

誠信 · 創新 · 品質 · 服務

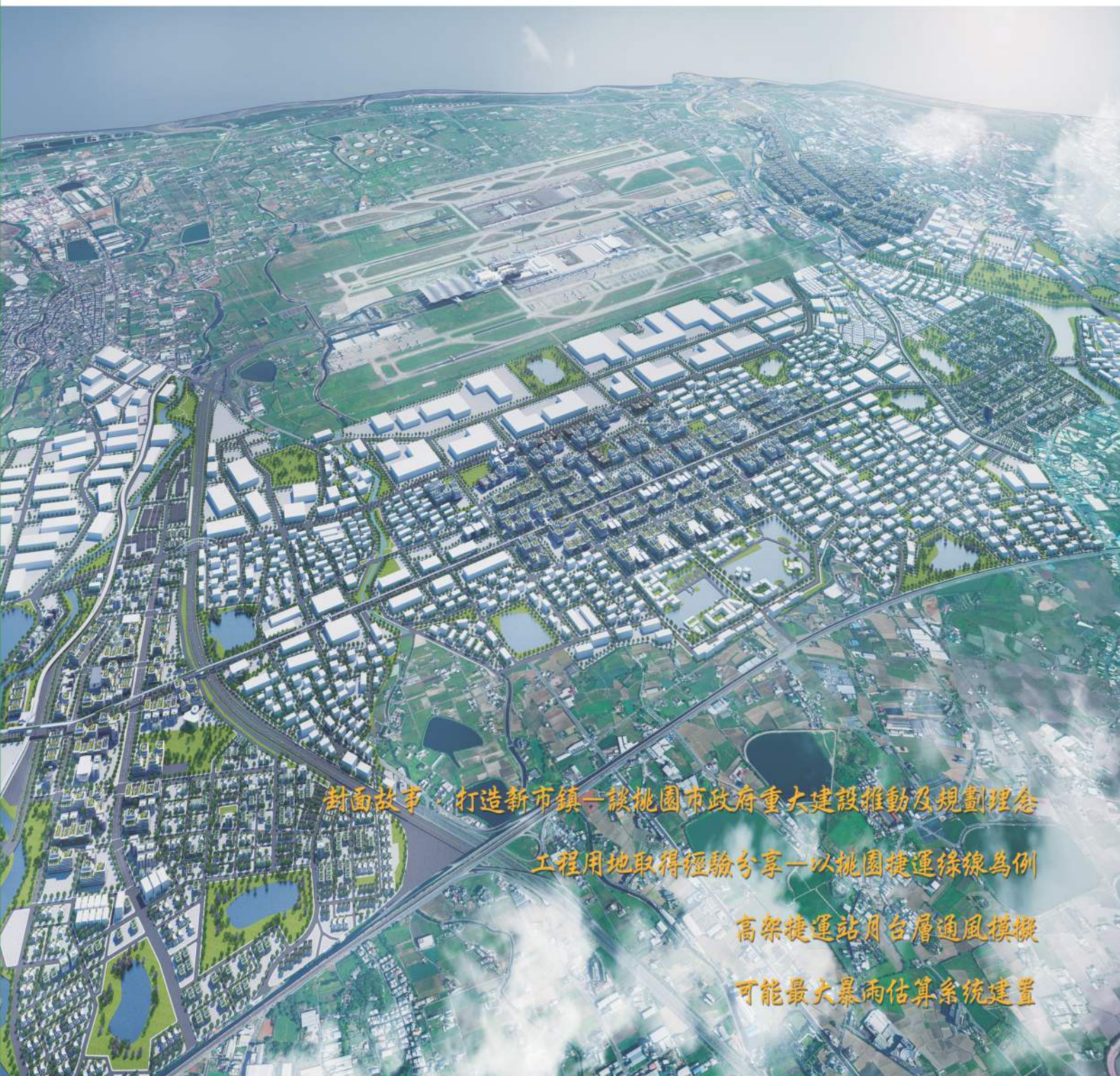
中興工程 157

SINOTECH ENGINEERING

1983 年 10 月 創刊

| 2022 年 10 月 出刊

| ISSN 0257-554X



封面故事 · 打造新市鎮—談桃園市政府重大建設推動及規劃理念

工程用地取得經驗分享—以桃園捷運綠線為例

高架捷運站月台層通風模擬

可能最大暴雨估算系統建置



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

工程不只源於需求 更在於生活價值的實現



財團法人中興工程顧問社係以提昇我國工程相關技術水準為宗旨之研發機構，並經行政院國科會評鑑為「科技研發機構」土木工程領域之優等單位。

中興工程顧問

主要研發領域：水利與電力工程／大地工程／環境工程／資訊應用／結構與地震工程／工程材料／工程管理／交通運輸



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

臺北市內湖區新湖二路280號 Tel:886-2-87919198 / Fax:886-2-87912198
<http://www.sinotech.org.tw> / E-mail:sinotech@sinotech.org.tw



大地工程研究中心 專業服務

重要實績

蓄水庫安全檢監測及風險管理
隧道安全維護管理系統建置
離岸風場地工試驗與詮釋
隧道鄰近地下水資源影響評估
二氧化碳封存規劃、監測與風險管理
地熱探勘與資源評估

配合國家永續政策，以傳統地工技術為基礎，針對關鍵基礎設施營運安全、環境保育與綠能產業等相關地工技術進行研發，結合理論與實務，提供高品質之技術服務。所屬大地工程試驗室為TAF認可，國內目前地工試驗認證項目最完整之試驗室



聯絡資訊

114065台北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：gerc-ctr@sinotech.org.tw
<https://www.sinotech.org.tw>

誠信 創新 品質 服務



財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.





部門重要實績

鐵道系統營運規劃、營運機構安全管理系統導入
臺鐵第四代票務系統開發、台灣高鐵營運規劃決策輔助系統
鐵公路業者班表及票務分析

長庚醫療財團法人建物耐震評估檢查申報
明志科技大學結構安全監測系統建立
南科管理局振動干擾分析改善

地理資訊系統於國內外之土木、水利、環保、
道路、城市設施維護、風力發電、工業區等領域之應用



土木水利及 軌道運輸研究中心

鐵道系統之運轉及安全管理整合技術服務擊劃
公共運輸營運數據整合分析
耐震評估補強、結構安全監測、振動分析防治、耐久性評估
地表水（河川、水庫、河口等）水理、污染質及泥砂傳輸
模擬分析
工程專業領域電子政務、地理資訊、手持式巡查等資訊系統
之研發與開發

聯絡資訊

地 址：臺北市內湖區新湖二路280號
電 話：(02) 8791-9198
E-mail：chrc-ctr@sinotech.org.tw



誠信 · 創新 · 品質 · 服務
財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



誠信 創新 品質 服務

防震設備產品

中興社自主研發「國產液流黏滯阻尼器」及各種防震設備，
以提供優質臺灣製造之產品選擇及技術服務！
從零件加工至組裝品管測試皆採用臺灣在地化生產，
並通過認證合格實驗室的多項性能試驗，以確保產品品質與消費者權益。



液流黏滯阻尼器(FVD)
FLUID VISCOUS DAMPER



位移型消能斜撐(SDB)
STEEL DAMPING BRACE



地震力分散裝置(STU)
SHOCK TRANSMISSION UNIT



效能監測系統(EMS)
EFFICIENCY MONITORING SYSTEM



鋼板制震壁(SDW)
STEEL DAMPING WALL



防震力學試驗室(SML)
LABORATORY FOR VIBRATION

防震制振技術研究中心

專業服務

防震設備研製

新型消能元件研發
設備隔震技術研發
各類消能元件性能試驗

國防減振研製

高科技減振機械研發客製
國防減振測試方法開發

監測系統技服

工程智慧監測系統
防震效能監測系統
智慧綠電儲能微電網系統

振控設計技服

防震系統規劃設計
高鐵防震/減振工程
設施隔震設計規劃

聯絡資訊

A 114065 臺北市內湖區新湖二路280號

W www.sinotech.org.tw

T (02)8791-9198#171 F (02)8792-3070

E ast-proj@sinotech.org.tw

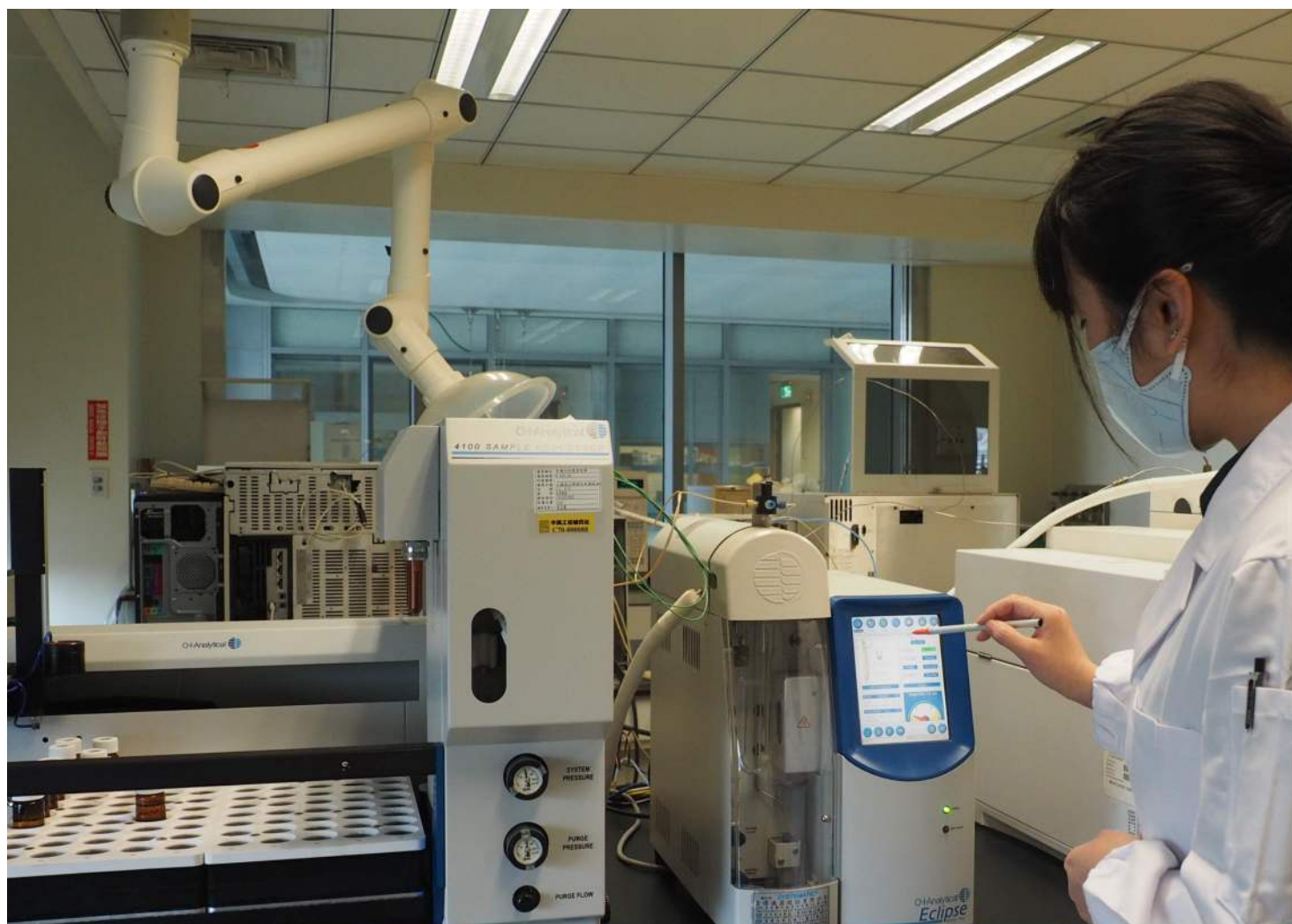
誠信·創新·品質·服務



財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



防震制振



環境工程研究中心

重要實績

事業廢水特性調查及管理評估
公共污水處理廠評鑑與永續營運管理
污染土地再利用政策與制度架構建立
廢家電回收管理與影像辨識技術開發
海洋污染防治法規及品質標準研修
微量新興污染物方法開發與應用
溫室氣體盤查及量測分析

提供高品質的研究服務和發展先進的環保技術，針對廢污水處理及再生、污染土地活化、廢棄物減量與循環經濟、淨零碳排等領域進行研究；所屬環境實驗室為環保署認可實驗室，取得水質水量、地下水、土壤及底泥等兩百餘項認證

聯絡資訊

11494 臺北市內湖區新湖二路 280 號 6 樓

電話：02-8791-9198 傳真：02-2791-8858

Email: eerc-ctr@sinotech.org.tw

<https://www.sinotech.org.tw/eerc-ctr>

誠信 創新 品質 服務



財團
法人

中興工程顧問社

SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



- 創刊日期 / 中華民國 72 年 10 月
 - 行政院新聞局登記局版臺誌字第 03793 號
 - 中華郵政登記執照北臺字第 1023 號
 - 發行人 / 曾參寶
 - 編審小組
 - 委員 / 張國揚 黃崇仁 蔡文豪
 - 孫世勤 周頌安 冀樹勇
 - 鍾志成
 - 召集人 / 游麗慧
 - ISSN / 0257-554X
 - 出版者 / 財團法人中興工程顧問社
 - 社址 / 114065 臺北市內湖區新湖二路 280 號
 - 電話 / (02) 8791-9198
 - 傳真 / (02) 8791-2198
 - 電子信箱 / adm-dpt@sinotech.org.tw
 - 網址 / www.sinotech.org.tw
 - 印刷 / 鴻友印前數位整合股份有限公司
- ※ 本刊圖文未經同意不得轉載 ※

徵稿簡則

- 一、本刊歡迎有關水利、電力、地工、環工、都市計劃、交通運輸、生態工法及其他土木工程之論著、譯述、專題研究、新技、新知及報導等學術性文稿，請投稿至「工程技術」及「案例／計畫報導」專欄，來稿請加註中、英文篇名、摘要及關鍵字。
- 二、有關介紹工程之遊記、工程界人物軼事等報導性文稿之文體應力求輕鬆活潑，請投稿至「工程窗外」專欄，惟此專欄僅接受中興工程集團之現職或退休同仁投稿。
- 三、來稿請附「中興工程季刊投稿人暨稿件資料表」並連同文稿電子檔(.doc) E-mail 至 adm-dpt@sinotech.org.tw，撰寫時請參考「文稿格式範本」及「英文摘要範本」（上述表單及範本請至本社網站 www.sinotech.org.tw 下載，或洽本社行政處提供）。
- 四、「工程窗外」文稿以 5,000 字為限；「工程技術」及「案例／計畫報導」文稿以排印後 8 頁（約 8,500 字）為原則。
- 五、本刊所有度量衡單位請採用 SI 國際單位。
- 六、來稿文責由作者自負，請勿侵害他人智慧財產權或違反其他法律規定。來稿如引用他人論文或著述，務請註明其出處，並儘可能依序將原作者姓名、出版年份（加小括弧）、引用文獻名稱、書刊名稱、卷號、期別、頁次等在參考文獻中註明。所附圖表或照片等須為作者自行創作，或取得原創者授權刊登使用。
- 七、本刊稿件之審查係由編審小組送請學者專家評審，審查通過後方具刊登資格，惟本刊編審小組保有最終刊登與否之權力。
- 八、來稿經刊載後將發給稿酬，其著作財產權即為本社所有；本刊對來稿有增刪權。不用稿件，恕不退還。
- 九、本刊每年刊印四期，逢一、四、七、十月出版，如蒙來稿請於出版前六個月送交本社行政處中興工程季刊編審小組。

註：本刊經行政院公共工程委員會名稱為水利工程、土木工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、機械工程、冷凍空調工程、電機工程、電子工程、資訊、工業工程、水土保持、應用地質、交通工程等科技師執業執照換發辦法內之「國內外專業期刊」，歡迎踴躍投稿，兼可取得換發執業執照所需積分。作者只需於申請技師訓練積分審查時附上「中興工程」季刊目錄及文稿（前開工程類相關文稿）影印本作為證明，經該會審核確認後，每篇文稿即可獲得六十分，作者兩人以上者，平均分配得分。

中興工程第157期目錄

封面故事

打造新市鎮—談桃園市政府重大建設推動及規劃理念 訪桃園市政府黃治峯秘書長

.....中興工程編審小組..... 3

工程技術

Pleiades 衛星影像立體對交會角對都會區數值地表模型精度之影響

..... 林恩楷・邵國士・張玉堯..... 15

工程用地取得經驗分享—以桃園捷運綠線為例

.....游明進・薛玉珠・陳育甄・高偉倉・游子儀・林坤霖・陳文德..... 25

中興社薄型化制震壁

.....陳昱志・張權..... 35

科技廠房節能策略與案例分享

.....黃育德..... 41

AI 衛星大數據於都市規劃之探討—以基隆河谷廊帶為例

.....鄭得權・許智修..... 51

應用多時期衛星影像於隘寮溪上游集水區崩場地時空及其環境因子關聯性分析

.....何幸娟・林伯勳・牟彥蓁・陳慧玲・蔡政修..... 59

案例 / 計畫報導

高架捷運站月台層通風模擬

.....許秉盛..... 71

建築物遮陽板風振及改善案例

.....陳昭村・翁健煌・盧恭君..... 79

軌道運輸系統統包工程採購與招標策略之探討與建議

.....李政安・曾國嵐・鄭紹祥・朱美麗..... 87

研發成果介紹

可能最大暴雨估算系統建置

.....楊銘賢・金士凱・陳麒如..... 93

打造新市鎮—談桃園市政府 重大建設推動及規劃理念 訪桃園市政府黃治峯秘書長

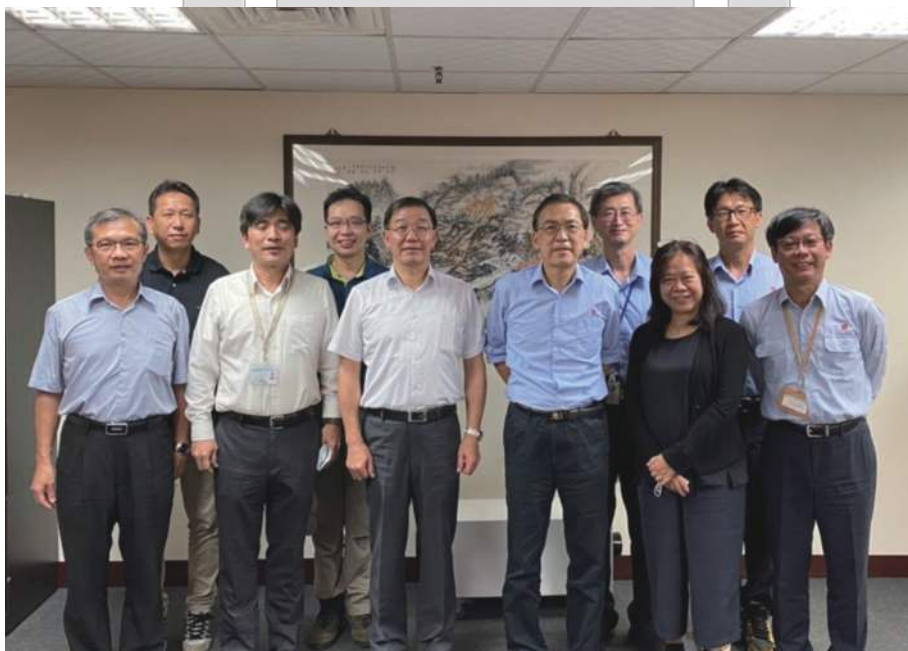
中興工程編審小組

黃治峯秘書長引言

桃園是國門之都，位處國際機場地利之便，近年因經濟快速發展，提供充足的就業機會，吸引人口持續移入並逐年成長，至今（111）年6月已逾226萬人。

升格後都市發展迅速，桃園市政府以「不怕淹水、不怕缺水、要淨水、要親水」為施政目標，將桃園市打造成「與水共容、與水共融及與水共榮」的智慧韌性城市，埤塘是桃園重要的景觀特色，早期為發展農田水利灌溉調節設施而開鑿，興盛時期曾達1萬餘座，使得桃園有「千塘之鄉」美名。

市府團隊與學術界、產業界共同籌組「桃園市工程循環經濟導入再生再利用粒料應用計畫團隊」，進行許多再生及再利用粒料試辦工程，進而全面推廣使用，於道路鋪面、人行道採用循環材料，將資源重生再利用，落實國家永續發展的目標。



黃治峯秘書長接受本刊專訪

黃秘書長回應篇

提問：

桃園航空城優先開發區面積約 368 公頃，其餘地區面積約 1,388 公頃，合計 1,756 公頃，面積廣大；預計施工期程從今（111）年開始到 117 年前完工，時程緊迫，面對上述的問題，航空城工程在採購策略及分標原則上，是如何思考佈局的？

回應：

航空城是朱立倫當桃園縣縣長時就有這個計畫，後來至鄭市長任內，行政院才正式核定推動，工程期程很趕，須於六年內完成。

在工程分標界線劃分上，依天然地界 4 大河流域（老街溪、新街溪、埔心溪、南坎溪）及開發單位劃分出 10 個分標工程（A1、A2、A3 為交通部民航局所屬、B1、B2、C1、C2、D1、D2、D3 則為市府承攬），四條溪為天然界線。因為中路重劃區的經驗，重劃工程界面越多越不好協調，市長贊成航空城不要分太多標，而且此工程這麼趕，一定要有實力的廠商來做，在招商策略上，也考慮到廠商作業能量，為避免工期延滯，因此分標成十個統包工程標，每標土地約 200 公頃，金額約 37.6 億至 93.7 億。

另外預先排除統包廠商困難，由於航空城計畫工程浩大，為使統包商進場後於工程初期順利預訂材料、調度機具及配置僱用人工等工作，依優先開發區所占契約價金之 20% 計算，允許統包商請領工程預付款，以紓解統包商的資金周轉需求。已於今年 6 月陸續完成各分標預付款，以最大努力協助統包商順利施作。依照聘僱外籍營造工核配比率法規，一般工程上限僅能核配 20%，本府在民國 110 年工程發包前，就已爭取行政院核定之重大政策計畫，提高聘僱外籍勞工之比率至 40%，提前幫統包商解決未來可能遇到的缺工

問題，至目前為止，此工程還算順利，無大幅度落後，還在原來的計畫期程中。



圖 1 航空城區徵工程分區分標示意圖

提問：

航空城的建設有別於其他的土地開發工程，工程上的亮點包括「韌性設計、循環經濟材料的使用，及節能低碳的智慧城市」，並考量桃園地區重大建設之土方調度，是否可以說明上述各項特色及其推動理念？

回應：

桃園市政府對航空城計畫之未來開發構想是以鄭市長所提「綠色經濟版航空城」為基礎，並納入 17 項聯合國永續發展的目標（SDGs）。工程設計上則導入「韌性防災」、「循環經濟」、「節能低碳」及「智慧城市」的概念與作法，來進行整體性的規劃。

在韌性防災方面，航空城在 60M 中央園道打造休憩廊道，有自行車道、水岸廣場、人行道等設施，在地下更設置地下滯洪池，以調節滯洪空間。藉由滯洪設施，避免開發後造成自身與區外積淹水，並利用 5 座既有埤塘及新設 50 座滯洪池作為「出流管制設施」，提供滯洪面積 49 公頃、蓄洪 217 萬噸（868 座標準泳池）；航空城範圍內之四條河川，排水系統採用同一標準進行設計，城市內道路排水系統滿足 Q10，河川保護標準滿足 Q100，園道及自行車道採用透水鋪面，增加都市道路的透水面積以調節氣溫。

將 BIM、GIS、IoT 等技術運用在共同管道管理流程上，設置水位監測及遠端控制、智慧道路巡查系統、智慧候車亭，且整合共同管道空間、設備、資源，為發展智慧化、自動化、智慧城市管理系統的奠定基石，有別於傳統城市管理模式，讓城市管理方式更為精準；於航空城 13,600 盞路燈增加智控模組，從遠端連線就能主動偵測路燈狀況，在有限的人力下提升管理效率，還能記錄資訊作為養護的依據。路燈的啟閉、亮度、自動化故障報修皆可連線管理。

循環經濟大概是我在擔任工務局長時，最用力推動的事項，把老化的瀝青刨除粒料摻配天然級配料作為道路基底層，可代替 60% 的天然骨材，經拌合、滾壓後，同樣能符合規範的要求。我們幾乎能把桃園所有的瀝青廠的銑刨料都消化完畢，不但幫業者處理老化的瀝青刨除料無處可去的問題，也將這個資源重覆利用，再生級配骨材可以讓好的砂石留在河川裡面，給我們下一代人用，不要在我們這一代都把天然資源用掉。

另外環保局也反應焚化爐底渣無處可去的困境，經我們研究該底渣可以大量運用在 CLSM（控制性低強度回填材料）上。管線挖掘回填時，超過 50 公尺就規定要用含有焚化再生粒料的 CLSM，還有埤塘底部等比較軟弱的土質，都可以利用焚化再生粒料改良。我們也與廠商合作製作環保高壓混凝土磚（添加焚化再生粒料），可以用在人行道等地方，先與廠商簽訂「焚化再生粒料製磚」契約，運 30 噸的焚化再生粒料給廠商替代細粒料，再向廠商買 100 噸的人行磚回來使用，最高可摻配 30% 的焚化再生粒料，因此桃園市焚化廠沒有底渣的問題。航空城道路總長約有 197 公里，新建計畫道路鋪面全面使用循環材料，氧化碯可使用掉 65 萬噸、瀝青混凝土刨除料 165 萬噸、焚化再生粒料 31.3 萬噸，合計 261.3 萬噸。而桃園市焚化廠一年才產生 6 萬噸焚化再生粒料，甚至環保局可以跟別的縣市交換，你幫忙燒垃圾，

底渣桃園處理，同時解決了工程上與產業界材料去化的問題。

當工務局長時，考量桃園市近年來眾多公共工程同時進行，如：鐵路地下化、捷運綠線、各場館等，勢必會有大量出土需求，又航空城內土地實施逕流分擔後仍有淹水可能，故採用土地高程控制方案，平均填高約 75 公分之千餘公頃基地，總需土方量約 630 萬方，解決本市大型公共工程餘土問題，並達全市工程土方平衡。

成立道管中心，期許新闢道路地下管線製圖 3D 化，市府近年來更致力於 3D-BIM 應用於地下管線之製圖上，並將電力、電信幹管、自來水、瓦斯管、排水箱涵、污水管、路燈及共同管道等進行整合。3D-BIM 模型相較於以往 2D 作法，可清楚呈現管線分布狀態，於設計階段，可即時檢查各管線間相對關係，並有效衝突管理。另施工階段，現場實測各管線端點及轉點三維 GML 座標建檔，完工後匯入至養工處道路挖掘及共同管道管理系統，以期未來維修管理上能更有效提升品質效率。精準地下管線資料是建構智慧城市基石，往後核發挖路證，效率可大幅提高。

提問：

參與航空城工程的單位眾多，包括中央及地方，各單位努力目標一致都是為完成航空城的建設，但是各單位的職掌權責不同難免有界面，所以想請教航空城參與的主要有哪些單位？桃園市政府是如何做到統合協調各單位？

回應：

行政院一開始就很重視航空城，為推動航空城計畫，行政院成立專案小組（行政院推動桃園航空城計畫專案小組）統籌協調桃園航空城核心計畫之規劃、開發及招商等相關事宜，整合跨部會資源，加速計畫推動，以促進桃園產業升級轉型，提升國家競爭力，分都市計畫及用地取得組、

開發建設組、產業規劃及招商組，督導桃園航空城核心計畫工作執行情形，並透過都市計畫手段，重新調整航空城周圍的土地使用，不僅促進桃園整體發展，亦可帶動臺灣產業轉型及國際化。

桃園市政府為推動桃園航空城計畫，並整合本府各機關（構）作業，特設「桃園市政府桃園航空城推動委員會」，分為用地取得組、開發建設組、產業招商組、公共事務組、文化資產組，由市長召集各機關首長，每2個月召開大會共同研商航空城規劃、協調及審議。

由於工程緊湊界面多且複雜，因此成立了「桃園航空城計畫區段徵收工程聯繫會報」、「桃園航空城區段徵收工程廉政平臺」、「桃園航空城區段徵收工程安全伙伴宣言」，透過開會、現勘等方式協調各權責單位間之工程界面，參與單位包括桃園市政府水務局、都市發展局、文化局、地政局、交通局、經濟發展局、捷運工程局、住宅發展處、農田水利署、自來水公司、交通部高速公路局，而當廠商工程施作面臨困難時，透過「桃園航空城計畫區段徵收工程聯繫會報」進行協調，邀集中央機構、桃園市政府所屬機關及施工相關業務範圍之機關團體共同商議解決。處理事項包含：安置（社會）住宅、捷運、民生相關管線等議題。

為了要讓工程不要有弊端，民國110年10月15日，由行政院公共工程委員會、法務部廉政署、桃園地方檢察署、法務部調查局桃園市調查處及台灣透明組織協會等機關組織，共同成立的一個橫向廉政平臺。

為提升本市公共工程安全衛生管理，確保施工過程安全順利，航空城工程處與勞動檢查處於今（111）年7月27日簽署安全伙伴宣言，共同為航空城計畫的公共安全把關，以「零職災」為首要目標，合作推動災害預防計畫。

還好有中興工程顧問協助，這是非常重要的。一件事，很多基礎工作都在你們身上，感謝你們

來參與。航空城能成功，鄭市長花了很大的力氣做決策，中央也支持他，其他機關也配合，老百姓也滿意。這個航空城開發產生之機能，不輸於一個十大建設，我覺得有兩到三個十大建設的效益，以後的效益是非常巨大的。



圖2 行政院桃園航空城核心計畫專案小組組織圖



圖3 行政院桃園航空城核心計畫專案小組—都市計畫及用地取得分組組織圖



圖4 桃園市政府桃園航空城推動委員會組織圖

提問：

全球氣候變遷造成極端氣候現象頻仍，桃園市面臨「水太多、水太少、水太髒、水太濁」之水環境挑戰，對於上述挑戰，桃園市政府以「不怕淹水、不怕缺水、要淨水、要親水」為施政目標，將桃園市打造成「與水共容、與水共融及與水共榮」的智慧韌性城市。桃園市為千塘之鄉，埤塘水圳是當地生物物種棲息最自然的棲地，對於生態保育及棲地營造上，是否也有更友善更共榮的理想？

回應：

桃園本身是台地，在清朝時有一萬多口埤塘，因為我們是台地，若沒有埤塘，水一下就流入海裡，後來有石門水庫，以後還有石門大圳、桃園大圳，兩個水利會系統，目前仍有千塘之鄉之美名。埤塘是桃園重要的景觀特色，早期為發展農田水利灌溉調節設施而開鑿，在我國國家重要濕地保護計畫中，分布於桃園 11 個行政區約 340 個埤塘，也以「桃園埤塘重要濕地」納入為「國家級」重要濕地，升格後都市發展迅速，我們也特別注意在城市建設的過程中對埤塘系統，進行檢討保留，並規劃多元活化利用的方式，除灌溉用途外，也發揮其蓄水、排水、滯洪功能，並結合周邊居民生活型態，提供許多水生動植物良好的棲息環境，桃園擁有多條河流以及特殊的灌溉埤塘水圳，桃園團隊以打造智慧、韌性水城市為目標，針對河川水域治理（防汛抗旱）、污水妥善處理（淨水）、埤塘水圳活化（親水）等面向，整合公共建設資源，運用智慧管理技術，多管齊下，打造桃園成為與水共容 / 融 / 榮的幸福水城市。

桃園爭取到中央前瞻計畫核定補助經費約 123 億元，採全流域治理（上游保水、中游滯洪、下游防洪）及升格後透過本市「易淹水改善檢討

會議」，主動追蹤列管本市易淹水點逐步檢討改善，保障市民生命財產安全。

智慧調度水源讓我們成功度過民國 110 年時的百年大旱，市府多元應用埤塘水、河川水、地下水、工地水、回收水等 5 大水源，大幅提高抗旱能量。農業灌區用水優先取用埤塘水源及老街溪、新街溪等河川水源供灌，於桃園大圳大湳水廠取水口至桃三灌區新屋站 12 支線取水口之間佈設抽水機組，讓桃三灌區稻作順利收成，節約水庫水量達 2,748 萬噸，有效降低石門水庫的供水負擔；執行「埤塘反送供水計畫」，篩選出水量充足、鄰近桃園及石門大圳且位處淨水廠上游的桃園大圳 1-4 號池、霄裡池、社子 1A 池等 3 座埤塘，將水源反送到淨水場，並配合檢測把關水質，將埤塘水作為民生及產業備援用水；整備地下水井為抗旱井，並於旱情期間取消企業地下水權使用限制，調查協調民間工業井，開放最高 30% 的水權核發量提供外借，方便廠商之間互相調度水源。同時透過「地下水智慧管理平台」即時監控地下水情，提供抗旱決策資訊。

民國 108 年發布「桃園市地下水水權裝置量水設備自治條例」，以有效管理桃園地下水取水作業，並達到地下水資源智慧化管理之目的；推動「再生水計畫」，選定桃園北區水資源回收中心，興建日產 11.2 萬噸再生水的再生水廠，提供觀音工業區、中油桃煉廠及南亞塑膠廠使用，航空城優先產專區已經開發，也簽訂每日 6,000 噸再生水使用意向；推動「放流水灌溉」計畫，優先擇定楊梅水資中心依據放流量，提供周邊 23 公頃水稻田灌溉。

污水下水道建設是進步城市的象徵，也是聯合國永續發展的指標，更攸關民眾健康。桃園升格前用戶接管僅 3 萬餘戶，不但是六都之末也是全國各縣市倒數，升格後我們加速推動，完成規劃 12 處污水下水道系統，提出政府自辦及促參

方式同步併行策略，和「3 免費 2 補助」配套措施，至今年 7 月超過 18 萬戶接管，普及率提升至 21%；6 年來接管率成長近 5 倍，比例全國第一。

「桃園水情資訊系統」，整合 96 處水位站、21 處量雨站、21 處水門監控、160 處路面淹水感測器、198 處路口監視器擴大防災監測網，並可遠端操作 17 座水門；「水情看桃園」APP 提供民眾即時掌握水情；今（111）年開發出「全流域智慧治理整合決策系統」，針對桃園境內全流域進行整體規劃，包括建設、維運及應變等各個重要層面，勇奪「2022 智慧城市創新應用獎」。

推動公私協力機制，成為桃園最可靠的民間協力支援，共同守護桃園的好山好水，包含「自主防災社區」，透過社區輔導與防汛演練，提升自主防災能力，也讓本市連續 5 年榮獲經濟部水利署水患自主防災社區評鑑績優縣市；「山林巡護志工隊」及「埤塘巡護志工隊」，巡查責付的山林步道或埤塘，即時通報相關單位處理設施損壞或環境遭破壞等情形；「桃園市水土保持服務團」輔導指定規模以下之農林漁牧開挖整地等行為之水土保持義務人推動水土保持工作，以減少違規取締及後續處理成本。

提問：

桃園市立圖書館、美術館、會展中心、亞洲矽谷創新研發中心等重大建築公共工程都將陸續完成，市府推動之理念為何？對於建築公共工程引進外國設計團隊（建築師）與國內設計單位各自執行及國際互相結合共同合作的比較看法？

回應：

較小規模的學校、圖書館、區域型的工程，以國內建築師進行設計招標，讓國內建築師得以創意發揮。另外，如總圖書館，美術館、會展中

心、亞矽創等工程，屬於規模較大型工程，則期望吸取國外建築師大膽創新理念，結合國內建築師共同完成設計，以國、內外建築師合作方式，採類國際標式進行招標。傳統國際標之作業模式是以國外建築師提供概念，再由國內建築師完成設計成果，反之，這種類國際標使得國內建築師可以提升自身素質及增加國內建物之知名度，讓國外建築師執行概念設計為主軸，進行設計方案，再配合臺灣建築師整合，並符合國內建築法規及繪製細部設計圖等專業服務，雙方合作整合其專業能力得以交流，這樣以國內建築師為主，國際為輔的方式合作，將達到國內、外交流及建築作品完美的落實呈現。

市府近期建設，如圖書館是文化的綠洲，因此市府於升格後將圖書館建設列為市府重要政策。考量現有的圖書總館啟用至今已超過 35 年，因設施老舊且館藏空間不足，在鄭文燦市長擘劃下，覓地於文化活動最密集的桃園藝文特區興建圖書總館，未來伴隨著桃園捷運綠線 G10、G11 站的興建開發，配合鄰近的桃園展演中心，除可發揮群聚效應，更具極佳的發展潛力，打造桃園文化新地標。

桃園人口眾多，電影院放映空間仍稍嫌不足，加上桃園電影節自開辦以來，已成為桃園重要的特色活動之一，因此市府積極推動市立圖書總館附設電影院的計畫，以圖書館為主體，兼具電影院、文創商城、主題餐廳及停車場等多機能公共建設，並增加戶外廣場、藝術花園保留大片綠地，期盼推廣桃園閱讀及電影文化，提升文創價值，更可滿足市民朋友多元文化及休閒娛樂需求。

另外，桃園是六都中唯一沒有市立美術館的城市，市民非常引頸期盼能有一座具國際級水準之美術館，故本府於升格後致力於充實各項文化建設，除市立美術館外，尚有橫山書法藝術館、桃園市兒童美術館以及落腳於藝文中心旁的市立

圖書館新總館等工程，目前皆已陸續完成。

桃園具備國際機場、高鐵站、機場捷運及多處交流道等多運具之交通系統，南來北往交通方便，而會展中心基地選址於中壢青埔地區機場捷運 A19 站旁，具有舉辦國際會議的地利之便。考量桃園工業產值 1 年約 3 兆元，為六都工業產值第一名的城市，電子業等產業供應鏈相當完整，隨著擴大投資桃園的廠商增加，顧及需求，市府新建會展中心，規劃空間以會議為主，展覽為輔，提供舉辦各種國際會議、展覽及研發交流活動之優質空間，並可舉辦各種演唱、集會、體育賽事等大型活動，不僅作為工商企業發展的重要場所，成為鏈結世界的基地，更是亞洲・矽谷與桃園航空城計畫的重要工程的里程碑，可望發揮機場經濟學的效益。

未來桃園會展中心透過 3 座人行聯通橋與周圍國際棒球場、亞洲・矽谷研發中心及國際旅館立體聯通，串聯至機場捷運 A19 站，結合青埔地區 Xpark 水族館、IKEA 旗艦店及影城等多元設施，提供更便捷的交通和多元化的工商業服務，帶動桃園整體發展，並將與臺北南港展覽館與臺北世界貿易中心形成互補效應，進而成為桃園推動產業升級的重要設施，讓北北桃首都圈會展產業活動更具彈性，也期盼藉此讓 MICE（會議（Meeting）、獎勵旅遊（Incentive）、大型國際會議（Convention）、展覽（Exhibition）產業），作為城市經濟轉型的重要推手；市府於辦理建築公共工程採購時，須整體考量公共工程產生之整體效益、創新設計，並達到最佳的建築工程品質，為此審慎考量引進國外建築設計團隊的必要性，在不違反 WTO 政府採購協定狀況下，瞭解國外設計團隊所帶來的衝擊，與本國建築設計團隊互相合作之設計環境，藉由國內、外合作的機會，提升國際競爭力及能見度。

提問：

6 月 9 日榮獲 2022 全球卓越建設獎 FIABCI World Prix d'Excellence Award 二金二銀的殊榮，秘書長也率隊前往法國領獎及參訪，請問此行有何收穫？而對於桃園升格後公共建設獲獎不斷，請問在計畫推動、規劃設計、履約管理及工程美學上是如何提升成為臺灣公共工程標竿？

回應：

全球卓越建設獎有全球建築界奧斯卡金像獎美譽，得獎作品係從全球各國國家卓越建設獎中擇優，與全球超過 70 個國家及 100 多個世界專業組織的作品競比，今年雖然有七十幾個國家在比賽，臺灣總共得了四個金獎、七個銀獎，桃園就得了兩個金獎、兩個銀獎，臺灣成為一個大贏家，桃園又是最多的，這代表臺灣的公共工程品質受到國際的認可。

本次率公共建設團隊前往法國領獎，讓世界看見桃園公共建設之美，也以創新、設計與全世界專業者交流，是提升國際正面能見度的珍貴機會。這趟行程參訪法國及荷蘭的著名公共建設，也獲得相當多的啟發，當地政府將建築的各項設計融入市民生活，於智慧、環保生態及促進當地經濟發展等各方面都有值得借鏡之處。

近六年桃園工程的改變，不管在循環經濟、韌性城市、智慧城市、永續發展街隨處可見，主要我們把工程會的很多政策、包含政府採購法，都發揮到淋漓盡致，從桃園升格直轄市以來，國內外獎項喜訊連連，也備獲市民好評。市府團隊重視公共建設品質，在設計上，貼近在地環境與文化脈絡，並連結居民情感與生活，結合公民參與、友善環境及以人為本等理念，在追求城市美學的同時，兼顧民眾的需求，提升公共工程的質感、美感、可用性和可及性，再加上金牌施工品質，讓市民感受「無聲改變・有感建設」結合在

地環境或特色文化，體現人與土地的連結，例如榮獲環境類金獎的大有梯田生態公園，聚焦於生態設計原則，團隊從訪問當地耆老起步，循線找回當年的灌溉水源，復刻當年大檜溪聚落的梯田風光，找回人與大自然的關係；北區客家會館於設計上融入客家「埕」、「浪」意象，將客家尊天敬神的風水觀透過現代建築方式轉化，並與戶外綠地結合，充分體現人與土地的關係，彰顯敬天愛地、順應自然的客家在地精神；1895 乙未保台紀念公園串聯在地歷史記憶，緬懷先人保鄉衛土的精神，並以文化傳承為藍圖，發想「乙未之環」融合族群意象，象徵團結與和平，並藉由戰史主題回顧、展示陳列、活動推廣，提升客家文化認同感，改善在地生活環境。

桃園作為六都中最年輕的城市，響應聯合國兒童友善城市理念，將「遊戲城市」作為政策主題之一，更邀請專家與公民團體，成立全台唯一「公園適性發展委員會」，透過公民參與，讓公園改造成各年齡層都能共享的共融式場域。例如以全齡挑戰式遊戲場聞名的大有梯田生態公園，於設計階段即透過參與式工作坊傾聽兒童對公園的想像，落實兒童表意權；埔頂公園、橫山書法公園遊戲場，亦於設計前期即透過參與式預算及工作坊，與市民朋友共同發想，讓不同年齡與身障別的孩童透過遊戲學習共融，亦納入地方民眾意見進行設計、串連空間，營造特色亮點，讓大小朋友玩到不想回家；以低環境衝擊開發（LID）為策略軸心，盡可能降低人造施工對環境的影響，例如大有梯田生態公園善用透水性鋪面、特殊排水系統、生態池及水撲滿形成連續的水域網路，匯聚自然逕流至隱藏在步道下方的4座滯洪沉砂池加以利用，既可蓄養梯田，在夏季種入水稻、冬春休耕時植入花海，維持園區的生態多樣性。另有其他公園依現地條件，採用難度較高的全樹型移植方式盡可能保留原有綠意，使公園完工後

即擁有枝葉繁茂的都會森林。

市府團隊與學術界、產業界共同籌組「桃園市工程循環經濟導入再生再利用粒料應用計畫團隊」，進行許多再生及再利用粒料試辦工程，進而全面推廣使用，於道路鋪面、人行道採用循環材料，將資源重生再利用，落實國家永續發展的目標。市府於升格後，將人行道改善列為施政重點，遵循「行人安全優先」原則，大幅改善道路及人行道環境，如導盲設施增設、桿件遷移、人行斜坡道及鋪面改善、人行道增擴、樹穴改善等等，建構人本交通規劃，曾於內政部營建署109年度「市區道路養護管理暨人行環境無障礙考評計畫」6個評分項目中，獲得「街廓考評」、「道路養護」、「道路平坦度」及「交通工程」4項全國第一。如已完成的中壢銀河水岸、龜山長庚新驛站、中壢高鐵特區、大有特區周邊人行環境改善等計畫皆備獲好評，未來市府也將逐區逐案完成桃園整體人行環境改善，透過更人本、友善、方便的建設，提升市民幸福感。

對各項建設，我們把關施工品質與期程，定期督導，安排查核，層層把關，建立品質控管的SOP。並且開辦桃園金品獎，促進廠商良性競爭，希望藉此提升公共工程團隊素質，讓各項建設成為公共政策實踐典範，改善生活環境。為了提供優質開放空間與遊戲場，我們打造兼具生態教育與冒險遊戲的生態綠洲—大有梯田生態公園，完工後已成為當地熱門打卡景點；為了深化在地藝文特色形塑文化地標，我們興辦全臺首座官方書法主題館—橫山書法藝術館，自開幕以來佳評如潮；另為落實社會住宅政策，讓青年與弱勢族群都能住得起、住得好，我們打造結合社會福利與公共服務的智慧綠建築—中路2號社宅，亦是實踐居住正義的里程碑。



黃治峯秘書長與中興工程顧問公司江琴劍計畫經理及吳純櫻計畫副經理至法國參訪合影

桃園航空城計畫及亞洲矽谷計畫等多項國家級重大建設，而桃園人口至今（111）年6月已逾226萬人，在人口、產業及都市空間發展極大變化下，桃園、中壢及航空城特區三核心發展日趨成形，已具備發展成為都會區的優渥條件與契機，因此於鄭市長上任後，調整規劃了「三心六線」路網，建構「北北桃一小時軌道生活圈」。

三心：桃園—中壢—航空城

六線：（1）捷運機場線、（2）捷運綠線、（3）捷運綠線延伸中壢、（4）捷運棕線、（5）捷運三鶯線延伸八德、（6）桃園鐵路地下化

提問：

桃園市目前軌道建設的目標是「三心六線」，第二期路網還包括了11條輕軌路線。桃園市未來發展軌道建設的路網涵蓋範圍大，建設投資金額也非常龐大。請問市府如此重視桃園市境內的軌道建設主要考量因素？

回應：

近年來桃園陸續推出軌道建設、社會住宅、

透過六線串聯三心，並藉由捷運機場線、捷運棕線及捷運三鶯線連結大臺北都會區，透過軌道運輸大量、快速及便捷的旅運服務特性，提供整體都市再發展的動力，最終將使桃園成為大眾運輸導向的城市。現階段桃園機場捷運通車、捷運綠線及桃園鐵路地下化陸續動工，捷運棕線、捷運綠線延伸中壢及捷運三鶯線延伸八德均已進入綜合規劃階段，爭取今年核定，桃園的三心六線路網正依進度逐步實現中。



圖5 捷運路網規劃示意圖

為提升「三心」周邊次核心間之交通便利性，故自民國 107 年辦理「桃園都會區捷運系統路網評估暨分期發展計畫」（第二階段捷運路網），在第一階段「三心六線」路網架構下，以民國 140 年為規劃目標年，將軌道運輸服務延伸至「三心」周邊次核心區域，經評估劃後設 11 條潛力走廊，並於今（111）年 5 月 6 日獲交通部審議備查。

桃園的改變不是變魔術，而是每一天都在進步，桃園三心六線及第二階段捷運路網的軌道建設發展願景，不僅將解開束限桃園都市發展的障礙與瓶頸，使得「幸福桃園，宜居城市」的願景與意象，更為精彩可期，更加容易實現！

提問：

市府大力推動的鐵路地下化，目前也由鐵道局持續辦理中。桃園鐵路地下化後，桃園及中壢兩個站，未來將成為鐵路及捷運的交會站，願景可期。可否說明市府對於桃園及中壢兩大站的政策目標及規劃願景。推動鐵路地下化及捷運建設最大的困難點，以及面對這樣的困難，市府是如何解決的？

回應：

北北桃屬通勤圈範圍，許多人均仰賴臺鐵通勤，桃園與中壢車站每天進出站運量平均皆可達 5 萬 5 千人次，在臺鐵全線運量排名是第 2 及第 3 名，僅次於臺北車站，足見桃園與中壢車站是非常重要的交通節點。而現況車站老舊、狹小且無障礙設施較不完善，因此可藉臺鐵地下化的契機，重新打造車站，讓車站成為新的地標，形塑桃園市嶄新、進步的國門之都形象。

推動鐵路地下化最大的困難其實是爭取民眾的認同，在前期桃園鐵路高架化階段，當時縣府規劃在高架橋兩側闢建 50 公尺寬的園林大道，造成大量拆遷問題，引發沿線居民強烈抗議，後續

雖然取消園林大道規劃，但高架橋仍緊臨民房，噪音振動汙染恐怕比平面鐵路更加嚴重，因此沿線居民仍持續抗議反對鐵路高架化，工程難以推動，進度甚至落後達 50 個月。

鄭市長上任後，考量鐵路立體化是桃園重要的百年建設，但必須兼顧民意需求，故推動鐵路高架優化改採地下化計畫，路權仍沿用高架化的範圍，但長度增加 2 公里延伸到平鎮，並增設 1 座平鎮車站，並降低總拆遷面積，已盡力減少對民眾的衝擊。今年鐵道局已在辦理主體工程招標作業中，後續用地取得將依協議價購程序以及拆遷補償相關規定給予妥適的處置。

至於工程部分，市府在桃地規劃階段曾面臨工程整合的難題，因民國 104 年啟動可行性研究時，同時機場捷運延伸中壢車站也剛進入土建工程施工階段，與中壢車站交會轉乘的 A23 站原本是基於鐵路高架化時期的設計，並無預留鐵路地下空間。故市府為了減少未來施工界面，避免二次施工節省資源，採取「鐵路在上，捷運在下」的策略，民國 106 年時協調交通部鐵道局同意變更 A23 站設計，將車站結構後退與相關的路線隧道高程調降。

關於車站開發部分，前述願景提到車站將成為新地標，市府藉由鐵路地下化的契機，將桃園、中壢及內壢車站土地透過都市計畫變更為車站專用區，提高土地使用強度，有利臺鐵局整體規劃開發大樓，除了可提供旅客更為完整的商業旅運服務機能。

提問：

平鎮區文化公園地下停車場工程及楊梅區公所新建大樓施工中都曾發生事故，但市府處理迅速明快，並無造成工期大幅延宕，請問從原因調查、經費工期變更等環節，市府工務處處理秉持之原則與理念為何？

回應：

民國 109 年 4 月 30 日平鎮文化公園地下停車場工程發生樓板坍塌事故當日，親赴現場坐鎮指揮，在現地做緊急應變處置，包括針對周邊道路及房屋加密安全監測、公園滯洪池底部灌漿避免隆起、裸露坡面覆蓋帆布、未坍塌區土方運離工區及架設型鋼內支撐等現場防災作為，以穩定現場避免災害擴大，並立即於 5 月 25 日啟動緊急搶救工程，進行現場坍塌區之臨時支撐及土方移除，於 7 月完成臨時支撐，地錨，對整個工地完成地盤防護。

至於楊梅區公所行政大樓暨停車場興建工程，於發現結構體有上浮跡象後，立即召集專家學者辦理現場勘查及連續召開緊急狀況研討會議，提出短期臨時處置措施（包含緊急抽水及樓板以砂包壓重回正）及中長期永久抗浮措施（包含抗浮地錨施作、取消部分停車位灌漿壓重、筏基層灌漿及設置永久抽水井及觀測系統）進行評估研討，於一個月內使結構上浮情形回正穩定，並使現場得以復工。

綜合上述事件，我們在工安第一的前提下，釐清事故原因、確保後續施工安全無虞，於災害或問題發生後立即執行研擬補強及後續處理方案，展現市府積極態度，並請施工廠商提出影響條件、提出合理之工期展延，以及配合經費補助單位，申請變更增加經費之預算來源。

在工程發生問題時，市府一定先出面，以主動積極的態度，來解決問題，之後再來談責任追究；平鎮區文化公園地下停車場工程及楊梅區公所新建大樓工程就是在這樣的理念下做了明快的處理，使得兩件工程得以在最短的時間排除困難，讓工程得以繼續進行。

提問：

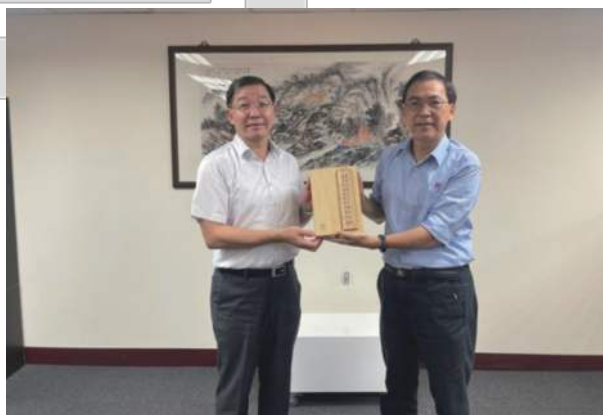
中興工程顧問公司（以下簡稱中興公司）目

前從事桃園市政建設工程，如捷運綠線、航空城、中壢及航空城公宅、桃園會展中心、桃園鐵路地下化等工程之專案管理及規劃設計監造等，請問市府對中興工程集團在技術服務的期許與建議？

回應：

市府辦理多項重大建設，囿於經費及人力，經常需要仰賴工程顧問公司於各方面進行協助。中興公司於本府多項重大建設之規劃設計與施工監造上，皆扮演重要的角色，市府團隊期待能與中興公司一起成長、合作無間。

在工程基本和細部設計上，建議可考量工程規模大小及桃園之特性，將「智慧城市」、「運動城市」、「低碳永續城市」的理念融入藍圖，透過重塑千塘之鄉，以提升本市防災韌性；此外，可藉由使用循環及再生材料，來落實循環經濟的理念。此外，為減少施工意外的發生，在設計初始階段即應仔細分析潛在的施工危險，編製出符合職業安全衛生法規之安全衛生圖說及規範，並量化編列安全衛生費用，以落實勞工安全衛生政策。



黃治峯秘書長與中興工程顧問公司黃崇仁執行副總經理合影

在工程監造部分，中興公司在設計及施工之間扮演著樞紐的角色，代替業主監督廠商完整落實設計圖說，其應透徹了解全案各工項並掌握重

點脈絡後，才可要求施工廠商依契約履行施工責任，協助業主檢視設計單位未盡之事宜。並逐步依監造計畫核實監督、查證廠商履約；依監造計畫審查施工廠商之施工計畫、品質計畫、預定進度、施工圖、器材樣品等，引導桃園市工程往安全施工、順利完工與開創優良建設的目標前進。

中興公司一直是市府重大建設的專業顧問團隊，也是工作上的好夥伴。無論在設計上或監造

方面，中興公司皆曾獲得行政院公共工程委員會金質獎的肯定，因此在施工品質、施工安全或是自然生態的永續經營都做得非常到位，市府亦期望並勉勵中興工程團隊努力不懈，秉持小心謹慎的態度，共同打造全國最安全優良的宜居城市。感謝中興公司這些年的支持，也期盼中興公司能提供更多資源與桃園市府合作，一起為桃園建設打拼。

黃治峯秘書長簡歷



學歷：

國立中央大學土木工程學系研究所 博士

經歷：

桃園市政府副秘書長

桃園市政府工務局局長

臺北市政府工務局副局長

臺北市政府工務局新建工程處處長

臺北市政府工務局水利工程處處長

榮譽：

民國 111 年桃園市政府模範公務人員

民國 110 年國家卓越建設獎—國土建設特別貢獻獎

民國 109 年銓敘部公務人員傑出貢獻團體獎

民國 109 年中原大學傑出校友

民國 108 年行政院公共工程委員會公共工程專業獎章

民國 105 年中國工程師學會傑出工程師獎

民國 101 年經濟部水利署全國水利傑出貢獻獎

民國 100 年國立中央大學傑出土木系友

Pleiades 衛星影像立體對交會角對 都會區數值地表模型精度之影響

林恩楷* 邵國士** 張玉舜***

摘 要

在利用衛星影像立體對產製數值地表模型（DSM）的過程中，有諸多因素影響著 DSM 品質，其中一項為表示立體對交會幾何的交會角。本研究使用三組不同交會角（10°、15°、25°）的 Pleiades 同軌三相衛星影像立體對，以臺北市都會區為研究區，探討不同交會角對產製都會區 DSM 之影響。成果顯示使用三組交會角各別產製的 DSM 之中，10° 交會角衛星影像立體對產製之 DSM 在都會區可呈現較分明的街廓、高樓匹配效果佳，建物高度精度亦為三者中最佳，較適合作為都會區地形資料之用，此研究成果亦已實際應用於都會區大範圍地形資料及建物模型產製。

關鍵字：衛星影像、立體對、DSM、交會角

一、前 言

近年遙測產業快速發展，遙測衛星日漸普及，自 1972 年美國太空總署（NASA）發射的 Landsat 系列衛星開始，IKONOS、QuickBird、FORMOSAT 系列、SPOT 系列、ALOS 系列、Sentinel 系列、WorldView 系列、Pleiades 系列、PlanetScope 系列、RapidEye 系列、SkySat 系列…等各式遙測衛星接續升空。衛星數量增加的同時，商用光學衛星影像解析度亦逐漸從數十公尺等級，進步到目前的 30 公分（如 WorldView-3、WorldView-4、Pleiades Neo）。而影像解析度的提升，使得衛星影像立體對產製之 DSM 能更為

細緻，品質也愈接近精度高一級之高重疊率航照密匹配 DSM（以下簡稱航照 DSM）或空載 LiDAR 產製之 DSM。

相較於用高重疊率航照密匹配或空載 LiDAR 產製大範圍 DSM，使用衛星影像立體對可較節省影像拍攝成本，且衛星再訪週期短、不受國界和各國航拍法規限制之優勢，是相當有潛力且實務上可行之選擇；國內外亦不乏使用衛星影像立體對產製地形資料之案例，如 FORMOSAT-2（張國禎，2005；張智安等，2007）、IKONOS（Toutin，2004；饒見有等，2009）、WorldView-2（Aguilar 等，2014）、Pleiades（Poli 等，2013；Perko 等，2014；Eisank 等，2015；Jacobsen 等，2015；

* 中興工程顧問社防災科技研究中心正研究員

** 中興工程顧問社防災科技研究中心天災風險分析組組長

*** 中興工程顧問社防災科技研究中心主任

Panagiotakis 等，2018）、SkySat（D'Angelo 等，2021；Bhushan，2021）。

影響衛星影像立體對產製 DSM 的因素很多，如衛星軌道與姿態之穩定度及精密度、地面控制點、影像匹配方式、地形及坡度坡向、陰影（Toutin，2004）、立體對之交會幾何…等，其中代表立體對之交會幾何的參考指標為基線航高比（Base-to-Height Ratio），或是立體對間之交會角，如圖 1 所示。

然而有關基線航高比 / 交會角之探討，相較於其他立體對產製 DSM 之研究課題，卻較為罕見。Poli 等（2013）使用了 Pleiades 同軌三相衛星影像立體對產製 DSM，分別使用了交會角 25°、30° 之立體對，但卻沒有使用交會角 5° 之立體對，亦沒有明確指出那個交會角之 DSM 高程精度較佳；Jacobsen 等（2015）亦曾使用 Pleiades 同軌三相衛星影像立體對產製 DSM，其兩兩交會角分別是 6.3°、6.5°、12.6°，與地真資料（裸露地表）相比，三者高程精度相當，交會角 12.6° 之 DSM 高程精度僅以些微差距略優於交會角 6.3° 與 6.5° 之 DSM，文中同時並指出在森林區，交會角 6.3° 與 6.5° 之 DSM 較交會角 12.6° 之 DSM 不會產生空隙，但對都會區建築物高度沒有進一步著墨。

鑒於缺乏直接針對 Pleiades 衛星影像立體對交會角對都會區 DSM 產製影響之研究，且後續需採購大量衛星影像產製大範圍 DSM，如何以經濟、有效的拍攝方式（特別是交會角）採購衛星影像立體對以產製高品質 DSM，為本研究之重要課題。因此，本研究以臺北市都會區為研究區，使用三組不同交會角的 Pleiades 同軌三相衛星影像立體對，探討不同交會角對產製都會區 DSM 之影響，成果將作為日後大量採購衛星影像立體對及跨國界產製 DSM 之參考。

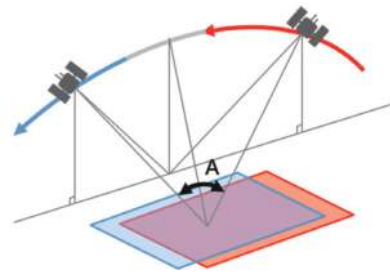


圖 1 （同軌）立體對間之交會角 A

二、研究方法概述

本研究主要素材為 2017 年拍攝之 Pleiades 三相立體對衛星影像，並利用不同交會角之 Pleiades 衛星影像立體對產製之 DSM，與航照 DSM（地真資料）進行比較分析，以了解不同交會角對產製都會區 DSM 之影響。

（一）研究區概述

研究區為臺北市都會區，位置如圖 2 中之藍色多邊形所示，其面積為 8.8 平方公里，主要涵蓋臺北市中山區、松山區、大安區、信義區，範圍內包含各式建物（新、舊、高、低、疏、密）、街道（寬、窄）…等多樣典型都會樣態。此研究區同時為航照 DSM（地真資料，10 公分解析度）涵蓋範圍，此航照 DSM 是使用 Acute3D 軟體搭配 2016 年拍攝之高重疊率 10 公分解析度航照及地面控制點進行密匹配產製而成，如圖 3 所示。分布在圖 2 研究區內之紅色多邊形為 125 筆 1/1000 地形圖建物輪廓，該建物輪廓涵蓋之建物包含高樓及低樓，將套疊在衛星影像立體對 DSM 及航照 DSM 上用於萃取高程。此外，在研究區內外，共量測 11 個均勻分布之地面控制點（黃色三角形）供衛星影像立體對空三組模使用。



圖 2 研究區



圖 3 航照 DSM (地真資料, 面積 8.8 平方公里)

(二) Pleiades 衛星影像

本研究使用之 Pleiades 衛星影像立體對為 2017 年拍攝之 0.5 公尺解析度全色態銳化 (Pan-Sharpener) 多光譜影像, 包含 R、G、B、NIR 波段。為探討不同交會角之影響, 以及盡量減少天候、時間差干擾, 使用之影像是以同軌三相立體對 (Tri-Stereo) 方式拍攝, 如表 1、圖 4 所示, 並兩兩組成具有不同交會角之立體對, 如表 2 所示, 本研究將有 3 組立體對, 其交會角分別為 10°、15°、25°。因三相立體對為同軌拍攝, 故三張影像拍攝時間間隔僅數十秒, 如表 1 所示, 因

此拍攝時之天候狀態可視為相同, 基本上可排除天候差異變因對 DSM 產製之干擾, 亦可排除地物變遷對產製 DSM 之干擾 (移動物體除外, 如行駛中車輛)。

表 1 使用之三相衛星影像立體對

影像	拍攝時間	入射角	
		Across	Along
001	2017-04-03-02:47:22	-14.7°	-14.1°
002	2017-04-03-02:47:39	-16.9°	-4.2°
003	2017-04-03-02:48:04	-20.1°	10.6°



001



002



003

圖 4 不同角度拍攝之三相衛星影像立體對 (市府轉運站附近)

表 2 立體對之交會角

衛星影像立體對	交會角
001-002	10°
002-003	15°
001-003	25°

(三) DSM 產製

本研究產製 DSM 之流程如圖 5 所示。首先使用 2 張衛星影像搭配地面控制點進行空三組模，再進行影像匹配產製三維點雲，最後將三維點雲內插成為網格式 (Raster) 之 DSM。

地面控制點方面，採用公分等級高精度 VBS-RTK 測量可在 0.5 公尺解析度衛星影像上辨識之地面明顯特徵而得，如圖 6 所示，研究區內共測得 11 個地面控制點供空三組模使用，其分布如圖 2 所示。

為求慎重客觀，本研究選用 2 款 DSM 產製軟體 (以下稱軟體 A 及 B) 分別產製 DSM，以免單一軟體之成果過為偏頗。

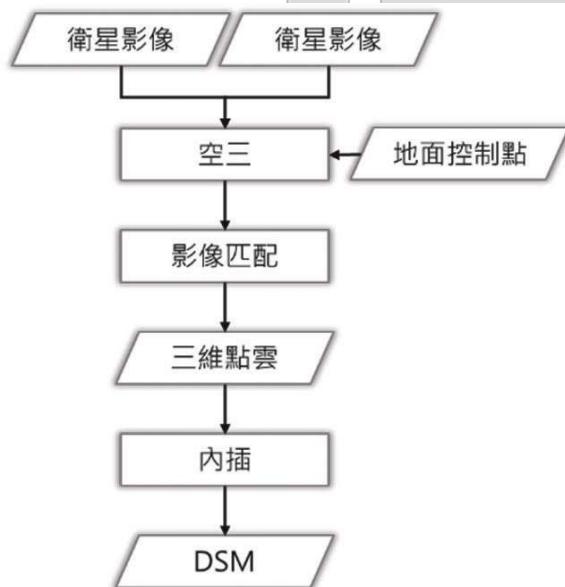


圖 5 DSM 產製流程



圖 6 地面控制點測量

三、DSM 高程精度檢核

分別由軟體 A、B 產製之 DSM 如圖 7~圖 12 所示，其涵蓋範圍為圖 2 中的藍色多邊形區域，面積為 8.8 平方公里。

綜觀局部放大之衛星影像及各組 DSM 成果可知，如圖 13~圖 20 之黃圈處所示，軟體 A 交會角 10° 之 DSM 街廓較為分明，15° 次之，25° 最為模糊；軟體 B 產製之 DSM 亦呈現相同趨勢。而圖中紅圈處之高樓，軟體 A 交會角 10°、15° 之 DSM 有呈現高樓樣態，而 25° 之 DSM 大多未呈現；軟體 B 交會角 10° 之 DSM 高樓樣態成果優於 15°，25° 為最差。



圖 7 軟體 A 產製之 DSM (10°)



圖 8 軟體 A 產製之 DSM (15°)



圖 11 軟體 B 產製之 DSM (15°)



圖 9 軟體 A 產製之 DSM (25°)



圖 12 軟體 B 產製之 DSM (25°)



圖 10 軟體 B 產製之 DSM (10°)



圖 13 衛星影像 (臺北市仁愛路圓環附近)



圖 14 航照 DSM (地真資料, 局部)

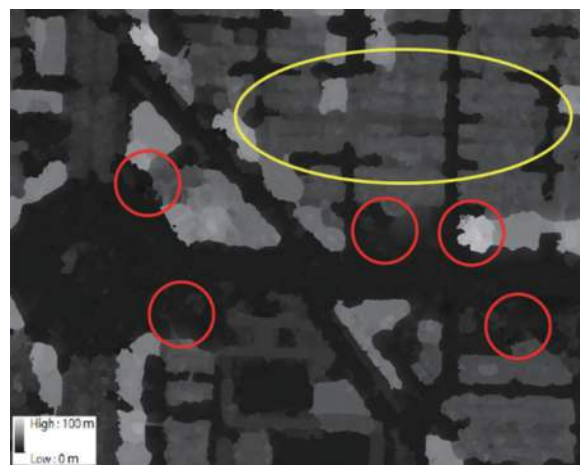


圖 17 軟體 A 產製之 DSM (25°, 局部)

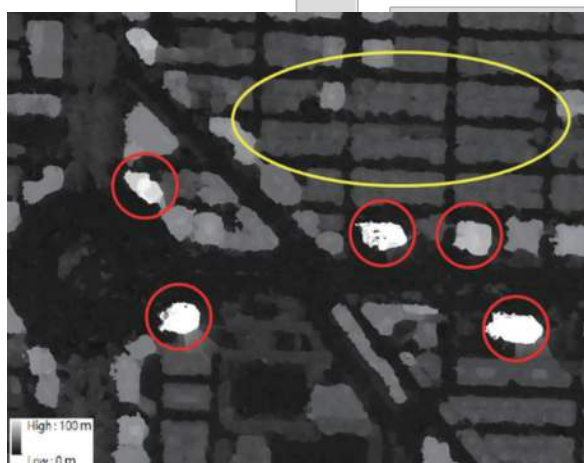


圖 15 軟體 A 產製之 DSM (10°, 局部)

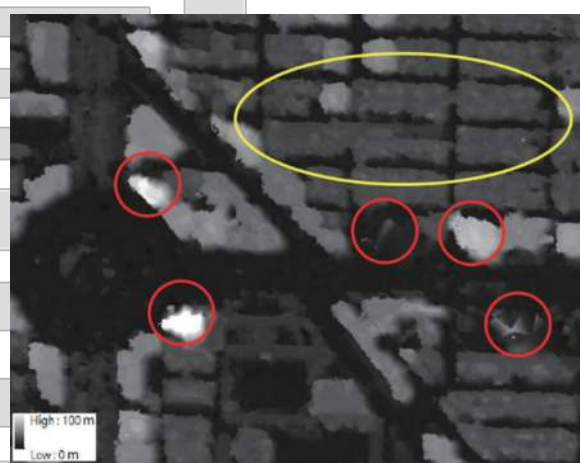


圖 18 軟體 B 產製之 DSM (10°, 局部)

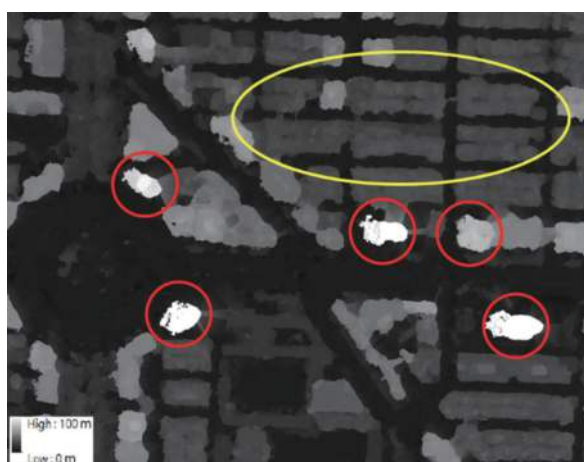


圖 16 軟體 A 產製之 DSM (15°, 局部)

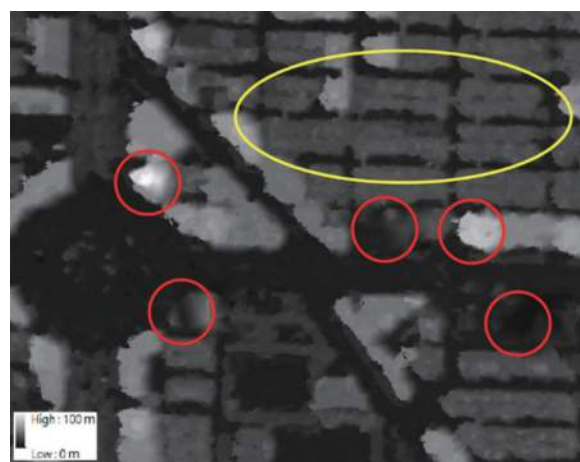


圖 19 軟體 B 產製之 DSM (15°, 局部)



圖 20 軟體 B 產製之 DSM (25°, 局部)

除了上述觀察，為配合後續之都會區大範圍建物模型產製，是以建物輪廓為單位進行建物高度檢核，故本研究挑選 125 筆 1/1000 地形圖建物輪廓，其中包含高樓及低樓，將其套疊在衛星影像立體對 DSM 及航照 DSM 上來萃取面狀平均高程進行量化比較。125 筆建物輪廓位置分布如圖 2 所示，其面積及高度（萃取自航照 DSM）分布如圖 21、圖 22 所示。

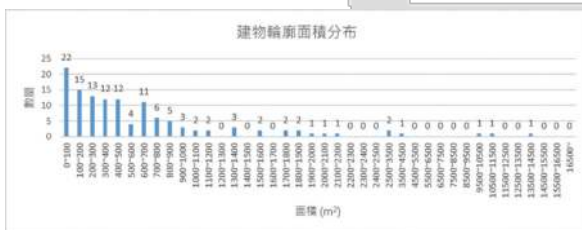


圖 21 建物輪廓面積分布

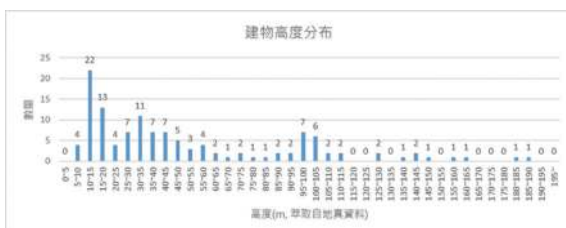


圖 22 建物高度分布

比較成果如圖 23、圖 24 所示，圖中橫軸為萃取自航照 DSM 之建物高度，縱軸為萃取自衛星影像 DSM 之建物高度，如點位愈近圖中斜率 1:1 之灰色斜線，表示該資料點（該筆建物輪廓）萃取自衛星影像 DSM 之建物高度愈接近地真資料，代表該 DSM 品質、精度愈佳。整體而言，軟體 A 交會角 10° 表現略優於 15°，而 25° 為最差，且呈現多筆高度明顯不足之資料點；軟體 B 交會角 10° 表現最佳，15° 次之，25° 最差。

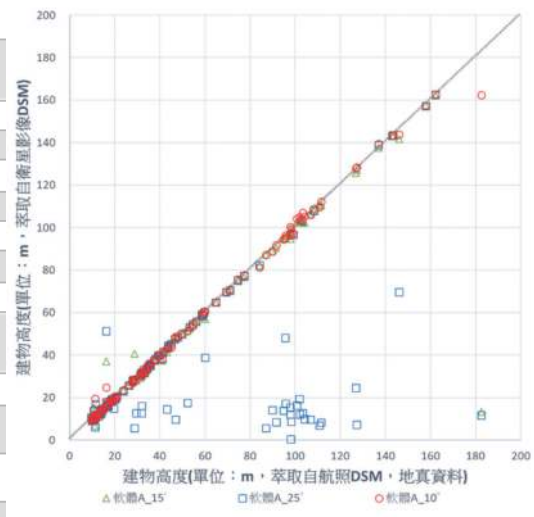


圖 23 建物高度比較 (軟體 A)

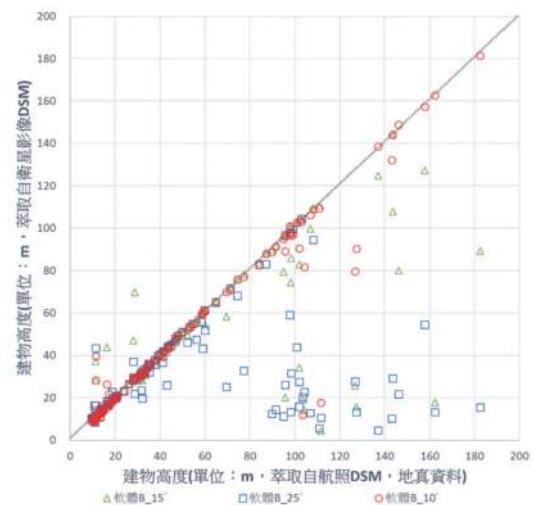


圖 24 建物高度比較 (軟體 B)

另由表 3 顯示之 125 筆建物輪廓之衛星影像 DSM 高度與航照 DSM 高度絕對較差可知，軟體 A 交會角 10° 在絕對較差小於 1 公尺、2 公尺、3 公尺的數量比例分別為 73.6%、88.0%、92.8%，整體上略優於交會角 15° 的 65.6%、90.4%、92.0%，而交會角 25° 的表現最差，僅 60.0%、69.6%、72.0%。軟體 B 交會角 10° 在絕對較差小於 1 公尺、2 公尺、3 公尺的數量比例分別為 63.2%、84.0%、88.0%，優於交會角 15° 的 52.0%、74.4%、77.6%，而交會角 25° 的表現最差，僅 51.2%、59.2%、64.0%。

從高程精度分析可知，軟體 A 及 B 所產製之都會區 DSM，皆為交會角 10° 表現最佳，15° 次之，25° 最差。

表 3 125 筆建物高度絕對較差

軟體及立體 對交會角		建物高度絕對較差 Abs (dH)		
		< 1m	< 2m	< 3m
軟體 A	10°	92 / 125 (73.6%)	110 / 125 (88.0%)	116 / 125 (92.8%)
	15°	82 / 125 (65.6%)	113 / 125 (90.4%)	115 / 125 (92.0%)
	25°	75 / 125 (60.0%)	87 / 125 (69.6%)	90 / 125 (72.0%)
軟體 B	10°	79 / 125 (63.2%)	105 / 125 (84.0%)	110 / 125 (88.0%)
	15°	65 / 125 (52.0%)	93 / 125 (74.4%)	97 / 125 (77.6%)
	25°	64 / 125 (51.2%)	74 / 125 (59.2%)	80 / 125 (64.0%)

四、結論與建議

本研究以臺北市都會區為研究區，使用三組不同交會角（10°、15°、25°）的 Pleiades 衛星影像立體對產製 DSM，以探討不同交會角對產製都會區 DSM 之影響，經與航照 DSM（地真資料）比較分析後之結論與建議如下。

（一）就本研究交會角 10°、15°、25° 之 DSM 而言，小交會角之 DSM 在都會區可呈現較分明的街廓，高樓匹配效果也較佳，較不會出現高樓消失的狀況。推測此現象之成因，為小交會角立體對較有可能兩張影像都拍攝到狹窄街道路面進行影像匹配，因此街廓較為分明；大交會角立體對可能兩張影像都沒拍攝到狹窄街道路面、或只有一張拍攝到，因而無法進行影像匹配，進而造成街廓較為模糊的現象。高樓方面，小交會角立體對之高樓高差位移差異較小，相似度較高，有利於影像匹配，大交會角立體對則反之，也因此造成高樓消失的現象。

（二）與地真資料比較分析可得知，軟體 A 及 B 所產製之都會區 DSM 高程精度，皆為交會角 10° 表現最佳，15° 次之，25° 最差。但軟體 A 之交會角 10° 高程精度僅以些微差距略優於 15°，差異並不大。

（三）但值得一提的是，此本研究結論並非直接論定立體對交會角愈小，產製之 DSM 就愈好。就理論而言，高程誤差與交會角（或基線航高比）成反比，小交會角會造成影像匹配產製之三維點雲高程誤差較大，但小交會角立體對間相似度較高、可視域可能較多（如第 1 點提的狹窄街道路面），有利影像匹配得到較多的點雲，內插成為網格式 DSM 後，都會區街廓顯得分明，高樓也較能呈現。大交會角則反之，雖然影像匹配產製之三維點雲高程精度較高，但因大交會角立體對間相似度較低、遮蔽區可能較多，局部地區影像匹配產出之三維點雲數量反而少，內插成為網格式 DSM 後卻顯得模糊且高樓較容易消失。

（四）就本研究三組交會角（10°、15°、25°）測

試成果而言，交會角 10° 之立體對，較能產製品質較佳之都會區 DSM，至於小於 10° 交會角之立體對能否產製更好之 DSM 仍待定論。

- (五) 此研究成果已實際應用於都會區（雅加達、曼谷、馬尼拉、永珍、胡志明市、金邊）大範圍地形資料及建物模型產製相關計畫，如圖 25、圖 26 所示，成效良好且與研究成果趨勢相符。



圖 25 雅加達 DSM

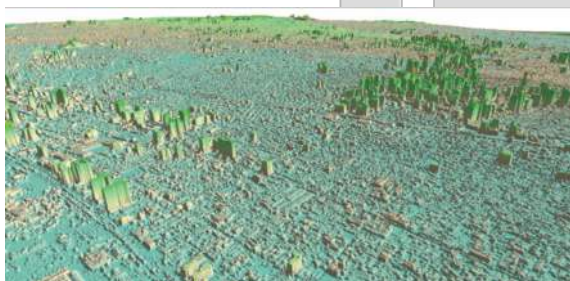


圖 26 馬尼拉 DSM

謝 誌

本研究特別感謝新加坡南洋理工大學潘則建院長、羅逸文教授，在研究過程中之指導與建議；感謝群立科技股份有限公司在研究期間提供測試影像；感謝國立成功大學饒見有教授、國立政治大學林士淵教授及俄亥俄州立大學秦榮君教授技術支援，在此一併申謝。

參考文獻

- Aguilar, M.A., Saldana, M., Aguilar, F. (2014). Generation and Quality Assessment of Stereo-Extracted DSM from GeoEye-1 and WorldView-2 Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 52. 1259-1271. 10.1109/TGRS.2013.2249521.
- Bhushan, S., Shean, D., Alexandrov, O., Henderson, S. (2021). Automated Digital Elevation Model (DEM) Generation from Very-High-Resolution Planet SkySat Triplet Stereo and Video Imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 173, 2021, Pages 151-165.
- D'Angelo, P., Reinartz, P., (2021). Digital Elevation Models From Stereo, Video and Multi-View Imagery Captured by Small Satellites, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2-2021 XXIV ISPRS Congress (2021 edition).
- Eisank, C., Rieg, L., Klug, C., Kleindienst, H., Sailer, R. (2015). Semi-Global Matching of Pleiades Tri-Stereo Imagery to Generate Detailed Digital Topography for High-Alpine Regions. *GI Forum*. 1. 168-177. 10.1553/giscience2015s168.
- Jacobsen, K., Topanb, H. (2015). Dem Generation With Short Base Length Pleiades Triplet, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-3/W2, 2015.
- Panagiotakis, E., Chrysoulakis, N., Charalampopoulou, V., and Poursanidis, D. (2018). Validation of Pleiades Tri-Stereo DSM in Urban Areas, *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7.3: pp.118.
- Perko, R., Raggam, H., Gutjahr, K., and Schardt, M. (2014). Assessment of the Mapping Potential of Pleiades Stereo and Triplet Data, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-3, 2014 ISPRS Technical Commission III Symposium, 5–7 September 2014, Zurich, Switzerland.
- Poli, D., Remondino, F., Angiuli, E., Agugiaro, G. (2013). Evaluation of Pleiades-1a Triplet on Trento Testfield, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-1/W1, *ISPRS Hannover Workshop 2013*, 21 – 24 May 2013, Hannover, Germany.

Toutin, T. (2004). DTM Generation from IKONOS In-Track Stereo Images Using a 3D Physical Model, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 70, No. 6, June 2004, pp. 695-702.

張國禎(2005)，利用福衛二號立體影像對生產 DSM 之精度探討，第三屆數位地球研討會，臺北。

張智安、郭怡伶(2007)，半全域匹配法於福衛二號立體影像之數值地表模型重建，航測及遙測學刊，第22卷，第3期，第181-191頁。

饒見有、陳良健(2009)，利用 IKONOS 立體影像進行數值地表模型重建之研究，航測及遙測學刊，第10卷，第3期，第265-274頁。

財團法人中興工程顧問社歷年之研發成果，已開發下列程式，若有需要，歡迎洽購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467 陳小姐

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

網址：http://www.sinotech.org.tw

序號	程式名稱	版次
1	泛用型非線性靜動態平面結構分析程式	V1.0
2	深開挖土層參數回饋分析 (DEXC-OPT) 深開挖土層參數回饋分析 (RUIP)	V1.0
3	進出港操船模擬分析程式	V1.0
4	預力混凝土中空矩形斷面橋墩重力應變關係分析程式	V1.0
5	單目標多座水庫系統運轉程式 (ORES)	V1.0
6	區域流量延時曲線分析程式	V1.0
7	台灣地區水庫資訊系統	V1.0
8	台灣電子地圖網站	V1.0
9	岩盤隧道施工資料自動化處理	V1.0
10	預力預鑄混凝土橋柱分析	V1.0
11	非線性混凝土結構分析系統	V1.0
12	加長型單肋板補強梁柱接頭設計輔助程式	V1.0
13	區域水資源系統即時操作模式建立	V1.0
14	結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式	V2.0
15	混凝土非破壞檢測儀 (Sino-NDT-IE) 之改良	V1.0
16	SinoPad 中興現地調查系統	V1.0
17	隧道支撐設計整合系統	V1.0
18★	二維泛用地表水分析軟體 (註)	V2.5
19	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法研究	V1.0
20	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (一)	V1.0
21	RFID 設施巡檢系統、RFID 設備盤點系統、RFID 主動式監測系統	V1.0
22	隧道 (1) 輪進資料、(2) 地質 資料、(3) 監測資料等處理系統及 (4) 隧道施工資料查詢系統	V2.0
23	沖刷監測預警裝置開發	V1.0

(註)：序號 18★之程式現階段僅開放政府機關申購。

工程用地取得經驗分享 ——以桃園捷運綠線為例

游明進* 薛玉珠* 陳育甄* 高偉倉* 游子儀* 林坤霖** 陳文德***

摘 要

政府部門推動公共建設，難以避免的常必須取得私有土地，以利進行工程施工及營運。土地所有權人得知土地將被政府取得使用時，常因時程緊迫且生活遭受突發影響而內心惶惶不安；反之，需地機關則需在一定期間內，完備用地取得所需辦理之公聽會、地上物查估、市價查估及協議價購等相關程序，將開發資訊傳達予所有權人周知，在雙方均有限的時間壓力下，如何充分妥善說明、溝通與釋疑，並爭取民眾支持，常使得政府機關陷入兩難僵局，且私地主對資訊或相關程序的不了解，極易造成誤解而引發民怨或抗爭，如何應對化解爭端更是一門值得學習的功課；同時，近年來民眾對於私有財產權保障意識高漲，致土地取得日益艱難，連帶的影響公共建設之推進效率。

歷年來，我國公共建設的用地取得作業均由公部門執行，然因近年來陳抗事件頻傳，關心私有財產權保障等意識逐年高漲的氛圍下，我國政府已順應民意，大幅度調整用地取得相關法令，加強對私有財產權的保障與取得程序等嚴謹規定，在政府現有人力難以負荷的情形下，乃將用地取得作業委託專業顧問機構辦理；桃園市政府捷運工程局為辦理「桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線（綠線）建設計畫」（以下簡稱：桃捷綠線），乃首度將用地取得與土地開發作業委由本團隊執行。

本團隊在用地規劃、開發與取得等方面已累積多年實務經驗，辦理桃捷綠線之用地取得與土地開發作業期間，更結合學理與實務特性等多面向考量，研採在地化、可行的彈性策略，促成公私合作等協議，順利圓滿的達成任務。本文將透過實例，回顧從規劃、協調、協議取得等過程中，專業人員「面對面」的與民眾溝通與服務，如何化解民眾疑慮及阻力的經驗進行分享與反思，供未來相關作業參考。

關鍵字：用地取得、協議及合作開發、徵收

一、前 言

近年來桃園在人口、產業、工商發展等面向均有相當大的進步，為解決整體交通運輸瓶頸，

桃園市政府力推「桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線（綠線）建設計畫（以下簡稱：桃捷綠線）」，與臺鐵、機場捷運線銜接轉乘，串聯航空城與桃園市中心地區，期可均衡區域發展，紓

* 中興工程顧問公司桃捷綠線專管暨監造專案用地組

** 中興工程顧問公司桃捷綠線專管暨監造專案副督導

*** 桃園市政府捷運工程局局長

解交通壅塞問題，並整合都市計畫、相關產業與交通網絡，帶動捷運沿線都市發展，改善都市環境；同時考量地區特性，整合交通、經濟、市區發展、環保節能及營運管理等面向需求，以達到永續發展之目標；桃園都會區大眾捷運系統路網規劃（如圖1）。



圖1 桃園都會區大眾捷運系統路網示意圖

桃捷綠線是桃園市政府捷運工程局（以下簡稱：桃捷局）推動桃園都會區大眾捷運系統路網「三心六線」之首要建設，路線由八德區建德路、興豐路口之G01站往北，經介壽路，穿越桃園火車站下方後，續沿桃園區中正路直行到達蘆竹區三民路二段與坑菓路之G31站後，路線往東轉進坑菓路至G32站與機場捷運線A11坑口站銜接轉乘。另自G14站後向西轉經G15～G18站，銜接轉乘機場捷運線A16橫山站（如圖2）。路線全長約27.8公里，其中地下段約12.5公里，設有10座車站，高架段約15.3公里，設有11座車站，合計設置21座車站及1處機廠，並於其中6處車站出入口規劃土開基地。

捷運建設的推動，從定線、場站規劃、用地

變更、取得、進場施工，再到通車營運，每一個階段都很重要。其中，用地取得往往是最急迫且壓力沉重的前端工作，用地是否能順利如期取得，攸關捷運建設工程推動與達成通車營運目標之關鍵要項。



圖2 桃捷綠線路線示意圖

桃捷綠線用地取得作業自民國107年7月需地範圍確認後啟動，共計需取得路線、車站及出入口、機廠等捷運相關設施用地，面積共約62公頃；除依大眾捷運法、土地徵收條例等規定辦理用地取得作業外，考量捷運路線段採高架或潛盾型態、出入口或土開基地位置利用與權屬現況及機廠大面積用地取得主要癥結點等因素，分別採取因地制宜的調整或協商手法，以陸續克服相關用地取得任務；主要且足供我輩深思、優化的彈

性策略臚列如后供後續作業參考，俾提升用地取得時效性，並建立政府機關與私部門間的互信基礎；本文將依序分別就「現行法令」、「協商策略」及「規劃優化」等面向，整理所得所見供參酌。

二、現行用地取得法令

我國土地依權屬劃分為「公有土地」及「私有土地」兩大類，用地取得適用之法令規定與程序各有不同。公有土地主要依「國有財產法」、各直轄市、縣（市）政府公產法規及「各級政府機關互相撥用公有不動產之有償與無償劃分原則」等規定辦理撥用，或以其他方式協調取得（如同意使用等）；私有土地之取得，主要依「都市計畫法」、「區域計畫法」、「土地徵收條例」、「土地法」及「平均地權條例」等規定依據實際情形辦理用地取得作業，捷運系統建設需另依「大眾捷運法」等相關規定辦理。有鑑於私有土地之取得涉及國人私有財產權益，相關規定須慎重遵循，取得作業較耗費時日，為捷運建設用地取得要徑，故本文僅針對「私有地」取得經驗進行分享。

私有土地取得需考量的因素複雜、且程序日趨嚴謹，除了前述一般法令規定外，視其所處土地法定使用內容（都市土地、非都市土地）、有無地上建築物等樣態而異；其中，都市土地須俟「都市計畫變更」案發布實施後，方能辦理用地取得；非都市土地倘面積達一定規模（如捷運機廠面積大於2公頃），則須取得「開發許可」後，方能提報徵收作業。

目前桃捷綠線私有地取得方式包含協議價購、設定地上權、註記、徵收所有權（地上權）、徵用、及民眾無償提供使用等方式。主要程序（如圖3）。

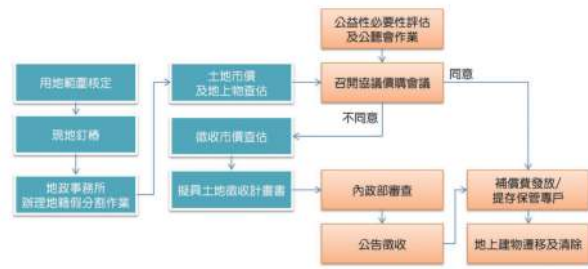


圖3 私有土地取得程序

三、因地制宜的協商策略

桃捷綠線私有地之取得主要依據「土地徵收條例」及「大眾捷運法」等相關規定與程序辦理，在既有的法制條件下，以「將心比心」的心情，竭誠向民眾說明、溝通，讓地主充分掌握相關資訊，期可以損害較小的方式達成「協議」，並縮短用地取得時程，減少抗爭可能。

（一）誠勤溝通、策略彈性

捷運綜合規劃時期，已盡量以使用公有地為優先，但仍難以避免需使用私有地情形，雖用地取得均有法可依、有據可循，惟私地取得過程中，如何能讓私地主心甘情願的與政府協議是最為困難及值得思考的癥結。

除法定的公聽會及協議價購會議外，仍可藉由不定時地親訪地主與其洽談協議，讓地主更了解工程所帶來的可能影響、未來可能產生的效益，以及徵收對其權益的損害與確保等，基於立場及角色差異產生思維落差，如何讓雙方最終能趨向協議，求同存異的解方即為首要課題。

以桃捷綠線 G12 車站出入口為例，屬捷運出入口永久性設施，本用地位於都市計畫農業區範圍內，桃園市政府雖計畫推動「變更南坎地區都市計畫（配合桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線【綠線】G12、G13、G13a 車站周邊土地開發計畫）案」，但辦理時程無法配合捷運建設所

需，故桃捷局乃先行辦理都市計畫個案變更，將其用地變更為捷運系統用地以取得「所有權」；本案協議取得所有權過程中，地主曾表達不滿指稱其土地已歷經政府第三次徵收，其權益一再受損，期望能保留所有權以參加未來區段徵收分配土地，幾經協商，桃捷局酌採民眾建議，並研議相關可行性後，提出在不影響捷運施工前題下，若民眾願意以「設定地上權」無償或領取權利金方式先行將土地提供捷運施工使用，市府可保留其所有權以參加未來區段徵收，其中，採領取權利金方式提供者，後續需將已領取之權利金繳回或扣除其已領權利金之殘餘價值後，再參加區段徵收。桃捷局提出此方案與民眾說明協商後，同意比例從原先全數不同意提升至過半地主願採此方案與桃捷局協議，可見考量地主意願的彈性協議機制有助於公私合作的具體落實。

（二）整合鄰近計畫、提供駐地服務

桃捷綠線位於 G14~G32 站路線段及 G32 車站及出入口的非都市土地，與航空城計畫第一期區段徵收案範圍重疊，桃園市政府地政局（以下簡稱：地政局）原已排定民國 108 年 7 月起，展開航空城一期區徵協議價購作業程序，與桃捷綠線協議價購作業時間重疊，為避免影響地主參與區段徵收權利，減省繁瑣行政作業並兼顧桃捷綠線建設推動時程，本案於協議價購會前先召開「民眾說明會」，讓民眾瞭解以保留區段徵收方式先行提供桃捷綠線工程使用，並不會損及其參與區段徵收配地權益，亦可及早蒐集民眾訴求，於正式協議價購時逐項回應民眾疑慮，期可順利達成協議。

本案於協議價購階段，地主對於協議市價多表示不滿意，且對於先行提供捷運使用，桃捷局未能給付租金或使用費、是否能保留航空城安置住宅的資格等均表達建議。經與地政局協調後達

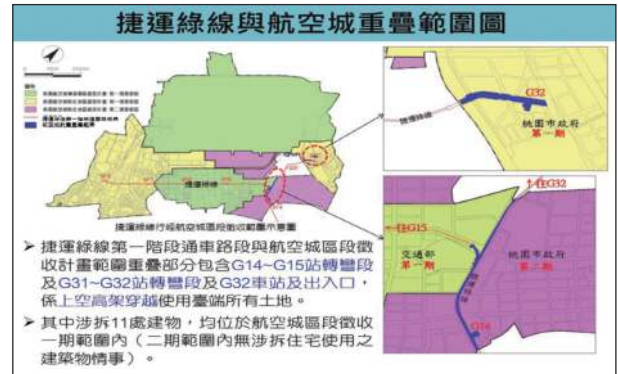


圖 4 桃捷綠線與航空城重疊範圍示意圖

成共識，在簽報市府核定後形成政策，即與本案類似情形之地主所有地上物若同意配合桃捷綠線拆（搬）遷，桃捷局將先行發放地上物拆遷補償費，且合法建物可保有安置資格後，民眾始緩解對先行提供捷運建設使用的疑慮。

此外，為強化協議機制，本案特地增設為期兩週的「駐點服務」，於菓林里辦公室設置協調據點，除可方便民眾就近詢問、協議與提供文件外，亦可透過親友勸說，增加協議機會。值得一提的是，本案用地內尚有 11 人共有之土地，其中更有旅居國外的僑民，透過其中一位親友間的協助，以及桃捷局用地單位契而不捨、親赴民眾住家、辦公地點及國際長途電話等多次連繫其回國時程後，終能與民眾建立互信機制，達成全案全數協議的成果，可見『面對面』溝通、積極聯繫接洽的誠意，常可收意料之外的效果。

（三）確保捷運功能，降低地主損害

桃捷綠線行經蘆興街高架路段，通過部分工業區土地，經民國 108 年 2 月 25 日「變更南崁地區都市計畫（配合桃園都會區大眾捷運系統航空城捷運線（綠線）相關設施設置案）」，將該範圍用地變更為捷運系統用地，以取得所有權為原則。

該工業區廠家當時正擴建倉儲物流廠房，多次陳情表達設廠需要，希望選擇以「對人民權益

侵害最少」之設定地上權方式辦理，以保留軌道下方空間繼續供物流使用，並希望以活動圍牆的方式處理，未來如捷運設施維護或緊急搶救時，願意出具同意書無償提供橋柱周遭之土地，供桃捷局進行設施維護或搶救。



圖 5 蘆興街協議地上權方案



圖 6 蘆興街協議地上權方案施工照片

本案自民國 108 年 8 月 12 日至 109 年 3 月 20 日計四次協議會，終以考量捷運功能、安全，並兼顧地主權益的方案達成協議。

(四) 以獎勵替代強徵

在都市計畫區的「土地使用管制」規定中，

以獎勵建築樓地板方式，激勵地主無償提供建築基地或樓地板供設置捷運出入口等捷運設施，桃捷綠線 G10 車站出入口為桃園市以「獎勵取代價購」的首例。

本案採與民眾簽訂協議書方式取得路外出入口用地之使用權，市府與地主簽訂協議，私地主無償提供建築基地或建築樓地板面積供捷運車站相關設施使用者，其樓地板得依規定放寬，未來於土地改建或興建建物時得以依據相關法規申請捷運獎勵容積，以此種條件內容簽訂協議書取得用地，亦為政府機關取得用地方式之一，不僅縮短相關行政程序、時間，亦達成雙方合意之結果。

(五) 開發用地之願景規劃師

桃捷綠線的土地開發基地共計 6 處，均為捷運車站出入口共構型態，已申請變更為捷運開發區，在 6 處基地協商整合過程中當屬 G09 基地最為艱難複雜，耗費相當時日；G09 基地為四面臨路的完整街廓，原為「市場用地」，於民國 60 年代依當時民間獎勵投資規定完成興建市場使用，其街廓呈「回字型」，內圈為公用市場使用，90%以上為公有地，外圈為私人所有之土地及建物，1 樓多為鄰街店面使用。



圖 7 G09 捷運開發區基地利用現狀

桃捷綠線規劃基於通風、排風及防災等營運安全考量，為避免長隧道效應，於 G08 站及 G10 站間中正路適當位置設置 G09 站。G09 站為路外

車站，因面臨中正路寬度僅 15 公尺，且環評承諾不開挖中正路，故諸多捷運工程設施無法設置於道路下方，僅得設置於路外用地內，與一般路外用地僅設置出入口之概念存有落差。故從確認設站後，桃捷局即召開地主說明會，安排地主至臺北捷運參訪聯開案例，並安排駐點諮詢服務，向影響戶說明市府政策、用地取得方式與地主權益等相關事項，透過一次又一次的面對面溝通，桃捷局陸續加強說明技巧，以淺顯易懂、圖表等資料解說地主關切議題，耐心地說明基地條件特徵與差異，採口語化方式讓地主了解捷運設計之專業內容，解除地主疑慮並建立互信關係。

G09 站位處桃園市中心地區，除設置捷運設施外，因基地具有土地開發潛力，經都市計畫變更為捷運開發區，除享有比照商業區之基準容積外，尚有都市更新、捷運獎勵容積等優惠，為 TOD 之核心地區，對地主而言相較於一般民間合建案更具誘因，較能取得地主協議價購、參與土開之意願。惟土開大樓之權益分配實際結果，需待市府公開徵選投資人進場後，依設計定案內容及鑑價結果方能有明確分回資訊。

因無法於簽約當時給予明確答覆，致地主難以決策，進而影響地主簽約意願，故桃捷局小心權衡資訊之揭露程度，適度給予可取信地主的資訊，並兼顧避免過度承諾、造成過度期待，減少未來衍生權益分配爭議；而地主關切的「土地價格是否符合市場行情」，桃捷局係委請地政局推薦估價師公會優良估價師中的 3 位進行估價，估價期間以較優之整體開發利用原則（非僅考量單一土地之利用）進行估價，並選取總價最高者與地主協議，協議期間並耐心向地主說明本價格與區域行情之差異，俾使地主接受查估金額而同意簽約。



圖 9 G09 捷運開發區土開大樓願景模擬



圖 8 G09 捷運開發區地區參訪北捷案例

在與地主協議過程中，地主最為關切的事項為「土地價格是否符合市場行情」及「未來權益分配獲益是否恰當」等問題，其中權益分配部分，

本案地主原建物以「一樓自營或出租店面、二樓以上為自有居住」為主要使用型態，許多地主仰賴一樓店面營收或其租金為維生來源，故地主相當關切遷出後的居住權與可搬回的時間。與桃捷局協議價購或參與土地開發者，可依照「桃園市興辦公共工程地上物拆遷補償自治條例」相關規定，經桃捷局查估審核後，領取地上物之補償費，對地主有相當程度之保障。另，因有地主搬回之壓力，於設計階段，需考量地主對於店面之需求以事先規劃，並督促桃捷局執行土開招商作業之進度，以利盡速完成土開大樓興建，讓地主盡快搬回。再者，部分地主對於搬遷後之居住

場所有找尋困難，桃捷局秉持著讓地主安心搬遷的理念，也召開會議了解地主需求，必要時得協助申請社會住宅或依地主需求協助找尋適合物件供其選擇。

綜上，有關 G09 用地取得案，從桃園桃捷綠線綜合規劃報告核定到完成用地取得，歷時約 5 年期間，桃捷局一路與地主建立情感與互信，傾聽地主意見協助釋疑，並在法令許可範疇內，為地主爭取最優協議方案，期望成功創造地主、政府以及未來土開投資人三贏局面，並重塑桃園市中心新意象、新風貌，透過桃捷綠線帶來都市活化的強心針。

四、規劃思維之優化

大面積的捷運機廠開發用地取得，其影響層面常擴及都市地區土地使用型態的重組，亦為地方居民、民意代表等高度關切議題，如規劃位置考慮欠周，極易形成鄰避設施情形而招致地方強烈反彈，進而影響捷運建設之推動。

然捷運機廠為整體捷運系統運作之核心，提供電聯車與機電設備之維修、運營控制及駐車等功能。捷運機廠選址，除考量收發車及車輛營運時間班距等技術層面因素外，因其需用土地面積較大，近似工業區之使用樣態，故選址時除考量選取範圍地用現狀外，亦需以鄰避設施角度綜合考量其開發對於建成環境之影響程度與波及範圍，在兼顧計畫可行性下，尋求最適宜區位，實為相關規劃設計人員務必謹記在心的原則。

（一）活化閒置污染土地、減輕抗爭，爭取雙贏

以桃捷綠線機廠舊址（以下簡稱：北機廠）為例，依據民國 105 年 4 月行政院核定之綜合規劃報告，北機廠原規劃設置於南崁地區都市計畫

外緣之農業區，惟民國 106 年至 107 年間實際進入都計變更、用地取得階段，即遭遇多數地主、民意代表等強烈反對，主要抗爭訴求聚焦於機廠用地涉及拆遷現存房屋眾多，及實質仍作為農業生產之大面積農地，影響居住權、生活經濟與優良農地等問題，桃捷局雖提出安置街廓計畫等替代方案，但地主及地方民代均希望市府應優先使用位於北機廠北側，因土壤污染於民國 105 年 11 月 18 日遭市府公告為土壤污染管制區，且已廢棄閒置之灌溉埤塘（滲眉埤）作為捷運機廠用地新址（以下簡稱：滲眉埤機廠）。



圖 10 原北機廠舊址農地

桃捷局於評估工程具有可行性，在原址方案須拆遷多達 25 處房舍，且區內農地多數仍供農業生產使用情形下，而滲眉埤及其周邊地區土地大多數為公有，拆遷建物僅 4 處無安置需求的 T 棚，且埤塘土地因污染閒置、利用效率不彰，亦不利桃園市都市長遠發展等考量，如可配合機廠進駐同時啟動整治作業予以活化利用，實為兼具社會性之替代方案；爰此，最終乃決議移設北機廠至滲眉埤及其周邊地區，以提供捷運系統所需駐車及維修功能，並順利於民國 109 年 12 月 30 日解除土壤污染管制區列管，並獲行政院環保署同意備查環差，民國 110 年 6 月 24 日發布都計變更為捷運系統用地，同年 8 月 5 日奉內政部核發開發許可，陸續於民國 110 年 7 月點交用地供廠商進場施工。

因此，除捷運路線、場站等基於交通需求規劃外，大面積、具鄰避效應之捷運機廠用地，在

可行性評估、綜合規劃等選址階段，即應考量選址之環境敏感性、土地適宜性等因素，妥善勘選合宜範圍，並思考替代方案的可能性，盡量避免使用私有土地，以減輕私權剝奪感與生活衝擊，增進最優化捷運建設所帶來之效益。

（二）跨地用領域土地整合規劃、永續利用

用地取得作業可細分為「地用」及「地權」兩階段，在取得土地所有權前，如計畫之目的事業不符合現行土地使用管制內容，則需先行辦理用地變更作業，以符『管用合一』原則，避免變更用途之土地使用超過當地環境承载力，使開發案相容於周邊建成環境。

北機廠經評估移設後之新址，分屬於現行兩種不同之國土空間使用管制類別：原埤塘北側周邊部分農地屬於「都市土地」範圍，應依都市計畫法辦理個案變更；原埤塘現址則是位於「非都市土地」，依區域計畫法及非都市土地使用管制規則，用地規模已達辦理分區變更之條件，需向內政部申請開發許可。

此外，北機廠工程用地同時也位於內政部營建署主辦之「擬定桃園機場園區及附近地區特定區計畫」（以下簡稱：航空城計畫）範圍，未來現行非都市土地部分將整體變為都市土地，故機廠開發內容須整體考量不同之管制規定適法性，與未來中長期新訂都市計畫整體開發的配合，成為北機廠用地變更審議過程之核心議題。

本團隊於非都市土地開發審議時，依循國土保育之精神，整合跨領域專業需求，權衡都計區與非都市土地建築物及開發強度占比，漸進調整機廠配置，於用地範圍內留設適量之保育區，以符合現行非都市土地開發條件需求。另考量航空城計畫著重於地區特色及水域環境保存之願景，全盤檢視埤塘地景，訂定水域保存總量；且因北機廠新址為其中一處需保存之埤塘，用地變更除

須考量水域補償目標外，亦須維持航空城都市計畫所設定之綠地比例目標。

本團隊利用地理資訊系統，以小區域檢核航空城計畫各使用分區占比，並依航空城計畫所訂公園綠地可供水域補償面積，調整套繪各不同區位土地使用配置情境，將機廠移設對於航空城計畫影響之衝擊大幅度降低，經與桃園市政府都市發展局、航空城開發有關機關及規劃單位等取得共識後，經內政部都（區）委會審查同意，機廠開發及水域綠地保存間取得平衡。

五、結論與建議

一般用地取得所有權人的需求如下圖 11 所示，主要癥結為：



圖 11 所有權人關心的課題

（一）對市價過度期待與不滿、換屋與安置需求、拆遷交地時程緊迫，對社區情感因素難以割捨。

(二) 政府與民眾資訊與地位不對等，造成互信不足、因相對剝奪感而產生對立。

在前述課題的處理策略上，依據用地取得之經驗建議如下：

(一) 建立跨局處高階主管聯繫平台，以協調整合鄰近計畫（如捷運與道路整併取得），縮短都計變更及用地取得行政時程，並避免多次一再重複取得私地主土地。

(二) 按工期推進規劃，分階段辦理用地取得與拆遷，採分批交地並彈性調整工序，除滿足施工要求，更兼顧拆遷疏導。

(三) 強化協議獎勵機制（如提供同意協議獎勵金、同意民眾自行委託估價師進行比價、保障協議價高於徵收價），提供替代方案（如保留區徵、設定地上權）等，以共創雙贏、減少強制徵收。

(四) 建立網站平台，提供相關公開透明資訊，並適時辦理駐點工作站，加強與當地民眾溝通，放寬地上物自拆認定，提供長租、短租等安置住宅，先建後拆，降低民眾不便。

政府興建公共工程，在選取用地時，不可避免的會有使用到私人土地情形，如何與私地主達成協議而不致採行強制徵收手段，即為用地取得困難之所在。唯有誠信、積極、公平、公開的與地主溝通說明，共同讓損失及影響降到最低，方能順利交付用地使工程往前進行，以達成都市建設與地方發展的雙贏成果。

謝誌

本文得以順利完成，需感謝桃園市政府捷運工程局於用地取得期間的密集研商、意見交換與策略擬定、政策落實；其次感謝中興工程顧問公司桃捷綠線專管暨監造專案用地組同仁郭天慈、李安爵等共同努力，提供實務經驗與專業建議。

參考文獻

因應公共建設及產業發展之創新土地開發模式委託辦理計畫案，國家發展委員會，中華民國 105 年 6 月

叢書訊息

(一) 高岩覆對隧道設計與施工影響研究(二)

脆性破壞特性評估與因應對策

蕭富元、林金成、蔡明欣等 編著

2017年10月初版

(二) 流體注儲行為之力學機制研究與工程應用

俞旗文、譚志豪、雷世璋等 編著

2016年10月初版

(三) 應用雷達影像評估坡地災害

林柏勳、蕭震洋、鄭錦桐、
陳俊愷、李易叡等 編著

2016年10月初版

「跨山渡河無畏懼，探深納淺我都行！
橫向東西縱南北，惟有中興深地質！」

我們是一群擁有十年以上山區及平原區地下水資源調查經驗的探勘者，也是觀遍全台
崩塌地影像的鑑識家，未來將整合創新科技ABCD*，邁向深地質科技跨領域結合研究！

* A (Artificial Intelligence), B (Big data), C (Cloud computing), D (Domain Knowledge)



深地質研究 專案計畫

▼ 專業服務內容

I. 進階型孔內水文地質調查
高精度地下水流速 / 深層水化學特性調查 / 單(跡)孔示蹤劑試驗

II. 智慧崩塌地(坡地)調查分析技術
空拍影像之PIV分析 / UAV鏡頭調查及位態分析
多尺度地球物理 / 地球化學觀測系統整合規劃
智慧山崩目錄判釋與檢核技術

III. 數值模式分析
裂隙岩體之複合DFN-EPM模型建立與分析
地球科學領域之場址描述模型建置

IV. 高階岩石力學試驗 (Carried out by MTS Model 815 System)
高強度(460T)單壓試驗 / 高圍壓(80MPa) 三軸試驗

▼ 部門重要業績

臺灣山區及平原補注敏感區之地下水資源調查研究
區域地質描述模型建置及評估模式應用
山崩巨量資料應用及智慧動態山崩模式發展
潛在大規模崩塌調查、監測及規劃

▼ 聯絡資訊

114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
Email：agr-proj@sinotech.org.tw

廣告

誠信 創新 品質 服務

財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

中興社薄型化制震壁

陳昱志 * 張權 **

摘 要

透過金屬降伏藉以吸收能量的概念被廣泛運用在制震及耐震提升領域，為了有效控制地震所引起之層間變位及增加結構阻尼比，耐震間柱為常見之消能裝置。不論是補強或新建結構，耐震間柱薄型化以增加空間使用率乃基本需求，本文提出之薄型化制震壁概念即是以此為出發點，設計出韌性容量極佳的彎矩降伏型斷面結構，透過基本力學公式及有限元素分析的協助，採用變斷面切削設計，使其全斷面可同時達到降伏以求消能效率最大化，也因薄型化的關係，大大降低了面外變形對斷面結構的不良影響。經實驗證實，本研究裝置韌性容量優於現行規範要求。由於本裝置是由數個抵抗單元所組成，從疲勞破壞試驗中可發現，本裝置達疲勞極限（其中一個單元會先行破壞）時並非瞬間喪失功能，其尚未破壞之單元還會持續提供承載能力，維持在強震過後持續的保護力，亦可爭取後續維修更換的時間。

關鍵字：金屬降伏、吸收能量、耐震提升、薄型化制震壁、韌性容量、有限元素

一、前 言

經過幾次強烈地震引發之嚴重災害與新發現之斷層，顯現出臺灣老舊房舍耐震能力不足疑慮，尤其是民國 86 年以前興建之建築物，政府相關單位陸續推出建築物之耐震能力檢查與補強方案，許多補強工法相繼因應而生，主要分為傳統補強與新式消能制震工法兩種。傳統補強常見的有 RC 擴柱、新設 RC 剪力牆或翼牆等工法，優點是可直接增加結構勁度、強度與韌性，但施工界面繁多，且濕式補強工法環境維持不易。消能制震工法則是透過制震裝置增加結構額外之阻尼比來降低結構的受震反應，優點是不需要大幅敲除破壞原混凝土結構，無大量的粉塵與施工空間

要求，可保有內部使用機能，對建築物常時使用之衝擊性小。制震裝置可分速度型與位移型兩種，速度型其性能與速度相依，最具代表性即為液流阻尼器，透過油缸中液體擠壓流經活塞之液流孔隙時，產生之液體壓力差與摩擦行為達到消能制震作用，出力噸數公式為 $F = CV^\alpha$ ， F 為出力噸數， C 為常數， V 為阻尼器作動速度， α 為速度指數，此設備不具勁度，只提供結構阻尼比，且出力與結構位移具有 90 度相位差，不造成結構受震時桿件的額外負擔，還可增加使用者舒適性。

位移型消能元件性能則與位移相依，廣為業界使用的有消能斜撐與耐震間柱兩種，均使用金屬作為消能基材，藉由結構因地震產生之層間位移，驅使裝置金屬材料達塑性變形，將地震能量

* 中興工程顧問社防震制振技術研究中心正研究員

** 中興工程顧問社防震制振技術研究中心高級研究員

轉化為材料降伏後之應變能。由於金屬材料具有勁度表現，可提供結構初始勁度，故常用於結構勁度不足或有弱層等情況之加強。

有鑑於結構新建與補強常用之制震消能裝置設備需求漸增，為厚實國內地震防治技術，中興工程顧問社（以下稱中興社）毅然投入研發各種制震設備，除了前述所及之速度型液流阻尼器外，亦開發了位移型消能斜撐與制震壁等制震技術。近年來，建築結構系統中選擇採用鋼耐震間柱設計之案例逐年增加，本文將針對薄型化制震壁之設計理念、原型試驗及實際應用狀況，跟讀者做一個完整的介紹與分享。

二、制震壁設計

（一）消能原理

中興社薄型化制震壁與彎矩降伏型消能元件（X形、三角形鋼板）、或剪力降伏型耐震間柱，均是透過金屬降伏來吸收地震能量，除了外型上的不同，最大差異為降伏之機制。彎矩型消能元件是由多片抗彎矩鋼板組合而成，元件受剪力變形時鋼板是承受面外變形而達彎矩降伏（詳圖1）。因由多片鋼板組合而成，成品需與上、下端板逐一銲接成形，得特別留意排列位置與銲接品質。剪力型耐震間柱則是一片鋼板透過面內剪力變形，達剪力降伏，此形式易局部挫曲造成韌性容量下降，需透過外面加勁加以改善（詳圖2）。

中興社薄型化制震壁是由一片鋼板切割出特定形狀，當制震壁變形時鋼板是承受面內變形進而達到彎矩與剪力同時降伏。在外型上中興社制震壁相較於彎矩型消能元件在成品厚度上會薄上許多，若對薄型化制震壁受軸壓後有挫屈疑慮，則可於兩側提供適當面外加勁鋼板，形成中間核心消能與兩側面外加勁之組合裝置。

如何達到全斷面彎矩與剪力同時降伏，為本

研究核心重點。核心消能鋼板受面內剪力變形後，如 Timoshenko 梁理論需考慮彎矩應力與剪應力之同時影響，經由力學理論公式可以初步設計斷面形狀，為求降伏面積最大化，故藉以數值模擬分析輔助來決定消能核心最佳化之斷面形狀。

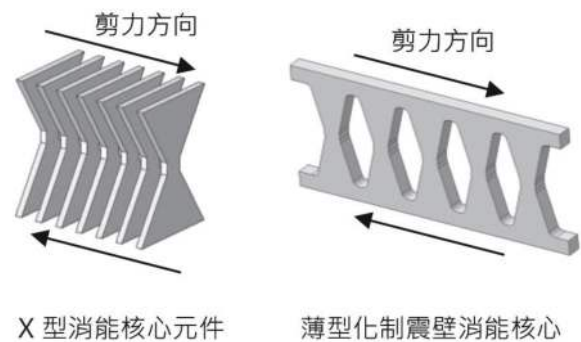


圖1 消能核心差異比較圖

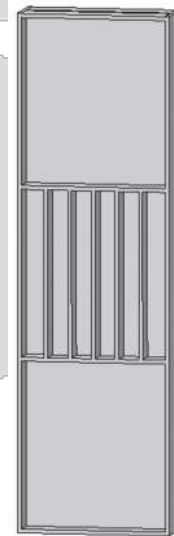


圖2 剪力型耐震間柱

（二）設計需求

不論新建或補強結構，如何考慮消能元件所提供之額外效應，是許多設計者在設計分析時會面臨到的問題。當前商用結構分析軟體大部分都有非線性桿件或塑性鉸可提供使用者定義元素之非線性行為，礙於分析收斂性與時效成本，雙線性模擬非線性曲線為大眾廣為採用之設定方式之一。

制震壁常以耐震間柱型式（間柱中間本體是制震壁，上、下以鋼墩座接合方式）安裝於結構中，中興社制震壁屬於剪力降伏型耐震間柱¹，依據不同耐震設計需求，來決定其剪力降伏強度、勁度、及韌性容量。可於小地震下維持彈性提供結構勁度來抵抗地震，而較大地震下金屬達降伏提供結構阻尼來消散地震能量。固然制震壁勁度參數會影響結構之耐震行為，但其遲滯迴圈表現與韌性容量才是影響耐震性能之主要原因。

中興社薄型化制震壁可依據不同設計需求開發客製化裝置，並透過有限元分析模擬制震壁非線性遲滯行為，提供結構設計者最即時且準確的分析參數，並可依需求隨時調整變更。



圖 3 新建案客製化原型（上、下端板為試驗接合需求）

三、原型試驗

本試體是為某新建案客製化所開發的原型（詳圖 3），需求為降伏力量 675kN、初始勁度 450kN/mm（降伏位移量 1.5mm）。為證實制震壁性能參數符合設計需求，於國家地震中心進行原型實體試驗，並考慮額外垂直載重與面外變形對制震壁之影響。

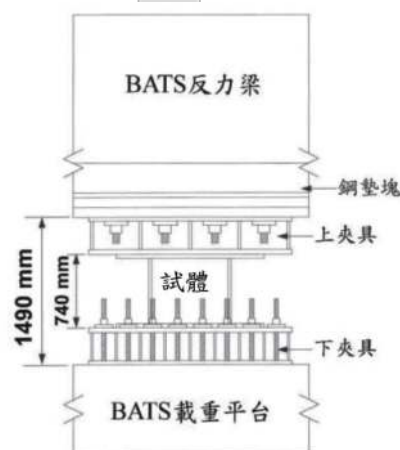


圖 4 試體與上、下夾具接合方式

（一）試驗配置

試驗於國家地震中心臺南實驗室「雙軸向動態試驗系統」（Bi-Axial Testing System）執行，試體需透過上、下夾具以預力螺桿鎖固方式與試驗機的剛性測試平台及反力構架結合（如圖 4）。

試驗機是採外部位移控制，在試體上、下兩端架設位移計，藉以計算試體面內（圖 5）與面外（圖 6）變形量。



圖 5 面內位移計架設位置照片

¹ 彎矩降伏型之耐震間柱，降伏區間在間柱上、下兩端；
剪力降伏型之耐震間柱，降伏區落在間柱中間。



圖 6 面外位移計架設位置照片

(二) 試驗條件

本試驗三個測試階段，有其不同測試目的。第一階段測試重點為考量實際現地裝置安裝後，結構因自重變形而施加於制震壁裝置額外垂直載重（依據建案規範要求為 $0.3F_y$ ），及制震壁面外變形（依據建案規範要求為 $1/200$ ）情況下，對於制震壁的影響。第二階段解除垂直載重及面外變形，考量更大位移量與迴圈數加載下檢視制震壁之性能表現。第三階段即為疲勞測試，在同一位移量加載下，重複進行循環測試，探究制震壁之韌性容量極限。相關測試細節可參考表 1。

表 1 各階段測試條件

測試階段	水平位移振幅			Drift ratio (%)	循環次數	備註
1	±	0.6	mm	0.09	2	垂直載重 202.5 kN 以及 1/200 面外變形
	±	1.7	mm	0.25	2	
	±	2.8	mm	0.41	2	
	±	5.5	mm	0.81	2	
	±	11	mm	1.62	4	
2	±	7.5	mm	1.10	5	解除軸壓 (軸壓為零) 及面 外變形
	±	15	mm	2.21	5	
	±	22.5	mm	3.31	5	
	±	30	mm	4.41	5	
3	±	22.5	mm	3.31	30	

(三) 試驗結果

各階段測試結果參考圖 7 至圖 9，第一階段結果顯示，降伏力量及勁度與設計一致。在軸壓與面外變形作用下，同一水平位移振幅下，各迴圈最大正向力與最小負向力與其平均值之差異不超過 3.7%，顯示各迴圈最大力量差異不大，試體出力穩定。遲滯迴圈形狀飽滿，同一迴圈最大出力值與最小出力值相當一致。可謂是軸壓與面外變形對於制震壁性能影響不大，幾可忽略。

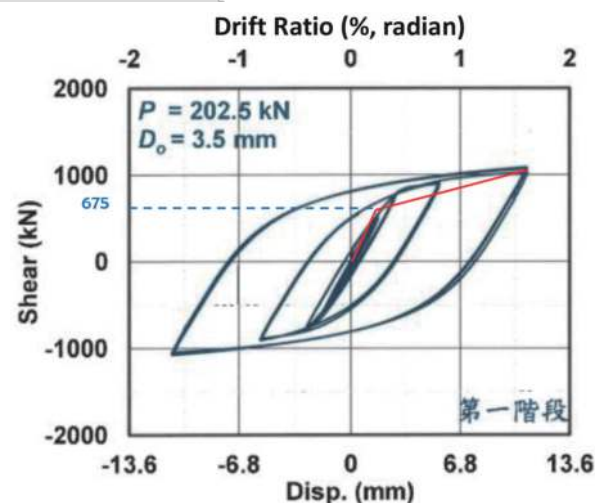


圖 7 第一階段遲滯迴圈

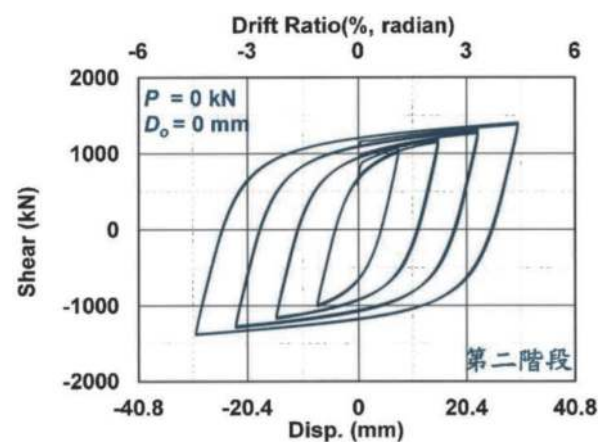


圖 8 第二階段遲滯迴圈

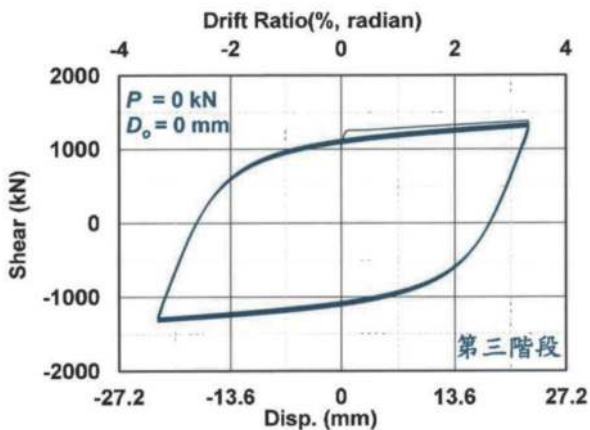


圖 9 第三階段遲滯迴圈

第二階段解除軸壓與面外變形後，最大迴圈變形量達 20 倍降伏位移量（降伏位移量為 1.5mm），於同一水平位移振幅下，各迴圈最大正向力與最小負向力與其平均值之差異不超過 2.5%，遲滯迴圈依然飽滿，出力值依舊相當對稱。

第三階段以 22.5mm 位移量（15 倍降伏位移量）執行完整 30 迴圈並結束試驗，遲滯迴圈最大位移處之力量無下降現象，試體尚未破壞。

在上述各階段每一水平位移振幅之循環試驗中，任一循環中之遲滯迴圈面積（Wd）與平均遲滯迴圈面積之差異不超過 2%，證實薄型化制震壁消能行為穩定。

為了量化韌性容量，參考規範 AISC 341-10 中 K3 節，定義消能斜撐累積非彈性韌性容量必須大於 200 倍降伏位移量。若以此標準計算，本次試驗三階段總累積之非彈性變形量高達 2731 倍降伏位移量，遠遠優於規範要求。

（四）小結

經由不同階段試驗結果，可證實：

1. 中興社薄型化制震壁具備客制化能力，可依據案場需求調整裝置性能參數。
2. 本裝置承受 0.3Fy 垂直載重及 1/200 面外變形下，消能行為影響甚微，經得起嚴苛考驗。

3. 大位移量試驗下，遲滯迴圈面積依舊飽滿且穩定，變異性均小於 2.5%。
4. 韌性容量高達 2731 倍降伏位移量，遠優於規範要求，安裝後生命週期長，耐得住多次地震考驗。
5. 由於本次試驗試體尚未破壞，無法呈現本裝置另一項特色，在此跟讀者分享另一個試驗結果（同型非同一試體），測試直到試體破壞為止。如圖 10，從疲勞試驗遲滯迴圈中可發現，中興社制震壁達疲勞極限時並非瞬間喪失功能，其中一個單元先行破壞後，尚未破壞之單元還會持續提供承載能力，可維持在強震過後的持續保護，亦可爭取後續維修更換的時間。

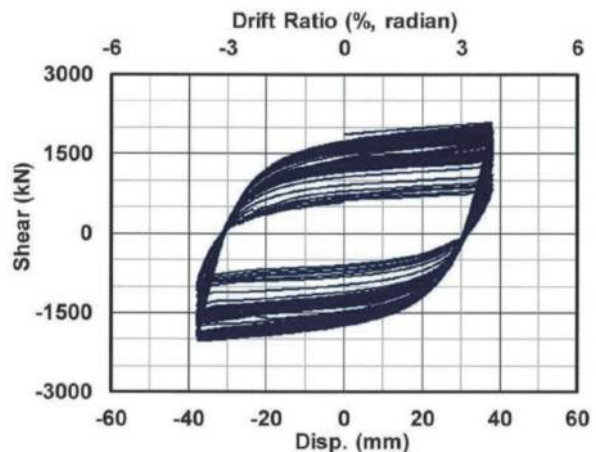


圖 10 另案疲勞試驗遲滯迴圈

四、實績案例

中興社薄型化制震壁已銷售 640 餘組（2019 至 2021 年），不乏新建與補強結構。制震壁需仰賴上、下墩座固定於上梁與下梁之間，對於新建案而言，制震裝置隨結構樓層逐一安裝在其中。圖 11 中新建結構為 RC 系統，梁在澆注混凝土前裝置會先安置定位，墩座與結構系統接合之兩端有剪力釘，混凝土澆置完成後可與梁結構確實錨定結合。



圖 11 新建 RC 結構制震壁安裝照片

對補強而言，安裝方式因案而異，需考慮結構形式、內部空間使用與現地施工條件等，為了與原結構確實接合，需透過植筋或化學錨栓的方式與制震壁（含上、下墩座）接合後，視情況在接合介面處灌注環氧樹脂或填補無收縮水泥加以固定。相關案例照片可參考圖 12。

參考文獻

Bergman DM, Goel SC. Evaluation of cyclic testing of steel-plate devices for added damping and stiffness, Technical Report UMCE 87-10, Ann Arbor (Michigan), Department of Civil Engineering, University of Michigan, 1987.

Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 341-10), 2010.

陳建忠，蕭博謙，「鋼耐震間柱結構系統設計準則與性能評估方法研擬」，內政部建築研究所協同研究報告，2020 年。



民生醫院



林口長庚



大業大樓



華納威秀



長安市場



馬禮遜美國學校



圖 12 補強案例照片

科技廠房節能策略與案例分享

黃育德*

摘 要

近年來氣候議題已成為企業永續經營必須面對的課題，包含綠色供應鏈、碳邊境調整機制 CBAM、淨零碳排等全球碳管理趨勢，於 2021 年底舉辦的聯合國氣候變遷大會（COP26），通過格拉斯哥氣候協議（Glasgow Climate Pact），要求各國在 2022 年底前重新擬定國家行動計畫，檢討加強 2030 年國家自定貢獻目標強度。在此趨勢下，搭配我國的能源轉型政策，未來企業計算能源利用成本預期將逐漸增加，除了直接的使用費率之外，並須納入碳相關的衍生成本，故常態性的節能措施，將需要落實在日常的生產營運中，而企業節能減碳策略整體趨勢，已從過去單純的要求工廠降低能源使用，逐漸轉為如何讓能源利用效率最大化，隨著高科技產業的產能增加與精密度提升，單純的追求減少能源使用已無法符合實務面的期待，合理的利用有限的能資源，透過有效的能源管理方式與設備操作策略，針對工廠端、廠務端與辦公室，輔以不同的邏輯策略，讓工廠能源密度最佳化，使能源利用效率最大化，為企業永續營運管理策略的關鍵。本文章針對能源管理系統、電力系統、廠務系統（包含空調、空壓、照明）及辦公室等標的，提出目前業界常見的節能管理措施，並分享科技廠商實際節能案例。

關鍵字：節能減碳、能源利用效率、能源密集度、能源管理系統

一、節能減碳與淨零碳排趨勢

近年來，各產業面臨低碳經濟與綠色環境議題，要如何提高能源使用效率、降低能源消費程本及管理溫室氣體排放，已成為現代產業追求永續發展之重要課題。依據 IPCC 於 2018 年發布特別報告「Global Warming of 1.5 °C」指出，全球平均升溫應控制於 1.5 °C 以內為目標，並建立全球必須採取的行動基準：2030 年前，全球碳排放量需減半，並且最晚在 2050 年前，達到淨零碳排（Net zero）。

我國政府同步以 2050 年淨零排放為目標，

參考國際能源署（IEA）指引，國家發展委員會已於今（111）年 3 月提出淨零排放路徑，預期至 2050 年我國能源結構將徹底轉型，以能源、產業、生活、社會「四大轉型」為主軸，並輔以科技研發及氣候法制的兩大治理基礎改革，推動從低碳到零碳的目標，我國 2050 淨零排放規劃如圖 1；於能源淨零轉型策略方面，短中期推動能源轉型（展綠、增氣、減煤），長期則打造無碳能源 / 電力系統：最大化再生能源、無碳火力發電（氫能、燃氣+CCS）等；於產業淨零轉型策略方面，短中期輔導產業減碳：設備汰舊換新、燃料轉換（煤油轉氣）、智慧化能源管理，長期則推動產

* 中興工程顧問社環境工程研究中心正研究員

業淨零轉型：循環經濟、低碳製程（氢能煉鐵）、無碳燃料、CCUS。

對產業界而言，短期要面對的是如何將目前的能源利用方式，轉變為低碳排放，「提昇能源效率」是減少能源耗用量與降低溫室氣體排放之關鍵作法，更能降低因為能源短缺對人類生活所帶來的負面衝擊；對於產業而言，減少能源消耗，降低經營成本，更可為企業帶來更顯著的獲利與更強大的競爭力。

二、制訂合適的節能策略

節能策略具有因地制宜之特性，大方向的推動模式可參考以 ISO 50001 能源管理系統為核心的框架，而細部方案則需考量營運模式、生產型態及能源利用方式，制訂合適的推動計畫。工廠在執行節能規劃時，若未能事先全盤檢視廠內能源利用狀況，檢視系統的節能關鍵熱點，經常會面臨以下兩種問題，其一為缺乏完整性規劃，僅針對標的設備導入節能方案（如：馬達加裝變頻器），此作法對該設備確實有節能成效，但若放大尺度至系統面，沒有找出造成高能耗的關鍵，對整體系統未必有正面的節能效益；其二為欠缺導入持續性監控措施，若僅於設備完成改善後進行單次的設備效率量測，即使當下可確認設備節能達成績效，卻無法證實持續性節能效益，也無法衍生更多節能優化方案。綜整以上問題，本文提出制訂節能策略四步驟，採循序漸進的方式，使相關推動策略更能具體落實。

推動工廠節能的關鍵第一步，從了解自我開始，可透過系統性的能源盤查方式（可參考 ISO 50001、ISO 14064 等程序），取得全廠能源利用流向分布（如圖 2），提供節能推動單位找出全廠能源使用熱區，從能源使用占比較高的部門著手規劃，預期可取得較顯著的節能效益。常見的

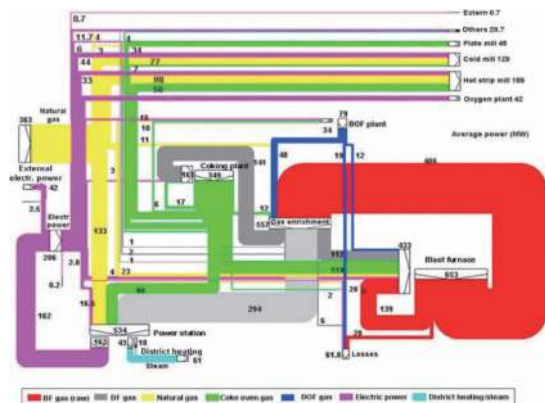


資料來源：國家發展委員會（2022）

圖 1 我國 2050 淨零排放規劃

做法為導入能源管理整合系統，整合廠內各系統端設置智慧電表及 IoT 設備數據，架設感測器自動讀取和紀錄設備的能耗數據，並將相關數據整合至中央監控系統資料庫。

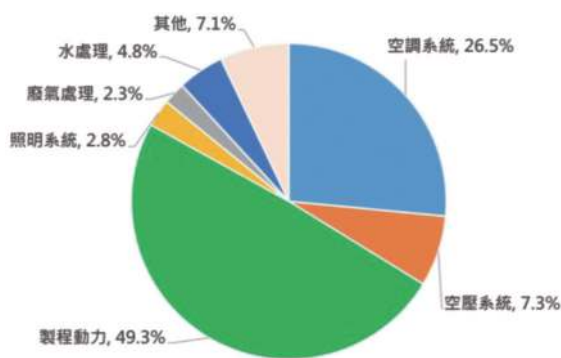
工廠的能源利用主要來自兩個部分，其一為工廠端（Tools）的製程設施，例如：生產製程機台、機台附屬設備，其二為廠務端（Utilities）的支援設施，例如：空調系統、空壓系統、廢氣處理系統、廢水處理系統，以及屬於全廠的電力系統、照明系統等，以積體電路製造業為例，典型的生產型工廠能源使用占比如圖 3，其製程耗能為主要能源使用標的，占比約為 45~55%，其次為空調系統及空壓系統，占比約為 25~35% 及 10~15%，其他標的如水處理系統、廢氣處理系統、照明系統等則約各占 5% 以下。



資料來源：Jahedul Islam Chowdhury et.al.(2018)

圖 2 工廠能源利用流向分布示意圖

節能的關鍵第二步為鑑別重大能源使用項目及來源，透過前述步驟取得之能耗數據資料，進行能耗關聯性分析，找出主要能源使用占比中較顯著的耗能系統或設備，以圖3為例，可優先以占比最高之製程系統及空調系統為對象，進一步分析其顯著的耗能設備，如：高溫反應爐、蝕刻機台、烘箱等，空調系統則包含冰水主機、水泵浦等。

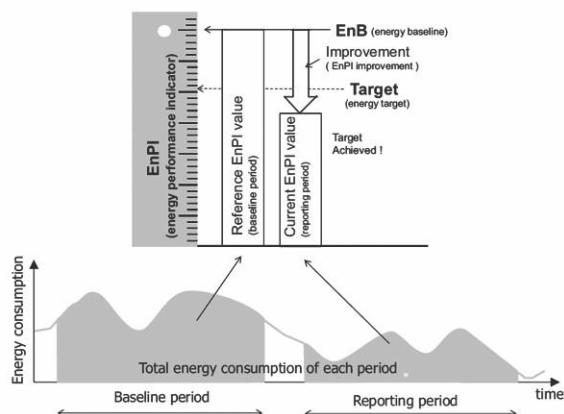


資料來源：筆者 2019 年工廠節能輔導案例

圖3 工廠主要能源使用占比
(積體電路製造業為例)

節能的關鍵第三步為建立能源使用基線，能源基線 (Energy Baseline, EB) 是一種反映能源用戶在某個特定時間內的能源使用量，為能源績效改善結果提供一個可比較、可量化的基礎。工廠可針對特定區域的環境因素、使用能源的形式及能源耗用量等狀況，設定適當的能源績效指標 (Energy Performance Indicator, EnPI)，以及決定會影響這些指標之相關變因，並進行逐月或逐日的數據收集。可採用定值分析法、歷史數據比對法或迴歸分析法建立能源基線，並利用監測量測結果分析實際值與基線值之差異，以檢討是否達到所設定的節能績效目標 (如圖4)。

節能的關鍵第四步為制訂最適化的能耗減量方案。當完成前三個步驟，原則上已可掌握工廠



資料來源：ISO 50006:2014

圖4 能源基線及節能績效示意圖

能源使用的基礎狀況，接下來即可針對標的系統及設施，提出優化能源使用效率方案，由於生產設備參數的改變，有可能影響產品品質，因此在規劃節能策略時，必須考量生產模式、使用設備種類及各設備的關聯性，而在實務推動面上，必需考量企業的預算及需求，當方案的初始投入成本越高或回收年限 (Payback Period) 越長，則越需要爭取企業高階管理階層的支持。

三、導入能源管理系統為核心觀念

國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 於 2011 年制定能源管理系統 (Energy Management System, EnMS) 國際標準 - ISO 50001，奠基於 ISO 9001/14001，從 PDCA (Plan-Do-Check-Act) 持續改善及行為改變著手，提供產業作為改善能源績效之關鍵作法。

ISO 50001 能源管理系統為一套有具體目標的能源方案，有實際行動方案來降低和監督能源的使用，並確認能源的節約和計畫性的改善。藉由管理系統運作過程，以持續改善能源績效，經由系統化管理方式實施能源管理，引導企業持續改善能源績效，以協助能源用戶降低能源使用成

本，減少產品與服務提供過程之碳排放，展現企業社會責任之具體行動。常見的行動包含檢視能源使用現況，引導企業做出符合需求的節能目標與行動；採購高能效的能源使用設備，增進各項設備之運轉效率；改進員工操作技術與能力，提高各項設備操作正確性；落實設備操作管制，提高各項設備運轉可靠度；強化監測與分析，避免無謂的能源浪費；定期檢核適用法規，提高遵守法規的程度。藉由能源管理系統建置，可落實節能改善、達成持續改善目標，以及健全能源用戶內部能源管理制度。EnMS 整體執行架構如圖 5 所示。

建立能源管理系統，主要可分為領導管理、績效管理及制度管理等三個面向。

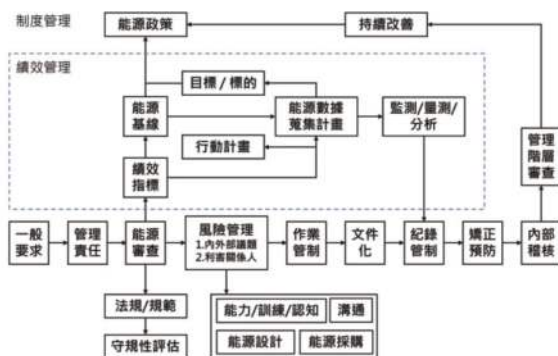
(一) 領導管理方面，以提升管理效率與推動績效改善為訴求，透過明確的推動範圍，引導組織成立適當的能源管理團隊推動能源管理系統，最後由最高管理階層發布能源政策，展現落實持續改善能源績效之具體承諾，其任務包含決定能源管理範圍、建立能源管理團隊及制定能源政策。能源政策的內容應該適合組織的營運特性，並宣示組織也願意提供各項資源支持各項節約能源的改善行動，能源政策的內容可以是

簡短的聲明，重點是要讓企業內部的員工都能理解到能源管理系統的重要性，並且能從工作中落實節約能源的行動。能源管理團隊負有宣傳與溝通能源政策之任務，必要時應讓利害相關者都有機會知道組織的能源政策。

(二) 績效管理方面，以引導能源用戶透過績效管理機制持續改善能源績效，管理手法包括實施能源審查、選擇能源績效指標、建立能源基線、制定行動計畫、制定能源數據蒐集計畫、能源績效監測、量測及分析。

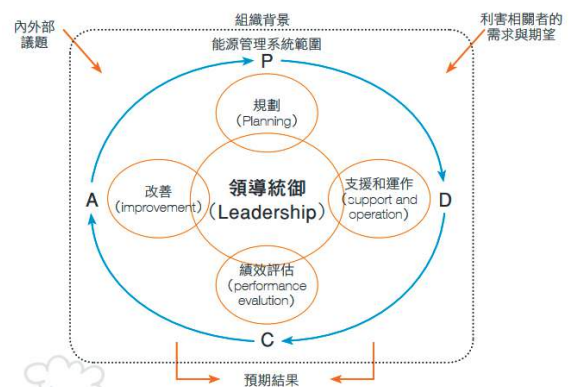
(三) 制度管理方面，透過標準化的過程，決定達成績效管理的流程，以確保各項能源管理制度能有效運作，其任務包含建立能源管理能力、促進能源管理溝通、文件化資訊管理、建立作業管制標準、能源設計與採購、實施守規性評估、實施內部稽核、實施管理階層審查及改正不符合事項。

實際執行面，ISO 50001 能源管理系統係基於 PDCA 持續改善架構，建立有具體目標的能源方針與實際改善行動方案，降低與監督能源使用，確認能源節約落實與計畫改善，典型架構如圖 6 所示，各階段重點說明如下：



資料來源：本文章繪製

圖 5 ISO 50001 能源管理系統執行架構



資料來源：經濟部能源局 (2018)

圖 6 ISO 50001 之 PDCA 管理架構

- (一) 規劃 (Plan)：安排能源管理團隊之層級與架構，以及各權責分工與工作內容，組織應依循之法規鑑別方法，並建立能源基線資料，藉由鑑別重大能源使用區域，排序持續改善能源績效之機會，並擬訂適當的績效指標。
- (二) 實施 (Do)：規劃能源管理教育訓練課程，提昇員工對能源管理系統之基本認知與正確節約能源觀念，以落實能源管理系統之運作；建立組織內部與外部利害相關團體溝通之管道，並針對能源管理文件與紀錄進行管制；針對重大能源使用相關設備建立作業管制規範，針對可能影響重大能源使用之設計與採購作業項目制定相關規範，促進能源績效改善的潛在機會。
- (三) 檢查 (Check)：進行能源量測計畫，包含區域 / 設備、頻率、量測項目；內部稽核計畫內容範圍與時程表介紹；通報與處理稽核結果及確認稽核缺失方法；制訂矯正與預防措施改善程序之內容及方法，確保能源管理系統有效運作。
- (四) 行動 (Act)：建立管理審查會議機制，規範管理審查會議討論內容及組織內部應參與人員，以確認能源管理系統之運作績效與持續適用性、適切性及有效性。

四、針對各設施制訂合適的節能方案

透過前述節能策略推動方式，掌握全廠能源利用分布與重要能源使用熱區，並遵循 ISO 50001 能源管理系統核心框架，了解公司治理之節能政策目標與可提供的相關資源，接著就可以針對能源使用熱區內的重要系統，進行細部的節能方案規劃。

由圖 3 可以看出，工廠端的製程設施與廠務

端的支援設施，其能源利用占比約為 1：1，製程設施會因產業型態不同而有較高的差異性，衍伸的各項節能方案，會因各廠生產條件與操作邏輯不同，而有其獨特性；反之，廠務設施則具通用性，常見的廠務系統包含空調系統、空壓系統，屬於全廠的電力系統、照明系統等，衍伸的節能方案較容易於不同工廠複製經驗，茲以廠務設施為例，參考歷年工廠節能輔導經驗，彙整各系統常見的節能手法與概念，說明如下：

(一) 空調系統

1. 無塵室

- (1) 無塵室（區）與周圍空間的靜壓差值，應按工程設計值進行控制或參考相關規定。
- (2) 當工程設計無規定，且無塵室（區）的新風量由補償室內排風量和保持無塵室（區）與周圍空間靜壓值差值所需新風量之和確定時，應按現行國家或國際相關標準規定下的下限值進行控制。
- (3) 淨化空調系統採用集中空氣處理和集中送風方式，且按潔淨度要求確定的風量大於消除熱濕負荷計算的風量時，應採用二次回風的送風系統。
- (4) 生產製程特殊要求外，在同一空氣處理系統中，不應同時有加熱和冷卻的運轉過程。
- (5) 淨化空調系統採用新風和循環風分別處理的方式時，用於空調冰水宜按控溫、調濕要求採用不同的供水溫度。
- (6) 淨化空調系統宜採用變頻調節送風量，應合理選擇變頻調節控制方法與檢測參數。
- (7) 淨化空調系統的空氣處理機組，應選用氣密性優良的產品，其洩漏率應低於 1%。

2. 外氣空調箱

- (1) MAU 加濕器如為電加熱式，可改為 Air Washing，減少電熱使用。

- (2) MAU 之熱交換器，應定期清潔與監控記錄如壓差和溫差變化，或加裝物理方式可減少積垢現象，延長維護時間。
- (3) MAU 及 AHU 冷凝水回收供應至冷卻水塔使用，可達節水與節電。
- (4) MAU 若採 N+1 模式，建議評估將備用 MAU 加入運轉，個別 MAU 之風扇可降頻以減少用電量。因為在相同的總風量下，平均分配至各 MAU，可使 MAU 系統之壓損降低，並節省風機耗電。

3. 冰水機房

- (1) 建立冰水機房運轉資訊收集系統，提供操作人員參考，並可作為日後系統改善之基準線資料。
- (2) 流量計、瓦時計及溫度計，需定期檢討準確度，並彙整相關設備：冰水機、冰水泵、冷卻水泵、區域冰水泵與送風機，即可計算運轉效率 (kW/RT)，提供系統最佳化調控。
- (3) 建議汰換老舊冰水主機，可選用變頻與多機頭機種，作為主機台數控制時的微調節能控制。
- (4) 熱回式冰機與傳統式冰機比較其 COP 較低，若有其他廢熱應採用其他廢熱回收取代。

4. 冷卻水塔

- (1) 冷卻水塔若以乾球溫度控制，應改成濕球溫度或以焓值做控制。
- (2) 可評估採用物理方式防垢，提高濃縮倍數，減少化學藥劑使用量，提高熱交換效率，節省用電量。
- (3) 冷卻水塔應注意相鄰塔進風距離，或提高進風高度，增加進風量，可降低冷卻水溫。
- (4) 應定期檢查灑水盤與散熱材，若有老化現象，應更換並須做冷卻能力驗證，參考驗證規範為 CTI-201。

(二) 空壓系統

- 1. 空壓系統效率：空壓機與系統安裝應裝設流量計與電表，建立空壓系統監控系統，確認實際耗能值，能夠隨時掌控空壓系統實際耗能狀況，並可依負載不同調配機台以高效率之空壓機優先運轉。
- 2. 現場操作壓力合理化：現場操作壓力建議依現場使用情形，可逐步調降供氣壓力，降低空壓系統耗能。（調降 1 kg/cm² 約可減少 6% 耗電量）。
- 3. 壓縮空氣之乾燥機：多數廠商使用無熱式吸附式乾燥機作為壓縮空氣除水氣及乾燥空氣用，在再生時排放 (purge) 壓縮空氣量理論上約在 17%，但以目前實際查核輔導案例發現通常排放量在 25% 以上，甚至有些高達 40% 以上，相當耗費能源。建議改採熱回式收零排放吸附式乾燥機取代無熱式吸附式乾燥機，不但減少壓縮空氣排放量，並可降低壓力之波動。熱回收式乾燥機為節能機型，可利用空壓機之廢熱做再生熱源用。
- 4. 空壓機之洩漏：空壓系統空氣洩漏，主要是冷凝水排放方式不當、快速接頭與噴嘴處洩漏，以及排放管線之閥件直接以開度排放冷凝水，造成壓縮空氣管路在洩漏氣水同時排放洩漏，建議選擇全開閥無耗氣式祛水器，使在排水時而不會排氣，降低非必要的洩漏損失。
- 5. 空壓機冷卻水系統：建議以一般常溫冷卻水取代冰水冷卻，由於冰水溫度過低，對空壓機本身或管線會產生腐蝕現象。
- 6. 空壓機冷卻系統廢熱回收：最佳方式是將其廢熱回收，回收溫度約在 40°C，可作為 MAU 或其他需要熱水之設備使用；次佳方式以混水風式冷卻，減少冰水用水量，溫度過高時才以冰水補充。空壓機廢熱可做回收再利用，若管線許可下可取代熱回收冰機，提高冰機效率。

7. 進氣品質改善：建議在機房外建設「自潔式進氣室」將冷空氣直接拉給空壓機作為入氣口，降低進氣溫度並減少壓差，提高空壓機進氣之空氣質量。
8. 露點溫度過低：目前國內廠商之 CDA 露點溫度多控制在 -70°C ，以一般國外半導體廠經驗，控制約在 -47°C 。
9. CDA 產生真空之改善：CDA 產生真空之耗能非常高，係由電能轉機械能，再轉壓縮能，而轉至真真空能，建議於非與產品或製程原料直接接觸之真空需求，可直接採用真空泵來達到真空作用，並需注意氣密性及潔淨度。以真空泵直接產生真空而非以 CDA 產生轉真空，此改善效益之節能量約 60~70%。

(三) 照明系統

1. T8 或 T5 電子式燈具，可換成 LED 省電燈具，並調整數量及照度，照明改善應以減量搭配合適照度為優先考量。
2. 廠房照明應以重點照明為主，採高空、半腰與低空照明三種做搭配；並應考量配光曲線，使辦公室與無塵室能達到節能。
3. 若屬非經常性出入頻繁之處，可使用多段式感應式控制。

(四) 電力系統

1. 24 小時運轉之工廠應檢視電價結構分析，以三段式電價取代兩段式電價，可大幅降低能源費用支出。
2. 變壓器容量過大，可考慮整併，關閉一些多餘變壓器可減少無負載損失（注意包裝防潮）。節省變壓器之銅損及鐵損，惟針對未經常加壓使用之變壓器要做好維護工作，以免要使用時變壓器已有絕緣降低等問題產生。
3. 變壓器應注意負載率，一般平均約 50% ~55%

為最佳。

4. 變電站室內控制之溫度設定建議 $28^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。溫度太低一旦該變壓器停用後再啟用，可能會因為結露造成短路損害。
5. 變壓器採 FOA 方式冷卻者，且經常輕載運轉者，其冷卻系統之風扇、油泵可考慮採變頻方式節能。
6. 斷路器採氣壓或油壓操作者，其啟動運轉次數及時間，請各廠商應注意統計，若有異常應檢討原因如漏氣、漏油等，可節省不必要之耗損。
7. 電力系統的檢查維修至為重要，請各廠商把握每年歲修的時機，改善平時檢測觀察的弱點，才能提供穩定可靠之電力。

(五) 泵系統

1. 泵機組運轉方式及泵設計流量，應根據所供應區域需求總流量計算泵系統總流量，其總管道最大流量不宜超過總流量的 50%。
2. 應結合泵的型號與規格選擇泵機組群的台數，在保證供應液需求的情況下，使每台泵的運轉效率在額定效率的 80% 以上。
3. 泵浦馬達若設有變頻器控制，應統計各設備變頻範圍、負載率與使用時間，決定是否使用變頻控制，若運轉頻率長期接近下限 ($<25\text{ Hz}$)，應評估更換較小馬達，若長期接近上限 ($>58\text{ Hz}$)，應評估停用變頻器。

(六) 製程系統

1. 生產區佈置應利於降低能耗和物料消耗，並應符合下列要求：
 - (1) 平面佈置應合理、緊湊和符合工安相關法規要求。
 - (2) 減少無塵室或普通空調房間面積。
 - (3) 應優化產品生產動線、物料動線、人員動線和設備維護動線，應合理進行空間

佈置，並宜降低空間高度。

(4) 能耗較大的生產區、製程或設備，宜靠近動力供應源設置。

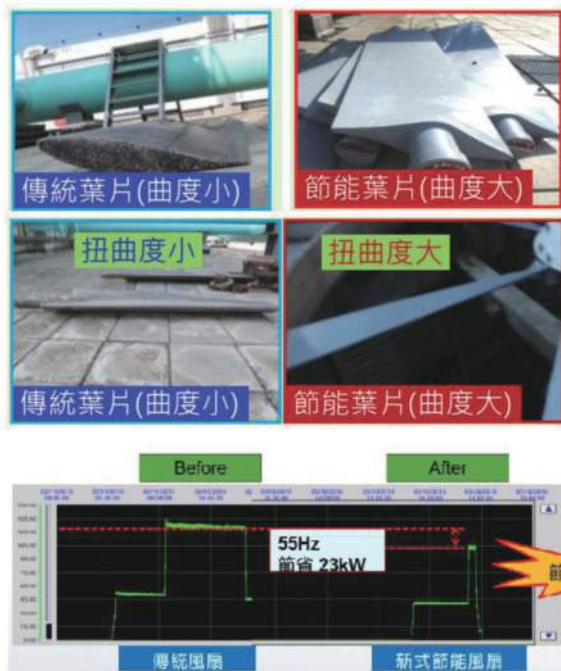
(5) 房間參數相近之空間，在滿足生產製程前提下，宜靠近佈置。

2. 製程設備之溫度高於或低於生產環境度，應設置可靠隔熱、保溫或隔離措施，宜回收再利用。
3. 製程節能設計應按電子產品生產製程的需要，合理選用滿足節能設計要求及生產要求的採暖、通風、潔淨、空調的相關參數，以及生產設備的動力、氣體動力、生產用水等的相關參數。

五、節能案例分享

(一) 案例一：冷卻水塔風車改為節能風扇

目的：在相同水塔效率及風量之下，可降低馬達輸出功率（軸馬力）。



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司（2017）

圖 7 冷卻水塔風車改為節能風扇

作法：更換節能風扇，軸馬力由 180 HP 降低至 145 HP；風扇葉片選用高效率風扇，由 68.6% 提升至 82.8%（高效能塗布材料）。

節能效益：長時間觀測，相同運轉頻率下可節能 18.4%，初設成本 80 萬 / 組，ROI 為 2.7 年。

(二) 案例二：熱泵取代電熱鍋爐

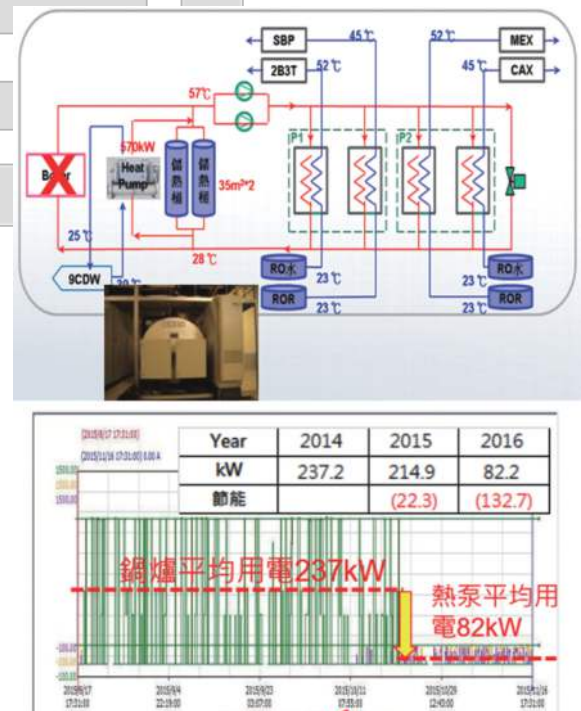
目的：原設計純水系統再生時使用熱水由電熱鍋爐製造，平均耗電量較高，改為 COP 較高之熱泵系統，可降低能耗。

作法：將電熱鍋爐移除，直接以雙溫熱泵系統取代，除熱水供應作為純水系統再生使用，冷水可提供作為低溫冷能。

節能效益：電熱鍋爐平均用電 237 kW，熱泵系統平均用電 82 kW，節能效益達 65%。

(三) 案例三：MAU Air Washer 改用濕膜板

目的：原設計 MAU Air Washer 為直接灑水式，



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司（2017）

圖 8 熱泵取代電熱鍋爐

需耗用大量循環水及投入大馬力 pump，更換為濕膜板可以提高水霧接觸面積，並降低投入 pump 馬力。

作法：MAU Air Washer 原為直接灑水方式，於去除效率相似的情況下，改用濕膜板搭配霧狀噴水頭，可大幅降低 Washer pump 馬力，從 50 HP 降至 10 HP。

節能效益：水泵馬力由 50 HP 更換為 10 HP，同樣運轉操作條件下，節能效益達 80%。



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司 (2017)

圖 9 MAU Air Washer 改用濕膜板

(四) 案例四：運用 EMS 使 PCW pump 運轉最佳化

目的：製程機台 PCW 設備設有變頻器，因使其運轉在最佳效率點。

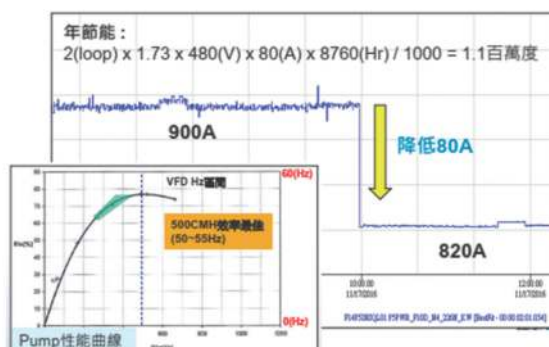
作法：透過 EMS 系統，蒐集運轉參數，調整 PCW Loop pump 台數，提升每台負載量至最佳效率區間，降低系統運轉電流。

節能效益：經長期驗證，PCW pump 合計電流量由 900 A 降至 820 A，ECF 效率指標由 0.86 kWh/CMH 降至 0.79 kWh/CMH，效率提升約 8%。

(五) 案例五：運用 EMS 找出冰水系統運轉最佳效率點

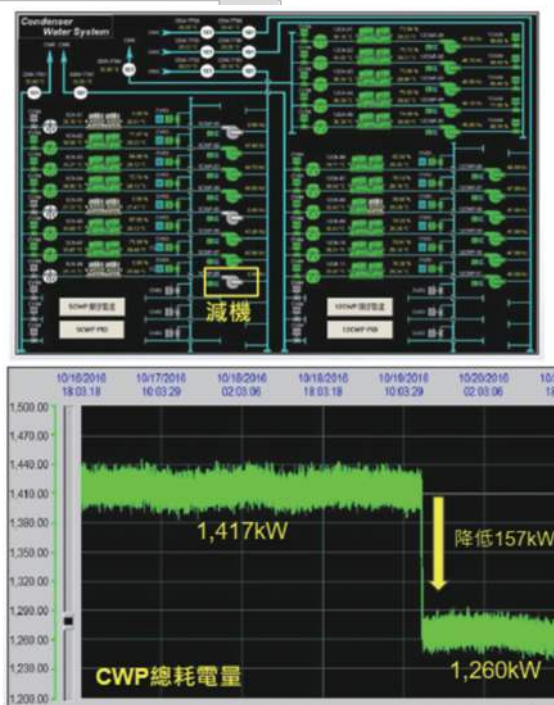
目的：製程機台 PCW 設備設有變頻器，因使其運轉在最佳效率點。

作法：透過 EMS 系統，蒐集運轉參數，透過檢討泵浦最佳性能 / 效率曲線，合理找出冷卻水



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司 (2017)

圖 10 運用 EMS 使 PCW Pump 運轉最佳化



資料來源：台灣積體電路製造股份有限公司 (2017)

圖 11 科技廠房節能策略與案例分享 運用 EMS 找出冰水系統運轉最佳效率點

泵運轉台數，達到系統最佳效率點。

節能效益：經長期驗證，冷卻水泵耗電量降低 11%，而整體冰水系統 ECF 效率指標由 0.72 kWh/RT 降至 0.68 kWh/RT，效率提升約 5.5%。

六、結語

節能策略推動的成功關鍵，除了合適的節能目標及節能方案外，更重要的是全廠能源使用部門的共同參與，包含縱向的管理階層支持與橫向的跨部門溝通協調，建議參考 ISO50001 能源管理系統組織概念原則做出發點，從廠務端至製程端皆有執行團隊及主管加入討論，除了廠務公用設備節能外，由製程條件著眼，在不影響生產及製程條件下，提升整廠的能源利用效率，並將常態性的節能措施，落實在日常的生產營運中。

隨著高科技產業的產能增加與精密度提升，單純的追求減少能源使用已無法符合實務面的期待，合理的利用有限的能資源，透過有效的能源管理方式與設備操作策略，針對工廠端、廠務端

與辦公室，輔以不同的邏輯策略，使能源利用效率最大化，達成企業永續營運管理目標。

參考文獻

- ISO 50006:2014 – Energy Baseline (EnB) and Energy Performance Indicator (EnPI)
- Jahedul Islam Chowdhury, Yukun Hu, Ismail Haltas, Nazmiye Balta-Ozkan, George Jr. Matthew, Liz Varga. Reducing industrial energy demand in the UK: A review of energy efficiency technologies and energy saving potential in selected sectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 94, October 2018, Pages 1153-1178.
- 台灣積體電路製造股份有限公司 (2017)，節能減碳與資源活化訓練課程講義。
- 楊正光、蔡尚錚 (2018)，電力系統節能方法，台灣 ESCO 會訊第 26 期。
- 國家發展委員會 (2022)，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。
- 經濟部能源局 (2016)，LED 照明節能應用技術手冊。
- 經濟部能源局 (2018)，中小型能源用戶能源管理系統建置指引。
- 經濟部能源局 (2018)，無塵室節約能源技術手冊。
- 經濟部能源局 (2018)，工廠能源管理建置技術手冊。
- 經濟部能源局 (2021)，永續產業發展期刊第 90 期：能源效率提升與最大化。

新 書 推 介

(一) 廢污水生物急毒性檢測與應用評析

許國恩、林宜璇、吳佳娟、
烏春梅、林淑滿等 編著

2020年11月初版

(二) 台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究

詹穎雯、陳育聖、邱暉仁、
何季軒等 編著

2020年7月初版

AI 衛星大數據於都市規劃之探討 ——以基隆河谷廊帶為例

鄭得權 * 許智修 **

摘 要

隨著大數據 (Big Data) 類別與數量的增加，更多的數據分析應用可以輔助複雜的城市治理。其中，衛星數據提供從地區到全球尺度訊息，能夠用來解釋並分析自然環境和建築環境的狀態和轉變，是研究土地利用與規劃過程重要的資料。數據分析方法中，人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 近年成為衛星數據分析重要的演算法，能夠快速且準確地進行資料預測或分類。因此如何應用衛星資料協助空間規劃，並作為決策與管理依據，是今日城鄉規劃實務重要的議題。

本研究探討衛星數據於都市規劃中可能的應用方式，以基隆河谷廊帶為驗證地區。在分析應用中，透過分析研究地區空間發展、植被生態以及產業數據，作為都市規劃研擬及檢核依據。研究結果發現，以 AI 衛星大數據掌握城市發展變遷，在方法準確性、效率和成本等方面都能提供更佳的表現。

關鍵字：人工智慧、衛星數據、都市規劃

一、前 言

(一) 都市規劃與衛星大數據

隨著大數據 (Big Data) 與各國政府的開放資料 (Open data) 類別與數量的增加，城市治理也面臨了數據分析的挑戰，以確保有效的規劃與管理。城市和區域規劃過程常使用各類的分析方法分析大數據，試圖理解人口、環境、交通、住房和經濟等系統，透過資料的分析，有助於都市及區域規劃的研擬，並作為相關決策的依據 (Thakuriah et al., 2017)。世界銀行 (2021) 指

出全球約有 56% 的人口居住在城市地區。以臺灣而言，依據內政部統計處的最新資料，2019 年我國都市人口比例為 79.1% (我國都市人口比率係指 2019 年底都市計畫區域人口占總人口比率)，在亞洲國家中僅次於日本與韓國。人口往都市集中的都市化 (Urbanization) 過程往往驅動了城市空間的變化，例如建築增加或土地利用變遷等。這樣的情況是都市規劃過程重要的關注議題。儘管近年來城市地區的相關數據建置越來越完整，但仍然有許多無法獲取的數據。以臺灣的國土利用調查為例，儘管對於城市土地利用情形做出了

* 中興工程顧問公司園區及路航工程部數位創新組規劃師

** 中興工程顧問公司園區及路航工程部數位創新組總監

重大貢獻，但仍因調查上的限制，無法反映臺灣各地區域長期、連續的建築空間變化特性，以及植被的生長狀況。

在此同時，地球觀測（Earth Observation, EO）已經進入了大數據的黃金年代。遙測（Remote Sensing）數據集提供從地區到全球尺度訊息，能夠用來了解自然環境和建築環境的狀態和轉變，是研究土地利用與規劃過程重要的資料。其中，高光譜衛星影像（Hyperspectral imaging），能提供連續、可靠、高質量甚至是共享的地球觀測大數據。因此，要從如此大量的數據中，有效地萃取區域或都市規劃所需資料，更需要新的技術方法來分析、管理及應用。衛星資料的數據分析方法中，人工智慧（Artificial Intelligence, AI）近年成為衛星數據分析重要的演算法，能夠快速且準確地進行資料分類或預測。近年來，機器學習中的深度學習更是引發了人工智慧的技術突破，應用深度學習技術於遙測土地使用分類已成為一個蓬勃發展的研究領域（Tuia et al., 2021）。

（二）研究目的與貢獻

因此，本研究探討數據時代下的空間規劃可能的因應方式，我們嘗試應用衛星資料並配合相關社會經濟數據分析，結合新技術提出新的空間規劃分析架構。此外，分析上應能跨越行政界線的限制，以協助空間規劃者獲取更全面的數據以研擬計畫，並可作為管理者決策與管理依據。

依據我們的研究目的，選定臺灣基隆市與新北市之河谷廊道為驗證地區，該地區為跨行政界線之都市計畫地區，近幾年來人口及產業蓬勃發展。因此，我們有機會透過衛星影像在研究地區找出建築、植被等空間變遷。分析架構中，我們先透過研究範圍不同年期衛星資料蒐集，以人工智慧與遙測技術分析長期建築物空間變遷，以及

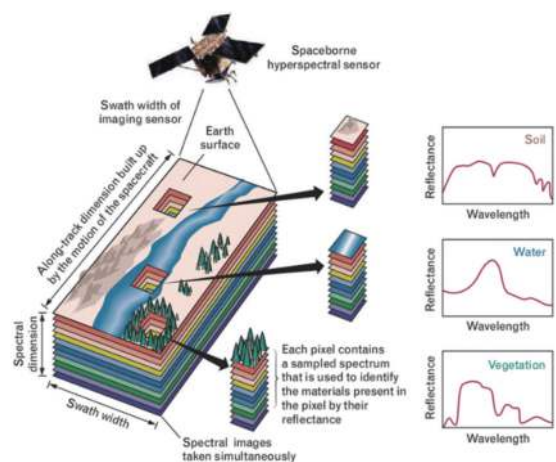
生長情形變化，並結合社會經濟數據分析產業潛力及路網可及性，最後嘗試提出產業用地轉型策略與跨域治理模式。

透過我們的研究設計，試圖結合不同專業知識提出具體的量化方法釐清都市發展資訊，並建立一套分析架構。有助於都市計畫之訂定，協助釐清都市空間成長、都市發展用地、生態保育等發展情況，並有助於城市管理者決策與考核參考。研究發現，透過人工智慧輔助城市規劃數據分析，在方法準確性、效率和成本等方面都能提供更佳的表現。

二、資料與研究方法

（一）衛星遙測（Remote Sensing, RS）

衛星遙測（Remote Sensing, RS）係指透過衛星蒐集不同地物反射或輻射的電磁波。多光譜遙測影像包含多個波段組合，可用於解釋和分析的合成影像，或進行轉換或計算使某些地物特徵更加明顯，因此就能依據光譜特性判斷不同地物類別（Huang et al., 2021），如圖 1 所示。本研究使用美國太空總署（NASA）之 Landsat 地球觀測



資料來源：Shaw & Burke (2003)

圖 1 衛星遙測及光譜特性示意圖

衛星，Landsat-7 啟用於 1999 年共有 8 個波段；Landsat-8 啟用於 2013 年共有 11 個波段。

在多光譜資料中，包含可見光（藍光、綠光、紅外光）及不可見光（近紅外、短紅外）等。不同的光譜具有不同的特性，如紅外光位於植被葉綠素的主要吸收帶，近紅外光位於植物的高反射區，透過光譜特性可用於區分對於裸露地表、植被、岩性及地貌等類型。其中，比值植被指數（Radar Vegetation Index, RVI）又稱為綠度，是分析綠色植被動態與揭示植被動態對氣候變遷影響的重要指標。相較於 NDVI 指數適用於植被早、中期生長階段的動態監測；RVI 指數適用於植被生長旺盛、具有高覆蓋度的植被監測。綠色健康的植被 RVI 指數大於 1，無植被覆蓋地區 RVI 指數接近於 0。另植被指數於計算時，應選用同一季節之衛星影像為原則（Agapiou, 2020; Gonenc et al., 2021）。RVI 如公式（1）：

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \dots\dots\dots (1)$$

（二）人工智慧（Artificial Intelligence, AI）

我們採用深度學習類神經網絡（Neural Network）之多層感知器（Multilayer Perceptron, MLP）作為我們的模型，多篇文獻亦表明 MLP 模型是準確的分類器模型之一（Jozdani et al., 2019; Adagbasa et al., 2022）。MLP 是前向傳遞類神經網絡，通過前饋方式從輸入數據映射到輸出表示的網絡（Atkinson & Tatnall, 1997），其基本組成部分涉及一組計算節點，這些節點在完全連接的多個層（包含輸入、隱藏和輸出層），並具有權重。通過反向傳播學習網絡中的權重和偏差，以近似輸入特徵和輸出特徵之間的複雜關係。學習目標是通過使用特定的成本函數來最小化預測和期望輸出之間的差異（Del Frate et al., 2007; Zhang et al., 2019; Chen, 2021）。

我們將建立 MLP 模型辨別衛星影像中的建築物，首先，我們從整個大範圍的衛星圖中先擷取部分範圍進行特徵物標註（例如標示建築物），接著我們進行交叉驗證（Cross validation）來選擇

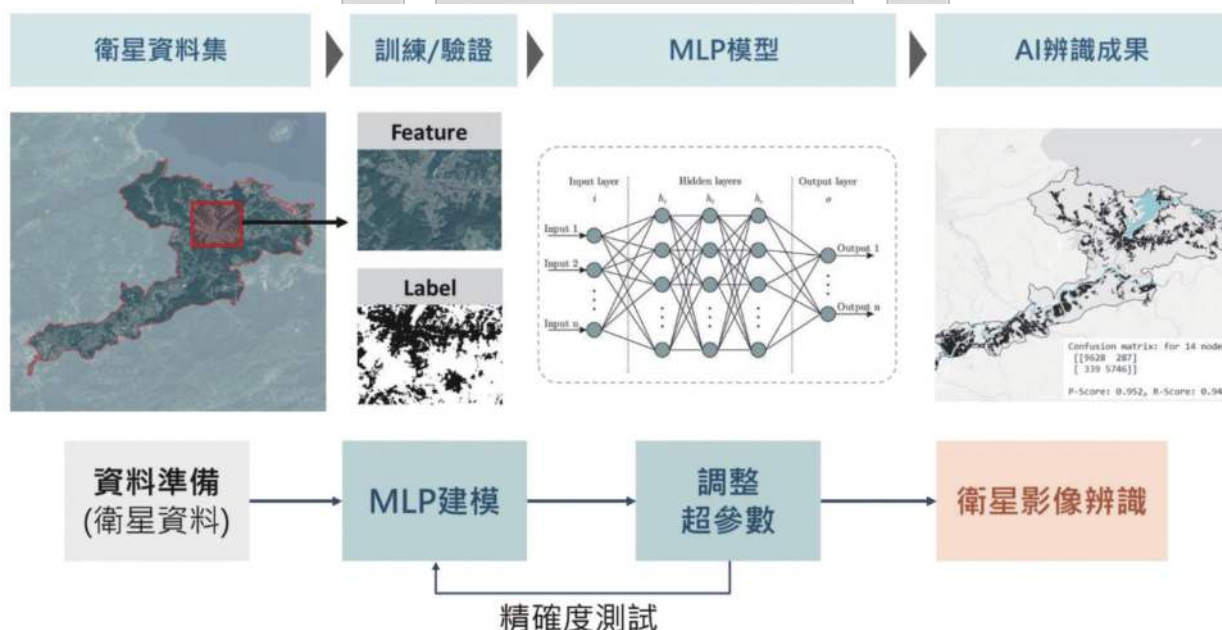


圖 2 以 AI 人工智慧進行衛星影像辨識之流程

這些參數(切分資料集為60%訓練與40%驗證),以作為後續的精確度驗證。接著進行MLP模型建置與訓練,並且調整超參數提升精確度。最後就能由AI模型依據光譜特徵,去辨識整個大範圍地區的衛星影像,如此可以讓我們快速掌握區域的地形地貌,以AI人工智慧進行衛星影像辨識之流程如圖2所示。

(三) 模型評估

為了衡量AI模型的效能,我們以機器學習常用的兩個指標進行評估,包含:(1)精確率(Precision)定義為事實為真且預測為真(True Positives)與「所有預測為真(True Positives & False Positives)」之間的比率。以本研究為例,是指模型正確辨識為建築物占「辨識為建築物」的比例,數學上如公式(2)所述。(2)查全率(Recall,或稱召回率)定義為:事實為真且預測為真(True Positives)與「所有事實為真(True Positives & False Negatives)」之間的比率。以本研究為例,是指模型正確辨識為建築物占「事實為建築物」的比例,數學上如公式(3)所述。如前所述,精確率和查全率雖都關注 True Positives,但角度不一樣,精確率主要關注在預測為真的情況下,實際的「精確度」為何,而查全率則注重在實際情形為真的狀況下,預測「能召回多少」實際為真向的答案(Chen, 2021)。

$$\text{Precision} = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Positives}} \dots\dots (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Negatives}} \dots\dots (3)$$

三、驗證案例

(一) 選定標準

為了探討AI衛星大數據於城市規劃之應用,本研究使用了二個標準(Criteria)選定案例:(1)

跨行政界線之都市地區,以及(2)近20年空間變遷明顯地區。

(二) 驗證地區:基隆河谷廊道

依據前述二個標準,本計畫以基隆河谷廊道之都市計畫區為範圍,該地區位於臺灣東北部,都市計畫範圍橫跨基隆與新北兩個縣市。由西到東包含:新北市汐止都市計畫區、基隆之港口商埠、中山安樂八斗子、安樂社區、八斗子漁港及七堵暖暖等6個都市計畫區,如圖3。



圖3 驗證地區-基隆河谷廊道都市計畫區範圍

此外,基隆河谷廊道近年十年發展迅速,有許多的產業園區開發及遷入人口。基隆河谷廊道在空間特性上具有明顯的空間變遷已及跨行政界線的特性,符合我們的選定標準。為觀察驗證地區的空間變遷,本研究以10年為區間,盡量選擇相同季節之衛星影像,選用Landsat-7 ETM+之2000/2/18、2010/3/31,以及Landsat-8之2021/2/1年衛星影像為分析資料。

四、結果與討論

(一) 空間發展分析

本文首先針對驗證地區三個年期衛星影像圖分別進行建築物辨識,以作為空間發展趨勢評

估。本研究結果如表 1 所示，在我們設定的交叉驗證下，各年期的精確度（Precision）皆在 95% 以上，顯示以 AI 辨識建築物有良好的效果。我們可以透過計算不同年期的建築面積與發展率，在三個年期中，建築面積呈現增加的趨勢，特別在 2000-2010 年有較多的增加，2010-2021 年則趨緩，而三個年期之發展率分別為 70%、84% 及 88%，如圖 4 之空間發展部分所示。接著為了觀察建物空間變遷，我們可以把三個年期辨識結果進行疊圖分析，幫助我們觀察新增建築物的空間分布情形，結果可以發現驗證地區新增建築物多集中於工業園區周邊，如圖 5 所示。以往都市規劃過程較缺乏「都市實際發展檢核的客觀機制」，我們以衛星影像為基礎，透過都市發展用地（如住宅區、商業區、工業區等分區）之建築情況作為都市計畫發展程度的評估依據。

表 1 空間發展趨勢分析

項目 / 年期	2000	2010	2021
Precision	0.965	0.995	0.952
Recall	0.973	0.991	0.944
建築面積（公頃）	1373	1764	1852
發展率	70%	84%	88%

註：發展率 = 建築面積 / 都市用地面積之比值（都市用地面積參都市計畫法臺灣省施行細則之定義）

（二）植被生態變遷分析

接著針對驗證地區三個年期之衛星進行計算各年期的 RVI 指數，以觀察植被覆蓋度和生長狀況，成果如圖 4 之植被指數所示。成果中，顯示以 AI 辨識植被區位並配合植被指數如 RVI 有良好的效果。此外，為了觀察植被的空間變遷，我們把不同年期植被區位進行疊圖，定義植被「轉變較佳」為植被指數增加 50% 以上地區；「轉變較差」為植被指數減少 20% 地區，其餘為「持

平」地區。透過植被的空間變遷分析，可以發現部分轉變較差區位多位於既有都會建築集中處周邊，有助於未來相關生態保育政策的研擬，如表 2 及圖 6 所示。以產業發展為例，未來可由政府發布生態補償區位（如植被轉變較差區位），提供新設產業園區之廠商認養，將產業發展之外部成本內部化。對於政府而言，民間單位認養可以分擔政府在綠地及山坡地管理的成本，對於廠商而言，則能夠回應淨零碳排放及實現企業社會責任，創造政府管理端及廠商使用端雙贏之機會。此外，管理單位亦能透過 AI 衛星影像技術，定期追蹤綠地認養成效。

表 2 驗證地區植被的空間變遷分析分類

項目 / 年期	轉變較佳	持平	轉變較差
面積（公頃）	386.7	4937.9	18.4
比率（%）	7.2%	92.4%	0.3%

（三）產業發展分析

接著我們可以透過相關的社會經濟資料與衛星資料進行分析與比對，本研究使用經濟部工業局之登記工廠名錄資料，擷取其中 2006 年至 2021 年新設登記工廠資料。以五年為單位切分為三個年期，並使用熱度圖之視覺化方式呈現，如圖 4 之產業發展部分所示。其中，在 2006-2010 年部分，可以發現新設工廠約 168 家，成長率為 20%；2011-2015 年部分，新設工廠 259 家，成長率約 25%；2016-2021 年部分，新設工廠 423 家，成長率約 33%。資料顯示近五年在驗證地區工廠數量增加迅速，產業類別上以傳統產業及科技產業為大宗。在空間上，近年新設工廠主要集中於河谷廊帶及汐止地區，亦與前述建築空間變遷的發展趨勢吻合。因此，我們在探討空間發展的同時，可以納入社會經濟資料輔助討論。

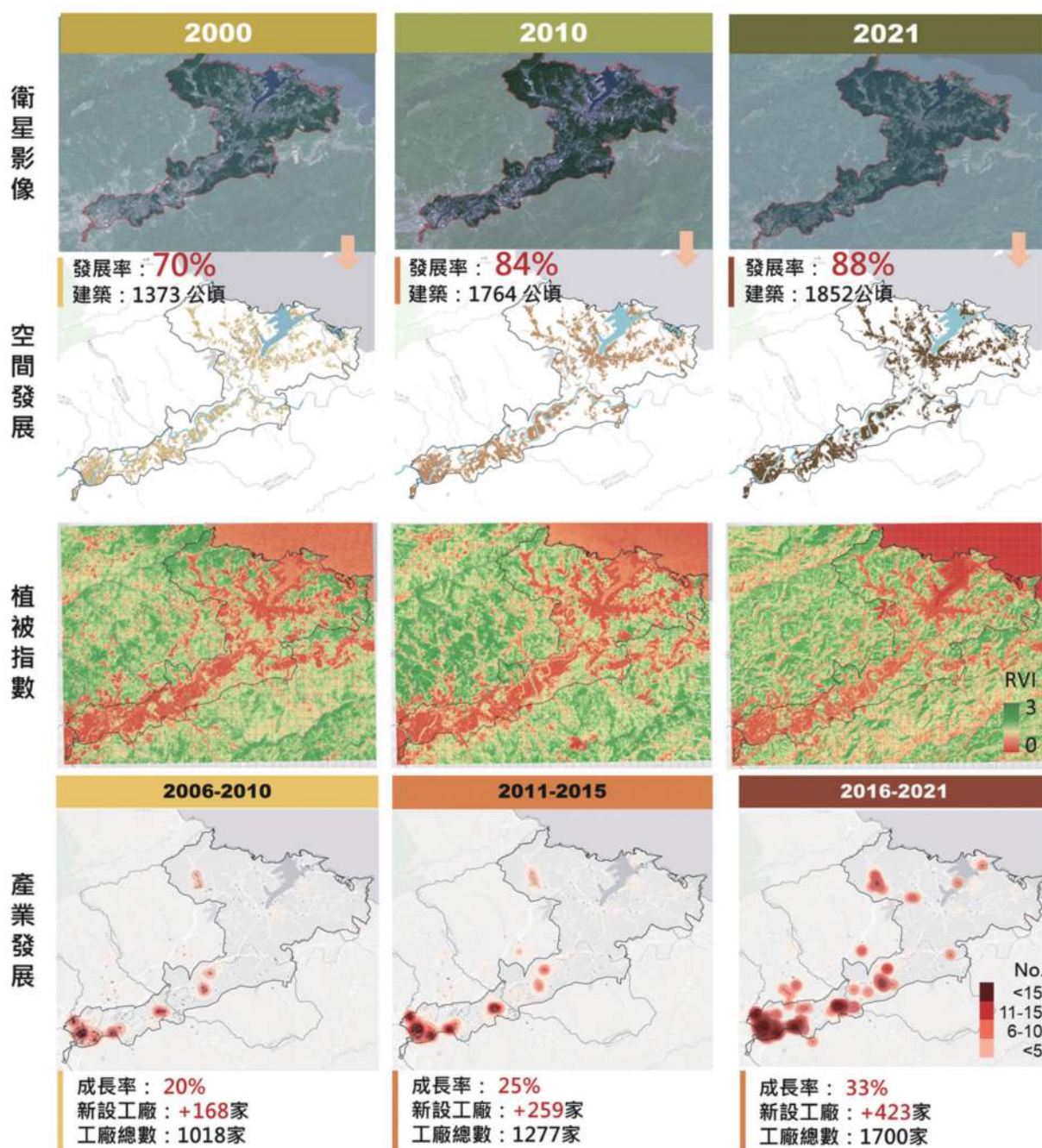


圖 4 建築空間發展、植被指數及產業發展

五、結論

在本研究中，開發了一種基於深度學習的衛

星影像辨識模型，透過該模型分析衛星大數據，嘗試應用於都市規劃過程中的資料分析實務，並以驗證地區作為案例研究。本研究得出四個主要

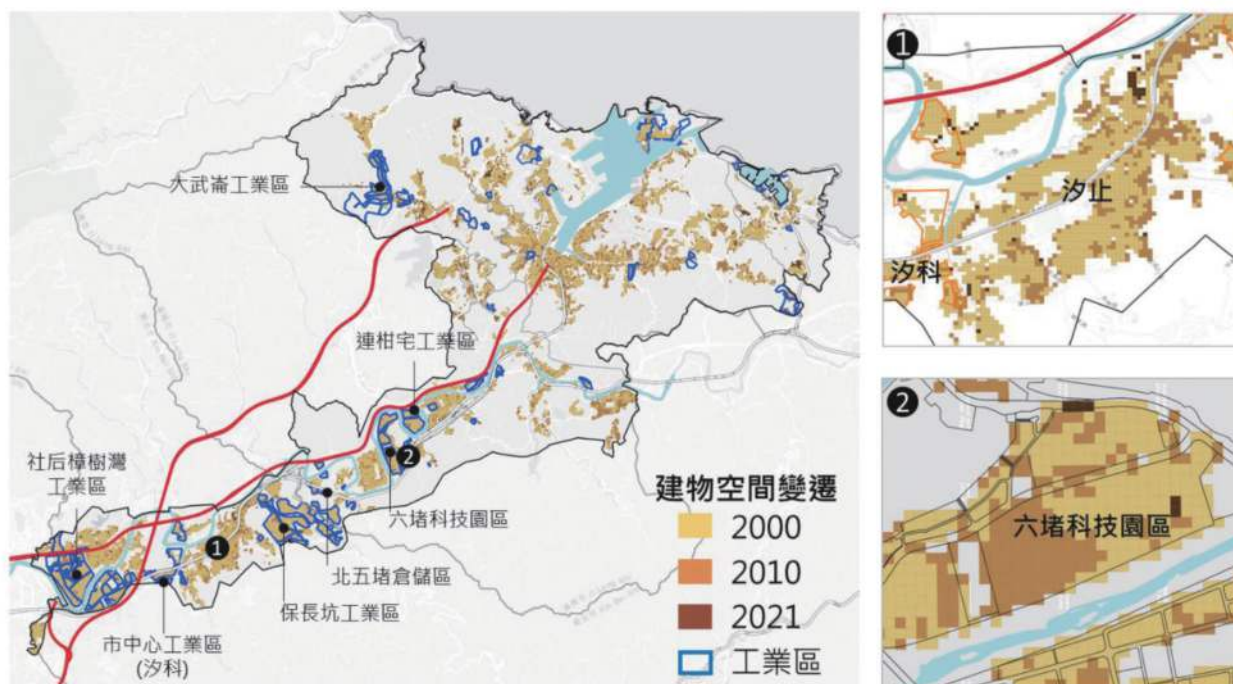


圖 5 建築空間發展變遷



圖 6 植被生長狀況區位及綠地認養架構

結論：

(一) 本研究發現，以 AI 衛星大數據掌握城市發展變遷，在方法準確性、效率和成本等方

面都能提供更佳的表現。實證結果中，各年期的精確度 (P-Score) 皆達到在 95% 以上，顯示以 AI 辨識建築物有良好的效果。

透過 AI 辨識不同年期的衛星影像之建築物空間分布，是都市計畫發展率快速的檢討方式，並配合產業數據的分析，進一步掌握社會經濟面資訊。因此，都市規劃者可依據分析結果，以更量化的方式掌握城市實際發展與都市計畫間的關係。

- (二) 以 AI 辨識出植被的空間區位後，我們可以進一步計算空間的植被生態指數，本研究以 RVI 指數為例，可觀察植被覆蓋度和生長狀況，並可透過長期數據探討區域的植被生態變遷。實務上，可與生態專家合作，針對評估結果提供進一步的意見，提供城鄉生態保育策略訂定參考。
- (三) 這項研究的目的是為探討數據時代下的空間規劃可能的因應方式，並使用新 AI 衛星影像辨識技術於驗證地區進行驗證。希望有助於臺灣都市規劃分析及實務應用參考。除了用於都市規劃過程參考外，亦可作為政府端管理數據治理的依據，例如透過管理平台建立，以衛星影像辨識都市計畫或生態補償措施的成效。
- (四) 中興工程集團已有 50 年以上的土地開發經驗，過程一貫以成為國際一流開發團隊為願景。未來將持續關注國際新技術並嘗試運用與結合於實務，以維持專業的開發服務品質。希冀未來中興團隊能應用過往豐富的土地開發經驗與創新的服務技術，為土地開發貢獻心力。

參考文獻

- Adagbasa, E. G., Adelabu, S. A., & Okello, T. W. (2022). Application of deep learning with stratified K-fold for vegetation species discrimination in a protected mountainous region using Sentinel-2 image. *Geocarto International*, 37(1), 142-162.
- Agapiou, A. (2020). Estimating proportion of vegetation cover at the vicinity of archaeological sites using sentinel-1 and-2 data, supplemented by crowdsourced openstreetmap geodata. *Applied Sciences*, 10(14), 4764.
- Atkinson, P. M., & Tatnall, A. R. (1997). Introduction neural networks in remote sensing. *International Journal of remote sensing*, 18(4), 699-709.
- Batty, M. (2013). Big data, smart cities and city planning. *Dialogues in human geography*, 3(3), 274-279
- Chen C-S. "Introduction to machine learning and deep learning. (2021)
- Del Frate, F., Pacifici, F., Schiavon, G., & Solimini, C. (2007). Use of neural networks for automatic classification from high-resolution images. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 45(4), 800-809.
- Gonene, A., Ozerdem, M. S., & Emrullah, A. C. A. R. (2019, July). Comparison of NDVI and RVI vegetation indices using satellite images. In 2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics) (pp. 1-4). IEEE.
- Helber, P., Bischke, B., Dengel, A., & Borth, D. (2019). Eurosat: A novel dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(7), 2217-2226.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.
- Jozdani, S. E., Johnson, B. A., & Chen, D. (2019). Comparing deep neural networks, ensemble classifiers, and support vector machine algorithms for object-based urban land use/land cover classification. *Remote Sensing*, 11(14), 1713.
- Thakuriah, P. V., Tilahun, N. Y., & Zellner, M. (2017). Big data and urban informatics: innovations and challenges to urban planning and knowledge discovery. In *Seeing cities through big data* (pp. 11-45). Springer, Cham.
- Tuia, D., Roscher, R., Wegner, J. D., Jacobs, N., Zhu, X., & Camps-Valls, G. (2021). Toward a collective agenda on AI for earth science data analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 9(2), 88-104.
- Zhang, C., Sargent, I., Pan, X., Li, H., Gardiner, A., Hare, J., & Atkinson, P. M. (2019). Joint Deep Learning for land cover and land use classification. *Remote sensing of environment*, 221, 173-187.

應用多時期衛星影像於隘寮溪 上游集水區崩塌地時空及其 環境因子關聯性分析

何幸娟* 林伯勳** 牟彥蓁*** 陳慧玲**** 蔡政修****

摘 要

本文運用可多時期定域追蹤之衛星影像崩塌地圖資及遙測技術，以圖資套疊方式掌握近 15 年隘寮溪上游集水區崩塌土砂環境變動及災害變遷，徹底盤點民國 98 年莫拉克颱風過後迄今隘寮溪上游集水區土砂問題，並加以分析環境因子對於崩塌土砂災害誘發關聯性，供後續土砂災害防治策略研擬及保育治理規劃參考，強化集水區全方位水土保持管理及防治策略。

關鍵字：隘寮集水區、莫拉克颱風、水土保持管理

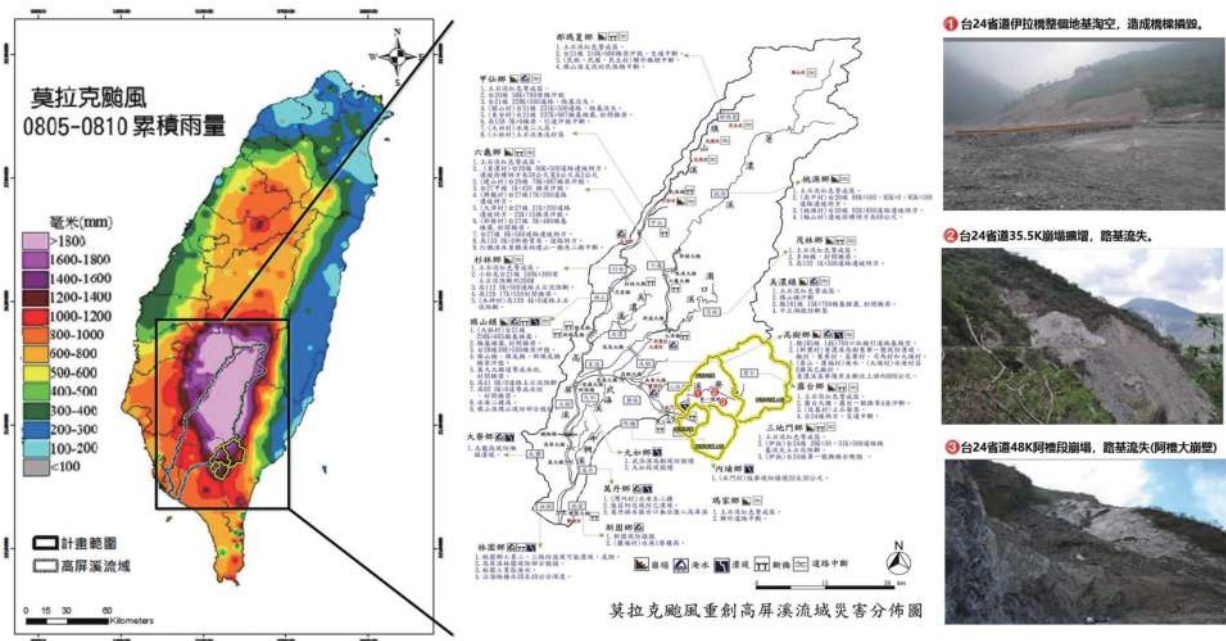
一、前 言

隘寮溪為高屏流域最大支流，民國 98 年莫拉克颱風挾帶短延時強降雨重創高屏流域，流域內有 11 個雨量站累積雨量超過 2,000 年重現期（水利署，2009a）。中興社（2010）「八八水災災害調查成果與復建工程建議」調查發現隘寮溪沿線主要聯外道路如省道臺 24 線伊拉橋整個地基淘空，橋梁損毀、鄉道屏 31 及霧台主要聚落聯絡道路皆有重大災害（如圖 1）。顯見隘寮北溪、

隘寮北溪上游、隘寮南溪、隘寮南溪上游等子集水區在遭受莫拉克颱風重創後，龐大不穩定土砂堆積於河道造成河床抬升，已造成河道土砂調節功能嚴重失衡。水保局臺南分局（2021）經彙整相關報告，提出隘寮溪上游集水區現階段問題，包含：（1）全臺降雨中心、（2）莫拉克颱風重災區、（3）大規模崩塌重點關注區。

現為瞭解莫拉克颱風事件後土砂問題與災害發生源，掌握近年降雨引致集水區之災害變遷與集水區潛在土砂料源；本文運用可多時期定域追

* 中興工程顧問社防災科技研究中心高級研究員
** 中興工程顧問社防災科技研究中心土砂監測模擬組組長
*** 中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員
**** 行政院農業委員會水土保持局臺南分局



資料來源：中興社 (2010)；網路資料 (<https://dra.ncdr.nat.gov.tw/Frontend/Disaster/RiskDetail/BAL0000014>)

圖 1 莫拉克颱風累積雨量及高屏河流域土砂災害分布圖

蹤之遙測技術及圖資，以隘寮溪上游集水區作為研究區域，盤點莫拉克颱風過後迄今之崩塌問題，並加以分析土砂料源與環境因子、降雨空間分布之關聯性，掌握近年颱風豪雨事件引致集水區之災害變遷及土砂環境變動，作為後續研擬土砂防治策略及治理規劃依據，強化集水區全方位水土保持管理及防治策略。

二、集水區基本環境

(一) 地文

隘寮溪上游集水區包含隘寮北溪、隘寮北溪上游、隘寮南溪、隘寮南溪上游等四個子集水區，集水區範圍地形高度落差大，平均高程 1,250 公尺，地形大致由東北向西南遞減，如圖 2。地勢最高位於計畫區東北，約 3,088 公尺；最低位於西側隘寮北溪與隘寮南溪交界處，約 146 公尺。坡度陡峭區位（五級坡以上），面積共約

35,368.7 公頃，約占總面積 87.9%，主要位於國有班地及地勢較陡之山坡地範圍內。屬一、二級坡之平緩地所占面積約為 687.5 公頃，約占總面積之 1.8%，各級坡度分布情形如圖 3。隘寮溪上游集水區之坡向主要為東、西南及西，占總面積 41.5%；各坡向面積分布情形如圖 4。

根據蒐集經濟部中央地質調查所五萬分之一流域地質調查資料顯示，出露地層年代屬古生代晚期至中生代黑色粘板岩與綠色石岩之大南澳片岩、始新世之畢祿山層及中新世之廬山層，出山谷後盡為台地或沖積層，地質構造如圖 5 所示。依地層生成年代由老至新，可分中新世廬山層、更新世台地堆積層、全新世沖積層等三類。依據內政部國土測繪中心之國土利用調查成果，土地利用現況以森林利用土地面積之 93.553% 為最多，包含混淆林、闊葉林、針葉林等；餘土地利用類別包含崩塌地（占比 3.5%）、果園（0.85%）等；繪製土地利用概況，如圖 6 所示。

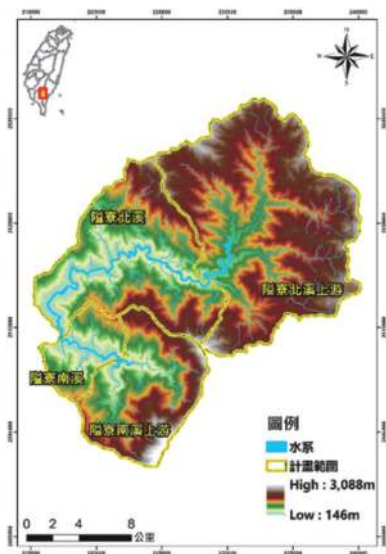


圖 2 隘寮溪上游集水區地形地勢圖

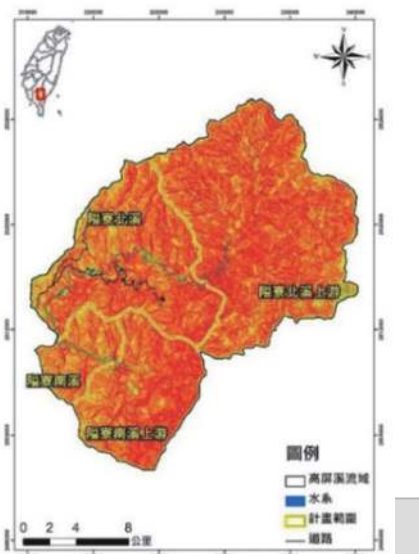


圖 3 隘寮溪上游集水區坡度分布圖

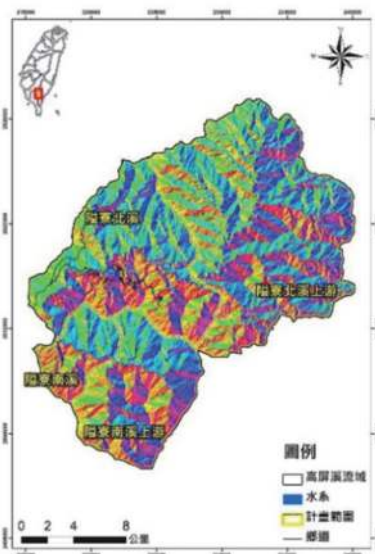


圖 4 隘寮溪上游集水區坡向分布圖

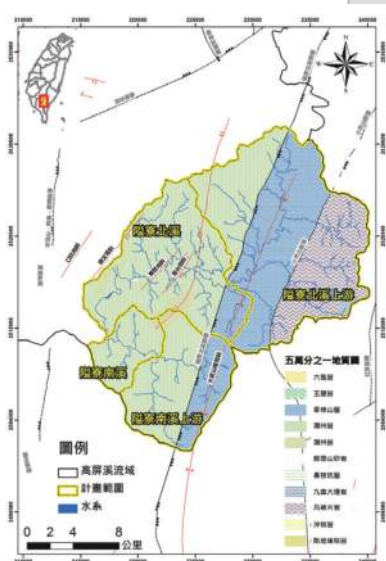


圖 5 隘寮溪上游集水區地質構造圖

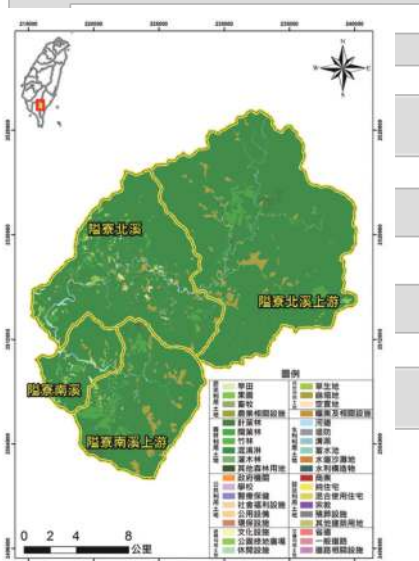


圖 6 隘寮溪上游集水區土地利用分布圖



圖 7 隘寮溪上游集水區雨量站空間分布圖

(二) 水文

隘寮溪上游集水區（隘寮北溪、隘寮北溪上游、隘寮南溪、隘寮南溪上游子集水區）之乾枯季明顯，全年雨量主要集中在 5 至 6 月份之梅雨期及 7 至 10 月份之颱風豪雨期間，11 月份以後雨量顯著減少，待至翌年 4 月份始增加。

水保局臺南分局（2021）採用鄰近區域六個紀錄年份從 1992 年起之氣象局測站（如圖 7），根據各雨量站及權重值計算隘寮溪上游集水區年平均降雨量，分析集水區平均降雨量，以隘寮北溪上游 2,961mm 最小，而以隘寮南溪 3,794mm 最大（如圖 8）。

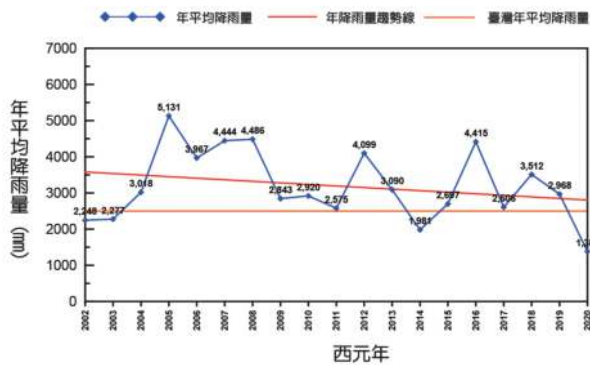


圖 8 隘寮溪上游集水區歷年年平均降雨量趨勢圖

三、研究方法及材料

遙測技術可追溯歷史環境情形，配合影像處理技術可瞭解並追蹤災害時序性演變及崩塌復育歷程，對於廣域環境調查可達事半功倍之效。本文除蒐集林務局民國 93 年至 106 年崩場地圖資，另以民國 107 年至 110 年期間，隘寮溪上游集水區地面解像力優於 2m、無雲量遮蔽（或遮蔽 <10%）之 SPOT-6/7 衛星之彩色融合影像圖資，如圖 9 所示，以物件導向自動判釋方式產製 4 期

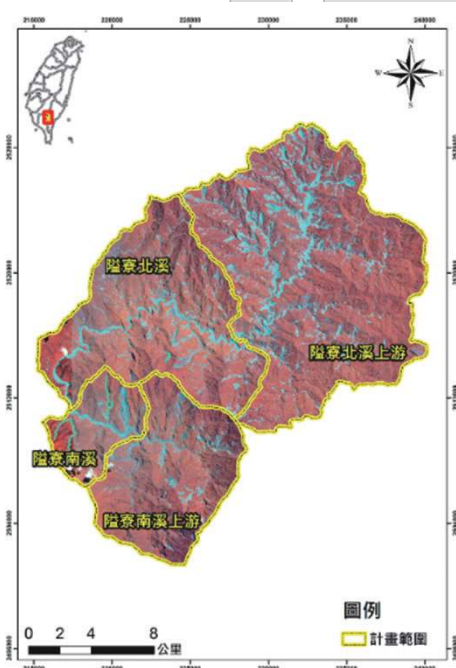


圖 9 隘寮溪上游集水區衛星影像示意圖

衛星影像崩場地圖資；總計 18 期崩場地圖資，分析不同年度隘寮溪上游集水區地貌變化，逐年掌握環境時序性演變。以物件導向式自動判釋技術獲取山坡地範圍內之影像變異點，再配合蒐集隘寮溪上游集水區之歷年航、遙測影像圖資及崩場地成果，針對判釋成果進行階段式人工品管作業，藉以提高判釋成果品質，最後進行集水區土砂災害源盤點及環境變異評估分析。藉由影像分類技術可從影像中萃取各種土地覆蓋類型，水土保持局（2011a；2011b；2016；2017；2020a）曾利用德國 eCognition 物件導向式專業影像分類軟體進行影像變異點之崩場地圖層萃取，並指出自動化判釋可縮短判釋時間，增進判釋效率，且降低人

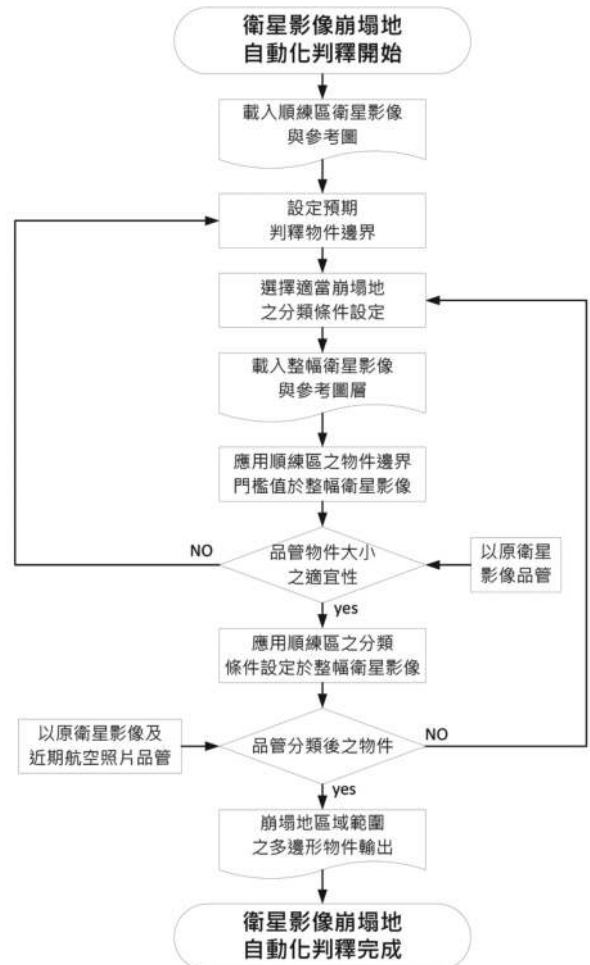


圖 10 崩場地自動化判釋流程圖

工判釋邊界之主觀誤差，後續若再以航照等輔助資料進行人工品管，則可提高判釋成果品質。

自動化判釋流程自動化判釋流程如圖 10 所示，為確保電腦自動判釋於崩塌地區域範圍之可靠度，本文於自動化判釋後進行人工品管如圖 11，由專家配合相關資料進行崩塌地範圍最後判讀，針對誤判之道路、農田、房建物等予以剷除，如圖 12，提高整體成果之可靠度。本文中判釋成

果品管有初步品管、二次品管及專家品管等三階段。

四、研究成果

（一）時空分析

本文以集水區為單元，分就「集水區」、「一般山坡地」、「國有林班地」區域等範圍，探討崩塌地空間變遷歷程，由統計歷年引致崩塌地之面積與崩壞比（定義如下），盤點主要土砂供應區域據以掌握崩塌土砂災害源頭變遷歷程，回饋至後續分年分期治理規劃。

$$\text{崩壞比}(\%) = \frac{\text{各集水區崩塌地面積}}{\text{各集水區面積}} \times 100\% \quad (1)$$

展繪隘寮溪上游集水區及各子集水區崩塌地面積、崩壞比、年平均雨量分析歷程圖，如圖 13 至圖 17 所示。由圖可知，各區域最大崩塌面積及崩壞比均出現於民國 99 年 4 月，可合理推斷肇因為莫拉克颱風挾帶的極端降雨造成隘寮溪上游集水區發生嚴重且龐大的崩塌災害，且影響程度以隘寮北溪以及隘寮北溪上游集水區最為嚴重。

進一步彙整各子集水區民國 98 年、99 年及民國 110 年的崩塌資料如下圖 18 及圖 19。其中，民國 98 年 4 月至 99 年 4 月間，隘寮溪上游的崩塌地面積增加幅度高達 5.2 倍；隘寮北溪集水區崩塌地面積由原 136 公頃上升至 1,068 公頃，崩塌地面積增加幅度高達 7.9 倍；隘寮北溪上游集水區崩塌地面積由原 420 公頃上升至 2,395 公頃，崩塌地面積增加幅度高達 5.7 倍；隘寮南溪集水區崩塌地面積由原 96 公頃飆升至 200 公頃，崩塌地面積增加幅度高達 2.1 倍；隘寮南溪集水區崩塌地面積由原 169 公頃飆升至 616 公頃，崩塌地面積增加幅度高達 3.6 倍，顯見莫拉

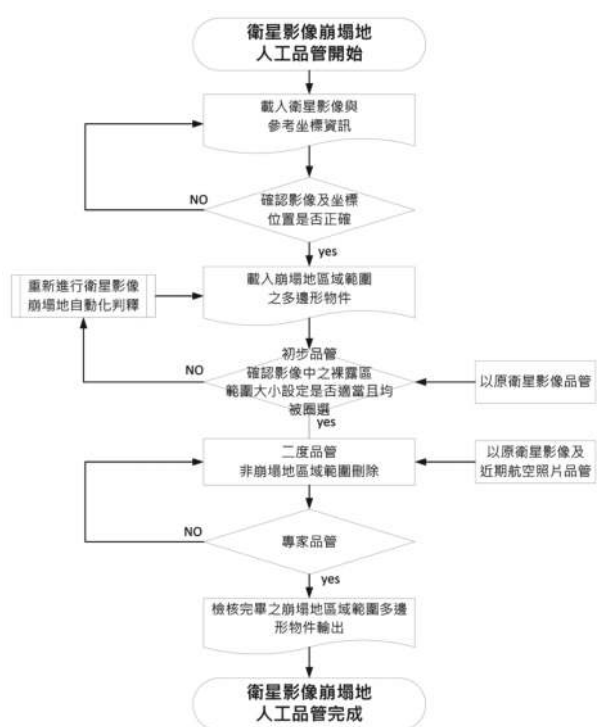


圖 11 崩塌地人工品管流程圖

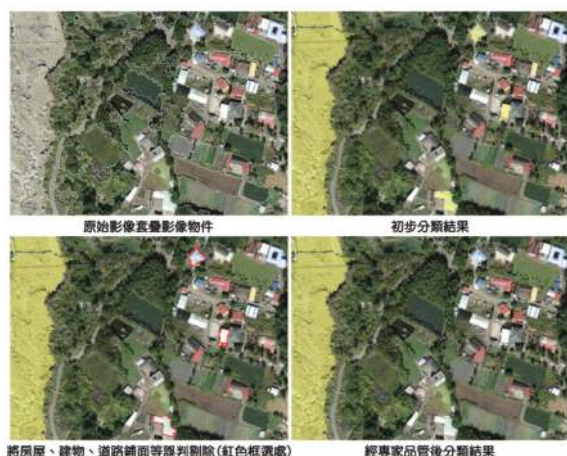


圖 12 人工檢核判釋崩塌地示意圖

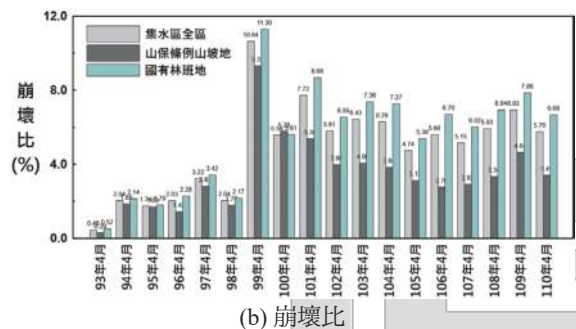
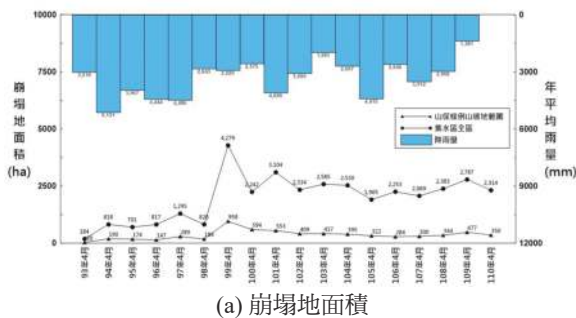


圖 13 隘寮溪上游集水區崩塌歷程圖

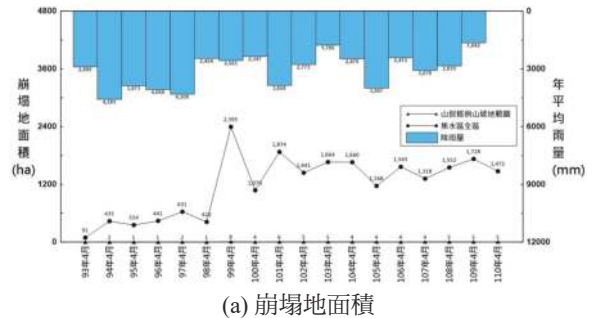


圖 15 隘寮北溪上游集水區崩塌歷程圖

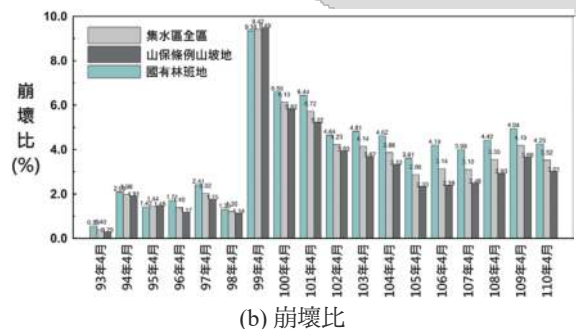
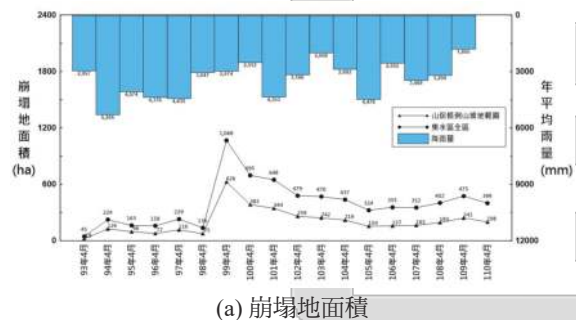


圖 14 隘寮北溪集水區崩塌地歷程圖

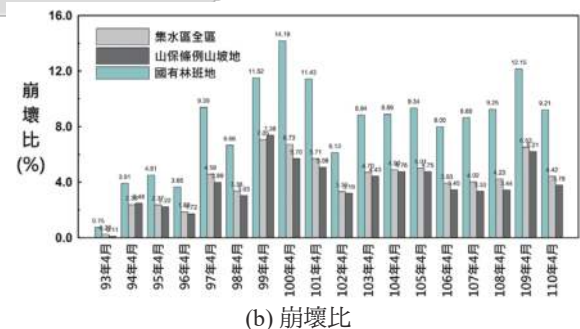
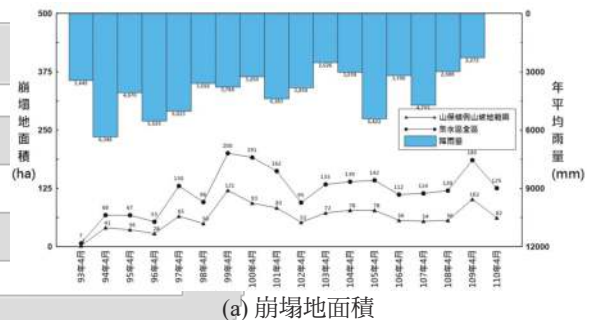


圖 16 隘寮南溪集水區崩塌歷程圖

克颱風對隘寮溪上游集水區崩塌影響嚴重。直至民國 110 年 4 月，隘寮溪上游集水區境內尚餘 2,314 公頃崩塌地，一般山坡地範圍內崩塌地計 350 公頃、國有林班地範圍內崩塌地計 1,964 公頃，崩塌比仍高達 5.76%；隘寮溪上游集水區境內尚餘 399 公頃崩塌地，其中一般山坡地範圍內崩塌地計 198 公頃、國有林班地範圍內崩塌地計 201 公頃，崩塌比仍高達 3.52%；隘寮溪上游集

頃，崩塌比仍高達 5.76%；隘寮溪上游集水區境內尚餘 399 公頃崩塌地，其中一般山坡地範圍內崩塌地計 198 公頃、國有林班地範圍內崩塌地計 201 公頃，崩塌比仍高達 3.52%；隘寮溪上游集

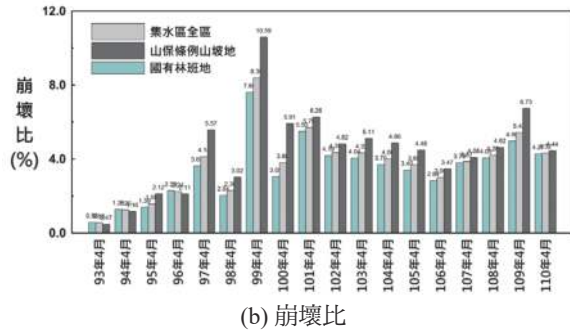
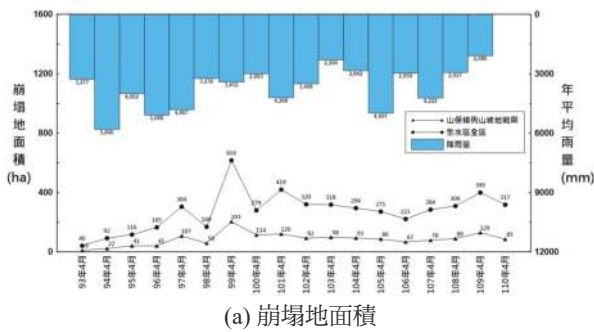


圖 17 隘寮南溪上游集水區崩塌歷程圖

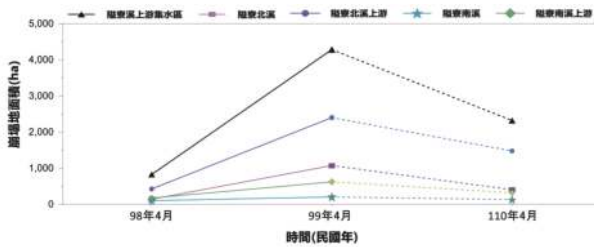


圖 18 隘寮溪上游集水區崩塌面積圖

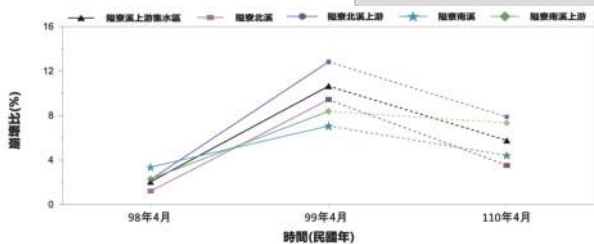


圖 19 隘寮溪上游集水區崩壞比圖

影響後，集水區整體崩塌情況雖呈現下降趨勢，但為預防現有崩塌地在下一次颱風豪雨事件下衍生二次土砂災害，未來仍有持續監測崩塌面積變異程度必要性。

(二) 崩塌環因子關連性分析

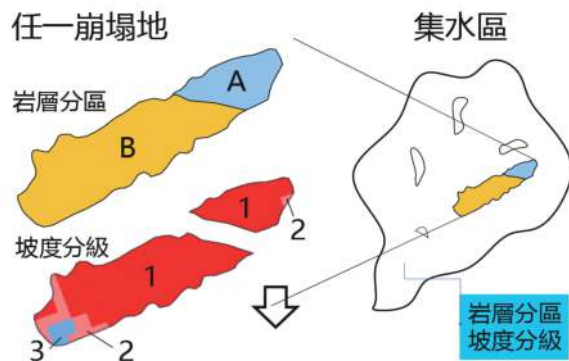
崩塌發生的環境因子可分為誘發因子與潛在因子，誘發因子為外部營力造成，如降雨、地震等；潛在因子則指崩塌地本身之特性，如岩性、坡度等，前述統稱崩塌環境因子；崩塌誘發因子以雨量為主。水保局（2020a）即曾以崩塌地圖資分析石門水庫集水區坡度、坡向、土地利用等環境因子，獲取主控崩塌環境因子供作治理策略規劃參考。本文參考水保局既有分析經驗（水保局，2020a），由前項蒐整之歷年衛星影像判釋崩塌地成果，以聯集方式盤點集水區歷年崩塌發生最大區域，分別計算各環境因子類別於集水區中所占比例，再將歷年崩塌發生最大區域與各環境因子類別進行聯集（如圖 20），以分析崩塌地之發生機率（Clerici et al., 2002; Lin et al., 2019），如下式（2）：

崩塌發生機率

$$= \frac{\text{崩塌地面積} \cap \text{環境因子類別面積}}{\text{環境因子類別總面積}} \times 100\% \quad (2)$$

水區境內尚餘 1,472 公頃崩塌地，一般山坡地範圍內崩塌地計 5 公頃、國有林班地範圍內崩塌地計 1,467 公頃，崩壞比仍高達 7.88%；隘寮溪上游集水區境內尚餘 125 公頃崩塌地，其中一般山坡地範圍內崩塌地計 62 公頃、國有林班地範圍內崩塌地計 63 公頃，崩壞比仍高達 4.42%；隘寮溪上游集水區境內尚餘 317 公頃崩塌地，其中一般山坡地範圍內崩塌地計 85 公頃、國有林班地範圍內崩塌地計 232 公頃，崩壞比仍高達 4.32%，可見受莫拉克颱風重創後，隘寮溪上游集水區的崩塌情形都較莫拉克事件發生前嚴重。

綜上所述，近年受極端氣候及異常水文事件



環境因子組合

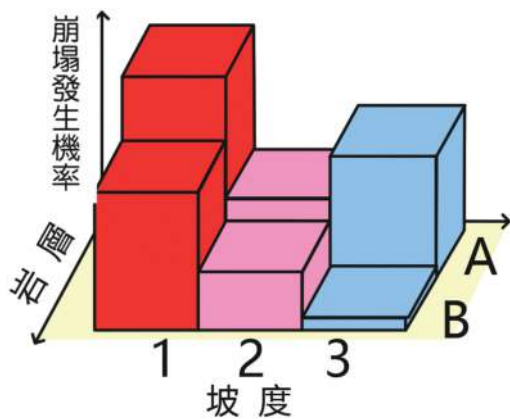


圖 20 崩塌地發生機率及其環境因子關聯性分析示意圖

採用環境因子包括坡度、坡向、地質、土地利用等地文、地質因子（如表 1），以釐清各項環境因子對於崩塌發生影響程度，供作爾後集水區及土砂防治方案評估參據。

1. 隘寮溪上游集水區

分析成果顯示（如圖 21），此區域崩塌土砂災害好發於六級坡以上區域，介於 17.4% 至 17.9% 之間；與坡向關聯性則以東、東南、南向為多。另就岩性而言，崩塌發生機率由高至低分別為畢祿山層、潮州層、高嶺片岩；土地利用類型，除原土地利用類別屬「崩塌地」外，以灌木林、混淆林、草地、闊葉林等崩塌發生機率較

高，介於 10% 至 17% 之間，另果園、旱田等崩塌發生機率亦高 10% 左右，顯示除天然森林土地利用類別外，農業利用土地對於區內崩塌災害亦有相當程度影響。

表 1 採用環境因子類別及分級彙整表

因子	類別及分級
坡度 (%)	一級：0 ≤ x < 5% 二級：5% ≤ x < 15% 三級：15% ≤ x < 30% 四級：30% ≤ x < 40% 五級：40% ≤ x < 55% 六級：55% ≤ x < 100% 七級：x ≥ 100%
地文	北：337.5 ≤ x < 375 東北：22.5 ≤ x < 67.5 東：67.5 ≤ x < 112.5 東南：112.5 ≤ x < 157.5 南：157.5 ≤ x < 202.5 西南：202.5 ≤ x < 247.5 西：247.5 ≤ x < 292.5 西北：292.5 ≤ x < 337.5
土地利用	農業利用、森林利用、交通利用、其他利用
地質	地質岩性 畢祿山層、大南澳片岩、廬山層、蘇樂層

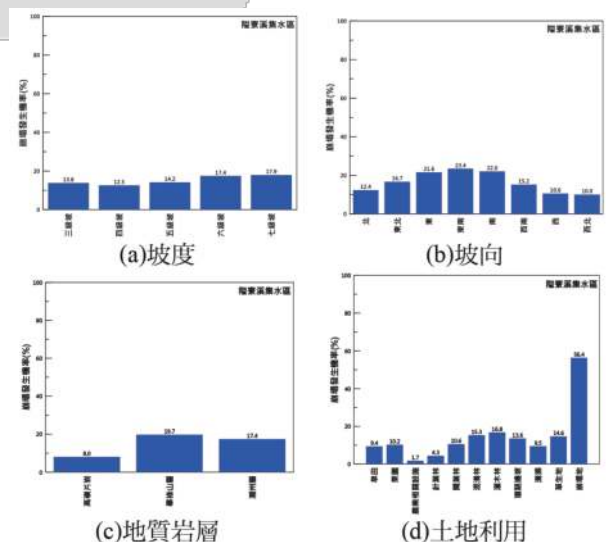


圖 21 隘寮溪上游集水區崩塌發生機率彙整圖

2. 隘寮北溪集水區

分析成果顯示（如圖 22），本區土砂災害好發於六級坡以上區域，崩塌發生機率为 4.2%；與坡向關聯性則以東、東南、南向為多。另就岩性而言，崩塌發生機率由高至低分別為潮州層、畢祿山層；土地利用類型，除原土地利用類別屬「崩塌地」外，以灌木林崩塌發生機率較高，為 16.8%，另溝渠（包括灌溉、排水、給水及相關設施，其寬度 3 米以上者）、道路邊坡（及道路上下邊坡崩塌）等崩塌發生機率亦介於 9.5% 至 10.3% 之間，顯示除天然森林土地利用類別外，水利及交通利用土地對於區內崩塌災害亦有相當程度影響。

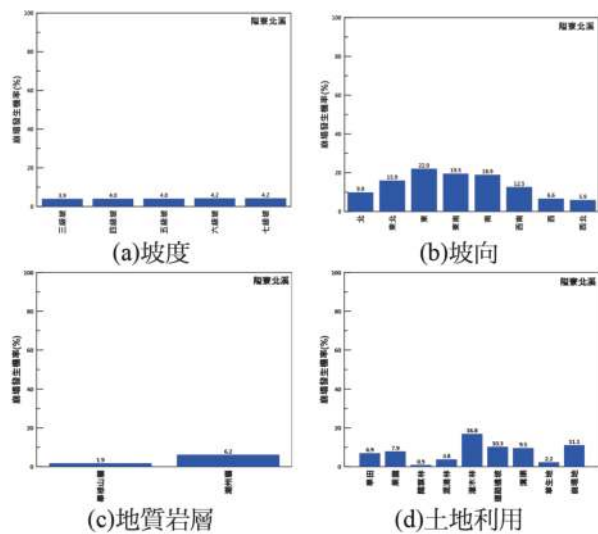


圖 22 隘寮北溪集水區崩塌發生機率彙整圖

3. 隘寮北溪上游集水區

分析成果顯示（如圖 23），本區域崩塌土砂災害好發於五級坡至六級坡區域，崩塌發生機率介於 13.6% 至 16.4% 之間；與坡向關聯性則以東、東南、南向為多。另就岩性而言，崩塌發生機率由高至低分別為畢祿山層、高嶺片岩、潮州層；土地利用類型，除原土地利用類別屬「崩塌地」外，以混淆林崩塌發生機率較高，為 8.8%。

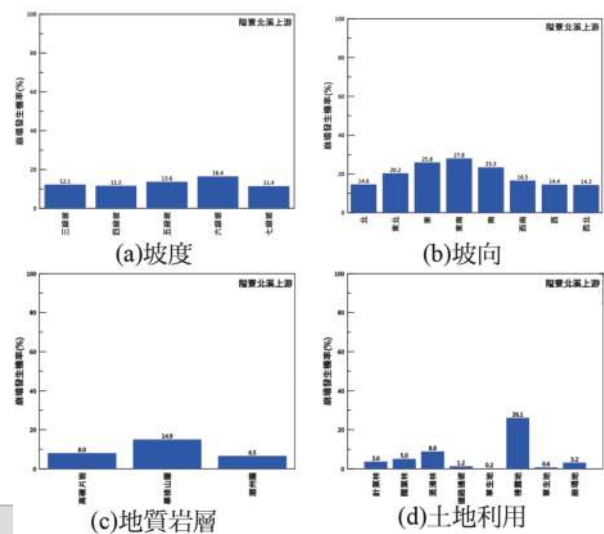


圖 23 隘寮北溪上游集水區崩塌發生機率彙整圖

4. 隘寮南溪集水區

分析成果顯示（如圖 24），此區域崩塌土砂災害好發於三級坡以上區域；與坡向關聯性則以東南、南、西南向為多。另就岩性與土地利用而言，未有顯著崩塌發生機率相關性。

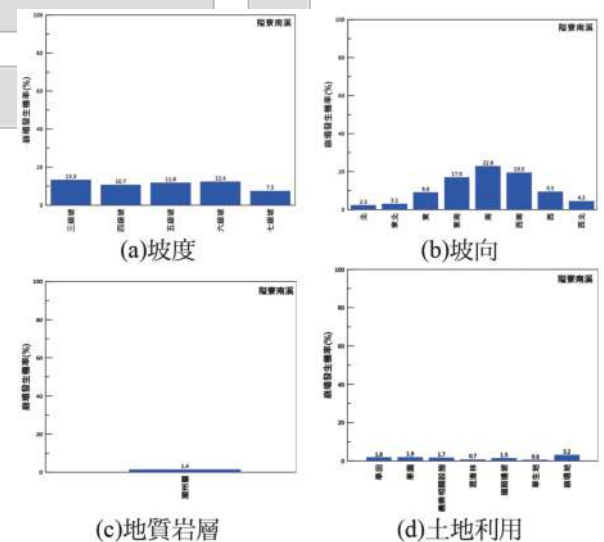


圖 24 隘寮南溪集水區崩塌發生機率彙整圖

5. 隘寮南溪上游集水區

分析成果顯示(如圖 25)，本區崩塌土砂災害好發於三級坡以上區域；與坡向關聯性則以東、東南、南向為多。另就岩性而言，崩塌發生機率由高至低分別為畢祿山層、潮州層；土地利用類型，除原土地利用類別屬「崩場地」外，以草地崩塌發生機率較高，為 11.6%。

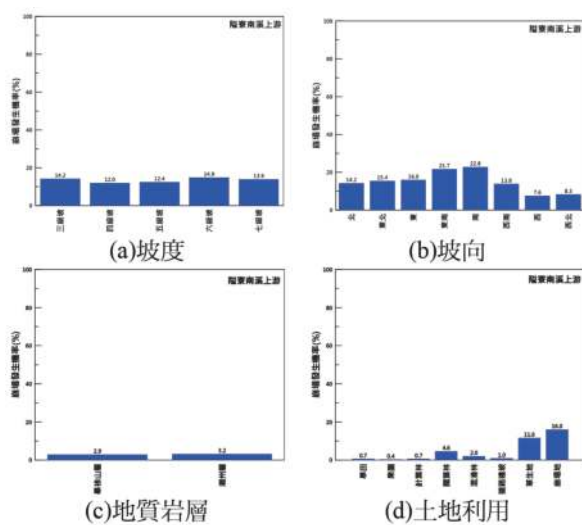


圖 25 隘寮南溪上游集水區崩塌發生機率彙整圖

6. 小結

綜整前述隘寮溪上游集水區崩塌發生機率分析成果，歸納觀察重點條列如下：

- (1) 整體而言，隘寮溪上游集水區之坡向以東、東南、南向為多，岩層傾向亦大致為東南向，加上其趾部大多受河道側向侵蝕作用，故崩塌多好發於此三種坡向。
- (2) 隘寮溪上游集水區的崩場地集中在潮州層與畢祿山層，此兩地層間以隘寮北溪斷層不整合接觸，兩地層均多有褶皺構造分布，地質破碎，而潮州層的崩塌機率又略高於畢祿山層，其可能原因係潮州層為中新世之地層，地質年代較為年輕，岩性以輕度變質的

硬頁岩與板岩為主，本屬較為破碎之岩性，且該地層內之褶皺多有倒轉現象，顯示其地質作用甚為強烈，而畢祿山層為始新世之地層，地質年代較老，岩性除板岩外，亦有變質砂岩分布，整體而言變質程度較潮州層高，且不若潮州層破碎，因此潮州層發生崩塌之現象較為頻仍。

- (3) 土地利用類別除森林土地利用及崩塌持續復發機率較高外，在隘寮北溪及隘寮南溪等集水區，因尚有聚落居住，故除森林土地利用有較高崩塌發生機率外，交通、農作土地利用崩塌發生機率亦明顯較高。

五、結論與建議

本文以衛星影像圖資長期追蹤，串聯民國 98 年莫拉克後至民國 110 年崩塌土砂變異情況。透過環境因子與崩場地圖層套疊分析，發現民國 98 年莫拉克颱風後，土砂熱區密集地帶明顯擴大，加上崩塌坡面趾部大多受河道側向侵蝕作用，崩塌好發。整體而言，隘寮溪上游集水區在民國 98 年莫拉克颱風影響下發生嚴重崩塌土砂災害，且影響程度以隘寮北溪及隘寮北溪上游集水區最為嚴重。由於目前隘寮北溪上游集水區已無道路可達，若開闢施工便道有破壞現有坡面穩定性造成二次土砂災害之虞，故隘寮北溪上游集水區內崩場地建議暫時採自然復育手段，但仍需持續監測，注意土砂隨暴漲溪水一次性大量往下游帶送影響下游保全對象。

因此，考量集水區崩塌土砂災害發生與土砂運移量體多寡，多數主控於外在誘發因子改變，如降雨事件或地震等。因此，欲徹底掌控集水區土砂問題，除以文中所述具廣域監測之影像圖資及遙測技術輔助追蹤集水區上游源頭崩塌土砂地貌變遷歷程外，另可搭配目前廣為應用之微機電

系統及物聯網韌體環境開發，於集水區特定出口斷面直接進行泥砂濃度觀測，如霧台大武聯絡道路上霧大二號橋處，或隘寮南溪與隘寮北溪匯流口處下游三地門橋等，再輔以土砂收支模式應用，分析集水區重點土砂運移情形及推估集水區產砂。徹底強化土砂問題及運移情況監控力度，管控集水區土砂運移、收支，作為後續集水區災害變遷與整體調查規劃參考基準。

參考文獻

- 財團法人中興工程顧問社（2010），「八八水災災害調查成果與復建工程建議」。
- Clerici, A, Perego, S, Tellini, C, and Vescovi, P, (2002) “A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method of Geomorphology”, 48:349-364.
- Lin, B. S., Thomas, K., Chen C. K., and Ho H. C. (2019)

- “Evaluation of Landslides Process and Potential in Shenmu Sub-watersheds, Central Taiwan”, Landslides, Vol. 16, No. 3, pp 551-570, doi:10.1007/s10346-018-1109-7.
- 行政院農業委員會水土保持局（1989），「坡地土壤分布」。
- 經濟部水利署（2009a），「莫拉克颱風暴雨量及洪流量分析」。
- 行政院農業委員會水土保持局（2011a），「南投縣信義鄉神木地區土砂災害機制歷程調查及潛勢評估分析」。
- 行政院農業委員會水土保持局（2011b），「石門水庫集水區土砂歷程調查及災害評估」。
- 行政院農業委員會水土保持局（2016），「105年度南部地區水土保持保育治理先期計畫」。
- 行政院農業委員會水土保持局（2017），「106年水庫集水區土砂環境檢查與評估」。
- 行政院農業委員會水土保持局（2020a），「109年石門水庫集水區崩塌地演變與土砂料源調查評估」。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局（2021），「110年度隘寮溪上游（隘寮北溪、隘寮北溪上游、隘寮南溪、隘寮南溪上游）等集水區災害變遷調查規劃」。

應用程式

公開發售

結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式

售價：新臺幣 9,190 元/套(含報告)

訂購電話：(02)8791-9198 轉 467 陳小姐

傳 真：(02)8791-2198

E-MAIL：louise@sinotech.org.tw

廣告



防災科技研究中心 專業服務

重要實績

- ✓ 水保局 土砂收支物聯網及大數據分析技術
- ✓ 科技部 地震數值模擬及地震危害分析
- ✓ 地調所 廣域山崩潛勢與警戒雨量評估
- ✓ 新加坡 AI於天災風險之廣域資料分析

針對各項天然災害之防災技術，進行研究發展、技術服務、諮詢業務，跨領域整合地質、地工、地震、水保、水利、地球物理、地理資訊、遙測資訊等專業技術，提供全方位具體之國土保育與防災規劃，以確保公共工程之永續經營。



聯絡資訊

114065臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02)8791-9198 傳真：(02)8791-1536
E-mail：dptrc-ctr@sinotech.org.tw
<https://dptrc.sinotech.org.tw>

誠信 創新 品質 服務
 財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.



高架捷運站月台層通風模擬

許秉盛 *

摘要

為了地球的永續發展，節能減碳為現代重要的能源議題之一，以高架捷運站的設計來說，為達到節能減碳的目的，公共區大都是以自然通風為主，因自然通風之循環效果較為不穩定。為提高乘客的舒適度，而設置循環風扇在月台層候車區，可改善自然通風較為無風的狀況下的氣流流動，進而增加舒適度。本研究案例以未來將建在土城區的捷運萬大線 LG11 站為例，模擬軟體採用 AUTODESK CFD 2019，模擬車站內月台層候車區在夏季之環境流場及熱舒適度，根據模擬結果評估捷運站月台層在夏季之風場分布及熱舒適性。本研究之模擬情境以月台層候車區之自然通風的有無及循環扇的啟停，組合三種可能的通風情境，並探討這三種情境下的風場分布及熱舒適度，經由三種模擬結果相互比較後總結出研究結論。根據模擬結果顯示東側月台候車區通風性及舒適度皆優於西側月台層候車區，整體舒適度感受介於微暖至溫暖之間。

關鍵字：計算流體力學、自然通風、熱舒適

一、前言

自工業革命以來，人類的活動日益活躍，也隨著科技日新月異，使地球能源消耗大幅增加。於 20 世紀以來，全球暖化使得接近地面的大氣層溫度平均上升了 0.74°C ，二氧化碳和其他溫室氣體的含量不斷增加，正是全球暖化的人為因素，同時近幾年隨著二氧化碳排放量急遽增加，若持續依此趨勢增加，預計 2050 年氣溫將增加 1.2°C 至 2°C 。

對於世界各大都市最先進及節能的大眾運輸工具為捷運系統，以捷運系統的用電分布情形來看，如圖 1 所示，一般用電約 27%、系統標用電

為 16%、照明用電為 7%、環控用電為 50%，由這些參考占比可知捷運站環控占大多數用電，若以能維持人員空間之舒適度為前提下，對於節能最直接可行的方式即為減少空調用電量，而自然

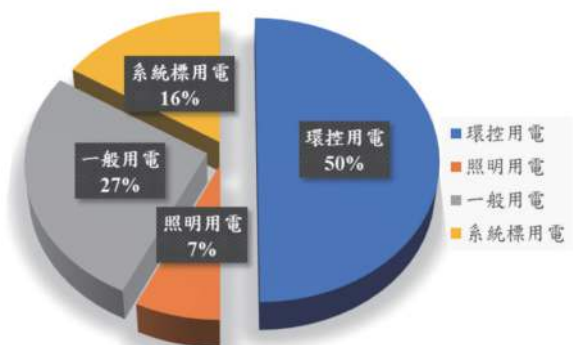


圖 1 捷運站用電分布圖

* 中興工程顧問公司機械工程部工程師

通風即為降低空調使用率的手段之一。

節能減碳為現代社會重要的能源議題之一，為了地球的永續經營，減少能源的消耗及溫室氣體的排放是必須的，以高架捷運站的設計來說，為達到節能減碳的目的，公共區都是以自然通風為主，近年來為提高乘客的舒適度，採用相對於空調耗電量較低的循環扇，設置在月台層候車區的位置，用以提高氣流的流動，提升舒適度。

二、研究案例

本研究是以捷運萬大線 LG11 站作為研究案例，站體目前尚未施工，僅針對設計階段之建築模型做研究，模型如圖 2 所示，LG11 站是由國內許威俊建築師來執行設計，建築師以細化量體、遮陽庇雨、層層高昇作為站體外觀造型上的發想概念，外觀除了在通風上有所考量外，也針對下雨的情況時做防飄雨的設計。建築師的設計兼具通風及防飄雨性，這些便民的考量，對於候車區的乘客提高了候車時的舒適性。

本研究主要探討高架捷運站月台層候車區之通風效益及熱舒適度，因此，當地氣候環境溫度、風速及風向這些氣候條件皆為影響通風效益及熱舒適度之重要因素。本案例之捷運站位於新北市土城區，故先針對新北市土城區氣候條件之溫度、

風速及風向進行收集及解析，藉以得到新北市土城區夏季之氣候資料，使數值模擬之氣象參數符合新北市土城區實際氣候之現況。

土城區地理位置位於北回歸線以北，屬於亞熱帶氣候，全年溫度溫暖，年平均溫度約在 22℃，夏季氣溫在 27~35℃，圖 3 所示為中央氣象局土城測站紀錄之每月平均溫度，氣象資料取 2018 至 2020 年之觀測平均資料值，本研究案例僅針對夏季氣候條件做風場及熱舒適性之探討，其中夏季以 7 月均溫 29.2℃ 最高，因此取 29.2℃ 的環境溫度，作為 CFD 模擬之環境溫度參數。

圖 4 所示為土城區夏季之風花圖，根據中央氣象局土城測站 2018 年至 2020 年觀測紀錄之夏季平均風速及風向所繪製出，依風花圖得到土城

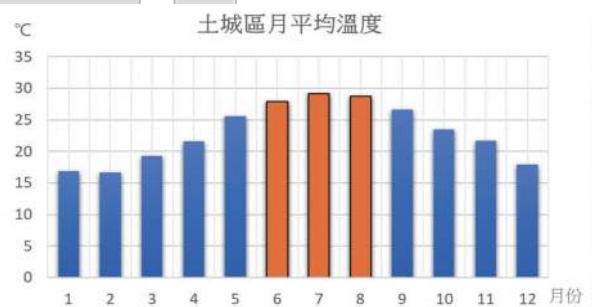


圖 3 土城區各月平均溫度

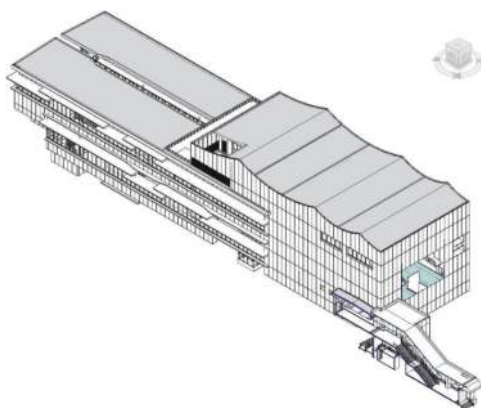


圖 2 LG11 站 3D 模型

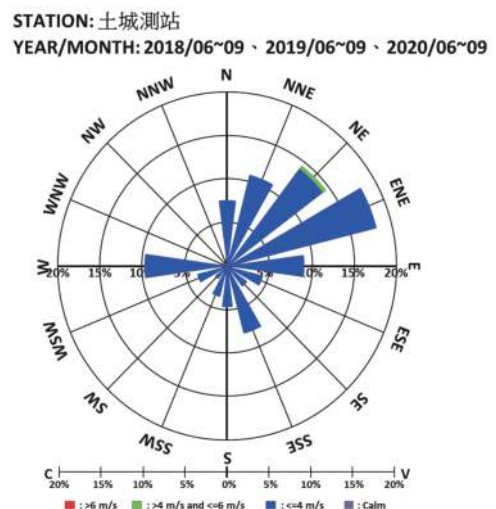


圖 4 LG11 站 2018 年 ~2020 年夏季風花圖

區夏季環境平均風速約為 1.6m/s，環境風向以東北東為主，其次為東北風，因此本研究案例以環境風速 1.6m/s、風向為東北東風設定為 CFD 模擬之戶外環境參數。

三、研究方法

本研究分析高架捷運站月台層的通風性及熱舒適性，以夏季時的環境條件下做 CFD 模擬。在捷運萬大線二期中，高架捷運站月台層皆有設置循環扇，設置於候車區上方的設施帶中，因此循環扇運轉的狀態會納入模擬的過程中。考量循環扇的運轉後，將研究分成以下 3 種情況做 CFD 模擬，如表 1 所示，其中 Case1 無自然通風情境表示無外部風場吹進月台層，在所有案例中月台層皆無排氣設計，由自然通風透過月台層的開孔做換氣。

表 1 CFD 模擬案例

案例	自然通風情境	月台層循環扇狀態
Case1	無	開啟
Case2	東北東風平均風速 1.6m/s	關閉
Case3	東北東風平均風速 1.6m/s	開啟

根據 LG11 站月台層通風設計平面圖，於二側月台候車區各設置 12 台循環扇在設備帶中，平面配置示意圖詳圖 5 所示，由於要分析熱舒適度，因此在月台層二側候車區前中後的部分各別放置人體模型，圖 6 及圖 7 分別為長向剖面配置圖及短向剖面配置圖。

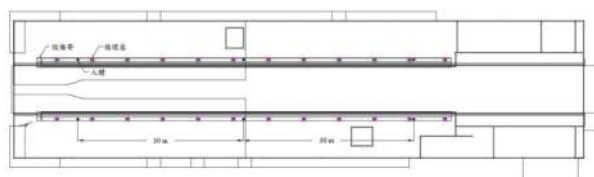


圖 5 月台層平面配置圖

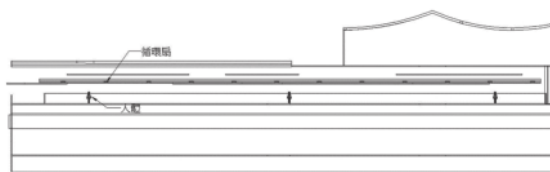


圖 6 月台層配置長向剖面圖

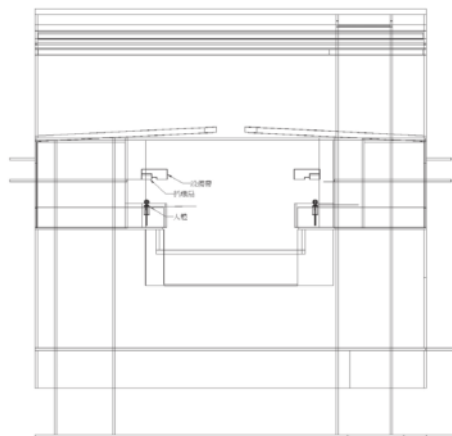


圖 7 月台層配置短向剖面圖

四、CFD 模擬

使用配備規格 Intel (R) Core (TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz、記憶體 32.0GB 之個人電腦，建立模型以 Revit 2018 繪製、簡化模型以 Autodesk Fusion 360 做簡化、計算流體力學軟體為 Autodesk CFD 2019 做氣流模擬，並將模擬之結果進行分析，而完成一組收斂結果所需計算時間約略為 1 至 2 天的時間，待模擬結果收斂後，根據模擬結果分別對風場分布及預期熱感覺指標 (PMV) 來進行分析及說明。

(一) 計算域範圍

參考環境是將無限大的空間以一個有限體積的計算流域替代，但也必須確認此流域邊界大小不會對 CFD 求解計算結果產生影響，因此尺寸不宜太小，但也不適合太大，建議適當的構建尺寸，以避免增加不必要的計算量。

參考 Autodesk knowledge 建議的相對尺寸構建環境幾何如圖 8 所示，長度 d 為計算域側面投影至建築物面之寬度，外部流域風場入口建議距離建築物迎風面為 $2d$ 的距離，風場出口距離建築物為 $3d$ 的距離，寬度 w 為計算域風場入口面投影至建築物面之寬度，計算域寬度建議為 $5w$ ，高度 h 為建築物之高度，計算域高度建議為 $3h$ ，計算域離建築物需保持足夠距離使紊流可以完全發展。

量測建築物各投影面尺寸詳圖 9 所示，長度 d 為 104 m、寬度 w 為 67 m、高度 h 為 26.7 m，根據各投影面尺寸構建計算域範圍詳圖 10 所示，風場入口距離建築物迎風面為 $2d = 208$ m，風場出口距離建築物為 $3d = 312$ m，計算域寬度為 $5w = 335$ m，計算域高度為 $3h = 80$ m。

(二) 風場模擬分析

於月台層 1.5 m 的高度建立 16 個觀察點，風場模擬觀測點示意圖詳圖 11 所示，示意圖上方位置 1~8 為西側月台、示意圖下方位置 9~16 為東側月台，以此觀察風速分布。

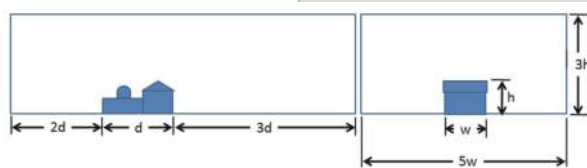


圖 8 建立外部環境相對尺寸示意圖

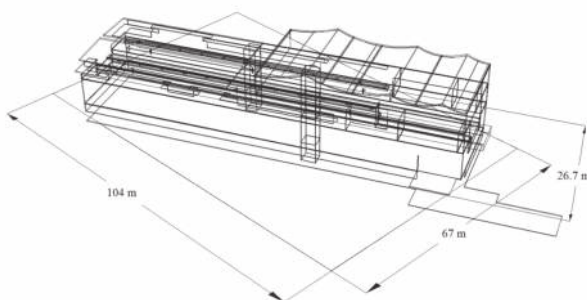


圖 9 計算域各投影面尺寸示意圖

CASE 1 為無自然通風、開啟循環扇時之情況，風場模擬詳圖 12、圖 13 所示；CASE 2 為有自然通風、關閉循環扇時之情況，風場模擬詳圖 14、圖 15 所示；CASE 3 為有自然通風、開啟循環扇時之情況，風場模擬詳圖 16、圖 17 所示。

CASE 1 中，循環扇能帶動周遭的氣流流動，吹到離地面 1.5 m 處約有 0.05 m/s~0.29 m/s 的風速；CASE 2 中，在點 9~16 的區域為迎風面，大部分區域的氣流流動性較佳，在點 14~16 的位置受到

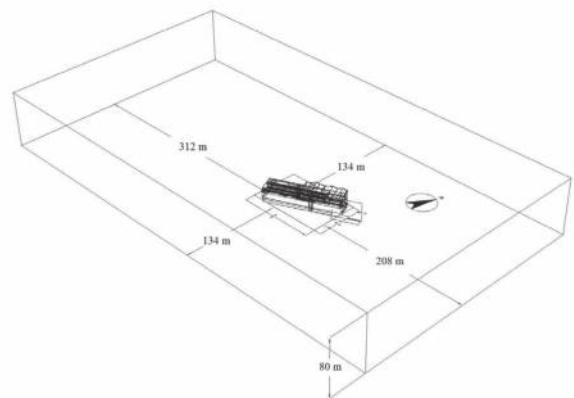


圖 10 建立外部環境相對尺寸示意圖

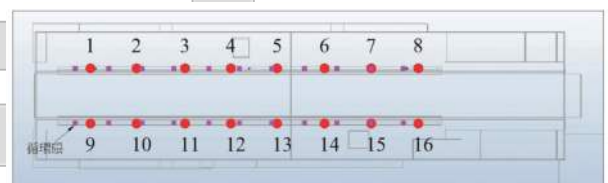


圖 11 風場模擬觀測點示意圖

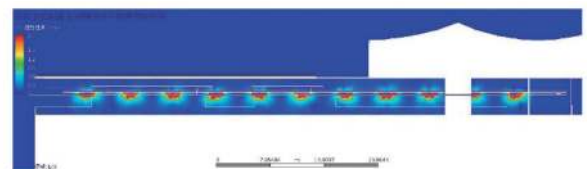


圖 12 CASE 1 風場模擬側視圖

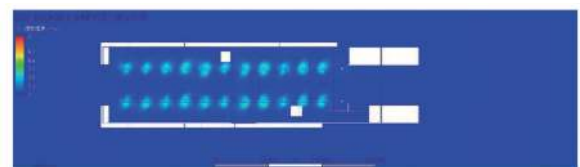


圖 13 CASE 1 風場模擬俯視圖

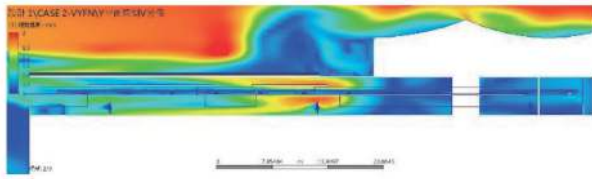


圖 14 CASE 2 風場模擬側視圖

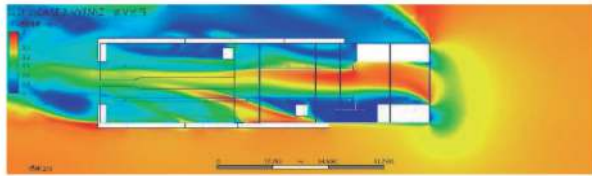


圖 15 CASE 2 風場模擬俯視圖

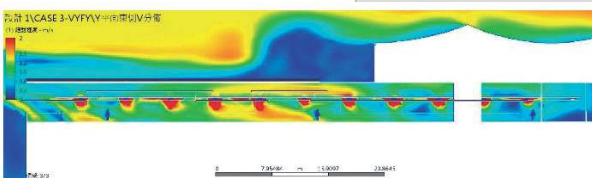


圖 16 CASE 3 風場模擬側視圖

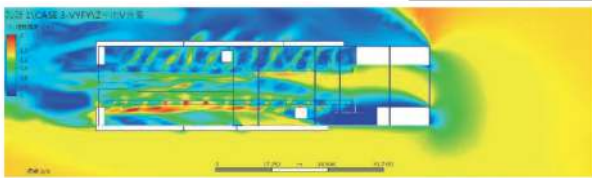


圖 17 CASE 3 風場模擬俯視圖

電梯豎井及牆面的影響，導致此區域氣流流動性較差；CASE 3 中，與 CASE 1 及 CASE 2 相比較，可以發現在循環扇的輔助下在點 15~16 的區域氣流流動性有得到提升，利用循環扇的輔助能夠改善氣流流動性不佳的區域。

(三) 熱舒適性 (PMV) 模擬分析

PMV / PPD 模型為 P.O. Fanger 依據熱平衡方程式和有關皮膚溫度的經驗研究開發的，用以定義舒適度。熱舒適度的標準調查從冷 (-3) 到熱 (+3) 的七個分級向測試者詢問其對於環境的冷熱感覺，PMV 之七個分級定義如表 2 所示，PMV

與 PPD 的對應關係圖如圖 18 所示，在圖中越靠近二側 PPD 越高，這代表著不滿意度越高。

表 2 PMV 指標體感對應表

PMV	-3	-2	-1	0	1	2	3
體感	寒冷	涼爽	微冷	適中	微暖	溫暖	熱

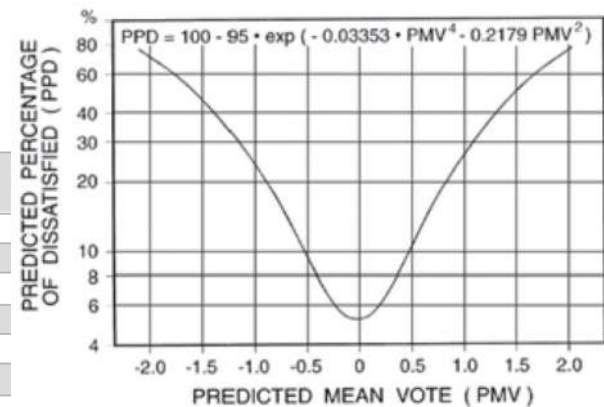


圖 18 PMV 與 PPD 對應關係圖

熱舒適性的模擬中，假設新陳代謝率為 70W/m^2 、衣著量為 0.5clo、濕度為 76%，觀察點配置詳圖 19 所示，觀察點 Point 1~Point 6 為人體擺放位置。熱舒適分析以預期熱感覺指標 (PMV) 來預估各個觀察點之熱舒適性，本模擬結果 PMV 以顏色漸層各別顯示在人體表面上，因模擬環境為夏季，故 PMV 以 0~3 做顏色分層，越接近 0 代表越舒適，越接近 3 代表越熱。

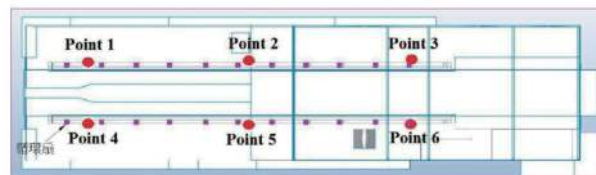


圖 19 觀察點平面位置圖

CASE 1 與無風情境對照圖詳圖 20 所示，在無風情境下各觀察點 PMV 約在 2 左右，人體

感受為偏熱，在無風情境下開啟循環扇後即為 CASE 1 的情境，各觀察點之 PMV 由 2 改善至 1.6 左右；CASE 1 與 CASE 3 對照圖詳圖 21 所示，在開啟循環扇後加入自然通風因素即為 CASE 3 的情境，在通風良好的位置 PMV 可達到 1 左右；CASE 2 與 CASE 3 對照圖詳圖 22 所示，在自然通風情境下關閉循環扇即為 CASE 2 的情境，由對照圖可以觀察到在自然通風的情境下有開啟循環扇的狀況下，熱舒適度不一定會優於無開啟循環扇的情況，如 Point 1 及 Point 4 的 PMV 於 CASE 2 較佳，而在自然通風較差的位置如 Point 6 的 PMV 於 CASE 3 較佳，表示在流動性較差的區域能以循環扇改善熱舒適度，在流動性相對較好的區域則不一定能改善。

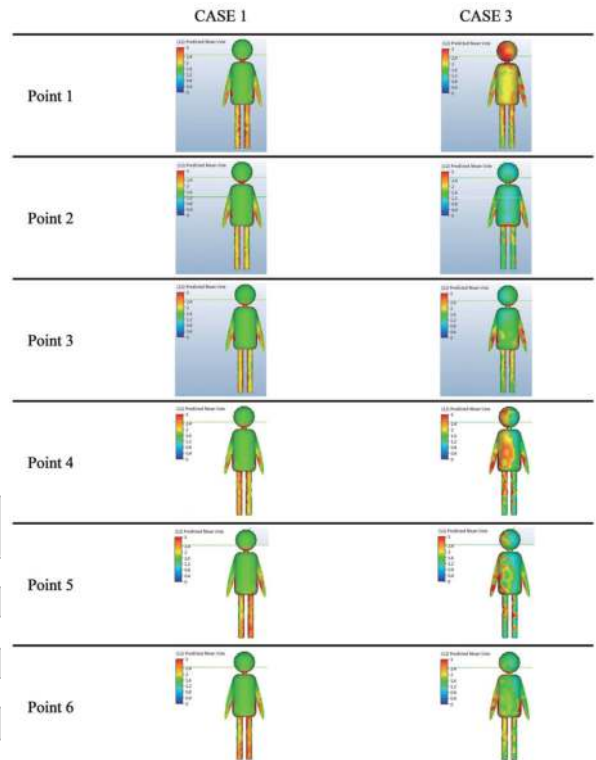


圖 21 CASE 1 與 CASE 3 各觀察點 PMV 比較圖

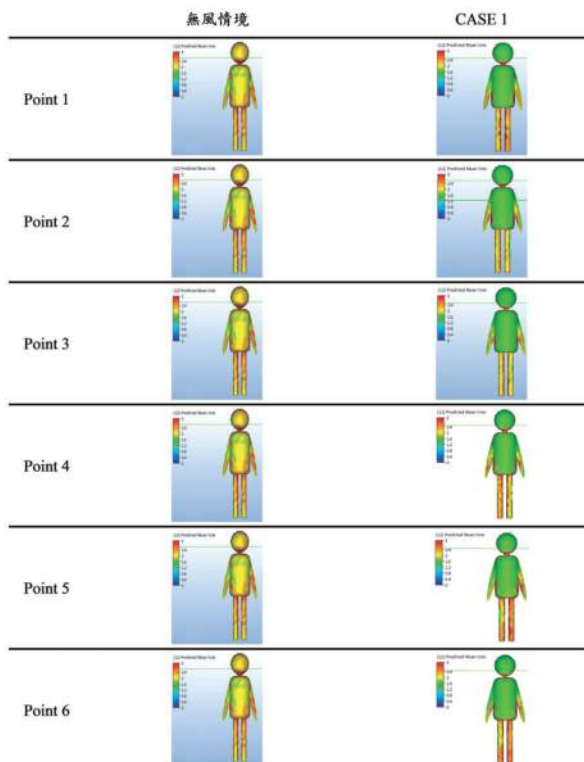


圖 20 無風情境與 CASE 1 各觀察點 PMV 比較圖

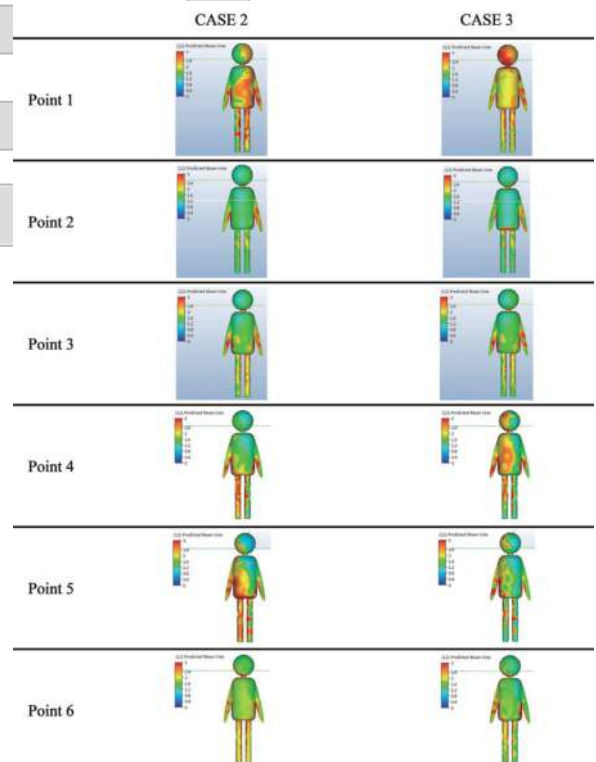


圖 22 CASE 2 與 CASE 3 各觀察點 PMV 比較圖

五、結 論

本研究透過 CFD 模擬分析高架捷運站月台層的自然通風效果，為了解建築物整體外觀及環境對通風的影響，分別列出三種情況下，氣流及 PMV 在月台層分布的情況。

依據風場模擬的結果顯示在自然通風的情境下利用循環扇的輔助能夠改善氣流流動性不佳的區域，而根據 PMV 模擬的結果，在無自然通風的情境下，開啟循環扇能改善候車區的熱舒適度，PMV 由 2 改善至 1.6 左右；在自然通風情境下開啟循環扇於通風較差的位置如 Point 6 處，能改善此處的熱舒適度，而在通風相對較佳的位置則無明顯差異。

月台層以未來實際運轉情境 CASE 3 來看，因夏季時風向主要由東北東方向吹進月台層，及本案於月台層有設置循環扇，因此模擬結果如圖 17 所示，東側月台候車區通風性優於西側月台；另外，本案月台層無設置冷氣設備，皆為自然通風，於環境條件相同之狀況下，影響舒適度主要因素為氣流流速，因此東側月台層舒適度優於西側，整體舒適度感受介於微暖至溫暖之間。

六、未來展望

高架捷運站之站體設計，在設計階段時，決定站體的開孔及方位前可先以 CFD 模擬通風效益，分析開孔及方位對通風的影響，以此能夠先行預測通風效果並根據模擬的結果來做優化，以提高未來乘客的舒適度為目的，避免日後捷運站營運時有通風不良、環境滯悶等情況發生。

高架車站之月台層的循環扇安裝位置，在設計階段時先行以 CFD 做通風模擬，藉此來找出最佳安裝位置，並以提升候車區舒適度為主要目的，依照最佳需求位置，建築師以此規劃循環扇之安

裝空間，使機械通風及自然通風的搭配能達到最佳效益。

參考文獻

- 鄧挺發、陳志文、林坤霖、尹倩妮，BIM 於節能減碳設計上之應用－以捷運萬大線 LG05 站為例，捷運技術半年刊，第 47 期，47~54 頁，2012。
- 薛昭欽、彭家富、王中興、李建和、陳正忠，捷運車站水電、空調及電（扶）梯之節能減碳設計，捷運技術半年刊，第 46 期，127~142 頁，2012。
- 中興工程顧問股份有限公司，臺北都會區大眾捷運系統萬大 - 中和 - 樹林線（第二期）期終成果簡報，2020。
- 中央氣象局。
- Autodesk CFD, (2019). Autodesk knowledge network, Autodesk Inc.
- P. O. Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.



* 新店區中央新村北側社會住宅
宏觀視野與環境融合的工藝

新北市推動之最大社會住宅案座落於新店溪畔
融合十四張在地文化，重塑社區街道巷弄，提供1,070戶住宿單元
照顧青年及社會弱勢，提供公托、托老及照護等社會福利空間
此工程已於2020年8月驗收移交



建築美學團隊

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

105409 臺北市松山區南京東路五段171號
電話：(02) 2769-8388 傳真：(02) 2763-4555
E-mail：sinotech@sinotech.com.tw
<https://www.sinotech.com.tw>

正派經營 · 品質保證 · 追求卓越 · 創新突破

 中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.



建築物遮陽板風振及改善案例

陳昭村 * 翁健煌 ** 盧恭君 ***

摘 要

南部科學園區某建築物室內辦公人員因經常遭受不明振動干擾以致影響午休品質，故委託中興工程顧問社進行振動原因調查與改善方案擬定，經現勘調查後初步鎖定可能振動源，針對這些振動源進行攝影記錄並比對受干擾處的微振量測紀錄後發現，振動干擾的成因為風力引致建築物外牆遮陽板葉片共振，且經由遮陽板主構架傳遞至下層樓板導致室內辦公人員之不適，其中，風力引致遮陽板葉片共振的現象與空氣動力學中著名的馮卡門渦列（von Karman vortex street）理論有關，即風速到達一定程度時風振的頻率將與遮陽板葉片的自然頻率接近進而引發共振，因此，改善方案係對遮陽板葉片進行側向加固，提高其自然頻率後即可避免產生共振干擾。

關鍵字：遮陽板葉片、風振、馮卡門渦列、共振、微振量測

一、緣 起

南部科學園區位於臺南市新市區，為我國科技業發展之重鎮。而在園區內某建築物內，其頂樓辦公人員經常遭受源頭不明之振動干擾以致影響午休品質，因此委託中興工程顧問社（以下簡稱本社）辦理振動原因調查及改善方案擬定。

側辦公室，且北側發生振動干擾之機率高於南側，其他樓層則幾乎感受不到振動干擾。

（二）影響時間

以 7F 北側辦公室為例，振動干擾發生頻率並不固定，有時一天發生數次，亦有可能整天不發生，發生時段則以上下班時間居多，於午休時間發生機率較低。

二、振動原因調查

經本社同仁至現地調查並與現場人員訪談後整理以下訊息：

（一）影響範圍

振動干擾影響範圍主要集中於 7F 之北側與南

（三）振動源排除

委託單位曾嘗試關閉可能之人為振動源，包含：空調設備、頂樓抽水馬達及冷卻水塔等，但仍無法消除振動干擾，且針對電梯機房馬達振動進行勘查後，發現馬達運轉與振動干擾發生時機亦無關聯；本建物距離高鐵軌道約 270m，人員可

* 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心助理研究員

** 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心結構組組長

*** 國家地震工程研究中心結構監測與控制組助理研究員

清楚聽到列車通過的聲響，但對其振動感受並不明顯，故判斷高鐵非此次關注之振動干擾來源；本建築物鄰近西拉雅大道以及南科南路，兩者皆為南部科學園區之主要幹道，常有重車經過，但根據本社同仁進一步調查，重車經過與振動干擾發生時機無直接關聯，故亦排除為重車經過所致。另依現場人員所述，當振動干擾較嚴重時會伴隨著振動聲響，同時可觀察到室外遮陽板亦隨之振動，因此是否為陣風影響亦須進一步判定。

(四) 小結

根據現場勘查以及人員訪談後整理出本次振動干擾有下列特性：

1. 影響範圍不固定，時而影響北側，時而影響南側，且於北側發生機率高於南側，判定振動源位置可能不固定或非單一振動源。
2. 發生時機不固定，為隨機發生，因此具有規律性之日常運轉需求振動源應非干擾來源。
3. 經勘查後發現，高鐵與重車經過與振動干擾發生時機無直接關聯，故排除其可能性。
4. 依訪談人員所述，遮陽板振動與振動干擾會同時發生，故判定兩者應屬同一振動源，其成因是否為風力則需進一步釐清。

三、振動量測與分析

本建築物為地下1層地上7層之SRC結構物，建築物之平、立面尚屬規則，柱跨距長向多為9m；短向多為14m及4.5m。本次振動干擾發生地點主要位於7F北側之辦公室內，為釐清振動干擾來源，故進一步採用微振動量測設備針對辦公室內振動干擾、建築物振動頻率以及頂樓遮陽板振動等三部分進行量測與分析比對，本次振動量測採用日本東京測振株式會社之VSE-15D伺服型速度計，規格如表1所示，適用於土木建築

結構之微振動量測，可同時輸出加速度及速度訊號；風速風向計採中國武漢辰云科技有限公司之YGC-FSFX-C一體式風速風向計，規格如表2所示，風速量測範圍最高可達45m/sec，依中央氣

表1 速度計規格表

	
型號	VSE-15D (東京測振株式會社)
量測頻率	0.2~70Hz
量測方向	水平、垂直
量測範圍	±0.1m/s
靈敏度	速度 (Low) : 100V/m/s High : 1000V/m/s 加速度 : 5mV/gal
最大輸出電壓	±10V
直線性	0.03 % of Full scale
解析度	10 ⁻⁷ m/s ² (10 ⁻⁵ gal)
動態範圍	約 140dB

表2 風速計規格表

	
型號	YGC-FSFX-C (中國武漢辰云科技有限公司)
量測範圍	0~45m/s
輸出訊號	0~5V
準確度	± (0.3+0.03V) m/s
解析度	0.1m/s
啟動風速	<0.5m/s
工作環境	溫度 -35~60℃ 濕度 ≤ 100% RH 無凝露

象局風力分級標準估算約為 14 級，等同於中度颱風強度。

(一) 振動干擾量測

量測目的為確認振動干擾所達到之振動等級以及分析振動干擾之頻率分析以便比對振動源，量測位置為干擾較嚴重之 7F 北側辦公室樓板，且為便於分析其振動等級故設定儀器輸出速度訊號。圖 1 為振動干擾下速度量測反應之傅立葉轉換，其中 EW 對應建物水平長向，NS 對應建物水平短向，V 則對應垂直向。圖 2 為振動干擾紀錄下之振動等級評估圖，評估方式係參考表 3 通用振動標準之建議 (Colin G. Gordon, 1999)，以均方根速度之 1/3 倍頻程譜為判斷基準。由量測分析結果可得以下結論：

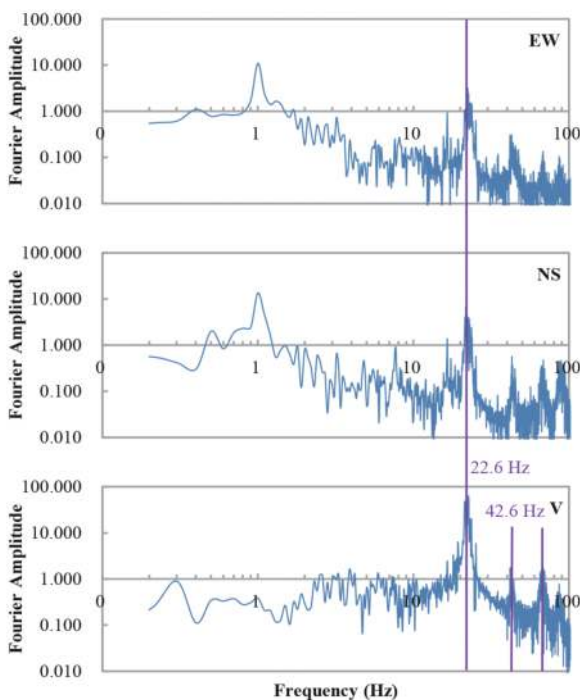


圖 1 振動干擾下 7F 樓板速度反應之傅立葉轉換

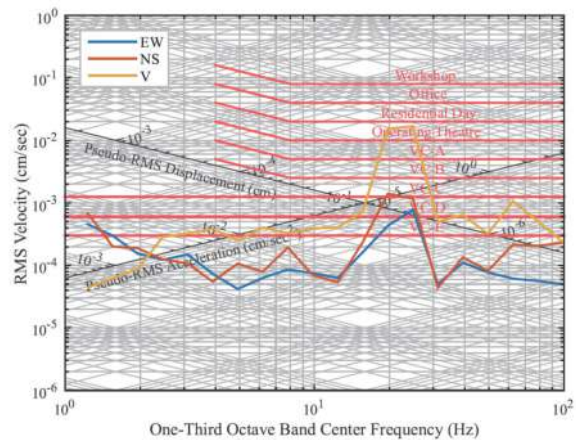


圖 2 振動干擾下 7F 樓板之振動等級評估圖

1. 傅立葉頻譜顯示，振動干擾之頻率集中於 22.6Hz、42.6Hz、67.6Hz，且對水平向及垂直向皆有影響，但以垂直向頻率 22.6Hz 之反應最為嚴重。
2. 振動等級評估結果顯示，干擾振動下之評估等級為「日間住宅」，對比事前施測得出辦公室平時無干擾情況下之評估等級為「VC-B」，每 1 個級距對應之速度差為 2 倍，故嚴重干擾時之速度反應為無干擾之 $2^3=8$ 倍，且此結果僅以 10 秒速度歷時之均方根值為判斷基準，若改採以瞬時均方根值為基準則差距將會更大。
3. 振動等級較高之主因為 22.6Hz 之速度反應之提升，欲解決振動干擾問題則須從尋找該頻率振動源著手。

(二) 建築物振動頻率量測

量測目的為辨識出建築物整體自然振動頻率，以確認振動干擾是否為整體建築物之振動行為，感測器配置如圖 3 所示，於 1F、4F、7F 東西側陽台各設置 1 組三軸速度計。以速度計量測到之速度訊號為基礎，採用隨機子空間辨識法 (Stochastic Subspace Identification) 辨識建築物之振態參數 (翁健煌, 2010)，根據圖 4 之振態穩定性分析結果得知建築物之主要振動頻率依序

表 3 通用振動標準與 ISO 工作環境振動標準

振動等級	振動限值 ($\mu\text{m/sec}$)	製程尺度 (μm)	適用場合
工廠	800	N/A	可明顯察覺的振動，適用於工廠和非振動敏感區域。
辦公室	400	N/A	可察覺的振動，適用於辦公室和非振動敏感區域。
日間住宅	200	75	幾乎無法察覺的振動，適用於一般睡眠環境，通常適用於電腦設備、醫院恢復室、半導體探針測試設備及倍率低於 40X 的顯微鏡。
手術室	100	25	無法察覺的振動，適用於一般外科手術室、倍率 100X 的顯微鏡及其他低振動敏感設備。
VC-A	50	8	適用於一般倍率 400X 的光學顯微鏡、微量天秤、光學式天秤、接近式及投影式對準曝光機。
VC-B	25	3	適用於製程尺度 $3\mu\text{m}$ 的檢驗及光刻設備（含步進機）。
VC-C	12.5	1-3	適用於倍率 1000X 的標準光學顯微鏡、製程尺度 $1\mu\text{m}$ 的檢驗及光刻設備（含中度振動敏感的電子顯微鏡）、TFT-LCD 步進機 / 掃描機製程。
VC-D	6.25	0.1-0.3	適用於多數的高度振動敏感設備，包含多數的電子顯微鏡（穿透式及掃描式）及電子束系統。
VC-E	3.12	<0.1	不容易達到的標準，假設適用於極度振動敏感的系統，包含距離遠目標的小的雷射照準系統、奈米級電子束光刻系統以及其他需要特殊動態穩定的系統。
VC-F	1.56	N/A	適用於極度靜定的研究空間，非常難以達到的標準，特別對於潔淨式而言。僅供評估用途，不建議作為設計目標。
VC-G	0.78	N/A	適用於極度靜定的研究空間，非常難以達到的標準，特別對於潔淨式而言。僅供評估用途，不建議作為設計目標。

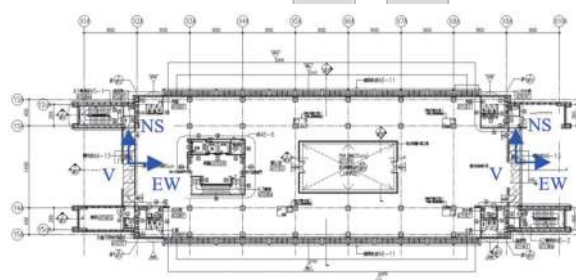


圖 3 感測器配置示意圖（建築物振動頻率量測）

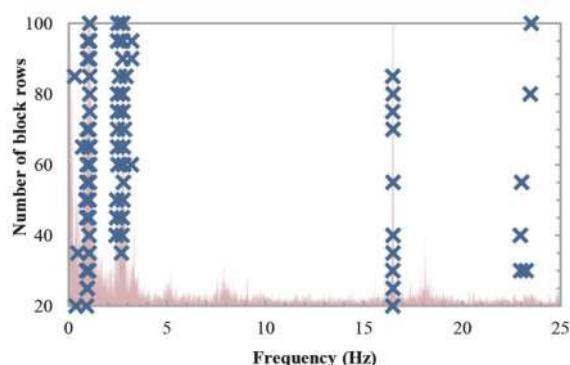


圖 4 建築物振態穩定性分析

為：1.08Hz、2.49Hz、2.78Hz、3.21Hz、16.48Hz 及 23.55Hz，其相關振態參數如圖 5 所示，其中：

1. 第 1 振態頻率 1.08Hz，為本建築物最明顯之振態，依其振形判斷應屬扭轉振態。
2. 第 2 振態頻率 2.49Hz，依其振形判斷應屬 Y 向振態，最大振幅發生於 4F。
3. 第 3 振態頻率 2.78Hz，依其振形判斷應屬扭轉振態，最大振幅發生於 4F。
4. 第 4 振態頻率 3.21Hz，依其振形判斷應屬 X 向振態，最大振幅發生於 4F。
5. 第 5 振態頻率 16.48Hz，僅 4F 東側振幅較為明顯，且阻尼比僅 0.1% 低於正常範圍，因此判斷此振態非屬建築物整體自然振動而是特定振動源造成，但依其位置及頻率判斷，應與本次關注之振動干擾應無關聯。
6. 第 6 振態頻率 23.55Hz，僅 7F 東側振幅較為明

顯，且阻尼比僅 0.6% 低於正常範圍，因此判斷此振態非屬建築物整體自然振動而是特定振動源造成，因其頻率與振動干擾頻率 22.6Hz 相近且發生於 7F 東側，研判可能與振動干擾有關，惟其振動量尚小於振動干擾量測值。

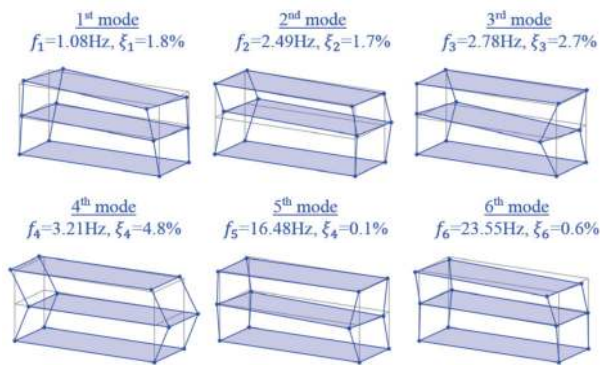


圖 5 建築物振態參數

(三) 頂樓遮陽板振動量測

依訪談得知，當振動干擾發生時常伴隨遮陽板振動情形，因此推測為風力造成遮陽板振動並藉由遮陽板主構架傳遞至 7F 辦公室導致振動干擾，為證實以上假設故進一步實施頂樓遮陽板振動以及頂樓風向風速量測。

感測器配置如圖 6，於頂樓遮陽板旁 (V2) 及 7F 辦公室樓板 (V1) 各設置 1 組垂直向速度計，其中 V1 輸出速度訊號，V2 則輸出加速度訊號，且同時設置風速計進行風力量測，並以攝影機記錄遮陽板振動情況。

振動干擾下之風速及反應歷時紀錄如圖 7 所示，經比對後發現，當風速達 5m/sec 且持續一段時間（約 5 秒）後，V1 及 V2 速度計皆記錄到明顯之振動量，且對照同時段攝影畫面亦可觀察到明顯之遮陽板葉片振動。取紀錄中最大振動干擾之 10 秒資料轉換為傅立葉譜如圖 8 所示，比對後發現無論是 7F 辦公室測站 (V1) 或是頂樓遮陽板旁測站 (V2)，其頻率域峰值皆位於 22.3Hz 處，與前次振動干擾量測之 22.6Hz 極為相近，因此基

本可確定振動干擾為風力所致，而其成因將於下節詳述。

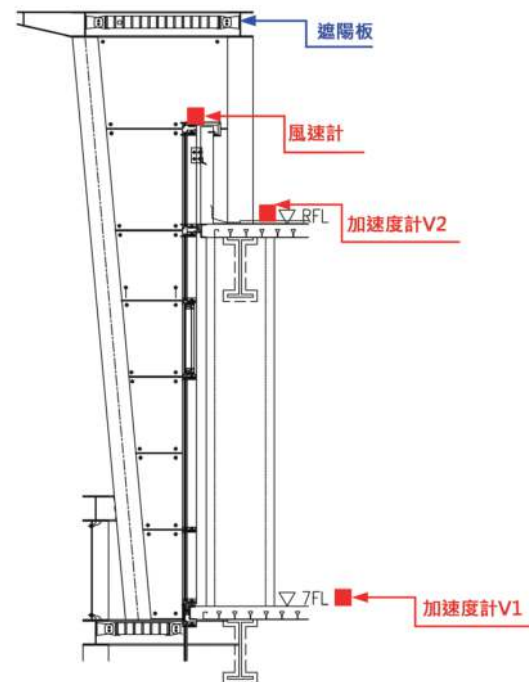


圖 6 頂樓遮陽板風振量測感測器配置示意圖

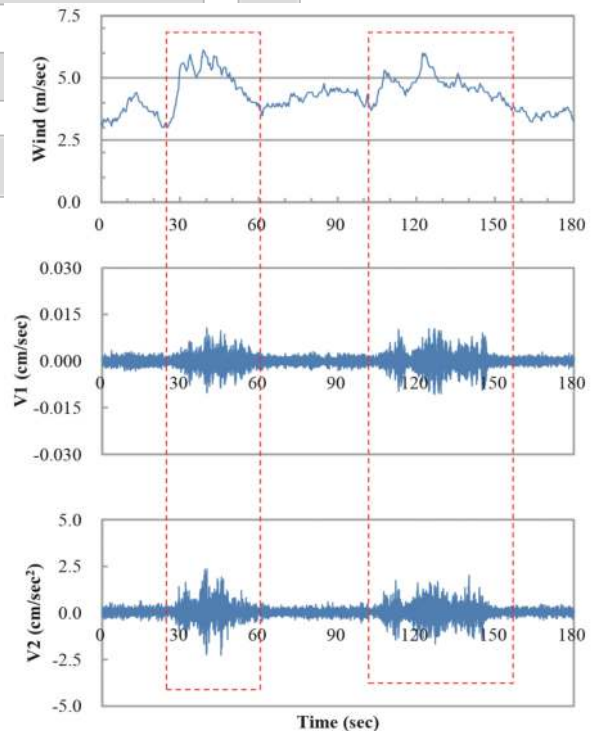


圖 7 遮陽板風振下之風速計與速度計紀錄比對

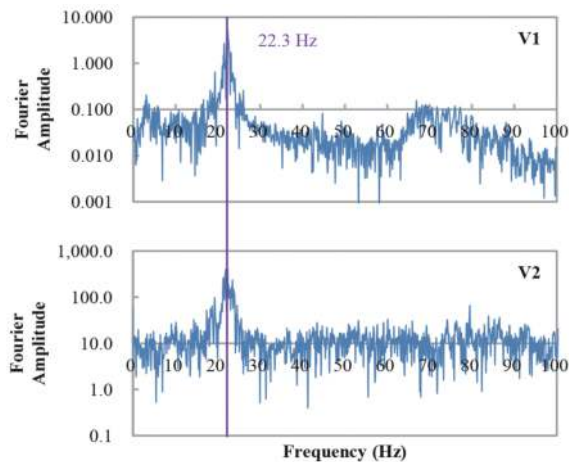


圖 8 遮陽板風振下速度反應之傅立葉轉換

四、振動成因與改善方案

(一) 振動成因

南部科學園區位於北迴歸線以南，屬熱帶季風型氣候，受季風影響冬季以北風為主，夏季以南風為主，其中又以冬季之北風最為強勁，由於本次前往量測時正逢冬季且建築物四周皆為平坦地，強勁的北風正好迎面吹向建築物北側，方能解釋為何北側辦公室振動干擾較為嚴重。

如圖 9，北風在吹向建築物北側牆面後因受阻而轉向，往上吹經遮陽板葉片引致其產生水平振動，振動再由遮陽板及建築物主構架作為力臂以彎矩傳遞後使 7F 樓板產生垂直振動，方能解釋為何上節於 7F 辦公室樓板所量測之振動干擾於垂直向較為顯著。

進一步研究強風吹經遮陽板葉片引致振動之物理現象則與空氣動力學中著名的馮卡門渦列（von Karman vortex street）理論有關：「流體流經阻流體時會從阻流體兩側剝離而形成交替的渦流逸散，此種交替的渦流逸散使阻流體兩側的壓力成週期性變化，進而產生振動現象。」（朱佳仁，2001）。馮卡門渦列定義阻流體振動頻率與流體速度成以下正比關係：

$$f = \frac{Sr \cdot V}{d}$$

其中： f ：阻流體振動頻率； V ：流體流速； d ：阻流體迎面寬度； Sr ：斯特勞哈爾數

由於本文僅探討流體流速 V 與阻流體振動頻率 f 之相對關係，故並不深入討論公式之參數詳細數值。由上式可知，當流體流速越高，阻流體振動頻率即隨之提升，一旦阻流體振動頻率接近其本身之自然振動頻率時則會產生共振現象，其振動幅度將數倍於常態。

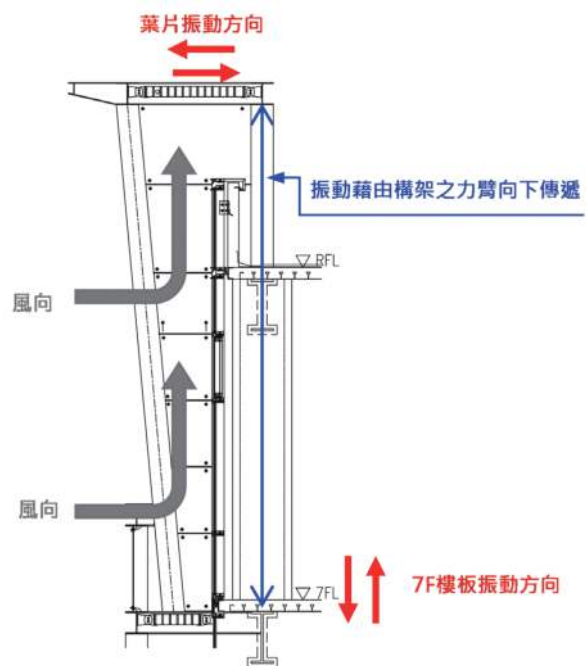


圖 9 振動干擾傳遞示意圖

為確定遮陽板葉片之自然振動頻率，一方面於有限元素分析軟體建立葉片模型進行振態分析，得到第 1 振態頻率為 24.6Hz（如圖 10）；另一方面則在現場施作遮陽板葉片脈衝響應試驗判別其振動特性，得到第 1 振態頻率為 26Hz（如圖 11），數值模擬與試驗結果大致相符。

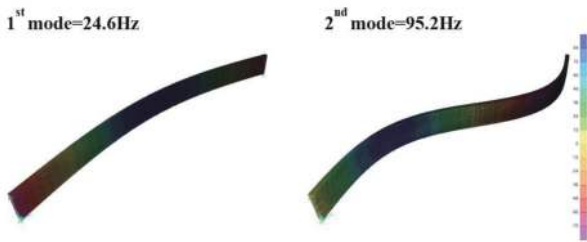


圖 10 遮陽板葉片振態分析結果

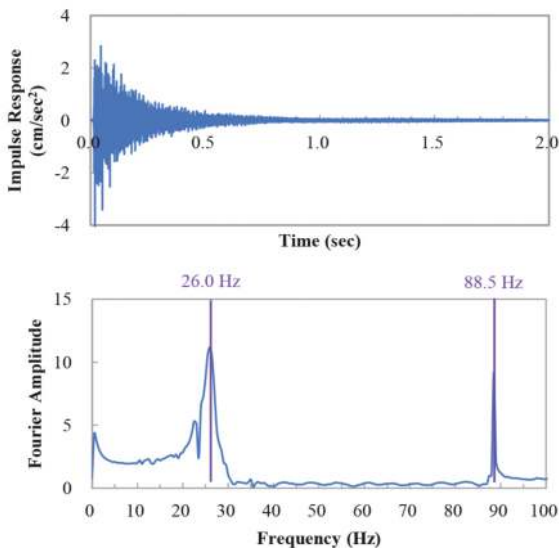


圖 11 遮陽板葉片脈衝響應試驗結果

然而根據圖 8 之量測結果，振動干擾反應之主頻為 22.3Hz，與遮陽板葉片自然振動頻率有所落差，歸咎可能原因如下：

1. 測得之振動干擾反應非完全共振情況：測得之 22.3Hz 為當下風速所對應之振動頻率，其頻率雖非完全匹配但由於已相當接近共振頻率，故其振動幅度亦有明顯提升。
2. 遮陽板上每片葉片之自然振動頻率不完全相同：由於遮陽板葉片兩端採用溝槽方式固定，葉片可能因其邊界條件差異而導致其自然振動頻率接近但不完全相同的情況。而根據實際觀察，在相同風速下同一遮陽板上不同葉片的確有振動幅度不一的情況，反應出每片葉片自然振動頻率存在些許差異。

(二) 改善方案

由上節結果得知，振動干擾之根本原因為遮陽板葉片因馮卡門渦列效應所導致之共振故擬定改善方案為調整遮陽板葉片之無支撐長度，進而提高其自然振動頻率，降低其與風力共振之機率。

改善方案如圖 12 所示，現況遮陽板葉片無支撐長度分別為 175.5cm 及 115cm，對應之共振頻率據分析結果為 24.6Hz 及 56.0Hz；建議之改善方案為藉由增加葉片側向支撐（如圖 12 上藍色構件）減少其無側撐長度進而提升自然振動頻率，以數值模擬預估當葉片無側撐長度為 57.5cm 時，其自然振動頻率可提高至 197.1Hz，代入馮卡門渦列公式後依其相對關係得其對應風速必須達到 44.2m/sec 才可能引發共振現象，約為中度颱風等級風速，以發生機率而言應可接受。

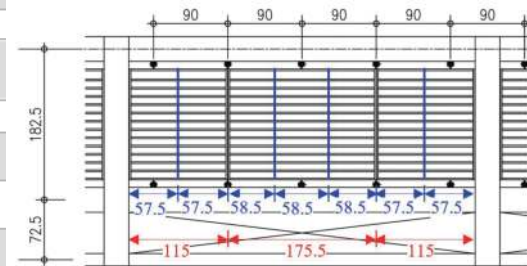


圖 12 遮陽板改善方案

(三) 改善成果驗證

遮陽板葉片改善後現況如圖 13 所示，在業主根據本社所提出之改善方案將遮陽板進行補強後，本社同仁再次前往進行微振動量測以驗證其成效。本次感測器配置與前次量測相同，如圖 6 所示。圖 14 為遮陽板補強後風速及反應量測歷時紀錄，比對後發現即使風速達 5m/sec 並持續數秒，遮陽板構架旁測站（V2）以及 7F 辦公室樓板測站（V1）皆再無發生反應明顯提升情況。圖 15 為補強前後之振動等級評估比對圖，評估結果顯示補強前之振動等級原為「日常住宅」，補強後則變為「VC-C」，前後相差 4 個級距，證實本

次改善方案確實有效。



圖 13 遮陽板葉片補強後照片

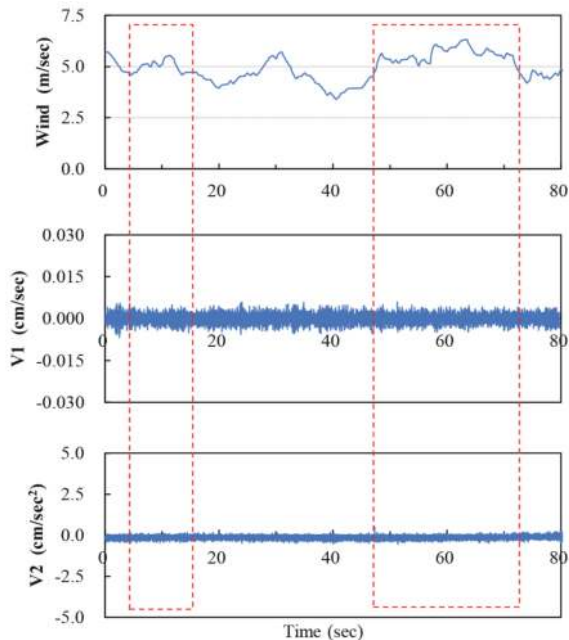


圖 14 遮陽板補強後風振下風速計與速度計紀錄比對

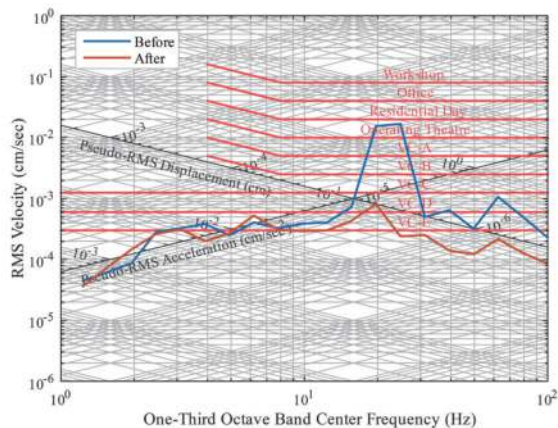


圖 15 遮陽板補強前後振動等級評估比對圖

五、結論

本社受委託針對南部科學園區某建築物 7F 辦公室發生振動干擾進行原因調查並擬定改善方案。經初步調查後排除高鐵、重車經過以及機械振動等原因，並進一步針對 7F 辦公室振動干擾、建築物整體振動頻率以及頂樓遮陽板風振進行速度、加速度及風速量測分析以釐清成因。依分析結果判斷振動干擾成因為陣風吹經頂樓遮陽板葉片時發生馮卡門渦列效應，致使遮陽板葉片與風產生共振效應，再藉由建築物構架將振動傳遞至 7F 辦公室所致。

為改善上述共振現象，擬定改善方案為將遮陽板葉片進行補強，縮短其無支撐長度進而改變其自然振動頻率，在遮陽板葉片補強後預估陣風須達到中度颱風等級才可能再與葉片產生共振，以發生機率而言應可接受。而本社於改善方案完成後再次前往施測比對，亦確實再無發生振動干擾現象，證實改善方案確有成效。

參考文獻

Colin G. Gordon (1999) Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment, SPIE Conference on Current Developments in Vibration Control for Optomechanical Systems, Denver Colorado.

朱佳仁 (2001) 工程流體力學，科技圖書股份有限公司。

翁健煌 (2010) 子空間識別法於系統識別及結構損壞診斷之應用，國立臺灣大學土木工程學研究所博士論文。

軌道運輸系統統包工程採購與 招標策略之探討與建議

李政安* 曾國嵐** 鄭紹祥*** 朱美麗****

摘 要

政府機關辦理軌道運輸系統建設採購時，考量採購機關本身具備之技術及管理人力及能力，近年來有採統包方式辦理招標之趨勢；而以統包方式辦理之採購案，雖然有提升採購效率、確保採購品質、縮短工期且可節省經費的普遍認知，但是實際上仍面臨許多不同的難題，如估驗計價方式、契約變更基準、替代方案執行可行性、關聯標案設計界面之因應措施與招標文件功能規範訂定之程度（功能導向或材料細部要求），以及發包模式與招標策略等；以上相關統包工程執行上常產生之難題，除了涉及相關契約文件之訂定外，更與辦理採購時決定採何種統包方式辦理、統包工程採購本質、特性、規模及分標模式、招標策略等息息相關，如軌道運輸系統採統包工程辦理採購，係採土建與機電系統併標辦理之統包工程，或土建與機電系統分標辦理之統包工程，在招標策略上為首要之決策，必須考量後續軌道運輸系統統包工程在執行上業主與廠商間權利義務的權重配當，才能避免未來執行的履約爭議，或將履約爭議的影響降至最低。

關鍵字：統包工程、軌道運輸系統、招標策略

一、前 言

隨著辦理大型複合式工程採購需求漸漸增加，尤其前瞻基礎建設所占金額最鉅之軌道運輸系統建設（軌道建設），因各地方政府機關辦理軌道建設整合及管理的專業人員有限，以統包工程方式辦理招標之標案也愈來愈常見。

雖然採統包方式辦理採購有提升採購效率、確保採購品質、縮短工期且可節省經費的普遍認知，但是究竟軌道運輸系統的特性是否皆適用統

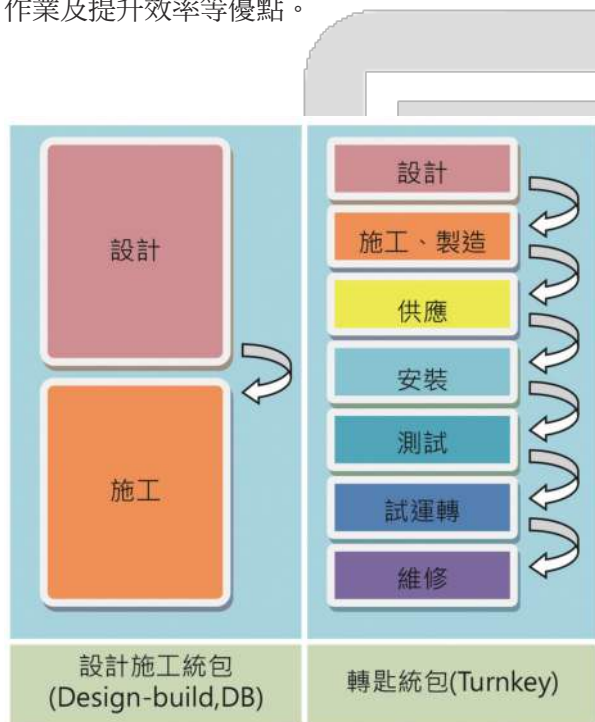
包方式辦理採購，採統包辦理採購即是解決軌道運輸系統採購的萬靈丹，亦或需視個案特性判斷是否採統包方式辦理採購，皆屬本文探討重點。另有關軌道運輸系統統包工程在執行上，應採用何種方式辦理，本文亦有探討與說明。

二、淺談軌道運輸系統統包工程

統包，依政府採購法第 24 條，略以「機關基於效率及品質之要求，得以統包辦理招標。前項

* 新北市政府捷運工程局局長
** 新北市政府捷運工程局專門委員
*** 新北市政府捷運工程局副總工程師
**** 中興工程顧問公司軌道工程二部工程師

所稱統包，指將工程或財物採購中之設計與施工、供應、安裝或一定期間之維修等於同一採購契約辦理招標。」而一般實務上對統包的見解執行上大多分為兩種方式，一是設計施工統包（Design-build, DB），一是交鑰匙或轉匙統包（Turnkey），前者是指廠商負責設計暨施工，後者則是傳神的形容業主只要最後拿到鑰匙轉動一下，就可以心想事成。無論採何種統包方式辦理採購，政府機關或民營公司，不外乎考量採統包方式辦理採購，具有縮短工期、節省經費、簡化管理、減省採購作業及提升效率等優點。



國內政府機關常見的統包採購，如運動中心、集合住宅、多功能運動中心等，常以設計施工統包（Design-build, DB）方式辦理招標，此類建築物採購，業主開出需求，因需求較為單純且多可量化（如樓層、坪數、衛浴設施、空調需求等），需求愈具體，雙方認知愈接近，履約較不易產生爭議。

但隨著標案特性愈形複雜，業主需求想法愈

不具體，甚至僅有基本需求，對履約標的的成果採開放彈性的態度，相對地廠商履約的彈性就愈高，履約爭議也愈容易發生；民間常見的統包採購案，如廠房的興建，業主的需求可能只有廠址、建廠目的、搭配設備、生產動線等，所有需求確認、設計、各項證照申請、施工、部分設備採購、安裝，甚至安裝後的測試、試運轉及輔助上線生產等，都需要倚重專業整合能力強的廠商來完成，這就比較像是偏向 Turnkey 的統包案，業主最後就像只要拿到一把鑰匙，轉動一下就可以達到原先想要的採購標的（運轉正常的廠房）。Turnkey 的統包方式看似對業主最為輕鬆的採購模式，實際執行上不乏不斷的溝通、協調、要求及讓步，這居間負責相關工作的營造廠，通常要有很強的工務設計部門可以來主導，或是搭配專業的顧問公司來協助辦理。通常這種民間採購模式，由於不受政府採購法的約束及限制，業主及廠商之合作關係較為長久，信任關係愈強，執行的彈性愈大，業主的的要求比較能掌握，廠商也較能讓步執行（同樣狀況發生在政府採購標案則必須依循冗長且複雜的程序辦理契約變更），這對於工進及品質其實是一個良好的雙贏局面（Win-Win Situation）。

在政府工程採購方面，由於近年有許多複合式的大型採購案，結合了土建、水環，甚至機電系統，在建置時程及機關技術人力的有限條件下，採以統包方式辦理；此等標案特性結合了政府採購法第 24 條所稱設計、施工、供應、安裝、測試、試運轉甚或一定期間之維修，採購模式類似 Turkey 的統包。例如軌道運輸系統的統包工程採購，業主可能擔心指定核心機電系統型式，有圖利特定廠商之虞，而採較開放的系統需求，像這樣的新系統的建置及導入，除了運量（載客量）、軌距、車重（軸重）限制、線型（可微調）、站址（含出入口位置）、機廠用地等外，其他系統

設備皆採開放態度，因此廠商有相當大的彈性可以發揮，車輛廠商可以現有車款檢視是否符合需求，以大幅降低履約成本，進而增加競爭力創造得標優勢。但是相對的，當系統採開放方式辦理招標，許多需求招標文件未制定或量化，易造成履約的爭議，例如維修設備種類、維修廠房大小、車站機電設備需求空間，甚至營運單位需求空間，執行階段易造成業主及廠商的認知差距較大，而導致履約爭議的產生，此類軌道運輸系統建置工程採統包方式辦理，比較偏向 Turnkey 的統包，本來業主希望最後就像拿到一把鑰匙轉一轉輕鬆簡單，但往往總是事與願違還沒拿到鑰匙，就開始有接不完的爭議要處理，畢竟統包成功的關鍵，並非僅僅在於決定採統包方式辦理即可，必須還要檢視整體的採購招標策略才能初步確保統包工程的順利執行。

三、國內軌道運輸系統統包工程採購模式

軌道運輸系統工程，泛指鐵路、捷運及高鐵等軌道型式之運輸系統，以下就鐵路、捷運及高鐵辦理工程採購之模式分述如下：

(一) 鐵路建設：以國內最有歷史的鐵路工程採購為例，因系統較一致且大致建置完成，以改建工程採購占較大宗，因此除了少數新建置的路線工程，及後續配合已到使用年限即將除役之相關車輛採購，大多為土建工程及配合改建工程後衍生之相關機電系統採購；由於臺灣鐵路管理局具有機電系統施工專業技術人員、施工及維修之技術傳承也相當完整，可從事安裝、測試、維修等作業，因此須辦理採購大部分多為土建工程採購及機電設備之財務採購，其中土建工程部分委由鐵路改建工程局（目

前已改名為交通部鐵道局）辦理居多，採購形式大多採先行發包設計標案，再依設計成果辦理施工標採購，較少以統包方式辦理採購發包。

(二) 捷運建設：以臺北捷運為例，臺北捷運工程局雖有土建與機電系統一併辦理招標的複合式標案（如土城線、內湖線），但由於土建及水環部分由業主委由細部設計顧問先行設計再辦理施工標招標採購，因此土建工程非以 DB 的統包方式辦理，另機電系統雖大多以統包方式辦理招標，考量後續路網系統一致之相容性問題，招標文件功能規範設備、系統相容性限制較多，且工程實質完工後，即交給臺北捷運公司辦理通車前的準備作業，因此亦非 Turkey 的統包；而以桃園機場捷運為例，高速鐵路工程局委託總顧問協助招標及細部設計審查及諮詢服務，其採購模式為先行辦理機電系統統包標之採購，以確立機電系統之相關需求及參數，作後續土建設計需求之依據，並參照北捷經驗採設計完成後再辦理施工標採購，與北捷較為不同的部分為採細部設計與監造合併辦理招標，可避免設計及監造責任無法釐清外，同時也解決機關監造人力不足的問題，因此桃園機場捷運土建工程亦非 DB 統包工程，僅機電系統工程之採購採統包方式辦理。

高雄捷運紅線初期路網依獎參條例（獎勵民間參與交通建設條例）採 BOT（興建 Build、營運 Operate、移轉 Transfer）方式辦理採購，依 BOT 的精神可不受政府採購法之規範，實質上高雄捷運之興建亦採類似 Turnkey 之統包工程，因此特許廠商高雄捷運公司在辦理興建時，亦是採統包方式辦理採購。

近年的高雄輕軌、新北市的淡海輕軌、安坑輕軌及三鶯線捷運，皆採統包方式辦理。其中淡海輕軌及三鶯線捷運，除皆採統包方式辦理外，在統包契約內納入一定期間的代操作維修服務，因此負責興建的統包廠商，興建完成後續代為操作維修亦為其應辦事項，鼓勵廠商站在營運者角度考量整個系統的建置，就系統設備使用年限、維修頻率及使用耗材頻率等全生命週期的思維，建置更優化的軌道運輸系統，這種採購模式，有創意且不失為一個政府自辦採 Turnkey 統包工程（政府出資建設營運），非採 BOT（民間出資建設營運），卻能確保後續營運維修品質的採購模式。桃園捷運綠線由原規劃的土建及機電系統併標辦理之大統包，後改為小統包分為機電系統工程標及數個土建工程標皆採統包方式辦理採購。綜觀國內捷運系統之採購有逐漸採統包方式辦理之趨勢。

（三）**高鐵建設：**台灣高速鐵路也與高雄捷運同樣依獎參條例採 BOT（Build、Operate、Transfer）方式辦理採購，但台灣高鐵公司在興建過程中，亦是採統包方式辦理採購。

針對上述各機關軌道運輸系統採購形式之決策考量，後續新建路網的建置，採統包方式辦理將是一個不可避免趨勢，尤其是各地方政府的捷運建設，在考量有限專業人力，為達最有利於業主且最具採購效益之目的，採 Turnkey 的統包將是最適合的採購模式。在未來參與軌道運輸系統統包工程，無論是協助業主辦理基本設計、專案管理及監造，甚至統包廠商團隊的細部設計顧問，皆應對軌道運輸系統統包特性有進一步了解，才能在統包工程團隊中扮演各個角色並提供最佳的專業建議、判斷以及最優的專業技術服務。

四、軌道運輸系統統包工程招標策略之擬定與建議

一般而言，公共工程採統包方式辦理採購，有下列幾項優點：

- （一）可提升採購效率、減省業主（機關）辦理招標作業時程、縮減工期等。
- （二）設計與施工同時作業，能有效率先展開已核定設計部分之施工。
- （三）整合設計與施工需求於同一採購契約，以貫徹設計理念，確實滿足需求，確保工程品質。
- （四）設計與施工之作業密切配合，界面整合較易達成，時程較易掌控，可有效縮短工期。
- （五）對業主（機關）而言，廠商之責任清楚，不會有關聯廠商責任不清之問題。

軌道運輸系統之統包工程，除具備上述採統包工程辦理之優點外，仍應依個案特性檢討各種分標模式之優劣，進而研擬最佳招標策略。

依前節所述國內軌道運輸系統採統包方式辦理之案例，大致可分為土建及機電系統併標之統包工程，及土建及機電系統分開招標之統包工程，其特性分述如下：

- （一）**土建及機電系統併標之統包工程：**如新北市捷運局的淡海輕軌及三鶯線捷運，其招標內容為土建、水環、軌道及機電系統（含車輛）併標辦理招標，其最大優點為界面最少，所有界面責任由統包廠商負責，業主（機關）無需負責標案與標案間之整合及協調，也無須面對二個以上的廠商，簡省許多不必要的界面協調會議。
- （二）**土建及機電系統分開招標之統包工程：**例如桃園捷運綠線因規模約為三鶯線捷運規模的 2 倍多，若採土建及機電系統併標之



大統包工程辦理採購，由於其規模大、金額高，且工程特性複雜，廠商將承擔更高的履約風險，再者因各項保證金隨標案規模而提高，造成廠商承攬的壓力大，將影響廠商的投標意願，加上有能力參與投標的廠商組合有限，缺乏市場競爭較難評選出優質廠商。因此業主（機關）未採土建及機電系統併標方式而改採小統包方式辦理採購，即土建與機電系統採分開招標，其招標內容為軌道及機電系統（含車輛）併為一標機電系統統包標，土建、水環之土建統包標則依區段、標案特性及招標規模再拆分為數個土建統包標。



以上 2 種土建及機電系統合併或分開辦理統包工程招標，其考量的關鍵議題為：若採土建、

機電系統合併招標，又易引起業界爭議有不當限制競爭之虞，且規模愈大愈易有此異議產生（如桃園捷運綠線原規劃採大統包方式辦理採購），因此在招標策略上必須有完善配套，才能藉此減少爭議及提高廠商參與意願；若採土建及機電系統分開招標，因不同系統各廠商間的產品差異大，勢必增加土建、機電系統設計及施工整合的複雜度，可能衍生管理的困難度及無法如期通車的風險。

辦理軌道運輸系統採購如採購規模經評估採將土建及機電系統併標辦理統包工程招標，理論上最貼近 Turnkey 的統包採購，土建及機電系統廠商組成之團隊，除了負責本身土建及機電系統的設計、採購、施工、製造、供應、安裝、測試等，其土建及機電系統全生命週期各階段衍生之界面問題，為統包團隊承擔之責任與義務，最後業主（機關）接收成果即可如轉匙（Turnkey）般的啟動軌道運輸系統營運。

另外，當軌道運輸系統建設採土建及機電系統分開招標，如屬全新且開放之軌道運輸系統，則應先行辦理機電系統標招標，機電系統標優先提供相關設計參數，及時納入土建標之設計需求（按，機電系統先行招標案例有桃園機場捷運機電系統統包標，提出相關參數後納入後續土建細設標內，再依設計果辦理土建施工標招標；桃園捷運綠線機電系統統包標，較其他土建統包標先行發包，並於招標文件內規範廠商於一定期限內提出相關參數以供後續土建統包標納入設計）；針對軌道運輸系統之後續路網建置，則因系統型式較為明確且須與原路網系統相容之限制，一般可先行辦理土建標之採購招標作業（按，桃園機場捷運延伸線及北捷萬大線之土建標，皆先行招標，後續再辦理機電系統採購）。而土建及機電系統分開辦理統包工程招標，土建及機電系統衍生相關界面問題，因屬關聯標案間的界面，標案

與標案間的界面整合，過程中皆需仰賴業主（機關）或專管單位出面協調整合，不如 Turnkey 統包工程在最後如轉匙（Turnkey）般即可啟動軌道運輸系統營運。

五、結 論

業主辦理工程標案招標，通常在決定招標策略時，就已經決定標案成敗的一半；以統包方式辦理招標，並非適用所有軌道運輸系統的建設案；統包工程的招標策略，必須評估工程特性、是否為軌道新系統的建置、採購機關的專業人力與能力、標案規模、風險分攤、契約公平性與可行性等因素，才能決定最佳的招標策略。

軌道運輸系統後續路網建置採購，因系統相容性考量，機電系統相關設計參數已大致確定，無需先行辦理機電系統之採購招標。如採購機關的技術人力相當健全，以臺北捷運為例，無論專業採購、專案管理、細設審查、界面處理、施工監造等，都已累積相當之軌道系統建設專業經驗，可採用成熟的傳統採購招標方式（Design-bid-build, DBB）循序漸進，先辦理細部設計招標，再依細設成果辦理施工標招標。惟若屬全新的軌道運輸系統之建置，則應先檢視是否機關有足夠之專業技術及管理人力，足可應付各階段之招標採購、設計施工界面整合，如業主（機關）不具足夠之專業技術及管理人力，則建議優先考量以統包方式辦理招標採購。

另採購機關應考量採購標的規模，如土建加機電系統工程規模過大，且無併標辦理之前例者，

則應考量適當拆分為數個統包標案辦理採購，以分散風險、減少財務負擔及提高廠商參與投標意願，如台灣高鐵聯盟辦理高鐵建設時，成功的將土建工程拆成數個土建統包標辦理採購，另如桃園市政府捷運工程處，將桃園捷運綠線之土建及機電系統分標採統包方式辦理採購，並將土建統包依最適規模拆成數個土建統包標。但當評估如採購標的如土建加機電系統工程規模適宜，且為廠商可承擔風險的規模，則土建及機電系統異業併標辦理招標，為對專業技術及管理人力不足之業主的最佳採購招標模式，可以解決執行中界面問題，並確保統包工程順利進行，如新北市捷運工程局，將淡海輕軌及三鶯線捷運土建及機電系統併標採統包方式辦理採購，可大幅減少業主在標案管理上的人力。

有關辦理軌道運輸系統之採購，無論在辦理採購之初判斷係採土建及機電系統分標或併案辦理採購招標，並非能完全避免履約階段所有可能產生的爭議，還必須業主對契約文件相關條款的審慎研擬，及履約各單位對契約一致的認知及共識。因此，合宜的招標策略，無論是 DB（Design-build）的統包，或是 Turnkey 的統包，仍需配合明確公允合理可行的契約文件，才能發揮最大的採購效益。

參考文獻

- 政府採購法法令彙編「中正國際機場聯外捷運系統建築設計第一期總顧問服務」分標模式與招標策略報告書。
「淡海輕軌運輸系統計畫基本設計及第 1 期專案管理顧問委託技術服務案」分標模式與招標策略報告書。

可能最大暴雨估算系統建置

楊銘賢* 金士凱* 陳麒如*

一、前言

可能最大暴雨 (Probable Maximum Precipitation, PMP) 係指在不考慮長期氣候趨勢的條件下，一年的某一特定時期、某一特定位置，給定暴雨面積或設計流域，在氣象上可能發生的給定延時的最大降雨深度 (WMO, 2009)；主要應用於水庫設計及其安全評估與核能發電設施設計覆核等領域。實務上，國內較常以暴雨移位及露點調整法進行推估，該法主要由造成大型洪災之颱風暴雨的降雨深度 - 面積 - 延時 (Duration-Area-Depth, DAD) 曲線推求而來。每場致災降雨量於某種降雨延時情況下，可以下式表示為降雨深度 - 面積曲線：

$$P = P_0 \cdot \exp(-K \cdot A^n)$$

其中：P 為降雨深度；A 為降雨面積；P₀ 為集水區降雨係數；K 與 n 為常數。

目前臺灣地區主要運用之既有颱風暴雨事件，計有：民國 48 年 8 月發生於中南部的八七暴雨、民國 49 年 8 月發生於中南部的雪莉颱風、民國 52 年 9 月發生於北部的葛樂禮颱風、民國 85 年 7 至 8 月發生於中南部的賀伯颱風、民國 90 年 9 月發生於中南部的納莉颱風、民國 93 年

7 月發生於中部的敏督利颱風、民國 93 年 8 月發生於北部的艾利颱風、民國 97 年 9 月發生於中部的辛樂克颱風、民國 98 年 8 月發生於南部的莫拉克颱風，如圖 1。該 9 場降雨事件係於水庫堰壩規劃與校核階段，採人工作業方式進行推估，因過程繁瑣，故截至目前，僅有此 9 場降雨事件可供參考。

有關降雨深度 - 面積 - 延時 (DAD) 曲線自動化推求之研究，國內水利署水利規劃試驗所民國 108 年 12 月「水資源規劃作業平台建置 - 水源運用分析系統與流量推估模組擴充」雖有初步研議，惟現階段尚無成果可供使用；國外則有 MetStorm (美國 DTN 公司研發軟體，示意如圖 2) 提供收費方式之 DAD 曲線計算服務，惟其計算核心尚未公開。

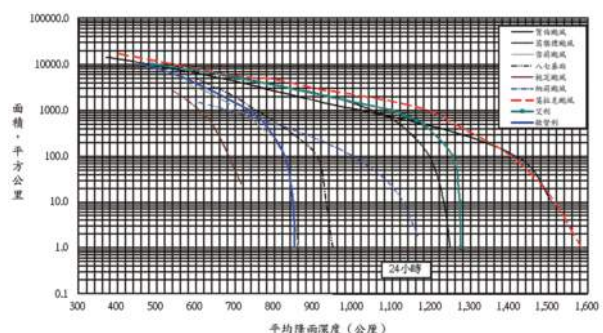
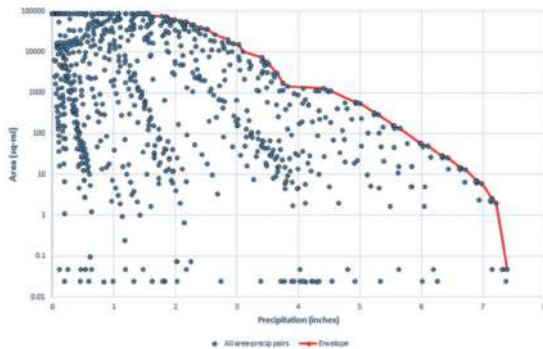


圖 1 國內降雨深度 - 面積 - 延時 (DAD) 曲線 - 以延時 24 小時為例

* 中興工程顧問公司水利工程部工程師



註：圖中每一個點為空間上一個特定降雨面積與雨量配對計算成果點。

圖 2 美國 MetStorm 軟體計算某特定延時之降雨深度 - 面積曲線

二、主要方法

本研發共建立四項功能，各功能之工作方法說明如下：

(一) 雨量資料介接

1. 介接中央氣象局開放平台（OPENDATA）雨量資料。
2. 以 Visual Studio VB.net 程式語言，開發資料蒐集程式。
3. 利用 Windows 工作排程器，定時執行資料蒐集程式，存入資料庫。

(二) 巨量雨量資料統計

當暴雨資料蒐集後，本程式可將前述之雨量資料依不同時間範圍分別統計為 1 小時、3 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時、36 小時、48 小時、60 小時、72 小時、96 小時及 120 小時等延時之雨量統計值，將可作為後續 DAD 模組之輸入資料。同時可供使用者依縣市別，選擇不同雨量站，顯示不同降雨延時之雨量歷線。

1. 以 Python 程式語言，建立各延時雨量統計分析功能。
2. 並建立直覺化視窗介面，以利使用者操作，檢

視雨量統計成果。

(三) DAD 分析

以 Python 程式語言，呼叫 ArcMap 的 3D 分析功能，利用克利金法（網格為 1 公里 × 1 公里）計算網格雨量，運算符合雨量門檻值之平均雨量與網格面積等統計資訊，分析流程如圖 3。將可自動化分析某一暴雨事件，在各降雨延時下之 DAD 曲線。

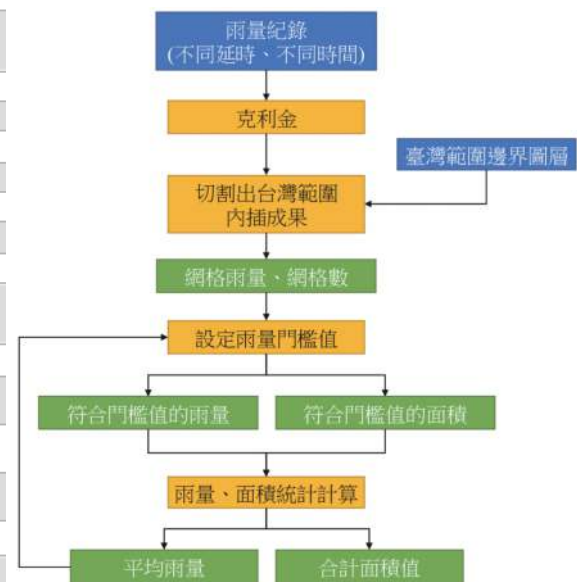


圖 3 DAD 分析流程

(四) PMP 分析

本研發利用暴雨移位與露點調整法分析水庫堰壩之可能最大暴雨，該法之分析步驟說明如下：

1. 蒐集臺灣地區以往發生雨量較大、雨量記錄較完整之颱風暴雨之降雨深度 - 面積 - 延時資料。
2. 利用「各場颱風暴雨之降雨面積與屏障高度關係圖」將露點溫度資料校正為相當海平面之露點溫度。其中欲分析水庫堰壩之露點溫度，可採就近之氣象局氣象站之記錄。
3. 並由「各場颱風暴雨之降雨面積與屏障高度關

- 係圖」求得各颱風相當欲分析之水庫堰壩集水區面積的屏障高度。
4. 依據前述所求得相當於海平面之露點溫度及屏障高度，利用美國氣象局之「露點、氣壓、可降水量」關係，求得計畫地區及觀測地區之可降水深，進而求得濕氣調整係數。
 5. 根據調整係數重新調整各場颱風之暴雨量，並繪製各場颱風暴雨之降雨深度 - 延時包絡線，即可求得欲分析水庫之暴雨移位與露點調整法推估結果。

本功能以 Python 程式語言將前述分析完成之 DAD 成果，結合 PMP 分析之 Excel 檔案，完成某一水庫堰壩之 PMP 估算。

三、研發成果介紹

(一) 巨量雨量資料統計

此項功能使用者可設定時間範圍，進行各降雨延時之雨量統計；降雨延時分別為 1 小時、3 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時、36 小時、48 小時、60 小時、72 小時、96 小時及 120 小時等 12 類；統計好之雨量結果，可依縣市別，查詢所屬之雨量站，再查詢各雨量站之各延時雨量歷線。其系統功能畫面如圖 4。

各項功能鍵分別說明如下：

1. 設定分析資料起始、結束日期

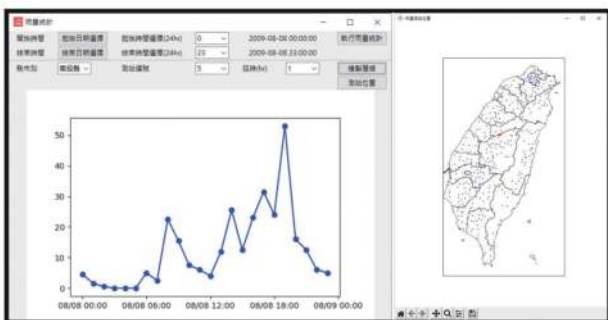


圖 4 巨量雨量資料統計功能成果畫面

2. 設定分析資料起始、結束時間
3. 執行雨量統計
4. 設定縣市、測站編號、延時
5. 繪製歷線
6. 繪製測站位置平面圖

(二) DAD 分析

此項功能使用者可依前一項功能所設定之時間範圍，進行各降雨延時之 DAD 分析；所分析完成之 DAD 成果，使用者可設定查詢某一延時及某一時間之雨量值圖形。其系統功能畫面如圖 5。

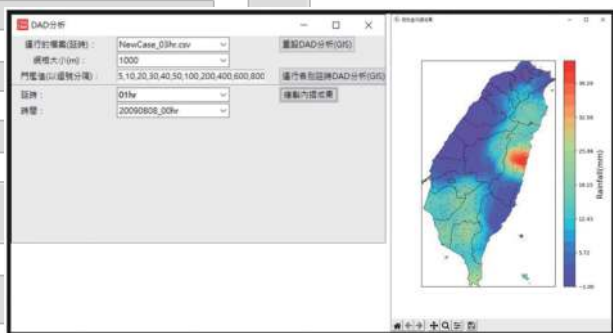


圖 5 DAD 分析功能成果畫面

各項功能鍵分別說明如下：

1. 清除既有 DAD 的分析成果
2. 選擇要分析的延時、網格大小以及門檻值（預設值為 5、10、20、30、40、50、100、200、400、600、800、1000、1200）
3. 進行 DAD 運算
4. 選擇延時與時間
5. 繪製雨量內插成果

(三) 包絡線計算與 PMP 分析

此項功能為接續前一 DAD 分析功能之後，用以產出各延時 DAD 包絡線，並運用較為廣用之暴雨移位露點調整法，計算水庫堰壩之可能最大暴雨。使用者可設定各降雨延時，程式將自動

依據每個門檻值的最大面積計算預設的包絡線；使用者可依據程式計算的包絡線成果進行調整或新增 DAD 包絡線點位，用以調整 DAD 包絡線之平滑曲線；使用者將前一項功能之各延時 DAD 曲線成果匯入 PMP 計算表檔案；使用者再開啟 PMP 計算表檔案，進行某一水庫堰壩之參數條件設定後，即可自行完成 PMP 推估。其系統功能畫面如圖 6 及圖 7。

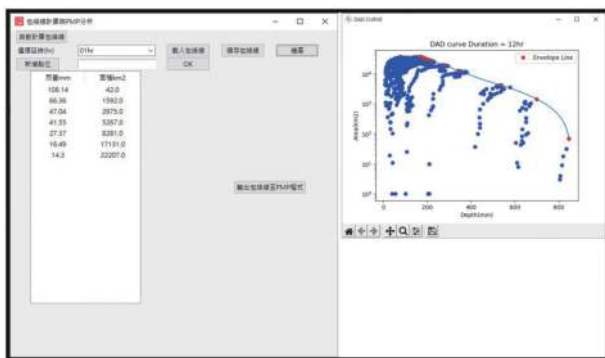


圖 6 包絡線計算功能成果畫面



圖 7 PMP 分析功能成果畫面

各項功能鍵分別說明如下：

1. 自動計算 DAD 包絡線值
2. 選擇延時類型
3. 載入包絡線
4. 新增一列雨量及面積資料
5. 雙擊欲修改之雨量或面積後於輸入格中輸入欲修改的數字
6. 輸入之新增資料，顯示至數據區內
7. 儲存修改成果
8. 繪製包絡線圖形

9. 新事件之各延時 DAD 數據寫入至 Excel 檔案
10. 開啟 Excel 檔案，進行 PMP 分析

(四) 案例分析

本系統驗證案例以莫拉克颱風雨量資料為例，透過 DAD 分析功能進行各降雨延時 DAD 數值計算，及包絡線計算功能，產出各降雨延時之 DAD 曲線與既有莫拉克颱風事件之 DAD 曲線，以降雨延時 12 小時為例，比對如圖 8。整體而言，兩者曲線大致相同，而本研發所推估成果值域較廣，且因計算過程考慮各種平均降雨深度、面積數對點情境，故於相同面積下，得到降雨深度包絡線（即 DAD 曲線）較高數值。

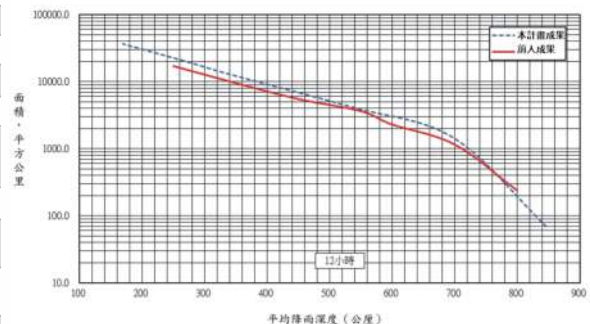


圖 8 12 小時降雨延時 DAD 曲線比對

四、結語

(一) 本研發建置完成自動化暴雨深度 - 面積 - 延時曲線演算模組，將大幅降低人工繪製時間及提升工作時效。

(二) 本研發完成開發巨量雨量資料時空分布資料分析模組，可自動化分析 11 組降雨延時之雨量統計值，大幅降低人工資料整理所耗費之時間，提升其工作效率及品質。

(三) 近年臺灣深受氣候變遷影響，未來採本研發工具可易於整理大量時空降雨數據，有機會進行臺灣地區在氣候變遷條件下降雨特性探討之相關研究。

財團法人中興工程顧問社經累積多年之研發成果，已出版下列各項工程類別之銷售叢書，其內容精闢專業，深具參考價值。若有需要，歡迎申購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 467

E-MAIL：louis@sinotech.org.tw

網址：http://www.sinotech.org.tw

類別	序號	書 名	編 號
水利工程類	1	台灣南部區域枯旱特性	R-HY-01-01
	2	河川水理輸砂模式 SEC-HY11	R-HY-01-02
	3	台灣地區地面水及地下水調查與運用	R-HY-01-03
	4	混凝土壩非線性分析商業化程式發展（一）	R-HY-01-04
	5	攔河堰二維水理分析軟體 SEC-HY20	R-HY-01-05
	6	敲擊彈性波技術應用在巨積混凝土結構物裂縫之檢測	R-HY-01-06
	7	近岸地形變化之數值模式	R-HY-01-07
	8	敲擊回音儀器改善開發及在混凝土波速與裂縫檢測上之應用	R-HY-02-02
	9	巨積混凝土非破壞品質檢測技術之研發	R-HY-02-03
	10	橋樑側向侵蝕防治技術與設計指引（彩色版）	R-HY-02-04
	11	水平二維動床模式之應用	R-HY-02-05
	12	多座水庫系統聯合運轉模式（四）多目標水庫串聯系統與攔河堰聯合運轉	R-HY-02-06
	13	混凝土壩應力分析之工程應用模式建立（一）	R-HY-03-01
	14	即時逕流與河川演算人機介面模式	R-HY-03-02
	15	敲擊回音儀器改善開發及其在巨積混凝土裂縫與隧道襯砌厚度檢測上之應用	R-HY-03-04
	16	區域水資源系統即時操作模式之建立	R-HY-04-02
	17	混凝土壩非線性分析商業化程式發展（二）	R-HY-04-03
	18	混凝土壩非線性分析商業化程式發展（三）	R-HY-04-04
	19	河川水理、輸砂及污染質傳輸模式 SEC-HY11	R-HY-05-01
	20	混凝土非破壞檢測儀（Sino-NDT-IE）之改良	R-HY-05-04
	21	含自由液面之三維不可壓縮黏性流數值模式發展與應用	R-HY-05-05
	22	類神經網路於河川洪水預報系統	R-HY-07-02
	23	蝶閥啟閉過程中閥體受力之數值模擬	R-HY-07-03
	24	橋梁水理資訊系統	R-HY-09-01
	25	蓄水庫風險管理（二）風險辨識與風險控制及壩安全導則研訂	R-HY-09-02
	26	水平二維動床模式之研發及應用（二）岸壁沖刷	R-HY-10-01
	27	都市水岸縫合與環境改善研究—以美崙溪為例	R-HY-13-01
	28	宜蘭東澳地區海洋深層水多目標園區可行性研究	R-HY-14-01
	29	集集南岸三小水力發電計畫可行性研究	R-HY-16-01
大地工程類	1	堆石壩靜態與動態行為研究（二）軟岩材料含量對工程性質之影響	R-GT-01-01
	2	大地工程流形數值分析方法之發展（一）流形方法之引進與大地工程上之應用	R-GT-01-02
	3	隧道設計整合系統之發展（一）隧道支撐設計	R-GT-01-03
	4	隧道水文地質調查準則（含解說）	R-GT-01-04
	5	基樁完整性檢測技術發展與應用	R-GT-02-01
	6	多功能壓密沉陷數值程式之開發、模擬與驗證〔二〕施工模擬與尺寸效應	R-GT-02-02
	7	軟弱土層特性與深開挖行為〔三〕深開挖施工訊息化系統	R-GT-02-03
	8	岩盤隧道施工資料自動化處理系統	R-GT-02-04
	9	鬆軟地盤改良作業之評估、設計與檢驗方法	R-GT-03-01
	10	Seismic Resistance Design of Earth Structures and Deep Foundation-（1）Dynamic Effective	R-GT-03-02
	11	隧道施工專家系統	R-GT-04-01
	12	節理岩體力學特性研究（二）實際工程岩體力學參數之評估與應用	R-GT-04-02
	13	大地工程流形數值分析方法之發展（二）節理岩體斷裂破壞程式發展	R-GT-04-03
	14	地震時潛盾隧道與既有建築物之互制分析	R-GT-04-04
	15	樁基礎分析及設計程式發展	R-GT-05-01
	16	粉土細砂現地觸探結果設計參數之 CPT 標度	R-GT-05-02

類別	序號	書名	編號
大地工程類	17	隧道交叉段力學行為與支稱對策	R-GT-05-03
	18	地理資訊系統於大地工程之應用(一)地質資料輸入、地質模型建立與地工分析模式發展	R-GT-05-04
	19	新興感測科技於環片計測之應用(一)	R-GT-06-01
	20	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發(一)	R-GT-06-02
	21	預力混凝土既有應力非破壞檢測技術開發	R-GT-07-01
	22	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法	R-GT-07-02
	23	台灣地區地震危害度分析程式發展與強地動衰減模式建立	R-GT-09-01
	24	強震資料庫建置與維護及使用者平台開發(二)台灣地區隱沒帶強震資料建立	R-GT-09-03
	25	暨有混凝土橋梁內部損傷監測資料無線傳輸技術開發及應用測試(二)無線音射資料感測模組研製	R-GT-10-01
	26	落石問題分析技術	R-GT-10-02
	27	隧道施工專家系統整合應用與改進	R-GT-10-03
	28	集水區土砂災害分析	R-GT-10-05
	29	遙測技術於土木水利工程上之應用(一)一台灣中部地區土石災害潛勢研究	R-GT-10-06
	30	景美礫石層降水工法於大台北都會區深開挖工程之應用	R-GT-10-07
	31	隧道前方地質弱帶探查技術	R-GT-12-01
	32	高岩覆對隧道設計與施工影響研究—完整岩盤隧道影響探討	R-GT-12-02
	33	隧道開炸振動環境影響評估與技術準則之研訂	R-GT-12-06
	34	台灣山區地下水資源調查與評估技術之建立	R-GT-13-01
	35	隧道施工資料管理系統(二)—應用與改進	R-GT-13-02
	36	地下水補注敏感區判釋與評估技術之建立	R-GT-15-02
	37	流體注儲行為之力學機制研究與工程應用	R-GT-16-01
	38	高岩覆對隧道設計與施工影響研究(二)脆性破壞特性評估與因應對策	R-GT-17-01
環境工程類	1	加速型溶劑萃取法萃取底泥樣品中有機錫	R-EV-01-01
	2	土壤樣品中 Cu、Cd、Hg 和 Pb 的直接分析-利用 USS-ETV-ICP-MS 法	R-EV-01-02
	3	粉狀活性碳在降低消毒副產物生成之應用	R-EV-01-03
	4	界面活性劑液相層析質譜分析方法	R-EV-01-04
	5	自來水水質生物穩定性評估方法	R-EV-01-05
	6	應用固相微萃取法偵測水中微量亞拉生長素	R-EV-01-06
	7	消毒系統在工業區廢水處理之應用	R-EV-01-07
	8	國內污水下水道管材使用現況與發展趨勢	R-EV-02-01
	9	去除染整廢水中色度及殘餘 COD 高級處理技術	R-EV-02-02
	10	石化業製程廢水及污泥處理技術	R-EV-02-03
	11	以 Fenton 法處理柴油污染之土壤	R-EV-02-04
	12	工業區污水處理廠提昇生物處理技術	R-EV-02-05
	13	下水道污泥之磷直接分析	R-EV-02-06
	14	粉狀活性碳對自來水中土臭味物質之控制應用	R-EV-03-01
	15	自來水處理之薄膜積垢物去除技術	R-EV-03-02
	16	空氣污染排放總量及背景空氣品質預測	R-EV-03-03
	17	利用陰離子界面活性劑移除土壤中重金屬	R-EV-03-04
	18	利用不要的米(Unwanted Rice)製造活性碳之技術研發	R-EV-03-05
	19	周界空氣中揮發性有機物分析 TO-14A 樣品製備及質譜鑑定分析	R-EV-03-06
	20	水中鹵化乙酸(HAA)之鑑定	R-EV-03-07
	21	幾丁聚醣擔體固定化細胞技術處理水中 VOCs	R-EV-04-01
	22	不明廢棄物棄置(掩埋)調查採樣計畫及污染判定標準程序訂定	R-EV-04-02
	23	以 HPLC/Fluo 分析環境空氣中真菌含量	R-EV-04-03
	24	空氣污染控制策略及成本效益分析	R-EV-04-04
	25	彰濱金屬區電鍍廢水高級處理與資源化技術	R-EV-04-05
	26	地下水 MTBE/BTEX 油品污染之物理處理技術	R-EV-04-06
	27	固定化微生物擔體於反應式阻牆技術之應用	R-EV-04-07
	28	以化學氧氣法處理受有機物污染之土壤	R-EV-04-08

類別	序號	書 名	編 號
環境工程類	29	自來水供水系統微量臭味物質鑑定技術	R-EV-05-01
	30	塑膠管長期管剛性評估機制（一）	R-EV-05-02
	31	污染場址水文地質調查技術之發展	R-EV-05-03
	32	高錳酸鉀氧化技術於地下水污染整治之應用	R-EV-06-01
	33	薄膜海水淡化廠出水水質穩定化控制技術	R-EV-06-02
	34	含高濃度 BTEX 尾氣之處理技術評估	E-EV-06-01
	35	生物反應式透水阻牆整治工法應用研究－材質開發與模場驗證	R-EV-06-03
	36	工業區污水處理廠放流水再生利用	R-EV-07-01
	37	三合系統於場址評估之應用與方法建立	R-EV-07-02
	38	塑膠管長期管剛性評估機制（二）	R-EV-07-04
	39	Bio-MF 應用於都市污水處理之探討研究	R-EV-07-05
	40	交通噪音振動改善措施研究	R-EV-08-02
	41	生物性緩釋材之開發與應用	R-EV-08-03
	42	MBR 薄膜系統原型機開發與應用	R-EV-08-04
	43	廢水處理廠生物即時監測系統	R-EV-09-01
	44	現地氧化試劑配方之快速評估程序開發	R-EV-09-03
	45	以截流式微過濾膜回收淨水場快濾池反沖洗水並產生污泥餅之研究	R-EV-10-01
	46	不同化學氧化法搭配生物復育技術降解土壤中 BTEX 污染物	R-EV-10-02
	47	生質物之造粒、裂解與氣化	R-EV-11-01
	48	中空絲超過濾膜膠體性阻塞趨勢與系統效能之評估	R-EV-11-02
	49	以末端過濾操作微過濾薄膜分離富含油脂之藻類	R-EV-12-02
	50	以液相層析串聯質譜儀建立水中全氟化物及抗生素之分析方法	R-EV-12-06
	51	溫室氣體總量管制政策工具應用於能源技術服務之法規機制可行性評估	R-EV-12-08
	52	以雙槽式薄膜反應器（Dual MBR）進行小球藻培養及濃縮之研究	R-EV-13-02
	53	碳抵換合作模式分析研究	R-EV-13-03
	54	人工濕地作為低碳污水處理單元之生命週期研究－以高雄洲仔濕地為個案探討	R-EV-15-01
	55	添加生物炭對土壤污染之影響研究－針對重金屬污染土壤與酸洗後土壤改良之評估	R-EV-16-01
	56	廢污水生物急毒性檢測與應用評析	R-EV-20-01
結構與耐震工程類	1	高壓阻尼器之研發	R-ST-01-01
	2	封閉式液流阻尼器結構減震之模型試驗	R-ST-01-02
	3	加長型單肋板補強梁柱接頭耐震行為與設計	R-ST-01-03
	4	鋼筋混凝土耐震結構性能設計法（二）直接位移法及其結構實驗	R-ST-01-04
	5	鐵路橋梁耐震設計可靠度分析（三）RC 連續橋梁地震反應分析	R-ST-01-05
	6	雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（一）－軸力與彎矩	R-ST-02-01
	7	斜張橋空氣動力穩定性之風洞實驗與數值分析	R-ST-02-02
	8	遲滯型消能器減震技術改良與應用加勁阻尼系統之結構耐震性能設計方法	R-ST-02-03
	9	預鑄混凝土橋墩之耐震行為（三）綜合應力行為	R-ST-02-04
	10	鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（一）鋼骨箱型柱肋板補強梁柱接頭耐震行為	R-ST-02-05
	11	地震工程性能設計法之應用（一）單自由度橋柱及建築物之耐震性能評析與設計	R-ST-02-06
	12	鋼筋混凝土耐震結構性能設計（三）消能隔減震系統之位移設計法	R-ST-03-01
	13	液流阻尼器全尺寸結構防振功能之振動台測試	R-ST-03-02
	14	雙鋼管充填混凝土中空橋柱耐震行為（三）中空雙鋼管混凝土柱與基礎接合耐震行為	R-ST-03-03
	15	斜張橋空氣動力穩定性之風動實驗與數值分析（二）	R-ST-03-04
	16	高韌性鋼橋柱耐震行為（一）－先期試驗	R-ST-03-06
	17	流場引致結構物振動之分析技術現況評析	R-ST-03-07
	18	垂提式閘門振動分析及評估指南	R-ST-04-03
	19	鋼骨箱型柱梁柱接頭耐震行為（二）箱型柱與鋼梁偏心接合耐震行為	R-ST-04-04
	20	載荷 100 噸級液流阻尼器特性試驗及技術推廣之預備工作	R-ST-05-03
	21	加消能裝置鋼構架位移設計法之試驗	R-ST-05-04
	22	建築結構之多振態性能評析與設計方法應用（一）考慮多振態之位移導向耐震評估與設計	R-ST-06-01

類別	序號	書 名	編 號
防災科技	1	遙測技術於土木水利工程上之應用(二)－土砂災害資料倉儲系統建置及莫拉克災區案例分析	R-DP-13-01
	2	坡地災害風險管理及其應用(一)莫拉克颱風災區坡地災害研究	R-DP-13-02
	3	因應地質法與極端氣候研擬坡地防災調適策略－以坡地住宅及土地利用為例	R-DP-14-01
	4	應用雷達影像評估坡地災害	R-DP-16-01
其他	1	軌道運輸系統營運模式現狀評估	R-MS-01-01
	2	半導體廠製程排氣設計方法(二)	R-MS-01-02
	3	捷運地下車站火災時人員安全避難容許時間之探討與分析模式	R-MS-01-03
	4	3C 最佳化風管設計方法	R-MS-02-01
	5	發電系統穩定度	R-MS-02-03
	6	寬頻接取技術現況與趨勢	R-MS-02-04
	7	長隧道通風研究(一)列車隧道空氣動力模擬程式研發	R-MS-08-01
	8	長隧道通風研究(二)隧道空氣動力模擬程式視窗展示前後處理軟體研發	R-MS-09-01
	9	建築節能之被動冷卻系統分析法－FDS5 軟體應用指引	E-MS-12-01
	10	台灣地區巨積混凝土配比與熱學特性之研究	R-MS-20-01

* 基隆河員山子分洪隧道
掌握億萬年記錄的奧秘

成就穩固與安全的工程，必須瞭解歷經億萬年變遷的大地
中興工程顧問公司在踏實立足大地的同時，更以對基礎專業的堅持
致力探索地面之下蘊含的秘密，對土地更深層的掌握與瞭解
方能成就出磐石般的工程品質。

大地工程團隊

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話：(02) 2769-8388 傳真：(02) 2763-4555
E-mail: sinotech@sinotech.com.tw
<https://www.sinotech.com.tw>



正派經營 · 品質保證 · 追求卓越 · 創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.





*桃園機場捷運

縱橫四界的願景擘劃者

溝通兩地的交通，聯繫著家人的情感，促發著經濟的繁盛
中興工程顧問公司以全方位的服務，串起臺灣交通建設網絡
在縱橫阡陌的路網與城鄉之中，構築出臺灣的發展動脈
也為每個角落延伸無限出廣闊願景



捷運建設工程

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話:(02) 2769-8388 傳真:(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
<https://www.sinotech.com.tw>

正派經營·品質保證·追求卓越·創新突破



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.





* 桃園草漯市地重劃

綠色生態·韌性防災·循環低碳·智慧典範

草漯市地重劃區位於桃園市觀音區西北隅，地理環境條件優越，受農業區、埤塘、溪流及山丘之生態體系所包圍，中興團隊提出「綠色生態、韌性防災、循環低碳、智慧典範」等四項發展策略，落實於工程，期達成宜居智慧莊園目標，並為桃園市政府首例導入循環經濟之示範區。



土地開發工程

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發、園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

10570 臺北市松山區南京東路五段171號
電話：(02) 2769-8388 傳真：(02) 2763-4555
E-mail : sinotech@sinotech.com.tw
<https://www.sinotech.com.tw>

正派經營·品質保證·追求卓越·創新突破

中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.





* 桃園國際機場新塔臺園區

宏觀視野與環境融合的工藝

塔臺造型意象源於野柳女王頭，外觀流線由裙樓颺昇至天際
猶似女王睥睨著機場，本工程係法國巴黎國際機場公司
華興聯合建築師事務所以及中興工程顧問公司共同設計
由中興公司負責施工監造，已於2019年底完成新舊塔臺轉移作業



建築、工程監造團隊

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊

105409 臺北市松山區南京東路五段171號

電話:(02) 2769-8388 傳真:(02) 2763-4555

E-mail: sinotech@sinotech.com.tw

<https://www.sinotech.com.tw>

正派經營·品質保證·追求卓越·創新突破



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.



正派經營・品質保證・追求卓越・創新突破
工程不只源於需求，更在於生活價值的實現

中興工程顧問

業務範圍：水利／電力／環境／交通／建築／機電



中興工程顧問股份有限公司
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.

10570 臺北市南京東路五段171號

Tel: 886-2-27698388 / Fax: 886-2-27634555

www.sinotech.com.tw

e-mail: sinotech@sinotech.com.tw

封面照片 | 桃園航空城 | 行政院於民國98年12月2日核定通過「愛台12建設」總體計畫，建設目標為以桃園國際機場為中心，規劃發展「桃園航空城」，帶動區域產業及經濟繁榮。

依民國110年10月29日公告之993版「擬定桃園國際機場園區及附近地區特定區計畫」（第一階段），桃園航空城計畫總面積約4,564公頃，本階段辦理區段徵收範圍共1,756公頃，包含桃園市政府一期面積約1,190公頃，及交通部海軍基地及周邊地區面積約566公頃。

中興工程顧問公司共參與都市計畫變更、規劃及基設一大標、統包細部設計四分標、專案管理及工程監造三分標，及安置住宅專案管理計畫。



中興工程 Vol.157 / OCTOBER 2022
ISSN 0257-554X



ISSN 0257-554X



9 770257 554007

出版者：財團法人中興工程顧問社
社址：114065 臺北市內湖區新湖二路280號
電話：(02) 8791-9198
傳真：(02) 8791-2198
網址：www.sinotech.org.tw
E-mail：adm-dpt@sinotech.org.tw
本刊圖文未經同意不得轉載

誠信·創新·品質·服務



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.