

台灣地區鋪面工程之研究與展望

李英豪 張德文

淡江大學土木工程系教授

中華鋪面工程學會學術研究委員會委員

摘要

本文將介紹美國長程鋪面績效研究(LTPP)及 Superpave 成效規範與國內相關瀝青材料研究之概況。文中亦將介紹最近美國運輸研究委員會(TRB)運輸設施之設計與建造組(Group 2)各相關委員會之研究需求，最後再提出個人對國內各相關研究之心得與未來展望。希望借此拋磚引玉，建議未來亦可建立制度化的方式，以集思廣益、彙整國內外鋪面工程相關的熱門研究課題，以供我國政府單位、學術界及實業界未來編列研發預算之參考。由於建議未來可以研究的工作事項頗多，在此僅簡列以下三項：鋪面損壞調查手冊之研擬、我國標準軸重軸次調查之研究、與長期鋪面績效資料庫之本土化應用，作為可以立即積極爭取執行的課題。

一、前言

在國內鋪面工程產官學研各界的共識與支持下，中華鋪面工程學會於民國八十九年十一月正式成立，期望能整合國內有限研究資源，以提昇國內鋪面工程之技術與品質。中華鋪面工程學會學術研究委員會於創立之初並擬定「蒐集鋪面工程資料，調查國內外鋪面工程事業之最新發展，以供政府單位、學術界及實業界之參考」為其主要任務之一。因此，本文將首

先介紹美國長程鋪面績效研究(LTPP)及 Superpave 成效規範與國內相關瀝青材料研究之概況。文中亦將介紹最近美國運輸研究委員會(TRB)運輸設施之設計與建造組(Group 2)各相關委員會之研究需求，最後再提出個人對國內在鋪面分析與設計、鋪面管理、鋪面檢測與回算、鋪面評估與維修、長期鋪面績效分析(LTPP)、與鋪面材料(Superpave 成效規範)等方面，提供相關研究心得與具體建議。

二、鋪面構造與設計簡介

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。

影響鋪面設計之主要因素包括交通載重、材料性質、氣候或環境特性，常用的鋪面設計法有美國州公路暨運輸官員協會(AASHTO)、波特蘭水泥協會(PCA)、與瀝青協會(AI)等設計法。AASHTO 設計法是以美國 AASHO 道路試驗結果為基礎的純經驗設計法，該法並以鋪面服務能力評分(PSR)來代表用路人對鋪面好壞的觀感，柔性鋪面以結構數(SN)、剛性鋪面以面版厚(D)代表鋪面的結構強度，分析期間的混合交通量則以其累加期望 18 仟磅單軸軸重當量(ESAL)來計算。PCA 厚度設計法主要以中版厚理論為基礎，考慮疲勞與侵蝕分析，混凝土以抗彎強度(破裂模數)、路基土壤則以圓板載重試驗所求得的路基反力模數來表示。AI 厚度設計法主要以多層彈性理論為基礎，主要的設計理念在限制鋪面產生 20%的疲勞裂縫與 0.5 英寸的車轍，路床土壤強度則以回彈模數(Mr)表示。

三、美國長程鋪面績效研究簡介

美國長程鋪面績效研究計畫(LTPP)主要在蒐集北美洲現場鋪面二十年績效資料，以供全世界各國鋪面研究之用。其前五年(1987-1992)的計畫隸屬於美國公路策略研究計畫(SHRP)，研究經費高達美金一億五千萬元，其後續研究計畫(1992-2007)則歸美國聯邦公路總署(FHWA)管轄，因此可知其受重視程度極高。LTPP 主要目標在利用各種材料與在不同荷重、氣候環境、路基土壤、與養護技術下，研究各種新建與維修後鋪面結構設計之長期績效以延長公路鋪面使用年限，因此建立了世上有史以來最大的鋪面績效資料庫，該資料庫包括 400 個表單與超過 6,000 個變數等鋪面基本資料、特殊建造、材料試驗、氣候與季節、交通、養護與維修、與監測資料(自動儀器、人工破壞調查、抗滑、縱橫向剖面、與非破壞性撓度試驗 FWD)。

LTPP 的主要目的在：

1. 評估現面設計方法，
2. 改進現有鋪面維修設計方法與策略，
3. 改進新建與重建鋪面之設計公式，
4. 決定荷重、氣候環境、材料性質與變異性、營建品質、與養護等級對鋪面破壞與績效之影響，
5. 決定特殊設計因子對鋪面績效之影響，
6. 建立一個國家長期鋪面資料庫。

美國長程鋪面績效研究可以分為一般鋪面研究(GPS)、特殊鋪面研究(SPS)、與季節性監測計畫(SMP)等三大部分。一般鋪面研究約有 1,100 個試驗路段，包括 AC/粒料底層、AC/處理底層、剛性鋪面(JPCP、JRCP、CRCP)、現有與新建 AC/AC、現有與新建 AC/PCC、與不粘結 PCC/PCC 等鋪面。特殊鋪面研究則包含有約 1,600 個試驗路段，可以分析柔性與剛性鋪面之結構因子策略研究、預防性養護之有效性、與大型維修。此外，特殊鋪面研究亦可以分析剛性鋪面上完全粘結混凝土加鋪、無載重交通下之氣候環境影響、與從事 SHRP 瀝青成效規範與配比設計之驗證。季節性監測計畫主要目的在研究溫度與溼度之變化，蒐集了全美國 64 個不同地點的連續性季節資料。LTPP 的資料庫自 1997 年以來即以 DataPave 軟體光碟免費提供世界各國鋪面研究人員使用，相關的網址為 <http://datapave.fhwa.dot.gov>。

四、Superpave 成效規範與國內瀝青材料研究

Superpave 計畫亦隸屬於美國公路策略研究計畫 (SHRP, 1987-1992)，其初期的研究經費高達美金五千萬元。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。

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。目前鋪面研究人員所喜用的路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結料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。

近年來，國人在柔性鋪面方面大多著重在瀝青材料的研究上，對於國際上在透水性瀝青鋪面、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。透水性瀝青鋪面又稱多孔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)。透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 年起亦大量使用透水性瀝青鋪面，並且增大其骨材標稱粒徑及厚度。日本在 1989 年開始試鋪透水性瀝青鋪面，並於 1998 年訂定「排水性鋪裝技術指針(案)」。歐洲與日本在透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透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。

透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，透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，透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%。透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。

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。石膠泥瀝青混凝土主要的理念在採用越級配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。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

區
年
透
瀝
其
所
需
的
石
瀝
青
驗
曲
為
一
目
高
FC
? 值
而
美
較
高
、
所
充
料
織
維
力
、
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。

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的酌減 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。

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。

五、美國運輸研究委員會之部分研究需求簡介

美國運輸研究委員會的一個很重要功能在於促進找出解決與運輸相關領域所面臨問題之方案，因此其所屬的各技術委員會每年必須找出問題、建立並公告研究需求，以提供政府單位、研究機構、產業界、學術界、與其他單位必要的資訊，適當分配有限研究經費，以解決相關運輸問題。研究需求說明(research problem statements)的基本資訊包括前言、問題的描述、研究的目的與方法、關鍵字與迫切性、概估研究經費與時程。

國內在鋪面工程相關研究上，長期以來一直以柔性鋪面為主，尤其對於瀝青材料與鋪面管理之研究更是不遺餘力。因此，本文乃參考最近美國運輸研究委員會(TRB)運輸設施之設計與建造組(Group 2)在瀝青材料(Section D)與鋪面管理(Section B)方面相關委員會之研究需求。其中，在瀝青材料方面包括：瀝青材料特性(A2D01)、瀝青鋪築混合料中非瀝青成分特性(A2D02)、瀝青骨材混合料特性以符合面層需求(A2D03)、瀝青鋪築混合料特性以符合結構需求(A2D04)、與瀝青技術之一般問題(A2D05)等委員會。在鋪面管理方面則包括：鋪面管理系統(A2B01)、剛性鋪面設計(A2B02)、柔性鋪面設計(A2B03)、鋪面強度與變形特性(A2B05)、與高速公路交通監測(A2B08)等委員會。由於篇幅的限制，在此僅簡單列出各技術

委員會之研究需求，每年更新之詳細內容可參考網址 http://www4.trb.org/trb/onlinepubs.nsf/web/problem_statements。

瀝青材料特性委員會(A2D01)建議之未來研究需求內容包括：

1. 粘結料抵抗溼度損壞之試驗方法：瀝青鋪面因水損壞的機制至少包括瀝青與骨材介面剝脫(Stipping)及粘結料吸水軟化二種。溼度損壞主要的原因很可能與粘結料化學與流變學、骨材表面化學與型態學、混合料特性(孔隙率、瀝青含量、孔隙聯結性)、與結構特性(排水與唧水)等因素交互作用有關。然而，目前美國 Superpave 粘結料規範尚未訂定抗水侵蝕之最低標準，因此有必要進一步了解其影響因素與訂定規範的事宜。

2. 瀝青膠泥(Mastic)之績效與特性：美國 Superpave 目前仍缺乏礦質添加劑(Mineral Filler)之規範，因此建議必須深入探討 Binder 與 Filler 交互作用對 Mastic 特性與績效之影響，並探討礦質添加劑特性(級配、表面型態學、形狀與表面化學)與混合料特性(流變學與化學)之影響。

3. 粘結料對熱拌瀝青疲勞績效之貢獻：混合料之復原現象(healing)對疲勞績效有重大之影響，然而影響 healing 的因素目前尚未併入美國 Superpave 粘結料規範，因此擬找出影響粘結料抗疲勞之因素，有利於未來建造較薄鋪面。

4. 瀝青粘結料(binder)採購規範之改進：由與 SHRP 瀝青粘結料與混合料績效規範之瑕疵，目前尚無法反映某些改質瀝青之績效，正在進行之相關研究工作有美國國家公路合作研究計畫 NCHRP 9-10 對可能改進粘結料規範之研究。

5. 熱拌瀝青混凝土鋪面之粘結料應變分佈之估計：粘結料流變學(其流動特性或應力應變關係)為影響績效之主要因素。由於研究人員對於 Superpave 規範中假設粘結料線性應變之質疑與日俱增，因此有必要發展 Micro-Mechanical 有限元素模式以估計粘結料應變與功之分佈(因粘結料之應變無法直接量測)，以估計級配與瀝青含量對此之影響。

6. 瀝青粘結料之氧化老化試驗與模式：瀝青硬化將改善抗車轍但降低抗溫度裂縫之能力，然而現行模擬熱拌場的 RTFOT 與模擬長期的 PAV 老化試驗未必適用於改質粘結料，因此本計劃擬發展並驗證 Binder 老化模式，研究包括鋪面厚度、孔隙率、多孔性、與溫度等因素之影響。

7. 瀝青粘結料之高等流變模式：由於 Christensen/Anderson 流變模式所需考慮的參數少、而且具有物理意義，為目前國際間最常用的流變模式。然而，該模式僅適用於線性與非改質瀝青，因此有必要探討現有流變模式之優缺點與限制、建議一高等流變模式、並推廣其應用。

8. 瀝青粘結料之非氧化的硬化：瀝青粘結料非氧化的硬化方式主要有兩種。物理的硬化在相對低溫下產生，溫度增高時快速可逆；硬脂(stearic)的硬化在中等溫度下產生，溫度增高與剪力作用時可逆。本研究擬建立其硬化模式，並驗證硬化速率與程度對瀝青混合物之重要性與影響。

9. 裂縫與接縫瀝青填縫材料之績效規範：雖然一般現場鋪面的最高溫度不會超過 70°C，美國現有材料規範要求高分子改質冷拌(乳化)填縫材料在 180~260°C 蒸餾之回收率，所採用的高溫並且會嚴重影響瀝青材料的特性。再者，常用的延展性試驗，忽略了與績效相關之裂縫與接縫壁附著特性。因此的研究將辨識填縫材料之必要之績效參數與試驗，並建議其績效規範。

同樣地，美國 TRB 瀝青鋪築混合物中非瀝青成分特性委員會(A2D02)所建議之未來研究需求如下：

1. 改進量測細骨材多角性(FAA)的方法：目前 Superpave 混合物之細骨材多角性由標準級配未夯壓試體之孔隙率決定，使得現場有許多績效極佳之細骨材無法通過此標準。因此，本研究將檢視 SHRP 量測 FAA 之影響因子，如比重、顆粒形狀、大小與分佈等，分析過去實驗室與現地研究資料以決定現有 FAA 試驗法與標準之適用性、並建議改進的方法。

2. 評估光電技術在量測骨材形狀上之應用：現行的 Superpave 粗骨材、扁平與細長顆粒、細骨材多角性試驗，主要係採用目視的手工試驗，不僅耗時、主觀且精度不足。因此，本研究擬評估現有光電儀器之適用性、評估並比較各種骨材在現有手工試驗法下可接受與不可接受之性質、測試不同骨材混合物之績效、並訂定試驗方法與規範。

3. 開放性級配瀝青摩擦層(OGFC)之配合設計流程之建立：開放性級配瀝青摩擦層之主要優點在於可增強鋪面抗摩擦、水滑、濺濺之能力與降低噪音。美國聯邦公路總局(FHWA)在 1974 年便已建立了 OGFC 配合設計法、並在 1990 年修改其配合設計，但是，根據美國國家瀝青技術中心(NCAT)在 1998 年的調查結果顯示部分州已停止採用 OGFC，其主要的原

因在
採用
混合
瀝青
研究
混合
或具
態等
板白
在鈞
國份
(較
用：
土、
環坊
計畫
佈、

質化增重、用裂效研究、標準比、過去、本研可接之、主WA)美國的原

因在於鬆散、分離、冬季使用砂將填滿孔隙、剝脫、與較低之耐久性。而其他經驗較佳者係採用高分子改質瀝青、較粗骨材級配、與較高的瀝青含量。因此有必要建立新世代 OGFC 混合料之標準配合設計流程，其中包括抗永久變形(類似 SMA)、耐久性(Cantabro 侵蝕試驗)、瀝青粘結料排水侵蝕(NCAT draindown 試驗)、透水性、抗老化等試驗。與本研究之主要相關研究包括現有歐洲、南非、澳洲透水性鋪面配合設計等。

4. 骨材形態學(morphology)在石膠泥(SMA)或跳躍級配(gap-graded)與其他抗車轍瀝青混合料之必要性：在發展抗車轍之瀝青配比技術方面，不管是石膠泥瀝青混凝土、Superpave、或是傳統密級配熱拌瀝青混凝土鋪面(HMA)均需要高品質之骨材。因此，本研究計畫擬依形態學(岩石種類)建立上述瀝青混合料之骨材規範。

5. 廢輪胎改質瀝青(CRM)應力吸收薄層(SAMI)在新建鋪面或舊有鋪面養護與維修與橋底板的應用：採用 CRM/SAMI 可以改善瀝青加鋪之服務年限、抗反射裂縫能力、將加鋪層鎖在鋪面上、並且對下方鋪面提供防水封層。因此，本研究擬評估其設計與績效，並將參考美國佛羅里達州、亞利桑那州、德州、與加州之規範，其比較不同工法之優缺點，如 McDonald (較粗)與 Rouse Rubber Industries(較細)工法。

6. 廢輪胎改質瀝青(CRM)纖維在熱拌瀝青混凝土(HMA)、薄層或石膠泥(SMA)之強化作用：本研究將評估其績效與成本效益。

7. 再生材料應用於 HMA：一般常用的再生材料包括再生瀝青(RAP)、廢棄爐石、混凝土、紅磚、磁磚等。本計畫將改進配合設計與評估其建造技術，研究的內容包括健康、安全、環境考量、回收能力、配合設計、與建造等因素，相關之研究工作如美國國家公路合作研究計畫 NCHRP 9-12。

8. 瀝青混凝土混合料中之骨材結構與鋪面績效之關係：本研究將評估骨材顆粒大小分佈、建立量化量測方法、與建立量化的骨材分佈特性(HMA, SMA, OGFC)。

瀝青骨材混合料特性以符合面層需求委員會(A2D03)所建議的未來研究需求包括：

1. 探討疲勞裂縫機制在配合設計與結構設計之考慮。
2. 多孔隙熱拌瀝青混凝土設計與養護。
3. 美國國家瀝青技術中心(NCAT)採用燃燒法以決定含有白雲石(鎂)(dolomitic)骨材的瀝

青混合料之瀝青含量。

4. 瀝青鋪面混合料之加速實驗室試驗以預測鋪面抗滑力。
5. 骨材形狀與表面紋理之客觀性量測方法。
6. 改進與滲透性相關的瀝青混凝土配合設計與準則。
7. 薄層養護處理之骨材品質要求。
8. 瀝青混合料之加速噪音試驗。

瀝青鋪築混合料特性以符合結構需求委員會(A2D04)與瀝青技術之一般問題委員會

(A2D05)所建議之研究需求包括：

1. 美國 AASHTO 2002 年鋪面設計手冊之反射裂縫預估模式之建立與應用。
2. 瀝青混凝土混合料簡單績效試驗之展示與改進。
3. 探討疲勞裂縫機制在配合設計與結構設計之考慮(同 A2D03)。
4. 改進與滲透性相關的瀝青混凝土配合設計與準則(同 A2D03)。
5. 鋪面結構設計中以績效為基礎的新奇瀝青骨材混合料之特性。
6. 評估 Superpave 混合料之最低骨材孔隙率(VMA)。

7. 評估實驗室夯壓法以建立可達成熱拌瀝青混凝土建造時之目標密度需求。

在鋪面管理方面，鋪面管理系統委員會(A2B01)所建議之未來研究需求包括以下十九項：

1. 鋪面管理概念於資產管理(Asset Management)架構設計之應用。
2. 鋪面生命週期與相關成本效益之研究。
3. 鋪面管理系統概念與專有名詞之標準化。
4. 機場鋪面適當養護的效益與經費支出之研究。
5. 鋪面損壞自動儀器調查技術之研發。
6. 決定氣候環境因素對鋪面過早的破壞之影響。
7. 建立在不同環境與鋪面狀況下鋪面養護與維修策略績效之決定方法。
8. 地理資訊系統在各種高速公路相關營運之應用。
9. 改進的績效預估模式在鋪面設計建造與養護策略之關聯性。
10. 管理機構與制度問題的認識與研發。

11. 評估現有鋪面管理系統之有效性。
12. 簡單化、強化、並改善鋪面管理系統之最佳化經費應用。
13. 整合鋪面管理系統概念至一集中的基本設施管理系統(Infrastructure Management System)並發展在不同的鋪面管理系統與政府管理層級間相互溝通之能力。
14. 以績效為基礎之規範與設計技術之研發。
15. 考慮累計標準軸重當量(ESALs)增加之成本分配模式。
16. 鋪面管理系統之標準化應用以整合各區域級與國家級的鋪面管理系統並發展彼此之相互溝通之能力。

員會

17. 在不同鋪面狀況等級下之養護成本。
18. 改進高階管理人員在鋪面管理系統應用與效益之教育。
19. 改進鋪面管理之行銷技術。

剛性鋪面設計委員會(A2B02)、柔性鋪面設計委員會(A2B03)、鋪面強度與變形特性委員會(A2B05)、與高速公路交通監測委員會(A2B08)所建議之未來研究需求如下：

七項：

1. 底層型態對混凝土鋪面績效之影響。
2. 接縫鋼筋設計與選擇以改進接縫績效。
3. 不粘結混凝土加鋪設計步驟之改進。
4. 教育上之努力以支持 AASHTO 2002 年力學與經驗鋪面設計法之建立。
5. 美國超級鋪面(Superpave)之持續研發與應用。
6. 鋪面回算模數值之現地驗證。
7. 不粘結粒料層之永久變形參數之決定。
8. 鋪面評估之新技術。
9. 僅利用車輛長度來區分車輛類型的方法。
10. 利用五軸全聯結車之車輛總重與前軸重分佈對動態地磅(WIM)校估之可行性分析。
11. 軸間距與軸重當量因子之關係。

六、國內鋪面相關研究之心得與未來展望

本文在此將針對國內在鋪面分析與設計、鋪面管理、鋪面檢測與回算、鋪面評估與維修、長期鋪面績效分析(LTPP)、與鋪面材料(Superpave 成效規範)等方面，提供相關研究心得與具體建議。期望以「資源有限、腦力無窮」與「剛柔並濟」的思維，探討國內鋪面工程教育、研究發展、與未來國際接軌的可行性，不僅強調柔性鋪面的研究、對於剛性鋪面的發展亦必須重視，所謂有競爭才會有進步，競爭是科技發展的最大原動力。

6.1 鋪面分析與設計

在鋪面分析與設計方面，國內一般仍習慣採用如美國 AASHTO、AI、與 PCA 等國外設計程式，較少探討如柔性鋪面結構因子與交通量之關係、本土化設計程式之建立、及改進新建築與加鋪設計方法等研究。以剛性鋪面而言，國人曾經利用力學分析的概念與嶄新的統計迴歸技術相結合，在道路與機場鋪面結構反應分析上，建立剛性鋪面各臨界位置受載重與溫差作用下之應力預估方程式組、分析各種輪軸載重之組合、外車道加寬、路肩與雙層版等情況有限尺寸版的結構反應、並將研究成果彙整自動化，完成相關的研究工作包括：

1. 曾探討長久以來國內、外剛性鋪面設計人員所喜用之波特蘭水泥協會(PCA) 設計方法，並提出具體的修正建議(PCAWIN 程式)。
2. 擴展 PCA 厚度設計法在不同輪軸組成、有限版尺寸、版溫差效應下之應力預估，進而建立一個以力學為基礎的新接縫式混凝土鋪面厚度設計方法(TKUPAV 程式)。
3. 利用版理論法來建立可以同時分析波音 B-777 型飛機的新機場剛性鋪面厚度設計程式(TKUAPAV 程式)。

該研究成果兼顧理論與實用便利性，可簡化繁複計算時間，協助工程師從事實際鋪面設計與分析。未來亦可與國內外剛性路面試驗路段之監測及相關資料比較，驗證該等程式之可靠性，以便將具體研究成果與技術移轉至產業界。吾人建議未來亦可以此為基礎，進一步從事柔性鋪面與加鋪設計之研究，相關課題包括：

1. 底層型態對混凝土鋪面績效之影響。
2. AASHTO, AI 設計流程之改進與本土化。
3. 柔性與剛性鋪面加鋪設計方法之改進。

4. AASHTO 2002 年力學與經驗鋪面設計法之建立。
5. AASHO 道路試驗資料之再分析。
6. 版式軌道之力學分析(輕軌運輸)。
7. 機場鋪面各種設計因子之研究(美國陸軍工兵團 COE 現地資料分析)。
8. 丹佛國際機場(DIA)鋪面現場資料分析。
9. 美國國家機場鋪面中心(NAPTF)試驗資料分析。
10. 美國長程鋪面績效分析(LTPP)。

6.2 鋪面管理

在鋪面管理方面，國內公路主管機關大多採用全方位的管理模式，不但沒有明確「路網層級」與「個案層級」之分隔，路段的定義係採用固定長度路段(20 公尺或 100 公尺)，有的甚至採用個別版塊來管理，而且尚未引進抽樣的觀念，所需輸入之資料數量相當龐大，不僅在路網層級的管理效率不彰，亦影響全球定位系統(GPS)與地理資訊系統(GIS)在此方面之應用績效。再者，由於國內尚未訂定標準的鋪面損壞調查手冊、交通部頒佈的公路養護手冊亦早已不符實際需求，以此龐大資料庫架構所衍生出來的鋪面養護管理系統，不管是未來在網際網路(WWW)的應用、相容性養護策略的採用、與模糊理論的應用等工作，均會造成鋪面主管單位龐大的負擔。不僅如此，國內有的鋪面管理系統為配合現有地理資訊系統之架構與限制，建議公路主管單位作全面性鋪面非破壞性撓度調查，或者將結構性指標、功能性指標、與數十種鋪面損壞型態與嚴重程度混用，對於路網層級的鋪面管理將有不利的影響。因此，建議鋪面管理宜由路網層級的養護管理著手，適當採用「均質路段」與抽樣的觀念，必要時僅的蒐集鋪面樣本路段之資料，例如，美國伊利諾州之州際公路鋪面管理系統僅抽樣 10% 的鋪面資料，系統運作所需要的資料越少越好。根據美國國家公路協會(NHI)最新的訓練教材調查，目前 GPS 在鋪面養護管理系統應用之效益極低、未必是明智的投資選擇。在鋪面管理系統建立與應用上，現有的相關研究包括：

1. 採用多年的全美國公路績效資料，並曾成功地建立五種主要的鋪面型態(含瀝青混凝土、柔性加鋪、接縫式無筋混凝土、接縫式鋼筋混凝土、連續式鋼筋混凝土鋪面)之績效預估模式與修正係數及程序，以更精確地研擬出全美國公路績效監測網(HPMS)中之鋪面改善

計劃之策略，該研究成果亦已被主管當局採納，現正成為美國聯邦公路總署向國會定期提出未來公路養護需求並爭取預算之主要依據。

2. 協助建立 ILLINET 程式，美國伊利諾州運輸部亦將此研究成果採用為其鋪面網路養護管理系統中對未來鋪面狀況、維修預算概估、與訂定最佳化維修養護策略之最主要核心所在。

3. 建立台灣區高速公路鋪面路網動態分段資料庫與地理資訊化系統架構之雛形程式 (NETDSD 程式)。

4. 建立最佳化鋪面路網維修管理策略之雛形程式 (TKUNET 程式)。

5. 深入探討綜合性指標在鋪面工程之應用 (PCI)。

建立一套有效率的鋪面路網維修管理系統主要的重點在於資料少、易輸入、有分析的彈性、與分析結果的輸出，因此 TKUNET 程式包含了參數與強制維修設定、路段現況資料查詢、鋪面路網現況、路段維修資料、分析結果輸出、路網未來狀態分析、路段維修資料、路網維修後狀態、路網維修後狀態分析、殘餘壽命分析、維修策略排序分析結果等功能。在此研究基礎上，建議我國在鋪面管理方面未來可以研究的課題有：

1. 我國標準軸重軸次調查之研究。
2. 動態分段資料庫與地理資訊系統之整合。
3. 評估我國現有鋪面管理系統之有效性。
4. 簡單化、強化、並改善鋪面管理系統之最佳化經費應用。
5. 我國鋪面管理機構與制度問題的研究(管線挖埋回填問題)。
6. 鋪面管理概念於資產管理架構設計之應用。
7. 推動鋪面損壞調查手冊與專有名詞標準化。
8. 利用 LTPP 資料與美國公路績效監測系統(HPMS)資料建立本土化績效預測模式。

6.3 鋪面檢測與回算

在鋪面檢測與回算方面，柔性鋪面傳統上係以靜態彈性理論為基礎，而剛性鋪面係採 Losberg 版理論解為回算的依據。近期柔性鋪面回算的發展，亦朝向非線性、動態、與三維有限元素程式分析研究，唯在受限於在實際現場試驗須考慮之重要參數多且變動性大之考量

出
養
所
式
的
料
、
在

上，美國州公路暨運輸官員協會(AASHTO)加鋪厚度設計法所建議的柔性鋪面回算模式，仍是以二層靜態彈性理論解為主。至於是否有可能採用類神經網路法，近似黑盒子作業的方式，正確地回算出各層鋪面性質，則是一個極具爭議的課題。在國內極為有限的鋪面維修經費考量上，建議公路主管單位宜摒除必須作全面性非破壞性撓度檢測(NDT)與評估之迷思，以價值工程的理念，將有限的經費應用在最迫切需要之處。再者，根據美國國家公路協會(NHI)鋪面維修技術訓練教材的統計，絕大多數州公路「路網層級」的鋪面養護管理系統是不納入全面性 NDT 試驗的。相反地，NDT 試驗與回算在「個案層級」的鋪面評估與維修應用上，如加鋪厚度設計，則是極為重要的。因此，在柔性鋪面與剛性鋪面回算研究上，相關的研究包括：

1. 針對傳統回算程式的缺點，以二層彈性理論之撓度方程式為基礎，找出主要影響的無因次參數，再確立撓度值與回算模數值的一對一函數關係，並融合資料庫法與最新統計迴歸法，建立資料庫與預估模式，以便柔性鋪面彈性模數的快速回算。
2. 建立各種剛性鋪面撓度之預估模式，將繁複之運算簡化，以精確地回算鋪面的彈性模數值，協助工程師從事實際鋪面評估與維修管理工作。
3. 克服傳統剛性鋪面回算方式對儀器的限制及理論推導過程的無限版長假設條件，改進 ILLI-BACK 剛性鋪面回算程式之限制，並以無因次撓度比作為回算方式的控制參數，再配合投影追逐迴歸法建立中央、邊緣及角隅載重的撓度比預估模式。
4. 建立一套容易使用的剛性鋪面彈性模數回算程式(TKUBAK)，將「易學」與「易用」之理念融入於實際分析流程。

建議在此研究基礎上，我國未來可以研究鋪面檢測與回算的課題包括：

1. 利用 LTPP 現地 FWD 資料驗證柔性與剛性鋪面回算程序。
2. 強化撓度指標法在鋪面維修之應用。
3. 擴展透地雷達在鋪面工程之應用。
4. 有限元素程式之模擬與特性分析(ABAQUS, ILLI-SLAB)。
5. 多版與溫度翹曲對剛性鋪面回算之影響。
6. TKUBAK 與 FWDBAK 程式之擴充與驗證(多層系統)。

7. 小區域迴歸與類神經網路在鋪面回算之應用(運用因次分析原理)。

6.4 鋪面評估與維修

鑑於我國現行的養護管理方式，將路網與個案層級混用情形相當嚴重，所建議需要輸入的資料多且雜，不利於公路主管單位落實執行。因此，建議在「鋪面評估與維修」方面宜由個案層級的方式著手，而在鋪面管理方面則宜由路網層級的養護管理著手。同樣地，國內現行以固定長度路段或個別版塊來定義路段，未必是最佳的方式。適當採用「均質路段」與抽樣的觀念，將所需要的資料劃分資料需求等級，必要時僅酌量蒐集鋪面樣本路段之資料，不僅可以減少不必要的工作量，也可以同時提升系統的使用效率。在鋪面評估與維修系統建立與應用上，國內現有相關的研究包括：

1. 建議統一的鋪面損壞調查之可行標準。
2. 介紹國外國外嶄新的鋪面相關維修技術，包括維修時機、材料特性、斷面選擇及施工所需機具等。
3. 劃分資料需求等級，建立有系統的決策樹架構以選擇鋪面維修方式。
4. 預測維修前與維修後鋪面未來狀況。
5. 建立自動化成本分析之流程以選擇最佳維修策略。
6. 建立柔性與剛性鋪面維修與養護技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-F, ICSMART-R)。

該智慧型諮詢系統主要的功能包括資料的輸入、編修、儲存、查詢、分析、與輸出。在路段基本資料方面包括基本調查資料與現地調查資料；鋪面評估方面包括臨界值修改、鋪面現況評估、鋪面未來預測與鋪面趨勢預估。在鋪面維修方面則包括維修方案之選擇、鋪面維修後績效預估、鋪面維修後績效趨勢、鋪面維修經費與生命週期成本分析、鋪面趨勢預估、鋪面主要及細部維修策略、與生命週期成本分析等功能。在此基礎上，建議我國未來可以研究的課題包括：

1. 推動建立我國統一的鋪面損壞調查標準。
2. 引進國外鋪面相關維修技術(維修時機、材料特性、斷面選擇及施工所需機具等)。

3. 專家系統：問卷設計與專家知識庫之建立。

4. 柔性與剛性鋪面維修與養護技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-F, ICSMART-R)

之持續驗證與應用。

5. 本土化鋪面績效預估模式之建立。

6. 綜合性指標在鋪面工程之應用。

6.5 長期鋪面績效分析

在長期鋪面績效分析研究方面，目前世界各國已有三十個國家參與美國長期鋪面績效(LTPP)研究，多數國家亦採用 LTPP 資料庫架構、並修正其軟體、資料型式與試驗方法。然而，國內在此方面相關研究極少，未來將如何與國際接軌？在鋪面績效預估模式之建立上，國人曾引用嶄新的統計迴歸技術，建立一套系統化的統計與工程分析程序、可靠的資料分析流程、與詳盡的逐步分析步驟及準則，以構建鋪面預估模式。美國聯邦公路總署現正積極進行中的二十年長期鋪面績效研究之前五年早期資料研究，以及美國伊利諾州、維吉尼亞州的鋪面資料庫亦採用該鋪面預估模式構建之流程。所曾構建之績效預估模式亦廣受標準教科書、美國聯邦公路總署的鋪面評估與維修專家系統(EXPEAR 程式)、與鋪面研究人員所引用。在此研究基礎上，建議我國未來可以 LTPP 資料庫的本土化應用為主要的研究對象，主要的研究課題包括：

1. 建立本土化鋪面績效預測模式。

2. 評估現有鋪面設計方法。

3. 改進現有鋪面維修設計方法與策略。

4. 改進新建與重建鋪面之設計公式。

5. 反射裂縫預估模式之建立與應用(AASHTO 2002)。

6. 決定荷重、氣候環境、材料性質與變異性、營建品質、與養護等對鋪面破壞與績效之

影響。

7. 決定特殊設計因子對鋪面績效之影響。

8. 以績效為基礎之規範(PRS)與設計技術之研發。

6.6 鋪面材料

在鋪面材料方面，國人一般係以採用國外瀝青材料配比設計、試拌、與試鋪等方式進行。建議未來亦可參考美國運輸研究委員會各相關技術委員會所建議之研究需求，深入探討國外各項新材料之特性、使用績效、與應用限制，以收事半功倍之效。建議可以進一步研究的課題包括：

1. 配合理論基礎之新材料試驗與驗證。
2. Superpave 成效規範之驗證與推廣應用。
3. LTPP 特殊鋪面研究 SPS 下對 SHRP 瀝青成效規範與配比設計之驗證。
4. 評估再生瀝青混凝土 RAP、石膠泥瀝青混凝土 SMA、廢輪胎橡膠 CRM 瀝青混凝土、營建廢棄物資源化利用之績效與成本效益。
5. 透水性瀝青鋪面成效與成本之研究(因鬆散、分離、冬季使用砂將填滿孔隙、剝脫、較低之耐久性，美國部分州已停止採用 OGFC)。
6. 半柔性鋪面(Densiphalt)與國人所研發出的半剛性鋪面之特性研究。

綜合以上說明，發現世界各國在鋪面工程之研究上，除了必須「標準化」外，並已從以往的「定性」，發展到現在以「定量」為主要的研究趨勢。美國 LTPP 長期鋪面績效資料庫所代表的意義，更是此量化研究的趨勢的主要核心。如何整合並善用國內有限資源，積極擴展適用於本土需求的鋪面相關研究成果，更是我國與鋪面工程在產官學研各界相關的人員，所必須肩負且責無旁貸的時代使命。

七、結論與建議

本文首先嘗試介紹美國長程鋪面績效研究(LTPP)及 Superpave 成效規範與國內相關瀝青材料研究之概況、暨最近美國運輸研究委員會(TRB)相關委員會之部分研究需求。並針對國內在鋪面分析與設計、鋪面管理、鋪面檢測與回算、鋪面評估與維修、長期鋪面績效分析(LTPP)、與鋪面材料(Superpave 成效規範)等方面，提供相關研究心得與具體建議。期望以「資源有限、腦力無窮」與「剛柔並濟」的思維，探討國內鋪面工程教育、研究發展、與未來國

際接軌的可行性。研究中發現世界各國在鋪面工程之研究上，除了必須「標準化」外，並已從以往的「定性」，發展到現在以「定量」為主要的研究趨勢。美國 LTPP 長期鋪面績效資料庫所代表的意義，更是此量化研究的趨勢的主要核心。如何整合並善用國內有限資源，積極擴展適用於本土需求的鋪面相關研究成果，更是我國與鋪面工程在產官學研各界相關的人員，所必須肩負且責無旁貸的時代使命。

由於所建議可以研究的課題相當多，在此僅簡列以下三項工作，作為可以立即積極爭取執行的研究課題：

1. 鋪面損壞調查手冊之研擬：國內在鋪面養護管理作業上，對於鋪面破壞調查之工作尚未有統一的標準。因此，建議應考慮國內環境的特性，制定一套適合我國使用的鋪面標準調查手冊，以供後續鋪面管理之用。
2. 我國標準軸重軸次調查之研究：任何有效的鋪面管理系統，都必須估算鋪面未來可能需要承受的交通載重，然而，經由資料分析顯示，國內高速公路卡車因子變動起伏的情形非常大，難以找出一致性。因此，建議國內公路主管機關，對於國內目前之標準軸重軸次調查方式，應審慎評估，發現其異動之主要原因，並可針對其交通特性進行有系統的調查與研究，以便國內未來鋪面管理與相關研究之用。
3. 長期鋪面績效資料庫之本土化應用：預估鋪面未來績效為鋪面管理系統不可或缺的功能之一，因此，本研究期望以最少的經費，善用美國長期鋪面績效資料庫(LTPP)，配合國內各種已蒐集之相關鋪面資料，並以此作為基礎逐步發展出具代表性與可靠性高的本土化績效預估模式，進而提昇國內鋪面管理系統的實用性與正確性。

希望借此拋磚引玉，期待國內先進踴躍提供與鋪面工程相關之研究課題，建議未來亦可建立制度化的方式，以集思廣益、彙整國內外鋪面工程相關的熱門研究課題，提供學會團體會員及政府部門，做為其經費預算及施政規劃之參考。尤其歡迎多年期、整體性與系列性的研究規劃建議，期使提昇國內鋪面工程研究環境、加速本土化研究落實及回饋提昇鋪面服務水準、並與世界研究潮流接軌。

八、參考文獻

1. http://www4.trb.org/trb/onlinepubs.nsf/web/problem_statements, 民國九十一年一月。
2. National Highway Institute, "Techniques for pavement rehabilitation - A training course," Participant's Manual, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Final Edition (1998).
3. Lee, Y. H., "TKUPAV: Stress analysis and thickness design program for rigid pavements," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 125, No. 4, July/August, ASCE, pp. 338-346 (1999).
4. Lee, Y. H., "Development of pavement prediction models," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana (1993).
5. Lee, Y. H., and Carpenter, S. H., "PCAWIN program for jointed concrete pavement design," Submitted for Review and Possible Publication in the *Tamkang Journal of Science and Engineering, an International Journal* (2001).
6. Simpson, A. L., Rauhut, J. B., Jordahl, P. R., Owusu-Antwi, E., Darter, M. I., Ahmad, R., Pendleton, O. J., and Lee, Y. H., "Early analyses of LTPP general pavement studies data," Volume 3 - Sensitivity Analyses for Selected Pavement Distresses, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C. (1993).
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, 2001年8月23-24日, 第721-730頁 (2001)。
8. 陳茂雄、呂學士、陳順興, 「排水性瀝青鋪面應用於國道高速公路之探討」, 土木水利第28卷第3期, 民國九十年十一月, 第13-26頁 (2001)。
9. 交通部, 公路養護手冊, 交通技術標準規範公路類公路工程, 幼獅文化事業公司出版, 中華民國七十八年六月 (1989)。
10. 李英豪, 李英明, "鋪面網路養護管理系統與美國 ILLINET 程式之應用," 1994年瀝青混凝土路面及材料特性研討會專輯, 中央大學, 中壢市, 民國八十三年五月十九-二十日, 第177-192頁 (1994)。

11. 顏少棠, 李英豪, 「TKUAPAV: 機場剛性鋪面厚度設計程式」, 第二屆鋪面工程師生研究聯合發表會論文集, 中央大學, 中壢市, 中華民國九十年七月十一日, 第 24-33 頁 (2001)。
12. 張貴祿, 顏少棠, 李英豪, 「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統之研究-評估系統雛形之建立」, 第十一屆鋪面工程學術研討會論文集, 義守大學, 高雄縣, 中華民國九十年八月二十三至二十四日, 第 557~565 頁 (2001)。
13. 第十一屆鋪面工程學術研討會論文集, 義守大學, 高雄縣, 2001 年 8 月 23-24 日。
14. 中華民國第四屆鋪面材料再生學術研討會論文集, 高苑技術學院, 高雄縣路竹鄉, 中華民國 89 年 11 月 (2000)。