

ISSN 1682-2730

中華鋪面工程學會會刊

鋪面工程

第五卷 第三期
中華民國九十六年九月

PAVEMENT ENGINEERING



Volume 5 No.3 September 2007
Published by the Chinese Society of Pavement Engineering
Taiwan, Republic of China

剛性鋪面糙度預測模式之建立—以 LTPP 資料庫為例

莊凱驛¹ 葛湘瑋² 李英豪³

¹ 淡江大學土木工程學系碩士班研究生

² 淡江大學土木工程學系兼任副教授、致理技術學院國貿系副教授

³ 淡江大學土木工程學系教授

摘 要

本研究以美國公路長期鋪面績效計畫 LTPP 所蒐集之資料庫 Data Pave Online 為架構，針對既有剛性鋪面糙度預測模式 SHRP P-020 與 NCHRP project 20-50 議題進行探討，並驗證預測模式，並以此為基礎構建新預測模式。從 Data Pave Online 資料庫中擷取剛性鋪面 IRI 預估模式之相關資料，並以 Microsoft ACCESS 程式中關聯性資料庫之功能將資料彙整成分析所需之資料庫型態。接著，本研究以 S-PLUS 軟體中 Script 之功能，編寫以模組化之程式設計，針對所彙整之鋪面資料進行判斷與運算，減少資料的複雜性，並整合成單純與系統化的資料結構，以便於分析與管理。本研究以 LTPP 所擷取之資料作為預測模式之輸入參數以求得 IRI 預測值，並將結果與 LTPP 中所量測之實際 IRI 以分析與驗證，並將計算之結果繪圖列表進行比較。最後，將選擇具影響效果之參數，建立新的預測模式。

關鍵詞：長期鋪面績效計畫、國際糙度指標、預測模式、關聯性資料庫

一、前 言

使用者搭乘交通工具時，對於鋪面狀況容易受表面粗糙程度所影響。當越平坦的鋪面，使用者直覺地認為鋪面狀況越優良；反之亦然，況且不平坦的鋪面將會因其急動【1】(JERK)行為造成用路者之不適。因此本研究將著重於剛性鋪面糙度績效預測模式驗證與建立。績效預測模式構建需要較完整之鋪面資料庫，由於國內現無一套通用的標準鋪面調查手冊，據以調查與衡量鋪面損壞資料，加上資料之蒐集不易且曠日費時，對於績效預測模式能否建立及模式建立後之解釋能力皆有待考量，這也是我國鋪面管理工作亟需完成之內容。因此本研究採用國外現有的資料庫與績效預測模式，進行評估並嘗試改善現有模式，相信對國內鋪面維修策略以及構建本土化績效預測模式有相當大的幫助。研究方法與步驟包含 LTPP 資料庫擷取、資料彙整、資料分析、驗證比較與新模式建立，其詳盡之內容將在下文中詳述。

二、剛性鋪面 IRI 預測模式

本研究之主要目的在於以 DataPave 的資料來驗證暨有之剛性鋪面 IRI 績效預測模式，因此首先必須針對預測模式進行所需輸入之參數進行探討，表 1 所示之模式為 SHRP P-020 IRI 預測模式，其迴歸公式中必須輸入累計交通量 CEASL、凍融循環 FT、平均年降雨量 PRECIP、底層種類 BASE、路基土壤情況 SUBGRADE、回算的平均 k-value 值 KSTATIC、平均橫向接縫間距 JTSPACE、混凝土版版厚 THICK、邊緣支撐 EDGESUP、縱向鋼筋的百分比 PSTEEL、車道加寬 WIDENED 與鋪面齡期 AGE 等參數。

表 1 SHRPP-020 預測模式【2】

類別	績效預測模式
不含縱縫筋 JPCP	$IRI = 38.8523 + 12.8886 * CESAL + 0.2217 * FT + 1.4979 * PRECIP - 10.9625 * BASE - 13.6880 * SUBGRADE$
含縱縫筋 JPCP	$IRI = 105.9236 + 159.1279 * \left(\frac{AGE}{KSTATIC} \right) + 2.1669 * JTSPACE - 7.1274 * THICK + 13.4955 * EDGESUP$
JRCPP	$IRI = -141.3723 + 0.8488 * AGE + 0.3469 * PRECIP + 1387.9594 * \left(\frac{1}{KSTATIC} \right) + 21.2432 * THICK + 15.0920 * EDGESUP$
CRCP	$IRI = 262.0480 + 1.4706 * CESAL - 2.9432 * THICK - 232.2973 * PSTEEL - 29.7949 * WIDENED - 16.8235 * SUBGRADE$

NCHRP project 20-50 IRI 剛性鋪面之預測模式，則如表 2 所示，其中所包含之參數包括國際糙度指標單位為：m/km， IRI_0 、 IRI_{First} 與 IRI_{Last} 分別為第一個、初始值、最近一個的國際糙度指標。國際糙度指標量測間隔 $\Delta Time$ 、路基含水量 MC_{Subg} 、混凝土版抗拉強度 PC_{ten} 、混凝土版楊氏模數 $PC_{E mod}$ 、年平均溫度 $TEMP$ 、潮濕天數 $Wet.Days$ 、路基過 200 號篩之比率 $SG200$ 、溫度大於 $32^{\circ}C$ 的天數 $Days32$ 。

表 2 NCHRP project 20-50 預測模式【3】

鋪面型式	公式		
GPS-3 JPCP	含縱縫筋	$IRI = 0.12284 + 0.94229(IRI_0) + 0.05009(AGE) - 0.00733(AGE \times PC_{ten})$	
	不含縱縫筋	$IRI_{Last} = -0.33172 + 1.15383(IRI_{First}) + 0.00436(CESAL/THICK) + 0.00418(\Delta Time \times MC_{Subg}) - 0.00178(\Delta Time \times TEMP)$	
GPS-4 JRCPP		$Log_e(IRI) = -0.1875633 + 0.3967905(IRI_0) + 0.0000081(CESAL) + 0.0003266(AGE \times MC_{Subg}) + 0.0000002(AGE \times PC_{E mod})$	
GPS-5 CRCP	潮濕 冰凍區	多元迴歸	$IRI = -0.6433 + 0.0082(Wet.Days) + 0.0001(PC_{E mod}/PC_{ten}) + 0.0063(SG200)$
		混合模式	$IRI = -0.4963 + 0.0064(Wet.Days) + 0.0001(PC_{E mod}/PC_{ten}) + 0.0054(SG200) + 0.0124(AGE)$
	潮濕 不冰凍區	多元迴歸	$IRI = 2.2106 + 0.008(Days32) - 1.925(PSTEEL)$
		混合模式	$IRI = 2.1952 + 0.0076(Days32) - 2.015(PSTEEL) + 0.0042(AGE)$

文中所有模式均以線性混合模式所構建，除 GPS-5 有另外提供多元迴歸所得結果。在線性混合模式中應有第一層與第二層之區別，但在文中並未詳細說明何者為第一層何者為第二層。因此文中可能未提供充足資訊【4】。以上所建立之 IRI 預測模式乃經由一系列之試驗與研究所迴歸而得，其內容與計算頗為複雜，對於每項參數之定義與進階之計算方式在文獻【3,4】中有詳盡之說明。

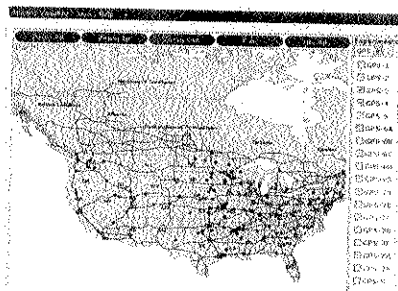
三、LTPP 資料庫擷取

3.1 LTPP 資料庫之簡介

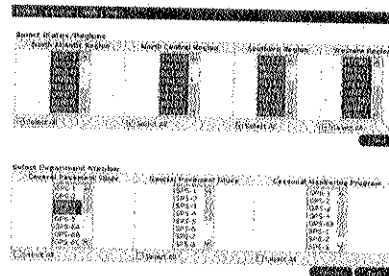
長期鋪面績效評估 LTPP 計畫是由美國公路策略研究計畫 (Strategic Highway Research Program; SHRP) 於 1987 年開始針對全美道路各試驗路段進行長達 20 年資料搜集之研究計畫。該研究的目標在於針對各種不同的交通荷重、環境因素、路床土壤條件與養護方式下，找出延長鋪面使用年限之方法，並且藉以評估現有鋪面設計方式，進而針對現有鋪面發展新的設計法與策略以及發展新的設計理念以

因應新工法或重建的鋪面系統。而 LTPP 研究計畫之重點在於建立一套長期鋪面績效的資料庫系統，以因應未來的需要。

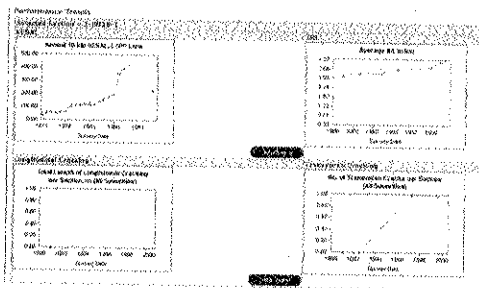
LTPP 計畫將這些量測而得的鋪面資料建立出一套模組化的資料庫，DataPave Online 資料庫即為其 LTPP 計畫的成果之一。鋪面工程師可藉著資料庫中之資料顯示模式，如地圖顯示模式 (Show Map Module)、圖表模式 (Chart/Trend Module)、路況現況模式 (Senction Presentation Module) 及資料庫搜尋與擷取模式 (Database Exploration and Extraction Module) 等四種模式進行資料之篩選，圖 1 為其擷取模式之示意圖。



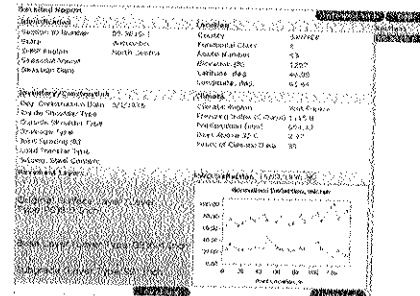
(a) 地圖顯示模式



(b) 資料庫搜尋與擷取模式



(c) 圖表模式



(d) 路況現況模式

圖 1 DataPave 程式資料擷取模式示意圖

資料庫將收集之資料分為九個大項，分別為基本資訊 (General Information)、基本資料 (Inventory)、材料試驗 (Material Testing)、養護 (Maintenance)、維修 (Rehabilitation)、交通 (Traffic)、監測裝置 (Monitoring)、環境 (Environmental)、季節 (Seasonal)，而在各大項之下又分為許多資料表，如此可讓使用者更加清楚的選取所需資料，以便進行資料之擷取。

3.2 DataPave 程式資料之擷取

本研究在完成預測模式進行所需輸入之參數之探討後，接著將針對所有欲取得之參數從 DataPave 資料庫進行擷取。而在進行資料擷取之前必須確認所需之鋪面資料是以何種型態蒐錄於資料庫中。在此，本研究延續上一步驟，針對 IRI 預測模式所需的所有參數，利用資料庫所提供的說明與查詢功能，將所有資料以 DataPave 的資料型態進行彙整，這些資料表顯示所需的資料是以何種型態紀錄、蒐錄在何種模組以及歸納在何種類別。將所有 IRI 預測模式所需的資料，依其特性分門別類經整合而建立參數所需因子表，其中包含交通資料、鋪面結構、材料、路床性質、建造模式、維修情況、鋪面使用齡期與環境氣候等因素。研究中 DataPave 資料庫針對所蒐錄之所有 LTPP 的 JPCP、JRCPC 與 CRCP 試驗路段進行資料擷取。資料擷取的結果總共蒐集包含 245 個鋪面路段，所擷取的則資料筆數則有數千筆之多，本研究以此資料進行分析與驗證，經由 DataPave 資料庫擷取的結果以 ACCESS 的檔案格

式儲存。

3.3 IRI 驗證

由於歷年剖面資料之資料庫過於龐大，所以按每一州的字母縮寫切割分別收錄於三片光碟中，總計高達 17GB 的剖面資料。目前任何資料庫軟體或統計軟體皆無法有效率地處理如此巨量之資料，所以將原始資料庫中鋪面高程數據匯出，並使用程式語言依據為文獻【5】的方法來建立計算國際糙度指標之程序。其計算結果與 LTPP 資料庫中所提供之 IRI 很接近，如表 3 所示。造成這些微差距，後來排除是由不同的行駛速度所造成。從量測間隔係數中我們程式是採用 0.1524 公尺為一高程間隔。LTPP 資料庫並非每個路段皆採 0.1524 公尺量測壹次高程，不同的量測間隔應使用不同的參數。

表 3 IRI 程式計算結果

State Code	SHRP ID	左輪跡 IRI 計算結果	右輪跡 IRI 計算結果	LTPP 左輪跡 IRI	LTPP 右輪跡 IRI
5	0113	0.70	0.85	0.69	0.82
5	0113	0.69	0.86	0.68	0.85
5	0113	0.70	0.87	0.69	0.86

四、應用 ACCESS 程式進行資料篩選與彙整

雖然 DataPave 程式已將資料依其特性分門別類製成表單，但在同一鋪面特性的資料列舉方式僅是以路段 (Sections) 做區分，而並未將各路段之資料調查時間、鋪面特性的進階分類再做更完善之整理，因此在資料之使用上仍顯複雜，必須再次整理才可明確又方便的使用。針對此點，本研究以 DataPave 程式所擷取匯出之 Access 之檔案格式，利用 Microsoft Access 程式進行資料的處理。研究中將已分門別類的資料分別處理，並依照其特性決定資料之處理方式，以期能達到簡化資料，又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。

然而在進行 LTPP 資料分析時，首先必須考慮其資料之簡化並找出其資料間之關連性，否則其資料數會過於龐大，導致研究人員在處理上之困難。而 Microsoft Access 程式為一具有多項功能的資料庫管理系統之程式，應用此程式可配合內建的諸多功能，例如資料表之構建、記錄、篩選、排序、關聯性資料庫連結與 SQL 語法的應用等，將 LTPP 的資料進行進一步之分析與篩選，以達到因應進階資料篩選的目的。因此本研究利用 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，最後再經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。

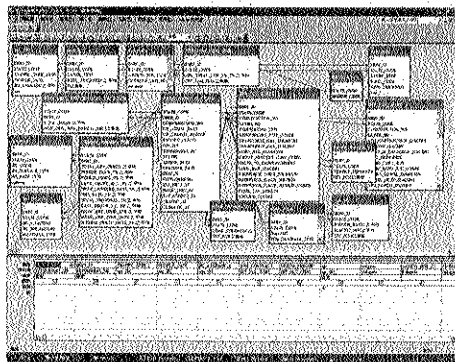


圖 2 IRI 預測模式之關聯性資料庫

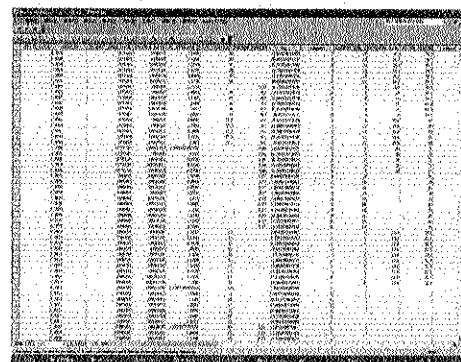


圖 3 IRI 預測模式之查詢結果

因此，本研究將 DataPave 所彙整之資料中的相關路段編號、各州編號、鋪面交通資料、相關氣象站、氣候環境資料與鋪面破壞之監測資料等六大項資料庫進行資料關聯性連結，並建立 IRI 所需之資料庫，其關聯性資料庫連結如圖 2，查詢結果如圖 3 所示。建立關聯圖時要放寬連結限制，避免 ACCESS 將表單中有遺失值的參數全部剔除。

五、資料分析與驗證

本研究將上述之關聯性資料庫連結完成後，將其結果匯出成 Microsoft EXCEL 程式之檔案格式，以此進行最後步驟之篩選、處理與分析。研究中為達到簡化分析流程與自動化分析之目的，以 S-PLUS 程式所提供之 Script 語言功能對所需之資料進行篩選與分析。最後本研究亦利用 S-PLUS 程式中圖表繪製之功能，將 LIPP 資料庫中經由現地量測結果與預測模式所得結果繪圖驗證與比較。

5.1 資料分佈與預情況

將所整理完之資料，利用 S-PLUS 繪製 IRI 現地之資料分佈情形如圖 4 所示，資料分佈相當接近常態分佈。再依照 SHRP P-020 與 NCHRP project 20-50 繪其預測結果如圖 5 與圖 6 所示，最後再加入不同鋪面形態、氣候區、交通與材料特徵嘗試找出影響 IRI 之因子。圖 7 中可以得到未含縱縫筋的 JPCP 預測情況較差，因此後續建立新的預測模式時需要分開探討。

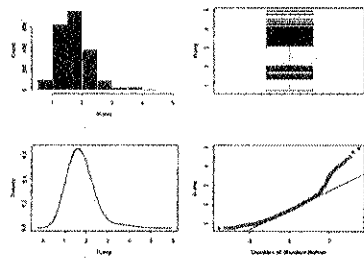


圖 4 剛性鋪面現地 IRI 資料分佈

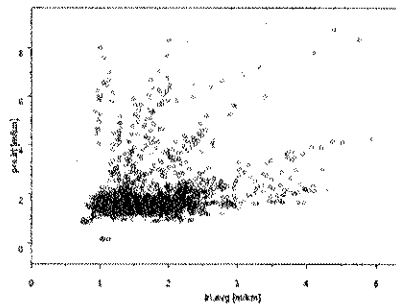


圖 5 P-020 IRI 結果與現地比較圖

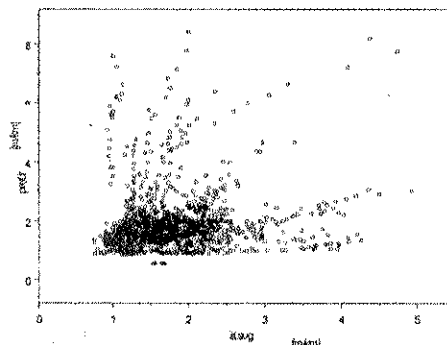


圖 6 NCHRP project 20-50 結果與現地比較圖

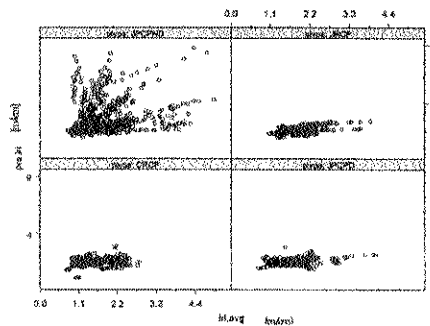


圖 7 不同鋪面種類預測結果

5.2 線性迴歸結果

構建新的預測模式參數從過去文獻中所建議為優先選取。在構建模式的過程中，變數的選擇固然重要，但資料顯示的物理意義與一般鋪面反應是否和預期相符更重要，本研究將篩選出的變數，以統計方法配合鋪面專業知識判斷其對於模式之適用性。利用統計軟體 S-Plus，將各影響因子對於剛性鋪面 IRI 線性迴歸，其判定係數為 0.156，殘餘標準誤 0.552，資料筆數為 1938 筆。

雖然通常以判定係數來判斷迴歸模型的好壞，但並不代表有高的判定係數就是好的迴歸模型，而是要注意自變數與依變數之相關必須正確，變數的P值也要在符合範圍內0.05以下。線性迴歸的判定係數為0.156，但是卻有6個變數的P值大於0.05，分別為路基反力模數、累積交通量、橫向接縫間距、邊緣支撐、底層型式和路基土壤分類，顯示是沒有顯著影響。除此之外，有些參數現象說明與鋪面預期反應不同，如混凝土版厚度越厚，結果卻顯示IRI越差。迴歸模型之適用性還有待評估。

5.3 構建預測模式

由前述資料分析中(圖4)可知IRI資料約略符合一般線性模式所要求之常態分佈，因此在本分析中不考慮將應變數(IRI資料)做函數轉換。首先僅採用符合物理意義之自變數，並利用廣義相加模式(Generalized Additive Models, GAM)來協助分析，以找出合適之自變數函數轉換，經計算結果其判定係數約為0.468，殘餘標準差約為0.577，資料筆數為605筆，雖然判定係數可較高，但是分析結果顯示有某些參數之建議轉換函數對於IRI影響之趨勢與預期結果不符，因此需再進行修正，直到修正模式評估合適為止。因此，本研究參考過去模式構建之研究【7】，利用Box and Cox Transformation轉換法來協助模式之構建。GAM是可對資料做平滑化，反映一般趨勢而不需假設關連的函數型式，且能找到產生最佳預測的某種解釋變數之複雜函數。Box-Cox轉換法為一乘冪轉換(Power Transformation)，若參數最大值落於+2與-2間即對此變數取其乘冪轉換，若當參數最大值落於0附近則對此變數進行對數轉換。

迴歸結果中IRI與變數鋪面齡期、車道加寬凍融循環次數和降雨量符合預期，即該變數愈大時IRI狀況越差，橫向接縫間距越長時IRI狀況較好。不過式中的路基反力模數與混凝土版厚度反而與預期相反，當路基反力模數愈大、版越厚時IRI狀況越差，顯示仍然有改進空間。

表4 剛性鋪面預測模式

鋪面型式	預測模式
JPCPND	$IRI = 0.3701 + 0.2758 * \sqrt{age} + 5.5953 * \frac{1}{kstat} - 8.3323 * \frac{1}{jtSPACE^2}$ $- 304.1814 * \frac{1}{thick^2} + 0.0529 * FT^2 + 0.2985 * \log_{10} precip$ <p>統計結果：R²=0.231，SEE=0.681，n=605</p>
JPCPD	$IRI = 0.47 + 0.0017 * age + 270 * \frac{1}{kstat} + 5.7 * \frac{1}{jtSPACE} - 0.17 * \log_{10}(cesal)$ $+ 0.00042 * precip + 0.1bt - 0.18subgrade + 0.25 * widened$ <p>統計結果：R²=0.35，SEE=0.41，n=380</p>
JRCP	$IRI = -0.554 + 0.1978 * \sqrt{age} + 168.3167 * \frac{1}{kstat} + 0.021 * jtSPACE^{1.5} + 0.0015 * thick^2$ $+ 0.3166 * \frac{precip}{1000} - 0.528 * \log_{10}(1 + psteel) + 0.431 * edgesup + 0.0837 * subgrade$ <p>統計結果：R²=0.4，SEE=0.34，n=416</p>
CRCP	$IRI = 1.9568 + 0.1158 * \sqrt{age} - 112.3738 * \frac{1}{thick^2} - 0.2423 \log_{10}(cesal) + 0.0001 * FT^{1.5}$ $+ 0.4333 * \log_{10} precip - 2.3863 * psteel^{0.5} - 0.104subgrade - 0.0183widened$ <p>統計結果：R²=0.14，SEE=0.44，n=537</p>

式中, age 為鋪面齡期(年)、kstat 為路基反力模數(MPa/m)、jtspace 為橫向接縫間距(m)、thick 為混凝土版厚度(cm)、FT 為凍融循環次數(cycle)、bt 為底層型式、edgesup 為邊緣支撐、psteel 為縱向鋼筋的百分比(%)、subgrade 為路基土壤分類、widened 為車道加寬、precip 為降雨量(mm)。其中,底層型式為 1 是處理底層, 0 是顆粒狀底層; 土壤分類為 1 是粗顆粒土壤, 0 是細顆粒土壤; 邊緣支撐為 1 是有混凝土路肩, 0 為其他; 路基土壤分類 1 粗顆粒土壤, 0 細顆粒土壤; 車道加寬 1 為加寬, 0 為不加寬。

六、結論與建議

本研究應用 ACCESS 程式的關聯性資料庫聯結功能與 S-PLUS 指令, 將 DataPavey 資料庫中所蒐錄的 LTPP 計畫資料庫中的繁雜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, 再將之與過去 IRI 預測模式進行驗證, 並建立新的預測模式。研究結果顯示, 應用 LTPP 計畫所蒐集之資料與過去 IRI 預測模式結果並不吻合, 可能是由過去構建預測模式時所得到的參數較少, 且受限於某些特定路段。然而此一自動化分析步驟確實可應用在資料整合與分析的研究上, 未來將此研究方法應用在分析 LTPP 資料庫上, 應可得到更有意義之研究成果。

接著, 本研究經由再利用 LTPP 資料庫構建新預測模式後, 發現若干參數違反物理現象, 如果將其全部刪除, 預測模式將僅存 1 至 2 個參數。由於 2002 年暫行手冊【6】對於剛性鋪面平坦度第一條就建議『請蓋平坦一點』, 因此施工方法與品質應納入預測模式中, 以建立一更符合物理現象之預測模式。

再者, LTPP 計畫的目的在於評估現有的鋪面設計方式, 進而針對現有鋪面發展新的設計法與策略。目前世界上逐漸有更多之國家參與這跨區域的計畫, 以達到全球鋪面資料之整合。而現階段國內缺乏整合性資料庫系統建立的同時, LTPP 所提供豐富的鋪面資料對於我國相關研究與鋪面維修策略有相當大的幫助。國內目前可先行採用 LTPP 之資料庫, 建立相關之預測模式予以應用, 如此相信可改善國內現今鋪面管理不足之處。未來國內應可配合 LTPP 計畫的蒐集模式, 將國內的鋪面資料加以彙整, 進而構建台灣本土之鋪面資料庫, 並且提高資料之可信度。如此, 對於我國在鋪面的相關技術將有更進一步的發展。

七、誌謝

本研究承蒙行政院國科會專題研究計畫經費補助, 計畫編號 NSC94-2211-E-032-014 與 NSC95-2211-E-032-061, 特此誌謝。

八、參考文獻

1. Liu, C., and Human, R., "Roadway-vehicle Interaction, Physical Index, and Human judgement of Ride Quality," Transportation Research Record 1570, 1997.
2. Perera, R.W., Kohn, S.D. "LTPP Data Analysis: Factors Affecting Pavement Smoothness", NCHRP Project 20-50, National Research Council, 2001.
3. Simpson, A.L., Rauhut, J.B., Jordhal, P.R., Owusu-Antwi, E., Darter, M.I, Ahmad, R., Pendleton, O.J., Lee, Y.H. "Sensitivity Analyses for Selected Pavement Distresses", SHRP-P-393, Contract No. P-020, National Research Council, 1994.
4. Pinheiro, J. C., and Bate, D.M, *Mixed-effects models in S and S-Plus*, New York: Springer-Verlag., 2000.
5. Shahin, M.Y. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Chapman & Hall., 1994.

6. ARA, Inc. ERES Consultants Division. "Guide for Mechanistic- Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structure," NCHRP 1-37A Rep., Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 2004.

7. Lee, Y.H. *Development of Pavement Prediction Models*, Ph.D. Dissertation, University of Illinois, Urbana., 1993.

鋪面工
Pavem

根
段
量
氣
果
貼
鐘
部
中
之
期
關

落
度
度
效
量
度
標
程
量
集