

# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起

抗滑值在鋪面安全績效上佔了非常重要的地位。它是一項鋪面安全的主要衡量指標。主要原因是對於公路上行駛的車輛而言，增加鋪面的抗滑值可以增加行車煞停時的摩擦力，如此可以縮短駕駛人的停車視距，或增長反應時間以應付路面上之突發狀況，降低危險性。因此國外之公路管理單位，皆將抗滑值列為鋪面之監控項目之一，藉由定期的檢測，希望鋪面之抗滑值能維持在規定的門檻值以上，以避免事故發生。

但是國內公路主管單位對於抗滑值的涉獵卻仍較不足，我國公路單位雖備有抗滑檢測儀器，但以全線檢測為主，並未對特定路段進行定期檢測，以了解其鋪面抗滑值之變化趨勢。除此之外管理單位亦尚未設計配套之養護策略以維持鋪面之抗滑值。

為了對鋪面服務績效作長期且有系統的控制與管理，近年來不少國內外學者投入鋪面管理系統（Pavement Management System）的研究，希望在維持鋪面良好服務能力的同時，還能協助管理單位有效運用編列之養護預算。在鋪面管理系統中，「安全」是評量鋪面服務績效的重要項目之一，而「抗滑值」即衡量鋪面安全績效的主要指標。因此鋪面抗滑值的良窳將影響鋪面所表現的服務能力。

本小組研究希望針對國內之高速公路剛性鋪面進行抗滑檢測，一方面構建高速公路剛性鋪面之抗滑值預測模式，並研擬適當之公路養護管理方法，提高鋪面服務績效。

## 1.2 研究目的

本小組研究希望藉由高速公路之剛性鋪面抗滑值的定期檢測所收集之資料，了解目前我國高速公路剛性鋪面部分之抗滑值現況。透過分析與評估，掌握抗滑值之變化趨勢，以研擬適當之養護方法。

本研究主要目的如下：

- 一、針對高速公路進行定期的剛性鋪面部分的抗滑值資料，分析抗滑值之變化趨勢，並尋找相關的變因以構建高速公路剛性鋪面抗滑值預測模式。
- 二、配合高速公路剛性鋪面抗滑值預測模式，擬定公路剛性鋪面之養護策略。

## 1.3 研究範圍

本研究針對公路進行定期抗滑檢測，研究範圍分述如下：

### 一、高速公路抗滑檢測範圍

選擇國道三號龍潭關西段，本小組只研究剛性鋪面部分，對每個月收集一次的抗滑檢測資料進行分析，詳細資料如表 1.1 與圖 1.1 所示：

表 1.1 本研究公路檢測範圍基本資料

檢測位置	檢測長度	檢測方向	檢測車道數	鋪面組成
69 K ~ 72 K	3 公里	南下及北上	外、中、內三車道	剛性鋪面

註：兩段鋪面之銜接段為龍潭收費站

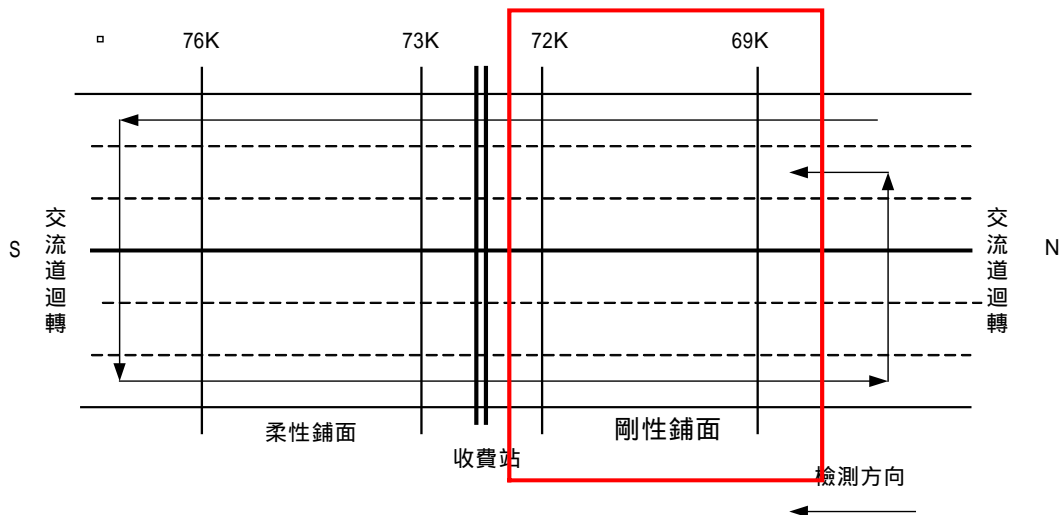


圖 1.1 國道三號龍潭關西路段

## 1.4 研究方法與內容

本研究藉公路逐月檢測及數據分析以了解抗滑值變化趨勢，蒐集抗滑值影響因子以構建抗滑預測模式，並進一步訂定養護方法。具體研究方法與內容詳述如下：

### 一、相關文獻回顧

由於國內之抗滑相關研究仍屬少數，因此本研究除完全掌握國內文獻外，大部份之相關文獻多以國外的研究報告為主。配合本研究構建預測模式之研究目的，文獻回顧之主要內容為：抗滑值影響因素、國內外研究之抗滑預測模式評析，以作為抗滑值分析之參考。

### 二、實地抗滑檢測及相關資料蒐集

本研究針對國道三號龍潭關西段，進行每月一次的抗滑檢測。所使用檢測儀器為英國製 Grip Tester 連續式三輪拖曳抗滑檢測儀，該儀器每十公尺可輸出一筆抗滑值，對於抗滑值變化之趨勢，可作更細微的比對；進行檢測實驗的同時，並對影響抗滑值變化的相關資料進行蒐集與記錄，如：鋪面壽齡、鋪面施工內容與日期、重車數量與比例、溫度和雨量等，作為抗滑值預測模式自變數選擇之參考依據。

### 三、檢測數據分析

對高速公路每月一次抗滑檢測之數據進行分析與比對，並配合蒐集之抗滑值影響因素的相關資料，探討二者之間之相互關係與影響程度，以判斷抗滑值預測模式之擬定依據。

### 四、抗滑預測模式之構建與驗證

經過抗滑數據之分析、比對和抗滑影響因素資料的相互影響關係探討後，選擇合適之自變數進行抗滑預測模式之構建，並利用統計檢定方法檢定模式是否成立，最後利用後續之抗滑數據對模式進行驗證，以了解預測模式的預測能力和預測差距。

### 五、擬定公路養護方法

根據本研究所構建之抗滑值預測模式，配合抗滑門檻值，研訂公路鋪面之養護方法並提出建議，最後將建議結果提供給國內公路管理單位作為參考。

## 1.5 研究流程

綜合前文所述，本小組之研究流程如下圖 1.2 所示：

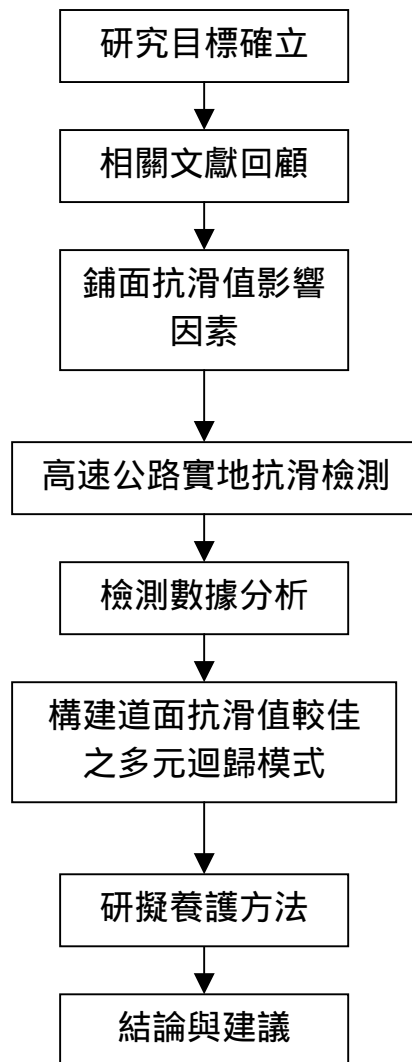


圖 1.2 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

車輛行進於道路時，其速度及方向上的控制皆和鋪面表面特性有很大的關係，特別是鋪面的抗滑能力。鋪面抗滑值若可以維持在一安全的程度，則駕駛人在面臨溼滑的鋪面，皆可以盡量減低駕駛的危險性。因此各先進國家皆將抗滑值列為鋪面服務績效的監控項目之一。除了進行抗滑值影響因素、鋪面骨材特性及施工方法之研究外，更將抗滑預測模式列為研究的方向與目標[1,2,3,4,5]，使駕駛者有更安全的駕駛空間。

本小組所蒐集的文獻著重於：「鋪面抗滑影響因素」和「抗滑預測模式」兩個部份進行回顧與整理，最後並對回顧之文獻提出小結。

### 2.1 鋪面抗滑影響因素

所謂鋪面抗滑能力即是鋪面和輪胎之間存在的阻抗能力。因此除了鋪面本身的特性會影響抗滑值之外，輪胎的特性或其他同時影響鋪面及輪胎的外在環境因素，亦將對抗滑值的變化產生影響，這些因素可歸納為鋪面因素、運具因素、環境因素和水滑現象[6,9]等，分別敘述如下：

#### 2.1.1 鋪面因素

鋪面使用之材料及骨材不同，除了組成不同之外，連同分佈其表面上的紋理情況亦有所差異，因而對於抗滑值亦有不同的影響，在此以鋪面組成以及鋪面紋理分別討論如下：

##### 一、鋪面組成

一般而言，鋪面可因使用材料的不同，而將鋪面種類概分為剛性鋪面和柔性鋪面。剛性鋪面在建造最後完成的階段，混凝土處於半流動狀態時，此時沙漿會被帶到表面，因此鋪面初始抗滑值是由細骨材而非粗骨材所決定，而工法的不同亦將影響鋪面抗滑值及表面的紋理；對於柔性鋪面而言則因為瀝青的型式與百分比、混合空氣的百分比和礦物組成百分比等，而有不同的抗滑表現，一般而言，開放級配有較佳的抗滑特性。

美國肯塔基州曾在 1975 年對於州內所有公路進行抗滑值檢測實驗[7]，

結果發現在同樣累積交通量下，剛性鋪面因為掃紋工法及較好的骨材配比而較柔性鋪面提供較高的初始抗滑值及較緩的抗滑值下降趨勢，開放級配之柔性鋪面則因為使用大顆粒之骨材而較使用高比例瀝青之密集配有較高的抗滑值。

表 2.1 各種鋪面型式之抗滑值比較表[7]

鋪面型式	抗滑值			
	累積交通量（百萬）			
	0.1	1	5	10
密集配柔性鋪面	50	46	45	44
開放集配柔性鋪面	53	49	46	45
剛性鋪面（以粗麻布掃紋）	55	49	48	48

## 二、鋪面紋理

鋪面由於組成材料及骨材的配置而在表面形成紋理，其粗糙狀態會影響鋪面抗滑能力的強弱，通常可分為粗質紋理（Macrotexture）和細質紋理（Microtexture）。

### 1. 粗質紋理：

指鋪面骨材的配置、外形和大小，以及鋪面表面掃紋的工法所產生的粗略狀態，一般稱表面紋理振幅在 0.5 mm 以上者為粗質紋理。粗質紋理可提供鋪面排除積水的管道，並藉由造成輪胎變形來消減運具運動時的能量。故當粗質紋理愈好，不但可以快速排除輪胎與鋪面間的積水，更可對運具產生較大之阻抗功能；反之若鋪面粗質紋理不佳，則可能因為輪胎與鋪面存有較長的積水時間，而造成運具產生水滑現象（Hydroplaning）而打滑。

### 2. 細質紋理

指鋪面表面骨材間細微的粗糙程度。因此細質紋理的良窳和骨材的選擇有很大的關係。一般我們稱表面紋理振幅在 0.5 mm 以下者為細質紋理。細質紋理可破除留存在鋪面表面的細薄水膜，增加骨材與輪胎間乾燥接觸點，並提供鋪面及輪胎間的附著力，因此在車輛低速時細質紋理對於鋪面抗滑能力有很大的貢獻。粗質紋理和細質紋理對於鋪面抗滑能力的貢獻可以圖 2.1 表示：

1. 無紋理
2. 細質紋理差;粗質紋理佳
3. 細質紋理佳;粗質紋理差
4. 細質紋理差;粗質紋理佳
5. 細質紋理佳;粗質紋理佳

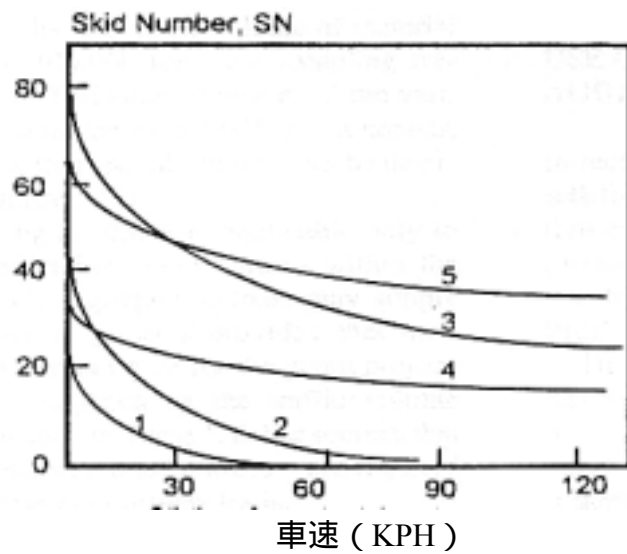


圖 2.1 紋理良窳與抗滑值關係圖[4]

### 2.1.2 運具因素

運具因素對於鋪面抗滑能力的影響，主要分為交通量、速度、胎壓、輪荷重和胎紋等，分別討論如下：

#### 一、交通量

車輛輪胎的滾動和煞車動作，會使鋪面表面的骨材受到磨損，使表面的紋理消失而變得光滑，減低了鋪面與輪胎間的摩擦力，因此交通量累積愈多，對鋪面的破壞愈甚，對抗滑值的影響也愈大。

一般而言，隨著交通量的累積，新建柔性路面表面的瀝青被磨損而骨材露出較明顯，將使抗滑值會增加到最大值，而後再因為交通量磨損和其他環境因素，抗滑值會減低，直到一平衡狀態。研究發現公路累積交通量和抗滑值呈對數關係，如圖 2.2 所示：



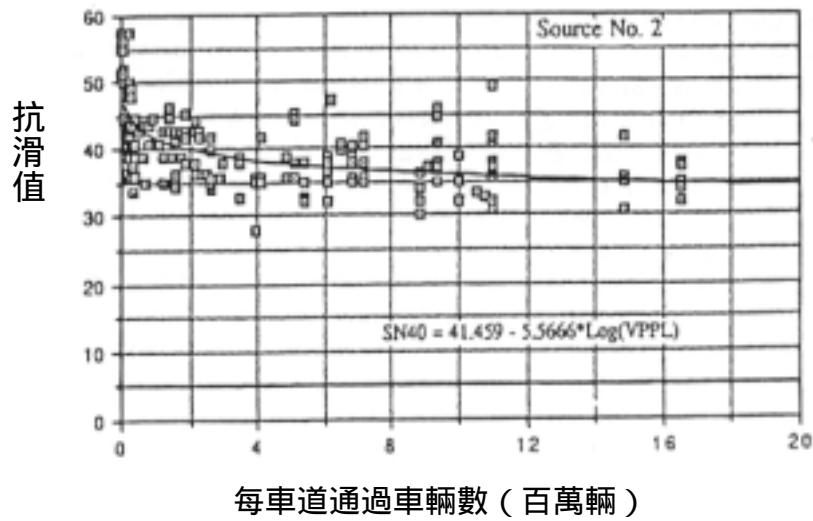


圖 2.2 累積交通量與抗滑值關係圖[4]

## 二、速度

抗滑值和速度呈反向相關，亦即當速度增加，抗滑值就會下降，如圖 2.3 所示。此和輪胎、鋪面表面間的水膜厚度有關，當輪胎在鋪面上運行時，水在輪胎下會被排開，所以當速度低時，被排開的水量會較少，因此排開的水量可迅速從輪胎的溝槽、鋪面的粗質紋理排開；而當速度增加時，被排開的水量較多，較無法控制水膜的流向，使留在輪胎底下的水增加，造成抗滑值的減少。我們把抗滑值和速度的關係定義如下：

$$SN = SN_0 \cdot e^{(-V/V_0)} \quad (1)$$

其中： $V_0$ ：參考速度

$SN_0$ ：速度為參考速度時之抗滑值

## 三、胎壓

當輪胎的胎壓較低時，輪胎與鋪面的接觸面積較大，因此當運具滑動或減速時，摩擦所產生的高溫可迅速擴散於這片較大的接觸面積，致使輪胎溫度降低而有較高的摩擦係數，因此在一既定之輪荷重下，胎壓愈高，鋪面的抗滑值愈低。

#### 四、胎紋

胎紋的設計可使運具煞停的效果更為顯著，除此之外，輪胎上的溝紋提供了輪胎與鋪面間積水排除的管道，協助鋪面紋理排除積水的能力，減少產生水滑現象的機會，因此無胎紋的光面胎對抗滑值降低現象較胎紋輪胎為明顯，並對鋪面的粗質及細質紋理較為敏感，如圖 2.4 所示，在同樣的檢測地點以有胎紋及無胎紋的輪胎進行測試，可發現無胎紋之輪胎較有胎紋輪胎較可明顯區隔不同測試速度下的抗滑值差異。因此抗滑檢測儀器多使用無胎紋設計的光面輪胎，除了減低胎紋對抗滑值的影響外，亦希望充分顯現鋪面之紋理特性。

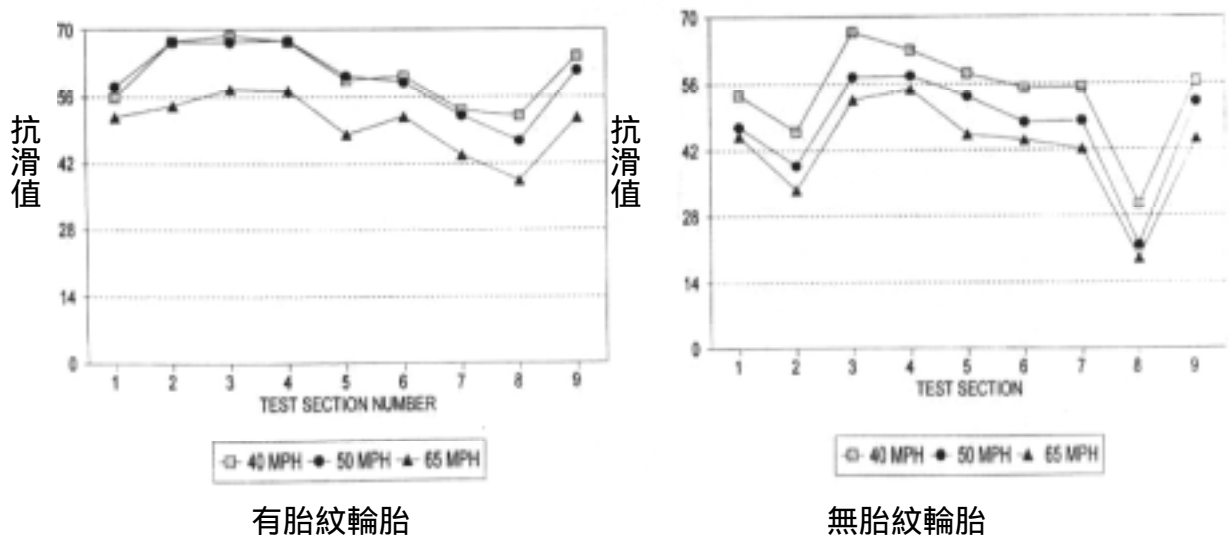


圖 2.3 有無胎紋輪胎之抗滑值比較圖[8]

#### 五、輪荷重

鋪面的抗滑值會隨著輪荷重的增加而降低，其關係如圖 2.4 所示。其原因在於輪荷重的增加，會減少每單位荷重與鋪面的接觸面積，輪胎摩擦所產生的溫度不易擴散，因而減少鋪面之抗滑值。

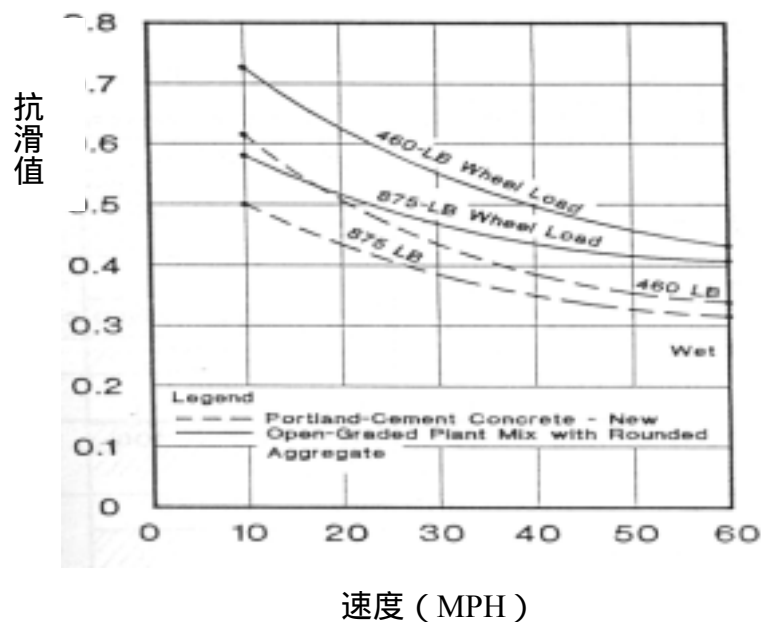


圖 2.4 輪荷重與抗滑值關係圖[6]

### 2.1.3 環境因素

環境因素對於鋪面抗滑能力的影響，主要分為溫度和降雨等，分別討論如下：

#### 一、溫度

鋪面抗滑值會隨著一年溫度的改變而呈現季節性的變化，如圖 2.5 所示，一般而言抗滑值於春冬兩季較高，而於夏秋兩季較低，主要原因在於夏秋兩季鋪面溫度較高，運具行駛於鋪面上會使輪胎橡膠變得較具彈性，致使減少輪胎滾動時的能量而降低抗滑值[10,11]，另外對柔性鋪面而言，柔性鋪面於高溫下冒油 (Bleeding) 的機會較大，亦影響了鋪面的抗滑能力。

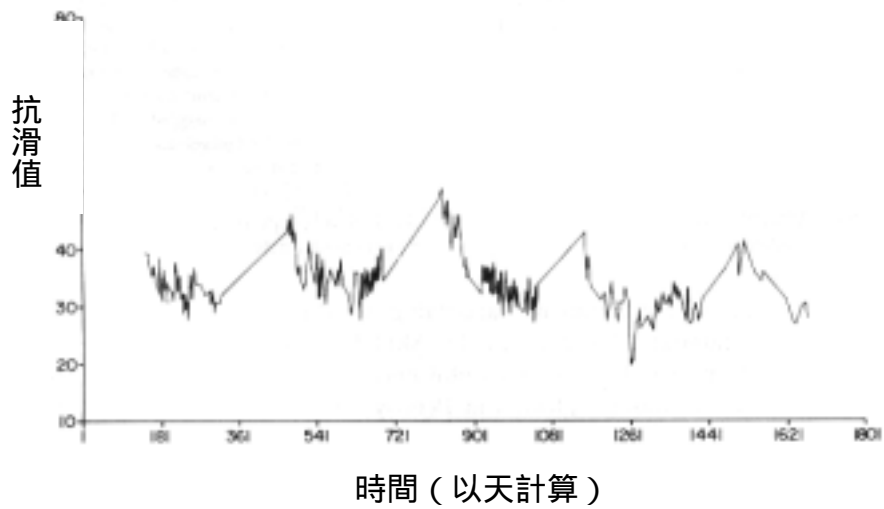


圖 2.5 季節與抗滑值關係圖[11]

## 二、降雨

降雨最主要影響鋪面的乾燥或潮濕，若鋪面無法快速排除積水，則留在鋪面上的積水將減少鋪面與輪胎間之接觸點，而使得抗滑值下降。研究顯示潮濕鋪面之摩擦係數約為乾燥時的 50%~60% [12]，在抗滑檢測的過程中，檢測儀器多配有釋水系統釋水同時進行，除了保守估計鋪面抗滑能力，亦在模擬鋪面降雨時的情況。

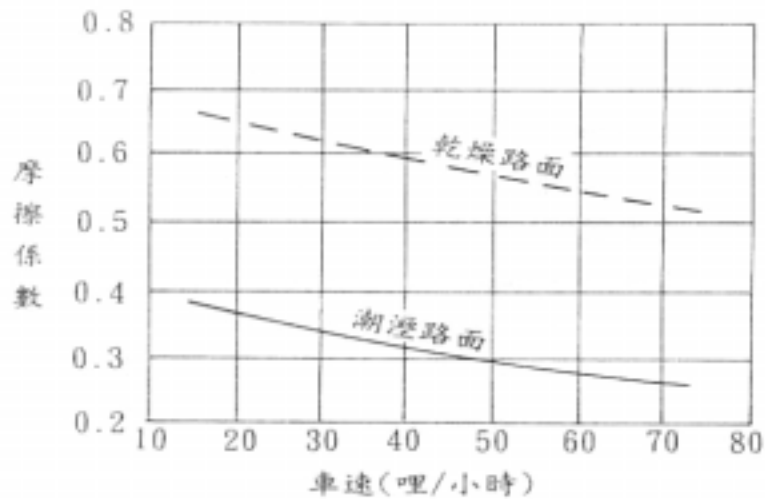


圖 2.6 乾燥及潮濕路面與抗滑值關係圖[12]

### 2.1.4 水滑現象

水滑現象的發生原因通常為鋪面表面和輪胎之間存在著水膜或污染物，造成鋪面與輪胎之間的接觸面積減少，而影響運具方向和速度的控制能力，

使得運具可能偏離原有的行進方向，並無法於有限的距離內安全煞停。水滑現象可因不同的原因與環境因素分為動力水滑現象（Dynamic Hydroplaning）、黏性水滑現象（Viscous Hydroplaning）和膠面還原水滑現象（Reverted Rubber Aquaplaning），分述如下：

### 一、動力水滑現象

動力水滑現象容易於當鋪面表面水膜厚度較厚，或運具速度較快時發生，因此當運具輪胎胎紋不明顯，或鋪面的粗質紋理和細質紋理不足，而無法在運具高速行經積水區時快速排水，將造成水膜因慣性力隔離鋪面和輪胎，使二者之間的摩擦力喪失，進而影響運具對於行進方向和速度的控制，這是所有水滑現象中最危險的一種。

### 二、黏性水滑現象

黏性水滑現象容易於當鋪面表面存在薄層的水膜、油污或其他易滑性的材料時發生，這個現象和鋪面污染物的厚度較無關係，一般只要能夠維持鋪面表面的清潔，使鋪面之紋理得以發揮其功能，協助積水的排除以增加鋪面和輪胎之間的附著力，則黏性水滑現象將減至最低。

### 三、膠面還原水滑現象

膠面還原水滑現象的發生原因為運具輪胎橡膠因為高溫摩擦而使輪胎橡膠留在鋪面上形成胎屑。這些沈積於鋪面上的胎屑覆蓋了鋪面的粗質紋理和細質紋理，致使鋪面紋理無法發揮排水的功能，造成運具產生水滑現象。對於高速及高胎壓的運具而言，特別容易在鋪面上留下橡膠胎屑，因此膠面還原水滑現象特別容易發生在機場跑道，影響飛機的起降安全，所以跑道胎屑的清除工作對於機場來說愈顯重要。

綜合以上抗滑值影響因素的整理，可以知道抗滑值的變化趨勢關係乃受各種影響因素同時影響，因此對於抗滑預測模式的構建，除了應慎選這些抗滑影響因子之外，並應釐清各影響因子對於抗滑值的影響程度，如此方能提高抗滑預測模式的預測能力。

## 2.2 小結

本小組之研究目的最主要希望透過對抗滑值影響因素的了解，並藉由定期檢測，建立模式以預測抗滑值變化趨勢，而由回顧之文獻中，可以知道抗滑值受各種影響因素同時影響，因此在定期進行抗滑檢測的同時，應一併釐清各影響因子對於抗滑值的影響程度，並慎選這些抗滑影響因子，以提高抗滑預測模式的預測能力。

模式之函數型式選擇以迴歸分析法，利用統計檢定的基礎可達到操作容易與預測準確的效果，對於個別抗滑值影響因素亦擁有探討的能力，而且迴歸分析法可以少數資料點，在短期內迅速構建關係式以進行預測，所以採用迴歸分析法作為本小組期末報告之函數型式。

## 第三章 檢測程序及資料分析

基於掌握公路鋪面抗滑值變化趨勢之需要，本小組收集每月一次之檢測頻率，國道三號龍潭關西段及之抗滑檢測資料，希望藉以了解鋪面抗滑表現，並透過資料的分析，提供後續抗滑值預測模式構建方向之參考，再對預測模式進行驗證以提高模式之預測能力。

本章首先對所使用之抗滑檢測儀器作一初步的介紹，其次介紹公路實施抗滑檢測之檢測程序，接著針對每月檢測之抗滑值資料進行分析與比較，擬定抗滑值預測模式方向，最後就資料分析結果提出小結。

### 3.1 實驗儀器

#### 3.1.1 抗滑儀

本研究進行抗滑實驗所使用之抗滑檢測儀器為英國 Findlay Irvine 公司之 Grip Tester 抗滑檢測儀，屬於滑溜式（Slip Mode）之三輪拖曳式檢測儀器。該儀器最大的特點在於可進行連續性、大範圍之檢測作業，可就不同的檢測需求而選取不同的檢測速度和釋水量。

目前 Grip Tester 抗滑檢測儀已通過國際民航組織（International Civil Aviation Organization，ICAO）和美國航空總署（Federal Aviation Administration，FAA）之認可並列於抗滑檢測規範，本節將針對該儀器作一簡單的介紹[15]：

##### 一、構造原理

Grip Tester 抗滑檢測儀車輪部份可分為傳動輪與測試輪，如圖 3.1 所示。兩輪胎配以不同的齒輪比以維持 14.5% 之固定滑動率，以利長距離之抗滑檢測。測試輪上之偵測器可於拖曳時，同時記錄本身所承受之正向力與水平力，換算為鋪面抗滑值 GN（Grip Number）後傳回手提電腦儲存，為避免測試輪的胎紋對鋪面紋理的表現產生影響而干擾檢測結果，因此本儀器之測試輪採無胎紋之光面胎。



圖 3.1 Grip Tester 抗滑檢測儀[16]

## 二、檢測方式

鋪面抗滑檢測之作業方式乃將 Grip Tester 抗滑檢測儀附掛廂型車之後，於檢測作業開始之前需另行組裝檢測儀之釋水系統、數據傳輸系統及電力系統。進行檢測作業時，共計需要三名工作人員：駕駛員負責車輛操作並使車輛維持定速前進、操作員負責利用手提電腦接收來自檢測儀之抗滑數據、釋水控制員負責調節釋水量以使鋪面存在不同的水膜厚度。

輸出的資料可於檢測進行的同時，以每十公尺一筆抗滑數據的方式立即呈現，如此有利於操作員隨時掌握當時之檢測情況，當檢測作業完成後，並以長條圖之圖示方式顯示每段距離之抗滑值，可清楚了解長距離下之抗滑值變化趨勢。

### 3.1.2 動態地磅

為了明確掌握檢測路段之交通承載情形，本小組採用動態地磅進行車輛荷重及分佈的調查，除了驗證各方向各車道之抗滑值分佈情形及檢定結果，所蒐集的荷重資料亦作為抗滑預測模式之解釋變數。

#### 一、設置安裝

整體動態地磅的組成包括磅片、迴路感應線圈及數據記錄器，其可取得的資料包括軸重、軸距、車長、車速及軸型等，屬於可攜式系統，由於使用壽命較固定式地磅為短，故適合短期使用，但所取得之資料和固定式地磅並無不同。



本小組收集動態地磅資料之時間與地點，分別於民國 91 年 4 月 16 日中午安裝於南下 73.4 K 外車道及民國 91 年 4 月 17 日中午安裝於北上 75 K 外車道，各方向設置記錄時間皆為 24 小時。其中延北上方向雖有龍潭地磅站與龍潭收費站（北上 72 K），但由於動態地磅設置地點與地磅站、收費站保持約 3 公里之距離，且龍潭地磅站距裝設動態地磅時間已關閉半年，故可假設重車駕駛不會因此改變行駛車道。下圖 3.2 是高速公路國道三號裝設動態地磅之現場情況。



圖 3.2 動態地磅裝設情況

## 二、資料分析

### 1. 軸重轉換

動態地磅所蒐集之資料，依軸型可分為單體車（U11、U12）、半聯結車（S112、S122）和全聯結車（F1211、F2111），為使各種交通組成得以在同一單位下進行計算與比較，因此對於各軸型車輛必須利用 AASHTO 轉換公式轉換成 18 kip 之標準軸重當量（Equivalent Single Axle Load, ESAL），轉換公式如下：

剛性鋪面

$$\log_{10} \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.79 \log_{10}(18+1) - 4.79 \log_{10}(L_x + L_2) + 4.33 \log_{10} L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$G_t = \log_{10} \frac{4.2 - P_t}{4.2 - 1.5}$$

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

其中： $G_t$  = 服務力降低函數

$\beta_x$  = 任一軸重之影響函數

$L_x$  = 軸重 ( 仟磅 )

$L_2$  = 單軸時取 1 ; 雙軸時取 2

$D$  = 混凝土版厚 ( 英吋 )

$p_t$  = 終止服務力指標

$\beta_{18}$  = 當  $L_x$  為 18 且  $L_2$  為 1 時之  $\beta_x$

其中參考國道三號剛性鋪面設計數據，剛性鋪面版厚為 10 英吋，終止服務力指標  $p_t$  設為 2.5。

代入轉換公式可求得北上及南下各型車之標準軸重當量如下：

表 3.1 北上及南下各型車 ESAL 值整理

北上剛性鋪面			南下剛性鋪面		
車型	平均 ESAL 值	數量	車型	平均 ESAL 值	數量
U11	1.357941	764	U11	0.86785	867
U12	0.563057	12	U12	1.102902	17
S112	8.709797	1563	S112	4.081966	1895
S122	6.224029	14	S122	1.658122	2
F1211	10.18773	149	F1211	5.925857	158
F2111	5.641534	10	F2111	5.533177	17

## 2. 車道因子與卡車因子

車道因子與卡車因子的計算有助於了解重車行駛外、中車道的比例，以及各方向各車道載重情況，本研究車道因子以聯結車數量作為計算依據，各因子計算式如下：

$$\text{車道因子} = \frac{\text{記錄之聯結車數量}}{\text{全部通過之聯結車數量}}$$

$$\text{卡車因子} = \frac{\text{記錄之標準軸重當量總和}}{\text{記錄之重車數量}}$$

其中計算車道因子所需之全部聯結車數量可由龍潭收費站取得，如表 3.2 所示，由於動態地磅設置時間為一天之中午，故聯結車的數量取設置當天與隔天聯結車數量總和之一半，所得剛性各方向之外車道車道因子與卡車因子如表 3.3 所示。

表 3.2 龍潭收費站流量表

日期	北 上		南 下	
	客貨車	聯結車	客貨車	聯結車
91.04.16	4990	482	4538	2495
91.04.17	4640	2421	4238	2645
91.04.18	4572	2123	4211	1505

表 3.3 外車道車道因子、卡車因子整理表

北上剛性鋪面		南下剛性鋪面	
車道因子	卡車因子	車道因子	卡車因子
0.76	6.4965	0.81	3.2274

由剛性鋪面各方向之車道因子及卡車因子可以發現，重車於外車道的確有較高的行駛比例，且北上方向重車載重遠大於南下方向載重。

### 3.2 公路抗滑檢測結果初探

首先介紹公路抗滑檢測之檢測程序，之後針對逐月蒐集之抗滑資料作初步的檢定分析，最後提出以行進間測重（Weigh-in-Motion, WIM）的動態地磅實驗之驗證結果。

#### 一、檢測程序

基於檢測及補充檢測所需用水之便利性，並考量交通量統計的準確性，故選擇國道三號 72 K 龍潭收費站附近作為檢測實驗地點。龍潭收費站以北為剛性鋪面，以南屬柔性鋪面，各取收費站以北 3 公里路段作為檢測路段，亦即剛性鋪面檢測範圍為 69 K ~ 72 K。

整體檢測範圍介於大溪交流道及關西交流道之間，由龍潭收費站之收費資料計算行經檢測範圍之交通量。檢測方式為從國道三號南下 69 K 外車道處

開始檢測，至南下 76 K 處後至關西交流道迴轉，進行北上外車道檢測，待回到 69 K 處後，利用大溪交流道迴轉，以此類推依次進行中及內車道抗滑檢測。

另黃威穎君[17]曾於國道三號南下 8 K 處，以不同的水膜厚度進行抗滑檢測，結果發現當水膜厚度為 0.25 mm 前後，水膜厚度與抗滑值之關係曲線斜率呈明顯的變化，顯示鋪面抗滑性能在此為一臨界變化區域，並同時驗證美國測試暨材料協會（American Society for Testing and Materials, ASTM）及 Grip Tester 公路操作標準之 0.25 mm 水膜厚度之操作規範，故本研究在公路抗滑檢測作業中，亦以 0.25 mm 水膜厚度作為檢測釋水量，檢測速度定為 65 KPH。檢測範圍及程序如圖 3.3 所示：

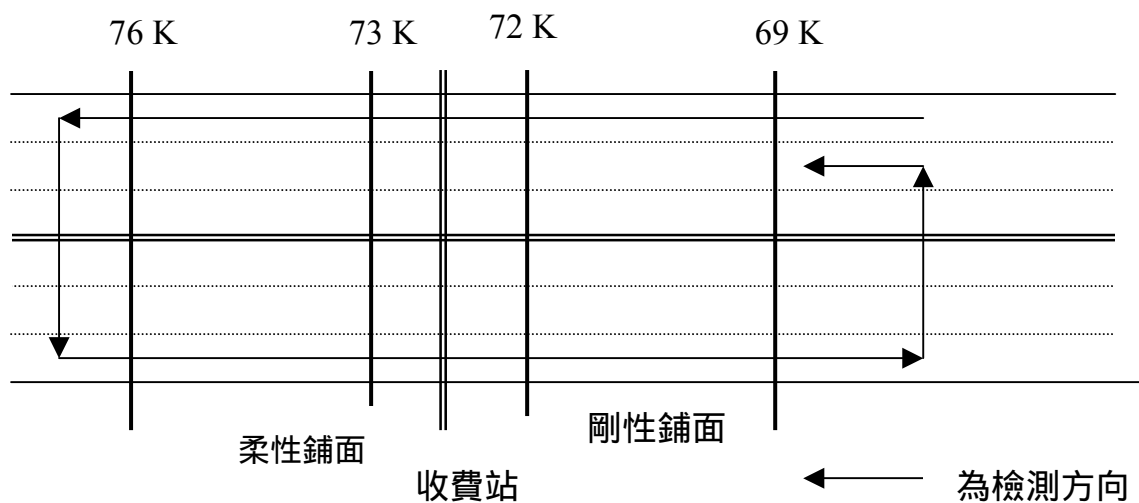


圖 3.3 公路抗滑檢測程序示意圖

## 二、抗滑資料檢定分析

### 1. 剛性鋪面抗滑值分佈狀況

鋪面抗滑值的影響因素中，運具因素為其中之一，其中包括累積交通量及車輛輪荷重，最主要原因為車輛輪胎重複的滾動和煞車動作，會使鋪面表面的骨材受到磨損，而載重愈重的車輛對鋪面表面的骨材磨損更鉅，致使表面的紋理消失而變得光滑，加速減少鋪面的抗滑值，減低了鋪面與輪胎間的摩擦力。而根據 AASHTO 的設計手冊，小汽車對於鋪面的損傷能力相當小，因此具先驗知識主要探討在中外車道裡對鋪面影響的重車。

依據上述所介紹檢測方式所得到之抗滑值，在此將民國 90 年 12 月之抗滑檢測資料依方向及車道劃分，分別了解抗滑值分佈趨勢。由圖 3.4 及圖 3.5 可以發現，不論南下或北上方向，外車道的抗滑值明顯較中及內車道為低，而中車道之抗滑值雖有部份略低於內車道，但差異不如外車道明顯，顯示在同樣的交通時間下，路面之抗滑值受重車的影響很大。

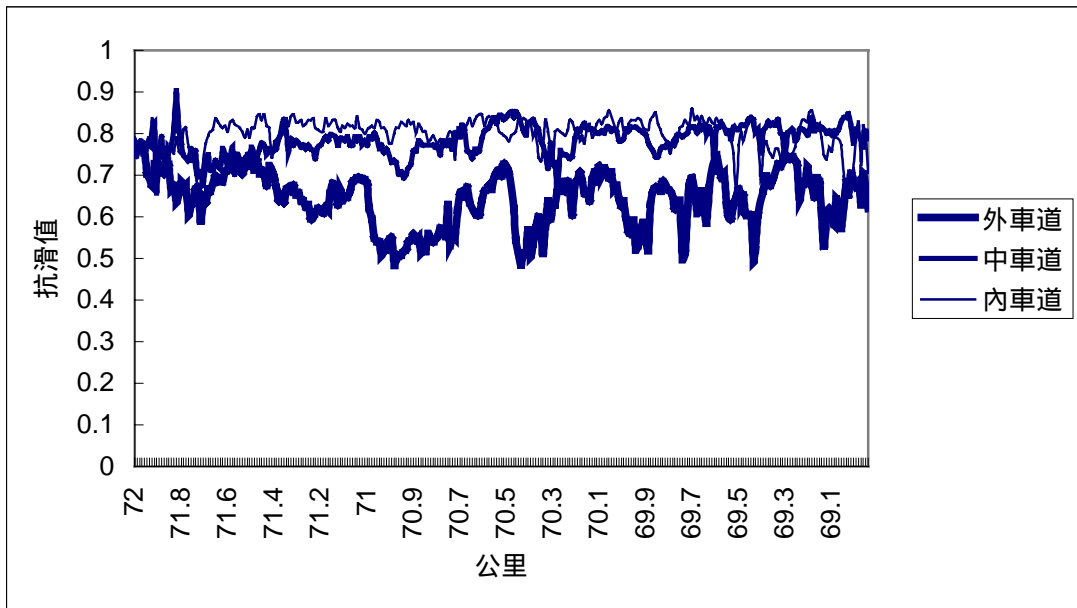


圖 3.4 剛性鋪面北上各車道抗滑值比較圖

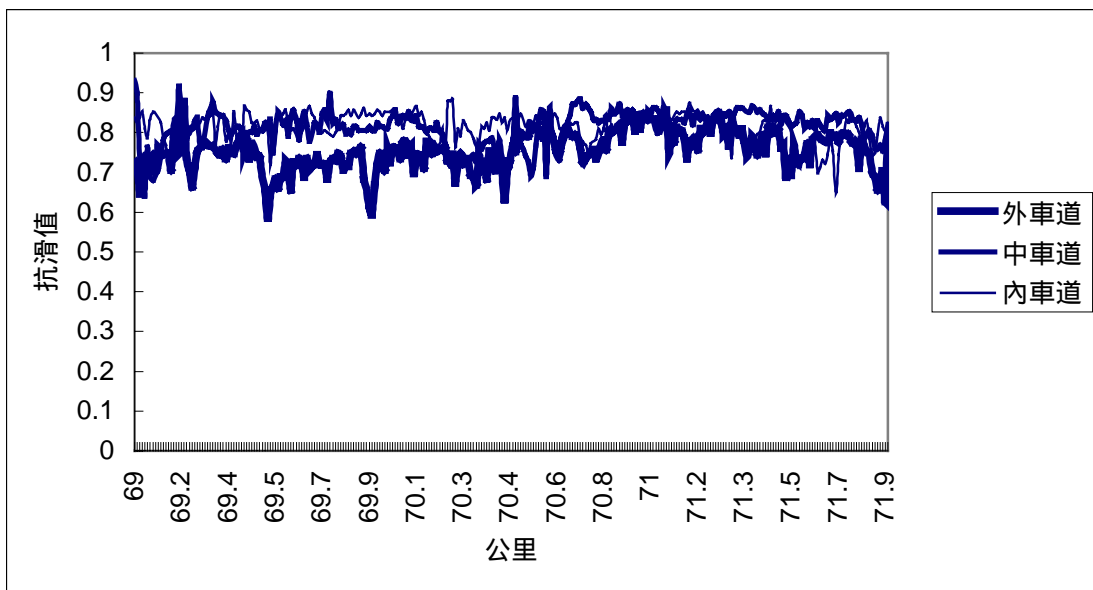


圖 3.5 剛性鋪面南下各車道抗滑值比較圖

一般而言，北上方向重車載運重量較南下方向為重，因此對於鋪面表面骨材磨損亦較南下方向嚴重，造成鋪面所提供的抗滑能力減低。在此將抗滑值相較其他車道為低之外車道分別以不同方向加以區分，如圖 3.6 所示，採用某一月份實測抗滑值資料，可發現其抗滑值分佈北上方向較低於南下方向，顯示在同樣的交通時間之下，鋪面的抗滑值除了受交通量的影響之外，亦明顯受車輛軸重的影響。

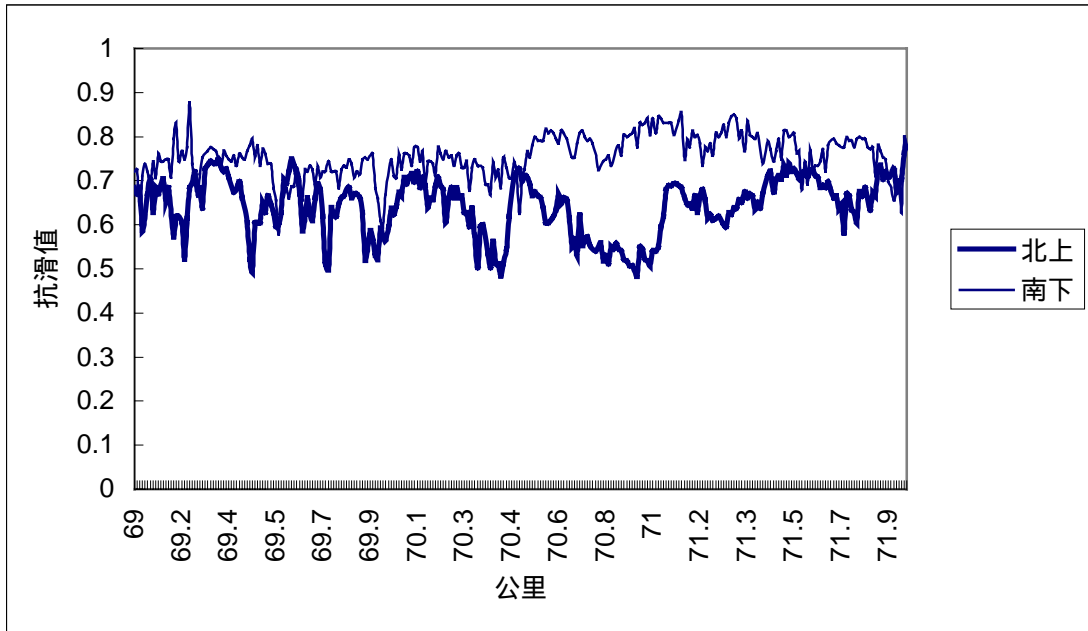


圖 3.6 剛性鋪面外車道各方向抗滑值比較圖

## 2. 剛性鋪面抗滑值資料探測性分析 (EDA)

由剛性鋪面抗滑值分佈圖可發現，不論北上或南下方向，外車道之抗滑值皆明顯低於中及內車道，中車道以內車道之抗滑值差異較不明顯；另若將外車道以方向區分，可發現北上方向抗滑值明顯低於南下方向抗滑值，針對此分佈現象，擬利用圖表與統計方法加以判定，以初步瞭解對不同車道與方向，因為本實驗乃在於探討重車對於鋪面的實際影響，而內車道在現今的法律下大型車輛不能行駛，而根據 AASHTO 設計手冊中小行車對於鋪面的損傷能力，相當的低，故以重車行駛的中外車道進行模式探討。

(1) 各車道抗滑值圖表與檢定

表 3.4 剛性鋪面不同車道值摘要

	Variable	Obs	Mean	Std.Dev.	Min	Max
北中車道	1	5	.762	.0083666	.75	.77
北外車道	2	5	.612	.0083666	.6	.62
南中車道	3	5	.796	.0181659	.78	.82
南外車道	4	5	.722	.0083666	.71	.73

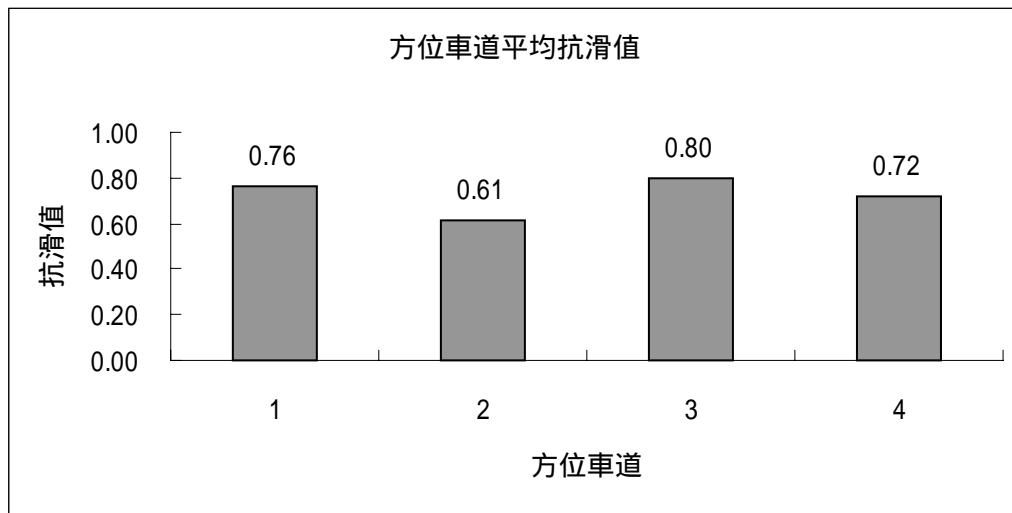


圖 3.7 剛性鋪面不同方位車道抗滑值

由表 3.4 與圖 3.7 可粗略的瞭解,北上外車道抗滑值較低於其他三車道的抗滑值,因此需要進一步進行相關的統計分析,瞭解是否有顯著性的差異。

本研究除了根據不同的車道方向(如北上外側與南下中車道等)進行抗滑值初步的探討外,也想要瞭解單純比較不同車道與不同方向的抗滑值是否有差異。

表 3.5 剛性車道各車道各方向抗滑值

車道別	Direction		
	南下	北上	Average
內車道	0.8	0.76	0.78
外車道	0.72	0.61	0.67
Average	0.76	0.685	0.72

由表 3.5 可以瞭解，外側車道的抗滑值較低，而北上的車道抗滑值又較南下的車道，北上的外側車道抗滑值可能偏低。

本研究率先檢定在不同方向的剛性鋪面抗滑值是否有顯著性的差異，檢定的結果如下：

表 3.6 剛性鋪面各方向抗滑值檢定表

Group	Obs	Mean	Std.De		[95% Conf. Interval]	
			Std. Err.	v.		
南下	10	0.759	0.01303	0.04	.7295147	.7884853
北上	10	0.687	0.02512	0.08	.6301653	.7438347
combined	20	0.723	0.01606	0.07	.6893845	.7566155
diff		0.072	0.0283		.0125357	.131464

Degrees of freedom: 18

---

Ho: mean (南下) - mean (北上) = diff = 0

Ha: diff < 0	Ha: diff ~ = 0	Ha: diff > 0
t = 2.5438	t = 2.5438	t = 2.5438
P < t = 0.9898	P >  t  = 0.0204	P > t = 0.0102

在母體為常態分配的假設下，我們由樣本證據顯示，在 95%信心水準下可以相信南下的抗滑值的確大於北上的抗滑值。

接著針對同一個方向不同車道別進行相關統計檢定，瞭解是否有顯著性的差異存在，檢定過程如下：

表 3.7 北上車道別差異檢定

Group	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
外車道	5	0.612	0.0037417	0.0083666	0.6016115	0.6223885
中車道	5	0.762	0.0037417	0.0083666	0.7516115	0.7723885
combined	10	0.687	0.0251241	0.0794495	0.6301653	0.7438347
diff		-0.15	0.0052915		-0.1622022	-0.1377978



Degrees of freedom: 8

Ho: mean ( 外車道 ) - mean ( 1 中車道 ) = diff = 0  
Ha: diff < 0                      Ha: diff  $\sim$  0                      Ha: diff > 0  
t = -28.3474                      t = -28.3474                      t = -28.3474  
P < t = 0.0000                      P > |t| = 0.0000                      P > t = 1.0000

在母體為常態分配的假設下，我們由樣本證據顯示，在 95%信心水準下可以相信北上外車道的抗滑值的確顯著的低於北上中車道抗滑值。

表 3.8 南下車道別差異性檢定：

Group	Obs	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	[95% Conf. Interval]	
外車道	5	0.722	0.003742	0.0083666	0.7116115	0.7323885
內車道	5	0.796	0.008124	0.0181659	0.773444	0.8185559
combined	10	0.759	0.013034	0.0412176	0.7295147	0.7884853
diff		-0.074	0.008944		-0.0946255	-0.053374

Degrees of freedom: 8

Ho: mean ( ) - mean ( 1 ) = diff = 0  
Ha: diff < 0                      Ha: diff  $\sim$  0                      Ha: diff > 0  
t = -8.2734                      t = -8.2734                      t = -8.2734  
P < t = 0.0000                      P > |t| = 0.0000                      P > t = 1.0000

在母體為常態分配的假設下，我們由樣本證據顯示，在 95%信心水準下可以相信南下外車道的抗滑值的確顯著的低於南下中車道抗滑值。

由上述的結果我們針對不同的車道與不同的方向，進行二因子重複試驗，其結果如下：

表 3-9 2<sup>K</sup> Factorial Design : Design matrix

	A1 (北上)	A2 (南下)
B1 (外車道)	0.62	0.73
	0.62	0.73
	0.61	0.72
	0.61	0.72
	0.6	0.71
B2 (中車道)	0.77	0.82
	0.77	0.81
	0.76	0.79
	0.76	0.78
	0.75	0.78

表 3.10 2<sup>K</sup> Factorial Design : ANOVA Table

Source	SS	DF	MS	F	P-value	Critical-value
Direction	0.06272	1	0.06272	464.5926	3.01E-13	4.493998
Lane	0.02592	1	0.02592	192	2.49E-10	4.493998
Interaction	0.00722	1	0.00722	53.48148	1.74E-06	4.493998
Within	0.00216	16	0.000135			
Total	0.09802	19				

在母體為常態分配的假設下，我們由樣本證據顯示，在 95%信心水準下可以相信抗滑值在不同方向與不同道路別是有顯著性的差異。所以在模式構建研擬階段，建議對此抗滑值有影響的因子可能需列入考慮。

由於本實驗在進行時，乃是在不同時間下進行測試，所以可能導致外部無法控制的變因存在，進而影響實驗的結果。因此考慮以 Radar Design 來進行探討，便瞭解未能解釋的 block 是否顯著。實驗設計如下：

表 3.11 Radar Design

	Block1		Block2		Block3		Block4		Block5	
	北上	南下	北上	南下	北上	南下	北上	南下	北上	南下
外車道	0.62	0.73	0.62	0.73	0.61	0.72	0.61	0.72	0.6	0.71
中車道	0.77	0.82	0.77	0.81	0.76	0.79	0.76	0.78	0.75	0.78

由 Design Expert 軟體，配置一個合理的試驗：

表 3.12 Design Matrix

	Lane	Direction	Response
Block 1	-1	-1	0.62
Block 1	1	-1	0.77
Block 1	-1	1	0.73
Block 1	1	1	0.82
Block 2	-1	-1	0.62
Block 2	1	-1	0.77
Block 2	-1	1	0.73
Block 2	1	1	0.81
Block 3	-1	-1	0.61
Block 3	1	-1	0.76
Block 3	-1	1	0.72
Block 3	1	1	0.79
Block 4	-1	-1	0.61
Block 4	1	-1	0.76
Block 4	-1	1	0.72
Block 4	1	1	0.78
Block 5	-1	-1	0.6
Block 5	1	-1	0.75
Block 5	-1	1	0.71
Block 5	1	1	0.78

\* 方向因子 (-1,+1) 代表 (北上,南下)

\* 車道因子 (-1,+1) 代表 (外車道,中車道)

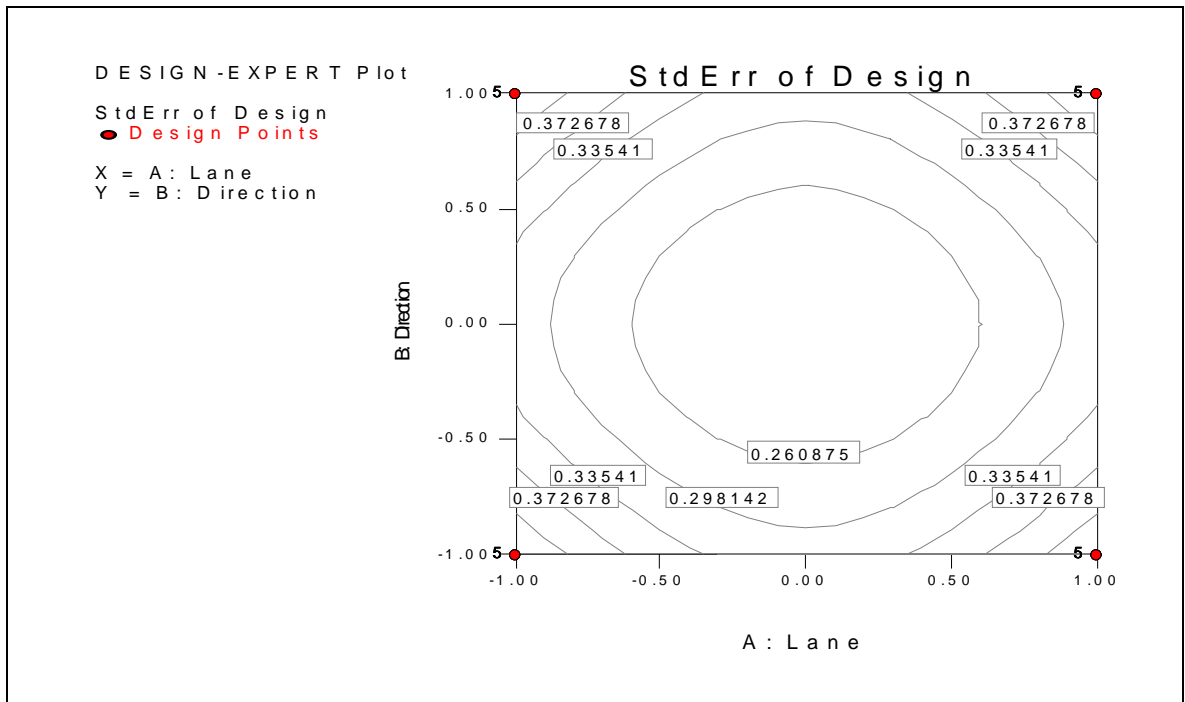
\* block 代表時間的因素 (在不同時間進行試驗)

\* 本實驗為  $2^2 \times 5$  的試驗，replicates=5

### Design Summary

Study Type	Factorial	Experiments	20			
Initial Design	2 Level Factorial	Blocks	5			
Center Points	0					
Design Model	2FI					
Response	Name	Obs	Minimum	Maximum	Trans	Model
Y1	抗滑值	20	0.6	0.82	Power	2FI
Factor	Name	Type	Low Actual	High Actual	Low Coded	High Coded
A	車道因子	Numeric	外車道	中車道	-1	1
B	方向因子	Numeric	北上	南下	-1	1

圖 3.8 Radar Design : Evaluation



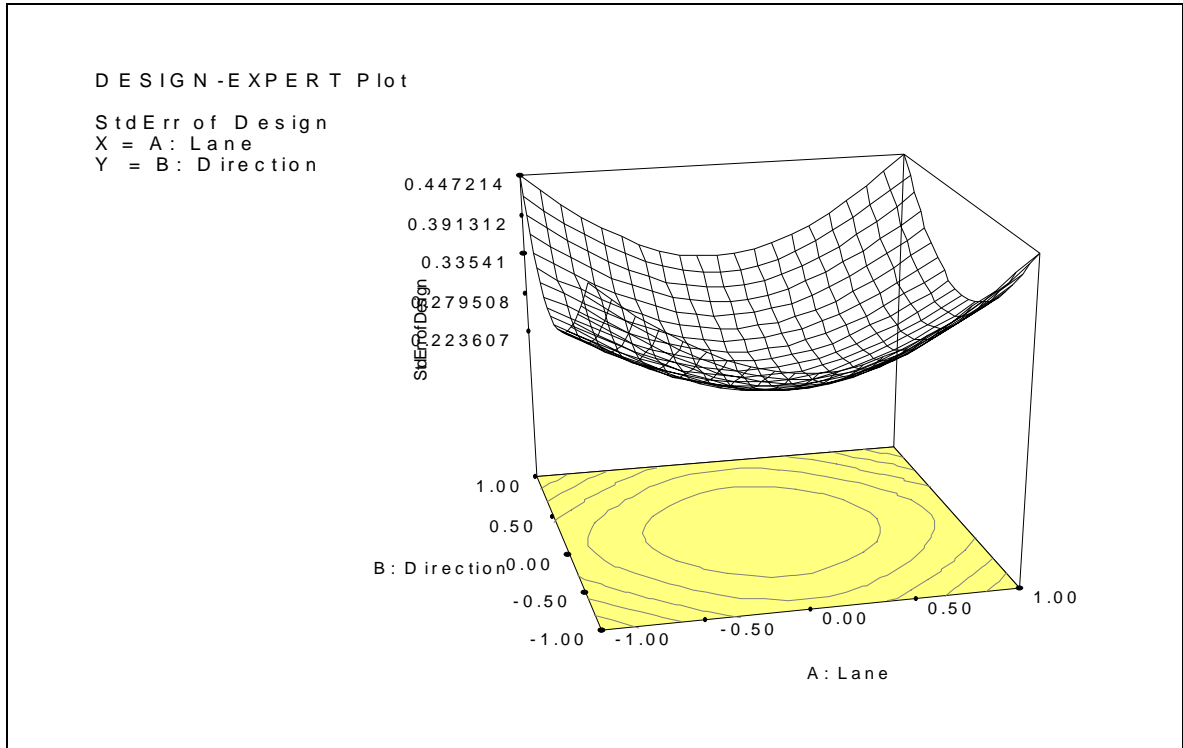


表 3.13 Radar Design : ANOVA Table

( no transform )

Source	SS	DF	MS	F-Value	Prob > F
Block	0.00177	4	0.0004425		
Model	0.09586	3	0.0319533	983.17949	< 0.0001 significant
A ( Lane )	0.06272	1	0.06272	1929.8462	< 0.0001
B ( Direction )	0.02592	1	0.02592	797.53846	< 0.0001
AB	0.00722	1	0.00722	222.15385	< 0.0001
Residual	0.00039	12	0.0000325		
Cor Total	0.09802	19			

Std. Dev.	0.005700877	R-Squared	0.9959481
Mean	0.723	Adj R-Squared	0.9949351
C.V.	0.78850306	Pred R-Squared	0.9887446
PRESS	0.001083333	Adeq Precision	57.966171

表 3.14 Radar Design : ANOVA Table

( transform  $y = (y)^{-1.48}$  )

Source	SS	DF	MS	F-Value	Prob > F
Block	0.018963075	4	0.0047408		
Model	1.30655243	3	0.4355175	2150.8177	< 0.0001 significant
A	0.780858516	1	0.7808585	3856.296	< 0.0001
B	0.366976656	1	0.3669767	1812.3266	< 0.0001
AB	0.158717258	1	0.1587173	783.83052	< 0.0001
Residual	0.002429871	12	0.0002025		
Cor Total	1.327945376	19			

Std. Dev.	0.014229872	R-Squared	0.9981437
Mean	1.646709489	Adj R-Squared	0.9976796
C.V.	0.864139792	Pred R-Squared	0.9948436
PRESS	0.006749642	Adeq Precision	83.160271

由變異數分析可以瞭解，在母體為常態分配的假設下，我們由樣本證據顯示，在 95%信心水準下，不同的時間區隔其影響不顯著。而其他本實驗因子的分析，以如上述，不再贅述。

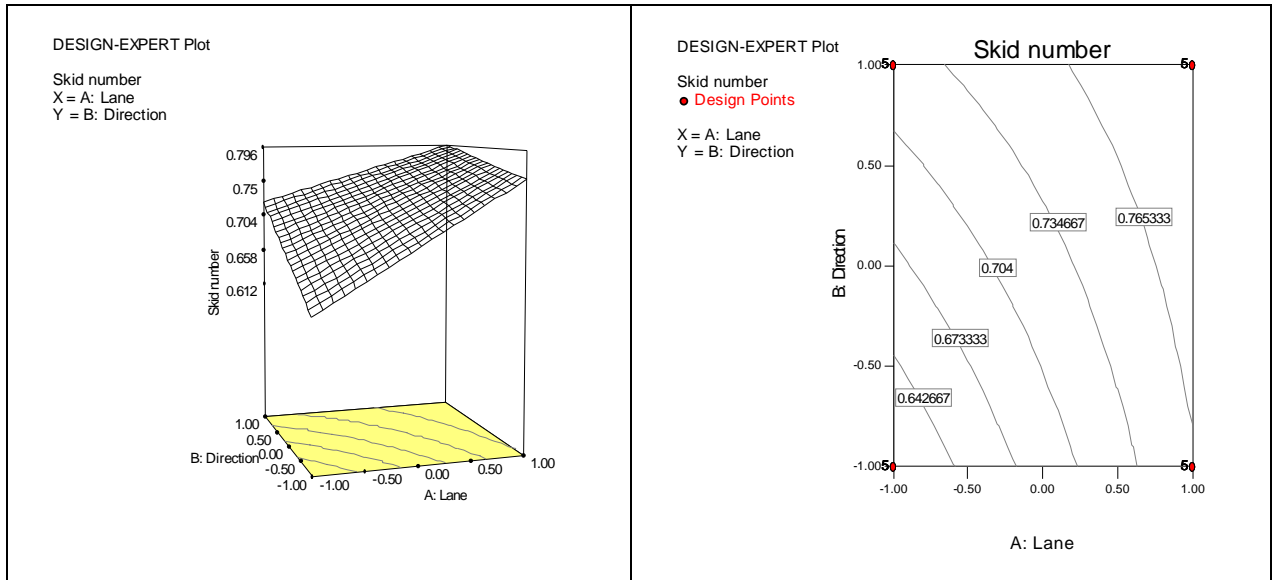
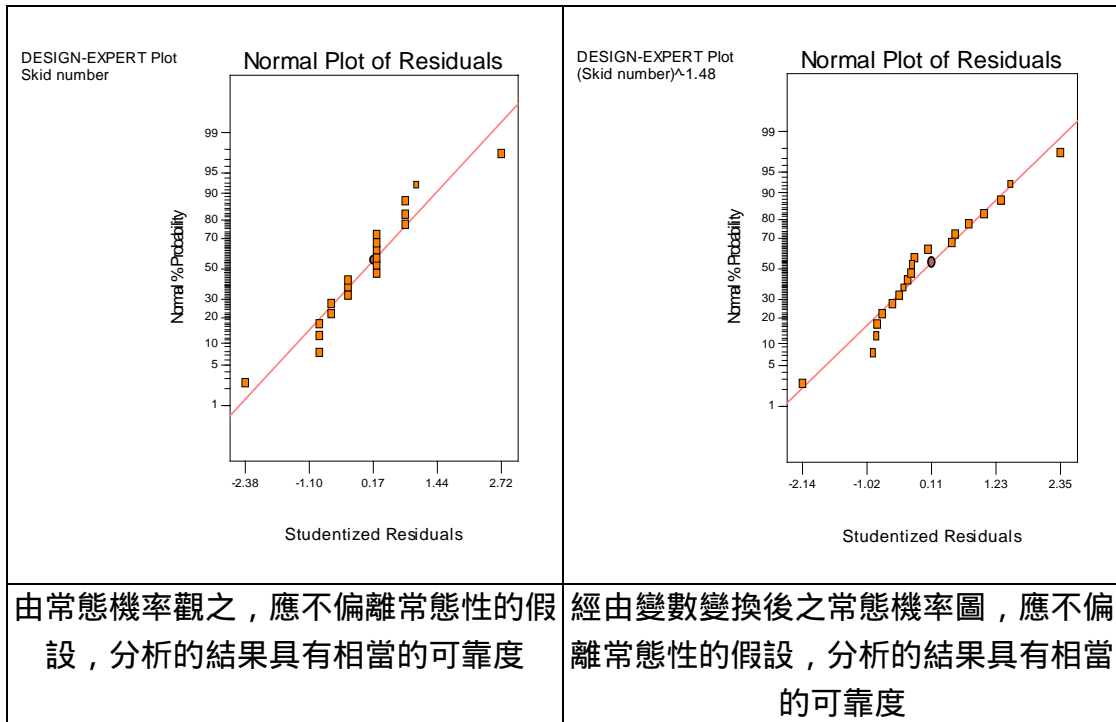


圖 3.9 反應區面圖示

由反應區面圖觀之，在區面上四個端點代表本實驗點的初始設定，可以發現車道因子由 (-1) 到 (+1) 時其抗滑值增加，方向因子由 (-1) 到 (+1) 時抗滑值增加；換言之，抗滑值外車道與北上時抗滑值最低，而在中車道與南下時抗滑值最高，需注意的一點是，本反應區面只用於說明邊界四個族群的性質，故由 (-1) 至 (+1) 的過程中並無實際也不合乎事實的資料可供分析。



由常態機率觀之，應不偏離常態性的假設，分析的結果具有相當的可靠度

經由變數變換後之常態機率圖，應不偏離常態性的假設，分析的結果具有相當的可靠度

圖 3.10 常態機率圖

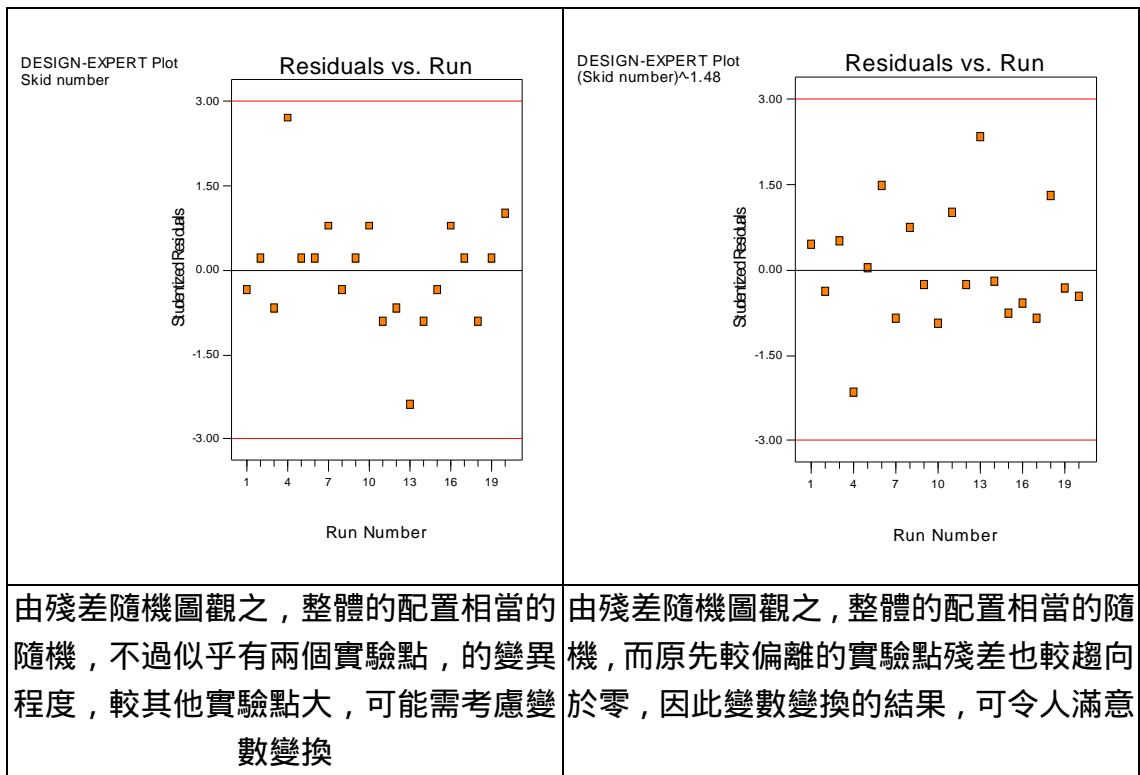


圖 3.11 殘差隨機圖

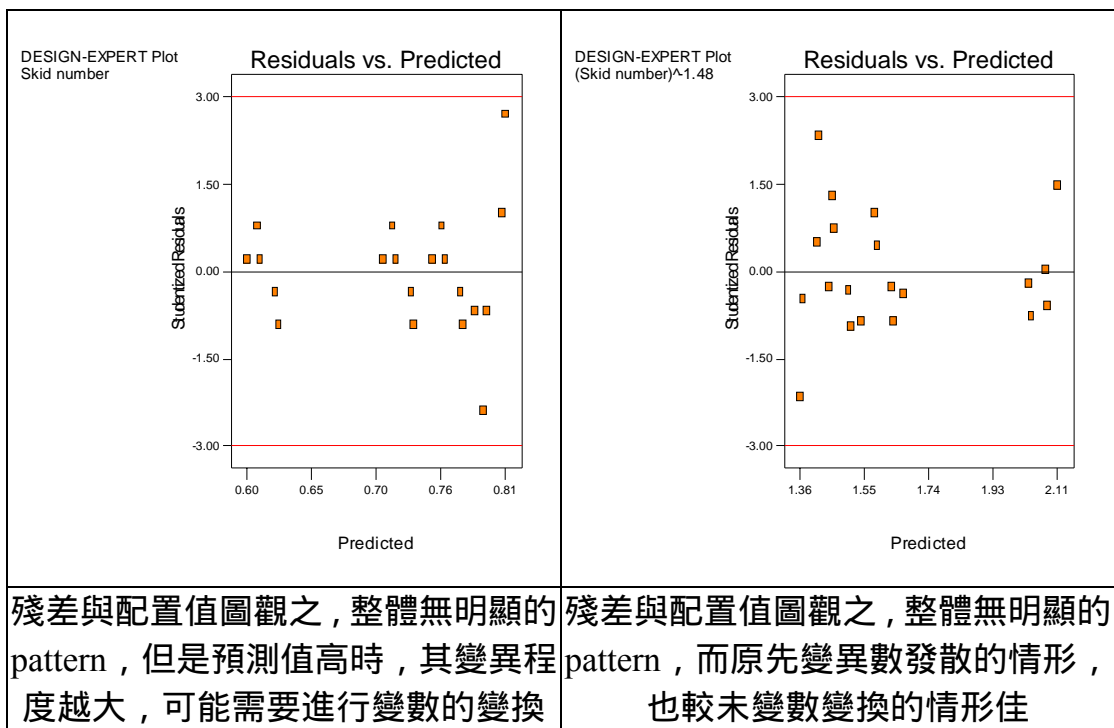


圖 3.12 殘差預測圖



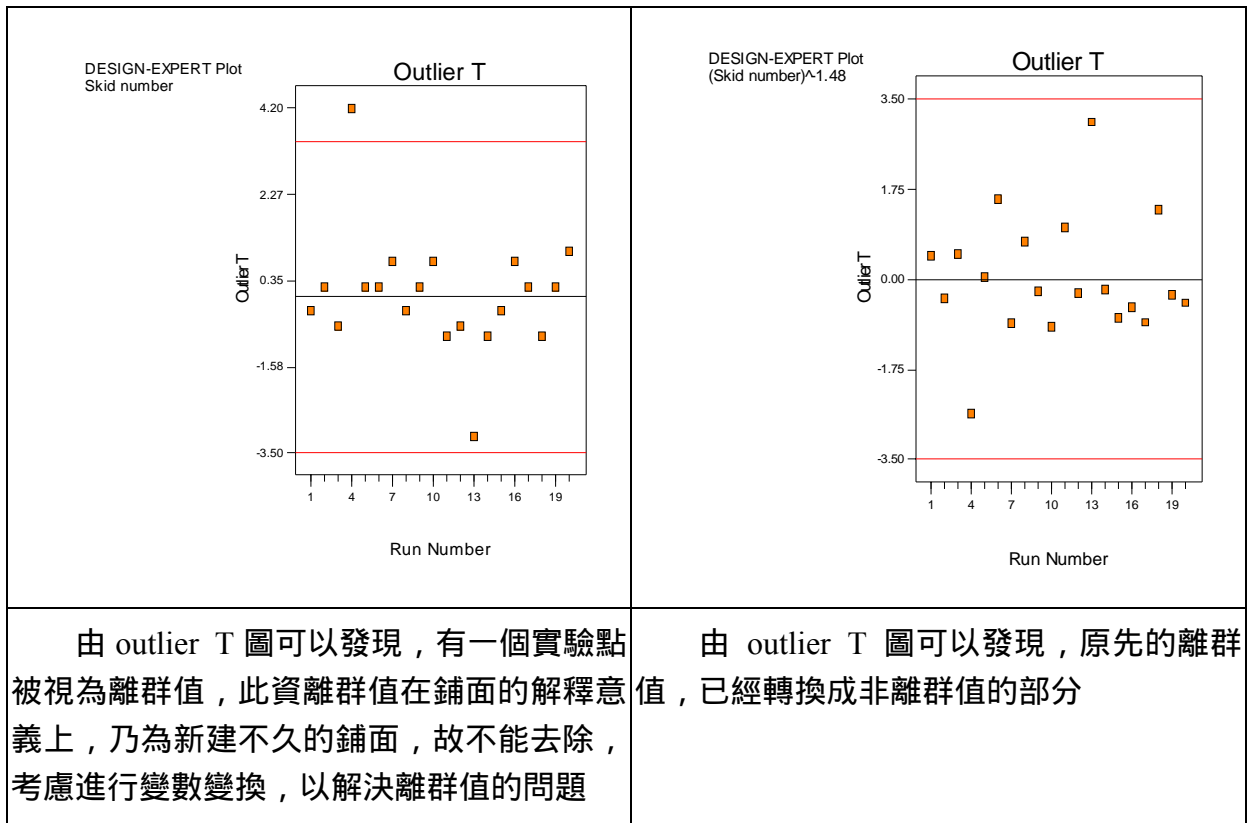


圖 3.13 離權值分析圖

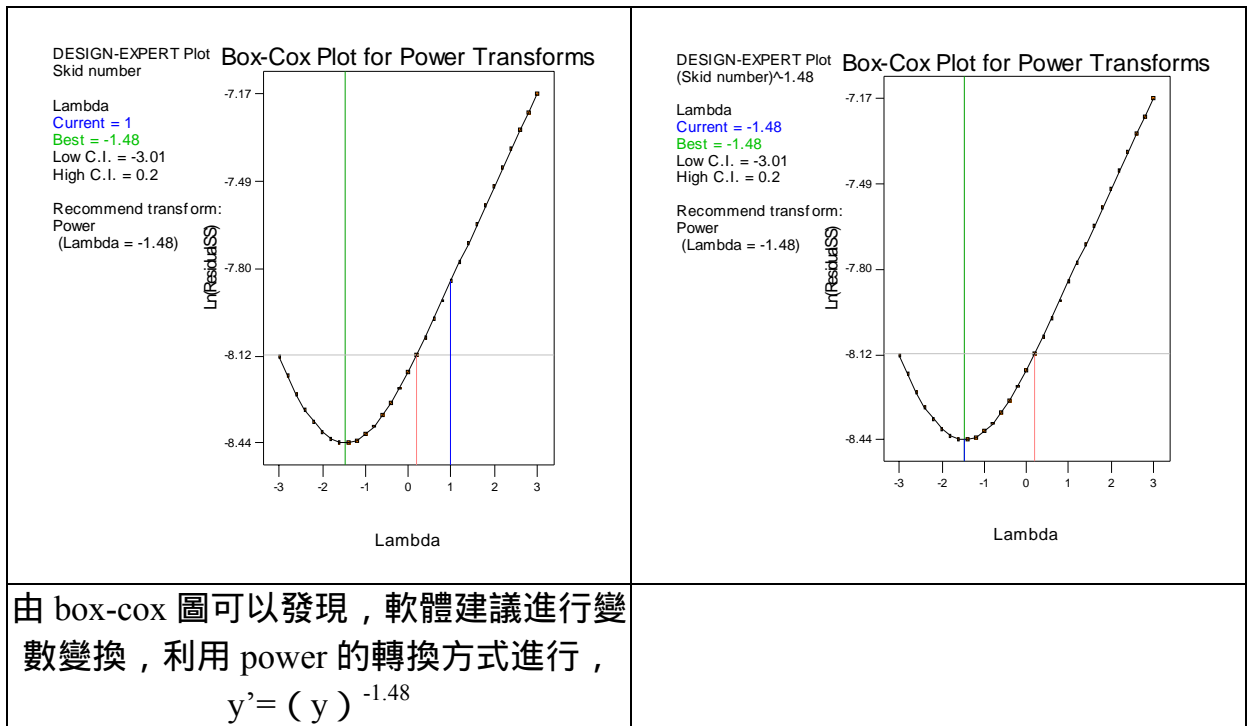


圖 3.14 Box-Cox Plot

上述的步驟乃在於討論方向因子、車道因子、時間集區的問題，而經由一連串的統計方法運用的目的，在於問題的歸納與初步的探測分析，進一步模型的建立與其他變數資料分析，於下一章討論。

## 第四章 公路抗滑預測模式構建與應用

對於剛性路面公路進行逐月之抗滑檢測，除了有助於了解公路抗滑值的變化趨勢，尚希望利用其他相關資料的蒐集，構建公路抗滑值之預測模式，俾能對公路抗滑值進行預測，藉由提前掌握抗滑值變化趨勢，擬定適當之養護策略，一方面可提供公路管理單位作為編列預算的參考，另一方面可維持公路抗滑能力於一安全的水準。

本章首先介紹構建預測模式所需之相關變數，其次針對蒐集的變數資料進行模式構建與驗證，其中並利用安全停車視距的觀點建立抗滑門檻值，最後則利用抗滑值預測模式配合門檻值擬定公路養護策略。

### 4.1 資料蒐集

本研究對於預測模式所需之資料蒐集可分為二個部分，其一為預測模式之應變數，亦即逐月蒐集之抗滑值資料；其二為影響抗滑值變化趨勢之各項解釋變數資料，各說明於各小節。

#### 4.1.1 抗滑值資料蒐集

依據上一章節敘述之公路抗滑檢測程序，本研究針對公路抗滑值逐月進行檢測，檢測時間包括民國 90 年 12 月、民國 91 年 1 月、2 月、3 月及 4 月，其中 3 月份進行兩次抗滑檢測，抗滑檢測範圍包括剛性及柔性鋪面外、中及內三個車道，檢測方向包括北上和南下，本研究擬利用前 4 月之抗滑值作為預測模式構建所需之應變數資料

#### 4.1.2 解釋變數資料蒐集

配合第二章文獻回顧與實際抗滑檢測作業觀察結果，本研究擬定之相關解釋變數種類如下：

## 一、交通量

由於車輛輪胎重複的滾動和煞車動作，會使鋪面表面的骨材受到磨損，致使表面的紋理消失而變得光滑。故當累積交通量愈多，對於鋪面抗滑能力影響愈大。本研究對於交通量的蒐集，主要來自高公局龍潭收費站之逐月交通流量資料。

## 二、車輛軸重

藉由統計檢定以及動態地磅之實驗數據，可以知道重車的確影響鋪面抗滑值甚鉅，主要原因在於愈重的車輛造成鋪面骨材的磨損愈大，本研究對於各軸型重車之重量蒐集，來自於動態地磅之測重資料，並為使資料易於分析比較，本研究將各重車重量轉換為標準軸重當量進行探討。

## 三、鋪面壽齡

鋪面壽齡是指鋪面新建或進行重鋪、加鋪等大型整修工程至抗滑檢測當日的相隔時間。鋪面壽齡愈長，則鋪面表面之粗質和細質紋理愈易遭磨損，進而影響鋪面抗滑表現。本研究公路檢測範圍之大型整修工程已詳列。唯國道三號龍潭關西段於民國 86 年保固期滿才移至高公局關西工務段，因此民國 86 年以前零星之維修工程，關西工務段並未列入記錄，其鋪面壽齡自民國 87 年開始計算。

## 四、氣候資料

本研究蒐集之氣象資料以溫度和雨量為主。俾使了解環境因素對鋪面抗滑能力的影響程度，溫度與雨量之氣象資料來源為中央氣象局新屋及打鐵坑氣象觀測站。

### 4.2 公路抗滑值預測模式構建

本研究所構建之公路抗滑值預測模式以剛性鋪面為主，而預測模式之解釋變數，除了納入所有蒐集之解釋變數資料構建模式外，為使公路管理單位方便使用，將另單獨以交通量為解釋變數直接構建預測模式，並比較兩種解釋變數組合之模式差異。

預測模式的構建將利用統計軟體以逐步迴歸的方式，搜尋最佳之解釋變數組合。

#### 4.2.1 解釋變數

本研究之公路預測模式解釋變數經整理可概分為四類：即交通量、車輛軸重、鋪面壽齡和氣候資料，各類解釋變數定義與詳述如下：

##### 一、交通量

由於交通量對鋪面表面骨材的破壞是持續累積的，故模式將以累積交通量作為解釋變數，所謂累積交通量是指路面自大型整修後至抗滑檢測當日所累積之交通流量，由於不同車型對於鋪面抗滑能力具不同的影響，故本研究根據龍潭收費站交通流量資料，將解釋變數定義為累積客貨車量（CS）及累積聯結車量（CF）。

表 4.1 累積客貨車量（CS）、累積聯結車與抗滑值（SKID）的關係表

	SKID	CS	CF
SKID	1.0000	-0.8153	-0.8182
CS	-0.8153	1.0000	0.9999
CF	-0.8182	0.9999	1.0000

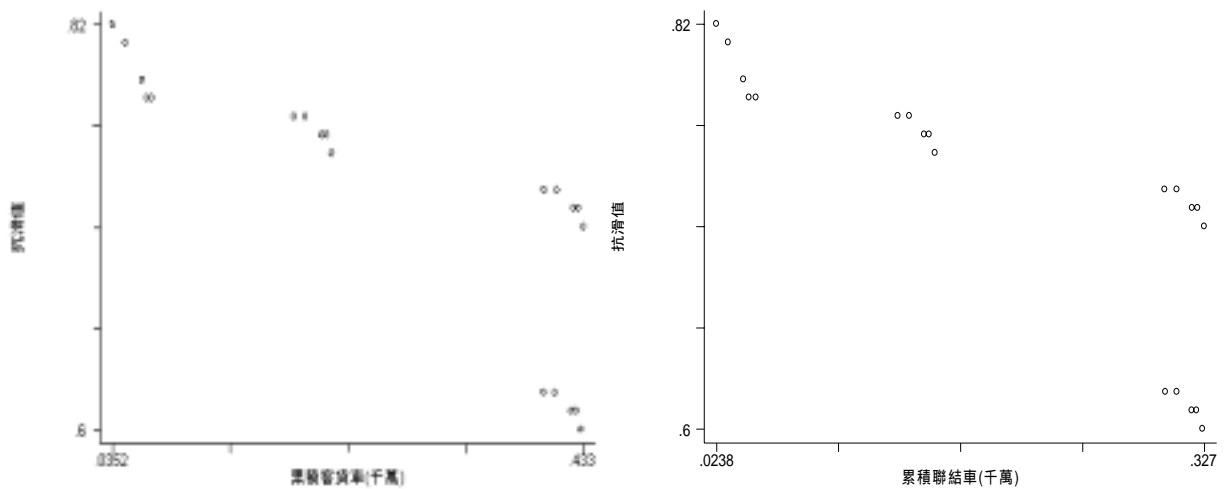


圖 4.1 累積客貨車量（CS）、累積聯結車與抗滑值（SKID）的關係圖

由上圖可以瞭解，累積客貨車量、累積聯結車與抗滑值呈現負相關的趨勢，而變數共變異矩陣，也是呈現高度的負相關，不過有一個族群的抗滑值明顯偏低，可能在模式構建時需要特別考慮此一群的資料對模式的影響；特別值注意的是在於累積客貨車量與累積聯結車呈現高度相關，因此若同時放入模式中進行驗證，則可能需要考慮到共線性的問題。

## 二、車輛軸重 (W18)

車輛軸重最主要用來表示車輛重量之分佈狀況，本研究利用動態地磅實驗蒐集重車資料，配合 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 軸重轉換公式轉換成 18 kip 之標準軸重當量以利資料之比對分析。由於重車如同交通量一樣，對於鋪面的破壞是持續累積的，此外經由累積軸重當量資料與抗滑值之資料檢視。

表 4.2 標準軸重當量與抗滑值的關係表  
(obs=20)

	SKID	W18
SKID	1.0000	-0.9790
W18	-0.9790	1.0000

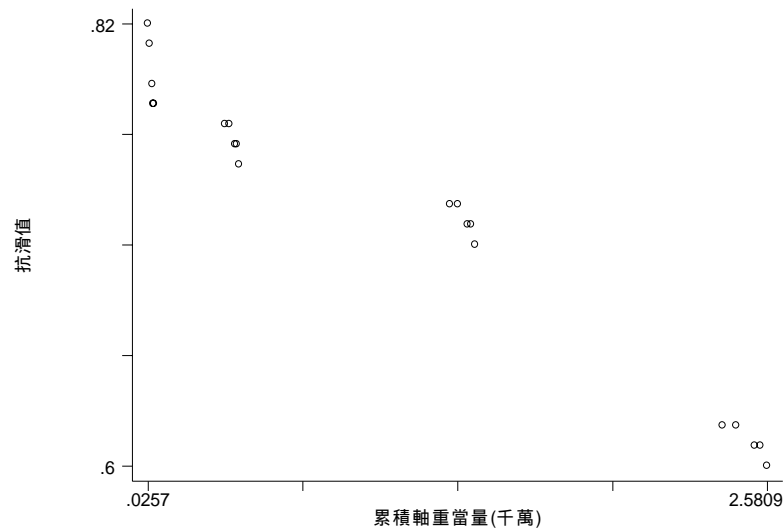


圖 4.2 標準軸重當量與抗滑值的關係圖

由上圖可以瞭解，累積軸重當量與抗滑值呈現負相關的趨勢，而變數共變異矩陣，也是呈現高度的負相關，此一現象符合之前文獻中所探討的內容，軸重當量越大，對於鋪面的損害程度越大。

### 三、鋪面壽齡 ( year )

鋪面壽齡可反應鋪面自新建或經大型整修後，運具因素或環境因素對其造成的磨損或老化情況，配合本研究之抗滑檢測工作採逐月進行，故模式解釋變數將以月為單位表示鋪面壽齡。

表 4.3 鋪面壽齡與抗滑值之關係表

obs=20 )		SKID	year
SKID		1.0000	-0.8158
year		-0.8158	1.0000

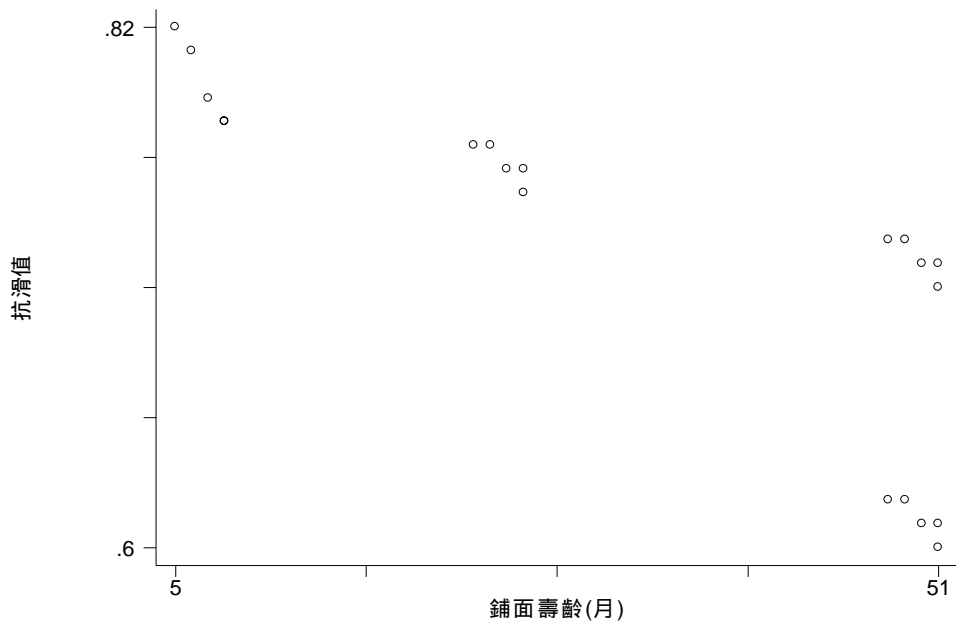


圖 4.3 鋪面壽齡與抗滑值之關係圖表

由共變數矩陣與散佈圖觀之，鋪面壽齡與抗滑值呈現負相關，符合先驗知識，鋪面使用年限越久，抗滑值則會降低，但是有一個明顯的下降趨勢，需要去瞭解此一族群對模式構建的關係。

#### 四、溫度因子

溫度為氣候資料中影響鋪面抗滑能力變化的環境因素之一，本研究對於溫度因子作為解釋變數的表示方式有三，分別為檢測當天溫度（ $T$ ）、檢測當天與前一天之溫度變化絕對值（ $DT$ ）和檢測前 5 天之平均溫度（ $FAve$ ）。

表 4.4 檢測當天溫度（ $T$ ）對抗滑值之影響表

檢測溫度（ $T$ ）	檢 測 地 點				Total
	北中車道	北外車道	南中車道	南外車道	
15.6	0.77	0.62	0.81	0.73	0.73
16.4	0.76	0.61	0.78	0.72	0.72
18	0.76	0.61	0.79	0.72	0.72
18.8	0.77	0.62	0.82	0.73	0.74
21.3	0.75	0.6	0.78	0.71	0.71
Total	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72

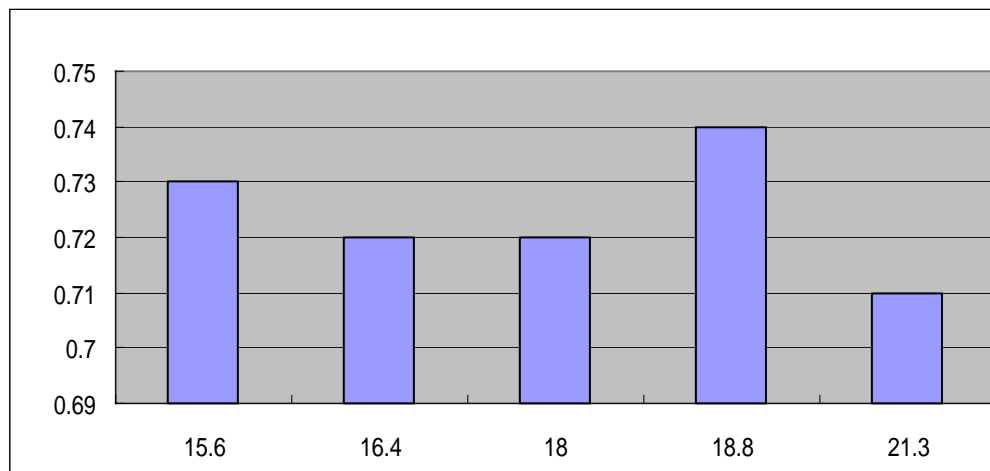


圖 4.4 檢測當天溫度（ $T$ ）對抗滑值之影響圖

由圖 4.4 與表 4.4 可以發現，在不同的溫度下其抗滑值的差異僅為小數後兩位，基本上差異不大，可能在於台灣的溫度差不明顯，導致抗滑值差異表現不明顯。



表 4.5 前一天之溫度變化絕對值 (DT) 對抗滑值之影響表

與前日溫度差 距距 ( )	檢測地點				Total
	北中車道	北外車道	南中車道	南外車道	
0.3	0.77	0.62	0.81	0.73	0.73
0.6	0.75	0.6	0.78	0.71	0.71
1.2	0.76	0.61	0.79	0.72	0.72
2.9	0.77	0.62	0.82	0.73	0.74
3.1	0.76	0.61	0.78	0.72	0.72
Total	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72

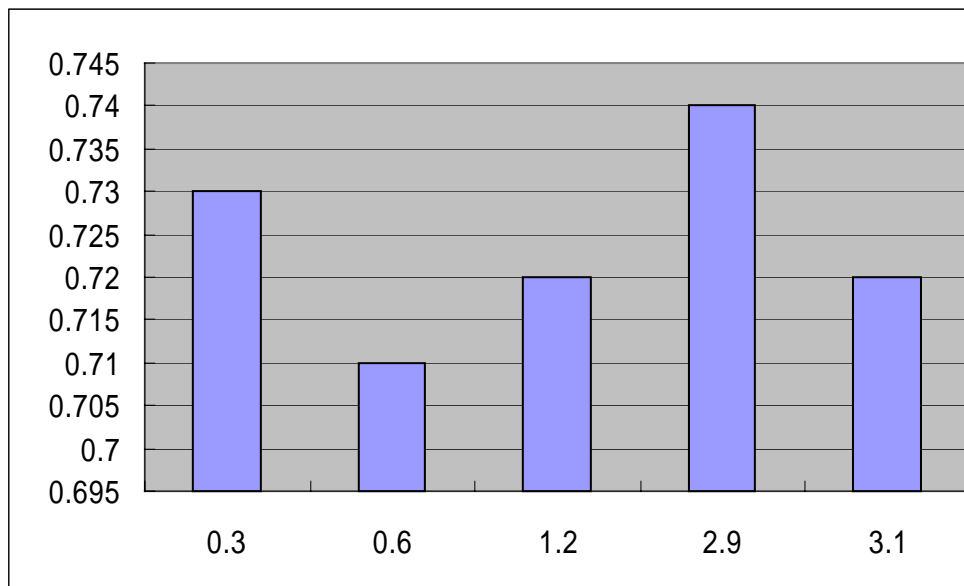


圖 4.5 前一天之溫度變化絕對值 (DT) 對抗滑值之影響圖

由圖 4.5 與表 4.5 可以瞭解前一天之溫度變化絕對值, 初步看來對於抗滑值的影響不甚顯著。

表 4.6 檢測前 5 天之平均溫度 (FAve) 對抗滑值之影響表

五天內平均溫 度 ( )	檢 測 地 點				Total
	北中車道	北外車道	南中車道	南外車道	
14.44	0.77	0.62	0.81	0.73	0.73
17.6	0.76	0.61	0.79	0.72	0.72
17.88	0.76	0.61	0.78	0.72	0.72
19.32	0.75	0.6	0.78	0.71	0.71
21.06	0.77	0.62	0.82	0.73	0.74
Total	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72

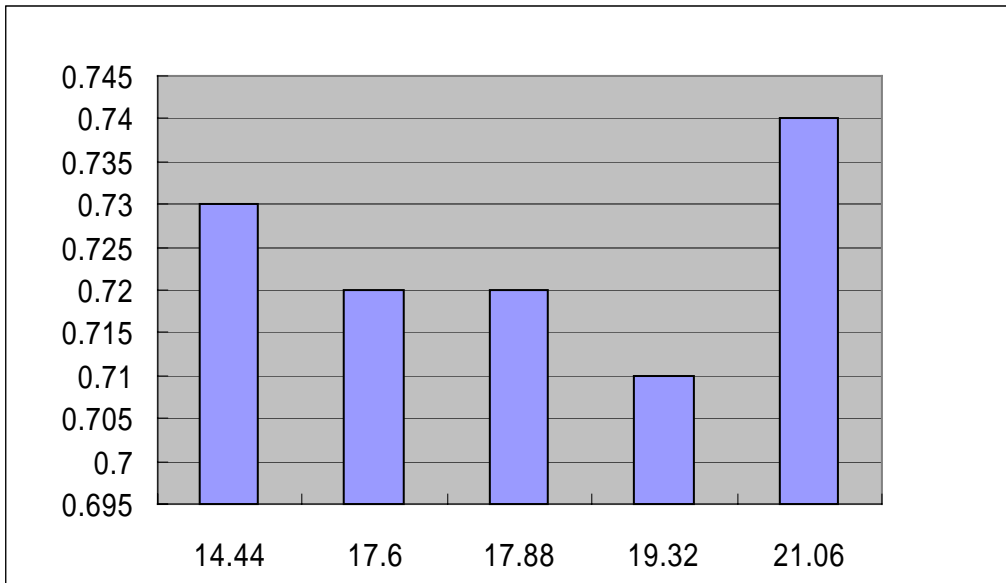


圖 4.6 檢測前 5 天之平均溫度 (FAve ) 對抗滑值之影響圖

由圖 4.6 與表 4.6 可以瞭解，前五天的平均溫度對於抗滑值的變化程度，較其他兩溫度因子明顯，雖然抗滑值的變化範圍並不會相當大。

## 五、雨量因子

雨量亦為氣候資料中影響鋪面抗滑能力變化的環境因素之一，本研究對於雨量因子作為解釋變數的表示方式分為三種，分別為檢測前 24 小時累積雨量 (Crain)、檢測前 5 天累積雨量 (FCrain) 和乾燥因子 (tr)，其中乾燥因子計算方式為  $\ln(tr + 1)$ ，tr 為距檢測當天最後一次雨量超過 2.5 mm 之天數。

表 4.7 檢測前 24 小時累積雨量 (Crain) 對抗滑值之影響表

24 小時累積雨量 (mm)	檢 測 地 點				Total
	北中車道	北外車道	南中車道	南外車道	
0	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72
1.5	0.76	0.61	0.78	0.72	0.72
Total	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72

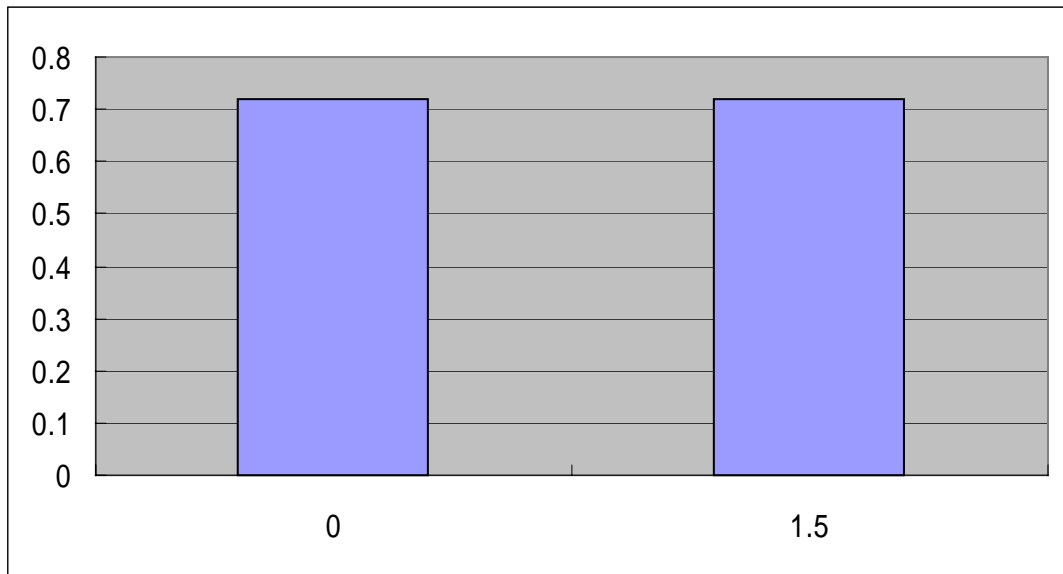


圖 4.7 檢測前 24 小時累積雨量 (Crain) 對抗滑值之影響圖

由圖 4.7 與表 4.7 可以瞭解檢測前 24 小時累積雨量 (Crain) 對於抗滑值影響不大，可能是在於本實驗所進行觀測時，需要模擬雨量的狀況施以抗滑檢測儀水膜厚度，因此檢測當天天氣選擇在晴天狀況下進行模擬檢測，故此一因子的影響不顯著。

表 4.8 檢測前 5 天累積雨量 (FCrain) 對抗滑值之影響表

五天內累積雨量 (mm)	檢 測 地 點				Total
	北中車道	北外車道	南中車道	南外車道	
0	0.77	0.62	0.81	0.73	0.73
1.5	0.76	0.61	0.78	0.72	0.72
27	0.75	0.6	0.78	0.71	0.71
Total	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72

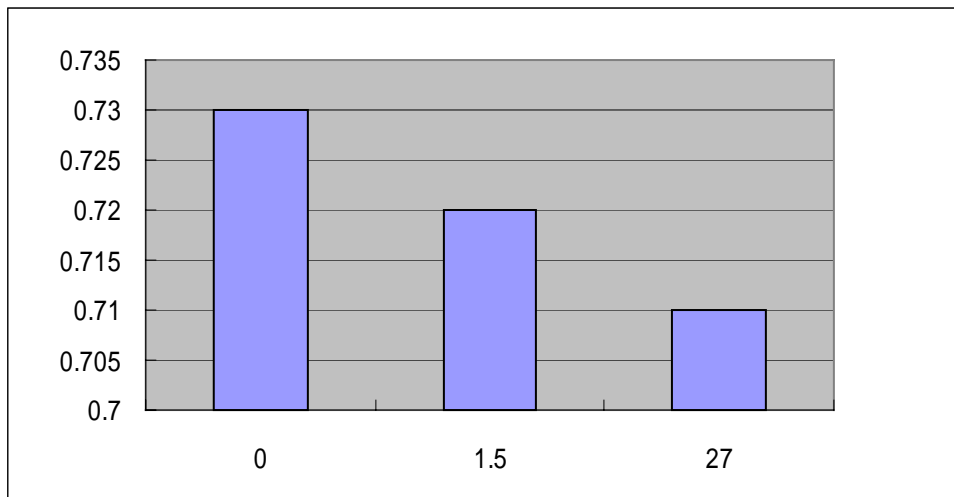


圖 4.8 檢測前 5 天累積雨量 (FCrain) 對抗滑值之影響圖

由圖 4.8 與表 4.8 可以瞭解檢測前 5 天累積雨量 (FCrain) 對於抗滑值影響不大，但是可以發現略比 24 小時累積的雨量有較明顯的差異表現，因此模式在構建時，此一因子應比 24 小時累積雨量對模式的影響較鉅。

表 4.9 乾燥因子 (tr) 對抗滑值之影響表

乾燥因子	檢測地點				Total
	北中車道	北外車道	南中車道	南外車道	
1.386	0.75	0.6	0.78	0.71	0.71
2.485	0.76	0.61	0.79	0.72	0.72
2.89	0.77	0.62	0.81	0.73	0.73
3.045	0.77	0.62	0.82	0.73	0.74
3.258	0.76	0.61	0.78	0.72	0.72
Total	0.76	0.61	0.8	0.72	0.72

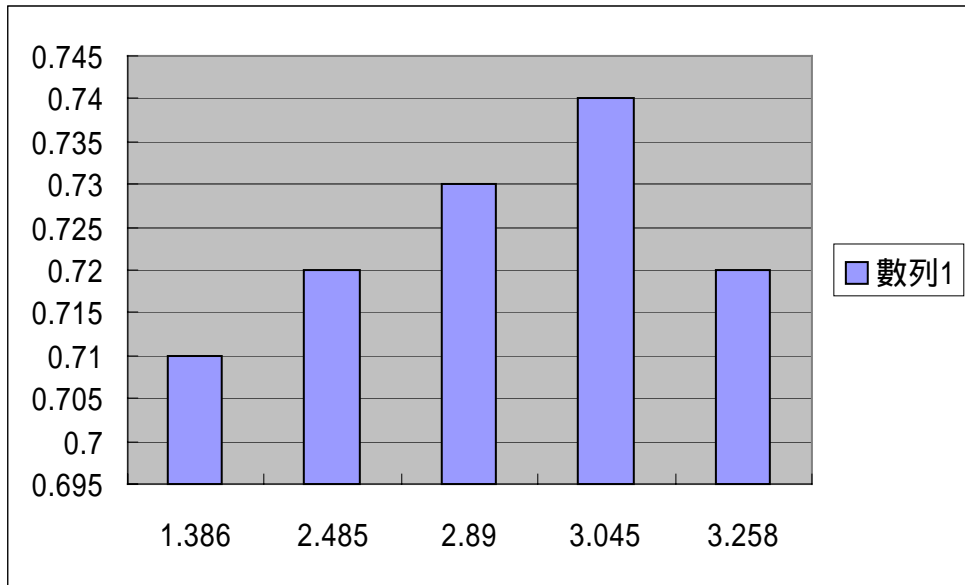


圖 4.9 乾燥因子 (tr) 對抗滑值之影響圖

由圖 4.9 與表 4.9 可以瞭解,乾燥因子似乎對於抗滑值的影響較其他因子顯著,而且其圖形,更有明顯的變化情況。

#### 4.2.2 函數型式選擇

經由文獻回顧的整理與歸納,由於迴歸分析法利用統計檢定的基礎,而可達到操作容易與預測準確的效果,對於個別抗滑值影響因素亦擁有探討的能力,因此本研究對於抗滑值預測模式的構建,擬採用迴歸分析法作為本研究之預測函數型式。

經解釋變數資料與抗滑值資料進行比較檢視之後,本研究之預測模式採線性形式,其中應變數抗滑值以 SKID 表示,其他解釋變數則如同前文定義:

表 4.10 解釋變數表

variable name	storage type	display format	variable label
lane	str8	%9s	檢測地點
skid	float	%9.0g	抗滑值
year	byte	%8.0g	鋪面壽齡 (月)
W18	float	%9.0g	累積軸重當量 (千萬)
CS	float	%9.0g	累積客貨車 (千萬)
CF	float	%9.0g	累積聯結車 (千萬)
T	float	%9.0g	檢測溫度 ( )
DT	float	%9.0g	與前日溫度差距 ( )
FAve	float	%9.0g	五天內平均溫度 ( )
Crain	float	%9.0g	24 小時累積雨量 (mm)
FCrain	float	%9.0g	五天內累積雨量 (mm)
Dr	float	%9.0g	乾燥因子
W18year	float	%9.0g	壽齡與載重當量交互作用
Direction	byte	%8.0g	方向因子
Heary Truck	byte	%8.0g	北上外車道因子
NW	byte	%8.0g	外側車道因子

### 4.2.3 模式構建

本研究利用統計軟體以逐步迴歸的方式，搜尋解釋能力最佳之解釋變數組合，其主要特點在於解釋變數之選擇乃根據變數間之相關矩陣，在摒除線性重合以及要求解釋變數顯著的限制下，尋求解釋能力最好的預測模式，本小節將根據剛性鋪面構建預測模式。

#### 一、剛性鋪面預測模式初探

剛性鋪面所有相關資料如表 4.11 所示，本研究擬構建之剛性鋪面抗滑值預測模式為分兩種，除了納入所有解釋變數資料進行預測模式構建，為求模式方便使用，保留累積客貨車及累積聯結車二個解釋變數再進行模式構建，最後比較兩模式之差異。

表 4.11 剛性鋪面相關資料整理表

資料代碼	檢測地點	抗滑值	鋪面壽齡(月)	累積軸重當量(千萬)	累積客貨車(千萬)	累積聯結車(千萬)	檢測溫度( )	與前日溫度差( )	五天內平均溫度( )	24小時累積雨量(mm)	五天內累積雨量(mm)	乾燥因子
R1	北外車道	0.62	48	2.3977	0.3994	0.3029	18.8	2.9	21.06	0	0	3.045
R2	北外車道	0.62	49	2.4543	0.4089	0.31	15.6	0.3	14.44	0	0	2.89
R3	北外車道	0.61	50	2.5289	0.4228	0.3192	18	1.2	17.6	0	0	2.485
R4	北外車道	0.61	51	2.5537	0.4269	0.3223	16.4	3.1	17.88	1.5	1.5	3.258
R5	北外車道	0.6	51	2.5809	0.431	0.3259	21.3	0.6	19.32	0	27	1.386
R6	北中車道	0.77	23	0.3444	0.1887	0.1367	18.8	2.9	21.06	0	0	3.045
R7	北中車道	0.77	24	0.3623	0.1983	0.1438	15.6	0.3	14.44	0	0	2.89
R8	北中車道	0.76	25	0.3858	0.2121	0.153	18	1.2	17.6	0	0	2.485
R9	北中車道	0.76	26	0.3936	0.2163	0.1561	16.4	3.1	17.88	1.5	1.5	3.258
R10	北中車道	0.75	26	0.4022	0.2203	0.1596	21.3	0.6	19.32	0	27	1.386
R11	南外車道	0.73	48	1.2727	0.3995	0.3024	18.8	2.9	21.06	0	0	3.045
R12	南外車道	0.73	49	1.3051	0.4104	0.31	15.6	0.3	14.44	0	0	2.89
R13	南外車道	0.72	50	1.3458	0.4245	0.3194	18	1.2	17.6	0	0	2.485
R14	南外車道	0.72	51	1.36	0.4288	0.3228	16.4	3.1	17.88	1.5	1.5	3.258
R15	南外車道	0.71	51	1.3768	0.433	0.327	21.3	0.6	19.32	0	27	1.386
R16	南中車道	0.82	5	0.0257	0.0352	0.0238	18.8	2.9	21.06	0	0	3.045
R17	南中車道	0.81	6	0.0338	0.0461	0.0313	15.6	0.3	14.44	0	0	2.89
R18	南中車道	0.79	7	0.044	0.0601	0.0408	18	1.2	17.6	0	0	2.485
R19	南中車道	0.78	8	0.0475	0.0644	0.0442	16.4	3.1	17.88	1.5	1.5	3.258
R20	南中車道	0.78	8	0.0517	0.0687	0.0484	21.3	0.6	19.32	0	27	1.386

1. 納入所有解釋變數

剛性鋪面抗滑值預測模式結果如式(2)所示，由式(2)可知迴歸分析結果將累積標準軸重當量及累積標準軸重當量平方二個解釋變數納入，其餘解釋變數則因具線性重合或統計檢定不顯著而遭篩選剔除，顯示累積標準軸重當量對剛性鋪面抗滑值的變化趨勢之影響較其他之解釋變數為高。

$$SKID = 0.79 - 0.0389W18 - 0.0127(W18)^2 \quad (2)$$

其中，SKID = 抗滑值

W18 = 累積標準軸重當量

(W18)<sup>2</sup> = 累積標準軸重當量平方

表 4.12 剛性鋪面預測模式係數統計檢定表

模式	未標準化係數		t 值	=0.05 臨界 t 值	f 值	=0.05 臨界 f 值	調整後 R <sup>2</sup> 值
	估計值	標準誤					
常數	0.79	0.005	148.944	±2.11	289.197	3.592	0.968
累積軸 重當量	-0.0389	0.012	-3.217				
累積軸 重當量 平方	-0.0127	0.005	-2.79				

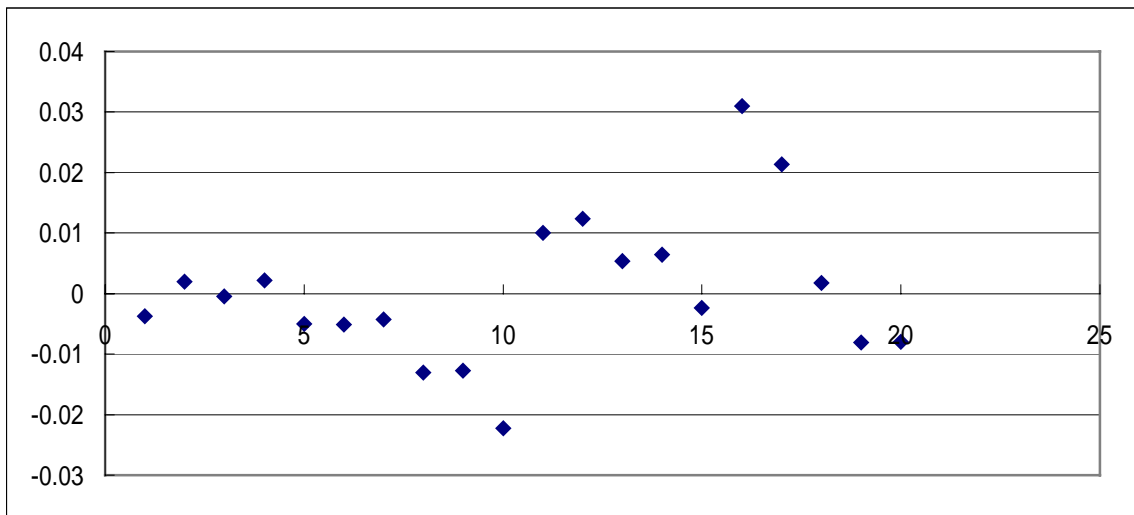


圖 4.10 剛性鋪面預測模式殘差圖

由表 4.10 可知預測模式係數皆為顯著，調整後 R<sup>2</sup> 值為 0.968，顯示模式具不錯之解釋能力。另模式 Durbin-Watson 自我相關檢定值為 0.998（臨界值為 0.99、3.01），表示模式沒有出現自我相關的現象。由圖 x.1 模式殘差圖及隨機連檢定值為 9（臨界值為 6、16）可知，模式沒有出現樣本殘差非獨立及變異數不齊一的情況，顯示本模式合乎迴歸模式之基本假設。

## 2. 保留累積交通量解釋變數

由式 (2) 可知，公路管理單位若欲利用本預測模式對抗滑值進行預測，則必須掌握公路行駛之重車標準軸重當量，對於無法或不便進行測重的路段，則有使用上的不便。



因此本研究保留累積客貨車及累積聯結車之二解釋變數再進行模式構建，希望可藉由交通流量統計即可進行抗滑值預測。然而由表 4.11 可知北上及南下之交通量相近，卻造成不同的抗滑值變化趨勢，因此模式構建需以方向加以區分，以減少模式之不合理性，模式構建結果如式 (3) (4) 所示，模式係數檢定表列於表 4.13，殘差分佈如圖 4.11、4.12 所示。

$$\text{北上： } SKID = 0.897 - 0.901CF \quad (3)$$

$$\text{南下： } SKID = 0.808 - 0.206CS \quad (4)$$

其中，SKID = 抗滑值

CS = 累積客貨車

CF = 累積聯結車

表 4.13 剛性鋪面預測模式二之係數統計檢定表

模式		未標準化係數		t 值	=0.05 臨界 t 值	f 值	=0.05 臨界 f 值	調整後 R <sup>2</sup> 值
		估計值	標準誤					
北上	常數	0.897	0.003	283.036	±2.306	206.276	5.318	0.958
	累積 聯結車	-0.901	0.013	-70.395				
南下	常數	0.808	0.006	134.055	±2.306	105.053	5.318	0.92
	累積 客貨車	-0.206	0.02	-10.25				

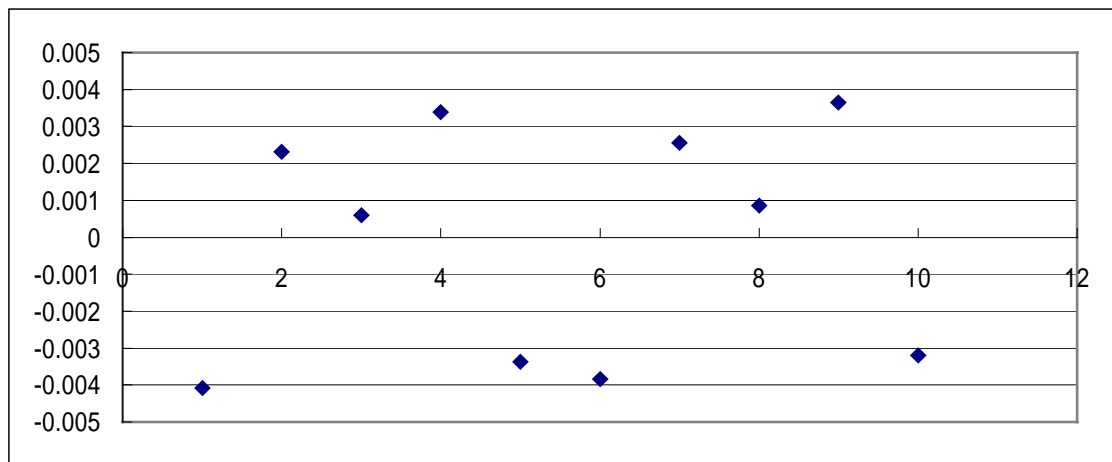


圖 4.11 剛性鋪面預測模式二之北上殘差圖

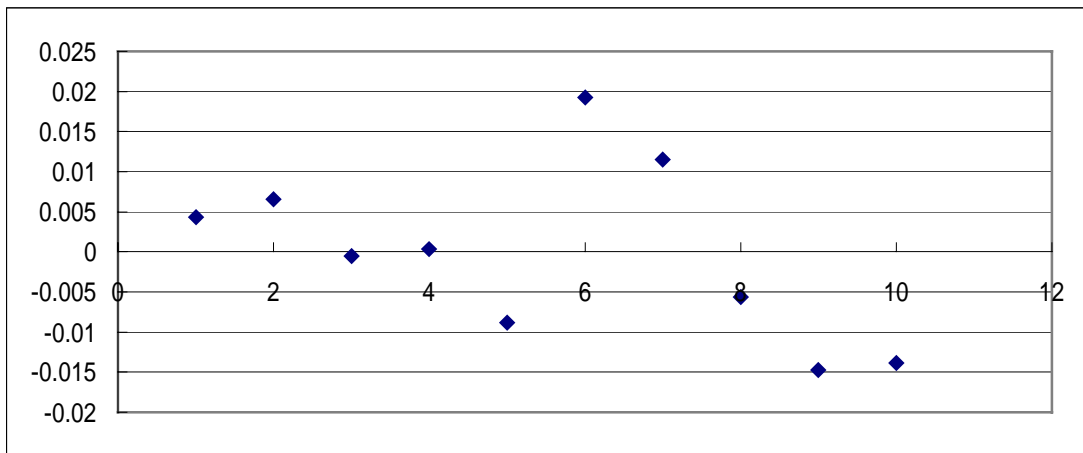


圖 4.12 剛性鋪面預測模式二之南下殘差圖

由式 (3) (4) 比較得知，若預測模式單獨保留累積客貨車及累積聯結車，則累積聯結車較可解釋剛性鋪面北上抗滑值之變化趨勢，而南下剛性鋪面抗滑值則以累積客貨車即可解釋。

由表 4.13 可知預測模式二不論北上或南下方向，模式係數皆為顯著，北上預測模式之調整後  $R^2$  值為 0.958，南下預測模式之調整後  $R^2$  值為 0.92，顯示預測模式之解釋能力雖較以累積軸重當量為解釋變數之預測模式為低，但模式仍具不錯之解釋能力。

另北上預測模式之 Durbin-Watson 自我相關檢定值為 2.165 (臨界值為 0.83、3.17)，南下預測模式之 Durbin-Watson 自我相關檢定值為 1.251 (臨界值為 0.83、3.17)，表示二個方向之預測模式皆沒有出現自我相關的現象。

由圖 4.11、4.12 之預測模式殘差圖可知，模式殘差分佈尚呈均勻，經隨機連檢定值可知，北上預測模式殘差連檢定值為 5 (臨界值為 2、9)，南下預測模式殘差連檢定值為 6 (臨界值為 2、10)，皆判定殘差隨機分佈，因此預測模式除了有不錯的解釋能力之外，亦沒有出現樣本殘差非獨立及變異數不齊一的情況，顯示本模式合乎迴歸模式之基本假設。

二個預測模式比較之下，顯示以累積交通量為解釋變數之預測模式，雖然在資料的蒐集上較累積標準軸重當量為方便，模式的解釋能力雖在許可的範圍之內。但在樣本數大幅降低的情況下，除了解釋能力卻較以累積標準軸重當量為解釋變數之預測模式為低，且必須再以方向加以區別使用，因此若在環境條件許可之下，應儘量進行重車測重，並以累積標準軸重當量作為預測模式之解釋變數。但若在環境條件無法進行測重，則以累積交通量預測鋪面抗滑值之趨勢亦是接受的方法。

表 4.14 預測模式預測能力比較表

模式種類	鋪面種類	方向	檢測值	預測值	誤差
以累積軸重當量為變數	剛性鋪面	北上	0.61	0.597825	-2.00 %
	剛性鋪面	南下	0.69	0.709341	2.80 %
以累積交通量為變數	剛性鋪面	北上	0.61	0.595706	-2.34 %
	剛性鋪面	南下	0.69	0.716227	3.80 %

本研究針對剛性模式分別驗證，以累積交通量為解釋變數之預測模式，因以方向加以區分而減少模式變異，亦有助於預測能力的提升，整體而言所有誤差皆小於±10 %以內，故所有模式的預測結果尚可接受。而由表 4.14 亦可發現，以累積標準軸重為解釋變數之模式，其預測能力較以累積交通量為解釋變數之模式為佳，因此公路單位在條件許可之下，仍應為優先使用前著。

## 二、剛性預測模式再探

針對上述所構建模式，本研究欲在進一步構建較完整的模式，將南下與北上模式結合在一起。模式構建如下表：

表 4-15 剛性鋪面預測模式

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Intercept	0.7910877 (-0.0056841)	0.7342983 (-0.0164104)	0.8496698 (-0.125355)	0.7712804 (-0.0047583)	0.7534144 (-0.009684)	0.7342983 (-0.0164104)
W18×YEAR	-0.0013564 (-0.0000802)	-0.0009805 (-0.0001217)	-0.0019148 (-0.0001252)	-0.0012568 (-0.0000503)	-0.001254 (-0.0000461)	-0.0019148 (-0.0001252)
Direction (方向別)				0.0296126 (-0.0050385)	0.297 (-0.004615)	0.0296126 (-0.0050385)
Lane (車道別)			-0.0617051 (-0.125332)			
Heavy Truck (北上重車道)		0.0505598 (-0.140729)				0.0505598 (-0.140729)
tr (乾燥因子)					0.0067667 (-0.0032754)	0.0067667 (-0.0032754)
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9458</b>	<b>0.9664</b>	<b>0.9756</b>	<b>0.9805</b>	<b>0.9846</b>	<b>0.9805</b>
<b><math>\bar{R}^2</math></b>	<b>0.9375</b>	<b>0.9624</b>	<b>0.9727</b>	<b>0.9782</b>	<b>0.9817</b>	<b>0.9782</b>

經由不斷的試算本研究得到 6 個較佳的模式，而最終的模式本研究採取幾個原則：

原則 1：由  $R^2$  與  $\bar{R}^2$  來判定哪一個模式具有較好的解釋能力。

原則 2：模式 2 至模式 6 皆須以模式 1 為比較的基準，除了原則 1 的比較基準外，受需要考慮常數項（原始抗滑值）的合理性。

原則 3：Direction、Lane 與 Heavy Truck 皆為虛擬變數，再加入虛擬變數對於原本僅有 W18×YEAR 與 tr 變數其係數為構成太大的變化才列入考量中

### 三、小結：

經由上述的原則，本研究決定以模式 4 為較佳模式，此與模式 1 比較僅多一個 Direction 變數，且變數加入對於模式的解釋能力增加，而對其他變數的顯著性影響降低不大，其他變數的係數也僅稍微的下降。

本研究經過迴歸模式檢驗，較佳模式如下：

$$SKID = 0.77123 - 0.001257X1 - 0.029613X2$$

X1: EASL×month（壽齡與累積軸重當量交互作用變數）

X2：Direction（方向變數）

$$R^2 = 0.9805 \quad \text{adj-}R^2 = 0.9782$$

Source	SS	df	MS	Number of obs	F ( 2, 17 )	20
Model	0.096106965	2	.048053482	Prob > F		0
Residual	0.001913012	17	.00011253	R-squared		0.9805
				Adj R-squared		0.9782
Total	0.098019977	19	.005158946	Root MSE		0.01061

skid	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
W18year	-0.0012568	.0000503	-24.97	0	-0.0013629 -0.0011506
direction	0.0296126	.0050385	5.88	0	0.0189823 0.040243
_cons	0.7712804	.0047583	162.09	0	0.7612413 0.7813196

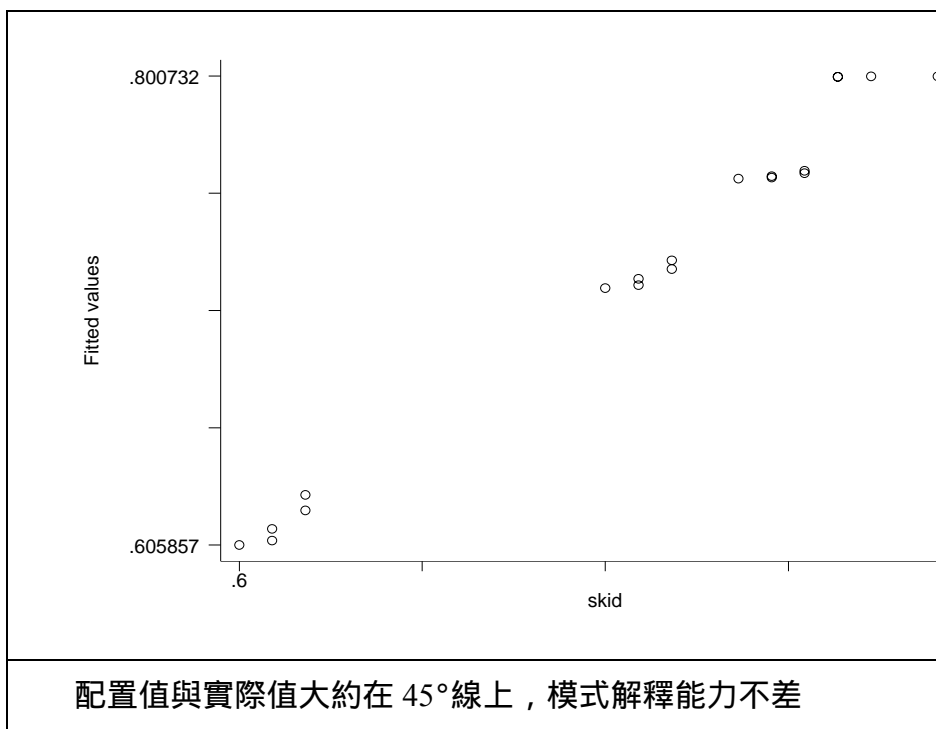


圖 4.13 配置值與實際值

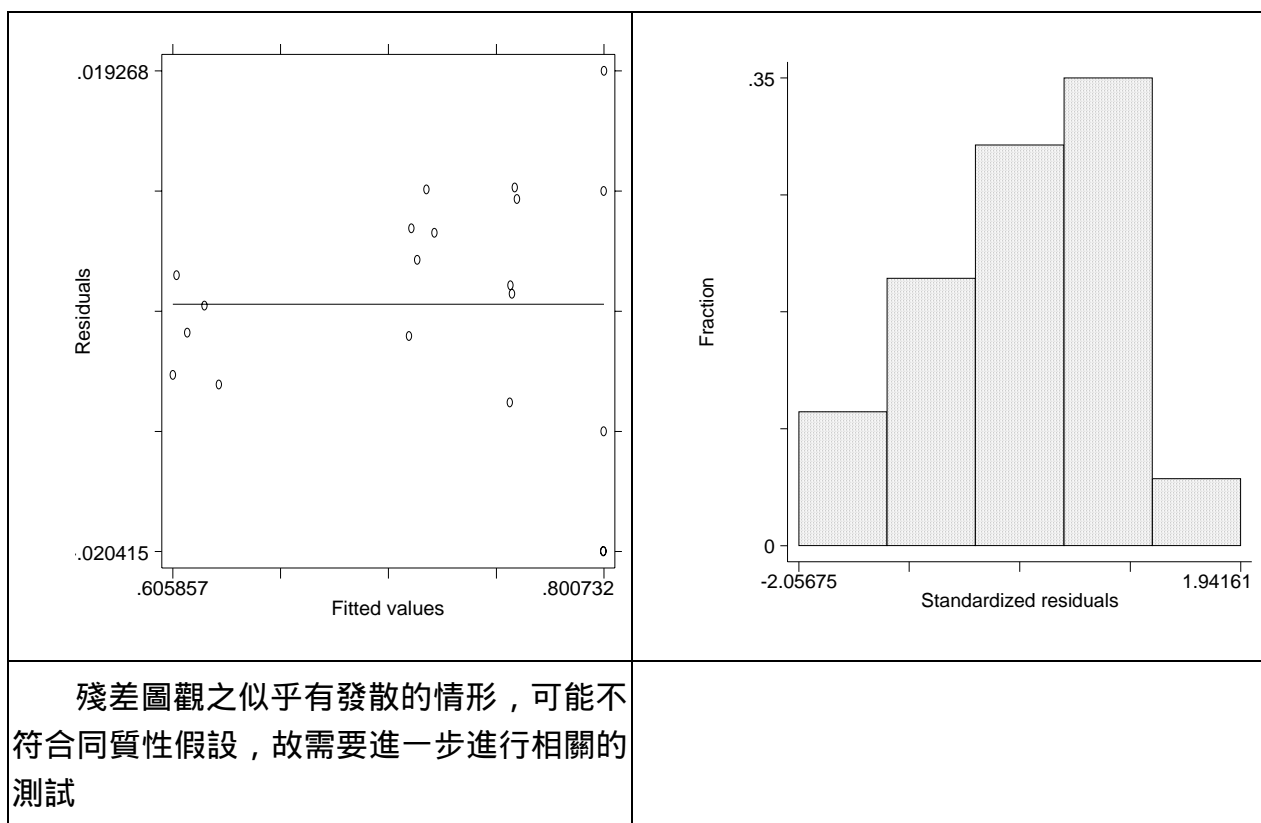


圖 4.14 殘差圖

表 4-17 常態性檢定

kewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr ( Skewness )	Pr ( Kurtosis )	adj chi2 ( 2 )	joint Prob>chi2
SKID	0.338	0.639	1.24	0.5366

殘差不拒絕常態性假設

若變數變換：Y=SKID<sup>0.5</sup>

Source	SS	df	MS	Number of obs =	20
Model	0.4184096	3	0.139469873	F ( 3, 16 ) =	462.56
Residual	0.0048242	16	0.000301515	Prob > F =	0
Total	0.4232339	19	0.022275467	R-squared =	0.9886
				Adj R-squared =	0.9865
				Root MSE =	0.01736

Y1=SKID <sup>0.5</sup>	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
( W18year ) <sup>2</sup>	0.0000116	2.72E-06	4.28	0.001	5.86E-06 0.0000174
( W18year )	0.0012101	0.0003318	3.65	0.002	0.0005068 0.0019135
direction	-0.0460869	0.0093785	-4.91	0	-0.0659684 -0.0262053
_cons	1.301081	0.0077928	166.96	0	1.284561 1.317601

$$SKID^{0.5} = 1.301081 - 0.00121X1 + 0.0000116X2 - 0.0461X3$$

X1:EASL\*month ( 壽齡與累積軸重當量交互作用變數 )

X2: ( EASL\*month )<sup>2</sup> ( 壽齡與累積軸重當量交互作用變數 )

X3:direction ( 方向變數 )

$$R^2 = 0.9886 \quad \text{adj-}R^2 = 0.9865$$

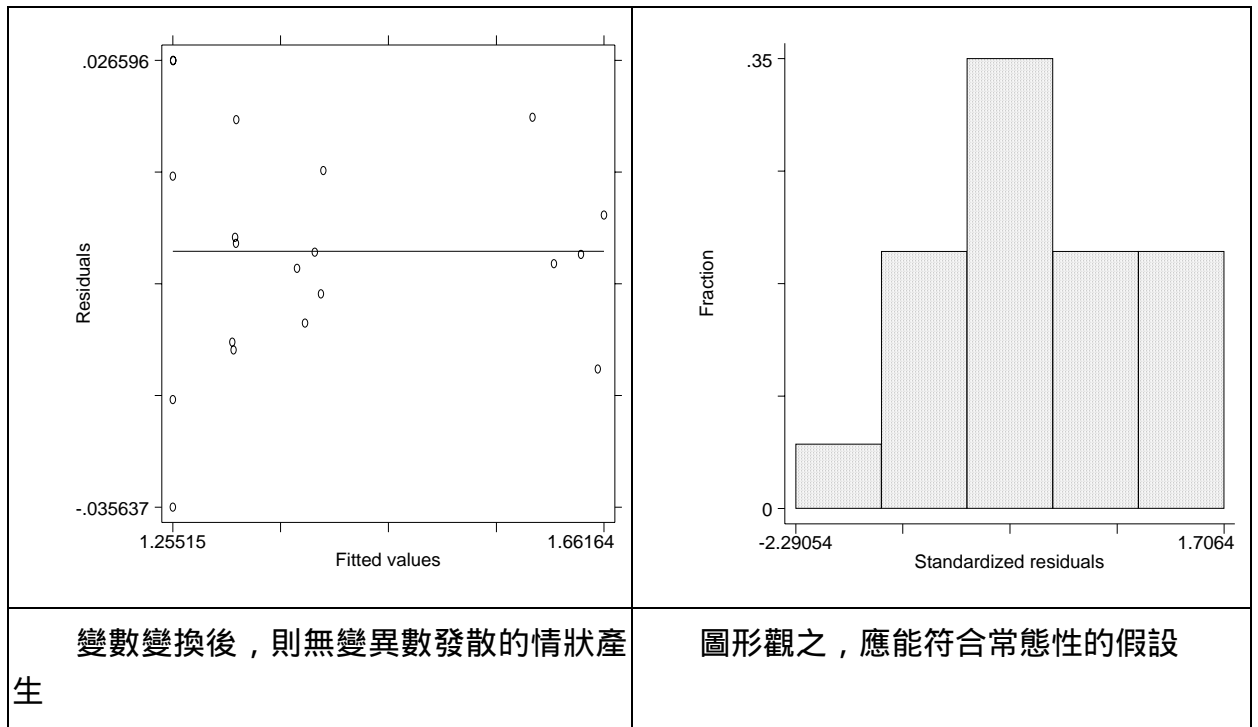


圖 4.15 殘差預測圖

表 4-18 常態性檢定

kewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr ( Skewness )	Pr ( Kurtosis )	adj chi2 ( 2 )	joint Prob>chi2
Yresidual	0.718	0.784	0.21	0.9022

殘差不拒絕常態性假設

### 4.3 養護策略

當鋪面的抗滑能力隨著累積交通量及時間而減低至安全門檻值以下時，基於駕駛人的行車安全，公路管理單位必須對鋪面進行翻修及養護。本研究在構建公路抗滑值預測模式及擬定抗滑門檻值之後，將配合一般公路養護工程時間，針對剛性鋪面進行養護策略的探討。

從式 ( 2 ) 知剛性鋪面抗滑值隨累積標準軸重當量及軸重當量平方而遞減，由於鋪面之初始抗滑值未知，故依式 ( 2 ) 假設累積標準軸重當量為 0，而推得鋪面初始抗滑值為 0.79。依據統計資料可知，剛性鋪面北上外車道平均一天累積之標準軸當量為 16839.11、北上中車道為 5317.61、南下外車道為

9015.81 及南下中車道為 2253.95，將其單位換算為千萬代入式 (2)，可得各方向各車道抗滑值隨著時間遞減的趨勢如下：

$$\text{北上外車道：} Y = 0.79 - 6.55 * 10^{-5} D - 3.6 * 10^{-8} D^2 \quad (5)$$

$$\text{北上中車道：} Y = 0.79 - 2.07 * 10^{-5} D - 3.59 * 10^{-9} D^2 \quad (6)$$

$$\text{南下外車道：} Y = 0.79 - 3.51 * 10^{-5} D - 1.03 * 10^{-8} D^2 \quad (7)$$

$$\text{南下中車道：} Y = 0.79 - 8.77 * 10^{-6} D - 6.45 * 10^{-10} D^2 \quad (8)$$

其中，Y = 抗滑值

D = 新建或大型翻修工程後之天數

上述之各方向各車道之抗滑值趨勢線可表示如圖 4.14。由圖 4.14 可知，北上外車道因承受累積標準軸重當量較多，故隨著時間經過，抗滑值遞減最快，其次為南下外車道、北上中車道及南下中車道。

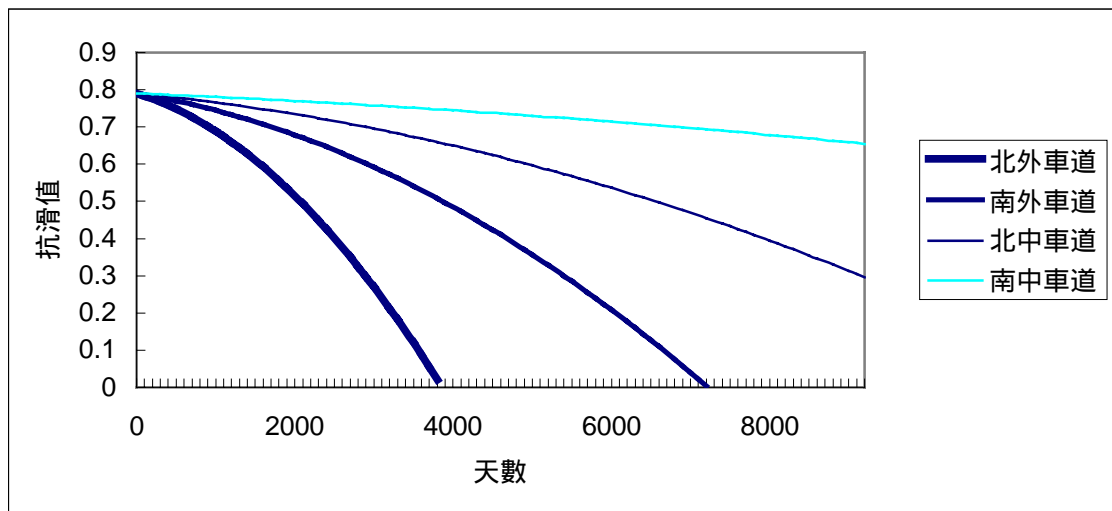


圖 4.16 剛性鋪面抗滑值預測圖

剛性鋪面道路設計年限若為 25 年，配合本研究研擬之剛性鋪面於車速 65 KPH 之抗滑門檻值 0.45，則可以推知北上外車道於新建或大型翻修後第 6 年，鋪面即必須進行養護工程以提高抗滑值，之後定期對路面進行養護工程，唯養護工程可能無法將舊有路面之抗滑能力提升至如新建路面，故仍需對其作定期檢測。

同理，南下外車道則於第 11 年、北上中車道則於第 20 年必須進行鋪面養護工程，南下外車道雖於 25 年內無需進行養護工程，但仍需定期檢測以掌握抗滑值變化趨勢。另各方向內車道由於經檢定結果抗滑值無差異，且行駛重車數量較少，故於 25 年內亦無需進行養護，但亦需定期進行抗滑值檢測。



剛性鋪面提高抗滑值之養護工程以刮槽為主，若刮槽仍不足以提升抗滑值，則可考慮重鋪或加鋪的方式改善。由於國內公路系統並無針對剛性鋪面路面進行抗滑能力改善的工程實例，故本研究以中正機場 06/24 跑道為例，刮槽面積 31800 平方尺需 45 個工作天，平均一個工作天推進約 700 平方公尺，故若車道寬以 4 公尺計，進行 3 公里之養護工程，則表示養護工程需於抗滑值降至門檻值前預留約 2 至 3 個星期施工。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

1. 根據實測抗滑值資料，可發現其抗滑值分佈北上方向較低於南下方向，顯示在同樣的交通時間之下，鋪面的抗滑值除了受交通量的影響之外，亦明顯受車輛軸重的影響。
2. 由剛性鋪面抗滑值分佈圖可發現，不論北上或南下方向，外車道之抗滑值皆明顯低於中及內車道，中車道以內車道之抗滑值差異較不明顯；如若將外車道以方向區分，可發現北上方向抗滑值明顯低於南下方向抗滑值。
3. 經過統計檢定，在 95%信心水準下，可以相信南下的抗滑值的確大於北上的抗滑值；北上外車道的抗滑值的確顯著的低於北上中車道抗滑值；南下外車道的抗滑值的確顯著的低於南下中車道抗滑值。
4. 經過統計檢定，在 95%信心水準下，可以相信抗滑值在不同方向與不同道路別是有顯著性的差異。
5. 經過統計檢定，在 95%信心水準下，可以相信不同的時間區隔對於抗滑值之影響並不顯著。
6. 本研究之公路預測模式解釋變數經整理可概分為四類：即交通量、車輛軸重、鋪面壽齡和氣候資料。交通量以累積客貨車量、累積聯結車計算，累積客貨車量、累積聯結車與抗滑值呈現負相關的趨勢；累積軸重當量與抗滑值呈現負相關的趨勢；鋪面壽齡與抗滑值呈現負相關；氣候資料考慮溫度與雨量，在不同的溫度下其抗滑值的差異僅為小數後兩位，基本上差異不大。前一天之溫度變化絕對值，初步看來對於抗滑值的影響不甚顯著。前五天的平均溫度對於抗滑值的變化程度，較其他兩溫度因子明顯。24 小時累積雨量（Crain）對於抗滑值影響不大，但是可以發現略比 24 小時累積的雨量有較明顯的差異表現。乾燥因子似乎對於抗滑值的影響較其他因子顯著
7. 剛性鋪面抗滑值預測模式結果如後所示，可知迴歸分析結果將累積標準軸重當量及累積標準軸重當量平方二個解釋變數納入，其餘解釋變數則因具線性重合或統計檢定不顯著而遭篩選剔除，顯示累積標準軸重當量對剛性鋪面抗滑值的變化趨勢之影響較其他之解釋變數為高。

$$SKID = 0.79 - 0.0389W18 - 0.0127(W18)^2$$

8. 若保留累積客貨車及累積聯結車之二解釋變數再進行模式構建，  
 北上車道模式： $SKID = 0.897 - 0.901CF$   
 南下車道模式： $SKID = 0.808 - 0.206CS$ 。
9. 若預測模式單獨保留累積客貨車及累積聯結車，則累積聯結車較可解釋剛性鋪面北上抗滑值之變化趨勢，而南下剛性鋪面抗滑值則以累積客貨車即可解釋。預測模式不論北上或南下方向，模式係數皆為顯著，北上預測模式之調整後  $R^2$  值為 0.958，南下預測模式之調整後  $R^2$  值為 0.92，顯示預測模式之解釋能力雖較以累積軸重當量為解釋變數之預測模式為低，但模式仍具不錯之解釋能力
10. 經由不斷的試算本研究得到一較佳的模式，根據 (1) 由  $R^2$  與  $\bar{R}^2$  來判定哪一個模式具有較好的解釋能力。(2) 需要考慮常數項 (原始抗滑值) 的合理性。(3) Direction、Lane 與 Heavy Truck 皆為虛擬變數，再加入虛擬變數對於原本僅有  $W18 \times YEAR$  與  $tr$  變數其係數為構成太大的變化才列入考量中等三原則，較佳模式如下： $SKID = 0.77123 - 0.001257X1 - 0.029613X2$ 。
11. 各方向各車道之抗滑值趨勢線可知，北上外車道因承受累積標準軸重當量較多，故隨著時間經過，抗滑值遞減最快，其次為南下外車道、北上 中車道及南下中車道。

## 5.2 建議

1. 剛性鋪面道路設計年限若為 25 年，配合本研究研擬之剛性鋪面於車速 65 KPH 之抗滑門檻值 0.45，則可以推知北上外車道於新建或大型翻修後第 6 年，鋪面即必須進行養護工程以提高抗滑值，之後定期對路面進行養護工程，唯養護工程可能無法將舊有路面之抗滑能力提升至如新建路面，故仍需對其作定期檢測。
2. 南下外車道則於第 11 年、北上中車道則於第 20 年必須進行鋪面養護工程，南下外車道雖於 25 年內無需進行養護工程，但仍需定期檢測以掌握抗滑值變化趨勢。另各方向內車道由於經檢定結果抗滑值無差異，且行駛重車數量較少，故於 25 年內亦無需進行養護，但亦需定期進行抗滑值檢測。
3. 公路管理單位應購置抗滑檢測儀，並定期檢測以掌握道面抗滑值變化趨勢。
4. 公路對於提升剛性鋪面抗滑能力之養護工程並不熟稔，應及早熟悉因應。

## 參考文獻

1. ICAO, "Airport Services Manual Part 2:Pavement Surface Condition", Third Edition, 1994.
2. 吳翔文,「機場跑道抗滑值預測模式及檢測規範初探」, 國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文, 民國 90 年 6 月。
3. U.S. Department of Transportation, Publication Federal Highway Administration, "Highway Pavement", National Highway Institute, Publication No. FHWA A-HI-90-026, May 1990, pp.113-125.
4. Priyantha W. Jayawickrama and Gary L. Graham, " Use of Skid Performance History as Basis for Aggregate Qualification for Seal Coats and Hot-Mix Asphalt Concrete Surface Courses", Transportation Research Record 1501, Aug. 1995, pp.31-38.
5. Samuel Owusu-Ababio, " Modeling Skid Resistance for Flexible Pavements: A comparison Between Regression and Neural Network Models", Transportation Research Record 1084, Aug. 1986, pp.40-47.
6. M. Y. Shahin, " Pavement Management for Airports, Roads, and parking Lots", Chapman & Hall ( 1994 ) , pp.90-111.
7. J. L. Emery and R. L. Rizenbergs, "Friction Performance of Pavement and Estimates of Accident", Pavement Surface Characteristics and Materials, ASTM STP 763, Dec. 1980, pp.73-87.
8. Ahmad Ardani, "Portland Cement Concrete Pavement Texturing Methods", Transportation Research Record 1544, pp.17-23.
9. Judith B. Corley-Lay, " Friction and Surface Texture Characterization of 14 Pavement Test Sections in Greenville, North Carolina", Transportation Research Record 1639, Aug. 1998, pp.155-161.
10. P. W. Jayawickrama and B. Thomas, " Correction of Field Skid Measurements for Seasonal Variations in Texas", Transportation Research Record 1639, Aug. 1998, pp.150-154.
11. B. J. Hill and J. J. Henry, "Surface Materials and Properties Related to Seasonal Variations in Skid Resistance", Pavement Surface Characteristics and Materials, ASTM STP 763, Dec. 1980, pp.45-60.
- 12.房性中,「鋪面抗滑度量測與設計基準之探討」(上), 現代營建雜誌,

第 202 期，民國 85 年 10 月。

13. 房性中，「鋪面抗滑度量測與設計基準之探討」(中)，現代營建雜誌，第 203 期，民國 85 年 11 月。

14. 房性中，「鋪面抗滑度量測與設計基準之探討」(下)，現代營建雜誌，第 205 期，民國 86 年 1 月。

15. “Grip Tester Operations Airports”, Findley, Irvine Limited, Nov. 1998.

16. [www.findleyirvine.com](http://www.findleyirvine.com)

17. 黃威穎，「鋪面抗滑檢測技術應用及機場監測評析系統建立之研究」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國 89 年 6 月。