

鋪面工程之研究與展望

李英豪 博士
淡江大學土木工程學系



簡報綱要

- 簡介鋪面、美國長程鋪面績效研究(LTPP)、Superpave成效規範、與國內瀝青材料研究
- 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)相關委員會之研究需求
 - 瀝青材料 (Section D)
 - 1瀝青材料特性、2瀝青鋪築混合料中非瀝青成分特性、3瀝青骨材混合料特性以符合面層需求、4瀝青鋪築混合料特性以符合結構需求、與5瀝青技術之一般問題委員會
 - 鋪面管理 (Section B)
 - 1鋪面管理系統、2剛性鋪面設計、3柔性鋪面設計、5鋪面強度與變形特性、與8高速公路交通監測委員會
- 國內與個人相關研究、未來展望



鋪面之功用與構造

- 瀝青混凝土(柔性)鋪面
 - 面層(Surface Course, 4~8 in.)、底層(Base Course)、基層(Subbase)、路床(Roadbed)或路基(Subgrade)
- 波特蘭水泥混凝土(剛性)鋪面
 - 混凝土面版(Surface Course)、基層(Subbase)、路床或路基土壤
 - 壓力分佈至較大面積、路基承載強度對版厚影響甚小
 - 加建基層之目的：主要為防止唧水作用，並非完全為增加鋪面結構強度
- 公路與機場之應用



影響鋪面設計之主要因素

- 交通載重、材料性質、氣候或環境特性
- 常用鋪面設計法
 - AASHTO：AASHTO道路試驗(純經驗法)、鋪面服務能力評分(PSR, PSI)
 - 分析期間之累加期望載重(18仟磅單軸重當量)
 - 柔性鋪面結構數SN、剛性鋪面版厚D
 - PCA：版(中版厚)理論、疲勞與侵蝕分析
 - 混凝土抗彎強度(破裂模數)、路基反力模數(圓板載重試驗)
 - AI：多層彈性理論、限制疲勞裂縫(20%)與車轍(0.5in.)
 - 路床土壤強度(回彈模數Mr)



美國長程鋪面績效研究(LTPP)₁

- 北美洲現場鋪面二十年績效研究
 - 美國公路策略研究計劃(SHRP)美金一億五千萬(1987-1992)、美國聯邦公路總署(1992-2007)
- 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
- 世上最大鋪面績效資料庫(超過6,000變數與400表單)
 - 基本資料、特殊建造、材料試驗、氣候與季節、交通、養護與維修、監測資料(自動儀器、人工破壞調查、抗滑、縱橫向剖面、非破壞性撓度試驗FWD)



美國長程鋪面績效研究(LTPP)₂

- 主要目的
 - 評估現有鋪面設計方法
 - 改進現有鋪面維修設計方法與策略
 - 改進新建與重建鋪面之設計公式
 - 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
 - 決定特殊設計因子對鋪面績效之影響
 - 建立一個國家長期鋪面資料庫



美國長程鋪面績效研究(LTPP)₃

- 一般鋪面研究(GPS約1,100試驗路段)
 - AC/粒料底層、AC/處理底層、剛性鋪面(JPCP、JRPC、CRCP)、現有與新建AC/AC、現有與新建AC/PCC、不粘結PCC/PCC
- 特殊鋪面研究(SPS約1,600試驗路段)
 - 柔性與剛性鋪面:結構因子策略研究、預防性養護之有效性、大型維修
 - 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、SHRP瀝青成效規範與配比設計之驗證
- 季節性監測計劃(SMP共64地點)
 - 主要目的在研究溫度與溼度之變化



Superpave成效規範

1

- 美國SHRP計劃(1987-92)中五千萬美金補助
 - 傳統瀝青規範
 - 針入度(25°C稠度與流動性)
 - 黏度(提供25,60,135°C稠度、溫感性、施工溫度與高低溫性)
 - TFO老化試驗提供其硬化性與穩定性、與環境溫度無直接關係
 - Superpave規範精神
 - 高溫抗變形、中溫耐疲勞、低溫抗脆化能力及抗老化能力
 - 直接將路面最高與最低溫度加入規範中
 - 最高：46,52,58,64,70,76,82 °C
 - 最低：-10,-16,-22,-28,-34,-40,-46°C
 - 共37級(例PG64-10)
 - LTPP資料分析→路面最高最低溫之預估公式
 - 同傳統規範僅規範瀝青品質



Superpave成效規範

2

- 溫感性問題
 - 其低溫次規範=傳統粘度規範下之針入度
 - 溫感性不同→流變行為變化，溫感性低時傾向於假塑性流體，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
 - 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
 - 成效規範G*/sin 之最小值、無法規範硬化性或穩定性
- 未規範粘結料品質(成效規範未必成效)



透水性瀝青鋪面

1

- 多孔隙瀝青混凝土、開放性級配瀝青摩擦層OGFC
 - 中山高開始採美國規範(FHWA,1974)，1.5cm OGFC
 - 高骨材孔隙率、增強抗摩擦、水滑、濺潑之能力與降低噪音
 - 歐洲地區(1980)大量使用並增大骨材標稱粒徑及厚度
 - 日本1989試鋪、1998定「排水性鋪裝技術指針(案)」
 - 美國在1990修改其配合設計、厚度增加至1in.(歐日為4~5cm)、使用纖維填充料增加其抗垂流能力
- 材料
 - 排水性：粗骨材80%、細骨材10%、填充料5%、瀝青5-6%
傳統密級配：粗骨材55%、細骨材34%、其他約相同
 - 高粘度改質瀝青(日本)、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、防剝劑



透水性瀝青鋪面

2

- 配合設計(最佳瀝青含量決定法)
 - 以粘結材之垂流(Run-off)試驗決定其最大用油量
 - 瀝青垂流百分率與瀝青含量曲線，繪出明顯之轉折點或切線之交點，求其所對應之瀝青含量值(4~6%)
 - 以肯塔堡試驗(Cantabro侵蝕試驗)決定其最小用油量
- 孔隙機能降低：車輪滾壓、砂土灰塵異物堆積
- 採「高壓清洗與吸引方式」之高壓清洗車
 - 日本以半年為一清洗週期、我國可能需更頻繁
- 交通與重車比例提高過大、OGFC將難承擔



石膠泥瀝青混凝土(SMA)

- 歐洲國家1960年、美國與日本1990年起使用
- 採較越級配高比例之粗骨材，藉由高瀝青用量、細料填充料、穩定劑充分穩定粗骨材架構
- 瀝青膠泥建議採AC-20以上、粒料需檢驗扁平率、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
- 添加木質纖維或礦物纖維可降低垂流率 $<0.3\%$
- 建議採歐洲各國仍沿用傳統之馬歇爾配合設計
 - 二十多年經驗顯示SMA之耐久性、摩擦力、抗車轍能力、抗疲勞能力均明顯較傳統HMA為佳



再生瀝青混凝土鋪面

1

- 再生材料應用於HMA
 - 1973年能源危機、骨材料日漸匱乏
 - 行政院環保署、工程會頒佈「瀝青混凝土再生利用暫行作業要點」(88年1月)
- 回彈模數較高，疲勞年限亦較高
 - 若E太高則溫度龜裂，若E太低則車轍
- 國內成效試驗(添加刨除料%)
 - 回彈模數、間接張力
 - 潛變、車轍輪跡
 - 無顯著差異：平坦度、抗滑度



再生瀝青混凝土鋪面

2

- RAP配合設計
 - 回收之瀝青含油量、黏滯度、粒料篩分析
 - 國內一般准許將新添加瀝青酌減 $0.2\sim 0.3\%$
 - 瀝青等級分類
 - 針入度(日本廠拌再生鋪裝技術指針)
 - 黏滯度(60°C絕對粘度、135°C動粘度)
- RAP應用於Superpave配合設計
 - RAP粒料吸油率低：以其有效比重代替虛比重
 - RAP粒料吸油率高：求出吸油率以回算其虛比重



廢輪胎橡膠瀝青混凝土

1

- 廢輪胎橡膠改質劑(CRM)
 - 溼式：廢輪胎橡膠瀝青(Asphalt Rubber, AR)
 - McDonald工法
 - 乾式：橡膠瀝青混凝土(Rubber Modified AC)
 - 廢輪胎粉種類：大車胎30mesh(0.60mm)、小車胎30mesh、20mesh(0.85mm)
 - AZ, CA, FL均有完整品質規範(175°C粘度檢測)
- 橡膠顆粒持續與瀝青交互作用，體積膨脹可能在鋪築後持續進行
- 在密級配中可能產生體積不穩定與發生鬆散剝脫、與容易產生永久變形



廢輪胎橡膠瀝青混凝土

2

- 配合設計
 - 溼式：瀝青重量%(5%~20%+)、添加量較少、顆粒較細、有機會與瀝青反應
 - 乾式：混合料骨材重量%(1~3%)、添加量較多、無足夠的反應溫度與時間、可採較粗顆粒、因與骨材比重不同、常需改變骨材級配(開放級配或越級配)、AZ, CA, FL已排除
- 與密級配拌成之混合料很可能不易壓密，建議可採用越級配
- 抗水侵害試驗得知越級配之混合料有較高之張力強度



廢輪胎橡膠瀝青混凝土

3

- 含油量需提高0.5~1%+，回彈模數值較低、抗變形能力較差、潛變量較大、降低耐疲勞性、可使用年限較短
- 應用於應力吸收層(SAMI)或填縫，效果佳
- 國內經驗
 - 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、粘滾輪、滾壓困難、壓密度低、容易剝脫與鬆散、低溫橫向裂縫、費用太高、初期結果相當差
 - 近期道路試驗溼式法較多，廢輪胎粒降至80號篩以下，用量降至0.5~1%，成效似傳統AC



瀝青材料特性委員會(A2D01)

1

- 粘結料抵抗溼度損壞之試驗方法
 - 瀝青與骨材介面剝脫、粘結料吸水軟化
 - 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)有關
 - Superpave粘結料規範尚未訂定抗水侵蝕最低標準
- 瀝青膠泥(Mastic)之績效與特性
 - 缺乏礦質添加劑(Mineral Filler)之規範
 - 探討Binder與Filler交互作用對Mastic特性與績效之影響
 - 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



瀝青材料特性委員會(A2D01)

2

- 粘結料對熱拌瀝青疲勞績效之貢獻
 - 找出影響粘結料抗疲勞之因素(可建造較薄鋪面)
 - 混合料之healing現象對疲勞績效有重大之影響
 - 影響healing因素尚未併入Superpave粘結料規範
- 瀝青粘結料(binder)採購規範之改進
 - 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
 - NCHRP 9-10對可能改進粘結料規範之研究



瀝青材料特性委員會 (A2D01) 3

- 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、對Superpave規範中假設粘結料線性應變之質疑與日俱增
 - 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)、估計級配與瀝青含量對此之影響
- 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
 - 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
 - 發展並驗證Binder老化模式(h, Void, Porosity, T)



瀝青材料特性委員會 (A2D01) 4

- 瀝青粘結料之高等流變模式
 - 最常用Christensen/Anderson流變模式(參數少、具物理意義、但僅適用於線性與非改質瀝青)
 - 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
- 瀝青粘結料之非氧化的硬化
 - 物理的硬化：相對低溫下產生、溫度增高時可逆
 - 硬脂(stearic)的硬化：中等溫度下產生、溫度增高與剪力作用時可逆
 - 建立硬化模式並驗證硬化速率與程度對瀝青混合料之重要性與影響



瀝青材料特性委員會 (A2D01) 5

- 裂縫與接縫瀝青填縫材料之績效規範
 - 現有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(但現場最高溫<70°C)
 - 常用延展性試驗(但忽略與績效相關之裂縫與接縫壁附著特性)
 - 辨識必要之績效參數與試驗並建議績效規範



瀝青鋪築混合料中非瀝青成分特性委員會 (A2D02) 1

- 改進量測細骨材多角性(FAA)的方法
 - Superpave混合料之FAA由標準級配未夯壓試體之孔隙率決定(但現地有許多績效極佳之細骨材無法通過此標準)
 - 檢視SHRP量測FAA之影響因子(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、建議改進的方法
- 評估光電技術在量測骨材形狀上之應用
 - Superpave粗骨材、扁平與細長顆粒、細骨材多角性試驗(目視、手工試驗、耗時、主觀且精度不足)
 - 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、測試不同骨材混合料之績效、訂定試驗方法與規範



瀝青鋪築混合料中非瀝青成分 特性委員會(A2D02)

2

- 開放性級配瀝青摩擦層之配合設計流程之建立
 - OGFC可增強抗摩擦、水滑、濺潑之能力與降低噪音
 - FHWA(1974)之OGFC配合設計法
 - 美國國家瀝青技術中心(NCAT)(1998)調查：雖FHWA在1990修改其配合設計、部分州已停止採用OGFC(因鬆散、分離、冬季使用砂將填滿孔隙、剝脫、較低之耐久性)
 - 經驗較佳：高分子改質瀝青、較粗骨材級配、較高瀝青含量
 - 建立新世代OGFC混合料之標準配合設計流程：抗永久變形(類似SMA)、耐久性(Cantabro侵蝕試驗)、瀝青粘結結排水侵蝕(NCAT draindown試驗)、透水性、抗老化
 - 相關研究：歐洲、南非、澳洲透水性鋪面配合設計



瀝青鋪築混合料中非瀝青成分 特性委員會(A2D02)

3

- 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
 - 抗車轍之瀝青配比技術：SMA, Superpave, 傳統密級配HMA均需要高品質之骨材
 - 依形態學(岩石種類)建立上述瀝青混合料之骨材規範
- 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
 - 可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、對下方鋪面提供防水封層
 - 評估其設計與績效(FL, AZ, TX, CA): McDonald (較粗)、Rouse Rubber Industries(較細)



瀝青鋪築混合料中非瀝青成分 特性委員會(A2D02)

4

- 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
 - 評估其績效與成本效益
- 再生材料應用於HMA
 - 再生瀝青(RAP)、廢棄爐石、混凝土、紅磚、磁磚等
 - 改進配合設計與評估其建造技術(含健康、安全、環境考量、回收能力、配合設計、建造)、NCHRP 9-12計畫
- 瀝青混凝土混合料中之骨材結構與鋪面績效之關係
 - 評估骨材顆粒大小分佈、建立量化量測方法
 - 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)

1

- 探討疲勞裂縫機制在配合設計與結構設計之考慮
- 多孔隙熱拌瀝青混凝土設計與養護
- 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
- 瀝青鋪面混合料之加速實驗室試驗以預測鋪面抗滑力



瀝青骨材混合料特性以符合面層需求委員會 (A2D03) 2

- 骨材形狀與表面紋理之客觀性量測方法
- 改進與滲透性相關的瀝青混凝土配合設計與準則
- 薄層養護處理之骨材品質要求
- 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)

- 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
- 瀝青混凝土混合料簡單績效試驗之展示與改進
- 探討疲勞裂縫機制在配合設計與結構設計之考慮 (同A2D03)
- 改進與滲透性相關的瀝青混凝土配合設計與準則 (同A2D03)
- 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



瀝青技術之一般問題委員會 (A2D05)

- 評估Superpave混合料之最低骨材孔隙率 (VMA)
- 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



鋪面管理系統委員會 (A2B01) 1

- 鋪面管理概念於資產管理 (Asset Management) 架構設計之應用
- 鋪面生命週期與相關成本效益之研究
- 鋪面管理系統概念與專有名詞之標準化
- 機場鋪面適當養護的效益與經費支出之研究
- 鋪面損壞自動儀器調查技術之研發



鋪面管理系統委員會(A2B01) 2

- 決定氣候環境因素對鋪面過早的破壞之影響
- 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
- 地理資訊系統在各種高速公路相關營運之應用
- 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
- 管理機構與制度問題的認識與研發



鋪面管理系統委員會(A2B01) 3

- 評估現有鋪面管理系統之有效性
- 簡單化、強化、並改善鋪面管理系統之最佳化經費應用
- 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
- 以績效為基礎之規範與設計技術之研發



鋪面管理系統委員會(A2B01) 4

- 考慮累計標準軸重當量(ESALs)增加之成本分配模式
- 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
- 在不同鋪面狀況等級下之養護成本
- 改進高階管理人員在鋪面管理系統應用與效益之教育
- 改進鋪面管理之行銷技術



剛性鋪面設計委員會(A2B02)

- 底層型態對混凝土鋪面績效之影響
- 接縫鋼筋設計與選擇以改進接縫績效
- 不粘結混凝土加鋪設計步驟之改進



柔性鋪面設計委員會 (A2B03)

- 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
- 美國超級鋪面 (Superpave) 之持續研發與應用



鋪面強度與變形特性委員會 (A2B05)

- 鋪面回算模數值之現地驗證
- 不粘結粒料層之永久變形參數之決定
- 鋪面評估之新技術



高速公路交通監測委員會 (A2B08)

- 僅利用車輛長度來區分車輛類型的方法
- 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
- 軸間距與軸重當量因子之關係



國內與個人相關研究

- 長期鋪面績效分析
- 鋪面分析與設計
- 鋪面檢測與回算
- 鋪面評估與維修
- 鋪面管理



長期鋪面績效分析

- 30個國家已參與美國長期鋪面績效(LTPP)研究
- 多數國家採用LTPP資料庫架構，並修正其軟體、資料型式與試驗方法
- 國內相關研究極少
- 與國際接軌？
- 鋪面預估模式之建立 (博士論文)
- 協助執行LTPP之前五年早期資料研究



長期鋪面績效分析

- 鋪面預估模式之建立
 - 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此鋪面預估模式構建之流程
 - 所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



鋪面分析與設計

- 柔性鋪面設計
 - 採用國外設計程式 (AASHTO, AI)
 - 瀝青材料配比設計
- 剛性鋪面設計
 - 相關研究極少
 - 柔性鋪面設計
 - 結構因子與交通量？
 - 本土化設計程式？
 - 改進新建與加鋪設計？
 - 剛性鋪面設計
 - 版理論與ILLI-SLAB
 - 開發公路與機場鋪面程式TKUPAV, PCAWIN, TKUAPAV
 - 版式軌道分析 (輕軌運輸)



鋪面分析與設計

- 道路與機場鋪面結構反應分析
 - 將力學分析的概念與統計迴歸法相結合並建立一系統化鋪面預估模式構建之完整流程
 - 發現兩個無因次的力學參數，以有效解決以往鋪面研究人員在針對剛性鋪面受到載重及溫度翹曲影響下之應力分析中所一直無法克服的瓶頸
 - 運用因次分析方法、有限元素程式與嶄新的統計迴歸技術，建立剛性鋪面各臨界位置受載重與溫度作用下支應力預估方程式組



鋪面分析與設計

2

- 道路與機場鋪面結構反應分析 (續)
 - 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，分別建立鋪面在中央、邊緣與角隅等位置的應力預估公式
 - 研究成果兼顧理論與實用便利性，簡化繁複計算時間，以協助工程師從事實際鋪面設計與分析
 - 深入探討長久以來國內、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，解開標準教科書對當量應力計算流程之疑惑，並提出具體的修正建議(PCAWIN程式)



PCAWIN基本輸入圖例

General Data

Total Thickness, h (in) : 15.5
 Subgrade Modulus, E (psi) : 1.0E+06
 Modulus of Rupture, S_c (psi) : 450
 Concrete Shoulder : Yes No
 Design Area :

Axle Load Data

Average Daily Truck Traffic, ADTT : 16881
 Design Period, Years : 20
 Load Safety Factor, LSF : 1.2

Axle Load (kip)	Single		Axle/1000	
	Single	Double	Single	Double
30	8.50	5.2	1.58	
20	1.35	48	3.94	
26	2.77	44	11.48	
24	5.87	48	14.27	
22	9.83	38	37.42	
20	21.67	32	85.59	
18	29.24	28	162.21	
16	30.93	24	98.52	
14	53.94	20	112.70	
12	168.84	16	124.63	



PCAWIN基本輸出圖例 (1)

(1)

```

=====
PCAWIN Design
Regional Data
=====
Total Thickness, h (in) = 15.50
Subgrade Modulus, E (psi) = 1.0E+06
Modulus of Rupture, Sc (psi) = 450
Concrete Shoulder : No
Design Area : Yes
Average Daily Truck Traffic, ADTT = 16881
Design Period, Years = 20
Load Safety Factor, LSF = 1.20

Axle Load (kip)      Axle Load (kip)
Single               Double
-----
08.5  8.50  5.2  1.58
13.5  1.35  48  3.94
26.0  2.77  44  11.48
24.0  5.87  48  14.27
22.0  9.83  38  37.42
20.0  21.67 32  85.59
18.0  29.24 28  162.21
16.0  30.93 24  98.52
14.0  53.94 20  112.70
12.0  168.84 16  124.63
=====
    
```



PCAWIN基本輸出圖例 (2)

(2)

```

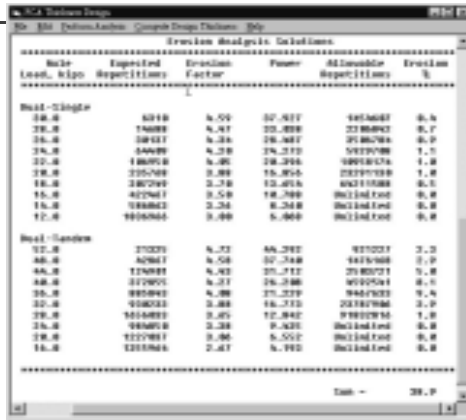
=====
PCAWIN Design
Fatigue Analysis Section
=====
Load, kNip      Response      Response      Response      Response      Fatigue
Load, kNip      Response      Response      Response      Response      Fatigue
-----
Road - Single
08.5  8.50  395.8  0.000  26223  33.8
13.5  13.50  387.8  0.500  20980  17.5
16.0  16.00  384.2  0.528  20587  16.8
26.0  26.00  379.8  0.991  19690  15.2
24.0  24.00  374.2  0.950  19098  14.3
22.0  22.00  368.8  0.918  18510  13.5
18.0  18.00  358.8  0.875  16810  11.8
16.0  16.00  348.8  0.832  16110  11.2
14.0  14.00  338.8  0.789  15410  10.6
12.0  12.00  328.8  0.746  14710  10.0

Road - Double
12.0  24.00  319.2  0.982  17668  1.8
16.0  32.00  304.8  0.956  13910  0.2
18.0  36.00  292.8  0.928  10110  0.8
20.0  40.00  280.8  0.900  10110  0.8
22.0  44.00  268.8  0.872  10110  0.8
24.0  48.00  256.8  0.844  10110  0.8
26.0  52.00  244.8  0.816  10110  0.8
28.0  56.00  232.8  0.788  10110  0.8
30.0  60.00  220.8  0.760  10110  0.8
32.0  64.00  208.8  0.732  10110  0.8
34.0  68.00  196.8  0.704  10110  0.8
36.0  72.00  184.8  0.676  10110  0.8
38.0  76.00  172.8  0.648  10110  0.8
40.0  80.00  160.8  0.620  10110  0.8
=====
    
```



PCAWIN基本輸出圖例

(3)



Slab	Layer	Material	Modulus	Thickness	Stress	Strain	Factor
Slab1 - Single	1.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	2.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	3.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	4.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	5.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	6.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	7.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	8.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	9.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	10.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
Slab1 - Slabmem	11.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	12.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	13.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	14.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	15.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	16.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	17.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	18.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	19.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6
	20.0	CONCRETE	3.0E+07	0.15	1.0E+07	0.0003	0.6



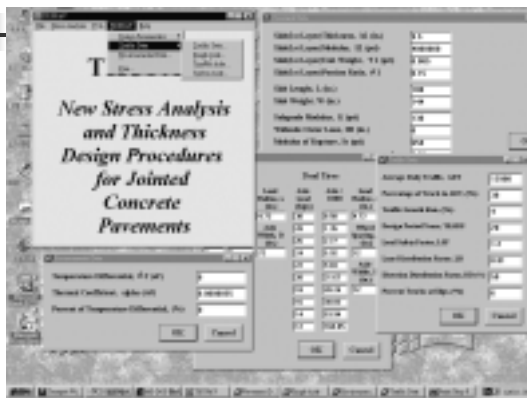
鋪面分析與設計

3

- 道路與機場鋪面結構反應分析(續)
 - 將研究成果彙整並自動化，並擴展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)
 - 與國內剛性路面試驗路段之監測及相關資料比較，以有效地驗證該程式對此應力預估之可靠性
 - 探討美國聯邦飛航總署(FAA)傳統的厚度設計法與新的LEDFAA設計法之差異。利用累積疲勞損壞因子的概念，以解決傳統方法中對不同機型與起飛次數轉換的問題與困難



TKUPAV程式輸入圖例



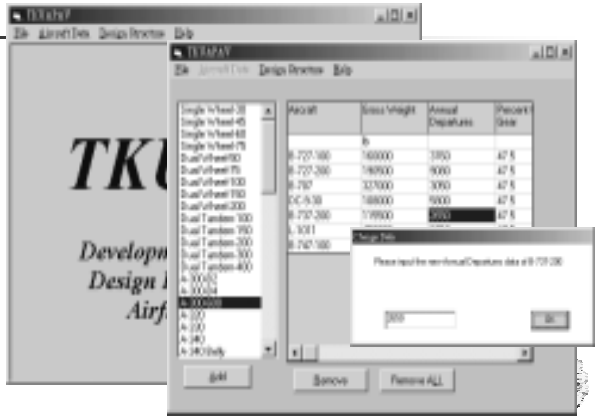
鋪面分析與設計

4

- 道路與機場鋪面結構反應分析(續)
 - 重新評估飛機通過涵蓋比值(P/C)的原始發展觀念，比較傳統FAA與新的LEDFAA的疲勞破壞曲線之關係，並利用當量應力因子的觀念，以建立新的疲勞破壞曲線
 - 建立一套擁有良好使用介面且可利用版理論法來分析波音B-777型飛機的新機場剛性鋪面厚度設計程式(TKUPAV)
 - 該研究成果並被美國運輸研究委員會收錄於1999年的Catalog of Practical Papers，並分送該目錄至各州運輸部，以期將具體研究成果技術轉移至產業界



TKUAPAV程式輸入圖例



TKUAPAV程式輸出圖例

(1)



TKUAPAV程式輸出圖例

2



鋪面檢測與回算

- 柔性鋪面回算
 - 非線性、動態
 - 三維有限元素程式
 - 類神經網路?
 - 撓度指標法?
 - NDT全面評估?
- 剛性鋪面回算
 - 國內相關研究極少
- 柔性鋪面回算
 - 靜態彈性理論為基礎
 - 因次分析與一對一
 - 投影追逐迴歸法
- 剛性鋪面回算
 - Losberg理論解
 - 二維有限元素程式
 - 多版與溫差效應研究
 - 構建TKUBAK回算程式

鋪面檢測與回算

1

- 柔性鋪面與剛性鋪面回算
 - 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
 - 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之鋪面評估與維修管理工作
 - 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



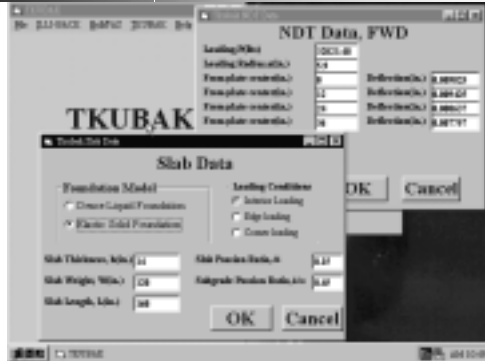
鋪面檢測與回算

2

- 柔性鋪面與剛性鋪面回算(續)
 - 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
 - 開發出一套非常容易使用的「TKUBAK」(剛性鋪面彈性模數回算)個人電腦程式，將「易學」與「易用」之理念融入於實際分析流程中，以促進學術界與工程界之交流



TKUBAK鋪面回算程式圖例



鋪面評估與維修

- 路網與個案層級混用
- 固定長度路段100m、個別版塊
- GIS與全球定位系統(GPS)之應用
- 專家系統
- 模糊理論
- 相容性養護策略?
- PSR=F(各種破壞, IRI)?
- 個案層級
- 均質路段(抽樣觀念、樣本路段資料)
- 目前GPS在PMMS應用之效益極低
- 提供柔性與剛性鋪面
 - 損壞調查之可行標準
 - 劃分資料需求等級
 - 鋪面維修技術
- 建立ICSMART-R與ICSMART-F程式



鋪面評估與維修

- 建議統一的鋪面損壞調查標準
- 介紹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)
- 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
- 預測維修前與維修後鋪面未來狀況
- 建立自動化成本分析之流程以選擇最佳維修策略
- 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)



ICSMART-F程式評估輸入圖例

專案基本資料

樣本調查資料



ICSMART-F程式評估輸出圖例

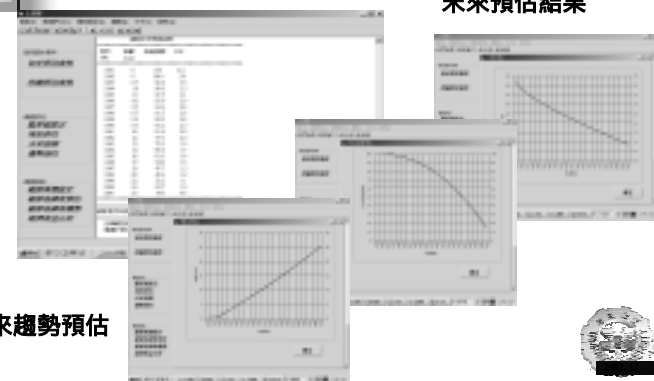
評估門檻值設定

評估結果與維修建議



鋪面趨勢預估圖例

未來預估結果



未來趨勢預估



ICSMART-R程式與實例說明

- 檔案
 - 單位選擇、開啟舊檔、儲存檔案、儲存分析結果、列印報表與結束
- 路段基本資料
 - 基本調查資料與現地調查資料
- 鋪面評估
 - 臨界值修改、鋪面現況評估、鋪面未來預測與鋪面趨勢預估
- 鋪面維修
 - 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
- ICSMART-R程式實例說明



ICSMART-R程式輸入圖例

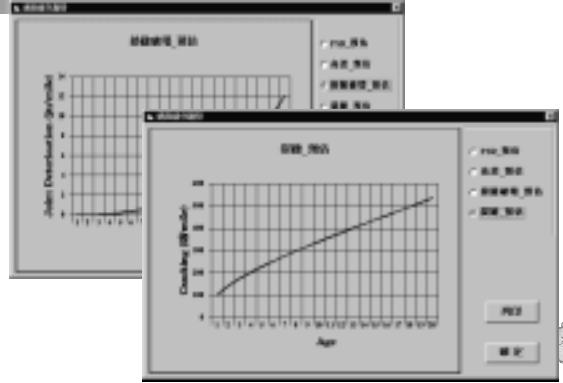
個案路段基本資料



ICSMART-R程式輸出圖例



鋪面趨勢預估圖例



鋪面主要及細部維修策略圖例



生命週期成本分析圖例



鋪面管理

- 路網與個案層級混用
- 固定長度路段(100m,20m)
- 全球定位系統(GPS)之應用
- 地理資訊系統(GIS)之應用
- 網際網路(WWW)之應用?
- 資料庫架構?模糊迴歸?
- 相容性養護策略?
- $PSR = F(\text{各種破壞, IRI})$?
- 全面性非破壞性撓度調查?
- 路網層級
- 均質路段(抽樣觀念、樣本路段資料)
- 目前GPS在PMMS應用之效益極低
- 建立動態分段資料庫與簡易型地理資訊系統架構之程式(NETDSD)
- 建立最佳化鋪面路網維修管理策略之程式(TKUNET)

鋪面管理

- 鋪面管理系統建立與應用
 - 首度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
 - 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

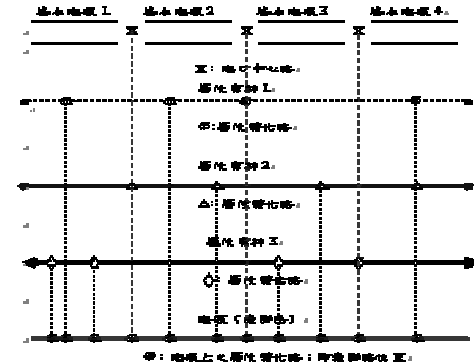
鋪面管理

1

- 鋪面管理系統建立與應用(續)
 - 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
 - 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)
 - 最佳化鋪面路網維修管理策略之雛形程式(TKUNET程式)
 - 綜合性指標在鋪面工程之應用(PCI)

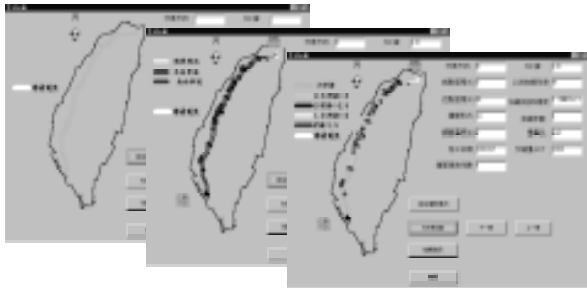


動態分段資料庫架構



動態分段資料庫程式(NETDSD)

綜合資料地理圖形顯示



TKUNET程式之功能與應用

- 分析結果輸出
 - 路段維修資料
 - 路網維修後狀態圖
 - 路網維修後狀態分析
 - 路網維修後殘餘壽命分析
 - 路網排序分析結果等功能
- TKUNET程式實例說明



參數與強制維修設定圖例

Parameter and Mandatory Maintenance Settings Dialog Box:

- Parameters:
 - PSR門限值: []
 - 卡車因子: 2.5
 - 交通量收費率 (%): []
 - 年利率(%): []
- Mandatory Maintenance Settings:
 - 路段編號: []
 - 起點里程數 (KM): []
 - 終點里程數: []
 - PSR: []
 - 結構強度 (CM): []
- Options:
 - 存儲
 - 選擇增加
 - 重新構造
- Buttons: 下一筆, 上一筆, 取消重設, 確定, 關閉

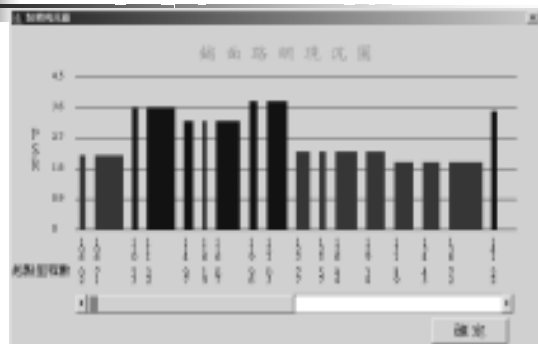


路段現況資料查詢圖例

Road Segment Status Data Query Dialog Box:

- Fields:
 - 路段編號: 1
 - 路線: 中山高速公路
 - 方向: 南向
 - 起點里程數: 106.02
 - 終點里程數: 106.71
 - 車率比率(%): 1.7
 - 鋪面形式: 柔性鋪面
 - 結構強度(CM): 4.5
 - 車道數: 2
 - PSR: 2.2
 - AADT: 12
- Graph:
 - Y-axis: PSR
 - X-axis: 第一年至第五年
 - Legend: PSR門限值 (horizontal line), PSR現況值 (sloping line)
- Buttons: 搜尋路段編號, 第一筆, 選擇一筆, 下一筆, 上一筆, 確定

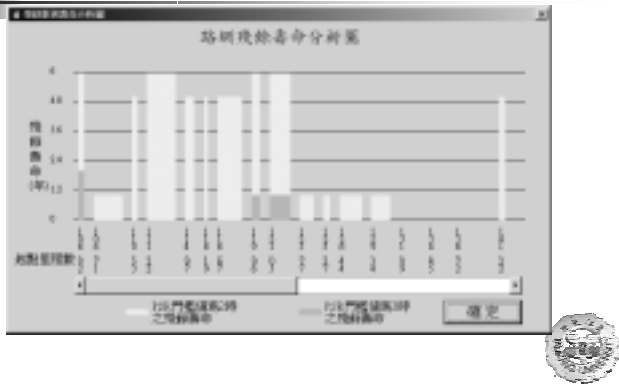
鋪面路網現況圖例



路網未來狀態分析圖例



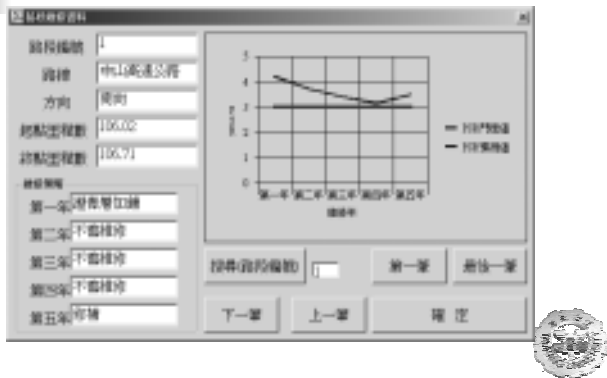
殘餘壽命分析圖例



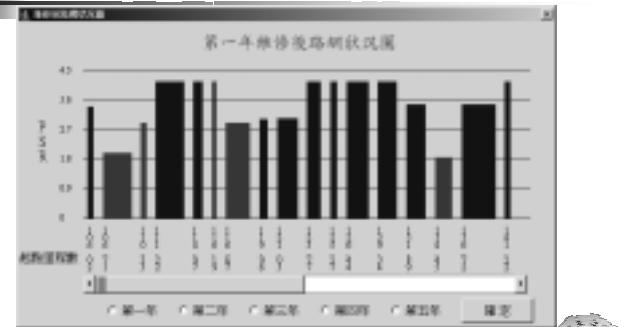
維修策略排序分析圖例



路段維修資料圖例



路網維修後狀態圖例



路網維修後狀態分析圖例



總結與未來展望

- 國內鋪面工程教育與研究之展望
 - 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)
 - 鋪面材料(Superpave成效規範)
- 「剛、柔」並濟
- 「資源有限、腦力無窮」
- 提具體建議、與國際接軌



鋪面分析與設計

- 底層型態對混凝土鋪面績效之影響
- AASHTO, AI設計流程之改進與本土化
- 柔性與剛性鋪面加鋪設計方法之改進
- AASHTO 2002年力學與經驗鋪面設計法之建立
- AASHTO道路試驗資料之再分析
- 版式軌道之力學分析(輕軌運輸)
- 機場鋪面各種設計因子之研究(COE現地資料)
- 丹佛國際機場(DIA)鋪面現場資料分析
- 美國國家機場鋪面中心(NAPTF)試驗資料分析
- 美國長程鋪面績效分析(LTPP)



鋪面管理

- 路網與個案層級分隔
- 均質路段(抽樣觀念、樣本路段資料)
- 動態分段資料庫與地理資訊系統之整合
- 評估我國現有鋪面管理系統之有效性
- 簡單化、強化、並改善鋪面管理系統之最佳化經費應用
- 我國鋪面管理機構與制度問題的研究(管線挖掘回填問題)
- 鋪面管理概念於資產管理架構設計之應用
- 推動鋪面損壞調查手冊與專有名詞標準化
- 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



鋪面檢測與回算

- 利用LTPP現地FWD資料驗證柔性與剛性鋪面回算程序
- 透地雷達在鋪面工程之應用
- 有限元素程式之模擬與分析(ABAQUS, ILLISLAB)
- 多版與溫度翹曲對剛性鋪面回算之影響
- TKUBAK程式之擴充與驗證(多層系統)
- 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)



鋪面評估與維修

- 推動建立我國統一的鋪面損壞調查標準
- 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)
- 專家系統：問卷設計與專家知識庫之建立
- 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)之持續驗證與應用
- 本土化鋪面績效預估模式之建立
- 綜合性指標在鋪面工程之應用



長期鋪面績效分析

- 評估現有鋪面設計方法
- 改進現有鋪面維修設計方法與策略
- 改進新建與重建鋪面之設計公式
- 反射裂縫預估模式之建立與應用(AASHTO 2002)
- 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
- 決定特殊設計因子對鋪面績效之影響
- 以績效為基礎之規範(PRS)與設計技術之研發



鋪面材料

- 配合理論基礎之新材料試驗與驗證
- Superpave成效規範之驗證與推廣應用
- 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
- 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
- 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)
- 半柔性鋪面(Densiphalt)
- 量化研究的趨勢(定性→定量、Superpave vs. LTPP)



敬請指教

#關注七數
敬請指教

THANKS FOR YOUR ATTENTION

