

鋪面動態分段資料庫與最佳化路網維護管理架構之研究

Pavement Dynamic Segmentation Database Structure and Network Rehabilitation Optimization System

計畫編號：NSC 90-2211-E-032-014

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：李英豪 淡江大學土木工程學系教授

一、中文摘要

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。研究中首先針對國內外現行鋪面管理系統之最新技術加以匯整，綜合國外成功運作的鋪面管理系統之優點以及我國當前問題與確切需求加以探討。接著，本研究以鋪面「路網階層」管理者的觀點訂定「均質路段」的路段定義方式，配合具有彈性的動態分段資料庫之構建，規劃較為完善的資料需求與管理模式，以此解決國內目前一般鋪面管理系統資料庫架構過大而不易執行的問題。再者，研究中並以多種的維修利益考量，引用國外之鋪面績效預測模式，結合適當的最佳化排序法，進行鋪面路網維修管理策略的運作。此外，本研究根據執行計畫之研究成果將關聯式資料庫、鋪面路網最佳化分析等內容，與本單位所研發之圖形化「鋪面路網維修管理策略最佳化」程式-TKUNET 加以整合。程式中並引用地理資訊系統概念，應用簡單的地圖模式配合鋪面路網動態分段資料庫架構的使用。

本計畫所發展程式經由擴充後，具備自動化彙整資料的功能，程式之運作可用圖形化界面的顯示方式來輔助資料之構建與查詢。使用者可應用簡易的程序，配合地理資訊系統與動態分段的方式進行資料庫之構建。程式並提供多種最佳化的分析方式，以作為路網階層管理者訂定維護策略時之參考依據。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。如此，將能以最少的人力與物力達成協助決策者制定維修策略。

關鍵詞：鋪面管理系統、路網階層、均質路段、動態分段、最佳化分析、資料庫、地理資訊系統、TKUNET

Abstract

Under the framework of Taiwan's present Pavement Maintenance Management System (PMMS), it is extremely difficult to completely collect the required but tremendous amount of pavement data to efficiently and optimally select various rehabilitation alternatives with limited available funding. An efficient database structure is the key to the success of a pavement management system. A well-organized database can provide valuable and adequate information for pavement network management purposes with convenience and efficiency. Thus, the main objective of this study was to develop a prototype database structure for "network level" pavement management using the concepts of "uniform section" and "dynamic segmentation."

Relational database structure of a commercial software package was adopted in this study for the ease of recording and updating. A systematic approach using various sorting and matching techniques was developed to overcome the current deficiencies of such relational databases based on the principle of "dynamic segmentation" to automatically generate summarized uniform section databases. In addition, the applicability of various commercial Geographic Information System (GIS) software packages for pavement network management was investigated. Furthermore, this study strives to integrate and enhance the prototype TKUNET program for the optimization of pavement network rehabilitation alternatives and budget allocations of Taiwan's highways. Thus, this study includes the following major tasks:

- (1) Investigation of new technologies in pavement management system;
- (2) Development of prototype network pavement dynamic segmentation

databases;

- (3) Application of Geographic Information System (GIS) to pavement management; and
- (4) Integration and optimization of pavement rehabilitation alternatives.

The proposed approach has been implemented in a Windows-based program with many user-friendly interfaces for recording, updating, summarizing, query and reporting of the pavement databases as well as assisting high-level pavement management officials in conducting alternative rehabilitation strategies selection. Finally, a practical case study was conducted to validate the results and applicability of this prototype program. The completion of this study will, hopefully, provide a sound basis for future development and integration of our domestic network pavement databases and network optimization analysis to assure the best use of our limited resources.

Keywords: Pavement Management System, Network Level, Uniform Section, Dynamic Segmentation, Optimization Analysis, Database, GIS, TKUNET.

二、計畫緣由與目的

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完工，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，本研究以路網層次的鋪面維修管理系統為考量，採用均質路段配合動態分段之方式構建鋪面資料庫，以此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。研究中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、訂定維修決策與分配維修經費等目標。

三、研究方法與過程

3.1 國內外現行鋪面管理系統探討

本計畫針對國內現行鋪面管理系統的發展歷史、構建與運作方式進行詳細的探討與分析。並由國外相關研究中針對資料庫構建與決策最佳化的觀點，彙整在此方面較具特色的鋪面管理系統。根據資料之彙整與探討後，綜合所得之結論可發現目標過大的全方位鋪面管理系統受限於資料蒐集項目的繁雜、資料的可靠性及適用階層以及包括範圍過於廣泛，以致於無法真正落實執行。實際可行的鋪面管理系統漸趨於針對「路網層次」管理者的需求來作考慮，採用的相關資料愈趨精簡。

國內目前規劃的鋪面管理系統是以路網整體為考量，然而系統涵蓋範圍過大，所需蒐集的資料項目繁雜，在實行上確實有其困難。因此必須由整體規劃、資料需求、資料庫架構與分析運作方式加以改善，才能使得鋪面維修策略得到良好管理的目的。

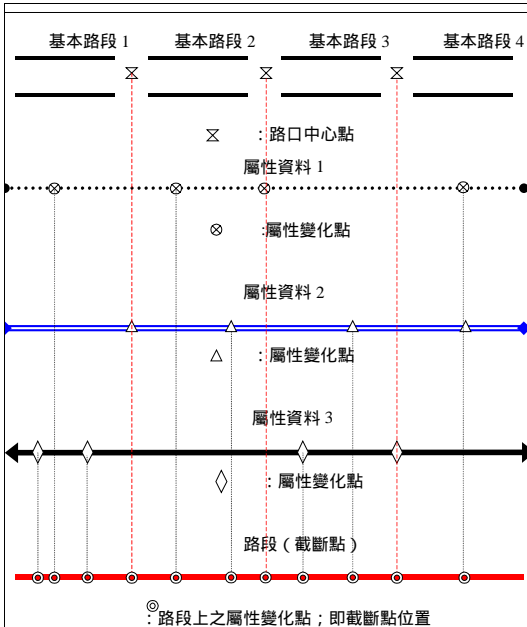
3.2 均質路段之優點

資料庫構建為鋪面管理系統的核心，而蒐集資料時須對路段加以定義，即是對鋪面路段分割方式做選擇。本研究建議使用均質路段（Uniform Section）作為路段劃分單位。均質路段的定義為鋪面路段資料屬性，無論是鋪面材料、鋪面厚度或交通量組合在該路段內「特性」皆應一致。此一方式對於資料調整與更新具有較佳之彈性，並且易於進行管理與分析。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。

3.3 動態分段資料庫架構

由於均質路段的採用將使得鋪面資料隨著時間而變動，資料庫必須能夠隨著調整而更新。因此，本研究對於鋪面資料庫之構建，採用動態分段(Dynamic Segmentation)觀念。此種分段方式乃應用不同鋪面屬性改變的過程，將原始均質路段分成兩個或以上的均質路段，其

記錄路段起迄點的方式便有所更動。因此必須對均質路段的基本設計資料、交通載重、材料、個別詳加收錄以提供後續分析。動態分段記錄方式則可克服在某些情況下造成屬性資料之起迄點改變重新分段的情況。



圖一、動態分段示意圖

圖一為動態分段的示意圖，由圖中可了解到隨著鋪面屬性的更新，鋪面路段定義會有所不同。然而，動態分段的進程序頗為複雜，這也是一般單位不願使用的因素之一。本研究利用動態分段的記錄方式將所需之資料以排序的方式彙整得出彙整表，克服關連式資料庫軟體不足之處，提供一個彙整鋪面資料的方法，經過長時間的規劃與嘗試，已將動態分段的程序以電腦程式加以完成。

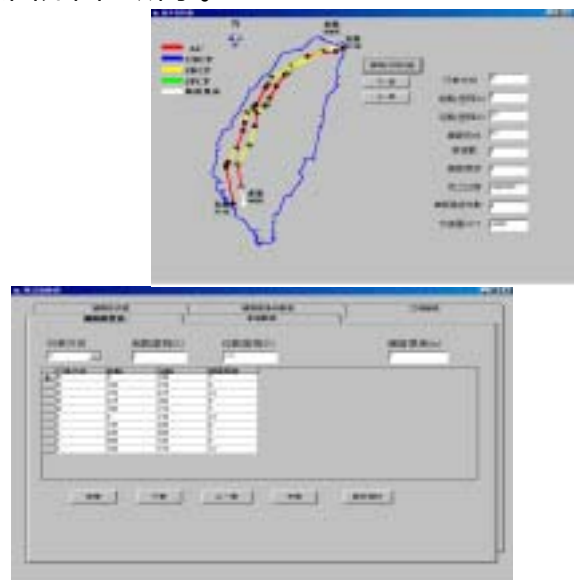
3.4 資料需求

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探討，研究中僅針對路網階層鋪面管理所需的資料加以分析，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，並考慮資料需有具可量測性、可完成性與及時性等特性。

3.5 鋪面地理資訊系統之應用

鋪面資料庫建立較有效率的方式乃是結合資料庫與地理資訊系統 (Geographic Information System) 圖形化介面的鋪面管理系統。此方式可提供資料庫管理資訊外，亦提供圖形化功能可提昇管理效率，為目前鋪面管理系統發展的主流。本計畫完成可配合路網動態分段資料庫 (Network Dynamic Segmentation Database ; NETDSD) 所產生可變動長度均質路段的簡易地理資訊系統雛型，將地理圖形數位化與動態分段資料庫相結合。程式中以資料庫連結的方式撰寫資料表，具有自動彙整功能，並可提供查詢以動態分段記錄方式的彙整表單資料與簡易地理資訊圖形展示功能，其示意圖如圖二所示。



圖二、鋪面資料庫地理資訊系統

3.6 鋪面路網養護方案優先次序之最佳化

(1) 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。

$$PSR = PSR_I - a * STR^b * AGE^c * CESAL^d \quad (1)$$

公式 1 中， PSR_I 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。

(2) 可選擇性之鋪面養護方案

本研究針對路網階層提供修補、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可依管理者之需要或視實際情況作更改。

(3) 鋪面維修效益

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。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。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。研究中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。

(4) 鋪面路網養護方案優先次序之最佳化

一般而言，對於鋪面養護維修預算的編列往往不足於路網整體的經費所需，因此如何有效的分配資源，使維修效益達到最佳的效果乃是鋪面管理的主要目標。因此需要利用有效的排序方法來分配資源。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，管理者需瞭解各種排序法的優缺點及其效率，才能作有效之使用。

本研究針對鋪面管理所需，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。本研究除了採用需求（Needs）分析外，還提供簡單排序（Ranking）、益本比（B/C）及增量益本比（IB/C）等方式來考慮，以此比較出維修之優先次序並計算所需預算額度，讓使用者依據不同需求選取最佳化的路網養護策略，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。

3.7 TKUNET 程式功能之更新

本計畫彙整研究成果，針對 TKUNET 程式之雛形加以擴充更新。新版 TKUNET 程式提供更方便與完善的檔案存取功能，操作時可藉由圖形化展示輸入資料與分析之結果，不必經繁雜的報表查詢，即能快速得知分析結果。

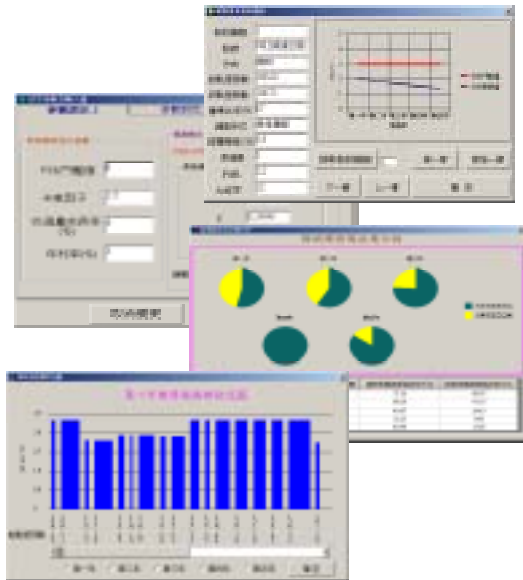
本程式提供了資料查詢功能選單，其中包含路段現況資料查詢、路網現況圖、路網未來狀態分析與殘餘壽命分析等功能。使用者可透過歷年資料與程式提供之預估值比較評估。

本程式在參數設定與維修設定上提供了具備彈性的輸入方式，程式中對於系統內所需之參數皆可修改，並提供了多種分析選項，可供管理者選擇。此外，使用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，程式將經由所選定之維修策略分析排序。

使用者在進行排序時可依其考量選擇不同最佳化排序方法，程式中提供需求分析、簡單排序、益本比及增量益本比分析。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。

本程式經由分析後可輸出路段維修資料、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。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。



圖三、TKUNET 程式分析示意圖

四、結論與建議

1. 本研究綜合國外成功運作的鋪面管理系統，並探討國內現行鋪面管理系統之運作後，認為國內目前規劃的鋪面管理系統涵蓋範圍過大，所需蒐集的資料項目繁雜，在實行上確實有其困難。必須由整體規劃、資料需求、資料庫架構與分析運作方式加以改善，才能使得鋪面維修策略得到良好管理的目的。
2. 本研究採用均質路段劃分鋪面管理單位，此法不僅具彈性、易於分析管理，且在實際施行上亦較具可行性。在此期望未來國內能朝此方向前進。
3. 本研究開發「路網動態分段資料庫」的資料庫架構雜型，完成動態分段資料庫架構的電腦程式。本程式以資料庫連結的方式撰寫資料表自動彙整功能，並可提供以動態分段記錄方式的彙整表單的資料查詢與簡易地理資訊圖形展示功能。程式所得之資料表可進一步提供給鋪面管理人員

做進一步的最佳化分析。

4. 「鋪面路網維修管理策略最佳化」架構以最精簡的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，建議路網階層構建所需之資料。
5. 「鋪面路網維修管理策略最佳化」分析架構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。
6. 本研究根據上述研究成果，針對 TKUNET 程式加以擴充，更新後的程式擁有檔案存取、列印輸出、參數輸入、最佳化分析等功能。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。
7. 本研究所發展的「鋪面路網維修管理策略最佳化」架構最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。
8. 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，進而建構成一完善之鋪面管理系統。

五、參考文獻

1. 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。
2. 盧中強,「鋪面路網資料庫架構與地理資訊系統之研究」,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。
3. Shahin, M. Y., "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots", Chapman & Hall, New York, London, 1994.
4. Haas, R., W. R. Hudson, and J. Zaniewski, "Modern Pavement Management", Kieger Publishing Company, 1994.
5. AASHTO Guidelines for Pavement

- Management Systems, AASHTO, Washington, D.C., 1990.
6. Zimmerman, K. A., "Pavement Management Systems", 1996 International Road Federation Asia-Pacific Regional Meeting, 1996.
 7. Mohseni, A., "Alternative Method for Network Rehabilitation Management", Ph.D. Dissertation, University of Illinois, Urbana, 1993.
 8. 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.
 9. Liu, F., and K. C. P. Wang, "Pavement Performance-Oriented Network Optimization System", Transportation Research Record 1524, pp.86~93, 1996.
 10. 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, May 18th, 1998.