

剛性鋪面維護管理系統簡介

徐志忠、顏少棠、李英豪
淡江大學土木工程學系



研究背景與動機

- 剛性鋪面特性
 - 承載力佳、使用年限長、維修費用低
 - 公路鋪面(國道中山高收費站、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)與機場鋪面
- 鋪面路網相繼擴大
 - 第二高速公路、東西向快速道路、縣市道路
 - 鋪面養護與維修管理計畫的擬定與實行必然是一項極為龐大且費時的工作
- 鋪面管理系統(路網階層、個案階層)
 - 國內現有的鋪面管理系統所涵蓋範圍過大、所需資料過多、難以落實完整蒐錄
 - 如何以資訊化與自動化方式構建可有效執行之鋪面管理系統，實為日漸重要之課題



研究方法與流程

- 國內現行公路與機場養護管理作業之回顧
- 鋪面資料需求與分類
 - 路段之定義、抽樣、與調查
 - 動態分段資料庫構簡介與應用
- 常見剛性鋪面破壞類型與維修方法簡介
 - 國外剛性鋪面維修技術
 - 維修時機、材料特性、斷面選擇及施工機具等(略)
- 剛性鋪面現況之評估
 - 破壞調查與原因探討(鋪面基本資料與現地調查資料之需求與分類)
 - 鋪面結構性與功能性評估-修正國外決策樹架構
- 剛性鋪面未來狀況之預測(維修前與維修後)
- 剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統(ICSMART-R)程式
 - 自動化分析流程、生命週期成本分析、最佳化維修策略選擇



國內現行公路養護管理作業

- 以經驗判斷為主，較缺乏系統化之決策流程
- 國內鋪面養護管理系統
 - 系統龐大，所需資料較多
 - 如撓度、車轍深度等，調查時效不足、投注人力物力龐大
 - 路段定義-固定長度路段
 - 中山高路面養路管理系統以100m為資料單元長度
 - 公路局路面維護管理系統以20m登入破壞資料一次
 - 缺乏預測鋪面未來狀態之預測模式
 - 路網階層管理方式不明確
- 本研究將採用個案階層的鋪面管理
 - 『均質路段』路段配合『抽樣』概念



國內現行機場養護管理作業

- 依營運特性分為一般性維修與緊急維修
- 維護單位依據查報結果，針對鋪面個別損壞情形、經濟效益、維修緊急程度等因素規劃維修方式與選用維修材料
- 僅查報維修已破損的鋪面，未能適時掌握最佳維修時機，執行一般性養護工作
- 常為緊急搶修之小型工程，較無法掌握維修品質
- 未能適時改進維修技術規範，維修後常重複產生相同損壞



鋪面資料需求與分類

- 鋪面管理層級：路網階層、個案階層
- 路段之定義
- 路段之抽樣與調查
- 資料庫構建之原理與架構



路段之定義

- 固定長度路段與均質路段
 - 固定長度路段(Fixed Length Section)：以固定長度路段的方式對鋪面路段加以分割
 - 均質路段(Uniform Section)：路段的鋪面基本資料、材料性質、鋪面厚度、或交通量等屬性皆相同
- 現行鋪面管理系統採用之路段單元
 - 國內：固定長度路段，路段編碼，固定長度
 - 國外：均質路段，動態分段資料庫記錄方式
- 建議採用均質路段
 - 優點：有彈性、可調整、及易於分析管理等



固定長度路段與均質路段之比較

| 路段形式 | 固定長度路段 | 均質路段 |
|------------|--------------------|--------------------|
| 路段長度 | 固定長度 | 變動長度 |
| 使用方便性 | 高 | 低(路段長度決定不易) |
| 資料重複性 | 高 | 低 |
| 資料儲存方式 | 同一表格 | 可分散於不同表格 |
| 資料路段選定 | 人為選定(路段編號) | 動態分段結果產生 |
| 資料更新 | 不易(數量龐大) | 易 |
| 資料登錄方便性 | 低 | 高(各屬性資料專費紀錄) |
| 路段範圍內屬性一致性 | 低(路段中可能有變動) | 高(路段起迄點內各屬性性質一致) |
| 適用範圍 | 路網長度較小，路段個數相對較少的區域 | 路網長度較長，路段個數相對較多的區域 |



路段之抽樣與調查

- 資料蒐集原則SMART
 - 明確性(Specific)、可量測性(Measurable)、有限資源內可達成性(Achievable)、相關性(Relevant)、與及時性(Timely)
- 樣本路段長度
 - 20±8個版塊數、或100公尺
- 抽樣個數

$$n = \frac{NS^2}{(e^2/4)(N-1) + S^2}$$
 - 10%

| 樣本總數 | 抽樣數 |
|-------|-----|
| 1-5 | 1 |
| 6-10 | 2 |
| 11-15 | 3 |
| 16-50 | 4 |
| 40以上 | 10% |

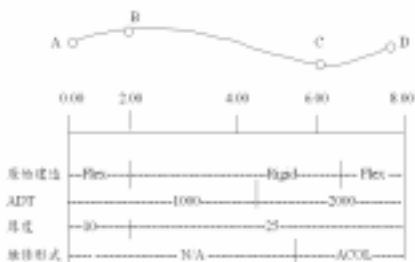


資料庫構建之原理與架構

- 資料庫管理之特性與原則
 - 資料儲存單一化、資料可重複應用、確保資料一致性、容易學習操作、複雜處理流程經設計後可成重複使用
- 利用現有資料庫軟體 (Access)
 - 簡單易學，並提供統計分析、圖形展示、資料轉換、查詢、與報表等功能
- 資料庫型態
 - 階層式、路網式、關連式資料庫



鋪面路段屬性資料變化示意圖

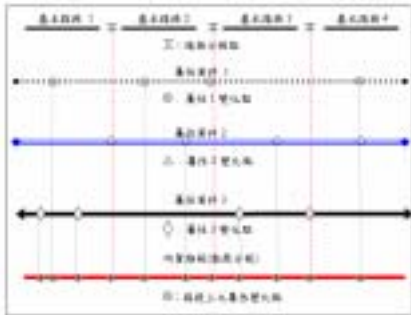


動態分段之原理與方法

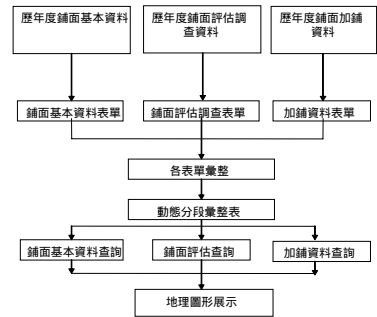
- 路段之屬性資料可能隨時間而變化
 - 如加鋪或維修、交通量、與鋪面狀況調查資料
- 路線上屬性改變的位置往往不相契合(即各種屬性資料的起迄點劃分並不相同)
- 使用原始資料登錄方式較易於登錄、更新、與管理
- 使用「動態分段」方式產生各「均質路段」，可整合各屬性資料，使資料精簡化，並易於分析與管理



鋪面動態分段之示意圖

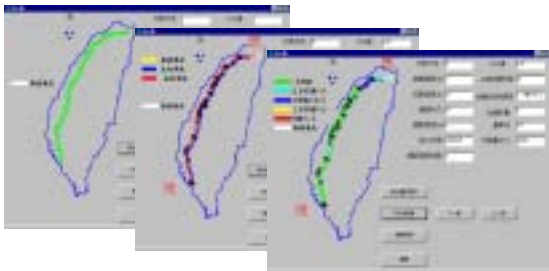


NETDSD程式架構圖



動態分段資料庫程式輸出圖例

綜合資料地理圖形顯示



資料庫應用與路網維修管理策略分析

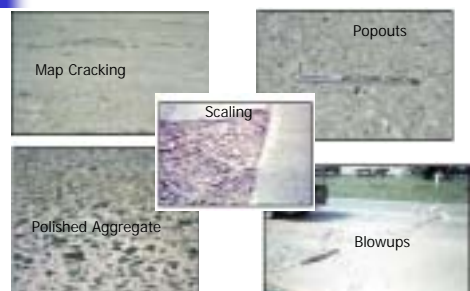
- 鋪面路網維修管理策略最佳化分析程式(TKUNET)
- TKUNET程式之功能與分析結果輸出
 - 現況資料查詢：路段現況資料查詢、路網現況圖、路網未來狀態分析、與殘餘壽命分析等
 - 維修策略排序分析：有強制維修分析、需求分析、簡單排序、益本比及增量益本比分析等
 - 分析結果輸出：路段維修資料、路網維修後狀態圖、路網維修後狀態分析、路網維修後殘餘壽命分析與路網排序分析結果等
- TKUNET程式實例說明(略)
<http://teg.ce.tku.edu.tw/lee/papers/cspe-v2-no3.pdf>



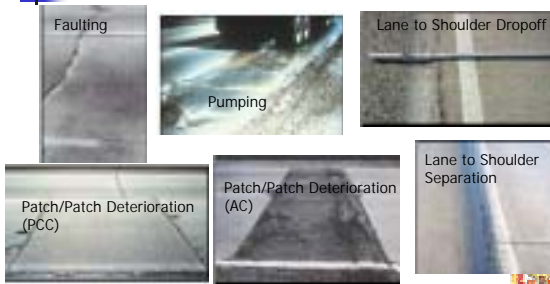
常見剛性鋪面破壞類型



常見剛性鋪面破壞類型(續)



常見剛性鋪面破壞類型(續)



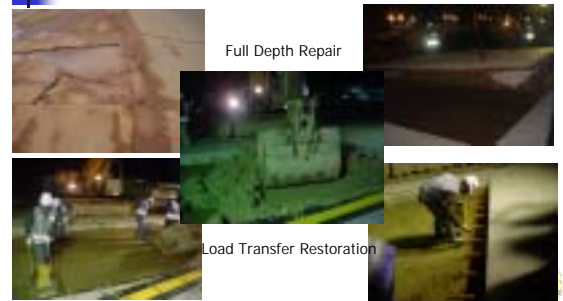
常見剛性鋪面維修方法

- 接縫填縫料維修
- 全厚度修補
- 部分厚度修補
- 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(Overlay)
- 重建(Reconstruction)

常見剛性鋪面維修圖例



常見剛性鋪面維修圖例



全厚度修補

- 使用時機
 - 擠破、角隅斷裂、耐久性裂縫造成的剝落、反應性骨材造成的剝落等損壞、嚴重損壞的舊版塊移除、版塊間喪失荷重傳遞功能時之維修
- 材料需求
 - 考量車道關閉可用施工時間(選用高早強水泥、速凝水泥、預鑄混凝土等材料)
- 維修範圍
 - 建議最小維修尺寸(全車道寬及最小維修長度1.8公尺以上)
- 施工方法與步驟
 - 鋸切混凝土(粗糙面法、平滑面法)

全厚度修補(續)

- 移除損壞混凝土版塊
 - 破碎清除法、吊離法
- 維修斷面處理
 - 當基層及路基材料喪失時應重新置換相似材料或混凝土
 - 可設置橫向排水管或開放性級配碎石等排水設施，並在澆置新材料前將過多存於維修斷面的水排除
- 裝置縱縫筋
 - 於版塊垂直面鑽孔，以水泥漿或環氧樹脂材料填注，自由端塗潤滑油脂
- 養護與開放交通

部分厚度修補

使用時機

- 修復不超過1/3版厚的表面缺陷及淺層接縫剝脫之鋪面

材料需求

- 維修材料（波特蘭水泥混凝土修補材料、環氧樹脂或其他專利速凝維修材料）與黏結材料
- 澆置前應用水泥薄漿，在面乾內飽和情況下塗一層黏結劑以增加維修材料與現存版塊間之黏結力
- 並非所有維修材料都需要黏結劑

維修範圍界定

- 建議最小修補面積 = 10 in. * 4 in.

維修斷面處理

- 噴砂法、噴氣機、清掃



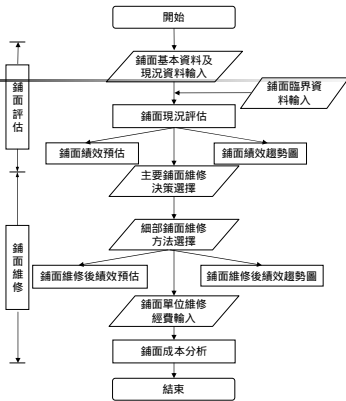
部分厚度修補 (續)

維修材料澆置

- 現存混凝土表面被清理後，澆置前應該塗佈一層黏結劑
- 應用水泥薄漿前，現存表面該在飽和且表面乾燥情況下
- 使用Epoxy或其他薄漿時，應該完全遵照製造廠商的指示
- 修補區域底層與兩側應完整的塗佈
- 水泥漿應該在修補材料澆置前立刻塗佈，使水泥漿與修補材料接觸前不致凝固
- 空氣溫度或鋪面溫度低於4 時不應澆置。溫度低於13 時需要溫水、隔離覆蓋物、以及較長的養護時間



ICSMART-R系統整體架構



鋪面基本資料與現地調查資料之需求與分類

| 資料類別 | 資料名稱 | 需求與分類 |
|--------|------|--|
| 基本資料 | 一般資料 | 建造日期 (S)、路段長度 (R)、鋪面版厚 (R)、車道寬度 (R)、溝渠深度 (S)、鋪面紋路 (S)、地下排水系統 (R)、縱縫筋直徑 (S) |
| | 交通資料 | 年ESAL值 (R)、年交通持長率 (R) |
| | 氣候資料 | 年降雨量 (R)、月平均溫度 (R) |
| 現地調查資料 | 材料資料 | 路基土壤分類資料 (R)、底層材料資料 (R)、填縫型態資料 (S)、路肩種類 (S)、橫向接縫間距 (R)、接縫填縫寬度及深度 (S) |
| | 損壞資料 | 裂縫調查資料：縱向裂縫 (R)、橫向裂縫 (R)、角隅裂縫 (R)、橫向裂縫修補方式 (S)、接縫破壞資料：接縫填縫料破壞數量 (R)、接縫破壞長度 (S)、縱向及橫向接縫剝落 (S)、縱向及橫向裂縫深度、骨材反應 (S)、角隅斷裂 (S) |
| | 糙度資料 | 梅氏指標 (R)、抗滑值 (R) |
| | 其他資料 | 邊線排水 (S)、唧水現象 (R)、隆起斷裂 (S)、總高差 (R) |



鋪面現況評估與未來預測

鋪面現況評估 (修正現有之決策樹)

- 結構性評估及功能性評估(糙度缺陷)
- 防滑性、接縫施工破壞、排水性破壞、荷重傳遞效應不足、接縫填縫料缺陷

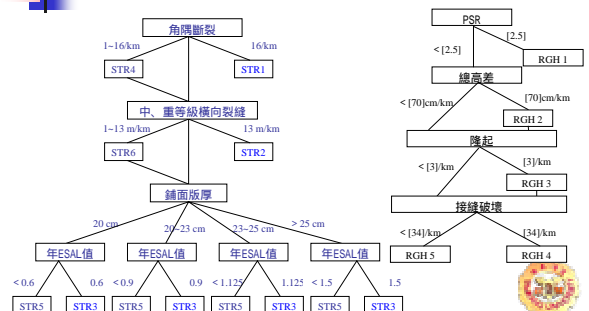
鋪面未來預測 (維修前與維修後)

$$PSR = 4.5 - (1.486 \times ESAL^{0.1467}) + (0.4963 \times ESAL^{0.265} \times Ratio^{0.5}) - (0.01082 \times ESAL^{0.644} \times Age^{0.525} \times \frac{SUMPREC^{0.91}}{AVGMT^{1.07}})$$

- 暫時引用NCHRP 1-19中對JPCP鋪面的預估模式(鋪面服務能力、接縫破壞、裂縫、高差)
- 待後續蒐集國內本土鋪面績效資料回饋修正之



結構性評估與功能性評估決策樹



預設之決策樹臨界值 (可彈性修正之)

| 決策樹 | 臨界值資料 |
|----------|---|
| 精度缺陷評估 | 臨界PSR值(2.5) 起始PSR值(4.5) 總高差(73cm/km) 隆起數量(3/km) 接縫破壞數量(34/km) |
| 防滑性缺陷評估 | 抗滑值(44) |
| 接縫破壞評估 | 接縫破壞數量(34/km) 橫向接縫間距(9m) |
| 接縫施工缺陷評估 | 縱向裂縫總長度(95m/km) |
| 排水功能評估 | 溝渠深度(2.4m) |
| 結構破壞評估 | 角隅裂縫數量(16/km) 中、重等級橫向裂縫長度(13m/km) |

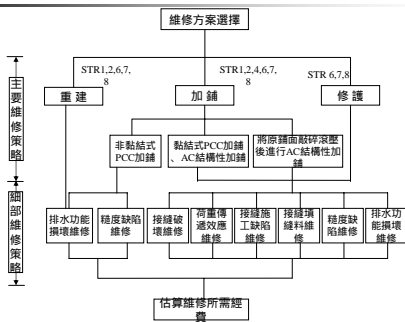


主要維修方法架構

| 結構性評估 | 敘述 | 主要維修方法 |
|-------|---|------------|
| STR1 | 鋪面的結構不足，由於角隅斷裂大於25(個/英里) | 鋪面加鋪或重建 |
| STR2 | 鋪面的結構不足，由於惡化的橫向裂縫大於67(個/英里)或者裂縫延伸出單一車道 | 鋪面加鋪或重建 |
| STR3 | 鋪面的結構略有不足，由於在潮濕或者乾濕(燥)氣候下，鋪面板厚度不足以承受目前的ESAL值 | 鋪面加鋪 |
| STR4 | 目前鋪面結構尚未不足，雖然邊緣破壞數小於25(個/英里)但鋪面卻需要修補的 | 鋪面加鋪、重建或修護 |
| STR5 | 鋪面調查顯示結構未有不足之處 | 鋪面加鋪、重建或修護 |
| STR6 | 目前鋪面結構尚未不足，由於惡化的橫向裂縫小於67(個/英里)或者裂縫延伸出單一車道，建議鋪面需要做修補工作 | 鋪面加鋪、重建或修護 |



維修處理決策流程圖



生命週期成本分析

- 利用鋪面破壞數量的計算及所選擇的維修技術，配合使用者提供的單位維修成本
- 成本分析與最佳維修策略之選取
 - 維修總成本以現值(PW)與等額年值(EUAC)表示

$$PW = EUAC \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

i=折現率, n=續效年限

- 在使用者進行不同維修策略之選擇、組合後，即可得到不同之鋪面生命週期分析，並可依此分析選擇最佳之維修策略

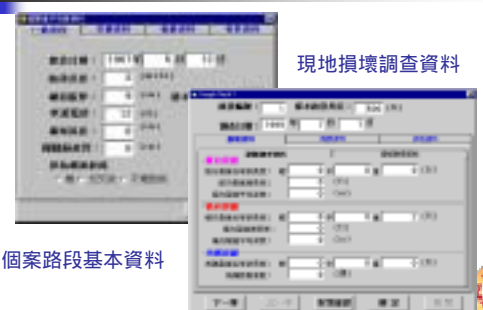


ICSMART-R程式與實例說明

- 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



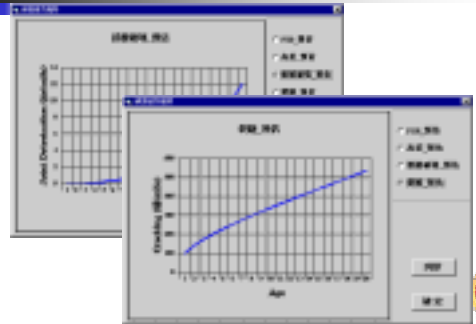
個案路段基本資料



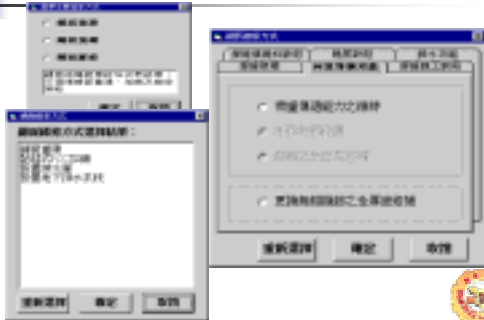
ICSMART-R程式輸出圖例



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



鋪面管理之研究與展望

- 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(各種破壞, IRI)?
- 全面性非破壞性撿度調查?
- 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)

鋪面評估與維修之研究與展望

- 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(對個別版塊)
- 專家系統
- 模糊理論
- 相容性養護策略?
- PSR=F(各種破壞,IRI)?
- LTPP績效預測模式?
- 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
- PCI程式

鋪面檢測與回算之研究與展望

- 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



結論與建議

- 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
 - 暫時採用NCHRP 1-19 EXPEAR程式之維修決策及績效預估模式，並參考國內之現況來進行鋪面維修的決策與鋪面績效之預估
- 建立剛性鋪面維修與養護技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-R)
- 建議未來以國內本土鋪面現況資料回饋修正之(決策樹之適用性與美國LTPP績效資料的分析)



敬請指教

THANKS FOR YOUR ATTENTION

