊吊升，因此容易產生過量的鋼索鏽粉，導致初始階段產生滑線問題，經施工團隊檢討後採定期保養及更換鋼絞線方式改善。

## 二、預鑄節塊懸臂吊裝工序循環

### （一）前置作業

吊裝工作因平台船受風浪影響無法精準定點作業，故使用起重船輔助進行節塊吊裝，其僅需定泊至大約位置，即能利用船上大型起重設備將節塊吊移至船上準確定點，並進行如預埋預力套管孔位周邊防漏處理、安裝節塊斷面臨時預力鋼棒錨碇裝置（一般簡稱為鋼靴）、吊裝軛梁下放並以高拉力鋼棒鎖固等待吊裝等前置作業（如圖24）。





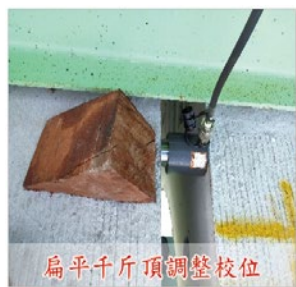
圖24 裝設吊具及鋼靴

## (二) 第1對預鑄節塊吊裝及濕接縫施工

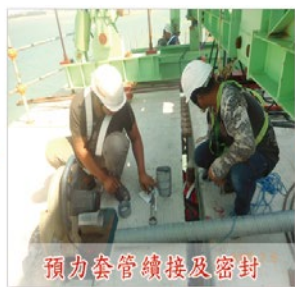
場鑄柱頭節塊與預鑄箱梁節塊因分屬不同鑄造單元，故須於其介面以現場施作濕接縫方式作為接合，後續成對預鑄箱梁節塊則以環氧樹脂黏劑接合。

預鑄箱梁節塊懸臂吊裝時，第1對預鑄箱梁節塊之定位成果直接影響全跨吊裝精度，

原因在於橋梁軸線若存有角度誤差，則經由跨徑延伸加乘所造成之位移偏差量（Tangent Displacement），將遠大於一般撓度或施工誤差之總和，不可不慎。本工程以扁平千斤頂及高拉力鋼棒錨碇方式多次循環三維度調整第一對節塊，俟定位無誤後方即進行預力套管續接、濕接縫模板組立，及現場澆置混凝土等工作（如圖25）。



扁平千斤頂調整校位



預力套管續接及密封



濕接縫封模及混凝土澆置

圖25 濕接縫施工作業

### (三) 預鑄節塊吊裝循環作業

第2對以後之預鑄節塊施工循環詳圖26-圖28，因各屬同一鑄造單元，節塊間之介面以塗佈

環氧樹脂黏劑並施加斷面臨時預力作為接合，嗣後穿線施拉永久預力，並接續推進工作車進行下一循環節塊吊裝工作，直至閉合作業前。

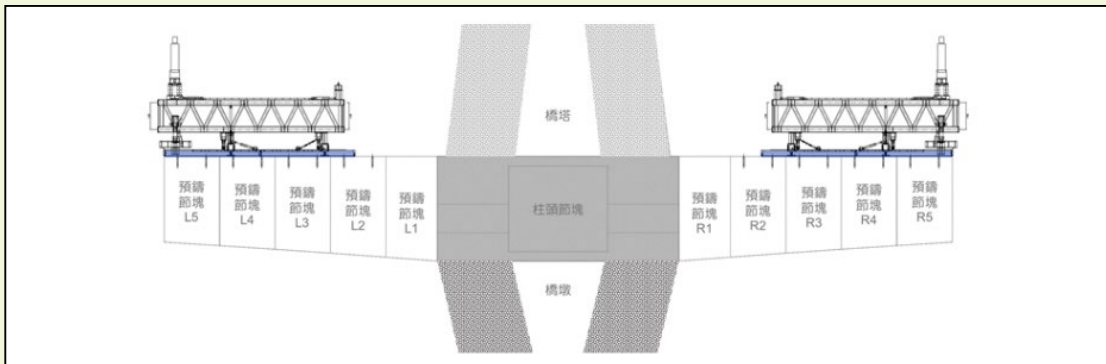


圖26 預鑄節塊懸臂吊裝施工循環(1)-軌道系統推進定位後以鋼棒錨碇

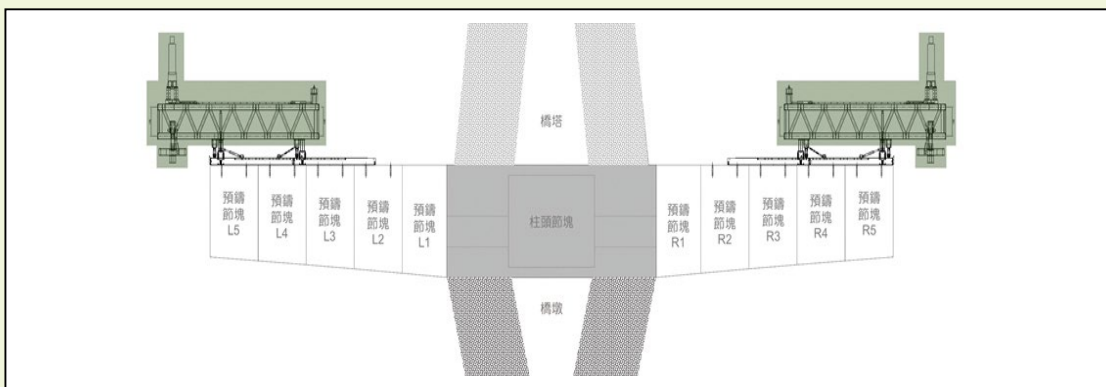


圖27 預鑄節塊懸臂吊裝施工循環(2)-主桁架推進後錨碇、調整吊裝梁架、提升系統



圖28 預鑄節塊懸臂吊裝施工循環



每次節塊吊裝接合作業前，依規定須取定量黏劑進行施工現場膠凝時間測試，其結果須符合至少30分鐘之規定；接合面所塗佈之環氧樹脂黏劑厚度依規定須達1.6mm以上，並於膠凝時間（Gel Time）前接合完竣。

預鑄箱梁節塊定位接合後，須於環氧樹脂黏劑接觸時間（Open Time）終了前，於頂板及底板施加臨時預力，依規定須使整個節塊斷面產生 $2.8\text{kgf/cm}^2$ 之最低壓力。經核算平均每支鋼棒約需施加45至80tf之預拉力，以使節塊接合面間密合接觸。

### 三、閉合作業

橋梁單元閉合階段，於最後1對節塊設置連結梁（如圖29），其目的在於限制預鑄閉合節塊2側已完成吊裝端之變位，以避免如溫度、風力等現場環境因素，於施工期間可能產生之高程線

形變化差異，並具備消弭微量閉合誤差功能。

閉合節塊濕接縫預留寬度15-60cm，當寬度超過20公分，需增加溫度鋼筋防止混凝土產生裂縫，並使用無收縮早強混凝土，澆置時應控制在日出後2小時前完成，以降低溫度影響。

### 四、活動端支承臨時固定機制

主、邊橋單元於P40、P43、P44及P48、P49墩位設計為雙向活動支承，為避免懸臂吊裝過程中，因兩邊差異一個節塊之施工進度所致不平衡節塊載重、單側不平衡上揚風力、施工活載重差異及縱坡與線形影響，故在柱頭節塊施作時，設置支承臨時固定機制，包含增設RC墊與垂直向及水平向預力鋼棒等（詳圖30、圖31），以抵抗吊升節塊期間之水平及垂直載重與傾倒力矩。臨時固定機制於全橋節塊閉合完成後需全部拆除，以恢復原有活動端支承之功能。

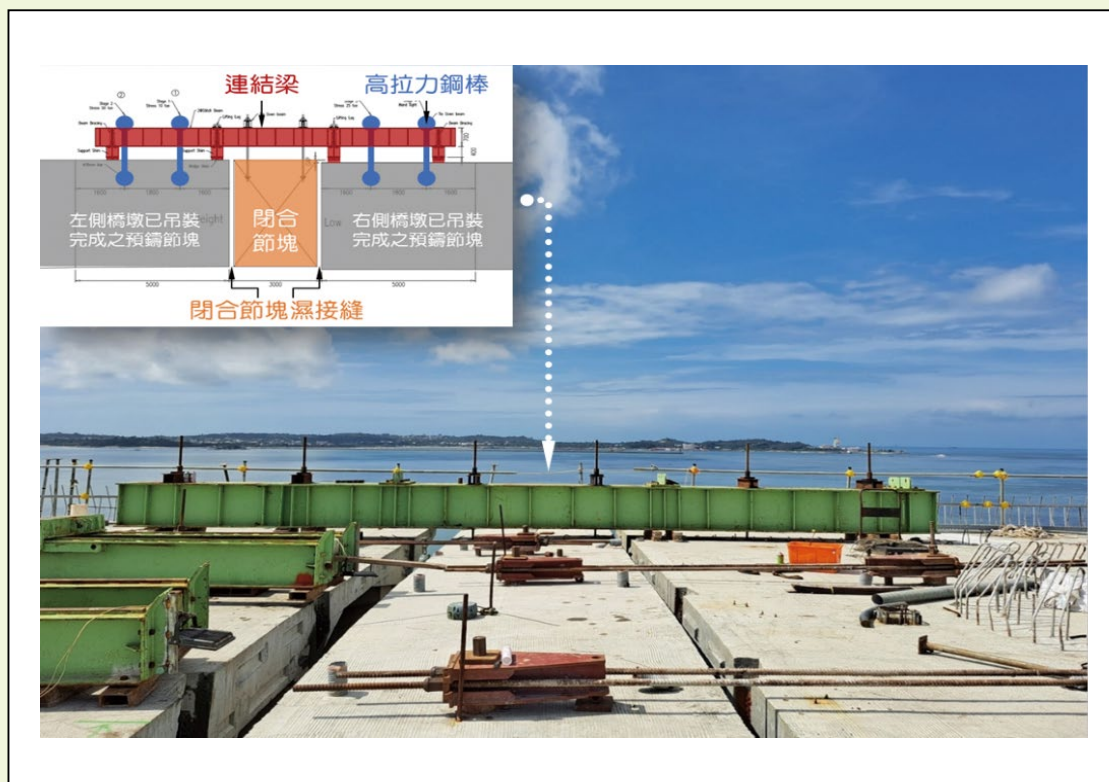


圖29 連結梁設置情形

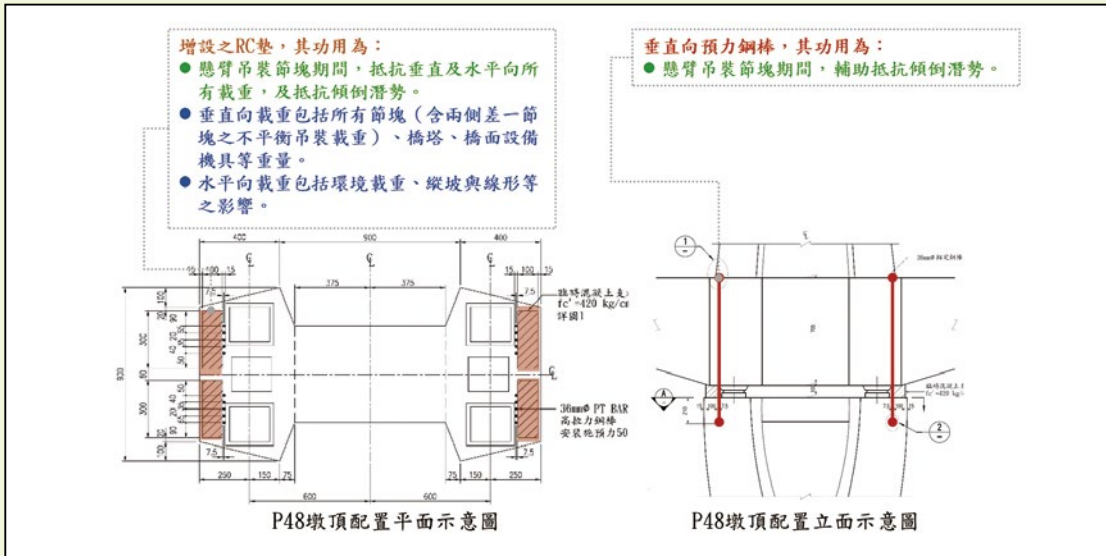


圖30 P48活動支承臨時固定設施

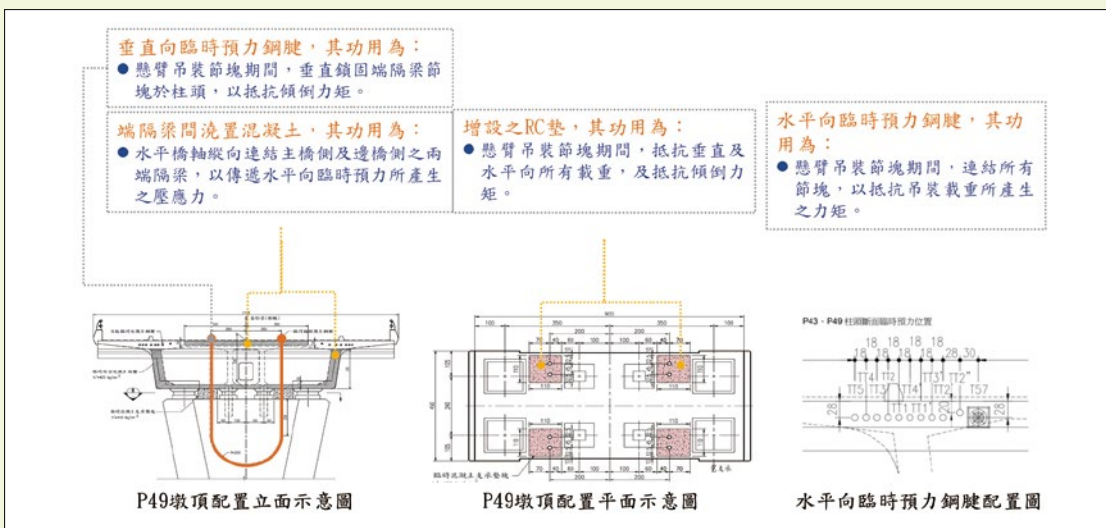


圖31 P49活動支承臨時固定設施

## 五、拱度精度控制

線型及拱度控制為預鑄節塊懸臂吊裝工法能否成功之必要條件之一，各預鑄節塊施工階段所採取之線形及拱度控制措施歸納如下：

### (一) 施工規劃設計階段

依施工階段考量懸臂吊裝工作車與施工機具載重、預力、混凝土乾縮與潛變、溫度效應、閉合順序…等因素進行分析檢核，彙整分

析所得各斷面變位與預拱資料（山形圖），製作高程及線形控制資料以為節塊產製時控制依據。

### (二) 預鑄節塊產製階段

採用長線接合鑄造法產製節塊，可使相鄰節塊間產生密合接觸面，鑄造單元線形可一次準確控制，並藉由測量塔控制全床定位梁及各預鑄節塊之斷面控制點。



### (三) 節塊懸臂吊裝階段

第1對預鑄箱梁節塊須確實定位定向，以免後續因跨徑加乘之位移偏差量（Tangent Displacement）效應造成無法修正之高程或線形誤差。

第2對以後之節塊逐對吊裝完成後收方，分階檢討以免吊裝誤差累積至閉合階段；收方作業須注意溫度效應影響，預拱理論值與實際值差異過大時，可增加濕接縫調整補救。

### (四) 單元閉合階段

預鑄節塊吊裝完成(主橋21對、邊橋16對)後，因施工期間造成高程線形變化差異，可於

高側端設置配重塊降低差異，最後設置連結梁以限制預鑄閉合節塊兩側已完成吊裝端之變位，連接梁亦具備消弭微量閉合誤差功能。

### (五) 邊橋節塊吊裝後線型控制成果(如圖32)

以第9單元P41為例，吊裝16對節塊後，東側吊裝後實際高程與預估高程為相符，西側則相差僅4公分。

### (六) 主橋節塊吊裝後線型控制成果(如圖33)

以第10單元P45為例，吊裝21對節塊後，東側吊裝後實際高程與預估高程相差僅4公分，西側則相差14公分。

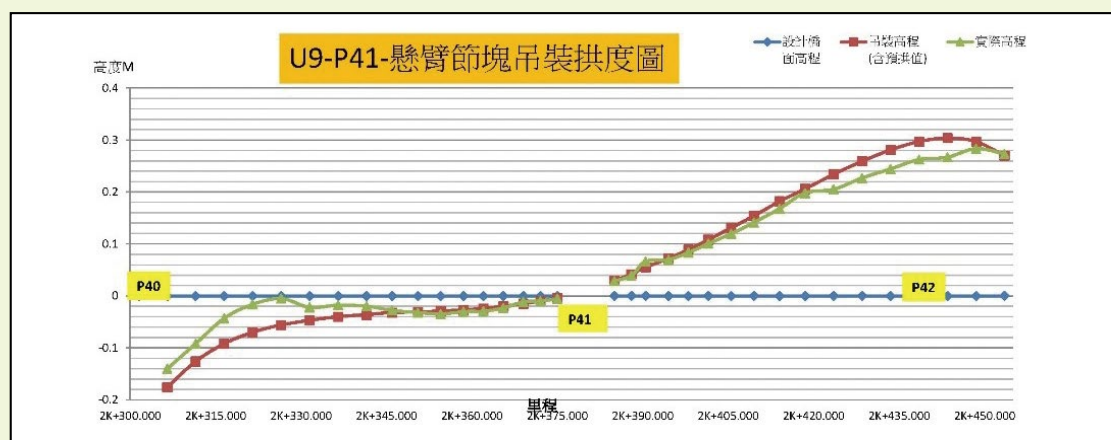


圖32 P41節塊吊裝拱度圖



圖33 P45節塊吊裝拱度圖

## 肆、外置預力施工

### 一、外置預力配置

主橋5座橋塔外置預力設計為單索面斜張鋼纜，橋塔2側共11對，5塔合計110束鋼纜，材料規格均為15.2mm  $\phi$  低鬆弛鋼絞線，內側6對為43股及外側5對為55股，配置內容如圖34，因應金門高鹽害海域環境，外置預力設計共4層防蝕保護(詳圖35)，包括鍍鋅層、油脂、HDPE內層

披覆及外護管。

### 二、外置預力與預鑄節塊吊裝循環工序

本工程主橋單墩預鑄節塊為21對，前10對依序吊裝定位後，起吊位於第9對節塊之第1根斜索，在第11節塊吊裝及頂板預力施拉完成後，將工作車推至第11對節塊位置定位，接續進行第1根斜索預力施拉，再進行第12對節塊吊裝及頂板預力施拉，如此循環直至第21對節塊

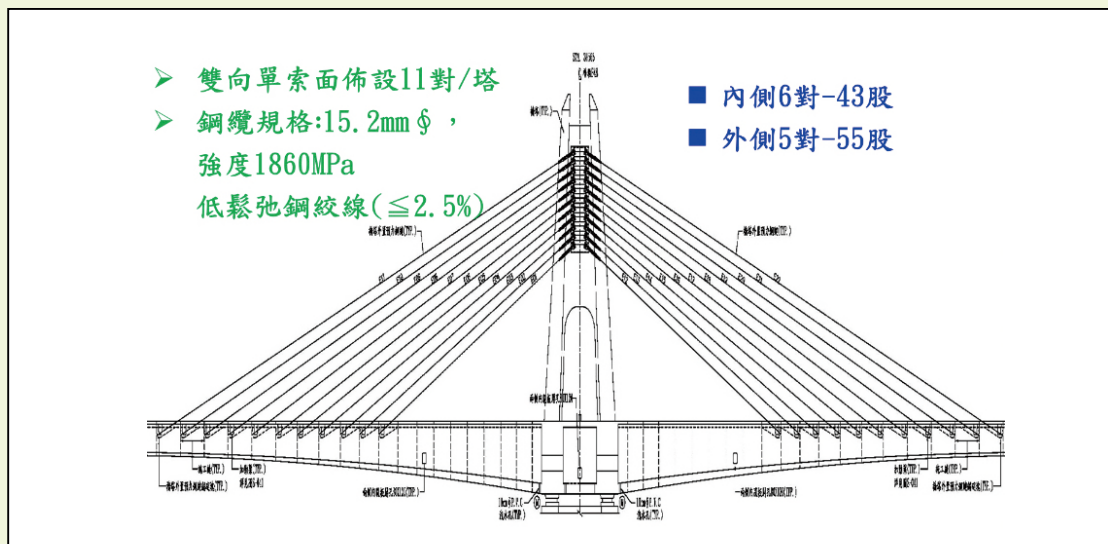


圖34 主橋外置預力配置圖

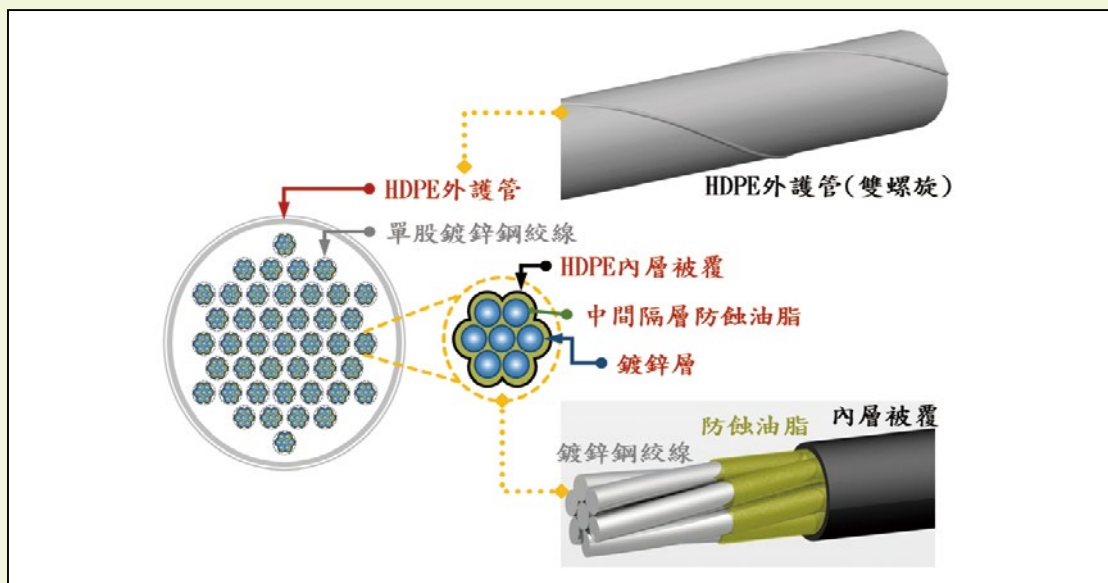


圖35 外置預力防蝕保護示意圖



吊裝完成及第11根斜索安裝完成，施工流程詳圖36、圖37，每對節塊吊裝及預力施拉完成後均應進行高程檢測，以確認完成高程趨勢與結構計算書相符，如有誤差即時進行調整機制。

直至全部鋼絞線穿線完成，再自第1根鋼絞線施加100%索力值，直至全部鋼絞線張拉完成，此時每根鋼絞線索力因鄰近鋼絞線施拉預力而降低，故需循環施拉至每根鋼絞線趨近於相同索

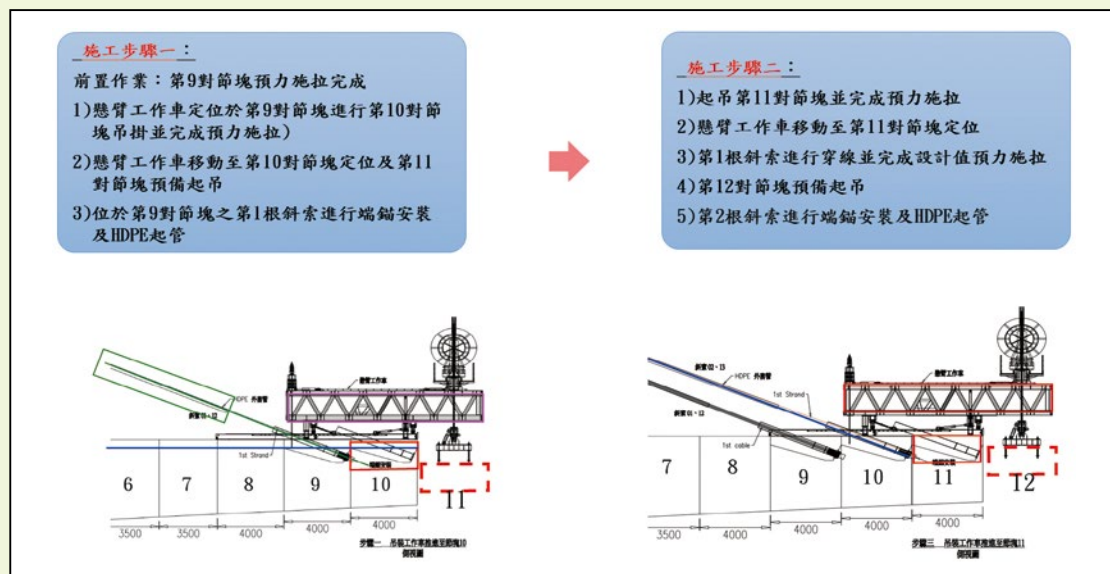


圖36 主橋預鑄節塊與外置預力施工示意圖(1)

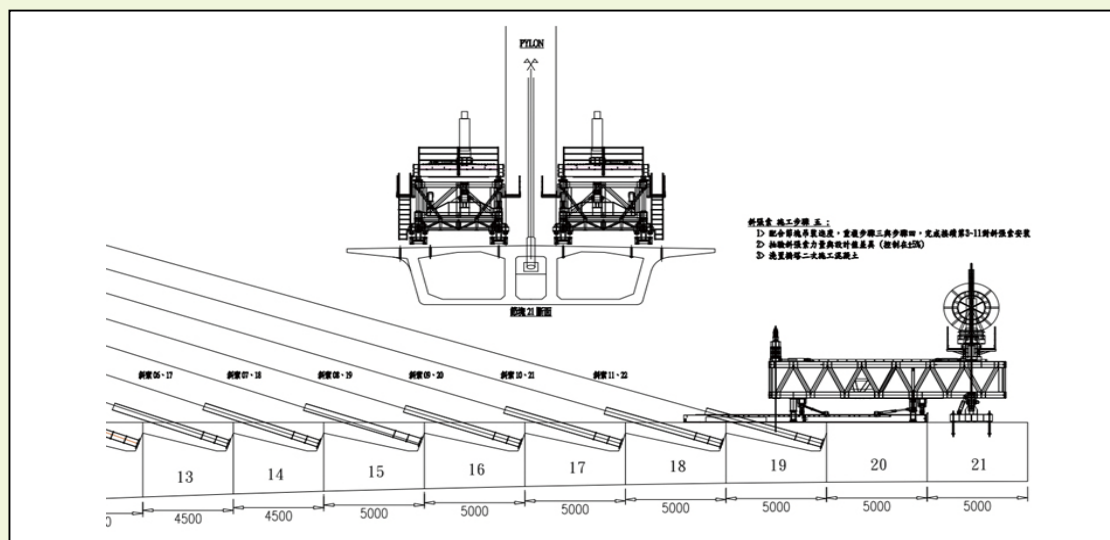


圖37 主橋預鑄節塊與外置預力施工示意圖(2)

### 三、斜拉鋼索施工順序

本工程外置預力為平行鋼絞線，安裝順序須由從上而下逐根穿線，以利留設下部空間做為穿索時之通道，逐根施加30%設計索力值，

力為止(誤差值2.5%)，全部斜索安裝及施拉預力完成後，最後再安裝索箍、減震器及防水罩等配件，待全部橋梁所有靜載重(護欄、AC、設備等)設置完成後，做最後預力值檢視並補拉，其施工流程詳圖38、圖39，鋼絞線施拉預力是

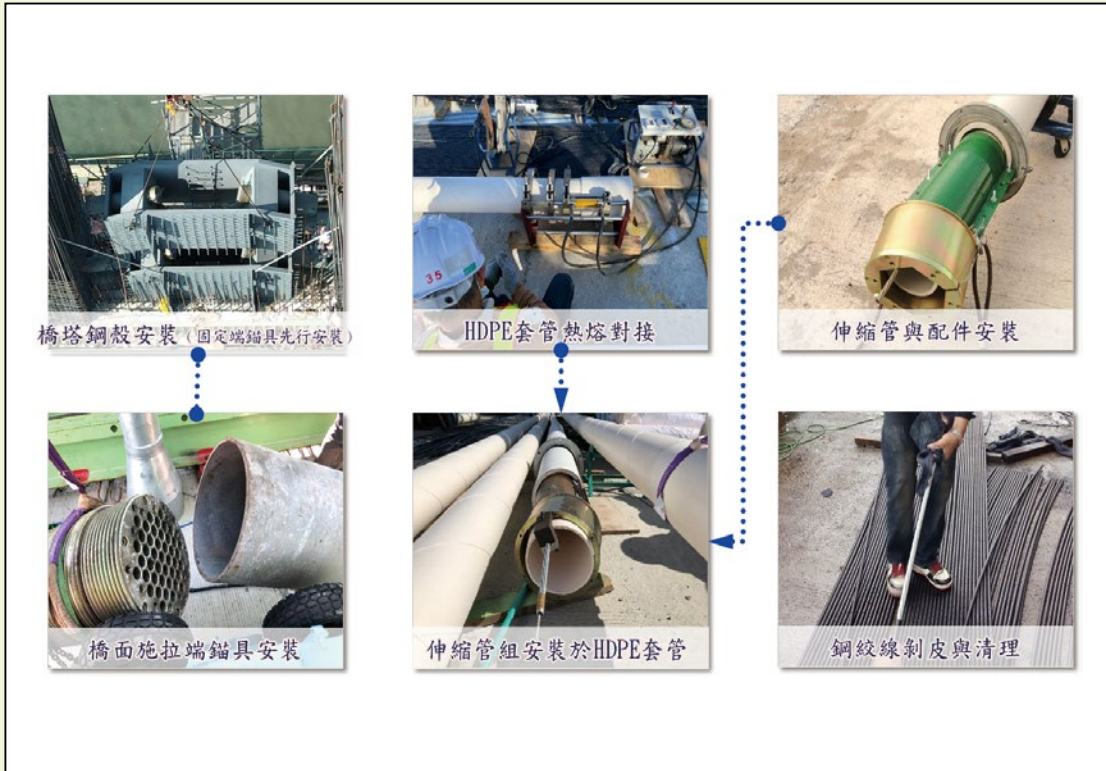


圖38 主橋外置預力施工前置作業流程



圖39 主橋外置預力施工流程



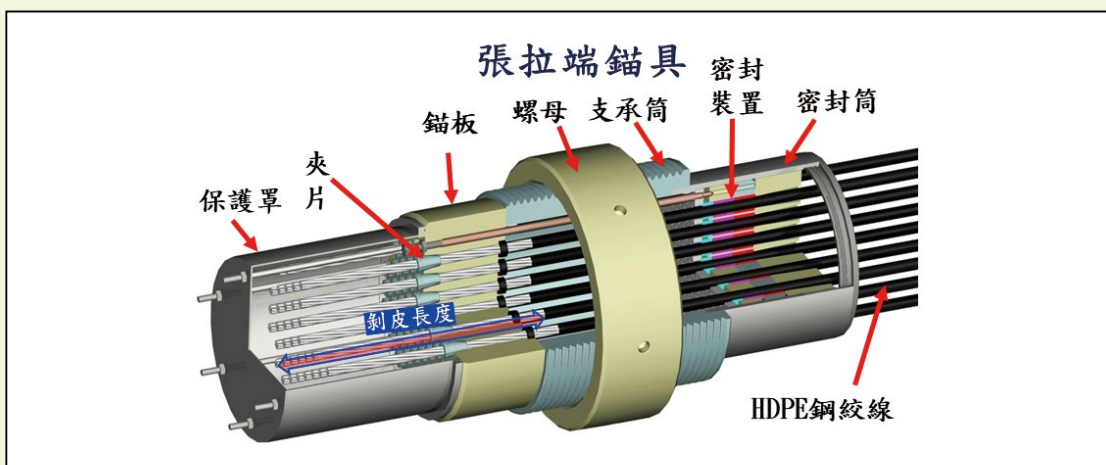


圖40 鋼絞線剝皮長度示意圖

本項作業重點，施工過程需注意鋼絞線剝皮長度，由於鋼絞線進場時已包覆一層HDPE保護層，而剝皮長度與伸長量有關，不同長度之鋼纜有不同之剝皮長度，最大剝皮長度原則是不能造成裸線導致鏽蝕問題，最小剝皮長度之原則是要使HDPE披覆層不能突出端錨致夾片無法夾住鋼絞線(詳圖40)。

## 結語

本工程預鑄節塊吊裝工作於111年7月21日已全部完成，在預鑄節塊產製過程中，除鋼

筋、模板及混凝土之品質要求外，並選擇合適之長線鑄造方式、檢核定位梁線形與放樣準確性、運用適當之新舊混凝土防黏合措施確保接合面密接、預力套管順接與防漏漿措施等項，藉此建立後續吊裝作業可確符施工精度之基礎，吊裝過程中則確認工作車定位穩固以保障施工安全、節塊吊裝完成之高程檢核與回饋調整、鋼絞線剝皮長度之確認及穿線時之對位正確、確認全束之鋼絞線預力施拉值趨於一致並於荷重全部施載後再予檢核、各橋跨底板最終預力之檢核等，各項施工細節均小心謹慎為之，終於如式如質完成金門大橋主、邊橋上部結構(如圖41~圖43)。



圖41 大金邊橋單元節塊吊裝完成情形



圖42 主橋段單元節塊吊裝完成情形



圖43 主、邊橋完成照片

## 參考文獻

1. 金門大橋工程設計報告(101年11月)，交通部臺灣區國道新建工程局
2. 施工技術規範（98年8月），交通部臺灣區國道新建工程局。
3. 金門大橋建設計畫第CJ02-2C標金門大橋接續工程替代方案特訂條款（107年7月），交通部高速公路局。
4. 替代方案初步設計計畫書(106年7月)，東丕營造股份有限公司
5. 金門大橋預鑄節塊施工簡報(111年8月)，張震宇
6. 金門大橋建設計畫第CJ02-2C 標金門大橋接續工程替代方案介紹(106年12月)，潘小珍
7. 金門大橋工程主橋外置預力設計及施工(110年12月)，潘小珍



# 金門大橋規劃設計之挑戰與突破

關鍵詞(Key Words)：跨海橋梁 (Cross-Sea Bridge)、橋梁規劃設計 (Bridge Plan and Design)、  
嵌岩樁 (Socketed Pile)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／土建事業群／副總經理／黃炳勳 (Huang, Ping-Hsun) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／協理／蔣啟恆 (Chiang, Chi-Heng) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／經理／陳炳宏 (Chen, Ping-Hung) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／經理／劉珊 (Liu, Shan) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／副理／吳弘明 (Wu, Hung-Ming) ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／副理／陳明谷 (Chen, Ming-Ku) ❻

## 摘要

金門大橋跨越金門港道銜接大、小金門島，橋梁全長4.77公里，於橋梁規劃設計須考量工址海域水深達23公尺、地質基盤為花崗岩，岩盤深度與風化程度變化大等海象與地質條件，另須滿足航道通行、景觀意象、施工性與經濟性等要求。本工程為台灣首座大規模跨海橋梁，且為國內首次於深水域花崗岩施作基樁，規劃設計遭遇許多困難，台灣世曦集結各專業部門組成設計團隊，將相關困難一一克服，本文主要說明金門大橋規劃設計成果，規劃設計階段遭遇之困難及解決方案。



## Challenges and breakthroughs in the planning and design of the Kinmen Bridge

### Abstract

The Kinmen Bridge crosses the Kinmen Channel to connect the islands of Kinmen and Lieyu (the Little Kinmen). With a total length of 4.77 km, the bridge planning had to consider the maximum water depth at the site reaching 23 m and a granite bedrock with significant variations in the depth and weathering conditions. Other challenges for the project team included meeting the navigating channel requirements, as well as those related to landscaping, constructability, and of course costs. The Kinmen Bridge is the first large-scale cross-sea bridge in Taiwan, and the first project utilizing piles driven into a granite layer at a deep-water depth. A number of difficulties had to be overcome during the planning and design stages. CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan, as the bridge design consultant, assembled a team which included professionals from various departments and disciplines to contend with these challenges one by one. This article describes the results of this planning and design process, as well as the problems encountered and the solutions developed to successfully tackle them.

3

專題報導



## 壹、工程概述

金門大橋工程範圍西起烈嶼（小金門）后頭地區、東迄於金寧鄉湖下地區，路線全長5.414公里，其中約4.5公里位於海上，大橋跨越金門港道銜接大、小金門島，提供烈嶼與金門地區全天候的交通聯繫，並肩負提升觀光的效益，工程相關位置如圖1所示。金門大橋為國內首座大規模之跨海橋，且為國內首次於深水域花崗岩施作基樁，完成後亦為國內最大跨徑脊背橋，設計新穎、施工條件困難，工址環境條件艱鉅，由台灣世曦團隊負責規劃設計及監造工作，完成後將為台灣指標性橋梁工程。

## 一、工址地形及地質

本工程路線於烈嶼端陸域為緩坡地形之紅土台地；向東進入烈嶼端海域後為礁岩地形之海域，海床起伏大；再向東約位於金門港道的中央，此段為深槽區水深約23公尺，深槽區寬度約1,800公尺，詳見圖2。

工址基盤為花崗岩，其上層為沖積層，依據補充鑽探成果顯示，於深槽區同一墩位佈設2孔鑽孔，兩孔間水平方向距離25公尺，岩盤深度差異竟達10公尺以上，顯示工址花崗岩層深度變化大，另於鑽孔柱狀圖亦可發現各深度的

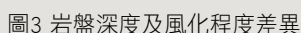


圖1 工程位置示意圖



圖2 水深地形圖

高為0.1~0.3公尺佔70%，最大示性波高0.64公尺。於颱風波浪資料，本工程採用颱風深海波浪作為入射條件，受金門天然地形及淺灘影



響，數值模式計算至工址橋墩區示性波高最大  
約為0.33公尺~1.32公尺。

### (三) 海流

本工程利用丹麥DHI水利數值模擬軟體之



### 構台處漲潮狀況

圖4 工址漲、退潮情形

HD模組進行金門地區海域流況模擬。工址漲潮階段水流係由外海向廈門灣流動，而退潮時則方向相反，其中以金門島與烈嶼之間的金門港道及金門島東北側靠近頭圍灣附近之東北水道



流速較大，在漲潮時流速約達1.4~1.6公尺/秒；退潮時流速則超過1.6公尺/秒，詳見圖5。

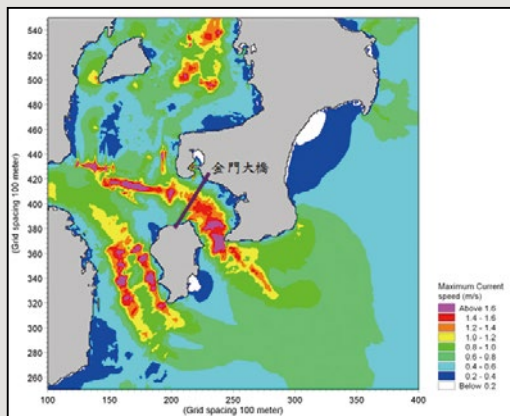
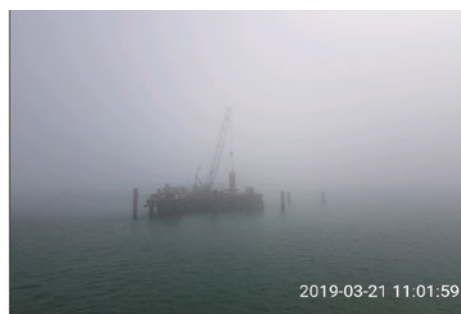


圖5 金門地區最大流速分布圖

#### (四) 氣象

每年10月至次年3月東北季風強勁，3月至5月易有濃霧，經統計每年約有2個颱風侵襲，詳見圖6。



工址濃霧狀況



颱風侵襲

圖6 工址濃霧及颱風侵襲情形

## 貳、規劃設計

### 一、路廊研選

規劃階段路線研選原則如下：

- (一) 考慮相關之地形、地質條件，儘量避開有潛在危險之地帶，如地質敏感帶。海上水深、洋流、風向等自然環境因素，對工程設計之影響，亦應詳加考慮，減低對自然環境生態、景觀之影響。
- (二) 配合現地條件採用適當之路線規劃及結構型式，提高工程安全性及降低工程經費。
- (三) 配合地形、地物，儘量採用較高標準之平縱面線形佈設，提高行車運轉之安全性及舒適性。
- (四) 考慮未來整體路網之發展，配合都市計畫及均衡區域發展、促進地區繁榮等，以期能發揮最大之服務功能。
- (五) 儘量避免或減少對現有計畫區、建物、設施之影響，如都市計畫或特定區、國家公園、民房、工廠、軍事設施、排水設施、排水及輸油、輸電管路等。
- (六) 力求與相關建設計畫配合，以利計畫之實施及收相輔相成之效。

綜合上述考量，評估南、北路廊方案(詳見圖7)，規劃報告中針對南北路廊之評估概述如表1，方案評估之結果以北路廊為建議方案。



圖7 路廊方案示意圖

表1 路廊方案評估表

| 路廊   |        | 北路廊                                                                                 |   | 南路廊                                                                                                  |   |
|------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 項目   |        |                                                                                     |   |                                                                                                      |   |
| 路線長度 |        | 5.34公里                                                                              |   | 3.68公里                                                                                               |   |
| 工期   |        | 較短                                                                                  |   | 較長                                                                                                   |   |
| 經費   |        | 較低                                                                                  |   | 較高                                                                                                   |   |
| 整體評估 | 橋梁平縱線形 | 線形平順                                                                                | 佳 | 受相關計畫限制線形較差                                                                                          | 差 |
|      | 引道設置條件 | 可平順銜接<br>無拆遷問題                                                                      | 佳 | 影響既有交通動線<br>引道坡度較陡<br>有用地及拆遷問題                                                                       | 差 |
|      | 整體運輸動線 | 便利連結重要聚落                                                                            | 佳 | 以直捷運輸走廊連結大小金門重要交通據點                                                                                  | 佳 |
|      | 施工海域地質 | 水深淺、多礁石及淺灘區有利<br>施工面展開<br>岩盤離海平面37公尺，覆土<br>20公尺（N值≒50），基礎無<br>需深入硬岩盤，或可以較淺長<br>度入岩。 | 佳 | 深槽區水深25公尺至30公尺。<br>岩盤離海平面35公尺，為質地堅硬之花崗岩。<br>覆土約5公尺深，鋼管樁或鋼板樁入岩困難，水<br>平方向穩定性差。以開口沉箱施築，則岩盤整平<br>困難度甚高。 | 差 |
|      | 港灣計畫影響 | 無影響                                                                                 | 佳 | 限制水頭商港、九宮碼頭、塔山電廠未來發展性                                                                                | 差 |
|      | 周遭交通衝擊 | 對相關道路衝擊較輕                                                                           | 佳 | 影響九宮及水頭進出                                                                                            | 差 |
|      | 連絡道路拓建 | 經費約2.50億元                                                                           | 佳 | 經費約8.60億元                                                                                            | 差 |
|      | 管理維護費用 | 經費約26.30百萬元                                                                         |   | 經費約26.94百萬元                                                                                          |   |
|      | 地標的塑造性 | 與水頭、九宮碼頭遙相呼應，<br>將金門港海域圍成內海，可塑<br>造優美之景觀地標                                          | 佳 | 與大小金門航線重疊，陸域眺望角度窄                                                                                    | 差 |
|      | 遊憩區之串聯 | 可與慈湖鳥類生態區、古寧頭<br>戰地史蹟、北山古厝及威振第<br>等觀光景點相互輝映烘托                                       | 佳 | 大金門文化古蹟與小金門國家公園之連結                                                                                   | 佳 |
|      | 敏感區位影響 | 雙鯉湖遊憩區、<br>浯江溪口、慈湖                                                                  |   | 古崗口、浯江溪口、慈湖                                                                                          |   |
|      | 橋址之可及性 | 可及性佳                                                                                |   | 可及性佳                                                                                                 |   |
|      | 發展腹地限制 | 限制開發因素少                                                                             | 佳 | 限制開發因素多                                                                                              | 差 |
|      | 周邊開發遠景 | 地形平坦，發展腹地完整，用<br>地取得容易。                                                             | 佳 | 發展腹地受限                                                                                               | 差 |



## 二、平立面線型

本工程為跨海大橋，橋梁跨越金門港口道銜接金門與烈嶼，為呼應本計畫「三分交通、七分觀光」的建設宗旨，路線平面線形於海上採三組半徑2,000公尺以上的反向圓曲線搭配緩和曲線設計而成，避免長直線的佈設導致線形單調，提供用路人動態視覺感受，也可有效避免東西向道路長時間受日照眩光的影響。路線縱面設計考量二次爬升，兼顧經濟性與金門港口道淨高需求、陸域地形的順暢銜接、橋梁之

景觀性及排水、既有道路的跨越、橋頭兩端都市計畫的整體發展等，詳見圖8。

## 三、斷面配置

橋梁全寬15m，完工初期配置雙向各1車道及人行/自行車道，若後續交通量增加時，可將人行/自行車道改採吊掛於懸臂橋面板下方，橋面調整為雙向各2車道，詳見圖9，結構設計已預留考量相關吊掛載重。

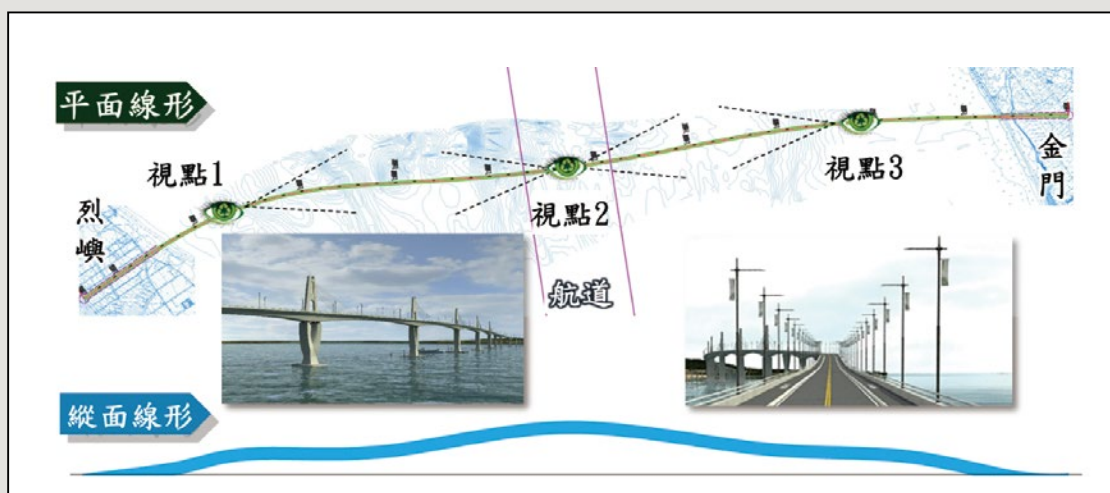


圖8 平立面線型規劃示意圖

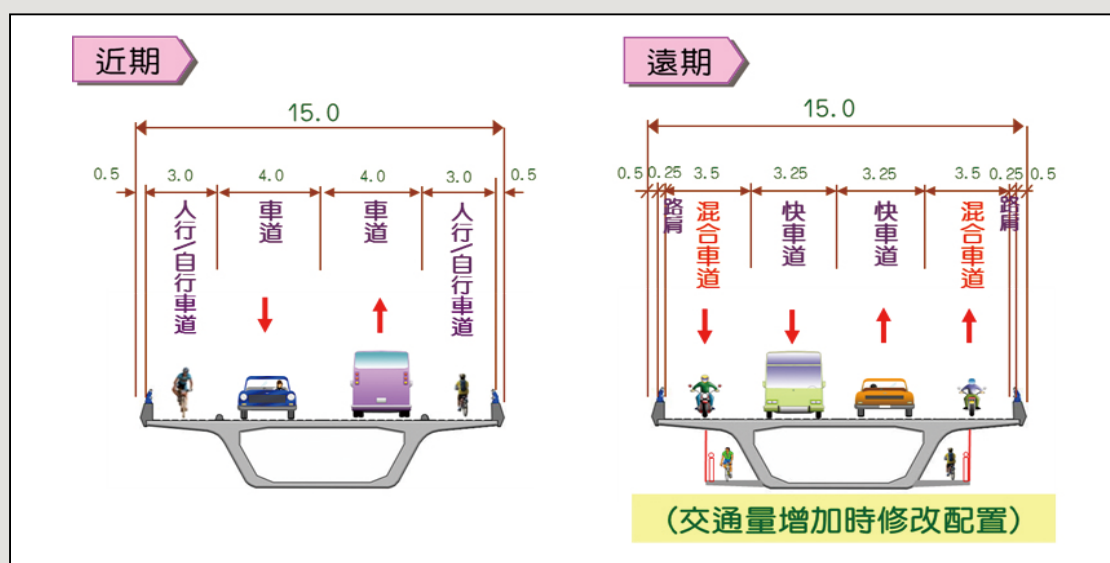


圖9 斷面配置考量

#### 四、橋梁配置

橋梁型式考量位於海域之位置區分為主橋段、邊橋段及引橋段(詳圖10)，依據沿線各路段環境特性、施工條件、工期及工程經費等因素，分段說明如下：

尚須考量塑造金門地區另一新的優美地標，提昇金門之觀光資源，且須考量施工性、經濟性、景觀性等因素。主橋段配合5000GT客貨輪航道寬度需求，及考量深槽急流區域施工之困難度，主跨配置200公尺，儘量減少於深水區域內落墩，故研議採用預力混凝土箱型梁脊背橋

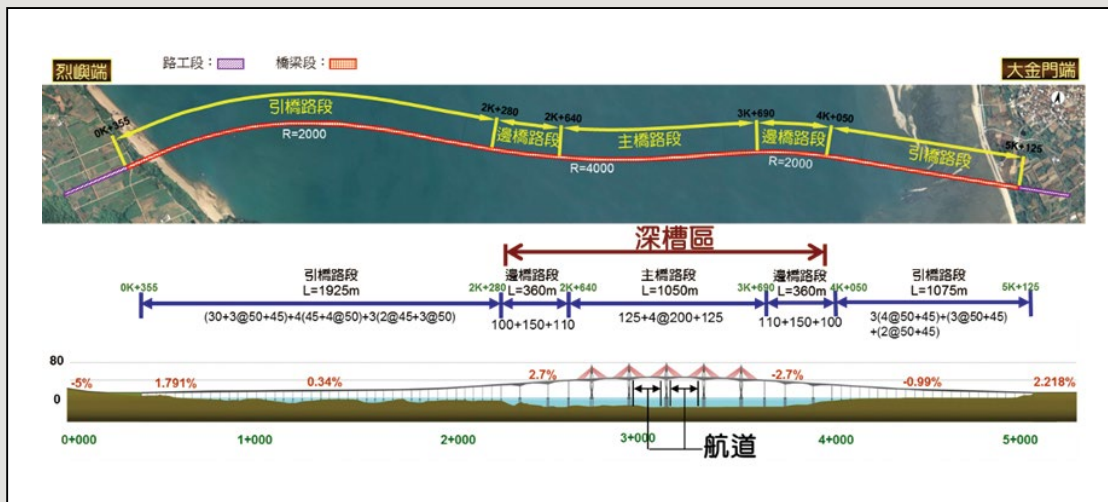


圖10 橋梁平、立面圖

##### (一) 主橋段

主橋段主要跨越通航航道及深槽區海域，主橋橋梁型式除考量航道淨寬及淨高需求外，

型式，採懸臂工法施工，橋塔及橋墩於基本設計階段配合金門縣政府供縣民票選決定橋塔造型，故研提五種造型方案(詳圖11)，分別為橋塔配置於橋面中央與配置於橋面兩側之兩種型

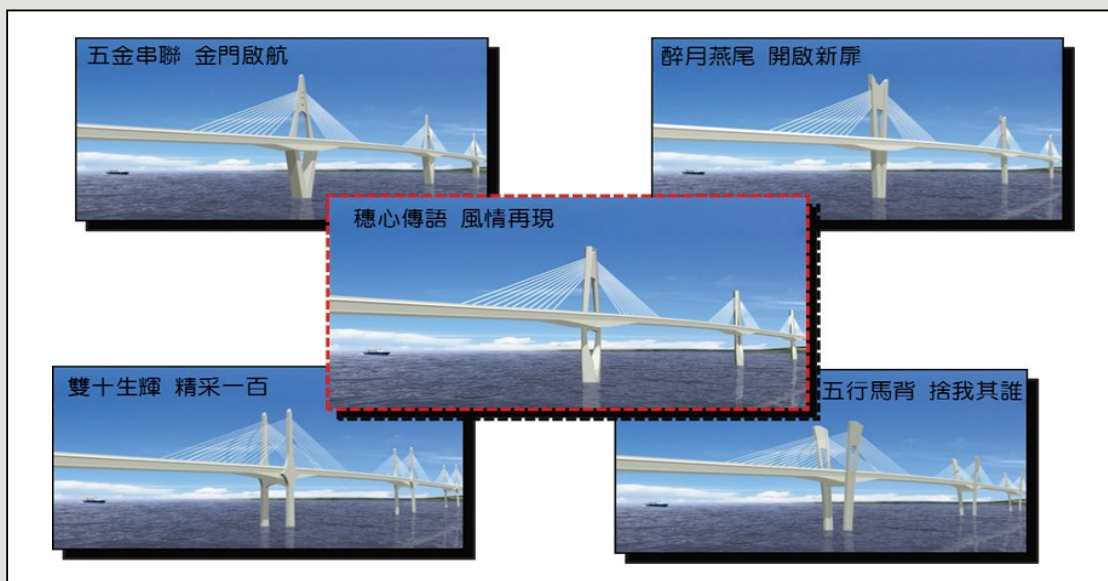


圖11 供縣民票選之主橋橋塔造型方案



式，經票選結果採方案三之高梁穗心型橋塔造型之脊背橋。

## (二) 邊橋段

邊橋位於主橋兩側各一橋單元，金門端邊橋與烈嶼端邊橋皆位於深槽區，考量主橋跨徑之銜接及海上基礎施工的困難性，採大跨徑橋型配置，延伸主橋之超大跨徑及銜接引橋之中長跨徑，使橋梁跨徑由大而中到小漸進優美的變化，考量跨徑需求及施工性，採主跨徑為150公尺之預力箱型梁採懸臂工法施工，橋墩採矩形單柱式橋墩。

## (三) 引橋段

引橋段為銜接海上橋梁至陸域引道，金門端引橋位於淺灘區中潮位水深約2公尺，烈嶼端引橋位於礁岩區水深約2~13公尺，考量經

濟性及施工性，採用中跨徑預力混凝土箱型梁橋，配合支撐先進工法施工，橋墩採矩形單柱式橋墩。

## 五、橋梁基礎

本工程橋梁基礎型式之選擇，除考量地形、地質狀況、水位、施工條件、施工環境、荷重條件、基礎特性及經濟性等研擬適用之基礎型式，尚需考量海上施工安全。

跨海橋梁基礎依施工、結構方式不同，可分為樁基礎、沉箱基礎、鋼管板樁井筒基礎等類型基礎型式示意圖詳見圖12，本工程針對各基礎型式評估比較，主要考量如下，沉箱基礎由於工址岩盤深度差異大穩定性不佳，深水作業施工較危險；鋼管板樁井筒式則考量基礎板樁需打設入岩，施工困難且風險高，以樁基礎之基礎型式無需深水作業，易因應地盤變化為

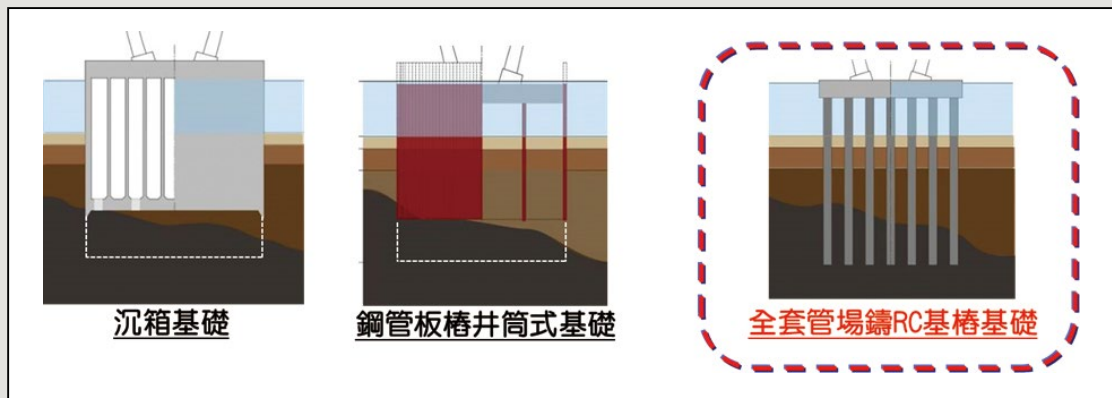


圖12 基礎型式示意圖

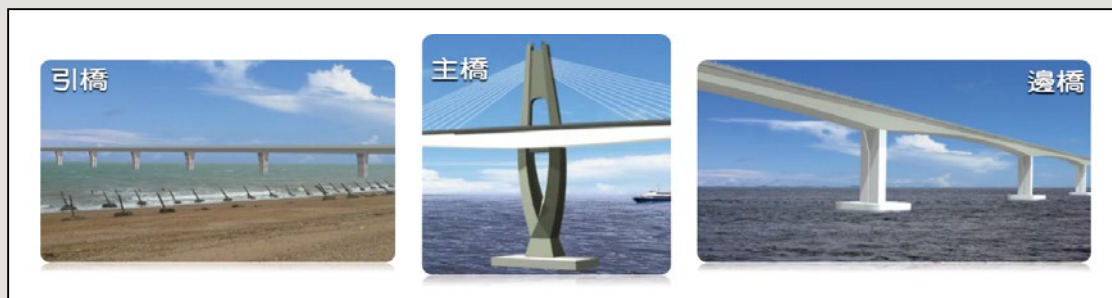


圖13 各橋段樁帽高程規劃示意圖

主要考量。

本工程經設計評估採樁基礎型式較易因應工址地質變化，另於樁帽高程之規劃，須綜合考量施工性、景觀性、耐久性及維護性等，本工程設計階段經與各相關單位討論後，樁帽高程之訂定於引橋段以退潮時不露出樁帽為原則（樁帽頂設於EL.-3.2m），主橋與邊橋段以退潮時不露出基樁為原則（樁帽底設於EL.-4.2m），各橋段樁帽高程規劃示意圖詳見圖13。

## 六、深槽區墩位防淘刷設計考量

本工程之樁基礎類似座落於海中之柱體，因柱體之阻礙影響周遭之水流，致使鄰近底床剪力增大，將產生海床淘刷情形，為避免深槽區域墩位因海床受淘刷，加大基樁裸露長度，本工程於橋墩P42至橋墩P50設置防淘刷保護工詳見圖14，以避免完工後發生刷深現象。但仍須考量施工過程中受海流影響而發生淘刷之可

能，本計畫配合水工模型試驗驗證結果，在無保護工之情況下，海床將產生淘刷，且淘刷將於基樁套管打入海床後48小時內完成，若配置防淘刷保護工則無受損，詳見圖15，故本設計除以水工試驗之結果驗證外，另須妥善研擬防淘刷保護工之施作時機，故於施工規範要求於打設外套鋼管之前須先拋放第一層袋裝e卵石，以避免鋼管打設後產生即時的淘刷。

## 七、防蝕設計

本工程採預力混凝土箱型梁橋，工址位於海水中及近海岸，易受海水飛沫之影響，屬極嚴重鹽害區，基於耐久性考量，混凝土使用C<sub>3</sub>A含量適度之TYPE II水泥添加高爐石粉或飛灰等卜作嵐材料（飛灰、高爐石粉上限45%）或IS(MS)高爐中度抗硫水泥、IP(MS)卜作嵐中度抗硫水泥，限制混凝土之最大水膠比，另適當提昇混凝土強度，可增加其水密性，並要求辦理混凝土抗氯離子穿透能力試驗，要求使用之配比須

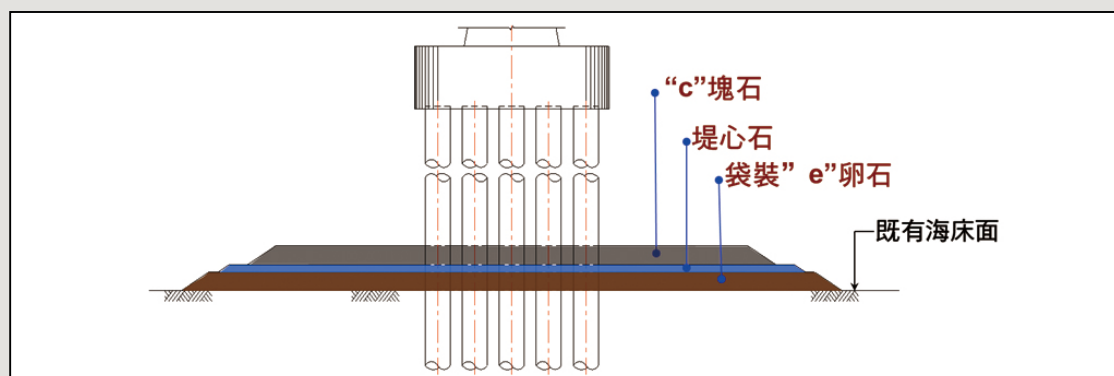


圖14 防淘刷保護工配置

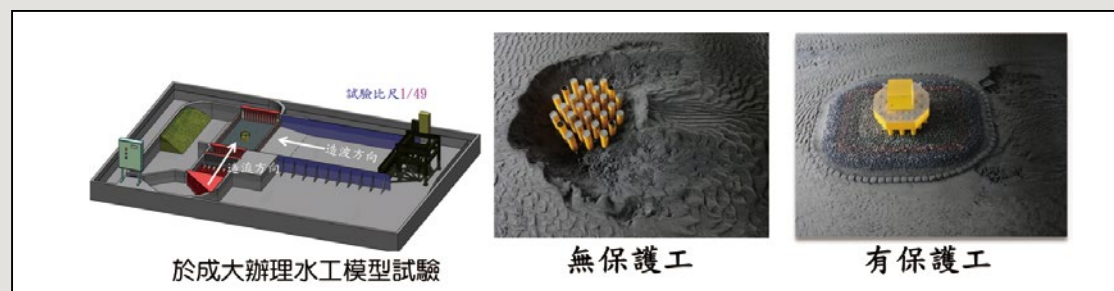


圖15 水工模型試驗結果



符合56天齡期混凝土符合CNS 14795等級為”低”以下標準。在上構結構設計要求達到0張應力，以避免裂縫產生，有助於鋼筋防蝕。在預力鋼腱部分，配合於施完預力後套管內灌注水泥砂漿保護，提昇預力鋼腱防蝕效果。下部結構鋼筋採鍍鋅鋼筋，以提昇防蝕效果。基礎施工為防制裂縫產生，若採分層澆置時，要求澆置施工縫需配合施工規範相關要求處理後方可澆置下一昇層混凝土，位於外露面之接縫須作防水處理以杜絕可能的腐蝕因子，混凝土養護期最短14天，且養護期間應以適當措施控制其冷卻速率，養護期間混凝土表面溫度每24小時之累計溫降不超過 $11^{\circ}\text{C}$ 。另亦配合現行規範相關規定，依環境等級加厚混凝土保護層。脊背橋使用之外置預力斜索採同步射出高密度聚乙烯（HDPE）內套管並灌注油脂之鍍鋅單根鋼絞線（Co-extruded mono-strand）；並配合高密度聚乙烯（HDPE）材質外套管具四層防蝕保護功能。

## 八、監測計畫

為掌握工址腐蝕條件對於大橋鋼筋、混凝土之影響，及橋梁結構特性，故於大橋設計時亦納入監測工作，相關工作內容及目的說明如下：

### （一）長期材料腐蝕試驗與橋墩腐蝕監測

預計進行金門大橋所使用混凝土之相關材料特性之探討，包括基本材料力學性質、耐久性、長期體積穩定性與水中磨耗特性等，並以所獲得之性質，回饋橋梁管理單位進行未來橋梁之維護與監測參考之用；同時安裝腐蝕監測計於部份橋墩處，一旦腐蝕情況發生即可迅速掌握並進行相關後續處置。

本計畫預計進行之項目為配合施工廠商提送使用之材料配比製作混凝土試體，進行室內加速試驗，探討混凝土中性化與氯離子入滲之關係。並於工址橋墩P44、P48處之箱型梁頂板中央適當位置各施作1個尺寸為 $0.6\text{m}\times 0.6\text{m}\times 0.6\text{m}$ 之鋼筋混凝土塊，其鋼筋採用一般鋼筋，及橋墩P41、P51基礎上方適當位置各施作4個尺寸為 $1\text{m}\times 1\text{m}\times 1\text{m}$ 之立方鋼筋混凝土塊，4個鋼筋混凝土塊中，2個配置一般鋼筋，另2個配置防蝕處理鋼筋，配置如圖16所示，後續配合鑽心取樣用以掌握橋梁混凝土及鋼筋狀況。

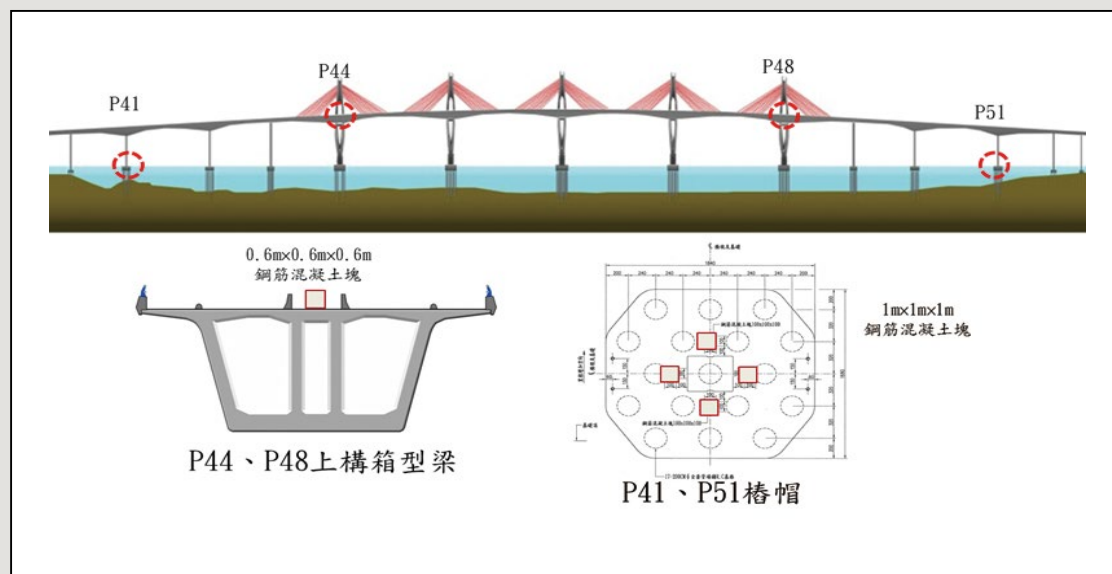


圖16 長期鋼筋混凝土材料腐蝕試驗配置示意圖

另於引橋位置P10、P25、P60、P70之橋墩，邊橋位置之P41、P51，主橋位置P44、P46、P48之橋墩，每個橋墩的潮間帶(平均低潮位以下1公尺處)、飛沫區(平均高潮位以上1公尺處)與飛沫區之上(設計潮位以上5公尺處)各一個斷面，每個斷面裝設1個腐蝕感測器，其中P25、P41、P44、P46、P48及P51位置則再額外多安裝1個腐蝕感測器於海平面以下位置(最低潮位以下3公尺處)，共計33個腐蝕感測器，每個腐蝕感測器將量測腐蝕電位、電流、相對溼度，以提供腐蝕程度之判斷，相關配置如圖17所示，後續配合以檢測員每年1次之定期資料讀取方式進行。

狀態之數值，以輔助日後依監測結果對於橋梁健康狀況之判定。主要辦理主橋段之動、靜態載重試驗、橋體結構微振量測、鋼纜微振量測以及全橋三維雷射掃描，以達紀錄橋梁在通車前之橋體應變狀態、模態振型、自然頻率與影響線之建立，並延續施工階段所監測之鋼纜索力變化，以及全橋之三維空間座標之建立。

#### (四) 完工後之完整監測系統規劃

本計畫為整體監測系統之初步階段，僅進行後續完整監測系統之規劃及各項儀器所需管線之設計分配與預埋規劃，依照本計畫所建構

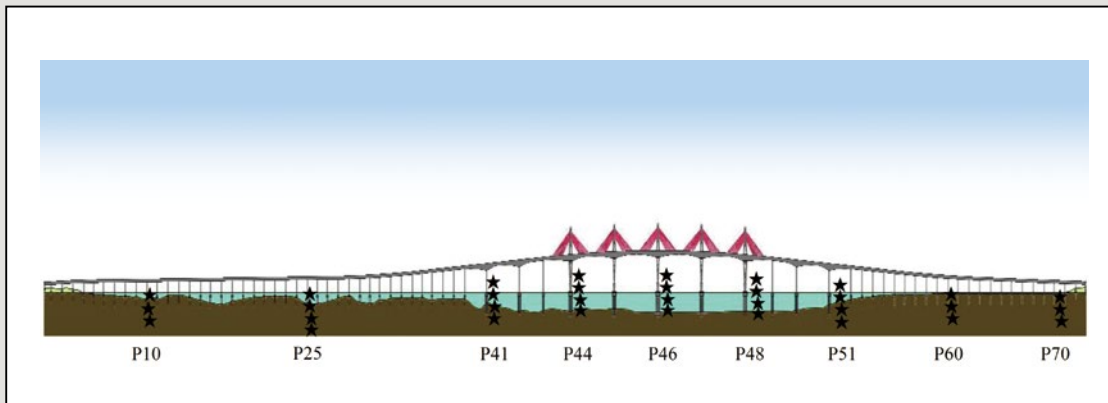


圖17 橋墩腐蝕監測配置示意圖

#### (二) 配合施工時之橋梁部分構件初始值之量測

於橋梁施工過程中，進行部分重要構件之監測儀器安裝佈設，以利為該構件完工後之初始值量測，以及回饋橋梁設計單位對於日後其他相關設計所需之修正。主要針對環境影響因素(風速、溫度、雨量、濕度)、鋼纜索力、外置預力錨碇塊應變、主橋橋塔傾斜量及橋體位移、主橋箱梁及基樁應變等進行初始值量測。

#### (三) 完工時之橋梁結構初始值量測

針對甫完工且尚未開放通車時，進行載重實驗以及環境振動量測，將可量測各項構件初始

之金門大橋監測系統架構，未來可預期針對索力、基樁應變以及橋跨之應變反應進行監測及預警作業。

#### 九、交控系統規劃

考量金門大橋為聯絡大小金重要交通樞紐，且橋梁通行易受工址環境條件影響，故本工程配合規劃設置交控系統，相關規劃之策略主要為路況監視、天候偵測、用路人資訊提供、交通與速限管制等。依前述策略需求交控設備佈設詳見圖18，並於大金端橋下位置設置交控設備室，透過交控系統之配合，以提昇用路人行車安全。





圖18 交控設備佈設圖

### 參、遭遇困難及解決方案

金門大橋為國內首座大規模跨海橋，且為國內首次於深水區域花崗岩地質施作基樁，故於計畫初期綜合規劃階段實無可供參考的國內工程案例，故工程造價評估實無合適的單價可供參考，僅能採國內陸域施工的類似橋型造價適當加成，造成完成細部設計後依實際數量、施工規劃及訪價結果所得的工程經費大增，須配合變更建設計畫甚至調整原工程設計內容，以及考量配合金門地區地震危害度分析修正設計地震力係數等，以符合匡列之經費需求，另外為因應工址水深、地質等環境條件及橋塔外型曲線三維變化等施工挑戰，設計階段多次邀集公司內各專業部門討論，並配合國外專業顧問之檢討，針對各項困難提出解決方案。設計階段主要關鍵考量項目包括：配合匡列經費快速調整設計內容、因應地質變化基樁椿長評估與施工規範之訂定、深水域樁帽圍堰設計規劃、提昇橋塔施工性之對策、橋梁上構開放替代工法提高優質廠商投標意願之因應方式、依工址條件研選適用設計規範等，分別於以下說明。

#### 一、配合匡列經費快速因應調整設計內容

主橋標CJ02標完成設計後，經過3次公開招

標，均無廠商投標而流標，經綜合檢討流標原因主要係預算金額偏低，及廠商對於現行法令有關海上施工船機是否可由大陸引進之規定不甚明確，難以估算投標金額等，設計團隊於1個月的時間內密集召開5次檢討會議，評估各種經費減省之可行性及因應措施，並經與業主多次報告討論後相關因應對策如下：

- (一) 提高預算金額，將部分間接工程費、配合費及結餘款納入發包工程費使用。
- (二) 以不影響橋梁安全及通車為前提，減作及變更部分工作項目。
- (三) 縮減橋寬與變更橋梁配置以減少工程經費。
- (四) 配合交通部召開跨部會會議，同意本工程可專案許可引進大陸海上工作船。

其中主要之設計變更項目為橋面寬度由16公尺縮減至15公尺(詳見圖19)，橋面採雙向四車道配置時，快車道寬度由3.5公尺調整為3.25公尺，路肩由0.5公尺調整為0.25公尺，仍符合「市區道路及附屬工程設計規範」相關要求；另有關橋梁配置變更，主橋段主跨徑由280公尺縮減至200公尺，取消主跨間原設計80公尺長鋼箱梁段，另配合海域深槽區範圍縮短主橋兩側

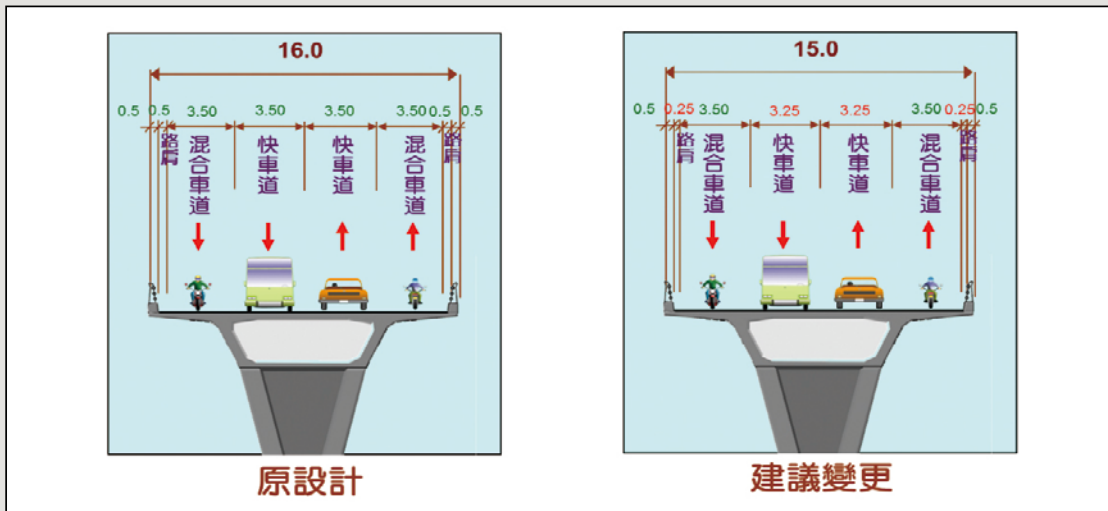


圖19 橋寬縮減1公尺車道配置示意圖

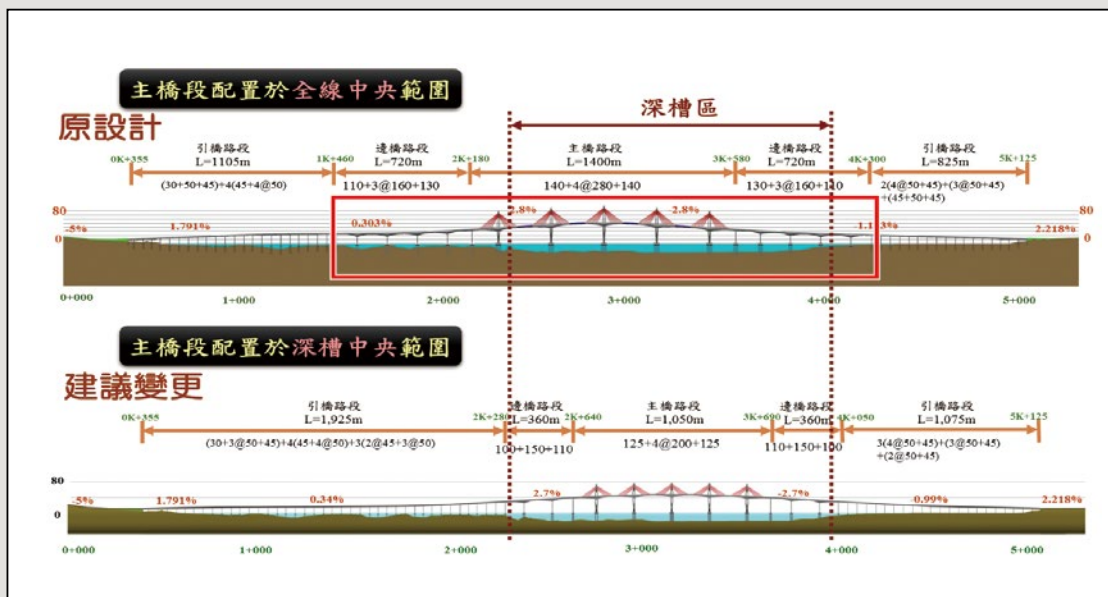


圖20 橋梁配置變更示意圖

邊橋段橋長納入引橋段，改採中小跨徑配置(詳見圖20)，相關設計調整後CJ02標順利決標，設計團隊配合業主需求迅速研擬相關建議方案，並經與業主充分討論定案後，亦快速完成相關設計變更，展現公司設計實力。

## 二、因應地質變化基樁橋長評估與施工規範之訂定

工址地質變化大，且配合鑽探動員規劃

及設計時程無法於設計階段即完成逐墩位的補充鑽探工作，故僅能暫依設計階段有限之補充鑽探資料暫估設計樁長，為確保安全性及經濟性，要求施工廠商應配合於施工前進行補充鑽探工作，補充鑽探以確認岩盤風化程度及承載層位置為主要目的，引橋段每墩至少1~2孔、邊橋段每墩至少6孔、主橋段每墩至少8孔(詳見圖21)，基樁橋底位置以入岩盤風化度分類級數3(中度風化，ISRM)一倍樁徑(1D)以上為原則，基樁入岩判定依據施工階段補充地質調



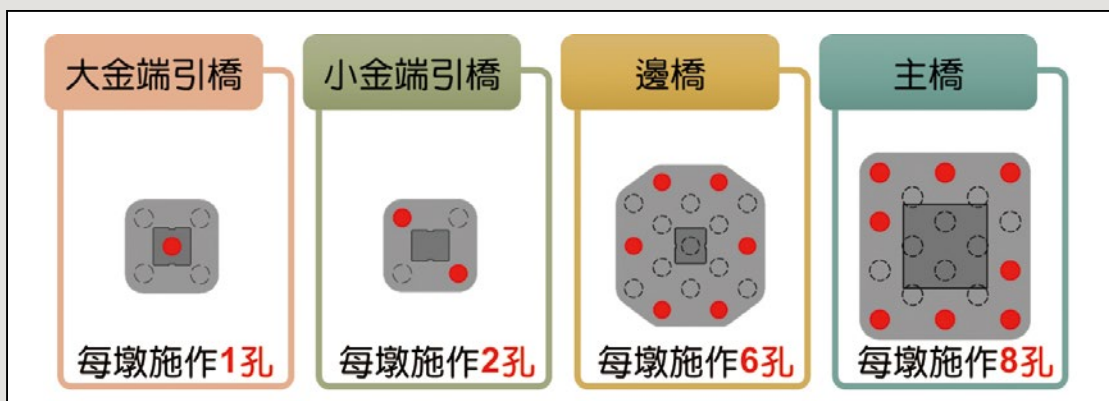


圖21 補充鑽探配置示意

查結果資料，並參考設計階段鑽探資料，若基樁施工為本工程要徑作業，則承包商應逐墩完成補充鑽探後備齊相關鑽探成果資料提送工程司代表確認後，設計單位於4工作天內依鑽探成果確認樁長需求，以確保基樁承載能力及精減工程經費。

另有關基樁施工要求，一般全套管基樁施工考量避免基樁鑽掘時坍孔，要求套管須配合下至完整基樁深度，惟工址基盤屬新鮮花崗岩，新鮮岩盤範圍鋼套管打入極為不易且應不致坍孔，故於施工規範中說明設計原則係採雙套管（內、外套鋼管）方式施作，惟承包商可於外套鋼管植入岩盤面（岩盤風化度分類級數4（高度風化，ISRM），SPT-N值不得少於100）內

至少一倍樁徑(1D)、符合原設計全套管鑽掘樁之結構需求、承載能力、耐久性等要求及不得使用造漿方式出渣之前提下，研提單層套管基樁施工計畫書，經核可後據以施作，並訂定相關計價原則，讓施工廠商可依實際岩位彈性因應，提昇施工功率。

### 三、深水域樁帽圍堰設計規劃

考量深槽區水深達23公尺，傳統圍堰因巨大水壓已不可行，故規劃改採懸吊式套箱圍堰（為國內首座案例），另綜整全橋段墩位水深，訂定當橋墩樁帽底距海床面達1.3公尺以上時，建議亦配合採懸吊式套箱圍堰施工，套箱圍堰懸吊於基樁外套鋼管（詳見圖22），套箱圍堰於海面

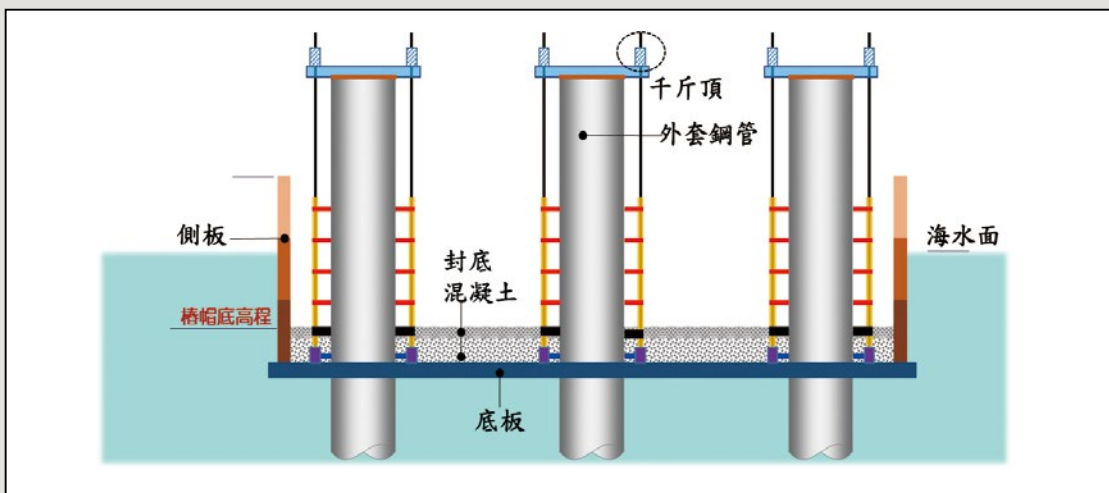


圖22 樁帽圍堰配置示意圖

以上組裝完成後下放，配合於圍堰底板封底止水後、抽水、架設內支撐系統，即可提供乾式施工環境，另規劃適當之施工監測系統，如支撐應變計及反光觇標等，大幅提升施工安全並降低費用。

#### 四、提昇橋塔施工性之對策

主橋橋塔造型採「穗心傳語 風情再現」之語彙意象，設計採用不同曲率半徑的線條及單、雙柱等結構線形變化，形塑橋塔優美外型。由於墩柱線條複雜、結構線形變化大，且最高之橋塔(P46橋塔)全高達78.5公尺(詳見圖23)，為本工程一大挑戰，設計考量主橋段設計線型以P46為對稱軸，可使5座橋塔橋面以下對稱配置，於橋面以上外型尺寸則設計皆相同，以提昇施工性及模板翻用可行性(詳見圖24)。考量橋塔高度，於設計時配合在各橋塔設置塔吊(詳見圖25)及載人升降設備供施工使用(詳見圖

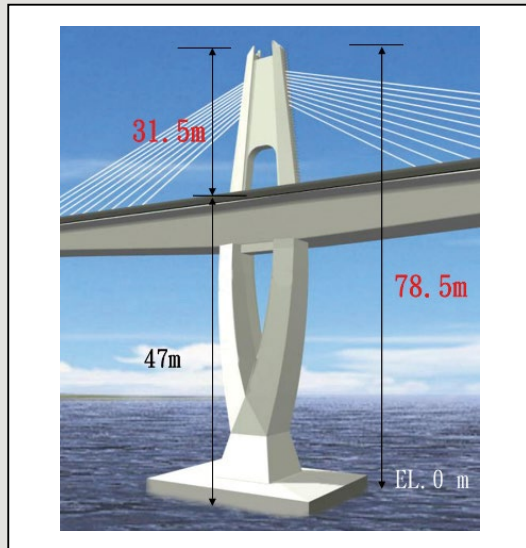


圖23 P46橋塔模擬圖

26)。另於橋塔鋼筋設計，考量施工性皆採續接器續接，並縮短鋼筋續接長度，於施工階段仍不斷配合施工需求優化鋼筋配置，以確保結構安全並兼顧施工性。

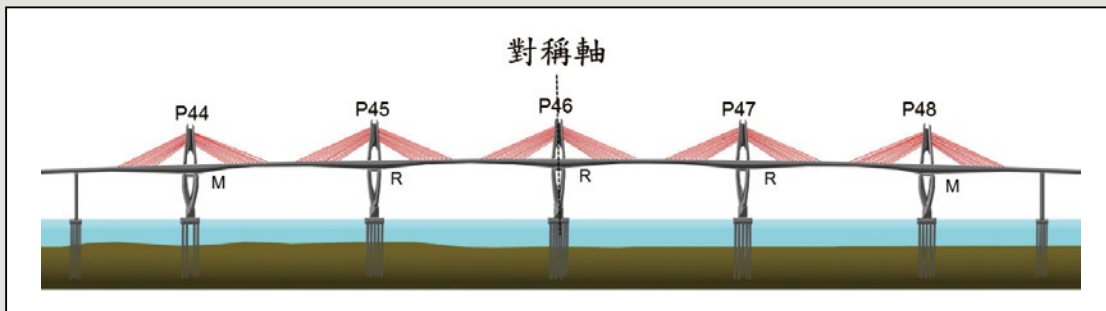


圖24 主橋橋塔配置圖



圖25 主橋橋塔塔吊設備





圖26 主橋橋塔載人升降設備

### 五、橋梁上構開放替代工法提高優質廠商投標意願之因應方式

本工程橋梁施工規劃，考量工程經費受限且於設計階段尚無法明確提供預鑄場地，故橋梁規劃採場鑄施工方式，惟另考量工址海、氣象條件嚴苛，為提高優質廠商投標意願並降低施工風險，開放未來廠商得改採預鑄施工方式，故將承包商得於得標後提出替代工法納入招標文件，設計階段積極研擬廠商提出替代方案之時限、範圍、程序及注意事項等相關規定如下：

- (一) 替代方案範圍為本工程引橋、邊橋及主橋之上部結構箱型梁(不含支承)。明訂可替代範圍之工作項目及數量，乘上契約詳細價目表所列單價後之合計總額，即為替代方案之工程費用額度上限。
- (二) 橋梁之平縱面線形、橋面寬度、箱型梁外形尺寸等不允許替代。

(三) 替代方案之上部結構傳遞至各橋墩的載重不得大於原設計之載重。

(四) 承商應於開工後30天內提送替代方案初步設計資料，初設同意後，120天內提送替代方案細部設計資料。

(五) 若承包商提出替代方案採預鑄節塊施作，預鑄場須設於台澎金馬地區。

施工廠商於得標後即依上述規定，研提橋梁上構改採預鑄節塊吊裝工法替代方案，經審查核定後據以施工。

### 六、依工址條件研選適用設計規範

本工程工址條件特殊，故有許多國內工程設計案例所不曾遭遇之情形。如設計階段交通部頒之98年橋梁耐震設計規範於金門地區地震力係數為參考台灣地區的地震危害度分析所訂，若使用較大地震係數將造成工程經費增加，故延請國內規範研究發展委員會依金門地



區之地震危害度分析訂定合理係數，作為設計依據；另有關國內並無合理計算崁岩樁承载力之規範可引用，常用之美國AASHTO規範亦過於保守，故設計團隊蒐集各國相關規範並與業主充分說明討論後，最終建議參用香港規範，對花崗岩的掌握度較高，上述調整使本工程設計成果可兼顧安全性及經濟性。

## 結語

金門大橋為國內第一座大規模跨海大橋，設計考量兼顧安全性、耐久性、景觀性、施工性及經濟性，工址環境特殊，設計與施工難度絕對是世界上少有的跨海大橋，本工程於民國99年5月開始設計，民國111年10月完工通車，金門大橋團隊秉持鍥而不捨的精神，歷經眾多困難、嘗試、調整，累積了豐厚的經驗與信心，透過本工程經驗，可提昇國內海上橋梁工程的設計及施工技术水準，亦可建立台灣本土化之跨海橋梁造價資料，可供後續相關海事橋

梁工程經費評估參考使用。另外本工程建置之監測資料、通車後之維管經驗，亦可供後續耐久性設計本土化資料之依據。

本計畫完成後將可提供烈嶼鄉與金門地區全天候交通聯繫，除可解決大小金門間物資運送、緊急醫療及居民往來不便之現況外，更可有效促進金門地區觀光遊憩系統之開發，達到改善當地居民交通、人道救援及提昇整體觀光價值之綜合效益。

本工程於民國109年榮獲勞動部金安獎A組優等；於民國110年榮獲行政院公共工程委員會第21屆公共工程金質獎土木類特優及大地工程學會主辦的優良大地工程獎，無不是對於興建跨海大橋設計、施工的肯定，更是本工程團隊的榮耀。





# 金門大橋下部結構 施工實務

關鍵詞(Key Words)：金門大橋 (Kinmen Bridge)、跨海橋梁 (Span Bridges on Sea)、外套鋼管 (Steel Pipe)、反循環基樁 (Reverse Circulation Pile)、樁帽鋼箱圍堰 (Pile Cap Steel Box Cofferdam)、造型墩柱 (Modeling Pier)、橋塔 (Bridge Tower)、系統模板 (System Template)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／計畫副理／謝克岱 (Hsieh, Ke-Tai) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／經理／柯明佳 (Ko, Ming-Chia) ❷



## 摘要

金門大橋施工最大挑戰在於海面下之下部結構，在設計階段雖已進行各項地質、天候調查及進行風險模擬，預知橋址地盤堅硬及環境惡劣，然於施工階段，仍遭受不可預期困難，如基樁施工受傾斜岩盤及地質差異造成之坍孔處理、海上樁帽所使用之鋼箱圍堰承受海水浮力及抵抗潮水波浪之滲水等技術性問題；待出海面後，墩柱橋塔作業仍遭受海上環境及空間侷限影響，其中高粱穗心造型墩柱變化性大，小從鋼筋至混凝土供料，所有動作均需嚴謹規劃才得以在海上空間順利完成，其監造管理強度及資源分配非一般陸域工程可比擬。

本文以金門大橋下部結構實務為主題，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 Practice of the Substructure in Kinmen Bridge

### Abstract

The biggest challenge in the construction of the Kinmen Bridge is the substructure below water. Although various geological, weather investigations and risk simulations have been carried out in the design stage, it was predicted that the geology of bridge site will be hard and the environment will be harsh. However, during the construction stage, it still encountered unexpected difficulties, such as the construction of foundation piles was subject to technical problems such as the treatment of collapsed holes caused by inclined rock strata and geological differences, the steel box cofferdam used for offshore pile caps to withstand seawater buoyancy, and the resistance from the seepage of tidal wave. Affected by the offshore environment and space constraints, and the highly variable sorghum spike-shaped piers, all actions were required rigorous planning to be successfully completed in the offshore space from steel reinforcement to concrete supply. The hardship of supervision, management and resource allocation were very important, and it could not be compared with general onshore engineering.

This article takes the substructure of the Kinmen Bridge as the theme, explained the special considerations of offshore construction in all the aspects, such as: planning, construction, management, etc., in order to share reader these special experience.

3

專題報導



## 前言

金門大橋全長5.42公里，其中橋梁段有4.77公里均在海上作業(圖1)。在地理環境背景上，須面對每秒1.4公尺的急速海流、每半日6.3公尺的潮差、強勁的東北季風及西南湧、濃霧及堅硬的花崗岩地質等難題。

整體施工規劃則依據海底地形深度，於二端淺灘區設置引橋段，採用施工棧橋搭配支撐先進工法進行施工；進入深槽區則設置主橋及邊橋，從海上基樁、樁帽鋼箱圍堰、造型墩柱

等下部結構，則全部需倚賴船機施工，為本計畫施工最困難部份。

為完成深槽區橋梁工作，施工團隊引進大型起重船2艘、海上拌和船2艘及各型頂昇式平台船、拖船、起錨船、無動力工作平台船合計達28艘之多(表1)。混凝土供料部份，除供應深槽區之2艘海上拌和船以外，另分別於大金端及烈嶼端陸域各設置專用拌和廠供料，並於施工棧橋終點附近設置臨時碼頭2處、浮動碼頭2處提供海上物料運補及人員進出海上使用。

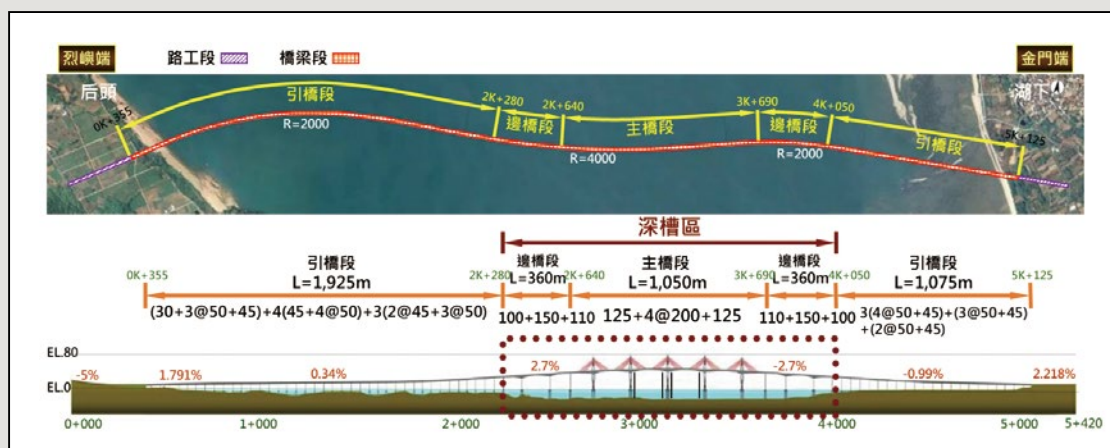


圖1 金門大橋橋梁配置

表1 金門大橋各型施工船舶

| 施工船機 | 動力拖船 | 起錨船   | 工作平台船         | 頂昇式平台船       | 起重船   | 海上拌和船   | 浮沉台船    | 警戒巡邏船 |
|------|------|-------|---------------|--------------|-------|---------|---------|-------|
|      | 6    | 1     | 8             | 4            | 2     | 2       | 2       | 3     |
|      | 拖航船舶 | 起錨/拖航 | 物料運補/暫置、鑽掘機平台 | 吊運大型機具、鋼管、節塊 | 供應混凝土 | 節塊暫置、運補 | 警戒巡邏、救災 |       |

## 壹、花崗岩基盤深度奠定海上基樁施工方式

金門大橋共75座基礎全部採用 $\phi$  1.5m、 $\phi$  2.0m及 $\phi$  2.5m樁基礎結構(共532支基樁)。深槽區基樁可分為海水段、覆土層及岩層段等三部分(圖2)，須先行完成外套鋼管打設(具備基樁海水段之模板、提供基樁施工過程所需構台承载力、樁帽圍堰施工過程所需抗浮力等三

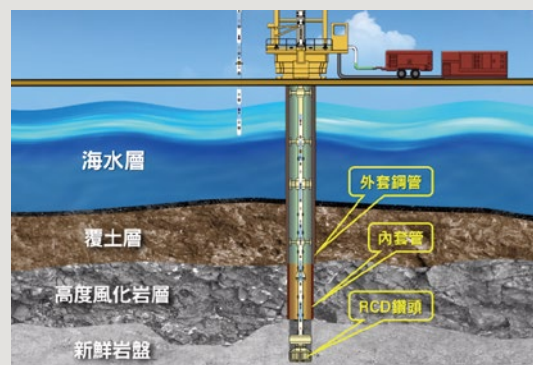
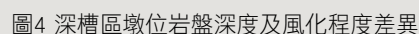
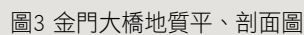


圖2 深槽區基樁施工示意圖

布；另一是因地表上風化和侵蝕的作用，主要覆蓋於花崗片麻岩的岩盤之上，依序堆疊了更新世的金門層、紅土礫層與現代未固結的沖積層(圖3)。

金門地質大致可分為兩部分，一是中生代的花崗片麻岩，此花崗片麻岩為形成金門本島及烈嶼的基盤，在基盤局部裂隙中有各種不同的火成岩侵岩脈，這些火成岩侵岩脈僅零星分

本橋址所在基盤為花崗岩、最上層為沖積層，岩盤深度不一且變化大(烈嶼端較淺約2-40m，金門端較深約65m以上)，深槽區之同一里程橫向相距25m兩處岩盤傾斜差異逾10m，且岩盤風化程度差異甚大(圖4)。





## 二、施工規劃

本計畫基樁施工假設工程規劃取決於海底覆土層厚度，針對其岩位高低規劃出二種不同基樁鑽掘方案：

### (一) 設置海上構台進行基樁鑽掘

墩位倘覆土層較厚，鑽掘時須採用搖管機旋壓套管進行樁體護壁，鑑此規劃採用海上基樁構台進行基樁鑽掘，以提供搖管機抗扭及荷重所須反力。海上基樁構台構築係利用外套鋼管打設完成後加設輔助鋼樁，再將其平聯構築形成完整而牢固之作業平台，其優點為穩定性與安全性高，較不受海面風浪影響，但設置耗時且成本高為其缺點(圖5)。基樁鑽掘使用反循環鑽掘機組(Reverse Circulation Drills，以下簡稱RCD)搭配搖管機組下壓套管進行護壁。



圖5 海上構台基樁鑽掘

### (二) 採用頂昇式平台船進行基樁鑽掘

由於頂昇式平台船僅以四支棒錨站立，無法提供足夠之抗扭強度，其使用條件為覆土層較薄，下套管即觸及新鮮岩盤可直接架設RCD機組進行鑽掘。本方案於頂昇式平台船體鉚聯外套鋼管導向架作為臨時基樁構台，搭配無動力平台船作為物料暫置區，續進行外套鋼管打設後採用

RCD機組進行基樁鑽掘(圖6)，其優點為施工作業面設置快速，惟施工易受海面波浪影響。



圖6 頂昇式平台船基樁鑽掘

### (三) 海上拌和船混凝土澆置

基樁混凝土澆置供料不能間斷以免斷樁，為確保基樁澆置連續性共設置二艘海上拌和船，在一艘拌和船出料同時，另一艘則充當備船，基樁澆置情形詳(圖7)。

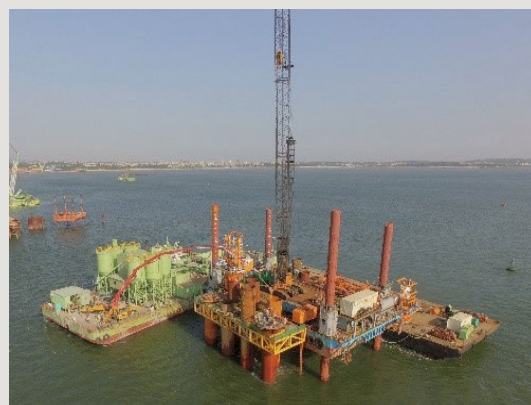


圖7 海上基樁混凝土澆置

## 三、海上基樁鑽掘

### (一) 鑽掘方案

因應覆土層較薄，考量外套鋼管入岩後鮮有坍孔問題，採用單層套管(外套鋼管)搭配RCD

機組進行鑽掘及使用空揚法(Air Lift)出渣。覆土層較厚之地質，可先行於覆土層採用傳統錘式抓斗取土出渣，遭遇較破碎或風化度較大之岩盤改採用土鑽，進入風化等級W2(中度風化)以上之岩盤則採用岩鑽進行鑽掘。

## (二) 鑽掘過程地質研判

鑽掘過程中參考地質鑽探成果及空揚法出渣之水色及渣料種類，判斷地質狀況及鑽頭更換時機，並加以研判是否發生異常情況。於覆土層時，出渣顆粒含低塑性沉泥塊體夾雜高度及完全風化花崗(片麻)岩破裂之銹染岩塊，出渣水色呈現高度黃濁(圖8)；中度或輕度風化岩盤，出渣顆粒主要為不具銹染現象之花崗岩、花崗片麻岩或流紋岩等碎裂岩塊，水色近似海水清澈原色(圖9)。

## (三) 鑽掘工率

針對軟弱土層、完全或高度風化岩盤，統計平均進尺工率約為3m/hr；中度或輕度風化岩盤，統計平均進尺工率約為0.08-0.26m/hr。RCD機組最佳轉速：覆土層採用土鑽，最佳轉速12 RPM；高度風化岩盤採用岩鑽，最佳轉速14-17 RPM；中度風化岩盤採用岩鑽，最佳轉速約11 RPM；輕度風化岩盤採用岩鑽，最佳轉速約7 RPM。

## 四、遭遇困難與解決對策

金門地區花崗岩基盤除堅硬外，其風化程度差異大、岩盤高度及傾斜度不一，造成基樁鑽掘難度大大提升。高度風化岩體有遇水鬆軟崩解之特性，鑽掘過程中若夾雜高度風化岩體則易生管底與海床聯通之坍孔情形，深槽區共



圖8 基樁出渣水色黃濁(高度及完全風化岩盤)



圖9 基樁出渣水色清澈(中、輕度風化岩盤)



193支基樁坍孔次數合計73次、外套管拔除重打合計10次。

#### (一) 金門地區地質堅硬

為克服花崗岩堅硬地質，本計畫最多採用2.0m樁徑RCD機組2組、2.5m樁徑RCD機組6組及備用DTH(Down The Hole)1組同時進行基樁鑽掘，以因應進尺緩慢。

#### (二) 地質變異性大

由於鑽掘面在海底不易觀察，需藉由觀察出渣狀況及出水濁度，研判當時深度之地質狀況及是否坍孔，據以作為鑽頭更換、工率推算及防坍等參考。如發生坍孔情形，就嘗試將套管再次下壓，或於套管外圍海床面進行拋填砂包止坍，或於管內澆置水中混凝土待其固化後復鑽(圖10)。

#### (三) 傾斜岩盤

如遭遇海底岩位高程起伏變化劇烈之傾斜岩面，由於鑽掘面受力不均，易發生鑽桿變形或岩鑽鑽頭局部嚴重磨損，僅能放慢鑽桿壓降速度，以慢削慢磨方式鑽掘；傾斜角度若過大者，另採取澆置水中混凝土先整平鑽掘作業面，再同樣以慢削慢磨方式進行基樁鑽掘(圖11)。

### 五、小結

(一) 金門大橋自民國107年2月1日，施工團隊於P48墩位進行主橋段第一支2.5m樁徑基樁鑽掘，施工過程逐一克服所遭遇各種難關，並掌握金門地區花崗岩海域基樁施工特性，最終於民國108年8月10日在交通部

林佳龍前部長的見證下，主橋段5墩共101支2.5m樁徑基樁完成；另邊橋6墩92支2.0m樁徑基樁亦於109年4月30日完成，自此金門大橋下構根基全數圓滿鞏固。

(二) 在先天特殊地形、地質、海象等不利施工之各種自然條件下，施工團隊克服1.4 m/s強勁流速及花崗岩之堅硬質地、傾斜岩盤、岩盤深度不一、風化度變異性大等挑戰。

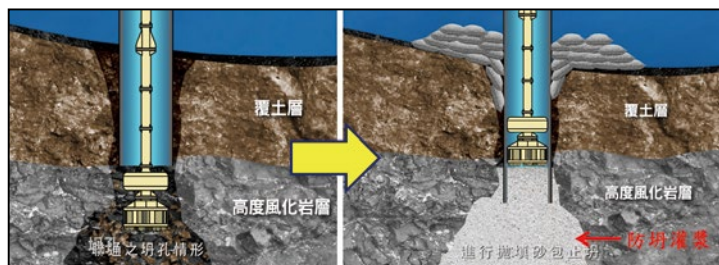


圖10 基樁坍孔克服方式

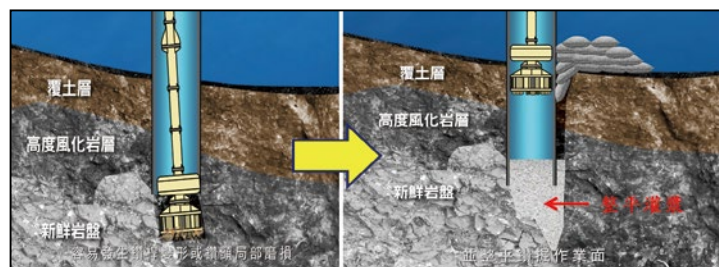


圖11 遭遇傾斜岩面克服方式

(三) 本計畫針對海域基樁及花崗岩堅硬地質，使用海域構台及頂昇式平台船進行海上基樁施工，跳脫一般陸域常見之全套管基樁工法，實為國內難得之施工經驗。

### 貳、海中樁帽鋼箱圍堰

金門大橋樁帽底部設計位於海水面下E.L.-4.2至E.L.-5.7m之間，因應此位置樁帽施工，採用國內首次引進之鋼箱圍堰工法。

鋼箱圍堰係利用基樁完成後之外套鋼管支撐箱體，箱體內部空間用來構築樁帽。為減少水下作業，鋼箱組裝作業先在海面上進行，然後分兩階段沉放進入海中，到達預定位置後將箱體內海水抽乾，創造出一個乾式施工環境，提供施工人員進行樁頭處理、樁帽墩柱鋼筋綁紮、混凝土澆置等作業。此大型鋼箱圍堰施工是國內的第一次施作，其中最大的困難在於克服「抗浮」與「滲水」問題(圖12)。

### 一、鋼箱圍堰施工規劃

鋼箱側壁主要功能是阻水，故側壁頂緣高程之選定須防止施工期間海水可湧入工作面，本

計畫主橋最高高潮位（H.H.W.L.，E.L.+3.16m）、考量可能浪高及加計防潑濺高度，側壁頂緣高程定於E.L.+5.00m進行系統尺寸規劃。

鋼箱圍堰雖屬構築樁帽之臨時性假設工程，但其可靠性意義重大，為了確保鋼箱結構強度、勁度及穩定性符合需求，鋼箱圍堰系統之分析檢核應考量鋼箱自重、樁帽混凝土自重、施工活載重與衝擊載重、抽水後所產生之浮力及施工期間各項環境載重（諸如靜水壓力、水流力、風力、波浪橫力、…），模擬各項構件及邊界條件進行三維有限元素分析予以得證(圖13)。

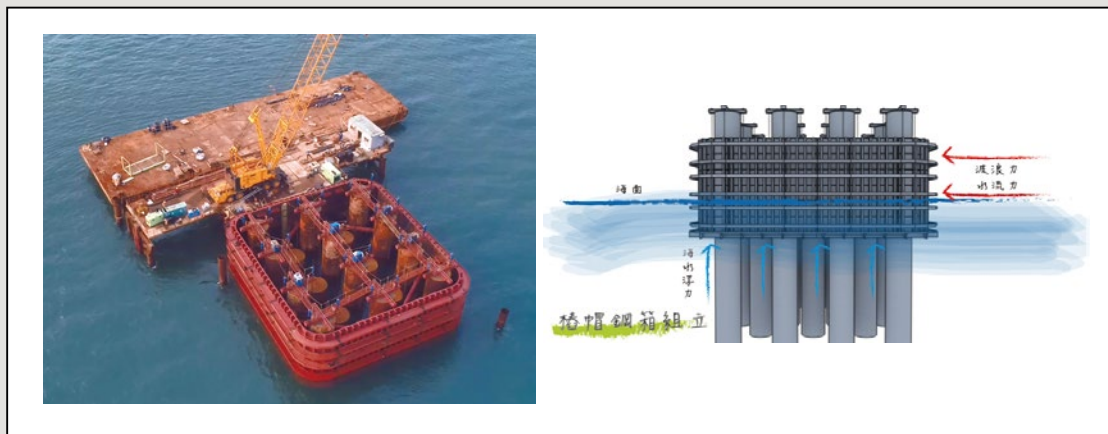


圖12 深槽區樁帽鋼箱圍堰施工

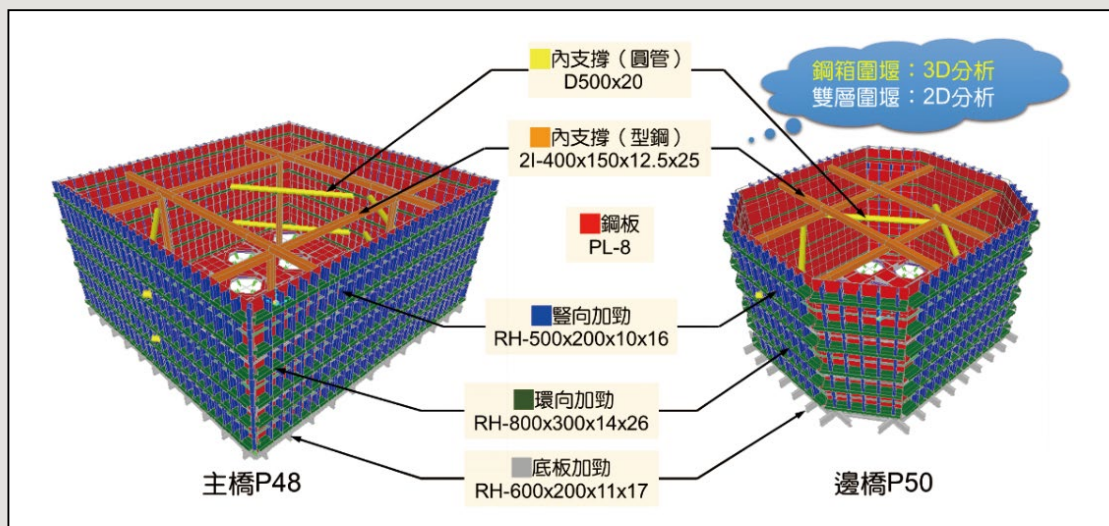


圖13 金門大橋工程鋼箱結構分析模型



設計分為底板系統、側壁與內支撐系統、懸吊下放系統、定位束制及載重轉換裝置等五大部分組成。

## 二、鋼箱圍堰施工流程

### (一) 基樁外套鋼管加高作業 (圖14)

基樁外套鋼管續接加高至預定高程，以供後續頂部安裝懸吊及下放千斤頂使用。低潮位時於基樁外套鋼管銲接支撐托架，以供後續鋼箱底板系統進行現場組裝工作時使用。



圖14 基樁外套鋼管加高作業

### (二) 鋼箱底板組裝 (圖15)

鋼箱底板各單元於工廠製作，再運至現場依序吊裝於支撐托架上，相鄰單元以螺栓或銲接方式連結。



圖15 鋼箱底板施工

### (三) 安裝下兩層側壁及支撐 (圖 16)

安裝鋼箱下、中層側壁 (共3層、每層高度約3.6m) 及底層內支撐。

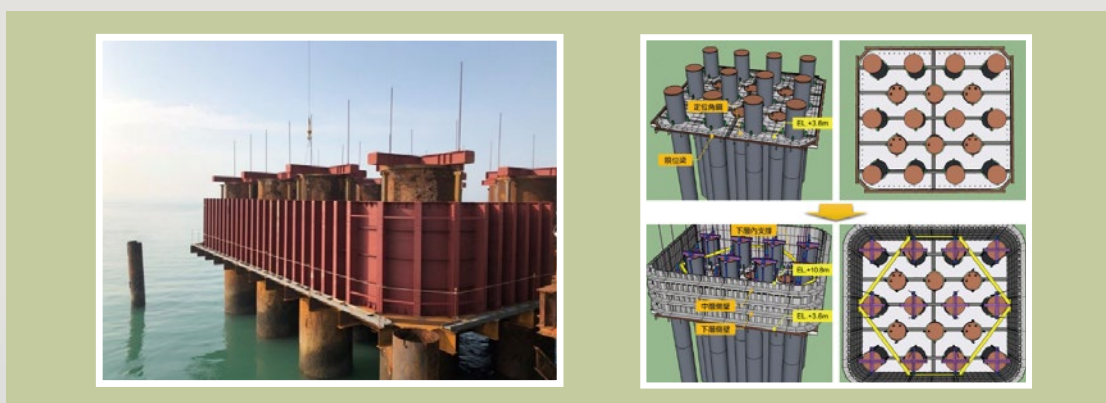


圖 16 下層側壁及限位梁組裝

### (四) 安裝下放系統 (圖 17)

包括套管懸吊鋼梁、懸吊鋼棒 (高拉力鋼棒)、臨時抗浮支撐柱、中空千斤頂及油壓設備等。

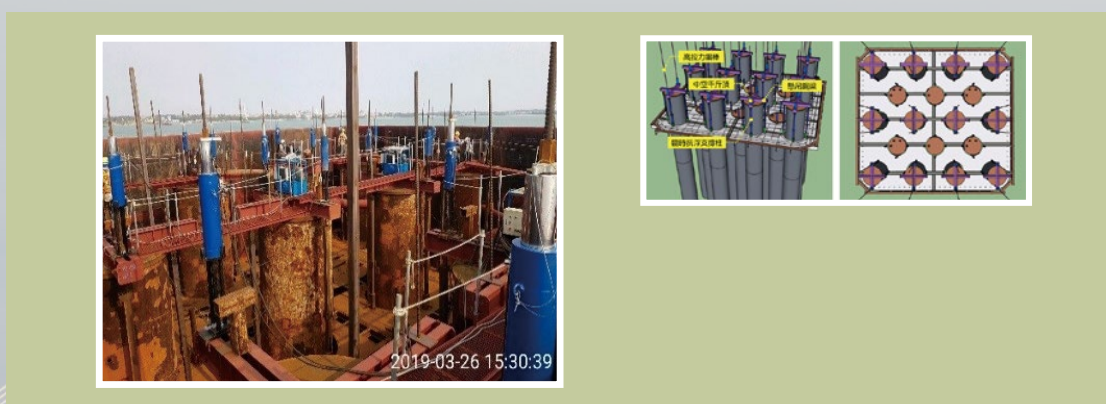


圖 17 下放系統組裝



### (五) 第一次下放鋼箱 (圖18)

試提作業完成後，切除臨時支撐托架，控制下放系統同步均衡下放，下放過程須維持鋼箱內外水位平衡。鋼箱下放7.0m至第一階段預定高程並調平鋼箱。鎖固鋼箱上緣及底部上下兩層之限位千斤頂以臨時固定鋼箱，避免因潮汐或波浪影響導致鋼箱底板與基樁外套鋼管相互碰撞衍生構件破壞。

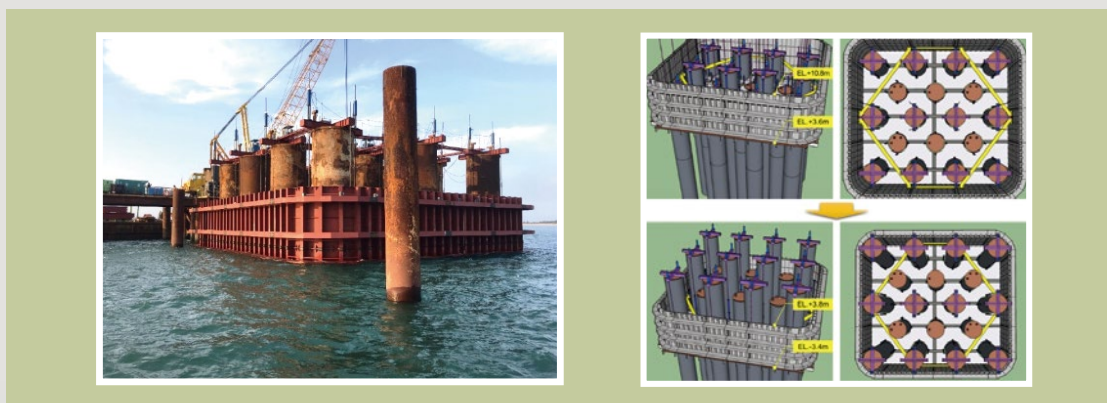


圖18 第一次下放鋼箱

### (六) 安裝上層側壁及支撐 (圖19)

安裝鋼箱上層側壁，並安裝內支撐。續接懸吊鋼棒及臨時抗浮支撐柱。

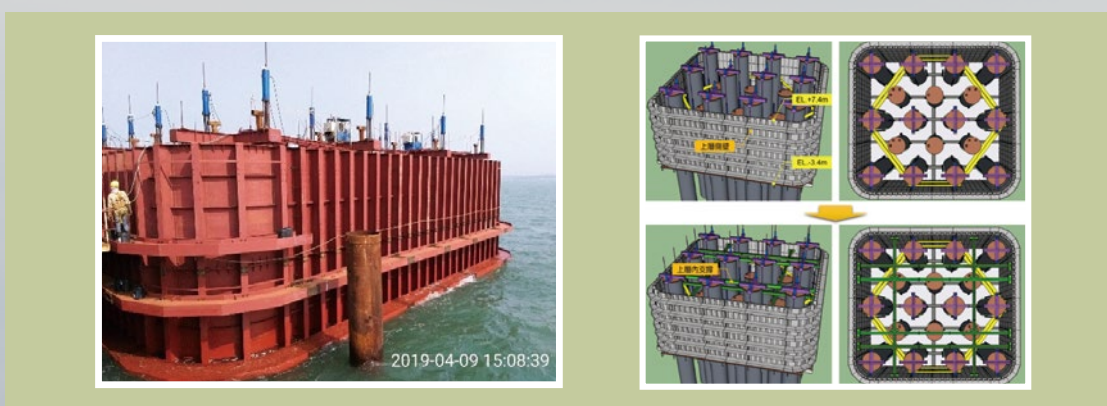


圖19 上層側壁安裝

### (七)第二次下放鋼箱 (圖20)

將鋼箱下放至設計高程（鋼箱底板上緣高程E.L.-5.8m處），期間須維持鋼箱內外水位平衡，完成時調平鋼箱至設計高程並鎖固限位千斤頂，藉由外套鋼管固定鋼箱，使鋼箱底部能承受橫力。銲接水下固定止漏封板，封閉底板與外套鋼管之間隙，以防封底混凝土澆置時漏失。



圖20 止漏封板預組及第二次下放鋼箱

### (八) 首次封底及逐階抽水 (圖21)

採用特密管於水下澆置第一次封底混凝土，俟達到設計強度後，封閉鋼箱側壁之通水孔，開始逐階抽水，每階降水時須銲接臨時抗浮支撐後方可進行下一階段降水直至抽水完成。



圖21 逐階抽水及設置臨時抗浮支撐直至抗浮機制轉換完成



### (九) 反壓托架銲接及二次封底 (圖22)

於乾式環境下銲接反壓托架承擔鋼箱圍堰浮力，完成銲接後澆置第二次封底混凝土並整平至樁帽設計高程。

由於鋼箱圍堰抽水後產生的巨大浮力，主要應力傳遞路徑為自底板藉由反壓托架傳至基樁外套鋼管，最終由海床提供抗拉拔承載力抵抗。浮力轉換為鋼箱圍堰系統最重要之步驟，其施工品質直接影響圍堰系統成敗，作業應特別慎重。

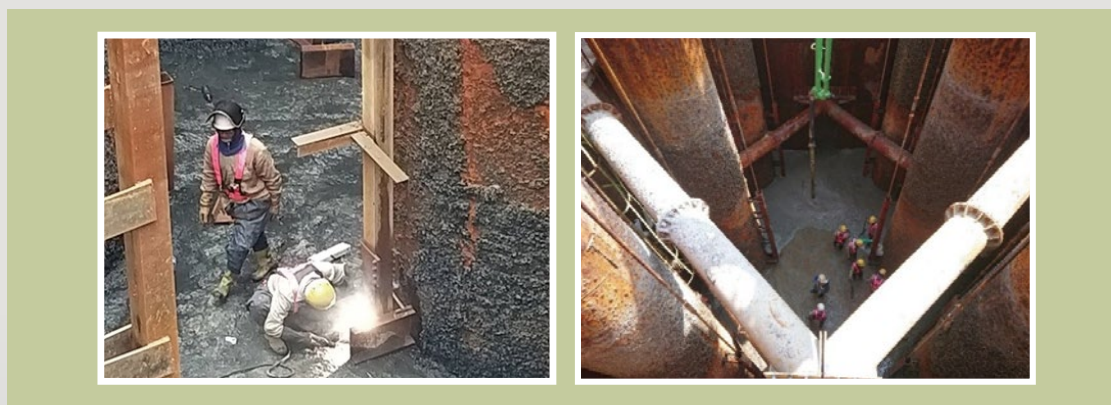


圖22 反壓托架銲接及第二次封底混凝土澆置

### (十) 切除套管、樁頭處理、樁帽混凝土澆置 (圖23)

樁帽澆置規劃分三層，以二艘拌和船同時供料。



圖23 樁頭處理及樁帽混凝土澆置

### 三、遭遇困難與解決對策

本計畫樁帽鋼箱圍堰在施工過程中遭遇最大問題為鋼箱滲水

#### (一) 滲水原因分析

1. 鋼箱底板與側板交接處未密合產生間隙。間隙產生之原因為組裝底板之支撐托架高程不一，導致試提作業階段即產生載重不均變形(圖24)。



圖24 鋼箱底板與側板交接處間隙

2. 第一次封底混凝土澆置後，在水中混凝土產生強度之前即關閉水閘門，導致內外水壓未平衡，一旦因壓力差形成孔隙則遭受海流冲刷破壞(圖25)。



圖25 封底混凝土遭水流冲刷破壞情形

3. 外套鋼管四周半月型止漏封板間隙，致封底混凝土漏漿產生滲水(圖26)。



圖26 止漏封板間隙致混凝土漏漿滲水

4. 鋼箱側模移轉後下方防水膠條因側板重量壓迫變形、位移或老化，轉用後產生間隙(圖27)。



圖27 鋼箱側板變形產生間隙



5. 鋼箱內支撐位置設計不當，配合作業分階段拆除時，側模箱體勁度不足致側模變位產生縫隙(圖28)。



圖28 側模箱體勁度不足產生縫隙

## (二) 改善及精進方式

1. 為避免底板與側板上提時受力不均勻造成間隙，於鋼箱內側增設角鋼及填縫膠並於鋼箱外側加設擋板等措施，確保側模與底板緊密結合(圖29)。

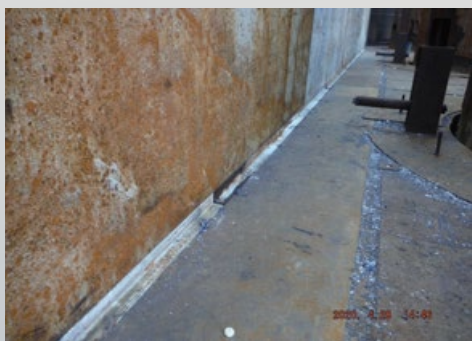


圖29 底板與側板增設角鋼及填縫膠、於鋼箱外側加設擋板

2. 因水門操作不當導致內外水壓失去平衡，造成混凝土遭海水潮流沖刷破壞，改善係採用隧道滲水止水之材料「微發泡聚胺脂漿材」進行止漏。鋼箱止漏方式與隧道不同，必須先於滲水處鑽孔埋設灌漿管後，利用退潮低水位時段進行止漏灌漿(圖30)。



圖30 止漏灌漿情形

3. 底板鋼板鋪設接縫處未密接，側模組裝時將會產生間隙，故於側模接縫處補板填縫並鉚固。
4. 鋼箱側模移轉後，重新於接合面設置膠條，藉由橡膠彈性使兩個鋼接合面緊密無縫隙，達到止水效果，同時也解決變形、位移及老化問題(圖31)。



圖31 鋼接合面使用膠條緊密接合

5. 原規劃於封底混凝土完成後，除切除外套鋼管外，底層內支撐亦隨樁頭處理過程拆除，此時側模下層內將無束制能力，在遭遇排浪或較大湧浪衝擊之下已產生變位形成縫隙滲水，故在第一層樁帽基礎增設拉桿(圖32)，增加側模束制力減緩滲水情形。後續新設置樁帽鋼箱圍堰除重新檢討內支撐高度外，亦於側模增設拉桿(圖33)並埋設在第2層封底混凝土內增加側向束制能力。



圖32 第一層樁帽基礎澆置前增設拉桿



圖33 側模增設拉桿

### (三)改善成果

1. 深槽區樁帽鋼箱圍堰滲水問題，對於已產生縫隙採灌注「微發泡聚胺脂漿材」方式尚可改善。灌注發泡材之時機須利用退潮時段施工，避免漲潮時海水沖刷造成藥劑流失；止水完成後亦需加速趕做樁帽，發泡止水材長期受海水反覆衝擊仍有再滲水風險。
2. 針對鋼箱內支撐拆除後造成側壁勁度不足問題，於側模內側封底混凝土內增設錨錠鋼筋及外側底板與側模銜接處加強銲接固定等措施，經抽水檢視成效良好(圖34)，改善後明顯提升施工品質。



圖34 止水改善情形



#### 四、小結

鋼箱圍堰重點在於力量的轉換，圍堰抽水後所產生的巨大浮力，主要應力傳遞路徑為自底板藉由反壓托架傳至基樁外套鋼管，最終由海床提供抗拉拔承載力抵抗。

另由於鋼箱圍堰在施工階段製造設計仍未盡考量，受海浪、潮水衝擊之下造成箱體滲水問題，藉由施工中不斷反饋及改善，在鋼箱下放前增加底模與側板接合面束制能力，在封底混凝土澆置前外套鋼管封板以水中攝影檢視，滲水以快乾水泥堵漏、底板滲水處以聚胺脂低壓灌漿止漏，並配合海象利用漲退潮差內外水壓變化進行作業得以克服。

金門大橋鋼箱圍堰經歷風浪的考驗，克服了5000噸海水的浮力及鋼箱滲水問題，終於在110年5月28日全數完成。

#### 參、「高粱穗心」造型墩柱

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」之高粱穗心造型獲得勝選，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。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35)。

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。在海上惡劣環境及有限作業空間下，如何完美呈現

整體橋型結構之優美線條，為工程師一大挑戰。

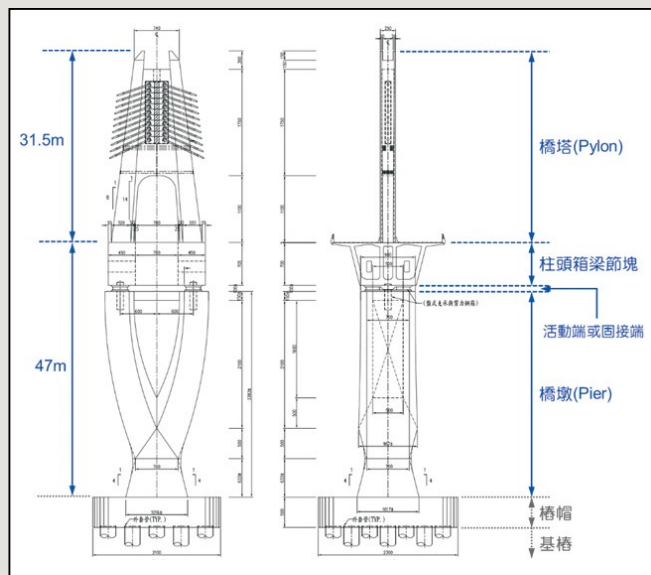


圖35 金門大橋造型墩柱立面圖

#### 一、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面，則規劃於樁帽頂部預埋塔吊基座，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。

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36)，放置海上人員上下設備、發電機、人員休息區等人機設備。



圖36 樁帽頂部內構台設置

## (二) 鋼筋材料特殊管理

由於墩柱位於海面飛沫區，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。

本計畫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6千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條件下，一旦錯誤短缺即無法及時遞補。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。

## (三) 鋼筋綁紮特殊考量

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，規劃縮短為每6公尺續接1次，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37)，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。



圖37 主筋3件式續接器對鎖施工

橋塔造型相對於墩柱單純，但塔身內外側仍有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38)，另考量橋塔於第5、6層尚有永久預力鋼棒套管、鋼殼底座空間配置，設計單位配合工地於橋塔第1層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38 橋塔鋼筋施工



#### (四) 墩柱採EFCO系統模板規劃

墩柱規劃選用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，高度各為33.83、38.07及39.15公尺，分別規劃採16~18昇層施工，並因應各昇層断面變化，每昇層高度由1.3~4.0公尺不等(圖39)。

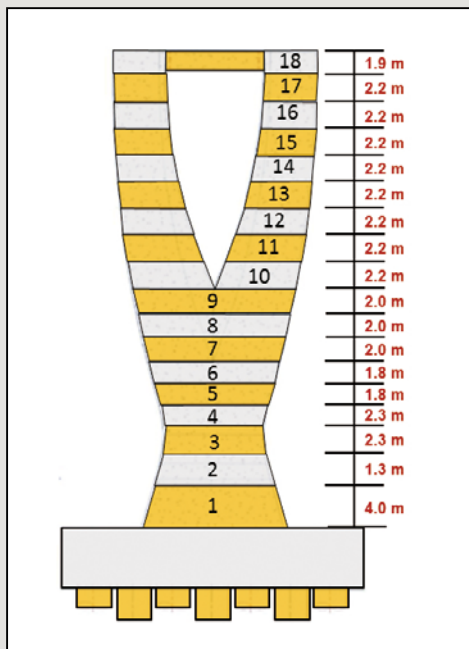


圖39 P46橋造型墩柱分層圖示

工地備有3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断面需求配置修改單模尺寸並進行地組(圖40)，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41)。因本計畫位於極嚴重鹽害區，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。



圖40 EFCO系統模板陸域端地組圖



圖41 EFCO系統模板現場組立

#### (五) 橋塔採PERI系統模板及鋼模規劃

主橋五塔橋塔高度均為31.5公尺，規劃分為11昇層施工(圖42)。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。

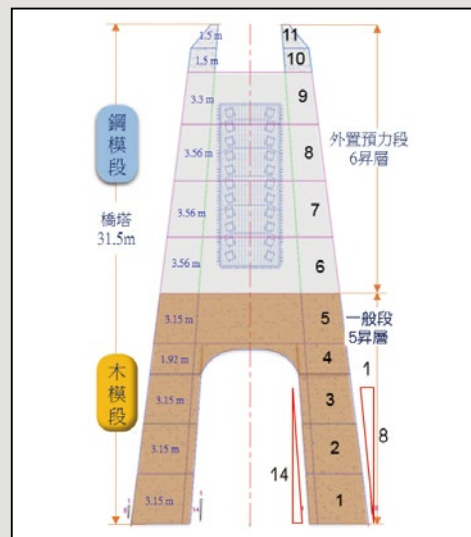


圖42 橋塔分層規劃

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切，塑造所需造型，1-5昇層高度以1.92~3.15公尺規劃。此模板系統較為輕量化，且設計組裝方式主要在陸上已將所有變化之模板製作完成，現場僅需依結構尺寸進行拆、組修改即可(圖43)，毋須運回岸上修改。工地備有二套PERI系統模板，提供二座橋塔同時施工需求。



圖43 橋塔PERI系統模板組裝情形

橋塔6-11昇層則規劃以鋼模施工(圖44)，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1.5~3.56公尺變化使用。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。

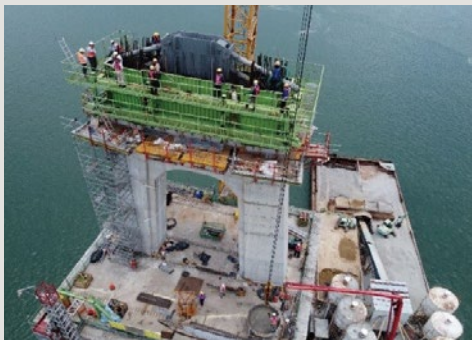


圖44 橋塔鋼模組裝情形

#### (六) 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，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。另由於鋼殼第一塊分塊重量大於塔式吊車額定荷重，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，其餘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(圖45)。

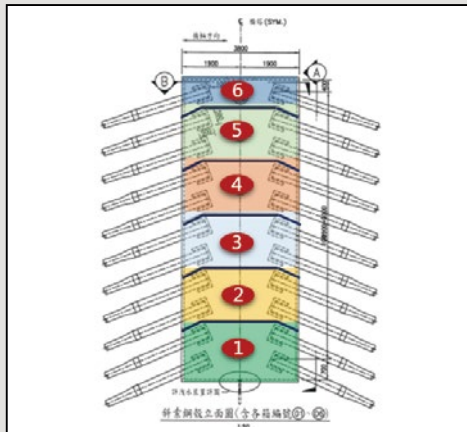


圖45 鋼殼及導管組裝情形

## 二、遭遇困難與解決對策

### (一) 曲線造型鋼筋施工

本計畫造型墩柱主筋單層續接量最多達1020支，單墩續接器多達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方向，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，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35%。

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)材料管理

本計畫位於離島地區，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，盤點若缺料時方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46)，設計荷重700kgf/m<sup>2</sup>。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4,000 kgf/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47)。

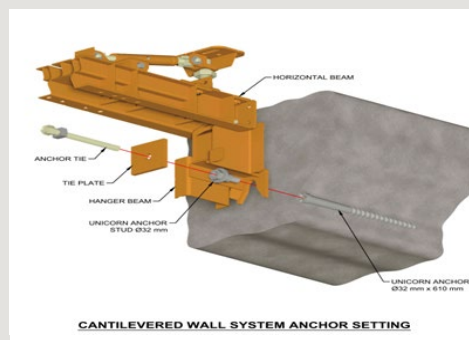


圖46【EFCO】D32mm\*61cm unicorn—anchor



圖47 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48)，縮短作業時程。



圖48 墩柱搭配鋼模造型位置

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。五塔造型墩柱完成情形如(圖49)。

## 結語

為提供烈嶼居民交通與醫療全天候陸運，在金門鄉親多年期盼下孕育而生，然其地理位置跨越金烈水道連結大、小金門，為國內首座真正跨越深槽區深水域之跨海橋梁。

金門大橋為國內指標性工程，前後歷經十餘年努力，團隊無論在海上作業遭遇技術層面問題，從摸索、解決到精進功率予以克服，或在海事工程管理層面藉由有限資源最佳化來創造最大能量，計畫期間無論業主、設計、監造及廠商均以四位一體之團隊精神共同協力合作，這些經歷將為國內海事工程踏出傳承之第一步。

金門大橋的難度絕對是世界上少有的跨海大橋，金門大橋團隊從一次又一次的失敗和難題中學習領悟、嘗試及調整施工，累積了實務經驗與信心，2020年本計畫榮獲金安獎優等以及2021年金質獎特優殊榮，無不是對於興建跨海大橋施工安全及品質高規格管理的肯定，更是施工團隊的榮耀。



圖49 五塔高梁穗心造型墩柱完成情形



# 智慧社宅園區資通訊領域營建管理特色——以廣慈博愛園區開發計畫為例

關鍵詞(Key Words)：智慧社宅(Smart Social House)、資通訊技術(ICT)、中央監控(Central Monitoring)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／代理協理／林聰能 (Lin, Cong-neng) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／副理／黃寶翰 (Huang, Pao-han) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／正工程師／夏偉根 (Xia, Wei-gen) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建工程部／正工程師／羅銅城 (Lo, tung-cheng) ❹

## 摘要

廣慈博愛園區開發計畫導入智慧社宅園區資通訊之設計，結合「綠建築」及「智慧建築」理念，應用於建築空間後再擴展至整體社區，涵蓋不同層次的能源管理系統，及先進的資通訊科技技術整合方案作為發展願景，以提昇社會住宅生活品質及服務水準。並因應工程介面整合協調需求，專案管理工作於統包需求書制訂「園區物業管理跨平台系統設計通則」，並提供「智慧建築整合管理平台架構圖」、「ICT竣工驗收流程圖」，逐步落實施工監造階段提供工程主辦機關決策採取智慧化物業管理設備系統，能兼顧使用單位的需求，達成投資設備項目與符合預期效益。



## The characteristics of construction management in the field of information and communication in the smart social housing park - taking the development plan of Guangci Bo'ai Park as an example

### Abstract

The development plan of Guangci Boai Park introduces the design of information and communication in the smart community housing park, combines the concepts of "green building" and "smart building", applies it to the building space and then expands it to the whole community, covering different levels of energy management systems, and advanced The integration of information and communication technology as a development vision to improve the quality of life and service standards of social housing. In response to the integration and coordination needs of the engineering interface, the project management work formulated the "General Principles for the Design of the Park Property Management Cross-platform System" in the turnkey demand document, and provided the "Smart Building Integration Management Platform Architecture Diagram" and "ICT Completion Acceptance Flowchart" for gradual implementation. In the construction supervision stage, the project organizer decides to adopt an intelligent property management equipment system, which can take into account the needs of the user unit, and achieve the investment equipment project and meet the expected benefits.

3

專題報導



## 壹、前言

臺北市政府為活化土地資源，兼顧弱勢族群權益，採「都市發展與社會福利兼顧」方式，提出興建社會住宅方案，落實居住正義目標。社會住宅政策執行盤點，迄111年9月自行興建已達1.6萬戶以上，包括公辦、民辦都更分回戶數，總數已達2萬戶以上，數量是全國第一。

「廣慈博愛園區整體開發計畫」即為臺北市政府推出的社會住宅政策之一，依政策裁示採整體規劃及開發方式辦理，由臺北市政府自籌經費興建，並選定本開發案作為示範性智慧

社區，成為全亞洲最大社福及社宅單一基地，園區基地位置如圖1，開發計畫模型示意如圖2。

本園區開發將行政大樓、社福大樓及社會住宅的規劃設計結合「綠建築」、「智慧建築」及「循環經濟」理念（如節能管理、安全防災、健康舒適等），應用於建築空間後再擴展至整體社區，在既有的綠建築基礎上，導入不同層次的能源管理系統及先進的ICT資通訊技術整合方案作為發展願景，提供多元市政服務與醫護保健照護，達到循環經濟的資源共享、資產利用最大化，提昇社會住宅生活及服務水準。

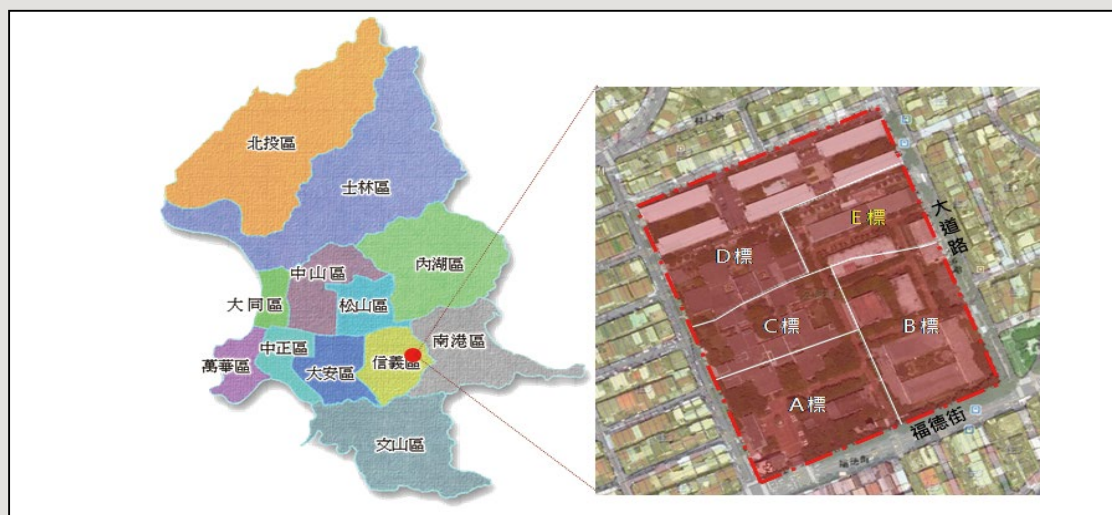


圖1 廣慈博愛園區開發計畫基地位置圖



圖2 廣慈博愛園區開發計畫模型示意圖

## 貳、工程概述

### 一、基地位置

廣慈博愛園區基地位於臺北市信義區大仁里，西鄰福德街84巷，東鄰大道路，南鄰福德街，北鄰林口街80巷/大道路94巷，基地周邊位置及配置如圖3、4所示。地號包括信義區福德段二小段319地號等27筆，全區土地使用分區為「公共服務特定專用區」，建蔽率為35%，容積率為350%，基地面積合計約63,954.52平方公尺。

### 二、工程規模

廣慈博愛園區規劃興建社會福利設施、照護設施及社會住宅等複合性智慧社區，五幢營建主體標建築物分A標(地下4層+地上13層)1棟行政大樓(包括福德街派出所、區公所、環保局信義清潔隊、臺北市圖、民政局、調解會、少輔組、就業服務站、健康服務中心、防災中心、臺北市選委會…等)、B標(地下4層+地上8層)1棟社福大樓(社會局、衛生局…等)、C標(地下4層+地上27層)2棟社會住宅大樓合計476戶、D標(地下4層+地上27層)2棟社會住宅大樓合計522戶、E標(地下4層+地上27層)2棟社會住宅大



圖3 基地周邊位置圖



圖4 基地配置模型圖



樓合計522戶，總計社會住宅共1,520戶，各基地建物量體及樓層使用分配如圖5所示。

中央監控系統整合管理平台，再經園區公用管溝傳輸至第D標智慧建築整合管理平台，與園區



圖5 廣慈博愛園區工程規模示意圖

## 參、計畫特性及專案管理模式

### 一、統包工程發包前置作業模式

臺北市府為扶植國內資訊、通訊產業發展，委由台灣世曦工程顧問股份有限公司及楊國隆建築師事務所提供專案管理技術服務。為加速推動計畫、合理縮短工程期程，將資通訊技術科技應用分為南側ICT標(包含A及B、C標基地範圍)，及北側ICT標(包含D、E標基地範圍)兩標，偕同營建主體標工程各自建置一套完整的

物業管理跨平台。

因應工程介面整合協調需求，於製作各標招標文件之統包需求書內容，即專屬章節約定「園區物業管理跨平台系統設計通則」，並提供「智慧建築整合管理平台架構圖」（如圖6）、「ICT竣工驗收流程圖」，以利履約階段統包團隊提供市府於決策採取智慧化物業管理設備系統時，兼顧使用單位的條件，擇定投資設備項目與符合預期效益。

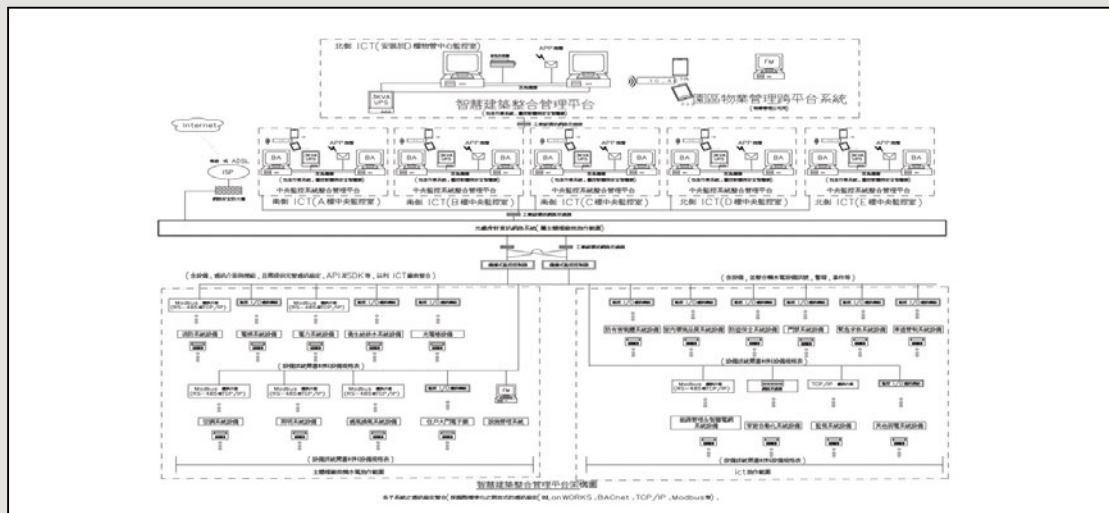


圖6 廣慈智慧社宅資通訊系統架構圖

## 二、ICT標施工期程管理模式

為使工程推進順利，專案管理團隊參酌營造工地施工順序及慣例，預為約定ICT設備用電源及訊號管線，採ICT標統包團隊辦理規劃設計，再交由各主體標配合於結構體工程施工階段實施預埋，以供日後ICT標佈線使用。ICT標施工之履約期限，依主體標施工里程碑分四階段，即配合各主體標之進度，分別完成第一階段至第四階段施工：(如圖7案例)

- (一) 第一階段：各主體標結構體完成日+室內各隔間牆完成之次日起90日曆天內完成ICT標所有佈線工程之施工。
- (二) 第二階段：各主體標使照取得日之次日起30日曆天內完成各項ICT設備之安裝。

(三) 第三階段：各主體標送水送電完成之次日起30日曆天內完成ICT標各系統自主檢查測試。

(四) 第四階段：主體標送水送電完成之次日起90日曆天內完成智慧建築整合管理平台功能檢測。

## 三、設定ICT標整合各主體標中央監控18項子系統

廣慈智慧社宅各主體標均建置中央監控系統整合管理平台，且至少包含下列18項子系統，如圖8所示，相關資訊傳輸至第D標智慧建築整合管理平台及園區物業管理跨平台系統予以統整：



圖7 ICT標履約期限分四階段-以第D標為例



圖8 中央監控系統整合管理平台包含18項子系統



四、督導ICT標與主體標相關工程介面處理模式

廣慈博愛園區ICT標與各主體標之土建、機電及中央監控系統間均有各種不同形態之介面需協調整合，除督導施工前辦理相關說明會提供施工工法與釐清施工界面外，再經由定期介面會議包括各主體標與ICT標辦理介面「溝通會議」、各標監造單位之介面「協調會議」，與專案管理單位之整體園區各項工程介面「整合

會議」予以充分溝通協調，減低各項施工界面障礙，加速工程推進。ICT標與主體標施工界面溝通管理架構如圖9所示。

此外，為強化解決ICT標與各主體標之土建、機電工項間，及南、北側ICT標間各項子系統施工介面，專案管理單位預先分析ICT各項功能，並將面對之各種介面予以釐清，編製權責分工表，如表1所示，以落實各主體標與ICT標之間分工權責明確：

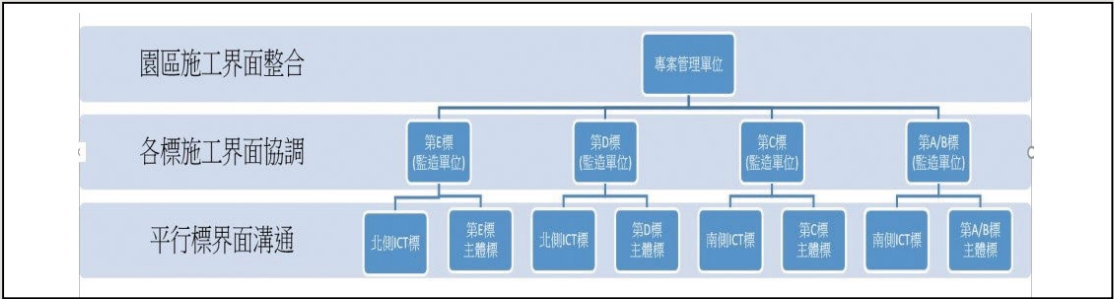


圖9 ICT標與主體標施工界面溝通管理架構

表1 ICT標與主體標功能介面權責分工表

| 工程種別       |                   | 主體標施工範圍    |              |            | ICT 施工範圍 |        |        | 功能概要 |    |       |    | 備註 |
|------------|-------------------|------------|--------------|------------|----------|--------|--------|------|----|-------|----|----|
| 系統名稱       |                   | ICT 設備電源留設 | ICT 所需輔助接點留設 | ICT 訊號所需之管 | 感應監測設備   | 訊號所需之線 | 設備系統整合 | 狀態   | 啟停 | 監視或警報 | 計量 |    |
| 一、電力監控系統   |                   |            |              |            |          |        |        |      |    |       |    |    |
| 1          | 數位電表(住宅單元)        | ○          |              | ○          | ○        | ○      | ○      |      |    | ○     | ○  |    |
| 2          | 數位電表(住宅公共空間、參建單位) | ○          |              | ○          | ○        | ○      | ○      |      |    | ○     | ○  |    |
| 3          | 緊急發電機             |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    | ○  |       |    |    |
| 4          | 緊急發電機柴油槽          | ○          |              | ○          | ○        | ○      | ○      | ○    |    | ○     |    |    |
| 二、消防監控系統   |                   |            |              |            |          |        |        |      |    |       |    |    |
| 1          | 消防水箱              | ○          |              | ○          | ○        | ○      | ○      | ○    |    | ○     |    |    |
| 2          | 消防泵               |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    |    | ○     |    |    |
| 3          | 泡沫泵               |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    |    | ○     |    |    |
| 4          | 消防受信總機            |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    |    | ○     |    |    |
| 三、通風換氣監控系統 |                   |            |              |            |          |        |        |      |    |       |    |    |
| 1          | 排風機               |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    | ○  |       |    |    |
| 2          | 導流機               |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    | ○  |       |    |    |
| 3          | 進風機               |            | ○            | ○          |          | ○      | ○      | ○    | ○  |       |    |    |

表1未完，請接下頁

| 工程種別         |           | 主體標施工範圍            |                          |                    | ICT 施工範圍       |                |                | 功能概要 |    |               |    | 備註 |
|--------------|-----------|--------------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|------|----|---------------|----|----|
| 系統名稱         |           | ICT 設備<br>電源<br>留設 | ICT 所需<br>輔助<br>接點<br>留設 | ICT 訊號<br>所需之<br>管 | 感應<br>監測<br>設備 | 訊號<br>所需<br>之線 | 設備<br>系統<br>整合 | 狀態   | 啟停 | 監視<br>或<br>警報 | 計量 |    |
| 四、給排水監控系統    |           |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1            | 數位水表      | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              |      |    |               | ○  |    |
| 2            | 雨水泵, 雨水坑  |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             |    |    |
| 3            | 抽水泵       |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             |    |    |
| 4            | 污水泵       |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             |    |    |
| 5            | 揚水泵       |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             |    |    |
| 6            | 雨水回收池     | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 7            | 地下室水箱     | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 8            | 屋頂水箱      | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 9            | 水箱蓋磁簧開關   | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 10           | 廢水泵       |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             |    |    |
| 五、照明監控系統     |           |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1            | 智慧照明系統    |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 六、空調監控系統     |           |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1            | 空調室外機     |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 2            | 空調室內機     |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 3            | 全熱交換器     |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 4            | 冰水主機      |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             |    |    |
| 5            | 空調箱       |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 七、電梯監控系統     |           |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1            | 電梯        |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 2            | 電梯機坑水位    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 八、室內環境品質監測系統 |           |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1            | 溫濕度偵測器    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             | ○  |    |
| 2            | 一氧化碳偵測器   | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             | ○  |    |
| 3            | 二氧化碳偵測器   | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             | ○  |    |
| 4            | 室外型風速、風向計 | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             | ○  |    |
| 5            | 室外型雨量偵測器  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             | ○  |    |
| 九、停車管制系統     |           |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1            | 車道出入口柵欄機  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 2            | 車道車牌辨識攝影機 | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |
| 3            | E-TAG 感應器 | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |
| 4            | 車位導引與計數器  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 5            | 停車管理系統主機  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |

表1未完，請接下頁



| 工程種別        | 主體標施工範圍            |                          |                    | ICT 施工範圍       |                |                | 功能概要 |    |               |    | 備註 |
|-------------|--------------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|------|----|---------------|----|----|
| 系統名稱        | ICT 設備<br>電源<br>留設 | ICT 所需<br>輔助<br>接點<br>留設 | ICT 訊號<br>所需之<br>管 | 感應<br>監測<br>設備 | 訊號<br>所需<br>之線 | 設備<br>系統<br>整合 | 狀態   | 啟停 | 監視<br>或<br>警報 | 計量 |    |
| 十、監視系統      |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 多功能監視攝影機  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |
| 2 多功能監視攝影主機 | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 十一、門禁系統     |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 感應式讀卡機    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |
| 2 門禁系統主機    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 十二、保全(警示)系統 |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 磁簧開關      | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 2 紅外線偵測器    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 3 漏水與淹水偵測設備 | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 4 防盜保全系統    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 十三、家庭自動化系統  |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 家庭環境控制裝置  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |
| 2 家庭自動化系統主機 | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 3 住戶大門電子鎖   |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 十四、能源管理系統   |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 建築能源管理系統  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             | ○  |    |
| 2 社區能源管理系統  | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    | ○  | ○             | ○  |    |
| 3 儲能系統      | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               | ○  |    |
| 4 太陽能系統     | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               | ○  |    |
| 5 智慧電網      | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               | ○  |    |
| 十五、設施管理系統   |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 FM 軟體     |                    |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 十六、防有害氣體系統  |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 瓦斯偵測      | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    | ○  |               | ○  |    |
| 2 防有害氣體主機   | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    | ○  |               | ○  |    |
| 十七、資訊網路系統   |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 資訊網路設備    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               |    |    |
| 十八、其它弱電系統   |                    |                          |                    |                |                |                |      |    |               |    |    |
| 1 噴灌系統      |                    | ○                        | ○                  |                | ○              | ○              | ○    | ○  |               |    |    |
| 2 充電樁監控系統   |                    | ○                        | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    |               | ○  |    |
| 3 水質偵測設備    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |
| 4 緊急求救系統    | ○                  |                          | ○                  | ○              | ○              | ○              | ○    |    | ○             |    |    |

#### 五、律定ICT標與主體標間施工範圍

各主體標工程機水電施作範圍包含電力、

空調、照明、衛生給排水、通風換氣、電梯、  
消防、車輛充電樁、住戶大門電子鎖系統設備  
監控工程，包含系統設備與系統控制介面模

組，主體標廠商提供底圖給ICT標，由ICT標廠商套圖進行設計，再由主體標於結構體施工階段配合預埋ICT設備所需配管，兩標間施工介面處理及分工模式：

- (一) 主體標之機水電將電源留設至ICT設備所需電源一次側，二次側電源由ICT標設備廠商銜接。
- (二) 主體標廠商留設ICT所需接點(含a,b,c接點或乾接點)，另設備提供通訊協定(如RS-485、RS-232、ModBus、BACnet、LonWORK、ZigBEE、JSON、TCP/IP...等)供ICT標納入智慧建築管理平台整合。
- (三) 設備安裝高程與管線出口位置，由ICT設備廠商與主體標廠商進行協調，並納入設計圖說與竣工圖說標示。
- (四) ICT標設備廠商設置相關感測元件將水位、油位、電壓、電流、空氣品質等訊號之擷取，予以監測。
- (五) ICT標與主體標「功能介面權責分工表」之功能概要及管線分界說明，係由二者進行協調達成所需之功能，且於設計圖說與竣工圖說標示，納入審查要項。

(六) 主體標之機水電系統所需之訊號線，為主體標廠商施作範圍，如ATS連動至發電機啟動、液位控制至泵浦啟動、停車場通風依時間、溫度、CO等方式自動啟動與停止進排風機.....等。

## 六、規範ICT設備與各系統控制介面整合範疇

ICT智慧科技應用施作範圍除包含主體標各項中央監控系統設備與系統控制介面整合工程，另執行智慧建築整合管理平台、中央監控系統整合管理平台、門禁、防盜保全、防有害氣體、室內環境品質、緊急求救、車道管制、監視能源管理 & 智慧電網、家庭自動化、設施管理及其他弱電系統設備之系統規劃設計、系統設備施作安裝測試與系統整合工程。

## 七、監督導入BIM建築資訊模型

ICT標統包商提送BIM工作執行計畫書，施工期間成立BIM作業小組專責人員駐點工地，負責於施工前建置各項施工模型，完成BIM成果檢核；施工中雙週召開BIM工程界面整合會議，以BIM模型於相關作業開始施工前檢討設計界面、施工界面與分項工程介面之整合，並運用BIM模型進行視覺化溝通，檢討修正施工模型；並於各階段提送施工模型成果報告，以利日後運維管理。執行成果如圖10所示。



圖10 導入BIM建築資訊模型於設計施工



## 八、採分段查驗、部分報竣、分區點交、分區啟用模式加速工進推動

廣慈博愛園區含行政中心、社福單位、住宅、地下停車場(委外經營)等不同單位，為配合各單位不同之入住需求及進駐與啟用時程，專案管理預排各項重點作業節點與時程，施工現場協調監造單位採分段查驗作業以加速工進推動，配合住宅戶入住及參建單位點交、室裝、搬遷、啟用等時程辦理各項分段查驗作業，並就工程部分竣工後有部分先行使用之必要時，先就該部分辦理分段驗收、點交、分區使用，如圖11、12案例。

ICT標配合主體標進行智慧應用科技設計，依據智慧建築八大指標，協助並深化精進主體標智慧建築各項取分項目建置，達到最有利標之採購效益，以第C、D、E標為例，即自主體標原承諾智慧建築標章銀級，由ICT標加值後提升為黃金級。

## 二、中央監控具備跨棟備援機制

廣慈智慧社宅園區於各主體標各棟之中央監控室內規劃建置一套具有備援功能之整合式中央監控系統，整合全區各標主體標之動力、照明、空調、通風、給排水、電梯與消防等機電設

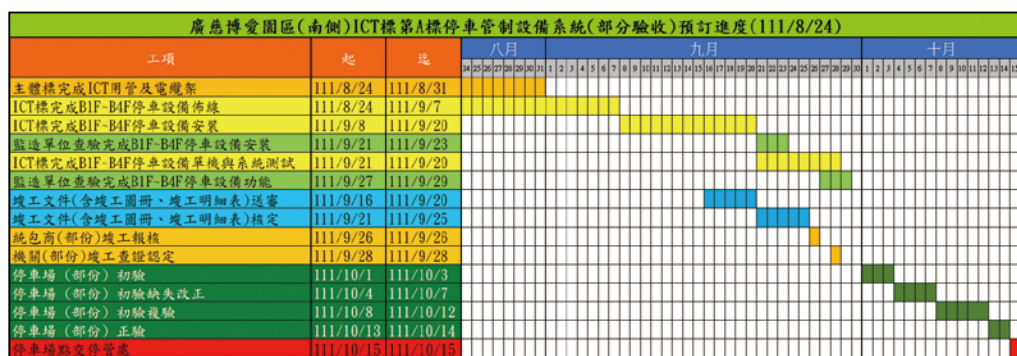


圖11 地下層分段查驗、報竣、驗收、點交、啟用預定時程表-以第A標為例



圖12 地上層分段查驗、報竣、驗收、點交、啟用預定時程表-以第A標為例

## 肆、智慧社宅資通訊特色及營管創新應用：

### 一、智慧建築標章升等優化

備，賦予重要機電設備的遠端即時監控能力；並針對ICT標各項子系統，包含室內環境品質監測系統、監視、門禁、保全(警示)系統、緊急求救、防有害氣體系統、家庭自動化系統、停車等

系統、智慧農園噴灌系統、水質偵測系統、能源管理系統與智慧電網設備，導入不同智慧情境運動機制。另外利用園區中央光纖骨幹進行各棟之間環狀佈線，達到各標中央監控系統互相支援之目的，當其中一棟之中央監控系統故障，在查修期間該棟資訊仍可經由中央骨幹光纖備援機制傳輸至北側D棟物管中心監視，減少智慧園區之即時資訊落差，如圖13所示。

其公共區域之空調、動力、照明、插座設備等各幹線或分路及各戶住宅之能耗，透過傳輸訊號介面，蒐集數據資訊（含電壓、電流、實(虛)功率、功因及累積瓦數(kWh)等）；另外針對智慧水錶及智慧瓦斯錶的部份由自來水處及大台北瓦斯公司雲端蒐集用戶數據，將各項運轉數據資訊納入智慧建築管理平台整合，以利物管人員監視即時用水、用電及瓦斯用量。

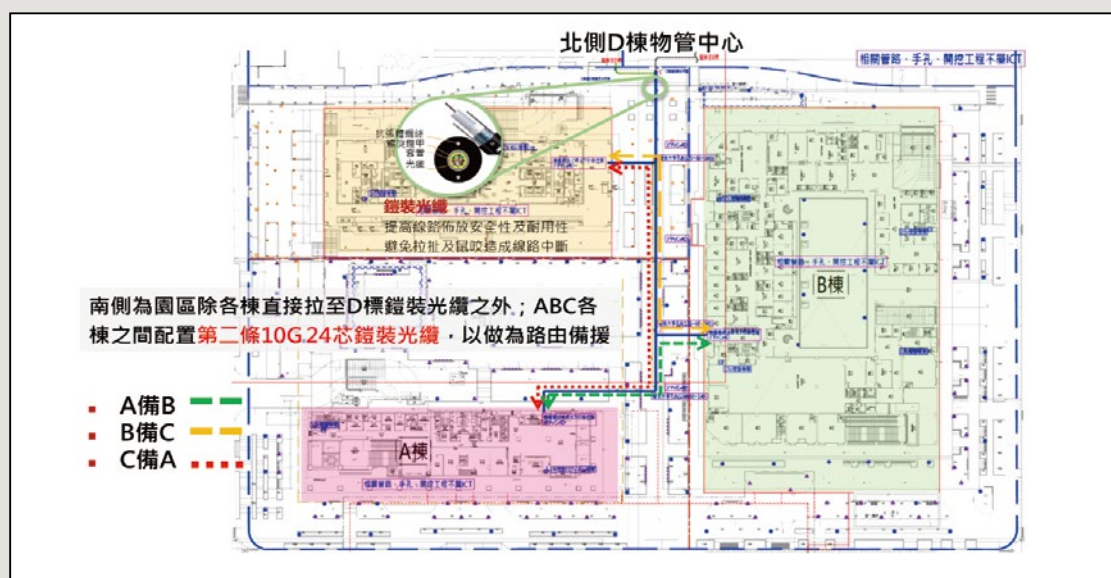


圖13 中央監控具備跨棟備援機制

### 三、達成有效率的能源管理

廣慈智慧園區住宅於各標各棟之台電電錶後加設數位電錶，將各標住戶及各參建單位及

能源管理系統可分析各時段太陽能發電、儲能系統數據及發電機即時用電流量，如圖14所示，並可於尖峰用電時段，派送超量訊號予主體標空調、照明等系統主機，由空調或照明



圖14 各項監控運轉數據集中顯示



系統主機規劃分區或降載比例，自主執行用電設備分區、分時段卸載或降載等策略，降低尖峰用電量、提升電能使用效率、減少電費支出及達到節能減碳等功效。

#### 四、建置門禁管制人臉辨識系統

廣慈智慧園區社宅於1F大廳主要出入口設置人臉辨識系統，將人臉經由前端攝影機，傳輸人臉擷取特徵圖像至後端，再由後端伺服器或雲端平台進行人臉辨識萃取(Enrolling)與身分比對(Matching)，後台可設置黑白名單或設置貴賓名單，即時管控進出人員的身份以確保安全。執行案例如圖15所示。

#### 五、建置智慧停車管理系統

廣慈園區社宅於各標地下層建制智慧停車管理系統(如圖16)，設置車道柵欄機、車牌辨識攝影機及e-tag感應式讀卡機等設備，提供駕駛人快速便利的進出方式；各層停車場設置停車位流量顯示板及在席偵測攝影機，以紅綠燈號顯示空位，讓使用者能快速找尋停車空位。另外設置尋車系統主機，協助使用者可進行尋車快速找到停放位置；同時將相關設備納入停車管理系統主機與中央監控系統整合管理平台監控。



圖15 大廳管理櫃檯人臉辨識(左圖)及人臉辨識資料建檔(右圖)



圖16 智慧停車管理系統

## 六、3D-BIM中控/設施管理

廣慈智慧園區社宅之各棟設施管理系統以BIM系統作為3D模型顯示核心，整合BIM技術以三維、直觀、視覺化的方式協助管理者進行大樓管理，如圖17、18。設施管理系統是廣慈智慧園區的主軸應用系統，統包商以BIM為核心系統設計概念實作此系統，同時提供本案標的日常維護、管理、導覽等所需之功能。可讓BIM模型或實景照片能在網頁上被瀏覽，整合物業管理系統功能以提供基本大樓設施日常管理所需，同時串接大樓中央監控系統之即時資料服務與歷史資料服務，使資料與BIM元件連動，讓

管理者在視覺化、直觀具互動性的環境下執行管理工作。

## 七、住宅家庭自動化/保全

廣慈園區社宅於各住戶宅內設置室內彩色影視對講子機，管理員室可以影視對講主機直接與各住戶多向視訊通話；影視對講主機可留言、訊息給各室內彩色影視對講子機，如遇災害事故時，影視對講主機可以對各住戶室內彩色影視對講子機進行廣播，通知各住戶疏散。

出入大門設置室外彩色影視對講門口機，



圖17 管線設備導入BIM模型於物業管理服務



圖18 設施管理(結合BIM模型)



具備攝影鏡頭，於日間及夜間均能拍攝出清楚之訪客影像，經由管理員室之管理員過濾訪客來訪目的後，開啟該棟出入大門。各項主機及子機之間視訊通話及事件均能被影視對講主機記錄成影像檔以供日後調閱。另外室內彩色影視對講子機可設定保全及緊急求救功能，若有特殊情況發生，住戶皆可即時通知管理員協助。如圖19、20所示。



圖19 一樓門廳影視對講系統



圖20 住戶大門影視對講子機

廣慈智慧社宅園區之ICT智慧科技應用除各主體標皆建置一套可獨立操作之中央監控系統整合管理主機，並於第D標1F物管中心監控室另外設置一套智慧建築整合管理平台，將A、B、C、D、E各標之中央監控系統整合管理主機之警報、事件、系統設備之運轉紀錄…等，透過如Modbus或TCP/IP等開放標準協定，經由中央共同管溝佈線連接整合至第D標智慧建築整合管理平台主機，以為後續園區物業管理與營運維護單位執行維運，如圖21所示。

## 八、建置園區物業管理跨平台系統

廣慈智慧園區之物業管理系統可使用平板等手持式裝置，提供管理人員進行移動式管理，不必局限於中央監控室即可得知最新告警、設備報修及故障訊息，達成行動化管理以減少人力配置，並於第D標管理中心建置一套「園區物業管理跨平台系統」(如圖22、23)，整合園區A、B、C、D、E標各主體標廠商的物業管理系統及平台，平台系統分別針對組織成員管理、建物設施管理、行政事務管理、社區服務管理、產權及租賃管理、保全與清潔管理、財務與合約管理、行動管理APP系統整合建置，結合資訊化與分析技術發展創新服務，使整體空間、動線與機能符合使用行為模式，打造即

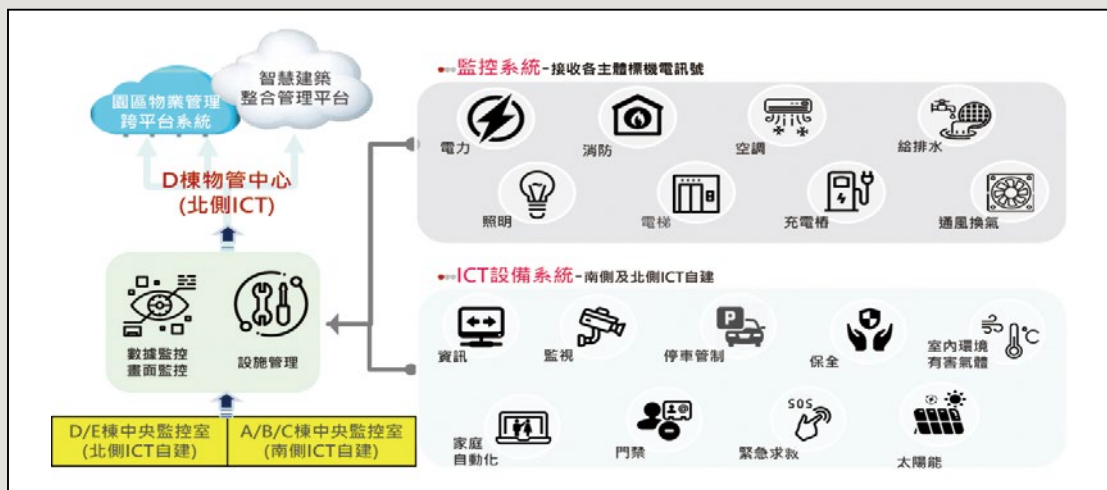


圖21 智慧建築整合平台



圖22 園區物業管理跨平台系統

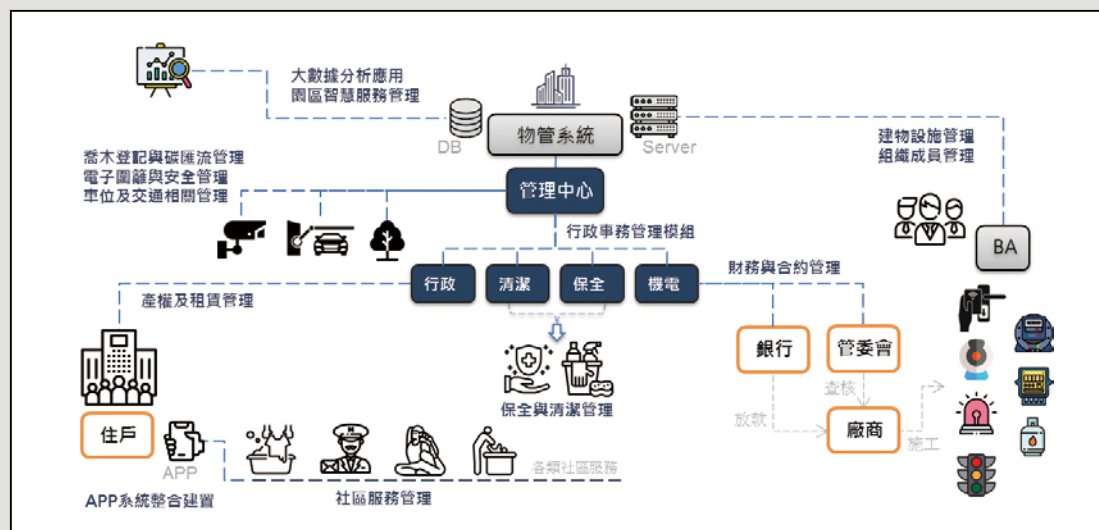


圖23 園區物業管理跨平台系統架構圖



時且專業的服務，提供新的服務體驗，建立智慧服務的標竿。

## 結語

廣慈博愛園區智慧社宅ICT標案結合土建、機電及智慧建築，相關的介面管理難度繁複，增加專案管理工作難度，需把握介面的根源及實質，以解決介面障礙。藉由CIP介面協調會，定期邀集ICT標及各主體標承包商與各標監造單位溝通協調相關施工項目，避免拆改重工。

本工程已屆竣工階段，持續整合各標之中央監控系統於第D標物業管理中心，善加運用營運階段之BIM三維模型、各項COBie元件資料庫等資訊，結合「園區物業跨平台管理平台」提供各系統複雜的管線可視化環境，讓營運維管人員能更快速且明確的掌握建物全貌，並可延伸作為設施管理系統之資料取得依據，定能達成智能科技化BIM技術應用於「智慧建築整合管理平台」及整合性「物業管理平台」之效益。





### 3

專題報導



# 打造友善社區環境之 減震智能宅——臺中勤 美之森

關鍵詞(KeyWords)：友善環境(Environmental Friendly)、開放空間(Open Space)、勤美之森(CMP Midtown)、制震系統(Damping System)、地震預警系統(Earthquake Early Warning System)、祛水系統(Dewatering System)、智慧建築(Intelligent Building)、綠建築(Green Building)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／計畫經理／陳協良 (Chen, Hsieh-Liang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區工程處／資深協理／鄧建華 (Teng, Chien-Hua) ❷

璞真建設股份有限公司／建工部／副總經理／郭光宜 (Kuo, Kuang-I) ❸

璞真建設股份有限公司／設計處／總監／吳昌忠 (Wu, Chang-Chung) ❹

璞真建設股份有限公司／工務處／經理／莊曜聰 (Chuang, Yao-Tsung) ❺

璞真建設股份有限公司／設計處／副理／王功裕 (Wang, Kung-Yu) ❻



## 摘要

臺中市已躍昇全台第二大都會人口區，預期未來將產生住宅、商業及遊憩需求，因此勤美集團計畫於臺中市西區推動住宅建築開發，並引進國際知名洲際飯店(InterContinental)，同時於基地內興建教堂及藝術館各一座。

「勤美之森」基地位於串聯臺中科博館生活圈及美術館生活圈之草悟道精華地區，本文係以「勤美之森」為例，說明計畫開發後除可滿足住宅空間、提供優質住宅環境，同時可提升本區生活機能、活化地區都市形象，並提供臺中市民一處友善開放綠地及藝術空間。



## Build a Intelligent Building with Damper System for Friendly Community Environment—CMP Midtown Development in Taichung

### Abstract

Taichung City has risen to become the second most populous metropolitan area in Taiwan, and its continued growth is expected to create more demands for its residential, commercial and recreational areas. Therefore, the CMP Group has made plans to promote the development of new residential buildings in Taichung's West District, as well as to bring in the internationally renowned InterContinental Hotel (InterContinental), and at the same time, to build a church and an art gallery museum all within the new site area.

The base site of CMP Midtown is located within the vicinity and essence of the Calligraphy Greenway area, a tree-lined linear park interconnecting Taichung's living circle of renowned science and art museums. This paper examines and uses the "CMP Midtown" development project as a case study to further discuss and illustrate once the project finished, the new development will not only satisfy the needs of providing additional residential space and a high-quality residential environment, but at the same time, will also enhance the living functions of the district, revitalize the urban imagery of the surroundings, and offer Taichung's residents with more friendly open space for greenery and the arts.



## 壹、勤美集團深耕臺中市西區

勤美集團自2005年起買下「大廣三百貨量販大樓」後，於2008年與誠品書店合作，首創引進法國巴黎布利碼頭博物館的垂直植生牆概念，重新整體打造「勤美誠品綠園道」，其後陸續打造「勤美術館」，並將「全國大飯店」、「台中金典酒店」、「PARK2草悟廣場」納入集團版圖，並與科博館、美術館，形成臺中市文化生活軸線，營造一藝術、創意、全齡化、社區化及宜居宜業「城中城」，在地深耕臺中市西區多年(圖1)。

### 一、勤美誠品綠園道

「勤美誠品綠園道」大樓透過挑高5層樓約14萬棵植栽打造建築外牆成為綠意盎然之垂直植生牆(圖2)，使原本幾乎廢棄之停車場成為一美觀且具有節能降溫之環保建築，成為臺中綠色新地標及草悟道商圈中心。「勤美誠品綠園道」除獲「2009國家卓越建設獎」外，更代表台灣榮獲素有不動產界奧斯卡獎稱號之「2010全球卓越建築獎」，以創意及綠意躍上世界舞台。



圖1 臺中草悟道周邊勤美集團開發案位置

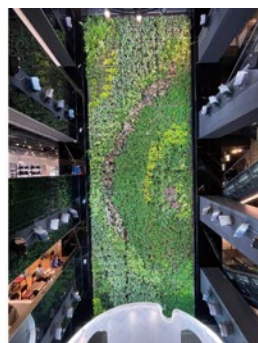


圖2 勤美誠品綠園道及其室內外植生牆

## 二、勤美術館

勤美璞真文化藝術基金會於2010年將全國大飯店及勤美誠品綠園道間之閒置小學用地成功打造為臺中新人文生活美學特區—CMP Block，2013年再度將其升級成占地2,500坪之全台首座有機街區美術館—「勤美術館CMP Block Museum of Arts」（圖3），是一間沒有疆界、沒有固定展，也無法用空間界定，「活的」美術館，用最自然的方式，使美學成為生活中的一部分。



圖3 勤美術館(現為開發中之勤美之森基地)

## 三、全國大飯店

全國飯店成立於1980年，是臺中市第一家國際觀光飯店，2006年由勤美集團接手經營並斥資上億重新整修建築物外牆、飯店大廳，全新打造國際宴會廳及酒吧，成為緊鄰草悟道旁具有178間客房、4間中西餐廳及多功能宴會空間之優質「五星級旅館」（圖4）。



圖4 全國大飯店

## 四、台中金典酒店

「台中金典酒店」（圖5）位於臺中市西區臺灣大道與健行路口，鄰近台中科博館、草悟道，具有222間客房（16-23樓）、4間國際美食料理餐廳、大廳酒吧、雪茄館、大型宴會廳及露天恆溫空中泳池，為臺中市五星級旅館之一，2007年由勤美集團及太子建設合資收購後，除重新翻修酒店外，亦斥資將裙樓商場改建為「金典綠園道商場」，成為一結合食、衣、住、行之社區型百貨，值得一提的是，勤美集團於2017年將傳統台灣菜市場結合百貨商場現代化空間設計概念及硬體設備，於酒店商場3樓打造前所未見之菜市場—「第六市場」（圖6），其內匯聚百款物產，舉凡新鮮肉品、生鮮海產、蔬菜水果、養生雜糧、熟食小吃，乃至生活雜貨等，一應俱全。「第六市場」除提供商場般乾淨舒適之購物環境外，同時亦保留了台灣傳統菜市場的風味，深獲市民好評。



圖5 台中金典酒店



圖6 第六市場(台中金典酒店3F)



### 五、PARK2草悟廣場

由臺中市政府觀旅局及勤美集團合作於2022年初推出之空間力作，融合戶外生活和城市慢活的風格態度，於臺中市民廣場旁以「公園」、「店鋪」、「藝文生活」為三大主軸，以「大人系的公園」為想像打造非典型公園形態之二層樓計2,000坪空間，集結COFFEE AND JOHN、Draft Land、新村站著吃烤肉等16家特色品牌，並融入公共藝術計畫、綠植景觀設計，成為臺中美學文化新聚落(圖7)。

### 貳、「勤美之森」開發計畫概要

暨「勤美誠品綠園道」、「勤美術館」、「全國大飯店」、「台中金典酒店」及「PARK2草悟廣場」後，勤美集團再度投資逾新台幣100億元，於原勤美術館場址及其周邊開發「勤美之森」計畫，基地內除35層及32層超高層豪宅建築外，另將興建18層樓高之臺中勤美洲際酒店(InterContinental)一棟、造型教堂一棟，此外，為承襲基地舊址「勤美術館」之文化傳承，亦同時規劃造型綠屋頂之藝術館一棟(圖8)，期盼打造宛若東京Midtown及媲美「六本



圖7 PARK2草悟廣場 (圖片來源：PARK2官方臉書)

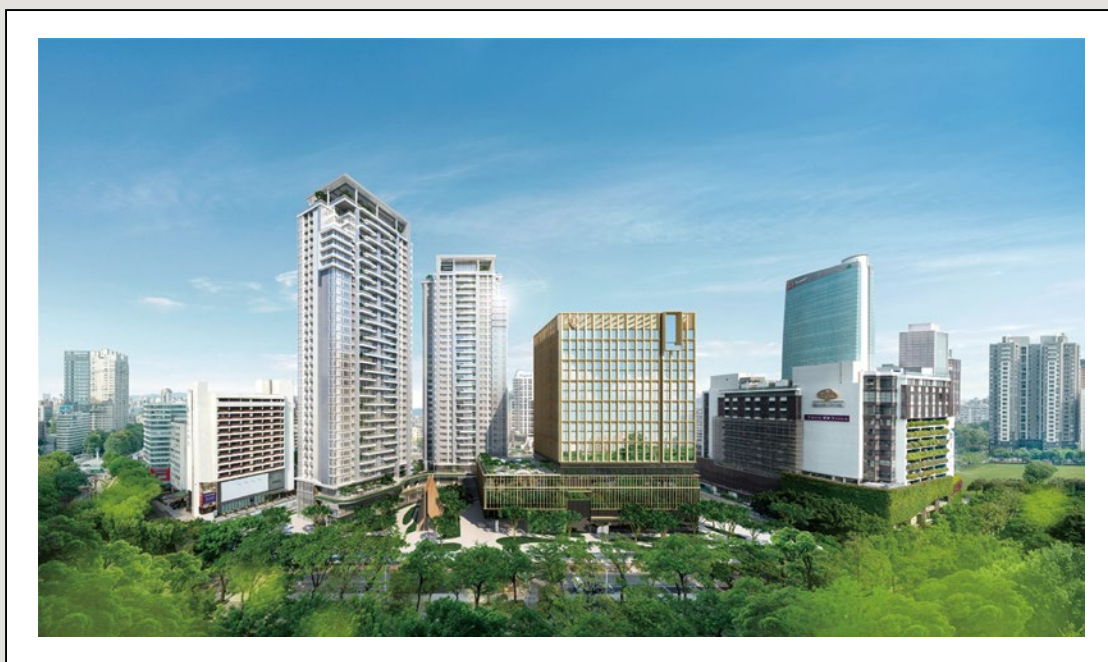


圖8 「勤美之森」開發計畫透視圖(西向)

木之丘」之生活商圈，並延續草悟道已成形文  
創特區之魅力與熱度，為草悟道藝文生活圈建  
構與國際接軌之城市新願景。

## 一、基地位置

基地位於臺中市西區草悟道精華地段，北  
臨10M明義街、東臨10M公益路155巷、西臨  
10M館前路、南側則以6M巷道與勤美誠品相  
隔(圖9)。

限公司

(二) 專案管理(PCM)：台灣世曦工程顧問股份有  
限公司

(三) 建築師：

1. 李祖原聯合建築師事務所(台灣)
2. 隈研吾建築都市設計事務所(日本)
3. HANDEL ARCHITECTS(美國)



圖9 開發計畫基地平面配置圖

## 二、團隊組織：

(一) 業主：勤美股份有限公司/璞真建設股份有

(四) 土建廠商：大陸工程股份有限公司

(五) 專業顧問群：



專業顧問群



### 三、計畫開發概要

本計畫因建照區分A基地、B基地(圖9)，開發規模概要如下：

#### (一)A基地：

1. 基地面積：8,624m<sup>2</sup>
2. 建築用途/樓層數：
  - (1) 住宅(A棟)/地上35層/地下5層
  - (2) 住宅(B棟)/地上32層/地下5層
  - (3) 藝術館棟/地上1層/地下1層

3. 總樓地板面積：78,776.87m<sup>2</sup>

#### (二)B基地：

1. 基地面積：4,263m<sup>2</sup>
2. 建築用途/樓層數：
  - (1) 酒店棟/地上18層/地下5層
  - (2) 教堂棟/地上1層/地下1層
3. 總樓地板面積：42,283.37m<sup>2</sup>

### 參、打造友善社區環境

大型土地開發案對於周邊環境如生態、交通、人潮及景觀等往往帶來極大之衝擊，因

此，本計畫不僅關注基地開發後對於環境之變化，亦關心開發期間對於市民生活之影響。茲將本計畫開發期間及營運階段(計畫開發完成後)之友善環境作為，分述如後。

#### 一、開發期間

##### (一) 工家美術館：

草悟道歷經勤美集團十多年來之耕耘，已漸成為中台灣指標性文化生活圈，隨著「勤美術館」第一階段任務已於2018年底畫下句點，即將轉身為日本知名建築師隈研吾打造之勤美術館2.0，因此，勤美璞真文化基金會團隊在邁向下一階段轉型的工程整備期，透過策展轉譯與美學設計，打造世界首座結合工地、共享概念與美術館創意之「工家美術館」，於2019年11月決定打開基地西南角隅圍籬，將臨時工務所轉化為機能美感兼具之建築空間。

「工家美術館」上午作為開發基地工人休息、中午用餐及午休使用，下午則利用工人未使用之餘打開空間，成為在地場域、環境脈絡之藝術實踐，透過策展傳遞台灣工地精神，並促成文化交流或在地認同，使參觀者加入這一場工地藝術行動，成為開啟勞動者與民眾之間互動的橋梁。此外，開發基地西側亦配合工家美術館打造一條寬2.4公尺之藝術走廊，部分施工圍籬更搖身一變，成為與周邊社區居民一起種菜之垂直菜園(圖10)。



圖10 工家美術館(圖片來源：勤美璞真文化藝術基金會)

「工家美術館」屢獲國際獎項殊榮，包含2021義大利A'設計獎(A' Design Award & Competition)」、2021德國iF設計獎(iF Design Award)與2020Good Design Award日本優良設計獎，從概念、設計、實踐中展現世界級跨領域的議題影響力，成為台灣工務所示範之趨勢先例。

## (二) 智能抽水，拋磚引玉解水荒：

### 1. 點井適量，節能減碳

以往工地面臨深開挖施工時，多依推估透水係數K並依賴經驗公式計算所需點井數量，且施工期間抽水機多以24小時全時全馬力運作，其結果經常導致數量不足無法滿足降水深度，或數量過多形成資源浪費，因此，祛水系統規劃需有較詳盡之水理參數方能合理配置，鑑此，本計畫為進一步了解開發基地地層之水理特性以及配井作業之相關資料，特委託大也工程顧問規劃執行現地抽水試驗並據以評估所需點井數量。經現場試驗結果綜合評估，點井12口之抽水井配置應可滿足深開挖降水需求(圖11)，考量基地南側之地下水位可能約在開挖面(20.5公尺)左右，故於該處補設抽水井

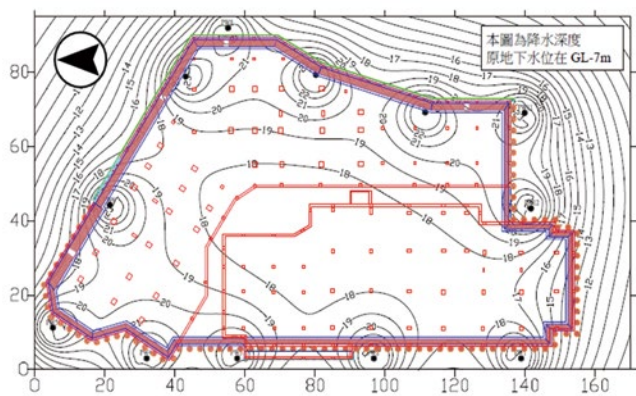


圖11 模擬群井抽水分析成果 (圖片來源：大也工程顧問)

1口，計13口。

承上述，本計畫於開發前原依經驗公式推估，約需抽水井21口，經辦理抽水試驗後評估需求大幅降至13口，另配合結構施築進度採用智能祛水(即依降水需求自動調整抽水機on/off)調整水位後，常時僅需開啟5~8口即可滿足現場降水需求。茲比較傳統推估(21口)全時抽水及智能祛水實際執行情形，成效如下：

- 抽水量：減少1,313萬噸，等同9.1座石岡壩水庫蓄水量(145萬立方公尺)。
- 用電量：減少用電556萬度，等同1,586戶家庭用電(107年單戶家庭使用3,504度/年)。
- 減碳量：減碳2,789噸，等同7.2座大安森林公園每年碳吸附量(389噸/年)。

### 2. 水資源共享，拋磚引玉

大臺中地區地質特殊，覆土層下方多屬於卵礫石結構，其具有粒徑大、透水性佳之特性，故進行地下室擋土開挖工程時，需利用抽水將地下水水位降至開挖面以下(即所謂祛水工程)，以維持施工安全，惟一般工地採用點井抽水後，多將抽得之大量地下水導至鄰近排水渠道排放，形成資源浪費，尤其2021年台灣面臨50年來最嚴重之缺水問題，臺中及苗栗地區亦相繼分區停水，此一現象更顯矛盾。

鑑此，本計畫除透過自動化監測設備、IoT(物聯網)、大數據分析及抽水機控制系統之建置，精準控制地下水位，有效避免水資源超抽浪費外，勤美集團/璞真建設更進一步思考將原本可能



被排放至鄰近排水系統之地下水，供應台中科學園區科技廠使用，以減少科技廠於枯水時期對於民生用水之排擠，創造多贏。其後更配合台灣自來水公司設置工地簡易淨水廠，將地下水資源轉為民生使用，同時於工地設置取水口供民眾取水(圖12)。本計畫供水成效如下：

- 工業用水：自2021年3月31日起至6月7日止，本計畫共計供應台中科學園區台積電公司取水約63,849噸。
- 民生用水：自2021年4月18日起至7月15日止，本計畫共計供應自來水公司約822,478噸(約臺中市1日民生用水量)。
- 生活次級用水(環保、消防、零星民眾取用)：自2021年4月18日起至7月15日止，共計供應423噸。
- 拋磚引玉，吸引超過30個建商跟進，聯合匯集地下水資源供中部科學園區取用，總計影響856萬噸建築工地水資源再利用。

## 二、營運階段(開發完成)

### (一) 開放空間規劃：

公共開放空間係建構都市景觀之一環，同時亦為串聯都會居民生活之重要空間，在追求經濟及環境永續發展之現今社會，城市空間不再是被車流動線切割碎化之不連續區塊空間，而是追求以綠化、友善、步行為主，期盼能創造更多人與人交流互動的活動空間，因此不但重塑了人們日常生活的行為模式，也同時提升了城市空間品質。

#### 1. 「勤美之森」開放空間設計理念：

城市中藝術美學生活-土、木、森、林

- 「森」即為引進外部環境綠帶，以鋪裝為土，自木串聯全區域都市綠網為林；進而連接藝術館與住宅區為森。
- 延續與轉化草悟道自然地景，藉由藝術與地景空間結合及人文生活，營造健全美學場域與藝術網絡，達到與國際接軌、全齡生活及文化永續之設計理念。
- 整體開發以唐草自然曲線圖騰，塑造出



圖12 工地設置給水站及取水口供台積電及民眾取用



圖13 營造友善開放空間及環境

林蔭步道、休憩空間及活動廣場等；以多樣性空間與環境友善共生，創造城市森林藝術美學網絡，建立都市中之「勤美之森」。

## 2. 開放空間規劃，社區環境友善：

「勤美之森」基地之北東南西周界與建築線分別退縮6m、6m、10m、13.75m，退縮帶以「森」為設計主軸，藉由茂密的森林、起伏之地景、多樣性之植栽組成自然起伏之景觀與「勤美之森」相互呼應(圖13)。

退縮空間以2.5m寬之人行道串連，保持充裕之人行動線及休憩空間，不阻擋視覺及活動之可視性，多變之地景變化，豐富整體空間感受。

基地西北及西南角隅則分別規劃大型雕塑藝術廣場及藝術露天平台廣場一處，作為日後展演活動及民眾休憩，或與地景(水盤/噴泉)互動之空間。

## (二)綠建築：

氣候變遷及溫室效應所造成的全球暖化，已漸漸威脅到人類生活，節能減碳及永續發展現已成為全球嚴重關切的課題，而由於我國建築產業能源消耗占全國總耗能達28.3%，故為建立一節能低碳、健康環保之居住環境，政府多年來積極推動綠建築至公有及私人建築物。綠建築(EEWH)，由生態(Ecology)、節能(Energy saving)、減廢(Waste Reduction)、健康(Health)四大指標群組成，並可細分為9項指標，即生物多



樣性指標、綠化量指標、基地保水指標、日常節能指標、二氧化碳減碳指標、廢棄物減量指標、室內環境指標、水資源指標、汙水垃圾改善指標。

綠建築等級由合格至最優等依序為合格級、銅級、銀級、黃金級、鑽石級等五級，本計畫除依法辦理綠建築候選證書申請外，更響應政府節能減碳、永續發展政策，將綠建築申請標準大幅提升至黃金等級(圖14)。



圖14 綠建築候選證書

## 肆、減震智能宅-勤美之森

### 一、智慧建築

內政部建築研究所為推動國內智慧建築的發展，於2003年訂定智慧建築標章制度，提出資訊通信、安全防災、設備節能、健康舒適、綜合佈線、系統整合及設施管理等七大指標作為評估依據，且以鼓勵性質提供業界自由申請，並以通過四項指標即可取得候選智慧建築證書或智慧建築標章。

因應科技發展趨勢順應生活需求，內政部建築研究所於2011年完成修訂各項評估基準，推出「智慧建築解說與評估手冊2011年版」，增加「貼心便利指標」成為八大評估指標，並將設備節能指標更名為節能管理指標，再將基準區分為基本性、必要性以及鼓勵性，同時與綠建築評估制度同步實施分級認證機制，依智慧化程度分為合格級、銅級、銀級、黃金級以及鑽石級等五種級別。

「勤美之森」計畫取得黃金級智慧建築標章(本案智慧建築候選證書如圖15)，主要於下列項目獲得加分：

- 公設設置生活服務系統供住戶娛樂、休閒，如學習服務、廚藝教室、影音隨選等。
- 再生能源系統(設置太陽能板)。
- 公區設置照明節能，採二線控、人員感應。
- 公區設置空調節能，採全熱交換器、VRV。
- 游泳池設置微波偵測，達保全功能。



圖15 智慧建築候選證書

## 二、建築結構減震(制震壁、斜撐)

台灣地震頻仍，因此建築物裝設制震壁或類似裝置，以減低地震對建物及人員之可能傷害，已漸漸普及，甚至成為標準配備之一。相較於價格昂貴之隔震設施，台灣建築多採用制震結構設計，其原理係於建築結構上加裝被動式之消能裝置，一般稱之為阻尼器(damper)，類似汽車避震器，當地震發生時，可吸收部份地震能量，控制主結構反應振動，減低結構體損傷，同時減少建築搖晃幅度，增加居住舒適度。

「勤美之森」住宅棟樓高(不含屋突)131m(A棟)、120m(B棟)(圖16)，以鋼結構系統(SS)為主，制震裝置同時採用日本知名「新日本製鐵株式會



圖16 勤美之森住宅棟現況



圖17 新日鐵制震壁

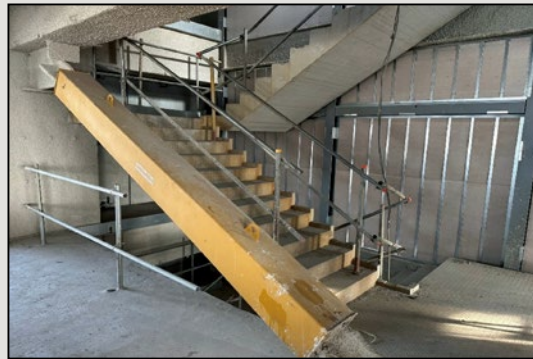
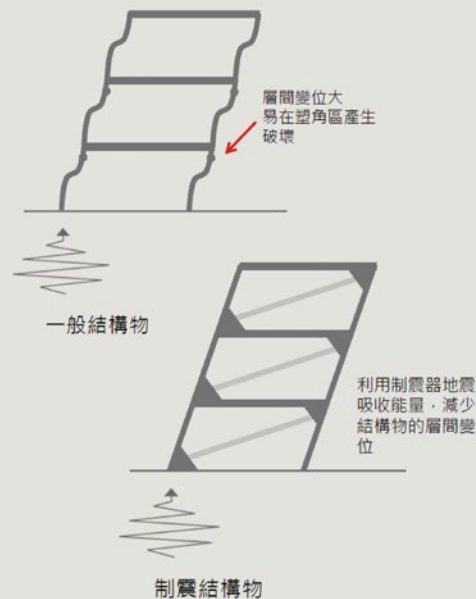


圖18 新日鐵UBB

社(簡稱新日鐵)」之速度型阻尼器(制震壁，每層2組，圖17)及位移型阻尼器(挫屈束制斜撐UBB，每層2支，圖18)，其具有下列特點：



- 速度型-黏彈性阻尼器(Viscoelastic damper)：
  - ◆ 地震初期開始起動消能。
  - ◆ 小地震及風力皆可減緩結構物振動。
  - ◆ 阻尼器啟動時順暢寧靜。
  - ◆ 增加居住舒適度。
- 位移型-挫屈束制斜撐(Unbonded Brace)：
  - ◆ 地震時結構物變位量大符降低。
  - ◆ 可依結構設計需要彈性生產特殊制震產品。



新日鐵依據多年結構設計及抗震設計經驗，研發速度型及位移型制震系統，經巧妙設計與安排，將兩種不同類型制震系統結合於同一建築物中，將制震系統特性整合，當地震來臨時可使建築物消能效果與抗震能力獲得充分發揮。

### 三、導入地震預警系統(Earthquake Early Warning system, EEWs)

地震預警系統原理係利用P波傳播速度較快、幅值較小，S波和表面波傳播速度較慢、幅值和破壞性較大，以及電磁波傳輸速度遠大於地震波之特性，透過讀取分析佈設於各地之即

時傳輸地震監測站記錄資料，快速對地震要素進行評估，向預警設防區域發布警報，以減少人員傷亡暨財產損失、並提升民眾居住安心感。

由於臺灣位處環太平洋地震帶，地震相當頻繁，且伴隨地震來臨經常產生對生命財產之威脅，因此當地震發生後，如家中警報提早預警，即能增加應變時間，減少地震帶來之損害。

近年政府參照日本經驗已逐步完善所謂「災防告警系統(PWS)」，該系統係由政府相關部會與4G業者通力合作建置，其特點為災防告警訊息係以廣播方式進行傳送，只需幾秒，特



圖19 三聯科技地震預警系統



定區域內部分3G及所有4G用戶手機即可收到防災業務主管機關發布之告警訊息，例如：大雷雨即時訊息、地震即時警報、公路封閉警戒、水庫洩洪警戒、土石流警戒、疫情通知及防空警報等。

「勤美之森」未來將導入集團關係企業「三聯科技」研發並使用於勤美璞真碧湖畔之地震預警系統(圖19)。有別於前述災防告警系統只能透過手機發出警告簡訊，本套設備具有下列優勢：

- P波感測儀，可於接收到地震P波3秒內透過地震終端主機結合廣播系統發布警告(縮小預警盲區至12公里)，使住戶爭取時間避難。
- 地震終端主機結合大樓自動控制系統可於地震S波抵達前，將電梯停靠於最近樓層並開啟，待地震訊號結束後自動恢復服務。
- 儲存地震數據做為大樓維護管理參考。
- 透過設備連動大門、天然氣(遮斷)、電力系統，協助住戶逃生並降低二次災害可能。
- 量測結構受外力作用所產生之加速度或變位，評估建築結構健康狀態、損壞程度及位置，作為後續結構補強規劃設計參考依據。



圖20 草悟上河圖 (圖片來源：勤美璞真文件基金會)

## 結語

居住，源自於人類基本需求，人人需要安身立命之處所，而隨著經濟成長、知識水準提升及對於生活品質之日益重視，人們對於居所之要求已不再只是安全、遮風避雨，而是對於住宅內部設備之現代化與完善、舒適良好之採光通風，更進一步延伸至外部鄰里環境、生活機能條件、公共設施服務及環境衛生等。

「勤美之森」，不僅著眼於計畫開發後土地與市民間之對話，也重視開發期間對於居民之影響，持續保持住民之良好互動，如同璞真建設理念：深耕城市最好的土地，由返璞歸真的角度出發，讓人們生活回到與自然對話、與環境共存、與土地共榮、與美學共鳴，並以智慧建築、綠建築設計導入低碳建築思維，竭力以建築專業出發，秉持「土地為善、自然為大」的社會責任，「只挑好地，力蓋安全舒適好宅」，持續為創造友善環境盡一己之力，為社區發展注入更多能量(圖20)。

## 誌謝

感謝勤美股份有限公司、璞真建設股份有限公司、築遠工程顧問股份有限公司、大也工程顧問股份有限公司及三聯科技股份有限公司於撰寫本文期間提供素材並不吝給予指導，始能順利完成本篇，在此致上最深之感謝。

## 參考文獻

1. 陳協良、鄧建華(2020)，「營建管理的數位創新應用--以勤美之森開發計畫為例」，中華技術，第128期，第112-129頁。



# 人本考量之車輛 維修工廠——臺鐵 潮州機廠

關鍵詞(Key Words)：現代化(Modernization)、自動化(Automation)、人本考量(Humane Orientation)、維修中心(Repair Center)、創新(Innovation)、節能(Energy Saving)、安全(Safety)、智能化(Intelligence)、節省人力(Manpower Downsizing)、全臺灣第一部設備(The First Equipment in Taiwan)

交通部臺灣鐵路管理局／專案工程處／處長／姜登凡 (Jiang, Deng-Fan) ①

交通部臺灣鐵路管理局／潮州機廠／廠長／謝進崑 (Xie, Jin-Kun) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高工處／協理／莊明哲 (Chuang, Ming-Che) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高工處／計畫經理／劉醇宇 (Liou, Chun-Yu) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高工處／主任／陳純全 (Chen, Chun-Quan) ⑤

## 摘要

潮州機廠在配置上主要是要建立一座檢修流程順暢化、維修設備現代化及工場布置效率化的廠房，並符合臺鐵局車輛採購策略及滿足車輛三四級檢修作業。規劃高效率檢修流程、採用最先進的檢修設備及最適切的廠房配置，使車輛檢修效率最大化，不僅縮短車輛停留時間、減少中斷待工情形、有效提高周轉率，並更讓各維修區間可互補調配，降低運營及維修成本。建立合理的車輛維修制度，是確保車輛安全運行、降低營運成本和延長車輛壽命的重要議題之一，在既有的車輛檢修作業基礎中，研析強化維修流程規劃的適切性，期能提高檢修質量及效率，並能消除安全隱患及保障臺鐵運營安全。



## The Humane-orientated Maintenance Workshop - Chaozhou Depot, Taiwan Railways Administration (TRA)

### Abstract

TRA aims to establish a maintenance workshop with streamlined procedures, modernized equipment and efficient factory layout in Chaozhou. This is in align with TRA's procurement strategy and to comply with Class Three and Class Four maintenance operation standard. By fulfilling criteria above, this will not only minimize downtime of railway vehicle, reduce idling interruptions, improve turnover rate, but also enhance the deployment of maintenance intervals, thus reduce operating and maintenance costs. It is essential to establish an appropriate maintenance system to ensure the safe operation of trains, reduce operating costs and prolong vehicle life. By optimizing TSA existing maintenance operations, it is expected to improve the quality and efficiency of maintenance, and to eliminate potential safety hazards and ensure the full-time operation safety of TRA.

3

專題報導



## 壹、機廠介紹

配合臺鐵捷運化的轉型，考量檢修基地布局合理化，一級~二級檢修之潮州車輛基地將與本計畫所遷建之三級~四級檢修機廠(潮州機廠)，架構成為臺鐵局南部車輛檢修中心。遷廠初期承擔原高雄機廠既有客、貨車檢修作業，並具未來擴充新購電聯車維修能量機制，工程之創新及精進作為，以創新設備取代傳統設備，建立人本考量之車輛維修工廠。

### 一、大跨度鋼桁架，增加檢修作業便利

A2客車工場因檢修作業環境需求，維修時需將列車吊起或同步頂升，以將零組件拆卸至綜合工場檢修，而裝配時需將列車吊起，俾利以特定順序進行編組，因此檢修作業空間需求極大。

客車工場已預留可供後續新購12輛編組電聯車車輛直接駛入維修，故工場總長度達300

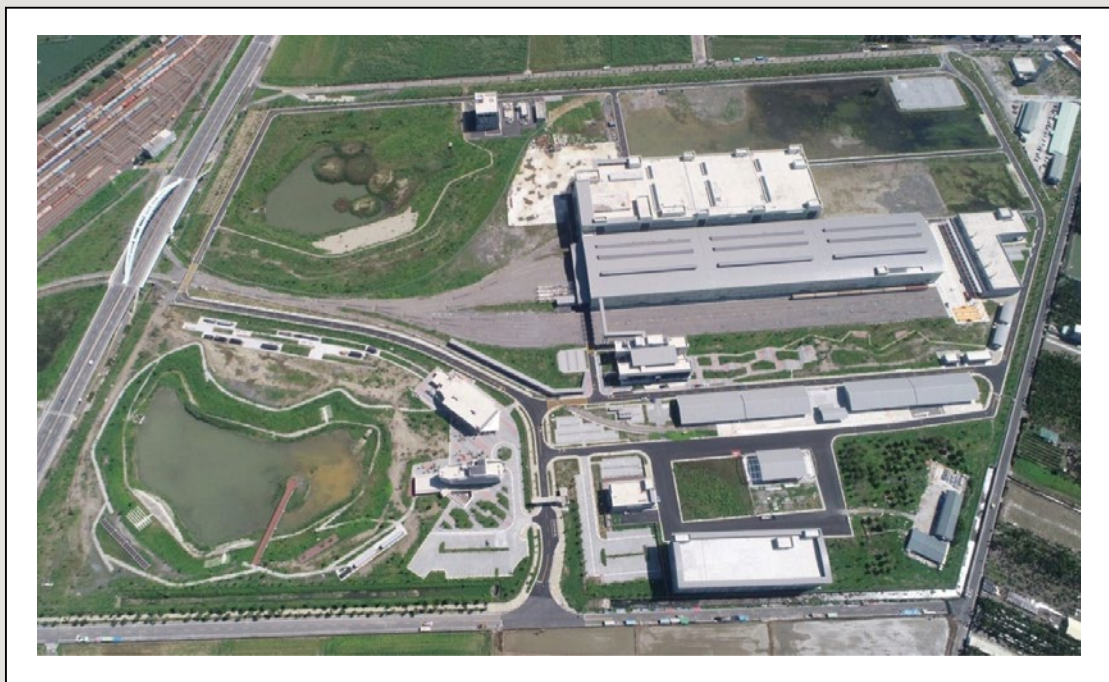


圖1 臺鐵潮州機廠空拍

遷廠後除可滿足現代化、自動化維修需求外，同時可使機廠與車輛基地資源共享，未來臺鐵局百年的新潮州機廠，車輛維修作業將採電腦化管理，同時針對節能、綠化、景觀、生態、防洪等一併納入考量，建立一個全新而卓越的維修機廠。

## 貳、軟硬體整合，布置效率化，流程順暢化

公尺；而廠房寬度達62公尺、高度達22公尺，可提供車輛檢修及裝配作業極為靈活的運用空間(圖1)。

### 二、檢修作業區三度空間配置、提升工作效率

傳統工場為單層配置，新建A1綜合工場為三層樓配置，一樓挑高為10公尺，二樓及三樓挑高分別為8公尺及6公尺，將高荷重主件及相關設備配置在低樓層，降低垂直運送過程中工安意外發生機率。依工作分類採集中式上下樓

層配置，以縮短搬運及運輸距離。各樓層間以東、西、南、北計四座貨梯互相貫通，將鐵路車輛各部位所需檢修之零組件於同一棟工廠內進行維修，除可提升工作效率，亦減少用地徵收範圍(圖2)。

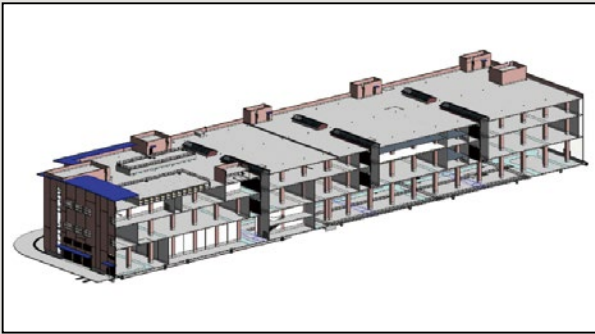


圖2 A1棟綜合工場模型剖面圖

### 三、廠房並列式配置，減少搬運時間

廠房不再採傳統串列配置，改以A12移車台為樞紐，採緊密並列式配置，東接A3噴漆工場，西通A2客車工場；另A2客車工場北鄰A1綜

合工場，並以橫向軌道相互連通，除可縮短搬運時間，亦可將用地徵收範圍最小化(圖3)。

### 四、檢修流程最佳化

為達到「作鐵路營運最堅實的後盾」之政策目標，除以現代化設備提升整體維修服務品質，在新設廠房之檢修作業規劃採最新並列式及立體化配置概念，不但減少用地徵收面積，廠房及設備配置考慮拆裝搬運保養流程亦可達到高效率之維修動線安排，方便檢查維修與縮短在廠日數(圖4)，其考量重點包括：

- (一) 能儘速將客車拆解並移送至各工場。
- (二) 影響各型車輛工作時程因素，包括機具設備使用、車輛特性、移位考慮等。
- (三) 修妥車輛能儘速編組及測試。

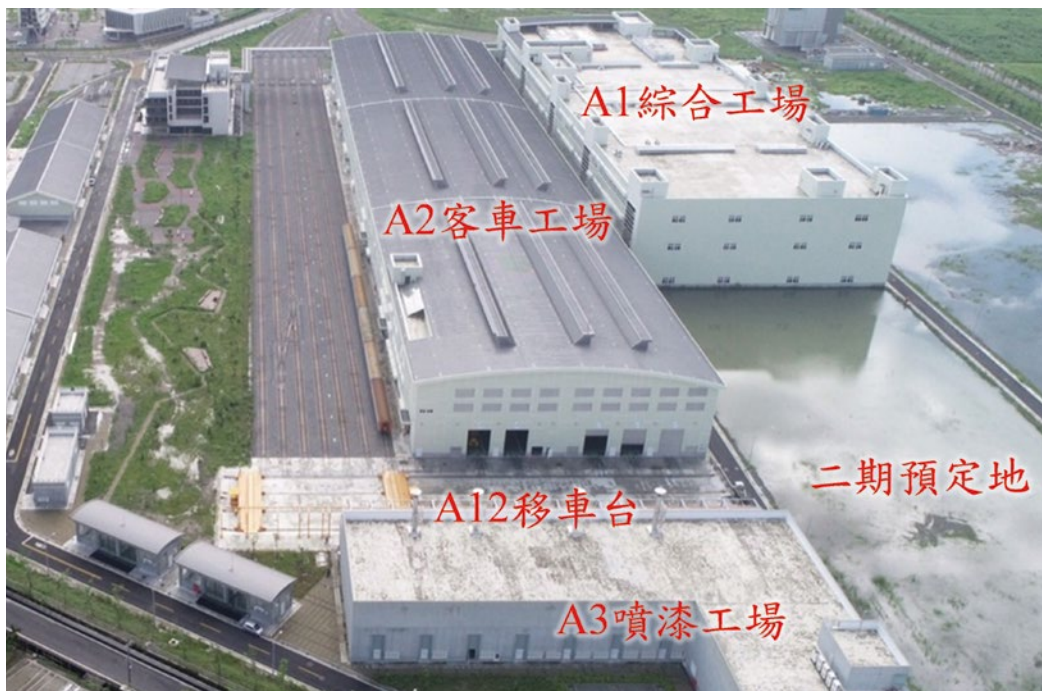


圖3 機廠並列配置圖



## ■ 客車維修流程

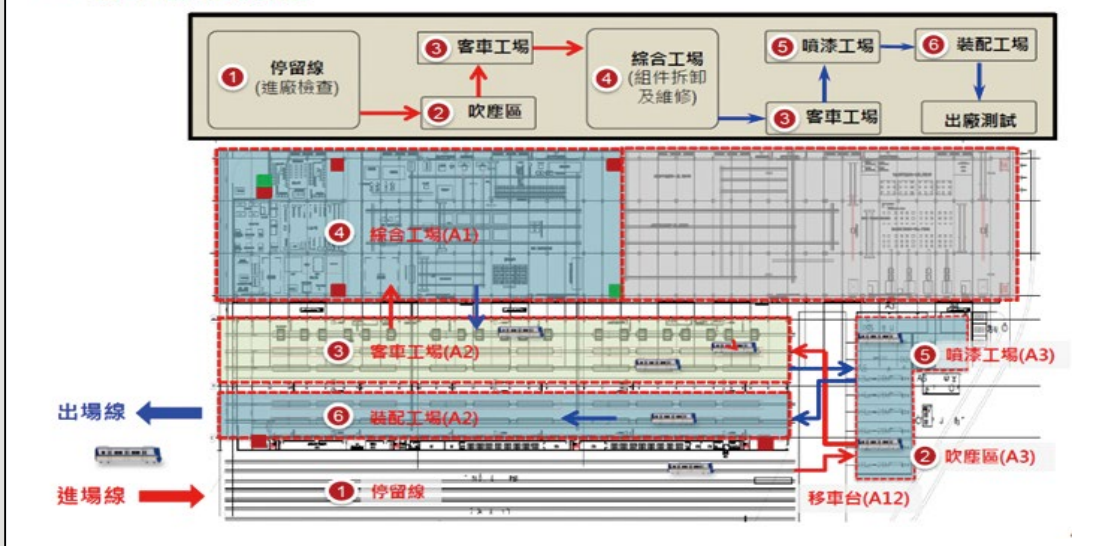


圖4 機廠維修流程示意圖

## 參、擁有現代化設備之維修工廠

為建立「以人為本」之檢修作業環境，79項新購檢修設備，包括搬運設備16項、檢修設備15項、清洗設備6項、工具機設備13項、電焊(電氣)檢修設備15項、空壓設備1項、漏水試驗設備1項、空污防制設備2項、其他設備10項，以及延續使用性搬遷設備45項，皆採人因工程導向。本節以具有特點檢修設備功能說明如下：

### 一、搬運設備：人因為中心、提升職業安全

(一) 轉向架為列車最重要之構件，新購陸軌兩用牽引車，機動性佳、便利性高、電能驅動，採遙控牽引轉向架，可節省人力及增進人員作業安全，最大拖曳能力為200噸亦可牽引列車(圖5、圖6)。

(二) 新廠設有架空固定式起重機、懸吊架空移動式起重機共計23台，皆輸入防搖控制程式，能在發生負載搖擺的情況時，自動對齊予以補償，該控制程式會創建起重機負



圖5 傳統設備／以天車輔以人力吊運，風險高



圖6 創新設備／以轉向架牽引車沿軌道牽引，安全性佳

載擺動的一個數學模型。當操作人員改變起重機行進速度時，變頻器會快速重新計算所需的參考速度，以補償起重機的速

度變化，減輕負載擺動。可達到：

1. 穩-有效的控制物料搖擺。
2. 快-有效提高工作效率。
3. 準-實現精確定位，防搖投入時，起動、停止、加速、減速晃動輕微，當荷物放置位置要求非常精確時，此功能可提高生產率 and 安全性。

## 二、檢修設備：安全性高、應用彈性佳、設備智能化

(一) 因應臺鐵車輛頂部空調機等設備維修需求，新購之高空作業車具延伸工作台取代傳統工作架之上下設備，於維修時可單一使用或橫跨列車車頂兩側，大幅提升機廠



圖7 傳統設備／軌道型電動高架工作檯車，方便進行1.5公尺至3公尺高度工作之工作台車。



圖8 創新設備／軌道型電動高架工作檯車，方便進行1.5公尺至3公尺高度工作之工作台車。

作業人員安全，消弭人員墜落意外(圖7、圖8)。

(二) 鐵路車輛車輪鏟削為重要但極具危險之檢修作業。新購CNC車輪車床設備為「穿越式門型車輪車床」，應用輪箍（輪盤）將不符規定之踏面鏟削至符合規定之踏面，完成後車輪自動滾出，減少勞工接觸機械設備時間，可遠端監控、故障診斷及排除，大幅提升安全性。鏟削完車輪自動滾出，量測+鏟削約15~20分鐘(圖9)。

車輪與車軸之組合以車輪壓床壓入或壓出。新購400T車輪壓床採雙液壓缸設計，應用於臺鐵各式列車所使用之新車輪及既有車輪，不需旋轉車軸可完成車輪壓入或壓出，以輪對輸送裝置提升效率，可1人完成操作，節省人力又安全(圖10)。



圖9 021 CNC車輪車床



圖10 400T車輪壓床



(三) 配合臺鐵車輛採購策略，新購地下式頂升設備模組化，可由主控制器控制進行作業，解聯後之單輛車體或不解聯4輛車、5輛車、8輛車、10輛車為一編組之車體，皆可同步頂升或下降，且另具備頂升點可調功能，以適用臺鐵局各式車輛之頂升檢修使用，為全臺灣第一部地下式頂升車輛維修設備。所採購之國外檢修設備，可與原廠進行遠端連線，進行即時性之線上診斷及故障排除，並能與原廠針對設備控制程式進行優化，使產品達到最佳化(圖11、圖12)。

(四) 後續同步建立車輛在庫監控系統，使用車牌辨識元件整合立約商自行開發之系統平台，協助即時控管在庫車輛數與車輛種類，便於機廠維修排程，提高機廠運作效益。



圖11 傳統設備／架空式移動起重機搭配門型吊架，配合工作人員進行車廂吊運工作，一次吊運一節車廂。



圖12 創新設備／地下式頂升設備(臺鐵第一套設備)，設備同步升降，一次頂升整列車體。

### 三、設備更環保：設備潔淨化、省水節能也減碳

(一) 配合政府減少碳排放政策，新購電動堆高

機、自走式電動堆高機、立式電動堆高機、電動搬運車、轉向架牽引車、高空作業車等動力車皆採取電能動力，可以減少空氣污染、減少噪音，並可減少約一半碳排放量之產生(圖13～圖16)。



圖13 傳統設備／柴油堆高機，進行搬運型態之作業。



圖14 創新設備／改為電動堆高機，達到免除空氣污染、避免高速衝撞、降低噪音影響。



圖15 電動堆高機



圖16 電動搬運車

(二) 新購入空污防制設備安裝於噴漆線，作業區之蜂巢型水簾幕設備在噴漆作業時透過水簾幕將氣流中之甲苯/二甲苯污染物捕集於水幕中，淨化排出氣流，避免影響空氣品質，並於屋頂煙囪設置採樣口，可隨時檢測並確認排出氣流均符合環保排放規定。經由每股道增設一組防爆型循環泵浦，可循環使用水源以節約用水，減少水資源浪費。除塵噴漆採單元空間車庫配置，並在車底空間建立負壓環境，可避免高壓空氣吹噴過程的污染源外逸，也可確保工作區的負壓環境，讓作業功能達到最佳效果，同時解決空污問題、符合環保排放法規(圖17～圖19)。

## 結語

高雄機廠採用高效率及自動化設備，以提高效益及品質，並有效降低營運維護成本，可滿足臺鐵局目前既有九百多輛客、貨車檢修需求，後續可轉換成新採購520輛通勤電聯車檢修作業。所導入人因工程設計概念，搭配檢修流程優化，強化職安法規之落實，更能符合節能減碳之環保趨勢，全面打造成「效率、安全、友善、潔淨」的工作環境。



圖17 傳統設備／噴漆間作業之配套附屬設備，較為簡陋、無阻隔。



圖18 創新設備／空氣汙染防制設備，加強附屬配套設備的功能性，達到降低空氣汙染、減少工作環境汙染、預防工安事故、提高工作效率。

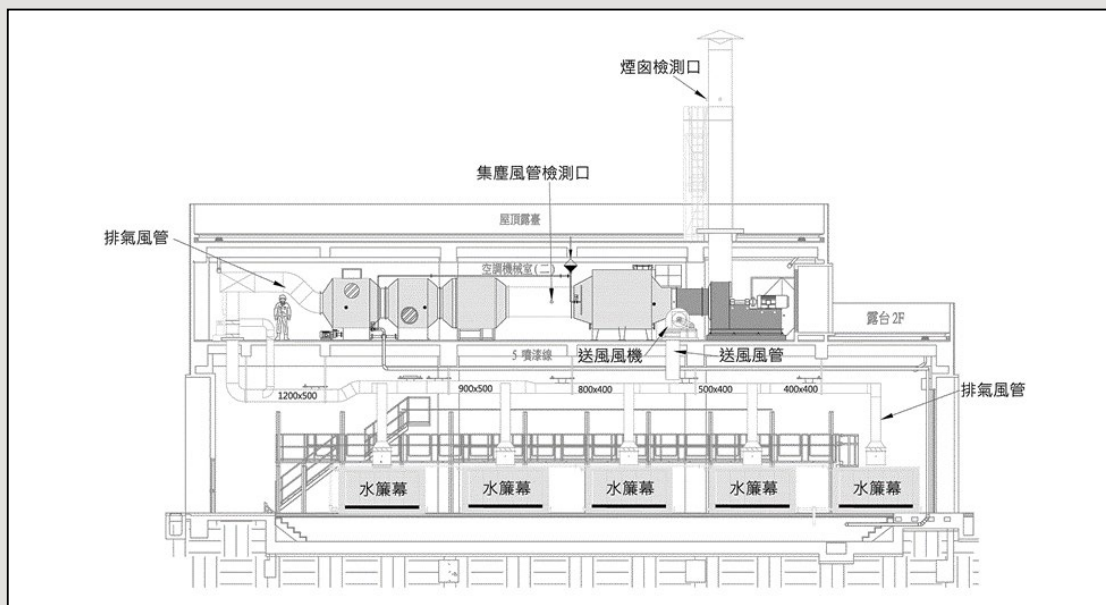


圖19 空氣汙染防制設備流程



# 光纖變位量測 技術之運用

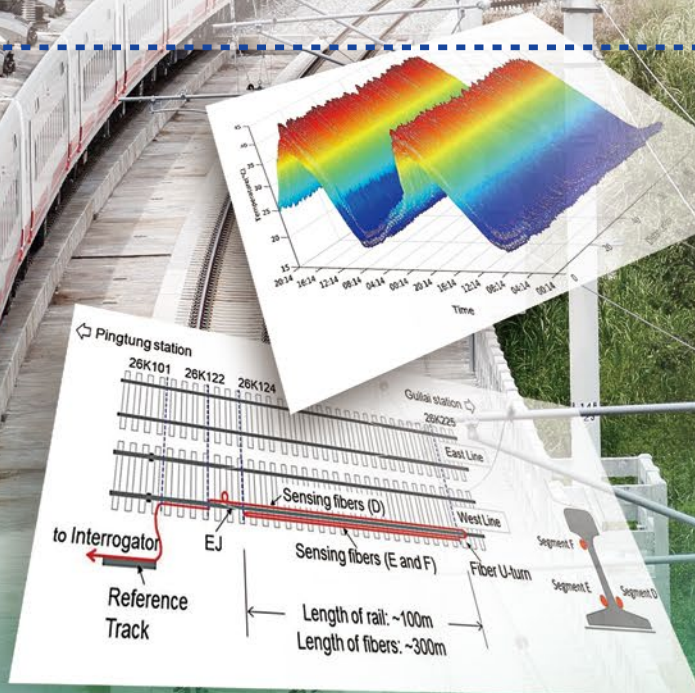
關鍵詞(Key Words)：分布式光纖感測 (Distributed Fiber Optic Sensing)、布里淵頻率偏移 (Brillouin Frequency Shift)、鐵路軌道變位(Railway Deformation)、連續壁變位(Diaphragm Wall Deformation)、高樓樓高短縮(Building Height Shortening)

中華大學／土木工程學系／兼任助理教授／許文貴 (Hsu, Wen-Kuei) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／主任／顏俊銘 (Yen, Chun-Ming) ②

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) ③

萬業科技股份有限公司／副總經理／林睿遠 (Lin, Rui-Yuan) ④



## 摘要

利用分布式光纖技術進行自動化結構測量是現代土木工程之趨勢。由於光纖具有質輕易裝及靈敏精準的特性，可以跟各種受測物件相互結合；無論是外部添附或是內部嵌入，光纖都可以成為結構的感應神經。本文說明了分布式光纖感測技術的基本，以期奠基這項技術的基本概念。本文亦以實際應用案例的說明，介紹這項技術在國內的鐵路變位測量，詳細說明各項測量結果的意義。另外也介紹國外成功案例，包括地鐵車站的連續壁變形測量、超高大樓的樓高短縮測量，說明分布式光纖感測技術能為工程業界帶來革新與便利。



## Applications of Fiberoptic Displacement Measurement Technology

### Abstract

The use of distributed optical fiber technology for structural health measurement is the trend of modern civil engineering. Due to the optical fiber is lightweight, easy to install, sensitive and accurate, whether it is attached to the outside of the structure or embedded in the structure, the optical fiber can be combined with various objects under test to become the sensing nerve of the structure. We illustrate the basics of distributed optical fiber sensing technology and hope to establish the basic concepts of this technology first. Then, we use the description of practical application cases to introduce the railway displacement measurement of this technology in Taiwan. Also we introduce the diaphragm wall deformation measurement of subway stations, and the height shortening measurement of high raise buildings in England. And explain the significance of these data measured by distributed optical fiber sensing technology as well.

3

專題報導



## 壹、前言

分布式光纖感測技術 (Distributed Fiber Optic Sensing, 或簡稱DFOS) 是利用石英玻璃光纖作為感應器(Sensor)，後端連接一套以高精度自動化光學儀器組成的自動化系統，可進行各項土木結構的變形、變位、應變、溫度、壓力、震動…等物理量的測量技術。由於光纖具有體積小質量輕的特色，可以容易的貼附或共構在受測物當中。這樣的技術與系統在測量密度、資料精確度、反應速度、連續性測量、自動異常回報…等方面均有較傳統感應器更為優異的表現。

分布式光纖感測技術在國外的工程應用上已經相當廣泛，例如歐盟「智慧建築與結構健康監視國際協會 (ISHMII)」與日本的「光纖感應振興協會 (PhoSC)」等組織就致力推動資訊匯集及技術交流，在Covid-19疫情之前均定期舉辦年會與技術會議。在美日與歐洲等先進國家中；特別是土木建築、交通建設、大地工程、新式材料、石油產業、地下活動觀測…等領域裏，已經有各種實際使用案例。

本文簡要介紹分布式光纖感測技術的原理，並且利用三個國內外已公開的實際監測案例做說明，完整介紹分布式光纖系統的實際架構與測量數據，以呈現這樣技術的優點與價值。本文也特別介紹國內軌道變位監測實際應用案例，並說明這項技術在軌道監測的實際測量數據與表現意義，希望能對國內蓬勃的軌道建設有所助益，更期盼能引發讀者先進們的關注與了解，進而使該項技術能在工程施工期間，即時提供各類應力應變的監測數據，有效掌控施工安全。

## 貳、原理概述

### 一、光的散射與頻率偏移

分布式光纖感應技術是基於光纖傳輸時的散射(Scattering)現象。光纖主要是由石英玻璃抽絲製成。當雷射光波被注入光纖中時，光子會碰撞光纖中的粒子而傳遞能量，進而使光向前傳送。而當構成光纖的二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )分子的半徑比入射光的波長半徑更小時，就會產生散射。[1]

拜光纖網通產業興盛的緣故，分布式光纖感應技術所應用的光纖及儀器也採用光纖網通產業同等級的元件，取其廠商普遍、品質穩定及選擇性多的優點；其中最常使用的是波長1550nm的測量儀器及單模態光纖(Single-mode Fiber, SMF)為主。業界常用在分布式光纖感應技術的分別是：瑞利散射(Rayleigh Scattering)、布里淵散射(Brillouin Scattering)以及拉曼散射(Raman Scattering)。由於布里淵散射及拉曼散射二者均屬於非彈性散射(Inelastic scattering)，其光子-電子碰撞後會產生能量轉移而使散射光產生頻率偏移(Frequency Shift)現象。

圖1顯示將波長1550nm的入射光注入光纖後，分別可在 $193\text{THz} \pm 11\text{GHz}$ 的範圍測量到布里淵頻率偏移(Brillouin Frequency Shift, BFS)，在 $206\text{THz}$ 處會測量到拉曼頻率偏移，而瑞利散射則為彈性散射，能量並無轉移，故在 $193\text{THz}$ 處無任何頻率偏移。相對之下，由於布里淵散射的頻譜偏移範圍有 $500\text{MHz}$ ，因此可以測量的範圍相對寬廣。

個別觀察這三種散射所對應的外力變化效應。布里淵頻率偏移會穩定的呈現溫度(T)及應變( $\epsilon$ )等外力變化的能量，且具有 $35\text{MHz}$ 的頻寬，容易應用及測量。瑞利散射雖然不產生頻偏，但是對散射強度變化極敏感，適當調變後可以測量光纖受力的細微變化。而拉曼頻率偏移只能對溫度變化有反應，並且可測量的強度變化較低，適用在單純溫度測量。

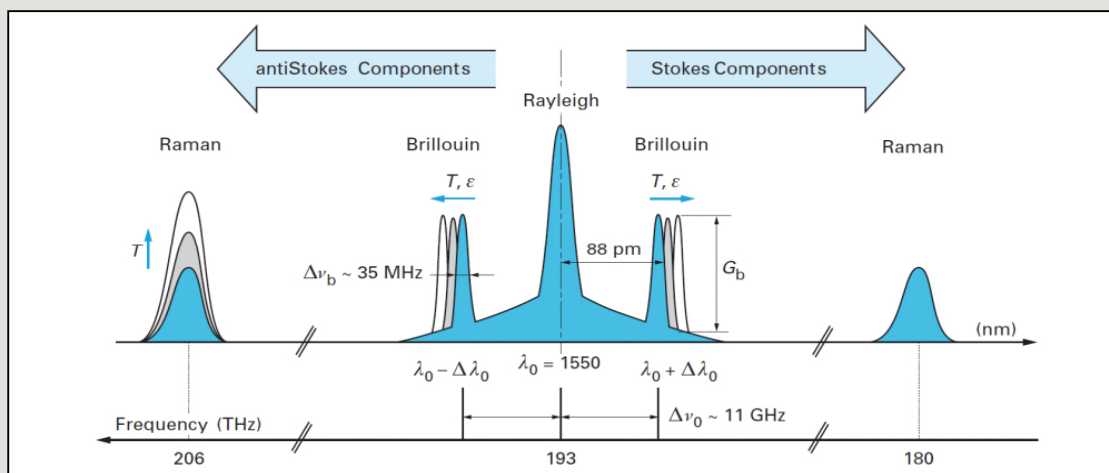


圖1 單模光纖的三種散射及頻率偏移 [由P. Fernand整理[2]]。第一橫軸代表入射光的光波長(1550nm)及各種散射的相對位置。第二橫軸代表散射頻率及對應的散射種類，分別是瑞利散射(Rayleigh)，布里淵散射(Brillouin)，以及拉曼散射(Raman)。

## 二、連續性感測與單點式感測

如前所述，光纖是可以實際感應外力的感應器(Sensor)，也因其物理結構是一條連續實體線路，因此在結合這二種特性之後，感應光纖就是一條有著「連續分布著感應器的感應線」，故業界也稱之為「分布式感應技術」或「連續性感應技術」。

以「連續性」這項指標而言，分布式光纖技術的測量距離基本可達20公里，測量點的密度可在20cm至50cm之間。這也跟不同廠商與機種的性能有關；國內已有廠商引進測量距離80km及最高密度可達5cm的商用機種，端看測量物件的需求。而在測量精度上，布里淵散射測量儀器可達 $5\mu\epsilon$ 或 $0.25^\circ\text{C}$ 的機種，而瑞利散射測量儀器則能提供 $20\text{n}\epsilon$ 或 $0.001^\circ\text{C}$ 的精密測量機種，可以滿足各種工程在實務測量上的需要。

而就非連續性感測技術來說，目前業界較常用的測量方法多數屬於單點式感測技術；例如：傾度計、沉陷計、應變計、溫度計、水位計…等感應計，再利用人工或半自動方式收集數據。其優點是技術成熟且熟悉易用，但運用在大型、帶狀或密集場域的測量時，較無法提

供穩定可靠的檢測數據，且難以逐一維持妥善性及自動性。

## 三、分布式與準分布式感測

另依照測量與配置的特性，光纖感應技術可以列分為「分布式」與「準分布式」二種類，二者間最大差別在於應用範圍與測試速度與配置數量 [3]。經常聽到的光纖光柵(Fiber Bragg Grating, FBG)就是準分布式感測技術的應用之一(圖2)。

光纖光柵也是利用玻璃光纖所製造，它需要預先在特定位置的光纖內芯上面「刻畫」出光波干涉柵紋，利用外力影響造成柵紋疏密變化的效果，讓測量光波因柵紋疏密不同而產生不同的反射，才能解讀結構受力變化。但若外力變化沒有發生在預刻柵紋的位置上，就無法測到數據。也由於光纖光柵感應技術是以光波長反射的方式來作動，因此可連接及測量的光柵數量有限，需要另外的中介構造物（如：液體水位差）來轉化克服。在實務應用上，光纖光柵這類的準分布式感應技術適合在單點、短距離或小範圍的測量需求上。



|      |      |                                 |                       |              |                                   |
|------|------|---------------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------------------|
| 光纖感應 | 分布式  | 瑞利散射<br>(Rayleigh Scattering)   | 簡稱<br>TW-COTDR<br>DAS | 感應技術<br>樣式比對 | 應用特性<br>可測應變、溫度、震動<br>精度最高・速度快    |
|      |      | 布里淵散射<br>(Brillouin Scattering) | 簡稱<br>BOTDR<br>BOTDA  | 感應技術<br>頻率偏移 | 應用特性<br>可測溫度及應變<br>測試速度快 (1-5min) |
|      |      | 拉曼散射<br>(Raman Scattering)      | 簡稱<br>ROTDR           | 感應技術<br>強度變化 | 應用<br>只能測溫度<br>測試速度慢 (5~15min)    |
|      | 準分布式 | 光纖光柵<br>(FBG Sensor)            | 簡稱<br>光柵              | 感應技術<br>波長改變 | 應用範圍<br>可測應變或溫度<br>測試點數受限 (<32點)  |

圖2 光纖感應技術分類

因此，無論在連續性、自動化、監測範圍等指標上，分布式光纖感測系統的應用範圍較廣泛，在大範圍、長距離、高密度、自動化的測試需求下較其他種類的系統更為適用。

## 參、工程實例

分布式光纖感測儀器自1996年首次商用以來，已經在歐美日韓中…等國家受到重視，各項重要建設內均有所應用，已知所發揮的領域包括：軌道、橋樑、大壩、隧道、邊坡、超高建築、石化廠、油氣開採、先進材料研究…等。國內業界一向歡迎新工程技術的導入與使用，對於新式測量儀器與測量技術亦有相當程度的推動。分布式光纖感測技術的導入始於2015年，業者引進測量儀器與感應光纖後，開始推廣測試案及工程案後逐漸在國內受到重視。以下引用實際工程案例說明國內外的應用狀況。

### 一、軌道沉陷變位測量

這個案例位於台灣屏東，是由鐵道局南工處、鐵路局高雄段、國立聯合大學土木研究所及國內業者共同合作執行的監測案，也是國內首次將分布式光纖感測系統用在鐵路軌道監測上的案例[4]。業主指定測量路段是鐵路高架化的橋梁段，業主關心軌道沉陷、幾何不整與軌溫分佈狀

態。工程團隊佈設300公尺光纖進行軌道測量與長期監測。測量成果可見分布式光纖可以精確測量出鋼軌沉陷量數據、異常沉陷區域、軌枕受力分佈狀態、鋼軌應力伸縮區間、軌溫變化…等數據，協助業主對軌道異常沉陷的判斷上有實質的幫助，使軌道異常處可以立即獲得處理。

#### (一) 監測架構

本案以西正線單側軌道測試為主，如圖3所示。將三段光纖 (D, E, F) 環繞在鋼軌的內外測以形成3D斷面。另外在測試正線軌道外側還設置有一段參考軌，以便交互驗證測試軌溫與自由伸展度。由於光纖佈設的位置是以EJ之前20m為起點，跨越EJ之後繼續維持長軌的監測，並在接近不動區間的100m處折返，使此架構足以測得鋼軌應變、沉陷狀態、軌溫、熱膨脹狀態、列車重量所致的應力變化等相關數據。

首先在軌溫分佈測量上，圖4是連續48小時軌溫分佈圖，顯示鋼軌全區段在不同時間的溫度分佈情形，完整呈現「空間連續、時間連續」的連續測量特性。相對於使用傳統單點溫度計所能提供的測量資料而言，分布式光纖感測技術更能完整呈現鋼軌溫度的整體變化。

這個測量數據也發現，相對於氣象局發布的最高氣溫，鋼軌最高溫有滯後發生的現象；

同樣最低溫的滯後現象也很明顯(圖5)。因此若需要巡視鋼軌挫曲的影響，則巡軌人員出勤時間應該配合滯後時間而適度調整。

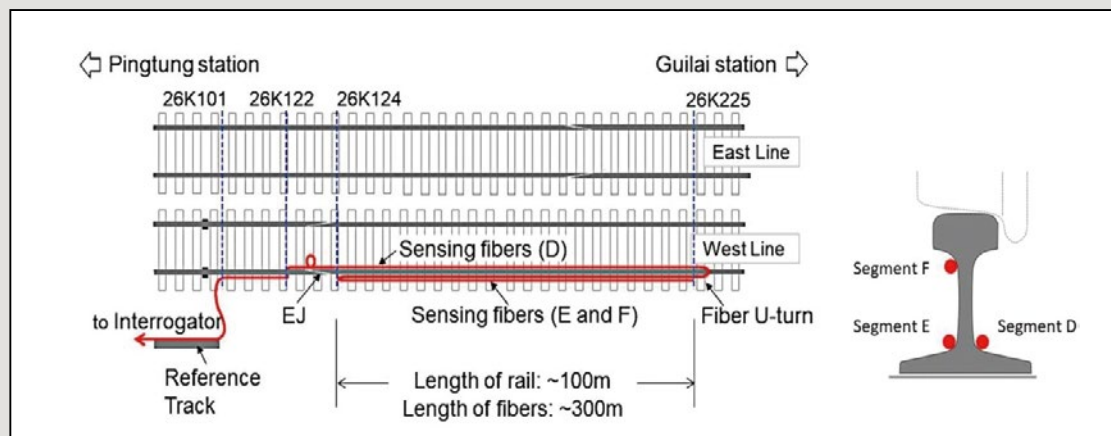


圖3 光纖設置示意圖

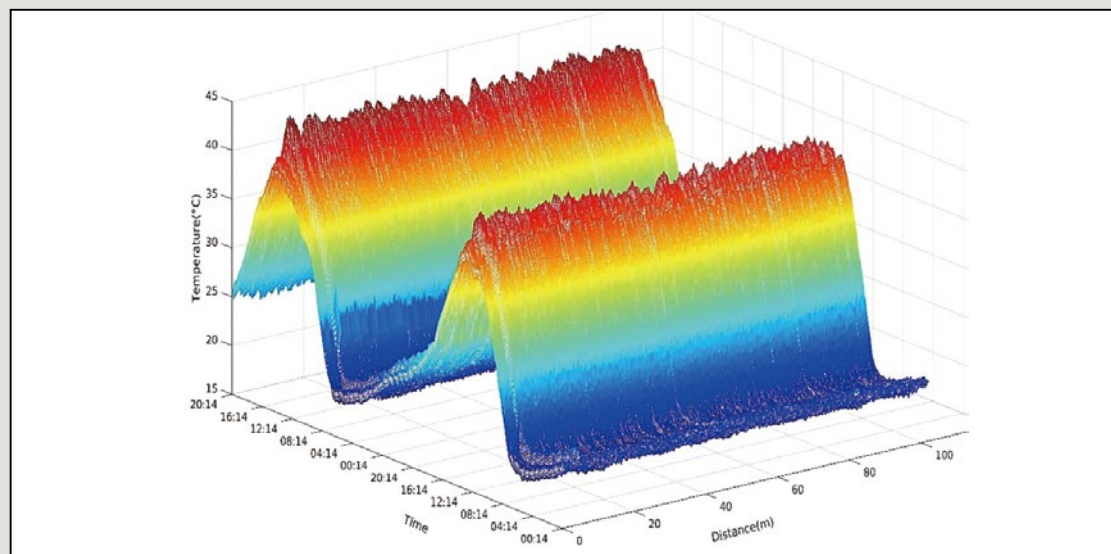


圖4 連續48小時軌溫分佈圖

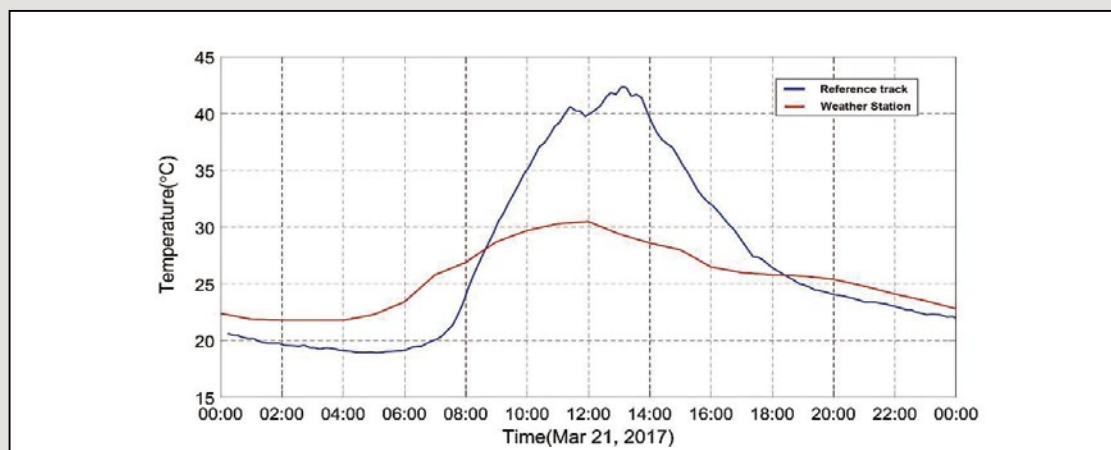


圖5 鋼軌的溫度遞延現象



圖6完整呈現軌枕承載應力分佈狀態。由於軌枕與扣件的鉗制，鋼軌所受應力的伸縮變化不會出現在軌枕處，這也是造成本圖中縱向紋路的原因。圖中距離0的位置是長軌的伸縮軌尖，100m的地方靠近長軌的不動區間，因此可見鋼軌長軸方向的應力變化，並且可以清楚看出伸縮轉換區間位在30-40m處。

測量結果也發現了鋼軌在正常區域與異常區域的應力對照。圖7可見鋼軌在日間高溫影響，以及班車尖峰時段的時間內會有明顯的受

力；如每日的09:00-16:00時段，均有超過 $100\mu\epsilon$ 的相對應變，其他時段則會回復至最小。但唯獨圖中的A, B, C, D四處位置有著持續的應變發生，異於其他鋼軌路段。

關於鋼軌沉陷與幾何不整的狀態，也有優異的測量成果。圖8可見因為軌道整碴的原因造成道碴鬆軟與空隙而使鋼軌承載力下降，分布式光纖感測系統可以測出鋼軌的沈陷量分別在-0.3mm至+0.4mm之間，並且明確標示出異常位置在32m至52m。

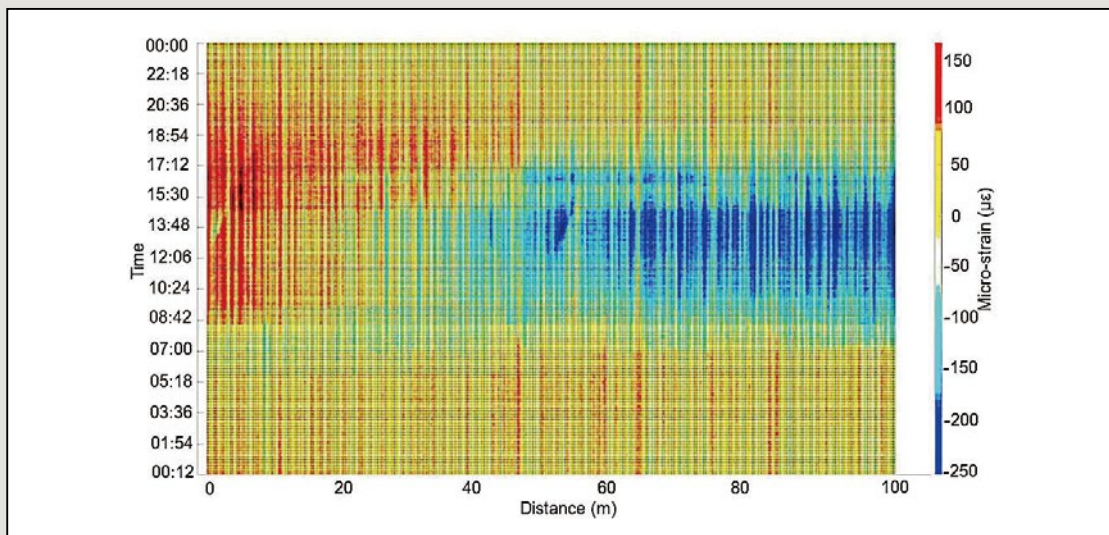


圖6 軌枕承載應力分佈圖

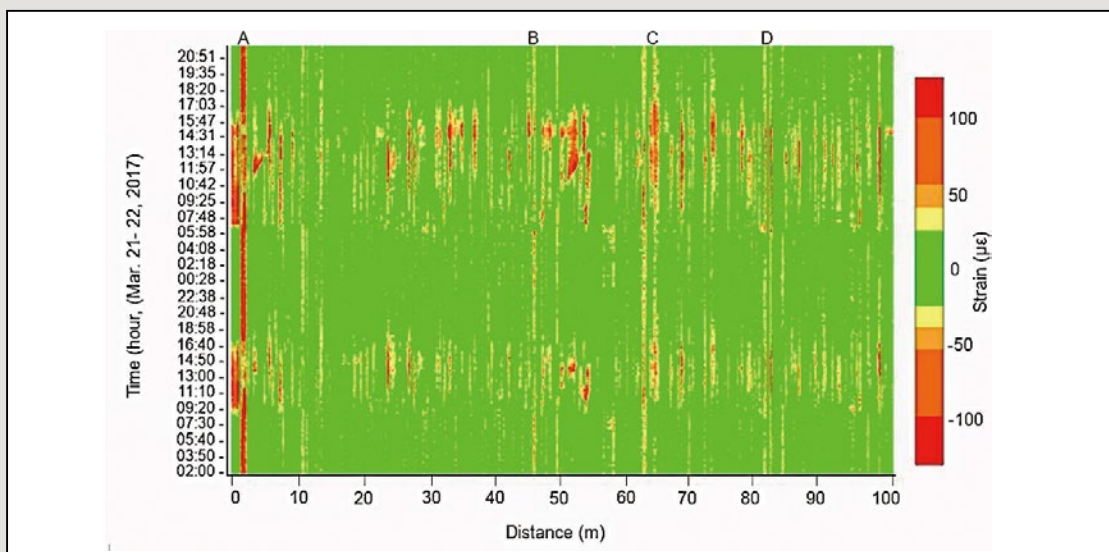


圖7 鋼軌應力分佈圖

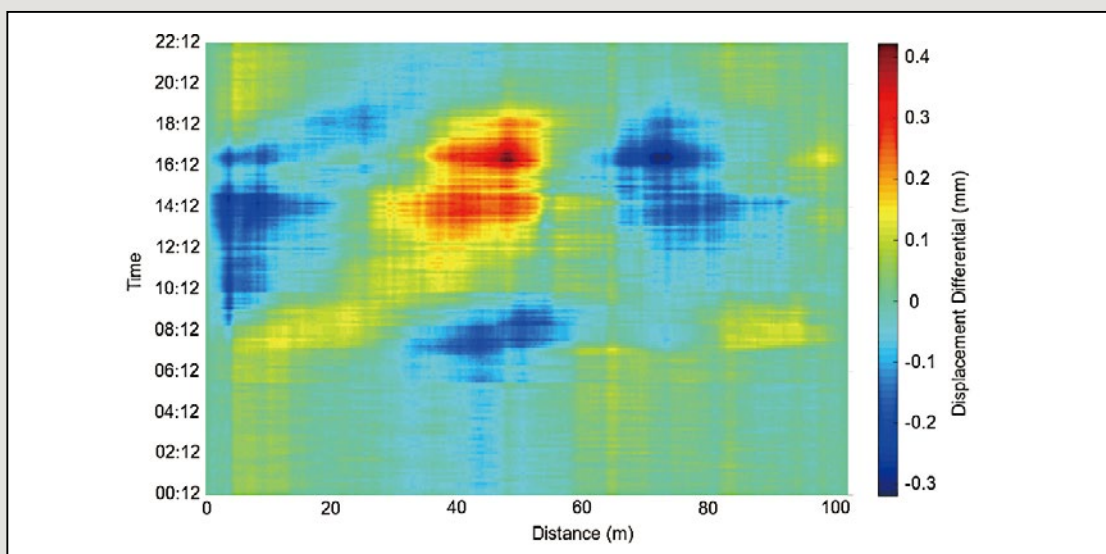


圖8 沉陷量分佈圖

就國內近年常見的鐵路地下化工程來說，由於受用地徵收困難之限制，以致可施工的空間非常狹窄，常造成開挖作業緊鄰軌道邊界。特別是連續壁之施工，幾乎都緊鄰軌道邊，施工風險高。此外，如果連續壁經過高架陸橋下方，也因橋下淨高有限，需採限高型連續壁機組進行挖掘，鋼筋籠也需經多次焊接組立，無法在1-2天內完成連續壁混凝土澆置，此將衍生更高的施工風險。當連續壁開挖區發生坍孔時，因都會區的地質條件通常都不好，容易衍生鐵路路基下陷，影響列車行車安全。針對此類情境，施工單位多以連續施工，及要求廠商增派人力定期檢視來因應。萬一發現狀況，也可及時通報鐵路局阻止列車通行，並進行後續搶修作業。

先前曾有某市區鐵路地下化工程，在執行臨軌側連續壁施工時，因經過陸橋下方，且受限環評承諾無法於深夜連續施工。故要求施工人員需每小時進行巡檢作業。在某次巡檢時，負責巡檢人員聽見連續壁導溝有異聲，且揚起明顯波浪。該人員直覺判斷連續壁開挖面應已發生抽坍，立即檢視鄰近軌道並發現路基已坍陷數公尺，造成部分鋼軌懸空。所幸事發當時，並無列車通過，故緊急通知鐵路局封閉該

路段列車行駛，並立即緊急灌漿回填，再由鐵路局道班人員加強整碴，直至恢復至可安全行駛狀態後才離開。

上述案例未造成事故，雖可歸功於施工團隊具有安全意識，知道臨軌側施築連續壁會有坍孔風險，安排經驗豐富之施工人員加強巡檢，並依據標準作業程序，於發現軌道有異即刻通知鐵路局，封閉該路段列車運行，避免發生事故。但如果該計畫能導入分布式光纖感測系統，即可以系統「全區段監測、快速密集測量、全天候運作、自動化告警發布」的長處，來協助人力巡視，針對高風險區域，更可加密監測頻率，即時掌握路基狀況，相信對於確保列車行車安全與工程施工安全，必有極大的助益。

除此之外，由於光纖監測之辨識度甚高，當路基底部因施工而影響路基承载力時，即使僅有些微變形量(0.1mm)，都可藉由光纖監測技術，即時掌握其變形趨勢，而得以事先因應處置。不需等到實際發生路基下陷後，再來緊急處置，可顯著的提升施工安全性。



## 二、深開挖連壁變形監測

這個案例位於英國倫敦地鐵帕丁頓車站 (Paddington Station)。是由劍橋大學智慧建築中心、愛爾蘭科克大學土木工程研究所、當地工程公司及測量業者共同設計並執行，針對車站地下層開挖期間的連續壁撓度變動狀態監測。[5]

該車站採用明挖方式施工，開挖面積  $6026\text{m}^2$ ，開挖深度為  $19\text{m}$ 。由於工區緊鄰當地的歷史建築指定保護區，業主必須謹慎施工避免鄰房毀損。工程團隊為確保連續壁變形狀態在設計範圍內，全面導入分布式光纖感測技術，以自動化方式密集測量開挖過程中的變化，隨時提醒異常並告警。在此引用原作者對此監測案例的結論：「連續性光纖測量揭示了開挖過程中的連續壁牆撓度分佈狀況，與傳統

的傾度管方法以及有限元分析的結果是一致的，證明了其在監測地下擋土基礎設施方面的適用性。」

車站開挖順序是：潛盾隧道先行，再向下開挖  $5.2\text{m}$  至大廳頂版，橫向支撐加固完成後，再向下開挖  $5.2\text{m}$  至大廳底版，隨後再開挖進入隧道層。在地面開挖之前，已經先行在外側安裝傾度管預先監測。而在連續壁部分，感應光纖被固定在鋼筋籠的側面，並在底部形成迴圈後再回到地面段。感應光纖已經預先做成纜線，不受混凝土酸鹼值侵蝕與水化熱影響，也可以對抗鋼筋籠下放過程的拉扯與壁面摩擦(圖9)。

圖 10(a) 顯示開挖到大廳層的連續壁位移狀態。分布式光纖感測系統所觀測到的數據及曲線趨勢與 FEM 設計值一致，並且比傳統的傾

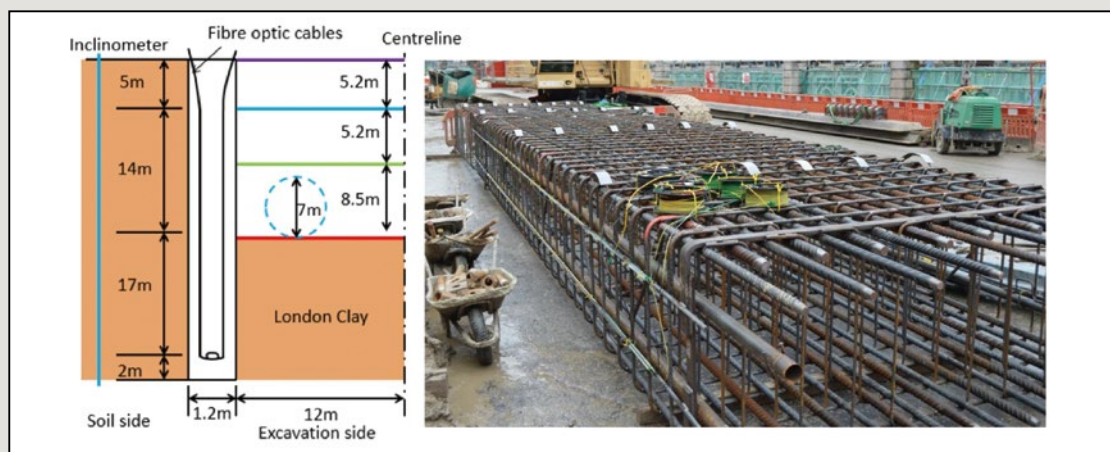


圖9 鋼筋籠及光纖鋪設位置

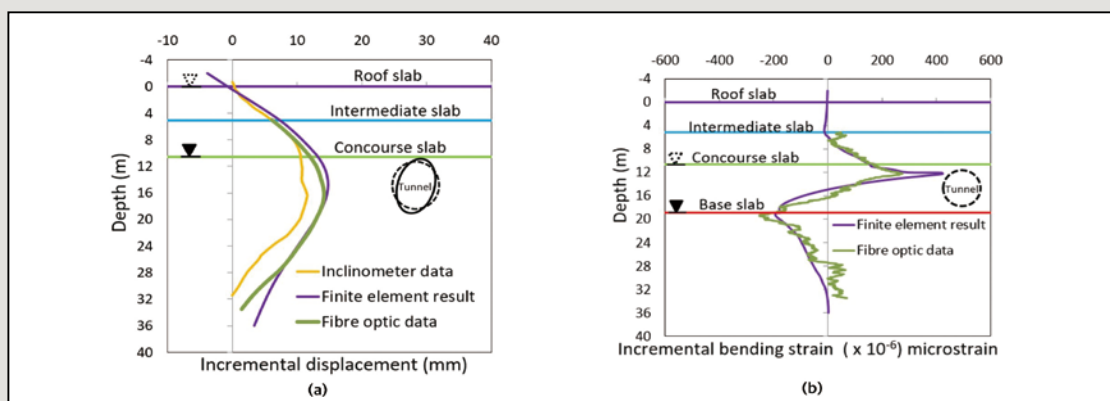


圖10 測量與比對結果

度管所測得的數值更佳。圖10(b)則顯示開挖到隧道層的連續壁應變分佈狀態，可以了解連續壁在大廳底版、隧道及隧道層底版之間的應變分佈。測量結果顯示連續壁在此處有 $-200\mu\epsilon$ 到 $+400\mu\epsilon$ 的應變，分布式光纖感測系統所測得數值也與設計數值相符。

### 三、超高建築的樓高短縮測量

另外一個案例，我們藉由「國際智慧建築結構健康監測(SHMII)」第8次年會(澳洲, 2017)」的其中一篇報告，來說明分布式光纖感測技術在現代大樓建築的貢獻。

這是由來自英國的劍橋大學智慧建築中心及工程建築團隊共同測量成果[6]。該建築是樓高163m，共50層樓的住宅大樓，主體結構於2016年10月開始進入地面層施工，2018年10月完工。分布式系統與感應光纖的設置事先經過設計，能在大樓逐層向上搭建之時同時嵌入鋼筋結構內，無需重新配接，並且能夠不中斷的進行測量。

工程團隊在西南二側支柱的主筋以及中央承重牆的主筋位置分別安裝了感應光纖，分別是外支柱的C8, C9，以及在中心塔柱承重牆的W1, W2之處。感應光纖綁紮在垂直主筋上，隨後會隨混凝土澆注而嵌入結構當中，如圖11所示。

由於高樓逐層建造時，底層結構將承受重量而致樓高短縮。雖然業主及建築師在設計時已經將此因素納入設計範疇內考慮，但實務經驗上了解樓高短縮的現象並無法如預測般的順利呈現，甚至有時因為臨時工程的改變或是負載設備的改變，導致各樓層高度並不一致，甚至在同樓層平面的各位置也有差異，導致在外牆安裝施工時造成影響。業主希望藉由分布式光纖感測技術的連續分佈測量的功能，明確掌握樓高短縮與樓層沉降狀態，使建商可提前進行工程回饋及對策因應。

圖12中數據顯示從1樓到17樓，在C8, C9二個外部支柱以及W1, W2二個中央承重牆的測量結果，軸向短縮量是以負值表示。由於施工期間有其他工程因素考慮，因此部分時間並沒有測量數據。在相同的刻度中比較可以發現，建築物樓高的短縮並非平均，且在同一個樓層的不同位置裡，依然會有樓高差異。另外工程團隊特別指出，在比較過當地氣溫資料後，也可以看到在某些相對溫暖的日子裡，大樓相對地長高了。

本案在測量期間有發佈了一個異常事件。在2016年11月4日系統監測到W1承重牆有明顯的變異，如圖13。經過查核，發現是當天的脫模平台從承載的千斤頂轉移到了W1牆的鎖付插銷上，導致了1.2mm的局部短縮。雖然軸向長度

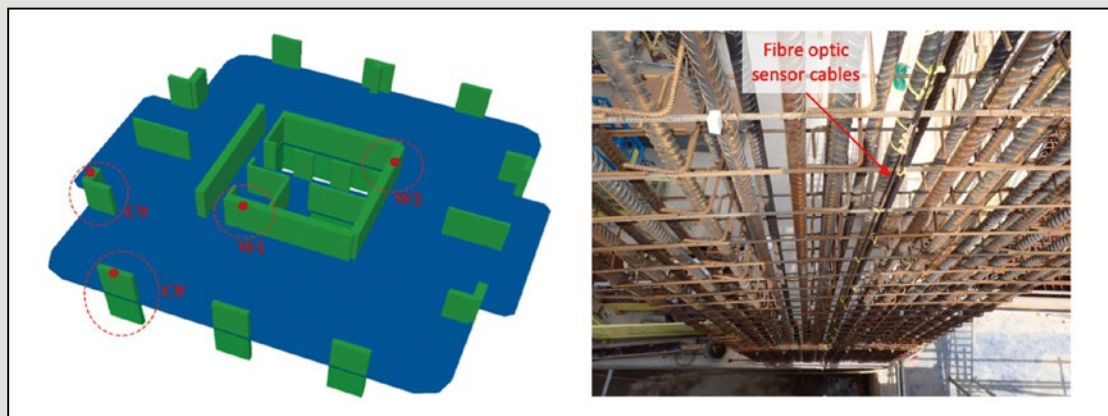


圖11 超高大樓的光纖安裝位置



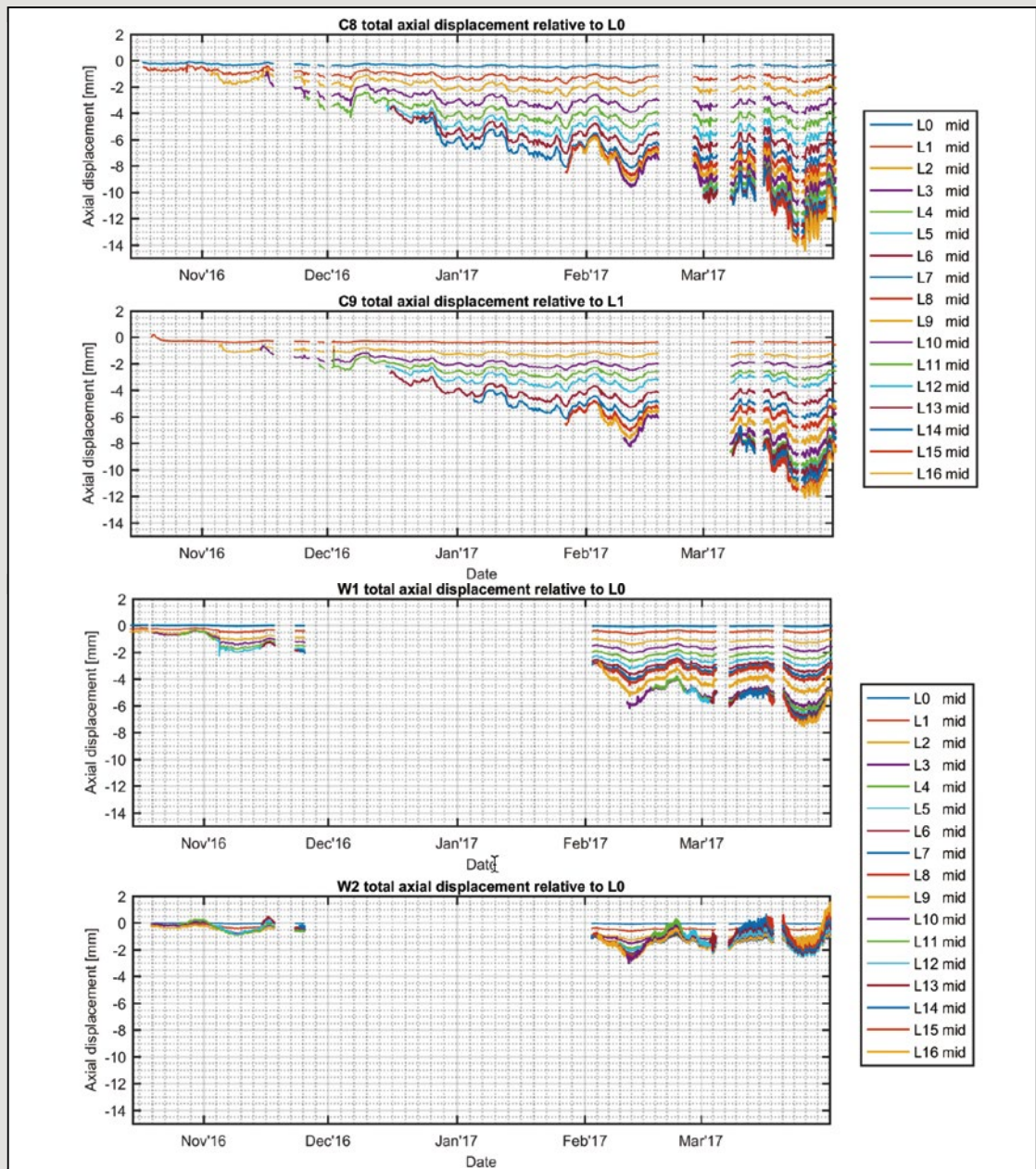


圖12 樓高短縮測量結果。

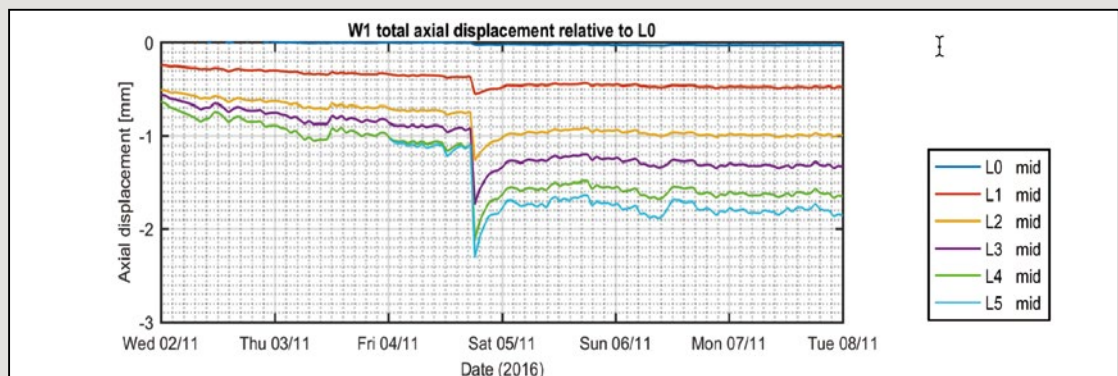


圖13 承重牆變異紀錄

在脫模平台轉移後立即逐漸回復，但依然在牆上留下了累積殘餘變形。因為該案是由系統連續測量與紀錄，如果是定期人工查驗的話，相信就無法獲得這樣的測量數據。因此這個案例也說明了分布式光纖感測「空間連續、時間連續」的系統優點。

## 肆、其他應用領域

國內工程業界對於分布式光纖的應用雖然起步較晚，然而在高速鐵路橋樑、土中傾斜管、橋樑基樁、地震研究、CO<sub>2</sub>地下儲留…等工程與專業領域，均已有各種成果，顯見這樣技術已經在產業間逐步獲得重視與導入。

而在國外工程業界，分布式光纖感測技術已經行之有年，更由於先進國家的土木產業界與工程環境對新技術的信任與投入，因此有大量應用成果；就公開資訊所知的實際成功案例即有：美國懸索橋索力損失監測、英國隧道盾盾掘進監測、奧地利NATM隧道襯砌施工監測、

法國核廢料隧道變形長期監測、日本阪神高速道路橋面監測、日本新幹線列車聲紋測量、韓國列車轉向架監測…等不勝枚舉。

最後，我們利用心智圖模式整理了應用領域及案例，將分布式光纖感測系統在交通建設、土木工程、場域安全、地層活動監測、石化工廠、油氣井開採、電力傳輸及材料分析…等領域做區分，提供一個這項技術的完整應用輪廓(圖14)。

## 結論

在這篇文章，我們介紹了分布式光纖感測技術的基本原理，也說明了這項技術與其他準分布式技術及單點式測量的差異。我們嘗試跳過複雜的光學模型、散射頻率解析、溫度應變分離…等學術演算探討，直接以實際在國內外的案例及測量數據進行說明，希望這樣能夠從工程實務角度出發，引領讀者先進們了解這項技術的優點與價值。

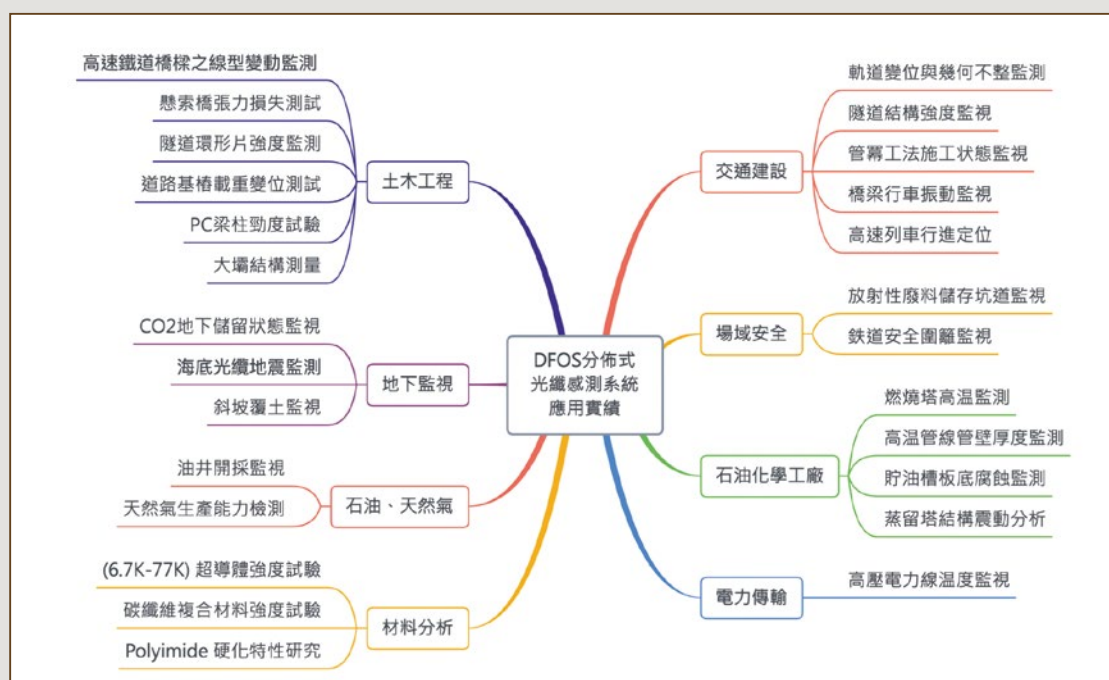


圖14 分布式光纖感測技術實際案例



分布式光纖感測系統可以測量到受測物的「應變、變位、微振動、溫度」等多項物理量。由於感應光纖可以與各種受測物緊密結合，並且可以不用配置額外的電源與線路，更可在光纖感測儀上取得大量精確的測量數據，在長距離、大範圍、高敏感性的測量場域中，性能表現相對優良，適用在鐵路、隧道、連續壁…等土木結構及地工設施上。

期許分布式光纖感測技術可有效地協助工程與營運管理，特別能在國內日益蓬勃的土木建築產業中能發揮綜效，使國內的工程技術可以匡助國家建設而成為智慧生活之完整結構。

## 參考文獻

1. 廖顯奎, 鄭旭志, 江家慶, 林淑娟. 光纖原理與應用技術, pp. 63. 五南圖書. 2012. ISBN: 978-957-11-6683-4.
2. Ferdinand, P. The evolution of optical fiber sensors technologies during the 35 last years and their applications in structural health monitoring. In Proceedings of the EWSHM—7th European Workshop on Structural Health Monitoring, Nantes, France, 8 - 11 July 2014; Université de Nantes: Nantes, France, 2014; pp. 914 - 929.
3. 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会. 分布型光ファイバひずみセンサ 建設分野向けマニュアル, 2021.
4. Hsu W.K., Lee Y. L., Kuan T. T. Brillouin Frequency Shift Sensing Technology Used in Railway Strain and Temperature Measurement. Appl. Sci. 2021, 11, 7101. <https://doi.org/10.3390/app11157101>
5. Li Z. Soga K. Kechavarzi C. Distributed fibre optic sensing of a deep excavation adjacent to pre- existing tunnels. ICE. 2018-09-28. <http://dx.doi.org/10.1680/jgele.18.00031>
6. N. de Battista, N. Cheal, R. Harvey, C. Kechavarzi. Monitoring the axial displacement of a high-rise building under construction using embedded distributed fibre optic sensors. The 8th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure. Brisbane, Australia. 2017.









# 結構健康監測 的定位與價值

關鍵詞(Key Words)：監測(Monitor)、價值(Value)、資產管理(Asset Management)

澳洲昆士蘭州註冊土木工程師／陳銘鴻 (Chen, Ming-Hung) ❶

財團法人中華顧問工程司／設施技術中心／主任／蔡欣局 (Tsai, Hsin-Chu) ❷

財團法人中華顧問工程司／設施技術中心／正工程師／黃進國 (Huang, Chin-Kuo) ❸



## 摘要

一座橋梁之所以會需要安裝結構健康監測系統有四個原因：一是結構參數的不確定，二是為降低風險，三是為減少維護成本支出，四是為作為決策的參考。適當的使用監測可以有效的提昇橋梁維護管理作業的品質與效率，同時可以減少維護成本的支出，更重要的是降低橋梁發生重大損壞事件的風險。一套好的結構健康監測系統需要有事先周全的設計與良好的安裝施工，同時要配合妥善的資料擷取記錄與判讀，更重要的是，必須套用於需要監測的橋梁上。



## Role Definition and Value of Structure Health Monitoring

### Abstract

There are four major motivations to consider installing a structure health monitoring system (SHM) to a bridge: uncertainty in structure parameters, reducing risk, cut down maintenance cost, and providing critical information for strategy decision. Applying structure health monitoring adequately can remarkably enhance the quality and efficiency of bridge maintenance management at a lower cost. Furthermore, the most benefit is decreasing the risk of catastrophic event occurrence. A proper structure health monitoring system should be well designed and installed carefully. Sophistical data acquisition and analysis is key factor as well. On top of these factors is, put on a right bridge needed to monitor.



## 壹、前言

結構健康監測(Structure Health Monitoring, SHM)一詞在土木工程界並不陌生，但其解釋可謂是各有所表。Monitoring的中文翻譯一般譯為“監測”，但在牛津字典的字義解釋是有“持續觀察某一事物的演變”的含義(Observe and check the progress or quality of (something) over a period of time, keep under systematic review)，因此在橋梁目視檢測報告中經常會在損傷構件的建議事項中註明對某一構件持續監測其變化/劣化演變，此時所稱的監測方式可包括定期目視或以儀器量測的方式進行，例如變位、裂縫尺寸等。所以安裝儀器在結構物進行長時間連續量測的作法算是監測方式的其中之一。

結構健康監測在台灣的發展已超過30年，在學術界與工程界有各式的期刊與研討會多有探討各項先進的監測技術、訊號分析方法、資料傳輸與儲存等。然而，從整體橋梁維護管理的角度而言，究竟結構健康監測在其中該當如何加以定位？又具有何等價值？這一部分的討論似乎較少聽聞。本文試著從橋梁維護管理的觀點切入，說明結構健康監測在其中的角色與定位、經濟價值所在以及合適的建置時機，最後再簡述建置監測系統時應注意事項。

## 貳、結構健康監測的定位

結構健康監測是利用裝設在結構物上的感測系統以監測結構的行為並評估其健康狀態，其目的在準確又有效率地監測結構物在現地的行為反應，以評估結構物在不同的服務載重下的行為反應，據以偵測可能的損傷或劣化並進而判別結構物的健康狀況。有些時候人們以為結構健康監測不過就是安裝一些感測計在結構物上，此種說法僅止於資料收集的概念，這也是人們會認為監測是一種要價不匪的物品的主要

原因，因為不瞭解監測可提供極富價值的資訊與知識，像是提供未來設計參考所需的知識。[Chan, 2020]

簡而言之，監測技術包含兩大概念：安裝於結構物上的感測計，以及如何取得有關結構物行為反應的有用資訊。結構健康監測的角色在於確保結構物的健全性，降低維護成本，以及延長使用壽命。監測可以減低分析參數的不確定性，並且可以適當的依據以調整分析模型，產出更為真切的預測成果。

### 一、目視檢測與監測

工程界對於目視檢測與監測優缺點的討論存在已久，各方的支持者總是宣稱他們的方法比對方有更多的優點。一般普遍認為目視檢測屬於傳統既有的橋梁維護管理方法，而監測則是應用新科技而生的先進作法。誠如加拿大的ISIS(Intelligent Sensing for Innovative Structures)所指，“促使採用監測作業的原動力是來自於對於傳統目視檢測所受的限制的瞭解，以及評估時又使用偏保守的規範所致”。表1表列了目視檢測與監測的適用性及可能受限情形作一比較。

由表1的整理可知，無論是目視檢測或是結構健康監測，都是為了要找出結構可能出現的損傷並作為處置決策的依據。目視檢測與監測是兩套相區隔但並不相排斥的方法，事實上，結合目視檢測與監測的混合作業方式將可以最為有效的獲得想要的結構狀況評估資訊，以得出最佳決策。

### 二、結構評估之四個層級

結構分析(Structural Analysis)、結構工程(Structural Engineering)、資產管理(Asset Management)、企業管理(Business Management)分別為自微觀到宏觀的橋梁四項不同階層的評

表1 目視檢測與結構健康監測之比較 [Agdas, 2016]

|        | 適用性                                                                                                                             | 局限性                                                                                                                                                                    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 目視檢測   | <ul style="list-style-type: none"> <li>全面檢測整個結構物而不限於特定構件或特定損傷類別</li> <li>對於規模不大的橋梁多半足以概略瞭解結構之健全性</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>檢測時間點僅在當下而非晝夜不間斷</li> <li>檢測成果的良窳端賴檢測員的主觀研判</li> <li>結構內部的損傷難以察覺</li> </ul>                                                     |
| 結構健康監測 | <ul style="list-style-type: none"> <li>適於較大型橋梁具有深層損傷的疑慮而需詳加瞭解者</li> <li>若僅要評估瞭解橋梁的某一特定行為反應時可選用短期監測，長期監測適合掌握橋梁的全面健全狀況</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>系統建置費昂貴並需討論其投資回報率</li> <li>各式監測系統因功能而異以致於多樣且複雜(土木工程界對IT常有所排斥)</li> <li>監測系統建置後需有專責人員作後續維護及監測資料分析</li> <li>監測資料判讀權責問題</li> </ul> |

級。不同的層級所關注的問題重點存在顯著的差別，甚至所使用的詞彙也不盡相同，但其共同目標都是作好橋梁維護管理作業。裝設監測系統是橋梁維護作業的手段之一，該作法在四層維護階層中的屬性表列於表2。

表2 結構評估之四個層級 [Heldt, 2019]

| 決策層級 | 考量要素                                                                                                                                            |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 結構分析 | <ul style="list-style-type: none"> <li>確認分析模型參數、材料性質及邊界條件</li> <li>靜、動態反應驗證</li> <li>分析模式校正</li> </ul>                                          |
| 結構工程 | <ul style="list-style-type: none"> <li>真實外力作用情形之確認(車載、風力、地震力、水流沖擊等)</li> <li>荷載條件的統計與或然性評估</li> <li>贅餘度、檢測可及性及延展性之考量</li> <li>可靠度之預測</li> </ul> |
| 資產管理 | <ul style="list-style-type: none"> <li>結構行為特徵指標之變化</li> <li>風險確保</li> <li>盡職查核</li> </ul>                                                       |
| 企業管理 | <ul style="list-style-type: none"> <li>綜合前三項是否研判符合企業目標</li> </ul>                                                                               |

部分監測從業人員著重在結構分析層級，全心致力於各項參數的探究以求建構出一套經由實測數據驗證後的準確的結構分析模型。然而，若從資產管理乃至企業管理者的角度，往

往更為在意的是監測系統所能帶來的風險控管的信心提昇以及對於整個橋梁維護作業所帶來的效益。因此在評估一套結構健康監測系統的成敗時，應該要同時考慮從不同的思考層面來作檢視，並且儘可能使用其它層級的人士所能理解的文字來加以說明。

## 參、監測的價值

前聯合國秘書長安南(Kofi Annan)曾在1999年的演說中提到，“要建構一個習於預防式維護管理的文化(culture of prevention)並非容易的事。預防式維護管理的特色是「現在先支出，在之後的將來再得回報」。然而，這樣的回報並非是有形的報酬，而是災難的沒有發生。” [UN/ISDR, 2006]

但是，要如何估算“災難的沒有發生”的價值呢？

### 一、監測的根本價值

一言以蔽之，監測的根本價值是“因為監測得到的資料而作成的決定/決策”。試想，面對一座有疑慮的結構物，如果沒有監測資料作



參考，這座結構物會如何處置？又會有什麼樣的風險？而在有監測資料作研判後，相同的問題再問一次：這座結構物會如何處置？又會有什麼樣的風險？這兩種情境下所作成的決定/決策的差異，與後續風險高低的差別，就是監測所能提供的價值。

若無意外，監測系統建置後便可以讀取到數據(data)，但是數據必須要經過處理研判後才能成為資訊(information)，而經監測取得的資訊是要能提供作為後續的決策參考甚至依據才稱得上是價值。

資訊的價值(Value of Information, VOI)是監測的經濟效益，而此經濟效益的高低取決於事先的風險評估。在一座已知風險極高或是極低的結構物上裝設監測系統是沒有必要的，因為事先就可以研判風險高的結構物需要補強或重建，而風險低的結構物則不需要有多餘的作為。反之，對於風險程度難以確認的結構物，則各種處置作業的可能空間很大，而不同的處置作業方式也代表不同的維護成本及對應的風險程度，此時適時的利用監測資料的取得來作合理適當的處置決定，便是監測作業所能提供的最佳貢獻。[Caprani, 2020]

## 二、監測對橋梁維護管理的效益

部分人士認為在橋梁上裝設一套監測系統如同是買一份保險，因為都是要額外支出的一筆費用。但是監測不同於買保險。購買保險固然是要支付保費，但是保險合約中同時也會載明理賠金。監測系統發現到問題並沒有理賠金可以領，其報酬方式是藉由監測得以及早發現問題而能及早因應，以免除萬一橋梁嚴重毀損所造成的社會經濟成本損失，乃至於對於工程品質信譽的打擊。

除此之外，監測對橋梁維護管理的效益包

含以下七點：

- 減低需要持續檢測及維護的成本
- 提昇對結構物行為反應的掌握及增加耐用性
- 及早發現損傷情事
- 確認結構物的強度及服務性
- 減少因檢測與維護所需的停工
- 提昇維護管理的策略彈性以使資源更有效分配使用
- 鼓勵與促進新材料/設計/工法的創新與應用

## 三、監測的時機

在不考慮道路路網(network)的重要性差別下，適合考慮安裝結構監測系統的時機有下列五項類別：[Austroad, 2018]

- 已有嚴重損傷的結構並已規劃整修或重建，但在改善工程落實之前須先進行監測以確認結構仍屬安全。
- 結構物有難以解釋的異常行為反應，故藉由監測來加以瞭解。
- 新材料/設計/工法的應用，藉由監測來加以驗證。
- 結構物被評定為承載能力不足，但在外表上並無明顯不適，故藉由監測來加以確認。
- 結構遭受地震、撞擊、洪水或沖刷等外

力事件影響後。

## 肆、監測系統的架構及考量

監測系統主要功能，是將結構以及現地環境之各項反應狀況，包括(1)應變；(2)變位；(3)轉角；(4)裂縫；(5)作用力；(6)溫度；(7)潛變乾縮；(8)腐蝕；(9)動力反應；(10)沖刷淘空；(11)交通量；(12)超載行為等，依照各類型之觀測項目選擇，選定感測器種類以及資料擷取系統，透過現地之感測擷取機制(Data Acquisition System, DAS)適當的轉換成可讀性的資料型態，利用設計之資料傳輸架構將監測資料遞送至中央處理系統，進行整理、儲存、分析等工作，並由警報控制系統執行特定之事件觸發警報程序，而遠端使用者則可透過監看查詢程式，達到即時之監看功能。[王仲宇, 2004]

### 一、系統規模及成本考量

監測系統對結構物行為的掌控，以及能否真實反應其服務性能與安全狀態，監測項目、位置、數量的多寡，即系統規模與完整性，為主要的影響因素之一。系統規模愈大，監測項目愈趨完整，想必然對於結構行為的掌握就更為精準，相對付出之建置成本與維運成本亦將大幅提升，因此在系統規模與成本考量兩者間，就須有所衡量取捨。

對於新建結構，其初始狀態如同初生兒的臍帶血，一旦過了就再也無法取得，監測系統的架構應盡量以可完整取得結構初始狀態進行規劃，後續長期監測的架構，則可視完工初期的監測資訊、載重試驗，輔以數值模擬分析來決定所要監測的關鍵構件、項目與位置，配合維護管理作業既有的定期檢測，以及全生命維護成本分析，進而精簡整體系統規模與長期維運成本。

### 二、安裝監測系統之注意事項

如3.1節中所述，監測取得的數據需能轉換成有參考性的資訊才能展現其價值，所以事先必須先擬妥儀器安裝計畫(instrumentation plans)以確保所裝設之監測系統可以完整的收錄到擬分析的資訊。儀器安裝計畫內容至少應包含：監測目標、監測期程、待量測參數、所需取樣頻率、感測計類別、佈線需求、現地資料擷取系統、儀器線路保護及電源供應等附屬設施、感測計佈設方式、交通維持計畫、監測系統維護計畫、資料連線傳輸方式、資料儲存及備份，以及資料分析判讀之權責劃分等。

### 三、現地情況考量

現地的地形等環境條件會對於感測計的安裝方式有著關鍵性的影響，例如：

- 環境敏感區域或文物古蹟等，對於感測計的裝設乃至於使用的機具設備等都可能有所受限而需要額外的斟酌。
- 倘使監測地點屬於一般民眾可及的場域，則必須考量監測系統可能受到蓄意或無意的干擾，而必須防範於未然。
- 若需要進行載重試驗，則必須安排鄰近合適的迴車地點。
- 監測系統建置後的維護作業，是否儀器設備可能被植被掩蓋或遭土石掩埋等。
- 事先瞭解現地的溫差、濕度變化、水位高低變化、可能的電磁波干擾。
- 沿海等高腐蝕環境區域，對於現地感測器、線路、機箱等設備材料耐久性與保護措施，應充分考量。



- 位處偏遠、山區等可能通訊品質不佳環境，應事先測試並妥善規劃較佳的通訊方式。
- 如屬常有落雷之環境，應裝設必要的防雷擊裝置，減少落雷造成的儀器損壞、系統故障及維護成本。
- 為避免環境干擾、異常損壞造成監測系統中斷的情事發生，對於擷取系統、供電系統及通訊系統架構規劃，應有備援設計。

## 結論

面對監測技術內容的多樣複雜性，參與者不只需具備土木工程的专业知識，同時也必須涉獵力學、光學、電學、機械製作、資料分析、損傷識別、影像識別、通訊技術、資訊科技等多種不同領域的專業技能，因此容易使人望之卻步，或是局限於專注在其中的技術瓶頸上。監測從業人員或許難以將監測的技術項目詳細的說明予相關人士知悉，但是對於所監測的成果資料將會對橋梁的維護管理產生何種成效，理應所有監測計畫參與者皆該清楚理解，並且對業主甚至用路人就此詳加闡述是責無旁貸。

## 參考文獻

1. Tommy Chan, ANSHM Newsletter, Issue 23, March 2020.
2. Duzgun Agdas et al. "Comparison of Visual Inspection and Structural-Health Monitoring As Bridge Condition Assessment Methods," J. Perform. Constr. Facil., 2016, 30(3).
3. Tim Heldt, Neal Lake, Hanson Ngo, Joshua Seskis and Edward Eskew, "Bridge Management - Using Structural Health Monitoring", 9th Australian Small Bridge Conference 2019, Gold Coast.
4. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), "Making the case for disaster risk reduction in Africa", December 2006.
5. Colin Caprani, Shaohua Zhang and M. Shihab Khan, "What is the value of SHM?", 12th ANSHM Workshop, 2020.
6. Austroads, "Guide to Bridge Technology Part 7: Maintenance and Management of Existing Bridges", 2018.







# 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」，中國土木水利工程學會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，「高屏溪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

本期(137期)主題為「營建區域連結與智慧幸福好宅」，隨著現代科技進步，政府建設計畫亦配合轉型，營建產業將導入創新科技技術，「營建區塊連結」聚焦於透過科技化工具、新工法及營建自動化，降低高風險作業之困難度，並有效降低營運成本，主要內涵為分享道路、橋梁、大眾運輸系統之應用經驗。而「智慧幸福好宅」則是利用人工智慧，導入不同層次之能源管理系統，結合資通訊科技技術，響應政府綠能政策，提供住宅生活好品質。

特別感謝交通部高速公路局趙興華局長及前臺北市府都發局黃一平局長，百忙之中撥空接受本刊專訪，並給予政府綠色能源政策之發展方向、未來少子高齡化趨勢處理對策、缺工缺料之建議作為以及交通路網區域連結之規劃方向等，提供許多工程實務面經驗分享。最後感謝撰寫專題的諸位作者貢獻心力，提供寶貴的實務經驗分享，很值得提供各界參考，在此一併致上謝忱。



## 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>





# 夢想和幸福

## 零距離的接軌

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



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

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