



剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統之研究(一)

Intelligent Consultant System for Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation (I)

計畫編號：NSC88-2211-E032-014

執行期限：87/08/01~88/07/31

主持人：李英豪 淡江大學土木工程學系副教授

一、中文摘要(關鍵詞：混凝土(剛性)鋪面、專家系統、鋪面管理、評估、養護、維修、破壞調查、ICSMART。)

本研究主要目的在建立一套針對個案階層管理方式的剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統。由於國內鋪面破壞資料調查目前尚無統一之標準，本研究因而以美國長期鋪面績效評估(LTPP)計劃之標準鋪面調查手冊為藍本，配合我國交通部所訂定之公路養護手冊等相關規定，建立一套本土化的剛性鋪面破壞調查手冊。此外，本計畫採用「個案階層」管理方式之觀念，將路段以「均質路段」分割方式，配合路段中隨機抽樣的調查方式，使鋪面管理工作能確切落實執行。本研究亦參考國外知名之知識庫專家系統程式中的決策樹，考慮國內需求並加以作適度地修改，以評估剛性鋪面破壞之成因並建議因應之對策。研究中並暫時選定國外常使用的鋪面破壞預估模式，以預估剛性鋪面在未維修情況下未來的破壞狀況。本研究並撰寫一套視窗化的「智慧型鋪面養護與維修技術諮詢系統」【ICSMART】的雛型程式，以整合上述研究成果。本程式可利用隨機抽樣的鋪面破壞調查資料，作單一路段鋪面的結構性與功能性評估，包括鋪面破壞的成因，預估鋪面在未維修情況下可能的破壞程度、破壞趨勢的分析與鋪面殘餘壽命等。

英文摘要 (Keywords: Concrete (Rigid)

Pavement, Expert System, Pavement Management, Evaluation, Maintenance, Rehabilitation, Distress Identification, ICSMART.)

Portland cement concrete has gradually been recognized as an alternative pavement material in our highway pavement community due to its high rigidity and superior bearing capacity to accommodate Taiwan's dramatically increasing traffic loading as compared to conventional asphalt concrete. Since there exists no standardized evaluation procedure for concrete (rigid) pavements in Taiwan's Pavement Maintenance Management System (PMMS), this study first proposed a distress identification manual for rigid pavements based on the Long-Term Pavement Performance (LTPP) definitions and domestic considerations. Furthermore, the PMMS was originally developed under the ideal framework of total pavement management system, whereas the pavement network is defined by thousands of very short "fixed-length sections." After more than 10 years of system implementation, the PMMS can barely meet the needs for "network-level" as well as "project-level" management purposes till now due to extreme difficulties in the requirement of mass data collections and compilations. Thus, this study focused on the study of intelligent consultant system for concrete pavement evaluation and rehabilitation - development of a prototype evaluation system using the concepts of "uniform sections", "project-level" management, as well as the integration of a computerized Knowledge-Base Expert System (KBES). Many decision trees and prediction

models for pavement structural and functional evaluation originally developed under the well-known EXPEAR program were obtained and modified according to domestic pavement performance and construction practices. Consequently, a prototype Intelligent Consultant System for Pavement Maintenance And Rehabilitation Technologies (ICSMART) program was developed with many Windows-based graphical user interfaces. The prototype system currently has the basic features of identification of pavement distresses and causes, evaluation of present condition; prediction of future condition prior to rehabilitation.

二、計畫緣由與目的

由於國內在鋪面養護作業上，對於鋪面資料調查尚無客觀之根據及系統化的調查程序，使鋪面破壞資料調查之相關工作未能有統一的標準。國內鋪面養護管理系統目前皆以『路網階層』的管理方式，由於所需鋪面資料過於龐大且蒐集不易，實際執行上確實有相當大之困難，因而導致鋪面管理未能有效地落實。再者，國內鋪面養護管理系統尚未建立相關的本土化鋪面預估模式，因此無法了解鋪面未來情況，在適當的時機對鋪面進行的有效的維修工作。針對上述問題，本研究將建立一套適於國內各公路鋪面破壞調查的剛性鋪面『標準調查手冊』。研究中並採用『均質路段』的觀念配合『個案階層』管理方式來定義與分割路段。此外，本研究並參考國外知名的知識庫專家系統程式(EXPEAR)之決策流程與預估模式，配合國內鋪面現況及本土化之考量，建立一套電腦化且適合國內使用之智慧型鋪面評估與維修諮詢系統。

三、研究方法與過程

3.1 鋪面調查手冊之建立

本研究首先參考美國鋪面長期績效評估(LTPP)計劃之標準調查手冊，並與國內外於鋪面評估維修的相關研究加以整合，再考慮國內鋪面與環境的特性以制定一套適合國內使用的剛性鋪面標準調查手冊。研究中將

鋪面破壞型態分為裂縫(縱向裂縫、橫向裂縫、角隅斷裂)，接縫破壞(接縫填縫料破壞、接縫剝落)、表面破壞(龜裂、表面剝落、粒料磨損)、及其他形式破壞(隆起或擠破、接縫斷層或高差、車道與路肩高差、車道與路肩分離、修補/修補損壞與唧水或噴泥現象等)。此調查手冊對上述各種不同鋪面破壞型態加以定義，並說明鋪面破壞可能產生原因。此外，手冊中對破壞的量測方式、破壞等級(分為輕、中、重)皆加以詳述。手冊中並將台灣本土氣候因素不易發生之耐久性裂縫(因凍融循環作用所產生)，或不易量測之脫落、鬆散狀況等破壞型態摒除於外。此調查手冊的制定，將可成為提供於國內剛性鋪面破壞工作使用的一套標準化『剛性鋪面調查手冊』。

3.2 路段分割方式

鋪面養護管理系統的架構包括『路網階層』(Network Level)及『個案階層』(Project Level)。國內目前鋪面管理系統主要以『路網階層』管理，並採用固定長度的『樣本路段』分割方式。以中山高速公路為例，其路段分割方式是以100公尺為一固定長度之樣本路段。此種分割方式對於龐大複雜的中山高速公路路網，將使得所需分析之資料過多且繁雜而不易施行。且對於性質相同(建造年代、版塊設計、底層與基層設計、和交通量組合)的鋪面結構，將會重複進行相同的工作而浪費資源，對於國內日漸擴增之國道公路網系統之管理將更為不利。因此，本研究採用『個案階層』的管理架構，使用『均質路段』之觀念對於性質不同路段來進行分割。在已定義的『均質路段』中，若路段因維修養護而有所改變，則可利用動態分割路段(Dynamic Segmentation)的觀念，將路段分開成兩個或數個均質路段加以評估管理。在鋪面破壞資料調查工作方面，此種分割方式則可對相同性質的鋪面路段做隨機調查，因此將比『固定長度路段』有彈性、可調整、且易於分析管理等優點。在這種路段的分割方式下，不需進行全面性的鋪面破壞資料調查，即可對於有問題的個別鋪面路段，進行細部的個案評估與維修建議，以落實鋪面管理工作。

3.3 鋪面服務能力

本研究以鋪面現況服務能力 (PSR) 來評估鋪面狀況。根據美國 AASHO 道路試驗結果指出，百分之九十五的鋪面服務能力來自鋪面糙度。因此，本研究採用國際糙度指標 (IRI) 來評估鋪面的 PSR，如公式 1 所示。

$$PSR = 5 * e^{(-0.26 * IRI)} \quad (1)$$

其中，IRI 的單位為 m/km，其值愈低則鋪面愈平坦。如此將可在量測鋪面糙度後得到該鋪面的 PSR 值。而目前國際上所採用之糙度指標尚有多種，世界銀行組織亦發展出各種糙度間的轉換模式，可將所有的糙度指標轉換成國際糙度指標 (IRI)。

目前國內鋪面糙度值評定，以梅氏糙度指標 (MO) 為主，其單位為 (m/km)。因此，本研究採用世界銀行組織發展之梅氏糙度指標與國際糙度指標之轉換公式，如公式 2 所示，將梅氏糙度指標值轉換成國際糙度指標，以作為國內對糙度量測儀器所量測之糙度指標轉換標準。

$$MO (m/km) = IRI/1.5 \quad (2)$$

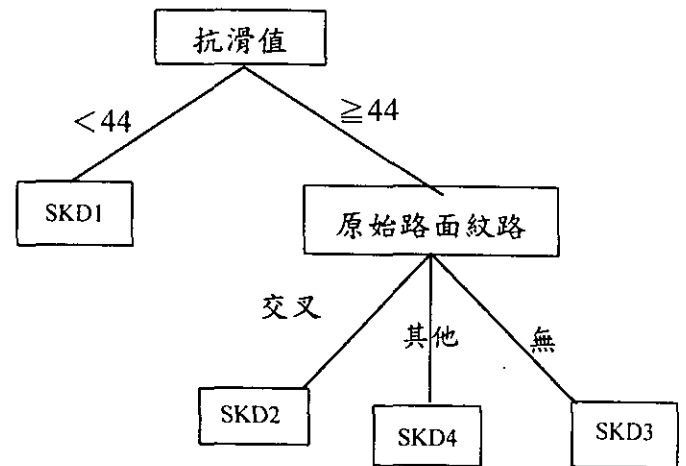
3.4 決策流程

本研究採用知識庫專家系統 EXPEAR 程式中之決策樹為藍本，並且配合國內相關研究制定符合國內鋪面相關的建議臨界值，以建立一套適合國內鋪面使用之決策樹，來評估鋪面現況破壞成因與建議因應對策。本研究的決策流程主要分為八個部分，包括糙度缺陷、防滑性缺陷、接縫破壞、接縫施工破壞、排水功能性、荷重傳遞效應不足、結構破壞及接縫填縫料缺陷等。其中決策流程乃以各種鋪面破壞的臨界值做為門檻，以決定鋪面破壞調查值之流程，用以判斷鋪面破壞成因。

以防滑性評估決策流程為例，如圖 1 所示。抗滑值為鋪面現況調查資料，其建議門檻值為 44，若鋪面防滑調查值小於 44，則利用原始路面紋路作評估，再以鋪面原始路面紋路（交叉、無或其它紋路）作為判斷鋪面抗滑性能力。

對於糙度缺陷評估決策而言，由於國內新建剛性鋪面 PSR 值約為 3.26，遠較國外起始設計值 4.5 為低。因此，本研究建議採用之期

末服務能力指標 (P_f) 值為 2.5，以利國內鋪面評估。而在 EXPEAR 程式系統中提出以鋪面平滑程度來評估防滑性，但其鋪面平滑程度需以目視方式評估並無法量化與標準化，本研究針對此項疑慮，建議採用鋪面抗滑值為評估標準，使評估臨界值有一量化標準。此外，本研究亦建議對於鋪面抗滑容易不足或發生肇事頻率較高之路段，應及時調查並加以改善其摩擦力，以確保駕駛者之安全。



- SKD1：輪跡處抗滑值過小顯示鋪面磨光或抗滑性不足可能造成打滑。
- SKD2：鋪面狀況顯示抗滑性未有不足或潛在打滑的可能。
- SKD3：鋪面表面未鋪築紋路，將使未來鋪面表面之抗滑性逐漸變差。
- SKD4：因鋪面表面鋪築紋路，已可滿足鋪面抗滑性之需求。

圖 1 防滑性評估決策流程圖

3.5 預估模式選擇

由於目前國內鋪面養護管理系統尚未建立相關的本土化鋪面預估模式，因此，本研究暫時選用 EXPEAR 知識庫專家系統中混凝土鋪面的破壞預估模式，其中包括鋪面服務能力 (PSR)、接縫破壞 (Joint Deterioration)、裂縫 (Cracking)、高差 (Faulting) 等。以鋪面服務能力的預估模式為例，將 18 千磅標準單軸軸重的等額次數 (ESAL)、應力比 (Ratio)、路面使用年齡 (Age)、平均年降雨量 (SUMPREC) 與月平均溫度 (AVGMT)

代入公式 3 即可預估 PSR。

$$PSR = 4.5 - 1.486ESAL^{0.1467} + 0.4963ESAL^{0.265} Ratio^{0.5} - 0.01082ESAL^{0.644} Age^{0.525} \frac{SUMPREC^{0.91}}{AVGMT^{1.07}} \quad (3)$$

倘若預估值未能與實際量測值完全符合，得以垂直校估校正，如圖 2 所示。圖中可將 L2 預估模式上 a 的 PSR 值修正為現地量測 PSR 值 b 後，即可順著延伸線做出實際測量值 L1 的趨勢線作預估。

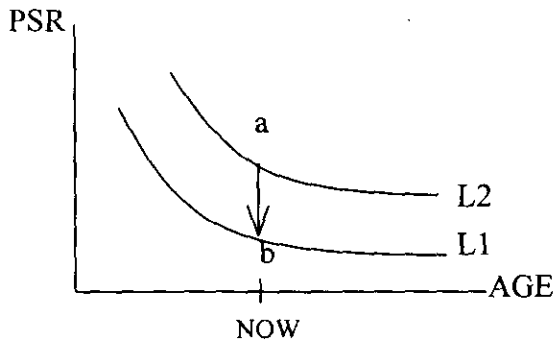


圖 2 垂直校估圖例

3.6 ICSMART 程式之建立

綜合上述概念與研究成果，本研究計畫第一期並利用 Visual Basic 套裝軟體程式將其編撰成一套擁有良好使用者界面的『智慧型鋪面養護與維修技術諮詢系統』(Intelligent Consultant System for Pavement Maintenance And Rehabilitation Technologies, ICSMART)的視窗軟體程式，如圖 3 所示。

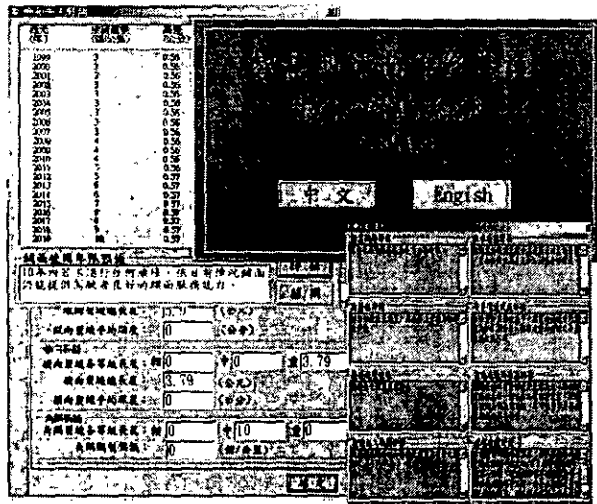


圖 3 ICSMART 程式之輸出圖例

ICSMART 程式僅需利用鋪面個案的基本

設計資料與破壞調查資料，不需整體的路網資料即可對可能有問題的鋪面個案路段進行鋪面破壞的現況評估，並將結果依各種不同的破壞型態加以彙整，進而推斷出鋪面的破壞成因。此外，本程式在輸入調查所得的鋪面相關資料後，可由系統內的預估模式預測未來的鋪面狀況，並以圖形化的表示方式加以輔助。圖 4 為 ICSMART 程式所預估的鋪面服務能力 (PSR)、接縫破壞 (Joint Deterioration)、裂縫 (Cracking)、高差 (Faulting) 等趨勢之圖例。

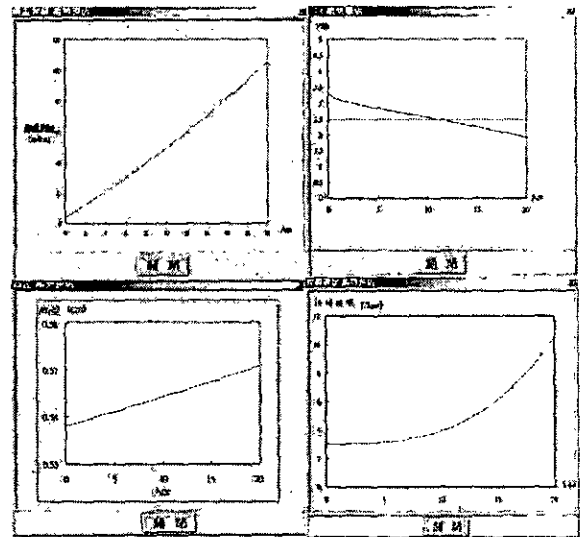


圖 4 鋪面趨勢預估圖

此外，本計畫亦擬針對維修技術、詳細的維修策略、維修後績效預估及維修成本分析選擇等項目持續進行研究。目前第二期計畫已核定執行中，期望在全程計畫完成後構建一套較為完備的智慧型鋪面維修與養護技術諮詢系統。

四、結論與建議

4.1 結論

本計畫具體研究成果可歸納為以下數點：

1. 本研究參考美國長期鋪面績效研究 (LTPP) 之標準調查手冊以及國內相關研究，建立一套適用於國內剛性鋪面之標準調查手冊，使國內鋪面破壞之資料調查有一套客觀之根據。
2. 本研究綜合國內外相關研究，綜合鋪面各項破壞之成因，以提供鋪面維修養護

人員之參考依據，建議適當且最經濟之維修方式，避免日後鋪面重複破壞。

3. 研究中亦探討自動化儀器調查與人工調查之差異，發現因儀器本身因素可能無法提供所有資料絕對的正確性。自動化儀器調查雖能於短時間內提供鋪面管理系統之資料需求，然而自動化儀器調查目前尚無法完全取代人工調查。
4. 本研究使用 EXPEAR 專家系統決策樹的概念，配合國內目前鋪面狀況與規定標準，找出鋪面各項破壞成因，以建立一套適合國內之決策標準。
5. 本研究亦建立一套容易操作、自動化、及圖形化的『智慧型鋪面維修養護技術諮詢系統』(ICSMART) 視窗軟體程式，在執行上無須龐大資料庫，僅需鋪面個案路段之細部資料。
6. 由於目前國內尚無足夠鋪面資料，因此本研究目前暫時引用國外預估模式，對鋪面未來破壞狀況進行預估。在未來資料充足情況下，能以回饋修正方式修改，使鋪面未來破壞情況，得到有效預測。

4.2 建議

1. 本研究所擬定之鋪面破壞調查手冊，期望能早日成為各公路基層單位調查的標準，以使鋪面破壞調查能提供我國鋪面管理系統一個共通的量測標準及一致的鋪面破壞資料。
2. 本研究未來擴增功能，可朝圖形化記錄鋪面破壞狀況方式研究發展，使鋪面破壞調查方式符合國內外調查人員慣用方法，並以圖形化方式展示鋪面調查綜合資料。並在個案階層管理方式與路網管理方式相結合後，在各路網中以個案階層為基本單位，針對鋪面調查資料回饋修正，使服務能力不足之鋪面加以維修養護，讓全面性鋪面管理理念早日完成。
3. 鋪面養護之決策樹訂定雖考量國內鋪面的情況，但國內鋪面仍存在許多資料不足與規定尚未訂定之處。初期建議使用國外相關的研究成果，不斷的以國內現況資料回饋修正比較決策樹之適用性，未來再對國內所能蒐集之鋪面破壞資料修正，再逐漸全面本土化，以期真正的

反應國內鋪面現況。

4. 在未來鋪面管理系統中，應能結合目前逐漸發達之電腦網路系統管理，不再侷限於個人作業系統上，並可連結各路段現有之調查資料加以處理評估。
5. 建議未來可利用美國長期鋪面績效研究(LTPP)之資料，嘗試建立本土化鋪面預估模式。並整合非破壞檢測資料，利用 TKUBAK 程式回算鋪面結構強度，以建議適當的鋪面養護與維修策略，讓國內有限的維修經費做最經濟有效的利用。

五、參考文獻

1. SHRP, "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project," SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., May, 1993.
2. Federal Highway Administration, "Rehabilitation of Concrete Pavements," Volume III: Concrete Pavement Evaluation and system Rehabilitation, July, 1989.
3. Huang, Y. H., "Pavement Analysis and Design," Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
4. Paterson, W. D. O., "Road Deterioration and Maintenance Effect: Models for Planning and Management," The Highway Design and maintenance Standards Series, the World Bank, Washington, D.C., 1987.
5. Saraf, C. L. and K. Majidzadeh, "Distress Prediction Models for a Network-Level Pavement Management System," Transportation Research Record 1344, 1992.
6. Al-Omari, B. and M. I. Darter, "Relationships between IRI and PSR," UILU-ENG-92-20013, September, 1992.
7. 張建彥，"剛性鋪面破壞整修管理系統建立之研究"，台灣大學土木工程研究所博士論文，民國 85 年 12 月。
8. 交通部台灣區國道新建工程局，"剛性鋪面糙度值之研究"，民國 84 年 12 月。
9. 交通部台灣區國道高速公路局，"中山高速公路路面養護管理系統電腦實務運用，期末報告"，財團法人台灣營建研究院，民國 86 年 12 月。