

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

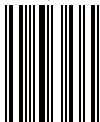
February
2018



ISSN 0253- 3804



NT\$350



9 770253 380006



Volume 45, No. 1

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

軌道工程專輯

便捷、人性
精緻、永續

木鐸集

思想及宗教信仰
與土木工程

花蓮地震特輯

震後全面檢討
危險、老舊建築物之
加速重建或補強工作

鋼筋混凝土建築物耐震能力 詳細評估 **SERCB** — 理論背景與系統操作

鋼筋混凝土建築物耐震能力 初步評估 **PSERCB** — 理論背景與系統操作

第二版

宋裕祺教授、蔡益超教授 最新著作

如何準確評估出 RC 建築物的耐震能力是否足夠，攸關人民的生命財產安全，是結構安全的首要議題。宋裕祺教授與蔡益超教授繼「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估 PSERCB — 理論背景與系統操作」廣受好評後，再接再厲推出「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估系統 SERCB — 理論背景與系統操作」。

SERCB 為鋼筋混凝土建築物耐震能力評估系統 (Seismic Evaluation of RC Buildings) 之簡稱，於 2008 年經內政部營建署公告採用作為 RC 建築物耐震能力詳細評估之分析程式，在近十年的期間，感謝產官學研各界就系統之使用性與擴展性提出諸多寶貴建議，研究團隊持續更新，使系統功能更能符合工程界之需求。

系統定期於每年 1 月 1 日更新，本操作手冊之出版，按系統操作程序分別詳加解說，冀使使用者能夠藉由 SERCB 正確有效地進行建築物耐震能力詳細評估。

價格表

~~ 歡迎訂購，一次訂購本數越多，單價越便宜，限寄送同一地址 ~~

本數	發票稅金	運費 (掛號)	總價	每本單價	備註
1 本	含稅金	含運費	700 元	700 元	約七七折
2 本	含稅金	含運費	1,230 元	615 元	
3 本	含稅金	含運費	1,800 元	600 元	
4 本	含稅金	含運費	2,360 元	590 元	
5 本	含稅金	含運費	2,925 元	585 元	
6 本	含稅金	含運費	3,480 元	580 元	
7 本	含稅金	含運費	4,025 元	575 元	
8 本	含稅金	含運費	4,560 元	570 元	
9 本	含稅金	含運費	5,085 元	565 元	約六二折
10 ~ 49 本	含稅金	運費另計		535 元	運費 直接 支付 貨運 公司
50 ~ 99 本	含稅金	運費另計		500 元	
100 本 及以上	含稅金	運費另計		460 元	

本數	發票稅金	運費 (掛號)	總價	每本單價	備註
1 本	含稅金	含運費	530 元	530 元	約七七折
2 本	含稅金	含運費	920 元	460 元	
3 本	含稅金	含運費	1,350 元	450 元	
4 本	含稅金	含運費	1,760 元	440 元	
5 本	含稅金	含運費	2,180 元	436 元	
6 本	含稅金	含運費	2,604 元	434 元	
7 本	含稅金	含運費	3,024 元	432 元	
8 本	含稅金	含運費	3,440 元	430 元	
9 本	含稅金	含運費	3,860 元	429 元	約六二折
10 ~ 49 本	含稅金	運費另計		400 元	運費 直接 支付 貨運 公司
50 ~ 99 本	含稅金	運費另計		380 元	
100 本 及以上	含稅金	運費另計		350 元	



一律採用 網路訂購
<http://goo.gl/NY2Qh2>

購書聯絡人：社團法人中國土木水利工程學會
程苡榕小姐 電話：(02) 2392-6325 #21
傳真：(02) 2396-4260 E-mail：public@ciche.org.tw

一律採用 網路訂購
<http://goo.gl/i6E12T>



付款說明：訂購後請於五日內付款，以便儘快出書，謝謝！

1. 歐付寶：請至付款網頁 <https://p.opay.tw/QsmBj> (**SERCB**) <https://p.allpay.com.tw/ApnGD> (**PSERCB**)

2. 信用卡：請下載信用卡授權書 <http://goo.gl/hiHcps> (**SERCB**) <http://goo.gl/6HA7ua> (**PSERCB**)

請將「授權書」傳回學會，並請來電確認！

3. 郵局劃撥：帳號 00030678 戶名：社團法人中國土木水利工程學會

請將「收執聯 + 請加註姓名」傳回學會，並請來電確認！

4. 匯款：上海商業儲蓄銀行 仁愛分行 帳號：24203000030838 戶名：社團法人中國土木水利工程學會

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



上左：0206 花蓮地震吾居吾宿大樓倒塌現場
上右：0206 花蓮地震統帥飯店大樓倒塌現場
下左：0206 花蓮地震造成雲門翠堤大樓倒塌
下右：0206 花蓮地震白金雙星大樓倒塌現場

土木水利半月集

先進工程

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

永續發展

- 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

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 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

- 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

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水部分會
- 土水東部分會

發行人：王昭烈

出版人：社團法人中國土木工程學會

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

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥 00030678 號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十三屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：王昭烈

常務理事：陳仲賢 楊偉甫 歐來成 歐善惠

理事：朱旭 余信遠 吳瑞賢 宋裕祺 沈景鵬 林呈 林其璋
胡宣德 倪惠妹 高宗正 張荻薇 許泰文 陳彥伯 黃兆龍
廖學瑞 劉沈榮 劉恒昌 謝啟萬

常務監事：呂良正

監事：李元唐 李建中 周功台 陳清泉 楊永斌 薛春明

中國土木工程學會任務

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

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

中國土木工程學會和您一起成長！

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

理事長的話

- 📖 花蓮地震特輯引言 — 花蓮地震後我們急需推動的工作 王昭烈 4

花蓮地震特輯 (客座主編：宋裕祺教授)

- 📖 序言 — 震後全面檢討危險、老舊建築物之加速重建或補強工作 宋裕祺 6
- ◎ 研思如何改善現有的法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作
- 📖 私有建築物耐震補強工作立法之建議 黃世建／鍾立來／邱世彬／陳信村 8
- 📖 生命安全與建築法規的拔河 — 0206 花蓮地震之省思 施義芳 15
- 📖 從震災的教訓中 探討震害的樣態・依據致災的風險 決定補強的順序 張荻薇 19
- 📖 提昇新、舊建築物耐震能力之方法 — 改善現有的法規與制度面之探討 鄭宜平 27
- ◎ 研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作
- 📖 因應地震的建築結構耐震中綱計畫研究發展與成果 陳建忠 29
- 📖 具弱層鋼筋混凝土建築物耐震能力之初步評估與補強 蔡益超／宋裕祺 39
- 📖 0206 花蓮地震：下一次地震來襲前之作為？ 鍾立來／邱世彬／吳俊霖／邱聰智／陳家漢／黃世建 44
- 📖 若台北發生震度 7 級地震，房子會「倒光光」嗎？ 蔡榮根 46
- 📖 土木技師投入 0206 花蓮震災記實 張錦峰／洪啟德／莊均緯／賴建宏 48
- 📖 私有老舊建築物之補強建議 藍朝卿 51

新聞快報 107.2.26

行政院長賴清德今(26)日親自召開記者會，宣示在地震頻繁的台灣仍要「給國人一個安心的家」，內政部長葉俊榮補充指出，內政部已修正發布「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」，將私有供公眾使用建築物也納入強制耐震能力評估的範圍，凡是在 88 年 12 月 31 日以前領得建照之私有供公眾使用建築物，如旅館、醫院、百貨公司(商場、量販店)、運動休閒場所、電影院、學校、社福機構等，樓地板面積累計達 1,000 平方公尺以上，應強制辦理耐震能力評估檢查。

行政院並以圖表說明「全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強」措施如右。



相關新聞連結

本輯集：土木與文明

📖 土木工程與文化（一）思想及宗教信仰與土木工程	洪如江	52
--------------------------	-----	----

軌道工程專輯（客座主編：何泰源協理）

📖 專輯序言：軌道工程	何泰源	63
📖 我國推動軌道建設策略	交通部路政司	64
📖 推動軌道技術研究暨驗證中心計畫	楊正君	68
📖 淡海輕軌BIM技術應用與設計施工整合特色	李政安／凌建勳／涂貫迪	73
📖 高雄環狀輕軌捷運（第一階段）車輛概述	高華聰／林建華／簡聖民	82
📖 臺中捷運綠線之特色與施工創新	陳俊宏／李立渠	87
📖 環狀線CF650標於狹窄道路處之高架橋及車站設計及施工規劃	陳耀維／劉嘉哲	95
📖 光學非接觸式軌道檢測分析設備於軌道管理之應用	林宏達	106
📖 安坑輕軌計畫——土建設計概要	龐聲瑀／任萬山	119
📖 臺鐵潮州機廠之規畫設計	林治平／李瑞欽／韓光曙	129

全國建築物耐震安全暨輔導重建補強 2018.2.26

推動策略	● 建物快篩：9樓以上今年完成，6樓以上3年內完成。 ● 耐震評估：私有供公眾使用建築物及快篩結果為具有高危險疑慮建築物，強制耐震評估。 ● 重建補強：耐震評估有疑慮者，輔導重建或補強。 ● 階段性補強：整合與規劃期間協助階段性補強，快速排除軟弱層破壞。 ● 金融協助：提供重建工程貸款利息補貼、信用保證及各項補助，讓民眾負擔得起。				
	階段	耐震評估	規劃設計	施工階段	完工使用
	補助與協助措施	快篩補助	危老重建	危老重建	危老重建
		• 每件補助2,000元 • 27,000件(至110年)	• 容積獎勵30%(3年內+10%) • 成立重建輔導團	• 地價稅全免 • 重建工程貸款信用保證	• 地價稅減半2年 • 房屋稅減半最高12年 • 重建工程貸款利息補貼
初評補助		都更重建	都更重建	都更重建	
	• 每件補助6,000~8,000元 • 34,000件(至110年)	• 自組都更補助事業計畫最高500萬元/權利變換計畫最高300萬元 • 容積獎勵額度標準化、明確化	• 地價稅全免 • 重建工程貸款信用保證	• 地價稅、房屋稅減半2年 • 權變案地主抵押共同負擔部分，免土增稅及契稅 • 權變案地主更新後第1次移轉減土增稅及契稅40% • 重建工程貸款利息補貼	
	詳評補助	都更整維	都更整維	都更整維	
	• 每件補助最高60萬元 • 500件(至110年)	• 按樓地板面積補助事業計畫費用，每案至少50萬元；補助補強設計費用，按樓地板面積計算，每案至少25萬元。	• 地價稅減半 • 按樓地板面積補助整維工程(800元/m²，45%)及補強工程(4,000元/m²，55%)	• 地價稅及房屋稅減半2年	

（行政院提供）

本期廣告特搜

台灣世曦工程顧問股份有限公司
— 下一個十年依然燦爛不凡 封底

福清營造股份有限公司
— 福清營造 匠心獨具 封底裡

土木技師全聯會
— 土木技師 國之棟樑 18

SERCB、PSERCB 第二版
— 購書資訊 封面裡



花蓮地震特輯 引言

— 花蓮地震後我們急需推動的工作

王炤烈／社團法人中國土木水利工程學會 理事長、台灣世曦工程顧問股份有限公司 總經理

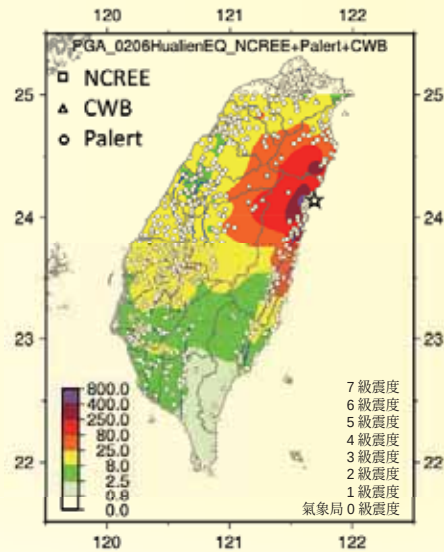
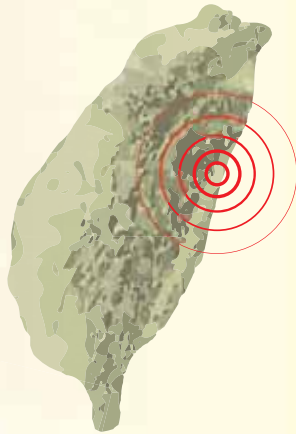
這次發生在農曆年前2月6日深夜的花蓮地震，再次印證位在地震帶的台灣，地震一定會來、是無法避免的，只是來的時間不知道。身為土木人，我們的工作重點就是面對一定會來的地震，我們的防災準備做得怎麼樣？以及當地震來的時候，我們要怎麼因應？

土木工程師的使命就是要如何把地震災害減到最小、如何避免造成生命與財產受害、及如何使震後能快速復原和降低地震的影響程度。這當中有些工作是我們直接要辦理的，對此我們應要深入探討，研究解決方法，包括從規範、設計、施工等方面來改進、提昇防災能力；但亦有些工作是需要社會大眾協助；另有些工作是要藉助政府機關的推動，惟各項防災、減災工作，都要靠我們先去蒐集、探討與研究，進而提出對策，以喚起國人重視，引導大家有正確與積極的行動。

這次地震在花蓮、南澳地區的震度達7級，造成相當的震害，包括房屋倒塌、破壞，以及橋梁與碼頭損害，尤其更因倒塌的建築物造成人員傷亡的

巨大損失。其中有些震害情形，在工程技術上應是可改善、可避免發生的；甚至有些損害是過去地震中曾發生的。這些震害情形應當要記錄，做為後續改進之依據，及當為警惕與教訓案例，使在後續工程建設中，避免重蹈覆轍。而對現有結構物中，若存有類似潛在危險或強度不足者，亦應要研究改善、補強方式，以避免在往後地震中遭受災害，尤其應防止發生倒塌、造成生命財產損失的情形。當然另外還有些情況或許是過去所未注意，經過震害後的探索與研究，亦可建立更有效的防耐震技術，對於提昇防災水平將甚有幫助。

在這次震害中特別被關注，是發生災害的建築物大部分是已完成數十年，多屬老舊建築，且多為民間建築。而過去地震時最常發生震害的學校建築，經過幾年來政府推動的耐震補強後，在這次地震中多無重大震害發生，這也見證耐震補強的效果。因此如何確保老舊建築物的強度，及提昇其耐震能力，是這次地震後社會大眾所注意的課題。我們更應把握契機，強化國人對建築物結構安全的重



資料來源：國震中心、氣象局速報站、Palert 地震預警系統等，共 657 個測站。

0206 花蓮地震全台震度分布圖

視，不論是對新建建築物品質的確保，或是對老舊建築物安全的提昇，我們應要有對策與方法，藉以提昇我國整體防災能力、做好防災準備，這應是本次地震後我們急需要進行與推動的工作。

其中，在這次地震中，主要損害與造成人員死亡的老舊建築物，可能是因過去耐震強度需求較低、或是耐震設計細節規定較少、或是分析方法與施工技術較不足等，造成建築物天生耐震能力就較低；甚至也可能是因維護不足、或是材料老化、或是環境因素等情況，導致建築物結構強度降低。而這種危險或老舊建築物普遍存在全國各地，我們尤應掌握時機，推動危險或老舊建築物的耐震補強或更新工作，以避免往後地震時再有倒塌、人員死亡事件發生。

雖然這次地震發生在農曆年節前夕，隨後又是年假、大家團圓的時光，但仍有不少工程先進、學者專家犧牲假期、不辭辛勞，前往震區勘查，熱心提供各種救災協助，都深受各界感謝。工程朋友所提出的調查報告與工程專業建議，亦獲得各界重

視。中國土木水利學會做為我國最大土木水利工程團體，且提昇防災技術本就是學會的重要宗旨之一。地震後本學會當要為防災專業來發聲，建立技術交流的平台。因此在花蓮地震尚記憶猶新的時候，「土木水利」雙月刊有責任來整理、報導與提供建言。本次在宋裕祺理事、倪惠姝秘書長與劉格非主任委員等人的推動下，在震後不到一個月的時間內，特別在「土木水利」二月號中出版「花蓮地震特輯」，邀請多位產官學界代表，發表專業意見與建言，發揮土木工程師精神，特致表謝意。

在本特輯中，除一般震害報導外，基於為提升整體耐震能力，特針對這次地震後大家最關切的危險、老舊建築物之補強與重建工作，分別從如何改善現有的法規與制度、及綜整目前耐震工程技術供做後續耐震評估與補強的參考，此兩議題來探討推動和落實的策略，以期能更增進各界對老舊建築物之補強與重建問題的瞭解與重視，並提供在工程實務之參考依據，敬祈各界工程先進、專家學者多多惠賜卓見與指教。



花蓮地震

特輯序言

震後全面檢討危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

特輯客座主編 宋裕祺／國立台北科技大學土木與防災研究所 教授、國家地震工程研究中心 組長

花蓮縣近海於 2018 年 2 月 6 日午夜 23 時 50 分發生芮氏規模 $ML=6.0$ 之地震，當地最大震度達 7 級，造成雲門翠堤大樓、統帥飯店、吾居吾宿商館與白金雙星大樓等弱層建築因底部樓層潰壞導致建築物崩塌，釀成至少 17 人死亡與 282 人輕重傷的慘劇。此種弱層建築物之破壞，事實上在 1999 年 921 集集地震台北市東星大樓與 2016 年美濃地震維冠金龍大樓等建築物都曾發生過類似的案例，何以未能從前車之鑑獲取教訓，採取積極有效的防制措施來解決此一沉痾老調問題，實值深思與重視。

根據內政部不動產資訊平台資料統計，全國住宅總量 844 萬餘戶中，截至 2016 年底，屋齡 30 年以上的老屋約有 384 萬戶，占了總建築物的 45%。姑且不論屋齡 30 年以下較新建築物的耐震能力是否全數充足，根據以往經驗，這些老屋中耐震能力不足者約占 40 ~ 50%，亦即全台灣目前約有 140 ~ 190 萬戶老屋可能會有耐震能力不足的問題，短期之內要全面提升這些建築物的耐震能力，實屬困難。退而求其次，若能先針對類似維冠金龍大樓等一樓呈現開闊空間而牆量很少、具有弱層潛能的大賣場、飯店、金融機構、市場、停車場等建築物，提出快速有效的解決方法，避免弱層建築物在地震中倒塌引起重大人命傷亡的事情重複發生，應該是當務之急。

此次地震發生後，工程界與研究單位立即投入救災行列，為讓傷亡人數降到最低，土木技師、結構技

師與建築師朋友們投入大量人力，支援現場搜救任務並協助後續鑑定採樣工作，期間設立網路群組即時討論問題，相互支援排班輪值，犧牲春節年假與家人團圓的機會，全心投入災區搶救工作，至為辛苦，令人肅然起敬。

地震發生一周後，中國土木工程學會在王烱烈理事長的全力支持下，決定於「土木水利」雙月刊中出版花蓮地震特輯，結合產官學研各界共同檢討未來因應對策，適時向政府提出建言，以善盡土木工程人員的專業與社會責任。並擬訂以「研思如何 (1) 改善現有法規與制度與、(2) 綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作」為本次特輯的主軸。學會在很短的時間內邀請國內目前在地震防災領域學有專精與饒富經驗的人士撰稿，受邀作者都欣然同意共襄盛舉並允諾賜稿，且在時間不充裕的情形下，於春節休假期間撰寫相關意見與建言，最後於期限內完稿交件，對於所有作者們的貢獻，在此深表謝忱。

在「研思如何改善現有法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作」議題上，黃世建主任、鍾立來副主任、邱世彬研究員與陳信村先生等人簡介日本耐震改修促進法，並介紹美國舊金山市對私有建築物耐震安全的作為，進而檢討台灣 2007 年耐震補強促進條例之立法問題，最後提出對台灣耐震補強再度立法之建議，為一具有深度與見解的文章。施



義芳理事長撰寫「生命安全與建築法規的拔河-0206 花蓮地震之省思」，文中明確指出「都市危險及老舊建築物加速重建條例」尚有未臻完善之處與可以改進的方向，呼籲儘速推動私有供公眾使用或 7 層樓以上的建築物耐震能力評估之監督機制，進而採取強制補強或重建配套措施的立法工作，內容相當具體，可謂擲地有聲。張荻薇理事長從國內外地震災害的樣態，提出一樓為 pilotis 柱軟弱底層之高層建築，在地震時最容易遭受重大災害之見地，必須儘速辦理耐震能力評估及耐震補強工作，並對高危險群建築物之改建或補強策略等課題提出看法，專業涵養度相當高，值得重視。鄭宜平理事長撰寫「提昇新、舊建築物耐震能力之方法」一文，指出目前現行法規與制度面的諸多問題，並提出具體改善建議，語重心長，意簡言賅，值得深思。

在「研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作」議題上，陳建忠組長彙整內政部建築研究所近年來依據「104-107 年行政院災害防救應用科技方案」，廣續推動建築耐震之相關研發與推廣工作，為提升建築物耐震行為而努力。蔡益超與宋裕祺兩位教授長年投入建築物耐震能力評估之研究，針對目前迫切需要的弱層建築物之階段性補強工作，提出具弱層鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估與補強之具體建議與標準，可行性相當高，可供為政府未來施政參考。鍾立來、邱世彬、吳

俊霖、邱聰智、陳家漢與黃世建等人撰寫「0206 花蓮地震：下一次地震來襲前之作為？」以提綱契領、導引問答方式說明地震傷亡之主因與最佳防災策略。蔡榮根理事長以其豐富的建築結構設計經驗，以「若台北發生震度 7 級地震，房子是否會倒光光」作為切題，就耐震設計規範的規定與結構設計的考量深入探討，反駁坊間危言聳聽的言論，樹立土木結構專業形象。張錦峰理事長、洪啟德理事長、莊均緯技師與賴建宏技師撰寫「土木技師投入 0206 花蓮震災記實」，記載土木技師於第一時間投入震災救援工作，利用空拍機與 3D 技術，製作出雲門翠堤大樓及統帥飯店兩處災變現場的 3D 資訊模型，供救災資訊參考，此外並提供雲門翠堤大樓支撐架設專業評估與倒塌結構之穩定特性供進入災變現場搜救人員之參考，文中說明土木技師在救災工作中的奉獻，其實貴經驗應可供為未來救災體制建立之參考。藍朝卿理事長強調對於老舊建築物補強法令的思維要有所突破，建立法源應先強制檢視評估大樓型老舊建築物之結構系統在平面上或立面上的弱點，其次再要求補強加勁底層樓層的結構缺失，頗有見地。

本特輯雖為倉促之作，但內容卻頗為具體詳實，倘若作者們的相關建言能被政府部門採納與實施，相信未來類似的震害當可有效避免，這也是發行本特輯的主要目的。最後感謝月刊編輯人員不眠不休全力配合，本特輯方能如期出刊。🇹🇼



研思如何改善現有法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

私有建築物耐震補強工作立法之建議

黃世建／國家地震工程研究中心 主任、國立臺灣大學土木工程學系 教授

鍾立來／國家地震工程研究中心 副主任、國立臺灣大學土木工程學系 教授、國立成功大學土木工程學系 合聘教授

邱世彬／國家地震工程研究中心 助理研究員

陳信村／陳信村結構技師事務所 負責人

2018 年 2 月 6 日花蓮縣近海發生芮氏規模 $M_L = 6.0$ 之地震，在花蓮市出現 7 級之震度，造成統帥大飯店及雲門翠堤大樓等建築物之崩塌。類似的震災情況所在多有，2016 年美濃地震之維冠大樓倒塌，乃至 1999 年集集地震之東星大樓等之崩塌。建築物的倒塌是造成傷亡的主因，而且造成人民流離失所、產業流失以至於區域的生活與經濟功能在震後難以恢復。惟有立法創造有利條件，方能加速老舊建築物之耐震補強工作。

本文先介紹日本耐震改修促進法，再介紹美國舊金山市對私有建築物耐震安全的努力，接著檢討台灣 2007 年耐震補強促進條例之立法中控，最後提出對台灣耐震補強再度立法之建議。

前言

2018 年 2 月 6 日午夜 23 時 50 分於台灣花蓮縣近海發生芮氏規模 $M_L = 6.0$ 之地震，花蓮市與宜蘭南澳皆觀測到 7 級震度（圖 1），本次花蓮地震造成統帥飯店（圖 2）及雲門翠堤大樓（圖 3）等建築底層崩塌之破壞，已知 17 人死亡 282 人輕重傷。

類似的震災情況所在多有，2016 年美濃地震造成維冠金龍大樓的倒塌（圖 4），而 1999 年 921 集集地震造成東星大樓及博士的家等大樓倒塌（圖 5）。這些倒塌的大樓均有類似的缺陷，亦即軟弱底層與未按 1997 年版耐震規範設計之老舊建築。所謂軟弱底層係指大樓底層作為商業用途或是停車空間，故而底層空間力求開放式挑高，以至於底層之柱量與壁量遠低於樓上標準層者。而未按耐震規範設計之建築其強度與韌性可能不足，造成發生崩塌的可能性大增。



圖 1 中央氣象局花蓮地震之報告

地震防災係與時間賽跑，宜儘速處理具軟弱底層之老舊建築。此一問題不儘速解決，下次地震同樣災情仍會重演。提升既有建築物耐震能力之方法，不外乎拆除重建與耐震補強兩種。由於私有建築所有權人



(A) 倒塌前 (取自 Google 地圖)



(B) 倒塌後

圖 2 統帥飯店倒塌前後之對照圖



(A) 倒塌前 (取自 Google 地圖)



(B) 倒塌後

圖 3 雲門翠堤大樓倒塌前後之對照圖



(A) 倒塌前 (取自 Google 地圖)



(B) 倒塌後

圖 4 維冠金龍大樓倒塌前後之對照圖



東星大樓（資料來源：路透社）



圖 5 1999 年集集地震之樓房崩塌

數目眾多，較難達成共識故而耐震能力提升工作之推動十分困難。其中拆除重建又較耐震補強相對困難，其癥結為拆建之經費高、工期長且住戶須重新安置，後續產權分配又易有爭議，這對住戶的生活有極大的衝擊。相對來說，耐震補強之經費較低、工期較短且居民可以不必遷置，更無後續分配問題，對居民的影響較小。以校舍耐震補強為例，其補強之經費與工期僅為重建者約十分之一而已^[1]。

台灣正對公有建築物積極辦理耐震補強工作，其實施依據為民國 97 年 12 月行政院修正公布之「建築物耐震能力評估與補強方案修正案」^[2]，而對象為未依民國 86 年 5 月公布之「建築技術規則」^[3]所設計興建之公有建築物。因為有法源基礎，台灣對公有建築物之耐震補強成效卓著。

同樣地，對私有建築物之耐震補強亦應立法才得以有效推動。立法對推動私有建築物之耐震補強工作尤其重要，因為涉及人民之權利義務，對合法既有建築物之強制要求，應以法律定之。例如對一耐震能力不足之老舊建築物，現行法令僅能要求此老舊建物符合其興建年代之耐震要求，並無法要求其符合現行耐震安全之標準。若此一老舊建物仍從事商業行為，這就損及公共安全，極為不妥。

政府也認知立法對推動私有建築物耐震能力提升

工作之重要，2007 年 8 月行政院擬定「既有建築物耐震能力評估及補強促進條例草案」^[4]，擬強制一定規模以上私有但供公眾使用之老舊建築，須進行耐震評估與補強。由於該條例草案屬追溯實施，直接涉及人民之權利義務，故爭議頗大無法成案。因此台灣私有建築物之耐震評估與補強可謂停擺至今，期間亦有安家固園計畫之實施，但其屬柔性勸導之消極機制，故成效有限。

近來政府對防災型都市更新擬有積極作為，故於 2017 年公布「都市危險及老舊建築物加速重建條例」^[5]。危險之老舊建築物可立法加速重建，當然亦應立法加速老舊建築物之耐震補強工作。

本文之目的在於檢討台灣對耐震補強立法失敗之教訓，並擷取國際上立法成功之精神，進而推動台灣對耐震補強再度立法，以提昇老舊建物之耐震能力，不要讓憾事不斷重演。本文之主要參考文獻為陳信村著「私有既有建築物耐震能力評估及補強促進制度之探討」^[6]，為文倉促未及廣納其他文獻，此一缺失尚待其他努力再予補正。

本文先介紹日本耐震改修促進法，再介紹美國舊金山市對私有建築物耐震安全的努力，接著檢討台灣 2007 年耐震補強促進條例之立法中控，最後提出對台灣耐震補強再度立法之建議。

日本耐震改修促進法

日本於 1995 年公布耐震改修促進法^[7]，為求有效推動既有建築物之耐震化，期間一再地修訂，至今法令已趨完備。日本各地區也依耐震改修促進法制定各地區之耐震改修促進計畫^[8,9]。

基於日本劇震頻繁，為了達到強震時災害減半的目標，日本耐震改修促進法採取積極作為，其具體要求至 2015 年全國既有建築物耐震化率需達 90% 以上，至 2020 年應達 95% 以上。所謂耐震化係指既有老舊建築之耐震能力應提升至日本現行建築基準法之耐震基準^[10]。

日本將私有住宅區分為三類，其分別為防災上重要的公共建築物、特定建築物及住宅。其中特定建築物包含緊急輸送道路沿道的建築物，其倒塌將造成道路阻塞者。日本耐震改修促進法對住宅採宣導鼓勵之措施，但對其他兩者則採強制作為並訂有罰則及補助獎勵措施。

日本耐震改修促進法對私有建築物耐震化之推動，係基於自助、共助、公助之原則，其於總則章節明定國民有確保並提昇自有建築物耐震安全的義務，國家及地方公共團體只扮演助力之角色。

東京耐震改修促進計畫^[9]是依據日本耐震改修促進母法而制定，同時也作為各區市町村的耐震改修計畫制定時的方針。東京耐震改修促進計畫先定義改修對象、耐震化現況，並設定耐震化目標與數量，以及修改之措施。為了提昇國民的認同，東京耐震改修促進計畫在推廣與啟發章節，明定地震災害潛勢地圖（Hazard Map）的製作與公開，讓民眾知道地震時地域的危險度，試圖促進耐震診斷與改修的普及性。

東京耐震改修促進計畫也提出其他促進地震時建築物安全的相關對策，例如掉落物防止對策、天花板掉落防止對策、防止圍牆倒塌對策、防止被關在電梯裡對策、建築物液化對策以及超高層建築物對策。這些相關對策對防災產業的培植極有幫助，例如超高層建築對長週期地震動極為敏感，其住民人數眾多，震後人員難以撤離，且無法安置，所以應用地震預警系統來確保高樓管線與電梯之安全，以及結構健康監測

來判斷高樓震後的使用性就非常重要。若都會區防災計畫明定超高樓層建築物之地震安全對策，這對防災產業的成長茁壯就極有助益。

地震來襲時人員的傷亡，多因建築物倒塌所造成，所以建築物耐震改修就非常重要。但廣泛的地震安全就不能僅是建築物耐震能力足夠而已，舉凡管線、墜落物、非結構與設備固定等等均須考量。因此，培植防災產業來進一步提昇都會區的地震安全是必要的作法，若都會區防災計畫多作鼓勵與要求，如此可以創造防災產業參與的空間。東京改修促進計畫^[9]明定地震安全之相關對策，這是值得學習的地方。

大阪耐震改修促進計畫^[8]係依據日本耐震改修促進母法^[7]而制定，其內容與東京耐震改修促進計畫^[9]有相似之部分故不贅述。然而大阪市的住宅有其獨特性，其間有許多老舊的連棟式住宅和木造共同住宅，這些老舊住宅多在租賃狀態，而所有者的權利關係相當分散，故難以達成修建的共識。

為克服上述困境，大阪耐震改修促進計畫^[8]特別採取下述對策：對建築物整體的耐震改修有困難時，則以階段性的修改等柔性的對應，以利推廣耐震改修。大阪耐震改修促進計畫^[8]對任何可對建築物現況耐震能力作稍許提昇，並可降低建築物受震倒塌之可能者，均表同意。所以大阪市實施簡易的耐震改修補助制度，以推動階段性補強工作之進行。

此階段性耐震補強可分為時間上的階段處理以及區域性之階段式補強。就區域性之階段式補強而言，除了連棟式住宅作單獨一戶之補強外，亦允許僅對寢室等居住空間，施作像避難所之耐震改修。此一階段性補強在日本耐震改修促進法^[7]是立法同意的，其第 8 條就明文規定，建築物在耐震補強後無法完全符合建築基準法時，在一定條件下是允許執行的。

大阪改修促進計畫^[8]明訂並鼓勵階段性簡易補強，這作法是值得學習的。台灣潮濕多雨造成騎樓式建築，以及住商混合的都市計畫造成底樓的商業使用，再加上人口擁擠，政府鼓勵底層設置開放空間，這些因素造成台灣有許多的軟弱底層建築物，政府應鼓勵階段式補強，排除軟弱底層的不利因子，以提昇台灣建築物之耐震能力。

美國舊金山市防災計畫

美國西岸是強震區，而舊金山市則深受其害。舊金山市原是美國僅次於紐約的全美第二大城市，但 1906 年舊金山大地震將之摧毀，故洛杉磯市逐漸興起，至今舊金山市的商業活動仍不及洛杉磯市繁榮。舊金山市深知劇震的毀滅性，一旦居民流離失所，則商機盡失。若商業機構找不到雇員而抽離舊金山市，則百年也無法恢復。

舊金山市謹記教訓，其提出在預期之強震後的共識，為舊金山市的居民仍住在自己的家，而且沒有建築物產生災難性之崩塌。舊金山市於 2011 年推出 CAPSS 計畫（Community Action Plan for Seismic Safety Project）^[11,12]。這個計畫歷經 10 年鬆綁法規之規劃期，參與者包含社區領袖、地球科學家、社會學家、經濟學家、承租戶、房屋所有者、工程師等，大家一起努力，籌畫一個合理的具社會基礎的而且可行的計畫。

舊金山市 CAPSS 計畫基本之概念為，促進市場的力量參與來鼓勵結構補強，以降低私有建築物未來面對地震的風險。CAPSS 計畫由 2012 年至 2042 年，共 30 年分三階段執行：

第一階段（2012 – 2015）：啟動

第二階段（2015 – 2020）：執行 I

第三階段（2020 – 2042）：執行 II

CAPSS 計畫建議採三個依序執行的戰略步驟，來執行各階段的工作：

步驟一：促進建築物耐震性能之市場價值。

步驟二：規定房屋在出售時或限期內應提供耐震評估證明。

步驟三：要求在限期內進行耐震補強。

此計畫另制定規範以降低火害、防止掉落物傷害以及非結構性損害等。

舊金山市 CAPSS 計畫花了 10 年時間謹慎醞釀，其間找社區領袖、居民、工程師等人，從社會、經濟、震害等諸多角度商議，找出大眾可接受之可行方案，並先排除不合時宜的法令限制，再以 30 年的時間

去達成，這種謹慎務實的態度，實在值得效法。

建築物耐震補強涉及人民的財產、權利與義務，宜謹慎處理不可躁進。舊金山市 CAPSS 計畫廣納居民的意見，從社會、震害、經濟與市場運作的角度出發，以教育、提供資訊及務實漸進的方式，花 30 年時間來改修，這應是我們立法要學習之處。

日本大和民族之服從性甚高，但在日本耐震改修促進法中之強制作為，仍區分為認定、指導、建議、指示、公開、命令等諸多階段。在柔性勸導（認定、指導、建議、指示）不成後才公開該建築物耐震能力不足之事實，而仍不成功再下達官方命令並課以罰則。這種柔性細膩的處理方式，是有其必要的。

台灣既有建築物耐震補強促進條例立法中控之探討

行政院在 2007 年 8 月擬定「既有建築物耐震評估及補強促進條例草案」^[4]，並於 8 月 17 日及 10 月 8 日分別舉辦公聽會。由於爭議頗大，故而撤案。針對該草案立法中控之檢討，將分下列數點說明。

打擊面太廣，可行性不高

該條例適用之既有建築物係指 1997 年以前興建之合法建築物，其分為二類：

第一類建築物：地震災害發生後，必須繼續維持機能之重要建築物。

第二類建築物：一定規模以上供公眾使用之建築物。

條例草案並要求主管建築機關對轄區內第一類及第二類建築物之數量與規模，須全面調查及列管。

日本耐震改修之對象係指 1981 年前興建之老舊建築物，而台灣則指 1997 年前興建者，其間相差 16 年，這代表台灣耐震能力不足之建物數量，遠較日本為多，全面地清查列管解決，似乎陳義過高。

若重新推動立法，建議縮小影響面，僅對一定樓地板面積以上老舊住商混合大樓，強制要求其進行耐震評估與補強。這些特定對象的篩選可依震害風險度來評估，亦即可按其危害度（如位於地質敏感區、靠

近第一類活動斷層、位於土壤液化區等)、建築物脆弱度(如軟弱底層、建築老舊強度或韌性不足者)以及重要度(如醫院、飯店、商場、相鄰救災幹道之建築等)來做篩選。

先期執行階段僅求突破，待一段期限後再檢討全面執行之可能性。對供公眾使用且強制要求耐震補強之建築物，其耐震能力須達現行規範所要求之耐震安全標準，不得僅以其興建年代的耐震安全標準作要求。

耐震評估與補強採單一剛性標準，造成所有權人不易達成共識

台灣私有住宅常為連棟式或集合住宅，所有權人眾多，對建築物整體耐震補強達成共識非常困難，這是私有建築物推動耐震補強最大的障礙。台灣應仿效大阪耐震改修計畫^[8]，採取階段性補強的作法，亦即鼓勵任何可對建築物現況耐震能力作稍許提昇，並可降低建築物受震倒塌之可能者，均可執行。

例如台灣有許多一樓為停車場之住宅大樓，故為軟弱底層之建築。其倒塌之風險多為軟弱底層所造成，故能在一樓增設斜撐、剪力牆等即可排除軟弱底層之不利因子。由於在公共空間施作，經費較低，且不影響居民生活，對於取得耐震補強之共識較容易，實在應該推廣。

排除一樓軟弱底層之缺陷，並非建築物整體的耐震補強。由於未對樓上住宅層作耐震補強，因此地震來襲時樓上住宅層可能會出現震損。此時，承攬耐震補強業者極易捲入爭議之司法案件中。故階段性補強宜立法開放執行，以保障專業工作者之執業安全。

以現行法規管理耐震補強工程造成抵觸，難以推動

行政院 2007 年之條例草案使用甚多篇幅來管理耐震補強工程，舉凡耐震能力評估、耐震補強設計、耐震補強施工、及建築物使用，都有對應的管理程序。而這些管理程序都與現行法規相扣合，這些層層限制會讓耐震補強難以推動。參考國際上的作法，對既有建築物的耐震補強多以柔性勸導、積極鼓勵以及法規

鬆綁為主軸，實不宜用管理的面向來處理耐震補強。此外，這些管理程序與內容還套用現行適用於新建建築物的規定，其產生的抵觸與窒礙在所難免。

若想仿效大阪市耐震改修促進計畫^[9]，推動簡易型之階段性耐震補強工作時，繁瑣的法規管理會造成推動工作之障礙。例如階段性補強工作完工後，建築物應有許多部份不符合建築技術規則之相關規定，對此宜不要深究，只要耐震能力有所提昇，就可允許。公務人員均依法行政，最好中央立法來鬆綁不必要之限制。若交由地方公務人員自行認定，則易有標準不一之情事，而且在相互比較後，會自動趨向嚴格，這對階段性耐震補強的推動極為不利。

耐震評估或補強義務人同意之定義

行政院 2007 年之條例草案定義耐震評估或補強義務人，在私有建築物為建築物所有權人。由於集合住宅之所有權人眾多，但建築物所有權人字面之意義係指百分之百所有權人之共識。耐震補強工作推動的困難點之一就是取得所有權人同意之共識。基於耐震補強對居民生活之衝擊與影響較低，建議補強工作在「取得補強計畫範圍內百分之五十以上合法建築物所有權人之同意」即可為之。

其他

參考舊金山市 CAPSS 計畫^[11,12]由草根出發，廣納承租戶、房屋所有權人、社區領袖之意見，並從震害、社會、經濟與市場機制出發，以宣導、教育、資訊提供等務實漸進之方式推動，這是再次立法應該學習之處。

日本建築物耐震改修促進法^[7]於平成 7 年(1995 年)公布，由於推動成效不佳，歷經多次修改(平成 8、9、11、17、18、23 年)至平成 23 年(2011 年)之修正，已有 6 次修法歷 16 年餘。既有建築物耐震補強是一個艱困的工作，要立法推動並與時俱進。

東京都耐震改修促進計畫^[9]提出耐震安全之相關對策，都對扶植防災產業極有助益，非常具有參考價值。

台灣既有建築耐震補強立法之建議

國家地震工程研究中心在 2005 至 2006 年於蔡克銓前主任的領導下，曾參與「既有建築物耐震評估及補強促進條例」草案之研擬，可惜立法中挫。在 2016 年美濃地震後，政府推動老屋健檢。國震中心張國鎮前主任即主張在老屋健檢中訂定優先順序，先找出軟弱底層之住商混合大樓（類維冠金龍大樓），予以優先耐震評估與補強。

今又有花蓮地震造成軟弱底層大樓之倒塌，故對私有建築耐震補強之推動，已是刻不容緩。國震中心建議對私有供公眾使用且具一定規模以上之軟弱底層老舊建築物，應強制進行耐震評估與補強。對私有的老舊住宅應開放簡易之階段性耐震補強，鬆綁既有法規，以柔性鼓勵之方式進行之。

國震中心於 2018 年 2 月 13 日邀請結構技師、土木技師與建築師公會，一起討論「私有建築物加速耐震補強立法會議」，與會者均贊成立法推動私有建築物之耐震補強工作，其會議結論如下：

- (1) 應請主管機關儘速推動耐震補強相關立法工作，使行政部門可依法行事，增加執行效率，並釐清執業人員權利義務關係。
- (2) 台灣老舊建築數量甚多，耐震補強對象之篩選可依其危害度（如位於地質敏感區、靠近斷層或土壤液化等）、建築脆弱度（如軟弱底層、建築老舊強度韌性不足）以及重要度（如醫院、飯店、商場、相鄰救災幹道之建築等）等方面作考量。
- (3) 基於耐震補強對居民之衝擊與影響較低，建議「取得補強計畫範圍內百分之五十以上合法建築物所有權人之同意」即可為之。
- (4) 明定一定樓地板面積以上之住商混合大樓須經耐震評估及補強，以達現行法規之耐震安全要求，否則不得供公眾使用。
- (5) 建議可先進行階段性耐震補強，並明定階段性耐震補強之標準，例如排除軟弱底層之耐震缺陷，可為階段性擬達成之目標。亦即耐震補強對建物既有耐震能力有所提升者，即可合法分階段執行。

結論

地震防災的目標是震後人民的生活與城市的機能可以迅速恢復，其中的關鍵是人民可以安居樂業，白話來講就是劇震後人民還居住在自己家中，沒有建築物產生災難性的崩塌。

在 2018 年花蓮地震，我們在花蓮市沒有通過考驗。在 2016 年美濃地震，我們在台南市沒有通過考驗。在 1999 年集集地震，我們在南投縣、台中市、台北市及新北市都以不合格收場。台灣的私有建築極需立法推動耐震評估與補強工作，讓我們大家一起努力。

參考文獻

1. 黃世建、鍾立來、簡文郁、蕭輔沛、陳鴻銘、沈文成、葉勇凱、莊清寶，「台灣校舍結構耐震評估與補強計畫之推動」，結構工程，第 27 卷，第 1 期，第 4-16 頁，2012 年，3 月。
2. 行政院，2008 年，「建築物耐震能力評估與補強方案修正案」。97 年 11 月修正公布。
3. 內政部，1997 年，「建築技術規則」，86 年 5 月修正公布建築構造編第一章第五節耐震設計。
4. 行政院，2007 年，「既有建築耐震評估及補強促進條例草案」。行政院 96 年擬定草案。
5. 行政院，2017 年，「都市老舊及危險建築物加速重建條例」。106 年 5 月總統府公布施行。
6. 陳信村，「私有既有建築物耐震能力評估與補強促進制度之探討」，台灣大學土木系碩士論文，第 150 頁，2013 年 6 月。
7. 日本政府，1995 年，「建築物耐震改修促進法」，平成 7 年 10 月法律第 123 號。
8. 大阪市都市整備局，2008 年，「大阪市耐震改修促進計畫」，平成 20 年 3 月策定。
9. 東京都都市整備局，2012 年，「東京都耐震改修促進計畫」，平成 24 年 3 月策定。
10. 日本政府，1981 年，「建築基本法」，昭和 56 年修訂耐震基準。
11. Rojahn, C., Kornfield, L., Tobin, L. T., and Samant, D., "San Francisco's Community Action Plan for Seismic Safety." Applied Technology Council, Redwood City, California Department of Building Inspection, San Francisco, California / Earthquake Hazard Policy Consultant, Mill Valley, California / Earthquake Consultant, San Francisco, California (2011).
12. City and County of San Francisco, "Workplan 2012-2042 for the CAPSS Earthquake Safety Implementation Program." Prepared for Amy Brown, City Administrator of Earthquake Safety Implementation Committee (2011). 



研思如何改善現行法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

生命安全與建築法規的拔河

—— 0206花蓮地震之省思

施義芳／中華民國土木技師公會全國聯合會理事長、立法委員

台灣地震頻繁，1999年921地震、2016年0206美濃（台南）地震與本次0206花蓮地震都造成建築物倒塌並引致人員傷亡，類似災害一再重複發生。建築物耐震設計規範因應國內外地震工程的研究與耐震技術的發展，曾經多次改版或修正，對於提升新建建築物的耐震能力確有貢獻，但對於為數眾多的既存老舊危險建築物所具備的平、立面不規則特性：如軟弱底層與偏心扭轉等造成不良耐震能力的影響，依舊無法有效解決。為防止耐震能力不足的建築物在下次地震中倒塌，造成民眾生命財產的重大傷亡或損失，建議政府應亡羊補牢，盡速推動私有供公眾使用或7層樓以上的建築物耐震能力評估之監督機制，進而採取強制補強或重建配套措施的立法工作。此外「都市危險及老舊建築物加速重建條例」公布施行之後，政府部門公布的諸多子法與行政命令無法對症下藥，反而設置重重關卡與障礙，不僅無法加速危老建築物的重建工作，反而延誤工作進展，違背立法美意。緣此，本文從本次花蓮地震救災過程中，針對上述議題，就法制面、實務面以及整體防災體系做一完整清楚的闡述和探討。

前言

台灣位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊交界處，屬環太平洋地震帶的一部分，地震活動非常頻繁，再加上居住人口稠密，每當有大地震發生時，往往造成嚴重的災損。例如：1999年921地震、2016年0206美濃（台南）地震，都有建築大樓因強震而傾斜或倒塌，導致民眾受困和傷亡等憾事。很不幸地就在0206美濃（台南）地震屆滿2周年，今年（2018年）2月6日深夜11時50分花蓮近海發生芮氏規模6.0強震，地震深度約10公里，花蓮地區最大震度7級，這次地震再度重創花蓮，總計有4棟大樓傾斜或倒塌，部分道路隆起、橋梁及建築物受損，死亡人數達17人，災情可謂慘重。大樓傾斜或倒塌情形如圖1至圖4，其大樓倒塌位置示意圖如圖5。



圖1 雲門翠堤大樓倒塌現場



圖2 統帥飯店大樓倒塌現場



圖 3 吾居吾宿大樓倒塌現場



圖 4 白金雙星大樓倒塌現場



圖 5 花蓮地震大樓倒塌位置示意圖

感謝警消、救災團體的投入之外，再次提醒民眾在災後可能會有多起規模較大餘震，因此建議民眾先自行檢視住家的梁、柱、牆面是否有新裂縫，如有疑慮可洽專業技師團體協助。另外我們也強調災後建物緊急評估要盡速啟動，以維護花蓮民眾居家安全，這些聲明與提醒是土木技師的社會責任，祈禱台灣能夠平安度過且順利處理本次災情，讓傷害降低到最低程度。記者會及勘災情形如圖 7 及圖 8。

土木技師全力動員投入救災

回顧本次 0206 花蓮震災，在災變發生之初，本人即以土木技師公會全聯會理事長的身分指示台灣省土木技師公會張錦峯理事長籌組救災事宜，並動員全國各地的土木技師以輪班方式投入救災。期間行政院賴院長至雲門翠堤大樓倒塌現場關心救災進度，並交代土木技師公會就傾斜建物的緊急支撐作業協助安全評估，務必維護搜救作業的安全，掌握黃金救援時間全力搶救生還者。雲門翠堤大樓緊急支撐作業如圖 6。

2 月 9 日在黃金救援時間告一段落，本人亦率領台灣省土木技師公會張錦峯理事長、台南維冠大樓震災的總指揮鄭明昌理事長，以及多位參與本次救援的土木技師等人，於雲門翠堤大樓前召開記者會。會中我們除了

探究本次花蓮地震，國家地震工程研究中心和中央地質調查所已公布初步資料，一些專家學者也做了不少探討。發生大地震造成建築大樓倒塌或傾斜，一般有很多原因，例如：地震規模或震度超過設計規範，地質因



圖 7 花蓮震災土木技師公會召開記者會



圖 6 雲門翠堤大樓緊急支撐作業



圖 8 花蓮震災勘災情形

素（如近斷層或液化），結構系統不佳，施工不良，或是大樓二次施工未考量原規劃設計等因素。具備其中之一主因或是幾個原因加在一起就會造成損害。這次嚴重破壞大樓計有 4 棟，統帥飯店、雲門翠堤、吾居吾宿、白金雙星，其共通點都是約民國 80 年興建，而統帥則是 60 年，亦即都是採用舊規範，而內政部營建署在 921 地震後修改新規範才加入耐震設計規定。震度大固然是原因之一，然而災區沿途也有大樓無受損，根據經驗初步研判，統帥和雲門翠堤導致倒塌或傾斜，推估是一樓弱層造成（如餐廳和旅館裝修移除隔牆或挑空），亦即結構系統不佳佔較多因素；另外吾居吾宿加蓋樓層，也和結構載重增加有關。目前救援告一段落後，正進行拆除大樓，專業技師會同檢查官同時進行鑽心取樣，調閱原設計圖說比對及鑑定等工作，待完成後應該會有一更明確的報告。

危老建築物重建的困境與檢討

台灣在 921 震災之後，已強化地震工程研究與耐震技術研發，並針對建築物耐震設計規範歷經多次改版、修正，這樣的改變對於新建的建築物耐震能力的確有正面效益，但是就為數眾多既存、老舊的建築物，尤其是結構耐震能力不佳的平面、立面不規則建物，諸如軟弱底層的建築結構，仍無法全面、有效地改善耐震能力不佳的問題。

去年（2017 年）5 月 10 日所公布施行的「都市危險及老舊建築物加速重建條例」，由於後續公布的諸多子法與行政命令無法有效地針對問題提出妥善的解決對策，更甚而設置多重關卡與阻礙，除延誤政策的推動，也無法加速危險老舊建築物的重建工作，甚而喪失立法美意，此謂可惜。其主因在於條例的原意係以保護民眾免受危險、老舊建築物耐震、結構安全不佳的侵害，及保障生命財產安全。然從執行面觀察其子法規定，就危老建築物重建的容積獎勵項目包括：綠建築、智慧建築設備、住宅性能評估及結構安全評估等項目，其中涉及到建築物耐震能力有關的項目僅有結構安全評估，而其所占容積獎勵僅約 6%，其餘獎勵項目多與結構安全無相關性，因此，可以得知目前的法令想法，是希望重建內容加上綠能美觀、智慧化等，這些要求都不涉及耐震、結構安全，卻較屬於都市更新的環節。簡言之，危險老舊建築物重建策略，不宜與都市更新美化併同思維，畢竟居住在危險老舊建築物內的民眾不見得有能力

負擔類似於都市更新規模的建設成本。就目前的規定來看可能無法有效喚起民眾對於加速危老建築物改建的認知，所以現行的推動細節應再予檢討及改善，才能貼近於立法原意。

兩年前的 0206 地震造成台南市維冠金龍大樓倒塌及百餘人傷亡的憾事，當時蔡總統曾說「加速重建就是希望下一次地震來臨時沒有房屋會倒塌」。其實蔡總統已經看見問題的癥結，但政策單位或因官僚體系或因被動消極而無法確實掌握民意脈動，更甚是既得利益的阻礙，造成現在似有虛與委蛇不思改進策略，以及設置重重關卡等問題，而導致危老建築物重建之路仍屬牛步進行。

我們冀望內政部速行檢討「都市危險及老舊建築物加速重建條例」從公佈實施迄今的具體成效，並以民眾觀點出發，讓重建的營造成本負擔、貸款額度均能在其可容受的限度內，還有檢視容積獎勵項目的合理性、剔除與耐震能力無關的項目、更要簡化程序、縮短工期，如此才能讓危老建築物的重建工作步入正軌及確實保障國人的居住安全。

私有建物耐震補強經費應有配套

當然我們也呼籲要從震災的傷痛經驗中，針對既存的老問題別用鸵鳥心態應付，而是繼續勇敢的往前走，面對問題、處理問題。諸如在 921 地震之前興建的建築物，在當時由於耐震設計的規範以及鋼筋施工的細節不及現今的標準與要求，此外對於建築結構設計的審查也不如現今的嚴格，更甚是基於營業需求而恣意變動隔間或是結構系統等，都應儘速地進行檢討。這其中又以提供公眾使用的私有建築物要屬最為急迫，原因在於這類的建築物或有挑高結構、柱跨距大、結構平面不規則、結構立面不規則等不利於耐震抵抗的結構配置。因此，在未來的執行上，應由此部分除了進行快篩作業外，也要正視結構補強或改善的程序。

當私有建築物經耐震詳評建議須進行補強工作時，由於補強工程費勢必面臨建築物所有權人的分擔問題，諸如具有結構弱層的建物，其補強工作可能僅於低樓層範圍，對於高樓層的結構可能無須辦理補強，進而引致補強費用應由全體所有權人分攤或是僅補強樓層所有權人分攤的爭執。因此，我們建議就此類議題的處理對策上可考量房屋稅減徵、補強經費挹注、低利貸款等方向進行，以減少甚至杜絕因費用分攤爭議而延宕耐震補強進展，更甚是危及居住安全。

建置完整的防災政策及標準救災作業程序 (SOP)

台灣要面對地震，也要學習與地震相處，不要屢因地震而有國人生命財產的損失與哀痛。政府機關除了震災檢討，後續應有更積極作為，建置完整的防災政策。所謂「他山之石，可以攻錯。」藉由參考日本的防災政策，包含防災公園的設置上預留災民收容的綠地、直升機停機坪等空間，並建立防災教育館針對震災進行教育宣導、震災場景的警示及震後災民生活物資的儲存、環境的規劃等，從日常生活中強化防災觀念。另一方面，國人則要建立居住安全最為優先的認知，新成屋別只關注衛浴、廚具的品牌，既存的老舊建築要注意耐震評估與補強，從多方面著手與思考，才不會再次遭遇震災的生死離別。

台灣已經歷多次地震，特別在經過 0206 美濃（台南）地震，政府對於救援工作及動員能力漸漸累積不少經驗，本人在花蓮災區看到救災人員秉持著無畏無懼的精神、不眠不休的救援，深感佩服。然不可諱言許多方面都還有可以改善的空間。事實上花蓮發生地震災害、遭逢巨變第一時間，現場是相當混亂的，加上大雨寒冷、餘震不斷、人心惶惶等，更是雪上加霜。然而黃金救援時間非常急迫、分秒必爭、刻不容緩。所以中央和地方在指揮系統的權責劃分，救援人員的任務分配，後勤支援、維生系統（自來水、電）的整體規劃，甚至志工及媒體的管理機制等，都需要有一套標準救災作業程序（SOP），以避免慌亂、浪費資源，並有效掌握時程。

有鑒於此，本人認為中央相關部門（如工程會、內政部消防署、行政院災害防救中心等）和地方縣市政府，應建置一救災平台，集合警消、搜救隊、醫療院所、專業技師公會、NGO 社團等單位之力量，在平日即藉著不斷演練，以備災害突發來臨之不時之需。無論發生何種災害，都應該要以：(1) 保護生命優先；(2) 確保國家及社會重要功能不受破壞；(3) 財產及公共設施損失降至最低；(4) 迅速復原重建，朝向構建兼具「韌性」和「柔軟」功能，以國土安全、地區安心、社會經濟為目標。

結論

本人身為中華民國土木技師公會全國聯合會理事長和立法委員，有職責也有必要重申蔡總統的遠見高瞻及重要政策：「加速重建就是希望下一次地震來臨時，沒有房屋會倒塌」。本人亦會督促內政部能確實檢討「都市危險及老舊建築物加速重建條例」公布實施迄今的具體成

效和執行進度。並以民眾觀點出發，思考如何使其負擔最少的營造成本與貸款、獲得合理的容積獎勵、免除與耐震能力無關的審查項目、簡化行政程序、縮短申請日程等提出改善配套方案。

近 20 年來台灣遭受多次致災性地震，每在付出民眾生命重大傷亡的代價後，方引起曇花一現的討論，而真正的作為被檢驗的卻不多。坐而言不如起而行，這是古訓也是最好的良方。面對地震天災無可避免的宿命，身在台灣島上的我們要為重建家園攜手合作，政府部門務必改變思維，民間形成居住安全優先的共識，這樣才能事半功倍，早日完成危老建築物重建之路。

參考文獻

1. 國家地震工程研究中心（2018），0206 花蓮地震相關資訊彙整。
2. 經濟部中央地質調查所（2018），0206 花蓮地震地質調查初步結果。
3. 內政部營建署（2005），建築物耐震設計規範及解說。
4. 施義芳（2018），生命安全與建築法規的拔河，蘋果日報論壇。
5. 王价巨（2018），花蓮大地震之後，再談台灣的災害防救，電子媒體論壇。

土木技師-國之棟樑

逢山開路，遇水架橋
高樓擎天，資源再造



中華民國土木技師公會
全國聯合會
理事長 施義芳

會址：台北市松山區東興路26號9樓
電話：02-2748-1699
傳真：02-2748-1038
網址：<http://www.cupcea.org.tw>
E-mail：cupcea@tpce.org.tw



研思如何改善現有法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

從震災的教訓中 探討震害的樣態 依據致災的風險 決定補強的順序

張荻薇／中華民國結構工程技師公會全國聯合會 理事長

台灣位處歐亞板塊與菲律賓海板塊邊界，橫跨呂宋島弧和琉球島弧，地震活動相當頻繁。從 1906 年梅山地震起，經 1935 年台中烈震、1999 年集集地震、2016 年高雄美濃地震、以迄 2018 年的花蓮地震止，在百年之間發生了 10 次以上的災害性地震，平均不到 10 年就有 1 次社會矚目的重大地震害發生。尤其 2016.0206 美濃地震恰好滿 2 年，又發生了 2018.0206 的花蓮地震，造成了大樓崩塌、房屋受損與人員傷亡的重大災害。而且地震後餘震不斷，不僅人心惶惶居家難安，更重創了花蓮的觀光產業，又讓社會激起了強烈的防災意識。本文試從國內外地震災害的樣態，探討重大震害的主因，並擬對高危險群建築物之改建或補強策略等課題提出看法，供諸位先進參考。

前言

2018.02.06 的花蓮地震，因產生了震度階最高等級的 7 級地震，造成了花蓮市「雲門翠提」、「統帥大飯店」等四棟大樓崩塌，以及 17 人死亡、近 300 人受傷的重大災害，再度喚醒了大眾的災害意識。大家已領悟到在地震中要有存活的机会，最直接的作法就是建構強韌的耐震結構物。因此，居住在地震頻繁地帶的台灣，了解建築物的耐震性能並作必要的耐震補強，是減少地震災害的首要工作。建構安全、安心的居家環境，更是迫切的重要課題。

從地震巨災的教訓中，探討建築物之災害樣態

現行的耐震設計是以過去的震害經驗及調查研究為依據，但是即便以過去最大地震作為設計標準，亦無法否定未來超過之可能性。由於天災難料，唯有從災害的教訓中學習，才能尋找出有效的防災方法，來減少災害的損失。

筆者近三十年來，曾經多次赴國內外參與重大地震災害之現場勘災訪查，國外地震如：1989 年美國 Loma Prieta 地震 ($M = 7.1$)、1990 年菲律賓呂宋島地震 ($M = 7.7$)、1994 年美國 Northridge 地震 ($M = 6.6$)、1995 年日本阪神地震 ($M = 7.3$)、2011 年東日本大地震 ($M = 9.0$) 及 2016 年日本熊本地震 ($M = 7.3$) 等；國內地震如：1986 年 11 月花蓮地震 ($M = 6.8$)、1999 年集集大地震 ($M = 7.3$)、2002 年 331 地震 ($M = 6.8$)、2016 年高雄美濃地震 ($M = 6.6$) 及最近發生 2018 年的花蓮地震 ($M = 6.0$) 等。經彙整分析，雖然各次地震災害的樣態及嚴重的程度，常常令人料想不到，但我們仍可發現建築物地震災害的主要破壞模式及其成因，皆有一定的脈絡可循。

從歷次地震中，可以彙整建築物震害之主要樣態如圖 1-8 所示。其中，造成人員傷亡的破壞模式主要為軟弱層的崩塌，若為 Pilotis 柱之構造形式（Pilotis 為法語，意謂一樓為獨立柱，與鄰柱無牆壁或斜撐作有效的連結，形成開放大空間。日語亦以此外來語稱它為

「ピロティ柱」之構造形式^[1]所形成之軟弱底層，將因底層勁度不足（軟），柱產生大位移，又因強度不足（弱），柱無法支撐上部樓層之重量，導致底層柱被壓垮崩塌（圖 1）。若為高窄型的高層建物，將因傾覆力矩大，造成柱一端被壓潰、另一端柱被拉拔，大樓將會傾斜倒向壓方，甚至整棟大樓崩塌橫倒在地面（圖 2）；若全棟為軟弱層，更會形成三明治式的層層堆疊崩塌（圖 3）；此外，Pilotis 柱之構造形式，也容易造成建物 1 樓柱之剪力破壞或壓壞、傾斜等之破壞型態（圖 4 和圖 5）。建築物如樓層中有弱層存在，也會產

生中間層崩塌（圖 6）；而學校校舍則常因窗台矮牆的存在，產生短柱效應，引起柱之剪力破壞（圖 7）；土壤液化也會導致建物傾斜沉陷（圖 8）。建築物的其他震害尚有：海嘯災害及地震火災，至於斷層破裂帶建築物之地震災害，更是呈現多元的樣態。

2018.02.06 花蓮震所造成四棟大樓崩塌（圖 9），其中「雲門翠提大樓（底層為漂亮生活旅店與火鍋店）」及「統帥大飯店」為旅館，國盛六街的兩棟大樓的一層皆為停車場，全都是牆量少的大空間建築，成為 pilotis 獨立柱之構造形式，底層是抵抗地震橫力之最弱層。

Pilotis 柱構造形式
建物之 1 樓柱壓潰崩塌



1989 年美國 Loma Prieta 地震 (M = 7.1)



1999 年集集大地震 (M = 7.3)



1995 年日本阪神地震 (M = 7.3)

圖 1 建築物震害之主要樣態 (a) — 底層柱壓垮崩塌

Pilotis 柱構造形式
整棟大樓崩塌橫倒在地面



2016 年高雄美濃地震 (M = 6.6)



1999 年集集大地震 (M = 7.3)



1995 年日本阪神地震 (M = 7.3)

圖 2 建築物震害之主要樣態 (b) — 整棟大樓崩塌橫倒在地面

全棟為軟弱層，形成三明治式的層層堆疊崩塌堆疊



1990 年菲律賓呂宋島地震 (M = 7.7)

圖 3 建築物震害之主要樣態 (c) — 三明治式的層層堆疊崩塌

Pilotis 柱構造形式
1 樓柱剪力破壞或壓潰



2016 年日本熊本地震^[1]

1995 年日本阪神地震^[2]

圖 4 建築物震害之主要樣態 (d) — 底層柱剪力破壞、壓潰

Pilotis 柱構造形式
建物之 1 樓柱壓壞、傾斜



1990 年菲律賓呂宋島地震



1999 年集集大地震



2016 年日本熊本地震^[1]

圖 5 建築物震害之主要樣態 (e) — 底層柱壓壞、傾斜

中間層崩塌



1995 年日本阪神地震^[2]



圖 6 建築物震害之主要樣態 (f) — 中間層崩塌

柱剪力破壞



2016 年高雄美濃地震

圖 7 建築物震害之主要樣態 (g) — 短柱效應之剪力破壞

土壤液化建物傾斜沉陷



1990 年菲律賓呂宋島地震

圖 8 建築物震害之主要樣態 (h) — 土壤液化導致建物傾斜沉陷



雲門翠提大樓



統帥大飯店

國盛六街二棟

圖 9 2018.02.06 花蓮地震 (M = 6.0) 造成四棟大樓崩塌

因此，具軟弱層之建築物，尤其是一樓為 pilotis 柱軟弱底層之高層建築，地震時最容易造成重大災害，傷亡人數也是最多，必須儘速辦理耐震能力詳細評估及耐震補強工作。

提高建築物的耐震化率，為地震防災的重要工作

強化耐震結構設計與耐震補強，的確能提升建築物的抗震的能力，從國內外的震害經驗已獲得證實，尤其耐震補強對於減免既有建築物的地震災害確實有效。依日本國土交通省的統計，耐震化率每提高 10%，在規模 7、震度 6 級的地震下，東京都的建物倒塌數及死亡人數，推估都可減少六成以上。因此，日本政府數十年來一直推動建築物的耐震化。日本建築物的耐震化率（滿足 1981 年之「新耐震設計」基準）在 2008 年為 79%，較 5 年前增加 4%；2013 年為 82%，較 5 年前增加 3%，每年的增加率都不到 1%。另日本政府為促進耐震能力不足的建築物，積極進行補強、改建，於 2010 年內閣決議將 2020 年耐震化的目標值訂為 95%^[3]。

日本於 1981 年導入「新耐震基準」，進行耐震二次設計，對於建築物的耐震性能，已較「舊耐震基準」更能有效的掌握。依阪神地震之震害調查顯示，1981 年以前完成之建築物，屬於「大壞以上」或「中、大壞」之震害等級者超過 60%，1982 年以後完成之建築物則約 20%，兩者差異甚大，也證實了依「新耐震基準」所設計的建築物之耐震能力是可以信賴的^[2]。

身處地震災害風險極高的台灣，要建構安全、安心的居家環境，必須先有強韌的耐震建築物，這是全民應有的共識。行政院於民國 89 年核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，但實際推動辦理的僅為近年來實施的「校舍耐震補強計畫」及「公有建築物耐震能力評估及補強」等，成效雖然良好，但它佔整體建築物的數量上仍為極少數。故積極推動「既有建築物耐震能力評估及補強」，提高建築物的耐震化率，實為台灣地震防災的重要工作，也是刻不容緩的國家大事。

儘速立法是推動耐震補強的首要工作

要提升既存建築物耐震能力，首先要建制「完備的法律規章」，作為執行的依據。在 1999 年（民國 88 年）921 集集大地震後，行政院於民國 89 年核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，並於民國 98 年起開始辦理校舍建築之耐震補強。民國 94 年 12 月內政部提出「既有建築物耐震能力評估及補強促進條例（草案）」，因故尚未完成立法。民國 106 年 5 月公布實施的「都市危險及老舊建築物加速重建條例」，它是包括綠建築、智慧建築與無障礙環境等在內的多面向之考慮，並非用來作為耐震補強的法律依據。因此，要加速「既有建築物耐震能力評估及補強」，必須另訂專法才能夠有效的推動，且因涉及人民之權益，故應以法律定之。

日本具有先進的防災科技、完備的法律規章與防災對策，但在 1995 年的阪神地震中，「新耐震基準」施行以前所完成之建築物，震害相當嚴重。故於 1995 年 12 月施行「耐震改修促進法」，對未能滿足「新耐震基準」之建築物，被要求耐震診斷及耐震改修。此外，日本政府鑑於住宅及多數人利用之建築物，發生地震害時，傷亡將特別嚴重，繼於 2006 年施行「改正耐震改修促進法」，規定都道府縣政府，有義務促進學校與醫院等建築物之耐震化，對住宅建築之耐震化，也要提出對策，且必須儘速作成有“數值目標”的具體計畫^[1]。

2011 年 3.11 大地震（M9.0），招致史無前例的大災難^[4-8]，地震過後 6 年，仍有 12 萬人過著避難生活。日本因不斷的遭受天災的威脅，再度喚醒了大眾的災害意識，日本政府遂於 2013 年頒布了「國土強韌化基本法」，並於 2014 年通過了「國土強韌化基本計畫」，以「保護人命、國家社會的重要機能可以繼續維持，人民財產及基礎建設災害最小化，災後能迅速復舊與復興」等為計畫目標^[9]。2016 年「國土強韌化行動綱領」，再度揭示建築物之耐震化率在 2020 年要達成 95% 的目標^[1]。

尤其近期盛傳極可能發生的南海海槽巨大地震（M = 9.1），更讓社會激起了強烈的防災意識。國土交

通省於 2014 年：設立「南海海槽巨大地震、首都直下地震對策本部」，2015 年：制定「南海海槽巨大地震對策計畫」・「首都直下地震對策計畫」2016 年：策定「首都直下地震道路開啟計畫」・「緊急時河川活用計畫」・「即應型災害支援物質輸送計畫」・「緊急替代空港運航支援系統」等，與維生系統相關之整合策略^[10]。

台灣的自然環境及工程建設型態與日本相近，也同樣的遭受地震等天災的侵襲，故日本所歷經的災害經驗及防救災的策略，皆可作為我們的參考與借鏡。

依據致災的風險，決定補強的順序

要提升既存建築物之耐震能力，必須對該建築物進行評估，是否符合應具有的耐震性能需求，若有不足則需進行改建或補強。日本 1981 年實行「新耐震設計基準」迄今有 37 年，1995 年 12 月施行「耐震改修促進法」也有 22 年。我國有關耐震性能之技術規則或耐震規範，於 1997 年大修後對耐震有較周延的規定，1999 年「集集地震」後震區作了部分調整改變，2005 年增加考慮近斷層效應。1997 年之新耐震規範或 1999 年之震區調整或 2005 年的考慮近斷層效應等，迄今皆不到 20 年，因此，耐震能力評估及補強對象，宜為 1999 年（民國 88 年）以前完工之建築物，若為近斷層則宜以 2005 年（民國 94 年）以前完工者為對象較為合宜。

目前台灣建築物耐震化率仍舊很低，若要全面推動「既有建築物耐震能力評估及補強」，數量極為龐大，並不容易達成；且因涉及人民之權益及政府的人力、財力、物力等複雜的問題，難度甚高。但台灣面臨嚴苛的地震天災環境，近年來災害發生頻率與強度均有增加的趨勢，而防救災的環境條件卻愈來愈艱困。任何個人或群體都經不起一場大的災難，天然巨災的發生對於人民的身家安全及產業經濟發展，將造成極大的傷害與影響。地震防災在台灣是不得不為的重要工作。因此建議考慮依據地震的致災風險，決定補強的順序，對高危險群之建築物應儘速辦理。

建築物地震災害的風險大小與「危害度」、「脆弱度」及「重要度」等因子相關，如圖 10 所示^[11]。

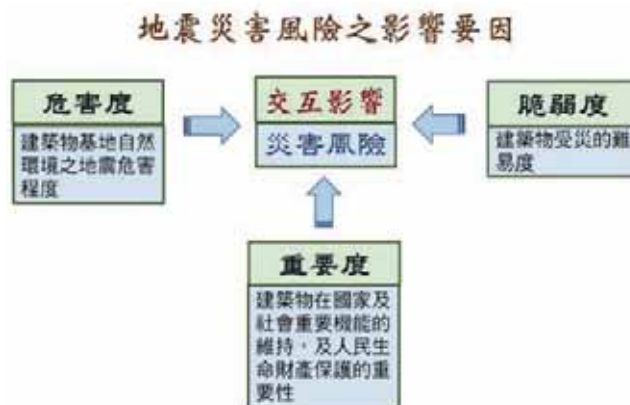


圖 10 地震災害風險之影響要因

- 「危害度」：建築物基地自然環境之地震危害程度，包括地震發生頻率、地震強弱、斷層活動、地盤類別等。
- 「脆弱度」：建築物受災的難易度，包括結構系統、平立面之規則性、材料強度與品質、構造細節、施工品質等。
- 「重要度」：地震後需繼續維持機能之建築物、崩塌受災將造成眾多人員傷亡之建築物、使用者或居住人口眾多之建築物及重要交通幹道沿線之建築物等，這些種類的建築物在地震災害風險上，皆應視為重要度高之建築物。

防災意識的覺醒，是推動耐震補強的動力

俗話說「一盎司的預防藥，勝過一磅的治療藥」，也就是說「預防勝於治療」。由於天災風險不會是零，地震已經讓許多國家遭受重大災難與經濟損失，我們必須竭盡所能來減緩地震的威脅，才能夠有安全的环境，過著安心的生活。自然力的強度無限，而人類的能力有限，我們可以應用科學與工學的方法來建設硬體的耐震構造，但更重要的是要記取地震災害的威脅與教訓，加強防災意識。

近年來地震災害愈趨頻繁激烈，耐震防災已成為一個國家最重要的社會議題。要加速推動「既有建築物耐震能力評估及補強」，必需要讓民眾了解在巨災中要有存活的机会，最直接的作法就是建構強韌的耐震結構物。災害總在遺忘的時候來臨，必須喚醒耐震的防災意識，要讓社會大眾了解先要「自助」、再「互助」而後求「公助」^[11]。強化自家房屋的耐震能力，是

為了自己的安全，也是自己的責任。唯有全民防災，才能建構安全、安心、永續的家園。

尊重專業、充足的人力物力，是落實耐震補強的關鍵

推動耐震補強工作，必須要有「充足的經費」，才能持之以恆，也需有「健全的組織與人力」，才能有效率的進行。但最重要的是尊重專業，找對的人來做才是關鍵所在，工程品質又是決定耐震能力良否的另一重點，而「耐震設計審查」與「施工特別監督」，則是獲得良好耐震性能的有效作法。

另由於私有建築物之耐震能力提升，包括耐震能力評估及耐震補強甚至重建，對所有權人而言，皆需一筆額外的經費，故需有相當的誘因鼓勵，大家才會樂於配合參與。其中，容積獎勵、經費補助、稅額減免等，皆為可以考慮的方法。以日本為例，政府為促進耐震能力不足的建築物積極進行補強、改建，於2010年內閣決議將2020年耐震化的目標值訂為95%，且為支援耐震改修費的補助，除修正這10年度的預算之外，並將耐震改修費用的一部分，實施所得稅扣除、改修住宅之固定資產稅減額等之促進稅制^[1]。經費、人力、物力的問題必須解決，推動「既有建築物耐震能力評估及補強」的工作，才能持續的進行。

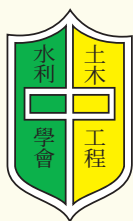
結語

提高建築物的耐震化率是國土強韌化的基石，而耐震補強則是提升耐震化率的根本工作。我們未來面對的是連鎖性複合型天然災害，災害的樣態及嚴重的

程度皆難預料，2018.02.06.的花蓮地震，讓我們再度檢視防災上的脆弱面，任何天然巨災都必須作為借鏡，從天災的教訓中謙卑學習。大家常說的「小震不壞、中震可修、大震不倒」是地震防災的基本目標。將來的防災思維，應從「保住人命、降低經濟損失」，進而追求基礎建設正常使用、產業供應鏈得以確保，並應以災後國家有快速且強盛的復原能力，作為防災的戰略目標^[12]。

參考文獻

1. 日經 BP 社，「檢證熊本大地震 — なぜ倒壊したのか？プロ視点で被害を分析」，2016 年 7 月。
2. 日經 BP 社，「阪神地震の教訓」，1995 年 3 月。
3. 日經 BP 社，「覆る建築の常識」，東日本大震災教訓，都市・建築編，2011 年 6 月。
4. 日本東北大學，「東北大學による東日本大震災 1 ヶ月後緊急報告會報告」，2011.04.13。
5. 張荻薇，「2011 年東日本大震災 — 廣域性複合式災害」，2011 年結構與地震工程研討會，中華民國結構工程學會，2011.12.10。
6. 張荻薇，「工程災害及復原」，東日本大震災重建勘察發表會，國家地震工程研究中心，2012.7.26。
7. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「2011 年東日本大震災勘災報告」，2012.09。
8. 張荻薇、王昭烈、黃炳勳、曾榮川、蘇彥彰，「311 東日本大震災災後重建考察報告」，台灣世曦工程顧問股份有限公司，2014.11。
9. 日本總理府，「國土強韌化基本計畫」，2014.06.03。
10. 2016 國土交通白書（日本）。
11. 張荻薇，「天災環境下 — 防災意識的覺醒與防災新思維」，Vol. 44, No. 2, April 2017, 土木水利。
12. 張荻薇，「天災難料 唯有從巨災中學習 — 防災思維與防災戰略」，日本熊本地震勘災考察說明會，國家地震工程研究中心，2017.03.02。



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

電話：(02) 2392-6325
傳真：(02) 2396-4260
e-mail: service@ciche.org.tw

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

歡迎加入學會



<http://www.ciche.org.tw>
請上網下載入會申請表



研思如何改善現有法規與制度，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

提昇新、舊建築物之耐震能力方法 ——改善現有法規與制度面之探討

鄭宜平／中華民國全國建築師公會 理事長

花蓮地區 107 年 2 月 6 日 23 時 50 分發生之強震，造成人員傷亡及建築物毀損，本會除對不幸罹難者表達哀悼外，同時於最短時間內就近動員台東、宜蘭、臺北市、新北市大批建築師於 7 日清晨投入災區參與救災工作，本人亦親率理、監事當日 10 時抵達花蓮，就建築專業技術上之經驗協助現場救災。由於災情嚴重，已發動全國各建築師公會配合本會於人力及物力上提供支援，協助後續救災及建築物安全鑑定工作，善盡專業公會社會公益責任，並捐款 100 萬元協助賑災，期盼達到拋磚引玉之效果，襄助災後重建工作。為避免再次發生強震造成人員傷亡及建築物毀損，本會有如下之建議作法：

針對既有建築物部分

危險老舊建築物評估補強工作：

(1) 由「建築法」啟動加速私有建築物耐震評估及補強作法：

1. 修訂「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」，將私有供公眾使用建築物也納入強制耐震能力評估的範圍，凡是在 88 年 12 月 31 日以前領得建照之私有供公眾使用建築物，如旅館、醫院、百貨公司（商場、量販店）、運動休閒場所、電影院、學校、社福機構等，樓地板面積累計達 1,000 平方公尺以上，明定所有權人有申報義務，並以建築物同屬一所有權人為推動對象。
2. 提供補助要求各地方政府應主動篩選出高危險疑慮建築物，並依前述辦法納入應辦理耐震能力評估檢查對象（106 年共補助約 9,300 件，經清查後如有安全上疑慮，將請各直轄市、縣（市）政府主動通知並輔導所有權人申請耐震能力初步評估，進一步確認建築物的結構安全）。檢討近年

地震，常有建築物軟弱層先被震垮的情形，因此針對前述經過耐震能力評估應進行補強的建築，內政部將研修建築法第 77 條之 1，增列構造安全不符現行規定者，應令其改善，於一定期限內進行補強或重建。

(2) 由「立專法」啟動加速私有建築物耐震評估及補強作法：

1. 明訂 88 年 12 月 31 日以前領得建照之一定規模以上之私有供公眾使用建築物，須經耐震評估，不符現行規定要求者，建築物可直接進行全面性補強或重建，或優先採取較快速的「階段性補強」，避免期間因軟弱層先被震垮的情形，造成大量人員傷亡，後續再提出全面性的補強或重建計畫。
2. 民眾擔心評估後，若住戶不願意分擔經費補強，將成登記有案的不安全建物而影響房價。建議政府應提供更多誘因，住戶可透過公寓大廈管理委員會討論，發揮創意，辦理危老建築物的結構補強。

危險老舊建築物使用管理工作：

- (1) 違章建築不僅破壞房屋結構與防火性能，進而影響公共安全，也會破壞城鄉景觀風貌。各地方政府對於影響公共安全的既存違章建築，依法應優先執行拆除，並依計畫編足預算、爭取議會支持，建立民眾安全的居住環境。
- (2) 危老建築因早期施工方式、施工材料及建築法規與現今不同，因此加強使用證照之管理就很重要，例如：變更使用執照、室內裝修合格證明、建築物公共安全檢查及消防安全檢查等。



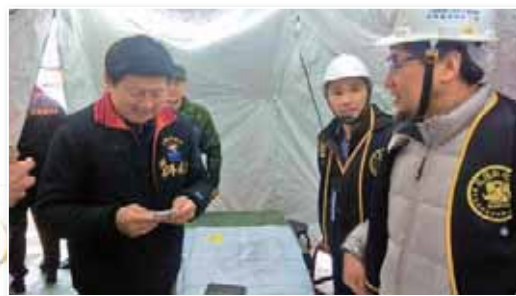
針對新建建築物部分

改善現有制度：

強化對不動產開發商、建築師、技師及營造業工地之管理。

改善現行法規：

強化現行建築物審查、勘驗及竣工查驗等制度，避免日後震災再次造成相同傷害，藉由第三公正單位辦理審查、現場勘驗及竣工查驗，以落實三級品管，並確保建築物設計及施工品質，爰針對政府導入第三方專業機構辦理建築審查、施工勘驗與竣工查驗等修正方向，相關修正草案已於 107 年 1 月 30 日函送行政院審議，行政院預計於 2 月底前召開審查會議。



建築師公會鄭理事長等人與傅崑其縣長、顏久榮副主委合影



研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

因應地震的 建築結構耐震 中綱計畫 研究發展與成果

陳建忠／內政部建築研究所 組長

為延續過去防災國家型科技計畫研發成果及能量，進一步提昇社會整體抗災能力，以面對未來更艱鉅的災害挑戰，行政院於 95 年 4 月 28 日核定「強化災害防救科技研發與落實運作」方案，結合各災害防救業務相關部會署共同推動，本計畫亦被包含於該方案中，且編列於 96～99 年之前期計畫「建築產業技術發展中程綱要計畫」中執行。鑒於災害防制為政府長期性之重要工作，依據 100 年「行政院災害防救應用科技方案」，持續參與「全國災害管理平台建構方案」，並配合「104～107 年行政院災害防救應用科技方案」廣續推動建築耐震之相關研發與推廣工作。

總目標及說明

105 年 0206 美濃地震造成台南市部分地區產生嚴重土壤液化災害，行政院指示應盡速頒佈全國土壤液化潛勢圖，引起全國民眾對土壤液化問題之重視，故亟須盡速修訂現有規範之相關內容，使規範能更臻完善、更能配合現況需求，以應基礎設計分析之需要。美濃地震亦造成台南市數棟軟腳大樓倒塌，凸顯 1997 年以前因為建築法規不夠完善，導致過往有許多建築物不但未經耐震設計且施工品質亦欠缺嚴謹的監督。此次台南維冠金龍大樓倒塌，成因經歸納為結構系統不良、基礎不穩固、梁柱箍筋圍束不足、混凝土品質低劣等。有許多受損嚴重的建築為屋齡 20 年以上之 RC 大樓，例如維冠大樓（16 樓高）、幸福大樓（7 樓高）與京城銀行（11 樓高），此類大樓之柱一般採非韌性配筋細節，例如採 90 度彎鉤且箍筋間距配置過大等，且混凝土強度也可能過低，導致如維冠大樓所觀察到，主筋表面幾無混凝土附著之現象。根據勘災之觀察結果顯示，此種大樓之柱常呈現崩潰式破壞，造成其所在樓層之倒塌。故 106

年度針對建築物基礎構造設計規範及提升非韌性配筋柱之耐震韌性能等研究。

為使災害防救科技研發工作能有效的分工合作，本計畫之目標研訂如下：

1. 高性能強度結構系統及構件耐震性能研究：開發新型式結構耐震系統及構件，研發提昇傳統建築結構耐震能力之方法，以提供主管機關修訂法規、標準之參據，並支援建築業界有關建築新工法與新技術之研發與檢測需求。
2. 建築耐震相關規範解說強化及技術手冊等研究：廣續研修建築物耐震相關設計與施工規則與規範，並強化解說內容，編訂技術手冊，以提昇新建建築結構耐震技術與施工品質，保障人民生命財產安全。
3. 耐震能力提升與評估技術精進及多元應用推廣：探討及整合耐震評估與補強相關技術，並強化建築物延壽相關研究，進行跨領域研究，整合建築結構、材料科技、資源再生應用等技術與應用研究，加強既有建築物的耐震能力，達到安全防災之目的。

預期效益

本計畫依據所列研究主軸與課題執行重點，預期效益如下：

1. 加速建築技術規則、相關技術規範、標準的增修訂，減少工程爭議，使得業界於建築構造設計技術有明確之依循。
2. 依據國家災害防救科技中心 104 ~ 107 年行政院災害防救應用科技方案」，廣續推廣建築物耐震新技術與理念，強化工程耐震品質，保障人民生命財產安全。
3. 進行大尺寸結構構件力學實驗研究與檢測，提供本土化實驗數據，做為研修訂建築構造設計技術規範之參據，研擬建築耐震性能式設計規範，提升對建築物耐震設計之能力。
4. 整合多元化跨領域應用研究，有效利用各項資源，營造健康、舒適、環保的生活空間，達到風害防制、永續生活之目的。

計畫內容說明

計畫架構與內容說明

本中程計畫係針對建築技術而規劃，計畫性質屬於應用研究，主要為技術提昇與發展、法規制訂等，部分隨國內外發展趨勢，逐年檢視、調整研發方向。

從台灣 921 地震及 0206 年美濃地震勘災調查結果顯示，建築物底層軟弱、平面不規則所引致的扭轉效應及非韌性配筋等因素，為建築結構損傷甚至倒塌的主因，尤其具有住商混合的大樓或街屋，常因其低樓層常具商業用途，而在低樓層採挑高或挑空設計，導致底層軟弱或因結構平面不規則而產生扭轉放大效應；其次，年代老舊超過廿年以上的鋼筋混凝土建物，亦常採用非韌性配筋設計，導致結構韌性容量不足。然而一般建築物設計規範條文之目的是為了所有類型的建築物提供安全的設計標準與基本要求。從一兩層的住房到高層建築結構皆須適用。但此一廣泛的適用性，常讓一般建築物設計規範並未能適切考慮中高樓層或具有住商混合使用建築的特性，易導致中高樓層建築在經濟性和安全性方面均不易達到最佳的設計。

0206 美濃地震，台南許多大樓倒塌，成因經歸納為結構系統不良、基礎不穩固、梁柱箍筋圍束不足、混凝土品質低劣等，有許多受損嚴重的建築為屋齡 20

年以上之 RC 大樓，例如維冠大樓（16 樓高）、幸福大樓（7 樓高）與京城銀行（11 樓高），此類大樓之柱一般採非韌性配筋細節，例如採 90 度彎鉤且箍筋間距配置過大等，且混凝土強度也可能過低，導致如維冠大樓所觀察到，主筋表面幾無混凝土附著之現象。根據勘災之觀察結果顯示，此種大樓之柱常呈現崩潰式破壞，造成其所在樓層之倒塌。

本計畫於 106 年度為因應國內現況的變動執行包括：鋼筋混凝土剪力牆圍束效應與剪力強度研究、建築物基礎構造設計規範之修正、非韌性配筋柱之耐震韌性提升研究及建築物附掛構件之耐風設計評估等研究，期能迅速提供建築物耐久、耐震及抗風等性能設計規範，以確保民眾生命財產安全與生活舒適性。

過去內政部建築研究所為提昇建築物耐震能力，降低震害損失，積極推動建築技術規則建築構造編及耐震相關設計及施工技術規範之研修訂，因國內相關研究成果較為缺乏，且缺少本土化工程參數，因此泰半皆直接引用美、日等先進國家之相關規範研修訂而成。目前除已全盤針對建築構造編既有各章節，依據規則與規範分立的原則，亦即大幅簡化規則條文，僅保留一般原則及宣示性的部分，而將技術性的條文列於設計及施工技術規範，以簡化日後修訂程序外；另為滿足國內工程界之實際需求，增列「鋼骨鋼筋混凝土構造」及「冷軋型鋼構造」等 2 章內容後，建築構造編之耐震相關規範架構及內容，已漸完備。然而在國內施行期間，因部分規範條文規定，未考慮到國內工程界實際情況，而遭到工程實務界的質疑。

有鑑於此，針對建築相關法規、標準之本土化需求，有必要經由實驗研究發展，提供主管機關修訂法規、標準之參據；並可就實驗研究結果，支援建築業界有關建築新工法、新技術、新設備研發、檢測及認證所需，以加強提昇國內建築技術水準。內政部建築研究所新建置完成之材料實驗中心，已於 97 年起正式運作，該實驗中心包括兩棟建築物，一棟做為大型力學實驗室，乃為挑高 26 公尺的廠房建築，設有 3000 噸萬能材料試驗機，以及強力地板與反力牆系統，有助於建築、土木結構物的大尺寸構件之力學性能實驗研究發展；另一棟為五層樓的建築，主要規劃為建築材料的一般力學試驗、材料檢測、以及耐久耐候性試驗等，除可提供業界相關檢測服務外，並可做為創新

建材的研發，彌補國內產業界與相關學術、研究機構在這方面研究的不足，亦可增進建築土木的使用年限，此乃政府推動綠建築，強化永續發展的重要一環。

另外，配合「104～107年行政院災害防救應用科技方案」，賡續推動本分項計畫，期能藉由引進國外建築耐震先進技術，整合國內相關研究發展，提升國內建築耐震技術與工程品質，確保人民生命財產之安全。本分項計畫研究主題包括「高性能結構系統及構件耐震性能研究」、「建築耐震相關規範解說強化及技術手冊等研究」及「耐震能力提升與評估技術精進及多元應用推廣」等三部分，其內容涵括高強度結構系統研發、建築耐震規範與手冊研修、以及評估與補強技術研發及推廣等，研究架構如圖1所示。

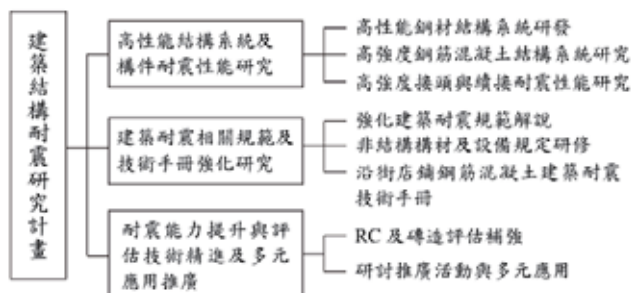


圖1 建築結構耐震研究計畫之研究架構圖

1. 高性能結構系統及構件耐震性能研究

(1) 高性能鋼材結構系統研發

超高強度鋼材之使用已是現今建築的趨勢，但考量超高強度鋼材相關之結構試驗文獻不多，國內鋼材製造技術發展快速，已有許多實際建築應用案例，突破現有國內鋼結構或SRC結構設計規範限制，且鋼材易受到在地許多因素影響，若未經試驗確認使用超高強度鋼材之構件行為，故針對使用超高強度鋼材結構系統之構件或構架進行試驗，利用內政部建築研究所材料實驗中心既有的重要實驗設備（如3000噸萬能材料試驗機等），以確認在實務應用會否有耐震性能或韌性不足的安全疑慮，確有其必要性。

(2) 高強度鋼筋混凝土結構系統研究

國內近年來有關超高強度鋼筋混凝土（New RC）於超高層建築工程之應用，各界感受到有迫切的需求，也投入相當的心力。然而New RC建築之建造，因材料強度及施工方式可能超過目前建築技術規則與結

構混凝土設計規範的一般規定，因此實有必要進行相關高強度鋼筋混凝土構件之本土化實驗研究，以確保設計的安全性及施工的可靠性。

(3) 高強度接頭與續接耐震性能研究

近年來國內高強度鋼筋、續接器及高強度混凝土的研究頗有成果，且國外相關廠商對於高強度鋼筋、續接器等也希望提供其產品及技術，而梁柱接頭及續接器的耐震性能，將直接影響建築物的整體耐震能力，須進行相關之本土化實驗研究，以確保建築物的耐震能力。

(4) 建築耐震相關規範及技術手冊強化研究

(5) 強化建築耐震規範解說

國內目前耐震設計規範條文涵蓋內容廣泛，含耐震設計分析方法、隔震建築設計、制震建築設計，以及既有建築物的耐震能力評估與補強等。惟各章節條文之解說內容過於簡略，相關公式的由來、推導及應用說明等也不夠清晰，使一般土木技師或結構技師等使用者不易深入瞭解條文含義，實有必要強化解說內容，並訂定相關範例，以利推廣應用。

(6) 非結構構材及設備規定研修

建築非結構構材與設備部分，大都未經結構工程師分析、計算及設計，因此，在地震時破壞的發生率通常要比主結構破壞的發生率高出許多。非結構構材與設備的破壞或功能喪失可能會直接危及用戶，甚至附近戶外人員的生命安全，並會造成主要應急設施無法使用，因此有必要進行相關研究及規範條文研修。

(7) 沿街店鋪鋼筋混凝土建築耐震技術手冊

鋼筋混凝土建築中，沿街店鋪住宅為台灣普遍的建築形式，其安全與否影響眾多民眾生命財產安全。沿街店鋪住宅沿街方向耐震能力存在兩大問題：(a) 牆體量不夠，耐震能力不足，過去地震常有此種建築沿著街道方向傾斜或倒塌；(b) 此方向牆體一般具開口，而設計者不知如何計算開口牆體之抗剪強度，因此應持續進行相關研究，並研擬耐震設計技術手冊，提供業界參考。

2. 耐震能力提升與評估技術精進及多元應用推廣

(1) RC及磚造建築評估補強

國內既有建築物的數量龐大，為強化建築結構安全、延長建物壽命，建築物的鑑定及修復補強業務，

未來將成為營建市場的主流，本計畫探討及整合既有鋼筋混凝土及加強磚造耐震評估與補強相關技術，整合建築結構、材料科技、資源再生應用等技術與應用研究，加強既有建築物的耐震能力，達到安全防災之目的。

(2) 研討推廣活動與多元應用（略）

104 年度研究課題及執行成果

104 年度辦理研究計畫包括填充混凝土箱型鋼柱撓曲合成行為研究、沿街店鋪住宅結構系統耐震設計技術手冊研究、建築物非結構構材—暗架天花板耐震性能檢討、3 案，各案課題方向如下：

1. 填充混凝土箱型鋼柱撓曲合成行為研究

填充型箱型柱不但强度高、韌性好，且柱內灌漿不需使用到模板施工方便，國內鋼結構高樓使用填充型箱型柱的比例相當高。過去的試驗結果顯示填充型箱型柱縱使不配置剪力釘，柱之軸向強度與撓曲強度都可以發揮出合成斷面強度，雖然軸向勁度會受到一些影響，但是仍然可以發揮出桿件的撓曲延展性。但是這些試驗所使用的試體都無法考慮到可能的混凝土乾縮效應，因此工程實務上設計者還是都會在箱型柱內設置剪力釘。在柱內設置剪力釘一方面提高造價及施工困難度，另一方面柱內剪力釘的需求量也眾說紛紜，沒有較一致的分析及設計方法。此外，國內的 SRC 規範在柱內剪力釘方面沒有明確的規定，規範的完整性也有所欠缺。為了結構安全性、經濟性及規範完整性的考量，應進行填充型箱型柱撓曲合成效應甚或剪力釘設計方法的研究。經利用 NDI 公司所生產之動態捕捉系統，將 marker 擷取到的資料加以整理，發現當試體不配置剪力釘時，混凝土與鋼骨之間相對位移較大，當試體配置剪力釘越多時，其合成效應會更加明顯，鋼骨與混凝土之間相對位移較小。

2. 沿街店鋪住宅結構系統耐震設計技術手冊研究

目前工程界進行沿街店鋪住宅耐震能力評估時，常遇到沿街開口牆體模擬及耐久性效應模擬之兩大困難。針對開口牆體（磚牆與鋼筋混凝土牆），由於對其行為之不瞭解，工程師常逕自忽略，可能造成低估結構勁度與等效地震力，且改變結構系統破壞模式，形成軟弱層效應，造成不保守之評估結果。因此急需對現

行結構系統之耐震能力評估技術進行研究，並研提結構系統耐震能力提升之方法；針對房屋老舊所衍生的耐久性問題，例如混凝土開裂、剝落，鋼筋生鏽等，工程師或者不予以考慮，造成不保守之評估結果，或者僅任意給予材料斷面積之折減，但忽略除斷面積折減外之其他影響，例如對於鋼筋與混凝土握裹、鋼筋圍束效應、構材剪力強度與變形能力之影響，同樣造成不保守之評估結果。

本研究提出能考量鋼筋腐蝕與牆體開口效應之耐震評估程式，該程式基於文獻中前人建立之軸力、剪力與彎矩互制行為模型，加入腐蝕鋼筋、混凝土與握裹材料組成率，以及考慮牆體開口之方法。透過案例分析，說明鋼筋腐蝕對沿街店鋪式住宅耐震能力之影響，分析結果顯示某位於台中市之沿街店鋪式住宅，鋼筋腐蝕造成結構物崩落地表加速度值每十年下降 1.14% ~ 2.14%。且完成測試一座多牆構架系統（兩跨兩層樓開口牆試體），該系統代表典型沿街店鋪式住宅屋後一二樓外牆構架設計，試驗結果顯示典型一樓弱層破壞現象，驗證 921 大地震所觀察之沿街店鋪式住宅破壞行為。後續仍須進行之研究包括對實驗數據進行更進一步的分析（牆體變形場、鋼筋應變量等），以及實驗與本研究所發展之耐震評估程式預測之比對等。

3. 建築物非結構構材—暗架天花板耐震性能檢討

暗架天花板因為系統剛度較大較不易變形之緣故，以往對其耐震性能較有信心。然而從 2003 年開始，日本陸續發生大面積的暗架天花板在地震中崩落之案例，導致建築空間機能無法在災後立即使用。2011 年的東日本大地震更造成多起暗架天花板掉落之災情，其中令人感到震撼的是有新建之音樂廳距離震央數百公里之遙，卻也發生暗架天花板大面積崩落的問題。國內在 1999 年 921 地震中就已觀察到臺中美術館發生大量暗架天花板掉落之情形，但後續並沒有特別針對暗架天花板持續追蹤及研究。然而在 2013 年 6 月南投仁愛地震中，又發現南投某一學校暗架天花板崩落的狀況，而學校校舍也是震災緊急避難的場所，因此才重新喚起對暗架天花板耐震性之重視。

本研究透過實驗以瞭解國內常用暗架天花板工法之強度及耐震弱點，因此在實驗規劃中將暗架天花板實驗分為細部元件試驗與全尺寸靜力側推試驗兩階

段。實驗結果顯示吊筋與支撐架相接處為天花板系統中較容易受到破壞之構造，確實有需要提升其強度。本研究也發現到只要在支撐架連結螺桿處的下方加入一墊片即可有效提升接點強度，因此建議應將墊片的使用加入暗架天花板吊筋的標準工法中，確保在地震力作用下天花板接點不會受到破壞。在全尺寸試體之單向靜力側推實驗中，當天花板支撐架有搭接時，搭接處的支撐架會發生錯動，造成卡麗板變形或被支撐架掛鉤刺穿而有鬆脫的狀況；若支撐架搭接處沒有錯位其試體極限強度較小且破壞較嚴重，甚至當搭接的支撐架間距離 15 cm 以上就會發生卡麗板掉落的情形。相較於單向靜力載重試驗，在往復載重試驗中搭接處的卡麗板被支撐架掛鉤刺穿及變形鬆脫之狀況更為明顯。實驗結果顯示支撐架搭接無錯位的試體皆較容易發生卡麗板掉落的狀況；而在天花板支撐架無搭接的狀況以及將支撐架搭接處的位置全都錯開的情況下，可以發現即使到了實驗最後階段卡麗板也沒有發生掉落的現象。

105 年度研究課題及執行重點

本計畫於 105 年度辦理研究計畫包括混凝土結構設計規範修訂研究、低矮 RC 建築以非矩形斷面柱耐震性能提升之實驗研究、包覆填充型箱型柱接力式繫筋橫向鋼筋配置對撓曲行為之影響等案，各案課題方向如下：

1. 混凝土結構設計規範修訂研究

鋼筋混凝土為建築物最主要與最常用之構造型式，在建築土木工程領域中，始終扮演極重要的角色，設計與施工良好的混凝土結構關係建築結構物之安全至鉅，為建築工程中不可輕忽之課題。目前我國「混凝土結構設計規範」係於民國 100 年公告，至今已 6 年多，該版規範是以美國混凝土學會 ACI 318-05 規範為依據，其後 ACI 於 2008 年、2011 年及 2014 年均再修訂，其中，2014 年所修訂之 ACI 規範，其修訂邏輯及章節內容與前面版本有極大之不同；另我國「結構混凝土施工規範」公告於民國 94 年，至今更已超過 10 年，期間我國混凝土工程之施工方法、施工技術與檢驗方式均有相當程度的改變，規範內容亟需修正，以符合業界之需求。因此，為使我國混凝土規範能更臻完善、更能配合現況與符合國際技術發展新潮

流，我國混凝土結構設計規範與施工規範，均宜研擬新版規範。尤其，最新美國 ACI 318-14 規範亦配合耐震需要，將預鑄混凝土構材做較大幅修訂，而我國預鑄混凝土結構正方興未艾，新版規範之內容中亦可增訂適合我國環境與需要的預鑄混凝土構材規定。

完成草案章節架構、條文與解說，提供內政部執行修訂之重要參考依據。亦接受各界執行所遭遇之議題來進行研議，俾使規範更能滿足各方期待。

2. 低矮 RC 建築以非矩形斷面柱耐震性能提升之實驗研究

低矮鋼筋混凝土沿街建築（店鋪或住宅），為臺灣相當普遍之建築形式，此種建築沿街方向牆體由於通風、採光、通道等之需求，常存在相當面積之開口，削弱牆體耐震能力，921 大地震顯示，此種建築之耐震性能在沿街方向往往令人擔憂。目前工程界欠缺簡單、有效之方法評估與設計前述牆體之耐震性能。建研所民國 102 年委託案「低矮鋼筋混凝土街屋具典型開口外牆之耐震行為研究」已針對屋後外牆開口形式、大小、位置對於牆體耐震行為之影響進行探討，並提出分析與設計建議；該研究同時指出一樓屋後外牆由於對外開門之需求，總開口面積顯著大於其他樓層，導致產生類似 921 大地震後常見一樓之軟弱層破壞，因此有必要針對一樓外牆進行耐震性能提昇之研究。

低矮沿街 RC 建築在沿街方向，在柱儘量不要凸出牆面的使用性需求下，一種可以大幅增加柱沿街方向抗震力的辦法為採用 T 型或 L 型柱，T 或 L 各肢沿外牆、隔間牆、梯間牆或格戶牆走向設置，惟此種柱之耐震能力不明，本研究將配合考量基腳效應之影響，並透過試驗研究加以釐清，應有重大應用價值。本研究共測試 10 座柱試體，包括 4 座 L 形柱與 6 座 T 形柱，試驗方式採定軸力之反覆載重，以觀察其耐震行為。其中 1 座 L 形柱與 2 座 T 形柱由矩形柱補強而成，由於補強柱斷面之縱向鋼筋向上植筋入梁，有諸多施工困難且施工品質不易確保，因此本研究補強柱斷面之縱向鋼筋只停留在補強柱內。本研究亦進行新造與補強 L 形與 T 形柱之耐震分析。

補強施工顯示本研究所研擬的補強細節簡單可行。反覆載重試驗結果顯示，撓曲破壞控制的 L 形與 T 形柱試體呈現具優良消能之韌性行為，位移韌性平

均值達 6.86。對於剪力破壞控制的 L 形與 T 形柱試體而言，其破壞為典型撓剪破壞，剪力達最大強度時，縱向鋼筋尚未降伏或降伏不顯著。對於補強柱試體而言，由於補強區域之縱向鋼筋沒有植筋入頂梁與下基礎，因此補強部分之縱向鋼筋於受拉時無效，僅於受壓時有效。不過也因此限制了補強部分縱向鋼筋受拉應力與塑性變形，延緩鋼筋受壓挫屈與降低周遭混凝土之破壞，使其位移韌性顯著高於一體澆置之 L 形與 T 形柱。撓曲強度分析結果顯示，現行混凝土結構設計規範可保守地用於計算一體澆置與補強之 L 形與 T 形柱之標稱抗彎強度，用於剪力強度設計之最大可能彎矩強度之計算則呈現不保守之結果，若採 Caltrans SDC 之方法，則可得保守之預測結果。剪力強度分析結果顯示，現行混凝土結構設計規範無論是柱或牆的剪力強度計算方法，皆可保守地使用於 L 形與 T 形柱的剪力強度計算。對於文獻中剪力強度評估而言，Sezen 剪力強度模型可提供相當準確的強度評估。本研究所提出的側推分析方法，可以準確地預估撓曲控制與補強柱的初始勁度、最大側力強度以及極限位移，然而，對於補強柱，本研究之側推分析方法尚不能良好捕捉最大側力後的下降段行為。對於剪力控制之柱而言，本研究所提出的側推分析方法可良好捕捉柱之初始勁度與最大側力強度，但亦無法良好捕捉最大側力後下降段之位移變化。

3. 包覆填充型箱型柱接力式繫筋橫向鋼筋配置對撓曲行為之影響

由於箱型柱具有優異的力學性能，台灣高樓結構大多使用箱型柱或填充型箱型柱（即箱型柱內填充混凝土）。但是考慮到防禦火害，工程師常在箱型柱外增設約 100 mm 的混凝土當作防火層。有的工程師將這層混凝土兼作結構用途，並配置縱向主筋及橫向鋼筋，成為所謂的「包覆填充型箱型柱」。由於鋼梁會接到鋼柱面，因此縱向主筋往往只能配置在柱角隅處，且橫向鋼筋除了外圍箍筋外，繫筋也會受到鋼柱的阻撓而無法直通柱斷面。鋼柱的阻撓使得包覆填充型箱型柱外圍混凝土的圍束常無法滿足規範的要求。為了解決這個問題，工程師提出一些變通的作法，有些作法在學理上不甚合理，有些作法處於灰色地帶，對結構安全帶來疑慮。

本研究進行現有工程實務中所使用之橫向鋼筋細部的有效性評估，開發新式橫向鋼筋配置方式並提出建議之細部設計方法。並提出具體的數據，評估各型式橫向鋼筋配置方式對撓曲韌性的影響。本計畫之研究成果可以提供工程師設計施工之參考，提升結構的耐震安全性，對國人的生命財產安全提供更多的保障。實驗結果顯示柱板寬厚比不超過 37 時接力式繫筋之行為表現良好，雖然試體柱板寬厚比由 27 變化至 37，但是每個系列中含接力式繫筋試體之表現與含直通式繫筋試體相似，應可滿足規範需求。

4. 鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用

老舊建築物或因設計年代久遠或因現況不佳等因素，其耐震能力恐未能符合現行規範標準。若逐一進行詳細耐震能力評估，將耗費相當龐大的經費與時間。本文根據內政部建築研究所 2014 年委託研究計畫所制定的新版建築物耐震能力初步評估方法為基礎，開發出鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估系統（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB），讓使用者能夠快速且不失準確的估算建築物的耐震能力。

PSERCB 能夠將耐震能力初步評估結果以定性與定量方式呈現，並以分數表示，讓評估者能夠判別建築物耐震能力之情況，作為後續是否須執行耐震詳細評估與補強或者是拆除重建之參考依據。本系統採雲端作業方式，評估者之調查資料將儲存於雲端資料庫內，可提供各級政府資料檢視、分析、統計與管理之用，並可作為擬訂防災策略所需大數據（Big Data）分析之依據，達到災害控管的目的。

5. 鋼筋混凝土建築結構耐震補強技術與示範例之研擬

本研究經由進行相關研究資料之蒐集、整理與研究探討後，彙編一適用鋼筋混凝土建築之耐震補強技術手冊，與提供具代表性建築補強示範例。研究報告主要章節內容編修共七章。第一章為通則，提供基本原則、適用範圍及補強設計與施工等基本要求之說明與定義。第二章為補強規劃與結構設計，提供耐震補強規劃時，補強基本策略之選擇參考方向，內容包括結構配置和其連接構造選擇。第三章為構材補強工法，包括擴柱補強、增設翼牆補強、構材包覆補強、

加強磚造結構之補強等各種方法之設計、結構細節、補強耐震性能規定。第四章為結構系統補強工法，包括增設 RC 剪力牆補強、增設鋼造斜撐或鋼板剪力牆補強、消能補強及其他補強技術等各種方法之設計、結構細節、耐震性能方面之規定。第五章為基礎補強設計，提供基礎之補強基本原則、耐震需求、設計成序與補強成效評估等。第六章為補強設計例之醫院結構，提供醫院結構採位移型消能斜撐補強、速度型消能補強、開口 RC 牆及鋼斜撐補強四種補強範例及其錨錠設計與基礎補強方式。第七章為補強設計例之住商混合大樓，提供住宿混合大樓結構採位移型消能斜撐補強、RC 牆補強二種補強範例及其錨錠設計。

106 年度研究課題及執行重點

106 年度研究課題係以 104 ~ 107 年中程計畫所含 3 分項計畫為基礎，配合公安事件與天然災害暴露過去技術工法與規範不足處再作滾動修正。105 年 2 月 6 日美濃地震造成台南市部份地區土壤液化，並顯露出大樓結構鋼筋續接器接合觀念不足及屋齡 20 年以上之舊 RC 大樓柱一般採非韌性配筋細節使其發生崩潰式破壞，為改善前述問題本計畫 106 年度將再檢討補充相關研究。以下將就 106 年度執行之研究案說明如下：

1. 建築物基礎構造設計規範之修正研擬

基礎構造物為建築物之根基，對建築物之安全性與穩定性至為重要。目前我國基礎構造物之設計大都以內政部營建署民國 90 年頒布實施之「建築物基礎構造設計規範」為依據，實施以來已 15 年，未曾修正過。

內政部營建署民國 90 年頒布實施之「建築物基礎構造設計規範」，係於民國 86 年由內政部建築研究所委託中華民國大地工程學會所研擬制訂，當時邀集國內各大顧問工程公司之地工專家，彙整世界各國設計規範、國內基礎設計與施工慣例，經研討歸納而制定草案，後經內政部建築技術規則審議委員會審查通過而頒布實施。

現有「建築物基礎構造設計規範」之內容包含地基調查、建築物各類基礎之設計、擋土牆、深開挖、地盤改良與土壤液化之分析，內容堪稱完整。實施至今已超過 15 年，期間我國基礎工程之設計方法與施工技術均有相當程度的進步與改變，現有規範已不敷使用，內容亟需修正，以符合業界之需求。尤其有關基礎耐震設計與土壤液化分析方面，現有基礎構造設計規範的設計地震仍僅考慮 475 年回歸週期之地震為短期載重情況，與現

有「建築物耐震設計規範（民國 100 年版）」之三級地震需求與性能要求，具有很大之差異，使設計者無所依循；尤其今年 0206 美濃地震造成台南市部分地區產生嚴重土壤液化災害，行政院指示應盡速頒佈全國土壤液化潛勢圖，引起全國民眾對土壤液化問題之重視，故亟須盡速修訂現有規範之相關內容，並檢討精簡評估土壤液化參數之可行性，使規範能更臻完善、更能配合現況需求，以應基礎設計分析之需要。

本研究將首先針對現有「建築物基礎構造設計規範」之內容，檢討其適用性與不足之處，繼則蒐集國內外最新之設計與施工規範，與國內目前之基礎設計、施工技術和慣例，並參考我國目前之建築物耐震設計標準，研擬修訂相關內容，使可滿足國內基礎設計分析之需要。

2. 中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究

2016 年 2 月 6 日所發生的高雄美濃地震，造成台南市許多鋼筋混凝土（RC）建築之損毀，從眾多損毀之建築中可發現，有許多受損嚴重的建築為屋齡 20 年、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺之 RC 大樓，例如維冠大樓（16 樓高）、幸福大樓（7 樓高）與京城銀行（11 樓高），此類大樓之柱一般採非韌性配筋細節，例如採 90 度彎鉤且箍筋間距配置過大等，且混凝土強度也可能過低，導致如維冠大樓所觀察到，主筋表面幾無混凝土附著之現象。根據勘災之觀察結果顯示，此種大樓之柱，常呈現受壓崩潰式破壞，造成其所在樓層之倒塌，不僅違反建築耐震設計「大震不倒」的原則，亦嚴重影響建築逃生機能，並造成人員大量的傷亡。由於此類大樓為數眾多，且考量大樓之損毀常造成大量居民傷亡，因此有必要針對非韌性配筋之 RC 大樓柱，進行耐震行為與補強之研究。

由於過去關於非韌性配筋 RC 柱之研究多針對校舍類之低矮建築，其柱尺寸、軸力與配筋細節與大樓柱有所差異，在尺寸方面，大樓柱高寬比一般較低，造成較高之作用剪力，在所受軸力方面，大樓柱一般承受較高設計軸壓，在配筋細節方面，大樓柱一般主筋數較多，繫筋用量亦較多，前述種種不同，導致大樓柱行為較偏剪力與壓力控制破壞，與低矮建築柱較偏撓曲與拉力控制破壞不同。目前常用的補強方法包括擴柱、增設剪力牆或翼牆等，考量對於使用空間、採光與通風之妨礙最小，本研究擬採擴柱補強方法。由

於現行擴柱補強方法係針對低矮建築柱發展而成，由於前述行為之不同，其對大樓柱之有效性仍有待研究加以釐清，例如大樓柱具較高之剪力需求，若採現行補強方法，不於新舊混凝土間使用剪力摩擦筋補強，可能導致擴柱斷面於新舊混凝土交界面產生剪力滑移之破壞；又由於較高之軸壓力與較大之柱尺寸，可能需於補強柱角隅間額外配置植筋入原柱斷面之繫筋，以提供混凝土充足之圍束力。

本研究將廣泛考量與蒐集如屋齡 20 年、樓高 7 樓以上、未滿 50 公尺等條件 RC 大樓柱之設計資料，瞭解其材料性質、配筋細節與軸力大小，並據此設計柱試體，以期儘量與實際情況相符；本研究亦將研擬補強方法，並設計補強試體，考量對空間使用性、採光與通風之妨礙最低，本研究將以擴柱補強為優先，在既有擴柱補強工法之基礎上，研擬適用大樓柱之擴柱補強細節，可能研究參數包括軸力大小、新舊混凝土交界面剪力摩擦筋用量以及補強柱角隅間額外繫筋用量等。本研究最終將進行試體反復載重試驗，以研究未補強柱之耐震行為，以及所研擬補強方法之有效性。

3. 中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究

在 0206 美濃地震之建築物震害調查結果發現：中高樓層建物主要因其力傳遞路徑不良、贅餘度不足、底層軟弱、結構不規則效應過大及非韌性配筋等問題以致產生震損甚至倒塌造成大量人命傷亡。本計畫擬針對台灣常見的鋼筋混凝土造之既有中高樓層住商混合大樓，蒐集 0206 美濃地震中台南市區中高樓層災損案例，探討例如結構贅餘度因子、穩定性因子及剛重比指標等參數，是否可有效篩選及檢視中高樓層住商混合建物是否有底層軟弱、平面與立面不規則效應、結構穩定性不足、結構贅餘度不足及力傳遞路徑不良等問題，以研擬後續的改進補強對策。

本研究將彙整比較近年來日本、美國及歐洲、紐澳等最新中高樓層建築結構耐震設計技術指針及專案報告文獻，以及研討結構系統超強因子、贅餘度因子、穩定性因子、結構不規則效應、高模態效應及剛重比指標等參數之設計與應用現況及可行性。

4. 建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究

經濟部標檢局於 104 年新訂之 CNS 15560「鋼筋機械式續接試驗法」只規定試驗方法，相關合格基準應由各主管機關另訂規範之。現行部頒混凝土結構設

計規範第 5.15.3.3 節要求機械式續接器續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋以 1.25 f_y 計得之強度外，尚須考慮其滑動量、延展性、伸長率等規定，但規範本文並沒有規定相關合格基準，導致國內業者多引用 86 年版中國土木工程學會混凝土工程設計規範與解說（土木 401-86）之附錄乙、88 年版內政部營建署及內政部建築研究所之「鋼筋續接施工規範及解說（草案）」或內政部建築研究所 93 年完成的「鋼筋續接器續接設計規範與施工規範及解說研修」報告，均已逾十年以上未更新，目前國內建築工程鋼筋續接器沒有一致且合理的合格基準，業界對基準的認知差異亦大，且與前開規範試驗法與 CNS 15560 多有牴觸，有必要重新檢討更新。

此外，目前經濟部標檢局擬修訂 CNS 560「鋼筋混凝土用鋼筋」提案新增 SD550 及 SD690 新高強度鋼筋，其強度為現行 SD420 鋼筋的 1.33 倍及 1.67 倍。因應鋼筋強度大幅提升以及業界對大尺寸鋼筋之需求，機械式續接工法 20 年來已有長足的進步，各界期待內政部建築研究所能協助訂定鋼筋機械式續接性能合格基準及施工品質管制相關規定，讓規範可以參考引用，讓業界有所依循，以確保建築工程鋼筋續接施工品質，維護國人生命財產安全。

本研究將按 CNS 15560 鋼筋續接器檢驗法測試國內各等級及各式樣的鋼筋續接器性能，並調查使用鋼筋續接器之混凝土構件試驗資料，重新檢討耐震建築工程鋼筋機械式續接性能之合理合格基準，並研擬鋼筋機械式續接施工品質管制之相關規定。

5. 鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估研究

內政部建築研究所於 2016 年開發鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估之應用平台（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB），透過平台引導使用者順利完成耐震初評，並且瞭解評估流程及降低錯誤發生率。除此之外，能夠透過平台蒐集耐震評估結果，供未來進行統計分析或防災策略擬定使用。

隨著我國鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物增加，此類建築物之耐震能力初步評估方法的建立越來越重要。目前 PSERCB 僅能提供鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估之用，自政府宣示「安家固園計畫」以來，結構技師、土木技師及建築師等從業人員，屢屢建議盡速增加鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能

力初步評估系統，以因應業界對於此類建築物耐震能力初步評估的需求。

本研究計畫比照 PSERCB 之執行過程，將研擬「鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估表」及相關理論推導與應用，並舉辦講習會與專家諮詢會議，確認研擬之架構確屬可行。

評估內容將包含定性及定量兩部分，定性評估項次將會依據國內外文獻，將影響鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力之重要因子納入評分項目；定量評估以主要抵抗地震力之構件計算強度，分別以建築物耐震設計規範及解說之 475 年與 2500 年地震回歸期評估耐震能力。

6. 鋼結構耐震能力詳細評估方法與示範例之研擬

國內一般建築物雖仍以 RC 造佔大多數，但自九二一地震後國內鋼結構建築的數量已逐漸增加，且國內都會區之鋼造建築亦累積有相當之數量，因此有必要針對鋼結構建築研擬其對應之耐震能力詳細評估方法，以有效提昇國內鋼結構建築之耐震安全性。鋼結構建築之接頭是抵抗地震之主要機構之一，國內較老舊鋼結構仍以梁腹板栓接，翼板工地鉚接之接頭為主，此類接頭在 1994 北嶺地震中發現有許多之損壞發生，故梁柱接頭、斜撐接頭及鋼造與 RC 造接合部之評估應有明確詳細之方法。雖近年國內在 RC 結構之評估與補強技術已經有相當多之工程實務經驗，並編訂有相當多之結構耐震評估與補強技術手冊，但對於鋼結構建築物，則未有任何適合於國內結構建築型式之耐震詳細評估與補強方法供實務工程界參考。

內政部建築研究所 921 地震後，於鋼結構耐震技術方面研究雖已有 92 年完成之「鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬」，但其主要評估對象為抗彎矩構架系統，對國內為數甚多之斜撐系統的適用性還需再加以研究，且隨十多年來之新評估技術引進、工程實務經驗累積及研究目標之不同，前述研究內容若要廣泛落實於所有鋼結構建築上，仍有許多不足。故在內政部推動私有建築物補強之際，配合部訂頒「私有建築物耐震性能評估補強推動先行計畫」之具體措施項目，在 RC 建築已有較完整技術支援下，內政部建築研究所應逐漸推動鋼結構建築物之評估與補強技術研究，內政部建築研究所於既有研究基礎下，彙集近年鋼結構耐震評估技術研究資訊與實務案例探討，持續研究與建立適用國內鋼結構建築之耐震能力詳細評估，與具代表性建築評估

示範例，實有其迫切性與必要性。

本計畫擬完成至少三個不同系統或高度之鋼結構建築耐震能力詳細評估計算範例，依所提之不同分析程序進行探討，並配合所內舉辦之研討會或說明會，將研究成果提出供國內工程界參考。

107 年度研究課題及執行重點

本計畫明（107）年配合本部「安家固園計畫」及「私有建築物耐震性能評估補強推動先行計畫」，以及「第十次全國科學技術會議」議題二：堅實智慧生活科技與產業，子題三：精進防災科技減少災害衝擊，策略重點 3：提升關鍵設施防震耐災能力，納入研究內容規劃落實；辦理住宅建築物耐震評估技術研究與推廣，以及住宅建築物耐震補強工法研究與推廣，持續進行本土性大型結構耐震實驗研究，協助營建署及經濟部修訂建築物構造設計技術規範及國家標準之參採，提昇國內建築結構安全與使用性能。且近來時有所聞的大樓磁磚外牆掉落而致生公安意外，使民眾生命財產處於潛在威脅環境。以下將就 107 年度執行之研究案說明如下：

1. 鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估平台開發與應用

內政部建築研究所 105 年度開發「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估之應用平台（Preliminary Seismic Evaluation of RC Building, PSERCB）」，研擬鋼筋混凝土建築物耐震能力定性與定量之評估方式，達到快速評估與不失準確之目標，並採用雲端運算平台，所有評估者之紀錄均可上傳到平台，使得各級政府可有效掌握其轄區內建築物耐震能力之良劣與分佈，有利政府進行大數據統計分析以做為防災策略擬定之依據使用，此外，PSERCB 依照耐震初評所需之程序，規劃循序漸進之操作方式，使得使用者可以瞭解評估流程並降低錯誤發生率。PSERCB 已於 2016 年 9 月 19 日經內政部營建署正式採為爾後國內既有鋼筋混凝土住宅耐震能力初步評估之作業平台。

隨著我國鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築物數量日益增加，此類建築物之耐震能力初步評估方法的建立也愈來愈重要。有鑑於此，內政部建築研究所於 2017 年協同研究計畫中研擬鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土結構物耐震能力初步評估方法，包含定性及定量兩部分，使此類結構物耐震能力初步評估表更具客觀性，並且

表 1 精進建築結構耐震技術研究計畫之分年執行規劃表

年度研究主題	108 年	109 年	110 年	111 年
建築耐震相關法令制度及技術手冊研修訂	SD 550W 鋼筋運用於梁與梁柱接頭耐震設計之規範修訂研議 既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬 建築物耐震設計規範納入耐震性能設計相關規定條文之研究	SD 550W 鋼筋運用於柱耐震設計之規範修訂研議 導入第三方專業機構提升建築物設計及施工品質之研究 從災損評估觀點比較建築物性能設計法與現行設計法之差異	鋼構造建築物鋼結構設計技術規範（容許應力設計法）修正草案之研擬 鋼筋混凝土柱接錯位偏心梁之接頭剪力強度檢討	鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說修正草案之研擬 鋼骨鋼筋混凝土構造施工規範修正草案之研擬
耐震能力評估與階段性補強法令研修	建築物崩塌潛能量化指標與評估程序研擬	既有鋼筋混凝土建物崩塌潛能評估示範案例製作及應用策略研擬	既有鋼筋混凝土建物倒塌防止能力可信度分析與應用研究	既有建物非結構元件與設備耐震評估程序研擬
耐震能力提升技術精進及推廣	探討鋼結構塑鉸分析於不同梁柱接頭之塑鉸特性 醫院及重要政府廳舍機電、消防、給排水等懸吊管線之抗震設計研究 應用位移係數法於非韌性含牆 RC 結構倒塌行為之研究	鋼結構塑鉸分析方法與現行 RC 耐震能力評估輔助程式之整合 木構造建築結構強度檢核之流程與範例 直交集成板（CLT）接合聯結件之水平剪力抵抗行為	高層建築結構分析與設計替代性程序之研擬 輕型鋼構建築結構強度檢核之流程與範例 鋼筋混凝土柱塑鉸區箍筋用量與設計剪力之研究	鋼筋混凝土梁柱接頭多層擴頭鋼筋錯位鉗定之可行性研究 RC 柱鋼筋續接缺失對柱耐震性能之影響評估 以綠能及耐震設計構築安心及友善環境之長照住宅

開發出對應之雲端運算平台，使現場工程師於使用上更具便利性。

基於以上研究成果，本計畫主要目的為研擬建立雲端版建築物初步評估資訊管理平台，彙整評估資訊，使執行耐震初評工作者可以順利上傳各項紀錄成果，建立大數據（Big Data）資料平台，除可協助建築物管理單位進一步管理或評估需要進行詳細評估之優選排序，以達更有效管理建築物耐震安全之目的外，對於了解建築物耐震能力優劣程度的地域性分布情形也可加以掌握。

另耐震能力初步評估之「定量評估」須根據鋼結構或鋼骨鋼筋混凝土理論進行迭代分析與計算，並藉由分析結果與耐震設計規範需求推估初步耐震能力。為使實際執行結構物初步耐震能力評估得以快速、即時且易於操作，期能提升建築物耐震能力初步評估作業之效率與準確性。除此之外，建立初步評估平台可統整所有評估結果之資訊，提供中央建管單位依據大數據（Big Data）平台進行相關數據統計分析，以做未來研究或推廣都市更新相關政策之運用。

2. 既有老舊供公眾使用私有建築物耐震評估補強法規制度之研擬及建築物消能元件等構件力學試驗標準之研究等兩案，正辦理研究中，並考量下否進行進行醫院及重要政府廳舍機電、消防、給排水等懸吊管線之抗震設計研究、既有建築物防倒塌階段性耐震補強法規與設計方法之研擬等之研究。

104 至 107 年度分年執行策略

本分項計畫研究主題分為「建築耐震相關法令制度及技術手冊研修訂」、「耐震能力評估與階段性補強法令研修」及「耐震能力提升技術精進及推廣」等 3 大部分，各年度主要研究內容之規劃初步草案列於表 1。

唯 107 年 2 月 6 日午夜 23 時 50 分，於臺灣花蓮縣近海，發生芮氏地震規模為 6.0，導致 4 棟大樓倒塌、17 人罹難、近 300 人受傷。

我國現行「建築物耐震設計規範」設計地震之震度為 5 級或 6 級（震度 5 級及 6 級，其地動加速度分別為 80 ~ 250 gal 及 250 ~ 400 gal）。而本次地震最大震度 7 級發生在花蓮市（434 gal）、太魯閣（482 gal）、南澳測站（428 gal），造成花蓮縣建築物發生嚴重的破壞。初步依據報載，統帥飯店、雲門翠堤大樓等 4 棟建築物的倒塌與毀損，除鄰近米崙斷層外，可能包括軟弱層結構（一樓為大廳或車庫）、老舊建築物以舊有規範水準進行設計、建築物受地震力影後因各種可能主因發生後，造成建築構造各部分受力學作用，以致部分相對施工品質不一致部分形成壞，及或有頂樓違法加蓋等因素所致。這些報載，有待各專業單位再確認後，將再進一步調整上揭各年期計畫進行研究。（註：本件係在 0206 花蓮地震後迄今，獲熱情囑撰本文，僅得勅工作業務之科技計中綱計畫及分年滾動計畫擇耐震有關部分，倉企成稿多有不周，尚請見諒。）



研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

具弱層鋼筋混凝土建築物耐震能力之初步評估與補強

蔡益超／國立台灣大學土木工程學系 名譽教授

宋裕祺／國立台北科技大學土木與防災研究所 教授、國家地震工程研究中心 組長

台灣地處太平洋地震帶上，地震發生頻仍，時有造成生命財產損失的致災性地震發生。仔細研究造成寶貴生命損失的最大原因係由建築物倒塌所引起，而建築物倒塌的模式泰多屬於一、二樓弱層破壞。譬如今年 2 月 6 日花蓮地震的統帥飯店與雲門翠堤大樓（如圖 1）破壞就屬弱層破壞，其他如 2016 年美濃地震維冠金龍大樓倒塌，1999 年 921 集集地震台北市東星大樓倒塌等均屬同一類型。何以會有這些弱層建築物，實乃肇因於大樓一樓（或一、二樓）常因商業活動或停車需求，須創造寬闊的使用空間，所以其上樓層的一些外牆與隔戶牆沒有下到一樓。雖然此等牆體是所謂的 15 cm 厚非結構 RC 牆，通常在設計時往往忽略其存在，但此等牆體具備了相當的勁度與強度，在地震時確實會像結構牆般參與抵抗地震力的任務。上述弱層建築物一樓（或一、二樓）的極限剪力強度會遠低於其上樓層的極限剪力強度，致使一樓成為吸收地震能量的主要樓層，因而難逃首先破壞終致被壓潰的命運。

每棟建築物之耐震能力依其結構系統、結構細部與結構現況等而有所差異，如能在地震未發生前透過耐震能力評估，將耐震能力偏低的建築物篩選出來並加以補強，則大地震時原本耐震能力偏低的建築物便可因已補強而免於倒塌的命運，此乃降低地震時人命財產損失的有效工程手段。

筆者數十年來致力於耐震能力評估的研發工作，分別開發出耐震能力初步評估系統（Preliminary Seismic Evaluation System of RC Buildings, PSERCB）與耐震能力詳細評估系統（Seismic Evaluation System of RC Buildings, SERCB），並均通過內政部營建署的認證，作為建築物耐震能力評估的分析軟體。1999 年



圖 1 2018 年 2 月 6 日花蓮地震造成雲門翠堤大樓倒塌

921 集集地震後，為能迅速篩選出耐震能力不足的建築物，所採用的初步評估是以填表方式，就影響耐震能力重要的因素採定性評估的方式逐項評分。不過此種定性評估易因評估人員主觀認定的差異，致使結果可能具備高度的不確定性。為消弭此缺點，最近幾年在內政部建築研究所的委託下，完成兼具定性與定量的建築物耐震能力初步評估系統 PSERCB，在定量評估部分，評估者只要上網輸入材料強度、構材尺寸等資料，該系統平台就會自動幫評估者計算出建築物之耐震能力並列印評估結果報表，非常方便，適合用於大量建築物的篩選工作。依照 2017 年 5 月 10 日立法院三讀通過的「都市危險及老舊建築物加速重建條例」與其後政府部門公布的諸多子辦法與行政命令，完成建築物耐震能力初步評估後，若耐震能力明顯不足者，可以逕行拆除重建；若耐震能力有疑慮者，則應再安排進行詳細評估。

PSERCB 之定量評估係將非結構牆與磚牆視為結構體，以反映建築物在地震時的結構行為與耐震能力。本系統曾廣泛舉辦說明會，一般結構技師、土木技師與建築師已深諳其操作，對於推動具弱層建築物耐震能力評估與補強工作而言，已具備充足且夠格的人力資源。

本文第二節將簡述 PSERCB 耐震能力定量評估的原理，第三節說明利用 PSERCB 進行具弱層鋼筋混凝土建築物耐震能力定量初評的方法，第四節說明大規模進行具弱層建築物耐震能力初評進行方式之建議，第五節為結論。

鋼筋混凝土建築物耐震能力定量初步評估之原理

建築物的極限剪力強度為一樓的極限剪力強度，而一樓的極限剪力強度可由一樓抵抗地震力的構材如構架的柱、RC 牆（包括剪力牆與非結構 RC 牆）及磚牆三者的貢獻來求取。以上三種構材其受力與變形的特性並不相同，譬如 RC 牆勁度最高，極限變形能力最小，而構架的柱勁度最小，但其極限變形能力最佳，磚牆則介乎其間。地震來襲時，RC 牆先抵抗大部分的地震力，當其強度與韌性完全發揮時，其他兩種構材的強度與韌性發揮的百分比為若干是相當重要的資訊。茲以一個內填充 RC 牆的構架為例說明其受力行為，當 RC 牆主導耐震行為至其韌性用完後，抗震的責

任就交給構架的柱去承擔，俟構架的柱韌性發揮完畢後，建築物最終的耐震能力就達到了。依此邏輯，建築物的耐震能力係為 RC 牆、磚牆與構架的柱等三種構材主導所得耐震能力的最大值。至於前面提到某一種構材韌性發揮完畢時，其他兩種構材強度與韌性發揮的百分比為若干，則必須進行三者的靜力非線性分析才能知曉。圖 2 所示為當 RC 牆發揮充分強度時磚牆與構架之強度發揮比；圖 3 所示為當 RC 牆發揮充分韌性時磚牆與構架之韌性發揮比。此些圖之水平坐標表示位移角，縱坐標表示正規化地震力，其值介於 0 與 1 之間。表 1 所示 18 個係數即代表某一種構材為主角時，當其韌性發揮後，自身與其餘兩種構材強度與塑性變形發展的比例。譬如 $C_{vbj} = 0.95$ ($j = 1$) 表示以 RC 牆為主體時，當其韌性完全發揮時磚牆強度發揮至 95% (圖 2)， $C_{Rbj} = 0.37$ ($j = 1$) 表示以 RC 牆為主體時，當其韌性完全發揮時磚牆塑性變形發揮至 37% (圖 3)，餘者類推。

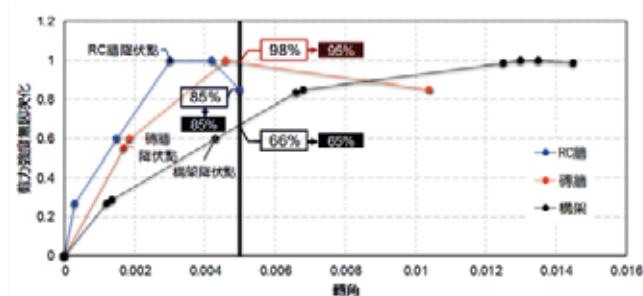


圖 2 當 RC 牆發揮充分強度與韌性時各構件強度發揮比

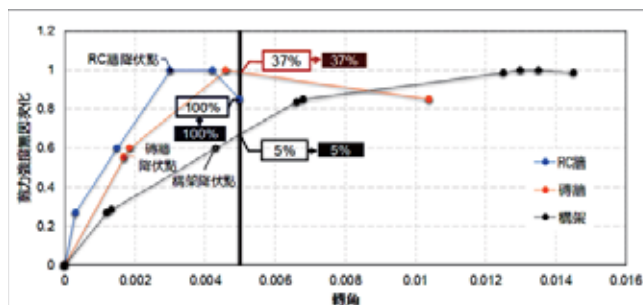


圖 3 當 RC 牆發揮充分強度與韌性時各構件強度發揮比

表 1 C_{vsj} 、 $CRsj$ 、 C_{vbj} 、 $CRbj$ 、 C_{vcj} 、 $CRcj$ 建議表

j	J = 1	J = 2	J = 3
C_{vsj}	0.85	0	0
$CRsj$	1.0	0	0
C_{vbj}	0.95	0.85	0
$CRbj$	0.37	1.0	0
C_{vcj}	0.65	0.95	1.0
$CRcj$	0.05	0.58	1.0

柱之極限剪力強度為柱底與柱頂塑性彎矩和除以淨高，柱承受之軸力由靜載重與二分之一活載重推求，如果知道柱尺寸與配筋，可由 RC 理論算出其塑性彎矩，進一步求出柱之極限剪力強度。本節對於理論之闡述主要在觀念的述說，將較不涉及複雜公式的推導，讀者可參閱文獻^[1]。

RC 牆之極限剪力強度 V_{swi} 為混凝土與剪力筋的貢獻之和，磚牆之極限剪力強度分四面圍束磚牆、三面圍束磚牆與無側邊圍束磚牆等三種，詳見文獻^[2,3]。

柱之破壞有可能是剪力破壞，其剪力強度以 V_{sui} 表示，因此第 i 根柱之極限剪力強度 V_{coli} 如下：

$$V_{coli} = \min (V_{m, coli}, V_{sui}) \quad (1)$$

其中 $V_{m, coli}$ 為柱發生彎矩破壞的極限剪力強度。柱如屬剪力破壞，當建築物韌性發揮後其剪力強度會折減，其修正係數 ϕ 如表 2 所示。 $\frac{V_{sui}}{V_{m, coli}} > 1.0$ 時， ϕ 值取 0.9，乃因一般強柱弱梁，柱頂彎矩一般小於塑性彎矩的緣故。

以第 j 類構材為主體，在其韌性發揮後之一樓極限剪力強度 V_{uj} 除本身之強度外，還要加上其他兩類構材極限剪力強度在當時發展的百分比如式 (2) 所示。建築物如屬平面或立面不規則性，其極限剪力強度會較小，需要乘以平面對稱性折減係數 ϕ_{pi} 與立面對稱性折減係數 ϕ_{fa} ，如表 3、4 所示。

表 2 極限剪力強度修正係數 ϕ 計算表

極限剪力強度修正係數			
	$\frac{V_{sui}}{V_{m, coli}} \leq 0.75$	$0.75 < \frac{V_{sui}}{V_{m, coli}} \leq 1.0$	$\frac{V_{sui}}{V_{m, coli}} > 1.0$
修正係數 ϕ	0.75	$0.3 + 0.6 \left(\frac{V_{sui}}{V_{m, coli}} \right)$	0.9

表 3 平面對稱性折減修正係數表

平面對稱性於定量評估基底剪力強度折減修正係數 ϕ_{pi}			
	不良	尚可	良
修正係數	0.85	0.95	1.0

表 4 立面對稱性折減修正係數表

立面對稱性於定量評估基底剪力強度折減修正係數 ϕ_{fa}			
建築物總樓層數	不良	尚可	良
七樓（含）以上	0.85	0.95	1.0
七樓至二樓（含）	0.85 ~ 1.0 內差計算	0.95 ~ 1.0 內差計算	1.0
一樓	1.0	1.0	1.0

$$V_{uj} = [C_{vcj} \sum V_{coli} \times N_{ci} + C_{vsj} (\sum V_{swi} \times N_{swi} + \sum V_{scoli} \times N_{scoli}) + C_{vbj} (\sum V_{bwai} \times N_{bwai} + \sum V_{bw3i} \times N_{bw3i} + \sum V_{bw2i} \times N_{bw2i})] \times \phi_{pi} \times \phi_{fa} \quad ; j = 1 \sim 3 \quad (2)$$

式中各變數之意義請參閱文獻^[1]。

求出建築物之極限剪力強度 V_{uj} 後，可將其除以工址的正規化加速度反應譜係數 $S_{ad} / 0.4S_{DS}$ 如此可以求得建築物之降伏地表加速度 A_{yj} ：

$$A_{yj} = \frac{V_{uj}}{S_{ad}W} = \frac{V_{uj}S_{DS}}{2.5S_{ad}W} (g) ; j = 1 \sim 3 \quad (3)$$

其中 S_{ad} 為設計地震水平譜加速度係數， S_{DS} 為工址短週期之設計地震水平譜加速度係數， W 為建築物之靜載重。

第 j 類構材主導時建築物之韌性容量 R_j^* 之計算請參考文獻^[1]，韌性容量 R_j^* 的求取乃將各類構材承擔之剪力視為權重計算其加權平均而得。至於各類構材之韌性容量與設計年度有關，詳見表 5。

表 5 R_{col} 、 R_{sw} 、 R_{bw} 之建議表

設計年度	R_{col}	R_{sw}	R_{bw}
63 年 2 月以前	2.4	2.0	3.0
63 年 2 月至 71 年 6 月	3.2	2.0	3.0
71 年 6 月至 86 年 5 月	4.0	2.0	3.0
86 年 5 月以後	4.8	2.0	3.0

由 R_j^* 可求得容許韌性容量 R_{aj}^* ，及結構系統地震力折減係數 F_{uaj}^* ，將降伏地表加速度與結構系統地震力折減係數相乘可得建築物達容許韌性容量時之地表加速度 A_{ci} 。此值若與耐震規範 475 年回歸期地表加速度相比較，可得權重 w 如下：

$$\begin{aligned} \text{當 } \frac{A_{ci}}{IA_{475}} \leq 0.25, w &= 1.0 ; \\ \text{當 } 0.25 \leq \frac{A_{ci}}{IA_{475}} \leq 1.0, w &= \frac{4}{3} \left(1 - \frac{A_{ci}}{IA_{475}} \right) \\ \text{當 } \frac{A_{ci}}{IA_{475}} \geq 1.0, w &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 A_{475} 為建築物耐震設計規範^[4]規定之耐震能力， I 為用途係數。此意即達到規範標準的耐震能力，權重為 0，若只達到四分之一，權重為 1.0。

此外，由 R_j^* 求結構系統地震力折減係數 F_{uj}^* ，將降伏地表加速度與結構系統地震力折減係數相乘可得建築物達韌性容量時之地表加速度 A_{c2} 。

此值若與建築物耐震設計規範 2500 年回歸期地表加速度相比較，可得權重 w 如下：

$$\begin{aligned} \text{當 } \frac{A_{c2}}{IA_{2500}} &\leq 0.25, w = 1.0; \\ \text{當 } 0.25 &\leq \frac{A_{c2}}{IA_{2500}} \leq 1.0, w = \frac{4}{3} \left(1 - \frac{A_{c2}}{IA_{2500}}\right) \\ \text{當 } \frac{A_{c2}}{IA_{2500}} &\geq 1.0, w = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

其中 A_{2500} 為建築物耐震設計規範^[4] 規定之耐震能力， I 為用途係數。此意即達到規範標準的耐震能力，權重為 0，若只達到四分之一，權重為 1.0。

具弱層鋼筋混凝土建築物耐震能力定量初評的方法

對於可能在一樓（或一、二樓）產生弱層的建築物（如圖 4），評估者可藉由建築物耐震能力初步評估系統 PSERCB 填入其上標準樓層的牆體資訊，之後 PSERCB 會自動計算所謂的樓層牆量比 γ_w ，此乃一樓（或一、二樓）的等值牆量除以標準層的等值牆量，而等值牆量是將 RC 牆的面積乘以 1.0，加上柱斷面積乘以 0.5，再加上磚牆斷面積乘以 0.25。如樓層牆量比較小，此大樓的第一層樓可能是弱層，就整棟建築物韌性發揮的觀點而言，只有一樓（或一、二樓）會進入非線性消耗地震能量，其上樓層消耗的地震能量相對較小，整體建築物的韌性容量就會變小，因此第二節談到的韌性容量 R_j^* 會變小，新的韌性容量 R_{jnew}^* 如下式計算之：

$$R_{jnew}^* = (R_j^* - 1)\gamma_w + 1 \quad (6)$$

經過此種考量弱層牆量比之計算後，計算所得的耐震能力 A_{c1} 與 A_{c2} 就會較小，弱層效應就可以被有效計及。



圖 4 弱層建築物一樓崩潰場陷

具弱層建築物耐震能力初評與補強進行方式之建議

依照目前「都市危險及老舊建築物加速重建條例」相關細部規定，建築物耐震能力初評總分數超過 60（含）分者，就可以考量拆除重建或補強；如果初評總分數介於 30（含）至 60 分之間者，就可以考量進行後續耐震能力詳細評估；如果初評總分數低於 30 分者，表示建築物耐震能力尚稱足夠。

根據內政部不動產資訊平台資料統計，全國住宅總量 844 萬餘戶中，截至 2016 年底，屋齡 30 年以上老屋約為 384 萬戶，占了總建築物的 45%。根據以往經驗，這些老舊建築物中耐震能力不足者約占 40 ~ 50%，亦即全台灣目前約有 140 ~ 190 萬戶建築物可能會有耐震能力不足的問題，短期之內要對這些耐震能力不足的建築物全數進行耐震能力詳細評估，實屬困難。

因此當務之急應該是先針對類似維冠金龍大樓等一樓呈現開闊空間而牆量很少、具有弱層潛能的建築物如：大賣場、飯店、金融機構、市場、停車場等搜集其結構圖說（如沒有圖說者需現場量測或判斷），進行耐震能力初步評估。進行此項工作的人員須接受過 PSERCB 講習的結構技師、土木技師或建築師，彼等上網填具必要資料後，由程式自動計算耐震能力 A_{c1} 與 A_{c2} 。

弱層建築物是指一樓（或一、二樓）抵抗地震所有構材的極限剪力強度 V_{uj} 與其上樓層者差距過大，若能在弱層進行適度的階段性補強如增加適量的 RC 牆或擴柱來提升樓層牆量比 γ_w 至少達到 0.8 以上，則可有效改善弱層效應，類似維冠金龍與雲門翠堤等住商混合大樓在地震中因一樓崩潰，導致全體建築物倒塌造成的慘重人命傷亡的情況即可避免。階段性補強雖無法達到全面性補強使建築物完全符合現行耐震設計規範規定的耐震能力，但卻能防止建築物崩塌，達到保命不保產的目的，且所需的補強工程量體與工程費用相對不高，對於處理目前台灣仍有為數不少弱層建築物而言，應該是現階段最重要的工作之一。為達到快速且不失準確的目標，PSERCB 應該是很好的評估工具，有了補強構想後，再針對補強後建築物重新進行 PSERCB 的評估，即可迅速得到其補強成效。

茲建議使用 PSERCB 處理弱層建築物耐震能力初步評估與階段性補強之相關作業與標準如下：

1. 針對大賣場、飯店、金融機構、市場、停車場等具有弱層潛能的建築物族群，全面以 PSERCB 進行耐

震能力初步評估。

2. 評估者分別針對弱層與標準樓層輸入柱與牆的量體，系統可迅速計算出樓層牆量比 γ_w 。

3. 若樓層牆量比 γ_w 小於 0.8 (含) 者 (即弱層建築

物)，在短期內無法進行全面性補強或拆除重建者，應優先且儘速針對弱層建築物進行階段性補強。

4. 階段性補強之標準為補強後建築物之 PSERCB 定量指標樓層牆量比 γ_w 大於 0.8 且 $\frac{A_{cl}}{A_{475}}$ 不得低於 0.75。

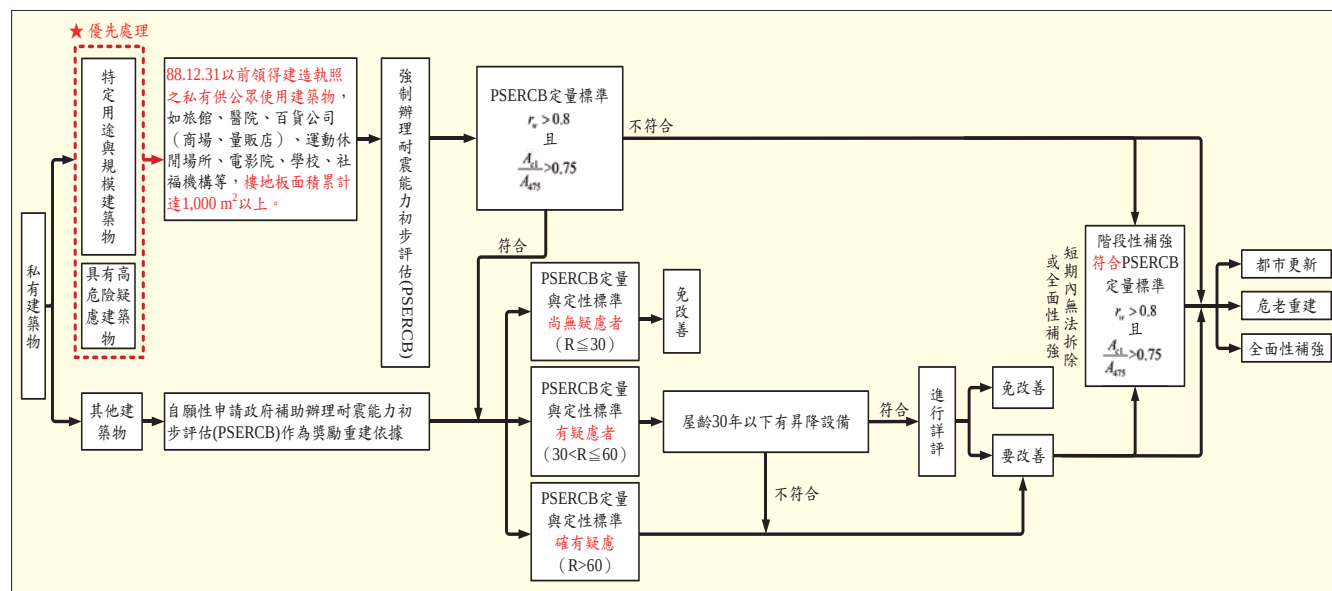


圖 5 建築物耐震能力評估與階段性補強之相關作業建議

結論

具弱層鋼筋混凝土建築物是地震時造成倒塌引致人員傷亡的主因，台灣目前此種建築物為數不少，當務之急應該是先針對類似維冠金龍大樓等一樓（或一、二樓）呈現開闊空間而牆量很少、具有弱層潛能的建築物如：大賣場、飯店、金融機構、市場、停車場等搜集其結構圖說（如沒有圖說者需現場量測或判斷），進行耐震能力初步評估，將其篩選出來進行必要的補強。相關作業程序建議如圖 5。

PSERCB 系統是一套簡便又不失準確的鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估的系統，業經舉辦多次說明會，結構技師、土木技師與建築師已熟稔其原理與操作，已廣泛建立進行耐震初評的人力資源。系統經 2016 年 9 月 19 日內政部營建署公告採用，並作為「安家固園計畫」中建築物耐震初評的認可方法。評估者只要上網填寫需求的資訊，系統會自動算出建築物的耐震能力，並輸出報告。此系統亦特別考慮弱層建築物的特性，根據樓層牆量比去折減建築物的韌性容量，得到其耐震能力。

本文建議應先針對大賣場、飯店、金融機構、市場、停車場等具有弱層潛能的建築物族群，全面以 PSERCB 進行耐震能力初步評估。評估者分別針對弱層

與標準樓層輸入柱與牆的量體，系統可迅速計算出樓層牆量比 γ_w 。對於樓層牆量比 γ_w 低於 0.8 (含) 之建築物，在短期內無法進行全面性補強或拆除重建者，應儘速針對弱層進行階段性補強，其標準為補強後建築物之定量指標樓層牆量比 γ_w 大於 0.8 且 A_{cl} / A_{475} 不得低於 0.75。此種階段性補強因只須進行弱層的補強，因此所需的工程費用與工期相當有限，短期內即可推廣執行。

弱層建築物之階段性補強工作若能儘速且確實執行，未來將可有效減免此類建築物在中大地震作用時倒塌，導致嚴重人命傷亡的遺憾事件，此乃國家社會之幸。此外也要呼籲工程界應該從震災中學習到這一課，未來設計建築物時，不要又製造出弱層建築物是幸。

參考文獻

1. 宋裕祺、蔡益超，民國 106 年 6 月，「鋼筋混凝土建築物耐震能力初步評估 PSERCB--- 理論背景與系統操作」，中國土木水利工程學會、中華民國結構工程學會共同出版。
2. 宋裕祺、蔡益超等，民國 98 年，「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊 --- 視窗輔助分析系統 SERCBWin2008」，台北，內政部建築研究所。
3. 宋裕祺、蔡益超，民國 106 年 12 月，「鋼筋混凝土建築物耐震能力詳細評估 SERCB--- 理論背景與系統操作」，中國土木水利工程學會、中華民國結構工程學會共同出版。
4. 內政部，民國 100 年，「建築物耐震設計規範及解說」。



研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

0206花蓮地震： 下一次地震來襲前之作為？

鍾立來／國家地震工程研究中心 副主任、國立臺灣大學土木工程學系 教授、國立成功大學土木工程學系 合聘教授

邱世彬／國家地震工程研究中心 助理研究員

吳俊霖／國家地震工程研究中心 研究員

邱聰智／國家地震工程研究中心 副研究員

陳家漢／國家地震工程研究中心 助理研究員

黃世建／國家地震工程研究中心 主任、國立臺灣大學土木工程學系 教授

從 1999 年九二一集集地震（圖 1），到 2016 年 0206 美濃地震（圖 2），再到 2018 年 0206 花蓮地震（圖 3），類似的場景，同樣的悲劇，一再上演。若沒有適當的作為，恐怕悲劇不會停止。

根據統計，每 15 至 20 年，即有一次劇災型地震，死亡人數超過 100 人。地震是臺灣的宿命，吾人必須學習與地震共存，不必也不能心存僥倖，而應誠實且勇敢地面對。面對地震，一則謙卑，一則充滿信心。吾人承認，無法完全排除地震之災害（經濟損失），所以謙卑。吾人深信，只要方向正確，有所作為，必能大幅減緩地震之災害（人命傷亡），所以充滿信心。

地震減災，千頭萬緒，若未能抓對方向，對症下藥，在吾人左搖右擺，猶豫不決間，時間無情地消逝，地震又來了，悲劇又重演。

工程師之養成是，將複雜的問題簡化，龐大的問題縮小。簡化並縮小至可執行之程度，逐步邁進，問題隨時間而減輕，風險隨時間而降低。以有限之資源（人力、物力、時間），獲致最多的效益，風險（人命傷亡）的降幅最大。

預想二年後，類似地震發生在臺灣某一地方，在這二年間，吾人有何作為？

傷亡之主因：樓房之塌陷

現代的人類，每天少則 12 小時，多則 22 小時，在室內從事各種活動（讀書、工作、娛樂）。在平時，樓房遮風蔽雨，乃人類安身之所；地震時，若樓房不堪一擊，即變為人類葬身之地。因此，人員的傷亡，絕大多數肇因於樓房的崩塌。

1997 年頒布之建築物耐震設計規範，被認為現代化且較為完備的規範，徒法不足以自行，未必能全然實

踐。在 1999 年的集集地震中，人們受到血與淚的教訓，耐震設計及施工之落實度，大幅提升。因此，吾人認為 2000 年以後興建之樓房，其耐震能力普遍較佳，可暫不處理。縮小範圍，集中力量，優先處理 1999 年以前興建之樓房。待後者之處理上軌道後，再回頭檢視前者。

為了爭取更大的室內空間，留下更多的空地，樓房往上發展。樓房的重力，由高樓層往下累加，故一樓因重力而承受之垂直力最大。在地震之作用下，高樓層搖



圖 1 1999 年集集地震之樓房崩塌（資料來源：路透社）



圖 2 2016 年美濃地震之樓房崩塌



圖 3 2018 年花蓮地震之樓房崩塌

晃之幅度較大，地震力隨之較高，可是，地震力形成之剪力，從高樓層往下累加，故一樓因地震而承受之橫向力最大。因此，若一樓之柱量或壁量（較其上之樓層）沒有相對提高，一樓即成為最脆弱的一環。

一樓大多為公共空間或作商業用，為求氣派之門面，樓層挑高，其柱量及壁量甚至比其上樓層為低，導致一樓既軟且弱。一樓受力（垂直力及橫向力）最大，強度往往卻沒有相對提高，樓房之崩塌多發生於一樓（或低樓層）。

減災之上策：樓房之不倒

房子不要倒，人命就有保。1999 年以前興建的樓房，優先處理，目標是：在設計地震下，「不要倒」，可以損壞，但不能崩塌。

房子要不倒，一樓先顧好。一樓最為脆弱，且多為公共空間（或作商業用），聚集之人員密度高，一旦崩塌，傷亡慘重。從防災之角度，只要顧好一樓，風

險（人員傷亡）即大幅降低。

一樓經濟價值較高，所有權人具經濟能力，有責任改善一樓之耐震能力，維護公共安全。

結語

預想兩年後的 2020 年 2 月 6 日，類似地震襲擊臺灣某處，掌握兩年時間，採取最有經濟效益之作為，以有限之資源，降低最大的風險（人命傷亡）。

1999 年以前興建之樓房，供公眾使用（或作商業用）之一樓（或低樓層），必須於 2020 年 2 月 6 日前，完成耐震評估，合格者，須取得證明；不合格者，須完成耐震補強。否則，於 2020 年 2 月 6 日後，不得再供公眾使用，直至耐震評估合格或耐震補強完成為止。

政府必須研擬合法可行之簡化程序，學界必須提供理論與技術之支援，工程界必須確實執行耐震評估與補強之專業，人命關天，產、官、學界通力合作，目標一致，如期、如質、如預算，達成任務，有以待之。🏡



研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

若 台北發生震度 7 級地震 房子會「倒光光」嗎？

蔡榮根／中華民國結構技師公會全聯會 常務監事

0206 花蓮地震後，有地質學者在媒體上說：「台北盆地老舊建築約有 40 萬棟，若規模 6.0，震度 7 級的地震發生在台北，房子倒光光了，不要說（震度）7 級，6 級就差不多倒一片了！」，是否震度 7 地震真會讓台北房子「倒光光」？

這次花蓮地震規模 6.0，花蓮震度即達 6 級以上，多處達最高的 7 級震度，但花蓮地區老舊的房子並沒有倒光光。倒塌造成傷亡或嚴重損毀（震後必須拆除）的大樓，除統帥飯店屋齡超過 40 年外，其餘屋齡反而都不大；同樣的，2016 年美濃地震，倒塌造成 117 人罹難的維冠金龍大樓，當時屋齡只有 22 年，周邊更老舊房屋卻安然無恙；1999 年 921 大地震倒塌死傷最嚴重的前 40 棟大樓，除了台北東星大樓外，幾乎全部是興建完成於 1990 年代，在當時屋齡還不到 10 年的集合住宅大樓。

這位學者認為 6 或 7 級震度會讓台北房子倒光光的立論依據不外是：民國六十幾年蓋的房子安全係數只有 0.17（2 月 7 日上電視節目所言）；台北的建物耐震設計基準只有 0.24g，整個台北盆地地質非常軟弱，大地震時會土壤液化（2016 年維冠大樓倒塌後，上電視節目所說）。這樣就推論台北遇到 6 級震度（0.25g 以上）或 7 級震度（0.4g 以上），房子就倒光光了，是否正確？

民國六十幾年蓋的房子，那時還沒嚴謹的耐震設計規範，一般都以房屋的重量乘 0.1 為設計地震力設計它的梁、柱結構，但那時候蓋的大部分為五樓以下，特點是隔間磚牆多，這些磚牆並不當成抗震結構設計，但當地震來時，它會發揮如同抗震剪力牆的作

用，可以承受非常大的地震力，若磚牆沒有被震毀或拆除，它會和梁柱結構共同抵抗地震力，它保護房子不倒塌的功能甚至比梁柱主結構體還大很多，這是歷次大地震老舊房屋雖耐震設計不足，但還不會倒塌的根本原因，因此我們一再呼籲，老舊房屋的磚牆不要任意拆除。大台北地區由於商業的高度發展，很多這類老舊建築的一、二樓磚牆被任意拆除作為賣場、超商、餐廳等，變成有重大耐震缺陷的軟腳蝦式建築，大地震來時，一、二樓少了原來的磚牆來分擔地震力，地震衝擊只由原先抗震設計就不足的柱子來承受，這就非常令人擔心了。

台北地區房屋的設計地表加速度只有 0.24g，在 6 級或 7 級震度時會倒的說法，是對耐震設計專業不了解。地震工程學者根據一個地區地震發生的頻率、震源遠近深淺、並考慮區域地盤構造等，利用地震危害度分析，決定一個地區的設計地表加速度，這一設計基準在台北為 0.24g（5 級震度），花蓮則為 0.32g（6 級震度）。結構技師尚須根據這棟房屋的高度、結構類型、使用材料、用途、座落基地的地質堅硬或軟弱、與活動斷層的距離等情況才能計算出一棟房屋的最小設計地震力。假設兩棟結構型式完全一樣的 12 層鋼筋混凝土造住宅大樓，分別在台北和花蓮新建，雖然台北的設計地表加速度為 5 級震度，低於花蓮的 6 級震

度，但因為需考慮台北的盆地效應等因素，根據耐震設計規範計算台北的設計地震力，依座落地質軟弱程度之不同，會比花蓮的設計地震力大 40% 到 60%。也就是說，同樣型式高度的大樓，在台北比在花蓮需要更大的柱子，和配置更多的鋼筋。

台北的耐震設計基準雖然為 5 級震度，但並不表示遇到 6 或 7 級震度房屋就會倒塌。耐震設計規範對於結構系統的要求，如避免一樓為軟弱層（即軟腳蝦建築）、避免大 L 型、T 型、U 型等不規則平面配置（如維冠大樓、雲翠大樓）、立面不規則（如統帥飯店），還有很多鋼筋、鋼骨的設計施工細部要求，就是為了確保即使遇到 6 或 7 級震度的大地震，結構體有韌性，不會如雲翠大樓、維冠金龍大樓、東星大樓等這樣崩塌，造成死傷及搶救困難。這就所謂「大震不倒」的耐震設計原則。

全世界的耐震設計規範都是在安全和經濟上求取平衡點，考慮 50 年使用週期內遇到罕見大地震的機率，不會採用該地區罕見的震度來當設計基準。此外，設若採用 6 或 7 級的震度當設計基準來設計台北的房屋結構，那麼蓋出來的都像核電廠房或碉堡一樣，相信也沒有人願意住在裡面的。

至於若發生 6 級或 7 級的震度，台北盆地內建物面臨的土壤液化災害會有多大？

大地工程學者周南山博士對土壤液化做了很容易了解的比喻，他說土壤液化在英文中亦稱沸騰（Boiling）。像煮紅豆湯一樣，當鍋底的滾水壓力（相當於地震）大到紅豆（相當於砂土）可以上下沸騰時就是液化。一般液化多僅發生於淺層疏鬆砂土，且載重不是太大情況，正如小量的紅豆湯較易沸騰。因此，液化潛勢區的低矮房屋的確可能面臨風險，但根據台灣及世界各地對於土壤液化的震害調查，主要是房屋沉陷或傾斜，極少直接倒塌造成人命傷亡；對於高樓林立的台北盆地，在開挖地下室時已將上面較疏鬆砂土挖除，且高樓基礎下土壤承受載重大，又有連續壁圍束，即使位於液化潛勢區內，液化風險也大幅降低。

那麼台北會不會發生地表震度 6 級或 7 級的地震，如果遇到的話，到底會倒多少房屋？大台北地區由西向東依序有山腳斷層、坎腳斷層、台北斷層、新店斷層，其中山腳斷層被歸類為第二類活動斷層，沿著台北盆地西側，林口台地的邊緣，穿過大屯山，從金山出海，陸域部分長約 34 公里，總長至少為 74 公里，也有學者認為它的總長已達 120 公里。地震學家根據 74 公里長斷

層，推估最大可能地震規模為 7.2 到 7.3。科技部台灣地震科學中心預測，山腳斷層未來 30 年發生規模 7.0 地震的機率為 4.0%，50 年機率為 7.0%，雖然機率不算高，但北台灣人口密集，仍不應輕忽其可能的威脅。根據台北市政府委託研究的「台北市災害防救深耕計畫」，運用國家地震工程中心「台灣地震損失評估系統 TELES」推估，山腳斷層若發生規模 7.0 的淺層地震，全台北市將都會達到 6 級烈震或 7 級劇震的震度，房屋會倒塌 3358 棟，嚴重損毀 9677 棟，共約 1 萬 3000 棟房屋全倒或半倒。若加計新北市，李鴻源前部長說，雙北恐怕會倒塌 3 萬 5000 棟房屋，是有所本的。

因此，雙北若發生地表震度 6 級或 7 級的地震，不會 40 萬棟老舊房子全部倒光光，但災情也是台灣無法承受的。特別是 1990 年代興建的開放空間大樓、或使用不當的住商混合大樓，災情會比老舊房屋災情更嚴重，這是 921 地震、2016 年美濃地震、和這次的花蓮地震一再給我們的震害教訓。每次倒塌造成死傷嚴重，搶救困難成為全國注目焦點的，明明絕大部分為屋齡相對較新的大樓，大家卻都一面倒的聚焦在老舊公寓的安全上。筆者無意斷認老舊公寓是否一定安全，但誠懇的再呼籲，不要隨意拆除原有的隔間磚牆；另外，921 地震倒塌很多的沿街店舖式住宅，一樓牆量極少，也是標準的軟腳蝦建築，若短時間內無法都更，應盡速結構補強。

兩年前美濃地震維冠金龍大龍倒塌，政府雖訂有耐震評估補助辦法，但民眾往往擔心經評估後，住戶對於補強位置和經費負擔，難以達成共識，反而會成為政府登記有案的「結構不安全建物」而影響房價，大家望而卻步成效不彰。防災應對症下藥，建議政府依震害風險的高低擬定優先順序，仿造日本由公有行庫提供無息或優惠貸款，協助民眾加速補強；對於供營業使用之百貨商場、辦公大樓、旅館、出租大樓，及一、二樓磚牆已被大量拆除轉做商業用途的老舊公寓等，由政府提供減稅誘因強制推動結構耐震補強。

筆者有感於每次震災過後，各界檢討的重點往往失焦，政府隨著起舞提出的防減災方案，也往往未對症下藥，因此特別提出本文，無意製造恐慌。期望這次震災過後，政府提出的防災減災對策能夠正確有效，民眾對自己的房屋耐震安全也有正確的認識，一起做好準備，讓下次震災的生命及財產損失減至最低。🇹🇼

本文出處：《風傳媒》107.2.14 蔡榮根觀點：若台北發生震度 7 級地震，房子會「倒光光」嗎？





研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

土木技師投入 0206 花蓮震災記實

張錦峰／台灣省土木技師公會 理事長

洪啟德／台北市土木技師公會 理事長

莊均緯／台北市土木技師公會 監事

賴建宏／台北市土木技師公會 理事

台灣又再次面臨震災！本起地震是發生於 6 日午夜 23 時 50 分，其震央位於臺灣花蓮縣近海，根據美國地質勘探局測得地震規模為 6.4、震度七級，震源深度約 10.6 公里。此次地震是臺灣繼 2016 年高雄美濃地震之後所發生最嚴重的一起地震，在主震發生後又有多起規模 5 以上之地震，其中最大的前震則是發生於 2018 年 2 月 4 日 21 時 56 分，震央位於花蓮縣近海，地震規模為 6.1，震源深度約 12.0 公里。對於在如此高密度的地震頻率，在臺灣地區是比較罕見的，另外主震又正好發生在 2016 年高雄美濃地震的兩周年，對於這樣的巧合，不禁令人驚奇，也值得學界與工程界深入探討研究。

土木技師救災

在震災發生後，即由台灣省土木技師公會花蓮辦事處駐屬在當地的土木技師於凌晨即先行投入震災救援工作，其中並利用空拍機與 3D 技術，製作出雲門翠堤大樓及統帥飯店兩處災變現場的 3D 資訊模型，以供救災資訊參考。另同一時間也由身兼中華民國土木技師公會全國聯合會理事長的施義芳

立委指示台灣省土木技師公會張錦峯理事長動員全國土木技師投入救災，另台北市土木技師公會也由洪啟德理事長率領土木技師一同參與震災援救。

2 月 7 日一早因鐵路是否開放通行尚待確認，但救災的心情卻無法稍待，因此在清晨則由公會理事長率常務理事、監事自行開車行經蘇花改、蘇花公路而至



圖 1 雲門翠堤大樓 3D 資訊模型（創源技術顧問，呂揚斌技師提供）

災區，在趕赴災區的這段路上，除擔心落石阻礙外，更要藉此提醒各界審視蘇花改的交通定位，除了原規劃的構想打造一條安全回家的路，是否應再擴及花東地區救災需求，在已規劃好的道路斷面及線型進行調整與提升，以滿足緊急救災需求。另外同時間由台北市土木技師公會陳政英副理事長擔任行政總協調，為



圖 2 統帥飯店大樓 3D 資訊模型（創源技術顧問，呂揚斌技師提供）

參與救災的土木技師進行保險作業、並規劃災區救災的技師 24 小時輪班順序、及調派技師協助花蓮縣政府進行花縣轄區的建物緊急評估。

雲門翠堤大樓支撐架設評估

本次花蓮震災共有位於國盛六街的白金雙星大樓、吾居吾宿大樓、商校街的雲門翠堤大樓、公園路的統帥大飯店倒塌與傾斜，其中又以雲門翠堤大樓的救災最為關注，除因受困人數最多之外，建物本身又

多次進入狹窄的倒塌現場

雲門翠堤大樓由於一、二樓為供公眾使用的旅店及餐飲業，進出民眾多且不易掌握動向，又因柱體斷裂故結構體都已擠壓破壞，在搜尋受困民眾時須以小型拆除機械敲除版、牆構件以利搜尋動線的開展。因此在搜救過程中，多有技師進入災變現場提供結構意見與搜救人員參考。就倒塌的災變現場而言，多已有柱、梁斷裂，版構件裂損等情形，其中印象較為深刻



圖 3 行政院賴清德院長叮囑土木技師公會速就緊急支撐協助安全評估（行政院長賴清德臉書專頁）



圖 4 倒塌災變現場一



圖 5 倒塌災變現場二

的一處，在進入時需用蹲爬方式側身而進，在近似漏斗型的狹窄空間內留有數位的特搜人員及混濁的空氣來搜尋，我們在提供結構系統判斷後即可離身，然而肩負救人的特搜隊仍需繼續搜查。在此，我們要給予特搜人員最高的敬意。另一處則是媒體矚目的漂亮旅店 201 號最後的兩位房客，在搜救的末期已發現其位置，惟經現場評估，若續行敲除作業將有造成結構體再次坍塌之虞，故僅能標記位置後，另以機械拆卸整體建物結構後再另以人工挖掘方式處理。對於多次進入協助的技師而言，其心中的遺憾與難過，可謂之痛。因此，在搜救宣告結束後，我們技師也留下了男兒淚！

土木技師公會召開記者會聲明

2 月 9 日由土木技師公會全聯會施義芳理事長率台灣省土木技師公會張錦峯理事長、維冠震災的機器拆除總指揮鄭明昌理事長在雲門翠堤大樓召開記者會，感謝特搜、警消等團體的救災工作，另土木技師公會則已動員上百人次技師協助救災，此外由於在災後另有多起規模較大餘震，因此請民眾檢視住家的梁、柱、牆等結構是否有新裂縫，如有疑慮可洽專業技師團體協助。此外土木技師公會也強調災後建物緊急評估要速啟動以維護花蓮民眾居家安全。並基於配合地檢署證據保全需求，在救災結束土木技師公會將持續協助地檢署進行搜證。

土木技師公會感謝各界協助

雲翠大樓救災於 2 月 11 日上午宣告終，並進入拆除及調查工作。土木技師公會除動員全國各地技師投入之外，另由台北市公會陳玫英副理事長任行政總協調，並有維冠救災機械拆除總指揮的鄭明昌前理事長、台南市公會黃武龍理事長、高雄市黃清和理事長、台北市洪啟德理事長、台灣仲裁協會黃科銘理事長、台北市自行車實施都更協會林景祺理事長均投入救災。本次救災截至救援終止時，總計動員 155 人次土木技師輪班投入救災與震後建物緊急評估。此外在救援期間由於搜救需求，土木技師屢與特搜人員深入倒塌現場提供拆除安全評估，其中幾位技師為配合搜救，每天大多只睡幾小時，雖然身體累，但關心救災的心不累。

在搜救告終後，行政院賴清德院長特提及土木技師公會的投入、而慈濟團體的人員也親至土木技師公會指揮中心致贈證嚴上人的平安祝福。

土木技師公會感謝在救災過程中，康橋大飯店負責人陳昭奮提供免費住宿逾 31 房次、優惠住宿 21 房次；藍天麗池大飯店負責人許木章提供免費住宿達 60 房次、台北市都更協會王貞云副理事長提供駕駛車輛、機車及指揮中心駐點服務人員、硃術家石藝館負責人葉正泉提供空間讓土木技師公會設立指揮中心、詹家賓技師提供車輛讓救災使用、陳俊熙技師提供辦公室設立第二指揮中心，行政院花東辦公室協助訂購火車票、施義芳立法委員國會辦公室協調火車交通及政府機關協助事宜。在此一併申謝。🇹🇼



研思如何綜整目前耐震工程技術，以落實危險、老舊建築物之加速重建或補強工作

私有老舊建築物之補強建議

藍朝卿／新北市結構工程技師公會 理事長

自從 921 集集大地震產生重大傷亡，緊接著下來陸續又發生 331 地震、0206 美濃地震與 0206 花蓮地震後，國人才驚然發覺地震是台灣的宿命，而且不止房子會倒，還會造成生命財產不保。

台灣因為地狹人稠，寸土寸金，所以建築物常須順著基地形狀進行設計，而建築基地又常見不規則形狀，因此建築物一開始規劃的平面系統便屬於抵抗地震較不利的結構系統。早期耐震法規較不週延，加上台灣的營建施工品質一直不佳，因此老舊建築物抵抗地震的能力普遍有不足的現象。只要發生較大規模的地震，便有建築物破壞倒塌，人員死傷。

這些倒塌的老舊建築物共同的特點便是尚未達到設計地震力就已毀損，表現出來的現象多是吸收消散地震能量的能力太弱，幾乎沒有機會多搖晃幾下便已軟腳壓潰倒下！

現在政府與國人開始痛定思痛，知道部分老舊建築物好似埋藏著定時炸彈一般，當地震來襲時隨時會引爆。所以大家都在獻策如何補強老舊建築物，讓悲劇不要一再發生。

個人覺得主管官署一定要有所擔當，對於老舊建築物補強法令的思維要有所突破，建立法源先強制檢視評估大樓型的老舊建築物其結構系統在平面上或立面上的弱點，其次要求補強加勁底層樓層的結構缺失。該等樓層多為大樓的公共空間，進行結構補強阻力應會較小，不似私人使用的樓層根本得不到屋主的同意進入補強。而底層樓層補強達不到現有耐震法規的要求可能性很高，但因為這樣的局部補強使得建築

物不會因為地震引致脆性的立即倒塌及死傷，讓住戶可以有時間從容逃離大樓現場，便已達到局部補強的目的了。為昭公信，應該規定進行檢視評估的人員每組至少兩人以上，在大樓現場認真調查並互相討論，得到一致性的看法，其評估結果須有審查機制確認。

還有一大難題必須突破，那就是老舊建築物混凝土強度可能偏低，箍筋的間距太大彎鉤不夠標準，主筋錨定長度不足等等施工不良因素，它們如何與補強構件合在一起進行分析，傳力路徑可能不如人意，但是其提供的補強強度可以達到什麼程度，以上問題不能僅在學理上推導論辯，建議比照校舍模式，以結構試驗方式推估補強強度或效果應該是比較務實的作法。

另外局部補強的分析及設計應該進行審查，建議成立一個由專家及學者組成的審查委員會嚴格把關，當然住戶代表也要列席參加，最終得出合宜合理大家可以接受的設計方案。雖然由領有專業証照的技師進行補強設計應該問題不大，但透過第三公正單位的審查，可以讓大家更為放心。專業技師願意站出來，為了民眾的公共安全尋找老舊大樓的沈疴，並提供可行的局部補強方式，應該將其可以幫大樓補強到什麼程度達到何種效果，以及技師們在法律上要承擔到什麼責任都應該說清楚講明白，規定清楚，上述工作才可能順利推展。



土木工程與文化（一） 思想及宗教信仰與土木工程

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、中國土木水利工程學會 會士

導 論

所謂「文明」(Civilization)，指人類的「歷史」、「文化」、與「生活方式」。

「文明」「誕生」之後，難免「興盛」、「衰落」與「死亡」。

土木工程是許多「古文明」(Lost Civilizations，例如埃及、美索不達米亞、墨西哥高原、馬雅、印加、希臘、羅馬、吳哥、等等)存在最明確的證據。而且，這些古文明所建造的土木工程，不乏精美之作，令人讚嘆不已；但是耗費龐大資源所建造的土木工程，既與民生（食衣住行）無關，也與安全（國防）無關，只為迷信，難免作古。

所謂文化 (culture)，指在一特定時間，一群特定的人所具有的「思想」、「信仰」、「美的感受」、「人文關懷」、與綜合這些因素所反應出來的「傳統」(Heritage)。

土木工程是作為「文化」的表徵之一，意向最為強烈。

人類的文化，早在有歷史記載之前，就已經發生在世界的許多地方。但因缺乏書寫歷史，不少學者堅持稱之謂「史前文化」而不稱為「史前文明」。

「科學」的進步，以及人類在「工程科技」及「工程作業」能力的提昇，使我能夠建造出的土木工程，規模更大，但工期更短，耗費更少資源，品質更精美，更堅固耐久，克服更多天然障礙，卻更能夠與自然和諧。

但科學、工程科技、及工程作業進步之後，還有不少耗費龐大資源所建造的土木工程，粗製濫造、不堅固耐久，絕對不是科學與工程技術的退步，而是人為因素。

思想與土木工程

恐懼思想下的土木工程

埃及的金字塔，是恐懼思想下的產物，法老王對於死亡的恐懼，冒充天神下凡統治百姓，謊言欺騙百姓，說是將會借木乃夷復活。埃及古文明也有不少宏偉神廟，獻給「鷹神」、「狼神」、「人、獸複合之神」。

參見洪如江，民國 105 年 8 月，土木工程與埃及文明的生死關鍵，土木水利第 43 卷第 4 期。

墨西哥高原古文明也有類似的文化，建造龐大的金字塔型祭壇，祭拜「雨蛇神」、「太陽神」、「月神」。馬雅古文明，因為乾旱的壓力，在無法了解與極端恐懼的情況下，聽從祭師的說法，傾全國之力，建造龐大的金字塔型祭壇，以活人血祭，或竟犧牲少女及兒童，獻給祭師所說的神，例如的「雨蛇神」、「豹神」、「鷹神」。參見洪如江，民國 105 年 10 月，土木工程與馬雅文明的生死關鍵，土木水利第 43 卷第 5 期。

上述古文明，為兇猛禽獸建廟祭拜；馬雅古文明，甚至於行活人血祭之恐怖活動，都是「迷信」。

秦始皇整建萬里長城，害怕北方游牧民族入侵而建設。雙方相信武力，無意和平共存。

但必須特別指出的是：只要不涉及上述的迷信行為，神話是文化的一環：幽默感。沒有神話的民族，沒有幽默感，通常欠缺豐富的文化多樣性。希臘古文明的神話豐富、健康。

開放思想下的土木工程

希臘古典文化的神廟，例如雅典衛城的巴特農神廟（438BC）開始興建與平地的雅典娜神廟，四面階梯，市民都可自由進入神廟之中，充分展示「民主」、「自由」與「開放」的思想。圖 1 示由雅典平地仰拍衛城高地及巴特農神廟局部。圖 2 為台北花博希臘館，圖 3 為台大傅斯年校長墓園，皆展示希臘古典文化的開放思想。希臘古文明的劇場與競技場（運動

場），也是開放式的。其 329BC 所建的奧林匹克運動會競賽場，也在其 1870、1875、1896、1906 與 2004 年奧運會使用；當然，每次使用之前都經過一番整修；目前也開放給觀光客參訪。參見洪如江，民國 106 年 6 月，土木工程與希臘文明的生死關鍵，土木水利第 44 卷第 3 期。

大英博物館，正面採用巴特農神廟的三角門楣及列柱，以不收門票展現開放思想。

高雄世運會主場（日本伊東豐雄設計），雖然正面有收票入口處欄杆阻擋，但是側面有很多出口及大面積的綠地供快速疏散之用，開放的思想非常明顯。參見圖 4 和圖 5。



圖 1 仰望希臘雅典衛城古文明遺址（翁作新教授提供）



圖 2 希臘開放式建築的近足尺模型（洪如江攝於台北花博希臘館）



圖 3 台大傅斯年校長墓園，採用希臘古典之開放型態（洪如江攝）



圖 4 2009 世運會（高雄市）主場館鳥瞰照片（齊柏林攝）



圖 5 2009 世運會（高雄市）主場館正面（洪如江攝）

封閉思想下的土木工程

羅馬萬神廟（Pantheon），27BC 整建完工，110AD 雷擊焚燒，118AD-126AD 重修至今；獻與基督教之後改稱萬聖廟。參見圖 6 和圖 7。

羅馬圓形競技場（Colosseum），建於 72-82AD，多次發生火災、地震災害、及盜拆石材，終成廢墟至今（參見圖 8 和圖 9）。



圖 6 羅馬萬神廟（傳說粗初建於 753BC ~ 716BC，27BC 整建晚完工）正面（洪如江攝）



圖 7 羅馬萬神廟斜面（洪如江攝）



圖 8 古羅馬競技場（Colosseum，72-82AD 建）今之外觀（洪如江攝）



圖 9 古羅馬競技場（Colosseum, 72-82AD 建）今之內部

這兩個工程，都是封閉式的，是羅馬重視「紀律」的表徵；當然與羅馬的獨裁專制有關。即使到達今天民主自由的時代，世界上絕大部分的運動場，還是抄襲羅馬的封閉型態。

巴特農神廟的三角門楣及列柱，被抄襲為建築正面的，非常之多。但大多以圍牆及門戶，成為封閉的建築結構物。

宗教信仰與土木工程

引言

到歐洲旅遊，對於石材所建大教堂（Basilica, Cathedral）的雄偉與精緻，感動不已。幾乎每一座大教堂都是花費幾百年的時間，精雕細琢而成。而大多數的雕刻師們，都沒有機會看到一座大教堂的完工，他們從來就沒有在完工典禮「剪綵」的念頭，他們只有奉獻，一心一意只想把每一塊放上去的石頭，雕刻成可以千秋萬世的藝術品。同樣令人敬佩的是那些平平凡凡的小老百姓們，持續不斷的捐獻，期待他們的子孫們有一天能夠看到大教堂的完工。當大教堂完工之後，那些進入大教堂禮拜的信徒，不必帶雞鴨魚肉去賄賂他們所信仰的神；當然更不可能像馬雅人拜飛禽走獸為神，還要犧牲活人去取悅它們。

不同宗教的教堂、寺、廟，型態可以不同，但神聖與莊嚴的強調及塑造是一樣的。

天主教大教堂

義大利翡冷翠（Firenze）的聖母百花大教堂（Basilica di Santa Maria del Fiore），1294 設計定案，1296 開工，1419 主結構完成，16 世紀鋪設大理石地板，1886 正面貼大理石。參見圖 10。

義大利米蘭大教堂（Duomo di Milano），1385 開工，19 世紀完工。參見圖 11。

梵諦岡聖彼德大教堂正面示於圖 12。



圖 10 翡冷翠聖母百花大教堂（Basilica di Santa Maria del Fiore）（洪如江攝）



圖 11 米蘭大教堂（Duomo di Milano）全景



圖 12 天主教梵諦岡聖彼德大教堂正面

西班牙巴塞隆納由高弟（Gaudi）設計並開始興建的聖家堂（La Sagrada Familia de Barcelona），自從 1882 年動工以來，已經成為西班牙吸引觀光客的主要對象，但完工時間預定在 200 年後。參見圖 13。



圖 13 西班牙巴塞隆納聖家堂（林明勳攝）

高雄市玫瑰天主教堂，為台灣第一座天主教堂。參見圖 14 和圖 15。

天主教大教堂內部，廣闊空間與高聳天蓬，讓禮拜的信徒有一種接近天國的感覺。參見圖 16（捷克布拉格聖維特大教堂內部哥德式結構）。



圖 14 高雄市玫瑰天主教堂正面（洪如江攝）



圖 15 高雄市玫瑰天主教堂內部（洪如江攝）



圖 16 捷克布拉格聖維特 (St. Vitus) 大教堂內部哥德式建築結構 (洪如江攝)

東正教教堂

東正教教堂，外表多采多姿，內部則金碧輝煌，極其華麗，讓人「此景只有天上有」的感覺。莫斯科紅場南側的聖巴西里斯大教堂 (St. Basil's Cathedral) 建於 1555 ~ 1561；其外表的型態與顏色，極盡華麗的能事，但不失和諧，常常成為旅遊雜誌及報紙旅遊版的封面照片，參見圖 17。克里姆林宮內的東正教教堂內部，參見圖 18。

基督教的第一座教堂，主誕教堂 (Church of the Nativity，建於耶穌基督誕生洞穴之上)，位於耶路撒冷的伯利恆 (Bethlehem)，創建於 327 ~ 333AD，被火焚毀之後，在 565AD 重建至今。參見圖 19。

台灣東海大學的路思義禮拜堂 (Luce Chapel)，以現代工程科技（工程力學、工程材料、等等）所建造的絕美建築型態，內部空間及採光創造出宗教的神聖性與神秘感，作為基督教文化的表徵，為世界一流的建築。參見圖 20 和圖 21。

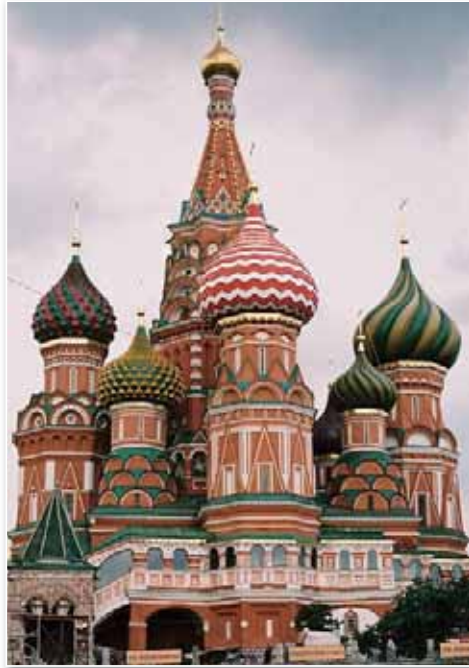


圖 17 莫斯科東正教教堂 (洪如江攝)



圖 18 莫斯科克里姆林宮內東正教教堂極端華麗之內部 (洪如江攝)



圖 19 基督教的第一座教堂，主誕教堂 (Church of the Nativity)，耶路撒冷伯利恆 (洪如江攝)



圖 20 大學路思義禮拜堂（Luce Chapel）與環境（洪如江攝）



圖 21 東海大學路思義禮拜堂（Luce Chapel）正面（洪如江攝）

藏傳佛教政教合一的布達拉宮（Potala Palace），第 7 世紀開始興建，第 17 世紀之時由第五世達賴喇嘛重修，是中國境內少見的藝術殿堂，堅固、雄偉、耐久，參見圖 22 至圖 24。圖 25 示青海塔爾寺，圖 26 示蒙古尼召寺。

漢化佛教，分布於中國之中原（漢族）、東北（滿族）、韓國、日本，多有相當大的園林。但其主要建築（大雄寶殿），大多沒有天主教大教堂以石材所建的

那麼高大雄偉；而且，因多以木材建造，容易損壞，常需重修或重建。中國河南洛陽的白馬寺，是中原地區最古老的佛寺，創建於 68AD（東漢），685AD（唐朝）大規模擴建，明、清兩朝重修。白馬寺內文物，曾受紅衛兵毀損，目前全寺面積略多於 10 公頃，中國政府計畫將之擴大至近百公頃。以工程規模及耐久性的觀點而言，以及對文化的重要性而言，佛教的石窟非常傑出。甘肅的敦煌石窟（莫高窟為其中最為重要



圖 22 西藏拉薩布達拉宮遠景（蔡克詮教授攝）



圖 23 西藏拉薩布達拉宮斜正面
(蔡克詮教授攝)



圖 24 西藏拉薩布達拉宮背面
(蔡克詮教授攝)



圖 25 佛教青海塔爾寺 (洪如江攝) ↑



圖 26 佛寺：蒙古尼召寺 (洪如江攝) →

的一群)，山西大同的雲崗石窟，河南洛陽的龍門石窟，重慶市的大足石刻。這些文化遺產的特點為：佛教、道教與儒家，和平共存，而不發生宗教戰爭。河南少林寺（圖 27），曾經是禪宗祖庭（圖 28），但已經變成為中國功夫的表演場（圖 29 和圖 30）。

中國禪宗思想東傳日本，早在漢、唐兩代。北宋時代，不少禪宗大師，避難日本，受到崇敬，進一步影響到日本的建築及庭院布局的風格。禪風的「簡單」、「樸素」、「內歛」，「自然」，充分展現在日本的木造佛寺與庭園之中，參見圖 31、圖 32。

台北市北投區的農禪寺，禪風十足。其主要景觀為水月道場（圖 33）與雕刻鳩摩羅什譯為漢文的金剛般若波羅蜜經於清水混凝土高牆面（圖 34）。



圖 27 中國河南少林寺大雄寶殿 (洪如江攝)



圖 28 中國河南少林寺曾經是禪宗祖庭 (洪如江攝)



圖 29 中國河南少林寺功夫表演（洪如江攝）



圖 30 中國河南少林寺夜間表演（洪如江攝）



圖 31 日本京都東福寺及部分枯山水（林美聆攝）



圖 32 日本京都高台寺（林美聆教授攝）

經中有「…世尊食時著衣持鉢入舍衛大城乞食於城中…」一段文字，顯示世尊如來佛祖行事之簡樸與自然。一些新建佛寺，極盡華麗與誇張之能事以炫耀財富，相對於此，筆者非常敬仰西安法門寺所具有的神聖感（參見參見洪如江，民國 106 年 10 月，土木工程在人類文明演進的功能，土木水利第 44 卷第 5 期圖 7）。



圖 33 農禪寺水水道場正面，其左側清水混凝土高牆雕刻全本金剛經（洪如江攝）



圖 34 農禪寺清水混凝土所刻金剛經第一頁（洪如江攝）

伊斯蘭教在耶路撒冷的聖石殿（Dome of the Rock，圖 35 和圖 36），建於 691-692AD；以「圓頂」（圖 37）型塑教堂內部空間的穹蒼意象；以重複的格式化幾何圖案（圖 38）作為裝飾模式，象徵無限的時間與教主（Allah）無限的神力。清真寺四個角落的尖柱（或尖塔），最初，兼具守望與燈塔之用；後來，不需要守望功能，只剩燈塔（象徵光明）功能。今土耳其伊斯坦堡的 Hagia Sophia 大教堂（圖 39），為東羅馬帝國（Byzantine）於西元 532 ~ 537AD 年建造；土耳其 Ottoman 帝國攻佔伊斯坦堡之後，改為清真寺，現為博物館。



圖 35 遠眺耶路撒冷城及伊斯蘭教聖石殿（洪如江攝）



圖 36 耶路撒冷伊斯蘭教聖石殿全景（洪如江攝）



圖 37 耶路撒冷聖石殿（Dome of the Rock）圓頂近照（洪如江攝）



圖 38 耶路撒冷聖石殿外牆重複格式化幾何圖案（洪如江攝）



圖 39 Hagia Sophia 大教堂（拜占廷建於 532 ~ 537），今土耳其首都伊斯坦堡（翁作新教授攝）

印度 Agra 地區的蒙兀兒帝國泰姬瑪哈（Taj Mahal）陵（圖 40），為國王 Shah Jehan 為其愛妃 Mumtaz Mahal 所建，1648 年完工。



圖 40 印度 Agra 地區的蒙兀兒帝國泰姬瑪哈（Taj Mahal）陵（洪如江攝）

印度教為印度的主要宗教信仰，其寺廟數量多而美，參見圖 41。

伊斯蘭教在中國的支流為回教，也建有清真寺，但為數不多，規模也不大。圖 42 示新疆烏魯木齊的清真寺，圖 43 示台北市的清真寺。



圖 41 印度 Jaipur 城印度教廟宇之美（洪以政攝於印度）



圖 42 新疆烏魯木齊回教清真寺（洪如江攝）



圖 43 回教台北市清真寺（洪如江攝）



圖 44 台北龍山寺（洪如江攝）

大多數漢人的宗教信仰，相對淡薄；但多能夠接受各種宗教的文化：思想、美感、與人文關懷。民間信仰，常與宗教（道教、佛教）不分彼此。例如，台北龍山寺（圖 44），主神是佛教的觀音菩薩，但也有民間信仰的神像。台灣，自北到南，行天宮、媽祖廟、三山國王廟、土地公廟、等等，不但香火鼎盛，每有迎神賽會，人山人海，民間信仰。



軌道工程

專輯序言

專輯客座主編 何泰源／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 協理

臺灣的軌道運輸自清朝劉銘傳於 1887 年創辦鐵路以來，歷經日據時代及光復後之整建與擴建，使臺灣西部鐵路建設由北向南延伸，逐步擴及東部鐵路、北迴線及南迴線，完成環島鐵路網，並陸續完成高速鐵路及台北、高雄、台中等都會捷運與輕軌建設，另有各支線鐵路可供轉乘，構成一個兼具公務、商務、通勤及觀光旅遊的多功能軌道運輸網，藉由高速化與路網連結，創建一日生活圈的便利性，且因不同世代而有各種不同軌道系統，呈現複雜且多元的面貌。

值此二十一世紀之際，世界各國的交通運輸政策，均以發展都市捷運、高速鐵路、城際鐵路、區間轉乘及場站建築開發等，作為軌道運輸系統的主要建設方向，以期提供符合環保節能、快速準點、清潔安全的大眾運輸工具，有效解決城市間與都會區內的交通問題，且創新都會建築景觀的新風貌，並將車站站區整體發展規劃，結合都市計畫變更與都市更新，以發揮土地利用最大效益。

本期首先邀請到交通部路政司提供「我國推動軌道建設策略」一文，說明我國正推動前瞻基礎設計畫的軌道建設之必要性，其 5 大主軸推動合計 38 項子計畫，即是為發展公共運輸為普世價值、公共運輸的格局應再擴大、落實 30 年軌道運輸願景及綠色運輸政策、促進軌道產業升級及帶動觀光產業發展等，並闡述其願景與目標、軌道推動發展策略及預期效益等。

並特別邀請交通部高速鐵路工程局楊正君副局長撰寫「推動軌道技術研究暨驗證中心計畫」一文，此軌道中心將為交通部在軌道產業領域之技術幕僚及國內技術資源整合平台，並依業務發展需要或接受政府機關或其他機構委託，從事軌道系統技

術規範、標準及安全檢驗基準之研擬，軌道系統技術研發、產品測試、檢驗及驗證服務，軌道設備與零組件分析改善及維護解決方案之提供、協助辦理軌道事故調查、安全檢查、人員訓練與檢定及其所需之相關技術支援，國內外軌道技術之資訊蒐集及交流合作，以協助提升軌道產業自主技術能力與品質，確保軌道系統之安全及穩定，並與國際接軌。

本期也邀請到新北市政府捷運工程局李政安副局長等提供「淡海輕軌 BIM 技術應用與設計施工整合特色」；台灣世曦公司高華聰主任工程師等提供「高雄環狀輕軌捷運（第一階段）車輛概述」；臺北市政府捷運工程局中區工程處陳俊宏處長等提供「臺中捷運綠線之特色與施工創新」；臺北市政府捷運工程局陳耀維副局長等提供「環狀線 CF650 標於狹窄道路處之高架橋及車站設計及施工規劃」；台灣高鐵公司林宏達副工程師提供「光學非接觸式軌道檢測分析設備於軌道管理之應用」；新北市政府捷運工程局工務所龐聲瑀主任等提供「安坑輕軌計畫－土建設計概要」；臺鐵局專案工程處林治平處長等提供「台鐵潮州機廠之規劃設計」。以上各篇文章，內容精闢、見解獨到，堪稱佳作。

台灣軌道運輸建設囿於規模，無法營造出世界級的工程，但在歷經歐美及日本技術輸入後，已發展出最適合本土的軌道文化，淬鍊出以「便捷、人性、精緻、永續」為主軸的永恆價值，不僅符合世界先進潮流，更融入台灣在地特色。展望未來，台灣仍將以軌道運輸為主流，秉持永續發展的理念改善交通，是個充滿商機的市場，值得投資與開發。藉本期論文的發表，期許軌道運輸建設除硬體改善外，同時也將肩負起文化軌道與生活軌道的雙重任務，順應綠色運具的世界潮流，軌道勢將成為台灣民眾生活的必需。🇹🇼



我國推動軌道建設策略

交通部路政司

行政院推動前瞻基礎建設計畫的目標，在於著手打造下一個世代，國家發展需要的基礎建設，而其中的軌道建設計畫，即是為發展公共運輸為普世價值、公共運輸的格局應再擴大、落實 30 年軌道運輸願景及綠色運輸政策、促進軌道產業升級及帶動觀光產業發展等，爰推動軌道建設有其必要性。

發展公共運輸為普世價值

- (1) 發展軌道運輸是目前世界潮流，我國必須有更大決心落實在巴黎協定所承諾事項，達到節能減碳和減少空汙，減緩地球暖化。
- (2) 公共運輸系統發展除應滿足民眾對生活的機動性與可及性之要求外，亦需由人本及永續的觀點，加入符合環境保護與生活優質的發展元素。
- (3) 發展公共運輸也是共享經濟理念下最有效的都市發展策略。

公共運輸的格局應再擴大

政府自 85 年起開始致力於公共運輸，補助大客車汽燃費，鼓勵採用低地板公車等等提升公共運輸品質作為，雖已具初步成果，惟迄今仍面臨市占率偏低、偏鄉交通不便、私人運具持有比例仍高等瓶頸現象。另高鐵自財務改善，及 104 至 105 年間苗栗站、雲林站、彰化站及南港站通車後，高鐵已成為西部走廊軌道系統的骨幹，同時必須整合各類軌道系統，與臺鐵互補成網，再配合各都捷運與公車無縫轉乘，擴大公共運輸的格局。

落實 30 年軌道運輸願景及綠色運輸政策

近幾年，交通部已勾勒未來 30 年軌道運輸發展願景藍圖，如圖 1 所示，提出健全城際軌道系統、穩固

都會軌道基礎服務、扶植軌道關聯產業與發展軌道科技、提供安全可靠及舒適便捷的軌道服務，及優化組織與法制等五大政策方向。另期由電子票證結合各種優惠措施，有效提升公共運輸運量，落實綠色運輸、人本交通政策。

促進軌道產業升級及帶動觀光產業發展

- (1) 預期平均每年可創造大量的工作機會。
- (2) 將可帶動相關產業發展，並有助於國內整體交通運輸發展，藉由軌道運輸系統分工與整合，提供國人友善、安全、便捷及可靠的軌道運輸系統服務，進而促進都市縫合、改善環境、擴大觀光發展，提升國人生活品質。
- (3) 結合觀光旅遊，融合在地環境特色，帶動觀光地區產業發展。

願景與目標

依未來軌道 30 年發展願景，將強化軌道與公路系統的整合與分工，同時，藉由市場定位的調整及營運管理策略的提升，並輔以適度的工程建設，希望能打造臺灣的軌道系統成為友善無縫、具有產業機會、安全可靠、悠遊易行、永續營運、以及具有觀光魅力的台灣骨幹運輸服務。

友善無縫

友善無縫的軌道運輸應具備完善的無障礙設施、人本的設計思維，並進一步從無縫運輸的思維，增進旅客便利性。

產業機會

隨著軌道路網的拓展，將透過國內市場協助國內軌道產業加速成長，進而創造國際市場之發展機會。

安全可靠

軌道運輸的營運安全與系統的可靠度為優質服務的充分條件，未來將透過智慧化科技協助提升軌道運輸之安全可靠度。

悠遊易行

軌道運輸發展串連國內重要生活與經濟節點，並引領國土發展，未來將進一步強化節點之轉乘服務，以縮短旅行時間與空間距離，提升軌道系統使用之便利性。

永續營運

軌道運輸之永續發展，需仰賴財務之平衡；透過軌道運輸之永續發展，創造自然與生活環境之永續發展，達成雙贏。

魅力鐵道

結合地方與民間資源，開發國內軌道系統文化資產與觀光潛力，提升軌道運輸之文化與旅遊魅力，創造軌道系統之附加價值。

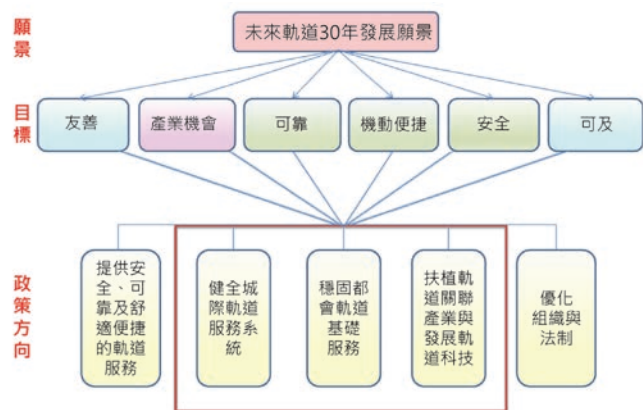


圖 1 未來軌道 30 年發展願景圖

推動主軸

基於上述的願景與目標，前瞻基礎建設計畫的軌道建設（以下簡稱：前瞻軌道建設計畫）將以高鐵臺鐵連結成網、臺鐵升級及改善東部服務、鐵路立體化或通勤提速、都市推捷運及中南部觀光鐵路等 5 大主軸推動，合計 38 項子計畫。各主軸推動構想謹說明如下：

高鐵臺鐵連結成網

- (1) 串聯臺鐵山線海線之聯繫，提升鐵路路線容量。
- (2) 改善高鐵彰化站轉乘接駁服務，擴大轉乘服務範圍。
- (3) 完成高鐵延伸屏東站址規劃評估，作為政策決策依據。
- (4) 優化高鐵左營站轉乘臺鐵至屏東地區營運服務，提升轉乘可及性。

臺鐵升級及改善東部服務

- (1) 提升東部鐵路運輸服務水準，平衡東西部鐵路運輸服務落差，完成臺鐵環島的電氣化路網，完成東部鐵路動力一元化。
- (2) 花東全線雙軌化，提升花東線路線容量。
- (3) 臺鐵電務設施設備提升、票務系統整合，提升臺鐵服務品質。
- (4) 成立軌道技術服務中心，建立自主軌道技術研發能量及產品檢驗驗證能力。

鐵路立體化或通勤提速

鐵路立體化建設在過去幾年間已經在推動，而本次前瞻軌道建設所推的鐵路立體化將重新檢視鐵路立體化必要性，未來鐵路立體化將以臺鐵捷運化營運需求為檢視之目標，相關規劃設計施工亦將以增加鐵路路線容量為主，著重在系統整合，包含臺鐵與高鐵間的共站共構及班次銜接、軌道與地區公共運輸系統間之接駁轉運功能、都市開發、運量提升及與市容結合。此外，將以 Station City 為概念，未來車站將與地方發展結合，取代傳統鐵路立體化。

- (1) 帶動原站區及鐵路沿線周邊土地更新再發展，消除都市鐵路沿線平交道，促進土地開發與整體發展。
- (2) 縮短鐵路通勤運輸時間。
- (3) 強化鐵路通勤運輸品質與服務範圍。
- (4) 提升都會區路段運轉容量，進而在兼顧軌道容量下，提供無縫式優質軌道運輸服務，達成紓解都會區交通擁擠之目標。
- (5) 加強高鐵與臺鐵間區域運輸之整合。

都市推捷運

- (1) 提供無縫式優質軌道運輸服務，達成紓解都會區交通擁擠之目標。
- (2) 提升都會區交通運輸樞紐功能及服務品質，帶動捷運沿線產業發展。
- (3) 引入複合式軌道，民眾既可以享有既有的軌道設施所提供之服務，政府亦可避免面對延伸路線鉅額的建設成本及用地徵收等問題，並擴大軌道運輸服務範圍。

中南部觀光鐵路

- (1) 鐵路支線設施改善，確保支線服務品質。
- (2) 糖鐵與高鐵銜接評估規劃，期由觀光潛力路廊發展地區觀光特色。
- (3) 結合鐵路運輸及觀光旅遊，鐵路設施規劃以不改變地形地貌，融入在地環境特色，帶動觀光地區產業發展。

前瞻軌道建設計畫，計 38 項子計畫，如表 1 所示，其中第一期特別預算（106 年 9 月～107 年底）編列 165.67 億元，後續將滾動式檢討。

軌道推動發展策略

推動策略

在推動前瞻軌道計畫發展作為上，交通部也提出培養收入、控制成本以及促進產業等三大策略，如下：

(1) 培養收入：

地方政府須務實考量提升運量與改善整體財務，交通部則辦理軌道工作坊，協助地方落實運量培養，實現都市計畫。

(2) 控制成本：

將媒合地方捷運專業人力進行輔導，透過專業協助，使地方政府務實管控全生命週期成本，於規劃設計施工階段，要求營運機構即參與，確保未來營運永續。

(3) 促進產業：

將結合鐵道和觀光，堅實地方經濟，促進軌道產業規模化，發展國車國造，整合捷運建設與營運，培養營運品牌外銷。

辦理軌道工作坊

為推展培養收入、控制成本及促進產業之三大策略，達成前瞻軌道建設計畫之永續營運，首次引入歐

表 1 前瞻軌道建設計畫各項子計畫彙整表

序號	計畫	已核定／新興	計畫期程	總經費（億元）
一、高鐵臺鐵連結成網				
1	臺鐵成功追分段雙軌化計畫	已核定	106～109	15.40
2	高鐵彰化站與臺鐵轉乘接駁計畫	新興	106～113	18.92
3	高鐵延伸屏東案站址規劃作業	新興	106～107	0.08
4	高鐵左營站轉乘台鐵至屏東地區服務優化	已核定	106～107	2.46
二、臺鐵升級及改善東部服務				
1	臺鐵南迴臺東潮州段電氣化計畫	已核定	102～111	276.13
2	花東地區鐵路雙軌電氣化計畫	新興	106～117	410.67
3	北宜鐵路提速工程計畫	新興	106～107	0.12
4	臺鐵電務智慧化提升計畫	已核定	106～113	306.10
5	票務系統整合再造計畫	已核定	105～108	10.74
6	成立軌道技術研究暨驗證中心	已核定	106～109	41.76
三、鐵路立體化或通勤提速				
1	臺南市區鐵路地下化計畫	已核定	98～113	293.60
2	桃園都會區鐵路地下化計畫	新興	106～114	964.09
3	嘉義市區鐵路高架化計畫	已核定	106～114	238.98
4	臺南市鐵路立體化延伸至善化地區計畫	新興	106～116	342.49
5	大臺中地區山海線計畫第一階段（大甲～追分、大慶～烏日）暨第二階段彩虹線系統型式選擇評估	新興	106～122	616.80
6	嘉義縣民雄鄉、水上鄉鐵路高架化綜合規劃	新興	107～108	0.50
7	新竹大車站平台計畫規劃	新興	106～107	0.12
四、都市推捷運				
1	臺北捷運三鶯線	已核定	104～114	502.00
2	淡海輕軌	已核定	102～115	153.06
3	安坑輕軌	已核定	104～112	166.32
4	桃園捷運綠線	已核定	105～119	982.64
5	高雄捷運岡山路竹延伸線第一階段	已核定	105～109	30.60
6	高雄捷運岡山路竹延伸線第二階段	新興	106～113	272.83
7	高雄捷運黃線	新興	106～113	1,454.71
8	機場捷運增設 A14 站	已核定	107～112	47.74
9	桃園綠線延伸至中壢	新興	107～117	351.69
10	新竹環線輕軌	新興	106～115	300.00
11	臺中捷運藍線	新興	106～119	841.64
12	臺中捷運綠線延伸彰化	新興	106～114	138.95
13	臺南市先進運輸系統綠線	新興	106～116	220.93
14	臺南市先進運輸系統第一期藍線	新興	106～116	186.04
15	基隆輕軌捷運建設計畫	新興	106～114	81.34
五、中南部觀光鐵路				
1	恆春觀光鐵道計畫	新興	106～114	199.36
2	東港觀光鐵道計畫	新興	106～111	25.25
3	集集支線基礎設施改善	新興	106～113	23.63
4	雲林糖鐵延伸兩鐵評估規劃	新興	107 年	0.08
5	嘉義蒜頭糖廠五分車延駛 嘉義高鐵站評估規劃	新興	107 年	0.08
6	阿里山森林鐵路 42 號隧道計畫	已核定	107～109	3.91

美公眾參與溝通規劃方式－工作坊（Charette），該工作坊已於今（106）年採三階段進行，說明如下：

(1) 第一階段：修正捷運及鐵路審查要點

已於 106 年 7 月完成修正捷運及鐵路審查要點，於審查要點明訂地方政府須提報整體運輸計畫、捷運整體路網，如車站轉乘、公共運輸整合等規劃，及運量培養等具體指標。另亦將確保鐵路立體化具備必要性與整合性，降低對鐵路營運機構衝擊。審查要點修改的方向係引導地方政府除了著重建設外，更要審慎負責都會軌道系統的永續營運。

(2) 第二階段：分區座談會

已於 8 月舉行北區、中區、南區 3 場座談會，邀集地方政府縣市副首長及交通、都市計畫主管機關，說明交通部推動軌道建設策略及審查要點的修正重點，強化中央與地方政府對軌道計畫審議機制之瞭解，凝聚共識。

(3) 第三階段：產官學研共同培力

已於 11 月結合產官學研共同培力成就軌道事業，舉行北區、中區、南區分區教育訓練，邀請具實務的專家講授「整體規劃」、「交通整合規劃」及「都市規劃」等議題，授課對象包含中央以及地方交通、都市計畫主管機關。引導地方政府重視培養收入、控制成本及促進產業等三大策略，促進軌道永續營運。

預期效益

■ 就總體經濟觀點而言，藉由公共投資增加，前瞻基礎建設軌道計畫預期將透過乘數效果，可提高未來實質國內生產毛額（GDP）規模，帶動經濟持續穩定成長，進而促進就業市場熱絡，創造更多的工作機會。

■ 擴大高鐵與臺鐵服務範圍，使雙鐵能互補成網，提供完善轉乘服務。

- (1) 串聯臺鐵山線海線之聯繫，提升鐵路路線容量。
- (2) 提供高鐵與臺鐵轉乘接駁服務，擴大轉乘服務範圍。
- (3) 優化高鐵轉乘臺鐵至屏東地區營運服務，提升轉乘可及性。

■ 強化臺鐵設施設備，提升臺鐵服務品質，改善東部鐵路運輸服務

- (1) 達成環島鐵路電氣化，使東部動力一元化。

(2) 完成花東全線雙軌化，提升花東鐵路路線容量，提高臺鐵花東線列車搭乘率、改善鐵路各站站場景觀、旅運服務設施，以提升東部鐵路運輸服務水準。

(3) 提升臺鐵電務設施設備及鐵路行車安全，減少設備維修及維護成本。

(4) 進行票務系統整合，以提昇台鐵服務品質。

■ 推動鐵路立體化，使鐵路兩側都市縫合，提升鐵路行車安全

(1) 鐵路立體化將可改善平交道所造成之交通瓶頸，消除平交道，減少平交道肇事件數，提升鐵公路行車安全。

(2) 均衡都市發展，強化鐵路沿線市容景觀、提昇土地利用價值、增強都市之經濟發展力，結合區域性大眾運輸工具，提供都會快捷之運輸交通。

■ 建構完善都市軌道系統，提供友善無縫轉乘服務

(1) 建構安全、快速、便捷都市捷運或輕軌系統，提供完善都會區軌道系統及友善無縫式轉乘服務，提升運量，達營運永續。

(2) 帶動沿線產業發展，創造就業機會。

(3) 引進複合式軌道運輸系統，鐵路與都市輕軌整合，達直通運轉服務。

■ 結合鐵路與觀光資源，推動觀光鐵道，帶動觀光經濟發展

(1) 糖鐵與周邊環境文化結合，促進觀光產業發展。

(2) 鐵道串聯社區部落與生態旅遊線，兼顧地方觀光經濟發展與生態永續。

結語

前瞻未來，國家需要新世代的基礎建設。政府推動軌道建設，期能在跨部會及地方政府的溝通、協調與合作下，強化軌道與公路系統的整合與分工，以提供國人友善、安全、便捷及可靠的軌道運輸系統，進而促進都市縫合、改善環境、擴大觀光發展，提升國人生活品質，同時亦帶動相關產業的發展，促進經濟成長。

參考文獻

1. 行政院 106 年 4 月 5 日院臺經字第 1060009184 號函核定通過「前瞻基礎建設計畫（核定本）」。
2. 前瞻基礎建設計畫－軌道建設，台灣經濟論衡，2017 年 9 月，第 15 卷第 3 期，秋季號。



推動軌道技術研究暨驗證中心計畫

楊正君／交通部高速鐵路工程局 副局長

軌道技術研究暨驗證中心，將為交通部在軌道產業領域之技術幕僚及國內技術資源整合平台，並依業務發展需要或接受政府機關或其他機構委託，從事軌道系統技術規範、標準及安全檢驗基準之研擬，軌道系統技術研發、產品測試、檢驗及驗證服務，軌道設備與零組件分析改善及維護解決方案之提供、協助辦理軌道事故調查、安全檢查、人員訓練與檢定及其所需之相關技術支援，國內外軌道技術之資訊蒐集及交流合作，以協助提升軌道產業自主技術能力與品質，確保軌道系統之安全及穩定，並與國際接軌。

前言

近年全球盛行藉由軌道運輸改造城市，使都市發展與大眾運輸緊密結合。而軌道科技日新月異，車輛、供電、號誌等系統持續朝輕量化、模組化、小型化發展，且應用技術更是不斷推陳出新，復以國內軌道建設漸成規模，長期使用外國技術，絕非永續營運之良策。

臺北捷運及台灣高鐵長年累積之績效及經驗，已建立軌道國際品牌，目前正是整合國內產業，向東南亞及其他海外市場爭取軌道建設及營運之契機。

交通部刻正積極推動軌道技術研究暨驗證中心計畫（下稱本計畫），以期成立專責機構，作為國內軌道設備檢測驗證與技術研發平台，除提升國內產業關鍵技術自主能力，將合格產品提供營運機構使用，克服原廠零組件供應箝制外，並尋求拓展海外商機。

國內軌道工業現況

軌道產業現況及發展

參酌經濟部工業局對我國軌道產業之現況調查與分析資料，未來軌道產業將聚焦在車輛系統，並以臺鐵通勤電聯車及輕軌車輛為發展重點；至高鐵及捷運宜優先著重在維修備品國產化。

- (1) 臺鐵：以 EMU 800 型通勤電聯車為例，在車體製造與組裝、內裝、照明、空調、聯結器等非關鍵項目已有國產實績，國產化比例達 52%；未來將持續朝車門系統、電氣系統、轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計等關鍵項目發展。
- (2) 輕軌：淡海輕軌在車體製造與組裝、轉向架框、轉向架組裝測試等項目，已逐步累積國產化經驗，國產化比例達 23%；後續在安坑輕軌將延伸到內裝、座椅、照明、空調、玻璃、電纜、配電盤等項目，未來再進一步朝轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計、供電系統、號誌通訊系統等關鍵項目發展。
- (3) 高鐵及捷運：為克服原廠設備停產或維修成本過高之課題，各營運機構持續針對車輛、通訊、號誌、軌道、電力等系統，開發國產替代性物料。以高鐵車輛系統為例，近 6 年來已計開發 3,437 項國產維修物料，較國外備品可節省 73% 之採購成本，已初見成效。

為擴大維修備品市場規模，交通部督導台灣高鐵公司於 106 年 8 月 24 日舉辦「台灣軌道工業本土化商機說明會」，並要求高鐵、臺鐵、捷運盤點需求，合計釋出未來 10 年總金額約 498 億元之採購需求（包含高鐵 166 億元、臺鐵 284 億元、臺北捷運 48 億元）。說明會共吸引逾百家廠商參與，會後持續洽詢及表達有

意參與之廠商逾 20 家，顯見類似活動有助於促進軌道產業及營運機構間之供需媒合。後續臺鐵、臺北捷運及高雄捷運亦將聯合舉辦商源說明會。

軌道檢測驗證現況及能量

(1) 檢測驗證標準

目前國內軌道工業缺乏完善之檢測驗證標準，廠商需依據業主開立之需求或設計規範進行檢測，其並無一致性標準，端視個案而定，廠商難以適從。鑑於檢測驗證之目的，在於確保產品在設計、製造、測試過程符合一致性之標準，故制定國家標準將可作為業主研擬採購需求及廠商生產製造之依循，並有助於確保廠商技術能力、產品品質及推動軌道設備零組件規格標準化，帶動國內軌道產業發展。

在推動軌道國產化之過程中，國內設備零組件之品質是否與國外原廠物料一致，檢測驗證標準為重要關鍵。以高鐵車廂座椅國產化為例，其座椅結構、椅套布及椅墊必須通過靜態 / 動態強度、疲勞耐久、防火耐燃等 30 餘項安全測試規範標準，始得取代原廠物料，安裝在高鐵列車上。

軌道國家標準須與國際標準銜接與調和，以滿足國內及國外市場需求，減少貿易障礙並提升競爭力，故本計畫應參酌國內專業機構之建置經驗，先蒐集國際標準（如 ISO、IEC、UIC）、區域標準（如歐盟 EN）及國家標準（如日本 JIS、德國 DIN 等）並進行研究分析，進而制定軌道國家標準。

(2) 檢測驗證現有能量

經初步盤點車測中心、中科院、工研院、電檢中心等國內專業機構之既有軌道檢測驗證與研發能量（詳表 1），發現在電磁相容 / 干擾、材料疲勞耐久、結構強度、防火耐燃、環境、衝擊振動之檢驗或測試，已具備技術能力，雖大部分運用在航空、智慧車輛或電子產品，然倘經補強局部差異，將可延用在軌道系統。

各專業機構均樂見未來軌道技術研究暨驗證中心（下稱軌道中心）成立後，能作為國內軌道產業檢測驗證平台，以統整各機構既有技術能量，提供國內廠商相關檢測驗證及研發技術服務；並建議應優先補足軌道產業特有之檢測驗證儀器設備為宜，例如國內尚缺乏高電壓、大電流、高強度、高速度之檢測驗證儀器設備與技術能力，未來軌道中心可視產業需要朝此類型技術發展。

表 1 國內專業機構軌道技術能量盤點

專業機構	具備能力	參與軌道專案
工業技術研究院	具備環境測試、動力測試、電子負載、空調設備性能、電磁場量測、振動量測、電光計量等技術能量及儀器設備，並有檢測儀器校正能力（設有國家度量衡標準實驗室），及具輔導實驗室通過 TAF 認證實績	電磁波檢測、振動及噪音量測分析、地層下陷量測分析、車輛設備測試機台等
國家中山科學研究院	具備結構與材料、電磁波量測、機械性能、電子零組件、電磁相容、防潮防火、材料性能、環境可靠度等技術能量及儀器設備	輕軌車輛開發、集電弓接觸片模組、車輪固定螺栓螺母及墊圈、車輛橡膠件、車輪踏面磨光器測試平台、電磁干擾防治、螺栓防鏽等
車輛研究測試中心	具備結構動 / 靜態強度、疲勞耐久、噪音振動量測分析、環境可靠度、碰撞安全、電磁相容等驗證能量及儀器設備	車輛座椅強度與乘適性、工程車結構強度、車輛水箱支架強度分析等
台灣電子檢驗中心	具備電磁相容測試、安規測試、可靠度測試、通信測試、噪音振動測試等驗證能量及儀器設備	車輛電子設備電磁相容量測及可靠度測試等

軌道技術研究暨驗證中心

急迫性與必要性

舉凡日本、韓國、大陸、歐洲等軌道先進國家均設有軌道研究專責機構，作為產業發展後盾，泰國、印度亦積極推動建置。國內公路有車輛測試中心、安審中心，航運有中國驗船中心協助政府辦理標準制定、法定檢測、技術研發等業務，唯獨軌道仍欠缺類似機構，產業、營運機構及學界均大聲疾呼政府應儘速建置，晚做總比不做好。

觀察韓國在 1990 年以前軌道系統皆仰賴國外進口，當時韓國政府因系統不穩定且影響安全而備受困擾，並察覺長此以往將面臨國外廠商壟斷市場，採購及維護成本高漲，爰 1996 年毅然決定投資成立鐵路研究所，建立自主技術。經歷 20 年努力，不僅帶動產業發展，更使韓國躍升軌道車輛輸出國。而我國面臨相同窘境，是以本計畫顯有其必要。

我國軌道建設過去長期仰賴進口，投入大量成本卻無法掌握關鍵技術自主能力，亦未能建立完善之軌道系統規範標準與檢測驗證機制，無法形成產業供應

鏈，致使軌道建設形同消費行為，而不具投資性質。若未能藉由目前推動中之多項前瞻軌道建設及車輛購置計畫，引導國內產業積極參與並提升自主技術，恐將難以擺脫國外廠商壟斷市場之困境。

規劃業務

- (1) 受託研擬軌道系統技術規範、標準及安全檢驗基準，以利產業本土化及國際接軌。
- (2) 提供軌道技術研發、產品測試、檢驗與驗證服務。
- (3) 提供軌道設備零組件分析改善及維護技術解決方案，提升系統安全與穩定。
- (4) 受託辦理軌道事故調查、安全檢查、人員訓練與檢定及其所需之相關技術支援。
- (5) 國內外軌道技術之資訊蒐集及交流合作。
- (6) 其他與軌道中心設立目的相關之事項。

功能定位

鑑於國內軌道檢測驗證及研發技術能量，分散在產官學研各界及營運機構，缺乏專責機構予以整合，且過去未建立完善軌道工業標準，難以形成產業供應鏈。因此，本計畫仿效軌道先進國家作法，期企藉由成立國家級軌道技術專責機構，擔任扮演下列角色，負責研擬軌道系統技術規範與標準，建立軌道產品研發、測試、檢驗與驗證等技術，並整合國內既有技術能量，協助國內軌道產業逐步提升關鍵技術自主能力，確保國產設備零組件之安全、品質及標準化，及提供營運機構所需設備改善與維護支援，提升系統安全與穩定，進而促成我國軌道產業及軌道運輸長遠發展。

(1) 第三方公正機構

軌道中心將擔任交通部在軌道產業發展之技術幕僚，對產業政策提供技術建議、協助草擬部頒軌道系統技術規範及軌道產業國家標準，並在事故調查及安全檢查等監理業務，以公正第三方立場就事故肇因及安全關鍵事項提供專業技術分析。

(2) 與國內檢驗研究機構合作協助軌道產業發展

國內如中科院、工研院、金屬中心、電檢中心、車測中心及各大專院校學術機構，已具備部分軌道設備零組件之實驗、檢測及研發技術與儀器設備，惟欠缺軌道技術整體發展策略與規劃，軌道中心將整合國內技術資源，建立合作機制，扮演我國軌道技術發展之主導角色。

透過技術研發並提供軌道產品檢測驗證服務，搭配軌道規範標準之建立，可確保國產設備零組件之安全、品質及標準化，帶動產業發展。

(3) 支援軌道營運安全及維修技術

倘能提升軌道設備零組件自製率且符合安全品質規範標準，必可減少維修備品進口需求，進而降低營運維修成本。另利用軌道中心檢驗技術與研發測試能力，將提供鐵路、捷運及輕軌營運機構在維修過程及備料開發方面所需之技術支援。

(4) 與國際接軌

藉由軌道先進國家持續發展軌道工業標準規範之契機，軌道中心可做為我國軌道系統與國際接軌之重要平台，並協助產業拓展海外商機，將合格商品外銷其他國家。



圖 1 軌道中心功能定位

發展重點

綜合前述軌道產業調查分析結果，並配合前瞻基礎軌道建設及車輛購置計畫，初步歸納國內各軌道系統之未來國產化發展項目如表 2。然為進一步探究其發展潛力及優先順序，高鐵局召開軌道產業關鍵議題座談會，邀集產官學界共同參與，以期確立軌道中心未來營運初期所需建置之檢測驗證及研發儀器設備，並再視計畫執行成效及初期技術能量滾動檢討後續發展。

表 2 國內軌道未來國產化發展項目

系統別	國產化發展項目
臺鐵	車門系統、電氣系統、轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計等項目。
輕軌	轉向架、煞車系統、牽引系統、整車設計、供電系統、號誌通訊系統等項目。
高鐵及捷運	車輛、通訊、號誌、軌道、電力等系統維修零組件備品。

此外，本計畫將以「不重複投資」、「不需一次到位，分階段建設」之原則辦理，即不重複建置國內專業機構既有儀器設備，並與各機構建立合作機制，整合資源共同發展軌道檢測驗證及研發業務。

籌備執行現況

(1) 計畫經費

本計畫奉行政院核定經費 41.76 億元，配合前瞻基礎建設計畫編列特別預算辦理，其中第一期（106-107 年）特別預算並於 106 年 8 月經立法院審議同意編列 2.57 億元，餘 36.79 億元將編列於第二期（108-109 年）特別預算。該二期預算將作為軌道中心各項硬體建設、營運業務規劃與籌設等作業使用，包含前述軌道產業優先發展項目之檢測驗證及研發所需廠房、儀器設備建置。

(2) 工程執行現況

高鐵局刻正辦理技術顧問服務招標作業，以期未來協助辦理土建與設備廠房設計與監造、檢測驗證設備規劃與採購、營運業務規劃與籌設、國內外軌道標準蒐集與研析等作業。

(3) 組織籌備情形

未來營運組織將採設立公設財團法人方式辦理，以兼顧適法性、用人彈性及業務長遠發展。高鐵局刻

正研擬「財團法人軌道技術研究及驗證中心設置條例」草案，後續將持續進行相關法制作業，並著手展開軌道中心籌備處成立準備事宜。

未來工作重點

推動軌道產業發展策略

為提升軌道技術，帶動產業發展，交通部從軌道系統規劃、興建、營運維修、重（增）置之全生命週期角度，提出全面性軌道產業發展 3 大策略：

(1) 策略 1 — 籌組跨機關「軌道產業推動會報」

交通部會同經濟部、工程會共同籌組「軌道產業推動會報」並自 107 年開始運作，未來該會報將擬定軌道產業發展策略、研訂「軌道系統採購作業指引」、促進產業供給需求媒合。

(2) 策略 2 — 建置「軌道技術研究暨驗證中心」

軌道中心將負責擬議軌道產業國家標準與規範、提供檢測驗證服務與整合國內資源，並從事軌道技術研究發展。

(3) 策略 3 — 提升維修零組件國產化比例

由營運機構盤點維修備品在地生產需求，並辦理商源說明會釋放商機，以吸引國內產業參與，媒合供需。

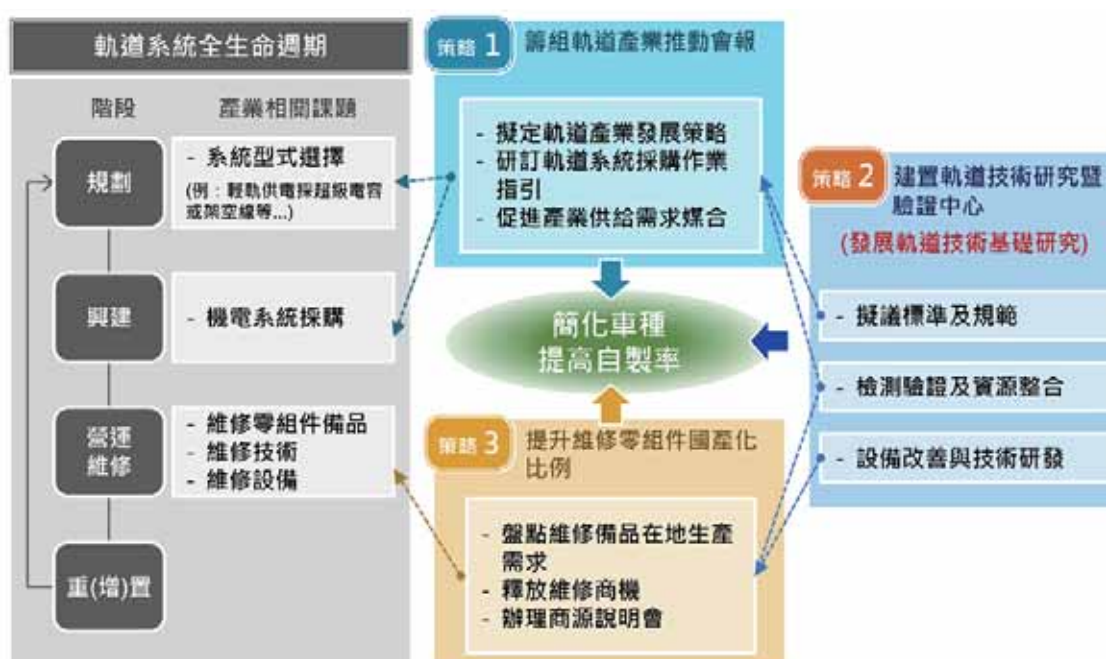


圖 2 軌道產業發展策略

落實軌道產業發展行動方案，達成 KPI 目標

行政院在加速投資臺灣專案會議中，要求交通部、經濟部、工程會組成跨部會平臺，主動協助建立供應鏈及媒合業者合作，並設定關鍵績效指標（KPI）及訂定期程落實執行，因此未來將在「軌道產業推動會報」之架構下，分別就興建（系統建置）及維修（營運階段）2 大區塊，提出軌道產業發展關鍵績效指標，並將積極辦理下列軌道產業發展行動方案，以期達成目標：

- (1) 選定國產化關鍵項目，並舉辦產業座談會凝聚共識。
- (2) 研訂軌道系統採購作業指引，制定通用規格及解決國內廠商投標資格問題。
- (3) 制定軌道產業國家標準。
- (4) 整合技術研發協助量產，加強軌道人才培育。
- (5) 推動軌道技術研究暨驗證中心計畫。
- (6) 定期釋出維修商機。

持續辦理軌道中心工程建設及組織籌備事宜

高鐵局將儘速完成技術顧問招標及簽約，並協同具工業技術與實驗室規劃能力之專業機構，期於 107 年起著手辦理工程設計與發包等作業，109 年底順利完工。

高鐵局亦將積極辦理「財團法人軌道技術研究及驗證中心設置條例」相關法制作業，以期在 107 年底前完成立法，進而於 108 年 7 月前完成財團法人申請設立相關作業。

本計畫除由高鐵局會同技術顧問進行前述各項作業外，初期擬借重國內專業機構、營運機構、大專院校及政府機關之資源人力，成立軌道中心籌備處，共同參與軌道中心建設工程、檢測驗證業務規劃、國際標準研析、人才培育等前置準備工作，並視需要聘請國外專業顧問團隊協助，以汲取各方技術及經驗，順利完成軌道中心建置，並輔導財團法人接手營運。

結語

在推動前瞻基礎軌道建設及車輛採購計畫之際，交通部提出軌道產業發展三策略，期能提升國內軌道自主技術能力及擴大市場規模，而軌道中心之設立，將可整合國內技術資源，共同推動軌道系統技術研發及檢測驗證，帶動國內軌道產業轉型與升級，使我國軌道工業發展日益蓬勃。 



土木水利 双月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



淡海輕軌 BIM 技術應用 與 設計施工整合特色

李政安／新北市政府捷運工程局 副局長

凌建勳／新北市政府捷運工程局 總工程司

涂貫迪／新北市政府捷運工程局 淡海工務所主任

「三環三線」是由文湖線、環狀線（以上為第一環）、新莊線、萬大—中和—樹林線（以上為第二環）、板南線、三鶯線、機場線（以上為第三環）等三環以及淡海輕軌、安坑輕軌、汐止民生線等三線之捷運路線所構成，完整路網詳圖 1。

三環三線中，淡海輕軌為新北市政府主辦的第一條捷運，也是首創採土建與機電以大統包模式發包並採最有利標評選之捷運系統，另外其採用全生命週期招標策略及引進核心技術轉移達成國車國造等特色，亦皆為國內首創。

淡海輕軌整體路線介紹

淡海輕軌包含綠山線（第 1 期）與藍海線（第 1、2 期）兩部份，路線全長約 13.99 公里，共設置 20 座車站，1 座機廠，路線及車站位置如圖 2。

第一期工程包含綠山線 11 站（G01 紅樹林站～G08 坎頂站）與藍海線 3 站（B06 漁人碼頭站～B08 台北海洋學院站）共 7 座高架車站與 7 座平面車站及 1 座機廠，第二期為藍海線（B01 淡水站～B06 漁人碼頭站）共 6 座平面車站。

淡海輕軌（第一期）契約執行特色

全生命週期招標策略

淡海輕軌第一期統包工程契約項目（含後續擴充部分）包括土建、軌道、機電設施（水電、環控、電梯電扶梯）工程、土建細部設計、機電系統（車輛、供電、號誌、通訊、交控及行控中心、自動收費）、機廠設備、系統整合測試、建築資訊模型 BIM、出入口工程、土地開發結構工程、與捷運淡水線紅樹林站界面工程、



圖 1 新北市捷運建設願景圖

安全衛生管理、環保清潔、試驗、工程品管、保險、工程管理及代操作維修服務等，涵蓋設計、採購製造、施工、試車、營運、操作維修之全生命週期範疇（詳圖 3），除了由單一廠商負責所有土建工程及機電系統作業



圖 2 淡海輕軌整體路線圖

項目之大統包模式外，完工後為使全系統維護及營運得以無縫接軌，特將代操作維修等項目納入，配合此全生命週期招標策略，總建置成本拆分為統包工程費及代操作維修費等兩大部分，並考量自商業運轉日（Revenue Service Date）起 8 年 15 列輕軌車輛運轉電力成本及車輛零件與耗材更換費用，故本計畫之整體壽年成本即包括建造成本、維修成本及營運成本。



圖 3 全生命週期履約範疇

統包工程優勢

傳統工程為線性作業，計畫推動時程冗長，採用統包策略可縮短計畫時程、落實設計施工併行管理、擬定分段里程碑管制工程進度及建立預警機制提升管理成效，並在結合興建與營運需求下，有利提早準備通車，兩者執行流程及推動時程之比較詳圖 4。

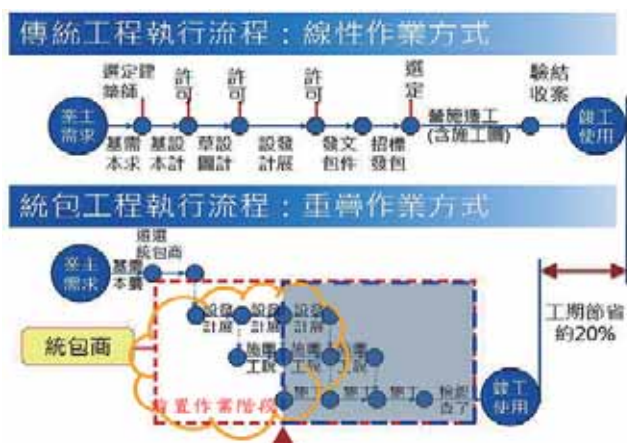


圖 4 傳統工程與統包工程之比較

全系統之獨立驗證與認證

淡海輕軌是國內捷運系統辦理全系統獨立驗證與認證（IV&V）公開招標之首例，工作範圍涵蓋機電系統、土木工程及水電環控系統，以加強營運安全及整體系統品質要求。

本計畫獨立驗證與認證之經費來自公部門，可以保障最大限度的獨立性，並在系統需求階段（基本設計、細部設計）即已導入，可即早提出觀察意見或階段性評估報告，避免所提問題無法收斂，影響工程進度，更透過辦理各項文件檢核與評估、工作稽核及測試見證後，依問題程度即時反應告知業主以爭取時效。

本計畫之獨立驗證與認證各階段工作及其範疇詳圖 5，獨立驗證與認證顧問對於其他各單位之關係詳圖 6。

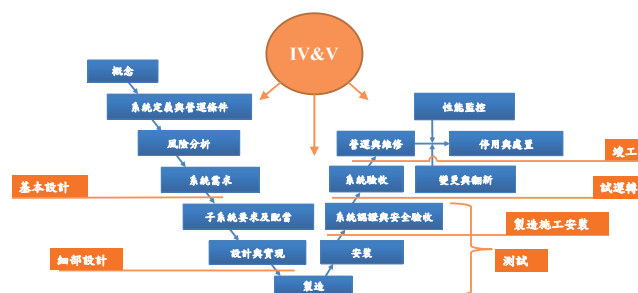


圖 5 獨立驗證與認證工作範疇

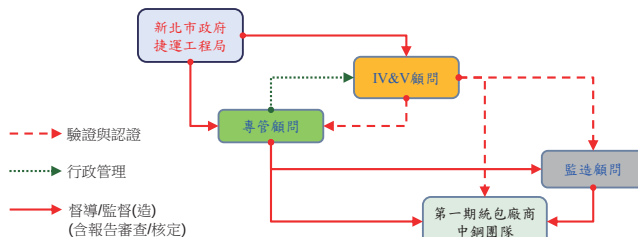


圖 6 IV&V 顧問對於其他單位之關係

整體性公共藝術

國內其他捷運建設或軌道運輸工程辦理公共藝術之案例，多是以獨立個案設置，少有以某特定路線作為整體創作主體之概念。設置藝術家的單一作品，較無一致性與整體性，作品也難以融入周邊環境，兩者之間無法與環境產生互動，僅能提供藝術欣賞的功能。

淡海輕軌運輸系統作為新北市發展城市意象的重要元素，為使公共藝術與交通設施扮演共同串連人與城市的角色，並使之成為淡水遊玩時必經之藝術巡禮，與知名插畫家幾米合作，針對綠山線全線以淡水地區在地多元文化之特色為主題，創作全新繪本—「閉上眼睛一下下」（詳圖 7、圖 8），將觀音山、梯田與幕色等淡水在地地方情繪入圖本，並將故事中繪圖，使用大型鑄銅雕塑與彩繪玻璃裝點各於車站（銅鑄雕塑模型詳圖 9），讓各車站皆有其故事性並相輔相成，觸發讀者與觀賞者的多元體驗，如此一來，公共藝術不再只是裝飾性的擺設，淡海輕軌也不再只是毫無生氣的交通工具，而是融合便利生活與藝術體驗的平台，同時具備更有意義的公共設施、更有價值的公共藝術兩種條件，最重要的，是成為台灣在國際觀光上的全新亮點。



圖 7 綠山線公共藝術創作

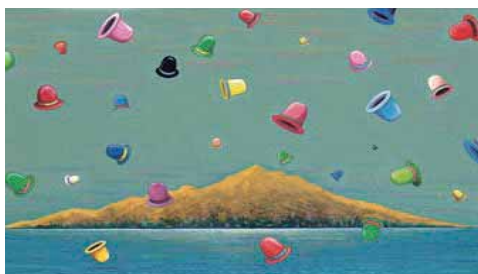


圖 8 綠山線公共藝術創作



圖 9 幾米繪本銅鑄模型

產業本土化／施工在地化

國車國造

淡海輕軌列車為全國第一列國車國造的輕軌車輛，由台灣車輛公司與德國福伊特公司（Voith Engineering Service）共同設計、製造、測試並取得德國第三公證單位南德公司的驗證，完整導入 3D 設計、分析模擬、圖文管理系統（詳圖 10、圖 11、圖 12），自主產出各車輛系統模組 3D 繪圖、機械與電氣施工圖、結構應力模擬分析、結構疲勞強度模擬分析、結構撞擊模擬分析，藉由上述軟體與系統投資，大幅強化設計與驗證能力，使得全車從設計、製造到測試都在台灣進行，相關照片詳圖 13 及圖 14。

本計畫藉由引進國外專業廠商推動技術轉移，讓台灣的軌道運輸產業，從軌道建設到車輛製造，都由台灣團隊自己完成，不僅提升台灣軌道運輸及輕軌工業的競爭力，降低採購、操作、維修等成本，為經濟發展及創造就業帶來正面幫助。

軟體	功能
CATIA	3D 繪圖設計
SIMPACK	動態模擬分析
ANSYS	車體結構、轉向架框架設計驗證、強度評估
ENOVIA	產品生命週期管理

圖 10 車輛使用之軟體介紹

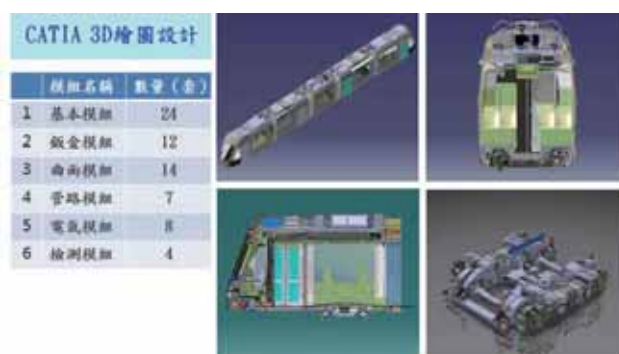


圖 11 車輛使用之軟體介紹

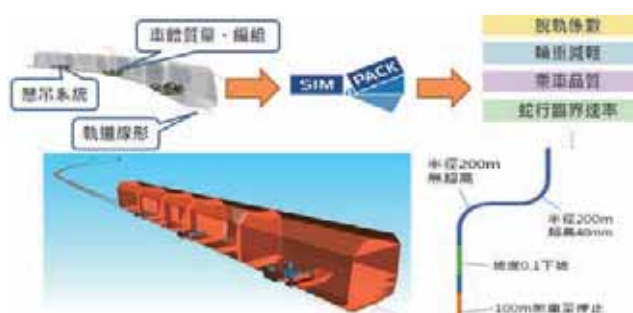


圖 12 車輛使用之軟體介紹



圖 13 車體焊接廠區照片



圖 14 列車組裝作業照片

車輛零組件國產化、維修在地化

IRIS（國際軌道工業標準）是 UNIFE（歐洲軌道工業協會）所制定之品質管理認證制度，淡海輕軌車輛系統大部份採用 IRIS 認證之供應商（詳圖 15），以確保淡海輕軌列車各系統之高品質，並進行合作及技術轉移，協助國內建立自主的軌道車輛工業與零組件供應鏈，透過結合在地供應鏈，逐步推動零組件國產化，目標在民國 114 年將輕軌零組件國產化推展至 50% 以上，並藉由關鍵系統廠商之技術轉移（如推進系統及煞車系統等，詳圖 16），以達成維修在地化。



圖 15 IRIS 認證之車輛子系統供應商

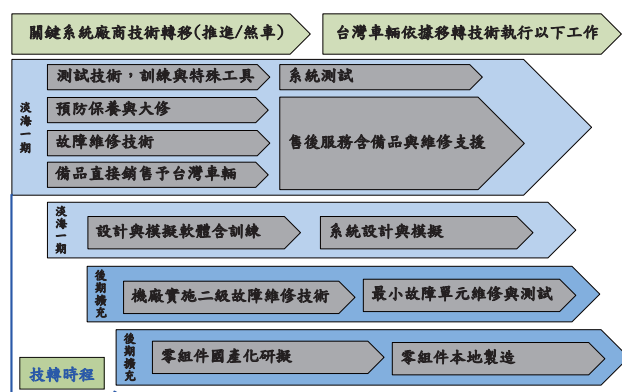


圖 16 關鍵技術及轉移時程

建置車輛測試環境、推動國內認證制度

台灣車輛公司於技術轉移、軟體環境、驗證認證、海外受訓、生產線建置及測試廠房與設備方面投資超過 6 億元（詳圖 17 及圖 18），從設計、製造、測試至驗證為國內建立完整之體系，為軌道車輛掌握關鍵技術（Know How），為「國車國造」之重要里程碑。

「國車國造」計畫及新北市政府在淡海、安坑、五股、三芝、八里、深坑等計畫導向的策略，透過降低全生命週期成本、車輛設計模組化、系統優質化、單純化、本土化、確保後續系統擴充相容、預防保養、即時搶修、備品一致性以及提升後續大修與系統更新之效能，逐步實踐新北市輕軌願景。

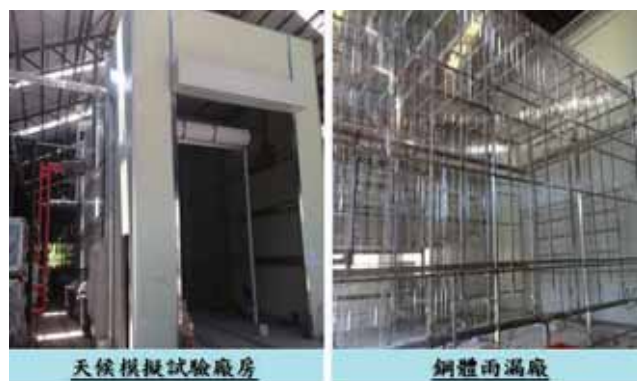


圖 17 車輛測試廠房照片（一）



圖 18 車輛測試廠房照片（二）

BIM 技術應用

目前國內應用建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 技術，大都為建築物或車站，為「點」的概念，未能完全符合輕軌及捷運系統「線」之特性及需求。淡海輕軌將 BIM 技術由候車站的「點」推展至輕軌路線的「線」及周遭建物的「面」主要作為茲說明如后：

BIM 模型與地理資訊系統 (三維 GIS) 整合

BIM 模型整合至 GIS 為國內先例，BIM 模型中豐富的資訊可與 GIS 結合形成完整的數位化三維城市模型，結合 GIS 與 BIM 內所包含之豐富資訊，未來還可以應用於城市規劃、城市景觀規劃、城市環境分析、城市建設管理、城市公共資產管理等議題。

本計畫於設計階段及完工後共兩次建置全線空拍攝影測量三維模型，涵蓋路線外 250 公尺範圍內之地表及鄰近建物。施工階段 BIM 與 GIS 之結合可協助執行專案管理掌控進度與品質，其成果展示詳圖 19、圖 20 及圖 21，並可透過此新技術與民眾作有效溝通。



圖 19 BIM + GIS 視覺化成果展示



圖 20 BIM + GIS 進度管理與展示

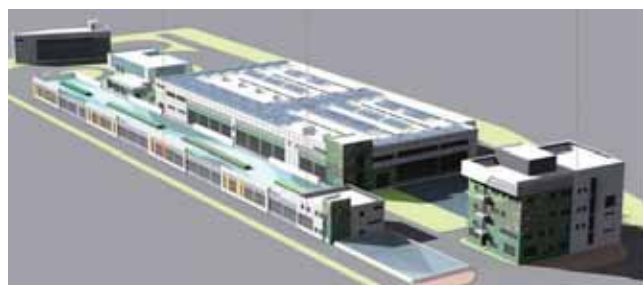


圖 21 BIM 機場用地展示模擬圖

BIM 模型整合橋梁、系統機電及管線

淡海輕軌將 BIM 技術應用於房屋建築類（候車站、機廠建築物、變電站）、土木及基礎設施類（橋梁、平面段、地下管線、定線）、軌道與系統機電類（軌道系統、系統機電）、其他結構物（如捷運紅樹林站、國泰橋、金龍橋等鄰近建物或結構量體），以高架候車站整合機電系統（詳圖 22）及橋梁基礎整合地下管線（詳圖 23）之設計及施工為例，可透過執行衝突檢查，並以視覺化展現，充分發揮溝通功能，亦為未來營運階段預做準備。

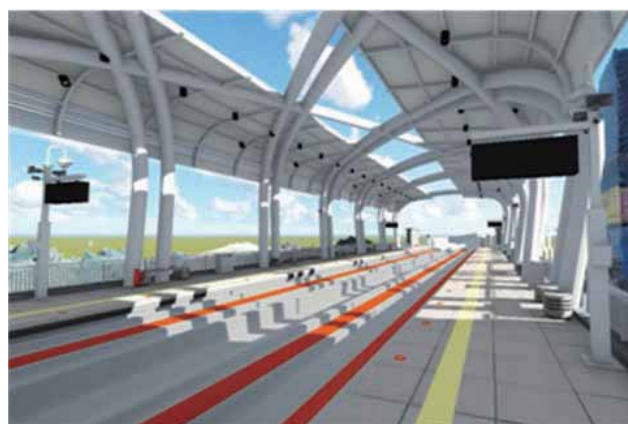


圖 22 BIM 整合模型（高架站）展示

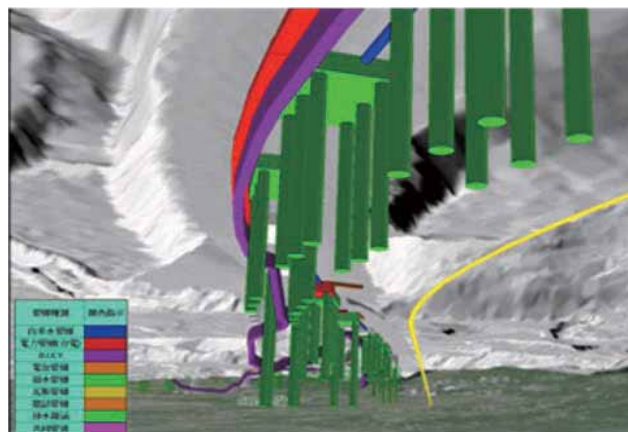


圖 23 BIM 模型橋梁與管線整合展示

利用 4D 技術，透過模擬推動工進

BIM 模型整合施工時程，透過 4D 技術可視化工具，以視覺化展示施工組裝順序，淡海輕軌在淡金路、濱海路口大轉彎段即是以 BIM 4D 技術模擬鋼梁吊裝作業（詳圖 24），可作為施工可行性、安全性、工序合理性、危險性工作場所施工安全評估及對周遭影響之加強事項及安全措施檢討。

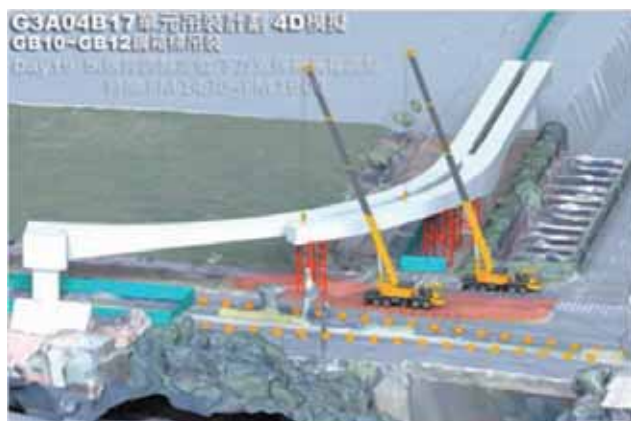


圖 24 模擬鋼橋吊裝施工

BIM + VR 開創全新應用視野

虛擬實境 VR (Virtual Reality) 是目前科技界熱門話題，也是未來科技的趨勢，VR 可以提供沉浸式的體驗，能讓一般民眾不需具備專業知識，就能藉由 VR 技術和虛擬物件進行互動。淡海輕軌創新應用將 BIM 模型結合 VR 技術，建立淡海輕軌列車及候車站之 VR 場景，協助體驗者身歷其境，以人因工程之角度探討設計議題，展示設計成果（詳圖 25、圖 26）。



圖 25 以 VR 技術討論設計成果

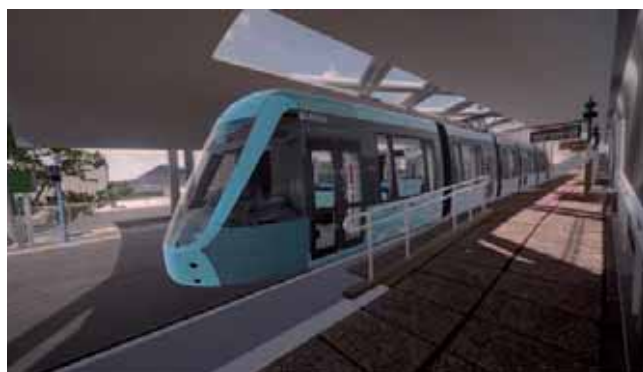


圖 26 模擬候車站列車進站 VR 圖照

設計與施工總體整合

淡海輕軌為統包工程，除了設計與施工併行作業可縮短工期的優點外，統包廠商之施工人員可充分瞭解設計理念，設計人員可補充統包廠商之專門施工技術而降低工程造價，茲將本工程在設計與施工總體整合方面之努力說明如后：

提升工程技術，縮短施工時程

淡海輕軌在高架段採用墩柱鋼筋樣架施工（詳圖 27），上部結構 RC 箱型梁以預鑄吊裝取代場撐工法（詳圖 28），可掌握施工精度、縮短工期、減少交通衝擊及大幅降低施工風險；平面段槽型軌以 CDM 彈性包覆取代傳統扣件（詳圖 29），可減少工序及縮短施工時程。



圖 27 墩柱鋼筋樣架施工



圖 28 高架橋預鑄吊裝施工

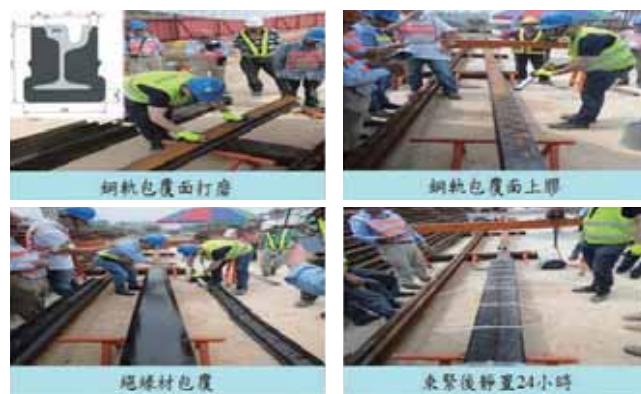


圖 29 槽型軌施工

整合工程需要，提供最佳方案

一般的軌道系統工程分為土建標、軌道標、系統標（詳圖 30），在界面協調及整合上往往需花費很多時間，而上述三個獨立標在統包工程屬於內部界面，利於協調及整合，對工程整體時程規劃有極大助益。



圖 30 平面段土建與軌道界面

鄧公路行經淡金路上方之國泰橋，輕軌高架墩座原預定跨越國泰橋，橋面距離地面約 19 米高，透過 BIM 輔助分析（詳圖 31），綜合評估後將既有國泰橋架高，輕軌捷運改由國泰橋下方經過，使橋面離地面降至 9.2 米，大幅減少施工成本，及降低後續營運及社會成本（詳圖 32）。

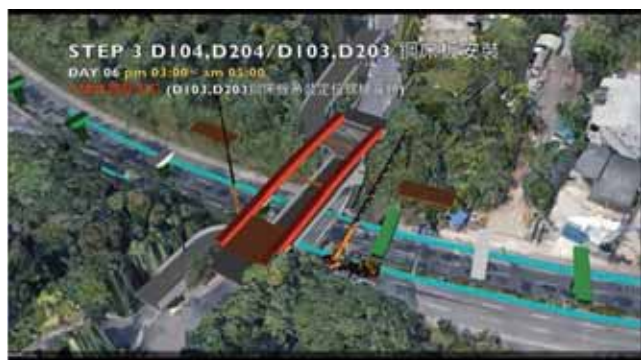


圖 31 國泰橋 BIM 輔助分析

■ 國泰橋方案檢討

	原規方案	基設方案
橋高/景觀	橋墩高度達 20~30m (國泰橋處約 19m)	橋墩高度大幅降低，國泰橋處降至 9.2m
造價	—	輕軌高度較低，橋梁桿節約 3000 萬，G02A 旁電塔不需遷移，桿節約 1600 萬
時程	—	輕軌橋梁分段施作，不增加工期
旅客動線	車站與國泰橋面高差約 11 公尺，國泰橋兩側居民進出車站不易	車站距地面高度降低，改善旅客動線，降低民眾抱怨
節能減碳	車站距地面較高，民眾多以電梯代步，增加能源消耗	車站距地面較低，增加民眾步行意願，減少能源消耗。預計每年可省 90 萬。且日後車站維修成本亦會降低
社會成本	步行高度增加，增加社會成本	步行高度減少，100 年營運期可省 3 億

圖 32 國泰橋施工綜合評估

淡金路是進出淡海新市鎮的主要幹道，沿線道路下方有台電 161 kV 特高壓電力管道及各種管徑自來水管等重大管線，雖然高架橋基礎以避開為設計原則，

但仍有部分與之衝突，且外部界面協調順遂與否攸關工程推展，淡海輕軌以 BIM 輔助設計，並積極研擬代辦、吊掛保護等方式與管線單位溝通協調（詳圖 33），以減少對工程進度之影響。

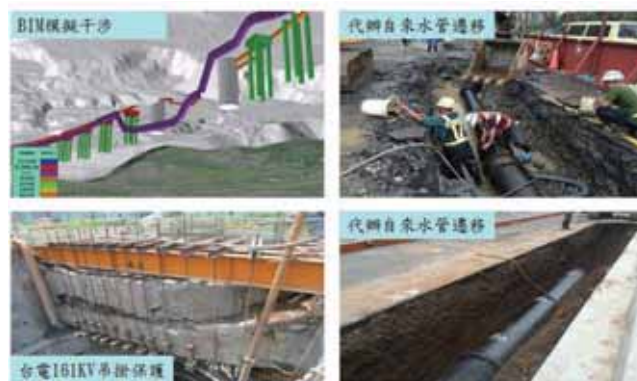


圖 33 管線衝突與因應方案

配合交通監測，提供即時訊息

淡海輕軌綠山線高架段主要沿淡金路佈設，為瞭解施工階段對淡金路交通衝擊影響，在大淡水區域往返關渡、五股、八里、竹圍、關渡大橋、中山北路等重要區域或節點設置 9 處 eTag 偵測點位（詳圖 34），以探討其旅次比例及旅行時間變化，並可依據即時旅行時間資料提供動態路徑引導，提供更有效的區域交通管理。根據 eTag 蒐集的資料推估旅行時間，發現交通維持計畫效果較預期為佳，淡金路及中正東路施工對車流衝擊有限。

• 偵測點位-共設置 9 處

- 淡水淡金公路行忠路口 (E1)
- 淡水北新路一段 9 號 (淡金公路行北新路口) (E2)
- 淡水坪頂路往台北 38 巷前 (E3)
- 淡水中山路、中山北路一段 (E4)
- 淡水民權路、民族路口 (竹圍捷運站前) (E5)
- 八里關渡大橋 (龍米路上方門架) (E6)
- 五股成泰路 4 段 22 巷 (E7)
- 淡水民權路自強路口 (E8)
- 淡水淡金路、新市一路三段 (E9)



圖 34 設置 eTag 偵測點位

傾聽地方意見，結合在地需求

工程推動要順利，除了業主及計畫各團隊的努力之外，地方上的聲音要充分瞭解及溝通，才能化阻力

為助力。淡海輕軌在這方面做了很多，包括架設計畫專業網站提供即時資訊（詳圖 35、圖 36、圖 37）、結合地方專業廠商、採用 I-Voting 票選車輛造型、邀集全線鄰近住戶協調高架橋墩位置，並在路線通過之水碓尾遺址範圍結合考古專業團隊以搶救遺址（詳圖 38）及保留清法戰爭滬尾古戰場城岸遺蹟（詳圖 39），原平面段路段改高架輕軌拱橋型式，並配合金色水岸自行車道路線設置夜間裝飾照明（詳圖 40），成為地方特色，藉由這些方式增加住民參與的機會，大家目標一致，齊心合力為地方發展來打拼。



圖 35 淡海輕軌計畫專業網站 (<http://pm.csc.com.tw/ntpc/>)



圖 36 OPEN33！三環三線進度公開專頁 (<http://open33.ntpc.gov.tw/>)

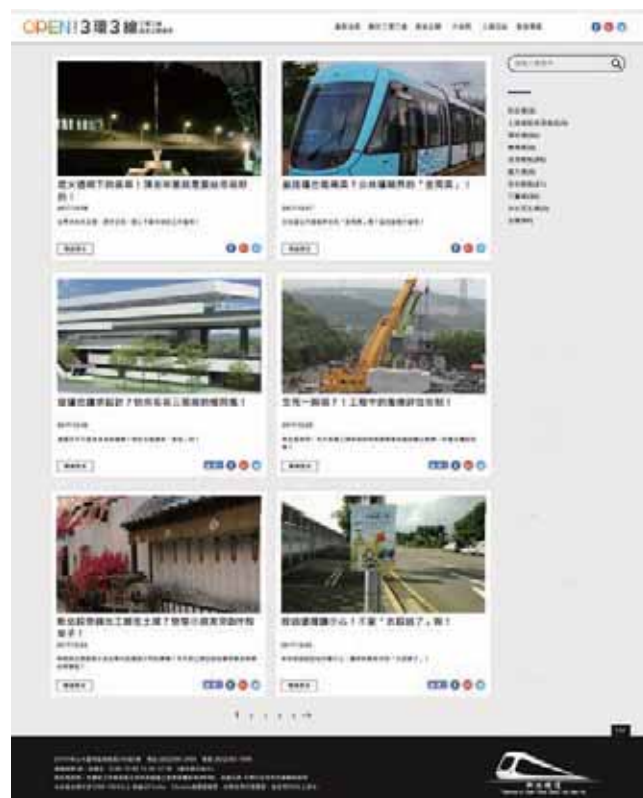


圖 37 工頭日誌



圖 38 水碓尾遺址考古試掘

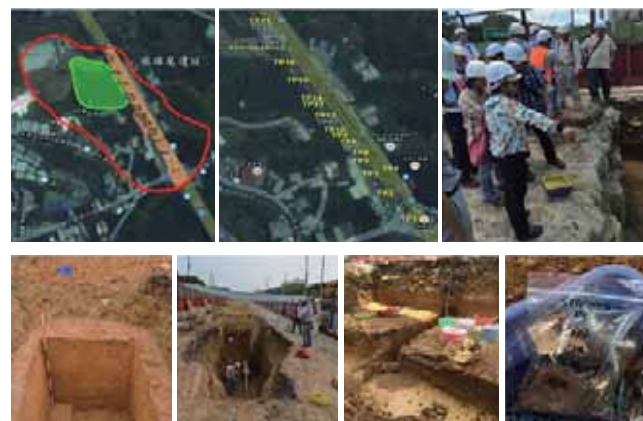


圖 39 清法戰爭滬尾古戰場城岸遺蹟



圖 40 高架拱橋夜間裝飾照明模擬



圖 41 新北市市長及捷運局長與獎盃合影

結語

透過 BIM 模型建置，將傳統 2D 施工圖說轉換成 3D 模型，可用於虛擬實境模擬、碰撞干涉分析、危險性工作場所施工安全評估、交維計畫模擬、工程進度模擬，使管理、設計、施工及後續營運單位建立良好溝通介面，減少施工期間各種不確定因素，達成資訊有效傳遞之功能，對於民眾，亦可將 BIM 結合 GIS 模擬成果用於工程資訊分享，建立良好溝通平台，使民眾更加了解工程完工後的狀況。

淡海輕軌案為台灣國車國造的亮點，並獲中華民國運輸學會頒發傑出交通運輸計畫獎肯定（詳圖 41），在新北市整體輕軌路網機電系統單純化之願景而言是一小步，對國車國造則是邁出一大步，從設計到製造都在台灣完成的輕軌列車，不但為輕軌產業立下重要里程碑，對未來國內推展輕軌系統亦能有效降低建置、營運及維修成本，更可確保後續系統擴充的相容性，不再處處受制於國外廠商，奠定本國自行研發輕軌系統之基礎。

參考資料

1. 新北市政府資訊網，<http://www.ntpc.gov.tw>。
2. 新北市政府捷運工程局資訊網，<http://www.dorts.ntpc.gov.tw>。
3. OPEN33！三環三線進度公開專頁，<http://open33.ntpc.gov.tw/index>。
4. 淡海輕軌運輸系統綜合規劃（核定本），交通部高速鐵路工程局（規劃主辦機關）及新北市政府（建設主管機關），102 年 3 月。
5. BIM 於捷運車站生命週期應用，捷運技術半年刊第 47 期（P15-P22），台北市政府捷運工程局，101 年 7 月。
6. BIM 運用於台北捷運之探討，捷運技術半年刊第 47 期（P159-P166），台北市政府捷運工程局，101 年 7 月。





高雄環狀輕軌捷運（第一階段）車輛概述

高華聰／台灣世曦工程顧問公司鐵道工程部 主任工程師

林建華／台灣世曦工程顧問公司捷運工程部 技術經理

簡聖民／高雄市政府捷運工程局系統科 科長

輕軌捷運是一種結合低碳概念且具備綠色環保概念之大眾運輸工具，高雄環狀輕軌為了能符合高雄建設主軸意念，塑造出高雄輕軌捷運安全與快樂涵義。高雄輕軌列車的外型依照高雄市建設的主軸『海洋首都，健康城市』為意象；而內裝設計則採用造型美觀簡潔、風格清新優雅，同時配合國人體型及乘車習慣，並且考慮運量與搭乘距離等因素，來安排座椅、扶手的配置及數量。高雄輕軌系統採用無架空線之設計概念，讓輕軌車輛行走於綠草如茵之軌道上，融合悠閒及綠地之感覺，讓輕軌捷運系統之運行多一份休閒及便利，少一份都市繁忙與緊張，也讓高雄環狀輕軌沿線充滿優閒氣氛，營造水岸輕軌之特殊意象。

高雄環狀輕軌捷運整體概述

高雄環狀輕軌部分路段行經高雄港區，不僅可塑造水岸特殊景觀，並可俯瞰海景，極具觀光效益，且銜接紅、橘線及環狀輕軌。基於促進水岸開發及銜接捷運路網，提昇捷運運量，水岸輕軌之興建其建設目標明確定位為連結水岸沿線各開發建設與觀光遊憩為主，如「海洋文化及流行音樂中心」、「高雄世界貿易展覽中心」、「高雄港客運專區暨港務大樓」、「高雄港站開發計畫」等重大建設案等，再配合多功能經貿園區、文化創意產業、郵輪母港等產業政策方向，成為推動水岸地區舊有都市整體再發展的基礎建設，並連結現有及規劃中的大眾捷運路網，提供轉乘及疏運功能，提升城市運輸新風貌，推動水岸土地總開發。

高雄環狀輕軌捷運起於凱旋三路與一心路口北側之臺鐵前鎮調車場，沿凱旋路旁之臺鐵臨港線路廊往南佈設輕軌設施，直至凱旋四路南端終點後，右轉進入成功二路續往北行，於成功路與新光路交叉路口沿著海邊路佈設，至新田路、英雄路交叉路口處左轉，利用舊臺鐵路廊，經光榮碼頭跨越愛河至真愛碼頭，進入駁二特

區，至七賢三路口轉臨海二路至捷運橘線 O1（西子灣站）轉乘。路線續佈設於目前為自行車道之臨港線鐵路路廊，往北沿臺鐵園道至美術館，沿美術館路佈設，行經市立聯合醫院後於農十六銜接大順一路，再續沿大順一～三路往東南方向佈設，最後於中正路口西南隅之凱旋公園佈設軌道銜接凱旋二路旁之臺鐵臨港線路廊後，沿路廊接回起點，路線全長約 22.1 公里，預定設置 37 處候車站，詳如附圖 1 所示，其中 C1～C14 路段（含機廠），全長約 8.7 公里，為第一階段工程，C14（不含候車站）～C37～C1（不含候車站）路段（含停車場），全長約 13.4 公里，為第二階段工程。

高雄輕軌車輛系統設計原則

高雄市政府所規劃建設之高雄環狀輕軌捷運，不只是興建輕軌系統，而且是引進高品質符合世界潮流趨勢的新式無架空線輕軌系統，同時車廂採用 100% 低地板設計，方便乘客上下車，可有效解決上下車時，月台高度與車輛地板高度不同之困擾，並且讓行動不便旅客進出車廂更為便捷與舒適。



圖 1 高雄環狀輕軌捷運路線示意圖

輕軌車輛，是輕軌捷運系統中和乘客之間最具有緊密接觸關係的重要單元之一，就乘客而言，很難對行車軌道、供電、號誌及行車控制系統等方面的良劣表示意見，但是他們對整個系統服務品質的評斷幾乎都是經由搭乘車輛的經驗而來，諸如車體外觀、運行速度、可靠度、安全性、座位安排、舒適程度等。

基本上，列車組合、車輛尺寸、列車性能與服務班距及運量需求有關；車輛的重量、長度、高度、寬度、車廂底板距離軌面的高度，及動態包絡線則影響土建淨空、月台長度及高度，以及相關結構物之建造成本；而動力及控制系統、車體材質、車門、轉向架型式、煞車系統、空調系統、車內外噪音量等，則影響營運及維修成本、旅客安全及舒適程度。

列車上配備更包括車外側攝影機、行車紀錄器、列車控制及診斷系統、車內監控系統、符合最新歐規防撞標準、雙氬氣頭尾燈、噴砂裝置、輪緣潤滑設備、偵煙探測器、無線電通訊系統、營運輔助系統、自動收費系統及交通控制系統等。讓高雄輕軌列車運轉過程中，符合安全、舒適的要求，也期盼能成為全台灣輕軌系統的指標。

因此，在輕軌車輛設計中，使用者及營運者方面的考量是非常重要的因素。車輛系統整體由車體、轉向架、車門、空調系統、推進系統、煞車系統、輔助電力系統、照明、列車控制、旅客資訊系統、聯結器等各系統組成，提供旅客一個安全、舒適、便捷的運輸服務。所需的技術包含機械、電機、電子、電腦資訊等方面的知識，作為大眾運輸系統之重要載具，對各項系統、次系統品質的要求將非常嚴格。

車輛系統特色

高雄輕軌所採用車輛（外觀詳圖 2）屬於 CAF 所發展 URBOS 3 系列 100% 低地板車輛，其主要特性如下：

- (1) 車體採流線型設計，外觀結合高雄港都特色，同時搭配沿線建築景觀。
- (2) 全線採用無架空線設計（第一階段），在路線沿線不架設如蜘蛛網般電車線，避免造成視覺衝擊。
- (3) 車體特別加強碰撞與能量吸收設計，即使發生列車追撞，採用車體潰縮變形的吸能裝置係符合歐規（EN）相關規定，以能確保乘客安全。
- (4) 車體與車門採用可耐海島型潮濕氣候之材質，使用壽命至少二十五年。
- (5) 動力來源採用超級電容及輔助電池方式，正常情形，在輕軌列車停靠於候車站上下乘客期間，超級電容利用其快速充電特性，可使超級電容充飽電力，並供行駛至下一車站之動力；但是當遇有不可預期之停車，如塞車、事故等，系統計算超級電容無法運作至下一個車站時，則輔助電池之電力啟動，做為備援動力來源使用，確保輕軌列車動力來源無虞，可順利以降級模式下一個候車站。



圖 2 高雄輕軌車輛外觀圖

- (6) 輕軌列車車長、軸距、輪徑、車速、轉向架特殊設計與配置、肘節式通道之使用，以滿足市街常有的小轉彎半徑要求。
- (7) 輕軌列車設置安全行駛裝置，當輕軌列車駕駛員失能時，經過預設之告警程序後，系統即自動啟動煞車使列車停止，避免造成意外事故。
- (8) 輕軌車輛除具有防止打滑及空轉裝置外，更在煞車時可將煞車動能回收至電車線系統或儲能系統，以節省能源及回收利用，並對環境具備環保功效，可提高節能效率。
- (9) 轉向架設計，除採用電腦分析與應力量測比對外，並特別考慮框架金屬疲勞強度，並且依國際公認標準執行測試，確保長期運轉安全無虞。
- (10) 冷氣系統為頂置式模組設計，可直接吊換維修，節省下線修理時間，提高列車組之可用率。
- (11) 車門如果夾到物體或無法關閉時，列車控制會使車輛無法開動，確保乘客安全。
- (12) 駕駛區與乘客區以塗色玻璃隔離，避免乘客與駕駛人員間相互干擾。
- (13) 車廂內設置輪椅停靠區，並靠近車門位置，可停放輪椅、嬰兒車，方便肢障人員及攜帶嬰兒車之乘客上下車。
- (14) 配合全車低地板之設計，轉向架上牽引馬達設置之位置，採取特殊設計之考量，將凸出地板面之位置盡量縮小，並設計成座位區。
- (15) 駕駛室前端上方設置對外標示目的地之電子點矩陣型式顯示器，於車外 40 m 處清晰可見列車相關資訊。
- (16) 車廂內內部更安裝旅客電子資訊顯示器，可以預告下一站與下兩站之站名，讓乘客及早做下車或轉乘準備。
- (17) 因應需求與彈性之車廂內裝，包括：無障礙環境、空間與設施，通勤及休閒用腳踏車的車上停放方式，以及尖、離峰的載客彈性等。
- (18) 候車站及車上均設置驗票機，讓乘客可自由選則於候車站內或車上進行驗票。

轉向架系統

為了能配合 100% 低地板輕軌車輛，高雄輕軌第一階段車輛所使用之轉向架與傳統之軌道車輛使用之轉向架不同，主要在於傳統軌道車輛轉向架框架上配置

兩組輪對（每一車軸配備兩個車輪，詳圖 3），傳統之軌道車輛轉向架做法，要製造 100% 低地板之車輛，車廂內地板面需採用具坡度及座位區採用踏階之處理方式（圖 4），而高雄輕軌第一階段車輛在每一組轉向架配置四組獨立輪系統（圖 5），在動力轉向架部分，則設置四個牽引馬達分別來驅動四組車輪動作，經由控制系統作牽引馬達間之相互補償，每邊的一對馬達都可由相同的變頻器饋電。

一組完整的轉向架是由一個變流器箱及兩個變頻器供電，使車輪行進時推進動作更流暢及平順，避免造成乘坐時之不舒適感，同時避免車輪及軌道之間過大之磨耗，其牽引控制系統架構詳如圖 6。

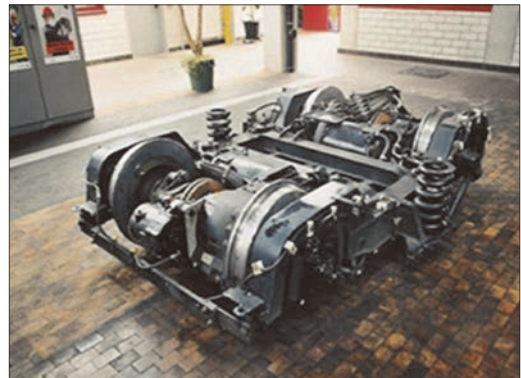


圖 3 傳統軌道車輛轉向架外觀圖



圖 4 傳統轉向架地板處理方式



圖 5 高雄輕軌第一階段車輛轉向架外觀圖

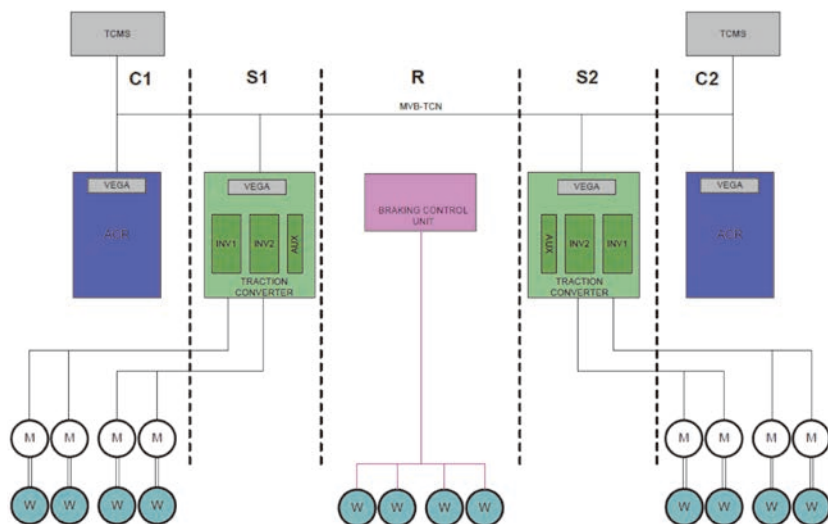


圖 6 牽引控制系統架構圖（參考文獻 1 P45）

牽引設備控制裝置的架構是依據 VEGA 控制平台（Vehicle Electronics for Generic Applications），該平台可支援不同鐵路應用的電子功能性，VEGA 平台的參考應用之一為牽引控制器，包括設定點的功能性，例如牽引轉矩、電動煞車、駕駛模式、感測器讀數、接觸器控制裝置、斷路器、IGBT、變頻器模式調變、整流器模式調變等等。當一個牽引變頻器出現單一故障，電車牽引系統的特定設計可維持 75% 的牽引力。

高雄輕軌第一階段列車兩端車輛配備有動力轉向架，而中間車則由無動力轉向架所支撐。馬達轉向架有四個馬達，以縱向方式與它們的軸裝配在一起，每個都固定在齒輪裝置箱以形成單一組件。該齒輪－馬達組件懸吊於轉向架底架，並由中央數個橡膠彈性組件連結。每個馬達驅動一個齒輪裝置，透過齒形的連結器將牽引轉矩傳遞到輪軸，同時能吸收主懸吊系統的上下相對位移量。

無動力轉向架是根據動力轉向架設計觀念，但是無動力轉向架底架與動力轉向架仍有些許差異，因為無動力轉向架未配置任何馬達，因此次懸吊系統可處於較低的位置，因此降低的地板高度，讓無動力車車廂增加座位配置。此外，設置四個垂直減震器取代傳統轉向架之兩個。

車上儲能系統（ACR）

高雄輕軌第一階段列車之車上儲能系統是列車組上之自我供電系統，系統包括兩個「儲能模組」，該儲能模組是由超級電容及蓄電池所組合而成，對列車提供兩個功能：

- (1) 當列車組單獨運轉時，利用列車煞車產生再生能量，並儲存至儲能模組中，可使系統的效率顯著增加，因為煞車時期間儲存的能量可以供再度使用。
- (2) 作為沿著無架空線的路段行駛列車之動力供應，讓輕軌電車行經路段減少視覺及感官的衝擊，同時避免造成群眾在視覺上有感電之疑慮。

在無架空線路段時，ACR 設備可以供應列車所需要運行的能量，ACR 系統技術在於超級電容器能於短時間完成充電作業和電池的大量能量的儲存能力，具備特殊的特性，能夠透過

使用適當的控制裝置，同時供應和吸收能量。

儲能系統由一系列相關的裝置所組成，包括超級電容器電池以及相關的電池組以形成獨立的超級電容器和電池模組，直到達到所需的容量和能階為止。這種允許裝置間採相互關聯的系統意味著，對於個別特定應達成之效率，以及系統上所建議最佳化解決方案，能達到整體系統所可能達到的最佳化程度，增加系統的效率。

為保證最大的效率和性能，藉由進階混合動力控制從 ACR 控制裝置設備控制 ACR 系統。因此，在無架空線路段，來自輔助變流器和牽引設備的需求情況下，可以確保發電設備間所需的協調。

由於系統與集電弓採用平行連接，ACR 設備在有無架空線運行時都有能力回收煞車能量。超級電容器／電池模組則無法直接與架空線連接；因此，DC/DC 變流器控制允許能量流控制的超級電容器中的能量。這是一個雙向變流器，即它可以回收能量並且執行充



圖 7 高雄輕軌第一階段車輛集電弓

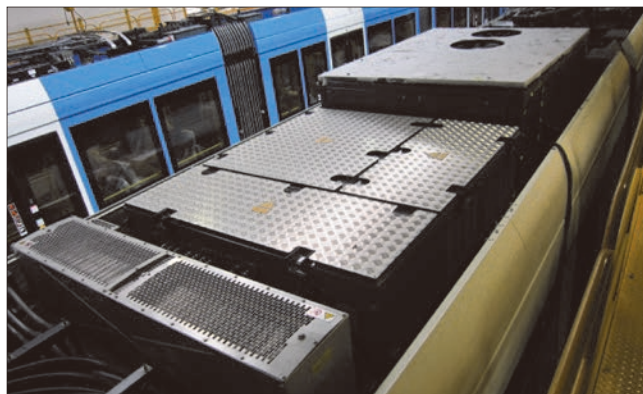


圖 8 儲能系統設備箱

電作業，再將能量供應給列車。超級電容器和電池都無法連接在一起。因此，DC/DC 變流器的設計為一種模組式結構，採用擁有混合動力（hybrid）而可同時使用超級電容器和電池，這意味在使用進階混合動力控制邏輯上，能在能量和電源間取得最佳化安排。

煞車系統

高雄輕軌第一階段車輛列車所使用之煞車系統，依其特性主要分為電氣及機械煞車，其功能及基本運作模式敘述如下。

電氣煞車：是高雄輕軌列車所使用之常用煞車，運作過程中所產生之電能，系統將回收的煞車電能饋電回架空線，以使其他來回運行的電車可以使用該電力。當架空線無法回收電能時，相關電能將會回收至 ACR 中，當前兩種方式均無法回收電能時，則會在輕軌車輛上的煞車電阻器中減損。這些電阻器的尺寸經過選擇以進行恆久式電阻煞車。

機械式煞車：當電氣煞車不能提供完整的煞車作用力需求時，煞車碟上的摩擦煞車可補充動力煞車。摩擦煞車在至少三個連續緊急煞車期間也會維持整個緊急煞車的要求。

高雄輕軌列車於動力轉向架及無動力轉向架所使用之煞車方式有所差異。動力轉向架煞車由三種類型的煞車組成：(1) 電子動力再生式煞車、(2) 液壓控制摩擦式煞車、(3) 電磁軌道煞車。無動力轉向架煞車由兩種類型的煞車組成：(1) 液壓控制摩擦式煞車、(2) 電磁軌道煞車。

常用煞車則由駕駛利用非緊急煞車的其他控制器操作的正常煞車，煞車過程中採用混合剎車策略，常用煞車主要由電氣煞車（優先）及視情況所需的機械式煞車所提供。

車輛主要參數

項目	型式	項目	型式
車輛型式	鋼輪鋼軌	電壓	750 VDC
軌距	1435 mm	主要供電方式	超級電容 (ACR)
列車組成	C1+S1+R+S2+C2	載客量	250 人
列車長度	34 m	最高速率	50 km/h
車輛寬度	2650 mm	車體材質	鋁合金
車輛高度	3.6 m	最大軸重	13 噸
車間通道	1.4 m	牽引馬達	3 相交流馬達
車內高度	2 m	推進控制	變壓變頻 VVVF
入口地板高度	軌道面 35 cm	最大爬坡力	6%
車門寬度	1300 mm	最大加速度	1.3 m/s ²
車門數量	每側 4 組	最大減速率	1.5 m/s ²
與直線段月台間隙	不超過 50 mm	與曲線段月台間隙	不超過 75 mm

註：C 為動力車，R 為非動力車，S 為無轉向架車廂

結語

「水」與「綠」自古為人類生活發跡的源頭，藉由水域與大地植物的富饒資源成為人類與自然合一，圖求永續生存的關鍵元素。大高雄地區是一個有山有水的海港城市，「水」與「綠」不僅是這座城市的重要資產更是這個城市是否文明的重要指標。

高雄環狀輕軌系統將帶領高雄成為提供市民及遊客友善環境之大都會都市，不僅僅輕軌系統是綠色環保的運輸方式，且高雄輕軌所採用無架空線之系統將是全世界第一條採用全線無架空線系統建造之城市，依照系統設計，將能夠大大減少二氧化碳的排放，為節能減碳做一良好示範。

美學和風格的考量上，高雄輕軌第一階段車輛之設計由統包商邀請在鐵路和交通系統設計素有的聲譽和經驗 Animax 及 Giugiaro 設計公司合作。車輛設計以簡潔外型配合流線型表面，使車輛呈現出大膽、現代化及高效率的外觀，提供更細膩及高雅的造型。車體兩側色系簡單明確的線條，在動態中呈現出細緻的外觀。

在車廂內部及駕駛室空間的利用和控制上考慮到人性化配置，目的是在車門平順開關的設計及貫通列車組的車廂動線，能提供給乘客可以快速的進出車廂，及在車廂內移動時有一個愉悅的環境。

車體上採用大面的玻璃區域，車體有很大的比例是設玻璃窗和玻璃門，增強內部從外部採自然光的感覺，寬廣的玻璃區域，此可讓不論是坐著或站著的乘客都可以好好享受他們的旅程，特別是在車站上內有一個清楚的資訊展示可提供資訊。

參考文獻

1. 高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程車輛系統設計文件（2014）。
2. 交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範（2012）。
3. 高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程機電系統功能規範第二章車輛系統功能規範（2012）。 



臺中捷運綠線之特色與施工創新

陳俊宏／臺北市捷運工程局中區工程處 代理處長

李立渠／臺北市捷運工程局中區工程處土木第二工務所 副工程司

公共建設是國家經濟持續發展及提高國民水準的重要動力，但隨時代變遷及伴隨都市發展日趨成熟，都市人口密度及產業鏈集中效應，汽機車運具大量使用造成城市擁擠及交通空氣汙染問題，因而促使「人本、優質與永續」為理念之公共工程頗受重視。

軌道運輸具有準時、班次密集、車行速度快、運量高等特性，可有效改善都會區交通擁塞及空氣汙染等問題，由於軌道工程對都會生活型態與品質有直接深層影響，都會區周遭衛星城市及土地環境發展亦將隨之改變，商圈與地價變化更直接影響政府相關財政稅收，故各地方政府無不積極爭取及規劃各項軌道運輸政策，因而成為國家 2017 年度推動前瞻計畫之重大公共建設基礎。本篇係介紹臺中捷運系統烏日文心北屯線（綠線）之規劃設計特色及施工的創新，以提供爾後各縣市規劃軌道建設之參考。

臺中捷運系統烏日文心北屯線建設計畫概況

臺中都會區為臺灣南來北往來最重要樞紐，擁有中部科學園區、臺中港、臺中國際機場、10 幾所大專院校，更有科博館、美術館、歌劇院、秋紅谷、洲際棒球場、柳川水景、一中商圈、逢甲商圈及多家百貨公司，亦含括大坑與都會公園等著名風景區等旅遊及觀光景點，加上房地產在中部地區具磁吸效應，為臨近縣市就學、就業、投資首選，促使臺中市朝向兼具文化、藝術、科技、產業、學術、體育、人文、音樂等多面向發展之城市。

「臺中都會區大眾捷運系統規劃」於民國 79 年即已辦理，整體路網共 69.3 公里。然鑒於高速鐵路已營運通車及衡酌臺中都會區之整體運輸需求發展，原則採分期興建方式辦理，依「臺中都會區大眾捷運系統優先路線規劃」建議優先興建由高鐵臺中站至臺中市北屯之捷運綠線，於 93 年 11 月 23 日奉行政院核定。計畫工程建設總經費及建設期程等經重新檢討，於 98 年 5 月 13 日奉行政院核定。

本計畫於 97 年 9 月 1 日決議由交通部委託臺北

市政府辦理後續設計施工事項及協助場站土地開發事宜。交通部、臺北市府及臺中市政府於 97 年 11 月 15 日完成簽署「臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫」建設與營運三方協議書。

臺中捷運烏日文心北屯線全長約 16.71 公里，其中高架段約 15.94 公里，地面段約 0.77 公里，東起北屯區松竹路二號橋附近，沿松竹路西行經北屯路、文心路、建國北路、環中路、中彰快速道路，最後至高鐵臺中站區，行經區域橫跨臺中市北屯區、北區、西屯區、南屯區、南區以及烏日區等 6 個行政區，沿線設置共計 18 座車站，並於北屯設置 1 座佔地約 19.5 公頃的維修機廠。其中烏日站、大慶站及松竹站為與台鐵之轉乘站，烏日站則是三鐵轉乘站。烏日文心北屯線核定路線、位置及車站暫定名稱如圖 1 及表 1。

全線有三處橫跨路段分別為跨越筏子溪施築桁架式鋼橋梁、跨越環中高架橋、跨越麻園頭溪溪濱公園（土庫溪、楓樹腳溪）。各廠站土建工程自 98 年 10 月 8 日起陸續開工動土，目前已完成主體結構工程，而全線軌道於 106 年 5 月 31 日鋪設完成，目前已進行機電系統安裝測試及建築裝修工程。



圖 1 臺中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線核定路線示意圖

表 1 車站中英文一覽表（暫定）

	中文	英文		中文	英文
G0	北屯總站	Beitun Main Station	G10	永安公園	Shueian Park
G3	交通大樓	Transportation Bureau Building	G10a	文心森林公園	Wunsin Forest Park
G4	松竹火車站	Songzihu Station	G11	五權西文心	Wucyuan W.Wunsin
G5	四維國小	Sihwei Elementary School	G12	豐樂公園	Fongle Park
G6	崇德文心	Chongde Wunsin	G13	大慶火車站	Dacing Station
G7	中清文心	Zhongqing Wunsin	G14	九張犁	Jioujhangli
G8	文華高中	Wenhua Senior High School	G15	九德	Jioude
G8a	櫻花文心	Yinghua Wunsin	G16	烏日	Wurih
G9	台中市政府	Taichung City Hall	G17	台中高鐵站	Taichung HSR Station

本計畫採用中高運量運輸系統，並以高架方式構建穿越市區道路之專用路廊，高架橋下部結構採井式基礎或樁基礎施工，上部結構則採U型 RC 預鑄梁吊裝、鋼箱型梁吊裝、場鑄大U梁或懸臂工法橋施工。完工後預估載客量可容納 536 人，平均營運時速為 35 公里，最大時速為 70 公里，採全自動無人駕駛。預定 107 年試運轉，109 年 12 月正式通車營運。

車站規劃設計

設計概念：迅捷綠軸、樂活臺中

臺中捷運綠線全線 18 個車站，為呼應臺中市『創意城市』之願景，以二儀初始形式，連接市鎮與城郊、自然與人文、國際品牌與在地特色，串接大臺中原有豐

富生態資源及多樣藝文活動空間，並以前瞻、實用、創意之設計原則，打造區域交通新動脈，將自然、人文、科技的都會特質，表徵在沿線的繁華萬象，開啟「迅捷綠軸、樂活臺中」的新捷運時代。（圖 2）

車站建築設計原則：輕、簡、透

都會區採高架型式之捷運系統，雖其造價及工期皆較為優勢，然對景觀之衝擊則較大，為降低對視覺環境之影響，站體以輕、簡、透之原則設計（詳圖 3）：

- 1.輕巧美觀之量體結構：以設計經濟化、建材系統化、量體通透及輔以綠化等方式，使站體趨近輕巧，同時減低視覺影響並提供站內外舒適之微氣候條件。
- 2.簡潔明快之外觀造型：於出入口站、車站、站體下方、連通道，採取相近之簡潔設計語彙以及通風的



圖 2 臺中捷運烏日文心北屯線全線線貌設定

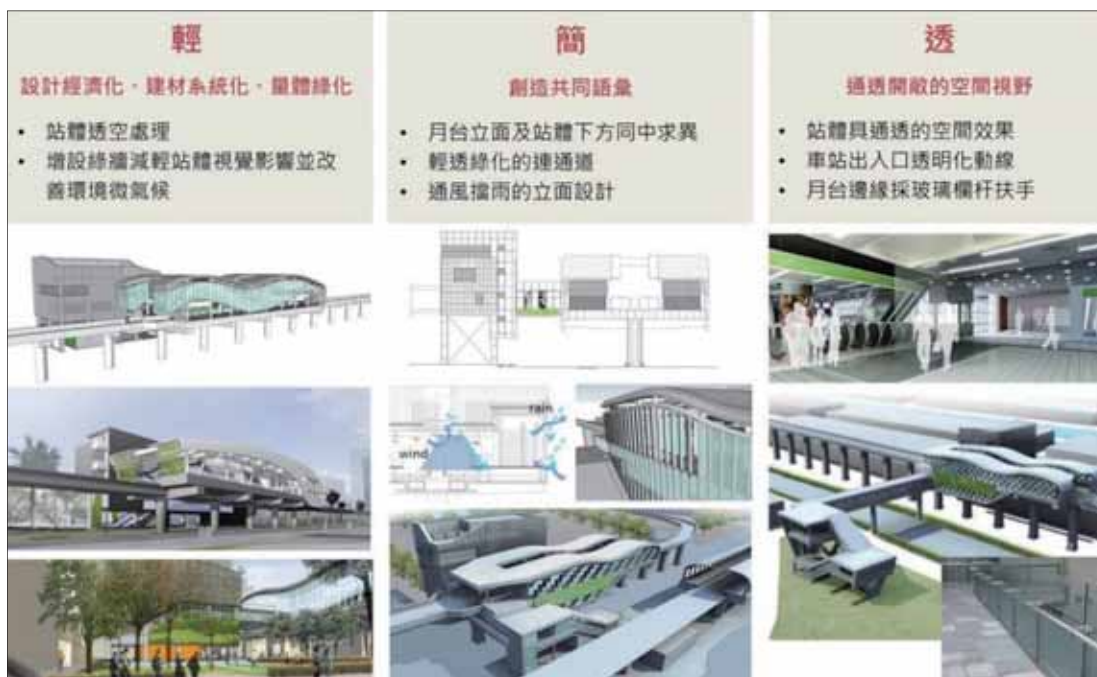


圖 3 全線車站造型設計原則

立面設計，形塑明快之大眾運輸風格。

3. 通透開敞之空間視野：強化所有內部公共空間及動線系統之視覺開放性，以及站體內外之視覺穿透，避免視線障礙及空間死角，有助於提升公共運輸效率與安全，並精簡後續維護管理成本。

車站之建築型式與風貌：

在建築風貌設計上，兼採各站依循共通原則，以及納入各站地域特色的方式，打造具臺中特色、展現

高度自明性之城市運輸系統（詳圖 4 至圖 6）。

1. 機廠：「水岸田園風光」、
2. G3～G9 車站：「流動交織城市綠洲」
3. G10～17 車站：「舞動城市彩帶」

對各站體設定不同之意象，發展「同中求異」之異質部分。各站則依循「輕、簡、透的車站造型設計原則」、「整合性視覺識別系統及標誌系統」以及「整合性公共藝術設置計畫」等共通原則，建構臺中捷運「異中求同」整體形象。



圖 4 以水岸田園風光之概念設計

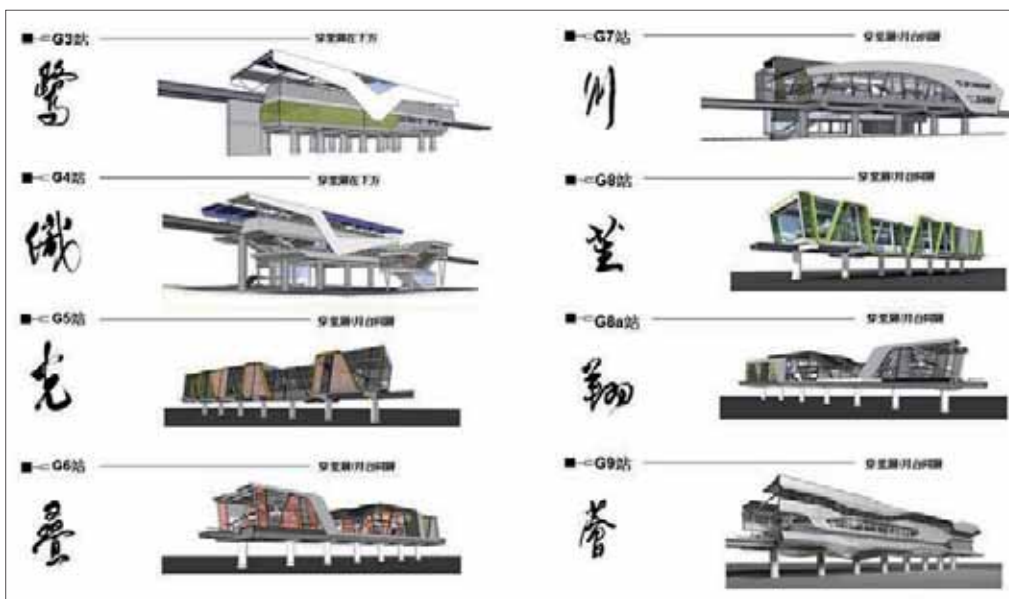


圖 5 各車站以「驚」、「織」、「光」、「疊」、「川」、「笙」、「翔」、「薈」為流動交織城市綠洲設計概念



圖 6 以「舞動的城市彩帶」為設計概念

車站量體形式：不同站體環境之旅客動線考量

臺中高架系統捷運為因應與城市中其他交通設施，採取不同高程之設計，因而形成不同的進出站方式，也成為決定車站量體主要形式的關鍵。乘客進站穿堂層與月台層兩者彼此不同的關係，可簡單歸納為四種型式（詳表 2）：

1. 穿堂層與月台層同樓層：軌道高度與乘客進站高度相當，屬直接進入月台型式，車站量體高度較低，造型上以雙起伏曲線包覆雙層構架方式處理。
2. 穿堂層在下月台層在上：軌道需跨越環中快速道路，配合定線拉高，乘客進站後須向上至上方月台層。車站量體高度變大，造型上以較寬的雙起伏曲線向下延伸包覆站體構架。
3. 穿堂層在上月台層在下：因而此兩站屬於進站後需往下至下方月台層的車站型式，車站量體較為扁平，皆以單曲線條表現。
4. 地面站：外觀型式與其他車站迥異，機能上滿足與機廠及高鐵場站連通之需求。

高架橋樑結構設計

- (1) 結構梁柱：高架段約 15.94 公里，上構部分主要係以 U 型梁為主，為因應路口之長跨距，除增長 U 型梁為 27 公尺外，另再加長兩端各 5 公尺之帽梁長度，故最常可跨 37 公尺之路口，相關之高架段之結構型式及數量如表 3 所示。
- (2) 軌道設計：捷運系統主要之交通噪音振動來源如圖 7 所示，為因應捷運兩側太靠近民宅，列車行駛之噪音振動影響路線週遭居民之生活品質。故以隔音牆與軌道作為減噪制振之防治措施，軌道轉彎段除採浮動式道床外，並於主線上之道岔均設置可動式岔心，由於傳統式道岔之固定式岔心會因軌道轉換需求而造成軌距線不連續，使得車輛之車輪撞擊鋼軌而產生噪音及振動，而可動式岔心處之鋼軌會配合車輛行駛方向可左右擺動，使軌距線連續而不會有噪音振動問題產生（岔心型式如圖 8，9，10 及 11 所示），全線軌道之型式及數量如圖 12 所示。

表 2 車站與月臺之型式

	車站大小	車站型式		車站大小	車站型式
G0	站體長 195M，寬 43.8M，高 13.5M，為一地面車站	側式月台，月台與穿堂層同層，PAO 月台層，出入口為地面層	G10	站體長 67.2M，寬 22.8M，地面至月台層 10.9M	側式月台，月台層在下，出入口為 4 層樓
G3	站體長 79M，寬 23.9M，地面至月台層 8.95M	側式月台，穿堂層在下，與行政大樓共構，4 層樓	G10a	站體長 84M，寬 22.8M，地面至月台層 12.2M	側式月台，月台層在下，出入口為 4 層樓
G4	站體長約 72.3M，寬 24.5M，地面至月台層 19.55M	側式月台，穿堂層在下，出入口為 6 層樓	G11	站體長 84M，寬約 22.8M，地面至月台層 12.2M	側式月台，月台層在下，與土開大樓共構，出入口為 4 層樓
G5	站體長 107.2M，寬約 23.3M，地面至月台層 11.50M	側式月台，月台層在下，與土開大樓共構，出入口為 3 層樓	G12	站體 67.2M，寬 22.8M，地面至月台層 11.7M	側式月台，月台層在下，與土開大樓共構，出入口為 4 層樓
G6	站體長 101.6M，寬 23.3M，高 24.625M，地面至月台層 11.20M	側式月台，月台與在下，與土開大樓共構，出入口為 3 層樓	G13	站體長 67.2M，寬 32.6M，地面至月台層 15.4M	側式月台，穿堂層在下，出入口為 4 層樓
G7	站體長 74.5M，寬約 24.1M，地面至月台層 12.07M	側式月台，穿堂層在下，出入口為 5 層樓	G14	站體長 67.2M，寬 23.2M，地面至月台層 19.4M	側式月台，穿堂層在下，出入口為 4 層樓
G8	站體長 107.2M，寬 23.3M，地面至月台層 11.80M	側式月台，月台層在下，與土開大樓共構，出入口為 3 層樓	G15	站體長 67.2M，寬 23.2M，地面至月台層 17.2M	側式月台，穿堂層在下，出入口為 4 層樓
G8a	站體長 101.6M，寬 23.3M，地面至月台層 11.81M	側式月台，月台層在下，與土開大樓共構，出入口為 3 層樓	G16	站體長 67.2M，寬 26.2M，地面至月台層 9.2M	側式月台，月台層在下，出入口為 4 層樓
G9	站體長 118.6M，寬 26.9M，地面至月台層 13.3M	側式月台，月台層在下，與土開大樓共構，出入口為 3 層樓	G17	站體長 170.6M，寬 18.3M，地面至月台層 2.5M	地面島式月台，月台層在下，出入口為 2 層樓

表 3 高架段結構型式及數量

結構型式 (數量)						
鋼墩柱 (支)	RC 柱 (支)	鋼箱梁 (跨)	場鑄 箱型梁 (跨)	場鑄 U 型梁 (跨)	預鑄 U 型梁 (跨)	懸臂工法 橋梁 (跨)
144	447	鋼橋 149 桁架橋 1	19	16	317	27

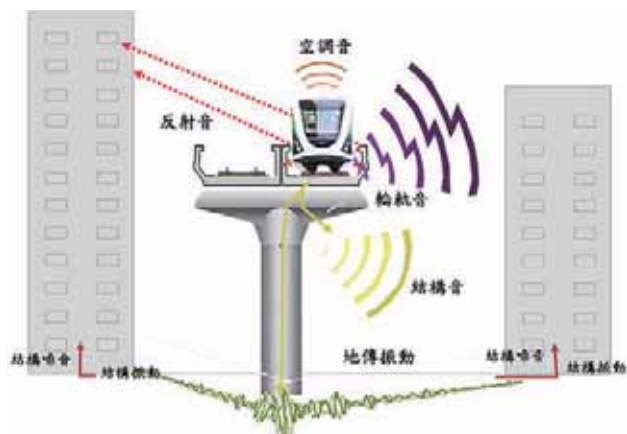


圖 7 捷運系統交通噪音來源



圖 8 軌道可動式岔心



圖 9 整體錳鋼岔心



圖 10 堅心錳鋼岔心



圖 11 半焊接式岔心

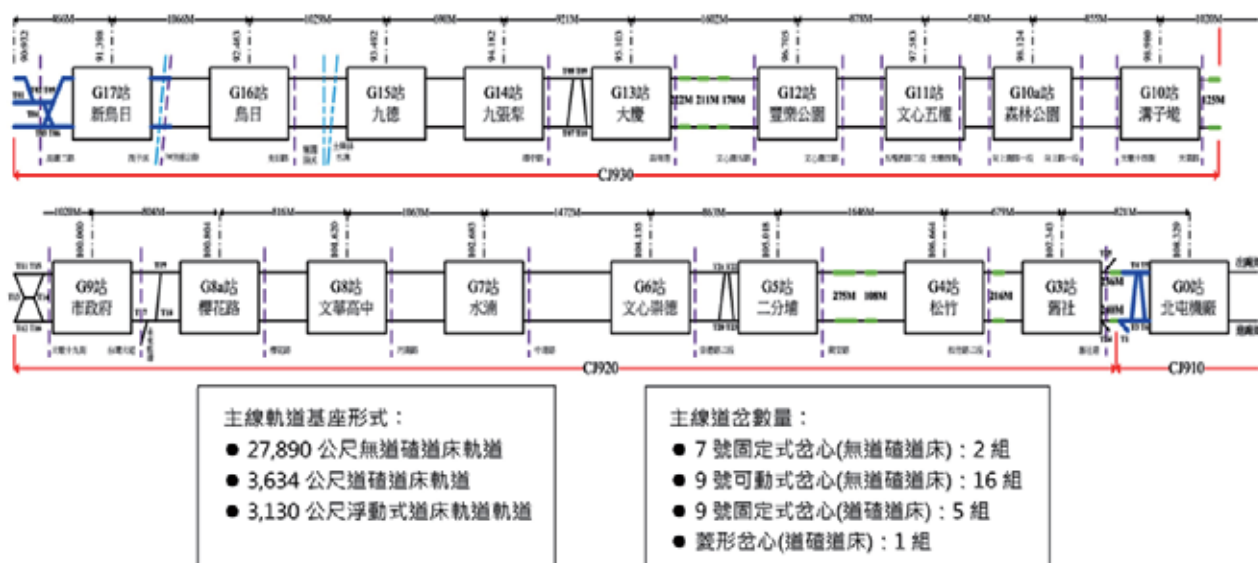


圖 12 高架段軌道型式及數量

- (3) 隔音牆設計：捷運系統外部音量係以機電系統車輛外部音量驗收條件下之最大音量為基礎，再依據各路段軌道型式、線形、營運車速及土建設計成果等進行修正，採 CadnaA 軟體進行模擬，並使用地形數值圖建置路線兩側 100 m 範圍以內之三維聲場模型，針對其中不同高度之建物及敏感受體代表點，計算捷運通車後各時段「均能音量」(Leq, hr) 及「最大音量」(Lmax)，分別評定是否超出所屬管制標準，以作為隔音(吸)設施設計之參考。隔音牆依評估結果計分為直立式隔音牆 (h = 2.5m)；雙弧型隔音牆之開口 2 m、開口 4 m 及開口 6 m 等四種；牆板材質則分透明 PC 隔音板、及金屬沖孔隔吸音板(含岩棉)兩種，全線隔音牆總共 10,613 公尺長(詳圖 13)。

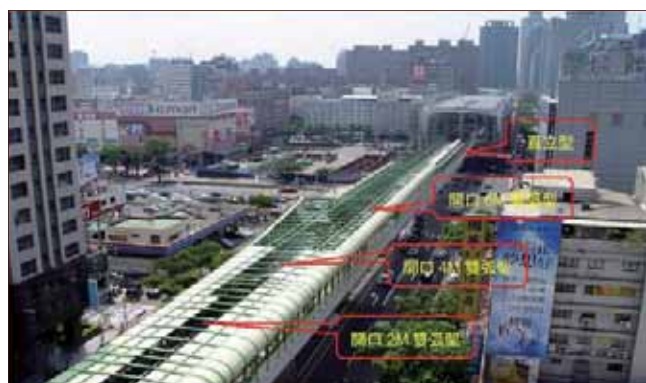


圖 13 隔音牆型式

創新與精進工法

井式基礎工法

井式基礎工法施作流程一般可區分為開挖、擋土壁體與結構體施作三大階段，惟因該項工法若依傳統施作方式，其擋土壁體係採環型鋼肋梁、鋼線網、噴凝土搭配施作，由於噴凝土緻密性略顯不佳，將致施工中之影響變數如滲水、坍塌、管湧等機率將大幅提昇，增添施工困難性，且施工過程產生噪音與大量粉塵，皆易引發工區周圍市民負面觀感與反彈聲浪；憑藉過往捷運地下段之潛盾施工經驗啟發聯想創意，將原噴凝土壁體規劃調整為鋼套環搭配鋼線網之場鑄方式，製成標準化、規格化、系統化之場鑄混凝土套環，利用薄壁圓筒均勻受壓之力學原理，以鋼套環提供臨時擋土及灌漿內模，安裝鋼絲網後，再利用泵浦車將套環與開挖面間澆置背填混凝土，週而復始達預定深度，施工特性類似建築工程之逆打工法，此修正工法亦使施工工區之噪音與揚塵獲顯著解決。(施作流程詳圖 14)

兼具施工安全與防護之懸臂施工平台

一般建築物的外牆裝修作業，通常必須搭設鷹架提供施工通路，或者將外牆設計成帷幕牆形式採吊裝方式施作，但是捷運高架車站因為大都座落於市區道路上



圖 14 井基施作流程



圖 15 懸臂施工平台施作流程



圖 16 懸臂施工平台 G7 站應用案例

方，搭設鷹架必須長期佔用道路，所以在交通繁忙的市區施工，將無法通過交通維持計畫的審核，使用吊車安裝則必須利用深夜封路施工。然而吊裝作業施工風險高，加上夜間視線不良、可用工時短，更增加施工危險且影響工程品質，再者，封路施工造成民眾的不便，施工噪音更衍生居民客訴陳情，以上種種不利因子皆有持克服。為改善傳統施工方式所衍生的問題，施工團隊充分發揮創意巧思，設計出懸臂式施工平台方案，其中最關鍵的吊掛構件設計成「夾具」型式，採吊夾固定於車站鋼梁翼板上，不會破壞車站鋼構本體，施工平台的承重骨架採用高拉力螺栓組裝鎖固，更可確保組裝品質及結構強度要求。（詳圖 15 及 16）

結語：優質捷運、永續發展

臺中捷運烏日文心北屯線為臺中首條捷運工程，並委由臺北市捷運工程局中區工程處代辦施工，計畫工期雖至 111 年，但在施工團隊之努力下，一步一腳印克服工程困難，期間縱然曾因過程未周全而遭受挫折，

仍一本堅忍、沉著以對，該路段預計於 107 年達成試運轉使命；希冀藉由臺中首條捷運路線，行銷臺北市捷運工程局之專業能力，提升公共工程施工品質之能見度，增進臺中市民對於捷運建設的信心與支持。

通車營運後將可提高高鐵臺中站區聯交通及轉乘服務功能，促使臺中地區民眾使用高鐵輪更為便利，同時亦為臺中都會區運輸走廊重要之運系統，可紓解繁忙之市區交通問題。尤其在舊城區柳川整治，臺鐵高架化縫合市地阻隔後，更將於 107 年舉辦世界級的臺中國際花卉博覽會，預期將為臺中市帶來相當可觀的國際觀光人潮與商業熱潮，對於城市知名度與商業活絡更是一大助益，高鐵目前已是臺灣西部重要走廊，烏日文心北屯線建設計畫可使臺中市與臺灣其他城市快速連結，將臺中腹地進一步擴及臺灣大西部。並帶動區域與產發展，提供民眾便捷之運輸服務。另考量臺中地區民眾對於捷運路線延伸的殷切期盼，及為配合整體大眾運輸路網興建時程，後續路網將大坑風景區與彰化市納入延伸路線之規劃。



環狀線 CF650 標 於狹窄道路處 高架橋及車站設計及施工規劃

陳耀維／台北市政府捷運工程局 副局長

劉嘉哲／台灣世曦工程顧問股份有限公司捷運工程部 計畫經理

臺北都會區捷運系統中已營運之捷運路線多為輻射狀佈設，須有「環狀路線」將其結合成完備之捷運路網，位於新北市中永和區環狀線 CF650 標為臺北捷運環狀線之第一階段工程內三個施工標中最艱困之重要高架工程。

本計畫捷運路線後段自 Y11 車站起至 Y13 車站間所在之道路寬度狹窄，如中山路約 24 m 寬、板南路約 20 m 寬等，且道路上交通繁忙、路面下管線密佈。若採一般高架捷運側式月台或島式月台車站型式佈設，因側式月台車站寬度約為 20 ~ 22 m 幾乎佔滿道路，嚴重衝擊都市景觀及影響兩側鄰房隱私權、日照權等居住品質，因此本計畫規劃於中山路及板南路三座高架捷運車站為「疊式月台」之型式，而連接車站間之高架橋為疊式高架橋型式，疊式線形全長計約 2.61 公里。

疊式線形雖已於臺北捷運中和線之潛盾隧道及地下車站採用，然於國內捷運軌道工程採疊式高架橋及高架疊式月台車站為首次採用之技術。由於配合疊式線形架橋結構型式從兩側式軌道轉換成兩疊式軌道之轉換區，每支橋墩變化型式皆不同，設計十分複雜，加以於板南路中正路路口，疊式高架橋必須斜向跨越八里新店高架橋（後續文簡稱台 64 線高架橋），致使工程更加艱鉅，因此於設計階段邀請各專業廠商討論，並將規劃施工方式反映於設計圖及工程費用中，使得施工廠商能迅速了解工程狀況，如期如質達成預期目標。

計畫工程範圍及特性

捷運環狀線 CF650 標（後續文簡稱為本計畫）為臺北捷運環狀線第一階段三施工標之重要一標，分別與既有營運之中和線，以及未來萬大線、南北線連接，如圖 1 所示。

本計畫工程範圍起自中和市景平路秀朗橋端之 Y8 車站，路線向西沿景平路、中山路、板南路、中正路，轉入板橋市板新路，止於板新路與中山路口之 Y14 車站，全長約 6.3 公里，包括高架橋及 Y8 ~ Y14 等七座高架車站，以及 Y10 車站至 Y11 車站間剪式橫渡線等工程，並於 Y8 車站、Y10 車站、Y11 車站分別與南北線 Y44 車站、中和線景安站及萬大線 LG06 車站連接。

本計畫後半段路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約 24 m 寬、板南路約 20 m 寬等，若依一

般高架捷運車站型式佈設，因車站寬度約為 20 ~ 22 m，幾乎佔滿道路，嚴重衝擊都市景觀及影響兩側鄰房居住品質，此外道路上交通繁忙、路面下管線密佈，亦須跨越台 64 線高架橋及緊貼台 64 線中和一匝道等亦造成本工程施作之困難，狹窄道路須克服工程挑戰如圖 2 所示，因而設計階段引入許多設計創新元素，並思考如何解決許多現場施工挑戰為設計重要課題。

基設規劃評估

臺北市政府捷運局頒布之基本設計係將車站穿堂層及機房空間規劃於道路上方，並採側式月台車站，車站寬度約 20 ~ 22 m，而於道路寬度較狹窄之中山路（路寬 24 m）、板南路（路寬 20 m）共設置 3 個高架車站（Y11 ~ Y13 站），站體兩側與建築線間距離僅有 0 ~ 1 m，如圖 3 所示。



圖 1 環狀線 CF650 標與中和線、萬大線、南北線連接圖



圖 2 環狀線 CF650 標狹窄道路工程範圍

設計階段評估龐大量體之側式月台車站，除嚴重衝擊都市景觀並造成都市空間緊張與壓迫感外，亦產生下列問題：

1. 依【大眾捷運系統兩側禁限建辦法】規定：「高架段之路線及車站：水平方向為自捷運設施結構體外緣

起算向外六公尺以內，垂直方向為自地面起算向上至捷運設施或行車安全之最小淨空以內，其有屋頂者則向上至屋頂結構上緣以內，兩者所形成之封閉區域均屬禁建範圍」；未來兩側鄰房改建時，需退縮至少 5 m ~ 6 m，影響未來週邊開發權益甚大。

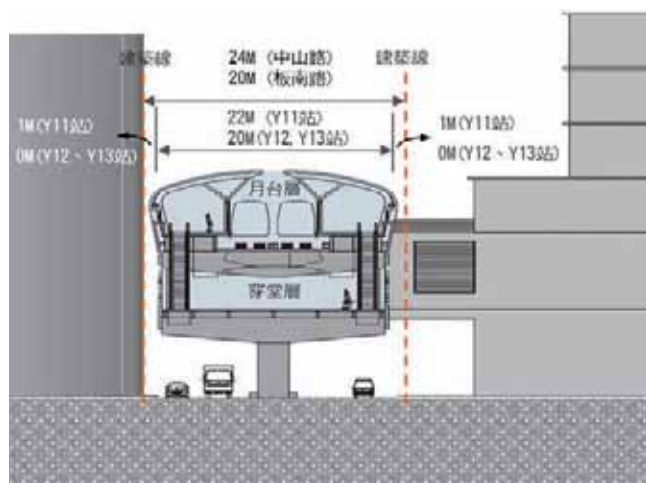


圖 3 側式月台車站型式

2. 雖車站旁大樓消防救災首先須藉大樓自身設備外，但周遭環境亦須檢視是否有滿足內政部「劃設消防車輛救災活動空間指導原則」規定：【供雲梯消防車救災活動之空間需求如下：1. 長寬尺寸：六層以上未達十層之建築物，應為寬六公尺、長十五公尺以上；十層以上建築物，應為寬八公尺、長二十公尺以上】。
3. 對周圍建物有日照、噪音、私密性等衝擊。

疊式月台高架車站設計構想

為解決上述問題須將 Y11、Y12、Y13 車站進行瘦身評估，參考臺北捷運中和線頂溪、永安市場及景安等地下車站，將 Y11、Y12、Y13 車站採全國首創「疊式月台」高架車站方式設計，此可

減少車站寬度至 9 m，使車站與建築線之間的距離加大到 6 ~ 7.5 m，如圖 4 所示。

設計規劃為道路上方僅保留月台及軌道寬度約 9 m 的疊式月台車站，至於穿堂層與機房層則移至路外出入口基地。疊式月台車站設計方式係將原兩平行並排之軌道，將一條軌道下移至穿堂層高度，另一條軌道則高度維持不變，原穿堂層則移至路外基地，故車站原高度不變，但車站量體大幅縮減，如圖 5 說明。

疊式月台分為上層月台與下層月台，兩月台高程相差 7.7 m，如圖 6 所示，月台長度仍維持 80 m，月台頭尾兩端配置空調機房與緊急樓梯，兩月台間以樓梯、電梯及電扶梯連通。在車站造型的設計上，以「輕」、「簡」、「透」為設計目標，避免過大量體或過多裝飾的設計，增加都市的壓迫性。在車站外型設計上，因考量與鄰房距離過近，避免車站噪音影響擾鄰，外牆盡量以包覆方式隔絕站內噪音。

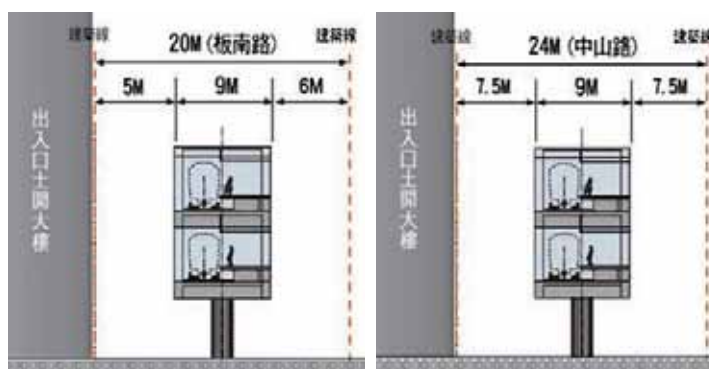


圖 4 疊式月台高架車站配置橫剖面圖

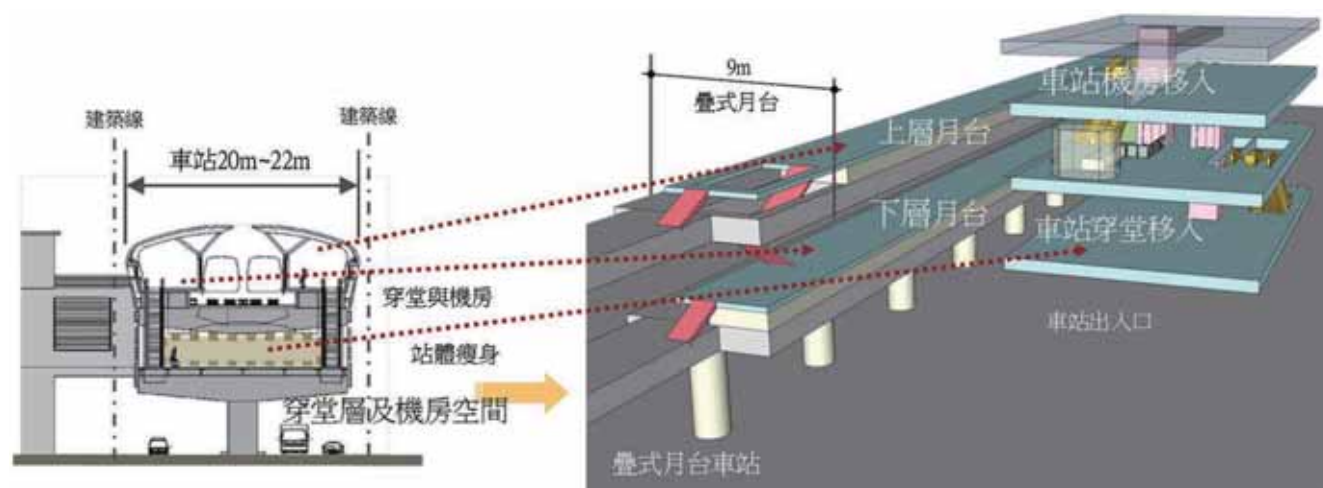


圖 5 疊式月台高架車站空間配置說明

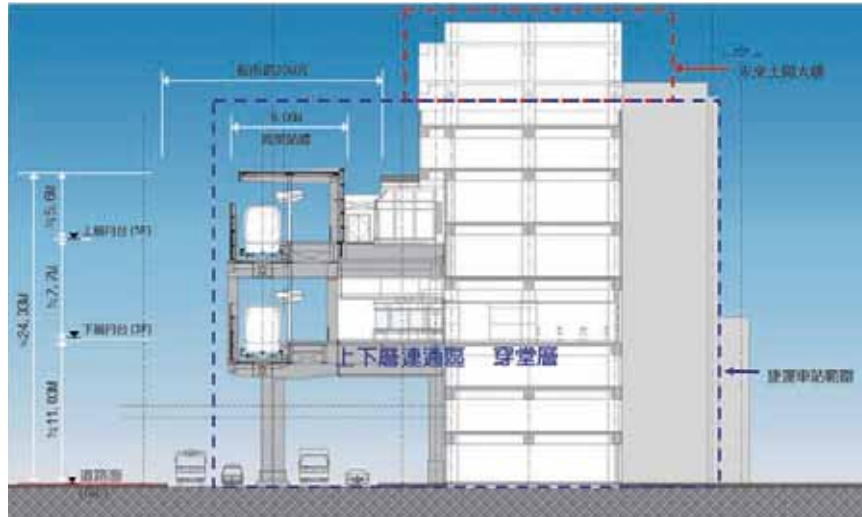


圖 6 疊式月台高架車站剖面圖

站體結構以「倒 Y」型鋼柱作為整體車站造型之一部份，如圖 7 所示。疊式高架車站之質量、勁度分佈不

均勻，採三維分析模式進行設計，並以 BIM TEKLA 模型及 SAP 結構模型進行車站結構設計轉換，如圖 8 所示。



圖 7 疊式月台高架車站結構透視圖及照片

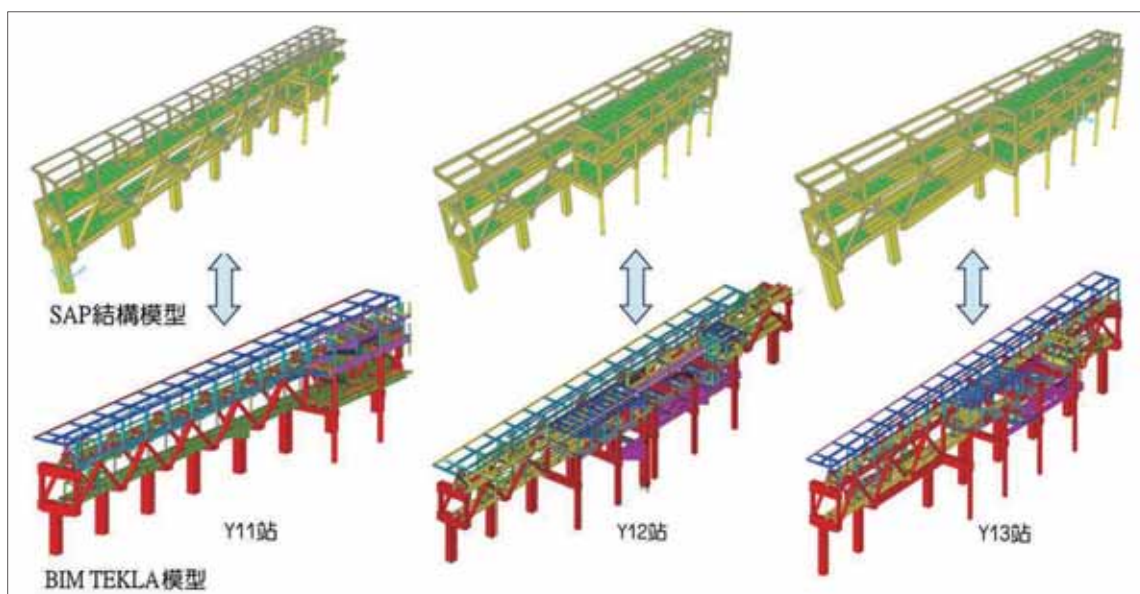


圖 8 疊式月台高架車站結構 SAP 結構模型及 BIM TEKLA 模型

疊式線形轉換區設計

配合疊式月台高架車站須規劃設計疊式線形路線，除須考慮現有道路特性以及系統機電之線形規範要求（如圖 9 所示），側式線形轉為疊式線形之轉換區說明如下：

Y11 車站前轉換區線形規劃

1. Y11 站前 440 m 之景平路上橫渡線結束處開始進行轉換，為確保兩軌間之寬度能足夠上、下軌脫離同一高程轉換為單軌之疊式橋梁，兩軌中心距離須由 4,150 mm 增加至 5,000 mm。
2. 上行線（下部軌道線形）以 2.746% 坡度緩降，並控制高架橋帽梁下之道路至少有 5.1 m 之車行淨高；另下行線（上部軌道線形）則以 3.0 % 坡度爬升，並待上行線（下部軌道線形）軌頂高程距離下行線（上部軌道線形）軌道梁底部已充足提供列車行車安全淨高時（本計畫採 5.2 m），再調整上、下行軌道之平面線形使之成為疊式線形後再以半徑 45 公尺之曲線由景平路進入中山路上 Y11 車站，如圖 9 所示，此符合系統機電之線形規範最小平面曲率半徑要求。

Y13 車站後轉換區線形規劃

1. 出 Y13 站後即須斜交跨越中正路台 64 線高架橋，跨越台 64 線高架橋處之下軌（上行線）高程設計須考量高架道路車行淨高 5.1 m、新建之捷運高架橋梁深、軌面基座高度。
2. 斜交跨越中正路台 64 線高架橋後（Y13 站後約 + 300），下行線（上部軌道線形）以 3.072% 坡度下降，上行線（下部軌道線形）維持一定坡度，兩軌中心距離由 5,000 mm 縮減至 4,150 mm。於 Y13 站後約 1 + 086 轉回側式配置，轉換區總長約 786 m。

上述設計規劃疊式線形與原基設線形縱坡比較，如圖 10 所示，最大線形縱坡為 4.48%，其仍符合機電系統之線形規範最大線形縱坡 5.5% 要求。

疊式高架橋設計

配合「疊式車站」及「疊式線形」之佈設，高架橋亦須採「疊式高架橋」設計，為能使雙向之軌道梁維持不同高程上、下疊放，且又必須確保下層軌道上之行駛列車有足夠之動態包絡空間，加以捷運路線通



圖 9 疊式線形以半徑 45 公尺之曲線進入 Y11 車站

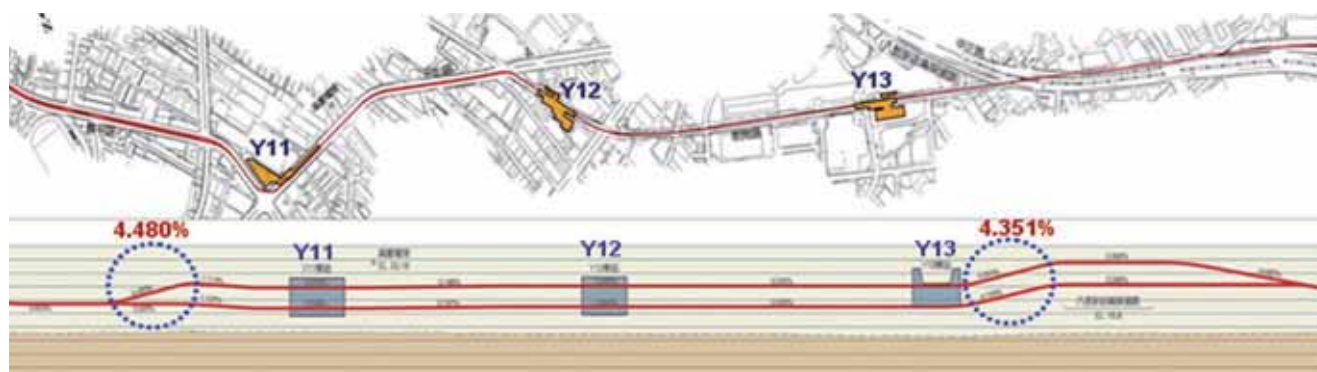


圖 10 設計規劃疊式線形縱坡圖

常沿著既有道路佈設，新建之高架墩柱即利用道路中央之分隔綠帶（約 3 m 寬）立墩，因此規劃「單柱式框架鋼橋墩」設計。此外考量既有道路路幅狹窄、交通擁擠，為使捷運高架橋施工對現有都會道路之交通影響最小，採用「預鑄」或「預製」之大梁及橋墩結構，並且應考量容易於現場吊裝組立之形式，因此下部結構採單柱式框架鋼橋墩，而上部結構於路口間採短跨長制式之簡支預鑄預力 U 型梁，現場照片如圖 11 所示，對於跨路口之長跨橋或曲線上之橋跨，則採連續鋼箱型梁，現場照片如圖 12 所示。



圖 11 簡支預鑄預力 U 型梁現場照片



圖 12 連續鋼箱型梁現場照片

狹窄道路簡支預鑄預力 U 型梁吊裝規劃與施工

本計畫路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約 24 m 寬、板南路約 20 m 寬等，如何進行簡支預鑄預力 U 型梁吊裝為重要課題，原規劃設計框架鋼橋墩與 U 型梁吊裝方式如圖 13 所示。然施工廠商先完成框架鋼橋墩後再吊 U 型梁，致使下層 U 型梁須穿越框架鋼橋墩，現場照片如圖 14 所示，加以平面及垂直空間受必須致使須採用 700T 及 400T 兩輛吊車進行約 130T 之 U 型梁吊裝。

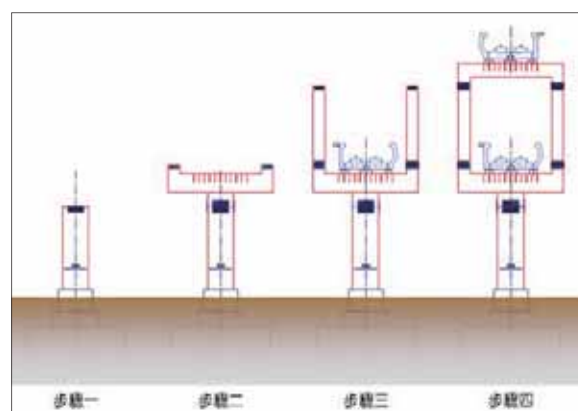


圖 13 疊式高架橋施工步驟示意圖



圖 14 U 型梁於框架鋼橋墩之吊裝現場照片

爬昇段及下降段之轉換區高架橋段設計規劃與施工

為使一般側式型式之高架橋轉換成疊式高架橋，即須佈設爬昇段及下降段之轉換區高架橋段，首先配合軌道線形佈設時需將原一般型式之高架橋中上、下行軌之間距（標準間距 4.15 公尺）逐漸加大，中央步道寬度亦增大，俟寬度大至可設置兩單軌橋（約 5.5 公尺），然後開始進行單一軌道爬昇。當上、下行軌間之

高程差達足夠相疊之淨距後，兩軌開始向柱中心線靠近，於是兩軌橋梁形成上、下重疊之「疊式高架橋」。

轉換區高架橋段應須配合線形、橋跨度及現有道路路型，因此須逐墩檢討繪製不同樣式橋墩，於 Y10 ~ Y11 站間轉換區高架橋段設計規劃如圖 15 所示，現場照片如圖 16 所示，於 Y13 ~ Y14 站間轉換區高架橋段設計規劃如圖 17 所示，現場照片如圖 18 所示。

台 64 線（中和一）下橋匝道介面疊式高架橋設計規劃與施工

本計畫路線緊貼台 64 線（中和一）下橋匝道，其位置如圖 2 所示，經現場測量得知台 64 線（中和一）下橋匝道匯入地面側車道，地面車道寬度僅剩 6.2 ~ 8.2 m，如圖 19 所示。蒐集台 64 線（中和一）下橋匝道竣工圖得知下橋匝道擋土牆基礎突出路面約 1 m，如圖 20 所示。若依據基設規劃位置，於不破壞下橋匝道結構，亦即採「避開」擋土牆基礎突出施作，完工後橋墩距離匝道結構外緣至少須 2.0 m，將衍生下列問題：

1. 須配置 2.1 m 寬墩柱寬及 0.5 m 寬緣石寬度，慢車道僅剩 1.6 m 寬，無法提供一車道最小需求，將影響全坤富貴賞大樓車輛出入，亦影響加油站車輛出入。

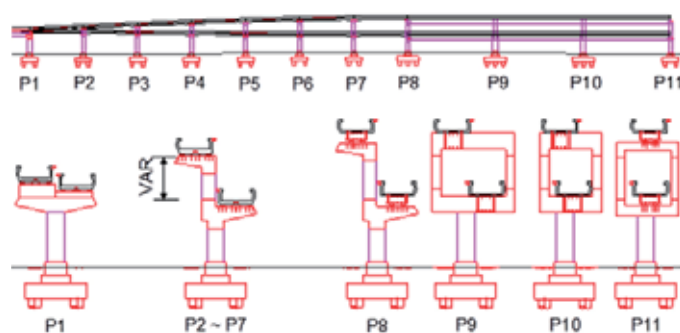


圖 15 Y10 ~ Y11 站間轉換區高架橋段設計規劃



圖 16 Y10 ~ Y11 站間轉換區高架橋段現場照片

2. 捷運結構外緣離全坤富貴賞大樓外緣僅 $6.4 - 2.0 = 4.2$ 公尺，無法滿足兩側禁建限建 6 m 之規定。

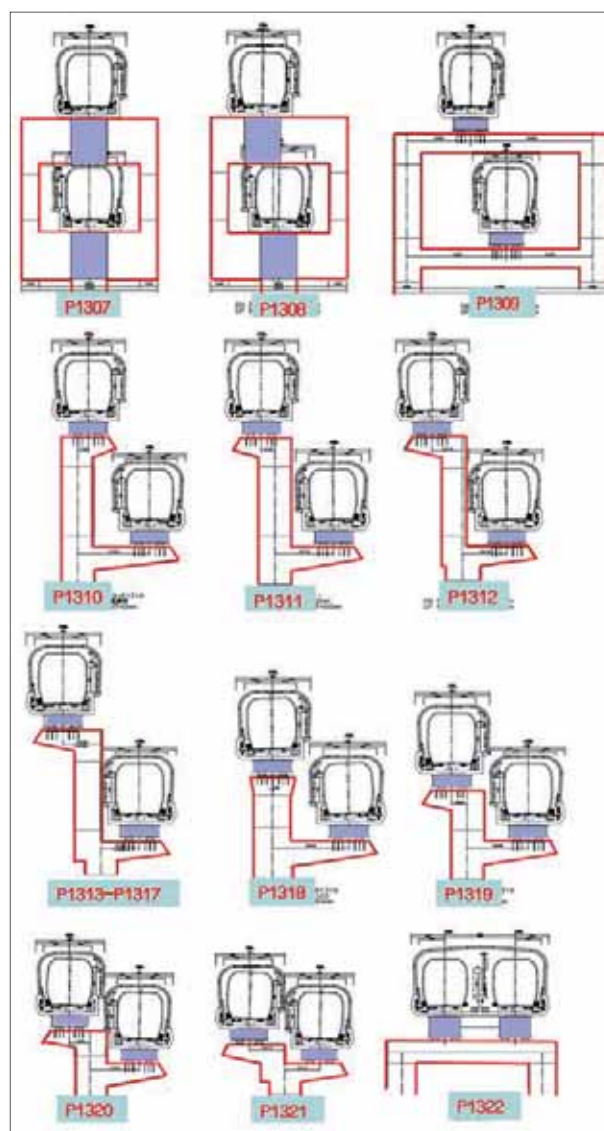


圖 17 Y13 ~ Y14 站間轉換區高架橋段設計規劃



圖 18 Y13 ~ Y14 站間轉換區高架橋段現場照片

因此捷運橋墩需緊貼下橋匝道佈設，並考量橋墩基礎打設基樁及開挖樁帽時之施工作業空間，以及施工中地面側車道交通維持之必要寬度，此處橋墩相對於基礎需採偏心設計，並使基礎偏向於現下橋匝道位置下方，如圖 21 所示，而施工之方式則必須先將匝道做臨時性之拆除，包括：

1. 拆除台 64 線（中和一）下匝道擋土牆，現場照片如圖 22 所示。
2. 拆除引橋三跨大梁及橋面板，現場照片如圖 23 所示。
3. 拆除隔音牆等結構。
4. 保留引橋橋墩及橋台。

以利施作基樁及基礎擋土支撐，俟此路段捷運橋墩施作完成後再復舊匝道，現場照片如圖 24 所示。

跨越中正路台 64 線高架橋之疊式高架橋設計規劃與施工

本計畫路線過 Y13 站後疊式高架橋沿板南路前行至中正路口需跨越台 64 線高架橋，因計畫路線係以約 13 度之小角度斜交跨越，因而設計規劃此處配置跨徑 40 m + 80 m + 36.2 m 三跨之連續鋼箱梁高架橋，而有兩座橋墩（P1308 及 P1309）僅能利用既有台 64 線高架橋東西行線間預留之 3 m 間隙設置，如圖 25 所示。

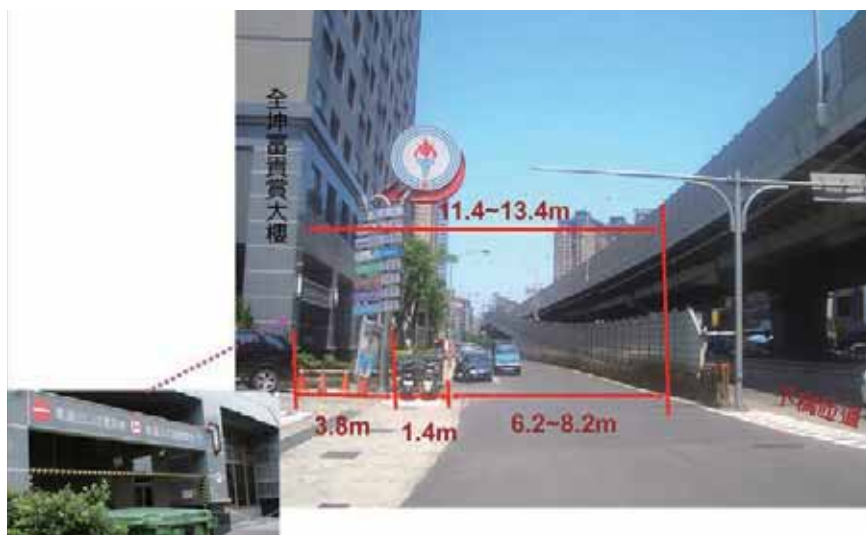


圖 19 台 64 線（中和一）下橋匝道匯入地面側車道出口

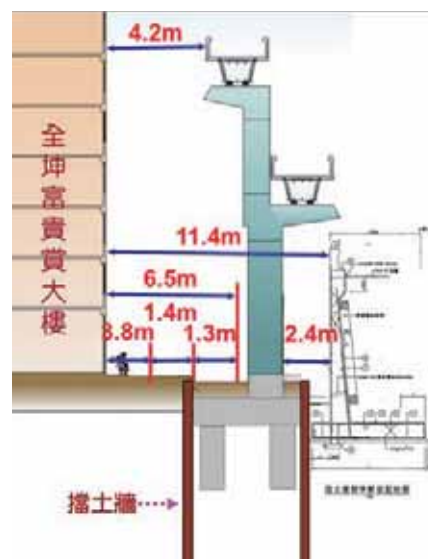


圖 20 高架橋採「避開」擋土牆基礎突出施作配置圖

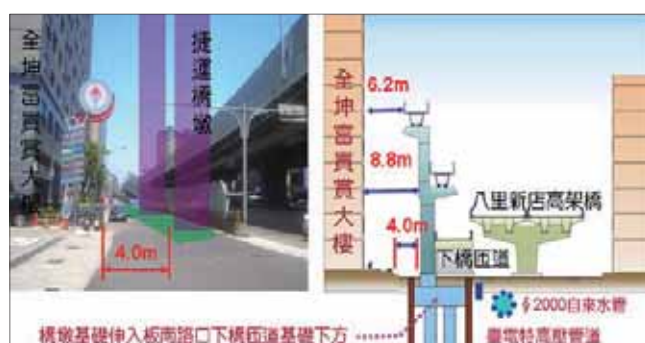


圖 21 捷運橋墩基礎伸入下橋匝道基礎下方配置圖



圖 22 拆除匝道引道現場照片



圖 23 拆除匝道引橋三跨大梁及橋面板現場照片



圖 24 台 64 線（中和一）下橋匝道復舊現場照片

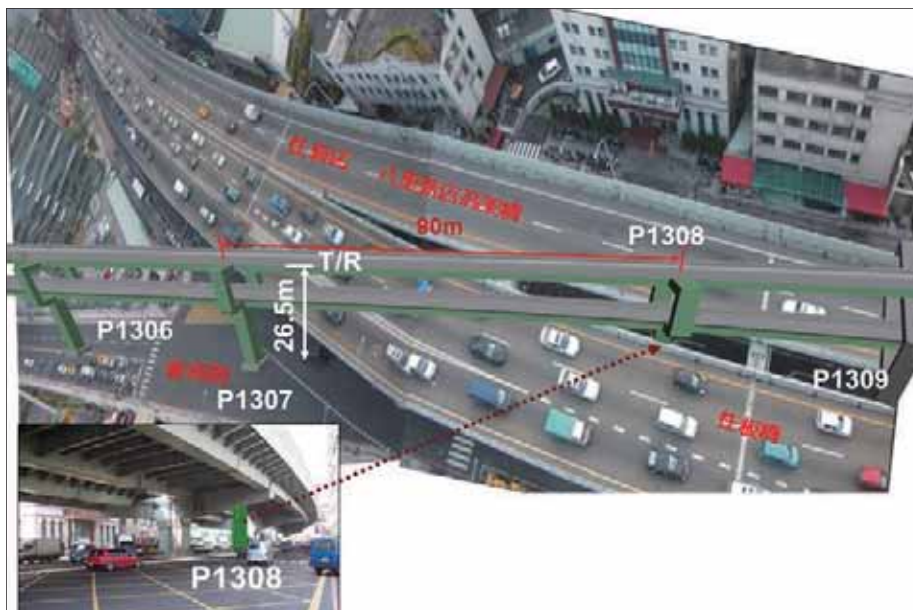


圖 25 跨越中正路台 64 線高架橋疊式高架橋設計規劃

此座跨越中正路台 64 線疊式高架橋設計施工規劃須考量下列課題：

台 64 線高架橋橋下低淨空施作基樁及基礎

於台 64 線高架橋路段橋下淨空僅約 7 m 高度左右，調查市場上改裝後之全套管基樁機具，至少需要 8.5 m 高度，如圖 26 所示，因而需局部降挖約 2 m 左右，降挖區施工機具如吊車 + 搖管機、發電機、挖土機、棄土筒、降挖區斜坡道等平面規劃配置如圖 27 所示，降挖區現場照片如圖 28 所示。

降挖區之下全套管基樁低淨空施工其淨高雖約有 9 m 公尺，施工機具仍須改裝，基樁施工考量因素如下：

1. 吊車—現有機型須改裝符合橋下施工限高及鋼筋籠吊裝。
2. 搖管機—基樁必須貫入礫石層為工率，考量一般採用可施作直徑³ 2.0 m 的搖管機，機台高度約 1.5 m。

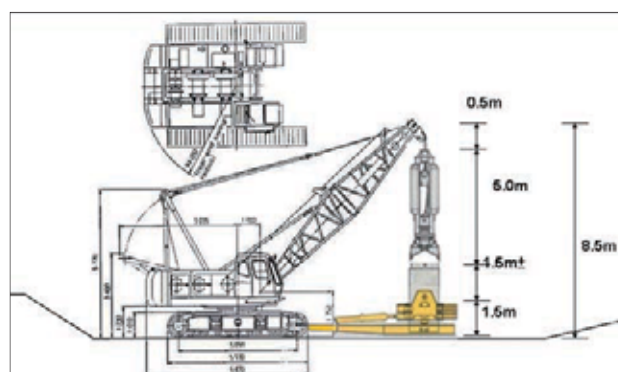


圖 26 全套管基樁低淨空機具設計施工規劃

3. 套管—基樁套管長度必須改短至 3.0 m 以致裁切後另製接頭數量增加。
4. 重錘—遇到大卵石或岩層須使用重錘（Chisel）將其擊碎後以抓斗取出。
5. 鋼筋籠—鋼筋籠預計每段長度 4 m，各節以鋼環與上下節鋼筋焊接作為鋼筋籠續接，現場照片如圖 29 所示。

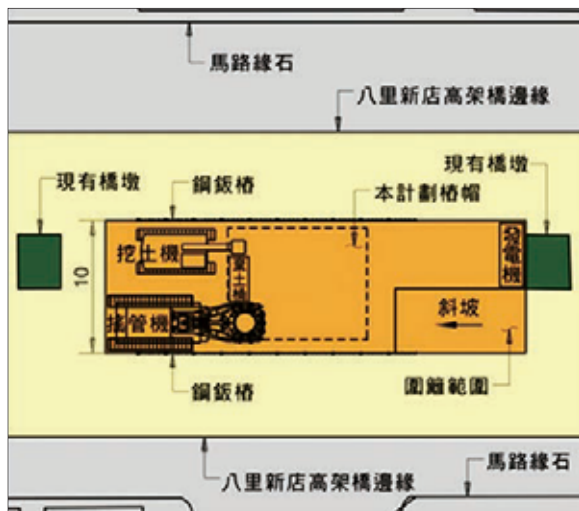


圖 27 降挖區施工機具平面配置設計施工規劃



圖 28 降挖區現場照片



圖 29 鋼筋籠上下節鋼筋焊接現場照片

台 64 線高架橋兩橋面間 3 m 空隙施作橋墩

框式鋼橋墩須於既有台 64 線高架橋上下行橋面間 3 公尺間隙立墩，由於框式部份面須垂直捷運線形，而墩柱面須垂直 3 公尺間隙，因捷運線形與台 64 線高架橋呈約 13 度夾角，致使框式部份面與墩柱面亦呈約 13 度旋轉角度，除造成設計困難亦增加施工困難，最後施工廠商於台 64 橋兩橋面間 3 m 空隙完成橋墩現場照片如圖 30 所示。



圖 30 64 線高架橋兩橋面間 3 m 空隙完成 P1308 橋墩現場照片

台 64 線高架橋上吊裝疊式鋼箱梁

三跨（40 m + 80 m + 36.2 m）之連續鋼箱梁高架橋以約 13 度之小角度斜交跨越台 64 線高架橋，端跨鋼箱梁可於地面全跨吊裝，然中間 80 m 長跨鋼箱梁吊裝施工須考量台 64 線高架橋橋寬配合前、後之匝道而橋面加寬，導致台 64 線高架橋兩側地面車道狹窄，欲採一般於地面全跨吊裝鋼梁十分困難，因此施工時需採鋼梁節塊逐步吊裝之方式。

若於台 64 線高架橋上進行鋼梁節塊逐步吊裝，則考量既有台 64 線高架橋須負載吊車鋼梁及鋼梁節塊重，則勢必須採小節塊以減輕重量，如此施工工期較長，且需封閉橋上交通以進行吊梁，影響橋上交通甚大。因此於設計階段規劃背拉鋼索吊裝施工方式，於地面吊裝鋼梁節塊並以背拉鋼索固定方式施工組立此 80 m 長跨鋼箱梁，其平面配置及主要施工步驟如圖 31 示。

廠商評估原設計規劃背拉鋼索吊裝施工方式有鋼索較多、支撐長度長、空中螺栓接頭多等施工困難因素，為縮短工期提出另一種背拉鋼索吊裝施工方式，由於此方式須背拉鋼索固定於 P1308 橋墩框架鋼柱上，現場照片如圖 32 示，施工廠商須核算 P1308 橋墩框架鋼柱強度及變形，且吊裝上鋼箱梁時須臨時支撐於下鋼箱梁上，上鋼箱梁之臨時支撐架佈置於下鋼箱梁現場照片如圖 33 所示，亦須核算下鋼箱梁強度及變形，以符合設計需求，最後完成現場照片如圖 34 所示。

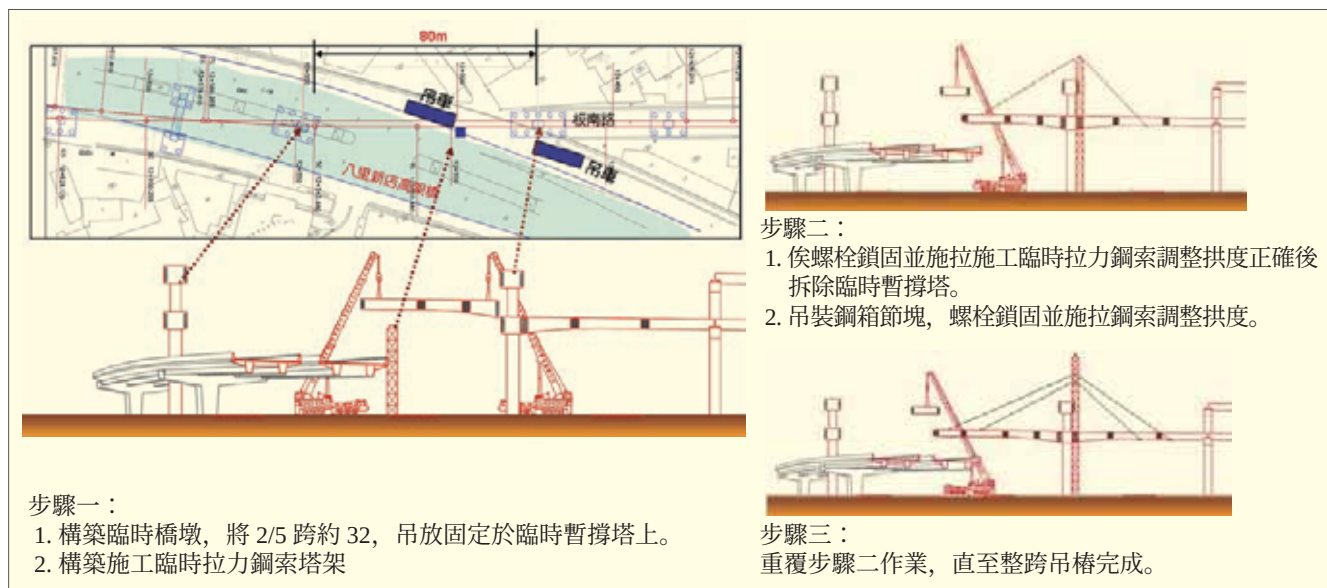


圖 31 設計階段規劃背拉鋼索吊裝設計施工規劃



圖 32 P1308 橋墩框架鋼柱背拉鋼索吊裝現場照片



圖 33 上鋼箱梁之臨時支撐架佈置於下鋼箱梁現場照片



圖 34 上鋼箱梁及下鋼箱梁吊裝完成現場照片

結論與展望

疊式高架車站及高架橋之技術於國內捷運工程為首次採用，由於計畫路線經過地狹人稠區域，施工困難度更勝以往，設計階段將數個關鍵問題徵詢專業廠商，並於設計圖上表現規劃之假設工程，提供施工廠商作施工計畫參考資料，使得施工廠商能更快進入核心施工問題，並考量本身施工技术提出可行施工計畫。

後續捷運路網往往佈設多為串聯人口較為稠密，商業活動旺盛，現有交通較為繁忙之地方，亦常會有經過狹窄之道路情形，本計畫「疊式高架橋及疊式月台高架車站」成功案例，已成為後續捷運路網路線（如萬大一中和一樹林線第二期及高雄捷運系統岡山路竹延伸線）佈設於狹窄道路之捷運路線作法，並奉為圭臬。



光學非接觸式軌道檢測分析設備於軌道管理之應用

林宏達／台灣高鐵維修處軌道電力部軌道電力管理課 副工程師

本文主要介紹台灣高鐵裝設於 EM120 軌道線形檢測車上的光學非接觸式軌道檢測分析設備，並針對該設備的組成、原理及規格作一統整性之說明介紹，期使軌道維修專業人員對此一光學非接觸式軌道檢測分析設備能有充分的了解與認識。另一方面，藉由此光學非接觸式軌道檢測分析設備於正線上執行勤務檢測時，將可快速地檢選出軌道基礎設施瑕疵缺陷處，維修人員亦可即時掌握與監控路線設備狀態，以及增進維修作業迅速執行、達成維修作業資訊自動化、解決大量檢測資料處理與減少人工的介入，朝向 CBM (Condition-Based Maintenance) 之維修目標。

前言

研究背景

安全、高速與舒適為高速鐵路營運的三大要件。而在這三要件之中，安全仍為首要之目標。高速鐵路行車安全是指高速列車於行車過程中，不發生造成人員傷亡、設備損壞與危及正常行車的事故。由於高速列車的安全運行主要端賴於車輪與軌道的理想完美接觸，所以除了車輪系統的正常保養與維護之外，高速鐵路的軌道基礎設施（包括：軌頭、扣件、軌枕、道碴、道版）更應經常保持其良好的完善狀態，則此時必須對於軌道的狀態進行適時的巡檢與管理，以便能及時地準確發現軌道基礎設施的缺陷瑕疵位置，以進一步擬訂出後續的維修及保養作業。

研究動機

就鐵路軌道運輸而言，由於列車與軌道的相互作用，將會造成軌道幾何線形的不斷變化，這將會影響

列車行駛的舒適性與安全性。所以台灣高鐵的 EM120 軌道線形檢測車一直在正線上藉由接觸式的量測設備進行軌道線形的監測勤務（如圖 1 中紅色箭頭指示處）。但是在設備條件限制之下，EM120 軌道線形檢測車僅能測得鋼軌的線形資料（軌距、超高、扭曲、水平正矢與垂直正矢），無法得知其他軌道基礎設施（例如：扣件、軌枕、道碴、道版）的健全情況。



圖 1 EM120 軌道線形檢測車的接觸式軌道線形檢測設備（紅色箭頭指示處）

備註：台灣高鐵裝設於 EM120 軌道線形檢測車上的光學非接觸式軌道檢測分析設備為向義大利 MerMec 公司採購，本文內部份圖表資料亦從提送的技術文件中所摘錄。

研究目的

為了進一步提高台灣高鐵的維修品質，以及讓軌道設施的監測工作能更全面性，軌道檢測課於 2012 年採購了新的光學非接觸式軌道檢測分析設備並安裝於 EM120 軌道線形檢測車上，期望當此光學非接觸式軌道檢測分析設備實際於正線上進行軌道基礎設施巡檢時，能使得人工徒步巡檢工作負擔更加減輕及對有疑慮處保持監控，並且進一步提高民眾對於台灣高鐵的信賴程度與搭乘意願。

安裝於 EM120 之光學非接觸式軌道檢測分析設備

光學非接觸式軌道檢測分析設備主要由鋼軌波狀磨耗量測系統（Rail Corrugation Measurement System，簡稱 RCMS）、鋼軌剖面測繪系統（Rail Profile Measurement System，簡稱 RPMS）及電腦視覺影像全自動軌道檢測系統（Computer-vision system for the automatic inspection and measurement of the track，簡稱 V-CUBE）等三個子系統所共同組成的一光學非接觸式軌道檢測分析設備，並安裝設置於 EM120 軌道線形檢測車（如圖 2 所示）上。以下將就上述三個子系統的組成構件與檢測原理，依序說明如下：

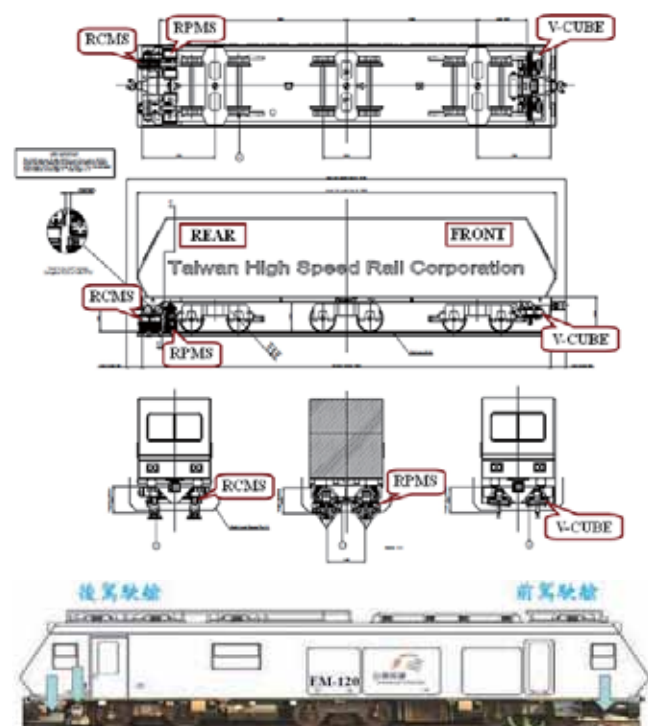
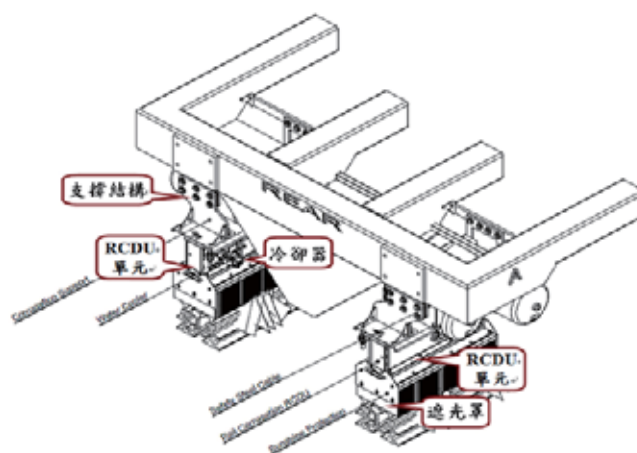


圖 2 光學非接觸式軌道檢測分析設備各子系統的裝設位置

鋼軌波狀磨耗量測系統

（Rail Corrugation Measurement System，簡稱 RCMS）

此系統主要用於量測、分析與評估鋼軌發生波狀磨耗的分布情況，在巡檢量測結束後經電腦分析整理列出超出參考標準值的瑕疵缺陷發生位置並提出預警，以提供後續維修單位之處置。鋼軌波狀磨耗量測系統（RCMS）主要包含左右各有一個鋼軌波狀磨耗檢測單元（Rail Corrugation Detection Unit，簡稱 RCDU）、支撐結構、冷卻器與遮光罩，如圖 3 所示。



設備外觀



設備底部



數位相機與雷射光源



雷射作動

圖 3 鋼軌波狀磨耗量測系統（RCMS）

何謂鋼軌波狀磨耗 (Rail Corrugation) ? [1]

鋼軌波狀磨耗 (Rail Corrugation) 為沿鋼軌縱向的鋼軌頭頂部發生凹凸起伏並以某一定間隔的磨耗現象 (如圖 4 所示), 一般在轉彎段與爬坡段較易發生。鋼軌波狀磨耗的發生原因可能是車輪與鋼軌之間發生滑動 (Slipping) 所導致, 但確切的原因尚未有定論。此外, 根據相關的研究顯示, 當列車經過有鋼軌波狀磨耗的區段時, 行車所引起的振動將對軌道造成損害, 並且車體的振動將會變大, 進一步造成車廂內噪音及降低旅客乘坐的舒適性。

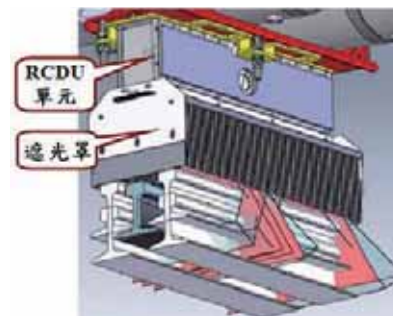


圖 4 鋼軌的波狀磨耗 [5,6]

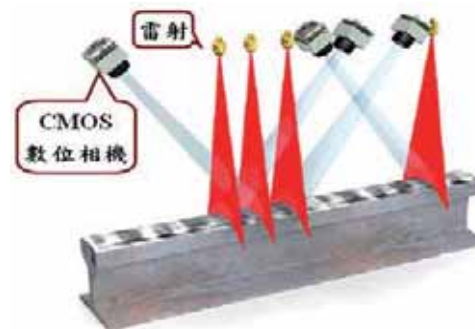
鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的主要組成

本文之鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 由左右兩個鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 及框架結構 (Frame Structure) 所組成, 如圖 3 所示。此外, 為了可以完整接收到雷射光源的反射, 數位相機的裝設角度有經過特別設計。

每個鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) (如圖 5 所示) 至鋼軌頂部的距離大約為 285 mm, 而每個鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 內都含有獨立的電子設備, 以使用於控制與管理局部的圖像處理。此外, 基於全數位技術 (Totally Digital Technology) 與 FPGA (Field Programmable Gate Array), 現場可編程輯陣列裝置, 可使得電子設備具有較高的整合性並控制全部的擷取系統。另一方面, 考量鐵路行車衝擊對於電子設備的影響, 所以盡量減少在量測單元內部裝設複雜的硬體設備。鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU), 其主要由下面兩個物件所組成:



(a) RCDU 單元



(b) RCDU 單元內相機與雷射的位置

圖 5 鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 的組成

(1) 雷射光源 (Laser Source)



圖 6 雷射光源

為符合對雷射光束的要求, 鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 上的雷射 (如圖 6 所示) 為由 TECNOGAMMA 製造。所使用的雷射光源波長為 785 與 810 nm, 其最大的功率 (Power) 為 5W; 在一般情況下, 使用的功率大約為 2.5W。此外, 為避免雷射兩極真空管的溫度影響, 使用了珀爾帖單體 (Peltier Cell) 或稱固態式致冷器, 以求獲得較高雷射光束的品質、穩定性及長期使用壽命。另一方面, 針對雷射安全性的問題, 由於經鋼軌反射距離的能量消滅與鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 上的遮光罩阻隔, 使得雷射功率衰減的非常快, 所以其危害性相對已減至最低。

(2) CMOS 數位相機 (CMOS Digital Camera)



圖 7 CMOS 數位相機的組成

鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 上的 CMOS (互補式金屬氧化半導體影像感測器) 照相機為 TECNOGAMMA 所製造的高速全數位相機，其像素尺寸為 1024×1280 、解析度 $5 \mu\text{m}$ ，而允許最高的取樣頻率 (Sampling frequency) 為 450 frames/sec。CMOS 照相機的組成包括：鏡頭、FPGA Logic Card 與 CMOS 感測器，如圖 7 所示。若行車速度小於或等於 80 km/hr 時，最小的取樣間隔為 5 mm，因此由鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 計算的最小波長為 10 mm，在此情況下，適用的波長範圍為 10 ~ 30 mm、30 ~ 100 mm、100 ~ 300 mm 及 300 ~ 1000 mm；若行車速度大於 80 km/hr 且小於或等於 160 km/hr 時，最小的取樣間隔為 10 mm，因此由鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 計算的最小波長為 20 mm，在此情況下，適用的波長範圍為 20 ~ 30 mm、30 ~ 100 mm、100 ~ 300 mm 及 300 ~ 1000 mm。此外，為避免量測系統受到額外光源的影響，所有的相機上皆特別設置了光學濾光鏡 (Optic filter)。

鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的量測原理

鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的量測原理主要根據下述兩個原理，其說明如下：

(1) 光學三角測量原理 (Optical Triangulation Principle) ^[2] -

用於資料擷取

利用雷射光源投射一亮點或直線條紋於待測物體表面，由於表面起伏及曲度變化，利用追蹤一光點在空間上移動時，經光學系統成像後像點間的相對關係，可推導出物點的角位移量，並以三角幾何關係判讀出待測點的距離或位置座標等資料。如圖 8 所示，當雷射光源 (P1 點) 垂直投射至受測物體表面 (Pa 點) 後會產生反射至光學感測器 (P2 點)，下一步可依據下面的三角函數關係式，求得雷射光源 (P1 點) 至受測物體表面 (P2 點) 間的距離 D_a ：

$$D_a = D_1 \times \tan(A_2)$$

上式中 D_1 為雷射光源 (P1 點) 與光學感測器 (P2 點) 間的距離 (此為一固定值)，係根據初始系統的機構設計而定； A_2 為光學感測器接收到反射光源的入射角度，可藉由光學感測器 (P2 點) 處接收資料的比例函數計算求得。利用上述簡單的幾何計算即可重建全線鋼軌的波狀磨耗分布情況。據此，便可進一步與原始資料相互比對，評估找出可能發生鋼軌波狀磨耗的位置。

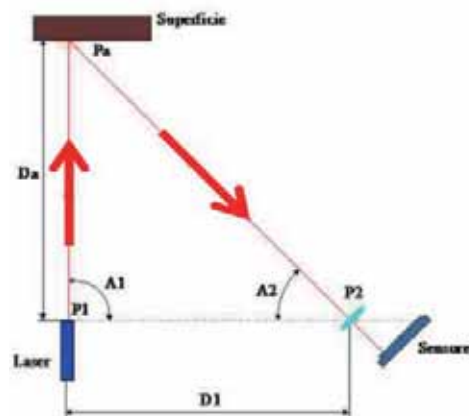


圖 8 光學三角測量原理

(2) 正弦轉換函數 (Versine transfer function) ^[3] - 用於資料分析

當實際執行量測時，因為每次雷射光源投射時的能量 (在此指雷射光源的波長) 與鋼軌接觸時間均不相同，在頻譜中所產生的尖峰振幅值無法固定，因此可利用轉換函數之計算可有效減低投射能量與表面接觸時間的影響，使得同一介面反射所得之轉換函數頻譜中的幅值 (Peak value) 能夠穩定，而進一步可由介面振幅判斷介面的性質。

鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的技術規格

鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的技術規格，如下表 1 所示

表 1 鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的技術規格

	技術規格
量測速度	小於或等於 160 km/hr
尺寸	每一個鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 為 830 × 140 × 251 mm
重量	每一個鋼軌波狀磨耗檢測單元 (RCDU) 為 40 kg (若包含遮光罩時為 45 kg)
取樣間隔	小於或等於 10 mm
設備量測參數	20 ~ 30 mm (極短波長) 30 ~ 100 mm (短波長) 100 ~ 300 mm (中波長) 300 ~ 1000 mm (長波長)
重現度 *RMS = 均方根值 (Root Mean Square)	波長範圍 10 ~ 30 mm 內大於 20 μ m, 95% 的 RMS* 波長範圍 30 ~ 100 mm 內大於 20 μ m, 95% 的 RMS* 波長範圍 100 ~ 300 mm 內大於 60 μ m, 95% 的 RMS* 波長範圍 300 ~ 1000 mm 內大於 200 μ m, 95% 的 RMS*

分析結果的輸出

當所有檢測工作結束後，使用設置於 EM120 軌道線形檢測車上的工業電腦執行檢測資料的分析與結果的輸出。而所有的資料分析與結果輸出，為利用工業電腦內的兩個後處理程式「Corrugation」及「Visualize」，如圖 9 及 10 所示。「Corrugation」程式主要設計於負責檢測資料的擷取、後續分析結果的整理與鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 的相關參數之設定，並且可及時顯示軌道波狀磨耗量測系統 (RCMS) 所擷取的檢測數據。「Visualize」程式主要設計於顯示出軌道波狀磨耗的分布情況與後續診斷量測系統 (Diagnostic Measurement System) 的分析結果，並提供 MS-EXCEL 格式的鋼軌波狀磨耗檢測結果報告輸出 (如圖 11 所示)。藉由此鋼軌波狀磨耗檢測結果報告，使用者可快速且有效率的檢選出有缺陷瑕疵之位置，並可針對有疑慮處保持監控及預警。

鋼軌剖面測繪系統

(Rail Profile Measurement System, 簡稱 RPMS)

此系統主要用於測繪、分析與評估鋼軌剖面的磨耗情況及軌距 (Rail Gauge)，在巡檢量測結束後經電腦分析整理列出超出參考標準值的瑕疵缺陷發生位置

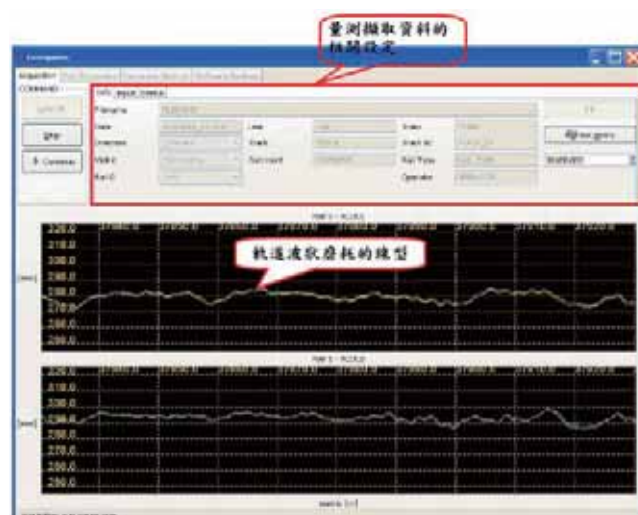


圖 9 「Corrugation」後處理程式

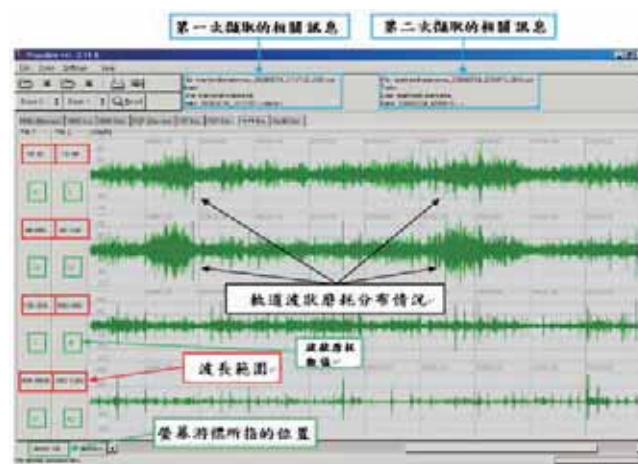


圖 10 「Visualize」後處理程式

RAIL CORRUGATION DEFECT REPORT											
File Name		FILE NAME			Date		DATE				
Track		TRACK			Track ID		TRACK ID				
Line		LINE			Train Direction		TRAIN DIRECTION				
Operator		OPERATOR			Annotation		ANNOTATION				
Parameter	Unit	Position			Start Defect		Threshold				
		Start	End	Length	Position	Value (mm)	mm	mm	mm	DATE RESULT WITH	Annotation
PM10 300-1000	mm	28181.84	28183.84	2	28181.84	84	82	4	WT		
PM10 300-1000	mm	28181.84	28181.42	0.76	28181.42	82	82	3	WT		
PM10 300-1000	mm	28228.80	28228.80	0	28228.80	82	82	12	WT		
PM10 100-300	mm	28227.84	28227.84	0	28227.84	82	82	0	WT		
PM10 30-100	mm	28228.42	28228.80	0.08	28228.80	48	48	8	WT		
PM10 100-300	mm	28227.84	28228.18	0.28	28228.42	178	120	88	SS		
PM10 100-300	mm	28228.42	28228.42	0	28228.42	192	100	0	NA		
PM10 300-1000	mm	28228.18	28230.80	4.76	28227.84	141	120	21	SS		
PM10 300-1000	mm	28231.18	28231.18	0	28231.18	88	82	8	WT		
PM10 30-100	mm	28230.80	28230.80	0	28230.80	87	82	0	NA		
PM10 30-100	mm	28230.18	28230.18	0	28230.18	82	82	0	SS		

圖 11 MS-EXCEL 格式的鋼軌波狀磨耗檢測結果報告

並提出預警，以提供後續維修單位之處置。鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 將裝設在 EM120 軌道線形檢測車後方 (REAR) 的轉向架上，如圖 2 所示。鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 主要包含四個鋼軌剖面測繪檢測單元 (Rail Profile Detection Unit, 簡稱 RPDU)、框架支撐結構、遮光罩，如圖 12 所示。

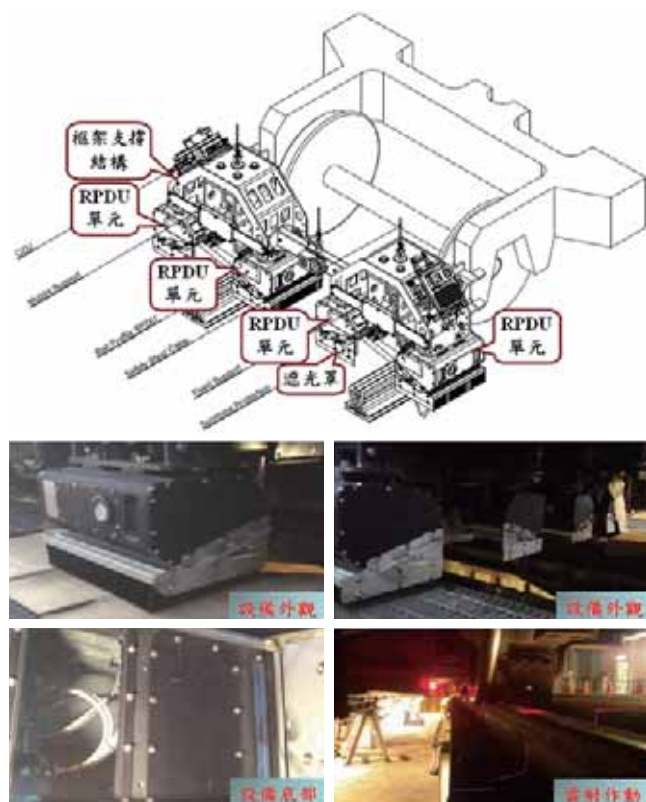


圖 12 鋼軌剖面測繪系統 (RPMS)

鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 的主要組成與量測原理

本文之鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 主要由四個鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 及框架支撐結構 (Frame Structure) 所組成，如圖 12 所示，而每個鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 內的組成物件有雷射光源 (Laser Source)、CMOS 數位相機 (CMOS Digital Camera)，如圖 13 所示，而鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 的基本原理為光學三角測量原理 (Optical Triangulation Principle)。由於組成物件、基本原理與鋼軌波狀磨耗量測系統 (RCMS) 完全相同，所以在此不再贅述。

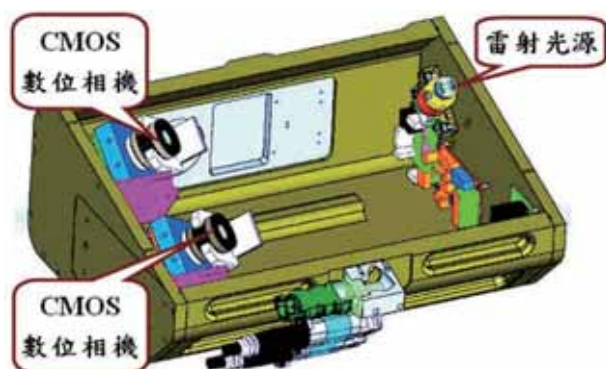


圖 13 鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 內部的組成物件

此處需特別說明為在鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 內的雷射光源不是垂直投射至受測物體表面，而是以一特別設計的角度裝設，如圖 14 所示。此外，為了完整接收雷射光源的反射，數位相機裝設的角度亦經過特別的設計。另一方面，設置了三種系統的防護措施 (CMOS、光學濾光鏡、軟體濾除)，以避免太陽光或其他光源的干擾，並容許在任何光源條件下進行操作，無須任何特別的調整。在實際操作鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 內的兩個雷射群組時，分別採用了不同波長的雷射光源，這是為了避免兩側相機的熱量效應 (Blooming Effect)。所謂的熱量效應，係指由於雷射光束在傳輸過程中加熱光束傳輸路徑上的介質，進而改變了介質的局部折射率，使得光束向折射率大的方向偏轉，從而產生光束畸變、擴展等現象^[4]。

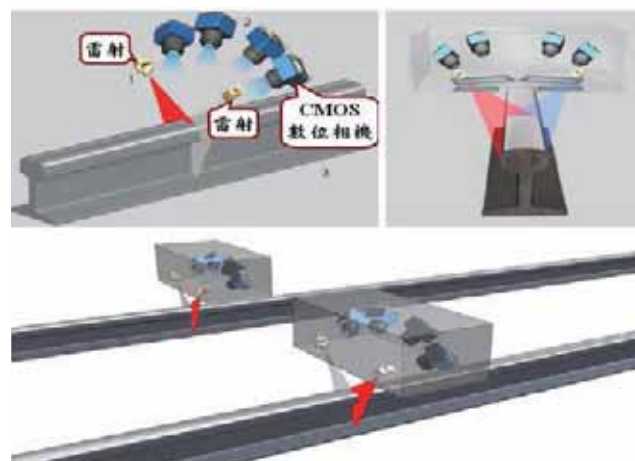


圖 14 鋼軌剖面測繪檢測 (RPDU) 單元內相機與雷射的裝設角度位置

鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 的技術規格

鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 的技術規格，如下表 2 所示

表 2 鋼軌剖面測繪系統 (RPMS) 的技術規格

	技術規格
量測速度	小於或等於 160 km/hr
設備量測參數	垂直、踏面下 14 mm 處水平、45° 等磨耗位置、軌道傾角及軌距等五種參數
尺寸	每一個鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 為 234 × 352 × 469 mm
重量	每一個鋼軌剖面測繪檢測單元 (RPDU) 為 42 kg
系統解析度	0.05 mm
剖面量測精度	± 0.05 mm
豎向磨耗量測精確度	± 0.2 mm
橫向磨耗量測精確度	± 0.2 mm
最大取樣頻率	小於或等於 450 frames/second

分析結果的輸出

當所有測繪檢測工作結束後，使用設置於 EM120 軌道線形檢測車上的工業電腦執行檢測資料的分析與結果的輸出。而所有的資料分析與結果輸出，為利用工業電腦內的兩個後處理程式「RAILS」及「Visualize」，如圖 15 及 16 所示。「RAILS」程式主要設計於負責檢測資料的擷取、後續分析結果的整理與鋼軌剖面測繪系統（RPMS）的相關參數之設定。經由自動比對檢測擷取與參考初始的鋼軌剖面資料（包括：鋼軌斜面、鋼軌絕對參考位置），最後計算可得鋼軌的磨耗分布情況，並繪製出兩種鋼軌剖面資料間（檢測擷取與參考初始）的重疊鋼軌剖面圖。「Visualize」程式主要設計於顯示出軌道磨耗的分布情況與後續診

斷量測系統（Diagnostic Measurement System）的分析結果，並提供 MS-EXCEL 格式的鋼軌磨耗檢測結果報告輸出（如圖 17 所示）。藉由此鋼軌磨耗檢測結果報告，使用者可快速且有效率的檢選出有缺陷瑕疵之位置，並可針對有疑慮處保持監控及預警。

電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (Computer-vision system for the automatic inspection and measurement of the track, 簡稱 V-CUBE)

此系統為電腦視覺影像全自動檢測分析與評估軌道基礎設施（包括軌頭、扣件、軌枕、道碴、道版）的健康狀態，並在巡檢結束後經電腦分析整理列出超出參考標準值的瑕疵缺陷發生位置並提出預警，以提供後續維修單位之處置。此檢測系統（V-CUBE）將裝

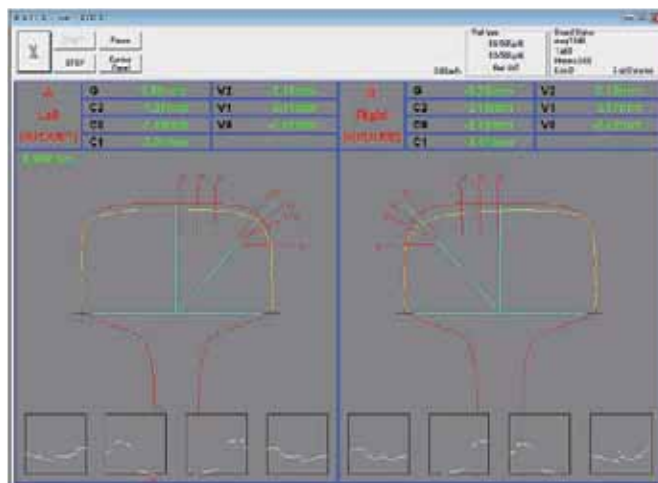


圖 15 「RAILS」後處理程式（紅色、黃色分別表示參考初始與檢測擷取的鋼軌剖面資料）

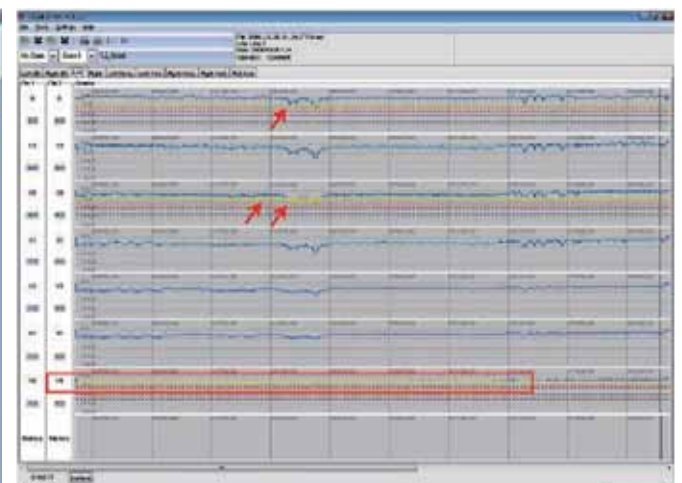


圖 16 「Visualize」後處理程式（紅色箭頭與框線處表示為鋼軌磨耗超出參考值）

	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	K
7			K ²									
8	Rail	Rail Type	Start	End	Length	Worst/Wear (mm)	G (mm)	Threshold Value	Excess	Alarm		
9												
10	Left	60Kg-K	8x583.00	8x503.00	0.0	8x503.00	-4.7	-4.0	0.7	T1		
11	Left	60Kg-K	8x527.50	8x527.50	0.0	8x527.50	-4.1	-4.0	0.1	T1		
12	Left	60Kg-K	8x545.50	8x545.75	0.3	8x545.75	-0.5	-0.0	1.5	T3		
13	Left	60Kg-K	8x548.00	8x548.00	0.0	8x548.00	-11.4	-10.0	1.4	T4		
14	Right	60Kg-K	8x587.50	8x586.25	0.8	8x587.50	-5.5	-4.0	1.5	T1		
15	Right	60Kg-K	8x606.00	8x606.00	0.0	8x606.00	-4.7	-4.0	0.7	T1		
16	Right	60Kg-K	8x606.25	8x606.50	0.2	8x606.50	-7.6	-6.0	1.6	T2		
17	Right	60Kg-K	8x606.75	8x606.75	0.0	8x606.75	-8.8	-6.0	0.8	T3		
18	Right	60Kg-K	8x607.00	8x607.25	0.3	8x607.25	-12.2	-10.0	2.2	T4		
19	Right	60Kg-K	8x607.75	8x607.75	0.0	8x607.75	-11.0	-10.0	1.0	T4		
20	Right	60Kg-K	8x608.00	8x608.00	0.0	8x608.00	-5.0	-4.0	1.0	T1		
21	Right	KS-50Kg-II	8x675.75	8x675.75	0.0	8x675.75	-5.3	-4.0	1.3	T1		
22	Right	KS-50Kg-II	8x676.00	8x676.00	0.0	8x676.00	-6.0	-6.0	0.0	T2		
23	Right	KS-50Kg-II	8x676.25	8x676.25	0.0	8x676.25	-5.7	-4.0	1.7	T1		
24	Left	KS-50Kg-II	9x112.25	9x117.75	5.5	9x114.25	-5.2	-4.0	1.2	T1		
25	Left	KS-50Kg-II	9x596.75	9x507.00	0.3	9x506.75	-11.7	-10.0	1.7	T4		
26	Right	KS-50Kg-II	9x586.75	9x507.00	0.3	9x506.75	-6.7	-6.0	0.7	T2		
27	Left	KS-50Kg-II	9x587.25	9x507.25	0.0	9x507.25	-6.0	-4.0	2.0	T1		
28	Right	KS-50Kg-II	9x587.25	9x507.25	0.0	9x507.25	-4.6	-4.0	0.6	T1		
29	Right	60Kg-K	11x093.00	11x093.50	0.5	11x093.50	-4.6	-4.0	0.6	T1		
30	Right	60Kg-K	11x097.75	11x097.00	0.3	11x097.00	-4.4	-4.0	0.4	T1		
31	Left	KS-50Kg-II	11x321.50	11x321.50	0.0	11x321.50	-4.8	-4.0	0.8	T1		
32	Left	KS-50Kg-II	11x321.75	11x321.75	0.0	11x321.75	-6.3	-6.0	0.3	T2		
33	Left	KS-50Kg-II	11x322.00	11x322.00	0.0	11x322.00	-4.6	-4.0	0.6	T1		

圖 17 MS-EXCEL 格式的鋼軌磨耗檢測結果報告

設在 EM120 軌道線形檢測車前方 (FRONT) 的轉向架上, 如圖 2 所示。電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 包含兩個 V-CUBE 箱型檢測單元、支撐結構, 如圖 18 所示。

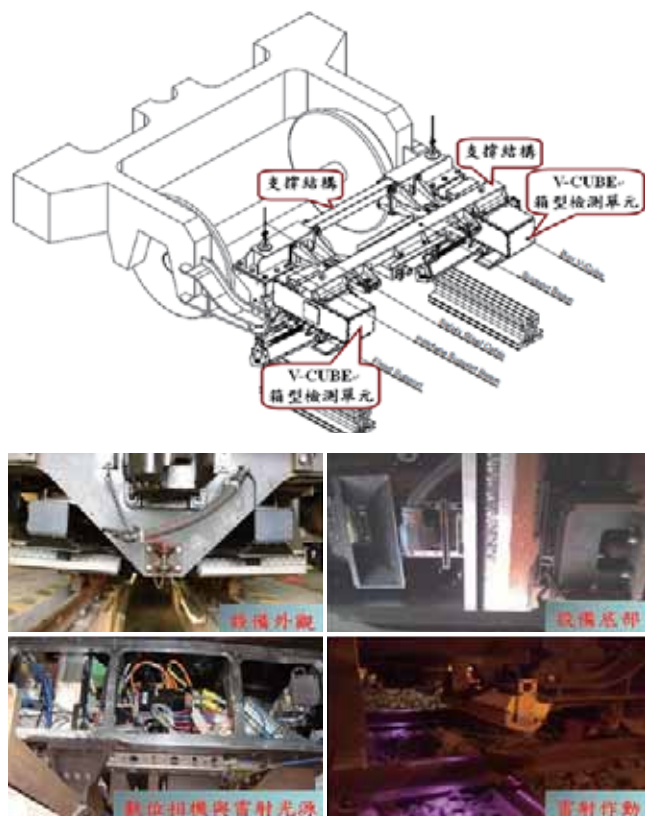


圖 18 電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE)

電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 的主要組成及三個次系統

電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 主要由兩個 V-CUBE 箱型檢測單元、支撐結構所組成, 如圖 18 所示。而每個 V-CUBE 箱型檢測單元 (如圖

19 所示) 內的主要組成物件有雷射光源、數位相機。由於組成物件與前面兩系統 (RCMS、RPMS) 完全相同, 所以在此不再贅述。系統內藉由 PLC (可編程序控制器, Programmable Logic Controller) 整合遙控 V-CUBE 箱型檢測單元的電力、輔助設備與週遭參數, 圖 20 所示為 V-CUBE 檢測系統內兩種不同的 IR 紅外光光源 (LED 及 LASER)。此外, 電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 主要由下述三個次系統所構成 (如圖 21 所示), 其說明如下:

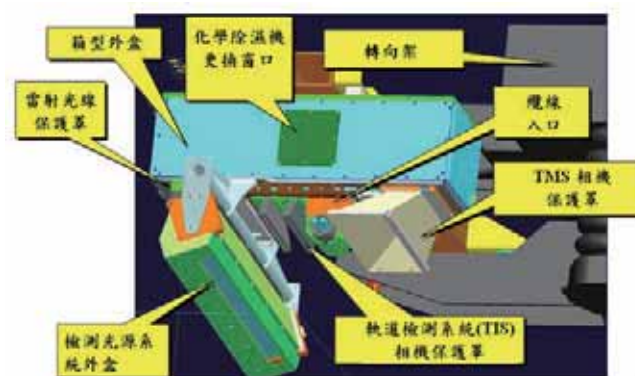
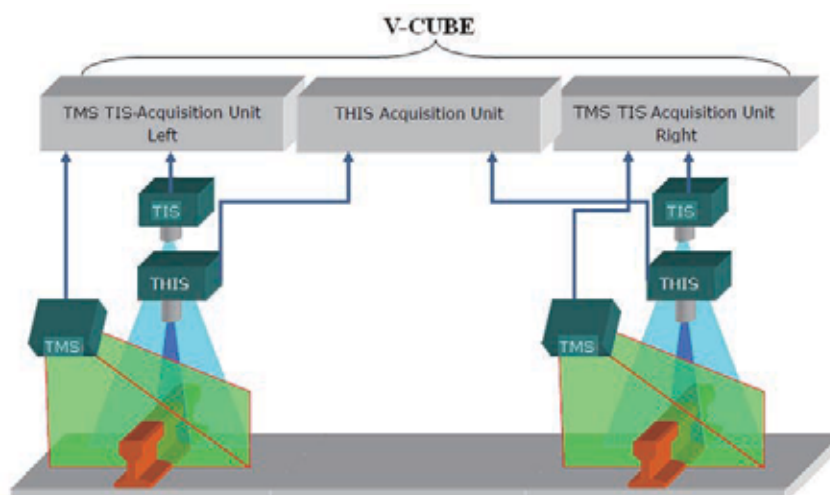


圖 19 V-CUBE 箱型檢測單元的構造



圖 20 V-CUBE 檢測系統的 IR 紅外光光源 (LED 及 LASER)

圖 21 V-CUBE 軌道檢測系統內三個次系統的配置分布情況



(1) 軌道檢測系統 (Track Inspection System, 簡稱 TIS)

軌道檢測系統 (TIS) 為一軌道設施狀態全自動控制的掃描攝影系統，此系統內包含自動巡檢時拍攝鋼軌與周圍設施的相機，以及提供物件一穩定與協調照明的光源系統，表 3 為軌道檢測系統 (TIS) 所使用的部分參數。

軌道檢測系統 (TIS) 的作業原理 (如圖 22 所示)，為隨著檢測車之移動，相機每隔 1 mm 或更短的間距擷取一條掃描線，此間距的設定應使軌道檢測系統 (TIS) 能足夠辨識出混凝土、軌枕或軌頭的裂縫 (在系統中設定為 0.5 mm 的取樣間隔)。每一條掃描線有 1024 像素，而每個像素的灰階 (Gray Level) 值範圍由 0 至 255 (最暗的顏色為黑色，以數值 0 表示之；最亮為白色，以數值 255 表示之)。灰階影像為除了純黑和純白之外，還可以包含深淺不同的灰色，亦即在黑色與白色之間加上不同的明暗度。圖 23 所示為軌道檢測系統 (TIS) 所擷取出的典型圖像。

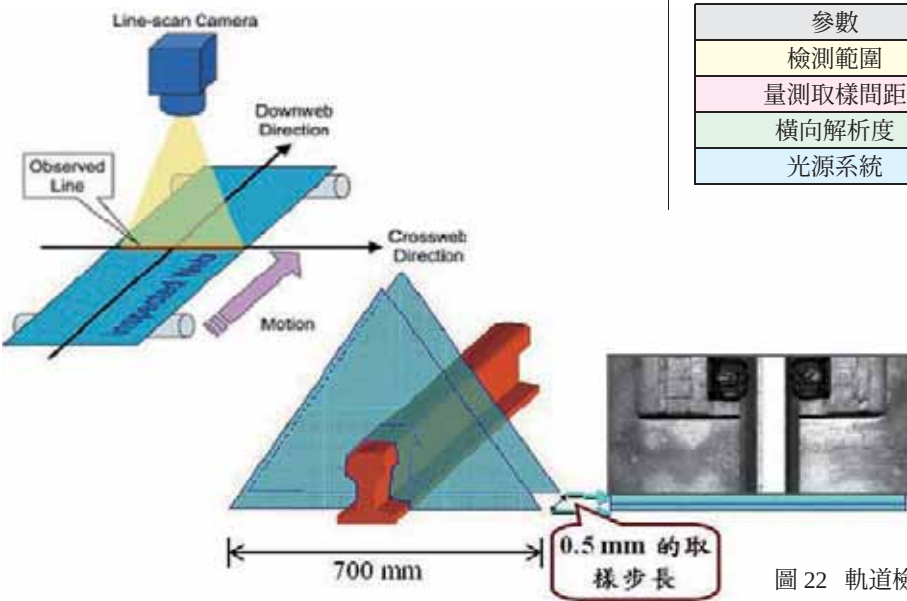


表 3 軌道檢測系統 (TIS) 的部分參數

參數	數值
檢測範圍	700 mm
感測器像素	1024 像素
水平解析度	0.7 mm/ 像素
縱向解析度 (取樣步長)	0.5 mm
相機	高速數位線性
光源系統	IR LED

(2) 軌道測繪系統 (Track Measurement System, 簡稱 TMS)

軌道測繪系統 (TMS) 為一軌道連續剖面形狀的掃描攝影系統，表 4 為軌道測繪系統 (TMS) 所使用的部分參數。

軌道測繪系統 (TMS) 的作業原理 (如圖 24 所示)，為隨著檢測車移動所投射出的雷射光與相機獲得被觀察物件某處的剖面形狀 (係指物件某剖面上高度的分布情況)，最後連續組合依據量測取樣步長間距所得到的物件剖面形狀，即可重建出被觀察物件的 3D 外形，圖 25 所示為軌道測繪系統 (TMS) 所擷取的典型圖像。

表 4 軌道測繪系統 (TMS) 的部分參數

參數	數值
檢測範圍	1400 mm
量測取樣間距	5 mm
橫向解析度	1.1 mm/ 像素
光源系統	IR LASER

圖 22 軌道檢測系統 (TIS) 的作業原理

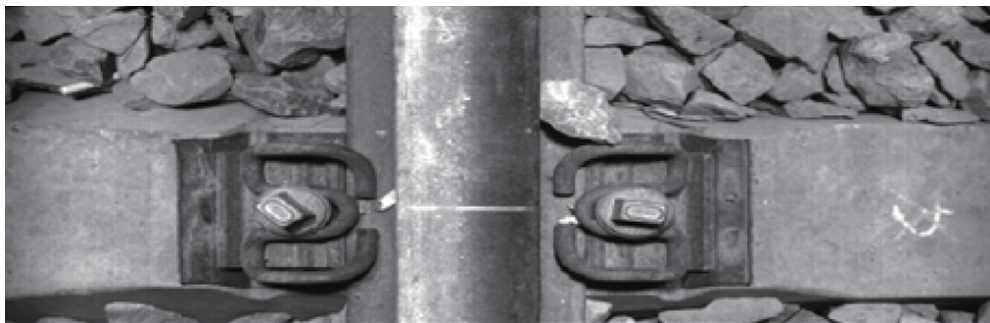


圖 23 軌道檢測系統 (TIS) 擷取的典型圖像

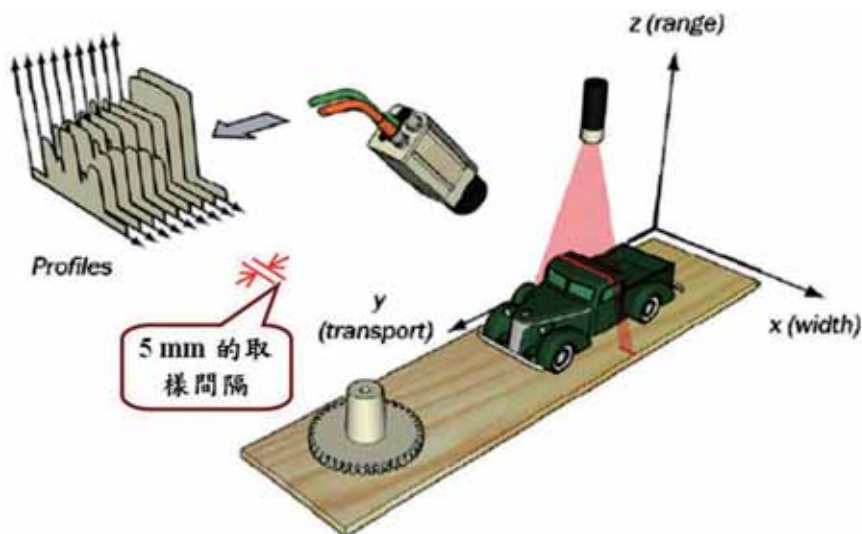


圖 24 軌道測繪系統 (TMS) 的作業原理

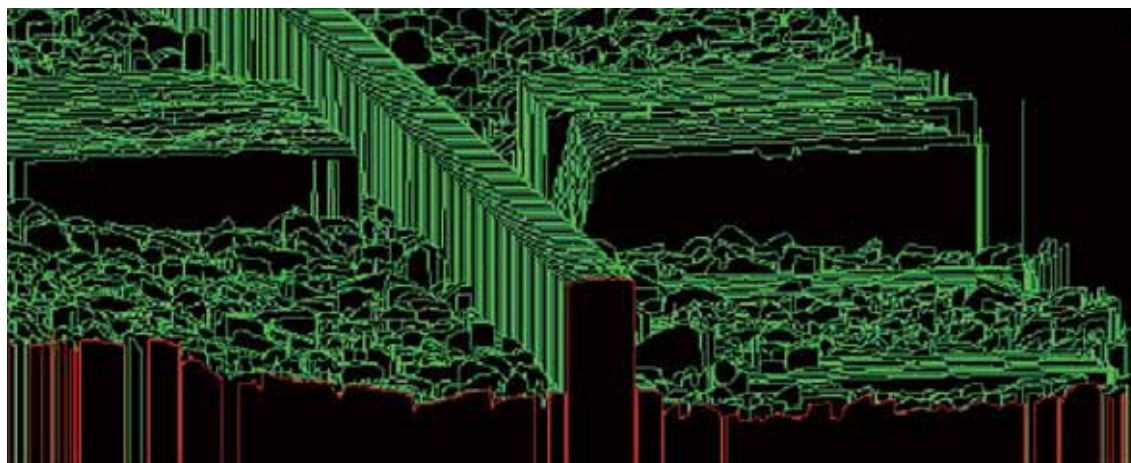


圖 25 軌道量測系統 (TMS) 擷取的典型圖像

(3) 軌頭檢測系統 (Track Head Inspection System, 簡稱 THIS)

軌頭檢測系統 (THIS) 為鋼軌軌頭的掃描攝影系統，表 5 為軌頭檢測系統 (THIS) 所使用的部分參數，而圖 26 所示為軌頭檢測系統 (THIS) 所擷取的典型圖像。

表 5 軌頭檢測系統 (THIS) 的部分參數

參數	數值
檢測範圍	160 mm
量測取樣間距	0.3 mm
橫向解析度	0.31 mm/ 像素
光源系統	IR LED



圖 26 軌頭檢測系統 (THIS) 擷取的典型圖像

電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 的技術規格

電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 的技術規格，如下表 6 所示：

表 6 電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 的技術規格

	技術規格
量測速度	50 ~ 120 km/hr
尺寸	每一個 V-CUBE 箱型檢測單元為 750 × 850 × 580 mm (如圖 27 所示)
重量	每一個 V-CUBE 箱型檢測單元為 55 kg (若包含兩個 V-CUBE 箱型檢測單元與相關錨錠扣件時則為 175 kg)

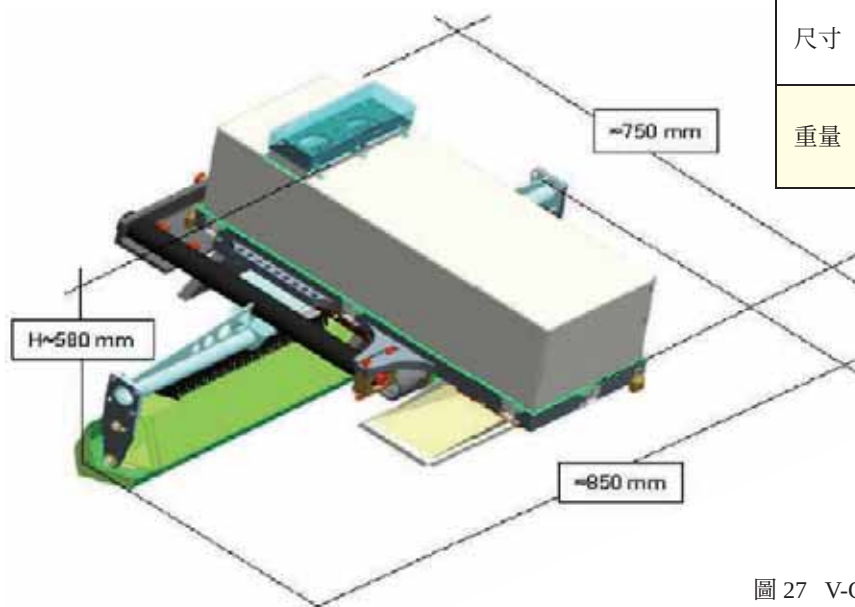


圖 27 V-CUBE 箱型檢測單元的尺寸

分析結果的輸出

當完成資料擷取與整理後，所有影像的局部資訊 (例如：位置、方位及有無瑕疵缺陷等等) 將完整串聯起來，系統會自動將有瑕疵缺陷處的影像局部資訊檢選出來。雖然為全自動化的檢測系統，但仍還有一些圖像需要離線後處理。在這種情況之下，若處於即

時 (Real Time) 影像擷取階段的影像局部資訊將被暫時存放於硬碟之中，待即時影像擷取結束後，自動把其他瑕疵缺陷處的影像再挑選出來。下面圖 28 至圖 35 所示為電腦視覺影像全自動軌道檢測系統 (V-CUBE) 所檢選出軌道設施有瑕疵缺陷處的影像局部資訊之範例：

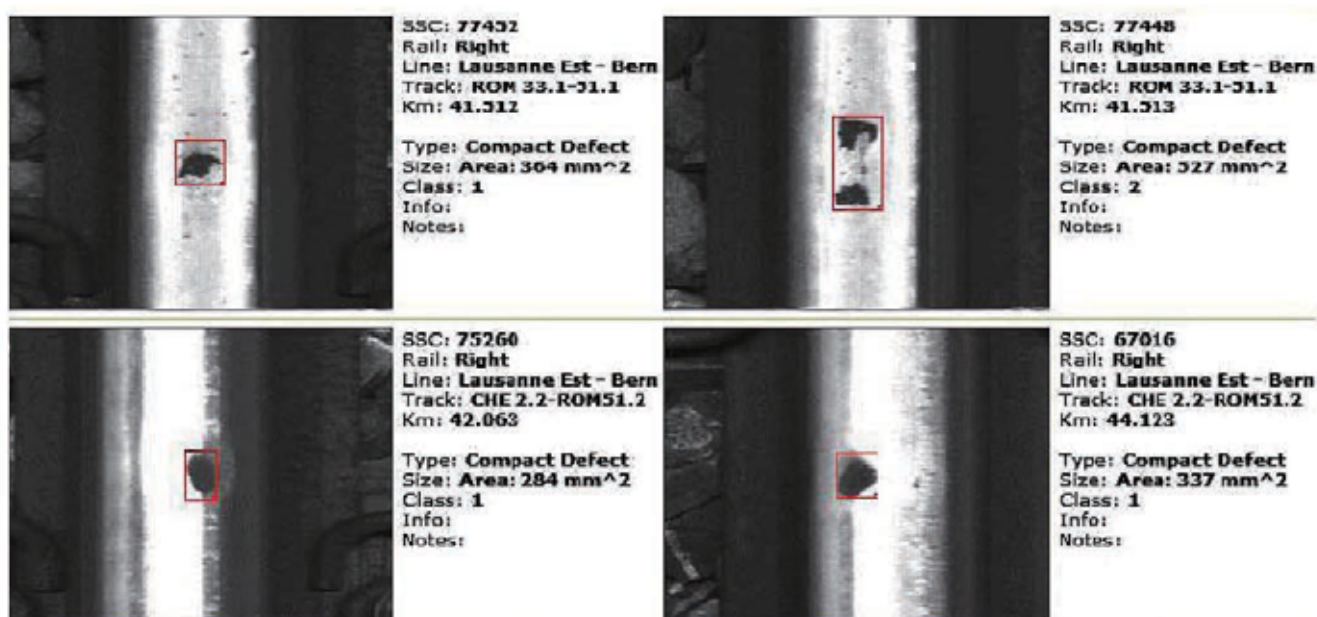


圖 28 軌道檢測系統 (TIS) 所產生的報告文件

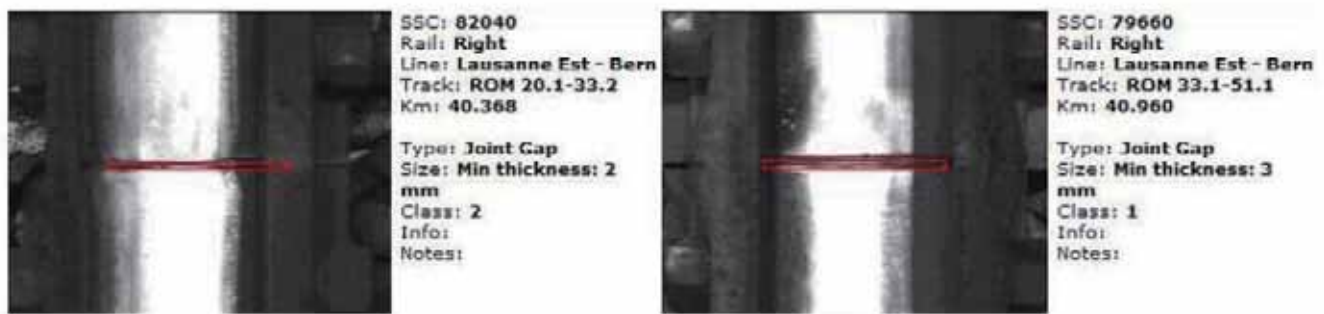


圖 29 絕緣墊片處的檢測報告文件

型式	自動選出的扣件影像	扣件特徵的描述 (紅色部分)
W14		

圖 30 扣件的光學特徵描述

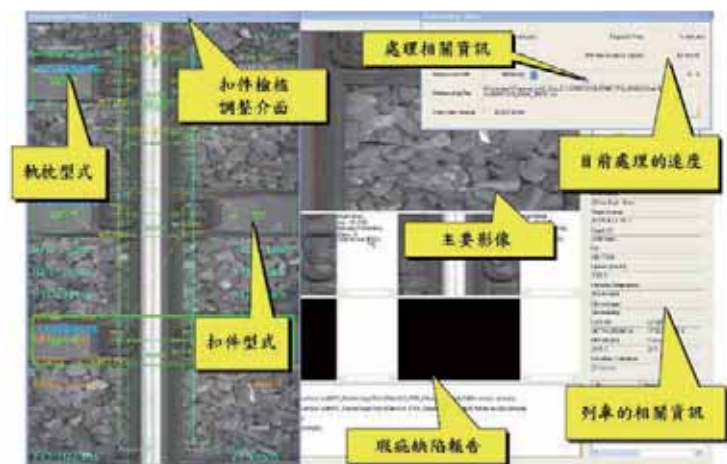


圖 31 全自動的扣件檢核

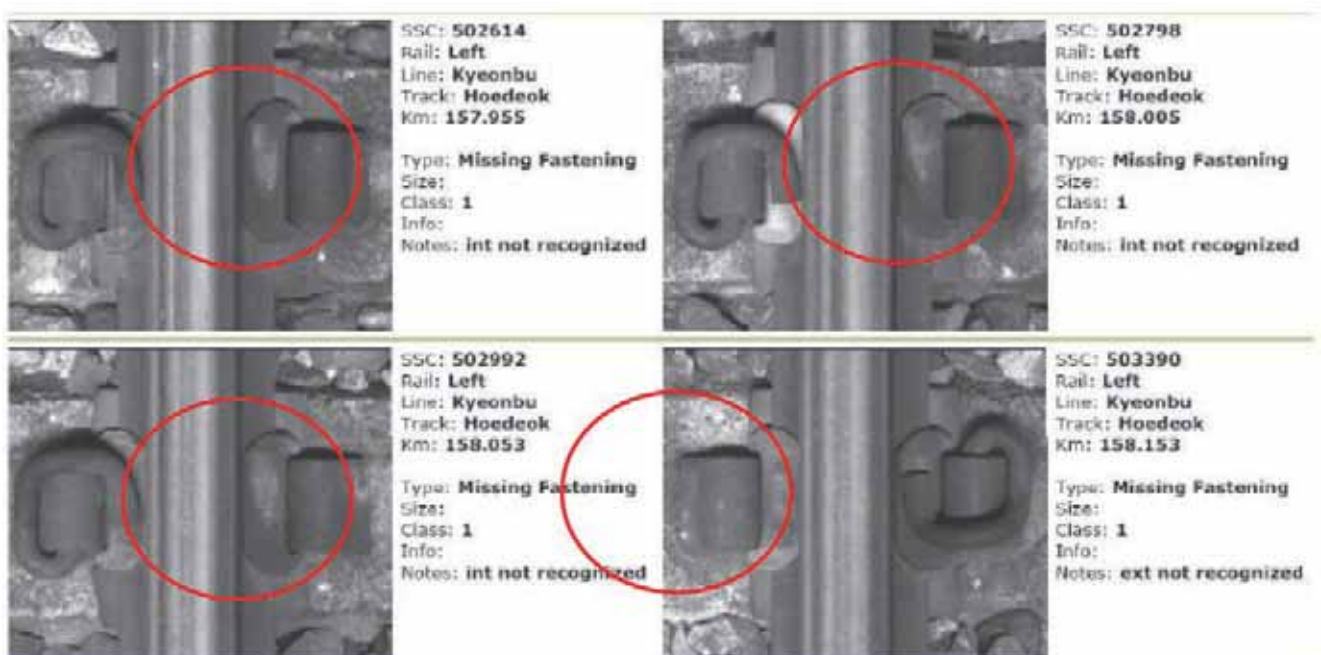


圖 32 不同位置處扣件的巡檢報告文件 (紅圈處表示扣件遺失)



圖 33 軌枕處的裂縫（紅色線處）

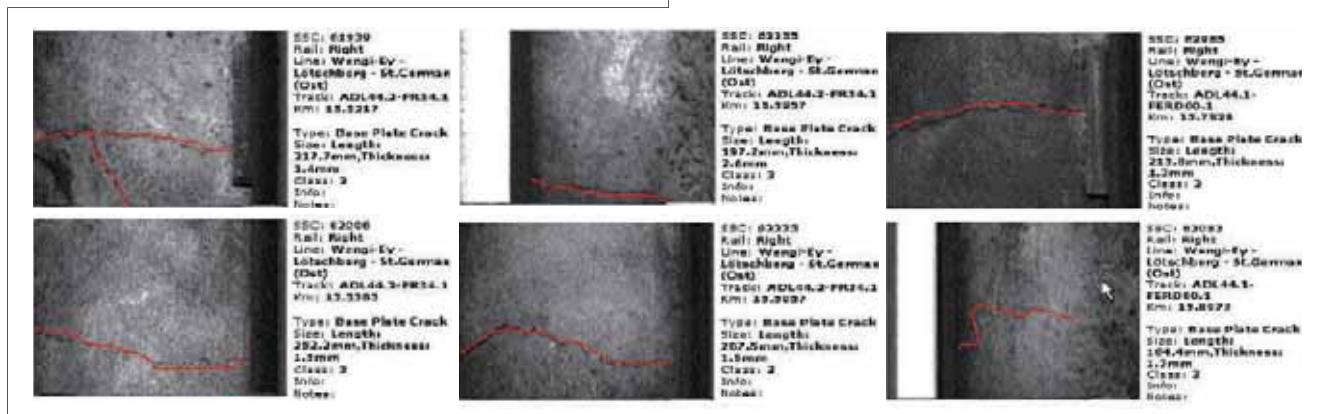
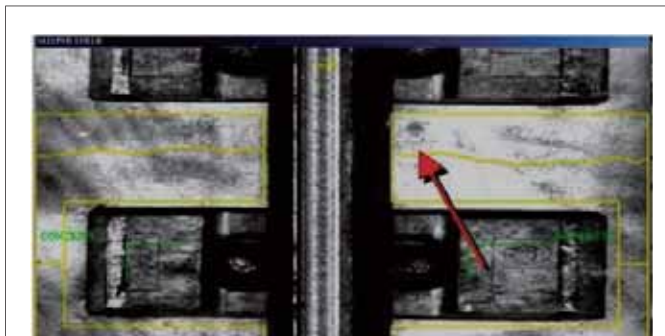


圖 34 混凝土道版裂縫處的相關資訊（紅色箭頭指示處）

結語

隨著列車運行速度的提高，對於列車的安全、舒適性提出了更高的要求，同時運行速度的提高，對於軌道基礎設施的損壞亦會加劇。因此，加強軌道基礎設施的動態檢測與即時管理軌道狀態，確保鐵路運輸安全，儼然已成為鐵路工作中的一項重要勤務。高速鐵路營運首重的是行車安全性，所以日常的維修、保養與檢測勤務工作不可少。藉由本文對於光學非接觸式軌道檢測分析設備的統整性說明，應可讓軌道維修專業人員對此一檢測儀器能有初步的認識與了解。本系統之採用將可快速且有效率地將鋼軌的波狀磨耗、道版裂縫、鋼軌剖面形狀、墊片、扣件或軌枕等有軌道基礎設施有瑕疵缺陷之處，逐筆列出以供維修單位後續的處置。古語有云「工欲善其事，必先利其器」，所以可預期的是，當此光學非接觸式軌道檢測分析設備正式上線使用於軌道基礎設施巡檢時，將可使得軌道基礎設施的監控更有效率且完備，並進一步建立台灣高鐵對於自身維修品質的高標準。

參考文獻

1. 黃民仁，「新世紀鐵路工程學」，文笙出版社，台北市，初版，民國 94 年。
2. 陳郁鴻（2005），「光學三角測量方法量測家蠶肌肉振動與脈搏變

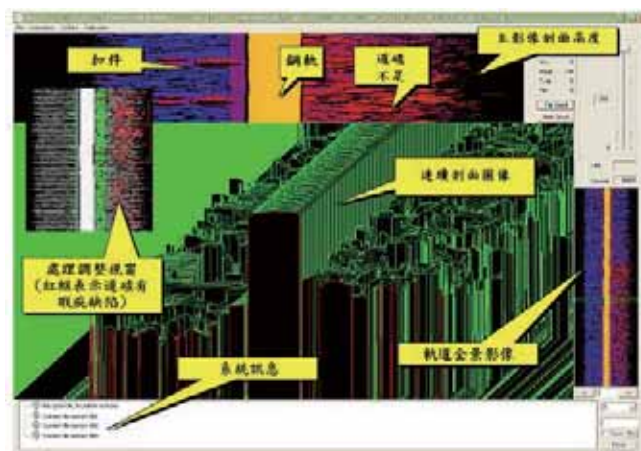


圖 35 全自動的道碴檢測

化之研究」，國立中央大學生命科學研究所，碩士論文，中壢市。

3. 張翔傑（2003），「研究以敲擊回音法之表面波位移推導轉換函數的可行性」，私立朝陽科技大學營建工程系，碩士論文，台中市。
4. 楊瑞科、王新寬、姚有群、吳建（2009），「強激光大氣傳輸穩態熱暈效應研究」，西安電子科技大學學報（自然科學版），第 36 卷，第 4 期。
5. Meehan, P. A. and Daniel, W. J. T., "Project#18-Rail Corrugation prediction and prevention", Cooperative Research Centre for Railway Engineering and Technologies (Rail CRC), Research report, Australia, 2007. (http://www.uq.edu.au/~uqpmeeha/SumProj18_05.pdf)
6. 波狀磨耗 - 保線ウィキ，このページの最終更新は 2009 年 5 月 23 日。（<http://hosenwiki.com/index.php?title=%E6%B3%A2%E7%8A%B6%E6%91%A9%E8%80%97>）





安坑輕軌計畫 — 土建設計概要

龐聲瑀／新北市府捷運工程局安坑輕軌工務所 主任

任萬山／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 計畫經理

安坑輕軌建設目的在提供「綠色、低碳、便利」的大眾運輸服務，配合新北市府定位安坑地區「山林悠活」之發展方向，本工程設計旨在彰顯各種建築設施之都市農學意象，將安坑建設為一個悠活於山林之中的安居社區。以「光與綠的展演場，家與山的守護站」為概念，作為設計規劃之主軸，落實綠色運輸，融合智慧綠建築的設計概念，以永續節能為設計目標，建設潔淨能源運輸路網。

前言

由於安坑地區持續不斷發展，使得交通問題更形嚴重，故為服務新店安坑地區民眾行的便利，並有效解決安坑地區交通困境，促進都市發展，乃由新北市府啟動「捷運安坑線可行性研究」並完成綜合規劃、基本設計暨相關調查，希望藉由輕軌車站周邊土地開發計畫，使都市發展能與捷運建設結合，以土地開發收益挹注捷運建設，並期望本輕軌建設帶動都市發展與地方經濟。

本計畫於 104 年 6 月奉行政院核定，新北市府考量沿線鄉親之期盼，為縮短時程，採用統包等平行作業方式，爰推出「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程」，於 105 年 3 月決標，統包廠商由新亞建設開發股份有限公司承攬（系統機電廠商由淡海輕軌廠商中鋼公司以後續擴充方式承攬，已於 106 年 5 月 1 日啟動。），預計 110 年通車。台灣世曦工程顧問股份有限公司在本計畫中係土建統包商之主要細設分包商，建築景觀設計部份主要為十匯建築師事務所辦理，本文內容主要係以土建統包團隊之設計理念供業界參閱。

工程概要

安坑輕軌計畫位於新店區安坑地區，全線約 7.5 公里，共設置 4 座平面車站、5 座高架車站及 1 座機廠（示意如圖 1），概述如下：

路線

位於新北市新店區安坑地區，由安泰路與安坑一號道路（簡稱安一路）交會處之機廠起，沿安一路中央預留廊帶北行，續沿安和支線及安和路改以高架方式前行，跨越國道三號高速公路與五重溪後，於經濟部水利署水工試驗室前轉向東行，跨越新北環河快速道路、新店溪、新店十四張地區，銜接捷運環狀線十四張站（Y7 站）。

車站

於安一路平面段上，分別於喜洋洋與甜蜜蜜社區附近設 K1 站，玫瑰路口南側設 K2 站、僑信路口南側設 K3 站、車子路口南北側設 K4 站、安忠路口東側設 K5 站，續沿安一路安和支線轉至安和路，並以高架方式沿安和路北行，於安和路與安康路交會處北側設 K6 站，台灣麥芽廠舊址附近設 K7 站，於安和路三段水利署新店辦公區設 K8 站，隨後跨越新北環快速道路、新店溪至新店十四張地區，設置 K9 站與環狀線 Y7 站轉乘。

機廠

位於二叭子植物園旁之安泰路與安一路交會處北側，並採立體化配置，設置包括駐車維修區、行政辦公區，整體設施用地約需 3.56 公頃。

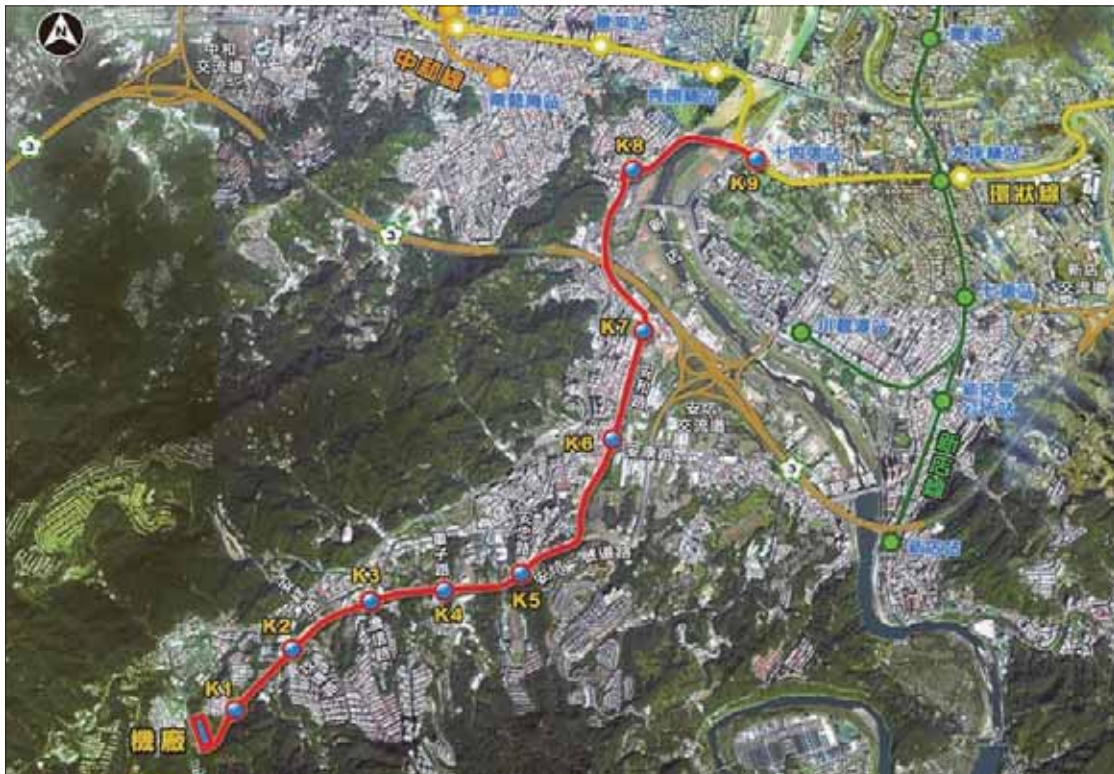


圖 1 安坑輕軌計畫路線示意圖

土建工作範圍及內容

本土建統包工程工作範圍涵蓋路線、車站、機廠等主體工程之土木、結構、軌道、大地、建築、景觀、水電、環控、電梯電扶梯等工項，系統機電部份則另由淡海輕軌廠商後續擴充。

設計理念與構想

建築景觀

● 融合都市景觀

新北市政府定位安坑地區「山林悠活」之發展方向，前階段基本設計設計成果旨在彰顯各種建築設施之都市農學意象，統包團隊延續前期設計精神，善用安坑地區森林、山坡、梯田、農場、社區、駐地藝術家、台閩式老宅、部落風情、中央印製廠等地理、人文條件，於細部設計階段，深度詮釋設計主軸，並於後續施工發揮永續發展理念，將妥善運用資源、精準實踐規劃，達成於預定計畫時間內通車的目標。

1. 將「光與綠的展演場，家與山的守護站」的概念，作為建築設計規劃之主軸，進而衍生九個站體及機廠區之空間形象與配置重點。輕軌工程不僅提供沿

線的公共藝術創作機會，並結合安坑當地人文歷史，展現變化豐富、精彩之都市風貌（意象如圖 2）。

2. 落實綠色運輸，從整體配置到站體及機廠的設計均融入智慧綠建築的設計概念，以永續節能為設計之原則與目標，建設潔淨能源運輸路網（意象如圖 3）。
3. 提倡人本交通，站體設施貼近使用者需求，滿足輕軌交通應具備之各項功能。並且扮演銜接在地山城社區私人運具的中繼站，整合接駁車停放位置，使與輕軌候車站順暢聯結。



圖 2 公共藝術意象



圖 3 綠色運輸意象

4. 配合發展智慧型運輸系統 (I.T.S.) 的遠景，建築設計強調安全、環保、效率，及經濟的目標。

● 候車站整體造型設計

1. 植栽設計構想

植栽選擇以原生樹種，創造環境綠化為原則，依據各候車站環境特性，植以防風喬木，靠近車軌處種植少落葉之喬木。配合周邊環境栽種適合之樹種，規劃開放空間，串連都市空間，創造休閒和諧的景觀環境（意象如圖 4）。

2. 地坪鋪面設計構想

地坪以石材鋪面、人造石地磚及透水地磚為主，停車區採植草磚，並栽種灌木及草皮，以塑造具有親

和力並融入周遭環境之都市景觀（意象如圖 5）。

3. 景觀照明設計構想

配合不同空間需求使用性，採用多樣之節能燈光照明，以營造出不同且豐富之空間氛圍（意象如圖 6）。

4. 站體造型外觀透視模擬（如圖 7～圖 15）

本路線自山林延伸，穿越安坑至新店都會區，自 K01 站至 K09 站將以圖 7 之設計意象展現。



圖 4 植栽意象



圖 5 鋪面意象



圖 6 景觀照明意象

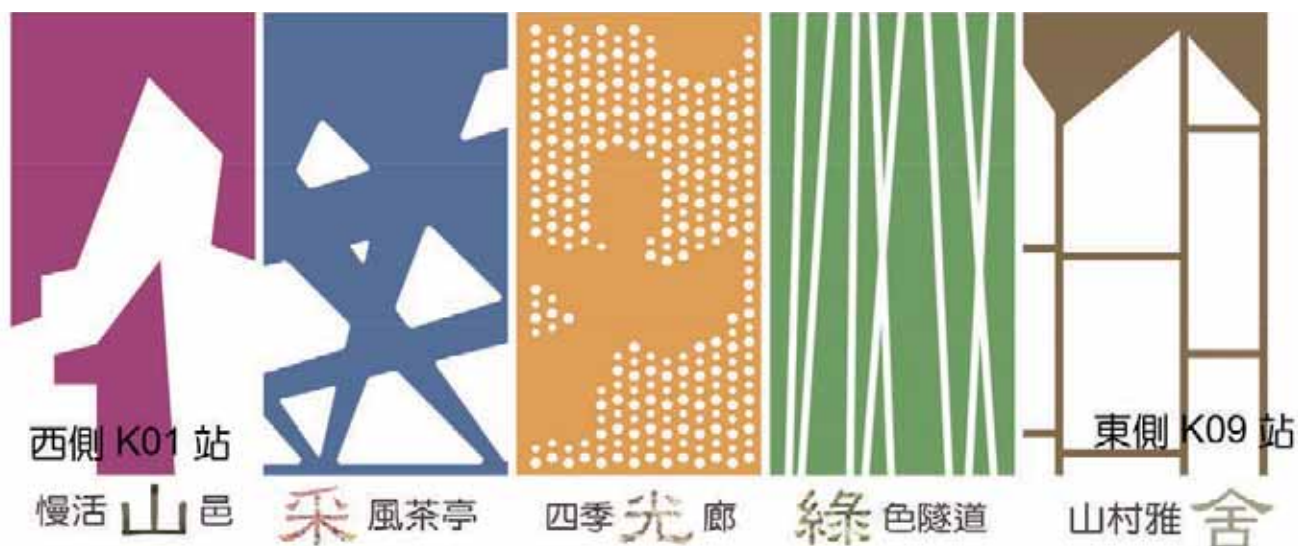


圖 7 車站意象示意圖景觀照明意象



圖 8 K1 站造型透視圖

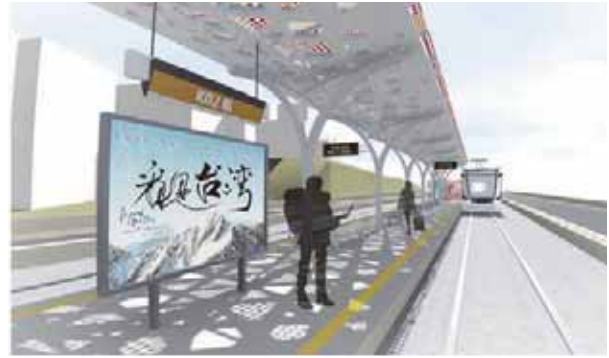


圖 9 K2 站造型透視圖



圖 10 K3 站造型透視圖



圖 11 K4 站造型透視圖



圖 12 K5 站造型透視圖



圖 13 K6~K8 站造型透視圖



圖 14 K9 站造透視圖（一）



圖 15 K9 站造透視圖（二）

橋梁工程

1. 型式研選原則與考量

沿線橋梁有其不同之交通狀況、施工條件與周遭環境，故橋梁研選除考量安全、經濟、美觀等基本原則外，

亦須兼顧工程特性、規模、施工經費及施工技術水準等因素，本計畫高架橋梁平面配置位置如圖 16。全線橋梁以制式橋梁為大宗，故設計將妥選結構系統、跨徑與材料，除確保行車安全、舒適，亦能方便施工及加速工進。



圖 16 高架橋配置位置示意圖

橋梁造型設計上，避免橋柱與橋面過於巨大的量體影響整體都市景觀，可考量利用細部設計來達到視覺輕量化的效果（如圖 17）。綜整考量要素，制式橋型方案採「單箱預力混凝土梁橋場撐工法」（如圖 18），標準斷面如圖 19，利用熟練工法技術及普遍機具設備施作，除可提升工程品質，加速工進外，亦可創造本計畫特色與亮點。



圖 17 橋與都市景觀結合透視圖



圖 18 制式橋—箱型梁橋透視圖

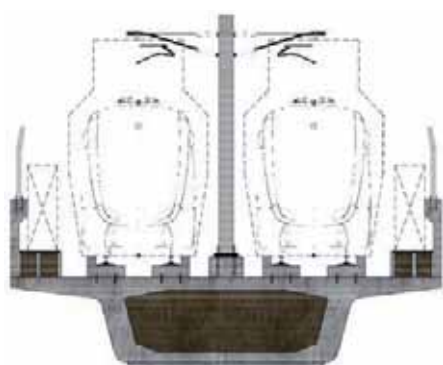


圖 19 橋梁標準斷面圖

高架橋行經之路線，如需跨越寬度較大之橫交道路、水路或下方淨高受限制，無法採前述制式橋梁者，則改採非制式橋梁。考慮路段特性、結構特性及施工性後，研擬之型式為鋼箱型梁橋及連續預力箱型梁橋，其造型分別如圖 20 及圖 21 所示。



圖 20 非制式橋—鋼箱型梁橋透視圖



圖 21 非制式橋—連續預力箱型梁橋透視圖

2. 跨國道 3 號、五重溪及中安大橋引道橋梁設計構想

輕軌高架橋以小角度斜向依序跨越國道 3 號、五重溪及中安大橋引道高架橋，其中為避開挖子橋，路線線形將在國道 3 號前即逐漸偏向東側（如圖 22），此區段周遭路口及用地複雜且狹窄，可供立柱之地方相當侷限，且跨越國道 3 號及中安大橋引道高架橋尚需滿足淨高 5.1 m 需求，因此在交通繁忙壅塞路段，橋梁之配置及施工方法須妥善規劃，以減少施工對周遭交通及既有建物設施之衝擊，以確保工程順利進行。



圖 22 跨國道 3 號、五重溪、中安大橋引道橋段鳥瞰圖

(1) 跨國道 3 號橋型建議 (如圖 23)

- 融入街道景觀，採拋物線梁深變化，線條簡潔。
- 採預力懸臂工法，利用工作車自動化施工，減少對國道 3 號交通造成衝擊。

(2) 跨五重溪及中安大橋引道橋型 (如圖 24)

- 避免河道中落墩，有利工作推動。
- 採預力懸臂工法，利用工作車自動化施工，減少對區域交通及溪河造成衝擊。



圖 23 跨國道 3 號橋示意圖



圖 24 跨五重溪橋示意圖

3. 跨新店溪設計構想

新店溪河道寬約 310 m，河道深槽區寬約 70 m，設計須考量因素包含：

- (1) 橋梁跨距及高度皆須符合 200 年洪水位之水利需求。
- (2) 橋梁柱位應避開偏向安坑端寬約 70 m 深槽區。
- (3) 與台北環狀線捷運 DF111 標界面搭配。
- (4) 軌道工程道岔位置將影響橋梁單元配置。
- (5) 橋梁型式對軌道伸縮縫設置之影響。
- (6) 跨新店溪兩側環快道路及 K9 站下方計畫道路淨高須維持 5.1 M。
- (7) 在整體區域景觀方面，需將鄰近上下游橋梁型式一併納入考量。

● 設計理念

鳥只在令牠“安心”的地方洗澡，以其微微展開翅膀享受洗澡的樣子，藉喻著把新店溪兩岸當成安全安心的家。將鳥展翅洗澡的形象轉化為斜張型式 (如圖 25)，象徵每天都能平安順心，也指往來“安”坑“新”店—“安心”橋的意思。

● 結構特色

複合式混凝土斜張橋塔搭配鋼桁架橋組成，採非對稱斜張橋設計，呈現結構力學不對稱美感。主跨及邊跨之斜張鋼纜採雙索面扇形設置，簡約整齊，具現代美感，跨徑配置為 225 m + 150 m。

● 照明計畫

以正面白色光將橋塔打亮，如同一隻水鳥在水面洗澡，河水飛濺，波光淋漓；在橋體外的暖色點燈光，更讓橋體在黑夜中呈現弧形光影。纜繩則以白色光從底部往上發射，光源由強漸弱，照明計畫透視模擬如圖 26。



圖 25 跨新店溪斜張橋透視圖



圖 26 跨新店溪橋照明計畫透視模擬圖

軌道工程

採鋼軌鋼輪軌道系統、標準軌距 1435 公厘及長鉚鋼軌。考量安坑地區之地理環境、交通景觀及既有結構之限制條件等，研擬線形及軌道型式配置；另配合

機電系統需求以確保列車行駛時安全、平順，並滿足絕緣、防蝕、環境保護、景觀、減振降噪、便利人車通行等等需求。各路段之軌道型式配置，如表 1。

表 1 軌道型式配置建議一覽表

路段	軌道型式	鋪設地點
高架路段 隧道及出土段	無道碴基 座式軌道 (如圖 27)	高架段及高架橋引道： (1) 正線 (K2 站前後、K5 ~ K6 間、K6 ~ K9 間) (2) 進出廠軌道 (K5 站 ~ K6 站間三孔隧道段、出土段、明挖覆蓋隧道段及委辦箱涵段)
地面段	無道碴埋入式軌道 (混凝土或 花崗石鋪面，如圖 28 & 圖 29)	月台區及道路交叉口前後 10 m 範圍
	無道碴埋入式軌道 (植草鋪面，如圖 30)	除上格範圍外之區域：K1 ~ K5 間 (除 K2) 及 K5 ~ K6 箱涵與高架橋間
減振制噪 軌道	浮動式道床軌道	環境保護需求中「沿線特殊振動敏感區」
	高隔振軌道	
機廠軌道	廠房內埋入式軌道 (如圖 31)	駐車廠駐車線、維修工廠維修機坑前後軌道
	U 型機坑軌道 (如圖 32) 柱式機坑軌道	維修工廠：土木軌道維修廠區檢修軌區、維修軌區
	道碴軌道	機廠廠房外區域測試軌



圖 27 高架段基座式軌道（北捷）



圖 28 埋入式軌道／混凝土鋪面



圖 29 埋入式軌道／花崗石鋪面



圖 30 埋入式軌道／植草鋪面



圖 31 廠房內埋入式軌道



圖 32 U型機坑軌道

機廠工程

1. 機廠建築設計構想（全區配置如圖 33）

● 量體配置

駐車維修廠順應地形並依據道路高程配置，屋

頂開放空間可供訪客使用，增加機廠與人之互動（如圖 34）。機廠以樸實農學為意象，整體造型如大樹交織及梯田意象疊合，使機廠上下、內外空間交織出一曲悠遊慢活的旋律（如圖 35）。

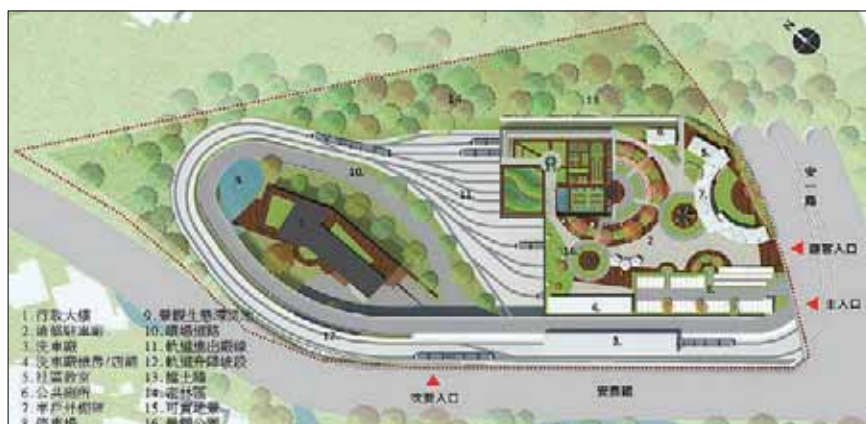


圖 33 機廠全區配置平面示意圖



圖 34 維修機廠及屋頂景觀透視圖（示範都會農學之地景設計）

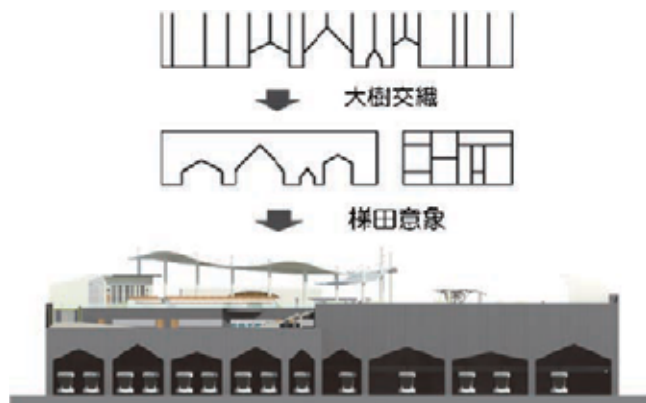


圖 35 維修機廠立面透視圖

行政大樓以慢活山邑為發想，以山岩佇立的形象，提供一個安心的工作環境，呈南北向配置，以遮陽版對應局部西曬並增添造型特色（如圖 36 & 圖 37）。



圖 36 行政大樓與滯洪池相輝映



圖 37 行政大樓透視圖（如山岩佇立）

● 環廠動線

全區採人車分道設計。

● 綠色運輸系統

貫徹綠色運輸理念，於主次入口、建築周邊及屋頂開放空間設置自行車租借系統，提供員工廠內交通及訪客使用；停車空間則提供電動汽車充電站，鼓勵使用替代能源運具。

● 噪音阻隔

駐車維修廠區三邊有地形包覆，且建築外牆距安泰路 20 M 以上，基地四周劃複層植栽做為隔離綠帶，有效降低環境之噪音干擾。

● 滯洪池生態設計

滯洪池兼具景觀與降低洪峰流量、遲滯洪峰到達時間及增加入滲等功能。池岸採植生緩坡、多樣性棲地條件，外圍設置觀景平台，使其兼具滯洪防災、生態保育、環境教育及景觀休憩等功能。

2. 機廠景觀設計概念

機廠屋頂景觀將以梵谷的畫布色彩豐富、情感充沛之概念（如圖 38），來表出自然環境的旺盛生命力（如圖 39）。



圖 38 梵谷的畫布



圖 39 機廠景觀配置示意圖



A. 景觀滯洪池



B. 草皮景觀



C. 花園景觀



D. 市集景觀

3. 落實都會農學構想

響應社區、農業、山林平衡永續發展的趨勢，利用輕軌各項設施做為活動平台，推動以「人與自然和諧共處」為願景的新農業地景，包涵人文特色的醞釀培養，策略方式如可食地景、魚菜共生、資源回收、生態保育、人文風情及農產市集等（參考如圖 40～圖 42）。



圖 40 可食地景 圖 41 生態保育 圖 42 農產市集案例

4. 機廠配合外部參訪構想

營運時期機廠將視參訪者特質，搭配不同活動範圍及路徑的需求而調整，並規劃據點（如圖 43）進行參訪活動。

5. 結合農遊意象構想

營運期間運用地資源，在機廠及沿線候車站推廣農遊活動，以輕軌連結各個活動地點，藉綠色運具串聯，實踐永續理念，並依季節及節氣，設計當令活動（如圖 44），結合此區域位於山林間、水岸旁的各種耕種、農作，形成安坑特色生活模式。



解說平台



內部參觀走道



巡遊步道觀景天窗

圖 43 建議之活動據點



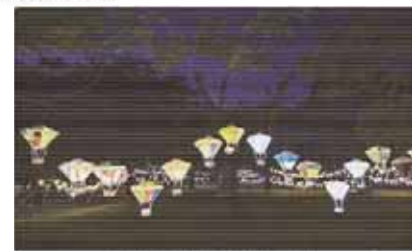
春_雙溪花海案例



夏_新店和美山麓案例



秋_新潭農天市集案例



冬_鐵花村燈海市集案例

圖 44 依各季節建議之活動案例

結論與建議

配合新北市三環三線政策，建置安坑輕軌後，將可連接結捷運環線，有利推動安坑發展，提供運輸新走廊，打造大台北一小時生活圈。

土建統包團隊妥善考量安坑地區自然與人文條件，輔以光與綠的展演場，家與山的守護站之概念進行設計，朝山林悠活、都會農學之方向發展，希望透過輕軌之串聯，形成一風貌獨具的生活網絡，以實現幸福安坑的美麗願景。

參考文獻

1. 「安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程一企劃書」，新亞建設 & 台灣世曦，105 年 02 月。
2. 新北市都市設計審議報告書（D 版）／安坑輕軌運輸系統計畫／K1～K9 輕軌候車站、高架橋造型、機廠，十匯建築師事務所，106 年 06 月。



臺鐵潮州機廠之規劃設計

林治平／交通部臺灣鐵路管理局專案工程處 處長

李瑞欽／交通部臺灣鐵路管理局專案工程處 副處長

韓光曙／台灣世曦工程顧問股份有限公司鐵道工程部 副理

高雄機廠遷建至潮州機廠後，其車輛檢修作業將為臺鐵經營注入蛻變新契機，目前臺鐵現有客車、貨車均集中由高雄機廠承擔大修，在廠房的規劃設計需考量能配合未來臺鐵營運策略及車輛種類變化，而具有 EMU 維修能量擴充機制，在修車流程的佈設需能達到提升修車績效以降低成本，而為鐵路營運安全與調度效率打下深厚之根基。

前言

目前臺鐵局的客、貨車三級 四級檢修係利用臨港線進出高雄機廠辦理檢修作業，而政府為縫合高雄都會區都市紋理，刻正辦理高雄鐵路地下化建設，在 108 年後地面鐵路將移至地下隧道，臨港線將會面臨斷軌，造成列車無法進出機廠檢修，故高雄機廠需辦理遷建至潮州機廠，詳圖 1。目前部份臨港線路廊已進行環狀輕軌建設第一期，未來機廠遷建後，其餘路廊將供其第二期使用。

車輛檢修分級概述

依據「鐵路機車車輛檢修規則」第十八條規定，客、貨車之定期檢修分為四級，其各級檢修工作重點如下：

一級檢修：指整備檢修，按客、貨車使用狀況，在規定期間內，就下列項目之狀態及作用，由外部施行之檢修。（行走裝置、軀機裝置、連結裝置、電氣裝置、空氣調節裝置、供水裝置、車內各種設備、車架及轉向架、車身等）。



圖 1 臨港線進出高雄機廠路線圖

二級檢修：指局部檢修，按客、貨車使用狀況於規定期間內，就下列項目之狀態及作用施行之檢修。

（氣軔裝置、供水裝置、發電裝置、蓄電池、電扇、空氣調節裝置）。

三級檢修：指全盤檢修，按客、貨車使用狀況於規定期間內，將車輛各重要部分予以解體後，就車輛全部機構之狀態及作用施行之檢修。

四級檢修：指更新檢修，於車輛損耗情形嚴重，須重新翻造時，施行之檢修。

「鐵路機車車輛檢修規則」第十九條定期檢修之各級檢修週期基準如下：一級檢修：客車六十天以內、貨車九十天以內，二級檢修：二年以內，三級檢修：客車三年以內、貨車五年以內，四級檢修：必要時施行之，如圖 2。一級、二級檢修由段及所辦理；三級、四級檢修則由機廠擔任，如圖 3。

臺鐵路維修基地運用情形

臺鐵路車輛維修基地有 3 座機廠，7 個機務段，2 個檢車段，3 個機務分段，2 個機務分駐所，共計 17 個單位，各單位維修車種、運轉轄區，如圖 4。其中三、四級檢修機廠目前則由北部臺北機廠（已遷移桃

一級檢修	客車：60 天以內 貨車：90 天以內
二級檢修	客車：2 年以內 貨車：2 年以內
三級檢修	客車：3 年以內 貨車：5 年以內
四級檢修	必要時實施之

圖 2 定期檢修之各級檢修週期基準



圖 3 廠段各級檢修工作內容

園富岡基地)、南部高雄機廠（遷移至潮州作業中）及東部花蓮機廠執行。

另為配合未來環島電氣化建置完成及臺鐵整體購置及汰換車輛計畫（104 113 年）陸續交車，其環島維修基地、維修車輛與運轉轄區需配合營運需求適時調整修正。



圖 4 臺鐵路廠段配置位置及運用

客貨車三四級檢修流程

高雄機廠主要以客、貨車三級檢修工作為主，其種類可分：貨車、普通客車、復興號、莒光號、PP 客車等，工作內容因各等級車輛購置時間不同，而維修工序方法，使用零組件均有差異，但維修流程大致相同，其車輛檢修流程詳圖 5。考量電聯車將成為臺鐵運輸主流，故遷建潮州機廠之廠區軌道路線、車輛維修廠房及相關設施，需考量電氣化淨空及電聯車維修空間等因素，以利日後可直接轉換維修電聯車。

潮州機廠基地配置規劃

潮州機廠在規劃配置上主要是要建立一座檢修流程順暢化、維修設備現代化及工場布置效率化的廠房。在車輛檢修流程方面是經過分析臺鐵局營運資料及參考高雄機廠目前客車檢修現況，同時考量納入臺北機廠檢修電聯車流程，據以發展各工場及場區之設計。

在廠區整體建設採用公共藝術為概念，以 landscape 為手法，讓機廠成為田園景觀的一部份，再將意象延伸至廊帶，共同表現具觀光特色與地景藝術之鐵道設施。為符合臺鐵局車輛採購策略及滿足車輛三四級檢修作業，基地採最大量來擬定廠房大小及布置，並依

需求選用機具進行適當排列，據以擬訂作業流程，務使達到簡單、順暢、有效率。在基地規劃採五大區域設計，分別為 A. 徒步生活區、B. 生態保育地（領角鴉—森林）、C. 機廠工作區、D. 生態保育地（燕鴿—礫石地）、E. 綠帶緩衝區等，並預留二期電聯車的檢修廠房空間。詳圖 6。

檢修廠房佈設構想

客貨車主要檢修作業是集中於機廠工作區，在廠房配置採並列式原則來規劃，以縮短檢修過程中車輛的移動距離，並方便車輛調度管控，主要廠房包括有綜合工場、客車工場、裝配工場、噴漆除塵工場、漏水試驗線及移車台等。各廠房的作業空間配置如下：

綜合工場

配置主要考量將較高污染及高荷重的檢修主件放置在低樓層，以節省運送過程中人力及時間耗用，並將降低垂直運送過程中的工安意外發生機率。

A. 綜合工場一層：

- a. 電池作業區、b. 工具機作業區、c. 軸承作業區、d. 鈑金作業區、e. CI/SIV 模組維修區、f. 轉向架作業區、g. 車輪組作業區、h. 橡膠檢修更換作業區



圖 5 客貨車三四級檢修流程



圖 6 潮州機廠全區配置圖

B. 綜合工場二層：

- 發電機測試區、b. 空調機檢修區、c. 油壓避震器檢修區、d. 氣軔軟管檢修區、e. 廁所設備檢修區、f. 軔缸檢修室、g. 閥類作業區

C. 綜合工場三層：

- 廠務空壓機房、b. 門機試驗區、c. 門窗風檔檢修區、d. 木工作業區、e. 縫紉機作業區、f. 座椅作業區、g. 電氣零組件維修區、i. 顯示器及電子儀表作業區

客車工場及裝配工場

A. 客車工場：

共 3 股道，每股道規劃 10 輛客車車位，第 1 股及第 3 股設置地下式頂升設備，將來可一次抬升不解聯的十輛電聯車組，第 2 股設置檢修坑。

B. 裝配工場：

共 2 股道，每股道規劃 10 輛客車車位。

噴漆工場

A. 除塵線：

共 2 股道，每股道規劃 1 輛客車車位。

B. 噴漆線：

共 8 股道，每股道規劃 1 輛客車車位。

漏水試驗區

共 2 股道，每股道規劃 1 輛客車車位。

車輛檢修流程構想

車輛檢修流程是採用多重步驟組合來構成，每一個步驟都可獨立運作，現場可依實際狀況調整工序，以降低中斷待工情形發生，詳圖 7。車體是利用移車台來連結各廠房間動線，轉向架採廠房間橫渡軌道來進出客車工場及轉向架工場間，主件則可利用堆高機、搬運車或平板推車等往返各工場，作業流程如下：

[Step01] 由進廠線調入移車台，進入除塵線，初步進行車底下方吹氣除塵清潔作業。

[Step02] 由移車台調入裝配工場，初步進行車輛進廠檢查後作成紀錄。拆卸車頂設備如屋頂式空調機及內裝設備，以架空移動起重機及電動搬運車，運送屋頂式空調機及內裝設備如椅墊、門窗等至綜合工場。

[Step03] 再由移車台調入客車工場第 2 股檢修坑，拆卸轉向架，由客車工場的架空移動起重機，將轉向架吊掛或推至轉向架電動轉盤處移往綜合工場 1 樓轉向架作業區維修。

[Step04] 吊掛車廂至第 1 或第 3 股檢修位，施行檢修維護。拆除之車下或車內部件，利用電動搬運車或堆高機運送至各組件作業區。

[Step05] 車體檢修後，再吊移至第 2 股，組裝轉向架。

[Step06] 由移車台調入噴漆工場，進行噴漆作業。

[Step07] 再由移車台調入裝配工場，進行空調機組裝、室裝作業及通電靜態測試。

[Step08] 靜態測試後，調入漏水試驗區檢查後出廠。

轉向架工場配置及作業流程

轉向架是支撐車體，並與軌道直接接觸的設備，主要功能有承載、導向、減振、牽引、制動等，並且直接影響到車輛的運行穩定性和乘坐舒適性。因轉向架的構成部件相當多，也是車輛檢修作業的要徑工項，故轉向架工場配置及流程規劃的良窳，更是影響檢修工作效率的主要因素，潮州機廠的轉向架工場除參考高雄機廠客車作業流程及台北機廠電聯車檢修規

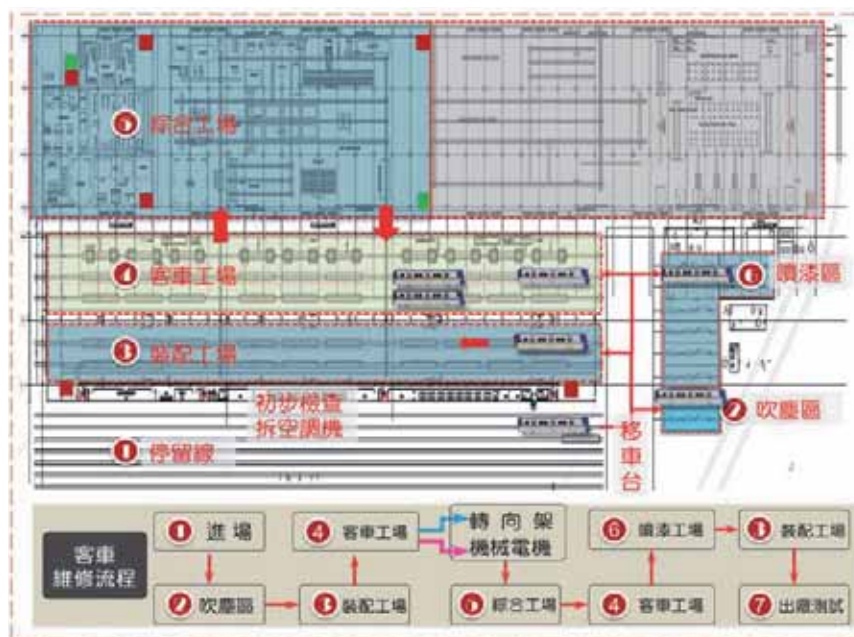


圖 7 客車檢修流程示意圖全區配置圖

定外，同時也納入國外車輛機廠的配置優點，讓轉向架工場不僅符合客車檢修需求，日後更可無縫轉換成電聯車檢修工作，轉向架檢修作業流程如下：

轉向架作業區

[Step01] 空氣彈簧拆卸：轉向架自客車工場移至轉向架作業區後，於前置作業區先拆除空氣彈簧。

[Step02] 清洗轉向架：移至轉向架清洗裝置進行清洗。

[Step03] 轉向架主件拆解：轉向架清洗完成，運送至拆

解區，使用轉向架升降裝置或架空移動起重機吊掛轉向架，進行軸箱、車輪組拆解，車輪組經車輪轉盤移至車輪組作業區。

[Step04] 拆解各維修配件：轉向架框架放置轉向架作業區後續拆解各維修配件移至各維修作業區。

[Step05] 轉向架框架檢修：將拆解後之轉向架框架，經檢視如需檢修時，以堆高機運至框架檢修區，進行檢驗、焊補、研磨等工作。

[Step06] 轉向架組立：各部件依序完成後，運回轉向架

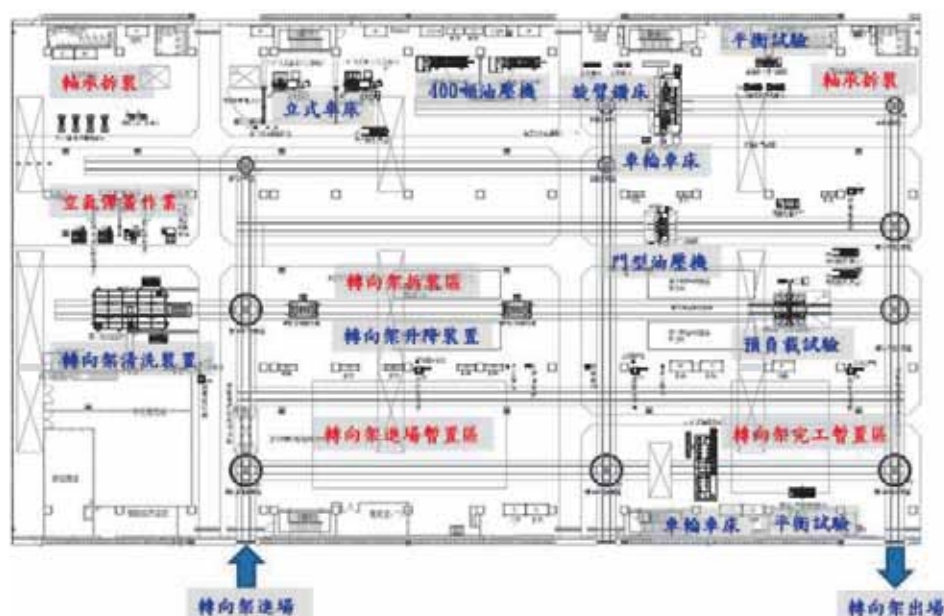


圖 8 轉向架工場配置圖

作業區，使用門型油壓機協助避震彈簧組裝，並完成轉向架總成之組立作業。

[Step07] 轉向架預負載試驗。

[Step08] 車體組立：完成之轉向架總成經由轉向架電動轉盤移回客車工場與車體組立。

車輪組作業區

作業項目包括檢查輪對與車輪、鏟削車輪、分解輪對及更換車輪，作業流程如下：

[Step01] 新輪盤或車軸製作：使用 CNC 立式車床（立式搪床）鏟削車輪新料內孔及 12 尺精密車床實施車軸新料鏟削作業，作業完成新料放置於置放區。

[Step02] 軸承拆卸：車輪組自轉向架作業區移至承軸拆裝區後，使用 100 噸軸承拆裝設備先拆除軸承。

[Step03] 輪軸檢查：包括磁粉探傷、超音波探傷等檢查工作。

[Step04] 車輪進場可能維修 3 種狀態，A. 鏟削、B. 換輪盤→鏟削、C. 分解車軸→鏟削。

A. 鏟削：輪軸組直接運送至 CNC 車輪車床執行鏟削作業。

B. 換輪盤→鏟削：輪軸組運送至 400 噸油壓機（車輪壓床）擠壓推開車輪，更換新輪盤後，再經由軌道至 CNC 車輪車床執行鏟削作業。

C. 分解車軸→鏟削：輪軸組運送至 400 噸油壓機（車輪壓床）擠壓推開車輪，更換新車軸，再壓回輪盤後，經由軌道至 CNC 車輪車床執行鏟削作業。

[Step05] 試驗及調整：完成後之車輪運送至車輪組平衡試驗機執行平衡試驗及調整，測試完成後，存放於車輪儲放區。

建築資訊模型（BIM）協同作業

潮州機廠在設計階段即全面採用 BIM 技術進行建築、結構、機電的協同設計作業，藉由 BIM 軟體的協同作業機制及模型整併工作，以標準化的跨專業整合流程，達到有效整合設計界面，減少建築、結構、機電的設計界面衝突。另外也將 BIM 作業運用在綠能的分析上，例如建築外殼熱輻射分析、區域風場流體分析。在施工階段可同時導入日本國土交通省之 CIM（Construction Information Modeling）技術為核心發展各項作業，藉由情報（Information）與通信

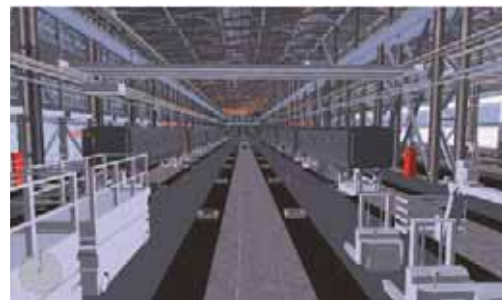


圖 9 客車工場的檢修設備配置檢核

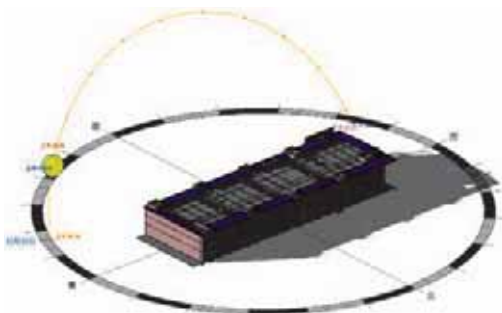


圖 10 綜合工場外殼熱輻射分析

（Communication）技術（Technology）來加速全生命週期的運用，最後可彙整完成竣工建築 BIM 模型，以利未來維護管理。

結語

配合高雄市區鐵路地下化推動，高雄機廠已規劃設計遷至潮州，並以現代化、低維護、人性化、低碳永續為建設目標，並期許與潮州地區共榮發展創造雙贏。潮州機廠在廠房佈置是依工作分類採集中式上下樓層配置，並以流暢的檢修流程來縮短待運時間及搬運距離。在機具設備購置是引進新型自動化加工及檢修設備，以提高效率、品質，並降低營運維護成本。未來新建的潮州機廠將與剛完工啟用之潮州車輛基地共同營造成為臺鐵局可執行完整一至四級檢修之南部車輛維修中心。

參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局（2013），高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫—綜合規劃報告。
2. 臺灣世曦工程顧問公司（2015），「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫」委託設計技術服務（含施工監造）—服務建議書。
3. 交通部臺灣鐵路管理局（2015），高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫—檢修設備作業簡報資料。
4. 交通部臺灣鐵路管理局（2016），高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫—BIM 模型作業簡報資料。
5. 交通部（2016），鐵路機車車輛檢修規則。
6. 交通部臺灣鐵路管理局（2017），高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫—檢修設備設計報告。



「土木水利」雙月刊 廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

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

茲附上廣告式樣一則

請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

刊登月份：

○ 45.2 ○ 45.3 ○ 45.4 ○ 45.5 ○ 45.6 ○ 46.1 共 次
(4月) (6月) (8月) (10月) (12月) (2月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣

元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：
商號

(請蓋公司印)

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

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

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款 帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金 額 新台幣 (小寫)	萬	仟	佰	拾	元
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

報名費

☐ 繳納 研討會

報名費 元

繳納會費

☐ 常年會員年費 1,200 元

☐ 初級會員年費 300 元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期

☐ 國內·會員 新台幣 350 元

☐ 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元

自第 卷第 期起， 年期雙月刊 份

訂閱中國土木工程學刊，一年四期

☐ 國內·會員 新台幣 800 元

☐ 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元

☐ 國外·個人 美金 40 元

☐ 國外·機關團體 美金 100 元

自第 卷第 期起 年期學刊 份

收款戶名 社團法人中國土木工程學會

寄 款 人

主管：

姓名

地

址

電話

經辦局收款戳

◎ 寄款人請注意背面說明

◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款 帳號戶名	
存款 金額	
電腦 紀錄	
經辦 局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓 名		款 別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	報名費 ☐ 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 ☐ 常年會員年費 1,200元 ☐ 初級會員年費 300元
身分證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 ☐ 國內·會員 新台幣 350元 ☐ 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
卡 別 ☐ VISA ☐ MASTER CARD ☐ JCB			訂閱中國土木工程學刊，一年四期 ☐ 國內·會員 新台幣 800元 ☐ 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 ☐ 國外·個人 美金 40元 ☐ 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡卡號			
信用卡簽名欄最後三碼			
信用卡有效期限 (月/年)			
信用卡簽名			白天聯絡電話
繳 費 金 額		通信地址	

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據 注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請 寄 款 人 注 意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)

福清營造 匠心獨具



臺北市南港區東明公共住宅統包工程
丙基地順利竣工



蘇花改東澳隧道通車順利
馬拉松大成功



三井倉庫歷史建築
接近完工, 敬請期待



新店安坑一號道路二期工程
(玫瑰路至安泰路)
三孔近接隧道施工順利



福清營造股份有限公司
FORTUNE CONSTRUCTION CO., LTD

地址：11490 臺北市內湖區民權東路六段 160 號 10 樓

電話：(02)2796-3949 / 傳真：(02)2791-4241

網址：<http://www.for-tune.com.tw>



中國土木水利工程學會
Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

106 年工程環境與美化獎



中華民國隧道協會 Chinese Tunneling Association



105 年優良隧道工程獎



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



CECI X

台灣世曦走過十年精彩歲月，每一項工程都是使命必達，每一個建設都是精益求精
在以工程師為榮的自我期許下，深耕在地、拓展國際
因為我們深刻相信，夢想一直都在，實踐就是挑戰
下一個十年依然燁燁不凡

台北市11491內湖區陽光街323號

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

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

<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw