

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

斜坡道上地板防滑性之探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-216-009-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學工業管理學系

計畫主持人：李開偉

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告

斜坡道上地板防滑性之探討

Investigation of slip-resistance on inclined floor surfaces

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2213-E-216-009

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

計畫主持人：李開偉

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告一份及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

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

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：中華大學工業管理學系

中 華 民 國 九 十 五 年 八 月 二 十 六 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 斜坡道上地板防滑性之探討

### Investigation of slip-resistance on inclined floor surfaces

計畫編號：NSC 94-2213-E-216-009

執行期限：94年8月1日至95年7月31日

主持人：李開偉 中華大學工業管理學系

#### 一、中文摘要

地板的防滑性分析是防滑研究中非常重要的議題，過去的研究幾乎均限於水平地板的分析，對於斜坡道的防滑性則是非常少。故本研究開發一具可調整傾斜角度之斜坡防滑性測試台，並以一個四因子實驗以Brungraber Mark II測試器於該測試台分析不同鞋材、地板材料、及表面狀況下摩擦係數。研究結果發現鞋材、地板材質、表面污染狀況、及傾斜角度與因子間之交互作用均對摩擦係數造成顯著性差異，其中當傾斜角度愈大時，摩擦係數愈小，因此造成滑倒的機率愈高。所以當人員在斜坡道上作業時，應有更多的防滑措施或輔助工具，以減少滑倒的發生。

**關鍵詞：**斜坡道、防滑性、Brungraber MarkII、滑倒

#### Abstract

Past research on friction measurements has concentrated on the analysis of level surface. Study of inclined surface was rare. This research will develop an adjustable inclined platform for floor slip resistance measurement. A four-factor experiment was designed and performed to analyze the COF under various footwear material/floor/surface conditions by using the Brungraber Mark II slip meter on inclined surface. The results of the study indicate that not only the footwear material/floor/surface conditions and inclined platform but also the interactions between all

factors significantly affect COF. The higher inclined platform results the lower COF values and the higher opportunity to fall. Therefore, there should be more slip resistance facilities or accessories to reduce the chance to slip while workers operate on an inclined surface.

**Keywords:** inclined surface, slip resistance, Brungraber Mark II, slips/falls

#### 二、緣由與目的

走路滑倒是許多人都有共同經驗，也是很嚴重的職業安全衛生的問題。

而發生滑倒與跌倒事故與所穿著之鞋子之防滑程度息息相關。鞋子具有的功能不僅僅是覆蓋保護腳部而已，還具有保護及支撐腳部、舒適性及健康作用、吸震功能、美觀及裝飾性[2]。而鞋底在走路過程中與地板間產生的摩擦係數為決定滑倒或跌倒的主要因素，也常用來決定地板防滑程度的指標之一，所以為防滑研究之基本項目。鞋底紋路設計更是鞋底能在濕滑的地面產生防滑的條件之一，鞋底紋路設計除了止滑效果/抓地效果，還有幾個相當重要的影響，包括、美觀、彎折效果、使用壽命[1]。

文獻[5,6,7]已經確認影響摩擦係數衡量的因子包含了鞋材及地板的材質與表面型態、地板污染狀況、以及所使用的防滑測試儀有關。摩擦係數的量測需採用適當的量測器來進行。摩擦係數之測量是一個複雜的問題，單是依不同原理設計之量測器材即有許

多種，包含了量測動摩擦係數( $\mu_d$ )的儀器及量測靜摩擦係數( $\mu_s$ )的儀器。由於各種器材之設計不同，操作方式也不同。因此，在完全相同之材料上進行量測，不同之器材所得之結果可能也不相同；例如 Chang[5]即發現在乾燥的地板上，James machine 量得的值顯著的高於 Brungraber Mark II 之值，而 Brungraber Mark II 之值又顯著的高於 Sigler 之值；而在濕的地板上，James machine 量得的值顯著的高於 Sigler 之值，而 Sigler 之值又顯著的高於 Brungraber Mark II 之值，因此當討論到摩擦係數時必須清楚的敘述所使用的器材與量測的狀況。

基本上， $\mu_d$  之量測器材之設計通常較為複雜，操作中需控制之參數也較多，而所得之結果之變異也較大，而  $\mu_s$  之量測器材構造上通常比較簡單，因此量測之數據間之變異數較小。

除了地面摩擦係數的量測外，防滑也可以經由生物力學的分析來加以評估。走路時，腳對地面的作用力可以用測力鈹來收集，測力鈹量測到之水平力與垂直力之比值( $F_H/F_V$ )可定義為摩擦需求量(friction demand)[11]，而地面的摩擦係數可視為摩擦供應量(friction available)，當摩擦需求量大於摩擦供應量時，滑跤就會發生。

過去對於防滑的研究，多半都是在水平地面下進行的，與傾斜坡道有關的防滑研究則非常少，Hanson et al.[10]曾設計了一條 1.8 m 長可調整傾斜角度的走道，他們的實驗狀況包括了塑膠(vinyl)與短毛地毯兩種地材；乾、濕、與肥皂水等三種地表狀況及  $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、與  $20^\circ$  等三種傾斜角度。實驗時，受測者被要求由上坡處向下坡處行走，其腳跟的空間座標由高速攝影機拍攝並加以收集，其腳對地面之作用力則由坡道下方之測力鈹來收集。研究結果顯示不論在何種地材上，坡道角度大的情況測得的摩擦需求量均較坡度小的情況高，這顯示了坡道愈大，則下坡行走時滑倒的風險愈大，而由腳跟空間座標分析得到的實際滑溜狀況也証實了這

種論點。Cham 與 Redfern[4]也得到類似結論。

Hanson et al.[10]及 Cham 與 Redfern[4]以生物力學的方法來評估斜坡道上人員行走時的滑倒風險，這類的研究尚不多見，而探討斜坡道上摩擦係數之量測的研究更稀有。理論上，摩擦係數由物體的材質、表面粗糙度、及是否有汙染物覆蓋等因子之影響，同一地板在水平面上與在斜坡上應有相同之摩擦係數，走路者在走下坡時有較大的滑倒風險是因為重力在平行於坡道方面上增加了水平分力所致，然而某些摩擦係數量測器(如 Brungraber Mark I, Mark II) 本身即模擬腳部踏地之行為，因此其讀數也必然受到坡道之影響。

故本研究之目的在於開發一台模擬不同角度坡道的可調式地板抗滑性測試平台，然後使用 Brungraber Mark II 量測器在斜坡道上量測不同鞋材/地板/地表狀況下之地面摩擦係數值。最後比較 Brungraber Mark II 在斜坡道上量測摩擦係數時其操作與水平地面間的差異。

### 三、研究方法

#### 3.1 實驗設計

本研究為四因子實驗設計，實驗因子分別為地板材質、鞋材材質、地面汙染物及傾斜角度。在地板材質裡選用三種不同材質的地板，此三個水準分別為：磨石子、不銹鋼板及磁磚等三種地板，其粗糙度值 Ra 值分別為：1.35( $\pm 0.40$ )、2.81( $\pm 0.38$ )及 6.44( $\pm 0.84$ )；鞋材包括常用之 EVA、Blown Rubber(BR)及 Neolite 三種鞋材，鞋材密度分別為：1.28、0.27 及 0.20g/cm<sup>3</sup>。地面狀況則包括乾及甘油(98%)兩種情況。斜坡道傾斜角度包括  $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、與  $20^\circ$  三種傾斜角。

因此，實驗設計為 3(鞋材) $\times$ 3(地板) $\times$ 3(傾斜角度) $\times$ 2(地板汙染狀況)共計 54 種實驗狀況，而每種狀況重複 4 次，共計 216 個觀測值。

### 3.2 傾斜平台

本研究設計並開發一具可調整角度之模擬斜坡道作為測試台(參考圖 1)。此一斜坡道具備以下要件：

- 一、要能輕易的控制水平並調整傾斜角度以模擬不同程度之坡道斜度。
- 二、要能更換各種不同的地板，以供測試。
- 三、要能符合 Brungraber MarkII 之操作需求。

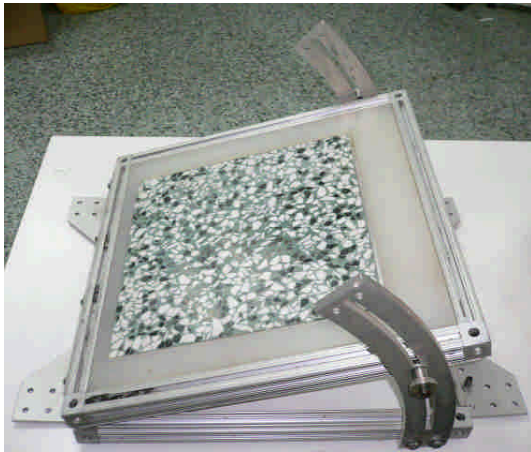


圖 1 斜坡道傾斜平台

### 3.3 摩擦係數量測儀器

Brungraber Mark II(BM II)測量器在美國是一常用之摩擦係數量測器材，其主要構造包括一金屬支架及一具有測試片之人工腳，人工腳的上端為一只重錘，重錘下為具有轉軸之金屬支撐，金屬支撐下方則為測試片，測試片可更換任何鞋材來進行測試。測試時可將整個測試器置於測試地板上並將其固定，隨後將卡榫放鬆，人工腳可向下滑動，測試片即撞擊地面有如走路時腳部著地之狀況一般。若測試片在地板上滑動，則表示此狀況之摩擦力不足，可調整人工腳之斜角，再重複上述步驟。在反復前述之步驟後，可找到某一最大斜角恰可不致產生滑動現象，而又可找到一最小斜角恰可產生滑動現象，此二斜角之  $\tan$  值之平均值即為摩擦係數。BM II 測試器以  $\tan \phi$  來做為靜摩擦係數並顯示於刻度上，BM II 測試器測得之值與經由測力板所得之  $FH/FV$  值之間具有高度的線性相關 ( $r > 0.954$ ) [9]。BM II 之

標準操作過程，已被美國材料暨測試協會列入標準 (ASTM F-1677-96, 2005) [3]。

### 3.4 量測過程

在測試之前為了控制鞋材的表面狀況的一致性，因此鞋材均需經過砂紙磨擦，其磨擦規則為採用 Chang[5,8]所採行之規則來進行。測試時可將整個測試器置於傾斜平台的測試地板上，由於本研究是在此傾斜平台上進行，故當平台有傾斜時，BM II 的人工腳即會有一角度上的傾斜，為了克服此問題，並讓摩擦係數的量測在同一標準，因此當傾斜平台傾斜角度為  $10^\circ$  時，摩擦係數由 0.13 開始量測，傾斜角度為  $20^\circ$  時由 0.27 開始。最後，再依美國材料暨測試協會對 BM II 之標準操作過程進行摩擦係數之量測。另外，在摩擦係數值之判斷上為採用 Chang[7] 所採用之判斷標準。

### 3.5 資料分析

實驗所得之鞋材與地板間之摩擦係數將透過 SAS 軟體來進行變異數分析，探討因子對於摩擦係數之影響，最後並將達到顯著水準之因子則將再依 Duncan Multiple Range 來進行多重比較。

## 四、結果

### 4.1 平均摩擦係數值

不同地板材質(磨石子、不銹鋼板、磁磚)、鞋材材質(EVA、BR、Neolite)、地板污染狀況(乾、甘油(98%))、斜坡道傾斜角度( $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ )在使用 BM II 進行摩擦係數量測，所得之平均摩擦係數平均值如下所述：

首先，在地板材質部份以磁磚的摩擦係數值最大(0.40)，其次為不銹鋼(0.18)，最後為磨石子地板(0.15)。

針對三種鞋材而言，以 BR 鞋材的摩擦係數值最大(0.31)，其次為 EVA(0.25)最後為 Neolite(0.24)

在地板污染物的狀況則是以地板表面

為乾的情況下其摩擦係數值(0.41)大於地板表面為甘油的狀況(0.26)。

而在斜坡道傾斜角度上，是以傾斜角度為 0° 時摩擦係數值最大(0.37)，其次為傾斜角度為 10° 時(0.30)，最後為傾斜角度為 20°(0.13)。

#### 4.2 變異數分析與多重比較結果

由變異數分析結果顯示，不同地板材質、鞋材材質、地板污染狀況、斜坡道傾斜角度與摩擦係數間均達顯著差異( $p < 0.05$ )，且各因子之交互作用與摩擦係數間關係也達顯著差異( $p < 0.05$ )，由此可知地板材質、鞋材材質、地板污染狀況、斜坡道傾斜角度均是影響摩擦係數的因素各因子間之交互作用也是影響摩擦係數大小的因素。

表 1 至表 3 則分別顯示了不同地板材質、鞋材材質、斜坡道傾斜角度等三個因子的 Duncan 多重比較結果。

表 1 為地板材質的 Duncan 檢定結果，由表可發現磨石子、不銹鋼地板與磁磚三者之間的平均摩擦係數值均有顯著的差異，且磁磚的摩擦係數值 (0.46) 顯著( $p < 0.05$ )的高於不銹鋼地板(0.18)與磨石子地板(0.15)，而不銹鋼地板又顯著( $p < 0.05$ )的高於磨石子地板的摩擦係數，磨石子為摩擦係數值最低的地板。

表 1 地板種類之 Duncan 多重檢定

地板材質	摩擦係數平均值	結果
磨石子	0.15	A
不銹鋼	0.18	B
磁磚	0.46	C

註：不同字母表示具有顯著差異( $p < 0.05$ )

表 2 顯示鞋材材質 Duncan 檢定結果，由表得知 BR 鞋材的摩擦係數顯著的( $p < 0.05$ )高於 Neolite 與 EVA 鞋材的摩擦係數，但 Neolite 鞋材與 EVA 鞋材二者則為未達  $p < 0.05$  之顯著水準，即 Neolite 與 EVA 二種鞋材的摩擦係數是無顯著差異的

表 2 鞋材種類之 Duncan 多重檢定

地板污染種類	摩擦係數平均值	結果
Neolite	0.24	A
EVA	0.25	A
BR	0.31	B

註：不同字母表示具有顯著差異( $p < 0.05$ )

表 3 為斜坡道傾斜角度的 Duncan 檢定結果，由表發現傾斜角度為 0° 時其摩擦係數(0.37)顯著的( $p < 0.05$ )高於傾斜角度為 10°(0.30)與傾斜角度為 20°(0.13)時之摩擦係數。而傾斜角度為 10° 時摩擦係數也顯著的大於傾斜角度 20° 時之摩擦係數，故傾斜角度為 20° 時摩擦係數最小。由此可知當傾斜角度愈大時，摩擦係數愈小，因此造成滑倒的機率愈高。

表 3 斜坡道傾斜角度之 Duncan 多重檢定

地板材質	摩擦係數平均值	結果
傾斜角度 20°	0.13	A
傾斜角度 10°	0.30	B
傾斜角度 0°	0.37	C

註：不同字母表示具有顯著差異( $p < 0.05$ )

## 五. 結論

本研究開發了一具可調整傾斜角度之斜坡抗滑性測試台，同時設計了一個四因子實驗，並以 BM II 測試器於該測試台分析不同鞋材、地板材料、表面污染狀況、及傾斜角度下之摩擦係數，研究結果發現鞋材、地板材質、表面污染狀況、及傾斜角度均是影響摩擦係數的重要因素，且鞋材、地板材質、表面污染狀況、及傾斜角度等因子間之交互作用與摩擦係數間關係也達顯著差異。

由本研究亦得知當傾斜角度愈大時，摩擦係數愈小，因此造成滑倒的機率愈高，尤其是當傾斜角度大於 10° 時，摩擦係數將小於 0.3，因此滑倒更容易發生。因此，當人員在斜坡道上作業時，應有更多的防滑措施或輔助工具，以減少滑倒的發生。

## 六.參考文獻

1. 徐義權(1996),「鞋底紋路的設計」,鞋技通訊,第51期,第84-86頁。
2. 趙志雄(1997),「腳與鞋舒適性研究(二)」,鞋技通訊,第62期,第86-89頁。
3. American Society for Testing and Materials F-1677-05 (2005), Standard Method of Test for Using Portable Inclineable Articulated Strut Slip Tester(PIAST), Annual Book of Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
4. Cham, R., Redfern, M.S. (2002), Heel contact dynamics during slip events on level and inclined surfaces. *Safety Science* 40, 559-576.
5. Chang, W.R.(1999), The effect surface roughness on the measurement of slip resistance, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 299-313.
6. Chang, W.R., Matz, S.(2001), "The slip resistance of common footwear materials measured with two slipmeters," *Applied Ergonomics*, Vol.32, pp.540-558.
7. Chang, W.R.(2002), The effects of slip criteria and time on friction measurements. *Safety Science*. 40, 593-611.
8. Chang, W.R., Cotnam, J. P., Matz, S.(2003), Field evaluation of two commonly used slipmeters, *Applied Ergonomics*, Vol.34, pp.51-60..
9. Gronqvist, R, Hirvonen, M, Tohv Asta (1999), Evaluation of there Portable Floor Slipperiness testers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, pp.85-95.
10. Hanson, J.P., Redfern, M.S., Mazumdar, M., (1999), Predicting slips and falls considering required and available friction. *Ergonomics* 42(12), 1619-1633.
11. Leamon, TB, Son, DH(1989), The natural history of a microslip in Mital, A(ed.), *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I*, Proceedings of the Annual International Ergonomics and safety Conference, London Taylor & Francis, 633-638.