

鋪面路網維修管理策略最佳化之研究

洪政乾¹，李英豪²，顏少棠³

¹淡江大學土木工程學系碩士

²淡江大學土木工程學系教授

³淡江大學土木工程學系博士候選人

摘要

本研究以路網層次為考量，構建一套鋪面路網維修管理策略最佳化分析程式，期望能以最少的人力與物力達成協助決策者制定維修策略。研究中以鋪面「路網階層」的角度，採用「均質路段」之觀念，配合「動態分段」記錄形式，構建鋪面路網動態分段資料庫，以此資料庫的構建方式解決上述資料庫架構過大而不易執行的問題。再者，本研究以 PSR 作為鋪面指標及使用美國公路績效監測系統 (HPMS) 所發展出之預測模式，作鋪面現況與未來之評估；並提供決策樹、生命週期成本與單一選擇之維修策略選擇，及多種的維修利益考量，其中包括：延車公里、使用者成本之降低、增加之壽命與平均 PSR 等，配合最佳化排序法，以需求分析、簡單排序、益本比及增量益本比等方式進行分析，建議鋪面路網維修管理策略。此外，本研究根據上述研究成果建立一具備有關聯式資料庫、鋪面路網最佳化分析與圖形化之「鋪面路網維修管理策略最佳化」程式-TKUNET。本程式的應用將可達到整合鋪面管理資料，進而促成一能有效執行之鋪面管理系統。

1. 前言

台灣地區未來公路隨著第二高速公路與十二條東西向快速公路的規劃及相繼施工，將成為一四通八達的交通路網。因此，未來國內的路網系統將有整合的趨勢，故在可預期的將來，對於後續鋪面維修養護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。國內長期以來，即對於鋪面管理系統持續研究發展，然而由於現有之系統涵蓋範圍過大，所需資料較多，若要將資料完整蒐錄確實難以落實。因此，如何構建可有效執行之鋪面管理系統，使其能在有限的資源下，對於龐大路網利用自動化程序，協助公路主管機關做有效的評估與養護策略之制訂，實為日漸重要之課題。

因此，本研究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、排列與經費分配最佳化等作為主要研究範圍，並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，期望能以最少的人力與物力達成協助決策者評估路網現況、預測未來狀態、訂定維修決策分配維修經費等目標。

2. 鋪面路網維修管理策略最佳化之架構

鋪面管理系統 (PMS) 建立的主要目的在於利用系統化的方法，協助並改善各不同管理階層訂定決策時的效率，確保決策的一致性[1]。鋪面管理系統可分成路網階層 (Network-Level) 與個案階層 (Project-Level)，路網階層主要為高階決策階層，個案階層則以單一路段為考量。此二種鋪面管理階層的差異不僅在於管理的層次，對於系統運作所需的鋪面細部資料多寡也有所差別[1,2,3]。鋪面管理系統可視為一決策支援輔助系統，決策的主體仍是管理者本身[1]。因此，一良好的鋪面管理系統應能夠配合管理者從各種不同條件或資源組合下提出建議，以滿足高階管理者的使用需求。

鋪面管理首重資料庫建立的完善與否，而資料庫構建時考慮的因素繁多，主要的重點有資料庫型態的選擇、資料單元的確立、資料型態的定義、資料蒐集的完整性與連續性、資料更新的方便性與資料蒐集時的明確性、可量測性、可完成性、相關性與及時性的原則。下文將詳述本研究所發展之「鋪面路網維修管理策略最佳化」之架構。

2-1 均質路段與動態分段

資料庫構建為鋪面管理系統的核心，而蒐集資料時須對其所路段加以定義，即是對鋪面路段分割方式做選擇。鋪面路段的定義方法可分為固定長度路段 (Fixed Length Section) 與均質路段 (Uniform Section)。固定長度路段是以固定長度作為路段劃分單位，此法主要優點在於簡單使用，而其缺點在於該路段長度內鋪面之特性可能會改變，大量資料將重複登錄，因此較不利於後續分析之工作，而國內目前所發展之鋪面管理系統即是以此種方式進行分段。至於均質路段的定義，則為鋪面路段無論在建造年代、設計方法、或交通量等「特性」皆應相同[4]，若利用動態分段[5]的方式加以配合，則此路段定義方式較固定長度路段更具有彈性、可調整及易分析管理。本研究經由評估後，建議國內公路主管單位可利用已收集的資料，將數個性質相同的固定長度路段整合，成為均質路段。對於無法完全相同的資料亦可使用一具代表性之數值表示。

2-2 資料需求

本研究就路網階層資料庫構建時資料搜錄的種類與資料組成架構作分析，研究中僅針對路網階層鋪面管理所必需資料加以分析，並兼顧資料蒐集時 SMART (明確性、可量測性、可完成、相關性與及時性) 的原則。本研究針對路網階層所構建之資料，構建包含下列各種與道路路狀況相關的資料：(a) 道路基本資料：鋪面形式、鋪面厚度、鋪面建造年數、交通量。(b) 路面狀況調查資料：鋪面狀況調查資料宜採用綜合性指標，考慮其調查時應具代表性與使用方便，國內目前鋪面指標建立其所需調查項目太多蒐集不易等因素，所以本研究採用 PSR 為路面調查資料。(c) 交通量調查資料：平均每日交通量 ADT，重車比例 (單軸貨車 SU 與雙軸貨車 MU)。(d) 維修養護資料：加鋪、刨除或重建等大型養護作業之記錄。本研究採行以最少資料進行維修策略分

析，並考慮資料需能有可量測性、可完成性與及時性等特性。

2-3 鋪面績效預測模式

鋪面績效預測模式為鋪面路網維修管理系統之核心。然而，國內至今並無一具代表性與可靠性之預測模式，故本研究選用由美國公路績效監測系統 (HPMS) 資料庫發展的預測模式，該模式經由 HPMS 資料庫數萬個路段驗證其準確性，並適用於全美。(1)

$$PSR = PSR_1 - a * STR^b * AGE^c * CESAL^d$$

公式 1 中， PSR_1 為建造後之初始 PSR；STR 為結構強度 (柔性鋪面為結構數、剛性鋪面為版之厚度、複合鋪面為加鋪厚度)；AGE 為鋪面自建造或經加鋪至今之年期；CESAL 為鋪面自建造或自加鋪後之累積 ESAL 值；a, b, c, d 為迴歸常數如表 1 所示。

表 1、預測模式之迴歸常數

鋪面形式	$\text{Log}_{10}a$	b	c	d
柔性鋪面	1.1550	-1.8720	0.3499	0.3385
瀝青層加鋪剛性鋪面	-0.4656	-0.0957	0.6124	0.1293
剛性鋪面之 JPCP	0.5104	-1.7701	1.0713	0.2493
剛性鋪面之 JRCP	1.7241	-2.7359	0.3800	0.6212
剛性鋪面之 CRCP	0.7900	-1.3121	0.1849	0.2634

國內主管機關在多年的努力之下，鋪面的相關資料蒐集已經有不少的成果。本研究建議先使用此模式或以國外類似環境的預測模式，配合現有資料，逐步發展出本土化的預估模式，使國內鋪面管理系統具推估鋪面未來狀態之能力，進而更具參考性。

2-4 可選擇性之鋪面養護方案

本研究針對路網階層中應有數種維修方案提供修補、瀝青層加鋪及重新建造等三種養護方案供選擇，並以決策樹、生命週期成本分析與單一維修來決定養護方案。而決策系統中各種維修方案與其所能改善的維修成效可由管理者針對其需求加以設定。此外，對於養護方案之單價、年利率、決策樹之指標值範圍等皆保有可修改之彈性，管理者可視需要或實際情況作更改。

2-5 鋪面維修效益

鋪面維修後的效益可定義為路段施行養護及不予養護所能提供之績效差異。鋪面維修效益被用於評估各路段不同維修方案之間的有效性，在有限經費下選擇可獲利較大之維修方案，使經費達到最佳的使用。也正因如此，效益之定義對於在路網階層選擇維修方法有很大的影響。至於要如何來評估利益，則至今仍沒有一致性的定義[6]。

本研究在「鋪面路網維修管理策略最佳化架構」中提供了不同利益之定義，可供管理者依其考量選用。在計算鋪面維修效益時不管為何種利益皆需考慮該路段長度，本研究所提供之效益選擇有：鋪面績效、使用年限、延車公里、使用者成本之降低等[5]。其中本研究參考 McFarland[6]將不同的鋪面狀態給予一單位成本的方式來計算路

段之使用者成本，路段維修後使用者成本之降低可視為使用者利益。

國內現有鋪面管理系統較少考量鋪面效益，探究其主要原因應為將鋪面維修後實際所產生之效益予以量化非常困難，且一般在分配維修經費時，主要仍以狀態越差越優先維修為考量因素。然而，為使有限之維修經費達到最佳之分配，鋪面維修利益的評估是不可或缺的，故建議國內主管機關應及早訂出一套評估維修效益之方法。

2-6 鋪面路網養護方案優先次序之最佳化

鋪面養護維修的經費需求通常是超過可用的預算，故需利用有效的方法來分配資源，因此經費須依據排序來分配使用 [7,8,9]。排序法包含最簡單的等級排序至最複雜的最佳化線性規劃等方式[3]，管理者需瞭解各法的優缺點及其效率，才能作有效之使用。本研究採用單年度排序，重複分析步驟，並考量預測模式之準確性，將分析週期定為五年，使管理者能在各年度不同預算水準下得知鋪面路網未來整體的狀態。

路網分析中最簡單的情形為沒有限制經費預算的情況，此種分析法可視為路網之需求 (Needs)。在有預算限制之下，則在維修策略確定後，依簡單排序 (Ranking)、益本比(B/C)、或增量益本比 (I B/C) 的方式來考慮，以此比較出維修之優先次序並計算所需預算額度。若以簡單排序為訂定各段鋪面維修時機為例，以鋪面指標較低者為優先；而若以益本比或增量益本比的方式來選定維修之優先次序，則分析程序較為複雜且較具分析彈性，以確保管理者在有限的經費下達到可獲得之最高路網效益。

傳統之最佳化技術(如：線性規劃)很早即被發展用於維修作業上，然而卻因非常難以將實際問題以公式或模式表示，使用單位甚少[10]。因此，本研究除了採用需求分析外，還提供簡單排序、益本比及增量益本比等，能讓使用者依據不同需求選取。

3. 鋪面路網維修管理策略最佳化程式

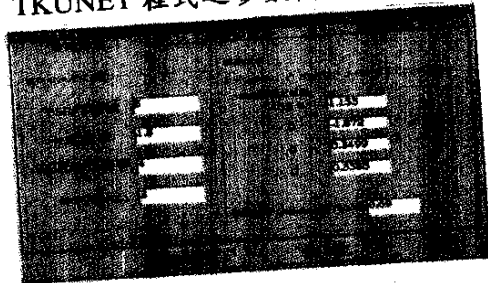
3.1 程式之構建

本研究依據前述之架構，構建一套「鋪面路網維修管理策略最佳化」分析程式—TKUNET。本程式可將鋪面路網維修管理系統之資料與數據分析結果以圖形化方式展示，並可協助管理者規劃預算分配等工作，為一套有系統的路網維修管理決策工具。

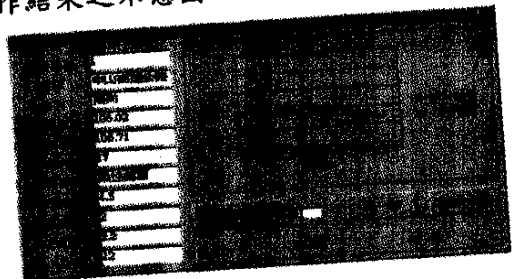
TKUNET 程式對於系統內所需之參數皆可修改，並提供了多種分析選項，使管理者保有分析之彈性。管理者更可利用程式所提供之功能，對已排定經費之路段、必須強制維修之路段與一般路段予以選取，程式中將經由所選定之維修策略分析排序。TKUNET 程式在排序時可由使用者依其考量選擇不同最佳化排序方法，包括有需求分析、簡單排序、益本比及增量益本比分析，在分析時須配合管理者所輸入各年度之維修預算。而程式進行分析運作時，將提供選項可供使用者分析時加入決策人員的意見，而非只是單純地僅是列出系統性的分析結果。

TKUNET 程式可藉由圖形化之結果展示，而不必經繁雜的報表查詢，即能快速得知分析結果。管理者可透過本程式來得知各種決策制訂時之相關問題，例如估算現在與未來所需之維修經費、在有限預算水準下路網未來整體狀況之情形，或如何將分析

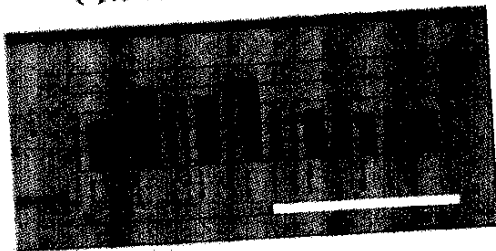
結果利用圖示、列表方式展示等，並藉由這些相關問題之答案作為養護決策制訂之參考。綜合上數之各項特色，TKUNET 應是較能符合管理者需求之分析工具。圖 1 為 TKUNET 程式之參數輸入、鋪面狀況分析與運作結果之示意圖。



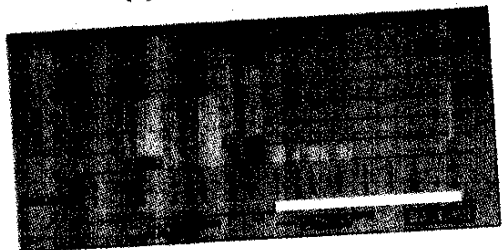
(a)分析決策之參數設定



(b)路段現況資料查詢



(c)路網現況圖



(d)殘餘壽命分析



(e)路網維修後狀態分析

路段編號	路段名稱	現況	建議	預計壽命	預計成本	預計延車公里
1	101-101	良好	無須維修	10	0	0
2	101-102	一般	修補	8	10	10
3	101-103	差	重新建造	5	35	35
4	101-104	良好	無須維修	10	0	0
5	101-105	一般	修補	8	10	10

(f)路網排序分析結果表單

圖 1、TKUNET 程式分析示意圖

3.2 最佳化排序法之比較

本研究以個案分析為例進行驗證，將簡單排序、益本比、增量益本比、隨機產生與線性規劃模式做一比較，以瞭解不同最佳化排序法彼此間之差異與效益。研究中以一假設資料作分析[6]，分析時所需設定的各種參數值如表 2 所示。

表 2 驗證最佳化排序法所採用之各種參數與設定值

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	

*維修策略選擇：決策樹

*維修利益選擇：延車公里

本研究採用維修利益最大為目標函數，決策變數則為路段之各維修方案，線性規劃模式如式 2、3、4 所示：

$$\text{目標函數} \quad \text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{ns} B_{ij} * P_{ij} \quad (2)$$

$$\text{限制式：} \quad \sum_{i=1}^{np} \sum_{j=1}^{ns} C_{ij} * P_{ij} \leq \text{養護預算} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{np} P_{ij} = 1 \quad (4)$$

其中， P_{ij} 為 i 路段之第 j 種養護方案； B_{ij} 為維修利益； C_{ij} 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。

分析時每年給予五百萬經費，配合不同排序與利益連續分析五年。其中，由隨機產生制訂養護策略時，使用 0.3、0.6 與 0.9 作為隨機種子，將所得結果平均；另外，在使用線性規劃模式時，本研究以 LINDO 程式求解，分析結果如表 3 所示。

表 3、案例分析之綜合結果表

	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
利益選擇_延車公里	712330	751611	777701	910109	911116
利益選擇_使用者成本	1174	1280.5	1401	1870	1914
利益選擇_增加之壽命	44	45	128	233	237
利益選擇_平均 PSR	69	88	98.8	133.5	127.3
路網平均 PSR	2.28	3.28	3.29	3.35	3.34
需維修路段長度百分比(年平均)	33.6	32.4	19	16.5	16.6

由表 3 可觀察到使用隨機產生決定維修養護排序時無任何依循準，則所獲得的路網總維修利益較小。增量益本比與線性規劃所得總利益為最大，所需維修路段較少。由圖 2 可看出在此預算下，各年度依據增量益本比與線性規劃維修後所能維持整體狀態較為良好。且在第三年到第五年間增量益本比與線性規劃在該預算下，能使路網整體維持在良好的狀態，而隨機產生與簡單排序則仍有需維修路段。因此，就長期觀點而言，增量益本比與線性規劃可得較佳之結果，此乃因這兩種排序法能將維修經費作最有效之運用與分配之故。由此可知，使用簡單排序或益本比排序此種先決定養護策略再予以排序之方法，並無法將經費作最佳的分配；惟有將路網中各路段所有可行維修方案一起考量之排序法，才能得到利益最大之最佳化結果。

綜合上述可知，養護經費經規劃後使用將會使得經費使用效益更佳。現今公路主管機關通常無法得到充裕維修經費，故在有限的經費下，更需使經費發揮最大的效益，使路網能持續維持在良好狀態下，以滿足使用者對於行駛品質的需求。

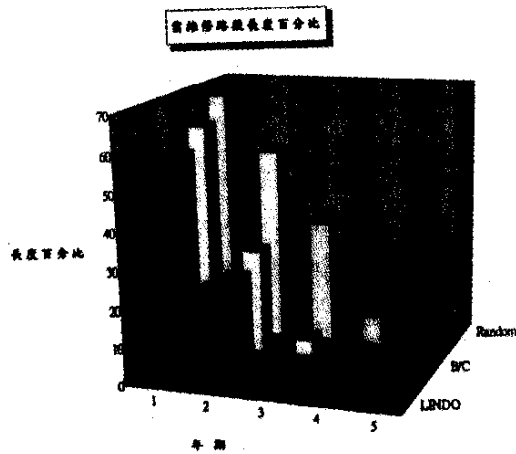


圖 2、各年所需維修路段長度百分比圖

4. 結論與建議

本研究之結論可歸納於以下數點：

1. 本研究採用均質路段劃分鋪面管理單位，此法與國內目前普遍使用的固定路段長度之劃分上的比較，不僅具彈性且在實際施行上亦較具可行性。若利用動態分段的方式加以配合運作，此類路段的定義方式則較固定長度路段更具有彈性、可調整與易於分析管理。
2. 本研究所發展之「鋪面路網維修管理策略最佳化」架構以最少資料進行維修策略分析，考慮資料擁有可量測性、可完成性與及時性等特性。系統中暫時選用美國公路績效監測系統發展出的績效預測模式作為評估鋪面現況與未來之績效，並提供多種的維修策略與利益考量，配合不同的最佳化排序法，藉此作為判斷維修策略的依據。
3. 本研究根據上述研究成果，開發出「鋪面路網維修管理策略最佳化」分析程式—TKUNET。本程式可將鋪面路網維修管理系統之資料與數據分析結果以圖形化方式展示，並可協助管理者規劃預算分配等工作，為一套有系統的路網維修管理決策工具。本系統最主要能以最少之資料需求作分析，以改善現今國內現有鋪面管理系統因資料需求龐大，難以落實之問題。
4. 本研究經由最佳化排序法比較分析得知，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，且需維修路段長度佔路網比例亦較少。若以長期觀點來看，其亦能使路網整體得到較佳狀態。因此，本研究建議使用最佳化排序替代等級排序，將經費作最有效之分配。
5. 在進行評估鋪面狀態時，需使用一鋪面指標來作為依據。國內在對於鋪面現況評估時，所採用之鋪面指標並不相同。本研究認為國內主管機關應及早訂出一具代表性之鋪面指標供國內使用。
6. 國內至今並無一具代表性之鋪面績效預測模式，本研究建議可先以國外類似環境的模式配合國內現有資料加以使用，逐步發展出本土化的預估模式。未來經由系

統的回饋資料修正，使其能更符合國內實際情況。未來更可以本研究發展的系統為基礎，陸續作擴充，進而建構成一全方位之鋪面管理系統。

5. 誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 90-2211-E-032-014 之經費贊助，特此致謝。

6. 參考文獻

1. Shahin, M. Y., "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots", Chapman & Hall, New York, London, 1994.
2. Haas, R., W. R. Hudson, and J. Zaniewski, "Modern Pavement Management", Kieger Publishing Company, 1994.
3. AASHTO Guidelines for Pavement Management Systems, AASHTO, Washington, D.C., 1990.
4. Zimmerman, K. A., "Pavement Management Systems", 1996 International Road Federation Asia-Pacific Regional Meeting, 1996.
5. 洪政乾，「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碩士班碩士論文，中華民國八十九年十二月。
6. Mohseni, A., "Alternative Method for Network Rehabilitation Management", Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, 1993.
7. Kristiansen, J., "Use of PM System to Optimize Choice Of Right Maintenance Strategy", Proceedings of the Second International Conference on Road & Airfield Pavement Technology 27-29 September 1995 Singapore.
8. Liu, F., and K. C. P. Wang, "Pavement Performance-Oriented Network Optimization System", *Transportation Research Record 1524*, pp.86~93, 1996.
9. Sharaf, E. A., and F. M. Mandeel, "An Analysis of the Impact of Different Priority Setting Techniques on Network Pavement Condition", Fourth International Conference on Management Pavement Durban South Africa , 18 May ,1998.
10. Fwa, T. F., W. T. Chan, and K. Z. Hoque, "Analysis of PMS Activities Programming by Genetic Algorithms", Transportation Research Board Annual Meeting 1998 .