

中華民國第五屆鋪面材料再生學術研討會

鋪面路網維修管理策略最佳化之研究

淡江大學土木工程學系

中華民國九十一年十月三、四號

研究背景與動機

- 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
 - 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
 - 如何構建一能有效執行之鋪面管理系統，實為日漸重要之課題

研究目的與範圍

- 本研究將採用路網層次的鋪面維修管理系統為考量
 - 以均質路段進行鋪面維修策略選定、優先次序排列與經費分配最佳化等作為主要研究範圍
- 以管理者需求為出發點，構建一套鋪面路網維修管理策略最佳化分析程式
 - 期望能以最少的資源達成協助管理決策，達到管理的目的
 - 資料需求較少之優勢，應為一較易執行的系統

鋪面管理系統與管理階層之介紹

- 鋪面管理系統
 - 利用系統化的方法，協助並改善各不同管理階層訂定管理決策時的效率，確保決策的一致性
- 管理階層
 - 路網階層(Network-Level)
 - ✓ 主要為高階決策階層，是在所有預算限制內作路網養護優先排序計畫、研擬養護及時間表，且所作決定將會影響整體路網的鋪面管理計畫
 - 個案階層(Project-Level)
 - ✓ 為對於路段的技術管理決策，依據路網階層計畫的養護預定時間表，在適當時機對於路段開始施予實質的養護作業
 - 路網階層所需資料較少，個案階層則需較詳細之細部資料
 - 本研究將朝向以路網階層之鋪面維修管理系統為考量

國內鋪面養護管理系統

- 民國72年-台灣區高速公路路面管理系統
- 民國80年-市區道路鋪面養護管理系統
- 民國81年-台灣地區一般公路鋪面養護管理系統
- 民國86年-中山高速公路路面養護管理系統電腦實務運用
- 民國89年-路面維護管理系統

路網與個案層級不分，系統包含範圍過大，實際執行困難，難以落實

國內養護實務單位養護作業方式

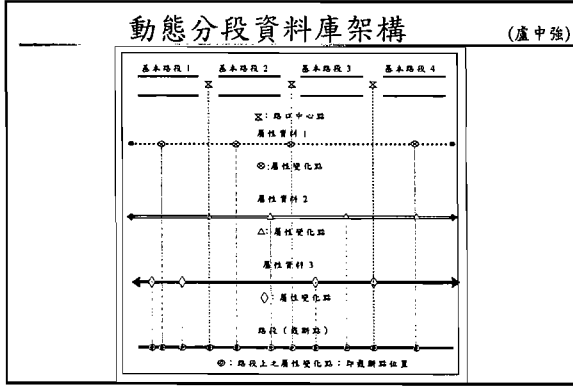
	鋪面狀態調查方式	養護作業排序考量	養護作業排序方法
高速公路局	1. 各工務段現場工程師與巡路工程師以目視調查 2. 道路評審儀做程度調查 3. 平坦儀與抗滑儀之使用	1. 鋪面坡度 2. 養護預算 3. 上次養護時間 4. 目視損壞調查	由局本部技術組與公路組織工程司進行養護作業安排
台北市養工處	1. 養工處巡路員之定期巡視 2. 市民之反應	1. 道路等級 2. 損壞情況	依據各分級養護準則
交通部公路局	由各工務段之工程師進行道路評審儀之程度調查及目視損壞調查	1. 損壞狀況 2. 交通量 3. 道路等級 4. 環境因素	依工程司主觀經驗判斷與工程師

國內養護實務單位養護作業方式

- 國內仍是以工程師經驗判斷作為維修決策依據，較缺乏系統化之決策過程
- 國內鋪面養護管理系統
 - > 系統龐大
 - > 所需資料較多
 - ✓ 如視度、車速深度等，調查時效不足、投注之人力物力龐大
 - > 固定長度路段
 - ✓ 中山高路面養護管理系統以一百公尺為資料單元長度
 - ✓ 公路局路面養護管理系統以二十公尺作破壞資料登入一次
 - > 缺乏預測鋪面未來狀態之預測模式
 - > 對於最佳化的排序較少使用
 - > 較無法符合管理者需求

路段定義

- 固定長度路段與均質路段之定義
 - > 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)：均一路段的定義為鋪面路段無論在建造年數、鋪面形式、鋪面材料或交通量組合皆應一致
- 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



動態分段資料庫架構 (盧中強)

■ 關聯式資料表紀錄方式

> 依原始屬性資料蒐集型態登錄之(易登錄與更新)

基本路段

路段	起點	終點	交通量	ID
0	0	1	15000	ID1
1	1	2	15000	ID2
2	2	3	15000	ID3
3	3	4	15000	ID4
4	4	5	15000	ID5

鋪面狀況

路段	起點	終點	材料種類	ID
0	0	6	AC	ID1
1	6	8	AC	ID2
2	8	9	AC	ID3
3	9	11	AC	ID4
4	11	12	AC	ID5
5	12	14	AC	ID6
6	14	17	AC	ID7
7	17	19	AC	ID8
8	19	20	AC	ID9

材料路段

路段	起點	終點	材料種類	ID
0	0	8	AC	ID1
1	8	9	AC	ID2
2	9	12	AC	ID3
3	12	14	AC	ID4
4	14	17	AC	ID5
5	17	18	AC	ID6
6	18	19	AC	ID7
7	19	20	AC	ID8

鋪面績效 PSR

路段	起點	終點	鋪面績效 PSR	ID
0	0	1	4	ID1
1	1	2	2.8	ID2
2	2	3	4	ID3
3	3	4	3.8	ID4
4	4	5	4.2	ID5
5	5	6	2	ID6
6	6	7	4	ID7
7	7	8	3	ID8
8	8	9	4	ID9
9	9	10	3	ID10
10	10	11	4	ID11
11	11	12	3	ID12
12	12	13	2	ID13
13	13	14	3	ID14
14	14	15	2	ID15
15	15	16	3	ID16
16	16	17	2	ID17
17	17	18	3.5	ID18
18	18	19	3	ID19
19	19	20	3.2	ID20

動態分段彙整表 (盧中強)

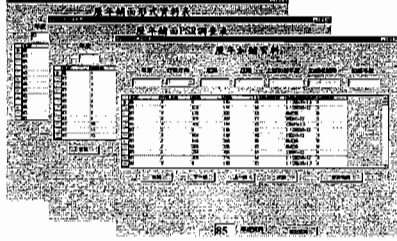
起點	迄點	交通量	型局	PSR	維修	厚度
0	1	A	AC	3	yes	10
1	2	B	CRCP	3	yes	10
2	2.5	C	JRCP	1	yes	10
2.5	3	C	JRCP	1	no	8
3	3.8	D	JRCP	2	no	8
3.8	4	D	JRCP	2	yes	6
4	6	A	CRCP	3	yes	6
6	8	B	AC	5	no	12
8	8.8	C	CRCP	2	yes	5
8.8	9	C	CRCP	2	no	10
9	10	A	CRCP	2	no	10

動態分段資料庫程式操作 (盧中強)

程式名稱：鋪面路網動態分段資料庫 (NETDSD)

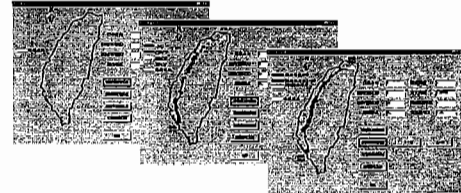
動態分段資料庫程式操作 (盧中強)

歷年資料編輯畫面



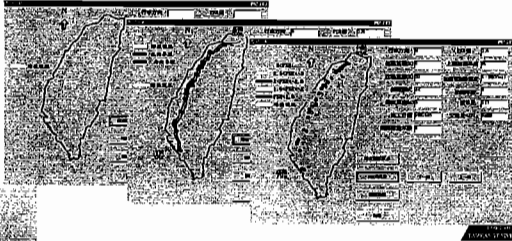
動態分段資料庫程式操作 (盧中強)

基本資料地理圖形顯示



動態分段資料庫程式操作 (盧中強)

綜合資料地理圖形顯示



資料需求

- SMART
 - 明確性、可量測性、可完成、相關性與及時性
- 路網階層所構建之資料
 - 道路基本資料
 - 路面狀況調查資料
 - 交通量調查資料
 - 維修養護資料
- 本研究以最少資料進行維修策略分析
 - 資料需具有可量測性、可完成性與及時性等特性

鋪面指標

- 鋪面指標
 - > 鋪面管理系統常將鋪面現況根據某個指標值加以數值化或量化，再藉由數值的大小判定鋪面現況良好與否
 - > 結構性指標
 - ✓ 鋪面結構性指標乃以鋪面所受損壞之類型、嚴重程度及數量(範圍)來決定的如：PCI、PSDI
 - > 功能性指標
 - ✓ 利用鋪面績效指標來評分，鋪面績效指標指的是鋪面現況之服務能力如：PSR
- 建議採用PSR資料(需求較少及容易取得)

鋪面績效預測模式

- 鋪面績效預測模式
 - > 鋪面預測模式的種類
 - ✓ 決定論模式(deterministic model)
 - > 係採迴歸分析建構預測模式
 - ✓ 機率論模式(probabilistic model)
 - > 主要之分析法為馬可夫鍊(Markov Chain)及半馬可夫序(Semi-Markov Process)等
 - > 國內仍未有一代表性之本土化模式
 - 建議可先使用國外預估模式，未來配合國內資料逐步發展出本土化的預估模式

養護作業排序方法 續

- 分析週期
 - 單年度排序與多年度排序
 - 多年度排序實際執行上會產生許多的困難
 - 本研究採用單年度排序方法，重複分析步驟，將分析週期定為五年
- 指標排序法
 - 採指標值大小作為排序之依據，為狀態越差越優先原則
 - ✓ 單一指標
 - ✓ 綜合性指標
 - 若將路網作整體考量的話，此種單純之等級排序法並無法使預算得到最佳之分配



養護作業排序方法 續

- 最佳化排序法
 - 可得到利益最大，使維修經費得到最佳之分配
 - ✓ 益本比法、增量益本比法
 - ✓ 最佳化數學規劃模式
 - 增量益本比較線性規劃分析簡單、快速，可得近最佳解
 - 只有少數的主管機關使用最佳化技術
- 國內鋪面管理系統之養護作業排序方法
 - 中山高速公路路面養護管理系統使用等級排序
 - 路面維護管理系統將養護經費考量為充裕情形下，將養護成本與養護效益排除在外
 - 本研究將採用益本比與增量益本比法作為最佳化之排序法



鋪面路網維修管理策略最佳化之架構

- 鋪面路段之選取
 - 均質路段
- 資料需求
 - 路網階層管理，資料需求較少包括：路段基本資料、交通量與鋪面指標
 - 本研究採用PSR作為鋪面指標
 - ✓ 不需破壞資料
 - ✓ 已發展出預測模式



鋪面路網維修管理策略最佳化之架構 續

- 鋪面預測模式之選擇
 - $PSR = PSR_t - a * STR^b * AGE^c * CESAL^d$
 - 預測模式之校估
 - ✓ 氣候調整因子
 - ✓ 現況校估(PSR與AGE)
 - 此模式為使用美國公路績效監測系統(HPMS)資料庫發展出的，屬一適用於全美國地區之績效預測模式
 - 可藉由回饋資料修改各常數，來解決國內適用性之問題



鋪面路網維修管理策略最佳化之架構 續

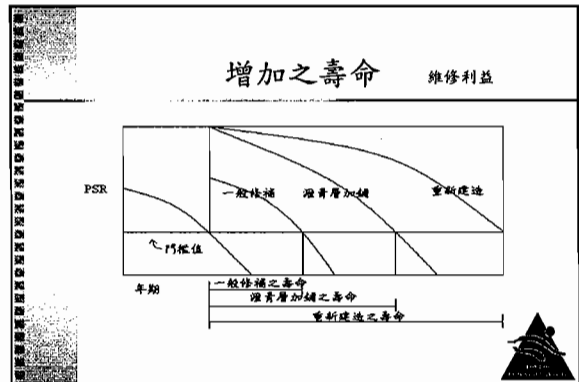
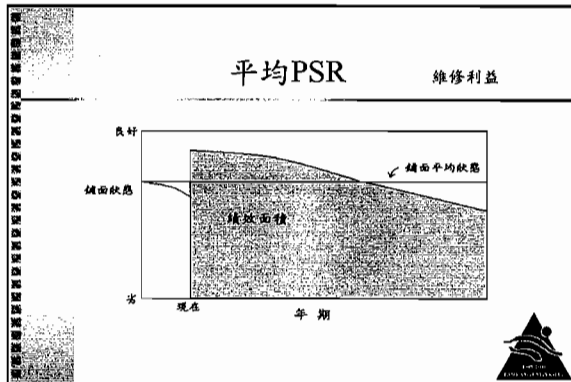
- 提供之養護方案
 - 修補
 - 瀝青層加鋪
 - 重新建造
- 可選擇之養護策略
 - 決策樹法
 - 生命週期成本法
 - 單一維修選擇



鋪面路網維修管理策略最佳化之架構 續

- 鋪面維修利益
 - 鋪面施行養護及不予養護之間績效相減
 - 平均PSR
 - ✓ 路段經維修後所增加之鋪面績效面積，即PSR指標與時間曲線下之面積
 - 延車公里
 - ✓ 鋪面使用狀況，將延車公里考慮為擁有足夠服務能力之路段所提供之延車公里
 - 使用者成本之降低
 - ✓ 路段維修前與維修後之鋪面狀態對應不同之使用者成本，使用者利益可視為維修後使用者成本之降低
 - 增加之壽命
 - ✓ 路段經維修後，鋪面指標降至需維修之指標門檻後期間的年限





TKUNET程式使用說明與功能應用

- 檔案
 - > 包含有開啟舊檔、儲存分析結果、列印分析結果與離開等功能
- 參數與強制維修設定
 - > 包含有設定參數與強制維修選擇等功能
- 現況資料查詢
 - > 包含有路段現況資料查詢、路網現況圖、路網未來狀態分析與殘餘壽命分析等功能
- 維修策略排序分析
 - > 包含有強制維修分析、需求分析、簡單排序、益本比及增量益本比分析等功能

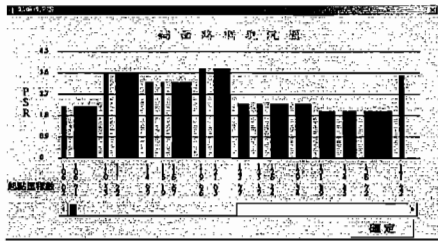
TKUNET程式使用說明與功能應用 *

- 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與路網排序分析結果等功能
- 說明
 - > 包括用說明及關於等功能，分別為使用說明及版本說明
- TKUNET分析程式實例說明

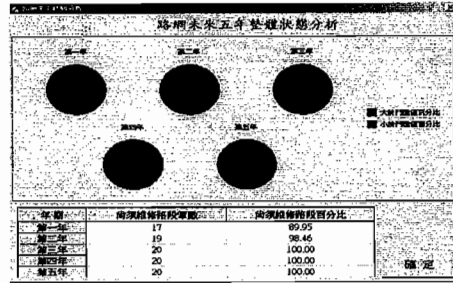
參數與強制維修設定

路段現況資料查詢

鋪面路網現況圖



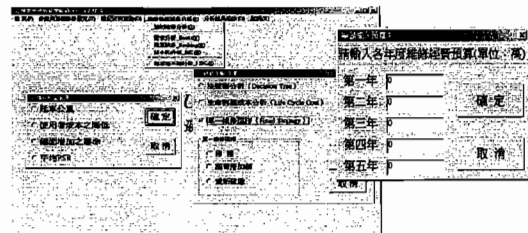
路網未來狀態分析



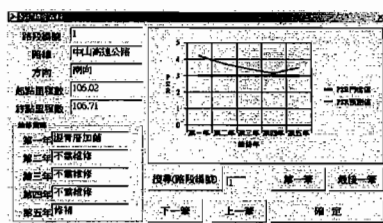
殘餘壽命分析



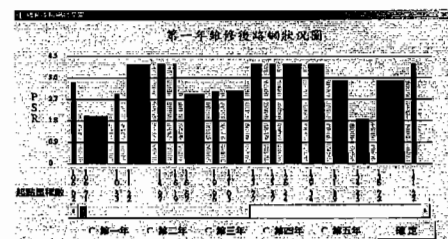
維修策略排序分析



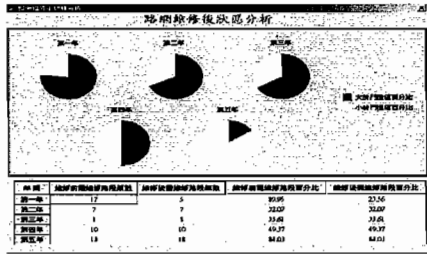
路段維修資料



路網維修後狀態圖



路網維修後狀態分析圖



路網維修後殘餘服務壽命



路網排序分析結果

路段編號	路段長度	許用壽命	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
1	104.03	104.71	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段
2	104.71	110.53	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段
3	110.53	117.33	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段
4	117.33	124.09	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段
5	124.09	130.89	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段
6	130.89	137.64	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段	劣化路段

TKUNET程式使用說明與功能應用

- 路段定義
 - > 採用均質路段作為路段長度單位
- 資料需求
 - > 路網階層管理，資料需求較少，可讓管理者迅速地瞭解路網狀況並分析
- 預測模式
 - > 加入預測模式，使管理者能掌握路段之“現在”與“未來”的狀況
- 提供強制維修之選擇
- 提供多種維修策略與利益選擇
 - > 決策樹、單一維修方法、延車公里、使用者成本降低等

TKUNET程式使用說明與功能應用

- 提供多種最佳化排序分析法
 - > 需求分析、簡單排序、益本比、增量益本比
- 分析的彈性
 - > 可更改程式中之初始設定值，可選用不同排序法
- 提供圖形化之結果輸出
 - > 可透過圖形清楚地瞭解路網狀態與分析結果
- 系統整合
 - > 未來將與盧中強之鋪面路網資料庫架構與地理資訊系統 (NETDSD) 整合成為一具備有關連式資料庫、最佳化分析工具及圖形化之鋪面路網分析工具

案例驗證—最佳化排序法之比較

- 假設資料之個案分析(資料來源: Mohseni, 1991)
- 比較各種最佳化排序法之分析結果
- 各種參數與設定值
 - 維修策略選擇: 決策樹
 - 維修利益選擇: 延車公里

PSR 門檻值	3	維修成本 (車道公里)
卡車因子	1.5	修補 10 萬元
交通量成長率	4%	瀝青層加鋪 18 萬元
折現率	3%	重新建造 35 萬元
決策樹		
2.5 ≤ PSR < 3 修補		
1.5 ≤ PSR < 2.5 瀝青層加鋪		
PSR < 1.5 重新建造		

線性規劃模式

- 以最大維修利益為目標函數之線性規劃模式

目標函數 Maximize $\sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{ns} B_{ij} * P_{ij}$

限制式 $\sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{ns} C_{ij} * P_{ij} \leq \text{簽證預算}$

$$\sum_{i=1}^{np} P_{ij} = 1$$

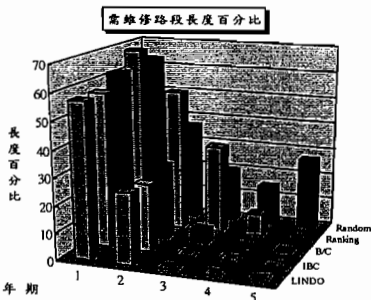
P_{ij} 為 i 路段之第 j 種養護方案、 B 為維修利益
 C 為維修方案成本、 ns 為路段可行養護方案數
 np 為需維修路段筆數



最佳化排序法之比較

	隨機產生	簡單排序	益本比	增量益本比	線性規劃
維修策略選擇	決策樹	決策樹	決策樹	所有養護策略	所有養護策略
維修經費(每年)	五百萬	五百萬	五百萬	五百萬	五百萬
延車公里	712330	751611	777701	910109	911116
使用者成本之降低	1174	1280.5	1401	1870	1914
增加之壽命	44	45	128	233	237
平均PSR	69	88	98.8	133	127.3
路網平均PSR	2.28	3.28	3.29	3.35	3.34
需維修長度百分比 (每年平均)	33.6	32.4	19	16.5	16

最佳化排序法之比較



最佳化排序法之比較

分析結果

- 隨機產生與簡單排序所獲得總利益較小，平均每年需維修長度比例亦較大；而增量益本比與線性規劃模式所得總利益為最大，需維修路段較少
- 隨機產生、簡單排序與益本比所獲得之總利益彼此差距並不大，若再將增量益本比與線性規劃模式加入比較，則有很明顯地增加
- 經費經有效分配後，路網可得較佳之狀態
- 將路網中各路段所有可行維修方案一起考量，可得到利益最佳化結果

結論

- 以均質路段作為路段長度定義
 - 具彈性且在實際施行上亦較具可行性
- 最佳化排序法比較分析
 - 增量益本比與線性規劃在相同預算水準下，路網所能獲得總利益皆較隨機產生、簡單排序及益本比大，且需維修路段亦較少
 - 若以長期觀點來看，增量益本比與線性規劃能使路網整體得到較佳狀態，此乃因將經費作最有效使用之故



結論

- 鋪面路網維修管理策略最佳化之分析程式(TKUNET)
 - 擁有良好的使用者介面，使用者可依不同需求選用不同之最佳化排序法，配合圖形化的綜合性分析結果展示，清楚地看出鋪面路網狀態變化情形
 - TKUNET能回答管理者養護決策制訂時相關問題
 - 估算現在與未來所需的鋪面維修經費
 - 假使經費嚴重不足，評估未來對整體鋪面路網所產生的影響
 - 如何客觀的列出各鋪面路段對於養護經費需求的優先次序
 - 如何利用最佳化之技術，將有限的養護經費分配至最需養護或可獲得最大利益之路段
 - 預留分析的彈性，如：可選擇不同養護方案、維修水準，可以接受既有的養護方案或考慮延遲養護方案的執行等不同的選擇彈性



建議

- 鋪面指標
 - 應採用一所需資料最少之簡易型綜合性指標
- 預測模式本土化
 - 可先以國外類似環境的預估模式配合國內現有資料加以使用，並逐步發展出本土化的預估模式
 - 未來系統持續發展後可藉由多度年資料作修正，使本研究採用之預測模式能符合國內現況



建議

續

- 最佳化排序替代等級排序
 - 國內鋪面管理系統主要仍以等級排序做為經費之分配
 - 養護經費普遍無法完全滿足維修需求的情形下，經費的規劃則更顯重要
- TKUNET分析程式之擴充
 - 系統持續發展後，藉由回饋資料修改符合國內之參數
 - 配合盧中強君之鋪面路網資料庫架構與地理資訊系統做系統整合成為一具備有關連式資料庫、最佳化分析工及圖形化之鋪面路網分析工具

