

# 地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究



內政部建築研究所研究報告

中華民國 97 年 12 月

# 地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

計畫主持人：何所長明錦

協同主持人：廖簡任研究員慧燕

研究助理：徐宏仁

內政部建築研究所研究報告

中華民國 97 年 12 月

## 摘 要

國內滑倒事故頻傳，不但造成生命傷亡亦為健保沉重之負擔，本研究主要為引用防滑性能法規之理念，在上（96）年完成蒐集國內外相關法令規定及檢測方法比較分析，發現地面材料乾燥時其防滑係數多在安全值以上，所以潮濕狀態下之防滑係數才是提升地面防滑之關鍵。

所以本試驗以可變角度止滑計及擺錘止滑檢測儀為主，除延續前項計畫擴大測試地面材料範圍，以對國內常見之地面材料有更完整之了解外，進一步分析各項表面粗糙度參數對防滑性能之影響，以探討材料表面粗糙度是否為影響防滑性能之關鍵因素，以深入了解表面粗糙度與防滑性能之關聯性，作為未來業界研發地面防滑材料之參考，並做為未來推動檢驗機制之基礎。期從法令規定及材料業界，雙管齊下，以達到提升地面防滑性能，降低滑倒風險，維護生命安全及促進全民福祉之目標。

本研究經蒐集國內外相關研究文獻，及實際之試驗結果，發現地面材料表面粗糙度對防滑性能有明顯之影響，也經由試驗整明可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀皆可適用地面材料之防滑係數測試，其研究結果說明如下：

1. 可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀有顯著之正向關係。
2. 可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值有 6 項對防滑係數具有顯著關係，包括表面平均粗糙度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、評估長度內最大高度(Rt)、第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)，驗證既有文獻提及之摩擦力量值反映地面材料材質與表面粗糙度之關聯性討論。
3. 在排除不同材質所具有之特定變因後，相同材質中，表面粗糙度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值，另有 2 項對防滑係數具有顯著關係，包括：表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)，此更細微之表面粗糙度量測參數，表示細微輪廓形貌亦有可能影響防滑係數。

4. 比較表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值迴歸分析結果，表面粗度參數對可變角度止滑計有較高之解釋力。

基於國內目前滑倒意外頻傳，而對地面材料之防滑性能尚缺乏有效因應對策，本研究研提改善建議如下：

1. 研訂防滑係數最低標準。
2. 市售地面材料標示防滑係數。
3. 可變角度止滑計及擺錘止滑檢測儀試驗方法之法制程序。
4. 地面材料研發。
5. 建立完備之檢驗機制。
6. 行人模擬之有效性及舒適度分析驗證。
7. 材料之耐久性試驗。



# 目次

摘要	.....	I
目次	.....	III
表次	.....	V
圖次	.....	VII
第壹章	緒論	1
	第一節 緣起與目的	1
	一、緣起	1
	二、前一期研究	2
	三、研究計畫內容目的	3
	第二節 相關文獻回顧	4
	第三節 相關名詞定義	7
	第四節 研究方法與流程	9
第貳章	防滑性能與粗度量測原理	11
	第一節 防滑性能量測原理探討	11
	一、利用靜摩擦係數量測原理	12
	二、利用動摩擦係數量測原理	13
	三、利用傾斜之絞接撐桿量測地板防滑性	13
	第二節 表面粗度量測原理探討	14
	一、表面粗度量測原理	14
	二、表面粗糙度之表示法	16
	第三節 小結	23
第參章	實驗規劃	25
	第一節 可變角度止滑試驗計	26
	一、可變角度止滑計儀器性能	26
	二、可變角度止滑計測試標準方法	28
	三、試驗步驟	28
	四、檢測方法檢討	29
	第二節 擺錘止滑檢測儀	31
	一、擺錘止滑檢測儀儀器性能	31
	二、擺錘止滑檢測儀試驗執行	32
	三、適用之對象及限制	33
	四、測試值與防滑性關係	34
	第三節 表面粗糙度分析儀	35
	一、表面粗糙度分析儀儀器性能	35
	二、表面粗糙度分析儀試驗執行	36

第四節	地面材料試體選擇	37
一、	不同材質與表面粗度	37
二、	試體選擇	38
第五節	小結	39
第肆章	試驗結果分析及比較	41
第一節	不同材質之試驗結果分析	43
一、	實驗結果基本資料說明	43
二、	防滑係數與表面粗度參數分析	47
第二節	不同材質之試驗結果討論	50
第三節	相同材質之試驗結果分析	51
一、	實驗結果基本資料說明	51
二、	防滑係數與表面粗度參數分析	53
第四節	相同材質之試驗結果討論	56
第伍章	結論與建議	57
第一節	結論	57
一、	試驗方法檢討	57
二、	試驗結果發現	57
三、	研究限制	59
第二節	研究建議	61
一、	立即可行之建議	61
二、	中長期建議	61
附錄		63
附錄 1.1、	表面性質與狀態之參數	63
附錄 1.2、	各國常用表面粗糙度表示法	64
附錄 1.3、	工業界表面粗度特性值之最大值與最小值	65
附錄 2.1、	相同材質防滑係數試驗結果一覽表	67
附錄 2.2、	相同材質表面粗度參數試驗結果一覽表	69
附錄 2.3、	不同材質防滑係數試驗結果一覽表	71
附錄 2.4、	不同材質表面粗度參數試驗結果一覽表	73
附錄 3.1、	期中報告審查會議紀錄	77
附錄 3.2、	座談會議紀錄	82
附錄 3.3、	期末報告審查會議紀錄	85
文獻回顧		91
國內文獻		91
國外文獻		92
網站資料		94

## 表 次

表 2-3.1	防滑性能測量原理及儀器名稱與性能指標一覽表 .....	23
表 3-2.1	擺錘止滑檢測儀依據 (BS 7976) 測試值與滑倒風險性關係表 ...	34
表 3-4.1	依據 CNS 標準地磚之性質規定一覽表 .....	37
表 3-4.2	本研究採用之不同材質試體計畫 .....	38
表 3-4.3	本研究採用之相同材質試體計畫 .....	38
表 3-5.1	常用之地板止滑性量測之試驗標準及其適用範圍 .....	39
表 4-1.1	不同表面粗度值變數與防滑係數平均數量測結果一覽表 .....	44
表 4-1.2	不同表面粗度值變數與防滑係數相關性分析 .....	47
表 4-2.1	安山岩表面粗度值與防滑係數平均數量測結果一覽表 .....	51
表 4-2.2	安山岩表面粗度值變數與防滑係數相關性分析 .....	53





## 圖 次

圖 1.2.1	鞋底與地面材料間水膜之潤滑作用 .....	6
圖 1.2.2	表面粗糙方式示意圖 .....	6
圖 1-4.1	研究流程圖 .....	10
圖 2-1.1	表面靜摩擦係數量測方法之一 .....	12
圖 2-1.2	靜摩擦角量測方式之二 .....	12
圖 2-1.3	ASTM E303 英式擺錘止滑檢測儀 .....	13
圖 2-1.4	以絞接撐桿方式量測地板之防滑性能 .....	13
圖 2-2.1	表面輪廓斷面曲線(包含粗糙度曲線與波浪起伏的曲線) .....	14
圖 2-2.2	表面粗度量測及取樣規定 .....	15
圖 2-2.3	測量長度範圍內之中心線平均粗糙度值 Ra .....	17
圖 2-2.4	曲線平均線 .....	17
圖 2-2.5	最大峰谷距離 .....	18
圖 2-2.6	粗度曲線的最大高度 .....	18
圖 2-2.7	平均波峰間距 .....	19
圖 2-2.8	表面高度斜度 .....	19
圖 2-2.9	波峰分佈陡峭度尖峰高度 .....	20
圖 2-2.10	每個取捨長度中第三高峰至第三低谷的平均高度 .....	21
圖 2-2.11	高峰等效面積直角三角形 .....	21
圖 2-2.12	每個取捨長度峰谷高度平均值 .....	22
圖 3-1.1	可變角度止滑計測試之理論依據 .....	26
圖 3-1.2	可變角度計圖解 .....	26
圖 3-1.3	可變角度止滑計側面 .....	27
圖 3-1.4	可變角度止滑計正面 .....	27
圖 3-1.5	可變角度止滑計刻度 .....	27
圖 3-2.1	ASTM E303 擺錘試驗計 .....	31
圖 3-2.2	本研究使用之擺錘止滑檢測儀 .....	32
圖 3-2.3	擺錘止滑檢測儀係數讀表 .....	32
圖 3-2.4	試體固定器 .....	32
圖 3-3.1	Surfcorder SE500 粗糙度分析儀 .....	35
圖 3-3.2	表面粗糙度分析儀 .....	35
圖 3-3.3	探測器前端尖頭掃描 .....	36
圖 4-1.1	不同材料可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值分布圖 ..	45
圖 4-1.2	不同材料表面粗度數值及輪廓對照示意圖 .....	46
圖 4-1.3	不同材料防滑係數與表面粗度值迴歸分析圖 .....	48
圖 4-2.1	相同材料可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值分布圖 ..	52

圖 4-2.2	安山岩表面粗度數值及輪廓對照示意圖	53
圖 4-2.3	防滑係數與安山岩表面粗度值迴歸分析圖	54
圖 5-1.1	窯燒花崗岩三維表面分析圖	59



## 第壹章 緒論

國內滑倒事故頻傳，不但造成生命傷亡亦為健保沉重之負擔，本研究主要為引用防滑性能法規之理念，在上一期完成蒐集國內外相關法令規定及檢測方法比較分析，發現可變角度止滑計具有良好得測試性能，本期延續針對地面材料之表面處理與防滑性能之關聯性進行研究。本章主要說明研究之緣起與目的，研究背景說明，並界定研究範圍、定義相關名詞，國內外相關文獻回顧、及敘明研究方法及流程。

### 第一節 緣起與目的

#### 一、緣起

滑倒是常見的意外，所以大家往往會忽視其嚴重性，依據國民健康局統計，指出在 95 年約有 1/5 的老人曾發生跌倒意外（蔡益堅等，2007），另陳嘉基教授 1996 年對國內所作之研究調查，亦顯示有超過五成的人曾在家裡發生跌倒或滑倒意外，而國內醫院統計更指出，每年約有 200 萬以上的跌倒意外（玉里醫院感染委員會，2006）。這些意外雖多不至於造成死亡，但部份可能導致嚴重後果，其中尤其是老年人、糖尿病患者，往往造成嚴重的問題，除因而造成病患本身及家屬之痛苦與負擔外，因而造成的健保支付費用超過數十億元，顯然防止滑倒不但是維護生命安全，也是減少資源損失、提升社會福祉的關鍵課題之一。

依據相關文獻回顧，滑倒與個人及場地等多項因素有關，而其中提升地面材料之防滑性能為較易掌握之關鍵要素，本所於上（96）年針對地面材料防滑性能及量測方法進行研究，並選用三種量測儀器，包括手拉式水平測力計、可變角度止滑計及 ASTM 825 止滑計，針對國內磁磚進行量測。

前述研究結果發現，就精確性、有效性與一致性比較，三種儀器中，以可變角度止滑計最佳；至於磁磚之防滑性能，在乾燥狀態下多數磁磚之防滑係數都可以達到 0.5 的最低安全標準，惟在潮濕狀態下，則僅有少數磁磚可以達到該標準，且研究發現材料表面粗糙者有較高之防滑係數。

本研究延續前項計畫，除擴大測試地面材料範圍，加入石材、磨石子地磚等，以對國內常見之地面材料有更完整之了解，使防滑相關法令訂定有更確切之參考依據，並進一步比較不同止滑計之性能，以做為未來推動檢驗機制之基礎，同時探討粗糙表面對防滑性能之影響，以期掌握地面材料防滑之關鍵要素，提供業界參考。期從法令規定及材料業界，雙管齊下，以達到提升地面防滑性能，降低滑倒風險，維護生命安全及促進全民福祉之目標。

## 二、前一期研究

主要係引用性能法規之理念，期以法令規範合理之性能基準，並藉由標準之量測方法明確標示地面材料之防滑性能。研究方法主要包括文獻蒐集分析、實際進行地面材料試驗等。研究結果發現：

### (一) 法令規定及試驗方法檢討

1. 國內法令規定亟待檢討改善：國家檢驗標準雖有地面材料防滑係數試驗之規定，但並非應施檢驗項目，且因建築相關法令亦未訂定防滑地面應具之最低性能標準，相關規定極待改善加強。
2. 防滑性能基準：目前世界上計有 70 餘種地面防滑性能測試儀器，惟各儀器之輸出值，並非永遠一致，且尚無已知的方法，來計算各類摩擦計所得結果的相關性，所以各國皆未強制規定，惟美國相關法令建議在水平地面之最低防滑係數宜為 0.5 以上，在坡道上則宜提高為 0.7。
3. 防滑性能檢測儀器：良好測試儀器必須具備 1) 精確性 (Precision)：即同一試體在相同之操作程序下，得到相同之試驗結果；2) 有效性 (Validity)：試驗之結果可確實反映試驗之目的；及 3) 一致性 (Consistency)：同型之儀器對同一材料，可得到相同試驗結果。

### (二) 試驗結果發現

1. 儀器之適用性：試驗結果發現，就儀器之精確性、有效性與一致性做比較，本研究所採用之三種儀器中，以可變角度止滑計最佳。

2. 潮濕狀態下防滑性能較差：本試驗就磁磚與石材所進行之 16 件試體，在乾燥狀態下其防滑係數皆高於 0.5，但是在潮濕狀態下依據可變角度止滑計之測試結果，僅有 5 件高於 0.5，證實潮濕狀態下材料防滑性能較差之理論。
3. 表面粗糙可提升防滑性能：相同材質之磁磚，表面粗糙者，在潮濕狀態下，其防滑係數較表面平滑者高，證實相關文獻表面粗糙具較佳之防滑性能理論。

### (三) 後續研究建議

1. 辦理各種不同地面材料及適合之測試儀器研究，以研訂完備之法令及建立檢驗機制，以落實推動地面材料防滑性能之提升。
2. 針對地面材料之表面粗度特性與防滑性能之關聯性進行研究，以作為研發防滑材料之參考。

### 三、研究計畫內容及目的

本計畫依據上述建議，延續探討材料表面粗度與防滑性能之關聯性進行研究，以探討材料表面粗度是否為影響防滑性能之關鍵因素，同時利用表面粗度計，進一步探討材料表面粗糙度之各項特性對防滑性能之影響，以深入了解表面粗度與防滑性能之關聯性，作為未來研發地面防滑材料之參考，同時也可做為未來判斷地面材料是否具備防滑性能之初步判斷依據。

## 第二節 相關文獻回顧

國內研究文獻指出，較粗糙的表面通常會有較高的防滑係數（陳嘉基、張嘉祥，1997；謝孟傑、呂彥賓，2006），而本研究在前一期計畫中亦經証實此論點，惟前述研究皆僅做概念性之比較，即所謂較粗糙表面只是相對的比較，對粗糙之程度及其特性缺乏量化描述。

參考國外相關研究，由於表面粗度在防滑性能上扮演重要的角色，Procter 等人於 1988 年使用水動態夾擠薄膜理論 (hydrodynamic squeeze film theory)，證明要改善防滑性能，需有特定的表面粗度。Harris 等人於 1988 年評估十種受污染地面材料表面，在他們的研究中，防滑性能與表面參數  $R_{tm}$  (平均峰谷距離) 間的斯皮爾曼等級相關 (Spearman rank correlation) 係數為 0.83，且  $p$  值小於 0.1。他們也指出潮濕地面材料的峰谷間之粗糙度需為 8 至 10 微米 ( $\mu m$ )，方可達到適當之防滑性。Stevenson 等人於 1989 年的研究，證明鋼表面與水泥表面的粗糙度不同，並用模擬人類行走的動態設計，來測量這兩類地面材料的防滑性，結論指出動摩擦係數大多會隨地面材料表面粗度的算術平均值 ( $R_a$ ) 增加而呈線性增加，且當超過特定的  $R_a$  值時，動摩擦係數只會些微增加。Manning 等人於 1990 年及 1994 年的研究中，使用牽引行走測試 (traction walking test) 來評估鞋子於受污染地面材料的防滑性，他們使用數種磨耗 (polishing effect) 法來模擬拋光對行走的影響。他們指出平均峰谷距離，對鞋子表面及測得的摩擦力間的斯皮爾曼等級相關係數，於潮濕及有油的表面分別為 0.64 ( $p < 0.05$ ) 及 0.757 ( $p < 0.025$ )。

Gronqvist 等人於 1990 年的研究中，以其他的模擬人類行走的動態裝置，來測量數種受污染地面材料材質的防滑性，他們指出所測得的摩擦力與地面材料表面粗度的算術平均值 ( $R_a$ ) 之間的「皮爾森積差相關」 (Pearson's product-moment) 係數，及「斯皮爾曼等級相關係數」分別為 0.87 與 0.86，且  $p$  值均小於 0.001，他們同時也指出適當的地面材料表面粗度算術平均值 ( $R_a$ ) 應為 7 至 9 微米，方能產生良好的防滑性。Lloyd 等人於 1992 年使用與 Stevenson 等人 1989 年研究相同的設定，來測

量數種受污染地面材料材質的防滑性，並導入包含  $R_q$ (表面高度的均方根值)、 $\lambda_q$ (波長的均方根值)、及  $R_{sk}$ (表面高度的斜度)的粗糙度指標，結論指出摩擦力與粗糙度指標間的相關係數為 0.983( $p < 0.001$ )。

前述文獻報告的結果中有兩項常見的問題。第一個問題是地面材料表面粗度的算術平均值與平均峰谷距離只能有限度的代表材料表面特徵。例如，兩個有相同振幅但頻率不同的正弦波，具有相同的  $R_a$  與  $R_{tm}$  值，但其摩擦力特徵卻截然不同。第二個問題是使用數種地面材料材質，來涵蓋不同的表面粗度，因為摩擦力也會受材質影響，所以大多數摩擦力的量值，反映地面材料材質與表面粗度的加成效應，所以應使用相同的地面材質與鞋子材質，以探討表面粗度的影響。

Stevenson 等人於 1989 年的研究以同樣的地面材料材質，不同的表面粗度作測試，但他們僅用地面材料表面粗度的算術平均值( $R_a$ )來代表材料表面。Manning 等人於 1990 年的以同樣的材料不同表面粗度的鞋底探討粗糙度對防滑之影響，但他們只使用平均峰谷距離來代表鞋子表面，而未測量地面材料表面的粗糙度，由於鞋底硬度通常不如地面材料，所以鞋子接觸地面時，會產生較大的變形，因此鞋底表面粗度，比地面材料表面粗度較不重要。

英國 HSE 於 2005 年應用表面最低粗糙度來補強擺錘止滑檢測儀測量的數據，並提出最低粗糙度值相對於地面污染之函數，如當污染物為水或咖啡時，最低粗糙度值須為 20 $\mu\text{m}$ ，當污染物為肥皂液時，則最低粗糙度值必需提高為 45 $\mu\text{m}$ ，方可符合安全標準。Wen-Rury Chang 於 1999 年，以相同的磁磚材質利用噴砂處理，而使表面粗度產生系統上的差異，該研究共探討 21 項表面參數，對乾的表面而言，表面參數  $R_a$  與  $R_{3z}$ ，與測得的防滑係數有最高的相關性。而於濕表面中，表面參數  $R_{pk}$  與  $R_{pm}$  則與測得的防滑係數有最高的相關性。English William 於 2003 年指出，對濕的表面來說，較尖及較高的峰度，及磁磚表面有最佳的高峰密度時，可使防滑係數進一步增加，他提出鞋底與地面材料間之水膜潤滑作用如圖 1.2.1，及比較防滑性能較優良之表面處理方式如圖 1.2.2。

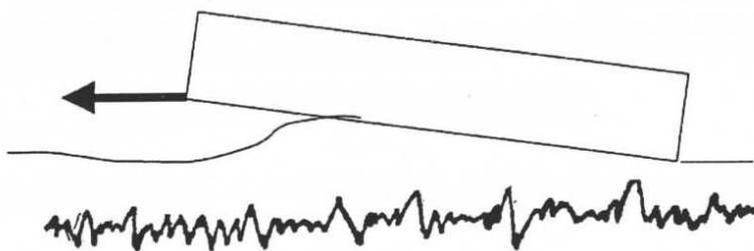


圖 1.2.1 鞋底與地面材料間水膜之潤滑作用

圖來源：「*Pedestrian Slip Resistance*」 p. 4

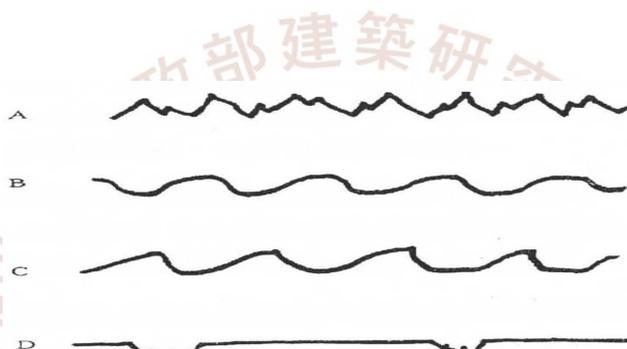


圖 1.2.2 表面粗糙方式示意圖

(防滑性能最佳者依次為 A、B、C、D)

圖來源：「*Pedestrian Slip Resistance*」 p. 5

綜合目前相關文獻，小結如下：

1. 防滑係數大多會隨地面材料表面粗度的算術平均值(Ra)增加而呈線性增加，且當超過特定的 Ra 值時，係數只會些微增加。
2. 適當的地面材料表面粗度算術平均值(Ra)應為 7 至 9 微米，方能產生良好的的防滑性。
3. 在乾燥狀態下，防滑性能與材料表面粗度之算術平均值 Ra、每個取捨長度中第三高峰至第三低谷的平均高度 R3z 最為相關；在潮濕狀態下，防滑性能與材料表面粗度之尖峰高度 Rpk 與每個取捨長度的峰谷高度的平均值 Rpm，有最高之相關性。

### 第三節 相關名詞定義

本文為研究需要，先對相關名詞、用語作明確定義，為避免造成名詞混淆，定義多依現行法令規定，如法令未規定者，則由本研究參酌相關研究文獻定義，各名詞定義臚列如下：

1. 地面材料：目前法令並無相關定義，在本研究中泛指應用於地面表面之材料，包括磁磚、木板、石材等，與 CNS 相關標準中之「地板材料」、「地坪材料」類似，本研究參考建築技術規則相關用語，統一稱之為地面材料。
2. 滑倒 (slip)：指同一水平面上之跌倒<sup>註1</sup>。
3. 防滑：簡而言之，就是可讓人行走並避免滑倒。
4. 摩擦力(friction)：當兩物體相接觸，其中一物體傾向沿著接觸面相對於另一物體移動所產生之抵抗力<sup>註2</sup>。
5. 防滑地面 (non-slip surface)：對步行者作用地面表面的力，提供足夠的摩擦力使行走安全<sup>註3</sup>。
6. 靜摩擦係數(static coefficient of friction, SCOF)：正好能克服摩擦力所需之力與其正向力之比值<sup>註4</sup>。為材料在靜止狀態所作之止滑測試，紀錄物體產生滑動時所需之力量即為其靜摩擦係數。
7. 動態摩擦係數 (dynamic coefficient of friction, DCOF)：材料在相對移動之狀態下所作之測試值。
8. 防滑係數 (slip index)：地面防滑之程度之衡量指標，因測試儀器之不同，理論上分為靜摩擦係數及動摩擦係數，惟目前在應用上，通常以防滑係數稱之<sup>註5</sup>，

註1：依據「國際疾病傷害及死因分類標準」之定義。

註2：依據 CNS「陶瓷面磚或類似材料表面靜摩擦係數試驗法」2.用語定義。

註3：依據 The assessment of pedestrian slip risk, "provides sufficient frictional counterforce to the forces exerted in walking to permit safe ambulation."

註4：同註2。

註5：參考「Ten Myths Concerning Slip-Resistance Measurement」。

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

與 CNS 相關標準中之「止滑係數」意義相同，本研究針對防滑測試儀器測得之數值，統一稱為防滑係數。



## 第四節 研究方法與流程

本研究採用之方法主要包括文獻搜及分析、實際試驗及統計迴歸分析方法等。

### 一、研究方法

1. 文獻蒐集：國內外相關研究文獻蒐集及比較分析。
2. 實際試驗：進行防滑性能試驗集材料表面粗度量測，以探討表粗糙度對防滑性能之影響。
3. 統計分析：就試驗結果，以相關性檢驗與線性迴歸分析法，分析各粗度值與防滑性能之關聯性。

### 二、試驗規劃

#### (一) 量測儀器

1. 防滑性能量測儀器：本研究採用在上一期研究中，經證明性能較佳之「可變角度止滑計」外，另外將再加入目前 ASTM E303-93 檢測標準之「擺錘止滑檢測儀」，作為量測防滑係數之儀器。
2. 表面粗度量測：採用之粗糙度分析儀，為日製 Surfcom SE500 型，垂直解析度  $16\mu\text{m}$ （更換探針後可達  $1048.6\mu\text{m}$ ），並經切斷長度(cut-off length)過濾長度計測，以量測材料之表面粗度，包括表面平均粗度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、平均波峰間距(RSm)、表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)、評估長度內最大高度(Rt)、每個取捨長度中第三高峰至第三低谷的平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)與每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)等 9 項參數。

#### (二) 試驗規劃

1. 不同材質表面粗度影響試驗：包括磁磚及石材等 11 種地面材料，分別就乾燥及潮濕之狀態，探討表面粗度與防滑性能之關聯性。
2. 相同材質表面粗度影響試驗：採用相同材質之天然石材（安山岩），選取不同表面

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

加工處理方式，使表面粗糙度分別有 5 種不同程度之變化，以探討表面粗度與防滑性能之關聯性。

### 三、試驗結果分析

1. 統計分析：以相關性檢定及線性迴歸分析法，分別檢討分析各粗度值與防滑性能之關聯性。
2. 文獻比較及檢討：統計分析結果與相關研究文獻進行比較及檢討。

### 四、研究流程圖

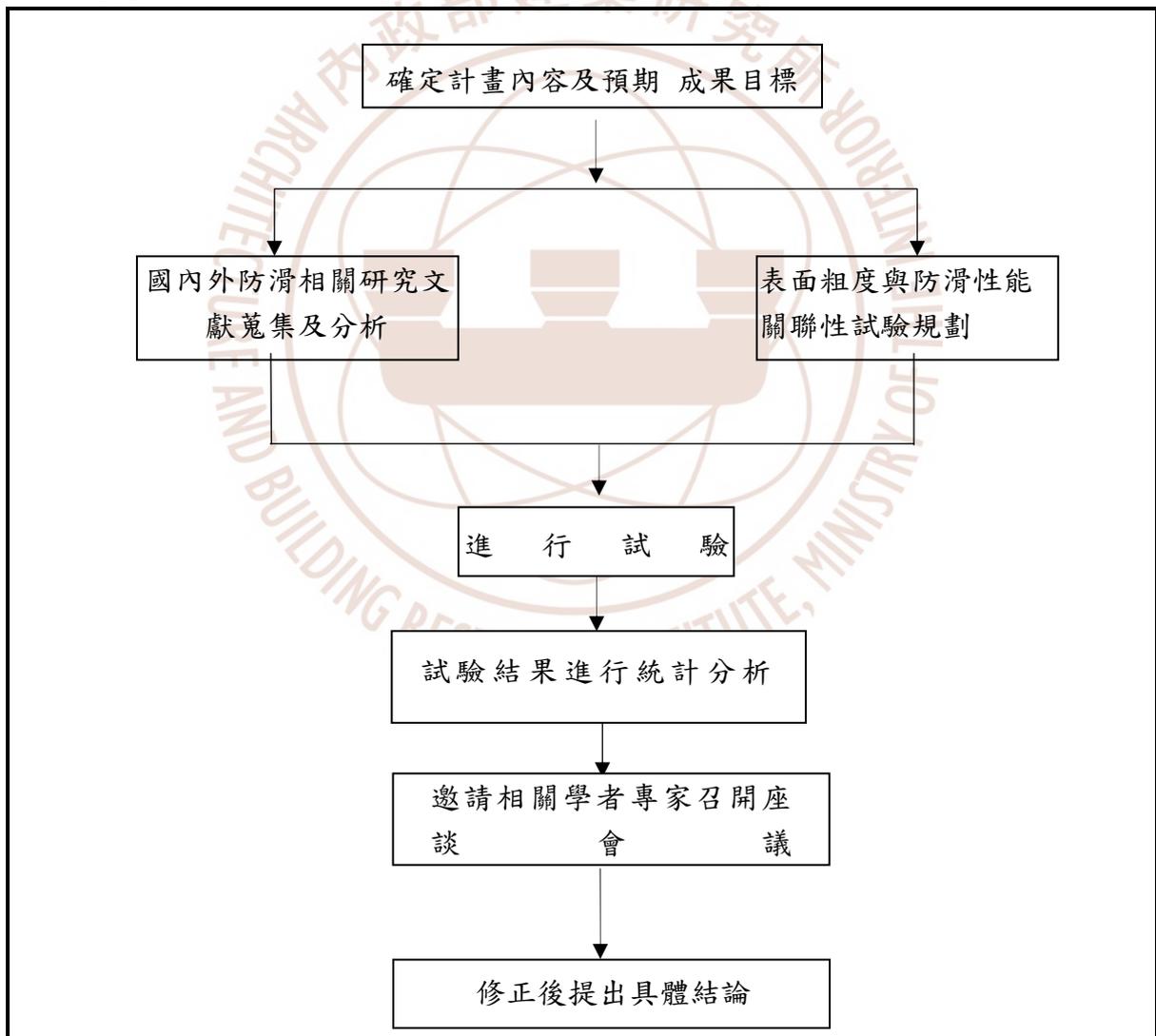


圖 1-4.1 研究流程圖

本研究研擬

## 第貳章 防滑性能與粗度量測原理

依據第一期研究計畫之比較分析，可變角度止滑計具良好之測試性能，故本研究仍採用該測試儀器外，另外特別選擇國內已有檢驗標準方法之「地板滑動檢驗法」，以作為測試儀器。至於測試材料部分，配合研究方法，主要包括兩部分，一部份為就不同材質之地面材料比較材料表面粗度與防滑性能之關聯性，另一部份為同樣材質之材料，經由不同表面加工處理以達到不同表面粗度，以比較其防滑性能。

### 第一節 防滑性能量測原理探討

依據美國國家安全委員會 1996 年的統計資料指出，自二零年代研發出第一種抗滑性測量器材(Hunter 滑度計)以來，至少以研發出七十種以上不同的滑度計。惟目前之測試儀器尚有以下問題：

1. 多數儀器無法適用於潮溼表面，目前為止，僅有兩種儀器證明可同時適用於乾燥及潮濕表面，獲得美國測試與材料學會(ASTM)F-13 技術委員會之認可，分別是攜帶式可傾斜鉸接式支柱摩擦計(PIAST, Brungraber Mark II 型)，及可變角度止滑計(VIT 與 English XL 型)<sup>註 6</sup>。
2. 此類儀器的輸出值，並非永遠一致，且尚無已知的方法，來計算各類摩擦計所得結果的相關性。部份文獻質疑，此部分是因大多數器材均有本身的誤差，及操作者的差異所造成 (Steven Di Pilla & Keith Vidal, 2001)。
3. 靜摩擦係數(SCOF)與防滑係數兩詞常互換使用。雖然靜摩擦係數一詞較常用於理論及實驗室測試，而防滑係數一詞則包含現場測試要觀察的數種變數(例如地板的污染物及鞋子表面)。雖然此類測量早期多稱為靜摩擦係數，但目前多使用防滑係數。

依第一章之文獻回顧，防滑性能 (slip resistance) 係指地面可抑制行人腳(鞋)

<sup>註 6</sup>：依據「*Pedestrian Slip Resistance*」p.3 指出，由美國測試與材料學會(ASTM)於工作場所進行的力板分析與粗糙度測量結果，已證實前述兩種器材，可產生可重複及再現的結果。

底滑動之能力，主要與表面粗糙度有關，其防滑性能之優劣則以防滑係數(slip index)衡量。防滑性能量測方式，若以其量測原理劃分，主要可區分為下列三種方式<sup>註7</sup>：

### 一、利用靜摩擦係數量測原理

使用拖橇式(drag sled)原理，物體開始滑動所需的水平拉力除以物體質量(垂直重力)等於靜摩擦係數(如圖 3-1.1)。其公式為： $H/V=SCOF$

其中  $v$  為荷重(與接觸面垂直方向之力)， $H$  為水平方向之拉力

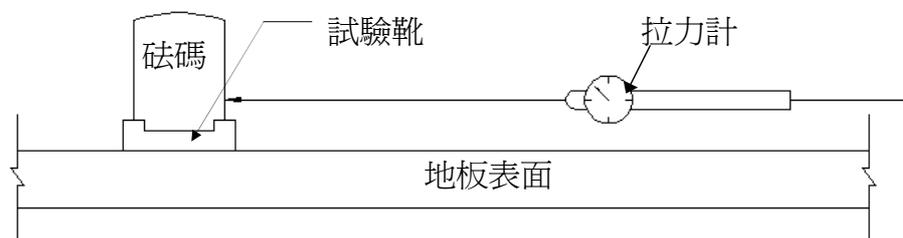


圖 2-1.1 表面靜摩擦係數量測方法之 1

圖來源：「*Pedestrian Slip Resistance*」p.7 本研究翻譯

另一種靜摩擦係數測量方式，系將測試面置放於可調整角度之斜面上，並由水平位置開始逐漸加大斜面之傾斜角度，直到測試面與斜面間開始滑動時，其此時斜面與水平面夾角之  $\tan$  值亦為靜摩擦係數(如圖 3-1.2)。

$$\mu_s = \tan \theta_s \quad (\theta_s : \text{靜摩擦角})$$

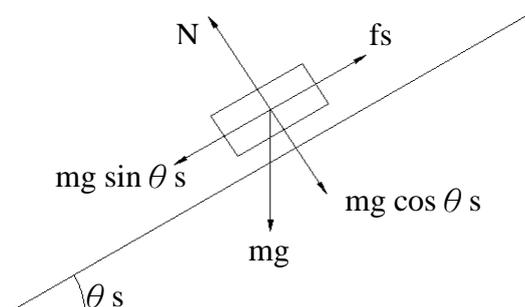


圖 2-1.2 靜摩擦角量測方式之 2

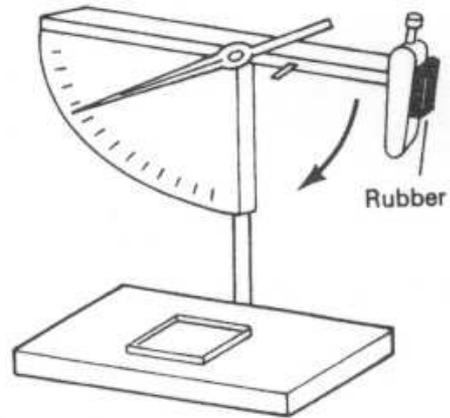
圖來源：「*地板止滑性能之研究*」p.4

本拖橇以及關節支柱 SCOF 類型的量測儀器，最大的問題在潮濕狀態下，都會產生相當大的黏著力(William English, 2003)。

<sup>註7</sup> 本段主要係參考「*地板防滑性能之研究*」p.4-5。

## 二. 利用動摩擦係數量測原理

使用可自由擺動之擺錘，使其與測試面產生相對之滑動摩擦後，藉由試驗前後擺錘擺動高度之變化，求出測試面之動摩擦係數(如圖 2-1.3)，此種儀器在 ASTM E303-93 標準中，規定其適用範圍為道路鋪面對於輪胎之抗滑性量測。



惟英國及日本等國家，係以此儀器測試人行地面材料之防滑性能。

圖 2-1.3 :ASTM E303 英式擺錘止滑檢測儀 圖來源：ASTM 網站

## 三. 利用傾斜之絞接撐桿(articulated strut)量測地板防滑性

使用絞接撐桿(articulated strut)原理，當撐桿由垂直位置逐漸傾斜至試驗靴開始滑動時，以絞接撐桿與垂直面夾角計算測試面之防滑性(如圖 2-1.4)。

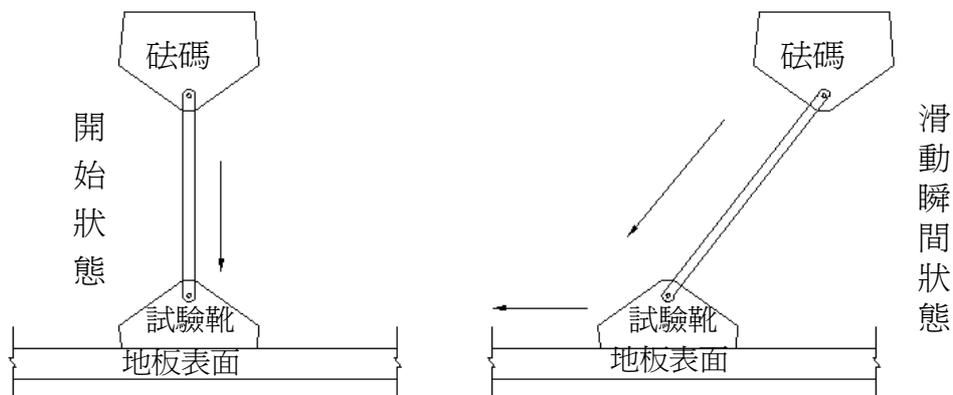


圖 2-1.4: 以絞接撐桿方式量測地板之防滑性能

圖來源：「*Pedestrian Slip Resistance*」 p.7 本研究翻譯

## 第二節 表面粗度量測原理探討

### 一、表面粗糙度量測原理

從量測儀器上，可獲得試體表面不規則狀況之放大結果，而此一結果通常被稱為"表面輪廓圖"(surface profile)。當儀器的尖筆沿著試體表面進行掃描時，其垂直方向的運動可被放大而被繪製下來，同時亦可直接自儀器上讀出在該處試體表面上的表面粗度算術平均值。在 1930 年以前，表面粗度完全須憑觸覺來建立標準。檢驗時必須使用一系列具有不同粗度的試片，實驗人員在使用這些試片時，先用他的手指甲劃過標準的試片表面，然後再劃過他製造出來之試體的表面，當感覺這兩個表面具有相同的粗度時，則試體表面便被認為具該項粗度。在表面密封、滾珠軸承、齒輪、凸輪或軸頸等應用場合，表面粗度對於設備的功能發揮影響很大，有人發現，設備的性能與對數的表面粗度值成線性的變化關係。也就是說，要使性能提高 1 倍時，平均的波峰到波谷的粗度值必須減低 10 倍，於是對表面粗糙度量化的要求因應而生。

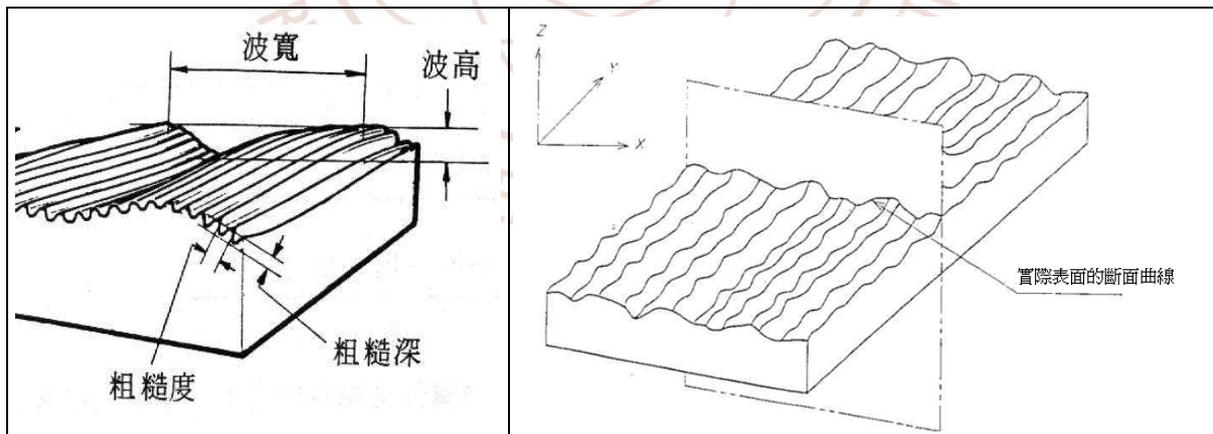


圖 2-2.1 表面輪廓斷面曲線包含粗糙度曲線與波浪起伏的曲線

圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

表面輪廓斷面曲線中，包含了粗糙度曲線與波浪起伏的曲線(圖 2-3.1)，一般而言，波浪起伏的曲線是屬於輪廓量測的範圍，其值遠大於表面粗糙度值，但亦有將表面輪廓斷面兩種曲線分開或合併考慮之作法。

要明確化分表面粗度和輪廓有一定難度，但本研究目的為進行防滑係數與粗度參數比對，先將有形狀且高於 1mm 以上的凹凸試體，視為輪廓而不列入為對象，如閔石子等。因此，為本研究對象之表面粗度，以得到表面粗度最大高度 1mm 為高度界限值。其中，先就表面粗度量測及取樣規定簡述如下：

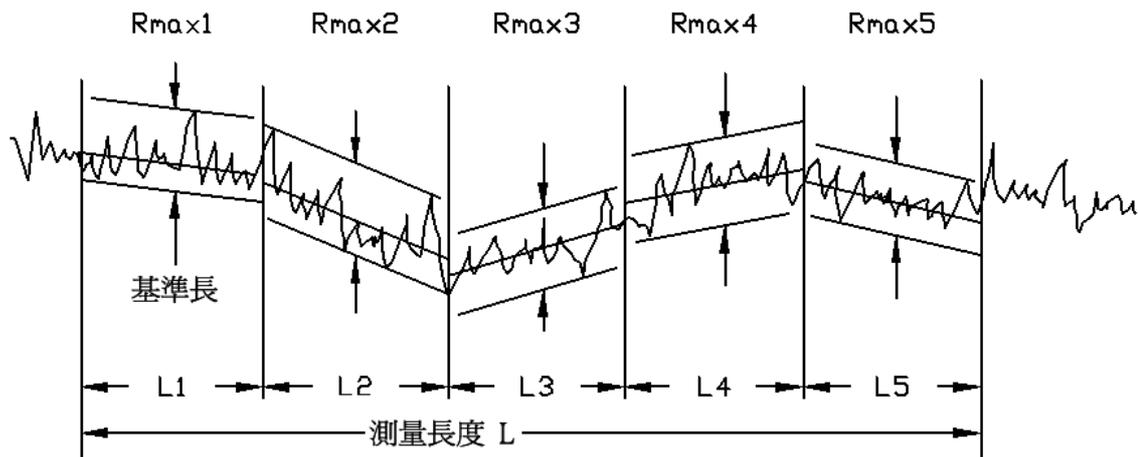


圖 2-2.2 表面粗度量測及取樣規定

圖來源：本研究繪製，參考「觸針式表面粗度儀與 AFM 表面粗糙度量測分析比較」，顏志凌

1. 取樣長度 (Sampling length)：足以顯示整個粗糙度型式的表面長度，相當於儀器上之切斷長度 (Cut-off)，原則上以下列 6 種定之 0.08、0.25、0.8、2.5、8、25mm。
2. 評估長度 ( $L1-5$ , Assessment length)：包括幾個樣本長度，量測值為幾個參數評估的平均值。

### 三、表面粗糙度之表示法

各種表面粗糙度之定義相當多，本研究依前章既有文獻所得之參數為主，另為配合本實驗儀器(日製 Surfcoorder SE500)，以 JIS2001 規範能概括最多之量測參數：中心線平均粗糙度(Ra)、評估長度內最大高度(Rt)、粗度曲線的最大高度(Rz)、平均波峰間距(Rsm)、表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)等 6 項參數。在 JIS2001 規範之外，另選取 JIS82 規範之第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、DIN4776 規範之高峰等效面積直角三角形(Rpk)與 ASME95 規範之每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)等 3 項作為實驗參數，其定義分述如下：

#### (一) 中心線平均粗糙度 (Ra, JIS2001) <sup>註8</sup>

若從試體表面之粗糙曲線上，截取一段測量長度 L，並以該長度內粗糙深之中心線為 x 軸，取中心線之垂直線為 y 軸，則粗糙曲線可用  $y = f(x)$  表之。以中心線為基準將下方曲線反摺。然後計算中心線上方經反摺後之全部曲線所涵蓋面積，再以測量長度除之。所得數值以  $\mu\text{m}$  為單位，即為該試體表面測量長度範圍內之中心線平均粗糙度值。

---

<sup>註8</sup> Ra : the arithmetical average of surface heights, also known as the center line average of surface heights (CLA)。

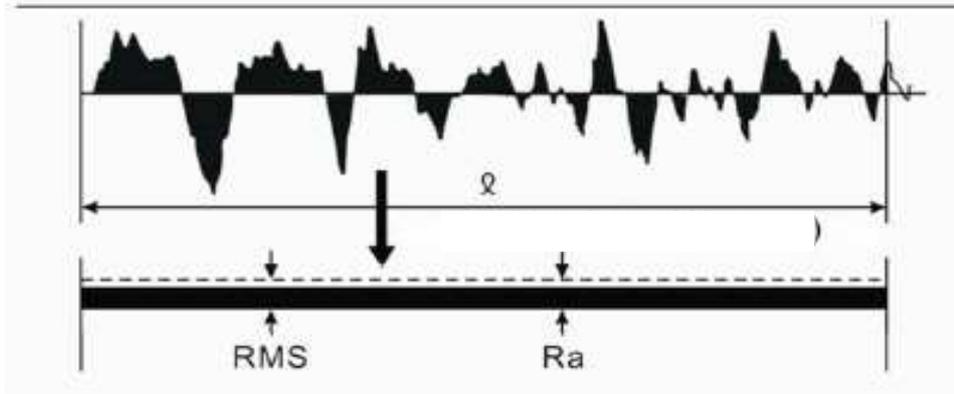


圖 2-2.3 測量長度範圍內之中心線平均粗糙度值  $R_a$

圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

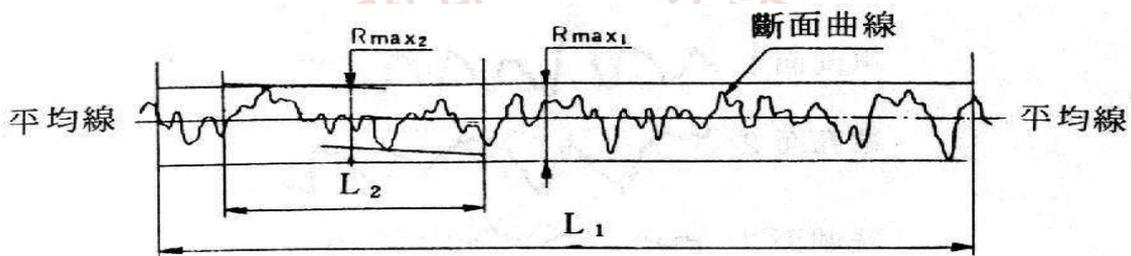


圖 2-2.4 曲線平均線

圖來源：表面粗糙度及其量測，范光照

中心線在表面具有曲度或形狀誤差時，則量取之曲線包括曲線及粗糙度。測量長度限於量具大小而無法涵蓋整個試體表面，因此一次量取求得之  $R_a$  只是表面某部分的中心線平均粗糙度，故應在被測試體表面多選幾個不同的位置測量，將全部測得之  $R_a$  取其算術平均值，則為表面的中心線平均粗糙度。

## (二) 評估長度內最大高度 ( $R_t$ , JIS2001) <sup>註9</sup>

$R_t$  又稱為粗度曲線最大斷面高度，量測方式是由表面曲線上截取基準長度  $L$  做為測量長度，在該長度內曲線之最高點與最低點，分別畫出與曲線平均線平行之線時，該二線之間距即為最大粗糙度，也就是測量長度內沿垂直方向量取最高點與最低點之距離。因  $R_t$  不是以基準長度，而是以評估長度來定義的，所以對所有的粗度曲線均有以下的關係：1.  $R_t \geq R_z$ 。 2.  $R_z$  等於  $R_t$  時，建議使用  $R_t$ 。

<sup>註9</sup>  $R_t$  : the maximum height of the profile above the mean line within the assessed length。

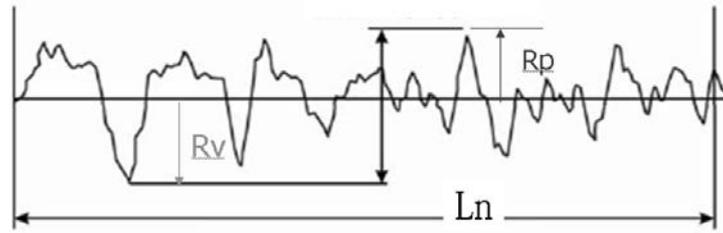


圖 2-2.5 最大峰谷距離

圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

(三) 粗度曲線的最大高度(Rz, JIS2001)<sup>註10</sup>

Rz：5個取樣長度內之最大波峰高度與波谷深度的絕對平均值。

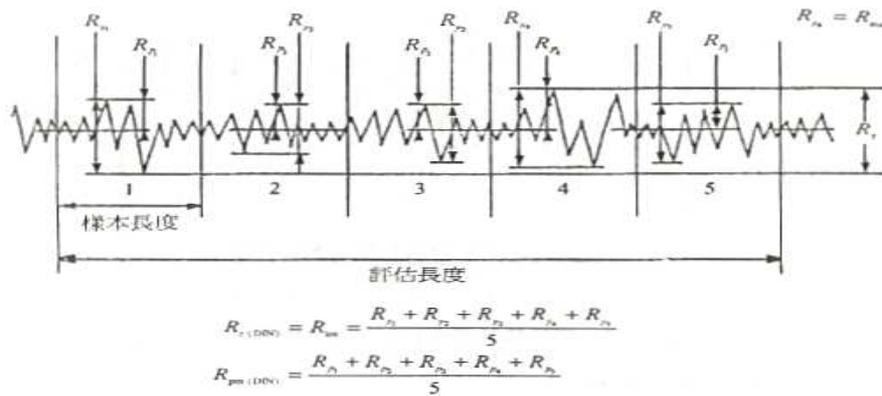


圖 2-2.6 粗度曲線的最大高度

圖來源：表面粗糙度及其量測，范光照

(四) 平均波峰間距(Rsm, JIS2001)<sup>註11</sup>

Rsm 為基準長度之輪廓曲線要素長度的平均，或稱為必要識別判斷波峰和波谷的最小高度與最小長度。無特別設定下必須符合下述二條件：1. 標準的小高度通常為 Rz 的 10%。2. 最小長度為基準長度的 1%。

註10 Rz： the average height difference between five highest peaks and five lowest valleys within the assessed length。

註11 Rsm： the mean spacing between profile peaks at the mean line。

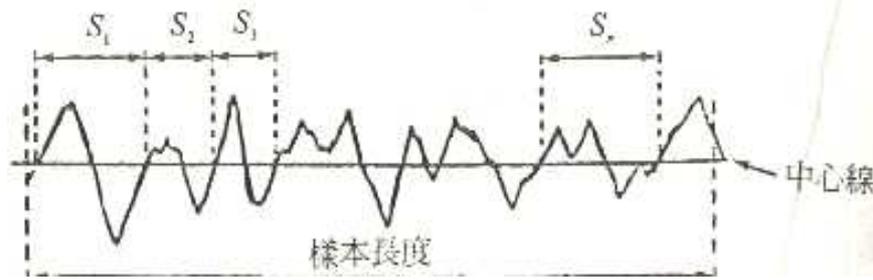


圖 2-2.7 平均波峰間距

圖來源：表面粗糙度及其量測，范光照

(五) 表面高度斜度( $R_{sk}$ , JIS2001)<sup>註12</sup>

傾斜度在相對於波峰，波谷部分較廣的粗度曲線，機率密度函數則是偏向波谷的分布形狀。此時的傾斜度  $R_{sk}$  為正值。 $R_{sk}$  的正值愈大則機率密度函數愈偏向波谷，在光滑面的初期磨耗愈大。另一方面，波峰部分是比較平穩的，如下圖情形，機率密度函數是偏向波峰， $R_{sk}$  為負值，在光滑面很難產生初期的磨耗，波谷的部分則負擔著油和積存任務。如此， $R_{sk}$  對表示機率密度函數的非對稱性(偏斜度:偏斜的程度)是有效的，也和表面機能有關。而遵照機率密度函數的正規分布時， $R_{sk}=0$ 。此參數受到突出波峰和波谷的影響很大，因此，表面高度斜度( $R_{sk}$ )亦可稱為高度方向之機率密度函數的非對稱性尺度。

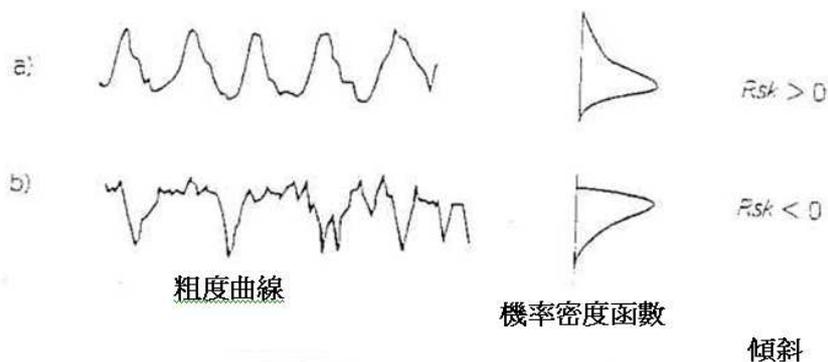


圖 2-2.8 表面高度斜度

圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

註12  $R_{sk}$  : skewness of the assessed profile。

(六) 波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku, JIS2001)<sup>註13</sup>

當樣本有很多非常陡峭的波峰和深谷的粗度曲線時，機率密度函數的分布形狀是陡峭的，表示陡峭度 Rku 是比 3 大的數值。相對的，如果是平穩波峰和波谷組成的粗度曲線，機率密度函數的分布形狀就是平穩的，Rku 則為比 3 小的數值。如此，Rku 對表示機率密度函數的陡峭度是有效的。Rku 比 3 大時，則到處可見異常陡峭的波峰和深谷，是兩物體接觸時最好列入考慮的參數。而遵照機率密度函數的正規分布時，Rku=3。

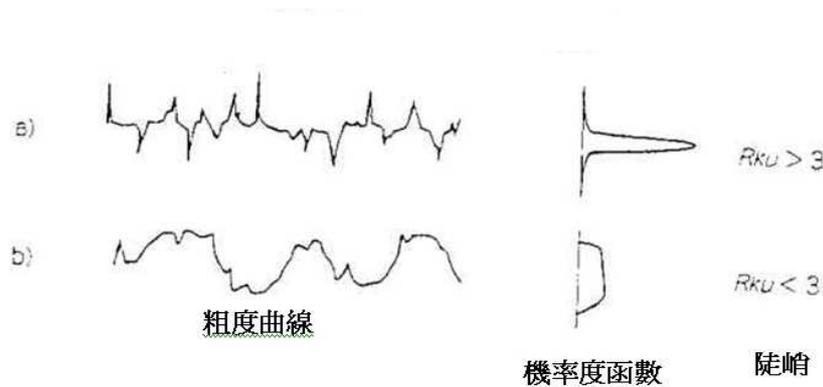


圖 2-2.9 波峰分佈陡峭度尖峰高度

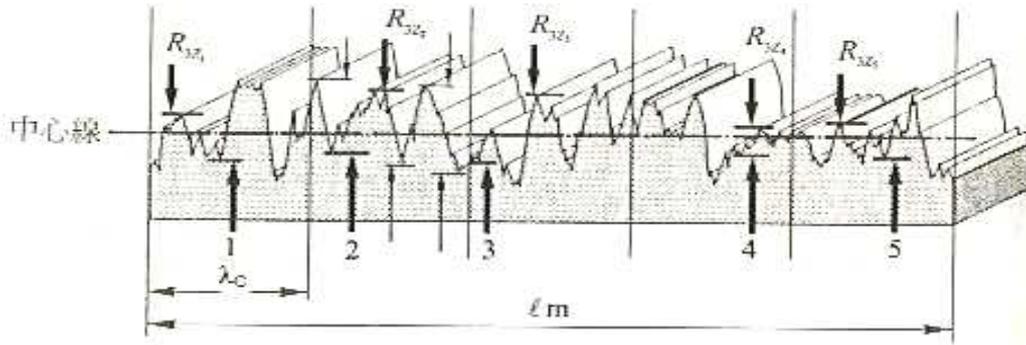
圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

(七) 第三高峰至最低谷之平均高度(R3z, JIS82)<sup>註14</sup>

R3z (JIS B0652)：在評估長度 Ln 內之 5 個取樣長度 Le，分別找出各取樣長度與第 3 高波峰與第 3 深波谷之之間距，再加以平均即為 R3z。

註13 Rku : the kurtosis of surface heights .

註14 R3z : the mean height from the third highest peak to the third lowest valley in each cut-off length .



$$R_{1z(DIN)} = \frac{R_{1z_1} + R_{1z_2} + R_{1z_3} + R_{1z_4} + R_{1z_5}}{5}$$

$$R_{3z(JAFAN)} = R_{3z_i}, \text{ 此處 } i=1, 2, 3, 4, 5$$

圖 2-2.10 每個取捨長度中第三高峰至第三低谷的平均高度

圖來源：表面粗糙度及其量測，范光照

(八) 高峰等效面積直角三角形(Rpk, DIN4776) <sup>註15</sup>

Rpk (DIN 776)：為高峰等效面積直角三角形之面積和。

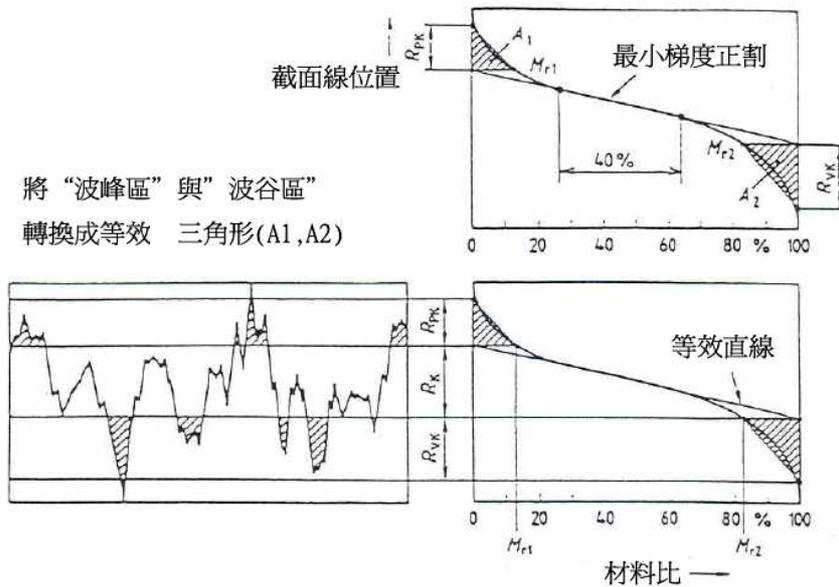


圖 2-2.11 高峰等效面積直角三角形

圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

註15 Rpk：the reduced peak height。

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

(九) 每個取捨長度峰谷高度平均值( $R_{pm}$ , ASME95)<sup>註16</sup>

為數個取樣長度  $l$  之每個  $R_p$  平均值， $R_p$  為最高峰至平均線高度。

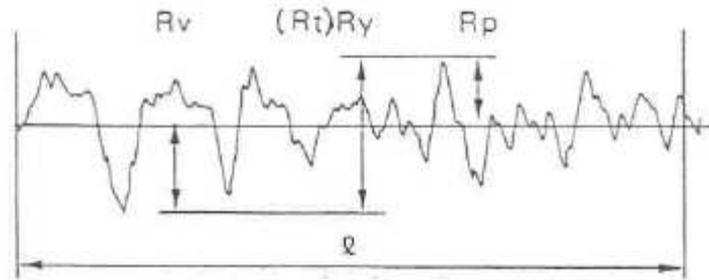


圖 2-2.12 每個取捨長度峰谷高度平均值

圖來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS2001 B 0601

<sup>註16</sup>  $R_{pm}$  : the average of the maximum height above the mean line in each cut-off length。

### 第三節 小結

綜合前述分析，可發現防滑性能主要係以防滑係數作為衡量其優劣之指標，而防滑係數之量測，所依據之原理除前述三種外，尚有利用煞車輪型測量器，參考 Raoul Gronqvist 在 1990 年整理之儀器與依據之原理及測得之防滑性能整體如表 3-1.1。

表 2-3.1 防滑性能測量原理及儀器名稱與性能指標一覽表

操作原理（輸出之值）	儀器名稱	防滑性能指標
拖橇式 Drag / Towed sled (Force)	1. Bigfoot 3. Schuster 2. Drag sled tester, PTI - DST 4. Model 80 5. Horizontal Pull Slipmeter, HPS 7. Floor slide Control 2000 6. Tortus	靜摩擦係數 (Static COF) : 1, 2, 3, 4, 5 穩定狀態之動摩擦係數 (Steady - state kinetic COF) : 3, 4, 5, 6, 7
擺錘式 Pendulum striker (Loss of energy)	8. British portable skid tester, BPST 9. RRL skid tester 10. Sigler	動摩擦係數 (Transitional kinetic COF) : 8, 9, 10
傾斜之絞接撐桿 Articulated strut / Inclined leg (Angle of inclination)	11. Carlsoo - Mayr 12. Pangels 13. Brungraber Mark I 14. Brungraber Mark II 15. Ergodyne 16. English XL	靜摩擦係數 (Static COF) : 11, 12, 13, 14, 15, 16 動摩擦係數 (Transitional kinetic COF) : 14, 15, 16
煞車輪式 Braked wheel/ Skiddometer (Axel torque from braked rolling wheel)	17. Portable friction Tester, PFT 18. FIDO (prototype of PFT)	穩定狀態之靜摩擦係數 (Steady - state kinetic COF) : 17, 18

表來源：本研究參考 “Endorsement of Portable Test Methods and Slip Prevention Standards for Existing Flooring” p.2 整理。

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

而地面材料表面粗度參數或可有限度的代表材料表面及摩擦力特徵，因此本研究以擺錘止滑檢測儀及可變角度止滑計作為防滑係數測定依據，再佐以表面粗度各項參數，比較不同材料於二防滑實驗儀器下所得結果之相關性。



## 第叁章 實驗規劃

本研究依據上一章之研究後，採用二種儀器進行地面材料防滑係數量測，分別是擺錘止滑檢測儀依 ASTM E303-93「地板滑動檢驗法」及可變角度止滑計依 CNS 研訂中之「可變角度止滑試驗計法草案」之量測方法測試，表面粗度試驗則以 SE-500 型儀器內建之規範為主。本章首先說明測試次數及數據採用之原則，並分節說明各試驗實際執行之過程及檢討。

除檢測儀器及方法外，試驗次數及數據之採用計算為關鍵要素，參考類似之試驗，比較如下：

1. 陳嘉基先生在「常用地坪材料止滑度試驗」中，其測試次數為每一試體進行 5 次，並扣除最大與最小數值後，取其平均數。
2. 謝孟傑先生在「地面止滑性能之研究」中，其測試方式為同一樣品在同一條件下進行 3 次試驗，並取其平均值，但對於部分表片具有凹凸紋路者，因其測試樣品具有方向性，而實際步行時行人並無固定移動方向，基於步行之安全考量，採取防滑係數最小之數值做為該樣品之試驗值。
3. A. Sariisik 在「Description of slipping test methods and application study on travertine by ramp slip mete」中，其測試方式為同一條件下進行 10 次試驗，並取其平均值。

由於試驗次數較多，其精確性應較高，所以本研究擬採用較高標準，在同一樣品在同一條件下進行 12 次試驗，因二防滑係數儀器量測面均為橡膠面，故須排除頭 2 次偏離值較大之實驗數據，於試體中心點及四端角落約 5 公分處各進行 2 次實驗，而對於部分表片具有明顯方向性紋路者，以順向及 90 度方向各做 1 次為主，以利後續對表面粗度之比較，總計單一試體實得量測結果為 10 次。

## 第一節 可變角度止滑試驗計

本試驗採用可變角度止滑計，其依據傾斜之絞接撐桿原理製作，由 William English 於 1985 年左右研發上市，本試驗使用之儀器購買自美國 William English 公司。由於大部分滑倒的意外都是來自於表面附著其他物質，如水、油漬、或其他不明物質，本儀器不但強調其設計係模擬人行走時之狀況，同時也適用於不同之地面狀態，尤其是潮濕狀態之測試，與 Brungraber MK II 同為目前世界普遍接受的二種儀器之一。本研究上一期之試驗結果，亦證實本儀器具備良好之有效性、精密性與一致性。

### 一、可變角度止滑計儀器性能( English XL Variable Incidence Trobometer )

William English 於九〇年代初期研發出此儀器，操作原理與 Mark II 型滑度計及 James 滑度計類似，是屬於絞接氏支柱型器材。但與這兩種器材的相異處，是此器材並不靠重力，而是以拋棄式二氧化碳鋼瓶經壓力調節閥提供能量。此特色可於每次測量時施予一致的力，而可確保一致的操作，且可對斜坡等傾斜表面作可信的測量。此器材可同時施予垂直力與水平力，而可避免駐留時間，並於潮濕情況下作可信的測量。

依據可變角度止滑計之說明，該測試儀的研發較其他的止滑測試儀引用了更多仿照人類行走中的特定動力學的參數 (William English, 2003) :

1. 1 1/4 吋的小鞋規格(31.72 mm)較關節支柱測試儀中的 3 平方英吋的滑墊更為接近一般

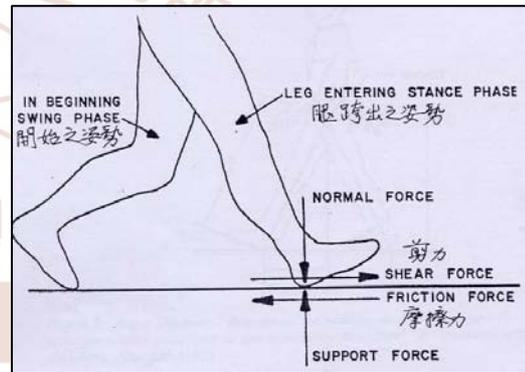


圖 3-1.1 可變角度止滑計測試之理論依據  
可變角度止滑試驗計主要之原理為模仿人行走時，其正向力、剪力與摩擦力之關係。  
圖來源：William English p. 22

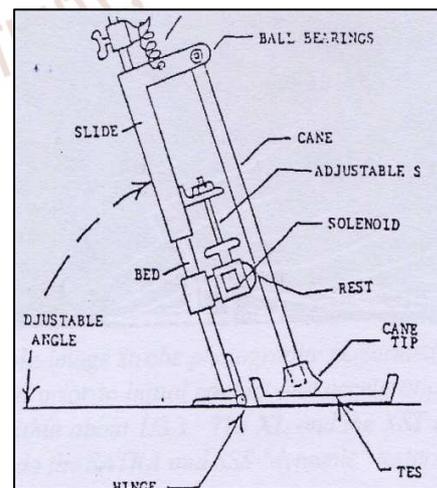


圖 3-1.2 可變角度計圖解  
圖來源：Pedestrian Slip Resistance p. 26

- 的鞋底接觸地面狀況。
2. 活塞速率定在大約每秒 15 吋(38 cm 多一點)是基於特定的閃光實驗所建議的人類行走確實速率範圍而定的。
  3. 利用彈簧的裝置來使鞋部著地的動作，就像是一般人行走時一樣的動作，而當鞋部整個貼近地面時，就會在流體動力擠壓墊上造成類似正常人類行走的同等結果。
  4. 因為 English XL 作業是完全機械式的，所以較不容易產生人為誤差。基於其移動性的操作特點不易受到地心引力的干擾，故可在不用重新校準或是使用附加設備之狀態下測量傾斜表面以及斜坡。

	
<p>圖 3-1.3 可變角度止滑計側面 照片來源：本研究拍攝</p>	<p>圖 3-1.4 可變角度止滑計正面 照片來源：本研究拍攝</p>
	
<p>圖 3-1.5 可變角度止滑計刻度 圖來源：本研究攝</p>	

## 二、可變角度止滑計測試標準方法

本儀器可適用於乾燥及潮濕之表面，應用極廣，原美國 ASTM F1679 之試驗方法即適用於此儀器，標準檢驗局並於 95 年參考前述方法制定之「可變角度止滑計」檢驗標準建議案<sup>註 17</sup>，惟美國之 ASTM 於 2006 年因故將此方法自公告中撤消。

關於試驗值部份，本儀器測出之結果為防滑係數 (Slip Index)，設備的刻度從 0.0 到 1.0，越低代表越危險、越高代表越安全，本儀器建議以 0.5 以上作為最低防滑係數之規定值。

## 三、試驗步驟

### (一) 測試前準備

1. 以鈕來特 (neolite) 試片做試驗腳裝置於活塞推桿。
2. 在測試乾表面時，在每次試驗腳產生滑動後均須重新進行研磨處理。
3. 確認試驗腳座無磨損、拋光或遭受污染，若有前述現象，則應於試體更換時重新研磨，並依照規定方式進行研磨處理。以除塵刷或壓縮空氣，或兩者，除去研磨之殘餘物，同時須與試樣保持足夠之距離，以確保研磨產生之殘餘物不致污染測試面。完成研磨後，旋緊試驗腳座於球行接頭之上，再回轉 1/4 圈，以保持正確之鬆緊度。
4. 將止滑試驗計置於試驗面上，試驗面必須與止滑試驗計之腳位於同一平面。
5. 調整工作壓力為  $172 \pm 10 \text{ kPa} (25.0 \pm 2 \text{ psi})$ 。
6. 調整測試桿呈較偏向垂直之位置，使得試驗時其試驗腳座在開始滑動前，能有三次以上之測試衝程。
7. 確認氣壓缸是否垂放於測試桿衡量之橡膠止塊上。
8. 在測試濕狀態時，將水均勻塗布於測試面，使每一測試衝程進行前，測試面具有完整之水膜。
9. 量測試片背面之前後端高差測試及平整度前處理。

<sup>註 817</sup>：可變角度止滑計試驗方法草案概要詳如附錄。

(二) 試驗步驟

1. 保持止滑計基座固定不動，完全壓下動作閥約 1/2 秒，如果測試桿完成伸展時，試驗腳座未向前踢出，則旋轉手輪不超過 1/4 圈以增加防滑係數，並重新開始試驗。當測試桿完全伸展，試驗腳座向前踢出時，紀錄分度計上所指示之防滑係數，其精度須取至 0.01。
2. 依據規定，每一件試體，至少需測試兩個不同位置，並至少需有 4 次測試值，每一測試方向均需互呈 90 度，試驗結果報告其平均值及最小值。
3. 本止滑計雖然以角度作為調整測試之依據，惟測試結果可由止滑計之讀數直接得到防滑係數值。

四、檢測方法檢討

(一) 校正係數

1. 規定：本儀器依其操作說明並無校正之規定。
2. 檢討：無校正規定，如何確保儀器測試之精確度為本儀器之關鍵問題。

(二) 試驗次數

1. 試驗次數規定：依據 CNS 地板滑動檢驗法草案規定，每一件試樣，至少需測試兩個不同位置，並至少需有 4 次測試值，每一測試方向均需互呈 90 度，試驗結果報告其平均值及最小值。
2. 實際執行：考慮材料表面紋路可能有方向性，及為提升試驗之精密度，本計畫採四個方向各做 10 次。

至於在讀數之採用，則取 40 個讀數之平均數，但對於部分表片具有凹凸紋路者，採取防滑係數最小之一組（10 次）做為該樣品之試驗值。

(三) 潮濕狀態

潮濕狀態下的地面防滑性能是目前最大問題，所以如何檢測潮濕狀態下的摩擦係數是防滑性能檢測主要目的之一。

1. 潮濕狀態規定：依據 CNS 地板滑動檢驗法規定「在測試濕狀態時，將水均勻塗布於測試面，使每一測試衝程進行前，測試面具有完整之水膜。」

地面材料防性能與表面粗度關聯性之研究

2. 實際執行：將試體放入蒸餾水中浸泡 24 小時後，直接拿起後進行，使水分布於試體表面，並確定具有完整之水膜。



## 第二節 擺錘止滑檢測儀

此測試儀器係依據由美國國家標準局率先研發提出，但卻由英國作進一步發展而成，美國 ASTM E303-93 (1998) 即適用於本儀器。本儀器為英國、澳洲、日本及紐西蘭等國家常見的測試儀器。

本測試儀器係使用可自由擺動之擺錘，使其與測試面產生相對之滑動摩擦後，藉由試驗前後擺錘擺動高度之變化，求出測試面之動態摩擦係數(如圖 3-2.1)，此儀器

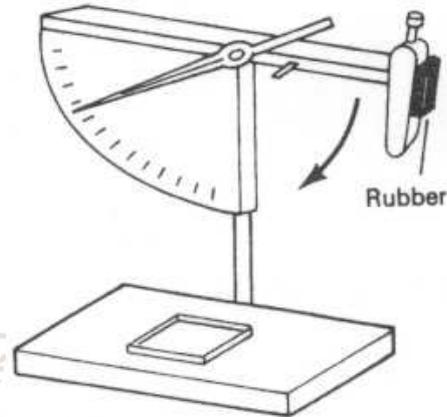


圖 3-2.1 ASTM E303 擺錘試驗計

圖來源：ASTM 網站

在 ASTM E303-93 標準中，規定其適用範圍為道路鋪面對於輪胎之抗滑性量測。

惟英國及日本等國家，主要係以此儀器測試人行地面材料之防滑性能，且國內既有之研究尤其是陳嘉基先生主要為使用此試驗計進行研究，且美國 ASTM E303 亦是使用此量測儀器，顯示其應可適用於一般地面材料量測。

### 一、擺錘止滑檢測儀儀器性能

#### (一) 試驗儀器

本試驗使用之儀器為義大利 Controls 48-B0190 擺錘止滑檢測儀，該試驗儀符合英國 EN 1097-8:2001，EN 1340-1；EN 1341-D、美國 ASTM E303-93 (1998) 等試驗標準，該試驗儀器型式如下圖。



圖 3-2.2 本研究使用之擺錘止滑檢測儀

圖 3-2.3 擺錘止滑檢測儀係數讀表

## (二) 試體固定座

由於本試驗計，係將擺錘提上來後再釋放該擺錘，其水平衝力極大，往往造成試體滑動，影響其測試值，因此本研究特別設置一固定座（如圖 3-2.4），將試體夾住，避免試體滑動。

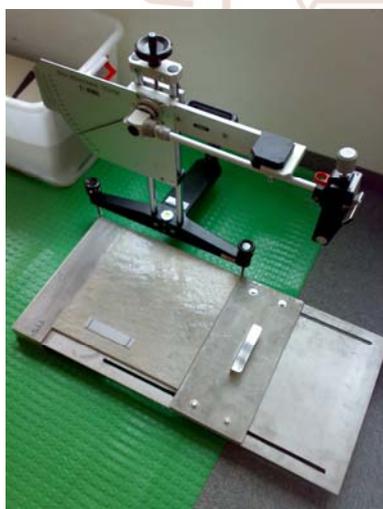


圖 3-2.4 試體固定器

## 二、試驗執行

### (一) 試驗步驟

本研究依據 ASTM E303-93「地板滑動檢驗法」之規定進行試驗。

1. 調整水平用螺絲使試片支持保持水平後，將隔板裝入所定之位置。
2. 確定使滑動片與試片是否正確呈現接觸，以及試片背面是否水平。

3. 在滑動片可正確呈現接觸狀態，由所定拉上位置將錘子擺下，於其時應無滑動抵抗。
4. 取下隔板，由所定位上位置將錘子擺下，讀取當時擺上位置之刻度。
5. 不得再使用接觸部份之表面有明顯傷痕之滑動片。
6. 試驗在溫度  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  之室內進行。

## (二) 防滑係數

1. 地板滑動防滑係數依下列公式計算。

$$U = \frac{E}{P \cdot D}$$

- 上式中，
- U：地板滑動之動態防滑係數
  - P：彈簧力(kg)  $\frac{1.5\text{kg}+4.5\text{kg}}{2} = 3\text{kg}$  (3. 2. 7)
  - D：滑動片之接觸距離(cm) (3. 2. 5)
  - E：錘子擺上位置之刻度(kg · cm) (4. 2. 4)

## 2. 讀數

防滑係數係依據前述公式計算，惟本儀器已將讀數直接標示於讀表上，且讀表提供兩種標示值，說明如下：

- (1) BPN 值：介於 0 與 140 之間，值越大表示防滑性能越好，本標示值亦適用於英國試驗標準。
- (2) 防滑係數：介於 0 與 1 之間，值越大表示防滑性能越好。

BPN 值與防滑係數值之間為比例關係，防滑係數 1 近似於 BPN 值 60，0.5 等於 BPN 值 30，當 BPN 值大於 60 時，則防滑係數未再細分。

由於本儀器建議之安全值為防滑係數 0.5，與可變角度止滑計相同，為利於比較，本試驗之紀錄一律採用防滑係數讀數。

## 三、適用之對象及限制

此測試可適合於實驗室及現場，同時可適用於乾燥、潮濕或有污染之表面，並適用於所有水平及斜坡面之測試，因此應用相當廣泛。但是並不適合樓梯踏步

及鼻端之測試，因為該部分之尺寸無法符合測試規定，雖然對有經驗的人來說，也非完全不可能，但是對於此類測試仍以採用其他方式較佳。

#### 四、測試值與防滑性關係

本測試量測結果之讀數有兩種標示，一種為防滑係數值為 0 至 1，另一種則為 BPN (British Pendulum Number) 值為 0 至 150，值愈大代表材料有較大的防滑效果，反之則愈小；其中兩者間之對應關係為防滑係數 1 相當於 BPN 值 60。

英國健康與安全實驗室以擺錘止滑檢測儀依據 (BS 7976) 測試之結果，提出測試值與防滑關係如表 3-2.1。

表 3-2.1 擺錘止滑檢測儀依據 (BS 7976) 測試值與滑倒風險性關係表

BPN 測試值 (0-150)	防滑係數值 (0-1)	滑倒風險性
0 - 24	0-0.40	高
25 - 35	0.42 - 0.58	中等
36 - 64	0.60 - 1	低
65 +	1+	非常低

表來源：本研究依據「The assessment of pedestrian slip risk」p.3 資料整理

### 第三節 表面粗糙度分析儀

#### 一、表面粗糙度分析儀儀器性能

本研究採用之粗糙度分析儀，為日製 Surfcomer SE500 型，垂直解析度 16  $\mu\text{m}$ ，經更換探針後約可達約可達 1048.6 $\mu\text{m}$ ，其形式如圖 3-3.1。



表面粗糙度量測分析儀，可概分為四部分：(圖 3-3.2)，包括探測器、驅動器、放大器及記錄器。



圖 3-3.2 表面粗糙度分析儀

圖來源：本研究拍攝

探測器有如下幾種形式，包括基本型(Standard pick up)、小口徑型(Small bore pick up)、右側角型(Right angle pick up)、凹窩型(Recess pick up)、鑿邊探針式(Pick up with chisel-edge stylus)、側墊塊型(Side skid pick up)、鞋式(Shoe pick up)等。

探測器其前端尖頭為鑽石材料(圖 3-3.3)，藉著墊塊沿著試體表面進行掃描時，其垂直方向的運動乃可被放大而被記錄下來，而各種形式之使用場合則各有不同。

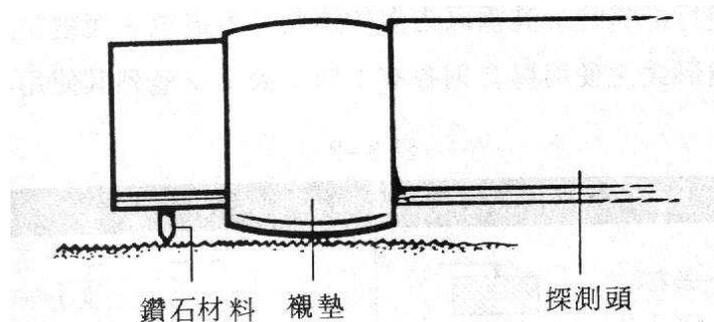


圖 3-3.3 探測器前端尖頭為鑽石材料，藉著墊塊沿著試體表面進行掃描

圖來源：表面粗糙度及其量測，范光照

驅動器及放大器共有如下幾個重要控制功能：包括選擇量測範圍、起動開關、選擇表面粗糙度之量測種類、選定量測行程及數位顯示器。驅動器目前多採用高精度驅動馬達，放大器則為積體電路，不需溫機，一般記錄器可自報表輸出或直接自儀器上讀出在該處試體表面上的各種表面粗糙度。

## 二、試驗執行

1. 材料面刮痕與探針移動方向垂直置放。
2. 試片背面之前後端高差測試及以紙板墊片調整水平。細微水平調整部分由儀器本身水平儀自動校正。
3. 設定探針移動距離參數與量測值選擇。
4. 設定量測參數值：中心線平均粗糙度( $R_a$ )、評估長度內最大高度( $R_t$ )、粗度曲線的最大高度( $R_z$ )、平均波峰間距( $R_{sm}$ )、表面高度斜度( $R_{sk}$ )、波峰分佈陡峭度尖峰高度( $R_{ku}$ )、第三高峰至最低谷之平均高度( $R_{3z}$ )、高峰等效面積直角三角形( $R_{pk}$ )、每個取捨長度峰谷高度平均值( $R_{pm}$ )。
5. 以試片中心點及四端角落約 5 公分處各進行 1 次實驗紀錄。

## 第四節 地面材料試體選擇

由於地板在乾燥與清潔狀態時，其防滑係數多大於 0.5，防滑性能皆極佳 (William English, 2006; 謝孟傑等, 2006)，一般會產生滑倒問題多因潮濕或髒污，所以室外、廁所、廚房、大廳、公共走道等較易有問題，因此本研究在上一期之研究以這些空間常採用之磁磚為主。

本年度之研究在試體選擇部分主要包括兩個不同部份，由於不同材質及表面處理，可能影響其防滑性能，所以本研究分別就地面材料材質與表面處理方式，選擇不同之樣本，使研究結果可對地面材料作較佳之了解。

### 一、不同材質與表面粗度

#### (一) 磁磚

依據中華民國國家標準，國內磁磚依其特質，可分為石質地磚、瓷質地磚及窯燒花崗石面磚等其性質分類如表 3-4.1，本研究以瓷質地磚及窯燒花崗石面磚為主要研究對象。

表 3-4.1 依據 CNS 標準地磚之性質規定一覽表

性質項目 種類	總號-類號	吸水率	蒸壓試驗	抗折強度	釉面摩耗量
石質地磚	9739-R2163	6%以下	同上	200 kgf/cm <sup>2</sup> 以上	0.1g 以下
瓷質地磚	9740-R2164	1%以下	同上	300 kgf/cm <sup>2</sup> 以上	0.1g 以下
窯燒花崗石面磚	13431-R2199	0.5%以下	同上	180 kgf/cm <sup>2</sup> 以上	0.1g 以下

表來源：本研究參考「精工陶瓷股份有限公司」網站資料整理

依據本研究蒐集國內相關資料，發現磁磚可分為上釉與不上釉，而其表面則有光滑及粗糙表面等處理方式，光滑表面之處理又細分為拋光與半拋光，而粗糙表面之處理之變化則更多包括有紋路、規則與不規則變化等。

#### (二) 石材

石材各種表面的處理方法處理方法可分為：

地面材料防性能與表面粗度關聯性之研究

1. 自然面、燒面、水沖面、荔枝面、機燒面、亞光面、光面、波蘿面、龍眼面、噴砂面等
2. 燒面又可分為粗燒面與細燒面二種
3. 光面是將整個石材面作特殊的拋光表面處理
4. 荔枝面有大小顆粒處理的表面處理區分

## 二、試體選擇

### (一) 不同材質與表面粗度

依據前述分析，地面材料之變化相當多，為考慮人力、物力及時間限制，分別以材質及表面為變數，選擇國內較常用之地面材料作為檢測對象，選用之試體如表 3-4.2，共計 9 件試體。

表 3-4.2 本研究採用之不同材質試體計畫

石質地磚	瓷質地磚		花崗岩面磚
	光滑釉面	止滑釉面	
石質地磚	拋光石英磚	仿古石英磚	花崗岩面磚(紅)
石質釉面地磚	時尚崗石	石英板岩石	花崗岩面磚(黑)
	崗石	石英板岩	
	地原石		

表來源：本研究整理

### (二) 相同材質不同表面粗度

為進行相同材質不同表面粗度之比較，以探討表面粗度與防滑性能之關聯性。本研究特別選用材料表面具有明顯紋理，且在乾燥與潮濕狀態，可呈現較高差異之防滑性能材料，因此選擇不同表面加工處理之天然石材作為測試對象。

表 3-4.3 本研究採用之相同材質試體計畫

石材
安山岩：光面、亞光面、細燒面、粗燒面 1、粗燒面 2 (計 5 件)

表來源：本研究整理

## 第五節 小結

1. 簡要整理儀器之概要如表 3-5.1。

表 3-5.1 常用之地板止滑性量測之試驗標準及其適用範圍

使用儀器	試驗標準	適用條件	備註
可變角度止滑計 English XL, 簡稱 VIT	ASTM F1679	可適用乾燥、潮濕及已鋪設之現場。	標檢局已參考本標準研擬「止滑性能-可變角度止滑計法」草案
擺錘止滑檢測儀 Sigler, 簡稱 BPST	ASTM E303-03, BS 7976	適用於乾燥及潮濕狀態、亦適用於測量輪胎於道路鋪面之抗滑性	1. 英國多採此項試驗。 2. 本標準類似於 ASTM E303-93「地板滑動檢驗法」
表面粗度分析儀, Surfcorder SE500	JIS82、2001 ISO、ASME DIN	主要量測物體表面粗度曲線與各項參數	本儀器原用於金屬加工或精微製品粗度量測, 為適用於地面材料實驗, 粗度計探針需更換量測範圍可達 1048.6um 之針頭。

表來源：本研究整理

2. 上一期之研究計畫已證實水平拉力計不適用於潮濕狀態之測試, 而可變角度止滑計則有良好之測試性能, 本研究除繼續使用可變角度止滑計外, 另為考慮配合目前法令之應用, 選用擺錘止滑檢測儀作為試驗之儀器, 進行研究比對。
3. 本期延續探討材料表面粗度與防滑性能之關聯性, 利用表面粗度分析儀, 探討材料表面粗糙度之各項特性對防滑性能之影響, 除作為未來研發地面防滑材料之參考, 亦可做為未來判斷地面材料具備防滑性能方式之一。



## 第肆章 試驗結果分析及比較

本章針對試驗結果進行分析，主要是以迴歸分析進行相關性之檢定，並與既有研究文獻進行比對，以探討防滑性能與表面粗度之關聯性。

首先，簡要說明本研究所採用之統計分析方法。迴歸分析是統計預測的重要方法之一，主要係利用不同變數間的相關性，建立變數間的數學函數關係，藉此數學函數關係，可以建立預測系統。其中，線性迴歸分析主要是用來驗證兩個不同變數的相關性，一般而言兩個變數以  $X$  與  $Y$  代表， $X$  代表自變數、 $Y$  代表應變數。經過線性迴歸分析後，會產生相關係數  $R$  值、迴歸直線、以及決定係數  $R^2$  值。

1. 直線迴歸：迴歸分析主要為找出一適當之數學方程式來表示變數間之關係，當二變數間具有線性關係時，其算式可列為  $Y = a + bX$ ，此迴歸直線表示兩者的關係， $a$  為該直線截距； $b$  為該直線之斜率，藉由此迴歸直線可達預測之功能。
2. 相關係數  $R$ ：主要是驗證線性關係及迴歸直線成立與否。當  $R$  值=0 時， $X$  與  $Y$  無線性關係存在；當  $R$  值 $\neq$ 0 時，則  $X$  與  $Y$  有線性關係存在，且  $R$  值愈接近 1，線性關係愈強， $R$  值的範圍介於-1 與+1 之間。
3. 樣本點分佈圖：也可由樣本點分佈圖來確認線性關係，當  $X$  與  $Y$  的樣本點分佈在一條正斜率的直線上，代表線性關係最強，而對應的相關係數  $R$  值為 1；當  $X$  與  $Y$  的樣本點是在此直線的兩側擴散，分佈呈細帶狀，代表線性關係強，而對應的相關係數  $R$  值為 0.9；當  $X$  與  $Y$  的樣本點分佈呈正斜率的帶狀，且此帶狀的寬度變大，代表線性關係弱，而對應的相關係數  $R$  值為 0.5；當  $X$  與  $Y$  的樣本點分佈不呈現直線帶狀，代表線性關係不存在，而對應的相關係數  $R$  值為 0。在負斜率的迴歸直線圖，評估方式與正斜率的迴歸直線圖相似，且可以由樣本點的分佈來評估線性關係的強弱、以確立線性迴歸直線成立與否。
4. 決定係數  $R^2$ ：依據現有資料建立一統計迴歸算式時，需檢定此模式與資料符合程度，或稱之為適合度(goodness of fit)，而檢定適合度最常用的量數是  $R^2$ ，其結果大小表示  $Y$  的變異中  $X$  所能解釋程度，當  $R^2$  值接近 1 時，表示估計式中大部份  $Y$

之變異是由  $X$  影響而來，當  $R^2$  趨近於 0 時，表示變數間沒有線性關係存在，但並非沒有相關<sup>註 18</sup>。

經試驗結果，就目前已完成之部分，整理分析如下節。



---

<sup>註 18</sup> 整理自：1.張紘炬，統計學-方法與應用，Chap 9, 329-399，華泰書局，1987。  
2.張紹勳、張紹評、林秀娟，統計分析，p18.2-18.4，松岡圖書，2001。

## 第一節 不同材質之試驗結果分析

部分文獻指出，由於多數摩擦力的量值，反映地面材料材質與表面粗度的加成效應，所以應使用相同的地面材質進行粗糙度對防滑性能之影響試驗（Stevenson, 1989；Wen-Rury Chang, 1999）；另外，研究文獻亦指出表面平均粗度(Ra)與平均峰谷距離(Rpm)只能有限度的代表材料表面特徵，例如兩個有相同振幅但頻率不同的正弦波，具有相同的 Ra 與 Rpm 值，但其摩擦力特徵卻截然不同（Wen-Rury Chang, 1999）。

參考研究文獻資料顯示，防滑係數與表面平均粗度(Ra)、評估長度內最大高度(Rt)呈現正相關，其中，對乾燥狀態而言，表面平均粗度(Ra)與第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)動摩擦係數有最高的正相關性。於濕表面中則以尖峰高度(Rpk)與每個取捨長度中峰谷高度平均值(Rpm)有最高的正相關性。

因此本研究選取包括表面平均粗度值(Ra)、評估長度內最大高度(Rt)、每個取捨長度中第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)，另增加 5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、平均波峰間距(Rsm)、表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)等共計 9 項參數，作為試驗分析數值。

本節先就不同材質，分別以可變角度止滑計及擺錘止滑檢測儀試驗結果所得之滑係數，與表面粗度測定計測得之表面粗度值，依前述之相關性檢定及線性迴歸方法進行分析，並與既有文獻比較後，探討不同材質防滑性能與表面粗度之關聯性。

### 一、實驗結果基本資料說明

#### (一) 防滑係數與表面粗度參數平均值

本研究測試時，亦分別就乾燥與潮濕狀態測量試體之防滑性能。經試驗結果，整理地面材料防滑係數與表面平均粗度數值一覽表如表 4-1.1。

表 4-1.1 不同表面粗度值變數與防滑係數平均數量測結果一覽表

	Ra	Rz	RSm	Rsk	Rku	Rt	R3z	Rpk	Rpm	XL-d	XL-w	CON-w
石質釉面地磚	11	64.4	1.96	-0.23	2.84	71.6	21	10.22	30	0.815	0.14	0.215
拋光石英磚	8.76	46.6	2.462	-0.05	2.68	56.6	19.6	8.26	23.8	0.99	0.16	0.23
石質地磚	19.2	86.2	3.86	-0.06	2.6	105.6	43.2	18.12	41.6	1	0.17	0.15
時尚崗石	18.2	115.6	1.54	0.008	2.88	138.6	51	25	59.6	0.815	0.255	0.33
仿古石英磚	24.6	128	1.96	-0.12	2.6	154.8	37.2	21.5	59.8	0.645	0.405	0.4
崗石	54.8	263.6	3.26	0.08	2.44	334.4	103.6	48.8	130	0.72	0.42	0.37
地原石	59	312	2.5	0.03	2.48	376	77.2	60	163.8	0.83	0.635	0.76
石英板岩石	43	225	2.6	0.1	2.4	267.2	74	38.4	119	0.765	0.52	0.465
石英板岩	82.6	396.8	2.68	0.138	2.5	544.4	112.2	73.2	190.8	0.75	0.59	0.515
花崗石(黑)	93.71	546.6	1.639	-0.09	2.656	636.5	200.9	91.83	264.4	0.755	0.69	0.45
花崗石(紅)	119.9	618.3	2.696	0.084	2.688	808.5	262.2	108	310.2	0.85	0.865	0.815
備註 1：Ra、Rz、Rsm、Rsk、Rku、Rt、R3z、Rpk、Rpm 為材料表面量測 5 次之粗度參數平均數												
備註 2：XL-d 為可變角度止滑計於材料乾燥狀態量測 12 次之平均數，XL-w 為可變角度止滑計潮濕態量測 12 次之平均數，CON-w 為擺錘止滑檢測儀潮濕態量測 12 次之平均數												

表來源：本研究整理

(二) 不同材質下，可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀相關性檢定

檢驗可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀相關性，從圖 4-1.1 可得知，三者顯著水準為 0.01 條件下，可變角度止滑計乾燥與潮濕狀態所得之相關係數達 0.405；可變角度止滑計乾燥狀態與擺錘止滑檢測儀試驗潮濕狀態相關係數達 0.777；可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀試驗於潮濕狀態所得之相關係數最高，達 0.808 顯著。

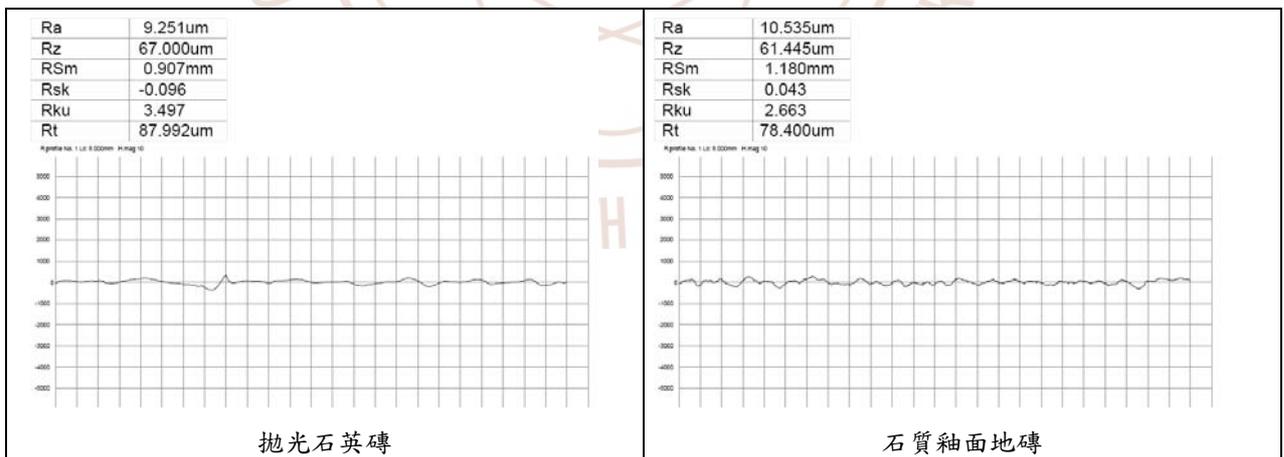


圖 4-1.1 不同材料可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值分布圖

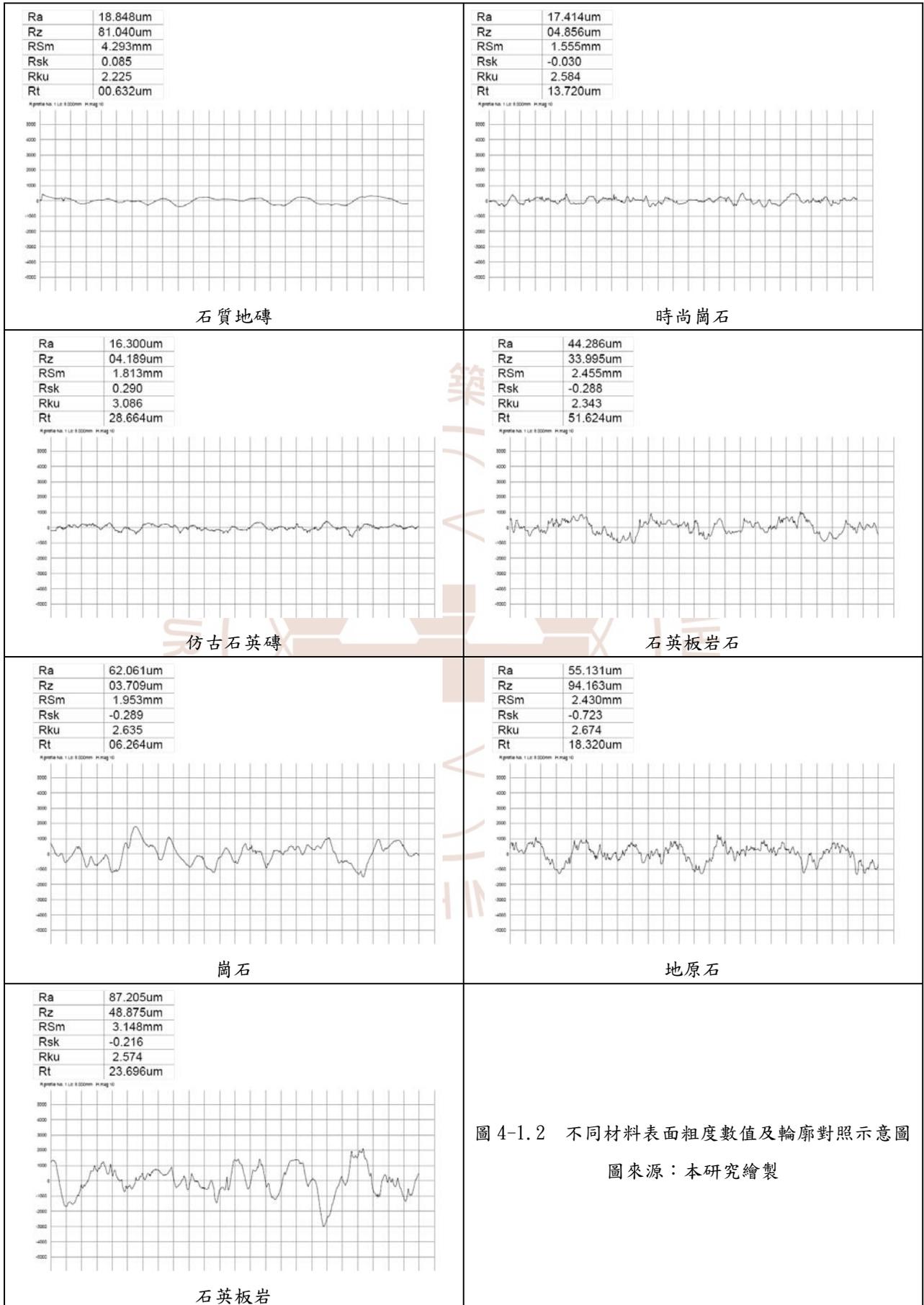
圖來源：本研究繪製

(三) 表面粗度量測值及輪廓形貌關係

表面粗度量測數值及輪廓曲線形貌對照，取各試片中心點量測結果，如圖 4-1.2：



地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究



二、防滑係數與表面粗度參數分析

1. 相關性檢定：如表 4-1.2，不同表面粗度值參數有 6 項對與防滑係數具有顯著關係，包括表面平均粗度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、評估長度內最大高度(Rt)、第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)。

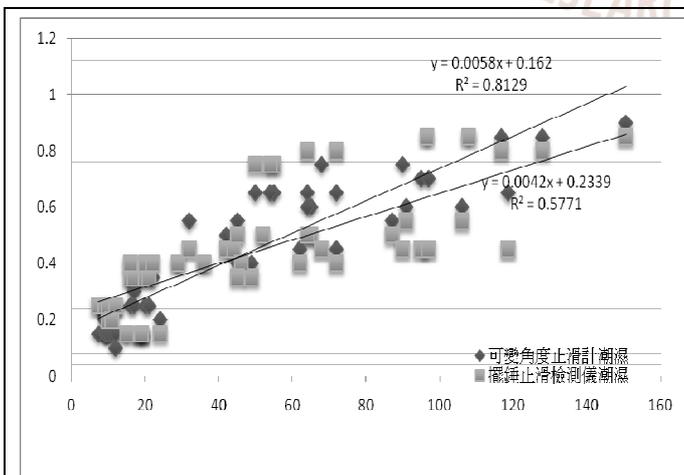
表 4-1.2 不同表面粗度值變數與防滑係數相關性分析

	Ra	Rz	Rsm	Rsk	Rku	Rt	R3z	Rpk	Rpm
可變角度-乾	-0.222	-0.212	.286(*)	-0.045	0.117	-0.204	-0.121	-0.149	-0.201
可變角度-濕	.915(**)	.933(**)	-0.079	0.196	-0.114	.924(**)	.860(**)	.763(**)	.927(**)
擺錘量測-濕	.759(**)	.760(**)	-0.045	0.18	-0.097	.766(**)	.638(**)	.647(**)	.777(**)

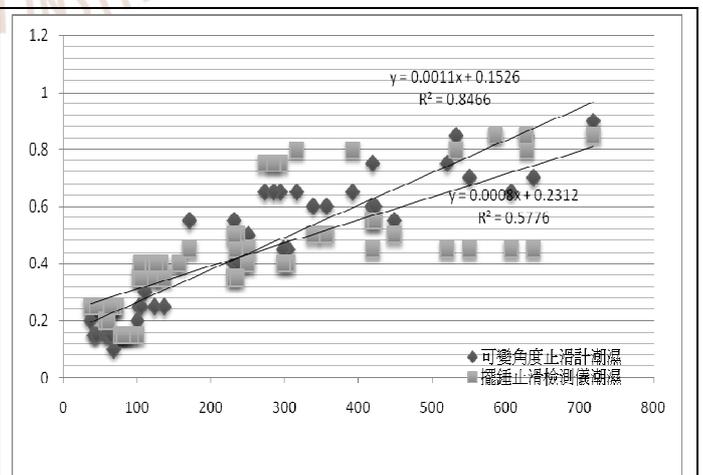
\*\* 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

表來源：本研究整理

2. 迴歸分析：防滑係數與表面粗糙度值迴歸分析，在排除平均波峰間距(Rsm)、表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)三者未達顯著程度之參數後，其迴歸分析圖入下：



防滑係數與 Ra 值迴歸分析圖



防滑係數與 Rz 值迴歸分析圖

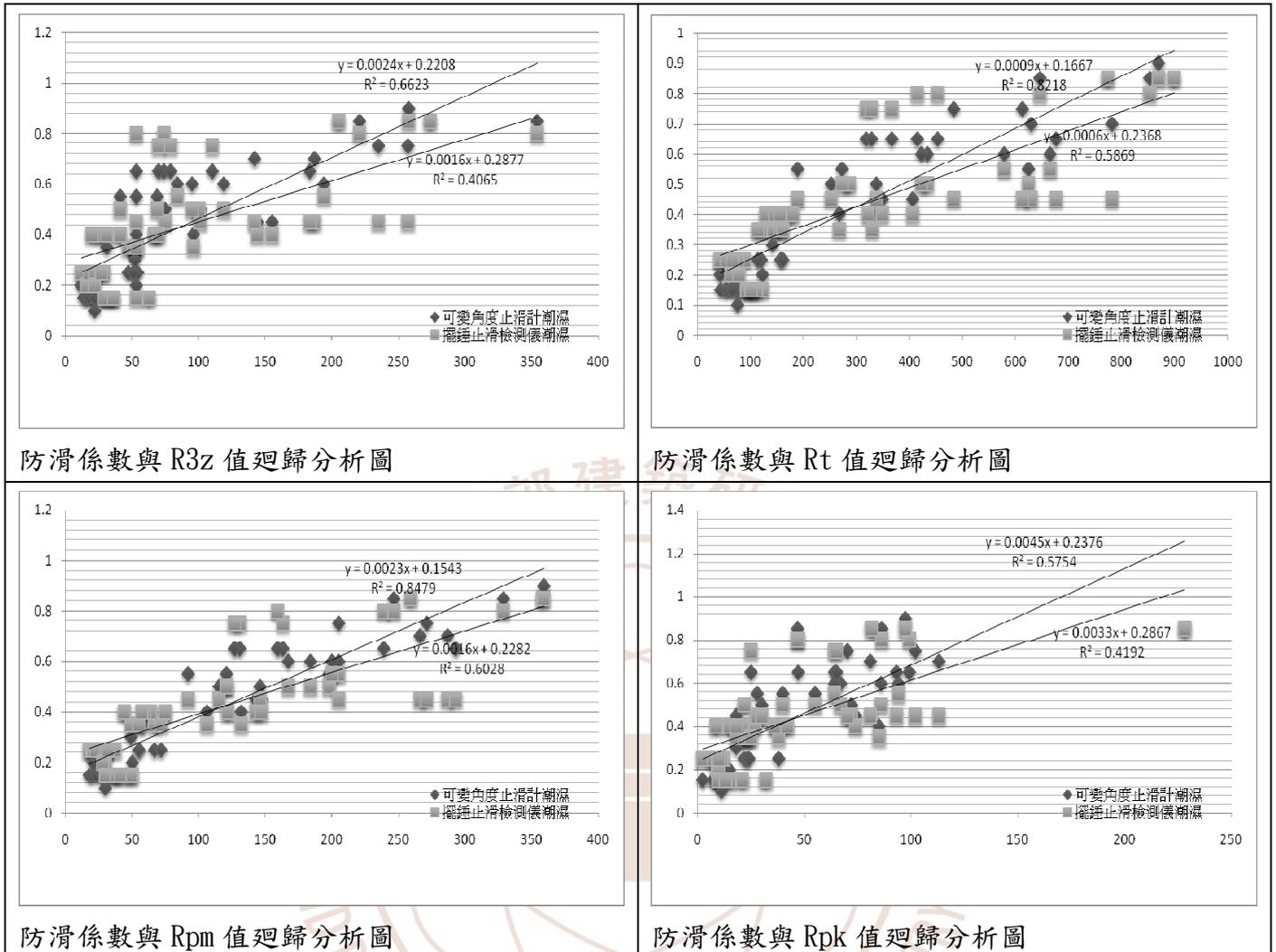


圖 4-1.3 不同材料防滑係數與表面粗度值迴歸分析圖

圖來源：本研究繪製

從上述迴歸分析圖所羅列之有效解釋決定係數( $R^2$ )，僅表面平均粗度值( $R_a$ )、5 個取樣長度最大波峰谷平均值( $R_z$ )、評估長度內最大高度( $R_t$ )、每個取捨長度峰谷高度平均值( $R_{pm}$ )四者對可變角度止滑計之防滑係數達高度解釋力(80%以上)，其迴歸式如下：

- (1) 表面平均粗度值( $R_a$ )：相關係數( $R$ )為 0.901，有效解釋決定係數( $R^2$ )為 0.812 ( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.005748X(R_a \text{ 值}) + 0.162$
- (2) 5 個取樣長度最大波峰谷平均值( $R_z$ )：相關係數( $R$ )為 0.92，有效解釋決定係數( $R^2$ )為 0.847( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.001135X(R_z \text{ 值}) + 0.152$
- (3) 評估長度內最大高度( $R_t$ )：相關係數( $R$ )為 0.8907，有效解釋決定係數( $R^2$ )

為 0.822 ( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.0008661X(\text{Rt 值}) + 0.167$

- (4) 每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)：相關係數(R)為 0.921，有效解釋決定係數( $R^2$ )為 0.848 ( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.002271X(\text{Rpm 值}) + 0.154$



## 第二節 不同材質之試驗結果討論

本節研究分析結果如下：

1. 檢驗可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀相關性，三者皆達顯著，但以二儀器於材料表面潮濕狀態下所得之結果，明顯高於可變角度止滑計乾燥狀態對潮濕狀態之相關性。
2. 比較表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值，有 6 項對與防滑係數具有顯著關係，包括表面平均粗度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、評估長度內最大高度(Rt)、第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效力積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)，驗證既有文獻提及之摩擦力量值反映地面材料材質與表面粗度之關聯性討論 (Stevenson, 1989；Wen-Rury Chang, 1999)。
3. 比較表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值迴歸分析結果，表面粗度參數對可變角度止滑計有較高之解釋力。

4. 不同材質所得之防滑係數與表面粗度值迴歸模式：

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.005748X (\text{Ra 值}) + 0.162$$

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.001135X (\text{Rz 值}) + 0.152$$

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.0008661X (\text{Rt 值}) + 0.167$$

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.002271X (\text{Rpm 值}) + 0.154$$

### 第三節 相同材質試驗結果分析

為排除不同材質中，材料本身之成份、表面處理方式等多項變因，本研究另以相同石材不同表面研磨方式，進一步探討粗度參數對防滑係數之影響結果。試驗材料部分以天然石材安山岩為主，分別取五種不同表面處理試片進行實驗，實驗數據取上述表面粗度 9 項數值與可變角度止滑計(潮濕狀態)、可變角度止滑計(乾燥狀態)、擺錘止滑檢測儀(潮濕狀態)數值，同樣先以 pearson 相關係數作顯著性檢定，再進行迴歸分析。

#### 一、實驗結果基本資料說明

##### (一) 防滑係數與表面粗度參數平均值

本研究測試時，亦分別就乾燥與潮濕狀態測量試體之防滑性能。經試驗結果，整理地面材料防滑係數與表面平均粗度數值一覽表如表 4-2.1。

表 4-2.1 安山岩表面粗度值變數與防滑係數平均數量測結果一覽表

	Ra	Rz	RSm	Rsk	Rku	Rt	R3z	Rpk	Rpm	XL-d	XL-w	CON-w
安山岩 1	8.24	162	0.38	-6	46	280.4	36.6	1.318	9.46	0.705	0.138	0.26
安山岩 2	12.58	205	0.33	-4.8	30.4	302.4	58	2.4	16.2	0.625	0.147	0.272
安山岩 3	38	389.2	1.54	-2.2	10.8	552.2	114.6	22.44	83	0.73	0.53	0.848
安山岩 5	32	268	0.926	-1.74	6.6	428.4	103.8	20.14	64.6	0.89	0.74	0.838
安山岩 4	35.8	331.6	1.166	-1.28	8.82	446	129.6	28.2	92.2	0.815	1	0.873

表來源：本研究整理

##### (二) 相同材質下，可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀相關性檢定

檢驗可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀相關性，從圖 4-2.1 可得知，安山岩在顯著水準為 0.01 條件下則三者均達一定程度之正相關，包括：可變角度止滑計乾燥與潮濕狀態所得之相關係數達 0.757；可變角度止滑計乾燥狀態與擺錘止滑檢測儀試驗潮濕狀態相關係數達 0.720；可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀試驗於潮濕狀態所得之相關係數最高，達 0.891 顯著。

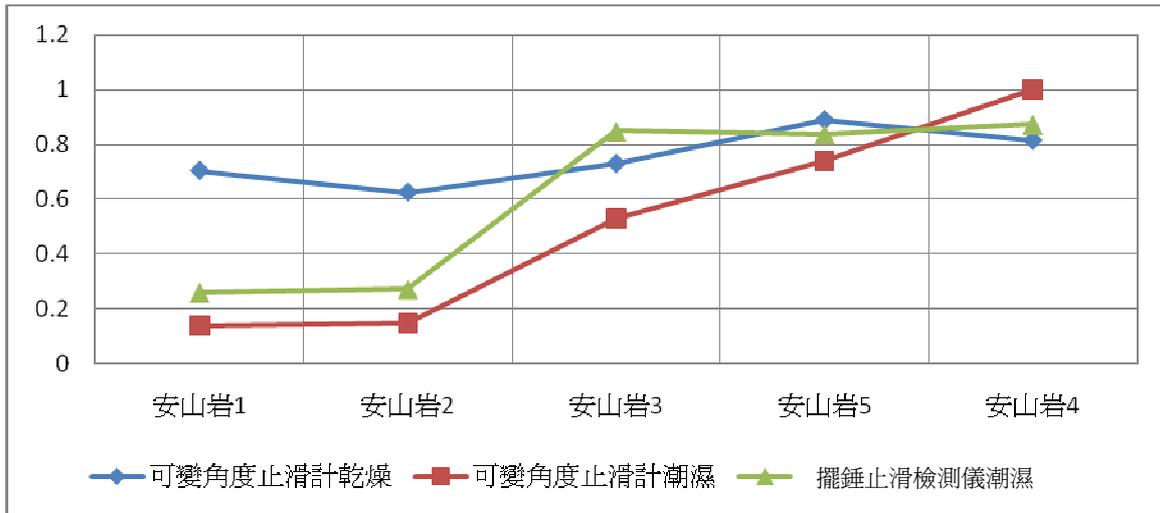
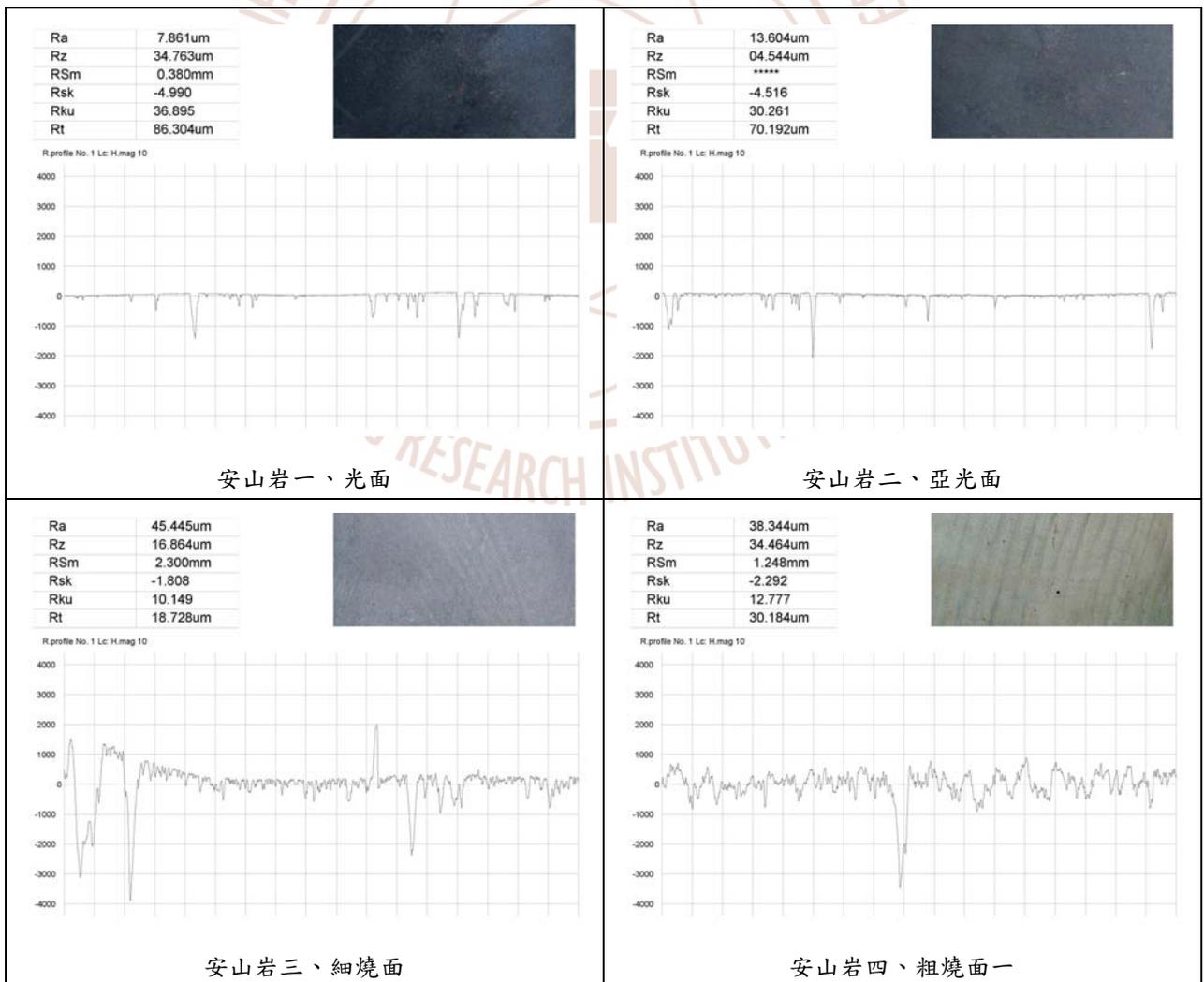


圖 4-2.1 相同材料可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值分布圖

圖來源：本研究繪製

(三) 表面粗度量測值及輪廓形貌關係



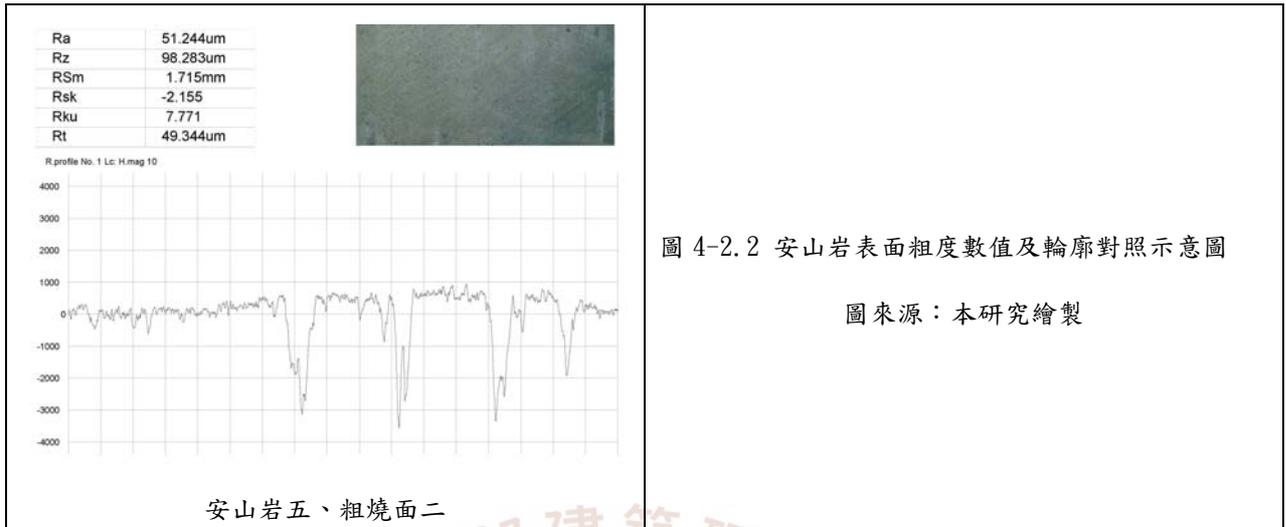


圖 4-2.2 安山岩表面粗度數值及輪廓對照示意圖

圖來源：本研究繪製

## 二、防滑係數與表面粗度參數分析

1. 相關性檢定：如表 4-1.3，安山岩表面粗度值參數有 8 項對與防滑係數具有顯著關係，包括表面平均粗度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)、評估長度內最大高度(Rt)、第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)。

表 4-2.2 安山岩表面粗度值變數與防滑係數相關性分析

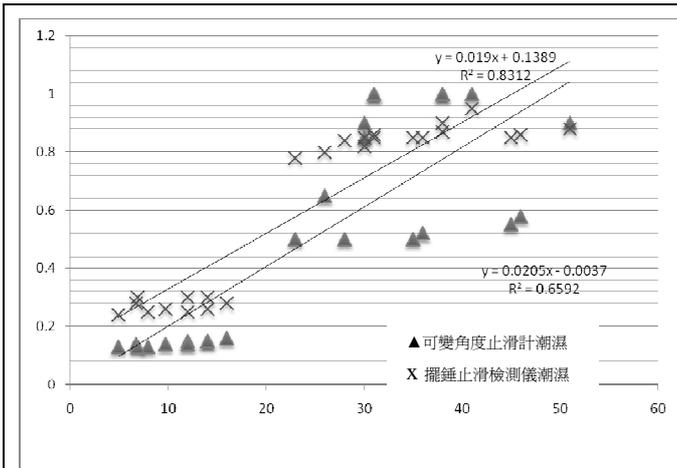
	Ra	Rz	Rsm	Rsk	Rku	Rt	R3z	Rpk	Rpm
可變角度-乾	.682(**)	.402(*)	0.163	.730(**)	-.659(**)	0.373	.642(**)	.579(**)	.616(**)
可變角度-濕	.811(**)	.598(**)	0.311	.862(**)	-.796(**)	.510(**)	.844(**)	.677(**)	.790(**)
擺錘量測-濕	.913(**)	.715(**)	.582(*)	.914(**)	-.882(**)	.610(**)	.903(**)	.679(**)	.841(**)

\*\* 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

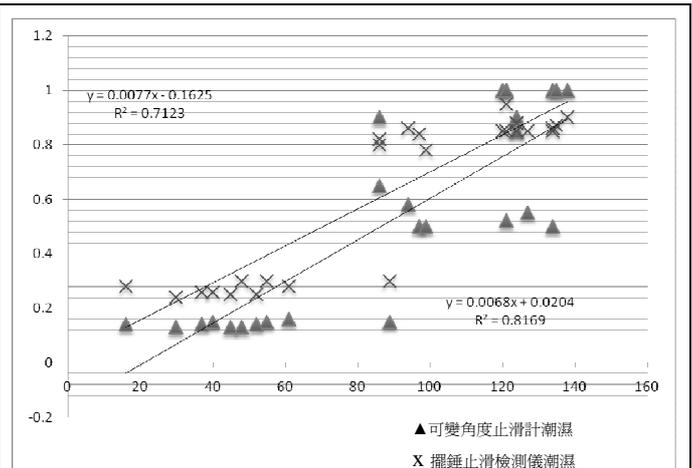
表來源：本研究整理

2. 迴歸分析：防滑係數與表面粗糙度值迴歸分析，在排除平均波峰間距(Rsm)未達顯著程度之參數後，其迴歸分析圖入下：

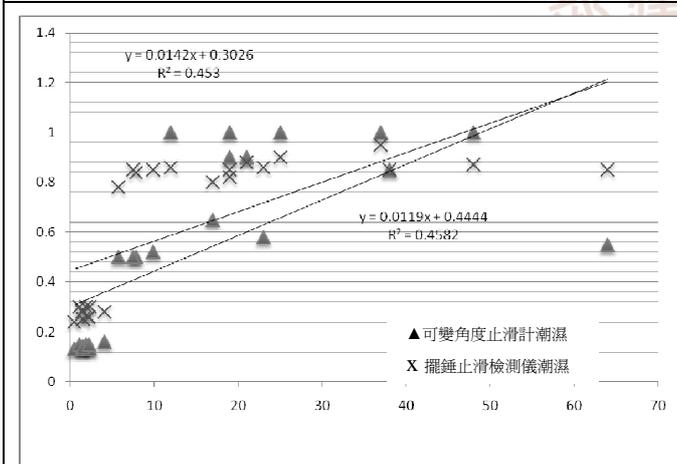
地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究



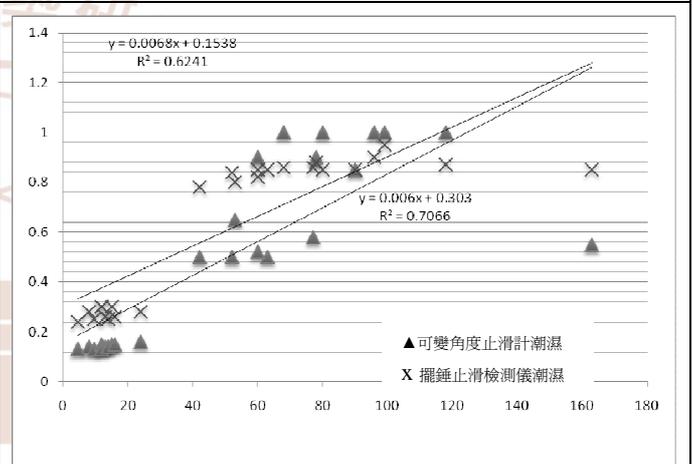
防滑係數與 Ra 值迴歸分析圖



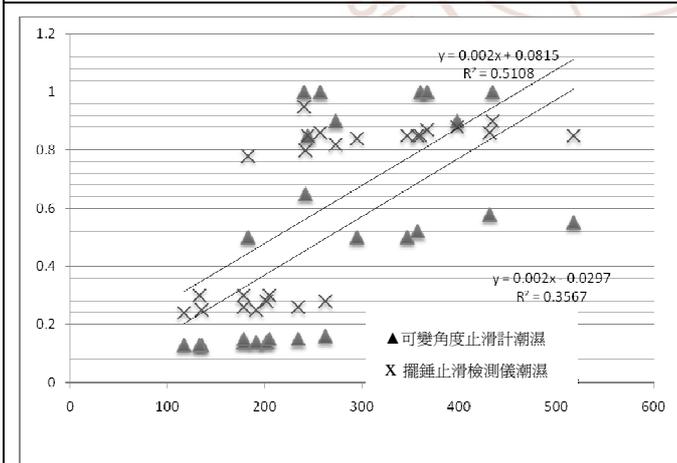
防滑係數與 R3z 值迴歸分析圖



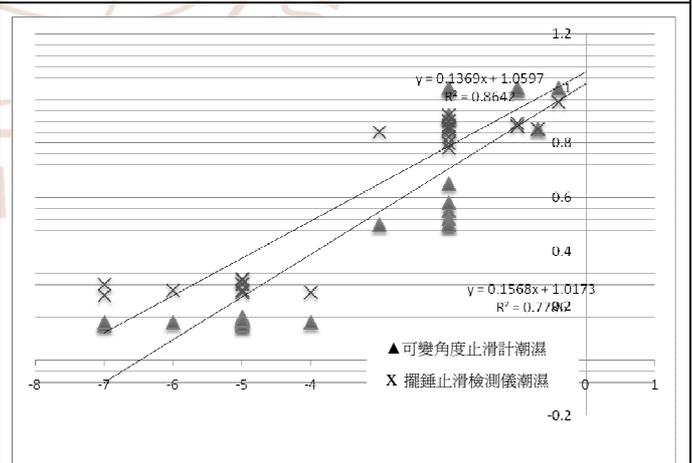
防滑係數與 Rpk 值迴歸分析圖



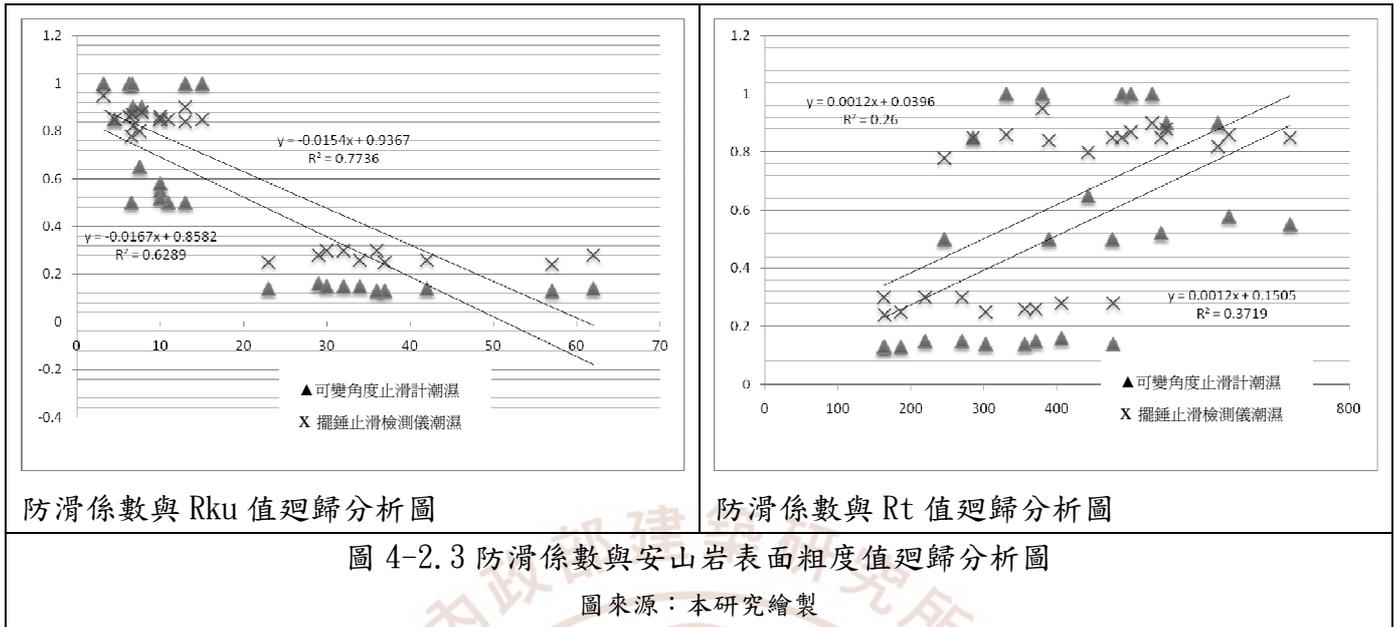
防滑係數與 Rpm 值迴歸分析圖



防滑係數與 Rz 值迴歸分析圖



防滑係數與 Rsk 值迴歸分析圖



從上述迴歸分析圖所羅列之有效解釋決定係數( $R^2$ )，僅表面平均粗度值( $R_a$ )、第三高峰至最低谷之平均高度( $R_{3z}$ )、表面高度斜度( $R_{sk}$ )三者對擺錘止滑檢測儀之防滑係數達高度解釋力，其迴歸式如下：

- (1) 表面平均粗度值( $R_a$ )：相關係數( $R$ )為 0.913，有效解釋決定係數( $R^2$ )為 0.834 ( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.01894X(\text{Ra 值}) + 0.142$
- (2) 第三高峰至最低谷之平均高度( $R_{3z}$ )：相關係數( $R$ )為 0.903，有效解釋決定係數( $R^2$ )為 0.816 ( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.006788X(\text{R}_{3z} \text{ 值}) + 0.02039$
- (3) 表面高度斜度( $R_{sk}$ )：相關係數( $R$ )為 0.914，有效解釋決定係數( $R^2$ )為 0.835 ( $p < 0.05$ )，其迴歸式為： $Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.142X(\text{R}_{sk} \text{ 值}) + 1.076$

## 第四節 相同材質試驗結果討論

本節研究分析結果如下：

1. 比較表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值，有 8 項對與防滑係數具有顯著關係，包括：表面平均粗度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)、評估長度內最大高度(Rt)、第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)等 8 項參數。
2. 新增之高度相關粗度參數值(Rsk、Rku)，均為更細微之表面粗度量測參數，表示在排除不同材質所具有之特定變因後，細微輪廓形貌亦有可能影響防滑係數之量測結果。
3. 比較表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值迴歸分析結果，相同材質大幅提高表面粗度參數對擺錘止滑檢測儀之解釋力，同時保持對可變角度止滑計一定程度之關連性。
4. 相同材質防滑係數與表面粗度值迴歸模式：  
$$Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.01894X (\text{Ra 值}) + 0.142$$
$$Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.006788X (\text{R3z 值}) + 0.02039$$
$$Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.142X (\text{Rsk 值}) + 1.076$$
5. 另由相關性判斷，波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)與防滑係數值皆呈現負向關係，與既有文獻提及之摩擦力量值反映地面材料材質與表面粗度的加成效應 (Stevenson, 1989; Wen-Rury Chang, 1999) 相左。

## 第五章 結論與建議

本研究經由文獻蒐集分析及試驗結果，歸納出結論及敘明研究限制，並提出短、中、長期改善建議。

### 第一節 結論

綜合比較國內外相關文獻及可變角度止滑計、擺錘止滑檢測儀、表面粗度量測儀之實驗結果，本研究獲致以下結論：

#### 一、試驗方法檢討

1. 本研究為尋求可量測較高表面粗度範圍之探針，將原針頭更換為垂直量測範圍約可達 1048.6 $\mu\text{m}$  之針頭，以量測光滑面磁磚至窯燒磚類、石材等粗糙面材料，因此產生與既有文獻提及之量測針頭無法一致，導致 Ra 參數無法比對之情況。

檢討原因在於目前表面粗度規範均以機械性能為依歸，舉凡 ISO、JIS、DIN 等，皆以量測表面精微元件作為主要範圍(如附錄 1.3 工業界表面粗度特性值之最大值、最小值)，因此，用於地面材料等粗度較高之試體時，是否適用或需作適度修正，仍有待蒐集更多研究文獻資料及進一步研究。

2. 目前國內雖有以擺錘止滑檢測儀作為測試儀器之 CNS 標準(地板滑動檢驗法：總號 8911，類號 A3159)，惟該試驗係以路面量測為主，主要是考慮汽車行走時之止滑效果，儀器採用之滑動試片為鋼片，並不適用於測試以行走為主之地面材料，顯示目前之檢驗標準有待增訂。

#### 二、試驗結果發現

由於上期研究顯示，地面材料乾燥時其防滑係數多在安全值以上，所以潮濕狀態下之防滑係數才是提升地面防滑之關鍵，也才是研究重點，且因本研究使用之擺錘止

滑檢測儀僅能量測潮濕狀態下之防滑係數，所以本試驗結果主要檢討分析潮濕狀態下之地面材料防滑係數。

1. 檢驗可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀相關性，在顯著水準 0.01 條件下，相關係數為 0.808，為顯著之正向相關。
2. 綜合比較相同材質與不同材質表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值，有 6 項對與防滑係數具有顯著關係，包括表面平均粗度值(Ra)、5 個取樣長度最大波峰谷平均值(Rz)、評估長度內最大高度(Rt)、第三高峰至最低谷之平均高度(R3z)、高峰等效面積直角三角形(Rpk)、每個取捨長度峰谷高度平均值(Rpm)，驗證既有文獻提及之摩擦力量值反映地面材料材質與表面粗度之關聯性討論 (Stevenson, 1989; Wen-Rury Chang, 1999)。
3. 相同材質中，表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值，另有 2 項對防滑係數具有顯著關係，包括：表面高度斜度(Rsk)、波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)，此更細微之表面粗度量測參數，表示在排除不同材質所具有之特定變因後，細微輪廓形貌亦有可能影響防滑係數。

表 5-1.1 表面粗度值變數與防滑係數相關性比較表

不同材質表面粗度值變數與防滑係數相關性數值									
	Ra	Rz	Rsm	Rsk	Rku	Rt	R3z	Rpk	Rpm
可變角度計	.915(**)	.933(**)	-0.079	0.196	-0.114	.924(**)	.860(**)	.763(**)	.927(**)
擺錘量測儀	.759(**)	.760(**)	-0.045	0.18	-0.097	.766(**)	.638(**)	.647(**)	.777(**)
相同材質表面粗度值變數與防滑係數相關性數值									
可變角度計	.811(**)	.598(**)	0.311	.862(**)	-.796(**)	.510(**)	.844(**)	.677(**)	.790(**)
擺錘量測儀	.913(**)	.715(**)	.582(*)	.914(**)	-.882(**)	.610(**)	.903(**)	.679(**)	.841(**)

\*\* 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著。

表來源：本研究整理

4. 比較表面粗度參數對可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀防滑係數值迴歸分析結果，表面粗度參數對可變角度止滑計有較高之解釋力。增加相同材質實驗結果後，可增加表面粗度參數對擺錘止滑檢測儀之解釋力，同時保持對可變角度止滑計一定

程度之關連性。

5. 不同材質所得之防滑係數與表面粗度值迴歸模式：

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.005748X (\text{Ra 值}) + 0.162$$

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.001135X (\text{Rz 值}) + 0.152$$

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.0008661X (\text{Rt 值}) + 0.167$$

$$Y(\text{可變角度止滑計值}) = 0.002271X (\text{Rpm 值}) + 0.154$$

6. 相同材質所得之防滑係數與表面粗度值迴歸模式：

$$Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.01894X (\text{Ra 值}) + 0.142$$

$$Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.006788X (\text{R3z 值}) + 0.02039$$

$$Y(\text{擺錘止滑檢測儀}) = 0.142X (\text{Rsk 值}) + 1.076$$

7. 以防滑係數 0.5 為基準，表面平均粗度值(Ra)約在 45 至 60um 範圍間。
8. 另由相關性判斷，波峰分佈陡峭度尖峰高度(Rku)與防滑係數值皆呈現負向關係，與既有文獻提及之摩擦力量值反映地面材料材質與表面粗度的加成效應 (Stevenson, 1989; Wen-Rury Chang, 1999) 相左。

### 三、研究限制

本研究在時間及人力有限之情況下，受到以下限制：

1. 無法做全面性解釋：國內磁磚樣本眾多，無論在外表、材料或成份上都有很大差異，現階段而言，不易以分類抽樣方式，就代表性之磁磚進行實驗，希望後續能擴充實驗樣本以達分類抽樣之依據。
2. 本研究所採用之 SE-500 型表面粗度分析儀與 1048.6um 探針，無法量測粗度高度過大之地面材料，如抵石子、石材之荔枝面與粗鑿面等粗糙表面，有待後續以輪廓曲線測定方式，進行與防滑係數驗證工作。
3. 本研究曾嘗試以三維雷射分析儀量測抵石子、高粗糙面之窯燒花崗岩等材料，但若遇材料本身具反光材質，如內含石英顆粒或拋光面等，亦無法取得確切數據。

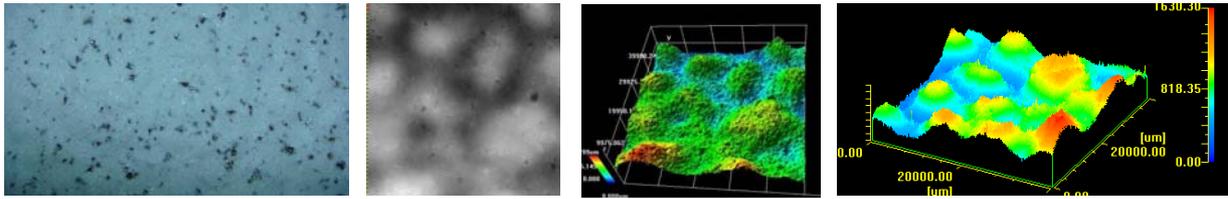


圖 5-2.1 窯燒花崗岩三維表面分析圖

圖來源：MITANI NAZCA-3D 本研究整理

#### 四、後續研究建議

1. 本研究結果發現潮濕狀態防滑係數與表面粗度算術平均數 Ra 值有明顯正相關，與既有文獻相符。若能再納入各類地面材料進行多樣性研究，並確認其相關性，則未來可思考以地面材料表面粗度作為防滑性能數值要求。
2. 本研究所採用之試體，僅 5 項試體防滑係數介於 0.5 上下，建議增加此範圍之實驗樣本，並於潮濕狀態使用的蒸餾水之外，再增加不同液體之數據，以增加實驗結果之多樣性，獲得更精確之粗度參數與防滑係數對應值。
3. 可變角度計因接觸面積較小，造成同一試體中不同測試點之實驗數據有部分差異，建議後續可尋找與人體步行接觸面積近似之量測儀器驗證。
4. 表面粗度可作為地面材料防滑性能檢測選項之一，但不能全然解釋防滑係數所得結果，因此尚有許多層面須深入探討，以下就未來可延續深入分析部份概述如下：
  - (1)地面材料表面處理方式，如相同粗度情況下，是否上釉。
  - (2)地面材料所含成分，如石英、長石、雲母等不同硬度顆粒所佔比重。
  - (3)地面材料試體光滑與粗糙面比例，如抵石子中，光滑與粗糙石礫所佔比重。
5. 本研究於相同材質中所作之比較，發現地面材料在不同表面粗度研磨後亦會影響其防滑性能，故現有地面材料之磨耗性能與耐久性可再深入探討。

## 第二節 研究建議

本研究經蒐集國內外相關研究文獻，及實際之試驗結果，發現地面材料表面粗度對防滑性能有明顯之影響，也經由試驗證明可變角度止滑計與擺錘止滑檢測儀皆可適用地面材料之防滑係數測試，基於國內目前滑倒意外頻傳，而對地面材料之防滑性能尚缺乏有效因應對策，本研究研提短、中、長期改善建議如下。

### 一、立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所、經濟部標準檢驗局、地面材料相關廠商

協辦單位：營建署、中華民國陶瓷公會、建築師公會等

研究結果顯示，國內對於地面材料防滑性能缺乏明確規範，必須儘速修訂相關法令，以提升地面防滑性能。

1. 研訂防滑係數最低標準：建議以 0.5 作為地面材料最低防滑係數標準，並儘速修正建築相關法令，尤其室外坡道、浴室等易潮溼之地面，更需優先訂定。
2. 市售地面材料應標示防滑係數：為有效提供地面材料之防滑係數供設計及施工者選用參考，建議將防滑性能納入瓷磚之應施檢驗項目，並規定磁磚應標示防滑係數。
3. 檢驗標準修正：文獻及本研究試驗結果皆顯示手拉式水平測力計不適用於潮濕狀態，國家標準宜速進行該檢驗方法之修正，並建議儘速完成可變角度止滑計及擺錘止滑檢測儀試驗方法之法制程序，以提供有效的試驗標準與方法。
4. 地面材料研發：本研究已證明適當之表面粗糙特性，對地面材料之防滑性能有極大之幫助，建議廠商可據以發展，研發出較佳之地面防滑材料。

### 二、中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所、經濟部標準檢驗局、地面材料相關廠商

協辦單位：營建署、台灣區陶瓷工業同業公會、建築師公會等

進行更廣泛及深入之研究，並建立完備之檢驗機制，以全面規範地面材料之防滑性能。

## 地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

1. 建立完備之檢驗機制：廣泛而深入進行研究及試驗，包括各種不同地面材料，在不同之污染狀態下（潮濕、肥皂水、油污等）之防滑性能，及適合之測試儀器，以建立完備之檢驗機制，全面性推動落實材料之防滑性能標示。
2. 有效性及舒適度分析：可變角度止滑計雖可適用於乾燥及潮濕狀態，惟其係以小試體模擬人行走之情況，是否確能反映實際走路之情形，建議以斜坡測試計或其他方式作比對試驗，以驗證其有效性。
3. 表面粗糙之地面材料在使用磨損後會影響其防滑性能，研究如何增加材料之耐久性以確保其防滑性能。



### 附錄 1.1 表面性質與狀態之參數

JIS B 0601:2001 之條項	JIS B 0601:2001 之參數	JIS B 0601:1994 和 JIS B 0660:1998 之記號	JIS B 0601:2001 之記號	輪廓曲線的長度	
				評估長度 ln	基準長度 (2)
4.1.1	輪廓曲線最大波峰高度	Rp	Pp(3)		○
4.1.2	輪廓曲線最大波谷深度	Rm	Rv(3)		○
4.1.3	輪廓曲線的最大高度	Ry	Rz(3)		○
4.1.4	輪廓曲線要素的平均高度	Rc	Rc(3)		○
4.1.5	輪廓曲線的最大斷面高度	—	Rt(3)	○	
4.2.1	輪廓曲線的算數平均高度	Ra	Ra(3)		○
4.2.2	輪廓曲線的均方根高度	Rq	Rq(3)		○
4.2.3	輪廓曲線的傾斜度	Sk	Rsk(3)		○
4.2.4	輪廓曲線的峭度	—	Rku(3)		○
4.3.1	輪廓曲線要素的平均長度	Sm	RSm(3)		○
4.4.1	輪廓曲線的均方根傾斜度	$\Delta q$	R $\Delta q$ (3)		○
4.5.1	輪廓曲線的負載率長度	tp	Rmr(c) (3)	○	
4.5.3	輪廓曲線的截斷高度差	—	P c(3)	○	
4.5.4	輪廓曲線相對負載長度率	—	Rmr(3)	○	
—	十點平均粗度(自原國際規格中刪除)	Rz	Pzjis(4)		○

注(2) 粗度，波紋與斷面曲線參數相對的基準長度，各為 lr, lw 和 lp。而 lp 等於 ln。

(3) 參數是對斷面曲線、波紋曲線和粗度曲線 3 種曲線的輪廓曲線的定義。本表只表示粗度曲線的參數。舉例，3 種類的參數就由 Pa(斷面曲線參數)、Wa(波紋曲線參數)與 Ra(粗度曲線參數)來表示。

(4) 十點平均粗度是只在 JIS 的參數記號，斷面曲線和波紋曲線則不適用。

參考 1. 輪廓曲線是粗度曲線時，Rz 稱為"最大高度的粗度"，Ra 稱為"算數平均粗度"，Rq 稱為"均方根粗度"。而斷面曲線為波紋曲線時，Wz 稱為"最大高度波紋"，Wa 稱為"算數平均波紋"，Wq 稱為"均方根波紋"。

2. 在原来的國際規格，1984 年版的以 tp 表示相對負載長度率，而 tp 就是負載長度率。在此將錯誤訂正。

資料來源：輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數，JIS B 0601

## 附錄 1.2 各國常用表面粗糙度表示法

項目 國名	中心線平均粗糙度	最大高度粗糙度	十點平均粗糙度	均方根粗糙度	中心線深度	相對負荷長度	局部峰平均間隔	凹凸平均間隔	規格
IS	Ra	Rma	Rz						R
本	Ra	Rma	Rz						JIS
國	Ra		Rz						SI
國	Ra		Rz						BS
義大	Ra	Rma	Rz	Rms		t	Sm		I
國	Ra	Rt	Rz		Rp		r		I
	Ra	Rma	Rz			tp	S	Sm	S
法國	Ra	Rma			Rp	r	r		

資料來源：姜俊賢、陳長成、李正治、卓漢明、李振發，1993，”精密量具及機件檢驗”，台北，文京圖書

### 附錄 1.3 表面粗度 性 之最大 、最

表面粗度 性		性 之 義	最大	最
中 線平均粗度	m	表示輪廓高度方 之性質	135.0	4.5
自 平均粗度	m		161.2	5.9
最大高度 JIS	m		684.2	44.3
10 點平均粗度 I	m		505.2	15.
中 線波 高度	m		3 5.0	11.2
中 線波 深度	m		29.6	385.0
點 數		表示在 定長度方 之各	204	1
高 數		長度的波 和波 數目	228	2
波 數			228	2
波 數			22	2
平均傾斜	ra	對 狀平均線之傾斜	0.1 9	0.002
自 平均傾斜	ra	的算 自 平均	0.244	0.005
表面長度率			101.6	100.0
自 平均波長	m	振 和 率 之波峰和 波 之平均	140 .3	30.8
傾斜度		表示高度方 之 率密度 曲線的對稱性	2.6	1.14
度		表示高度方 之 率密度 曲線的 度	21.4	2.00
長度 10		表示 波 線之 率密度	3 .95	0.09
長度 20		曲線的 波 附	56.8	0.4
長度 30			6 .54	0.56
長度 40		表示 波 線之 率密度	4.52	0.68
長度 50		曲線的 中	81.84	0.85
長度 60			95.26	1.
長度 0		表示 波 線之 率密度	99.02	8.61
長度 80		曲線的 波 附	99.65	29.03
長度 90			99.90	66.49

資料來源：和、本、一、：關於地 表面粗度和防滑 數關聯性之基 研  
究，本 文 459 號 P21 29 1994.5



附錄 2.1 相同材質防滑係數試驗結果一覽表

可變角度止滑計乾燥										
	安山岩 5	安山岩 4	安山岩 3	安山岩 2	安山岩 1	花崗岩 5	花崗岩 4	花崗岩 3	花崗岩 2	花崗岩 1
第 1 次	0.9	0.8	0.7	0.6	0.75	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7
第 2 次	0.95	0.85	0.75	0.65	0.7	0.8	0.85	0.75	0.75	0.75
第 3 次	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.8	0.9	0.7	0.75	0.7
第 4 次	0.85	0.8	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7
第 5 次	0.8	0.9	0.75	0.65	0.75	0.7	0.7	0.75	0.75	0.7
第 6 次	0.9	0.8	0.8	0.6	0.75	0.75	0.8	0.65	0.7	0.75
第 7 次	0.95	0.85	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
第 8 次	0.95	0.75	0.7	0.65	0.65	0.65	0.7	0.65	0.8	0.8
第 9 次	0.9	0.8	0.75	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
第 10 次	0.9	0.8	0.75	0.6	0.75	0.8	0.8	0.7	0.7	0.75
平均數	0.89	0.815	0.73	0.625	0.705	0.74	0.785	0.71	0.735	0.725

可變角度止滑計潮濕										
	安山岩 5	安山岩 4	安山岩 3	安山岩 2	安山岩 1	花崗岩 5	花崗岩 4	花崗岩 3	花崗岩 2	花崗岩 1
第 1 次	0.85	1	0.55	0.15	0.15	0.1	0.15	0.14	0.08	0.1
第 2 次	0.9	1	0.52	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.06	0.2
第 3 次	0.65	1	0.58	0.16	0.1	0.14	0.16	0.16	0.1	0.15
第 4 次	0.9	1	0.5	0.13	0.13	0.16	0.18	0.16	0.05	0.1
第 5 次	0.5	1	0.5	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.06	0.15
第 6 次	0.55	1	0.53	0.15	0.13	0.14	0.18	0.14	0.08	0.15
第 7 次	0.8	1	0.6	0.14	0.13	0.15	0.15	0.16	0.08	0.1
第 8 次	0.9	1	0.5	0.15	0.15	0.18	0.15	0.2	0.1	0.15
第 9 次	0.7	1	0.52	0.15	0.15	0.15	0.14	0.16	0.12	0.15
第 10 次	0.65	1	0.5	0.15	0.13	0.16	0.15	0.15	0.12	0.1
平均數	0.74	1	0.53	0.147	0.135	0.146	0.156	0.156	0.085	0.135

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

擺錘止滑檢測儀潮濕										
	安山岩 5	安山岩 4	安山岩 3	安山岩 2	安山岩 1	花崗岩 5	花崗岩 4	花崗岩 3	花崗岩 2	花崗岩 1
第 1 次	0.85	0.95	0.85	0.30	0.30	0.45	0.40	0.30	0.10	0.11
第 2 次	0.82	0.90	0.86	0.30	0.28	0.40	0.42	0.30	0.09	0.10
第 3 次	0.80	0.85	0.85	0.28	0.25	0.40	0.40	0.28	0.10	0.10
第 4 次	0.78	0.87	0.85	0.25	0.24	0.50	0.40	0.28	0.11	0.10
第 5 次	0.88	0.86	0.84	0.26	0.26	0.48	0.45	0.35	0.11	0.10
第 6 次	0.88	0.85	0.85	0.28	0.25	0.38	0.42	0.35	0.10	0.10
第 7 次	0.85	0.87	0.83	0.30	0.27	0.40	0.40	0.30	0.08	0.11
第 8 次	0.82	0.87	0.85	0.25	0.26	0.45	0.38	0.30	0.08	0.10
第 9 次	0.84	0.86	0.84	0.25	0.24	0.40	0.40	0.32	0.09	0.11
第 10 次	0.86	0.85	0.86	0.25	0.25	0.45	0.40	0.32	0.11	0.10
平均數	0.84	0.87	0.85	0.27	0.26	0.43	0.41	0.31	0.10	0.10



附錄 2.2 相同材質表面粗度參數試驗結果一覽表

安山岩一							3			
	第 1 次	4.88	117.26		6.61	56.81	163.96	29.59	0.49	4.61
	第 2 次	6.72	201.92		7.08	62.00	477.25	16.45	1.43	8.04
	第 3 次	9.68	177.92		5.63	41.59	355.94	36.66	2.14	12.99
	第 4 次	7.86	134.76	0.38	4.99	36.90	186.30	45.45	1.48	9.67
	第 5 次	11.74	178.01		4.92	32.21	219.15	55.45	1.10	12.32
	平均數	8.18	161.97	0.38	5.84	45.90	280.52	36.72	1.33	9.53
安山岩二							3			
	第 1 次	15.58	261.68		4.52	28.65	406.40	61.02	4.08	23.84
	第 2 次	6.94	133.49		5.25	35.86	162.70	47.68	2.26	11.59
	第 3 次	13.60	204.54		4.52	30.26	270.19	89.43	1.87	14.54
	第 4 次	11.65	191.37	0.33	4.12	23.33	302.18	52.15	1.52	13.93
	第 5 次	13.60	234.24		5.11	34.26	370.85	39.61	2.24	15.66
	平均數	12.28	205.06	0.33	4.70	30.47	302.46	57.98	2.40	15.91
安山岩三							3			
	第 1 次	27.76	294.69	1.21	2.86	12.78	388.58	96.92	7.84	51.58
	第 2 次	35.39	346.24	1.26	2.31	10.59	475.86	134.25	7.49	63.40
	第 3 次	45.45	516.86	2.30	1.81	10.15	718.73	126.64	63.65	162.55
	第 4 次	45.89	430.76	1.55	2.47	9.99	634.83	94.44	22.56	76.71
	第 5 次	36.25	357.21	1.30	2.48	10.22	542.12	120.70	9.90	60.36
	平均數	38.15	389.15	1.52	2.39	10.75	552.02	114.59	22.29	82.92
安山岩四							3			
	第 1 次	31.04	359.84	1.70	2.47	14.55	488.50	119.70	18.93	80.09
	第 2 次	38.34	434.46	1.25	2.29	12.78	530.18	138.31	25.45	96.07
	第 3 次	40.52	239.77	1.01	0.41	3.21	380.02	121.03	37.33	99.30
	第 4 次	30.70	256.93	0.83	1.33	6.25	330.14	133.77	12.28	67.55
	第 5 次	37.57	367.19	1.04	1.18	6.59	501.48	135.14	47.67	117.72
	平均數	35.64	331.64	1.17	1.54	8.68	446.06	129.59	28.33	92.15
安山岩五							3			
	第 1 次	51.24	398.28	1.72	2.16	7.77	549.34	124.14	21.40	77.70
	第 2 次	30.13	244.09	0.87	0.65	4.48	284.68	123.55	38.31	89.72
	第 3 次	26.34	242.23	0.55	1.73	7.50	441.86	85.73	16.70	53.10
	第 4 次	30.21	273.27	0.81	1.86	6.68	620.36	86.30	18.77	59.51
	第 5 次	22.89	183.38	0.70	1.56	6.46	246.26	98.51	5.67	42.08
	平均數	32.16	268.25	0.93	1.59	6.58	428.50	103.65	20.17	64.42

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

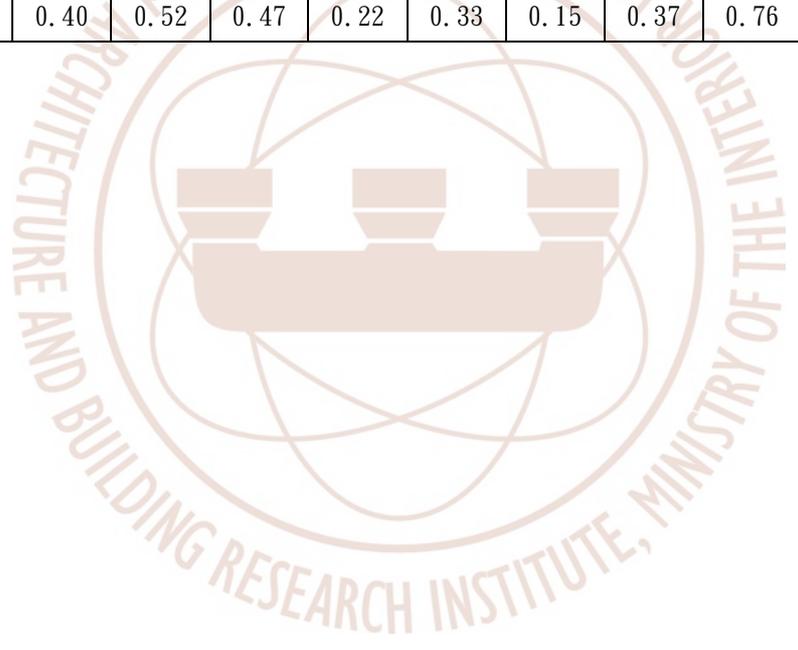
花崗岩一							3			
	第 1 次	2.4	88.4		7.3	60.8	143.7	7.8	0.4	4.1
	第 2 次	6.1	111.6		4.8	28.5	198.7	30.4	2.2	7.4
	第 3 次	2.2	70.4		7.2	63.7	103.3	13.1	0.5	4.5
	第 4 次	2.2	69.2		6.8	63.8	111.0	15.1	0.7	5.3
	第 5 次	0.9	25.4	0.4	3.3	31.4	59.3	5.5	0.7	3.9
	平均數	2.8	73.0	0.4	5.9	49.7	123.2	14.4	0.9	5.0
花崗岩二							3			
	第 1 次	1.1	38.1	0.2	7.8	90.1	49.1	9.6	0.9	2.9
	第 2 次	0.8	16.9	0.5	4.2	35.8	31.8	9.5	0.8	2.5
	第 3 次	3.6	64.4		5.3	37.7	98.2	8.7	0.9	4.6
	第 4 次	1.4	27.9	0.3	5.3	44.1	43.3	10.3	1.0	3.7
	第 5 次	2.0	83.6		9.1	94.7	132.4	13.1	0.5	3.4
	平均數	1.8	46.2	0.3	6.3	60.5	71.0	10.2	0.8	3.4
花崗岩三							3			
	第 1 次	3.7	64.4	1.8	4.1	24.5	80.4	26.5	2.2	11.1
	第 2 次	4.1	54.0	0.9	2.7	19.2	81.7	27.6	4.7	12.2
	第 3 次	5.2	78.8	0.5	3.9	20.9	107.9	41.8	1.6	10.3
	第 4 次	4.3	78.7		5.1	37.6	96.9	31.7	1.4	7.3
	第 5 次	7.2	98.1	0.2	3.6	17.9	124.9	43.1	1.3	12.6
	平均數	4.9	74.8	0.8	3.9	24.0	98.4	34.2	2.2	10.7
花崗岩四							3			
	第 1 次	8.6	108.6	0.6	3.8	21.3	143.0	45.8	2.8	13.8
	第 2 次	7.4	105.3	0.8	3.7	20.6	137.7	40.4	2.1	13.2
	第 3 次	6.7	80.3	0.6	3.1	17.4	108.0	40.3	1.8	11.2
	第 4 次	5.7	83.1	0.6	3.6	19.6	94.9	35.3	2.3	11.9
	第 5 次	6.8	90.0	0.6	3.5	18.7	105.7	50.2	2.0	10.3
	平均數	7.0	93.5	0.7	3.6	19.5	117.9	42.4	2.2	12.1
花崗岩五							3			
	第 1 次	6.3	83.4	1.1	3.3	16.1	103.6	46.2	2.6	13.4
	第 2 次	8.9	109.3	0.4	3.6	18.0	130.0	40.7	1.0	13.2
	第 3 次	8.3	100.6	2.4	2.2	11.4	153.5	50.4	3.8	18.8
	第 4 次	6.5	55.3	0.5	1.2	5.7	65.7	38.0	3.9	14.8
	第 5 次	5.8	115.3	0.3	4.2	28.4	159.9	34.6	5.7	21.7
	平均數	7.2	92.8	0.9	2.9	15.9	122.5	42.0	3.4	16.4

### 附錄 2.3 同材質防滑係數試驗結果一覽表

可變角度止滑計乾燥											
			岩	岩	質面	崗岩	質地	崗	地	花崗	花崗
第 1 次	1	0.6	0.75	0.75	1	0.8	1	0.75	0.85	1	1
第 2 次	1	0.65	0.75	0.7	1	0.8	1	0.7	0.85	1	1
第 3 次	1	0.65	0.75	0.75	1	0.8	1	0.7	0.85	1	1
第 4 次	1	0.65	0.75	0.75	1	0.8	1	0.7	0.8	1	1
第 5 次	1	0.65	0.75	0.75	1	0.85	1	0.75	0.85	1	1
第 6 次	1	0.65	0.8	0.75	1	0.85	1	0.75	0.85	1	1
第 7 次	1	0.65	0.8	0.75	1	0.85	1	0.7	0.8	1	1
第 8 次	0.95	0.65	0.8	0.8	1	0.8	1	0.7	0.8	1	1
第 9 次	0.95	0.65	0.8	0.8	1	0.8	1	0.75	0.85	1	1
第 10 次	1	0.65	0.7	0.7	1	0.8	1	0.7	0.8	1	1
平均數	0.99	0.645	0.767	0.75	1	0.815	1	0.72	0.83	1	1
可變角度止滑計潮濕											
			岩	岩	質面	崗岩	質地	崗	地	花崗	花崗
第 1 次	0.15	0.4	0.5	0.6	0.15	0.3	0.15	0.4	0.65	0.7	0.85
第 2 次	0.15	0.4	0.5	0.6	0.15	0.25	0.15	0.4	0.65	0.7	0.85
第 3 次	0.15	0.4	0.55	0.6	0.1	0.25	0.2	0.45	0.65	0.75	0.9
第 4 次	0.2	0.4	0.5	0.55	0.15	0.25	0.15	0.45	0.65	0.75	0.85
第 5 次	0.15	0.35	0.55	0.6	0.15	0.25	0.15	0.4	0.65	0.65	0.85
第 6 次	0.15	0.45	0.55	0.6	0.15	0.25	0.2	0.4	0.65	0.65	0.9
第 7 次	0.15	0.45	0.5	0.6	0.15	0.25	0.15	0.4	0.65	0.65	0.9
第 8 次	0.15	0.4	0.5	0.6	0.1	0.25	0.2	0.45	0.6	0.65	0.85
第 9 次	0.2	0.4	0.5	0.55	0.15	0.25	0.2	0.45	0.6	0.7	0.85
第 10 次	0.15	0.4	0.55	0.6	0.15	0.25	0.15	0.4	0.6	0.7	0.85
平均數	0.16	0.405	0.52	0.59	0.14	0.255	0.17	0.42	0.635	0.69	0.865

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

擺錘止滑檢測儀潮濕											
			岩	岩	質 面	崗 岩	質地	崗	地	花 崗	花 崗
第 1 次	0.25	0.40	0.50	0.45	0.20	0.35	0.15	0.35	0.80	0.45	0.8
第 2 次	0.25	0.40	0.55	0.50	0.25	0.35	0.15	0.40	0.80	0.45	0.85
第 3 次	0.25	0.40	0.55	0.50	0.25	0.35	0.15	0.40	0.75	0.45	0.85
第 4 次	0.25	0.40	0.50	0.45	0.25	0.35	0.15	0.40	0.75	0.45	0.8
第 5 次	0.25	0.40	0.50	0.45	0.20	0.35	0.15	0.35	0.75	0.45	0.85
第 6 次	0.25	0.40	0.50	0.50	0.20	0.35	0.15	0.35	0.75	0.45	0.8
第 7 次	0.20	0.40	0.55	0.45	0.20	0.30	0.15	0.40	0.75	0.45	0.8
第 8 次	0.20	0.40	0.50	0.45	0.20	0.30	0.15	0.35	0.75	0.45	0.8
第 9 次	0.20	0.40	0.50	0.45	0.20	0.30	0.15	0.35	0.75	0.45	0.8
第 10 次	0.20	0.40	0.50	0.45	0.20	0.30	0.15	0.35	0.75	0.45	0.8
平均數	0.23	0.40	0.52	0.47	0.22	0.33	0.15	0.37	0.76	0.45	0.815



附錄 2.4 同材質表面粗度參數試驗結果一覽表

								3		
地原石	第 1 次	72	392	1.8	0.29	2.6	453	74	99	239
	第 2 次	55	294	2.4	0.7	2.7	318	79	25	131
	第 3 次	50	273	2.4	0.11	2.6	328	110	64	127
	第 4 次	54	285	2.1	0.35	2.4	366	70	65	163
	第 5 次	64	316	3.8	0.1	2.1	415	53	47	159
	平均數	59	312	2.5	0.03	2.48	376	77.2	60	163.8
								3		
仿古石英磚	第 1 次	29	133	1.1	0.1	2.1	164	27	27	64
	第 2 次	16	104	1.8	0.29	3.1	129	41	15	44
	第 3 次	20	120	2.6	0.2	3	145	20	36	59
	第 4 次	36	157	1	0	2	180	67	8.5	75
	第 5 次	22	126	3.3	0.6	2.8	156	31	21	57
	平均數	24.6	128	1.96	0.122	2.6	154.8	37.2	21.5	59.8
								3		
拋光石英磚	第 1 次	9.1	43	3.1	0.4	2.4	53	21	2.4	18
	第 2 次	9.3	67	0.91	0.1	3.5	88	29	10	37
	第 3 次	7.3	41	2.7	0.1	2.6	44	14	7.5	20
	第 4 次	8.9	37	2.5	0.33	2.1	43	12	12	21
	第 5 次	9.2	45	3.1	0.02	2.8	55	22	9.4	23
	平均數	8.76	46.6	2.462	0.05	2.68	56.6	19.6	8.26	23.8
								3		
石質釉面	第 1 次	10	57	2	0.3	2.5	63	16	9.2	30
	第 2 次	10	72	2.5	0.9	3.9	74	18	11	30
	第 3 次	12	68	2.5	0.3	2.7	76	22	11	30
	第 4 次	11	61	1.2	0.04	2.7	78	22	9.9	28
	第 5 次	12	64	1.6	0.3	2.4	67	27	10	32
	平均數	11	64.4	1.96	0.232	2.84	71.6	21	10.22	30
								3		
雅典石質地磚	第 1 次	15	81	4.6	1	4.1	101	35	21	30
	第 2 次	19	77	3.7	0.06	1.9	92	29	9.6	38
	第 3 次	24	100	2.6	0.05	2	123	53	15	50
	第 4 次	19	92	4.1	0.48	2.8	111	36	32	49
	第 5 次	19	81	4.3	0.09	2.2	101	63	13	41
	平均數	19.2	86.2	3.86	0.064	2.6	105.6	43.2	18.12	41.6

地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

								3		
石英板岩石	第 1 次	42	251	2.5	0.52	3.1	337	101	72	146
	第 2 次	52	237	3.3	0.07	1.9	286	100	22	121
	第 3 次	32	171	1.9	0.09	2.3	189	53	28	92
	第 4 次	44	234	2.5	0.3	2.3	252	75	30	115
	第 5 次	45	232	2.8	0.12	2.4	272	41	40	121
	平均數	43	225	2.6	0.1	2.4	267.2	74	38.4	119
								3		
時尚崗石	第 1 次	17	110	1.6	0.2	3.4	141	52	18	49
	第 2 次	16	102	1.2	0.18	2.7	120	51	22	55
	第 3 次	17	105	1.6	0	2.6	114	54	23	55
	第 4 次	20	124	1.5	0.1	2.8	157	47	24	67
	第 5 次	21	137	1.8	0.16	2.9	161	51	38	72
	平均數	18.2	115.6	1.54	0.008	2.88	138.6	51	25	59.6
								3		
崗石	第 1 次	49	230	2.8	0.09	2.2	267	96	25	106
	第 2 次	46	250	3.2	0.24	2.7	322	70	42	122
	第 3 次	62	304	2	0.3	2.6	406	144	74	143
	第 4 次	72	298	4.9	0.1	2	348	155	18	147
	第 5 次	45	236	3.4	0.47	2.7	329	53	85	132
	平均數	54.8	263.6	3.26	0.08	2.44	334.4	103.6	48.8	130
								3		
石英板岩	第 1 次	65	357	2	0.13	2.6	433	119	67	167
	第 2 次	91	418	2.6	0.02	2.2	578	84	64	205
	第 3 次	64	338	2.2	0.37	2.9	422	95	86	184
	第 4 次	87	449	3.2	0.2	2.6	624	69	55	198
	第 5 次	106	422	3.4	0.37	2.2	665	194	94	200
	平均數	82.6	396.8	2.68	0.138	2.5	544.4	112.2	73.2	190.8
								3		
花崗石(黑)	第 1 次	127.9	627.7	1.9	0.3	2.4	853.1	354.1	86.3	328.5
	第 2 次	108.0	627.6	3.3	0.6	2.9	774.6	273.7	228.2	357.8
	第 3 次	150.5	718.2	3.4	0.2	2.1	869.5	257.8	97.2	359.1
	第 4 次	116.7	531.8	2.8	0.3	2.2	646.3	220.6	46.9	246.5
	第 5 次	96.5	586.1	2.0	0.1	3.7	899.0	205.0	81.4	259.3
	平均數	119.91	618.29	2.6958	0.084	2.6876	808.49	262.24	108	310.24

附錄二 試驗結果

								3		
花崗	第 1 次	95	550	1.5	0.3	2.7	629	142	81	266
	第 2 次	97	637	1.9	0.1	3.1	781	187	113	287
	第 3 次	90	520	1.5	0.09	2.6	613	257	102	271
	第 4 次	68	419	1.6	0.03	2.6	483	235	70	205
	第 5 次	118.6	607.1	1.7	0.1	2.3	676.5	183.4	93.1	292.9
	平均數	93.711	546.63	1.6394	0.0858	2.6564	636.5	200.88	91.828	264.37





## 附錄 3.1 期中報告審查會議紀錄

一、開會時間：97年8月5日（星期二）上午9時30分

二、開會地點：本所15F第二會議室

三、主持人：毛組長華

紀錄：廖慧燕、徐宏仁

四、出席人員：(如簽到簿)

五、主席致詞：(略)

六、業務單位報告：(略)

七、計畫主持人報告：(詳期中報告書及簡報資料，略)

八、審查意見：

1. 陳教授政雄：

- (1) 本案目的在提供防滑性能之規範，以使無障礙規範使用，有其實用性。
- (2) 實驗規劃中，實驗室狀況(溫溼度)應說明清楚，以免誤導結果。
- (3) 表面粗度量測方法(接觸或是感測)、取樣(直線、剖面)應詳細說明。
- (4) 試體選擇方法、內容、狀況宜呈現，以免影響實驗分析。
- (5) 建議研究報告中說明計量次數與信度及效度等相關資料。

2. 王建築師武烈：

- (1) 本研究若轉化為國內地面材料之檢測時，其檢測認定機構及合格證明發給制度如何處理，增加之費用應由何者支付。
- (2) 建材發展日新月異，亦有現場直接施工而非鋪貼方式施工時，如何要求及檢驗應一併考慮。
- (3) 滑倒之賠償、被告之公信機構將隨之成立。
- (4) 法令制定後之要求執行，可請律師提供看法。
- (5) 應嚴格要求廠商生產之責任，而非均由下游人員負責。

3. 徐教授堯山：

- (1) 國內外文獻及法令制度之蒐集相當完整。
- (2) 粗糙度量測儀量測尺度過於精細，建議改用 $\mu\text{m}$ 至 $\text{mm}$ 級之粗糙度量測儀，每次量測面積建議 $5\text{cm}^2$ 至 $10\text{cm}^2$ 。

(3) 原有止滑計測得之防滑係數仍可參考，惟往後國家標準可能依據 JIS A1509-12 訂定陶瓷磚之止滑係數，請參考。

(4) 實驗之進行頗為用心，值得肯定。

4. 防滑協會劉宜臻小姐：

(1) 防滑檢測之方法，除藉由儀器測試方法(如可變角度計等)外，建議增加生產原物料材質之測定，加強購置材料分析儀，朝以物理性質之分析方向來作檢測。另生產時使用之原物料物理特性，亦會影響止滑磚持久性及耐磨性甚大。

(2) 石英磚標準分類應加以區分：

- 花崗岩材質(窯燒)：建議依據標檢局 94 年所訂之內容(顆粒、長石、角散石、雲母等)。
- 石英材質：粉狀之石英材質。
- 生產設備

5. 陳教授嘉基：(書面審查意見)

- (1) 「粗度」與「粗糙度」依本研究之內容是相同名詞，全文宜統一稱謂法。
- (2) 日本有相當數量之研究成果，與本案具相同目的，可納入文獻回顧與檢討。
- (3) 相關名詞之定義可放置第一章第二節前，方便既有文獻之回溯與討論，如  $R_q$ 、 $\lambda_q$ 、 $R_{sk}$ 、 $R_{pk}$ 、 $R_{pm}$ 、 $S_m$  之定義。
- (4) 相同材質之試驗，建議以花崗岩進行不同加工：磨光、不磨光、噴砂面(可改變砂粒徑)、水洗面(可改變壓力)、火烤面(可改變時間)，形成各種不同粗糙度試體，若能配合業界對粗糙度稱謂「龍眼面」、「荔枝面」、「鳳梨面」，本研究之成果，將可轉換成實務界生產地面材料之應用。

6. 經濟部標準檢驗局黃凱弘先生：

針對地面材料防滑性能與表面粗度之關聯性研究，經濟部標準檢驗局近期參考 JIS A 1509-12：2008 版本翻譯起草並與現有標準比對整合，另其建議案已經審查會審議通過，並依國家標準制修訂程序辦理中，相關成果可供參考。

### 九、計畫主持人答覆：

本所廖研究員慧燕：

- (1) 有關研究試驗部分，如陳教授所提之實驗室溫濕度控制、試驗之信度與效度之控制等問題，將於後續試驗中納入參考。
- (2) 粗糙度量測儀量測尺度過於精細，無法顯出地面材料之真正差異，本研究將參考委員意見修正，採用較適當之量測儀器重新進行試驗。
- (3) 有關材料耐久性及耐候性等問題，確實影響其使用性及安全性至鉅，另外相關之法令推動等實務問題，限於時間及人力，將納入未來研究參考。
- (4) 感謝各位先進提供寶貴意見，本研究將參考大家意見進行後續之研究，亦請各位繼續給予支持與指教。

### 十、主席結論：

1. 為因應國科會 KPI 指標中，投稿國內外期刊或研討會之需求，請研究團隊於撰擬研究報告過程間，準備投稿工作。
2. 請各研究計畫主持人參酌各審查委員及機關代表之意見修正，使研究成果更為豐富完整。
3. 本次二案之期中審查通過，請研究團隊依時程辦理經費核銷事宜。

### 十一、散會(中午 12 時 10 分)。

期中報告審查會議意見回應處理方式一覽表

委員審查意見	回應處理方式
<b>陳教授政雄：</b>	
1. 實驗規劃中，實驗室狀況(溫溼度)應說明清楚，以免誤導結果。	已依審查意見修正
2. 表面粗度量測方法(接觸或是感測)、取樣(直線、剖面)應詳細說明。	已依審查意見修正
3. 試體選擇方法、內容、狀況宜呈現，以免影響實驗分析。	已依審查意見修正
4. 建議研究報告中說明計量次數與信度及效度等相關資料。	已依審查意見修正
<b>王建築師武烈：</b>	
1. 本研究若轉化為國內地面材料之檢測時，其檢測認定機構及合格證明發給制度如何處理，增加之費用應由何者支付。	本項議題刻正由全人關懷建築科技計畫他項子計畫進行研究中。
2. 建材發展日新月異，亦有現場直接施工而非鋪貼方式施工時，如何要求及檢驗應一併考慮。	本研究所採用之防滑涼測儀器均為可移動式，故擬於後續年度進行現場地面材料試驗，以納入不同施工方式及磨耗所造成之影響結果。
<b>徐教授堯山：</b>	
1. 粗糙度量測儀量測尺度過於精細，建議改用 $\mu\text{m}$ 至 $\text{mm}$ 級之粗糙度量測儀，每次量測面積建議 $5\text{cm}^2$ 至 $10\text{cm}^2$ 。	已依委員意見，將量測探針更換為 $1048.6\ \mu\text{m}$ ，量測距離亦取其最大範圍 $2.4\text{cm}$ 。
2. 原有止滑計測得之防滑係數仍可參考，惟往後國家標準可能依據 JIS A1509-12 訂定陶瓷磚之止滑係數，請參考。	JIS A1509-12 之陶瓷磚止滑係數擬納入為來研究計畫參考。
<b>防滑協會劉宜臻小姐：</b>	
1. 防滑檢測之方法，除藉由儀器測試方法(如可變角度計等)外，建議增加生產原物料材質之測定，加強購置材料分析儀，朝以物理性質之分析方向來作檢測。另生產時使用之原物料物理特性，亦會影響止滑磚持久性及耐磨性甚大。	有關材料耐久性與耐磨性之檢驗將納入後續年度研究計畫參考。
2. 石英磚標準分類應加以區分：(1)花崗岩材質(窯燒)：建議依據標檢局 94 年所訂之內容(顆粒、長石、角散石、雲母等)。(2)石英材質：粉狀之石英材質。(3)生產設備。	已依審查意見修正
<b>陳教授嘉基：(書面審查意見)</b>	
1. 「粗度」與「粗糙度」依本研究之內容是相同名詞，全文宜統一稱謂法。	已依審查意見修正

<p>2. 日本有相當數量之研究成果，與本案具相同目的，可納入文獻回顧與檢討。</p>	<p>已依委員提供原文資料翻譯為中文文獻，並納入研究參考。</p>
<p>3. 相關名詞之定義可放置第一章第二節前，方便既有文獻之回溯與討論，如 <math>R_q</math>、<math>\lambda_q</math>、<math>R_{sk}</math>、<math>R_{pk}</math>、<math>R_{pm}</math>、<math>S_m</math> 之定義。</p>	<p>因粗度量測原理為本研究重點之一，故於第二章針對「防滑性能與粗度量測原理」說明。</p>
<p>4. 相同材質之試驗，建議以花崗岩進行不同加工：磨光、不磨光、噴砂面(可改變砂粒徑)、水洗面(可改變壓力)、火烤面(可改變時間)，形成各種不同粗糙度試體，若能配合業界對粗糙度稱謂「龍眼面」、「荔枝面」、「鳳梨面」，本研究之成果，將可轉換成實務界生產地面材料之應用。</p>	<p>已依審查意見修正，收集相關天然石材不同加工面進行比較。</p>
<p><b>經濟部標準檢驗局黃凱弘先生：</b></p>	
<p>針對地面材料防滑性能與表面粗度之關聯性研究，經濟部標準檢驗局近期參考 JIS A 1509-12：2008 版本翻譯起草並與現有標準比對整合，另其建議案已經審查會審議通過，並依國家標準制修訂程序辦理中，相關成果可供參考。</p>	<p>將作為後續研究試驗計畫參考。</p>



## 附錄 3.2 地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

### 座談會議紀錄

一、 時間：97 年 11 月 11 日(星期二)上午 9 時 30 分

二、 地點：本所 13 樓第一討論室

三、 主持人：廖簡任研究員慧燕

記錄：徐宏仁

四、 出席人員：(如簽到單)

五、 簡報：(略)

六、 討論：

(一) 徐教授堯山：

1. 本研究於相同材質所採用之地面材料，安山岩成分較為均勻；花崗岩則包含石英、長石及雲母三種硬度不同之成分，造成相同表面處理卻有不同粗度差異之結果。
2. 本研究具相當之學術價值，建議可將研究分析結果投稿相關期刊，如礦冶學會等。
3. 建議標檢局可將建築研究所納入國家標準技術委員會未來相關標準推動之諮詢對象。

(二) 宋技士志堅：

1. 後續研究部分，建議可進一步研提具體之處理方式或數據建議，作為廠商研發防滑材料之參考。
2. 本研究之擺錘止滑檢測儀實驗數據建議可提供經濟部標準檢驗局，作為未來人行路面防滑規範研訂之參考。
3. 擺錘止滑檢測儀採用之滑動片為橡膠彈性體，於實驗初次接觸試體時會產生黏合作用，因此原則上前三次試驗數據均須排除。
4. 第 28 頁，CNS A3159 國家標準係指以鋼頭滑動片為主之擺錘止滑檢測儀，

並不適用本研究所採用之英式儀器。建議本實驗採用 ASTM E303-93 為實驗標準規範。

5. 建議可建立標準量測範圍之對應值。
6. 日本製品評價技術基盤機構(NITE)有 DIN 規範之坡道步行量測儀，或可與其聯繫洽詢該儀器之使用性能與取得方式。

(三) 陳研究員志勇：

1. 建議明列粗度參數所採用之單位。
2. 既有文獻對粗度參數與防滑係數關係，建議與本研究分析結果相對應。
3. 本研究所採用之各式粗度參數規範，包含 JIS、DIN、ASME 等，對實際實驗結果而言，其限制性可詳加說明。
4. 研究目的與預期成果部份可再詳述。

(四) 謝技正孟傑(書面意見)：

1. 分析結果發現潮濕狀態防滑係數與表面粗度算術平均數 Ra 值有明顯正相關，與本局測試及觀察結果相符。若能再納入各類地面材料進行研究，並確認其相關性，則未來可思考以地面材料表面粗度作為防滑性能數值要求，避開防滑性能測試方法之選擇及適用性等爭議問題。
2. 依 English William 之研究，對於潮濕表面較尖及較高之峰度，可增加防滑係數，並以圖 1.2.2 說明表面粗度與防滑性之關係，其中 D 類表面狀況之防滑性能最差，其原因在於水分子會駐留於表面之凹洞而產生潤滑作用。相同材質之光面花崗岩、安山岩樣品，因裁切及研磨加工後，僅表面突出之尖峰被去除，孔隙部份仍然存在，故其表面狀況與前述 D 類表面狀況類似。測試結果會呈現 Rsk、Rku 與防滑係數之關連性不佳或負相關，建議應選用 Rsk 之正值樣品進行分析，方能呈現其相關性。
3. 有關表面粗度之定義，建議參考 CNS 7868 修改粗糙度相關名詞如下，Rz：十點平均粗糙度，Rt：最大高度(評估長度內)。
4. 部份量測單位、專有名詞未統一，及參照規範之類號誤繕等，建議修正並

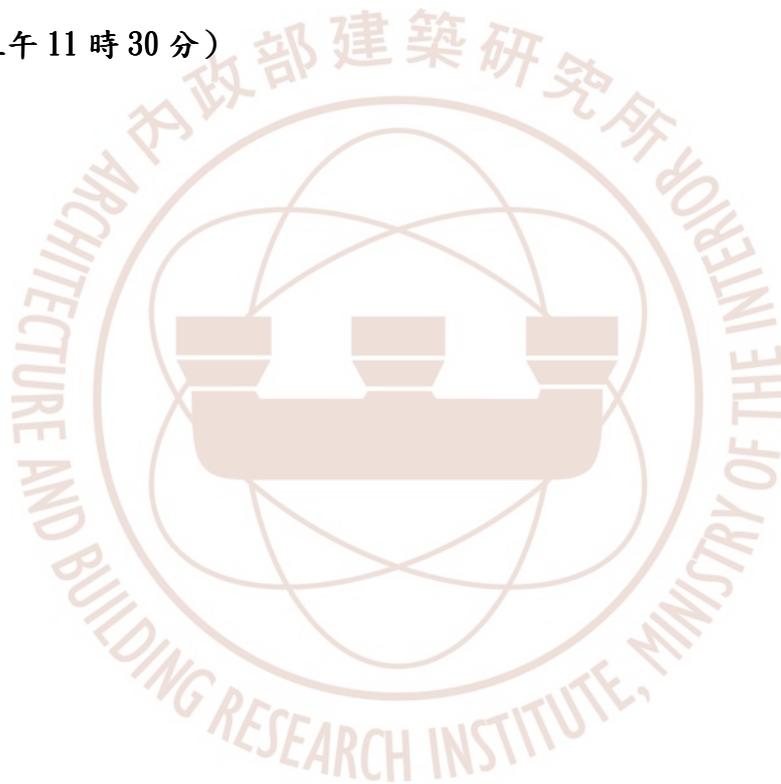
地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

統一用語。

#### 七、主席結論：

1. 本研究採用之擺錘止滑檢測儀為英國最常見之檢測儀器，且經本研究測試與可變角度止滑計之檢測，依據統計分析，具顯著的一致性，將參考大家建議，研提具體之檢測方法標準提供標檢局作為研訂相關標準參考。
2. 各位學者專家所提出之意見皆極具參考性，本所將詳實紀錄，並參考大家意見修正研究內容，請各位繼續給予支持與指教。

#### 八、散會（上午 11 時 30 分）



## 附錄 3.3 地面材料防滑性能與表面粗度關聯性之研究

### 期末報告審查會議紀錄

一、開會時間：97 年 12 月 5 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、開會地點：本所 13 樓簡報室

三、主持人：毛組長肇

紀錄：廖慧燕、黃德元

四、出席人員：(如簽到表)

五、主席致詞：(略)

六、業務單位報告：(略)

七、計畫主持人報告：(詳期末報告書及簡報資料，略)

八、審查意見：(依發言序)

1. 經濟部標準檢驗局黃凱弘先生：

(6) 建請將 JIS A1509-12 的儀器納為實驗參考。

2. 宋技士志堅：

(6) 本次表面粗糙度測試以安山岩為主，花崗岩因相關性不足，本次試驗之測試法並不適用。然未來應有其他不適用本粗糙判別方式之材料，報告內容應略微提及該以何種方式表示此種材料之粗糙度與止滑性之關係。

(7) 報告內容並未提及是否有作測試片背面平整度之前處理，及前後端高差測試，若無，則高差所造成之止滑係數變異將遠大於表面粗糙度之影響。

3. 李教授淑貞：

(1) 建議未來同時考量地面材料之磨耗影響及排濕功能。

4. 徐教授堯山：

(1) 表面粗糙度量測之取樣長度最好能達 100mm。

(2) 第 29 頁試體之潮濕狀態以蒸餾水浸泡模仿雨天情況，惟國內常以清潔劑拖地，建議增加清潔劑擦洗後之試樣。

(3) 第 37 頁及第 42 頁表 4-1.1 地面材料試體選擇建議進一步描述及定義。

- (4) 安山岩為中性火山噴出岩，相對冷卻速率較快，結晶顆粒較細，研磨拋光後表面會較光滑；花崗岩則是酸性火山深層岩，在地底冷卻速率較慢，結晶顆粒較粗，因此研磨後表面較粗糙。

5. 陳研究員志勇：

- (1) 防滑係數 0.5 為一參考值，在平面及正常人使用下合理，然對於斜坡及身障者是否適用建議後續研究加以考量。
- (2) 粗度值主要是廠商設計改良產品之參考，建議粗度之定義參數宜簡單且應考慮在製造過程可控制者，以利後續之用。

6. 陳教授政雄：

- (1) TOTO 開發之奈米磁磚，其防滑性能關係與第 6 頁圖 1.2.2 之論述相異，宜分析研究之。
- (2) 滑倒意外常發生於潮濕狀態，因此如何「排濕」為止滑、防滑之相關因子，建議加以研究。
- (3) 材料之表面粗度常隨使用方式及時間變化，材料之磨損與防滑性能相關，後續研究宜加入多種因子研究分析之。

7. 溫顧問維謙：

- (1) 地面材料之防滑性能試驗法，中國國家標準正依據 JIS 起草中，目前已完成手稿，建請作為下年度後續研究之參考。

8. 呂技正彥賓：

- (1) 建議未來檢測相關防滑建材可加入磨耗(參考行人踩踏)之壽命因子進行研究。
- (2) 市售窯燒花崗磚之類磁磚可列入研究材料內，增加研究對象的多樣性。
- (3) 可變角度止滑計之接觸面積太小，會導致同一試體因選擇測試位置不同而產生實驗誤差，有改善空間。

9. 王建築師武烈(書面意見)：

- (1) 應責成陶瓷生產廠商於產品生產過程或上市前取得防滑試驗報告提供使用人選擇。
- (2) 目前嚴禁建築師指定材料品牌，起造人選擇時又缺乏防滑常識，若因材料未防滑造成人員傷亡，建議後續可由法律方向研究之。
- (3) 應以使用人為主要依據，而非以容易清掃選擇地面材料，應給予設計人觀念之導正。

10. 陳教授嘉基(書面意見)：

- (1) 報告書中專有名詞應加「」。
- (2) 報告書中有部分文字漏繕、錯誤、或翻譯文自未盡妥適等，建請修正。

11. 本所毛組長榮：

- (1) 磁磚加上防滑度及磨耗的認證並加以標示，可望達到吸引廠商配合的效果。

**九、研究團隊答覆：**

本所廖研究員慧燕：感謝各位先進寶貴的意見，本研究小組將參考各位建議，修正本年度之研究報告，並參考各位意見進行後續之研究，也請各位繼續給協助與指教。

**十、主席結論：**

1. 有關地面材料防滑案，實驗過程應謹慎，使實驗具再現性；實驗報告須詳實正確。
2. 本案期末審查原則通過，請研究團隊參酌各審查委員及機關代表之意見修正，並於期末提出完整說明，使研究成果更為豐富完整。

**十一、散會(中午 11 時 50 分)。**

### 期末報告審查會議意見回應處理方式一覽表

委員審查意見	回應處理方式
<b>經濟部標準檢驗局黃凱弘先生：</b>	
建請將 JIS A1509-12 的儀器納為實驗參考。	將作為後續研究試驗計畫參考
<b>宋技士志堅：</b>	
1. 本次表面粗糙度測試以安山岩為主，花崗岩因相關性不足，本次試驗之測試法並不適用。然未來應有其他不適用本粗糙判別方式之材料，報告內容應略微提及該以何種方式表示此種材料之粗糙度與止滑性之關係。	已依審查意見修正
2. 報告內容並未提及是否有作測試片背面平整度之前處理，及前後端高差測試，若無，則高差所造成之止滑係數變異將遠大於表面粗糙度之影響。	已依審查意見修正
<b>李教授淑貞：</b>	
建議未來同時考量地面材料之磨耗影響及排濕功能。	擬納入未來量測實驗參考
<b>徐教授堯山：</b>	
1. 表面粗糙度量測之取樣長度最好能達 100mm。	受限於現有儀器所能採用之探針最大量測範圍，目前仍以 25mm 以內之取樣長度為主。
2. 第 29 頁試體之潮濕狀態以蒸餾水浸泡模仿雨天情況，惟國內常以清潔劑拖地，建議增加清潔劑擦洗後之試樣。	擬納入未來量測實驗參考
3. 第 37 頁及第 42 頁表 4-1.1 地面材料試體選擇建議進一步描述及定義。	已依審查意見修正
<b>陳研究員志勇：</b>	
防滑係數 0.5 為一參考值，在平面及正常人使用下合理，然對於斜坡及身障者是否適用建議後續研究加以考量。	擬於後續年度中，增加步行斜坡防滑量測儀器進行驗證。
<b>陳教授政雄：</b>	
1. TOTO 開發之奈米磁磚，其防滑性能關係與第 6 頁圖 1.2.2 之論述相異，宜分析研究之。	關於奈米磁磚等特殊類別之產品，擬納入未來量測實驗樣本規劃
2. 滑倒意外常發生於潮濕狀態，因此如何「排濕」為止滑、防滑之相關因子，建議加以研究。	擬納入未來量測實驗參考
3. 材料之表面粗度常隨使用方式及時間變化，材料之磨損與防滑性能相關，後續研究宜加入多種因子研究分析之。	擬納入未來實驗參考

<b>溫顧問維謙：</b>	
地面材料之防滑性能試驗法，中國國家標準正依據 JIS 起草中，目前已完成手稿，建請作為下年度後續研究之參考。	將作為後續研究試驗計畫參考
<b>呂技正彥賓：</b>	
1. 建議未來檢測相關防滑建材可加入磨耗(參考行人踩踏)之壽命因子進行研究。	擬納入未來實驗參考
2. 市售窯燒花崗磚之類磁磚可列入研究材料內，增加研究對象的多樣性。	擬納入未來實驗參考
3. 可變角度止滑計之接觸面積太小，會導致同一試體因選擇測試位置不同而產生實驗誤差，有改善空間。	擬納入未來實驗參考
<b>王建築師武烈(書面意見)：</b>	
1. 應責成陶瓷生產廠商於產品生產過程或上市前取得防滑試驗報告提供使用人選擇。	擬納入未來制度推動參考
2. 目前嚴禁建築師指定材料品牌，起造人選擇時又缺乏防滑常識，若因材料未防滑造成人員傷亡，建議後續可由法律方向研究之。	擬納入未來制度推動參考
3. 應以使用人為主要依據，而非以容易清掃選擇地面材料，應給予設計人觀念之導正。	擬納入未來制度推動參考
<b>陳教授嘉基(書面意見)：</b>	
1. 報告書中專有名詞應加「」。	已依審查意見修正
2. 報告書中有部分文字漏繕、錯誤、或翻譯文自未盡妥適等，建請修正。	已依審查意見修正
<b>本所毛組長榮：</b>	
磁磚加上防滑度及磨耗的認證並加以標示，可望達到吸引廠商配合的效果。	擬納入未來制度推動參考



## 參考文獻

### 國內文獻：

1. 張紘炬，1987，統計學-方法與應用，Chap 9, 329-399，華泰書局
2. 姜俊賢、陳長成、李正治、卓漢明、李振發，1993，精密量具及機件檢驗，台北，文京圖書
3. 陳嘉基、張嘉祥，1996，建築空間地坪滑倒意外研究-意外事故、墜落宇跌倒死亡率之統計分析，第9屆建築研究論文發表會，台北。
4. 陳嘉基，1997，建築空間地坪滑倒意外研究-意外跌倒構成因素之統計分析，第12屆全國技術及職業教育研討會，台北
5. 陳嘉基、張嘉祥，1997，建築空間地坪滑倒意外研究-地坪止滑度試驗研究，中華民國建築學會第十屆建築研究成果發表會論文集，p. 415-420
6. 陳嘉基，1998，建築空間地坪滑倒意外研究—防滑材料的試驗與檢討，第三屆全國技術及職業教育研討會論文集，p. 01-10。
7. 洪政豪，李建興，藍木龍，2000，表面粗度曲線量測及其對界面接觸參數的影響，國立虎尾技術學院學報第三期，P151-158。
8. 洪政豪，李建興，藍木龍，2000，表面粗度曲線量測及其對界面接觸參數的影響，國立虎尾技術學院學報第三期，P151-158
9. 張紹勳、張紹評、林秀娟，2001，統計分析，p18.2-18.4，松岡圖書
10. 周中明，2001，不同慢跑鞋鞋底紋路在乾溼場地之摩擦力分析，台北市立體育學院運動科學研究所碩論
11. 陳依萍，2001，女性行走時腿部肌肉負荷之分析與防滑測試，中華大學科技管理研究所碩論
12. 朱瓊如，2002，不同地面污染物對鞋底與地板間抗滑性之影響，中華大學科技管理研究所碩論
13. 許貴雄，2002，西式速食店作業場所地板抗滑性調查，中華大學科技管理研究所碩論
14. 郭明貞，2005，老年人用手杖腳墊紋路之研究，大同大學工業設計研究所碩論
15. 陳志勇、林彥輝、莊舜弘、李建聰，2005，地面與鞋材之摩擦效應，勞工安全衛生研究季刊，第31卷第一期，p. 78-87

16. 陳志勇、盧士一，2006，工作場所滑倒事故以工程與管理方法預防之探討，勞工安全衛生研究所研究報告，台北
17. 玉里醫院感染委員會，2006，滑倒意外，行政院衛生署玉里醫院，資料來源：  
<http://www.ttyl.doh.gov.tw/>
18. 魏炯彰，2006，使用 Brungraber Mark II 量測器量測坡道表面摩擦係數之問題探討，中華大學土木與工程資訊學系碩論
19. 謝孟傑、呂彥賓，2006，地板止滑性能之研究，經濟部標準檢驗局研究報告，台北
20. 顏志凌，2006，觸針式表面粗度儀與 AFM 表面粗糙度量測分析比較，正修科技大學機電工程研究所
21. 蔡益堅、葉純志、藍祚運、張文瓊、曾德運，2007，1999 年與 2005 年台灣地區老人跌倒狀況之比較，國民健康局研究報告，台北。
22. 范光照，2007，表面粗糙度及其量測，台大機械所教材

**國外文獻：**

1. Irvine, C. H. ,1984, Measurement of Pedestrian Slip Resistance, Professional Safety 21, 30-33.
2. Americans with Disabilities Act, 1988, Part 38: Accessibility Specifications, [http://a257.g.a.kamaitech.net/7/257/2422/12feb20041500/edocket.access.gpo.gov/cfr\\_2004/octqtr/49cfr38.179.htm](http://a257.g.a.kamaitech.net/7/257/2422/12feb20041500/edocket.access.gpo.gov/cfr_2004/octqtr/49cfr38.179.htm)
3. 小野英哲、三上貴正、永田 Mayumi, 1988, 從身體接觸時擦傷易生度及痛楚之觀點有關鋪設面輪廓評估方法之研究·日本建築學會構造系論文報告集 第 392 號, P10~17
4. 後藤和昌、山本章造、岸良和宏、石田秀輝, 1991, 有關於步行者空間之防滑安全性和表面形狀關聯的研究 (之 1) BPN 和表面粗度之關聯·日本建築學會大會學術演講梗概集 A, P605~606
5. 山本章造、後藤和昌、永田 Mayumi、景山弘一、石田秀輝, 1991, 有關於步行者空間之防滑安全性和表面形狀關聯的研究 (之 2) CSR (CSR·B) 和表面粗度之關聯·日本建築學會大會學術演講梗概集 A, P607~608
6. Sherman, R. M. ,1992, Preventing Slips that Result in Falls, Professional Safety 37, 23-25.

7. 山本章造、後藤和昌、永田 Mayumi、小野英哲、石田秀輝，1992，理想步行者空間之研究（之 1）CSR 和表面粗度關聯之檢討・日本建築學會大會學術演講梗概集 A，P105~106
8. 小野英哲、三上貴正、高木直、橫山裕、北山大、高橋宏樹，1993，有關在地板防滑評估上地板表面介在物標準化之研究・日本建築學會構造系論文報告集 第 450 號，P7~14
9. 後藤和昌、山本章造、永田久雄、景山弘一、石田秀輝、小野英哲，1994，關於地板表面粗度和防滑係數關聯性之基礎研究，日本建築學會構造系論文集 第 459 號，P21~29
10. ASTM E303-93，1998，地板滑動檢驗法
11. Raoul Gronqvist, Mikko Hirvonen, Asta Tohv，1999，Evaluation of three portable floor slipperiness tests，International Journal of Industrial Ergonomics 25，85-95.
12. Haslam R. A., Bentley T. A，1999，Follow-up investigations of slip, trip and fall accidents among postal delivery workers，Safety Science 32，33-47.
13. Wen-Ruey Chang，1999，The Effect of surface roughness on the measurement of slip resistance，International Journal of Industrial Ergonomics 24，299-313.
14. JIS B 0601，2001，輪廓曲線方式用語、定義與表面性質和狀態參數
15. Steven Di Pilla, Keith Vidal，2001，Slip-Resistance Measurement：The Current State of the Art，Engineering specialty Newsletter 1（1）1-5.
16. Steven Di Pilla，2002，Get A Grip: Methods For Measuring Slip Resistance，Sanitary Maintenance 57，63-70.
17. William English，2003，Pedestrian Slip Resistance, second edition, Rose Printing Company Inc.，New York.
18. William English，2004，Ten Myths Concerning Slip-Resistance Measurement，Risk Management Consultant, Box 985, 20500 North River Road, Alva, FL 33920 USA
19. Health and Safety Executive，2006，Assessing the slip resistance of flooring，<http://www.VaugardOnline.com>

20. Health and Safety Executive, 2006, The assessment of pedestrian slip risk, <http://www.VaugardOnline.com>
21. A. Sariisik, S. Gurcan, A Senturk, 2007, Description of slipping test methods and application study on travertine by ramp slip meter, Building and Environment 42 1707-1710.
22. Ceramic Tile Institute of America, Inc. , 2007, Endorsement of Portable Test Methods and Slip Prevention Standards for Existing Flooring, <http://www.stonesource.com/slip.html>。
23. Jeff Green, 2007, What Stone Specifiers Should Know About Slip Resistance and the ADA, <http://www.stonesource.com/slip.html>.
24. United States Access Board, 2007, Technical Bulletin : Ground and Floor Surfaces, <http://www.access-board.gov/Adaag/about/bulletins/surfaces.htm>

#### 網站資料

1. SIDC 財團法人石材工業發展中心, <http://www.sidc.org.tw/query8db/main.php?PHPSESSID=29f1aa707e0e9566ec1699d35a46fae8>
2. Understanding Coefficient Of Friction, [http://www.globalsafe.biz/info-coeff\\_friction.htm](http://www.globalsafe.biz/info-coeff_friction.htm)
3. ASTM International Standards, <http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/index.shtml?E+mystore>