

鋪面路網資料庫架構與維修管理 策略最佳化芻議

李英豪¹、洪政乾²、盧中強²、顏少棠³

¹淡江大學土木工程學系教授

²淡江大學土木工程學系碩士

³淡江大學土木工程學系博士

摘要

鑑於國內對鋪面路網資料的整合與應用方式仍不甚明確，因此，本研究主要以「路網階層」為考量，探討如何構建一套鋪面路網資料庫架構、地理圖形展示系統、與鋪面路網維修管理策略最佳化分析的程式雛型。研究中建議利用「均質路段」與「抽樣調查」的觀念，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。研究中將以綜合性指標作鋪面現況與未來之評估；並提供各種維修策略選擇、多種維修利益考量、與最佳化排序法分析，希望可協助提升未來鋪面管理的效率。

關鍵字：鋪面管理、路網階層、均質路段、動態分段、地理資訊系統、維修策略、最佳化分析。

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。長期以來，我國各公路主管機關即積極地從事鋪面養護管理系統之建置等研究，例如：台灣區國道高速公路局(以下簡稱高公局)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]。

掌握鋪面管理系統成效之主要關鍵在於資料庫，良好的資料庫能讓管理者使用方便、迅速地獲得資訊、做出有效的分析與決策，反之則讓管理者無所依循、事倍功半、甚至做出不適切的決策。由於國內現有鋪面管理系統涵蓋範圍過大、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。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。

本研究將以管理者需求為出發點，以「路網階層」的鋪面維修管理為首要考量，利用「均質路段」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[3]，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。研究中將開發一套鋪面路網動態分段資料庫(NETDSD)架構的雛型程式，以資料庫連結的方式撰寫資料表自動彙整功能、自動產生動態分段的表單、查詢資料、與展示簡易的地理圖形資訊，希望可以協助提昇我國未來鋪面管理的效率[4]。

此外，本研究將以綜合性指標來做鋪面現況與未來之評估，例如：建議可暫時採用美國公路績效監測系統（HPMS）所發展出之 PSR 預測模式[5]來做鋪面未來狀況的預測。研究中並提供各種維修策略選擇(決策樹、生命週期成本、與單一維修策略)、多種維修利益考量(延車公里、使用者成本之降低、增加之壽命、與平均 PSR)，並配合最佳化排序法(需求分析、簡單排序、益本比、及增量益本比)來進行分析，以建議最有效的鋪面路網維修管理策略。本研究並因此構建一套鋪面路網維修管理策略最佳化分析雛型程式(TKUNET)，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、選定鋪面維修管理決策、排列與分配維修經費等目標[6]。

二、鋪面路網資料庫架構之選擇

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[7]。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[7, 8, 9]。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，例如：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重點。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[7]。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。

2.1 路段之定義

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。由於不同種類與層級的鋪面管理系統所考量的因素不同，因此對路段的定義也不盡相同，以構建較為合理完整的資料庫 [7]。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]。

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[10]。鑑於鋪面資料與特性會隨時更新或改變，國外對路段定義較新的方式乃是採用「動態分段」(Dynamic Segmentation) [6]的方法來產生各個「均質路段」。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如表一所示。

為提高鋪面維修與管理的效率，本研究建議國內各公路主管單位可利用現有的資料，以原始資料蒐錄的方式來登錄資料，並配合「動態分段」的觀念與「均質路段」的方式來構建資料庫，以避免現行「固定長度路段」

必須利用大量的人力與時間來記錄大量而重複的資料，以有效解決現有鋪面資料庫架構過大而不易執行與未來資料更新困難等問題。

表一 固定長度路段與均質路段之比較[4]

	固定長度路段	均質路段
路段長度	固定長度	變動長度
使用方便性	高	低（路段長度決定不易）
資料重複性	高	低
資料儲存方式	同一表格	可分散於不同表格
資料路段選定	人為選定（路段編號）	動態分段結果產生
資料更新	不易（數量龐大）	易
資料登錄方便性	低	高（各屬性資料專責紀錄）
路段範圍內屬性一致性	低（路段中可能有變動）	高（路段起迄點內各屬性性質一致）
適用範圍	路網長度較小，路段個數相對較少的區域	路網長度較長，路段個數相對較多的區域

2.2 路段之抽樣與調查

Geoffroy [3]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，以較少的資源與經費，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，但很可惜的是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 [7]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[11]。

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

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[7]：

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

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二的建議來決定在路網階層的抽樣個數或抽樣。

表二 抽樣個數或抽樣率的建議[7]

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 [12]。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 資料庫構建之原理與架構

由於鋪面管理時需處理大量資料，為提升效率並避免資料過於混亂，因此勢必採用資料庫來管理資料。一般資料庫管理的特性、原則、與優點包括：(a) 資料儲存單一化，以減少重複輸入的可能；(b) 資料可針對不同的應用重複使用；(c) 資料便於管理，並確保其一致性；(d) 使用者只需學習操作同一套軟體；(e) 複雜處理流程只需設計一遍，日後可重複使用。現今資料庫軟體設計越來越簡單且容易學習，除記錄資料外亦提供完整與功能強大的分析工具，如統計分析、圖形展示、資料轉換、查詢、與報表等 [4]。

目前廣為使用的資料庫系統主要可分為階層式、路網式、與關連式等三種型態。階層式資料庫是以樹狀結構來管理的，其主要優點為結構清楚、易於瞭解，但缺點為資料關連性難以修改、資料結構的表現能力易受到限制。路網式資料庫將一個個的節點集合，各集合間由一個父節點者及數個節點所組成，這些節點藉著連結系統與其父節點連接。此類資料庫可減少

資料重複存放的問題，但是其結構複雜，使用者往往不易明瞭其關連性，在資料查詢與關連性建立時上有時會有較大問題。而關連式資料庫中的不同資料表可以透過表格中之一個欄位或幾個欄位的組合作為主要鍵值 (Primary Key) 來連結，使用者再透過查詢的功能獲得所需之表單。關連式資料庫結構簡單、適合非專業人員處理大量資料。因此，本研究建議採用現有 Access 資料庫系統與關連式資料庫的架構作為後續研發的基礎。

三、鋪面路網動態分段資料庫(NETDSD)架構的雛型程式

3.1 資料需求

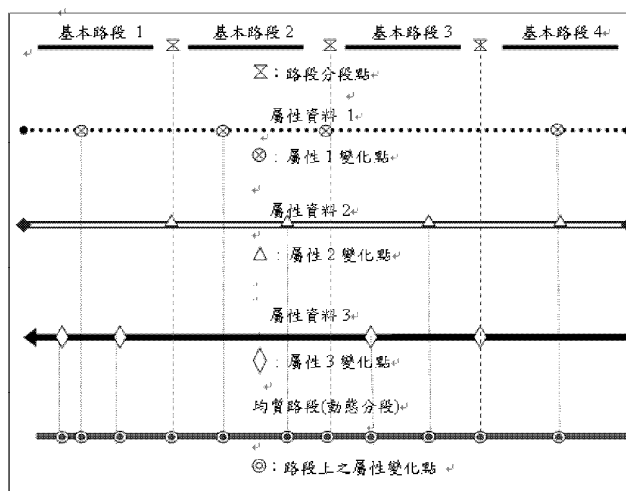
本研究將以「路網階層」的鋪面維修管理為主，利用「均質路段」與「抽樣調查」的觀念，並兼顧資料蒐集時 SMART (明確性、可量測性、可完成性、相關性、與及時性) 的原則，建議蒐錄資料的種類與型態至少應包括：道路基本資料、路面狀況調查資料、交通量調查資料、與維修養護資料。本研究並參考美國長期鋪面績效資料庫(LTPP DataPave)所採取模組 (Module)、表單(Table)、與資料單元(Data Elements)的架構來構建資料庫。而各個資料單元之定義，按其屬性不同可區分為文字、數字、與日期/時間等三大類，各屬性資料再依其資料長度來設定欄位大小。

而資料紀錄的方式係以原始資料蒐錄的方式來登錄，並利用資料間的關連性將所有資料表分散放置於個別表單中，以提升資料管理的效率、並便於後續資料彙整與更新之工作。道路基本資料包括鋪面形式、鋪面厚度、與鋪面建造年數。由於國內的鋪面指標目前所需調查項目太多且蒐集不易，建議於路網管理系統建置初期可暫時採用較為簡易、具代表性、與便利性的鋪面綜合性指標(如 PSR 或 IRI)做為鋪面狀況調查的資料。交通量調查資料應包括平均每日交通量 ADT、重車比例、與卡車因子等資料。維修養護資料則是包含加鋪、刨除、或重建等大型養護作業之記錄。

3.2 動態分段之原理與方法

路線上各鋪面路段可能會在不同時間因維修而改變其屬性資料，屬性改變的位置即是動態分段點，動態分段的概念如圖一所示。當路段產生變化或是有新路段產生時，所關連的資料表索引值亦需配合更新。為克服多對多關連式資料表中，各屬性表單需建立大量索引的動作，與減少因主索引改變時造成整體資料庫亦隨之變動的缺點，本研究乃以下列的自動化程序，利用各資料表的排序與各欄位疊加、彙整資料表來達成資料彙整、與

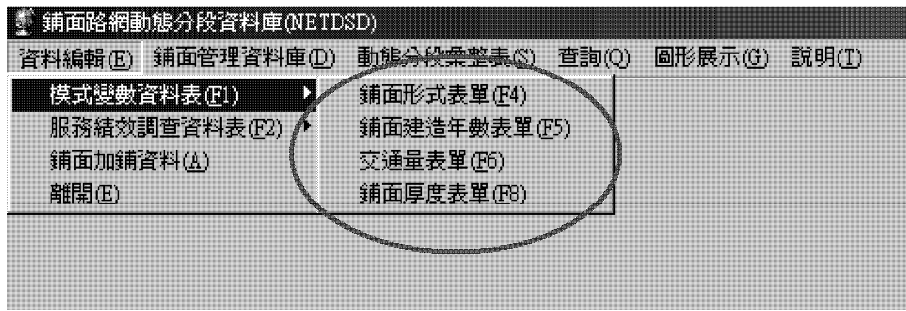
動態分段的要求[4]：



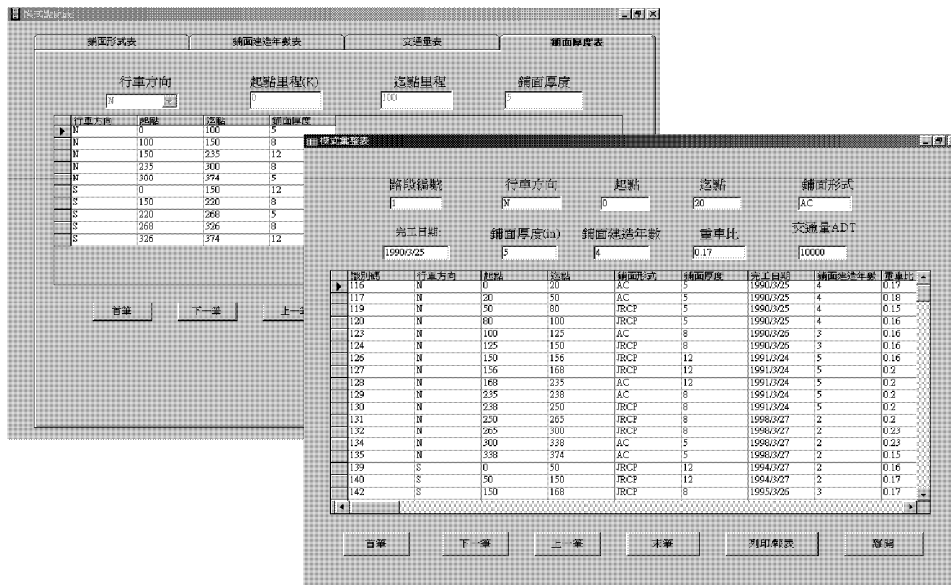
圖一 鋪面動態分段之示意圖[4]

1. 各屬性表單按起迄點與各自之欄位合併。
2. 將上表對起點欄位排序，其目的為使起點之欄位由小至大，且利用屬性欄位隨起點排序後改變欄位位置的特性，使各相鄰列分隔。
3. 再對經第二步驟後的表，對迄點欄位排序，其目的為使迄點之欄位由小至大，且利用屬性欄位隨迄點排序後改變欄位位置的特性，使各相鄰列分隔。
4. 將經第三步驟後所得之表單，令其第二列起點欄位值等於第一列迄點欄位值，此舉目的在使資料起迄點呈現連續狀態。
5. 將經第四步驟後所得之表單之屬性欄位由最後列欄位向上疊加，空白之欄位以底下列欄位疊加，依序至首列，各欄依此步驟，至整張表完成。
6. 將經第五步驟後所得表單之起迄點欄位相同者刪除，此舉在刪除不合邏輯的資料列，所得表單即為動態分段彙整表。

本研究隨後以 Visual Basic 6.0 軟體程式來建立一套鋪面路網動態分段資料庫(NETDSD)架構的雛型程式，並以資料庫連結的方式撰寫資料表自動彙整、自動產生動態分段的表單、與查詢資料等功能。圖二顯示出部份資料編輯選項的圖例；而圖三則是自動產生動態分段資料庫之綜合表單圖例。



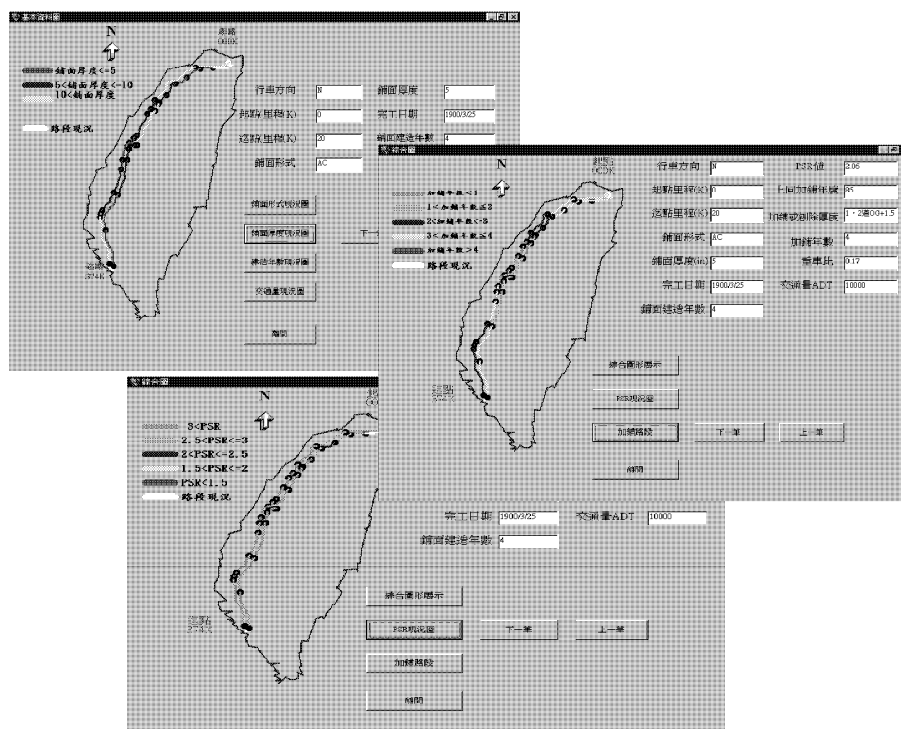
圖二 資料編輯選項圖例[4]



圖三 自動產生動態分段資料庫之綜合表單圖例[4]

3.3 簡易地理資訊系統

本研究初期曾經購入 Geomedia Professional 地理資訊系統(2.0 版)[13]，希望可與現有的 GIS 軟體程式整合以地理圖形資訊來展示鋪面路網資料。然而，在研究中發現各種常用的 GIS 軟體(Geomedia, MapInfo, Arc/Info, TransCAD)當時尚未提供動態分段的功能。為達到動態路段資料庫與地理圖形路線的路段長度相配合的要求，本研究乃利用動態分段資料所得結果之路段起迄點來控制圖形的長度變化，構建一簡易的地理圖形資訊系統，如圖四所示[4]。管理者可在電腦上移動游標，以視覺的方式利用不同顏色展現各均質路段之基本資料、現況圖、與交通量資料。



圖四 鋪面現況(PSR)之地理圖形展示圖例[4]

四、鋪面路網維修管理策略最佳化之架構

本研究將以綜合性指標(PSR 或 IRI)來做鋪面現況與未來之評估，研究中並提供各種維修策略選擇與多種維修利益考量，希望能以最少的資料配合最佳化排序法來進行維修策略分析，以提升鋪面路網維修管理的效率。

4.1 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適用性[5, 12, 14]：

$$PSR = PSR_1 - a * STR^b * AGE^c * CESAL^d \quad (4)$$

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 為迴歸常數如表三所示。

表三 預測模式之迴歸常數[5, 12, 14]

鋪面形式	$\log_{10}a$	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

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。

4.2 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。

4.3 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[15]。

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[6]。其中，本研究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。

4.4 鋪面路網養護方案優先次序之最佳化

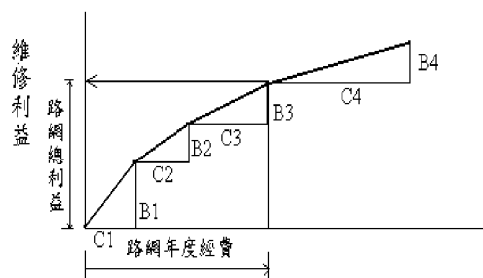
鋪面養護維修的經費需求通常是超過可用的預算，故需利用有效的方法來分配資源，因此經費須依據排序來分配使用 [16, 17, 18]。排序法包含最簡單的等級排序至最複雜的最佳化線性規劃等方式[15]，管理者需瞭解各法的優缺點及其效率，才能作有效之使用。本研究採用單年度排序，重複分析步驟，並考量預測模式之準確性，將分析週期定為五年，使管理者能在各年度不同預算水準下得知鋪面路網未來整體的狀態。

在沒有經費預算限制的情況下，需求分析(Needs)是路網分析中最簡單的情形，路網中所有需維修之候選路段皆能可獲得維修養護的經費。此分析結果可讓管理者知道若欲將路網所有路段維持在良好狀態下所需之經費。在有預算限制之下，則可依簡單排序(Ranking)、益本比(B/C)、或增量益本比(IBC)的方式來考慮各種維修策略，並以此比較出維修之優先次序及所需預算額度。簡單排序法(Ranking)乃以鋪面指標愈低者為優先(worst-first)作為準則。其分析程序為先從路網中選出需維修之候選路段，再將各路段之狀態做排序，並決定其維修策略後狀態愈差愈優先給予經費維修，直到該年度經費分配完為止。益本比法(Benefit-Cost Ratio, B/C)的分析程序為先從路網中選出需維修之候選路段、決定其維修策略後、選取利益評估方式、再計算其維修成本及維修後所得之利益，以得出該路段之益本比。並將所有需維修之候選路段的益本比排序，益本比愈高者愈優先給予經費維修，直到有限的年度經費用完為止(如圖五所示)[19]。

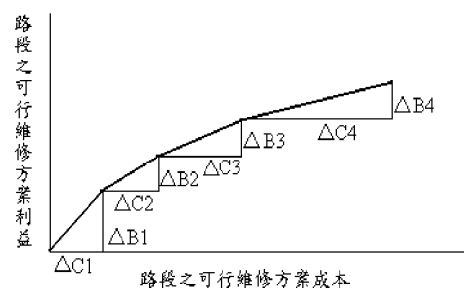
增量益本比法(Incremental Benefit-Cost Ratio, IBC)是將各候選路段之所有可行維修方案一起考量。因此，並不像益本比法一樣在個案階層中先決定維修策略，而是在路網階層中考量所有可行方案。正因如此，增量益本比法能夠得到比益本比較佳的結果。增量益本比法為對於一路段之所有可行維修方案計算增加的成本(ΔC)與增加的利益(ΔB)，再對路網所有需維修路段之所有可行方案一起考量。各維修方案 IBC 只考慮為正，若 IBC 為負則表示兩維修方案間無法增加利益，故 IBC 為負時將不予考慮。計算時將一需維修之候選路段所有可行維修方案依照增加的成本排序，並繪出曲線圖(如圖六所示)，且曲線應逐漸向下凹；若曲線沒有逐漸向下凹(如圖七所示)，則 IBC 需做修正以形成向下凹之曲線。若有一維修方案之 IBC_i 值比之前維修方案之 IBC_{i-1} 值大，則重新計算 IBC_n 如下式所示[6, 19]：

$$IBC_n = \frac{(\Delta B_{i-1} + \Delta B_i)}{(\Delta C_{i-1} + \Delta C_i)} \quad (5)$$

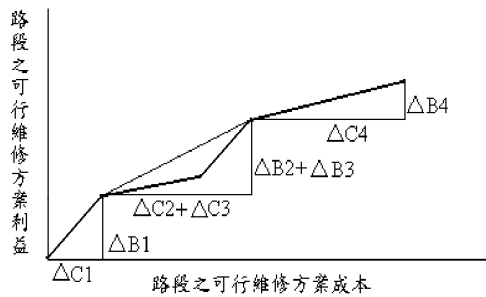
在所有候選路段各自將維修方案之 IBC 值排序後，再將路段全部之 IBC 值由大排到小，並由路網 IBC 曲線圖依據成本由小至大選取對應需維修路段之維修方案，直至超過經費預算為止，如圖八所示。圖中英文字母代表路段編號；而數字分別代表不同之維修策略，如 A-2 則為 A 路段之第二種維修策略。由於一路段只能有一維修方案，故若遇相同的路段不同之維修方案時應將之前所選取得維修方案予以捨棄，進而使該路段得到較高的利益。因此，由增量益本比分析可在該預算水準下得到最大的利益，故吾人可利用增量益本比分析解決路網在某一預算水準下，如何獲得最大利益之問題。



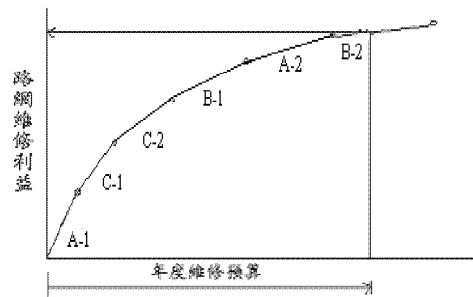
圖五 路網之 B/C 曲線



圖六 路段之 IBC 曲線(向下凹)



圖七 路段之 IBC 曲線(非向下凹)



圖八 路網之 IBC 曲線

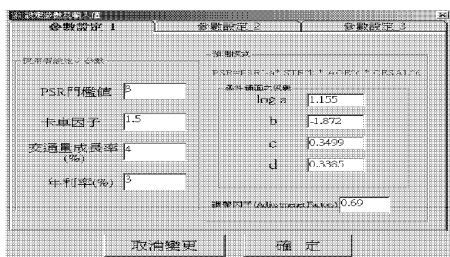
五、鋪面路網維修管理策略最佳化離型程式

5.1 程式之構建

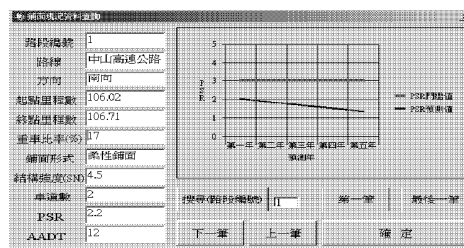
本研究依據前述之架構，構建一套「鋪面路網維修管理策略最佳化」分析程式(TKUNET)[6]。本程式可將鋪面路網維修管理系統之資料與數據分析結果以圖形化方式展示，並可協助管理者規劃預算分配等工作，為一套有系統的路網維修管理決策工具。

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。

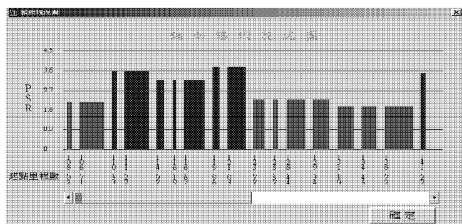
TKUNET 程式可藉由圖形化之結果展示，而不必經繁雜的報表查詢，即能快速得知分析結果。管理者可透過本程式來得知各種決策制訂時之相關問題，例如估算現在與未來所需之維修經費、在有限預算水準下路網未來整體狀況之情形，或如何將分析結果利用圖示、列表方式展示等，並藉由這些相關問題之答案作為養護決策制訂之參考。綜合上數之各項特色，TKUNET 應是較能符合管理者需求之分析工具。圖九為 TKUNET 程式之參數輸入、鋪面狀況分析與運作結果之示意圖。



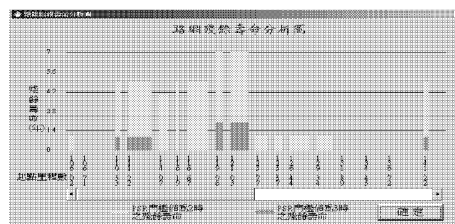
(a)分析決策之參數設定



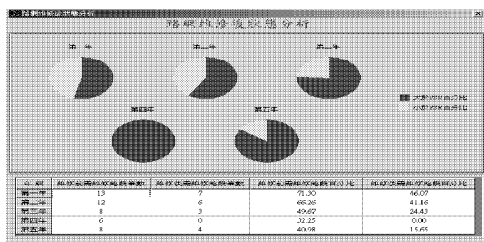
(b)路段現況資料查詢



(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	地點名稱	統計里程	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
1	106.02	106.91	重新修護	不需修護	不需修護	不需修護	重新修護
2	104.11	110.25	重新修護	不需修護	不需修護	不需修護	重新修護
3	110.53	111.22	不需修護	重新修護	不需修護	不需修護	不需修護
4	111.22	110.25	不需修護	重新修護	不需修護	不需修護	重新修護
5	114.97	116.10	重新修護	不需修護	不需修護	重新修護	不需修護
6	116.19	116.67	重新修護	不需修護	不需修護	不需修護	重新修護

(f)路網排序分析結果表單

圖九 TKUNET 程式分析示意圖 [6]

5.2 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四所示。

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，線性規劃模式如下列公式所示：

$$\text{目標函數} \quad \text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^s B_{ij} * P_{ij} \quad (6)$$

$$\text{限制式：} \quad \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^s C_{ij} * P_{ij} \leq \text{Budget} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^p P_{ij} = 1 \quad (8)$$

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； s 為路段可行養護方案數； p 為需維修路段筆數；Budget 為養護預算。

表四 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			
$2.5 \leq \text{PSR} < 3$		修補	
$1.5 \leq \text{PSR} < 2.5$		瀝青層加鋪	
$\text{PSR} < 1.5$		重新建造	

*維修策略選擇：決策樹

*維修利益選擇：延車公里

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，分析結果如表五所示。

表五 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

由表五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。因此可看出在此預算下，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。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。

六、結論與建議

本研究以管理者需求為出發點，以「路網階層」的鋪面維修管理為首要考量，利用「均質路段」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。

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、可調整與易於分析管理、且在實際施行上亦較具可行性。建議在實務鋪面調查資料蒐集時可以系統抽樣的方式，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。研究中並開發一套鋪面路網動態分段資料庫(NETDSD)架構的雛型程式，以資料庫連結的方式撰寫資料表自動彙整功能、自動產生動態分段的表單、查詢資料、與展示簡易的地理圖形資訊，希望可以協助提昇我國未來鋪面管理的效率。

此外，本研究建議以綜合性指標來做鋪面現況與未來之評估。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。本研究並因此構建一套鋪面路網維修管理策略最佳化分析離型程式(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。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、選定鋪面維修管理決策、排列與分配維修經費等目標。

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代替簡單排序，將經費作最有效之分配。

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。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。

七、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。

八、參考文獻

1. 賴森榮、侯羿等，「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. 侯羿、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. Geoffroy, D. N., "Pavement Management Systems Management Needs," *FHWA's Pavement Management Symposium on Effective Communication and Institutional Issues* (1991).
4. 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)。
5. Lee, Y. H., A. Mohseni, and M. I. Darter, "Simplified Pavement Performance Models", *Transportation Research Record 1397* (1993).
6. 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)。

7. Shahin, M. Y., *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Chapman & Hall, New York, London (1994).
8. Haas, R., W. R. Hudson, and J. Zaniewski, *Modern Pavement Management*, Krieger Publishing Company (1994).
9. AASHTO, *AASHTO Guidelines for Pavement Management Systems*, Washington, D.C. (1990).
10. Zimmerman, K. A., "Pavement Management Systems", *Proceedings*, 1996 International Road Federation Asia-Pacific Regional Meeting (1996).
11. 林惠玲、陳正倉，「應用統計學」，第二版，雙葉書廊有限公司(2002)。
12. 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).
13. Intergraph, Inc., *Working with Geomedia Professional* (1999).
14. 李英豪、李英明，「鋪面網路養護管理系統與美國 ILLINET 程式之應用」，1994 年瀝青混凝土路面及材料特性研討會專輯，中央大學，中壢市，第 177-192 頁，(1994)。
15. Mohseni, A., *Alternative Method for Network Rehabilitation Management*, Ph.D. Dissertation, University of Illinois, Urbana (1991).
16. Kristiansen, J., "Use of PM System to Optimize Choice Of Right Maintenance Strategy", *Proceedings*, the Second International Conference on Road & Airfield Pavement Technology, Singapore (1995).
17. Liu, F., and K. C. P. Wang, "Pavement Performance-Oriented Network Optimization System", *Transportation Research Record 1524*, pp.86~93 (1996).
18. Sharaf, E. A., and F. M. Mandeel, "An Analysis of the Impact of Different Priority Setting Techniques on Network Pavement Condition", *Proceedings*, Fourth International Conference on Management Pavement, Durban, South Africa (1998).