

# 土木水利

*The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*

February  
2021



ISSN 0253- 3804



9 770253 380006

NT\$350



Volume 48, No. 1

社團法人  
中國土木工程學會 發行  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

智慧科技

專 輯

特別報導

公共工程技術服務  
費用編列建議  
(A)



台灣世曦  
工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



匯通藝文新地標／大港橋

全臺首座水平旋轉橋梁，串聯亞洲新灣、駁二、蓬萊商港區，完備港灣環鏈遊憩線，點亮港都海灣觀光新廊道。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

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

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

E-mail:pr@ceci.com.tw

用心  
做好每一件事情

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



安心橋三維 (3D GIS) 模型輸出圖

# 土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊

發行人：宋裕祺

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：劉格非 (國立臺灣大學土木學系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十四屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：宋裕祺

常務理事：李順敏 高宗正 張荻薇 楊偉甫

理事：王宇睿 余信遠 林呈 林曜滄 邱琳濱 胡宣德 胡湘麟

高銘堂 張政源 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 黃慧仁 壽克堅

廖學瑞 鄭燦鋒 賴建信 謝啟萬

常務監事：王昭烈

監事：呂良正 李建中 沈景鵬 林其璋 楊永斌 謝佳伯

## 土木水利半月集

### 先進工程

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

### 永續發展

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

### 國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

### 教育學習

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

### 學會活動

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

### 出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊

### 分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

## 中國土木工程學會任務

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

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

## 中國土木工程學會和您一起成長！

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

## 「智慧科技」專輯 (客座主編：陳柏翰教授)

- 📖 專輯序言：智慧科技 陳柏翰 3
- 📖 高科技建廠專案整合式智慧管理發展 呂孟倉／黃俊銘／白博升 4
- 📖 應用長短期記憶模型於建築空調需量預測 施冠群／詹滢潔 11
- 📖 虛擬實境技術於工程實務之應用 黃琬淇／周淵清／許睿叡／廖翊含／周頌安 17
- 📖 運用Unity 融合BIM執行三維火災人員避難疏散模擬之研究 林世昌 22
- 📖 建築資訊模型 (BIM) 於安坑輕軌系統安心橋設計施工應用實務探討 李政安／鄒宏基／周茂益／劉泰儀／吳崇弘 29
- 📖 桃園市共同管道智慧化管理的應用與展望 康思敏／吳峰凱／藍士堯／鍾尚其／莊浚騰／劉軍希／賴宇亭／黃治峯 37
- 📖 IPD應用議題探討 — 以首次應用IPD之業主為例 范素玲 43

## 社團法人中國土木工程學會與業界共同研議

### 公共工程技術服務費用編列建議 (A)

社團法人中國土木工程學會、中興工程顧問股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、  
泰興工程顧問股份有限公司、康城工程顧問股份有限公司、台聯工程顧問股份有限公司、  
邑菴工程顧問有限公司、林同棧工程顧問股份有限公司、亞新工程顧問股份有限公司、  
國立臺北科技大學土木工程系宋裕祺研究室

- 📖 一、現況說明及第一次提出建議後工程會之積極作為 50
- 📖 二、工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目 54
- 📖 三、採單價計算法之人月、人日及人時單價 62

## 學會資訊看板

- 📖 2021防災科技研討會 — 110/5/28(五) 大坪林聯合開發大樓15樓，歡迎踴躍報名！ 封底
- 📖 110年1月14日、15日 臺北捷運萬大一期及信義東延段成果發表會 49

## 廣告特搜

- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 用心·做好每一件事情 封面裡
- 西門子股份有限公司 — 掌握關鍵數據，智慧化建築營建 封底裡



專輯序言

專輯客座主編 陳柏翰／國立臺灣大學土木工程學系營建工程與管理組 教授

首先，非常感謝劉格非教授的邀請，使本人有幸能擔任二月號專輯之客座主編。本專輯之主題「智慧科技」是時下頗為熱門的議題，不論是產、官、學界都或多或少應用了智慧科技於實務或研究上。

為協助讀者更深入了解「智慧科技」於土木水利相關領域之應用，本專輯特別邀集了不同領域之專家學者，分別就高科技建廠專案之整合式智慧管理、建築空調需量預測、虛擬實境於工程實務之應用、結合 Unity 與 BIM 於火災人員避難疏散之三維模擬、BIM

於橋梁設計施工之應用實務探討、共同管道之智慧化管理，以及專案整合交付模式（IPD）之應用探討等議題撰文分享，除了讓讀者對於目前的「智慧科技」應用現況有更好的掌握，也希冀在不久的將來能有更多不同類型的「智慧科技」應用與推廣。

最後，本人要誠摯感謝本專輯所有作者的賜稿，也希望藉由作者們的拋磚引玉，能開啟土木水利相關產業更智慧化的未來。🏡



# 高科技 建廠專案 整合式智慧管理 發展

呂孟倉／台灣積體電路製造股份有限公司 新廠工程管理部 部經理

黃俊銘／台灣積體電路製造股份有限公司 新廠工程管理部 主任工程師

白博升／台灣積體電路製造股份有限公司 新廠工程管理部 工程師

營建工程通常係以層層分包之模式進行，在工程規模日漸龐大且專業技術日益複雜的趨勢下，工地管理的難度也同等攀升不少。工地管理者不但要隨時掌握施工現場的各種情形，還要預見潛在風險制定出可被現場人員接受、執行且有實際效果的管理規則。也因此，若在事前規畫與執行回饋階段有一套系統能準確且即時的提供所需資訊，即可縮短工地管理者作出或修改決策所須之耗時，進而增加安全管理效率並使營建過程更加順利流暢。

基於上述說明，筆者將主要研究目標設定為「降低資訊取得門檻（時間/技術）並提升職災控管能力」。而目前已取得之顯著成果有：(1) 將多項工地管理制度所產生之資料電子化，整合並呈現在單一平台供使用者快速查詢；(2) 透過 4G 或 WiFi 等無線通訊技術，實現高風險工項即時監控機制（戰情中心）。

關鍵詞：營建工地管理、無線網狀網路

## 前言

「層層分包」是營建工程最常見且最無法改變的特性之一，其主因為營建工程在不同階段所需要的人才與技術有明顯區隔，極少有營造公司具備足夠的經濟條件及業務來源使其能夠獨自僱用營建周期中所需要的所有技術人員。因此，當業主（出資方）將建設案件交付承攬給主承商（營造公司）後，主承商會立即對任務進行切割並分包給其他規模較小或業務較單一的次承商，而次承商又會依據其人力或技術需求再次分包給次次承商... 此結構不斷延伸，直到無法再從分包這個行為獲得足夠的經濟效益為止，業界稱呼這種最小單位的團體為「工班」（圖 1）。

此分包結構的特性直接導致了進場人員素質參差不齊，並且隨著工程階段的轉變，還會輪替不同的工班進場施作。因此，在營建工地建立安全制度與文化，會比在一般辦公室或生產工廠面臨更多難以預期的挑戰。這些挑戰或許是工人的批評、廠商的責罵、

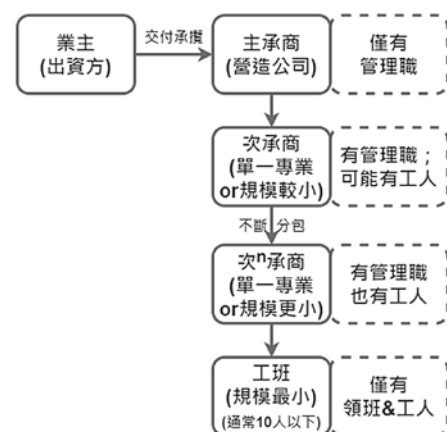


圖 1 分包結構示意圖

同仁的嘲諷，也或許是工具的限制、時間的不足、資訊的缺乏，又或者是許多的努力因為環境的複雜而暫時看不見效果。但也正是因為這個環境如此的複雜而危險，所以工地安全管理才愈顯重要。

根據中華民國勞動部職業安全衛生署統計資料，民國 108 年重大職災死亡人數營造業共 168 人，佔全年度 316 人的 53.2%；再參考近期筆者有接觸之新建

專案歷史資料，發現達到通報等級的職災有 73.5% 是發生在土建階段，其主因推測為施作人員的歷史經驗或教育背景使其對「安全行為」的判斷較為大膽（e.g. 隨意攀爬施工架、不穿個人防護具），所以更容易在施作過程中出現不安全行為，若此時工地管理者或稽核人員無法即時且準確的掌握這些發生在工地各處的資訊，就會導致安全決策延遲。故，如何導入新技術與新觀點來增進情報蒐集的效率、現場稽核的強度、制定決策的速度就是工地能否被妥善管理的關鍵。例如，將防護計畫系統、證照登錄系統、施工單申請系統三者結合，打造自動卡關機制以減少人工審單的疏失；或是在山貓水車（掃地機和灑水車）等環保機具加裝行動式網路攝影機，時刻觀察司機視野及行車路徑，藉以督導值勤狀況並調整責任區範圍。

筆者歷經數年的廠房新建工程，在工地管理過程中不斷地摸索、累積、創新、改善，最終歸納出一套整合式智慧管理方法。此「方法」由電腦軟件、設備硬體及管理制度三者相互搭配成型，諸如進場權限管理、施工單管理（自動勾稽相關資格）、防疫管理、現

場安全環保稽核、CCTV 監視網絡、高風險工項即時監控 / 錄影等，其效益包含了降低資源浪費、避免違法行為、保護人身安全及對環境友善。

## 文獻探討

依據中華民國勞動部職業安全衛生署（OSHA）於民國 109 年 6 月 24 日所發布的「108 年勞動檢查統計年報」<sup>[1,2]</sup>，我國勞工災害千人率自民國 101 年起穩定下降（表 1）；（圖 2）顯見勞工的生命安全受到越來越多重視及保護，而製造業的數值不論是在變化量或絕對量都與全產業平均相互吻合，這也間接暗示了製造業對職安衛的重視程度與國家風氣完全匹配。反觀營造業的表現，雖然勞工災害千人率也是穩定下降，但數值的絕對量始終保持在全產業平均的 3~4 倍，若相比農林漁牧業甚至高達 9~10 倍！另外，每年重大職災所造成的死亡人數當中，營造業佔比永遠在 40% 以上（表 2、圖 3）；最高還曾經來到 54.6%，也就是說全國有將近一半的死亡職災是發生在營建工地，這是個極度嚴肅且急需改變的現象。

表 1 中華民國勞工災害千人率歷史資料

勞工災害 千人率		年份							
		101	102	103	104	105	106	107	108
產業別	全平均	4.020	3.721	3.467	3.191	2.953	2.773	2.612	2.496
	製造	4.927	4.409	3.885	3.550	3.209	2.904	2.718	2.494
	營造	13.363	12.573	12.015	11.107	10.570	10.036	9.385	9.073
	農林漁牧	1.431	1.333	1.310	1.160	1.088	1.104	1.053	1.126

表 2 中華民國重大職災死亡人數歷史資料

重大職災 死亡人數		年份							
		101	102	103	104	105	106	107	108
產業別	非營造業	178	142	178	186	174	172	161	148
	營造業	151	171	168	156	147	142	124	168
營造業佔比		45.9%	54.6%	48.6%	45.6%	45.8%	45.2%	43.5%	53.2%

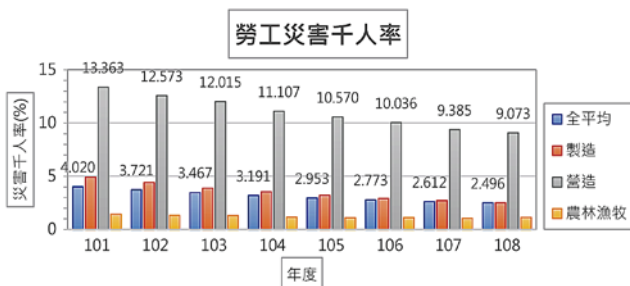


圖 2 中華民國勞工災害千人率（營造業數倍於其他產業）

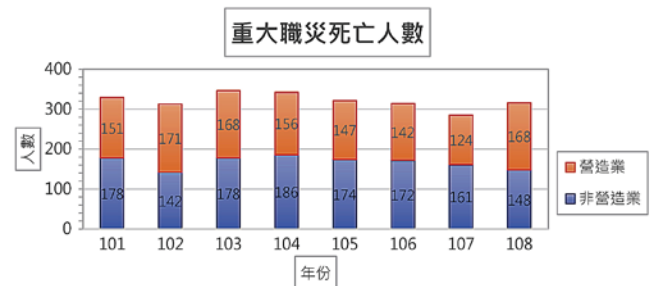


圖 3 中華民國重大職災死亡人數（營造業長年佔比 > 40%）

再進一步分析 108 年死亡職災類型（表 3、圖 4）；前三名分別為「墜落」47%、「倒 / 崩塌」8%、「感電」8%，共計 63%；若繼續累加第四名「物體飛落」、第五名「被撞」、第六名「捲 / 夾」，佔比即高達 81%。而這超過八成的死亡職災類型，恰好就是營建工地每天都要接觸的風險（圖 5），尤其是「墜落」在組立作業（如鋼筋、鋼構、模板、施工架）及臨邊作業（如開口、開挖、接料、打欄杆）階段都會大幅提升，因此工地管理者的首要任務便是定義何謂高風險作業並設立相應的管理作為，藉以控制避免施作過程中發生不安全行為 / 環境。

### 研究方法

筆者所服務之公司身為我國近年來最具影響力且啟動最多廠房新建工程的事業體之一，對於企業社會責任（CSR）責無旁貸。「如何提升工人尊嚴並給予其工作所需之安全環境」一直是筆者所服務之公司最重視的課

題，為此筆者所服務之公司不惜在每個廠房新建專案都編列新台幣數千萬甚至上億的專款用在職安衛相關人力設備，或是其他服務工人的項目（如酸梅、冰水、遮光絲、雨棚、休息區、廁所、福利社）。

在多年工地管理的過程中，筆者使用循環式品質管理（PDCA：Plan-Do-Check-Act）手法持續改善職安衛管理制度與軟硬體（圖 6），力圖養成合作夥伴（承商 & 師傅）的安全習慣並藉以改變我國營造業的安全風氣。P、D、C、A 各階段在本專案所代表之意義如表 4 所示。

### 結果與分析

歷經十餘載的廠房新建工程，筆者逐漸歸納並演繹出一套能提升訊息掌握效率的整合式智慧管理方法，此方法包含了人員管理、施工管理及物料管理三大面向（圖 7），各面向均引入不少科技產品作為輔助工具，藉以提升資料之精度、準度及獲取速度。

表 3 中華民國 108 年度死亡職災類型

108 年度死亡職災類型	類型									
	墜落	倒塌崩塌	感電	物體飛落	被撞	被捲被夾	溺斃	有害物質	火災爆炸	其他
人數	151	25	25	20	18	18	15	6	7	31
佔比	47%	8%	8%	6%	6%	6%	5%	2%	2%	10%

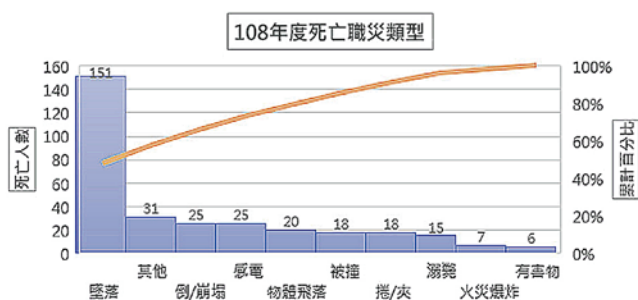


圖 4 中華民國 108 年度死亡職災類型（墜落佔比將近一半）

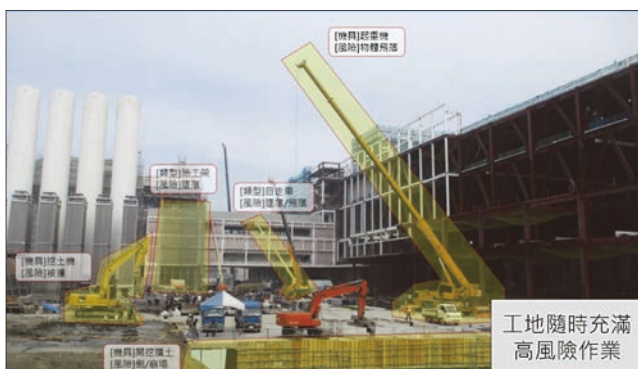


圖 5 營建工地隨時隨地都可見到高風險作業

表 4 研究方法說明

階段	功能面	使用面
Plan	設定功能需求。 [e.g.] 防護計畫管理系統、系統化施工單申請系統、現場稽核巡檢器...etc.	設計使用者介面 / 流程。 [e.g.] 首頁樣式、圖像化操作、圖塊配置、容許延遲標準、必要及非必要資訊區隔。
Do	尋求專業廠商撰寫軟體 /	採購硬體。
Check	確認功能完整度、確認邏輯正確性、確認是否有其他延伸需求。	親自操作 / 找人測試，蒐集使用者回饋，找到反直覺設計。
Act	完善系統架構。	修改設計 / 細節以提供更好的使用者體驗。

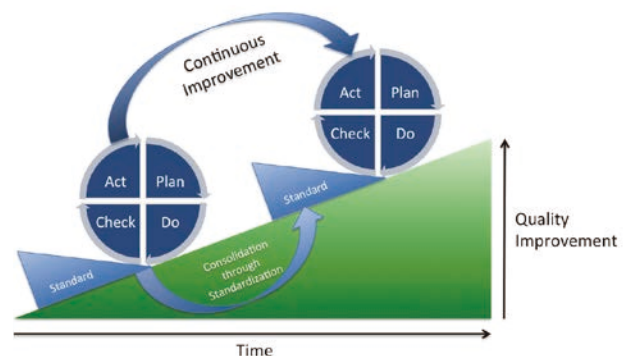


圖 6 PDCA 持續改進過程（圖片來源：Wikipedia）





圖 7 整合式智慧管理方法 三大面向

## 人員管理

人員管理所涵蓋之範疇有人員進出權限、人員身心健康、人員施作資格、人員違規複訓及人員停車權限，其中人員身心健康部分因今年（西元 2020）COVID-19 突然爆發成為不可忽視之威脅，故額外增添許多防疫相關設備及措施。

### 人員進出權限

所有進場人員均須備齊下列九項文件方可獲得工區通行證（俗稱「白卡」）：(1) 身分證、(2) 大頭照、(3) 一般安全衛生六小時教育訓練證明、(4) 體檢報告、(5) 勞保證明、(6) 一小時進場危害告知教育訓練紀錄、(7) 紀律承諾書、(8) 健康承諾書、(9) 個人資料授權書。

此機制使得安委會可以確保所有進場勞工皆已依法完成相關訓練並受到勞保保障，每天的進出記錄也可用於分析統計、Highlight 超時工作者、協助執法單位追查特定人物。同時，此機制亦能藉由暫時關閉（甚至刪除）通行權限，將施工紀律不良者有效阻擋於工地之外。

另外，為了防止冒卡或代刷等手段致使上述管控目的失效，筆者所管理之工地採用人臉辨識系統作為進場時之必要程序（圖 8）。除雙胞胎或特殊化妝等少數個案，此機制確實有助於確保進場人員真實身分。



圖 8 人臉辨識系統

## 人員身心健康

由於人員在辦理工區通行證（白卡）時都必須繳交預先體檢報告，因此廠護得以借助專業之健康服務管理系統（如 weCare）篩選出身體數值有異之個案，請其主承商定期將該名人員帶領至安委會接受衛生教育並量測生理數值（圖 9）。此機制能有效督促高風險族群定期回診及定時用藥，大幅降低工區內發生人員暈眩、昏倒、猝死之機率，並在必要時提供醫療機構個案追蹤紀錄。



圖 9 高風險族群定期追蹤

另外，為因應今年突然爆發的 COVID-19 疫情，筆者所管理之工地均額外增設防疫匣門。該匣門之通關權限與人員自身之工區進出權限分離，主要是依據健康調查聲明書所填報之內容判斷其攜疫機率，若是過高則阻擋於工區外避免造成群聚感染。另外，每道防疫匣門皆設有紅外線熱顯像儀全時監控通關人員之體表溫度，當儀器探測到超過警戒值（暫定為攝氏 37 度）之熱源便會啟動聲光警報系統（圖 10），提醒守哨警勤立即上前以手持儀器進行體溫複測，若檢測結果仍不合格則馬上由專人陪同送醫並全面消毒。

### 人員施作資格

技術性人員（如吊車駕駛員、鉗工）於進場施作前均須上傳相應之法定證照及安委會教育訓練紀錄（圖 11），此部分會結合電子工單申請流程由系統進行自動卡關，只有資格相符之人員能填入相應欄位完成申請動作，此機制能有效避免人員為貪圖方便而違反法定資格施作。

而針對高風險作業項目（如高架、吊掛）所設計之教育訓練課程，安委會亦費心引入虛擬實境（VR）設備讓學員透過沉浸式體驗瞭解重大職災發生時對身心所造成之壓迫與恐懼（圖 12），藉以提升人員安全意識並使其願意自發性正確使用安全防護具。



圖 10 防疫哨配置

工號	姓名	證照類別	證照號碼	證照日期	有效期間	發證單位	備註	功能
14823760	張志忠	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-0482967	2020-04-14	2022-04-13	經濟部動力設備署	查詢、認證、更新
18611450	葉志忠	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-4292966	2019-04-30	2022-04-09	經濟部動力設備署	查詢、認證、更新
45499580	王宏宏	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-0482967	2019-03-18	2022-03-17	經濟法人中研院國工及內務部職業安全衛生署	查詢、認證、更新
105610930	林志忠	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	1482040566	2019-07-17	2021-07-16	經濟法人中研院國工及內務部職業安全衛生署	查詢、認證、更新
33702970	張維強	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-0482967	2019-03-23	2022-03-22	中華民國動力設備署	查詢、認證、更新
18017800	葉志忠	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-4292966	2019-12-18	2022-02-29	中華民國動力設備署	查詢、認證、更新
42963200	張志忠	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-4292966	2018-07-27	2021-07-27	中華民國動力設備署	查詢、認證、更新
18700320	張維強	個人證照	固定式起重機操作人員(吊5.1-3T)	363-0482967	2019-08-10	2022-08-09	中華民國動力設備署	查詢、認證、更新

圖 11 人員證照及訓練紀錄

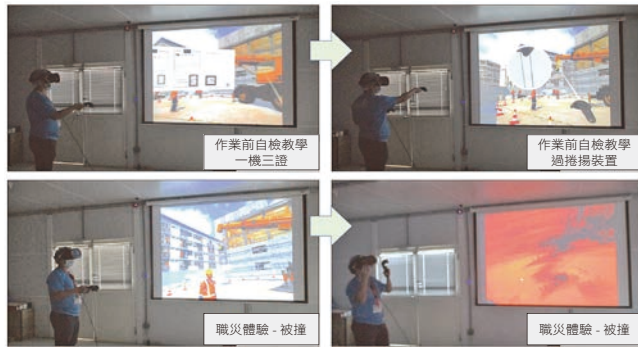


圖 12 VR 職災體驗 (起重機)

### 人員違規複訓

若現場稽核過程發現有人員不遵守安全規則 (e.g. 行走鋼樑卻不使用背負式安全帶)，則暫時關閉其工區進出權限直到該名人員完成實體設施體驗課程 (又稱「違規複訓」)。違規複訓與普通教育訓練最大相異之處在於將職災體驗由「虛擬」進階為「實體」，例如：讓違反高架作業規則之人員穿戴背負式安全帶行走於施工架練習勾掛要領，最後再體驗懸吊於空中之感受，讓身體觸覺加深記憶效果 (圖 13)。

### 人員停車權限

有鑑於工區人員變化頻率極高，發放紙本車證實在難以控管其流向，亦無法在車主轉調他處而不屬於工區人員後立即收回停車權限，因此筆者所管理之工地特別引入車牌辨識系統 (圖 14)，不但能減少紙張使用、人力成本、製作時程，還可以隨時調閱特定車輛的進出記錄或整個停車區域的統計資料，在管理及規畫停車等空間時無疑是如虎添翼。

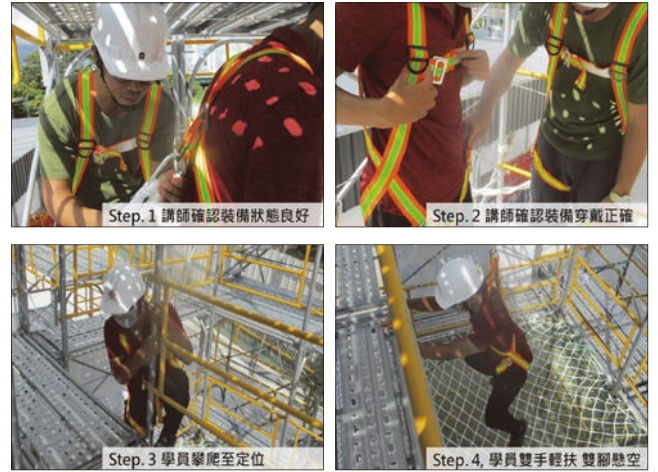


圖 13 高架違規複訓 (懸吊體驗)



圖 14 車牌辨識系統

### 施工管理

施工管理主要可分為事前文件及施作稽核兩大區塊，其中事前文件包含管理計畫、防護計畫、電子工單、工具箱會議紀錄及作業前設備自檢表等協助 (強迫) 管理職認真規畫工進、思考風險並落實宣導之文書；而施作稽核則是針對工人實際施作時所使用之工法 / 工具進行檢核，確認其遵照事前文件所闡述之計畫內容進行，避免未經討論的魯莽舉止造成人員傷亡。

### 事前文件之管理核心 — 電子工單

電子工單之全名為「系統化電子施工單」(圖 15)，其特色為申請人在填寫時系統會自動與人員施作資格及防護計畫審核紀錄相互勾稽，若欲填入之選項不具相應資格則自動卡關。舉例來說，主承商工安人員須先上傳 (營造業) 丙種職業安全衛生業務主管或更高級之法定證照，並通過安委會自辦之工地職安學識考核，方具備資格被填入「主承商工安」欄位。

*類別名稱:	動火申請表單	原檢等級:	高風險
*主承商:	請選擇主承商	次承商:	請選擇次承商
*施工日期:	2020/12/05	~	2020/12/06 (申請期間以七天為限)
*施工內容:			
*施工區域:	(區別) FAB_樓_5.F 柱位: A_柱到_Z_柱; 1_柱到_Q_柱 請選擇區域 請選擇樓層 柱位: 柱到 柱 柱到 柱 (加入)		
其他注意事項:	1.業乙級作業人員需經過安委會訓練認證 2.專業作業人員需持有專業工程師證書 3.業乙級作業人員均需經過安委會訓練認證		
*監理人員:		監理日期:	2020/12/05
*主承商工長:	請選擇工長	*主承商工程師:	請選擇工程師
*安委會工程師:	請選擇工程師		
<input type="button" value="送出"/> <input type="button" value="新增"/> <input type="button" value="取消"/>			

圖 15 系統化施工單申請

而在電子工單申請完畢後，主承商須於上工前確實召開工具箱會議，對自家監工、工安及施作人員講述今日施作項目之工法及風險（圖 16），全程參與工具箱會議者才能領取當日帽貼進入工區，無帽貼者將於行經工地哨時遭警勤人員攔下並勸離；在作業正式開始前，主承商監工或工安須依電子回報系統上傳工具箱會議紀錄、施工前設備/環境照片、監工/工安簽核、自我檢核表等文件供稽核人員隨時查閱。若稽核人員察覺電子工單上傳內容有異或欲進行隨機抽驗，則可攜帶工地巡檢器（詳下文）前往該區進行覆核，藉以確保現場情形與系統資料一致。

**吊掛作業工具箱宣導(設施損壞)**


- 歷年缺失件數: 6
- 主要缺失原因:
  - 過捲、過負荷裝置失效或bypass，造成吊桿設施損毀。
  - 轉盤螺栓金屬疲勞或過載，造成轉盤斷裂。
- 正確施作方式:
  - 遵守六不吊原則，起重機、吊索作業前須完成安全連鎖裝置檢核，此外，吊掛行經動線下方絕對不可有人駐留。
  - 作業中過捲、過負荷裝置不可bypass；老舊吊車(超過20年)需定期更換轉盤螺栓(每三年)，確保轉盤強度足夠。



過捲預防裝置確認



過負荷安全確認



吊車定期更換轉盤螺栓

圖 16 工具箱宣導海報(吊掛作業)

### 施作稽核之新興工具 - 天眼系統

天眼系統被創建之目的為提供工地管理者更全面之「視野」。不論是親臨現場或是身處於工務所，甚至是在地球的另一側，工地管理者皆可透過相應之設備獲取稽核所需之資訊與畫面。而這些設備當中，最重要的非「網路式移動攝影機」莫屬（圖 17），此設備除了能進行多對多影音雙向傳輸，從而實現即時作業監控之目的，在緊急危難發生時更具備與應變小組同

步視野之可能，同時還具備 GPS 可用以判斷該設備所處位置（若是平日裝設於特定機具還可分析其閒置比率），最重要的是這些即時回傳的畫面都備份在專用硬碟，可供檢方調閱還原事發現場。



圖 17 網路式移動攝影機

為了將此設備功能發揮到極致，筆者所管理之工地更進一步規畫專人專職於專用空間對所有回傳之攝影機畫面進行全時監控（圖 18），並在發現不安全行為/環境時立即對現場發出改善指令，此組織定名為戰情中心。儘管此戰情中心目前硬體設施未臻完善，但已具備所有應具備之功能，未來會持續投入更多資源與人力協助其推升工地管理效能。



圖 18 網路式移動攝影機

另一個可以提供遠程視野的設備是閉路電視（CCTV），主要用於監視大範圍施作工項（如基地開挖、建物拆除、塔槽吊裝）。由於 CCTV 攝像頭通常會裝設在環場至高點避開多數障礙物（圖 19），故以俯角所能看見之資訊在多數情況下甚至比親臨現場更完整，可以說是事半功倍的最佳代表。但因為此系統無法進行語音傳輸也無法隨時移動佈點，勢必還是會存在許多死角無法被有效監控，所以在戰略價值及使用方法上 CCTV 與網路式移動攝影機並不相同，兩者並非互斥而是相輔相成之關係。



圖 19 CCTV 操作畫面

工地巡檢器則是另一個能夠大幅提升現場稽核效率並節省紙張的設備，其最主要的功能為調閱系統資料（如電子工單、人員履歷、網路式移動攝影機畫面）並得以在巡檢當下開立稽核單（草稿），避免人員因記憶模糊而錯誤描述缺失現場（圖 20）。



圖 20 工地巡檢器開立缺失

## 物料管理

### 公司機密 / 形象保護

為防止人員擅自將建廠資料、現場照片或其他帶有本公司標章之物品隨意攜出場外從而導致不必要之外部風險（如施工垃圾亂丟遭環保單位偵辦），同時也為了保護公司機密進而提升商業競爭力，筆者所管理之工地嚴格實施進出物品管制。任何人員進出管制區均須通過金屬探測門及行李翻查，確認無夾帶資料儲存設備或上述文件後方可通行（圖 21）。



圖 21 物品檢查哨

## 結論

依台灣目前的營建環境，只要是身為工地管理者都免不了要面對以下難題：

1. 人員背景差距極大：從國小肄業到研究所畢業、從國內學歷到國外學歷、從畢業 3 個月到工作 30 年、從領人薪水到創業多年、從善男信女到黑幫成員 …，工地總是集結著許多不同社會層次的人，如何將同一套管理規則適用在所有人身上而不出亂子，是極具挑戰的任務。
2. 安全文化難以建立：工地人員來來去去，今日還有進場的師傅可能明日就因工項結束而不再進出，如此高頻率且高比率的替換模式，注定會阻礙工地建立安全文化。對於那些特定管理規則新增後才加入的成員，能否真正理解該些條文的必要性並願意配合？答案很明顯是否定的。以筆者所管理之工地為例，只要是新進人員或多或少都會反抗甚至鄙視職安衛相關規則，只因為其他工地很少會建立這麼多規範並聘僱數十人專職稽核。若這些反抗心態恰好是出現在主承商管理職（如協理、副總、PM），則工地管理者所需要付出的溝通成本將非常巨大，甚至面臨推行制度失敗的局面。

也就是因為上述兩大難題的存在，所以如何有效掌握工地資訊更是至關重要的課題。若能時刻確認每個進場人員的施作資格並與施工單相互勾稽，則可大幅降低違法行為的發生；若能蒐集不安全行為的畫面作為證據，則稽核人員才更有底氣要求現場落實安全管理；若能從事件調查中探尋意外發生的真因，則制定出來的政策才會命中要害；若能分析環保機具的路線和使用頻率，則可杜絕無效率的資源安排。

現代的問題還須用現代的方式解決，誰掌握住資訊就等於掌握住優勢。筆者認為整合式智慧管理方法的發展方向非常明確，就是盡可能的將工地相關資訊由被動蒐集轉為主動獲取，並以量化數據作為追蹤分析之依據，藉以達成降低職災風險、強化現場監視、協助人員管理、保存文件影音、符合直覺操作等目的，促使廠房新建過程更加順利。

## 參考文獻

1. 「108 年勞動檢查統計年報」，中華民國勞動部職業安全衛生署（OSHA），2020/06/24。
2. 「108 年勞動檢查統計年報重點摘要摺頁」，中華民國勞動部職業安全衛生署（OSHA），2020/09/15。



# 應用長短期記憶模型於 建築空調需求預測

施冠群／冠呈能源環控有限公司研發部 經理

詹滢潔／國立臺灣大學土木工程學系營建工程與管理組 助理教授

依據經濟部能源局統計，108 年的用電量較過去十年成長了 11.7% [1]，而台灣除了用電需求增加外，環保意識也逐漸增加，新建電廠一般從規劃、環評、興建到運轉大約需要 8~10 年的時間，也因此讓台電的備轉容量率逐年降低，2016 年 5 月 31 日備轉容量率出現自 2006 年以來的最低紀錄 1.64%。這幾年經濟部努力開源，除了林口、大林新機組加入運轉，老舊機組如協和、興達及再生能源如太陽能及離岸風電等全力支援下，2019 年備轉容量率再次回復到 10% 以上。然而隨著產業發展、老舊電廠的退役及氣候變遷的影響，缺電問題依然會是未來需要面對的必要課題。

缺電問題除了透過新建電廠等開源的方法外，也可透過減少耗能的節流手法達到，而要討論節能，可以先探討能源使用的情況。除了生產所需的製程耗電外，空調耗電是一般商用建築中，耗能量最高的項目，佔建物全年總耗能的 40%~60% 以上 [2]，其次則為照明耗電，佔 30%~40%。為了減少空調系統在白天尖峰時期的運轉耗電，空調產業發展出一種可在夜間儲存冷卻能量，白天再釋放的系統，稱為儲冷空調系統。但儲冷空調系統控制策略複雜，管理人員需具備較高的管理技術水平才能妥善操作維運，且早期儲冷空調系統因採用製造不良之儲冰設備或因儲冷系統之設計不良，儲冷空調系統在多年前百花齊放後即銷聲匿跡。但在今日面臨可能缺電的環境下，利用儲冷空調系統來轉移電力尖峰用電至離峰時段，可以減輕新建電廠的壓力，並提高電廠之運轉效益，也可以用來改善電力尖峰時段，空調冰水機之運轉效益與效率 [3]。

一般而言，為了將大型建築的空調系統維持較佳的運轉效益與效率，會建立中央監控系統協助管理人員監看及控制空調系統設備。對建築物的管理人員而言，若能得知空調系統的負載預測值及耗電預測值，則能在用電契約容量與人員舒適度取得最佳的運轉設定數值 [4]。本研究採用深度學習的方式建立空調需求的預測模型，利用深度學習的複雜性及自適性提供更準確的預測值，期望找出適合建築空調需求預測的輸入參數及深度學習的模型，提升預測的準確度及降低建立空調需求預測模型的成本。

## 研究方法

本研究將對空調預測的輸入參數、深度學習的模型比較及模型預測等方面的相關文獻進行回顧，再總結並規劃本研究架構。

陳俊廷 [5] 提出運用 ASHRAE 第 14 號準則之相關變數（冰水出水溫度、冷卻水進水溫度及製冷量）並輸入 1~3 個月的短期量測數據回歸冰水主機性能方程式，並透過粒子族群演算法求得修正公式的最佳化係數解。實驗結果顯示，冰水主機性能係數（COP）及耗

能誤差要修正到 10% 以內最少要 115.17 筆數據、如要修正到 5% 以內則需要 161.15 筆數據。

蔣星宇 [6] 運用商業數學軟體 MATLAB 和建築模擬軟體 EnergyPlus 開發了一套自動化模型預測控制系統。系統以降低冷卻負載和轉移尖峰用電為切入點採用三種控制策略，分別是自然通風、空調預冷和儲冰槽儲冰。系統採用了天氣預報資料，通過基因演算法結合 EnergyPlus 模擬以預測電費及求解最佳化的控制策略。研究結果，電費節約幅度大約為 29%~33%，但會受到預測天氣與實際天氣之間的誤差而產生不確定性。

Cheng Fan<sup>[7]</sup>提到建築物運轉期間的耗電佔生命週期總能耗的 80%~90%，若對各系統進行適當的控制或及時的故障檢測可以節省大約 20% 的能耗。Cheng Fan 提到建築能源預測分為短期（小於一週）、中期（一週至一年）和長期（超過一年），實驗結果顯示，LSTM 及 GRU 都能有很好的表現，但 GRU 似乎是成本效益更好的選擇。

陳俊廷的研究指出模型誤差要修正到 5% 以內需要 161.15 筆數據，Cheng Fan 證明了使用 LSTM 及 GRU 作為空調預測模型有更好的效果，蔣星宇的預測控制系統結合了天氣預報資料。綜合上述研究成果，本研究預期採用多元複迴歸分析、ANN（類神經網路）、LSTM 及 GRU 建立模型，並結合不同調整參數的設置與天氣預報資料產出 48 小時的短期預測結果後比較其準確度，找出適合的模型及調整參數。

本研究的研究流程分為三個階段，第一階段為收集案場資料、第二階段為資料整理階段、第三階段為資料分析及比較階段。

收集案場資料階段，為了確保收集到的資料具有可信度，必須先使用高精度的儀器對案場的感測器進行對校，之後再從監控系統匯出歷史資料。

資料整理階段，將監控系統匯出的資料整理成資料庫可匯入的格式，再將資料匯入資料庫中，使用資料庫的好處時，可快速將資料進行群組及統計，例如取得不同月份的每日逐時平均數值。

資料分析及比較階段，本研究建立了數種不同的深度學習模型進行測試，將資料庫匯出的資料透過 Python 執行運算，再觀察不同模型的運算結果，最後便可得到本研究的結論及後續的研究目標及改善建議。

## 實驗案場介紹

本研究以南港軟體園區二期（簡稱南軟二期）的監控資料作為訓練資料來源。該建築物位於北市南港區園區街 3 號，該建築物為地下 3 層地上 17 層，主要用途為商業辦公大樓，空調系統為全量儲冰系統，上班時間為 08:30~18:30，中午休息從十二點開始，休息時間約一個半小時，夜間有空調需求，需 24 小時維持空調供給。

## 資料收集及資料前處理

### 氣象資料收集及分析

本研究採用 Dark Sky 的台北市氣象預報資料。Dark Sky 是一個著明的全球氣候預測平台，且能透過 API 下載未來 48 小時，每小時的氣象預測數值，與中央氣象局每 3 小時的氣象預報相比，更適合本研究的預測模型使用。Dark Sky 的預測數值包含溫度、相對溼度、雲量、紫外線、風速等數值。本研究使用溫度及相對溼度做為預測模型的訓練資料使用。為了證明 Dark Sky 的氣象預報數值有一定的準確度，本研究收集了 2019 年 Dark Sky 天氣預報資料及中央氣象局台北市的台北測站觀測資料進行分析。將一整年的資料統計分析後，可以得到全年溫度預測的平均誤差 -3.95%，標準差為 5.27%，將全年誤差值四捨五入取整數，依誤差值範圍累計得到誤差區間累計值。統計的結果如圖 1 所示，預測的誤差並不會出現預測的時間離現在越遠，誤差越大的情況。

### 監控系統對校

由於訓練資料來自南軟二期監控系統的紀錄資料，故在收集資料前，必須先使用校正過的儀器進行量測比對，確定現場的感測器運作正常，才能取出資料進行分析。本次量測比對的執行時間為 108 年 11 月，專案執行到 108 年 12 月結束，故本次取出監控系統 109 年 1~12 月的紀錄資料進行分析。

### 監控系統資料收集及資料前處理

監控數據為二分鐘一筆資料，監控系統因系統維護需求，有資料缺失的現象，電力監控系統及空調監控系統缺失的資料皆不相同，故需並比對同一時間的

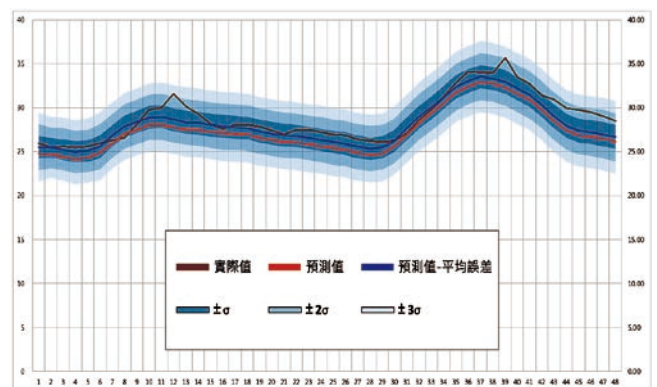


圖 1 溫度 48 小時預測誤差堆疊圖

氣像預報資料、電力監控系統及空調監控系統，清除有缺少資料的數據列，產出預測模型訓練用資料。

資料整理結果如下，原始數據量為 262,800 筆，統計後數據量 8,760 筆，清理後的數據量 7,946 筆，可用數據有 90.7%。

## 空調系統特性分析

取得資料並匯入到資料庫後，本研究分析南軟二期空調系統，比較外氣條件與空調需量的關係，以幫助了解數據集的特性。

如圖 2 及圖 3 所示，藉由分析空調負載與外氣條件在不同時間的關係，可以發現空調需求量在上下班時間與外氣條件呈現不同的散佈圖。

因此，訓練參數除了有每小時的逐時平均溫度、相對溼度及對應的小時外，還需包含平均與假日。另外，因考量都市建築物多為高蓄熱量與吸熱表面積大的材料，使得白天增加的溫度，到了晚上就藉由蓄熱材質釋放出來<sup>[8]</sup>，故訓練參數增加前 3 小時、前 6 小時、前 12 小時、前 18 小時、前 24 小時、前 36 小時、前 48 小時的外氣溫度平均值，再藉由特徵值選擇的方法，找出影響預測值最高的幾項特徵。

## 預測模型建置

本研究使用氣象預報及監控系統歷史數據整理原始資料，並透過特徵值選擇方法挑選重要的特徵值建立訓練資料，再將訓練資料丟入預測模型中進行訓

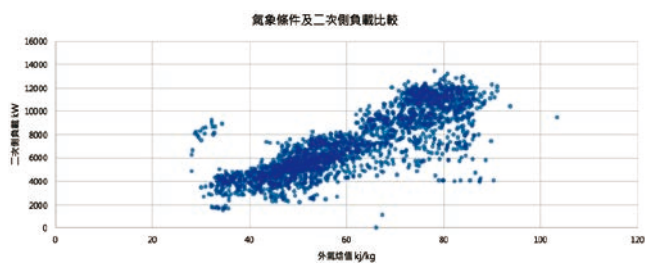


圖 2 外氣條件與空調需量散佈圖（平日 7 點~19 點）

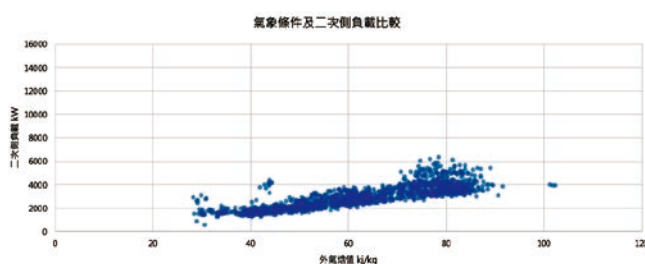


圖 3 氣象條件及空調需量散佈圖（假日）

練。預測模型主要分為兩塊，一是多元複迴歸分析類型，二是類神經網路類型，訓練完的結果再針對訓練時間及預測值與實際值的均方根誤差進行比較。圖 4 顯示預測模型建置架構。

## 訓練資料模型介紹

### 多元複迴歸分析

多元複迴歸分析的分法主要有三種，分別是 OLS (Ordinary Least Squares)、Ridge Regression (以下簡稱 Ridge) 及 Lasso Regression (以下簡稱 Lasso)。

本研究使用 sklearn.linear\_model 的函式庫建立 OLS、Ridge 及 Lasso 模型，OLS 使用預設參數，Ridge 及 Lasso 則比較不同 lambda 的設定。

### ANN (Artificial Neural Network)

本研究使用 keras 函式庫的全連接層 (Dense) 建立 ANN 模型架構，激活函數 (Activation Functions) 使用 Relu (Rectified Linear Units)，優化函數 (Optimizer) 使用 Adam，損失函數 (loss function) 採用均方誤差 (MSE)。模型調整參數將比較 Dense units 數量、Dense layer 的數量，Learning Rate 的設定。

### LSTM (Long Short-Term Memory)

本研究使用 keras 函式庫 LSTM layer 建立模型，優化函數 (Optimizer) 使用 Adam，損失函數 (loss function) 採用均方誤差 (MSE)，並討論不同層數、輸入序列時數之間的影響，而輸入序列格式則如圖 5 所示。

### GRU (Gate Recurrent Unit)

本研究使用 keras 函式庫 GRU layer 建立模型，優化函數 (Optimizer) 使用 Adam，損失函數 (loss function) 採用均方誤差 (MSE)，並討論不同層數、輸入序列時數之間的影響，輸入序列格式則參考 LSTM。

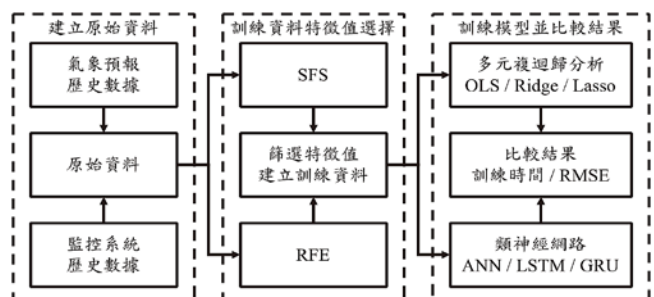


圖 4 預測模型建置架構

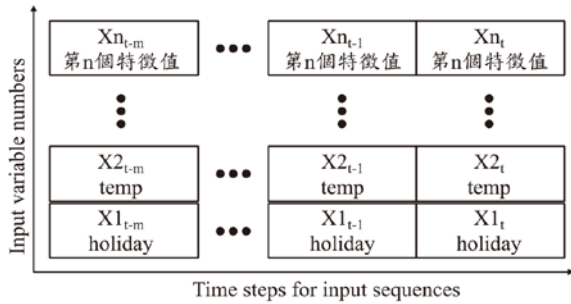


圖 5 LSTM 輸入序列格式

### 特徵值選擇

本研究在空調特性分析後，找到了共 11 特徵值，除了特徵值之間可能存在相關性太高的問題外，特徵值過多也容易造成 overfitting 的現場，因此剔除影響性較小的特徵值，能提高預測模型的準確度，也能減少訓練所需的時間。

本研究採用序列前向選擇 (SFS, Sequential Forward Selection) 及遞迴特徵消除 (RFE, Recursive Feature Elimination) 進行特徵值選擇。

依照 SFS 及 RFE 特徵值選擇的結果，可以找到彼此間的交集為 holiday、temp、temp\_b6avg、temp\_b12avg、temp\_b18avg、temp\_b24avg 及 temp\_b48avg。而因為訓練模型的特徵值一般會盡量避免特徵值彼此間有很高的相關性，因此每項特徵值進行相關性分析，分析結果圖 6 顯示從外氣溫度與每項前 n 小時的外氣溫度平均值有很高的相關性，因此在訓練預測模型時，會先嘗試將這些特徵值逐項輸入到訓練特徵值向量中，再比較訓練的結果。

在比較完特徵值後，將本案 2019 年的資料區分為訓練資料及測試資料，其中 1~8 月作為訓練資料，9~11 月作為測試資料，因 12 月份本案有進行空調改善工程，故不納入本研究的實驗資料中。而針對類神經網路類型的預測模型，則再將 1~8 月的訓練資料亂數排序後，再抽 10% 作為驗證資料。所有的資料都會經過標準化後再丟到模組進行訓練，確保各個特徵值有差不多的權重。

### 不同模型調整參數設定

依據特徵選擇的結果，將特徵矩陣分為 10 種組合，列表如表 1。

依據預測模型類型，定出不同的調整參數內容，調整參數規劃列表如表 2。

表 1 特徵矩陣組合列表

編號	特徵矩陣
組合 1	holiday、temp_b24avg
組合 2	holiday、temp、temp_b24avg
組合 3	holiday、temp、humidity
組合 4	holiday、temp、humidity、temp_b24avg
組合 5	holiday、temp、temp_b18avg
組合 6	holiday、temp、humidity、temp_b18avg
組合 7	holiday、temp、temp_b12avg
組合 8	holiday、temp、temp_b6avg
組合 9	holiday、temp、temp_b48avg
組合 10	holiday、temp、humidity、temp_b3avg、temp_b6avg、temp_b12avg、temp_b18avg、temp_b24avg、temp_b36avg、temp_b48avg

表 2 預測模型調整參數表

多元複迴歸分析		
OLS / Ridge / Lasso		
類神經模型		
ANN	Layers	3 / 4 / 5 / 6
	Units	8 / 16 / 32 / 64
	Learning Rate	/ 0.01 / 0.001 / 0.0001
LSTM / GRU	Timesteps	24 / 36 / 48
	Layers	2 / 3

### 運算時間及準確度比較

各模型結構訓練結果如下圖 7 至圖 10 所示，根據不同變因對預測效能之探討如下：

#### 多元複迴歸分析結果

多元複迴歸分析模型無論是 OLS、Ridge 或是 Lasso，在預測結果的表現上，都沒有顯著的變化，且 RMSE 數值皆超過 1000。將 9 月和 11 月其中一天上班日和假日的預測結果從圖 8 及圖 9 上可以看出，與實際值誤差相當大，且無法區分上班日和假日，因此可以明白多元複迴歸分析無法有效的應用在空調需量預測上。

#### 不同層數對於 ANN 模型之影響

實驗結果顯示預測品質隨著層數增加而有變好的趨勢，但比較特別的是，原本預期較多的層數應該有較高的訓練時間，結果因為層數較多的模型能快速收斂，反而得到較短的訓練時間。但層數增加到第五層後，預測品質就沒有顯著的提升了，故選擇五層作為最佳層數。

#### 不同 Unit 數量對於 ANN 模型之影響

實驗結果顯示，預測品質並無顯著提升，但訓練時間和不同層數造成的影響一樣，較高的 Unit 數能快



	holiday	h	humidity	temp_avg	temp_b3avg	temp_b6avg	temp_b12avg	temp_b18avg	temp_b24avg	temp_b36avg	temp_b48avg
holiday	1.00	0.00	-0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03
h	0.00	1.00	-0.23	0.15	0.22	0.24	0.14	-0.01	0.00	0.05	0.00
humidity	-0.02	-0.23	1.00	-0.53	-0.47	-0.38	-0.22	-0.18	-0.24	-0.22	-0.23
temp_avg	0.05	0.15	-0.53	1.00	0.97	0.92	0.85	0.84	0.88	0.86	0.86
temp_b3avg	0.05	0.22	-0.47	0.97	1.00	0.98	0.92	0.88	0.90	0.89	0.87
temp_b6avg	0.05	0.24	-0.38	0.92	0.98	1.00	0.96	0.91	0.91	0.92	0.89
temp_b12avg	0.05	0.14	-0.22	0.85	0.92	0.96	1.00	0.98	0.96	0.96	0.93
temp_b18avg	0.05	-0.01	-0.18	0.84	0.88	0.91	0.98	1.00	0.99	0.98	0.97
temp_b24avg	0.04	0.00	-0.24	0.88	0.90	0.91	0.96	0.99	1.00	0.99	0.98
temp_b36avg	0.04	0.05	-0.22	0.86	0.89	0.92	0.96	0.98	0.99	1.00	0.99
temp_b48avg	0.03	0.00	-0.23	0.86	0.87	0.89	0.93	0.97	0.98	0.99	1.00

圖 6 特徵值相關性分析矩陣圖

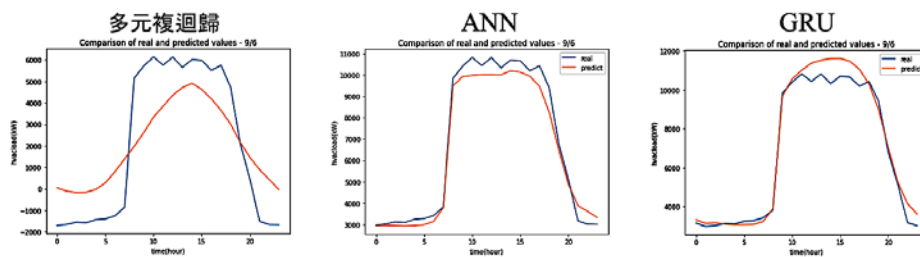


圖 7 各類型模型夏季上班日預測結果圖

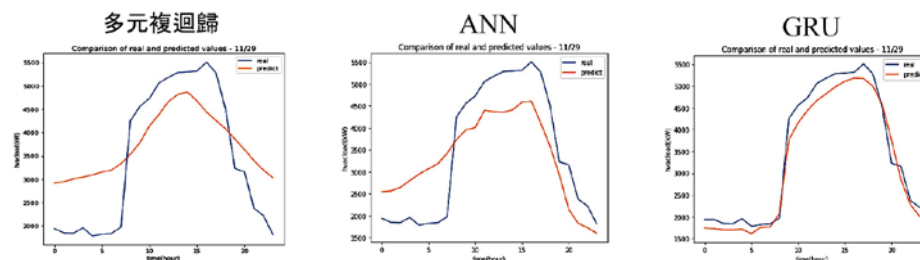


圖 8 各類型模型冬季上班日預測結果圖

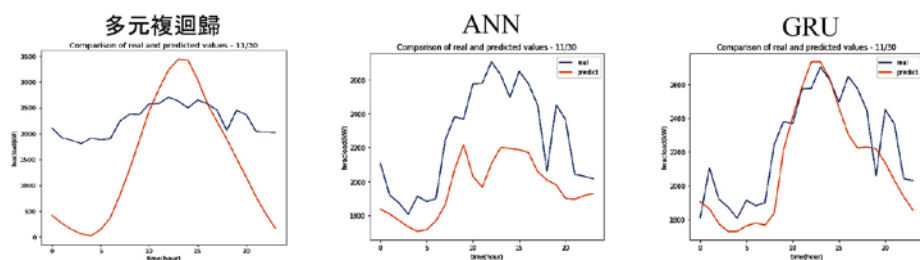


圖 9 各類型模型假日預測結果圖

速收斂，反而得到較短的訓練時間。但當 Unit 數量提升到 128 時，運算時間開始增加，因此選擇 64 個 Unit 數量作為最佳參數。

### 不同 learning Rate 對於 ANN 模型之影響

Learning Rate 變小會讓訓練時間增加及預測品質些微上升，但原本預設的 Learning Rate 數值 0.001 與其他的調整參數相比，有著不高的訓練時間及最佳的預測品質，因此選擇 Learning Rate 數值 0.001 作為最佳參數。

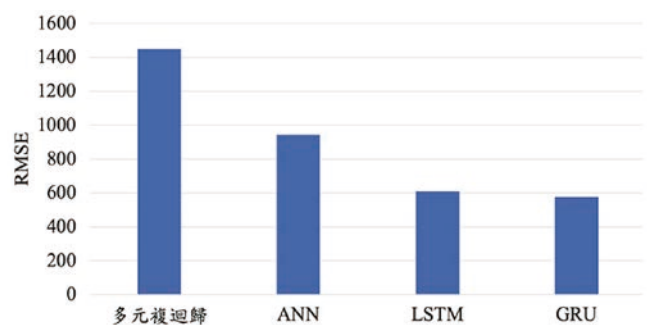


圖 10 各類型預測模型 RMSE 比較

### 不同 time steps 對於 LSTM 及 GRU 模型之影響

輸入時長為 24 小時之模型有最佳之效能。從訓練結果也可證實過多之資訊量，對預測品質並不會有幫助，反而是增加模型運算量。

### 不同層數對於 LSTM 及 GRU 模型之影響

層數增加，訓練品質並無顯著提升，但訓練時間卻大幅增加，因此使用單層 LSTM 或 GRU 模型有著最好的效果。

### ANN、LSTM 及 GRU 於特徵組合、訓練時間及預測品質上之差異

綜合以上結果，特徵組合 6 及 GRU 有著最佳的預測品質，這有可能是隨機性造成的影響，但整體而言，LSTM 及 GRU 的預測品質是優於 ANN，尤其是在天氣較冷或假日的表現，這有可能是因為 LSTM 可以將預測時間近期的資料作為計算依據的原因，所以能得到較高的準確度，若由此想法去調整 ANN 的模型架構也許能改善 ANN 的預測品質。但在運算時間上，GRU 並沒有比 LSTM 少，這可能是模型的複雜度還不足以表現出 GRU 在訓練時間上的優勢，不過兩者的訓練時間皆遠高於 ANN，因此改善 ANN 模型架構來取得更佳的預測品質將有其優勢。

## 研究成果及未來應用

本研究的主要目的為提供空調系統有效之需量預測模型，為此，本研究透過完整且謹慎之資料前處理找出了 10 項特徵組合作為訓練模型輸入參數，並比較傳統多元迴歸模型及類神經模型的差異，以此證明類神經模型較適合用於空調需量預測上。而在類神經模型的比較上，透過設計不同之網路結構及參數調整，進行最佳神經網路結構與參數之搜尋。本報告建議之空調需量預測模型在預測上有不錯之結果。關於本報告之結論與未來研究之建議，如下所述。

### 結論

1. 本研究建議之資料前處理方法，具其合理且有效性，可作為空調需量預測模型之輸入。
2. 本研究建議使用單層 GRU 模型作為空調需量預測模型之架構。
3. 本研究之模型可應用於不同月份之用电量預測，並

作為使用者於空調需量決策判斷之依據。

4. 對 ANN 而言，Layer 及 Unit 增加訓練時間不一定會增加，反而有可能因提早收斂而縮短。
5. ANN 在冬季及非假日的表現較差，因此有著比 LSTM 及 GRU 較差的預測品質。
6. LSTM 及 GRU 在不同神經層數、輸入時長的表現皆有完整之探討。

### 未來展望

1. ANN 的表現雖不如 LSTM 及 GRU，但 ANN 有著訓練時間短的優勢，可試著調整 ANN 模型架構，改善其訓練品質。
2. 預測模型依賴著氣象預報資料的準確性，但無論是氣象預報資料，或是建築物本身的運作上，皆存在很多不確定性，未來應在預測模型中加入預測數值的不確定性分析，藉由考量這些不確定性，可以改善預測模型的精確性及置信度，決策者可以基於量化的置信度選擇最佳控制策略。
3. 本研究完成了空調需量預測的研究，下一步就能研究儲冰系統儲冰及融冰控制策略，期望能有效的發揮儲冰系統效能，降低建築物尖峰負載需求。
4. 本研究可與過去相似外氣環境下之空調負載資料結合，進行未來長時間之空調需量預測，並可作為該案未來參與台電需量競價<sup>[9]</sup>之主模型架構。

### 參考文獻

1. 經濟部能源局，10-11 電力消費（歷年），能源統計月報（2020）
2. 內政部建築研究所，住宅與商業建築耗能總量調查研究（一），（1999）。
3. 台北市空調技師公會，缺電的解方 — 高性價比儲冷空調設計（2018）。
4. Tecuci, G., Building Intelligent Agents. 1998.
5. 陳俊廷，應用粒子族群演算法進行冰水主機性能分析之資料修正與限制，in 能源與冷凍空調工程系碩士班（2016），國立臺北科技大學：台北市。
6. 蔣星宇，實時空調能耗預測模擬與預測控制，in 土木工程學研究所（2018），國立臺灣大學：台北市，第 72 頁。
7. Fan, C., et al., Assessment of deep recurrent neural network-based strategies for short-term building energy predictions. Applied Energy, (2019), 236, pp. 700-710.
8. 陳冠廷，台灣中小型都市熱島效應之觀測解析，in 建築學系（2000），國立成功大學：台南市，第 93 頁。
9. 台電需量競價平台，Retrieved from <https://dbp.taipower-ami.com.tw/>





# 虛擬實境技術於工程實務之應用

黃琬淇／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 副經理

周淵清、許睿叡、廖翊含／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師

周頌安／中興工程顧問股份有限公司 總工程師

隨著資訊技術的蓬勃發展，智慧科技正持續改變一般民眾的生活模式，從而也影響了各行業的營業模式。中興工程顧問公司身為工程顧問服務業的領航者，持續在工程全生命週期提供適切的工程規劃設計、監造與專案管理等專業技術與服務；近年更以強化溝通效益為目的，導入虛擬實境（VR）技術於規劃設計成果展示、施工監造成果體現及施工場域危害預防，陸續歸納出勾勒願景、重現實景與訓練技職等三個方向，以實際應用案例導入並持續深化應用。後續將以導入 VR 的經驗為基礎，推展各式創新智慧科技於工程實務之應用。

關鍵詞：工程全生命週期、虛擬實境技術

## Abstract

The rise of novel information and communication technologies have wrought fundamental change throughout our societies, not only in lifestyles but also commercial patterns. Sinotech Engineering Consultants Ltd., as a pioneer in the engineering consulting industry, has devoted into providing professional talents and capabilities to solve problems encountered throughout the whole life cycle of construction projects. Virtual Reality (VR) technology, which has become easier to be applied thanks to the improvement of software and reasonable costs, has been implemented in three main aspects in Sinotech to enhance communications. The three aspects namely are to plot the vision, to reappear the past, and to give occupational safety trainings. Our successful experiences on applying VR technology in construction projects will be the model for applying advanced intelligent technologies in the engineering field.

Keywords: Whole Life Cycle of Construction Projects, Virtual Reality Technology

## 虛擬實境技術的演進與發展趨勢

虛擬實境（Virtual Reality，以下簡稱 VR）的概念最早可溯及 1860 年代，當時有藝術家以全景壁畫的方

式來實現；至 1960 年代則演變為以電腦虛擬出 3D 空間，並藉由與連接電腦的頭戴式裝置，使操作者能夠 360° 觀看無死角畫面，進而對虛擬環境產生沉浸感；VR 最早應用於軍事訓練，至此之後，VR 則被固定為此互動操作型式的代名詞。惟當時受限於硬體效能和軟體支援程度，故演進緩慢；直至 2010 年以後行動裝置開始普及，且微型處理器及顯示卡的效能大幅提升，市場上得以推出平價且體感良好的設備後，VR 技術才較常被討論。尤其是近三年來，VR 已進入廣泛應用的內容開發期。

現今的 VR 可進一步定義為：一種以電腦模擬的可互動環境，使用者藉由配戴遮蔽視線的頭戴顯示器，即可在虛擬環境中即時且較無限制的觀察由電腦運算產生的三維空間內的事物，感受到其中的深度或動作<sup>[1,2]</sup>。就資訊傳達的目的而言，藉由人機間的直覺式互動及資訊呈現，VR 可達到訊息有效傳達、深化訊息的印象之效果；而就知識學習的角度而言，應用 VR 則具有強化學習動機、使學習經驗更完整連續、及提升學習與應用成效等多重效益<sup>[3]</sup>。

本文即基於前述對於 VR 的定義與功能特色，以中

興工程顧問公司（中興公司）的 VR 應用與推展為例，說明目前 VR 技術於工程與管理的應用現況，作為後續基於工程生命週期持續導入更多元的智慧科技，以提升工程設計、監造與維運之品質與效率之參考。

## 虛擬實境技術之於工程與管理的發展重點

### 虛擬實境技術發展概述

VR 內容的製作流程主要包含三個程序：模型建立、仿真外觀建置及 VR 模組產生。首先在模型建立的部分，其來源可為 BIM 軟體建模成果，或透過可執行平面影像重建的軟體建模後導入。以可應用影像生成仿真 3D 模型的軟體 Agisoft Metashape<sup>[4]</sup> 為例，模型建立與外觀建置流程主要包括兩部分：針對模型建立主體取得相關影像及建立 3D 模型及外觀建置。

在模型產生後，即可進一步利用配套軟體製作 VR 模組。以遊戲平台開發軟體 Unity Pro<sup>[5]</sup> 製作 VR 模組為例，大致可分為三步驟<sup>[6]</sup>：

1. 匯入模型並製作外觀：依據 3D 模型之來源，將模型轉換為適當檔案格式匯入 Unity Pro，必要時為 3D 模型貼上材質、調整場景燈光，以展現適當之外觀色彩。
2. 放置 VR 核心模組及安裝控制輸入模組：於 Unity Pro 載入核心模組，以啟動特定 VR 裝置；並安裝硬體廠商提供的外掛控制模組，讓使用者可應用該 VR 裝置在場景中利用傳送方式移動。
3. 測試及導出：前述與硬體裝置的連結模組設定完成後，即可以裝置連接電腦執行運作測試；在 Unity Pro 的編輯狀態下即時預覽，查看裝置運作情況及有無錯誤訊息；若無問題則可利用 Build Settings 面板發布所開發之場景與內容。

前述製作成果可發布為多平台可用之執行檔，該執行檔即為無須安裝開發軟體、有設備與電腦便可操作的 VR 模組。

### 虛擬實境技術於工程與管理的應用重點

中興公司持續關注各界先進及創新技術的發展狀況，期能在適當時機導入穩定且高性價比的技術與設備，以提升工程規劃、設計、監造與維運及專管等各工程顧問服務項目之執行效益；VR 技術也是其中之一。基於技術與設備成熟度等考量，中興公司係於

2016 年購入首套 VR 設備，並進用專業人員進行內容開發；經過 4 年間的持續嘗試和精進，目前已歸納出三項主要發展軸線，分別是：勾勒願景、重現實景及訓練技職；茲簡要說明三個軸線的目的與特色。

1. 勾勒願景：即工程規劃與設計構想的實現。此部分採用 VR 之目的在於儘可能準確地傳達工程規劃與設計理念與構想，讓業主、民眾等利害關係者，能夠適切的了解提案內容，進而接受設計理念或至少能夠聚焦議題，避免因為認知上的落差，導致不斷反覆修正、產生不信任等負面觀感。除應用於工程規劃或設計概念的體現，中興工程並應用 VR 進行人因工程的檢討，提升規劃設計成果的品質。
2. 重現實景：即設計成果與施工過程之實景體現。每一次的工程設計與監造，對於工程顧問公司來說，都是難能可貴的經驗傳承。特別是有特殊意義的工程，透過 VR 完整而充分地回顧工程設計特色及施工管理的過程與細節，對內可以提升團隊的榮譽感並建立知識傳承，對外則是設計監造服務成果的品質保證以及能力展現。故中興公司結合計畫執行採用監造管理資訊系統（PMIS）之優勢，配合相關影像與工序資料的保存結果，以擴增虛擬實境的概念，打造虛擬展示空間；成功應用 VR 技術於重要工程的關鍵工法及工序重現。
3. 訓練技職：即施工現場危害預防之落實。工程顧問公司的各項專業服務項目中，最具危害風險的即為工程現場的監造服務工作。有鑑於中興公司對於勞工安全衛生高度重視，已於 2019 年通過 ISO 45001 職業安全衛生管理系統驗證，故亦將 VR 技術應用於建置工程監造工安模擬訓練集；基於工程管理專業經驗所彙整各種高危險、高重複性之工安與品管檢查項目，結合各式建模技術並與工地實景整合，完成具有施工現場臨場感的 VR 教材，藉以加強且落實現場作業人員的職前訓練，確保員工作業時能夠符合職業安全衛生之要求。

## 中興公司應用虛擬實境技術成果綜覽

以下即根據前章所述之三大應用主軸，就中興公司應用 VR 技術之實例進行分項說明。

### 勾勒願景：以淡海輕軌為例

中興公司自 2016 年起已針對捷運工程、建築工

程、橋梁工程及土地開發等不同類型專案，以勾勒願景為目的，完成數個虛擬實境場景；其中，淡海輕軌係中興公司內化 VR 技術並持續推展至今日之開端。淡海輕軌虛擬實境最早的發想主要源於專管團隊提出的需求：希望能更有效提升專案宣導與溝通效益。也因此，中興公司在 2016 年先推出第一版淡海輕軌軌道及車輛之虛擬實境，而後再漸進地加入車站、站內設施、周遭街景與植被、駕駛艙模型，及車門開關與乘車體驗等互動模式，如圖 1 所示。

本項 VR 應用除多次出現於媒體報導，確實幫助業主通過議會質詢、促進民眾溝通、提升工程形象外，同時以人因工程相關議題提出檢討，對於工程設計品質提升有實質幫助。設計者藉由 VR 設備進入淡海輕軌車站設計成果場景中，即能以幾乎是實際尺寸、親身體驗的方式，對於乘客進站動線、刷卡機台高度、指引標誌位置、車站看板角度，及車站圍欄高度等細節，進行檢討與修正；如圖 2 所示。

## 重現實景：白米景觀橋虛擬展示館

白米景觀橋工程為中興公司負責設計與監造之蘇花改工程蘇澳東澳段的一部分，因鄰近白米甕社區，故橋塔採用白米造型，以融合當地人文及景觀特色。除了具有文化和歷史意義外，由於其造型特殊使得橋梁結構與力學行為亦相對複雜，為國內第一座採複合波型鋼腹板、搭配外側雙索面混合形斜索系統之雙塔脊背橋。

國內外重大工程因其特殊性或基於宣導與推廣之目的而建立展示館之作法近期相當常見，惟可展示的內容或型式皆會受限於空間大小，此外，前往展示館亦有交通及時程方面的問題需要克服。為此，中興公司嘗試以擴增虛擬實境 (Augmented Virtual Reality, AVR)、行動展示館的概念發想，規劃並實現可強化傳統展示方式的白米景觀橋虛擬展示館，如圖 3 所示。本虛擬展示館已於 109 年中興工程 50 周年慶祝大會暨先進工程技術研討會中展示發表，獲得相當好評。



圖 1 淡海輕軌 VR 製作成果示意圖 (左：高架站、右：車廂內)



圖 2 VR 輔助淡海輕軌人因工程檢討議題 (左：刷卡機、右：月台)



圖 3 白米高架橋虛擬展示館概念圖（左：實體展示攤位；右虛擬展示館）

前段所述之 AVR 概念，係以同實境的海報展示方式呈現於虛擬展示館中，但又在虛擬展示館作擴充展出相對應海報內容的可互動式縮小 3D 模型，讓觀展者能夠在 VR 場景中觀賞模型、加強對於海報展示內容的認知。此外，在虛擬展示館中央、實體空間內所沒有的地景模型，為可供觀展者進入不同高程鳥瞰白米景觀橋模型的入口；如圖 4 左所示。在以不同高程瀏覽地景之後，則可再進入虛擬展示館的第三個展示場景，觀看白米景觀橋工程之 P38 橋塔施工程序的系列展示；如圖 4 右所示。

白米景觀橋虛擬展示館的展出，除了在研討會上獲得觀眾好評之外，亦曾至蘇花公路改善工程處展出，並獲得業主肯定。必須強調的是，以 AVR 概念打造虛擬展示館的構想能夠得以實現，還有賴於當初蘇花改監造計畫在執行過程中，配合監造管理資訊系統（PMIS）的建置、持續蒐集工程關鍵及施工程序資料並妥善保存，才能在白米景觀橋完工通車近兩年、P38 施工完成已四年餘的此時，結合 VR 技術重現工程實景。

### 技職訓練：懸臂工作車推進工安檢查

工安檢查為工程監造與現場管理作業中非常重要的一環，與現場作業人員的安全衛生及工程品質與成果都息息相關。因此中興公司將既有的工程查核與管理相關專業知識和經驗與 VR 技術結合，並購入新一代的 VR 一體機（Oculus Quest）作為體感設備，進行重要工程項目之職安衛訓練教材製作與推廣。

以懸臂工作車推進前後之檢查為例，教育訓練教材製作成果如圖 5。訓練進行的方式為：參訓者進入 VR 場景中、自選單點選檢查項目後，進入工區環境；再利用控制器於其間遊走，找到檢查點的位置、勾選檢查項目完成檢查後，即可點選完成按鈕、退出該項檢查回到選單畫面；如此重複以上步驟，直至完成該工項的所有檢查項目為止。

相較於前兩種 VR 應用方向（勾勒願景、重現實景）採用大量的數值模型作為 VR 內容編製素材，技職訓練 VR 場景中的主模型與周邊環境建置，應用了大量的攝影測量成果，藉以增加工區及工程機具與設備的擬真度，提升受訓者的現場辨識能力、強化訓練成效。

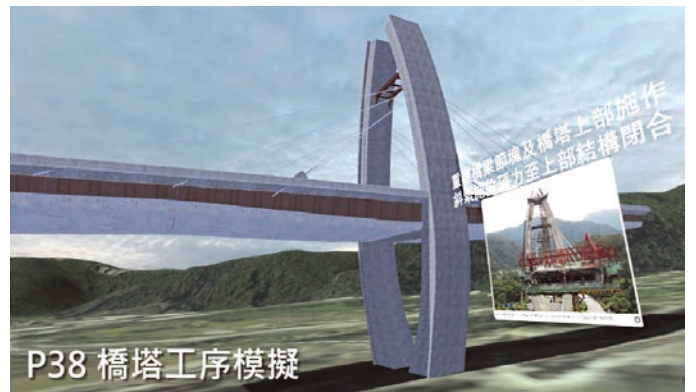
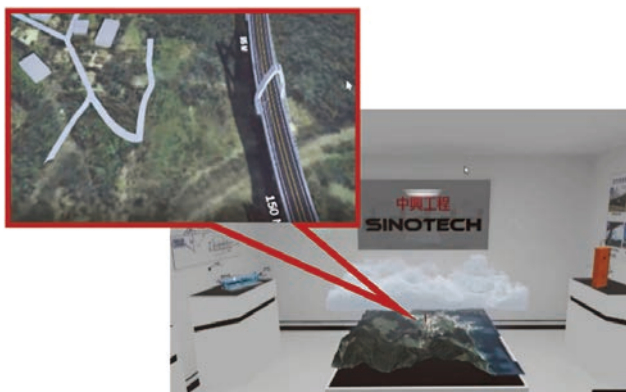


圖 4 白米景觀橋地景模型（左）及 P38 橋塔施工程序（右）展示圖



圖 5 監造 VR 訓練教材—懸臂工作車推進作業工安檢查畫面

以 VR 技術結合監造職安衛訓練教材的應用，除了成果能夠確實幫助受訓的監造作業人員增進實務技能、減少職業安全危害發生的機率與程度，在製作教材的過程當中，還多次由多位資深的監造與品質稽核同仁及主管共同檢討各安全衛生檢查項目之檢查目的、該檢查之對象、進行檢查之位置、方式等，此面向的應用還兼具知識驗證、經驗保存與新傳的重要價值。

## 結論與建議

本文主要基於工程與管理實務需求，說明中興公司應用 VR 技術之發展脈絡與成果。能夠搭配最新的 VR 技術和設備、在短期發展出 VR 技術於工程實務的三種明確應用型式：勾勒願景、實景重現及技職訓練，並不是單靠技術的引進所能夠達成；更重要的是使用者能夠順應新的資訊應用模式，願意配合產製 VR 內容所需，進行相關資料（模型、實景影像資料、文字資料等）的生產、蒐集、整理與確認等工作，才能夠較快速地大幅提升新技術應用的廣度與成效。

另由 VR 製作和配套軟、硬體設備的發展歷程可

知，工程產業身為創新技術的應用者而非開發者，著手進行軟、硬體設備購入及應用發展的時機點非常重要。過早應用尚未成熟的資通訊技術或工具，不僅成本和技術門檻高、有事倍功半之虞，所開發的成果亦難於後續推展。也因此，中興公司將憑藉 VR 技術之應用經驗，密切追蹤發展趨勢、持續進行小型的主題式試驗，以及反覆檢討如何有效應用在實務工作中，為後續導入更多元的智慧科技應用作足準備，以期在技術與工具能夠發揮最大效益時，切合需求與問題來導入創新技術，為自身與業主共創雙贏的新局。

## 參考文獻

1. 呂守陞、戴慧美，虛擬實境在建築系統模版配置之運用，建築學報，第二十七期，pp. 89-102 (1998)。
2. 鍾勁威，虛擬實境應用於結構動力分析模擬，土木工程系所碩士論文，國立交通大學（新竹），2005。
3. 廖心瑜，虛擬實境於建築業墜落情境模擬之研究，土木與防災設計系碩士論文，中國科技大學（台北），2019。
4. Agisoft Metashape, Webpage: <http://www.agisoft.com/>
5. Unity3D, Webpage: <https://unity3d.com/>
6. 周淵清、陳宜民，BIM 結合 VR 之工程應用，中興工程季刊，第 145 期，pp.15-20 (2019)。

一個凝聚產官學土木專業知識的團體  
 一個土木人務必加入的專業學術團體  
 一個國際土木組織最認同的代表團體  
 一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體



中國土木水利工程學會  
 CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

歡迎加入學會



<http://www.ciche.org.tw>  
 下載入會申請表

電話：(02) 2392-6325  
 傳真：(02) 2396-4260

e-mail: [service@ciche.org.tw](mailto:service@ciche.org.tw)



# 運用 Unity 融合 BIM 執行 三維火災人員避難疏散模擬之研究

林世昌／國立臺灣大學土木工程系營建工程與管理組 博士班研究生  
台北市消防設備師公會第五屆理事長（2015-2018）

為了確保建築物內使用人員的居住安全，台灣從 2004 年起，建築物防火避難安全驗證除了法定規格式基準（Route A）外，設計者也可以根據「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」採用替代性方法（Route B），更可以採用火災煙控及動態避難分析的性能式檢證法（Route C），總共有此三種避難安全驗證方法。設計者會依據自己的經歷及業主的需求，選擇正確及適當地驗證方法，在建築物設計上獲得成功的表現，並可以使業主獲得最大的利益。動態避難分析軟體 Building EXODUS 或 SIMULEX 都是需要國外研究單位的授權，其使用費相當高且有使用期限，對於設計者是難以負擔。本研究目的是運用 Unity 軟體融合 BIM 建築資訊模型，進行火災發生時，三維空間人員動態避難的安全驗證，提供簡易及有效的動態避難分析工具。

關鍵詞：BIM、Unity、動態避難分析、避難疏散模擬

## 研究動機

台北大巨蛋於民國 104 年 6 月停工後，歷經 5 年的風風雨雨之後，民國 109 年 8 月終於復工，分析其停工理由中，最具爭議的避難疏散時間計算，開發單位所選用的避難軟體是台灣建築中心公告的英國 EXODUS，而市政府體檢小組所選用的避難軟體是日本 Sim-Tread。這兩種軟體其設定人員步行速度、戶外疏散空間人員密度及避難面積認定都有所不同。從「都市設計審議委員會」通過避難驗證的說明中，是採信英國格林威治大學的回信，軟體不應做「極端且特殊」的設定。從停工理由及復工說明都顯示，我們沒有適用自己國情的避難疏散軟體。

財團法人台灣建築中心於民國 93 年 12 月 15 日受內政部指定為防火避難綜合檢討評定書專業機構起，至 105 年止 10 餘年，並已完成 141 件性能設計評定案，平均每年有 12 ~ 13 件。近幾年，新北、桃園及台中直轄市所新建的高層建築物棟數遽增，性能設計評定案必然會再增加。台灣建築中心指定的動態避難

分析軟體有 EXODUS 及 SIMULEX，這兩款軟體都需要國外研究單位的授權，其使用費相當高且有使用期限，每年仍需付出 15% ~ 20% 的維護費，對於設計者是難以承受的負擔。台灣半導體積體電路製造是世界第一，資訊及理工人才非常充沛，發展本國的動態避難分析軟體已具備充足的能力。

EXODUS 及 SIMULEX 動態避難分析軟體都是英國所研究及開發，軟體開發需要投入經費及研究人力。內政部建築研究所 93 年 2 月出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」及 95 年完成之「簡易二層驗證技術手冊之研究」都是針對替代式（Route B）的避難安全驗證。對於性能式避難安全驗證（Route C），始終未投入相關研究。內政部建築研究所直到 106 年才完成之「以 BIM 輔助建築防火避難性能驗證之研究」，開啟結合 BIM 的避難性能驗證的首例，個人思考運用 Unity 軟體融合 BIM 建築資訊模型，進行火災發生時，三維空間人員動態避難的安全驗證，提供簡易及有效的動態避難分析工具，作為呼籲大學或研究單位能早日投入經費及研究人力。



## 法令研析

我國現有之建築防災相關法規體系，分別有建築及消防兩個重要體系，建築體系以建築技術規則為主，消防體系以各類場所消防安全設備設置標準為主，並對於建築物之規模與用途而做出各種不同之規定。

自民國 92 年 8 月 19 日發布，「建築技術規則」總則編第 3 條明訂建築物之設計、施工、構造及設備，依本規則各編規定。但有關建築物之防火及避難設施，經檢具申請書、建築物防火避難性能設計計畫書及評定書向中央主管建築機關申請認可者，得不適用本規則建築設計施工編第三章、第四章一部或全部，或第五章、第十一章、第十二章有關建築物防火避難一部或全部之規定。

自民國 78 年 9 月 1 日發布「各類場所消防安全設備設置標準」，該標準是依據消防法第六條第一項規定訂定之。各類場所消防安全設備包含滅火設備、警報設備、避難逃生設備及消防搶救上之必要設備。但消防法第六條第二項規定，第六條第一項所定各類場所因用途、構造特殊，或引用與依第一項所定標準同等以上效能之技術、工法或設備者，得檢附具體證明，經中央主管機關核准，不適用依第一項所定標準之全部或一部。從上述建築及消防法令研析得知，推動性能式避難安全驗證的法令都已完整具備。

## 台灣防火避難安全驗證方法

臺灣防火避難安全驗證方法，其架構如圖 1。

### Route A：規格式

- (1) 建築技術規則<sup>[1]</sup>
- (2) 各類場所消防安全設備設置標準<sup>[2]</sup>

### Route B：替代式

- (1) 樓層避難安全性能驗證：內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」<sup>[3]</sup>。
- (2) 整棟避難安全性能驗證：內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」。
- (3) 煙層簡易二層性能驗證：內政部建築研究所 95 年度協同研究計畫「簡易二層驗證技術手冊之研究」<sup>[4]</sup>。
- (4) 火災延燒防止性能驗證：台灣建築中心出版之「火災延燒防止性能驗證技術手冊」。
- (5) 結構耐火性能驗證：內政部建築研究所出版之「建築物構造防火性能驗證技術手冊」。

### Route C：性能式

- (1) 火災煙控模擬模式：FDS
- (2) 動態避難分析模式：Building EXODUS、SIMULEX

### 國內常用軟體：

- (1) 火災煙控模擬模式：PyroSim
- (2) 動態避難分析模式：PathFinder

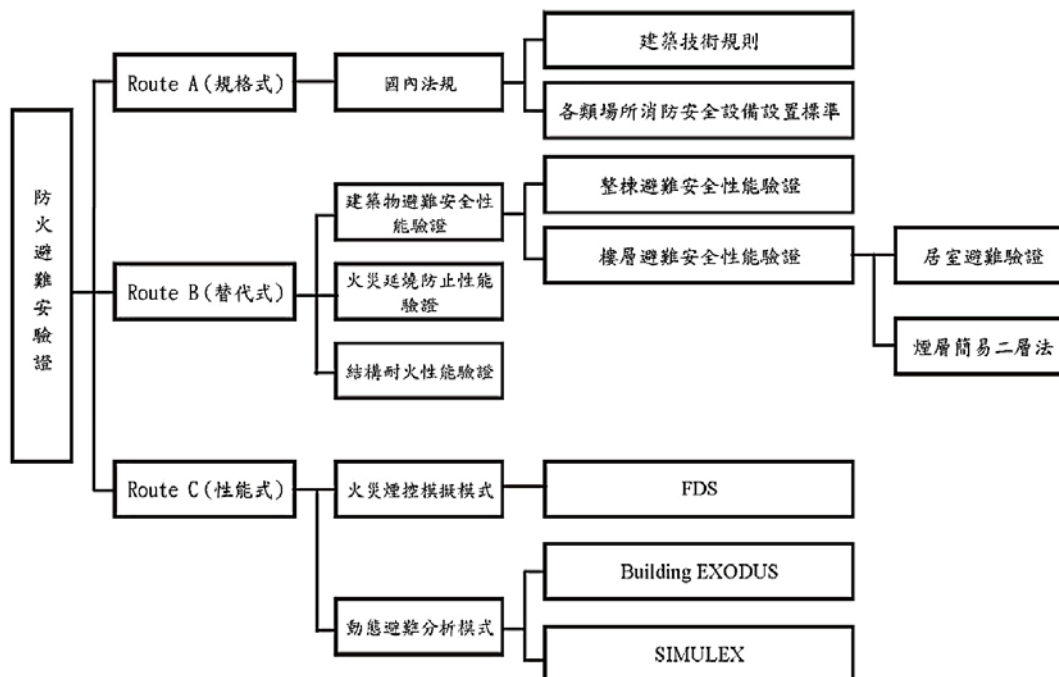


圖 1 臺灣防火避難安全驗證方法選用架構圖  
(資料來源：台灣建築中心網站，2020)

## 火災煙控分析軟體

FDS (Fire Dynamics Simulator), 是由美國國家標準與科技研究所 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 發展之火場模擬軟體。FDS 是以大尺度渦流模擬法 (Large Eddy Simulation, LES) 及直接數值模擬法 (Direct Numerical Simulation, DNS) 為基礎的電腦火災模擬軟體, 可以計算三維空間之火災行為, 它的計算方式是先將整個空間分割成許多小的格點, 再以質量、動量、能量、燃燒與熱傳求解。由於所有的計算必須在格點內完, 因此, 網格劃分的愈細膩, 在計算上也將愈繁雜。當計算完成後再利用後處理軟體 SmokeView, 利用 Open GL 以圖形、2D 或 3D 動畫, 將流場做動態或靜態的視覺化輸出。

FDS 與 Smokeview 軟體操作流程的主要架構分為以下三個模式:

- (1) 輸入: 於輸入模式中, 必須以純文字格式輸入模擬的設定模擬時間、模型尺寸、格點分配、邊界條件、物件規格及材質等, 做為電腦模擬計算基礎。
- (2) 運算: 即是 FDS 的運算核心部分, 將輸入模式所製作好的物件幾何尺寸等參數建制完成之後, 以電腦計算數值方法求解, 並將所需的計算結果輸出。
- (3) 輸出: FDS 的輸出模式部分與 Open GL 的繪圖軟體 Smokeview 作完美結合, 可將 FDS 所計算出來的結果, 以圖形、2D 或 3D 動畫的效果呈現。

其操作流程如圖 2。

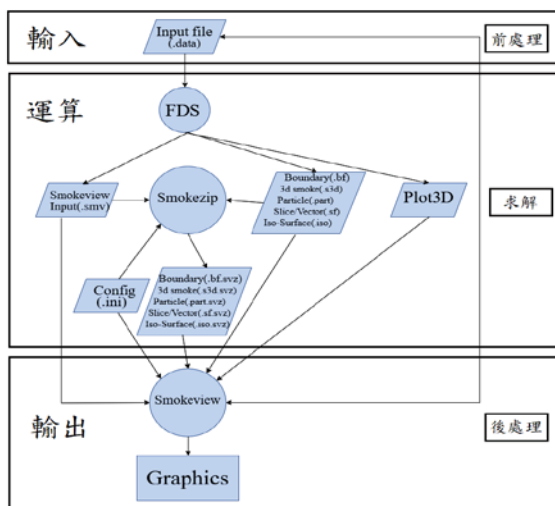


圖 2 FDS 與 Smokeview 軟體操作流程  
(資料來源: FDS User Manual, 2019)

PyroSim: 是一個互動式模型建立軟體作為火災動力學計算軟體 (FDS) 之前端設計。此套件模擬軟體提供即時的反饋並確保輸入 FDS 之文件格式正確。建模時可以任意切換公制單位模式或英制單位模式。PyroSim 提供二維和三維幾何創建功能, 並可使用旋轉、複製、移動等功能簡化空間建立之程序。它用於創建火災模擬, 以準確預測火災期間的煙氣運動, 溫度, 一氧化碳濃度。這些模擬的結果用於確保建築物在施工之前的安全性, 評估建築物的安全性, 也可作為火災事故後, 根據的調查結果重建火災的延燒過程。

PyroSim 的火災模型提供了四個編輯器: 3D 視圖, 2D 視圖, 導航視圖和記錄視圖。這些都代表您當前的模型。如果添加, 刪除或選擇了一個視圖, 其他視圖將同時反映更改。下面簡要介紹每個視圖。

- (1) 導航視圖: 此視圖列出了模型中的許多重要記錄。它使您可以將模型的幾何形狀組織成組, 例如房間或沙發。
- (2) 3D 視圖: 此視圖顯示當前火災模型的 3D 表示。可以使用其他視圖控件瀏覽模型。還可以使用諸如平滑陰影, 紋理和對象輪廓之類的選項來控制模型的
- (3) 2D 視圖: 此視圖對於快速草繪幾何形狀 (例如牆壁和家具) 很有用。可以從三個查看平面中進行選擇, 並執行許多有用的幾何操作。
- (4) 記錄視圖: 此視圖提供將模擬生成的 FDS 輸入文件的預覽。它還提供了一種添加自定義記錄的方法, 該記錄不會被 PyroSim 處理, 而是會發送到 FDS。

導航視圖是 PyroSim 主窗口左側的樹狀視圖, 如圖 3。

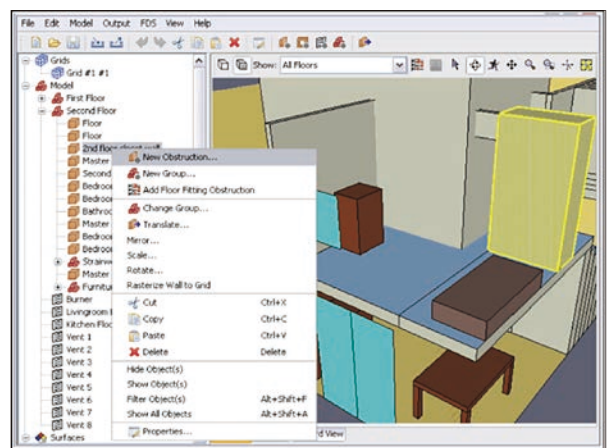


圖 3 導航視圖的使用示例  
(資料來源: PyroSim User Manual, 2019)

## 動態避難分析軟體

building EXODUS：是由英國格林威治大學火災安全工學小組所研發，利用避難者、動作、行動、有毒性、行為模型等技術控制模擬，這五個相互作用的子模型在已經定義好的室內空間動作。內部的形狀包含在節點網格，節點通過圓弧系統連接。可用於疏散模擬和行人動態及循環分析其電腦軟體模擬逃生狀況之畫面如圖 4。基於高度複雜的子模型集，它打破了傳統工程分析的模式，從而產生了現實的人與人，人與火以及人與結構的交互作用結果，可在短時間內測試更多的人員疏散模式，發覺潛在危險區域，以達到最佳解決方案。



圖 4 電腦軟體模擬逃生狀況之畫面

(資料來源：Evacuation in a high rise office building, EXODUS 2010)

Simulex：是由英國 Fire Safety Group 所研發高層建築物避難的動態模擬程式，使用人員間的距離來決定步行的速度，該方式更符合人員在移動時的特性，與一般使用人員密度來決定步行速度的計算方式不同。Simulex 本身為二維空間之模擬程式，因此在模擬高樓層避難時，可使用連結 (Link) 的功能將不同樓層之平面利用樓梯串聯起來，並且在樓梯間由於人員上樓的步行速度比下樓緩慢，Simulex 也蒐集了大量的資料模擬人員在上下樓層時速度的差別，以確實的模擬人員在高樓層避難時之行為與特性。人員行進速度：在 Simulex 中人員的行進速度決定於此人與行進方向前一人的人間隔，當二人間隔小於 1.5 公尺，後面人員的行進速度將會因此而降低，至於人員間隔與行進速度的關係如圖 5。

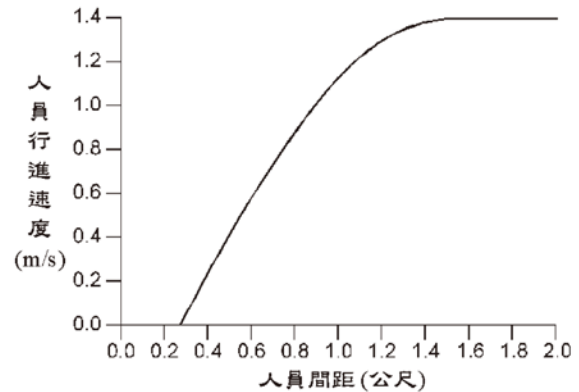


圖 5 人員間隔與行進速度關係圖

(資料來源：Simulex User Guide, 2011)

PathFinder：是由美國 Thunderhead engineering 公司開發的一個基於人員進出和運動的模擬器。它提供了圖形用戶界面的模擬設計和執行，以及三維可視化工具的分析結果。該運動的環境是一個完整的三維三角網格設計，以配合實際層面的建設模式。可以計算每個人員獨立運動並給予了一套獨特的參數 (最高速度，出口的選擇，等等)。Pathfinder 可以導入 FDS 模型，FDS 在模擬火災的同時，可以在相同時間內模擬人員疏散其電腦軟體模擬逃生狀況之畫面如圖 6。同步跟蹤不僅可以科學地分析出人員疏散的相關數據。這樣既直觀，又有可靠的數據，還可以分析出人員疏散的最佳時間，減少人員傷亡。



圖 6 電腦軟體模擬逃生狀況之畫面

(資料來源：PathFinder User Guide, 2019)

## Unity 軟體

Unity 軟體是一個支援多平台、可簡易操作的遊戲開發工具，包含了強而有力的引擎，可充分整合專業應用技術，可開發執行於 PC、Mac、iOS、Android 的手機或平板電腦的遊戲。Unity 也可用於開發 PS3、XBox360、Wii 等主機的遊戲。Unity 提供人性化的操作

介面，支援 PhysX 物理引擎、粒子系統，並且提供網路多人連線的功能，不需學習複雜的程式語言，大幅降低遊戲開發的門檻。使用 Unity 可以縮短遊戲的開發時間，降低遊戲的製作成本。Unity 編輯器的操作介面如圖 7，是由不同功能的視窗組成，可以自行調整視窗的大小與位置，或是隱藏特定的視窗 [5]。

### BIM 建築資訊模型

美國建築師學會定義建築資訊模型為一種「結合工程專案資訊資料庫的模型技術」。該項技術依靠資料庫技術為基礎。1984 年發布的 ArchiCAD 的 Radar CH，是提供個人電腦上運行的第一個建築資訊模型軟體。在執行建築專案時，使用建築資訊模型集合

所有相關資訊的複雜性，許多公司開發出建築資訊模型運用規範及框架。這些軟體套件（如：Autodesk Revit，Autodesk 3ds Max，Bentley AECOsim Building Designer，ArchiCAD, Tekla Structures，Synchro PRO，VectorWorks）不同以往如 AutoCAD 等的建築繪圖工具，能夠包含更多的資訊到建築模型中 [6]。Revit 編輯器的操作介面如圖 8。

### 融合三維空間人員動態避難模擬

Unity 支援的 3D 格式包括 \*.3ds、\*.dxf、\*.dae、\*.obj、\*.fbx 等。此外，若您的電腦若有安裝 3ds Max 與 Maya 軟體，Unity 也支援 3ds Max (\*.max) 格式與 Maya (\*.mb) 格式。不過 FBX 仍是最為建議使用的檔案格式。

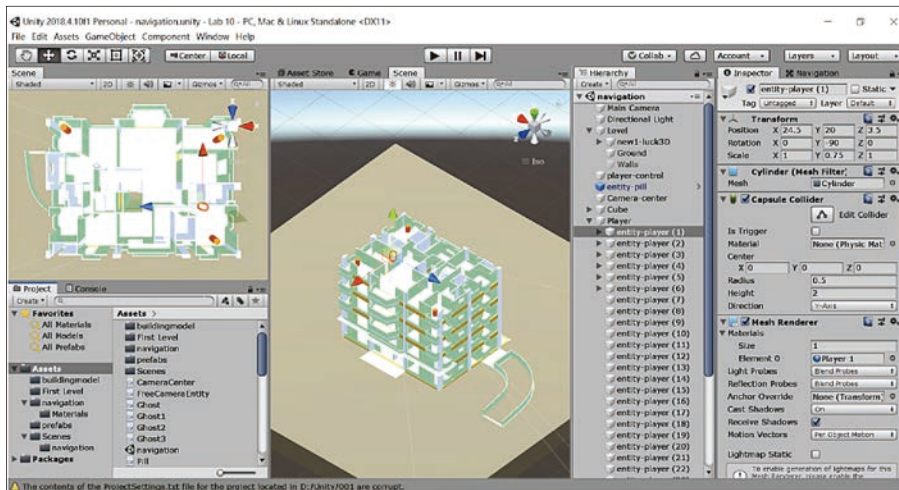


圖 7 Unity 編輯器的操作介面  
(本研究整理資料)

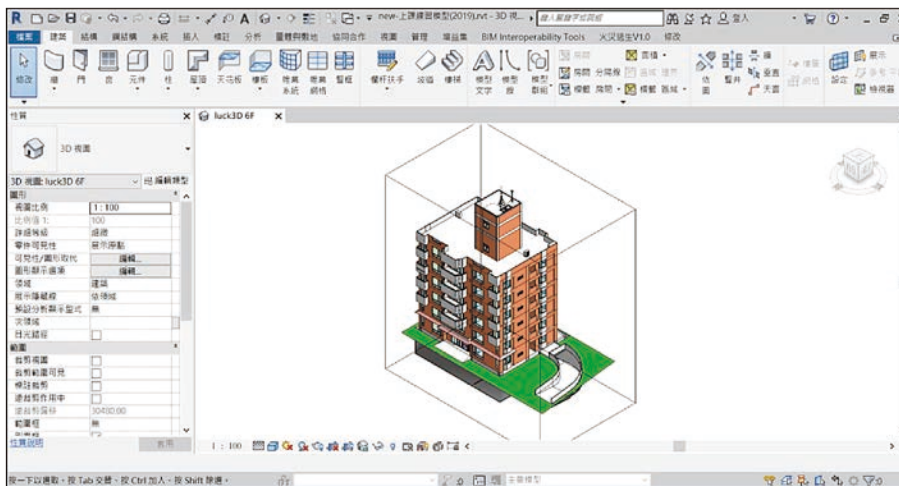


圖 8 Revit 編輯器的操作介面  
(本研究整理資料)

融合三維空間人員動態避難模擬的步驟如下：(本研究整理資料)

1. 在 Revit 將 BIM 建築模型輸出為 \*.FBX 格式，如圖 9 所示。
2. 在 Unity 匯入 3D (\*.FBX 格式) 建築模型檔案，如圖 10 所示。
3. 在 Unity 設定人員避難的 Navigation 導航路徑，如圖 11 所示。
4. 在 Inspector 設定人員避難的位置、肩寬及身高，如圖 12 所示。

5. 在 Inspector 設定各樓層人員及梯間攝影機角度，如圖 13 所示。

6. 在 Inspector 設定地面廣場人員避難疏散的位置，如圖 14 所示。

使用 Unity 執行時，人員避難疏散的畫面是透過攝影機來呈現的，因此場景中至少需要擁有一部主要攝影機。實際上，我們會在避難路徑上的樓梯間及人員視角，裝設多部攝影機，並透過腳本程式切換不同的攝影機視角，呈現整個人員動態避難模擬完整過程。

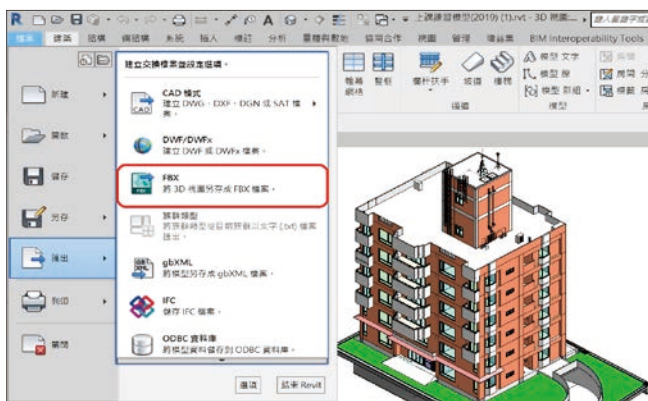


圖 9 BIM 建築模型輸出為 \*.FBX 格式

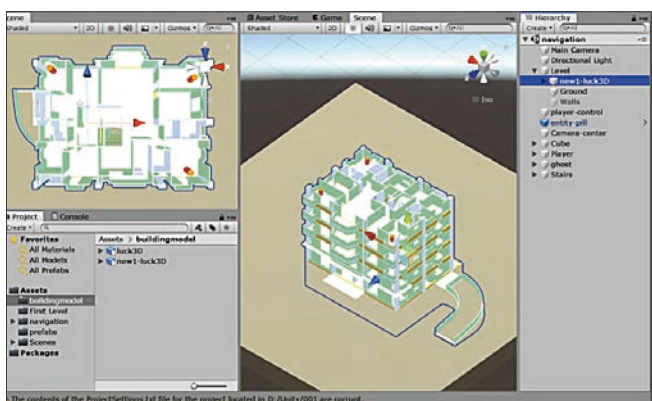


圖 10 匯入 3D (\*.FBX 格式) 建築模型

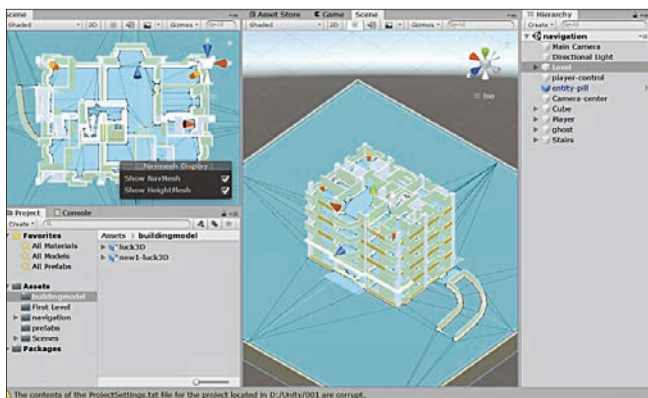


圖 11 設定人員避難的 Navigation 導航路徑

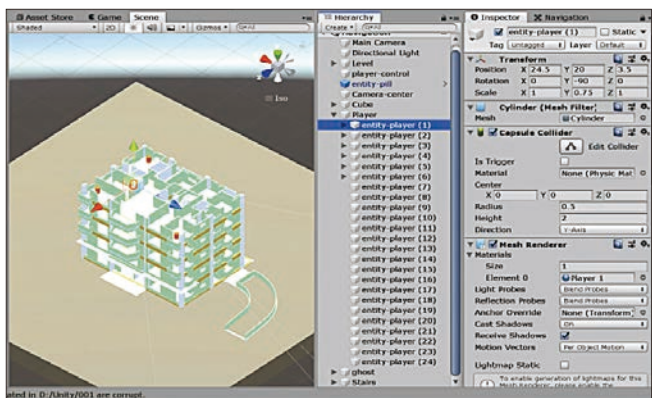


圖 12 設定人員避難的位置、肩寬及身高

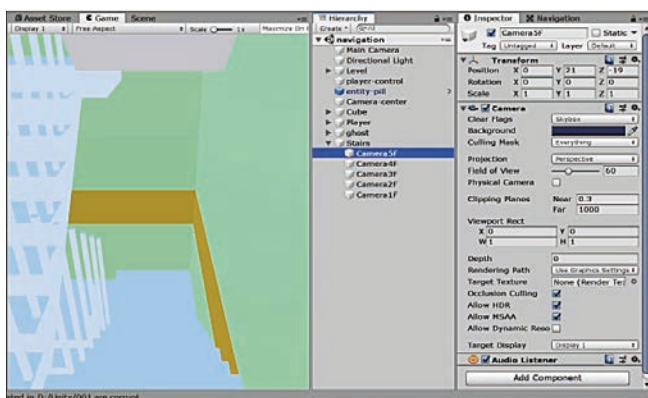


圖 13 設定各樓層人員及梯間攝影機角度

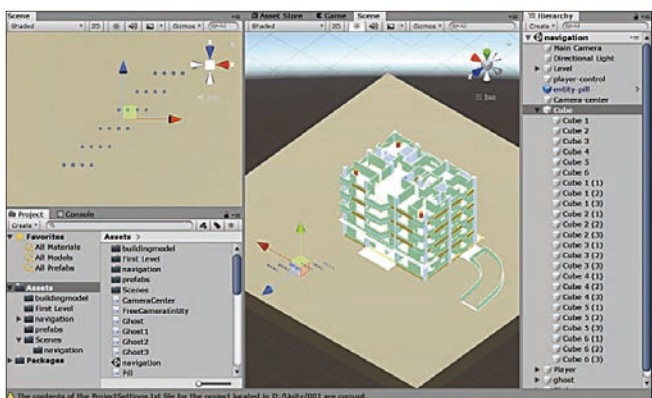


圖 14 設定地面廣場人員避難疏散的位置

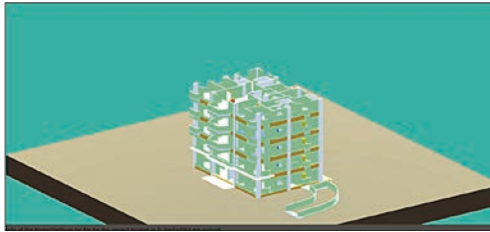


圖 15 地面廣場人員避難疏散開始



圖 16 entity-player (1) 人員避難之視角



圖 17 三樓梯間攝影機之視角



圖 18 二樓梯間攝影機之視角



圖 19 一樓梯間攝影機之視角

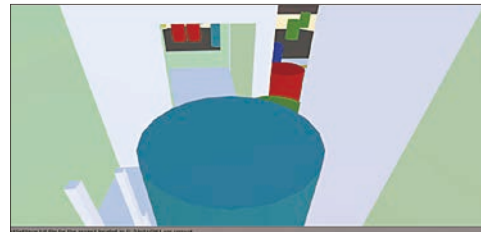


圖 20 entity-player (4) 人員避難之視角

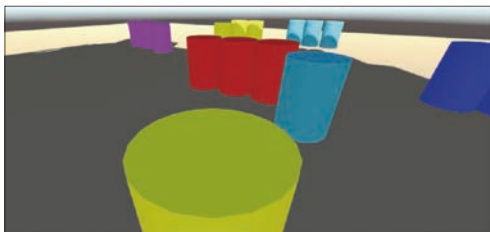


圖 21 entity-player (5) 人員避難的視角



圖 22 地面廣場人員避難疏散完成

三維空間人員動態避難模擬的執行過程如下：(本研究整理資料)

1. 在 Main Camera 地面廣場人員避難疏散開始，如圖 15 所示。
2. 在 entity-player (1) 人員避難之視角，如圖 16 所示。
3. 在三樓梯間攝影機之視角，如圖 17 所示。
4. 在二樓梯間攝影機之視角，如圖 18 所示。
5. 在一樓梯間攝影機之視角，如圖 19 所示。
6. 在 entity-player (4) 人員避難之視角，如圖 20 所示。
7. 在 entity-player (5) 人員避難之視角，如圖 21 所示。
8. 在 Main Camera 地面廣場人員避難疏散完成，如圖 22 所示。

### 結論

運用 Unity 直接載入 BIM 建築資訊模型，可以節省在軟體上重複繪製建築模型的時間，使用 Unity

Navigation 導航路徑功能，可以確保人員避難是採用最短路徑，並朝向地面廣場進行逃生，當火災發生時，三維空間內的所有人員，按照所設定的步行速度進行避難，其避難疏散動態模擬過程，可透過避難路徑上樓梯間攝影機及人員頭盔頂上的攝影機來呈現，本研究撰寫 C# 程式經過實際驗證後是可行的。本研究結果已足以提供設計人員使用之簡易及有效的動態避難分析工具。

### 參考文獻

1. 內政部營建署，「建築技術規則」(2019)。
2. 內政部消防署，「各類場所消防安全設備設置標準」(2019)。
3. 內政部建築研究所「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」(2004)。
4. 內政部建築研究所「簡易二層驗證技術手冊之研究」(2006)。
5. Unity 軟體，Unity Manual (2019)。
6. BIM 建築資訊模型，維基百科(2020)。



# 建築資訊模型 (BIM) 於 安坑輕軌系統安心橋 設計施工應用實務探討

李政安 / 新北市政府捷運局 局長

鄒宏基 / 新亞建設開發股份有限公司 董事長

周茂益 / 新北市政府捷運局安坑所 主任

劉泰儀 / 新亞建設開發股份有限公司 主任技師

吳崇弘 / 台賓科技 BIM專案經理

安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程 (以下簡稱本工程)，為目前新北市政府捷運局積極推動三環六線交通建設計畫中的一個重要項目，工程完成後連接安坑區安泰路地區及新店區建國路、民權路商圈，與環狀線十四張站銜接。此一建設工程規模龐大，設計及施工階段，營建管理技術複雜，其中的安心橋，是連接本工程 K8 和 K9 站間跨域新店溪一座重要之鋼構橋樑，為新北市之新地標。其主橋塔高度 130 公尺，全長 502 公尺，是目前國內跨徑最長之軌道橋，共使用鋼板 11,280 公噸及 243 噸預力鋼纜，構件細部分割達數萬片，施工困難度極高。本論文詳細說明 3D 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 如何輔助解決本項安心橋之設計和施工階段所面臨之問題，並提供工程師最有效的規劃工具，同時也介紹 BIM 技術導入之相關基本概論。

關鍵詞：安心橋、安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程、BIM

## Abstract

The Ankeng Light Rail Metro System (ALRMS) is a Design-Build (DB) based contract project, which is located in New Taipei City, Taiwan. It is recognized as an important project of the New Taipei City transportation development. The Anhsin Bridge (AB) is one of the major parts of ALRMS and serves as the most critical transportation route to connect two banks of the Hsindian River, Ankeng and Hsindian districts. The AB will become the landmark of New Taipei City. The height of the main pylon is 130m, and the total length of the steel structure frame is 502m. The AB is a new record with the most extended length of Rail Bridge in Taiwan. The quantities of 11,280 tons of steel plates and 243 tons of cable tendon are used for the AB. More than ten thousand pieces of body members were contained for the construction work. It leads to the most complicated manage-

ment for construction work. In this paper, the application of the 3D BIM technique to resolve the difficulty faced in the design and construction stages is presented.

Keywords: Anhsin Bridge, AB, The Ankeng Light Rail Metro System, ALRMS, BIM

## 工程概述

安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程，總共包含一處輕軌列車駐車與維修用之機廠，面積達 3.7 公頃，其中除駐車廠、維修廠、變電廠之外，另包括營運中心行政大樓及進出廠軌道橋與為新安泰路改道用之安泰路橋；總長度 7.5 公里之路線段中，包含 4 座平面車站、5 座高架車站，主要橋梁則包括安和路全線高架橋、跨

越國道三號橋、跨越新北環快與五重溪橋<sup>[1]</sup>，以及本文所介紹的『跨越新店溪安心橋』(以下簡稱安心橋)。

本工程全線位於新店區安坑地區，路線段由安泰路與安一路交會處之機廠起，沿著安一路北行，至安捷路前進入箱涵出土段轉至安捷路並採高架方式接安和路，續以高架方式沿安和路北行，於安和路三段水利署新店辦公區轉向東行，隨後跨越新北環快道路、新店溪至新店十四張地區，以銜接進入大臺北都會區捷運路網。沿線於安一路平面段上，分別於雙城路附近設 K1 站，玫瑰路口設 K2 站，僑信路口設 K3 站，車子路口設 K4 站，安忠路口東側設 K5 站，續左轉安捷路接安和路，以高架方式沿安和路北行，於安和路與安康路口設 K6 站，全國加油站附近設 K7 站，於安和路三段水利署新店辦公區設 K8 站，隨後跨越新北環快道路、新店溪至新店十四張地區，設置 K9 站與環狀線 Y7 站轉乘<sup>[2]</sup>。本工程全線路線圖詳如圖 1 所示<sup>[1]</sup>。

本工程由新北市政府捷運局承辦，採統包 (Design-Build) 方式發包，統包商為新亞建設開發股份有限公司，統包設計顧問為台灣世曦工程顧問公司。專案管理單位由中興工程顧問公司擔任，現場施工監造作業由亞新工程顧問公司負責。與一般工程比較不一樣的，本工程另設有第三方獨立認證單位 (Independent Verification and Validation, IV&V)<sup>[3]</sup>，由德商萊茵公司負責此項認證業務。整體施工團隊均由具有豐富工程經驗之專業廠商所組成。

## 建築資訊模型 (BIM) 應用概述

本工程全線全程導入 3D 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 協助進行設計規劃及施工管理，目的係希望透過設計及施工過程中使用 BIM 技術，運用 BIM 整合各項資訊之能力，結合其他應用軟硬體作業，希望促使統包的設計與施工階段之成果更具正確性，減少施工錯誤及設計衝突之發生機會，讓工程整合過程及現場施作更加有效率<sup>[4-10]</sup>。導入本項技術主要之目的是促進 BIM 之使用以達成下列目標<sup>[2]</sup>：

1. 為本工程專案設計開始至施工結束交付營運過程中，提供所有參與人員合作溝通之友善平台。
2. 經由 BIM 3D 建模及參數化之特性，協助不同文件間之整合及協調。
3. 可藉由 2D 設計圖說、數量估算及 3D 模型之連動性，輔助產生施工所需之設計圖與數量報表，同時亦可減少設計變更時所需之文書作業及時間。
4. 藉由各專業之模擬施工過程，改善施工系統的協調性和減少物件衝突及重覆施作之情況，以達到提高施工效率並盡可能減少變更設計次數之目的。
5. 利用 4D 技術和方法，加入時間軸，以達到從設計過渡到施工期間更好的管理。
6. 整合 BIM 模型中之各項資訊 (包含基礎設施及建築物系統) 至地理資訊系統。

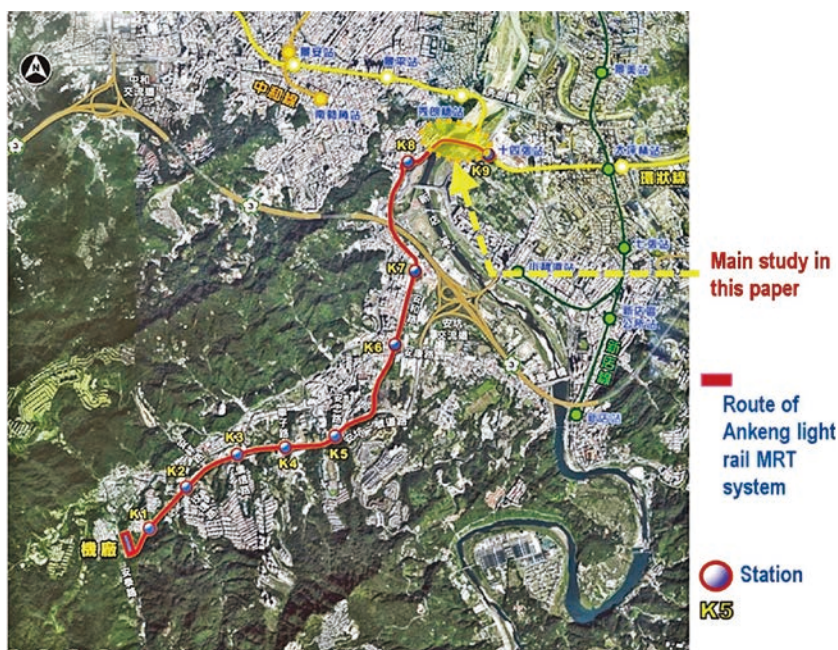


圖 1 安坑輕軌系統路線全圖<sup>[1]</sup>



7. 於本工程竣工時，能提供竣工相關圖面及營運階段設施管理所需之相關資訊，並期能配合未來營運維護階段所使用之工具與軟體。

一般 BIM 技術的應用上，依不同的工程階段，在 BIM 的服務等級，也會有不同的發展，我們通稱為『發展等級』(Level of Development, LOD)，以因應在不同階段的技術服務需求。以目前常用的等級分類，可分成 LOD100、LOD200、LOD300、LOD400 和 LOD500 等五個等級。表 1 所示為 LOD100 至 LOD500 各等級需求及使用用途說明<sup>[2]</sup>。

依業主之契約規定，本工程因應不同階段之使用需求，包商所提供之 BIM 等級分類如表 2 所示<sup>[2]</sup>。

## BIM 於安心橋之運用實務

本工程 BIM 所服務之內容和範圍，涵蓋安坑輕軌路線所經之地勢、橋墩、橋梁、軌道、站體、機廠、週邊建物已及道路等，而安心橋部份，則包含了這些內容之大多數元素，整體建模型態多樣且複雜<sup>[1]</sup>。為考量實際之電腦軟硬體設施及工具之執行效率，將模型結構以不同專業領域、不同棟建物、軌道與道路分段化等不同分類，最後以依綜合展示之整合檔案呈現全貌。且因應不同的軟體工具使用，產生不同的模型架構，但主要仍以「房屋建築」、「土木工程設施」兩種主要模型階層分類進行組構，再搭配機電系統標（本

表 1 LOD100 至 LOD500 各等級需求及使用用途說明一覽表<sup>[2]</sup>

LOD 等級	模型內容需求	使用用途		
		供分析 能力	數量估算	期程展示與協同作業
LOD100	模型元素由圖像表示呈現於模型中，不一定需要滿足 LOD200 需求，與模型相關的資訊如：每平方呎的造價、空調所需噸數等可以來自於其他模型元素中。	用於其他分析模型需求上，以基於量體、面積、方位的分析。	基於面積、體與其他類似概念的技術資料如：單樓層面積等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>期程展示：模型可用於專案分期或專案開發時程預估。</li> <li>協同作業：本階段尚無需求。</li> </ul>
LOD200	模型元素由圖像表示，呈現一般（營建）系統、物件、或由概略的數量、大小、形狀、位置及方位組成。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於其他分析模型需求上，進行所選定的系統一般效能分析。	用於發展基於模型所提供的概略數量，以及工料估算技術，如：體積、元件數量、系統類型的估算。	<ul style="list-style-type: none"> <li>期程展示：主要元素或系統的次序與期程。</li> <li>協同作業：基於大小、位置、與其他模型間的衝突排除所做的一般模型協同作業。</li> </ul>
LOD300	模型元素由圖像表示，呈現個別的（營建）系統、物件、或由數量、大小、形狀、位置及方位組成。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於其他分析模型需求上，進行所選定的系統的特定效能分析。	用於提供採購發包所需要的資料而進行的估算。	<ul style="list-style-type: none"> <li>期程展示：可用於顯示細部元素或系統的次序與期程。</li> <li>協同作業：基於大小、位置、與其他模型間包括操作議題的衝突排除，所做的精準模型協同作業。</li> </ul>
LOD400	模型元素由圖像表示，呈現個別的（營建）系統、物件、或由數量、大小、形狀、位置及方位組成，並包含組裝製造與安裝資訊。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於其他分析模型需求上，進行所選定的系統的精確效能分析。	用於依據採購特定元素的數量估算。	<ul style="list-style-type: none"> <li>期程展示：可用於顯示詳細的特定元素或系統的次序與期程，包括營造與施工法。</li> <li>協同作業：基於大小、位置、與其他模型間包括組裝製造、安裝與操作議題的衝突排除，所做的精準模型協同作業。</li> </ul>
LOD500	模型元素做為現場驗證，呈現個別的（營建）系統、物件、或由數量、大小、形狀、位置及方位組成。非圖形化的資訊也可能包含在模型元素中。	用於維護資訊提取與系統連接區分。	設備使用年限與後續維護成本預估。	<ul style="list-style-type: none"> <li>期程展示：無特別規範，視業主需求而定。</li> <li>協同作業：延續上個階段，本階段無特別需求。</li> </ul>

表 2 本工程各階段 BIM 模型 LOD 等級對應表<sup>[2]</sup>

模型分類	細部設計階段	施工階段	營運維護階段
房屋建築類模型	建築模型	LOD300	LOD400
	結構模型	LOD300	LOD300
	MEP 模型 (Mechanical, Electrical, Plumbing)	LOD300	LOD400
土木及基礎設施類模型	橋梁模型	LOD300	LOD400
	平面段模型	LOD300	LOD300
	地下管線模型	LOD300	LOD300
	定線	LOD200	LOD300
軌道類模型	軌道模型	LOD300	LOD300

工程之機電統包商為中國鋼鐵公司) 之「系統機電整合連結檔」, 以使 BIM 能發揮最大之整合效能<sup>[1]</sup>。圖 2 所示為本工程 BIM 整體模型架構<sup>[2]</sup>。

### 設計衝突問題解決

BIM 技術發展至今, 大家最熟悉的一項基本功能, 就是於施工前預先發現並解決現場設計衝突問題。為有效解決這個問題, BIM 技術服務即在「虛擬設計與施工 (Virtual Design/Construction, VDC)」的概念, 提前於電腦中檢核這些整合問題, 並可預先提出解決方式, 避免現場的問題產生。

碰撞檢討在各階段都是依反覆不斷進行的程序,

在安心橋的 BIM 技術之運用上, 以「細部設計」和「現場施工」為兩個大段落; 再以鋼橋構造物的不同為第二層區分, 往下設定所產生的不同系統項目, 進行各專業的碰撞檢核; 而在操作過程, 以各階段所要檢討的範圍設定目的, 並 (1) 以工具軟體中的選項紀錄碰撞物件的分類, (2) 再以準則的設定產生有效的碰撞點, (3) 最後展示便於觀察的視圖, 以上的過程以系統化的方式記錄為一動作樣板, 在反覆不斷的操作時套用此動作樣板, 提升效率之外, 也應成為一個標準操作步驟。圖 3 所示為安坑輕軌工程 BIM 碰撞檢討的系統化之操作流程圖<sup>[2]</sup>。圖 4 所示為安心橋 BIM 碰撞檢討及衝突問題之範例。

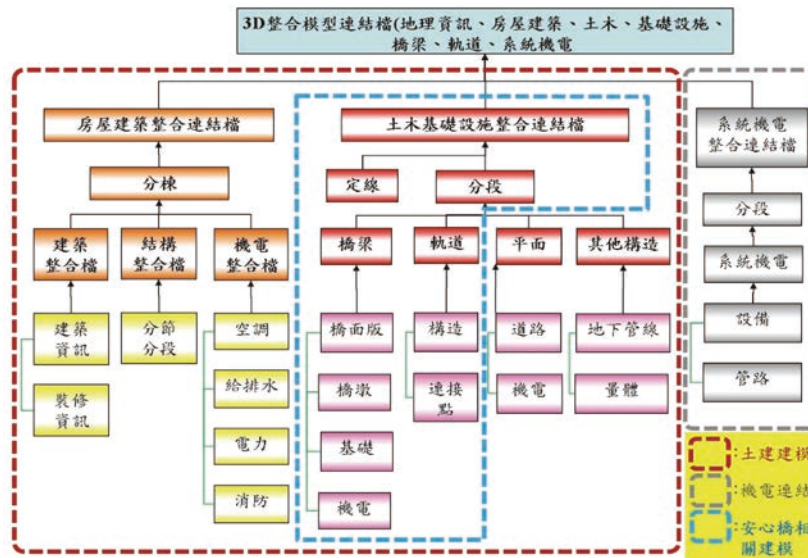


圖 2 本工程 BIM 整體模型及安新橋相關建模架構圖<sup>[2]</sup> (劉泰儀重製)

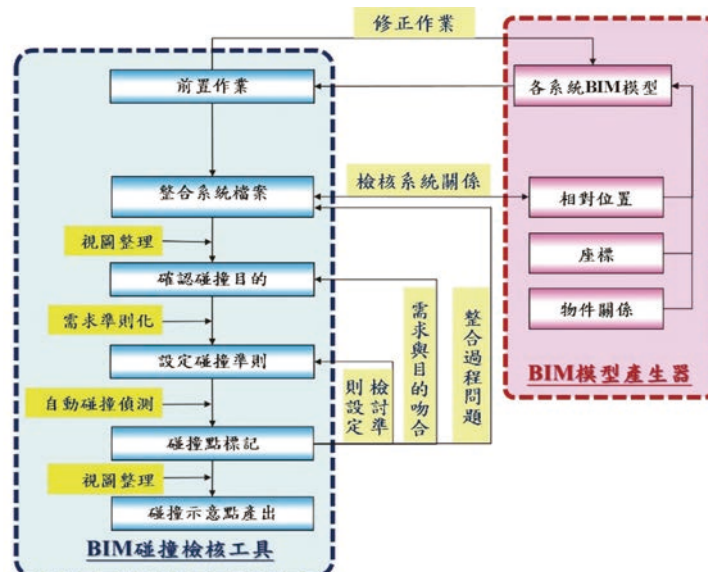


圖 3 安坑輕軌工程 BIM 碰撞檢討的系統化之操作流程圖<sup>[2]</sup> (劉泰儀重製)

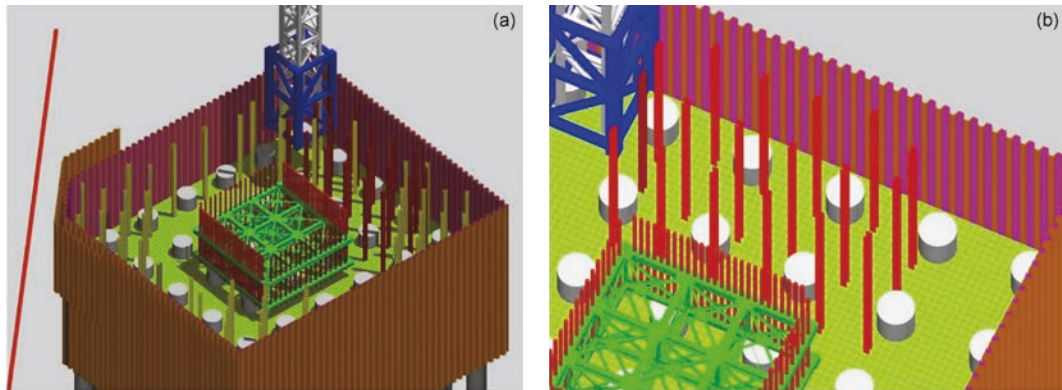


圖 4 安心橋 BIM 碰撞檢討及衝突問題之範例：(a) 塔式吊車基座與基樁及中間柱衝突  
(b) 鋼橋塔錨碇座與基樁鋼筋

## 圖說輸出

本項安心橋 BIM 專業服務項目，分別創建主橋塔結構、鋼桁架橋樑、附掛管線、路線定線、列車軌道與其他結構物之安心橋專案樣板 (Project Model Template)，並依據工程測量訂定工程測量的基準點 (Survey Point) 設立所有工項之樣板中，各樣板包含所有分項工程種類在 BIM 模型建模時所需的族群 (Family)，BIM 建模人員則將應用安心橋專案樣板建立專案內各工程所需的模型 (Central Model)。經由模型之建置，輔助設計與施工的圖說即可從安心橋各項專業所建置的 BIM 模型中提取，可提取的輔助圖說包括：平面圖、正視圖、剖面圖、放大平面圖、詳圖、附表圖、示意圖、自行定義圖與 3D 視圖<sup>[2]</sup>。至於提取何種輔助圖說，工程師可依工程階段即相關進度決定，在與業主達成某種程度的共識之下，可直接將此輸出之輔助圖說交付設計階段之設計圖面、施工階段之現場施工圖說，以及運維階段之營運資訊使用。

圖 5 所示為安心橋 BIM 輸出之輔助圖說：(a) 設計圖及 (b) 施工透視圖。

## 三維 (3D GIS) 模型建立成果

本工程結合空拍機之地面實景，搭配 BIM 之三維建模功能，可輸出高解析度之 3D GIS 模型，其中一包含 K8 車站至 K9 車站間之安心橋三維模型輸出，此一作業之各工作項目執行內容簡要說明如下<sup>[2]</sup>：

- 航空攝影：亦即空拍機之攝影作業，空拍前需規劃完整的飛航計畫，考量儀器參數、測區範圍、重疊率、航拍解析度等規劃航線，並須申請新店溪水域之空拍作業許可。
- 控制測量：包含安心橋施工已知平面及高程檢測點、航空標布設及測量、控制點埋設及控制點導線點清查測量，提供後續空中三角測量使用。
- 空中三角測量及正射影像製作：本工程製作 10 公分解析度正射影像，經由空中三角測量平差計算取得所有影像之外方位參數，以影像糾正取得正射影像，鑲嵌後分幅為 1/1000 圖幅。
- Acute 3D 建模：透過空拍機傾斜攝影拍攝安心橋不同角度之高解析度影像，並以 Bentley Context Capture (Acute 3D) 產製三維安心橋模型，經由影

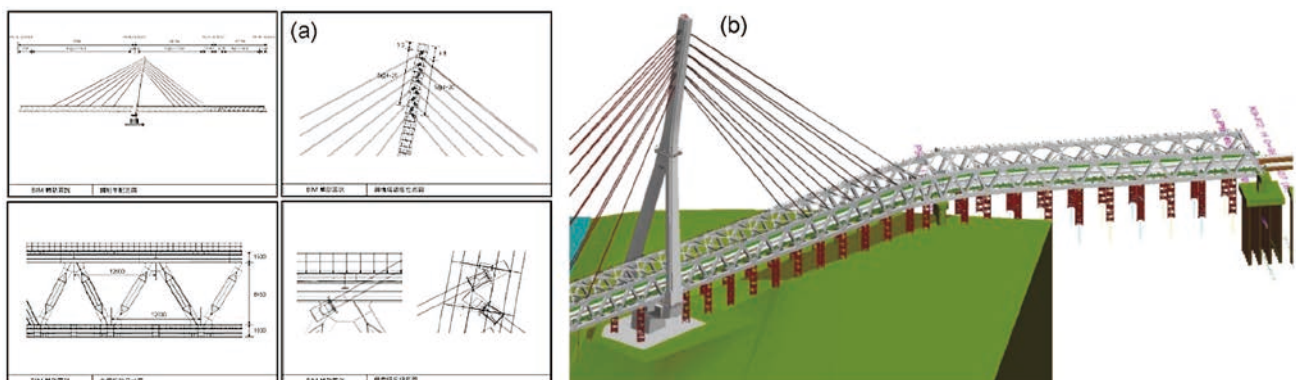


圖 5 安心橋 BIM 輸出之輔助圖說：(a) 設計圖及 (b) 施工透視圖

像密匹配技術取得計畫範圍之高密度點雲，再輸出高精度高解析度之三維安心橋模型。

- 系統平台及飛行模擬：本工程採用 Skyline 作為 3D GIS 瀏覽平台，輸入成果包含正射影像及週邊三維地景模型，並可與各階段產出之 BIM 模型進行套疊，並錄製飛行模擬動畫。
- 成果輸出：統整各階段成果並完成三維街景輸出。

圖 6 所示為安心橋三維 (3D GIS) 模型輸出圖範例。

另外，3D GIS 技術也可以由列車內之視角，來觀察列車行駛情況之模型輸出，圖 7 所示為列車內部視角之 3D GIS 模型圖。

### 4D 模型運用

目前在土木工程領域，除了 3D 模型技術之外，加入時間軸的 4D 技術，或是加入時間軸和成本的 5D 技術，都有相當成熟的發展，例如台積電晶圓廠建造的 5D Cristal 技術，算是發展得最完整的整合平台。

本工程在既有的 3D 模型技術上，也加入時間軸之技術成為管理成效優異的 4D 技術平台，透過不同專業項目之 4D 整合，能提供各項模型中資源的管理，能發揮更高之效率，進而避免發生資源過剩或不足之管理缺失，而影響整體工程之施工進度。

圖 8 所示為安心橋時間軸中不同階段之 4D 模型輸出圖。



圖 6 安心橋三維 (3D GIS) 模型輸出圖範例



圖 7 安心橋車內視腳之三維 (3D GIS) 模型輸出圖

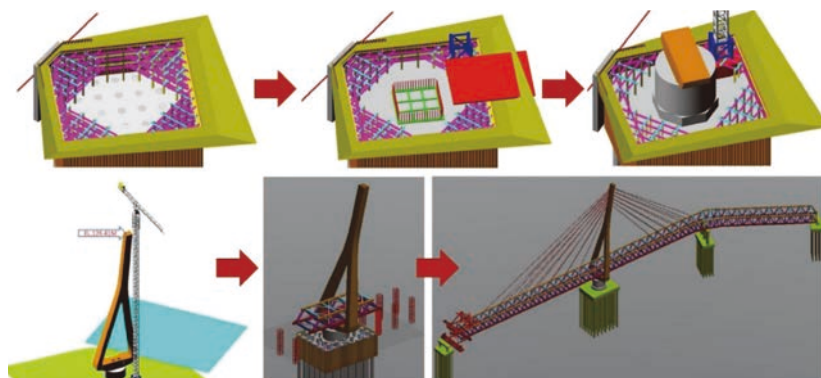


圖 8 安心橋時間軸中不同階段之 4D 模型輸出圖

表 3 安心橋圖裝配色選色方案一覽表

	色票依據	顏色	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D
單色	油漆工會	白色	橋塔	橋塔		橋塔
		38 鼠灰		桁架		
		37 珍珠灰	桁架		橋塔、桁架	
		94 灰藍				桁架
漸層	PANTONE	白色	橋塔			
		Pantone 420	桁架			
		Pantone 421				
		Pantone 422				
		Pantone 423				
		Pantone 424				

## 橋體塗裝配色模擬

BIM 技術亦運用於安心橋之配色方案之選擇上，選色時搭配 3D GIS 實際地景之視覺效果上，進行各方案顏色搭配之預視及評選，表 3 為安心橋不同方案配色之列表。

圖 9 所示為安心橋單色與漸層色圖裝配色模擬 3D 透視圖。

經業主及建築師在 BIM 3D GIS 之輔助配色模擬及多方討論之後，本工程安心橋選定主橋塔塗裝為白色，鋼桁架橋塗裝為單色 Pantone 422 號灰色，鋼纜採 HDPE 保護套管之原色白色，整體明亮顯眼，堪稱新北市之新地標。

## 工程數量計算

使用 BIM 工具對於數量統計而言，最重要的就是運用軟體提供之建模工具使結構體元件可以附帶數量統計所需之數量資訊。已安心橋為例，其鋼桁架橋使用橋梁工具來建立。而不同專業領域之 BIM 模型（例如：橋梁混凝土和軌道混凝土）之部分元件可能會重複建置，於數量計算時應確實檢查並排除重複建置部分。

本工程經由 BIM 技術進行之副柱數量計算含下列各主要項目：

- 鋼橋塔構件數量。
- 鋼桁架橋構件數量。
- 橋面混凝土數量。
- 軌道數量。
- 軌道混凝土數量。

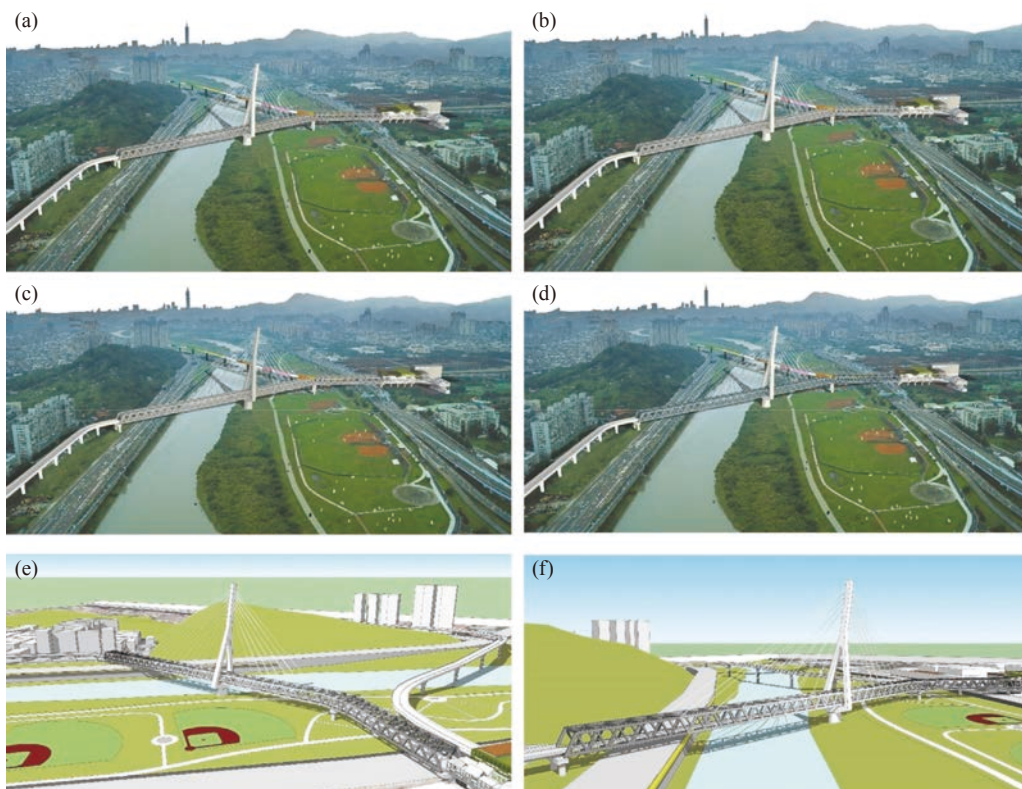


圖 9 安心橋單色與漸層色塗裝配色模擬 3D 透視圖：(a) 至 (d) 為單色方案，(e)(f) 為漸層色方案

## BIM 應用於安心橋之成效說明

自本工程開工進行細部設計開始，至目前施工階段，已於各階段有效應用 BIM 技術建構虛擬建築結構與土木工程之模型，以模擬設計與施工輔助設計至竣工之各工程階段的應用。並於工程進程中將 BIM 之資料、模型及其產出之設計圖、材料數量等能即時的與專案成員共同作業分享資料。BIM 技術服務系統即是為滿足專案各方專業項目之需求而建置，供專案彙總、發佈、歸檔及管理 BIM 資料及成果，並供專案成員協同作業、資料共享、成果驗證等作業。業主、專管顧問及監造單位亦可由網際網路隨時登入此系統檢視最新 BIM 作業成果。表 4 所是為 BIM 技術於安心橋相關項目所產出交付之輔助文件一覽表。

表 4 BIM 技術於安心橋相關項目所產出交付之輔助文件一覽表<sup>[2]</sup>

交付里程碑	交付文件	
細部設計階段	BIM 執行計畫書	
	安心橋基礎模型	
	安心橋主橋塔模型	
	安心橋鋼桁架橋模型	
	定線	
	軌道模型	
	系統機電整合模型	
施工階段	各專業施工模型及協調模型	
	2D 施工圖 (製造圖)	
	時程及階段模型	
	完工後 3D GIS 模型	
移交階段	設計團隊	配合現場施工修改之設計模型 施工期間修改紀錄文件及圖說
	統包商	竣工模型
		協調模型
		竣工圖說
		操作及維護手冊

## 結論

3D 建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 為現今工程專案開發之應用上，日漸廣泛及深入。在本論文中，作者說明 BIM 在本工程中各階段之對應等級，以及各等級的要求交付內容。本論文並以安心橋之設計及施工等各階段為例，來說明並討論 BIM 技術在設計衝突問題解決、橋塔錨碇座與基樁鋼筋、圖說輸出、三維 (3D GIS) 模型建立成果、4D 模型運用、橋體塗裝配色模擬以及工程數量計算等各項之輔助成效，並於各階段有效應用 BIM 技術建構虛擬安心橋土木工程之模型，以模擬設計與施工輔助設計至竣工之各工程階段的應用。這些在 BIM 技術的運用，我們以深切了解，BIM 技術服務系統即是為滿足專案各方專業項目之需求而建

置，供專案彙總、發佈、歸檔及管理 BIM 資料及成果，並供專案成員協同作業、資料共享、成果驗證等作業。

## 誌謝

本論文所有作者，感謝本工程業主新北市政府捷運局、專案管理中興工程顧問股份有限公司、亞新工程顧問股份有限公司、統包商新亞建設開發股份有限公司、俊吉營造股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、十匯建築師事務所、台賓科技有限公司、長榮鋼鐵股份有限公司，以及其他參與本工程之所有公司、單位及工程人員等之努力與協助，並有效運用 BIM 技術之輔助，始能精準並順利且如期如質地完成此一安心橋之建造工作，這些努力所產出之資料，亦係為完成本論文之基本元素。

## 參考文獻

- Liu, T.Y., Chen, P.H., Chou, N.S., Chou, M.Y., Lin, R.J.C., and Luo, Han-Ding (2019). "Environmental Sustainability Approaches Adopted for Construction of Anhsin Bridge of Ankeng Metro System in New Taipei City." E3S Web of Conferences 117, 00013 (2019) (EI Conference proceedings).
- 新亞建設開發股份有限公司 (2017), 「BIM 執行計畫書」, 新北市政府捷運局 - 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程 (Unpublished Article), September 11, 2017, pp. 1-171.
- 林逸羣、林仁國、詹家雄、田若農 (2018), 「獨立驗證與認證 (IV&V) 如何結合獨立安全評估 (ISA) 作業說明—以新北市捷運車輛系統為例」, 工程與技術期刊, 91 卷 03 期, June, 2018, pp. 130-141.
- Succar, B. and Kassem, M. (2016), "Building Information Modelling: Point of Adoption, CIB World Congress." Tampere Finland, May 30 - June 3, 2016.
- Kassem, M. and Succar, B. (2017), "Macro BIM adoption: Comparative market analysis." Automation in Construction, 81, pp. 286-299.
- Kassem, M., Succar, B., and Dawood, N. (2015). "Building Information Modeling: analyzing noteworthy publications of eight countries using a knowledge content taxonomy In R. Issa & S. Olbina (Eds.), Building Information Modeling: applications and practices in the AEC industry." University of Miami: ASCE.
- Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., Lee, J.M., Lee, J.K., Sheward, H., and Eastman, C. (2012). "General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis" Advanced Engineering Informatics 26 (2012) 317-333
- Shin, H.M., Lee, S.J., and Chen, J.H. (2011). "Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Column Based on BIM", The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction: Procedia Engineering 14 (2011), pp. 2160-2163
- Fox, S. and Hietanen, J., (2007). "Interorganizational use of building information models: potential for automational, Informational and transformational effects." Construction Management and Economics 25 (2007), pp. 289-296.
- Choi, J., Kim, I., Jo, C., and Choi, J. (2009). "Application status of domestic architectural industry of open BIM and development direction." Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers 14 (6) (2009), pp. 355-363.
- 新亞建設開發股份有限公司 (2020), 「安坑輕軌\_細設第二部分 BIM 成果報告書」, 新北市政府捷運局 - 安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程 (Unpublished Article), July 15, 2017, pp. 1-2 - 2-74.





# 桃園市共同管道智慧化管理的 應用與展望

康思敏／續紛科技股份有限公司 總經理  
吳峰凱／桃園市政府養工處共管機電科 股長  
藍士堯／桃園市政府工務局 專門委員  
鍾尚其／桃園市政府養工處共管機電科 工程司  
莊浚騰／桃園市政府養工處 副總工程司  
劉軍希／桃園市政府養工處 處長  
賴宇亭／桃園市政府工務局 局長  
黃治峯／桃園市政府 秘書長

桃園市共同管道發展智慧化管理系統的目標，是基於桃園市政府養護工程處對共同管道資訊化及智慧化營運管理之原則性需求，包括先進性、可靠性、安全性、實用性、開放性、可擴充性、經濟性、可維護性等，搭配共同管道機電系統更新工程、BIM 建築資訊模型技術、GIS 地理資訊系統、IoT 智慧監控整合技術等有效結合，建置一個應用於桃園市全區共同管道維護管理的 3D 資訊化平台，把共同管道全生命週期內不同階段的大量資料進行有效整合，可為共同管道的決策及管理提供強有力的綜合技術支援。整體工作由收集資料建置共同管道 BIM 模型開始，先將既有資料數位化，並考慮管線單位、管理單位與維護單位各層級應用，藉由資訊平台結合軟體介面，提供各單位所需的功能，使 BIM、GIS、IoT 等技術落實應用並貫串共同管道建設的全生命週期，為劃時代的城市管道管理創新做法，值得推廣運用。

關鍵詞：共同管道、BIM 建築資訊模型、GIS 地理資訊系統、IoT 智慧監控、設施設備管理

## 概述

### 桃園市共同管道建設概況

桃園市政府近年來全面推動共同管道整體規劃及建設計劃，積極配合新社區開發、區段徵收、市地重劃、都市更新地區、捷運系統等公共工程建設，同時推動共同管道（溝）計畫，徹底解決管線挖掘所衍生之不良問題，降低因管線維護而須挖掘道路頻率，並透過健全有效的管理，提昇道路維護品質，打造桃園市成為智慧先進的宜居城市。

桃園市於已建設完成之共同管道包括高鐵桃園車站特定區、桃園航空城客貨運園區、桃園中路地區區段徵收、經國市地重劃區、縣道 112 線中壢龍岡路（龍

慈路至龍岡圓環）、中山東路道路拓寬工程、機場捷運 A7 站區段徵收、桃 49-1 道路拓寬工程等 9 個區域，總計管道長度約 169.39 公里，包含幹管 9.47 公里、供給管（支管、電纜溝、纜線管路）159.92 公里，總建設經費約新台幣 40.64 億元，各區域共同管道分佈位置如圖 1 所示。未來桃園市共同管道路系統網路將以分期建設、逐年實施方式推動，並考量施工性、經濟性及效益性等三項原則，在與新市鎮或新社區開發、大眾捷運系統、鐵路地下化及其它重大交通建設計畫共構施築者，配合一併施工。截至民國 109 年興建中之共同管道有 11 個區域（約 158.61 公里），規劃中之共同管道有 12 個區域（約 1,263.45 公里）。

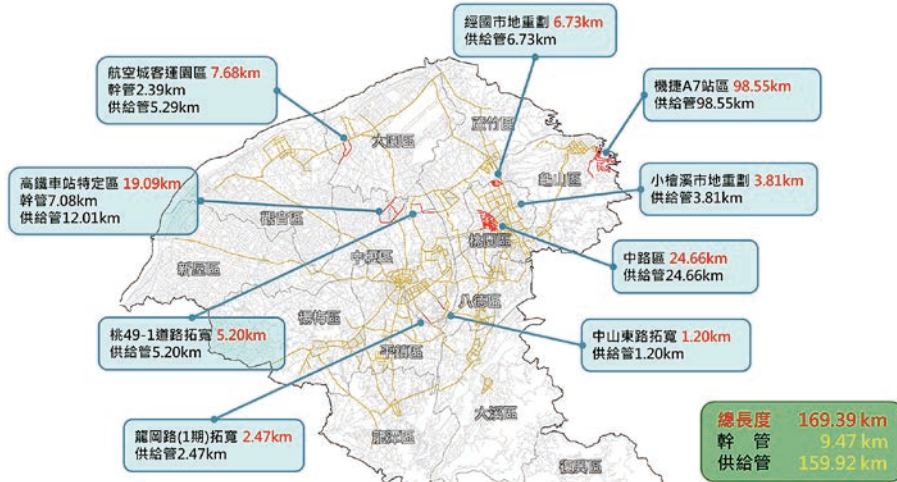


圖 1 桃園市已建設完成之共同管道分布圖

### 共同管道營運管理面臨的問題

由於共同管道分佈於城市各道路下方，範圍廣大，設施設備眾多，且須整合管理單位與管線單位，需要專業技術核心知識與經驗。桃園市政府養護工程處（以下簡稱養工處）作為桃園市共同管道之管理機關，目前主要面臨問題如下：

1. 共同管道完工僅交付 2D 圖說至營運階段使用，營運維護所需的資訊不完整且紙本檔案交接亦可能有資料漏失情況。
2. 各項圖說及資料缺乏關聯性，進而影響設施設備管理之準確性。
3. 設備進行汰換、改善或檢查時，無法即時更新資料，影響管理系統的有效性。
4. 各項管理流程仍以紙本作業為主，保存不易且難以搜尋，更無法進行資料分析。
5. 現有管理人力不足且流動頻繁，管理經驗難以傳承。
6. 傳統之共同管道線路巡查及使用費、維護費之收取方式費時費力，仍有改進空間。
7. 傳統之共同管道進出申請公文往返耗時較長，管制進出大量仰賴人工，可結合新科技創新改進以達簡政便民。

### 共同管道導入智慧化管理之實施策略與架構

桃園市政府養護工程處為提升共同管道基本設施性能如電力、電信、供水等系統之穩定供應無虞，目前正辦理共同管道機電系統升級工程，將電力、氣體偵測、門禁、監控、照明、消防火警、通風空調、網路等系統設備汰換升級，藉由光纖、Wifi 模組等提供有線、無線通訊等可靠傳輸機制，實現共同管道內全方位自動化監測、確保運行

資訊回饋不間斷，達到安全、高效、即時的自動化管理。

此外，基於對共同管道資訊化及智慧化營運管理之原則性需求，包括先進性、可靠性、安全性、實用性、開放性、可擴充性、經濟性、可維護性等，透過 BIM 建築資訊模型技術、GIS 地理資訊系統、IoT 智慧監控整合技術等有效結合，建置一個應用於桃園市全區共同管道維護管理的 3D 資訊化平台，全名為「桃園市共同管道設施設備管理系統」，此系統把共同管道營運管理的大量資料進行有效整合，可為共同管道的決策及管理提供強有力的綜合技術支援，用以輔助各項管理工作，使 BIM、GIS、IoT 等技術落實應用並貫串共同管道建設的全生命週期。

綜合上述，桃園市共同管道智慧化營運管理整體架構如圖 2 所示。

## 桃園市共同管道 BIM 建置標準規範及圖資

### 共同管道 BIM 模型建置標準規範

建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）係一種將建築物資料數位化應用的流程，透過建立含有工程及管理資訊的虛擬 3D 建築物資料庫，並作為建築物設施設備資料載體供建築生命週期各階段使用。為落實發展 BIM 技術應用於桃園市共同管道的智慧化管理，養工處爰制定共同管道 BIM 模型建置標準規範。本標準規範訂定的目的是將共同管道 BIM 模型及屬性的建立流程及格式標準化，內容主要包括：系統及檔案分類標準、樣板及環境規畫標準、模型元件及屬性建置標準、元件編碼標準、檔案移交格式、建置範例說明等。



前述之 BIM 模型建置標準規範已於 108 年施行，並納入桃園市共同管道建設工程契約，使得建設單位（多為桃園市政府新建工程處）於共同管道完工移交養工處接管時，一併移交工程設計施工階段之 BIM 模型（以按照養工處之 BIM 模型建置標準規範建置），完全解決新建與維護單位重複建置 BIM 模型之資源浪費。

本市既有或未來興建之共同管道圖資均參照本標準規範進行 BIM 建置工作，以利數位化圖資之統一性及有效性，並順利銜接桃園市共同管道設施設備管理系統，作為共同管道智慧化管理的基礎資料。

### 共同管道 BIM 圖資建置成果

本府目前已完成高鐵桃園車站特定區、中路地區、桃園航空城客運園區、經國市地重劃區、縣道 112 線中壢龍岡路、桃 49-1 道路、中山東路三段（230 巷至龍文街）、機場捷運 A7 站地區、桃園區小檜溪暨埔子自辦市地重劃等 9 區共同管道 BIM 資料庫建置，包含 BIM 模型資料及相關屬性資料等（如圖 3 所示）。

## 桃園市共同管道設施設備管理系統

### 系統概述

桃園市共同管道管理系統係一套基於 GIS 圖資與 BIM 模型的資料庫圖台核心軟體，用以提供設備圖資一致性之空間資料管理機制，並提供標準介面與其他系統介接。本系統之預設使用者為共同管道使用人員、管理人員及決策人員，經驗證帳號密碼取得使用權限後，即可透過 Web 操作方式進行相關管理作業。系統介面如圖 4 所示。

### 系統功能模組介紹

本系統各使用單位主要使用需求簡述如下：

1. 管線單位：進入管道作業申請、佈纜資料申報、管道圖資查詢、法規查詢等。
2. 維護廠商：工作人員申報、巡檢計畫申報、巡檢流程數位化與無紙化等。
3. 養工處：共同管道圖資管理、管線單位進入管道作業管理（含人員安全監控）、管線單位佈纜資料統計與管理、維護廠商日常作業管理、監控中心管理、共同管道使用收費管理、系統權限管理等。

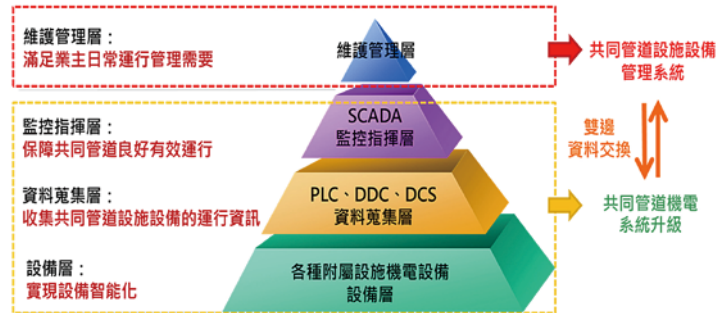


圖 2 桃園市共同管道智慧化營運管理整體架構圖

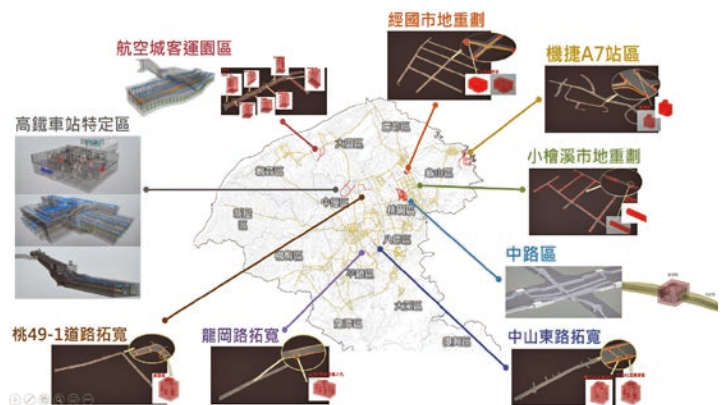


圖 3 桃園市已建置完成之共同管道 BIM 圖資

4. 市府決策者：圖資查詢、統計報表、緊急應變處理等。

綜上所述，共同管道管理系統功能需兼顧各項使用需求，經由需求訪談、系統規劃、系統分析與設計、模組功能測試反饋等程序，以使系統功能日趨完善。桃園市共同管道設施設備管理系統主要功能模組包括 BIM-GIS 查詢模組、圖文檢索模組、手持式裝置 APP 巡檢模組、人員管理模組、收費管理模組、監控管理模組、設施設備管理模組、佈纜調查 APP 模組、系統管理模組、虛擬實境（VR）結合 BIM 之相關應用等。整體功能模組架構如圖 5 所示。

節錄重點模組功能簡述於下：

#### BIM-GIS 管理模組

採用瀏覽器 / 伺服器 (B/S) 架構，提供整合 TGOS 地理資訊圖資雲服務平台與 BIM 模型展現之操作介面。可查詢共同管道設備之空間資料並套疊市街地圖，用以顯示共同管道內之設備分佈，並提供 3D 設施查詢、各種視景圖、模型操作、以資查圖、竣工圖查詢、文件查詢、設施管理流程等功能，請參考圖 6。

#### 管線單位管理模組

提供各管線單位帳號權限，於網站（資訊系統）提出申請進入共同管道、上傳人員身分資料及專業證



圖 4 桃園市共同管道設施設備管理系統介面

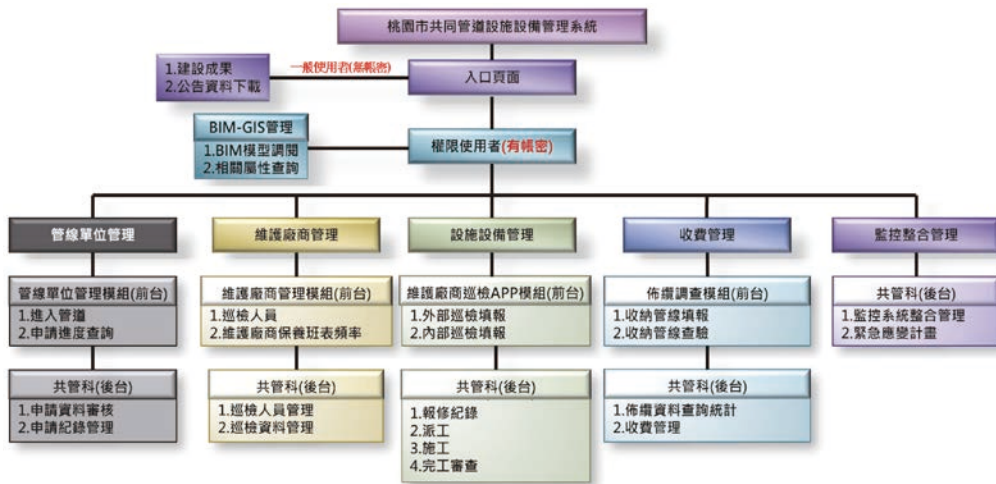


圖 5 整體系統功能模組架構圖



圖 6 BIM-GIS 系統畫面圖

照（如勞工安全執照、缺氧人員執照等）以供養工處進行線上審查，如需退補件，亦可於線上作業，大幅

所短行政時間。進入管道前，亦可供管制人員做身分比對，進出管道人員之實際情況，亦可透過後台模組自動記錄。此外管線線單位亦可透過網站，主動填報佈纜資訊（以供養工處進行年度實地稽核），並可讓管線單位上傳定期之管線巡檢報告，請參考圖 7。

### 維護廠商巡檢 APP 模組

用以建立現場巡檢及保養作業的數位化流程，作業類別可分為管道外部及內部巡檢等類別，可把相關工作指令下載在行動裝置中，以無紙化進行巡檢，節省現場作業時間，降低巡檢資訊的錯誤發生，請參考圖 8。

### 監控整合管理

可使管理系統連結至共管各設備及環境監控模組，採集即時監測數據資料反應至機電設備模型，包括溫度、一氧化碳、氧氣、甲烷、緊急照明、CCTV 等，對共同管道內設備的運行狀態及環境狀況進行即時監控，必要時啟動自動排風、火警通報、人員安全救援等作業，以確保全市管道正常運行，請參考圖 9。



圖 7 人員管理系統畫面圖

是否需派工改善管道環境，以及纜線調查資料將做為後續年度自動化收費系統之重要參據，請參考圖 10。

### 收費管理

統計共同管道各管線單位佈纜使用資料、自動化產出繳費單及繳費明細統計報表，請參考圖 11。

### 後台管理

包括權限管控、設備維修管理（含設備維修歷史紀錄）、管線單位管理、維護廠商管理、監控整合管理、收費管理等，請參考圖 12。

### 共同管道結合虛擬實境 (VR) 管理平台

利用 BIM 整合各項管線資訊之特性，並輔以最先進之體感設備虛擬實境技術，建立 BIM 結合虛擬實境的共同管道管理平台。透過此平台可精準地模擬共同管道內各種狀況，許多營運管理問題也可透過可視化立體影像討論解決，大幅提升共同管道營運的安全性。此外，也可透過 VR 的真實體感環境，讓管理者不受時間及地域限制，於共同管道內行走及屬性查詢之擬真，隨時掌握共同管道分布情況及共同管道相關資料，更有助於實際共同管道管理工作的執行，請參考圖 13。

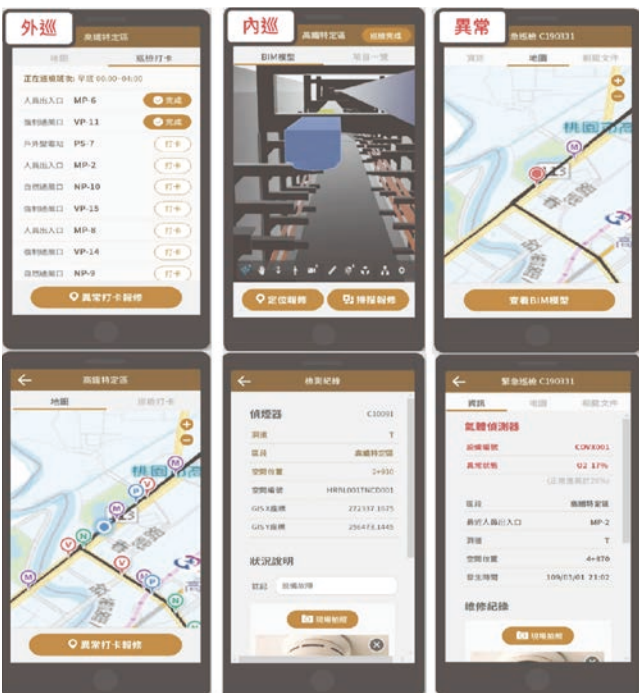


圖 8 巡檢 APP 系統畫面圖



圖 9 監控整合管理系統畫面圖

### 佈纜調查模組

養工處進行年度實地稽核時，將以行動裝置作為操作介面，並結合無線通訊網路及 GPS 定位技術，提供共同管道人手孔佈纜調查使用。功能包括人手孔佈纜調查、人手孔佈纜查驗審核、紀錄查詢等功能。佈纜調查能確保孔蓋內管線擺放正確與落實貼標外，亦可確認



圖 10 APP 佈纜調查 APP 系統畫面圖



圖 11 收費管理系統畫面圖

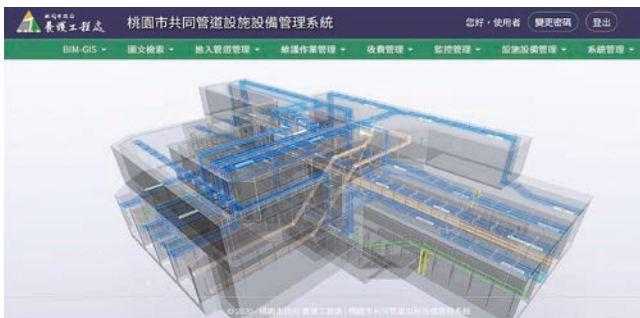


圖 12 後台管理系統畫面圖

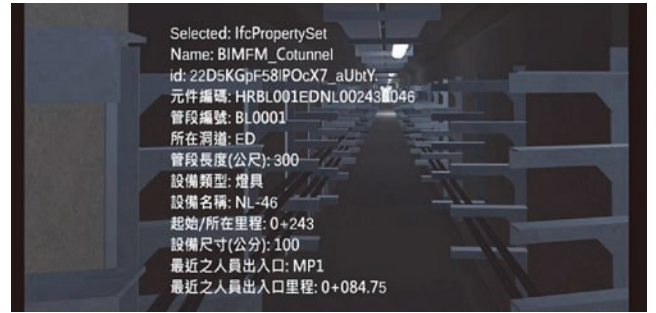


圖 13 共同管道虛擬實境畫面

## 系統建置效益及未來展望

### 系統建置效益

1. 建立共管 BIM 模型及屬性建置標準流程，並從源頭管理，使 BIM 從共同管道工程規劃、設計、施工、接管營運個階段達成全生命週期運用，大幅完善共管竣工資料之移交及保存。
2. 結合 BIM-GIS 之共管圖資查詢系統，可使管理者及使用者調閱及查詢資料更迅速，大幅提升管理便利性及有效性。
3. 完整建立管線單位佈纜資料調查與審核機制，並將 BIM 圖資與佈纜資料整合，使整體收費流程電子化，更能精準掌控管線單位使用共管狀況及收費金額。
4. 建立管線單位申請進入管道作業之電子化流程，除加速行政程序效率外，更能有效掌控管線單位佈纜及維修作業細節，提升共管內部作業之安全性。
5. 建立共管巡檢維護作業之電子化流程，以 APP 進行作業，節省現場作業時間及有效管理維護記錄。將設備維護紀錄與 BIM 圖資整合，大幅提高共管內部設施設備的妥善率，確保共管正常運行。
6. 利用 BIM + GIS + IoT 整合共管內部監控設備，及時監控共管內部環境及設備運行狀態，並建立緊急事件應變管理機制及自動化之大數據管理，維護共管正常運作，作為發展智慧化與自動化的智慧城市管理系統的堅實基礎。

### 未來展望

1. 完善資料建置方面：持續完成桃園市共同管道之 3D BIM 數位化工作（即待陸續完工之共同管道 BIM 資料匯入），並全面納入系統管理。
2. 行政作業方面：持續辦理桃園市各新建共同管道之資料點收、共同管道建設統計成果更新、既有管線佈纜資料更新等工作，持續完善本系統之收費管理模組，使行政作業更加系統化及效率化。
3. 擴充系統模組方面：持續擴充各項系統架構及模組功能，提供共同管道維護管理使用，主要包括：
  - (1) 監控中心戰情大屏顯示整合模組：透過連接共同管道設備汰換案監控系統，本系統將即時監測資料反應至 BIM 機電設備及環境監控模組，管理者可於監控中心戰情大屏上對共同管道內設備的運行狀態及環境狀況進行即時監控，以確保全市管道正常運行。
  - (2) 共同管道訊息推播模組：將共同管道內異常狀況以 e-mail、簡訊、或 LINE 方式將訊息推播給相關管理人員，讓管理人員隨時隨地接收到重要訊息，當接到異常狀況通知時，即可馬上進行派員處理，避免耽誤處理異常狀況之黃金時間，藉以降低不必要開支及確保共同管道使用人員之生命安全。

### 參考文獻

1. 桃園市共同管道設施設備管理系統委託專業服務案（第 2 期）期末報告書，續紛科技股份有限公司，2020。
2. 內政部營建署共同管道法及施行細則（2001.12）。
3. 內政部營建署公共設施管線資料標準（2016.08）。
4. 內政部營建署共同管道工程設計標準（2013.02）。
5. 桃園市共同管道系統整體規劃報告（2016.07）。
6. 臺大 BIM 研究中心 — BIM 模型發展程度規範 2017。
7. 中華民國內政部建築研究所 — 國內 BIM 元件通用格式與建置規範研究（2013.12）。



# IPD 應用 議題探討 — 以首次應用 IPD 之業主為例

范素玲／淡江大學工程法律研究發展中心 主任、臺馬數位科技海外研究中心 主任、淡江大學土木工程學系 副教授

傳統設計 - 招標 - 施工之採購模式，由業主先形成初步構想後，依預算及預定期程，委託建築師或工程師進行規劃、設計、估價等工作。待設計工作完成後，業主再行招標發包，施工廠商依據業主所提供之設計圖說、施工規範及相關法令規範，按圖施作<sup>[1]</sup>。設計單位與施工廠商責任清楚，分階段規劃、設計、施工，在設計已經完成的情形下，品質、成本以及工期較有明確標的與規範。然而若專案規模龐大，性質複雜且參與單位眾多時，傳統採購模式則易產生設計與施工配合不易，各參與單位權責不清，合約界面管理複雜，資源無法充分配合運用及變更設計處理困難等問題，其中最常見的是設計不能真正反應施工環境，許多問題，在施工階段才被發現與討論和解決，而使工期延長<sup>[2]</sup>。

有別於一般傳統採購模式，統包採購發包則由業主提出需求後，將設計、施工、安裝等併於同一契約委託同一廠商，具有減少施工界面、設計與施工並行縮短工期、設計與施工配合，運用施工廠商工程專長、節省成本，提昇品質，遇有變更設計時，施工與設計較易配合。

然而統包在工程尚未設計完成前及施工範圍皆未明確之情況下，如果業主對其工程需求表達不明確，且決標後無法正確掌握工程進度，統包商為求自身利益會盡可能壓低成本，業主及廠商皆須承擔極高之風險，業主對於對工程控制程度較差、統包商本身較難客觀的查核、評估其所辦之設計或施工計劃之適宜性，甚至可能產生統包商之設計過分牽就其既有之施工技術或施工機具等情事，則工程品質將難以達到較高水準，業主須負擔比傳統方式更大之風險等問題。因此儘管統包模式具有縮短工期、降低成本、提升品質等優點，依據審計部 104 年審計部年報統計，各機關民國 102 及 103 年度實際辦理統包工程案件，均僅占當年全國工程採購總決標件數 0.27%，多年下來採用統包之工程數也逐年銳減，還是選擇以傳統設計、發包招標進行<sup>[2]</sup>。

專案整合交付之採購模式 (Integrated Project Delivery, IPD)，美國建築師學會 (American Institute of Architects, AIA) 將其定義為整合人員、系統、企業結構和運行，能夠使所有成員的才能和見解都能充分協力合作、並從設計、製造與施工各階段減少浪費和提高效率<sup>[3]</sup>，則兼具傳統與統包模式的優點，業主需求產生後委託設計單位，於設計概念設計完成後便發包施工廠商，而讓施工團隊提早進入參與詳細設計，將原本施工階段才會發現的問題，提早於設計階段發現與討論，如此既可達到統包之設計與施工界面的整合、先設計邊施工縮短工期等優勢的同時，業主仍保有對工程的主控權力，設計單位為負責設計與工程品質的把關，施工單位提早進入專案，提供施工意見，而使設計方案與實際施工貼合，減少重複工作，並將施工階段的才會發現的問題，提早發現與解決。因此 IPD 可稱為落實實踐精實營建 (Lean Construction) 的轉換 (Transformation)，將營建工程中資源投入轉換為產品之過程應用；作業流程 (Flow)：整合每一作業間之界面，以減少時間浪費；以及價值 (Value)，使顧客 (業主) 滿意並感受產品額外之價值的一種採購模式<sup>[4]</sup>。

本文以國內業主如擬首次應用 IPD 於工程採購為例，說明 IPD 應用面上的議題與機制，供工程界參考。

## IPD 的特性

美國建築師學會 (American Institute of Architects, AIA) 2007 年推出 IPD 時提列出八個重要準則，隨後同年出版之 IPD 使用指引<sup>[5]</sup>則有九個重要準則如相互尊重 (Mutual respect) 或 IPD 使用指引稱為相互尊

重與信任 (Mutual Respect and Trust)、互惠 (Mutual Benefit) 或 IPD 使用指引稱為相互受惠與回饋 (Mutual Benefit and Reward)、及早確立目標 (Early Goal Definition)、化溝通 (Enhanced Communication) 或 IPD 使用指引稱為開放式溝通 (Open Communication)、明

確定義的開放標準 (Clearly Defined Open Standards)、適當的技術 (Appropriate Technology)、性能 (High Performance)、領導力 (Leadership) 或 IPD 使用指引稱為組織與領導 (Organization and Leadership) 以及協同創新與決策 (Collaborative Innovation and Decision Making)。

綜上而言，筆者以為 IPD 最重要之特性有二：

### 及早參與及連續性的團隊

傳統採購模式為避免材料設備綁標，要求設計單位的設計及規範需符合三家以上，因此機房及空間需保留彈性，以利日後決定使用任一家都可以。施工廠商得標後，需提送材料設備，經業主或專管單位審核通過，才能依實際需求進行檢討進行施工圖繪製，因此建築師的細設圖僅供參考，路徑及設備配置都需依廠商施工圖為準。此外例如消防系統、建築管理系統 (Building Management System)、帷幕牆、鋼構等分項工程，設計與實際施工也都會有極大差異，因為設計過程只能假設使用某一家的產品，而找專業廠商繪圖，然而營造廠投標卻是另一家廠商，造成時間浪費及無謂的重工，此外製作發包圖及預算規範而後招標，但投標時間往往短暫，施工單位在短暫的時間中投標、得標、開工，整合時間有限的情況下，對於專案很難有充分足夠的瞭解，因此現場施工動線、物流和施工順序的安排都可能無法很準確，很多細節無法被考慮，往往產生許多界面問題，邊做邊改，造成變更及材料浪費。

以鋼構為例，鋼結構分包商於細部設計階段便進入團隊，鋼結構分包商可以與結構工程師一起計畫鋼結構安裝順序，分配生產，包括計畫如何將鋼柱和鋼樑焊接或螺栓連接起來，甚至鋼結構分包商可以依據其施工上的實務經驗例如焊接鋼版時空間若不足，不易焊接，鋼構分包商變可以於設計階段時便看到這樣的問題而提出例如將焊接改為螺栓連接、或鋼筋工程師和結構工程師合作，指出現場放置鋼筋或者預製鋼筋籠的困難處，而預做調整。

IPD 與精實營建的理念一致，及早讓決策過程的關鍵人物參與進來，讓專案從開始到結束的知識連續性，讓各單位人員共同參與，並提供決策意見，而儘量減少必須重新改變的次數。

### 價值的創造

IPD 消極而言減少浪費，以就是減少任何形式的價值損失，價值可以包含時間和金錢。浪費的來源可能是：缺乏做出最佳決策的資訊、變更設計。積極而言創造價值。傳統的價值工程，對花費許多時間完成的設計方案重新檢討，將設計完成的部分項目剔除，換言之這些設計所花費的時間變成了一種浪費。因此 IPD 的角度，改為價值分析 (Value Analysis)，每到一個決策分岔口，便可以對成本收益做 A3 (A3 Problem Solving) 研究，A3 研究係指豐田生產系統 (Toyota Production System, TPS) 之精實思考 (Lean Thinking) 理念之「A3-Process 一頁報告」之方法，將團隊中各方專業之迥異理念與問題解決程序彙整於一張尺寸為 A3 的簡潔報告之中，透過闡明問題的主題 (Theme)、背景 (Background)、現況條件 (Current Condition)、因果分析 (Cause Analysis)、目標條件 (Target Condition)、執行計畫 (Implementation Plan)、以及後續追蹤 (Follow Up)，有系統的引導團隊討論與促成協同作業，且能充分呈現各責任單位之職責內容，最重要的，有利於團隊之間的知識共享和協同作業之實現<sup>[6]</sup>。所有正確的資訊和專家在同一團隊內，便有更高的機率可以在必須做出決定時做出最好的決定。

因此成本的角度同時轉換過去的思維，以成本目標設計 (Target Value Design, TVD) 的角度，傳統設計 - 招標 - 施工專案的專案成本，專案的估計成本會隨著時間的推移而上升，業主最終支付的成本往往超出第一次收到的估算，傳統的專案成本觀是價格是基於工作成本加上利潤加成。在這種觀點中，做的工作越多，能獲得的利潤就越多。成本和進度超支的問題是一個系統性的問題。在目標成本計算中，將這個等式反過來。利潤是最終目標，是價格減去工作成本。因此如果降低工作成本，就能增加利潤。依此理念，團隊有利益的一致性，精益與創新，使預期成本隨著時間的推移而降低<sup>[7]</sup>。

### IPD 應用議題

本文以將 IPD 應用議題分為以下幾個主題：

#### 專案、業主與目標

一般而言，規模大及複雜度高可以更彰顯 IPD 之

應用效益，但並不必然只有規模大與複雜度高的專案適用 IPD；因此業主考量是否適用 IPD 時，專案規模與複雜度並非首要考量，首要考量的是業主自身的人力、能力與經驗，作為業主，於專案初期，最重要任務是需求與專案目標的界定，而這需求更重要的不只是過去對於專案技術性的需求，更強調是目標，包含更上層次的願景，例如實踐為這塊土地努力帶來更永續與環保建築夢想，業主應致力於讓整個團隊認同這樣的願景，願意為實現願景而努力，因此如何讓不同團隊進入專案中，如何創建出團隊共同的目標是採用 IPD 使要的議題。

目標訂定與實踐的方法很多，例如 KPI (Key Performance Index) 或因為近年因 Google 採用而獲得重視的目標關鍵結果方法 (Objectives and Key Results, OKR) 改良目標管理 (MBO, management by objectives) 理論，OKR 重點在於設定目標 (Objectives)，並訂定完成哪些工作 (Key Results) 可以達成這個目標；強調員工參與決策、參與利潤分享及資訊分享，使員工會產生很強的心理擁有感，而使成員自發性做出超越職責內容的對企業的發展具有正面作用行為<sup>[8]</sup>。

## 團隊組織 (Organizational Structure) 與招商選商策略 (Tendering Strategy)

IPD 應用重要特性是提早讓各團隊進入與參與，因此業主的目標明確後，應組成甚麼樣的團隊，使個團隊在專案初期便可以充分的合作，是應用 IPD 的第二個核心議題。業主考量專案之目標後，便可更明確了解所需要團隊成員背景與能力，例如國內抑或國際團隊，而在招商選商的流程上，在設計單位完成概念設計後，提供專案願景、需求、專案完成期限等基本資料外，並提供概念設計以及基於過去案例經驗而發展的規範，建議可邀請約十家施工廠商，分別與各廠商就業主擬採用之 IPD 採購模式進行說明，之後與請表達參與意願之廠商準備研提資料。

廠商應分別就其對專案之認識、未來派駐專案之主要人員、詳細的進度表、成本的估算以及風險的分析進行分析研究，各廠商提供分析資料後，業主將與各廠商分別進行一對一的面談，並進行評選。評選上建議考量以下四個面向：

## 派駐專案之主要成員

一個專案的成功往往取決於專案的參與人員，一個 C 級公司的 A 級團隊表現可能不亞於 A 級公司的 C 級團隊，因此派駐專案的主要成員乃是專案成功的關鍵因素。專案主要人員包含專案經理、工地主地、安衛經理 / 工程師、品管經理 / 工程師、成本估算經理 / 工程師以及 BIM 經理 / 工程師等六位元元主要成員，該六位主要人員於合約上建議為列名的人員，主承商不可以任意更換，合約上並建議設計更進一步約定，倘主承商更換主要人員，除非其更換之人員經業主認可，否則將有高額罰款，並且構成業主單方終止合約之權利，以此約束主承商不得更換主要人員。

面談時，除要求業務人員不出席外，建議要求六位主要成員必須出席，即將來駐地做決策與負責的人員，而公司高階主管如總經理等可以出席，但非主要發言者。人員面談之重點，若專案與專業程度都十分接近時，可以未必針對專案與專業進行面談，而可以是跳脫專業層面，面談有關個人觀點、興趣以及看法，以瞭解這名人員是否適合未來二至三年間合作與共事，是否能夠互信。

## 工程執行能量

第二個評選考量面向為該家廠商目前執行中的專案或即將進行的專案，以考量該公司是否尚有足夠執行能量執行這個專案。因此廠商需提供與該專案期程重疊時間之目前執行或將投標之專案以及專案之規模等資訊以評估廠商之工程執行能量。

## 科技與技術應用能力

第三個評選考量面向為該廠商的科技與技術的應用能力，例如 BIM 等應用能力。

## 專案執行方案

第四個評選考量面向為對這個專案的執行的方案，例如對於該專案的執行風險或可能困難的評估與解決方案。

評選主承商時，不只業主，也邀請建築師或顧問共同評分。而評選分包商時，則評選成員除了業主、建築師、顧問外，也將邀請主承商參與評選。

IPD 的理念認為團隊合作關係允許錯誤發生，才能鼓勵成員盡其所能，但若有遭訴的可能，則執行的個

人難免為防禦心中的恐懼而不能盡情發揮；因此有研究提出契約內明訂「除了詐欺等犯罪行為外，契約各方間不得提出爭議訴訟」的條款，確保團隊的夥伴關係，共同分享專案效益，共同承擔專案風險，此想法雖立意良好，但訴訟是法律給予的權利，實則無法透過契約約定而避免，因此團隊組成與選擇上必須考量除了專業外，如前所述參與成員的人品與是否值得信任能否互信為重要考量之一。

因此長期而言，建議建立廠商清單，例如十家建築師、十家營造廠，而名單內之廠商將公平分配與業主未來之各工程，惟名單是動態更新的模式，即每廠商的表現將持續納入評分，例如最差之兩家廠商將評選新廠商進入，而這樣的評選記錄過程也將紀錄每一位參與的主要人員的表現，倘有某位人員嚴重違規，則可訂定例如該家廠商五年內不得再承攬業主集團之工程，藉此鼓勵廠商更加注重其工程師管理，也更重視人力資源，將工程師視為公司之重要資產。

### 合約架構

有關應用 IPD 的合約<sup>[9]</sup>，AIA 提供為三種層次的合約範本。第一層次為：過渡性合約範本（Transitional Forms），如圖 1 所示，是採用如傳統的合約架構，由業主與建築師和主承包商分別簽約（A195 合約範本與 B195 合約），其中 A195 與 B195 合約範本共同引用有關建築師、業主、主承包商於構想階段（conceptualization）、概念設計（criteria design）、詳細設計（detailed design）、施工檔（implementation documents）、施工階段（construction）、以及結案階段（closeout）的 B295 合約範本。而主承包商與建築師個別與分包商和顧問簽約。

第二層次如圖 2 所示為多方合約（Multi-party Agreement），業主、建築師、主承包商以及可能還有其他主要專案團隊成員共同簽署一份設計、施工和試運

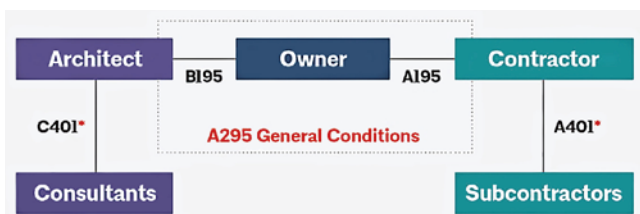


圖 1 過渡性合約 (Transitional Forms)

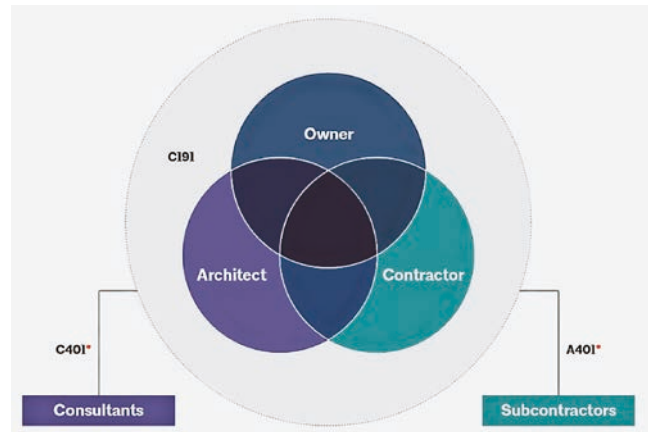


圖 2 多方合約範本 (Multi-party Agreement)

行的合約範本（AIA C191-2009）。在這個合作環境中，各方各派一名代表組成專案管理小組與專案執行小組，專案管理小組負責主要管理工作，而專案執行小組負責專案監督和爭議解決。其中也設定獎勵機制以促進共同合作。

第三層次為如圖 3 所示為特殊目的個體（Single Purpose Entity, SPE）合約，SPE 是遊業主、建築師以及主承商等專案主要成員為規劃、設計和建造專案而建立的有限責任公司。業主與 SPE 分別簽訂合約，而 SPE 也分別與建築師、主承商、或其他非業主成員簽約。

對於首次採用 IPD 採購模式的業主，建議合約架構上係採用過渡式合約架構，換言之，係為業主分別與建築師和主承商簽訂合約的方式。

### 成本與利潤分配

互利為 IPD 之重要精神，IPD 合約約定目標成本，低於目標成本時所減少之費用由業主、建築師、主承商、分包商等全體專案成員共用的獎金機制乃是 IPD 互利精神實踐的重要方式。然而考量建築師扮演

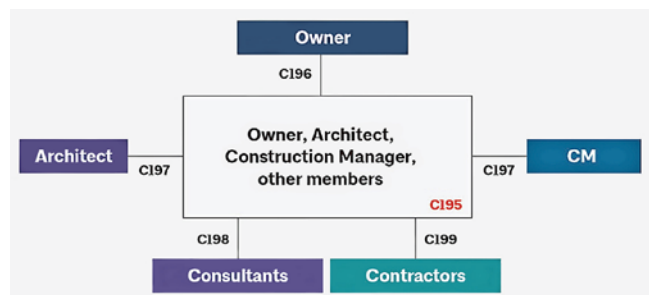


圖 3 特殊目的個體 (SPE) 合約



專案品質把關重要角色，工程品質與建造費用為兩個可能互相衝突的因素，為避免建築師為分享獎金而以降低工程造品質的方式降低建造費用，因此建議首次應用 IPD 的業主在獎金分享機制上不包含建築師。此外建築師的設計費用建議採用固定設計費，而非建造費用百分比，以避免建築師為獲取更高設計費而提高建造費用。

在主承商的費用部分，建議分為以下五個成本項目：

### 一般條款費用 (General Condition Cost)

一般條款費用係指施作工程所需要的主承商的人員的勞務成本與材料成本 (Time and Material, T&M)。這費用必須為開簿 (open-book)，也就是主承商必須將其人員的真正薪資費用，即主承商給國稅局之人員薪資扣繳憑單等真實的人員薪資成本與業主開誠布公，合約中可以約定人員在專案期間的每年薪資調漲比率；此外所有的材料等費用也是依據簽約當時的費用開誠布公，合約中則約定倘未來物價波漲，則由業主支付額外之物調費用，換言之，物價波漲的風險百分比由業主承擔。

此機制之精神在於若採傳統方式，主承商為涵蓋可能之物價風險往往以訪查到價格外加例如 10%~20% 的費用以吸收物價波漲風險，若物價並未波漲，業主仍需額外負擔更高成本。然而此機制約定下，主承商在計算上僅提供現在價格，倘有物價波漲，業主承擔物價之波漲，如此使風險更合理分配。

### 一般需求費用 (General Requirement Cost)

一般需求費用係指主承商興建工程所需的其他設施、設備例如工務所、工務所需水電、印表機、紙張以及文具等費用。

### 費用因數 (Multiplier)

費用因數主要為主承商之利潤，一般費用因素由主承商與業主議定，例如倘費用因素為 2.25，則主承商可以賺取 1.25 的主承商之一般條款費用。因此一般條款費用必須採開簿方式，由主承商與業主開誠布公。

### 工程成本 (Cost of Work)

工程成本係指主承商執行工程而分包的相關費

用。而分包商的分包方式亦可分為總價承攬 (Lump sum) 方式或成本加乘 (Cost-Plus) 方式。一般而言，倘為業主對於費用十分明確或或業主對於材料損耗風險希望由分包商承擔時，則會採用總價承攬方式，例如帷幕牆之玻璃破損將造成極大成本差異，採用總價承攬方式有利促使分包商更為謹慎管理，而減少這樣的損耗。而如水電空調管線工程 (Mechanical, Electrical and Plumbing) 或者室內隔間工程 (Framing) 介面管理及整合影響施作數量、工期與品質，採用成本加乘可以提高分包商之加強介面整合管理誘因，其中成本加乘分包方式，設定目標分包成本，即分包商若採用更佳之管理方式，則可使實際成本低於目標成本而獲取獎金。然而類似主承商，倘分包商採用成本加乘時，分包商亦需要對業主開誠布公，然而對於首次採用 IPD 之業主，與主承商採成本加乘，但為降低複雜度，建議分包商部分先採用總價承攬方式，而先不採用成本加乘模式，也就是基本設計發展完成時主承商便以成本加乘方式提早進入團隊，而隨著設計發展，將已發展至細部設計的工項以總價承攬的方式分包給分包商，待未來更多 IPD 執行經驗時，在再採用成本加乘模式，如此可以更進一步提早分包商進入團隊時間。

在利潤分配上，主承商與業主間一般而言為主承商 30%，而業主 70%，但個案可由業主與主承商協商議定，至於分包商的利潤分配機制建議也在與主承商合約簽訂時議定，首次採用 IPD 業主，如前建議若為避免複雜度，專案分包商只採用總價承攬方式分包，則分包商無法再分配獎金。

### 預備金 (Contingency)

預備金係指提供主承商支付其無法預估之可能風險，一般而言約為專案之 3%，但預備金之使用需主承商列出實際成本與費用方能使用。而預備金越少使用，主承商便有機會獲取獎金。

### 工具與風險分配

如前所述，第一次採用 IPD 業主建議採用過渡式合約模式，也就是分別與建築師與主承商簽約，主承商在個別與分包商簽約，建築師也個別與工程顧問例如機電技師等簽約，因此在團隊組織結構上與現有模式並無不同。

但在工作分配與風險分配上有明顯的差異，首先主承商將其人事資料以開簿方式對業主公開，所有物價調漲風險業主承擔。而其中建築師完成概念設計時，主承商即進入專案團隊，業主就施工前置服務（Pre-construction Service）便予以付費，使主承商或其分包商皆進入團隊提供設計想法與意見，而對於專業之尊重，主承商意見並非免費提供，而業主會支付費用，使承包商對於建築師的設計之可施工性願意花費更多時間給予更好的想法。同時業主過程中也必須高度參與，以確保業主專案目標與需求是否達成與明確掌握。

透過主承商與相關分包商或施工階段的人員於概念設計完成後共同參與細部設計，此過程可有助於業主得到更佳設計方案，設計成果之可施工性提高，也可使專案價值提升，因為細部設計成果可達施工廠商可直接施工之程度，更施工細節與可能遇到衝突也可以提早討論與因應處理，如此減少二次繪製圖說也可以減少現場施工時的衝突與重作等浪費。

多團隊的協同作業，工具的使用與選擇變得十分重要，數據與資料儘可能在開放和互通的平臺交流，成員對於工具使用的能力都是需要考量的因素。

## 廠商投標策略（Bidding Strategy）

基於前述招標流程與成本利潤之觀念，參與投標之廠商必須先具備願意與業主開誠布公，即公佈其員工薪資的意願，而使其所有投標檔更為透明公開。IPD 的重要基神在於長期和夥伴關係，因此合作關係不僅止於一個專案，而是長久未來的長期合作。因此對於業主的企業理念與願景必須有共同價值認同。例如如何提供更好的使用空間、更永續的建築物、更好的未來，在這樣的基礎下共同分享利潤，於 IPD 的最佳投標策略便是優質的技術能力與最透明的資訊公開，同時重視工程師的培養，因為人員的評選乃為業主 IPD 評選的最重要因素之一。

## 建議

IPD 的應用的互信、互利可以使專案團隊發揮更大的效率與效能，也可以降低浪費，並更專注於技術本身 IPD 之應用上，然而執行上提供以下二點建議：

## 人性與文化

人性與文化是 IPD 應用上的最大挑戰之一。設計單位是否會於設計中綁定特定分包商而賺取額外利潤，或是業主人員在評選主承商或分包商時，是否收取回扣而決標給特定主承商與分包商；主承商是否願意開誠布公員工的薪資或主承商或否因為擔憂建築師於監造過程刁難而不敢對於設計或分包商完整充分表達意見。

人性與文化的存在如何克服是執行 IPD 採購模式不能逃避的議題。建議採用 IPD 之業主可以採用獎勵並行之方式來避免採用 IPD 之人性負面議題：罰的面向，即倘若發生收取回扣等不當行為即予以免職之嚴厲處分；而獎勵部分則將研析提高員工薪資與福利，使員工瞭解倘發生不當行為將難以再找到相同待遇之工作而更為愛惜自身羽翼。

此外對於建築師擬給予合理的設計費，使其不需要再從其他管道獲取利潤，而此外建立主承商與建築師之固定合作廠商名單，而使優質的建築師與主承商可以變成長期合作夥伴，透過長期合作夥伴的建立，而促使主承商願意開誠佈公。

此外，設計與監造過程中，業主扮演與發揮關鍵決策意見與協調功能，例如建築師倘有不符業主利益之設計方案或監造意見時，業主可以即時協調而使團隊過程建築師與主承商在於相同地位。

## 適用條件


IPD 雖有諸多優點，但對於工程不夠熟悉，專案特性不夠瞭解之業主則應委任專業能力充分人員加入業主成員中。因為執行過程中，業主需要參與目標成本的確立，更需要對於品質需求與施工規範有詳細界定。此外因為主承商或分包商之合作關係需要資料的開誠布公，業主也必須具備長期合作或專案規模必須產生足夠吸引廠商的誘因，因此適用採行 IPD 之業主必須具備長期合作或專案規模的條件方能使廠商願意配合相關機制。

## 結論

IPD 之應用可以促進團隊參與者的早期參與，透過獎金制度公平回饋利潤與承擔風險，同時透過公開透

明的溝通機制與技術應用使團隊成員減少爭議，而其中常被提及為應用 IPD 或 BIM 之智慧財產權問題的相關合約議題，此議題詳筆者相關文章探討<sup>[10-14]</sup>，隨著 BIM 技術與數位科技的日益進步，IPD 的應用在技術面上也日臻成熟，因此，此刻 IPD 應用上，無論技術或合約架構與機制上皆已完備，倘業主具備足夠的經驗、專業與吸引廠商的條件和誘因，可以在合約條文採用與公司治理上，面對人性與文化議題而加以克服，IPD 的應用將帶動工程產業，實現願景，讓設計更具可施工性、業主需求獲得確保、減少浪費，使企業共同合作中除獲取商業利潤也能完成企業社會責任。

### 參考文獻

1. 李鎔傑 (2018), 「軍事統包營建工程工期遲延關鍵因素之探討」, 大同大學工程學院工程管理碩士在職專班碩士論文。
2. 李潔玟 (2017), 「公共工程統包爭議之研究 - 以臺灣臺北地方法院訴訟案為例」, 國立交通大學土木工程學系碩士論文。
3. AIA California Council (2007), "Integrated project delivery: a working definition." available at: <http://aiacc.org/wp-content/uploads/2010/07/A-Working-Definition-V2-final.pdf>
4. 程至弘 (2013), 「建構以 BIM 為基礎之鋼構工程作業流程」, 國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
5. AIA California Council (2007), "Integrated project delivery: A Guide." available at: <http://www.aia.org/contractdocs/AIAS077630>.
6. 詹雨欣 (2014), 「以精實思考建構營造商導入 BIM 協同合作之專案管理工具」, 朝陽科技大學企業管理系高階產業經營碩士在職專班碩士論文。
7. Flyvbjerg B., Holm M., and Buhl S.(2002). "How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?" *Transport Reviews* 23(1): 71-88. DOI: 10.1080/0144164022000016667
8. 林文賢 (2020), 「以平衡計分卡、層級分析法與目標關鍵結果方法探討企業經營策略之研究 - 以餐飲產業 BD 公司為例」, 國立高雄科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文。
9. AIA Contract Documents (2021), "Integrated Project Delivery (IPD) Family," available at: <https://www.aiacontracts.org/contract-doc-pages/27166-integrated-project-delivery-ipd-family>.
10. Fan S.L. (2020). "Comparative study for BIM-based contract administration between the cases in Taiwan and China." *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 43:7, 648-656, DOI:10.1080/02533839.2020.1777200. (SCI Impact Factor :0.667 Ranking (ENGINEERING, MULTIDISCIPLINARY):81/91 (89.01%)). (資訊科技+法律)
11. Fan S.L., Chong H.Y., Liao P.C., and Lee C.Y. (2019). "Latent Provisions for Building Information Modeling (BIM) Contracts: Social Network Analysis Approach." *KSCE Journal of Civil Engineering*.
12. Fan S.L., Lee C.Y. Chong H.Y., and Skibniewski M.J. (2018). "A Critical Review of Legal Issues Associated with BIM." *Technological and Economic Development of Economy (SCI)*. Impact Factor: 3.224).
13. Chong H.Y, Fan S.L, Sutrisna M, Hsieh S.S., and Tsai C.M. (2018). "A Preliminary Contractual Framework for BIM-enabled Projects." *Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*. (SCI).
14. Fan, S.L. (2013), "Intellectual Property Rights in Building Information Modeling Application in Taiwan." *Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*, 140(3), 04013058-1~6. 

### 110 年 1 月 14 日、15 日 臺北捷運萬大一期及信義東延段成果發表會

110 年 1 月 14 日、15 日臺北市政府捷運工程局與本學會聯合主辦「臺北捷運萬大一期及信義東延段施工經驗暨南環段設計理念成果發表會」。參加超過百人，活動圓滿成功。



宋理事長致詞



張局長致詞



參會貴賓

### 臺北捷運萬大一期及信義東延段 施工經驗暨南環段設計理念 成果發表會





社團法人中國土木工程學會與業界共同研議「公共工程技術服務費用編列建議」

報告書全文電子檔

# 一、現況說明及第一次提出建議後 工程會之積極作為

社團法人中國土木工程學會、中興工程顧問股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、泰興工程顧問股份有限公司、康城工程顧問股份有限公司、台聯工程顧問股份有限公司、邑葛工程顧問有限公司、林同棧工程顧問股份有限公司、亞新工程顧問股份有限公司、國立臺北科技大學土木工程系宋裕祺研究室

長久以來，經費較小的工程標案，其技術服務費用（包含規劃設計技術服務及監造技術服務）之編列預算或執行，費用常有不足。反之，若為大型的工程標案，其設計服務費及監造服務費相對較為合理，惟若機關將工程分標較多或額外要求增加派駐監造人數，仍將造成經營風險；若再加上如「勞基法修正之增加人力成本」、「加量不加價之額外無償工作」等之不合理環境，均會造成工程技術服務案件服務費更加不足，均為常見且存在已久之現象。

依照工程會訂頒之「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 條規定計費方式共有四種：(1) 服務成本加公費法、(2) 建造費用百分比法、(3) 按月、按日或按時計酬法、(4) 總包價法或單價計算法。本案由土木水利學會聯合業界，採自發性研究，探討當採用「建造費用百分比法」或「總包價法或單價計算法」計費方式的合約執行現況、發生之問題及其衍生後果，並提出具體建議。期待政府正視本項課題，傾聽工程技術顧問業心聲，採納從業人員建議，期能創造工程技術服務廠商之和善執業環境，讓更多專業人士能夠安心投入台灣的建設發展。

## 現況一：參考表是上限，時常再被打折

工程規劃設計、監造的基本要求，至少包含以下各點：

### 規劃設計基本要求

1. 安全性：確保設計須能符合各類載重需求之安全性。
2. 景觀性：確保合乎景觀需求之造型設計。
3. 經濟性：工程配置、材料等的應用與選擇，應考量其經濟因素。
4. 施工性：結構型式及材料之選擇須考量施工性。
5. 維護性：設計階段須考慮結構物將來維修需求。
6. 符合現地情況：結構之配置須考量地形、地質、交通、水理及環境等因素，符合現地需求。
7. 附屬設施設計：設計須能涵納各項附屬設施需求，並符合使用者之安全性及舒適性。

### 監造基本要求

1. 派遣符合資格人員留駐工地，持續性監督施工廠商按契約及設計圖說施工及查證施工廠商履約。
2. 施工廠商之施工計畫、品質計畫、BIM 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案件之審查及管制。

3. 施工品質管理工作督導或稽核，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。
4. 履約進度查證與管理及履約估驗計價之審查。
5. 履約界面之協調及整合。
6. 契約變更之建議及協辦。
7. 機電設備測試及試運轉之監督。
8. 審查竣工圖表、工程結算明細表及契約所載其他結算資料。
9. 協助甲方辦理工程驗收、移交作業等相關事宜。
10. 協辦履約爭議之處理。

以上均需由專業人員提供專業性服務。目前國內各機關所採用的設計、監造服務費率，大都依據工程會所訂定的「公共工程技術服務建造費用百分比上限參考表」（如表 1），明定其為上限值；部分機關單位會在招標預算中先行打折，甚且在招標之契約範本訂明要求投標廠商自訂「折扣率」，並列為評分項目，也就是不僅有上限值，還要再打折。

表1 現行公共工程（不包含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限參考表

建造費用（新臺幣）	服務費用百分比上限參考（%）	
	設計及協辦招標決標	監造
五百萬元以下部分	五·九	四·六
超過五百萬元至一千萬元部分	五·六	四·四
超過一千萬元至五千萬元部分	五·〇	三·九
超過五千萬元至一億元部分	四·三	三·三
超過一億元至五億元部分	三·六	二·八
超過五億元部分	三·二	二·四

依上表初步計算（暫不考量主辦機關再次折減），分就設計及監造案件的服務費及建造費用百分比率對應其工程經費之關係如圖1與圖2所示。

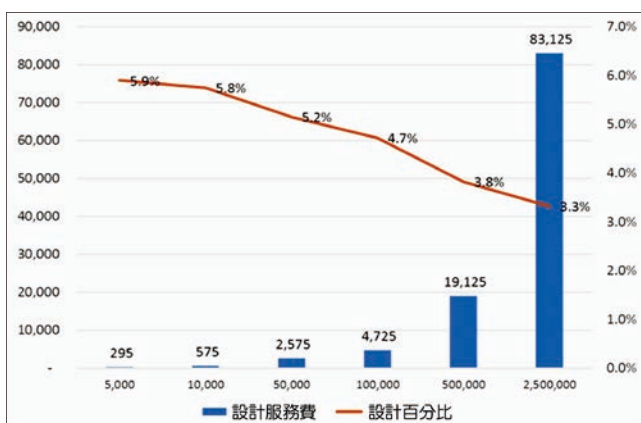


圖1 設計服務費對應於建造費用及比率示意圖（單位：千元）



圖2 監造服務費對應於建造費用及比率示意圖（單位：千元）

## 現況二：不合理的概括承受

政府各機關辦理公共工程時，有關技術服務之預算常以「公共工程（不含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限參考表」作為編列之依據；然而工程設計履約過程，所需考量事項眾多，除基本設計、細部設計及協辦招標發包等工作外，在現有法令或規定愈來愈嚴謹情況下，政府各單位要求辦理之事項也愈來愈多。為使計畫推動順利，主辦機關常會將許多原本不屬於技服辦法第6條內之

服務項目或額外現地調查項目於契約總包價內要求設計廠商辦理；如補充測量工作、補充地質鑽探及試驗工作、環境影響差異分析報告、都市計畫審議（多目標使用申請）、都市計畫變更、河川公地申請、水土保持計畫、濕地明智利用徵詢、野生動物重要棲息環境實施開發利用行為審查、文化資產調查、樹木調查及保護移植計畫、交通量調查、設計階段風險評估報告、公共藝術策畫、BIM模型建立與管理、出流管制計畫、生態檢核、用水計畫書、海岸利用管理說明書、防風林補植計畫、用地權屬調查、管線調查及試挖、用地費及拆遷補償費評估、電力系統衝擊分析、地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業、加強山坡地雜項執照審查作業、工程碳盤查或碳排放量評估、模型試驗（水工模型、風洞試驗等）、模型及動畫影片製作、消防性能試驗證分析與審查、文宣及宣導品、網站架設及定期更新、派駐機關人力、施工期間派員赴工地技術諮詢等等。設計廠商對於這些工作有些需另委託專業廠商辦理，有些需增加人力自辦，但政府採購法於技服費率制定當時多數無此類工作，因此亦無相對應之費用，形成加量不加價之不合理現象。

舉工程費1億元之工程案為例，若以技術服務建造費用百分比上限參考表計算，其設計服務費為472.5萬元。如前所述，本案例所需提送之資料如表2統計，僅計算需要提送計畫之費用達490萬，已高於原設計服務費（尚未包含其基本設計、細部設計分析計算及圖說製作）。

表2 某案須配合辦理之計畫書報告及其對應成本費用

序號	辦理事項	費用概估（元）
1	都市設計審議	150萬
2	都市計畫變更	50萬
3	河川公地申請	100萬
4	濕地明智利用徵詢文件	30萬
5	野生動物重要棲息環境 實施開發利用行為審查	30萬
6	文化資產保存法	10萬
7	樹木保護移植計畫	10萬
8	交通維持計畫	50萬
9	設計階段風險評估報告	20萬
10	公共藝術經費	10萬
11	BIM模型建立	30萬
	小計	490萬

假設工程費達5億元時，若以技術服務建造費用百分比上限參考表計算，設計服務費為1,912.5萬元，同樣發生上述費用490萬之後，或許尚有部分費用可作為細部設計人力使用。再假設，當工程費達25億元時，設計服務費為8,312.5萬元，在規模加大完成計畫

書費用或略有增加情況下（例如增加至 1,000 萬元），廠商利潤或可維持。可見，採購法於技服費率制定有相當多配合性工項（且有越來越多趨勢），無相對應費用編列，卻要求廠商概括承受，實不合理。

另在工程監造履約過程，履約範疇除契約明定之抽查驗工作外，常有如開工 / 通車典禮準備額外工作、學術 / 外賓參訪準備與接待、機關陳報資料初擬、通訊軟體立即線上回應、頻繁施工查核、協助處理民眾抗爭、鄰標施工介面協調、突發事件緊急處理、管線遷移加強監看頻率、颱風 / 豪雨期間 24 小時值班及人員保險、結案資料移交上傳機關圖說管理系統、輔導施工廠商辦理內業工作、人員資格 / 証照不合理要求、各類技師監造簽證及出席會議、BIM 施工審查、無人機施工測量、價值工程分析、二級品管抽驗、國外取樣送驗會同、全程駐廠品質控制、終止契約另案發包評估報告（含法律諮詢）、爭議調解及仲裁訴訟文件撰寫 / 出席等增加監造人力及成本之額外工作，對於機關額外服務要求，監造技服廠商實不易拒絕。

此外，監造服務常有假日工地留守、配合施工廠商假日施工或非正常工作時間之連續性施工（例如：混凝土灌漿）而需加班，甚且以契約規範工地監造人員休假時需另加派專人代班等均需增加額外人力之情形。

所有衍生配合辦理工項，均需另外投入人力、物力或需外包，甚至非與設計、監造相關，一律要求技服服務廠商在合約價內概括承受，實不合理。

### 衍生後果：服務費用長期偏低的後果

設計服務費用於整體工程建設經費中，其實僅佔小部分經費。較優的設計服務下，會有較多的工程師可以參與，或作更詳細的檢查，使得設計品質較高，不僅可提升設計技術及水平外，亦可減少錯誤的發生。況且設計者對於愈屬特殊造型之公共工程，設計所需投入之人力與成本越高，目前服務費一律以建造費作為計價基礎，而且還規定是上限的作法，對於特殊或複雜的工程所須投入更多心力服務者，並無法有相對應的費用，不僅抹煞設計者對於特殊或複雜設計之貢獻，更將抑制設計者開拓創意與求新求變之意願。業界目前普遍的因應之道就是壓低工程師薪資、只設計工程費符合業主基本需求之方案，不再力求精進及提高品質，以降低成本方式求生存。

隨著近年來經濟發展與物價上漲，相對於其他行業，公共工程設計者的責任及風險日益趨高，但其報酬卻未能

對應增加，使得投入這一個行業的人越來越少。假以時日，在沒有優秀人才持續投入此行業，工程設計技術將會逐漸凋零及失落，不幸的是此情況目前已在加速進行中。

由於公共工程技術服務建造費用百分比之費率表，常為各機關編列預算之參考依據，本學會經過研商後，在第一階段建議書中提出數個建議，分述如下：

### 建議一：刪除百分比上限參考表中之「上限」兩個字及契約範本之「折扣率」字樣

#### 建議一：

- (1) 刪除「公共工程（不含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限參考表」中之「上限」兩個字；
- (2) 並刪除技術服務契約範本中之「上限」、「固定折扣率」、「折扣率」等字樣。

公共工程（不含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限參考表，被設定為上限值後，無論是用總包價法或建造費用百分比法，各機關都無法依實際需要而編列超越此上限之預算。尤有甚者，有些機關更以此為依據再行打折，造成技術服務費無法反映合理費用之不合理現象，嚴重影響服務品質。因此，刪除「公共工程（不含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限參考表」中之「上限」兩個字實屬必要；且應同時刪除技術服務契約範本中之「上限」、「固定折扣率」、「折扣率」等字樣。

### 建議二：配合性工作應單獨編列工項及依實做數量計價

#### 建議二：配合性工作應單獨編列工項及依實做數量計價。

在實際進行工程設計及監造技術服務時，所需考量事項眾多，現有工程常因政府法令或規定愈來愈嚴謹，而必須配合增加不屬於技服辦法第 6 條內之服務項目或額外現地調查項目，此類配合性工作為應辦事項，卻常無相對計價工作項目，要技術服務廠商以總包價概括承受的亂象，應非工程會當初訂定「公共工程（不含建築物工程）技術服務建造費用百分比上限

參考表」之初衷。此些增加之服務項目對於技術服務廠商之服務成本影響甚大。

合理解決之道乃是機關應依實際需求將不屬於技服辦法第6條內之服務項目單獨編列合理的費用，此費用應屬外加在建造費用百分比法計算之服務費之上。倘在編列預算時未能編列足符之工項，亦應允許後續之契約變更增加此費用或於結案時依實作數量結算。

## 第一次建議經工程會核定之會議紀要摘錄

針對109年5月15日本學會提送給工程會的第一次報告及簡報，工程會審慎核定會議紀要，列出數點供團隊繼續研議方向及參考。會議紀要摘錄如下：

### 緣起

為提升公共工程及技術服務品質，服務費用的合理性是關鍵因素之一，各界非常關心，工程會108年委託社團法人中國土木水利工程學會（下稱學會）進行「工程技術服務合理費用之探討」研究案，作為未來政策推動之參考。學會於108年12月依照當初招標文件之需求及契約約定條件提出研究報告，工程會業依程序完成驗收結案。

### 結語（摘錄）

- 一、非常感謝學會務實的分析及協助，尤其理事長親自且詳實的簡報，顯示理事長相當投入，亦表達肯定與感謝。中興工程顧問股份有限公司與台灣世曦工程顧問股份有限公司提供實際案例，對於技術服務合理費用之探討有相當大的助益，一併感謝。
- 二、機關委託技術服務廠商評選及計費辦法（下稱技服辦法）雖明定4種服務費用之計算方式（服務成本加公費法；建造費用百分比法；按月、按日、按時計酬法；總包價法或單價計算法），惟其僅為計費之方式，最終計費之金額理應與成本相近，而不應因計費方式而受太大之影響。工程會有責任訂定務實合理可行的計費標準及成本分析制度，供各機關因應不同個案特性參考運用，減少各機關執行方式不同產生之不合理現象。

依據上述會議紀要，本學會決定再繼續深入探討，邀請更多技術服務業者參與共同研議，以具體回應工程會。

## 工程會後續積極作為

同時間，工程會亦積極修正相關辦法，經工程會長期收集意見、多方溝通、網路公告、公開徵求意見後，針對109年5月15日會議紀要之結論第三點，工程會於109年6月12日經行政院公報，第026卷第110期，頒布修正「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第二十五條之一、第二十九條草案及總說明。部分內容如下：

機關委託技術服務廠商評選及計費辦法（以下簡稱本辦法）係依據政府採購法第二十二條第二項授權訂定，於八十八年五月十七日發布，同年月二十七日施行，歷經八次修正。為使機關編列合理技術服務費用，擇定合適之技術服務費用計算方式並使採建造費用百分比法訂定服務費率者，因案制宜訂定合理技術服務費率，爰增訂本辦法第二十五條之一及修正第二十九條，其修正要點如下：

- 一、定明機關得就各種服務事項之費用，合理估算後編列預算，作為擇定服務費用計算方式之參考，並得就指定服務項目預先載明固定服務費用或費率，免由廠商報價。（修正草案第二十五條之一）
- 二、採建造費用百分比法者，因案制宜訂定合理技術服務費率，刪除建造費用百分比法附表存有上限意涵之文字，屬特殊情形或需要高度技術之服務案件者，機關得依個案需要另定級距及費率，並修正第三項工程採購無底價且無評審委員會建議金額者之建造費用之定義。（修正草案第二十九條）

修正明列，附表一及附表四為參考值，刪除「以下」、「百分之九十」等易被誤用之字眼；其屬特殊情形或需要高度技術之服務案件，致有超過各附表所列百分比之必要者，得簽報首長或授權人員核定之。

感謝工程會之積極作為，為產業環境注入新希望，更促使研究團隊更加積極投入，後續研究成果及建議於以下說明之。



## 二、工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目

「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」係於民國 88 年 5 月頒行，二十餘年來，在現有的法令或規定愈來愈嚴謹情況下，造成政府各單位要求辦理之事項也愈來愈多。為使計畫推動順利，工程主辦機關常會依據建造費用百分比法編列技術服務預算，但將許多原本不屬於技術服務範疇（含設計階段及監造階段）之項目於契約內載明要求廠商辦理，廠商對於這些工作有些需另委託專業廠商辦理，有些需增加人力自辦，但政府採購法於技術服務費率制定當時多數無此類工作，因此亦無相對應之費用，形成加量不加價之不合理現象。

合理解決之道乃是在原本不屬於設計及監造範疇之技術服務項目，應單獨編列費用或依實作數量結算。針對 109 年 5 月 15 日會議紀要結論第四點，本研究團隊整理分列於設計階段、監造階段，工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目，並提出計價原則，供主辦機關參酌。

設計階段工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目列於表 1、監造階段工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目列於表 2。

表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明	
1	補充地質調查及試驗(陸上)	地表地質調查	式	1	依面積及地形困難度編列		
		<b>1.現地鑽探、取樣及現場試驗</b>					
		鑽孔進尺費(土層)	公尺	依需求	依據是否全取樣、鑽探深度分段、垂直孔、非垂直孔等不同條件編列單價		
		鑽孔進尺費(礫石層)	公尺	依需求			
		鑽孔進尺費(軟岩)	公尺	依需求			
		鑽孔進尺費(硬岩)	公尺	依需求			
		機具器材運搬費	式	1	依預估動員鑽機數及運輸道路狀況		
		鑽孔配合費	孔	依需求	至少包含移孔費、用水設備費、孔口測量費、用地租用及補償費		
		岩心箱	箱	依需求	含岩心彩色照片拍攝、岩心箱搬運及結案前保管	配合全取樣進尺計量；N孔徑岩心每5公尺裝一箱；HQ孔徑岩心每4公尺裝一箱	
		岩心鑑定記錄	公尺	依需求		由相關專業技師辦理	
		便道修建費	式	視需要	依長度及地形困難度，含相關申請規費		
		搭架費	處	視需要		需於坡面處搭架鑽孔時適用	
		標準貫入試驗及劈管取樣	組	依需求			
		透水試驗	組	依需求			
水位井安裝及觀測	孔	依需求	依埋設井深及觀測時間、頻率				
地球物理探測		項目及數量	視需要				



表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段 (續)

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明		
1	補充地質調查及試驗(陸上)	垂直平板載重試驗	組	依需求	依平板尺寸與最大需求反力編列	卵石石層無法以一般室內試驗瞭解其力學性質，故常配合現地試驗求得		
		現地直接剪力試驗	組	依需求				
		現地密度與篩分析試驗	組	依需求				
		地上物補償(含土地租金)	孔	依需求				
		工安管理、環保及保險費	式	1				
		設計單位之現場督導費	式	1	依所需人日估算			
		<b>2.室內試驗</b>						
		室內試驗		項目及數量依需求	依試驗項目，可參考TAF認證試驗室報價			
		<b>3.報告及其他</b>						
		紀實及評估報告撰寫	人月	按實編列				
		報告成果製作	式	1	依份數、提送次數、GEO2010資料庫建置費			
2	補充測量(陸上)	地形測量(平地、不同比例尺)	公頃	依需求				
		地形測量(山坡地、不同比例尺)	公頃	依需求				
		導線測量	式	1	依導線長度或測量方式編列	山區直接水準測量不易施作處，可採GPS測量		
		控制點測量	處	依需求				
		已知控制點檢測	處	依需求				
		石樁埋設	處	依需求				
		鋼樁埋設	處	依需求				
		道路、河川及溝渠斷面測量	公尺	依需求				
		路權界址鑑界	筆	依需求				
		獨立點座標及高程測量	點	依需求				
		都計樁檢核	點	依需求				
		測量成果報告	式	1				
		工安管理、環保及保險費	式	1				
3	環境影響差異分析報告	環境現況補充調查	點次	依需求		可先蒐集既有環境資料，若有不足再進行必要之補充調查；按實計價		
		環境影響差異分析技術服務	次	依需求		工作內容包含：變更前後環境影響差異分析、環保對策檢討及修正、報告撰寫、環評審查簡報製作、審查意見回覆等		
4	都市設計審議(多目標使用申請)		次	依需求	依面積及建物多寡而定	含都市設計審議報告、多目標使用申請報告之製作及審議		
5	都市計畫變更	主要計畫變更(不同面積)	次	依需求	依面積不同訂定	含報告製作及審查		
		細部計畫變更(不同面積)	次	依需求	依面積不同訂定	含報告製作及審查		
6	河川公地申請	河床地形測量	公頃	依需求		若補充地形測量之範圍已涵蓋所需之河床地形，則不重複編列		
		河床質採樣	處	依需求				

表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段（續）

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明
6	河川公地申請	申請所需計畫書編撰	處	依需求		工作內容包含：水文水力分析、最大可能沖刷深度分析、河防安全影響評估報告、施工計畫書、環境影響說明計畫書、防汛應變計畫書、管理維護計畫書、河川使用土地清冊、河川地使用後復舊計畫書、河防建造物開挖暨復建計畫書
7	水土保持計畫		人月	按實編列	依據面積大小及工程特性評估工作量	工作內容包含：資料蒐集分析與計算、區域地質分析、水土保持工程(整地、道路、排水設施)、邊坡保護、植生工程及開發期間因應各階段施工之防災設施等書圖製作
8	濕地明智利用徵詢		次	依需求		含資料收集研閱、現地勘查訪談、利用方式研究分析建議
9	野生動物重要棲息環境實施開發利用行為調查	陸域生態調查	季次	依需求		實做計價
		水域生態調查	點次	依需求		實做計價
		海域生態調查	點次	依需求		實做計價
		生態環境影響評估及對策研擬	次	依需求		含預測開發行為可能引起生態環境影響評估、擬定生態環境保育對策或替代方案
10	文化資產調查(陸上)	考古探坑試掘	坑	依需求		視田野調查結果，若基地範圍可能涉及文化遺址分布，可進行探坑試掘予以確認，實做計價
		考古鑽探	點	依需求		視需要執行，用於輔助確認探坑試掘結果，實做計價
		文獻蒐集分析及考古監看	處次	依需求		工作量配合監看範圍及日數並視計畫區範圍大小、是否涉及文化資產議題而定
11	樹木調查及保護移植計畫	樹木調查	公頃	依需求		
		撰寫保護移植計畫(含健檢調查)	株	依需求		
12	交通量調查(設計階段)	撰寫保護移植計畫	公頃	依需求		
		主要路口與路段之尖峰小時交通量現地調查	處次	依需求		
		主要道路行駛速率現地調查	處次	依需求		
		主要道路路口與路段之監測交通量資料蒐集	處次	依需求		
13	設計階段風險評估報告	成果報告	式	1	按實編列	約設計服務費之0.5%，但不少於15萬元
14	公共藝術策畫	公共藝術策畫	式	1		約設計服務費之10~15%
15	BIM模型之建置與管理	BIM設計及空間衝突檢查	式	1		土建部分約其細部設計服務費之5%；機電部分約其細部設計服務費之15%。 $*(5\%*A+15\%*B)/(A+B)$
		設計模型管理	式	1		約細部設計服務費之2%

表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段 (續)

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明
16	出流管制計畫		人月	按實編列		工作內容包含：基本資料及基地現況調查(含淹水訪談作業及紀錄)、土地開發前後逕流量計算及出流管制量訂定、削減洪峰流量方案研擬、土地開發對區外排水影響評估、出流管制設施工程計畫、出流管制設施使用管理與維護計畫。
17	生態檢核	生態調查	點次	依需求		實做計價
		設計階段生態評估檢討	式	1		
18	用水計畫書		式	1	依面積及人口數不同	工作內容包含： 1.計畫用水量評估(含節約用水措施及設施規劃、用水平衡圖、污水處理及排放等)； 2.水源供應規劃(含周邊可供水源、預定取得水源、供水系統規劃、用水自動化管理系統等)； 3.缺水應變措施研擬(含生活及其他用水、工業用水等)； 4.用水計畫審查與撰寫
19	海岸利用管理說明書	海洋生態環境調查		調查種類及範圍依需求		
		海岸利用管理說明書	式	1	應另含專案小組與海審大會之相關審查作業所需費用。	文件應依主管機關所頒【海岸利用管理說明書書圖格式】編製成冊
20	防風林補植計畫	補植區動、植物生態調查評析	式	1	依據防風林調查樣區面積及計畫區植生覆蓋情形編列。	
		補植區土壤鹽害、土壤貧瘠度調查分析	式	1		
		補植區飛砂、風害、潮害、高溫乾燥等危害因子調查分析	式	1		
		防風林補植計畫整體規劃	式	1	約防風林補植工程預算之2.5%	含既有防風林覆蓋情形調查、補植複層防風林之規劃構想比較、樹種之選擇、造林方式比較分析、防風、防鹽等設施之設置分析(防風網、攔砂籬、定砂設施等)
		防風林補植設計	式	1	約工程費之5%	
21	用地權屬調查		公頃	依需求	應考量都市及非都市土地之差異性編列	含用地範圍權屬資料整理、分析及申請
22	管線調查及試挖	管線資料蒐集及現場調查	公頃	依需求		含人、手孔及地上管線設施(電桿、箱體)調查
		非破壞性調查(透地雷達)	公尺	依需求		
		非破壞性調查(跨孔式地電阻法)	組	依需求		應含鑽孔費用
		非破壞性調查(時間域電磁法)	組	依需求		應含鑽孔費用

二、工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目

表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段（續）

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明
22	管線調查及試挖	管線試挖及復舊	公尺	依需求	依試挖深度、範圍及困難度編列	
		調查報告	式	1		含管線圖說繪製及資料庫建置
23	用地費及拆遷補償費評估	土地協議市價查估、評定	公頃次 (或年度)	依需求	應考量都市及非都市土地之差異性編列	
		土地徵收市價查估、評定	公頃次 (或年度)	依需求		
		地上物補償費查估、製作報核	公頃次 (或年度)	依需求		
		協議價購會議	公頃次 (或年度)	依需求		
24	電力系統衝擊分析	電力系統衝擊分析	人月	按實編列		含電力潮流分析、故障電流分析、電壓變動分析、電壓閃爍分析、功率因數分析、諧波管制分析、電壓持續運轉分析
		暫態穩定度分析	人月	按實編列		設置容量小於100MW者毋須暫態穩定度分析
25	地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業	地表地質調查	式	1	依面積及地形困難度編列	參考地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則；補充地質調查與試驗項目內已編列者，不再重複編列
		地質鑽探及取樣		項目及數量 視需要		
		地球物理探測		項目及數量 視需要		
		現地取樣試驗		項目及數量 視需要		
		室內試驗		項目及數量 視需要		
		基地地質調查及地質安全評估結果報告	式	1	視需要納入GEO2010資料庫建置費	基本資料蒐集應視需要另納入資料購置費用
26	土石流調查與評估	土石流現況與保全對象調查	式	1	依溪流集水區地形困難度	
		影響評估報告	式	1		
27	加強山坡地雜項執照審查之作業費		公頃	依需求		
28	沿線構造物調查(設計階段)	建物識別(含公共結構物)	棟	依需求		設計階段「沿線構造物調查」係為評估兩側建物受潛盾鑽掘或深開挖影響以及建物保護設計之用。內容包含結構型態(建材、柱間距等)、基礎型式、基礎/地下室深度、與本工程距離等。
		建物傾斜度調查	棟	依需求		
		成果報告	式	1		
29	現地噪音量測及落錘實驗(與噪音振動評估報告相關)	噪音量測	處	依需求		
		落錘實驗	處	依需求		
		評估報告	式	1		

表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段 (續)

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明
30	工程碳盤查或碳排放量評估	工程排碳量估算 (一般環評開發案件)	人月	按實編列		1.一般環評有關工程開發排碳量估算，依工程規模每案編列4~6人月； 2.涉及環評溫室氣體抵換工程開發案件，依據工程規模每案編列6~8人月
		工程排碳量估算 (工程細設成果)	標	按實編列		依工程規模以"標"為單位編列，含細設階段確認之減碳成效評估，每標編列7~10人月
		工程施工期間碳盤查				※不屬設計範圍，視需要另行立約
		工程開發營運期間碳盤查				※不屬設計範圍，視需要另行立約
31	健康風險評估		人月	按實編列		依據環保署「健康風險評估技術規範」進行開發工程對鄰近區域居民之健康風險評估
32	既有結構耐震能力評估		式	1	費用編列應包含評估費用、技師簽證費、第三方審查費。	
33	水工模型試驗	試驗場地租用費	月	依需求	費用視場地規模因素而異	
		試驗及報告	式	1		含水工模型與河道模型建置、量測設備整備、試驗人員勞務費、數值模型驗證及試驗報告撰寫
34	風洞試驗	場地租用費	月	依需求	費用視場地規模因素而異	
		試驗及報告	式	1		含模型製作(不同比例不同尺寸)、環境風場調查、主體構造風力情況評估、外部被覆物局部風力情況評估及報告撰寫
35	影片、動畫、模型製作	工程簡介影片拍攝與製作	秒	依需求		
		動畫製作	秒	依需求	依內容複雜度編列	
		模型製作(不同比例不同尺寸)	座	依需求		
36	消防性能驗證分析與審查		立方公尺	建築物總容積		含火災煙控分析、動態避難分析、消防水力電腦模擬計算(若需要)
37	文宣及宣導品	文案企劃文宣製作	式	1		
		印刷費用	式	1	依份數決定	
38	網站架設及定期更新	網站架設	人月	按實編列		含需求訪談、系統分析及設計、系統開發、整合測試(含單元測試、功能測試)、資料庫設計及建置、系統轉移(架設及環境測試)、教育訓練
		網站維護	年	依需求	每年約需網站架設費之5~15%	保固期過後之網站維護，不含硬體維修費
		網站平台租用費	月	依需求		需要時才適用，依實際租期結算

二、工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目

表 1 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—設計階段 (續)

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明
38	網站架設及定期更新	伺服器主機	台	依需求		若要自行設置網站平台且無既有環境則需另外採購網站架設主機、防火牆設備、網路及其相關作業軟體，如作業系統、防毒軟體、資料庫軟體等
		伺服器軟體及用戶端授權	套	依需求		
		NAS儲存設備	台	依需求		
		防火牆	台	依需求		
		網路交換器	台	依需求		
		SQL資料庫軟體	套	依需求		
39	舉辦研討會議		場次	依需求		費用編列應包含研討會議之場地費、宣傳費、交通、住宿、膳食、保險及設計單位配合人月費與管理費
40	配合海外參訪	機票	人次	依需求		依實際發生數量結算
		地區交通費、生活費及公費	人日	依需求	參照「中央政府各機關派赴國外各地區出差人員生活費日支數額表」編列	
41	派駐機關人力	工程師(年資0~2年)	人月	依需求	各職級工程師或行政人員之每月實際薪資再乘上加計間接費用(overhead)係數	依實際發生人月數量結算，不足月部分按比例計算
		工程師(年資3~5年)	人月	依需求		
		工程師(年資6~10年)	人月	依需求		
		工程師(年資11~15年)	人月	依需求		
		工程師(年資16~20年)	人月	依需求		
		行政人員(專科及以下)	人月	依需求		
		行政人員(學士)	人月	依需求		
行政人員(碩士)	人月	依需求				
42	施工期間派員赴工址(國內)技術諮詢	出席費	人日	依需求	參照「中央機關公務員工國內出差旅費報支數額表」之住宿費每日上限編列	依實際發生數量結算
		交通費	人次	依需求		
		住宿費	人日	依需求		
		雜費	人日	依需求		

註：相關報告需專業技師簽證者，費用編列時均應考慮專業技師簽證費。



109年3月25日第一次會議—kick off meeting



109年10月16日第十三次會議

表 2 工程招標機關應依實際需求單獨編列預算之工作項目—監造階段

編號	工作項目	工作內容	單位	數量編列原則	單價編列原則	說明
1	二級品管抽驗	各項檢試驗費		編列項目依工程特性按主要工項或大宗材料，依相關規範規定之需檢項目至少各編列1次，但不列入工程承攬契約規範之頻率計算	於設計階段按工程特性需要訪價覈實編列，採實支實付	※費用應編列於機關工程管理費內。如編列於監造或施工廠商契約內，應比照職安衛設施編列方式，逐項編列按實作數量計價
2	施工階段BIM審查		式	1	約設計階段BIM模型建置費用之25%	含可施工性檢討、4D工項排程、衝突檢查、施工模擬、材料估算、竣工模型等項目之審查
3	無人機施工紀錄		公頃	依需求		應考慮民用航空法之遙控無人機專章相關規定
4	價值工程分析					※不宜由監造廠商辦理
5	全程駐廠品質控制(國內)	駐廠人日費	人日	依需求	同監造人日單價	依實際發生數量結算
		交通費	人次	依需求		
		住宿費	人日	依需求	參照「中央機關公務員工國內出差旅費報支數額表」之住宿費每日上限編列	
		雜費	人日	依需求	參照「中央機關公務員工國內出差旅費報支數額表」之雜費每日上限編列	
6	赴國外廠驗或驗廠	機票	人次	依需求		依實際發生數量結算
		地區交通費、生活費及公費	人日	依需求	參照「中央政府各機關派赴國外各地區出差人員生活費日支數額表」編列	
7	終止契約另案發包評估(含法律諮詢)					※應以契約變更另行議價
8	爭議調解及仲裁訴訟文件撰寫/出席					※應以契約變更另行議價
9	配合營運需求之夜間施工監造		人時	依需求	監造人時單價之1.5倍	晚間6時以後之施工監造；監造人時單價=(監造人月費/168)，依實際發生人時數量結算
10	工程竣工至驗收完成期間之駐地人員費用		人月	依需求	同監造人月單價	配合機關要求辦理，依實際發生人月數量結算，不足月部分按比例計算

註：相關報告需專業技師簽證者，費用編列時均應考慮專業技師簽證費。



109年5月15日於工程會向吳澤成主委簡報

## 三、採單價計算法之人月、人日及人時單價

工程技術服務費之計算，於工程會所頒之「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第 25 條第四款為總包價法或單價計算法。其中總包價法較適合於有明確之工作範圍、項目及內容，但執行計畫之人月數較難實際估算及認定時採用（如規劃或設計），按實際完成之工作項目或其進度百分比估驗計價；單價計算法則適合於人月需求可能受工作環境或工作期限因素而改變，但實際執行之人月數容易認定情況下較為適用（如工程駐地監造），以其實際執行之人月數乘上人月單價即為技術服務費用。

為檢討設計服務費用之計算，第一階段報告中曾以人月單價計算兩個設計實際橋梁案例、及五個監造實際案例（109 年 5 月 15 日報告書第二、三章），並以三種不同單價標準比較之。三種標準分別為：該公司內部各級職工程師平均單價、台北捷運局所訂之工程師單價、及科學及技術服務業受雇員工平均經常性薪資指數。三種單價標準計算所得差距相當大，最高與最低差距幅度超過 17%。

有鑑於此，本次報告特新增本章，以各家公司所提供數據，及國內可參考薪資水準，經過反覆分析及修正，提出當採用單價計算法時，建議採用之人月單價。

### 人月單價計算模式

以單價計算法計價，除人月數之認定需明確外，人月單價亦需合理；若依「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第 26 條之服務成本加公費法之計算，人月單價應包含直接從事委辦計畫者（簡稱工程師）之「**實際月薪資**」（即本薪加計每月定額之伙食費）外，還需考慮其依勞動基準法規定之不休假獎金、非經常性給予之獎金、雇主負擔之各項保險金及勞工退休金等（此部份加計後之薪資亦稱為「**直接薪資**」，因其均屬於該工程師之用人費用）；此外，執行該計畫所需之其他直接費用（包含加班費、專業責任保險費等）及公司營業所需之管理費用（包含管總、業務承攬、業務及人力發展費用等）與公費等，亦應合併計入「人月單價」內。

由於人月單價應著實反應執行技術服務廠商之用人費及其營業成本，多數公務人員不甚瞭解民間公司之薪資及成本結構，常會編列出不合理之人月單價。因此本研究案就合理之人月單價問題，蒐集各方資料後加以分析與評估，為易於瞭解與執行，建議以「**實際月薪資**」（即本薪加計每月定額之伙食費）乘上「**加計**

**間接費用之係數**」計算人月單價，人日單價以人月單價除以每月正常工作 21 天計算，人時單價則以人日單價除以每日工作 8 小時計算或人月單價除以每月正常工作 168 小時計算。

#### 建議三：

**人月單價 = 實際月薪資 \* 加計間接費用之係數 (Overhead cost coefficient)**

**實際月薪資（本薪加計每月定額之伙食費）為計算基準。**

**加計間接費用之係數 得依不同型態業者訂定，惟不應低於 3.0。**

**人日單價 = 人月單價 / 21。**

**人時單價 = 人月單價 / 168。**

其中實際月薪資為工程師每月之經常性薪資，而最為關鍵之因子為「加計間接費用之係數」。為能得到此合理係數，可參考「機關委託技術服務廠商評選及計費辦法」第 26 條之服務成本加公費法，或工程顧問公司實際營運資料加以分析，分項說明如下：



## 以服務成本加公費法分析

假設工程師之實際月薪資為 60,000 元，依服務成本加公費法所規定各項費用之比例限制及國內勞動法規之要求，將工程師人月費用分為低標與高標兩種，分別計算該工程師之人月單價與加計間接費用之係數，詳如表 1；若以低標與高標之平均值考量，合理之加計間接費用係數 (Overhead cost coefficient) 為 3.04。

## 以工程顧問公司實際營運資料分析

檢視國內幾家具代表性之工程顧問公司 103 ~ 108 年度稅前利益均異常偏低 (如表 2)，且此情形在同業間相當普遍。但各公司為維持其營運，避免產生虧損而發生銀行授信危機，許多業者只得於財務報表中，將已經發生的內部工時延遞報支，複委託的費用列為應付帳款，使支出費用降低；另要求專案經理減少執

表 1 以服務成本加公費法計算人月單價與加計間接費用之係數  
(以實際月薪資 6 萬元為例)

	低標	高標	備註	第 26 條規定
一、直接費用				
(一) 直接薪資				
實際薪資	60,000	60,000	A	
不扣薪假之薪資	0	4,000	低標 A* (0/30/12)； 高標 A* (24/30/12)	合計不得超過實際薪資之 16%
特別休假之薪資	1,167	5,000	低標 A* (7/30/12)； 高標 A* (30/30/12)	
非經常性給與之獎金	9,000	18,000	B； 低標 15%*A；高標 30%*A	不得超過實際薪資之 30%
勞工保險費 (雇主負擔)	3,687	3,687	以月投保薪資 45,800 元計	
積欠工資墊償基金提繳費	0	0		
全民健康保險費 (雇主負擔)	2,980	2,980	以月投保薪資 60,800 元計	
勞工退休金 (雇主負擔)	3,600	3,600	6%*A	
小計	80,434	97,267	C	
(二) 管理費用	25,002	79,267	D； 低標 35%*(C - B)； 高標 100%*(C - B)	不得超過直接薪資扣除 經常性給與之獎金後之 100%
(三) 其他直接費用				
差旅費	2,000	6,000	每月出差： 低標 1 次；高標 3 次	
加班費	1,663	8,313	每月加班： 低標 5 小時；高標 25 小時	
專業責任保險費 (含第三人意外 責任險及雇主責任險)	527	883	約技術服務契約之 0.5%； 以 0.5%*(C + D) 計算	
工地津貼、專案或工地辦公室及 工地車輛費用	5,000	5,000		
電腦軟體製作費或使用費	214	396	低標 0.3%*(C - B)； 高標 0.5%*(C - B)	
圖表報告之複製印刷費	200	300		
外聘專家顧問報酬及有關之各項 稅捐、會計師簽證費用	750	2,378	以管理費用之 3% 計	
小計	10,354	23,270		
二、公費	9,644	39,634	低標 10%*((C - B) + D)； 高標 25%*((C - B) + D)	不得超過直接薪資扣除 經常性給與之獎金後與管 理費用合計金額之 25%
人月單價總計	125,433	239,437		
加計間接費用之係數 (Overhead cost coefficient)	2.09	3.99		

註：平均低標、高標後，加計間接費用之係數 (Overhead cost coefficient) 為 3.04。

行工程師報支工時、壓縮工程師薪資支出以為因應，此也導致技術成果或服務品質無法提升、優秀年輕工程師逐漸離開此行業之情形，若不尋求技術人員待遇之改善，日後國家公共工程建設之規劃、設計、監造與維護等工作恐將面臨缺乏優質技術人員提供技術服務之困境，政府如何協助業者進行技術人員薪資結構的改善，攸關台灣未來公共工程品質之良窳甚鉅。

若審視財政部「營利事業各業所得額暨同業利潤標準」，108 年度建築、工程服務及相關技術顧問業之書審標準，業別為「其他工程服務 及相關技術顧問」之毛利率為 66%、淨利率為 19%（詳見表 3）。若以此為基準，以表 2 所列舉之工程顧問公司為例，考慮在淨利率為 19% 條件下進行分析，合理之加計間接費用係數（Overhead cost coefficient）應為 2.4 ~ 3.12（詳見表 4），當視公司之規模（員工人數）而定。

### 人月單價之建議

以「人月單價」計算合理服務費用時，須能審慎確實掌握相關使用人月數，並採用合理之對應人月單

價，如此方能獲取較為合理之案件成本。由於每家工程顧問公司核薪標準不一，為取得較為超然且接近合理之成本，前述人月單價不宜逕採顧問公司給付員工薪資，而建議採用經公家機關普查後公告之薪資水準。

工程會於民國 102 年曾公告「2013 年工程顧問服務業人力價格調查」資料，該資料臚列不同職稱之每月人力價格；為考量實務需求，茲選取七類職稱做為分析之用，即 (1) 經理（年資 11 ~ 15 年）、(2) 副理（年資 11 ~ 15 年）、(3) 組長（年資 11 ~ 15 年）、(4) 工程師（年資 6 ~ 10 年）、(5) 工程師（年資 5 年）、(6) 工程師（年資 3 年及 5 年之平均）、(7) 一般事務員（工程師年資 3 年及一般事務員年資 3 年之平均）。若將前述資料分別做為本案分析採用之七類職稱，即 (1) 經理、(2) 副理（年資 >15 年）、(3) 組長（年資 11 ~ 15 年）、(4) 工程師（一）（年資 6 ~ 10 年）、(5) 工程師（二）（年資 3 ~ 5 年）、(6) 工程師（三）（年資 0 ~ 3 年）、(7) 一般事務員。並以中數（即「工程師（一），年資 6 ~ 10 年」）為 1.0，計算七種職稱之「薪資相對比例值」（詳表 5）。

表 2 國內工程顧問公司營運之淨利率（103 ~ 108 年度平均）分析

項目	員工人數 > 1000 人		員工人數 > 500 人	員工人數 < 500 人	
	A 公司	B 公司	C 公司	D 公司	E 公司
A 工程服務收入（千元）	3,842,908	3,237,184	908,822	170,072	114,706
B 工程服務成本（千元）	3,469,793	2,491,008	580,274	133,668	104,474
C 營業費用（千元）	299,798	729,257	280,793	33,491	9,225
D 營業淨利（千元） (D=A-B-C)	73,317	16,920	47,755	2,912	1,007
淨利率 (D/A)	<b>1.89%</b>	<b>0.53%</b>	<b>5.27%</b>	<b>1.64%</b>	<b>0.80%</b>

表 3 108 年度營利事業各業所得額暨同業利潤標準（財政部頒）

標準代號	第 8 次 小業別	擴大書審 純益率	所得額 標準	同業利潤標準 (%)		
				毛利率	費用率	淨利率
建築、工程服務及相關技術顧問業						
7111--12	景觀建築服務	(10)	16	70	47	23
7112--11	土木工程顧問	(10)	16	69	47	22
7112--12	測量及非建築工程製圖服務	(10)	15	61	45	16
7112--13	積體電路設計	8	18	38	12	26
7112--99	其他工程服務及相關技術顧問	(10)	16	66	47	<b>19</b>

表 4 合理之加計間接費用係數

(以國內工程顧問公司 103~108 年度平均營運資料計算所得)

項目	員工人數 > 1000 人		員工人數 > 500 人	員工人數 < 500 人		
	A 公司	B 公司	C 公司	D 公司	E 公司	
A	技術人員實際薪資年度總額 <sup>[1]</sup> (千元)					
	1,216,333	945,335	296,865	61,955	48,664	
B	實際成本(千元) (B = B.1 - B.2 + B.3)					
	3,148,098	2,389,591	726,033	144,112	97,162	
	B.1 工程服務成本 (千元)					
	3,469,793	2,491,008	580,274	133,668	104,474	
B.2 委外費用 <sup>[2]</sup> (千元)						
	621,493	830,673	135,034	23,048	16,537	
B.3 營業費用 <sup>[3]</sup> (千元)						
	299,798	729,257	280,793	33,491	9,225	
C	公費 <sup>[4]</sup> (千元) (工程服務成本之 19%)					
	659,261	473,291	110,252	25,397	19,850	
(B + C) / A 加計間接費用係數 (Overhead cost coefficient)						
	<b>3.12</b>	<b>3.03</b>	<b>2.83</b>	<b>2.75</b>	<b>2.40</b>	

註：[1] 技術人員為執行計畫之人員(不含監理、業務、財會、考核、資管、法務及一般行政職人員)；

[2] 委外費用雖屬工程服務成本但不為 A 項技術人員所執行，因此不納入入月單價計算；

[3] 營業費用包含：管總、業務推廣、研究發展、人才培訓等；

[4] 參照財政部「營利事業各業所得額暨同業利潤標準」採用業別為「其他工程服務及相關技術顧問」之淨利率 19%。

表 5 本案建議採用之人月單價

職稱	經理	副理	組長	工程師 (一)	工程師 (二)	工程師 (三)	一般事務員
年資(年)		>15	10~15	5~10	3~5	0~3	
A	A1 每月人力價格 (元, 工程會 102 年資料)						
	110,250	84,075	78,750	66,730	52,000	49,413	40,788
B	A2 以中數 < 工程師 (一) > 為基準之各類 種職稱的薪資相對比例值						
	1.652	1.260	1.180	1.000	0.779	0.740	0.611
	B1 採計 < 主計處 108 年一建築、工程服 務及技術檢測、分析服務業 > 於 108 年之實際薪資 < 62,754 元 > 為七種職 稱之中數(即「工程師 (一), 6~10 年」)的實際薪資(元, 108 年)						
	B (= B1 * A2) 每月實際薪資 (元, 108 年)						
	103,670	79,070	74,050	62,754	48,885	46,438	38,343
C	C 加計間接費用之係數 (overhead cost coefficient)						
	<b>3.000 (最低)</b>						
D = B * C	入月單價(未稅)						
	<b>311,010</b>	<b>237,210</b>	<b>222,150</b>	<b>188,262</b>	<b>146,655</b>	<b>139,314</b>	<b>115,029</b>

實際月薪資則採 < 主計處 108 年一建築、工程服務及技術檢測、分析服務業 > 於 108 年之實際薪資 62,754 元為七種職級之中數(即「工程師 (一), 年資 6~10 年」)的實際薪資。其餘六類職稱, 再依「薪資相對比例值」(依工程會 102 年公告資料)計算出各職

稱人力之實際月薪資。

參考前述服務成本加公費法及工程顧問公司實際營運資料之分析, 本案建議加計間接費用之係數 (Overhead cost coefficient) 採**最低 3.0**計算入月單價, 則合理之人月單價(未稅)詳如表 5。

## 人月單價之合理性分析

前述建議之人月單價是否合理，可參考國內公務人員每月平均用人費與開發中國家接受國際貸款銀行之支助而給予台灣工程師之人月單價，加以比較，即可得到合理費用之概念，說明如下：

### 國內公務人員平均人月單價

全國公務人員約有數十萬人，若能將每年公務人員之用人費決算數值除以總人數，便可得到每年之人均用人費，將此用人費除以 12 個月，就是公務人員之每月人均用人費用。為得到前述分析數據，援引考試院館藏圖書內之一篇報告「我國與 OECD 各國政府規模及人事費之比較探討」(102 年 12 月)，作為公務人員人月單價之資料分析來源；該報告之公務人力統計係依據銓敘部資料，並依各機關組織法規所定編制員額內之實際支領俸給員額統計，人事費則整理自 92 年至 101 年銓敘統計年報及行政院主計總處資料。

依據該報告所述，人事費包含：中央及地方政府之民意代表、政務人員、法定編制人員、約聘僱人員、技工、工友等人員之薪資，及各項獎金、加班值班費、退休退職及資遣撫卹給付、保險補助、其他給與等。分析時排除國營事業人員，僅以中央及地方公務人員為基準，分析結果（詳如表 6）顯示平均每名公務人員人事費支出約為 **21 萬元 / 月**，此亦可視為公務人員之平均人月單價，惟此單價並不含水電、房租與事務費等相關之支出費用。



109 年 8 月 5 日第九次會議

### 國際貸款銀行給予台灣工程師之人月單價

開發中國家為推動基礎建設，常需國際貸款銀行給予低利融資，惟接受此支助之計畫，該國政府均會召開國際標，由符合資格之國際公司與當地國公司結合後共同完成該計畫。以東南亞國家為例，多數為接受亞洲開發銀行（ADB）或世界銀行（IBRD、WB）貸款計畫，由其公務部門辦理招標時，均會約定國際工程師名額及其人月數，人月單價則依據各國經濟發展現況及其國民所得訂定。以我國工程顧問公司參與此類技術服務工作為例（如表 7），契約人月單價約為**新台幣 42 至 55.5 萬元**（美金 1.4 萬至 1.85 萬元），除人月單價外，契約內通常另有給付交通費（機票）、住宿等另外報支部分。

表 6 平均每名公務人員人事費支出

年度	全國公務人員總數 (中央+地方) <sup>[1]</sup> (人)	人事費決算數 <sup>[2]</sup> (億元)			平均每名公務人員 人事費支出	
		中央	地方	合計	萬元 / 人年	萬元 / 人月
92	376,128	4,149	4,175	8,324	221.3	18.4
93	368,899	4,089	4,310	8,399	227.7	19.0
94	337,261	4,234	4,315	8,549	253.5	21.1
95	335,274	4,231	4,373	8,604	256.6	21.4
96	336,842	4,033	4,404	8,437	250.5	20.9
97	338,305	3,917	4,457	8,374	247.5	20.6
98	339,875	3,905	4,486	8,391	246.9	20.6
99	340,106	3,883	4,633	8,516	250.4	20.9
100	343,323	3,980	4,765	8,745	254.7	21.2

註：[1] 取自「我國與 OECD 各國政府規模及人事費之比較探討」第 338 頁表 5

[2] 取自「我國與 OECD 各國政府規模及人事費之比較探討」第 341 頁表 6

表 7 我國工程師參與國際貸款銀行計畫之人月單價

亞洲開發銀行 ADB				
計畫簡稱	簽約年	職位	人月數	人月契約單價 (美金)
印尼六省農村灌溉計畫 (PISP)	2006	Construction Management Quality	6	14,198
		O&M/Institutional Specialist	12	14,198
		Agricultural & Extension Specialist	8	14,198
印尼 Wadaslintang 計畫	2019	Hydraulic design\Structure Engineer	5	16,750
印尼 Seluna 流域防洪管理	2019	Flood Management Specialist	8	18,550
印尼 Cimanuk 流域防洪管理	2019	Hydrologist Specialist	6	18,385
東帝汶灌溉細設及水源壩址建議研究	2015	Team Leader	9	19,000
		Geotechnical Engineer	3	14,000
		Hydrologist	3	14,000
印尼公共建設改革 - 採購行政專管	2008	Team Leader	27	16,500
印尼都市污水下水道施工專管	2011	Team Leader	36	16,000
		QA\QC Expert	2	14,100
		M&E Expert	2	14,100
		Sewerage & STW Design Expert	3	14,100
		Geotechnical Expert	2	14,100
		Sewerage TPD Expert	1	16,000
		Sewerage Treatment plant O&M Expert	2	14,100
東帝汶道路路網改善監造	2014	Team Leader	36	16,500
		Geotechnical Engineer	4	14,000
世界銀行 - IBRD & WB				
計畫簡稱	簽約年	職位	人月數	人月契約單價 (美金)
印尼水庫營運改善及安評二期	2018	Dam Structure Engineer	37	17,000
		Dam Instrumentation Engineer	37	17,000
		Hydrologist	37	17,000
印尼 Jatiluhur 灌溉規劃設計	2016	Irrigation Management Specialist	17	18,400
		Sr. Hydrologist Specialist	4	15,000
		Agricultural/ Rural Agricultural Specialist	4	16,800
		Information System and GIS Expert	3	14,000

綜合前述分析可知，雖然國際上看待台灣工程師之價值遠較國內各工程主辦機關為高，但參考公務人員之分析數據，給予工程師合理人月單價之中值也應為 21 萬元 / 月；本研究案所建議之人月單價中值約為 18.8 萬元 / 月（如表 5），如現階段優先考慮導正不合理人月單價，則所建議之各職稱人月單價，應屬尚可

接受之合理數額。

由於國內工程師長期待遇不佳使得優秀人才不願參與營建產業，建議工程會應協助工程顧問公司由源頭公共工程技術服務費率加以改善。凡公共工程技術服務如採用人月單價為計算基礎之單價計算法時，應以本研究案所建議之合理人月單價計算為宜。🇮🇵

自 109 年 3 月開始，歷經十一個月，十五次會議後，本學會與業界共同研議「公共工程技術服務費用編列建議」完整建議報告書，已於 110 年 1 月 29 日提送工程會。

本案為自發性研究，感謝多家顧問公司共同參與，花費無數精力，不吝提出經驗、數據及意見等等。有賴大家的攜手合作才能完成本案，在此特別致謝。

本案共提出技術服務費率相關之七大建議，前兩項均已獲工程會同意並即修改相關法令。工程會的積極作為，也讓研究團隊提振士氣、感謝工程會！本期土木水利刊登前三個建議內容，後面內容將於下期刊登。

本案核心目標在於兼顧政府單位、主辦機構、以及廠商的立場，提出客觀合理可行的公共工程技術服務費用建議。倘有疏漏，敬請會員及各界多多指教。



茲附上廣告式樣一則  
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致  
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊  
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

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

刊登月份：

○ 48.2 ○ 48.3 ○ 48.4 ○ 48.5 ○ 48.6 ○ 49.1 共 次  
(4月) (6月) (8月) (10月) (12月) (2月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；  
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據  
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)  
商號

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

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

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款 帳號	0 0 0 3 0 6 7 8	金額 新台幣 (小寫)	仟萬	佰萬	拾萬	萬	仟	佰	拾	元
通訊欄 (限與本次存款有關事項)		收款戶名	社團法人中國土木工程學會							
繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元		寄 款 人		主管：						
訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣 300元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 自第 卷第 期起， 年期雙月刊 份		姓名								
訂閱中國土木工程學刊，一年八期 <input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣 1,600元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 3,600元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 80元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 200元 自第 卷第 期起 年期學刊 份		地 址	[ ] [ ] [ ] - [ ] [ ]							
		電 話	經辦局收款戳							

◎ 寄款人請注意背面說明  
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫



西門子智慧建築科技

## 掌握關鍵數據，智慧化建築營運

西門子提供全方位的數位建築科技與基礎建設解決方案，擷取和分析大樓營運資料，經由連網、監測和智慧控制打造符合現在與未來需求的智慧建築，讓使用者可善用資訊做出明智決策，包括如何在特定時段內互動、依照使用經驗重新配置空間、設定環境與模式，甚至根據自動化偵錯功能來安排建築系統檢修時間。

# 2021 防災科技研討會



時間：110 年 5 月 28 日 (星期五) 9:00-17:00

地點：【大坪林聯合開發大樓 15 樓國際會議廳】 新北市新店區北新路三段 200 號 15 樓

主辦：社團法人中國土木工程學會

協辦：交通部公路總局、經濟部水利署、科技部國家災害防救科技中心、農業委員會水土保持局、  
臺北市政府工務局、國立臺灣大學土木工程學系、國立暨南國際大學土木工程學系、  
財團法人中興工程顧問社、台灣世曦工程顧問股份有限公司、中華坡地防災及資源再生利用技術協會

費用：土木工程學會會員 1,000 元、非會員 1,500 元、學生會員 免費 人數：150 人

報名：一律網路報名 <https://ppt.cc/ffr18x>

聯絡人：土木工程學會 黎婉青 電話：(02) 2392-6325 #21、email: service@ciche.org.tw

備註：本研討會提供技師訓練積分 80 積分、公務人員終身學習時數 8 小時服務；其餘請詳網路報名表。

## 議程表：

時間	講題	講者	主持人
08:30-09:00	報到		
09:00-09:15	開幕致詞：李孟諺秘書長 / 行政院 施義芳理事長 / 社團法人中國工程師學會 宋裕祺理事長 / 社團法人中國土木工程學會		
<b>一、大區域坡地防災管理科技應用</b>			
09:15-09:45	應用遙測資訊評估流域大規模崩塌土砂運移	林美聆教授 臺灣大學土木系	宋裕祺理事長 土木水利學會
09:45-10:15	大規模崩塌創新多維度監測模式	王國隆副教授 暨南大學土木系	
10:15-10:45	巨量空間資訊系統 (BigGIS) 加值與開放服務	陳振宇副總工程司 水保局	
10:45-11:00	茶敘		
<b>二、氣候變遷下洪旱災害管理新思維與科技應用</b>			
11:00-11:30	臺灣致災暴雨特徵、可預報性和預報方法分析	李天浩副教授 臺灣大學土木系	賴建信署長 水利署
11:30-12:00	智慧防災新科技	張廣智副總工程司 水利署	
12:00-12:30	旱災預警及應變	簡振源副總工程司 水利署	
12:30-13:30	午餐		
<b>三、新時代公路、橋梁、隧道防災科技應用</b>			
13:30-14:00	公路邊坡、橋梁與長隧道防災管理應用	陳進發副總工程司 公路總局	許鈺璋局長 公路總局
14:00-14:30	台北市道路、橋梁、隧道之防災管理與應變措施	劉家銘總工程司 臺北市府新工處	
14:30-15:00	被動消能攔截網系統於土石流防治及智慧預警之應用	張清雲理事長 中華坡地防災協會	
15:00-15:15	茶敘		
<b>四、AI 監測、預警、應變創新科技應用</b>			
15:15-15:45	國土安全防災創新科技應用	林曜滄代理副總 台灣世曦顧問公司	陳宏宇主任 災防科技中心
15:45-16:15	資訊科技於防災的應用現況與未來展望	蘇文瑞研究員 災防科技中心	
16:15-16:45	防災跨域之數位化遙測與都會區天災風險評估	李璟芳組長 中興工程顧問社	
16:45-17:00	總結		