

剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統 雛形之建立

徐志忠¹、李英豪²、顏少棠³

淡江大學土木工程學系

¹碩士班研究生 ²教授 ³博士候選人

關鍵字：剛性鋪面、維修、養護、專家系統、智慧型諮詢系統。

摘要

本研究主要目的在修正並擴充現有的剛性鋪面評估智慧型諮詢系統，以建立一套鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-R)。此雛形程式除了可診斷鋪面破壞成因、評估現況、預測不維修與維修後未來績效、並提供可行維修技術與策略的選擇、兼顧其生命週期成本。建議未來應輔以國內實際案例分析，以驗證研究成果之適用性。

一、前言

國內對於剛性鋪面損壞的維修，大多依賴維修專家經驗的累積或由材料廠商建議適合的修補材料，尚無一套完整實用的剛性鋪面維修規範可供遵循。若是未適當的診斷鋪面損壞原因即從事維修，或採用不當的維修方法和維修材料，將無法進一步改善鋪面養護與維修的成效。因此，本研究將深入探討鋪面現在和未來的維修需求，修正並擴充現有的剛性鋪面評估智慧型諮詢系統[張貴祿，1999]，以建立一套剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-R) [徐志忠，2002]，俾能針對鋪面惡化的現象，提供適當的維修策略，以提昇維修成效。

本研究並參考美國聯邦公路局之鋪面維修技術訓練手冊[FHWA, 1998]與長期鋪面績效評估計畫(LTPP)之鋪面損壞調查手冊[SHRP, 1993]及其他相關資料，發現國外各種鋪面損壞維修方法都有一套標準作業程序，不僅在材料選擇、施工機具、斷面選取及開放交通有一定要求與限制。國內雖有交通部技術標準規範[交通部，1986; 1989]與公路工程施工說明書[公路局，1993]可供參考，但是因資料較為老舊，無法因應新的維修材料與技術，因此，有必要先行引

進國外新的剛性鋪面相關維修技術，以供國內工程界參考採用[徐志忠，2002]。

本文將僅以智慧型養護與維修系統雛形之建立著手，介紹資料的需求與分類、評估與維修決策流程、未來鋪面績效預估、生命週期成本分析、與 ICSMART 程式之修正與擴充等相關工作。本研究建立之 ICSMART-R 雛型程式，將利用鋪面破壞數量的計算及所選擇的維修技術，配合單位維修成本與可接受之績效門檻值，便可決定鋪面維修策略所需成本，以協助選取最佳鋪面維修策略。

二、 資料需求與分類

鋪面管理首重鋪面資料蒐集，蒐集資料時須對其所有路段加以定義，以落實調查作業及維修工作。一般而言，鋪面路段的定義可分為固定長度路段(Fixed Length Section)與均質路段(Uniform Section)，固定長度路段將所需評估的鋪面以固定長度切割為一單元，主要優點在於使用簡單方便，然而其主要缺點將重複登錄大量資料，因此較不利於後序分析工作。均質路段的定義為鋪面路段無論在建造年代、設計方法、或交通量皆應相同，在資料架構上較具彈性、所需登錄資料較少、較具可行性。

本研究以個案階層為出發點，根據均質路段之定義，並以抽樣調查的概念來提供鋪面相關資料，並依據管理者需求輸入所需資料。本系統調查輸入資料格式主要依據美國長期鋪面績效研究(SHRP/LTPP)「鋪面調查手冊」為主，各個調查項目與紀錄方式根據原始鋪面損壞手冊之鋪面破壞量測方式及單位定義。在輸入路段資料時，分為以整體均質路段為主的個案基本調查資料與詳細樣本路段內容的現地調查資料，以作為資料蒐集及管理之方式。基本調查資料包括鋪面建造與設計資料、交通、氣候及材料資料等。而現地調查資料包含損壞資料(裂縫調查、接縫破壞及接縫破壞長度資料等)、抗滑值資料、唧水現象及隆起斷裂數量等。

在資料處理時，考慮資料需能有可量測性、可完成性、及時性與重要性等因素，必須將資料適當的加以分類。本研究主要依據資料在系統中使用之重要性予以分類，可區分為需求資料(Required data, R)及建議資料(Suggested data, S)兩種資料等級之類別(如表 1 所示)，其中需求資料為使系統運作時之必要資訊，而建議資料可依據調查結果之數量多寡，再行進一步作評估與維修之分析。在輸入所需個案基本資料、現地調查資料、及樣本單位調查資料後，即可自動進行資料彙整運算。

表 1 系統輸入資料型態整理表

基本調查資料	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)
	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)
現地調查資料	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	邊緣排水 (S)、唧水現象 (R)、隆起斷裂 (S)、總高差 (R)

三、 評估與維修決策流程

由於國內目前對於剛性鋪面損壞維修，尚無廣被接受的標準可供遵循，本研究之評估與維修決策流程乃以 EXPEAR 程式為藍本 [Hall, Darter, Carpenter, and Connor, 1989]，並配合國內剛性鋪面可能破壞類型考量，修正相關之評估與維修決策樹。在評估作業上，主要仍以現有的剛性鋪面評估智慧型諮詢系統雛形 (ICSMART) 為依據 [張貴祿，1999]，評估決策作業完成時，將可各個鋪面現況評估結果與鋪面發生的破壞類型與數量。在維修作業上，工程師可根據現況評估的結果，慎選系統建議之可能維修養護的方式、配合經費等相關因素考量，來作為選擇維修策略的依據。

根據鋪面現況評估之結果與破壞情形，建議可採用的維修方式可分為主要維修與細部維修等兩大類。如表 2 所示，常見的主要維修方式包括：鋪面重建、加鋪及修護等三種。例如，當評估後 STR 狀況為 1 或 2，而鋪面現況存有角隅斷裂及橫向裂縫等狀況建議可選擇鋪面加鋪或重建，以增加鋪面結構強度。若 STR 狀況為 3，則鋪面可能處在潮濕或者乾濕(燥)氣候下，則建議實施鋪面加鋪，以增加版厚度承受目前的交通量。當 STR 狀況為 4、5 或 6，雖然鋪面有角隅斷裂及橫向裂縫產生，但數量很少不至於引起鋪面結構破壞，因此，可選擇鋪面加鋪、重建或修護策略。若以重建實施，經評估造成排水功能不良之原因，是由於未設置地下排水層或排水系統不佳者，建議重建過程必須先行設置地下排水系統。而對於無排水不良情形發生或者排水對鋪面並無太大之影響者，則不需做細部之修復可以直接進行重建。

表 2 主要維修方法表

破壞評估	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)	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。	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，鋪面版厚度不足以承受目前的 ESAL 值。	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。	加鋪、重建或修護
STR5	鋪面調查顯示結構未有不足之處。	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，建議需做修補。	加鋪、重建或修護

在鋪面細部的維修方法之選擇上，則是依照所選定之主要維修方法，並配合鋪面在糙度缺陷、防滑性、接縫施工破壞、荷重傳遞效應不足、及接縫填縫料缺陷等現況評估的結果，來決定更細部的維修工作[徐志忠，2002]。在建立維修決策流程時，本研究暫時先以 EXPEAR 程式中之決策流程為依據，先行架構之維修決策流程，如圖 1 所示，包括主要維修策略與細部維修策略兩大類。本系統維修流程可分為三種主要維修方式，包括鋪面重建、加鋪及修護。其中，加鋪又可分為非黏結式混凝土加鋪、黏結式混凝土加鋪、瀝青混凝土結構性加鋪以及將原有鋪面敲碎滾壓 (Crack and Seat) 後再進行瀝青加鋪四種方式。當選定主要維修方式後，則可依據前述評估結果，繼續進行細部維修工作，如接縫破壞維修、荷重傳遞效應不足維修、接縫施工缺陷維修、接縫填縫料缺陷維、糙度缺陷維修及排水功能損壞維修等方法。

四、 未來鋪面績效預估

如何可靠地預測鋪面未來維修前與維修後的服務績效，是智慧型鋪面養護與維修系統之主要的核心。鑑於國內目前尚未有適合的本土化剛性鋪面預估模式，因此，本研究暫時採用 EXPEAR 程式中所提供的鋪面績效預測模式。主要的預測模式包括高差、接縫破壞、嚴重裂縫、與鋪面現況能力評分等[張貴祿，1999]。值得注意的是該預估模式主要是依據美國伊利諾州、喬治亞州、猶他州、明尼蘇達州、路易斯安那州及加州之剛性鋪面績效分析所建立的。建議未來在時間與資源許可的條件下，可輔以國內相關剛性鋪面績效資料做適當的修正，以驗證並改善利用國外鋪面績效預測模式可能遭遇到的本土適用問題。

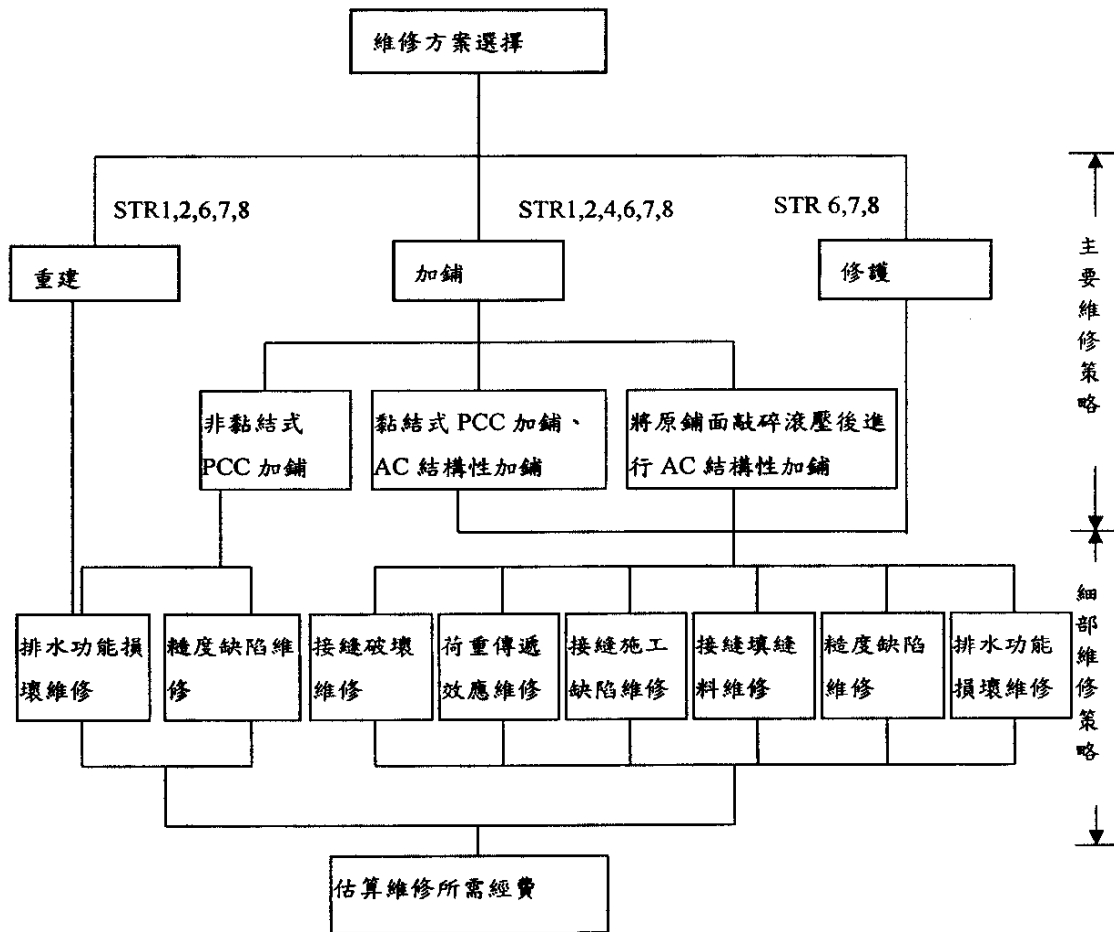


圖 1 維修處理決策流程圖

五、 生命週期成本分析

本系統可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與其他條件，便可決定鋪面維修策略所需成本。至於維修後該路段之預期壽命（或生命週期），則可根據使用者自訂的主要破壞的臨界值（或門檻值）來認定破壞何時到達無法接受的程度，當中應以所有破壞中第一個達到臨界水平的時間來決定其年限值。另外，對於維修方案所需之單價、折現率、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。最後進行維修策略的生命週期成本分析，可以將鋪面維修總成本算出。鋪面維修策略總成本可以現值與等額年值等方式表示。在使用者進行不同維修策略之選擇與組合後，即可得到不同之鋪面生命週期分析，並可分析選擇最佳之維修策略。

六、 ICSMART 程式之修正與擴充

本研究首先針對現有的剛性鋪面評估智慧型諮詢系統 ICSMART 程式進行修改與除錯之工作，主要修改及擴充內容包括系統單位之選擇(公制/英制)、資料儲存及結果列印、介面整合(輸入/輸出)、均質路段內可輸入樣本單位數目及輸入資料之基本建議範圍與自動偵錯之功能。本研究並以該程式對鋪面現況評估決策的結果為基礎，擴充養護與維修技術方面之綜合分析功能，以建立一套新的鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統之雛形視窗軟體程式 (Intelligent Consultant System of Maintenance And Rehabilitation Technologies for Rigid Pavements, ICSMART-R) [徐志忠，2002]。

本程式應用專家系統物件導向之樹狀決策構思，結合現況鋪面調查資料、原始鋪面建造資料評估鋪面目前現況，並利用現有的鋪面破壞預估模式，對維修後之鋪面，做未來鋪面服務能力、裂縫、高差、接縫破壞數之評估，以提供決策者對未來鋪面養護維修工作之參考。本程式可利用鋪面個案的基本設計資料與破壞調查資料，在評估作業完成時得到各個評估結果，及建議之鋪面維修養護的方式(如圖 2)。在維修策略選擇後，並可以預測鋪面維修前與維修後未來的狀況，最後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與其他條件，便可決定鋪面維修策略所需成本(如圖 3)。

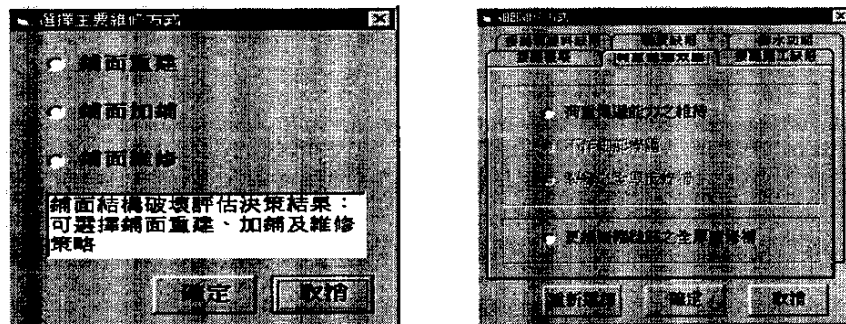


圖 2 主要維修與細部維修方式選擇圖例

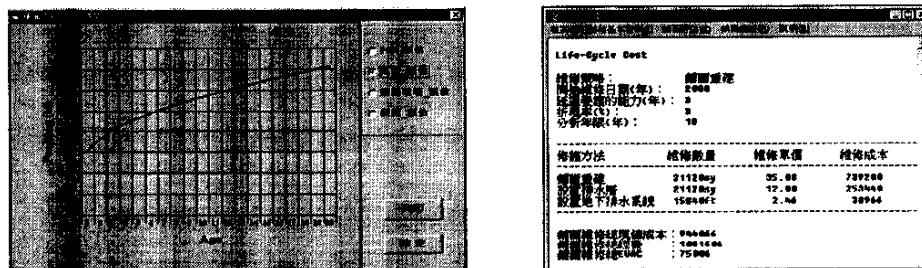


圖 3 維修後趨勢預估與生命週期成本分析圖例

七、 結論與建議

本研究針對「剛性鋪面評估智慧型諮詢系統」(ICSMART)程式雛形進行修改與除錯之工作，並以該程式對鋪面現況評估決策的結果為基礎，擴充此程式在養護與維修技術方面之綜合分析功能，以建立一套鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-R)。本研究並提供可行維修技術與策略的選擇、應用鋪面生命週期成本分析，利用鋪面破壞數量的計算及使用者所選擇的維修方法，配合其單位維修成本、折現率與達到破壞之門檻值，便可決定鋪面維修策略所需成本，以協助選取鋪面最佳維修策略。建議未來應輔以國內鋪面現況資料回饋修正評估與維修之決策樹、預測模式、與實際案例分析，以驗證研究成果之適用性。

八、 誌謝

本研究承行政國家科學委員會專題研究計畫編號 NSC88-2211-E032-014 與編號 NSC89-2211-E032-007 之補助，研究工作才得以順利進行，在此謹致上最深摯之謝忱。

九、 參考文獻

- 徐志忠(2002)：「剛性鋪面養護與維修智慧型諮詢系統雛型之建立」，碩士論文，淡江大學土木工程學系，台北。
- 張貴祿(1999)：「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統—評估系統雛型建立之研究」，碩士論文，淡江大學土木工程學系，台北。
- 交通部(1986)：「交通技術標準規範空運類場站建設部-機場工程施工技術規範」。
- 交通部(1989)：「交通技術標準規範公路類公路工程-公路養護手冊」，幼獅出版社。
- 公路局(1993)：「公路工程施工說明書」，台灣省交通處公路局。
- FHWA (1998)：“Techniques For Pavement Rehabilitation, A Training Course, “ Final Edition.
- SHRP (1993)：“Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project, “ SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program, National Research Council.
- Hall, K. T., M. I. Darter, S. H. Carpenter, and J. M. Connor (1989)：“Rehabilitation of Concrete Pavements,” Volume III - Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation System, Report No. FHWA/RD-88/073, Federal Highway Administration.

Prototype Intelligent Consultant System of Maintenance And Rehabilitation Technologies for Rigid Pavements

Chih-Chung Hsu¹ Ying-Haur Lee² Shao-Tang Yen³

Department of Civil Engineering, Tamkang University

¹ Graduate Research Assistant, ² Professor, ³ Ph.D. Candidate

Keywords: Rigid Pavements, Rehabilitation, Maintenance, Expert System, Intelligent Consultant System.

Abstract

The primary objective of this study is to modify and expand the scope of an existing pavement evaluation system in order to develop a prototype Intelligent Consultant System of Maintenance And Rehabilitation Technologies for Rigid Pavements (ICSMART-R) program. Not only can this prototype system identify the causes of distresses, evaluate present condition, and predict future condition prior to rehabilitation and after rehabilitation, but it also can provide various rehabilitation alternatives with the consideration of life cycle costs. The applicability of this prototype system should be further validated through practical case studies of domestic jointed concrete pavements.