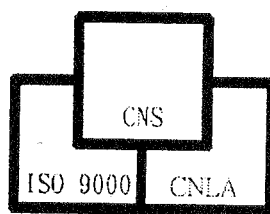


台灣地區鋪面工程發展及願景研討會專輯

編輯：林志棟、梁順榮、童文彥



中大創新育成中心

主辦單位：國立中央大學土木工程研究所
中華鋪面工程學會
協辦單位：交通部運輸研究所、交通部公路總局
交通部台灣區國道高速公路局
交通部台灣區國道新建工程局
桃園縣政府、中華顧問工程司

中華民國九十四年三月

目錄

- 壹、台灣地區鋪面發展及願景.....1
陳茂南
- 貳、台灣地區柔性鋪面績效評估和展望.....29
林志棟、陳建達
- 參、綠營建道路工程之規劃及設計.....59
沈得縣、郭銘峰、吳佳銘
- 肆、桃園地區鄉道之路面維護管理系統發展.....79
陳文德
- 伍、再生材料於瀝青混凝土路面之應用.....109
邱垂德、陳式毅、黃錦明、呂理成
- 陸、透水性鋪面成效分析及實務探討.....125
林志棟、陳世晃、吳政松、柯振益、葉銘欽
- 柒、鋪面新維修工法之研究與應用.....171
李英豪、葉逸軒、王明仁
- 捌、耐久性鋪面之發展及評估.....191
林志棟、邱垂德、陳順興
- 玖、以平坦度檢測技術提升鋪面品質.....193
林文雄
- 拾、挖掘道及坑洞修補之維護機制..... 209
林志棟、洪境聰、吳宜歡、李長青、陳建達

鋪面新維修材料與工法之研究與應用

李英豪¹ 葉逸軒² 王明仁³

¹ 淡江大學土木工程系教授

² 淡江大學土木工程系碩士班研究生

³ 美商美國機場工程顧問公司台灣分公司、淡江大學土木工程系兼任副教授

摘要

鑑於我國之公路與機場鋪面大多使用瀝青混凝土與水泥混凝土材料，較少探討國外亦常採用之鋪面新維修材料與工法，因此，本研究擬先介紹國內常用的鋪面材料並比較其使用績效，再參考國外經驗介紹半柔性鋪面及連鎖高壓磚鋪面等新維修材料與工法。希望透過對各項新材料之特性、維修時機、所需機具、應用上之限制、與使用績效等之瞭解，能以更客觀、審慎、與有效率的方式配合我國鋪面使用現況，協助工程單位選擇較適宜的鋪面維修策略，以提升鋪面使用壽命、提升行車安全性及鋪面服務品質。

一、前言

交通建設為國家經濟建設發展的維繫命脈，近年來國內為了促進經濟與民生發展，對於公路與機場鋪面之興建、維修、與研究亦投入相當多的資源。我國公路大多使用瀝青混凝土（柔性）鋪面，由於台灣地區氣候潮濕多雨，再加上人口密集、重車多且超載嚴重，造成道路因承載力不足，以致經常需要維修。因此，國人在柔性鋪面方面大多著重在瀝青材料的研究改進上，尤其是在排水性鋪面、透水性鋪面、石膠泥瀝青混凝土(SMA)、再生瀝青混凝土鋪面、與廢輪胎橡膠瀝青混凝土等新科技方面，均有相當不錯的研究成果。

此外，因水泥混凝土（剛性）鋪面具有穩定性高、結構承載力較強、使用壽命較長、與維修少等優點，目前我國機場原始鋪面與在國

道中山高速公路收費站、北二高龍潭收費站、木柵福德隧道、南二高等收費站附近特定路段，均先後採用剛性鋪面，以擔負較高之交通荷重。由於剛性鋪面所需之維修技術較高，施工期間需封閉交通時間較長，影響社會成本甚鉅，因此急需研究改進相關鋪面維修技術與工法。

本研究擬先介紹國內常用的鋪面材料並比較其使用績效，再參考國外經驗介紹半柔性鋪面及連鎖高壓磚鋪面等新維修材料與工法，包括維修時機、材料特性、施工步驟、及所需機具等，並說明不同鋪面材料之差異性，藉以評估其對國內鋪面現況維修之適用性，以供未來新建與維修國內鋪面之參考[李英豪、張德文，2002；Densit, 2000；ICPI, 2004]。圖 1 所示為在相同荷重下，半柔性鋪面、連鎖高壓磚鋪面、傳統柔性鋪面、與剛性鋪面結構厚度設計之比較圖例。

二、傳統鋪面構造與特性簡介

鋪面依其構造的不同主要可分為柔性鋪面與剛性鋪面兩大類。瀝青混凝土(柔性)鋪面主要由面層(Surface Course)、底層(Base Course)、基層(Subbase)、與路床(Roadbed)或路基(Subgrade)組成。波特蘭水泥混凝土(剛性)鋪面則是由混凝土面版、基層、與路床或路基土壤組成。剛性鋪面可將面版上方傳下的壓力分佈至較大面積，因此路基承載強度對版厚影響甚小，混凝土鋪面加建基層之主要目的在防止唧水作用，並非完全為增加鋪面結構強度。鋪面除了可應用於眾所周知的公路與機場外，亦可應用於軌道工程上。

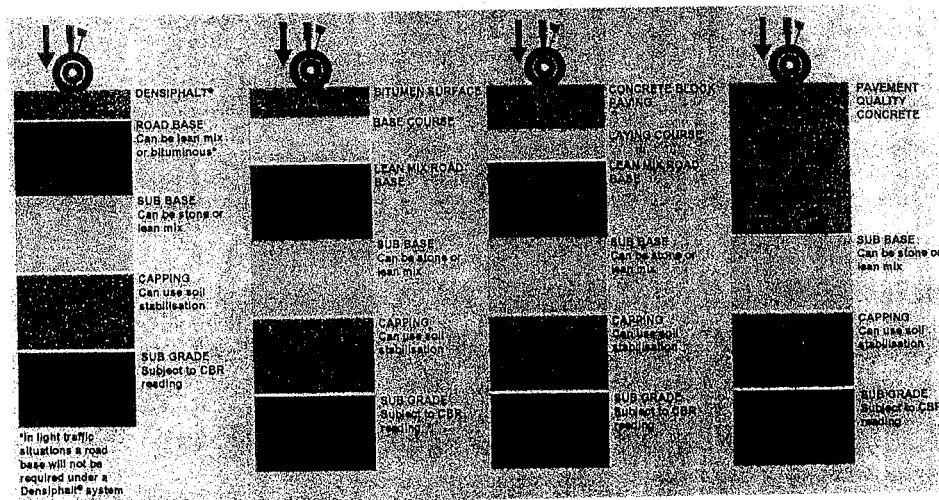


圖 1 不同鋪面結構設計之比較[Densit, 2000]

柔性鋪面有容易施工與養護、行車較舒適、且鋪築費用較低廉等特性，但其交通承載能力較弱且易受溫度及環境的影響。柔性鋪面常受交通載重、材料性質、氣候或環境特性及施工回填不良等因素影響而產生損壞，主要的損壞型態可分為裂縫、修補及坑洞、路面變形、路面粗糙等。台灣地區因重車超載嚴重，柔性鋪面需要整修的頻率也偏高，若是維修養護不良將嚴重威脅到行車品質與安全。

剛性鋪面具穩定性高、結構承載力較強、使用壽命較長、與維修少等優點，但所需建造成本、設計、施工、與維修技術亦較高。剛性鋪面可直接鋪築在較軟弱或含砂質之路基土壤上，亦較不受油污滴落的影響，但所需施工與養治期間較長。為擔負較高之交通荷重與減少後續維修之社會成本，我國機場原始鋪面與高速公路收費站附近及隧道等路段，均先後採用剛性鋪面的方式鋪築，並有逐漸增加的趨勢。以國內最常用的接縫式混凝土鋪面為例，其主要破壞類型包括裂縫、接縫破壞、表面破壞、及其他破壞等。

造成鋪面破壞的原因很多，常見的鋪面維修與養護方法包括全厚度或部分厚度修補、接縫填縫料維修、版基底層的穩定與版升高法、接縫與裂縫處荷重傳遞能力之維持、鋪面表面刨除處理、加鋪柔性或

剛性鋪面、再生瀝青混凝土鋪面、與重建等。國內在鋪面損壞的維修方面，大多是根據過去累積的經驗和材料廠商提供的施工程序，來作為施工的準則。然而，國內鋪面維修完成後不久，常可發現再次產生破壞，因此，如何尋求較佳的維修材料與工法，以有效地維修損壞、延長鋪面服務年限、並提高其行車舒適度和安全性，成為國內鋪面工程界急需思考與正視的問題。

三、Superpave 成效規範與國內常見瀝青材料研究簡介

近年來，國人在柔性鋪面方面大多著重在美國 Superpave 成效規範與瀝青材料的研究上，對於排水性鋪面、透水性鋪面、石膠泥瀝青混凝土(SMA)、再生瀝青混凝土鋪面、與廢輪胎橡膠瀝青混凝土等新科技，亦有投入相當多的資源與人力積極從事研究。透過對瀝青材料配比設計之改進，並以試拌與試鋪的方式，落實鋪面新維修技術在國內的研發與應用。由國人自行研發之半剛性混凝土鋪面亦是不錯的範例[呂正宗，1996；沈得縣、呂正宗，2000；2002]。

3.1 美國 Superpave 成效規範

傳統瀝青規範主要是以針入度、黏度、與 TFO 老化試驗來測試瀝青的品質，由針入度可知瀝青在 25°C 之稠度與流動性，由黏度試驗可提供瀝青在 25, 60, 135°C 的稠度、溫感性、施工溫度與高低溫性，而 TFO 老化試驗則可提供其硬化性與穩定性、但與環境溫度無直接關係。

Superpave(績優鋪面)計劃隸屬於美國公路策略研究計劃(SHRP, 1987-1992)範圍，其初期的研究經費高達美金五千萬元。而眾所周知的 Superpave 成效規範的精神乃是在規範瀝青在高溫抗變形、中溫耐疲勞、低溫抗脆化能力及抗老化能力，因此，直接將路面可能遭遇之最高與最低溫度加入規範中，最高溫度由 46, 52, 58, 64, 70, 76 至 82°C，而最低溫度由 -10, -16, -22, -28, -34, -40 至 -46°C。成效規範共分

37 級，例如 PG64-10 代表瀝青路面可能遭遇之最高溫度為 64°C、最低溫度為 -10°C。一般認為適合於台灣地區之最高溫度約為 58, 64, 70 至 76°C，最低溫度約為 -10°C。目前鋪面最高溫與最低溫之預估公式，乃是經由分析美國長程鋪面績效(LTPP)資料庫之成果。

然而，Superpave 成效規範與傳統規範一樣，僅規範瀝青品質，並未規範粘結料品質。該成效規範仍存在有溫感性問題，其低溫次規範與傳統粘度規範下之針入度近似。溫感性不同將影響流變行為的變化，溫感性低時傾向於假塑型流體，具較高延遲彈性，但不利於低溫時的潛變鬆弛應力性質，容易破裂。石粉量增加流變行為變小，粘結料勁度可大幅提高，粘附性亦大幅降低，對其成效影響極大。一般煉油廠採多聚磷酸改善其溫感性，但造成吸水嚴重剝脫、裂縫與過度提高粘結料稠度、降低粘結性。而成效規範僅規範瀝青材料特性之最小值(如 $G^*/\sin\delta$)，但無法規範其硬化性或穩定性，因此仍有「成效規範未必成效」之譏[林志棟、姜榮彬，2001；李英豪、張德文，2002]。

3.2 排水性鋪面

排水性瀝青鋪面又稱多孔隙瀝青混凝土或開放性級配瀝青混凝土，我國國道中山高速公路自開始興建以來即是採用美國規範(FHWA, 1974)，於面層加鋪 1.5 公分的開放性級配瀝青摩擦層(OGFC)。排水性瀝青鋪面的最大好處在於提供高骨材孔隙率以增強鋪面抗摩擦、水滑、與濺潑之能力，並可降低噪音。歐洲地區自 1980 年起亦大量使用排水性瀝青鋪面，並且增大其骨材標稱粒徑及厚度。日本在 1989 年開始試鋪排水性瀝青鋪面，並於 1998 年訂定「排水性鋪裝技術指針(案)」。歐洲與日本在排水性瀝青鋪面之一般設計厚度約為 4~5 公分。美國在 1990 年亦修改其配合設計將排水性瀝青鋪面之厚度增加至 1 英吋，並使用纖維填充料以增加其抗垂流能力或石灰填充料以增強其抗剝脫能力。

排水性瀝青鋪面與傳統密級配瀝青混凝土鋪面主要的不同在於材料的選用比例；前者所需之粗骨材約佔 80%、細骨材約佔 10%、填充料約佔 5%、與瀝青約佔 5-6%，而後者所需之粗骨材約佔 55%、細骨材約佔 34%、其他則約相同。再者，排水性瀝青鋪面所需使用的材料包括高粘度改質瀝青、添加橡膠之瀝青乳劑粘層、具二個破碎面 90%以上之粗骨材、石粉填充料、纖維質、補強材、與防剝劑。在配合設計方面，排水性瀝青鋪面所需之最佳瀝青含量係以粘結材之垂流 (Run-off) 試驗決定其最大用油量，以肯塔堡試驗 (Cantabro 侵蝕試驗) 決定其最小用油量。將垂流試驗的結果繪出一條瀝青垂流百分率與瀝青含量之對應曲線，曲線明顯之轉折點或兩條切線之交點，即可求其所對應之瀝青含量值，一般最大用油量約為 4~6%。排水性瀝青鋪面在受到車輪滾壓與砂土灰塵異物堆積後，將使其孔隙機能降低，一般必須採「高壓清洗與吸引方式」之高壓清洗車來清理，日本以半年為一清洗週期，我國高速公路可能需更頻繁。再者，若是交通與重車比例提高過大，開放性級配瀝青摩擦層 (OGFC) 將難以承擔長期重車荷載，我國中山高速公路於面層僅加鋪 1.5 公分的 OGFC 是否恰當？值得深入探討 [李英豪、張德文，2002]。

3.3 透水性鋪面

透水性鋪面使用孔隙率高且透水性良好之級配材料於面層和基底層，使水可經由鋪面直接滲入路基土壤。透水性鋪面為使雨水能完全滲入土壤，所以在透水級配層上鋪設多孔隙瀝青混凝土，避免採用不透水的黏層。透水性鋪面因為路基及基層土壤長期處於超飽和狀態，將使路基土壤之剪力強度降低及抗變形能力不足。目前技術上尚無完善之解決方法和合適之規範，因此目前大多適用於人行道、停車場及輕交通荷重之鋪面。

國內透水性鋪面之發展現今仍處於研發階段，國內行人專用道與

市區道路，因為其耐用、美觀及地下工程等設施為考量，目前仍採用不透水性鋪面為主。另外，透水性鋪面與排水性鋪面往往會造成混淆，然而此兩種鋪面因為結構上的不同，而使水在鋪面下產生的流動方式也不同，圖 2 所示為不同鋪面型式之排水方式。

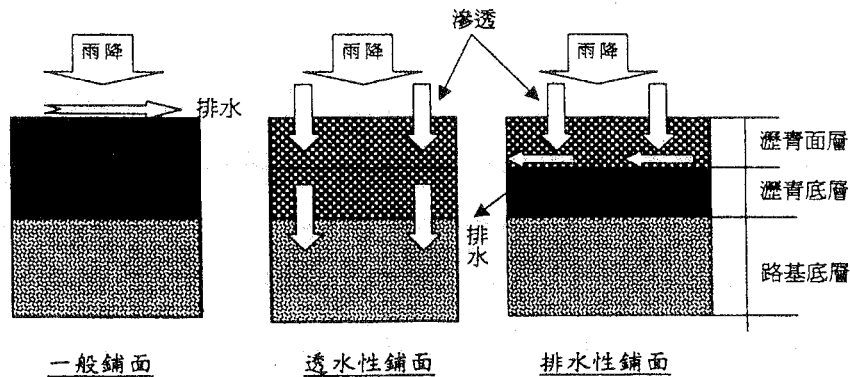


圖 2 不同鋪面型式的排水方式[內政部建築研究所，2003]

3.4 石膠泥瀝青混凝土鋪面

石膠泥瀝青混凝土(SMA)發展的歷史極早，歐洲國家在 1960 年起即已開始使用，而美國與日本直到 1990 年以後才開始採用。石膠泥瀝青混凝土(SMA)是為抵抗重荷重交通所形成鋪面車轍破壞而發展的一種新式瀝青鋪面材料，石膠泥瀝青混凝土的設計理念在採用跳躍級配瀝青混凝土且較高比例之粗骨材，藉由高瀝青用量、細料填充料、與穩定劑以充分穩定粗骨材架構，目的在將混凝土的受力機制，從整體瀝青混凝土承擔轉換為以粒料級配的架構承擔，其間的空隙再利用瀝青膠泥混合細砂及礦物填縫料形成的瀝青膠砂漿(Mastic)填充，使 SMA 兼具耐久性和抗變形能力，在交通荷重高的鋪面使用有良好成效。SMA 所需使用之材料建議瀝青膠泥採 AC-20 以上、粒料需檢驗扁平率、並添加石粉或礦物填充料及纖維添加物。石粉或礦物填充料可增加抗剝脫或抗疲勞能力，而添加木質纖維或礦物纖維則可降低其垂流率約 0.3% 以下。歐洲各國近二十多年的經驗顯示，SMA

之耐久性、摩擦力、抗車轍能力、與抗疲勞能力均明顯較傳統熱拌瀝青混凝土(HMA)為佳。由於美國與日本在石膠泥瀝青混凝土研究之經驗較少，因此在設計方面建議採用歐洲各國仍沿用傳統之馬歇爾配合設計法較適當[李英豪、張德文，2002]。

國內相關鋪面施工單位，為了改善鋪面受重壓產生的車轍問題，已引進 SMA 進行試鋪。公路總局針對有砂石車通行，致使鋪面有嚴重車轍及剝脫鬆散等損壞的路段，在鋪面改善工程中，路段嘗試改用 SMA 鋪築。試鋪結果顯示，鋪築之 SMA 路面平坦度良好，壓實度也可達到要求，鋪設成效尚為良好。但 SMA 可能是一種敏感度高的材料，在配合設計、材料選用、生產製程及鋪築施工等各階段，皆必須相當謹慎，稍有疏忽則很容易因材料析離而於鋪面完工後出現油斑。

3.5 再生瀝青混凝土鋪面

再生材料應用於熱拌瀝青混凝土的主要原因，可追溯至 1973 年世界能源危機與世界各國均普遍面臨到骨材粒料日漸匱乏的問題。我國行政院環保署與公共工程委員會並於 1999 年一月頒佈「瀝青混凝土再生利用暫行作業要點」，以便於再生材料之應用。一般而言，瀝青混凝土回彈模數值較高，其疲勞年限亦較高。然而，若是回彈模數值太高則容易產生溫度龜裂，模數值太低則容易產生車轍。在國內初步的再生瀝青混凝土鋪面(RAP)成效試驗中發現，增加添加刨除料百分比，將會使回彈模數與間接張力強度增加、使潛變與輪跡車轍降低、在平坦度與抗滑度方面則與傳統 HMA 無顯著差異。RAP 配合設計必須特別注意的事項包括回收之瀝青含油量、黏滯度、與粒料篩分析。國內一般准許將所需新添加瀝青含量酌減 0.2~0.3%。同樣地，RAP 所需之瀝青材料在等級分類上，主要可分為針入度與黏滯度(60°C 絕對粘度與 135°C 動粘度)二種，日本廠拌再生鋪裝技術指針係採用前者。當再生瀝青混凝土鋪面應用於美國 Superpave 配合設計

時，必須考慮 RAP 粒料之吸油率。RAP 粒料吸油率低時，建議以其有效比重代替虛比重；吸油率高時，建議必須先求出吸油率以回算其虛比重。[李英豪、張德文，2002]

3.6 廢輪胎橡膠瀝青混凝土

廢輪胎橡膠瀝青混凝土係採用廢輪胎橡膠改質劑(CRM)，主用的工法可分為溼式與乾式二種。一般所謂之廢輪胎橡膠瀝青(Asphalt Rubber, AR)係採溼式工法或 McDonald 工法，而俗稱之橡膠瀝青混凝土(Rubber Modified AC, RMAC) 係採用乾式工法。至於廢輪胎粉的種類，一般依其顆粒大小可分為大車胎 30 號篩(0.60mm)以下與小車胎 30 號篩或 20 號篩(0.85mm)以下，美國亞利桑那州、加州、與佛羅里達州均有完整品質規範，並以 175°C 粘度檢測其特性。由於廢輪胎橡膠瀝青混凝土在鋪築之後，橡膠顆粒持續與瀝青交互作用，體積膨脹可能持續進行，因此在密級配中可能產生體積不穩定、發生鬆散剝脫、與容易產生永久變形等問題。廢輪胎橡膠瀝青混凝土在配合設計方面，溼式工法係採用瀝青重量百分比計算，一般約為 5%至 20%以上，由於廢輪胎粉添加量較少、顆粒較細，因此有機會與瀝青反應。而乾式工法所需之廢輪胎粉，係以混合料骨材重量百分比計算，一般約為 1 至 3%，由於添加量較多、無足夠的反應溫度與時間、可採較粗顆粒，因廢輪胎粉與骨材比重不同，常需改變骨材級配(開放級配或越級配)，因此美國亞利桑那州、加州、與佛羅里達州已排除此法。由於其與密級配拌成之混合料很可能不易壓密，在抗水侵害試驗得知越級配之混合料有較高之張力強度，因此建議可採用越級配之廢輪胎橡膠瀝青混凝土。

一般而言，廢輪胎橡膠瀝青混凝土所需之瀝青含油量需提高 0.5~1%以上，其回彈模數值較低、抗變形能力較差、潛變量較大，因此而降低其耐疲勞性，可使用年限亦較短。根據國外的經驗顯示，將

廢輪胎橡膠瀝青混凝土應用於應力吸收層(SAMI)或填縫，效果相當不錯。國內在此方面的經驗較少，初期試驗道路大量使用廢輪胎粒、拌合溫度高、污染量大、臭味濃、施工性差，並且施工時粘滾輪、滾壓困難，不僅壓密度低、容易剝脫與鬆散，在低溫時易產生橫向裂縫，而且費用太高、初期結果相當差。近期道路試驗採用溼式工法較多，並將廢輪胎粒降至通過 80 號篩以下，用量降至 0.5~1%，其成效與傳統熱拌瀝青混凝土鋪面相似[李英豪、張德文，2002]。

3.7 半剛性混凝土鋪面

半剛性水泥瀝青砂漿係以界面活性劑處理乳化瀝青水泥膠泥，此種材料可保留瀝青混凝土之彈性性質，也可加強並改良瀝青混凝土之力學特性。在半剛性水泥瀝青砂漿中加入粗骨材後即變為半剛性瀝青混凝土。半剛性瀝青混凝土之成功研發主要在於界面活性劑化學反應之突破。在過去水泥只能在不使乳化瀝青還原之情況下進行添加，而乳化瀝青使用時必須先將骨材濕潤才可拌合。國內在此研發過程中，已可讓陰、陽離子界面活性劑混合使用，使改質後之懸浮膠乳能穩定存在，並與水泥及粒料直接接觸時不必再先加水濕潤。如此能增加半剛性瀝青混凝土之施工便利性、降低含水量，及提高其強度。半剛性瀝青混凝土之水泥含量越高，其抗壓強度及馬歇爾穩定值越高，若是使用骨材顆粒越粗及膠體強度越高者，則其混凝土抗剪強度越高。半剛性瀝青混凝土之抗車轍能力較熱拌瀝青混凝土為佳，但由於孔隙率不足，所以在高溫時表面較容易冒油 [呂正宗，1996；沈得縣、呂正宗，2000；2002]。

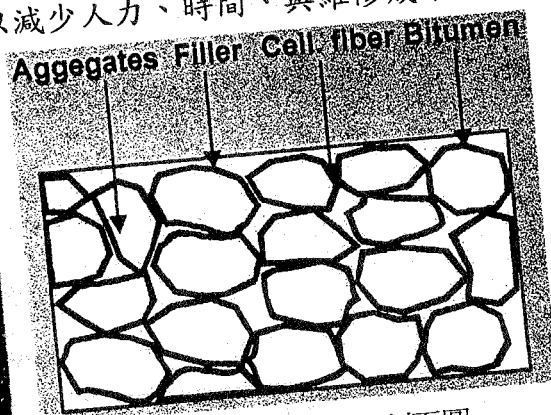
四、Densiphalt 半柔性鋪面

Densiphalt 半柔性鋪面由多孔隙瀝青混凝土及特殊的水泥砂漿所組成，其主要設計理念在於將特殊水泥砂漿填充在開放性級配混凝土

的孔隙中，將柔性鋪面與剛性鋪面之特點結合，所以亦稱為半柔性鋪面，如圖 3(a)所示。此種鋪面結合了柔性鋪面彈性佳且無接縫和剛性鋪面承载力與耐久性佳的優點，適用於交通荷重大之區域，如機場停機坪與跑道末端、工業區倉庫與廠房、貨櫃碼頭、貨運站、與倉庫、重交通荷重通過的道路與交叉路口等鋪面，但較不建議鋪設在交通荷重輕之區域。施工容易且迅速是半柔性鋪面的另一項優點，不僅所需鋪設時間短、並且適合鋪設在對荷重、耐久性、抗凍融、與抗化學能力的要求較高的區域上。半柔性鋪面無接縫、行車舒適，施工過程短、開放通車時間也較快。為解決原有剛性或柔性鋪面之表面破損、剝落等損壞，或需要抗凍融能力佳、能承受高荷重、提供較高抗滑和抗磨損能力、抵抗車轍或油污侵蝕、或防止透水等問題，均可考慮在原鋪面上加鋪半柔性鋪面，以減少人力、時間、與維修成本。



(a) 鋪面結構



(b) 多孔隙瀝青混凝土剖面圖

圖 3 Densiphalt 鋪面之圖例 [Densit, 2000]

4.1 使用材料與機具

半柔性鋪面所採用的多孔隙瀝青混凝土 (Densiphalt Asphalt) 材料中包含骨材、瀝青、填充料及木質纖維之混合物，如圖 3(b) 所示。多孔隙瀝青混凝土在傳統的瀝青拌合廠配比拌合製造即可，拌合廠以具備有平台篩石機來篩選適合的單一尺寸骨材為佳，正確之拌合將有助於提昇其鋪築成效。盤式拌合廠之拌合溫度須在 $140 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，且在

任何時間下不可超過 160°C，拌合過程中，應先將骨材、木質纖維、及填充料充分拌合後，再加入瀝青。木質纖維應為鬆散狀，不可為粒狀。此外，在拌合生產多孔瀝青混凝土前，拌合鼓及熱料倉必須先清理乾淨前次拌合生產時殘留其上的雜質，以免影響瀝青之含油量及級配。多孔瀝青混凝土在拌合時，必須將孔隙率控制規範規定之範圍內，以免對後續施工性質產生不良之影響。

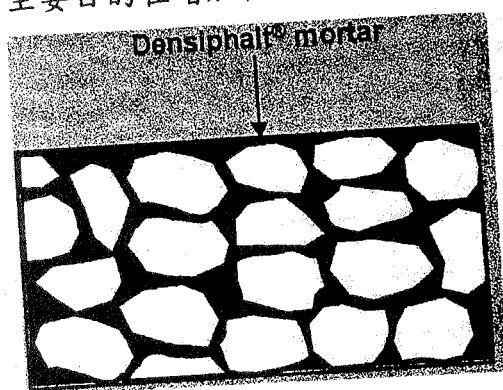
多孔瀝青混凝土之配比中粗骨材約佔 91.2~92.2%、瀝青佔 3.6~4.6%、填充料佔 4.0%、木質纖維佔 0.2%的總重。拌合完成後，多孔瀝青混凝土的空隙約佔全體積的 25~30%，其比重較一般瀝青混凝土為輕，大約在 1,850 kg/m³ 左右。多孔瀝青混凝土主要分為 T8 及 T12 兩種類型，T8 型之面層厚度約為 3.0~5.0 cm，T12 型則約為 4.0~6.0 cm，其粒料級配之累積過篩百分比如表 1 所示。

表 1 多孔瀝青混凝土粒料級配(累積過篩百分比)

多孔瀝青混凝土	T8 型	T12 型
3/4" (19mm)	100%	100%
1/2" (12.5mm)	100%	95 ~ 100%
5/16" (8mm)	95 ~ 100%	< 20%
#4 (4.75mm)	< 30%	< 12%
#10 (2mm)	< 10%	< 10%
#200 (0.075mm)	4~5%	4~5%

半柔性鋪面所採用的特殊水泥砂漿是由特製水泥(C₃S)、摻料(S)、強塑劑(super-plasticizer)及水所拌合而成，其水與特製水泥(C₃S)加摻料(S)之用量比(w/p ratio)約為 0.18~0.22，如圖 4(a)所示。此種鋪面以特製配比之水泥砂漿為連結材，以增加其抗壓強度，其特點在使養治時間減少、水化熱提高、熱延展性減慢、且使產生水化作用所需水量相對減少。強塑劑能增加粒料之滑潤性和包裹住粒料，使其粒料表面失去相吸引的力量，使顆粒與顆粒之間因帶負電而互相分離，增

加顆粒與顆粒之間滑潤性。加入特殊的超細微粉粒(microsilica)的摻料
主要目的在增加抗壓強度和提供粒料間之滑潤性並減少摩擦力。



(a)剖面圖[Densit, 2000]



(b)砂漿鋪抹之施工情形(建中瀝青)

圖 4 Densiphalt 圖例

4.2 施工方法及步驟

半柔性鋪面之鋪築程序中，主要的步驟包括：(1)鋪設多孔隙瀝青混凝土。(2)均勻澆置特製之水泥砂漿。(3)養治與開放交通。鋪築過程中首先將拌合料（溫度控制約為 $125\sim 130^{\circ}\text{C}$ ）倒入鋪裝機，利用鋪裝機來鋪設多孔隙瀝青混凝土，鋪設完成後（溫度約降至 90°C ）再以鐵輪壓路機來回滾壓二趟，重複滾壓次數不可太多以免造成孔隙率偏低，導致隨後水泥砂漿澆置不易。多孔隙瀝青混凝土鋪設完成後，鑽心採樣試體之空隙率大約為 $25\sim 30\%$ 。待多孔隙瀝青混凝土表面溫度降至常溫後，才可進行鋪設水泥砂漿之步驟。水泥砂漿鋪設前，須先檢驗其流度是否符合標準並隨時校正之，再將水泥砂漿均勻鋪設在多孔隙瀝青混凝土上，使其慢慢滲入孔隙中，直到無法滲入為止。圖 4(b)所示為施工人員以橡膠耙子來回推拉，以均勻散佈水泥砂漿之施工情形。此外，水泥砂漿鋪設時亦須確保基礎穩固，並注意水泥砂漿四周之防水處理。一般而言，水泥砂漿經 24 小時養治後，可

達 50% 之設計強度，而不同養治溫度也會影響水泥砂漿的強度。表 2 顯示不同溫度下之建議養治時間，養治完成後即可開放交通。

表 2 不同溫度之養治時間(小時)[Densit, 2000]

種類用途	養治溫度				
	25°C	20°C	15°C	10°C	5°C
行人步道	10	12	16	24	41
交通荷重、裁切裂縫、埋設管線	19	24	32	48	81
高壓清潔	38	48	64	96	162
環氧樹脂(防潮)表面	57	72	96	144	243
易受油污或化學品表面	95	120	160	240	405

4.3 維修方法與步驟

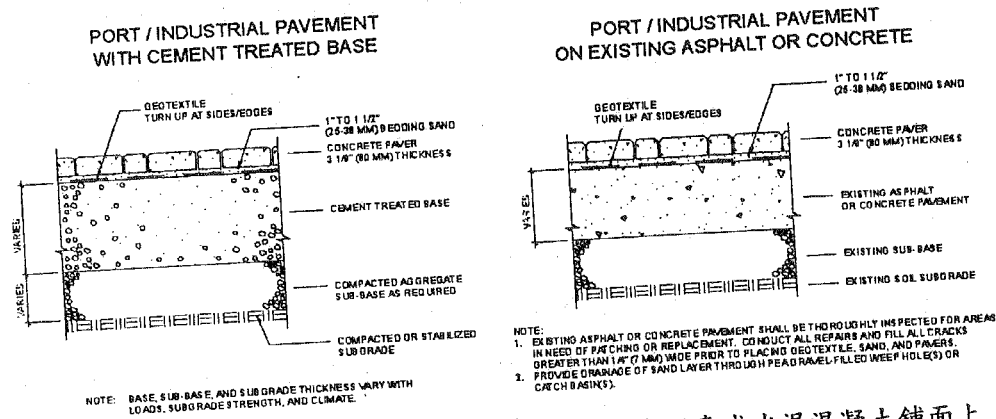
對於表面破壞、沉陷、或孔洞之維修，應先將損壞的區域敲碎並清除乾淨，將填補料填入後，再拌合少量的水泥砂漿填入孔洞，完成維修表面後再噴灑上養治化合物或砂，並標示維修區域警戒。結構性裂縫之維修時，可採用一般的填縫材料和傳統的瀝青施工方法即可。裂縫填補時，先利用切割機切出寬約 4-6mm、深度約 20-25mm 的接縫，將接縫清理乾淨後，再填入填縫材料。對於疲勞裂縫之維修時，除了可使用一般結構性裂縫的填縫法外，亦可以灌注填縫液的方式將裂縫密封，當填縫液溢出表面或確認無法再向下滲時即停止，再將表面溢出的部分清除並抹平，完成維修工作。

五、連鎖高壓磚鋪面

連鎖高壓磚鋪面係將抗壓強度高達 8000 psi 的高壓磚鋪設在砂底層、已處理或未處理之粒料基層、與壓實的路基土壤上。此種鋪面經壓實後，透過磚縫間的接縫砂提供的連鎖效應，可將荷重荷重傳遞

到周圍相互接合的鋪磚上，並可降低在基層和路基土壤上的壓力，其鋪面設計原理與柔性鋪面相類似。連鎖高壓磚鋪面可依區域的需要分別採用不同的顏色、型式和材質的鋪磚，較不受天候的影響，亦可在較惡劣的地區與環境下施工，如車道、小徑、行人穿越道、出入口及對材料侵蝕性較高的近海區域等均可。

此外，因連鎖高壓磚鋪面具强度高、抗滑力佳、耐用、和品質控制優良的特性，施工容易，鋪設完成後即可開放交通，因此也常被用在機場及工業區等受交通荷重極大的鋪面上，如停機坪、貨櫃港口、港灣、和工廠的鋪面結構，亦可抵抗高溫 and 重複凍融循環之效應。圖 5 所示為連鎖高壓磚鋪面鋪築在水泥處理底層上、或加鋪在瀝青混凝土鋪面或水泥混凝土鋪面上之部份適用圖例[ICPI, 2004]。



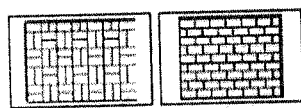
(a) 鋪築在水泥處理底層上

(b) 加鋪在瀝青或水泥混凝土鋪面上

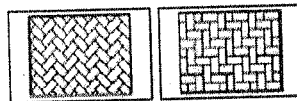
圖 5 連鎖高壓磚之部份適用圖例[ICPI, 2004]

連鎖高壓磚因磚體尺寸小，不易受區域的幾何形狀所限，可以各種型式來鋪設，如圖 6(a)所示。鋪磚鋪設完成後並將接縫砂填入鋪磚外緣凸起之隔磚條(spacer bars)之縫隙內，如圖 6(b)與 6(c)所示。連鎖高壓磚鋪面因其結構緊密，在高荷重下有優越的穩定性，可節省維修成本，提高其經濟效益。連鎖高壓磚鋪面因有磚間縫隙的存在，可相對減少常見裂縫的產生，不僅可小區域維修、維修容易、易於恢復鋪

面現狀、對交通影響小、維修成本低。



Laying patterns for pedestrian traffic



Laying patterns for pedestrian or vehicular traffic

(a)鋪設型式

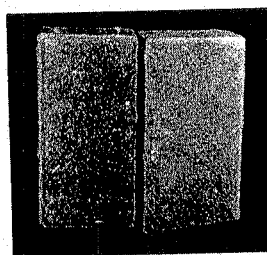


Figure 13. Spacer bars on the sides of concrete pavers are essential for mechanical installation.

(b)高壓磚之連鎖機制



(c)鋪磚提取器

圖 6 連鎖高壓磚圖例[ICPI, 2004]

5.1 使用材料

連鎖高壓磚係由波特蘭水泥、少量水、和優良的粗粒料所組成。其混凝土之特性為零坍度混凝土，拌合過程中可加入色料和添加劑以增加其適用性。在製作過程中，可依據混凝土配比由電腦自動給料，利用強力震動作伴合及澆置，機械高壓脫模一體成型。鋪磚因利用高壓力和高頻率的振動方式在工廠內製作，品質控制優良，所以可製成一些特別特殊的外觀或紋理，磚體可依不同需求製成平滑、裂狀紋路、或是粗糙的表面。主要最常使用的鋪磚尺寸為 200mm×100mm，厚度為 6cm 與 8cm 兩種。在品質要求上，鋪磚各部分尺寸須符合設計尺寸，表面應整齊無缺損或破裂，也不可有裂痕或邊角損壞等情形存在。在色調調置上，應選擇抗紫外線高、且非有機質的染料來改變鋪磚之顏色。連鎖高壓磚之抗壓強度為 8000psi，吸水性最大為 5%，並且需通過凍融試驗(ASTM C936)。鋪磚之抗滑性在使用數月後即趨穩定，不需再重新處理。另外，鋪磚亦可抵抗燃料油污的滲入和化學製品的侵蝕，使濺潑的地方較不明顯，保持實用性和美觀功能。

5.2 施工方法與步驟

連鎖高壓磚鋪面在設置時必須特別注意底層砂之鋪設、鋪設邊緣束制設施(edge restraint)、磚與磚間之組合型式、將接縫砂填入鋪磚外緣凸起之隔磚條之縫隙內等工作，以確保鋪磚間產生相互連鎖之功能。此種鋪面之施工方式大致可分為人工式鋪築與機械式鋪築等二大類，如圖 7 與圖 8 所示。人工式鋪築方式主要的步驟包括：(1)將施工區域整平後，依設計厚度及坡度鋪設級配料，級配料經滾壓後其壓實度須達 95%以上。(2)在級配料上覆蓋不織布、鋪設 3~5cm 厚的底層砂、並依水平基準線整平壓實之。底層砂之選擇應為堅硬、潔淨、不含黏土或其他雜質之細砂。(3)依設計圖所標定之基準線設置邊緣束制設施並鋪設連鎖高壓磚。(4)施工人員得視現場施工之方便性作業，但不得直接踐踏在已整平壓實之底層砂上。(5)鋪設時應以橡皮槌或木槌敲擊磚面與邊緣（避免敲擊角隅），務求磚面平整並與磚縫緊密排列，再依序完成作業。(6)將接縫砂鋪灑在已鋪設完成之鋪磚表面上，來回掃動使接縫砂填滿磚縫。(7)以震動機震動壓實，並掃除磚面上多餘的砂後即完成施工作業。機械式鋪築方式則較人工鋪築方式容易，只需先以人工方式在施工外圍區域將鋪磚先排列整齊成區塊狀，再採用鋪磚機將一整塊鋪磚取出，鋪設於施工區域內並排列整齊，接著再交由人工負責後續工作。因鋪磚排列快速，因此可大量節省作業時間。

5.3 維修方法與步驟

連鎖高壓磚鋪面在產生局部損壞時，可以做小區域的修補，維修時間短、可及早開放交通、且維修後的痕跡不明顯。在鋪磚的取出和替換過程中，必須選用適當的基層回填材料，回填材料的好壞也會影響鋪面維修後的平坦度與品質。其維修程序大致可分為以下三個主要步驟：(1)取出維修區域之鋪磚。(2)回填基層材料。(3)鋪設底層砂與替代鋪磚。

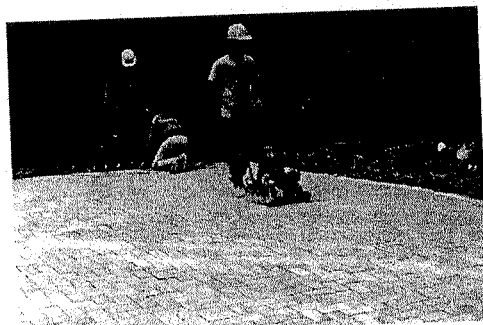


Figure 9. Compacting the pavers and bedding sand.



Figure 10. Spreading and sweeping joint sand.



Figure 11. Vibrating sand into the joints.



Figure 12. Excess sand swept from the finished surface will make the pavement ready for traffic.

圖 7 人工鋪築方式[ICPI, 2004]



Mechanical installation equipment places concrete pavers rapidly.

圖 8 機械式鋪築方式[ICPI, 2004]

取出維修鋪磚的方法包括先將部分鋪磚敲碎破壞、或是以泥刀或是其他工具儘可能除去接縫砂，再使用合適的槓桿或鋪磚提取器自接縫中取出第一塊維修鋪磚，如圖 6(c)所示。接著再利用一台平板式震動機在取出第一塊維修鋪磚的開口表面附近震動，使其他鄰近鋪磚因連鎖性喪失而鬆開，再利用木槌或木柄輕敲以逐一取出維修區域內之

的鋪磚。維修時取出的區域至少要在挖開範圍向外延伸兩排鋪磚的寬度，利用鋼絲刷將取出之鋪磚做外觀清潔處理，再將它排列推置一側，並把維修區內的底層砂清除乾淨。

接著，將維修範圍內路基和基層的材料清除乾淨，並填入適當的基層回填材料，包括傳統回填材料與泡沫混凝土(foamed concrete)回填材料。填入傳統的基層回填材料時，應以平板式震動機壓實，使其均勻分佈，回填的高度不宜超過 13.5 公分。若是以預拌好的泡沫混凝土為基層回填材料時，因其具流動性，可將空隙填滿並達到一定的平坦度，但應注意使用此回填材料需養治 12~18 小時後，才可進行後續維修作業。

基層維修完成後，可依前述連鎖高壓磚鋪面人工式鋪築的方式，逐步完成維修作業，包括先鋪設底層砂、再依所需佈設型式鋪設新的替代鋪磚、將接縫砂鋪灑在鋪磚表面、以平板式震動機壓實並使接縫砂填入接縫中以產生連鎖性、再掃除磚面上多餘的砂，鋪設完成後即可開放交通。

六、結論與綜合討論

隨著國內經濟的快速發展，交通荷重大幅成長，為提昇鋪面的荷重能力及延長鋪面的使用壽命，如何慎選合理有效的鋪面維修方法，以確保鋪面的服務品質，亦更顯其重要性。國內的公路鋪面主要仍以瀝青混凝土鋪面為主，台灣地區一年四季多雨、夏季高溫、再加上交通荷重之快速成長以及大型車超載等問題，造成鋪面產生各種破壞並縮短其使用年限，經常性的刨除加鋪作業常造成交通上的不便與增加使用者成本。除了比較國內常用的柔性鋪面與剛性鋪面之使用績效外，本研究並介紹半柔性鋪面及連鎖高壓磚鋪面等新維修材料與工法，藉以評估其鋪面維修之適用性，以供國內之參考。

一般而言，柔性鋪面因其材料特性有易於施工、施工時間短、行

車舒適性佳、及局部整修與養護容易等優點，但柔性鋪面結構強度較差、對交通荷重之抵抗能力較弱、易受溫度及環境的影響、抗磨耗與耐久性較差、績效期間短、且維護頻率高。剛性鋪面具有穩定性高、結構承载力較強、使用壽命或績效期間較長、且維修少等優點，最適合應用於交通量大之高載重路段。然而，由於其施工時間長、所需施工與維修技術要求較高、養治與開放通車時間長、因維修影響之社會成本較高。

半柔性鋪面之面層設計厚度可較傳統鋪面薄，可鋪設在對荷重、耐久性、和抗化學能力需求高的區域上，且其鋪設時間較短、開放通車時間較快、維護頻率也較低，但使用之特殊水泥砂漿材料成本較高。半柔性鋪面除了有較佳之抗磨耗與抗凍融能力外，因鋪面本身並無接縫，其行車舒適性佳。

連鎖高壓磚鋪面經壓實後，利用接縫砂提供磚鋪間之連鎖效應，可將荷重傳遞到臨近的鋪磚上。連鎖高壓磚鋪面具有高品質和特性佳的優點，因其結構緊密可提供高強度和耐久性，在重荷重下亦有優越的穩定性，較不受高低溫的影響。連鎖高壓磚鋪面抗磨耗之能力強、其色彩變化性高、損壞時之局部整修容易。連鎖高壓磚之鋪築極為方便，不僅可減少施工的時間，鋪築完成後不需養治即可開放通車，亦相對地減少維修之社會成本。

希望藉此介紹並比較國外鋪面新維修材料與工法之特點，以供國內鋪面工程界之參考，未來若能順利引進此維修材料與施工技術，將可降低維修材料與建造之成本，並增加其使用性，以提昇國內鋪面維修之成效。

七、參考文獻

1. 李英豪、張德文，「台灣地區鋪面工程之研究與展望」，鋪面工程，第一卷第三期，第80~101頁(2002)。

2. Densit, "Densiphalt Handbook," Aalborg Denmark (2000).
3. ICPI, Technical Specifications of the Interlocking Concrete Pavement Institute, http://www.icpi.org/design/tech_specs.cfm (2004).
4. 呂正宗，半剛性瀝青混凝土配比與性質之研究，國立台灣科技大學營建工程研究所碩士論文(1996)。
5. 沈得縣、呂正宗，「半剛性瀝青混凝土之材料配比及製造方法」，中華民國專利公報，第二十七卷，第二十九期，第557-565頁(2000)。
6. 沈得縣、呂正宗，「半剛性瀝青混凝土工程性質之研究」，鋪面工程，第一卷第二期，第53-72頁(2002)。
7. 林志棟、姜榮彬，「SHRP 成效規範之探討」，第十一屆鋪面工程學術研討會論文集，義守大學，高雄縣，第721-730頁(2001)。
8. 內政部建築研究所，「建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究」(2003)。
9. 交通部國道新建工程局，石膠泥瀝青混凝土與排水性鋪面應用研討會，研討會專輯，台北(2003)。
10. 中華鋪面工程學會，近代新瀝青混凝土路面材料及產製鋪設技術(2004)。
11. 中華鋪面學會，排水性瀝青混凝土鋪面特性研討會專輯，國立中央大學土木工程研究所，中壢(2002)。
12. 林志棟，瀝青混凝土配合設計與其原理，科技圖書公司，台北(1983)。