



自行研究計畫成果報告

RAP 利用於瀝青鋪面磚之研究

研究單位：交通部公路總局材料試驗所

研究人員：黃三哲、何鴻文、朱建東、陳仙州、
洪明澤、洪立彥、蘇信詠

交通部公路總局

中華民國 105 年 12 月

104 年度自行研究計畫成果摘要表

交通部公路總局材料試驗所 105 年度自行研究計畫成果摘要表		填表人：洪立彥 填表日期：105 年 12 月 6 日	
研究報告名稱	RAP 利用於瀝青鋪面磚之研究		
研究單位及人員	交通部公路總局材料試驗所黃三哲、何鴻文、朱建東、陳仙州、洪明澤、洪立彥、蘇信詠	研究時間	自 104 年 1 月 1 日 至 105 年 12 月 6 日
成果摘要			
<p>由本所 103 年度「瀝青鋪面磚之研究」結果顯示，以瀝青磚取代傳統冷料修補路面坑洞作法為可行方案。為了加速驗證瀝青鋪面磚之耐久性，本研究參考美國超級鋪面（Superpave）設計法，使用超級鋪面扭剪壓實機（SGC），以扭轉剪力法壓製試體，並與抗壓試驗機製試體、馬歇爾夯製試體，就瀝青鋪面磚相關力學特性作比較，據以建立瀝青鋪面磚之抵抗車轍能力，測試 RAP 再利用於瀝青鋪面磚之最適摻配比例，並選擇南北共計 4 處省道路面工程現地試鋪。</p> <p>本研究以 0%、20%、40% 及 60% 之 RAP 摻配比例進行測試，並製作瀝青磚試體，透過馬歇爾穩定值及流度值試驗、滯留強度試驗及漢堡車轍輪跡等試驗，以力學特性評估 RAP 料之最佳摻配比例。由結果得知，當 RAP 料摻配比例為 60% 時，工作拌合公式超出規範帶，且力學特性不及 RAP 料摻配比例為 40% 之瀝青磚試體。因此本研究建議 RAP 料利用於瀝青鋪面磚之摻配比例不宜超過 40%，方能有較佳的力學特性，及達到消耗 RAP 料之目的。</p> <p>關於瀝青磚現地試鋪部分，本研究選定 4 處省道路面工程，總計 40 點觀測點，由最後 1 次觀測結果顯示(鋪設後 242~329 日)，沉陷量低於 8mm 者，佔總比例之 97.5%，表示瀝青磚之適用性及成效佳，故以瀝青磚用於裂縫或坑洞修補係為可行方案。</p>			

目錄

104 年度自行研究計畫成果摘要表.....	I
目錄.....	II
表目錄.....	III
圖目錄.....	V
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機與目的.....	1
第二節 研究範圍.....	1
第二章 文獻回顧.....	3
第一節 再生瀝青混凝土.....	3
第二節 新料瀝青混凝土配合設計.....	7
第三節 再生瀝青混凝土配合設計.....	8
第一節 研究方法.....	13
第二節 研究材料.....	14
第三節 決定瀝青鋪面磚最佳夯製方式.....	14
第四節 目標黏度.....	15
第五節 瀝青混凝土成效試驗.....	15
第六節 瀝青性質試驗.....	17
第七節 現地試鋪評估.....	18
第四章 研究結果分析.....	20
第一節 新料瀝青混凝土配合設計試驗結果.....	20
第二節 瀝青磚最佳夯製方式試驗結果.....	21
第五章 結論與建議.....	53
參考書目.....	54

表目錄

表 1.目標黏度 2000 及 5000 Poises 試驗結果表.....	6
表 2.新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例.....	19
表 3.新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例.....	20
表 4.新料瀝青混凝土配合設計試驗結果.....	21
表 5.製磚方式優缺點比較.....	22
表 6.RAP 料洗油後瀝青膠泥性質試驗結果表.....	23
表 7.RAP 料洗油後粒料性質試驗結果表.....	23
表 8.不同目標黏度之摻配比例計算結果表.....	24
表 9.目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料 20%之配合設計粒徑摻配比例	25
表 10.目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料 20%之配合設計試驗結果 .	26
表 11.目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料 40%之配合設計粒徑摻配比例	27
表 12.目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料 40%之配合設計試驗結果 .	28
表 13.目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料 60%之配合設計粒徑摻配比例	29
表 14.目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料 60%之配合設計試驗結果 .	30
表 15.馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗結果.....	31
表 16.滯留強度試驗結果.....	31
表 17.漢堡車轍輪跡試驗結果.....	32
表 18.回收瀝青黏度試驗結果.....	36
表 19.回收瀝青針入度試驗結果.....	37
表 20.回收瀝青動態剪切流變試驗結果.....	37
表 21.回收瀝青延展性試驗結果.....	37
表 22.工程 1 瀝青磚沈陷現地評估結果.....	38
表 23.工程 1 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表.....	40

表 24.工程 2 瀝青磚沈陷現地評估結果.....	42
表 25.工程 2 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表.....	44
表 26.工程 3 瀝青磚沈陷現地評估結果.....	45
表 27.工程 3 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表.....	47
表 28.工程 4 瀝青磚沈陷現地評估結果.....	49
表 29.工程 4 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表.....	51

圖目錄

圖 1.瀝青混凝土配合設計流程	7
圖 2.再生瀝青混凝土配合設計流程	9
圖 3.AIMS-2 圖解法圖形	11
圖 4.研究規劃流程	13
圖 5.儀器整體照片	16
圖 6.試體放置照片	16
圖 7.黏度儀	17
圖 8.針入度儀	17
圖 9.動態剪切流變原理圖	18
圖 10.新料瀝青混凝土配比設計粒徑曲線圖	20
圖 11.目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料 20%之配合設計粒徑曲線圖	25
圖 12.目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料 40%之配合設計粒徑曲線圖	28
圖 13.目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料 60%之配合設計粒徑曲線圖	29
圖 14.馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗結果比較	31
圖 15.滯留強度試驗結果比較	32
圖 16.漢堡車轍輪跡試驗結果(0%-1).....	33
圖 17.漢堡車轍輪跡試驗結果(0%-2).....	33
圖 18.漢堡車轍輪跡試驗結果(20%-1).....	34
圖 19.漢堡車轍輪跡試驗結果(20%-2).....	34
圖 20.漢堡車轍輪跡試驗結果(40%-1).....	35
圖 21.漢堡車轍輪跡試驗結果(40%-2).....	35
圖 22.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 6k+555 順向	39
圖 23.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 6k+555 橫向	39
圖 24.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 14k+600 順向	39

圖 25.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 14k+600 橫向	40
圖 26.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+050 順向	42
圖 27.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+050 橫向	43
圖 28.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+460 順向	43
圖 29.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+460 橫向	43
圖 30.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+240 順向	46
圖 31.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+2400 橫向	46
圖 32.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+100 順向	46
圖 33.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+100 橫向	47
圖 34.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+300 順向	49
圖 35.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+300 橫向	50
圖 36.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+400 順向	50
圖 37.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+400 橫向	50

第一章 緒論

依據 2013 年統計資料顯示，台灣之公路總長度達 42,520 公里【1】，且用於鋪面之瀝青混凝土佔 96% 以上；顯見台灣每年的瀝青混凝土刨除料（Reclaimed Asphalt Pavement，以下簡稱 RAP）的總量非常龐大，故瀝青刨除料的再生利用是值得研討的課題。以下為本研究動機、目的及範圍內容。

第一節 研究動機與目的

國內目前雖有將 RAP 料運用在再生瀝青混凝土鋪面，但由於供大於求的緣故，依然有過多的 RAP 料堆置於瀝青廠，甚有多年後仍未使用，導致 RAP 瀝青與粒料性質已過度老化，依照現行規範規定，無法將其使用在再生瀝青混凝土鋪面。因此將 RAP 料應用於更多面向，藉以達到去化過多 RAP 料，為本研究案之主要動機。

由本所 103 年度研究案「瀝青鋪面磚之研究」之研究結果顯示，以瀝青磚取代傳統冷拌瀝青混凝土(冷料)修補路面坑洞之做法係為可行方案，並討論瀝青鋪面磚的壓製方式，確認瀝青磚以「抗壓試驗機壓製」之方式優於「馬歇爾夯打」之方式。本研究將以前述研究結果作為基礎，再比較較為新式之壓製方式。

參考美國超級鋪面(Superpave)設計中，扭剪壓實機(Superpave gyratory compactor, SGC)以旋轉剪力之方式壓制瀝青試體，並與抗壓試驗機壓製方式來進行優缺點的比較，以確認最佳的瀝青鋪面磚壓製方式。接著再使用過度老化的 RAP 料(針入度 15 以下)作為瀝青鋪面磚的部分材料，就瀝青鋪面磚相關特性作相對比較，綜上所述，可歸納本研究之主要目的如下：

- 一、比較以扭剪壓實機(SGC)及抗壓試驗機夯製瀝青鋪面磚試體之相關試驗特性及優缺點，以決定之後瀝青鋪面磚製程的方式。
- 二、建立過度老化的 RAP 料摻配比例與相關成效試驗的關係，並決定最適切的 RAP 料的摻配比例，以達消耗 RAP 料之目的。

第二節 研究範圍

本研究先依公路總局施工說明書【2】的相關規定，進行密級配瀝青混

凝土配合設計，再以配合設計結果夯製瀝青鋪面磚，分別使用扭剪壓實機（SGC）及抗壓試驗機夯製瀝青鋪面磚試體，綜合比較不同夯製方式的優缺點，以決定瀝青鋪面磚壓製方式。

以過度老化的 RAP 料取代瀝青鋪面磚新料，比例分別為 20%、40% 及 60%，再行比較相關試驗結果與特性，用以決定最適合的 RAP 料摻配比例，再依此摻配比例夯製瀝青鋪面磚，進行現地試鋪評估。

第二章 文獻回顧

第一節 再生瀝青混凝土

再生瀝青混凝土 (Reclaimed Asphalt Pavement, 以下簡稱 RAP) 使用於瀝青混凝土混合料中已行之有年, 大部分再生瀝青混凝土都由磨銷而成, 也有從既存瀝青混凝土鋪面刨除, 再將粒料尺寸處理成適用於瀝青混凝土混合料之大小【3】。RAP 料不同於原始粒料, 部分特點須加以考量, 分述如下:

一、基本性質

依據交通部公路總局施工說明書第 02966 章【2】, 規定運回拌和廠作為再生瀝青粒料之既有瀝青混凝土挖(刨)除料, 應符合下列條件:

- (一) 瀝青含量(%) : 3.0 以上 (對刨除混合料重量比)。
- (二) 針入度 (25°C、5 sec、100g) : 15 以上。
- (三) 再生瀝青粒料不得含達有害量之木屑、金屬、有機物、土壤、及其他有害物。

二、黏結料選擇

RAP 黏結性質會隨材料老化而改變, 10 年後的瀝青通常會比老化 2 年的瀝青較硬。有研究顯示 RAP 料摻配比例對黏結料選擇之影響, 研究結果如下【5】:

- (一) 低含量 (15% 以下) : 用同一等級瀝青膠泥。
- (二) 中含量 (15~25% 以下) : 可以使用次一等級瀝青膠泥做軟化劑。
- (三) 高含量 (25% 以上) : 使用拌合圖表決定適當的新黏結料等級。

三、變異性質

使用 RAP 關鍵在於材料變異性之控制, 因為 RAP 從舊路面移除, 可能包含原路面以及修補、破碎處理和其他養護處理等材料。RAP 可能已混入舊路面底層、中層和面層, 同時來源不同的 RAP 可能囤積在相同的料堆, 更增加 RAP 的變異性【5】。

四、瀝青路面的老化特性【6】

瀝青路面失去功能作用的原因很多, 路面結構設計的不合理、路基強

度不足、水的破壞作用、混合料配合比設計不合理、施工工法、瀝青老化及交通狀況等諸多因素的影響。瀝青老化只是諸多導致瀝青路面失去功能的原因之一，而瀝青路面老化是路面失去使用功能的主要因素。隨著老化現象的發展，瀝青變脆導致路面抗變形能力降低，隨車輛經過和低溫的作用，易產生裂縫，終將形成龜裂。

瀝青路面老化的主要原因係為瀝青與氧氣的作用，產生更進一步的氧化，最後使瀝青逐漸硬化變脆開裂，不能發揮其原先應有的黏結作用，使得道路瀝青失去彈性。

從化學成分的角度對瀝青的化學成分進行分析為：飽和烴、芳香烴、膠質和瀝青質，老化後的瀝青與一般瀝青之間的區別在於化學成分上的不同。瀝青質含量增加，芳香烴和膠質含量減少，飽和烴因分裂化與揮發作用而引致含量降低。瀝青老化後針入度下降、脆性性質和軟化點升高，瀝青的黏度隨老化時間呈指數型態上升。

五、瀝青路面的再生應用【6】

瀝青路面的再生利用，不但可節約瀝青、砂石等原材料，而且節約工程投資，同時有利於處理廢料、減少佔地面積、保護環境，因而具有顯著的經濟、社會和環境效益。再生過程係將廢棄的或翻新的瀝青路面，經過翻挖、回收、破碎、篩析，與再生劑、新粒料、新瀝青材料等按一定比例重新拌和，鋪築成具有一定性能的瀝青路面。

瀝青路面的再生應用，主要是瀝青膠泥性能的再生，瀝青再生的特性目前有兩種理論，一種理論是“相容性理論”，該理論從化學熱力學出發，認為瀝青產生老化的原因是瀝青膠泥中各成分相容性的降低，若能摻入一定的再生劑提高各個成分的相容性，使瀝青膠泥能恢復到原來的性質。另一種理論是“成分調節理論”。該理論是由化學成分的概念出發，認為瀝青膠泥老化之後，某些成分偏多，而某些成分偏少，各項成分間比例不協調，導致瀝青鋪面性能降低，若能摻入再生劑調節瀝青膠泥之組成，則瀝青將恢復原來的性質。這兩個理論原則上是等價的，“相容性理論”是從瀝青膠泥內部結構的化學特性來解釋老化的原因，而“成分調節理論”是從宏觀化學組成

律來解釋。

為了使老化後的瀝青混凝土鋪面重新恢復其使用性，可將廢棄的瀝青路面混合料(RAP)進行回收，並摻入再生劑。再生劑是用於改善瀝青混合料的物理及化學性質。在瀝青混凝土混合料的再生過程再生劑的作用如下：

- ① 調節膠泥性質，鋪面在施工中及開放通車後具有適當的黏度及彈性。
- ② 恢復膠泥的化學性質。
- ③ 與舊瀝青混合料(RAP)充分結合，調節瀝青混凝土結構，從而改善瀝青的流變性質。

用於再生劑的主要是一些石油系的礦物油，如精製潤滑油、機油及重油等，有些植物油也可作為再生劑。

六、RAP 混合物的影響

評估相同三種 RAP，二種新黏結料與 RAP 含量 0%、10%、20%、40% 對混合物的影響。在高、中和低溫使用剪力試驗和間接抗拉試驗評估 RAP 對混合物勁度的影響，在中溫使用梁疲勞試驗【5】。試驗結果顯示 RAP 黏結料含量高對混合物勁度有影響，RAP 含量低，沒有明顯影響。剪力試驗指出 RAP 含量增加使勁度增加和剪變形減少。

該研究指出較高 RAP 含量的混合物，在黏結料等級不改變的情形下的抗車轍能力較高。間接抗拉試驗顯示高 RAP 含量混合物的勁度增加，增加低溫裂縫發生的機率(如果新黏結料等級沒有調整)。梁疲勞試驗顯示 RAP 含量較高使勁度增加，減少梁疲勞壽命【5】。所以，RAP 含量較高可使用較軟的新黏結料來減少勁度增加，可減少疲勞和低溫裂縫，低於 20%RAP 黏結料可和同等級的新黏結料混合。

七、RAP 的黑石頭行為

RAP 加入熱拌瀝青混凝土中是否會有黑石頭(black rock)的行為，或老化變硬的 RAP 黏結料是否會與新鮮黏結料混合，NCHRP 研究中使用不同勁度之 RAP、兩種瀝青和兩種 RAP 比例(10%和 40%)，為了探討新鮮及老化瀝青間的交互作用，使用三種拌合方式來模擬【5】。

結果指出 RAP 含量低時，三種情況沒有明顯差，含量高時有差異。一

般來說，產生黑石頭現象的混合物比其他兩種狀況有較低勁度和較高變形。實際拌合和完全拌合混合物的差異接近。這些結果足夠證明 RAP 沒有黑石頭現象，只有小部分混合狀況發生，即 RAP 中之黏結料與新鮮瀝青無交互作用。但大部分混合物與完全拌合效果接近，RAP 的行為並不像黑石頭現象，在高 RAP 含量時，仍有部分拌合效果存在。這些部分的混合物在高 RAP 含量時，必須使用拌合圓表決定新黏結料等級或 RAP 使用量，硬化的 RAP 黏結料必須過當選擇新黏結料作為軟化劑。而 RAP 含量低時，則不須使用拌合圓表【5】。

八、目標黏度 (Target Viscosity)

再生瀝青混凝土之瀝青膠泥，以軟化劑或再生劑軟化後，所改善的瀝青膠泥可期望的黏度，稱之為目標黏度【3】。

國內外針對不同目標黏度之再生瀝青混凝土研究較少，國內有研究【13】將目標黏度設為 2000 及 5000 Poises，分別探討添加軟化劑及再生劑的效果，因其新生及 RAP 粒料皆相同及軟化劑皆為 AC-10，其研究結果如表 1：

表 1.目標黏度 2000 及 5000 Poises 試驗結果表【13】

試驗項目	目標黏度	
	2,000 Poises	5,000 Poises
針入度	52.2	28.2
延展性(cm)	147	138.5
閃火點	318	249
穩定值(kgf)	1283	1612
流度值(0.1mm)	38.0	52.6
間接張力值(kg/cm ²)	11.19	17.83
浸水剝脫試驗 (1 天)	8.59	17.16
浸水剝脫試驗 (3 天)	7.26	15.24
滯留強度(%)	87.5	90.3
6,000 次車轍試驗動穩定值(回/mm)	6,250	8,333
12,000 次車轍試驗動穩定值(回/mm)	10,317	15,000

第二節 新料瀝青混凝土配合設計

本研究進行之初，至瀝青廠取粗粒料、細粒料、填縫料及瀝青膠泥等樣品，進行篩分析、比重等物性試驗後，再依照交通部公路總局施工說明書第 02741 章【2】，並參照 AIMS-2[美國瀝青學會出版手冊系列編號 MS-2]【3】中之馬歇爾法，辦理瀝青混凝土配合設計。其執行流程如圖 1。

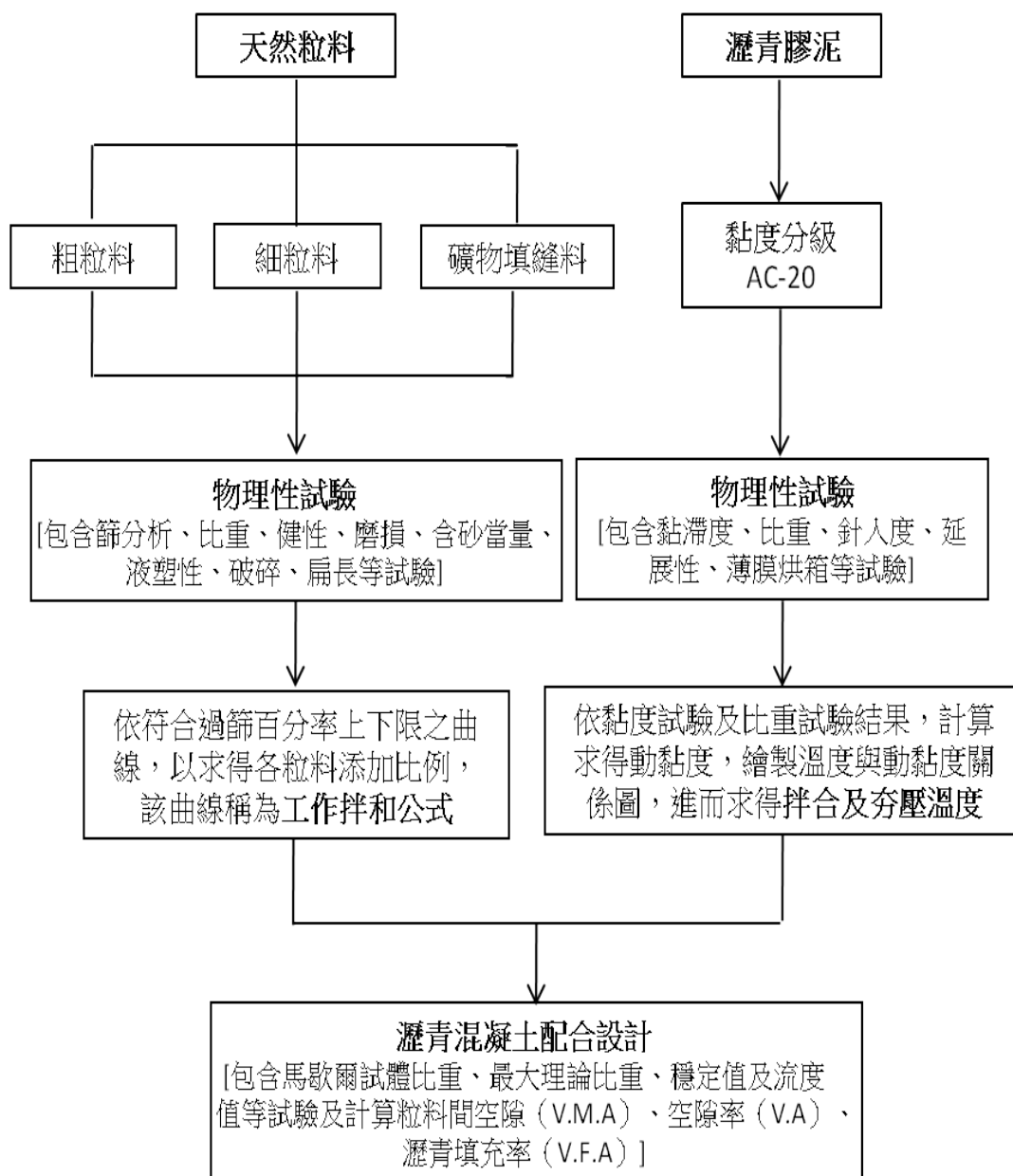


圖 1.瀝青混凝土配合設計流程

一、決定拌和及夯壓溫度

以 CNS 14186[無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)]【6】

試驗方法，測定瀝青 60°C 及 135°C 時之絕對黏度，再試驗瀝青膠泥比重後，依照 FHWA [美國聯邦公路總署] 出版「SUPERPAVE Asphalt Mixture Design」【4】，換算成動黏度，參照 AIMS-2【3】估算產生 170±20cSt 動黏度為拌和溫度，以及產生 280±30cSt 動黏度為夯壓溫度。

二、符合過篩百分率曲線

依粗粒料、細粒料、填縫料的篩分析結果，調整三種粒料添加比例，以取得符合過篩百分率上下限之曲線，稱之為工作拌和公式 (Job Mix Formula, 簡稱 JMF); 其中過篩百分率上下限乃依據 ASTM D3515 之規定，並繪製試驗篩尺寸 0.45 次方 (x 軸) 與過篩百分率 (y 軸) 關係圖【4】。

三、馬歇爾試驗

將添加比例的粒料，在拌和溫度中與瀝青拌和，形成瀝青混凝土拌和料，再依 CNS 12395 [以馬歇爾儀試驗瀝青混合料塑性流動阻力試驗法]【8】在夯壓溫度中，夯打 $\phi 100\text{mm}$ 瀝青混凝土試體；試體冷卻後，進行包括壓實試體密度、理論最大密度、穩定值、流度值、空隙率 (V.A)、粒料間空隙率 (V.M.A)、瀝青填充空隙率 (V.F.A) 及滯留強度指數等相關性質試驗。建立所有性質的上下限與瀝青含量的關係，據以求出最佳瀝青含量。

第三節 再生瀝青混凝土配合設計

再生瀝青混凝土配合設計與新料瀝青混凝土配合設計原理相同，再生瀝青混凝土在材料方面，增加了 RAP 料、軟化劑或再生劑 (視實際需求)。依照【3】，辦理再生瀝青混凝土配合設計。其執行流程如圖 2 所示：

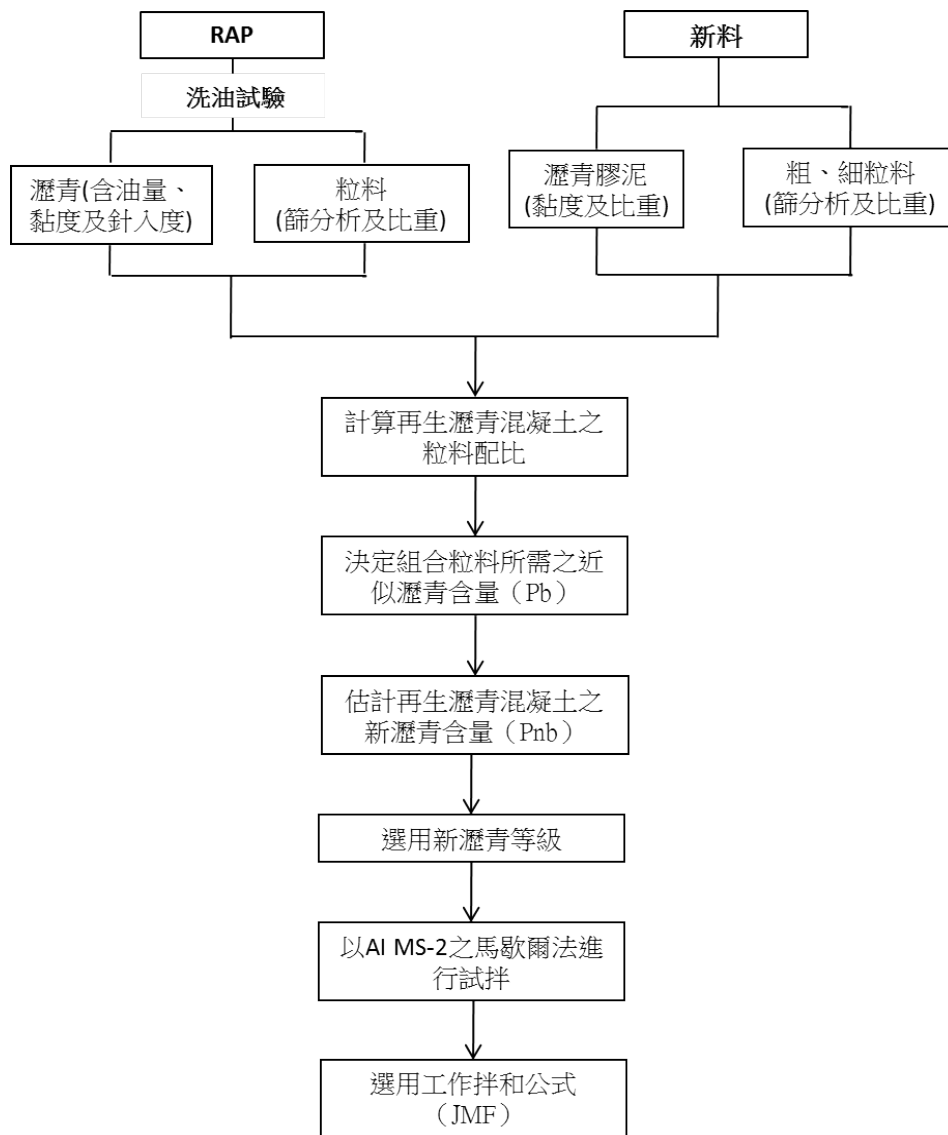


圖 2.再生瀝青混凝土配合設計流程

一、RAP 料試驗

試驗 RAP 料之瀝青含油量、回收瀝青黏滯度及針入度、洗油後粒料篩分析及比重。

二、新料物理性試驗

試驗新料（粗粒料、細粒料及填縫料）之物理性試驗，包含篩分析、比重、健性、磨損、含砂當量、液塑性、破碎及扁長等試驗。

三、再生瀝青混凝土粒料配比

依新料（粗粒料、細粒料及填縫料）及 RAP 料篩分析結果，調整新粒及 RAP 料添加比例，以取得符合過篩百分率上下限之曲線，稱之為工作拌

和公式(Job Mix Formula, 簡稱 JMF);其中過篩百分率上下限乃依據 ASTM D3515 之規定, 並繪製試驗篩尺寸 0.45 次方 (x 軸) 與過篩百分率 (y 軸) 關係圖【4】。

四、決定組合粒料所需之近似瀝青含量 (P_b)

公式為 $P_b = 0.035a + 0.045b + Kc + F$, 其中

P_b = 近似瀝青含量, %

a = No.8 篩之留篩百分比(取整數)

b = No 8~No 200 篩之粒料重量百分比(取整數)

c = 通過 No.200 篩之百分比

$K = 0.15$, c 值為 11~15%

$= 0.18$, c 值為 6~10%

$= 0.20$, c 值 < 5%

$F = 0 \sim 2$, 依粒料的吸油率而定, 無資料時, 一般採 0.7

五、估計再生瀝青混凝土之新瀝青含量 (P_{nb})

公式為 $P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}}$, 其中

r = 新粒料佔比例 (依重量計算) (%)

P_{nb} = 新瀝青之重量百分比 (%)

P_{sb} = RAP 料之瀝青含量 (%)

P_b = 估計近似總瀝青含量 (%)

六、選用新瀝青等級

可採用以下兩種方式決定新瀝青膠泥等級

(一) 公式法:

公式為 $\log(\log \eta_{Tar}) = a[\log(\log \eta_{RAP})] + b[\log(\log \eta_{NEW})]$, 其中

η_{Tar} : 目標黏度 (poises)

η_{RAP} : RAP 料回收瀝青黏度 (poises)

η_{New} : 新瀝青黏度 (poises)

$a + b = 1$

a：RAP之瀝青含量佔總瀝青量之比(以小數表示)

b：新瀝青佔總瀝青量之比(以小數表示)

(二) 圖解法：

以 AI MS-2 (6 版) 【3】之圖解法為例，圖形如圖 3，橫軸為新瀝青膠泥添加比例，縱軸為 $\log(\log$ 黏度值)。

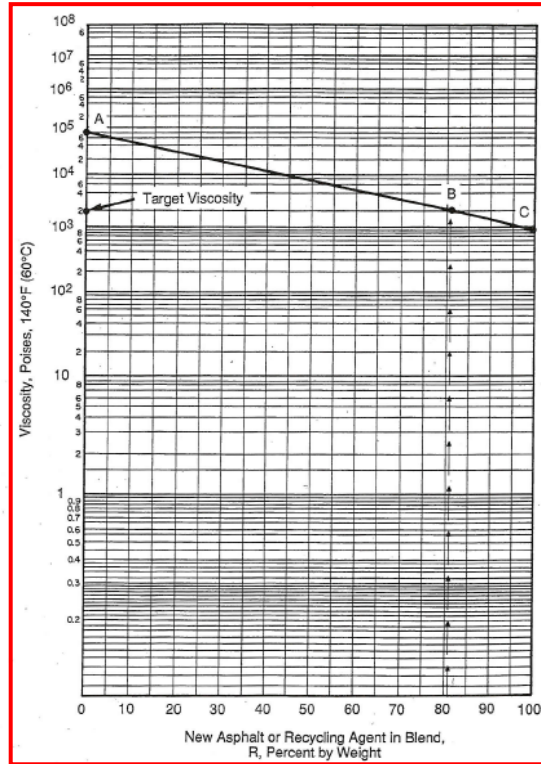


圖 3.AI MS-2 圖解法圖形【3】

首先標繪出 A 及 C 之 2 點位，A 點為 RAP 料點位，其橫軸為新瀝青膠泥添加比例 0，縱軸為 RAP 料瀝青黏度(poises)；C 點為新瀝青膠泥（軟化劑或再生劑）點位，其橫軸為新瀝青膠泥添加比例 100，縱軸為新瀝青膠泥黏度(poises)。

最後繪出 B 點位，先繪製其縱軸，即目標黏度（Target Viscosity）值，再垂直對出 B 點位橫軸，就可得到在該目標黏度下新瀝青膠泥添加比例，亦可取得 RAP 之瀝青含量佔總瀝青量之比例（100%-新瀝青膠泥添加比例）。

七、以 AIMS-2【3】之馬歇爾法進行試拌

一般以近似總含油量 (Pb) 之上下各選2組含油量(共5組)為試拌試體。依據CNS 12395[以馬歇爾儀試驗瀝青混合料塑性流動阻力試驗法]【8】在夯壓溫度中，夯打 $\phi 100\text{mm}$ 瀝青混凝土試體；試體冷卻後，進行包括壓實試體密度、理論最大密度、穩定值、流度值、空隙率(V.A)、粒料間空隙率(V.M.A)、瀝青填充空隙率(V.F.A)及滯留強度指數等相關性質試驗。建立所有性質的上下限與瀝青含量的關係，據以求出最佳瀝青含量

八、選用工作拌和公式 (JMF)

求出最佳瀝青含量後，亦可決定各種粒料 (RAP 料及新料) 過篩百分率，即工作拌和公式 (JMF)。

第三章 研究方法與材料

第一節 研究方法

研究首先進行一組新料瀝青混凝土配合設計試驗，再以試驗結果為基礎，決定最佳夯製瀝青磚方式、再生瀝青混凝土配合設計（過度老化 RAP 料）、回收瀝青性質試驗及瀝青混凝土成效試驗。研究規劃流程如圖 4：

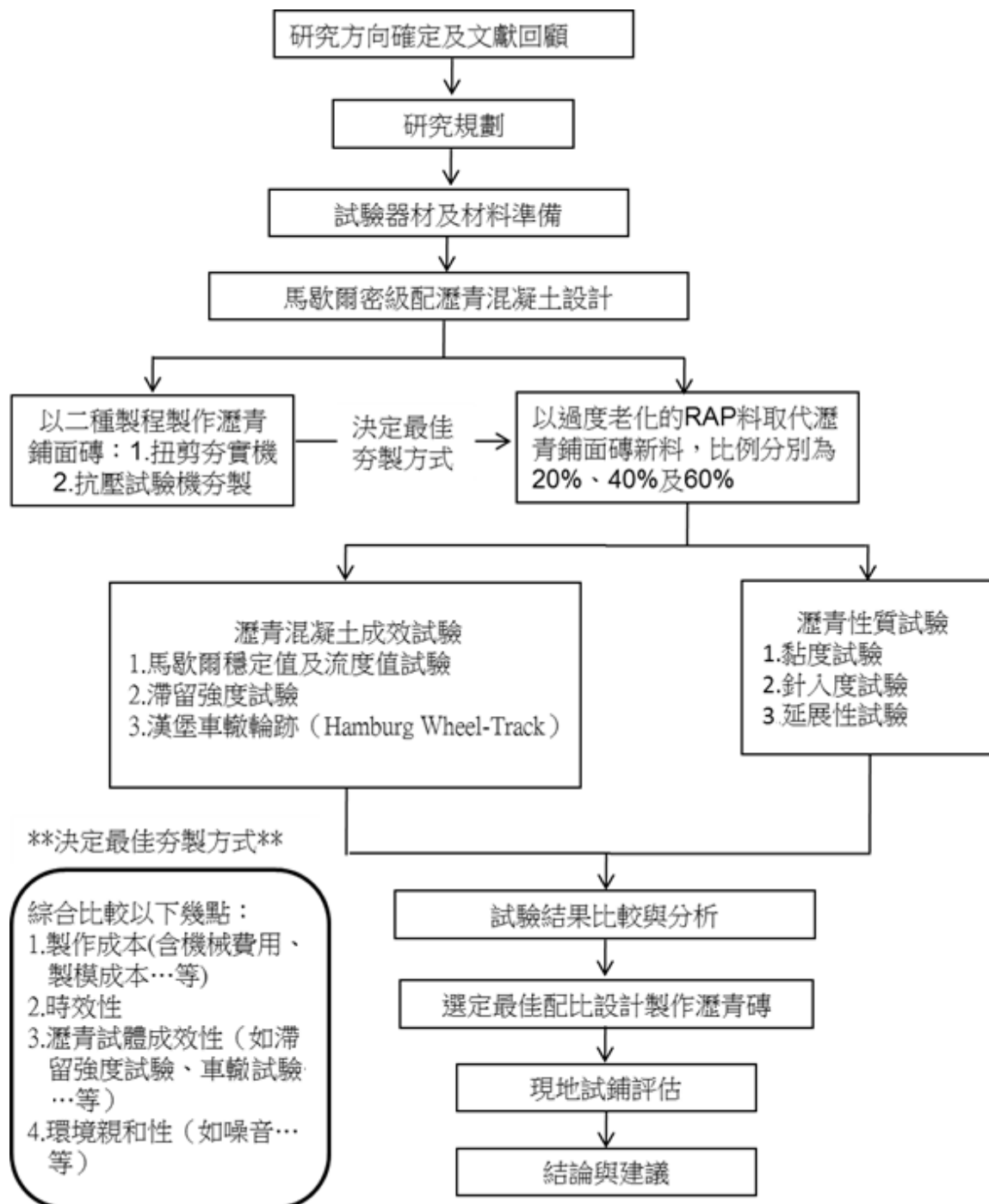


圖 4.研究規劃流程

第二節 研究材料

本研究之材料主要為過度老化 RAP 料、軟化劑及瀝青混凝土配合設計新料粒料，其中瀝青混凝土配合設計新料粒料包含粗粒料、細粒料及礦物填縫料。相關內容如下：

一、過度老化 RAP 料

本研究之 RAP 料包含粗 RAP 料及細 RAP 料 2 種，為同一刨除路段刨除料，經過瀝青廠進行清除雜物及破碎處理，分成粗 RAP 料及細 RAP 料。

為消耗過多 RAP 料，選用過度老化 RAP 料（針入度小於 15），進行再生瀝青混凝土配比試驗；該 RAP 料除針入度不符本局施工說明書【2】規定外，其餘項目（瀝青含量及有害物規定）仍須符合本局施工說明書【2】規定。

二、軟化劑

為管控研究過程之變因及排除再生劑對再生瀝青混凝土之影響，本研究排除使用再生劑，僅以 AC-10 作為軟化劑。

因控制軟化劑種類，使 RAP 料摻配比例與目標黏度兩者關係，呈現正相關，故為增加 RAP 料摻配比例，研究過程中將目標黏度分別設定為 2000、3000 及 4000 poises，再計算不同目標黏度下，RAP 料最大摻配比例。

三、粗、細粒料及礦物填縫料

本研究不論再生或新料瀝青混凝土配合設計，規格皆為標稱最大粒徑 19mm 密級配，其中新料粗粒料選用六分石、三分石及兩分石（業界慣稱）三種，以目視判斷為質地堅韌、潔淨、耐磨之碎石；新料細粒料則為天然砂及機製砂之混合物，目視判斷應須質地堅硬、表面粗糙且顆粒富有稜角；新料礦物填縫料為石粉，且不含有水分、土塊、黏土顆粒或其他有害物質；三種粒料皆由同一料源廠所提供。

第三節 決定瀝青鋪面磚最佳夯製方式

本研究使用之瀝青鋪面磚夯製儀器為抗壓試驗機，夯製過程是以正反 2 面直接加壓方式擠壓瀝青混凝土混合料直至成型。在本所 103 年瀝青鋪面

磚應用於道路之研究【10】已探討過以馬歇爾夯打機與抗壓試驗機製磚過程之優缺點比較，比較結果以抗壓試驗機較佳；本研究再以扭剪壓實機（Superpave Gyratory Compactor，簡稱SGC）與抗壓試驗機進行製磚過程之優缺點比較，比較過程是先以新拌瀝青混凝土配合設計試驗結果，備製5顆試驗樣品，做瀝青混合料拌合，再製成瀝青鋪面磚；製磚過程中比較以下幾點：

- 一、製作成本：主要考量包含機械費用、模具費用、電費及試驗人力費用。
- 二、時效性：瀝青鋪面磚製作方式力求快速及大量製作，每顆製程時間為選用夯製方式重要考量。
- 三、瀝青試體成效性：瀝青鋪面磚因使用於鋪面坑洞修補，需具有一定成效，故將進行滯留強度試驗、浸水間接張力強度比試驗及漢堡車轍輪跡（Hamburg Wheel-Track）試驗結果比較。
- 四、環境親和性：主要考量包含製程噪音及製程空氣品質。

第四節 目標黏度

本研究為提高RAP料最大使用量及兼顧軟化劑之品質，將目標黏度分別設定為2000、3000及4000（Poises），並使用AC-10作為軟化劑，再以公式法或圖解法求新瀝青膠泥添加比例，以進行後續研究。

第五節 瀝青混凝土成效試驗

瀝青混凝土的成效試驗（Performance Test）是指瀝青混凝土的相關力學性質試驗，對於瀝青混凝土混合料之承載力、抗水侵害...等性能進行比較。本研究之瀝青混凝土成效試驗包含馬歇爾穩定值試驗、流度值試驗、滯留強度試驗及漢堡車轍輪跡試驗（Hamburg Wheel-Track Testing）。以下分述之：

一、馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗

依據AI-MS2進行相關試驗，先以夯壓溫度夯打馬歇爾試體，待冷卻後，量測高度；開啟恆溫水槽使溫度達 $60.0\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 後，將試體放置恆溫水槽30

分鐘，再放置馬歇爾試驗模具內，以速率 50.8 mm/min 上升直至試體損壞，試驗所得力量，即為穩定值，並可同時獲得試體變形量，即為流度值。

二、滯留強度試驗

參閱 AASHTO T283【11】試驗方式與公路總局施工說明書【2】規定，夯打 2 組（2 顆/組以上）瀝青含量相同之馬歇爾試體，一組用馬歇爾穩定值試驗方式，所得穩定值為 P(30min)；另一組則將馬歇爾試體放置水槽時間更改成 24 小時，其餘試驗方式與馬歇爾穩定值試驗相同，試驗所得穩定值為 P(24Hr)。滯留強度指數計算方式如下：

$$\text{滯留強度指數(\%)} = \frac{P(24\text{Hr})}{P(30\text{min})} \times 100\%$$

三、漢堡車轍輪跡試驗

(一) 依據 AASHTO T324【12】規範進行相關試驗，主要內容如下：

- 1.適用試體為實驗室製作試體及現地取樣試體。
- 2.水溫：將試樣浸入溫度控制在 40~50°C（104 至 122°F）的水浴或瀝青膠泥的指定溫度。
- 3.鋼輪規定：直徑 203.2mm(8 in.)，47mm(1.85 in.)寬，載重是 705 ±4.5N，每分鐘 52±2 次在試樣往返。
- 4.試體規定：直徑 15 公分(6 in.)試體，高度在 60±1mm，依據 ASTM D4867，將試驗樣品之空隙率控制在 7±1%。
- 5.試驗儀器如圖 5 及圖 6。



圖 5.儀器整體照片

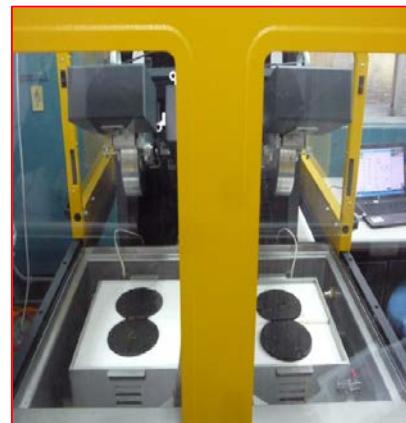


圖 6.試體放置照片

第六節 瀝青性質試驗

瀝青性質試驗是指洗油回收後瀝青膠泥之相關性質試驗，用以比較設定不同目標黏度對瀝青膠泥之影響，是否會導致瀝青混凝土混合料過度老化而易脆之情形，使用於鋪面易產生疲勞裂縫之現象。本研究之瀝青膠泥性質試驗包含黏度試驗、針入度試驗、動態剪切流變試驗及延展性試驗。相關試驗內容如下：

一、黏度試驗

黏度試驗所使用的儀器為 Brookfield 黏度儀，依據 CNS 14186 [無填充料瀝青黏度測定法（布魯克熱力黏度計法）] 【7】進行試驗，儀器設備如圖 7。

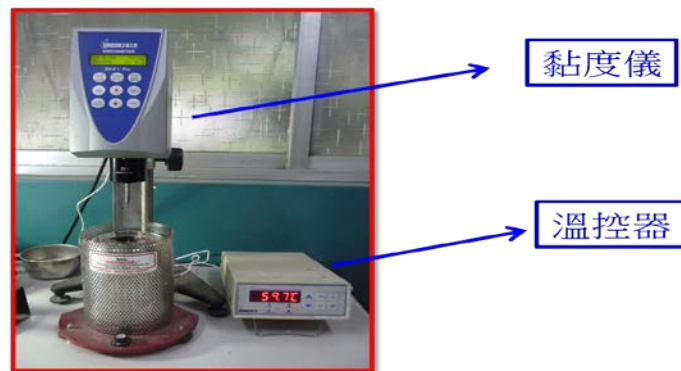


圖 7.黏度儀

二、針入度試驗

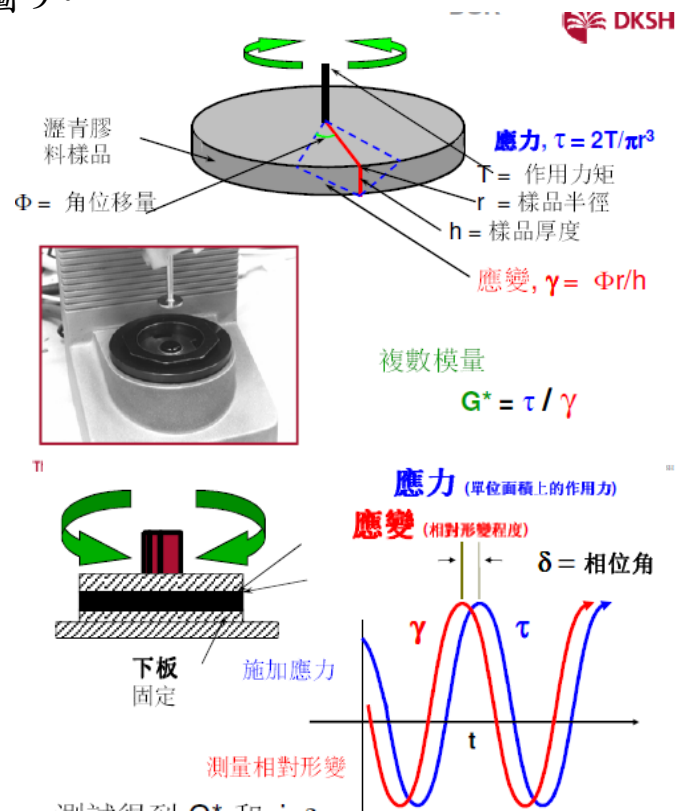
本試驗係依據 CNS 10090 [瀝青物針入度試驗法] 【9】，控制瀝青膠泥在 $25.0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 溫度下，以總重計 $100 \pm 0.1\text{g}$ 之貫入針，靜止釋放 5 秒之貫入總深度，單位以 0.1mm 計；儀器設備如圖 8。



圖 8.針入度儀

三、動態剪切流變試驗

動態剪切流變試驗之目的在試驗瀝青膠泥之 G^* (剪切模數) 跟 δ (相位角)，經由動態剪切流變儀可得到 $G^* \sin \delta \geq 1.0 \text{kPa}$ 之對應溫度等級，據以比較不同目標黏度再生瀝青混凝土之瀝青膠泥等級，及可承受之鋪面最高溫，原理如圖 9。



第七節 現地試鋪評估

因瀝青鋪面磚是使用於鋪面裂縫或坑洞修補及鑽心取樣後填補，因此現地試鋪評估為本研究之重點，藉觀察瀝青鋪面磚於現地試鋪後，是否能承受現地交通量、氣候...等因素影響，致磚體沉陷量較一般冷拌瀝青混凝土為小，並較能與鋪面成為一體。

現地鋪設考量台灣南北氣候差異，選擇北部 3 處及南部 1 處工程，於鋪面鋪設完成，進行厚度及壓實度試驗之鑽心取樣後坑洞，以瀝青磚填補，並定期追蹤相對於鋪面水平面之沉陷程度，供後續進行相關研究之參考。選擇工程名稱及埋設瀝青磚 RAP 摻配比例表如表 2。

表 2.新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例

工程 編號	工程名稱	瀝青磚 RAP 摻配比例	埋設日期
1	台 68 線 5k+000~15k+000 東向路基路面改善工程	20%	104 年 12 月 18 日
2	台 31 線 6k+000~9k+000 段排水及路基路面改善工程	20%	104 年 12 月 23 日
3	台 61 線 76k+000~85k+829 段兩側慢車道擇要路面整修工程	40%	105 年 1 月 28 日
4	台 27 線 25k+532~37k+500 路面修復工程	40%	105 年 1 月 11 日

第四章 研究結果分析

第一節 新料瀝青混凝土配合設計試驗結果

新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例如表 3，配合設計粒徑曲線如圖 10，試驗結果如表 4，將此試驗結果做為基礎，進行後續試驗。

表 3.新料瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例

粒料 試驗 篩號	6分石		3分石		2分石		砂		填縫料		JMF (%)	規範帶 (%)
	配 合 比 例											
	原級配	14%	原級配	25%	原級配	30%	原級配	30%	原級配	1%		
25mm	100.0	14.0	100.0	25.0	100.0	30.0	100.0	30.0	100.0	1.0	100.0	100
19mm	70.9	9.9	100.0	25.0	100.0	30.0	100.0	30.0	100.0	1.0	95.9	90~100
12.5mm	5.4	0.8	82.9	20.7	99.7	29.9	100.0	30.0	100.0	1.0	82.4	—
9.5mm	1.6	0.2	53.7	13.4	98.5	29.6	100.0	30.0	100.0	1.0	74.2	56~80
4.75mm	0.9	0.1	10.4	2.6	26.4	7.9	91.7	27.5	100.0	1.0	39.1	35~65
2.36mm	0.9	0.1	4.3	1.1	10.9	3.3	72.9	21.9	100.0	1.0	27.4	23~49
1.18mm	0.9	0.1	3.1	0.8	8.0	2.4	58.9	17.7	100.0	1.0	22.0	—
600μm	0.9	0.1	2.6	0.7	6.9	2.1	46.1	13.8	100.0	1.0	17.7	—
300μm	0.9	0.1	2.2	0.6	6.0	1.8	29.2	8.8	99.9	1.0	12.3	5~19
150μm	0.8	0.1	1.7	0.4	4.3	1.3	13.9	4.2	99.6	1.0	7.0	—
75μm	0.6	0.1	1.1	0.3	2.0	0.6	5.6	1.7	94.1	0.9	3.6	2~8

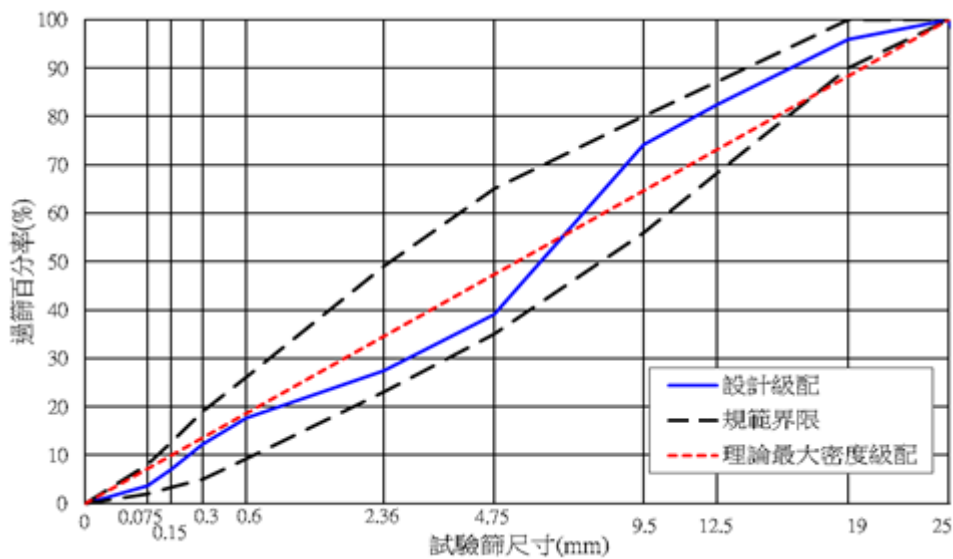


圖 10.新料瀝青混凝土配比設計粒徑曲線圖

表 4.新料瀝青混凝土配合設計試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	「粒料配比計算表」	「粒料配比計算表」之規範
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	AC-20	AC-20
b. 對乾粒料(%)	5.3	—
c. 對混合料(%)	5.0	4 ~ 10
3. 試體密度(kg/m ³)	2311	—
4. 穩定值(kgf)	1230	≥ 817
5. 流度值(0.25mm)	11.7	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	13.1	≥ 13
7. 瀝青填充率 (V.F.A., %)	70	65 ~ 75
8. 空隙率(V _a , %)	4.0	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.533	—
10. 瀝青比重	1.037	—
11. 混合料最大理論 密度(kg/m ³)	2408	—
12. 滯留強度指數(%)	89	≥ 75

註：*表列規範值係摘自公路總局 101 年版施工說明書【2】規定。

第二節 瀝青磚最佳夯製方式試驗結果

本研究使用之瀝青鋪面磚夯製儀器為抗壓試驗機，夯製過程是以正反 2 面直接加壓方式擠壓瀝青混凝土混合料直至成型。本所先前研究已探討過以馬歇爾夯打機與抗壓試驗機製磚過程之優缺點比較，比較結果以抗壓試驗機較佳。

本研究再比對以超級鋪面扭剪壓實機（SGC）與抗壓試驗機進行製磚優缺點比較，比較項目如下表 5：

表 5.製磚方式優缺點比較

比較項目 \ 製磚方式	抗壓試驗機	SGC
儀器費用	價格較低且普遍性高	價格昂貴且普遍性不高
模具費用	圓筒型鋼模-價格低	特製規格鋼模-價格高
電費	兩者相當	
人力費	工序較繁複	工序簡單
製作試體時間	8 分 5 秒	4 分 47 秒
瀝青試體成效性	兩者相當	
平均最大噪音(dB)*	90.15dB	87.75dB

*備註：以馬歇爾夯打機噪音值為 134.75dB

評估瀝青磚之最佳夯製方式，試驗結果及分析：

1. 抗壓試驗機與 SGC 進行製程上之比較，以儀器費用、模具費用及製作人力費 3 個部分有較大之差異，其餘各項則為相當。惟抗壓試驗機比 SGC 價格低廉且普遍性較高，雖抗壓試驗機製作瀝青磚試體時間稍較使用 SGC 久，整個製程約略控制在 8 分鐘上下。
2. 抗壓試驗機及 SGC 噪音均遠低於馬歇爾夯打機，因此對於環境親和性，馬歇爾夯打機為最差，抗壓試驗機及 SGC 則相當。

第三節 再生瀝青混凝土試驗結果

一、RAP 料性質試驗結果

RAP 料取自南部某瀝青廠之路面刨除料，經過破碎後，區分為粗 RAP 料及細 RAP 料兩種；經過相關性質之試驗，包含洗油後瀝青膠泥性質試驗（黏度、針入度及含油量）及洗油後粒料試驗（篩分析及比重），試驗結果如表 6 及表 7。

表 6.RAP 料洗油後瀝青膠泥性質試驗結果表

項目	粗 RAP 料	細 RAP 料
針入度 (0.1mm)	10	9
60°C 黏度 (poises)	258000	470000
含油量 (%)	3.2	4.8

表 7.RAP 料洗油後粒料性質試驗結果表

粒料 篩號 (mm)	粗 RAP 料			細 RAP 料		
	各別留篩 百分率 (%)	累計留篩 百分率 (%)	過篩百分 率(%)	各別留篩 百分率 (%)	累計留篩 百分率 (%)	過篩百分 率(%)
19.0	0	0	100	0	0	100
12.5	22	22	78	0	0	100
9.5	18	40	60	0	0	100
4.75	18	58	42	15	15	85
2.36	10	68	32	24	39	61
1.18	8	76	24	16	55	45
0.60	6	82	18	12	67	33
0.30	5	87	13	9	76	24
0.15	4	91	9	6	82	18
0.075	2.4	93.4	6.6	5.1	87.1	12.9
單位重	2.578			2.621		

二、目標黏度設定

目標黏度、RAP 料摻配比例及軟化劑(或再生劑)等級三者互制關係，若控制軟化劑等級，則目標黏度與 RAP 摻配比例呈正相關。即 RAP 摻配比例越高，則目標黏度越高；本研究均以 AC-10 作為軟化劑，且為達 RAP 料摻配比例，目標黏度定為 2000、3000 及 4000 (Poises)，經過計算法求軟

化劑 AC-10 (1000±200 Poises)，對不同目標黏度之 RAP 料摻配比例試算，其結果如表 8 所示。

表 8 之試算結果可以發現，軟化劑之黏度許可誤差為±20%，致使每種目標黏度之 RAP 料摻配比例範圍較大，但為求研究結果變異性較小，本研究先設定目標黏度 2000 Poises 之 RAP 料摻配比例設定為 20%，目標黏度 3000 Poises 之 RAP 料摻配比例設定為 40%，目標黏度 4000 Poises 之 RAP 料摻配比例設定為 60%；研究過程若有無法完成之再生瀝青混凝土配合設計，則自動降低 RAP 料摻配比例，以達到去化 RAP 料最大化之目的。

表 8.不同目標黏度之摻配比例計算結果表

目標黏度 (Poises)	RAP 料添加量 (%)	新瀝青膠泥添加比例(%)	新瀝青黏度 (Poises)	符合 AC-10 (1000±200 Poises)
2000	20	85.1	1029.38	√
	30	77.9	703.20	×
	40	70.9	461.75	×
	50	64.7	305.12	×
	60	57.7	178.43	×
3000	20	85.1	1593.40	×
	30	77.9	1105.33	√
	40	70.9	736.38	×
	50	64.7	492.22	×
	60	57.7	290.90	×
4000	20	85.1	2177.63	×
	30	77.9	1529.61	×
	40	70.9	1031.59	√
	50	64.7	696.72	×
	60	57.7	416.13	×
5000	20	85.1	2778.31	×
	30	77.9	1972.32	×
	40	70.9	1344.36	×
	50	64.7	916.40	√
	60	57.7	552.84	×

三、再生瀝青混凝土試驗結果

(一) 目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料摻配比例 20%之試驗結果

再生瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例如表 9，配合設計粒徑曲線如圖 11，試驗結果如表 10。

表 9.目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料 20%之配合設計粒徑摻配比例

試驗 篩號	配合比例														JMF (%)	規範帶 (%)
	6分石		3分石		2分石		砂		填縫料		RAP(粗)		RAP(細)			
	原級配	26%	原級配	12%	原級配	12%	原級配	29%	原級配	1%	原級配	10%	原級配	10%		
過篩百分率 (%)																
25mm	100.0	26.0	100.0	12.0	100.0	12.0	100.0	29.0	100.0	1.0	100.0	10.0	100.0	10.0	100.0	100
19mm	70.9	18.4	100.0	12.0	100.0	12.0	100.0	29.0	100.0	1.0	100.0	10.0	100.0	10.0	92.4	90~100
12.5mm	5.4	1.4	82.9	9.9	99.7	12.0	100.0	29.0	100.0	1.0	78.0	7.8	100.0	10.0	71.1	—
9.5mm	1.6	0.4	53.7	6.4	98.5	11.8	100.0	29.0	100.0	1.0	60.0	6.0	100.0	10.0	64.6	56~80
4.75mm	0.9	0.2	10.4	1.2	26.4	3.2	91.7	26.6	100.0	1.0	42.0	4.2	85.0	8.5	44.9	35~65
2.36mm	0.9	0.2	4.3	0.5	10.9	1.3	72.9	21.1	100.0	1.0	32.0	3.2	61.0	6.1	33.4	23~49
1.18mm	0.9	0.2	3.1	0.4	8.0	1.0	58.9	17.1	100.0	1.0	24.0	2.4	45.0	4.5	26.6	—
600μm	0.9	0.2	2.6	0.3	6.9	0.8	46.1	13.4	100.0	1.0	18.0	1.8	33.0	3.3	20.8	—
300μm	0.9	0.2	2.2	0.3	6.0	0.7	29.2	8.5	99.9	1.0	13.0	1.3	24.0	2.4	14.4	5~19
150μm	0.8	0.2	1.7	0.2	4.3	0.5	13.9	4.0	99.6	1.0	9.0	0.9	18.0	1.8	8.6	—
75μm	0.6	0.2	1.1	0.1	2.0	0.2	5.6	1.6	94.1	0.9	6.6	0.7	12.9	1.3	5.0	2~8

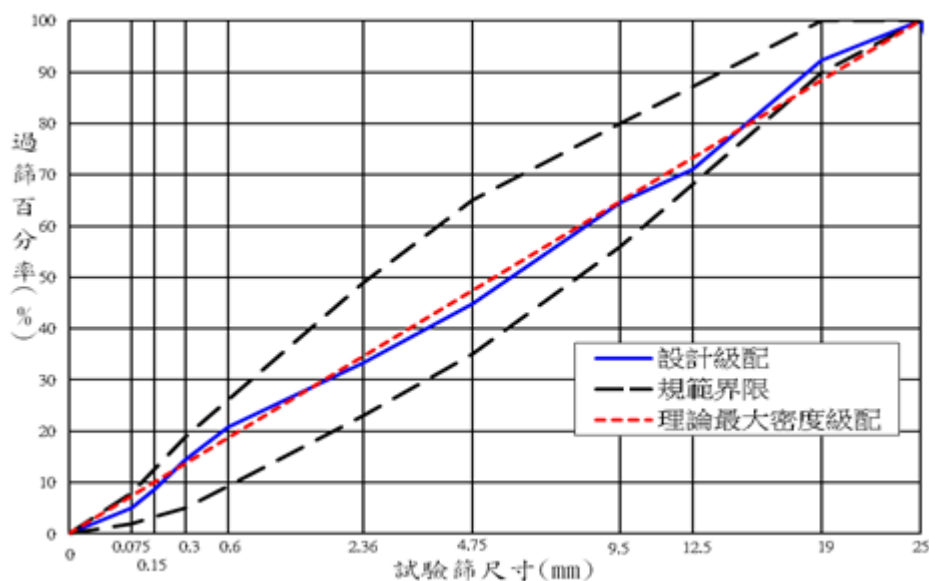


圖 11.目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料 20%之配合設計粒徑曲線圖

表 10.目標黏度 2000 Poises 及 RAP 料 20%之配合設計試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	「粒料配比計算表」	—
2. 瀝青含量		
a. 再生瀝青種類	AC-10	AC-10
b. 對乾粒料(%)	5.7	—
c. 對混合料(%)	5.4	4 ~ 10
3. 試體密度(kg/m ³)	2306	—
4. 穩定值(kgf)	1540	≥ 817
5. 流度值(0.25mm)	9.8	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A. , %)	14.2	≥ 13
7. 瀝青填充率 (V.F.A , %)	70	65 ~ 75
8. 空隙率(V _a , %)	4.2	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.550	—
10. 瀝青比重	1.037	—
11. 混合料最大理論密 度(kg/m ³)	2407	—
12. 滯留強度指數(%)	82	≥ 75

註：*表列規範值係摘自公路總局 101 年版施工說明書【2】規定。

(二) 目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料摻配比例 40%之試驗結果

再生瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例如表 11，配合設計粒徑曲線如圖 12，試驗結果如表 12。

表 11.目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料 40%之配合設計粒徑摻配比例

粒料	6分石	3分石	2分石	砂	填縫料	RAP(粗)	RAP(細)	JMF	規範帶							
	配合比例														(%)	(%)
	原級配	16%	原級配	12%	原級配	12%	原級配	19%	原級配	1%	原級配	20%	原級配	20%		
試驗篩號	過篩百分率 (%)															
25mm	100.0	16.0	100.0	12.0	100.0	12.0	100.0	19.0	100.0	1.0	100.0	20.0	100.0	20.0	100.0	100
19mm	70.9	11.3	100.0	12.0	100.0	12.0	100.0	19.0	100.0	1.0	100.0	20.0	100.0	20.0	95.3	90~100
12.5mm	5.4	0.9	82.9	9.9	99.7	12.0	100.0	19.0	100.0	1.0	78.0	15.6	100.0	20.0	78.4	—
9.5mm	1.6	0.3	53.7	6.4	98.5	11.8	100.0	19.0	100.0	1.0	60.0	12.0	100.0	20.0	70.5	56~80
4.75mm	0.9	0.1	10.4	1.2	26.4	3.2	91.7	17.4	100.0	1.0	42.0	8.4	85.0	17.0	48.3	35~65
2.36mm	0.9	0.1	4.3	0.5	10.9	1.3	72.9	13.9	100.0	1.0	32.0	6.4	61.0	12.2	35.4	23~49
1.18mm	0.9	0.1	3.1	0.4	8.0	1.0	58.9	11.2	100.0	1.0	24.0	4.8	45.0	9.0	27.5	—
600μm	0.9	0.1	2.6	0.3	6.9	0.8	46.1	8.8	100.0	1.0	18.0	3.6	33.0	6.6	21.2	—
300μm	0.9	0.1	2.2	0.3	6.0	0.7	29.2	5.5	99.9	1.0	13.0	2.6	24.0	4.8	15.0	5~19
150μm	0.8	0.1	1.7	0.2	4.3	0.5	13.9	2.6	99.6	1.0	9.0	1.8	18.0	3.6	9.8	—
75μm	0.6	0.1	1.1	0.1	2.0	0.2	5.6	1.1	94.1	0.9	6.6	1.3	12.9	2.6	6.3	2~8

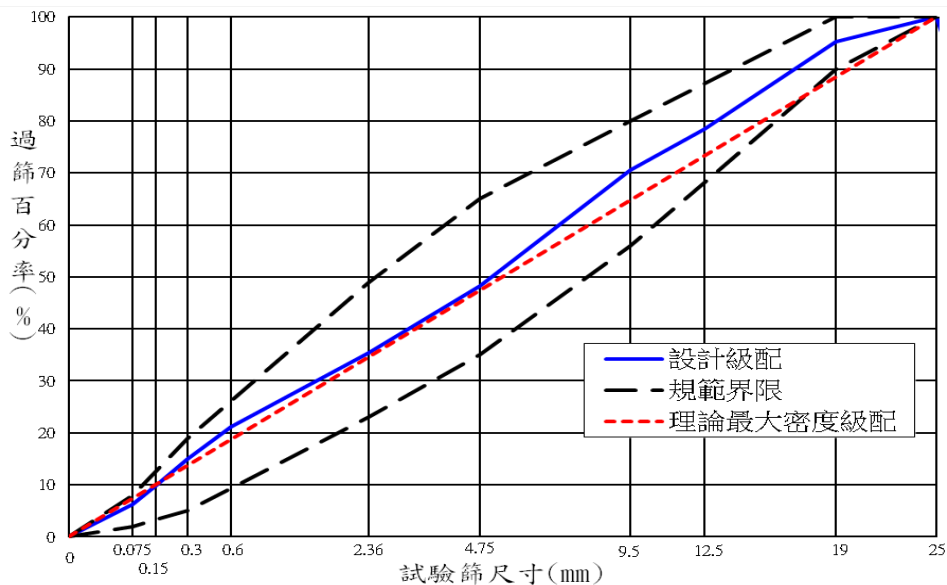


圖 12.目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料 40%之配合設計粒徑曲線圖

表 12.目標黏度 3000 Poises 及 RAP 料 40%之配合設計試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	「粒料配比計算表」	—
2. 瀝青含量		
a. 再生瀝青種類	AC-10	AC-10
b. 對乾粒料(%)	5.7	—
c. 對混合料(%)	5.4	4 ~ 10
3. 試體密度(kg/m ³)	2310	—
4. 穩定值(kgf)	1740	≥ 817
5. 流度值(0.25mm)	11.0	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率 (V.M.A., %)	14.4	≥ 13
7. 瀝青填充率 (V.F.A., %)	70	65 ~ 75
8. 空隙率(V _a , %)	4.3	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.561	—
10. 瀝青比重	1.037	—
11. 混合料最大理論密度 (kg/m ³)	2416	—
12. 滯留強度指數(%)	94	≥ 75

註：*表列規範值係摘自公路總局 101 年版施工說明書【2】規定。

(三) 目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料摻配比例 60%之試驗結果

再生瀝青混凝土配合設計粒徑摻配比例如表 13，配合設計粒徑曲線如圖 13，試驗結果如表 14。

表 13.目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料 60%之配合設計粒徑摻配比例

粒料	6分石		3分石		2分石		砂		填縫料		RAP(粗)		RAP(細)		JMF (%)	規範帶 (%)
	原級配	16%	原級配	7%	原級配	7%	原級配	9%	原級配	1%	原級配	30%	原級配	30%		
試驗篩號	過 篩 百 分 率 (%)															
25mm	100.0	16.0	100.0	7.0	100.0	7.0	100.0	9.0	100.0	1.0	100.0	30.0	100.0	30.0	100.0	100
19mm	70.9	11.3	100.0	7.0	100.0	7.0	100.0	9.0	100.0	1.0	100.0	30.0	100.0	30.0	95.3	90~100
12.5mm	5.4	0.9	82.9	5.8	99.7	7.0	100.0	9.0	100.0	1.0	78.0	23.4	100.0	30.0	77.1	—
9.5mm	1.6	0.3	53.7	3.8	98.5	6.9	100.0	9.0	100.0	1.0	60.0	18.0	100.0	30.0	69.0	56~80
4.75mm	0.9	0.1	10.4	0.7	26.4	1.8	91.7	8.3	100.0	1.0	42.0	12.6	85.0	25.5	50.0	35~65
2.36mm	0.9	0.1	4.3	0.3	10.9	0.8	72.9	6.6	100.0	1.0	32.0	9.6	61.0	18.3	36.7	23~49
1.18mm	0.9	0.1	3.1	0.2	8.0	0.6	58.9	5.3	100.0	1.0	24.0	7.2	45.0	13.5	27.9	—
600μm	0.9	0.1	2.6	0.2	6.9	0.5	46.1	4.1	100.0	1.0	18.0	5.4	33.0	9.9	21.2	—
300μm	0.9	0.1	2.2	0.2	6.0	0.4	29.2	2.6	99.9	1.0	13.0	3.9	24.0	7.2	15.4	5~19
150μm	0.8	0.1	1.7	0.1	4.3	0.3	13.9	1.3	99.6	1.0	9.0	2.7	18.0	5.4	10.9	—
75μm	0.6	0.1	1.1	0.1	2.0	0.1	5.6	0.5	94.1	0.9	6.6	2.0	12.9	3.9	7.6	2~8

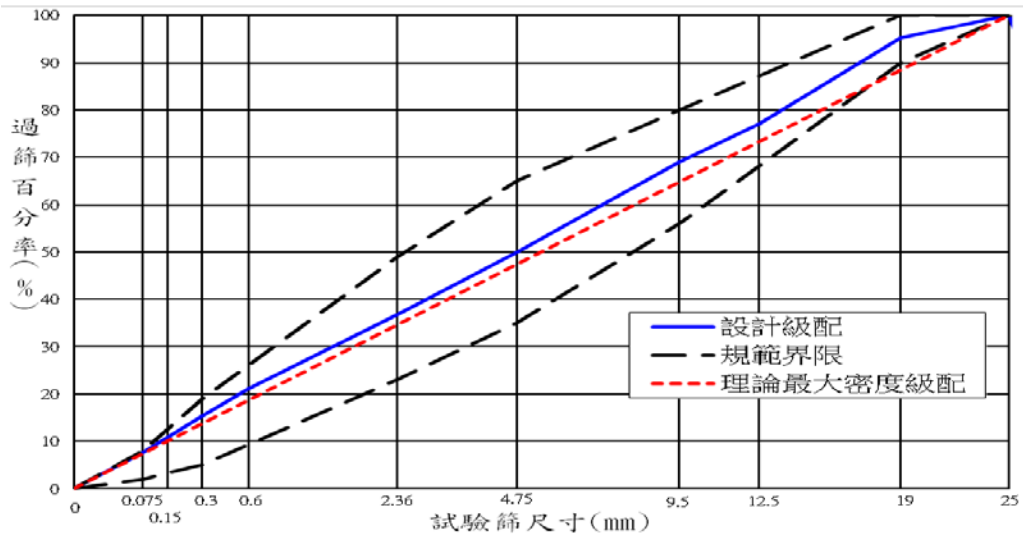


圖 13.目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料 60%之配合設計粒徑曲線圖

表 14.目標黏度 4000 Poises 及 RAP 料 60%之配合設計試驗結果

項 目	建議配比及相應各值	規範值*
1. 粒料配合比	「粒料配比計算表」	—
2. 瀝青含量		
a. 再生瀝青種類	AC-10	AC-10
b. 對乾粒料(%)	5.7	—
c. 對混合料(%)	5.5	4 ~ 10
3. 試體密度(kg/m ³)	2228	—
4. 穩定值(kgf)	1390	≥ 817
5. 流度值(0.25mm)	9.8	8 ~ 14
6. 粒料間空隙率(V.M.A. , %)	18.1	≥ 18.0
7. 瀝青填充率(V.F.A , %)	<u>50</u> (NG)	65 ~ 75
8. 空隙率(V _a , %)	<u>9.0</u> (NG)	3 ~ 5
9. 粒料平均比重	2.575	—
10. 瀝青比重	1.037	—
11. 混合料最大理論密度(kg/m ³)	2446	—
12. 滯留強度指數(%)	93	≥ 75

註：*表列規範值係摘自公路總局 101 年版施工說明書【2】規定。

再生瀝青混凝土試驗結果分析：

RAP 添加量比例 20% 及 40% 再生瀝青混凝土配合設計試驗結果都符合配比規範要求，當 RAP 添加量比例提高至 60% 時，再生瀝青混凝土配合設計，試驗結果在瀝青填充率與空隙率未符合配比規範要求。

第四節 再生瀝青混凝土成效試驗結果

一、馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗結果

將新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比穩定值及流度值試驗結果整理如表 15，繪製比較圖形如圖 14。

表 15.馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises	RAP 料比例 40%，目標黏度 3000 Poises	RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises
穩定值 (kgf)	1230	1540	1740	1390
流度值 (0.25mm)	11.7	9.8	11.0	9.8

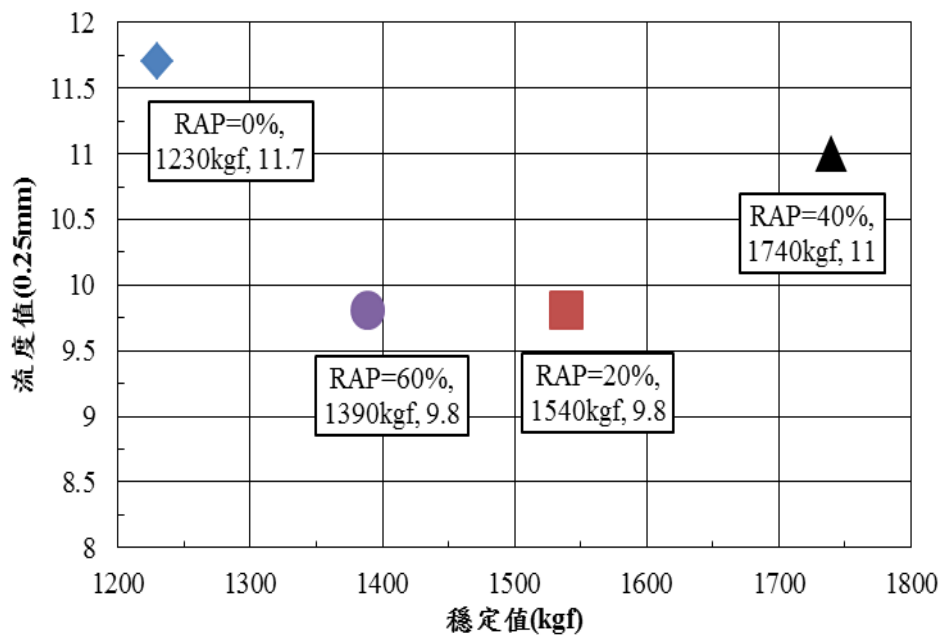


圖 14.馬歇爾穩定值試驗及流度值試驗結果比較

二、滯留強度試驗結果

將新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比穩定值及流度值試驗結果整理如表 16，繪製比較圖形如圖 15。

表 16.滯留強度試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises	RAP 料比例 40%，目標黏度 3000 Poises	RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises
滯留強度指數 (%)	89	82	94	93

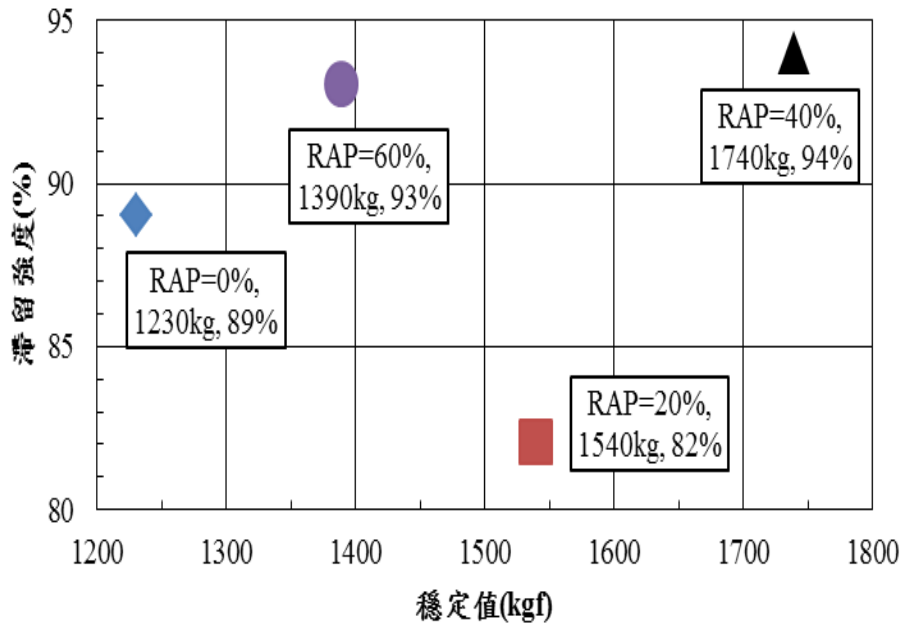


圖 15.滯留強度試驗結果比較

三、漢堡車轍輪跡試驗結果

將新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比穩定值及流度值試驗結果整理如表 17，繪製比較圖形如圖 16 至圖 21。

表 17.漢堡車轍輪跡試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計		再生瀝青混凝土配合設計					
			RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises		RAP 料比例 40%，目標黏度 3000 Poises		RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises ^註	
輪跡	1	2	1	2	1	2	1	2
剝脫點 (SIP) 輪次平均值	17,768	N.A.	N.A.	N.A.	10,252	7,005	—	—
深度 12.5mm 輪次值	19,646	13,564	3,686	6,826	14,901	8,274	—	—
深度 12.5mm 輪次平均值	16,605		5,256		11,588		—	

註：RAP 料比例 60%之配合設計空隙率為 9.0%，不符合 AASHTO T324【12】要求之 6~8%，故未進行試驗。

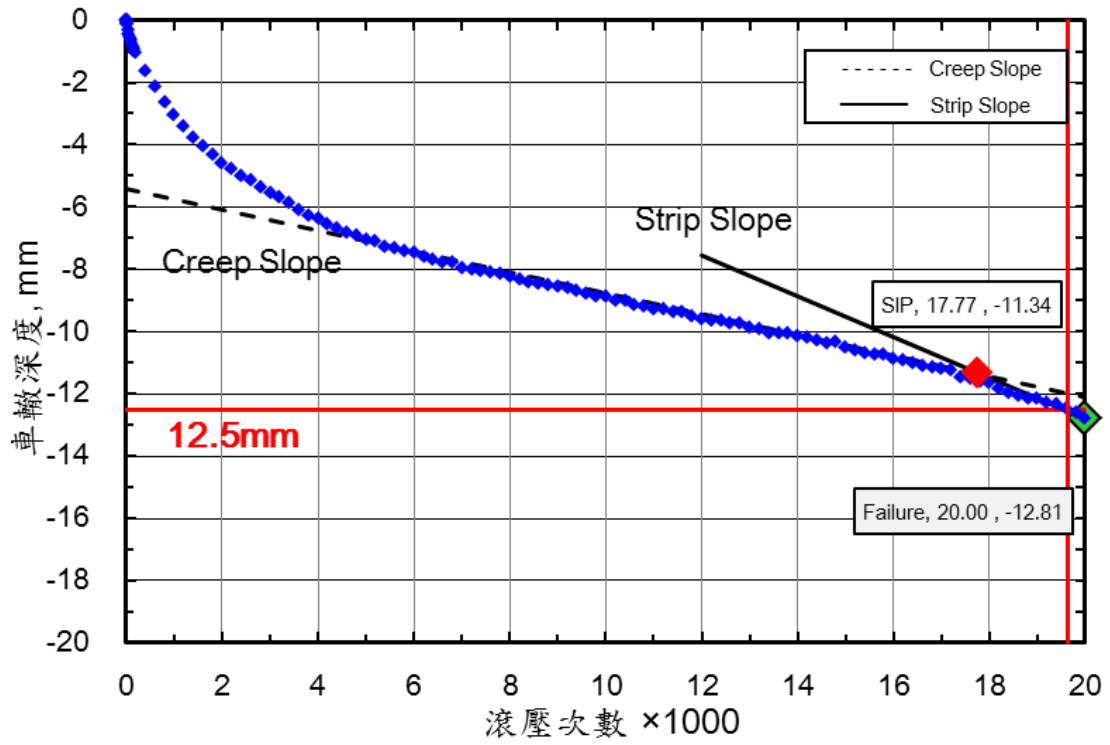


圖 16.漢堡車轍輪跡試驗結果(0%-1)

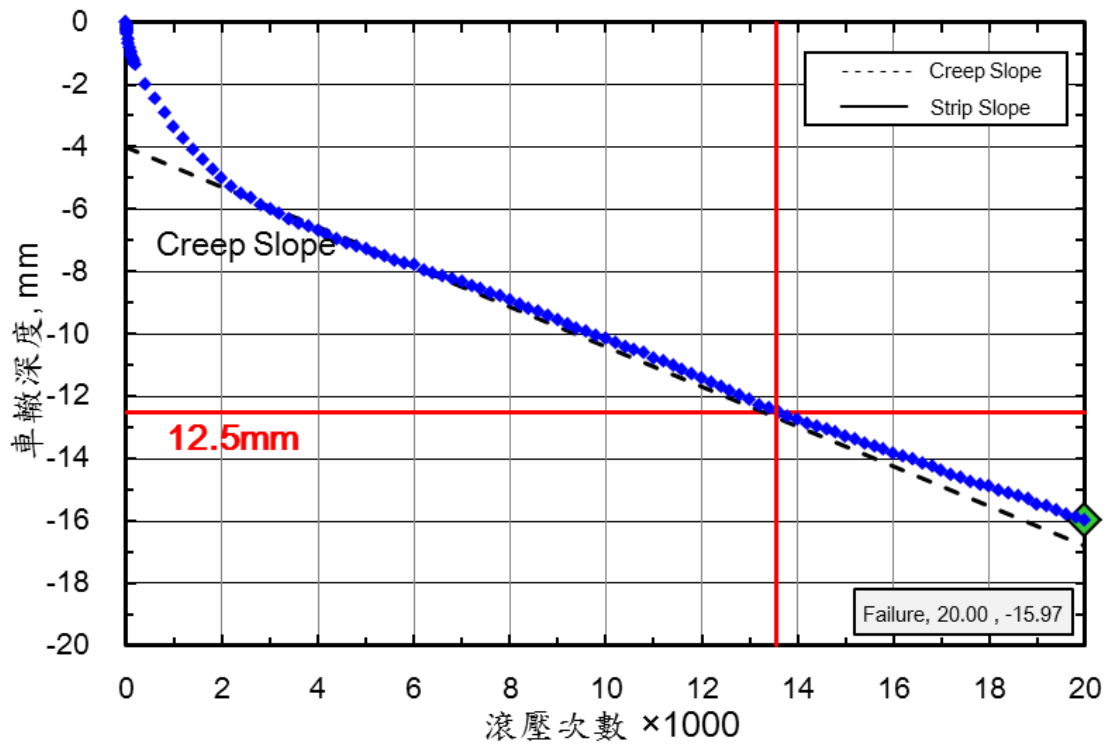


圖 17.漢堡車轍輪跡試驗結果(0%-2)

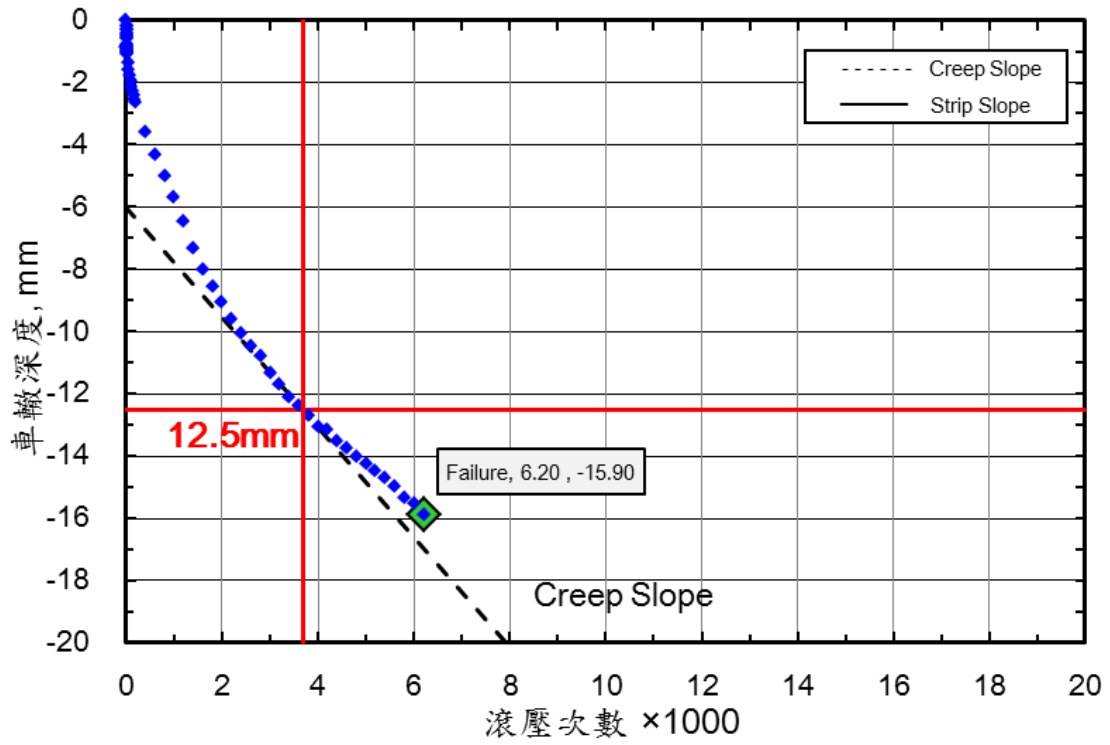


圖 18.漢堡車轍輪跡試驗結果(20%-1)

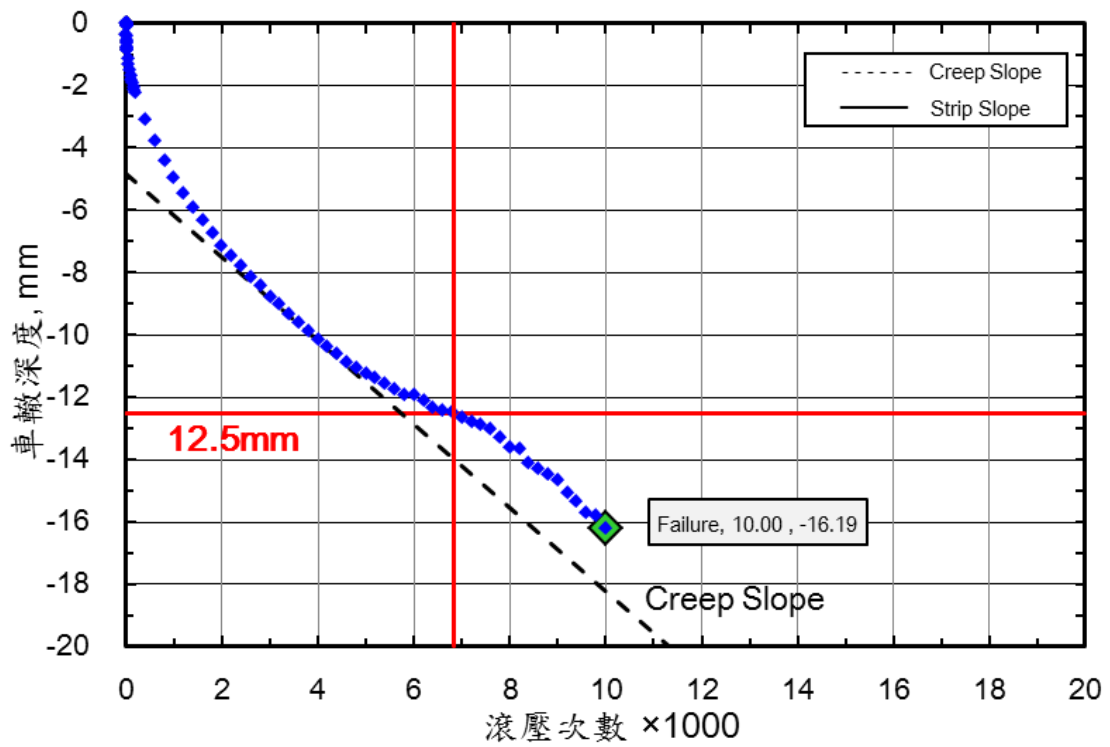


圖 19.漢堡車轍輪跡試驗結果(20%-2)

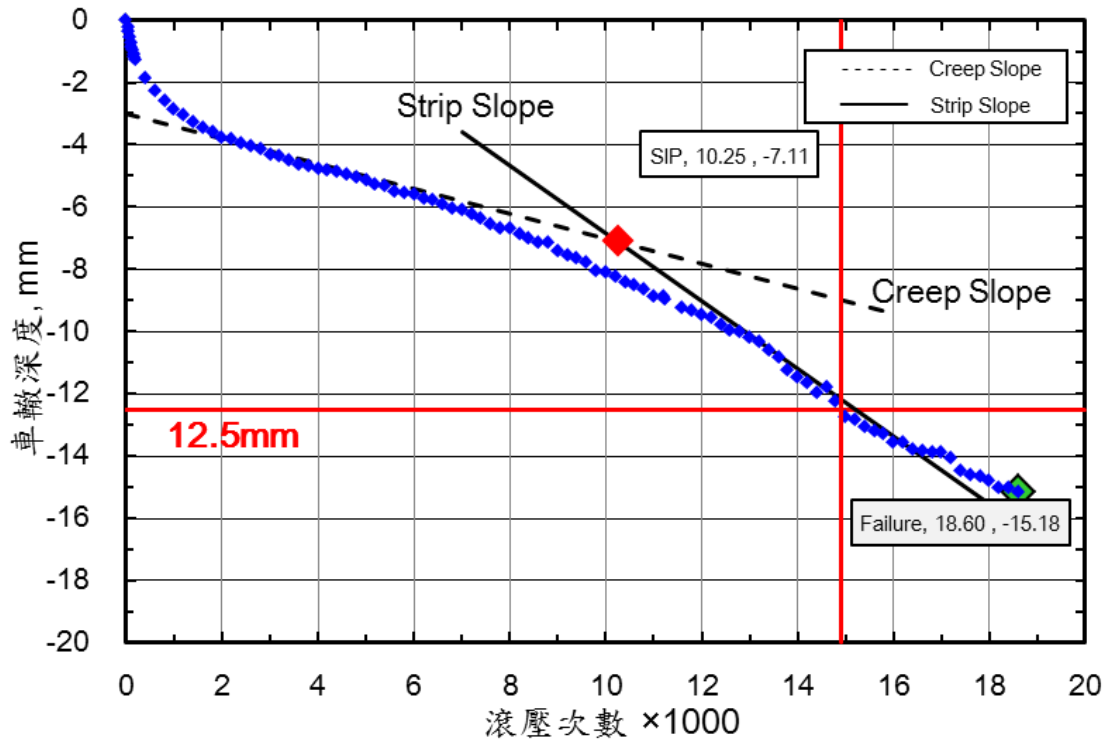


圖 20.漢堡車轍輪跡試驗結果(40%-1)

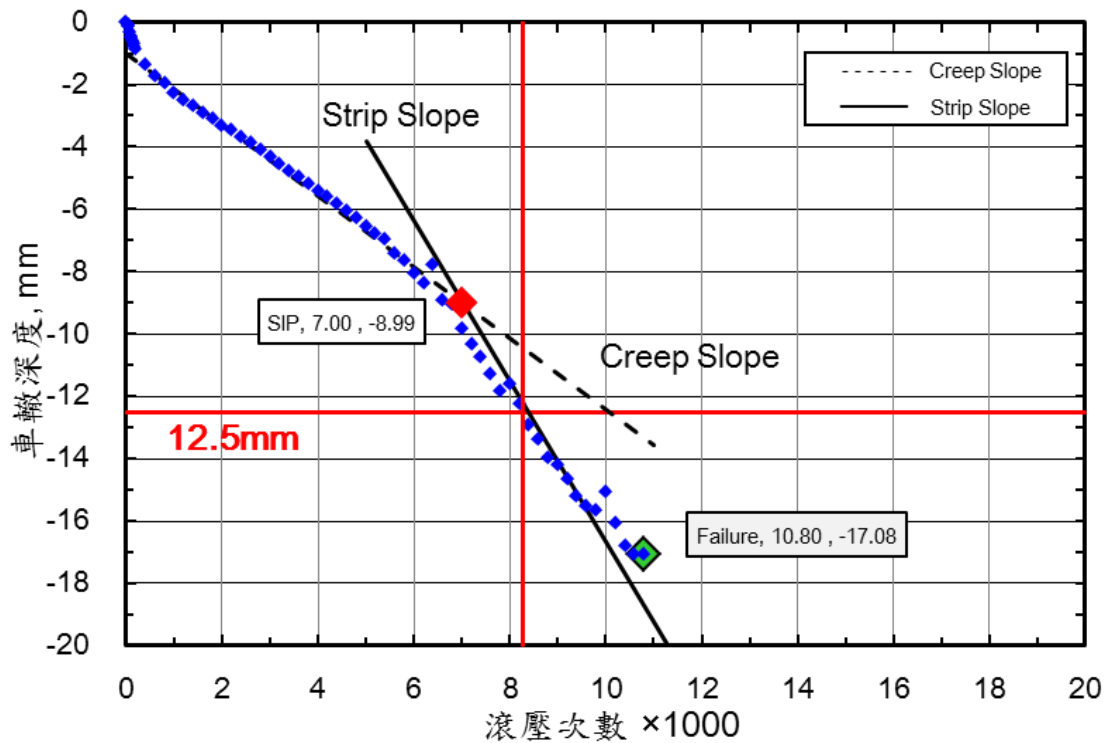


圖 21.漢堡車轍輪跡試驗結果(40%-2)

成效試驗結果分析：

1. 穩定值與流度值：RAP 添加量為 0%、20% 及 40%，穩定值與添加量為明顯正相關(如圖 14)，RAP 60% 穩定值結果則往下降，可歸因為 RAP60% 再生瀝青混凝土配合設計試驗結果中，空隙率不符合配合設計相關規定，以致試體結構性有疑慮。
2. 流度值則與 RAP 添加量無明顯相關性。滯留強度明顯與 RAP 添加量無相關性，如圖 15。
3. 漢堡車轍輪跡試驗：由圖 16 至圖 21 顯示，在本研究中，車轍深度 12.5mm 之輪次平均數以 RAP0% > RAP40% > RAP20%，故若以再生瀝青混凝土(20% 與 40%)而言，RAP 添加比例高者，則漢堡車轍輪次數為高。

第五節 瀝青性質試驗

將新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比，依配比試驗結果配料拌合後，再進行洗油取得回收瀝青膠泥，接著進行後續瀝青膠泥試驗，試驗結果如下所述：

一、黏度試驗結果

依新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比結果拌合後洗油，取回收瀝青進行黏度試驗，結果整理如表 18。

表 18.回收瀝青黏度試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises	RAP 料比例 40%，目標黏度 3000 Poises	RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises
黏度 (Poises)	3,450	5,140	29,500	—

二、針入度試驗結果

依新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比結果拌合後洗油，取回收瀝青進行針入度試驗，結果整理如表 19。

表 19.回收瀝青針入度試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises	RAP 料比例 40%，目標黏度 3000 Poises	RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises
針入度 (0.1mm)	54	47	27	—

三、動態剪切流變試驗結果

依新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比結果拌合後洗油，取回收瀝青進行動態剪切流變試驗，結果整理如表 20。

表 20.回收瀝青動態剪切流變試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises	RAP 料比例 40%，目標黏度 3000 Poises	RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises
Original Binder Grade(°C)	58	70	76	—
RTFO Binder Grade(°C)	52	58	70	—

四、延展性試驗

依新料瀝青混凝土配比及 3 組再生瀝青混凝土配比結果拌合後洗油，取回收瀝青進行延展性試驗，結果整理如表 21。

表 21.回收瀝青延展性試驗結果

項目	新料瀝青混凝土配合設計	再生瀝青混凝土配合設計		
		RAP 料比例 20%，目標黏度 2000 Poises	RAP 料比例 40%， 目標黏度 3000 Poises	RAP 料比例 60%，目標黏度 4000 Poises
伸長平均 值(cm)	>150	>150	28.5	—

瀝青性質試驗結果分析：

1. 黏度值與針入度：黏度值與 RAP 添加量比例成正相關，針入度值與 RAP 添加量比例成負相關；結果與一般認知相同。
2. 動態剪切流變試驗：試驗結果與添加量比例成正相關，結果亦與一般認知相同。
3. 延展性試驗：RAP 添加量比例 0% 及 20% 試驗結果符合新瀝青規範要求，RAP 添加量比例 40% 則遠低於 50，顯見添加太多 RAP，或導致瀝青變脆，降低延展性。

第六節 現地試鋪評估結果

四個工程瀝青磚沈陷評估結果，分別敘述如下：

- (一) 工程 1：台 68 線 5k+000~15k+000 東向路基路面改善工程，RAP 料比例 20%，定期現地量測結果如表 22，瀝青磚沈陷觀測結果如圖 22 至圖 25，瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表如表 23。

表 22.工程 1 瀝青磚沈陷現地評估結果

試驗位置		6k+555					14k+600				
點位		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
觀測日期	方向	單位(mm)，+值代表下陷，-值代表上突									
105.02.18	車道順向	2	3	5	7	1	5	8	7	7	8
	車道橫向	1	4	2	4	1	6	7	5	7	6
105.03.21	車道順向	4	5	5	5	4	6	7	7	8	7
	車道橫向	5	6	4	6	3	7	8	7	8	6
105.05.20	車道順向	5	5	2	8	5	5	7	7	7	6
	車道橫向	7	7	2	8	5	6	7	7	7	7
105.07.18	車道順向	6	5	4	9	6	5	7	8	6	6
	車道橫向	6	9	4	8	5	6	7	7	6	6
105.11.11	車道順向	6	5	5	8	7	5	6	6	6	6
	車道橫向	6	6	5	10	5	6	6	5	7	6

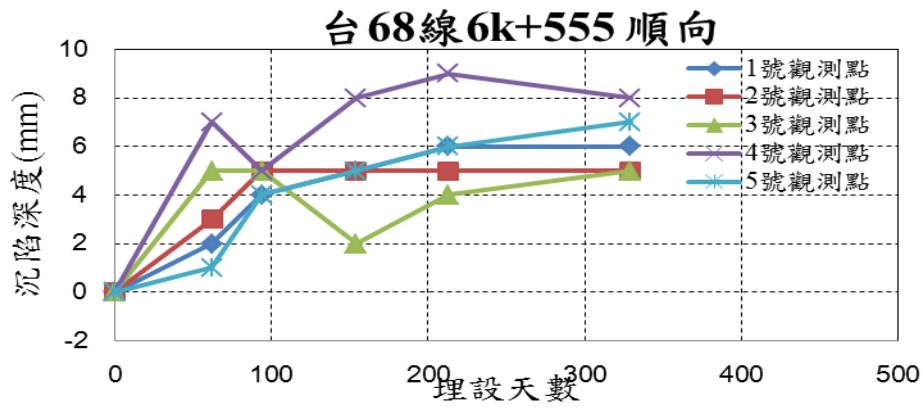


圖 22.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 6k+555 順向

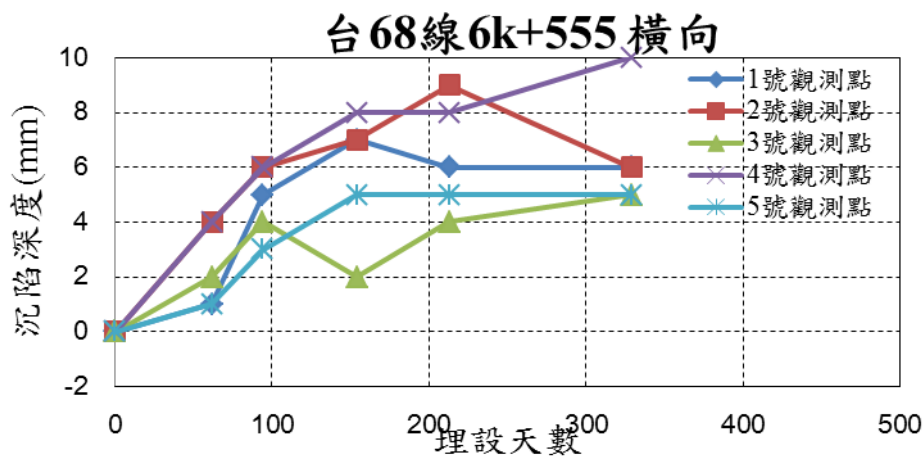


圖 23.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 6k+555 橫向

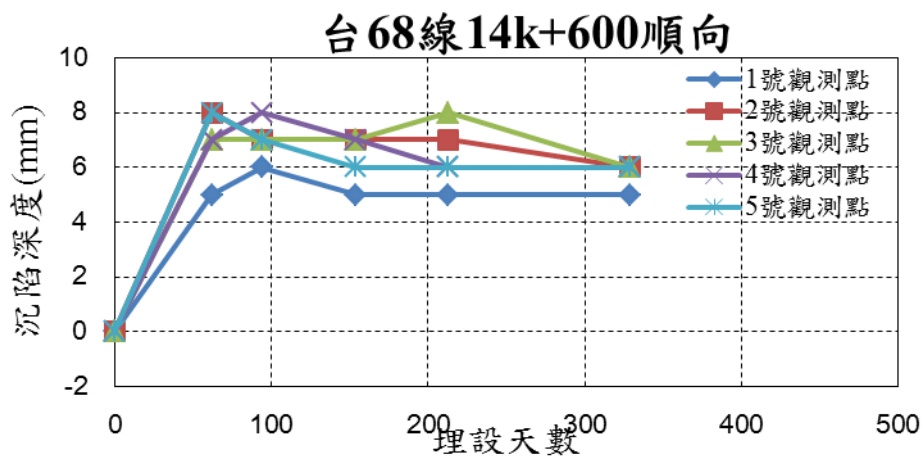


圖 24.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 14k+600 順向

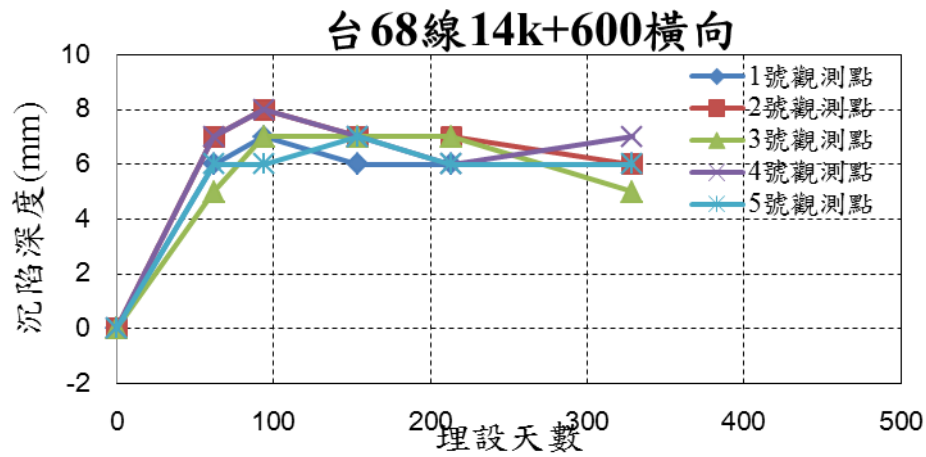
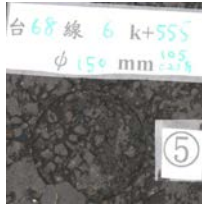
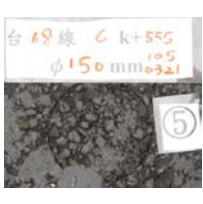






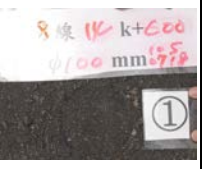








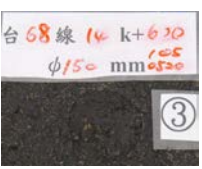


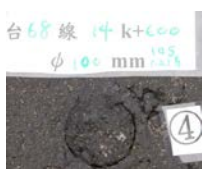











圖 25.瀝青磚沈陷觀測結果-台 68 線 14k+600 橫向

表 23.工程 1 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表

日期 樁號	105.02.18	105.03.21	105.05.20	105.07.18	105.11.11
6k+555-1					
6k+555-2					
6k+555-3					
6k+555-4					

日期 樁號	105.02.18	105.03.21	105.05.20	105.07.18	105.11.11
6k+555-5					
14k+600-1					
14k+600-2					
14k+600-3					
14k+600-4					
14k+600-5					

(二) 工程 2：台 31 線 6k+000~9k+000 段排水及路基路面改善工程，RAP 料比例 20%，定期現地量測結果如表 24，瀝青磚沈陷觀測結果如圖 26 至圖 29，瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表如表 25。

表 24.工程 2 瀝青磚沈陷現地評估結果

試驗位置		7k+050					7k+460				
點位		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
觀測日期	方向	單位(mm)，+值代表下陷，-值代表上突									
105.02.23	車道順向	0	0	0	2	3	2	2	2	3	0
	車道橫向	1	0	0	3	3	3	1	1	3	0
105.03.23	車道順向	2	3	1	5	5	3	1	2	3	0
	車道橫向	3	3	2	5	6	4	2	1	3	0
105.05.23	車道順向	2	3	1	5	5	3	1	2	3	1
	車道橫向	4	4	2	5	6	4	2	1	3	1
105.08.03	車道順向	3	3	4	5	6	3	3	2	3	1
	車道橫向	3	4	4	5	6	3	3	3	4	1
105.10.26	車道順向	2	4	0	4	5	3	5	1	1	0
	車道橫向	2	3	1	3	4	3	5	1	2	2

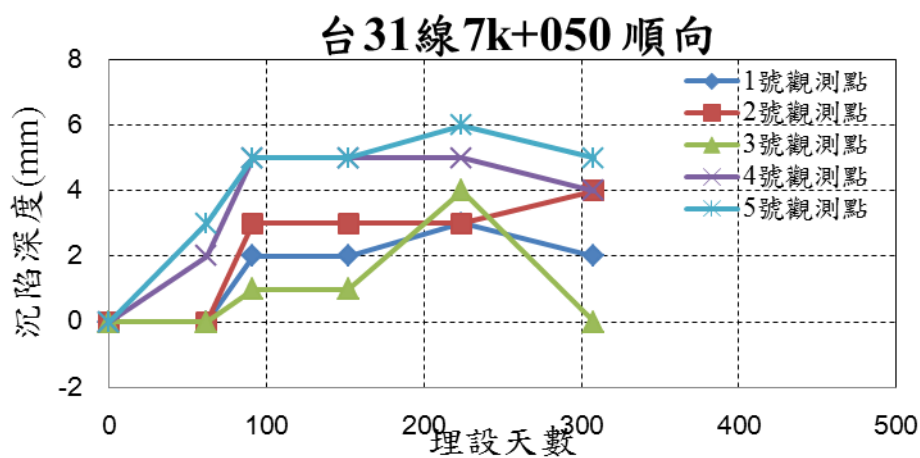


圖 26.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+050 順向

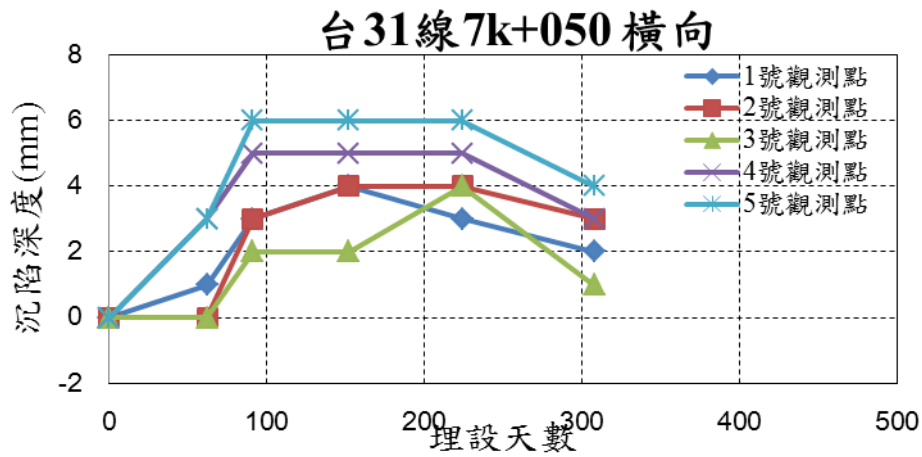


圖 27.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+050 橫向

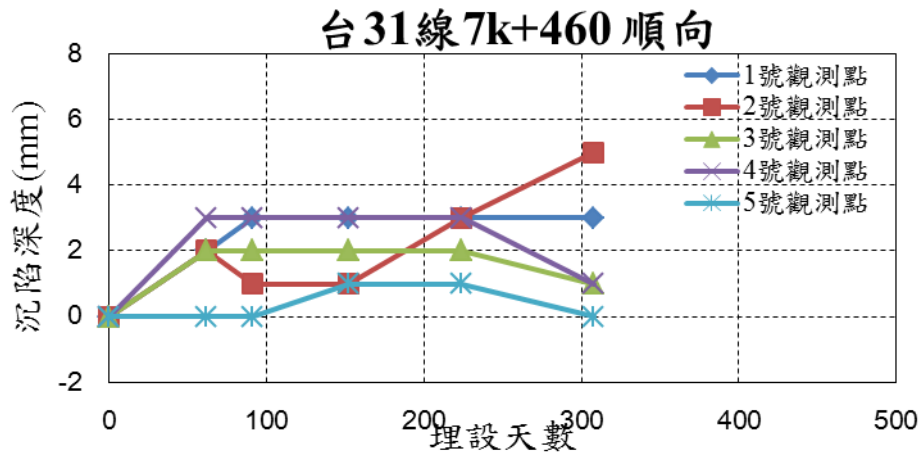


圖 28.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+460 順向

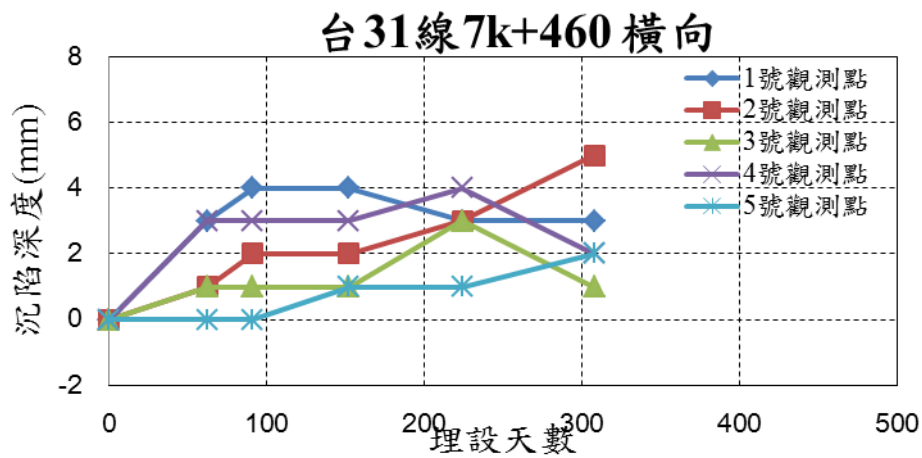


































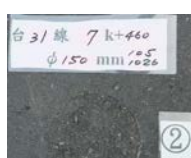

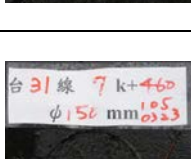
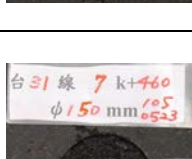

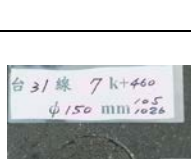

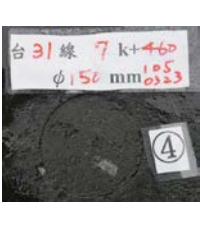










圖 29.瀝青磚沈陷觀測結果-台 31 線 7k+460 橫向

表 25.工程 2 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表

日期 樁號	105.02.23	105.03.23	105.05.23	105.08.03	105.10.26
7k+050 1					
7k+050 2					
7k+050 3					
7k+050 4					
7k+050 5					
7k+460 1					
7k+460 2					
7k+460 3					

日期 樁號	105.02.23	105.03.23	105.05.23	105.08.03	105.10.26
7k+460 4					
7k+460 5					

(三) 工程3:台 61 線 76k+000~85k+829 段兩側慢車道擇要路面整修工程，RAP 料比例 40%，定期現地量測結果如表 26，瀝青磚沈陷觀測結果如圖 30 至圖 33，瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表如表 27。

表 26.工程 3 瀝青磚沈陷現地評估結果

試驗位置		77k+100					77k+240				
點位		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
觀測日期	方向	單位(mm)，+值代表下陷，-值代表上突									
105.03.01	車道順向	0	0	3	1	1	0	0	0	0	1
	車道橫向	0	2	3	2	1	0	0	0	1	1
105.03.28	車道順向	0	0	0	1	2	0	1	4	3	2
	車道橫向	0	0	1	2	2	1	2	4	3	3
105.05.06	車道順向	0	0	0	2	3	0	1	5	4	3
	車道橫向	0	0	1	3	3	1	3	5	3	3
105.07.14	車道順向	2	1	1	3	5	1	2	5	5	3
	車道橫向	3	1	3	4	5	2	3	6	5	4
105.10.06	車道順向	3	2	2	4	6	1	3	7	6	3
	車道橫向	3	1	3	5	5	1	5	7	6	4

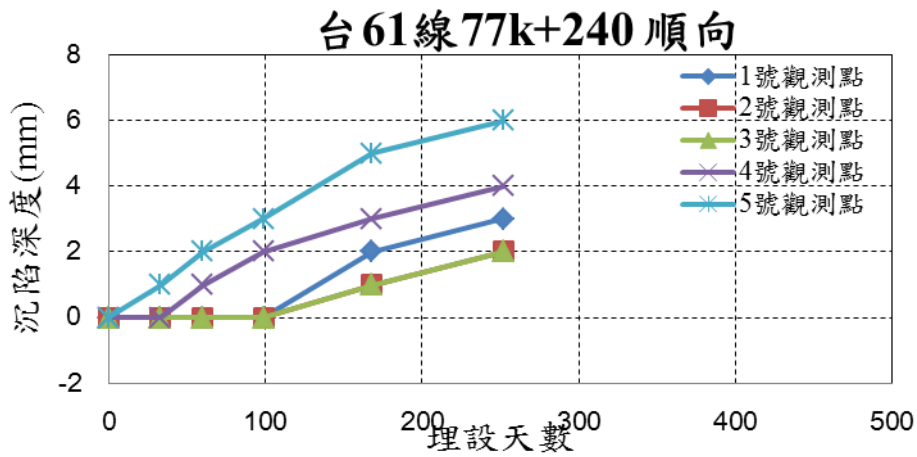


圖 30.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+240 順向

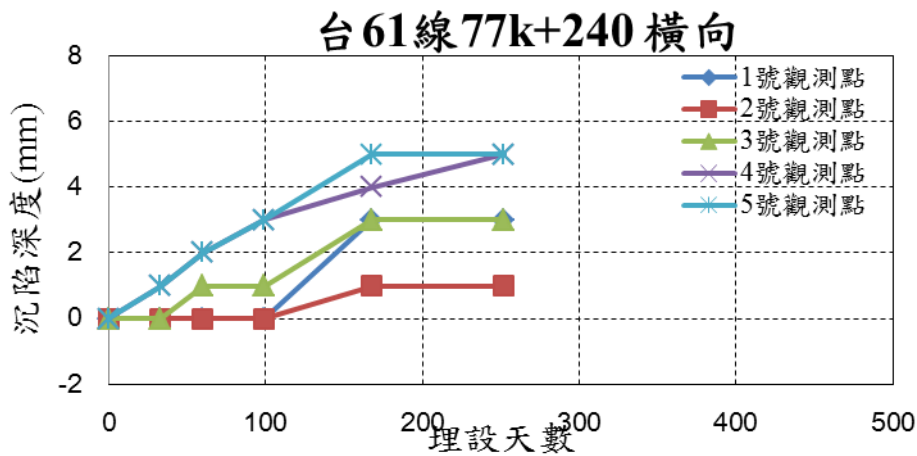


圖 31.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+240 橫向

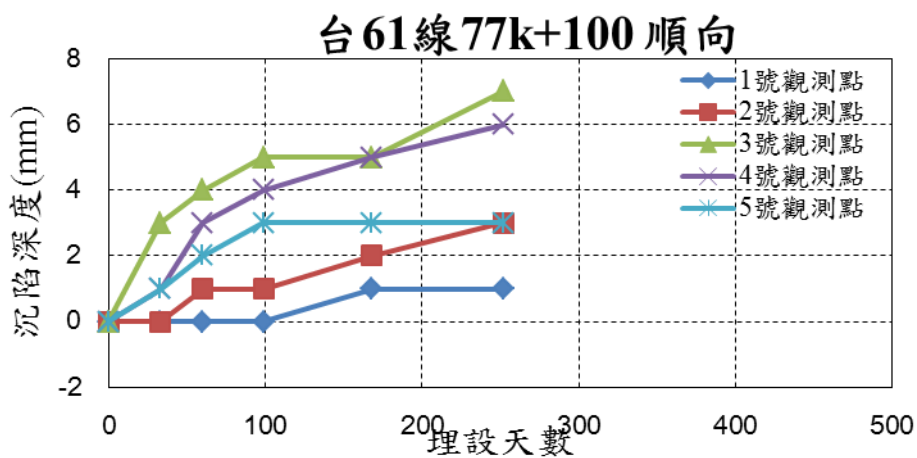


圖 32.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+100 順向

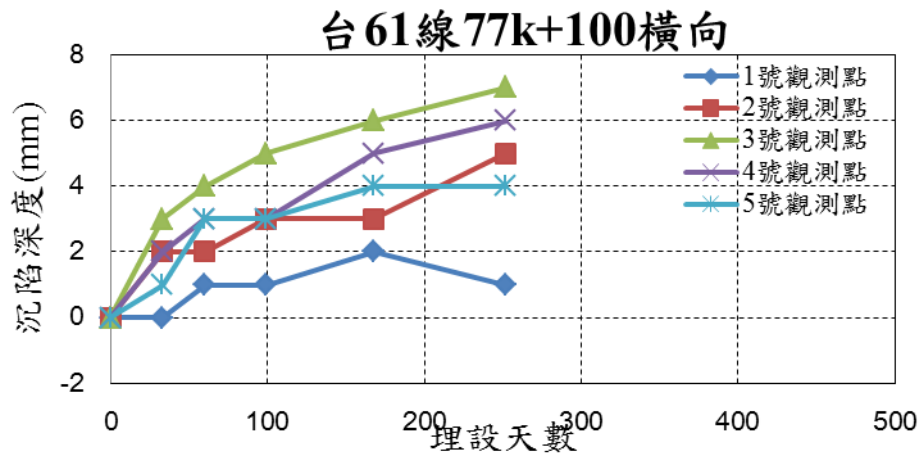


圖 33.瀝青磚沈陷觀測結果-台 61 線 77k+100 橫向

表 27.工程 3 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表

日期 樁號	105.03.01	105.03.28	105.05.06	105.07.14	105.09.05
77k+100 1					
77k+100 2					
77k+100 3					
77k+100 4					

日期 樁號	105.03.01	105.03.28	105.05.06	105.07.14	105.09.05
77k+100 5					
77k+240 1					
77k+240 2					
77k+240 3					
77k+240 4					
77k+240 5					

(四) 工程 4: 台 27 線 25k+532~37k+500 路面修復工程, RAP 料比例 40%, 定期現地量測結果如表 28, 瀝青磚沈陷觀測結果如圖 34 至圖 37, 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表如表 29。

表 28.工程 4 瀝青磚沈陷現地評估結果

試驗位置		35k+300					35k+400				
點位		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
觀測日期	方向	單位(mm)，+值代表下陷，-值代表上突									
105.03.30	車道順向	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1
	車道橫向	0	0	0	0	1	0	3	1	1	2
105.05.13	車道順向	1	0	2	1	2	1	3	4	1	1
	車道橫向	3	0	2	1	2	0	3	1	1	2
105.07.15	車道順向	7	0	3	2	3	1	3	2	2	2
	車道橫向	5	0	1	0	3	1	4	3	2	1
105.09.09	車道順向	7	0	1	1	3	0	4	3	2	3
	車道橫向	5	0	1	0	2	1	3	3	2	1

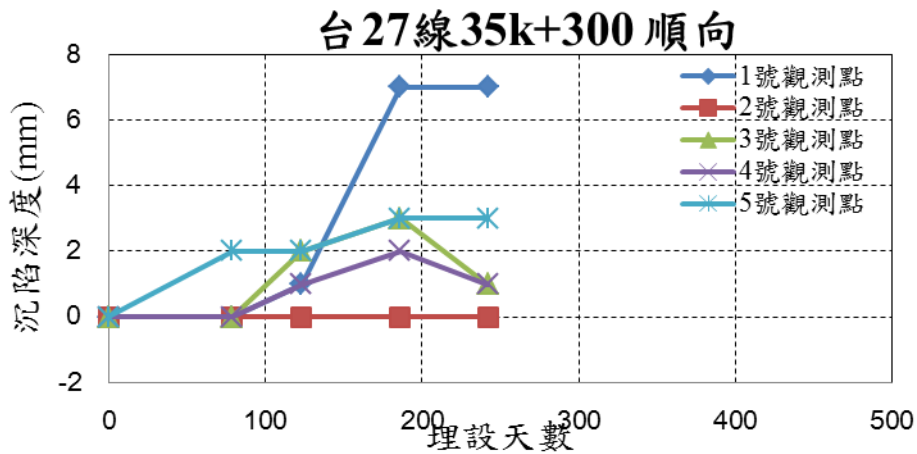


圖 34.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+300 順向

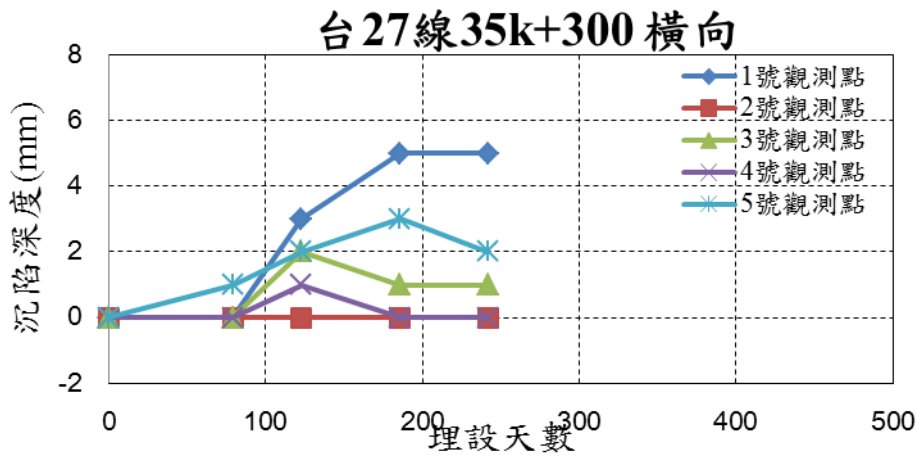


圖 35.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+300 橫向

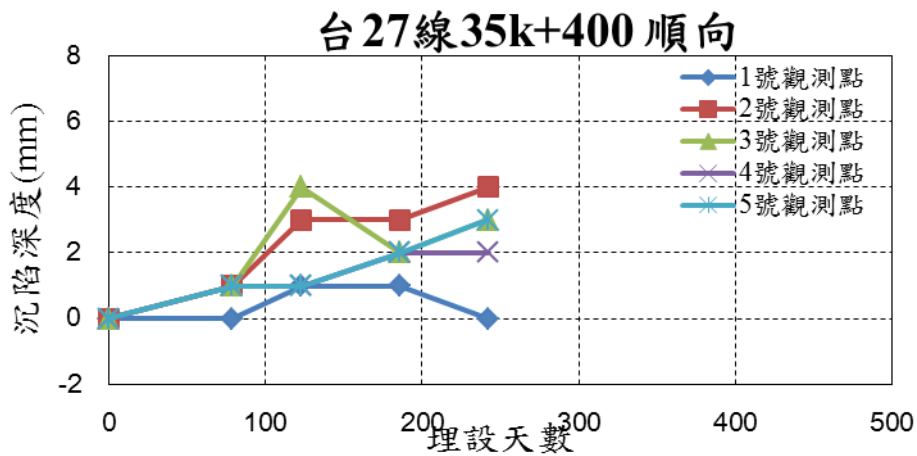


圖 36.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+400 順向

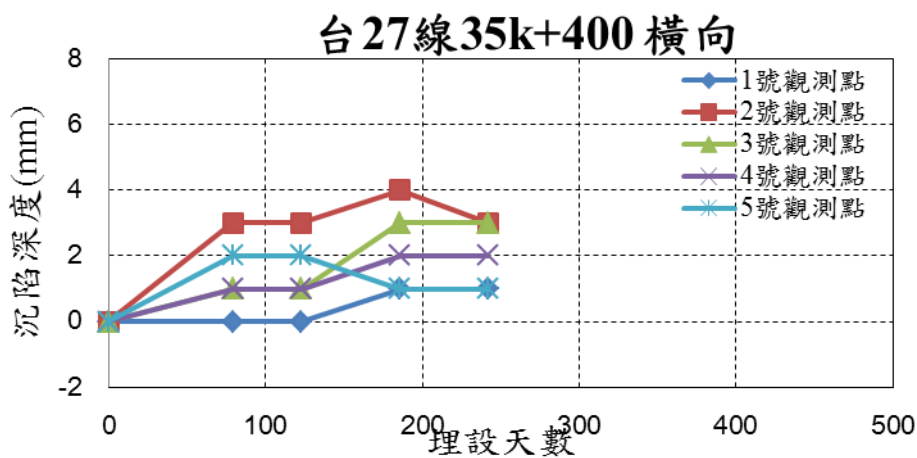






圖 37.瀝青磚沈陷觀測結果-台 27 線 35k+400 橫向

表 29.工程 4 瀝青磚沈陷現地觀測相片矩陣表

樁號 \ 日期	105.03.30	105.05.13	105.07.15	105.09.09
35k+300 1				
35k+300 2				
35k+300 3				
35k+300 4				
35k+300 5				
35k+400 1				
35k+400 2				
35k+400 3				
35k+400 4				

日期 樁號	105.03.30	105.05.13	105.07.15	105.09.09
35k+400 5				

現地試鋪結果分析：

1. 40 點觀測點位中最後 1 次觀測，僅有 5 點大於 6mm，佔總比例之 12.5%，僅有 1 點大於 8mm，佔總比例之 2.5%；且沉陷量隨著埋設天數的增加而趨於穩定，呈現一水平線。
2. 試鋪點位最後 1 次現地觀測圖，可看出與第 1 次現地觀測圖有明顯差別，最後 1 次觀測已明顯融入現地鋪面，看不出明顯切割線。

第七節 瀝青磚摻配比例與去化 RAP 料效益分析

依據本局施工說明書【2】規定，新鋪路面應辦理鑽心或切割試體回收黏度試驗、鑽心試體厚度及壓實度試驗等試驗。本所以瀝青磚用於鑽心後坑洞修補試辦路段(台 1 甲線 16k+000~21k+000)為例，該路段至少需 45 顆直徑 150mm 之瀝青磚，每顆重量約為 2.2~2.3kg，若 RAP 添加比例為 40%，45 顆瀝青磚約消耗 40kg 之 RAP 料。台灣省道公路總長度約 5,000 公里，若以上述例子每 5 公里可去化 40kg 之 RAP 料，則 5,000 公里刨除重鋪約可去化 40,000kg (相當於 40 噸) 之 RAP 料，對於去化 RAP 料有其效用。

第五章 結論與建議

- 一、依 RAP 料添加量比例為 20%、40% 及 60% 試驗結果來看，RAP 添加量比例在 40% 以內還能符合配比規範要求，對於去化過度老化 RAP 料有相當程度之效用。
- 二、在成效試驗中，由力學相關之穩定值試驗與漢堡車轍輪跡試驗的結果顯示，在“符合配比規範要求”下，RAP 料的添加量與這兩項試驗之試驗結果成正相關，顯見 RAP 料添加較多，則抵抗車轍能力較佳，但建議 RAP 之添加比例以不超過 40% 為原則。
- 三、在瀝青膠泥性質試驗中，黏度值隨 RAP 料添加量比例增加而增加，延展性則會越差，顯見 RAP 料添加越多會容易造成鋪面越脆，越無法抵抗反覆載重，進而提早發生疲勞破壞。
- 四、在現地試鋪結果中，試鋪瀝青磚沉陷量低於 8mm 比例為 97.5%，顯見運用過度老化 RAP 料，於現場試鋪效果良好，惟其 RAP 料添加比例宜限制在 40% 以下。
- 五、本研究案現地試鋪點位都為驗收之鑽心點位，若有填補小坑洞需使用瀝青磚時，仍可以過度老化 RAP 料當原料製作瀝青磚，以達去化 RAP 料之效用。

參考書目

- 【1】交通部網站，交通統計，道路長度及橋梁座數，102 年道路長度及橋梁座數概況，擷取日期：2014 年 9 月 12 日，網站：<http://www.motc.gov.tw/>。
- 【2】交通部公路總局，施工說明書，2012 年 10 月。
- 【3】Asphalt Institute Manual Series No.2(AI MS-2) Sixth Edition, “Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types”,1995.
- 【4】美國聯邦公路總署(FHWA)出版「SUPERPAVE Asphalt Mixture Design」(第 4 版)。
- 【5】National Cooperative Highway Research Program (March 2001—Number 253), “Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Guidelines”
- 【6】張強、王鵬（2006），瀝青路面的老化與再生應用，華東公路月刊。
- 【7】經濟部標準檢驗局，「CNS 14186 無填充料瀝青黏度測定法（布魯克熱力黏度計法）」，87 年 8 月。
- 【8】經濟部標準檢驗局，「CNS 12395 以馬歇爾儀試驗瀝青混合料塑性流動阻力試驗法」，77 年 8 月。
- 【9】經濟部標準檢驗局，「CNS 10090 瀝青物針入度試驗法」，72 年 3 月。
- 【10】黃三哲、陳仙州、洪明澤、蘇信詠、呂怡廷(2014)，瀝青鋪面磚應用於道路之研究，交通部公路總局 103 年度自行研究計畫。
- 【11】AASHTO T283,“Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage”,2014.
- 【12】AASHTO T324,“Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) ”,2016.
- 【13】M. W. Witczak,K. Kaloush,T. Pellinen,M. El-Basyouny (2002), “Simple Performance Test for Superpave Mix Design,”NCHRP report 465,

Transportation Research Board — National Research Council National Academy Press Washington, D.C.

- 【14】符曉天（2010），再生瀝青混凝土添加再生劑之成效研究，高苑科技大學土木工程學系碩士論文。
- 【15】蕭志銘（2006），回收料老化程度對再生瀝青混凝土黑石頭現象影響之研究，國立成功大學土木工程學系碩士論文。
- 【16】陳志銘（2006），分析現地再生瀝青混凝土性質與路面績效關係，國立成功大學土木工程學系碩士論文。
- 【17】曾文永（2007），再生瀝青混凝土黏滯度與現場鋪設時間及溫度之研究，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
- 【18】陳建旭、張介民、張晏瑞、吳資彬，「瀝青混凝土性質對降溫過程之影響」，中華民國第十四屆鋪面工程學術研討會暨 2007 年世界華人鋪面專家聯合學術研討會，2007。
- 【19】林志棟、王劍能、陳德成，「美國 Superpave 瀝青膠泥 PG 等級介紹與應用」，鋪面工程，第五卷 第二期，pp. 1-10，2007。
- 【20】吳學禮，「鋪面、材料工程實務」，詹氏書局，2005。
- 【21】張學鴻（2005），再生瀝青混凝土性質之評估，國立中央大學土木工程學系碩士論文。
- 【21】林東慶（2004），依據瀝青性質評估再生瀝青混凝土添加比例，國立成功大學土木工程學系碩士論文。
- 【23】E. Ray Brown, M. Rosli Hainin, Allen Cooley, Graham Hurley (2004), "Relationship of Air Voids, Lift Thickness, and Permeability in Hot Mix Asphalt Pavements," NCHRP report 531, Transportation Research Board Washington, D.C.
- 【24】Farhana Rahman, Ph.D., Mustaque Hossain, Ph.D. (2014), "Review and Analysis of Hamburg Wheel Tracking Device Test Data," Report No. KS-14-1, Final Report, Kasas Department of Transportation.
- 【25】State of California Department of Transportation Notice to Bidders and

Special Provisions,” For Construction on State Highway in Kern County Near Taft from 0.2 Mile West of Airport Road to 0.3 Mile West of Lakeview Wash Bridge”,2012.

- 【26】 The Superpave Asphalt Research Program 網站， Superpave Mix Design， Evaluation of Moisture Susceptibility， 擷取日期：2014 年 9 月 12 日， 網站：<http://www.utexas.edu/>。
- 【27】 林志棟、魏光譽、吳國洋、鄭進源（2012），「台灣地區混凝土材料碳排放減量評估」，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。