

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

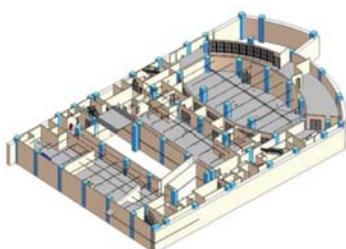
June
2014



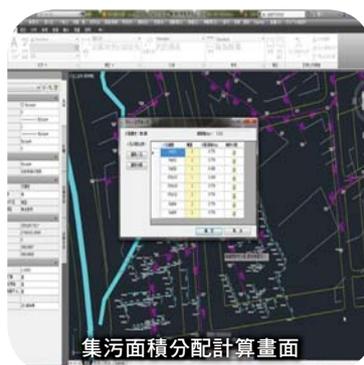
在資料爆炸的時代
您準備好了嗎?



近距離結構安全檢查



建築物 BIM 模型



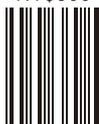
集污面積分配計算畫面



ISSN 0253-3804



NT\$300



Volume 41, No. 3

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

鋼筋混凝土
技術新發展

資訊技術
應用專輯

中國土木水利工程學會

103年學生3D BIM軟體應用競賽

活動目的

使用3D BIM軟體輔助工程設計與施工已在國內外受到極度的重視與肯定，本次活動係透過舉辦3D BIM軟體應用競賽，提高國內在校學生使用3D BIM軟體之風氣，以便印証所學並能與工程實務結合。



參賽資格

國內大專院校土木水利相關或其他系所之學生自由組隊參加每隊以同校在校生4人為限，其中應有一人擔任領隊另應有指導老師1名



競賽項目

資格

就指定題目，以參賽隊伍完成之作品評分合格即可進入決賽



決賽

以一日營方式進行，現場完成作品後，以簡報及實機展示方式進行評比

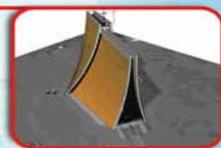
競賽獎勵

第1名	獎金50,000元	獎牌每隊1面	獎狀每人1張
第2名	獎金30,000元	獎牌每隊1面	獎狀每人1張
第3名	獎金20,000元	獎牌每隊1面	獎狀每人1張
佳作	獎金10,000元	獎牌每隊1面	獎狀每人1張



競賽時程

活動報名	即日起至103年6月20日
作品截止收件	103年7月20日
公布入選名單	103年7月31日
現場決賽	103年9月(另行公布)
頒獎典禮	103年12月(本會年會)



詳情請上本會網站 <http://www.ciche.org.tw> 查詢

主辦單位：中國土木水利工程學會資訊委員會

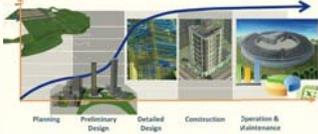
<http://www.ciche.org.tw>

<http://www.ciche.org.tw>

<http://www.ciche.org.tw>

土木水利雙月刊

中國土木水利工程學會會刊



在工程施作前，資訊技術提供了虛擬營造 (Virtual Construction) 的環境，以減少錯誤、提升效能；在工程施作中及竣工後，資訊技術提供了監測及檢測的工具，確保安全無虞。
圖片：中興工程顧問、亞新工程顧問、台灣世曦工程顧問及台北科大林祐正教授提供。

土木水利半月集

請多利用

土木社群 網頁
www.ciche.org.tw

先進工程社群

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

永續發展社群

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

國際兩岸社群

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習社群

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

學會活動社群

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

出版活動社群

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊
- 土木水利半月集

分會活動社群

- 土水學會
- 土水中部分會
- 土水南部分會
- 土水東部分會

發行人：呂良正

出版人：中國土木水利工程學會

主任委員：宋裕祺 (國立台北科技大學土木工程系教授)、(兼總編輯)、(編輯出版委員會)

副主任委員：王華弘 (明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授)

委員：王昭烈、李維森、周中哲、周功台、周頌安、徐景文、高邦基、張添晉、劉格非、陳立憲 (依姓氏筆劃排序)

副總編輯：鄧鳳雲

秘書：宋慧敏

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 中國土木水利工程學會

會址：100.055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：行政服務 ciche@ciche.org.tw、會員服務 ciche.roc@msa.hinet.net

印刷者：中禾實業股份有限公司

地址：221.161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

中國土木水利工程學會第二十一屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 沈景鵬 張荻薇 陳仲賢

理事：莫若楫 曾大仁 楊偉甫 歐來成 歐善惠 龔誠山 王昭烈
李咸亨 周永暉 鄭國雄 馬俊強 黃洪才 丁澈士 張武訓
蔡清標 吳瑞賢 陳存永 鄭文隆

常務監事：周南山

監事：楊永斌 李建中 張培義 許俊逸 黃燦輝 賴世聲

秘書長：倪惠妹

副秘書長：賴勇成

中國土木水利工程學會任務：

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

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

土木水利雙月刊對來稿有刪修權，不願刪修者，請註明。

中國土木水利工程學會和您一起成長！

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

TAIWAN INTERNATIONAL PORTS Co., Ltd.
臺灣港務股份有限公司

Privileged Access to the World

臺灣港務股份有限公司 (TIPCO)
聯合招商服務窗口
http://taiwan-ftz.com

基隆港
TEL +886-2-24206284-5
FAX +886-2-24295826
E-MAIL ke_ftz@kib.gov.tw

臺北港
TEL +886-2-26196025
FAX +886-2-26196027
E-MAIL lu0612@kib.gov.tw

蘇澳港
TEL +886-3-9972010
FAX +886-3-9952739
E-MAIL fang@kib.gov.tw

臺中港
TEL +886-4-26642254
FAX +886-4-26580547
E-MAIL hsiu@mail.tch.gov.tw

高雄港
TEL +886-7-5622681
FAX +886-7-5214903
E-MAIL p095370@mail.khb.gov.tw

安平港
TEL +886-6-2633014
FAX +886-6-2612942
E-MAIL p09199@mail.khb.gov.tw

特別報導

☞ 一場以台語詩致詞的國際研討會

呂良正

1

資訊技術應用 (客座主編：周頌安／中興工程顧問公司研發及資訊部經理)

專輯序言：在資料爆炸的時代・您準備好了嗎？

周頌安

3

☞ 臺北國際花卉博覽會新建及整建工程專案管理整合運用

陳賢明／黃娟娟／盧建宏

4

☞ 工程監督與訊息快遞的交流整合平台 — 蘇花公路改善計畫資訊系統

邵厚潔／李宗仁／黃志民／吳勇學

10

☞ 網路式BIM專案資訊溝通管理平台

蘇郁智／李孟崇

20

☞ 營造廠BIM建模協同作業管理模式建置之探討

楊慧萱／方嘉琪／林祐正

26

☞ 整合BIM技術於設施資訊管理平台建置及應用

蘇郁智／陳彥貝／林祐正

30

☞ BIM於建物全生命週期各階段之導入與應用

康思敏／莫仁維／曾雅愉

35

☞ 以污水下水道工程為例談2D進化至3D的電腦輔助設計應用

沈郁翔／賴鈺蓓／蘇毓誠

42

☞ 無人航拍載具開發及防災工程之應用

王天佑

49

鋼筋混凝土技術新發展

☞ 鋼與混凝土複合橋墩之設計與應用

洪曉慧／陳國隆／宋裕祺／張國鎮／王柄雄／曾榮川

57

☞ 鋼筋混凝土柱耐震圍束作用之測試

李翼安／沈文成／黃世建

68

VSL – 國際專業結構工程團隊

威勝利國際有限公司 (VSL International Limited) 1956 年成立於瑞士，是國際知名的預力系統及專業結構工程團隊。迄今已有五十八年預力及相關工程豐富經驗，工程實績遍佈全球，在世界各地擁有四十多家分公司，業務範圍廣泛。遍及橋樑工程、建築工程、特殊施工法等各種高難度施工項目。

五十八年來，身為世界級の後拉預力系統領導者，VSL 不斷研發並創新工程技術。在世界各地建立豐富且矚目的工程實績。舉凡杜拜帆船酒店、台北 101、馬來西亞雙子星大樓……等知名建築均為 VSL 的業績。

台灣威勝利股份有限公司成立於 1997 年，是威勝利國際有限公司在台灣所設的分公司。服務範疇涵蓋土木及建築兩大領域。已成功完成多項國家重大公共工程建設，例如第二高速公路、台灣高鐵、高雄捷運工程、國道 6 號高速公路、新北大橋等。國內建築業績有台北 101 金融大樓、桃園長榮總部大樓、921 地震教育園區、礁溪老爺酒店、台中科學園區廠房、台南科學園區廠房，以及最近完成的海納川、日月潭向山遊客中心等。

國際的 VSL，在地化用心經營。

深耕台灣十七年—台灣威勝利 (VSL Taiwan Limited)



VSL 在台灣向來以橋樑施工技術及預力工程聞名，近年更積極拓展建築產品，將後拉預力技術導入建築領域。並研發最新振動控制技術，投入制振產品開發、設計、供料到施工一氣呵成。藉助新的材料科技、結構分析與施工管理，提昇台灣建築結構安全與耐震性。台灣威勝利公司將秉持專業工程師的熱忱，誠懇務實態度，與台灣工程界的先進一同打拼服務。

1. 台北 101
2. 長榮總部大樓
3. 中油台中港 LNG 儲槽
4. 高雄捷運
5. 新北大橋
6. 日月潭向山遊客中心

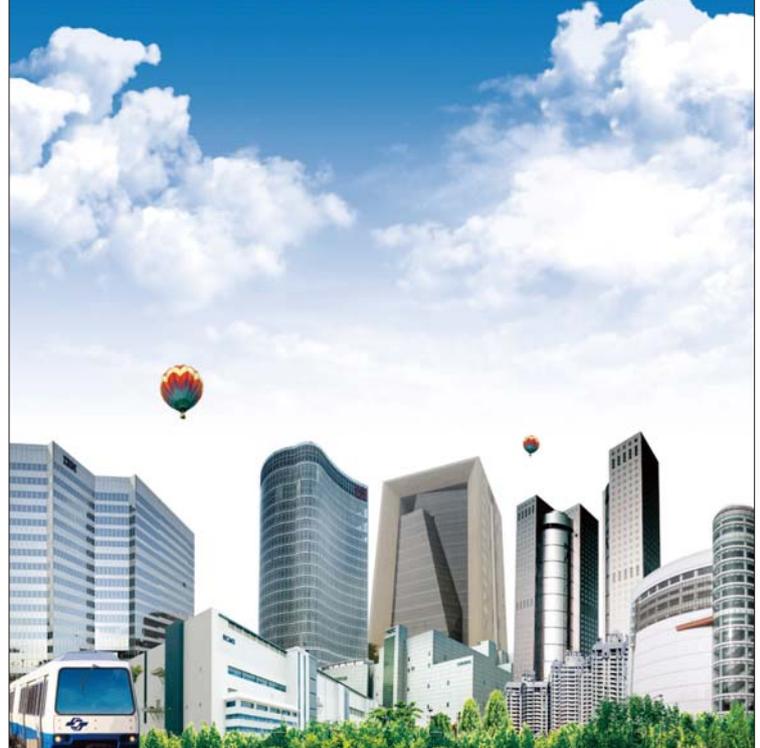


台灣威勝利股份有限公司
台北市信義區松德路 159 號 16 樓之 1
TEL: (02) 2759 6819
<http://www.vsl.com/>



達欣工程
DACIN CONSTRUCTION

智慧、創新、務實、勤奮
一步一腳印·向永續邁進



學會資訊看板

- | | |
|-----------------------------|--------|
| 中國土木水利工程學會 — 103 年各獎項評選日程公告 | 74 |
| 青山依舊在、幾度夕陽紅 — 台電青山復建工程觀摩報導 | 陳怡如 75 |

廣告快搜

- | | |
|---|-----|
| 中國土木水利工程學會 — 103 年學生 3D BIM 軟體應用競賽 | 封面裡 |
| 臺灣港務股份有限公司 — Privileged Access to the World | 目錄 |
| 台灣威勝利股份有限公司 — 國際專業結構工程團隊 | 目錄 |
| 達欣工程 — 智慧、創新、務實、勤奮 一步一腳印·向永續邁進 | 目錄 |
| 「BIM，什麼把戲？」 會員購書優惠 | 9 |
| 中國土木水利工程學會 會員入會及優惠 | 19 |
| 「土木水利」雙月刊 廣告訂單 | 56 |
| 亞新工程顧問股份有限公司 — Integrated Solutions For Global Impact | 封底裡 |
| 台灣歐特克股份有限公司 — 從概念到專案，完美呈現 | 封底 |

一場以台語詩致詞的國際研討會

呂良正／中國土木水利工程學會理事長

如本屆的工作目標，學會已開始積極活化，共同舉辦會議是重點工作之一。與台灣建築科技中心合辦的「第4屆可靠性工程及風險管理國際研討會」(ISRERM2014)為期四天，已於5月24日圓滿閉幕，本人以主辦人之一的身份受邀在開幕典禮中致詞。我從與會者的角度發想，想讓國際人士了解台灣的美。我是淡水人，就藉一首台語詩介紹台灣淡水的美，並請 IEET 劉曼君博士幫忙英譯，印製成明信片發給來賓。致詞中間我是以台語朗讀這首詩，得到相當多的好評，在此與大家共享。



與會貴賓合照(從左至右): 神奈川大學趙衍剛教授、香港理工大學張利民教授、本人(代表學會)、世曦李建中董事長、台科大廖慶榮校長、台科大前校長陳希舜、Prof. Alfredo Ang, University of California, Irvine、Prof. Luis ESTEVA, National University of Mexico、上海同濟大學李杰教授、馬里蘭大學張云峰教授、上海同濟大學陳建兵教授、台科大陳瑞華教授

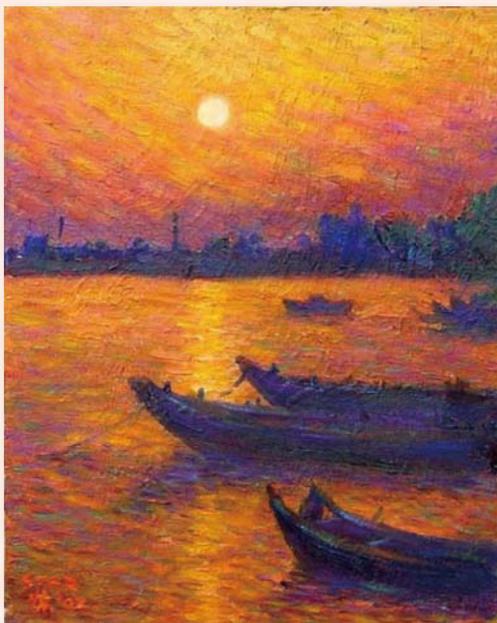
行入你的畫框 陳潔民 2010.9 發表 (呂良正朗讀)

有一個人 / 行入你的畫框 / 淡水的美景 / 恰伊的形影 /
 攏畫佇捷運的大車窗 / 作伙浮現眼前 / 美麗色彩，
 抹出畫中的人生

淡水河邊看過去 / 紅樹林是伊 / 扭未斷的相思 /
 密密啊生滿水邊 / 關渡的朱紅大橋 /
 像伊的心情輕輕飛起 / 翩翩伸向對岸 / 卜去看你

彼一日，淡水河的 / 水色清清，大屯山的 /
 山風冷冷，觀音山的 / 眉目亭亭，大眾捷運的 /
 路線明明 / 直直駛入你的畫框 / 互日日夜夜的相思 /
 延長，閣延長

你一定知影 / 有一個人 / 想卜牽你的手 / 相依相伴 /
 行佇淡水街頂 / 亦行入你心內 / 的畫框



陳星辰 淡水暮色 2002 年油畫 3F (呂良正收藏)

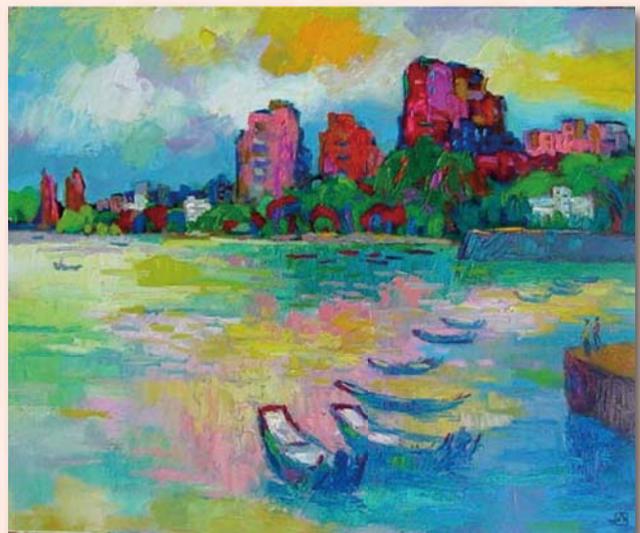
Into Your Heart and Soul by Jie-Ming Chen (translated by Mandy Liu)

There is someone in your heart and soul,
 The lovely sight of her,
 And the beautiful scene of Tamsui,
 Reflect on the Metro window shade,
 Before my eyes, those are the radiant colors of my life.

Along the Tamsui river,
 The dense mangroves are my tireless thoughts of her,
 Growing and stretching into the deepest of the water,
 The red and magnificent Guandu Bridge,
 Extends quietly to the other bank of the river,
 Like my heart and soul, fly softly and lightly, to be near
 her and forever.

There is upon a day,
 Waters of the Tamsui river, crystal and clear,
 Winds from the Datun Mountain, crisp and cold,
 Sights on the Guanyin Mountain, tall and towering,
 Routes of the metro, smooth and straight,
 Into the heart and soul, my thoughts of her, multiply
 and magnify.

You know there is someone waiting,
 Waiting for you to hold her hands,
 Walking side by side toward the street ends,
 Winding into the heart and soul, my longing for her
 never resigns.



李太元 春臨淡水 1999 年油畫 20F (呂良正收藏)



在資料爆炸的時代・您準備好了嗎？

專輯客座主編 周頌安／中興工程顧問公司研發及資訊部經理

資訊科技的發展，總是令人充滿期待。去年最熱門的話題應該就是 4G 行動寬頻的競標，加快了我國無線網路的建設，再看到近年國內軟硬體廠商紛紛佈局大數據、雲端機房、智慧型裝置等，不難預見對各行各業又將帶來極大的影響。資訊技術一詞對土木水利工程師而言，其實相當廣泛；廣義說來，凡是運用電腦與資通訊技術於規劃、設計、施工及營運維護，都是資訊技術應用。不過隨著技術的演進，許多普及化的應用如檔案管理、視訊會議等，都已經融入工作，成為生活的一部分；因此我們主要以還在發展中的資訊應用，作為本期會刊的方向。

首先，目前受到眾人寄予厚望的就是由 3D 到 BIM 技術的發展。在營建業利潤不高之際，大家都期望能透過採用 3D/BIM 技術，對由設計到施工整個營建流程做出本質上的改變，從而提高營建產業的整體效能。由 3D/BIM 的文章，可以看出國內在這方面的應用已經不只用於建立 3D 模型及碰撞檢討，而是用於與設計、估算、施工等專業整合，以至於後續的設施維護管理；可見在不久的將來，國內在 3D/BIM 應用上將有相當豐碩的成果。

另外，資訊系統最擅長的就是資料與流程的管

控。過去許多工程管理仰賴不斷的開會溝通，往往還落入文件版本錯亂、時程管控失敗的下場。但是當所有訊息由資訊平台統一發佈管制後，可以將訊息以最即時的方式傳遞給適當的人員，透過網站技術與專案管理平台的發展，配合最新的行動裝置如智慧型手機，工程管理可以達到無時差協同作業的境界。這方面在本期會刊中也有實作案例供讀者參考。

資訊技術應用的型態也不僅是電腦軟硬體的應用或程式開發，本期會刊也特別介紹了現今很熱門的無人飛行器 (UAV)。UAV 上除了有微型電腦做飛行姿態校正，還有 GPS 定位、數位鏡頭取景、影像訊號傳送等設備。這種多技術的整合，應用在現況實地探查，更能凸顯資訊技術的發展有無限的可能。

當然，資訊科技涵蓋的層面絕不是僅限於上述的應用領域。資訊技術營造出來的就是一個數位空間，在數位空間中，不要說一棟建築、一片土地，就是整個都市、整個地球，都可以在指掌間模擬與操控。所需要的除了電腦軟硬體資源外，就是有龐大的資料需要處理。

今天無法處理的資料不代表明天無法處理。在資料爆炸的時代，您準備好了嗎？





臺北國際花卉博覽會

新建及整建工程專案管理整合運用

陳賢明／萬鼎工程資訊部經理

黃娟娟／萬鼎花博專案經理

盧建宏／萬鼎花博專案工程師

回顧 2010 台北花博

回顧 2010 年在台北舉辦國際花卉博覽會，舉辦宗旨在於藉由花卉園藝技術的展示，帶動城市美化與教育，促進國際科技、經濟與文化之交流與發展，經由舉辦花博之良好契機，擴大國際交流，提昇國際形象，帶動國內產業發展及經濟效益。

2010 臺北國際花卉博覽會包含圓山公園區、美術公園區、新生公園區及大佳河濱公園四大區。萬鼎公司團隊有幸得標，參與盛會，受業主臺北市政府捷運工程局委託辦理「2010 臺北國際花卉博覽會圓山公園區會場新建及整建工程」之規劃設計及監造技術服務。

依據施工區域、時程、施工順序及特性等需求，圓山公園區區分為 CZ201 標（爭艷館、發現館及其他會場設施工程）、CZ202 標（真相館、文化館、名人館及其他會場設施工程）及 CZ204 標（展示花種及換展維護工程）等三個主要設計及施工標。

工程特性與專案管理核心價值

時間管理

本區工程因配合花博展覽開幕需求，屬絕對限期完工之工程，然設計及施工時程極為緊湊，自 97 年 5 月設計工作起始，至 97 年 12 月設計工作完成、陸續



花博會圓山公園區入口



↑ 花博會圓山公園區花卉區及花海區 (照片由 CZ204 標施工廠商山水景觀工程股份有限公司提供)

發包施工，至 99 年 9 月 15 日起陸續竣工，設計、發包時間僅約半年，施工期間約為 20.5 個月，時程緊湊嚴峻，須以預為規劃、排程、進度管控的方式，進行時間管理，加上機動、全面動員的彈性配合，全力投入相關作業，以如期完工為首要目標。

範疇及採購管理

本區工程專案管理另一特色為工作範圍變動的掌控。花博會以盡善盡美呈現為最高理想，萬鼎團隊於設計啟始雖已進行工作範圍之確認，然於施工過程中，依市府政策指示減作（如發現館、流行館）或增作（花卉特展區、候車亭等）、舊有建物整建改善不確定因素造成的變更追加減、配合相關展示標及介面施工標需求之設計施工調整等，契約工作範圍持續變動。因此，專案須針對契約工作內容、成本、分包採購等，進行管控，以符合專案管理與於預算內完成工作之目標。

整合與品質、溝通管理

本區工程之主管單位、相關工程介面單位、本

專案團隊及施工廠商之人員眾多，多方意見雜沓、溝通與會議頻繁、資訊多而即時性需求高，資料量大而龐雜，各方意見與所獲取之資訊與資料須予以有效整合，以利各單位了解，並納入設計及施工中執行，使資訊及指令能充份、及時傳達，以提高工作效率，減少溝通障礙，縮短作業時間。所取得之資訊與資料亦須完善存檔備份，以利後續查閱。

而在圓山公園區面積大逾 20 公頃的範圍中、建物新建及舊建物整建之工作夾雜，工程專業知識領域除一般建築、景觀、植栽、結構、機電、空調等，另包含老舊建物維修、博覽會場規劃等特殊專業領域。如何在有限時間內不負業主、政府所託，戮力配合，整合設計與施工，使花博會如期如質開幕、閉幕，符合社會大眾期待與國際聲譽，是為最重要之課題，實需要專業工程人員及一套有系統、有效率的專案管理制度，進行相關工程之管控與推動。因此萬鼎公司組成設計、監造團隊，專業分工，群策群力，並運用專案管理技術與專案管理網站，致力於花博會設計及監造工作之圓滿達成。

專案管理策略及專案管理網站運用

本公司團隊於花博圓山公園區設計階段，提出 5E (Efficient、Ecologic、Esthetic、Educational、Entertaining) 的規劃構想，其中 Efficient 及 Ecologic 即呼應花博會節能、減廢、環保及有效率建造、管理的精神。有鑑於本案專案管理需求之龐雜及時效性，萬鼎公司特地研發專案管理網站，並呼應無紙化、少紙化之管理策略。以下茲就花博專案運用專案管理網站之方式及成果介紹：

花博專案管理網站

因應本案之管理需要，導入萬鼎公司自行研發之「專案管理網站」。台灣微軟公司曾於 97 年 3 月 13 日針對萬鼎工程之「專案管理網站」進行成功案例專訪，中鼎工程月刊第 347 期 (97 年 6 月號) 亦曾以『萬鼎工程獲台灣微軟「專案管理網站」成功案例專訪報導』為題介紹「專案管理網站」。

表 1 「專案管理網站」清單分類名稱

表單分類	表單名稱 (次分類資料夾)
範疇管理 Scope	專案資訊
	契約管理
	變更設計
文件管理 Documents	收發文
	會議紀錄
	工程圖檔
	報告/計畫書
	工程月報
成本管理 Cost	估驗計價
時程管理 Schedule	工程進度
品質管理 Quality	品質文件 (工程日報/ 施工照片/材 料抽驗/ 施工抽查/ 工程查核/督導 記錄)
	內部稽核
人力資源 Human Resource	專案組織
	工作指派
	每周指派
溝通管理 Communication	工作聯繫
	小組討論
	Blog

■ 專案管理網站基本功能設計考量

萬鼎資訊團隊在完成專案管理網站之功能雛型後，為塑造親和介面及貼近專案需求，因此針對網站所呈現之介面，從「雛型網站功能」、「專案管理知識體系 (PMBOK) 之 9 大知識領域 (註 1) 及營建專案管理知識體系 (註 2)」、「公共工程施工查核之文件管理重點」三個層面進行探討，期使一般同仁及專案團隊成員縮短適應及學習時間，最後將「專案管理網站」之清單分類名稱調整結果如表 1「專案管理網站」清單分類名稱。

■ 專案管理網站架構及溝通聯繫功能

花博專案具有設計及施工時程緊迫、新舊建物夾雜、既有管線介面繁複、專案成員龐雜之特性；此外，花博圓山工區涵蓋二十餘公頃，為有效執行施工階段之工程進度管控，故依據地緣分配、施工順序、及工程性質，分為三個施工標案。因此，萬鼎資訊團隊針對上述特性量身打造，規劃花博專案專用之入口網站模式，藉以整合各專案之執行控管、專業知識管理、工程圖說管理、以及自行開發相關系統程式之整合介面；萬鼎花博專案管理網站資料之分類模式如圖 1 萬鼎工程花博專案資料分類模式。

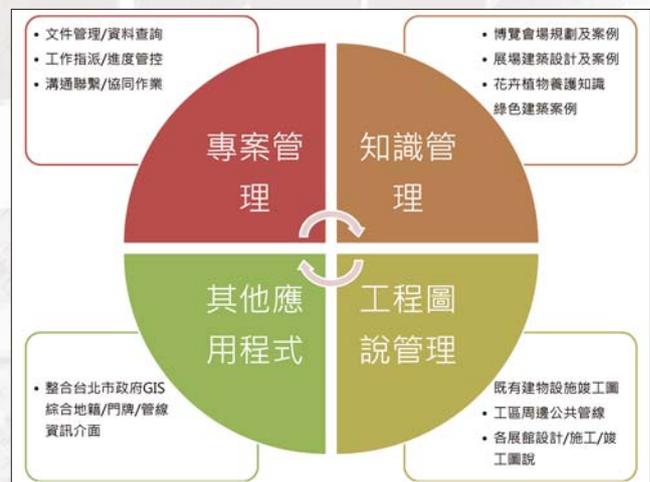


圖 1 萬鼎工程花博專案資料分類模式圖

有關萬鼎工程花博專案群組之入口網站架構概念如圖 2 萬鼎工程花博群組入口網站架構概念圖所顯示。

執行花博設計監造專案期間，在設計階段中，以工程圖說做為工程團隊成員主要之溝通主體與平台，萬鼎團隊為本階段工程圖說之主要發展者及產生者，圖說進度尚可由業主及本團隊掌控；然而在施工監造階段，施工廠商繪製施工圖送審進度，以及進行施工圖審查後提供審查意見回饋之時間長短，將嚴重影響



圖 2 萬鼎工程花博群組入口網站架構概念圖

現場可施工的時間與施工時程，因此監造單位縮短施工圖審查時間，對於現場施工進度掌控與改善有實質的助益。

因此，有關萬鼎專案管理網站之基本功能及效益介紹，讀者可參閱中鼎工程月刊第 347 期之內容，在此之後萬鼎資訊團隊持續針對專案管理網站功能進行開發及擴充，在此介紹專案管理當中之系統主動通知及稽催之功能，其中包含：「工作聯繫在施工图審查之應用」、「專案行事曆主動通知」、及「專案工作回報流程」等功能，這也是萬鼎專案管理網站目前最大力推廣之重點，主要將做為統包整合及虛擬團隊應用之準備。

■ 工作聯繫及稽催

依據專案品質手冊規定，專案各功能組之間連繫事項可以透過「工作聯繫單」作業程序完成，然而為縮短訊息傳遞的時間差，以及因應未來虛擬團隊之作業需求，萬鼎資訊團隊在「專案管理網站」上自行開發「工作聯繫」之功能，包含主動通知、自動稽催、保存記錄、節省紙張等特色，且符合綠色節能減碳之無紙化潮流。網站「工作聯繫」功能之運作示意如圖 3「工作聯繫在施工图審查之應用」功能運作示意圖所示。

一般施工图審查所需時間，自施工廠商送審至監造單位正式提供審查意見，通常需要一周的時間，透過花博專案網站之運作協助，至少可縮短 2~3 天的時間。

■ 專案行事曆主動通知

由於專案人員反應原清單之「提醒我」功能，不符合專案之需

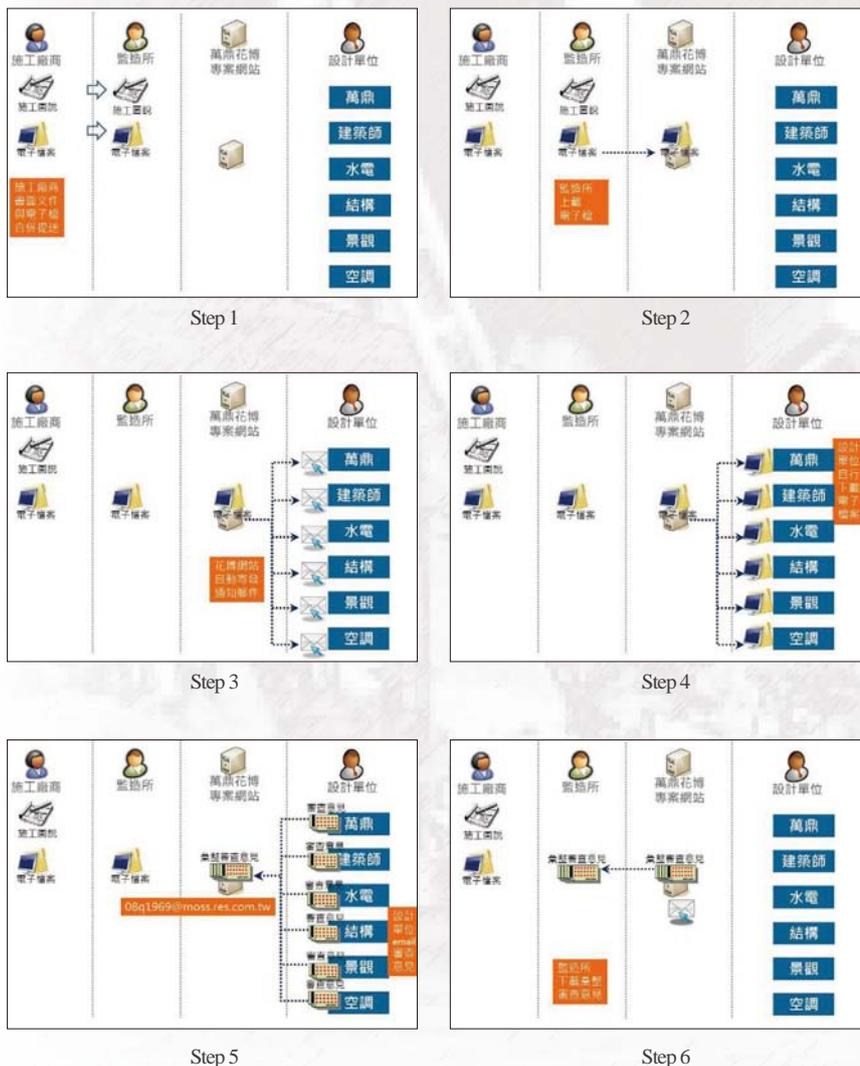


圖 3 「工作聯繫在施工图審查之應用」功能運作示意圖

求，而 Outlook 行事曆僅能設定單次提醒，且 Outlook 屆時彈跳出之提醒訊息很容易被使用者忽略，因此萬鼎資訊團隊在專案行事曆當中擴充「主動提醒」功能，以符合專案之需求，設定畫面如圖 4「主動提醒」設定畫面圖，以及圖 5「系統自動寄發通知郵件圖」。

使用者可自行設定系統自動寄發提醒電子郵件的啟迄日期（單一事件可連續多日提醒），以及設定被通知的專案成員，通知郵件及內容如圖 6 郵件通知內容示意圖。

■ 行動設備的整合運用

為因應虛擬團隊或行動裝置之時代潮流，以目前十分普及的 PDA 手機，針對上述同一則回報事項在網站上的資訊，茲擷取其測試畫面如圖 7 PDA 手機回報事項示意圖。



圖 6 郵件通知內容示意圖

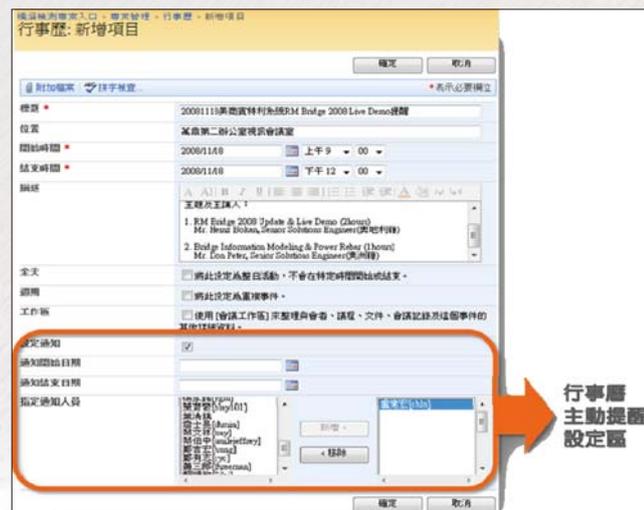


圖 4「主動提醒」設定畫面圖



圖 7 PDA 手機回報事項示意圖

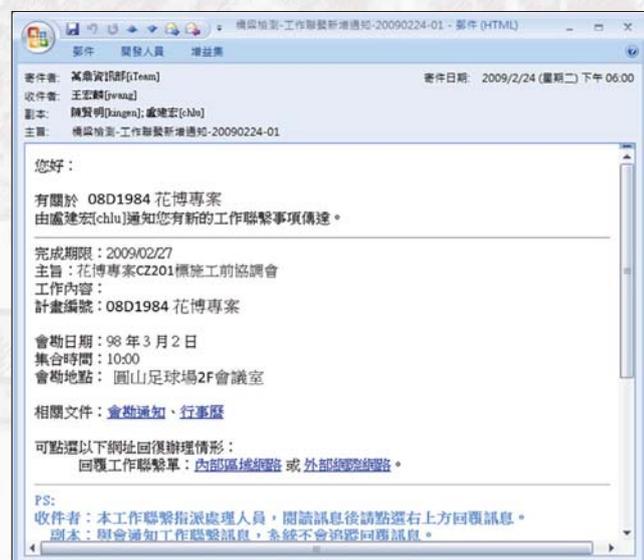


圖 5 系統自動寄發通知郵件圖

專案管理網站運用效益

萬鼎花博專案管理網站完全承襲萬鼎公司專案管理網站所規劃之 Efficient 及 Ecologic 綠化理念，無紙化、少紙化專案管理亦是未來更有效率、環保之專案管理制度之一環與趨勢之所在，期望藉由 IT 技術與專案管理系統結合，達到「縮短審查時間」、「降低快遞及通信費用」、「減少差旅之油耗」、「藉以達到「提升工程品質」、「降低專案成本」之目標。

花博專案群在專案管理網站之應用，目前已藉由「工作回報」功能導入流程功能，目前更已運用於業務之追蹤，未來萬鼎資訊團隊將繼續擴充流程功能，發揮在更多層面之應用，例如專案工作指派、進度回報及重大事件之追蹤等，實踐服務導向架構（SOA, Service Oriented Architecture）之概念於內部工作管控應用。

萬鼎公司在花博專案群組導入「專案管理網站」後，其效益可以下表說明：

效益指標	說明
成本有效性	降低內部成員溝通聯繫成本
	縮短專案新進成員學習時間
	減少重複檔案之儲藏空間
	減少資料查找入時
管理必要性	以病歷模式直覺建立花博各展館之工程圖說
	資料文件使用權限管制嚴謹
	主動提醒及稽催功能提升專案管理服務品質
	執行過程全程記錄及備份降低資安風險
資料一致性	有利虛擬團隊成員使用共同資料
	資料集中且可進行版本管理
	維修包商、預算編列之參考標準一致
團隊成長性	資料有效保存及移交
	有利於知識管理經驗傳承
	創意回饋、競標利器



專案執行效益與心得

圓山公園區為 2010 國際花卉博覽會的一部分，在短期內於設計及施工作業全面動員的情形下，專案事務龐雜，專案管理人員猶如操控舞台表演的導演，須使出十八般武藝，同步掌控、推動眾多業務，並確保專案本於契約（劇本）順利進行，準時開幕、謝幕，維護公司及團隊成員之權益，是為極大的挑戰。同時，專案管理人員也是被操控的人員之一，與花博主辦與營運機關、業主及其他區之花博團隊參與人員，如同製片、眾多演員、特效人員、幕後工作人員等，共同為花博會演了一齣好戲，使花博會展覽風光順利落幕，獲得各界好

評。執行過程中，因時程、進度的推動與限制，未必能事事均依循 PMBOK 的指導原則有條有理的循序漸進，所幸，參與花博會過程的成員均有崇高的使命感與榮譽感，有賴過往專案管理的訓練，上級單位的指導及團隊成員的努力、以及專案管理網站的建置運用，群策群力合作，使萬鼎團隊能於繁複的工作中，圓滿順利完成任務，以花博專案管理的經驗與網站作為良好的經驗傳承與發展契機。

註：本案獲得 2013 年國際專案管理標竿企業獎暨 PMI 台灣專案管理最佳實務競賽

會員購書優惠廣告

目 錄

- 序
- 3 一場跨進 BIM 國際大門的比賽 郭榮欽
- 6 築路藍縷，塑模成形 謝尚賢
- 前言
- 8 變出一手好把戲的“MIB” 張國儀
- 案例
- 10 中興工程顧問股份有限公司
中興工程顧問社研究大樓新建工程之 BIM 全生命週期導入
- 46 建國工程股份有限公司
衛武營藝術文化中心建築裝修水電空調工程之 BIM 導入
- 74 亞新工程顧問股份有限公司
臺北捷運環狀線細部設計之 BIM 導入
- 100 台灣世曦工程顧問股份有限公司
許幼初建築師事務所
鐵工局高雄計畫西段工程美術館站建築設計之 BIM 導入
- 130 台灣世曦工程顧問股份有限公司
台肥南港區 R5 集合住宅大樓新建工程之 BIM 導入

BIM，什麼把戲

Taiwan BIM Award
作者 / 張國儀 審訂 / 謝尚賢

會員優惠 七四折購書 每本 700元
請洽：陳玟君小姐 TEL: 02-2392-6325 FAX: 02-2396-4260





工程監督與訊息快遞的交流整合平台

— 蘇花公路改善計畫資訊系統

邵厚潔／交通部公路總局蘇花公路改善工程處處長
 李宗仁／交通部公路總局蘇花公路改善工程處主任工程師
 黃志民／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部副理
 吳勇學／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部工程師

台9線蘇花公路山區路段改善工程（以下簡稱蘇花改）為全民矚目的重大工程，蘇花公路改善工程處在工程建設與破壞之間，肩負著回應東部民眾「安全回家的路」之訴求，及確保環境生態保育，不因工程實施而遭破壞的重責大任。因此，工程設計理念的貫徹、工程施工過程的記錄及各種生態環境監測數據的解析，則成為維繫工程品質與夢想實現的關鍵要素。然而，蘇花改工程規模龐大、工程需求內涵複雜，且參與工程執行之團隊角色與人數眾多，建置完善工程資訊系統以輔助工程執行為不可避免者。

整體規劃

需求導向·著重整合

傳統上，工程可以如質如期地順利完成，是公共工程管理追求之共通指導原則。因此，相關管理制度的設計與周邊輔助工具的開發，均以此為核心發展，當然資訊系統也不例外。然而，蘇花改在環境保育與建設開發的交互衝擊下，以社會公益與環境永續為核心，建構出計畫的正當性，並作為台灣島繁華西部與原鄉東部接軌的廊道，因而，被賦予一種不同以往工程建設的意義與責任。因此，蘇花改資訊系統的規劃設計，亦需跳脫傳統框架的束縛，除服務參與工程計畫的團隊成員（包括業主、設計單位、監造單位、施工承商…等）外，另需要考量一般民眾與環保團體對工程建設所關注的重點，使整個資訊系統除用來監督與記錄工程施工過程外，另亦需將工程施工的即時

狀態、環境監測的真實數據與生態永續的維護紀錄…等，透過網際網路無遠弗屆的能力，傳達予所有關心蘇花改工程的人。

當以資訊系統為中心思考使用者的行為需求時可以發現，不同角色在不同狀態下，對工程資訊的需求與貢獻均不相同。例如，監造單位於執行三級品管活動時，需要蒐集施工廠商自主檢查紀錄，作為品質抽檢之參考，此時，監造單位將扮演資料的剖析應用者；當執行進度控管時，監造單位則需填寫監造報表並上傳施工照片，以忠實記錄工程施工過程，此時，監造單位則扮演資料的產出供應者；又如蘇花改工程處需完整了解工程現況，以協調指揮工程的推展，因此除扮演資料的蒐集監督者外，亦同時扮演資料的讀取決策者；而施工廠商需執行工程的實際建造工作，需要對關鍵工區實施嚴密監控，即時影像的取得與傳輸變得極重要，因此除扮演資料的產出供應者外，亦扮演資料的蒐集監督者。綜合考量各類使用需求與工程團隊成員的角色定位，蘇花改資訊系統概分為蘇花改工程處網站、各路段工程監造資訊管理系統及各施工標 CCTV 即時監控系統等三大部分，依其工程需求與系統目標，分別由蘇花改工程處、各路段監造顧問及各施工標廠商負責建置。另考量系統使用便利性與資料一致性，並避免公用資訊重複建置之問題，系統之規劃設計除著重各單一系統可滿足使用者需求外，更強調系統整合與界面設計，以求整體運作之順暢性與合理性，其系統整體運作架構如圖 1 所示。



圖 1 蘇花公路改善工程資訊系統整體運作架構

工程處網站設計

搭起工程與民眾間互動橋梁·傳遞模範工程幸福訊息

工程處網站自民國 100 年 06 月 15 日上線以來，已經歷四次重大改版，其創始版本（1G）著重於系統軟體環境與資料架構的規劃，為後續版本發展之重要基礎；第二版（2G）之改版工作，仍以延續傳統工程型網站之機能為目標，強調以「工程監督」為主要目的，惟考量民眾對蘇花改的特殊關注性，網站更強化「資訊公開」與登載的功能；第三版（3G）則以大幅提升網站服務品質為首要目標，除保留前版網站既有機能外，於網站設計上，更強化美工圖形界面的規劃，期望能柔化生硬的工程資訊，引領使用者在賞心悅目的環境下，快速進入蘇花改計畫的世界；第四版（4G）之改版，係在先前已發展穩固的網站架構下，朝豐富網站資料內涵與深化整合的方向努力，期許蘇花改能為公共工程樹立新的典範。網站歷次重大改版之歷程比較如圖 2 所示。

工程處網站為能發揮傳遞模範工程幸福訊息的效果，工作團隊投入相當心力，以配合民俗節慶與宣揚工程特色為軸線，隨時變化網站首頁的設計風格，以意象傳達方式，貼近民眾生活並遞送工程重要訊息。截至目前為止，網站首頁已經歷多次版型改變，內容主題除包括春節、端午節、中秋節等重要的民俗節慶外，亦以環境生態為主題，表達蘇花改對「大樹移植」、「碳盤查」、「環境監測」、「指標生物調查」、「文化遺址搶救」等議題的重視與努力，其主題意象如圖 3 所示。



圖 3 蘇花改工程處網站首頁主題意象



圖 2 蘇花改工程處網站歷次改版比較

資訊公開·快速便民

「一般民眾」為工程處網站之主要服務對象，其對蘇花改工程所渴求的資訊內容，即為架構工程處網站資料核心之主要依據。因此，工程處網站所提供之服務，主要包括「工程處簡介」、「計畫緣起」、「環境生態保育」、「工程資訊」、「防災作為」與「建議區」六大部分（網站地圖如圖 4 所示），其中前二者與「防災作為」屬較靜態資訊，提供民眾可快速了解蘇花改計畫的演進與工程團隊的組成，及工程遭遇災害時之聯繫窗口與相關資訊；「環境生態保育」為本工程對環境保護的承諾，及工程處對各類環境生態作業之詳細紀錄與努力成果，相關報告（如環境影響說明書）、監測數據、會議記錄... 等各類資料，均置於網站供民眾自由下載參用；「工程資訊」主要為表達本工程之路線範圍與相關工法，及各標工程施工即時現況，民眾除可利用每日更新之施工照片與工程進度等資訊，掌握工程進展外，更可透過施工現場架設之 CCTV 系統，掌握施工現場

最即時現況；「建議區」為工程處與民眾互動的主要園地，民眾可透過「意見信箱」或「蘇花公路論壇」抒發己見，工程處則利用該介面蒐集民眾寶貴意見，並適時與之互動，對於常見共通性問題，則將專文說明，置於「常見問答」區中，供民眾查詢閱覽。

隨著電腦軟硬體技術的突飛猛進，影音多媒體已相當普及，工程處網站亦結合影音呈現方式，強化工程資訊的傳播與意象的表達。就整體蘇花改工程而言，透過工程宣導短片的拍攝，讓民眾可透過高品質的影音內容，了解蘇花改的緣由與未來的願景，及工程處近期的工作重點與成果；而對蘇澳－東澳、南澳－和平與和中心－大清水各分段工程而言，則均以 3D 動畫模擬工程完工後的景象，其擬真的效果，讓抽象的工程設計圖說，可轉換為具體的畫面，讓民眾的期待可以想像；此外，工程處網站亦結合新聞媒體有關蘇花改工程的報導，使網站的內容更豐富，更接近民眾的生活，相關內容範例如圖 5 所示。



圖 4 蘇花改工程處網站地圖



蘇花改工程宣導短片



蘇澳東澳段動畫模擬



新聞報導工程處揭牌

圖 5 結合影音資訊提高網站易讀性

環保生態·網站經營重點

考量蘇花改工程與環境保護間特殊的關聯性，工程處網站對於「環境生態保育」相關議題特別重視，除傳統工程型網站對施工進度、工程品質及遠距管理等均予重視外，與環境保護有關之資料與作業過程，如環境影響說明書、水土保持重點工作、大樹移植全紀錄、工程碳管理活動全紀錄、指標生物調查研究報告與各類環境監測數據等，亦均整合至「工程資訊」與「環境生態保育」項目中，為工程處網站最核心、最重要且最具特色的部分。

蘇花改工程各施工標均已如火如荼展開，相關之環境保護與生態保育措施也一併同時進行，為降低工程初期對大自然無可避免的破壞，珍貴樹種或老樹的保護，已成為環境永續的重要觀念之一，因此大樹移植作業亦為本工程特別重視的環保工作之一。以優先推動之南澳－和平路段施工區域為例，經設計階段（施工前）之樹木分布情形普查，原規劃第一階段需先辦理 12 棵樹木的移植作業，但於詳細調查時發現，在觀音隧道北洞口旁有一棵油桐樹，其規格雖未達移植之標準，但基於友善生態環境之責任，仍將一併辦理移植，因此該階段總共需移植 13 棵。所有列管重要樹木，均陸續配合各標開工時間辦理移植，並在工程處網站以生態誌的理念，詳細記錄搬遷完整過程（如圖 6 所示），希望環境維護的理念和對工程與環保共生的意識能落實於本工程。

隨著全球溫室氣體管制規範與碳管理理念的持續發展，工程碳管理已成為國際間共同關注的議題。為此，蘇花改工程處以我國工程碳管理相關政策發展趨勢為考量、環境保護理念為本，接續於規劃設計階段進行工程碳排放量評估之成果，自民國 101 年 6 月起啟動「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫施工期間工程碳管理委託服務工作」，進行我國道路工程碳足跡盤查首例。施工過程中所有重要的碳盤查活動均忠實紀錄，並公布於網站作為其他工程之參考，內容如圖 7 所

示，期望工程節能減碳的理想能有更多有效且具體的作為，為環境永續多盡一分心力。

然而，工程的開發勢必對當地之自然生態環境造成不同程度之影響，因此為降低對生態環境之衝擊，蘇花改於設計階段透過迴避、衝擊減輕及棲地補償等三個原



圖 6 蘇花改老樹搬家全紀錄



圖 7 蘇花改工程碳管理活動全紀錄

則逐一過濾評估，以期能對周圍生態之影響降到最低程度。在施工階段，為落實並如期推動前述內容，並依據環保主管機關核備之環評書件定稿本所承諾各項環保對策，實施指標生物研究，特成立「台9線蘇花公路山區路段改善計畫（蘇澳-東澳、南澳-和平、和中之大清水）施工中暨營運階段指標生物研究計畫」，委由行政院農業委員會特有生物保育中心（以下簡稱特生中心）辦理。為發揮政府機關共同一體之行政機能，特生中心本著專業、客觀、尊嚴、無私之原則協助辦理，已樹立未來重大工程開發與生態並重之良好範例。其各期調查報告亦均於網站公開下載（如圖8所示），提供予生態保育專家或有興趣之民眾研究、參考之用。

另為掌握工程施工過程對環境的衝擊，並有效控

制，蘇花改執行之環境監測計畫，範圍涵蓋陸域、河川水域及海域之生態監測調查，每季均對工區空氣、河川水質、海域水質、工區放流水質及營建噪音振動…等項目，進行量化之監測記錄，並進行統計分析，其成果數據亦均公布於工程處網站，如圖9所示。目前已有施工前監測報告及施工後各季之監測報告上網供民眾下載參用。

文化遺址搶救為蘇花改工程另一具特色之非工程技術議題。為了保護歷史文化軌跡免於遭現代工程開發的破壞，工程開工後，即在漢本遺址、武塔遺址與東澳遺址可能座落的熱區，實施嚴密的監看，一發現有疑似古物出土即立刻停工，進行更詳細的研判。整個文化遺址搶救的工作成果豐碩，其中武塔遺址於

蘇花公路改善工程處首頁

交通部公路總局 蘇花公路 改善工程處

指標生物調查

赤腹松鼠 特有亞種

類型	標題	主辦單位	作成時間	提供方式	檔案大小
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(100年3月-101年4月)	勞安科	101年05月	電子檔	1190030
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(101年12月-102年2月)	勞安科	102年03月	電子檔	1084896
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(101年5月-101年7月)	勞安科	101年10月	電子檔	5190030
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(101年8月-101年11月)	勞安科	101年12月	電子檔	1737714
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(102年3月-102年5月)	勞安科	102年06月	電子檔	1188595
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(102年6月-102年8月)	勞安科	102年09月	電子檔	884514
報告	指標生物研究計畫研究調查報告(102年9月-102年11月)	勞安科	102年12月	電子檔	1013211
報告	指標生物研究計畫研究調查報告-101年度期末報告書	勞安科	102年02月	電子檔	10122045
報告	指標生物研究計畫研究調查報告-102年度期末報告書	勞安科	103年03月	電子檔	13946676

政府資訊公開專區
資訊種類

- 法規及行政規則
- 對外關係文書
- 條約
- 行政指導有關文書
- 施政計畫
- 業務統計
- 委託研究報告

圖8 指標生物調查研究報告公開下載

蘇花公路改善工程環境監測資訊公開網站

蘇花公路改善工程環境監測資訊公開網站

空氣品質監測點

施工階段

施工階段

雪山國小

文化橋中

圖9 蘇花改工程環境監測成果例

民國 101 年 7 月至 9 月間完成搶救，漢本遺址於民國 101 年 9 月起開始搶救，迄今仍持續進行中，且已出土大量古物可供文史工作者研究用。搶救過程均以工作日誌的方式記錄工作內容，也一併彙整於工程處網站中，供有興趣者下載參考，內容如圖 10 所示。



圖 10 蘇花改文化遺址搶救監看與發掘全紀錄

跨越時空·遠端即時監控

近年來，政府推行全民督工，期能提升公共工程的施工品質，而蘇花改受全民關注，且以最高標準監督工程對環境保護與生態永續的衝擊，因此工地即時監控系統為達成目標的重要手段之一。目前施工廠商已安裝超過 70 組 CCTV，透過與監造資訊管理系統的整合，再介接至工程處網站，方便使用者點選閱覽。現監視點涵蓋工區各角落，如東澳、東岳、觀音、谷風、中仁等施工中隧道洞口及工作面；負責轉運 A2 標土方之永樂車站臨時土方堆置場；白米高架橋、東澳北溪河川、幸福高架橋、南澳北溪河川橋、武塔高架橋、和平溪橋等橋梁工程重要施工面；及其他如跨越台鐵軌道、重要門禁管制點等，均有設置鏡頭，24 小時全天候監控，將現場第一線的影像資料，跨越時空阻隔，即時透過網際網路傳輸，達到遠端監控之目的，網站介面如圖 11 所示。

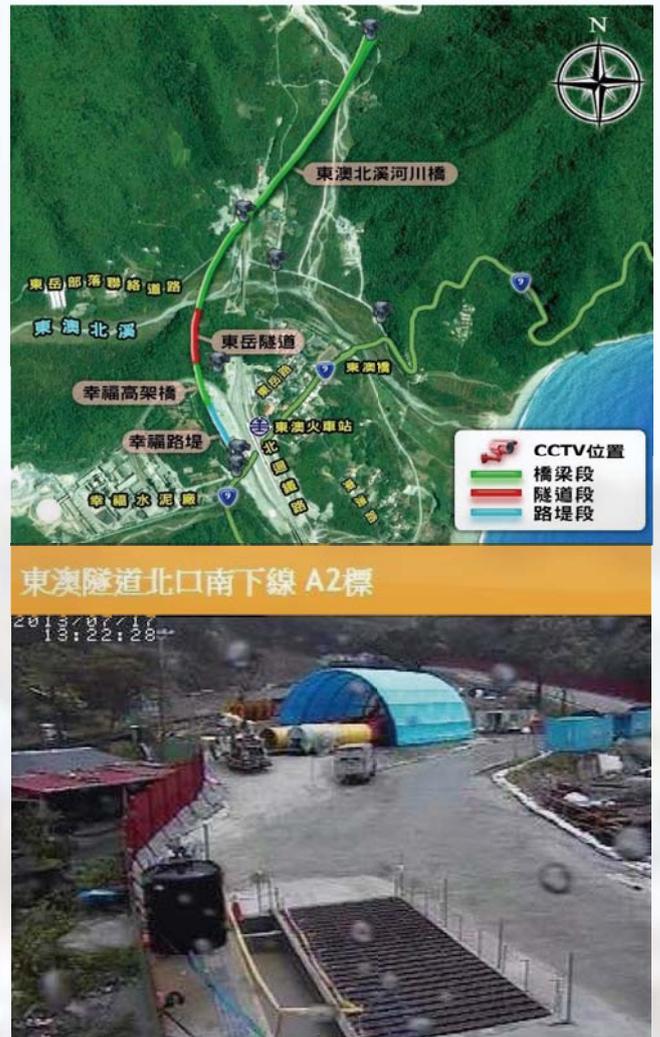


圖 11 施工現場遠端監控即時影像例

蘇花改工程處網站從開站迄今已歷時約三年，網站之軟硬體架構、資料內涵均臻完善，網站拜訪人次已於 103 年 5 月突破 50 萬，顯示網站的經營方向契合關心蘇花改工程的人。展望未來，網站仍續植基於目前穩固的基礎上，朝豐富資料內容的方向努力，徹底扮演好工程與民眾間溝通橋梁的角色。

工程監造資訊管理系統設計

輔助工程執行·資訊集散中心

台 9 線蘇花公路山區路段改善工程分為蘇澳 - 東澳、南澳 - 和平、和中 - 大清水三個路段，各段工程條件與特色均不相同，亦分別由不同工務段負責督導。工程監造資訊管理系統扮演輔助工程執行的角色，需依工程內涵設計並與工程管理制度密切整合，才能發揮其管理功效。為此，蘇花改工程處將三個路段工程

監造資訊管理系統分開辦理，分別要求負責設計監造的顧問公司，客製化開發適合各路段工程需求的系統，其中南澳 - 和平段由台灣世曦工程顧問公司負責，蘇澳 - 東澳段與和中 - 大清水段則由中興工程顧問公司擔綱系統開發，惟系統均需符合契約五大基本需求，內容包括(1) 標案工程基本資料；(2) 工程三級品質管制作業；(3) 勞工安全衛生及環保等相關作業；(4) 工程進度及監造辦理情形紀要；(5) 整合施工承商架設之 CCTV 系統至本系統，以提供工地即時監控。以「蘇澳 - 東澳段工程監造資訊管理系統」為例，系統上線時即以「監造紀要」、「標案管理」、「進度管理」、「品質管理」、「安衛管理」、「現場管理」、「照片管理」、「公文管理」、「文檔協同」等九大功能模組涵蓋契約之要求，另隨著工程執行的需求，系統另又增加「危險作業」、「碳排盤查」、「老樹管理」、「工作日曆」、「施工規範」五大功能模組以滿足實際作業之要求，其系統功能架構如圖 12 所示。

「工程監造資訊管理系統」於蘇花改計畫資訊系統整體架構中，居於樞紐的位置，除依工程實際需求開發功能、整合施工承商所架設 CCTV 即時監控系統外，更自動化彙整工程即時資訊，公布於蘇花改工程處網站施工資訊平台中，供民眾查詢、瀏覽，貫徹工程資訊公開之政策。目前，民眾除可於工程處網站自由下載各標施工計畫書、品質計畫書、交通維持計畫書…等靜態文件外，另由網站查詢所得之標案基本資料、水土保持、施工相片等資訊，均與工程監造資訊管理系統通透，為工程第一線、最即時的動態資料。而實際參與建設的施工承商、監造單位、工務段工程師…等工程團隊成員，更是每天皆需依賴該系統執行工務行政，並協同作業完成工作。

運用行動裝置 • 輔助現地作業

近年來，行動裝置與網路環境均大幅進步，使多年前提倡使用個人數位助理 (PDA) 輔助工程管理的想法與做法變得易於實現。蘇花改工程監造單位

亦延伸其所負責之監造資訊管理系統之功能，整合使用者最前端智慧型裝置 (如手機、平板等)，輔助工程師於現場作業時，可以易於掌握並快速蒐集工程相關資訊。以蘇澳 - 東澳段及和中 - 大清水段監造資訊管理系統之照片管理功能為例，使用者可將施工現場的影像隨拍隨傳至管理系統中，方便施工現狀的記錄；而管理系統中所建立的圖、文、影像資料，亦可於任何時間、在網路可及之任何地點，再利用智慧型裝置篩選、查詢所需要者，直接瀏覽內容，達到行動化管理的目標，如圖 13 所示。然而，照片上傳至監造資訊管理系統後，即可自動解析其拍攝時間與地理座標資訊，配合系統結合「日曆」與「地圖」模式，展現工程照片與時間、空間的關係 (如圖 14 所示)，此除提

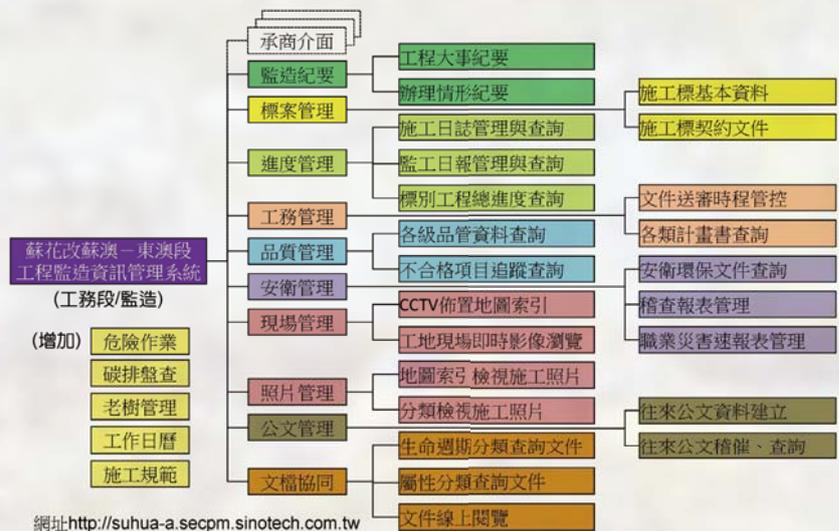


圖 12 蘇花改蘇澳 - 東澳段工程監造資訊管理系統



圖 13 利用智慧型手機上傳與瀏覽照片



圖 14 結合日曆與地圖模式標記照片時空屬性

供多種便利性資料建立模式外，另可大幅提升照片資料的可用性。以蘇花改 A3 標東澳北溪河川橋 P2S 橋墩為例，該工項自 2013 年 1 月起開始施作，迄今已經歷全套管基樁施作、橋墩基礎開挖、基樁混凝土澆置與處理、基礎底版純混凝土澆置、基礎鋼筋組立及混凝土澆置、墩柱第一～四昇層鋼筋組立及混凝土澆置、柱頭版鋼筋組立及混凝土澆置、柱頭版施拉預力、節塊推進工作車組立、預力梁節塊場鑄混凝土澆置等各階段，伴隨工程的進展，資訊系統已蒐錄超過百張施工照片（如圖 15 所示），透過時間資訊與照片說明內容的結合，可實現利用照片說故事的想法，完整記錄工程施工過程。

除了照片管理的應用外，行動裝置另亦可應用於文件查閱與瀏覽。為便利工程人員於施工現場查詢立即需要之施工規範，以了解工程契約對特定施工項目之規定，蘇澳 - 東澳段及和中 - 大清水段監造資訊管理系統均內含施工規範查詢閱覽之功能，並發展行動裝置 APP 程式，可事先下載所需資料至行動裝置中，以便於工地現場或隧道內，在無網路連結狀態下，離線查閱施工規範相關規定，操作介面如圖 16 所示。

此外，工程團隊協同作業的效能是工程管理追求的目標，而其中訊息的傳遞與同步是一大挑戰。以蘇澳 - 東澳段及和中 - 大清水段監造資訊管理系統之行事曆功能為例，系統除提供工作時程管理與待辦事項追蹤等重



圖 15 蘇花改 A3 標東澳北溪河川橋 P2S 橋墩施工過程照片集合例



圖 16 利用行動裝置查閱施工標案之施工規範

要功能外，更與 Google 行事曆整合，監造資訊管理系統自動與其同步訊息資料，而工程團隊成員只要透過訂閱 Google 行事曆，即可藉由 Google 的雲端服務機制，主動接收提醒訊息，有效掌握各種作業的狀態。由於該部分係與 Google 服務結合，因此可運行於各類行動裝置（如圖 17 所示），除達到個人化行動服務的效果外，亦大幅縮減資訊系統開發的困難與時程。

工程碳管理系統

蘇花改工程為我國道路工程碳足跡盤查首例，考量工程團隊分工機制與工程管理資料流之特定需求，工程碳管理系統主要包含「工程活動資料蒐集」、「碳排資料彙整分析」與「盤查活動資訊公開」三部分，其整體架構如圖 18 所示。考量資料填寫的品質與提升日誌送審的效率，該碳管理系統大幅與工程監造資訊

管理系統整合，引導施工承商逕至系統中填報資料，監造單位亦於系統中完成審查程序（如圖 19 所示），所有碳盤查資料均電子化建立於資料庫中，逕拋轉為後續彙整分析之用。

監造資訊管理系統從各施工標開工以來，即隨著工程的進展不斷累積工程資訊，已為工程人員不可或缺的工程管理工具。蘇花改工程因其對環境生態永續的特殊需求，於傳統工程管理系統需求外，另又增加了如碳管理、大樹移植等特殊功能，以輔助該部分工作的推展與資料的記錄，實有其必要。而考量工程師使用的可及性與便利性，系統功能藉由雲端服務與行動裝置延伸服務機能，更是未來的趨勢。展望未來，監造資訊管理系統的發展，需朝更便利使用的方向努力，視工程特性與管理制度的需求，與之密切結合，徹底扮演好輔助工程進行與保存工程紀錄的角色。

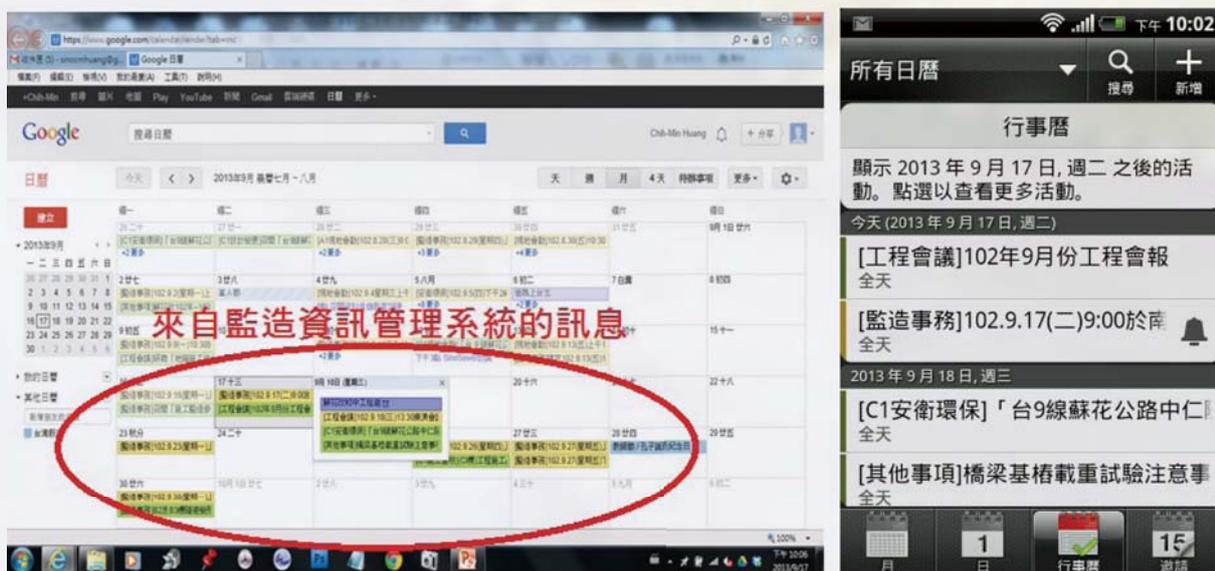


圖 17 工程監造資訊管理系統訊息通知與 Google 雲端服務結合例

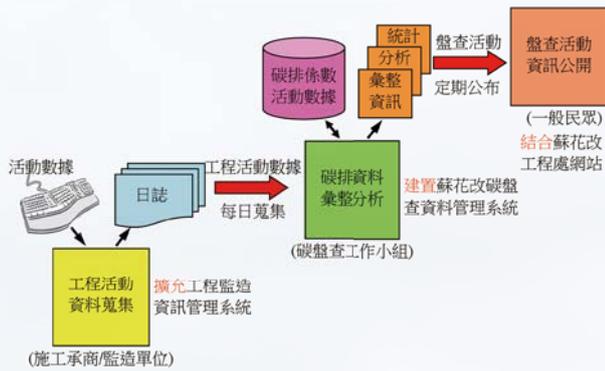


圖 18 蘇花改工程碳管理系統整體架構圖



圖 19 碳盤查資料填報與監造檢核介面

人生有夢 築夢踏實

「創造幸福」是蘇花公路改善工程團隊共同的信念，「為花東地區居民構築一條安全回家的路」更是共同的使命。在築夢踏實的過程中，蘇花公路改善計畫資訊系統將努力扮演好幸福工程的窗口，一直伴隨著工程的進展，為蘇花改工程進行完整的記錄，並利用它無遠弗屆的能力，與大家分享工程團隊努力的成果。

參考文獻

1. 邵厚潔、魏雲魯、楊家正，「蘇花公路改善計畫規劃設計—模範工程內涵」，中國工程師學會會刊第 86 卷第六期，民國 102 年 12 月。
2. 黃志民，「工程影像資訊之蒐集與應用」，中興工程季刊第 123 期，民國 103 年 4 月。
3. 交通部公路總局蘇花公路改善工程處，蘇花公路改善工程處網站 (<http://suhua.thb.gov.tw>)，民國 103 年 5 月。

土木水利雙月刊

1. 一年六期，新台幣 1,800 元
郵政劃撥訂閱請填本表，至郵局辦理。
信用卡傳真訂閱，請填背面表格並傳真。
 2. 中國土木水利工程學會會員，免費送雙月刊。
- 請洽陳耀志小姐 電話：(02) 2392-6325
傳真：(02) 2396-4260
請上網下載表格
網址：www.ciche.org.tw
e-mail：ciche.roc@msa.hinet.net

中國土木水利工程學刊

您的論文發表園地

每本 500 元 一年四期

- 優待年訂戶 —
- | | |
|-----------|-------------|
| 會員 | NTD 800.- |
| 非會員及公民營機構 | NTD 1,800.- |
| 國外個人 | USD 40.- |
| 國外機關團體 | USD 100.- |
- 請填下表：郵政劃撥或信用卡傳真訂閱
請洽王惠娜小姐 電話：(02) 2392-6325

◎ 中國土木水利工程學會會員資格如下：

- 一、會員：凡大專院校土木水利或相關科系畢業，曾從事土木水利事業或研究工作二年以上，經會員二人之介紹者。
- 二、初級會員：凡大專院校土木水利或相關科系在學學生，或前述科系畢業曾從事土木水利事業或研究工作不滿二年，經會員二人之介紹者。
- 三、團體會員：凡與土木水利工程學術有關之機關團體或部門，經會員二人之介紹或非經會員介紹，但能提出相關證明文件者。
- 四、國際會員：凡不具中華民國國籍，但符合本會會員資格經會員二人之介紹者。
- 五、土木水利相關科系：土木、水利、農業、建築、海洋工程、交通管理、都市計畫、測量工程、運輸工程與管理、水土保持、河海、營建工程、海洋環境、軍事、測繪、水資源、環境工程、景觀建築等系。
- 六、凡經政府所舉辦之高等考試或乙等特種考試相關類科及格者，均視同大專以上程度。
- 七、高級職業學校相關科組畢業經前述考試及格，或經政府銓敘審定為土木水利技術人員且服務滿二年以上者，得比照申請為會員。

◀ 入會申請書 請參考雙月刊及本會網站 ▶



網路式BIM專案資訊溝通管理平台

蘇郁智／衛武資訊股份有限公司研發部組長

李孟崇／衛武資訊股份有限公司總經理

在營建工程施工階段，常發生圖說資訊無法清楚表達施工內容。現行多採用 E-Mail 作為主要疑義溝通工具，利用圖文方式說明疑義問題（如圖 1 所示），此方式雖可快速地提出及回覆，但過程中的資訊並無法被集中管理與紀錄，且常發生雙方認知上的差異。建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）為近年來新興的概念及技術，其資料結構為資料庫之架構，並透過 3D 視覺化的呈現，有效降低參與單位對於工程認知的差異。因此，衛武資訊藉由 BIM 模型的資訊完整性與視覺化特性，整合網路系統的即時性及輕量性，開發網路式 BIM 專案資訊溝通管理平台（Web-based BIM Project Information Communication and Management System, BIMICM System）。此平台提供 BIM 管理者發佈最新的 BIM 模型於網路上，使參與單位僅需利用瀏覽器即可查閱統一的 BIM 模型與資訊，並透過系統儲存 BIM 模型視角，針對疑義構件進行說明，提出的疑義文件將自動與 BIM 模型產生關聯性；相關單位查閱疑義文件時，其可快速瀏覽疑義文件的 BIM 模型視角及構件，降低溝通的認知差異，進而進行溝通討論。綜合以上所述，建構此平台主要目的如下：

1. 提供工務所或公司內部的專案工程師，利用 BIM 模型與 BIM 工程師討論模型之問題，擴大 BIM 模型的應用範圍與人員。
2. 將 BIM 模型構件與相關議題文件進行關聯，幫助使用者於 BIM 模型中瞭解 BIM 構件的相關疑義內容與修改過程。
3. 以 Web-based 建構 BIM 專案資訊溝通管理平台，使無 BIM 軟體之使用者亦可透過 BIM 模型進行溝通，降低傳統文字與圖片議題時可能造成的認知差異。

4. 整合可標註的 BIM 模型瀏覽器，協助使用者簡易操作 BIM 模型，並快速於模型中取得構件資訊及儲存相關視角。
5. 提供 BIM 管理者快速追蹤各疑義議題的處理過程與狀態。

平台規劃與設計

BIMICM 平台是一個以 BIM 概念及模型為基礎的網路溝通平台，提供 BIM 管理者及 BIM 工程師，簡易地利用 BIM 模型與現場工程師進行溝通討論。考量現場工程師可能不具有單價較高的 BIM 軟體（如 Revit、Tekla …），因此以 Web 動態網頁技術規劃並開發 BIMICM 平台，使現場工程師在不具有 BIM 模型或軟體的狀況下，亦能夠透過瀏覽器登入平台使用 BIM 模型進行討論。除了上述的特性外，如何簡易地幫助使用者在平台上提出工程問題，並讓收到問題的使用者能快速了解問題所在，亦是設計此平台的重要議題

釋疑編號	76	區別	CH	提出日期	2012/3/7 下午 12:08:56	提出者(單位)	蘇郁智
釋疑對象	建築師	位置	2MF-X15.X16.Y28	網格		參考圖面	
問題內容	2MF 挑板處,橫樑,DECK,版會超出鋼表皮						
相關圖片							

圖 1 傳統圖文疑義溝通方式

之一。BIMICM 平台有別於一般的溝通系統（如 Email, PMIS），不僅僅利用工程電子檔與文字說明描述一件工程問題，且在系統中整合了工程專案的 BIM 模型，協助使用者可透過 BIM 模型描述一件工程問題，如標註問題於 BIM 模型中、記錄相關的 BIM 模型視角與記錄相關的 BIM 模型構件等方式，再配合工程電子文件與文字說明來描述一件工程問題，使接收者可在 BIM 模型視覺化的幫助下，在短時間內快速了解問題的位置與內容，進而與提出者在平台上進一步的討論解決方式或解決成果，以達到增進溝通的效率。

在 BIMICM 平台的專案架構設計中，為避免使用者在用戶端（Client）開啟過大的 BIM 模型而導致讀取時間過久或操作模型不順暢等問題，因此允許 BIM 管理者將專案進行分區，BIM 管理者可依據專案的特性訂定分區方式，例如以棟別分區、以樓層分區 … 等，進一步將 BIM 模型依據分區計畫後，發佈至所對應的專案分區中。另一方面，考量發佈的 BIM 模型可能因模型修正更新而須重新發佈，但原所發佈的 BIM 模型很可能已在系統中被使用於問題討論，若更新後所發佈的 BIM 模型，直接覆蓋原發佈的 BIM 模型，則可能造成相關的問題描述與新 BIM 模型不符，因此將同區域的模型依據發佈時間分為不同版本。在模型版本的規劃下，將可有效避免上述問題，使舊有 BIM 模型版本中所提出的問題，仍可被查閱與討論。當某區域的 BIM 模型發佈了新版本後，若使用者欲在該區域提出新問題，則系統會自動開啟最新版本的模型供其使用，因最新版本是隨著工程現場狀況與現場工程師的問題不斷地回饋修正，其正確性大於舊版本的 BIM 模型。在上述的專案分區與版本架構設計下，使用者在查閱 BIM 模型或提出問題時，可快速選擇相關的專案分區，即可快速查閱至對應的 BIM 模型最新版本，此開啟的 BIM 模型已在 BIM 管理者依據分區內容而切分，因此與該區內容不相關的 BIM 模型皆不會被開啟，除了降低開啟 BIM 模型的時間，也提升了 BIM 模型操作的順暢度與正確性。

在 BIMICM 平台中所提出的問題，除了問題的標題外，共有六個重要元素所組成，分別是 BIM 模型、BIM 問題標籤、BIM 視角、BIM 構件、工程附件、及文字描述，以下分別說明各元素的內容。

- **BIM 模型**：BIM 模型中包含該專案分區中的各項工程資訊與構件，即代表著工程設計內容或現場實際內容，在 3D 視覺化的幫助下，使用者可在 BIM 模型中快速尋找到問題的位置所在，進而利用 BIM 模型描述問題內容。
- **BIM 問題標籤**：當使用者在 BIM 模型中找到問題的位置時，必須在問題位置上標記，標記後所產生的標籤即為 BIM 問題標籤。在一個問題的描述中，BIM 問題標籤可明確地在 BIM 模型中指出問題的位置，幫助提出者不需再透過許多文字來描述一個問題位置。
- **BIM 視角**：在 3D 的環境中，視角的組成包含視點、目標點及視野等許多變數所組成。雖 BIM 問題標籤已可清楚描述問題的位置，但同一個問題位置在 3D 空間中會有許多種視角可以查閱，在不同的視角查閱同一個問題位置時，可能會造成問題的誤解。為了避免視角所產生的問題，此平台提供使用者可在標記 BIM 問題標籤時，同時儲存當時的 BIM 視角，以幫助查閱者透過系統自動將 BIM 模型畫面切換至儲存的 BIM 視角，進而利用相同的 BIM 視角查閱提出者所標記的 BIM 問題標籤，降低誤解問題的可能性。
- **BIM 構件**：BIM 構件所指的為 BIM 模型中的各項構件（如柱、樑、牆、板 … 等構件）。在描述一個工程問題時，除了必須描述問題的位置，亦須說明問題所發生構件，因此 BIMICM 平台提供使用者可儲存相關的 BIM 構件至問題表單中，以幫助查閱者透過系統自動亮顯該儲存的相關構件。
- **工程附件**：工程附件主要提供使用者可在利用 BIM 模型描述了一個問題後，附上相關的電子文件（如設計圖、合約、現場照片 … 等），作為查閱者的參考依據。
- **文字描述**：BIM 模型雖幫助使用者清楚地定義問題位置與構件，但仍需要透過文字說明問題的內容與欲求協助的內容，方能完整地傳達一項問題需求給予接收者。

在 BIM 模型、BIM 問題標籤、BIM 視角、BIM 構件、工程附件、及文字描述等六個元素的設計下，使用者可在平台中快速地利用 BIM 模型，在 3D 環境中提出一個工程問題，並幫助接收者簡易且清楚地得知欲傳達之問題需求，進而討論問題及解決問題。當接收者接收

到問題需求時，其可利用該問題的 BIM 模型進一步的回覆，回覆亦可包含上述六個元素；當提出者接收到回應時，即可利用同樣方法快速查閱回應之內容，進而達到討論的效果，討論的內容將完整地記錄在該筆問題中，並依據回應時間從新至舊的排序。此外，考量使用者須線上即時討論的需求，因此在問題討論的頁面中，設計即時更新的功能，使多位使用者可在同一頁面中，即時利用 BIM 模型進行討論。當使用者的回應時，若回應中包含 BIM 問題標籤，則在系統會自動更新線上使用者的 BIM 模型，使所有人皆能即時在 BIM 模型查閱回應的 BIM 問題標籤位置與內容。

議題溝通與管理流程

在 BIMICM 平台提出一項議題進行討論前，BIM 管理者必須針對其規劃的專案區域所對應的 BIM 模型完整上傳，以提供使用者提出議題時使用。上傳至系統中的 BIM 模型，其正確性與完整性可能直接影響使用者描述一項問題，因此 BIM 管理者或工程師必須不斷地更新 BIM 模型至最新的版本。當專案已存有完整的 BIM 模型時，使用者即可開始透過 BIM 模型進行相關議題的溝通與討論。此平台將一項議題從使用者提出至結案分為六個狀態，分別為審核中、非 BIM 相關、討論中、修改中、確認中與結案。當現場工程師對 BIM 模型有任何疑問或要回饋現場資訊時，即可透過 BIMICM 平台快速地選擇相關地專案與區域，系統將自動開啟該專案區域的 BIM 模型最新版本，作為現場工程師描述問題的 BIM 模型，進而在該 BIM 模型上進行問題位置的標註；在標註問題位置的同時，系統也將自動儲存當下之 BIM 視角，作為後續定位問題使用；標註問題後，現場工程師可在 BIM 模型上選取相關的問題構件，並儲存至議題表單中，一方面可明確地指出問題構件，另一方面也將使 BIM 構件與議題表單產生關聯性，未來可雙向追蹤，例如依據 BIM 構件查詢相關議題；最後，現場工程師可透過文字進一步地描述問題內容，並提供電子附件作為參考文件。一份完整的議題表單應包含主題、專案與區域、BIM 標註、相關 BIM 構件與文字描述，附件可視其需求而使用，當議題表單中已含有以上資訊時，即可將提出至系統中，並開始該議題的溝通流程。以下說明規劃的六個議題狀態：

- **審核中**：當議題被提出時，必須經過 BIM 管理者審核，在審核的期間，議題的狀態設定為審核中。BIM 管理者查閱現場工程師所提出的議題表單後，判斷是否與 BIM 模型內容相關。若與 BIM 模型相關，則指派 BIM 工程師負責該議題的溝通討論與 BIM 模型修正；若與 BIM 模型無關，則通知提出該議題的現場工程師，將該議題轉送給其他單位處理。
- **討論中**：當 BIM 管理者核定該議題與 BIM 模型相關，並指派 BIM 工程師進行後續的作業後，在 BIM 工程師與現場工程師溝通討論過程中，議題的狀態將設定為討論中。當 BIM 工程師接收到負責議題時，可快速利用儲存的 BIM 標籤、BIM 視角和 BIM 構件瞭解問題位置，並參考文字敘述與附件進一步的了解現場工程師之需求，進而利用 BIM 模型討論問題與修正模型。在討論的過程中，所有討論內容皆會被記錄於議題中，且每筆回應內容亦可使用 BIM 標籤、BIM 視角、BIM 構件及附件進行討論。
- **非 BIM 相關**：當 BIM 管理者核定議題為非 BIM 相關，則議題的狀態亦隨之改變為非 BIM 相關。非 BIM 相關大致上可分為兩種狀況，一為提出的議題無法利用 BIM 模型解決，必須轉送其他單位的協助；二為所提出議題的問題，不須進一步回饋或修正模型。
- **修改中**：當 BIM 工程師已明確了解問題位置與需求後，即可依據現場工程師在議題中所提出的資訊，進一步回饋或修正 BIM 模型，在修正的過程中，議題的狀態將被設定為修正中。在 BIM 模型修改完成後，BIM 工程師必須將更新後的 BIM 模型轉為瀏覽模型，更新至 BIMICM 平台，提供現場工程師確認修改內容。
- **確認中**：當 BIM 工程師修改完成模型後，現場工程師必須依據需求確認修正內容，在確認的過程中，議題的狀態將被設定為確認中。現場工程師確認更新內容後，若更新內容已符合需求，則可設定議題狀態至結案；若不符合需求，則可進一步再與 BIM 工程師進行溝通討論，此時的議題狀態重新設定為討論中。
- **結案**：當議題狀態被設定為結案時，該議題將被視為歷史議題，作為後續查閱使用。

平台功能

■ 議題發佈與構件資訊擷取

此功能提供使用者在發佈議題時，可依據疑義內容直接於 BIM 模型點選相關構件，系統將自動取得該構件的基本資料於議題表單中，作為該議題的相關構件，並可針對個別構件進行說明。議題發佈如同前文所述，完整的議題必須包含專案、區域、標題、BIM 構件、BIM 標籤（與視角）、附件及文字說明，方能使接收者快速了解問題所在。整體概念如圖 2 所示。

■ 自動關注及亮顯議題構件

當使用者查閱議題時，若該議題有儲存相關構件作為說明，則使用者可點選 BIM 構件清單中的構件，系統將自動地將 BIM 模型關注至該構件上，並以亮顯方式呈現，協助使用者快速查閱該議題之相關構件位置與狀況，整體關注亮顯概念如圖 3 所示。

■ 議題討論模組

此功能主要提供專案參與單位接收與自己有關的議題，並使其可針對特定議題進行回覆討論，而回覆內容如同發佈議題，可包含 BIM 構件、視角、附件資料及圖片說明，整體的回覆討論內容將由系統依據時間自動排序，整體概念如圖 3 右方介面所示。

■ BIM 視角儲存

提供使用者儲存當下所瀏覽的 BIM 模型視角資訊，例如視點位置、方向、高程距離、縮放比例等等資訊，使參與討論之單位可快速開啟相同的 3D 視圖位置，清楚地瞭解提出者所敘述之位置或構件，整體概念如圖 3 及圖 4 所示。

■ 議題搜尋模組

當專案議題數量增加時，若無良好的搜尋機制，則可能需要花費大量的時間找尋相關的資訊。此模組除了提供使用者以條件式（如搜尋提出者、發佈時間、棟別、樓層等資訊）快速地搜尋進行中或結束議題之資訊外，亦可利用選取 BIM 構件搜尋相關議題或以空間編號（房間編號）搜尋，整體概念如圖 4 所示。

■ BIM 構件與議題關聯化

提供使用者可於某構件中查詢進行中或歷史討論的議題資訊。此平台將 BIM 模型中所匯出的構件資料皆存放於外部的構件資料庫，而相關議題所發佈與討論的內容皆儲存在 BIMICM 資料庫中，此兩資料庫原為兩獨立的資料庫。藉由此功能自動地利用議題中的相關構件編號，與構件資料庫中的構件編號進行資料關聯（Data Mapping），使得兩獨立資料庫整合為一個具有關聯性的資料庫。

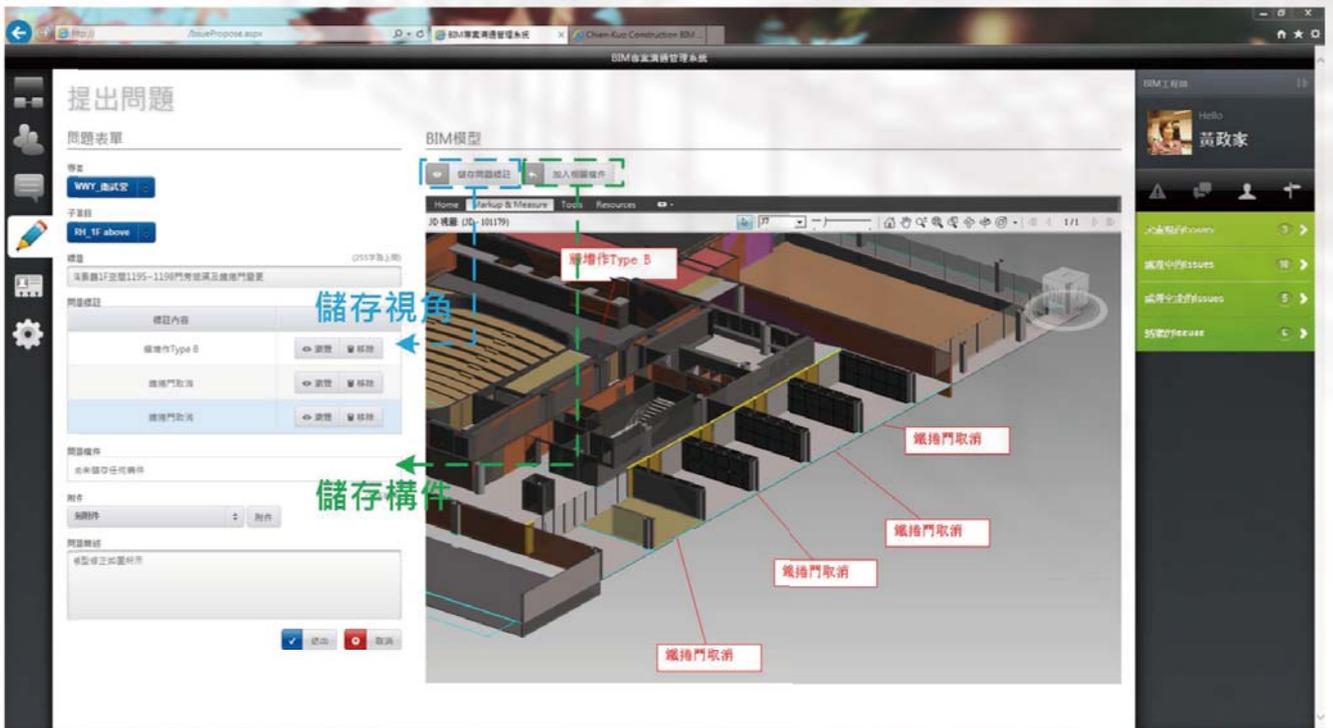


圖 2 議題構件資料擷取示意圖

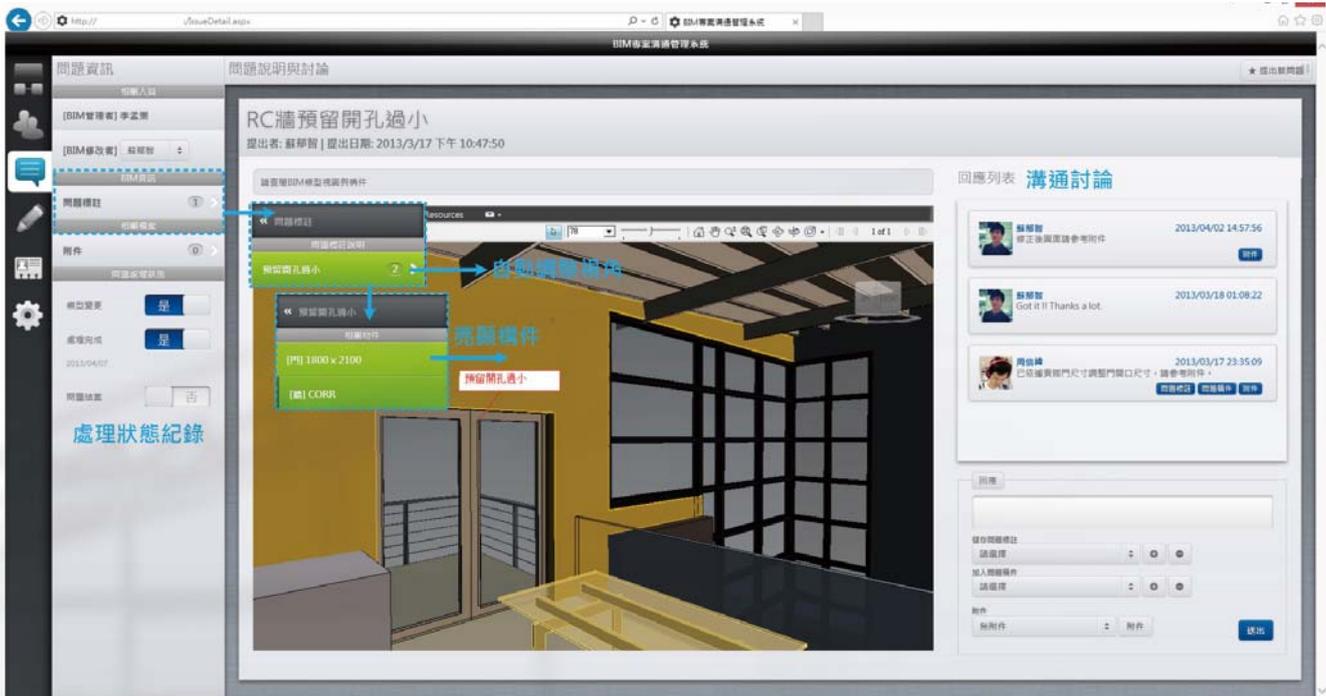


圖 3 議題視角、構件亮顯與討論示意圖

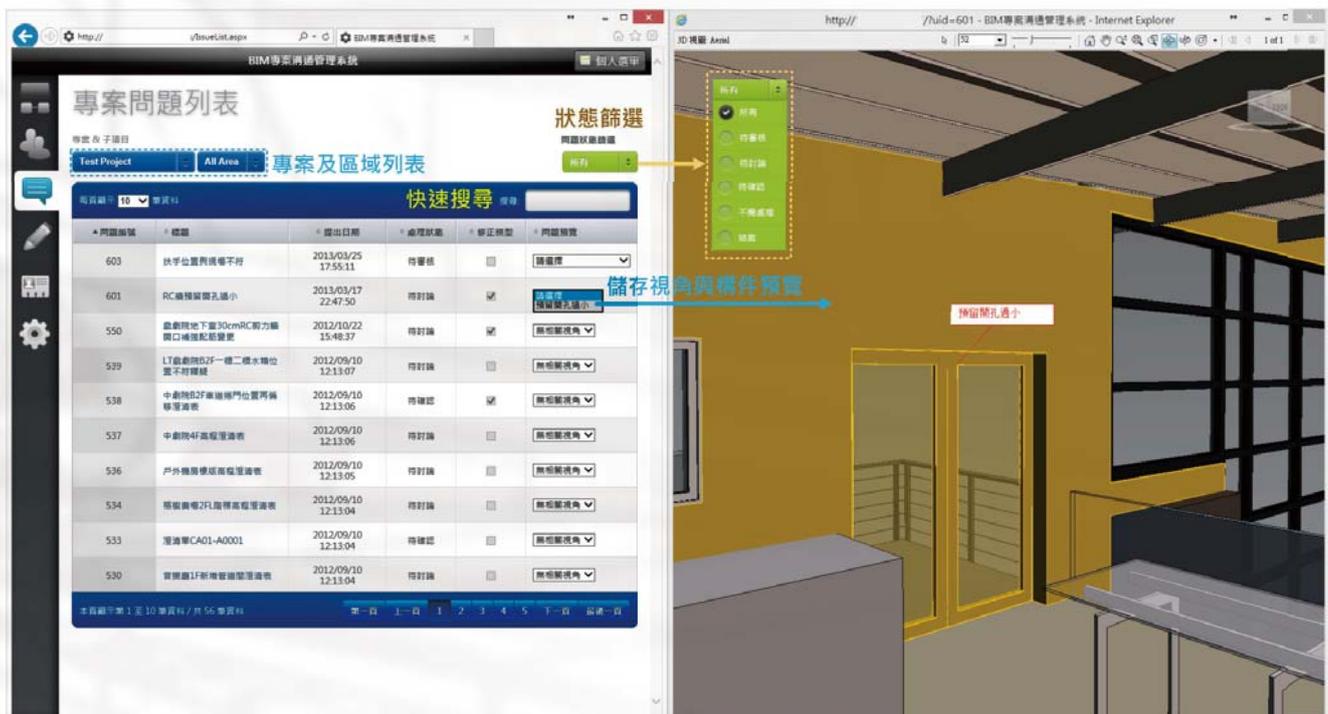


圖 4 議題狀態篩選及預覽示意圖

應用探討

■ 資料庫架構 VS. 檔案式架構

現行常見的 BIM 商用軟體皆有提供免費的溝通軟體，雖然這些軟體能夠提供使用者在 BIM 模型上標註問題與討論問題，但大多是以檔案為基礎的作業模式進行，因此必須透過檔案傳輸方能進行問題溝通。在

工程專案中，工程議題會隨著工程進行不斷地產生，在問題數量日益漸增的情況下，若以檔案為基礎的方式進行溝通討論，雖仍可有效地解決單一議題，但可能造成日後的議題追蹤與管理的不便，因為議題分散在不同檔案中。BIMICM 平台其資料儲存主要以資料庫為基礎，且在規劃的專案架構下，平台提出的問題

會附屬於專案、區域、BIM 模型與版本上，並儲存至平台資料庫中。對於一般使用者而言，不須透過檔案的傳輸，即可藉由 BIM 模型進行溝通討論；而對於管理者而言，集中式的資料庫架構與階層式的專案架構，有助於追蹤與管理龐大的工程問題。

■ 網頁系統 VS. 商用軟體

現行導入 BIM 技術的工程專案，大多仍利用商用的 BIM 軟體進行工程溝通。在此情況下，若需要利用 BIM 模型討論工程問題，則必須由懂得操作 BIM 模型的人，利用商用軟體開啟 BIM 模型檔案。不過，除了 BIM 工程師外，大多的現場工程師較不熟悉操作 BIM 軟體與模型，且仍須聯絡 BIM 管理者或工程師取得最新的 BIM 模型檔案。當現場工程師無法便利地開啟 BIM 模型進行問題說明，則會直接地降低其使用 BIM 模型的意願。考量了上述問題，BIMICM 平台以 Web-based 的方式建構系統架構，使現場工程師不須考量 BIM 軟體與模型檔案的問題，直接透過瀏覽器便利地瀏覽 BIM 模型，進而增加其利用 BIM 模型進行溝通討論工程問題的意願。

■ BIM 模型版次管理機制

在 BIMICM 平台的 BIM 模型版次管理機制，可有效避免提出者開啟到舊版次的 BIM 模型，並完整記錄各 BIM 模型版次的問題溝通處理過程。BIM 管理者可將工程專案劃分為不同區域，每一區域皆可對應一 BIM 模型，BIM 管理者可定期將 BIM 模型依據專案區域匯出為瀏覽模型，並上傳至專案區域中，若上傳的 BIM 模型為某專案區域的更新模型，則平台會依據上傳日期給予新版次註記。當現場工程師欲針對某專案區域提出問題時，系統將自動開啟該專案區域所對應的 BIM 模型的最新版次，提供其進行問題標註及說明。另外，雖 BIM 模型版次會不斷地增加，但舊版次的 BIM 模型仍包含著許多已提出的問題，因此舊版次的 BIM 模型仍會完整保留於系統中，使 BIMICM 平台可完整記錄各 BIM 模型版次的問題溝通處理過程。

■ 簡易式介面

考量並非所有現場工程師皆能夠輕易操作 BIM 模型，因此 BIMICM 整合了可標註的 BIM 瀏覽器，除了提供使用者簡易式的 BIM 模型操作介面，如平移、縮放、旋轉、切割及標註等功能外，並透過二次開發，

使其能夠儲存 BIM 標籤、BIM 視角及 BIM 構件。在簡易式的介面下，BIM 工程師與現場工程師可快速在 BIMICM 平台中討論提出的問題，討論的過程中，仍可利用 BIM 模型清楚地定位討論位置與構件，降低因文字敘述所導致溝通過程產生誤解的可能。

■ 問題狀態流程管理

在導入 BIM 技術的工程專案中，且以 BIM 模型為主要的施工依據，則 BIM 模型可能直接影響著現場施工的正確性，因此現場工程師所提出的問題，皆必須謹慎處理，必要時必須回饋修正 BIM 模型。在 BIMICM 平台中，一個被提出的工程問題，在整體處理流程中共被分為六個狀態，分別為審核中、非 BIM 相關、討論中、修改中、確認中與結案，隨著不同狀態的改變，系統會自動發送 Email 通知相關人員，使其進行後續作業。比起檔案式的問題溝通狀態管理，集中式的資料庫系統更能夠突顯問題狀態的效益，因為檔案式為單一且分散式的狀態管理，而資料庫集中了所有的問題狀態，幫助使用者在問題列表上查閱整體問題狀態。

BIMICM 平台管理更有效率

衛武資訊經歷了許多工程專案的 BIM 技術導入，在過程中並非一路順遂，反而遭遇了無數的阻礙與困難。其中，軟體技術並非為最困難的阻礙，而是人與人的團隊整合與溝通最為困難。BIM 是一個改革性的技術，如何使工程人員認同、採用、溝通討論、回饋甚至據以施工，是在施工端導入 BIM 技術必經之路且必解之問題。網路式 BIMICM 平台的開發，在低成本與簡易使用之特性下，不僅銜接了 BIM 團隊與工務所之間的溝通斷層，更降低了使用者的應用門檻。此外，BIM 的 3D 環境仍比起 2D 圖紙更加直覺，並在 BIMICM 平台的 BIM 視角定位與 BIM 構件亮顯的幫助下，以 BIM 為基礎的疑義溝通討論，比起傳統以圖文為主的方式，更加有效率。最後，以集中的資料庫為基礎的系統化管理，不論對公司、BIM 團隊亦或是 BIM 管理者而言，皆有著實質的管理效益；坊間常見的文件管理系統，如 Bentley ProjectWise、Autodesk Vault …，皆是以資料庫為基礎，其主要目的與 BIMICM 平台的目的相同，即是將文件集中化，進而執行各項文件管理作業，例如流程管理、狀態管理、版本管理 … 等，以使管理者對專案文件更有效率的管控。



營造廠BIM建模協同作業管理模式建置之探討

楊慧萱／國立台北科技大學土木防災研究所博士班研究生

方嘉琪／國立台北科技大學土木防災研究所職碩士班研究生

林祐正／國立台北科技大學土木防災研究所副教授

隨著資訊科技日新月異地發展，運用資訊科技為傳統產業創造競爭優勢，是企業經營策略，建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）為近幾年導入國內營建產業的新技術，元件參數式設計與雙向關聯性為 BIM 特性之一，其主要概念為將建築物生命週期所需要的相關資訊建置於單一 BIM 模型中，可將 BIM 模型視為儲存建物資訊的資料庫，可提供資料轉換與擷取，進而應用於建築物生命週期各階段中。如何在第一時間正確輸入資訊，有賴於作業模式與管理模式的建立。營造廠導入 BIM 並執行 BIM 建模，其過程從模型建置、模型檢核、模型修改及更新，通常以協同作業方式進行，以縮短整個作業時程，然而 BIM 建模協同作業之執行容易造成作業相互抵觸，或產生重工現象等問題，因此透過 BIM 建模協同作業管理方法，可以讓協同作業管理提升 BIM 建模之效能。本文透過探討營造廠 BIM 建模協同作業之現況，建置營造廠 BIM 建模協同作業管理模式，並利用協同作業管理模式協助模型檢核及版本更新管理，進而提升 BIM 建模之效能。

文獻回顧

BIM 名詞主要由 80 年代美國喬治亞理工學院的 Charles Eastman 教授出版的“Building Product Models”一書談及建築資訊模型基本理念、相關元構件與資訊交換等理論闡述，開啟建築資訊模型術語運用之先河 [1]。根據美國建築師學會（American Institute of Architects, AIA）Deke Smith 指出建築資訊模型為一實體與功能性特色呈現建物設備之模型，並可透過 BIM 分享建築模型之知識資源、依據其資訊做為整體生命週期決策基礎，然 BIM 基本前提為協同——於建物不同階段之不同利害關係人可針對建物模型進行資訊存

入、提取與更新，以達到有效的專案管理 [2]。

BIM 一詞廣為運用主要經 Autodesk 的副總裁 Phil Bernstein 開始使用 BIM 術語於公司 AEC 相關產品的功能設計理念、著名的營建產業分析師 Jerry Laiserin 提出標準化的資訊交換格式及其他繪圖軟體大廠等提倡導入，因而 BIM 概念逐漸掀起風潮廣為運用之 [3-5]。同時 BIM 技術是在營建設施（包括如建築物、橋梁、道路、隧道等）的生命週期中，創建與維護營建設施產品數位資訊及其工程應用之技術 [6]。簡單來說，BIM 是指含有建築資訊之虛擬 3D 模型，不僅包含建築物本身之資訊，且可連結至建物之規畫設計、施工、營運以及維護至建物拆除之相關的資訊。BIM 將能促進設計及建造過程的整體性，因此可降低成本，縮短專案工時，獲得較好的建築物品質 [1]。

由於時間的限制，許多 BIM 建模作業都需要由多人在不同時間或不同地點來進行 BIM 建模協同作業。透過 BIM 建模協同作業可以降低 BIM 建模所需的時間，所以目前大部分的 BIM 軟體均提供 BIM 建模協同作業之功能。根據營建產業的協同作業需求，Muhammad Tariq Shafiq 等人（2013）透過現有文檔協同管理系統的概念，發展新的協同管理系統，以滿足 BIM 協同作業的複雜需求，研究成果可用於營建產業的專業人士、軟體開發人員和研發人員 [7]。康思敏，郭適彰，陳奕銘（2012）提出利用一個協同工作的管理平台，將貫穿於專案生命週期中所有的 BIM 資訊進行集中、有效的管理，隨時獲取所需的 BIM 專案資訊，能夠進一步明確專案成員的責任，提升專案團隊的工作效率及生產力 [8]。黃超（2013）更基於 BIM 理念，以實現建築生命週期中的協同工作為目標，設計一套整合 BIM 技術之建築協同工作平台，以此實現更多的建築工程應用系統在建築協同工作平台的應用 [9]。

彙整過去專家學者的研究，著重於透過協同作業系統或平台，但在執行 BIM 建模協同作業時，若能搭配 BIM 建模協同作業管理模式，將可提升整體 BIM 建模協同作業之效能，因此本文將探討營造廠 BIM 建模協同作業管理模式之建置。

BIM 建模協同作業管理模式

隨著 BIM 技術愈趨成熟發展，國內營造廠逐漸開始採用 BIM 技術，現今的 BIM 軟體功能齊全，並已具備協同作業的功能，而協同作業的概念在於單一模型由多人進行建置，並於 BIM 專案執行中隨時進行同步、整合模型，即時取得最新資訊（如圖 1 所示），而以往建置模型的過程中，當 BIM 模型資訊建置越詳細，檔案就越大，硬體設備無法負荷時，可能發生電腦計算速度緩慢、無法運轉、當機等情況，並使協同作業也產生問題；另外，當模型進行檢核時，可能須將所有模型進行整合，而此項作業也會因檔案過大等原因而無法繼續作業；此外，當 BIM 專案遭遇設計變更時，以往模型的檔案命名僅能利用檔名加上日期，以區分版本更新的狀況，並無一套完整的模式管控版本更新之問題。因此，如何在工程生命週期有效地管理 BIM 模型及相關資訊，必須進行協同作業之管理，並同時檢討改善現有作業流程，本文為改善目前所遭遇之問題，將透過協同作業概念，針對所遭遇之問題提出 BIM 協同作業管理模式，以提升建模的效能。

近年來營造廠廣泛應用 BIM 技術，但由於 BIM 軟體的協同管理功能仍然有限，而產生營造廠進行 BIM 建模協同作業時的困難。而 BIM 模型通常依據會議或是其他釋疑文件的回覆，必須進行模型修正，而模型修

正的時效性仍需透過人為進行管理；而模型建置作業過程複雜繁瑣，由多位 BIM 工程師同步將建築、結構、機電等圖說資訊建置於模型中，亦存在著人為操作風險，由於在 BIM 建模協同作業中一直存在著人為作業之風險，如果沒有搭配完善的管理模式，以降低人為作業風險機率，難以發揮 BIM 建模協同作業之效益。因此營造廠導入 BIM 需要運用建模協同作業管理的模式，發揮其整合與同步的功能。本文探討營造廠在施工階段中 BIM 建模協同作業的應用流程（如圖 2 所示），並建構其 BIM 協同作業管理模式（如圖 3 所示）。

本文將透過協同作業的概念及文件輔助改善所遭遇的問題，以利營造廠之 BIM 建模協同作業進行，於專案目標及合約擬定後，確定專案的執行方式，專案開始執行，將由 BIM 經理規劃專案，成立 BIM 協同作業的團隊，並透過與 BIM 工程師的討論，分配予各 BIM 建模小組負責各自作業項目，並作權限管控設定，以及定期開會追蹤進度。於建置模型前規劃前置作業，專案團隊可以在 BIM 建模前先溝通討論以達成共識。BIM 建模協同作業可將專案分為多個檔案，工程師於各分割檔進行模型建置之協同作業，再將完成的模型以連結的方式進行協同以整合模型，或是專案以一個檔案的方式進行，所有 BIM 工程師於同一個模型進行建模協同作業。最後交由模型檢核者進行模型確認，以控管模型的品質。營造廠在進行後續作業（施工圖產出、數量計算、實際施作）之前，必須先確保 BIM 模型的正確性，使專案能進行後續應用。

執行建模協同作業管理的過程中最重要的環節是自我管理，透過自我管理的方式作為 BIM 品質檢核手法，並發現其 BIM 建模問題，加以更正錯誤，便可確保 BIM 模型之品質。在執行協同作業過程中，除了建置 BIM 模型的過程之各模型檢核，BIM 工程師完成模型建置後必定再次執行 BIM 模型檢核，進行各自 BIM 模型的最後確認；BIM 模型遇到疑義須釐清時將召開臨時會議作討論，也會透過定期會議來追蹤 BIM 模型的進度與狀況，而建置 BIM 模型過程中，也可能接收到建築師更新的圖說，因此為追蹤 BIM 模型狀況及確保隨時取得的 BIM 模型資訊是正確的，以圖說的更新及定期會議作為版本更新的依據，而版本更新設定的權限由 BIM 經理執行，強化 BIM 模型管理效能。

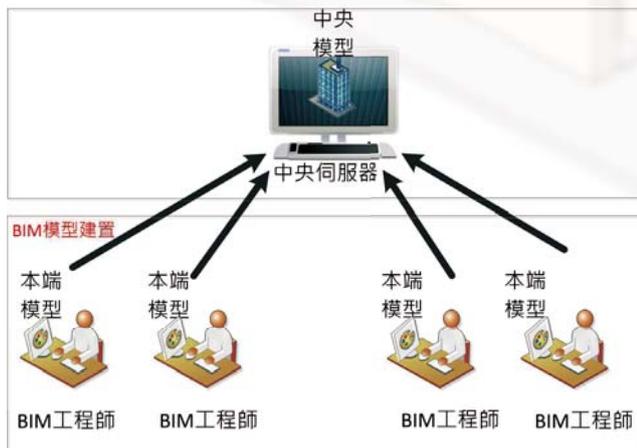


圖 1 BIM 協同作業示意圖

案例導入

本案例為北區建案，地下四層、地上十五層之 SRC 構造，結合工務所需求，確定 BIM 協同作業管理流程，進行 BIM 模型建置，並透過 BIM 模型與業主進行溝通協調，依專案進度與作業項目規劃專案執行投入人力共兩名 BIM 工程師及一位 BIM 專案經理。本案例將 BIM 模型依專案需求、BIM 模型建置複雜與難易度分割為筏基層到地上二層、地上三層到屋突層兩個 BIM 模型檔案，利用協同作業方式建立將 BIM 模型建置完成（如圖 4 所示），最後並以 BIM 模型連結的方式將兩個 BIM 模型檔案進行連結以作管理（如圖 5 所示）。

在 BIM 模型建置完成後以元件編號、高程、尺寸、位置是否正確，成為自主檢查的第一要素，其二為元件的干涉檢查，避免元件重複放置的錯誤。可利用條件篩選方式，檢查元件命名與原建物實際內容是否相符，經命名確認無誤，進行元件位置檢核，標示柱樑尺寸、高程資訊，再將 BIM 模型與圖說進行比對。BIM 經理透過定期會議與圖說更新為主要版本更新依據，透過版本更新的管理將 BIM 模型定期更新並進行備份，BIM 模型若出現問題，並即時提出最新版本維持專案進行，且隨時確保 BIM 模型最新狀態及正確性。

此案例除整棟建築之結構體外，並針對專案需求所訂定之六個項目導入協同作業管理流程進行作業，經由協同作業管理流程，建置 BIM 模型前團隊訂定相關標準作業流程及原則，可於建置 BIM 模型實根據標準及原則快速建立 BIM 模型，減少因標準不一致而須

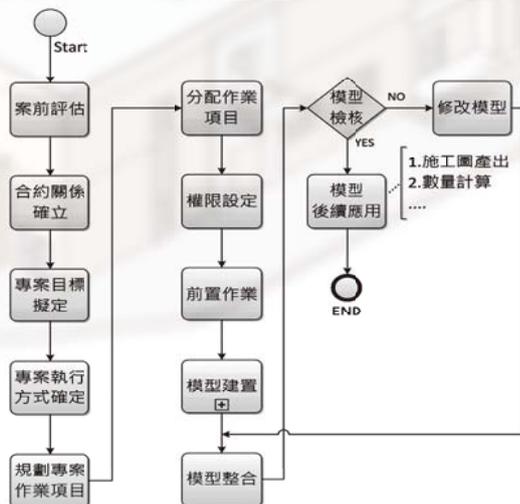


圖 2 BIM 建模協同作業流程

提出問題解決問題的時間，也可以在建置 BIM 模型過程中檢核圖說是否出現問題並及早提出解決，BIM 工程師可於整合 BIM 模型時，透過 BIM 模型相互檢視作業進度以避免進度落後，另外透過 BIM 模型提出疑義可有效協助與業主於會議中之溝通，並利用 BIM 模型提出方案選擇協助雙方作業時間縮短，另有少數經由協同作業管理模式無法完全克服的狀況，需再研擬其他相關配套措施輔助管理。

BIM 經理不僅要具備 BIM 專業知識外，同時還特

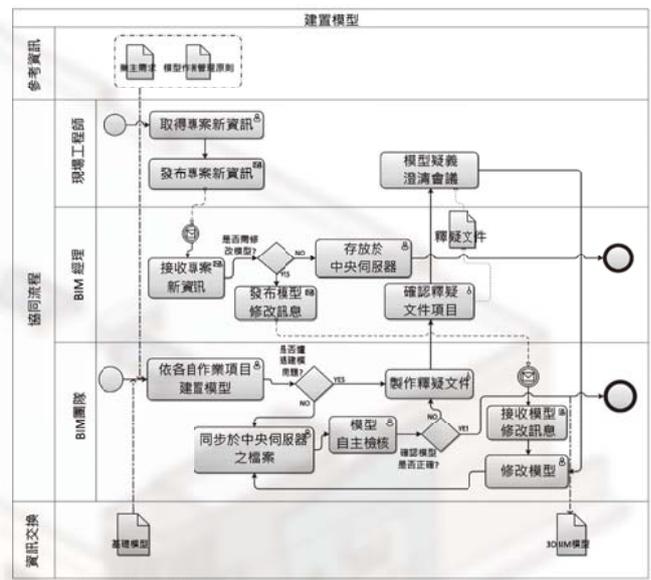


圖 3 BIM 模型建置之協同作業管理模式

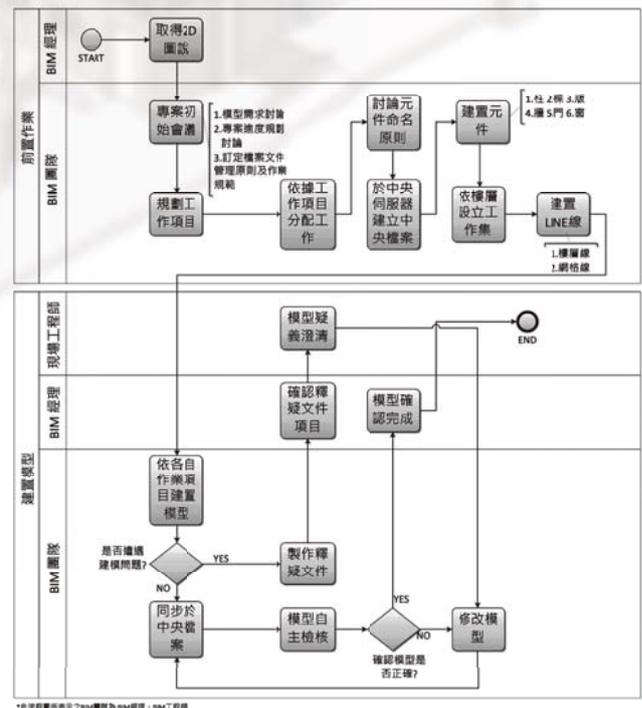


圖 4 BIM 模型建置案例協同作業管理圖

別需要擁有溝通協調的能力，因為過程中可能因 BIM 訊息接收不佳導致判斷錯誤、團隊溝通不融洽產生誤會或摩擦等現象，這都會影響 BIM 專案協同人員對其認同感，傷害彼此建立的信任度，進而降低協同作業管理品質，因此 BIM 經理在 BIM 建模協同作業中占有相當重要的角色。

BIM 模型由無數個元件建構而成，而元件的建置必須考慮到專案需求，才能正確無誤地將元件該有的資訊建置完成。BIM 模型的正確與元件設計的好壞及人為有很大的關係，標準及原則的訂定為基本，最主要的還是必須靠人為操作及確認，遵守標準及原則以確保 BIM 模型品質。

營造廠導入 BIM 技術 · 提升效能

營造廠導入 BIM 技術，從模型建置到圖說產出的連續動作，一般會以分工方式進行 BIM 模型協同作業，以縮短建模作業時程。但若沒有搭配一套完善的管理方法，容易造成作業重工現象發生，反而降低整體作業效率。因此本文提出一個 BIM 建模協同作業管理模式，其包含導入前應準備的相關事項、相關人員之訓練、應變模式，並針對營造廠進行協同作業時所遭遇之問題建置相關 BIM 協同作業管理模式流程，供實際導入參考，快速協助 BIM 專案導入應用技術流程，使 BIM 專案執行效率提升，本文透過案例分析與驗證之可行性。當 BIM 模型建置完成後可以產出施工圖，是經由前置作業的規劃、專案元件的建置、BIM 模型建置、BIM 模型版本確認、BIM 模型檢核等繁瑣的過程而成的，透過層層的分工且環環相扣，凸顯專案執行中作

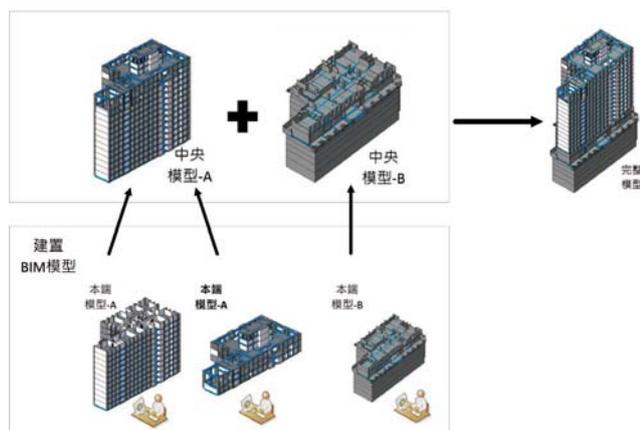


圖 5 BIM 模型之協同作業

業管理流程的重要性。而良好的 BIM 協同作業管理模式，必須依據每個專案內容及應用項目的不同，並參考實際 BIM 專案執行協同作業的經驗而有所調整。

透過 BIM 協同作業管理模式應用，對於 BIM 建模協同作業管理的執行有顯著的成效，因此專案執行過程中除定期會議外，建議可制定建模協同作業進度表，以追蹤作業進度，更可掌握工作安排及人員調度，有效管理 BIM 協同作業進度。BIM 協同作業管理模式之標準作業流程會因專案需求而有所差異，建議可將每個專案的標準作業流程記錄並整理，可經由每次導入應用回饋及修正，以提高 BIM 協同作業管理模式之適用性。

參考文獻

1. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
2. Deke Smith, An Introduction to Building Information Modeling (BIM), Journal of Building Information Modeling, Fall 2007, pp.12-14, 2007.
3. 郭榮欽、謝尚賢，BIM 概觀與國內推行策略，中國土木工程學會會刊，第三十七卷，第五期，第 8~20 頁，2010。
4. C. M. Eastman, Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction, CRC Press, 1999.
5. C. I. Yessios, Are We Forgetting Design?, AECbytes, 2004 (Available at http://www.aecbytes.com/view-point/2004/issue_10.html). 複製日期 2013/06/11.
6. 郭榮欽、謝尚賢，BIM 技術與公共工程，公共工程電子報，第 038 期，2011。
7. Muhammad Tariq Shafiq, Jane Matthews, Stephen R. Lockley, A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model collaborations systems, ITcon Vol.18, p.148-161, 2013.
8. 康思敏、郭適彰、陳奕銘，BIM 協同作業需求及實務應用，捷運技術半年期刊，第 47 期，第 137-146 頁，民國 101 年 8 月。
9. 黃超，基於 BIM 技術的建築協同工作平台的應用與設計，碩士論文，桂林理工大學，桂林，2013。



整合BIM技術於設施資訊管理平台建置及應用

蘇郁智、陳彥貝／國立台北科技大學土木防災研究所博士班研究生

林祐正／國立台北科技大學土木防災研究所副教授

建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 主要概念在於透過 3D 視覺化模型，並利用資料庫與物件導向技術，整合建築物之相關資訊，進而利用資訊分析與模擬建築物的各項應用 [1]。在建築物的營運維護階段中，其所應用的層面相當廣泛，如日常巡檢管理、設備問題通報、維護工作及備品管理... 等，各項作業皆包含大量的文件及資訊，若將所有的文件及資料皆存入於 BIM 模型中，則可能造成 BIM 模型負荷過大。BIM 模型雖涵蓋了豐富的建築物資訊，但存放的資訊應為建築物或設備的關鍵識別資料，如空間資訊、設備編號、設備名稱及設備位置... 等資訊，其它應用所衍生的資訊應盡量儲存於外部位置。然而在目前常見的 BIM 軟體中，主要功能大多為模型建置及模型分析應用等作業，若要整合外部資料庫或文件則較為困難，且軟體操作介面並非針對所需

應用的作業需求而設計，使用者需耗費許多時間在介面操作上。有鑑於此，本文將以 BIM 模型為基礎，建置一套 BIM 設施資訊整合與管理 (BIM-based Facility Information Integration and Management, BIM-FIIM) 平台，並根據應用需求客製化平台操作介面，提供使用者可將外部系統之資料庫或文件與 BIM 模型進行整合，在客製化的介面中快速地進行應用作業 (如圖 1 所示)。

文獻回顧

近年來 BIM 的研究與應用已經持續延伸至設施管理 (Facility Management, FM) 應用，例如王昌昀 (2012) 以捷運全生命週期 BIM 技術提出可應用之發展，針對營運管理階段提出操作介面簡易、獨立資料庫、行動化、主動預警、空間管理及後續維護等方

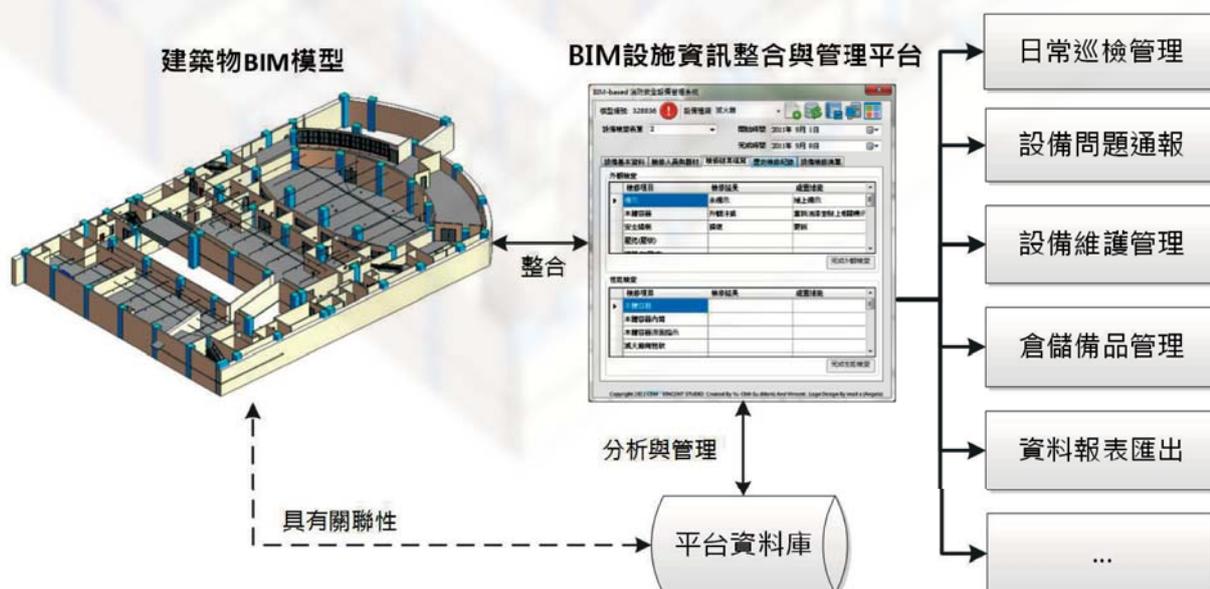


圖 1 BIM 資訊整合與管理平台概念示意圖

向建議參考 [2]。Becerik-Gerber 等人 (2012) 利用網路問卷調查及訪談方式探討 BIM 技術如何能解決目前設施管理之問題，以及研究 BIM 技術在可能維護管理階段應用內容 [3]。Jason Lucas 等人 (2012) 該篇文章主要為針對一醫院建置時規劃後續設施管理與相關醫療交付資訊規劃之案例研究，透過相關資訊管理架構與模型建置，有效地支援醫療設施管理與客製等資訊 [4]。Richard Davies (2013) 針對大型醫院專案建置 BIM 系統讓現場人員透過以 BIM 為基礎的系統工具與行動式平板電腦進入設計資訊，可即時地並取得或傳遞工地現場施工品質與流程資訊，最後並提出相關資訊作為後續營運管理使用 [5]。Mohamed Marzouk (2014) 運用 BIM 與無線感測系統監測地下鐵室內環境品質，提供數據資料作為維護管理之優先指標 [6]。Ali Motamedi (2014) 提出 FM Visual Analytics System (FMVAS) 以整合專業知識、IFC 資訊整合交換、BIM 為基礎與可視化功能，協助人員推估並辨識設備之根本問題並解決之 [7]。雖然上述已經有許多的 BIM 技術研究議題著重於營運管理階段，但較少有 FM 系統整合之研究，因此本研究探討整合 BIM 技術建置設施資訊管理平台之應用，以提升設施管理之效能。

平台規劃與設計

BIM-FIIM 平台是一個以 BIM 模型為基礎的平台，提供使用者於平台中整合外部資料庫資料，在平台中進行分析與管理等應用，進而將結果利用 BIM 模型中的物件資訊進行 3D 視覺化顯示，達到資料整合之功能。本文主要探討在營運維護階段時，管理單位（以下稱管理者）如何利用已建置完成之 BIM 模型，藉由網路架構整合設備管理資訊與 BIM 模型。本文將 BIM-FIIM 平台規劃為三層式架構 (Three-tier architecture)，分別為展示層 (Presentation Layer)、應用程式層 (Application Layer) 及資料層 (Data Access Layer)，藉以區隔 BIM 執行軟體、平台程式與資料庫；除了 BIM-FIIM 平台的三層式架構外，為使 BIM 模型管理者不因 BIM-FIIM 平台的導入，而影響原有的作業流程，因此在平台架構中將 BIM 模型原有管理作業獨立至 BIM 管理層。圖 2 說明 BIM-FIIM 平台架構，以下分別說明各層之內容：

■ 管理層

管理層主要作用為提供 BIM 管理者利用 BIM 維護軟體 (如 Revit、Tekla、ArchiCAD … 等) 管理主要 BIM 模型之用。主要 BIM 模型為 BIM 模型的原始檔案，BIM 管理者必須確保主要 BIM 模型內容與建築物現況一致，方能利用主要 BIM 模型進行其他應用。現行常見的 BIM 軟體多為主從式 (Client-Server) 的協同作業架構，因此 BIM 管理者可於任何電腦利用 BIM 軟體直接地讀取伺服器中的主要 BIM 模型進行維護。最後可將主要 BIM 模型匯出為 BIM 應用模型，避免主要 BIM 模型在應用過程中受到不必要地變動。

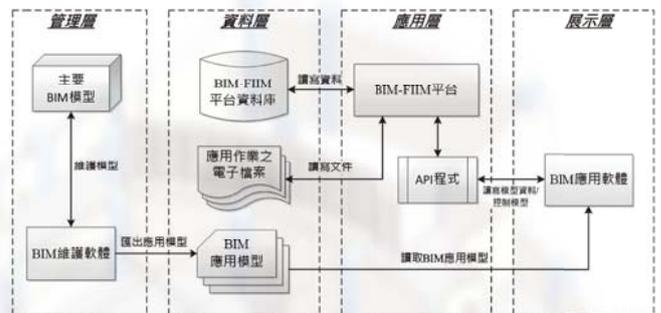


圖 2 BIM-FIIM 平台架構圖

■ 資料層

資料層負責資料庫或文件檔案的存取。在 BIM-FIIM 平台中，資料層中包含 BIM 應用模型、BIM-FIIM 平台資料庫及應用作業之電子檔案。BIM 應用模型為 BIM 管理者所提供，作為 BIM-FIIM 平台中的 BIM 模型檔案；BIM-FIIM 平台資料庫為平台存取資料的主要來源，並儲存 BIM 模型物件與平台資料的整合內容，使兩者產生關聯；另外，因 BIM 應用作業所產生的電子文件，如 CAD 圖檔、Excel、PDF、報表 … 等文件，本文統稱為應用作業之電子檔案。

■ 應用層

應用層作為展示層與資料層的溝通橋樑，主要負責處理使用者提出之請求，並進行與應用有關的資料處理與分析。BIM-FIIM 平台透過 BIM 軟體所提供的應用程式介面 (Application Programming Interface, API)，處理與分析 BIM 應用軟體與資料層中的各項資料。BIM-FIIM 平台可建置於伺服器端 (Server) 或展示端 (Client) 中，不論建置哪一端，其執行時必須同時地開啟 BIM 應用軟體，方能有效地利用 BIM-FIIM 平台

整合 BIM 模型。當 BIM-FIIM 平台接收到 Client 端所傳送的要求 (Request) 時, API 程式即可自動地依據要求內容對 BIM 模型進行資料擷取與分析, 再將執行結果回傳至 Client 端的系統中。

■ 展示層

展示應用程式的使用者介面, 並負責接收使用者的資料輸入及顯示 BIM 模型與其他應用資訊。BIM 應用軟體與 BIM 維護軟體的不同之處, 在於 BIM 應用軟體主要利用 BIM 模型進行各種應用, 如碰撞分析、4D 模擬、數量估算、模型整合及設備管理 … 等, 無模型建置的功能。因此, 作業人員可利用 BIM 應用軟體及 BIM-FIIM 平台簡易地存取 BIM 模型與平台資料庫之資訊, 進行各項應用作業。

透過以上之架構, BIM-FIIM 平台可在不影響主要 BIM 模型的前提下, 利用 API 程式將 BIM 應用模型物件資訊快速地與平台資料庫進行整合, 進而客製化許多應用之需求於平台中。此外, BIM-FIIM 平台資料庫更可與其他系統進行整合, 如網頁系統、行動裝置應用程式 … 等, 延伸 BIM-FIIM 平台的應用範圍。

在 BIM-FIIM 平台的架構中, 可能因系統環境的不同, 而影響整體系統開發內容。在開發系統前, 必須先行確立整體系統環境、開發語言及功能需求等內容。考量 BIM 模型圖形與資料龐大, 本文將 BIM 軟體分作兩大部分進行選用, 分別為 BIM 模型建置與 BIM 模型整合展示。在 BIM 模型建置的部分選用 Autodesk Revit; 而 BIM 模型整合展示則選用 Autodesk Navisworks。在此專案中, Navisworks 為 BIM-FIIM 平台展示 BIM 應用模型的核心。Navisworks 提供建築、工程和營造專業人員更精確控制專案結果, 並能夠整合大量的 BIM 模型, 使所有專案相關人員一同整合、共用和審核 BIM 模型及多種 3D 格式資料。提供一個有效的整合、分析和溝通工具, 協助專案團隊在施工或翻新之前, 更妥善協調各領域、解決衝突及規劃專案。因此, 在 BIM-FIIM 平台的開發架構中, BIM 維護軟體即為 Revit, 而 BIM 應用軟體即為 Navisworks, 進一步利用 Navisworks 的軟體開發工具 (Software Development

Kit, SDK) 開發 API 程式。

在 Navisworks API 的部分, 提供開發人員客製化及擴展 Navisworks 的功能, 其 API 共可分為兩種類型, 分別為 COM API 及 .NET API, 而兩種類型都是利用 .NET 程式語言進行開發, 必要時可同時整合兩種類型進行客製化程式開發。COM API 發展時間較 .NET API 早, 因此 COM API 涵蓋較完整的 Navisworks 功能, 但未來是否會繼續釋出新的 API 較不確定; 而 .NET API 為較新發展的 API, 其 API 程式結構比起 COM API 更為直覺, 且未來會持續更新 API 所涵蓋的功能。利用以上兩種類型的 API, 開發人員可開發自動化程式、外掛程式 (Plug-in) 及控制項程式。自動化程式可在不開啟 Navisworks 的狀況下, 利用 API 自動化存取 Navisworks 的模型資料; 外掛程式則必須要開啟 Navisworks 程式, 方能啟用外掛程式的擴展功能; 而控制項程式可藉由 ActiveX 或 .NET 控制項附加至其他的應用程式中, 例如視窗程式、網頁系統或 PowerPoint … 中, 透過程式開發進行客製化整合。在 Navisworks 的三種版本中, API 僅支援付費的 Manage 及 Simulate 版本, 而免費的版本並不支援 API 的開發功能。

確定 BIM-FIIM 平台之開發環境後, 本文將系統的使用者分為行動作業人員及辦公作業人員, 使用的電腦分別規劃為筆記型電腦及桌上型電腦。圖 3 說明系統開發工具與架構, 主要利用 VB.NET 程式語言與 Navisworks 所開放的 SDK 開發 BIM-FIIM 平台及 API 程式。BIM-FIIM 平台藉由 API 程式, 可讀取 BIM 模型中的物件資訊, 並透過 ADO.NET 連結至網路伺服器中的 SQL Server 資料庫, 將讀取之資訊存入相關資料表中; 反之, 亦可透過 ADO.NET 擷取 SQL Server 中的相關資訊, 展示於 BIM-FIIM 平台的介面上, 並可利用 API 程式快速控制 BIM 模型的視點, 提供使用者快速瀏覽及更新相關資訊。在檔案存取的部分, 所有的 BIM 應用模型皆儲存於伺服器中, 當使用者開啟 BIM 應用模型時,

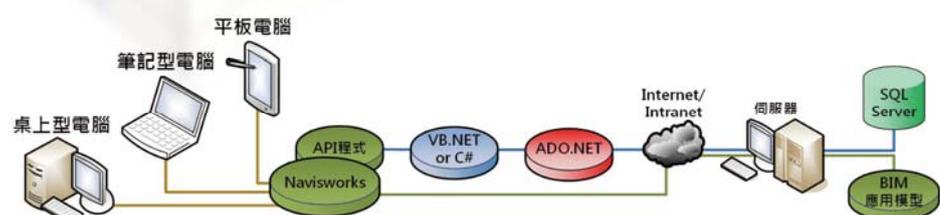


圖 3 系統開發工具與架構示意圖

BIM-FIIM 平台會自動將該模型下載至本地的電腦，進行後續應用作業。整體開發環境中，資料庫採用的工具為 Microsoft SQL Server；程式開發語言採用 VB.NET，並利用 Microsoft Visual Studio 作為開發工具。

當完成 BIM-FIIM 平台開發後，使用者仍利用 Navisworks 瀏覽 BIM 應用模型，但在增益集 (Plugin) 中掛載了開發完成的 BIM-FIIM 平台。BIM-FIIM 平台開啟後，在 Navisworks 軟體介面整合了 BIM-FIIM 平台，使用者除可利用 Navisworks 原有的功能 (如 BIM 模型整合、物件圖層控制、物件資訊查詢、4D 模擬、數量計算及碰撞分析 … 等) 之外，亦可透過 BIM-FIIM 平台，讀取平台資料庫資訊與文件，進而與 BIM 模型進行整合 (如圖 4 所示)。因此，未來可將日常巡檢管理、設備問題通報、維護工作及備品管理 … 等營運管理作業內容，依據需求客製化開發使用者介面，整合於 BIM-FIIM 平台中，充分利用 BIM 模型之特性，使其達到更高的應用效益。

平台管理平台建置

BIM-FIIM 平台雖提供使用者一個良好的 BIM 模型整合外部資料的方法，但最為重要的仍是應用作業的流程與內容，開發者方能利用該流程與內容，進行客製化的使用者介面開發。本文以日常設備巡檢作業作為應用目標，以該作業之流程與需求，介紹 BIM-FIIM 平台的應用介面與使用流程。在應用介面的部分，依據日常設備巡檢作業，本文規劃以回報設備問題、讀取設備檔案文件及查閱設備歷史資料等需求，開發應用介面於 BIM-FIIM 平台中 (如圖 5 所示)，其平台應用方法如下所述：



圖 4 BIM-FIIM 平台應用介面

■ 點選設備物件

當作業人員在巡檢的過程中，發現設備有異常的現象，即可於 BIM 模型搜尋該設備位置，並點選設備物件。當點選設備物件時，Navisworks 將自動呈現設備物件之資訊，但若僅依據 Navisworks 的功能，作業人員並無法查閱更細部的設備資訊，例如設備通報紀錄、設備相關文件檔案 … 等，故需利用 BIM-FIIM 平台進行後續作業應用。

■ 取得設備資料

開啟 BIM-FIIM 平台後，作業人員可在平台介面上擷取設備資料。當作業人員按下擷取設備資料按鈕時，平台會自動透過 API 程式擷取使用者所點選的設備物件資料，進而自動寫入平台中。當平台取得設備物件編號後，即可依據編號至平台資料庫中，取得相關細部資料，如相關檔案及歷史資料等。

■ 查看相關檔案

在相關檔案的頁籤中，作業人員可查看該設備之相關文件檔案，如設備維修手冊。若作業人員欲加入相關文件至該設備中，亦可利用此頁籤之介面進行文件上傳作業，上傳完成的文件將被儲存至網路伺服器中，其他作業人員亦可利用 BIM-FIIM 平台查閱該上傳之文件。

■ 查看歷史紀錄

在傳統的紙本作業中，作業人員若欲查閱該設備的歷史維護資料，常需耗費許多時間翻閱紙本文件。整合了 BIM-FIIM 平台後，作業人員可在歷史紀錄頁籤中，快速查看該設備之歷史回報紀錄及處理狀態，進而瞭解該設備在先前維護的狀況，進而判斷設備異常的可能性。

■ 選擇回報問題

在回報狀態的頁籤中，本文考量巡檢作業為一種移動性的作業，作業人員若需要輸入許多文字敘述方能完成回報動作，則需耗費大量的時間在資料輸入。因此，在此頁籤的表單介面中，大部分的資料欄位皆由系統自動輸入，例如設備編號、檢查人員及回報時間，而作業人員僅需利用下拉式選單選擇設備狀況，即可將設備問題回報於平台資料庫中，節省資料輸入所耗費之時間。



圖 5 BIM-FIIM 平台介面

重複以上作業流程，巡檢作業人員可藉由 BIM-FIIM 平台及 BIM 模型快速地進行巡檢作業，並簡易地將巡檢作業結果與 BIM 模型物件進行整合。本文在上述所提出之作業流程，僅針對巡檢作業進行探討。不過，在其他應用作業中，只要作業人員清楚地了解該作業流程與內容，亦能提出給平台開發者，客製化開發與 BIM 模型整合的作業介面，使 BIM 模型充分利用至其他作業流程中。

建立「整合 BIM 技術應用平台」

在營運維護階段中，許多維護作業內容會因企業或公司的作業流程而有所不同，但現行常見的 BIM 應用軟體中，其功能大多是針對大多數人的需求所開發，並未針對單一客戶進行開發，因此有許多功能並非使用者所需要，或是尚未提供使用者需求之功能。若要充分應用 BIM 模型在營運維護作業上，則必須依據使用者需求客製化開發系統，延伸 BIM 模型的應用層面。BIM 資訊整合與管理平台即為一個客製化的系統，提供使用者將特定作業之需求及流程，開發作業介面至該平台中，進而以 BIM 模型為基礎，進行各項應用作業。本文介紹 BIM 資訊整合與管理平台之系統架構、開發內容及應用方式，提供開發者在整合 BIM 技術應用時之參考。

BIM-FIIM 平台的開發，主要為了彌補 BIM 應用軟體在功能上的不足，但仍是以 BIM 應用軟體為核心，因此在開發 BIM-FIIM 平台時，BIM 應用軟體的選擇會影響整體平台的實用性及可行性。本文選用之 BIM 應用軟體為 Navisworks，其最大的優點在於能夠整合大量的 BIM 模型，並提供完整的軟體開發工具，因此相當適合作為 BIM-FIIM 平台的開發基礎。在客製化的 BIM-FIIM 平台協助下，作業人員可利用 BIM 模型進行各項應用作業，例如本文在平台應用方法中所介紹的案例。然而雖 BIM-FIIM 平台可整合 BIM 模型進行相關應用，但並非一味地將所有作業流程整合至 BIM-FIIM 平台中，應適度地利用其他系統進行前置或後續作業應用，如利用網頁系統讀取 BIM-FIIM 平台所回報的異常資料，再進行後續的派工作業，方能使整體作業流程發揮較佳的效率。

參考文獻

1. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Liston Kathleen, (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
2. 王昌昀、蘇瑞育、蔣定棟，BIM 於捷運車站生命週期應用，捷運技術半年刊，Vol. 94，2012，pp.15-22。
3. Becerik-Gerber, B.; Jazizadeh, F.; Li, N.; Calis, G. (2012). "Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management." J. Constr. Eng. Manage., 138(3), 431-442.
4. Lucas, J.; Bulbul, T.; Thabet, W.; Anumba, C. (2013). "Case Analysis to Identify Information Links between Facility Management and Healthcare Delivery Information in a Hospital Setting." J. Archit. Eng., 19(2), 134-145.
5. Davies R.; Harty C. (2013). "Implementing 'Site BIM': A Case Study of ICT Innovation on a Large Hospital Project." Automation in Construction, 30, 15-24.
6. Marzouk M.; Abdelaty A. (2014). "BIM-based Framework for Managing Performance of Subway Stations." Automation in Construction, 41, 70-77.
7. Motamedi, A.; Hammad A.; Asen Y. (2014) "Knowledge-assisted BIM-based Visual Analytics for Failure Root Cause Detection in Facilities Management." Automation in Construction, 43, 73-83.



BIM於建物全生命週期各階段

之導入與應用

康思敏／亞新工程顧問股份有限公司BIM管理及工程整合中心經理

莫仁維／亞新工程顧問股份有限公司副總經理

曾雅愉／亞新工程顧問股份有限公司工程師

BIM 資訊模型 (Building Information Modeling) 其中包含物件訊息，可應用於支持管理上或營建上的決策，模型於建築物的生命週期中，由各專業領域的設計者陸續提供相關的資料與專業知識，並整合儲存於一個立體的模型內，相對地，各領域的人員亦可由該模型中獲取所需處理的資料，達到資料共享與資訊再利用的目的。此篇以亞新工程顧問股份有限公司執行的實際案例說明 BIM 可應用層面，由最早的概念階段、細部設計、施工營造、後續的資產管理，以及到最終拆遷階段。

隨著 BIM 技術的興起，顛覆了傳統土木業界的作業流程與方式，也為土木建築等相關產業注入更有效益與提升整體品質之精神，BIM 技術之應用賦予建築物全生命週期各階段不同意義，於各階段導入 BIM 技術之成效與優勢亦不同，模型持續所累積的龐大資訊量，除了於前期協助設計單位設計發想與可行性檢討，更可輔助提供營造單位相關 BIM 資訊及精確施工，於後期模型則可轉化為營運管理運用，後續邊際效益應用發展意義深遠。

算，所含帶的資訊遠優越於傳統的圖紙訊息。BIM 於建物全生命週期 (詳圖 1) 各階段之導入與應用如下列：

■ 規劃階段：即時分析

(1) 量體研究 (2) 方案分析 (3) 日照分析 (4) 風場分析 (5) 熱能分析 (6) 功能面積研究 (7) 初步預算 (8) 結構分析與設計 (9) 落實設計

■ 設計階段：量身訂做

(1) 設計碰撞檢測 (2) 結構計算 (3) 視圖渲染 (4) 面積計算 (5) 法規檢討 (6) 系統整合 (7) 團隊協同作業 (8) 產出設計圖說

■ 施工階段：數量精算

(1) 施工中衝突檢討 (2) 數量精算 (3) 建材分類 (4) 施工排序 (5) 進度排程模擬 (6) 建材輸送 (7) 設計變更 (8) 成本分析 (9) 價值工程 (10) 工地管理

■ 營運管理階段：節約開支

(1) 整合的單一電子檔管理 (2) 動線分析 (3) 能耗優化 (4) 空間管理 (5) 設備管理 (6) 翻新與升級 (7) 全生命週期預算

BIM 階段應用與效益

以往建築設計主要是根據 2D 平面圖來建構建築的樣貌與細節，BIM 資訊模型除了 3D (X, Y 和 Z) 的空間尺寸外，多元的視覺化資訊使應用層面較 2D 更為寬廣，除了便利研讀設計，亦可有效檢討介面衝突，另外加入 4D 時間的推演，及 5D 的成本推



圖 1 BIM 於建物全生命週期

亞新工程顧問股份有限公司於上述四階段應用，在台灣與海外均有成功 BIM 實際案例，且成果良效，除了改善既有工程重覆與複雜之整合流程，更對既有工程技術問題與管理層面上，提供不同的解決方案，使業主能對 BIM 有更深入的應用，同時也創新管理方式，以下將以實際案例分析說明。

BIM 應用案例說明一： 成功大學生物科技大樓新建工程設計

本大樓從設計階段即導入 BIM 技術，應用 BIM 技術整合各單位專業，從設計初步定案策略及空間量化整合；結合模型拋轉分析進行結構設計工作；產生設計圖以及其他相關明細資料；延伸應用於檢核預算成本交付建築設計單位整合。本案自規劃階段，於基地環境分析，利用 BIM 技術作為設計成果驗證檢討工具，並預計延伸應用至細部設計作業結束為止，其中 BIM 應用成果如下：

■ 加速初步設計定案

由於 BIM 模型於初期階段應用上，基本的量體就可以與基地環境進行資料分析交換與互動反應。從各種的條件下，包括日照、風場甚至單一空間如響度等，在三維的環境下，以質化方式做有效的參考與決

策的提醒（詳圖 2），有效的讓團隊於專案執行上也更加深入，例如從面風問題、西曬的解決、景觀上對應的陰影環境以及展演空間上有效聲響應用。

■ 設計作業整合應用

設計作業整合上，須先從前端業主與使用單位的需求進行整合工作，因此，在建築專業設計內容的整合外，亦透過 BIM 整合結構與機電模型，避免相關碰撞問題產生，讓成果達到一致性。此外，BIM 資料匯出的功能，可以快速的讓設計成果以數值化的方式清楚的呈現，並立即與實際的規範或需求資料做完整比對，讓設計作業成果更具體。

圖說資料的匯出應用，也是 BIM 於設計技術導入的重點之一。應用 BIM 協助設計者整合各階段圖面，如專業圖說套繪一致性、特殊剖面、以及快速產出參考等應用，均大幅度提升執行資訊的正確性。同時於結構設計上，更解決傳統之軟體不連通性，利用模型可從結構荷載、程式分析、設計圖說產出至預算的部分，將相關工作流程資訊平行化，使環節連繫，並應用連動更新之特性（詳圖 3）節省重覆性的工作。

不規則形狀之建築物，利用 BIM 軟體強大的空間座標概念，於空間中非常容易控制點位，在操作上做

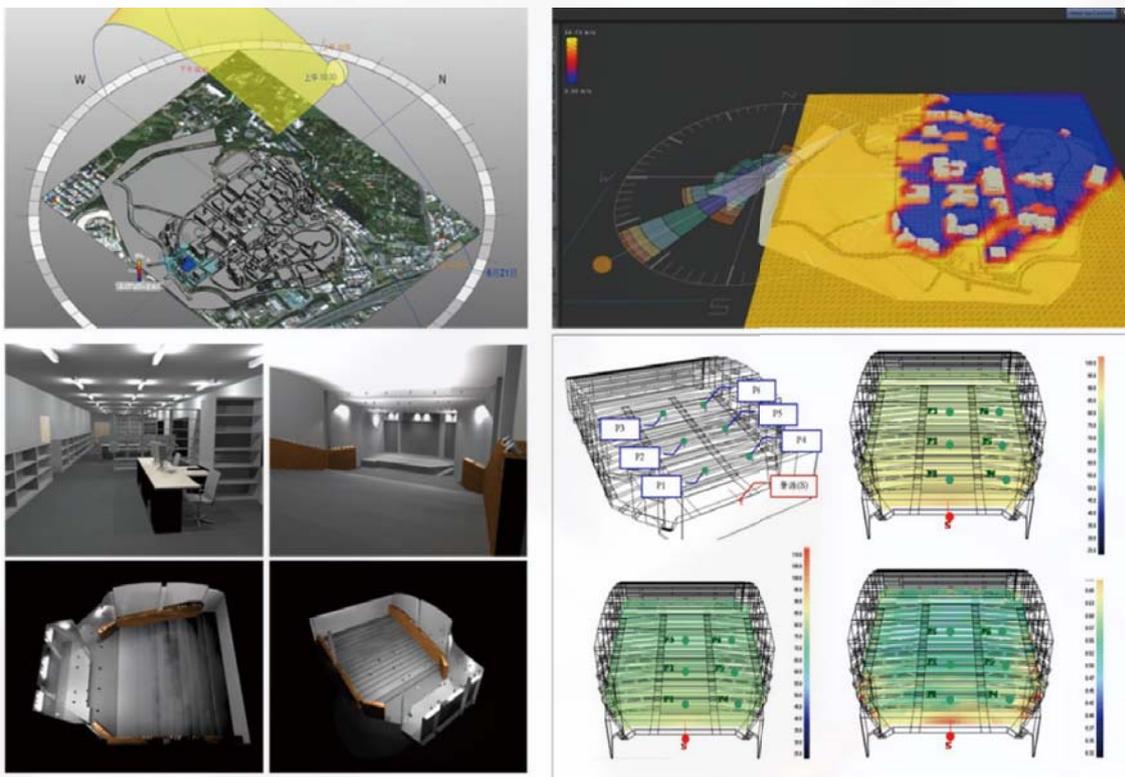


圖 2 環境模擬

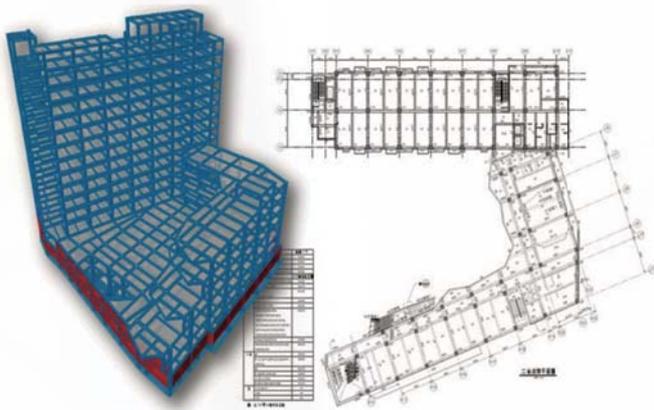


圖 3 結構模型與圖面連動

調整就可即時看出空間的合理性，將結構高程位置融合建築意象於三維空間中於定義出來。以本案為例，2樓到4樓連續兩個跨樓層且範圍不同的演講廳，以傳統方式2D平面圖難以呈現結構配置，也不易溝通，利用BIM結構資訊模型做為溝通平台，清楚於模型中展現結構走向，亦可切出關鍵點三個LINE線的2D設計圖說，供設計圖用（詳圖4、圖5）。

■ BIM 管理技術流程建立

本工程從圖紙管理、明細管理、族群管理以及資訊版次上的訂定，均透過BIM模型本身進行整合性管理，其相關的圖面呈現、報表格式、文件上的追蹤控管（詳圖6），以及設計內容的方案決選，也因為BIM技術的應用，而產生相對應新的工作流程規劃。

從設計階段導入BIM，獲得之效益不僅止於基本的應用行為，而是需要透過設計作業本身執行上的工作需求，以BIM模型現有的技術進行取代與突破。同時應用BIM模型整合的優點，統一資料的導入與產出管理，間接的獲得一個高品質的設計成果。

BIM 應用案例說明二： 高速鐵路彰化車站新建計畫工程管理

彰化站新建工程自設計規劃階段至施工階段導入BIM技術，並提供溝通平台有效統一及同步各專業版次圖說與資訊，統和各單位設計成果以及整合各專業介面提出介面疑義及釐清圖面不清之部分，大幅減少後期施工階段資訊落差、圖說標示不清與工程延宕之虞，整體提升設計成果及施工品質與時程控管，同時亦累積大量設計整合資訊（詳圖7），其BIM協助成果如下：

■ 規劃設計階段：設計整合

車站設計概念為呈現花卉綻放之優美姿態，然而花朵結構柱與建築裝修之曲率整合、機電管線之配管，以及整合建築裝修與機電，更為一大課題。此階段整合各專業花朵造型柱之設計成果，並針對設計需求及介面衝突問題，提出討論與解決方案，持續修正與檢討花朵柱之曲率，更確保造時效性介面整合。另外，因鋼構廠商因需預先製作花朵造型柱鋼構骨架，BIM模型亦產出剖面圖說及透視圖說提供鋼構廠商，以利兩者進行比對是否符合設計所需要之曲率。

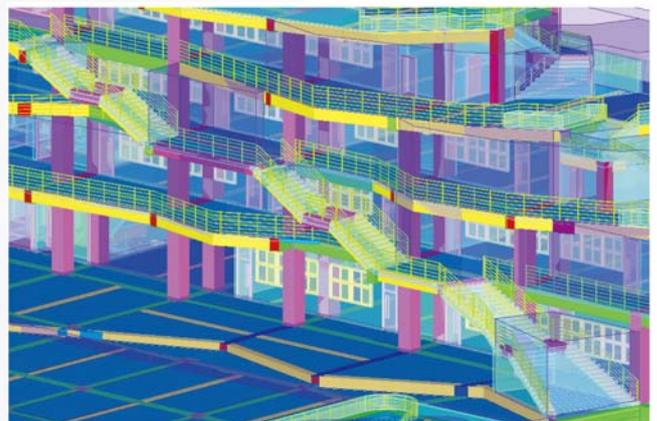


圖 5 結構梁配置採沿樓梯型式

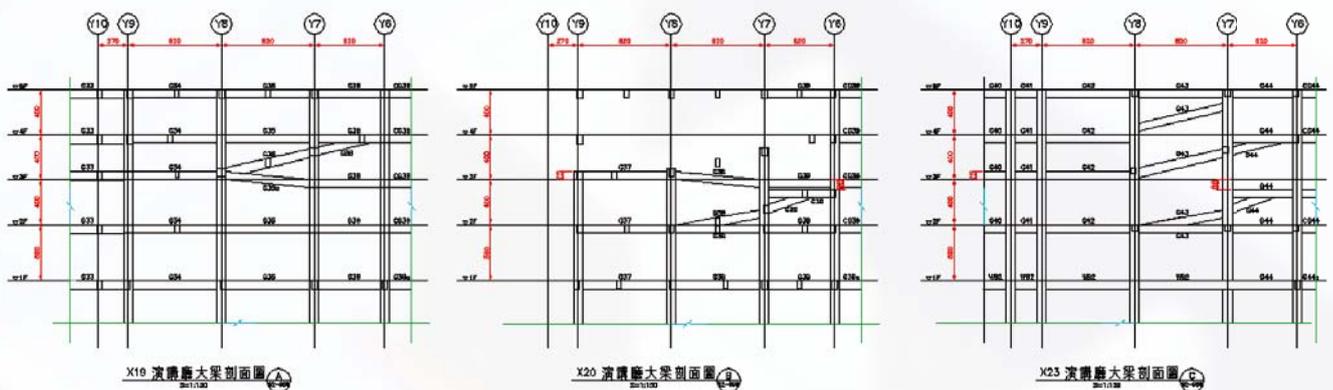


圖 4 結構設計定位圖面產出

零件清單清單
案號: 101
案名: _____ 日期: 08.04.2013

規格	材質	數量	長度(mm)	單面積(M2)	單重(Kgs)	總重(Kgs)
800*800	280	3	12000.0	39.68	18432	55296
800*800	280	8	8500.0	36.16	16128	130560
800*800	280	1	8000.0	34.56	15360	15360
800*800	280	1	6838.0	23.16	10503	10503
800*800	280	6	6000.0	29.44	12288	73728
800*800	280	1	5200.0	17.92	7987	7987
800*800	280	33	5000.0	17.28	7680	253440
800*800	280	1	4982.0	17.22	7652	7652
800*800	280	44	4200.0	14.72	6451	283853
800*800	280	248	4000.0	15.36	6144	1923072
800*800	280	28	3800.0	13.44	5837	163430
800*800	280	1	3463.7	12.35	5315	5315
800*800	280	2	3458.5	12.35	5312	10625
次加總: 1666827.8				391.01		3007188
900*600	280	1	8500.0	26.58	11016	11016
900*600	280	1	5000.0	16.08	6480	6480
900*600	280	1	4200.0	13.68	5443	5443
900*600	280	11	4000.0	13.08	5184	57024
900*600	280	1	3800.0	12.48	4925	4925
次加總: 65500.0				81.90		84888
總加總:				942.35		4744502.1

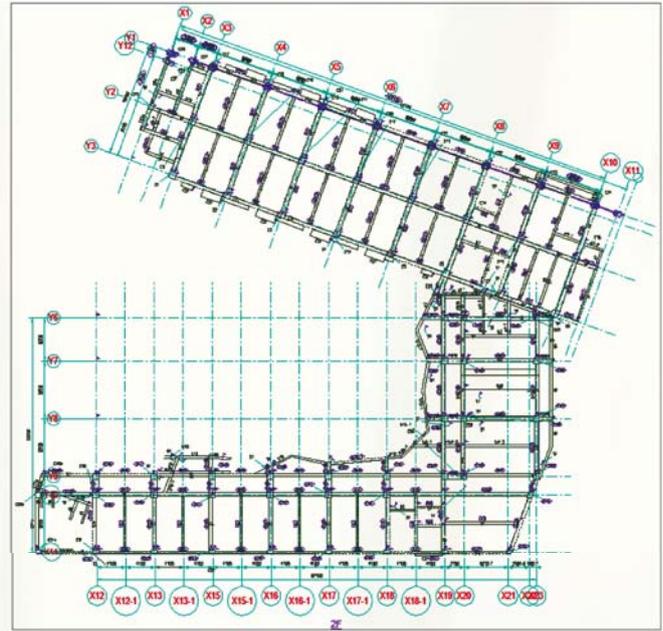


圖 6 BIM 明細管理

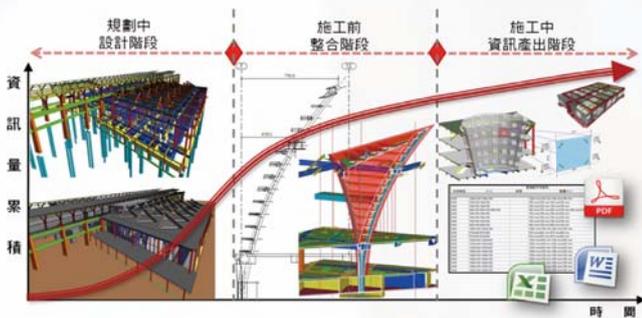


圖 7 建築物全生命週期與導入 BIM 技術流程圖

■ 施工中服務階段：最佳化施工

將核定凍結版 BIM 模型成果放置圖說資訊管理平台，供業主及相關單位運用及討論，並利用此圖說資訊管理平台與各專業施工廠商，針對重點區域研討施工期間可能面臨之問題。18 支花朵造型柱其中 6 支，坐落維修空間穿越穿堂層樓板（詳圖 8），BIM 協助檢討支撐當層樓板柱樑、預鑄花朵鋼柱銜接細部，以及預鑄鋼柱銜接混凝土材質樑之配筋檢討，此重點區域檢討可大幅減少施工期間設計變更之疑慮。

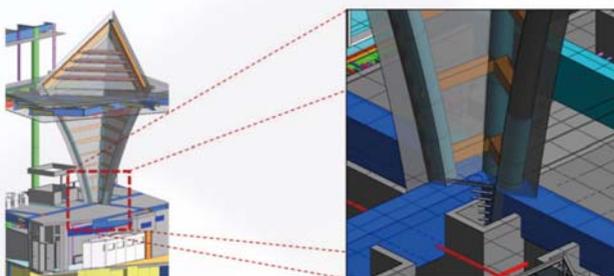


圖 8 花朵柱整合模型

另外，花朵柱排水管路系統透過三維空間視覺化介面，可清楚了解排水管線分佈方式（詳圖 9），協助業主與機電施工廠商溝通，了解管線節點高程是否過高或太低、排水管線與周遭物件之關係與淨空間，以及排水管線與陰井高程定位等疑義，減少施工錯誤之機率，與事前擬定解決方案。

■ 後續營運管理及邊際效益應用：提升營運品質

以竣工圖說調整 BIM 模型再深化為竣工 BIM 模型，以因應後期營運管理之使用流暢性與提高管理效率，須針業主營運模式了解需求，研討及管理階段所需監管及維修項目，置入必要資訊欄位於模型之機電設備及營運使用之設施等（EX. 驗票閘門、售票機等），由於設施設備、機電設備使用單位與維修監控單位不盡相同，故可客製化參數欄位（詳圖 10），有效管控設備之使用年限或維修時間等，同時藉由 BIM 模型產出明細報表（詳圖 11），統計與分析設備廠牌及各設施損壞率等資訊，俾利後期營運單位之使用性及便利性，整體提升後期營運維修管理之效率。

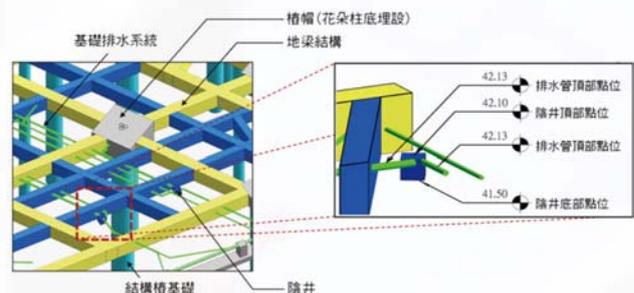


圖 9 樁基礎排水檢討圖

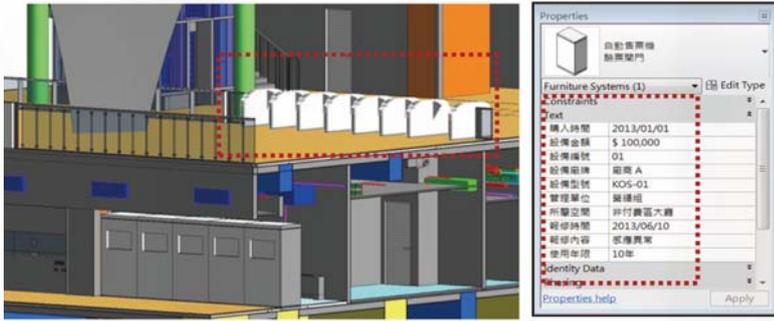


圖 10 營運及管理設施與設備置入資訊

Facilities Management Schedule							
物件名稱	設備廠牌	設備型號	購入時間	使用年限	設備金額	報修時間	報修內容
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000		
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000		
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000		
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000	2013/04/12	無法運作
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000		
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000		
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000		
無障礙驗票閘門	廠商 A	KOS-01	2013/01/01	10年	\$ 100,000	2013/06/10	無法運作
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000		
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000		
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000	2013/07/15	感應異常
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000		
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000		
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000		
驗票閘門	廠商 B	GAT-02	2013/01/01	8年	\$100,000		

圖 11 營運設施及設備資訊與報表產出

此計畫 BIM 模型除了工程運用，亦擴大之後的邊際效益，例如：高品質動畫產製、4D 施工模擬等，協助各專業及相關廠商透過三維視覺化溝通介面與平台，快速讀取與了解本案之內容，彰化站新建工程因為導入 BIM 技術，大幅提高整體工程效率、施工品質與精準度，促使新站如期如質如度完成。

BIM 應用案例說明三： 新北市立圖書館新建工程施工管理

本計畫因故設計階段並無導入 BIM，因此希望聚焦於施工階段之 BIM 實務應用，並藉由工作團隊互動與執行結果的回饋，修正模型以利後續應用，期能發揮最佳之功效。

BIM 3D 協同作業，其中包含工區動線規劃、數位化模擬建構等；有效提升施工整體之正確性、降低錯誤與重工等情形；控制材料數量避免資源浪費，並且實際在研究過程與現場作業成果進行比對與驗證，調整作業方式與相關檢討重點。

疑義澄清與檢討衝突

本案於建模期間，發現圖面疑義共 30 項，其中包含圖面尺寸有待釐清 18 項及圖面資料缺少 12 項；建模完成後，經整合各專業模型，所發現之衝突數量共

32 項，其中以軟體碰撞檢核為 23 項，另外以工程師判讀，可能造成之衝突為 9 項，皆與施工廠商進行討論，並以備忘錄形式提送衝突報表（詳圖 12），監造單位也以工務通知單通知結果作成紀錄，供後續施工時作為依據。

機電管線視覺化

運用機電管線視覺化，與承包商討論，從模型中探討各管線之相互關係，檢討相關衝突點，並直接於模型更改高程回饋於 2D 圖面，協助解決管線定義高程（詳圖 13）。

施工底圖產置

依據計設圖說模完成型後，配合施工承商，模型直接進行高程的調整，以不同角度及相關剖圖調整車道順暢度，調整完成後，檢討車道中心線之斜度符合法規的要求，並直接於模型產出車道版之各放樣點高程，再

依車道版推算出版下樑之相關高程，協助施工廠商產出施工圖（詳圖 14）。

混凝土數量比對

藉由模型中直接提取所需的混凝土數量，經整理與合約估算數量及實際數量做比對，如表 1 所示，得



圖 12 衝突紀錄表



圖 13 視覺化討論會議

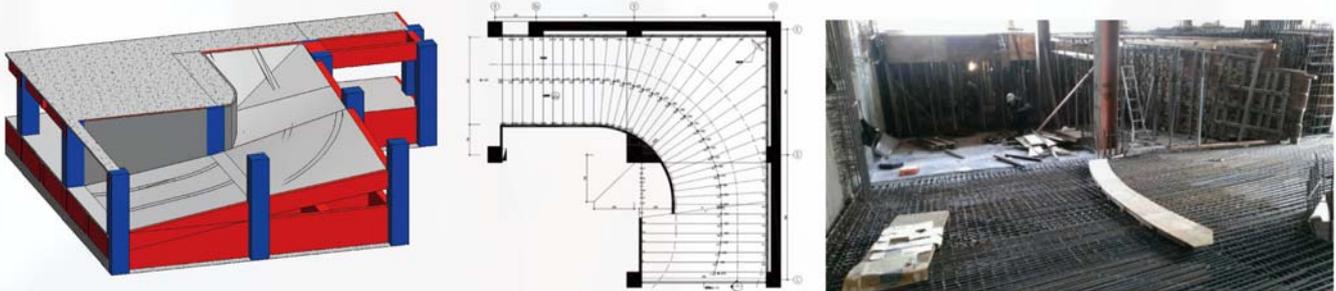


圖 14 模型修正產出放樣施工圖與現場施作

知在總量上相當接近，但因筏基部份因基坑等加深區造成坡度無法精準計算，而造成筏基部份總量有些微差異。若定義模型邊界以及所要提取數量的範圍，就能準確的從模型中提取混凝土數量，提供廠商於後須報價時，作為一個參考值。

表 1 混凝土數量比對表

單元	合約數量 (M ³)	BIM 數量 (M ³)	實際數量 (M ³)
筏基 PC 層 (140 kg/cm ² 混凝土)	338	335.7	378
筏基 FS 版、地樑、BS 版 (350 kg/cm ² 混凝土)	3906.57	3961.44	4098
B3F (350 kg/cm ² 混凝土)	1230.73	1232.33	1267

從施工階段導入 BIM 也能得到實質的效益，但並不會因為導入 BIM，就減少施工所需的程序，而是適時運用 BIM，能夠快速的得到所需的資訊，藉由持續的回饋更新資訊於模型內，才能後續得到更多及更有效的資訊。本計畫於施工階段導入 BIM，得到下列之相關效益：

(1) 於各階段施工前找出衝突點，並透過檢討流程與相關廠商討論解決釋疑，並完整將解決釋疑紀錄，有

效降低施工時因衝突而造成時間延滯。

- (2) 透過視覺化，可完整將管線之高程相對位置呈現於模型中，並直接於模型中調整，可降低錯誤產生。
- (3) 針對特定目標，與廠商直接運用模型討論，並利用 BIM 之優點，可更有效的將施工底圖產置。
- (4) 直接運用 BIM 模型產出混凝土數量，可代替傳統估算數量。

BIM 應用案例說明四： 學校 BIM-GIS 設施管理系統建置

本計畫亞新工程顧問以優越 BIM 技術與 GCC (Gulf Cooperation Council) 成員之一的國科會 GIS 小組合作，以實際兩所學校為例，將兩者技術成功整合，展現未來產物營運管理的新模式予教育部，以做為執行全國教育機構營運管理之可行性評估。

計畫內建置的國立學校均已施作完成並營運多年，此計劃以施工圖為基準，並結合營運管理之基本資料，客製化建立 BIM-FM 模型 (詳圖 15、16)，將模型由前端的 BIM 建置軟體轉化入簡易介面的營運管理軟體，以符合親合操作目標，同時依據學校特殊管

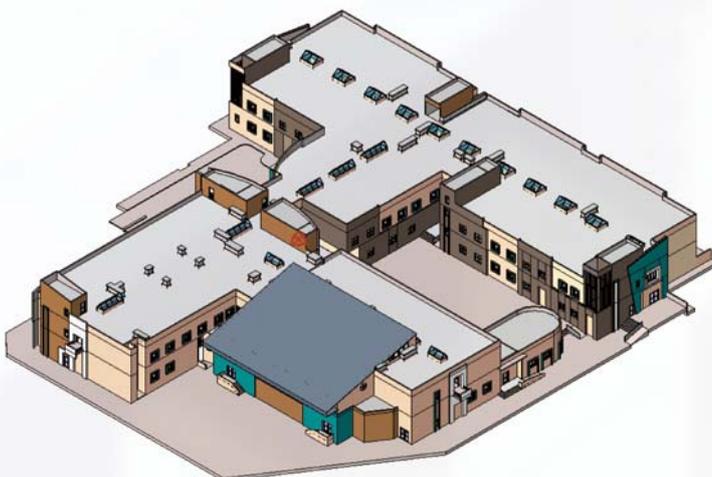


圖 15 BIM-FM 模型

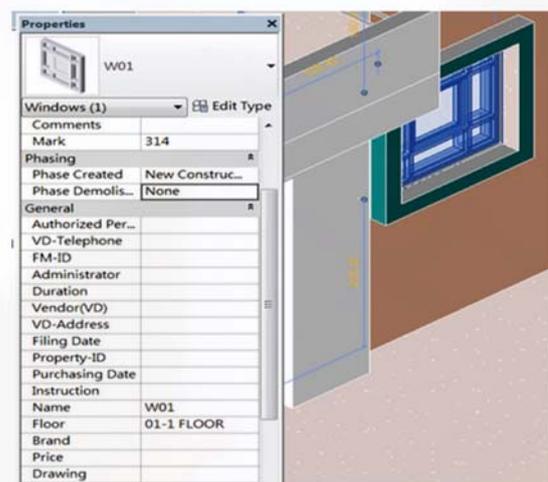


圖 16 植入客製化的營運資訊

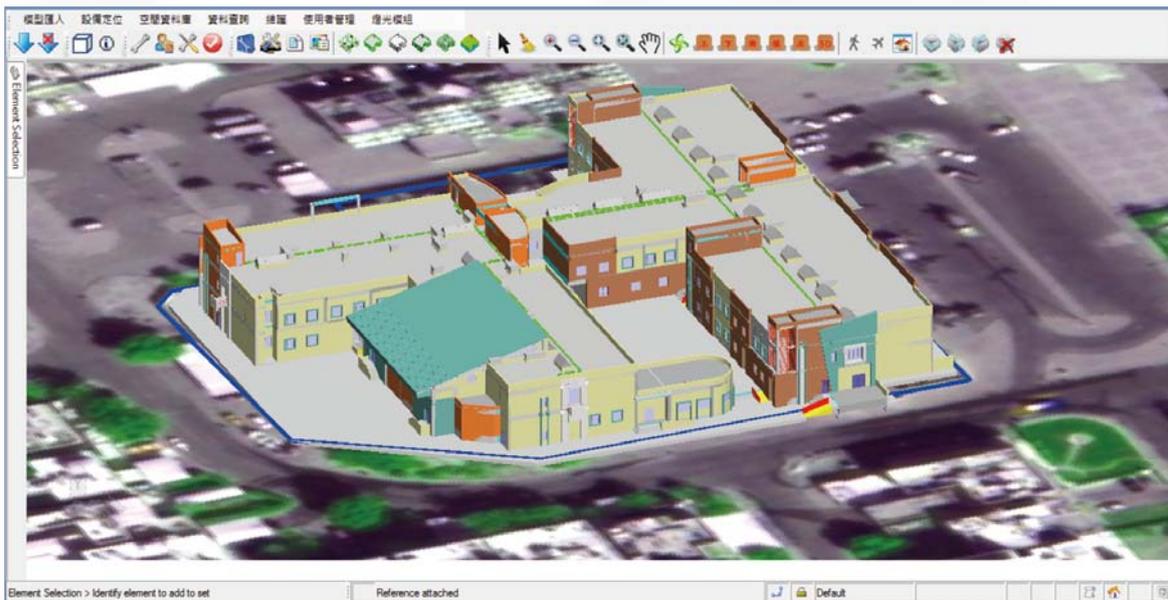


圖 17 BIM-FM 系統

理模式，制定 BIM-FM System 功能，如篩選區域或總類，產出設備報表、自動派工等。

■ 單一整合的 BIM-FM 模型效益

由於學校設施管理，人員與資訊常有接替的問題，造成管理方式與記錄無法延續，BIM-FM 單是將資料累積就已經有很大的助力，可掌握物件最新狀況，加上親合度良好的視覺化 3D 介面（詳圖 17），能簡易查閱設備所在，BIM 於學校設施管理的應用，於此專案所得到的效益如下：

- (1) 模型含有完整的工程圖說與資訊，可藉由點閱方式查詢設備的最新資料與歷史紀錄。
- (2) 3D 視覺化的溝通介面，使用介面親合度高，適合無工程背景人員操作。
- (3) 系統介面設計與資訊輸入格式一致化，資料傳遞無移轉問題，且不會因人而異。
- (4) 因為數位化，可以不斷更新資訊且連續紀錄，所累積的資料可進一步分析，成為決策依據，將資訊化 Information 為知識 Knowledge 與最後的關鍵專業 Decision。

■ 加速維修效率

學校的設施管理管，雖然規模不如私人企業來的繁瑣，但是由於學校人事組織，與設備總類多元，管理上仍有難度，加上需要因應氣候與自然災害，適時調整維護進度與頻率，在安排人員上需要高機動性人員配合，然而學校維護多數仰賴外來資源，自動化的

BIM-FM 系統，則可以於此條件下，利用系統自動報修、派工與回報結案的功能，加速完成修護，以降低對課程影響程度。

BIM 軟體隨著發展成熟將會更多元化，在設施管理亦是如此，未來在如何將前端模型檔案格式，銜接至 BIM-FM 系統內，中間的交換格式都須考量納入，BIM-FM 是將 BIM 之中的 I 延續 Information 資料傳遞，並取其轉出的資料作後續應用，所以系統除資料更新，日後的模型更新與設備位置調整，都需持續。

此專案執行成果良效，其中效益非僅只於該所學校，其後所累積的資訊與分析，將可推廣於其他學校，若是擴大與同區域資料整合，尤其是公立學校，甚至可達到人員共同派遣與備品共同採購等實質成效，藉以提升效率與節省支出。

BIM 執行層面

BIM 技術日益更新且可應用之層面廣泛，但是如何完成業主最初原始需求，則需要前期作業的溝通，使需求與服務相對等，有鑒於公共工程採用 BIM 技術增加，卻往往執行上產生過度萬能與理想化目標，導致 BIM 執行流於合約層面。BIM 可執行於很多階段，也能輔助工程順利進行，但是並非在一個階段完成所有工作，回歸 BIM，Modeling，模型本身就是漸進式增修，在不同階段完成不同目的；相對，既有的工作流程也須修正來配合新技術，這樣 BIM 才能真正完成建築全生命週期的使命。



以污水下水道工程為例

談2D進化至3D的電腦輔助設計應用

沈郁翔／台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部計畫工程師

賴鈺蓓、蘇毓誠／台灣世曦工程顧問股份有限公司BIM整合中心工程師

因污水下水道建設常以行政區域劃分建設工程範圍，幅員廣大，故相關設計工作所需資料分析、轉化及輸出圖說之作業人力需求高，不同設計服務階段業主、設計審查委員亦常有圖說表示、修正之要求，相關配合作業常需耗費大量工作人力。

目前設計作業模式係採用商用軟體 Microsoft Excel 進行水理分析及數量計算，採用 2D 的設計方法進行管線設計作業及設計圖輸出，惟兩者間常有頻繁之作業資料傳輸及轉換，以人力進行判讀、填入資料、修正及輸出，作業過程之反覆檢核工作負荷量高偶有疏漏情況，故考量導入新的 3D 視覺化工作方法，發展相關自動化設計程式應用及整合，降低資料處理所需人力、提高設計作業效率化，俾利進行設計作業精確度控管，提昇作業效能及成果品質。

本文將以污水下水道工程 3D 設計應用發展程序為例，淺談台灣世曦工程顧問股份有限公司（以下簡稱台灣世曦）在土建工程設計專業上導入 3D 視覺化應用之實作經驗，藉由地形高程、人孔結構物、污水管佈設、水理分析、平縱面圖繪製及報表輸出之資料整合及程式自動化串接，簡介說明工程設計導入視覺化 3D 新技術的潛能與效益。

從 2D 到 3D，縮短工程設計週期

目前業界一般還是習慣使用傳統 2D 軟體繪圖作為設計溝通工具，用 2D 視圖去表達工程 3D 實體的設計資訊有其先天上之侷限，2D 圖檔係以圖層、線條或註記方式去描述設計資訊，無法自動辨識空間的相對位置。2D 圖不具備物件化的參數構件，不利物件判別及其對應屬性參數之連結應用，需要多張圖紙方能完整表

達一份設計方案，設計者需要花費相當多的人力與時間在避免設計資料衝突發生，且在面對設計變更時容易有圖面資訊不一致情事發生。3D 設計藉由視覺化模型及參數的導入與歸納，將設計項目具體形像化後，所有的設計單元都會成為具體的物件。不論是牆面、梁柱，或是污水下水道管網的管件、人孔設施，不再是由工程師自行繪製組成，而是直接以物件概念進行設計配置。一旦模型有了變更，便能快速同步化製作圖紙以反應更新內容，達到資料的一致性，可有效解決上述 2D 設計的問題與限制。

3D 為土木工程設計，提供了更完善的方法。將耗時的工作自動化，有助於精簡設計工作流程。提供設計工程師以規則為主的工具來配置或是變更污水下水道管流網路與結構設施，在平面、縱斷面或橫斷面視圖中完成最後管流網路製圖並進行出圖，還可與外部分析應用程式共用管流網路資訊，如管線衝突或干涉檢查。設計過程中的製圖與註解變更，都會自動反應在模型中，並能快速有效率產生視覺效果。不但有助於縮短設計、分析與執行變更所需的時間。工程師也可有多餘裕時間去評估更多假設情景及進行最佳化方案的設計。

3D 技術導入之前置作業

以 3D 設計工具從事工程設計時比原慣用的 2D CAD 作業，初期會感到費時費力，尤其在適應新軟體時，但熟悉軟體操作後，才會深刻感覺節省時間與人工的成效，設計單位初期導入 3D 設計作業環境，首先最重要的，就是慎重選擇適合自己的軟體工具，並建立符合國內工程專業規範及作業習慣之元件資料庫，並依需求客製開發可輔助設計自動化作業及資料

整合交換的應用程式，以降低設計人員對於接受新工具之學習門檻。現行污水下水道設計作業多數仍採用 AutoCAD 繪圖工具進行 2D 圖面繪製工作，本公司評估與既有 2D 繪圖作業環境的資料可互通性，同時考量自主應用彈性及未來發展性，選用 Civil 3D 作為本次污水下水道 3D 設計之實作工具。評估工具時，主要考量的課題包括：

■ 資料結構性

- (1) Civil 3D 為 AutoCAD 3D 延伸發展工具，除與原有 2D 圖面可完全相容，另具備管網佈設功能，繪圖元件已具物件概念，不再僅為點及線段組合。
- (2) Civil 3D 管網圖元已具備幾何屬性，同時透過地形資料匯入，亦可快速取得高程及位置資訊，圖元資料組成具結構性。

■ 軟體穩定度

- (1) Civil 3D 為 AutoCAD 進階發展模型工具，AutoCAD 於 2D 繪圖軟體維護階段即已持續測試發展，直至今日已為穩定且適用之 3D 設計環境。
- (2) Civil 3D 工具中提供有屬性資料編輯管理及報表產生工具。透過程式開發延伸應用介面，可提昇客製外掛程式之穩定性。

■ 延伸發展性

- (1) 台灣世曦公司為加速 3D CAD / BIM 先進工程技術的普及應用，透過實作計畫有系統的舉辦 Civil 3D 軟體使用培訓課程，本公司土木設計部門工程師對於 Civil 3D 軟體應用有較高的熟悉度及較多的實作經驗。
- (2) Civil 3D 為 AutoCAD 進階發展模型工具，除既有之 objectARX，另提供 COM 及 .NET API 元件以供使用者可按應用需要自行做輔助介面程式的客製開發，且國內代理商也可提供足夠的技術支援。



圖 1 3D 設計工具選用評估原則

無縫接軌的導入流程

導入方法及步驟

由 2D 思維進入到 3D 設計程序，除空間概念上須有所改變，熟悉新的設計工具及作業流程，對於設計人員也是一大挑戰。本公司在導入的過程中除透過專業顧問團隊輔導實作及培訓課程，並由設計專業工程師研提參與實作的專案及作業項目，透過重新檢視作業流程，搭配開發切合實用的輔助設計介面程式，使工程師能透過專案實作快速上手 3D 設計技術。以下說明本公司實作計畫分階段導入的重點工作。（如圖 2 所示）

(1) 設計作業流程分析

完整分析污水下水道設計工作流程，彙整各階段作業重點及應用輔助軟體，針對現有工具無法立即支援的功能需求，搭配開發外掛輔助介面程式以供導入應用。

(2) 基礎環境評估選用

評估污水下水道設計專業需求屬性，同時考量未來延伸發展彈性，選擇適當之繪圖軟體為基礎環境，並透過輔助介面程式之開發，進以提升 3D 設計技術之快速導入。

(3) 程式操作介面設計

藉由彙整污水下水道分階段的工作要項，逐項釐清設計所需輔助應用功能，透過系統分析將各項操作介面需求轉化為具體設計文件，據以進行程式開發工作。

(4) 實作訓練案例驗證

透過訓練課程以利設計人員熟悉 3D 繪圖軟體操作，同時完成輔助介面程式開發，提供設計人員可直接以實際案例進行操作，並於實作計畫完成驗證後，辦理工作成果檢討會議及教育訓練課程，以利經驗交流與傳承。



圖 2 分階段建構工程設計 3D 化的作業環境

設計作業流程分析

為因應污水下水道工程設計作業特性（工程範圍大、環境背景資料量多）及限制條件（作業期程短、人力有限），避免量多且雜之資料輸出入及處理作業過程產生錯誤，所客製開發的 3D 設計輔助介面程式能與工程設計之實際作業流程相結合實屬必需，彙整本公司污水下水道設計作業重點流程，如圖 5 所示，分項說明如後。

(1) 配置管網

- A. 既有作業流程自污水水系最下游界面人孔為起點，由下往上循線繪製主線人孔（如圖 3），選用已建立的管線及設施 3D 物件，以管網建立的操作概念進行佈設。
- B. 污水下水道主線人孔佈設後，再進行分支人孔之佈設。並透過管網屬性及編碼識別，完成分支管網的佈設。

C. 污水下水道支管網埋設方式是採推進方式施工，每一個推進段皆有發進井及到達井，而工作井係指埋設人孔前的擋土設施，需預先規劃並建立於人孔設施的屬性中。

(2) 集污區面積分配

A. 集污區域之劃分

(A) 污水下水道工程施作範圍主要位於都市計畫區內，而都市計畫區內有住宅區、商業區、工業區、機關學校及公園綠地等不同的土地使用分區，不同使用分區單位面積所產生的污水量各不相同，因此佈設於不同土地使用分區的污水人孔所收納之污水量也各不相同。

(B) 本階段的作業重點是套疊都市計畫圖後，先劃定每個土地使用分區的集污範圍線，再將集污面積指定至人孔作業。（如圖 4 所示）

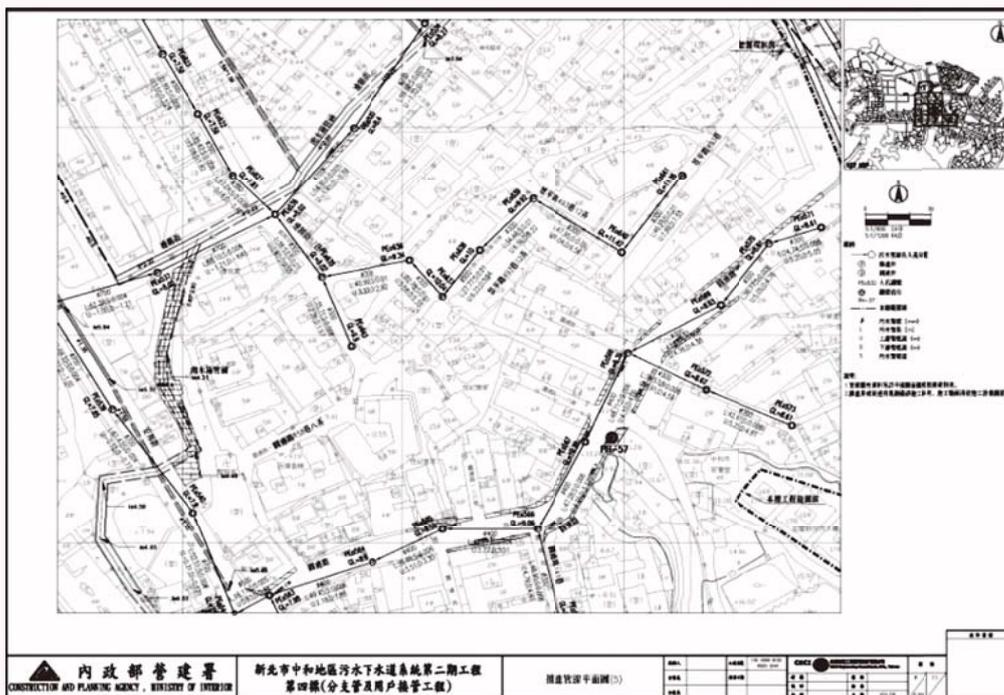


圖 3 污水下水道管線設計平面圖示例



圖 4 污水下水道集污面積配置圖例

B. 將集污面積指定至人孔

- (A) 土地使用分區範圍線係位於道路以外之區域，而人孔位置則位於道路區域，故依據污水收集路徑，一個人孔可能同時分配來自兩個以上不同的土地使用分區，應分別記錄源自不同使用分區所配置的面積。
- (B) 單一人孔也可能收集源自同一種使用分區（如住商區）內的多塊區域（範圍）之面積，應加總後計算人孔配置的總面積。
- (C) 同一個區塊面積也可能分配給多個人孔，透過權重設定方式將集污面積作加權計算及分配。

(3) 環境資料輸入

- A. 環境資料是人孔的基本屬性資料，包括地面高程、道路形式（道路或人行道）、道路寬度、施工影響鄰近房屋棟戶數及路口 AC 加鋪面積等。
- B. 工程師需依據工作井開挖影響範圍，判讀施工前建物調查基準線，並記錄每個人孔的設施影響建物棟戶數。
- C. 環境資料主要是供水理分析判斷使用，早期多為工程師以目視平面圖方式手動輸入屬性資料，有了 3D 設計物件後，就可透過輔助介面程式由圖面中自動讀取建立相關參數資料。

(4) 產出支管配置平剖面圖

- A. 將完成水理分析的人孔、管線及環境資料，繪製符合業主要求格式的平面圖及縱斷面圖。
- B. 預先製作圖面輸出格式樣版，包括常用圖元屬性、排列方式、圖框範圍切分、流向標示及顏色設定，降低手動調整圖面顯示所需耗費之人力。

(5) 配置用戶連接管網

- A. 用戶接管設施需標註特定代碼，連結下游端之支管人孔編號，以利識別同一水系之用戶接管管線，以供水理分析時使用。
- B. 整理水理分析表時，流水碼較大者

置於上游端，以利符合重力管線高程規劃由高往低排列原則及水理分析運算所需格式。

- C. 位於道路位置的設施形式可能為陰井或 E 型人孔。位於後巷位置，設施形式通常為配管箱，工程師可透過輔助介面程式選擇相對應的設施結構物件進行佈設。

(6) 設計成果及環境資料匯出

- A. 完成用戶接管設計圖面作業成果及屬性資料（如人孔的地面高程、管底高程、管徑及坡度）與環境資料（如道路寬度、道路形式等）設定後，可自動產生用戶接管水理分析表。
- B. 工程師也可編輯水理分析表，將修正資訊同步回饋至設計圖面中。藉由輔助介面程式進行設計成果資料版本的差異比較及管理。

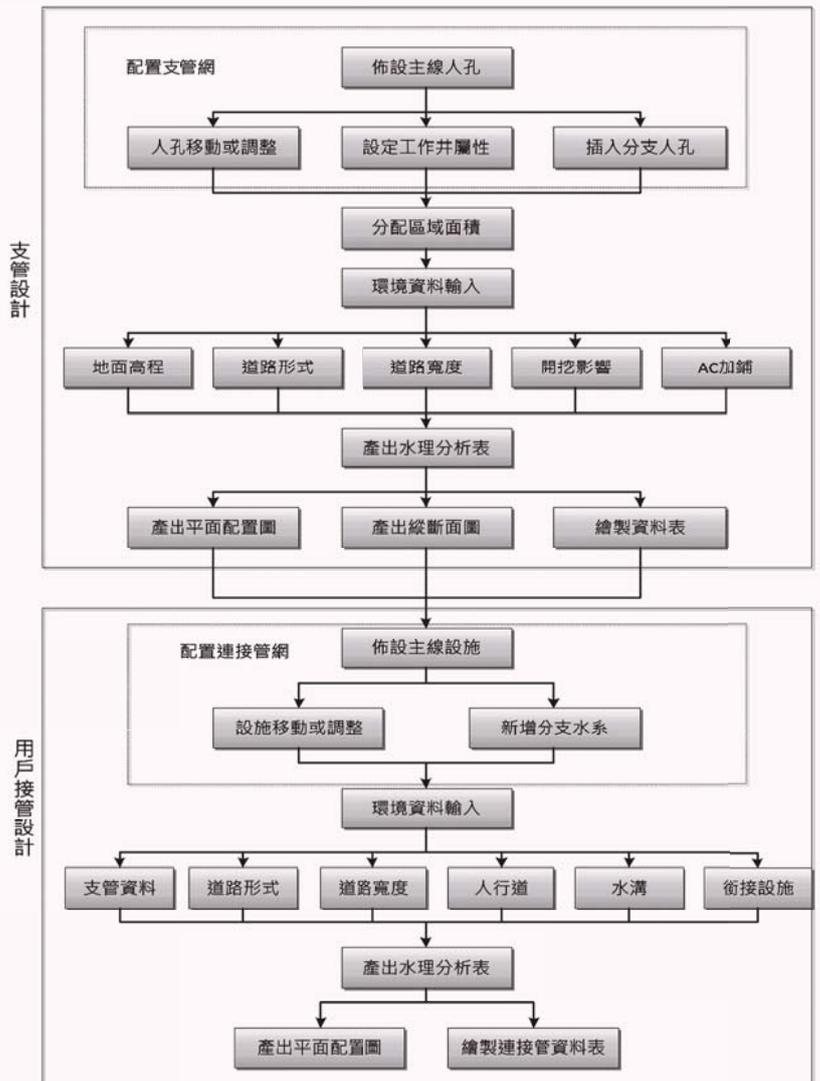


圖 5 污水下水道設計作業流程圖

污水下水道設計輔助介面程式開發

雖然 Civil 3D 軟體已具備許多土木工程設計輔助功能，然與達成污水下水道設計流程全自動化作業仍有許多瓶頸，如水理分析軟體與 Civil 3D 圖面資料之互通整合界面及有助提升操作便利性的客製需求功能等，則需由本公司資訊人員協助以 C#.NET 程式結合 Civil 3D 的 API 套件另進行客製程式開發。為確保輔助設計程式能切合實用，本公司資訊開發團隊與工程設計專業人員多次討論，研討適合污水下水道設計應用的 API 程式研發項目及資料整合需求，圖 6 所示即為污水下水道設計輔助介面程式客製開發的功能架構，擇要說明如後：

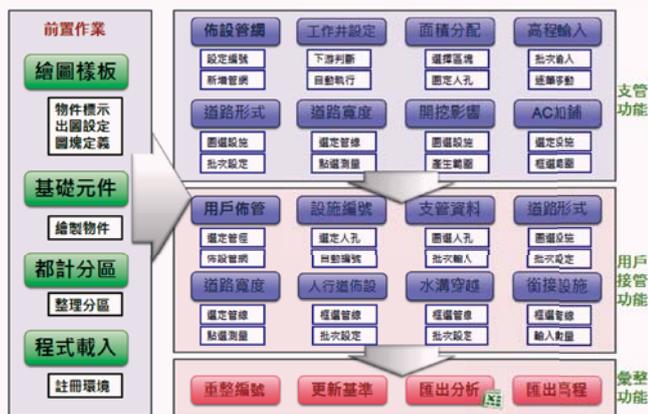


圖 6 輔助介面客製程式功能架構

佈設管網輔助功能模組

- (1) 透過 NETLOAD 指令載入程式啟動 Civil 3D 管網建立工具（如圖 7 所示）。導引使用者自下游往上游完成管網建置作業，如需於既有管網插入新增人孔，Civil 3D 會自動將原管線斷開，使用者再加設上游段標示設定。
- (2) 插入新增人孔無須手動調整編碼序列，執行 [重編人孔編號] 功能，輔助介面程式將依據規則重新編製整體圖面的人孔編碼序號。

輸入高程輔助功能模組

- (1) 污水下水道設計人員反應，已慣於直接目視讀取 2D 平面圖上標示之高程文字方塊以輸入高程資料，故輔助介面程式另提供地面高程批次輸入功能，框選人孔範圍，即可開啟框選範圍內之人孔列表清單，方便輸入其高程資料。

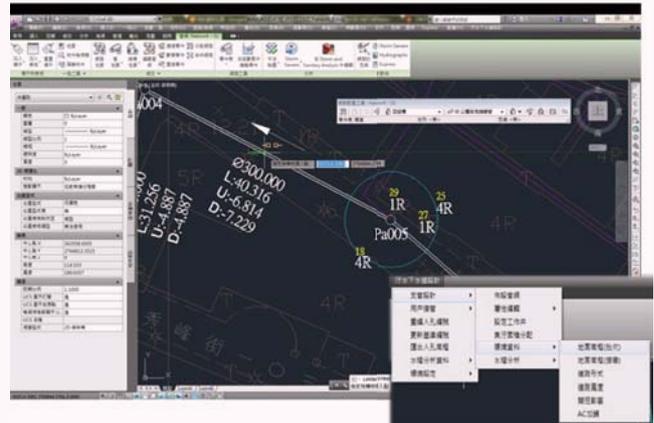


圖 7 佈設管網輔助功能操作畫面

- (2) 逐筆輸入功能則是透過圖元巡覽機制，啟動地面高程（搜尋）功能（如圖 8 所示），由程式自動搜尋圖面尚未輸入高程之人孔，並將畫面中心移動至該人孔，設計人員可直接輸入高程值按 Enter，游標自動移至待輸入高程值之下一個人孔點位置。
- (3) 透過輔助介面程式輸入的人孔高程資料，也可反饋建立 Civil 3D 地形模型，以供剖面圖之繪製使用。

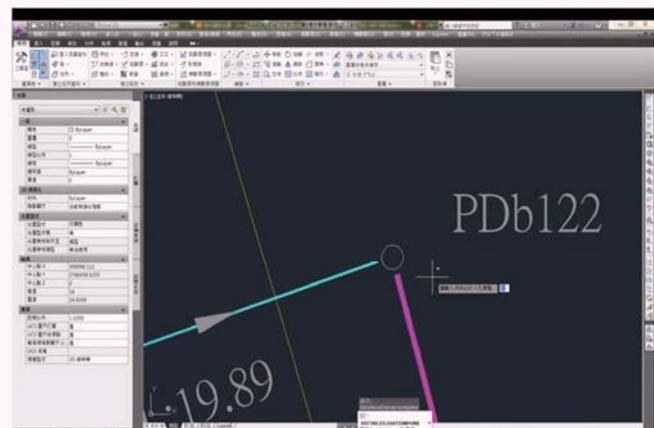


圖 8 巡覽輸入高程資料操作畫面

集污面積分配輔助功能模組

- (1) 進行集污面積分配，使用者須先針對不同使用分區建立不同圖層，面積分配完成後，介面程式將依圖層屬性匯出至水理分析表。
- (2) 使用者須先指定待分配區塊，並框選分配人孔範圍。（如圖 9 所示），於分配畫面輸入各人孔之分配權重，試算配置面積後存入設施屬性欄位。

開挖影響範圍輔助功能模組

- (1) 開挖影響範圍設定功能使用前，須由調查單位將現地盤查資料建立為特定圖層資料。

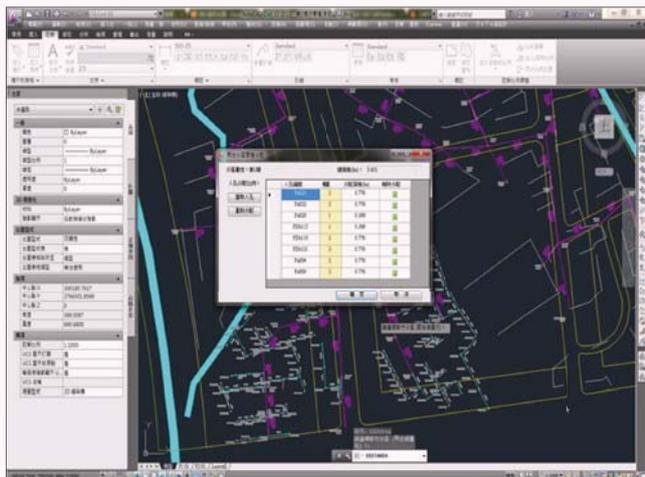


圖 9 集污面積分配計算畫面

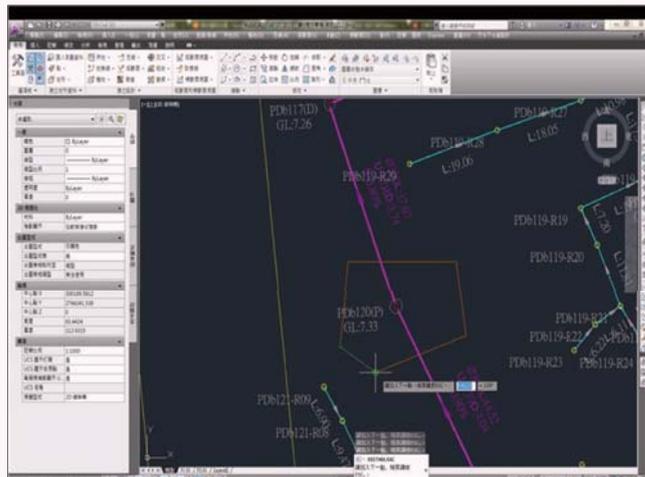


圖 11 AC 加鋪面積框選畫面

- (2) 使用者設定影響圈半徑，輔助介面程式將自動繪製影響圈範圍圖層，並計算其影響棟戶數。
- (3) 介面程式可依前述範圍，由現地調查之圖層資料中，自動搜尋讀入框選範圍內之樓層高度、棟戶數及型式資料（連動式住宅或集合式住宅），可減省設計人員目視圖面手動輸入之作業時間。

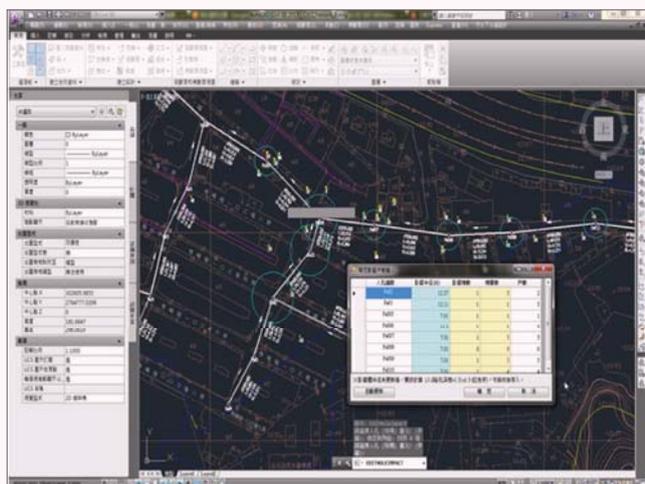


圖 10 開挖影響範圍操作畫面

AC 加鋪面積計算輔助功能模組

- (1) 為便利設計人員操作，介面程式針對 AC 加鋪面積之記錄，提供圖元測量、繪製範圍線（自動計算面積）及手動輸入等三種操作功能。
- (2) 繪製範圍線為使用者較常使用的功能，為提供設計人員直接框選範圍，由程式自動計算封閉曲線面積。（如圖 11 所示）
- (3) 加鋪面積範圍亦將留置於特定圖層，以供事後資料檢核時之參考。

匯出水理分析表

- (1) 水理分析資料之自動匯出，實為本公司發展輔助介面程式之主要特色功能。結合設計流程可自動化產出圖文一致的水理分析表，如圖 12 所示，減免設計人員二次資料輸入，以提升 3D 視覺化設計作業的工作效率及資料品質。
- (2) 設計人員可依審查意見調整圖面配置，並可於重新匯出水理分析資料時，由程式自動檢出新舊版本人孔編碼之差異，以供設計人員進行審查及資料校對使用。

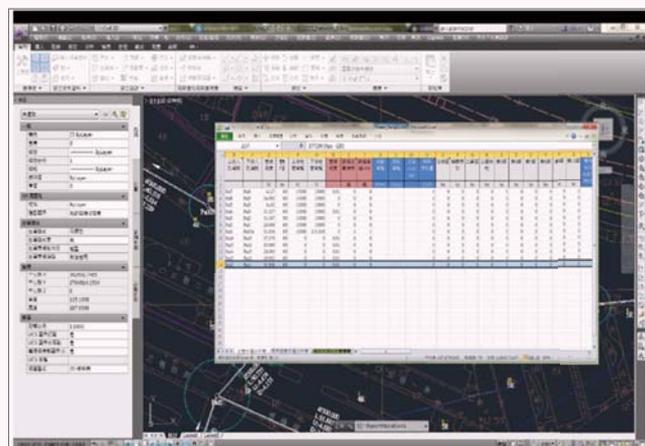


圖 12 水理分析表匯出畫面

3D 工程輔助設計技術之發展應用模式

利用 3D 設計環境進行設計，透過 3D 管線及結構元件的建立及屬性連結，資料可連動修正，有助改善傳統 2D 作業工程師在工程分析、繪圖作業及報告輸出工作過程中不必要的重工及人為疏失，3D 視圖瀏覽也有助配置上的判斷，有助工程師能有較多的時間聚焦在設計工作上，設計方案也更方便展示與了解。另可

延伸整合其他軟體進行設計衝突檢查，提升設計圖施作可行性，本公司運用 Autodesk Navisworks 軟體進行污水下水道設計衝突檢查，圖 13 所示即為檢核管件間發生位置衝突之問題，圖 14 則顯示管件與道路發生穿越衝突問題。

未來發展建議

本公司藉由開發輔助介面程式順利協助將污水下水道設計工作技術換裝至 3D 作業環境。惟新工具之推展需要設計單位與資訊開發單位密切合作推動，方能使輔助介面程式更加貼近實務所需。本公司設計部門藉由實際案例驗證後提出未來仍需再努力精進的建議事項，說明如後。

(1) 縱斷面視圖輔助程式

透過 Civil 3D 繪製縱斷面視圖，因管網性質定線後操作仍存在產製縱斷面剖面時發生疊圖現象，未來需研發更為自動化之繪圖格式定義功能，以克服目前縱斷面圖產出仍需人工再調整的不便性。

(2) 樣板轉匯輔助程式

Civil 3D 所有標示型式及出圖樣式皆透過樣板檔設定，由設計單位自訂常用樣板後分享相關設計人員共用。現行設計人員應用 2D 製圖之樣板檔操作較為純熟且已多具備既有樣板資料，未來應可研析透過介面程式將既有 2D 樣板檔對應自動轉製為 Civil 3D 適用的樣板檔設定，再經設計人員確認微調，以確保可達成符合現行 2D CAD 作業一樣完整的繪圖輸出成果。

(3) 數量計算輔助程式

現階段已完成之污水下水道應用介面程式，主要針對水力分析作業匯出圖面設計屬性資料，未來應可由 3D 模型元件快速計算管線及設備數量，結合檢料資料庫，可降低人工檢料誤差，以及節省圖面變更後重

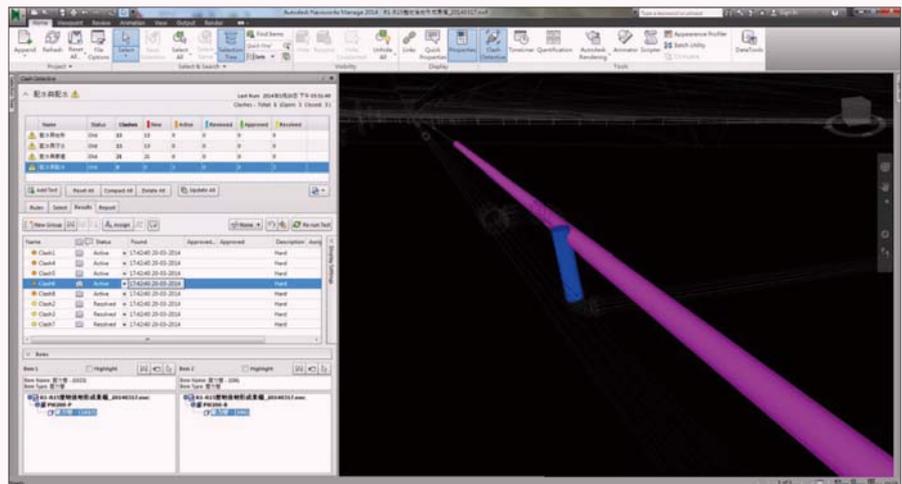


圖 13 不同管線間衝突檢查畫面

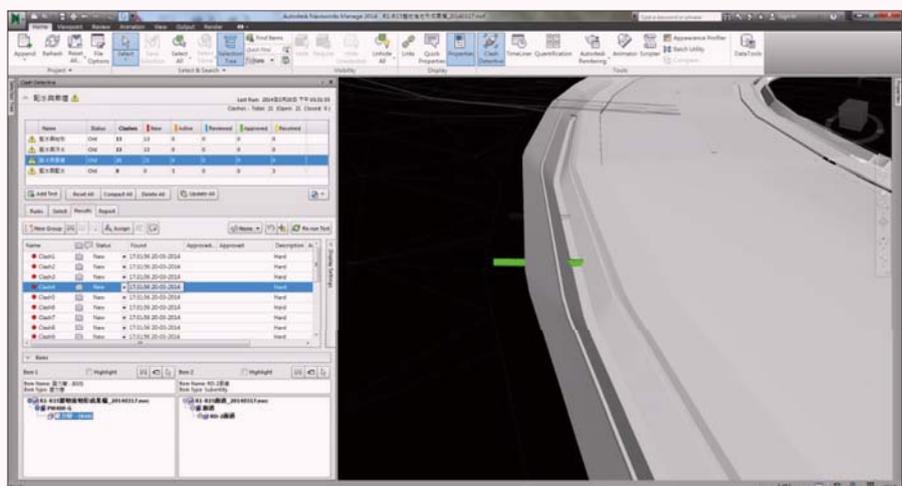


圖 14 道路與管線衝突檢查畫面

新檢料時間，提升預算成本估算的精確度，進以提高設計品質。

(4) 建置共用元件庫

目前 Civil 3D 軟體內建提供之管件及設施屬性規格，與國內常用之元件仍存在差異，為使設計成果貼合國內實務作業需求，設計人員須另外花時間建立管件及設施結構元件匯入 Civil 3D 使用。透過建置共用元件庫，並發展方便搜尋管理的工具，以利相關人員完成自訂元件後，也可快速分享給其他使用者參考應用，將更有助於 3D 設計作業之普及推廣。

(5) 作業成果出圖控制輔助程式

透過 Civil 3D 可建立出圖控制，惟相關設定操作步驟繁瑣，需熟練者始能完成出圖樣版之設定，未來可構思發展輔助出圖的介面程式，簡化設計人員的出圖設定操作，以降低 3D 工程設計作業的應用門檻。



無人航拍載具開發及防災工程之應用

王天佑 / 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心高級研究員

開發背景

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓板塊邊緣，先天地質條件普遍不佳，暴雨、洪澇等氣象災害發生頻率亦高。近年來由於全球氣候變遷之影響，氣象災害愈演愈烈。根據中央氣象局侵台颱風資料庫顯示，2001 以來每年平均受 6.1 個颱風直接襲擊；在可見的將來，臺灣地區劇烈氣候之發生強度與頻率僅會繼續增加，伴隨著來的山崩、土石流等現象，亦將成為臺灣山坡地區未來潛在之重要威脅。

在崩坍地、土石流潛勢區域之現場調查、風險評估與防災規劃等系列工作中，潛勢區域之影像為十分重要之紀錄。災害剛發生時，災區之影像可作為救災及災區重建之依據；料源區與堆積區之實際狀況，更為判斷未來是否會再度發生類似災害之重要參考。惟山崩、土石流等災害發生時，常因道路中斷，現地探勘之困難度甚高，尤其是影響最鉅的土石流上游料源區、堆積區等，更因土石鬆軟等安全顧慮難以取得良好之全景照片進行整體狀況評估。

拜遙測 (Remote Sensing) 技術之賜，衛星影像與傳統飛行器航空攝影照片可提供相當具有說服力的參考實證。但即使目前影像品質較佳的 IKONOS、Quick Bird 等衛星，其解析度也僅能達到 50 ~ 70 公分左右，由於拍攝角度所造成之量測誤差，亦多超過數公尺以上，對於研判土石流料源區岩體破裂狀態、風化程度等仍嫌不足；傳統飛行器航空攝影之影像解析度雖較衛星影像為高，但成本亦相對高昂，遇較狹窄峽谷亦有安全高度上之限制。因此，通常係以購買既有之遙測影像資料，針對過去歷史變遷進行比較研究的方式為之，除非重大緊急災害 (例如莫拉克風災等)，才可能出動航空器進行空拍攝影。對於土石流潛勢區域之常態性調查、災後即時影像資料之蒐集以及歷史變遷資料之累積作業，利用較低成本，機動性高，可在低空進行高解像度攝影之無人載具空拍，似為較可行之路。

無人航拍載具之種類與選擇

無人航空載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 一詞出現於 1917 年，早期 UAV 之研製及應用範圍主要在軍事用途，作為戰場上偵查、連絡之用，後隨科技進步，成本降低，各種感測元件、動力及無線操控設備的不斷問世，民間才得以發展遙測、廣告甚至休閒娛樂為目的之無人航空載具，目前世界各國已發展之各用途 UAV 類型已高達數百種之多，如以飛行機制區分，UAV 大致可分為定翼機及旋翼機兩大類。

定翼機為最常見的航空器形式，基本構造如圖 1 所示，機身兩側分置一對固定式主翼，動力設備提供向前的推力；機翼提供浮力；升降舵控制機身俯仰角度；方向舵控制左右方向；機身之左右平衡則由副翼控制。定翼機係人類模仿鳥類飛行所設計出之型態，係自然界中最符合空氣動力學的飛行方式，具有耗能小、巡航半徑大等先天優勢，即使在無動力狀況下，也具有優異的滑翔能力，除此之外，尚有製作容易，成本低廉等優點，惟其缺點為必需不斷前進，不能滯留於空中、飛行速度受航向順逆風之影響甚大、降落時須適當之場地以及體積較大等等。

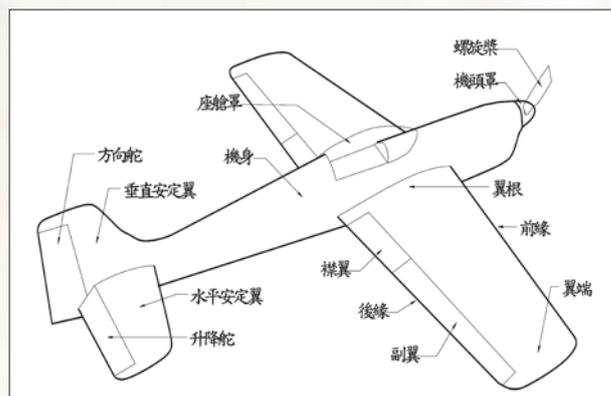


圖 1 定翼機構造示意圖
(摘自模型飛機之空氣動力學)

旋翼機則以直昇機為主要之代表，傳統直昇機之飛行操控主要靠主旋翼之攻角及轉速作昇降控制，並藉主旋翼旋轉面的前後左右傾斜，控制機身移動之方向。其優點為可垂直升降，不受地形限制以及可滯留於空中定點等，但耗能較大，巡航範圍受限、機械傳動方式複雜（圖 2）、維修不易及操作困難等問題，係其揮之不去之缺點。

四軸機（Quadrocopter）或多軸機等形式（圖 3）即為克服傳統直昇機機械傳動複雜及操作方式不易之缺點所發展。多軸機基本上係以由機身突出之各軸上馬達馬力輸出之差異來控制機身之姿態及前進方向，由於全機除馬達、螺旋槳外無任何可動機械元件，控制及維護相對容易。配合裝置於機身之自動控制系統，除可大幅降低操作難度外，可進行位置鎖定甚至自動導航等能力。



圖 2 模型直昇機之機械傳動部件



圖 3 Microdrone 四軸機（摘自原廠網站）

目前在國際上已投入商業生產之多軸機，包括德國 Microdrone 公司、加拿大 Draganfly 公司等，國內亦於 2011 推出第一套由國人自行開發設計之多軸機 AI-Rider，惟其售價均為台幣近百萬甚至數百萬之等級。

針對以防災工程為目的之中低空近景航拍作業，UAV 之需求大致可歸納為：

1. **經濟性：**各土石流潛勢溪流每年平均調查經費，包含人員差勤、交通、住宿等僅約在數萬元之譜，如航拍費用過高，將不敷調查成本。
2. **機動性：**土石流常發生於較偏遠的山區，通常僅有產業道路通達，有時甚至需溯溪數小時才能抵達崩坍區域，考慮到山谷地區氣流不穩定，機體耗損難免，因此適用之 UAV 體積不宜過大，應以一般小型車輛即可運送二組 UAV 機體以及所有相關設備為宜。
3. **拍攝目標及品質：**UAV 在空中拍攝時，需配合無線視訊監控設備，在地面控制載具姿態以瞄準拍攝目標，相機應具有基本防震及高速快門，解析度以八百萬像素以上為宜。
4. **飛行條件：**定翼機飛行時空速宜低，以爭取較多拍攝時間。定翼機拍攝一目標時，通常須循航道迴轉數次拍攝，故迴轉半徑宜小，滯空時間宜長，每次飛行不得少於 20 分鐘；旋翼機由於無需迴旋即可拍攝任何角度，故滯空時間可較短，但亦不應低於 10 分鐘。
5. **操控技術門檻及維修：**山區氣流常不穩定，對飛行操控技術要求甚高，即使熟手操作，亦常有耗損發生，因此 UAV 維修宜便捷，並可加裝適當之電子設備以保持飛行穩定性。

定翼機與旋翼機適用時機不同，在不同目的之應用上各有優劣，本研究開發初期，係選用飛行穩定性高，製作及維修相對較容易之後推式高翼機（圖 4）。其上搭載相機、姿態以及 GPS 等感測器，以遠端遙控方式操作，同時將飛行時之數據及影像以無線方式回傳至地面站。任務執行時由兩人協同作業，操作手負責飛行操控，拍攝手則依據回傳之影像，提供操作手飛行路徑、姿態調整建議及掌握拍攝時機。

由定翼機進行航拍的結果顯示，土石流災害發生後之上游料源區（圖 5）照片可清楚辨識植被分布、岩盤位態、風化程度及土石料堆積狀況；全景照片（圖 6）亦可清楚表示土石流流徑、崩坍面與保全對象、整治措施間之



圖 4 定翼機近景航拍系統示意圖

相對關係，這些影像均表現出中低空近景航拍之特色。

定翼機飛行時之穩定性決定了相片品質；是否能順利降落回收載具更為耗損成本控制之主要因素，因此操作手之操控技術扮演了十分重要的地位。但因土石流航拍工作多在地形多變之險峻峽谷內進行，山區氣流非常不穩定，每年仍因氣流、機械等因素，耗損約 1~2 套空拍載具。由這些經驗可知，如能降低對操作手技術要求之門檻，應能大幅提升無人載具航拍之經濟效益。



圖 5 屏東好茶村土石流料源區 (2007/8/7)



圖 6 那瑪夏鄉瑪雅村 (2008/10/7)

適逢多軸機當時於市場上逐漸出現，機上搭載之感測器及自動飛控設備，在毋須人為操作下，即能停滯於空中定點，似為解決之道，為測試此方式是否能有效降低操作門檻，本研究於 2009 年向加拿大採購 Draganfly X6 (圖 7) 半自主旋翼式無人載具，藉以評估其在中低空近景航拍之適用性。

Draganfly X6 之機身折疊後可由單人攜行所有設備 (圖 7 右上)，2010 年九月份在完成基本飛行適應訓練後，即赴神木村上游崩坍地進行實地測試，測試結果發現，該機在側風較小時 (6~8 m/s 以下) 確能發揮自動穩定之功能，操作亦十分容易；但因其馬達動力偏低，在風速較大時，馬達輸出之動力差即無法將機身繼續維持水平而傾覆。該問題其實以更換動力較大之馬達並調整軟體控制參數即可解決，但因該機之零件、軟體、調整等技術完全由原廠掌握，無法自行修改，且國內無法取得維修零件，輕微故障即須送回原廠整修，單運費即高達數萬元，且至少耗時數周以上。此種後勤模式使該機不適於作為土石流常態性調查航拍作業之載具。為解決後勤維修問題，本研究亦曾多次與國內 AI-Rider 等廠商合作進行現場測試，雖證實了多軸機在影像取得及操作方面的優勢，但因成本高昂、無法依計畫之需求進行功能修正，應用範圍受限等問題，使購買航拍用載具一途，停留在功能堪用但應用彈性及經濟性均不甚理想之地步。

近年來隨著智慧型手機之蓬勃發展，微機電 (Micro Electro Mechanic System, MEMS) 感測器及其應用技術之精度及功能提高且價格不斷下滑，為解決多軸機之應用彈性限制等問題，本研究亦轉向嘗試自製多軸航拍載具。



圖 7 向加拿大採購之 Draganfly X6

多軸機之飛航控制及導航系統

懸浮在空中的直升機或多軸飛行器，可進行三軸平移及旋轉等六個自由度的運動，但在空中隨時受到側風、慣性力等影響，如欲保持其於固定位置懸浮，必須隨時修正其推力方向與姿態，使其維持在巧妙的平衡狀態，以高速運算之微控制器（Micro Control Unit, MCU）、MEMS 感測器及適當的演算法來維持此動態平衡，操作之難度即可大幅降低。為達此目的，正確地姿態偵測及回饋控制為不可或缺之關鍵技術。

姿態及位置偵測

載人或無人飛行載具通常係藉由慣性量測單元（Inertial Measurement Unit, IMU）進行姿態、運動與位置之偵測，IMU 之主體通常由三軸加速度計（Accelerometer）以及陀螺儀（Gyroscope）所構成。

加速度量測之方法很多，較簡單之設計為應用壓電效應（Piezoelectricity）原理，當感測器受到加速度時，慣性力使重物向壓電晶體施加垂直應力，壓電晶體即輸出隨該應力線性變化之電壓，如此，三組相互垂直之壓電晶體即可量測三軸向之加速度，而各軸向之速度及位移量亦可藉由量測所得之加速度積分求得。另外，假設載具靜止或成等速運動時（無額外加速度），僅有重力加速度作用其上，當機體呈特定角度傾斜，則可由 (1) 式求解其機身姿態。

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_{Xx} & \cos \alpha_{Xy} & \cos \alpha_{Xz} \\ \cos \alpha_{Yx} & \cos \alpha_{Yy} & \cos \alpha_{Yz} \\ \cos \alpha_{Zx} & \cos \alpha_{Zy} & \cos \alpha_{Zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

上式中 $(a_x, a_y, a_z) = (0, 0, g)$ ； g 為重力加速度； a_x, a_y, a_z 為量測到之各軸加速度， α_{ii} 為世界座標系 (X, Y, Z) 與機身座標系 (x, y, z) 各軸夾角，亦即載具之傾斜角度。

早期的陀螺儀由高速自轉的轉輪所構成，基於角動量守恆原理，該轉輪之轉軸將維持恆定，藉由量測轉輪與機身之相對角度變化量，即可推算機身之角速度。傳統轉輪式陀螺儀因體積大、機械複雜等因素而式微，現代之 MEMS 陀螺儀改採光纖、共振或轉動離心力等原理進行設計，大幅減少了體積及造價。

傳統 IMU 設計理念係以提高各感測器之精密度來降低誤差，惟精密度之提高通常意味著高昂的造價，除軍事或載人航空器等用途外，通常難以負擔。UAV 用小型 IMU 則採取另一策略，整合多組精度較低之感測器

數據，透過演算法降低其誤差量，卡爾曼濾波（Kalman Filter, Kalman R.E., 1960）演算法即為箇中翹楚。

卡爾曼濾波演算法利用兩組以上，含噪訊但彼此獨立之輸入訊號，這些訊號可藉由線性方程求取相同輸出物理量，該演算法假設在有限時間範圍內，造成各訊號誤差之原因不同且隨機常態分佈，則其大部分誤差均可透過比較兩者之物理量預測值予以消彌，進而推測最佳之輸出物理量。例如機身之傾斜角度可分別以陀螺儀角速度積分以及加速度計以 (1) 式求解計算之，陀螺儀之飄移（Drift）誤差主要肇因於積分；而加速度計之誤差係由機體當時所受之外力造成，兩者誤差原因不同，發生時機不一，透過卡爾曼濾波演算法比較其計算結果，即可求出誤差較小之傾斜角度估計值。該估計值之精確度，可隨感測器、誤差來源之獨立性、取樣精度與頻率之增加而提高。

藉由卡爾曼濾波演算法，UAV 即可在其 IMU 上裝設多個平價感測器，推求相對高精度之動作資訊。例如本研究所開發之航拍載具，即整合三軸加速度計、陀螺儀、氣壓式高度計、超音波高度計、電磁羅盤以及 GPS 等 14 個頻道之感測器，以多層卡爾曼濾波演算法推求機身之三軸傾斜角度、速度、位移以及座標等資訊，配合 20Hz 之量測頻率，其推算之位移精度即可維持在大約數公分等級，足以提供做為飛航控制之用。

回饋控制與自動修正

多軸機之飛航控制遠較傳統單軸直升機單純，以具備前後左右四個馬達的四軸機為例，若四個馬達的總推力等於總重量時，恰可懸浮於空中，若總推力大於總重，高度即爬升，反之亦下降。若欲讓往前飛，則將前馬達轉速降低，後馬達轉速提高，使機身前傾，再回復四馬達之相等推力，即可保持該前傾角度向前推進，左右飛之原理亦相同。

當機身停懸空中定點時，理論上機體須維持水平狀態，若因外力作用使機身傾斜時，則須加快下傾端之馬達轉速，同時並降低上升端之轉速，但隨機身角度之變化，各馬達轉速亦須因應新的角度隨時調整之，在自動控制理論中，PID 控制器（Proportional-Integral-Derivative Controller）恰適用於此狀況。PID 控制器係根據感測器之讀值與目標值之差異量、對時間之積分及微分值，分別乘上一個比例係數後之總和，作為輸出值，如 (2) 式所示。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2)$$

$e(t)$ 為特定時間 t 下，目標值減感測器之讀值，亦即差異量； $u(t)$ 為輸出值； K_p 、 K_i 及 K_d 則分別為針對差異量、差異量之積分及微分加權調整之比例係數。由 (2) 式可知，當差異量越大， K_p 所造成的影響越大，因此 K_p 可視為反向力調整係數； K_i 則考慮過去修正之綜合影響，其作用類似阻尼係數； K_d 則為依據上次時階 (time step) 調整值預測下次時階差異值之比例係數。

多軸機對飛航之控制，不外乎姿態、運動方向以及位置鎖定三者。利用 PID 控制姿態時，即利用 IMU 所測得之機身姿態角度作為輸入值及目標值，各馬達之轉速為輸出值；控制運動方向時，則利用各軸之速度作為輸入，機身傾角作為輸出；鎖定位置時，則利用三維座標作為輸入；各軸之速度作為輸出，如此以 PID 控制器進行層疊式回饋控制，即可完成機身穩定、運動及自動導航之控制。各項控制均須獨立之 K_p 、 K_i 及 K_d 等比例係數，為適應各種應用目的所設計之不同機身尺寸、動力配置組合可透過對這些係數之調整，以相同的回饋演算邏輯，達到穩定控制之目的，使應用更具彈性。

自動穩定式雲台

如前所述，由於多軸載具本身除螺旋槳外無可動元件，其穩定性係透過隨時調整機身之姿態以抵抗側風等外力，因此飛行時機身勢必無法保持同一姿態，直接掛載攝影機時，此特性將嚴重影響動態攝影之品質。為解決此問題，則須以另一組附貼於攝影機之感測器，以前述 PID 控制器調整控制攝影機角度之步進馬達，整合為掛載相機之主動穩定式雲台 (圖 8)，使相機之指向與多軸機之姿態各自獨立，以達成攝影之穩定需求。

所幸，隨著航拍多軸機之快速發展，市場上已逐漸出現商品化之自動穩定雲台，目前多以能控制相機俯仰及左右平衡之雙軸式雲台為主，進一步可控制左



圖 8 雙軸自動穩定雲台

右旋轉之三軸式雲台亦有少數試驗性產品出現。惟雲台之構造需考量相機之形狀、重心等幾何條件，目前市售雲台均僅能配合特定相機，目前尚無法作到適用所有相機之通用型式。

系統架構及通訊

慮及飛行之安全性，本研究所開發之 UAV 選擇贅餘度 (redundancy) 較高之六軸機為機身框架，IMU 及控制硬體則採用 ArduPilot Mega 模組為基礎，該模組具有完整的電路設計文件、韌體、免費開發工具、無線通訊協定以及地面站軟體等配套支援，該系統係遵循 GNU 的規範，在網路上公開所有技術資料及原始碼，容許使用者自行修改及應用，架構在此飛控系統上，即可依據不同應用需求進行機身、組件等硬體以及飛控韌體之修改，藉以解決前述商用空拍載具應用彈性不足之問題。

本計畫六軸航拍用載具系統架構如圖 9 所示，操作手透過遙控器輸入飛行動作，由機上之操作接收器接收該動作並傳輸至飛控模組，飛控模組依據此操作動作，配合 IMU、GPS 等感測器透過卡爾曼濾波法解算之訊號，再以 PID 控制器輸出各馬達之控制訊號，透過六個馬達之轉速控制器來控制飛行動作。

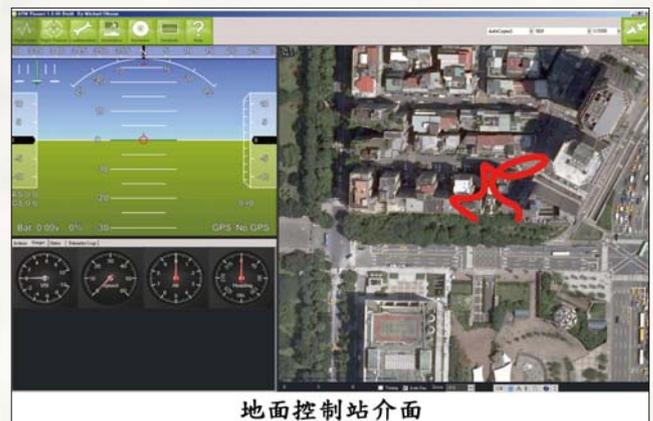
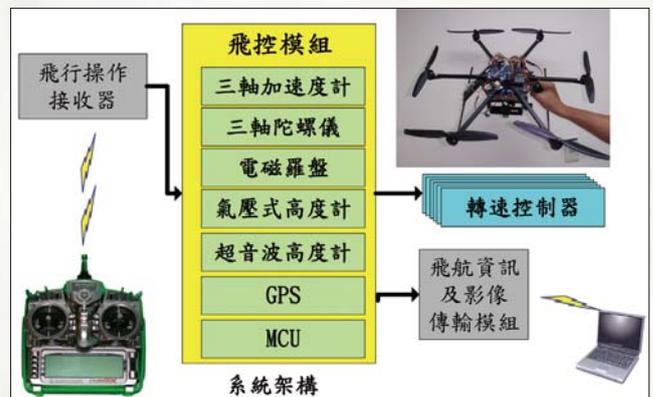


圖 9 本研究開發之六軸空拍載具

機身傾斜角度、空速、前進方向、爬升速率以及座標等飛航資訊，另行透過飛航資料傳輸模組回傳至地面站，地面站軟體除負責顯示飛航資訊外，亦將載具之飛行軌跡及現在位置，顯示在以 GoogleMap 等服務為地圖來源之視窗上，使用者亦可透過此介面進行導航點設定等操作，達到全自動飛行之目的。

三維重構技術

由於多軸機具有空中停滯及朝任何方向慢速移動之能力，可由多種角度對固定目標物進行觀察及攝影，應用非常規攝影量測中之多視幾何 (Multiple-View Geometry) 原理，藉由多幅不同角度且未事先標定之序列影像，對圖像資訊綜合分析，或稱為動景組構 (Structure from Motion, SfM, Dellaert *et al.*, 2000)，組建三維數值模型。

非常規攝影量測技術係假設拍攝目標靜止，其拍攝物座標系 (M_i) 與兩張以上之相機座標系 (K_1 、 K_2) (圖 10) 必存在線性對應關係，可以座標轉換矩陣 (T_1 、 T_2) 描述之，且兩相機座標系間亦必然存在平移 (t) 與旋轉 (R) 關係，如 (3) 式所示。

$$\begin{aligned} M_i &= T_1 \times K_1 \\ M_i &= T_2 \times K_2 \\ K_1 &= R \times K_2 + t \end{aligned} \quad (3)$$

若能於序列照片中找到足夠數量之匹配點，則可由這些匹配點解算兩相機座標系之座標轉換矩陣 (T_1 、 T_2)，進而推求相機座標系間之相對關係 (R 、 t)，再由相機位置與各匹配點在相機座標系之座標，計算目標物之相對座標。匹配點的選取，則可利用 SIFT (Lowe, 2006) 演算法，利用不同照片中顏色、對比及相對位置等變化，以影像辨識出相同之匹配點，因此，照片之清晰度、對比顏色鮮豔程度，將有利於匹配點之辨識，非常規攝影量測之詳細理論及演算流程，詳見 (蕭震洋等, 2011)，於此不再贅述。

本研究運用非常規攝影量測技術，在 2011 年 9 月份以多軸機拍攝之 415 張解析度 4320×3240 照片，解算得有效座標點 82400 點，其相機位置及目標物座標點雲分布如圖 11 所示。但因 SfM 計算所得均為相對座標，為求取其與地圖用大地座標系統間之關係，該次航拍亦於現場佈設了 7 個規標，運用高精度 DGPS 取得其座標值，取其中三點計算轉換矩陣，藉以將解算之三維數值地形轉換為地圖用座標系統，並計算量測誤差 (如表 1)。

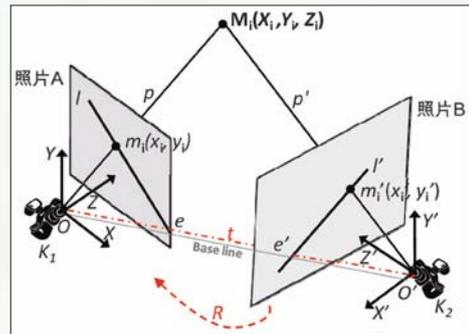


圖 10 拍攝目標與相機坐標系間關係

表 1 非常規攝影量測解算結果座標誤差估計

點別	誤差值 (meter)				備註
	X	Y	Z	距離	
1	-0.324	-0.004	-0.19	0.375	
2	0.319	0.248	0.049	0.407	
3	0.678	0.648	0.277	0.977	轉換點
4	0.319	-0.427	0.532	0.753	轉換點
5	-0.002	0.11	0.239	0.263	
6	0.37	0.234	0.209	0.485	
7	-0.617	0.028	-0.055	0.620	轉換點
均方根誤差				0.530	

由該 7 規標之 GPS 座標與解算所得座標比較結果可知，此法誤差最大者約為 0.98 米，均方根誤差 (Root Mean Square Error) 約為 0.53 公尺，其精度已較衛星影像或傳統航拍高出許多。

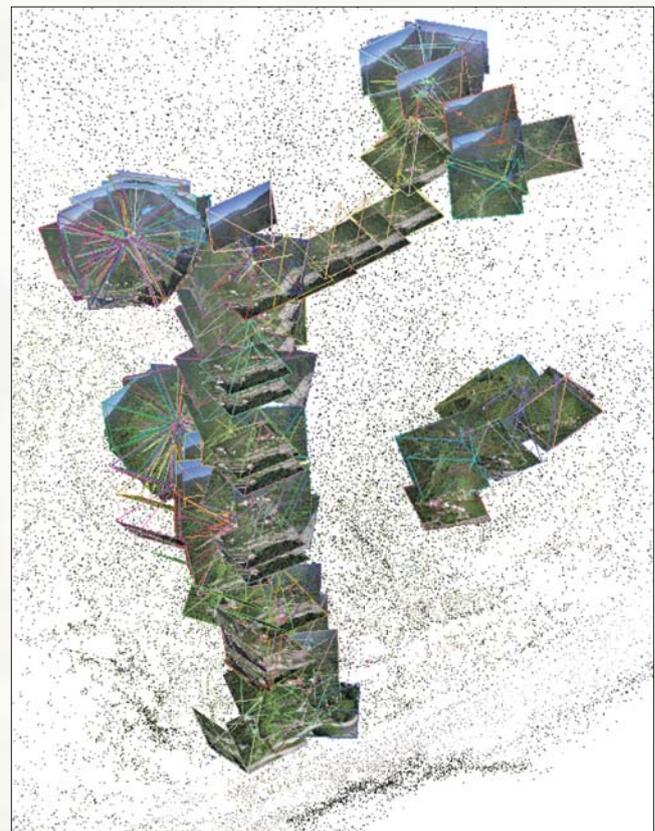


圖 11 相機位置及組成之點雲

非常規攝影量測所解算之三維數值地形，其格式僅為連串的三維座標值，若配合多視角補點（Patch-based Multi-View Stereo, PMVS, Yasutaka, 2010）技術，擷取匹配點之色彩值，並以鄰近點之色彩，予以線性內插後，可組建視覺效果較佳之立體模型（圖 12），輔以如 3D-Studio 等三維動畫軟體處理後，亦可進一步建立諸如鳥瞰、飛行模擬等動畫短片進行展示。

應用方向

無人載具航拍可以相對低廉之成本，安全且即時取得以往不易取得之影像資料，本研究開發之無人載具，曾協助瞭解工程現況（圖 13），亦曾以距離結構物約 1.5 公尺左右巡航（圖 14）進行近距離結構安全檢查。這些影像，均有助工程人員對工址現況之瞭解。

航拍所得之影像資料，更可進一步配合非常規攝影量測等三維地形重構技術，將影像資料轉化為工程上實際可用之數值資料。例如：利用不同時期之三維數值模型，可用來計算土石方、植被等變遷；配合 GIS 軟體，可進行地形、坡度、坡向分析；更可直接用來組建三維網格，進行三維數值分析等等。

除此之外，發展無人載具過程中所使用之慣性量測元件 IMU，可於無法收到 GPS 訊號處進行定位，在

執行隧道監檢測時，可用於記錄裂縫、滲漏痕跡等位置資訊；地熱、二氧化碳封存所需之深鑽孔中，亦可應用 IMU 技術進行定位，以檢核是否有偏移現象；若將 IMU 安裝於可能的落石上，亦可記錄其崩落時之軌跡……。這些應用不啻開啟了工程師了另一扇視野，其潛在應用方向之開拓，則尚有賴吾輩工程師共同努力。

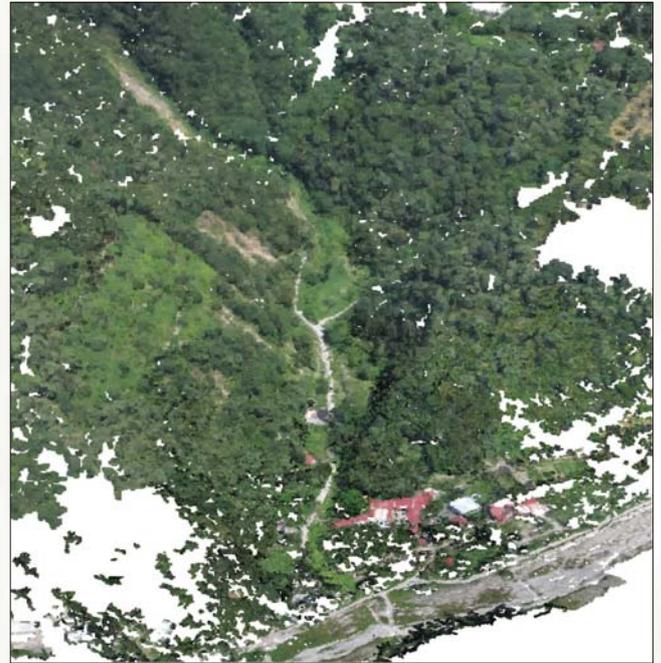


圖 12 土石流三維數值地形重構補差點效果



圖 13 南化水庫現況



圖 14 近距離結構安全檢查

參考文獻

1. 土木技師公會 (2003) 山坡地社區安全檢查表。
2. 中興工程顧問社 (2007) 土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策，行政院農業委員會水土保持局委託研究報告。
3. 中興工程顧問社 (2008) 土石流潛勢區域易致災調查與整治對策研擬，行政院農業委員會水土保持局委託研究報告。
4. 行政院農委會水土保持局 (2003) 水土保持技術規範。
5. 模型飛機的空氣動力學 (2002) [http://junior.cyhs.tp.edu.tw/shuwd/Aircraft Dynamics/](http://junior.cyhs.tp.edu.tw/shuwd/Aircraft%20Dynamics/)。
6. 沈哲緯、曹鼎志、鄭錦桐、王天佑、陳頌夫 (2009)

- 以 3S 技術進行屏東縣霧台鄉好茶村土砂災害調查與評估，中興工程，第 102 期。
7. 王天佑、陳振宇、許振崑、簡榮興、張玉舜、冀樹勇 (2009) 無人載具於土石流災害調查之應用，98 年山坡地社區災害防治技術研討會，台北。
 8. Kalman, R.E. (1960) "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering Vol. 82, pp. 35-45。
 9. Lowe, D.G. (2006) "Automatic Panoramic Image Stitching Using Invariant Features", International Journal of Computer Vision, 74(1), pp. 59-73.
 10. F. Dellaert, S. Seitz, C. Thorpe, and S. Thrun (2000). "Structure from Motion without Correspondence". IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
 11. 蕭震洋、謝寶珊、冀樹勇 (2011) 應用非常規攝影量測評估國道 3 號 3.1 公里崩坍事件之土方量，中華水土保持學報，第 42 卷，第 2 期，第 120-130 頁。
 12. Yasutaka Furukawa, Jean Ponce (2010) "Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 32, No. 8, pp. 1362-1376.

一份在土木水利工程界
最為流傳的刊物



「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底 裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色	30,000	
內頁半頁 彩色	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色	10,000	
折扣	3 期 9 折， 4 期以上 8.5 折	



土木水利

雙月刊

茲附上廣告式樣一則

請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致

中國土木水利工程學會

刊登月份：

41.4 41.5 41.6 42.1 42.2 42.3 共 次
(8月) (10月) (12月) (2月) (4月) (6月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；

相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣

元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：

(請蓋公司印)

商號

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單連絡電話：中國土木水利工程學會 (02) 2392-6325 來秘書

鋼與混凝土複合橋墩之設計與應用

洪曉慧／國家地震工程研究中心研究員

陳國隆／交通部臺灣區國道新建工程局組長

宋裕祺／國立台北科技大學土木工程系教授暨國家地震工程研究中心組長

張國鎮／國立台灣大學土木工程系教授暨國家地震工程研究中心主任

王柄雄／國家地震工程研究中心助理研究員

曾榮川／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部技術經理

鋼與混凝土複合橋墩・品質優

橋墩為橋梁結構系統中抵抗地震力之主要構件，橋墩之設計與施工品質影響整體橋梁耐震性能甚鉅。傳統橋墩多為鋼筋混凝土橋墩或鋼結構橋墩，對於鋼筋混凝土橋墩而言，在耐震設計中為滿足強度及韌性需求，橋墩須配置足夠之主筋與大量之橫向鋼筋，且規定許多配筋細節，如耐震彎鉤、伸展長度等。然而大量的橫向鋼筋與嚴格的配筋細節容易增加施工複雜度，造成施工品質與施工安全不易掌控，所需工期與造價亦隨之大幅增加。另一方面鋼橋墩因鋼材具高強度與韌性，可減少柱斷面尺寸與自重，但鋼材在高軸力下有局部挫屈問題，須在柱內裝設加勁板、角隅連結材並考量螺栓或電銲接頭所需作業空間等，施工複雜度亦頗高。由此可見傳統鋼筋混凝土橋墩與鋼橋墩各有其優缺點，為保有兩者之優點並避免其缺點，使結構耐震系統更有效率，採用適當配置之鋼與混凝土複合式橋墩，將能有效結合具備高強度、高韌性的鋼與具備高承载力、高耐久性的混凝土二者之優點，減少繁複的施工作業，有助於提昇施工品質與施工效能，並進而達到營建自動化與提高施工安全之目的。

近年來各項工程為減少危險之高空人工作業，降低工安問題，並提升施工效率，營建自動化逐漸受到重視。鋼與混凝土複合式橋墩之發展，也逐漸以營建

自動化為出發點，除考量橋墩柱之耐震性外，也將施工性與施工步驟納入考量。將傳統鋼及混凝土複合式橋墩柱之設計結合先進之工法，則各式省時、省工並兼具高性能之鋼及混凝土複合式橋墩柱新工法逐漸發展，其中包括日本的 3H 工法 [1] 與 REED 工法 [2]。參考 3H 工法與 REED 工法之精神，配內國內需求與施工環境，國家地震工程研究中心透過國道新建工程局研究計畫，研發符合營建自動工法之 H 鋼與混凝土複合式橋墩 [3 ~ 4]。本橋墩斷面配置如圖 1 所示，以 H 型鋼為主筋組立時之支撐並取代部分主筋，外圍以一筆箍筋 [5] 包覆提供圍束。以圖 1 為例，施工時，橋柱將分成六個 H 型鋼與一筆箍鋼筋籠。首先將六個 H 型鋼分別吊裝組立並固定，之後再將已先在地面組裝完成之一筆箍筋籠吊裝，並以已組立完成之 H 型鋼為支撐。如此作法可避免傳統配置橋墩所需之繁複箍筋與繫筋綁紮作業，也可透過 H 型鋼之支撐，降低鋼筋籠吊裝之工安問題，並提升施工效率。

試體設計與分析

為確認所研發工法橋墩之施工性與耐震性，本研究透過大尺寸的橋墩試體在實驗室之建造與紀錄，檢討工法細節，就如何減少繁複施工作業、有效降低工期、提升工程品質等，研議合宜的施工工法；透過橋墩試體之性能實驗，探討鋼與混凝土複合式橋墩在承受地震力

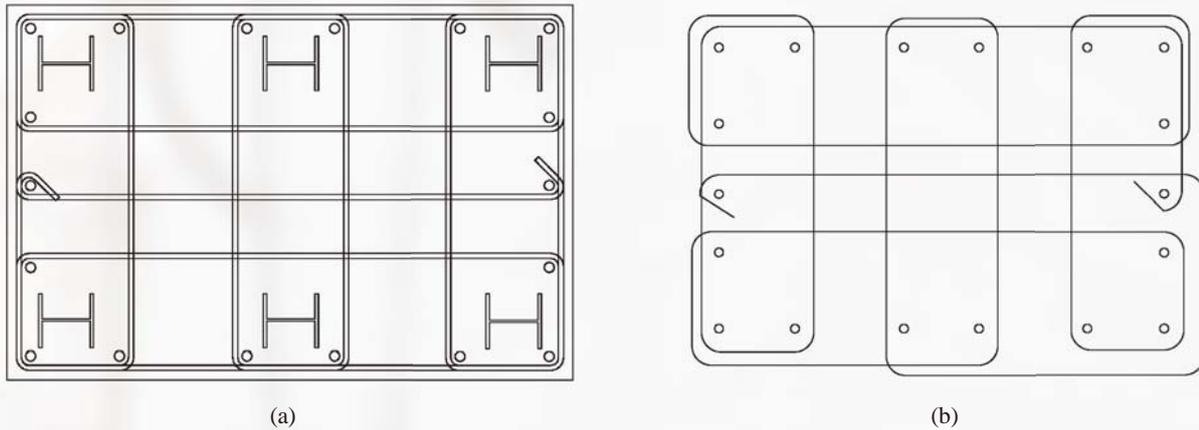


圖 1 鋼及混凝土複合式橋柱斷面配置示意圖 (a) 斷面配置；(b) 一筆箍箍筋

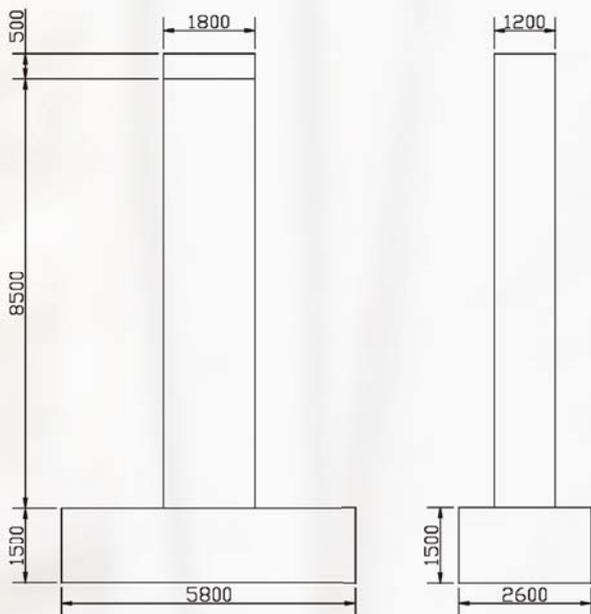


圖 2 橋柱外觀尺寸圖 (單位:mm)

作用時的強度、韌性和破壞行為。考慮實驗室之場地限制，本研究設計之試體尺寸如圖 2 所示，試體總高度為 10.5 m，其中包含基礎 1.5 m、柱身 9 m，以 18 m 高之實際橋墩而言，為 1/2 縮尺試體。矩形柱斷面為 1.8 m × 1.2 m，基礎斷面長寬為 5.8 m × 2.6 m。

為比較所研發工法橋墩與傳統配置橋墩之差異，本研究亦同時建造一組依傳統配置之同尺寸鋼筋混凝土橋墩試體。試體圖 3(a) 為傳統橋柱之斷面配筋圖，箍筋採 SD420 D13@10 cm 竹節鋼筋設計，分外箍及繫筋，箍筋用量為 1.19%；主筋採 SD420 D36 竹節鋼筋設計，共配置 32 支主筋，主筋配筋量為 1.5%。為模擬現場施工狀況，試體主筋分兩段續接，第一段由基礎內延伸至基礎面上 4 m，以避開塑鉸區，第二段則由

續接處延伸至柱頂，兩段主筋以標準之螺牙續接器續接。由於主筋續接器為 SA 級續接器，按混凝土結構設計規範之規定可在任意位置續接，且續處位於非塑鉸區，無影響破壞模式之疑慮，故主筋續接位置設置在同一斷面。

圖 3(b) 為鋼與混凝土複合式橋柱試體斷面設計圖。斷面配置 18 支 SD420 D32 主筋及 6 組 A572 H175 × 175 × 7.5 × 12 鋼骨，斷面主筋比 0.68%，斷面鋼骨比 1.39%，鋼材加鋼筋換算為對應之等值主筋比為 1.83%，略大於 RC 試體，此係考量 RC 試體主筋之有效深度大於鋼與混凝土複合式橋柱之對應值，且鋼骨與周圍混凝土握裹效果尚待驗證，故設計採偏保守方式進行。箍筋部分配合鋼骨之配置，並為維持和標準試體同樣為 10 cm 之間距，採用 SD420 D16@10 cm 鋼筋，換算箍筋比為 1.40%，箍筋採一筆箍方式施作。此外，為使鋼骨與混凝土達到握裹結合之目的，鋼骨如圖 4 所示於翼板位置焊接剪力釘，剪力釘在離基礎面為 4 m 範圍內之下段柱為每 20 cm 配置 24 支，在上段柱為每 1 m 配置 24 支。試體組裝期間，為提供鋼筋籠有效側向支撐，基礎內部首先埋設一座如圖 5 所示之鋼製基礎底梁，柱身段鋼骨與基礎底梁採銲接接合。試體之箍筋籠分成三段，第一段位於基礎面下，箍筋籠長度為 112 cm，箍筋籠由基礎底部延伸至基礎上層筋下方；第二段位於柱底塑鉸區，箍筋籠長度為 384 cm，箍筋籠從基礎面上 4.5 cm 向上延伸至鋼骨續接板下緣位置；第三段位於柱上段部分，箍筋籠由鋼骨續接板下緣位置向上延伸至柱頂面下 5 cm 處。試體之柱主筋分兩段，一段自基礎頂面下 137.5 cm 處錨定後向

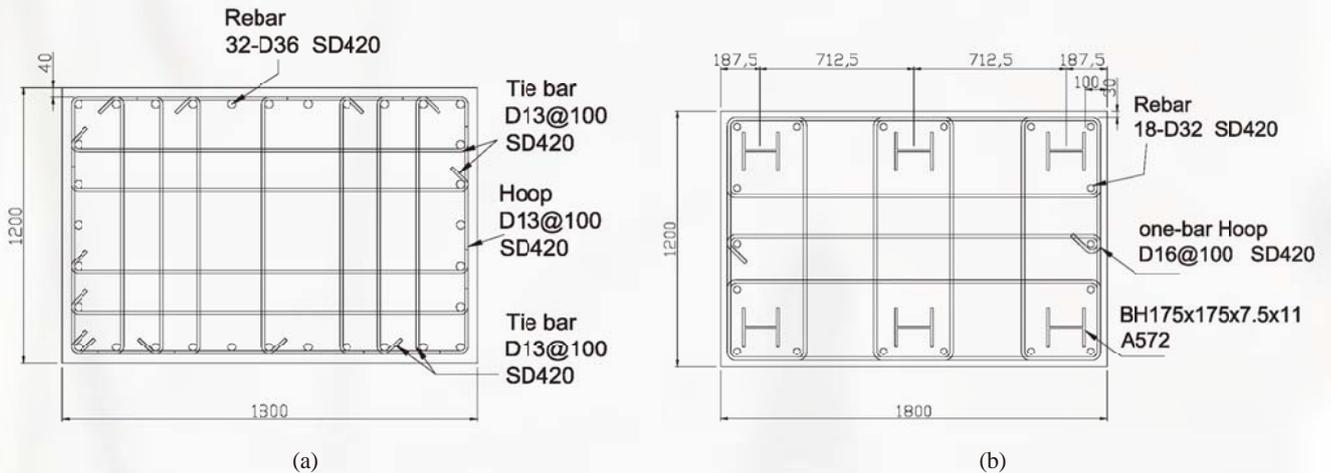


圖 3 試體斷面配筋圖：(a) 傳統橋柱；(b) 鋼與混凝土複合式橋柱（單位：mm）

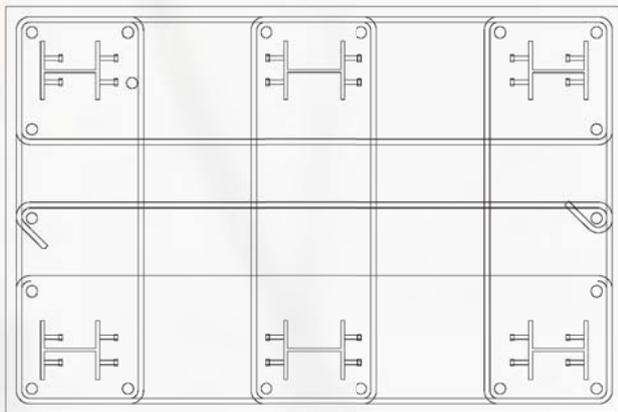


圖 4 鋼與混凝土複合式橋柱剪力釘之斷面配置

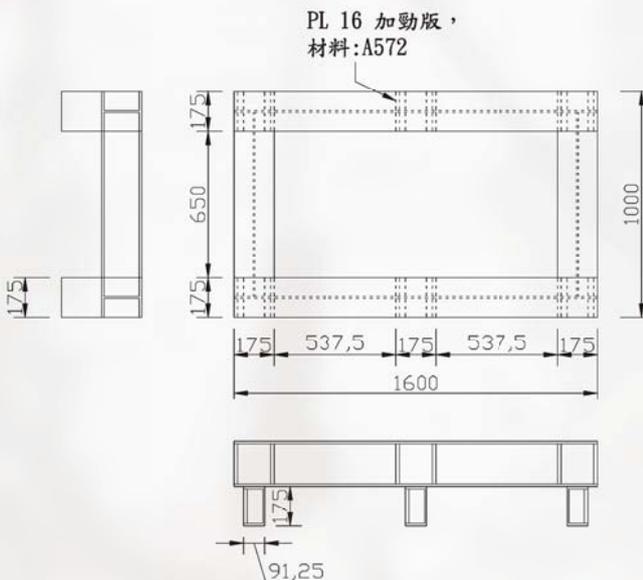


圖 5 鋼與混凝土複合式橋柱之基礎底梁設計圖

上延伸至基礎面上 4 m 處，另一段則由續接處延伸至柱頂，主筋之續接與錨定皆採用與傳統 RC 橋柱試體

相同之設計。試體之鋼骨分為 2 段，第一段長度為 514 cm，由基礎底部延伸至基礎面上 4 m 處；第二段長度為 496 cm，由第一段鋼骨續接位置向上延伸至柱頂面下 4 cm 處。鋼骨相鄰斷面採用續接板螺栓接合，接合強度以腹板及翼板個別發揮全斷面降伏為原則。

施工流程與紀錄

為探討所研發工法橋墩之施工性，本研究在橋墩試體施作時均全程記錄，照相和錄影，以利於施工工率之比較。傳統 RC 橋柱為本研究之標準對照組，其施工以現場鋼筋綁紮澆置混凝土的方式施作，為確保混凝土品質，避免灌漿時出現粒料分離的情形，試體之混凝土灌漿分成基礎、下段橋柱、中段橋柱及上段橋柱四部分，配合現場模板、鷹架之搭設，逐漸向上施工。鋼與混凝土複合式橋柱之灌漿亦依照傳統橋柱分成基礎、下段柱、中段柱及上段柱四部分。施工歷程紀錄相片列於圖 6，其施工步驟概述如下：

- (1) 基礎下層鋼筋綁紮。
- (2) 下段鋼骨及底座定位。
- (3) 基礎段一筆箍定位、主筋定位。
- (4) 基礎上層鋼筋綁紮完成後基礎灌漿。
- (5) 第一昇層一筆箍定位後，第一昇層封膜、灌漿。
- (6) 上段鋼骨續接。
- (7) 第二昇層一筆箍定位。
- (8) 上段主筋續接。
- (9) 第二昇層灌漿、接著第三昇層續接、灌漿後完工。

工率是用以衡量施工效率的直接數據，本研究依據試體實際施工之紀錄計算工率，表 1 為兩組橋柱試體之工率統計，其中工率為各工項的工人數與作業時間的乘積，表中數據顯示傳統橋柱工率為 407 人時，複合式橋柱之工率為 381 人時，以傳統橋柱所花費人時為基準，複合式橋柱之工率為傳統橋柱之 93.6%。以上數據顯示本研究所發展之複合橋柱在施工效率上確實明顯優於傳

統作法，可用於改善營造業勞工短缺及工人素質不穩定的問題。此外，本研究以成本考量，採用公母螺牙續接器續接主筋，公母螺牙續接器由於續接器與鋼筋焊為一體，鋼筋續接時需轉動主筋，故主筋需與箍筋籠分別組立，若將來改用僅需轉續接器之填漿式續接器，複合式橋柱可將主筋與箍筋籠預先綁紮固定，再於現場一起吊裝，施工效率應可更進一步提高。

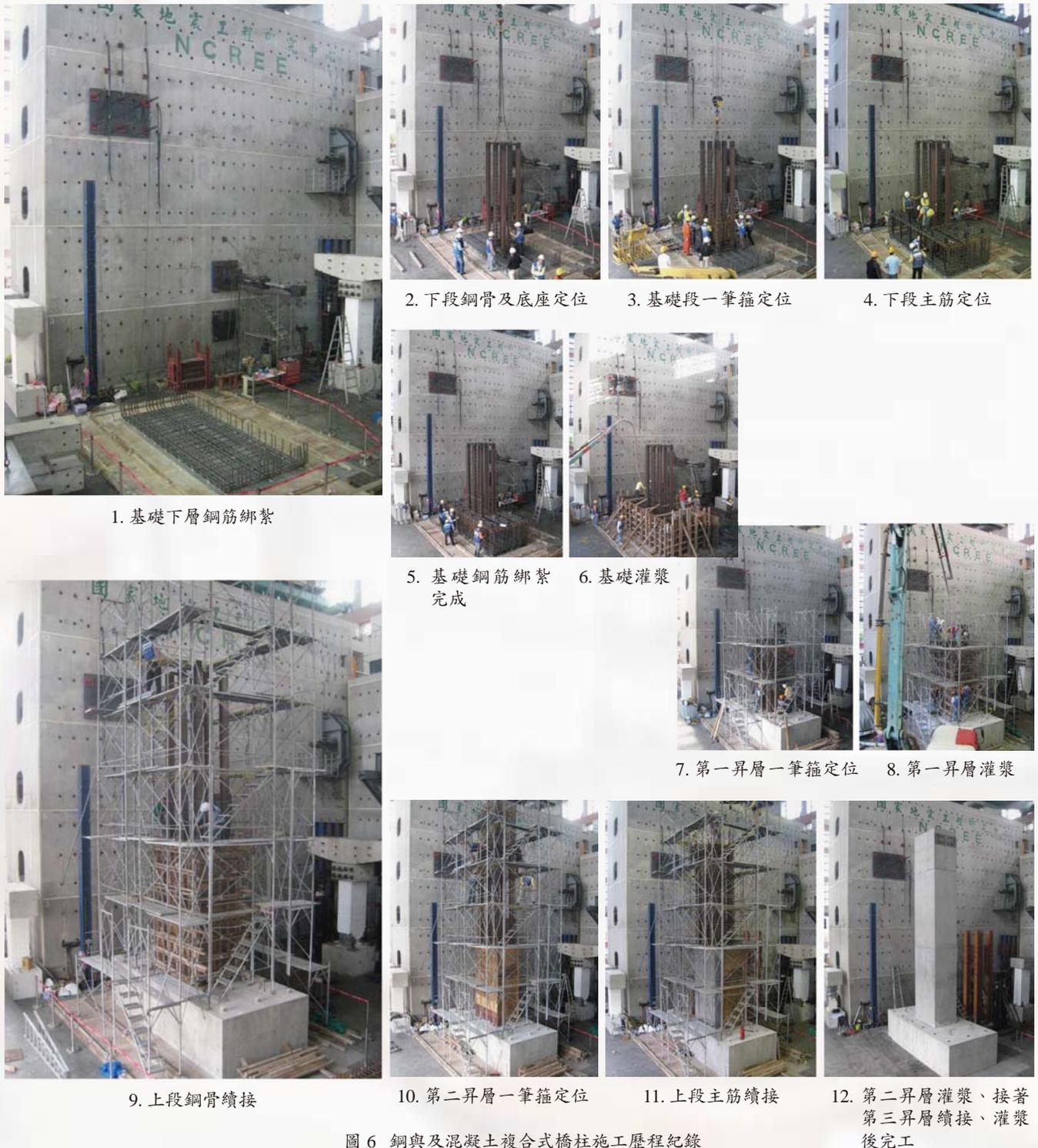


圖 6 鋼與混凝土複合式橋柱施工歷程紀錄

表 1 橋墩之工率統計表 (單位：人時)

工項	傳統橋柱	複合式橋柱
基礎	152.1	146
下段柱	86	72
中段柱	106.8	100.5
上段柱	61.9	61.9
合計	406.8	380.4
%	100%	93.5%

試體之性能試驗

為驗證鋼與混凝土複合式橋柱之耐震性能，兩組試體在完工後，均在實驗室內進行性能試驗。整體試驗配置如圖 7 所示，橋柱基礎以 16 支施加 150 噸預力之 $\Phi 69$ mm 高拉力鋼棒與強力地板緊密接合，以模擬基礎端固定接合方式；垂直向軸力加載方式則透過兩側各 2 支 $\Phi 69$ mm 高拉力鋼棒所承受之預力對橋柱施加軸力，以模擬上部結構之重量；側力加載部分，配置 3 支 100 噸最大出力之油壓制動器，兩端分別固定於反力牆及柱頂轉接鋼梁以施加反覆荷載。

為量測試體受反覆荷載後之曲率變化與剪力變形，兩座試體均於東側安裝角度計與位移計。如圖 8 所示，角度計 T1-T7 共七個，分別安裝於基礎上 10 cm、50 cm、90 cm、130 cm、170 cm、250 cm 與 330 cm 處。LVDT 位移計 L1-L12 共 12 支，分別交叉設置於上述角度計中間。為量測試體受反覆荷載後之鋼筋與鋼骨之應變變化，兩座試體亦於下段柱灌漿前於適當位置埋設應變計。

本研究分別針對兩座試體進行反覆載重試驗，側向力加載為位移控制。試驗過程中，施加固定之垂直向軸力 5186 kN ($= 0.07f'_cA_g$)。表 2 與圖 9 為本實驗之側向位移加載歷程，側向位移比 (Drift Ratio) 由小到大分別為 0.25%、0.375%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、3.0%、4.0%、5.0%，其中，4% 以前每個位移量施載 2 次迴圈，5% 施載 3 次迴圈。此外，考量油壓制動器的最大行程 ± 500 mm 僅足以完成 5% 側向位移比，故倘橋柱試體在 5% 側向位移比下仍無顯著的強度衰減，則在完成 5% 側推位移後，於原轉接鋼梁南側加墊一座相

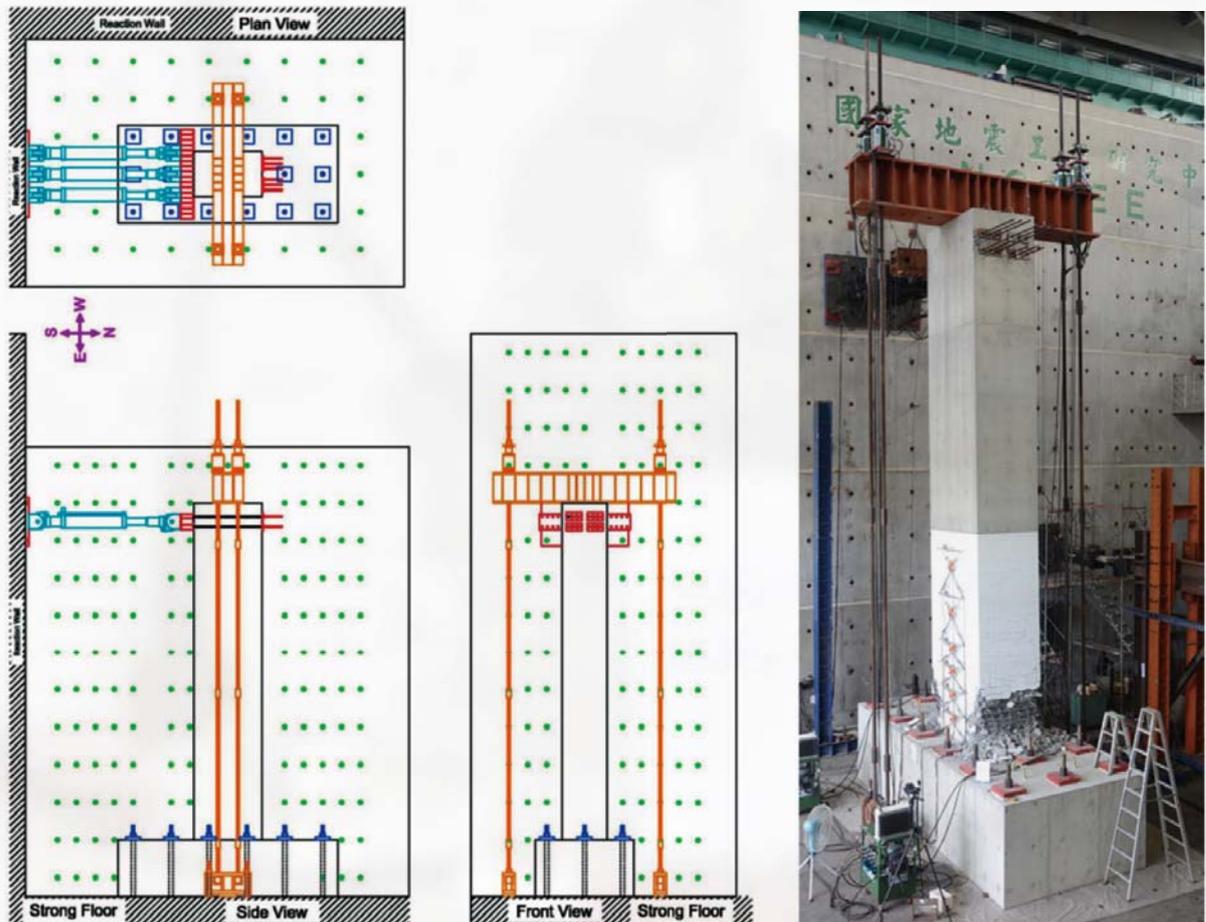


圖 7 試驗配置

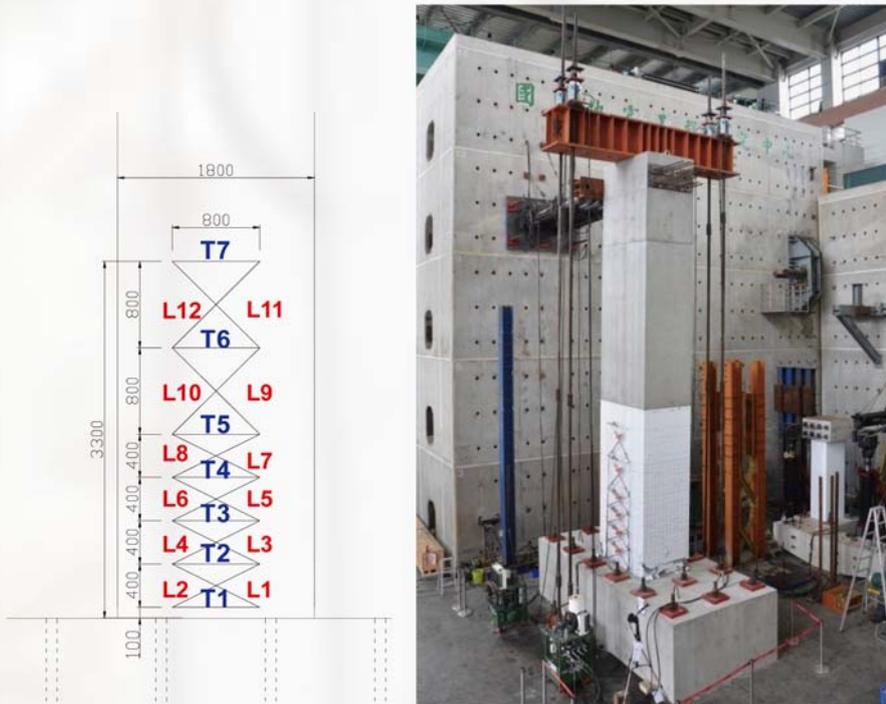


圖 8 角度計與位移計配置圖

同尺寸的鋼梁，以增加橋柱受推側之位移行程，但此配置會相對減少橋柱受拉側之之位移行程，故於 5% 側向位移比後，推向加載位移調整為 +8% 及 +9%，拉向則固定為 -1%，並以此檢核橋柱之極限承載性能。

實際進行實驗時，傳統橋柱試體強度在側向位

移比達 5% 時之第一迴圈開始有些折減，而在側向位移比為 5% 之第二迴圈時，強度明顯折減，第三迴圈時，強度則驟減至 1200 kN 左右，故試驗在側向位移比為 5% 之第三迴圈完成後即停止。複合式橋柱強度在側向位移比為 5% 完成後仍無折減，故實驗繼續進行側向位移比為 8% 之側推。試體強度在側向位移比為 8% 之第三迴圈時亦仍無明顯折減，故試驗持續進行側向位移比為 9% 之側推。試體強度在側向位移比為 9% 之第三迴圈時折減至 1800 kN 左右，低於試體強度之 80%，故實驗停止。綜

整兩組試體之反覆載重試驗結果，將遲滯迴圈同時繪於圖 10 中可發現，鋼與混凝土複合橋柱之耐震性能優於傳統橋柱。在韌性方面，傳統橋柱在側向位移比為 5% 時強度開始折減，鋼與混凝土複合式橋柱在側向位移比為 9% 時強度才開始有較大之折減。在強度

表 2 側向位移加載歷程

回次		2	4	6	8	10	12	14	16	18	21	24	27
側向位移比 (%)	+	0.25	0.375	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	9.0
	-	0.25	0.375	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	1.0	1.0
側向位移 (mm)	+	21.25	31.875	42.5	63.75	85	127.5	170	255	340	425	680	765
	-	21.25	31.875	42.5	63.75	85	127.5	170	255	340	425	85	85
迴圈數		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3

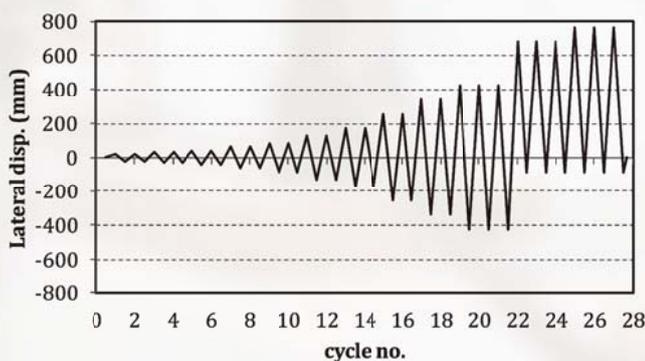


圖 9 側向位移加載歷程

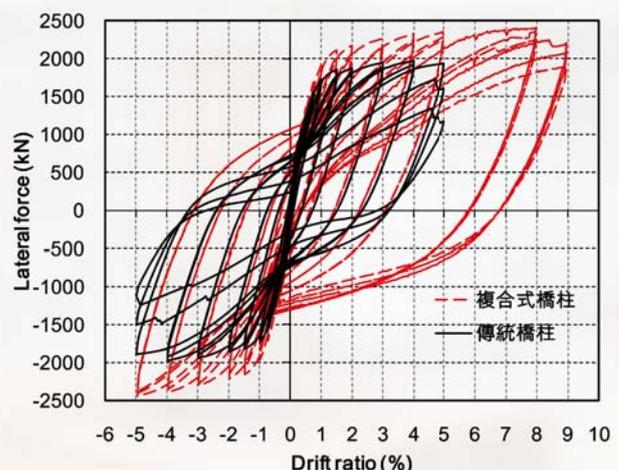


圖 10 試體遲滯迴圈比較圖

方面，傳統橋柱在為 2000 kN 左右，而鋼與混凝土複合橋柱則可達 2400 kN。另由橋柱上安裝之位移計量測結果，可推求得各橋柱於不同側向位移比時之剪力位移與總位移比，將兩組橋柱所得結果一起套疊可得圖 11 之比較圖，圖 (a) 和 (b) 分別為側向位移比為負值（拉）和正值（推）時之結果。如圖所示，複合式橋柱由於鋼骨具有較佳之抗剪能力，其剪力位移明顯低於傳統橋柱。

圖 12 為試體之破壞情況比較，其中圖 (a) 和 (b) 分別為傳統橋柱與複合橋柱於側向位移比為 5% 之第三迴圈時之破壞相片，如圖所示，複合橋柱之破壞主要集中於柱底 40 cm 處，混凝土剝落，箍筋外露，但主筋

未外露，故複合橋柱在側向位移比為 5% 時，強度並未折減，而傳統橋柱之主筋則明顯外露並嚴重挫屈，箍筋亦明顯外凸，繫筋彎勾脫離。圖 12(c) 所示為複合式柱於側向位移比為 9% 第三迴圈後之破壞相片，如圖所示，此時複合式柱部分主筋挫屈斷裂，但鋼骨並未外露。為進一步了解試體內部的實際破壞情況，兩座試體均在實驗完成後鑿除表面破壞混凝土，再次觀察其最後破壞機制，圖 13 所示為鑿除表面破壞混凝土後之試體相片，其中圖 (a) 為傳統柱在受到側向位移比為 5% 後之破壞相片，圖 (b) 為複合柱在受到側向位移比為 9% 後之破壞相片。如圖所示，傳統橋柱之箍筋發生一般矩形 RC 柱常見之破壞模式，即直線排列箍筋明顯

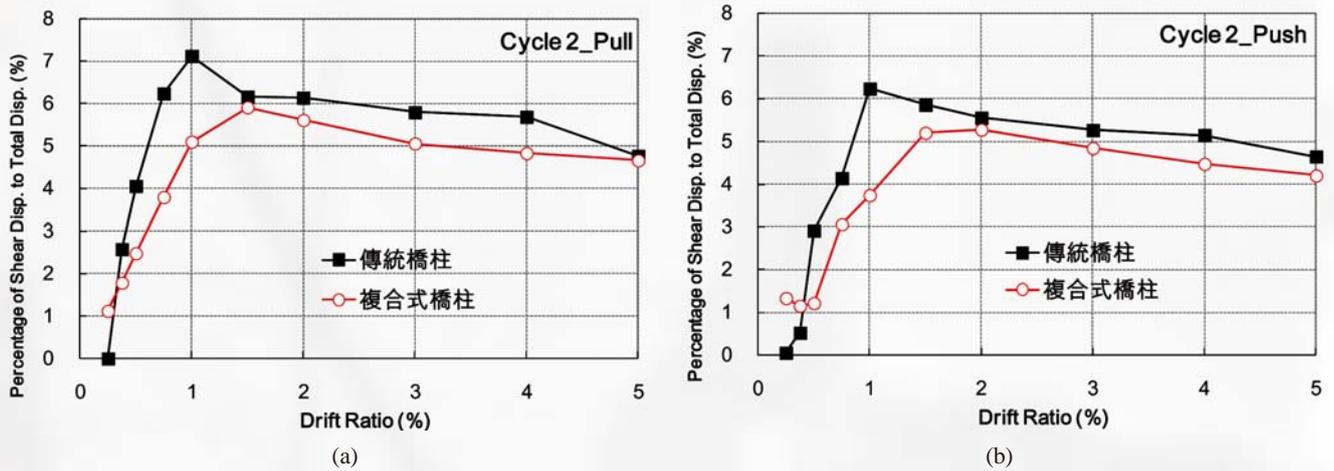


圖 11 試體於不同側向位移比之剪力變形比（第二迴圈）(a) 側向位移比為負值時（拉）；(b) 側向位移比為正值時（推）

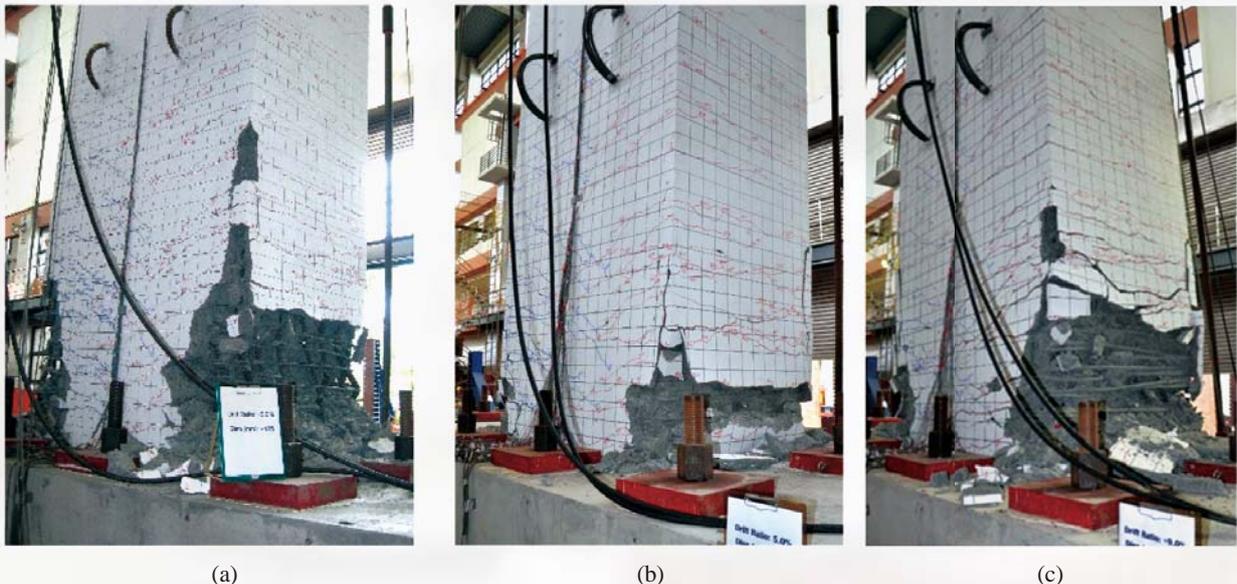


圖 12 試體之破壞情況比較 (a) 傳統橋柱於側向位移比為 5% 第三迴圈時；(b) 複合柱於側向位移比為 5% 第三迴圈時；(c) 複合柱於側向位移比為 9% 第三迴圈時

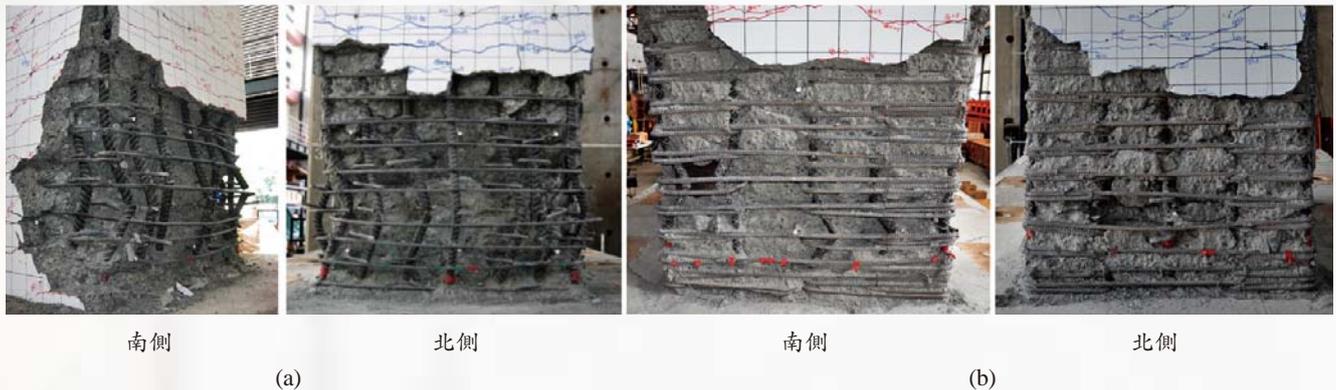


圖 13 鑿除表面破壞混凝土後之破壞情況比較 (a) 傳統柱 (drift ratio = 5%); (b) 複合式橋柱 (drift ratio = 9%)

外鼓，繫筋彎勾脫離，故其箍筋圍束效果完全喪失，主筋嚴重挫曲斷裂，反觀複合柱之圍束箍筋則沒有明顯外凸情形，仍保持在其原有位置，其破壞原因為部分主筋挫曲，南側之兩支鋼骨挫屈。

圖 14 所示為橋柱塑鉸區於不同側向位移比之曲率變化圖，如圖所示，兩組橋柱試體之最大曲率值均發生在柱底基礎交界面附近，而在離基礎底 30 cm 外之橋柱塑鉸區範圍內，傳統橋柱之曲率值大於複合式橋柱，表示傳統橋柱在該處之破壞情況較嚴重，此結果再次顯示複合柱之耐震性能優於傳統柱。

試體分析與比較

兩組試體於製作過程中均有進行材料試驗，依據材料試驗強度，本研究亦進行試體斷面之非線性分析，分析軟體採用 Sap 2000N，混凝土採 Mander 模型 [6] 計算其圍束及未圍束區之應力應變曲線，鋼筋與鋼骨採用考慮降伏平台及應變硬化特性之應力應變曲

線。分析假設試體在受彎矩過程中平面保持平面，鋼筋、鋼骨與混凝土完全合成，即假設鋼筋和鋼骨與周圍混凝土之握裹效果很好，其介面無相對滑動產生。斷面以纖維元素 (fiber element) 進行模擬，圖 15(a) 和 15(b) 所示分別代表傳統橋柱與複合橋柱之分析模型。將分析結果與試驗結果比較可得圖 16，圖中分析結果與試驗所得之遲滯迴圈包絡線相當吻合，此結果證實分析之可靠性，也驗證分析時所採用鋼骨 / 鋼筋與周圍混凝土完全合成之假設的適當性。

如前所述，複合橋柱試體在設計階段，考量鋼骨與周圍混凝土握裹效果未知而採偏保守方式設計，故複合橋柱試體所配置之主筋比高於傳統橋柱試體，但經實驗結果與分析結果比較後證實鋼骨與周圍混凝土握裹效果良好，且兩者完全合成之假設合理，故本研究依此假設，以混凝土應變達 0.003 為基準，重新計算兩組橋柱之標稱彎矩強度 M_n 。分析結果得傳統橋柱之 M_n 為 14199 kN-m，複合式橋柱 M_n 為 16190 kN-m。最後再將圖 10 所示之試驗結果除以各試體標稱彎矩強度

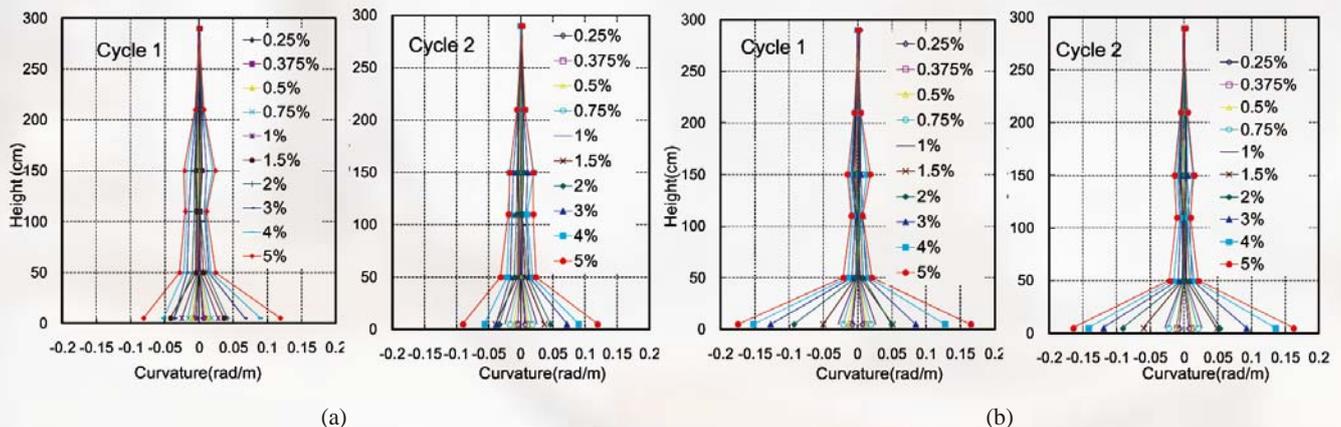


圖 14 橋柱於不同側向位移比之曲率變化圖 (a) 傳統柱 (b) 複合柱

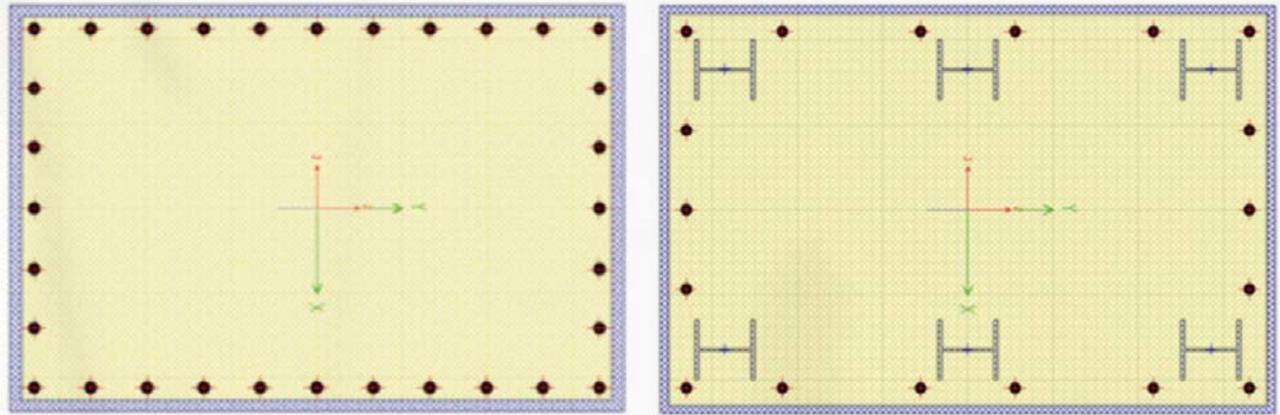


圖 15 試體分析之斷面模型 (a) 傳統橋柱 (b) 鋼與混凝土複合式橋柱

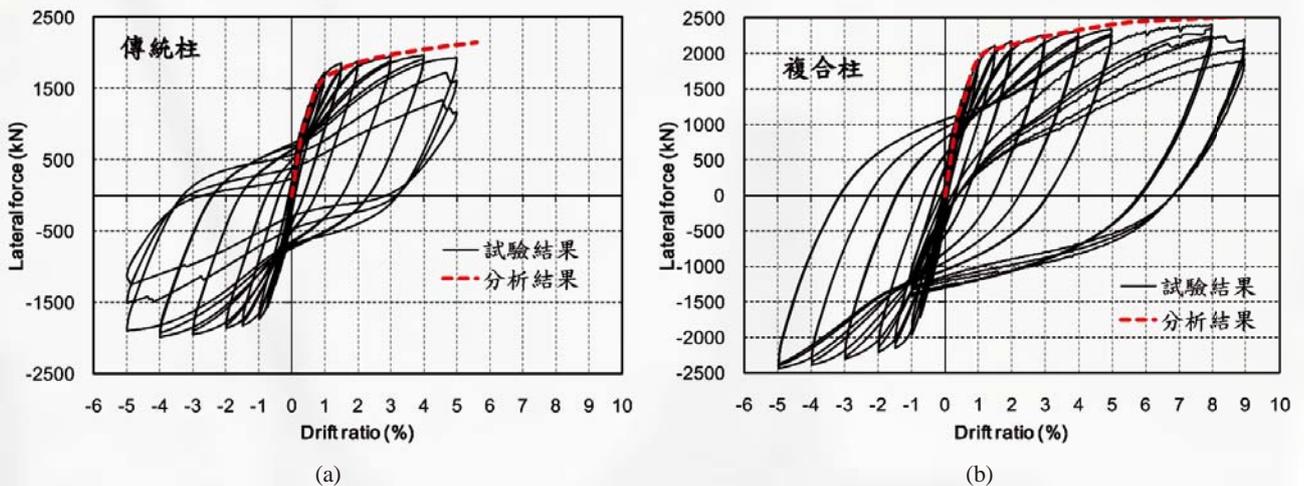


圖 16 試體分析結果與實驗結果之比較 (a) 傳統橋柱 (b) 複合橋柱

M_n 對應之剪力 V_n 進行正規化，正規化後所得之遲滯迴圈比較圖繪於圖 17 中。如圖所示，正規化後之兩組橋柱強度相當。此結果顯示若兩組試體採用相同之設計彎矩強度，其實際反應之強度將也相當，但複合橋柱之韌性優於傳統橋柱。

由實際試體施工工率之計算，已證實鋼與混凝土複合橋柱工法之施工性優於傳統橋柱，另依性能試驗結果也已證實鋼與混凝土複合橋柱之耐震性能優於傳統橋柱，但橋柱工法的選擇除了考量施工性與耐震性外，經濟性也是決定性因素，故本研究亦針對複合橋柱試體與傳統試體之造價進行比較。為使兩組橋柱具有相同之比較基準，本研究另設計一組強度與傳統橋柱相當之複合柱，新設計橋柱之主筋配置和原複合橋柱試體相同，配置 18 支 SD420 D32 鋼筋，但鋼骨改為 6 組 A572 H150 × 150 × 7 × 10 型鋼，此配置之橋柱斷

面鋼筋比為 0.68%，斷面鋼骨比為 1.09%，鋼材加鋼筋換算為對應之主筋比為 1.59%。新設計橋柱之箍筋比也改為和傳統柱相同（1.19%），即將箍筋間距由原複合式柱之 10 cm 改為 11.7 cm。經由試驗結果與分析結果之比較已驗證本研究所採用分析方法之正確性，故茲以驗證過之分析方法針對新設計橋柱進行試體分析，並將其分析結果與傳統橋柱進行比較可得如圖 18 所示之結果。如圖所示，修正後之複合柱分析所得強度和傳統柱相當，故橋柱之造價比較將依此修正後試體之配置為基準。表 3 所示為試體造價比較表，其費用包含橋柱試體加工費、施工費與材料費，材料費包括工作筋之成本，但不含試驗配合鐵件，表中數據顯示複合式橋柱之總成本為傳統柱之 129%，主要因為鋼骨之費用高於鋼筋混凝土。

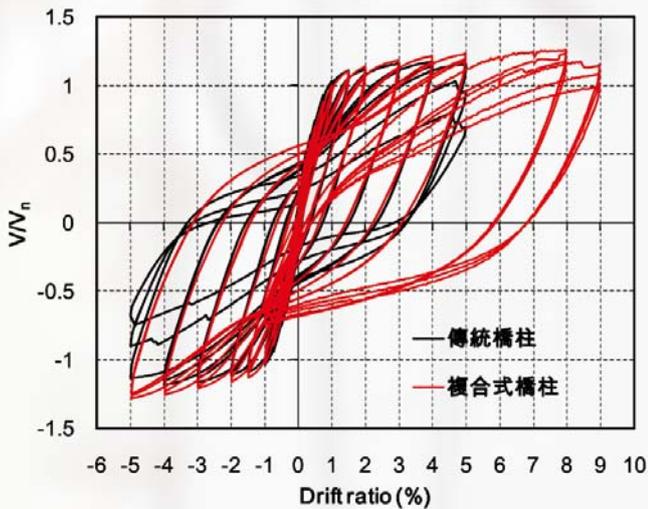


圖 17 試體正規化後之遲滯迴圈比較圖

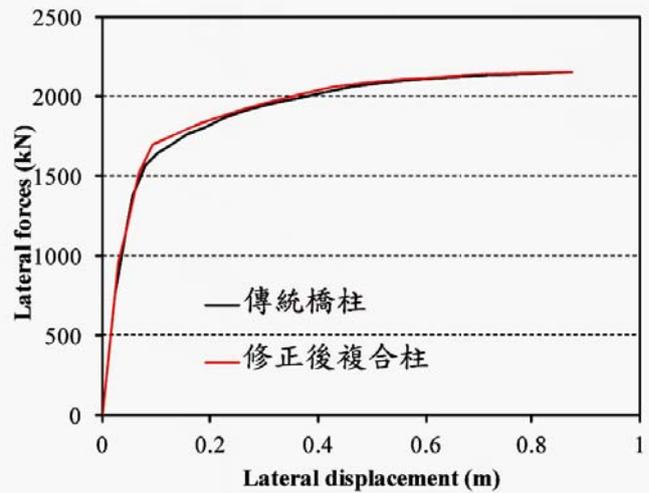


圖 18 修正後試體分析結果

表 3 試體造價比較表

項目	傳統柱				複合柱			
	加工費 (元)	施工費 (元)	材料費 (元)	合計 (元)	加工費 (元)	施工費 (元)	材料費 (元)	合計 (元)
基礎	5,795	57,398	204,021	267,214	5,795	57,398	,	267,214
柱體	4,079	119,727	263,691	387,498	146,997	102,825	327,134	576,956
總計				654,711				844,170
百分比				100%				129%

工法應用與檢討

箍筋綁紮是橋柱施工最為繁雜的工項之一，本研究開發之改良式鋼與混凝土複合式橋柱工法主要藉由箍筋加工組立之自動化，達到營建自動化目的，並透過以鋼骨取代部分主筋，作為主筋與箍筋籠組立時之支撐，降低鋼筋組立時之施工風險與主筋過度緊密排列時綁紮之困難。經實際施工證實本工法在施工效率上確實明顯優於傳統作法，可用於改善營造業勞工短缺及工人素質不穩定的問題。此外，經性能試驗也證實本研究開發之複合橋柱耐震性能不僅可達傳統橋柱之標準，其韌性更明顯高於傳統橋柱，但在經濟性上由於鋼骨之材料費用高於鋼筋混凝土，故鋼與混凝土複合橋柱試體之造價仍高於傳統橋柱。

上述結論之主要依據為本研究所採用之斷面為

1.8 m × 1.2 m，柱身高為 9 m 之低橋墩試體的施工經驗、性能試驗結果與實際造價數據，其中也並未將施工安全等難以量化之影響因素納入。就耐震性而言，鋼與混凝土複合橋墩之耐震性能並不易因尺寸與規模之差異而有所不同，根據實驗成果，複合橋墩試體之耐震性優於傳統橋柱，故其他尺寸與規模之橋墩也應有相同效果。但就施工性與經濟性而言，對於其他尺寸與規模之橋墩，其比較結果應會略有不同。就施工性而言，低橋墩之主筋通常不需要續接，其現場綁紮及輔助固定措施之施工較為容易，除另有近接施工等特殊因素外，使用鋼與混凝土複合橋墩較不具有工進或工安上之優勢，而中高橋墩則因主筋需要續接，鋼骨可作為鋼筋綁紮之輔助固定措施並減少鋼筋倒塌之

風險，且若搭配局部或全數鋼筋以預組鋼筋籠方式施工，更可進一步減少現場作業時間、有效縮短工期，故當橋墩越高，主筋需要之續接次數越多時，施工效益之提高越為明顯。就經濟性而言，以型鋼作為鋼筋之輔助固定措施之複合橋墩也是橋墩高度越高，越具有經濟優勢，因為高橋墩之斷面尺寸較大，型鋼距離斷面中性軸之距離增加，替代主筋之比例可以提升，此外，在橋墩昇層高度相同之前提下，高橋墩採型鋼複合構造時，其所需之型鋼尺寸僅略大於低橋墩，而高橋墩主筋需求總量較大，故採用型鋼構造而增加的工程費用比例亦可下降。為證實此一觀點，本研究亦設定三組不同尺寸與規模之橋柱，柱高分別為 10 公尺、20 公尺及 35 公尺，分別代表低橋墩、中橋墩與高橋墩情況，其對應之斷面尺寸分別為 2 m × 3 m、2.5 m × 3.75 m 及 3 m × 4.5 m，主筋比為 1.1%、1.6% 和 1.8%，三組橋柱分別各以傳統鋼筋混凝土橋柱與鋼與混凝土複合橋柱配置方式進行設計，再依實際訪價結果與工程實務經驗推估不同配置橋墩之造價，藉以比較傳統橋柱與複合式橋柱在不同規模下之經濟性。比較結果可得鋼與混凝土複合式橋墩之造價在低橋墩時為傳統柱之 109% 倍，在高橋墩時則可降至傳統柱之 103% 倍 [4]，證實隨著橋柱規模之提升，鋼與混凝土複合式橋柱與傳統橋墩之工程費用差異性可降低。

綜上說明可知鋼與混凝土複合橋墩特別適用於中高橋墩。複合橋柱在低橋墩與低鋼筋比條件下，雖然其施工性和耐震性皆優於傳統柱，但其造價成本高於傳統橋柱，故在一般性橋梁之應用推廣上較為不易，但若應用於高橋墩或高鋼筋比之橋墩，其與傳統橋柱之成本應可拉近，其效益亦將顯現。此外，在高鋼筋比需求下，傳統配置之鋼筋混凝土橋柱因鋼筋需緊密排列，在鋼筋綁紮與混凝土澆置容易發生困難，此時以鋼骨取代部分主筋之複合橋柱正可解決此問題，在高橋墩狀態下利用型鋼固定鋼筋，減少模板設置與鋼筋組立之施工風險，也可使鋼筋綁紮施工達到安全及

效率提升之雙重效益。

根據研究成果，並參考相關規範與手冊，本研究亦完成 H 型鋼與混凝土複合式橋柱之設計及施工手冊 [4]。本手冊主要涵蓋設計與施工兩大部分。在設計部分，主要參考國內外相關規範，配合性能試驗之結果進行撰寫，內容包括工法概要、適用範圍、材料、橋墩之設計、構造細則等。在施工部分，以本研究之施工經驗為基礎，配合國內實際工程環境與工程經驗，詳述施工步驟與施工注意事項，內容涵蓋施工計畫與構件施工細部計畫。此外配合手冊之內容，手冊附錄亦提供一示範例。本設計與施工手冊可為後續鋼與混凝土複合橋相關工程應用之參考。

參考文獻

1. 日本獨立行政法人土木研究所等 (2009), 3H 工法設計・施工マニュアル(案)一改訂 2 版, プレハブ・複合部材を用いた山岳部橋梁の下部工の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書。
2. 日本前田建設工業株式會社 (2002), REED 工法設計施工マニュアル(案)一平成 14 年道示對應版。
3. 洪曉慧、張國鎮、宋裕祺、王瑞禎、劉光晏、王柄雄 (2012), 營建自動化橋梁墩柱工法之研究 (第 1 期), 交通部國工局委託研究報告: 172
4. 張國鎮、宋裕祺、洪曉慧、王瑞禎、劉光晏、曾榮川、彭知行、劉醇宇 (2013), 營建自動化橋梁墩柱工法之研究 (第 2 期), 交通部國工局委託研究報告: 175
5. Chang, K.C., Wang, J.C. and Wang, P.H. (2003). A study of test on confining behavior from one-bar hoop and wire mesh hoop, Research report from Taiwan Construction Research Institute.
6. Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988a), "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", J. Struct. Div., ASCE, 114(8), pp.1804.

鋼筋混凝土柱耐震圍束作用之測試

李翼安／國家地震工程研究中心專案助理研究員

沈文成／國家地震工程研究中心助理研究員

黃世建／國立臺灣大學土木工程系教授、國家地震工程研究中心副主任

鋼筋混凝土 (Reinforced Concrete, RC) 建築因都會區人口集中，可利用之建築面積逐漸減少，建築物往高樓層發展是必然趨勢。當建築樓層越高時，底層柱所承受之軸力越大，但依美國現行規範 ACI 318-11 之規定，對於柱變形能力要求之柱箍筋量設計，並不會因軸力之影響而有所變化。然而，根據國家地震工程研究中心之實驗結果顯示，柱圍束箍筋量會受軸力之影響。當柱承受高軸力時，若不增加圍束箍筋量，會使柱之變形能力降低。除此之外，高層建築使用高強度鋼筋混凝土材料，來降低柱尺寸以增加使用空間，但目前現行規範並未針對高強度鋼筋混凝土材料作出相關規定。因此，美國混凝土學會在 ACI 318 規範委員會中，針對柱耐震圍束鋼筋量之設計提出修訂建議，於設計公式中將軸力參數與高強度鋼筋混凝土材料之影響納入考量，以解決現行規定不足之處。本文將透過國家地震工程研究中心之實驗結果，探討 ACI 318-14 修訂建議之物理意義。

ACI 規範之柱圍束箍筋量

台灣地區地狹人稠，再加上近年來因都市快速變遷，大都會區人口密集度高，都市更新議題持續發酵。所以，將既有建築做都市更新計畫，勢必以高層建築為主要發展標的。對鋼筋混凝土結構而言，目前在台灣之建築結構系統多以韌性抗彎構架 (special moment resisting frame) 為主。在韌性抗彎系統中，底層柱根據目前美國土木工程師學會 ASCE/SEI 41-06 Supplement 1 [1] 之建議，柱之變形能力要求為層間位移角 (Drift ratio) 需達 3%。然而，在高層建築結構系統中，因底層柱承受較大的軸力，導致柱之破壞模式

不全然為拉力主控。當柱為壓力破壞時，其行為屬於脆性破壞，故其變形能力不佳。因此，若欲發展高層建築，就必須改善柱在承受高軸力下之變形能力。

目前現行規範 ACI 318-11 [2] 對於柱變形能力之要求，主要藉由柱圍束箍筋量之規定來確保柱之變形能力。根據前述現象可發現，當柱軸力增加時，其變形能力較差。相當明顯地，柱之變形能力與其所承受之柱軸力有著極為密切之關連。然而，目前 ACI 318-11 [2] 之柱圍束箍筋量並不因柱軸力變化而有所增減。所以，當柱承受高軸力時，根據現行規範設計之柱圍束箍筋量，並無法確保其變形能力 (超過層間變位角 3%)。有鑑於此，美國混凝土學會 (America Concrete Institute, ACI) 在 ACI 318-14 [3] 規範中，特別依據上述問題對柱圍束箍筋量作出修訂。

再者，國內工程師在設計高層鋼筋混凝土結構之柱時，常因柱所承受之軸力較大，往往柱斷面尺寸可達 1.2 公尺。如此過大之柱尺寸，會使低樓層之使用空間被壓縮。因此，若要解決低樓層柱尺寸過大之問題，使用高強度鋼筋混凝土材料是最直接且最快的方法。然而，由於高強度混凝土之行為較普通強度混凝土更為脆性，因此，若使用高強度混凝土來縮減柱之斷面尺寸，且仍保有柱應有之變形能力下，勢必得提高圍束箍筋量。所以，美國混凝土學會在 ACI 318-14 [3] 規範中，同時也針對使用高強度鋼筋混凝土材料，作出相關之規定，本文將在後續的文章中作探討。

關於柱圍束箍筋量在柱承受較大軸力時，箍筋量應隨柱軸力增加進而隨之增加之概念，已早在 2009 年 Elwood 等人 [4] 之論文中被提及。同時，國家地震工程研究中心 (以下簡稱：國震中心) 亦引用 Elwood 等人 [4] 之

概念，在 2009 年開始著手關於高強度與普通強度鋼筋混凝土柱圍束耐震箍筋量之研究，藉以探討使用不同強度鋼筋混凝土材料與高軸力作用下柱之耐震行為。因此，本文將介紹國震中心柱圍束作用之實驗結果，並藉由測試成果來探討 ACI 318-14 [3] 關於柱圍束箍筋量修訂之物理意義。

測試計畫

國震中心於 2009 年開始進行一系列柱在高軸力作用下之圍束作用研究，其相關實驗成果已在 2010 年張豐展 [5]、2011 年陳盈璋 [6] 及 2013 年黃冠傑 [7] 之碩士論文中發表。本文將不再一一贅述其詳細實驗成果，僅對其中 4 座柱圍束作用之試體實驗成果作探討。此 4 座柱試體分別為黃冠傑 [7] 論文中，普通強度鋼筋混凝土柱 T30-1 與 T30-2。以及張豐展 [5] 之 B5 與陳盈璋 [6] 之 T70-N46-D3 高強度鋼筋混凝土柱試體，其相關之實驗參數，如表 1 所示。

本文引用之柱圍束作用測試試體，柱斷面為皆為 600 × 600 mm，柱淨高為 1800 mm，如圖 1 所示。普通強度鋼筋混凝土柱試體 T30-1 與 T30-2 [7]，其混凝土設計強度為 30MPa，實際混凝土抗壓強度分別為 31.4 MPa 與 31.2 MPa。高強度鋼筋混凝土柱試體 B5 及 T70-N46-D3 [5, 6]，其混凝土設計強度為 70 MPa，實際混凝土抗壓強度分別為 83.4 MPa 與 88.5 MPa。

此 4 座試體皆以 16 根 #8 鋼筋作為柱主筋，主筋比為 2.25%。根據不同強度使用 SD420 與 SD685 之鋼筋，其標稱降伏強度分別為 420 MPa 與 685 MPa，實際鋼筋降伏強度則如表 1 所示。鋼筋配置示意圖，則如圖 1 所示。

關於柱圍束箍筋配置部分，普通強度柱試體 T30-1 係根據 ACI 318-11 [2] 規範設計，採用 SD420 #4 鋼筋 100 mm 間距，其箍筋比 ρ_s 為 0.75%。T30-2 試體則將箍筋量提高至 1.04%，同樣採用 SD420 #4 鋼筋，其間距為 120 mm。經由上述兩作試體之比較，藉以探討增加箍筋量對柱變形能力之影響。高強度柱試體 B5，亦根據 ACI 318-11 [2] 規範設計，採用 SD785（標稱降伏強度為 785 MPa）#4 鋼筋 140 mm 間距，其箍筋比 ρ_s 為 0.89%。而 T70-N46-D3 試體則將箍筋量提高至 1.97%，採用 SD785 #5 鋼筋 100 mm 間距。同樣地，透過上述兩座高強度鋼筋混凝土柱之比較，來探討增加箍筋量在使用高強度材料下柱之變形能力。實際箍筋之降伏強度，請詳見表 1 所示。

由於此系列柱圍束作用試驗，皆為柱在承受高軸力作用下之耐震圍束行為研究（其詳細施加軸力值，如表 1 所示）。因此，此系列實驗皆在國震中心之多軸向試驗系統（Multi-Axial Testing System, MATS）中進行，如圖 2 所示。在多軸向試驗系統中，可提供 40,000 kN 垂直載重與 3,500 kN 水平載重。藉由多軸向試驗系統可提供如此高之測試容量，可使鋼筋混凝土柱在高軸力作用下之耐震圍束行為得到清楚的驗證。

此系列試驗為模擬鋼筋混凝土柱，在固定軸力與側向反覆載重下之耐震行為。在側向反覆載重部分，採用符合 ACI 374.1-05 [8] 規定之載重歷時，以層間變位角為控制參數，依序加載，且每一個層間變位角皆做三個迴圈，詳細之載重歷時圖，如圖 3 所示。

表 1 試體參數表

試體	斷面	f'_c (MPa)	主筋		箍筋			軸力 (kN)		
			號數	f_y (MPa)	號數	f_y (MPa)	間距 (mm)		ρ_s (%)	
T30-1		31.4	#8	456	#4	817	100	0.75	6555	
T30-2		31.2				470	120	1.04		
B5		83.4			744	817	140	0.89		17119
T70-N46-D3		88.5			735	#5	820	100		1.97

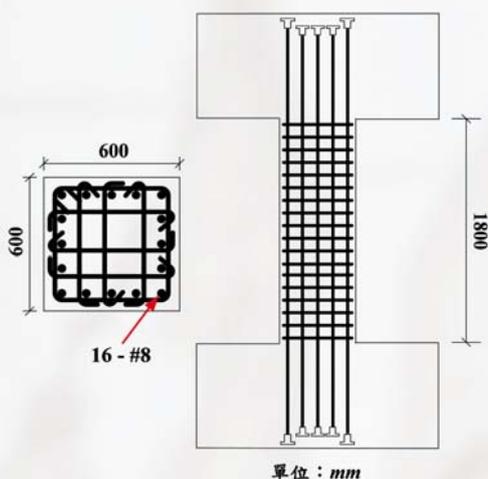


圖 1 柱尺寸與鋼筋配置示意圖（B5 試體）

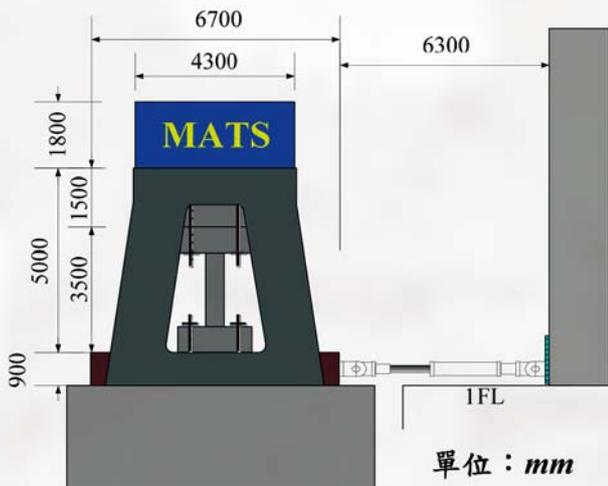


圖 2 多軸向測試系統

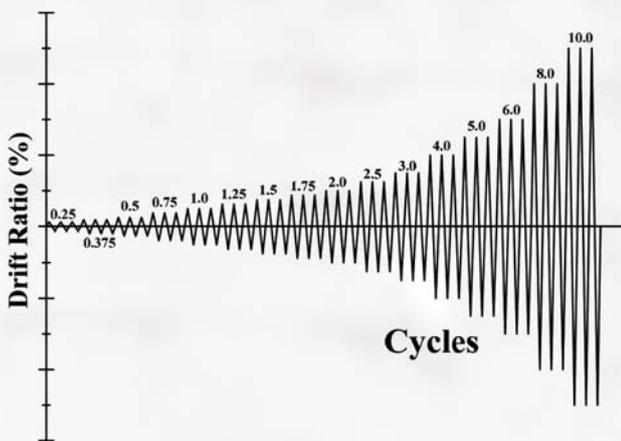


圖 3 載重歷時圖

實驗結果

本文介紹之實驗數據，主要在於觀察當柱在承受高軸力作用下之耐震行為，與使用高強度材料之鋼筋混凝土柱，同樣在高軸力作用下之耐震行為。因此，本文於此介紹實驗結果之重點，將著眼於柱之變形能力。以下將個別描述其行為：

普通強度試體 T30-1

圖 4 為 T30-1 之側力 — 位移遲滯迴圈，圖中顯示試體於層間變位角 0.75% 時，出現其最大之側向強度 1507 kN。當層間變位角為 2.9% 時，第二迴圈往負向處試體喪失軸向承載能力而破壞，結束試體 T30-1 之試驗。關於最大變形能力 (ultimate drift) 之認定上，依據 ASCE 41-06 [1] 之定義，以試體之側向強度衰減至最大側向強度 80% 時，其層間變位角定義為試體的最

大變形能力。試體 T30-1 之側向強度衰減至最大側向強度 80% 時，其層間變位角為 1.5%。因此，認定試體 T30-1 之最大變形能力為 1.5%，其相關實驗數值表列於表 2 中。

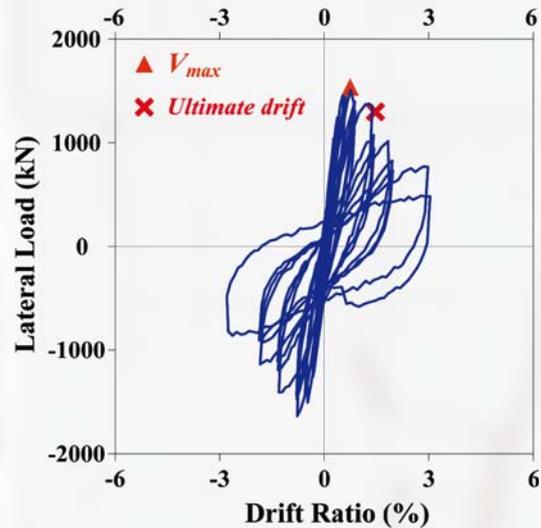


圖 4 T30-1 試體遲滯迴圈

普通強度試體 T30-2

圖 5 為 T30-2 之側力 — 位移遲滯迴圈，當試體於層間變位角 1.5% 時，出現其最大之側向強度 1827 kN。最後在層間變位角 5% 時，於第二迴圈結束後試體喪失軸向承載能力而破壞，結束試體 T30-2 之試驗。試體 T30-2 之側向強度衰減至最大側向強度 80% 時，其層間變位角為 3.1%。故試體 T30-2 之最大變形能力為 3.1%，其相關實驗數值表列於表 2 中。

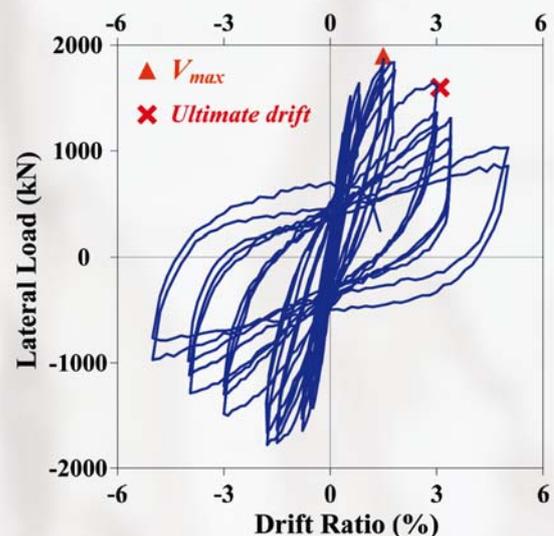


圖 5 T30-2 試體遲滯迴圈

高強度試體 B5

圖 6 為 B5 之側力 — 位移遲滯迴圈，當試體於層間變位角 0.72% 時，出現其最大之側向強度 2835 kN。當層間變位角為 1.25% 時，可觀察出強度有些許的衰減，隨後於層間變位角 1.25% 之負向準備向 1.25% 進行第二迴圈實驗時，試體失去軸向承載能力而破壞，結束試體 B5 之試驗。試體 B5 不同於前述試體，並未在試體之側向強度衰減至最大側向強度 80% 時，即已發生破壞，故試體 B5 之最大變形能力定義於 1.25%，其相關實驗數值表列於表 2 中。

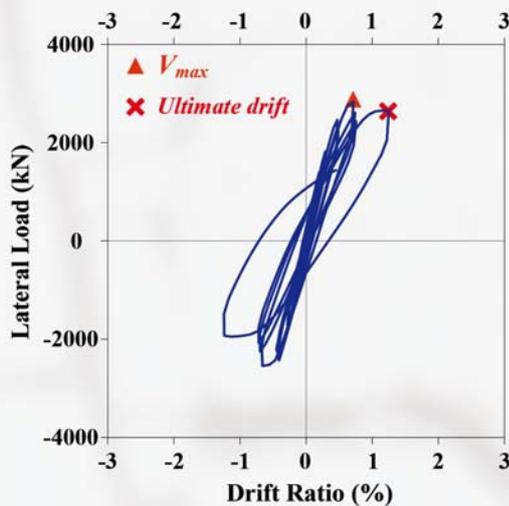


圖 6 B5 試體遲滯迴圈

高強度試體 T70-N46-D3

圖 7 為 T70-N46-D3 之側力 — 位移遲滯迴圈，當試體於層間變位角 2.46% 時，出現其最大之側向強度 3151 kN。在同一層間變位角下，在完成第二迴圈後進行第三迴圈實驗時，試體失去軸向承載能力而破壞，結束試體 T70-N46-D3 之試驗。同樣地，試體 T70-N46-D3 並未在試體側向強度衰減至最大側向強度 80% 時，即已發生破壞，故試體 T70-N46-D3 之最大變形能力定義於 2.78%，其相關實驗數值表列於表 2 中。

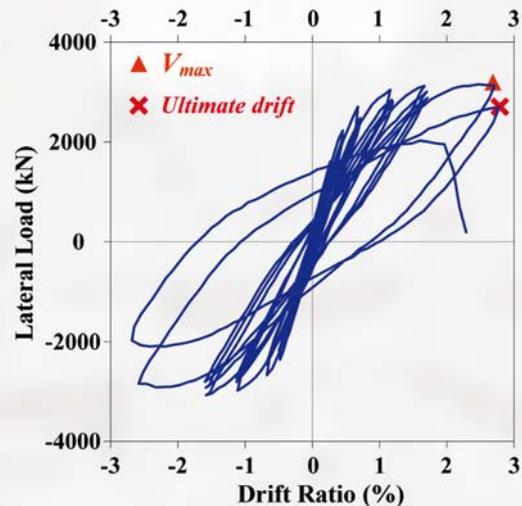


圖 7 T70-N46-D3 試體遲滯迴圈

綜合上述實驗結果顯示，無論普通強度或高強度試體，若依現行 ACI 318-11 [2] 規範設計之試體 (T30-1 及 B5)，其最大變形能力皆未到達 ASCE 41-06 [1] 建議層間變位角 3% 之變形量。反觀提高耐震箍筋量之試體，其最大變形能力都已相當接近層間變位角 3% 之規定。由此可知，當鋼筋混凝土柱在承載高軸力作用時，提高箍筋量可增加其變形能力。同時也突顯出現行 ACI 318-11 [2] 規範，對於柱耐震圍束箍筋未將軸力參數列入考量，將會導致鋼筋混凝土柱變形能力不足之疑慮。

ACI 318-14 [3] 之修訂建議

經由上述實驗數據證實，在進行柱耐震圍束箍筋設計時，依照目前現行規範 ACI 318-11 [2] 之規定，柱之變形能力有不足之疑慮。所以，美國 ACI 318 規範委員會已正視到現行規範有所不足之處，故於 ACI 318-14 [3] 將柱耐震箍筋量之設計做出修訂，其相關建議如下：

當柱軸力在 $0.3A_g f'_c$ 以下及混凝土強度在 70 MPa 以下時，矩形柱之箍筋量不得小於下列兩式。

表 2 測試結果與規範設計值之比較

試體	實驗值				規範設計值	
	V_{max} (kN)	$\Delta_{ultimate}$ (%)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho_{s, test}$ (%)	$\rho_{s, ACI 318-11}$ (%)	$\rho_{s, ACI 318-14}$ (%)
T30-1	1507	1.50	0.58	0.75	0.71%	1.73%
T30-2	1827	3.10	0.58	1.04	0.71%	1.32%
B5	2835	1.25	0.57	0.89	0.89%	2.31%
T70-N46-D3	3151	2.78	0.45	1.97	1.27%	2.08%

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} = 0.3 \frac{f'_c}{f_{yt}} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} = 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2)$$

當柱軸力在 $0.3A_g f'_c$ 以上或混凝土強度在 70 MPa 以上時，矩形柱之箍筋量不得小於式 (1) 及式 (2) 外，同時亦不得小於下列式 (3) 之規定。

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} = 0.2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \quad (3)$$

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0.6 \geq 1.0 \quad (4)$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} \quad (5)$$

其中， A_{sh} 為包括繫筋及橫向鋼筋之總斷面 (mm^2)， s 為橫向箍筋之間距 (mm)， b_c 為外圍閉合鋼筋外緣至外緣之距離 (mm)， f'_c 為混凝土抗壓強度 (MPa)， f_{yt} 為橫向鋼筋降伏強度 (MPa) 且不得大於 700 MPa ， A_g 為柱之全斷面積 (mm^2)， A_{ch} 為外圍箍筋外緣至外緣以內所圍成之斷面積 (mm^2)， k_f 為混凝土強度參數， k_n 為箍筋端彎鉤有效性參數， n_l 為柱斷面受閉合箍筋或耐震彎鉤 (箍筋或繫筋採 $\geq 135^\circ$ 彎鉤) 圍束之主筋數量。以圖 8 之柱斷面為例，被繫筋以耐震彎鉤 (135°) 及外圍箍筋鉤住之主筋者，其數目 n_l 為 7。

由上述之修訂建議公式可發現，式 (1) 及式 (2) 沿用 ACI 318-11 [2] 之規定，但將其範圍限制在柱軸力 $0.3A_g f'_c$ 以下及混凝土強度在 70 MPa 以下。當在柱軸力 $0.3A_g f'_c$ 以上或混凝土強度在 70 MPa 以上時，則必須以式 (3) 加入考量。在式 (3) 中可明顯地發現，ACI 加入混凝土強度參數 (k_f) 與箍筋端彎鉤有效性參數 (k_n)。透過上述國震中心之實驗結果發現 (如圖 9 所示)，混凝土強度提高

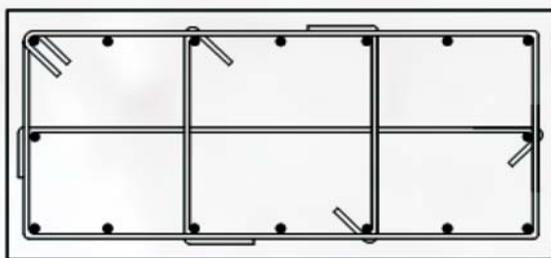


圖 8 箍筋端彎鉤有效性示意圖

後，其行為較普通強度混凝土更為脆性，導致柱之變形能力降低，故須提高柱圍束箍筋量。式 (4) 之混凝土強度參數 (k_f) 即為 ACI 318-14 [3] 針對高強度混凝土材料之相關修訂。但若混凝土強度未超過 70 MPa 時，式 (3) 並不會增加柱箍筋量，只需考量高軸力下之影響。

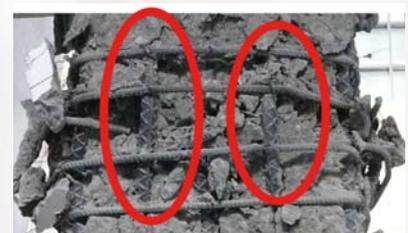
式 (3) 中之箍筋端彎鉤有效性參數 (k_n)，則與柱主筋因承受高軸力易發生挫屈行為有關。圖 10 顯示試體 T30-1 之破壞相片，當柱承受高軸力時，其主要破壞模式為柱主筋挫屈。若能增加柱之圍束箍筋量，提高柱主筋之側向支撐，則可延緩主筋挫屈的產生，增加柱之變形能力。因此，ACI 318-14 [3] 對於承受高軸力之柱圍束箍筋設計，加入箍筋端彎鉤有效性參數 (k_n) 作考量，藉以解決高軸力所導致柱主筋易發生挫屈之影響，同時增加柱之變形能力。同時，在式 (5) 中之彎鉤有效性認定上，ACI 318-14 [3] 繫筋之 90° 彎鉤不足以防止主筋挫屈，故只對大於 135° 之彎鉤認定其防止主筋挫屈有效。所以，ACI 318-14 [3] 之修訂建議，在繫筋之兩端皆須以 135° 彎鉤，才足以提供主筋之圍束作用。



圖 9 試體 B5 之破壞圖



(a) 垂直剪力方向之破壞相片



(b) 主筋挫屈

圖 10 試體 T30-1 之破壞圖

關於 ACI 318-14 [3] 對於柱耐震圍束箍筋設計之修訂建議，與實際耐震行為上之差異。本文將以上述國震中心之實驗結果，與設計值作比較，其結果如表 2 所示。由表 2 顯示，試體 T30-1 與試體 B5 皆符合 ACI 318-11 [2] 之要求，但其變形能力皆表現不佳。然而，試體 T30-2 與試體 T70-N46-D3 之箍筋量增加，雖未達到 ACI 318-14 [3] 之規定（如圖 11 所示），但經由實驗成果呈現，其變形能力已較前述兩試體增加許多。由此可知，ACI 318-14 [3] 之修訂建議，的確可針對高軸力與高強度材料之柱圍束行為，提供更安全之設計。

ACI 規範建議修訂柱圍束箍筋

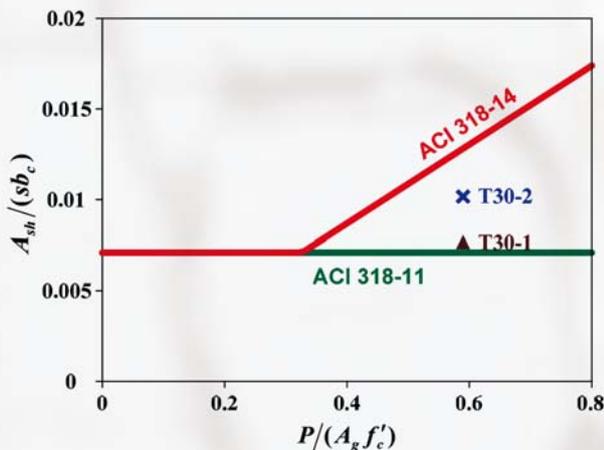
鋼筋混凝土柱在承受高軸力作用下，或使用高強度鋼筋混凝土材料來降低柱斷面之尺寸，以目前現行規範 ACI 318-11 [2] 作柱之耐震箍筋設計，根據國震中心實驗結果顯示，其變形能力之表現明顯不佳。因

此，軸力參數與高強度材料之影響，對於柱耐震行為而言，必須被考量在內。ACI 318-14 [3] 即針對上述問題做出修訂建議，將軸力與高強度材料之影響列入設計公式中，經由國震中心之實驗結果顯示，增加柱圍束箍筋量，鋼筋混凝土柱之變形能力確實較佳。

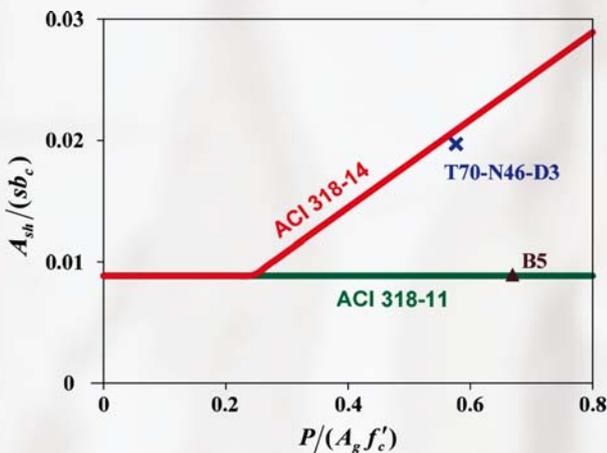
由此可知，ACI 318-14 [3] 規範之柱圍束箍筋修訂建議，增加對於柱軸力與高強度材料之考量，對於改善柱之耐震行為為相當顯著，也有利於鋼筋混凝土結構往超高層建築發展，並提供一套更完善之設計公式。

參考文獻

1. ASCE/SEI 41-06, "ASCE/SEI 41-06 Seismic Rehabilitation of Existing Buildings Supplement 1," American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, 2008, 410 pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary (ACI 318R-11)," American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Mich., 2011, 503 pp.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)," American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, Mich., 2014.
4. Elwood, K. J., Maffei, J. M., Riederer, K. A., and Telleen, K., "Improving Column Confinement - Part 1: Assessment of Design Provisions," Concrete International, Vol. 31, No. 11, Nov. 2009, pp. 32-39.
5. 張豐展, 「高強度鋼筋混凝土柱圍束效應研究」, 碩士論文, 國立台灣大學土木工程學系, 台北, 2010, 256 頁。
6. 陳盈璋, 「高強度鋼筋混凝土柱耐震圍束效應之研究」, 碩士論文, 國立台灣大學土木工程學系, 台北, 2011, 302 頁。
7. 黃冠傑, 「鋼筋混凝土柱耐震圍束之研究」, 碩士論文, 國立台灣大學土木工程學系, 台北, 2013, 269 頁。
8. ACI Committee 374, "374.1-05: Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2006, 9 pp.



(a) 普通強度鋼筋混凝土柱



(b) 高強度鋼筋混凝土柱

圖 11 箍筋量隨柱軸力變化之設計曲線

中國土木水利工程學會

103年各獎項評選日程公告

中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓
聯絡人：宋慧敏小姐
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 103 年 5 月 7 日
字號：(103) 土水 (21) 發字第 077 號
主旨：公告辦理本會 103 年度工程獎章受獎候選人提名推薦。
依據：本會工程獎章頒授辦法

公告事項：

- 一、自即日起至八月十五日止，為本年度工程獎章受獎候選人提名推薦日期。
- 二、推薦書須有會員五人連署推薦。
- 三、推薦書應載明推薦之工程獎章種類。
- 四、推薦書及附件應繕具二份請投寄台北市仁愛路二段一號四樓本會收。
- 五、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本會網站(www.ciche.org.tw)下載。

理事長 

工程獎章推薦 (截止日期：103 年 8 月 15 日)

中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓
聯絡人：宋慧敏小姐
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 103 年 5 月 7 日
字號：(103) 土水 (21) 發字第 078 號
主旨：公告辦理本會會士候選人提名推薦。
依據：本會會士設置辦法

公告事項：

- 一、為表彰土木、水利工程及相關工程領域之傑出工程人員及傑出學者，並對本會有重大貢獻者，特訂定會士設置辦法，詳如附件一。
- 二、自即日起至七月三十一日止，為本年度會士候選人提名推薦日期。
- 三、推薦書須由會士五人以上連署推薦。
- 四、填具推薦書暨會士資料表，以郵政掛號寄台北市仁愛路二段一號四樓本會收轉會士審查委員會辦理。
- 五、空白推薦書暨會士資料表如附件二、三，如需電子檔請上本會網站(www.ciche.org.tw)下載。

理事長 

會士推薦 (截止日期：103 年 7 月 31 日)

中國土木水利工程學會 公告

機關地址：100 台北市仁愛路二段一號四樓
聯絡人：宋慧敏小姐
聯絡電話：(02) 2392-6325

日期：中華民國 103 年 5 月 7 日
字號：(103) 土水 (21) 發字第 079 號
主旨：公告辦理本會 103 年度榮譽會員候選人提名推薦。
依據：本會榮譽會員舉薦辦法

公告事項：

- 一、自即日起至七月卅一日止，為本年度榮譽會員候選人提名推薦日期。
- 二、推薦書須有會員廿人以上之連署。
- 三、填具推薦書二份，並檢附論文或著作、研究報告或事蹟報告，以郵政掛號寄台北市仁愛路二段一號四樓本會收轉會員委員會辦理。
- 四、空白推薦書如附件，如需電子檔請上本會網站(www.ciche.org.tw)下載。

理事長 

榮譽會員推薦 (截止日期：103 年 7 月 31 日)

青山依舊在、幾度夕陽紅

台電青山復建工程觀摩報導

陳怡如／中國土木水利工程學會能源委員會

台灣是自產能源非常缺乏的國家，97.82% 能源依賴進口，而水力發電就是彌足珍貴的自產清潔能源。台灣的河川短小，水力蘊藏最豐富的首推大甲溪流域，自民國前3年起開始開發后里機組、民國7年起開發石岡的社寮機組，然後是天輪、谷關、青山、德基、新天輪、及馬鞍等七座水力發電廠，共有21部機組，現在合稱為大甲溪電廠，總裝置容量為110萬瓩，平均每年發電量可達26億度。水力機組具有可快速起動及快速增減出力的特性，可穩定整體電力系統，是電力系統中重要的一環。台電公司的水力電廠若維護得好加上天時地利可用百年，像粗坑、竹門是百年老電廠。

青山分廠是台灣最大慣常水力發電廠，有4部機組，裝置容量36萬瓩，年平均發電量為5.9億度。青山電廠是民國53年7月1日開工、民國59年底完成1、2號機，民國62年6月完成3、4號機。發電用水來自德基分廠發電尾水。民國93年7月2日敏督利颱風引發超大豪雨，導致大甲溪沿岸多處野溪爆發土石流，大量土石流入大甲溪中，嚴重淤積河道，進而逼高洪水位，洪水灌入青山分廠地下廠房，造成廠房淹水，發電設備受損，無法發電。尾水出口河道淤積15公尺，發電尾水無法排放。此外開關場附近離河床僅1公尺，開關場及既有廠房通道口隨時有被溪水淹沒之危機。由於水力資源非常寶貴，所以台電在完成谷關分廠復建之後，積極進行青山復建計畫。先期工程於民國98年11月24日開工，主體土木工程於民國99年8月6日開工，預定民國104年12月31日前完成四部機商轉，民國105年12月竣工。目前以1號機在年底時可以併聯發電為努力目標。



台電青山施工處辦公室



台電青工處谷關工區辦公室



谷關分廠附近



能源委員會主委台電徐副總永華致詞

青山分廠復建工程正值施工尖峰，新建尾水隧道及廠房對外聯絡通道（總長約 7.7 公里）與地下開關場結構體即將完成，地下廠房也正積極安裝發電設備。中國土木水利工程學會於 103 年 3 月 26 日舉辦青山復建工程觀摩，約有 90 位參加人員由徐主任委員永華率領，在台中高鐵站搭乘 2 輛接駁車往青工處。青工處李處長錦浚及同仁竭誠歡迎學會倪秘書長惠姝及各位先進到來，有二位印尼電力公司的專家 Messieurs Sudjrwo Singo Pawiro 及 Rois Ahmad Hanafi 也參加本次觀摩活動。

徐主任委員在致詞中表達對 1 號機在年底時併聯發電的期許。倪秘書長首次參加工程觀摩，她表達學會對台電公司默默耕耘的敬佩。李處長錦浚則充滿自信地敘述克服 (1) 工安 (2) 防汛 (3) 道路中斷 (4) 介面整合等高難度的工作。黃經理則煜報告「青山復建工程之設計與施工簡介」。下午我們分成 5 車至現場參觀，從谷關工區出去之後就有一個管制站，每天開放 5 個時段通行，由於時間關係我們只能參觀二處：(1) 地下廠房裝機觀摩、(2) 廠區對外聯絡通道 C 上開挖觀摩。

我們經過廢營區及青山辦公室，進入青山地下廠房，右邊有一處是興建中的地下開關場。先前廠房淹水時，要先把水及污泥抽除，才能拆除舊的毀損設備，然後才能重新整理廠房，再把新設備裝置上去。青山地下廠房有 4 部機，每部機的進度不一，最裡面的一號機進度最快。從地下廠房出來後，來



青工處李處長錦浚致詞歡迎並贈送紀念品

到廢營區附近的分支隧道 C，這條隧道開挖到溪底段末端，滲水較多，我們的身體也被滴濕了，據說再挖 100 公尺就可達廠區對外聯絡通道。

有人形容在水力電廠施工的工人是水牛，我想「地下工作人員」可能是更恰當的稱呼，不僅工作場所暗無天日又身處偏遠地區，通信困難、與世隔絕，不是一般人喜歡的工作環境。由於工人流動性很大，台電公司請中華電信去設了基地台後，才略有改善。青工處的「工安」人員工作特別辛苦，不僅整個工地範圍很大，而且有很多人在地下工作。如果說「誰知盤中飧，粒粒皆辛苦」，我們也可以說「誰知屋中電，度度皆辛苦」。這種地下電廠，電廠及其相關設施多半在地下，必須防止滲湧水淹廠，防汛的工作一定也是很艱辛的。我們年輕時走過的中橫公路，就是上面那一條台八線，因為崩坍多處無法通行，已經廢除。下



青山分廠對外聯絡通道 C 上開挖觀摩



施工中的青山4部機現況



既有廠房之通道



谷關壩

線是台八甲線，谷關至青山段由台電修建完成後移交公路局，目前仍為此區居民的出入要道。

在簡報中黃經理介紹了通風直井，開挖直徑約7米、深達240米，採用昇井工法，它也是本復建工程中重要的工項。青山分廠新裝設的4部機，每部為9.2萬瓩，比舊機組的出力增加，每年發電量約6.21億度。青山4部機將來發電成本每度只有0.2元。在經歷921地震及多次颱風、豪雨、土石流之後，青山電廠在明年底就會以嶄新的面貌投入發電行列。我借用三國演義卷頭語的一句「青山依舊在、幾度夕陽紅」，表達對此工程的讚嘆！青山電廠在淹水之前已服役30多年，將來還有多少服役的年頭呢？會成為百年電廠嗎？祝福它！



谷關分廠進水口

參觀完畢，青工處送我們回到台中高鐵站，為此工程觀摩畫下完美句點。我們期待在台電青工處的努力下，不久的將來青山分廠就可投產。同時也在此感謝工程界對台灣社會的貢獻，你們的默默耕耘照亮了台灣。



■ 大地工程 ■ 結構工程 ■ 運輸及土木工程 ■ 環境工程 ■ 機電系統工程 ■ 營建管理 ■ 土地開發 ■ 資訊科技



**公共工程
INFRASTRUCTURE**

- 道路及高速公路
- 軌道系統
- 機場
- 港灣
- 橋樑
- 隧道
- 人行道及自行車道
- 電廠
- 水壩
- 管線工程
- 共同管道
- 軍事工程

**環境工程
ENVIRONMENT**

- 水建設
- 固體廢棄物管理
- 環境污染防治
- 永續工程設計
- 環境影響研究

**土地資源開發
LAND RESOURCES**

- 新市鎮開發
- 渡假村及遊樂園
- 山坡地開發
- 都市更新
- 填海工程
- 土地再生工程
- 工業及經貿園區

BIM

- 規劃設計
- 施工管理
- 專案管理 (項目管理)
- 設施管理

**建築設施
BUILDINGS & FACILITIES**

- 住宅及辦公室
- 商務
- 藝術、運動及文化
- 醫療保健
- 教育及研究
- 工業
- 停車場

**地表資訊科技
GEOMATICS**

- 基礎建設管理
- 風險管理
- 計畫管理

**核心價值
MAA VALUES**

Advanced technology
 project Safety
 client's Satisfaction
 Economical solution
 Timely completion



服務項目 SCOPE OF SERVICES

- 可行性研究
- 專案管理
- 主計畫規劃
- 總顧問
- 工程規劃
- 工址踏勘及調查
- 基本設計
- 細部設計
- 營建管理
- 施工監造
- 計畫管理
- 風險管理
- 設計覆核
- 工程現況評估
- 現場試驗及實驗室試驗
- 模擬分析
- 現場儀器裝設及監測
- 營運測試
- 環境影響評估
- 設施管理諮詢

從概念到專案，完美呈現

Autodesk® Infrastructure Design Suite 是一款全面性的基礎設施軟體 BIM 解決方案，它能提供智慧模型工具，幫助您在基礎設施專案的專案生命週期中，獲得更加準確、更方便和易於執行的資訊。借助此套裝軟體，無論是在桌面還是在雲端，您都能以獨特方式存取 Autodesk 產品組合。

新功能 ▶

▶ 加強溝通

- 更高的逼真度
- 分鏡頭腳本
- 場景發布
- 人群動畫

▶ 維護資料、環境和流程

- 點雲
- 工程量計算
- 互通性改進
- 用於特定領域的工具

▶ 更快速地回應變更

- 道路和高速公路工作流程增強
- 設計回饋
- 壓力管改進
- 道路剖面圖最佳化



使用Autodesk® Infrastructure Design Suite 能幫助我們在兩個小時創建一個項目提案，而用傳統的做法將花費我們兩週以上的時間。

Keith Warren, BIM Visualization Manager
VTN Consulting

VTN Consulting 公司使用了 Autodesk® Infrastructure Design Suite 研究土地利用、道路工程，並為了系統擴展和升級，將 2D GIS 工具數據轉換成 3D 呈現。詳細產品資訊請造訪：

www.autodesk.com/suite/infrastructure-design-suite。

