

嘉義縣重載道路鋪設轉爐石瀝青路面工程成效評估之研究

張偉哲¹、陳偉全¹、彭俊翔²

¹ 高苑科技大學土木工程系 副教授

² 正修科技大學土木與工程資訊系 副教授

摘要

嘉義縣鹿草鄉外環鄉一~1 號道路為當地疏濬聯結車之必經道路，原有道路內側車道路面因重載車輛產生連續縱向裂縫、坑洞等路面破壞現象。本文試用改良式非破壞性加鋪設計方法，探討其在銑鋪設計應用上之可行性；並在鋪面材料上，探討使用中鋼轉爐石和一般天然石做為瀝青混凝土之粒料時，其在縱斷面平整度、橫斷面車轍量、抗滑度等行車舒適績效指標上的差異。

研究結果顯示，使用改良式非破壞性加鋪設計方法所設計之銑鋪結果，各項鋪面績效指標均能符合使用要求；轉爐石瀝青混凝土路段在鋪築六個月內之縱向平整度的績效均遠優於一般天然石瀝青混凝土路段，添加改質劑對縱向平整度的績效影響不顯著；橫斷面車轍量方面的表現趨勢亦同，即轉爐石瀝青混凝土添加改質劑路段之抗車轍能力，遠優於一般天然石瀝青混凝土添加改質劑路段；抗滑能力方面，一般天然石瀝青混凝土路段均略優於轉爐石瀝青混凝土路段，但其值均在一般規範要求中。文中並提出路面銑鋪施工時，廠拌及現地品管的時機及項目，銑鋪設計後須提供之基礎設計文件，以提供日後其他鋪面銑鋪工程參考。

關鍵詞：重載車輛、改良式非破壞性加鋪設計方法、行車舒適績效指標、轉爐石瀝青混凝土。

一、前言

近年來由於車輛技術進步，車輛輪載重也隨之增加，加上車輛超載的問題，舊有道路路面材料或底層材料因輪載重等設計參數等級提高，路面往往出現不同型態損壞；加上全球氣候暖化，致使道路所處環境常是高溫潮濕，對面層材料維持原有的服務效能更是嚴格的考驗；道路工程的設計也從無到有的設計程序，變成工程完工後要解決道路本身現有的問題外，更需恢復路面上所有設施的銑鋪工程。

嘉義縣鹿草鄉之外環道路(鄉管一-1 號道路)其道路兩端分別與 163 縣道銜接，道路寬度 20m，全長 1.082 公里，該路段為當地疏濬聯結車之必經道路，由於疏濬聯結車載重過大，致使該道路面層發生嚴重車轍，坑洞、縱向裂縫等道路破壞現象明顯，除造成行車舒適度較差外，以容易造成居民行駛摩托車安全上的疑慮，急需鋪設承載能力及耐車轍能力較好的瀝青混凝土面層加以改善。

路面必須重新銑鋪的因素有面層材料老化、路面車轍量超過原設計限度、路面其他設施施工復原不佳、路面排水不良、路基基底層因各種狀況失去原有功能

等因素造成。所以如果造成銑鋪的路面必須重新銑鋪的原因如果是由於基底層引起，單以鋪面厚度設計亦無法解決原路面的問題。

道路破壞的型式及造成的原因可從目測檢視的現象發現[1-4]，本文彙整路面損壞原因是由於基底層因素所造成的路面損壞型式有：「縱向及橫向裂縫」、「波浪型路面」、「路面凹陷」、「路面呈線性狀凹陷」、「路面隆起」及「人手孔四周下陷」；損壞原因是由於瀝青材料因素所造成的路面損壞型式有：「波浪型路面」、「推擠」、「坑洞」、「面層鬆散」。

「改良式非破壞性加鋪設計流程」[5]建議在路面有基底層因素所造成的路面損壞型式的位置以透地雷達的方式進行掃描，以確定是深層路基或是底層所造成的問題；如有需要基底層改善時，應盡量減少路基之擾動，目前常用的改善方法有加鋪加勁網、以原路基級配料攪拌水泥(低水灰比)或是澆注可控制性低強度回填材料加以處理。損壞原因如是瀝青材料因素所造成時，則多在選用面層材料與厚度時加以設計考量。在材料方面，大多建議選用比原來黏度較大的瀝青材料，在銑鋪厚度方面，應先檢視透地雷達的掃描影像圖，銑鋪的厚度應大於面層已產生變形的厚度。

吳學禮(2005)於其著作中指出[6]，加鋪設計因試驗方法不同，可分為破壞性與非破壞性二種。破壞性設計需取得路基土壤強度、交通量與環境參數，才能加以計算路面所需厚度，需破壞原有路面；非破壞性設計則需以彭柯曼樑(Bemkelman Beam)或路評審儀或落錘試撓度儀(PFWD)取得道路撓度，可以回算法求出各層鋪築材料之彈性模數。

美國瀝青學會(The Asphalt Institute)其手冊 MS-17[7]亦為鋪面加鋪之設計方法，其加鋪設計前的第一個步驟是先檢驗鋪面狀態，查看路面裂縫、車轍、粒料析離、孔洞等破壞情形，以檢查後之狀態檢定值率(Condition Rating)決定是要翻修(Reconstruction)或是加鋪(Overlay)或是常規維護(Routine Maintenance)；接著再以破壞性的加鋪設計方法或以非破壞性加鋪設計方法設計鋪築厚度。

轉爐石係煉鋼過程中之副產物，應用在台灣已有十多年的研究，先進國家如法國、日本、西德煉鋼爐渣之利用率皆達到 80% 以上，美國亦將煉鋼爐渣應用在瀝青混凝土骨材。在鋪面工程方面，基底層材料與面層材料之利用也有相當的成果；相關研究中，轉爐石利用於道路基底層之成果良好[8]，證實可取代天然級配料作為基底層材料使用；利用於面層材料方面，許多研究將轉爐石添加於瀝青混凝土中，結果證明轉爐石利用於面層材料適用性良好[9-11]。

轉爐石主要成分為 CaO，具親油性特性，在多孔隙瀝青混凝土中滯留強度指數較高、較能減少水份之侵害、較不容易造成路面剝脫現象降低車轍變形量，對提昇路面承載交通荷重及抵抗車轍能力[12]。

台灣四面環海，雨量充沛，年平均下雨量達 3000mm，其中五月至十月就佔了全年降雨量 60~80%，轉爐石骨材顆粒形狀及材料性能優於天然粒料，台灣砂石粒料缺乏且品質日益下降的情況下，轉爐石瀝青混凝土鋪面除節能減碳績效外，對路面耐久性及排水功能更佳，使用於瀝青混凝土中更有其優勢，因此本研究將

針對轉爐石瀝青混凝土配合設計方法、廠拌品質控制、現場施工品管，以及後續路面服務指標，綜合探討轉爐石於重載交通面層鋪面應用之品質管制與銑鋪成效。

二、研究目的

本文在路面銑鋪設計方面採用「改良式非破壞性加鋪設計」，以目視法加上透地雷達的影像判斷研究道路的破壞情形，做為銑鋪路面厚度設計及基底層是否要加以處理的參考。

材料的選用方面，運用轉爐石瀝青混凝土具有比瀝青混凝土較大的抗車轍變形量及較佳的耐久性等特性，分別使用一般天然石和轉爐石做為瀝青混凝土的粒料，以 AC-20 為黏結材料，以有添加改質劑和非改質劑分別進行配比設計，再將每一種材料分別鋪築超過兩百公尺的長度，進行鋪築前後各項道路服務指標之比較，以確認轉爐石瀝青混凝土的優越性。具體研究目的如下：

1. 探討「改良式非破壞性加鋪設計流程」取代非破壞性銑鋪設計方法的可行性，並建立道路銑鋪設計所需產生之文件，以提供後續發包、施工、品管標準作業流程參考。
2. 比較室內配比設計與瀝青拌合廠生產情形之差異，提醒未來施工自主品管人員與監造人員應注意事項。
3. 比較施工前後示範道路之鋪面狀況。
4. 比較有添加改質劑與未添加改質劑之轉爐石瀝青混凝土和天然瀝青混凝土施工前後之鋪面績效。

三、研究方法

3.1 研究範圍

本研究鋪築路段為鹿草鄉一-1 號道路雙向內側車道(如圖 1 所示)，道路全長 1200 公尺，鋪築位置為該道路里程數 0K+160~0K+575 及 0K+820~1K+036 長度計畫約 631 公尺，而鋪築寬度為雙向內車道約 7 公尺，該路段緊鄰 163 鄉道外環道路，其總寬度為 20 公尺，雙向二車道，並各有一混合車道。雙向內車道路面破壞情形嚴重：具車轍、坑洞、龜裂等現象，慢車道及混合車道之路面則較無破壞情形發生。

在不改變原道路邊溝排水坡度及和外側車道路面接合高程的基本原則下，設計道路中心點的高程做為施作依據，且鋪設路段完成後，恢復道路原有標線。各試驗鋪面使用之材料及其長度擬以圖 2、圖 3 所示規劃，並作為未來評估其效益之依據。

【註】圖中 Type A 示轉爐石密級配設計最佳含油量；Type B 表示一般天然石材密級配設計最佳含油量；Type A(加改質材[德國 Lucobit 1210A])示轉爐石密級配設計最佳含油量添加改質材料；Type B(加改質材[德國 Lucobit 1210A])示表示一般天然石材密級配設計最佳含油量添加改質材料(材料

由健士貿易有限公司提供)。



圖 1 計畫範圍示意圖

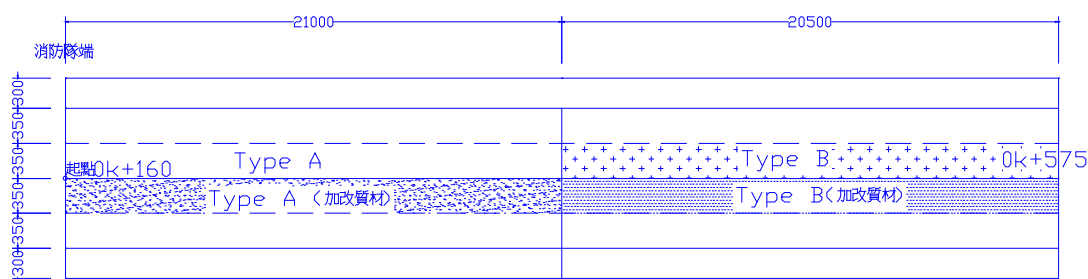


圖 2 轉爐石與天然石密級配瀝青混凝土鋪設平面示意圖

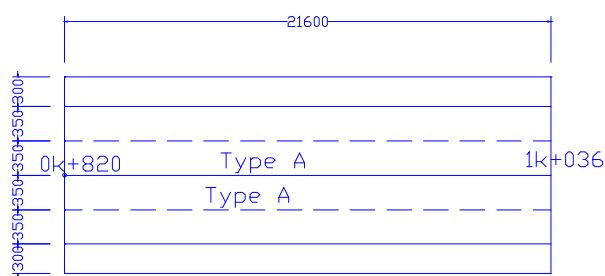


圖 3 轉爐石密級配瀝青混凝土鋪設平面示意圖

3.2 路面銑鋪設計

從參考文獻 5 中可以得知，改良式非破壞性加鋪設計的流程如下圖所示，本文以此方法進行鋪面厚度設計。

為配合路平專案，並使施工單位的刨鋪深度、各種路面銑鋪生產數量能加以精確控制，銑鋪設計除目視檢測外，仍進行現地線型及高程測量，並依此結果繪製縱橫斷面圖，計算工程數量。

由於路面人手孔位置多在銑刨車道範圍外，故不在本文處理範圍內。

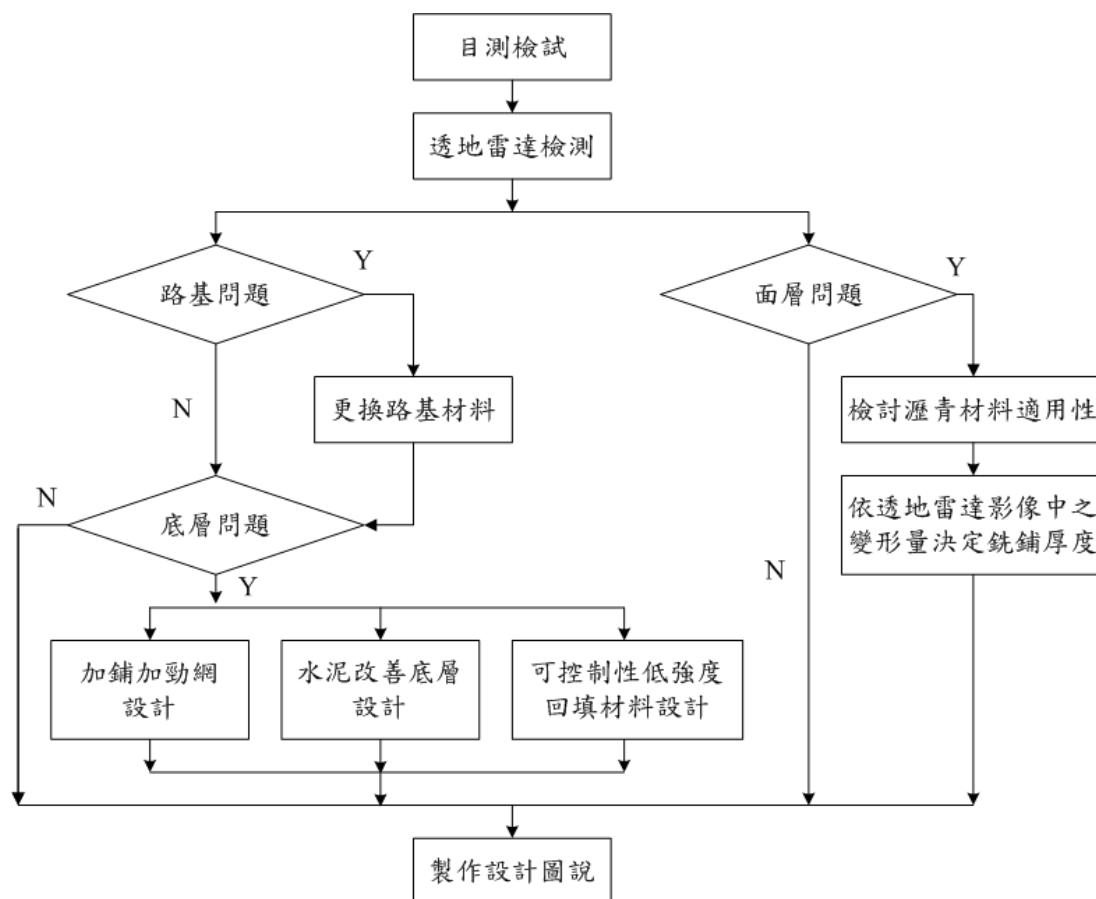


圖 4 改良式非破壞性加鋪設計的流程

3.3 配比設計與品質控制

本文採用馬歇爾配比設計的方法，於高苑科技大學進行各種密級配瀝青混凝土配比的配合設計，並於道路銑鋪前一日，進行拌合廠冷料斗篩分析及監造人員品管點及標準規畫，以期施工當日能順利生產。拌合廠及施工現場控制的規劃如下：

1. 鋪築當天駐廠相關準備事宜：

(1) 當天早上待監造團隊至拌合場後，

A. 進行熱料斗篩分析(由施工單位提供設備，監造會同，品管人員照相)。

B. 進行運送卡車過磅(監造會同)

(2) 熱料斗篩分析後(需照相，紀錄繳交)，經調整各料斗出料重量後，開始進行試拌。試辦後取料進行含油量及篩分析試驗(由施工單位執行，品管一會同，品管二照相，試驗過程中相關步驟請施工單位協助照相)。

(3) 試拌確認後，開始進行出料。

2. 鋪築開始前，工地施工現場準備工作

(1) 施工單位每天依圖 2~3 各種不同施工區域的進行交維佈置，監造則依交維計畫圖審查其交維佈置之完整性。每一工區交維佈置完成後，需配置義交進行全天候指揮工作。

- (2) 交維完成後(現地二照相),施工單位開始刨除該區之 AC 達設計厚度深度,刨除料需運回施工單位拌合廠(並加以地磅秤重),該區完成刨除且清掃乾淨後,需進行現地第一次深度測量(現地二照相)。每一里程斷面至少量測三點,即道路中心點(刨除最內側點)、刨除車道最外側點及其最鄰近位刨除點。記錄需經現場一監造簽名(現地二照相),以做為日後檢核之用。
- (3) 確定刨除深度後,在現場應實施現場黏層噴灑輛試驗(施工單位施作,現地二照相,現地一確認噴灑量),依 02747 瀝青黏層規定,噴灑量需介於 $0.11 \sim 0.35 \text{ L/m}^2$ 。

3. 鋪築開始

鋪築開始時監造在拌合廠派駐二位品管專員(品管一、品管二),需依「交通部台灣區國道高速公路」瀝青混凝土拌合廠出廠單的內容,在拌合廠、鋪築現地進行二次簽名,簽名前拌合控制室及出廠控制室需先對表,並需能有聯繫通話功能,施工單位相關品管人員及監造的品管專員需確認事項如下所述:

(1) 拌合廠

- A. 『品管一』需確認每一盤拌合料的各料斗之重量紀錄於該電腦的主機中,確定各盤之拌合溫度均符合黏度試驗之拌和溫度要求。
- B. 『品管一』於每台卡車出場前,需確認拌合控制室與出廠控制室有連繫確認出廠卡車所載各盤拌合料之拌合時間上下限;並確認卡車上拌合料之溫度,並記載於瀝青混凝土拌合廠出廠單之出廠溫度欄位。
- C. 『品管一』需確認改質劑投料人員。
- D. 卡車出廠前需至地磅秤重,『品管二』除需確認瀝青混凝土拌合廠出廠單已登錄「空重」、「出廠溫度」及備註欄(記載各盤拌合料之拌合時間上下限)外,在出廠控制室與施工單位控制人員進行之「總重」、「淨重」、「出廠時間」項目之確認,並在『監工單位駐廠簽章』欄上簽名,並押上日期與時間,讓卡車順利出廠(單子由駕駛帶走)。
- E. 瀝青混凝土拌合廠出廠單備註欄中需註明該車中所載之瀝青混凝土的種類。

(2) 鋪築現地

- A. 現場一監造需確認各階段各種鋪裝機之胎壓,現場二照相存證。
- B. 卡車至鋪裝機卸貨前,將瀝青混凝土拌合廠出廠單交給施工單位工地主任簽章,施工單位與監造現場一監造量取鋪裝機上之材料溫度後,現場一監造在單子『監工單位工地簽章』欄中簽名。
- C. 監造現場二監造應會同施工單位現地量測人員,確認該卡車的材料鋪築的里程數,並由監造現場一紀錄於瀝青混凝土拌合廠出廠單中。
- D. 瀝青混凝土拌合廠出廠單一式五聯,交由監造現場一,於簽名完成後,戊聯(未記錄鋪築地點)由司機帶回,其餘各聯在填完鋪築地點後,交由監造現場一分配,甲、丙聯交給施工單位工地主任,乙、丁聯由監造現場二,乙聯未來由監造交給中聯,作為計量之依據;丁聯由監造做為複核數量之

用。

4. 試驗取料

(1) 拌合廠

A. 由『品管一』會同施工單位取一桶 AC-20，以供物性檢核之用。

B. 由『品管一』於每天上下午於卡車上各取一盆料(共四盆)，以供含油量、篩分析、製作馬歇爾室內密度試體之用，並於該車之瀝青混凝土拌合廠出廠單備註上記載(含簽名)已取試驗材料。

(2) 鋪築現地

由高苑現場一監造錯開拌合廠取料時間，於每天上下午於鋪裝機上取料(共四盆)，以供含油量、篩分析、製作馬歇爾室內密度試體之用，並於該車之瀝青混凝土拌合廠出廠單備註上記載(含簽名)。現場二照相存證。

3.4 試驗路段鋪面績效評估

本文依圖 5 的流程進行施工前後的路面績效評估，各評估項目及內容詳表 1 所示：

表 1 路面評估項目與內容

項次	試驗項目	評估內容	儀器或方法	試驗時間
1	現場目視調查	目視路面表面損壞情形調查，找出道路常見的路面損壞型式，輔以 透地雷達法 分析路面壞因素	改良式非破壞性加鋪設計	試驗路段施工前、後
2	滯留強度指數	顯示鋪面材料處於長期高溫浸水環境下之馬歇爾強度比值，其值越大，表示該材料在高溫及浸水環境下仍有較高的穩定值	ASTM D1075 或 D4867	試驗路段施工前
3	平整度試驗	利用電子式高低平坦儀量測各試驗路段之路面平整度。以各種不同鋪面材料路段的 標準差 表示，作為行車舒適度之評估依據。	電子式高低平坦儀	試驗路段施工前、後
4	車轍量試驗	量測不同試驗路段中各橫斷面上各點的車轍變化量，以該橫斷面上各點變形差異的組距做為評估不同試驗路段的車轍量。藉此做為鋪面承受重複交通載重後橫斷面之垂直變形量差異，作為表示不同鋪面路段抵抗車輛荷重之能力	三米直規	試驗路段施工前、後
5	抗滑度試驗 (BPN)	使用英式擺錘試驗儀(British Portable Tester, BPT)量測潮濕路面之表面摩擦特性，換算成 20°C 時之抗滑度，用以代表或換算成雨天時路面與車輪之間的 摩擦力 。	ASTM E303	試驗路段施工前、後
6	現地回彈模數	以輕便型落錘試撓度儀(PFWD)估測路基彈性模數(Subgrade resilient modulus, MR)，及鋪面有效模數(Effective modulus of pavement, Ep)	使用波斯尼克理論的半無限空間法	試驗路段施工前、後

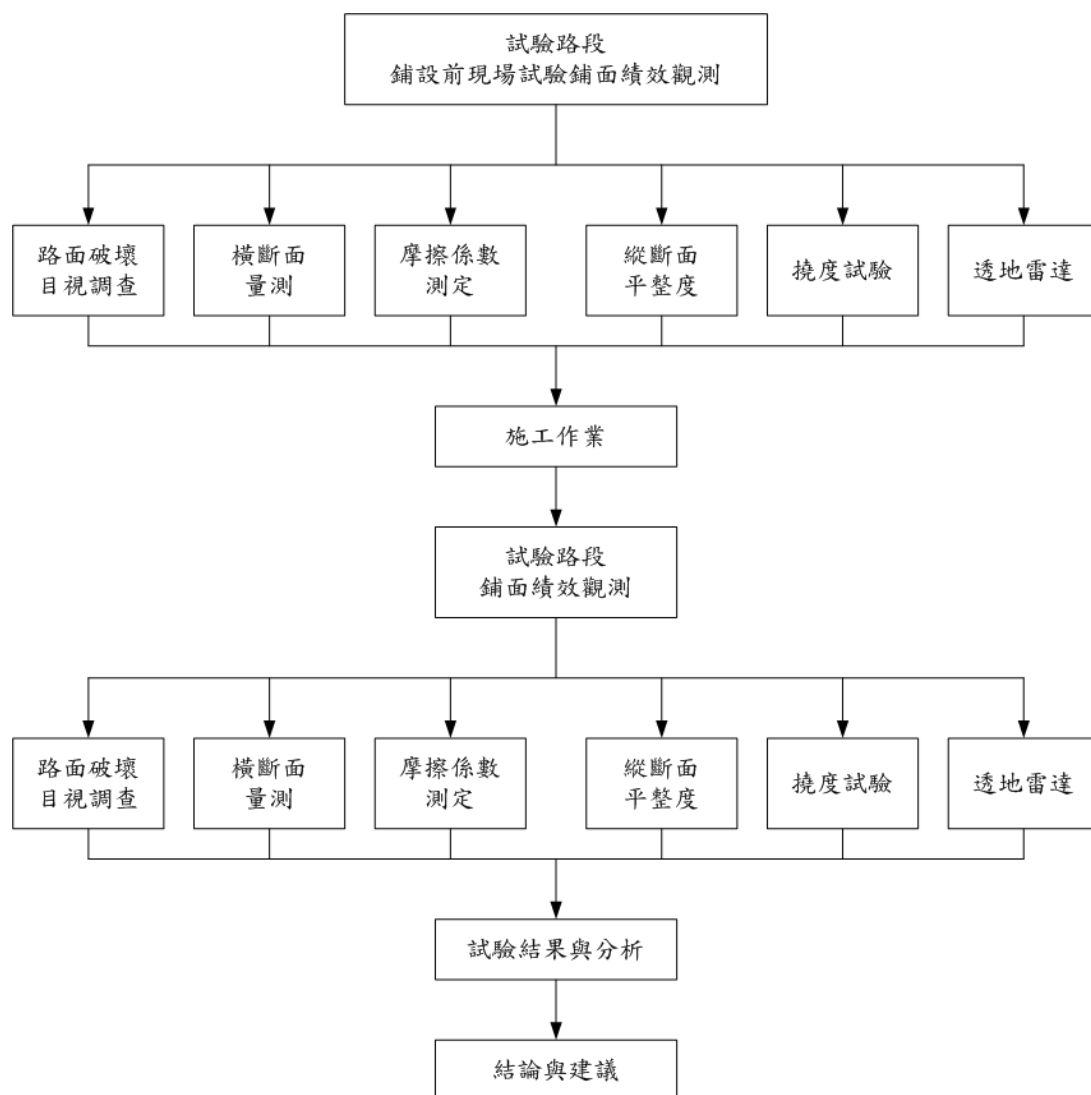


圖 5 轉爐石密級配瀝青混凝土之評估流程圖

四、量測結果與討論

本節中針對研究方法中各小節的執行結果，將施工前及施工後六個月的鋪面績效及相關設計資料彙整如下列各小節所示。

4.1 路面銑鋪設計

本研究於施工前以「改良式非破壞性加鋪設計」的方式，進行評估路面的銑鋪設計，其中目視檢測和以透地雷達輔助和路面斷面設計結果詳 4.1.1 節，銑鋪設計內容詳 4.1.2 節。

4.1.1 路面斷面設計

本文於施工前至道路銑鋪路段，以目視檢查的方法，發現銑鋪路段雙向均有嚴重的塊狀裂縫、縱向及橫向裂縫、大量的坑洞、瀝青表層產生短促和不規則的橫向隆起變形，東向 0K+180~0K+240 路段有路面凹陷的現象，東向 0K+560~0K+575 及西向 0K+160~0K+200 有嚴重車轍現象(詳圖 6)。



圖 6 施工前路面破壞情形

上述路面破壞因素除東向 0K+180~0K+240 路段可能是因為基底層因素造成外，其餘因素多因路面瀝青材料老化及承受重載交通量所引起的永久變形；本研究依照「改良式非破壞性加鋪設計」的方法，對上述路段進行透地雷達檢測，其檢測結果皆如圖 7 所示，從下圖中發現，基底層部分從面層 60 公分以下，里程數約在 0K+183 公里數有部分鬆散的狀況。

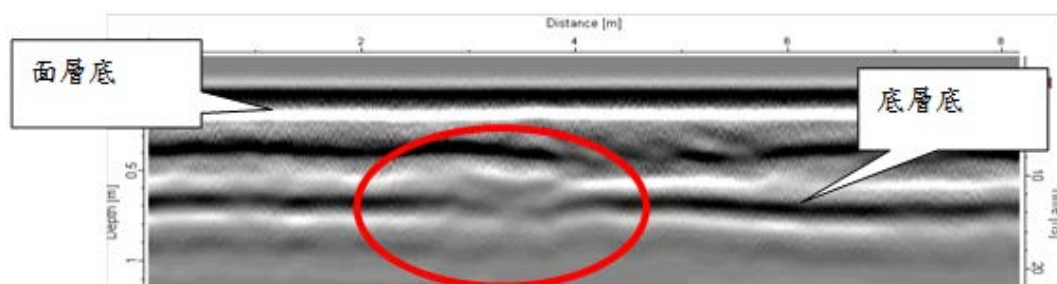
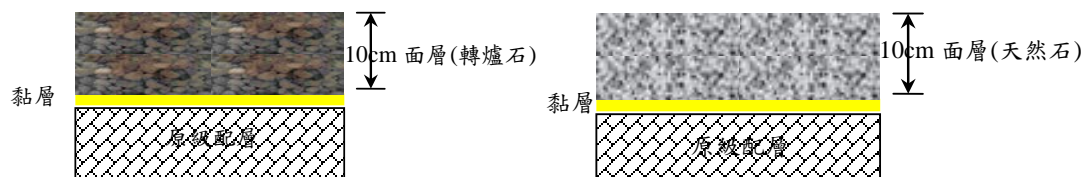


圖 7 透地雷達檢測圖

其次從面層底部影像來看，面層應無變形狀況，意即雖基底層有鬆散現象，此路面銑鋪應不用處理到底層；銑鋪厚度依表面壞情形及透地雷達影像，則設計為原路面厚度 10cm，各試鋪路段斷面設計詳圖 8。



(a) Type A 路段鋪面結構示意圖 (b) Type B 路段鋪面結構示意圖

圖 8 路面結構示意圖

4.1.2 其他設計文件

為設計道路銑鋪路段斷面施工高程，本文在設計前進行現地測量，並將測量結果依一般新設道路設計，繪製其縱橫断面圖(詳圖 9、圖 10)、各檢視路段刨除深度(詳表 2)等文件，以提供後續路平及作為施工時之基準文件。

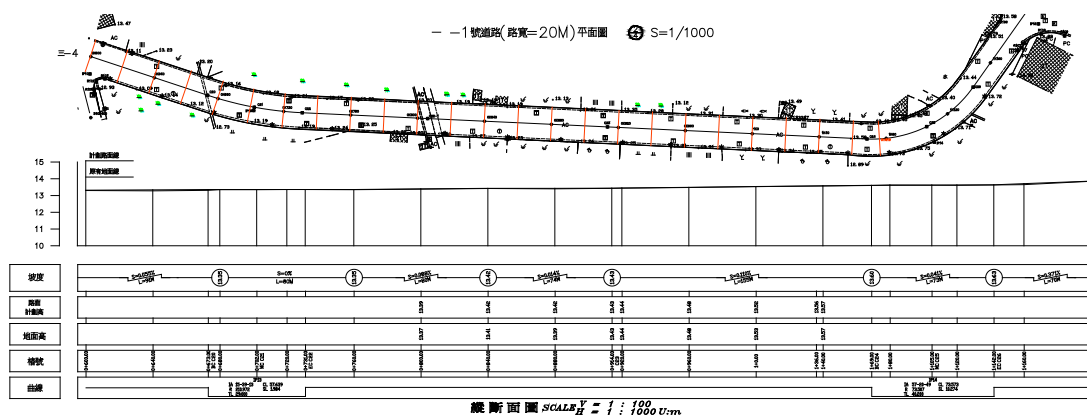


圖 9 銑刨路面縱断面設計圖

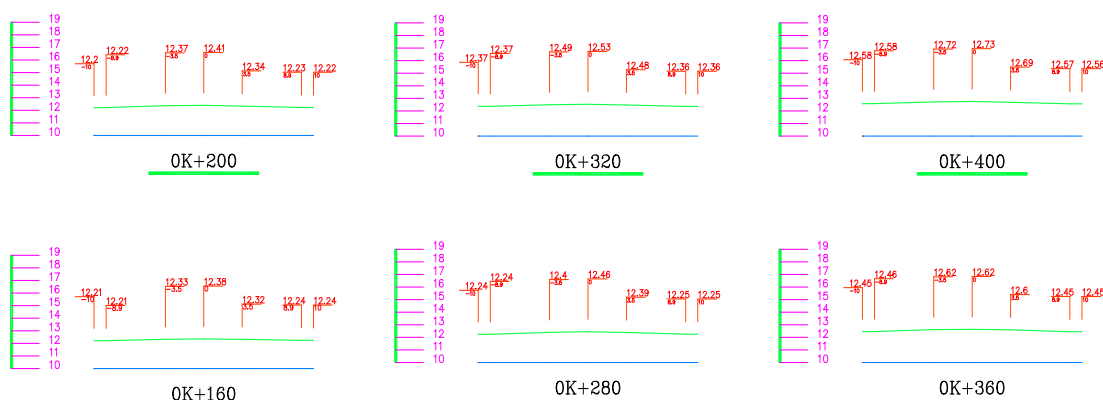


圖 10 銑刨路面橫断面設計圖

4.2 配比設計與品質控制結果

本節中針對試驗室之配比設計結果與拌合廠各次熱料斗篩分析成果進行說明。從其分析結果可發現，廠拌瀝青混凝土的級配無法和實驗室內的級配個篩號完全相同，且試拌後之含油量亦和實驗室之最佳含油量有±0.1%的差異。

表 2 銑刨路面各高程及刨除深度一覽表

里程數 (K)+	原設計高	原縱向坡度	現地測量高	新設計高	新縱向坡度	刨除深度 cm	備註
0 160	12.38	0.07%	12.35	12.38	0.07%	7	起點 —
0 180		0.07%	12.39		0.07%		
0 200	12.41	0.07%	12.4	12.41	0.07%	9	
0 220		0.07%	12.4		0.07%		
0 240	12.43	0.07%	12.42	12.43	0.07%	9	
0 260		0.07%	12.44		0.07%		
0 280	12.46	0.17%	12.45	12.46	0.17%	9	
0 300		0.17%	12.51		0.17%		
0 320	12.53	0.17%	12.53	12.53	0.17%	10	
0 340		0.17%	12.58	12.56	0.27%	12	
0 360	12.6	0.17%	12.64	12.62	0.27%	12	
0 380	12.63	0.27%	12.69	12.67	0.27%	12	
0 400	12.68	0.27%	12.75	12.73	0.27%	12	
0 420		0.27%	12.79	12.78	0.27%	11	
0 425	12.75	0.44%		12.79	0.27%		
0 440	12.82	0.44%	12.86	12.83	0.40%	13	
0 460		0.44%	12.92	12.91	0.40%	11	
0 480	12.99	0.28%	12.98	12.99	0.28%	9	
0 500		0.28%	13.02		0.28%		
0 520	13.1	0.28%	13.08	13.1	0.28%	8	
0 540		0.28%	13.13		0.28%		
0 560	13.22	0.28%	13.22	13.22	0.28%	10	
0 575	13.26	0.28%		13.26	0.28%		終點 —

4.2.1 配比設計結果

本文以馬歇爾法進行鋪築材料的配比設計，其中分成拌合及夯壓溫度的確認和轉爐石瀝青混凝土與天然石瀝青混凝土實驗室配比設計的成果二部分，以作為瀝青拌合廠拌合依據和未來品質檢驗的基準。

4.2.1.1 溫度控制

由於拌合溫度是由瀝青黏結料控制，添加改質劑時之 AC-20 黏度對溫度關係圖如圖 11 所示，其拌合溫度 150°C、夯壓溫度 141°C、現場鋪築溫度以不低於 125°C 為佳；純 AC-20 黏度對溫度關係圖如圖 12 所示，拌合溫度 143°C、夯壓溫度 137°C、現場鋪築以溫度不低於 120°C 為佳。

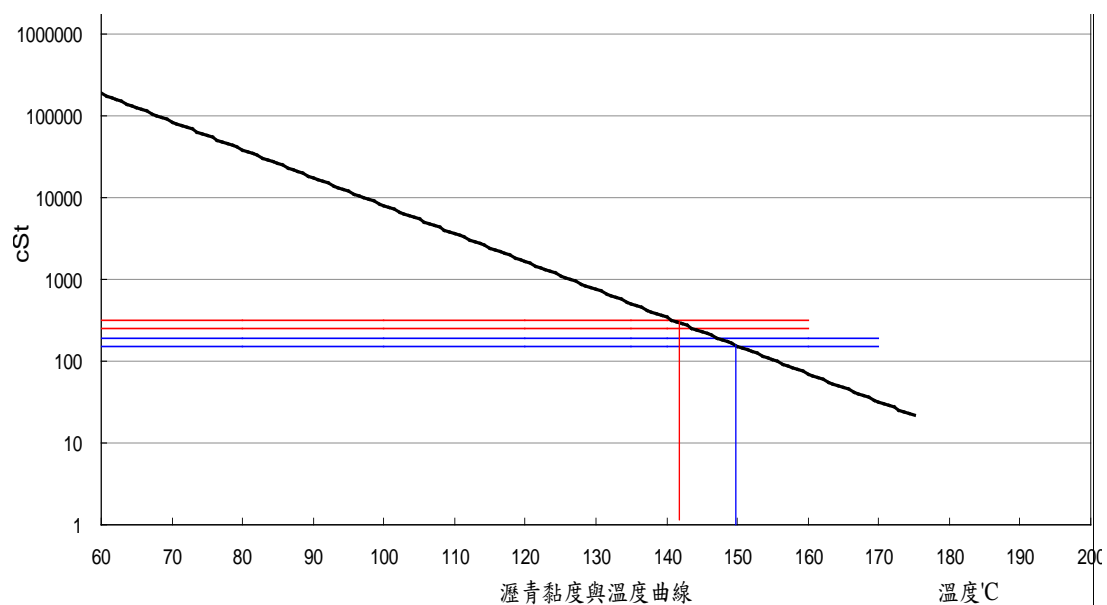


圖 11 AC-20 添加 4% 改質劑溫度對黏度關係圖

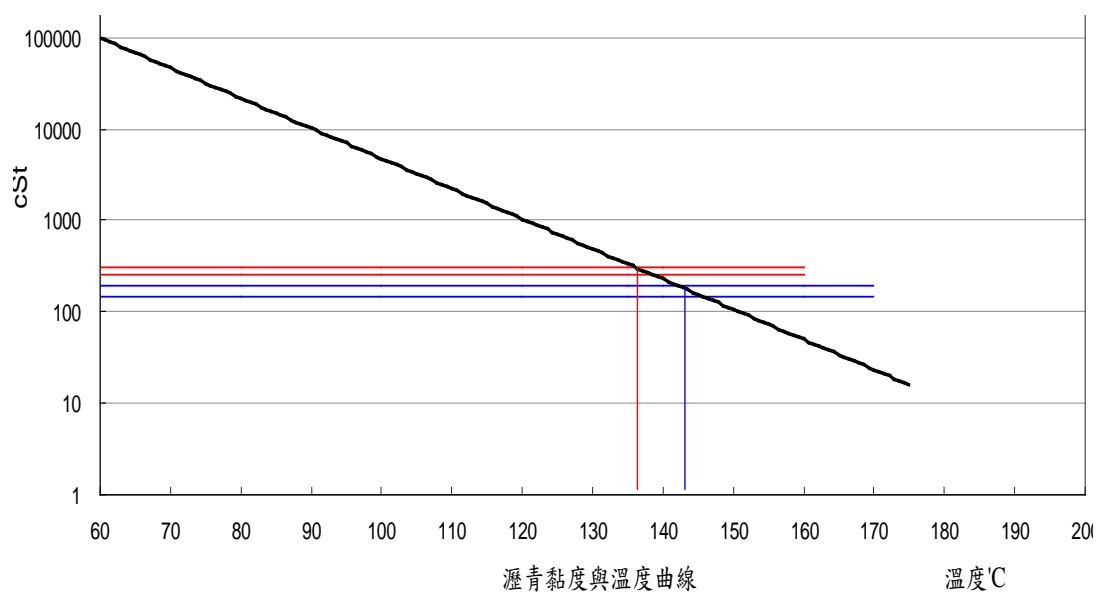


圖 12 AC-20 溫度對黏度關係圖

4.2.1.2 配比設計成果

本小節中將分轉爐石瀝青混凝土與一般天然石瀝青混凝土配比設計的結果分別敘述如下：

1. 轉爐石瀝青混凝土配比設計的結果

轉爐石瀝青混凝土由於比重因素，所以其粒料配比可以分為重量比與體積比二種，重量比提供給瀝青拌合廠生產之用，而體積比則提供給設計人員進行級配粒料曲線檢核之用。此次配比設計中料料配比結果詳表 3 所示：

表 3 轉爐石瀝青混凝土粒料配比

材料種類	粒料(%)(重量比)				
	6 分料 (轉爐石)	3 分料 (轉爐石)	2 分料 (轉爐石)	砂	填充料
比例(%)	20	22	20	35.5	2.5
材料種類	粒料(%)(體積比)				
	6 分料 (轉爐石)	3 分料 (轉爐石)	2 分料 (轉爐石)	砂	填充料
比例(%)	17.5	19.2	18.1	42.4	2.8

依據上表所做出之馬歇爾試體各項試驗值彙整於圖 13 中，從圖中可以發現轉爐石瀝青混凝土最佳含油量為 4.5%，相對之各項試驗值詳表 4 所示：

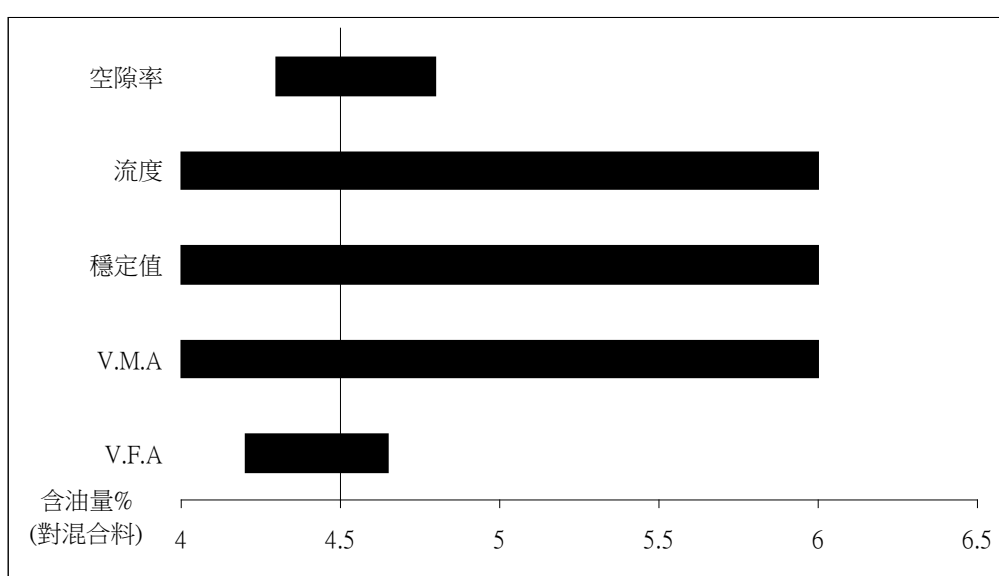


圖 13 轉爐石瀝青混凝土馬歇爾試體各項試驗值彙整圖

表 4 轉爐石瀝青混凝土最佳含油量之各試驗值

試驗項目	試驗值	規範
穩定值 (kgf)	1390	≥ 815
流度值 (0.25mm)	10.4	8~14
空隙率 (%)	4.2	3~5
VMA (%)	15.1	≥ 12
VFA (%)	73	65~75
單位重 (kg/m ³)	2803	-
最大理論密度 (kg/m ³)	2918	-

2. 一般天然石瀝青混凝土配比設計成果

此次配比設計中料料配比結果詳表 5，依據表 5 所做出之馬歇爾試體各項試驗值彙整於圖 14 中，從圖中可以發現一般天然石瀝青混凝土最佳含油量為 5.2%，相對之各項試驗值詳表 6 所示

表 5 天然石瀝青混凝土粒料配比

材料種類	粒料(%)				
	6 分料	3 分料	2 分料	砂	填充料
比例(%)	23	22	16	36.5	2.5

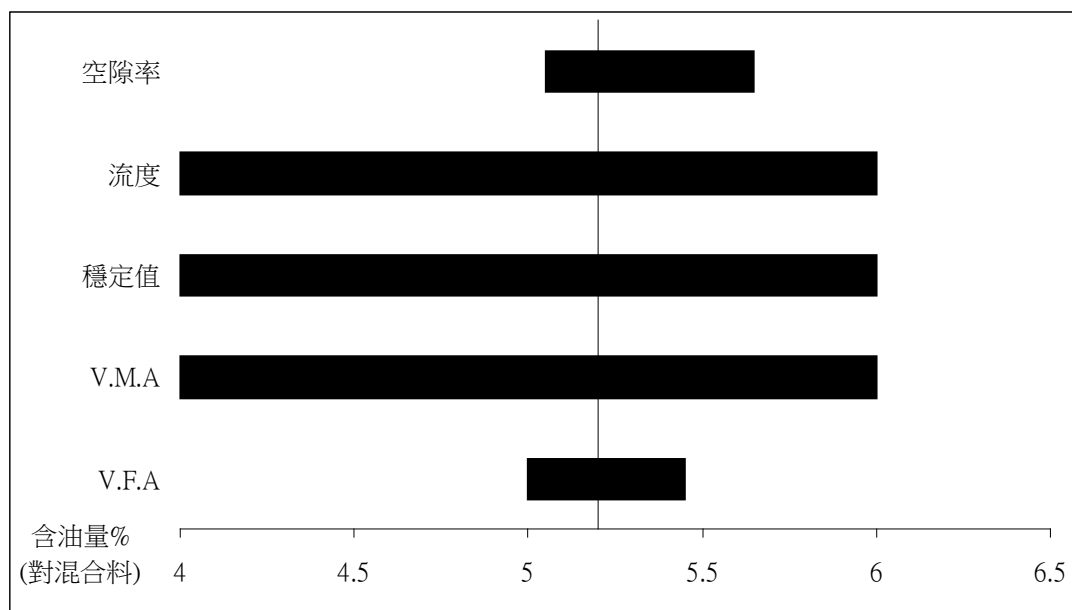


圖 14 天然石瀝青混凝土馬歇爾試體各項試驗值彙整圖

表 6 天然石瀝青混凝土最佳含油量之各試驗值

試驗項目	試驗值	規範
穩定值 (kgf)	950	≥ 815
流度值 (0.25mm)	10.8	8~14
空隙率 (%)	4.8	3~5
VMA (%)	15.3	≥ 12
VFA (%)	69	65~75
單位重 (kg/m ³)	2320	-
最大理論密度 (kg/m ³)	2436	-

4.2.2 試拌結果

依照上一小節的配比設計結果，進行為期二天的路面銑鋪工程，第一天共鋪設「東向轉爐石瀝青混凝土添加改值劑路面(起點段)」→「東向轉爐石瀝青混凝土未添加改值劑路面(終點段)」→「東向天然石瀝青混凝土添加改值劑路面段」。第二天則依「西向天然石瀝青混凝土未添加改值劑路面段」→「東向轉爐石瀝青混凝土未添加改值劑路面(起點段)」→「東向轉爐石瀝青混凝土未添加改值劑路面(終點段)」方式進行鋪築。所以在二天鋪築期間，需各做二次熱料斗的篩分析，以確定生產使用之粒料級配，其結果詳表 7~表 10 所示：

表 7 轉爐石瀝青混凝土第一天熱料斗篩分析結果

配合比	篩號													
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	瀝青	
熱斗編號1	0%	0.0	0.0	0.0	0.0									
熱斗編號2	17%	17.0	17.0	12.3	0.3	0.1	0.0	0.0						
熱斗編號3	25%	25.0	25.0	25.0	17.8	3.0	0.1	0.0						
熱斗編號4	20%	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	7.1	0.4						
熱斗編號5	37%	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	35.3	26.2	17.1	8.8	3.9	1.1		
填充料	1.0%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
配合設計		100	100	95	72	64	49	35	30	18	11	7	4.3	
合成級配		100	100	95	76	61	45	37	27	18	10	5	2.1	
規 範		100	100	90-100	~	56-80	35-65	23-49	~	~	5-19	~	2-8	
容許控制範圍		100	100	88-100	65-79	57-71	42-56	31-39	26-34	14-22	7-15	3-11	2.3-6.3	4.0-5.0
抽油後粒料分析		100	100	96	75	63	47	32	28	17	9	7	4.7	4.3

B. 廠拌料滯留強度: 85% (拌合時間: 乾拌 15 秒, 濕拌 35 秒)
瀝青混凝土粒料級配及控制範圍曲線圖

實線: 容許控制範圍
虛線: 合成級配

表 8 天然石瀝青混凝土第一天熱料斗篩分析結果

配合比	篩號													
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	瀝青	
熱斗編號1	0%	0.0	0.0	0.0	0.0									
熱斗編號2	23%	23.0	23.0	18.0	0.2	0.1								
熱斗編號3	15%	15.0	15.0	15.0	10.2	2.7	0.3	0.0						
熱斗編號4	18%	18.0	18.0	18.0	18.0	17.9	8.1	0.7	0.0					
熱斗編號5	43%	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	34.4	25.7	17.2	9.3	4.9	2.8		
填充料	1.0%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
合成級配		100	100	95	72	65	52	36	27	18	10	6	3.8	
規 範		100	100	90-100	~	56-80	35-65	23-49	~	~	5-19	~	2-8	
容許控制範圍		100	100	88-100	65-79	57-71	42-56	31-39	26-34	14-22	7-15	3-11	2.3-6.3	4.0-5.0
抽油後粒料分析		100	100	94	71	64	48	35	29	17	10	7	4.3	4.9

B. 廠拌料滯留強度: 87% (拌合時間: 乾拌 15 秒, 濕拌 35 秒)

實線: 容許控制範圍

表 9 天然石瀝青混凝土第二天熱料斗篩分析結果

配合比	篩號													
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	瀝青	
熱斗編號1	0%	0.0	0.0	0.0	0.0									
熱斗編號2	23%	23.0	23.0	17.6	0.2	0.0								
熱斗編號3	18%	18.0	18.0	18.0	12.5	2.9	0.1	0.0						
熱斗編號4	15%	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	7.6	0.2	0.1					
熱斗編號5	43%	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	34.1	28.3	17.1	10.0	5.4	2.8		
填充料	1.0%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
配合設計		100	100	95	72	64	49	35	30	18	11	7	4.3	
合成級配		100	100	95	72	62	52	35	29	18	11	6	3.8	
規 範		100	100	90-100	~	56-80	35-65	23-49	~	~	5-19	~	2-8	
容許控制範圍		100	100	88-100	65-79	57-71	42-56	31-39	26-34	14-22	7-15	3-11	2.3-6.3	4.0-5.0
抽油後粒料分析		100	100	96	74	65	51	34	27	19	11	6	4.2	5

B. 廠拌料滯留強度: 84% (拌合時間: 乾拌 15 秒, 濕拌 35 秒)

實線: 容許控制範圍

表 10 轉爐石瀝青混凝土第二天熱料斗篩分析結果

配合比	篩號	篩號												瀝青
		11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	
熱斗編號1	0%	0.0	0.0	0.0	0.0									
熱斗編號2	15%	15.0	15.0	9.5	0.1	0.0								
熱斗編號3	23%	23.0	23.0	23.0	15.3	2.0	0.1	0.0						
熱斗編號4	24%	24.0	24.0	24.0	24.0	23.7	9.8	0.2						
熱斗編號5	37%	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	31.9	29.0	16.3	8.9	5.0	2.5	
填充料	1.0%	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
配合設計		100	100	95	72	64	49	35	30	18	11	7	4.3	
合成級配		100	100	95	77	64	48	33	30	17	10	6	3.5	
規 範		100	100	90-100	~	56-80	35-65	23-49	~	~	5-19	~	2-8	
容許控制範圍		100	100	88-100	65-79	57-71	42-56	31-39	26-34	14-22	7-15	3-11	2.3-6.3	4.6-5.6
抽油後粒料分析		100	100	94	74	65	49	33	27	20	13	9	4.1	4.4

B. 廠拌料滯留強度: 83% (拌合時間: 乾拌 15 秒, 濕拌 35 秒)

實線: 容許控制範圍

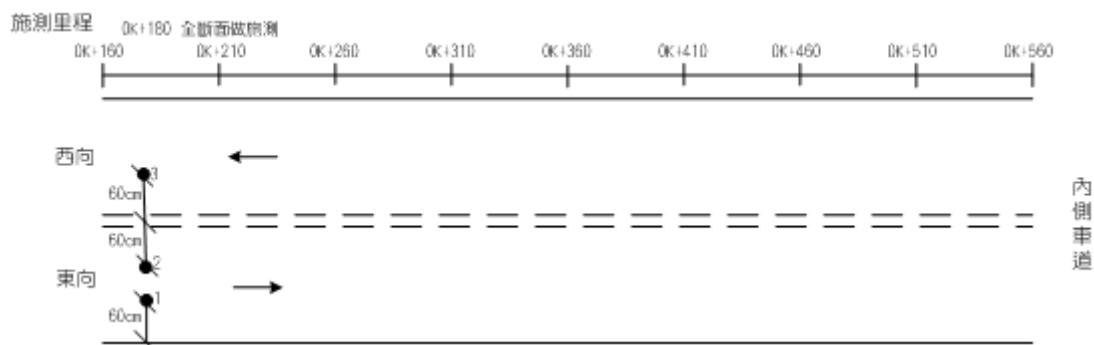
從上述各表中發現, 經熱料斗篩分析後之混拌瀝青混凝土的廠拌料滯留強度均大於規範規定 75%。

4.3 試驗路段鋪面績效評估結果

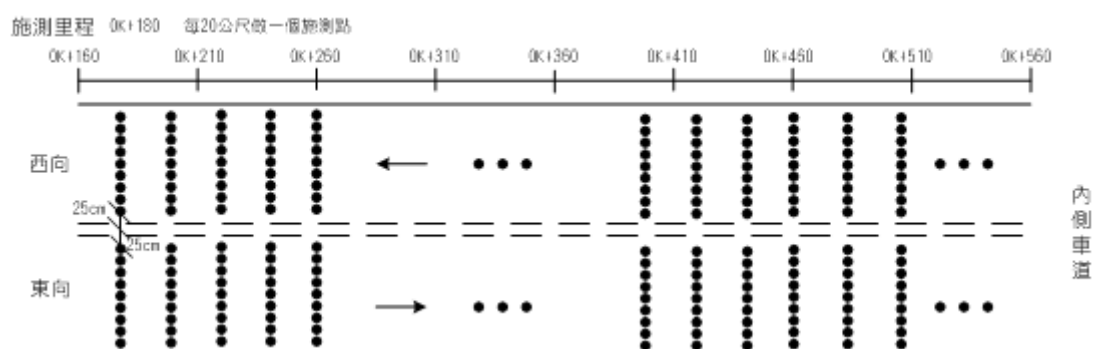
本小節針對各試驗路段鋪築前後目測檢視、縱向平整度及橫向車轍量等行車舒適指標、抗滑能力等指標進行為期六個月的追蹤評估, 加上施工前與施工完成時之評估, 各試驗的檢測里程數如表 11 和圖 15 所示, 其結果如下列各節所示。

表 11 鋪面績效試驗的檢測里程數一覽表

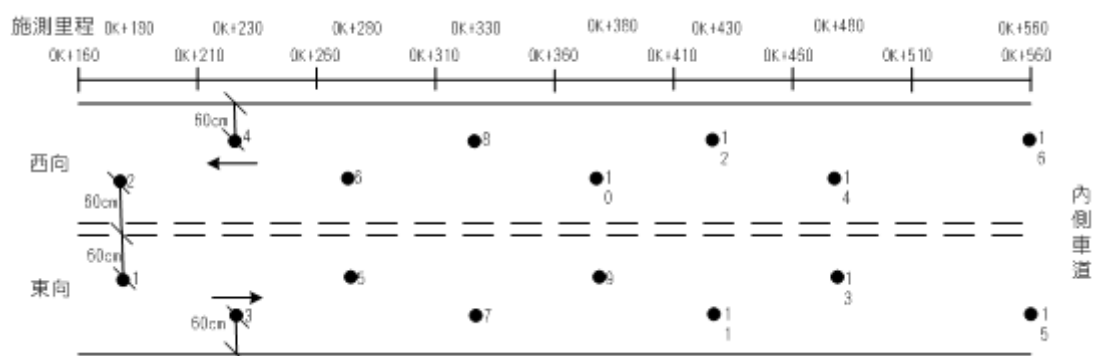
里程	換度	防滑	車轍	透地雷達	平坦度	目視調查
OK+180	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+200			◎	◎	◎	◎
OK+220			◎	◎	◎	◎
OK+240			◎	◎	◎	◎
OK+260			◎	◎	◎	◎
OK+280	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+300			◎	◎	◎	◎
OK+320			◎	◎	◎	◎
OK+340			◎	◎	◎	◎
OK+360			◎	◎	◎	◎
OK+380	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+400			◎	◎	◎	◎
OK+420			◎	◎	◎	◎
OK+440			◎	◎	◎	◎
OK+460			◎	◎	◎	◎
OK+480	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+500			◎	◎	◎	◎
OK+520			◎	◎	◎	◎
OK+540			◎	◎	◎	◎
OK+560	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+580			◎	◎	◎	◎
OK+820			◎	◎	◎	◎
OK+840			◎	◎	◎	◎
OK+860	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+880			◎	◎	◎	◎
OK+900			◎	◎	◎	◎
OK+920			◎	◎	◎	◎
OK+940			◎	◎	◎	◎
OK+960	◎	◎	◎	◎	◎	◎
OK+980			◎	◎	◎	◎
1K+000			◎	◎	◎	◎
1K+020			◎	◎	◎	◎
1K+040			◎	◎	◎	◎
1K+060	◎	◎	◎	◎	◎	◎
1K+080			◎	◎	◎	◎



(a) 試驗路段平整度試驗位置示意圖



(b) 試驗路段車轍量試驗位置示意圖



(c) 試驗路段車轍量試驗位置示意圖

圖 15 鋪面績效試驗的檢測里程數位置示意圖

4.3.1 現場目視破壞調查結果

銑鋪工程完成六個月期間，共進行三次的現場目視檢測，不論是哪一種配比的瀝青混凝土表面均無裂縫或坑洞的產生，表示銑鋪設計後之配比均能提供給重載且高交通量的環境使用，所以「改良式非破壞性加鋪設計」是可以使用在台灣銑刨設計之用。

第三次的現場目視檢測於此試驗道路竣工六個月後進行，在此次檢視中發現西向 0K+160~0K+180(轉爐石路段)、東向 0K+560~0K+574(天然石加改質劑路段)路面橫斷面似有微小車轍量，在此處增加施作橫斷面車轍量發現，此段道路其各斷面之車轍量組距皆大於 10。

表 12 橫斷面有微小車轍量斷面三米直規分析結果

量測位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R(全距)
西向 0K+165	2	2	0	-6	-9	-6	-1	0	1	11
西向 0K+170	3	2	-2	-6	-9	-6	-1	1	0	12
東向 0K+560	0	5	4	2	0	0	0	6	10	10
東向 0K+563	1	5	6	2	2	2	9	13	10	12
東向 0K+568	2	7	7	4	2	3	9	12	7	10
東向 0K+574	5	6	1	-2	-3	-3	0	-2	1	9

這些路面的位置都正好是雙向車道中設有紅綠燈下方停止線內側的位置，東向路段是天然石添加改質劑瀝青混凝土路段，西向為轉爐石未添加改質劑瀝青混凝土路段；從影響長度而言，使用天然石骨材的路面影響長度大於使用轉爐石骨材的路面。

從以上可以說明，重載路段使用 AC-20 作為瀝青混凝土黏結料時，在常需煞車路段其黏結力稍嫌不足，需使用更高年度等級的瀝青材料作為黏結料。

4.3.2 平整度試驗結果

本文使用公共工程常用的電子高低平坦儀量測路面平整度，做為縱向行車舒適性的參考指標。平整度的施測以每 200 公尺做一個路段，每 1.5 公尺取一試驗值，在以收集到的 133 點進行統計分析，求得該路段樣本之標準差作為該路段之平整度，一般省縣道的標準差要求為 2.6~2.8mm。本研究每次均施做 6 個路段，其標準差的比較圖表詳表 13 及圖 16 所示。

表 13 現場平整度差異比較表

路段	路段名稱	鋪築前 (σ)	101.03.30(σ)	101.06.30(σ)	101.10.03(σ)
東向 0K+160 ~ 0K+360	東向轉爐石改質瀝青混凝土段(起點)	3.7	1.1	1.35	1.3
東向 0K+370 ~ 0K+570	東向天然石改質瀝青混凝土段	3.5	1.4	1.7	1.6
東向 0K+830 ~ 1K+030	東向轉爐石瀝青混凝土段(終點)	3.3	0.8	1.2	1.2
西向 0K+160 ~ 0K+360	西向轉爐石瀝青混凝土段(起點)	3.1	1.0	1.1	1.3
西向 0K+370 ~ 0K+570	西向天然石瀝青混凝土段	2.8	1.6	1.5	1.5
西向 0K+830 ~ 1K+030	西向轉爐石瀝青混凝土段(終點)	3.7	1.1	1.1	1.3

從圖表中我們可以發現，里程數同為 0K+160 ~ 0K+575 同向的路段，轉爐石路段有添加改質劑路段平均標準差(1.25)明顯優於天然石有添加改質劑路段(1.57)；轉爐石路段未添加改質劑路段平均標準差(1.13)亦明顯優於天然石未添加改質劑路段(1.53)。添加改質劑對平整度之績效無顯著影響。

同為東西向終點的二個路段(皆鋪設轉爐石瀝青混凝土未添加改質劑路段)，其標準差平均約為 1.1，亦明顯優於「西向天然石瀝青混凝土段」的 1.53；

從時間軸而言，各種鋪面配比其平整度均隨鋪築時間之增加呈現增加狀態，唯獨在東向 0K+160 ~ 0K+575 路段，10 月量測的平整度稍微小於 6 月底的量測值，不知是否因為該路段配比有添加改質劑的緣故或是瀝青混凝土鋪面具有較明顯回彈，尚待證實。

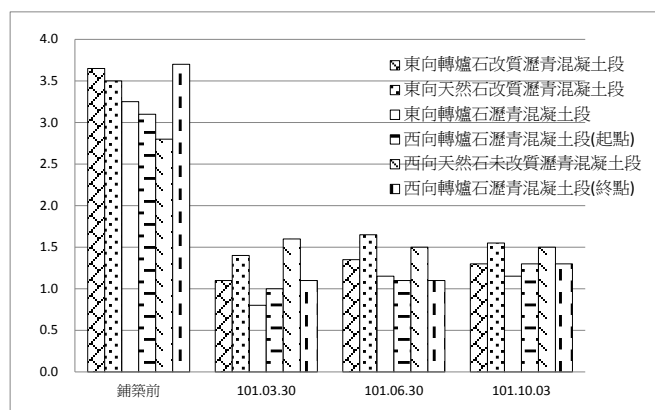


圖 16 現場平整度差異比較圖

4.3.3 車轍量試驗結果

本文使用三米直規量每 20 公尺量測一個橫斷面，每一個橫斷面上平均每 30 公分量測 1 個點，每一個橫斷面共量測 9 個點，再以此 9 個點的最大值與最小值的差做為該斷面的組距，然後同一材質的鋪面再加以平均，則得出同一材質的車轍量，作為該斷面承載能力的指標。本研究施作六個路段的車轍量指標詳表 14 及圖 17 所示。

表 14 現場車轍量差異比較表

路段	路段名稱	鋪築前	101.03.30	101.06.30	101.10.03
東向 0K+160 ~ 0K+360	東向轉爐石改質瀝青混凝土段(起點)	15.27	1.90	4.30	3.80
東向 0K+370 ~ 0K+570	東向天然石改質瀝青混凝土段	18.00	5.80	7.90	7.30
東向 0K+830 ~ 1K+030	東向轉爐石瀝青混凝土段(終點)	18.28	1.50	3.36	3.45
西向 0K+160 ~ 0K+360	西向轉爐石瀝青混凝土段(起點)	19.91	5.83	5.80	8.90
西向 0K+370 ~ 0K+570	西向天然石瀝青混凝土段	16.78	3.30	5.10	5.30
西向 0K+830 ~ 1K+030	西向轉爐石瀝青混凝土段(終點)	17.64	7.20	9.45	10.00

里程數同為 0K+160 ~ 0K+575 同向的路段，在 3 月 30 日至 10 月 3 日東向轉爐石路段有添加改質劑路段的平均車轍量(3.33)明顯優於天然石有添加改質劑路段(7.00)；同時段西向轉爐石路段未添加改質劑路段新增平均車轍量(3.07)雖大於天然石未添加改質劑路段(2.00)，但在梅雨季節(3 月 30 日至 6 月 3 日)，西向轉爐石路段未添加改質劑路段新增平均車轍量(-0.03)遠低於天然石未添加改質劑路段(1.80)。

里程數同為 0K+830 ~ 1K+030 之東西向路段同為鋪設轉爐石未添加改質劑之材料，其車轍量的變異較大。

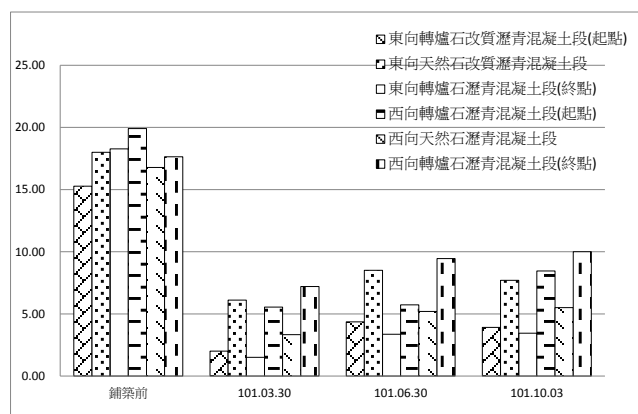


圖 17 現場車轍量差異比較圖

從時間軸而言，各種鋪面配比其車轍量均隨鋪築時間之增加呈現增加狀態，唯獨在東向 0K+160 ~ 0K+575 路段，10 月量測的車轍量稍微小於 6 月底的量測值，不知是否因為該路段配比有添加改質劑的緣故或是瀝青混凝土鋪面具有回彈性質，尚待證實。

4.3.4 抗滑度試驗結果

本文使用英式擺錘試驗儀量測潮濕路面之表面摩擦特性，將求得之試驗值轉換成 20°C 之代表值，藉以換算成該路面之摩擦力。本研究每隔 50 公尺求得一個試驗值，換算成 20°C 之代表值然後，同一材質的鋪面再加以平均，則得出同一材質的抗滑度，作為該種材質鋪面抗滑能力的指標。本研究施作六種路段的抗滑能力指標詳表 15 及圖 18 所示。

表 15 現場抗滑能力差異比較表

路段	路段名稱	鋪築前	101.03.30	101.06.30	101.10.03
東向 0K+160 ~ 0K+360	東向轉爐石改質瀝青混凝土段(起點)	59.0	65.0	54.2	63.8
東向 0K+370 ~ 0K+570	東向天然石改質瀝青混凝土段	58.0	69.1	68.0	68.0
東向 0K+830 ~ 1K+030	東向轉爐石瀝青混凝土段(終點)	55.0	69.8	69.7	69.5
西向 0K+160 ~ 0K+360	西向轉爐石瀝青混凝土段(起點)	58.0	64.8	64.1	63.5
西向 0K+370 ~ 0K+570	西向天然石瀝青混凝土段	64.0	68.9	69.8	66.1
西向 0K+830 ~ 1K+030	西向轉爐石瀝青混凝土段(終點)	59.0	71.8	70.3	69.7

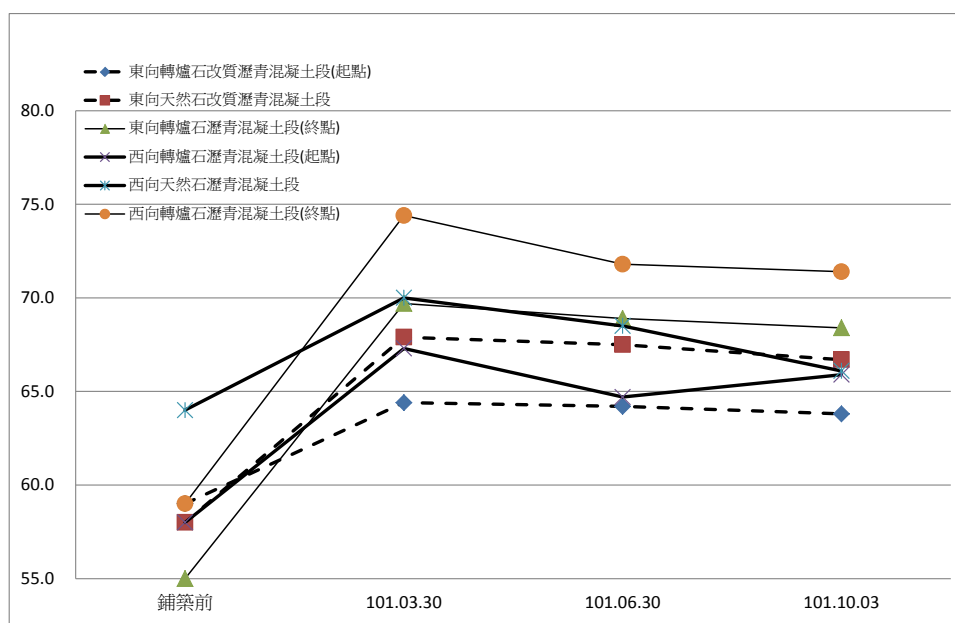


圖 18 現場抗滑能力差異比較圖

從時間軸而言，各種鋪面配比其抗滑能力指標均隨鋪築時間之增加呈現緩和下降的趨勢，下降幅度無顯著差異。

在東西向 0K+160 ~ 0K+575 路段，無論是否有添加改質劑的轉爐石瀝青混凝土路段的抗滑能力略低於天然石瀝青混凝土路段，但其值都大於台灣規範最低要求。

東西向 0K+830 ~ 1K+030 所鋪築的銑鋪材料均為無添加改質劑的轉爐石瀝青混凝土，其抗滑能力均較東西向 0K+370 ~ 0K+570(天然石瀝青混凝土)為佳，特別是在 3 月 30 日剛鋪築完成時，數據差異特別明顯，後續因兩路段的交通及承載狀況不同，前述抗滑能力差異依然存在。

五、結論與建議

本文為改善重載交通對路面所造之損壞，於銑鋪前以「改良式非破壞性加鋪設計方法」進行銑鋪設計，並提出設計時應繳交之文件和基本品管步驟，從銑鋪後的績效來看，這個方法至少可以改善目前只用一個斷面進行銑鋪的缺點，亦可為未來路平工作，提供一點基本訊息。

5.1 結論

在其他鋪面績效方面，可以有以下結論：

1. 轉爐石瀝青混凝土路段在鋪築六個月內之縱向平整度的績效均遠優於一般天然石瀝青混凝土路段，添加改質劑對縱向平整度的績效影響不顯著。
2. 轉爐石瀝青混凝土添加改質劑路段之抗車轍能力，優於一般天然石瀝青混凝土添加改質劑路段。轉爐石瀝青混凝土未添加改質劑路段在梅雨季節中顯示之抗車轍能力，優於一般天然石瀝青混凝土未添加改質劑路段。
3. 抗滑能力方面，一般天然石瀝青混凝土路段均略大於轉爐石瀝青混凝土路段，

但其值都在一般規範要求中，本文亦以 F 檢定及 T 檢定檢視數據，發現二種材質之母體抗滑能力並無顯著差異。

4. 重載路段紅綠燈等常有煞車需要路段，可能要使用黏滯度等級 AC20 以上的瀝青材料為佳。

5.2 建議

由於實驗數據有相當程度之變異性，於後續量測更多數值後，宜全面以統計學上之 F 檢定及 T 檢定，以了解各試驗標準差之差異以及代表各路段材質母體之差異，以便了解轉爐石之真正效益。

目視評估結果亦可改採 PCI 指標表示，以作為未來養護參考！

六、參考文獻

1. 交通部 (2003)，「公路養護手冊」，交通技術標準規範公路類公路工程，台北。
2. 財團法人中國生產力中心及國立台灣大學土木工程學研究所 (2002)，「市區道路管理維護與技術規範手冊研究」，內政部營建署，台北。
3. 陳芳智 (2008)，「交通部公路總局辦理路平專案成果提升策略之研究」，國立中央大學，中壢。
4. 劉俊輝 (2011)，「瀝青混凝土鋪面工程常見缺失改善之研究，碩士論文」，高雄。
5. 張偉哲、劉俊輝、陳慶修 (2012)，「路面銑鋪工程設計審查標準之研究」，第十屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2012 世界華人鋪面專家聯合學術研討會。
6. 吳學禮 (2005)，「鋪面、材料工程實務」，p818~p820，詹氏書局。
7. AI MS-17, (1991).“Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation - Third Edition,” *The Asphalt Institute*.
8. 王金鐘 (2005)，「轉爐石作為基底層材料及其工程特性之研究」，國立成功大學土木工程系博士論文，台南。
9. 王耀寬 (2007)，「轉爐石對多孔瀝青混凝土之影響」，國立成功大學土木工程系碩士論文，台南。
10. 袁家偉 (2007)，「使用轉爐石提升耐久性瀝青混凝土成效之研究」，國立中央大學土木工程系碩士論文，桃園。
11. 黃隆昇，林登峰，林平全，許伯良 (2010)，「評估煉鋼爐石應用於瀝青混凝土之性質及現場鋪設成效」，中國工程師高雄會刊，第 18 卷，第 2 期，第 47-55 頁。
12. 陳偉全，林平全，葉志穎，姜智通，翁偉儒 (2010)，「轉爐石添加量對多孔瀝青混凝土特性之研究」，中國礦冶工程學會礦冶會刊，第 54 卷，第 1 期，第 97-108 頁。