

剛性鋪面維護管理系統簡介

徐志忠¹、顏少棠²、李英豪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兼任助理教授

³淡江大學土木工程學系教授

摘要

本文以鋪面管理系統中的「個案階層」為主要對象，針對鋪面維護管理系統之構建進行探討，說明管理系統之主要內容與運作方式。文中並以本研究所開發之『剛性鋪面養護與維修智慧型諮詢系統』【ICSMART-R】雛形為例，說明鋪面維護管理系統之架構。研究中首先以鋪面管理者需求為出發點，透過對「路網階層」與「個案階層」完整架構之瞭解，介紹「均質路段」與「抽樣調查」的使用的觀念與運作方式。並說明鋪面管理在明確性、可量測性、可完成性、相關性、與及時性等原則的要求下，配合「動態分段」的自動化程序來構建資料庫的方法。

而在鋪面維修管理方面，本研究中以「個案階層」管理者之需求，針對鋪面評估進行探討。研究中，首先整合國內外於鋪面評估維修的相關研究，制定一套適合國內使用的剛性鋪面標準調查手冊。隨後，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，調查鋪面各項破壞成因，以建立一套適合國內之決策標準。並以預測模式評估鋪面現在與未來之狀況，以作為鋪面維修之參考。

此外，本研究彙整國內外鋪面相關研究與維修技術，在鋪面維修決策流程建立時，將其分為主要維修策略與細部維修策略兩類。鋪面維修決策人員可將所調查之鋪面資料，輸入本研究發展的決策流程，再經由成本分析，而得到制定維修策略的建議。而使用者亦可藉由研究中所引用的績效預測模式，獲得維修後的成效預估。

最後，本研究彙整研究成果，建立一套操作容易、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即可運作。希望藉此提供適當的鋪面養護與維修策略，讓有限的維修經費做最經濟有效的利用。

關鍵字：鋪面維護管理系統、評估、維修、決策樹、預測模式、ICSMART

一、前言

完善的交通建設是國家經濟發展的主要命脈，我國公路隨著第二高速公路的相繼通車與十二條東西向快速公路的規劃及施工，未來將成為一四通八達的交通路網。隨著國內路網系統的持續擴充，對於後續鋪面維修管理的計畫與施行未來必將是一項極為龐大、費時、而且挑戰性極高的工作。近年來，由於國內在剛性鋪面相關技術的提升，目前已在許多道路系統使用剛性鋪面之鋪設。而剛性鋪面能提供道路使用者較佳之服務品質，與延長鋪面之使用壽命，但鋪面經過長期使用，勢必發生損壞，而導致鋪面服務績效降低。因此，如何即時、有效的修復鋪面，已是目前鋪面維護單位必須面對的重要課題。

長期以來，我國各公路主管機關積極地從事鋪面養護管理系統之建置研究。例如：台灣區國道高速公路局於民國七十二年及七十七年間便首創國內鋪面管理風氣之先，建立台灣區高速公路路面養護管理系統（PMMS）[1]，其系統架構包括規劃、調查、分析、評審、養護、設計、施工、及研究發展等八個子系統。為強化路面養護管理系統電腦化功能，高公局並於民國八十四至八十六年間再度委託學術研究單位執行「中山高速公路路面養護管理系統電腦實務運用」之研究，所建構之程式架構分為調查、分析、評審、養護排序、設計、施工、材料、與環境等子系統[2]。

然而，國內現有鋪面管理系統規劃之涵蓋範圍過大、所需資料極多，在有限的經費下將難以落實執行完整蒐錄資料的工作。再者，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，如何透過資訊化與自動化的方式、構建可有效執行之鋪面管理系統、增進鋪面路網管理的效率、適時提供必要的資訊、在有限的資源下協助管理者做有效的評估與訂定最佳的養護維修策略，實為國內各公路主管機關急需正視的重要研究課題。

本文將以鋪面管理系統中的「個案階層」為主要對象，針對鋪面維護管理系統之構建進行探討，說明管理系統之主要內容與運作方式。文中並以本研究所開發之「剛性鋪面養護與維修智慧型諮詢系統」【ICSMART-R】雛形為例，說明鋪面維護管理系統之架構。

二、鋪面資料需求與分類

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[3]。鋪面管理系統可分成路網階層 (Network-Level) 與個案階層 (Project-Level) [4]，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。而鋪面管理系統首重建立完善的資料庫，而資料庫構建時所須考慮的因素繁多，諸如資料庫型態的選擇、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、與資料更新的方便性均是主要考慮的因素。

2.1 均質路段之採用

資料蒐集與資料庫構建為鋪面管理系統的核心工作之一。蒐集資料時須對其所有路段加以定義，即是對鋪面路段分割方式做選擇，一般針對路段分段的考慮因素有道路基本資料、交通量、歷史資料、鋪面條件、維修養護資料。一般而言，鋪面路段的定義主要有二種，一為固定長度路段 (Fixed Length Section)，另一則為均質路段 (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。國內目前所發展之鋪面管理系統即是以固定長度路段來做為路段劃分的依據，例如：國道中山高速公路鋪面養護管理系統目前以 100 公尺固定長度路段為分析單元[1, 2]。

本研究建議採用國外較新的路段定義方式-「動態分段」(Dynamic Segmentation) [5]的方法來產生各個「均質路段」。均質路段的定義為在該路段內之鋪面基本資料、材料性質、鋪面厚度、或交通載重等屬性皆應一致。當路段性質不同或路段在某個特定時間因維修而改變其特性時，則需將路段分開成兩個或以上的路段，均質路段的起迄點位置即是代表發生屬性改變的位置[6]。利用此種方式可隨時機動調整鋪面在某些情況下造成屬性資料之起迄點改變而必須重新分段的情形，因此較「固定長度路段」更具有彈性、可調整、及易於分析管理等優點。「均質路段」與「固定長度路段」的特性與優缺點比較可參照文獻[7]。

2.2 路段之抽樣與調查

Geoffroy [8]曾以路網管理者的角度建議鋪面資料蒐集時必須考慮明確性 (Specific)、可量測性 (Measurable)、可完成性 (Achievable)、相關性

(Relevant)、與及時性 (Timely) 等原則 (或簡稱 SMART)，以確保資料庫的連續性、完整性、與資料更新時的方便性。鋪面資料的蒐集與分析，需顧及資料的明確性、代表性、與預算限制等因素，以有效率的調查方式獲取鋪面資訊，進一步分析求得最經濟合理的預算分配，以有效解決鋪面維修管理等問題。當路網資料過於龐大、無法有效執行整體調查時，則宜採用「抽樣調查」的方式，以較少的資源迅速獲得結果並達到調查的目的。

雖然「抽樣調查」的觀念由來已久，但國內在鋪面管理實務上卻甚少採用，隨著我國公路網不斷的擴建與路段數量的持續增長，在未來鋪面管理實務上將難以負荷整體調查的需求，因此採用抽樣調查的方法實有其必要性與必然性。抽樣調查的對象一般以「樣本路段」(Sample Unit) 來定義，Shahin [3]在發展鋪面狀況指標 (PCI) 時，建議不同鋪面系統或類型可以採用不同的樣本路段大小。瀝青混凝土路面可採用 2500±1000 平方英尺(約 232±93 平方公尺)的樣本路段；而當接縫長度不大於 25 英尺(約 7.6 公尺)的接縫式混凝土路面，則可選為 20±8 個版塊數。建議可在實務鋪面調查上，將目前國內已採用多時以每車道 100 公尺作為資料管理單元(約 375 平方公尺)做為樣本路段的長度。

根據統計學的原理，抽樣調查是從研究的母體中隨機抽取一部份樣本來進行調查，並以樣本統計量來推論未知的母體參數。假設母體為常態分配而且母體變異數 (σ^2) 已知，則根據下列公式可求出以樣本平均數 (\bar{X}) 來推估母體平均數 (μ) 的估計誤差 (e)。其中， $Z_{\alpha/2}$ 為標準常態變數； σ = 母體標準差； n = 抽樣個數； α = 錯誤的機率[9]。

$$\bar{X} - \mu = Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq e \quad (1)$$

一般而言，鋪面路段劃分為樣本單位的個數是有限的，其樣本空間應視為有限母體，因此需將上式乘以 $\sqrt{N-n/N-1}$ 之修正因子。而且在常態母體、小樣本假設下 ($n < 30$) 其機率分配應是自由度為 $n-1$ 的 t 分配，表示為 $t_{n-1, \alpha/2}$ 。再者，因為在母體變異數常是未知的情形下，需以樣本標準差 (S) 來代替母體標準差 σ ，因此可以下列公式來計算其估計誤差。其中， e = 可容許之誤差或估計誤差，通常 $e = \pm 5$ ； S = 路段中樣本單位間的標準差； N = 路段中樣本單位之總數。

$$\bar{X} - \mu = t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \frac{\sqrt{N-n}}{\sqrt{N-1}} \leq e \quad (2)$$

將上述公式等號左右兩邊平方，在 95%信賴水準下常將 $t_{n-1,\alpha/2}$ 假設為 2，再將所得公式重整，即可求得下列公式[3]：

$$n = \frac{NS^2}{(e^2/4)(N-1) + S^2} \quad (3)$$

其中，n 代表在有限母體、小樣本、母體為常態、而且母體變異數未知的情形下，當選定可容許誤差為 e 時所需抽樣的個數。此外，亦有某些鋪面主管單位以表一的建議來決定在路網階層的抽樣個數或抽樣。

表一 抽樣個數或抽樣率的建議[3]

樣本總數 (N)	抽樣個數 (n)
1-5	1
6-10	2
11-15	3
16-40	4
40 以上	10%

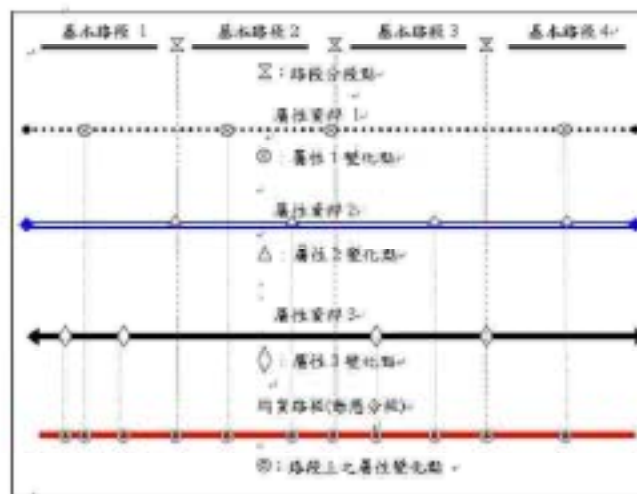
雖然可以採用之抽樣方法有很多種，但在一般實務執行上當抽樣個數決定後，常以系統抽樣的方式來取得隨機樣本。假設樣本均勻的分佈在整個路段中，抽樣單位的間隔是以路段中樣本單位總數除以抽樣個數並取其最接近之最小整數而得。調查的第一個樣本是由第一個至第 i (抽樣單位間隔) 個單元中隨機選出，再以固定抽樣單位間隔 i 的方式持續抽樣，直到完全抽出所欲抽樣的個數。除了隨機樣本之外，有時為了包含某些特殊的樣本 (非典型的樣本) 必須增加所選擇抽樣的個數來決定鋪面的狀況，稱為額外抽樣，例如：路段中含有非常好或非常壞的樣本單位，如施工縫等非尋常的破壞。若該樣本單位已被隨機選出，則應列入額外抽樣單位中，並隨機選擇另一抽樣單位；若每個樣本單位均已調查，則無須額外抽樣。

美國伊利諾州運輸部在蒐集州際公路鋪面管理系統的資料時，亦以系統抽樣的方式來取得樣本，並以整數哩程起算固定抽樣調查其後 10% 長度 (0.1 英哩或 528 英呎) 範圍內的鋪面績效資料[10]。此種抽樣調查的方式將有利於調查員或品質管控人員未來能夠輕易的找出各樣本單位的相關位置，必要時亦可查驗現有資料的可靠性、或研究某特定樣本單位隨時間變化之各種鋪面績效。建議我國未來在鋪面路網資料蒐集時亦可以同樣的方式，以整數哩程起算固定抽樣 10% 的長度，並以 0.1 公里或 100 公尺做為抽樣時

樣本路段的長度。

2.3 動態分段資料庫

當鋪面管理系統採用均質路段作為分割方式時，鋪面路段可能會在不同時間因維修而改變其屬性資料，屬性改變將使原有的分段方式產生變化，而且會隨著時間點的變動不斷的改變。因此，必須以動態分段的方法經常性的調整鋪面路段的分段方式，並以自動化的方式適時的修正鋪面資料庫之整體資料。動態分段的概念如圖一所示，其詳細過程可參照文獻[11]



圖一 鋪面動態分段之示意圖[11]

鋪面在評估與調查資料基本上，需視均質路段長度作為抽樣調查之依據，因此，本研究以個案階層為出發點，而根據上述均質路段之定義，並以抽樣的概念產生均質路段與樣本路段作為資料單元來提供鋪面相關資料，並依據管理者需求輸入所需資料作為資料調查與管理的方式，如此可較具彈性與正確性。因此不需大量之調查資料即可作一適當之判斷，達成使用簡便與快速解決問題之功能。

三、鋪面狀況之評估

3.1 鋪面調查與破壞原因探討

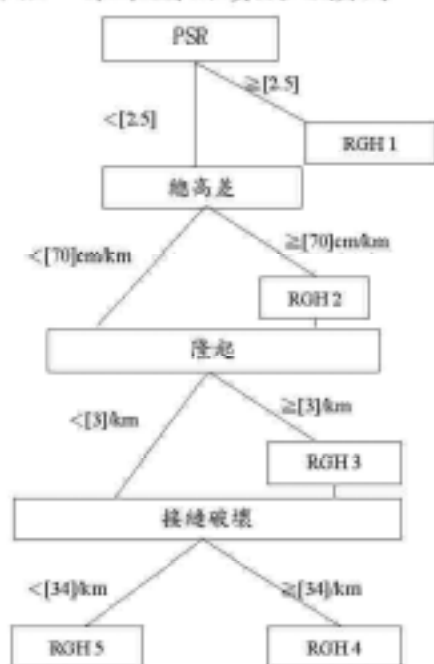
剛性鋪面受到各種外在因素或施工不良、材料不當等因素之影響，及累積車輪載重，和其他如自然環境因素、設計不當、排水不良等因素造成破壞。維修人員首先必須經過調查來探究鋪面各項破壞種類、破壞原因。在此，本研究參考美國鋪面長期績效評估 (LTTP) 計劃之標準調查手冊，並與國內外於鋪面評估維修的相關研究加以整合，再考慮國內鋪面與環境的

特性以制定一套適合國內使用的剛性鋪面標準調查手冊[13, 14]。此調查手冊對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。如此，將可於國內剛性鋪面破壞調查工作提供一套標準化之參考。

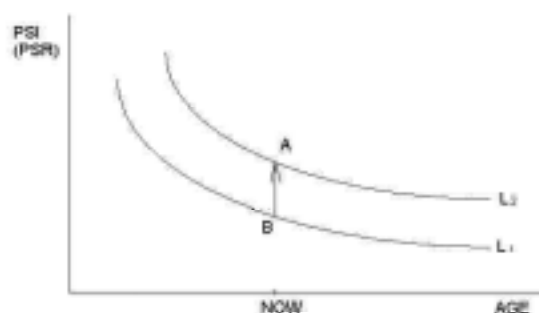
3.2 鋪面破壞評估

當鋪面做完相關之破壞調查後，必須利用這些資料來評估鋪面破壞現況，或評估引起駕駛者之舒適性、與安全性不佳之原因，以提供維修養護決策者一相關資料，作為對鋪面整修時之依據。此類機制例如，美國 EXPEAR 專家系統，利用對接縫式無筋混凝土 (JPCP) 鋪面之專家做問卷在有效回收之整合下，編籍訂定出之各式影響鋪面原因之決策流程。

而由於國內目前尚未有此類機制之建立，因此，研究中暫時採用美國 EXPEAR 專家系統為架構，搭配美國長期績效評估 (LTPP) 之調查方式，配合國內不同之環境與施工因素及規範內容，做最適合於本土之評估系統。待日後完整專家知識庫建立後，便能加以修正。工程師藉由評估系統之使用，在輸入所需之鋪面破壞資料後，即可彙整、運算而得到鋪面現況之評估、未來鋪面績效之預測。



圖二 決策樹範例



圖三 垂直模式校估圖

本文以鋪面糙度值評估為例，說明決策樹之決策流程。根據 AASHTO 之 PSI 概念，起使服務能力指標 P_0 值建議為 4.5，而臨界值終止服務能力指標 (P_t) 為 2.5。在此情況下鋪面在新建初期，PSR 值應為 4.5，利用公式 4

可得國際糙度指標 IRI 應為 0.405 (m/km)，而 P_1 為 2.5 情況下，IRI 值應為 2.666 (m/km)，此即代表鋪面新建初期與維修臨界之國際糙度值。

$$PSR = 5e^{-0.26IRI} \quad (4)$$

本研究將本土未發生之鋪面破壞形式或不易調查破壞形式予以排除，再結合其他相關研究，訂定糙度缺陷評估之決策流程，如圖二所示。其中 PSR 為鋪面服務能力，總高差為車道與路肩高差之累積值，隆起數量為每公里中隆起量之個數，接縫破壞為每一公里中之接縫破壞的個數。圖二中其糙度缺陷原因評估內容如下。RGH1：目前鋪面的服務能力是可接受的。RGH2：因鋪面在接縫、裂縫和全厚度修補下之總高差大於 70(公分/公里)，造成鋪面之服務能力變差；並且過低之 PSR 值在鋪面現今的交通量下是不被接受的。RGH3：由於鋪面隆起數量大於 3 (個/公里) 造成鋪面之服務能力變差；並且過低之 PSR 值在鋪面現今的交通量下是不被接受的。RGH4：由於接縫破壞數量大於 34 (個/公里) 造成鋪面之服務能力變差；並且過低之 PSR 值在鋪面現今的交通量下是不被接受的。RGH5：過低之 PSR 值在鋪面現今的交通量下，其鋪面服務能力是不被接受的。

3.3 績效預估模式

當鋪面破壞經調查後，如已瞭解鋪面現況，在決策者仍未決定是否維修或在不經維修情況下，需選用一合適之績效預估模式，以幫助決策者瞭解鋪面未來情況。因此，如何準確地預測鋪面未來的服務績效，是鋪面管理系統最重要的核心。就目前而言，國內發展之刚性鋪面績效模式，大多數是針對鋪面現況之評估，而有關未來績效預測模式，則較為少見。因此，本研究鑑於執行時間與資源之限制，研究中關於鋪面維修後的績效預估則先行採用 EXPEAR 程式中所提供的鋪面績效預測模式[12]，待未來再發展本土化之績效預估模式。如公 5 之鋪面服務能力 PSR 預估模式。此預估模式使用時，可應用垂直校估如圖三所示。

$$PSR = 4.5 - (1.486 \times ESAL^{0.1467}) + (0.4963 \times ESAL^{0.265} \times Ratio^{-0.3}) - (0.01082 \times ESAL^{0.641} \times Age^{0.525} \times \frac{SUMPREC^{0.91}}{AVGMT^{1.07}}) \quad (5)$$

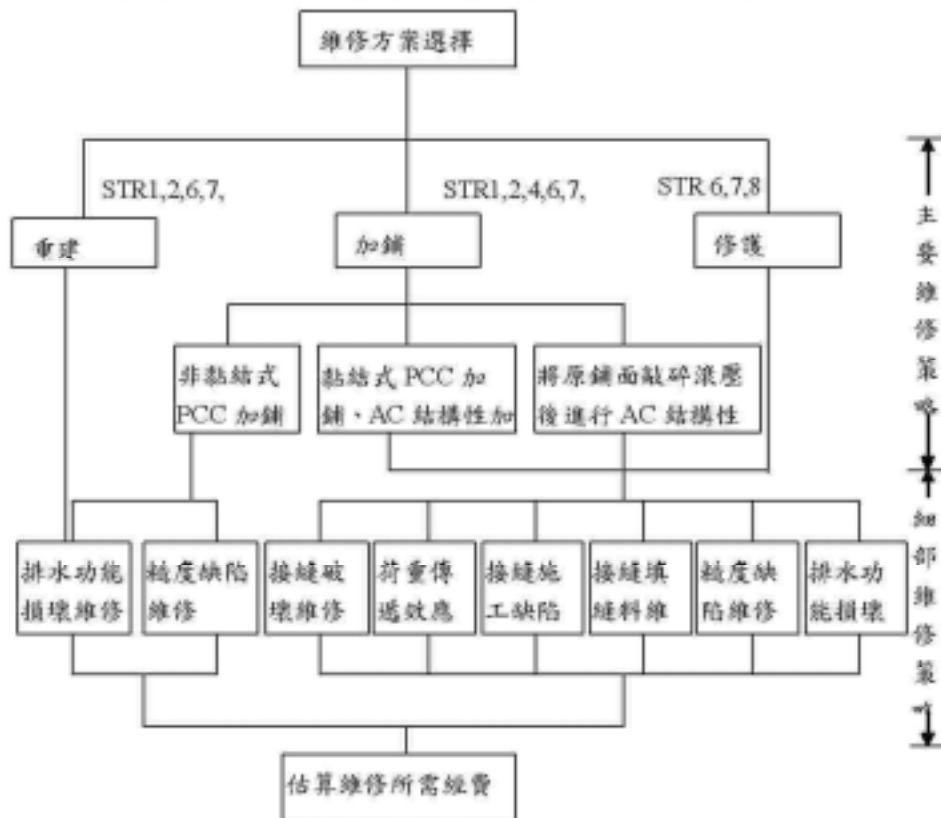
其中，PSR 表示鋪面服務能力，ESAL 表示轉換成 18-kip 之標準單軸載重的數量 (百萬)，Ratio 表示應力比 (Westergaard 邊緣應力/混凝土版破裂模數)，Age 表示以新建路面為起始之年數 (年)，SUMPREC 表示平均年降雨量 (公分/年)，AVGMT 表示月平均溫度 (°C)。

四、鋪面破壞之維修

4.1 維修決策流程

在評估決策作業完成時會得到各個評估之結果，而這些評估結果就代表鋪面發生的破壞方式以及相對應之鋪面維修養護的方式。工程師可以根據鋪面現況評估決策的結果及系統建議之維修方法且配合經費等相關因素來決定作為維修選擇的依據。

本研究所發展的『刚性鋪面養護與維修智慧型諮詢系統』【ICSMART-R】雛形架構，整體維修處理決策流程圖，如圖四所示。本研究在維修決策流程建立時，將其分為主要維修策略與細部維修策略兩類。



圖四 維修處理決策流程圖

本系統維修處理流程可分為三種主要維修方式，包括鋪面重建、加鋪及修護。主要維修策略以 EXPEAR 程式中之維修決策流程為藍本，主要依照結構破壞評估結果 STR，建議應採用主要維修方法，其架構如表二所示。表中建議，若評估後 STR 值為 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 值為 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。當 STR 值為 4、5 或 6，鋪面有角隅斷裂及橫向裂縫產生，但數量很少不引起鋪面結構破壞，因此，可選擇鋪面加鋪、重建或修護策略。例如，若主要維修策略以重建實施，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。

表二 主要維修方法架構表[13]

結構破壞評估結果	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)	鋪面加鋪或重建
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。	鋪面加鋪或重建
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。	鋪面加鋪
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。	鋪面加鋪、重建或修護
STR5	鋪面調查顯示結構未有不足之處。	鋪面加鋪、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，建議鋪面需要做修補工作。	鋪面加鋪、重建或修護

主要維修策略決定實施鋪面加鋪後，細部維修策略又可將之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。若選擇主要維修方式為加鋪或修護方式，則依據前述評估結果，可繼續進行細部損壞維修處理，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。

細部維修策略則依照主要維修策略之決策，並配合鋪面現況評估的結果，決定更細部的維修工作。鋪面修護 (如表三) 與加鋪之細部維修策略是以糙度缺陷、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決策結果，作為維修方法選擇之依據。在表三中，接縫施工缺陷評估結果為 1，則可作縱向接縫之部分厚度修補，以減少縱向接縫剝落。若評估結果為 2 或 3，則可填封縱向裂縫或縫合縱向裂縫，克服縱向接縫之鋸縫切割深度不足之缺陷。而評估結果為 6 或 7，則可填封在接縫處的裂縫

或增設荷重傳遞設施，以減少橫向接縫剝落的情形產生。

表三 鋪面修護細部維修策略

	決策評估結果	維修方法
接縫破壞評估	JDT (1、4、6、10~12)	全厚度修補
	JDT (2)	設置減壓接縫全厚度修補
	JDT (3、5、9、11)	全厚度修補重換橫向裂縫填縫料
荷重傳遞效應評估	LDT (1)	荷重傳遞能力之維持
	LDT (2)	荷重傳遞能力之維持或不作細部修護
	LDT (6)	更換無縱縫筋之全厚度修補
接縫施工缺陷評估	JTC (1)	針對縱向接縫之部分厚度修補
	JTC (2、3)	填封縱向裂縫或縫合縱向裂縫
	JTC (6、7)	填封在接縫處的裂縫或填封在接縫處的裂縫荷重傳遞能力之維持
接縫填縫料缺陷評估	JTS (2、3)	填封橫向裂縫或不作細部修護
	JTS (4、5、6)	填封橫向裂縫
糙度缺陷評估	RGH (2、5)	鋪面的打磨方法或非結構性瀝青加鋪
	RGH (3)	隆起區域之重建
	RGH (4)	接縫之全厚度修補
排水功能評估	DRN (1、2)	設置或修護縱向地下排水或填封所有接縫及裂縫
	DRN (3~7)	設置或修護縱向地下排水

4.2 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（PW）、與等額年值（EUAC）等方式表示，如公式 6 所示：

$$PW = EUAC \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (6)$$

其中：i=折現率，n=績效年限。

在使用者進行不同維修策略之選擇、組合後，即可得到不同之鋪面生命週期分析，並可依此分析選擇最佳之維修策略。

五、ICSMART-R程式之建立

綜合上述概念與研究成果，本研究利用 Visual Basic 軟體建立一套擁有

良好使用者介面的『剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統』(Intelligent Consultant System for Pavement Maintenance And Rehabilitation Technologies, ICSMART-R) 之視窗軟體程式[16]。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 20 年鋪面服務能力、裂縫、高差、接縫破壞數之評估，以使決策者能對未來鋪面養護維修工作參考，其使用介面如圖五、圖六、圖七所示。圖五為樣本路段資料與調查資料的輸入。圖六為決策樹中臨界值與維修成本的輸入，其中之臨界值可隨使用者之需求做適當調整。圖七為經由程式分析後對於鋪面維修前整合之評估結果，以作為鋪面維修作業之參考。



圖五 ICSMART-R 程式資料輸入圖例



圖六 ICSMART-R 程式臨界值與維修單價輸入圖例

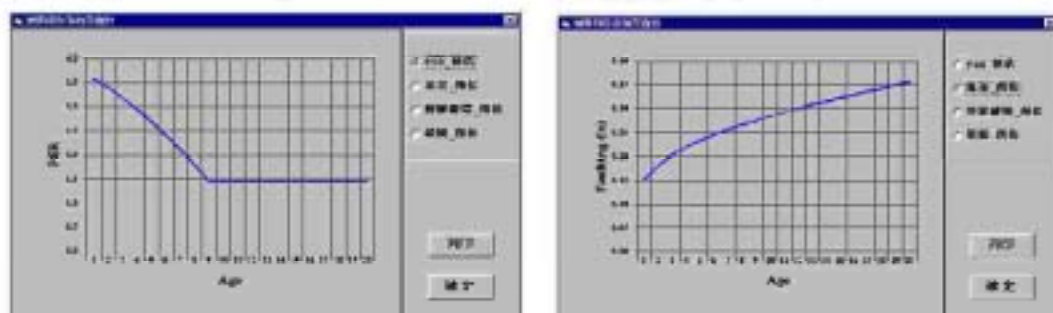


圖七 ICSMART-R 程式維修前輸出圖例

ICSMART-R 程式僅需利用鋪面個案的基本設計資料與破壞調查資料，在評估決策作業完成時會得到各個評估之結果，而這些評估結果就代表鋪面發生的破壞方式以及相對應之鋪面維修養護的方式（如圖八）。此外，本程式在維修策略選擇後，可由系統內的預估模式預測維修後未來的鋪面狀況，並以圖形化的表示方式加以輔助。圖九為 ICSMART-R 程式所預估的鋪面服務能力（PSR）與高差（Faulting）等趨勢之圖例。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。



圖八 ICSMART-R 程式維修選擇圖例



圖九 鋪面維修後趨勢預估圖例

六、結論與建議

本研究以鋪面管理者需求為出發點，透過對「路網階層」與「個案階層」完整架構之瞭解，利用「均質路段」的路段定義方式與「抽樣調查」的觀念，及明確性、可量測性、可完成性、相關性、與及時性（SMART）等原則，以原始資料蒐錄的方式來登錄資料，並配合「動態分段」的自動化程序來構建資料庫，以有效解決現有鋪面資料庫架構過大而不易執行等問題。

在鋪面維修管理方面，本研究以「個案階層」為首要考量。研究中對於鋪面狀況之評估，首先整合國內外於鋪面評估維修的相關研究，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。如此，將可於國內剛性鋪面破壞調查工作提供一套標準化之參考。研究中並建立決策樹與採用相關之績效預測模式，作為鋪面現況與未來評估之依據。分析結果將可作為選定鋪面維修管理決策之參考。

此外，本研究在鋪面維修決策流程建立時，將其分為主要維修策略與細部維修策略兩類。研究中使用 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。鋪面維修決策人員可將所調查之鋪面資料輸入，透過此一決策流程，經由成本分析，明確的制定維修策略。並由績效預估模式，獲得維修後的成效預估。

本研究最後彙整研究成果，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。而未來建議可利用美國長期鋪面績效研究（LIPP）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，利用回算方式估計鋪面結構強度，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。

七、誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC88-2211-E-032-014 與 NSC89-2211-E-032-007 之經費贊助，特此致謝。

八、參考文獻

1. 賴森榮、侯昇等，「臺灣區高速公路路面養護管理系統」，期末報告，財團法人臺灣營建研究中心（1988）。
2. 侯昇、周家蓓、劉明仁等，「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（1997）。
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*, Krieger Publishing Company (1994) .
 5. 洪政乾，「鋪面路網維修管理策略最佳化之研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（2001）。
 6. Zimmerman, K. A., "Pavement Management Systems", *Proceedings*, 1996 International Road Federation Asia-Pacific Regional Meeting (1996) .
 7. 李英豪、洪政乾、盧中強、顏少棠，「鋪面路網資料庫架構與維修管理策略最佳化寫議」，鋪面工程，中華鋪面工程學會會刊，第二卷第三期，第 20-38 頁（2004）。
 8. Geoffroy, D. N., "Pavement Management Systems Management Needs," *FHWA's Pavement Management Symposium on Effective Communication and Institutional Issues* (1991) .
 9. 林惠玲、陳正倉，「應用統計學」，第二版，雙葉書廊有限公司（2002）。
 10. Hall, K. T., Y. H. Lee, M. I. Darter, and D. L. Lippert, "Forecasting Pavement Rehabilitation Needs for the Illinois Interstate Highway System," *Transportation Research Record 1455*, pp. 116-122 (1994) .
 11. 盧中強，「鋪面路網資料庫架構與地理資訊系統之研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（2001）。
 12. Hall, K. T., M. I. Darter, S. H. Carpenter, and J. M. Connor, "Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation System, " *Rehabilitation of Concrete Pavements, Volume 3, Federal Highway Administration Report No. FHWA/RD-88/073* (1989) .
 13. 張貴祿，「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統--評估系統離型建立之研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（1999）。
 14. 李英豪、張貴祿、郭孟齊、顏少棠，「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統之研究」(第一期) (Intelligent Consultant System for Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation)，期末報告，國科會計畫編號 NSC88-2211-E-032-014，淡江大學（1999）。
 15. 徐志忠，「剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統離型之建立」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（2002）。
 16. 李英豪，「剛性鋪面評估與維修智慧型諮詢系統之研究」(第二期) (Intelligent Consultant System for Concrete Pavement Evaluation and Rehabilitation)，期末精簡報告，國科會計畫編號 NSC89-2211-E-032-007，淡江大學，(2000)。