

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

(計畫名稱)

美國最新公路鋪面暫行手冊之評估與應用(1/3)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2211-E-032-036-

執行期間：九十六年八月一日至九十七年七月三十一日

計畫主持人：李英豪

共同主持人：葛湘璋

計畫參與人員：李育昇、彭志鴻、李彥志、林鉅幃、黃思齊、  
莊侃諾、黃自強、李家璋

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學土木工程學系

中 華 民 國 九 十 七 年 七 月 三 十 一 日

# 美國最新公路鋪面暫行手冊之評估與應用(1/3)

## Reevaluation and Application of the AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide

計畫編號：NSC 96-2211-E-032-036

執行期限： 96年8月1日至97年7月31日

主持人：李英豪 淡江大學土木工程學系教授

共同主持人：葛湘璋 致理技術學院國際貿易系副教授

### 中文摘要

鑑於在過去研究成果中發現，鋪面績效資料分析常常違反了傳統迴歸法對於隨機誤差所做的假設。鋪面績效資料屬於多層次資料的一種，傳統迴歸方法不適合用來處理分析多層次資料。因為資料的結構具有層級性，多層次模式的資料探索分析、統計模式的建立及模式評估比標準複迴歸複雜。因此，極需利用上述方法以改善系統化的統計與工程分析方法來改善現有鋪面績效預測模式。此外，現地蒐集的LTPP長期鋪面績效資料變異性極大，更增添了利用多層線性模式(HLMs)或線性混合模式(LMEs)來分析LTPP長期鋪面績效資料庫的困難度。因此，本計畫擬以三年三期的方式，從事「美國最新鋪面暫行手冊之評估與應用」研究，除了將持續利用LTPP資料庫外，並將利用美國AASHTO道路試驗的原始資料，配合線性混合模式與當代迴歸技術之分析與應用，深入探討AASHTO柔性鋪面與剛性鋪面設計公式與標準軸重當量(ESAL)觀念之適用性，以及暫行手冊之本土應用問題。本年度(第一期)主要的研究內容包括：(1)國內外相關研究之文獻蒐集與整理；(2)美國最新鋪面暫行手冊(MEPDG)之評估；(3)LTPP DataPave Online交通資料之擷取與彙整；(4)軸重頻譜與標準軸重當量關係之研究；(5)AASHTO道路試驗原始資料的擷取與彙整。此外，本研究最後並將驗證研究成果的正確性與適用性，以期將此成果應用在未來鋪面分析與管理工作上，使我國有限經費做最有效之利用。

**關鍵詞：**鋪面、績效、預測、力學與經驗設計法、標準軸重當量、長程鋪面績效研究、多層次資料、多層次線性模式、線性混合模式

### Abstract

Based on the research findings of past research projects, the performance data often violated the normality assumptions with random errors and constant variance using conventional regression techniques. Pavement performance data is a very common example of multilevel data. Using conventional regression techniques to analyze this type of data is inappropriate. Hierarchical linear models (HLMs) or linear mixed-effects (LMEs) models are often utilized to analyze multilevel data. Because of the hierarchy of data structure, the exploratory analysis, statistical modeling, and examination of model-fit of multilevel data are more complicated than those of standard multiple regressions. Thus, it is very crucial to investigate its possible applications to the existing systematic statistical and engineering approach for the improvements of existing pavement performance prediction models. Furthermore, the variability of in-service Long-Term Pavement Performance (LTPP) data was found to be extremely high, which will unfortunately increase the difficulty of the analysis using HLMs/LMEs. Thus, this project consists of three phases to be completed within three years to reevaluate the AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) and its potential domestic applications. The research approach includes continuously utilizing the LTPP database and analyzing the original AASHTO Road Test data using LMEs and modern regression techniques, so as to investigate the applicability of the AASHTO flexible and rigid pavement design models and the 18-kip equivalent single axle load (ESAL)

concept. The major tasks of this year (Phase I) include: (1) Literature review of LMEs, and visual graphical methods; (2) Reevaluation of the MEPDG and its software; (3) Retrieval of detailed traffic data from the LTPP DataPave online database; (4) Preparation and analysis of original AASHO Road Test data; (5) Study of the relationship between axle load spectra and 18-kip ESALs. The completion of this study will, hopefully, provide a sound basis for future pavement analysis and management activities so as to assure the best use of our limited resources.

**Keywords :** Pavement, Performance, Prediction, MEPDG, ESAL, LTPP, Multilevel Data, Hierarchical Linear Models, Linear Mixed-Effects Models.

## 一、前言

在鋪面設計方法中，AASHTO(美國州公路暨運輸官員協會)、AI(美國瀝青協會)、與PCA(美國波特蘭水泥協會)的鋪面厚度設計方法最常被世界各國(包括我國)所採用[李英豪、張德文，2002]。其中，AASHTO與AI鋪面厚度設計方法傳統上係採用18,000磅標準軸重當量(18-kip ESAL)的觀念，而PCA鋪面厚度設計方法則採用軸重分佈(或軸重頻譜)的方式來分析預期之交通荷重。自1960年代美國AASHO道路試驗之後，鋪面研究人員雖然對標準軸重當量(ESAL)觀念的採用有相當多的意見與質疑，卻又無法否定其必要性與易用性。然而，自2002年起在美國最新的國家公路合作研究計畫報告NCHRP 1-37A中建議採用新的力學與經驗鋪面設計指導綱領或暫行手冊(Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, MEPDG)(<http://www.2002designguide.com>)，其中最主要的改變為捨棄標準軸重當量的觀念，改採軸重頻譜的方式來分析交通荷重[ARA, 2004]。對此影響未來鋪面設計觀念如此重大且深遠的改變，美國產官學研各界相繼提出各項質疑，對此暫行手冊不斷地評估再評估，卻又遲遲無法定案，至2006年底仍難以公佈施行。

國內公路主管單位亦採用AASHTO鋪面厚度設計方法作為柔性與剛性鋪面設計的主要依據[交通部台灣區國道高速公路局，1997]，面對如此重大的更新建議，未來對國內鋪面相關工作的進行勢必產生深遠的影響。再者，新建立的績效預測模式是否可適用在溼熱多雨的台灣地區，或必須經由何種程度上的修正，都是未來國內相關單位必須面臨的挑戰。鑑於國內缺少較為完整的鋪面績效資料庫[周家蓓等，1994；林志棟等，2000]，為有效解決構建本土化績效預測模式的困難與問題，計畫主持人與共同主持人(葛湘瑋博士)曾利用美國長程鋪面績效資料庫LTPP DataPave Online (<http://www.datapave.com>)從事「鋪面績效預測模式的構建與應用」研究，期望能深入探討LTPP資料庫之特性與適用限制、利用其構建鋪面績效預測模式、並探討其本土化之應用與系統整合。

雖然如此，在多年的資料分析經驗中亦不斷地發現，鋪面績效資料分析常常違反了傳統迴歸法對於隨機誤差所做的假設[李英豪、葛湘瑋，2005；2006；2007；吳佩樺，2006；林佳慧，2006]。鋪面績效資料屬於多層次資料(hierarchical or multilevel data)的一種，傳統迴歸方法不適合用來處理分析多層次資料。鑑於在執行前述計畫中亦發現，現地蒐集的LTPP長期鋪面績效資料變異性極大，且有效資料不足之問題仍舊存在[劉耀斌、吳焯達、顏少棠、李英豪，2002；Ker, Lee, & Wu, 2006]，更增添了利用多層線性模式(Hierarchical Linear Models, HLMS)或線性混合模式(Linear Mixed-Effects Models, LMEs)來分析LTPP長期鋪面績效資料庫的困難度。因此，本計畫擬以三年三期的方式，從事「美國最新鋪面暫行手冊之評估與應用」研究，除了將持續利用LTPP資料庫外，並將利用美國AASHO道路試驗的原始資料，配合線性混合模式與當代迴歸技術之分析與應用，深入探討AASHTO柔性鋪面與剛性鋪面設計公式與標準軸重當量(ESAL)觀念之適用性，以及暫行手冊之本土應用問題，主要的研究內容包括：(1)國內外相關研究之文獻蒐集與整理；(2)美國最新鋪面暫行手冊(MEPDG)之評估；(3)LTPP DataPave Online交通資料之擷取與彙整；(4)軸重頻譜與標準軸重當量關係之研究；(5)AASHO

道路試驗原始資料的擷取與彙整；(6)利用視覺圖法與線性混合模式來分析柔性與剛性鋪面道路試驗資料；(7)利用當代迴歸技術來分析柔性與剛性鋪面道路試驗資料；(8)檢視標準軸重當量之觀念並探討其適用性；(9)探討最新鋪面設計暫行手冊(MEPDG)之本土化應用問題；(10)我國現行鋪面交通荷重資料分析問題之研究；(11)LTPP柔性與剛性鋪面功能性指標(IRI)資料之擷取與分析；與(12)研究成果之彙整與應用。本年度(第一期)主要任務在執行前五項工作。

利用美國AASHO道路試驗的原始資料來分析的主要優點在於該道路試驗所採用的材料、交通荷重、路基土壤、氣候環境、與維修記錄，因均受到實驗設計之最佳控制，資料的可信度較高，資料的隨機變異性受到相當程度的控制，預測模式構建後之可靠性亦較高。本研究希望能利用此成果，以有效解決最新暫行手冊(MEPDG)擬完全捨棄標準軸重當量(ESAL)的觀念，改採軸重頻譜的方式來分析交通荷重之爭議與延伸之問題。並期能協助解決採用美國長期鋪面績效資料庫(LTPP)分析時，因現地資料的缺失與登錄錯誤可能導致分析結果較不可靠的問題，以建立更有效且更可靠之鋪面設計與績效預測模式。

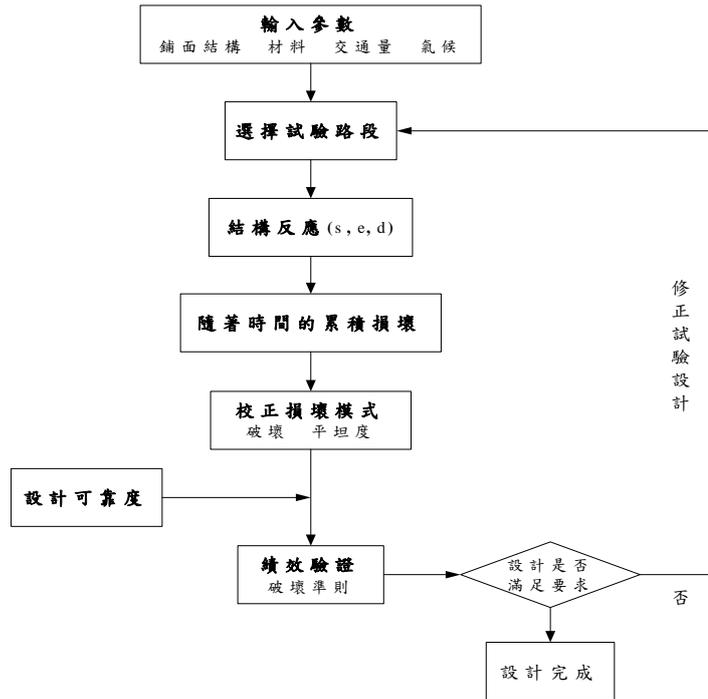
## 二、國內外相關研究之文獻蒐集與整理

本研究針對國內外現有的相關研究做全面性的文獻蒐集、整理與比較，其中包括線性混合模式與各種當代統計迴歸方法、鋪面績效預測模式之建立與應用、美國AASHO道路試驗的原始資料的特性與美國長程鋪面績效(LTPP)相關研究成果。此外，本研究將採用一套系統性的視覺圖法來協助分析多層次資料，因此在多層線性模式(HLMs)或線性混合模式(LMEs)的形式、中心點的選擇(如直接採用原始資料、以整體平均數為中心、或以組平均數為中心)，以及估計方法、固定效果及隨機效果的假設檢定、與模式的評估等文獻探討亦相當重要[Venables, & Ripley, 1999; 2002; Verbeke, & Molenberghs, 2000]。在視覺圖方法之文獻部分可包括傳統的統計圖，如直方圖、盒鬚圖、枝葉圖、殘差圖等在統計實務上的應用情形。同時，亦可包括如何使用這些視覺圖來了解資料的原型、提出假設、及評估模式等，以及目前視覺圖在多層次資料的使用情形。在研究中擬將蒐集的文獻加以整合，深入了解國內、外實務單位應用的特點與差異，判斷可直接引用之可能性或需經修正後方可應用的相關研究成果。

## 三、美國最新鋪面暫行手冊(MEPDG)之評估

最新暫行手冊MEPDG建議使用的軟體程式(簡稱MEPDG)乃是以力學經驗法設計理念為基礎，並以反覆計算過程完成設計程序。在計算設計程序中，設計者可估算在設計期間內鋪面結構反應(如應力、應變及撓度)將造成之累積損害，其分析流程如圖一所示。使用者在視窗界面中先輸入一般鋪面基本資料，接著將三大主要項目交通量、氣候、鋪面結構等資料輸入，如圖二所示。於資料輸入的過程中，視窗介面會以紅、黃、綠此三種顏色來顯示參數輸入與否，紅色代表此參數還未輸入資料，黃色代表此參數已經有預設值，但可依使用者需求更改，綠色代表參數輸入完成。在資料皆輸入完成後，對試驗路段就可以執行最後的損害分析。最後，所需的破壞型式和績效預測之輸入、輸出摘要及結果圖表均存放在輸出的Excel檔中，使用者就能依其所需去分析[ARA, 2004]。

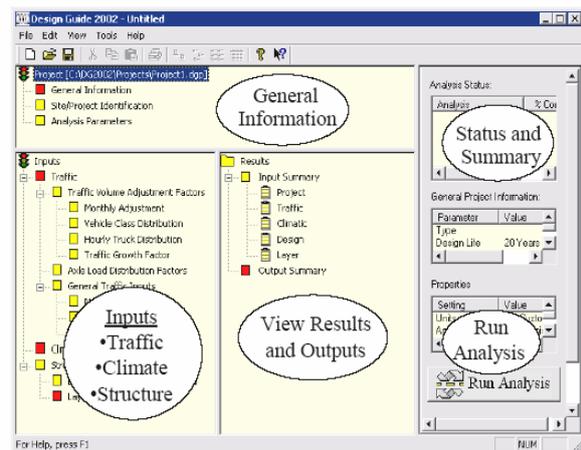
本研究在此階段以敏感度分析的方式對美國最新鋪面暫行手冊(MEPDG)進行深入之評估[FHWA, 1998; Simpson, et al., 1993]。以柔性鋪面設計為例，使用MEPDG程式需輸入五十餘項資料，大約為過去分析設計所需資料的三倍左右，才可得到疲勞裂縫、車轍、與IRI等破壞預測之分析結果。但因所需參數繁多，其每項參數之變異情形是否足以有效影響分析的結果，值得更進一步的探究。



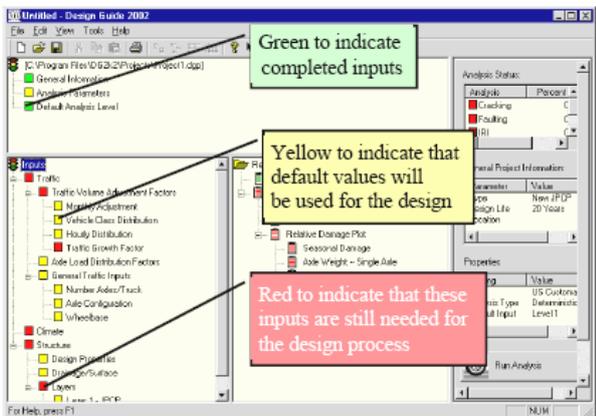
圖一 MEPDG程式之設計程序流程圖



(a) MEPDG設計軟體



(b) 程式版面



(c) 顏色編碼

圖二 MEPDG設計軟體的使用介面

#### 四、LTPP DataPave Online交通資料之擷取與彙整

交通載重資料在鋪面分析中是極為重要的因素，以往的設計法是先求出所有車型之軸重當量因子或卡車因子，再依據各個設計路段之重車比求出設計ESAL值(如下所示)，其中ESAL<sub>S<sub>year</sub></sub>為每年之標準軸重當量軸次，n為車型種類數目，ADTV<sub>i</sub>為各車型之日平均車輛數，TF<sub>i</sub>為各車型之卡車因子。

$$ESAL_{S_{year}} = \sum_{i=1}^{i=n} ADTV_i * TF_i * 365 \quad (1)$$

新的MEPDG暫行手冊為了配合與載重相關的破壞預估，建議改採在鋪面生命週期內之軸重頻譜(Axle Load Spectra, 簡稱ALS)作為鋪面設計與分析之依據(如下所示)，公式中ALS<sub>year</sub>為各軸型(單、雙軸)每年之合併軸重頻譜，n為車型種類數目，ADTV<sub>i</sub>為各車型之日平均車輛數，RTS<sub>i</sub>為代表各車型i之軸重分佈[Hajek & Selezeva, 2000]。其中，最主要的改變為捨棄標準軸重當量的觀念，改採軸重頻譜的方式來代表交通荷重再進行鋪面結構設計，不僅所需輸入資料量多且雜，非常不利於後續之績效評估、預測、與驗證[Hajek & Selezeva, 2000]。

$$ALS_{year} = \sum_{i=1}^{i=n} ADTV_i * RTS_i * 365 \quad (2)$$

由於在DataPave 3.0資料庫中，並未以車輛分類的方式來細分交通量資料，因此，本研究將在此階段利用Microsoft Access資料庫管理系統程式，配合其內建的資料表構建、記錄、篩選、排序、關聯性資料庫聯結與SQL語法的應用等功能，擷取並彙整LTPP DataPave Online之交通資料，以作為後續研究分析之用。該資料將車輛分為如表一所示之等級，將設計交通量依不同的軸群型式、軸重間距，而記錄不同車輛軸通過的次數，此軸次即為現有績效預測模式所需要之車型種類數目(n<sub>i</sub>)。軸重分佈於軸群型式單軸軸重介於3,000到40,000磅每1,000磅為一間隔，雙軸軸重介於6,000到70,000磅每2,000磅為一間隔，三軸及四軸軸重介於12,000到102,000磅每3,000磅為一間隔。

表一 FHWA與LTPP車輛等級分類編號對照表

說明	FHWA	LTPP
Motorcycles	1	2
Passenger cars	2	1
Other 2-axles, 4-tire single-unit vehicles	3	3
Buses	4	4
2-axles, 6-tire single-unit trucks	5	5
3-axles single-unit trucks	6	6
4-or more axle single-unit trucks	7	7
4-or less axle single-trailer trucks	8	8
5-axle single-trailer trucks	9	9
6-or more axle single-trailer trucks	10	10
5-or less axle single-trailer trucks	11	11
6-axle multi-trailer trucks	12	12
7-or more axle multi-trailer trucks	13	13
unclassifiable	14	15
Partial vehicles, including offscale or lane-changing vehicles	15	14

## 五、軸重頻譜與標準軸重當量關係之研究

在新的暫行手冊中，所需要的交通資料有交通開放日期、設計方向車道數、道路等級、車輛分類、軸群型式、不同軸重所得到軸通過的次數、軸重間距、卡車數量、年平均每日卡車交通量(ADTT)。而在DataPave Online資料庫中，交通量資料以1990年為分界，將資料分別記錄在兩個表單中，所以必須將兩個表單先合併，再將一路段全部年份之交通量總計，即為輸入程式中之年平均每日卡車交通量。有關在設計方向之卡車百分比或車道分佈(LDF)之估算，一般可假設單車道為100%，雙車道為90%，三車道為60%，四車道為45% [FHWA, 2004]。

在進行資料分析時，首先必須找出資料間之關連性並考慮如何將資料簡化，否則會因資料過於龐大，導致在分析與處理上之困難。本研究將利用Microsoft Access程式進行資料之初步篩選與處理，根據資料之特性將其對應至DataPave程式中資料之定義，進行資料之篩選與判斷，並將已分門別類的資料依其特性決定資料之處理方式，以期能達到簡化資料、符合該路段每一種鋪面特性，如此在應用此資料時可清晰的找出每一路段的資料值而不致產生混淆。最後再經由其關聯性資料庫之功能找出各筆資料間所互相對應之欄位，將其進行整合，最後即可得到所需之資料庫。本研究在此階段除了持續利用Microsoft Access資料庫管理系統程式協助資料之彙整與分析外，並利用S-Plus統計軟體之繪圖功能與視覺圖方法[Insightful, 2001]來研究軸重頻譜與標準軸重當量之關係，以了解最新暫行手冊擬完全捨棄標準軸重當量觀念的適當性。

## 六、AASHO道路試驗原始資料的擷取與彙整

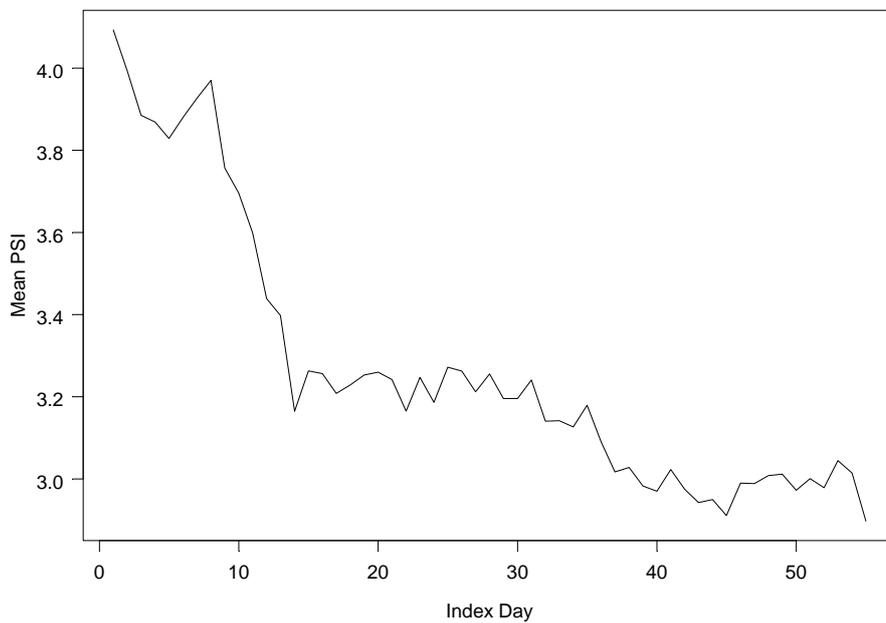
AASHO道路試驗在鋪面績效分析的歷史上佔有極重要的角色[Highway Research Board, 1962]，雖然因時空與經費之限制，該道路試驗僅限定於當地特定的鋪面材料、路基土壤、北伊利諾州的氣候條件、兩年的鋪面績效期間、特定的輪軸荷重組成、而且沒有混合的交通車流在任何的一個路段，所建立的預測模式之推論空間可能因此受到限制。然而，不可諱言地，AASHO道路試驗的原始資料畢竟是受到實驗設計控制，其可信度高、隨機變異性較低、較嚴謹、且較可靠。鑑於在過去研究中發現雖然美國長期鋪面績效LTPP資料庫中的資料範圍相當廣泛，然而在某些限制下使得某些路段對於鋪面的資料未能完整的蒐集，而且在長達將近二十年計畫期間某些路段經由一再的維修與養護、加鋪或重建等作業，在鋪面的特性上亦產生相當的變化與原始建造的資料已產生極大的差異。因此造成現地蒐集的LTPP長期鋪面績效資料變異性極大，嚴重地影響後續LTPP績效資料庫分析的可靠度。

因此，本研究在此階段利用 Visual Basic 與統計軟體程式完成 AASHO 道路試驗原始資料(包含所有 1~55 個指標日的紀錄)的擷取與彙整工作，並與過去的研究成果相互驗證，以協助解決採用美國長期鋪面績效資料庫(LTPP)分析時，因現地資料的缺失與登錄錯誤導致分析結果較不可靠的問題。受限於現地試驗的特性，某些較弱的鋪面路段在兩年試驗完成期間前已完全破壞，因此被摒除在試驗之外。但是，有某些路段在整個試驗期間都保持非常好的鋪面狀況。為了確保每個路段最少會有五個績效資料，因此利用移動平均的技術將道路試驗的資料以下列兩種方式來登錄：(1)每隔 11, 22, 33, 44, 55 個指標日的資料(1 index day = 2 weeks)、或(2)PSI 值降低到 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5 時的資料。研究中發現 AASHO 原始柔性鋪面設計公式係採用第二組資料建立而得的。很明顯地，AASHO 道路試驗之資料並非完全不相關、且非固定變異數，其資料可能取自不同鋪面結構設計、不同軸重、及不同荷重形式(單軸或雙軸)等各種層次，因為該道路試驗資料的一致性與完整性，非常適合以視覺圖法來協助資料探索分析[Ker, 2002; Ker, Wardrop, & Anderson, 2003]。

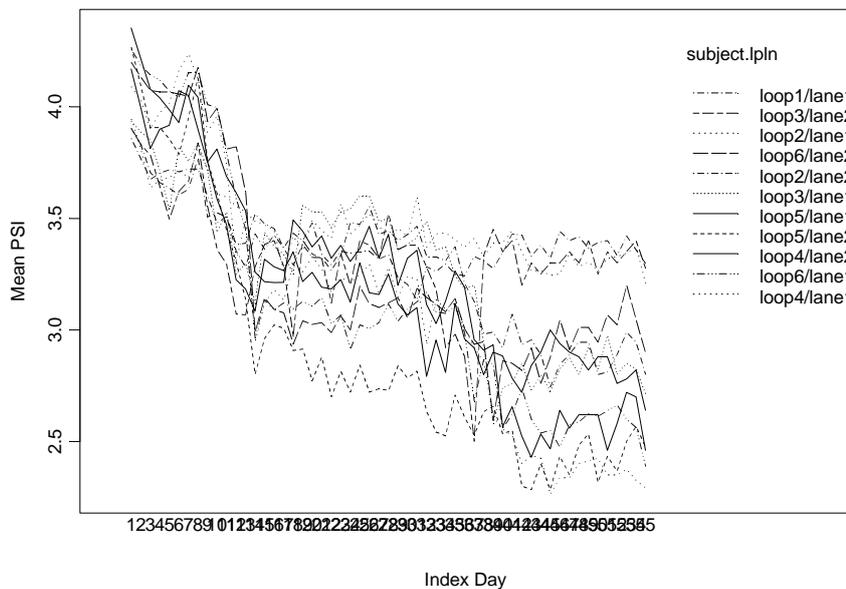
本研究在此階段首先對柔性鋪面道路試驗資料相關的建造與養護歷史、以及分析報告進行詳盡的了解，值得注意的是在道路試驗時，報告中指出柔性鋪面在春天融雪時較冬天結冰

時有較高的損壞率，因此利用季節性調整因子來修正交通荷重以建立一個較佳的柔性鋪面設計公式。另外，第二迴圈第一車道的道路試驗資料因為分析結果非常差，因此被完全排除在柔性鋪面設計公式之外。本研究亦將根據過去之研究經驗[葛湘璋，2003; 2004]，利用視覺圖法來協助資料探索分析。利用視覺圖方法來對多層次資料做深入的資料探索分析是統計分析的首要工作，然而卻常被研究者所忽略、簡化或省略[Pinherio, & Bates, 2000; Raudenbush, & Bryk, 2002; Yang, Goldstein, Browne, & Woodhouse, 2002]。

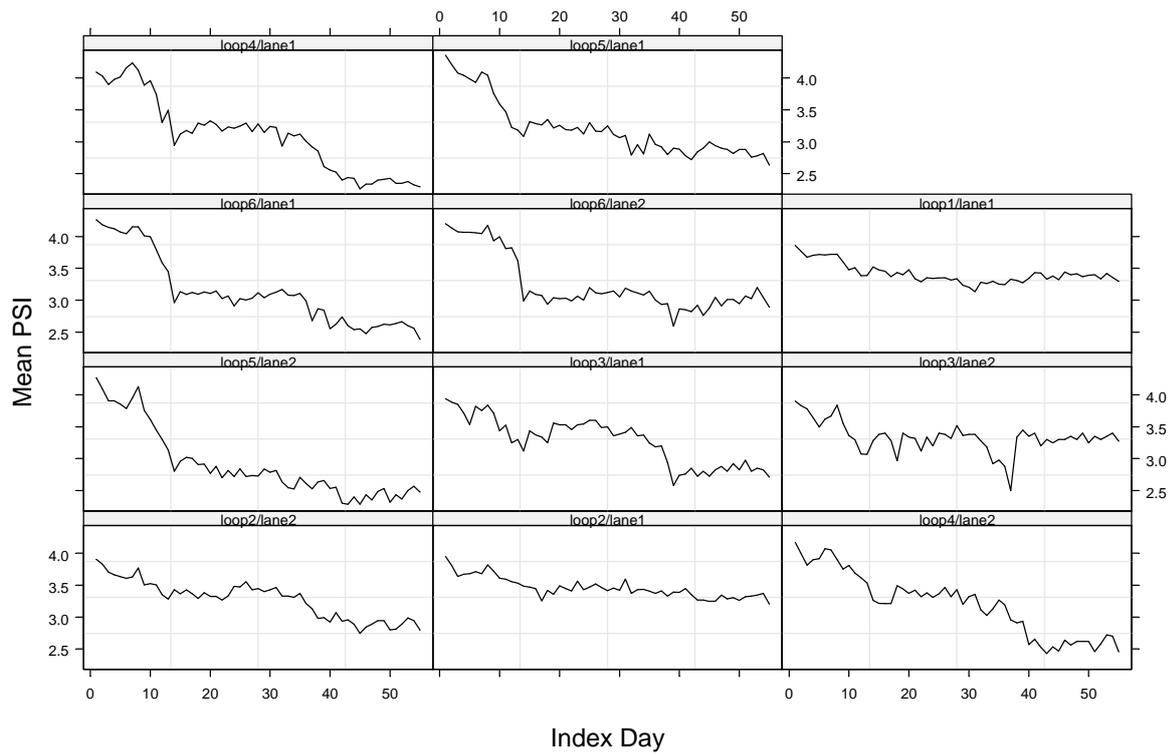
本研究初步利用視覺圖法來協助資料探索分析之部分結果顯示於圖三至圖七，其中包括道路試驗資料之整體平均現況服務指標值趨勢、各迴圈與車道之平均現況服務指標值之整體比較、各迴圈與車道之平均現況服務指標值、各迴圈與車道之平均現況服務指標值之比較(以面層厚度來區分)、與各迴圈與車道與面層厚度之平均現況服務指標值等。如前述道路試驗資料之探索分析所代表之意義極為重要，因此需更進一步地進行後續分析工作，以獲致更有意義之研究成果。



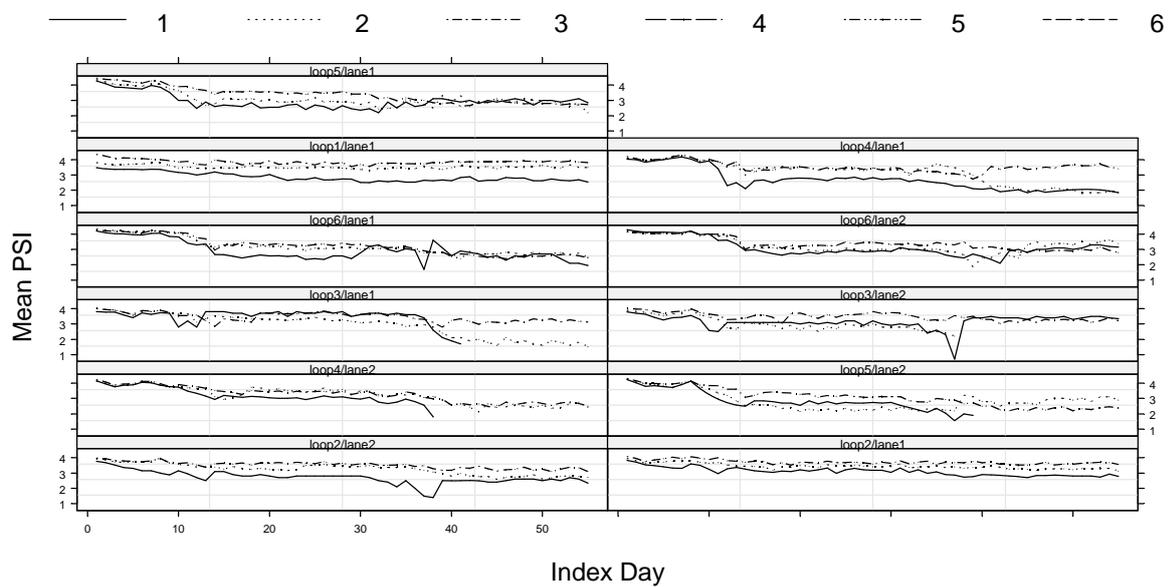
圖三 柔性鋪面道路試驗資料之整體平均現況服務指標值



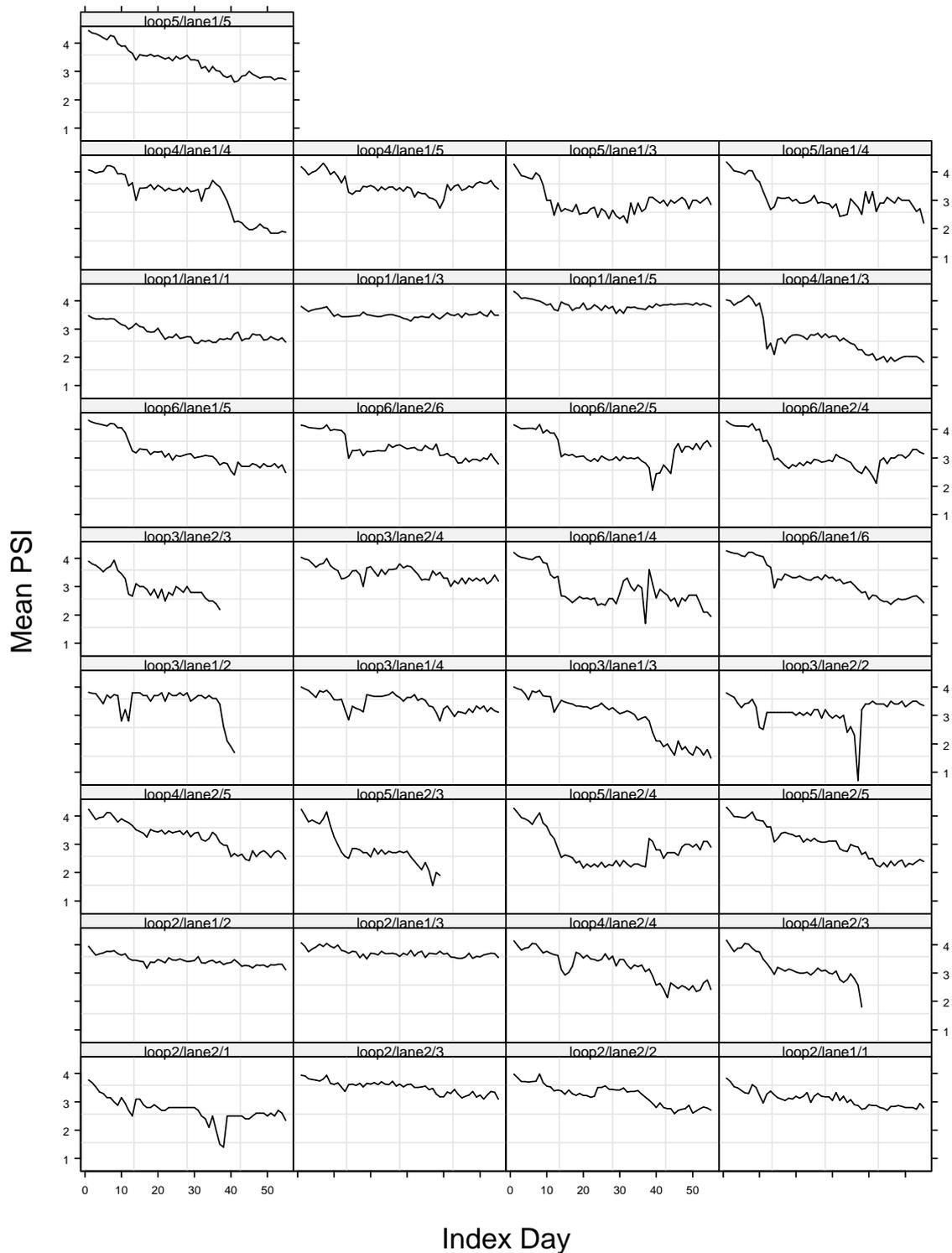
圖四 各迴圈與車道之平均現況服務指標值之整體比較



圖五 各迴圈與車道之平均現況服務指標值



圖六 各迴圈與車道之平均現況服務指標值之比較(以面層厚度來區分)



圖七 各迴圈與車道與面層厚度之平均現況服務指標值

### 七、結論與建議

本研究主要目的在從事「美國最新鋪面暫行手冊之評估與應用」研究，除了將持續利用 LTPP 資料庫外，並將利用美國 AASHO 道路試驗的原始資料，配合線性混合模式與當代迴歸技術之分析與應用，深入探討 AASHO 柔性鋪面與剛性鋪面設計公式與標準軸重當量 (ESAL) 觀念之適用性，以及暫行手冊之本土應用問題。研究中發現，在分析 AASHO 現地道路試驗資料、與軸重當量因子或 ESAL 概念的原始發展過程中，亦隱含了非常高的變異性。這次分析亦

指出利用將軸重當量因子設定為某個特定值的方式並沒有辦法完全適用在後續的鋪面設計上。在利用美國長程鋪面績效(LTPP)資料庫來建立或驗證各種鋪面設計與績效預測模式時，若是僅要對於AASHO原始模式做任何的修正，而無法同時完全捨棄或進一步的分析ESAL概念時，其成效將會是非常值得商榷的。

此外，本研究亦應用ACCESS程式的關連性資料庫連結功能將DataPave所蒐錄的LTPP計畫資料庫中的眾多資料以自動化分析程序以及系統化之資料結構將所欲分析之資料分門別類的擷取，以便進行後續資料分析、模式構建與驗證之依據。

## 九、參考文獻

- 李英豪、張德文(2002)。台灣地區鋪面工程之研究與展望，*鋪面工程*，中華鋪面工程學會會刊，第一卷第三期，第 80-101 頁。
- 李英豪、葛湘璋(2005)。鋪面績效預測模式之構建與應用(一)(Development and Applications of Pavement Performance Prediction Models, Phase I)，精簡報告，國科會計畫編號 NSC93-2211-E-032-016，淡江大學，民國九十四年七月三十一日。
- 李英豪、葛湘璋(2006)。鋪面績效預測模式之構建與應用(二)(Development and Applications of Pavement Performance Prediction Models, Phase II)，精簡報告，國科會計畫編號 NSC94-2211-E-032-014，淡江大學，民國九十五年九月三十日。
- 李英豪、葛湘璋(2007)。鋪面績效預測模式之構建與應用(三)(Development and Applications of Pavement Performance Prediction Models, Phase III)，國科會計畫編號 NSC95-2211-E-032-061，淡江大學。(執行中)
- 葛湘璋(2003)。應用線性混合效果模式於建立多層縱向資料的模式之實例研究。*教育與心理研究期刊*, 27, 第 399-419 頁。NSC93-2118-M-263-001 (TSSCI 收錄)
- 葛湘璋(2004)。多層線性模式/線性混合模式之統計實務:以視覺圖方法來輔助多層線性模式/線性混合模式建立與分析之研究，精簡報告，國科會計畫編號 NSC93-2118-M-263-001，致理技術學院。
- 吳佩樺(2006)。柔性鋪面績效預測模式之建立，碩士論文，淡江大學土木工程學系，民國 95 年 6 月。
- 林佳慧(2006)。剛性鋪面績效預測模式之建立，碩士論文(初稿)，淡江大學土木工程學系，民國 95 年 12 月。
- 林明輝(2006)。商用地理資訊系統在鋪面管理上之應用，碩士論文(初稿)，淡江大學土木工程學系，民國 95 年 12 月。
- 周家蓓等(1994)。台北市道路鋪面養護管理資料庫系統電腦程式建立之研究，台灣大學土木工程學研究所，民國 83 年 7 月。
- 交通部台灣區國道高速公路局(1997)。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，中華民國八十六年十二月。
- 林志棟等(2000)。路面維護管理系統-路面管理決策支援系統之研究，交通部公路局，中華民國八十九年十月。
- 劉耀斌、吳忻達、顏少棠、李英豪(2002)。AASHTO 高差預估模式之分析與驗證—以 LTPP 資料庫為例，*第三屆鋪面工程師生研究成果聯合發表會論文集*，中央大學，中壢市，中華民國九十一年七月十日，第 245~252 頁。
- ARA, Inc. ERES Consultants Division (2004). *Guide for Mechanistic- Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structure*. NCHRP 1-37A Rep., Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C.
- FHWA (1998). Mechanistic Evaluation of Test Data from LTPP Flexible Pavement Test Sections,

- Final Report, Vol. 1, Publication No. FHWA-RD-98-020.
- FHWA (2004). *Long-Term Pavement Performance Information Management System: Pavement Performance Database Users Reference Guide*. Publication No. FHWA-RD-03-088.
- Hajek, J. J., & Selezeva, O. (2000). *Estimating Cumulative Traffic Loads*. Final Report for Phase 1, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-00-054.
- Highway Research Board (1962). *The AASHO Road Test, Report 5, Pavement Research, Special Report 61E*. Publication No. 954, Highway Research Board, National Academy of Science, National Research Council, Washington, D.C.
- Insightful (2001). *S-Plus 6.1 User's Guide and Guide to Statistics*, Seattle, Washington.
- Ker, H. W. (2002). *Application of Regression Spline In Multilevel Longitudinal Modeling*. Ph.D. dissertation, University of Illinois, Urbana, Illinois.
- Ker, H. W., Wardrop, J. & Anderson, C. (2003). Application of linear mixed-effects models in longitudinal data: A case study. *Proceedings, Hawaii International Conference on Education*, January 7-10.
- Ker, H. W., Lee, Y. H., & Wu, P. H. (2006). Development of fatigue cracking performance prediction models for flexible pavements using LTPP database. Accepted for Presentation at *the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
- Pinheiro, J. C. & Bates, D. M (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-Plus*. New York: Springer-Verlag.
- Raudenbush, S. W., & Bryk, A. S. (2002). *Hierarchical Linear Models: Applications and Data Analysis Methods* (2<sup>nd</sup> ed.). Newbury Park, CA: Sage. 2
- Simpson, A. L., Rauhut, J. B., Jordahl, P. R., Owusu-Antwi, E., Darter, M. I., Ahmad, R., Pendleton, O. J., & Lee, Y. H. (1993). *Early Analyses of LTPP General Pavement Studies Data*. Volume 3 - Sensitivity Analyses for Selected Pavement Distresses, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (1999). *Modern Applied Statistics with S-Plus* (3<sup>rd</sup> ed.). New York: Springer-Verlag.
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S* (4<sup>th</sup> ed.)," New York: Springer-Verlag.
- Verbeke, G., & Molenberghs, G. (2000). *Linear Mixed Models for Longitudinal Data*. New York: Springer-Verlag.
- Yang, M., Goldstein, H., Browne, W., & Woodhouse, G. (2002). Multivariate multilevel analyses of examination results. *Journal of the Royal Statistical Society, A*, 165, 137-153.