

# 中 | 華 | 技 | 術 | 116

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2017. 10. 31 出版

## 營建管理之 傳承與創新



台北郵局許可證  
台北字第3758號

專訪人物／

行政院公共工程委員會主任委員吳宏謀

國立成功大學校長蘇慧貞

民視林口數位媒體總部大樓新建工程委託施工  
管理服務暨應用BIM經驗介紹

蘇花改南澳北溪脊背橋施工實務

「浮沉台船工法」與「陸上軌道工法」製作沉  
箱之施工實務比較

大型倉儲建築之工期及經費分析—以國泰人壽  
台中烏日電子商務大樓新建工程為例

 財團法人中華顧問工程司 發行

CECI  台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製





營建管理之  
傳承與創新

# CONTENTS

中華技術 116

## 目錄

### 專輯前言

#### 1 | 人物專訪

6. 訪行政院公共工程委員會主任委員吳宏謀談「公共工程的革新與前瞻規劃」.....

..... 整理：陳炳宏·攝影：詹朝陽

22. 訪國立成功大學校長蘇慧貞談「高等人才培育與城市發展」.....

..... 整理：陳懿佐、何應廷·攝影：詹朝陽

#### 2 | 工程論著

36. 結合空中與地上影像之傾斜攝影建模成效及精度評估.....

..... 黃品彰、楊偉盛、張國楨

#### 3 | 專題報導

58. 污水處理廠施工實務—以新竹科學工業園區龍潭基地為例.....

..... 陳世光、呂浩慶、羅世丞、李景棠



發行人 林志明  
主任委員 陳茂南  
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 周禮良  
副總召集人 王昭烈  
116期召集人 李順敏  
116期審查委員 彭國源、陳泓德、鄧建華、周允文、陳志鴻、邱水碧、黃金田  
總編輯 吳淑惠  
副總編輯 李志宏  
執行編輯 袁雅玲  
編輯 詹朝陽、劉彥男、吳小苓、季竺貞  
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 ◎



68. 脫胎換骨—臺鐵新城(太魯閣)站新建  
工程設計特色及施工重點介紹.....

..... 黃鳳岡、邱水碧、黃文宗、王叔鏞、徐士榮

82. 民視林口數位媒體總部大樓新建工程  
委託施工管理服務暨應用BIM經驗介紹

..... 居朝樑、邱水碧、謝宏賢、王叔鏞

96. 蘇花改南澳北溪脊背橋施工實務....

..... 邵厚潔、黃金田、蔡振昌、葉誌新

118. 台20線南橫公路啞口路段高邊坡施工  
案例探討.....

..... 孫百慶、莊友欽、黃少廷

132. 「浮沉台船工法」與「陸上軌道工法」  
製作沉箱之施工實務比較.....

..... 羅勝方、彭國源、陳懿佐、蔡同宏

152. 統包工程之專案營建管理—以高雄環  
狀輕軌第一階段為例.....

..... 洪政豐、謝政璋、江明珊、許朝榮

174. 井式基礎施工遭遇大量湧水之影響及  
解決方案—以台9線南迴拓寬改善工  
程安朔橋梁標為例.....

..... 陳保展、陳志鴻、廖嘉安、沈仕傑、  
賴禹綸、康家銘

184. 大型倉儲建築之工期及經費分析—以  
國泰人壽台中烏日電子商務大樓新建  
工程為例.....

..... 鄧建華、潘其良、黃宗富、陳協良

198. 臺中捷運綠線聯合開發案於卵礫石層  
深開挖施工實務.....

..... 鄧建華、萬立偉、顏君行

210. 桃園機場捷運潛盾隧道施工遭遇大  
卵石之障礙排除.....

..... 郭林堯、巫新煌、汪子翔、廖文彬、李承翰



## 4 | 特稿

226. 獨立電網風、光、氫能源互補發電  
成本與效益分析.....

..... 馬俊強、林伯勳、王富正、陳柏儒

## 編後語



# 專輯前言

營建工程具有內容獨特、風險高、界面多、金額龐大、參與者眾、複雜性高、對環境影響大等特性，而營建管理 (Construction Management) 係於工程的生命週期各階段，應用管理的方法，整合並有效利用有限的資源，達成工期、成本、品質，安衛環保、契約要求等，甚至於完工後順利營運的目標。

營建技術與時俱進，新的發包模式、新的工程型態、新的永續觀念不斷出現，復以資訊科技的導入，使得產業的面貌多樣化，管理的方式亦不得不隨之調整因應，當吾人在融合新舊管理機制，並運用於實質作業之際，也需兼顧衝擊與成效的抉擇。

「管理」是門藝術，難以一言以蔽之，亦無標準答案，所幸管理傳承有其歷史脈絡，對於成功的案例，值得從善如流，再加以延續；對於失敗的殷鑑，除了消極的避免重蹈覆轍，常也是積極創新的契機。本期中華技術以「營建管理之傳承與創新」作為主題，透過產、官、學不同的面向來探討「營建管理」這個議題，特別商請工程會吳宏謀主委接受專訪，分享重大公共建設現階段的推動成效，並闡述未來公共工程推動之重點與施政之方針；本期也拜訪成功大學蘇慧貞校長，暢談蘇校長如何帶領成大邁向一所讓城市感動、國家驕傲的大學之心路歷程；本期很榮幸邀臺北科技大學土木工程系張國楨副教授等先進執筆，為大家介紹UAV(Unmanned Aerial Vehicle，無人飛行載具)的最新發展及其

延伸應用，俾激發新思維活水，創造新世代營建管理之無限可能。

管理之良窳，繫之於「人」。台灣世曦工程顧問股份有限公司(下稱本公司)已成立十年，加上前已蓄聚中華顧問工程司近40載眾多前輩智慧結晶與工程實務，其中「營管事業群」具有約700位營建管理專業人員，為國內最大監造團隊。本公司推行如ISO 9001：2015品質管理系統、TOSHMS職業安全衛生管理系統等國際認證，實施作業流程、文件標準化，並導入資訊與通訊技術，建置ProPM系統(Proactive Project Monitoring，前瞻工程執行管控系統)、PMIS(Project Management Information System，專案管理資訊系統)……等資訊服務平台，落實行動化、數位化營建管理以提昇作業效率，增進即時而完善的卓越服務。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

李順敏

本公司業務範圍涵蓋甚廣，經常參與諸多不同專業領域之營建管理，配合本次主題，選擇營管事業群近期執行之交通、橋梁、港埠、建築、大地、水利、軌道、機電等相關計畫，撰寫技術專文數篇以饗讀者，期能為營建管理之「傳承」略盡棉薄，為「創新」拋磚引玉。



訪行政院公共工程委員會主任委員

# 吳宏謀

談

## 公共工程的革新 與前瞻規劃

整理：陳炳宏 · 攝影：詹朝陽



## 壹、前言

行政院公共工程委員會(簡稱工程會)統籌公共工程之規劃、審議、協調、督導及管考，主掌政府採購法、技師法及工程技術顧問公司管理條例，隨著時空環境的轉變，工程會的角色逐漸自原有的督導考核轉化為輔導與服務。吳宏謀主任委員為中山大學工學博士，歷任高雄市政府工務局科長、處長、局長、高雄市政府秘書長、副市長等職務，資歷完整，學驗俱豐，於民國105年5月就任現職，督導推動國家重大建設並肩負強化工程產業國際競爭力之重任。

吳宏謀博士身兼行政院政務委員及工程會主任委員兩項重要職務，座右銘為「上善若水」，個性圓融且具有絕佳的溝通協調能力，善於調和各方歧異。專訪全程吳主任委員始終態度謙和，對於本刊提問，回答專業、詳細，並展現對於推動國家發展政策的用心與堅持，如「提升公共工程執行之能量與效率」、「活化經濟及提升國際競爭力」、「兼顧環境保護及永續發展」等。

本刊很榮幸能訪問到吳主任委員，在他百忙之中慨然分享過去的經歷、當下的挑戰以及未來的期許，特整理訪談實錄與讀者分享。

## 貳、訪談紀要

問：您除了是行政院政務委員外，亦兼任行政院公共工程委員會主任委員，是否可請您分享兩項職務在工作職掌上的異同？

答：政務委員主要是負責政策及法案之審查、主持專案工作、協調統合各部會意見及辦理行政院長交辦事項等職務。依目前職掌分工，本人負責督導工程會、災害防救、交通部（工

程）、經濟部（水利、循環科技、水資源）、內政部（消防署、空勤總隊）、故宮（工程）等相關業務。而行政院公共工程委員會依組織職掌，為統籌全國公共工程之規劃、審議、協調及督導，並為「政府採購法」、「技師法」及「工程技術顧問公司管理條例」之主管機關。



問：主委曾擔任高雄市政府工務局局長、市府秘書長、副市長等公職，請談談在業務推動上，中央部會與地方機關在工程執行、管理上有何異同？以及您未來在公共工程推動之重點與施政之方針？

答：二邊工作均為民服務卻一樣重要，中央機關負責的是全國性政策，包含法制面的建立及重大建設管考與督導，同時亦須考量地方需求有效予以協助；地方機關則必須考量在地特色及發展需求，因地制宜，貼近民眾需求，提供相關服務。

依行政院107年度施政方針，工程會重點業務為「培養具國際競爭力的公共建設產業」，以及「營造公平合理的公共建設環境」。由於公共工程建設須兼顧環保及人本價值，並考量弱勢族群，因此工程會積極協助各項基礎建設推動，以帶動關連產業投入，刺激內需市場動能；另並協助各機關辦理工程查核及督導，使各項工程更順利推動，進而鼓勵大型公共工程採國際交流方式，培養具國際競爭力的公共建設產業。在營造公平合理的公共建設環境部分，工程會除健全政府採購法規，優化採購環境外，亦積極推動採最有利標方式遴選具履約能力的優質廠商，並以迅速、客觀、公正的態度協助處理政府採購爭議。未來工程

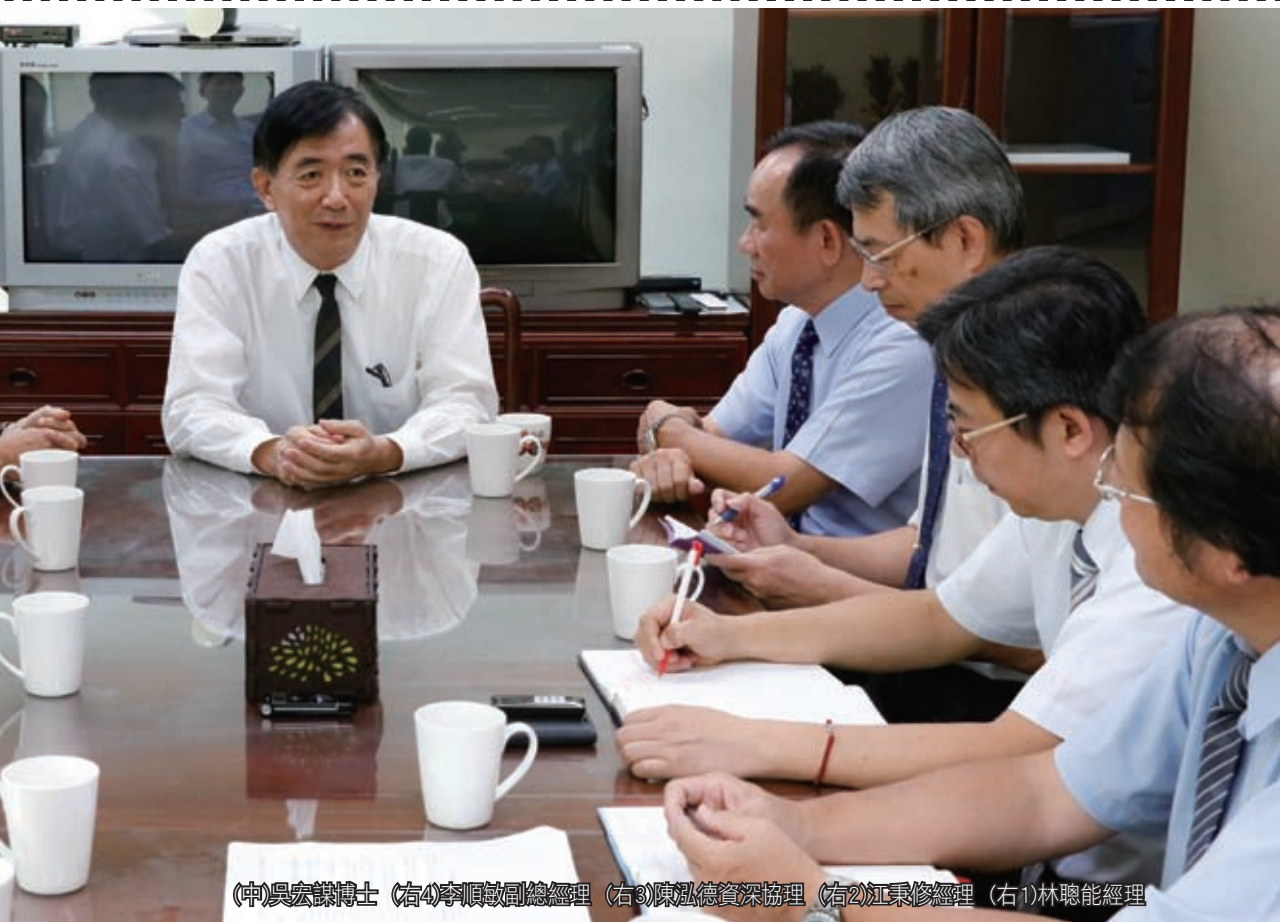


(左1)邱水碧協理 (左2)李正剛資深協理 (左3)王紹烈總經理

會將朝下列方向持續推動：

### 一、媒合及鼓勵公共工程應用再生材料，落實推動循環經濟

部分可再利用之爐碴、底渣等再生材料，因過往未落實流向管理造成環境污染，使再生材料被污名化，導致工程機關趨於保守降低使用意願。工程會已成立跨部會推動小組，要求主管機關及產出單位落實流向管理，盤點可應用項目，優先應用於環保爭議小的工程項目；同時修訂施工綱要規範、建立資訊系統盤點各



(中)吳宏謀博士 (右4)李順敏副總經理 (右3)陳泓德資深協理 (右2)江秉修經理 (右1)林聰能經理

機關用量、以及訂定獎勵措施等，讓各機關敢用、會用、一定要用，以落實循環經濟的政策。

## 二、改革公共工程採購策略，營造公平及優質的產業環境

過去有一些重大國家建設，發生工程推動困難或執行進度延宕等情形，經分析其共通點多為採行最低標決標，無法確認廠商履約能力，同時廠商削價惡性競爭，導致影響工程品質，延宕進度，對勞工安全亦無法提供有效保

障，因此工程會已啟動公共工程之採購改革策略，鼓勵各機關採最有利標評選具履約能力廠商參與國家建設，除營造良性競爭的工程環境，也輔導工程產業正向發展。相關推動措施包括：

- (一) 從源頭管理，督導機關對於採購需求、採購策略等以共識決完成審查，始得公告招標。
- (二) 事先於招標文件公告評選委員名單，力求公開透明，杜絕黑箱作業。



(三) 主動揭露曾發生重大工安職災廠商相關資訊，並要求列為採購評選之重要參考。

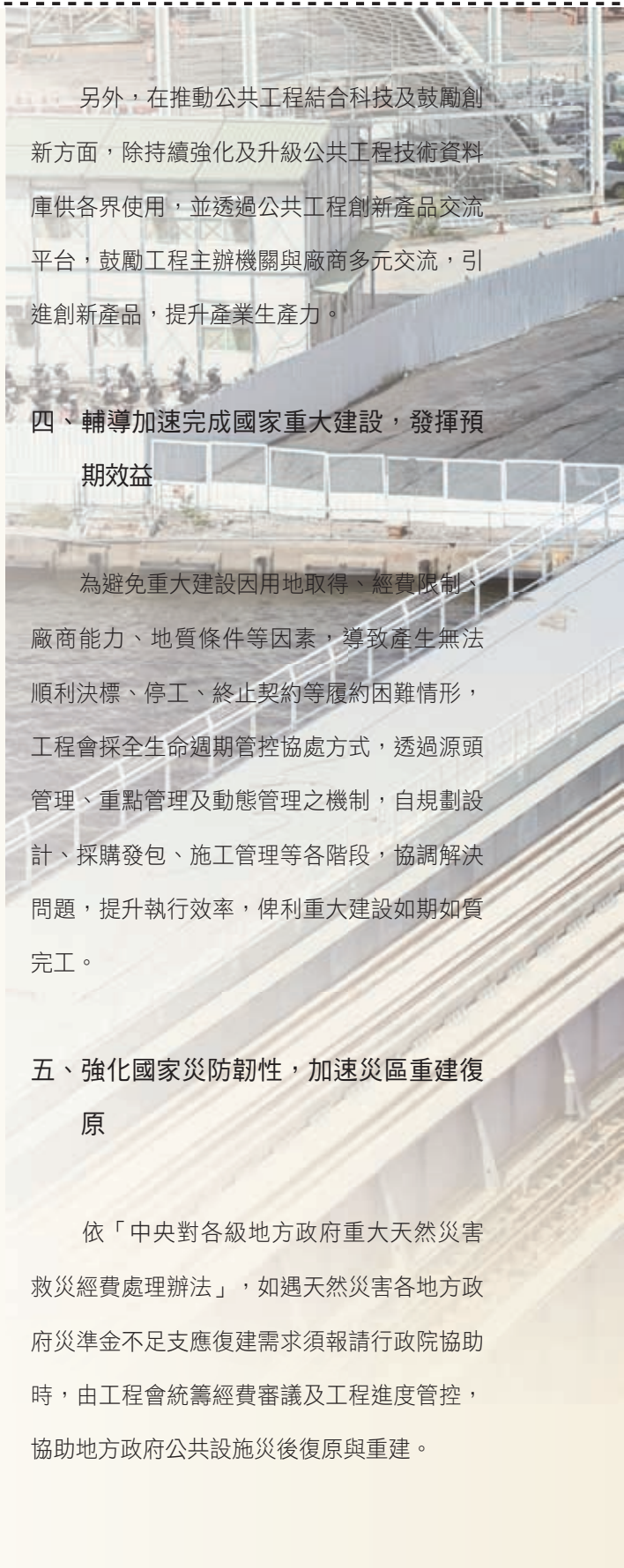
(四) 採購機關如無正當理由採最低標決標，將加強施工階段查核與稽核頻率。

(五) 採最有利標案件，適當給與未得標廠商獎勵金，鼓勵優質廠商參與投標。

其次，工程會也致力於精進政府採購電子化業務，營造公開透明之優質採購環境，包括公開取得電子報價單、電子領標、公告政府採購資訊等，以節省作業時間與成本，並隨時配合法規或業務需要，精進政府電子採購網系統功能。

### 三、輔導國內廠商因應前瞻建設，提升關鍵技術能力，強化產業發展及國際競爭力

考量過去大型採購標案（如軌道、捷運等公共建設）多數由外國廠商得標，卻未培植國內產業升級，爰工程會提出採共同投標、最有利標決標以及全生命週期採購概念等策略，發揮在地優勢，提升國外廠商與國內廠商合作意願，確保關鍵技術根留台灣，藉此提升國內產業實力。



另外，在推動公共工程結合科技及鼓勵創新方面，除持續強化及升級公共工程技術資料庫供各界使用，並透過公共工程創新產品交流平台，鼓勵工程主辦機關與廠商多元交流，引進創新產品，提升產業生產力。

### 四、輔導加速完成國家重大建設，發揮預期效益

為避免重大建設因用地取得、經費限制、廠商能力、地質條件等因素，導致產生無法順利決標、停工、終止契約等履約困難情形，工程會採全生命週期管控協處方式，透過源頭管理、重點管理及動態管理之機制，自規劃設計、採購發包、施工管理等各階段，協調解決問題，提升執行效率，俾利重大建設如期如質完工。

### 五、強化國家災防韌性，加速災區重建復原

依「中央對各級地方政府重大天然災害救災經費處理辦法」，如遇天然災害各地方政府災準金不足支應復建需求須報請行政院協助時，由工程會統籌經費審議及工程進度管控，協助地方政府公共設施災後復原與重建。



1  
人物專訪

吳宏謙博士



## 六、推動低度利用公設活化轉型，充分發揮國家資源效益

閒置公共設施的產生以環境變遷（56 %）及經費不足（44 %）為主要原因，爰工程會針對全國共通性低度使用或閒置公共設施進行系統性整體規劃，並依「閒置公共設施活化補助經費審議執行及考核要點」，透過經費撥補方式，加速活化作業，並就不同閒置原因態樣之設施，透過行政院「活化閒置公共設施督導會議」跨部會平台，協助各機關結合長照、托嬰、青創和觀光等多元轉型再利用。

## 七、提早整合計畫資源，爭取前瞻及重大建設執行時效

有關4年4,200億元之前瞻基礎建設計畫，工程會為加速跨部會間資源有效應用，已預先掌握待審案量、提前參與主管機關審查及優先審查之作法，透過提早盤點、預為規劃方式整合計畫資源，並於執行階段協助排除遭遇困難，加速推動。

## 八、整合國內工程產業，結合新南向政策邁向國際市場

因執行海外工程須面對較多不確定因素（如資金、匯率、人文、風俗、法令與政治

等），潛在風險較高，為協助國內廠商爭取海外商機，我國提出以政府開發援助計畫（Official Development Assistance, ODA）帶動工程產業之金融協助模式，鼓勵銀行提供貸款，並成立跨部會之工程產業全球化平台，透過補助國內工程產業策略聯盟赴海外拓點的初期成本，暢通資訊流、金流及人流，結合新南向政策，籌組五大輸出團隊（電廠、石化、智慧型交通運輸ETC、都會捷運及環保）積極爭取海外標案。以後將逐年提高我國工程產業於海外得標工程件數及金額，紮根亞洲開發銀行市場，增進與國際金融機構的良性互動機會。

## 九、及時有效解決履約爭議，使工程順利推動

工程採購因履約期間較長及契約金額較高，若發生履約爭議經常造成工程進度之延宕。因此，為及時解決履約爭議，工程會推動機關成立採購審查小組，及時有效解決履約爭議，並採行加強教育宣導、落實回饋機制等作法，從源頭減少爭議。工程會另研議調解審議方式之改革措施，以縮短處理時程，提升效能。

問：針對工程會106年度列管之重大公共建設，可否請您與讀者分享現階段推動執行率提升之成效？



台灣世曦配合國家新南向政策辦理吉隆坡捷運工程

答：「工程會積極推動全生命週期協處機制，以服務代替管理，透過每月定期召開之公共建設督導會報，建立跨部會協處機制，並以「走動式管理」方式加強列管，安排現地訪查及召開專案協處會議，掌握關鍵問題，據以管控各計畫重要里程碑。此外，並請各機關盤點新興計畫，提早辦理各項證照許可取得前置作業，另追蹤即將完工啟用案件執行情形，俾利各項工程如期如質完成，提供民眾優質服務，發揮效益。

有關106年度重大公共建設計畫，工程會計列管205項，106年可支用預算3600.7億

元，截至106年第3季止已執行2,085.64億元，分配預算執行率97.67%，整體預算達成率57.92%，較去(105)年同期提高3.15%；另擇定經費規模較大或社會關注之案件計30項加強列管，並辦理現地訪查深入瞭解問題，適時協處各部會排除困難。

另有關4年4,200億元之前瞻基礎建設計畫，工程會除預先掌握案件，加速審議作業外，於執行階段並將按月追蹤管控執行進度(依工程會訂頒之「前瞻基礎建設計畫之公共建設類計畫推動管制作業規定」辦理)，提供必要之協助，以利計畫順利推動。



問：工程會統籌全國公共工程之規劃、審議、協調及督導，包括政府採購、工程技術、工程管理、爭議處理及技術鑑定等業務，請問您在政策上有何創新構想？

答：在政策的創新上，以下就政府採購、循環經濟、建立創新交流平台、建立工程履歷制度及防止工安意外發生等項目，分別說明想法：

### 一、推動巨額工程(新臺幣2億元以上)採購採最有利標

鑑於過去部分重大公共建設採最低標決標，是造成工程延宕原因之一，為扭轉現行各工程機關保守心態，減少採購爭議，並解決最低標決標衍生之問題，工程會已積極推動並鼓勵機關透過最有利標方式遴選具有履約能力之優質廠商。推動作法包括105年9月23日訂定「機關巨額工程採購採最有利標決標作業要點」、「機關採購審查小組設置及作業要點」等辦法，制定「源頭管理、共識決定」、「評選委員名單公開透明」、「妥適訂定採購評選項目」、「適當給與未得標廠商獎勵金」、「巨額工程(新臺幣2億元以上)採最低標且有異常情形者加強稽核查核」等5項具體措施，期提升公共工程品質，改善國內營造產業體質，增加國內廠商競爭力，吸引優秀人員參與國家建設。

### 二、推動公共工程應用產業再生材料，落實循環經濟

為使再生材料落實運用於公共工程，工程會邀集環保署、經濟部、交通部及內政部等相關部會成立推動小組，要求主管機關及產出單位落實流向管理，盤點可應用項目並貫徹使用。執行重點工作包括「要求主管機關督導產出單位落實流向管理，確保材料品質及流向」、「建立資訊系統盤點各機關用量，優先應用於環保爭議小的工程項目」、「編印第三方公正單位驗證認可之使用手冊」、「修訂施工綱要規範」、「舉辦觀摩會、製作懶人包宣導正面案例及訂定獎勵措施」等，讓各機關敢用、會用、一定要用。例如，煉鋼產業生產過程之轉爐石副產品即可應用於道路鋪面，依高雄市政府經驗，能有效節省工程經費及延長使用年限2.5倍；而焚化爐底渣的有效去化則可協助解決縣市垃圾處理問題，建議優先運用於環保爭議小之工程項目，如控制性低強度回填材料、級配粒料基層及底層，可兼顧工程及環境品質。

### 三、建立交流平台，促成機關與廠商交流，引進創新產品





106年1月17日「台北港使用底渣再生粒料」鋪設情形



106年7月14日「轉爐石運用於道路鋪面工程觀摩會」現場情形



106年6月7日「轉爐石使用於瀝青混凝土手冊（經濟部完成驗證）」



106年7月28日「再生粒料運用於公共工程跨部會推動小組第1次會議」

依據行政院主計總處104年「國民所得統計及國內經濟情勢展望」資料顯示，我國營造業就業人口率約與日、韓相當為8%，而營造業年產值占我國GDP約2.5%，較低於日、韓的5-6%，顯示我國營造業若能結合運用創新產品，改變傳統人力施工方式，對於營造業產值提升，應有很大進步空間。爰工程會於105年11月1日訂頒「公共工程創新產品交流平台試辦作業要點」及啟用「公共工程創新產品交流平台網站」，建構機關與廠商間完善的對話機制，鼓勵雙方就創新產品進行交流，除可作為創新產品業者與工程主辦機關間溝通橋梁，使

機關人員勇於接受新知、增進對創新產品熟悉度外，同時也促進廠商瞭解機關業務需求並改善產品功能。

工程會於106年6月邀請已登錄帳號廠商及辦理交流機關召開北區及南區兩場交流座談會，另截至106年8月底止，共58家創新產品廠商申請取得平台帳號，27家廠商就其31項產品提案與機關進行交流，各產業公會及廠商對本交流平台多表示正面肯定與贊同，將持續滾動檢討運作機制。



#### 四、建置廠商履歷資料，推動機關善用選商機制，以促使廠商自主良性機能轉化

為督促公共工程施工廠商確實依契約要求之進度與品質履行合約，並誘導廠商爭取良好商譽，工程會積極推動公共工程施工廠商履約制度，並於105年9月26日修正頒布「公共工程施工廠商履約情形計分要點」。計分要點內容主要係針對廠商履約事實，包含「如期履約情形」、「履約成本與違約金」、「施工品質」、「安衛環保」及「是否遭民眾反映與停權」等五大指標採取公正客觀與公平量化之計分原則，全面地評量各廠商於各標案之履約過程，且計分結果均以正式書面通知廠商，公開透明。截至106年第3季，已累計65,535筆標案計分資料，可歸納出11,243家廠商之計分成績，計分資料覆蓋率已達7成以上，並可藉由整體廠商履約計分PR指標（頂標、前標、均標、後標、底標）初步區分廠商相對優劣情形。廠商計分資料於106年1月1日開放查詢，並於106年7月18日通函「公共工程履歷應用於政府採購作業參考手冊」予各機關周知，提供作為運用大數據採購選商之參考，以促使廠商積極自主良性機轉，進而帶動整體公共工程品質向上提升。

#### 五、防止工安意外發生，導入源頭及動態管理

工程會與勞動部及相關機關多次就強化公共工程工安防災機制召開研商會議，具體作法為要求各機關於規劃設計階段時，將危害因子辨識、評估及控制等內容納入招標文件，並透過減少估驗計價保留款，提供廠商工安管理績效優良之獎勵（刻正辦理契約範本修正作業）。

此外，建立每日工地職業安全衛生檢查及回報機制，要求廠商應於每日施工前辦理動前教育、危害告知（危險因子辨識）、保險資料、教育訓練及個人防護具等檢查事項，未辦理者或勞工資料不合格，不得使勞工進入工地（於106年4月6日修正工程採購契約範本，106年6月16日修正施工日誌及監造報表），並規定若施工查核結果涉及工地安全衛生有重大缺失者，須通知當地所屬勞動檢查機構，做為勞動檢查之重點對象，增加機關橫向聯繫功能。

問：工程會刻正積極推動重大工程採用最有利標決標，以營造公平合理的公共工程環境，請問您認為執行以來，機關是否都能充分配合？是否尚有哪些制度面或法制面需要突破？

答：過去機關辦理最有利標決標案件偶有發生弊端之案例，經分析過往案例發生犯罪行為之樣態，包括「委員收賄」、「對評選委員行賄」、「為特定廠商勾選委員」、「廠商提供屬意委員名單予機關」、「洩漏委員名單」等，導致以最有利標辦理易引起外界異樣眼光，造成機關使用意願偏低。工程會為推動重大工程採購最有利標決標，針對上述問題已採取相關配套措施，包括「訂定行政規則」、「評選委員公開透明」、「政風參與採購審查機制」等，並協同法務部強化採購人員保障機制，以改善前述缺失，進而發揮最有利標之優點，使機關樂於運用。

經統計各機關辦理巨額工程採購（新臺幣2億元以上）採最有利標決標之件數比率，自104年度之11.30%提升至105年之16.07%，106年1月至8月底再提升至52%，顯見各機關辦理重大工程已可靈活運用政府採購法之最有利標機制，以遴選具有履約能力的廠商，讓廠商取得合理利潤、改善工安，並確保工程品質，全民受惠。

為完備政府採購法制，工程會正在研擬「政府採購法部分條文修正草案」，其中與「最有利標」有關之修正重點包括：增訂巨額工程採購應成立採購審查小組，協助審查採購文件及提供與採購有關事務之諮詢，以提升採

購效率、功能及品質規定（第11條之1）；修正採最有利標之適用條件，刪除「異質」及「不宜採最低標」之適用條件，俾利機關因案制宜，選取適宜之採購決標原則（第52條）。該修正草案已函報行政院，將俟院會通過後函送立法院審議【註：行政院會已於106年10月12日通過採購法修正草案，並於同月17日函送立法院列入優先審議法案】。

工程會於辦理重大工程基本設計審議時，已通案請主辦機關考量後續工程招標階段可採最有利標方式，遴選具有履約能力之營造廠商，以提升公共工程品質及進度。同時，針對前瞻基礎建設特別預算的投入，為加強協助國內相關產業發展關鍵技術，工程會也將視個案特性提醒主辦機關透過設計內容及招標策略，加強協助國內產業發展，如近期審議桃園捷運綠線時，建議市府透過招標策略促使國外廠商與國內廠商合作，以利國外廠商優先考量於國內進行車輛組裝及未來之維修。

另外，配合工程會近期推動之公共工程施工廠商履歷制度、公共工程施工廠商履約情形計分結果開放機關查詢，以及推動巨額工程採購採最有利標決標等新制措施，已於106年7月18日通函各機關重新編修之「公共工程履歷應用於政府採購作業參考手冊」，並提供相關參考範例，作為各機關挑選具有履約能力優良



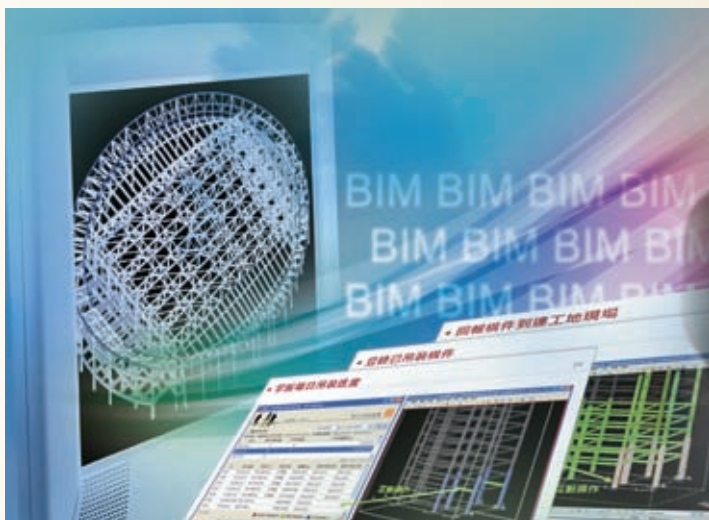
廠商之作業參考（包含最有利標4件、評分及格最低標3件及最低標2件），協助機關廣為運用。

**問：**請問工程會對於國內推廣重大公共建設以建築資訊建模（Building Information Modeling）使用於設計、施工階段，以及維管階段之全生命週期，有何期許以及願景？

**答：**建築資訊建模（Building Information Modeling，BIM）可以在數位虛擬空間中提前模擬營建工程各項作業的各種可能情境，在設計階段可偵測出設計錯誤與衝突，減少施工階段的人力、變更與成本，更可運用視覺化管理模式，深化應用至營運維護管理階段，提升工程效率、品質與維運便利性。目前先進國家皆已投入相關應用，台灣營建產業近年來也積極導入，若能利用我國優異的資通訊技術，結合BIM技術來整合日趨複雜化的營建生產與管理技術，並將構造物數位化，未來配合人工智慧（AI）科技研發趨勢，工程設計及施工將可朝向自動化、智能化發展，以實現更安全、更高效率的工程服務型態，為國內營造業帶來新的契機。

營建產業自動化為工程會重要的推動工作，而BIM能將圖像數位資訊化、傳統2D轉換

為多D，除能促進智能化設計與施工外，並可進行跨領域的整合與介面溝通，有助推展至連結「物聯網」、「雲端應用」、「大數據」三大領域，提升我國營建生產力，達成營建自動化目標並與國際接軌。工程會近年已成立BIM交流與推動平台，採「因案制宜」與「循序漸進」方式推動，並擇定道路、橋梁、下水道等



10項公共工程試辦導入運用BIM技術，提升國內產業熟悉度及應用之廣度。另於106年2月委託國立中央大學完成「機關辦理公共工程導入建築資訊建模（BIM）技術作業參考手冊」，內容包括BIM的應用範圍、應用時機、導入程序、費用編列原則、執行參考契約文件及問答集等，提供各機關操作指南，透過BIM技術提升工程執行效能。

推動至今，過去一年使用BIM的機關已達86個，應用的標案案亦達169件，可見運用BIM已逐漸擴散到各工程機關。目前交通部已

規定所屬機關辦理10億元以上工程必須運用BIM，營建署代辦的建築工程也規定一定要採用，台北市政府、新北市政府、桃園市政府亦規定大型建築工程需運用BIM。而新北市政府辦理建照審查，也已導入運用BIM，顯見BIM已成為國內工程界未來發展的方向。工程會將持續提供標竿研習及辦理推動平台，使營建



產業能與國際趨勢結合，並與國內各個產業接軌，促進相關製造業加值發展，提升我國營建產業國際競爭力。

問：公共工程施工查核制度已推行多年，對於工程進度、品質、管理制度皆有普遍提昇，但有廠商反應查核次數太頻繁，對於施工作業造成干擾，是否請主委談談您的看法？

答：工程會「工程施工查核小組作業辦法」第4條已針對各機關查核小組就不同工程金額規

模之查核件數訂定原則：查核金額以上之標案以不低於當年度執行工程標案之20%為原則，且不得少於20件；新臺幣一千萬元以上未達查核金額之標案，以15件以上為原則；公告金額以上未達新臺幣一千萬元之標案，以20件以上為原則。

經統計全國施工查核小組每年總查核件數約3,500-4,000件間，占全國在建工程比率約8-9%。除與勞動檢查機構及環保單位建立聯合稽查機制外，「公共工程標案管理系統」亦提供查核行程預排功能，避免同一工程產生重複查核之情形，應不至於有查核頻繁狀況產生，惟個案工程如查核表現不佳，該查核小組仍可啟動複查機制，以確認該工程執行情形是否有效改善。

問：因為監造工作需要專職，因此執行成本不低，經學者研究結果，顯示目前公共工程監造服務費之費率偏低，加上一例一休實施後，亦對監造人力成本造成增加及負擔，請問工程會是否瞭解此現象，並著手研究處理對策？

答：技術服務費用占整體工程經費比率有限，但影響工程品質及效率至鉅，一旦工程規劃設計不當、監造不實或管理不善，對機關或公眾所造成直接間接之損失，難以估計。因此工程



會相當重視各界反映技術服務費用偏低，以及對於技術服務採購之評選、決標、履約內容與費用給付等相關建議。

依據「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」（下稱技服辦法）第25條規定，技術服務費用計算的4種方法：「服務成本加公費法」、「建造費用百分比法」、「按月、按日或按時計酬法」以及「總包價法或單價計費法」，機關可以依技術服務類別、性質、規模、工作範圍、工作區域、工作環境或工作期限等情形，於契約中就不同技術服務項目選擇適合的計費方式，如有需核實給付費用的項目，也可於契約另行約定之(例如技術服務廠商研析可行性方案時，一併辦理之地質鑽探工作、測量等)。

以往機關採「建造費用百分比法」計算服務費用者，其建造費用指工程完成時之實際施工費用，若遭遇工程以最低標發包時，施工廠商競爭越激烈者，建造費用越低，則技術服務廠商所收取之服務費用連帶降低，並不合理。爰工程會於106年3月31日修正技服辦法第29條之建造費用定義，以「底價金額」取代以往採工程實際施工金額計算建造費用之方式。依據100年至105年間的資料顯示，建築物工程採購底價金額與決標金額之比率約為104.5 %至108.1 %、公共工程採購底價金額與決標金



(左1)林傑處長 (左2)陳允佳處長 (左3)李正剛資深協理

額之比率約為110.7 %至115.6 %，修正建造費用之定義對於技術服務費用之提升比率，在建築物工程約可提高4.5 %至8.1 %，而在公共工程則可提高10.7 %至15.6 %。

此外，針對技術服務業者反映機關委託辦理監造工作時，對於辦理監造工作之品管人員要求過多之服務，因此建議技服辦法附表2之監造費率應大幅調整部分，考量機關辦理委託技術服務工作，本應依個案技術服務條件編列採購預算，並依技服辦法第25條規定擇定適當之計費方式，以符實際需求，其中採建造費用百分比法計費者，技服辦法附表所定費率係屬參考性質，如屬特殊情形或需要高度技術之服務案件，或為特殊構造、小規模（例如工程經費未達1百萬元）、國家公園、區位偏遠的工程，或委託可行性研究、非建築物工程之規



(左4)何育興處長 (左5)王昭烈總經理 (中)吳宏謀博士 (右5)李順敏副總經理 (右4)陳泓德資深協理 (右3)邱水碧協理 (右2)林聰能經理 (右1)江秉修經理

劃、地質鑽探、環境影響評估、水土保持計畫等情形，均不受附表百分比上限之限制（參考技服辦法第29條第1項及附表2之附註），爰費率訂定已具靈活彈性。綜合言之，監造工作受個案工程類型、位置、工期、人力需求、受託廠商條件等條件影響，可能有極大差異，招標機關應視個案特性及實際需要，依技服辦法規定擇定適當之計費方式或建造費用費率，以給付合理之服務費用。

另外，為因應105年12月21日公布之勞動基準法部分條文修正法案，對機關履約中之工程及技術服務契約可能造成之影響，工程會已於106年3月7日訂定「機關履約中工程因應一百零五年十二月勞動基準法部分條文修正法案之處理原則」，供各機關遵循。

## 後記

承蒙吳主任委員在公忙之餘撥冗接受專訪，從公共工程之擘劃與推展主軸，談至未來國家建設推動之重點與施政方針，不論是對於營造公平合理的公共建設環境、培養具國際競爭力的營建產業，或是強化國家災防韌性、落實推動循環經濟等，都讓我們再次感受到中央主管機關的用心與付出。

工程會配合國家發展政策及方向，確保公共工程提供民眾更好的生活環境品質，並積極協助營建產業增強國際競爭力。我們也籲請各位工程先進們共同以宏觀的思維考量未來的國家發展策略，研提前瞻建設藍圖，實現兼顧永續發展、環境保育、社會公益及經濟發展的國家建設。



訪國立成功大學校長

**蘇慧貞**

**談**

**高等人才培育與  
城市發展**

整理：陳懿佐、何應廷 · 攝影：詹朝陽



## 壹、前言

蘇慧貞校長，美國哈佛大學環境衛生科學博士，現任國立成功大學校長、成功大學環境醫學研究所特聘教授。

蘇校長是成大創校86年來，打破傳統遴選出來的第一位女性校長，在成大仍是以男性主導的大環境，不僅符合兩性平等的全球趨勢，也突顯出成大的國際化。

蘇校長自接任成大校長職務重任以來，一直秉持以無比的信心與勇氣，戒慎敬謹的態度，擘畫願景，對於許多的政策推動都親力親為，期待讓成大成為一所：同學具有競爭力的成長、教師具使命感的發展、職工具有成就的服務，一所使這個城市感動、國家驕傲，使夥伴學校敬重且樂於合作共榮的大學，一所在全世界培育優質公民的高等教育中，舉足輕重的學府。

## 貳、訪談紀要

問：校長擔任成大校長已經兩年多，您曾經擘劃願景使成大成為一所讓城市感動、國家驕傲的大學，想請問校長對於這兩年來推動高等教育經驗分享。

答：成大在府城奠基，經過高等工業學校、省立工學院、省立大學的洗禮與蛻變，經過歷任校長的擘劃、無數同仁的付出，以及校友所累累的貢獻與榮光，豐厚基礎讓我們有能力在承擔社會責任的感動中完成高等教育的實踐。對於成大畢業生，他們人生是離開學校後才開始，如果都準備他眼前看得見的東西，就沒有

完成對他們的義務，我也對我的行政團隊及一級主管們期許，我們的責任及壓力是在於全力以赴的去確定我們想要堅持的方向是否正確，也許不見得有立即的成效，但如果不能持續的往前邁步，就是對不起畢業生。而且，在這個階段，除要有耐心去接受學生的不體諒外，亦有責任去提醒他要持續調整、學習，往後學生就會了解其中意義及學校對學生們的付出與努力。

例如：在104年成大重新定位勝利校區舊圖書館K館，為不影響學生自修的空間，遂重新調度校內空間闢出新的場所，在未來想像中，會是個新的共創中心，能完全無限提供共



寧及共造的場地，但卻在一開始整修期間遭到許多不同的意見。

回憶當時，每個人都只關心舊K館整修期間所造成的不便及困擾，卻鮮少人關心整修後新K館未來所帶來的轉變，但經過一年後，新K館(KnowLEDGE)開幕，學生們才體會感受到所帶來的實質效果，紛紛驕傲成大有新建K館設施。



在新K館中有學生可以在裡頭熱烈的討論小組報告，另一邊學生也能安靜的讀書，學生的教養也會因環境氛圍影響而彼此規範。希望於任期中能盡量多做一些有改變的事情，雖然在改變的過程不見得會有足夠人拍手，結果也不見得會立即看到，但還是要相信終究會有價值在引導我們。



**問：**蘇校長曾說過，任何一所重要優質大學都與城市的發展密不可分，如哈佛大學與波士頓、牛津大學與牛津市、成大與台南市，請教您是如何設定成大與大台南地區的發展關係。

**答：**假設成大在這裡，南科在那裡，台南的產業型態或是區域未來生活面向、都市形象會不會因此不同？那如果沒有不同，還是像以往一



成大舊K書館



成大新K書館

樣是獨立個體，學生畢業後還是會各自離開。那園區的生產到底有沒有刺激鏈結週圍的生態區呢？

在過去對於城市或國家改變，都較聚焦於個人去各自形成一個影像，但如果這幾年可以更積極去全面性的關心區域發展，對於城市整體發展，能否有機會更具體或直接、間接的影響或改變。

例如：全美歷史最悠久的哈佛大學(Harvard University)，在科系及學程定位操作上變化速度極快，仍有能力力圖減少行政疆界，持續的將學習與教學、知識體系、應用需求與產業生態，作最密切的搭配、改變，研究

# 1

## 人物專訪



蘇慧貞校長



脈絡及重點都非常清楚。又例如：史丹佛大學 (Stanford University) 對於矽谷產業生態，所提供的教育內容及創新研究特色，兩者其實是密不可分的。

相較之下，那我們的學校系所、研究內容是否曾思考往後三十年的調整及改變呢？

世界上任何一所重要優質大學都與城市的發展密不可分，全球化的潮流中，一流大學自然更不應受有形的硬體疆域所限，成大更是自創校便以大台南為基地生根，在台南邁進「台灣五都之一」的新世代裡，應自許以更大的使命。

成大對於台南地區的發展，除可協助建構城市雲端資料庫、發展智慧城市治理外，也持續的逐步推動開放課程、加速國際接軌、強化產學合作及技術轉移、帶動城市產業轉型，並鼓勵畢業生在地深耕、發展永續全球網絡與帶動城市國際行銷。如哈佛大學與波士頓、牛津大學與牛津市、成大與台南市，成大未來將持續透過學、研、產等面向，成為台南市創新與技術的主要供應者、文化資產經營與活動的合作者、台南國際化的中介者與台南在國家制度擬訂的推動者。

多年前，未擔任副校長之前，我到荷蘭



(左1)黃姿儀秘書 (左2)何應廷正工程師 (左3)陳懿佐經理

烏特勒支大學(Utrecht University)出席世界大學會議時，其中市長有一句話讓我印象深刻，他說我的城市是這樣的：「任何一所這裡大學的學生想要在這個城市落地生根並終其一生的做生涯發展，都會在這裡找到他的機會與發展的」，這是多麼肯定自己都市的一段話。

所以如何規劃人才培養與區域間關係，這些都是作為一所在地大學需要嚴肅檢討的，未來更期待國家對於高等教育及產業的發展策略中，能夠投入更多，共同出力提升城市跟產業結合的能力。



(左4)胡宣德主任 (右5)蘇慧貞校長 (右4)王韶烈總經理 (右3)李順敏副總經理 (右2)彭國源資深協理 (右1)周允文協理

問：成大產學合作表現優異，請教蘇校長是如何推動產學合作，連結學術與實務？

答：「企業與學校的穩定發展」大概是維持國家發展平台及管道的不二道路。

所以我認為學校跟企業的關係，必須是共生共融的，如果學校做不到企業的期待，我們本身就要檢討；但相對的，也希望企業看到我們的價值，所以當資源適合的時候，也要能夠提供學校更多的機會及高階人才穩定發展的缺

口。因為在教育資源有限的現實下，政府所能給予的補助無法有效提升，尤其是高教普及化之後，將使具備國際競爭力的「頂尖大學」，無論是經費或資源都與國外學校差異過大，無法平等競爭。

所以為能培育更多優秀人才，我們結合了很多各領域企業，藉由產學合作平台，提供優渥獎學金及實習工作機會，表現優秀者，還有機會轉成該公司的正式員工。藉此深化與區域在地產業的合作關係，才能穩定、留住高階人才，不使外流，建立互助互惠的合作契機。



隨著時代改變，學校也必須與時俱進，我期許成大未來能提供更多元的學習環境，將國際觀與教學、研究相結合，能在世界上發揮影響力。放眼國內各大學，成大可說是一所校系完整的綜合型大學，同學來自四面八方，涵蓋全球七十幾個國家，校園本身就像聯合國。

例如：成功大學十二年前就開始找印尼【萬隆理工學院(Institut Teknologi Bandung，簡稱ITB)及印尼泗水理工學院(Institut Teknologi Sepuluh Nopember，簡稱ITS)】兩間最優秀的學校進行交流及各領域的教學合作。我們工學院副院長，現任成功大學材料科學及工程學系教授 丁志明教授說：「外籍生可以說是我們最好的學生」。

對於印尼及馬來西亞不管在多偏僻的地方，都會有歐美的頂尖學校在那裡設置教學或研究中心。假如對於國家來說，未來的馬來西亞跟印尼將是我們最重要的市場，這時候就需要妥善規劃長期關鍵人才的培育。

對於外籍人才的培育上，成大是誠心誠意的在做，很多的外籍同學最常跟我說得一句話大多都是「來成大上學改變我的一生」。

而學校對於外籍生的宗教信仰都非常注意，對待的方式及對於他們文化習慣上的了



穆斯林祈禱室落成

解，都是超過其他學校。因為歷年來所培育的外籍學生，都已成為學校對外的最佳管道窗口，無論對於政府機關或一般的民生生活都能夠提供學校在當地發展、活動相關的訊息及協助。

例如：學校為了讓穆斯林學生在課業與研究學習的同時，兼顧信仰生活，有一個安歇心靈，與真主對話的祈禱處所，成大104年起陸



續在光復校區國經所、建國校區護理系館、成功校區環工系館、材料系館、自強校區化工系館設有小型祈禱室。並在105年啟用在勝利校區勝六舍三樓設置大型「穆斯林祈禱室」。

問：0206大地震對台南地區造成災害，請蘇校長分享過去成大在災後重建的經驗。

答：成功大學在高雄美濃大地震(0206台南大地震)發生後，便開始做了許多調查、蒐資大量與災害相關的資訊去分析了解。於105年3月21日成大更與國家實驗研究院國家地震工程研究中心合辦「美濃地震研討會」，探討議題涵蓋救災、震害、制度、結構、大地工程等各種技術性層面問題，並將先前舉辦的城市永續發展、城市的韌性面，疾病與醫療處理等一系列研討會所累積與整合的相關資料、資訊貢獻出



來。我一直堅信，成大的老師與學生們，平時雖沉浸於專業領域，但是仍時時抱持回饋社會的公益心。104年臺南爆發登革熱疫情，105年初遭遇強烈地震，便是嚴苛緊急的考驗。我很欣慰，成大在這些事件發生時，都能適時掌握事態，啟動各種行動，並以學術專業與服務奉獻的精神回應社會。

成大也深切體認「近斷層地震」相關研究的重要性，主動爭取「國家實驗研究院國家地震工程研究中心第二實驗設施」（經費13億元，其中科技部及國發會出資11億元，國研院及成大各負擔1億元），並於104年1月6日開始開工建置於成功大學歸仁校區，在建造階段提供1億元配合款，落成後將有五位專職教授（三位專精於土木結構、一位水力結構及一位靜止結構的教授），配合國震中心推動地震研究，以進一步了解「近斷層地震」的機制與影響，也期待台灣相關專業領域的學者一起為台灣努力，對台灣災害防治以及工程設計提供具體貢獻。

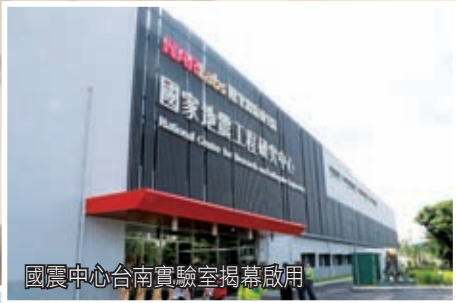
國震中心第二實驗設施是全世界具獨特性的「近斷層地震」實驗設施，可模擬類似九二一地震的近斷層地震所造成的地表位移效應，可望對地震災害減損、結構物補強及土壤液化的研究有豐碩的成果。成大會與國研院持續合作，未來國震中心第二實驗設施必能成為



# 1

## 人物專訪





國震中心台南實驗室揭幕啟用



國震中心第二設施上梁典禮



國震中心第二設施上梁

國際級的地震工程研究重鎮。

在防災領域上，經過所有校內外的同仁數十年來、幾個世代的努力，「成功大學防災研究中心」已經打下好的基礎，正持續與日本、荷蘭合作，然後將台灣的防減災技術推廣到東南亞國家，讓台灣防減災技術成為輸出的防災資產。

為配合政府推動以人為本、雙向交流、資源共享的「新南向政策」，「成功大學防災教育中心」特地結合與日本筑波大學、京都大學、荷蘭Deltares、TU Delft等大學合作，在成功大學內成立「亞太防災訓練平台」，應用日本筑波大學開發之防災雲端平台Asian Cloud為架構，置入「成功大學防災研究中心」20年來開發之各類防災模式為工具，更精選許多台灣大型災害案例，建立災害過程的全記錄作為訓練教案。更導入荷蘭最新模擬程式，使學員在雲端平台上可以利用各種模擬工具，進行災害情境與防減災決策的模擬，將會是極先進的防減災訓練平台。

再者，鑒於地球暖化及氣候變遷持續惡化，新型態災害也將不斷衍生。成功大學希望藉由此訓練平台，一面引入荷蘭及日本的先進技術，提升我們的防減災水平。另一方面輸出台灣的防減災經驗，協助夥伴國能力的強化，





大一新生必修「我在成大踏溯台南」活動



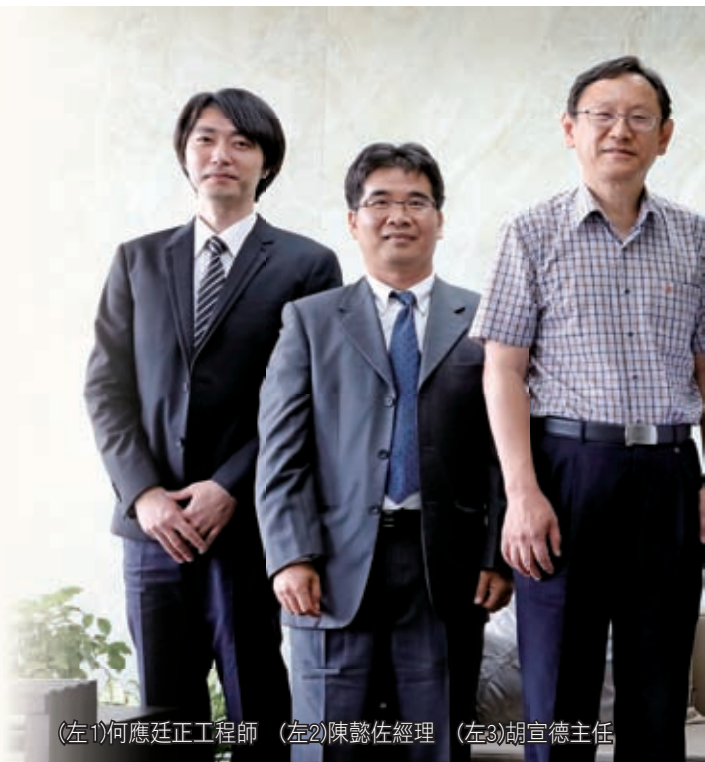
使台灣成為亞太防災訓練基地，將臺灣的災害由負債轉變成可輸出的資產。

在過去，所有從單一災害到複合災害型態，從地域到全國性需求，以及未來與世界的連結，充份反應了成功大學原來在科學和技術能量，以及展現了成功大學以回饋社會、服務人群為出發的使命。蘇校長也希望用這個模式，看待大學如何由教師出發、大學如何完成社會貢獻，而對台灣來說，優質頂尖的大學有一個重要的意義是連結世界。

問：成功大學的前身是台灣省立工學院，您是第一位擔任校長的女性，蘇校長在各專業的表現都非常傑出，是否能給我們工程從業人員一些建議與期許。

答：過去一、二年來，成大以不同型式進行校內溝通、彼此對話，收集到許多的建設性建議，累積共識作為往前推進的動能；回顧上一個學期的成績，各學院教授表現穩健突出，學校在學術、產學合作的能量也都穩定成長，令人欣慰。

全球快速變動的時代，新挑戰不斷出現，對於各方面都要做好準備，思考未來的展望與



(左1)何應廷正工程師 (左2)陳懿佐經理 (左3)胡宣德主任

規劃，整合出前瞻願景向前進。藉此，我期許現在或未來每一位從業人員，要有多一點的企圖心與榮譽感，應該要多思考讓人眼睛一亮、改變台灣未來機會的規劃及目標。例如：思考未來二十年後土木建設的需求？需要哪種人才背景？

更重要的是要放大胸襟，勇於去想像，有想像力，就能夠做出規劃，就會有資源；要做大格局、前瞻、具文化內涵意義的事，要負應有的責任，要有所貢獻；修習在地人文知識，成為未來進入各領域的養份。例如：學校在從2017年開始的學生幹部，如社聯會及校聯會等，都給他們二十四小時去思考未來成大二十年後的發展並且真實的提出設計規劃。例如：



(右5)蘇慧貞校長 (右4)王昭烈總經理 (右3)李順敏副總經理 (右2)彭國源資深協理 (右1)周允文協理

學校自106學年起領各大學之先，推出大一新生必修「踏溯台南」跨院通識教育核心課程：總共有12條路線，10人為一組，預計每組半年要走完一條探勘，每個人都要學習coding，一面上歷史一面紀錄，並設計一個自訂產品並且雙語展示，事先有工作坊內容包括小老師培訓、路線講解、導覽技巧、製作「踏溯台南」手冊等等需要培訓相關人力。因為我們希望城市需要有新的想像。希望學生在學得專業知識之餘，還能走出教室，認識台南風土、人情與文化。

## 後記

感謝蘇校長於百忙之中撥冗接受專訪，在訪談過程中暢談推動高等教育之經驗，讓我們感受到蘇校長對於新世代成大畢業生所承擔的責任及壓力，也展現出對於高等教育人才培育的熱誠；對於結合地區發展及產業生態上，蘇校長也提出協助建構城市雲端資料庫、發展智慧城市治理、持續的逐步推動開放課程、加速國際接軌、強化產學合作及技術轉移等，帶動城市永續發展及邁向國際化之發展策略與期許。藉由本次專訪我們也可從中體認到，因應目前全球化的時代，除對各方面都要做好準備外，亦持續思考並整合出前瞻願景，持續向前進，方能面對不斷出現新挑戰。

# 結合空中與地上影像之傾斜攝影建模成效及精度評估

## Quality evaluation of 3D architecture virtual reality from multiple view images

**關鍵字(Key Words)：**無人飛行載具(Unmanned aerial vehicle)、傾斜攝影(Oblique photogrammetry)、真實三維模型(True three-dimensional model)、精度評估(Quality evolution)、立面紋理(Facade texture)

國立臺北科技大學土木工程系／土木與防災碩士班／碩士生／黃品彰 (Pin-Jhang Huang) ❶

國立臺北科技大學土木工程系／土木與防災碩士班／碩士生／楊偉盛 (Wei-Sheng Yang) ❷

國立臺北科技大學土木工程系／副教授／張國楨 (Kuo-Jen Chang) ❸

### 摘要

無人飛行載具傾斜攝影突破了以往垂直影像的限制，其以範圍廣闊、牆面紋理清晰、精度高、效率高、成本低等優點而成為近年來國內外航拍的新興技術。傾斜攝影影像所產製的真實三維模型具有建物實際外觀與特色，相較於傳統手工建模更具有真實性。

傳統上無人飛行載具影像可以快速地建模，但由於立面的紋理資訊較不足，使得重建模型立面不夠完整。本文以旋翼型無人飛行載具來搭載消費型全片幅單眼相機，並以鉛直及傾斜攝影的方式拍攝，結合人工拍攝可對建物各個不同方向取景，以增加立面紋理資訊，來提升模型立面的精度。結合無人機航拍之鉛直及傾斜影像，並再輔以地面攝影任務來建置更真實之三維模型，並探討不同因素對模型精度的影響。



## Abstract

The unmanned aerial vehicle (UAV) has been well used, advantages includes easy to operate, wide range, the wall texture of greater clarity, high precision, high efficiency and low cost. Due to the above-mentioned points, nowadays many associated true 3D model is applied for many aspects accordingly. The oblique photos catch many images from different angles, but it just partially reflects the actual appearance and characteristics of the objects, thus the associated true 3D model should be more realistic compare to the actual appearance. The object of this study is to evaluate the resolution and precision of the true 3D model generated by means of multiple view images, including vertical, oblique and ground images.

The results of this study explore the relationship of number of GCPs, resolution of image (ground sampling distance) and the effect of ground images. By means of drones, images and some field surveying, true 3D models can be constructing quickly with high precision and high resolution. These models can use for many aspects, e.g. virtual reality, interactive web publication, digital resource preservation and educations.

## 壹、緒論

在生活上所使用影像紀錄具價值性的，如教育的教材、觀光導覽、地質構造、歷史古物等，往往是二維平面的紀錄。在傳統三維模型建置中，其影像從立面圖與平面圖，獲得建築物的結構外觀，然後通過繪圖人員的處理，結合正射影像、測區平面向量圖、屋頂向量圖等資料，建置成三維白膜，再經所拍攝到的影像進行分析模型的細部結構，最後將影像紋理處理後貼在白膜上。傳統建模或許能在模型精細度上有很好的效果，但其生產成本高、工作量大，或模型生產效果不確定等不利因素，無法滿足在一定時間內大範圍快速建模需求，使傳統建模已不符合現代工程應用的潮流。

由於傾斜攝影技術的發展，它突破傳統垂直影像只能從鉛直方向拍攝的侷限，由不同傾斜角度之相機，以不同視角來採集影像，進而建置成三維空間資訊的真實三維模型，讓三維模型更具有真實直觀的呈現。可具體描述其成果在上課用的教材、風景區的導覽、地質構造的判識以及博物館的展覽上，勢必在數位典藏上更具有真實物體感知狀態。

本研究利用傾斜攝影技術，進行全自動垂直影像、傾斜影像，以及地面攝影等影像的空中三角運算，進一步自動化貼紋理，以形成最終真實三維場景。其建模方法比傳統方式，無論在效率和宏觀優勢上有著明顯的優勢。以多視角影像的任務需求，以快速地拍攝任務，提供了牆面紋理清晰、範圍廣闊、成本低等特性的真實三維模型。本文進一步探討航拍任務，並結合地面影像對於模型的精度影響，有利於往後傾斜攝影與結合地上影像在模型上運用的可行性。

## 貳、研究區域

本研究區域位在大金門金沙鎮三山里山后民俗文化村(圖1)，也是當地習稱的“十八間”，由18棟閩南古厝組成的聚落；至今古厝仍大致維持舊貌，為金門傳統民居的代表。近年來更提倡仿真的三維模型，因其資訊更具豐富性與完整性，可使民眾對古蹟的認識更快速、細微，達到觀光遊覽效果，另在學術研究與歷史教育都具有充實性的運用。

研究區域面積約為1公頃，一共劃設19個地面控制點，並平均分布於研究區域內，以評估不同控制點數量及分布對模型產製精度的影響。另外，並劃設18個地面檢核點，同樣平均分布於研究區域內，主要目的為檢核分析由無人飛行載具所建置之數值地形模型及正射影像，與現地真實測量之高程及平面的誤差分析之用，並藉以討論可能造成誤差之成因。







## 2

工程論著

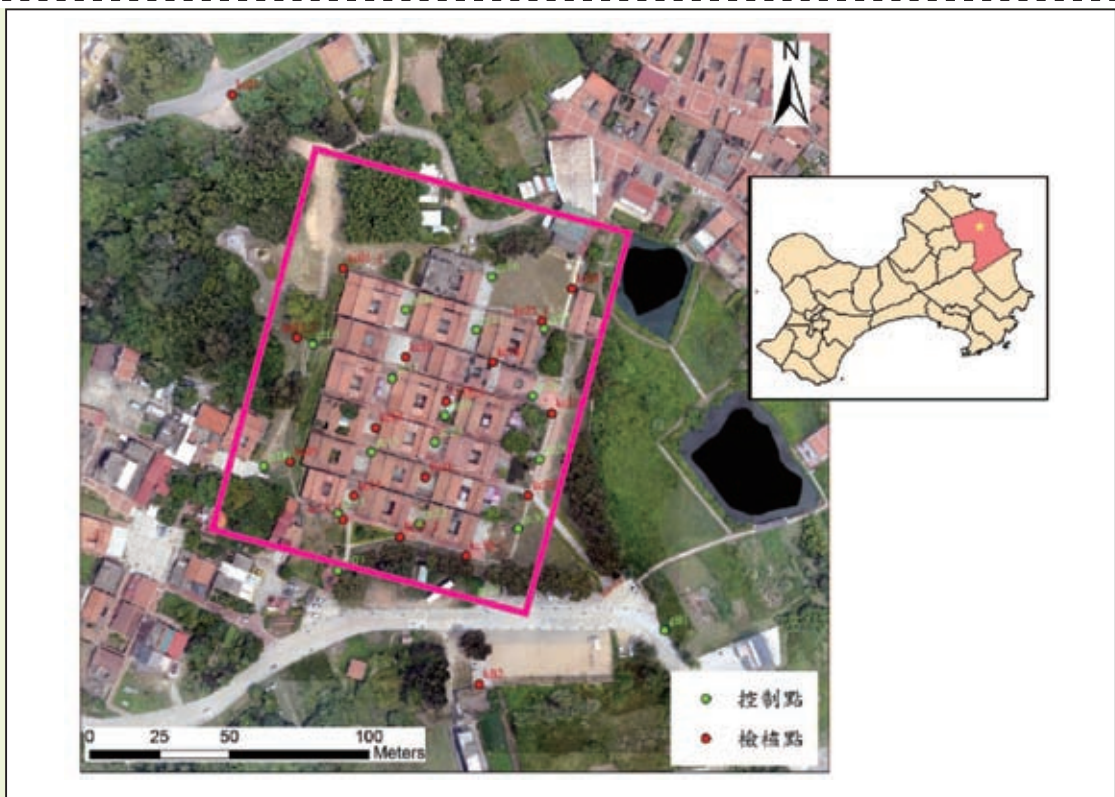


圖1 研究區域地理位置

## 參、使用UAV與相機

本研究使用之無人機為德國Microdrones公司所研發的MD4-1000四旋翼無人飛行載具(圖2)，搭載Sony  $\alpha$  7r來進行航拍任務。表1為MD4-1000載具特性(MD4-1000使用手冊)，表2研究所使用之Sony  $\alpha$  7r相機規格。



圖2 MD4-1000無人飛行載具

表1 無人飛行載具介紹

整體重量	2650 g	起飛重量	< 5550 g
翼展	1030 mm	最大荷載	1200 g
工作海拔	4000 m	環境風力	< 12 m/s
爬升速度	7.5 m/s	遙控距離	至少1000 m
飛行航速	15 m/s	飛行時間	最大70分鐘
動力	鋰聚電池	掛載相機	Sony $\alpha$ 7R

## 肆、研究方法

### 一、研究方法與流程

本研究是利用無人飛行載具搭載非量測型相機對民俗文化村十八間古厝進行拍攝，並

表2 相機之規格

感光元件像素	3640萬	重量(含電池)(g)	465
感光元件大小(mm)	35.9×24.0	體積(mm <sup>3</sup> )	6.9×94.4×48.2
最大解像度	7360×4912		



圖3 e-GNSS測量(左)、RTK測量(右)

於地面利用相機進行建物各角落拍攝，將影像建置成真實三維模型、正射影像與數值地表模型。本研究主要目的是能透過航拍任務與地上影像在短時間內建置三維模型，由模型輸入控制點達到契合於實際空間位置，並由檢核點與立面匹配點探討模型精度狀況。

## 二、地面控制點量測

使用測量工具測定地面縱座標及橫坐標，經由儀器精密自動演算後得知高程點位置，操作兩種測量設備進行量測，分別為e-GNSS(VBS-RTK)與RTK(圖3)。其目的是為了降低儀器上的不同誤差來源，達到真實空間位置的定位方式。(黃美甄，2014)

地面控制點所使用位置必須是在顯著並容易辨識之地面上，以供影像及現地均能清楚辨識之控制點，三維模型建置時加入控制點空間位置以提高模型精度，為了降低在影像點選地面控制點上的人為誤差，地表特徵物可選擇影像裡明顯清楚可見的，如(1)新舊磁磚交接處(2)水泥路面與地面瓷磚交接處(3)道路轉角交接處或轉折處(4)劃設之航空標(5)具高反差色澤之地面磁磚等為地表之地形數值。

## 三、影像資訊與模型建置

依航空任務飛航高度不同與拍攝方式不同，將影像資訊分成五個部分，分別為航高80公尺、120公尺、160公尺、彙整所有航拍影像與所有航拍影像加上地上影像，並配合本研究室於現場進行動態量測e-GNSS及RTK測量數據資料來進行研究設計。

單鏡頭拍攝在航拍高度80公尺之垂直影像與傾斜影像總張數比例約為1:1，總張數為718張；在航拍高度120公尺之垂直影像與傾斜影像總張數比例約為1:2，總張數為583張；在航拍高度160公尺之垂直影像與傾斜影像總張數比例約為2:1，總張數為414張，當航拍高度越高則拍攝範圍越廣，所設計航拍任務影像張數可以減少。單鏡頭以水平線往下50度，以相同航拍路線井字型進行各航高拍攝任務。

為了使地上拍出來的照片能具GPS座標，我們在相機加裝了自製的相機及相片姿態記錄器。它其實就是飛控系統。無人機之所以能夠在空中自主飛行就是因為有此配置，它功能猶如人類的大腦一樣，如圖4所圈出來標示1的地方，它是由三軸陀螺儀、三軸加速度計、三軸地磁傳感器和氣壓計，四種所組成，我們稱為

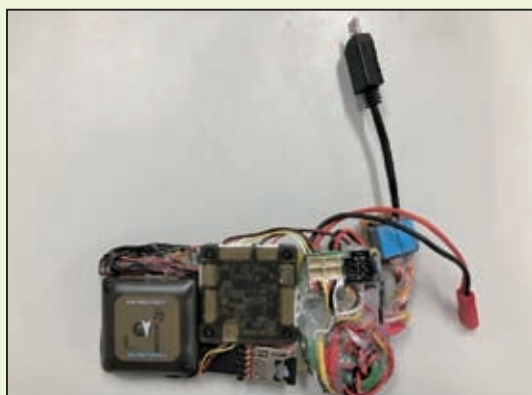


圖4 自製相機及像片姿態記錄器

慣性測量單元(IMU)，三軸原本是指飛機的三個方向。現在飛控系統(ArduPilot Mega,APM)加裝在相機上，三軸轉變為相機的三個方向，陀螺儀是量測傾角，加速度計就是用來量測加速度，而地磁傳感器是用來感知地磁，就是一個電子指南針，它原本作用是讓飛機知道自己飛行朝向哪邊，氣壓計就是量測氣壓，再加上GPS定位(圖4所圈出來2的地方)飛控裝置本身的位置，即可獲得有GPS座標的相片。

各航高模型建置依序分別為無控制點(航高\_No)、九個控制點(航高\_9)、全部控制點(航高\_All)的生成方式，以及全航高影像(All\_All)和地上影像加入全部控制點產製模型，並以檢核點進行模型精度探討。

## 伍、成果與討論

### 一、地面控制點量測誤差關係

地面控制點將空間位置與無人機空中拍攝定位結合而產製真實三維模型，藉由模型建置後與真實空間資訊對比，評估模型的擬真性(林秋芬，2015)。

研究區域內使用e-GNSS量測一次，所獲得的每一控制點座標都是在GPS資料傳輸良好

情況，誤差都收斂至固定值後儲存。所量測作業時間為2016/08/28早上，並將控制點點位做為RTK基站使用。使用RTK測量四次，分別為2016/08/28下午所用基站位置B4(以下稱RTK1)，08/29早上所用基站位置分別為B1(以下稱RTK2)及B2(以下稱RTK4)，08/29下午所用基站位置c10(以下稱RTK3)。

將四筆RTK分別比較誤差值，發現以RTK4資料有錯誤，平均誤差均為17~18公分，以圖5來看實際基站設置位置在綠色點上，但在資訊空間上卻是呈現在紅色點位上，人為錯誤造成點位放錯位置。由於現地控制點無法進行點位劃記，故在現場挑選點位時，疏忽了紀錄方式，因此須將放置在B2基站位置的錯誤資料剔除，再以另三筆的資料進一步作分析。

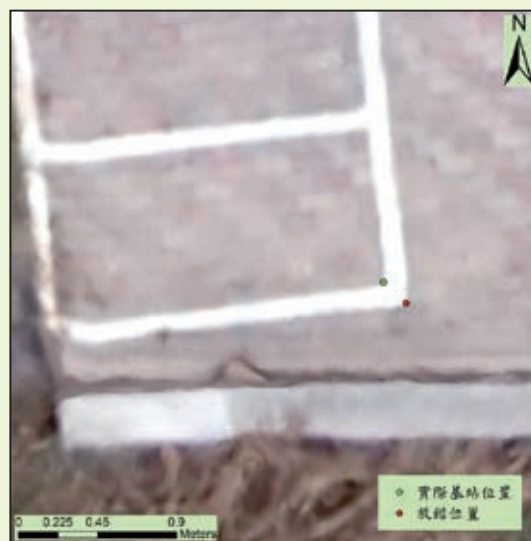


圖5 基站及測量點在地面特徵點上放錯位置

扣除收斂未固定值的誤差值再進行研究區域控制點誤差比較(表3)，對比資料中以後期之RTK2及RTK3資料比較RTK1分析，平面座標標準差皆小於2公分內，而高程標準差小於4公分以內，均在容許誤差範圍內。並以後期RTK3對比RTK2作相互比對，平面座標標準差皆小於2公分以內，而高程標準差亦小於2公分以內，均在容許誤差範圍內。

表3 RTK前、後期制點平面與高程誤差(單位：公尺)

測量方法(後期)		RTK2	RTK3	
基站		B1	c10	
量測時間		08/29早上	08/29下午	
對比資料(前期)		RTK1 (B4基站) 08/28早上	RTK1 (B4基站) 08/28早上	RTK2 (B1基站) 08/29早上
平面精度	較差上限	0.083	0.053	0.070
	較差下限	0.004	0.006	0.009
	平均誤差(MEAN)	0.027	0.027	0.036
	均方根誤差(RMSE)	0.033	0.030	0.039
	標準差(STD)	0.019	0.012	0.016
高程精度	較差上限	0.166	0.163	0.046
	較差下限	-0.021	0.004	-0.037
	平均誤差(MEAN)	0.054	0.059	0.004
	均方根誤差(RMSE)	0.066	0.070	0.018
	標準差(STD)	0.037	0.036	0.0178

不同前、後期資料比對後，發現在不同日期量測所得的誤差，相較於同一天不同時間所量得者，其平均高程誤差大5~6公分，此處判別可能是不同作業人員在量測基站儀器高時，不同的判釋高度所造成的現象，再加上不同日期的衛星追蹤站所造成誤差等。

分析，並探討每一筆資料平面誤差與高程誤差大小(圖6、圖7)，發現c13、c14、c15\_1與c20的平面誤差大於10公分，研判e-GNSS量測相較於RTK所量測的誤差較大，因此須將四個e-GNSS量測的點位，先扣除誤差較大者，測量結果之平面標準差小於3公分，高程標準差約4公分內。顯示此兩種測量方式之資料皆可運用在模型控制點與檢核點的使用。

再利用三筆RTK資料依序對e-GNSS作比較

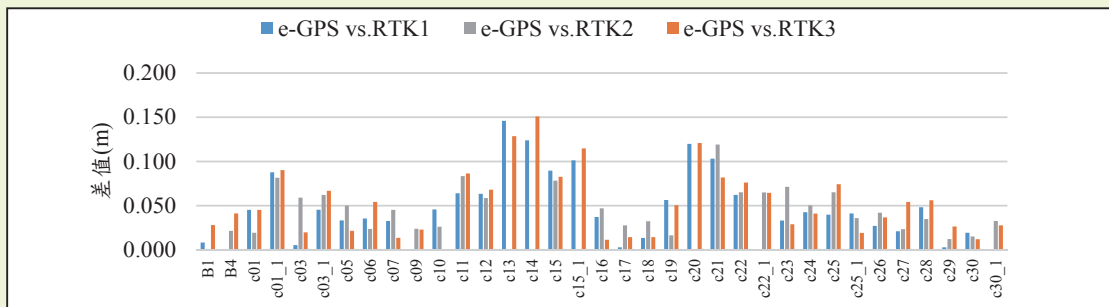


圖6 e-GNSS、RTK前後期平面誤差

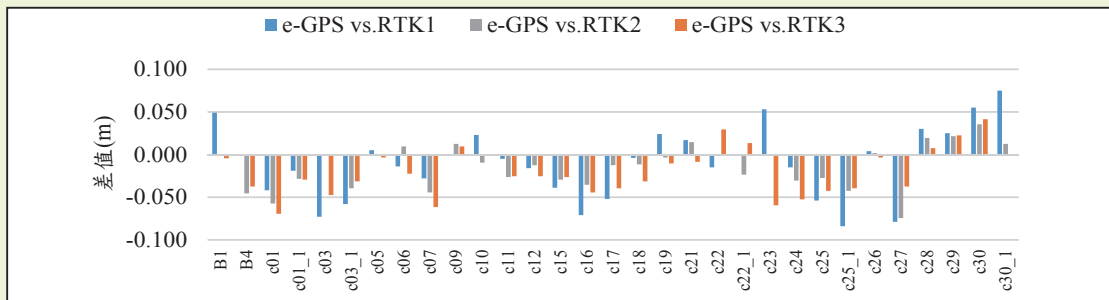


圖7 e-GNSS、RTK前後期高程誤差

## 二、軟體空中三角測量於控制點運算報表分析

本研究使用法國ContextCapture軟體進行系統的數據處理，將垂直影像與傾斜影像及POS數據等輸入系統中，進行垂直影像和傾斜影像的自動空中三角測量，密集匹配DSM，並建構三維模型，自動生成紋理，最終形成真實三維場景。

在軟體進行空中三角測量所使用地理空間定位有兩種方式，一種是無人機載拍攝影像的空中GPS調整，此方式需由至少三張相片中互相對應某特徵點位置而形成一個連接點，再藉由相同特徵點，讓影像自動生成大量的連接點；另一種則是以影像本身具有空中三角參數，並再套用人工選點的地面控制點來約制。藉由匹配影像中手動輸入的控制點，可以使模組準確地參照實際地理空間位置，再次進行各影像之空中三角的計算。

利用兩種運算方式以同樣控制點輸入來探討兩者誤差大小，以各航高加入所有控制點數量為例(表4)的控制點精度報表分析，以控制點空間位置與影像資訊GPS調整模型的均方根誤差皆小於4公分，而以像片影像資訊GPS調整模型的均方根誤差卻大於1.5公尺。研判以像片影像資訊GPS調整模型，其像片的影像資訊誤差可藉由無人機上的GPS進行修正。

表4 空中三角運算後的控制點精度報表(單位：m)

航高_控制點數量	RMS of reprojection errors [px]	RMS of distances to rays [m]	RMS of 3D errors [m]	RMS of horizontal errors [m]	RMS of vertical errors [m]
以控制點空間位置與影像資訊GPS調整地理空間位置					
80_All	3.1	0.039	0.066	0.024	0.062
120_All	1.97	0.036	0.053	0.025	0.047
160_All	1.79	0.039	0.056	0.029	0.047
以像片影像資訊GPS調整地理空間位置					
80_All	142.30	1.614	1.831	1.664	0.766
120_All	101.28	1.769	2.225	1.588	1.588
160_All	70.35	1.505	3.705	0.535	3.666

在空中三角運算後的控制點精度報表中，軟體會將人工選點的控制點與影像空三後匹配到的控制點進行誤差大小的分類(表5)。以80\_All以控制點空間位置與影像資訊GPS調整地理空間位置為例，藉由空中三角測量中自動運算出的結果(圖8)。

表5 投影誤差精度報告誤差分類

Reproj. Error [px]	Accuracy level	Color code
<1 px	high	green
[1px,3px]	medium	yellow
>3px	low	red

各個圖像中人工選點的控制點顯示為紅十字，而綠色十字代表經由空中三角運算後的影像控制點位置，影像運算後完全匹配(圖9)，匹配適中(圖10)，而匹配錯誤較高(圖11)則表示影像資訊較不良。

兩種調整空中三角運算的方式以像片影像資訊GPS調整地理空間位置並在有輸入控制點情況下，藉由空中三角運算出結果，查看圖像的控制點位置發現兩點誤差極大(圖12)。

因此在進行空中三角運算必須使用以控制點空間位置與影像資訊GPS調整地理空間位置為最佳，進一步分析真實地面控制點與模型座標位置的比對，探討模型的精度狀況。

File Actions

Control points

Spatial Reference System (SRS): Set the SRS of all points to selected one

Name	RMS of reproj. error [pix]	RMS of dist. to rays [m]	3D error [m]	3D horizontal error [m]	3D vertical error [m]
B1	6.74	0.105	0.179	0.039	0.175
c03	5.82	0.058	0.100	0.054	0.084
B4	5.26	0.061	0.114	0.012	0.113
c13	3.41	0.041	0.061	0.038	-0.047
c28	3.26	0.041	0.087	0.014	-0.086
c30	2.97	0.034	0.061	0.030	-0.053
c22	2.52	0.030	0.051	0.021	-0.046
c11	2.49	0.028	0.033	0.023	-0.024
c20	2.45	0.030	0.043	0.023	-0.037
c19	2.31	0.026	0.050	0.017	-0.048
c25	2.25	0.027	0.032	0.027	0.017
c07	2.03	0.024	0.027	0.027	0.000
c17	1.52	0.019	0.032	0.007	-0.031
c26	1.43	0.017	0.030	0.007	-0.029
c09	1.42	0.016	0.026	0.007	-0.025
c16	1.19	0.014	0.024	0.007	0.023
c23	1.18	0.014	0.015	0.014	0.005
c15	1.14	0.015	0.023	0.005	0.022
c06	0.86	0.010	0.016	0.009	-0.013

圖8\_80\_A11以控制點調整模型精度報表

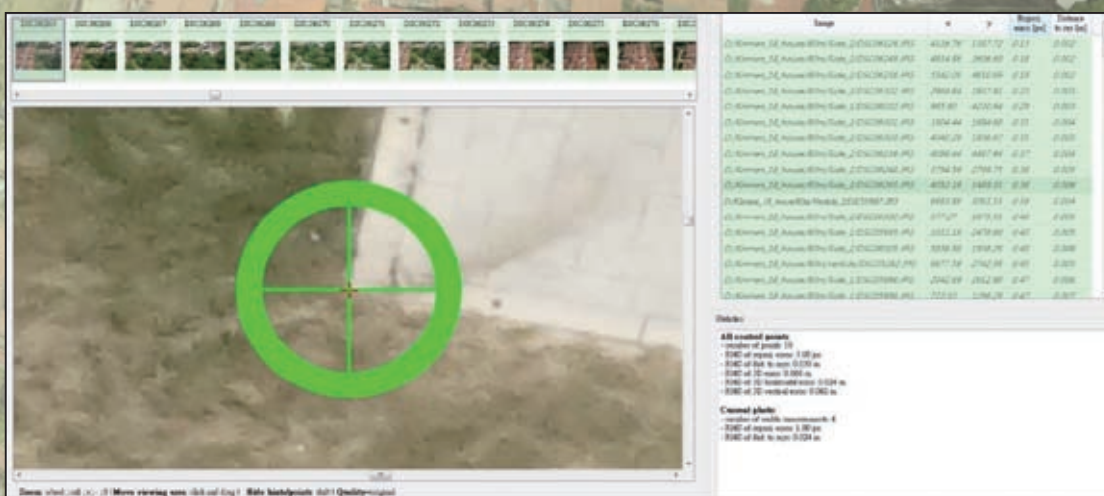


圖9 投影匹配良好



圖10 投影匹配適中

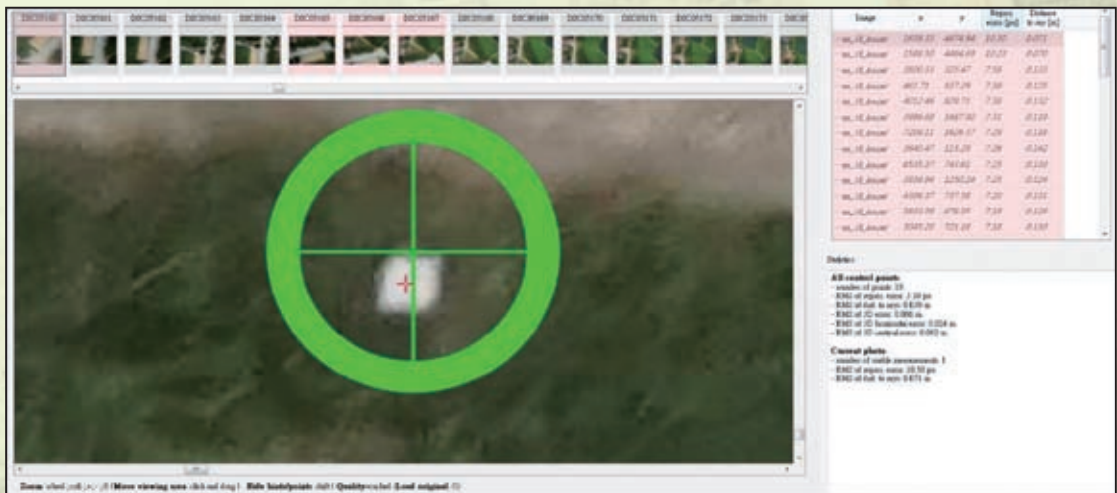


圖11 投影匹配不良



圖12 以像片影像資訊GPS調整地理空間位置之投影匹配不良



### 三、真實三維模型

經由空中三角運算後，藉由軟體的大量影像匹配技術與硬體大量計算後，創建成可縮放與旋轉任何比例、不同視角的真實三維模型(圖

13)。並輕鬆切換三維模型為白膜(圖14)探討模型精度狀況、三角化曲面線條(圖15)以及點雲的顯示(圖16)，更可了解地形地貌上的現實狀況。



圖13 真實三維模型

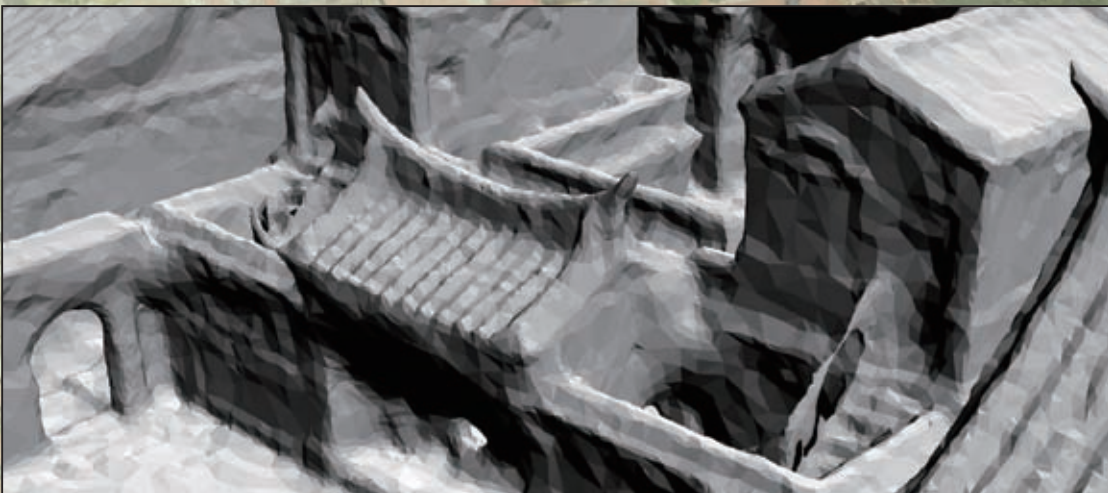


圖14 模型白膜

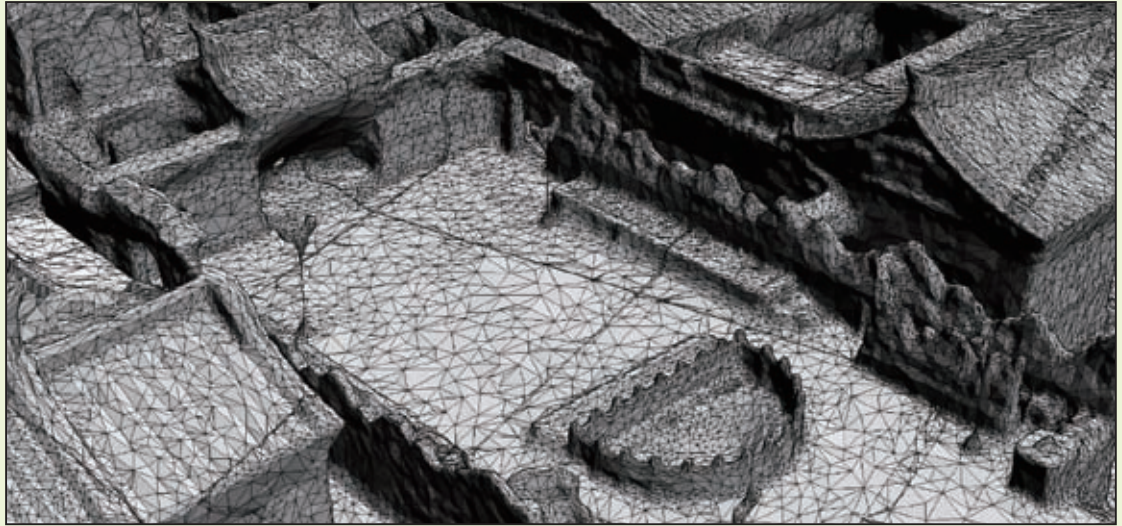


圖15 模型三角化網格

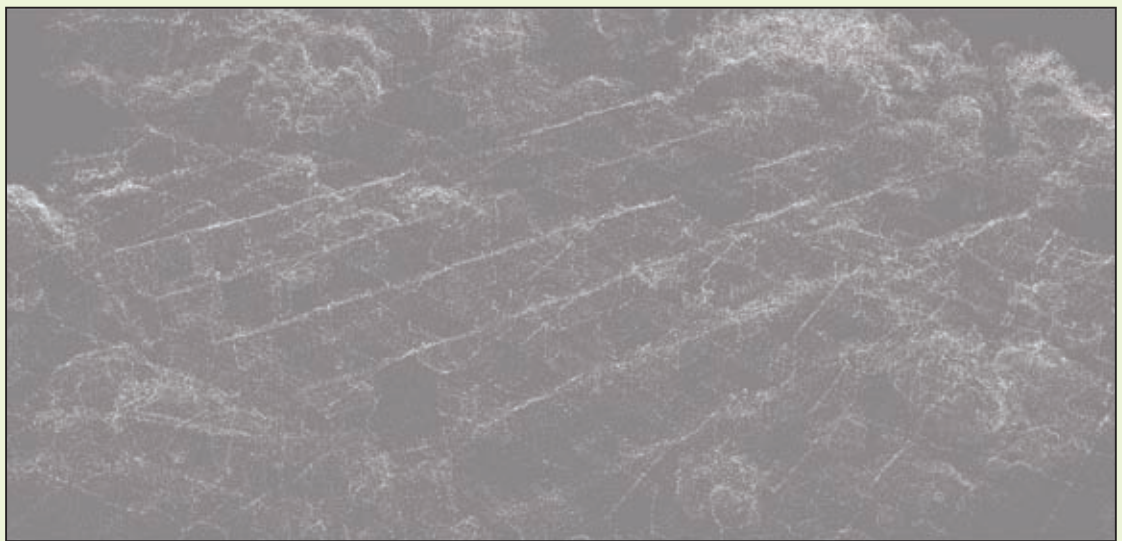


圖16 模型點雲

#### 四、真實三維模型之正射影像與數值地表模型

正射影像(圖17)是航空像片經過傾斜和高差移位之幾何糾正與拼接，以地理座標資訊來正確地展示真實世界中地物的幾何關係，可根據影像上的色彩、形狀等辨識出地表上的地物，故使用方便且容易辨識，並能依照所需在地理資訊系統上疊圖、量測與分析，若配合三維的數值地形模型能進行更多的應用。

將三維模型轉換成數值地表模型(圖18)，以數值化的方式展現三維空間地形的起伏變化，透過地理資訊系統將空間資料展示於電腦螢幕或輸出設備，並完整呈現地形資訊，是相當重要且基本的資料，能依需求作所需要之處理與判識，包括災害評估、量體評估、地形環境調查、數值模擬等。

使用正射影像分析模型產製出來的結果是，是否有如實際平面點位位置相同，並以數值地表模型分析實際點位高程誤差大小，經由使用檢



圖17 正射影像

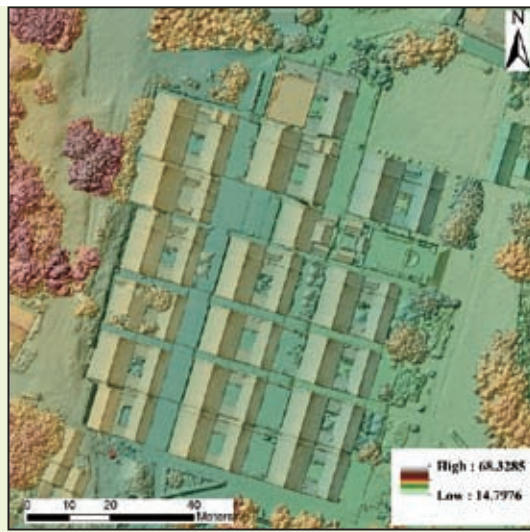


圖18 數值地表模型

核點來探討產製模型誤差，將各別模型誤差以表6、表7呈現。

以模型建置中加入9個控制點為例，當航高

80公尺、120公尺與160公尺所產製的模型，各產製出正射影像解析度分別為1.2公分、2公分及2.2公分，平面標準差約3公分以內，而高程標準差約4公分以內。飛航高度越高其影像解析度越

表6 各航高不同控制點數量之平面標準差(單位：m)

影像來源	座標(X,Y)	平均誤差	均方根誤差	標準差	均方根誤差 $\Delta XY$	標準差 $\Delta XY$
80m_No	X	-0.716	0.791	0.274	2.332	0.435
	Y	2.089	2.194	0.339		
80m_9	X	-0.001	0.016	0.015	0.025	0.024
	Y	-0.005	0.020	0.019		
80m_All	X	0.001	0.018	0.017	0.027	0.025
	Y	-0.010	0.020	0.018		
120m_No	X	-0.678	0.711	0.104	1.649	0.193
	Y	1.425	1.487	0.162		
120m_9	X	-0.002	0.021	0.021	0.030	0.029
	Y	-0.006	0.021	0.021		
120m_All	X	0.003	0.019	0.019	0.030	0.026
	Y	-0.014	0.023	0.018		
160m_No	X	0.301	0.339	0.132	0.700	0.165
	Y	0.583	0.613	0.100		
160m_9	X	0.010	0.020	0.018	0.030	0.028
	Y	-0.002	0.022	0.022		
160m_All	X	-0.004	0.021	0.020	0.031	0.029
	Y	-0.010	0.023	0.021		
All_All	X	0.002	0.016	0.0163	0.020	0.019
	Y	0.005	0.011	0.010		

表7 各航高不同控制點數量之高程標準差(單位：m)

影像來源	較差上限	較差下限	平均誤差	均方根誤差	標準差
80m_No	-0.459	-1.208	-0.743	0.817	0.253
80m_9	0.056	-0.031	0.000	0.033	0.033
80m_All	0.097	-0.046	-0.006	0.040	0.040
120m_No	-0.927	-1.452	-1.197	1.258	0.137
120m_9	0.069	-0.046	0.002	0.038	0.038
120m_All	0.132	-0.034	-0.019	0.055	0.051
160m_No	-2.180	-4.223	-3.345	3.546	0.607
160m_9	0.034	-0.076	-0.024	0.036	0.026
160m_All	0.028	-0.037	-0.003	0.019	0.029
All_All	0.061	-0.031	0.009	0.025	0.024

低，在人工點選控制點時，易造成判釋上的誤差，因此航高160公尺所產製的模型精度較低。將所有航拍影像與全部控制點建置真實三維模型，其解析度為1.7公分，平面標準差約2公分以內，而高程標準差則落於3公分以內，顯示出影像重疊率提高，有助於平面特徵點較為凸顯，人工所選點造成的平面誤差縮小。

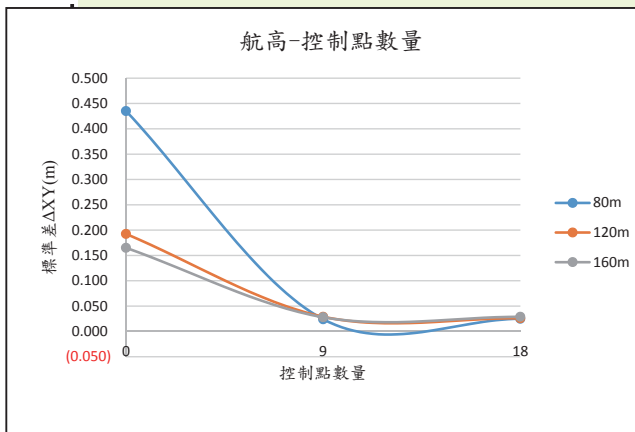


圖19 控制點數量模型平面標準差

加入過多控制點所產製真實三維模型，其平面誤差並不會明顯降低(圖19)，在人工點選控制點數量越多不利於產製模型時間縮短，而造成建模工作天拉長，因此此次研究加入9個控制點數量之建模成效似乎不會比加入19個控制點差。

## 五、真實三維模型之模型精度

所產製真實三維模型藉由研究區域內兩點最遠處的控制點基線長與模型同點位基線長(圖20)做為判釋模型相對精度大小(公式1)。

模型相對精度

$$= \frac{\text{三維模型中兩點最遠點距離長與真實空間距離長之差值}}{\text{兩點最遠點之距離長}}$$

公式(1)



圖20 模型基線位置

以表8模型建置中加入9個控制點為例，當航高80m、120m與160m所產製的模型，各產製出模型相對精度為1/3134、1/5937和1/2821。在160m\_No之模型精度有所錯誤，原因為模型絕對座標位置並非真實位置的檢核點，因此，無法使用模型相對精度的概念來探討。將所有航拍影像與全部控制點建置真實三維模型而產製模型相對精度為1/3633，因基線長度受限於研究區域中，故研究區域如範圍更廣時，其模型精度將有所提高。

當全部航拍影像加上全部控制點影像其模型立面紋理呈現，以下簡稱M1模型(圖21)，再將人工地面拍攝877張照片加上所有航拍照片進一步產製真實三維模型，以下簡稱M2模型(圖22)。從遠景兩個相比下，很明顯地M2模型解析度是遠大於M1模型，凸顯無人機載傾斜攝影再加上地面近景攝影，有助於模型立面解析度與模型精度的提升。

表8 各航高不同控制點數量之模型相對精度(單位：m)

影像來源	kc01_1		kc30_1		基線長	誤差值	相對精度
	X	Y	X	Y			
地面測量	59.290	11.152	03.228	07.261	112.800	-	-
80m_No	59.098	13.241	02.042	09.468	112.308	-0.492	1/250
80m_9	59.262	11.163	03.204	07.235	112.836	0.036	1/3134
80m_All	59.261	11.169	03.202	07.231	112.845	0.044	1/2565
120m_No	58.790	12.529	02.405	08.807	112.519	-0.281	1/400
120m_9	59.255	11.159	03.219	07.258	112.820	0.019	1/5937
120m_All	59.265	11.163	03.219	07.239	112.837	0.037	1/3050
160m_No	59.572	11.620	03.743	07.818	112.809	0.009	1/12534
160m_9	59.279	11.163	03.245	07.240	112.841	0.040	1/2821
160m_All	59.254	11.158	03.224	07.239	112.838	0.038	1/2969
All_All	59.262	11.163	03.204	07.235	112.835	0.036	1/3166



圖21 全部無人機空拍影像所建置之真實三維模型



圖22 全部航拍影像與地上近景影像之真實三維模型

局部放大來看，不管是窗戶的外觀、磚牆上的雕飾、屋簷的雕刻、半月型風水池的柱子上紋理和側面石頭造景紋路，在M2模型上的表現都是相當細緻的(圖23~27)。

一樣以相對精度來比較M1與M2模型大小，在模型上我們量測立面點位g99與地面控制點

c26之間的距離，兩種模型分別量到的數值為1966公分與2128公分(圖28和29)，而全測站計算出來的數據為2128.08公分，同樣的c26固定不動，選擇量測立面點位g106、g108、g113和g134，M2模型精度約在1/25000上下，如表9所示。



圖23 窗戶的外觀(左圖為M1模型，右圖為M2模型)

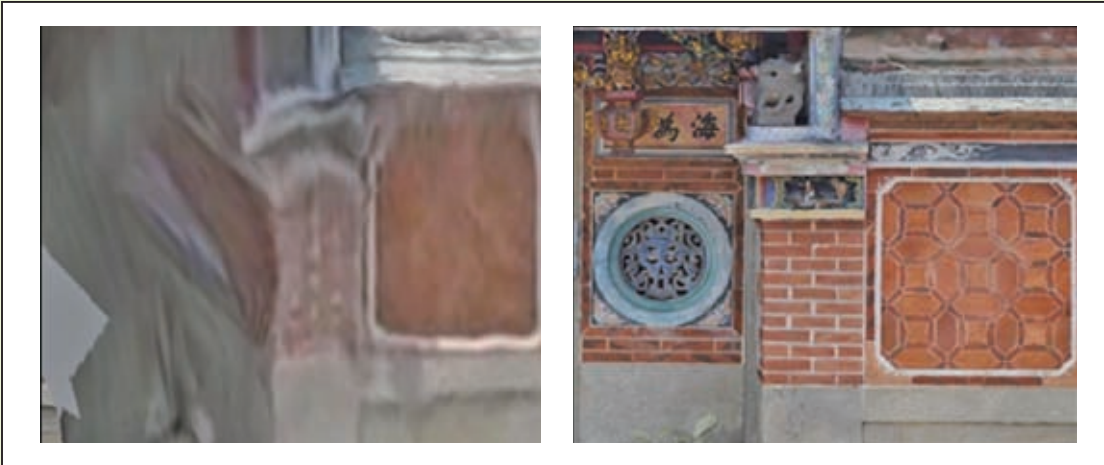


圖24 磚牆上的雕飾(左圖為M1模型，右圖為M2模型)

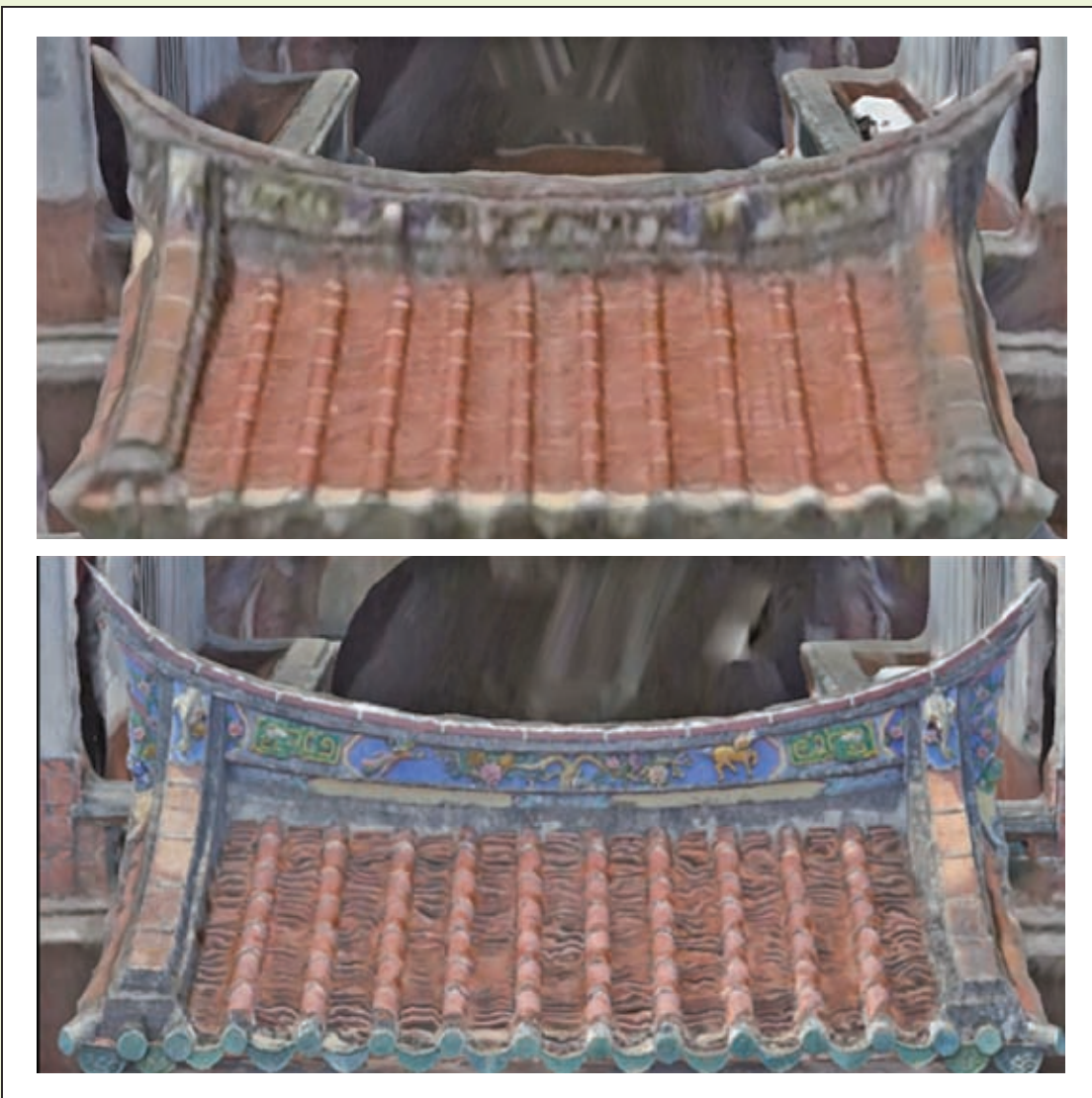


圖25 屋簷的雕刻(上圖為M1模型，下圖為M2模型)



圖26 半月形風水池的柱子上紋理 (左圖為M1模型，右圖為M2模型)



圖27 側面石頭造景紋路(上圖為M1模型，下圖為M2模型)



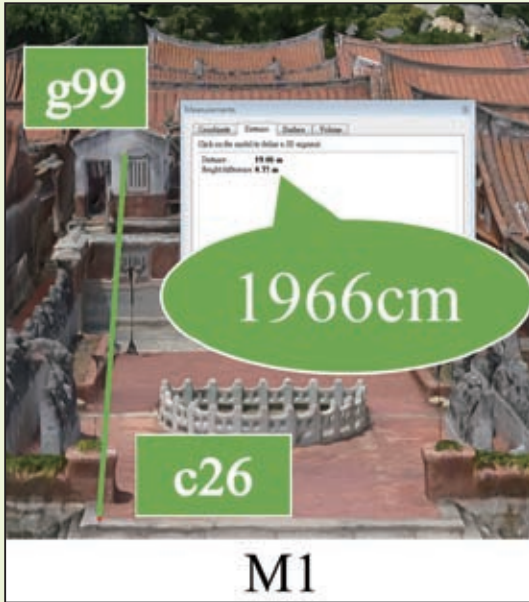


圖28 在M1模型量測點位g99到c26距離

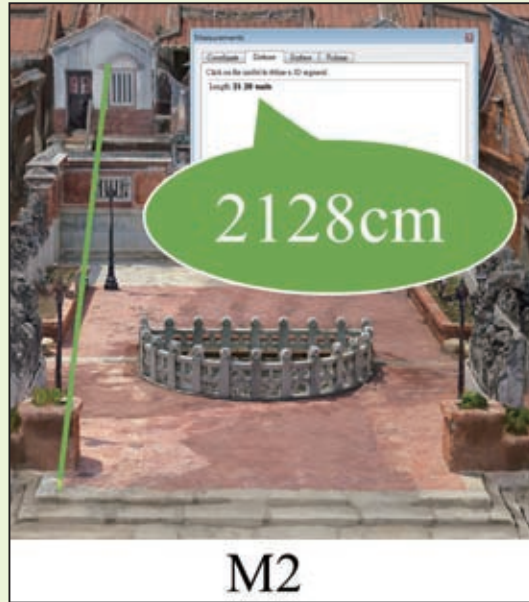


圖29 在M2模型量測點位g99到c26距離

表9 模型立面點位與全測站數據相對精度比較表(單位：cm)

控制點位	立面點位	M1模型	M2模型	全測站	誤差值		相對精度	
					M1	M2	M1	M2
c26	g99	1966	2128	2128.08	162.08	0.08	1/13	1/25588
	g106	2070	2241	2241.09	171.09	0.09	1/13	1/23950
	g108	1686	1824	1823.936	137.936	-0.064	1/13	1/27422
	g113	1741	1983	1983.071	242.071	0.071	1/8	1/26225
	g134	1811	1958	1958.079	147.079	0.079	1/13	1/23854

## 陸、結論

無人飛行載具攝影測量為近年來新興工具，使用無人飛行載具相較於傳統航空飛行器更可達到取得資料的即時性與便捷性，並搭載簡便非量測型相機進行傾斜與垂直影像的拍攝，使研究對象能在短時間取得資料。

將影像資訊、現地量測控制點與建物立面匹配點進行軟體的自動空中三角運算後，進一步產製真實三維模型、正射影像與數值地表模型，相較於傳統手工建模的成效更為迅速。所

產製的模型可進一步使用於數位典藏、地質構造研判、觀光導覽等用途性，達到數位化保存的價值。

本文研究對象為無人機載攝影測量的三維建模成效，以影像建置模型有無控制點的輸入、控制點的數量對模型的精度影響，以及空中傾斜影像結合地面近景攝影的立面紋理變化等方面，得出以下結論：

真實三維模型的產製如未輸入地面控制

點時，其模型精度較差，經適當加入控制點數量，有助於真實三維模型的精度提升，其空間資訊較於契合真實地面空間位置，加入過多控制點會使得人工點選控制點工作天拉長不利於快速建模的效果。

一、加入適當控制點後，建模相對精度為 $1/2821 \sim 1/5937$ ，如增加研究區域面積，其模型相對精度會再提升，產製模型之平面標準差小於4公分，而高程標準差小於9公分，顯示模型精度在容許範圍內。

二、藉由傾斜攝影的方式能使真實三維模型牆面紋理呈現，但位於地面植被林蔭、載具搭載相機的傾斜視角不足等因素，這些情況都會在航拍影像中形成遮蔽區，導致無法獲取遮蔽底下的空間資訊，造成三維資訊的不完整及不確定性。

三、藉由人工於地面拍攝建物各個面取像再結合航拍影像，能更完整地涵蓋建物每個細節，產出相當細緻的三維建物模型，使立面紋理解析度提高，提昇模型精細，相對精度亦隨之提高至 $1/25000$ 。

## 參考文獻

1. 林秋芬，2015，無人飛行載具真實三維模型建模精度評估，國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文。
2. 黃美甄，2014，地面控制點對無人飛行載具數值地形模型精度影響之評估，國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文。





## 2

工程論著

# 污水處理廠施工實務 —以新竹科學工業園 區龍潭基地為例

關鍵詞(Key Words)：科學工業園區(Science Park)、水資源(Water Resource)、放流水(Effluent)、  
施工管理(Construction Management)、綠建築(Green Building)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／技術經理／陳世光 (Chen, Shih-Kuang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／計畫工程師／呂浩慶 (Lu, Hao-Ching) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／正工程師／羅世壬 (Luo, Shih-Jen) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／正工程師／李景棠 (Lee, Ching-Town) ❹

## 摘要

科技日新月異，產業競爭瞬息萬變，污水量常因轉換及進駐廠商類型不同，或已進駐廠商製程及產能之改變，造成實際污水處理量與效能隨時間變化甚鉅，為提高污水廠整體效益並保留污水處理量之彈性，本園區污水量採「分期分階段建設」，第一期工程已先於環-1北側空地興建完成之設施應付當前污水處理。後續為因應園區進駐廠商污水處理迫切需求，及新增氨氮處理去除能力，使其排放水質符合民國106年開始實施之最新環保法規要求；爰此，民國103年開始興建本案二期工程。



## The Practice of Wastewater Treatment Plant – the Case of Hsinchu Science Park

### Abstract

Proper facilities for the disposal of sewage is necessary for a science park. The amount and characteristics of sewage change significantly with the dischargers' type and products. Therefore, it is important to keep the treatment processes highly efficient and flexible when designing and constructing a wastewater treatment plant. In this case of Hsinchu Science Park, a wastewater treatment plant was built stage by stage.

The first stage of processing plant construction, which locates in the environmental-1 north vacant lot, has been done for urgent need. After that, the second stage has started in 2014 to service the new factories relocation into the science park. A de-ammonia treatment was added into the processes to meet the latest environmental regulation which enforces since 2017.

3

專題報導



圖1 龍潭基地鳥瞰圖(資料來源：新竹科學工業園區管理局網頁)

## 壹、計畫緣起

目前科學工業園區管理局所轄屬之[龍潭園區]，園區內廠商家數因未達規模，原已設置污水處理廠之設施足供應付處理需求；惟近期園區招商踴躍且各廠商均積極建廠以擴充產能，是以區內爾後污水處理量能勢必大幅增加；加以環保法令更新，對於污水中之氨、氮化學元素成分均須予以去除，雖既設污水處理廠已經過功能提昇改善之程序，惟仍無法處理新增之污水處理量；爰此，增設置處理6,000CMD之污水處理廠一座及相關設施以為因應如圖1。

## 貳、規劃設計及施工執行成果

### 一、設計處理水量水質與處理目標

#### (一) 設計處理水量水質

依引進產業類別推估龍潭基地(不含友達光電)之綜合污水量及水質，其平均污水量約為18,500CMD，其BOD<sub>5</sub>=130mg/L、COD=250mg/L、SS=130mg/L、T-N=50mg/L，考量污水量會因引進產業不同而變動，環評

承諾污水處理廠設計處理量25,000CMD，將分別於環-1及環-2用地內分期興建。

#### (二) 處理目標

為避免各工廠排放廢水水質之差異影響污水收集系統及污水處理廠之正常操作，園區將訂定納管限值，各工廠須進行必要之前處理始得納管。污水處理設施之放流水質為BOD<sub>5</sub>(七日平均值)≤10mg/L、COD≤80mg/L、SS(七日平均值)≤10mg/L、NH<sub>3</sub>-N≤20mg/L，其餘均符合環保署公告之放流水標準，處理後放流水排放基地東側之大坑缺溪(縣管河川老街溪之支流)。

### 二、處理流程及平面配置

#### (一) 處理流程

本計畫採行前處理、二級生物處理及混凝與過濾處理程序，生物處理程序採A<sub>2</sub>O(厭氧、缺氧及好氧)為主，以達到N、P處理之需求，初期因僅有除氮要求，將以缺氧好氧系統(AO)操作，整體處理流程詳圖2，說明如下：

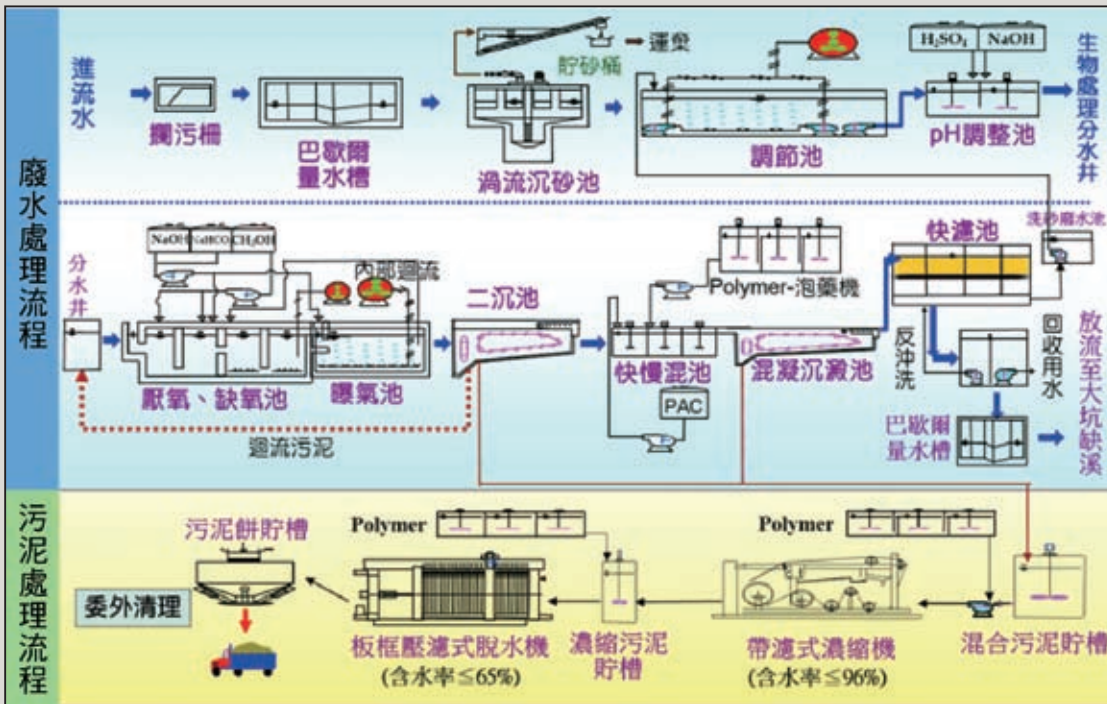


圖2 龍潭園區污水處理廠處理流程圖 (資料來源：新竹科學工業園區管理局網頁)

污水先經機械攔污柵攔去較大型之固體物，再經巴歇爾量水槽量測流量後，進入抽水井藉由抽水機提昇水頭，將污水輸送至沉砂池，以去除水中砂粒，再分別進入二組調節池、調節流量後經pH調整池進行酸鹼中和，再依續流入生物處理單元、二級沉澱池，將污水中之有機物、懸浮固體物去除，並可視操作模式進行脫氮處理，後再經混凝沉澱設施及過濾池去除細微固體物，以符合環評承諾之放流水標準，進入放流回收水池，以專管排放至大坑坎幹線後進入承受水體大坑坎溪。

二沉池之廢棄污泥及混凝沉澱池之混凝污泥，將分別泵送至混合污泥貯槽混合後，再藉由混合污泥泵抽送入濃縮機，藉由壓縮作用將污泥濃縮，體積減少，濃縮後污泥藉由濃縮污泥泵送至濃縮污泥貯槽，再由污泥進料泵送至脫水機，藉由機械作用將污泥脫水，脫水後泥餅經輸送

機送入泥餅貯槽，再定時由卡車載往衛生掩埋場或其他合法資源回收場所做最終處置。

## (二) 平面配置

污水處理單元主要包括管理大樓及前處理機房、調節池、pH調整池、缺氧好氧池、二沉池、快慢混池、化混池、快濾設施及放流回收水池，另設置緊急發電機(一二期共用)、鼓風機房、加藥機房及污泥處理房(一二期共用)，考量避免噪音及臭味(如H<sub>2</sub>S、VOC等)造成影響，各噪音源均採防震與隔音處理，室內除設計通風設施外，臭味逸散之池槽(如前處理、生物反應池、污泥槽)均予加蓋，並將臭氣抽至除臭系統處理，另在管理大樓西側則為保警隊舍詳圖3。



圖3 龍潭園區污水處理廠第二期第一階段工程平面配置

表1 合格(許可)證之取得

1	水質檢測報告合格；取得水污染防治許可證(排放地面水體變更)，府環水字第1060167026號，民國106年07月24日。
2	取得消防檢查合格，桃消預字第1060020953號，民國106年6月30日。
3	取得建築物使用執照，(106)科工(竹)用字第00019號，民國106年7月14日。
4	取得電梯使用許可證，使用許可證號：026-001085，民國106年12月14日(106年度有效期限)。
5	取得綠建築標章，目前申請中(106年9月)。
6	管理大樓(含保警隊)遷駐辦公，民國105年11月20日。

### 三、施工執行成果

基於開發用地及面積受限，規劃設計時刻意將建築集中配置，並將污水處理單元與相關機房採用共構方式設計，主要考量全區規劃整體性，及對於未來施工上之便利性，並可避免建築物的分散配置而造成在管理維護上的不便，且提供舒適場所及方便廠商與民眾洽公。施工後，各項重要合格證(許可證)之取得如下：污水排放符合環保署公告之放流水標準、消防檢查合格、建築物使用執照、電梯使用許可證等，詳表1。

### 參、施工管理及面臨的挑戰

#### 一、施工管理

##### (一) 設備功能運轉測試抽驗程序及標準

為達設計功能及標準，機儀設備於工廠製造、現場安裝施工、完工時，實施各階段檢驗與測試，並作成紀錄，確保設備品質及功能。檢驗及標準依下列程序：





照片A1 電氣設備運轉測試(電壓/電流)



照片A2 泵浦設備功能運轉測試(運轉)



照片A3 刮泥設備功能運轉測試(控制)



照片A4 鼓風機設備功能運轉測試(運轉)

1. 檢驗與測試種類：(1)製造工廠檢驗與測試(2)工地檢驗(3)單項設備性能測試(4)系統試運轉測試(5)整體控制中心系統連線測試(6)設備功能驗收測試(7)啟用前調整測試，詳照片A1~A4。
2. 檢驗與測試標準：(1)採最新國家法規與標準、規範(2)設計圖說與施工規範(3)若施工規範未註明，且相關國內標準與法規亦未明定，則應另提出國際標準及其他同等標準或權威性的標準以供審查。

## (二) 施工抽查驗

池體部分乃污水處理廠最重要之硬體設施，為確保施工品質進水後不致發生漏水，新建鋼筋混凝土造池體施工完成後，

試水五日，依下列方式辦理：

- 鋼筋混凝土造池體，施工完成後經存滿水五日以上，再行試漏。
- 試漏時應加水至水位達設計最高水位，延時五日後，測量其水位下降量，應不超過下列公式計算值方為合格。

1. 有蓋板水池：水池試水深度 $\times 0.005$
2. 無蓋板水池：

- (1) 平均氣溫 $10^{\circ}\text{C}$ 以上：水池試水深度 $\times 0.005 + 1.5 \times (\text{平均氣溫}^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C})\text{mm}$ 。
- (2) 平均氣溫 $10^{\circ}\text{C}$ 以下：水池試水深度 $\times 0.005$ 。

(3) 平均氣溫係指試水期間每日最高氣溫與最低氣溫之五日算術平均值。

3. 前述水池試水深度，若水池深度非整池相同者，則以水池之實際容量除以水池表面積之商(即水池平均深度)為準。

4. 試漏時，於每日同一時間紀錄其水位，無蓋板水池試漏中，若遇下雨致水池水位改變時，則可保留下雨前之試漏日數與其水位下降量，其餘日數之試漏，則以雨後之水位續試併計，惟若遇雨天二十天以上，仍無法試漏滿五日者，得以試漏二日之水位下降量，不超過「水池試水深度×0.002」時視為合格。

本工程經試水後，大部分均無漏水情形，只有局部A4區二沉池深池區、A6區抽水井等位置有些微滲水，經低壓防水抓漏後已全部合格。

## 二、面臨的挑戰

### (一) 既有停用設備及地下管線拆除

二期一階工程施工場地，為前期污水處理廠現址，新建工程施工前即需將該基地既有設備及管線拆除後才得以施工。由於前時期埋設管線位置及高程與圖說有所偏差，開挖時無從判斷，加上現有一期部分管線亦埋設於地下，只能循管線大致走向緩慢試挖，並有圖說上未標註之管線造成誤挖風險值增高。另一問題為拆除後設備管路移置儲放之場地，拆除後管路設備量體多，現今竹科污水廠未使用空間有限，須於短期內儘速尋覓一處可收容處所。

克服方式：地下管路採試挖方式，確認路徑及無不明管線後始可大動作開挖，

另經業主機關各單位協調調動，終勉強找到可置放這些量體之設備空間，立即依相關作業程序開始搬遷，上述原因造成施工进度受限，雖後續儘速趕處理，惟實質影響工期105天。

### (二) 廠區內施工動線侷限

工期因有時程期限(106年1月配合環保新法規放流標準)，各區結構、裝修及配管施工工序及動線採分階段施工。由於施工動線及置料區受限，A1區管理大樓及前處理房、A4區生物反應池及二沉池(含加藥機房、鼓風機房)、A5區快慢混及混凝沉澱池(含混凝加藥機房)及A6區砂濾池及鼓風機房需同時施工，儀控管線及設備才能依規劃時程順利進場安裝及測試。施工順序為：A6區→A5區→A4區→A1區結構裝修及配管，最後A9區裝修工程，如圖4所示。

克服方式：二期施工階段，一期污水處理操作、龍潭服務管理中心及保警隊等單位須維持正常運作，暫以A9區既有管理中心集中辦公，俟A1區工程完成搬遷後A9區再進行後續整修施工。各區在同時間併行作業，所有施工動線須緊密協調並採行動式管理，隨時掌控施工進度、工班進場及人數、施工查驗、安全衛生、交通維持，避免影響各區施工進度。

由於廠內各工種同時施工，施工廠商人數、車輛、設備材料…等規劃時需整體考量，依施工進度排程分階段、分數量進場，避免衝突。施工車輛停車位置，則以廠區對面空地暫時租用，以解決停車問題。

### (三) 二期電力系統轉換(11.4KV切換22.8KV)

一期既有營運電壓為11.4KV，二期工

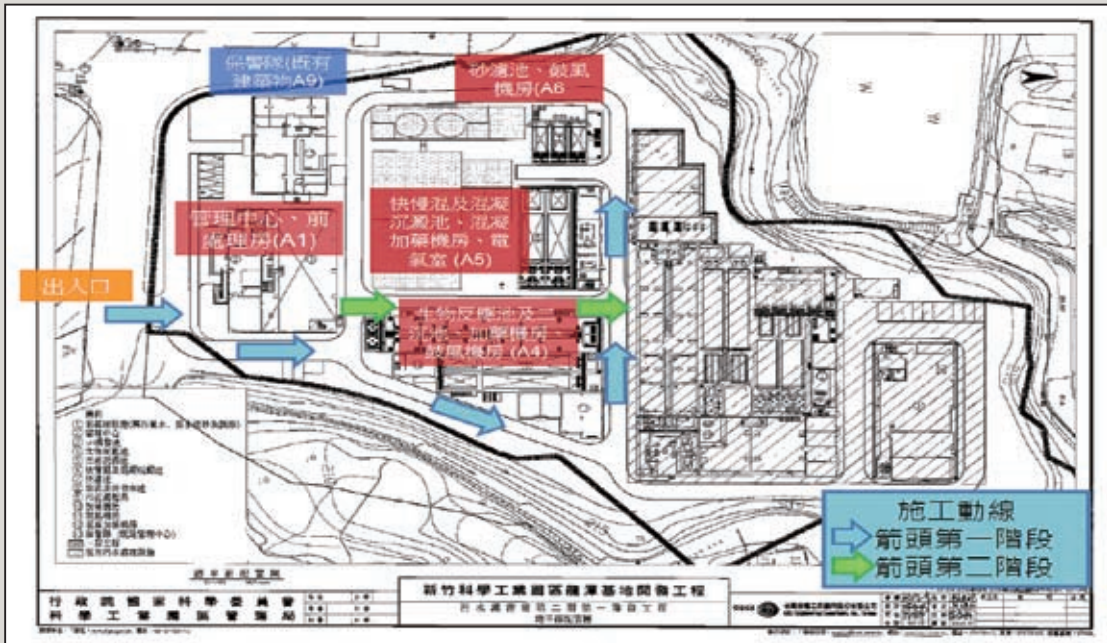


圖4 分階段施工動線規劃

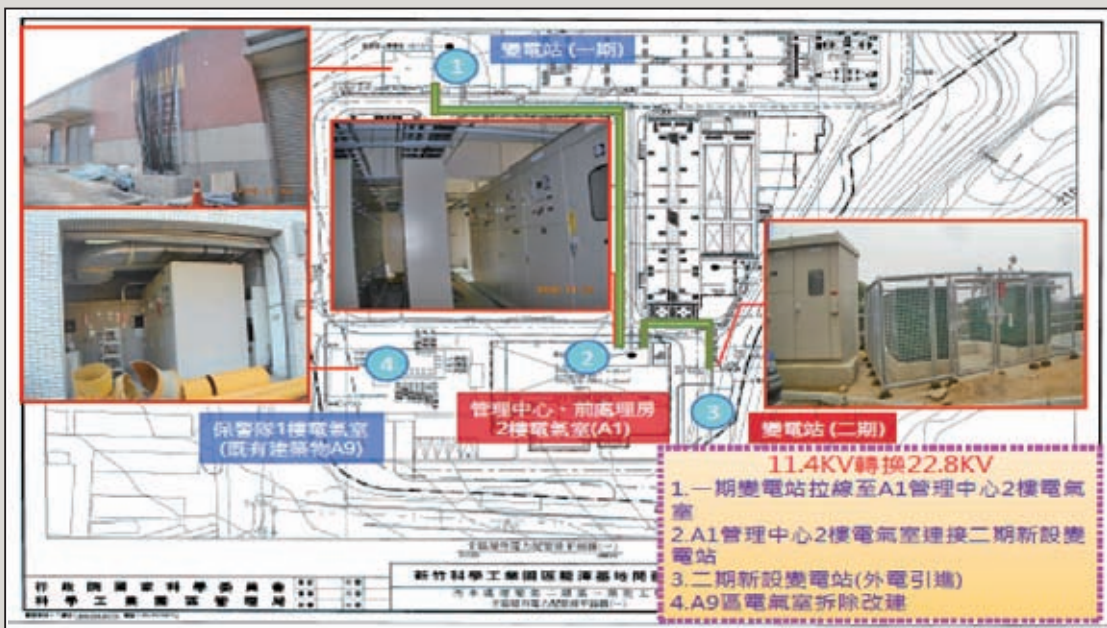


圖5 11.4 KV 轉換22.8 KV 管線施工及電氣設備位置圖

程完成後升壓為22.8KV，原電氣室設置於A9區管理中心一樓供應既有管理中心營運及一期污水處理設備操作，後續二期則新設於A1區管理中心二樓，轉換供應整廠全區用電(含一期)如圖5。

克服方式：施工階段，廠區地下管線及電氣室機房先行建置完成；並協請台電公司變電站及外電線路引進送電。

11.4KV切換22.8KV時需暫時停電，高壓電力設備檢測合格始進行電力轉接作

業，停電期間會影響其他工項施工，部分可臨時採以發電機供電，前後影響8個工作天，需協調承商事先租用發電機以為因應。

#### (四) 程序管線埋設與他項施工衝突

各區程序管線，依設計圖高程埋設於最底層故須先行開挖施工，完成後，上層自來水及電力管線才能接續施工，工序及施工時程須管控，避免影響上層管路施工與外牆裝修施工架搭設時程，反之，外牆裝修施工架拆除時程若有延遲，亦影響地下管線埋設工作。

克服方式：規劃以不影響施工動線者優先開挖，施工順序為：A4區西側道路→A1區北側道路→A4區東側道路→A6~A4區北側道路→A1區東側道路→A1區南側道路，如圖6。

施工車輛進出、設備材料進貨、外牆拆架作業…等依施工進度時程與管線開挖作業配合，避免互相影響。

### 肆、結語

因本案有「限期完工」期程，由科管局業主方全力協助，本公司水環部設計單位專業規劃，經營管部監造單位施工監造，各施工環節顯其重要，環環相扣。雖施工場地侷限，埋設管線及配置複雜，施工團隊以事前周詳規劃及不斷溝通、協調，協力廠商相互砥礪配合，在施工過程中，透過上述施工管理制度、現場走動式管理、每週定期召開施工進度檢討會議、在品質保證制度及主動發現問題、解決問題等積極作為下，達成預定目標之艱巨任務。完工後之實質效益如下：

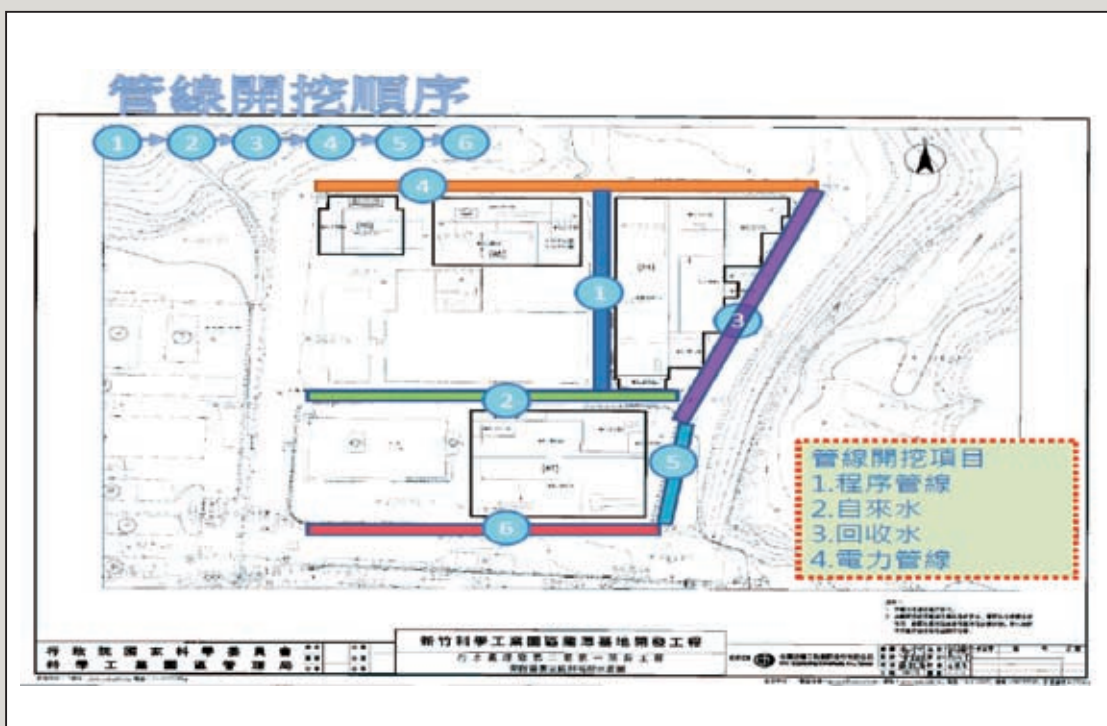


圖6 管線開挖施工，路徑規劃順序

項目	完工實質效益
1	第一期及第二期工程完成後污水處理量可達 13,000CMD，滿足現行廠商污水排放需求，並可依排放量調整廠區運作。
2	符合環保署民國106年起氨氮排放法規標準。
3	污水處理後回收水，可為澆灌之用，節約水資源。
4	新建主控制室MCP內集中顯示管理，得以有效掌控流程操作策略、水質監測資訊，精簡管理人力、提升處理效能。
5	園區龍潭基地服務中心使用空間及面積增加，更方便民眾洽公及開會。
6	原管理中心翻修，可供保警公務及隊舍使用，寢室及休憩空間增加，有助執勤效率。
7	取得綠建築標章「日常節約能源指標」、「水資源指標」。

## 參考文獻

1. 新竹科學工業園區龍潭基地(替代方案)開發計畫環境影響說明書。
2. 新竹科學工業園區管理局網頁。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司-水環部，行政院國家科學委員會科學工業園區管理局，新竹科學工業園區龍潭基地開發工程污水處理廠第二期第一階段工程設計報告，民國103年3月。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，新竹科學工業園區龍潭基地污水處理廠第二期第一階段工程-監造計畫書(第二版)，民國103年8月。



# 脫胎換骨——臺鐵 新城(太魯閣)站 新建工程設計特色 及施工重點介紹

關鍵詞(Key Words)：太魯閣(Xincheng (Taroko))、車站(Station)、自行車(Bicycle)、鐵路(Railroad)

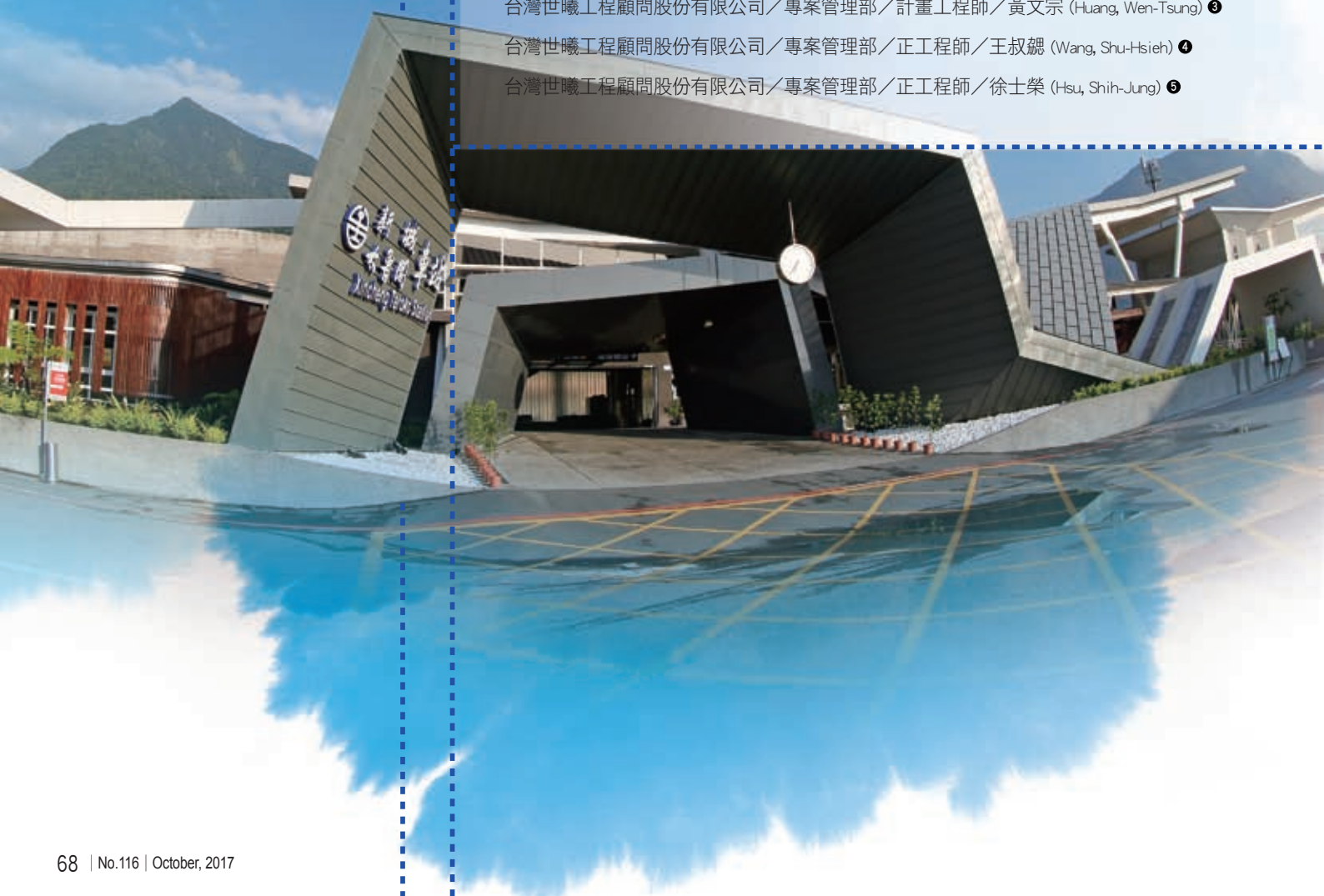
交通部鐵路改建工程局／東部工程處／處長／黃鳳岡 (Huang, Feng-Kang) ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／協理／邱水碧 (Ciou, Shuei-Bi) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／計畫工程師／黃文宗 (Huang, Wen-Tsung) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／正工程師／王叔總 (Wang, Shu-Hsieh) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／正工程師／徐士榮 (Hsu, Shih-Jung) ⑤



## 摘要

新城（太魯閣）站為「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」北起第一個車站，又地處太魯閣國家公園東側入口處不遠。遊客多搭車至本車站後，再以接駁車或遊覽車到達世界知名的太魯閣峽谷旅遊，車站入口設計遮雨棚與車站相接，呼應山林的摺板門樓廣場作為都市活動的延續，而門樓則作為站體空間與戶外之間中介轉化的界面，透過摺板形式強化車站層巒疊嶂的入口意象，由廣場望向門樓，由半遮掩的摺板形塑出「門」的空間元素，故本車站的改建與地景融合，在當地具有指標意義，後續將說明本站設計特色及施工重點。



# The New Design and Construction of Xincheng (Taroko) Railroad Station

## Abstract

Xincheng (Taroko) Station is the starting point of the Hualien-Taitung Efficiency Improvement Project from the north, located not far from the eastern entrance of Taroko National Park. Most visitors to the park usually take the train to this station and take shuttle bus to the world famous Taroko Gorge. At the station entrance, an awning is designed to connect to the station. In correspondence to the layer upon layer of the station plaza in the mountain forest, the image of the awning is used as a continuation of urban activities. In addition, the gateway is used as a transformed “interface” between the outdoors and the interior space of the station. The layer-upon-layer entrance image is strengthened through its layer-upon-layer design. Looking at the gateway from the plaza, a space element “door” is shaped and created by its half-covered and layer-upon-layer design. Therefore, the reconstruction of this railroad station would be a monumental improvement to the local community. Specific design features and construction key points will be described later.

3

專題報導

## 壹、前言[1]

交通部鐵路改建工程局「花東線鐵路整體服務效能提升計畫」乃依據民國97年11月25日行政院經濟建設委員會召開「振興經濟新方案一擴大公共建設投資審議會議」結論辦理，本計畫為提升東部鐵路運輸服務水準、平衡東西部鐵路運輸服務落差，就臺灣鐵路管理局現有花東線鐵路車站軟、硬體設備研擬整體服務效能提升措施，藉以提供遊客舒適、便利、快捷的旅遊環境，並促進鐵路沿線地方繁榮與產業發展。

本計畫由北到南為改善新城站至臺東站間沿線27個車站及周邊附屬設施；整體評估車站應採更新或改建方案，主要包含嚮導指標雙語化改善，站體周邊景觀綠美化改善，廁所改善(含符合性別平等設施)、無障礙設施改善，E化服務，以達到現代化之服務水準。(計畫範圍如圖1)

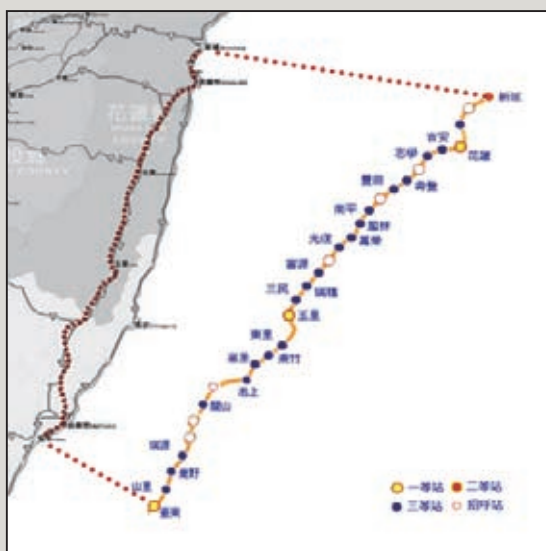


圖1 花東線鐵路整體服務效能提升計畫範圍

## 貳、工程介紹[2][3][4]

新城站已有四十年歷史，地處太魯閣國家公園東側入口處。有著地理優勢的太魯閣峽

谷馳名遐邇，每年吸引上百萬遊客，此外，每年一度的太魯閣峽谷馬拉松路跑賽、春節假期的太魯閣遊園專車以本站為集合站，加上近年來民眾自行車旅行風潮漸起，種種需求皆讓既有的車站空間與機能不敷使用，因此轉型為全新車站遂為必然的發展趨勢，除了改善旅運設施使其更加現代化外，尚需增設專業旅遊諮詢處、地方物產商業空間，並整合自行車路網與自助觀光，讓效能提升的新城(太魯閣)站蛻變成符合台鐵營運新形象的現代化車站。(如圖2、3、4)



圖2 車站相關位置圖





新城車站施工前



新城車站完工後

圖3 新城車站完工前後比較



圖4 第8屆(2014)金安獎佳作及委員參訪

本工程內容包含現有站體及房屋拆除、站體及其他附屬工程更新改建等二大部分，總經費新台幣2億9仟9佰萬元，於2012年11月開工至2016年2月完工，並獲得黃金級綠建築候選證

書、2017年金路獎成績優良、2015年第15屆公共工程金質獎入圍以及2014年第八屆金安獎佳作，無論節能減碳、施工品質及工地安全，均具有一定水準。(如表1)

表1 工程基本資料

業 主	交通部鐵路改建工程局東部工程處
設計單位	台灣世曦工程顧問股份有限公司/姜樂靜建築師事務所
監造單位	台灣世曦工程顧問股份有限公司
承攬廠商	安倉營造股份有限公司
施工期限	2012年11月5日~2016年2月4日
竣工金額	新台幣2億9仟9佰萬元
工程規模	1. 現有站體及房屋拆除 2. 站體及其他附屬工程更新改建(包含): (1) 站務空間工程 (2) 車站大廳工程(含機電及旅運等相關設施) (3) 岸壁式月台工程 (4) 自行車補給站與警務段工程 (5) 入口意象工程 (6) 地下道拓寬工程 (7) 月台雨棚工程 (8) 南端機房、南端廁所工程 (9) 自行車棚工程 (10) 月台電梯工程 (11) 基地消防水池工程 (12) 旅客服務中心外牆整修工程 (13) 站前廣場及轉乘雨棚工程 (14) 無障礙設施整建 (15) 一鄉一特色車站、嚮導指標雙語化強化 (16) 車站站房新建、改建配合現況改善 (17) 電氣工程及其他機電設施、號誌道路維修工程 (18) 給排水、消防、景觀植栽等工程 (19) 太陽能發電系統工程

## 參、設計內容[2][3]

### 一、以人為本的站前廣場

透過各級車流量統計預估，設定各種車輛分流路線以及計程車上下客處。規劃站前轉乘空間，將車行動線從廣場移開，以人行空間為主，並利用站前廣場串接周邊零散綠地成系統並提供安全步行空間，亦可提供聚集、活動，作為客運轉運、人車動線分離之介面，並設遮雨棚與車站相接。

呼應山林的摺板門樓廣場作為都市活動的延續，而門樓則作為站體空間與戶外之間中介轉化的「界面」，透過摺板形式強化本站層巒疊嶂的入口意象。由廣場望向門樓，由半遮掩的摺板形塑出「門」的空間元素，設置一水平行走空間「樓」，視覺上嘗試連結廣場與車站、山景不同空間紋理，也給予遊客特殊空間體驗。(如圖5、6)

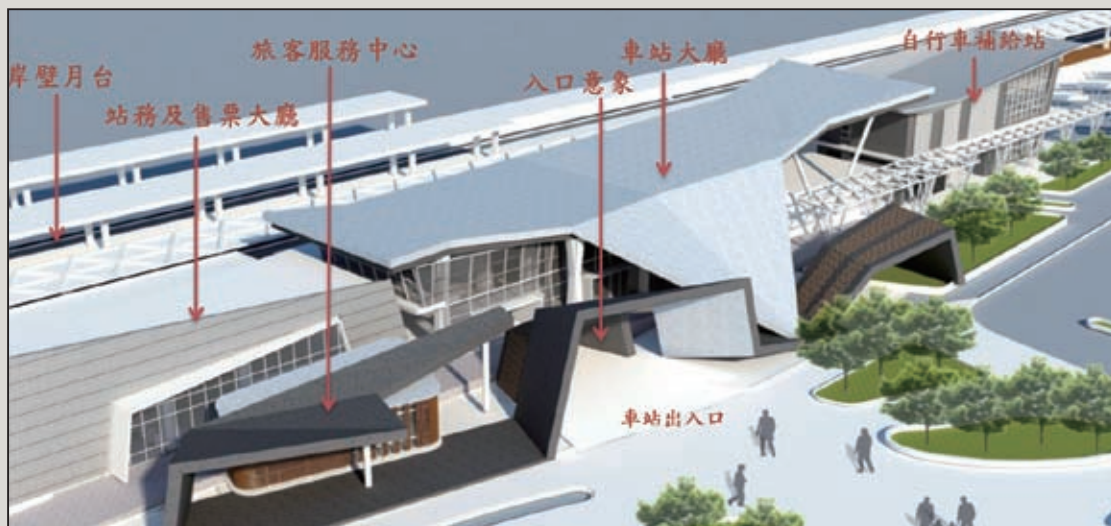


圖5 新城車站規劃圖



圖6 完工後鳥瞰圖



圖7 增設第一月台(岸壁式)現況

## 二、都市活動的延續

### (一) 景隨步移的特色商業活動

設計者充分利用本站之地理優勢，將原先的第一、二股軌道拆除，在擴增旅運候車空間量以外，也創造出舒適的綠帶候車平台，以遼闊蔥鬱的山林為月台端景，亦能將候車旅客身影與花東自然風光一齊拉進室內，為商業空間創造雙重借景的有趣層次。

### (二) 便利暢達的當代兩鐵生活

完整配合區位特性及地理條件，設計者發揮最大觀光效益的各項功能，包括(1)四星級自行車補給站(2)商業輕食服務(3)遊客中心，使鐵路局、民間業者、地方政府共創三贏。因四星級自行車的完成，本車站將成為花東地區自行車路網的啟發站。(如圖7)

近年來有不少遊客以搭火車到本地、再騎自行車的方式自助旅行，是為「兩鐵



圖8 玻璃帷幕車站入口處及漿砌卵石外牆



圖9 車站入口處及北側

生活」(鐵路 / 鐵馬)。因此除了站內規劃可容納自行車的電梯外，也配合地下道設計斜坡道，並於出入口旁設置補給站，提供基本休憩以及自行車租賃、販售、寄放與道路救援功能，藉以縮短自助旅客動線，讓遊客能感受到台鐵貼心服務。

### 三、在地風貌的轉譯

將原住民編織、漿砌卵石，結合鋼構、玻璃帷幕、鈦鋅/鋅鋁合金屋頂板，進行當代詮釋，在溫厚的原民傳統文化與輕透的構架材料趨勢上找到平衡點，為蒼翠的花東風貌奠下全新氣象。(如圖8)

車站地處太魯閣國家公園東側入口處，整體車站造形融合當地地景以太魯閣國家公園入

口門戶作為設計理念。本工程整體外觀造型具太魯閣峽谷沖刷意象，展現建築地景融合。(如圖9)

第一月台雨棚上部結構採木質集成材與隔熱玻璃架構，兼具美學與實用性。

連通月台的地下道外飾大理石拼貼在施工前先行規劃，石材選切時配合太魯閣峽山景造型排列，獨具一格。(如圖10~11)

車站造型充分考量融入地方特色，搭配公共藝術作品，使車站也變成一個藝術品及觀景點。為因應觀光遊客遽增及未來運量成長，除了改善現有旅運設施使其更加現代化外，並增設旅遊諮詢處、地方物產商業空間、無障礙設施、廁所及四星級自行車補給站，整合自行



圖10 車站增設第一月台新風貌

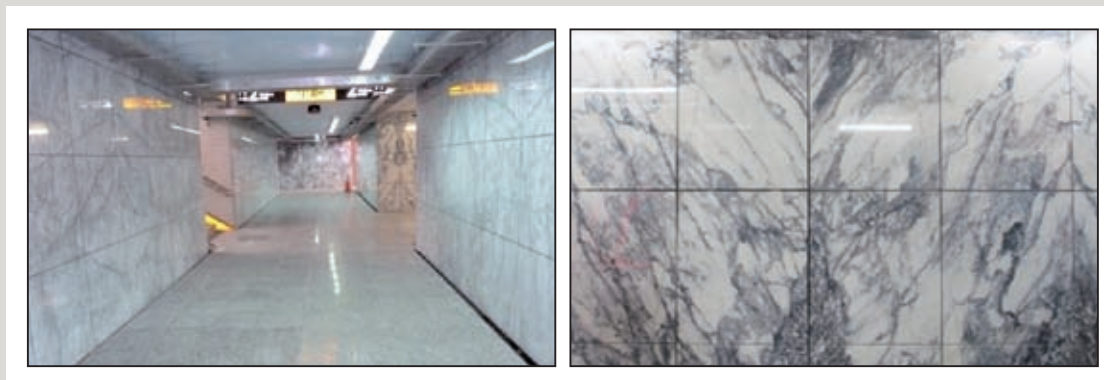


圖11 車站地下道大理石牆面展現太魯閣峽谷風格

車路網，提升車站服務功能性。車站更以綠能建築概念設計，設置太陽能板產生電源，取得黃金級綠建築候選證書，更以全生命週期為主軸，打造一個節能永續生態建築，讓新城站蛻變成符合台鐵營運新形象的現代化效能提昇車站。(如圖12)

#### 四、生態與綠建築之結合與呈現

(一) 站體周邊連貫植栽綠化，栽種不同種類之灌木、喬木、蕨類、植被等多樣性層次綠化空間，並選用誘鳥誘蝶及原生樹種，造就藏身、築巢、覓食等生

物棲息環境，且提昇綠地生態品質。

(二) 步道、停車空間採透水鋪面，確保土地涵養水份能力，使土壤環境濕潤，增進微小生物有機存活空間，提供生物多樣性環境，降低公共排水量、緩和高温並減少都市洪水發生。(如圖13)

(三) 採用爐石比45%以上之混凝土及再生建材，降低二氧化碳排放率，並執行施工空氣汙染防制措施，將環境傷害降至最低。



圖12 自然通風設計之車站大廳及公共藝術



圖13 車站東側自行車補給站及自行車停放區生態與綠建築

(四) 車站一樓大量開口並結合屋頂下垂至地坪的遮蔭，降低室內溫度，採自然通風以減去原規劃之8台空調設備，估算每日減少190度耗電。站務空間屋頂亦採雙層版，並於屋頂裝設太陽能光電板(如圖14)，電力作為車站日常使用，達到隔熱、節能之效果，另外南北兩廁所之上方處理大量開口，保持通風降低室內溫度。

(五) 入口意象設置雨水回收系統，提供澆灌使用，因車站屋頂下垂至地坪高度

達5~6m，具立面遮蔭、隔熱、遮雨之效果。(如圖15)

(六) 廁所採用免沖水便斗，除為東部鐵路車站首創，並兼具節水環保。(如圖15)

### 五、後續維護保養規劃

(一) 外牆設計以仿木紋清水混凝土為主，不須保養，帷幕玻璃僅需定期擦拭清潔即可。(如圖16)



圖14 屋頂太陽能版及通風走廊



圖15 車站屋頂下垂至地坪的遮蔭並雨水回收及廁所免沖水馬桶設計



圖16 車站立面仿木紋清水混凝土造型

(二) 規劃利用岸壁式月台下方空間供眾多電纜線佈放使用，使纜線易於管理維護。並鋪設3處穿越軌道之電纜槽，取代以往埋設PCV管方式，供纜線佈放及集中維護管理，免去爾後維管或建設再遭相同困難。

(三) 公共藝術作品表面做基本防塵防焰處理，維護保養規劃每半年一次以高壓空氣槍將灰塵由上而下清除即可。(如圖17)



圖17 車站大廳公共藝術

## 肆、施工面臨困難之挑戰及克服[2]

### 一、夜間施工困難

本施工區域緊鄰鐵路，具有高感電施工風險，致多數工項需利用夜間斷電封鎖後施作，且夜間施工時間僅4.5小時。在空間侷促及工時受限的困難條件下施工，期間又必須維持車站旅運正常運轉，工程極具挑戰性，在人員、機具、物料、工序安排周延縝密，時間掌控嚴謹，從未影響鐵路營運。

### 二、用地受限

因基地本身用地限制，縱深有限，且須增設一岸壁式月台，因此只能以橫向方式盡量利用其他腹地以佈設各種需求，經過與站方協調，以適當的管理引導動線以解決縱深不足可能造成之大廳擁擠。(如圖18)

### 三、避免軌道沉陷影響運行

月台電梯開挖緊鄰營運軌道施工，故利用夜間施作完成擋土支撐，嚴格且成功控制軌道沉陷。

### 四、工法預先檢討

(一) 月台雨棚支撐施工架施工須考量旅客通行空間，故無法利用制式支撐架施作而影響旅客動線，經結構分析後於兩側採用型鋼支撐。

(二) 設計時將站體未來意象以Lumion 3D軟體模擬及製作模型展現，施工階段承商再運用3D軟體，預先模擬站體建築結構與各建材搭配情形，以利現場實物施工。(如圖19)



施工前



施工後

圖18 岸壁式月台施工前後





圖19 使用3D軟體預先檢討施工方案

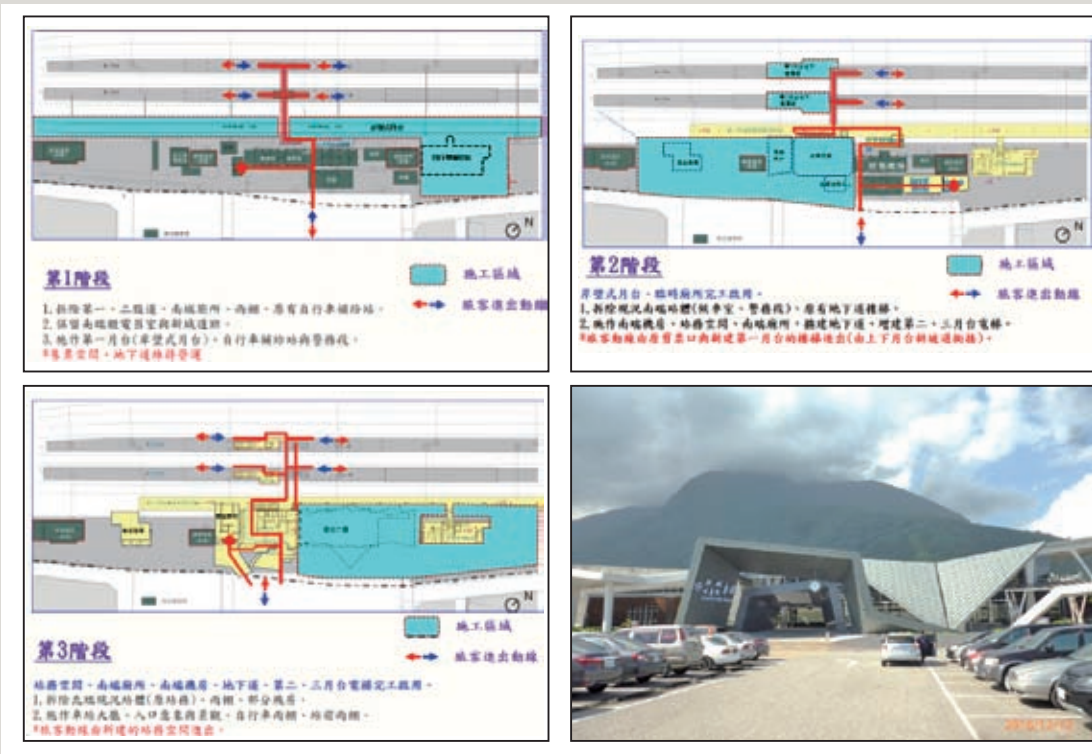


圖20 配合台鐵局旅運分階段逐步完成施工切換

## 五、施工期間環境維護

施工中對地表充份維護(除必要工程開挖)，工區備有灑水設施，定期街道灑水及清掃及防塵覆蓋，積極維護週遭環境。旅客動線與施工區域有明確分隔，旅客進出車站並無安全問題。

## 六、配合營運需求之施工切換

新城站每日旅客量高達4500人，在有限

空間及考量旅客使用下周延規劃旅客動線及相關防護措施，使旅客安全無虞，工程亦能進行順遂。

施工過程中隨施工項目規劃及順序，辦理第3階段切換，切換前必須充份瞭解相關應辦工作，並與所有相關單位密切協調配合，安排工序、界面確認、掌握時間，在短時間內如期切換完成，且未影響任何旅客及鐵路營運，極具挑戰性。(如圖20)

(一) 第一階段：(施工初期階段)

1. 拆除第一、二股道，南端廁所、雨棚、原有自行車補給站。
2. 保留南端繼電器室與新城道班。
3. 施作第一月台(岸壁式月台)、自行車補給站與警務段。

(二) 第二階段：(岸壁式月台、臨時廁所完工啟用)

1. 拆除現況南端站體(候車室、警務段)、原有地下道樓梯。
2. 施作南端機房、站務空間、南端廁所，擴建地下道、增建第二、三月台電梯。

(三) 第三階段：(站務空間、南端廁所、南端機房、地下道、第二、三月台電梯完工啟用)

1. 拆除北端現況站體(原站務)、雨棚、部分機房。
2. 施作車站大廳、入口意象與景觀、自行車雨棚、站前雨棚。



## 伍、結語

本工程在施工腹地不足、工區緊鄰既有軌道及電化區間施工，亦必須配合車站持續營運，極具施工困難度與危險性，施工團隊本著「優質傳承，卓越創新」之理念，結合鐵路改建工程局、東部工程處、花蓮工程段、本公司設計單位及監造單位與承商等，充分發揮團隊精神，以週全的設計、零工安、完善的管理、完美的品質，呈現以「全生命週期」為主軸概念打造嶄新、獨特的經典車站。

## 參考文獻

1. 交通部鐵路改建工程局網站。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，社團法人中國土木水利工程學會「106年工程環境與美化獎」參選工程特性說明，民國106年。
3. 姜樂靜建築師事務所，新城(太魯閣)站，建築師雜誌，3(507)，60~64，民國106年。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「SL-104標新城站新建工程」監造計畫書，民國101年。



# 民視林口數位媒體總部大樓新建工程委託 施工管理服務暨應用 BIM經驗介紹

關鍵詞(Key Words)：施工管理(PCM)、專案管理(CM)、建築資訊模型(BIM)、  
媒體中心(TV Media Center)

民間全民電視股份有限公司／新建工程處／副處長／居朝樑 (Jyu, Chao-Liang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／協理／邱水碧 (Ciou, Shuei-Bi) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／計畫工程師／謝宏賢 (Hsieh, Hong-Hsien) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／專案管理部／正工程師／王叔總 (Wang, Shu-Hsieh) ❹



## 摘要

新北市政府規劃招商引進影視媒體相關產業進駐林口產業專區等據點，促進影視媒體產業聚落成形，周邊亦有2017年世界大學運動會選手村及全國最大暢貨中心(outlet)商城，區域結合影視媒體產業與商業服務機能，希望將林口地區發展成北臺灣重要的影視媒體重鎮。

民間全民電視股份有限公司為產業專區第一個進駐開發之媒體公司，本工程於2013年7月開工，2017年1月完工，民視電視公司已搬遷進駐製播節目正式營運，也成為該地區的地標建築物，本公司專案管理部亦是本案之施工管理服務廠商，主要服務項目為進駐工地協助業主管理施工過程事務相關工作(法定監造工作除外)，以下就本工程施工管理實務重點及利用BIM建模等經驗，減少施工問題並提高施工品質作說明。



## Introductions to the application of BIM in the services provided as PCM contractor for the new construction of Formosa TV Digital Media Headquarters

### Abstract

The government of New North City planned a special Film and TV Media area in the Linkou District to promote the investment of Film, TV and related media industries. There are game village for the athletes of 2017 Taipei Summer Universiade in the vicinity and the Mizui Outlet Shopping Mall, the largest in Taiwan, is also nearby. Together with these business, services and other good amenities in the neighborhood, they hope to develop Linkou district into an important Film and TV Media Center of Northern Taiwan.

Formosa TV Inc. is the first one to move into this Film and TV Media Center. The New FTV Headquarters construction project started in July 2013 and completed in January 2017 and became the landmark building of the area. FTV has moved into this new headquarters and started all their operations of production and broadcasting there. Our company's PCM department was awarded the PCM contract of the project during the construction. Our scope of work is to be on site project manager assisting the owner to manage all construction related matters besides the legal designated supervisor. The followings are the key points of our construction management procedures and how we use the BIM model to help reducing conflicts in the construction process and achieve high quality work in this FTV project.



圖1 願景圖

## 壹、前言[1][2]

### 一、投資動機概述

綜觀國際重要城市多有電視媒體進駐，而電視台的設立更可結合觀光、帶動地方發展及促進產業蓬勃，如日本的「朝日電視台」與「六本木之丘」都市更新計畫，將各種都市機能高度結合，將以往耗費的時間與能量轉向創造新的都市文化；富士電視台與台場地區的觀光資源結合，更成為國際著名都市景點。

原本民視電視公司主要行政辦公室及新聞攝影棚除設置於臺北市八德路、汐止攝影棚外，另租用其他電視台攝影棚。於擴大事業版圖之際，民視電視公司更期能覓得永續經營之基地，整合節目製播作業流程，提昇工作效率以提供更好的服務品質。遷至林口區後，將整合子公司資源打造「民視林口數位媒體總

部」，依生產、生活、生態的永續發展理念下，以產業群聚、地區共享、環境永續為未來發展願景，期能帶動當地產業、回饋地方、共創榮景。(圖1)

### 二、工程規模

民視電視公司(業主)於101年3月8日獲選開發林口產業專用區，位處新北市林口區信義路，與文化一路二段及文化二路二段之間，面積約1.5公頃，基地北側臨20m寬信義路與住宅區相鄰，東側與TVBS電視台總部相鄰(規劃中)、南側與產業專區相鄰，西側隔著30m綠帶與民視媒體總部二期工程(規劃中)相鄰，與中山高速公路或捷運機場線A9站距離約1,500m，從A9車站至臺北車站通行時間約30分鐘，至桃園機場約15分鐘。而信義路周邊亦有多線公車，可達林口長庚、圓山捷運站、板橋車站及台北車站，整體聯外交通便利。(圖2)



圖2 相關位置圖



圖3 大樓各面外觀圖

本工程委由大元建築工場設計及法定監造，設計單位構想以電視台本身就是一個巨大的場景，在觀看與被看之間不斷轉換。並藉由量體的挖空、牆面的虛實組合、建築的前後層次、玻璃的穿透與鏡射等手法，創造多重的框景，強化了空間的戲劇性張力。鋪面形式主要以帶狀石材鋪面配合長形綠帶，以簡單的幾何

秩序連接主體建築，透過建築物地面層以挑高大片落地玻璃連繫室內、外空間；以攝影機的觀景窗為設計意象，透過「」字型框架推疊出的機能量體組成豐富的建築形式，中間以一個發光的鑽石(裡面有攝影棚)漂浮在空中，在立面上形成如同攝影機的觀景窗，呈現框中有景、景中有框的豐富層次。(圖3)

整體開發工程總經費約25.5億元，建築物興建地下二層、地上十四層、總樓地板面積近60,000m<sup>2</sup>的數位媒體總部大樓，建置15座高畫質攝影棚、製作播映設備及辦公室，以符合未來營運發展需求(表1、2)。整體工程分為土木工程、水電消防、冷凍空調、音效設施及精緻裝潢等五個標案工程。目前已完工並於2017年6月16日舉辦落成典禮暨慶祝20周年台慶，本大樓除帶動周邊發展並已在林口地區成為重要特色建築物。

表1 工程規模分析

項目	規模分析
基地面積	14,896.92m <sup>2</sup> 。
建築面積	8,600.85m <sup>2</sup> 。
設計建蔽率	57.74%<60%
樓地板面積	59,695.45m <sup>2</sup> 。
設計容積率	210%
樓層數目	地下二層、地上十四層、屋頂突出物二層
建物高度	65m
構造方式	RC及SC構造
綠建築	綠建築銀級標章

表2 建築空間規劃表

配置樓層	空間性質	樓高
1F	大廳+餐廳+商店+銀行+攝影棚(5)+攝影棚附屬設施	6.0m
2F	辦公室+攝影棚(3)+攝影棚附屬設施(副控室...等機房)	4.0m
3F	辦公室+攝影棚附屬設施(調光室)	4.0m
4F	辦公室+攝影棚附屬設施(主控、播出、後製...等機房)	4.0m
5F	辦公室	4.0m
6F	辦公室	4.0m
7F	辦公室+新聞棚(1)	4.0m
8F	辦公室+新媒體攝影棚(3)	4.0m
9F	辦公室	4.0m
10F	辦公室	4.0m
11F	辦公室	4.0m
12F	辦公室	4.0m
13F	辦公室	4.0m
14F	辦公室+新聞棚(3)	6.0m
R1F	機電設備空間	3.0m
R2F	機電設備空間	3.0m
B1F	停車場+機電設備空間+攝影棚附屬設施	6.0m
B2F	防空避難室+停車場+機電設備空間	3.0m

## 貳、施工管理工作重點[1]

### 一、施工管理服務項目

本案2011年業主已委託建築師辦理規劃設計工作，2014年本公司開始執行施工管理，本案已取得建造執照，除細部設計持續進行外亦分階段辦理專業工程施工標之發包作業。施工管理團隊則依據本工程特性及工作現況，秉持服務熱忱及提供專業技術，期能達成「提升工程執行效率」及「確保工程如期如質如度」之目標。

由於業主自身已有新建工程處辦理本工程開發之相關業務，包含遴選建築師、投資招商計畫、整合各單位需求面積、協調各樓層分配及未來攝影棚數量功能等項目皆已辦理，亦已具備相當好的專業能力。本團隊主要服務則輔以業主人力不足之處，並提供專業人力及建議，襄助業主在工程發包階段及後續工程施工過程的相關事務，相關實際工作及服務重點如圖4及表3所列。





圖4 施工管理各項工作

表3 服務重點

項次	工作項目
一	施工管理項目
1	人員留駐工地，持續性監督施工廠商按工程契約及設計圖說等規定施工，並查證施工廠商履約。
2	施工廠商之施工計畫、品質計畫、預定進度、施工圖、器材樣品、趕工計畫、工期展延與其他送審文件之審查及管制。
3	重要分包廠商及設備製造商資格之審查。
4	施工廠商放樣、施工基準測量及各項測量之校驗。
5	監督及查驗施工廠商辦理材料及設備之品質管理工作。
6	監督施工廠商執行工地安全衛生、交通維持及環境保護等工作。
7	施工廠商履約進度之查證與管理及履約估驗計價之審查。
8	施工廠商履約界面之協調及整合。
9	工程契約變更之建議及審查。
10	機電設備測試及試運轉之監督。
11	審查竣工圖表、工程結算明細表及工程契約所載其他結算資料。
12	工程驗收之協辦。
二	全程服務期間
1	負責協調連繫相關人員出席業主所主持工程協調會報。
2	召開並主持工程月會報、工地工務會議。
3	協助整合各相關工程介面及協調事項處理。

## 二、施工管理核心工作

綜觀契約工作內容，本團隊研討為了提升媒體大樓工程之成功目標，先就工程特性檢討可能的狀況，工作的重點著重於工作協調、界面釐清、即時反應以及問題處置等方面，服務內容並不限於契約內施工管理(Construction management, CM)事務，過程中受業主民視電視公司全力支持並考量現況需求，實際提供專業營建管理(Professional Construction Management, PCM)服務。

善用相關管理工具協助，加上專案各成員的相互配合，尤其本工程分為五個專業工程施工標，發包及進場時間都不同，依序為土建工程、水電工程、空調工程、音效工程及精緻裝潢工程，所以工程進度及施工界面掌握相當重要，施工管理單位必須明瞭管理的工作核心，因此每個施工承包商進場前都必先召開初始會議，明確傳達業主期望之工作目標及施工現況，期待以團隊合作的精神，帶領專案團隊各項工作往前推展，提升整體工程效率，相關重要工作項目說明如下：

### (一) 簡化管理流程

業主很明確傳達，本工程非公共工程，工作重視實質有效管理並解決事情，無須過度文書作業或僵化程序。因此著重施工管理之績效及流程簡化，施工管理做到將管理訊息在第一時間通知業主知悉，讓彼此為合作夥伴以互信基礎而共同解決所有事務。最終，專案執行過程回饋就是獲得業主信任及優質成果展現。

### (二) 持續的工作協調

工作協調方式以不拘形式，包含會議、電子郵件、電話、現場溝通等，內容

則包羅萬象如業主指示、需求改變、變更設計、承包商疑義、現場工序協調、生產管制、施工品質、計價確認、勞安要求等涵蓋所有項目，原則上施工管理單位為訊息中心，出面協助處理並提供各種專業建議，業主則充分授權，列席、提供見解或會同瞭解處理成果，並做最終決策確認。

### (三) 預先發現問題並克服

工程執行過程中並非全然順利，於面臨相關問題是否提前處理，及後續施工能按部就班進行，說明如下：

1. 檢討各標契約界面：本工程分為五個標案依序發包，但也發生同一個施工項目也同時出現不同承包商在施工，故契約責任及項目釐清，則相對重要。
2. 施工困難度檢討：本工程造型特殊，尤其14樓H型鋼構框架，在受限的施工空間做施工規劃是一項挑戰。
3. 施工順序的協調：如結構體施工前，其他水電、空調施工標應該配合之施工項目是否完成，則須預先防範及確認。

### (四) 走動式現場管理

施工管理單位與業主每日巡視追蹤施工進度、施工品質等，如遇施工及安全問題等，每日隨時反應結果至相關承包商，承包商亦回饋問題解決方式。

### (五) 施工疑義/變更設計管制

設計圖面不清楚、規範不明確、施工項目重複或遺漏、業主需求改變等，都影響到承包商繪製施工圖、發小包、材料送

審及訂單生產，最嚴重者會造成停工，影響施工進度甚鉅，因此該部分須受明確列管，做為後續施工依據。

#### (六) 緊急事件立刻辦

問題發生影響既定施工進度，或承包商逕自施工造成其他平行承包商無法接續施工，或發生影響施工安全(如墜落等)，則立刻障礙排除，現場要求暫停或立即停工，邀集相關承包商協調、或採行必要勞安改善措施，避免錯誤施工造成後面改善費工及增加費用。

#### (七) 善用BIM建模工具

管理不是找問題當績效，而是現有資源下發揮最大效益，契約面要求施工承包商導入BIM建模檢討，施工管理單位檢核成果，以發揮最大管理功效。

## 參、BIM建模說明[3][4]

### 一、BIM計畫目標

建築資訊模型(Building Information Model，也簡稱為 BIM)。是指在新建設施或經更新設施之生命週期中，為滿足各種使用者需求，利用數位化、參數化、物件導向化、可互相操作性公開標準的資訊，連動性方式描述或形容建置模型，以呈現建築物物理及功能上特徵的過程或技術。

本工程設計並未導入BIM，而業主認為BIM工具對於施工及後續維護管理有其功效，因此在工程發包階段除將BIM導入契約，遴選時亦把承包商BIM簡報列為評選重要指標。施工階段導入BIM建模技術，對工程專案的價值，希望可透

過3D數位化的資訊，施工前期能有效檢核設計圖及發現並解決施工衝突問題、預先模擬工地條件進行施工順序的檢討、和減少未來實際施工時設計圖及人為工作失誤等。完工後則期望BIM的竣工模型(含有設施設備與空間的相關資訊)可交付給業主營運與管理單位應用，以提昇本大樓管理空間、設施或設備的整體效益。

### 二、BIM執行過程及範圍

本工程BIM建模分別有土建工程、水電工程及空調工程等三個承包商，土建工程先進場施工，依照發包順序，水電工程及空調工程陸續進場，因此BIM工作執行，原則以土建工程為標準，水電工程及空調工程須配合建置模型。換言之土建工程承包商除本身製作土建模型外，亦須負責水電及空調承包商之最後的模型整合，並定期討論。音效工程及裝修工程則屬於配合工作，可就施工現況彈性調整，不納入BIM建模範圍。

### 三、BIM檔案架構制定

本工程BIM建模拆分架構區分為土建、鋼構、機電、空調四部份，土建模型依據結構體、帷幕外牆、樓梯、敷地等拆分檔案。結構體部分依據樓層拆分，特殊需細部檢討的樓層(例如：地下室與一樓交接面、六樓~九樓攝影棚、屋頂層)則另外拆分模型，檔案架構如圖5。

BIM模型建置精細程度，根據美國 AIA 規定，可分為LOD100~500五個等級，本工程依據實際施工需求及管理維護，模型細緻程度達到LOD300到LOD400之間。

### 四、BIM的資訊交換機制

BIM資訊交換規劃每週於工務會議前由土建承包商邀請機電與空調分包商共同召開 BIM

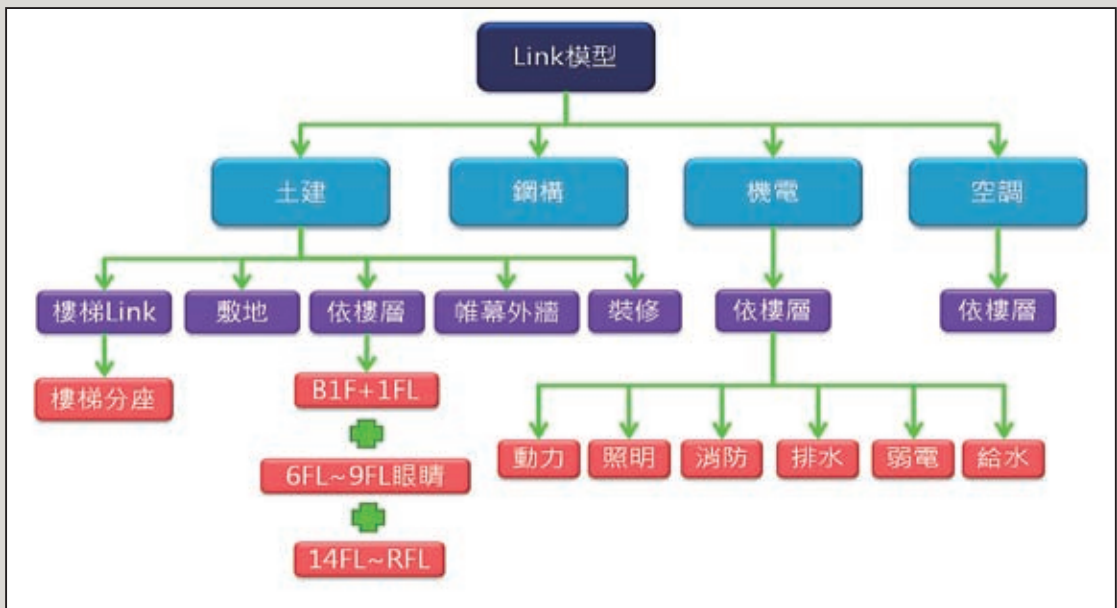


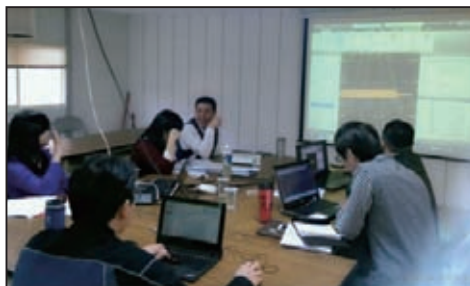
圖5 BIM模型拆分架構圖

小組會議(圖6)，施工管理單位則列席參與，並協調最後結果，工作原則說明如下：

(一) 設計圖說檢討：根據合約圖說內容建模(設計模型)，透過設計模型協助清圖

工作。

(二) 施工性：根據設計模型與現場工程團隊進行施工性檢討。(每層樓60天內完成)



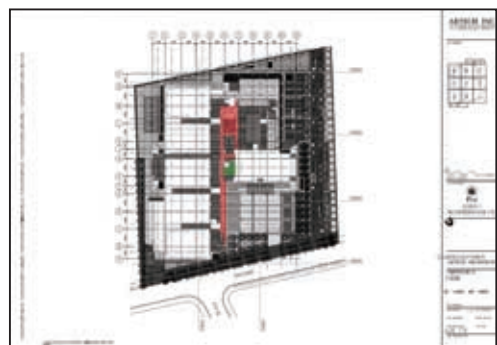
各承包商模型整合會議



業主/施工管理及各承包商模型衝突檢討

工程預定進度		建築模型	機電(益鼎)	空調(泰創)
B1F (1F結構)	03/07	●01/07已完竣	●02/05第二支運管特回度(樓具、廁所變更)	●02/18機房外管運管
		●3D模型已完竣	●3D模型預計02/25完竣	●3D模型預計02/25完竣
1F (2F結構)	04/01	●01/21已完竣	●02/14施工圖送審	●預計02/18施工圖送審
		●預計02/25進行會審	●預計2/21完成3D模型	●預計02/27完成3D模型
2F (3F結構)	04/21	●預計02/21完竣	●預計02/28施工圖送審	●預計03/04施工圖送審
		●預計03/11進行會審	●預計03/07完成3D模型	●預計03/11完成3D模型

提出BIM檢討成果及追蹤辦況



回饋2D圖標示成果

圖6 BIM小組工作示意

(三) 機電空調套繪：整合機電與空調 BIM 模型，機電及空調 BIM 模型由該分包廠商製作，並提供模型檔給土建廠商，在施工前先進行套繪工作及衝突檢討。(每層樓45天內完成)

(四) 提出釋疑單：衝突檢討結果先由施工管理單位複查，若可以解決事項則邀集相關承包商、業主進行界面協調或現場會勘解決，無法處理事項則提送業主由設計單位確認，並完成釋疑回覆。(30天內完成)

(五) 繪製施工圖及修正模型：承包商繪製施工圖外，模型依據正確施工訊息進行修正，直到最後完工後，提出正確的竣工模型。(如圖7-8)

釋疑單的提送原則，以每一個問題一份釋疑單，原則由土建工程承包商負責所有釋疑單整合及檢討(含機電及空調工程承包商之釋疑單提出)，轉給施工管理單位確認並提報業主由設計單位釋疑，該機制為確保施工過程之疑義能有效受到管制及追蹤，以利在施工過程中所有承包商皆能瞭解相關的訊息以利後續施工順利推動。

## 五、軟體及檔案格式

### (一) 軟體工具

1. Autodesk BDS 2013(含Revit Architecture/Structure/MEP, Naviswork, AutoCAD等)：各承包商模型建置用。
2. Design Review/Naviswork freedom：供業

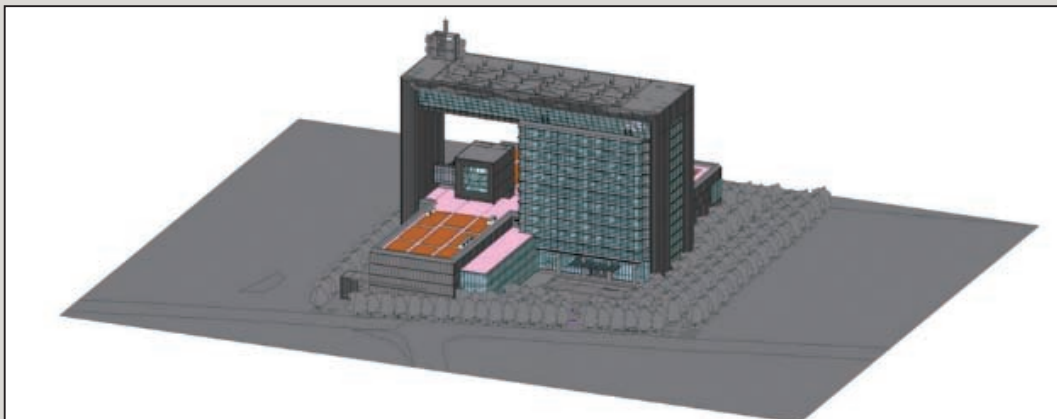


圖7 BIM模型展示-正面建築物外觀

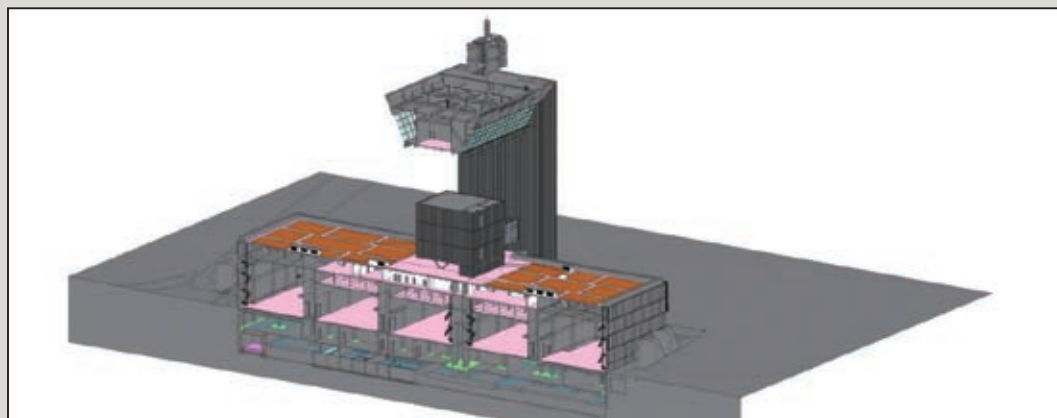


圖8 BIM模型展示-南北向剖面透視圖

主、設計單位及施工管理單位模型檢視用。

3. MS Office 2003，MS Project 2003：文件製作使用。

4. Adobe PDF：文件檢視及交換使用。

## (二) 檔案格式

1. BIM模型檔：\*.rvt

2. 模型檢視：\*.dwf or \*.nwc

3. 文件：\*.doc, \*.xls, \*.ppt, \*.mpp, \*.pdf等通用文件格式。

4. 圖片及影像：\*.jpg, \*.avi, \*.mpg等通用圖片、影片格式。

## 肆、BIM執行成果說明[4]

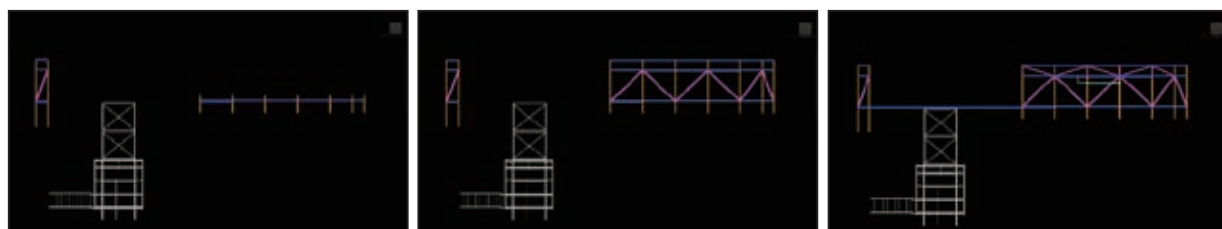
### 一、BIM施工檢討例說明



1.7樓臨時支撐完成

2.西側13樓鋼構柱施工

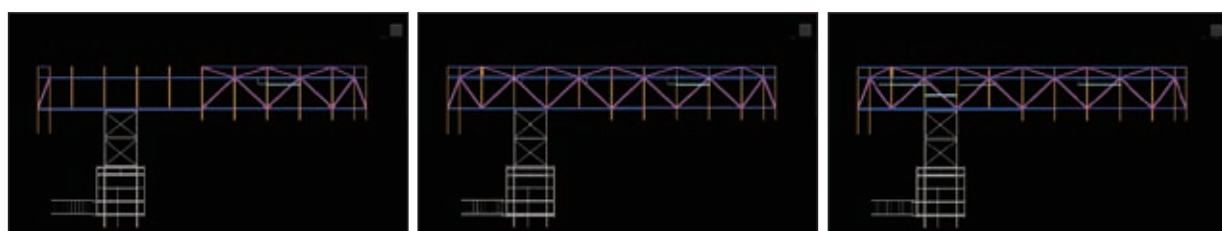
3.東側13樓鋼構柱施工



4.西側14樓鋼結構施工

5.東側14樓鋼結構施工

6.中間跨梁吊裝施工



7.中間跨柱施工

8.其他構件持續組裝

9.組裝完成



1.施工前



2.施工後

圖9 14樓門型鋼構框架吊裝施工順序

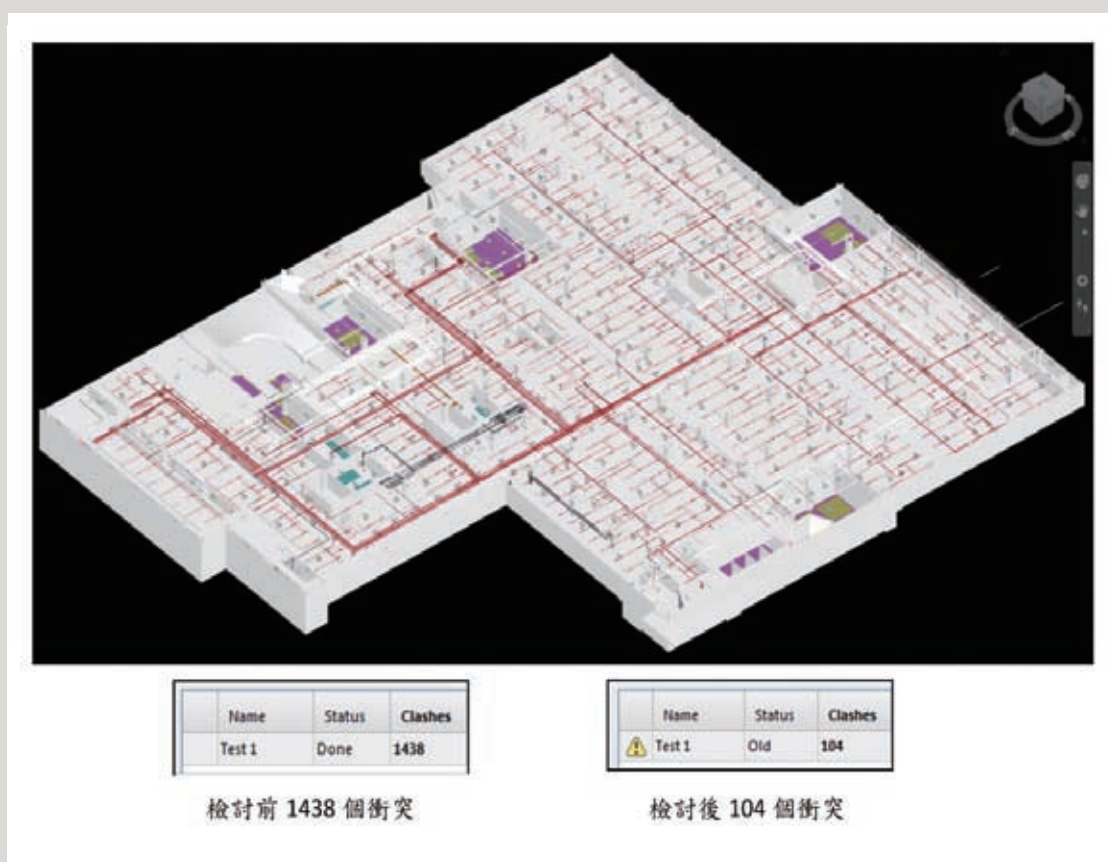


圖10 地下一樓 BIM 模型建置後的衝突檢討

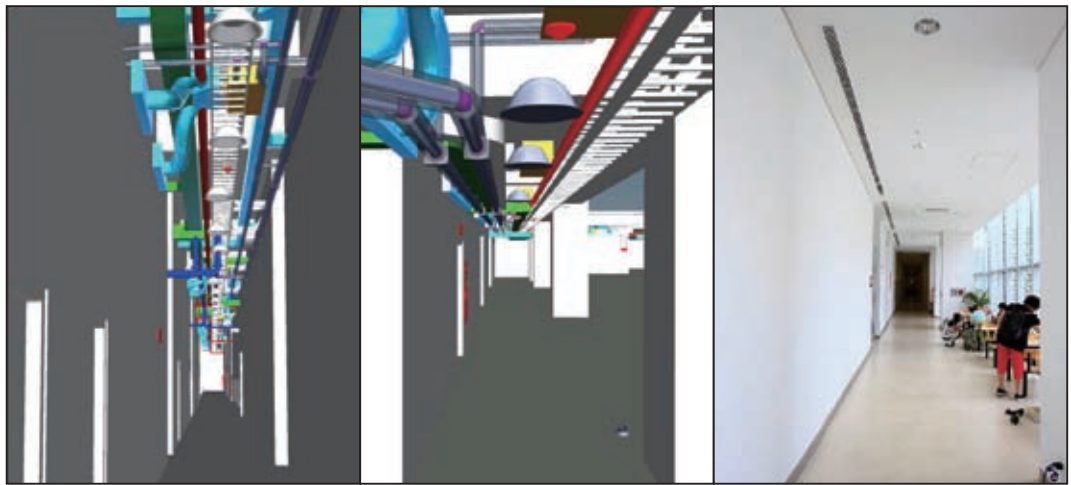
本工程為鋼筋混凝土及鋼結構之構造，評估14樓口型鋼構框架吊裝施工難度極高，建築物樓高65m，跨距100m，中間挑空區約達40m，中庭景觀區域面積有限，吊車工作半徑及吊臂角度受限，故只能採用500T型以上吊車，為了加快吊裝時間及減少風險，鋼構件儘量先在地面組立成小單元，再進行吊裝作業。也為了施工安全起見，7樓獨立攝影棚(俗稱：鑽石眼睛)先行施工，並上搭臨時鋼構支撐至13樓，待14樓口型鋼構框架吊裝完成地板澆置後，再予以拆除。(施工順序如圖9)

## 二、衝突檢討例說明

土建、水電、空調模型套匯整合後做初步的衝突檢討，排除大衝突並做路徑、空間、淨高檢討，續經開會檢討排除個別承包商現場施

工可調整之衝突，逐一篩選，最後提出釋疑單處理。比如初期地下一樓模型套繪結果，初步1438個衝突，排除不合理等其他因素，留存104個。顯然透過3D視覺化的檢討，比傳統用2D套圖可以更精準地發現衝突，對於解決設計及施工問題能發揮更大的功能。(圖10)

另，對於1樓參觀走道路徑檢討，原設計淨高為CH=420cm，在結構體無法穿樑的條件下，經水電、空調管線套匯後，發現無法達成設計淨高要求，模擬後在管線位置調整之最佳結果僅能達到CH=360cm，若當時未透過BIM管線配置檢討，各標自行施工，淨高可預期將低於360cm導致修正困難。(圖11)



1.原設計CH=420cm

2.檢討後CH=360cm

3.現況照片

圖11 1樓參觀走道路徑檢討



鑽石造型攝影棚



5樓平台



裝修後辦公室



入口大廳



攝影棚未搭布景前



攝影棚完成布景

圖12 照片輯



## 伍、結語

- 一、民視林口數位媒體總部大樓的完成是所有專案成員努力的成果，施工管理團隊協助各承包商契約責任釐清、施工界面協調、現場走動管理、抽查施工品質、克服施工難題、施工進度追蹤等具有相當成效，可貴的在業主充分授權及信任，發揮專業功能而達到實質的品質提升。從興建的過程中，各參與成員亦能在回歸專業的基礎上處理事務而有所精進，其中因設備進步日新月異，工程可隨時調整配合更新，此部分也是與公共工程執行重點及效能有很大的差異。(完工相片如圖12)
- 二、一般商業大樓機電系統配置不如媒體大樓有極高的複雜性，大型攝影棚製播設備昂貴，無論錄影或即時轉播都不能有絲毫問題，施工初期要配合管線預留，施工後段則要配合進度進場安裝，以及不間斷的試車運轉，因此預先施工規劃、界面檢討及各項進場安裝時程掌握及整合非常重要，施工管理的各項作為都要盡可能全盤考慮。
- 三、原本規劃設計階段並未導入BIM建模，但隨著設計成果日漸完備，複雜系統的整合越顯重要，限期完工壓力，若單純靠各施工標以傳統施工圖套圖檢討，會造成花費時間多而成效不彰，所幸業主在後續發包初期即導入BIM建模的項目，對整個工程的施工界面檢討、管線的路徑規劃及安排、重要施工技術預先模擬等，有其絕對的功能，大大減低施工風險，增加了施工疑義的處理效率及避免各標產生紛爭，也降低拆掉重做的頻率並減少成本浪費。

- 四、相對BIM模型建置雖有正面的效果，但卻也有不如預期的地方，隨施工進度，業主增加許多新觀念新想法，及諸多製播設備的日益更新及採購，因需求變更也導致原規劃空間、位置也隨之調整，以致後期BIM模型建置工作產生困難，若配合修正調整再做衝突分析，將耗時亦徒增無效工作及成本，因此過多的局部變更設計，則以不更動現有的模型架構下，改採傳統2D圖套繪修正後，才回饋到模型建置，相對是有效率的方式，最終再彙整變更案並整體修改竣工模型，這也是理論BIM模型建置與實務執行上仍有所差異，因此變更設計的多寡，亦影響BIM建模的效益。

## 參考文獻

1. 「民視林口數位媒體總部投資計畫書」，民間全民電視股份有限公司，101年。
2. 「施工管理工作執行計畫書」，台灣世曦工程顧問股份有限公司，102年。
3. 「BIM執行計畫書」，宏昇營造有限公司/台賓科技股份有限公司，103年。
4. 「BIM成果報告書」，宏昇營造有限公司/台賓科技股份有限公司，104年。

# 蘇花改南澳 北溪脊背橋 施工實務

關鍵詞(Key Words)：脊背橋(extradosed bridge)、橋塔(bridge tower)、外置預力(external PT)、斜張鋼纜(stay cables)、PTI(PTI)

交通部公路總局/蘇花公路改善工程處/處長/邵厚潔 (How-Jei Shau) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司/蘇花改監造專案/專案協理/黃金田 (Chin-Tien Huang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司/蘇花改監造專案/專案經理/蔡振昌 (Zhen-Chang Tsai) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司/蘇花改監造專案/監造主任/葉誌新 (Zhi-Hsin Yeh) ❹

## 摘要

台9線蘇花公路改善計畫沿線經過高山峻嶺地區，路線主要以隧道及橋梁佈設，南澳至和平段計有6座橋梁，其中南澳北溪河川橋係採脊背橋(Extradosed Bridge)設計施工，脊背橋可兼顧景觀效果及經濟效益，尤其橋梁結構纖細流線造型，完工後往往成為當地新地標，國內第一座脊背橋係在民國98年完工通車之國道6號的愛蘭橋，至今已完成之脊背橋梁不到10座，但近幾年來似有快速增加趨勢，有多座橋梁正在施工中。本文以南澳北溪脊背橋為例，說明脊背橋外置預力斜張鋼纜之施工方法、材料品管、拱度控制及施工注意事項等，提供未曾參與該類似橋梁施工之參考。



## The practical experiences with extradosed bridge construction of Suhua highway improvement project.

### Abstract

There are several tunnels and bridges distributed along the rout of Suhua highway improvement project due to the steep mountains hills and cliffs. Six bridges have been designed in Nan-ao and He-ping district, one of them is Nan-ao North River Bridge. The construction of Nan-ao North River Bridge based on Extradosed Bridge design, the design perfectly balance the beauty of landscape and economic efficiency. The thin structure and aero-dynamic looking always made the bridge become the new landmark when it accomplished.

The Ai-lan Bridge of freeway No.6 is the first Extradosed Bridge in nationwide. Although there are only less than 10 Extradosed Bridge has been build, in the recent years, as the building rate growing, several Extradosed Bridges are during constructing.

This article use the Nan-ao North River Bridge as the example to demonstrate the construction method, quality control of material, precamber control, and other construction precautions of setting external PT on stay cables of Extradosed Bridge. This article may provide a reference for similar bridge construction.

3

專題報導

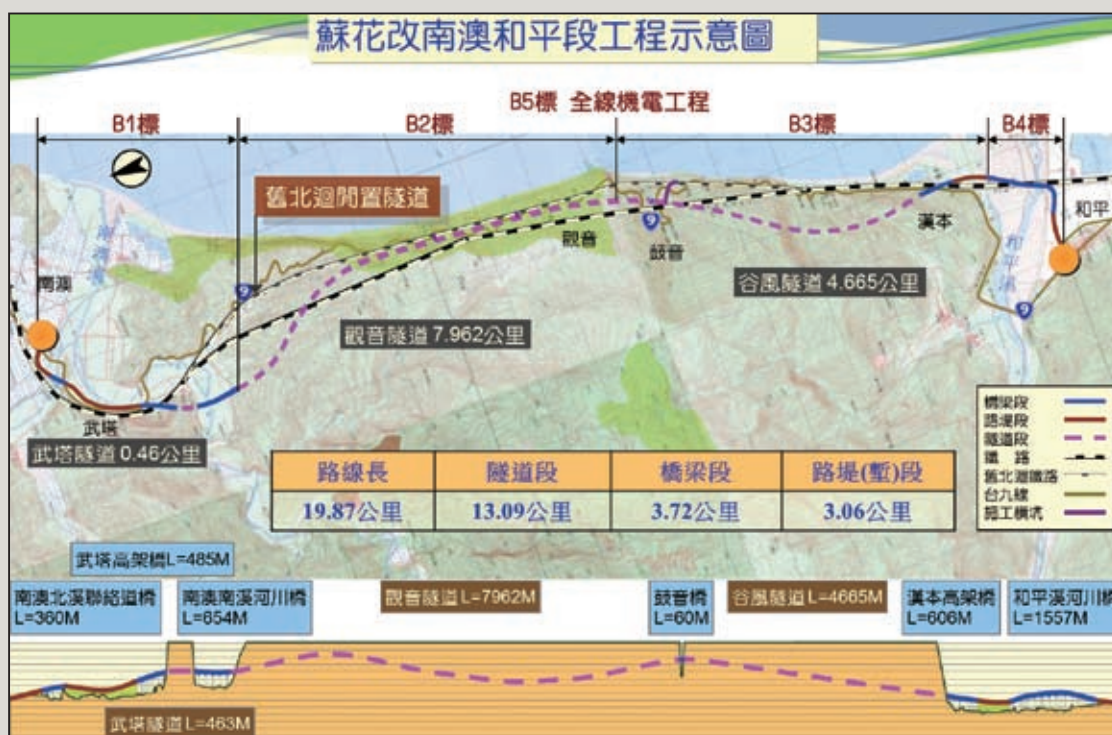


圖1 工程範圍及分標內容

## 壹、前言

台9線蘇花公路山區路段改善工程全長約38.8公里，計有A、B、C三個區段，分別為蘇澳至東澳段、南澳至和平段及和中至大清水等三個路段，本公司承辦設計及監造之南澳和平段係由南澳往南經觀音、谷風、漢本至和平，全長約20公里，工程施工分為四個土建標及一個機電標，工程範圍及分標內容詳圖1，橋梁計有南澳北溪河川橋、南澳南溪河川橋、和平溪河川橋等3座河川橋及武塔高架橋、漢本高架橋等2座跨越北迴鐵路高架橋及鼓音橋1座跨越觀音溪谷橋梁。其中南澳北溪河川橋位於南澳市區邊緣，於工址之上下游側並與計畫路線平行，分別有北迴鐵路及既有台9線道路經過，因此南澳北溪脊背橋完工後可提供旅客不同視野角度，欣賞結合當地地理環境，型塑區域地景風貌，跨越南澳北溪的雙橋塔單索面脊背橋，灰白色橋塔及斜拉鋼纜融合秀麗山勢，成為當地新地標。兩側橋塔造型宛如雙手托天，隱喻對

上天敬意及尊重自然環境，白色的斜張鋼纜採天空色系白色，遠觀時能提顯橋梁結構張力，與現地山嵐景緻依山傍水相互輝映，並融和寂靜安詳於背景環境，深具地方風土色調及流動的天空色彩，展現出美麗的新視野，勾勒出美麗的圖畫，完工後照片詳圖2~4。



圖2 南澳北溪脊背橋完工照片



## 參、南澳北溪脊背橋施工

### 一、工程內容

脊背橋外型近似斜張橋，惟橋塔高度較低，外置鋼腱數量、長度均遠較斜張橋為少與短。脊背橋主要係配合橋塔之設置，將傳統箱形梁內置預力鋼腱，部份改配置於箱形梁外部，以提供預力鋼腱較大之偏心距，使大梁設計深度得較傳統懸臂工法所需者為小，結構行為亦較偏向梁式結構。因此有「部分斜拉橋」、「矮塔斜拉橋」等名稱。因上述結構特性，使得此橋型有結構效率高、經濟、外型纖細輕巧、幾何造型多變等優點。

南澳北溪河川橋係採雙橋塔單索面脊背橋設計，為三跨連續三箱室預力混凝土箱型梁結構(95m+160m+105m)，全長360m，詳附圖6，橋面寬度19.2m，採雙橋塔外置斜張鋼索搭配預力箱型梁搭配以懸臂工法建造，主跨橋梁跨徑160m、梁深由柱頭節塊5.8m漸變至邊跨節塊2.8m、橋塔高度23m、橋塔斷面長5.2m漸變至9.5m，寬均為2.4m，橋塔為鋼筋混凝土結構，其中斜拉鋼索部分之鋼殼為鋼結構，現場吊裝後再包覆鋼筋混凝土。

脊背式橋斜索外置預力鋼纜為單索面之扇形佈置，外置預力斜張索體規格為15.2mm  $\phi$ -43股，塔柱(P1, P2)兩側各8束，總計共有32束斜張鋼纜。索長設計最短處為35.6m，最長約為71.3m。主橋(脊背式橋)配置及拉索佈設如圖7所示。

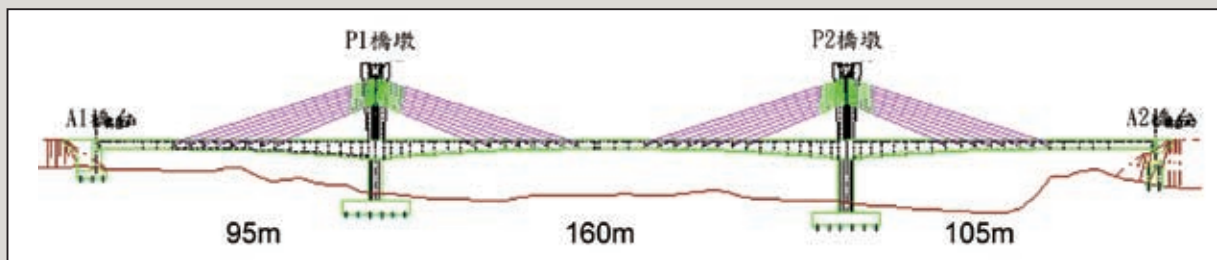


圖6 南澳北溪橋配置圖

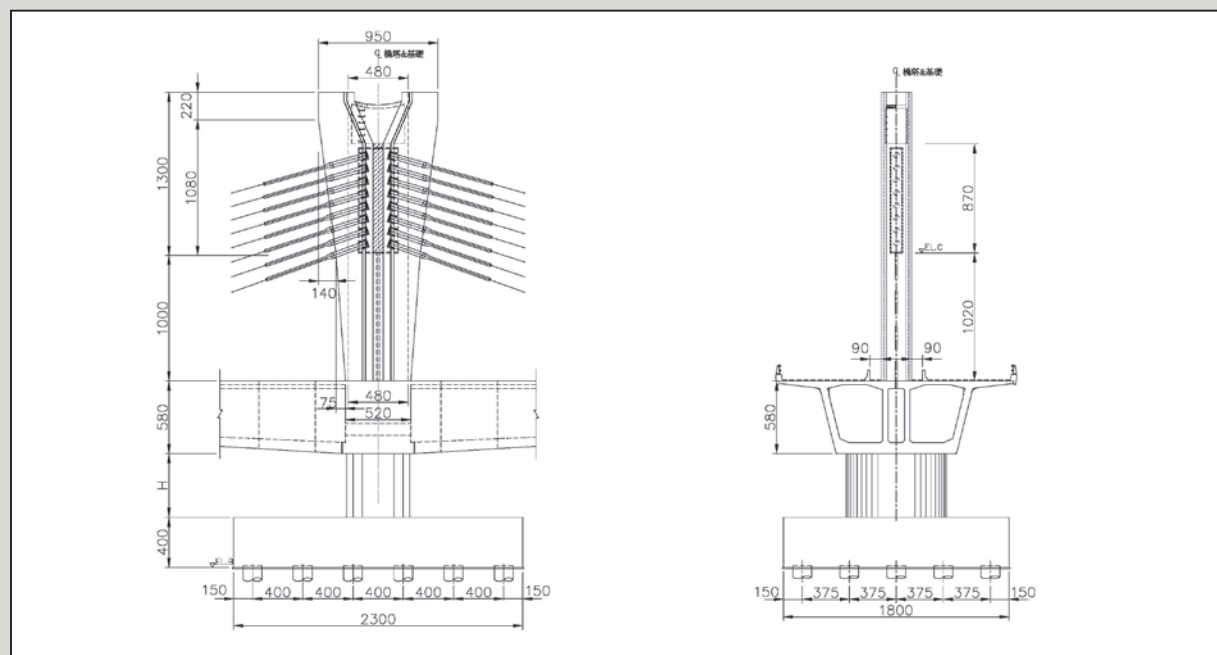


圖7 橋塔立面及斷面圖

## 二、契約規範要求

(一) 外置預力斜索防蝕系統，指為避免鋼絞索銹蝕之組件包含：

1. 鋼絞線鍍鋅層。
2. 單根鋼絞索熱擠式(hot-extruding)HDPE被覆層(簡稱內層被覆)。
3. 鋼絞線與前項被覆層間之保護充填材料。
4. 保護多根鋼絞索組成之外套管。
5. 錨碇區防蝕系統(例：隔離套管及防蝕保護措施)。
6. 錨頭保護蓋及其保護充填材料。

(二) 外置預力斜索之力量傳遞及減振系統指傳遞力量、固定鋼絞線及減少外置預力斜索振動之組件，包含整組錨座、端錨、夾片、鋼絞線轉折器、阻尼器、保護套管及間隔器等。

(三) 系統要求

1. 外置預力斜索為國際著名製造廠之產品，端錨採用圓錐楔片式端錨，且其力量傳遞及減振系統有斜張橋或脊背橋工程之實績者。
2. 外置預力斜索防蝕由下列方式組成：
  - (1) 熱浸鍍鋅鋼絞線。
  - (2) 鋼絞線表面塗佈防蝕材後，並以熱擠方式被覆高密度聚乙烯(HDPE)層。
  - (3) 整組外置預力斜索外側以高密度聚乙烯外套管保護之。
  - (4) 錨碇區內之鋼絞線防蝕保護措施。
3. 鋼纜系統於橋梁施工及使用階段任何時間，均可辦理個別任一根鋼絞索重新施拉或抽換作業(單根鋼絞索抽換作業係指鋼絞索及其熱擠HDPE層一體經由錨錐孔抽換)。

4. 施工階段各根鋼絞索可個別單獨組裝及施拉預力。

5. 外置預力斜索最終應力調整可以多根施力千斤頂辦理端錨整組外置預力斜索之施拉作業。放鬆施力作業(de-tension)時不需解除或放鬆任何端錨組件。

6. 外置預力斜索系統之力量傳遞及減震系統構件，為核可之外置預力斜索系統廠商供應產品。

(四) 材料規定

1. 鋼絞線

(1) 符合CNS 3332 之 SWPR7BL 15.2mm $\phi$  鋼絞線、ASTM A416 Grade27C 15.2mm $\phi$  低鬆弛鋼絞線或經核准之同等品，鋼絞線由無焊接(Weldless)鋼絞線製造。

(2) 經熱浸鍍鋅處理，依ASTM A90檢驗之鍍鋅量大於180g/m<sup>2</sup>，小於340g/m<sup>2</sup>。

(3) 依PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.2.2.1 D節或同等規範辦理One-Pin試驗。

(4) 依PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.2.2.1 E節或同等規範辦理疲勞試驗，試驗為200萬次反覆載重，其上限應力為極限抗拉強度之45%，應力範圍為280 N/mm<sup>2</sup>。

2. 單根鋼絞索護套

(1) 單根鋼絞索熱融被覆之高密度聚乙烯層，其規格符合PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.3.6節之規定或經核准之

同等品。

- (2) 被覆高密度聚乙烯層之單根鋼絞索依PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.3.9節規定或同等規範辦理包括化學抵抗試驗、氯離子滲透試驗、衝擊試驗、磨損抵抗試驗、鹽霧試驗及水密性試驗等功能測試。
- (3) 高密度聚乙烯層厚度最小為1.5mm，並熱融與鋼絞線密接，其與鋼絞線之空隙以專業廠商提報經工程司核可之無機油脂、石蠟或其他防蝕材料填滿，並須能滿足2.1.2(2)之要求。
- (4) 除另有規定外，高密度聚乙烯護套為黑色。
- (5) 廠商證明在鋼絞線應力變化之下，高密度聚乙烯護套不會有裂縫產生。

### 3. 外置預力斜索外套管

- (1) 外置預力斜索外套管為高密度聚乙烯管，符合ASTM D3350之規定或經核准之同等品，材質合格標準詳表1。

灌漿壓力之1.25倍。若採用之系統，外套管與鋼絞線被覆間無填充材料時，可依PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.5.3.3節之說明辦理。

- (4) 高密度聚乙烯外套管之顏色依設計圖或工程司指示辦理，並以下列任一種方式製造：

- A. 全彩高密度聚乙烯管，含紫外線安定劑(UV Stabilizer)。
- B. 著色之聚乙烯被覆層與黑色之高密度聚乙烯管同時射出。
- C. 氟化塑膠膜(PVF)色帶，纏繞於外置預力斜索外套管以為保護膜，其規格符合PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.5.4節之各項規定或經核准之同等品。

- (5) 高密度聚乙烯管規格符合PTI「Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation」3.5.3節之各項規定或

表1 高密度聚乙烯(HDPE)外套管材質規定

性 質	ASTM試驗	合格標準
密度, g/m <sup>3</sup>	D1505	0.941~0.955
軟化指數(Melt Index)	D1238	1.0 Max
撓曲模數(Flexural Modulus), N/mm <sup>2</sup>	D790	550~1,100
拉力降伏強度(Tesile Strength at Yield), N/mm <sup>2</sup>	D638	21~28
環境應力裂縫抵抗力(Environmental Stress Crack Resistance), 裂縫產生時間hrs	D1693 (Condition C)	192
靜水壓力設計基準(Hydrostatic Design Basis), N/mm <sup>2</sup>	D2837	0.86~1.10

- (2) 高密度聚乙烯套管不會與保護填充材料、外置預力斜索或其他與高密度聚乙烯接觸之材料有任何反應，並且不含水溶性氯離子。
- (3) 高密度聚乙烯套管之外徑與最小管壁厚度之比值不得大於18，且管厚需足以承受吊運及施工荷重，並需能承受最大

經核准之同等品，廠商提供相關證明。

- (6) 高密度聚乙烯管全長為連續射出製造，或以熱溶焊接方式續接。熱溶焊接符合ASTM D2657之規定，承包商並提送各型式套管熱溶焊接之樣品(每種尺寸至少3件，每件1.8m長)辦理試驗以確認其品質。焊接接頭之強度至少達套管之拉



力降伏強度。

- (7) 為降低雨水及風造成外置預力斜索振動之影響，高密度聚乙烯管外露面應做成螺旋肋狀(Helical Rib)紋路，該紋路可在套管搭接處以熱熔焊接方式製造，或於套管製作時以連續射出方式一體成型。

#### 4. 端錨

- (1) 端錨為平行鋼絞線(Parallel Strand)系統。
- (2) 錨碇段之防蝕保護程度不低於外置預力斜索自由段之防蝕保護程度。
- (3) 端錨及其附屬設施之強度不得小於外置預力斜索極限抗拉強度。
- (4) 端錨系統可提供個別鋼絞線之抽換作業。
- (5) 外置預力斜索及端錨系統之鋼材外露部分有良好之防蝕措施，其防蝕方式應經工程司核可。
- (6) 為防鏽蝕，端錨系統及相關配件除夾片外，不得有其他鋼組件與鋼絞線碰觸。
- (7) 整組端錨及外置預力斜索系統依PTI「Recommendations for Stay Cable

Design, Testing and Installation」4.2節規定或同等規範辦理疲勞及極限應力試驗，並符合下列規定：

- A. 試驗為整組端錨系統，包括阻尼器、保護套管及鋼絞線轉折器(Deviators)。
- B. 試驗樣品與實際使用之產品(包含防蝕措施)完全相同(採用股東大者即可)，施力端錨與非施力端錨均須辦理試驗。
- C. 試驗為200萬次反覆載重，其上限應力為極限抗拉強度之55%，應力範圍為140N/mm<sup>2</sup>。

### 三、使用斜索外置預力鋼纜系統

本工程外置預力鋼纜系統採用中國大陸柳州歐維姆機械股份有限公司所發展之OVM預力系統，在國內已完成之國6埔里愛蘭橋、北港媽祖大橋、旗山旗尾橋、台9線鳳林豐平橋等脊背橋都採用OVM-250型系統，依本工程規範係使用OVM250-43T錨具，國內採用OVM系統之橋梁工程詳圖8。

工程名稱	業主單位	使用錨具	承攬數量	完工日期
國道608標脊背式外置預力	國工局	OVM250-31T	鋼絞線140噸	96年05月
北港媽祖大橋	公路總局	OVM250-31T	鋼絞線250噸	96年11月
高雄旗山旗尾橋標改建工程	公路總局	OVM250-55T	鋼絞線132噸	99年12月
98-鹿谷鄉131線 43K+145~43K+600清秀橋改建及引道拓寬工程	南投縣政府	OVM250-27T	鋼絞線18噸	101年03月
台9線228K+900~230K+820豐平橋新建工程	公路總局第四養護工程處	OVM250-43T	鋼絞線180噸	101年07月
(98)來義鄉丹林大橋整建工程	屏東縣政府	OVM250-19T	鋼絞線51噸	102年01月
鹿谷線投55-1線4k+550~5k+960道路改善工程	南投縣政府	OVM250AT-37T (鞍座式)	鋼絞線51噸	103年02月
台九線蘇花公路南澳武塔段新建工程	公路總局蘇花公路改善工程處	OVM250-43T	鋼絞線95噸	106年08月

圖8 國內採用OVM系統之工程

### 拉索的主要構成為錨固段、自由段、過渡段三部份

- 1、張拉端錨具
- 2、減震裝置
- 3、索箍
- 4、防水過渡裝置
- 5、HDPE外護套管
- 6、單根防護鋼絞線束
- 7、防水過渡裝置
- 8、索箍
- 9、減震裝置
- 10、固定端錨具

- A、張拉端錨固段
- B、過渡段
- C、自由段
- D、過渡段
- E、固定端錨固段

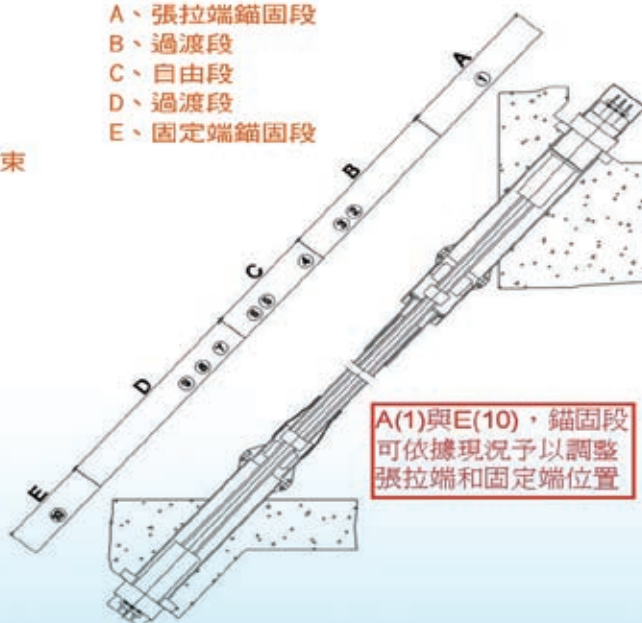


圖9 斜張式外置預力鋼纜組合示意圖

#### (一) 斜張式外置預力鋼纜結構

1. 整束斜張式外置預力鋼纜可分為錨碇段(Anchored Section)、轉換段(Transition Section)及自由段(Free Section)三部份。(組合示意圖詳圖9)
2. 錨碇段分為張拉端錨碇段及固定端錨碇段，張拉端錨碇段包含梁體(橋面版)預埋鋼套筒、承壓板、錨碇板(俗稱錨頭)、夾片、夾片防鬆壓板、螺母、支承筒、延長筒及預留PE管等。固定端錨碇段則包含塔柱預埋鋼套筒、承壓板、錨碇板、夾片、夾片防鬆壓板、鋼導管及預留PE管等。
3. 轉換段介於錨碇段及自由段之間，張拉端及固定端轉換段稍有不同。張拉端轉換段包括索箍、減振裝置、PE管支承座、過渡管及防水罩，固定端則不含PE

管支承座，但另有PE管連接裝置。

4. 自由段索體則由鍍鋅鋼絞線、安定無機油脂、絞線熱擠HDPE護層、聚氨酯及帶螺紋肋條之HDPE外護管組合而成。因絞線、油脂及熱擠HDPE護套合成”HDPE無黏結鋼絞線”，鋼絞線可自由伸縮及滑動，故稱為自由段。
5. 張拉端錨具、固定端錨具、索體結構及預埋鋼管圖，詳圖10~12所示。

#### (二)斜張式外置預力鋼纜防護體系

1. 斜張式外置預力鋼纜在索體自由段之防護體系。第一層為光面鍍鋅鋼絞線。第二層為鋼絞線被覆高熔點安定油脂。第三層為鋼絞線外包熱擠被覆HDPE層。第四層為索體外整圓之HDPE外護管。其構造詳圖13所示：

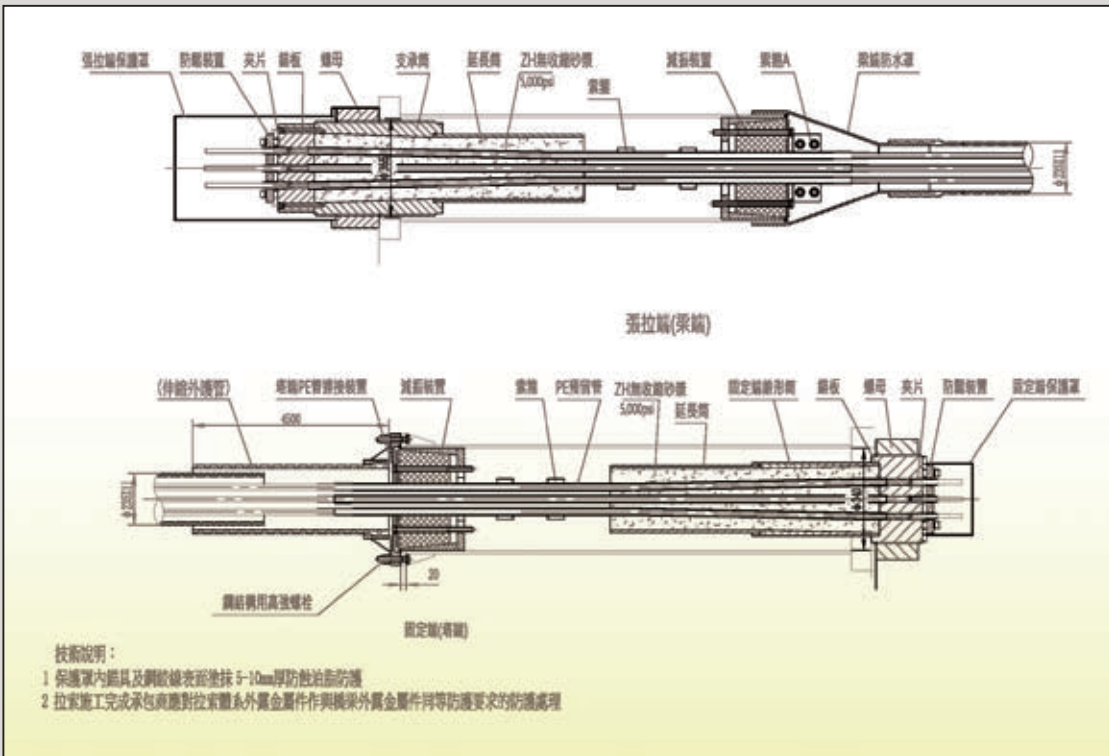


圖10 張拉端及固定端端錨詳圖

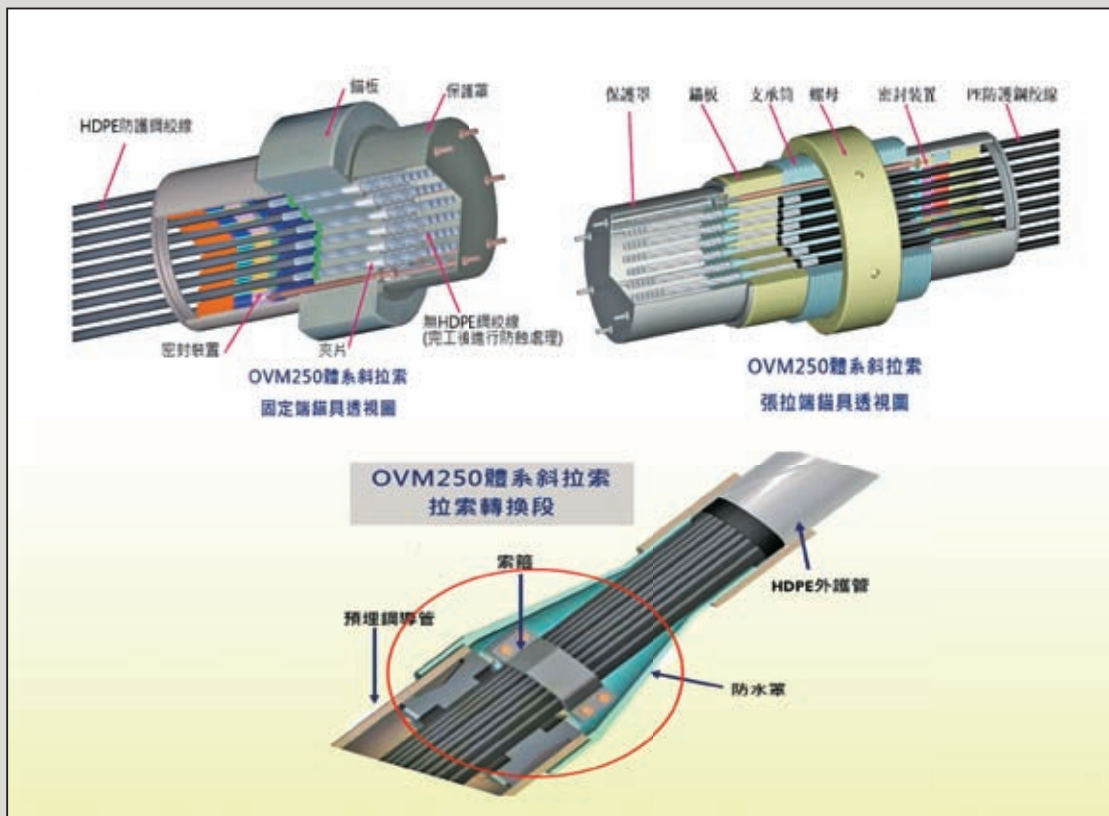


圖11~12 固定端、張拉端錨具及轉換段透視圖

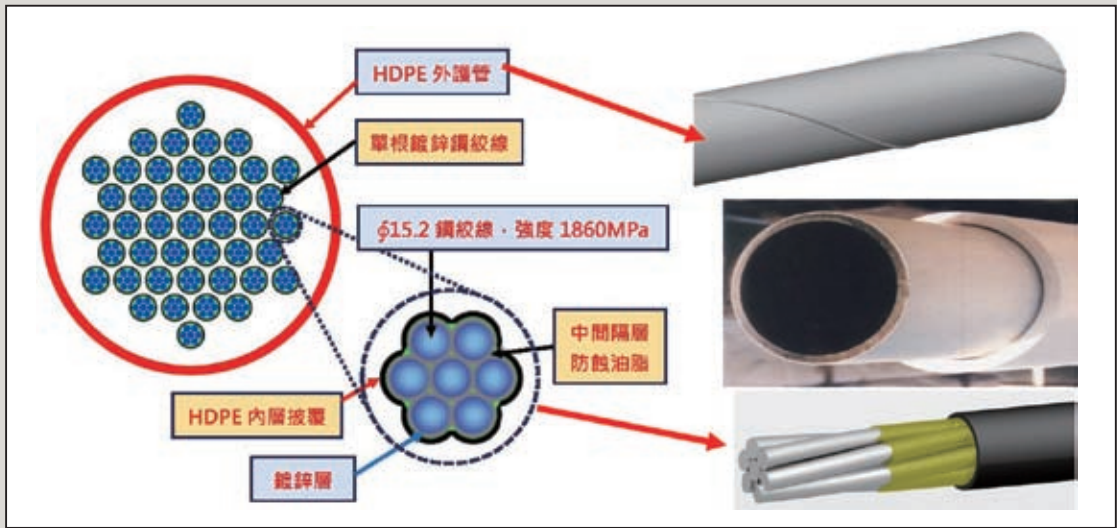


圖13 預力鋼纜在索體自由段之防護體系示意圖

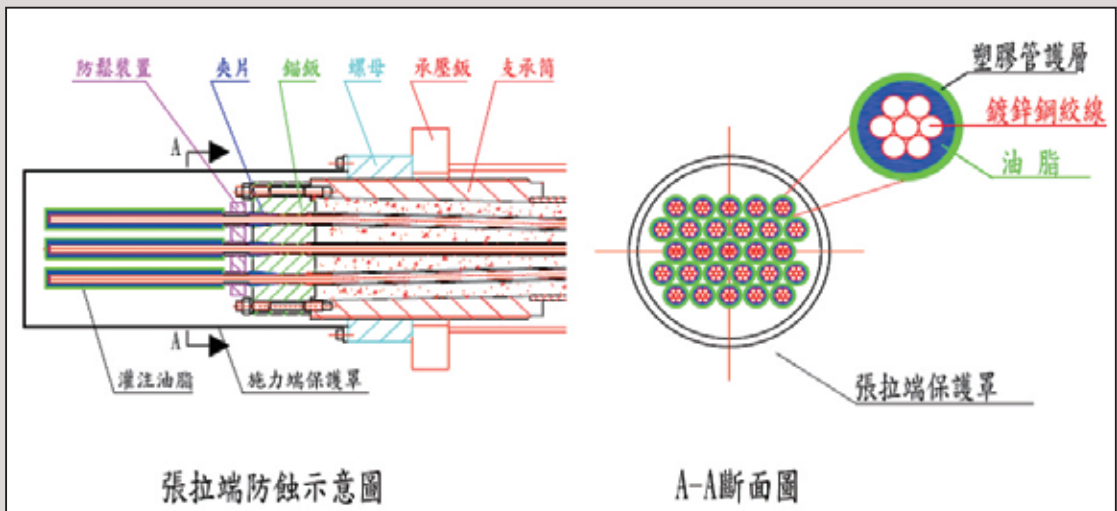


圖14 張拉端防蝕示意圖

2. 斜張式外置預力鋼纜在錨碇段之防護體系：錨頭內鋼絞線由於穿索及張拉需要，錨碇段內鋼絞線之熱擠PE護層需剝除，於全橋外置預力鋼纜調索完成後，其防蝕處理方式如下：

(1) 張拉端：在錨具端部安裝保護罩；罩內對裸露鋼絞線套上一小HDPE管；管內灌注防腐油脂，詳圖14，夾片、錨碇板及張拉端支承筒外露螺牙等處以塗油進行防護。

(2) 固定端：於安裝防鬆裝置前，於罩內將裸露鋼絞線噴塗環氧樹脂漆以避免銹蝕，再安裝防鬆裝置及保護罩，詳圖15。

#### 四、主要材料數量及檢驗

(一) 本工程斜張式外置預力鋼纜主要材料數量如表2。

(二) 錨碇系統

1. 採用OVM-250(43T錨具系統)。

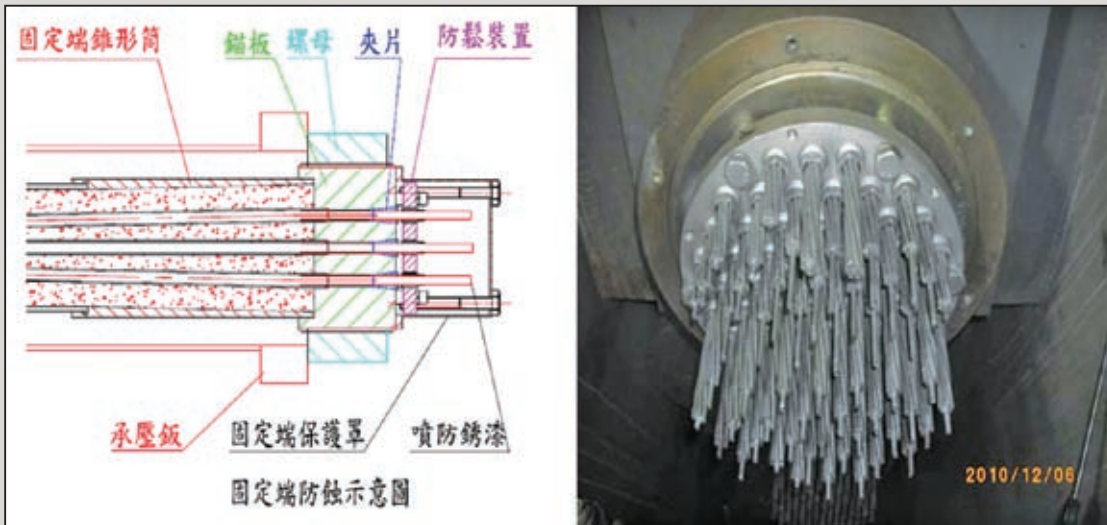


圖15 固定端防蝕示意圖

表2 外置預力鋼纜主要材料數量

項目	張拉端 端錨 數量	固定端 端錨 數量	15.2mm $\phi$ 鍍鋅鋼絞線 (含HDPE、防蝕材)	HDPE 外套管 OD = 180mm $\phi$	夾片	預埋鋼管 (橋面端)	預埋鋼管 (塔端)
單位	組	組	Ton	M	組	組	組
OVM250-43T 斜張鋼纜索	32	32	約96	約1,400	2,752	32	32

2. 端錨為平行鋼絞線(Parallel Strand)系統。
3. 端錨系統可提供個別鋼絞線之單根抽換作業。

### (三) 鋼絞線

1. 鋼絞線採用江陰華新鋼纜有限公司產品。
2. 鋼絞線為符合ASTM A416 Grade270，標稱直徑15.2mm  $\phi$  之低鬆弛熱浸鍍鋅鋼絞線。

### (四) 單根鋼絞線 HDPE護套

HDPE護套為熱擠被覆加工，由柳州歐維姆機械股份有限公司負責。

### (五) HDPE外套管

1. 為柳州歐維姆機械股份有限公司設計及加工製造。套管顏色依業主選定之白色辦理。製造方法為高密度聚乙烯管材質並符合ASTM D3350之規定製造。
2. 高密度聚乙烯管為連續射出製造，每支訂製長度為5.5M，至現場後以熱熔焊接方式續接至所需長度，熱熔焊接符合ASTM D2657規定。
3. 高密度聚乙烯管外露面增加凸出的螺旋線，因凸出的螺旋線可阻止雨線的形成、減少風阻，從而較好地抗風雨激振，本工程採用外雙螺旋線肋狀(Helical Rib)紋路外套管。

### (六) 預埋鋼纜導管

鋼纜鋼導管須配合箱型梁節塊之施作採預埋方式施工，其材質為 ASTM A53，

表3 外置預力鋼纜主要材料檢驗一覽表

外置預力斜索製造廠商：中國大陸柳州歐維姆機械股份有限公司(OVM預力系統·OVM250-43)									
材料名稱	材料產地	規範章節	試驗項目	試驗規範	取樣日期	取樣地點	試驗單位	報告日期	試驗地點
預力端編	中國大陸柳州OVM	補充施工說明書 2.1.4(7)	200萬次疲勞及極限應力試驗	PTI 4.2第	102/05/07	中國柳州歐維姆公司	CTL Group	102/08/11	美國
鍍鋅鋼絞線	中國大陸江陰華新鋼鐵	2.1.1	鋼絞線拉伸試驗(1支/50T)	CMS3332 G3073	1.102/05/07 2.103/03/25	1.中國柳州 2.工地現場	正務科技大學	1.102/05/29 -102/07/15	高雄
		2.1.1	鋼絞線扭轉試驗(1支/10T)	CMS3332 G3073	1.102/05/07 2.103/03/25	1.中國柳州 2.工地現場	正務科技大學	2.103/04/21 -103/04/25	高雄
		2.1.1(2)	鍍鋅處理(1支/10T)	ASTM A90	1.102/05/07 2.103/03/25	1.中國柳州 2.工地現場	L.SGS		高雄
		2.1.1(3)	One-Pin試驗(1支/10T)	PTI 3.2.2.1.D	102/05/07	中國柳州歐維姆公司	江蘇法蘭勝材料分新測試有限公司	102/05/29-102/07/15	中國
		2.1.1(4)	單根鋼絞線200萬次反覆疲勞試驗(1支/20T)	PTI 3.2.2.1.E	102/05/07	中國柳州歐維姆公司	中國船舶重工集團公司第七〇二研究所	102/08/16	中國
單根鋼絞線護套(小HDPE)	中國大陸柳州OVM	2.1.2(2)	1.化學試驗、氦離子滲透試驗、衝擊試驗、磨損試驗、水密性試驗 2.鹽霧試驗	PTI3.3.9	102/05/07	中國柳州歐維姆公司	1.正務科技大學 2.環球檢驗科技股份有限公司	102/09/11-102/09/26	高雄
鋼護HDPE外套管	中國大陸柳州OVM	2.1.3	材質(密度、軟化點數、彎曲模量、扭力降伏強度、環境應力裂縫抵抗力)	ASTM D3350	102/09/10	工地現場	正務科技大學	102/11/01	高雄
		2.1.3	靜水壓力設計基準	ASTM D3350	102/09/10	工地現場	正務科技大學	103/01/13	高雄
		2.1.3(5)	高密度聚乙烯管規格	PTI 3.5.3第	102/09/10	工地現場	正務科技大學	102/11/01	高雄
		2.1.3(6)	熱熔焊接	ASTM D2657	103/05/27	工地現場	正務科技大學	103/05/29	高雄

管體內外(含錨碇板及加勁板)均經熱浸鍍鋅處理，鍍鋅量則應依ASTM A-123之規定辦理。

(七) 材料取樣檢驗如表3

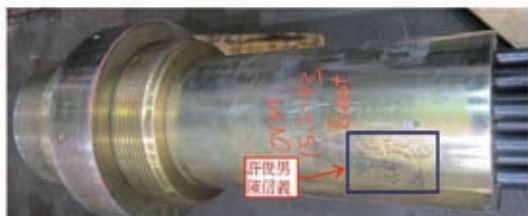
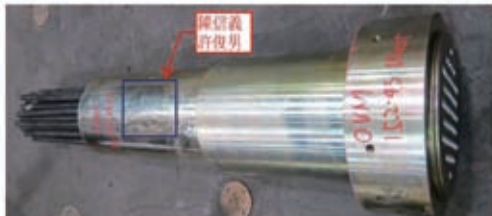
### 五、斜張鋼纜施工步驟

脊背橋外置預力鋼纜之施工，需配合橋梁平衡懸臂節塊施工順序施作，其施工順序係直接由橋墩上方柱頭開始施作柱頭(板)節塊，於柱頭節塊組裝懸臂工作車後，再逐一節塊施築方式進行施工，利用節塊藉預力鋼自持，藉由完成節塊支撐下一節塊，詳圖17。

外置預力斜拉鋼纜係將橋塔與橋面結構互相錨碇，提供部分斜張拉力，本橋之橋塔高23m，斷面長5.2m漸變至9.5m，寬均為2.4m，為鋼筋混凝土結構，其中斜拉鋼索部分之鋼殼為鋼結構，成品尺寸為長3.2×寬1.0×高8.1m，鋼殼於工廠裁切加工製作完成後再運輸置工地現場吊裝後再包覆鋼筋混凝土，因工址臨近海

邊，鋼殼製作後其內部(混凝土包覆部分除外)須先進行噴砂處理、鋅鋁熔射及封孔處理，以提高防銹保護效果。橋塔模板係採用鋼模施作，並分七次階段分層施作，每次階段分層高度1.82m~4.10m不等，相關組立配置圖詳圖18。外模及其支撐梁於橋面版組裝完成後，再以吊車吊升至適當高程與位置後，並以H400X200橫梁加上螺栓予以鎖固。模板安裝時，應使板面平整，所有水平及垂直接縫應支撐牢固並保持平直，且應緊密接合，以防混凝土漏失，並進行模板各折角的角度、相關位置、尺寸及高程之調整並進行檢測。

南澳北溪脊背橋主跨與梁深比約為28:1，主跨與橋塔錨碇高度比約8.9:1，P1及P2橋墩分別有32及36個節塊，加上中央閉合節塊，合計69個節塊，兩橋墩靠外側均有不平衡節塊，P1為15對+1，P2則為17對+1節塊，詳圖19。懸臂工作車推進至第4對節塊時開始施作橋塔昇層，於施作至第10對懸臂節塊時，開始施作第1束外置預力斜張鋼纜(錨碇於第8對節塊)，後續每推進一對節塊，併同完成一束外置斜張預力鋼



端錨取樣

The OVM250-43 specimen assembled in the small cable test frame is shown in Fig. 2-1.

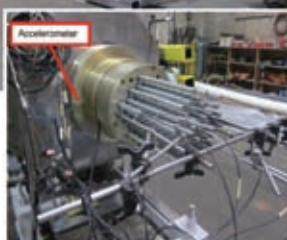


Fig. 2-1 OVM250-43 cable anchor head (adjustable)



Fig. 2-2 OVM250-43 cable anchor head (fixed)

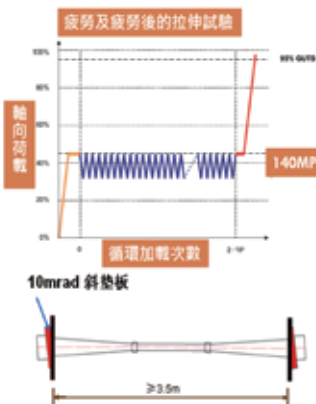
本工程整組端錨疲勞試驗-美國CTL試驗室

整組端錨送美國CTL試驗室進行疲勞試驗

**整組端錨疲勞試驗**

依本標施工規範要求：

- 應力幅=140 Mpa
- 應力上限=0.55f<sub>ptk</sub>
- 偏轉角度=10mrad(0.6°)
- 200萬次循環荷載，斷絲率不得大於2%。
- 疲勞試驗後的靜載試驗，拉索破斷力應大於拉索實際最大破斷力的92%，或標準破斷力的95%（取兩者中的大值）



疲勞試驗規範要求

**整組端錨疲勞試驗合格報告**

依PTI規定：

- 200萬次循環荷載，斷絲率不得大於2%
- 疲勞試驗後的靜載試驗，拉索破斷力應大於拉索實際最大破斷力的92%，或標準破斷力的95%（取兩者中的大值）

TABLE 14 MONOLITHIC TEST RESULT FOR CIRCULAR CABLE TENDON TEST OPTION

TEST ITEM	TEST RESULT	TEST RESULT	TEST RESULT
Number of Cycles	2,000,000	2,000,000	2,000,000
Number of Strands	54	54	54
Static Nominal Breaking Load (kN)	11,275	11,275	11,275
Static Actual Breaking Load (kN)	11,275	11,275	11,275
Number of Cycles	2,000,000	2,000,000	2,000,000
Fatigue Test Upper Stress (MPa)	140	140	140
Fatigue Test Stress Range	140	140	140
Level of Wire Break	0	0	0
Load Resisted in Tensile Test (kN)	11,275	11,275	11,275
Elongation at Maximum Load	1.8%	1.8%	1.8%
Test Date for Fatigue Test	July 10, 2013	July 10, 2013	July 10, 2013
Test Date for Static Test	August 6, 2013	August 6, 2013	August 6, 2013
Test Frame	Small Frame	Small Frame	Small Frame
Wire Break in Fatigue Test	0	0	0
Fatigue Test Pass/Fail	Pass	Pass	Pass
Date for Tensile Test	August 6, 2013	August 6, 2013	August 6, 2013
Load Resisted in Tensile Test (kN)	11,275	11,275	11,275
Elongation at Maximum Load	1.8%	1.8%	1.8%
Elongation at Maximum Load (%)	1.8%	1.8%	1.8%
Tensile Test Pass/Fail	Pass	Pass	Pass
Remarks			

本試驗其斷絲率：0絲

疲勞後靜載試驗：11,275 > 10,760

疲勞試驗結果合格

圖16 端錨取樣及疲勞試驗結果

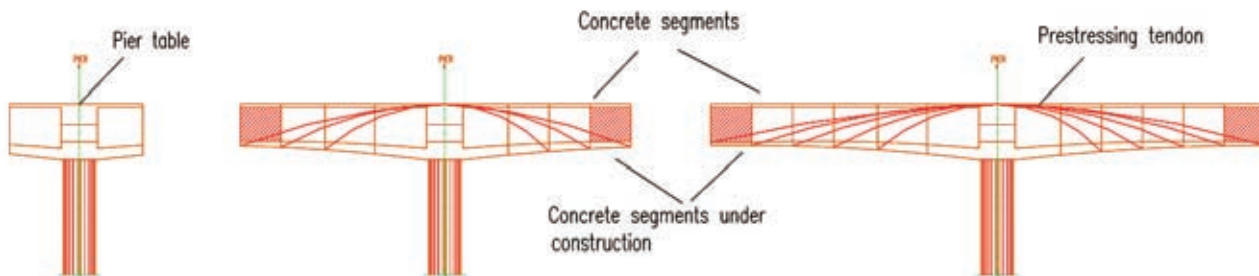


圖17 平衡懸臂節塊施工原理

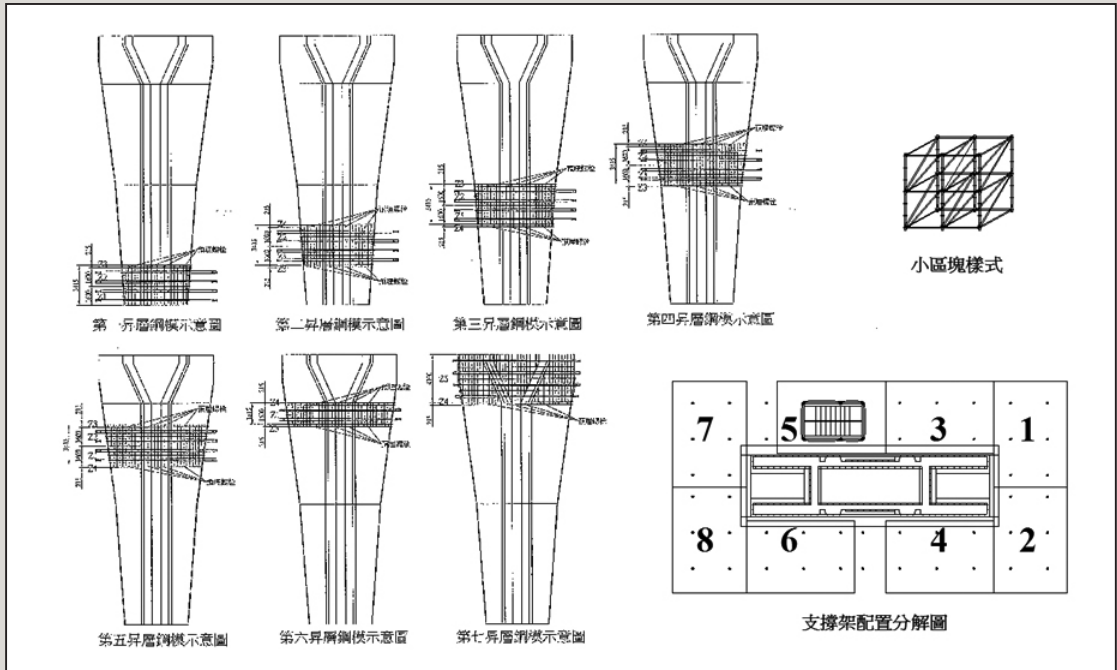


圖18 橋塔模板昇層施工示意圖

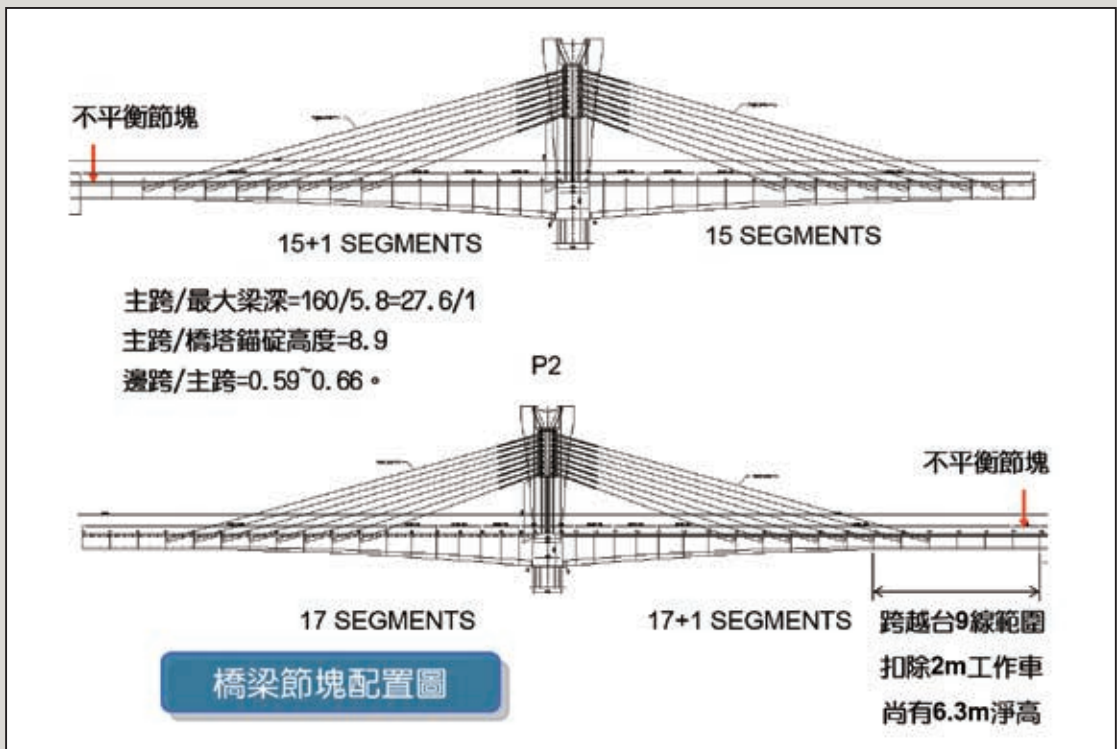


圖19 外置斜拉鋼索與懸臂節塊配置圖

纜，至全部完成所有外置預力，再施作邊跨場撐節塊，最後再完成閉合節塊。本節就外置斜張預力鋼纜之施工方式及步驟等作詳細說明，其施工每階段主要可分成三大施工步驟：其概

述如下

- STEP 1、HDPE接管。STEP 2、HDPE吊裝。
- STEP 3、穿索拉線。



### (一) 前置作業

#### 1. OVM250 拉索錨具預裝製作

(1) 備料：錨具、設備、無收縮水泥漿體材料等。

##### A. 錨具：

- (a) 錨具根據索號編號並標示清楚。
- (b) 每組端錨備料包括：端錨板、螺母、支承筒、定位套、O型密封圈、連接板、橡膠墊、螺釘、墊圈、鋼導管及 HDPE 預埋導管。
- (c) 各錨頭內的HDPE預埋導管是根據預埋管長度確定的，應按規定的尺寸及編號對應安裝。

##### B. 設備

- (a) 無收縮水泥漿體攪拌機。
- (b) 設置組裝平臺。
- (c) 電熱吹風機。

(2) 錨頭組裝、HDPE預埋導管插管捆紮定位

- A. 在組裝平臺上，將各錨具零部件就位，在錨具外表面明顯處按索號及預埋管號進行編號並標示清楚。
- B. HDPE預埋導管裝入錨板對應位置後，在鋼導管出口位置將HDPE預埋導管收攏緊湊，不能交叉錯位，用膠帶將其捆紮成束並定位。
- C. 因錨孔為缺角多邊形排列的錨具，故需要在安裝減振器的位置，加入長約 300mm的HDPE預埋導管假索以塑造成正六邊形，以利於綁紮固定其形狀。

(3) 錨頭固結灌漿：

- A. 從支承筒上端由上往下進行無收縮砂漿灌漿(採用5,000psi之ZH砂漿)。
- B. 注意漿體到達支承筒上端面即停止注漿，避免漿體流入螺紋處，表面如有殘留漿液應及時清理乾淨。
- C. 待無收縮砂漿固結後，方可移動錨具。

2. 橋塔外搭設爬梯及施工架供人員上下及進行各項作業。

3. 斜張式外置預力鋼纜安裝是以單根絞索現場穿線方式施作，故於橋塔處裝設捲揚機配合滑輪組做為牽引設施。

4. HDPE外護管安裝特製夾具臨時固定，另外單根絞線牽引亦需配有切割砂輪機、芯線擠壓器(打鈍頭)及特製續接固定器等。

5. 將整捲帶鋼絞線放置橋面上，留足夠空間供絞線攤開並裁好供單根掛索之用。

6. 備足各類電動、手動工具。

### (二) 錨具安裝

1. 將預製完成之固定端錨具安裝於橋塔端，施力端錨具安裝於橋面端箱梁。錨具套入鋼導管時需予以定位，使HDPE預埋導管束對中，可用輔助定位支架定心，確保HDPE預埋導管邊緣距離鋼導管內壁均勻，誤差應控制在1cm以內，並以簡易道具臨時固定。(孔位須上下對應)

### (三) 外套管熔接及安裝(起管)

1. HDPE外套管於橋面上一段一段以雙面刨刀將對接管口刨平。



圖20 HDPE外護管熔接

2. 插入電熱板加熱管口(此時需注意電熱板加溫支溫度及時間)。
3. 再以一定的壓應力使HDPE外套管熔接成一體，詳圖20。
4. 在橋面上將接好的HDPE外套管在輸送台車上擺放好，然後在外套管內穿入第一根鋼絞線，同時在HDPE外套管兩端安裝臨時管夾。利用捲揚機(或吊車)將外套管和第一根鋼絞線一起吊起，到達預定高度後將第一根鋼絞線穿入塔端錨具錨孔內並裝入夾片固定。下端亦將此鋼絞線穿入相對應錨具錨孔內並以夾片固定。
5. 將前一步驟之鋼絞線兩端，穿入橋塔上固定端及箱梁內施力端錨頭內，裝上夾片後施加力量，外套管藉此伸直成為索體管道，以進行後續逐根掛索作業。
3. 於橋面端將鋼絞線穿入相對應之錨孔內，在箱梁內錨頭處裝上夾片準備施預力。
4. 安裝施預力鞍座及單槍千斤頂，依照預力計算書計算各束斜拉鋼索拉力施加第一階段預力。每束斜拉鋼索有43股(根)，設計拉力約533~584T，平均單根鋼絞線施拉約14 T，實際施拉拉力控制在設計拉力 $\pm 2.5\%$ 。
5. 鋼絞線逐根穿索及張拉時，前面之鋼絞線應力會逐步降低，為使整束索體內每根鋼絞線之應力相當，可用荷重儀來確認，其方法是於第一根張拉鋼絞線安裝一組單孔臨時錨具及荷重儀(Load cell)，後續每根鋼絞線張拉力量均以荷重儀所顯示之力量張拉，如此整束索體內之鋼絞線，即可維持相同之應力。

#### (四) 斜張鋼纜單根穿線及施預力

1. 於橋面上預先裁好足夠長度之HDPE鍍鋅鋼絞線，兩端剝除約60cm HDPE護層，將剝皮處鋼絞線油脂洗除。
2. 以穿線機將上述鋼絞線逐根自橋面上過度管預留空間內穿入，經由吊掛好HDPE外護管內穿入橋塔之固定端錨具，再以夾片固定。

6. 鋼絞線穿索及施拉順序如圖21之數字順序施工，主要目的為預留下部空間做為穿索通道，當絞線牽引至定位後，上下端即穿入相對應之錨孔內，如此作業完成後即可保證此鋼纜內之絞線為完全平行狀態。本工程2座橋塔計有32束斜張式外置預力鋼纜，編號從A1(A21)至A11(A31)左右對稱，配合懸臂節塊分16個階段施拉(每階段1對2束)，於每束鋼索橋塔外側之單束鋼纜張拉完成，以單邊施作方式進行，完成後再施作另一側。

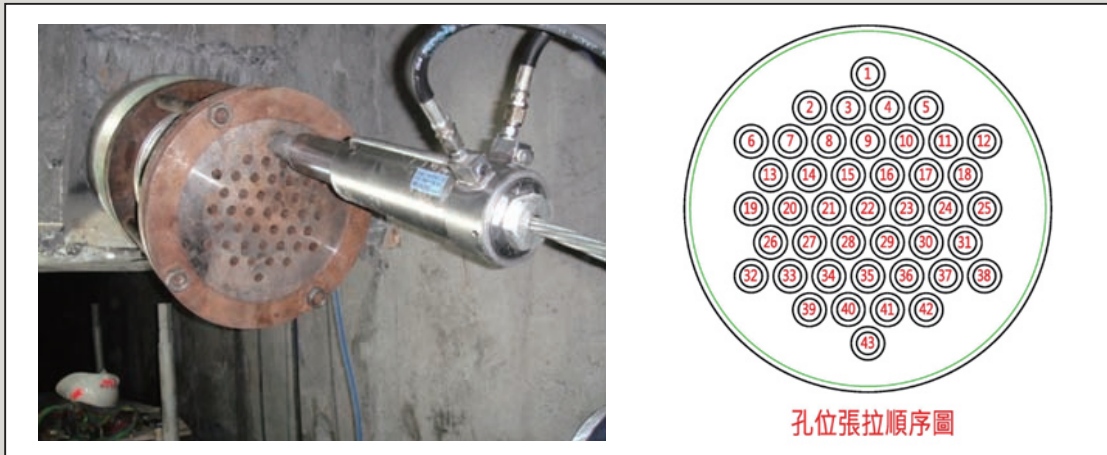


圖21 斜張鋼纜單根穿線施預力及孔位張拉順序圖

7. 外置預力之施拉時機，橋塔二側橋面板以懸臂工法完成後，工作車降模後即開始進行起管、穿線掛索及施預力。

#### (五) 斜張式外置預力鋼纜整體調索

1. 橋梁整體結構完成後，如有需要將進行整體鋼纜拉力調整之作業，索力及張拉順序需經詳細計算，張拉作業可以整束或單根方式進行。
2. 整束張拉作業為安裝整體張拉支架及千斤頂進行。利用錨碇板(錨頭)上螺紋及連接張拉桿將斜張式外置預力鋼纜整束拉出，通過調節錨具螺母固定之。需注意整束張拉作業施作空間是否足夠。
3. 本工程為脊背橋，因外置預力為橋體結構之部份預力，且橋體屬剛性結構，故調索作業無法改變橋形或高程，調索作業主要為確定所有鋼纜之應力值是否在允許範圍內，故以單槍千斤頂對每束鋼纜進行約3~5根絞線試拉即可。

#### (六) 斜張式外置預力鋼纜防蝕措施

1. 斜張式外置預力鋼纜錨具內鋼絞線補

油，錨具內鋼絞線由於掛索、張拉需要，兩端HDPE需剝除，剝除段之鋼絞線必須進行有效防護，方法是在橋面張拉端於每根鋼絞線套入較大口徑之PE管，管內與絞線間灌注防蝕油脂；塔柱端錨具錨孔內噴塗防蝕漆(環氧樹脂噴漆)。待整體調索張拉完成後，進行本項工作。

2. 錨碇板防鬆裝置安裝，此裝置為低應力狀態下工作夾片錨固可靠性保證措施。
3. 斜張式外置預力鋼纜錨具外防護錨碇板端面、夾片、外露鋼絞線的防蝕。
  - (1) 一方面為了整體防蝕，一方面為了方便螺母旋動，在錨具安裝時預先在支承筒外螺牙上塗上防蝕油脂。
  - (2) 整體張拉後，支承筒外露部分、錨板、夾片等都塗上防蝕油脂，而且支承筒外露部分錨板用封箱帶纏繞密封。
  - (3) 調索結束後，先在張拉端鋼絞線、夾片、錨板上塗油，再以PE套管罩著每一根鋼絞線，PE套管內填滿防蝕油脂進行防護。之後在錨具外安裝保護罩。
  - (4) 塔柱端保護罩內噴塗防蝕漆(環氧樹脂噴漆)或塗抹一層防蝕油脂，對裸露鋼

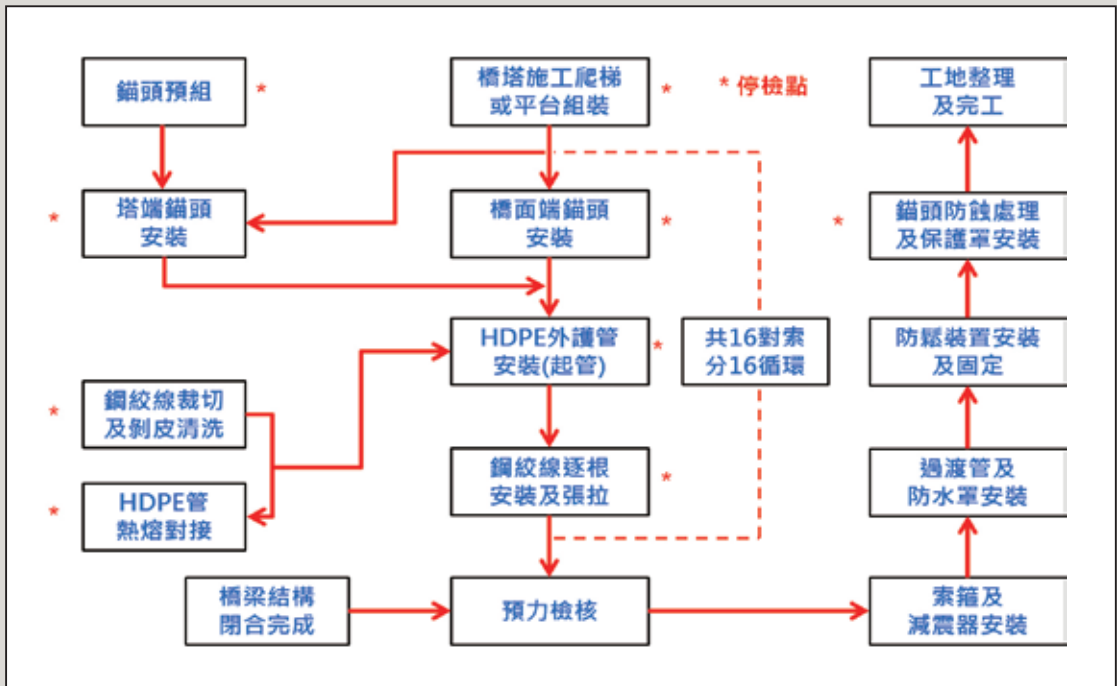


圖22 外置預力斜拉鋼索施工作業流程圖

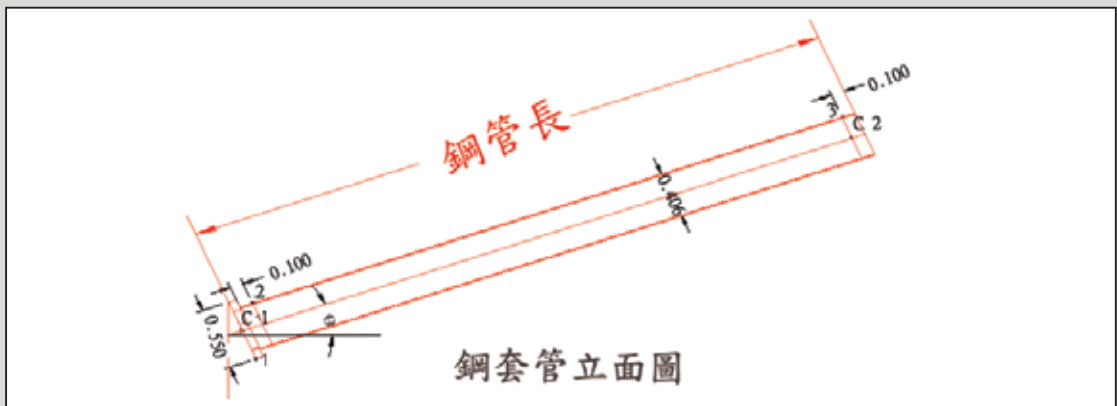


圖23 鋼導管安裝埋設角度立面圖

絞線、夾片、錨板等進行防護。

- (5) 塔端及梁端預埋鋼管內須預設防水、防潮措施，下端承壓板應設有排水槽。

鋼導管，鋼導管需依照設計平縱面線形、鋼腿配置線形及預拱值等詳細計算各個導管安裝位置及埋設角度之座標資料，鋼導管安裝埋設角度立面圖詳圖23，俾於現場放樣安裝，並隨著每對節塊預力施拉及推進後進行檢測，以回饋調整後續橋面鋼管導埋設安裝之位置及角度。

### 肆、橋面拱度高程管控

#### 一、內業計算

橋面頂版及橋塔配合外置預力斜索須埋設

#### 二、懸臂節塊施工方式及順序

- (一) P1及P2橋墩分別為15對及17對懸臂節

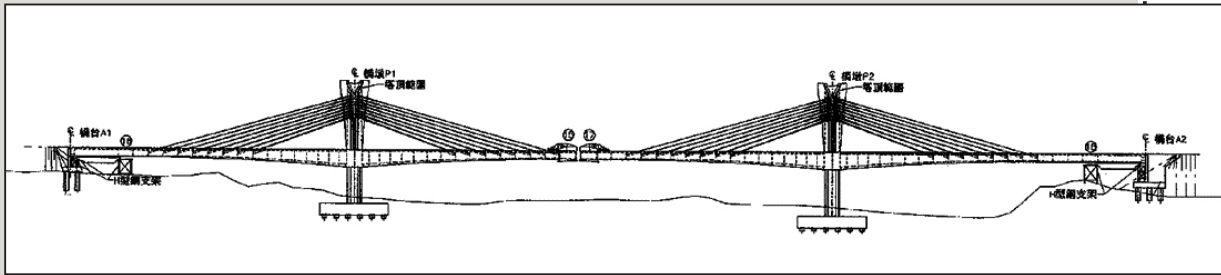


圖24 懸臂橋梁閉合順序示意圖

塊、並於外側(靠橋台側)各具1不平衡節塊；每座橋塔於第7-14對節塊(共8對)配置外置預力斜拉鋼索。

- (二) 懸臂工作車組裝架設完成後，平衡對稱依序施築橋塔兩側節塊，橋面於第7對節塊開始預埋第1對斜索鋼導管，至第14對節塊止，依據設計圖規定，外置預力第1對斜索(即橋面第7對節塊)施拉後，橋面第10對節塊始可進行混凝土澆置，故鋼導管埋設與外置預力施拉相差3對節塊。
- (三) P1及P2懸臂工作車分別平衡對稱依序施築至第15及第17對節塊，外置預力全部施拉錨碇後，工作車接續推進施築P1第16及P2第18不平衡懸臂節塊。
- (四) 前述懸臂節塊施築完成、工作車拆卸下車後，於邊跨設置臨時支撐架，以場撐方式施築邊跨。
- (五) 施拉邊跨底板預力、拆除臨時支撐架後，澆置P1-P2跨徑中央閉合節塊及底板連續預力鋼腱施拉，詳圖24懸臂橋梁閉合順序示意圖。

### 三、橋面拱度高程控制方式及成果

- (一) 橋面之外置預力鋼導管，於安裝時之角度位置須配合橋面預拱值及斜索施拉時所需之工作角度作調整，避免造成錯位。
- (二) 以P2橋墩第7對節塊斜索A31為例，鋼

導管安裝時之預拱值為0.165m(第7節塊澆置前檢測)，在橋面板推進至第9節塊完成後，進行施拉第7節塊斜索A31作業，其第7節塊橋面板之預拱值應變化為0.121m(A31斜索施拉前)。

- (三) 鋼導管埋入側中心與橋面板完成面高差1.05m為固定值，故橋面板第7節塊施作鋼導管安裝時，應以0.121m之預拱值為考量，調整鋼導管角度，以利與鋼殼側之角度接合。
- (四) 後續每對懸臂節塊於混凝土澆置前、澆置後及斜索安裝前、安裝後、施預力後，均須檢測橋面接縫之兩側及中央處之高程，以了解橋面之高程變化與原預力計算時之預拱值做比較，並進行回饋調整，以作為後續節塊高程控制之參考。
- (五) 經前述拱度高程控制，最後閉合節塊預力施拉完成後，閉合之兩端高差僅2.2~5.3cm，中央閉合成果，詳表4中央閉合拱度控制成果一覽表，箱梁底腹板及橋面縱向接合面尚稱平順，橋梁整體完成後顯得氣勢磅薄，展現橋梁結構力與美的結合，成為當地新地標。

### 伍、結語

脊背橋主要係配合橋塔之設置，將傳統箱形梁內置預力鋼腱，部份改配置於箱形梁外

表4 中央閉合拱度控制成果一覽表

第15節塊 第16節塊 第17節塊 閉合塊 第15節塊 第14節塊 第13節塊

A2 ← → A1

P2 P1

註：依橋面縱坡設計值 閉合塊二側高差為5.3公分

量測日期	施工作業階段	P2			P1			高差			備註
		17-1	17-2	17-3	15-1	15-2	15-3	左(海側)	中	右(山側)	
104/10/13	第7次外置預力地錨後	37.305	37.448	37.263	36.995	37.176	36.993	-0.310	-0.272	-0.270	
104/11/02	第15對預力地錨後	37.305	37.448	37.263	37.034	37.219	37.026	-0.271	-0.229	-0.237	
104/11/10	第16(北側)節塊澆置前	37.305	37.448	37.263	37.043	37.228	37.030	-0.262	-0.220	-0.233	
104/11/15	第16(北側)節塊澆置後	37.282	37.428	37.243	37.118	37.293	37.112	-0.164	-0.135	-0.131	預估上升9公分
104/11/17	第16(北側)預力地錨後	37.263	37.424	37.225	37.110	37.294	37.111	-0.153	-0.130	-0.115	預估上升2公分(實際1公分)
104/11/25	第8次外置預力地錨後	37.292	37.433	37.261	37.156	37.332	37.143	-0.136	-0.101	-0.118	預估上升4公分(實際3公分)
104/12/10	閉合節塊澆置後	37.320	37.459	37.272	37.213	37.383	37.193	-0.107	-0.076	-0.079	閉合塊二側高差為5.3公分
105/01/10	閉合節塊預力地錨後	37.341	37.479	37.293	37.235	37.404	37.213	-0.106	-0.075	-0.080	
	設計值	37.279	37.460	37.279	37.226	37.407	37.223	-0.053	-0.053	-0.056	
								0.053	0.022	0.024	均低於設計預拱

部，以提供預力鋼腱較大之偏心距，使大梁設計深度得較傳統懸臂工法所需者為小，結構行為亦較偏向梁式結構。因此其結構特性，使得此橋型有結構效率高、經濟、外型纖細輕巧、幾何造型多變等優點。配合懸臂工法施工，橋梁跨徑可達100~300m，相較於斜張橋，其建造經費減少甚多(約為斜張橋1/3~1/2)，工期亦較短，綜合比較該橋型在景觀及經濟考量上有其相當的優勢，因此已廣泛在世界各地建造使用，本公司設計及監造之金門大橋亦採脊背橋施工。

脊背橋在施工上除了具有懸臂橋梁之施工方法及特性，對於橋塔及外置預力斜張鋼纜的施工須就橋塔高度、模板支撐、物料吊裝設備、混凝土澆置及高架作業人員安全等特別考量及預先妥善規劃，對於懸臂橋梁節塊及斜張鋼纜於各階段施工前之預力計算、施工中之應力檢核、線形資料收集與回饋及施工後之高程

確認，適時配合差異量預測進行調整，以控制橋面拱度高程，並確保橋梁完工後應力及線形均可滿足設計需求，提供用路人行車舒適的道路及欣賞工程之美。

### 參考文獻

1. 交通部公路總局，臺9線蘇花公路山區路段改善計畫設計計畫，2010。
2. 交通部公路總局蘇花公路改善工程處，台9線蘇花公路南澳武塔段新建工程契約補充施工說明書及設計圖，2011。
3. 交通部公路總局，臺9線蘇花公路山區路段改善計畫設計計畫，2010。

4. 宏舜工程公司邱于城，外置預力系統暨施工說明簡報，(2014)。

---

5. 泛亞工程建設股份有限公司，南澳北溪河川橋(脊背橋)外置預力斜索竣工報告書，(2017)。

---



# 台20線南橫公路 啞口路段高邊坡 施工案例探討

關鍵詞(Key Words)：高邊坡(High steep slope)、自由型框(Geogird and shotcrete slope protection)

交通部公路總局／第三區養護工程處關山工務段／段長／孫百慶 (Sun, Bai-Ching) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／正工程師／莊友欽 (Chuang, Yu-Chin) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／嘉南工程處／正工程師／黃少廷 (Huang, Shao-Ting) ❸



## 摘要

台20線南橫公路位處山區，每逢颱風豪雨季節，常造成落石、坍方等災害，本工程由於地形、地質上的限制，以加勁擋土牆為主，佐以自由型框加強邊坡保護，期能避免重大災害的發生，進而達到韌性台灣的目標。南橫公路係為臺東通往臺南地區之重要道路，沿線多為原住民部落，亦仰賴該道路進出、運送農產品及發展觀光產業，故本計畫以維持本道路暢通、確保行車安全，秉持環境永續、安全穩定之原則設計施工。



## Case Study of High steep slope Construction- Wukou Section of Southern Cross-Island Provincial Highway (Highway 20)

### Abstract

The Southern Cross-Island Provincial Highway (Highway 20) is located in the mountain area, that the disaster accidents (falling stone, landslide...etc.) happened frequently during the typhoon season or heavy rainfall. Due to the constraint of terrain and geologic and expected to avoid huge disasters, the construction would be proceed is mainly in reinforced retaining wall and protected within Geogird and shotcrete slope protection as well.

The Southern Cross-Island Provincial Highway is an important road from Taitung to Tainan, Due to a lot of aboriginal tribes living along the route, making Highway 20 is more important to let residents access, in order to transport agricultural products and develop tourism industry. The project is conducted in maintain the road to ensure traffic safety and sustainable environment.

3

專題報導



圖1 台20線146k+775 102年現況圖

## 壹、工程概述

花東縱谷位於菲律賓海洋板塊與歐亞大陸板塊碰撞帶，山區地形陡峻，地質破碎鬆軟，節理發達。近年連續受到莫拉克、蘇拉、天秤等颱風及豪雨等影響，使台20線146k+775、157k+600、193k+050等處陸續發生路基流失、邊坡落石等災害。

台20線南橫公路位於陡峭的山地地形，其中146k工區(詳圖1)位於大關山隧道東口(垵口地區)，海拔高度約2,700m，由於季風不易吹入及日照時間短等因素，該區常年山嵐繚繞、雲霧籠罩。

本工程範圍內之地質屬性，多以節理發達、高度風化之變質砂岩與板岩為主，岩盤邊坡角度約介於50~70度左右，坡面高度達100m左右，岩坡臨界高度約為15m~18m左右，既有

坡面高度較臨界高度高出甚多，顯示本工程邊坡有施作邊坡保護之必要。

## 貳、工法規劃

台20線垵口路段之邊坡依初步調查結果，主要為向源侵蝕所造成之邊坡崩塌，因此蝕溝控制為該道路復建之首要工作。因該處地質以節理發達、高度風化之變質砂岩與板岩為主，部分區段屬順向坡，雖目前下邊坡已有新鮮岩盤出露，但若溪溝持續下刷侵蝕，後續仍將造成路基下滑，必須以節制壩控制蝕溝侵蝕。而該處路段之上邊坡經初步調查，仍有多處高度風化、節理破碎之岩體，且仍有持續岩屑崩落之情況，故以修坡及坡面保護等方式加以穩定。

為降低土方開挖及回填規模，調整平面線形位於兩階平台中間。考量大型車輛爬坡速

度驟降，易產生速差，路線以12%之縱坡爬升150m後，設置60m之緩坡使速度略為提升後，再以12%之縱坡爬升。

一、本工程主要作業內容

包括自然生態噴植護坡面積約9572m<sup>2</sup>；自由型框噴植護坡面積約15224m<sup>2</sup>；岩坡穩定金屬網面積約4327m<sup>2</sup>；加勁擋土牆高9m，長約245m；沉砂消能井1座；道路側溝長約1205m，排水箱涵4座。各工項內容敘述如下(詳圖2、3)：

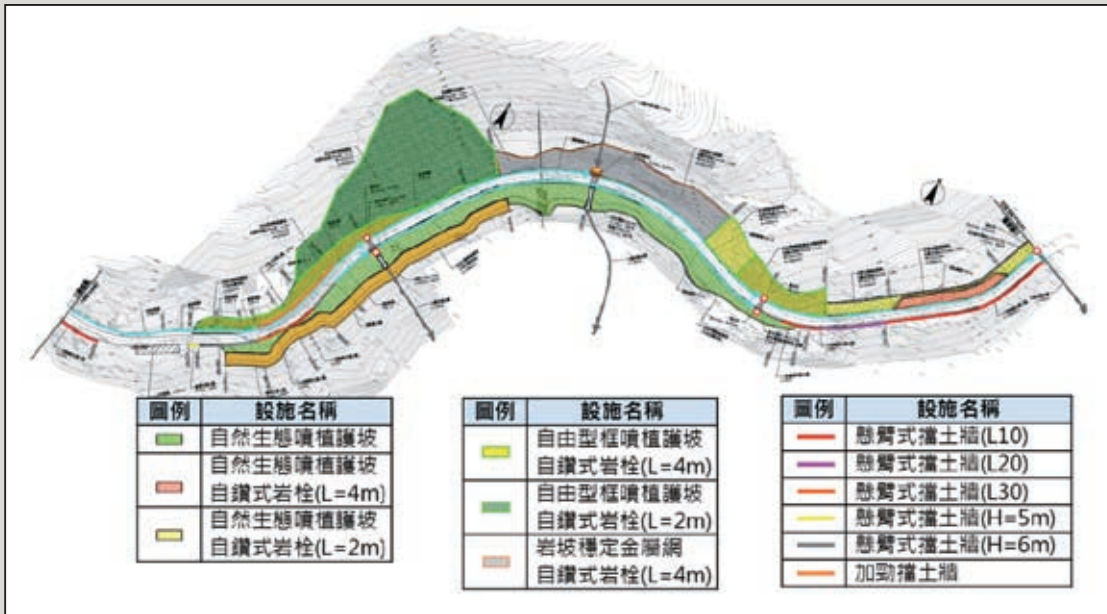


圖2 護坡、擋土牆及排水設施配置圖

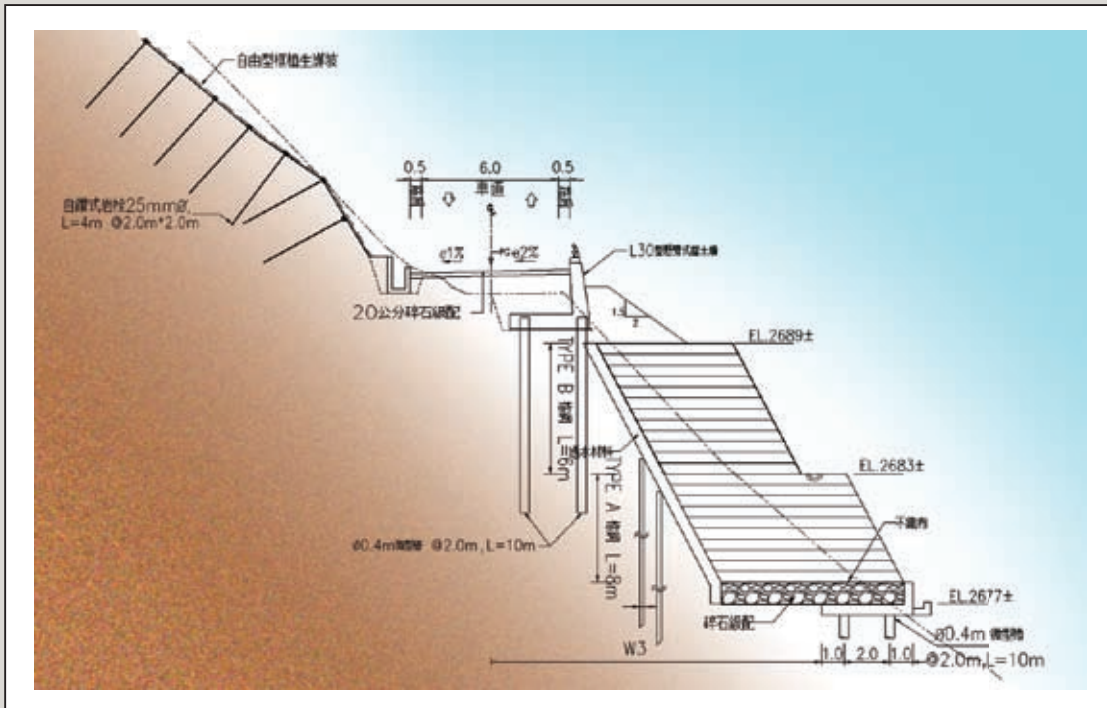


圖3 道路斷面圖

- (一) 上邊坡裸露之坡面則設置縱橫向截水設施，避免坡面侵蝕。
- (二) 146k+600上邊坡附近既有之中華電信基地台，儘量避免開挖後造成邊坡坍塌，影響其後續營運。
- (三) 本工址於146+600~810左右邊坡裸露範圍較廣，最高約離路面70m，考量邊坡面陡且高，且施作岩栓之手提鑽機施作能量最大約能3m深，因此該範圍邊坡係採自由型框並打設2m岩栓以保護整體邊坡。

(七) 路基下邊坡約30m範圍內分別採格框植生護坡或掛網植生保護坡面。

## 二、生態策略

本工程受鳳凰颱風及天秤颱風等天然災害影響，不但中斷道路的串聯，現有替代道路或未來改線道路對於現地生態環境均有影響，包含棲地阻隔、棲地切割、物種傷害等。為避免道路復舊工程對現地的生態影響，採用以下策略以降低環境的衝擊，如圖4所示。

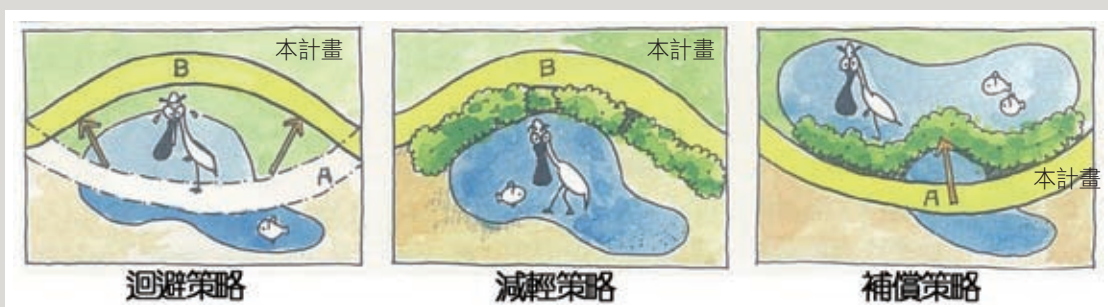


圖4 生態策略示意圖  
(資料來源：道路建設與生態工法)

- (四) 本工址於146+810~146+975左右邊坡較為陡峭，裸露範圍較低，最高約離路面30m，考量邊坡面陡，但可藉由吊車施作岩栓打設作業，因此該範圍邊坡係採岩坡穩定金屬網並打設4m岩栓以保護整體邊坡。
- (五) 另於146+975~147+090係屬較矮之邊坡面(高約30m)，邊坡面較前段稍緩，考量可藉由吊車施作岩栓打設作業，因此採自由型框並打設4m岩栓以保護整體邊坡。
- (六) 里程146k+900處，坑溝上游治理約200m，道路上邊坡側設置沉砂消能池1座，道路下方設置排水箱涵，將導出之地下水安全排放至道路下邊坡。

- (一) 迴避策略  
為減少對棲地及動物路徑的破壞，並避免產生棲地品質劣化，將道路工程對生態環境的衝擊降到最低，為研擬路線時的重要考量，本工程為道路修復工程，以原路線改善為原則，儘量不再另闢道路影響生態。
- (二) 減輕策略  
選擇對生態環境傷害最小的工法，即對地貌最小干擾之方案為原則。本工程為減少鋼筋混凝土的使用量，大量使用加勁擋土牆工法施作，利用土方的自重穩定邊坡，期能將對大自然的傷害減到最低。
- (三) 補償策略  
台20線屬自然度極高、天然景緻優美路段，加上原住民文化特色，成為台灣地

區著名之景觀道路。但大量邊坡裸露及植生破壞，形成嚴重的視覺衝擊。本工程以提高綠色工法為目標，降低工程對生態的影響。利用融合地景的手法進行崩場地整治與綠化，選擇合適之植生工法、使用當地原生種植物，以修補、串聯整體綠廊，如圖5所示。



圖5 邊坡植生工法


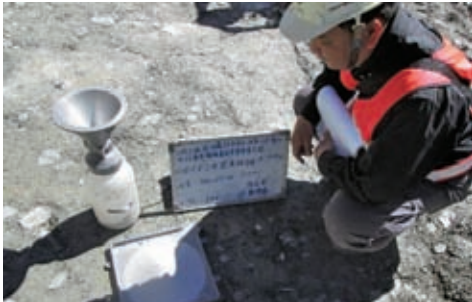
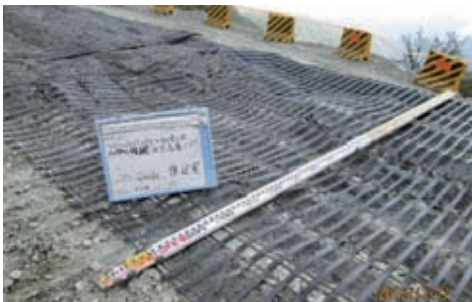


## 參、施工案例探討

以下就加勁擋土牆及自由型框說明施工程序及注意事項：

### 一、加勁擋土牆施工程序







施工步驟	施工照片	注意事項
材料進場		加勁擋土牆材料進場查驗 (極限抗拉強度：縱向>150kN/m； 橫向>75kN/m。 最大延伸率：20%以下；紫外線照射500小時下，仍能維持至少70%材料強度)
基礎整地夯實		加勁擋土牆基礎整地夯實 (加勁擋土牆基礎施作完成後，需將碎石級配及排水管配置妥適，並加以夯實)
格網裁切、鋪設		加勁格網鋪設查驗 (隨著加勁擋土牆的逐層施作，加勁格網亦需密排鋪設，其格網搭接長度至少需15cm，以維持其效用)

施工步驟	施工照片	注意事項
土包裝填堆疊		<p>土包裝填堆疊查驗 (因此工作項目位處加勁擋土牆邊緣，施工危險性較高，需注意工作安全，並加派監視人員)</p>
土方回填、夯實		<p>工地密度查驗 (每層滾壓後之厚度為25~30cm，各層滾壓後，每500m<sup>2</sup>做一點，壓實度90%以上)</p>
格網回包、錨錠		<p>格網回包、錨錠 (回包長度至少250cm，錨錠塑膠釘或鋼筋@2m埋設一支，確保穩固無虞)</p>
排水層鋪設		<p>乾砌濾料包鋪設查驗 (50cm厚碎石級配料；各層乾砌濾料包間務必連結，俾便達到排水效果)</p>
逐層施作		<p>逐層施作 (施工中若天氣惡化可能下雨時，必須將車軌之處以壓路機滾壓修平，並做好排水，務使浸入土中之雨水減至最小量)</p>

## 二、自由型框護坡施工程序



施工步驟	施工照片	注意事項
整坡		依設計圖及現況整坡 (將坡面上方不安定土石、枯木清除，以利後續施工)
材料檢驗		菱形網取樣 抗拉強度：290~540N/mm <sup>2</sup> 鍍鋅量≥230g/m <sup>2</sup> 岩栓、螺帽、承壓板取樣 (岩栓：尺寸25mm±5%、抗拉≥15ton、化性 螺帽：鍍鋅量≥350g/m <sup>2</sup> 、化性 承壓板：鍍鋅量≥350g/m <sup>2</sup> 、化性)
鋪設鍍鋅網層		自坡頂由上向下展開鋪設，網與網之間重疊10cm以上 (施作前務須將零星土石清理確實，鍍鋅網需密貼坡面)
岩栓孔鑽設		岩栓鑽孔深度查驗 (本工程包括有2m及4m深度岩栓，每孔深度需依圖面規定達標，不可有深度不足情事)
岩栓裝填錨錠		岩栓拉拔試驗 (使用合格儀器，於每100支任意指定1支，若未通過則加倍取樣)

施工步驟	施工照片	注意事項
鋼筋鋪設		鋼筋鋪設 ( $\phi$ 10mm@2m 4支) 錨筋固定 ( $\phi$ 13mm@2m 1支)
安裝承板		承壓板鋪設 (承壓板垂直岩柱) 承板固定 (緊貼岩面或噴凝土面；螺栓扭力與軸力間之換算)
噴水泥砂漿框		噴水泥砂漿框 (W=35cm, H=15cm) 噴水泥砂漿試體製作 (3天齡期 $f_c \geq 300\text{kgf/cm}^2$ ) 砂漿框中之植生空間，須以適當材料覆蓋，避免砂漿覆蓋，影響後續植生
植生噴植		植生機材查驗 流度試驗(直徑90~110cm) 坍塌試驗( $\leq 2\text{cm}$ ) 高山氣候較冷，植物生長緩慢，需考慮噴植季節，必要時需加噴

### 三、風險管理

#### (一) 風險管理程序

本工程施工風險管理流程，係自方案研擬階段藉由工址現況調查及潛在危害辨識，研擬設計方案以始，續於設計作業階段進行施工安全之風險辨識，對於施工中

可能產生的風險設法予以排除、降低或控制，並研擬相關配合措施。整個風險評估管理流程，如圖6所示。

依據風險評估管理流程，經由設計部門詳細研擬各項對策之實施細節，制定成設計圖、安全規範、預算書、契約文件等，以傳遞至工程採購招標及施工階段執行。依據



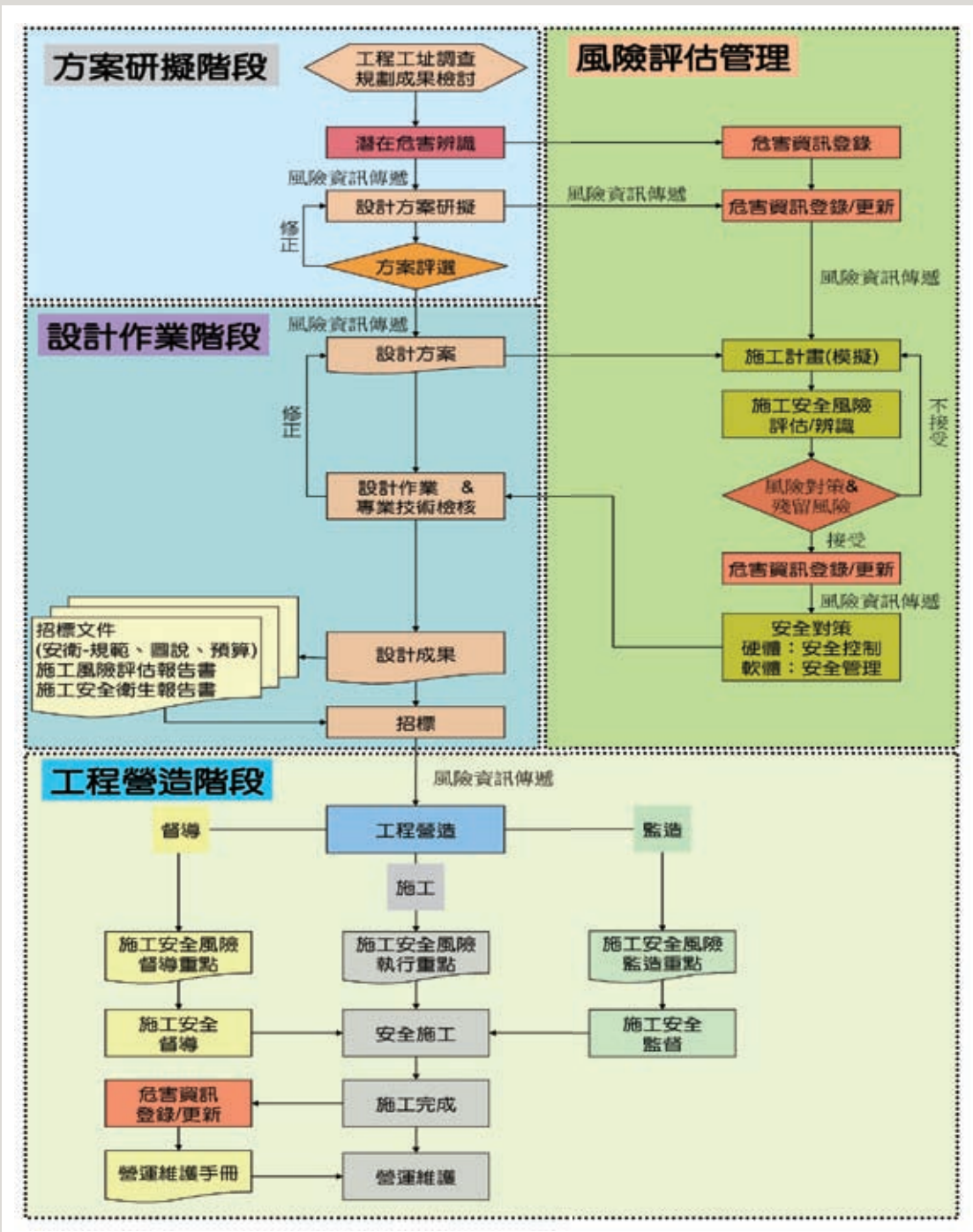


圖6 風險評估管理流程

設計成果辦理施工規劃，編製安全施工規範及安全衛生詳細價目表(含安全衛生設施與安全衛生管理)，納為契約文件以為施工期間執行安全管理之依據。經由風險資訊的正確傳遞，再加上業主施工安全督導、監

造施工安全監督，施工廠商依規範適當的執行施工作業，以達安全施工之目的。

雖有種種防護措施，但仍有因不同因素而造成人員之傷亡，其中又以邊坡作業

為施作過程之高風險作業，其中職災主要原因如下：

### 1. 直接原因

施工人員之工作繩未繫緊上邊坡設置之固定栓，造成人員墜落致死。

### 2. 間接原因

#### (1) 不安全行為

因施工人員工作時，工作繩於固定端網綁固定，僅經個人檢查未重複確認，致使工作繩未繫緊上邊坡設置之固定栓時未及時發現。

#### (2) 不安全作業環境

未設置副繩索(安全母索)供作業勞工防墜安全勾掛使用。

### 3. 基本原因

- (1) 教育訓練未落實，致施工人員疏忽工作繩固定的重要性，工地安全意識不足。
- (2) 未落實施工前自主檢查及危害告知未詳實記錄。

#### (二) 高風險作業改善對策

### 1. 督促承商確實做好邊坡作業工作繩索固定栓錨錠。

- (1) 以4支13 $\phi$ ，L=1.2m的鋼筋作為錨錠，端部有彎鉤防脫(如圖7)。
- (2) 打入深度至少80cm，上方需有彎鉤以防繩索脫落(如圖8)。
- (3) 安全母索得由鋼索、尼龍繩索或合成纖維之材質構成，其最小斷裂強度應在2300kg以上。附圖為直徑1/2英吋約12.5mm尼龍繩，並佐證試驗報告(如圖

9)。

- (4) 以雙套節方式捆綁，後方佐以8字結固定，繩頭膠帶黏貼防止分叉，若繩索磨損嚴重則予以更換(如圖10)。



圖7 錨錠鋼筋尺寸確認



圖8 錨錠彎鉤以防繩索脫落



圖9 安全母索尺寸確認

- (5) 固定端三點，確保安全(防脫鉤為90度，詳工作繩索固定栓錨錠示意圖，如圖11)



圖10 安全母索固定確認



圖11 安全母索固定栓錨錠示意圖



圖12 安全母索與工作繩使用示意圖

(6) 使用工作繩加垂直母索，雙重保障(如圖12)

2. 加強檢視施作人員安全配備(背負式安全帶、安全帽)。

- (1) 安全帽務必正戴。
- (2) 安全帽頤帶應調整鬆緊固定。
- (3) 背負式安全帶使用前應檢查帶體是否磨損，扣環及鉤環有無變形或破裂，以確保使用上的安全(如圖13)。



圖13 安全配備檢視示意圖



圖14 邊坡施工人員進場施工示意圖

3. 邊坡施工人員須穿戴背負式安全帶，並備妥一條工作繩索及安全母索等裝備檢查完成後，方可進場施工(如圖14)。

4. 每日出工前，需注意員工身體狀況(生病或飲酒)，精神不良者則令其休息，施工期間嚴禁人員飲用含有酒精成份的飲料。

5. 現場工地負責人須確實監督施工人員之作業情形。
6. 施工人員之間必須互相提醒避免不安全行為發生。
7. 勞工安全衛生管理人員每日確實實施危害告知及工地巡視(以書面紀錄備查)，若有新進人員，須先召集實施安全教育訓練(至少六小時以上)及危害告知。
8. 落實實施各項作業自動檢查。
9. 積極召開從事工作及預防災變所必要之安全衛生教育訓練，以加強作業勞工之危害意識。
10. 訂定勞工安全衛生工作守則。
11. 落實勞工工作前施以從事工作及預防災變所必要之安全作業衛生教育訓練及危害告知，要求勞工須確實遵守墜落防災教育訓練及告知資料。
12. 勞工進入工地施工前要求具結勞安紀律承諾書，並嚴格執行禁止未參與教育訓練及未具結承諾書人員進入工地施工。
13. 每日工作前由工地負責人，工安人員及再承攬負責人確實告知工地安全衛生要求，並不定時巡查工地，要求施工人員確實遵守規定安全施工。
14. 高處作業勞工須配戴個人防護具始准進入工地施工，有墜落之虞者需確實將安全帶勾掛於安全母索或穩固吊點方可施工。
15. 全面檢查工地內不安全狀況設備加以改善以防範職災發生。

#### (三) 小結

重大工安事故，無論是業主、監造，或是承商及現場施工人員，都是不樂見的，因此，避免災害發生，是每一個人都殷殷期盼的。從業主的角度來思考，除了週全之法規規定外，管理階層的重視程度也是不可或缺的；另一方面，從監造單位的立場而言，安衛查核點的落實，不厭其

煩地督導與稽核，亦是避免危害發生的重要推手；承攬廠商是第一線的施工人員，舉凡施工區佈置，設備安裝、人員僱用訓練、標準作業程序訂定、安全衛生工作守則制定、嚴謹的自動檢查、檢點、維護與保養制度，都需要勞工的切實遵守各項規定，各階層作業主管不斷的努力，才能使作業場所各項制度能落實施行，更能避免職業災害的發生。

## 四、施工過程遭遇困難及解決對策

### (一) 遭遇困難

1. 天然災害：山區工程常因連續性豪雨、颱風等天然災害導致坍方落石(如圖 15、16)因素，造成施工困難度增加進而影響施工進度。在前期完工的台20線 193k 災害修復工程中，原先在設計規劃階段訂定的240日曆天的工期，最終展延四個月，總工期耗費整整一年才宣告完工。同樣在今年年初甫竣工的157k 災害修復工程，原工期為210日曆天，因多次颱風豪雨及道路中斷等原因，展延共491天，總工期超過700日曆天，比原先規劃的工期超出兩倍有餘。
2. 氣候多變：南橫公路位處山區，常有大霧，伸手不見五指，每逢午後起霧狀況愈發嚴重，視線不佳嚴重影響工進。且山區災害修復工程常有高邊坡作業，危險性高不可小覷，每一項安全檢查都必須落實執行，才能降低施工風險。
3. 人力不足：山地區生活條件差，人員尋覓困難，流動率高，且海拔高於2300m，因個人體質而異，即有可能併發高山症。啞口地區海拔超過2700m，秋冬之際，寒流或冷氣團來襲，溫度常低於攝氏零



圖15 105年10月4日台20線182k六口明隧道附近坍方



圖16 106年6月2日台20線146K坍方及路基流失

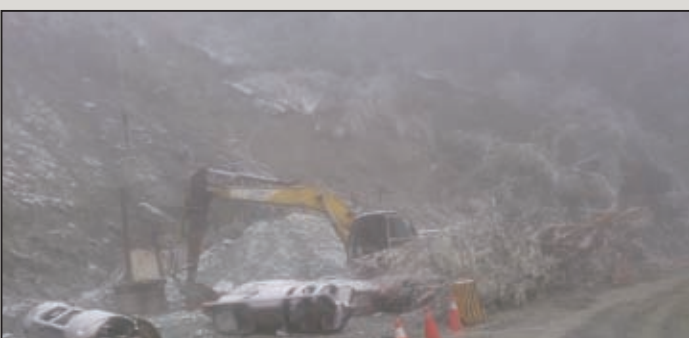


圖17 105年1月25日台20線157K降雪

度，降雪情況也時有發生(如圖17)，且地處偏遠，飲食也極為不便，常有施工人員剛報到，當天即離職情形發生。

## (二) 解決對策

1. 資源取得：每年五月至十一月為汛期，颱風豪雨不斷，十二月至次年二月，天氣極度寒冷，僅能就可施工時間，請廠

商加派人員及機具，趨趕進度。

2. 教育訓練：高邊坡作業，每當有職業災害發生，必然相當慘重，嚴格規範標準作業程序，加強人員訓練及施工熟練度，確保安全為第一要務。
3. 會議控管：每月定期召開施工協調會，減少施工界面，確保人員進場數量，並針對勞工生活起居加以關心，於問題發生前提早解決。

## 肆、結論

近年來，自然環境的反撲與日俱增，知名已故導演齊柏林所拍攝的「看見台灣」即可看出端倪。本篇文章中所探討之作業工法—「加勁擋土牆」及「自由型框」實為公路災害修復最佳範例。政府現正積極推動的前瞻計畫中，眾人的目光均著重在軌道建設，但是對於國家整體而言，因應氣候變遷而產生的國土安全議題，亦為不可輕忽的關鍵所在。天然災害雖不可預期，然而，危機意識的養成及萬全的準備，確是在山區工程中不可或缺的保護傘；也期能藉由防災、綠化及水土保持等相關工程的推動，達到資源及環境永續的最終目的。

## 參考文獻

1. 交通部公路總局，施工說明書〈技術規定〉，民國101年10月版(106年08月修訂)。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，台20線146k+400~147k+300災害修復工程設計圖說，2015年10月。

# 「浮沉台船工法」與 「陸上軌道工法」製作 沉箱之施工實務比較

關鍵詞(Key Words)：防波堤(Breakwater)、碼頭(Dock)、浮沉台船(Floating Dock)、  
陸上軌道工法(On-Land-Track Construction Method)、沉箱(Caisson)、  
台車(Trolley)、鋼製托盤(Steel Supporting Plate)

臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司／開發建設處處長／羅勝方 (Lu, Sheng-Fang) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司高雄辦事處／資深協理／彭國源 (Peng, Kou-Yuan) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司高雄辦事處／業務經理／陳懿佐 (Chen, Yih-Tzoo) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司高雄辦事處／副理／蔡同宏 (Tsai, Tung-Hung) ❹

## 摘要

重力式沉箱為防波堤、碼頭等港灣工程常見之基礎結構物，一般普遍採用「浮沉台船工法」製作沉箱，國內已累積豐富實務經驗，而臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司為配合政府正推動發展高雄港為亞太海運轉運中心及全球運籌中心，持續推動之高雄港洲際貨櫃中心計畫，其中第二期計畫工程除了採用「浮沉台船工法」，更同時引進「陸上軌道工法」製造運載沉箱，於施工過程中獲得良好的實務操作經驗及回饋。本文旨介紹該計畫內使用之二種沉箱製作工法，並藉由介紹各工法中之工法選定、場地規劃建置、沉箱製作與運輸等，比較各工法之不同特性，俾作為未來相關工程建設設計及施工規畫之參考。



## Comparing the Construction Practice of Floating Dock Method and On-Land-Track Caisson Construction Method

### Abstract

Gravity caissons are the common structures for the breakwaters and docks harbor projects. They are commonly built by Floating Dock Method and there is rich domestic practical experience. The government is actively promoting the Port of Kaohsiung's emergence as a key transshipment center for Asia-Pacific container shipping and for global logistics. The Port of Kaohsiung of Taiwan International Ports Corporation (TIPC) continuously executes Kaohsiung Intercontinental Container Terminal Project which builds the caissons by On-Land-Track Construction Method besides Floating Dock Method in Phase II, and gains good practice experience and feedback. This article is to introduce these two caisson construction methods in the project and compare the difference by introducing the method choosing, site planning, caissons building and transporting as the basis and reference for the future design or construction supervision.

3

專題報導

## 壹、前言

「高雄港洲際貨櫃中心計畫」依開發區位與執行期程之不同，區分為近程計畫及長程計畫，其中近程計畫又分二期開發(詳圖1)。近程計畫第一期工程目前已全數完工竣事；第二期工程刻正積極展開。

洲際二期計畫位於高雄港二港口南側，南起南星近程計畫，北至二港口北防波堤以南，東靠近高雄港洲際一期工程，西臨台灣海峽。計畫主要內容包括外廓防波堤、岸線、浚挖回填、港勤船渠、區內及外環道路、附屬建築等工程。其中又以外廓防波堤、岸線碼頭之沉箱製作與拖放為計畫中最具特色及關鍵性之施工要項。

本文謹就洲際二期計畫第一標浮沉台船工法及第二標工程陸上軌道工法製作場規劃、

建置，以及沉箱製作與運輸作業等，逐一探討說明。

## 貳、浮沉台船工法

顧名思義浮沉台船工法即為在浮沉台船上製作沉箱之工法，其中浮沉台船工法依施工船機能量，分為一次完成工法及二次加高工法兩種。

### 一、一次完成工法

一次完成工法具有施工過程穩定及成功率幾乎100%之特性。其原理係利用浮沉台船可下沉及上浮之功能，於浮沉台船上製作沉箱並完成混凝土澆置及養護(如圖2所示)，直接將浮沉台船下沉，再靠沉箱自身浮力起浮，將沉箱拖離浮沉台船至儲存場儲放，其施工流程詳圖3。

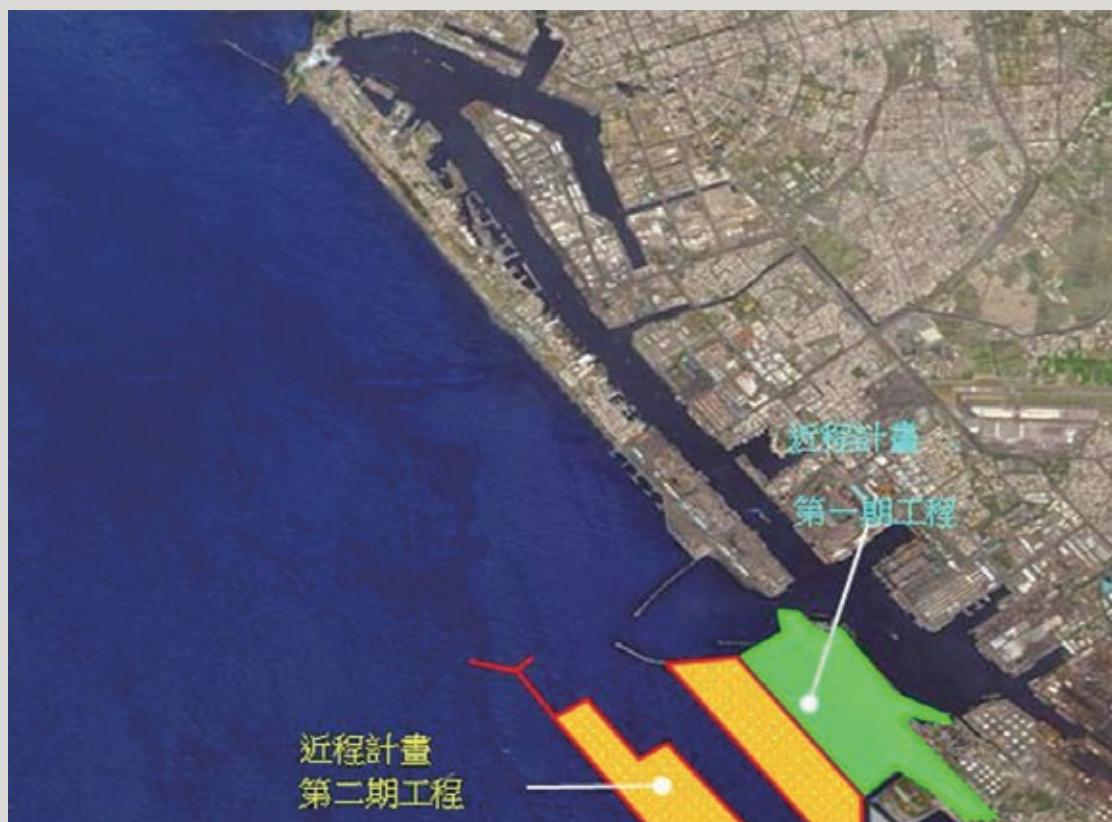


圖1 高雄港洲際貨櫃中心計畫區域示意圖





圖2 中工1號、中工3號浮沉台船製作沉箱

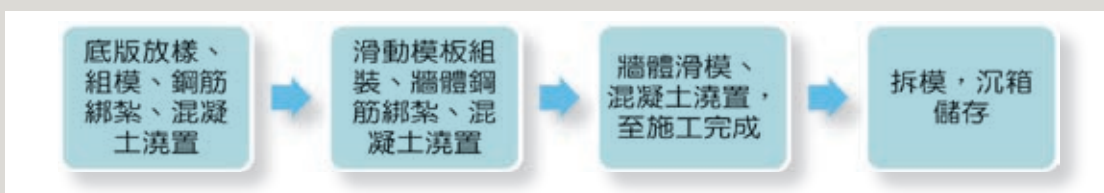


圖3 一次完成工法施工流程

## 二、二次加高工法

係以承載力較小之浮沉台船製作沉箱，工作面多，其優缺點詳如表1所示。其原理係利用浮沉台船可下沉及上浮之功能，先於浮沉台船上製作沉箱至1/2~2/3高度，將浮沉台船下沉使沉箱自動浮起後，拖離浮沉台船至另一水深較深之碼頭進行二次加高作業(詳圖4)，待完成後再拖至沉箱儲存場儲放，其施工流程詳圖5。



圖4 海上二次加高滑模

表1 二次加高工法優缺點

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以國內現有且數量較充裕、承載力較小之浮沉台船製作沉箱，節省船機動員時間。</li> <li>2. 船上及二次加高工作面可同時施作，可提升施工效率。</li> <li>3. 製作完成後可直接拖放儲存。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 二次加高工作面易產生漏水問題。</li> <li>2. 二次加高作業易受海象影響並衍生工安、延誤進度問題。</li> <li>3. 二次加高工作面碼頭建置不易。</li> <li>4. 不適用異形沉箱。</li> </ol>

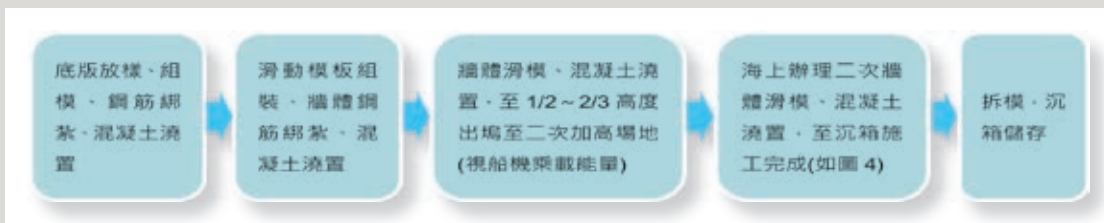


圖5 二次加高工法施工流程

### 三、工法比較，詳如表2

表2 浮沉台船工法比較

項次	一次完成工法	二次加高工法
碼頭	需考慮浮沉台吃水深，一般需6m~7m碼頭	需考慮最大沉箱吃水深，約需建置最大沉箱2/3高度之碼頭
施工船機	所需船機載重量較大，國內可供使用之船機數量較少	可採較低承載力之船機施工，國內可選擇之船機較多，可減少動員時間
異型沉箱	適用異型沉箱	不適用異型沉箱
施工穩定	於浮沉台船上施作，受海象影響小，相對穩定	二次加高階段，沉箱浮游於海上施作，受海象影響大
緊急應變	施工過程如遇颱風來襲船機可進港避颱或就地座底	颱風來襲時，沉箱需就地座底風險大

### 參、陸上軌道工法

國內目前製作沉箱以浮沉台船工法最為普遍，然浮沉台船工法製作沉箱需完全仰賴浮沉台船機於海上施工，而符合沉箱噸位之大型浮沉台船國內數量有限，且施工作業深受海象影響，即如施工水域未達靜穩需求將無法施作。有鑑於此，近年來沉箱製作與運載已研發新式陸上軌道工法，套用系統廠製化概念，使沉箱改於陸上製作，降低浮沉台船機依賴性亦解決因海象不佳影響施作之虞。

#### 一、工法特性

- (一) 沉箱製作過程幾乎不受海象影響，更甚者，將可能遭遇天候影響之牆身滑模階段，於陸上設置棚蓋遮蔽，可降低天雨影響施作及施工品質。
- (二) 於陸上預鑄場地施作，本工法僅需一艘浮沉台船接運沉箱即可施工，可有效避免國內船機不足問題。

#### 二、製作施工(以越南山陽港陸上沉箱製作為例)

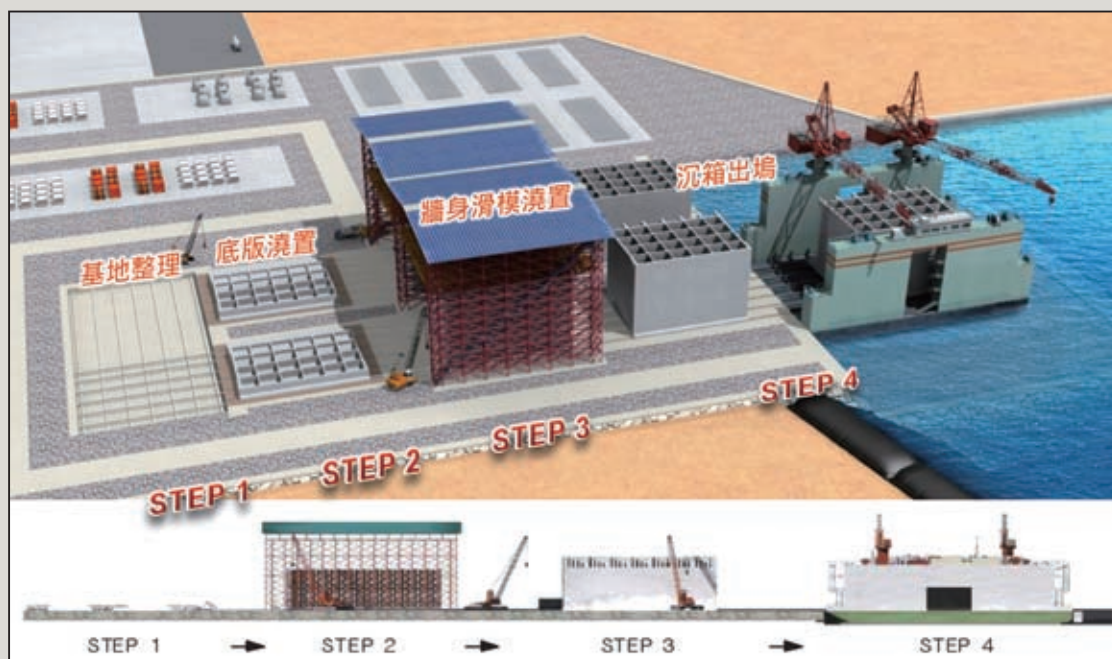


圖6 越南山陽港沉箱移運示意圖

- (一) 沉箱於預鑄場軌道台車所組成之基礎平台上施作，分區以基地整理、底板澆置、牆身滑模澆置、沉箱出塢等四階段施作(詳圖6)。
- (二) 沉箱製作及滑模程序於陸上廠房內製作可避免受天候影響(詳圖7)。

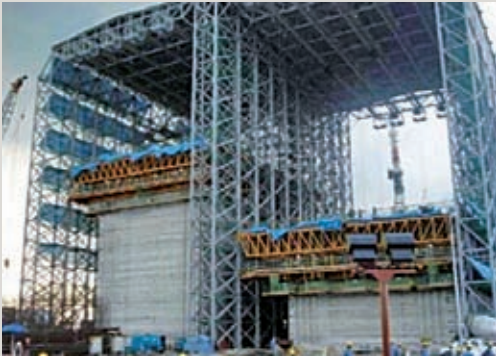


圖7 越南山陽港沉箱移運示意圖

## 肆、浮沉台船工法與陸上軌道工法選定條件探討

### 一、場址規劃及建置期程影響

沉箱應用於港灣工程略分外廓海堤、碼頭岸線二大類，施工場地均需考量三項重點，分別為沉箱製造、沉箱出塢及沉箱儲存。

#### (一) 浮沉台船工法

##### 1. 場地配置

- (1) 以浮沉台船製作沉箱，首要考量其淨空間及載重需足以因應所有沉箱尺寸及重量外，浮沉台船所需停靠碼頭，亦需尋覓適當工址或新建。
- (2) 碼頭空間尚需劃定沉箱內外模(含零組件)及鋼筋儲放空間，施工車輛作業動線、施工人員休息及物料置放空間等亦需充分規劃。
- (3) 如可租用既有碼頭(如台北港、高雄港閒置碼頭)施工，將可節省碼頭建置時間。

#### 2. 臨時圍堤建置

- (1) 如無法租用港口既有碼頭，需建置臨時施工碼頭，應先於碼頭外側建置臨時圍堤，以確保汛期或海象惡劣時仍能提供適當之沉箱製作及儲存環境。
- (2) 可採用暫未使用之沉箱或以拋石提方式建置臨時圍堤。

#### 3. 臨時碼頭及後線場地建置

- (1) 考量浮沉台船停泊需要，建議應視現場地質狀況，採用預鑄空心方塊、固結之組合方塊或鋼板樁形式建置適當長度之臨時碼頭，水深約需6m~7m。
- (2) 如採二次加高工法則需考慮最大沉箱浮游吃水深需求建置臨時碼頭。
- (3) 臨時碼頭後線應建置約50m縱深之施工場地，以供沉箱鋼筋、活動模板堆置。

#### 4. 沉箱出塢區浚挖

需考慮沉箱吃水深及浮沉台船甲板厚度，預先浚挖適當水深之出塢區，以確保沉箱可順利起浮。

#### 5. 沉箱儲存區浚挖

- (1) 因應沉箱儲存需求，應規劃設立適當沉箱儲存區域(如圖8)，以確保沉箱儲存過程不至受波浪影響破壞或發生滅頂情事。
- (2) 沉箱需儲存養護至設計強度才能拖放定位，因此對製作完成之沉箱而言，暫存區規劃與整理相形重要。

#### (二) 陸上軌道工法

與海工法相比，陸工法場地配置除所需碼頭空間較小外，其他在臨時圍堤建置、後線場地建置、沉箱出塢區浚挖及沉箱儲存區浚挖規畫重點上並無不同，惟因其沉箱製作在陸上施工，故預鑄場地須整平，軌道處須考量沉箱製作及移轉時場

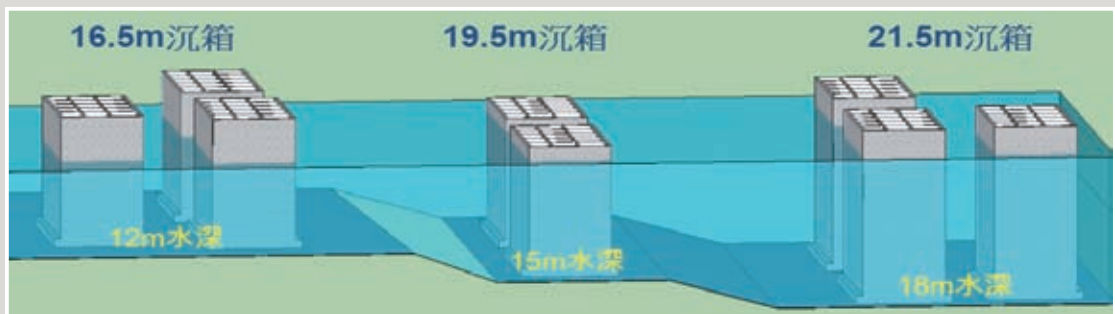


圖8 沉箱儲存區規劃示意圖



圖9 陸上軌道工法場地建置流程

地之承载力，須打設承载樁改良土質以增加承载力，製作生产基地应绑紮鋼筋澆置混凝土，本工法以轨道式台車移運沉箱，場地之長度及寬度應足敷建設工程進度要求之沉箱生產線，並使沉箱可縱向移運至碼頭上浮沉台船，其建置流程詳如圖9所示。

## 二、海氣象影響

波浪會引起工作船機橫搖、縱搖和垂直運動，橫搖於船機自由搖擺週期與波浪週期相近時，會出現共振現象，使船機的振幅驟增，從而導致船舶傾覆；劇烈的縱搖會使螺旋槳露出水面，引起機器不正常工作 and 速度的損失；船機在波浪中的垂直運動，容易造成淺水域船舶觸底。尤其在浮沉台船工法中，沉箱全製造過程中皆在浮沉台船上進行，因此對於海象波高的掌握相當重要。一般而言，施工廠商會依

其實務經驗，綜整判斷港區歷年來海象影響情形，估計每年可工作時間，從而規劃船機、工班能量。以高雄港為例，歷年觀測統計高雄港冬、夏季季風波浪特性(詳表3)，夏季季風波高小於1.0m者約佔49.0%~79.2%，週期小於9秒者約佔89.3%~95.9%；冬季季風波高小於1.0m者約佔95.3%~97.8%，週期小於9秒約佔89.4%~90.6%，由此可見夏季季風波浪對洲際貨櫃中心計畫工區影響較大。

表3 高雄港冬、夏季季風波浪特性

說明		高雄港
波高(%)	夏季	≤ 1m, 49.0%~79.2%
	冬季	≤ 1m, 95.3%~97.8%
週期(%)	夏季	≤ 9sec, 89.3%~95.9%
	冬季	≤ 9sec, 89.4%~90.6%

颱風所造成的波高影響，以及隨之挾帶的強降雨，為沉箱製作最屬憂心的施工風險項目，除了必須安排相關船機進入港內避災外，



圖10 防災減災應變流程

因陸上軌道工法的移運台車位置處於相對低處，故在面臨強降雨時，如何保持排水路之暢通是一大課題。工程經歷颱風惡劣海氣象影響後，工地所需復原之平均工作天數遠較於直接影響天數常多達3倍以上，可見颱風災損復原對於工進有相當大影響。為因應颱風可能帶來危害，須預先做好防災、減災工作，施工前提送防災計畫(含應變措施)，並做好防災準備，詳圖10。施工期間應隨時注意氣象報告，施工廠商應每日蒐集海、氣象等資料，以為海上作業時程及工序安排依據。

### 三、施工規劃與管理

#### (一) 浮沉台船工法

因國內浮沉台船有限(國內浮沉船現況如表4)，承商應優先考慮船機動員狀況，並選定適當之工法，如沉箱製作數量少(種

表4 國內浮沉台船現況

船名	承載能量(噸)	所在位置
長虹2號	3,900	台北港
合隆108號	5,600	高雄港
合隆109號	5,500	高雄港
第八大寬號	4,800	高雄港
雙隆號	4,500	高雄港
中工1號	15,000	高雄港
中工3號	8,800	高雄港
榮吉	10,000	高雄港
駿逸1號	8,800	台北港
駿逸2號	8,800	台北港
石川7號	9,000	台北港

類少、尺寸小、無異型沉箱)、時間充裕，建議可選擇成本較低、船隻選擇多但相對較不穩定之二次加高工法；如沉箱製作數量多(總類多、尺寸大、有異型沉箱)、時間緊迫，建議可選擇成本較高、船隻選擇少但相對較穩定之一次完成工法(如圖11)。



圖11 一次完成工法製作異型沉箱

如以有效管控施工進度及提昇施工安全考量，應以一次完成工法為優先建議使用之工法，僅需視新製沉箱尺寸、重量及進度需求，動員適當數量船機進場施工，惟因國內大型施工船機數量有限，如無法租用現有船機，則自國外製作、引進約需耗時8~10月，故承商應妥善辦理施工規劃，並將里程碑進度需求、船機動原、工法選擇等因素一併考慮，方能有效控管工程如期完工。

#### (二) 陸上軌道工法

陸工法沉箱製作、移駁、出塢等施工規劃及管理，須依現有場地、船機及工期等因素綜合考量，分述如次：

##### 1. 施工規劃：

- (1) 計算最大沉箱重量並據以作為場地最大承載設計參考。
- (2) 統計本工程各型式沉箱(規格、平面尺寸)數量，並採取型式數量最多者作為軌道佈設規劃依據。
- (3) 依沉箱最大重量檢視浮沉台船承載能

力，並參照陸上場地軌道佈設對船體甲板進行必要墩座斷面設計與排列規劃。

- (4) 依最大沉箱重量進行移運設備設計及製造。
- (5) 依工程進度排程訂定沉箱製作進度規劃，其中包含場地製作區數量、模組數量、各式沉箱製作順序、各式沉箱製作時間(單座)及重疊施作時間擬定(多座)、移運時間規劃及模擬等。
- (6) 浮沉台船拖航航道、沉箱出塢區及儲存區浚深及基礎施作。
- (7) 沉箱製作區、物料堆置加工區、施工機械設備動線等配置規劃。
- (8) 研擬原則性沉箱移駁流程參照表。(推進長度設定、船艙水位調整、頂升壓力設定)。

##### 2. 施工管理：

- (1) 移運主設備及備品數量、性能確認。
- (2) 模組進場數量確認。
- (3) 浮沉台船性能、結構安全確認。
- (4) 沉箱製作施工人員分班、數量確認(滑模工班、鋼筋工班、澆置工班等)。
- (5) 移運作業工班人員數量及操作技術確認

- (台車組、浮沉台船操作組等)。
- (6) 依沉箱製作時程規劃要求鋼筋進場加工(含必要檢驗)、不同規格沉箱模板修改組裝、鋼製托盤底模定位調整。
- (7) 混凝土材料品質監控與調整、異常狀況排除對策確認。
- (8) 製作過程模組異常狀況排除對策確認。
- (9) 移運設備運行異常狀況排除對策確認。
- (10) 浮沉台船操作過程異常狀況排除對策確認。

#### 四、施工場地機械及船機維護

##### (一) 浮沉台船工法

浮沉台船工法直接於浮沉台船上製作沉箱，沉箱施工過程需注意維護滑模系統及浮沉台船抽排水系統穩定，以免沉箱滑模或出塢階段發生異常狀況。

異常狀況，其處理方式如表5說明：

表5 浮沉台船工法異常狀況處理

異常狀況分類	異常狀況	損壞排除措施
滑模油壓系統故障	千斤頂漏油	千斤頂發生漏油現象時，立即將控制開關關閉(每個千斤頂皆設有獨立開關控制其油量進出)，同時將受損之油封更換，更換過程約需20分鐘。因每個油壓千斤頂皆可單獨控制，故更換過程並不影響其他千斤頂之操作。
	千斤頂故障	千斤頂故障時，立即將控制開關關閉，同時取出備用之千斤頂更換，更換過程約需30分鐘。
	油壓管損壞	發現油壓管漏油或損壞時，立即暫停昇模作業，並將油壓壓力減至最小，待油管壓力消失，再換裝備用之油壓管，換裝時間約需10分鐘。
浮沉台船抽排水馬達故障	沉箱出塢下沉階段無法抽水進船艙	需修復更換抽水馬達後再行辦理沉箱出塢作業。
	起浮階段無法自船艙排水	1. 需調用外部抽水機排除船艙積水。 2. 如無法及時修復應使浮沉台船於出塢區座底並派遣船機警戒。
浮沉台船發電機故障	發電機故障導致無法抽排水	1. 需修復更換發電機後再行辦理沉箱出塢作業。 2. 建置備援發電機。 3. 如下沉後發生發電機故障問題，需調用外部抽水機排除船艙積水，待起浮後再行修復。
浮沉台船船艙破孔	船艙破孔導致無法順利抽排水	1. 需修復破孔方能辦理沉箱出塢下沉。 2. 如浮沉台船下沉後發生破孔狀況，應於是當位置座底，並緊急派遣潛水人員進行水下電鍍修復作業。

- (11) 水域水深及環境維護(拖航航道、出塢區、儲存區、船塢座底區)。
- (12) 天氣海象資料收集與預測試(三日漁業預報、一週天氣預測、當月潮汐預報)。
- (13) 場地沉陷監測及異常狀況排除對策確認。
- (14) 場地用電供水異常狀況排除對策確認。
- (15) 場地設備防淹排水設施及排除對策確認。

##### (二) 陸上軌道工法

沉箱滑模及出塢階段仍需注意維護滑模系統及浮沉台船抽排水系統穩定，另於陸上沉箱軌道移運階段之測試及維護如下說明：

- 製作電氣櫃配置總圖、液壓系統配電盤配置總圖、液壓元件櫃配置總圖及控制面板配置總圖，清楚顯示電力、通訊及液壓操作系統零組件規格及名稱。
- 組裝前依製造圖逐一檢視核對台車、電氣櫃、液壓櫃及面板配置與零組件。

3. 組裝完成試車前檢查電力來源有無異常(發電機或台電臨時電)。
  4. 試車作業依既定操作流程先完成單列台車串結後移動及頂升，後測試全區台車通訊線連機後移動及頂升有無異常。
  5. 移動作業前，檢視軌道槽溝區環境、箱器及軌道接續段有無異常。
  6. 修正既有操作流程以符現況及提升效率。
  7. 施工過程於非移運時間應進行：
    - (1) 軌道磨損程度檢查。
    - (2) 轉換區過渡座磨損狀況檢查。
    - (3) 電力纜線防護表層磨損檢查。
  - (4) 台車驅動系統組件測試及檢修。
  - (5) 液壓頂升系統元件測試及檢修。
  - (6) 液壓櫃存油量巡視及添補。
  - (7) 分配樑緩衝橡膠墊磨損檢換。
  8. 場地部分定期實施沉陷量監測、座底區水深檢測。
  9. 浮沉台船部分不定期實施船側及船底水下檢查(防蝕塊耗損情形、船體鋼板完整性)、抽(排)水系統測試及檢修、錨泊設備維護及檢換、甲板墩座勘用狀況檢查。
- 異常原因及排除措施如表6：

表6 軌道工法異常原因及排除措施

可能損壞原因	可能損壞狀況說明	損壞排除措施	備註
一、場地積水、電氣設備受潮	控制系統失效、整體台車無法操作	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 電氣櫃內操作系統零組件全面更換。</li> <li>2. 捲線機馬達、液壓泵馬達、主動台車驅動馬達拆移檢換。</li> <li>3. 電信通訊、電源線材全面檢換。</li> <li>4. 操作油、液壓油全面更換。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與生產工廠維持良好通訊，即時清查與提供損壞須更換零組件清單要求備料。</li> <li>2. 與國內品牌代理商維持良好連繫，即時提供損壞須更換零組件要求備料。</li> <li>3. 與公司採發部維持良好聯絡，即時提供損壞須更換零組件要求備料。</li> <li>4. 與專業機電維修單位維持良好聯絡，要求即時參與維修復原工作。</li> </ol>
二、線材管件包覆破損(穿刺、磨壓、切割)	操作訊號失效、液壓不足	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 解除連機程序，進行單列台車訊號測試、液壓測試。(移運前)</li> <li>2. 卸除油壓缸頂升狀態，解除連機程序，針對失效台車進行液壓測試及檢修。(移運中)。</li> <li>3. 液壓系統管件損壞嚴重時應先關閉出油開關，管件換裝完成後經評估後回補損失油量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 經由可程式控制器(PLC；Programmable Logic Controller)逐一檢視操作通訊問題，並以備料更換。</li> <li>2. 經由液壓操作逐一檢視液壓系統問題，並以備料更換。</li> <li>3. 評估頂升承載能力，仍於安全操作範圍則恢復連機繼續運行。</li> </ol>
三、台車馬達遇熱過載	馬達線圈過熱毀損，主動台車驅動失效	移動單列台車至轉換區進行檢換。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 經檢視後失效數量過多時，則必須停止當次沉箱移運工作，進行主動台車驅動馬達更換。</li> <li>2. 經檢視後失效數量僅1-2部時，可恢復當次沉箱移運工作，並於移運工作完成後進行主動台車驅動馬達更換。</li> </ol>



可能損壞原因	可能損壞狀況說明	損壞排除措施	備註
四、供電過載、中斷	1. 供電設備之無熔絲開關跳脫、損壞。 2. 外部電力供應中斷。	1. 關閉電源開關並派遣專業電氣人員進行電源控制箱檢查，並更換毀損開關零件。 2. 關閉電源開關並換接備用大型發電機接續供電；同時報請台電維護單位查看與維修。	
五、箱器、軌道脫落或斷裂	1. 軌道鋼軌固定用箱器鏽蝕後受振動、水平剪力破壞而斷裂脫落。 2. 軌道鋼軌受反覆重壓、垂直剪力破壞而斷裂。	1. 經目視巡檢後，若箱器鎖固螺栓未損壞，則重新進行箱器鎖固。 2. 經目視巡檢後箱器鎖固螺栓已損壞，則於安全間距重新植筋再次鎖固。 3. 經目視檢視軌道鋼軌有裂隙、斷裂損壞不堪使用者，應卸除該段箱器後予以切除換新，並重新對接(加鎖對接)及鎖固。	

## 伍、施工實例探討

### 一、浮沉台船工法(洲際二期「海堤及防波堤工程」暨「台電大林電廠導流堤北堤工程」)

洲二第一標外廓堤係屬本計畫成功關鍵之前導工程，本標若可順利施工則可提供港域穩靜環境，讓後續之岸線與造地順利推動；而外廓堤結構係採沉箱施作，而其沉箱施作成功與否關鍵在於製作工法之選擇，一般國內沉箱

製作可在浮沉台船或陸上等方式製作，洲際一期外海圍堤工程經歷兩次發包施工，兩次得標之承包商分別採陸上與浮沉台船之方式製作沉箱，故於國內上述工法均有施工案例。

然考量陸上製作沉箱，其施工穩定性與國內廠商施工經驗相對不足，再加上外廓堤工程(詳圖12)若施工進度不如預期時，將導致後續工程無法推動之窘境，則無法如期於108年完成洲二整體工程。基此，在施工階段承商係採用國內廠商經驗豐富、施工穩定及成功率幾乎100%

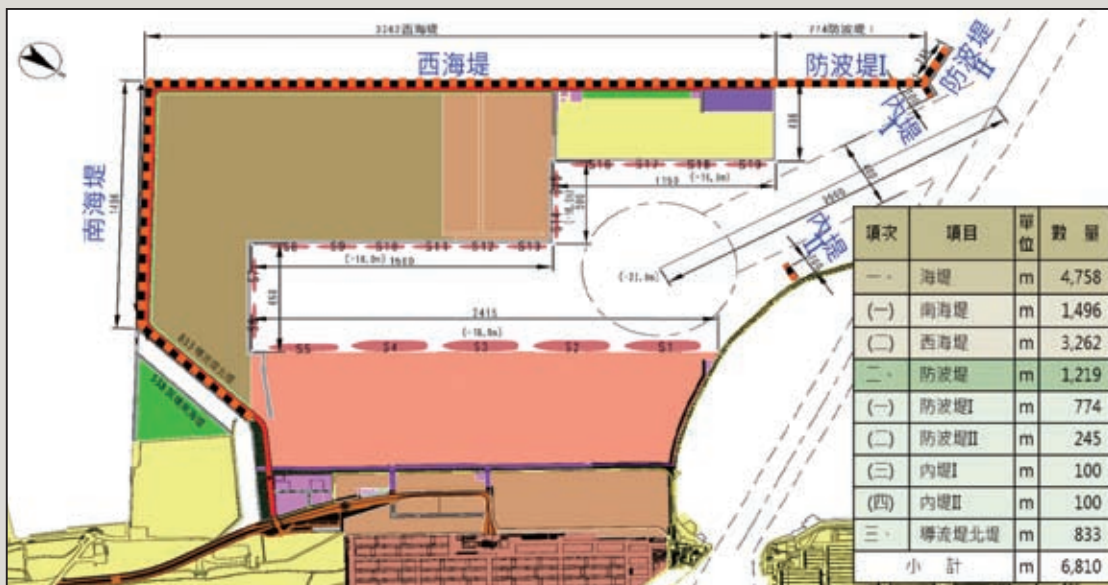


圖12 洲際二期外廓防波提示意圖

之浮沉台船工法進行沉箱製作。除可縮短動復原期外，加速沉箱製作，並可儘速提供外廓遮蔽空間，提供後續工程一個穩靜之工作環境。

洲二第一標工程，沉箱數量計267座，自101年3月7日開工，承包商開工後原考慮採用浮沉台船-二次加高工法(因協力廠商船機及二次加高碼頭建置問題，未予採用)或陸上氣囊工法(因無施工實績及碼頭建置問題，未予採用)，後經評估現地狀況及進度需求，決定採用浮沉台船-一次完成工法，並引進目前仍屬國內最大之浮沉台船船隊(中工1號：105m×36m×6.4m，承載力15,000t，每循環可同時製作2~3座沉箱、中工3號：88m×36m×4.8m，承載力8,800t，

每循環可同時製作1~2座沉箱、雙隆號：45m×33m×6.4m，承載力4,500t，每循環可同時製作1~2座沉箱)，惟船機製作、進口耗時較久，致船機全數進場，沉箱可穩定開始生產，開工已達一年之久，期間承受主管機關、上級指導單位關切之壓力不言而喻。

為容納三艘浮沉台船停靠需求，承商規劃建置320m臨時施工碼頭，碼頭縱深約20m，採板樁式構造，碼頭前緣浚深至CD.-6.5m後拋放1m後之塊石護坡(如圖13)，碼頭後緣則建置50m場地供施工機具如吊車、混凝土泵送車等作業場所，並提供大宗物料如鋼筋、活動模板及預埋件堆置儲放使用，詳附圖14。

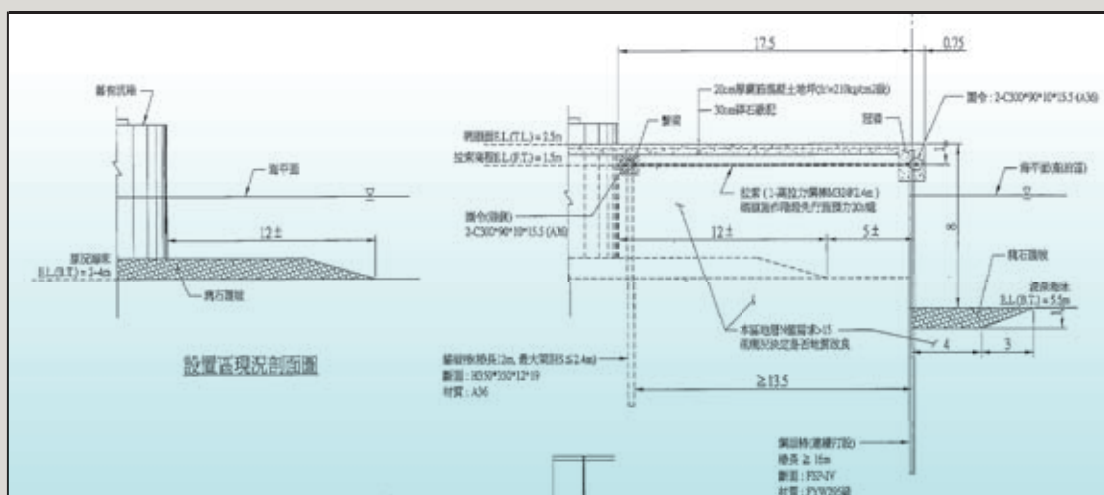


圖13 臨時沉箱施工碼頭示意圖

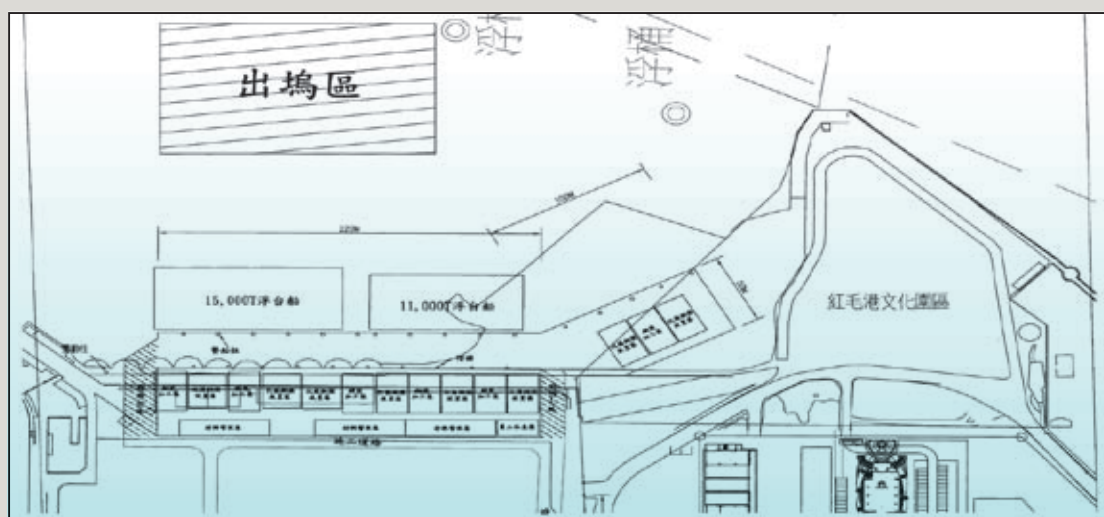


圖14 臨時施工碼頭及後線場地示意圖



圖15 洲二第一標工程浮沉台船工法實景

針對沉箱製作主要工項材料鋼筋、模板加工及堆置區規劃，說明如下：

(一)鋼筋加工堆置區

1. 需先申請臨時電源。
2. 考量施工現場堆置場地有限，故鋼筋物料需配合沉箱製作進度分批進場，再於現場進行裁切、彎紮加工。

(二) 模板堆置區

1. 本工程沉箱模板採鋼模施作，配合浮沉台船每循環可製作2座沉箱，活動模板準備數量為6套(5套正常、1套異型)。
2. 活動模板構件先於工廠加工製作完成，再運入工區組裝、儲放。

而洲二第一標工程自102年1月開始，以每循環約16~18天進度，同時製作3~4座沉箱，並於105年10月以累計46個月時間完成全部沉箱製作作業，平均達5.8座/月之製作功率，並可有效確保沉箱存量符合沉箱拖放進度需求，其浮沉台船隊照片詳圖15所示；此外本工程亦榮獲第10屆公共工程金安獎佳作之肯定，其勞工安全衛生管理之推動方式，值得做為未來國內各港海事工程推動時之參考。

二、陸上軌道工法(洲際二期岸線、浚填、港勤船渠工程)

洲際二期計畫第二標岸線工程係接續第一標外廓堤工程之後進行施工，因計畫區範圍尚有多項標案推動，故施工場地均需保留他標工程使用空間，致使本標案作業場地有限。且本標推動階段高雄港空間碼頭有限，無法採用浮沉台船工法，加上本工程最大沉箱高度達21.5m，若沉箱採二次加高，又受限於水域需降挖至水深-15.0m以下。在前述諸多限制條件下，施工團隊汲取各國沉箱軌道台車陸工法成功經驗，並特地遠赴中國及越南實地觀摩交流，最後提出國內首次採用於陸上製作沉箱，並以陸上軌道台車運移下水之工法進行沉箱施工作業。

此外，陸上製作沉箱之場地因鄰側將有道路興建工程，導致腹地縱深受限，故施工團隊乃以縱、橫向二組台車移運沉箱，並於場地後側加設托盤暫置區之運移路線設置方式，確保沉箱移運出塢動線可維持順暢，詳如圖16。

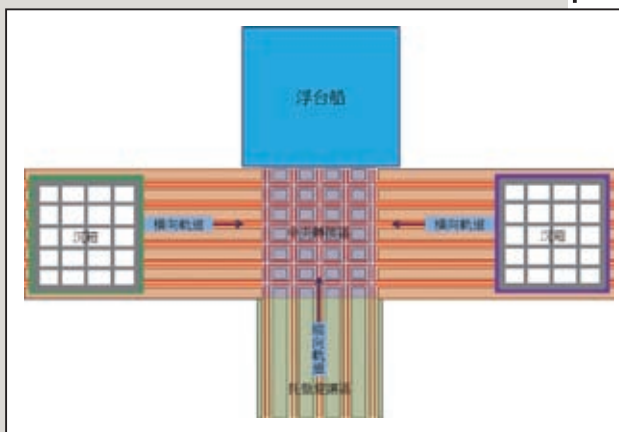


圖16 沉箱運載縱橫向軌道配置示意圖

相較於浮船塢工法，陸上軌道工法須考量沉箱製作及移轉時場地之承載力，以洲際二期計畫第二標為例，因沉箱製作場地原地層地質屬短期沉積軟弱土層，經考量地層狀況、填土料源性質、需改良深度及成效、施工成本、工期及對周遭環境影響等，最後選定於沉箱製作基地打設端口為開放式之鋼管樁(長度25m，樁徑80cm，厚度14mm，共打設348支)進行地質改良。另臨時接駁碼頭建置乃採護岸結構形式，以13m長(TYPE III型)鋼板樁貫入海床面下約7m(施工總縱長約150m)進行止水，並配合於鋼板樁頂部下方1.4m處設置高耐索拉桿(間距3m)及樁側型鋼圍梁等，將鋼板樁設施繫固於已施設之沉箱製作場地鋼管樁帽上，增加整體結構穩定性，軌道工法場地製作流程詳圖17。本工程於2013年11月中旬開始進行沉箱製作場前置作業(含整地、放樣、場區規劃及材料進場等)，並於11月底開始施打鋼管樁，及至2014年

4月初陸續完成製作場基礎地坪及AB兩區沉箱製作區施作。臨時接駁碼頭各分項工程及其附屬設備，如冠牆、臨時接駁碼頭搭岸、沉箱後線工料作業區及場區排水照明設備等，約於2014年6月底相繼完成，沉箱製作場地設置約歷經7個月。

另因沉箱重量高達7,000餘噸，台車能否穩定運移，不影響沉箱結構是為施工之關鍵點；基此，本工程於沉箱底板下方設置一鋼構托盤，於頂升作業時將台車油壓缸之點狀上頂力，經由台車上方之分配梁轉換成線狀支撐力，再透過分配梁上方之鋼構托盤終成一面狀均勻支撐力，確保沉箱結構完整性(詳圖18)。

在陸上移動之沉箱最終需移運至浮沉台船下水儲放，故在其轉運過程如何確保不影響其他工作面之施工是本工法的一大課題(詳圖19)，

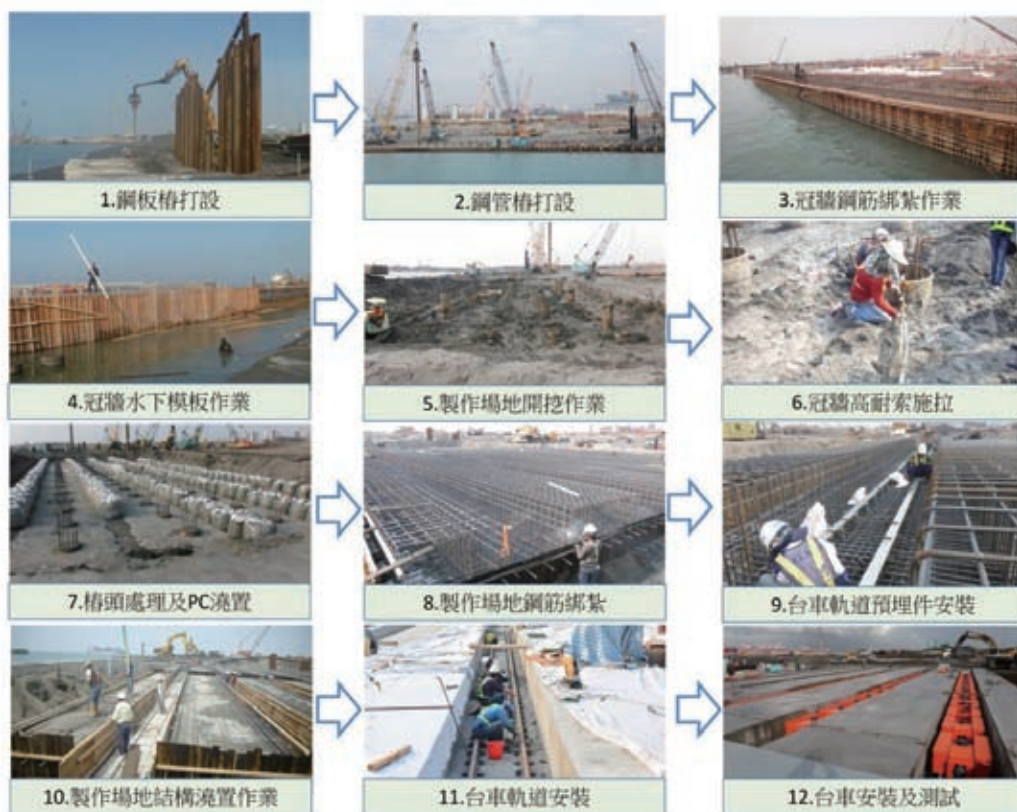


圖17 軌道工法場地製作流程

另沉箱在由陸上軌道移至船體甲板過程中，其移轉場地銜接處(碼頭與船體甲板)容易造成船體傾斜、碼頭混凝土結構破壞等風險，故在碼頭與船體甲板續銜處採外放內縮型(公母接榫)設計一搭岸結構，俾利導引船體對準箱合穩定無虞；搭岸結構下方並打設鋼管樁加強基礎承載力，搭岸縱斷面與船體延伸甲板契合，使沉箱重量轉移過程獲得一穩定支撐，大大提升移運作業安全性，詳圖20。

綜上，洲際二期計畫第二標工程在吸取國外相關經驗後，首次提出國內陸上軌道台車運移沉箱工法，該工法具有於有限施工場地進行大量沉箱製作、克服海上施工天候之限制條件、沉箱製作移運動線交錯施工提升作業效率等優點，此外該工程亦榮獲第16屆公共工程金質獎特優之肯定，未來可做為國內他標工程之參考案例，其陸上沉箱製作工法相關照片詳圖21所示。

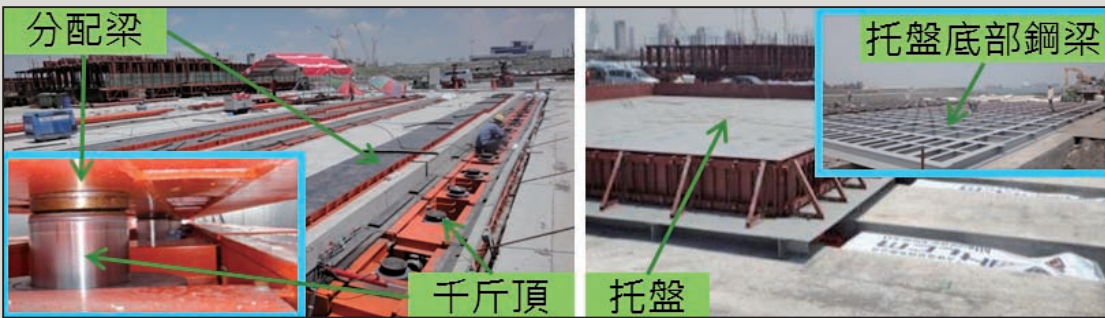


圖18 鋼製承壓托盤，適用不同型式沉箱

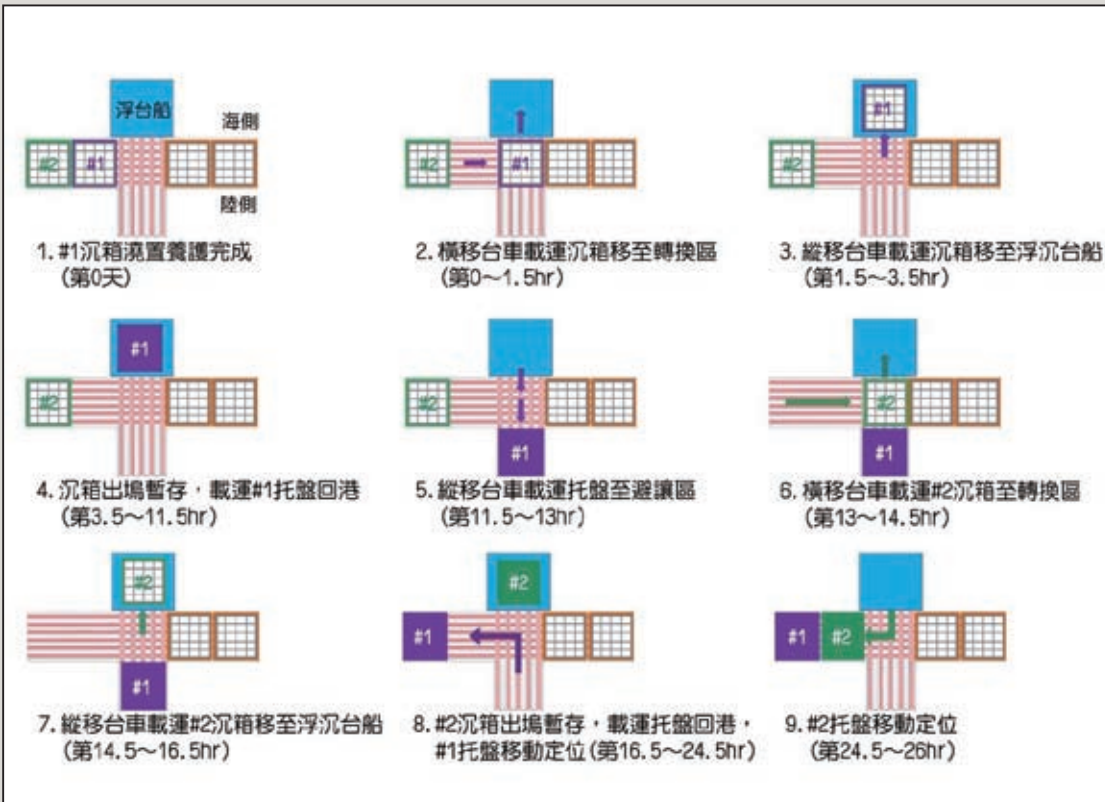


圖19 沉箱移運施工流程示意圖



碼頭搭岸

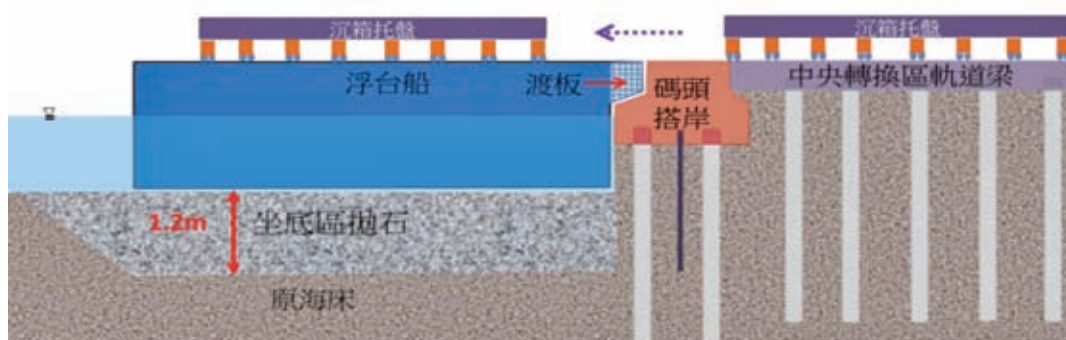


圖20 臨時接駁碼頭搭岸結構配置示意圖



圖21 岸線工程陸上軌道台車運移工法實景

三、浮沉台船工法與陸上軌道工法評析，詳如表7：

表7 浮沉台船工法與陸上軌道工法綜合比較評估

	浮沉台船工法	陸上軌道工法
評估項目		
使用船機及機具	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 浮沉台船2艘：中工1號(15,000T)、中工3號(8,800T)、雙隆號(4,500T)。</li> <li>2. 拖駁船3艘。</li> <li>3. 沉箱滑模設備(含模板、油壓千斤頂及操作台等)5套。</li> <li>4. 吊車2輛。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 浮沉台船1艘：榮吉號(10000T)。</li> <li>2. 拖駁船3艘。</li> <li>3. 沉箱滑模設備(含模板、油壓千斤頂及操作台等)4套。</li> <li>4. 吊車2輛。</li> <li>5. 橫向軌道台車6列84組；縱向軌道台車5列85組。</li> </ol>
選用條件	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 碼頭長度需求320m，可靠泊3艘浮沉台船(可供開展4~5工作面)。</li> <li>2. 施工場地需求面積200m*50m。</li> <li>3. 需有圍堤遮蔽，使施工水域達到靜穩狀態。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 碼頭長度需求80m，可靠泊1艘浮沉台船作為沉箱出塢運駁之用。</li> <li>2. 施工場地需求面積150m*80m(可供開展4工作面)。</li> <li>3. 場地建置期程較長且成本高，需沉箱數量有一定規模始具經濟性。</li> </ol>
施工性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 國內廠商施工技術純熟，完成案例多。</li> <li>2. 沉箱數量有一定規模且尺寸大，一般採自動滑模系統製作。</li> <li>3. 颱風汛期間易受外海湧浪影響，無法施工。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 國內可供沉箱製作之大型浮沉台船塢少，採陸上軌道工法可降低船機的依賴性。</li> <li>2. 沉箱數量有一定規模且尺寸大，一般採自動滑模系統製作。</li> <li>3. 陸上施工不易受海氣象影響。</li> </ol>
沉箱製作工率	<p>依據洲際二期計畫第一標岸線工程實務經驗267座沉箱於46個月製作完成。(平均維持4工作面展開) 功率：5~6座/每月</p>	<p>依據洲際二期計畫第二標岸線工程實務經驗187座沉箱於35個月製作完成。(均維持4工作面展開) 功率：5~6座/每月</p>
緊急應變	<p>颱風來襲船機需遷移至港內避颱。</p>	<p>颱風來襲僅需暫停施工並加固保護，並確保製作場內排水功能正常，無需特殊保護。</p>
管控要點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 管控大型浮沉台船能量。</li> <li>2. 應確實依規劃動員浮沉台船進場。</li> <li>3. 確保施工碼頭水域靜穩度，避免影響品質。</li> <li>4. 管控高風險之滑模高空作業。</li> <li>5. 颱風期間，規劃船機進入船渠避浪。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建置承载力足量之施工場地及碼頭，避免造成沉箱沉陷變位。</li> <li>2. 配合潮汐變化，適時移運沉箱。</li> <li>3. 管控沉箱移運時應力承載與接駁船排水量關係，確保平衡安全(如圖22)。</li> <li>4. 設置排水系統與潮差閘門保護軌道設備(如圖23)。</li> <li>5. 捲揚機繫纜方式讓浮沉台船快速嵌進碼頭(如圖24)。</li> </ol>

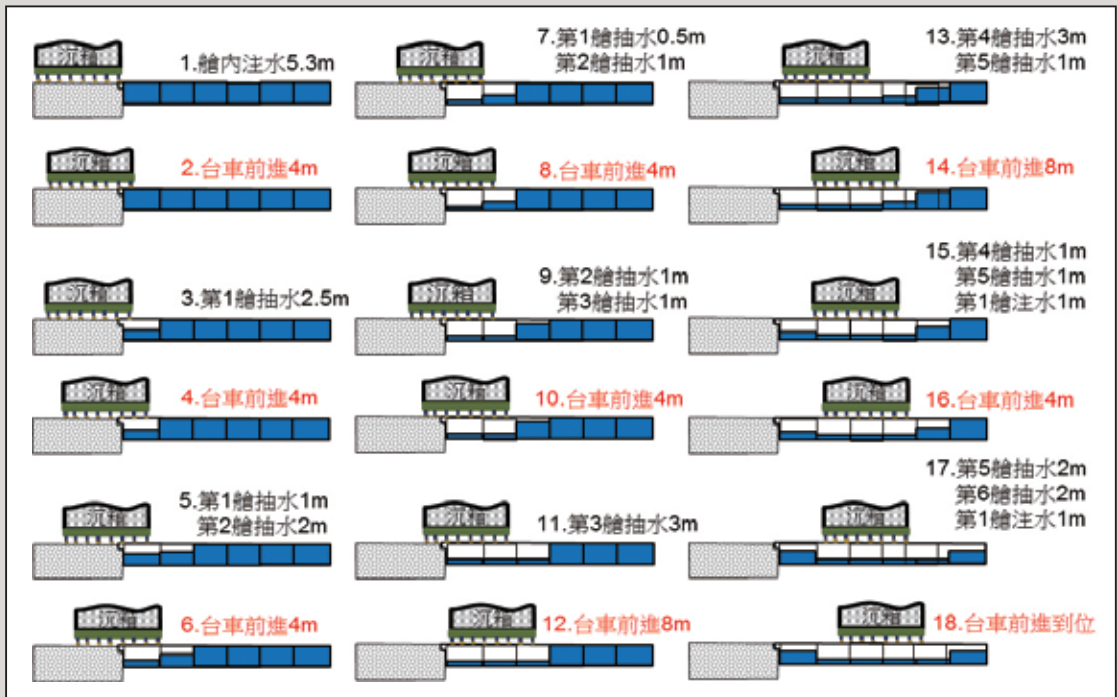


圖22 陸上工法沉箱移運及接駁船水位關係圖

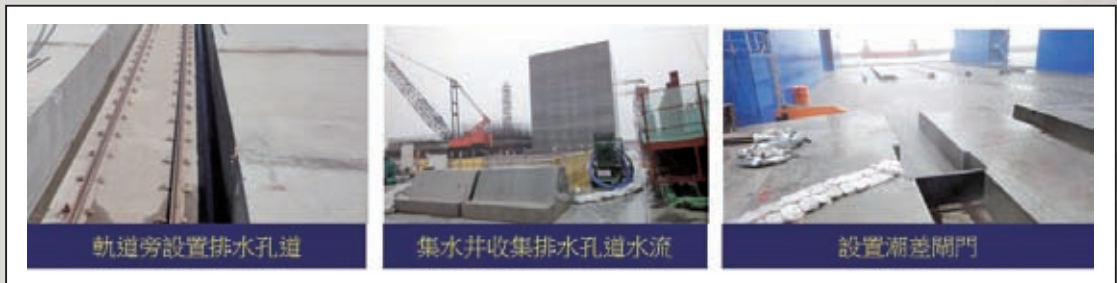


圖23 排水系統與潮差閘門保護軌道設備

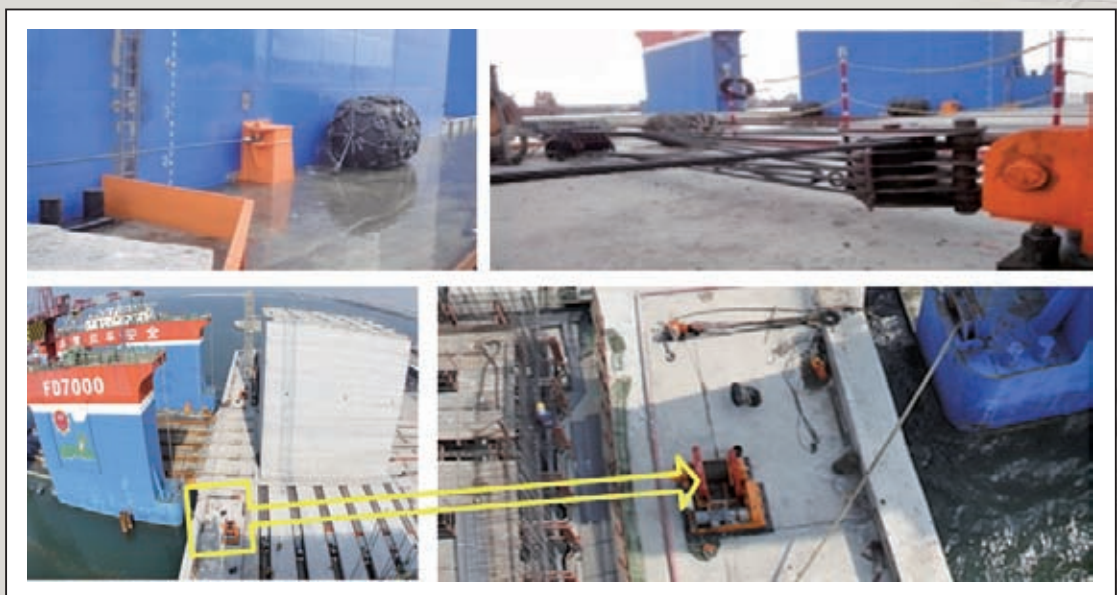


圖24 設置捲揚機繫纜加速定位



## 陸、結論

沉箱屬大型結構體，其製作工法選用需綜整工址自然條件、碼頭使用條件，工期、費用、施工條件及施工風險等因素，方能擇定最適宜之工法。工址自然條件包含工址土壤力學性質、地震、波浪、港內盪漾、潮位及水流等。使用條件則包括碼頭使用限制、靠泊船型、裝卸設施、繫靠設施、載重等。另施工條件則須參酌國內外廠商施工經驗、施工機具、動員能力及施工能量。因此，沉箱製作工法需兼顧施工性、經濟性、施工工期，並應綜整現有場地配置與承商既有工材資用、施工經濟規模及效益，甚而兼容不同工法，構思一最佳方案，以符合計畫功能所需。

本文以高雄港洲際二期計畫一、二標為例，探討浮沉台船工法與陸上軌道工法之差異及優劣比較，期為提供日後港灣工程建設參酌。

## 參考文獻

1. 王錦榮、羅勝方、彭國源、蔡同宏、葉錦璋，「港灣工程沉箱陸上軌道工法之施工實務」，中華技術No.104，2013年。
2. 羅勝方、張欽森、簡德深，「國際港埠新樞紐—高雄港洲際貨櫃中心建設計畫」，中華技術No.114，2017年。
3. 林明華、彭國源、蔡同宏、葉錦璋，「棧橋碼頭與沉箱碼頭施工實務探討」，中華技術No.108，2015年。



# 統包工程之專案營建管理——以高雄環狀輕軌第一階段為例

關鍵詞(Key Words)：專案營建管理(Professional construction management)、履約管理(Contract management)、施工督導(Construction supervision)

高雄市政府捷運工程局／代理副總工程師／洪政豐 (Hung, Cheng-Feng) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／技術經理／謝政璋 (Hsieh, Chen-Chang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／副理／江明珊 (Chiang, Ming-Shan) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／高辦處／計畫副理／許朝榮 (Hsu, Chao-Jung) ❹

## 摘要

專案管理顧問扮演業主代理人之角色，在技術層面，代表業主予以審定(核定)，並需將技術面問題轉化為業主可瞭解之訊息，以供業主在行政面決策之參考。專案管理顧問是協助業主進行整體工程之規劃、設計和施工階段的服務，以其提供的專業知識降低總成本，並確保應有的品質及縮短工期。

本案專案營建管理主要工作大致可歸類為全程服務、設計之諮詢及審查、施工督導與履約管理之諮詢及審查、機電驗證與認證、營運機構籌設等項目，並配合業主需求出席相關會議、研提意見，及協助業主辦理相關工程查驗、會驗與監視工作。適時召集諮詢會議並提出預警性建議，並力求維護業主之權益及聲譽，督促統包商依合約進行各項計畫之執行，方能以系統性的管控來達成整體計畫目標。

本文藉由高雄輕軌第一階段統包工程之專案營建管理執行過程，所累積之履約管理及施工督導相關作為，研提各項對策與配套措施及因應對策，供後續類似工程專案參考。



## Turkey Professional Construction Management for the Kaohsiung LRT Project (Phase I)

### Abstract

Project management consultant plays the role of proprietor's representative. In view of technical aspect, the consultant can represent the Proprietor to approve the document and transfer the understandable technical message as a reference for Proprietor's decision-made. Project management consultant is to assist the Proprietor for overall project service in arrangement, design and construction phase, to take advantage of his expertise proficiency to reduce the total cost, ensure project quality and shorten the schedule.

The main professional construction management job for the captioned project can be categorized in overall services, advisory services and audits for design, construction supervision and contract management, E&M validation and verification, preparation of operation and so on. In addition, the consultants shall be able to take part in meetings based on the requirement of Proprietor, to provide the comments and to assist the Proprietor to execute the examination, witness and supervision. An adequate advisory meeting shall be hold to provide preventative recommendation for safeguard the right and reputation of the Proprietor. At last but not the least, the function of the consultant is also included to urge the General Contractor to proceed the execution in accordance with the contract stipulation so as to reach the integral project target by systematic management.

This article is a study based on the professional construction management process for Kaohsiung Light Rail Phase I Turnkey Project with all the experiences accumulated in contract management, construction supervision, each countermeasures and coordination during the project execution and can be a case for the reference of future similar project execution.

## 壹、前言

高雄港位處亞洲海運中點，有其良好發展的地理條件，高雄市更具備有吸引投資發展之氣候、人文、科技、文化等優勢，使其躍升為國際化城市。為因應高雄港區經貿發展及串聯亞洲新灣區及多功能經貿園區以活化土地開發，帶動沿線地區的商業發展，創造加乘效益，高雄市長於民國100年11月8日公開宣布本市啟動興建輕軌捷運建設。

高雄環狀輕軌捷運為國內第一條興建之輕軌運輸系統，以銜接現有捷運紅、橘線與台鐵鐵路地下化，實現城市無縫接軌，打造幸福宜居城市的軌道路網，亦為亞洲首次採用無架空線系統技術之輕軌建設計畫，並另委託專案管理顧問執行專案營建管理(PCM)工作協助下列項目，以期本計畫能安全、如期及如質達成營運通車的目標。

- 協助建立各項管理制度與流程。
- 協助統包商瞭解計畫內容以加速動員。
- 協助統包商縮短外部界面協調時間以排除干擾。
- 審慎且快速的審查各項文件以符計畫需求。
- 協助落實三級品保制度以確保工程品質。
- 確實進行機電系統驗證與認證以達國際安全標準。
- 協助業主籌設營運機構以順利通車營運。

## 貳、工程概述

高雄環狀輕軌工程總經費約新台幣165.37億元，路線全長約22.1公里，分為兩階段施工，如圖1。其中，C1~C14路段(含機廠)路段長8.7公里為第一階段，預計106年10月完成階段通車。第二階段為接續第一階段C14尾軌往北、最

後接回第一階段之C1車站，路段長13.4公里，已於106年3月開工。

第一階段工程項目主要包含「土木工程」、「軌道工程」及「機電系統」三大部份，分別敘述如下：

### 一、土木工程

輕軌一階土木工程全線包含C1~C14候車站、6處TSS輕軌設備室、一處維修機廠(含行控中心)、成功與愛河兩座跨越橋梁及相關附屬設施等。候車站規劃以融入環境、不造成景觀突兀為原則，設置有遮蓋、站名標示、座椅等設施，各月台高度35cm，與車廂地板齊平，月台兩側設有無障礙坡道。除了標準車站之設計外，另有C3、C9、C11、C14等4座特色站設計，外觀結合周邊人文，展現特殊風情，如圖2所示。

愛河橋及C14候車站所處位置座落於愛河舊鐵橋與高雄港站(打狗驛站)兩處古蹟，為還原古蹟特色，提出新建設與舊文化並存之概念，愛河橋建設時特別採新舊橋共存設計，夜間採用浪漫、溫暖之照明，同時可配合節慶，利用燈光顏色展現節慶氣氛，如圖3；C14候車站則將輕軌與舊鐵道共軌，同時站內設置展示空間，記錄舊打狗驛站歷史故事、施工期間保存做法，及老車站重生過程。

除此之外，輕軌第一階段以黃金級綠建築理念設計，將維修機廠設置於原台鐵前鎮調車場，提供本路段及未來擴充所需之各級維修作業，及列車停放之需，如圖4所示。



圖1 高雄輕軌環狀路線圖[1]



圖2 高雄輕軌候車站



圖3 愛河橋梁



圖4 高雄輕軌機廠模擬圖[3]

## 二、軌道工程

輕軌捷運軌道工程為土建系統與機電系統間之主要界面整合銜接工程，全線採用無道碴嵌埋式軌道，軌道型式配置，如圖5所示。路口部份採用硬鋪面嵌埋式軌道，又將其分為人行道磚式軌道及AC式軌道；高架橋路段則使用減振抑噪浮動式道床軌道，其餘大部份路段行經台鐵臨港線路段採用植草式軌道，不僅視覺舒

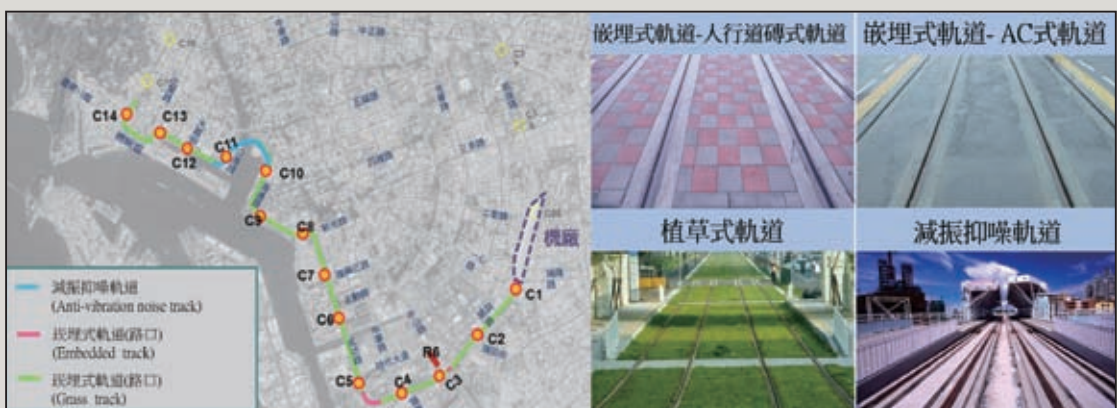


圖5 輕軌第一階段軌道型式配置圖[2]

適，更能保水降溫，減少下水道載量；全線軌道鋪面達80%以上之綠覆率，較現有汽車行駛之柏油路面，更具環保、節能、減碳，與降低都市熱島效應的效益。

### 三、系統機電工程

高雄輕軌系統機電工程共包含：車輛、供電、號誌、通訊及自動收費系統(AFC)等五大系統，其中以車輛佔最大宗。全線採用無架空線供電的百分之百低底盤輕軌車輛，保留城市藍天天際線，亦可減少雜物誤觸電纜線之意外發生，如圖6所示，該等列車於機廠內得允許以架空線供電，以利移動或調車。另輕軌車輛以電力驅動，採超級電容及蓄電池系統，全程零空氣汙染，到站20秒內即完成快速充電，同時使

用再生煞車，可回收電力再使用，節能效率達30%，為永續都市之未來趨勢。

## 參、專案管理執行內容

### 一、專案規劃

因大型統包商履約能力較佳，品質與時程較易掌握與確保，為利縮短工期、掌握品質、成本及進度，並於最短工期內，以最低成本得到最高之工程品質，本案採統包方式辦理招標，使設計、施工能由一個聯合團隊取得，較傳統發包模式須二次招標作業之時程短，有利工程期限減至最短，且若設計與施工條件有差異，需做變更設計時也較容易執行，如圖7所示。除

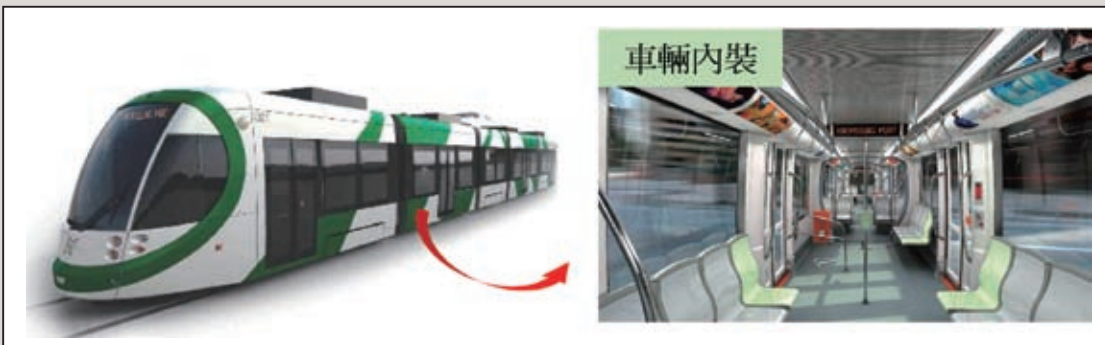


圖6 高雄輕軌車輛[3]

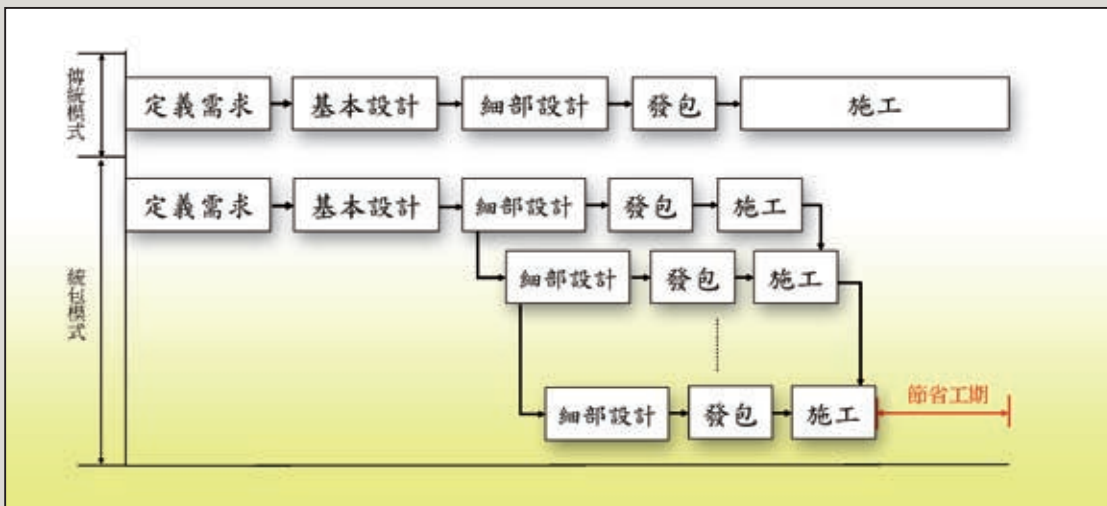


圖7 傳統採購及統包模式

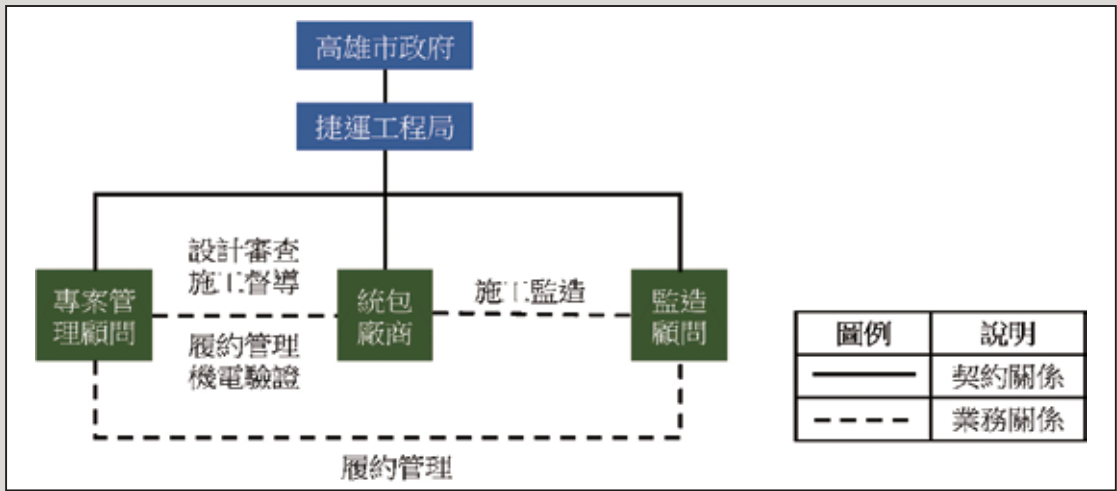


圖8 計畫執行之組織架構

了上述之時程、責任與經費控制及界面整合等較傳統發包優異外，為因應本工程之特殊性，鼓勵施工廠商運用新的技術克服困難、降低成本及縮短工期，亦是選擇統包方式之優點。

本專案管理顧問，於履約階段協助業主辦理設計審查、施工督導、履約管理及機電驗證等相關工作，其計畫執行之組織架構，如圖8所示。

## 二、計畫初期動員階段之管理策略

根據國內類似規模之軌道工程案例顯示，廠商通常於簽約後才開始尋覓專業分包商，進行施工規劃及排程作業，一般從開工到施工計

畫送審核可，約需半年至1年時間，不僅對廠商的資金運轉造成極大壓力，亦不利整體工進之掌控，且將造成大量趕工，降低工程品質等一連串負面之連鎖反應。針對計畫初期動員之因應對策構想，參見圖9。

圖中並與傳統模式作一比較，其預定的執行方式：

- (一) 於決標日起即主動整合業主之需求，向統包商說明議約準備事項及協助統包商預備第一階段預付款5%之各項文件。協助雙方簽定契約，督促統包商提報預付款使用計畫及辦妥履約各項保證並提供與預付款同額之預付款還款保證。
- (二) 於簽約日後一星期內向統包商說明完整施工計畫架構及審查標準，以利統包商在最短時間內完成施工計畫與網圖初稿。
- (三) 統包商於開工日提出施工計畫與網圖初稿進行預審。
- (四) 統包商於開工後30日提出施工計畫與

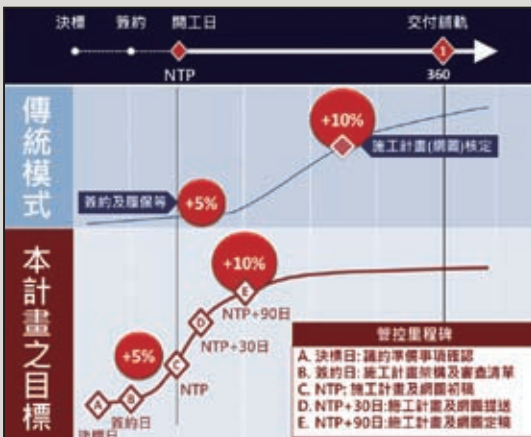


圖9 計畫初期動員準備工作之因應對策



網圖供審查。

(五) 督促統包商於開工日後90日前完成施工計畫與網圖審查意見之修正，以便核定後可請領第2階段預付款10%。

都市街景、車輛外觀等則由主辦機關核定。

依上述權責劃分可分成由業主核定(如圖10所示)、由專案管理顧問核定兩種流程，並依設計階段及施工階段之行政作業流程提出建議方式，經業主核定後做為後續執行準則。

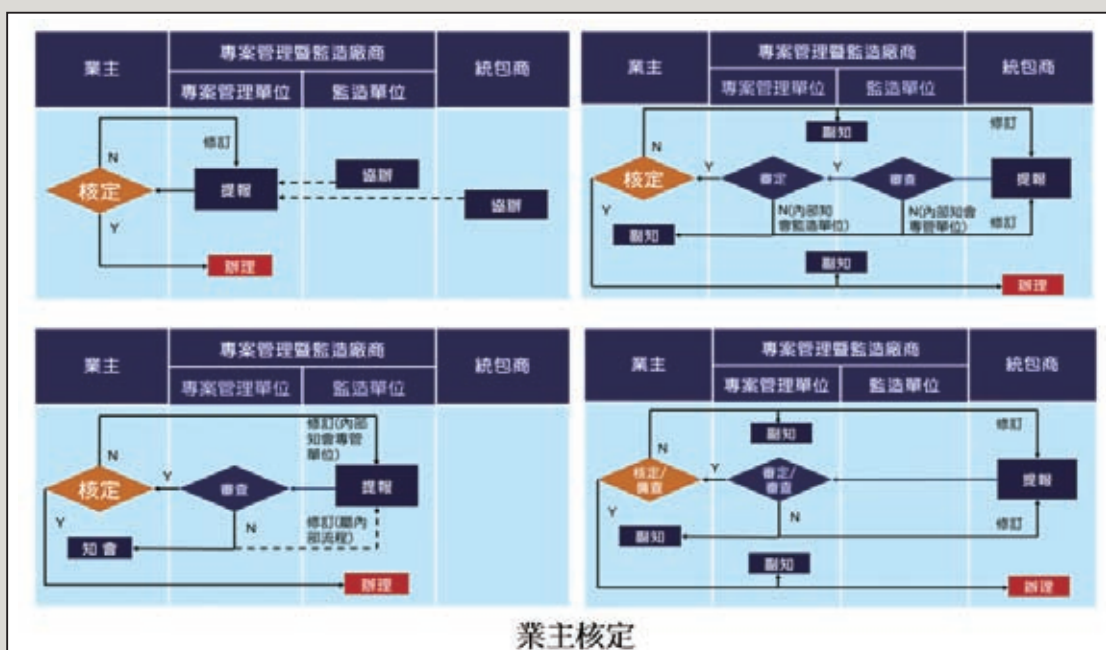


圖10 行政作業流程構想

(六) 預期效益說明如下：

1. 協助統包商提前取得預付款，以紓解資金周轉壓力增加原要徑工作之浮時。
2. 避免全面趕工，資源調度更加靈活確保工程品質降低契約爭議或訴訟發生之機率。
3. 確保計畫時程目標之達成。

### 三、權責劃分及行政流程

本專案工作權責劃分參照本統包工程「機關需求書」所訂定各工作階段之工作重點及高雄市政府捷運局、專案管理單位、監造單位與統包商之履約權責劃分，另有關技術面作業事項原則由專案管理廠商或監造單位負責核定，但涉及都市景觀與意象之事項，如車站外觀、

### 四、設計界面管理及整合審查

#### (一) 設計界面

設計界面可分為外部界面及內部界面兩種。

#### 1. 外部界面

設計過程中與本工程有關的其他單位溝通、協調，期使工程能順利進行，因此主施工廠商應於工程啟動後立刻建立溝通管道與聯繫方式，並隨工程發展定期召開界面會議以解決問題。

## 2. 內部界面

為主施工廠商內部各分包商與供應商間之界面關係，隨時提供必要資訊與資料，供下游廠商繼續推展進度。

### (二) 相關界面管理方式

輕軌捷運工程係由土建工程與機電系統共同完成的交通建設，因此土建與機電界面之整合相當重要。故專案管理顧問於全生命週期將特別注重界面關係的存在與發生前後的次序並予以有效的管理，相關界面管理方式如下。

#### 1. 土建/機電施工圖說套繪整合

設計期間土建細部設計顧問需將系統廠商提出之需求，整合至設計圖中。細部設計顧問應繪製機電設備整合圖CSD及結構機電整合圖 SEM，施工期間專案管理顧問將督導監造單位召開界面協調會議，並督導統包商協助施工廠商與系統廠商，建立協調溝通管道，且監造單位於審查CSD及SEM施工圖說時，應請各設備廠商先行確認整合圖說後，方始同意廠商進行施工作業，以確保工程正確性，並避免二次施工之發生。

#### 2. 工程界面整合管理

督導施工階段廠商組成整合計畫工作小組，以討論界面整合事宜，該小組之功能如下：

- (1) 訂定界面管理項目及其自主檢查表。
- (2) 模擬可能之界面衝突及成因，以檢討修正施工方法及配置位置之可行性。
- (3) 建立施作程序。
- (4) 施工順序、動線及場地安排等協調事項。

#### 3. 審查會議

- (1) 督導監造單位召開CSD及SEM施工圖審查會，確認界面圖說均為一致。
- (2) 確認進場條件及土建廠商用地交付日期。
- (3) 了解施工關聯契約廠商與土建廠商協商事項。

#### 4. 設計品管及檢核

專案管理顧問為確保統包商的設計品質，在設計管理作業面以豐富之規劃、設計、專案管理實務經驗，依相關契約規定制定設計審查制度，並配合編製專屬本工程管理之表單，以利審查意見有效溝通並留存記錄。

#### 5. 工程預算之控制與管理

依各主要分項作業，配合統包契約規定之里程碑，擬訂整體工程施工綱要進度 (Master Schedule)，俾業主及本顧問團隊作為時程管控之依據，並提供統包商分年執行預算之參考，協助機關年度工程預算執行率之依據，達到工程預算之控制與管理的目標。

#### 6. 審議與協調作業

本計畫之重要審議與協調作業可分為：輕軌工程施作、平面交通整合、都市設計整合及營運準備等四類，考量設計、施工、測試及審議與協調所需時間，以降低計畫時程風險，避免因為延誤審議與協調作業而影響工程進度或品質。專案管理顧問督導各階段應申辦作業及證照之期程及分工，督導廠商及設計顧問單位完成相關所需提送圖說、表單、簽證，於既定時間表內取得相關許可及證照。本工程設計階段需辦理之相關證照許可，初步彙整如表1所示。

表1 設計階段需辦理之相關證照彙整表

階段	作業項目	作業內容
設計階段	申請建照/許可證	申請建築執照、臨時建築物許可執照
		地質鑽探
		施工測量
	主管機關圖說審查	道路路型審議作業、交通維持計畫審議作業
		都市設計審議作業
		侯選線建築證書
		申請電力審查
		申請電信審查
		申請消防審查
		申請自來水審查
		申請污水審查

7. 施工可行性之審查與建議

施工可行性乃是探討工程在規劃、設計、採購及工地操作等方面，充分利用過去以往施工獲得的知識與經驗，並藉由會議的方式充分的討論與提供建議表現於設計圖說，使得工程設計成果不但施工可行尚且容易施工。

營運方面的設備。專案管理顧問為監督管理權責的單位，對於材料、設備規格必須符合規範的要求以確保施工的品質外，對於採購時程及船運也必須確實地掌握，方不至於影響整體工作時程。審查機制作業流程，如圖11所示。

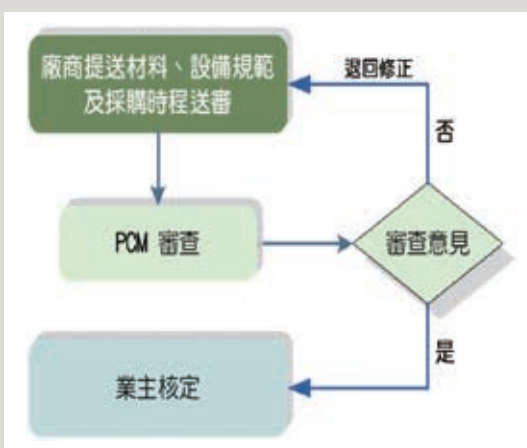


圖11 材料、設備及採購時程之審查作業流程

五、專案控管

本計畫全生命週期之作業流程，如圖12所示。過程中除設計管理、施工管理外，尚有型態管理、時程管理、品質管理及風險管理等四項管理，特將其歸併為計畫管理。管理的良窳將影響到計畫運作過程是否順暢、是否符合需求、是否按照計畫時程等。茲將計畫管理逐一詳述如下：

(一) 型態管理

型態管理主要在辨識各項目之功能、特性及其間之關係，同時追蹤變更及變更之狀態。隨著計畫的發展，修正將不可避免，但修正將日益增加『損壞』的風險，

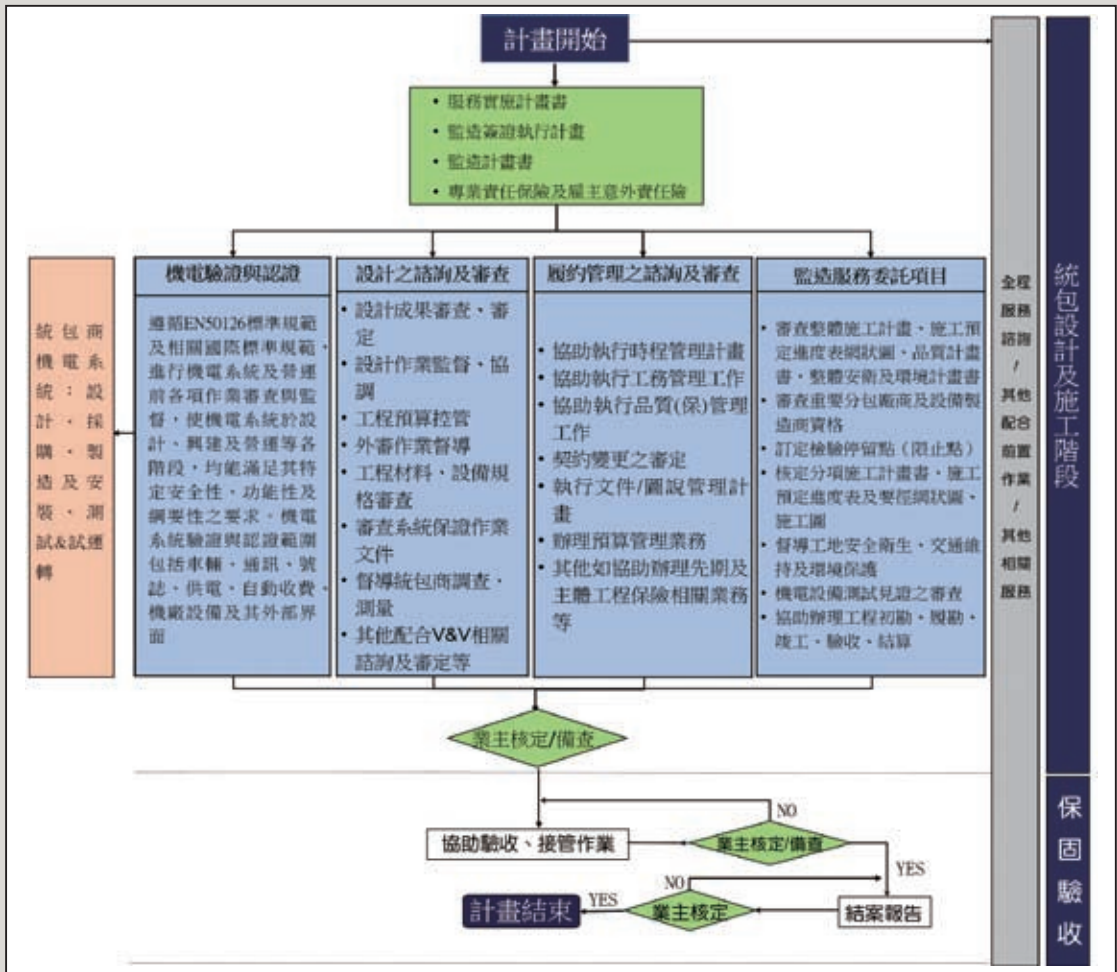


圖12 計畫全生命週期

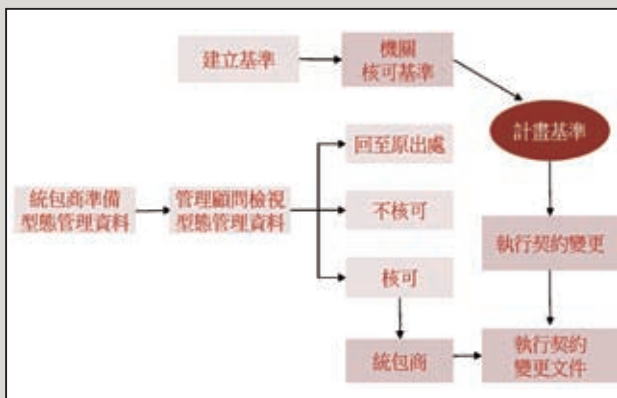


圖13 型態管理作業程序

事前應有一定的程序處理類似問題，並採取最小偏離原始概念之方式進行損害控制。型態管理另一目的在於確認是否能充分的管理統包商，管理系統需包含充足且易於驗證的里程碑去檢核統包商的進度，

密切的合作或甚至使統包商完全「透明化」是必須的。典型的型態管理作業程序如圖13所示。

### (二) 品質管理

為全面提昇工程品質，本專案管理依「公共工程施工品質管理制度」之三級品質管架結構，由上級主管機關及業主施工查核小組「施工查核」，業主承辦單位「品質督導」、專案管理顧問「品質管理」、監造單位「品質保證」以及統包商「品質管制」，以建立完善之品質管理系統，確保工程之設計及施工品質。

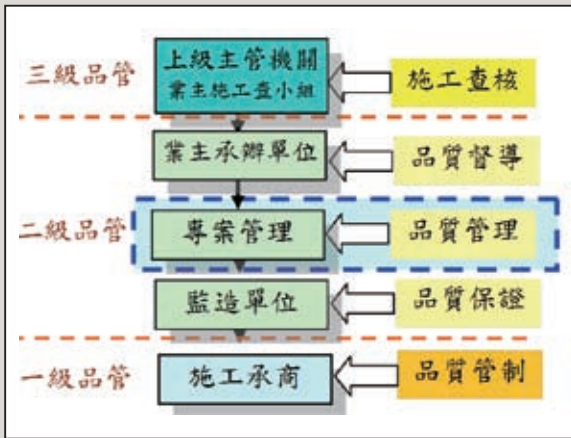


圖14 三級品管架構圖

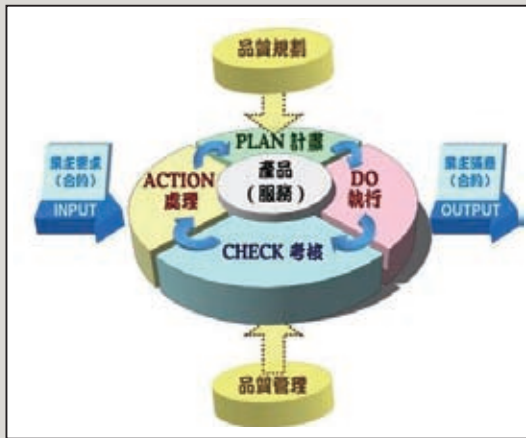


圖15 品質管理作業循環圖

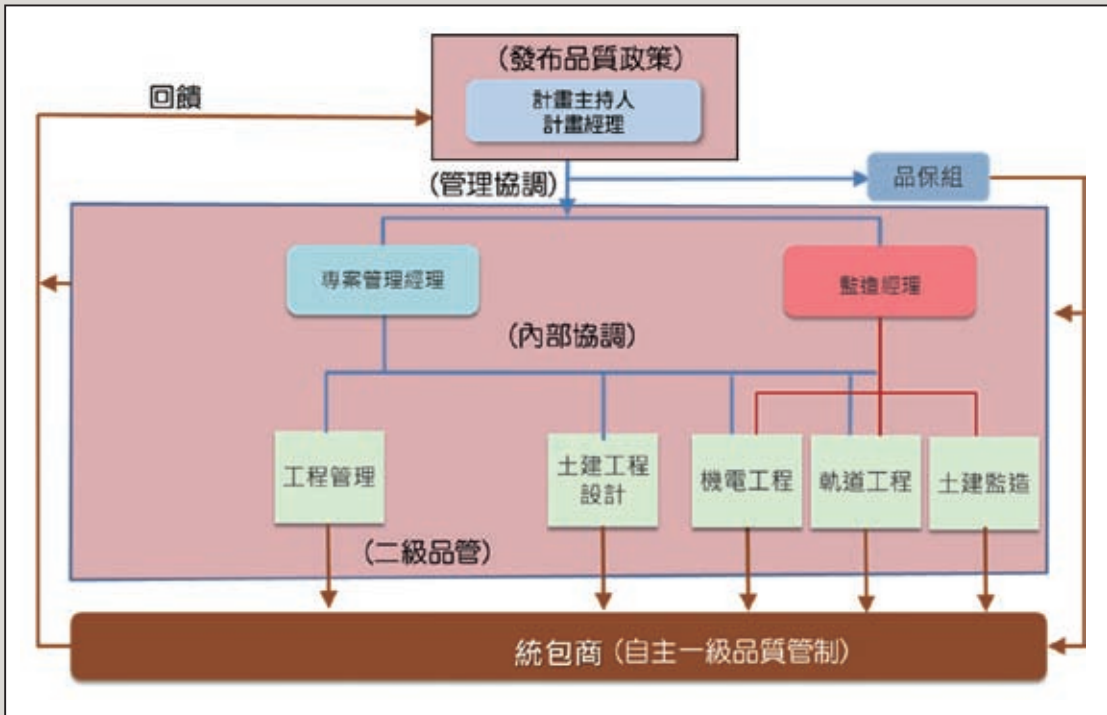


圖16 品管組織架構示意圖

在品質規劃與管理活動中，反覆進行計畫(PLAN)、實施(DO)、檢討(CHECK)及處置(ACTION)之品質管理作業循環導入品質管理，以進行設計作業、施工計畫、自主檢查及缺失改善，詳見圖14及圖15所示。

專案管理單位之品質管理組織架構如圖16所示，由計畫主持人及計畫經理發布品質政策，品保經理執行品質稽核。各相關單位之品

質管理權責如表2所示。

### (三) 時程管理

針對施工時程之掌控將採三級時程管理方式，如圖17所示，由各階管理人員分層據以管控，並逐月檢討統包商實際完成進度與網圖進度之差異。

表2 相關單位品質管理權責

權責單位	統包廠商設計階段	施工/製造/安裝階段	測試/試運轉階段
捷運工程局	<ul style="list-style-type: none"> <li>品保管理督導</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>品保管理督導</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>品保管理督導</li> </ul>
專案管理單位	<ul style="list-style-type: none"> <li>審查設計品質計畫</li> <li>執行品質稽核</li> <li>視需要更新品質管理制度</li> <li>審查統包廠商設計文件</li> <li>接受業主稽核</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>執行品質稽核</li> <li>視需要更新品質管理制度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>執行品質稽核</li> <li>視需要更新品質管理制度</li> </ul>
監造單位	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>提送監造計畫及執行</li> <li>執行品質稽核</li> <li>審查施工品質計畫</li> <li>接受業主稽核</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提送監造計畫及執行</li> <li>執行品質稽核</li> <li>審查施工品質計畫</li> <li>接受業主稽核</li> </ul>
統包廠商	<ul style="list-style-type: none"> <li>提送設計品質計畫及執行</li> <li>執行品質稽核</li> <li>接受稽核</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提送施工品質計畫及執行</li> <li>執行品質稽核</li> <li>接受稽核</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提送施工品質計畫及執行</li> <li>執行品質稽核</li> <li>接受稽核</li> </ul>

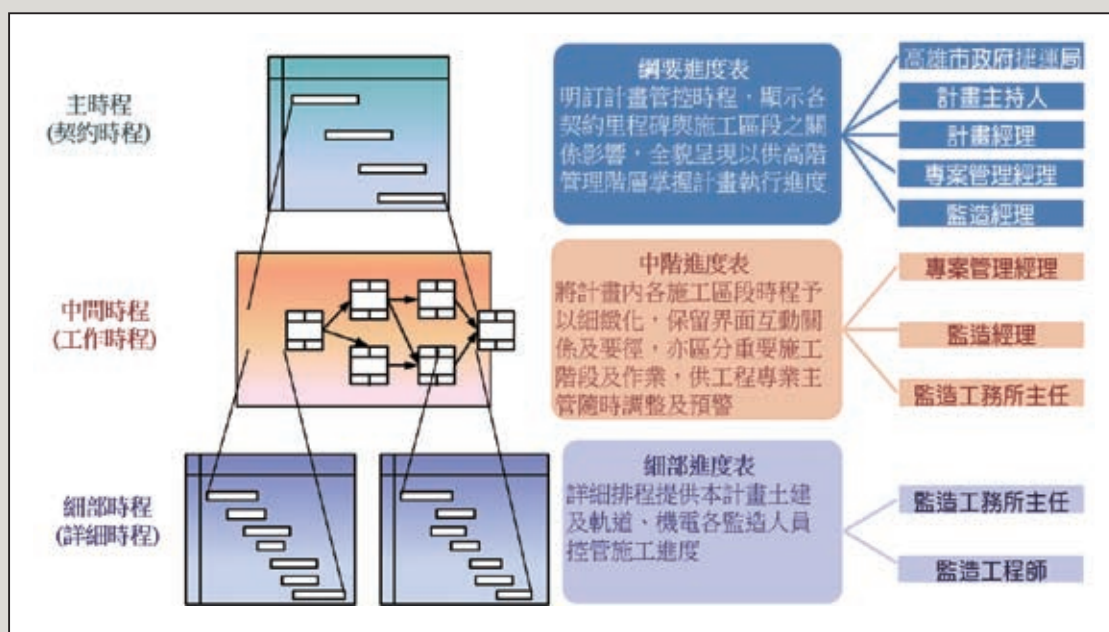


圖17 三層時程管理架構

#### (四) 風險管理

本專案風險管理架構按照ISO31000風險管理原理及綱領為基礎，研擬本計畫預期可能遭遇風險事項，如圖18，並彙整相關風險管理登錄總表，如表3所示，以作為本計畫遭遇問題之處理管控。

#### (五) 工程資訊彙整傳遞及管理應用

本團隊配合建置具備十大重點管理機制的「專案管理資訊系統」(PMIS)，藉以提高工程資訊溝通、傳遞、彙整、管理及運用之效能，提供各管理階層可透過網路遠端連線迅速掌握工程執行脈絡，如圖19所示。

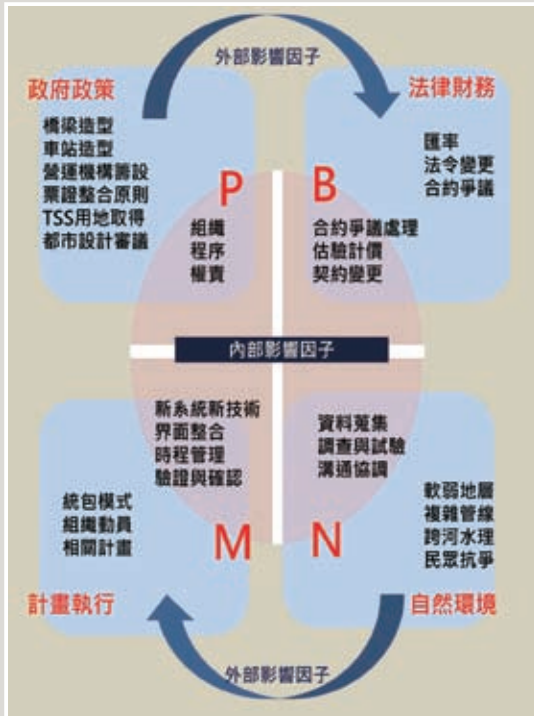


圖18 預期遭遇風險事項

## 肆、專案管理作為與效益

### 一、專案管理工作項目

本專案管理單位針對本計畫在管理層面之特性，研提各項對策與配套措施，協助業主、督導施工廠商以妥善辦理界面協調、工作安排、進度控制、預算管理、品質管理等事項，方能以系統性的管控來達成整體計畫目標。

專案管理主要工作大致可歸類為工作會議、進度管理、品質管理、成本管理、契約管理、文件管理、電腦輔助、其他工作及達成目標等9大項，其工作內容如圖20所示。

另外，本專案管理單位建議統包商開工初期應配合及注意事項如下，俾利工程得以順利推展：

表3 風險管理登錄總表(摘錄)

01123 高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)專案管理計畫									
風險登錄總表									
編碼	建檔日期	風險項目	風險因子	風險描述	風險等級		風險對策	殘餘風險	備註
					處理前	處理後			
001	1030327	界面管理	愛河橋、C11車站設置與海洋流行音樂館設施結合。	1. 分屬不同之承包商，界面協調曠日費時 2. 需文化資產審議委員會審查、核可 3. 海音中心地下室施工工期與本工程軌道道路施工工期界面 4. 影響計畫目標：時程	P3*I4 → R3	P3*I2 → R2 CLOSED	<ul style="list-style-type: none"> <li>請統包商儘速提送跨局處協調小組</li> <li>定期與海音中心召開界面協調會，協調彼此施工工期與先後次序</li> <li>請統包商儘速更新愛河橋設計及施工工期便於管控進行管控</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>102/11/22橋型共構之規劃設計方案經「102年度高雄市古蹟歷史建築聚落文化景觀審議會」同意通過</li> <li>海音中心自行車橋與輕軌愛河橋橋面版共構設計型式之議題，已於3/17與文化局召開定期協調會議確認</li> <li>PCM已於102/12/20主動召集監造單位及統包商針對愛河橋土建施工排程進行討論，業主另於103/1/10召開愛河橋土建施工排程檢討會議</li> </ul>	
002	1011115	界面管理	C1~C8第一階段之上線測試	1.原服務建議書規劃於NTP+630交付C1~C4作為第一列車上線測試	P4*I4 → R4	P3*I2 → R2 CLOSED	<ul style="list-style-type: none"> <li>縮短土建及軌道機電期末細設時間，以C1~C8邊設計邊施工為原則</li> <li>協調統包商增加人力及資源併行軌道、路基地工</li> <li>各外單位界面協調(成功橋工務局、水利局協調，台電公司用電協調及交通局路口需求協調等)事宜及早完成</li> <li>各大路口影響民眾安全較鉅者在上線測試時以人工通訊及手動行控代替(如屆時整體行控系統尚未完成建置)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商已明確回覆無法C1~C8上線測試。</li> </ul>	



圖19 專案管理資訊系統功能架構



圖20 專案管理工作項目及內容

(一) 統包商應依照基本設計發揮專業及創意，在契約金額內、負責如期如質，達成業主之工程需求、功能與效益。

(二) 相關設計圖說提送外部審議機構(例如：都市設計審議、結構審議、水土

保持審議、綠建築審議)審查時，因應審查意見可能須調整工程規模、造型、建造成本、工期等，建議統包商應建立各種送審資料作業流程及自我檢核表，由工程主辦機關(或PCM)依據機關需求書進行量體、空間機能、配



表4 施工階段管理作業重點表

作業	主要項目	內容重點
履約管理	送審管控	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 審查/核定監造計畫(主要審查內容包括監造範圍、監造組織、品質計畫審查作業程序、安衛及環保計畫審查作業流程、施工計畫審查作業程序、材料設備抽驗程序及標準、施工抽查程序及標準、品質稽核、文件紀錄管理系統及設備功能運轉測試等)</li> <li>2. 審查/核定統包商整體施工計畫(主要審查內容包括施工管理組織及作業流程、品質計畫管理作業流程安衛及環保計畫管理作業流程、材料設備抽驗程序及標準、施工自主檢查程序及標準、品質管制、預防及矯正作業流程、文件紀錄管理系統及設備功能運轉測試等)</li> <li>3. 複審/備查施工計畫書、施工大樣圖、材料(包括：樣品、型錄、色卡等)、設備、試驗資料等送審事宜之控制</li> </ol>
	履約品質及罰則	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對於監造單位及統包商現場作業與施工文件定期實施稽核</li> <li>2. 協助業主督導及上級主管機關之施工查核作業</li> </ol>
	變更設計	變更設計之品質及程序控制
	驗收	初驗及複驗
施工督導	落實三級品管制度	督導統包商執行自主檢查之一級品質管制；以及執行監造品質保證，並由專案管理與業主執行品質督導之二級品管
	施工抽查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 督導監造單位抽查頻率應不得低於統包商自主檢查頻率之15%；專案管理施工抽查及停檢點檢查，其頻率不得低於統包商自主檢查頻率之5%以落實三級品管</li> <li>2. 整體工程與規劃、設計理念符合性之掌握</li> <li>3. 施工報表、檢查紀錄之抽查</li> <li>4. 施工期間品質異常狀況之預警及督導統包商和監造單位矯正預防對策之研擬</li> </ol>
	材料抽查	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 設備進場時執行抽驗作業，核對設備之廠牌、規格型號、數量，及審核進場文件(含進口報單、裝箱單、出廠證明、原廠測試報告等)</li> <li>2. 督導監造單位抽查頻率應不得低於統包商自主檢查頻率之15%，以落實三級品管</li> </ol>
界面	協調整合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 督導及協助與他案施工界面協調及整合</li> <li>2. 督導土建及機電施工界面整合</li> </ol>






置、停車、交通、水保等概要原則審查後，即提送審議機構審查，待審查通過後，再進行完整之初步設計及細部設計，以提高執行效率。

(三) 施工階段透過各級監督與管理機制執行施工督導、履約管理及界面協調整合、以達成整體計畫之目標。本階段管理作業重點，如表4所示。

## 二、PCM督導作為

本專案管理單位將藉由各項管控項目，執行欲達成之工作目標(詳表5、6)，確實整合各項工作，具體落實至策略面及執行面，如期、如質、如數以達成系統正常營運之目標。

表5 各主要工作項目之實際管理作為與達成目標之說明

主要工作	工作內容	管理作為	效益	圖表說明
工作會議	協助業主召集工作聯繫會議 ➢ 高層會議 ➢ 細設雙週會	<ul style="list-style-type: none"> <li>由統包商及監造說明工地辦理情形，包括進度、設計、施工等事項或施工困難點等</li> <li>再由PCM主導提出專案報告、待改善問題及建議方案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>業主決議事項有效追蹤控管</li> <li>由業主介入協調外部界面、提升統包商施工進度</li> </ul>	<p>捷運局召開高層會議</p>  <p>專業技術協調會</p> 
	PCM主動召開與統包商會議 ➢ 工程月會 ➢ 專業技術協調會 ➢ 設計審查會議	<ul style="list-style-type: none"> <li>透過會議將應辦事項列入追蹤檢討</li> <li>建立各種追蹤管制表進行控管</li> <li>就設計/施工進度進行催辦及檢討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>追蹤統包商應辦事項或文件如期提報</li> <li>確認施工進度、品質及安全符合契約預期</li> <li>協助統包商排除施工障礙點及疑義釐清</li> </ul>	<p>會議追蹤管控表</p>  <p>進度管控表</p> 
進度管理	協助業主督導統包商全面展開工作面並趕工進	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立各種追蹤管制表進行進度管控</li> <li>PCM主動召開進度管控會議及協力廠商資源檢討會議</li> <li>於進度持續落後時，每週或每日控管預定及實際進度差異</li> <li>於施工階段提出落後原因及因應對策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使業主有效掌握要徑作業趕工方式</li> <li>強化統包商資源調度及界面整合</li> <li>可及時掌握進度趨勢並提出預警</li> <li>使統包商在有限資源下有效趕工落後工進</li> </ul>	<p>每月進度管控表</p>  <p>每週檢核點</p> 

## 伍、經驗分享

統包工程案中契約兩造對如何辦理統包之認知差異，是統包契約執行困難的主因之一，因此如何讓本工程統包商清楚瞭解契約中應該做的事情，是減少統包契約執行困難的基本工作。

### 一、常見履約爭議類型

根據本計畫之經驗，經統計分析較常發生履約爭議與求償之類型為：契約/需求解釋之差異及外部審議之設計變更等二類，如圖21所示。

表6 各主要工作項目之實際管理作為與達成目標之說明(續)

主要工作	工作內容	管理作為	效益	圖表說明
細設圖管理	配合進度需求召開設計審查或界面協調會	<ul style="list-style-type: none"> <li>督導統包商於設計期間提送設計文件及設計圖說審查一覽表，以利追蹤控管文件送審情形</li> <li>PCM依照契約書需求計畫書及規範核對提出審查意見</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>確保設計成果符合需求計畫書及規範內容</li> <li>縮短設計審查時程</li> <li>協助統包商排除設計或施工界面疑義</li> </ul>	<p><b>細設文件管控表</b></p>  <p><b>細設圖管控表</b></p>  <p><b>預算項目管控表</b></p> 
預算成本管控	PCM主動協助統包商完成預算編列	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立各種追蹤管制表，就估驗計價應提報之前置文件進行控管</li> <li>自規劃、設計至施工階段皆須實施總金額管控，並按各階段之演進更遞，隨時檢討差異原因並調整改善</li> <li>針對統包商所提之預算審查其合理性，避免報價浮濫或重複計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有效管控在原計畫經費下，順利完成工程</li> <li>使工程能順利達成年度執行率</li> </ul>	<p><b>各單位請款管控表</b></p>  <p><b>爭議案件歷程彙整表</b></p> 
履約爭議	PCM主動彙整本工程可能發生之各項爭議案件	<ul style="list-style-type: none"> <li>針對本工程可能發生之履約爭議，依相關來文彙整成清單，以縮短文件查閱時間</li> <li>協助業主研析案由</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PCM就各項爭議提供業主因應對策及建議回覆內容，以降低爭議案件發生機會</li> </ul>	<p><b>風險管控總表</b></p> 
風險控管	每月定期召開風險管控會議	<ul style="list-style-type: none"> <li>針對可能影響本工程進度、品質或安全之事件，評估原因、等級及對策並列管追蹤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>針對高風險因子，PCM預先掌握、提前反應，並及時因應現場施作情形提出因應對策，使風險機率降低</li> </ul>	

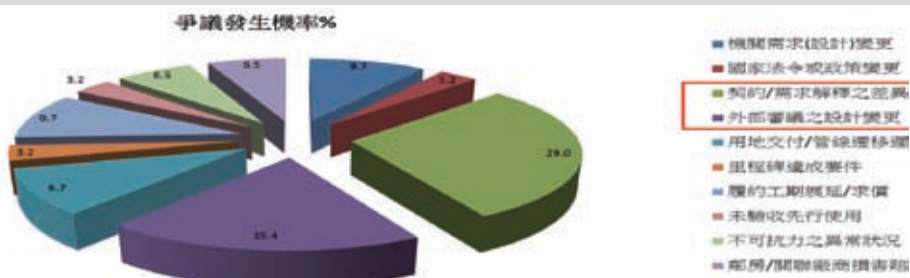


圖21 高雄環狀輕軌第一階段統包工程合約爭議類型及發生機率統計

表7 高雄輕軌統包工程爭議類型之契約機制與預防對策

爭議類型	契約機制與規定						預防與對策
	契約變更	爭議處理	工期管控	估驗計價	先行使用	事故處理	
機關需求(設計)變更	★	★					建議於開工初期，由基本設計單位向統包商簡報說明工程需求與功能之基本設計原意，藉此使機關與統包商對於本統包工程需求內容、契約相關規定及權利義務有充分共識，如有需求變更之必要，亦可提早發現及反映，儘速達成共識及完成相關契約變更程序。
國家法令或政策變更	★	★					要求統包商執行履約工作時皆須依據最新之相關法令規章辦理。
契約/需求解釋之差異	★	★					建議於啟始會議，由機關或專案管理單位向統包商，針對契約條文及需求內容進行重點說明，藉此使統包商對於契約相關規定、需求內容及權利義務有充分共識，並可針對有認知差異或疑義部分儘早提出釋疑，進而降低爾後發生契約爭議及執行困難之機率。
外部審議設計變更	★	★	★				督促統包商儘早準備外部審議送審資料，並建議統包商應建立各種外部審議送審資料作業流程及自我檢核表，並先提送工程主辦機關(或PCM)依據機關需求書進行量體、空間機能、配置、停車、交通、水利等概要原則審查後，即提送審議機構審查，待審查通過後，再進行完整之初步設計及後續設計，以提高執行效率。
用地交付/管線遷移遲延					★		督促統包商配合施工時程，建立用地需求及管線遷移之申請與辦理時程管控表，並定期追蹤辦理情形，若需機關協助事項應提前通知並預留相關協調作業時間，以確保於施工進場前已取得用地交付及完成管線遷移作業，若因外部單位配合時程遲延，統包商除應詳實紀錄相關歷程外，針對可繼續履約部分，應繼續履約，並採取必要措施(如：調整工序或工法)以降低其所造成之不利影響或損害。
里程碑達成要件		★	★	★			里程碑達成要件之規定，除契約已明定者外，將視需要召開會議確認各契約里程碑應完成之項目，並督促統包商列表管控定期追蹤檢討辦理情形，以免造成履約項目或履約期限認知差異之爭議情形。
履約工期展延/求償		★	★	★			將督促統包商於履約期間，每月依據工程實際執行狀況，定期更新整體工程進度綱圖並提報審核，俾利發生工期展延案時，各單位於相同基準下進行工期展延天數之核算，降低核算天數結果不一致所生之爭議。
未驗收先行使用					★		機關對已完成部分有先行使用需求時，將督促統包商依規定提送部分驗收或部分查驗所需之相關文件，並將參考其他機關之點移交辦法，協助機關先完成部分驗收或部分查驗之程序後，再行點交使用，以免因未驗收先行使用所造成驗收點交及保固期起算之爭議。
不可抗力之異常狀況			★			★	工程履約期間偶有天然災害或人為災害造成工程損壞之情形發生，本顧問將協助機關與統包商釐清災損之相關責任歸屬，俾利後續災害復原之處理與保險理賠之申請。
鄰房/關聯廠商損害賠償			★			★	將督促統包商於施工前，確實辦理鄰房建物現況調查及鄰接工程之施工界面調查，並要求統包商於工法規劃時，儘可能採用對鄰房建物或鄰接工程影響最小之方案，並於施工期間進行鄰房建物監測作業及鄰接工程之施工界面協調或會勘，以減少鄰損事件及爭議之發生機率。

契約機制與規定之相關條文對應說明：

- 1.契約變更：第21條「契約變更與轉讓」、第22條「契約終止解除及暫停執行」
- 2.爭議處理：第23條「爭議處理」、第24條「其他」
- 3.工期管控：第7條「履約期限」、第16條「工程驗收點交」、第19條「延遲履約」
- 4.估驗計價：第3條「契約報酬之給付」、第4條「契約報酬之調整」、第5條「契約報酬之給付條件」
- 5.先行使用：第16條「工程驗收點交」、第18條「保固」
- 6.事故處理：第13條「災害處理」、第14條「保險」

## 二、減少統包商契約執行困難及策略

為消弭統包商對於工程契約、工程需求、功能與效益等之認知差異或疑義，建議於NTP+30日內，由機關或基本設計顧問向統包團隊成員，針對工程契約、工程需求、功能與效益等項目進行簡報說明，各單位可針對契約相關文件規定有認知差異或疑義部份立即提出釋

疑，並由機關或基本設計顧問提供相關資料說明澄清，以期各單位於工程初期對於本統包工程需求內容、契約相關規定及權利義務能建立共識，進而縮短本統包工程團隊之作業磨合期及降低爾後發生契約爭議及執行困難之機率。

表8 執行本計畫可能遭遇之困難及解決機制

	政策	財務	工程執行	營運
設計階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>配合招標文件內容預擬方案</li> <li>研析設計階段衍生議題</li> <li>提出建議方案報告</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審定廠商預擬建議方案</li> <li>協助召開協調會議</li> <li>協調新增議題評估方案</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>參與會議協調確認</li> <li>核定評估建議方案</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>研提工程計價詳細表</li> <li>研提整體及分年預算</li> <li>提出變更設計方案預算</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審定工程計價詳細表</li> <li>審查整體及分年預算</li> <li>審定變更設計方案預算</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>核定工程計價詳細表</li> <li>財務修正計畫報核</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>擬訂計畫關鍵課題設計方案</li> <li>研提風險評估報告</li> <li>召開風險評估會議</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審查關鍵課題設計方案</li> <li>審查廠商風險評估報告</li> <li>出席風險評估會議</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>出席風險評估會議</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>研提合宜設計方案</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審查設計方案暨召開審查會議</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>出席審查會議並核定設計方案</li> </ul> </li> <li>營運單位：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>協助審查並提出建議</li> </ul> </li> </ul>
施工階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>提出評估建議方案</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審定評估建議方案</li> <li>協助召開協調會議</li> <li>綜整方案提出報告</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>參與會議協調確認</li> <li>核定建議方案報告</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>研提整體及分年預算</li> <li>提出變更設計方案預算</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審查整體及分年預算</li> <li>審定變更設計方案預算</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>財務修正計畫報核</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>擬定風險管理計畫</li> <li>擬定施工安全評估方案</li> <li>定期召開風險管理會議</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審查風險管理計畫及施工安全評估方案</li> <li>監督廠商施工內容</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>出席高風險項目管理會議</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>研提設施維護相關手冊報告</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審定廠商提出報告</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>備查</li> </ul> </li> <li>營運單位：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>協助審查並提出建議</li> </ul> </li> </ul>
營運階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>營運單位：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>配合政策行銷文宣，鼓勵民眾使用大眾捷運系統</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>研提提升運量建議方案，增加票箱收入，挹注財務</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>配合辦理提升運量宣導</li> </ul> </li> <li>營運單位：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>辦理提升運量方案</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>統包商：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>提出營運維護相關設計文件</li> </ul> </li> <li>專管暨監造：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>審查廠商提出文件召開會議</li> </ul> </li> <li>業主：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>備查</li> </ul> </li> <li>營運單位：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>協助審查並提出建議</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>營運單位：                             <ul style="list-style-type: none"> <li>研擬節慶活動之疏運方案</li> <li>研擬恐怖攻擊之預防方案</li> </ul> </li> </ul>

### 三、爭議類型之合約機制與預防對策

彙整輕軌第一階段統包工程之履約爭議類型，綜合分析其因果關係後，將合約機制與規定及預防與對策歸納於表7內，以作為未來相似工程履約專案管理執行之參考重點，預先研擬解決機制與對策，預防絕大部份爭議與求償案件之發生。少數無法避免之爭議案件，亦將盡最大努力以減輕其對工程預算及工期之影響。

### 四、執行本計畫可能遭遇之困難及解決機制

本專案管理單位以風險管理的角度出發，從政策、法律及財務、工程及環境等四大面向，全面檢討本計畫在興建週期可能遭遇之困難、關鍵課題及風險，並研提建議之解決方式；因此本節針對本計畫在興建期間(設計階

段、施工階段及營運階段)於政策、財務、工程執行及營運等4種面向其可能遭遇之課題，研提解決機制，並就相關單位(業主、專案管理單位、監造單位、統包商、營運單位)需辦理之主要作業，整理如表8所示。

另統包商於履約過程因成員間內部界面爭議不斷，工程進度遲緩，統包商第2成員又因爆發財務危機，土建工程幾近停擺，致機關依據統包工程契約終止「土建及設施機電」部份契約，本專案管理顧問並對未完成工作提供後續契約執行之因應對策(如圖22)，提供業主決策參考，以利本計畫得以持續推動。

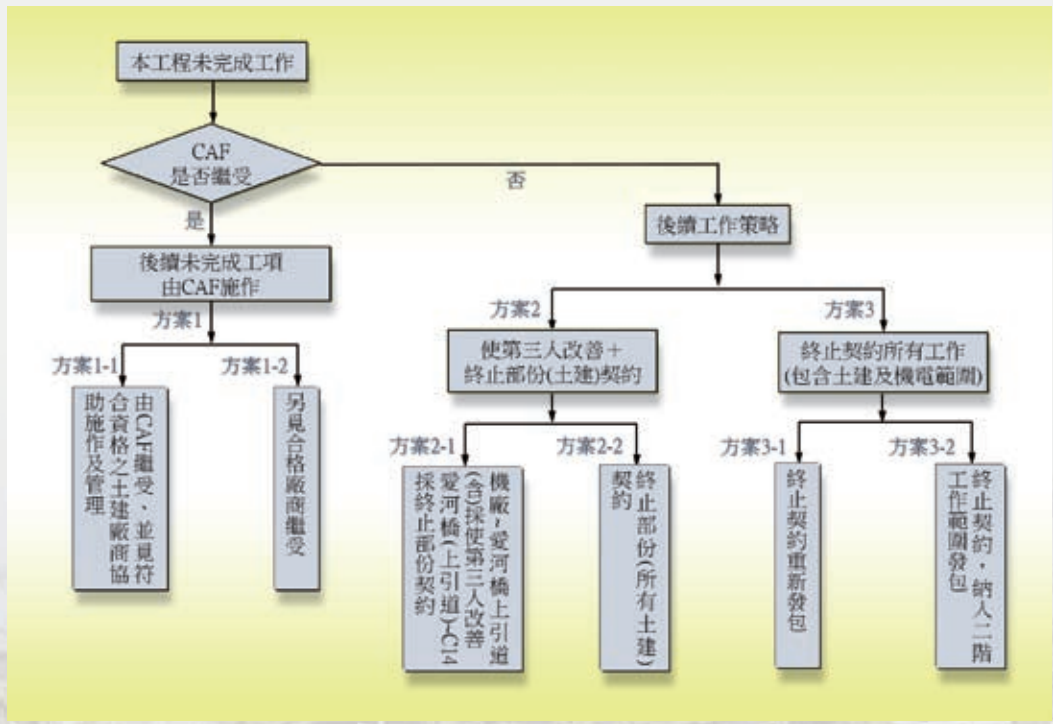


圖22 本工程未完成工作後續契約執行之因應對策



## 陸、結語

高雄環狀輕軌第一階段工程具備以下特性：總工程費高達58億元之巨額採購、採用先進無架空線系統、工程界面複雜及限期完工之時程壓力。高雄捷運局必須在既定預算內，如期、如質、如度完成本工程；另一方面，承攬之統包商則需募集大量資金、組成員各種專業的團隊，在極為急迫的工期內，克服技術與環境的挑戰並整合複雜內外部界面，完成本工程之興建任務且獲得當得之利潤。上述之計畫特性與條件對機關及統包商雙方都是非常艱鉅的挑戰，本專案管理顧問依法令與契約之規定，秉持公平、合理及效率之原則，積極主動協助解決問題，協助機關及統包商，持續推動本計畫，創造雙贏之圓滿局面，並可藉由高雄輕軌第一階段統包工程之專案管理執行過程，所累積之履約管理及施工督導相關作為及因應對策，供後續類似工程專案參考。

## 參考文獻

1. 「高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)委託專案管理技術服務案契約書」，台灣世曦工程顧問股份有限公司，2013年。
2. 「高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)統包工程施工計畫書」，長鴻營造&CAF，2015年。
3. 「高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)統包工程設計報告」，長鴻營造&CAF，2015年。

# 井式基礎施工遭遇大量湧水之影響及解決方案 —以台9線南迴拓寬改善工程安朔橋梁標為例

關鍵詞(Key Words)：台9線南迴公路(Taiwan Provincial Highway No.9)、地形限制  
(Topographical Constraints)、井式基礎(Well Foundation)

- 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處／副處長(代理處長)／陳保展 (Chen, Bao-Chan) ❶  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／專案協理／陳志鴻 (Chen, Chih-Hung) ❷  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／專案經理／廖嘉安 (Liao, Chia-An) ❸  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／工務所主任／沈仕傑 (Dream Shen) ❹  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／工程師／賴禹綸 (Lai, Yu-Lun) ❺  
台灣世曦工程顧問股份有限公司／台9南迴監造專案／工程師／康家銘 (Kang, Chia-Ming) ❻



## 摘要

台9線南迴公路為台灣東部花東地區與南部高屏地區之主要運輸交通幹道，惟其受限於地形地勢之影響，易因災害受損而交通中斷，除人命財產損失外，對區域性經濟發展及產業運輸造成重大影響。「台9線南迴公路拓寬改善工程後續計畫」為建構環島安全路網，提供安全、穩定回家道路，山區路段以隧道橋樑截彎取直改善，行車時間可縮減20分鐘，本案則以C1橋樑標工程為例，針對東部山區因地制宜，採用開挖面積較小之井式基礎為下部結構，降低對環境之衝擊同時兼顧生態保護。



## The Effect and Solution of Well Foundation Construction Subjected to Serious Water Inrush-A Case Study for C1 Anshuo-Caopu Bridge Widening Project of Taiwan Provincial Highway No.9

### Abstract

Taiwan Provincial Highway No.9 is the main transportation road for eastern part of Taiwan from Hualien-Taitung to Kaohsiung-Pingtung. However, it's limited by topographic constraint which is easy to get damaged to cause traffic disruption. In addition to the loss of life and property, there is also a significant impact for regional economic development and industrial transportation. The No.9 Highway Project improvement plan is to construct a safety road network of Taiwan island and provide security and stability of the way home. The construction method "truncation curved cut-off" apply on mountain tunnel and bridge. It saved average 20 minutes of transportation time.

Here is taking C1 Bridge Project as example. According to topographic conditions in Taiwan eastern mountain area, the construction of Well Foundation used smaller excavation is adopted as substructure. This construction method is given consideration for both reducing environment impact and ecological protection in the meantime.



圖1 工區平面圖及井基斷面圖

## 壹、前言

本標工程範圍為新建橋梁工程(0k+000~6k+300)，路線長度6.3km，工程地點位於台東縣達仁鄉，橋梁緊鄰五福谷溪山坡並與隧道北口銜接，配合地形特性主要下部結構採用井式基礎，其具有可採小型機具施工，以及開挖範圍小等特性，並輔以竹削護基，可將坡面開挖面積減為最小，並對坡面達成有效穩定支撐力。(詳圖1)

井式基礎之結構型式類似沉箱，較大差異在於施工順序，通常以人工或小型機械開挖的方式鑿井，再於井中施築基礎結構，由於開挖期間必須保持井壁穩定而需施作噴凝土及岩栓等壁面保護，本工程原設計採開挖深度達1m後、架設支保及掛網噴漿、並於支保間打設3m長自鑽式岩栓鎖固之方式、進行開挖面保護，本工程為避免打設岩栓時，將井外水量引入井

內，經由支撐穩定分析後，改採增設乙組支保方式施工，此變更方式除可減少井內滲水量，並可縮短輪進時程與確保支撐強度，增加費用承商願自行吸收，相關變更亦呈報業主同意備查，相關施工流程詳圖2；井式基礎斷面則考量用地範圍、上部結構載重、地層條件等因素綜合研判，本工程井式基礎直徑分別為6m、10m、12m及14m、深度達20~42m(含空打段)(詳表1)(井基結構體採用中空型式，中空處以填土或強度較低之混凝土填充)，口徑之大在國內已屬少見，施工本就不易，而部分橋墩又鄰近五福谷溪沿岸，伏流水增加，平均地下水位約在原地面下EL：7~12m處，施工過程屢屢遭遇湧水造成施工困難，對於施工團隊更是一項挑戰。



圖2 井式基礎施工流程圖

表1 本工程井式基礎尺寸表

井基直徑	墩柱位置	最深開挖深度
6m	P1L、P1R	15m
10m	P14、P34	28m
12m	P41、P48 P68N	42m
14m	P25、P61、P64	30.2m

(取開挖深度最深者為例)

表2 井式基礎湧水處理方式及優缺點比較表

判斷階段			
研析標的：井式基礎抽排水方案			
構想方案	優點	缺點	評等
設置導水管及抽水設備	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可視出水處調整位置且方便安裝抽水設備。</li> <li>2. 結構施作時可將抽水設備移出，重複使用。</li> <li>3. 依現有地形即可配合。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 出水量過大時將無法有效排水。</li> <li>2. 較無法控制出水量及出水點且集水井易被細微土粒阻塞，需常清理。</li> </ol>	3
井外點井抽水	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 適合湧水量集中且湧水量大。</li> <li>2. 可使井內迅速降低地下水線。</li> <li>3. 開挖完成後，於結構施作時仍可使用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 所需腹地增加(井基設計原則為不受地形限制)</li> <li>2. 若遇堅硬地層，將造成鑽孔困難</li> <li>3. 尚需考慮周圍地質透水係數</li> </ol>	2
變更實心井基	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 施作容易，只需考慮隔離湧水或是採水中混凝土澆置。</li> <li>2. 可減少鋼筋使用量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 變更費用高且湧水需再另案處理。</li> <li>2. 湧水仍會影響混凝土品質。</li> <li>3. 需另外考量劣質混凝土處理方式。</li> </ol>	1
設置透水環	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可有效導水及排水，不破壞地質及結構狀況</li> <li>2. 不需改變施工順序，不影響施工速度</li> <li>3. 開挖過程中可配合設置洩水管及增設導水版，可有效處理開挖及結構施作時之湧水。</li> </ol>	僅需額外辦理以下兩項作業： <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需比預計底板高程，再降挖透水環溝高度(約50cm)。</li> <li>2. 施工完成後透水溝及預留管需灌注水泥漿填塞孔隙。</li> </ol>	4

## 貳、湧水處理方式優劣評估

井基施工所面臨到的問題，首重於湧水，湧水的問題亦因遭遇程度而有不同的處理方式，本工程依實際處理經驗，歸納出各種處理方式之優缺點比較及評等，如表2、3、4所示。

表3 湧水方式處理權重評估表

判斷階段		權重評估	
分析標的：井式基礎抽排水方案		原始分數	指定權重
目標期望標準			
A. 費用		8	7
B. 工項配合		4	6
C. 工期影響		5	5
D. 人力		1	1
E. 使用空間		6	6
F. 安全性		10	10
G. 施工難易度		1	3
H. 維護性		8	8

	B	C	D	E	F	G	H
A	A1	A3	A2	E1	F2	A1	A/H
	B	C2	B1	B/F	F2	B2	H2
		C	C1	E2	C/F	C1	H2
			D	E1	F2	D/G	H1
				E	E/F	E1	H1
					F	F1	F2
						G	H1
							H

重要程度  
高度：3  
中度：2  
低度：1

表4 湧水方式處理評估矩陣表

評估矩陣							
構想	費用	工項配合	工期影響	使用空間	安全性	維護性	總分
得分	權重	7	6	5	6	10	8
		權重*得分(加總)					
設置導水管及抽水設備		5	5	5	5	5	5
		4	4	4	4	4	4
		3	3	3	3	3	3
		2	2	2	2	2	2
		1	1	1	1	1	1
	<b>小計</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>24</b>
井外點井抽水		5	5	5	5	5	5
		4	4	4	4	4	4
		3	3	3	3	3	3
		2	2	2	2	2	2
		1	1	1	1	1	1
	<b>小計</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>8</b>
變更實心井基		5	5	5	5	5	5
		4	4	4	4	4	4
		3	3	3	3	3	3
		2	2	2	2	2	2
		1	1	1	1	1	1
	<b>小計</b>	<b>7</b>	<b>24</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>32</b>
設置邊水環		5	5	5	5	5	5
		4	4	4	4	4	4
		3	3	3	3	3	3
		2	2	2	2	2	2
		1	1	1	1	1	1
	<b>小計</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>24</b>

### 參、開挖抽坍及湧水處理記實

以墩號P14為例，P14位置緊鄰五福谷溪攻擊坡面灘地(詳圖3)，其地下水位受山區地下水位及河川伏流水影響，開挖期間發生大量湧

水，相關處理方式說明如下：

#### 一、P14開挖抽坍及克服

P14地層依位址所在之鑽探地質為砂質礫



圖3 井式基礎緊鄰五福谷溪之情形

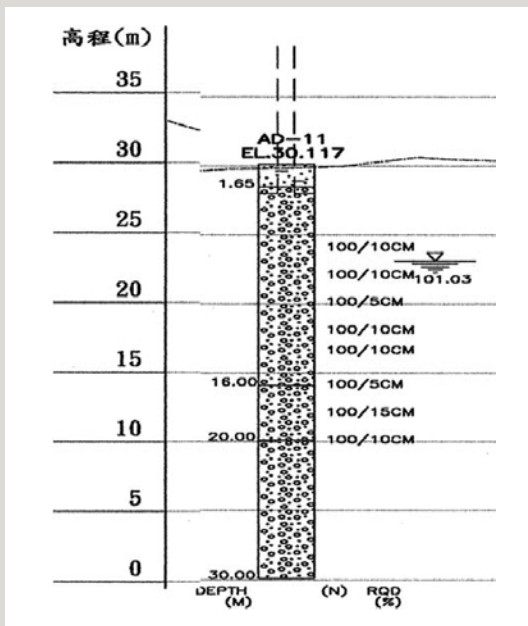


圖4 P14鑽探報告及地下水位

層，預計開挖深度為20.5m，且地下水位約為地面下7m處(詳圖4)，因多次湧水及崩積層地質導致開挖壁面坍孔，施工處理過程如下：

(一) 第1次進場開挖：103年10月開始開挖，土質多為砂及粉土層，開挖時不斷發生零星坍孔，103年11月開挖至第10輪進(約10m)，經會勘後決定暫停

施作，先行靜置及辦理水位觀測，此時井內積水約為地面下7m。

(二) 104年02月已進入枯水期後段，此時井內積水及五福谷溪水位下降，量測後井內積水約地面下9m，故決定P14井基再行開挖施作，並改採縮短輪進長度為0.5m之方式辦理，開挖至第14.5輪進(約14.5m)再次遭遇湧水，此時井內又因大量湧水而坍孔(如圖5)，經會勘後決議採原土回填，以混凝土將壁體底部四周封底，並以水泥漿辦理背填灌漿、以固結開挖面周邊土壤，藉以改善坍孔現象。



圖5 井內大量湧水

(三) 於背填灌漿完成後持續進行開挖，復以輪進長度為1.0m之方式辦理，於104年05月開挖至第18輪進(約18m)時遭遇大石塊，且開挖面有坍孔現象，井外鄰溪側地面發生掏空(如圖6)，緊急進行土方回填，經會勘後決議暫停施作。



圖6 井基外側地面坍塌

(四) 104年06月經會勘決議，井內先行回填0.2m後，採地盤止水灌漿，以水泥及水玻璃混合LW方式辦理背填灌漿施作。

(五) P14井基經地質改良作業後，湧水量略有減少但仍未盡理想，開挖至第19輪時又再度遭遇大量湧水，決議採縮短輪進開挖深度(改為0.5m內)並增加先撐鋼管或自鑽式岩栓加固開挖面，以解決抽坍問題。(相關處理方式如圖7)

## 肆、井基壁體結構施工遭遇困難與處理對策

### 一、結構施工遭遇湧水之處理：

P14開挖作業完成後，井內仍持續大量湧水，湧水量每分鐘達13.5噸，影響鋼筋、模板組立及混凝土澆置作業，其中混凝土澆置時，其底部及壁面湧水若無法導離澆置面，將造成混凝土粒料分離，形成不規則水線並造成冷縫及孔洞(如圖8、標記①②③)；而使用抽水設備抽水時，又將導致水泥吸入抽離，嚴重影響混凝土品質(如圖8、標記④)。對此，施工團隊提出以下因應方案：

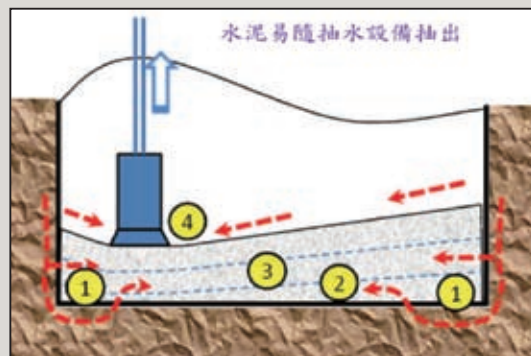


圖8 湧水影響混凝土品質示意圖

(一) 設置臨時集水井：澆置井基底版時可順利排水，但底版澆置完成後即無法抽水，因水量大、地下水位線恐上升而由壁面出水，壁體施工時亦需解決滲水問題。

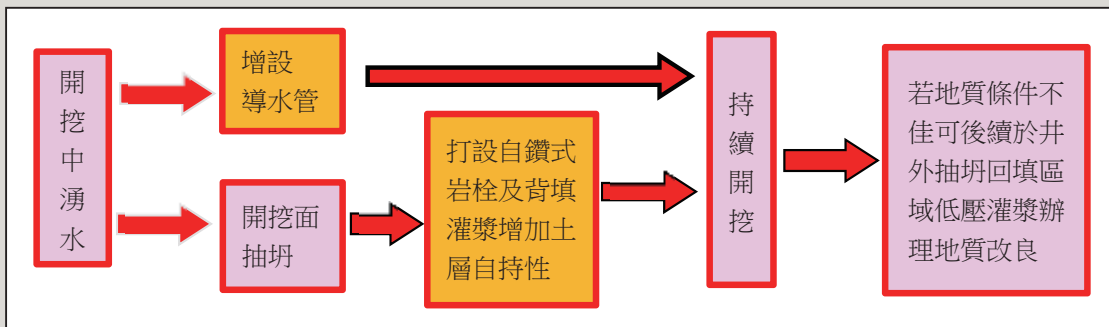


圖7 開挖階段遭遇湧水及抽坍時之處理

(二) 增設排水管：開挖階段於壁面增設排水管，在井基結構模板組立過程中預埋PVC管導水，並於中空處將井內積水抽離；其缺點為澆置時模板需配合開孔，因本標工程採用系統模板，因每次出水位置不同而難以配合。(如圖9、10)



圖9 排水管直接連接壁體安裝



圖10 模板配合壁體增設排水管開孔

(三) 經多次討論及參考其他工地經驗，上述2種因應方案皆無法適用於本工程，施工團隊最後以導排水處理方式，將「集水井原理」改良後，在兼顧提高施工效率、品質及人員安全條件下，於井內設置透水環溝，解決原理及步驟如下：

1. 井基開挖至設計底部高程後，沿外徑周圍再往下降挖深50cm、寬100cm之環型導溝及集水坑，環型導溝仍依開挖壁面辦理壁面鋼支堡及噴凝土作業，完成後並於環型導溝內設置透水軟管並鋪設透

水粒料，表面再包覆不織布，避免混凝土澆置時將透水粒料孔隙填實，此即作為「透水環溝」，並沿壁面設置背填灌漿管(PVC管)，詳圖11及12。

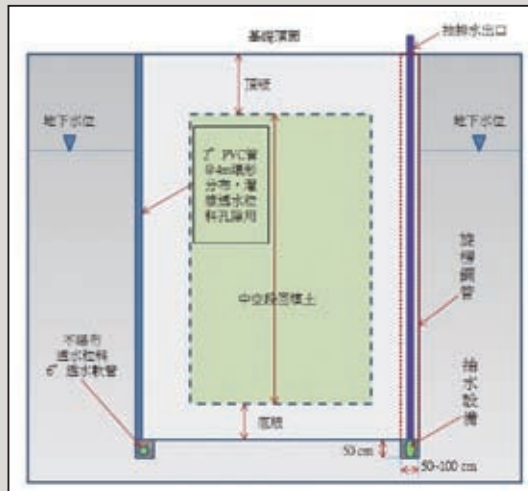


圖11 井式基礎透水環斷面圖

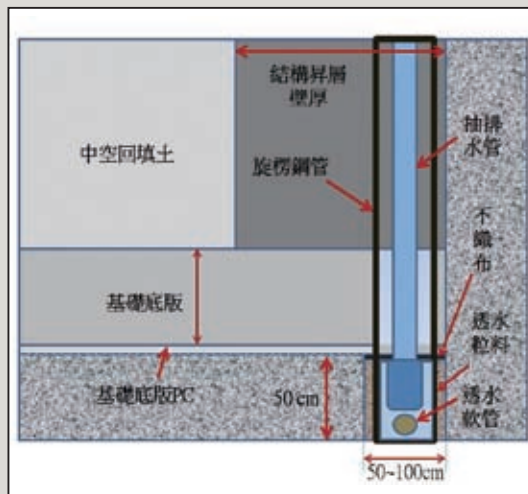


圖12 井式基礎透水環剖面圖

2. 於開挖壁面設置「導水板」，利用導水板將壁面湧水導流入井底設置之透水環溝內，再利用透水材料特性、將水量集中至集水坑。
3. 依湧水量、沿壁體設置直徑60cm或80cm之「旋轉鋼管」，旋轉鋼管底部埋入集水坑與透水軟管連接，即可將抽水機置於旋轉鋼管內進行抽水。

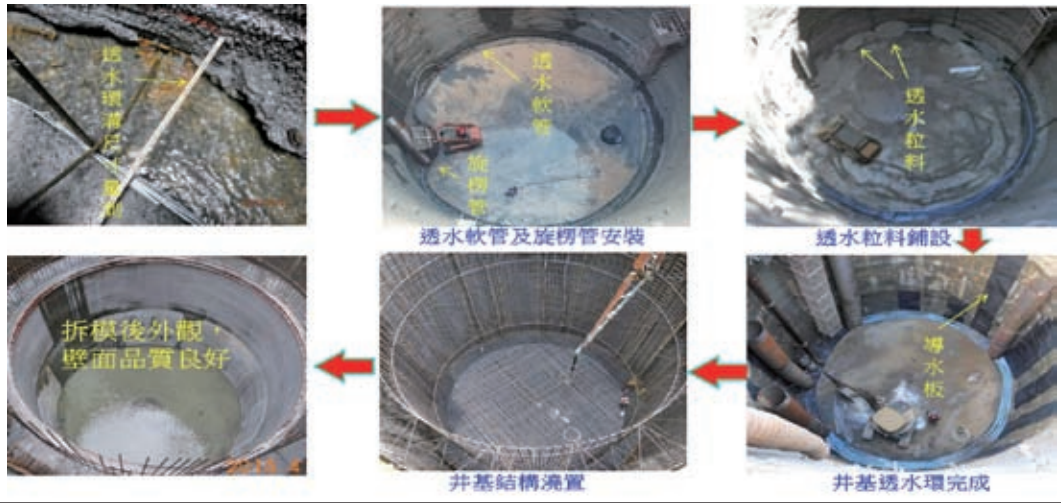


圖13 井式基礎透水環施工流程圖



圖14 透水環孔隙灌漿



圖15 灌漿時鄰近PVC管出水，顯示透水環未阻塞

4. 底層澆置50cm厚140kg/m<sup>2</sup>混凝土，並注意澆置時不織布覆蓋完善，不可讓混凝土流入透水環溝，以免影響導排水功能，完成後即可進行底版鋼筋組立，滲流水將持續自旋楞管內之抽水機抽出；另井基壁體結構施工時，將旋楞鋼管包覆其中，並於壁體結構施作高度高於地下水位時，即可將抽水設備完整取出，再將旋楞鋼管灌漿填滿。

5. 上述「透水環」方案可將湧水有效導排至集水坑並經由旋楞鋼管內抽水，使混凝土澆置工作面與湧水隔離，可確保混凝土品質，相關透水環施工流程如圖13。

6. 透水環溝後續由預埋之PVC灌漿管採低壓灌漿方式以水泥漿將孔隙填實。(如圖14、15)

## 二、透水環施工注意事項：

(一) 井基開挖完成後，須施作湧水量檢測，觀測地下水位與完成底版高程，判定是否需設置透水環。本工程參考施工說明書，「隧道工程」中特殊狀況第(2)項：【工作面滲出之流量大於每秒35公升(2.1噸/分鐘)連續24小時導致工作無法正常進行】，經會勘研議及考量實際抽水情形，以1.5噸/分鐘為設置透水環之標準，各墩井基湧水量統計如表5。

(二) 依據每分鐘滲水量判定透水環尺寸及抽水設備數量。(相關處理方式如圖16)



表5 各墩井基湧水量統計表

井基墩號	P29井基	P30井基	P31井基	P33井基	P34井基	P35井基	P36井基
湧水量1.5-5噸/分鐘	4.7	3.3	3.7	3.4	2.0	2.8	1.9
井基墩號	P37井基	P38井基	P39井基	P40井基	P41井基	P49井基	P57井基
湧水量1.5-5噸/分鐘	1.8	1.7	2.2	3.1	4.5	1.9	2.6
井基墩號	P52井基	P59井基	P60井基	P65井基	P68井基		
湧水量5-10噸/分鐘	5.6	5.0	5.3	5.8	5.2		
井基墩號	P12井基	P13井基	P14井基	P48井基			
湧水10-16噸/分鐘	16	12.3	13.5	10.7			

背填灌漿補強以增加開挖面土層自持性；開挖作業完成後，則在井基底部增設透水環，即可有效確保澆置時混凝土施工品質；本案例若與一般標案變更為實心井基方式比較，就功效率、施工性及費用等方面皆優於實心井基；透水環之原理，係為先行導水再集中排水，比

常用之封堵或點井方式更容易掌控湧水的流向及水量，並可避免封堵後地下水位上升造成噴凝土面側壓力增加而有抽坍之安全疑慮，施作時只須考量放置抽水設備之壁體尺寸，建議中空井基之壁體厚度至少需達1.2m，以提供旋楞鋼管安裝後有足夠之保護層；本案例可供日後相關工程設計時參考，將背填灌漿、透水環施作及相關抽水設備等項目、採「輔助工法」方式列入設計考量。

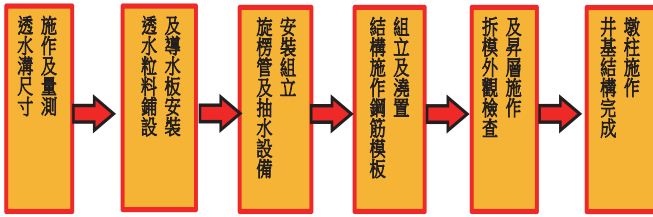


圖16 結構施工階段遭遇湧水之處理

## 伍、結語與建議

本標井基直徑大小及數量皆為國內罕見規模，且施工易受地質(如崩積層)及湧水等因素影響，通常在超過15HP抽水機能量以上之出水量(約1.5噸/每分鐘)，即會造成開挖面坍塌及混凝土澆置困難情形，相對進度及施工成本上亦會造成很大影響，尤以本標採用中空式井基，壁面出水發生於結構澆置時，產生澆置界面滲水將嚴重影響混凝土品質。

井基異常湧水發生時，採本【透水環方案】得以在混凝土灌漿時，有效區隔湧水影響品質之問題，並與一般以地質改良方式相比、成本相對較低，本案例可提供將來設計及施工時之參考，亦是本標克服井基異常湧水課題上之重要收穫。

台9南迴拓寬改善工程所遭遇最大困難，在於地質條件不佳，易因湧水造成基礎工程施工不易，為確保井式基礎施工品質，對於大量湧水之處理，於開挖過程中可打設自鑽式岩栓及

## 參考文獻

- 交通部公路總局台9線南迴拓寬工程專案介紹。
- 吳文隆等“國內井式基礎設計與施工案例介紹”，地工技術第143期，2014年。
- 台9線南迴公路安朔至草埔段C1橋梁標(0k+000~6k+300)新建工程，「井式基礎安全作業標準」。
- 台9線南迴公路安朔至草埔段C1橋梁標(0k+000~6k+300)新建工程「井基異常湧水處理報告書」。

# 大型倉儲建築之工期及經費分析—以國泰人壽台中烏日電子商務大樓新建工程為例

關鍵詞(Key Words)：物流(logistics)、倉儲(warehousing)、預鑄工法(precast method)、BIM、防火漆(intumescent paint)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／協理／鄧建華 (Teng, Chien-Hua) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／經理／潘其良 (Pan, Chi-Liang) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／副理／黃宗富 (Huang, Tsung-Fu) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／工務所主任／陳協良 (Chen, Hsieh-Liang) ❹



## 摘要

國泰人壽保險(股)公司與永聯物流開發(股)公司於2014年攜手啟動全台物流建設，規劃投入300億元於全台興建35萬坪物流倉儲設施，並以「物流共和國」為名佈建現代化物流設施及園區網絡。繼台北瑞芳、桃園大園兩園區共6棟大型倉儲陸續建置完成後，2016年持續於台中高鐵特定區內投資興建約25,350坪之「台中烏日電子商務大樓」，期為中部地區產業提供合法且高規格之物流設施，於同一個物流園區內形成跨產業物流整合平台，發揮集群資源共享效應。

大型倉儲主要收益來源即租賃收入，提前一日完工即可獲得一日出租收益，故對於業主而言，若可控制降低工程造价(節流)，或縮短工期提前營運(開源)，均可獲利、提高專案價值。

本文係以「台中烏日電子商務大樓」為例，探討類此大型倉儲/辦公展場建造費用合理性，並藉由不同工法達到工期縮短。



## Duration and cost Analysis of Huge warehousing-A Case Study of Taichung Wuri E-commerce building built by Cathy Life Insurance

### Abstract

Taiwan logistics construction was started by Cathy Life Insurance and Ally Logistic Property in 2014. 300 billion are planned to build 105,870 m<sup>2</sup> logistics warehousing facilities, and it was named "Logistics Republic." The modern logistics facilities and network are then set up. Following that 6 huge warehousing are built in Taipei Ruifang and Taoyuan Dayuan, "Taichung Wuri E-commerce building" has been invested to build in high-speed railway specific area of Taichung, which is 7,668m<sup>2</sup>. With this investment, hope to provide the middle of Taiwan a legal and high quality logistics facility. It form a cross-industry logistics integration platform and do a resource sharing.

The main source of revenue of huge warehousing is the rental income. If the engineering is completed one day ahead, a day rental income can be get. Therefore, for the owners, if the project cost can be reduce or the duration can be shorten, the revenue and project quality would be enhanced.

This paper uses a case of "Taichung Wuri E-commerce building" to discuss the rationality of the construction cost of similar huge warehousing/office, and how to shorten the duration by different methods.

3

專題報導



圖1 基地及鄰近環境現況圖



圖2 國泰烏日電子商務大樓3D透視圖

## 壹、工程概述

### 一、基地位置

基地位於台中市烏日區新高鐵段101及108地號之第二種產業專用區(圖1)，面積約37,055.92m<sup>2</sup>，地勢平坦。

本工程鄰近高鐵(烏日站)、台鐵(新烏日站)、捷運G17站(興建中)，以及台74線快速道路、國道一號(王田交流道)，交通發達，為設置大型倉儲之理想基地。

### 二、工程規模

- (一) 基地面積：37,055.92m<sup>2</sup>
- (二) 建築面積：16,506m<sup>2</sup>
- (三) 建蔽率：44.54%(法定60%)
- (四) 總樓地板面積：約83,800m<sup>2</sup>
- (五) 樓層數：地上7層，地下2層
- (六) 建物用途：倉儲/辦公室/展場

### 三、契約規定重要里程碑

- (一) 工程開工：民國(以下同)105年04月15日
- (二) 使用執照取得：106年07月31日
- (三) 工程竣工：106年08月16日
- (四) 建物點交：106年08月17日

四、構造：RC(鋼筋混凝土)、SS(鋼構)、SRC

五、團隊組織

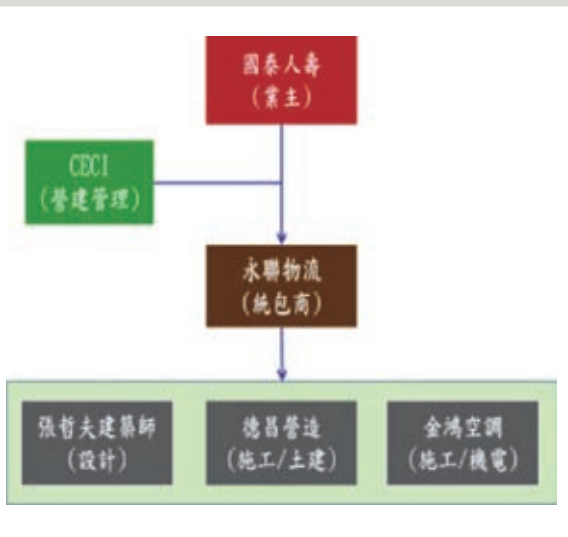
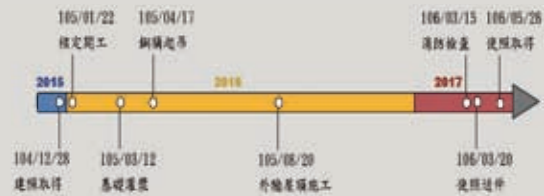


圖3 國泰烏日電子商務大樓新建工程團隊組織圖

## 貳、執行情形

### 一、施工重要里程碑

- (一) 建築執照(取得)：104年12月28日
- (二) 開工日期：105年01月22日(建管核定)
- (三) 樓板灌漿：105年03月12日(基礎)
- (四) 鋼構吊裝：105年04月17日(起吊)
- (五) 外牆施工：105年08月20日(彩鋼屋頂)
- (六) 使用執照(送件)：106年03月20日
- (七) 使用執照(取得)：106年05月26日



### 二、基地施工現況(每兩月)空中攝影

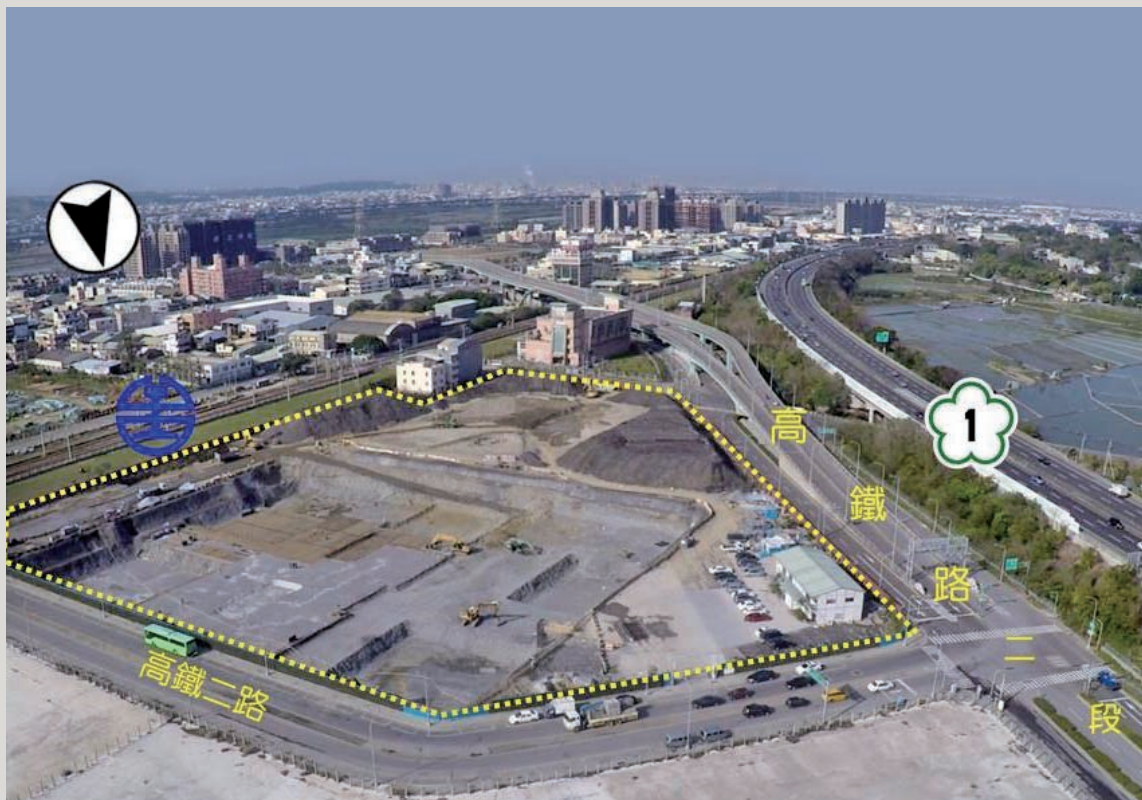


圖4 基地開挖整地空中攝影(105.02.28)

## 參、工期分析及檢討

### 一、工程執行情形比較分析

本案係由國泰人壽保險股份有限公司出資建設，永聯物流開發股份有限公司統包及負責後續營運管理，細部設計、土木工程、機電工程均由統包商自行遴選。



圖5 基地施工現況(每兩月)空中攝影

永聯物流開發(Ally Logistic Property)係由『霖園集團』投資成立之專業物流地產開發公司，該公司於北、中、南均有據點及投資，除興建中之烏日園區外，已陸續完成台北園區(瑞芳B3區、B5區、B6區、B7區、B9區)以及桃園區(大園基地)倉儲建設，桃園楊梅基地則於日前辦理開工。

茲臚列永聯物流倉儲/辦公室興建案例(含烏日園區共7棟)，包含工程造價、總工期、基地面積、總樓板面積、樓層數及構造如下表所示，主要比較項目如下：

(一) 基地面積：除瑞芳B7及B9分別為18,446m<sup>2</sup>及12,570m<sup>2</sup>外，其餘5棟基地面積均介於30,000m<sup>2</sup>至38,000m<sup>2</sup>之間(烏日園區基地面積排名第三)。

(二) 總樓地板面積：11,173m<sup>2</sup>~83,800m<sup>2</sup>(烏日園區面積最高)。

(三) 樓層：僅本案具有2層地下室，其餘6棟均為無地下室之地上3~5層建築。

(四) 構造種類：除本案及瑞芳B7區為SRC(鋼骨鋼筋混凝土結構)外，其餘均為RC(鋼骨鋼筋混凝土結構)+SS(鋼結構)。

(五) 工期：除B9園區工期僅7個月外，其餘6案工期均在12個月上下(11~14.5個月)(烏日園區工期14個月)。

由表1可知，本案(烏日園區)為7案例中整體規模最大(總造價最高、總樓地板面積最大)，並於台中卵礫石地層開挖約9m深之地下兩層地下室，且地下水位於地面以下約3m處，開挖土方量約7.3萬m<sup>3</sup>。

本工程受105年10月26日恩企實業防火漆事件影響，初步評估該事件導致施工延遲約1~2個月，爰自105年1月22日開工起至106年3月20日使用執照申請送件止，

表1 永聯物流倉儲/辦公室興建案例基本資料一覽表

工程名稱	照片/透視圖	總工期(月)	基地面積(m <sup>2</sup> )	總樓地板面積(m <sup>2</sup> )	地上樓層	地下樓層	構造種類
烏日園區		14	37,056	83,800	7	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>■SS</li> <li>■SRC</li> <li>■RC</li> </ul>
瑞芳B3區		12	34,720	45,149	4	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>■SS</li> <li>□SRC</li> <li>■RC</li> </ul>
瑞芳B5區		11	37,971	48,909	4	0	<ul style="list-style-type: none"> <li>■SS</li> <li>□SRC</li> <li>■RC</li> </ul>

接下頁↓

工程名稱	照片/透視圖	總工期(月)	基地面積(m <sup>2</sup> )	總樓地板面積(m <sup>2</sup> )	地上樓層	地下樓層	構造種類
瑞芳B6區		12.5	37,389	46,375	4	0	<input checked="" type="checkbox"/> SS <input type="checkbox"/> SRC <input checked="" type="checkbox"/> RC
瑞芳B7區		12	18,446	24,924	4	0	<input type="checkbox"/> SS <input checked="" type="checkbox"/> SRC <input type="checkbox"/> RC
瑞芳B9區		7	12,570	11,173	3	0	<input checked="" type="checkbox"/> SS <input type="checkbox"/> SRC <input checked="" type="checkbox"/> RC
大園區		14.5	30,122	43,557	4	0	<input checked="" type="checkbox"/> SS <input type="checkbox"/> SRC <input checked="" type="checkbox"/> RC

約14個月建造完成，若不採計前述事件影響，與其他案例比較，仍可謂十分快速，經檢討分析大致原因如下：

1. 本案總樓層設計高約34m、開挖深度約9m、地下室2層、樓層最大挑高9m(樓板採DECK施工)，無丁類危險性工作場所「建築物高度在50m以上之建築工程」、「開挖深度15m以上或地下室為四層樓以上，且開挖面積達500m<sup>2</sup>之工程」、「工程中模板支撐高度7m以上、面積達100m<sup>2</sup>以上且佔該層模板支撐面積百分之六十以上者」之適用，爰可減省丁類危險性工作場所評估、審查、修正之程序(一般約需2-3個月)。
2. 統包商所屬土建廠商(德昌營造)施工營建經驗豐富、動員能力強、後勤支援如

施工圖繪製、文件送審等期程掌握尚屬得宜。遭遇影響全台各大小工程之防火漆事件後，能迅速於一周時間內更換防火漆供應商，並於後續防火漆工作增派工班支援，將影響降至最低。

3. 本建案柱間距為12m、挑高達8~9m，樓層高度及較長之跨距均適合採用鋼結構施工，除鋼構件可於地下室開挖時同步於工廠預製，並可於現場快速安裝外，挑高樓板採用DECK施工亦可大幅節省一般架設重型支撐及拆除模板所需時間(圖6)。
4. 本案使用鋼構總噸數約1萬噸，能於短期內完成廠驗、施工製造圖繪製、鋼材進料、材料檢驗、加工、外觀尺寸查驗、成品運輸、吊裝、校正、高拉力螺栓鎖





圖6 挑高樓層之樓板採用DECK施工



圖7 監造、統包商、土建廠商三方會同檢驗及界面協調

固、電焊及檢驗、剪力釘植焊、現場塗裝及安全衛生...等工作，經驗豐富之專業廠商中鋼構亦功不可沒。

5. 本案工程團隊由統包商永聯物流(曾於本案前陸續完成6棟倉儲建築)、土建廠商德昌營造、營建管理台灣世曦等組成，爰統包商、營造廠、監造顧問均屬工程經驗豐富之工程人員，又本案業主為私人企業(國泰人壽)，無公共工程繁瑣之公文往返、工程查核、鉅細靡遺之各項查驗表單干擾，故工程人員較可全時投入現場工作、即時解決施工遭遇之問題。而各項文件送審、施工查驗、材料檢驗之流程係以三方會同(監造、統包商、土建或機電廠商，圖7)方式辦理，亦對施工進程頗有助益。

6. 基地地下水位於地表面下約3m處，最大開挖深度約9m(乙棟，筏式基礎，基地開挖情形如圖4)，因基地周邊未來設有植栽帶及人行道，故有足夠腹地可採明挖斜坡方式開挖地下室，大幅減省打設開挖擋土支撐時間。

## 二、工程執行情形檢討及建議

綜上所述，以本案基地面積 $37,056\text{m}^2$ ，總樓板面積達 $88,934\text{m}^2$ ，並具有開挖9m之筏式基礎，且受防火漆事件影響情形下，仍能於14個月完成土建/機電相關工程，相較於其他類似案例，建造效率可謂快速，惟由本工程案例發現，若為加速施工營建速度、縮短工期，仍有部分內容經調整後可予改善，概述如下：

- (一) 若於基地面積許可情形下，建議可避免開挖地下室，或減少開挖深度。

(二) 本案起造人(國泰人壽)、統包商(永聯物流)重視企業形象，故於歷次建案均採不同外觀、形狀、外牆材質設計，尤以本案外牆具有玻璃帷幕、複合式金屬板、條碼式彩色鋼板、金屬三明治板(如圖8)，相對將增加材料廠商送審、備料檢驗工作、施工界面、接合組裝...等並降低工率，其中，尤以複合式金屬板所需施工精度高，亦增加施工所需時間，若各案外觀採用標準化/模組化設計，則可提高施工效率、縮短施工工期，惟須與外觀設計理念取得平衡。

(三) 本案主要結構屬鋼構造，鋼構造表面後續應以防火材料包覆，以達防火1小時或2小時之時效，由於本案建築除辦

公室、展場外，主要仍為倉儲使用，不適合採用防火批覆(日久後容易產生剝落，易汙染倉儲貨架上產品)或防火板(樓層挑高施作防火板困難)，故而採用防火漆施工，惟本工程鋼構防火塗裝係採用水性防火漆，據了解國內供料廠商僅恩企實業(防火漆事件廠商)、永記造漆工業(虹牌)、柏林股份有限公司3家，除此之外，因水性防火漆需塗佈厚度及層數多(本工程塗佈最厚處達12層、共44mm，圖9)，因此施工噴塗、乾燥、再噴塗...等作業多道且十分耗時，亦影響後續工作進場。有鑑於此，考量防火漆用量大，未來建議可採用供料充足、厚度及層數相對較少之油性防火漆，減省防火漆塗佈作業流程，對於縮短工期亦有助益。



圖8 本案外牆設計採用多種材質組合

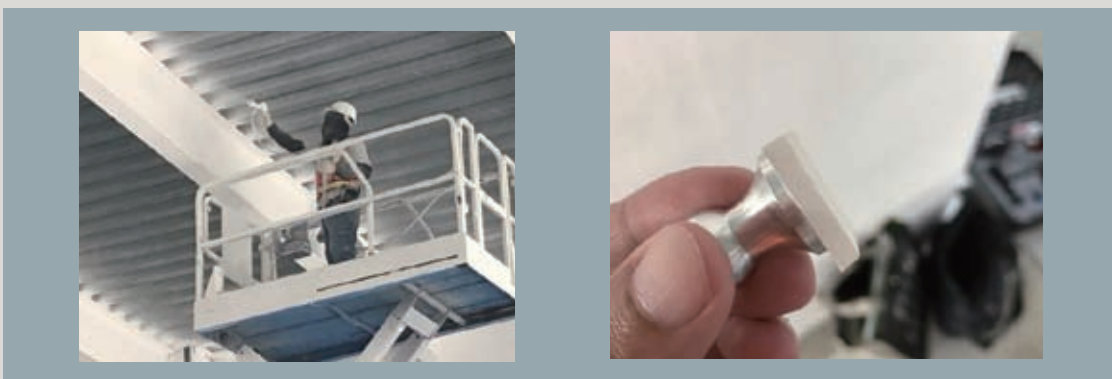


圖9 水性防火漆塗佈程序多道、最厚達12層(44mm)

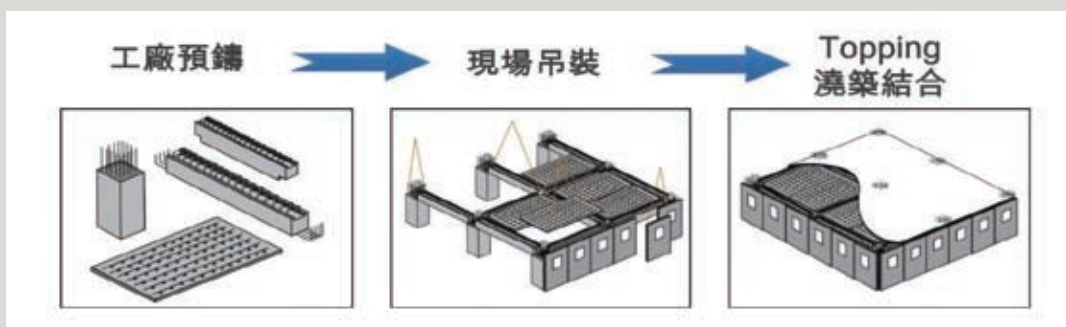


圖10 預鑄工法施工概要 (圖片來源：潤弘精密)

(四) 本案係由永聯物流統包，並將土建及機電分別交由德昌營造(土建)、金鴻空調(機電)承攬及施工，惟本工程雖有少部分辦公/展場區塊，建築內除排煙及部分排風設備外，整體倉儲並無空調設計，加以機電廠商因屬空調專業，且無此規模建案之機電承攬經驗，故於整體機電工程仍有進步空間。其於廠商資格文件送審、施工圖送審、進度核算、...等內業工作經常跟不上團隊進度外；現場組織動員能力、施工進度控制表現亦有待加強，另所屬團隊人員整體專業度、識圖能力、現場經驗不足，造成統包商於土建/機電廠商之介面整合上的困擾，亦對於整體工期造成影響。鑒於本案係屬私人企業投資興建，可不受政府採購法限制，爰未來若可依建案性質及需要遴選專業、適當、組織動員能力強之專業廠商(設計/土建/機電)，或將土建/機電整合，併入土建廠商內，應可大幅消除土建/機電各項施工界面，減少互相等待及協調工作，提升施工效率，縮短工期。

(五) 觀諸台灣部分大型電子廠建設，即使總樓地板面積達60萬平方公尺位於竹南科學園區之群創光電廠(2008/11)，或同為國泰人壽投資，位於台中地

區且與本案規模/建物類型相當之IKEA(2013/06)，其施工期均可壓縮於一年內完成，究其原因係因兩者均採用預鑄工法施工(圖10)，包括梁、柱、牆、板，均可於工廠預鑄，該工法具有下列優點：

1. 機械設備製造，作業標準化，技術工需求小，品質均一。
2. 採用鋼模精準生產、精密控制澆置與養護環境，不受天候影響。
3. 現場與工廠作業並行、且吊裝快速，無須模板支撐，可縮短工期。
4. RC預鑄無防火披覆或塗佈防火漆需要。
5. 整層吊裝完畢，即可短時間澆置樓板，並接續機電配管工作。
6. 結構、裝修、機電、設備同步施工，較鋼構快速。
7. 現場僅部分臨時支撐，施工動線佳，可提供各工種同步施工，且安衛管理容易。

本案若採用預鑄工法，即梁柱系統採用工廠預鑄、樓板仍採用DECK方式施工，初步評估，工期約可減少2~3個月，即自開工日起約11~12個月即可完工並申請使用執照。另外，比較預鑄工法及純鋼構工法之工程預算，以本案規模分析，兩者所需工程經費相當，且若鋼價上漲時，採用RC預鑄工法則相對純鋼構經濟。

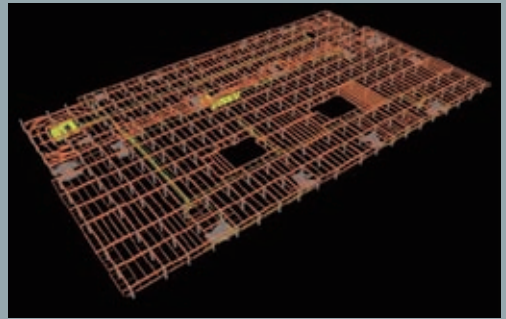
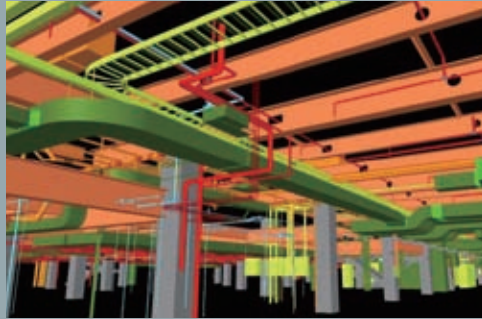


圖11 BIM導入工程管理



圖12 本案客貨升降機15座耗資4,700萬

(六) 引進BIM工具規劃設計及施工管理(圖11)：結構工程為建築物之骨幹，建築裝修、機電、設備等各項工程均有界面關係需於施工前整合，若於規劃階段即導入BIM工具協助執行界面整合協調工作，透過3D模型干涉碰撞檢討衝突、空間大小及管線施工順序，進而透過BIM模型交付管材預製、裁切後運送至工地組裝，除可大幅減少現場量製及裁切施工作業時間外，亦可有效降低現場因發現問題或衝突之停等修改時間，對於減少施工工期及降低現場調整變更設計情形發生均有助益。

## 肆、工程預算及造價分析

### 一、契約每坪單價分析

在工程預算分析方面，本案總樓地板面積約25,350坪。

茲取本工程各分項工程項目總價貢獻較高項目分析(共40項，契約複價加總約佔總工程費46%左右)，並依市價填入之後，每坪造價較契約總價提高約新台幣5,000元左右，建築需要數量較可觀之貨用升降機，故本工程計15座客/貨梯(圖12)耗資約佔每坪單價約新台幣1,800元。

承上，再比較總樓地板面積24,000坪，作為供出口倉、進口倉與快遞倉使



圖13 建築內部分區域規劃為辦公室/展場使用



圖14 建築主要空間係供倉儲物流使用

用，總工程經費新台幣1,810,000,000元之「華儲航空貨運站改擴建工程」，其每坪造價約75,000元。

## 二、經費減省分析

本案建物主要用途除部分為辦公室及展場外(圖13)，主要係用於倉儲使用(圖14)，故建築設計內容如結構(屋頂、外牆、梁柱系統、基礎)、內部裝修(除基本隔間如辦公室、機房、展場、梯廳、廊道、廁所)、機電設備(自來水池、儲水池、消防池、發電機、排煙/排風設備、電力設備、弱電設備、消防、污排水)、民生必需(廁所)、運輸設備(客貨梯、升降板、鋪面)、景觀(植栽、人行道)、地坪(僅梯廳、廊道、廁所等具石材或石英磚地坪，倉儲區僅採用金鋼砂整體粉光地坪)、天花(廊道、廁所)，均為建築

基本使用目的需要之基礎設施，若擬靠裝修或設備減省經費之空間十分有限。

承前節，本案外牆為求美觀，同時具有玻璃帷幕、複合式金屬板、條碼式彩色鋼板、金屬三明治板等材質(圖8)，鑒於複雜的外牆設計除可能增加施工界面及施工工期外，亦可能增加工程預算，若透過更換外牆材質(統一使用單價較低之三明治烤漆鋼板)，可減省工程費，僅佔總工程費約0.58%，惟替代方案將導致建物外觀缺少變化。

綜上，經比較契約工作項目市價、類似案例，本案每坪造價應屬合理，且本工程相關結構、設備、裝修...等設計已屬基本、必要項目，未有過多華麗高級之建材消耗，甚至無冷氣空調設備，僅利用自然排風方式通風。本案僅

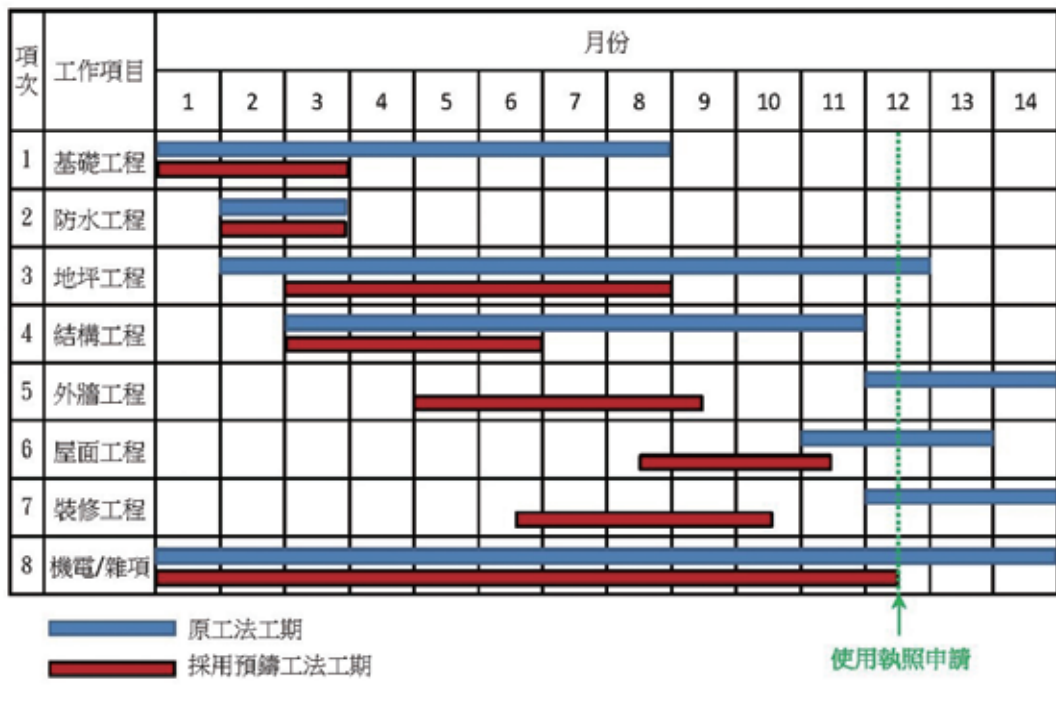


圖15 原工法/預鑄工法比較施工網圖

主體結構工程及統包設計費即佔總工程費用之55%，爰以鋼構件為主要結構之倉儲/辦公室/展場案而言，工程經費預算可壓縮空間有限。

每坪租金約600~800元/月、出租率35%計算，提前2.5個月完工仍可增加可觀之租金收益。

### 伍、結語

本工程係以倉儲為主之建築，各類機電管路多採明管設計及施工，除可減少預埋工作外，亦利於管路之維修保養，故未來可考量採用RC預鑄工法(RC梁柱、鋼DECK)施工，其對於縮短工期，具有正面效益(原工法/預鑄工法比較施工網圖詳如圖15)。

### 參考文獻

1. 永聯物流開發股份有限公司，「倉儲/辦公室興建案例基本資料一覽表」。
2. 潤泰營建集團，「預鑄工法介紹簡報」。

另一方面，雖然類此工程建造預算壓縮空間有限，惟考量倉儲/辦公空間租賃即本案完工後主要獲利來源，故對於業主而言，提早完工1日，即可多1日租金收入，本案若採前節預鑄工法建議，初估約可縮短工期2~3個月(取平均2.5個月分析)，以本案總樓地板面積約25,350坪、



3

專題報導

# 臺中捷運綠線聯合 開發案於卵礫石層 深開挖施工實務

關鍵詞(Key Words)：臺中捷運(Taichung Rapid Transit)、聯合開發(Joint-Development)、  
卵礫石層(Gravel Formation)、深開挖(Deep Excavation)、  
祛水(Dewatering)、擋土樁(Retaining Pile)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／協理／鄧建華 (CHIEN-HUA TENG) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／計畫經理／萬立偉 (LI-WEI WAN) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／正工程師／顏君行 (CHUN-HSING YEN) ❸





## 摘要

臺中捷運綠線於G5、G6、G8a、G9-1、G9-2及G11等站共規劃6棟土地開發大樓，其規模為地下5至7層，開挖深度為23-36.75m，預估未來為地上18-35層之鋼筋混凝土或鋼骨鋼筋混凝土構造，其中G9-1開挖深度約37m，為目前臺中最深之深開挖工程。

臺中都會區地層屬卵礫石層，剪力強度及透水性高，深開挖工程特性與其他地層差異大，因材料強度高，側向土壓力對於擋土支撐造成應力較低，壁體變形較小，地表水、地下水或其他水源之滲流控制，為深開挖之重點。本文討論設計階段開挖擋土工法規劃及考量，另於施工期間則以祛水、開挖支撐與監測計畫為重點討論項目，並說明施工挑戰與因應對策，希望可藉由此案例分享，提升卵礫石層深開挖施工安全性與工程技術。



## The Case Study of Deep Excavation in Gravel Formation of Taichung Green Line Rapid Transit System Joint Development

### Abstract

There are six jointed-development plans, G5, G6, G8a, G9-1, G9-2 and G11 respectively in Taichung green line rapid transit. The buildings scale with 5 to 7 floors and excavation depth from 23 to 37m. The future for the ground 18-35 floors of reinforced concrete or steel reinforced concrete structure. In this plan, the excavation depth in G9-1 is almost 37 m, it is the deepest excavation project in Taichung so far.

The geology in Taichung is gravel formation, the shear strength and permeability are high, the lateral earth pressure for the retaining support is lower, and the deformation is small. The deep excavation characteristics are differ from others formations. The control of surface water, underground water or other leakage water are the key points during the deep excavation construction. This paper discusses the main points of deep excavation in planning and design, also the dewatering, excavation support and monitoring program during the construction period, and illustrate the challenges and countermeasures. With sharing this study, we hope the construction safety and engineering technology of deep excavation in gravel formation could be improve and better.

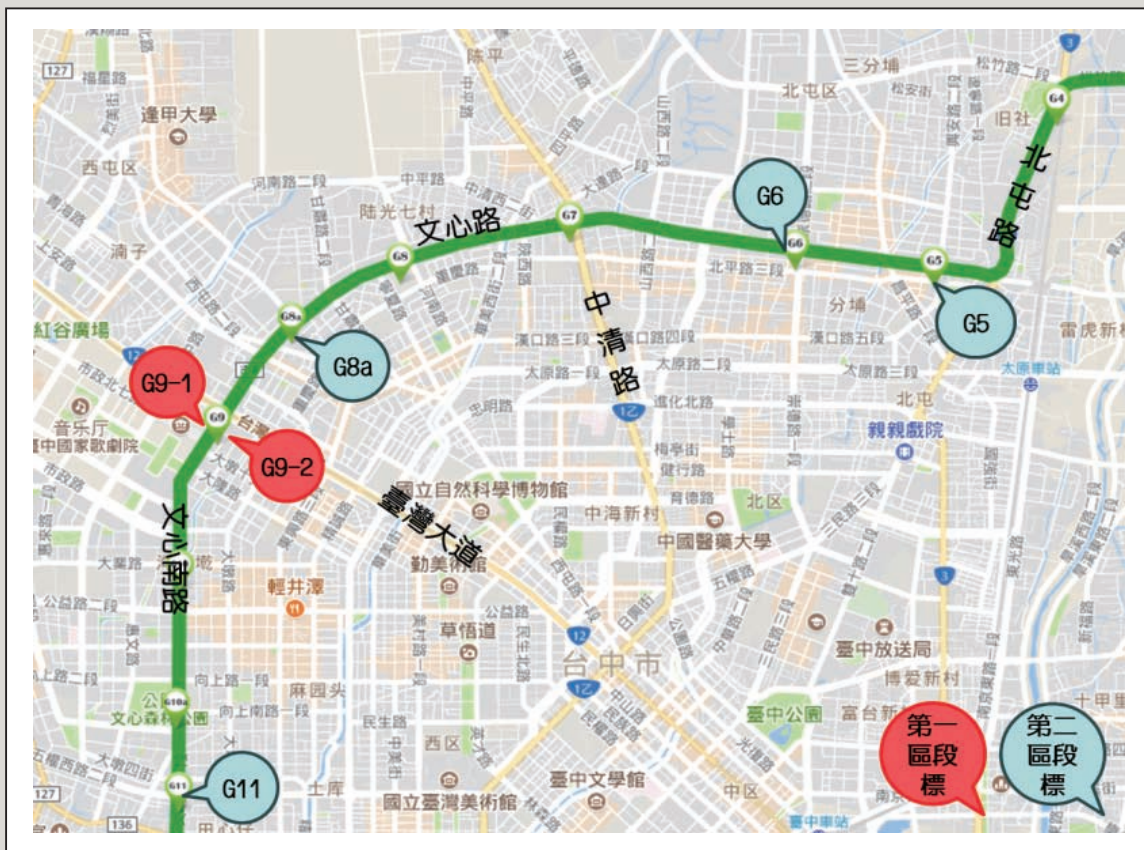


圖1 臺中捷運聯合開發場站位置

## 壹、前言

### 一、聯合開發計畫說明

臺中都都會區近十多年來於社會經濟環境、都市開發與交通運輸環境均有大幅成長，並於民國106年8月正式成為國內人口數第二大城，僅次於新北市。配合捷運綠線聯合開發案規劃各車站出入口需有效透過土地聯合開發方式取得相關所需土地，以降低對工期及建造成本影響，並活絡周邊環境生活機能與品質，本公司本次辦理捷運綠線G5、G6、G8a、G9-1、G9-2與G11站聯合開發大樓規劃設計與施工監造專業技術服務，為增加地下停車空間，必須往深開挖一途前進，目前於臺中卵礫石層，普遍開挖深度約為20m以內，近年來因市區高樓興建案例增多，開挖至30m的深開挖案例也越來越多，而本次各站聯開案規畫開挖深度於23-36.75m間，

其中位於臺灣大道與文心路口的G9-1站更是深達約37m，為目前臺中市最深的深開挖建築案列，各站位置與站體模擬如圖1與圖2所示。

### 二、臺中卵礫石層特性

一般而言，卵礫石層材料強度影響主要以粒徑級配分布、含水量與礫石堆積方向性為主，當卵礫石層當礫石含量大於65%以上，材料內摩擦角與礫石無直接關係，與礫石強度有直接關係，本案周邊卵礫石層礫石含量約達80%以上，屬於內摩擦角高之地層材料，且礫石含量越多，尖峰抗剪角越大，彈性模數也越大；含水量越高，材料濕潤，其剪力強度降低，內摩擦角亦隨著飽和度或含水量之增加而減小，另於礫石長軸堆積方向性對強度也有相當影響，此為卵礫石層具有相當異向性之結果。



圖2 各站模擬圖

表1 G9-1基地地層分布概況

土層層次	平均分布深度 (GL.-m)	SPT-N (平均N值)	$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )
SF1	2.1	-	-
SM (CL/ML)2	3.5	3~18(7)	1.83
GM3	45.0 (最大鑽探深度)	>50	2.20

本次聯開案卵礫石層礫石比例約在75-90%間，填充料為屬粉砂質材料，卵礫石因顆粒排列之互鎖效應，使開挖後自立性極佳，卵礫石間的填充料可視為內視凝聚力來源，此凝聚力將大幅影響卵礫石層穩定性，開挖面周邊若有水源滲漏，可能來至地下水、地表逕流水或地下管線滲漏水，對於整體材料強度參數敏感性影響甚大，不可輕忽。

## 貳、深開挖規劃設計考量

### 一、補充地質鑽探

不同分區之卵礫石層可能因粒徑、填充料或是整體組成百分比差異有很大的強度落差，因此於規劃設計階段即規定各站於施工前皆須

再進行詳細補充地質調查鑽探，瞭解基地實際地層狀況。其中以G9-1基地補充鑽探為例，鑽孔於鑽探最大深度(45.0m)，土層分布情況如表1所示。

### 二、祛水計畫

祛水計畫為深開挖施工前重要的施工計畫之一，本工程於施工過程中因G8a與G9-1案例較為特殊，故以此兩站進行介紹。

G8a站：本站地下水位約為-5.9m，總開挖深度為27m，本次深開挖施工於工區內共布設75HP馬力抽水井5口，皆為38m深、管徑75cm。

G9-1站：本站地下水位約為-6.5m，每階開挖面應將地下水位降至開挖面以下至少1m，總開挖深度為36.75m，降水須將地下水位降至-37.75m以下。本次深開挖於工區內共布設30-50HP馬力之抽水井共23口，含70m深，管徑40~80cm之50HP馬力抽水井3口、60m深，管徑60cm之50HP馬力抽水井11口與48m深，管徑60cm之30HP馬力抽水井9口。

G9-1站因降水深度較深，施工廠商於祛水計畫撰寫期間，為確保祛水成效，再次進行現地抽水試驗，釐清工區地層滲透係數，以利規劃抽水井數及排水量。設計階段G9-1站祛水計算所採用之地下水位深度為-10m，但施工前廠商於基地內所測得之地下水位深度為-6.63~8.26m，研判為設計階段鄰近有建案進行降水作業，故水位較低。

然施工期間之待降水量增加，超出工區周邊原規劃之既有排水系統負荷，故另行規劃專屬臨時排水路徑銜接鄰近大排放流，排放期間應每日巡檢排水路徑上路面有無滲水或濕潤，避免路基遭掏陷產生凹洞而影響用路人安全。

現階段G9-1站開挖至24m深，惟於祛水期間，即使地下水位已降至開挖面下，但於部分開挖處仍有滲水，另於G8a站於祛水期間，即使各抽水井皆已將水位降至底部，但於人工擋土樁施工時，位於深-16m處即有水源入滲。此兩站之現象應屬地層夾有不透水層導致上方含水層留存，經與當地專業抽水廠商討論，於工區鄰近多處建案地下室開挖皆有遭遇相同情形，滲水深度分布不定，但因滲水處與開挖面高程相同，無水頭差壓力，可透過鑽設導水管方式將水體導入固定集水區或抽水井後排出工區，對開挖壁體應力影響較小。

故於深開挖前務必再次詳細調查補充鑽探資料，若能發現及早發現夾水層亦可預先準備，加速開挖工率；另務必再次確認周邊排水設施路徑與承容量、周邊排水溝渠是否淤積與漏水、周邊地下管線種類與分布情形，避免影響後續祛水與開挖進度。

### 三、深開挖擋土工法

臺中都會區開挖擋土壁工法自民國75年以後曾應用包括連續壁、全套管樁、鋼劈礫、人工擋土樁及機械擋土樁等工法，各工法比較如表2所示。經過市場二十餘年之考驗，目前人工擋土樁工法為主流，其他工法則因工率差或價格高等因素而成為次要選擇。針對臺中卵礫石層之工程性質及擋土樁於深開挖工程中之比較如表2說明。

### 四、深開挖規劃設計

建築工程一般採順打或是逆打工法為主，本次施工為聯合開發案初期計畫，地下室開挖較深，但地上樓層現階段僅施作3-4樓，故採順打工法提升工程品質並節省工程經費。另本計畫部分工區原始建築配置極靠近地界線，考量公共工程之指標意義及各種擋土樁工法潛在風險後，本計畫盡可能以全套管樁施工方式取代人工擋土樁，將人工挖掘需求減至最低。然而，全套管基樁外緣至少需約2m以上空間，又因擋土樁體較厚，勢必減少地下室使用空間，為不影響開發效益，本計畫採國內首次設計之半圓形擋土樁，減少擋土壁體厚度，部分聯開大樓基地面積狹小且緊臨鄰房，則仍需採用人工擋土樁以貼近地界線。本案各站資料、開挖深度、全套管擋土樁與人工擋土樁配置如表3所示。

在無水條件下，擋土樁後方側向土壓力可透過拱效應傳遞至擋土樁，而開挖表面之局部張力區與塑性區土壤推測將會於開挖過程產生鬆動，應盡速封面保護，以免受擾動擴大，規劃設計階段之擋土樁後方側向土壤應力分布如圖3。

表2 卵礫石層深開挖擋土工法比較

工法	優點	缺點	案例
連續壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 止水性佳、勁度高，適用較深之開挖</li> <li>● 區域外不必降水</li> <li>● 可作外牆，地下室空間最大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 遇到大卵石須引孔或衝擊等方式排除</li> <li>● 施工費用最高</li> <li>● 進度差，需24hr施工，振動噪音擾民安寧</li> </ul>	龍邦世貿大樓(1988)，開挖深度22m，連續壁總面積5500m <sup>2</sup>
全套管樁	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 品質佳，勁度高</li> <li>● 施工速度快</li> <li>● 中部高架橋基礎案例多</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施工費高，區外須抽水</li> <li>● 遇大卵礫石須採抓斗或重錘產生噪音振動</li> <li>● 無法緊貼地界施工，減少地下室使用空間</li> </ul>	臺中捷運聯合開發案。
鋼劈礫	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施工速度快，費用低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 振動噪音嚴重，僅適用於20m以下之開挖</li> <li>● 遇大卵石處理費時，嚴重影響進度</li> <li>● 區域外降水</li> </ul>	長榮桂冠酒店。
人工擋土樁	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 屬低噪音、低振動工法</li> <li>● 採人工進入狹小柱坑內挖掘，基地內可同時展開多組工作面</li> <li>● 臺中地區民間建築基地案例多</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 人工擋土樁曾發生柱坑坍塌掩埋工班意外</li> <li>● 需進行區域降水</li> </ul>	遠百購物中心(2009)，開挖深度27m 聯聚中庸商辦大樓(2017)，開挖深度29.1m
機械擋土樁	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 屬於低噪音、低振動工法</li> <li>● 土方開挖與擋土樁可併行施工</li> <li>● 費用低廉，工率佳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 開挖後再作擋土樁，土體位移大</li> <li>● 需進行區域外降水</li> <li>● 若工地小，工進將受影響</li> </ul>	臺中生活圈第C704標(2010)開挖19.5m，為公共工程採用此工法之首例

表3 各站體規模與擋土設施表

站體	基地面積	樓層	設計開挖深度(m)	擋土設施
G5	長約46.2m 寬約34m	地上3層/ 地下5層	25.4	47支半圓擋土樁 § 1.5m@3.0m, L=28.4m 9支半圓人工擋土樁 § 1.2m@2.4m, L=28.4m
G6	長約48.9m 寬約40.6m	地上3層/ 地下5層	25.65	46支半圓擋土樁 § 1.5m@3.0m, L=28.65m 17支半圓人工擋土樁 § 1.2m@2.4m, L=20m
G8a	長約45.5m 寬約44.5m	地上3層/ 地下6層	27.15	32支半圓擋土樁 § 1.5m@3.0m, L=30.35m 27支半圓人工擋土樁 § 1.2m@2.4m, L=30.35m
G9-1	長約122.5m 寬約69m	地下7層/ 地上4層	36.75	86支全套管擋土樁 § 1.5m@3.0m, L=40.75m 30支全套管擋土樁 § 1.2m@3.0m, L=40.75m
G9-2	長約92.5m 寬約63m	地下5層/ 地上3層	27.1	104支半圓形擋土樁 § 1.5m@3.0m, L=30m
G11	長約55.5m 寬約39m	地上3層/ 地下5層	23.5	44支半圓擋土樁 § 1.5m@3.0m, L=26.5m 25支半圓人工擋土樁 § 1.2m@2.4m, L=26.5m

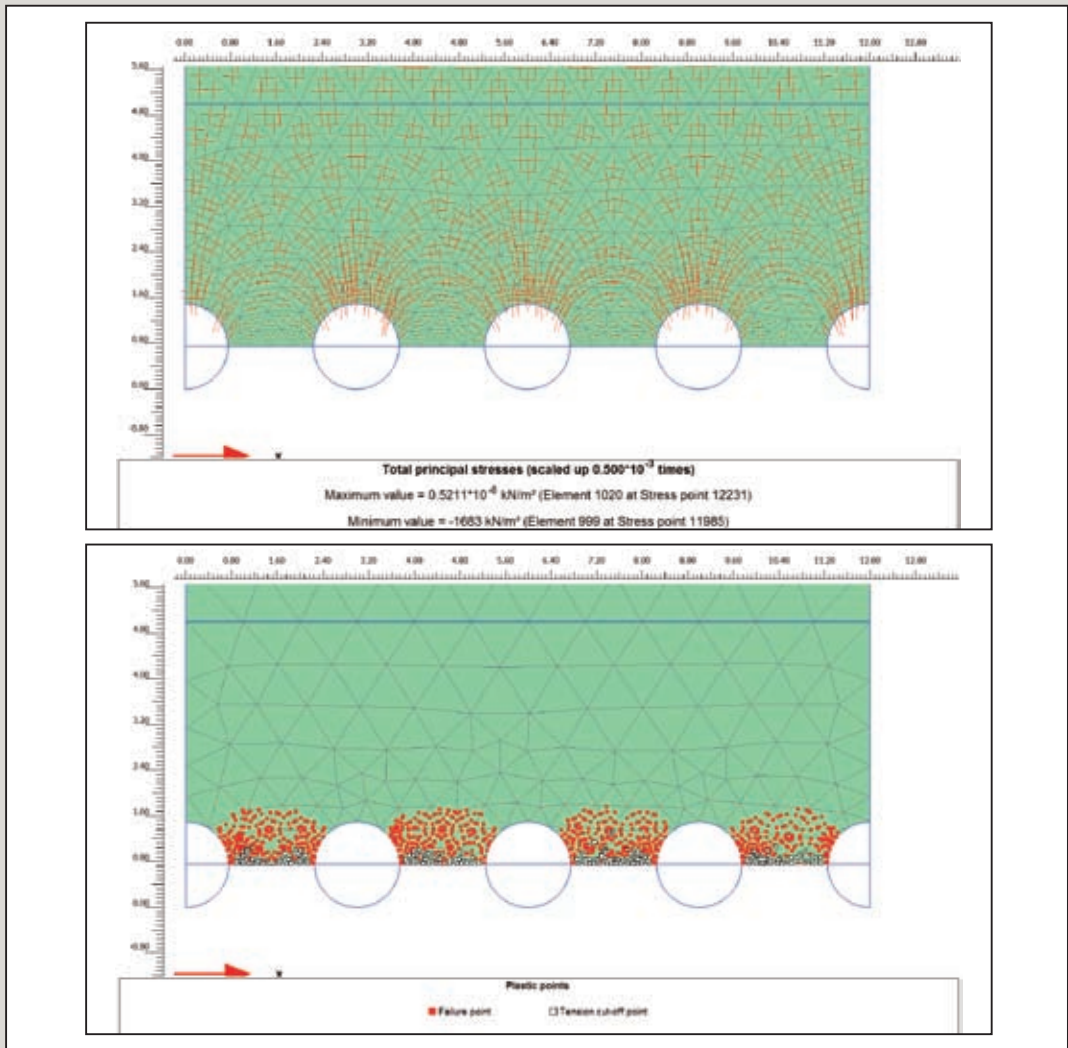


圖3 擋土樁後方側向土壤應力狀態(上：拱效應應力分布，下：張力區分布)

## 參、擋土工法與深開挖施工

### 一、人工擋土樁

傳統人工擋土樁雖有其優勢，但對於施工人員的保護性不足仍是最大的隱憂。本次人工樁設計提出精進改善方案，並邀集專家學者參與進行原型測試，加強保護措施，如於坑口設置RC地坪、挖掘面澆漿與定距設置混凝土護圈、增掛消能設施與待閉空間等，整體保護措施方案如圖4所示。

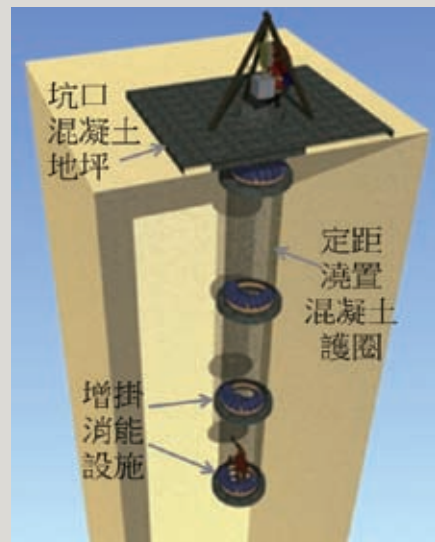


圖4 人工樁精進改良方案

表4 半圓形全套管擋土樁施工工率分析表

施工項目	時間(hr)	施工項目	時間(hr)	總時間(hr) (以G9-2站深度為例)
擋土樁位置定位	1.0	鋼筋籠吊放與搭接	3.5	
擋土樁鑽掘	10.0	特密管吊放	1.0	
垂直度檢測	1.0	混凝土澆置與礫石回填(含拔套管)	5.0	
沉泥處理	1.0	空打段回填、機組移機	2.5	25



1. 半圓形鋼筋籠製作



2. 兩側EPE U型條包覆



3. 鋼筋籠底部包覆帆布



4. 全套管擋土樁鑽掘



5. 超音波垂直度檢測



6. 半圓形鋼筋籠吊放



7. 半圓形鋼筋籠主、箍筋搭接



8. 半圓形鋼筋籠背板焊接



9. 特密管吊裝



10. 混凝土澆置



11. 礫石過篩(網目10cm\*10cm)



12. 礫石傾倒槽準備



13. 礫石回填



14. 套管拔除  
(9→10→12→13交互施作)



15. 完成  
(左：礫石側；右：混凝土側)

圖5 半圓形全套管擋土樁流程施工

## 二、半圓形全套管擋土樁

半圓形全套管擋土樁施工流程與全套管擋土樁大致相同，惟於鋼筋籠製作、吊裝與搭接、混凝土澆置、礫石回填與套管拔有所差異，亦為施工與監造之重點。詳細施工工率分析如表4所示，擋土樁工班每日約施工10小時，半圓形擋土樁施工工率可維持每2.5日完成1支，各施工流程如圖5。另因半圓形擋土樁鋼筋籠於套管中形狀不對稱，在澆置混凝土期間須與礫石回填分層分區互相取得套管內的兩側平衡，避免鋼筋籠偏心傾倒而卡住全套管，造成套管無法拔除或鋼筋籠上浮之情形。

全套管與半圓形擋土樁完成面如圖6，可以明顯發現全套管擋土樁斷面明顯凸出，而半圓形擋土樁完成面平整，可使地下結構外牆再外推，增加地下室使用空間。

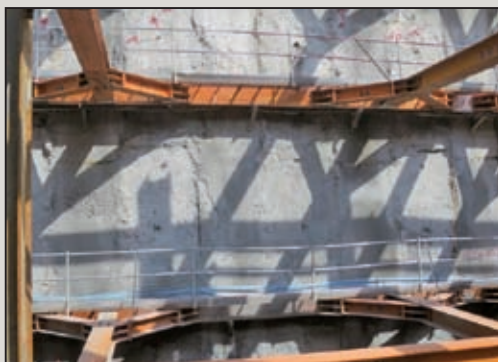


圖6 G9-1全套管擋土樁(上)與G9-2半圓形擋土樁(下)完成壁面

## 三、順打工法與擋土支撐

因本次聯合開發案為配合臺中捷運綠線通車之捷運設施先期工程，除地下室外僅施作至地上結構物3-4樓，無採用逆打工法之效益，故採用順打工法進行施工，一般而言相較於逆打工法，順打工法對於開挖出土與地下結構施工工作性佳，且無柱牆接頭縫隙，施工品質控制容易。在完成擋土樁與中間樁後，陸續進行開挖支撐與壁面保護作業，於106年8月G9-1站正開挖至第6層，深24m(36.75m/共9層)處，已完成5層支撐，現況照片如下圖7所示。



圖7 G9-1開挖擋土支撐現況(第五層支撐-深24m)

擋土支撐施工期間為確保整體壁面穩定性，除一般常見開挖支撐注意要點外，以下針對深開挖重點項目進行說明：

- (一) 洩水管：洩水管於噴漿時，經常受噴凝土影響，導致洩水管歪斜、朝天(洩



水方向錯誤)或遭漿體包覆而失去作用，應預先加以保護與確實固定，另於管底須確實與背後地層裸露面接觸，並維持不織布濾層完好，避免卵礫石間細粒料流失，於壁面噴漿保護施工後，務必全面逐一檢查，並改善功能缺損之洩水管。若壁面仍有濕潤或滲水情形，則建議直接進行增設橫向排水管鑽孔，導出壁體後方水流，減少壁後水壓，以維持穩定。

- (二) 開挖工序：隨著開挖深度加深，側向土壓力持續增加，在超過20m之深開挖中，中央土方挖除後，應採行分區開挖，每次開挖長度控制於20~30m，並於開挖後盡速進行掛網噴漿保護，開挖後若未能立即掛網噴漿，則應先預留土心壓重(如圖8)，預防開挖面產生內擠，並減少樁間土壤張力區裸露時間。



圖8 未能立即掛網噴漿之開挖區先預留土心壓重

- (三) 坍塌應變：施工中若遭遇持續滲水、細粒料流失甚至有樁間局部坍塌狀況，應立即暫停開挖，將坍塌區預留排水管後進行背後回填灌漿，因卵礫石層災害屬突發性災害，不如一般土層有變形跡象可循，故千萬不可忽視小規模之坍塌。另可透過地球物理探測方式瞭解周邊地層是否有疏鬆或空洞，必要時由地表鑽孔進行低壓灌漿

固結，並於灌漿前注意工區外用地取得、地下管線位置、灌漿體入滲破損地下管線、灌漿對現有支撐以及現有抽水井之影響等因素。

## 肆、深開挖挑戰與對策

### 一、地下水、地表逕流水與地下管線滲水

在深開挖工程中水是最大的挑戰，於設計中，規劃縝密之祛水計畫，於各階開挖之前須先完成祛水作業，確保地下水位已低於開挖面，因此抽排水之規模將隨著開挖深度而增加。除工區內需規劃縝密與詳細的抽水井能量、數量與位置布設外，因排水量龐大，聯外排水系統的流向、承容量體、是否淤積阻塞或破損皆為相當重要的議題，須於進行祛水前完成詳細之調查作業。

開挖與支撐施作期間，更需注意地下水位高程與壁面是否有滲水或濕潤情形，地下水需透過抽水井處理，於施工期間掌控度較高。另於地表水部分，通常量體不大，但須避免地表水由壁面後入滲，形成水流通路而從開挖面流出，因此於擋土樁繫梁完成後，需將土方於繫梁外側充分回填，避免空洞留存而使水流入滲。

另於地下管線滲水部分最為棘手，若遭遇連位置都無法確認之不明管線滲水，而使水流從壁面直接滲水進入工區，可能產生長流線路徑，再加上長時間作用，將導致卵礫石大範圍細粒料流失，使擋土樁後方卵礫石材料失去凝聚劑，造成壁面更大的側向土壓力，於開挖時若無法立即進行掛網噴漿封面保護，則可能造成壁面坍塌危害。

### 二、開挖與擋土支撐

本次擋土支撐採用全套管與人工擋土樁，間距為樁直徑，柱間將有裸露開挖面，在設定無地下水的前提下，主要側向之土壓力均已由卵礫石層的拱效傳遞至擋土樁上，裸露面土壓力應相當微小，但卵礫石層屬於顆粒狀地層，非連續性材料，若有其他地表滲流水入侵，仍有可能導致細粒料流失，而導致柱間開挖面局部崩落狀況。

上述情形特別在全套管擋土樁開挖的第一、二階開挖，因全套管施工之擾動，使地表沖積層、回填層等非原土層更為鬆散，於開挖初期須特別注意擋土樁後方地層是否有掏空空洞，若有發現應立即回填處理，避免造成後續開挖更大影響。

### 三、監測儀器項目與配置

監測儀器為預防災害發生的首要對策，但因卵礫石層屬於非均質不連續材料，不如黏土層有沉陷或側向變形之跡象可循，往往若產生破壞，從變形產生到致災可能在短時間內就立即發生，因此有效之監測配置在卵礫石層之深開挖中就更為重要。

以開挖深度最深的G9-1站為例，水位計、水壓計與支撐應變計採用自動化連續監測，隨時有效掌握主要水位數據與支撐受力情形，但於支撐應變計方面，因擋土樁與樁間掛網噴漿壁體剛度差異較大，且卵礫石層中擋土樁側向變形量較小，而緊貼擋土樁之形鋼支撐所受到的應力傳遞也相對較小，若僅由支撐應變計觀測數據，恐無法真實反映真實壁面狀況，建議仍應每日目視巡檢壁面，了解實際狀況。

若工區有鄰近建物，於施工前須對建物進行完善之現況調查，避免後續施工鄰損之爭議；於施工中則須對建物規劃詳細的觀測，如沉陷、傾斜與裂縫等監測儀器。另因一般地表沉陷觀測點通常設置於路面或人行道上，本次

工區周邊人行道因厚度較厚，若人行道下方有沉陷現象，透過一般沉陷觀測點無法立即反應數據，因此本次監測增設淺式沉陷計，透過外套管鑽過人行道鋪面，將沉陷計底部直接固定於人行道下方土層，以利及時反映地層狀況。

### 伍、結論與建議

- 一、人工擋土樁施工安全經改良方案實作後，在進度控制、工程成本與安全性提升等方面仍具高度競爭力，希望藉由本次案例經驗降低外界對其施工風險的疑慮。但人工樁施工安全仍仰賴第一線施工人員安全意識與施工經驗，增設之安全設施只能降低風險發生的影響程度，因此讓施工人員適應改良型作業方式與危機意識才是人工樁零工安的關鍵要素。
- 二、半圓形擋土樁為國內工程首例，施工人員初期不熟悉作業訣竅，造成混凝土澆置及礫石回填施工時程不易掌控，經多次嘗試皆已克服，並達成規劃每支2.5日內完成之工率，且半圓樁具相當之經濟效益，可達到節能減碳、增加建物可使用空間與減少公帑支出等目的，以G9-2站為例，即可減少約462ton碳排放量，地下室每層可增加使用面積約228m<sup>2</sup>，並減少新台幣730萬元之混凝土工程經費支出。
- 三、在無水狀況下，卵礫石層地質材料強度甚佳，理論上深開挖工程可行性應相當高，但應審慎防止其他地表水或是基地周邊之地下管線漏水，避免滲漏導致細粒料流失而衍生其他災害，若於施工中發現有大量且持續性的不明滲水情形，應暫時停止冒進之開挖作業，應先行研判水源為何，若判斷為局部夾層地下水體，可透過鑽設導水管方式將水體導入抽水井導出，對開挖影響較小；若為地下管線滲漏，應立即通知相關管線主管機關進行會勘釐清滲水權

責，並盡速進行修復止漏。

- 四、乾燥之卵礫石層材料强度高，側向土壓力較小，往往水平擋土支撐預壓力已大於主動土壓力，在水平支撐上的支撐應變計警戒值與行動值一般設定為設計載重(側向土壓軸力)之90%與125%，此警戒值與行動值皆低於水平支撐系統之型鋼材料容許荷重，建議應可適度調整放大，避免監測儀器數據常有超標，卻仍屬安全狀況之不合理情形。
- 五、卵礫石層深開挖期間擋土樁變形量較小，若由監測儀器發現變形量有成長趨勢，即使尚未超越警戒值，仍須預先處理與加強觀察。另柱間噴凝土壁體屬柔性結構，因壁面鋼線網具延展性，除非大規模破壞，否則應不易有立即破壞現象，於開挖期間壁面仍應每日加強目視巡檢，觀察是否有壁面凸出變形或滲水，以確保施工安全。
- 六、開挖施工前應執行補充地質鑽探，瞭解工區地層材料分布，及早因應各項突發狀況；另於祛水執行前則應再次確認1.周邊排水設施路徑與承容量、2.周邊排水溝渠是否淤積與漏水、3.周邊地下管線種類與分布情形，若有設施損壞，應通知主管機關進行修復與清淤作業，以釐清權責，若必要時建議可由施工廠商直接作業，避免影響後續開挖與祛水進度。

經上述各項討論，深開挖風險隨著開挖深度增加使得風險影響程度持續加劇，於開挖完成到筏式基礎施工之前為深開挖風險最高階段，祛水系統或擋土支撐系統不允許任何狀況產生，務必於開挖初期將所有風險因子詳列並予以檢討排除，對後續開挖安全性與效率則可大幅提升。本案將持續配合密切注意後續構造物開挖監測作業與半圓形擋土樁之應力應變情形觀察，並將監測數據加以分析並回饋至設計端，以期後續臺中卵礫石層深開挖技術提升與設計成果最佳化之目標。

## 參考文獻

1. 「JYG091臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第一區段標工程」G9-1、G9-2土開大樓補充地質調查計畫。
2. 「JYG091臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第一區段標工程」G9站-1&G9站-2全套管擋土樁施工計畫。
3. 「JYG051 臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第二區段標工程」半圓全套管擋土樁施工計畫。
4. 「JYG051臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第二區段標工程委託監造服務」監造計畫。
5. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，捷運烏日文心北屯線土地開發場站共構設計委託技術服務案地質鑽探報告，2013。
6. 張吉佐等，台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討，地工技術，第55期(民國85年6月)，P.35-46。
7. 褚炳麟等，台灣西部卵礫石層現地之大地工程性質大地工程性質，地工技術，第55期(民國85年6月)，P.47-58。
8. 許琍婷等，2017，臺中都會區深開挖擋土工法之挑戰與突破-以臺中捷運土地開發大樓為例，臺中捷運烏日文心北屯線成果發表會規劃設計施工成果研討會，P56-64。
9. 行政院勞工委員會，1997，卵礫石地區開挖安全問題之探討。

# 桃園機場捷運 潛盾隧道施工 遭遇大卵石之 障礙排除

關鍵詞(Key Words)：潛盾機(Dive shields)、潛盾隧道(Dive shields)、地下障礙物(Underground obstructions)、障礙排除(Obstructions)、修復作業(Repair operations)

交通部高速鐵路工程局／捷運工程處／簡派工程司／郭林堯 (Kuo, Lin-Yao) ①

交通部高速鐵路工程局／捷運工程處／主任／巫新煌 (Wu, Shin-Hwang) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／副理／汪子翔 (Wang, Ammon) ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／計畫工程師／廖文彬 (Liao, Wen-Ping) ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／營建管理部／正工程師／李承翰 (Li, Cheng-Han) ⑤

## 摘要

基於都市景觀日受重視，地下工程之覆蓋深度增加，且市區施工對噪音及交通維持之要求日趨嚴格；遂使潛盾隧道成為一般位於沖積層或洪積層都市區域維生捷運系統施工之工程主流；惟潛盾之施工遭遇地中障礙物時，輕者停機排除障礙，重者須進行潛盾機修復，其結果常造成工期延滯，甚至造成隧道線形變更之情形。本文藉由桃園機場捷運中壢延伸段CU04標實際潛盾掘進遭遇未預期大卵石障礙物之案例，從事件發生原因、後續障礙排除處理方式，做一詳實報告，以供工程界參考。



## Taoyuan Airport MRT tunnel construction encountered obstacles to the removal of large pebbles

### Abstract

Based on the Increasing attention of urban landscape, Increased the coverage depth of underground engineering, and the urban construction was Increasingly strict in noise and traffic maintenance. Therefore, Bored tunnel Engineering became the Construction mainstream for MRT construction in the alluvial layer or flood layer city. However, when encountering obstacles in the ground, the contractor may need to stop its work or to repair the shield machine. This situation often delayed construction and may need to alter alignment. This paper illustrates a case of unanticipated large pebble obstacle during excavation of the CU04 lot of Taoyuan airport express transit project, from its occurrence to the follow-up obstacle elimination, etc. as a reference for engineers in similar projects.

3

專題報導

## 壹、工程概要

本計畫係臺灣桃園國際機場聯外捷運系統延伸至中壢火車站之建設計畫，工程範圍起自桃園市中豐路與環北路口之機場捷運環北站(A21站)南側，沿中豐路採地下南行，至中央西路與中豐路口永興公園附近設置老街溪站(A22站)，續直行至中山路附近東轉穿越民宅下方至中正路，後沿中正路至目前臺鐵中壢火車站後站之健行路下方設置與未來臺鐵中壢火車站共站之中壢車站(A23站)。路線全長約2.06 km，共設置2座地下車站，車站間路線係採潛盾工法施作。本計畫CU04施工標之工程範圍如圖1所示。

### 一、潛盾隧道

本CU04施工標潛盾隧道型式為內徑5.6m單圓雙孔左右並行，覆土深度在10m~20m之

間，共分為三段：(1) A21車站沿中豐路至A22車站，長約793m，本段路線縱坡平緩，其間設置連絡通道1處；(2) A22車站至橫渡線間，長約680m，本段路線平面最小曲率半徑150m，縱坡最大達4.5%，部分線形將穿越建築物下方，其間設置連絡通道1處；(3)橫渡線至A23車站，長約126m，本段路線平面最小曲率半徑100m，縱坡平緩，部分線形穿越中壢火車站及台鐵軌道下方。有關潛盾隧道施作範圍及長度如圖2所示。

### 二、地質概況

本計畫路線沿線之地層由上而下分為表土層、礫石層與大南灣層，地下水位於地表下3~5m之間，潛盾隧道主要位於砂岩或泥岩層(大南灣層)，因大南灣層砂岩或泥岩有遇水軟化的地質特色，故採密閉型土壓平衡式潛盾機型進



圖1 CU04施工標工程範圍

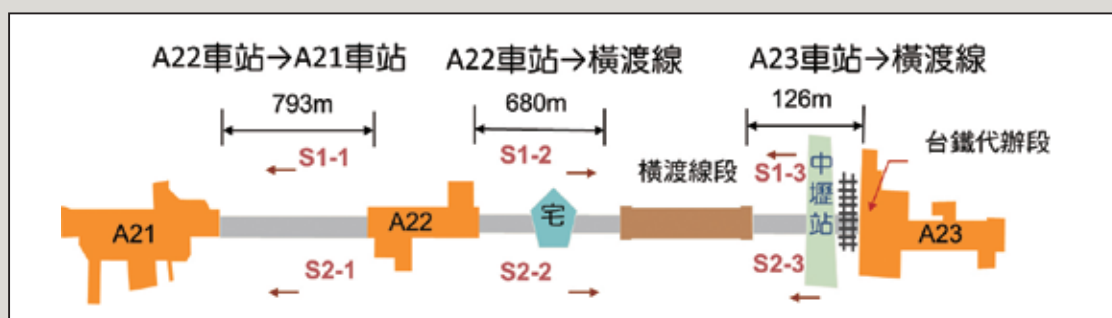


圖2 潛盾隧道施作範圍

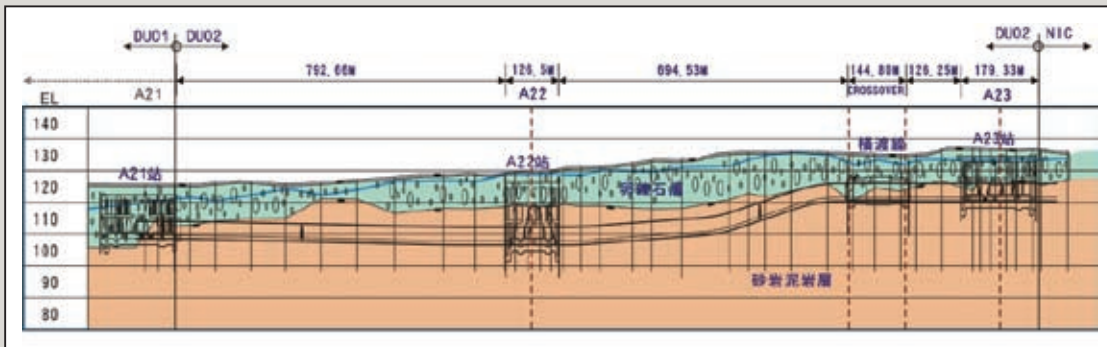


圖3 工址沿線地層剖面

行隧道施工。本計畫施工範圍之地質分佈如圖3所示。

### 三、潛盾機選用

為因應本工程之複合地層特性及土體性質，且須因應急轉彎路線，本工程潛盾機在設計考量上，除具一般正常功能外，尚需具備如盾首灌漿、機上灌漿、可中折等。另為因應卵礫石層鑽掘，切刃轉盤以大開口率設計(如圖4所



圖4 大開口率潛盾機

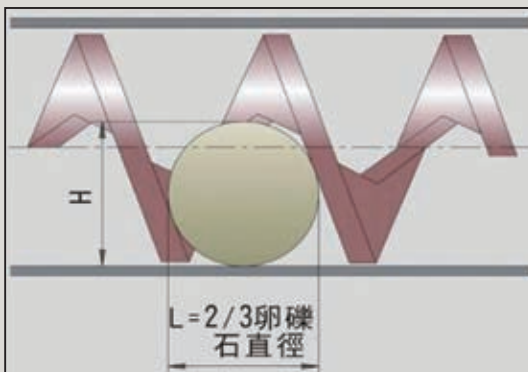


圖5 無軸型式螺運機

示)，儘可能使直徑 $\leq 60\text{cm}$ 的卵礫石，在不予以破碎情況下能直接進入土艙，再利用無軸型式螺運機(如圖5所示)排出。又，為防止土艙內土石方凝結堵塞，另於土艙室加設固定式及轉動式攪拌棒。

### 四、潛盾機發進或到達前之地盤改良

潛盾機出發或到達時，都須面臨鏡面破除之問題，為確保其施工之安全性，均須於工作井擋土壁外進行地盤改良，使潛盾機穿破鏡面時，周圍之改良體能夠提供足夠之強度與止水性，以避免水、砂併同潛盾機破鏡湧進站體。本工程採用雙環塞低壓灌漿工法(如圖6所示)，將灌漿材料以低壓劈裂或滲透方式注入地層中，填充地層中之孔隙將地層予以固結，藉以強化地層之強度且降低其透水性。由於潛盾機總長(含切刃端至盾尾端)為8.39m，為使潛盾機切刃穿出地盤改良區前，盾尾後方環片能夠安裝並完成背填灌漿作業、且為利於鏡面止水



圖6 雙環塞低壓灌漿

封圈外周能完成止水填塞，本工程潛盾發進與到達端之地改範圍尺寸係設置為長10.5m×寬24.5m×高13.65m，如圖7所示。

## 貳、事件發生過程及緊急處理

### 一、事件發生過程說明

本工程A22車站往橫渡線上行線潛盾隧道係於民國(以下同)106年5月25日完成鏡面二次破除進行初期掘進作業，惟於5月27日進行臨時環片R7掘進時，遭遇非可預期之卵石(如圖8所示)。經初步研判，可能為連續壁施工時，卵石被擠到連續壁外側所致。續於5月28日掘進至臨時環片R8時(潛盾機頭推進土體約1.5m)，除出現零星45cm卵石外(如圖9所示)，並於出土時閘門發生噴發情況(如圖10所示)，致使切刀盤及螺運機轉動不順暢且土倉壓力無法控制。現場雖調整加泥材配比提高濃度，但仍無法抑止閘門噴發現象，乃不得不緊急關閉閘門，並停機停止掘進作業。

### 二、對周遭環境影響衝擊及緊急應變處理

停機後於土倉內灌注皂土，惟經過長時間灌注，潛盾機土壓計數據仍無明顯提升。經研判係有孔洞產生使土倉內加泥材流失，爰廠商隨即採取緊急應變措施，於鏡面上方進行止水灌漿填補孔洞(如圖11所示)，同時進行路面沉陷測量(如圖12所示)及地面灌漿作業(如圖13所示)，以防止路面沉陷，確保上方道路交通安全。

### 參、事件原因研討分析

由於本工程潛盾出發端位於砂岩層，潛盾機出發區域應不會出現大型卵石，惟潛盾機進

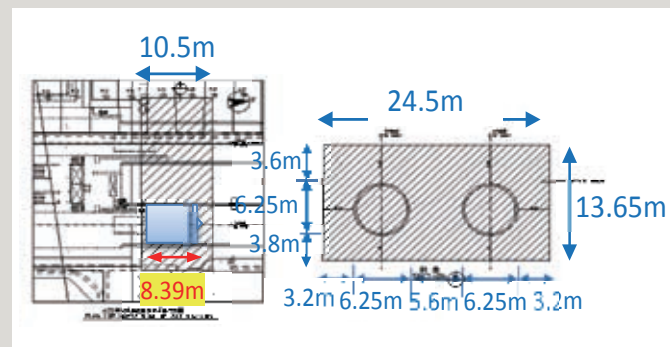


圖7 地盤改良施作範圍



圖8 掘進時出現卵石



圖9 排土含水量提高



圖10 開閘門發生噴發





圖11 鏡面上方水平灌漿

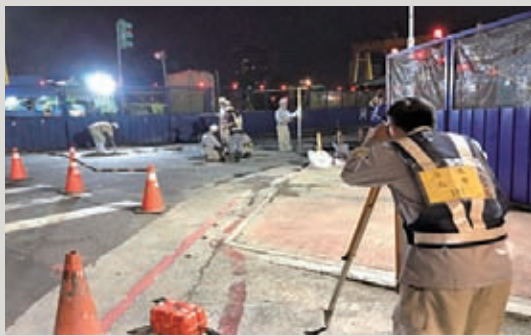


圖12 路面沉陷測量



圖13 砂漿填補地層孔洞

入地盤改良區僅1~1.5m即遭遇大卵石，因潛盾機土艙內因進入過多卵石，使驅動部荷載過高，導致切刃盤無法轉動而停機。經評估潛盾機掘進擠壓地改區時，雖採小於5mm/min之緩速推進避免擾動改良土體，惟該改良土體區仍因水路產生造成噴發情形導致土體流失，使地改區上方約2.6m處之砂岩產生淘空現象，進而將砂岩層上方礫石帶下至潛盾機前方(如圖14所示)。經研判其水路形成之可能原因說明如下。

### 一、地盤改良完成後閒置時間過長

該地盤改良於104年6月完成，106年3月方開始進行水平試水及鏡面一次破除作業，期間A22車站潛盾工作井區在開挖及支撐過程反覆加壓、解壓，造成連續壁與地改區有擾動情形，使得連續壁與地改土體間產生縫隙。

### 二、連續壁鏡面破除作業產生震動

當地盤改良閒置過久，其完整性效果已有所折損，而後續進行連續壁鏡面一次破除時又直接擾動，致土體與連續壁間之縫隙擴大而形成水路。

### 三、鏡面水平試水時未能探測出地下水路

鏡面水平試水係於鏡面一次破除前進行，該測試時各測室孔皆能符合滲透係數 $k < 1 \times 10^{-5}$

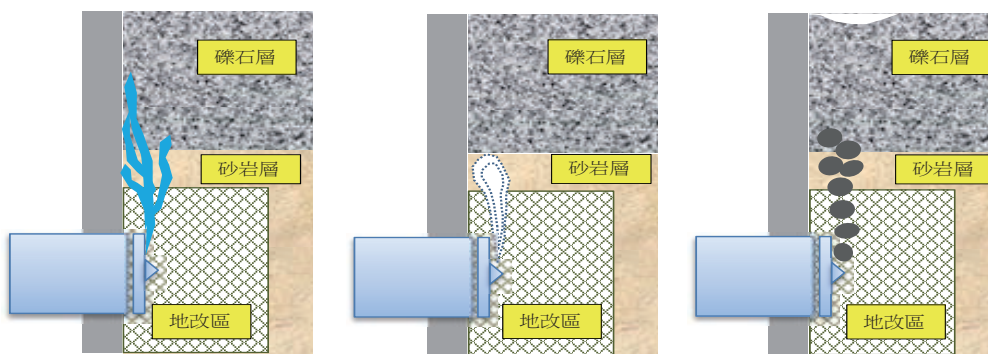


圖14 形成水路→土砂流失淘空→礫石帶下及路面沉陷順序示意圖

cm/sec之試驗規定(鏡面框內測試5孔，鏡面框外測試9孔，如圖15所示)，另在二次破除前(連續壁僅剩約40cm)亦再次探查測試亦符合規定。惟因該等測試均屬於抽查性質，極可能未發現局部有異常之情形。

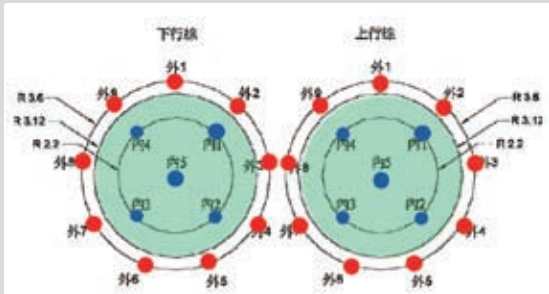


圖15 連續壁鏡面一次破除前水平試水

### 肆、潛盾機障礙排除

因噴發情形使得土艙內土渣細粒料流失，導致土艙內卵礫石含量過多，使潛盾機推力、切刃盤之扭力及軸承密封溫度均升高，最後造成驅動荷載達到安全保護上限而強制停機。為於後續再啟動潛盾機掘進作業，必須先解決排

土時所產生的噴發情形，並將土艙內障礙物(大卵礫石)清除，俾潛盾機驅動荷載不致過大，使潛盾機可恢復正常轉動掘進作業。

土艙內障礙排除係分為兩種方式：一為不開艙處理方式，採置換方式增加細粒料，以降低卵礫石含量比例；另一則為開艙處理方式，採人工進入土艙將卵礫石清除處理。

上述潛盾機二種障礙排除方式皆有施行，其過程分述如下：

#### 一、水路封堵(水平止水灌漿)

因水路產生導致地改區上方之砂岩層土壤及更上方之礫石層卵礫石掉落。如不先將水路封堵，後續螺運機排土時仍會造成噴發；故水路封堵為首要工作。經查該鏡面上方於連續壁施作時有坍孔情形(如圖16所示)，推測該鏡面上方應屬

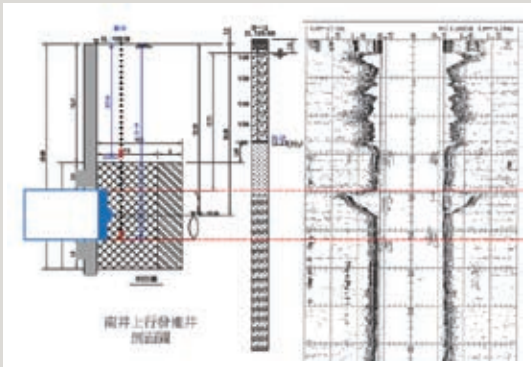


圖16 連續壁超音波探測圖

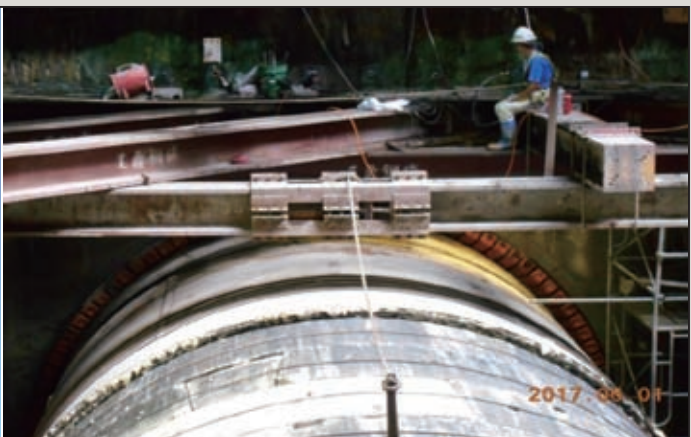
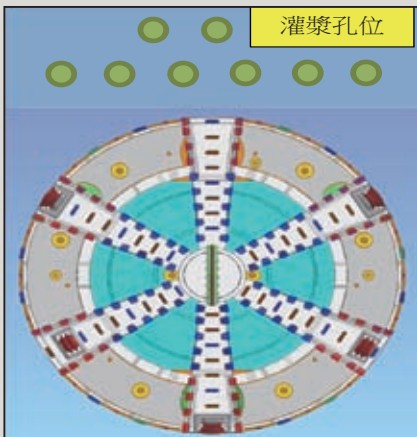


圖17 水平止水灌漿位置分佈圖

弱帶面，即為水路產生之位置，故從該區位實施封堵水路之水平止水灌漿作業，共計施作8孔，鑽孔位置約位於連續壁外2.5m，如圖17所示。

## 二、土倉卵礫石數量評估

確認止水效果後，再利用探桿插入土倉面板18處注入孔(如圖18所示)以評估卵礫石的數量。經初步評估，土倉內之卵礫石約佔土倉容量(30m<sup>3</sup>)之75%(約22.5m<sup>3</sup>)，沉積高度約達潛盾機面板高之2/3左右，已完全將切刃盤與驅動部間之6個支撐軸卡住，致使切刃盤無法轉動。



圖18 土倉卵礫石探查



圖19 螺運機二次閘門

## 三、螺運機二次閘門製造與安裝

為有效防止閘門打開時發生噴發情形，又要使礫石能夠順利排除，乃於原閘門後方加裝二次閘門(如圖19所示)。其程序為：螺運機排土時將前方閘門(原閘門)打開，後方二次閘門關閉，俟兩閘門間填滿礫石土壤時，再將前方閘門關閉、後方二次閘門開啟，將兩閘門間之礫石土壤排出，如此重複切換閘門開啟作業以排出土石並防止噴發(如圖20所示)。

## 四、土倉內卵礫石清除

一般土倉內卵礫石之清除較不考慮風險高之開倉處理方式，故初始係以土石方置換方式於土倉面板之18處注入孔(固定式注入孔8處，擺盪式注入孔10處)反覆循環將可塑性黏土注入土倉內，以增加細粒料含量、降低土倉內卵礫石含量使土倉內的土碴恢復塑性與可流動性，俾擠壓土倉內之卵礫石由排土口經螺運機排出；排土過程中須隨時注意土倉壓力變化情形(如圖21及圖22所示)。

該方法使用之初確實可順利排出卵礫石，惟其後效果逐漸遞減，卵礫石排出量逐漸減少；經過8天作業實際土倉內卵礫石僅降約至土倉一半高度(排出約7.5m<sup>3</sup>的卵礫石量)，其後之置換效果漸趨於零。經研判，土倉內尚有約15 m<sup>3</sup>之卵礫石堆疊成緊密結構，須將其破壞後方可排出；經施工團隊研討結果，改採高壓沖洗(水刀切削)方式將底部卵礫石沖散，以一沖一

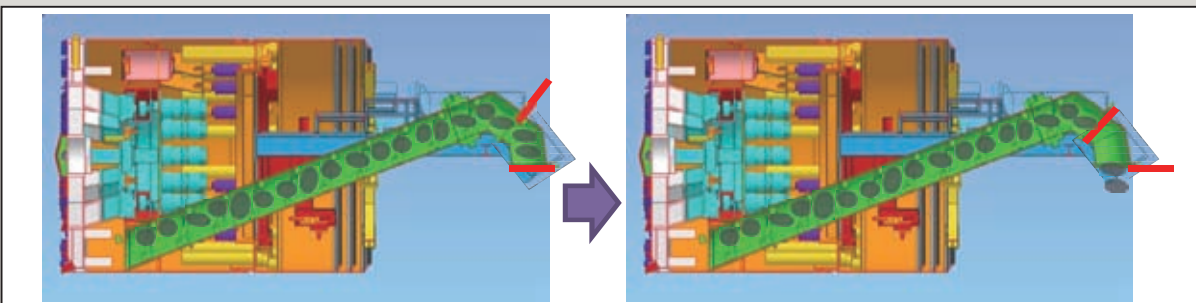


圖20 螺運機前後方閘門切換順序

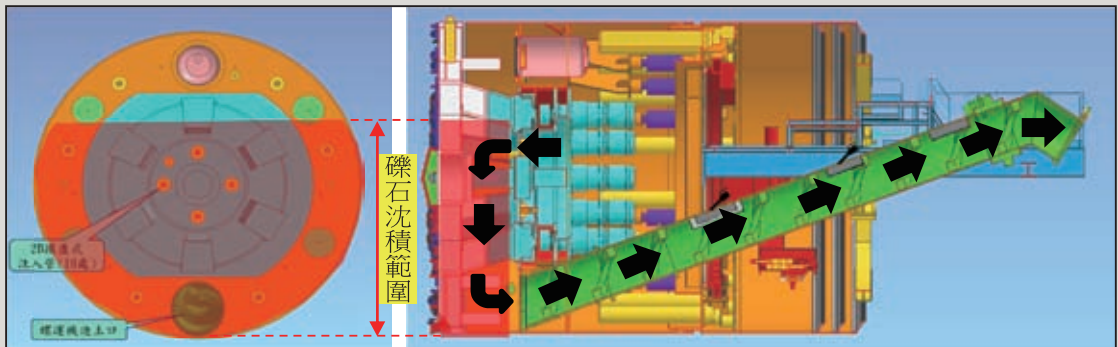


圖21 注入可塑性黏土擠壓置換卵礫石排出



圖22 注入可塑性黏土及螺運機排土作業

吸方式破壞該卵礫石堆疊結構，並於沖吸同時填充可塑性黏土於卵礫石縫隙，增加卵礫石潤滑度，再配合螺運機排土以期能將礫石順利排出；惟經過5天高壓沖洗排出結果，終僅排出零星約 $1\text{m}^3$ 之卵礫石，潛盾機切刀盤仍無法轉動。最後經各方會商，決定採開艙方式，以人工將該卵礫石清除。

在進行潛盾機土艙開艙作業前，必須確認二件事：一為地下水狀況、二為開挖面穩定，其目的在避免開艙時，因大量地下水流入將卵礫石間土砂帶走，造成開挖面不穩定而崩落，因此需採取因應輔助工法(如點井降水、地盤改良及壓氣工法等)：

#### (一) 點井輔助降水

本潛盾作業區之地下水係位於地表下 $3\sim 5\text{m}$ 間，而潛盾機遭遇障礙處則位於地

表下約 $22\text{m}$ (至潛盾機中心)，雖潛盾機位於地盤改良區內，且已經進行止水補灌漿作業，惟考量出艙作業能確保安全性，仍須於工作井外側進行區外降水輔助措施，以降低土體承受之水壓。

為達有效降水目標，經評估周遭環境地形後，決定於地改區兩側各設置 $25\text{m}$ 深之點井2口，而為避免破壞地改區上方之地盤改良完整性，則設置2口 $15\text{m}$ 之深之點井(如圖23所示)。抽水用沉水式馬達採 $3\text{HP}$ 能量，並以A22車站所設置之點井為OW水位觀測井來判讀，最後降至穩定水位約為地表下 $10\text{m}$ 。雖無法降至潛盾機下方，但已降低潛盾機鏡面之水壓，對工作人員出艙作業之安全性已有極大助益。

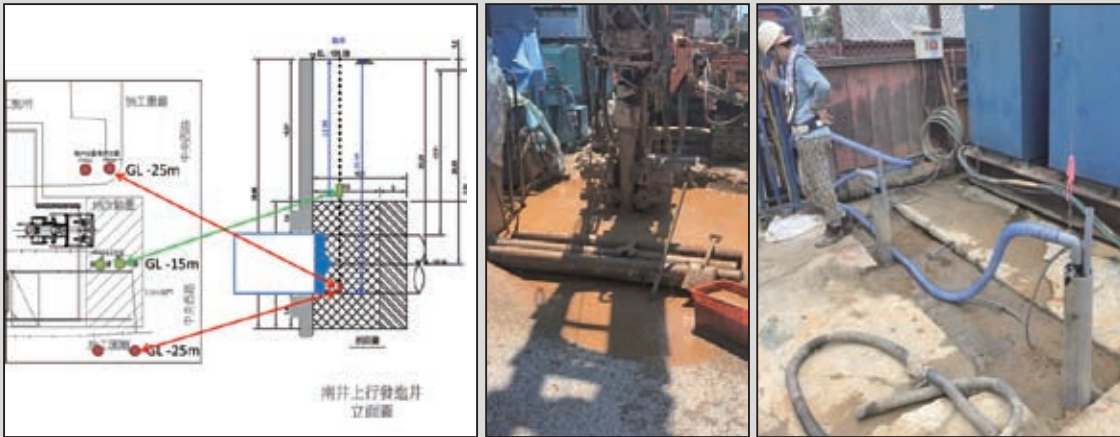


圖23 點井施作位置

## (二) 潛盾機開艙前試水

在開啟人孔安全門之前，須先進行土艙試水作業，確認鏡面出水量 $<5\text{L}/\text{min}$ 後，才可開啟安全門，讓工作人員進行土艙礫石清除作業。其測定方法為搭配土壓計採定量排水法，由盾首灌漿孔進行排水；排水前先記錄土壓，開始排水後土壓會下降，當排出定量的水後關閉盾首灌漿孔，開始計時，當土壓恢復至先前土壓即停止計時，用定量排水量(L)除以此段時間(T)即可算得開挖面之進水速率(W)，藉以判斷止水成效(試水方法如圖24所示)。

## (三) 安衛設施及監測

1. 通風：使用 $\psi 300$ 送風機，利用風管由安全門拉至土艙內進行送風。
2. 照明：於切刀盤上架設防水日光燈，供人員作業照明之用。
3. 施工架及人員上下設備：土艙內空間狹小，一般施工架及上下設備恐無法架設，故儘量採用小型鋼製踏板架設於潛盾機輪幅上，並使用繩梯供人員上下使用。
4. 擋土襯版：土艙內每清理完一部分區域，即架設木襯板作為擋土之用，

木襯板寬度 $\leq 30\text{cm}$ ，厚度 $1\text{cm}$ ，利用 $5\text{cm}\times 5\text{cm}$ 以上的角材做為支撐，角材架設位置避開人員進出安全門逃生動線。

5. 氣體偵測：人員進入土艙作業前，須以手持氣體偵測器偵測有害氣體及氧氣含量( $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{O}_2$ )，確認無有害氣體且氧氣含量符合規定方可進入作業。氣體偵測器之偵測管拉至土艙內採24小時開機偵測，並每2小時記錄一次。
6. 地面沉陷監測：於潛盾機上方進行即時監測作業，共佈設12個沉陷測量點，監測頻率為每4小時1次。
7. 地下水位監測：量測頻率為每4小時1次，以瞭解水位變化情形。
8. 人員編制及作業時間：共計11員(含現場工程師2人及現場施工人員9人)，作業時間採24小時連續施作。

有關潛盾機開艙之安衛設施與管理如圖25所示。

## (四) 人工出艙礫石清除

1. 土艙內礫石清除作業

在開艙清除礫石過程中，均以手持工具挖除搬運礫石，而不以破碎機工具將大

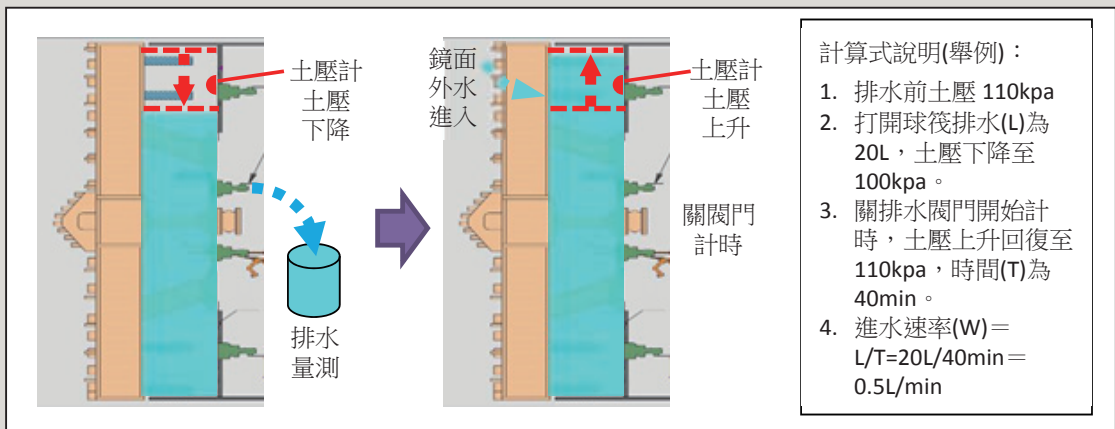


圖24 潛盾機開艙前試水

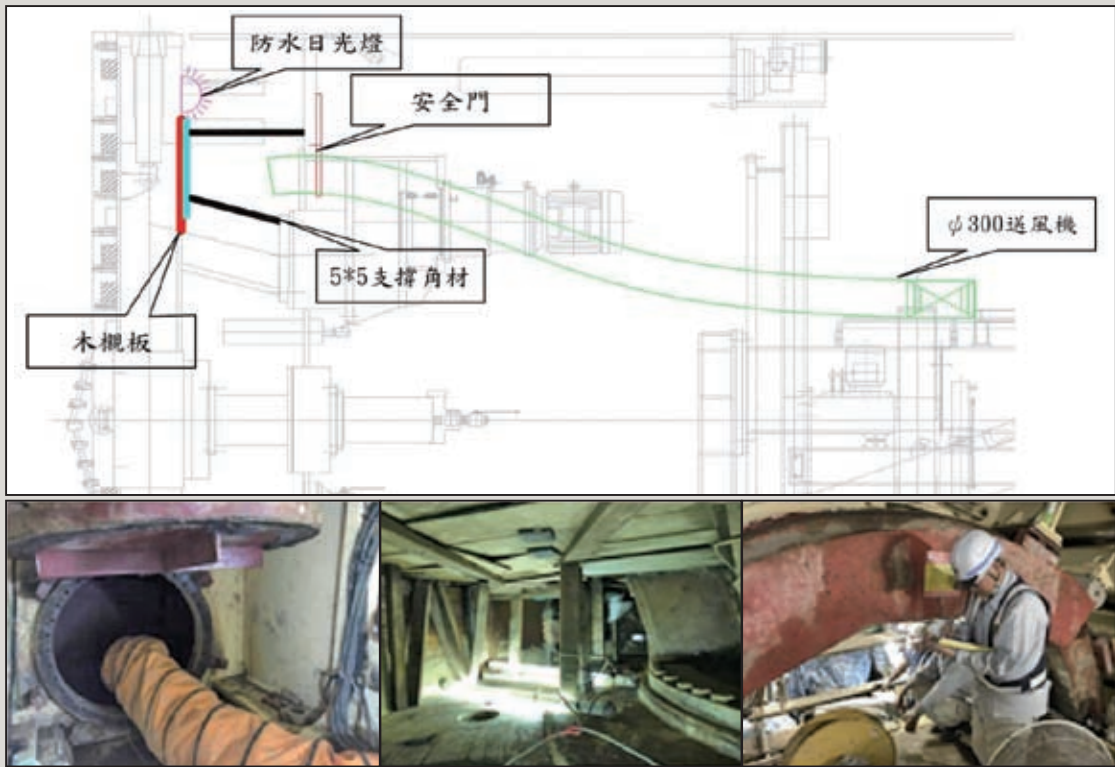


圖25 潛盾機開艙之安衛設施與管理

粒徑礫石破除俾減少震動，並配合真空吸泥機吸取泥沙以加快清理速度。其粒徑以小於 15cm 者佔大宗，粒徑 20~30cm 數量也為數不少，其中最大粒徑為 70×50cm 之卵石(如圖 26 所示)。

## 2. 攪拌棒受損及更換

在土艙清土作業時，發現原設置於潛盾

機切刃盤上之 4 支轉動式攪拌棒除 1 支完整無損外，餘 3 支有 1 支彎曲變形、1 支折斷、1 支崩角受損(受損位置如圖 27 所示)，顯見湧進土艙內之卵礫石數量多且衝擊力強，所幸檢視土艙內其他結構並無受損，攪拌棒亦於清理期間完成更換。

## 3. 於土艙礫石清理作業時曾造成出水湧砂，緊急關艙及後續處理情形



圖26 土艙內卵礫石

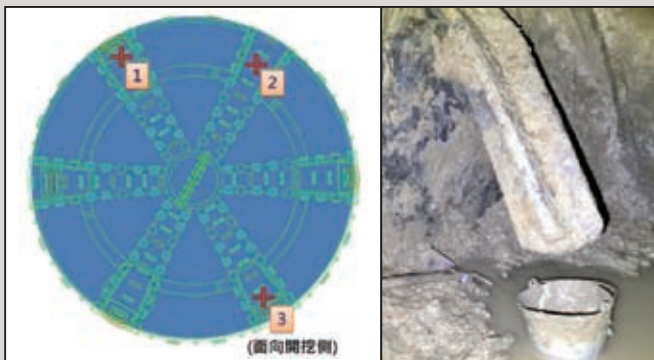


圖27 攪拌棒受損情形

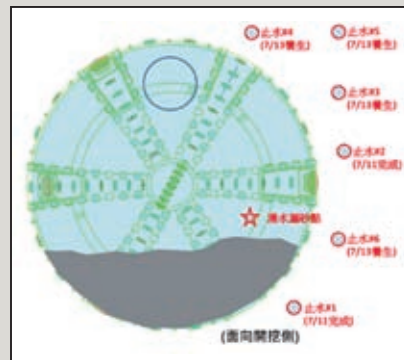


圖28 第1次出水湧砂位置



圖29 關安全門及注水



圖30 灌漿止水

於7月11日凌晨清理土艙至卵礫石高度剩下1/3時，於4點鐘方向鏡面突然發生出水湧砂情形(如圖28所示)，當下人員即緊急撤出並關閉安全門，並於土艙內注滿水(如圖29所示)，以維持鏡面壓、避免鏡面外土砂流失。

經檢討出水湧砂處係位於面向開挖側之右側，故於7月11日至13日進行水平灌漿止水作業以封堵水路(如圖30所示)，完成後於7月14日開艙前，再次進行潛盾機開艙前試水作業，測試合格後恢復開艙繼續進行土石清理，於7月18日凌

晨土艙內土石完成清除。

#### 4. 切刃盤幅梁間清除礫石再次造成出水湧砂之緊急關艙及後續處理情形

土艙內土石全部清除以及攪動棒全部完成更新後，最後一個步驟就是清除切刃盤幅梁間之大型卵礫石。因取出卵礫石恐使得原先穩定鏡面產生擾動破壞，故清除順序需審慎檢討。幅梁區域共分為6個區塊，其中較大之卵礫石係位於編號1~4區塊，清除順序原則是由下往上依序拆除木襯版及背撐材並取出卵礫石(如圖31所示)，惟考量第4區塊先前發生過出水湧砂情形，雖已完成止水作業，惟該區域仍屬於一弱帶面，故將該區域幅梁間卵礫石做為最後清除結束點。

7月18日晚上21:40當區域1之大型卵礫石已清除完成，續進行區域2大型卵礫石清除時，於該區域9點鐘方向又突然發生

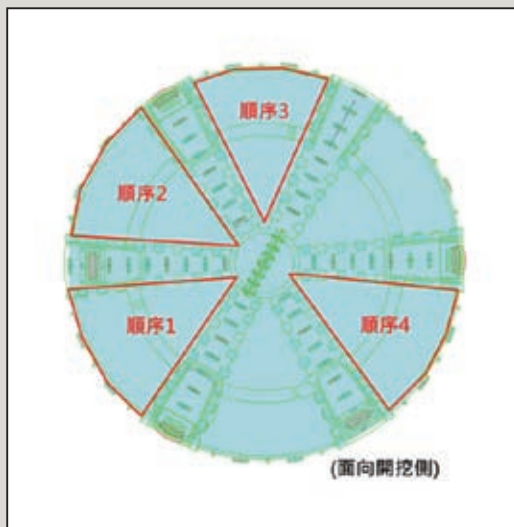


圖31 切刃盤幅梁間礫石清除順序

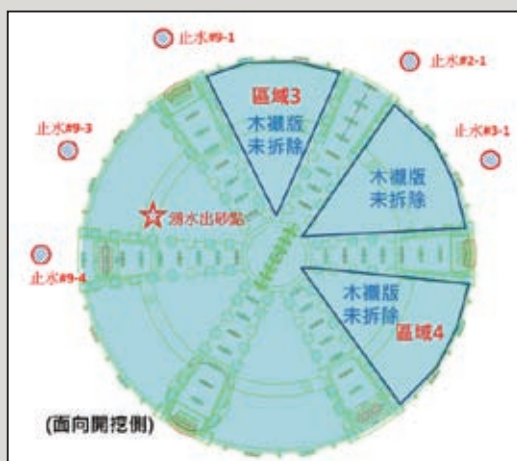


圖32 第2次出水湧砂位置

出水湧砂情形(如圖32所示)；因該次出水湧砂之速度非常快，當下緊急撤出土艙內施工人員，惟部分區域之木襯版及背撐材無法及時取出而留置於土艙內，為維持鏡面壓，避免鏡面外土砂流失，只能選擇緊急關閉安全門並於土艙內注滿水維持鏡面壓。

由於僅剩下區域3、4較大型卵礫石，經評估應不影響切刃盤運轉；而留置於土艙內未移除之木襯版及背撐材，應可在掘進作業時將其攪碎排出，不致於造成螺運機排土障礙，爰決定不再開艙，僅

對鏡面周圍進行水平止水灌漿作業(如圖33所示)，以防止掘進過程排土時再次造成噴發，並避免從鏡面框止水封圈處流出水砂，止水灌漿作業處理後即重新啟動掘進。



圖33 鏡面周圍水平止水灌漿

## 伍、潛盾機再次掘進

為使潛盾機能順利再次掘進，爰考量造成地改區內因地層陷落之不確定因素及彙整本事件發生原因與開艙處理後所掌握之資料，針對重新掘進之部份措施進行補強。

### 一、土艙內填充可塑性特殊黏土



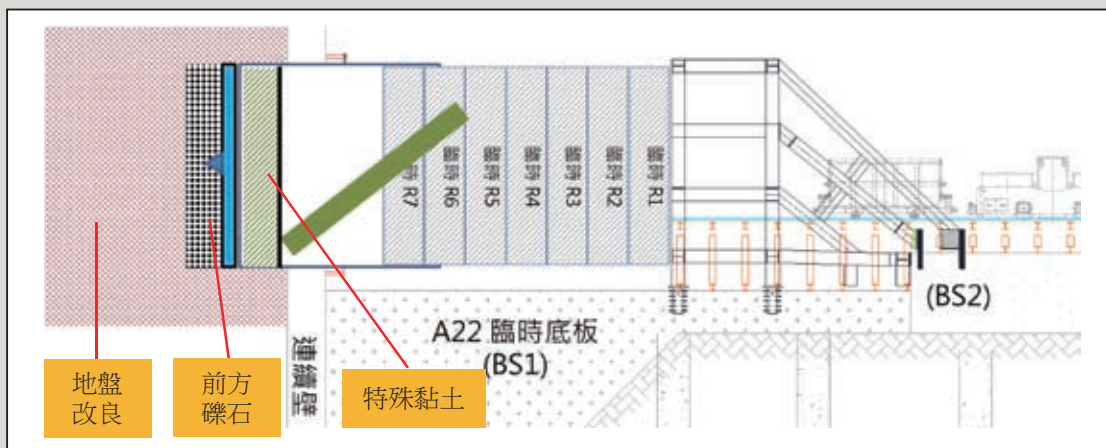


圖34 潛盾機發進前土艙內填入特殊黏土

一般於潛盾機發進前，係將土艙內填滿液態狀之加泥材；而本次障礙排除後再重新掘進前為避免再次發生土石噴發，土艙內改換成填滿半固體狀之可塑性特殊黏土(如圖34所示)。主要係因潛盾機切刃盤前方之地盤改良體完整性已有破壞，效果不如預期；改採可塑性特殊黏土填注，於潛盾機再次掘進時，可將土艙壓直接逼出鏡面，避免鏡面前方土體進入土艙而造成前方土體流失；另因可塑性黏土止水性良好，於掘進時可保持前方土體穩定，避免再次發生土石噴發情形。

## 二、提早啟用機上灌漿

提早啟用原設定於轉彎段超控時方使用之機上灌漿設備，將盾殼與土體間之縫隙先行使用特殊黏土填充止水(如圖35所示)，以避免該縫隙產生水路而導致地表沉陷。

## 三、採用二次閘門排土

考量前方地盤改良體完整性不佳，為避免掘進時排土作業產生噴發情形，乃採用二次閘門(如圖36所示)以為防範。

經完成上述改良措施後，潛盾機於106年7月24日再次啟動恢復初期掘進，剛開始掘進時

因切刃前方仍有大量卵礫石，及土艙內先行填滿特殊黏土使得土艙壓提早上升，其掘進過程較不易控制。然後續隨著潛盾機掘進而卵礫石逐漸減少，土壓亦逐漸趨於穩定，原先未及時撤出土艙內之木襯版及背撐材，亦如預期般絞碎成塊狀而順利排出。潛盾機重新掘進至臨時環片R9時，所排出土體皆為砂岩土體，已無卵礫石出現，故該障礙已正式排除，恢復正常掘進作業。

## 陸、結語

本事件起於106年5月28日潛盾機受困停機、至7月24日恢復掘進作業，影響工期將近2個月，過程中係動員大量人力物料進行搶救，包括工期及費用之損失甚鉅。所幸過程中並未造成人員傷亡或周遭鄰房及路面之影響，係將災損控制至最低。

本事件之發生原因在於地盤改良成效不如原先預期，雖然在發進前均依規定探查測試，以及辦理強化止水補灌漿作業，惟最後成效仍無法達到預期效果而形成滲流水路導致潛盾機受困；至於針對該區域大南灣層砂岩、泥岩遇水軟化之地質特色，應可再檢討採用何種地盤改良方式較為合宜。

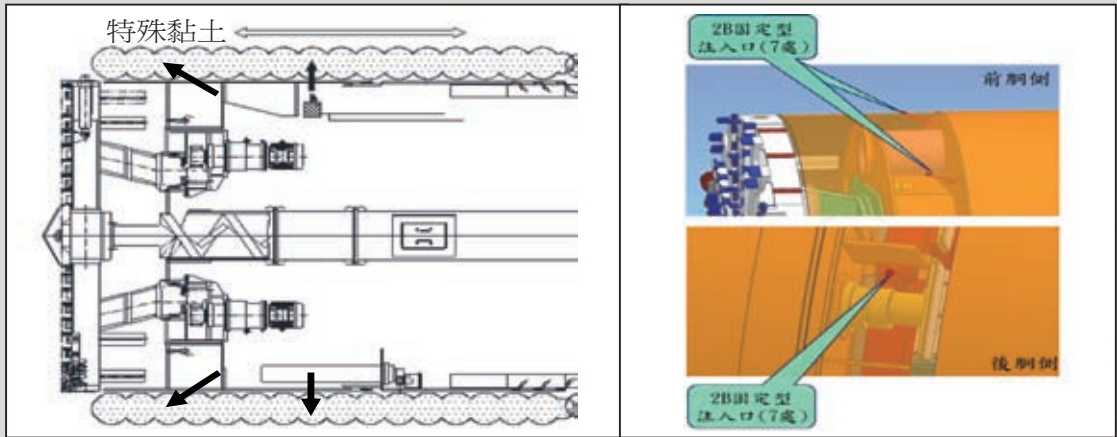


圖35 潛盾機掘進時機上灌漿(特殊黏土)

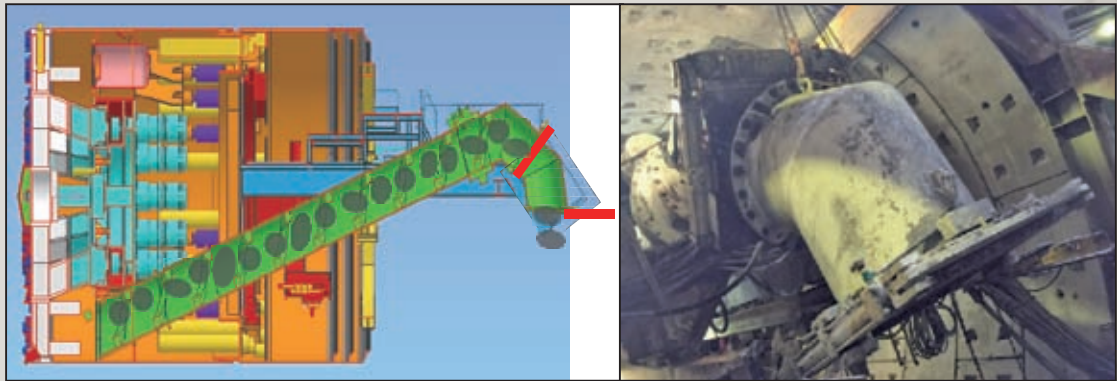


圖36 螺運機採用二次閘門進行排土

地下工程充滿不確定性，潛盾機受困時如何排除障礙，乃潛盾施工必須思考審酌之重要課題。本文所述最終採行開艙排除土石以解決困境乃不得以之作為，其因空間狹小、密閉，過程中風險極大；為降低施工風險，開艙作業啟動就必須採取24小時日夜不停持續施工，對施工人員亦造成極大壓力。

希藉由此案例經驗分享，供設計單位及施工廠商做為潛盾施工風險評估與因應之參考，期能於設計階段及施工前做好審慎模擬規劃，俾利施工作業可妥善顧及安全需求，遭遇障礙能夠及時且順利排除。

### 參考文獻

1. 臺灣桃園國際機場聯外捷運系統延伸至中壢火車站工程細部設計及施工監造DU02標大地工程設計綜合報告，民國102年4月。
2. 國立中央大學土木工程學系碩士論文，潛盾隧道於卵礫石層掘進中引致施工問題之因應對策分析研究與探討，游琳靖，民國106年1月。
3. 國立交通大學土木工程學系碩士論文，潛盾隧道施工造成之意外事故及復舊工程，王大榮，民國93年7月。
4. 隧道建設第30卷增刊1，潛盾隧道遭遇障礙物之修復作業，民國99年8月。



### 3

專題報導

# 獨立電網風、光、 氫能源互補發電成 本與效益分析

關鍵詞(Key Words)：太陽能(Solar power)、風力發電(Wind power)、氫能源(Hydrogen energy)、  
燃料電池(Fuel cell)、風光互補(Wind-Solar Complementary Power System)、  
綠能發電(Green energy)、孤島型混合電力系統(Islanding hybrid power system)

財團法人中華顧問工程司／設施管理研發中心／主任／馬俊強 (Ma, Jin-Chung) ❶

財團法人中華顧問工程司／綜合業務組／正工程師／林伯勳 (Lin, Bo-Shiun) ❷

國立臺灣大學／機械工程學系／教授／王富正 (Wang, Fu-Cheng) ❸

國立臺灣大學／機械工程學系／碩士／陳柏儒 (Chen, Po-Ju) ❹



## 摘要

財團法人中華顧問工程司於苗栗後龍龍港工業區設置綠能示範屋，與外界公共電網獨立隔絕，以探討微型電網獨立運作之可行性。利用小型風力發電機、太陽能板及氫燃料電池，自行發電供給示範屋內電器設備使用。綠能示範屋設置至今已持續運轉超過一年，在這段時間裡，藉由實際運轉的狀況與小型氣象站蒐集的資料，以SimPowerSystem™所建立的混合電力模型進行模擬分析，透過模擬的響應探討綠能示範屋的供電性能與預估的供電成本。另外也針對部分元件效能不如預期的可能原因進行探討，如風力發電機除了因硬體與控制器損壞外，發電量也因風速低於原先參考的氣候資料較少；而鉛酸電池則可能因較常放電過深導致蓄電量快速下降。為了提升綠能示範屋的整體性能，模擬三種不同的用電類型，以得到建議的電力系統設計結果。

綠能示範屋屬孤島型混合電力系統，基載能源來自再生能源，供電穩定性受氣候變遷影響甚鉅，須每隔一段時間進行重新評估，依據新的氣候狀況調整電力系統的配置才能持續維持好的供電品質。此外，電力系統的設計尚須考慮諸多因素，所以我們採用模型進行設計與模擬，希望能在設計階段避免可能的問題，讓綠能混合電力系統的發展更具競爭力，俾利相關技術推廣，拓展綠能產業應用層面。



## Cost-Benefit Analysis of Wind, Solar and Hydrogen Complementary and Independent Power System

### Abstract

China Engineering Consultants, INC., Taiwan set up a Green Energy House in Longgang Industrial Area, Houlong, Miaoli County. In order to explore the feasibility of independent micro-grid, there was no connection the public power grids. Power was generated by means of small wind turbines, solar panels and hydrogen fuel cells to supply the electrical appliances in the Green Energy House. The Green Energy House has been set up and operated for over a year. With the help of the actual operation data and the weather information collected by the small weather station, the hybrid power model built by SimPowerSystem™ was used to simulate and analyze the power supply ability and predicting the cost of electricity. Furthermore, investigations were carried out to find out the reasons why some of the components were not functioning as expected. For example, some damages were found on the wind turbines and the controller. The wind speed was lower than the original references from the climate information. Thus less power was generated by wind. On the other hand, the charge capacity of lead acid batteries dropped rapidly due to over-discharge. In order to increase the overall performance of the Green Energy House, three different situations of electricity usages were implied to get the final design of the suggested power system..

The Green Energy House belongs to the islanding hybrid power system. The base energy comes from renewable energy, and the power supply stability is greatly affected by climate change. In order to maintain sustainable power supply, the configurations of the power system in the Green Energy House need to be reassessed as per the climate conditions and some adjustments must be made once in a while. Moreover, there are many factors to consider when designing a power systems. We adopted models to design and simulate with the aim of avoiding possible problems during the design phase, and cultivating the competitiveness of green energy hybrid power system. Hopefully, the relevant technologies of green energy can be promoted and the applications can be broadened.

## 壹、前言

隨著科技與文明的進步，人類的生活品質也越來越好，但為了維持高水準的生活，我們對於能源要求也與日俱增，除了需求量增加外，也希望能減少污染以降低對生物與環境的傷害，除此之外，亦希望用電成本不要大幅增加影響經濟的發展，傳統發電所使用的石化燃料因日漸短缺使成本增加且易造成汙染，所以漸漸地無法滿足要求，於是乎各國開始積極尋找其它替代能源，特別是像我國這類進口能源比例超過九成的海島國家，更期望能藉由相關研究尋找出可以自產並同時滿足上述要求的能源。由於台灣屬亞熱帶且位於大陸板塊與海洋的交界處，並具有強盛的東北季風，因此如圖1所示，我國政府近年來持續增加太陽光電、風力發電機之裝置容量，迄2017年6月底止，台灣地區太陽光電與風力發電累計裝置容量已分別達到117.594MW[1]與69.026MW[2]，除此之外，我國亦希望於2025年前達成太陽能20GW[1]、陸域風機443MW和離岸風機710MW[2]。除了太陽能與風能外，氫能源除了可根據不同燃料電池在不同環境下發電，並且具有低噪音、高效率、零污染的優勢，與太陽

能跟風能皆具有滿足現今能源需求的可能性，因此備受人們期待。

然而，綠能雖可提供乾淨的能源，但依舊會因各自的特性在使用上有所限制，例如再生能源受天氣狀況的變化無法像傳統發電廠一樣連續且穩定供電，而氫能則存在運輸與儲存的問題，因此為了改善這些問題，除了將不同的綠能混合一起使用達到互補效果外，我們也必須搭配儲能元件改善供電的穩定性。由此可知，在設計像綠能示範屋這類混合電力系統時須考慮諸多因素，才能滿足負載需求與以適當方式操作系統元件延長元件壽命降低供電成本。除此之外，由於再生能源發電會隨著氣候狀況改變，必須每隔一段時間根據新的資料調整系統，以維持供電穩定性。綜合前述考量，我們以綠能示範屋所記錄的資料，搭配以Matlab/SimPowerSystem™所發展的混合電力模型進行模擬分析，並根據模擬響應提出建議的設計結果，希望能提升綠能示範屋供電穩定性且避免未來可能遇到的問題。最後也期望此設計方法能推廣至其他綠能系統上，幫助綠能系統的設計者可以有效改善供電品質且降低成本，使綠能的推廣更加順利。

### 歷年太陽光電累計裝置容量

單位：萬瓩

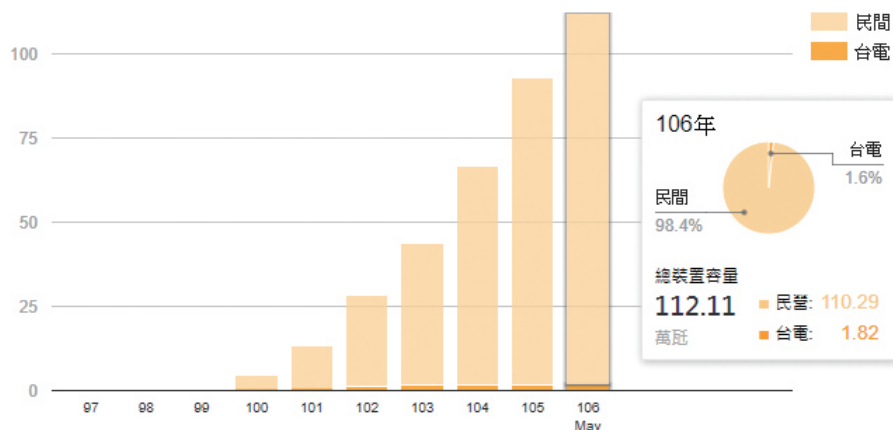


圖1 台灣歷年太陽能光電累計裝置容量[1]

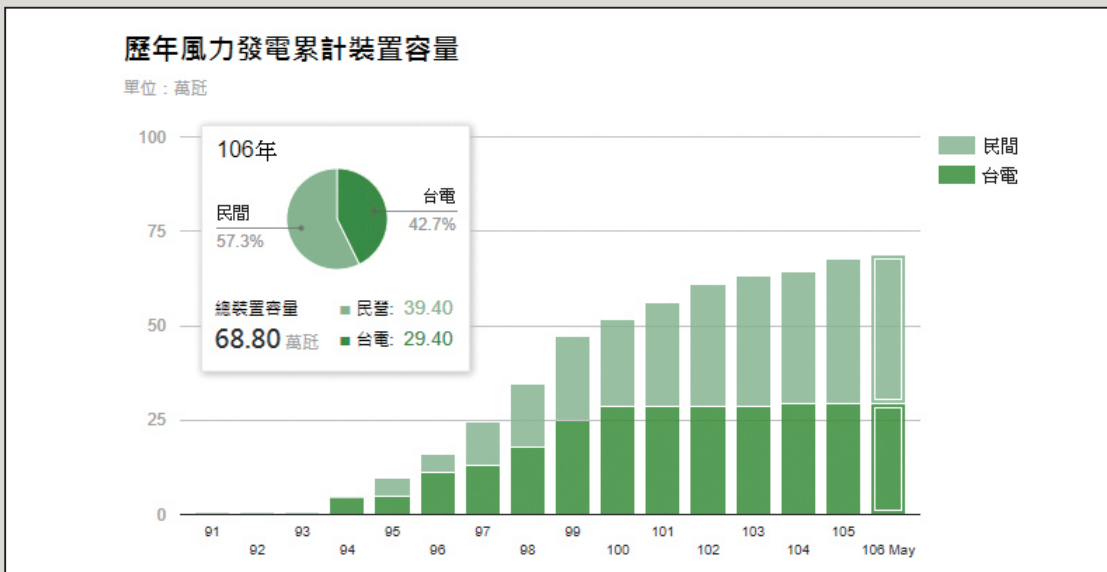


圖2 台灣歷年風力發電累計裝置容量[2]

## 貳、模擬模型與分析方法

### 一、綠能示範屋模擬分析流程

為了評估綠能示範屋的供電性能進而找出改善的方法，採用混合電力模型進行模擬，以取代費工耗時且高成本的電力實驗，藉由分析模擬響應，我們可知系統在不同負載與再生能源條件下可能的結果。整體分析流程如圖3所示，先使用不同負載與再生能源資料進行模擬，接著針對模擬響應進行資料分析後，即可

得知在此情境下系統的供電成本與供電可靠度等資訊。最後，為了改善系統，必須重新設計混合電力系統，因此根據前述的分析結果，進一步調整電力模型的設計時考量的變數，例如元件的種類、太陽能板風力發電機等元件的數量，並重複進行模擬與分析，然後將結果統整成一設計參考表。根據設計參考表，我們可找到在考慮的負載與再生能源條件下，混合電力系統較適合的設計，另外從中比較出原先的系統與較好的設計結果之間的差異。接下來我們會依序介紹使用的模型與資料分析的細節。

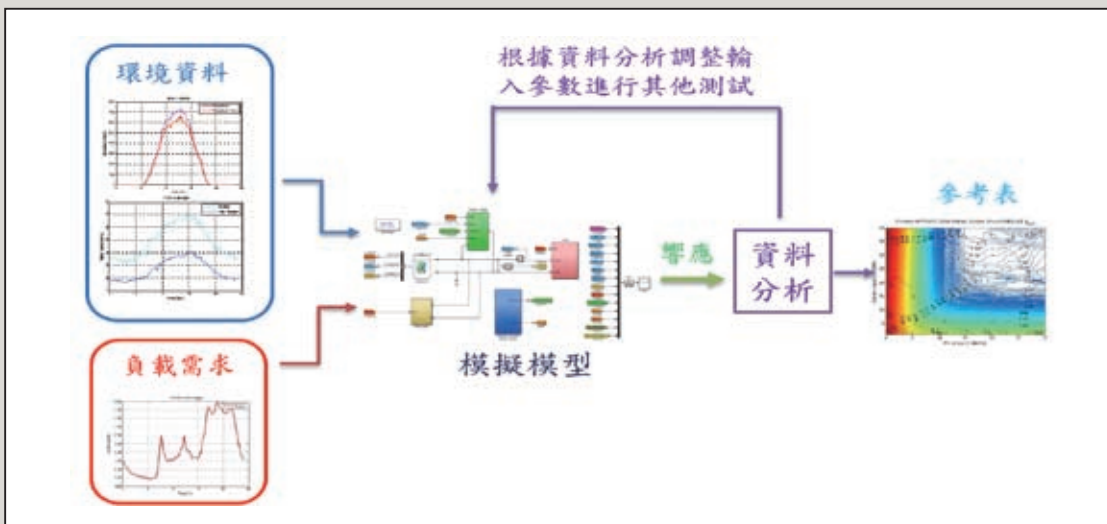


圖3 利用混合電力模型進行的分析流程

## 二、混合電力模擬模型

我們使用的混合電力模擬模型系以Matlab/SimPowerSystem™所建立，模型系統架構如圖4，內含子系統計有太陽能板、風力發電機、氫燃料電池、鉛酸電池、電解產氫機、化學產氫系統與相關電力電子元件。根據實驗與模擬的驗證[3][4]，由於混合電力模擬考量的時間較長，所以許多數秒內的暫態變化對模擬影響較小，大部分的子系統模型我們可避免使用複雜的時變非線性模型，以特性曲線建立即可。例如，風力發電機有廠商經長時間測試所得的風速對輸出功率的關係曲線，可使用此曲線建立風力發電機模型；又如電力電子元件中的混合變頻器模型可利用其平均效率建立。然而部分子系統，如鉛酸電池，由於存在較多影響輸出的變數，須仰賴Matlab/SimPowerSystem™中內建的模型幫助我們處理，此時我們須要將鉛酸電池的規格輸入內建模型中。最後，有些子系統若缺乏我們要的參數，仍須經過實驗取得所需的特性曲線，例如燃料電池的I-V curve、電流輸出與耗氫量關係，就必須透過實驗始能得知。依據前述原則搜集綠能示範屋元件的相關規格參數，重新調整混合電力模擬模型。

## 三、資料分析

經由模擬結果可知在考慮的負載與再生能源狀況下的響應，例如使用辦公室負載資料，還有綠能示範屋2016年5月到6月蒐集的風速、太陽輻射資料，以此情境進行模擬，最後模型就會給系統不同時間下太陽能板與風機輸出能量、電池殘電量State of Charge (SOC)等資訊，根據這些資訊可更進一步估算用來評估系統性能的供電可靠度與供電成本，而供電可靠度與供電成本的計算如下：

### (一) 供電可靠度指標

我們採用的供電可靠度指標，為功率供給虧欠率(Loss of Power Supply Probability, LPSP)，其定義如下：

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T LPS(t)}{\sum_{t=1}^T E_{load}(t)}$$

其中 $\sum_{t=1}^T E_{load}(t)$ 代表在總時間 $T$ 內，系統所需要的負載總能量； $\sum_{t=1}^T LPS(t)$ 表示在

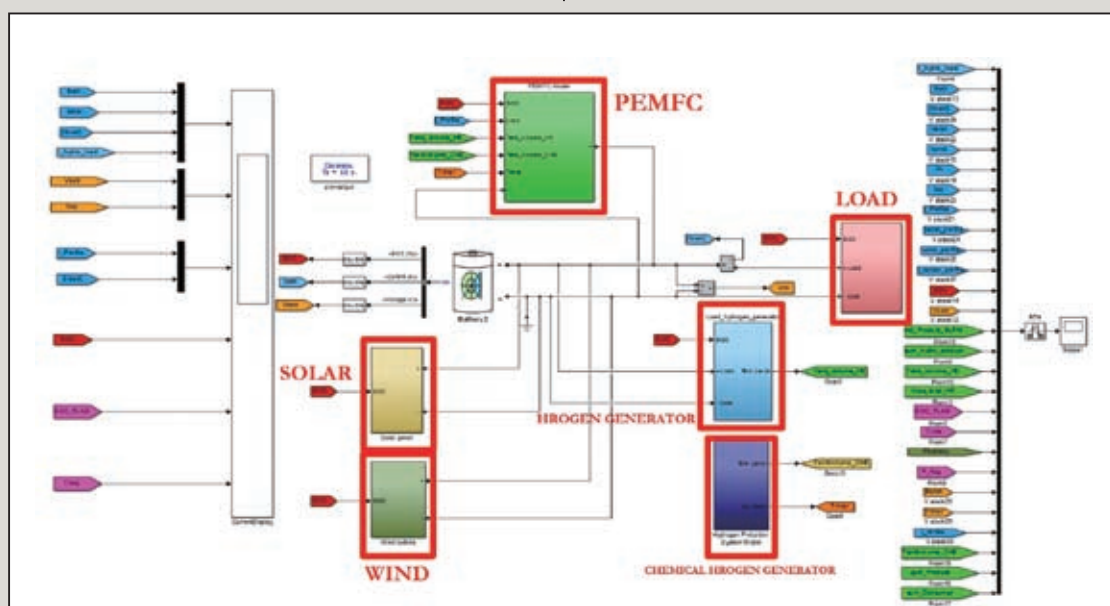


圖4 分析所用的混合電力模擬模型



總時間T內不足的能量。當LPSP=0%時，代表沒有缺電，因此系統可靠度最高；反之，若是LPSP=100%，代表系統完全無法供應需要的能量，此時的可靠度自然是最差的。

## (二) 供電成本

系統的供電成本函數J(新台幣/度)定義如下式：

$$J = J_i + J_o$$

$$J_i = \sum_{k=component} J_i^k$$

$$J_o = \sum_{l=component} J_o^l$$

其中初始建置成本 $J_i$ 中k代表電力子系統，包括燃料電池(k=FC)、電力電子元件(converter and inverter)(k=DC)、鉛酸電池(k=Batt)、太陽能板(k=Solar)、電解產氫機(k=HE)、化學產氫機(k=CHG)、風力發電機(k=wind)；另一方面，操作成本 $J_o$ 中的l為系統中會有維護或操作成本的子系統，包括太陽能板(l=Solar)、風力發電機(l=wind)、化學產氫系統操作時使用的燃料(l=NaBH<sub>4</sub>)。接下來更進一步介紹 $J_i$ 與 $J_o$ 的計算。

### 1. 元件初始建置成本 $J_i^k$ 如下：

$$J_i^k = \frac{C_k \cdot n_k \cdot CRF_k}{E_{year}}$$

初始建置成本會與子系統的單位價格、子系統需要的數量或倍數因子、子系統得資本回收因子 $CRF_k$  (capital recovery factor, CRF)和每年系統所能提供電能 $E_{year}$ 有關。特別是資本回收因子CRF會根據元件壽命幫我們計算出各子系統每年的成本。所以計算某些子系統的初始建置成本時，由於

其壽命與操作有關，須根據模擬先計算出壽命。例如燃料電池的質子交換膜有使用時間8000小時的限制[5]，所以須根據使用時間計算壽命，又如電池的壽命會與電池的放電深度(Depth of Discharge, DOD)有關，放電深度較深時，對於電池的損害較大，所以我們根據模擬響應與電池規格附的放電深度與可用循環次數關係估算壽命，以此計算電池每年的成本。

### 2. 系統操作成本的 $J_o^l$ 如下：

$$J_o^{l(b,s,w)} = \frac{C_l \cdot n_l}{E_{year}}$$

系統操作成本會與該子系統每次操作或維護的成本 $C_l$ 、一年操作次數 $n_l$ 和每年系統所能提供電能 $E_{year}$ 有關。由於操作成本為即時的開銷，因此不須考慮複利均攤，也就不考慮資本回收因子，單純以現值來計算。藉由可靠度指標與供電成本，以及原先模擬的響應，我們可以討論供電性能與問題產生的原因。而模擬所設定之元件單價與壽命相關參數如表1及表2。

表1 設定之元件單價

參數名稱	對應項目	使用常數 (新台幣)
$C_{FC}$	3kW燃料電池模組單價	180,000
$C_{FCStack}$	3kW燃料電池質子交換膜單價	60,000
$C_{HE}$	2.5kW電解產氫機單價	1000,000
$C_{HEStack}$	2.5kW電解產氫機質子交換膜單價	333,333
$C_{DC}$	電力電子元件單價	50,000
$C_{Solar}$	1kW太陽能板單價	55,000
$C_{Wind}$	3kW風力發電機單價	290,000
$C_{Batt}$	48V 100Ah鉛酸電池組單價	26,000
$C_{CHG}$	化學產氫系統單價	320,000
$C_{NaBH_4}$	硼氫化鈉每批量成本	60

表2 元件年限設定

參數名稱	對應項目	使用常數
$Life_{sys}$	綠能示範屋的系統年限	15(year)
$ny_{FCstack}$	3kW燃料電池質子交換膜最大工作時間	8000(hr)
$ny_{HEstack}$	2.5kW電解產氫機質子交換膜最大工作時間	8000(hr)
$ny_{DC}$	電力電子元件壽命	15(year)
$ny_{Solar}$	太陽能板壽命	15(year)
$ny_{Wind}$	風力發電機壽命	15(year)
$ny_{CHG}$	化學產氫系統年限	15(year)

## 參、現況分析

### 一、模擬測試情境

為了探討目前再生能源狀況下綠能示範屋的性能，使用蒐集的再生能源資料與現有的兩種負載資料進行模擬，以此評估現況。其中我們有的再生能源資料為2016年5月至12月的風速與太陽輻射度資料，相關統計如表3、表4。可發現太陽輻射度資料與設計初期調查的NASA太陽輻射度資料相近。但風速資料卻與NASA的資料差距較大，主要因為NASA之風速資料量測的水平面高度不同外，綠能示範屋也因附近的山與建築物影響了風場的穩定性與大小。後續我們則針對7月至8月與11月至12月評估系統的供電成本與可靠度，探討不同季節時系統的性能。

用來測試的負載資料計有辦公室、家庭用電與實驗室負載，逐日用電與每日平均用電如圖5、圖6，相關統計如表5，其中家庭負載在三餐有較大的值且晚上也較大；實驗室負載則是有較大的基礎用電，並在晚上有較大的用電需求；系辦公室負載則集中在白天。另外，在逐日用電量上，家庭負載與辦公室負載與原先綠能示範屋預計的逐日用電量接近，實驗室負載

表3 太陽輻射度資料

年/月	最大量(W/m <sup>2</sup> )	平均量(W/m <sup>2</sup> )
2016/05	1155	202.00 (203.3)*
2016/06	1264	228.78 (237.5)
2016/07	1208	256.70 (278.8)
2016/08	1172	222.04 (254.6)
2016/09	1120	162.84 (212.9)
2016/10	860	138.50 (171.7)
2016/11	872	114.83 (129.7)
2016/12	867	104.37 (111.25)

\*註：括弧為3-1節提到之NASA同月份太陽輻射度平均資料

表4 風速資料

年/月	最大量(m/s)	平均量(m/s)
2016/05	14.3	2.69 (5.03)*
2016/06	16.1	3.06 (5.39)
2016/07	21.0	3.09 (4.88)
2016/08	13.4	1.70 (5.01)
2016/09	43.8	4.18 (6.30)
2016/10	20.1	2.99 (8.14)
2016/11	24.1	3.46 (8.88)
2016/12	25.0	4.72 (8.52)

\*註：括弧為3-1節提到之NASA同月份風速平均資料

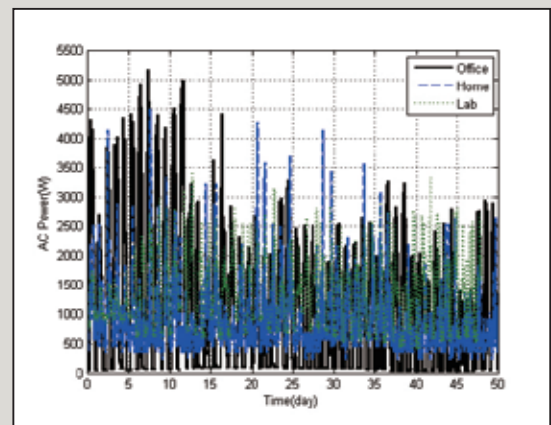


圖5 三種負載逐日用電負載

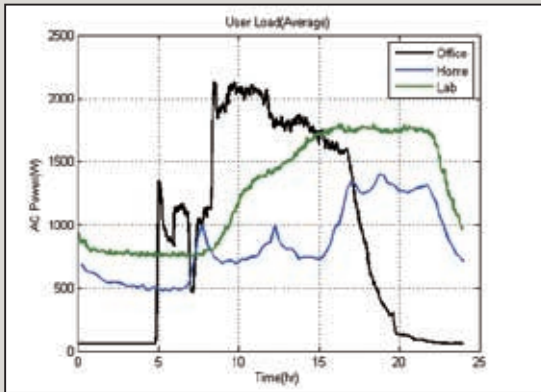


圖6 三種負載每日平均用電

表5 考慮的三種負載資料

	家庭	實驗室	系辦公室
歷史尖峰(W)	6220	3395	5333
單日平均尖峰(W)	1397	1812	2178
平均功率(W)	831	1267	930
平均每日用電度數	19.96	30.41	22.33

則比原先多10度左右。藉由這三種負載情境，我們可以了解在不同使用狀況，綠能示範屋這類孤島型系統，其供電性能會有差別。

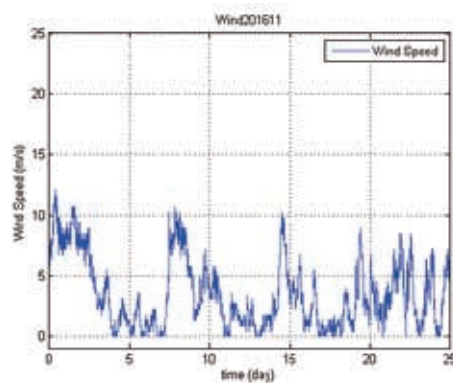
## 二、模擬結果與可能的問題

以2016年7月至8月與11月至12月的資料分別針對3種負載情境進行模擬分析後，所得結果如表6。

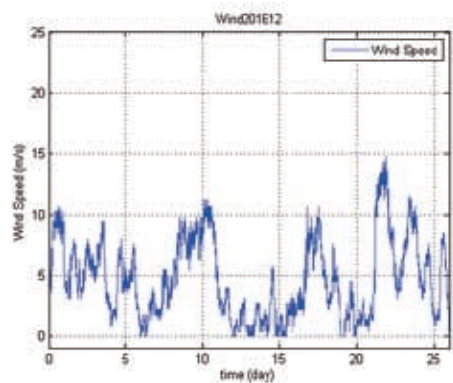
根據表4可發現，無論在何種負載情境下，冬季的LPSP都較夏季高，也就是在面對相同負載時，冬天較容易有供電不足的狀況。其主要有幾個原因。首先，從表2可知，在接近風力發電機操作的水平面所記錄的風速資料與NASA所記錄的資料有較大的差距，所以在風場不如預期的狀況下，風力發電機在冬季的發電量不夠，無法達到原先所預期的風能與太陽能季節性的互補。再來更進一步檢視風速隨時間的狀

表6 模擬分析結果

	家用負載	實驗室負載	辦公室負載
2016年7月~8月			
供電成本(新台幣/度)	42.49	27.38	34.88
LPSP(%)	0%	0.54%	0.05%
2016年11月~12月			
供電成本(新台幣/度)	38.12	32.56	32.56
LPSP(%)	4.64%	26.54%	7.13%



(a)11月



(b)12月

圖7 冬季風速資料

況與平均每日的狀況，如圖7為風速情況較好的11月與12月份資料，可發現風速較大時可能會持續數天，但風速較小時也可能會持續數天，

這會導致若鉛酸電池或電解產氫若沒有儲存足夠的能源時，無法撐過持續數日無風無法使用風能的狀況。此狀況在太陽能充足的夏季就較少發生，因為如圖8，太陽能只有在少數一兩天較少，平均每天都可以供應一定的能源，不會

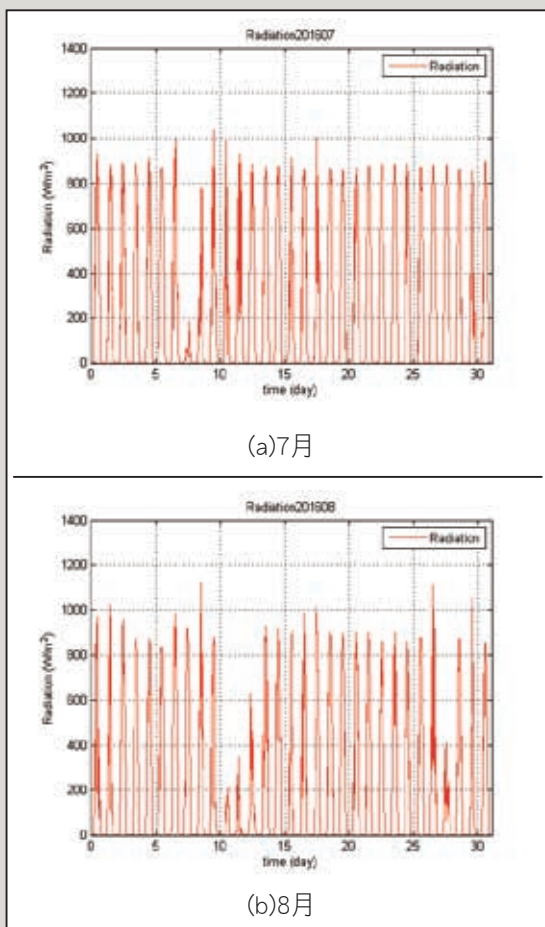


圖8 夏季太陽輻射資料

有持續數日無法供電的狀況。

根據表6中可得知在三種不同負載條件下的供電成本，與目前市電相較是昂貴許多。而造成供電成本較高的原因，除了因電解產氫機這類目前初始建置成本較貴的元件所造成的外，另一方面係因以目前所使用的800Ah的電池，在三種負載下放電都較深，所以較常更換，因此須負擔較高的成本。另經額外模擬，假設增加使用的電池數量時，會因較少深度放電，讓整體壽命得以延長，在考慮系統可用較

長時間，其消耗的電池數目反而較少。

綜合前面的討論，目前綠能示範屋有幾點是可以再改善的，首先是在冬季時因風力發電機發電不如預期，所以冬天供電可靠度較差。另外電池放電深度與目前部分元件單價較貴，使的供電本較高，在元件的挑選與數量上還可以進行調整。除此之外，在比較目前的氣候資料與原先蒐集的資料時，我們也注意到了若發生與原先預期差異時，因為目前能量來源主要來自再生能源，就會因此非預期的狀況無法滿足用電需求。

## 肆、改善方法與建議設計

### 一、改善方法

依據前面所提，目前綠能示範屋冬季供電穩定性較夏天差、供電成本可以再降低與須在設計時考慮未來氣候變遷等變因對供電性能的影響，在此我們依序提出建議改善的方法。

#### (一) 冬天供電性能的提升

冬天供電性能較差主要是目前風速狀況不適合所使用的風機，所以若要改善冬天的供電性能，可以嘗試使用高度較高的風機，或許在水平面較高的環境，風場與風速較好，使發電量增加。另外的方法就是針對冬天太陽輻射狀況，增加供電較穩定且較便宜的太陽能板。

#### (二) 供電成本的降低

供電成本的降低主要可從元件的選用與數量設計下手，若將效益較差的元件更換並將各元件調整在適合的數量時，系統會有較好的供電成本。這部分的調整就得仰賴

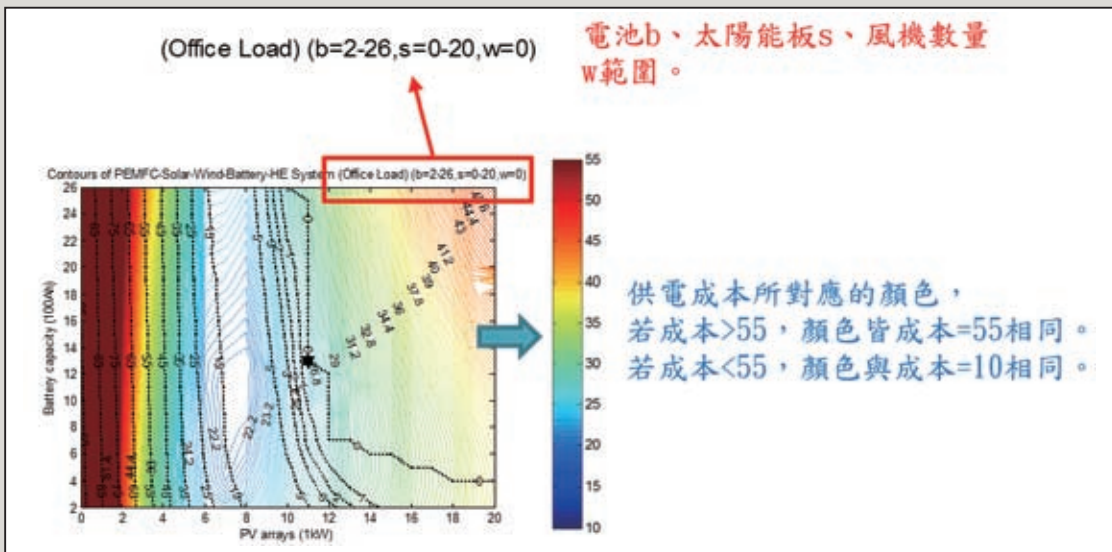
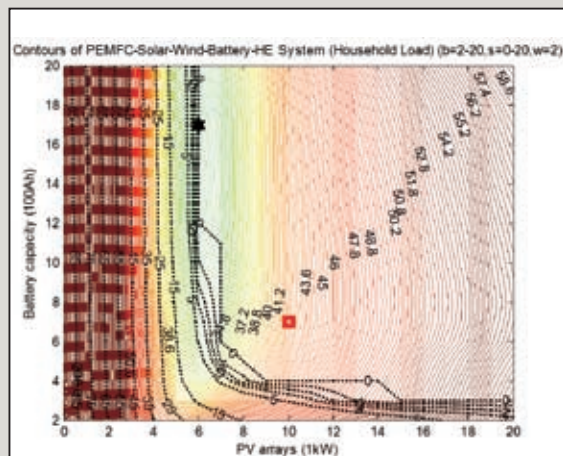


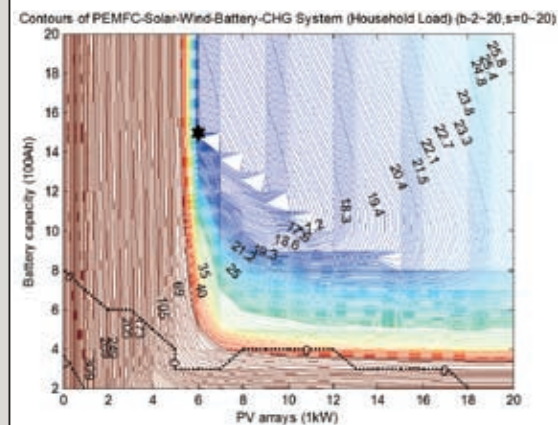
圖9 設計參考圖介紹

重新市場調查，並藉由模擬推算何種配置較適合未來使用的負載與再生能源狀況。

為了說明找到適合的電力系統架構與適合的元件數量的重要性，我們利用模型分針對兩種不同電力系統架構進行模擬，並建立設計參考圖進行比較。設計參考圖介紹如圖9，我們可以從同一張設計參考圖中比較相同電力架構但太陽能與鉛酸電池數量不同時的供電成本與LPSP，其中有顏色的等高線為成本，黑色的等高線代表LPSP。另外，藉由比較不同的設計參考圖，我們也可知道不同電力系統架構的差異，如圖10，我們分別根據兩種電力架構建立設計參考圖，再生能源為2016年7月至8月，使用家庭負載。圖10(a)電力架構為太陽能板、鉛酸電池、風力發電機6kW、燃料電池3kW、5kW電解產氫機，與綠能示範屋相同；圖10(b)為太陽能板、鉛酸電池、燃料電池3kW、電解產氫系統，為我們推薦的架構。兩者LPSP=0%且供電最便宜的配置以黑色星號表示。從圖10(a)我們比較紅色框框所標示的目前配置與調整到最好的配置的黑色星號，增加電池的數量，可降低放電深度，所以整體成本得到下降。接著比較圖



(a) 太陽能板-鉛酸電池-風力發電機-燃料電池-電解產氫機系統



(b) 太陽能板、鉛酸電池、燃料電池、化學產氫系統

圖10 利用設計參考圖比較系統性能

10(a)與圖10(b)，我們推薦的配置由於不使用目前成本較高且效益較低的風力發電機與電解產氫機，雖然為了滿足氫氣供應需求，新增電解產氫系統，但供電成本可以更小，從顏色可知約為15新台幣/度。

### (三) 面對氣候變遷等變化

由於地球氣候環境是不斷在改變，另外人們使用負載的狀況也會跟著改變，所以好的混合電力系統，供電也須有能力應對改變，但目前綠能示範屋所能面對這些改變的只有鉛酸電池與使用電解產氫提供氫氣的燃料電池氫能系統，這兩者供電會受到原先儲存的餘電影響，因此發生目前風力發電不如預期的狀況，較無法改善。我們認為，與其使用轉換效率還須要提升且昂貴的電解產氫，或許使用其他供應氫氣方式或許能讓燃料電池的效益增加，因為燃料電池在系統中為備用電源，若在緊急情況卻受制於氫氣殘量不足就失去原先使用的意義了。而供應氫氣除了根據需求預先儲存足夠的氫氣外，或許也可考慮電解產氫系統，利用較好運送的硼氫化鈉粉末產氫。當然，如果有其他便宜且類似發電機的供電元件，將其加入電力系統架構中，也是可以讓系統面對氣候變遷與負載等變化的方法。

## 二、建議設計

目前根據各元件的市場價格與前述欲改善的三個目標，建議可採用的電力架構為太陽能板、鉛酸電池、燃料電池、化學產氫系統。以太陽能板作為主要基載能源，並將電能儲存於轉換效益較高的鉛酸電池，而備用電源為氫燃料電池與化學產氫的氫能系統。接著我們針對冬季的資料進行三種負載情境的最佳化設計，結果如表7。從模擬響應可發現，在這些配置

下，若未來負載與再生能源狀況與模擬資料相同時，可不須啟動燃料電池；但若發生負載改變，例如原先根據家用負載所設計出來系統，突然改用實驗室負載時，雖然供電成本會因使用燃料電池增加操作成本讓整體供電成本增加，但至少可滿足負載需求不致斷電。當然，以上模擬的結果適用於未來使用的負載與我們

表7 三種負載情境建議的最佳設計結果

	家用負載	實驗室負載	辦公室負載
鉛酸電池	2900Ah	2500Ah	2900Ah
太陽能板	14kW	24kW	18kW
LPSP(%)	0%	0%	0%
供電成本 (新台幣/度)	24.04	20.22	24.19

模擬所用的負載相近，假設所推測的負載與我們的負載差距較大時，則須重新根據模擬進行設計。

## 伍、結語

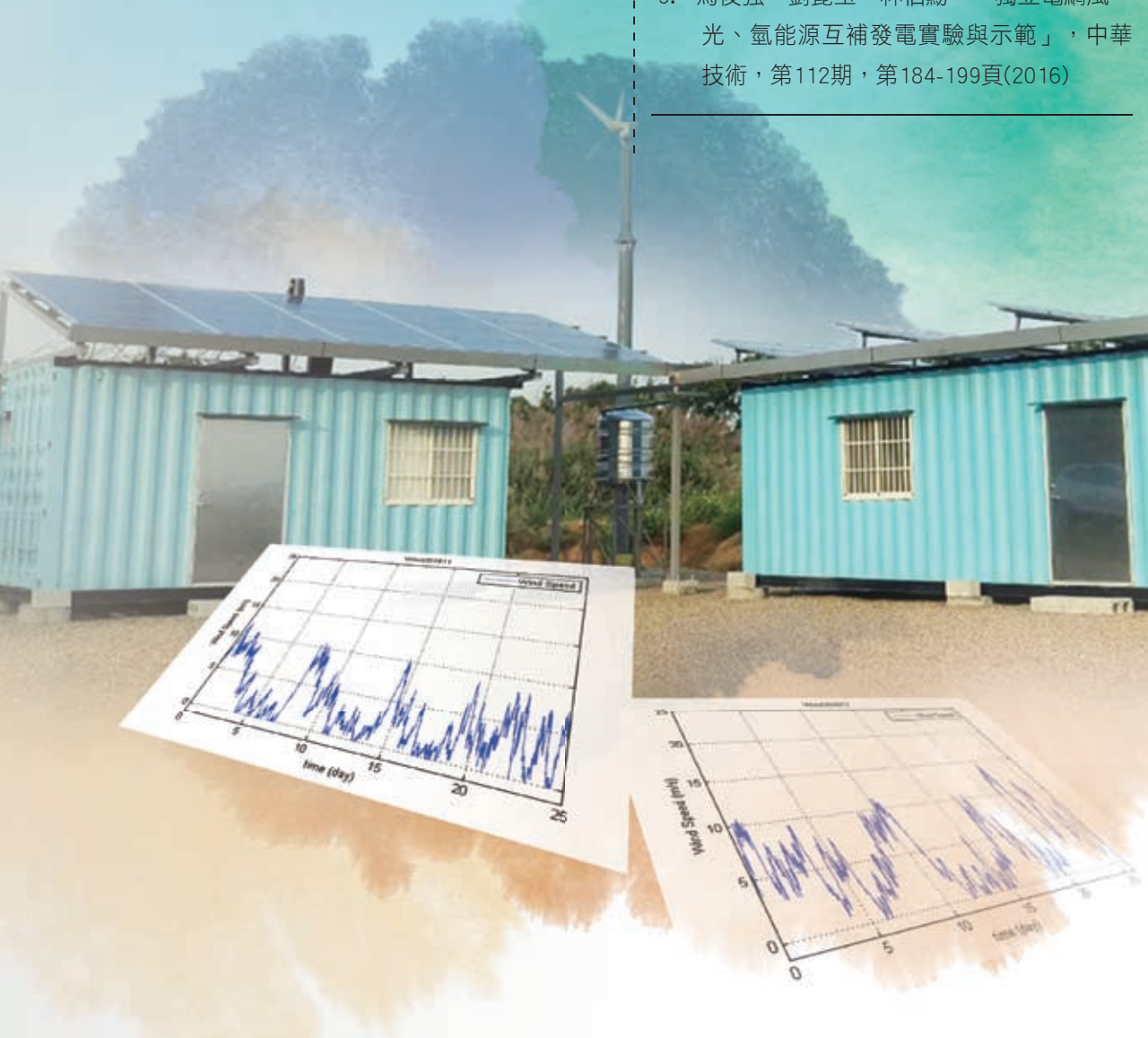
藉由綠能示範屋這一年來記錄的資料，我們將各種狀況與變因考慮進去進行模擬分析，發現由於風速與原先預估有落差、鉛酸電池放電深度以及綠能示範屋會因與原先預估的狀況不同等因素而影響供電的穩定性。為此我們根據目前的狀況提出建議的改善方法以及在指定的負載情境下時電力系統建議的設計結果，期望改善這些問題。

從整個研究的過程，我們了解混合電力系統的設計會牽扯許多因素，所以我們利用模擬分析時，會考慮再生能源長時間與短時間的特性、負載類性、元件壽命等因素進行設計。另外，也須考量到未來狀況的改變，討論使用何種元件對目前較好。在未來，期望綠能示範屋在運作過程中，可讓我們發現其他設計須要考量的因素，讓像綠能示範屋這類混合電力系

統能設計的更好，有便宜的供電成本與好的供電可靠度，以利推展綠能與提升相關產業競爭力。

## 參考文獻

1. [http://www.taipower.com.tw/content/new\\_info/new\\_info-b36-2.aspx#ig\\_b36-2\\_1](http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b36-2.aspx#ig_b36-2_1)
2. [http://www.taipower.com.tw/content/new\\_info/new\\_info-b36-1.aspx#ig\\_b36-1\\_1](http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b36-1.aspx#ig_b36-1_1)
3. F.C. Wang and H.C. Chen, "The development and optimization of customized hybrid power systems," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.41, no.28, pp.12261-12272, July, 2014
4. 蕭奕劭，結合再生能源及電解產氫之混合電力系統之發展與最佳化設計，國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文，2016。
5. 馬俊強，劉崑玉，林伯勳，「獨立電網風、光、氫能源互補發電實驗與示範」，*中華技術*，第112期，第184-199頁(2016)



# 稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

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

四、題目／作者：

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

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

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

壹、大標題（居中）

一、中標題（齊頭）

（一）子標題（齊頭）

1、小標題（齊頭）

（1）次小標題（齊頭）

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

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

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

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

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

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

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

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

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

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

(3)論文集

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

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

(4)學位論文

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

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

(5)研究報告

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

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





# 編後語

本(116)期主題為「營建管理之傳承與創新」，「傳承」代表的是經驗與本質之延續，而「創新」則是代表超越傳統與新技術應用。本期主要內涵係提供建築、橋梁、軌道、園區開發及港灣等不同領域重大建設在施工階段之營建管理經驗。在面對業主較高期望、能力各異施工廠商與嚴苛施工環境挑戰下，專案管理、施工監造過程如何運用本職學能、新技術來落實設計理念、提升工程品質及保障安全施工環境，是公司持續追求圓滿達成目標之用心所在。

非常感謝吳宏謀主委、蘇慧貞校長等二位專訪人物，於公務繁忙之中，撥冗接受本刊專訪，以及張國楨教授撥冗賜稿，欣喜獲得他們的精闢見解及諸多寶貴資訊，特予整理報導以饗工程專業讀者。本期主編也感謝各專題技術論文作者整理工作上的努力成果，利用公忙之餘，費心撰寫專文，將寶貴的實務經驗做分享，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三份及原稿電子檔，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。
- 117期中華技術專輯主題／智慧樂活-人本、科技、永續  
出刊日：2018年1月31日



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>