

ISSN:1812-2868

# 臺灣公路工程

第 44 卷 第 9 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 44 No.9 Sep. 2018

交通部公路總局

中華民國 107 年 9 月 15 日



封 面 說 明

台26線45K+400  
秋芒

林文貴 提供



# 臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

## 第 44 卷 第 9 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

### 臺灣公路工程

#### 發行人

陳彥伯

#### 社長

許鈺漳

#### 總編輯

陳敬明

#### 總幹事

李崇堂

#### 編輯

賴常雄 陳進發

鄧文廣 李忠璋

黃三哲 何鴻文

蔡宗成 薛讚添

陳營富 陳嘉盈

林清洲 李順成

陳松堂 吳昭煌

江金璋 邵厚潔

顏召宜

#### 專題研究

綠色材料應用於橋樑結構可行性與效益

..王韡蓓、鄭敏元、徐敏晃、張俊鴻、吳昭煌、魏維男、尹新屏 (2)

#### 實務報導

蘇花改交控、機電、防災維運挑戰

.....李順成、陳國正、劉佳任 (23)

光達、影像及街景整合式多元 MMS 系統技術應用於公路總清查作業—以省道公路 2600 公里為例

.....陳怡頻、高玉惠、林志交 (36)

## 綠色材料應用於橋樑結構可行性與效益

王韡蓓<sup>1</sup>、鄭敏元<sup>2</sup>、徐敏晃<sup>3</sup>、張俊鴻<sup>4</sup>、吳昭煌<sup>5</sup>、魏維男<sup>6</sup>、尹新屏<sup>7</sup>

### 摘要

本研究在評估綠色材料用於橋梁對結構安全及經濟效益之影響。針對營建工程中用量最多的材料混凝土，經彙整研究文獻、國外規範及工程案例、國內工程施工經驗、及預拌混凝土產業的技術發展情形，再以添加高爐石粉及飛灰作為本研究的綠色材料，比較不同添加量（高爐石粉及飛灰分別取代 25% 及 10%、取代 35% 及 15%），並進行混合水泥 IS (<70) (MS) 型及 IP (HS-LH) 型等所製成綠色混凝土的性質等研究。本研究結論使用高爐石粉及飛灰有提升混凝土品質、降低成本、減少二氧化碳排放的效益，而使用工程會施工綱要規範規定的高爐石粉 35% 飛灰 15% 上限，具良好成效。本研究同時澆置縮尺寸柱以模擬橋梁柱的受行為，發現結構柱側力變形都是由柱主筋控制，不同材料混凝土產生之差異不大，故採用不同高爐石粉和飛灰比例及混和水泥的混凝土均能符合設計需求。

**關鍵字：**綠色材料、橋梁結構、生命週期、節能減碳、經濟效益

---

<sup>1</sup> 中原大學土木系 副教授

<sup>2</sup> 臺灣科技大學營建系 副教授

<sup>3</sup> 財團法人臺灣營建研究院 組長

<sup>4</sup> 財團法人臺灣營建研究院 專案經理

<sup>5</sup> 公路總局西濱北工處 處長

<sup>6</sup> 公路總局西濱北工處設計科 科長

<sup>7</sup> 公路總局西濱北工處設計科 副工程司

## 一、前言

為共築有效率的全球低碳經濟體，國內道路橋梁建設依據交通部所訂定的「建構綠色運輸系統」施政主軸，導入適用的綠色材料組成，以達節能減碳之政策目標。為確認針對道路橋梁結構使用綠色材料的可行性，以評估經濟效益與節能減碳為主軸，故參考工程會在水利工程綠色材料選用指標的分類，採飛灰及水淬高爐爐渣粉（以下簡稱高爐石粉）作為水泥替代性材料，以降低材料使用過程的二氧化碳排放。此外，國外對於飛灰或高爐石粉的使用趨勢，已漸由嚴格設限添加比例，朝向以性能導向的設計方式，放寬飛灰及高爐石粉添加量的添加比例，例如 CNS 15286 之水硬性混合水泥，其工程實績效益比飛灰高爐石粉於預拌廠外添加更能符合工程功能需求。國內預拌混凝土廠雖然對於高爐石粉及飛灰的品質管控較以往已有明顯進步，仍宜規範使用比例、添加方式及組合料（水泥外摻高爐石粉與飛灰）物化性檢驗，至於使用比例則可由國內外之研究文獻、技術規範及試驗成果加以驗證，此為本研究之重點。

本研究對於道路橋梁結構的綠色材料選用評估，以「技術成熟、具應用實績，能突顯機關推動績效」的理念出發，將對飛灰與高爐石粉取代水泥的方式，包括飛灰及高爐石粉混用或個別添加與混合水泥，蒐集國內外使用實例，掌握技術發展趨勢，並建立工程實績調查與分析的基礎，響應政府對綠色材料推廣之政策趨勢，分析不同橋樑可能用到之綠色材料及對各種應用方式，探討目前技術發展之現況。

## 二、文獻回顧

### 2.1 政策趨勢

回顧政府相關部會對於推動綠色材料之政策，例如公共工程委員會的「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，交通部頒布「減能減碳規劃設計參考原則」，內政部建築研究所推動「綠建材標章制度」等，其對綠色材料之定義如表 1，探討可作為橋梁結構用綠色材料的類別，在需能滿足工程品質要求之最低限度下，應具備能節能減碳、再生利用、能減少水泥用量、無污染性之特點，且不論材料或產品的特性皆應已被精確掌握，相關產製或施工技術發展成熟，若將其應用在快速公路橋梁結構，需對材料結構的性質與外在環境影響進行評估後，將其回饋至材料結構設計中，以滿足道路橋梁結構設計要求。

表 1 綠色材料定義彙整

機關	指標		內容
工程會	綠色材料		考量需求性及最佳化配置，優先採用再生能源、節約能源、低污染、省資源、再生利用、可回收、綠建材等綠色環保產品、設備。
交通部	綠色材料	綠色混凝土	透過添加卜作嵐材料（高爐石粉、飛灰）等再利用資源材料之綠混凝土，減少工程使用水泥量，並降低生產水泥所耗費之能源及 CO <sub>2</sub> 的產出，以達節能減碳及節約能源之效。
		綠色瀝青混凝土	回收再利用路面養護刨除之瀝青混凝土，以達到營建資材再生利用之效益及紓解砂石資源短缺之問題。
		光電節能產品	採用 LED、太陽能之燈具及設施。
內政部建研所	再生綠建材		利用回收材料，經過再製程序，所製造之建材產品，並符合廢棄物減量（Reduce）、再利用（Reuse）及再循環（Recycle）等 3R 原則製成之建材。

針對道路橋梁工程的綠色材料結構，主要可分為瀝青混凝土與混凝土兩大項，由於道路橋梁結構係關係用路人生命財產安全，關乎政府單位對公共安全的把關與維繫，應在確保安全性的前提下，節能減碳的要求才具意義。針對道路橋梁結構的綠色材料選用思維，應以能提供同天然材料的使用安全性為基準，建議亦經國內外工程實際使用，再將其納入主要結構體中，尤以混凝土結構爰需待時間的證明。爰此，彙整已具工程實績的道路橋梁工程綠色材料種類，參引工程會對水利工程綠色材料選用指標的分類可分成再生利用材料、耐久性材料、替代性材料及自然材料等四種類型，如表 2 所示。

表 2 具實務驗證的道路橋梁綠色材料項目

分類指標	材料用途	說明
替代性材料	飛灰或高爐石粉替代水泥（橋梁結構）轉爐石透水瀝青（道路鋪面）	以替代性材料取代傳統材料， <b>最具二氧化碳減排效益</b> 。
耐久性材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能混凝土（橋梁結構）</li> <li>高強度鋼筋（橋梁結構）</li> </ul>	優先採用耐久性材料，延長使用年限及減少維修或更新施工時開挖道路之次數，以節省資源。
再生利用材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>輕質混凝土（橋梁結構）</li> <li>再生瀝青（道路鋪面）</li> <li>再生瀝青混凝土（道路鋪面）</li> </ul>	使用營建及事業廢棄物等資源再生（回收再利用）產品。但材料需經處理製程，並產生額外能耗， <b>節能功效需透過後續結構設計達成</b> 。
自然材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>表土再利用（邊坡）</li> <li>乾砌塊石（擋土）</li> <li>多孔質砌石護岸（橋梁結構）</li> <li>木材圍籬或木材隔音牆（其它）</li> </ul>	使用就地取材之材料或天然材料，以降低工程對環境衝擊， <b>以不增加工程額外能耗與碳排為主</b> 。

本計畫執行目的係以評估道路橋梁結構使用的綠色材料為主，使用後的經濟效益以連結材料成本與節能減碳的概念，以符合「構建綠色運輸系統」的政策方向。故先以能降低二氧化碳為設定條件，評估目前表 2 所列的材料用途，選用替代性材料用於混凝土將最具可行性。

## 2.2 高爐石粉與飛灰簡介

國內混凝土中應用最成熟的綠色材料，以飛灰及高爐石粉為代表，其性質與相關混凝土研究成果甚為豐富，且已經有許多工程實績，故本研究以提升高爐石粉及飛灰使用量為目的，促成工程減能減碳及經濟效益之提升。

飛灰係為燃煤發電機組在煤炭燃燒後所產生的煤灰的組成之一，飛灰為表面光滑之球形，會在混凝土材料間有滾球潤滑作用，故摻用飛灰可改善混凝土的粘聚性與可塑性。與水泥水化產物中的氫氧化鈣在有足夠水份供應的環境中發生卜作嵐反應，隨齡期之延長而不斷進行，產生水化矽酸鈣或鋁酸鈣等膠體填充骨材顆粒周圍的空隙、水膜層間隙等混凝土中之孔隙，使混凝土結構緻密化與發展強度。

高爐石粉為一貫作業煉鋼廠在以高爐煉鐵過程中之副產物，其成分中含鈣、矽、鋁、鐵等氧化物之相圖與卜特蘭水泥熟料相近，並有高含量玻璃質，而且具有潛在水硬性膠結能力，若加以磨成高爐石粉與水泥混合，在與卜特蘭水泥併行之水合反應中藉由卜作嵐反應，可形成鈣、矽比較低之類似水泥熟料之低密度矽酸鈣 (C-S-H) 及鋁酸鈣 (C-A-H) 等水合物。由於高爐石與水泥性質相似，故可與水泥混合成為卜特蘭高爐水泥（簡稱高爐水泥）或作為混凝土之礦物摻料。

## 2.3 國內規範對高爐石粉與飛灰之使用規定

目前國內對於高爐石粉及飛灰之品質已有相關 CNS 國家標準可供依循，水淬高爐爐渣粉做為膠結材料時，應符合 CNS 12549 之規定，飛灰做為膠結材料時，則應符合 CNS 3036 之 F 類規定，但用於混凝土中使用比例之限制各工程機關之作法卻不太一樣。例如工程會在施工綱要規範第 03050 章「混凝土基本材料與一般規定」V10.0 將飛灰及水淬高爐爐渣粉混用取代水泥之上限為明訂為總膠結材料重量之 50%，其中飛灰不得超過 15%。而交通部頒訂的施工規範第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」中規定，允許高爐石粉與飛灰的使用，但未規定使用比例限制。其他工程主辦機關如國工局及鐵工局施工規範第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」中規定，高爐石粉與飛灰使用量以不超過 45% 為限，其中飛灰不得超過 10%。水利署施工規範第 03310 章「結構用混凝土」規定若水泥、高爐石粉、飛灰同時使用時則高爐石粉飛灰之取代量不得超過 30%，其中飛灰不得超過 15%。營建署施工規範第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」對高爐石粉及飛灰使用限制規定，仍以舊的高爐石粉混凝土使用手冊及飛灰混凝土使用手冊所建議用量為主，規定高爐石粉用量不得超過 65%，飛灰使用量不得超過 25%，且無水泥、高爐石粉、飛灰同時使用時之比例規定。而臺北市政府工務局施工規範第 03050

章「混凝土基本材料及施工一般要求」，僅規定使用卜作嵐材料需符合 CNS 3036 之規定，然 CNS 3036 係飛灰之標準，未將高爐石粉標準納入，且未規範使用比例。但同樣捷運局卻於 105 年修改已比照工程會施工綱要規範版本，將飛灰及水淬高爐爐渣粉混用取代水泥之上限為明訂為總膠結材料重量之 50%，以合理放寬之高爐石粉及飛灰添加比例。

由此可知，高爐石粉及飛灰作為輔助性膠結材料已普遍使用，用量可達 50%，因此工程會施工綱要規範亦據此修訂高爐石粉及飛灰之使用比例限制，以與國際接軌，回應資源再利用趨勢。往後可預見將有愈來愈多工程主辦機關逐漸放寬高爐石粉及飛灰之使用，甚至直接設計混合水泥，此亦為本計畫之主要目的，以試驗結果來兼顧功能性、環保節能性及耐久性需求，在符合規範的要求下，作為為後續工程使用之參考。

#### 2.4 高爐石粉與飛灰之減碳效益

由於燃煤飛灰屬於火力發電廠運作之副產物其為卜作嵐材料。燃煤飛灰本身並無須藉由消耗能源而生產。以經濟部能委會「能源查核管理輔導計畫」中提及，由於飛灰在其生產過程中不需經過加工則可直接利用，故其材料生產之碳排放量為零。

高爐石粉皆為由水淬爐石研磨而成，由中聯資源股份有限公司所提供。水淬爐石為煉鋼廠於煉鐵過程中所生產之副產品，其餘材料生產過程本應不需要消耗能量，但由於該材料於使用之前須經過研磨加工至一定的粒徑大小以便於使用，故須計算該水淬爐石研磨過程之耗能，約為 68.3 kg CO<sub>2</sub>-e/T。

水泥產品因其成分比例及生產製程後段差異，導致於其溫室氣體排放量變異較大，由於水泥產品本身有超過一半的溫室氣體排放來自於水泥熟料之生產，各國水泥碳排放係數範圍從 650~930 kg CO<sub>2</sub>-e/T，平均大概為 810 kg CO<sub>2</sub>-e/T，國內經濟部能委會則是以碳排放量 880 CO<sub>2</sub>-e kg/T 作為基準。

因此，混凝土中倘若能以高爐石粉及飛灰取代 50% 水泥(高爐石粉 35%、飛灰 15%)，則混凝土的二氧化碳排放僅剩原來的 54%，減量幾可達將近一半(減量 46%)，高比例添加高爐石粉及飛灰等綠色材料，可有效從源頭達成節能減碳的效益。

橋梁的生命週期包含原料開發階段、建材製造階段、施工建造階段、日常使用階段、拆除階段、廢棄物處理階段，經評估結果仍以建材在生產階段所產生的 CO<sub>2</sub> 最多，尤其是預拌混凝土及瀝青混凝土，此若能以綠色材料取代水泥，有效的降低混凝土的二氧化碳排放量，則在整體結構耗能應有良好之成效。



### 三、綠色材料作為道路橋梁材料之性質測試

就材料面而言，使用高爐石粉及飛灰於快速公路橋梁結構時，相較一般水泥，除前期強度發展影響為安全考量因素外，混凝土之乾縮、潛變等亦會影響結構之穩定性。故本計畫為評析於選定添加比例之適用性，參考目前工程常用設計強度包含 210 kgf/cm<sup>2</sup>、280 kgf/cm<sup>2</sup>、350 kgf/cm<sup>2</sup> 與 420（早強）kgf/cm<sup>2</sup>，試驗變數包含不同高爐石粉飛灰取代量、不同類型水泥及驗證型綠色材料導入，規劃試驗項目如表 3，期透過實驗數據之分析結果，作為訂定指標性材料配比之參考依據。

表 3 橋樑各部位設計強度及比例設計

配比強度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	傳統 配比	部分工程標所 用配比 <sup>(註1)</sup>	施工綱要規範 03050 章上限	混合水泥 <sup>(註3)</sup>	所用橋梁部位 <sup>(註2)</sup>
210	純水 泥	高爐石粉 25% 飛灰 10%	高爐石粉 35% 飛灰 15%	IS (<70) (MS)、 IP (HS-LH)	重力式擋土牆
280	純水 泥	高爐石粉 25% 飛灰 10%	高爐石粉 35% 飛灰 15%	IS (<70) (MS)、 IP (HS-LH)	分隔島、橋護 欄、緣石
350	純水 泥	高爐石粉 25% 飛灰 10%	高爐石粉 35% 飛灰 15%	IS (<70) (MS)、 IP (HS-LH)	場鑄基樁、箱 涵、擋土牆
420 (早強)	純水 泥	純水泥	高爐石粉 35% 飛灰 15%	-	箱型梁橋

註 1：參考西濱快速公路 WH10-B 標 60K+312~64K+005 新建工程永協預拌廠所用混凝土配比中高爐石粉與飛灰的添加比例

註 2：參考淡江大橋及其連絡道路 2K+606~5K+000、7K+000~8K+165 路段新建工程設計圖說中關於各橋梁部位之混凝土抗壓強度要求

註 3：依 CNS 15286 水硬性混合水泥型別定義，IS (<70) (MS) 為混合水泥-卜特蘭高爐水泥，高爐石粉量低於百分之 70，具中度抗硫酸鹽性能；IP (HS-LH) 為混合水泥-卜特蘭卜作嵐水泥，高度抗硫酸鹽性能、低度水合熱。

### 3.1 膠結材料性質試驗

在初終凝部分，高爐石粉飛灰添加愈多、初終凝時間愈緩慢，不論高爐石粉飛灰或混合水泥都會影響拆模時間，又以 IP (HS-LH) 要特別注意（詳圖 1）。水合熱及熱壓膨脹試驗部分剛好相反，高爐石粉飛灰添加愈多，水合熱愈低（詳圖 2）、熱壓膨脹量也愈小，有助於體積穩定性，降低裂縫風險，其中又以混合水泥的整體性能表現最佳。

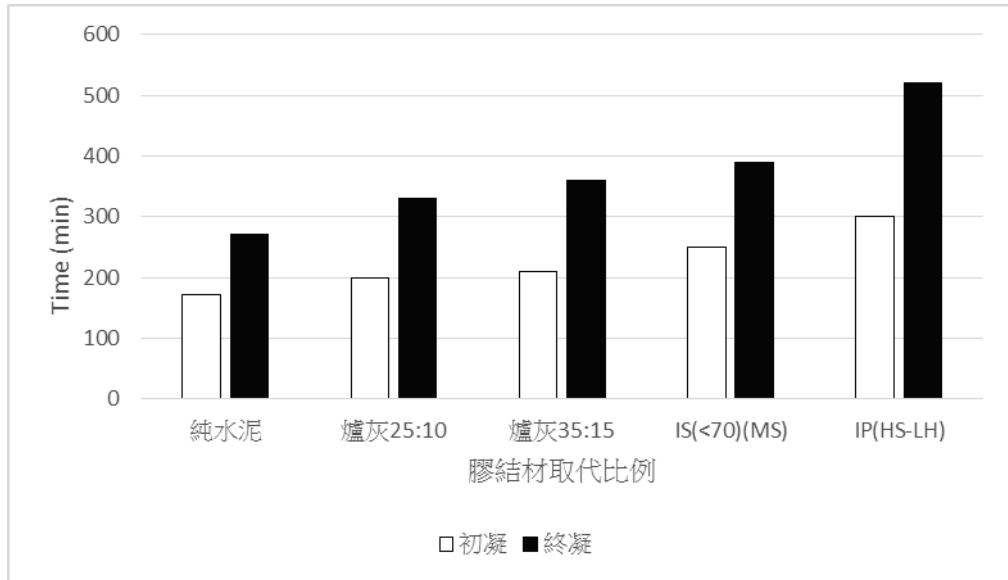


圖 1 各膠結材取代量初終凝

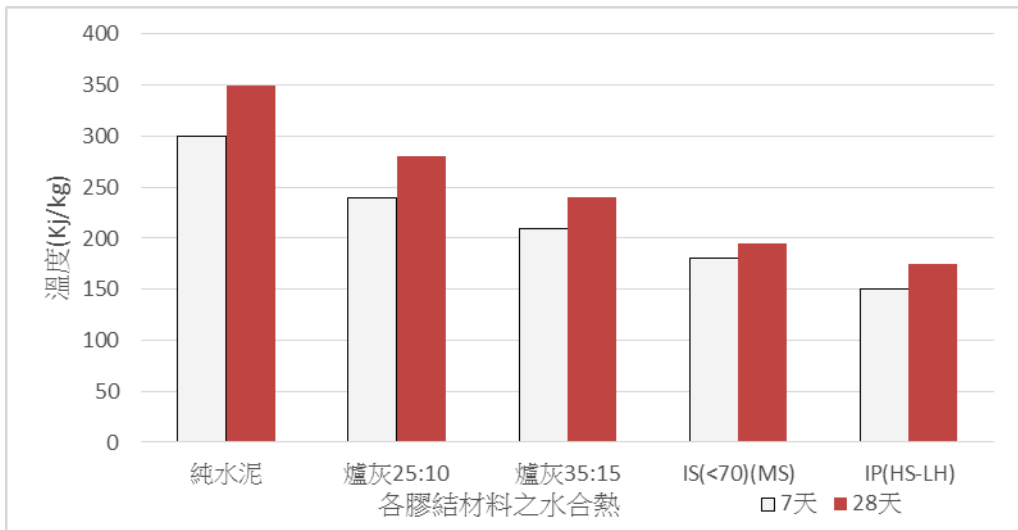


圖 2 各膠結材取代量水合熱

### 3.2 混凝土強度試驗

不同高爐石粉飛灰添加量的混凝土性質表現，坍度皆可符合設計要求，具有良好工作性。純水泥配比早期強度發展快，但 90 天強度僅比 28 天強度高 20%，高爐石粉飛灰 25:10、高爐石粉飛灰 35:10、混合水泥 IS (<70) (MS) 型早期強度不若純水泥，高爐石粉飛灰添加愈多發展愈慢，其中以混合水泥 IP (HS-LH) 早期強度發展最為緩慢。爐石粉飛灰組在 28 天時強度大致已與純水泥強度相同，在 90 天時多超過 28 天的 30%，亦比純水泥強度更高，可知添加高爐石粉飛灰對混凝土長期強度有正面助益。其中以混合水泥 IS (<70) (MS) 型的 90 天強度最高，各配比之強度發展皆有類似結果。另各組配比彈性模數相差不大，原彈性模數計算方式可適用。至於 420 kgf/cm<sup>2</sup> 早強試驗部分，純水泥在 3 天即可達 80% 的設計強度 (336 kgf/cm<sup>2</sup>)，達施加預力之標準，高爐石粉飛灰 50% 配比強度在 7 天方達 80% 設計強度，因此若採用高爐石粉飛灰 50% 之混凝土配比，則施加預力等待時間會略長於純水泥。

有關各強度發展曲線如圖 3~圖 6。

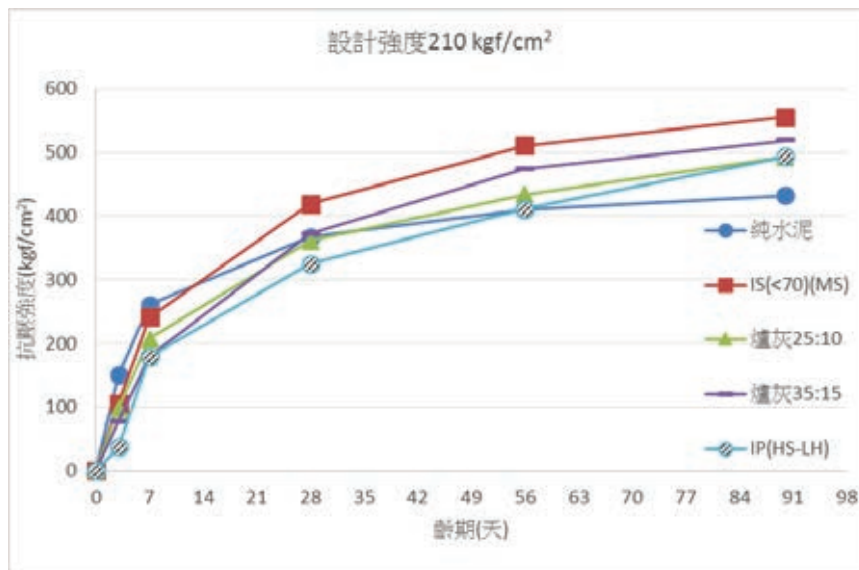


圖 3 抗壓強度 210kgf/cm<sup>2</sup>

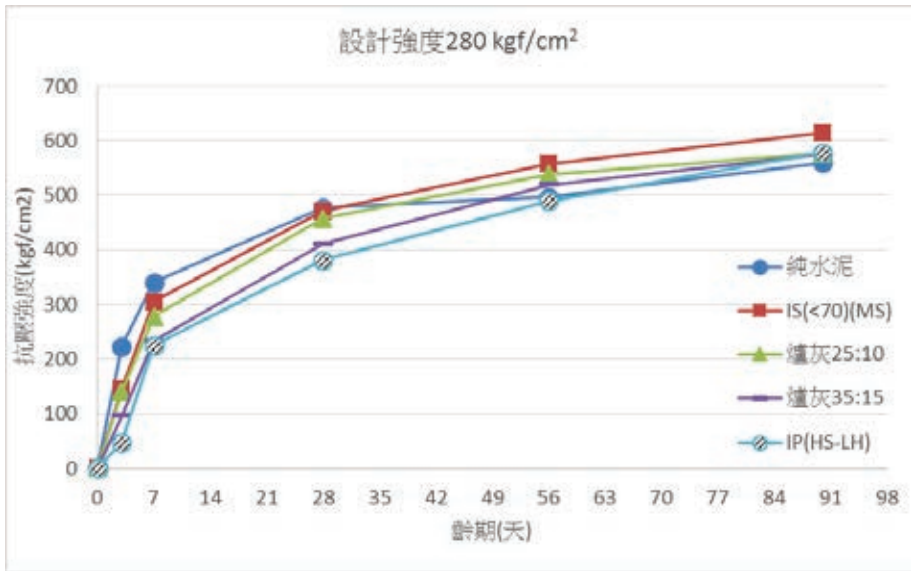


圖 4 抗壓強度 280 kgf/cm<sup>2</sup>

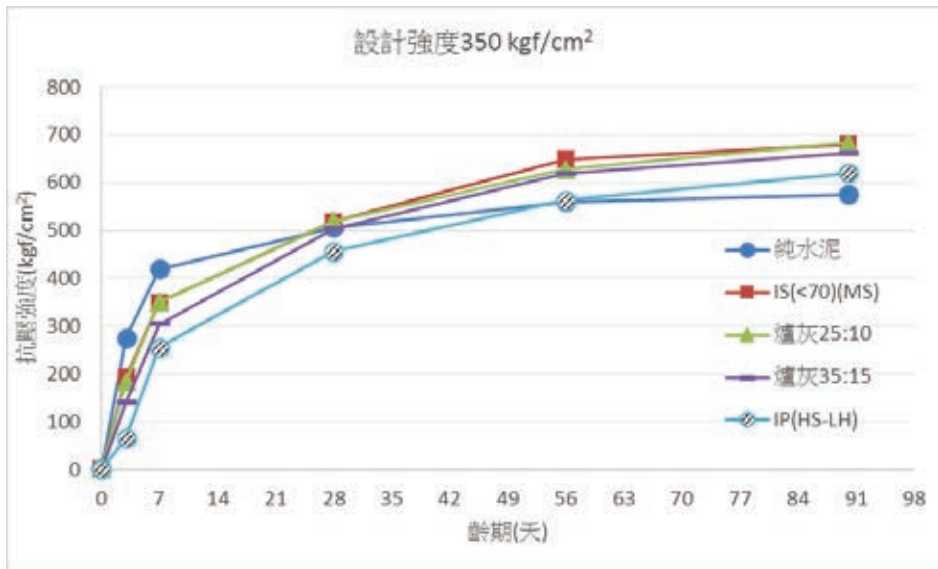


圖 5 抗壓強度 350 kgf/cm<sup>2</sup>

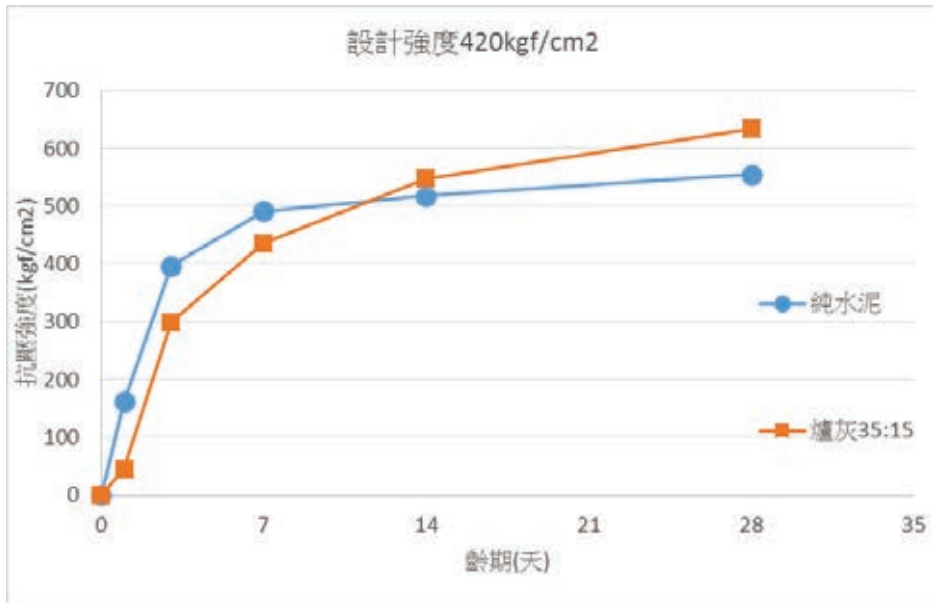


圖 6 抗壓強度 420 kgf/cm<sup>2</sup>

### 3.3 耐久性試驗

耐久性部分，混合水泥 IP (HS-LH) 型及 IS (<70) (MS) 型因主要性能為抗硫酸鹽，所以在硫酸鹽侵蝕膨脹試驗部分表現良好，其次為高爐石粉飛灰 25:10 及高爐石粉飛灰 35:10，純水泥膨脹率最高，如圖 7。

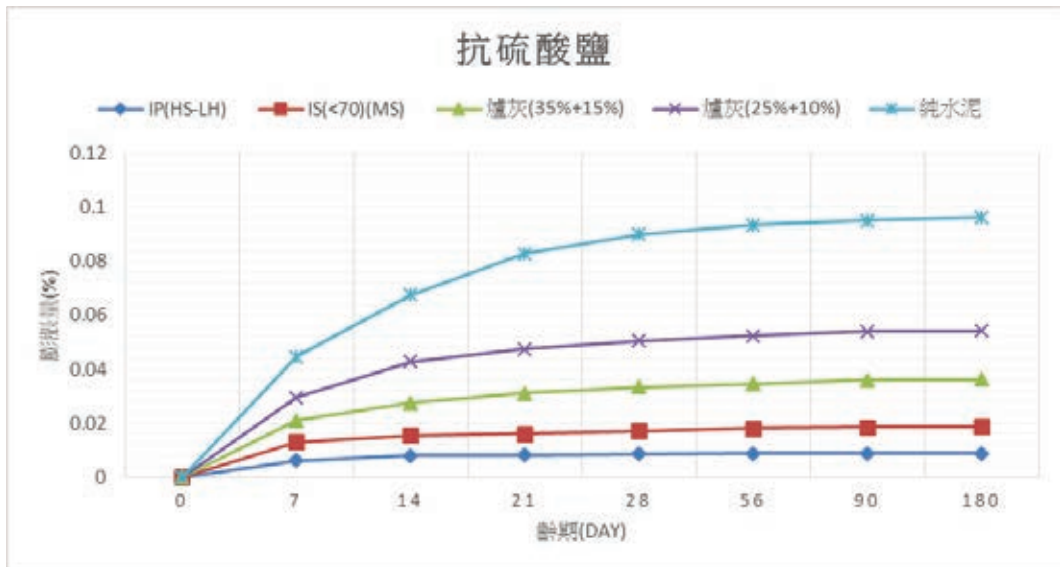


圖 7 抗硫酸鹽試驗

不同高爐石粉飛灰或使用混合水泥的混凝土乾縮量及潛變量差異不大，水泥略為偏高，可見添加高爐石粉飛灰有助於體積穩定性，如圖 8。

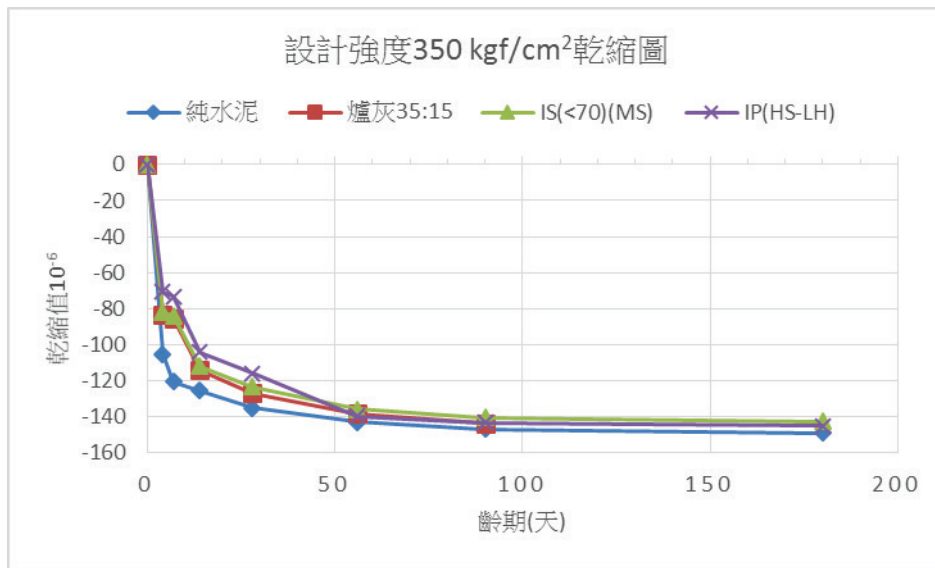


圖 8 強度 350kgf/cm<sup>2</sup> 乾縮曲線

### 3.4 工程適用性評估

針對工程設計配比之策略與使用範圍部分，參考淡江大橋及其連絡道路 2K+606~5K+000、7K+000~8K+165 路段新建工程設計圖說中關於各橋梁部位之混凝土抗壓強度要求，重力式擋土牆適用 210 kgf/cm<sup>2</sup> 混凝土，建議可以使用 IS (<70) (MS) 型混合水泥或高爐石粉飛灰比例可使用達 35% 及 15%。

分隔島、橋護欄、緣石所用混凝土適用 280 kgf/cm<sup>2</sup> 設計強度，因較無拆模時間考量，建議可以使用 IS (<70) (MS) 型混合水泥或高爐石粉飛灰比例可使用達 35% 及 15%。

場鑄基樁、箱涵、擋土牆等所用之混凝土適用 350 kgf/cm<sup>2</sup> 設計強度，因位於地下與土壤接觸需有抗硫酸鹽考量，建議可以使用 IS (<70) (MS) 型混合水泥或高爐石粉飛灰比例可使用達 35% 及 15% 型混合水泥，若於臨海結構則建議使用 IP (HS-LH) 型混合水泥，以提供更佳的耐環境侵蝕能力。橋墩、橋墩基礎、橋台所用之混凝土設計強度亦為 350 kgf/cm<sup>2</sup>，且由於橋梁結構所用鋼筋密集，應採用自充填混凝土以提升施工品質，膠結材料比例同樣建議可以使用 IS (<70) (MS) 型混合水泥或高爐石粉飛灰比例可使用達 35% 及 15%，若於臨海結構或為巨積混凝土結構時，則建議使用 IP (HS-LH) 型混合水泥，以提供更佳的耐環境侵蝕能力、更低心溫及降低溫度裂縫的發生。

箱型橋梁因有拉預力需求，故設計強度為 420 kgf/cm<sup>2</sup>，另設計圖說多會規定抗壓強度應達 336 kgf/cm<sup>2</sup> 始可先拉預力，因有規定早期強度及施工進度考量，故建議仍使用純水泥或爐灰 25:10。

就本計劃試驗結果可回饋業主機關作為後續工程設計之參考，惟仍建議後續持續進行長期試驗研究，尤其是乾縮潛變等與結構穩定性相關之性質，累積更多試驗結果後更具有參考價值。

## 四、評估綠色材料之道路橋梁結構實驗

### 4.1 結構試驗設計

本研究在材料試驗結束後，利用研發之綠色混凝土材料，於國立臺灣科技大學結構實驗室進行結構實驗，總共測試四組試體，每座試體均由三個部分所組成，分別是頂部混凝土塊、柱試體、與底部混凝土塊，其中頂部混凝土塊尺寸為 1000 mm × 1280 mm × 600 mm（長×寬×高），主要用來施加往復水平載重以及軸壓，柱試體部分淨跨距為 1400 mm，橫斷面為 400 mm × 400 mm，底部混凝土塊尺寸為 1400 mm × 1400 mm × 800 mm（長×寬×高），主要用來固定試體於強力樓版上。四組試體鋼筋配置完全一致，如圖 9 所示，縱向鋼筋使用為 8 支 SD420（標稱強度 420 MPa）D25 鋼筋，橫向鋼筋使用 SD420 之 D16 鋼筋、間距 100 mm，體保護層 30 mm。主要測試變數為試體混凝土材料。

本試驗所測試之試體名稱分別為 S\_C、S\_SF50、S\_IS(<70)(MS)及 S\_IP(HS-LH)，設計標稱混凝土強度皆為 35 MPa，其中 S\_C 代表一般型水泥配比混凝土，為控制組試體，S\_SF50 混凝土配比與試體 S\_C 相同，惟試體 S\_SF50 內 50%之膠結材料以 35%之高爐石粉及 15%之飛灰取代，試體 S\_IS(<70)(MS)及試體 S\_IP(HS-LH)使用混合水泥。

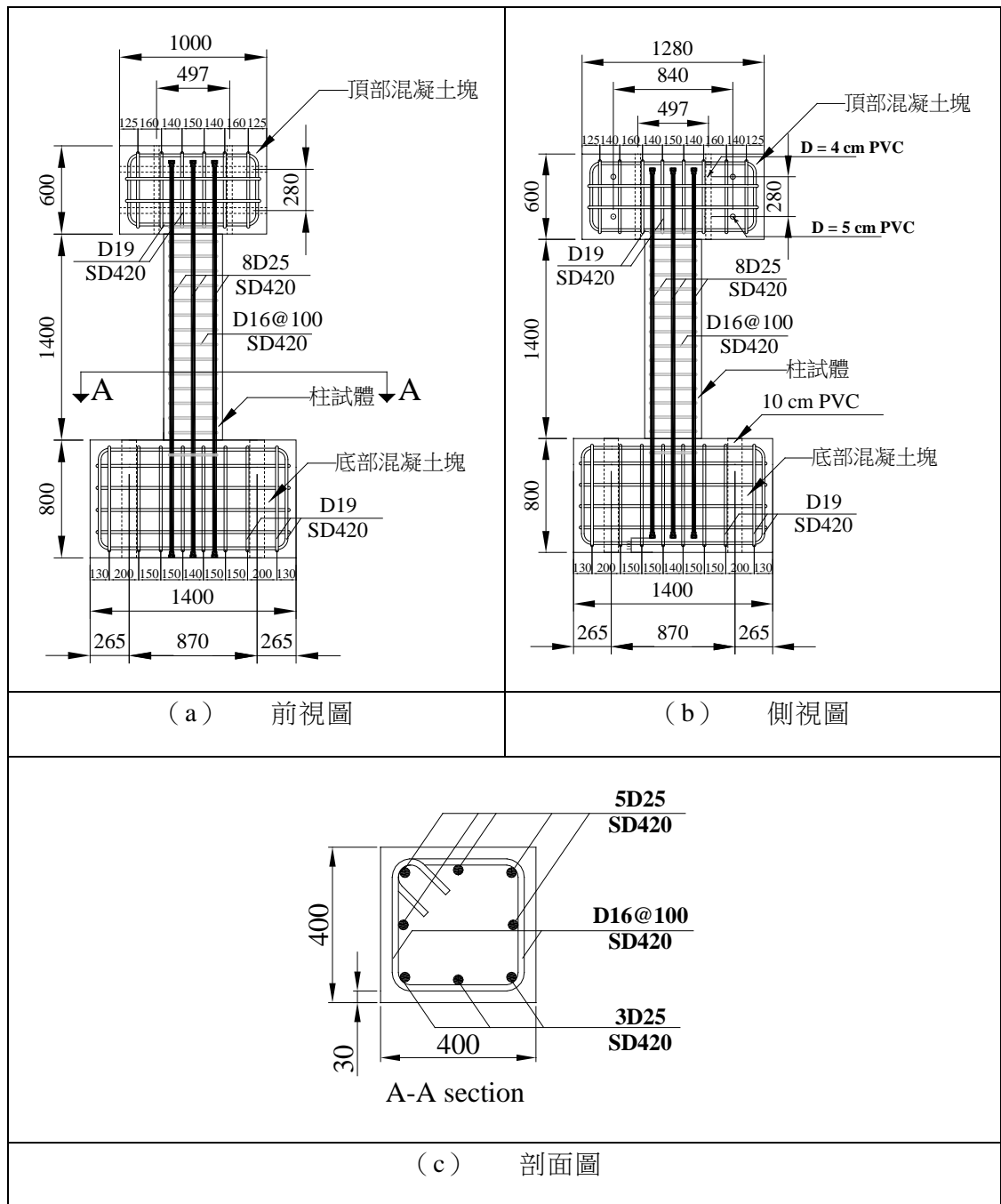


圖 9 試體鋼筋配置圖 (單位: mm)

試體實驗配置如圖 10 所示，水平往復位移主要由水平千斤頂提供，且測試過程中水平千斤頂以位移控制、加載速度控制在 1mm/sec 內，其水平載重歷時如圖 11 所示，每一目標位移下從事三次往復載重，正值代表千斤頂往北向移動，層間位移轉角(Drift)係定義為千斤頂水平移動距離除以橋柱剪力跨距 (1700 mm)，剪力跨距係由水平千斤頂中心高度到底部混凝土塊頂之距離，使用水平千斤頂 100 噸 1 支。除水平往復位移外，為模擬橋柱垂直載重，使用一 300 噸千斤頂施加一固定軸力於頂部混凝土塊上方，該千

臺灣公路工程第 44 卷第 9 期-450



千斤頂以力量控制，軸力大小於測試過程中固定在  $0.1A_gf'_c$ ，其中  $A_g$  表示試體斷面積 ( $400 \times 400 \text{ mm}$ )， $f'_c$  為試體測試當天所得之混凝土圓柱試體平均壓應力，該壓應力由三組混凝土標準圓柱試體 ( $150 \times 300 \text{ mm}$ ) 平均求得。底部混凝土塊主要提供試體固接邊界條件，使用四支預力鋼棒將試體固定於強力樓板上，每支鋼棒施加約 70 噸預力，此佈置會使試體同時承受固定軸壓以及單曲率側向變形，與現實橋柱受力情形一致。

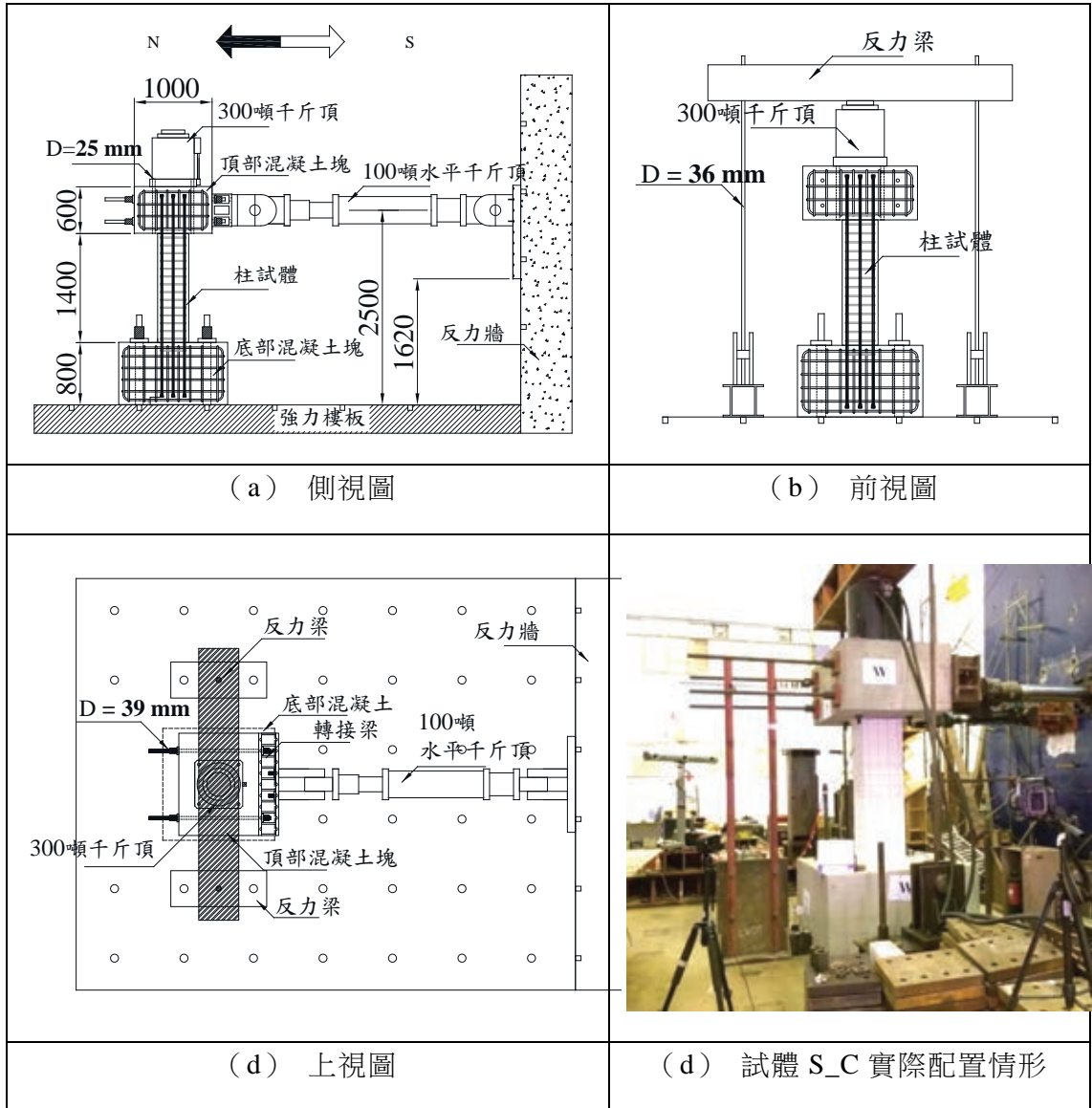


圖 10 試驗配置圖 (單位: mm)

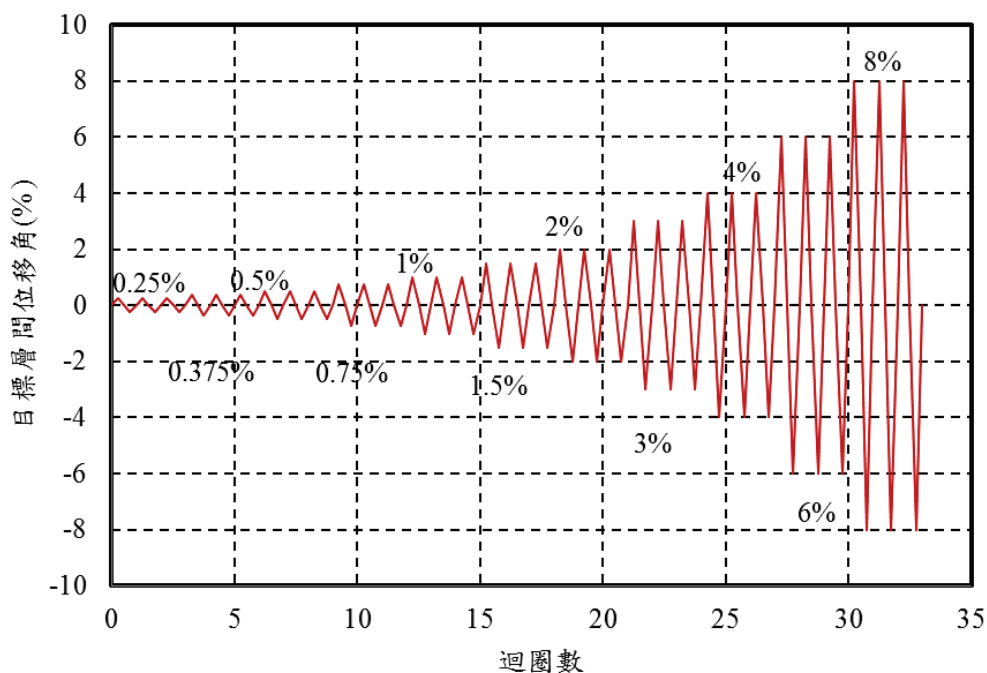


圖 11 試體位移歷時

#### 4.2 變形能力分析結果

所有試體關鍵測試數據記錄於表 4 內，其中測試-預測強度比值與試體變形能力關係於圖 12 內呈現，試體預測撓曲強度 ( $M_n$ ) 係由材料測試強度配合規範使用等效混凝土應力塊與假設鋼筋應力應變曲線完美塑性去決定，而其對應剪力大小 ( $V_{Mn}$ ) 則是將預測撓曲強度除以剪力跨距 (1700mm)；試體極限變形能力 ( $d_u$ ) 主要由兩個原則去決定：(1) 若試體在同一層間位移量下任一迴圈之側向力低於第一迴圈側向力之 80% 或在迴圈中有試體無法支持初始垂直承載力，則  $d_u$  就等於該層間位移角，(2) 若試體在同一層間位移量下維持側向力與垂直承載力，則  $d_u$  由試體力量-位移之包絡線決定，該  $d_u$  表示包絡線上側向力損失超過該方向最大測試強度 ( $V_{test}$ ) 之 20% 所對應之層間位移角，圖 13 以試體 S\_ IS (<70) (MS) 為案例說明上述  $d_u$  決定方法，正向  $d_u$  由原則 (1) 決定，而負向  $d_u$  由原則 (2) 決定。

表 4 試驗結果數據

試體		S_C	S_SF50	S_IS (<70) (MS)	S_IP (HS-LH)
測試最大彎矩值 $M_{max}$ (tf-m)	正向	38.6	39.3	36.4	41.1
	負向	-38.5	-39.5	-40.4	-42.8
預測彎矩值 $M_n$ (tf-m) *		36.1	37.2	38.1	36.2
$M_{max}^+ / M_n$		1.07	1.06	0.96	1.14
$M_{max}^- / M_n$		1.07	1.06	1.07	1.19
極限層間位移角 (%)	正向	8.32	9.65	8.40	7.78
	負向	-8.49	-9.39	-7.93	-7.65
剪應力/ $\sqrt{f'_c}$ (MPa)	正向	0.22	0.21	0.19	0.23
	負向	-0.22	-0.21	-0.21	-0.24

\*：考量  $0.1A_g f'_c$  軸力與材料測試強度之預測撓曲強度

根據實驗觀察與數據分析，可以推論所有試體之測試強度 ( $V_{test}$ ) 應由撓曲強度控制，該強度可由材料測試強度所得之標稱撓曲強度 ( $V_{Mn}$ ) 合理預測；而試體最大變形能力 ( $d_u$ )，應與柱主筋挫曲能力有關，圖如 14，此推論主要根據三組試體斷裂之主筋均位於中間，該位置主筋得到橫向箍筋圍束能力較低，因此在實驗過程中，該位置主筋挫曲變形量較大，可能在受壓挫曲過程中產生裂縫，因此當主筋在拉伸時比角落主筋容易斷裂。雖然各試體  $d_u$  不同，但是每支試體均可維持設計力量到接近 8% 層間位移角，該值遠超過最大考量地震力下一般預期值 3%。據此，可以初步結論在滿足目前規範鋼筋配置的情況下，橋柱往復載重行為對於使用混合水泥與一般水泥之差異並不明顯，本研究探討之兩種混合水泥材料在強度相同的情況下應可取代一般水泥於橋柱內使用，但實驗數據有限，本研究試驗結果僅適用於低軸壓約  $0.1A_g f'_c$  且剪應力約  $0.25\sqrt{f'_c}$  (MPa) 之橋柱試體。

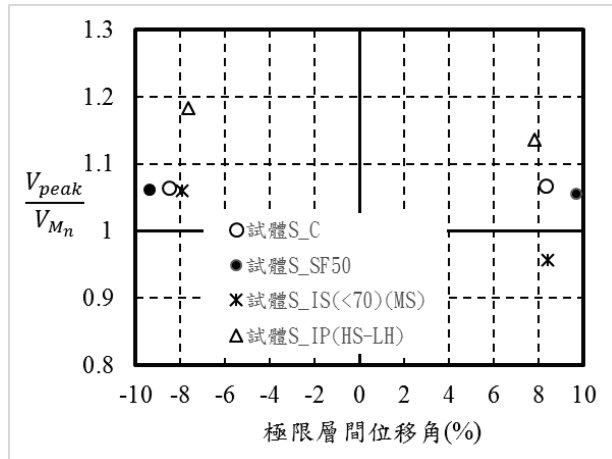


圖 12 測試-預測強度與極限層間位移角關係

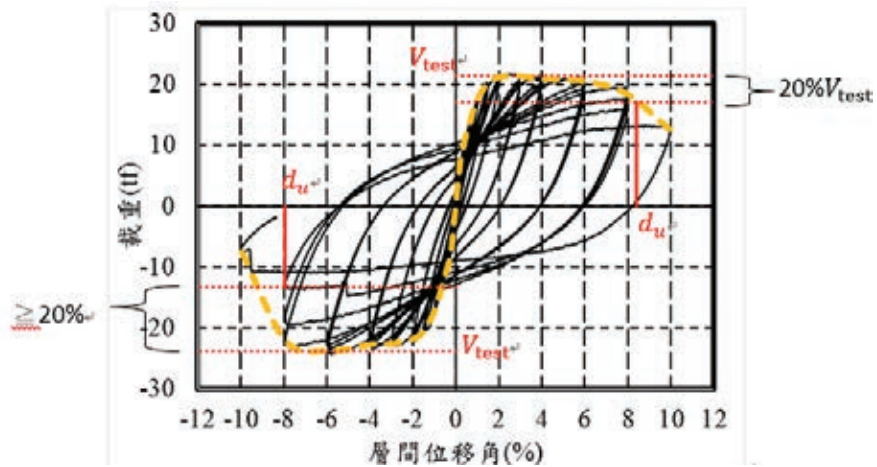


圖 13 試體 S\_IS (<70)(MS) 案例

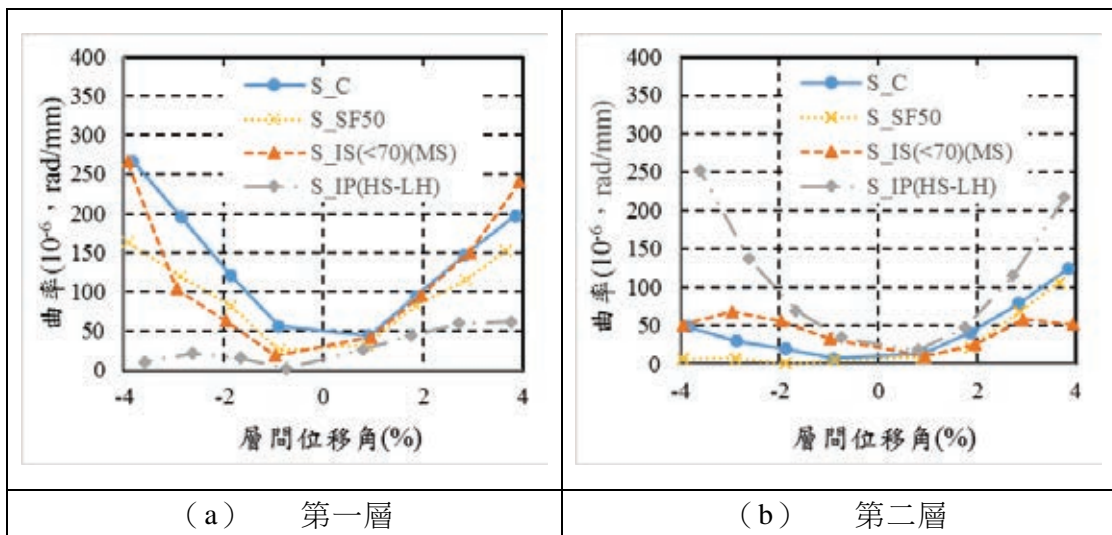


圖 14 不同層間位移角下各層曲率比較

### 4.3 結構試驗小結

根據實驗觀察與數據分析，試體之測試強度應由撓曲強度控制，該強度可由材料測試強度所得之標稱撓曲強度 ( $V_{Mn}$ ) 合理預測。試體最大層間位移角於正負側力載重方向均達約 8%，超過一般設計需求，根據觀察，四組試體最大變形能力應與柱主筋挫曲能力有關。根據外部變形量測數據，試體在層間位移角約 4% 之前，不論在塑鉸區或是非塑鉸區對於使用不同材料混凝土的所產生的差異並不顯著，此值間接反應不同混凝土材料在本實驗配置下可以提供類似 (equivalent) 平均壓應變。綜合以上所述，綠色材料應可取代傳統水泥於橋柱灌漿使用。

## 五、經濟性與節能減碳效益評估

經濟性是混凝土在傳統設計時的一項主要考慮指標，然設計時除了考慮材料本身價格外，還應一併考慮到混凝土的性能表現、符合施工現場的需求、對環境友善、可達到結構的穩定性、及節能減碳之效果等，如此綜合評估後方能符合現今營建追求「綠色」混凝土之內涵。

目前對於綠色材料的分析本研究嘗試使用 AHP 層級法，此法基本上是針對成本、強度性能及節能減碳 CO<sub>2</sub> 等三大指標，訪問 10 位國內產、官、學界專家學者，再進行優先決策面向權重值加權評分分析，以提出最佳化的綠色材料摻配比例。本次測試條件將以 28 天及 90 天的強度性能為基準，以百分比關係進行相互比較，以求得使用的權重值及優先程度。

因本計畫對綠色材料混凝土的評估因子包含混凝土的性能、經濟成本及節能減碳，為能有一致性之量化準則，本研究團隊將以 3 個項目總權重值計為 10 分衡量值，依重要程度予以配分，最高不超過 10 分，最低為 0 分，代表相對重要與相對不重要，計算其因素權重與最大特徵值。依訪談結果平均，性能（強度）配分最高，為 5.63 分，其次為成本 2.31 分，再其次為減能減碳性應 2.06 分。

而各配比評估因子之比值，係以純水泥之表現為基準，建立不同高爐石粉飛灰添加比例的配比表現與純水泥比值百分比，其中性能比又分成 28 天強度與 90 天強度，如表 5，如此可將評估因子全部換算成百分比，以讓計算有疊加之基準。

表 5 不同配比效益比較分析表

編號	設計強度 kgf/cm <sup>2</sup>	水泥 kg	型別	高爐 石粉 kg	飛灰 kg	性能（強度）				節能減碳效 益		成本分析	
						28 天 kgf/cm <sup>2</sup>	百分比 (%)	90 天 kgf/cm <sup>2</sup>	百分比 (%)	碳排 放 kg	百分比 (%)	原料成 本(元)	百分比 (%)
1	210	300	I 型	0	0	367	100.0	432	100.0	268	100	1,732	100
2	210	195	I 型	75	30	361	98.4	493	114.1	180	67	1,620	94
3	210	150	I 型	105	45	372	101.4	519	120.1	143	53	1,570	91
4	210	300	IS	0	0	419	114.2	555	128.5	157	59	1,642	95
5	210	300	IP	0	0	325	88.6	493	100.0	97	36	1,642	95
6	280	360	I 型	0	0	477	100.0	560	113.6	320	100	1,853	100
7	280	234	I 型	90	36	458	96.0	577	117.0	216	67	1,718	93
8	280	180	I 型	126	54	411	86.2	574	116.4	171	53	1,659	89
9	280	360	IS	0	0	472	99.0	615	124.7	188	59	1,745	94
10	280	360	IP	0	0	382	80.1	579	117.4	115	36	1,745	94
11	350	450	I 型	0	0	506	100.0	576	100.0	399	100	2,044	100
12	350	293	I 型	112	45	520	102.8	684	118.8	269	67	1,876	92
13	350	225	I 型	157	68	503	99.4	662	114.9	212	53	1,799	88
14	350	450	IS	0	0	519	102.6	680	118.1	234	59	1,909	93
15	350	450	IP	0	0	456	90.1	620	107.6	143	36	1,909	93

各配比評估因子之計算係為與該組純水泥百分比（100%）之差值，較純水泥有更加之效益為正值，反之為負值，強度愈高愈好，節能減碳及成本愈低愈好，為正值。各評估因子乘以前述之權重，總加除以 10 即以求得與純水泥之量化比值，公式如下，可藉以判別各配比最佳優先程度。

$$\text{各配比效益分數} = \frac{\sum (\text{評估因子} \times \text{權重})}{10}$$

各配比之量化比值計算結果如表 6 及表 7。

表 6 各項配比權重值分析 (28 天強度)

配比		純水泥	爐灰 25:10	爐灰 35:15	IS (<70) (MS)	IP (HS-LH)	權重值
210	性能 (強度)	0	-1.6	1.4	14.2	-11.4	5.63
	成本	0	6	7	5	5	2.31
	節能減碳	0	33	33	41	64	2.06
加權權重值平		0	7.26	9.18	17.58	7.90	
配比		純水泥	爐灰 25:10	爐灰 35:15	IS (<70) (MS)	IP (HS-LH)	權重值
280	性能 (強度)	0	1.7	-13.8	-1.0	-19.9	5.63
	成本	0	7	11	6	6	2.31
	節能減碳	0	33	47	41	64	2.06
加權權重值		0	9.4	4.4	9.2	3.4	
配比		純水泥	爐灰 25:10	爐灰 35:15	IS (<70) (MS)	IP (HS-LH)	權重值
350	性能 (強度)	0	2.8	-0.6	2.6	-9.9	5.63
	成本	0	8	12	7	7	2.31
	節能減碳	0	33	47	41	64	2.06
加權權重值		0	10.2	12.1	11.5	9.2	
權重總值		0	26.83	25.74	38.33	20.49	

表 7 各項配比權重值分析 (90 天強度)

		純水泥	爐灰 25:10	爐灰 35:15	IS (<70) (MS)	IP (HS-LH)	權重值
210	性能 (強度)	0	14.1	20.1	28.5	14.1	5.63
	成本	0	6	7	5	5	2.31
	節能減碳	0	33	33	41	64	2.06
加權權重值		0	16.1	19.8	25.6	22.3	
		純水泥	爐灰 25:10	爐灰 35:15	IS (<70) (MS)	IP (HS-LH)	權重值
280	性能 (強度)	0.0	3.0	2.5	9.8	3.4	5.63
	成本	0	7	11	6	6	2.31
	節能減碳	0	33	47	41	64	2.06
加權權重值		0	10.1	13.6	15.4	16.5	
		純水泥	爐灰 25:10	爐灰 35:15	IS (<70) (MS)	IP (HS-LH)	權重值
350	性能 (強度)	0	18.8	14.9	18.1	7.6	5.63
	成本	0	8	12	7	7	2.31
	節能減碳	0	33	47	41	64	2.06
加權權重值		0	19.2	20.9	20.2	19.1	
權重總值		0	45.46	54.24	61.22	57.87	

由 AHP 分析結果可知有使用高爐石粉飛灰之效益皆大於使用純水泥，由權重總值來看（三個強度加權權重質相加），若僅以 28 天強度來看，則高爐石粉飛灰添加 25:10 組及 35:15 組有相似之效益分數，而混合水泥 IS (<70) (MS) 組效益分數則明顯高於高爐石粉飛灰組，至於 IP (HS-LH) 組因強度雖符合目標強度但略低，效益分數為最低。但若將強度拉長至 90 天，混合水泥 IS (<70) (MS) 組效益分數仍是最高，其次則為 IP (HS-LH) 組，因其後期強度增長明顯高於純水泥與爐灰組，再其次為爐灰 35:15 組，最後則為爐灰 25:10 組。

## 六、結論與建議

綜合本計畫成果，使用高爐石粉及飛灰有提升混凝土品質、降低成本、減少二氧化碳排放的效益，而使用工程會施工綱要規範規定的高爐石粉 35% 飛灰 15% 上限，也有良好之成效。而混合水泥 IS (<70) (MS) 又比高爐石粉 35% 和飛灰 15% 組有更好的成效。在抗硫酸鹽侵蝕方面，以採用 IP (HS-LH) 型混合水泥混凝土的耐久性最佳。然在施工實務上，高爐石粉和飛灰的添加量增加，將增加混凝土凝結時間，會影響模板拆模時間，在施工時需特別注意。若有拉預力需求，則不建議添加太多的高爐石粉及飛灰。

目前道路橋梁之混凝土設計強度多為  $280 \text{ kgf/cm}^2$  及  $350 \text{ kgf/cm}^2$ ，預力梁因有早期強度需求各設計強度為  $420 \text{ kgf/cm}^2$ ，然在化學摻料及產製技術的進步下，生產  $700 \text{ kgf/cm}^2$  強度的混凝土已非難事。混凝土強度之提升有助於縮減結構尺寸，減少材料用量，促使整體工程二氧化碳減排效益。同時強度之提升也有助於混凝土的耐久性，拉長使用年限，從生命週期角度來看更具環保效益。因此建議後續可研究耐久性混凝土於橋梁結構之可行性及效益分析。



## 蘇花改交控、機電、防災維運挑戰

李順成<sup>\*</sup>、陳國正<sup>\*\*</sup>、劉佳任<sup>\*\*\*</sup>

### 一、前言

蘇花公路為臺灣東部首要聯外道路，但從日治時代開闢以來，一直未能維持長期穩定之安全度，交通部公路總局因而於 98 年提出「台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫」（以下簡稱蘇花改），以根本性的提升蘇花公路服務品質，提供東部居民一條「安全回家的路」。

蘇花改整體道路設計係以高架橋搭配長短隧道群，貫穿高山峻嶺，在公路交通管理上有別於一般開放性行車空間，在事故處理及防救災工作上，更有別一般路段之應變救援，特別是當隧道內因各種事故引起火災時，若未能即時且適當地進行通報處置及系統操作，有效控制火勢蔓延，可能使得火災現場產生之濃煙與高溫，嚴重影響人員逃生及初期救災工作，嚴重者甚至造成部分隧道結構體崩塌與設備損毀等重大災害。

在國人引頸期盼下，蘇花改蘇澳至東澳段在今年 2 月 5 日通車，鑑於前述隧道管理之特殊性及重要性，交通部公路總局第四區養護工程處（以下簡稱四工處）參考國外白朗峰隧道等案例，引進民間專業顧問公司，台灣世曦工程顧問股份有限公司（以下簡稱台灣世曦），協助蘇花改路段之維運管理工作，並與四工處組成專業維運團隊（以下簡稱本團隊），本文將就本團隊在維運管理期間遭遇之困難及挑戰進行說明，以期透過經驗分享方式，為提昇臺灣長隧道管理能力略盡綿薄。

### 二、萬事起頭難—蘇花改維運接管

四工處交管中心負責台 9 線蘇花公路，以及宜蘭縣及花蓮縣省道等多條路段之交控及防災業務，其管轄範圍狹長，維運已屬不易，因應蘇花改通車，有關長隧道管理、地區交通疏運、新舊交控、機電系統整合應用，乃至於通車前之宣導及防災演練等工作，更使得原本已多如牛毛之維運業務益發龐雜。為快速且完整地掌握前述工作，本團隊規劃蘇花改維運接管執行步驟如圖 2.1 所示，詳述如下：

---

\* 交通部公路總局第四區養護工程處 處長

\*\* 交通部公路總局第四區養護工程處交通管理及控制中心 主任

\*\*\* 台灣世曦 專案經理



圖 2.1 交管中心維運接管執行規劃

## 2.1 工作盤點

工作範圍確認後，各項工作方得以妥善進行規劃及鋪排。交管中心維運工作可分為「交通維運管理」、「交控機電維護」及「緊急事件處置」等三大面向，各面向之細部工作如圖 2.2 所示。



圖 2.2 交管中心維運工作盤點

## 2.2 標準作業程序擬定

將工作流程加以分析、整理並文件化，製作成標準作業程序，使人員在執行工作上有一套統一之規範及標準，除可確保工作品質、快速培訓新進人員外，並可作為工作持續改善之基準。故本團隊於工作盤點完成後，隨即依 ISO 之精神，針對交管中心值勤、訊息發布、系統操作監控、設備巡檢、緊急應變處置，乃至工作抽查、績效自主評核等品管作業流程，合計訂定二十多項標準作業程序及近五十張之相關檢核及紀錄表單，各類作業之標準程序及檢查表數量統計如表 2.1 所示。

表 2.1 標準作業程序數量統計

項次	類別	標準作業程序	相關表單
1	交控值勤	14 項	15 張
2	系統維護	4 項	23 張
3	品質管理	2 項	10 張
合 計：		20 項	48 張

### 2.3 妥善之人力規劃

依業務特性，維運管理工作可分為「交管中心值勤」及「例行業務處理」兩類。交管中心值勤採三班輪班制全年 24 小時服務，負責四工處轄區道路之交通監控及緊急事故處置；例行業務處理則為處理交通改善規劃、設備故障追蹤、設備改善發包作業以及各書類報告製作等工作。

### 2.4 扎實之人員訓練

本團隊人員除積極配合參與交控、機電標廠商，所辦理之各項測試及訓練外，亦邀請聯防單位如宜蘭縣政府消防局、衛生局等，辦理災害應變指揮系統 ICS 與國內外隧道災害案例介紹與回顧等課程，交流隧道防災資訊，並請交通管理及控制中心主任對應變程序與防災作業要點說明，協助團隊人員有效掌握各自工作，於教育訓練結束後即進行績效考評，掌握學員吸收狀況，如圖 2.3 所示。另為延續課堂教育訓練之成果，各場次教育訓練內容皆錄製成 e-Learning 電子化教材，讓未能參加教育訓練之人員能夠透過電子化學習方式，得到相同的學習效果，亦可作為新進同仁訓練及複習參考使用。



圖 2.3 扎實人員訓練

### 三、枕戈待旦、蓄勢待發—迎接蘇花改首波通車

蘇花改採分段通車，且通行車種亦採階段性開放，如何將行車動線、行車管制、疏導路線，乃至於隧道行車安全、避難逃生等資訊，有效傳達予用路人知悉，為通車前之重要課題；此外，隧道緊急應變處理能力之加強，以及通車後對蘇澳地區可能造成之影響及各種例外狀況預防，都需要事前縝密構思及規劃。以下將說明本團隊於通車前所作之各項準備工作。

#### 3.1 通車宣導多管齊下

宣導之目的除讓民眾充分瞭解通車後之行車動線、行車管制及疏導路線等資訊外，亦同時希望能提昇民眾對蘇花改之認同感及安全感，故宣導內容以「期待、順暢、平安」三大主軸進行發展，而宣導方式則因應新媒體之竄起，並考量不同年齡層之收訊習慣，除使用平面文宣、電台/電視廣告託播等傳統手法外，更利用影片及懶人包等淺顯易懂之呈現方式，在網路社群及影音平台上強力播送，如圖 3.1 所示。



圖 3.1 多元通車宣導

#### 3.2 加強緊急應變處理能力

鑑於隧道防救災之特殊性，為掌握隧道內各種災故發生之狀況、降低災害風險，本團隊依據蘇花改「整體防救災應變計畫」及「演訓計畫」，於通車前辦理隧道防救災各類情境之實際演練，演練過程使用煙霧機及火盆等設備，同時啟動水霧、排煙等消防系統，務求貼近最真實之狀況。每場次之演練均邀集專家學者一同到場檢視，於演練結束後立即進行缺失改善研討，並將改善建議持續回饋於後續編撰之緊急應變計畫。透過「實際操作、立即檢討、持續改善」之循環，讓緊急應變不只是紙上談兵，確實提昇團隊緊急應變處理能力，如圖 3.2 所示。



隧道防救災演練	
演練項目	演練方式
地震、系統故障及事故	兵棋推演及高司作業
故障車排除	高司作業及模擬演練
火災事故處理	高司作業及模擬演練
重大車禍事故	高司作業及模擬演練

圖 3.2 透過實際演練確實提昇緊急應變能力

### 3.3 例外狀況預防

由於新的路線及新的規定，蘇花改通車初期勢必對用路人及蘇澳地區造成多面向之影響。本團隊於通車前即預想各種可能發生之例外狀況及因應對策，如圖 3.3 所示，並進行沙盤推演，以降低風險發生之機率及影響，確保蘇花改通車之順暢及安全。

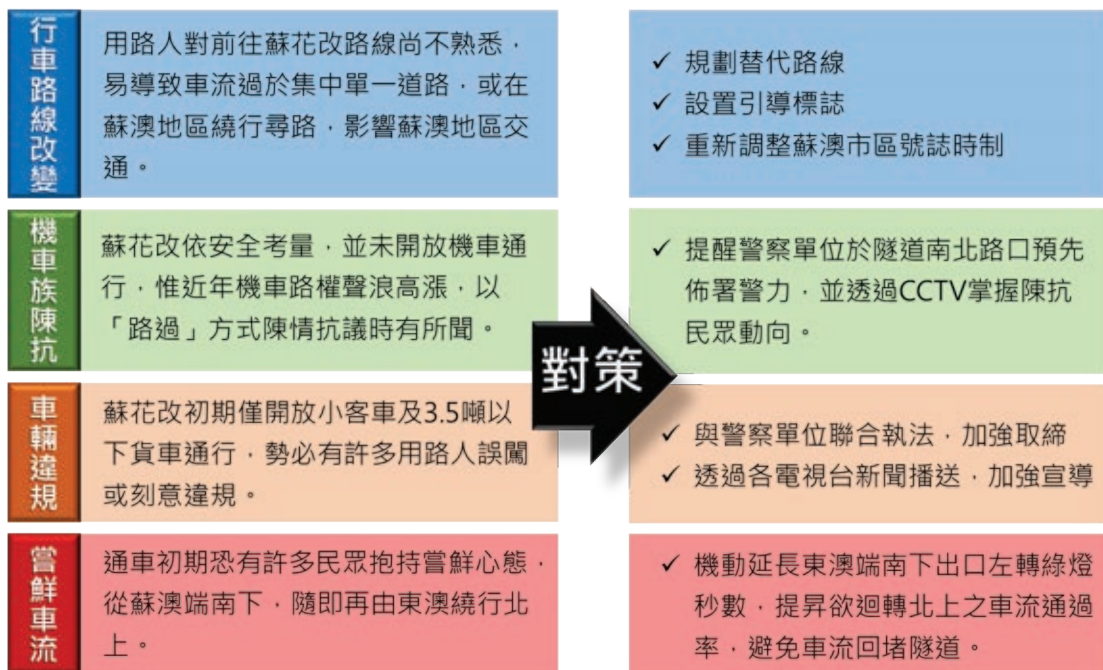


圖 3.3 預想各種例外狀況並研擬對策

## 四、接踵而至的挑戰—打破連假期間「蘇澳將淪為大型停車場」之預測

蘇花公路為宜花地區民生運輸、觀光遊憩的重要聯外道路，長期以來遇到春節、清明等連續假期，便會發生堵車之情形，在蘇花改通車後，更多的遊客被吸引開車至花東，加上蘇花公路容量與國道大量車潮不匹配之交通特性，壅塞情況勢必更加嚴重，「蘇澳將淪為大型停車場」之說法因此不脛而走。以下將說明本團隊如何透過研擬疏運策略、號誌調控等方式，成功克服春節及清明連假之交通疏運挑戰。

### 4.1 疏運策略擬定

馬賽、蘇澳地區為國道 5 號與蘇花公路銜接區域，長途與地區車流混雜，經本團隊分析，從國道 5 號下蘇澳，至蘇花改東澳端間之路段，其交通特性如下：

- (一) 蘇花公路容量與國道大量車潮不匹配，需仰賴馬賽、蘇澳地區緩衝。
- (二) 山區道路綿延彎繞無替代孔道，宜及早告知訊息以利改道調度。
- (三) 假日通過性返鄉觀光車流龐大，方向性、支幹道差異明顯。

因應上述交通特性，本團隊規劃疏導路網，來分散車流。由國 5 南下蘇澳之車輛，前往蘇花改的小車右轉，要走蘇花公路的大車左轉，到市區的直走，如圖 4.1 所示。因「分流」有效化解塞車，交通一路順暢，連以往塞爆蘇澳鎮市區也變得順暢好走。



圖 4.1 規劃疏導路網，分散車流

### 4.2 因應車流特性 即時調控號誌時制

本團隊於重要路段設立車流監控點，當車流量達到警戒值時，立即啟動路網號誌調控，避免車輛匯集在蘇澳地區造成壅塞，影響當地居民生活，並同時調節東澳隧道車流，

以降低在隧道內壅塞與事故發生率，維持整體路網運作順暢。有關車流監控設置地點，以及號誌調控策略，如圖 4.2 所示。



圖 4.2 號制調控

#### 4.3 跨單位協調、區域交控

為有效解決連假期間壅塞之狀況，交通控制視角需拉昇至整體路網控制概念，故協調高公局及宜蘭縣政府針對車輛偵測器、閉路監視器、資訊可變標誌等設備進行資料交換，將交通路況有效整合監控及發布，並建立宜蘭地區交通疏運群組，以即時掌握整體路況訊息，快速利用資料交換、Line、警廣連線等管道發布用路人知悉，如圖 4.3 所示。



圖 4.3 建立區域交控機制



## 五、安全回家的路—隧道安全維護

蘇花改以長短隧道貫穿高山峻嶺，其隧道長度占全路段六成以上，綜合前述隧道防救災之特殊性，欲提供東部民眾一條安全回家的路，首重隧道安全維護。蘇花改隧道安全採高規格之設計，導入全國首創之水霧及通風排煙系統，並輔以隧道影像事件自動偵測、光纖偵溫等先進交控及機電系統，設備種類龐雜，且各系統間運作交互關聯、操作不易，故如何有效提昇設備之可靠度，以及人員對於系統操作及緊急應變之熟悉度，為本團隊在隧道安全維護上之首要課題。以下將針對本團隊在隧道安全維護兩大元素「設備」與「人」之重點工作進行說明。

### 5.1 精實設備維護管理

設備維護管理之執行要點，除需主動發現問題即時通報廠商維修外，更重要的是問題後續處理情形之追蹤，以及故障原因分析，避免問題一再發生。本團隊除透過中心軟體 24 小時主動監控設備通訊連線、異常、故障等狀態外，並搭配定期現場巡檢，來彌補中心監控之不足，其巡檢重點為：(1) 隧道通訊品質檢測，如無線電、隧道廣播、緊急電話等；(2) 確認設備狀態是否與中心監測結果相符，如油箱/水箱液面高度、隧道照明、空氣品質等；(3) 設備外觀及周遭環境檢查，如電線是否破損、設備周圍是否積水等。一旦發現設備有異常狀況時，將由工程人員現場進行簡易排除；無法排除者，除即時通報廠商外，亦將問題登打至設備監視與維護管理系統( Equipment Maintenance and Management, EMM)，統一追蹤管控，除於每日進行故障統計、每週提送妥善率報告外，每月更針對重複性發生故障之設備進行原因分析，提出改善及預防對策，以有效提昇系統可靠度，如圖 5.1 所示。



圖 5.1 精實設備維護管理



## 5.2 隧道環境維護

為確保用路人行駛隧道內之視距清晰及空氣品質良好，本團隊隨時監測隧道內一氧化碳含量及能見度等數值是否符合濃度規定，並隨交通量之改變對隧道風機啟停進行最佳化控制，以保持良好通風環境、符合車流最佳情境；另外亦定期利用照度計、風速計等儀器，現場驗證是否符合標準，以維護用路人行車安全與舒適性，如圖 5.2 所示。



圖 5.2 隧道環境檢測

### 5.3 無預警考核與火警功能驗證

為加強人員熟稔度與精實度，本團隊自我要求辦理定期與不定期無預警考核與演練，以備妥因應各種不同的狀況，並針對蘇花改長隧道之特性，於 107 年 4 月至 5 月間，利用平日晚上辦理全面性的火警功能驗證測試，模擬 IID 影像事件偵測、PBL 火警壓扣、DTS 光纖偵溫之複合式火警，以驗證火警相關設備連動功能，確認火警發生後自動偵知連動照明、通風、水霧及交控系統等，均可依設計要求正確運作，如圖 5.3 所示。



圖 5.3 無預警考核與火警功能驗證

### 5.4 防救災演練持續精進

隧道發生緊急事故時，由於其環境特殊性，眾多救援單位要在有限之空間內迅速執行救援作業，實為一大挑戰。為讓相關救援單位充分熟悉其救災執行要點，於事故發生時能即時到位、正確作為，本團隊持續辦理防災演練，演練共分為「通報演練」、「例行演練」及「專案演練」，演練之規劃整理，如圖 5.4 所示，以達到自助、共助、公助，並藉由演練過程，持續改進防災應變作為。

- (一) 測試各單位反應、協調能力，及對救災程序之熟悉度。
- (二) 熟悉並檢驗救災路線。
- (三) 檢驗用路人逃生及疏散路線。
- (四) 測試本團隊人員應變能力及操作程序。



圖 5.4 定期辦理防救災演練

### 5.5 隧道違規聯合執法

蘇花改通車前雖已強力宣導車輛通行條件，惟少數民眾仍抱持僥倖心態試圖闖關，為此，本團隊特與警察單位合作，加強隧道違規執法，一旦於中心監控螢幕發現有違規車輛闖入，立即透過 Line 群組通報蘇花改分隊進行攔查，或提供截圖作為後續舉發之佐證資料，以及配合監理單位進行聯稽路檢，同時將前述作為透過各電視台新聞播送，以宣示隧道執法之決心，避免違規車輛於隧道中可能造成之風險及危害，如圖 5.5 所示。



圖 5.5 隧道違規聯合執法



## 六、克服重重困難之關鍵—團結合作力量大

蘇花改維運工作涵蓋交通、機電、通訊、防災等不同面向，為整合各專業領域的繁雜工作，需有健全的制度落實橫向的溝通、縱向的指示，讓專業人才得以發揮長處，有效執行相關工作，故團隊成立之第一時間即遴選機電、交通、資訊等各專業工程師，組成維運技術核心，並協調動員相關專業技師群，責成蘇花改設計、監造之核心人員組成蘇花改顧問群，並結合產、學專業夥伴，以及防災專家學者，成為技術諮詢與疑難解惑之強大後援；對內則訂定教育訓練與管考制度，以留任適合的優秀人才並加強訓練增進熟練度與知識涵養，共同為蘇花改維運工作盡一份心力。

### 6.1 充分溝通、凝聚共識

從交控、機電系統接管、通車準備、連假疏運、緊急應變處置，乃至於隧道防救災等工作，均涉及多方協同作業，其參與者包含警察、消防、縣市政府、工務段及交通部下轄相關政府單位。為讓不同單位能彼此合作、培養默契，蘇花改通車前總計召開數十場跨單位協調會議，以加強溝通，有效同步資訊、凝聚共識，方能在有限之時間內完成提前通車等艱鉅任務，如圖 6.1 所示。



圖 6.1 頻繁跨單位溝通協調

### 6.2 上下一氣、團結一心

由於蘇花改路線包含眾多長隧道，故建構緊急應變能力與整體防救災效能，妥善運用防災硬體設備、整合聯防單位資源，透過完善系統維運管理機制，減少因事故造成之財損與人員傷亡擴大的損害。故本團隊在維運管理工作執行期間，四工處各級長官以豐富的在地維運經驗運籌帷幄，再加上蘇花改善工程處及各工務段等相關單位鼎力支持，能在上下一氣、團結一心之氛圍下，共同克服各項挑戰。

## 七、結語

隧道環境特殊、結構密閉，在交通管理及各項救災工作均有別於一般道路，且一旦發生火災時往往傷亡嚴重，需付出極高之社會成本。

蘇花改以長短隧道貫穿高山峻嶺，且肩負東部地區交通疏運之重責大任，其維運管理工作包含交通、機電、通訊及防災等不同面向之專業領域，為有效確保民眾安全、強化交通疏運能量，主管單位公路總局第四區養護工程處，特將蘇花改維運管理工作委託民間公司共同辦理，以期透過引進民間公司之專業與活力，合作組成團隊，全力打造全國首創示範性指標。

蘇花改開放行車迄今，已順利通過首波通車、春節疏運、清明及端午連假疏運與開放大客車通行等重重考驗，在政府與民間上下一氣、團結一心之攜手合作下，維運團隊已做好迎接未來各種挑戰之準備，望能為東部地區民眾守護這一條「聯繫情感、安全回家」的路。

# 光達、影像及街景整合式多元 MMS 系統技術應用於 公路總清查作業—以省道公路 2600 公里為例

陳怡頻\*、高玉惠\*\*、林志交\*\*\*

## 一、前言

具備健全且完備的交通運輸系統是先進社會發展的重點，現今民眾多仰賴公路作為各種活動的媒介，如何管理現有公路與掌握用路安全，以及規劃擴展更完善的公路系統，都是現行重要的課題。透過建立完善的公路設施基本資料庫，能讓管理單位實際掌握公路的資訊，進而提供各方進行交通規劃管理。公路總局於 103 年推動第五次全國公路設施總清查，將全台（含直轄市、省轄市內以及快速公路）共計約 5,280 公里之省道，分為兩區域委由兩家廠商執行公路設施基本資料清查作業。有別於以往高人力及高時間成本的方式，以可靠準確可驗證且高效率的技術來進行公路設施清查。本公司（中興公司）為兩家廠商之一，負責承攬清查第一區域範圍公路長度約 2,640 公里。

過往以人力方式直接進行現地資訊的調查，礙於器材及現地狀況之限制，無法達到較高的精度要求，且需耗費大量的人力，利用整合式之車載移動式測繪系統來執行公路總清查作業，利用 720 度環景影像結合 GPS 之測量技術，執行公路清查作業之外業工作，並搭配無縫式街景成果取得各項公路設施資料，期能務實的利用科技發展、自動化技術、更佳之作業方式，更有效率的取得各項公路相關設施資料，以低成本、高效率、高精度、高可靠度之作業方式，辦理公路清查作業，除可提供更完善的測繪品質外，還能得到更高精度及解析度的道路資訊，增加資料在後續運用上的擴展性。

美國聯邦公路局（Federal Highway Administration, FHWA）及美國洲公路局暨運輸官員協會（America Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO）聯合委託學術單位制定的『移動式測繪技術應用於交通領域規範（Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications）』指出，同樣環境下光達式移動測繪系統具有優於影像式移動測繪系統之高精度優勢，而有效整合光達式與影像式移動測繪之技術，除可提供更完善的測繪品質外；更可提升公路設施基本資料從點狀資訊至面狀資

---

\* 中興測量有限公司 工程師

\*\* 中興測量有限公司光達室 副理

\*\*\* 中興測量有限公司光達室 經理

訊，進而完成以往困難且緩慢的資訊獲取過程，使得公路幾何設計、交通安全設施、道路路面工程及橋梁工程等設施，均能獲取更高精度及高解析度的資訊內容，以作為進一步後續調查分析之資訊來源。

## 二、整合式多元 MMS 系統

移動式測繪系統（Mobile Mapping Systems, MMS）整合全球定位系統（Global Positioning System, GPS）及慣性導航系統（Inertial Navigation System, INS）形成高精度直接定位系統，結合多種高效率感測器，能快速獲取並儲存感測資料，經解算直接獲得感測器方位（Direct Sensor Orientation），最後透過高度自動化的軟體系統進行資料處理，獲得所需的空間資訊。（測繪車之系統率定及其效能分析，航測及遙測學刊，第十五卷第3期）

本次所使用整合式多元 MMS 系統主要以 DGPS 精密的動態定位，利用 IMU（Inertial Measurement Unit）獲取姿態參數，並透過 DMI（Distance Measuring Instrument）輔助記錄行車的距離，而載具上搭載了 720 度環景影像系統以及車載光達系統，共 2 組光達感測器和 4 組 500 萬畫素相機及一臺 Ladybug5 環景相機，透過解算可分別推算出雷射點雲與環景影像的資訊，互相彌補其資料形態上的不足，在後續建置資料使用上效用更加顯卓。

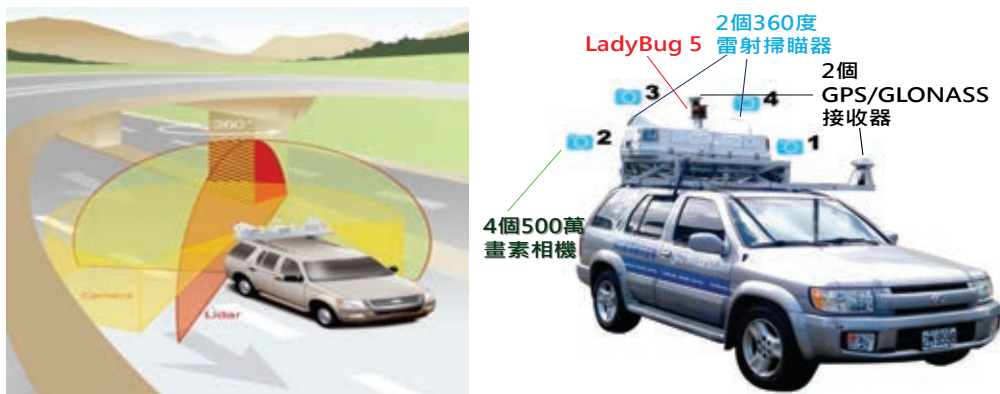


圖 1 車載掃瞄觀測示意（左）、MMS 測量車現況（右）

整合光達與影像技術於公路物件辨識及定位的作業流程，同時結合影像視覺上快速辨識與光達點雲直接地理定位的優點，透過兩種資料不同優勢的互補，減少單一類型資訊在建置資料上的劣勢、增加作業效率，發揮影像與光達的最佳化效益，使公路設施的養護、巡查或資料庫建構技術能獲得更快速且高精度的成果，落實於相關公路管理應用實務之中。

### 三、光達、影像及街景資料處理

#### 3.1 測量車路線規劃及掃瞄作業

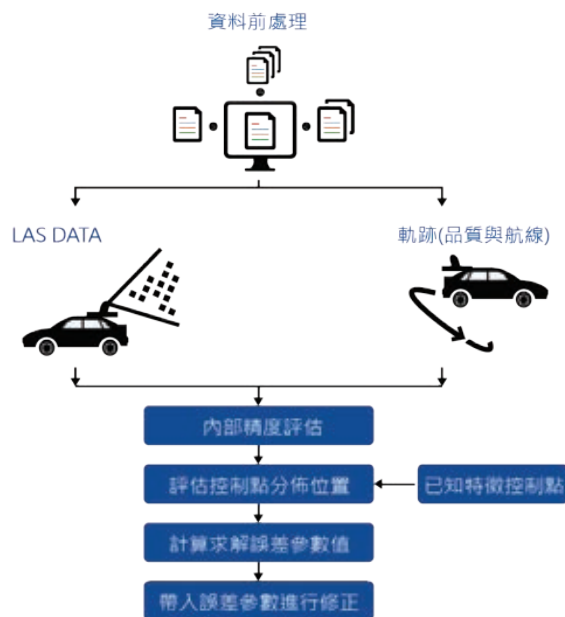
車載光達資料獲取前需要有完整的路線規劃，考慮的內容包括掃瞄區範圍、實施掃瞄道路的寬度、實施掃瞄道路的限制高度、預定規劃的載具速度、掃瞄儀掃瞄雷射衝率及測區管制等種種條件，故於實際進行掃瞄之前，必須規劃詳細的路線資訊及展繪路線規劃圖，以確定任務之可行性。

在進行外業作業之前，需先進行施作路段的確認，以便後續規劃及分析作業。透過航空照片、Google 街景服務與道路現況等資訊了解掃瞄路段狀況，確認起點、終點以及整體之路線，並與其路線之管養單位進行確認，商討後續施作事宜。

確認路線後，便開始進行路線的行駛規劃，包含行駛的車道及速度等等，而車載光達系統之定位品質高度仰賴 GPS 等直接定位技術之饋入，因此容易受到地形、地物遮蔽效應影響，加上衛星軌道運行造成的網形變動等因素，載台在施測過程之 GPS 定位品質會因時因地而異，為預估行車路徑在不同時刻之 GPS 定位品質，做為施測時段、路徑規劃及平差控制點佈設之依據，事先會以規劃軟體確認道路上方透空，確認作業當天 GPS 收訊狀況及作業初始精度等等細節，整合地形時段做出綜合評估，並視情況調整路線及時段，確保後續能收集完善且正確的資料。

#### 3.2 資料解算及品管

移動式測繪系統資料解算可包含掃瞄軌跡解算、精度評估、控制點帶入平差等程序，執行流程圖如圖 2 所示





測繪車掃瞄於都會區或山區會因透空度不佳造成 GPS 遮蔽問題影響其定位成果，可藉由在車載點雲平差處理中加入平差控制點提高其成果精度。而平差控制點的選址可透過一地形圖、正射影像等參考透空環境，於適當距離下設置平差控制點，控制點佈設原則說明如下。

1. 控制點間距約300~500公尺，並視 GPS 精度狀況提升密度。
2. 以點對型式（兩點一組）佈設，可提升可靠度。
3. 控制點的遴選，以自然點（標線）為優先。

透過 POSLV 系統的解算，可得到初始的掃瞄軌跡資訊，並評估該路線 GPS 精度較差的區段，透過現有圖資或現場施測，提供該區段控制點資訊，接著針對精度較差的區段進行點雲平差，將本次資料精度提升至 30 公分。

## 四、公路總清查資料建置

本章將闡述如何以整合式多元 MMS 系統蒐集之資料產製本計畫所需之成果資料，包含省道公路路線軌跡線萃取、里程樁位計算放樣以及各項設施資料的清查建置。

### 4.1 省道公路路線軌跡線萃取

公路路線軌跡線，係將由順、逆行車方向之移動式測繪系統，測繪的行車三維道路軌跡資料，以平均整理後作為路線軌跡線，如圖 3 所示。

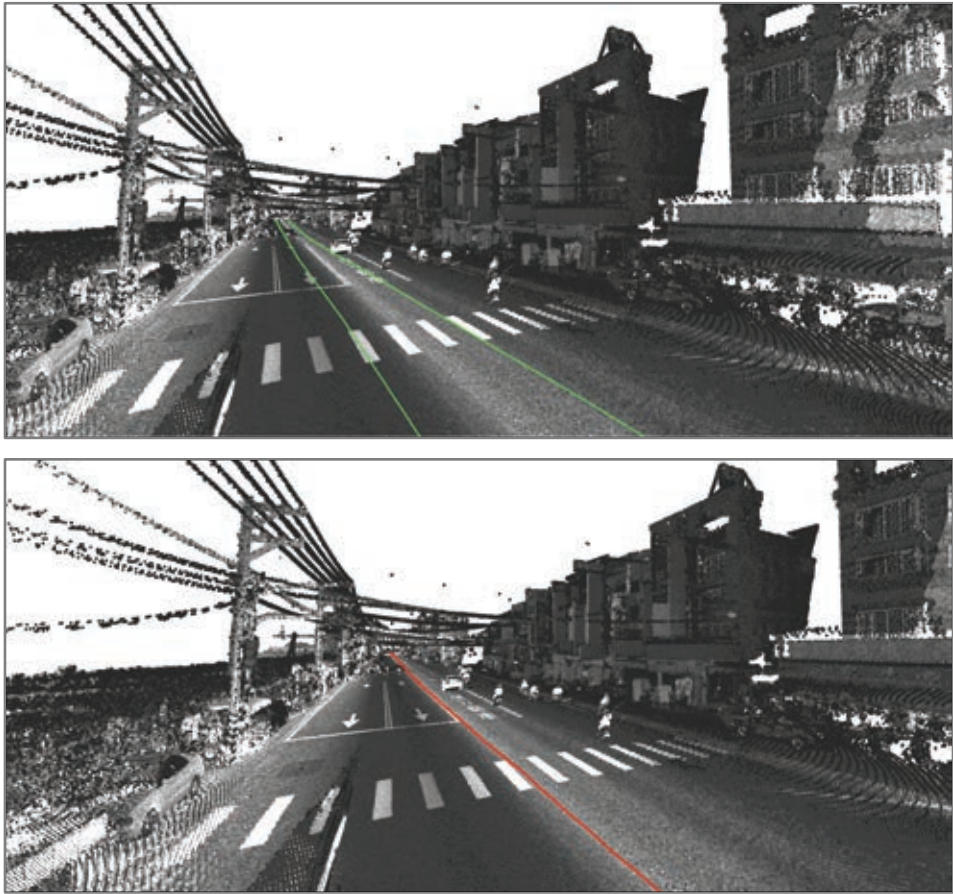


圖 3 車行軌跡線（上圖）及路線軌跡線（下圖）

後續再經由路線軌跡線，獲得公路的里程樁位資訊，並轉換成各通用格式，如 shapefile 及 kmz 格式等，方便與其他資料或不同平台進行介接及加值應用。

#### 4.2 里程樁位放樣

里程樁位的資訊可做為表示公路上任一位置的參考坐標，提供公路管理者及用路人在交流資訊時重要的位置依據，以下敘述其訂定里程樁位之作法。

由確定之路線軌跡線，以 1 公尺長度予以等分，可得該路線之每公尺點位資料，以起點點位樁號為 0，往後依序增加，便可計算出該路線的全線里程，推算該路線整公里樁、0.5 公里樁及 0.1 公里樁之里程碑坐標資料，及各項公路設施之里程。

確定前述里程碑坐標後，製作成點之記，由外業人員至現場以 GPS 或經緯儀進行點位放樣，並釘設鋼釘，後續將以現場鋼釘作為移設或新設里程碑的參考標的物，如圖 4 所示。



圖 4 各里程樁設置位置之現場放樣釘設工作照  
 (左、右下：以 VRS 放樣里程樁位置，右上：鑽孔釘設鋼釘)

待現場完成釘設後，會同工務段人員進行鋼釘的精度查驗，確保里程樁鋼釘釘設的完整性以及查核本次作業所使用資料的精度，如圖 5 及圖 6 所示。



圖 5 鋼釘檢查作業



查驗單位：台中段		查驗路線：台13		施工廠商：中興測量有限公司		查驗日期：2015/11/20		
驗收里程樁號	(A)現地實測坐標		(B)投影中心線坐標		(C)第一期GP表資料表坐標		(B)、(C)差異值(公尺)	備註說明
	E	N	E	N	E	N		
60K+000	222078.943	2690306.603	222076.960	2690307.000	222077.000	2690307.200	0.204	
63K+500	221889.187	2686872.218	221888.014	2686872.335	221888.000	2686872.200	0.136	
67K+000	221391.876	2683546.249	221391.731	2683546.482	221391.600	2683546.400	0.154	

圖 6 精度查核報告

### 4.3 公路設施資料建置

公路設施資料的建置，以利用整合式多元 MMS 系統所蒐集的資料經由數化取得（內業）；在被遮蔽或隱蔽處等資料不足的部分，則需搭配人工調查作業（外業）才能將資料補齊。

#### 1. 內業數化作業

整合式多元 MMS 系統所蒐集之資料，經檢核確認符合所需精度後，即可進行地物比對及設施資料數化建置作業。

依據公路總局提供之公路設施建檔說明，本次清查省道路線需建置之資料分別為路基、路面、橋梁、隧道、涵管、防護設施、交通安全設施、沿線狀況、鐵路平交道、立體交叉設施、標誌、號誌、照明、交流道、停車設施、防音牆共 16 項，依各項設施之特性，將此 16 項設施分為點、線、面 3 種數化方式來製作及呈現，其數化方式如表 1 所示。

表 1 設施數化方式

資料名稱	類型	資料名稱	類型
RO 路基	面	RL 鐵路平交道	面
PA 路面	面	CR 立體交叉	點
BR 橋梁	面	SN 標誌	點
TU 隧道	面	SG 號誌	點
CU 涵管	面	IL 照明	點
PR 防護設施	線	IC 交流道	點
SF 交通安全	點/線	PK 停車設施	面
SI 沿線狀況	點/面	NO 防音牆	線

數化作業以 MicroStation 軟體為基礎工具，結合本公司於本案拍攝之光達、影像及環景自動化檢視程式等商用及自行開發之工具進行數化工作，數化人員可便利靈活地操作點雲或影像資料，以直觀的方式進行設施的數化，亦可隨時查詢相對位置的影像資訊，方便人員判別設施物的屬性。數化環境設定包含 CAD 底圖、圖例設計、線型設計、各項物件對應圖層及屬性等，在建置資料時先行設定好相對應的資訊，方便後續建置好的資料進行各種檢核及格式的轉換，如圖 7 所示。

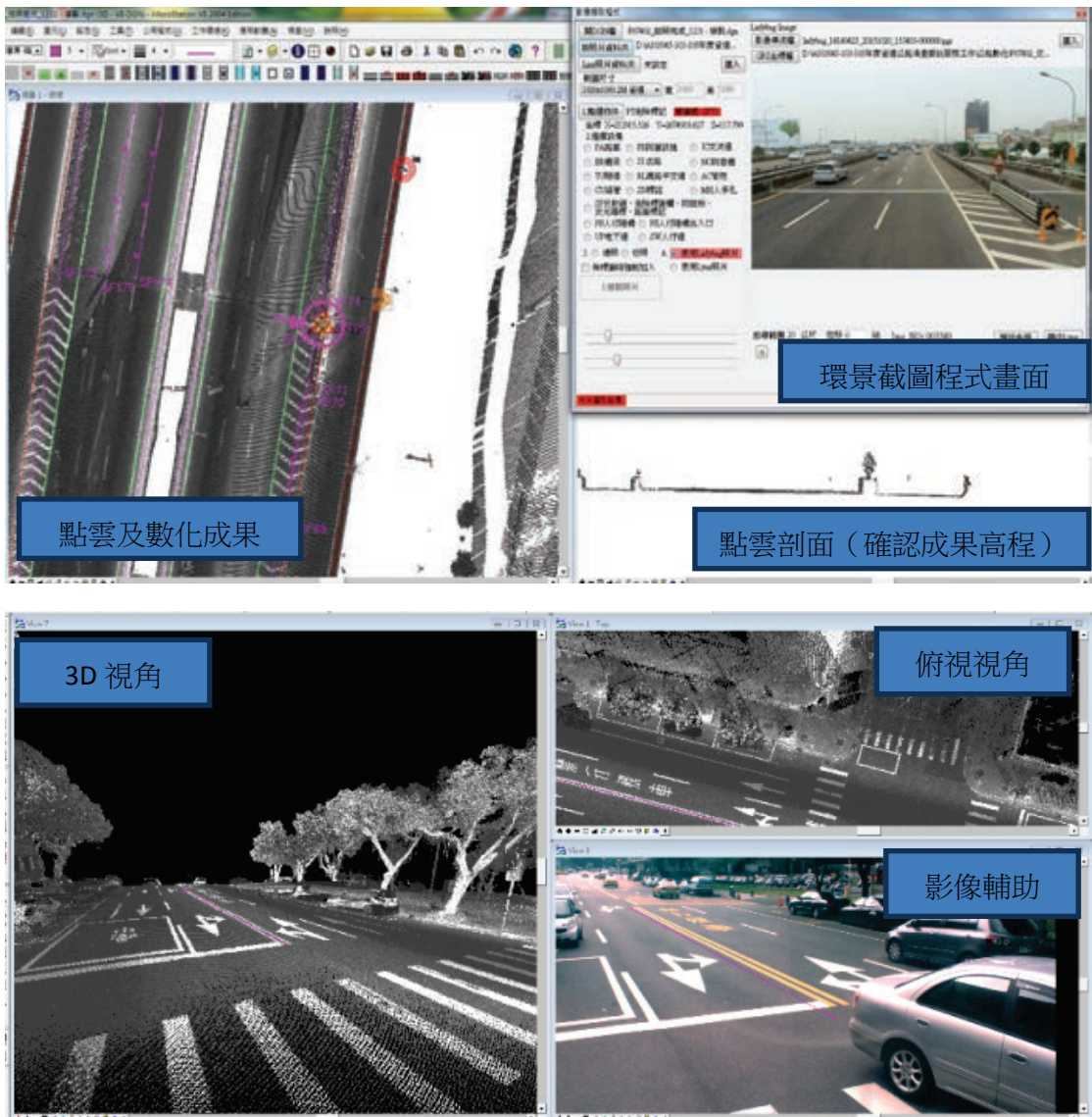
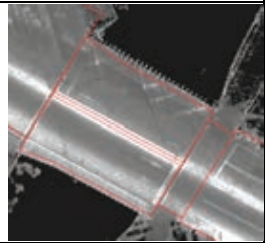



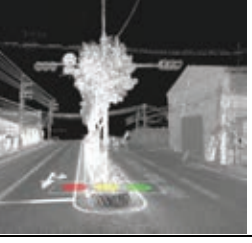




圖 7 Microstation 作業畫面

(上：使用環景擷取設備照片、下：數化設施時以各視角及影像以利於設施辨識)

各項公路設施建置方式，本公司係以點雲作為數化公路設施的基礎，數化人員可以根據各視角檢視設施點雲，相較於其他廠商以影像作為數化基礎之作業方式，更能確保將點位放置在正確的位置與高程上；而在物件的辨識上，相較於灰階的點雲展示模式，影像較能直觀的辨別物件及屬性，故本公司採用整合式多元 MMS 系統蒐集的資料，以兼具兩者數化方式的優勢，確保資料在各方面的正確性。各項設施於點雲及數化時呈現方式如表 2。

表 2 設施於點雲及數化時呈現之方式

路基	路面	橋梁	隧道
			
涵管	防護設施	交通安全設施	沿線狀況
			
鐵路平交道	立體交叉設施	標誌	號誌
			
照明	交流道	停車設施	防音牆
			

## 2. 外業現地調查作業

整合式多元 MMS 系統雖然在公路資料蒐集作業有較高的效率，惟仍可能因遮蔽（隱蔽）致無法取得資料，例如公路設施位在公路下邊坡或被行經（或路邊停放）的車輛所遮蔽，致該位置沒有點雲及影像資料，後者被遮蔽處雖可藉由多次測繪補齊資料，但仍有資料不完整的風險，所以尚需進行現地調查作業補齊資料。

公路總局提供清查規範之公路設施項目，主要易受到遮蔽或隱蔽影響調查成果之項目為防護設施（駁坎及邊溝）、橋梁（結構）、涵管及立體交叉等，皆需再派員至現場實地調查、填表、記錄與拍照，方能完成該屬性資料的建置，以確保資料品質。



外業人員依已建置之圖資，針對特定設施進行確認或辨識、拍照記錄及定位（以支距法量測出相對位置），並填寫調查屬性表格或透過手機 APP 記錄設施屬性，完成後再於內業作業中調出相關資料進行補繪設施資料，如圖 8 所示。



圖 8 外業調繪工作照（上：現場確認涵管、下：量測涵管孔徑）

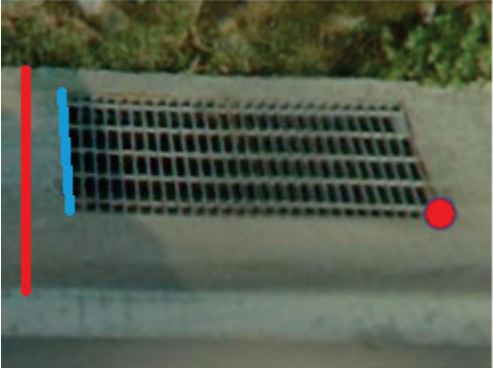

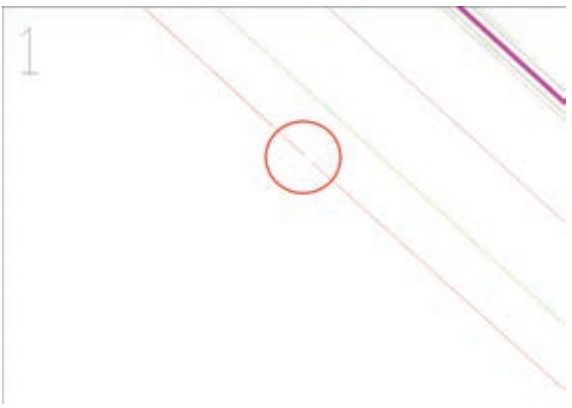
### 3. 檔案檢核及資料庫建置

省道清查所需調查設施項目較多，且每項設施又各分門別類，為避免人員在填寫資料上誤植，於建置資料時，採用專屬圖層的管理方式建置各設施中各類別的資料，並以自行開發程式進行圖資邏輯性的初步檢核，確保圖檔中各圖層類型與數化方式是否吻合、方向、接合及圖例屬性是否正確等，後續再以人工檢視是否有其他資料建置缺漏或錯誤的情形，常見錯誤範例如表 3 所示。

表 3 常見錯誤範例說明

常見錯誤說明	常見錯誤範例圖
<p>路燈或桿件的高程錯誤                      (紅點為錯誤高程，綠點為正確高程位置)</p>	
<p>住家前邊溝遺漏</p>	
<p>邊溝屬性錯誤 (圖片範例應為明溝加蓋，多誤植為暗溝)</p>	
<p>同一護坡含兩種材質，需建置兩筆，多忽略上方邊坡</p>	



<p>邊溝寬度量測錯誤 （藍色線段為錯誤寬度， 紅色線段為正確寬度）</p>	
<p>道路內側邊溝遺漏</p>	
<p>圖面上線型不連續</p>	

後續再以輔助程式自動產生各設施對應路線軌跡線之設施線及輔助線，包含路面、邊溝、停車設施…等，路線軌跡線可用於計算面狀屬性資料所對應的里程及長度，而與路寬變化處、鋪面變化處等所產生的輔助線，則可自動計算寬度資訊，最後再以填表程式自動將圖面上可輸出之現有資訊或事先填入之屬性填至資料表內。

利用初步自動化作業可以減少人為錯誤，並讓每個環節皆有檢核機制，可確保品質管理的方便性。編修完畢後之公路設施資料建檔作業成果，將會先轉存成公路基本資料管理系統之資料庫格式（.mdb），後續再根據計畫的需求，匯出完整的資料庫、設施報表及其他格式檔案。

#### 4.4 設施資料成果統計及探討

本次以整合式 MMS 多元系統建置公路省道約 2600 公里之公路設施資料，工作項目包含設施屬性、圖面繪製及資料轉匯，外業蒐集作業共耗時 2 個月，內業資料建置共耗時約 12 個月，各項設施資料建置各數量統計列表如表 4 所示，路線列表如表 5 所示。

表 4 設施數量統計表

設施名稱	建置筆數	設施名稱	建置筆數
路基	11033	路燈	70195
路面	10751	岔路	12193
橋梁	1815	交流道	890
隧道	243	立體交叉設施	576
涵管	4565	鐵路	5
交通安全設施	89323	標誌	119574
防護設施	33395	停車格	6468
號誌	5488	防音牆	221

表 5 路線列表及里程

路線編碼	長度 (KM)	路線編碼	長度 (KM)	路線編碼	長度 (KM)
台 1 線	461.081	台 9 線	454.566	台 28 線	49.657
台 1 甲線	27.432	台 9 甲線	19.964	台 30 線	35.433
台 1 乙線	21.931	台 9 乙線	3.407	台 31 線	29.976
台 1 丙線	8.032	台 9 丙線	22.803	台 37 線	14.417
台 1 丁線	14.011	台 10 線	21.13	台 39 線	16.371
台 1 戊線	8.727	台 10 乙線	5.258	台 62 線	19.046
台 1 己線	4.188	台 11 線	177.489	台 62 甲線	5.744
台 2 線	169.603	台 11 甲線	19.162	台 63 線	19.023
台 2 甲線	36.863	台 11 乙線	7.406	台 63 甲線	2.192
台 2 乙線	25.279	台 11 丙線	18.301	台 64 線	28.42
台 2 丙線	29.957	台 12 線	23.147	台 65 線	12.469
台 2 丁線	13.39	台 13 線	69.271	台 66 線	27.259
台 2 戊線	9.313	台 13 甲線	14.16	台 68 線	22.992
台 2 己線	4.219	台 22 線	34.321	台 68 甲線	1.26
台 2 庚線	3.741	台 23 線	45.4	台 72 線	28.4
台 6 線	31.803	台 24 線	47.474	台 74 線	37.841
台 7 丁線	16.153	台 25 線	18.275	台 74 甲線	10.53
台 8 線	188.361	台 26 線	68.317	台 76 線	21.784
台 8 臨 37 線	61.5	台 27 線	79.174		
台 8 甲線	16.744	台 27 甲線	14.121		

本次之成果資料，為因應跨平台的整合，轉匯出各式格式，包含 dwg、shapefile、kmz/kml、csv 及 mdb 等格式，並匯入與本案協力廠商（政威資訊顧問有限公司）共同開發之展示平台，使用者於系統介面可輸入坐標或里程，經由定位查詢公路設施資料及本公司拍攝之環景影像，圖台部分採用 GIS 系統，能自行疊加圖資及圖層管理，增加使用上的多元性如圖 9 所示。



圖 9 展示平台系統畫面

公路資料查詢係設計提供公路總局內同仁使用，以簡化查詢工具，人性化設計，排除複雜操作步驟，讓使用者能快速查詢本案各項成果資料，功能介紹如下。

1. 增強地理資料互動查詢界面，與部分業務資料做連結，提供同步資訊，如圖10所示。



圖 10 查詢系統界面配置及浮動視窗設計示意圖

2. GIS 工具列：提供 GIS 相關之主題查詢定位、圖台控制、圖層顯示、環域分析及列印等工具，簡化操作界面，透過視覺化引導，快速獲得需求的 GIS 服務。如圖11。



圖 11 查詢系統環域分析操作示意圖



針對公路設施清查資料進行完整解析、處理及加值。透過資料處理，將各項設施之屬性資料，以圖形及公路樁號方式進行互動式查詢、統計及展示，依據各轄管範圍，進一步製作各項統計資訊。如圖 12。



圖 12 管轄區域交互查詢

3. 環景展示：於各路線各里程進行720度環景查詢展示，如圖13所示。



圖 13 720 度環景影像查詢

4. 各式報表：提供查詢資料的報表下載，可以各條件進行查詢並產生多樣化之統計資訊。

## 五、結論

本次以整合式多元（光達、影像及街景）MMS 系統進行公路清查作業，針對其效率、精度及其後續應用部分，整理出下列結論：

1. 本次建置了48條省道公路路線軌跡線資訊、里程碑坐標樁位資訊及公路設施資料，並轉製成 shapefile 及 kmz 等檔案格式，方便於其他平台展示或加值應用。
2. 本案利用 MMS 系統進行公路設施資料建置，以2個月完成外業資料蒐集，以12個月完成約2600公里省道路線及公路設施調查、建置、圖面繪製及資料格式轉換，減少了外業調查的時間，並降低外業人員之工作風險性。
3. 現地檢核成果顯示，本次成果之精度可達30公分，有效的提升其資料的精度且可驗證。
4. 本案作業成果含有環景及光達點雲原始資料，此兩項資料在各方面的應用均非常廣泛，除了本案之公路調查外，後續也能針對其需求，再將資料進行分析使用。

本文透過論述使用整合式多元 MMS 系統來建置公路設施資料之流程與方法，將有助於後人使用先進技術來進行相關資料建置的發展與延伸，進一步針對各方的需求，精進本系統在資料蒐集與產製的技術，未來將能應用在更多元的公路資料建置或其相關分析。

# 臺灣公路工程

出版者：臺灣公路工程月刊社

地 址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

電 話：(02)2307-0123 轉 8008

網 址：<http://www.thb.gov.tw/> 本局資訊 / 影音及出版品

編 者：臺灣公路工程編輯委員會

出版年月日：中華民國 107 年 9 月 15 日

創刊年月日：中華民國 41 年 11 月 11 日

刊期頻率：每月 15 日出刊

本期定價：新臺幣 30 元

展售處：

五南文化廣場

地 址：40042 臺中市中山路 6 號

電 話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地 址：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓

電 話：(02)2518-0207 (代表號)

國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地 址：10045 臺北市重慶南路一段 61 號

電 話：(02)2361-7511

印刷者：先施印通股份有限公司

地 址：10491 臺北市中山區八德路二段 180 號

電 話：(02)8772-5566

中華民國 107 年 9 月初版一刷

GPN：2004100003

ISSN：1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

本刊內容不代表本局意見，發表之文字如需轉載或引用  
請先徵得本刊之同意。

(請洽臺灣公路工程月刊社，電話：(02)2307-0123 轉 8008)

半年新臺幣 150元  
一年新臺幣 300元  
軍人及學生半價優惠

訂閱匯款至中央銀行國庫局(代號0000022)  
帳號(共14碼)：1 1 2 9 7 1 0 9 0 9 5 0 1 9  
戶名：交通部公路總局其他雜項收入戶

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN200410003

定價新臺幣30元