

機車刮地痕摩擦係數試驗

許哲嘉¹ 吳宗霖² 翁榮宏³ 黃國平⁴、吳樹遠⁵ 徐銘聰⁶

摘要

在機車交通事故中，機車往往因慣性倒地在地面產生刮地痕，此刮地痕扮演著事故之被害人釐清責任的重要因素。本研究設計製作與箱型車結合之測試台，在測試台上放置輕型機車做同步移動以模擬輕型機車實際行駛狀況，當輕型機車達到預定車速時，輕推輕型機車脫離測試台然後觀測輕型機車倒地之刮地痕距離，經由刮地痕距離與試驗車速計算其摩擦係數。本研究探討車速及機車左右倒對摩擦係數影響。另外，以電子彈簧秤串接倒地之機車在定速行駛下進行拉力試驗，經由拉力與機車重量比值得到摩擦係數之另一種表示，探討機車左右倒之摩擦係數差異。

刮地痕試驗結果得知在車速30~50 km/hr之間輕型機車刮地痕摩擦係數值最高，其值介於0.5與0.6之間；當車速超過50 km/hr以後摩擦係數值逐漸減少，同時由於輕型機車兩側與地面接觸零件之差異，在同一車速下輕型機車左倒之摩擦係數比右倒高。此外拉力試驗結果得知在時速20與30 km/hr時機車左倒之平均摩擦係數均比右倒高，並且時速30 km/hr之平均摩擦係數高於時速20 km/hr，其趨勢與刮地痕試驗所得的結果相同。

壹、前言

因國內民眾使用機車的機率高於汽車，再加上地狹人稠、交通擁擠，汽機車共用一道之景象隨處可見，卻也使機車發生車禍之機率提高，造成輕者受傷，重者死亡之慘劇發生。在交通事故鑑定上，除了道路優先權的判斷外，當事人是否

¹ 南台科技大學機械工程系副教授

² 南台科技大學機械工程系講師

³ 台灣省台南區行車事故鑑定委員會秘書

⁴ 成功大學交通管理系副教授

⁵ 南台科技大學機械工程系研究生

超速行駛亦是重要考慮因素，在很多事故糾紛中，當事人常將事故的發生歸咎於對方車速過快所造成的，因此若能判斷碰撞前雙方行駛的車速則更能釐清雙方責任的歸屬。

汽車與機車碰撞後之運動行為有很大的不同，汽車大多是輪胎與地面仍保持接觸，呈現滾動或滑動之狀態，翻覆的機會較少，在推估車速上可經由輪胎與地面間之摩擦係數及移動距離來估算車速；而機車由於本身是二輪構造，受到強大撞擊力後往往失控而向左倒或右倒，輪胎不再與地面接觸，機車兩側突出之機件如飾板、把手、排氣管或駐車架等與地面接觸，也會因慣性在地面上產生相對滑動，因此機車倒地後與地面接觸運動行為較複雜，所以如何從地面上產生之機車刮地痕跡來反推機車倒地前車速，在機車肇事率越來越高的今日是一重要課題。

機車碰撞分析的文獻非常少，在國外關於機車研究，絕大部分以超重型機車來做測試，McNally和Bartlett[1]以線動量及轉動量守恆來作機車車速推估，Quddus等人[2]在交通意外事故中分析機車和其它車輛損壞程度，Tan等人[3]探討機車前輪受外力撞擊時使其變形前所能承受之負荷，而在國內有關於機車碰撞研究，大多數利用模擬分析軟體來進行研究，葉名山、吳自強等[4]利用PC-crash 3D模擬重建現場，建置國內機車車輛資料庫再配合實際案例進行模擬肇事過程，以了解機車撞擊情形，郭曜彰、邱裕鈞等[5]從汽機車碰撞事故案例450件為研究對象再利用類神經網路建立一套汽機車碰撞事故的肇事鑑定專家系統，概括以上這些有關機車碰撞研究文獻中，皆無針對機車刮地痕方面研究，然而，在肇事鑑定中，以現場機車刮地痕來推估機車倒地前之車速將有助於還原肇事前兩車之駕駛行為，釐清當事人肇事責任歸屬之問題。

本研究設計製造一測試台，該測試台連結一有動力源之箱型車，輕型機車置放在台上同步移動，試驗車速分別為20、30、40、50、60與70 km/hr，當測試台達到設定之車速時，將輕型機車輕推脫離測試台，倒地後因慣性在地上滑行一段距離後停止，滑行時輕型機車側面突出物如手把或駐車架與地面接觸導致地上會留下刮地痕，量測及記錄刮地痕距離，由於地面上不均勻性與實驗操作上的誤差，在每一設定車速下重複多次試驗以求得較準確刮地痕距離，並經由其所對應的設定車速計算刮地痕摩擦係數值。刮地痕摩擦係數不僅與接觸物體的材料和接觸面的狀況有關，而且還與接觸面滑動的相對速度有關，因此本研究除了探討車速對摩擦係數影響外，並作輕型機車左倒與右倒試驗，分析因機車兩側零件不同對摩擦係數之影響。

另外，為了能更了解機車兩側之車體零件對刮地痕距離的差異，本研究再進

行拉力試驗，將倒地之機車串接電子式拉力秤，由靜止開始拖行直到設定速度後一段時間（約12秒），記錄試驗過程之拉力值數據，所得到的結果再換算為摩擦係數歷程圖，從摩擦係數歷程圖觀察輕型機車左倒與右倒與地面接觸之差異。

貳、 摩擦理論

2.1 摩擦原理

當兩接觸的物體有相對滑動，或是相對滑動之趨勢時，兩物體的接觸面會產生阻礙兩物體作相對滑動或滑動趨勢之力，此力稱為摩擦力。摩擦力的起因，主要是由於互相接觸之物體的表面是不平滑的，在這不平滑的表面，會產生阻力來阻礙物體互相滑動。

假設一個物體重 W 與正向力 N 在平衡之下(見圖一)，被一水平力 P 作用而發生相對滑動，或具有相對滑動趨勢時，在接觸表面之間將產生阻礙其相對滑動或滑動趨勢之作用力，這個力稱為摩擦力 F ，在任何兩接觸物體間若有相對滑動必然有摩擦力，其方向沿著接觸面的切線方向而與物體相對運動的方向相反，阻礙物體之間的相對運動。其中有相對滑動趨勢時的摩擦力叫做靜摩擦力，相對滑動中的摩擦力叫做動摩擦力。可由圖2知道摩擦力 F 與水平力 P 之關係，其中 $F_{s,max}$ 為最大靜摩擦力， F_k 為動摩擦力。同時，摩擦力與兩接觸物體間之正向力 N 成正比，物體越重，摩擦力越大，其比值稱為摩擦係數 μ ，其關係表示為

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

在機車交通事故當中，機車倒地後因有慣性在地上產生相對滑動，其阻礙相對滑動之力即為動摩擦力，由於動摩擦力的作用，使機車滑行一段距離後停止，在這過程中若能知道動摩擦力或動摩擦係數的大小，則可以反推機車倒地前之速度。另外，摩擦又分為乾摩擦及流體摩擦；流體摩擦是指兩物體滑動面之間有液體潤滑劑存在時所產生的摩擦，乾摩擦是指表面間無任何潤滑劑或保護膜的純物質表面的摩擦，又稱庫倫摩擦，庫倫摩擦定律其敘述如下：

1. 摩擦力之大小與接觸面積無關
2. $F_{s,max}$ 及 F_k 之大小與正向力 N 成正比
3. 靜摩擦係數和動摩擦係數之值，依據接觸面之材質及表面狀況而定，通常靜摩擦係數大於動摩擦係數

4. 除非在極大之相對速度下，動摩擦力與相對速度無關

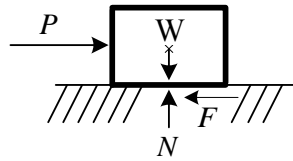


圖 1、摩擦力與正向力

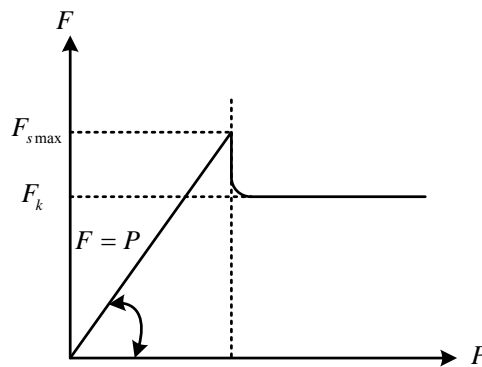


圖 2、摩擦力與作用力之變化情形

機車倒地後在地面上滑動視為乾摩擦，其摩擦係數為動摩擦係數。但是機車倒地滑動不符合庫倫摩擦定律，因為實際上地面接觸面積的大小、機車重量與相對速度對動摩擦係數均會有所影響。

2.2 車速推估

若要分析肇事前機車駕駛行為，必須先推算機車倒地前速度，碰撞後因過大靜止的撞擊力往往造成機車失去控制而倒地滑行一段距離，碰撞後之動能主要消耗在機車與地面之摩擦，刮地痕距離可經由現場量測得知，若能很明確知道地面刮地痕摩擦係數值，便能準確地估算機車倒地前速度。根據功能原理，其公式為

$$v = \sqrt{2\mu g S} \quad (2)$$

其中 v 為機車倒地前速度， S 為機車刮地痕距離， g 為重力加速度和 μ 為刮地痕摩擦係數。利用公式(2)推算車速是最常用且可行的方法，然而，若刮地痕摩擦係數 μ 取值不當，則所推估車速將會產生相當大的誤差，至今國內尚未出現有關機車刮地痕摩擦係數這方面研究資料，因此本研究針對輕型機車作機車刮地痕試驗，由試驗車速與機車刮地痕距離探討在不同車速下摩擦係數之變化。

45°

參、 測試方法與步驟

在刮地痕試驗中主要以機車在設定速度下量測機車倒地後刮地痕距離，所測試的車速包含20、30、40、50、60與70 km/hr等範圍，測試項目分成機車左倒與右倒，經由所量測之刮地痕距離與試驗車速可得知摩擦係數值，這些摩擦係數值日後可用來推估機車未倒地前之車速，若能夠了解機車刮地痕之摩擦係數值變異，則有助於提升機車未倒地前之車速推估準確性。另外，本研究再利用電子拉力秤在一定車速下量測機車左倒與右倒之拖行阻力，從該阻力變化與機車之重量反推摩擦係數值，並與從刮地痕距離所得到的摩擦係數值作比較及驗證。

在交通事故當中輕型機車因本身二輪車之構造，當受撞擊時會有左倒及右倒兩方面情況，由表1可知一般輕型機車左倒及右倒接觸地面之零件，兩側零件材料有些不同，在表1中可看出制動煞車手把、把手、駐車架、傳動系統之外殼、排氣管屬於金屬材質，其餘皆屬於塑膠材質。機車在倒地後接觸地面零件不同及所承受正向力差異將會影響刮地痕距離及摩擦係數變異，有鑑於此，本研究將輕型機車分成右倒及左倒兩方面來作測試，探討在相同車速下右倒及左倒對刮地痕摩擦係數之影響，然後再利用拉力試驗之機車地面分別以時速20 與30 km/hr拖行測試機車左倒及右倒，所產生的阻力進而換算摩擦係數值，從摩擦係數歷程了解機車左倒與右倒之摩擦係數的變異影響性。

表 1 接觸地面之零件

項目	左倒	右倒
接觸地面之機車零件	左後視鏡	右後視鏡
	左制動煞車手把	右制動煞車手把
	左把手	右把手
	左側車頭飾板	右側車頭飾板
	前左側飾板	前右側飾板
	中置駐車架	中置駐車架
	座桶之左外殼飾板	座桶之右外殼飾板
	左側駐車架	排氣管
	腳踏起動桿	無
	傳動系統之外殼	無

3.1、測試平台的製作

因考量安全為原則，在試驗過程中，而不以人作為駕駛控制輕型機車之方法，故本研究製作一測試台。依照輕型機車總長寬及測試人員安全上考量，測試台製作總長寬高分別為253.84 cm、125 cm、99.84 cm（見圖3），在材料選擇方面，採用100 mm X 40 mm 鋼鐵材料做為主要支架而其它輔助支架則用40 mm X 40 mm 鋼鐵材料，同時為了模擬輕型機車倒地後更加接近實際情況，該測試台距地高為10 cm。試驗時將測試台連結一有動力源箱型車並將輕型機車置放於台上以相同速度移動來模擬輕型機車未倒地前之狀況(見圖4)，然後在不同設定車速條件下將輕型機車推倒並觀察與量測輕型機車倒地後之刮地痕走向及距離，從刮地痕之距離與試驗車速反推摩擦係數值，進而探討車速、左倒或右倒及輕型機車倒地後接觸部位對摩擦係數值變異之影響。

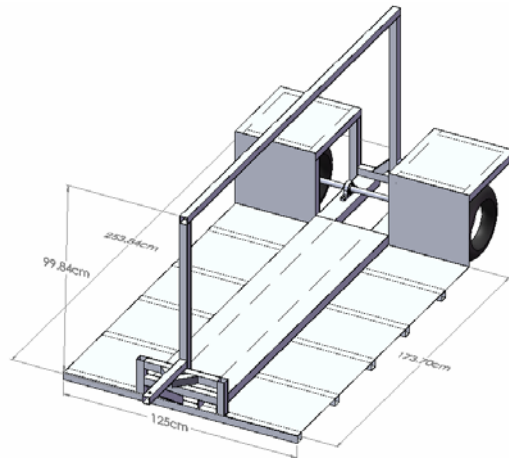


圖 3、測試台



圖 4、動力源箱型車結合測試台

3.2 刮地痕試驗

3.2.1 試驗機車：總共六部輕型機車，每部機車總排氣量為 50 C.C.，其中在表 2 當中 No.2、No.3、No.4 為同一款機車。

表 2 試驗之輕型機車規格表

規格	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
實際重量 (kg)	75.5	75.0	75.0	75.0	75.5	77.0

3.2.2 實驗步驟：

- 1.將輕型機車放置在測試台上，在與地面有可能接觸的機車零件上噴漆作記

號以辨別機車倒地後那些零件與地面接觸。

2.在試驗過程中，測試台的輕型機車與箱型車是同步移動的，從靜止到設定速度後定速行駛，然後將機車輕推脫離測試台。

3.推倒後的機車，在道路上產生刮地痕，記錄機車刮地痕距離。

3.3、拉力試驗

3.3.1 試驗機車：總共兩款五部輕型機車，每部機車總排量為 50 C.C，其規格如

表 3 所示：

表 3 拉力試驗之機車規格表

規格	No.1	No.2	No.3	No.4
實際重量 (kg)	73.0	75.0	80.0	75.5

3.3.2 實驗步驟：

1.將電子拉力秤(見表 4)上的荷重元感知器歸零後連接箱型車尾端連接器，並且以傳輸線連接拉力秤顯示器與電腦。

2.把試驗機車之前輪圈綁上繩索，接合荷重元之另一端，完成拉力試驗的準備過程。

3.記錄試驗機車從靜止到設定速度後一段時間（約 12 秒）之拉力數據。

表 4 電子拉力秤規格

名稱	重量顯示器	荷重元感知器
規格	PP-YES-III 每秒傳送 8 次 最大顯示 500 kg	BASS-1k 最大載重 500 kg

肆、試驗結果與討論

本研究在刮地痕試驗中平均每部輕型機車試驗12次，試驗數據經整理統計後，試驗機車左倒與右倒之刮地痕距離及所對應的摩擦係數列於表3，其中表內的誤差值是平均標準誤差，表3內刮地痕距離與摩擦係數對車速關係分別展示於圖4與圖5，從圖4中可以看出機車刮地痕距離隨著試驗車速增加而明顯增加，另外，亦可看出左倒刮地痕距離比右倒短，尤其車速超過40 km/hr後其左倒及右倒之刮地痕距離

差距更加明顯。刮地痕距離會直接影響摩擦係數之大小，因此從圖5看出機車右倒之摩擦係數值比左倒低，追究原因可能是機車左倒時與地面接觸之金屬零件比右倒多，由表4可看出試驗機車左倒接觸地面之金屬零件比右倒部分多出起動桿與傳動體外殼，而金屬零件與地面接觸之摩擦係數比塑膠類高。

表 3 刮地痕距離與推估摩擦係數

車速	右倒		左倒	
	刮地痕距離(m)	摩擦係數(μ)	刮地痕距離(m)	摩擦係數(μ)
20 km/hr	3.95±0.27	0.42±0.03	3.41±0.04	0.46±0.01
30 km/hr	6.56±0.33	0.55±0.03	6.31±0.35	0.57±0.04
40 km/hr	10.97±0.27	0.58±0.01	10.00±0.47	0.58±0.02
50 km/hr	19.06±0.78	0.53±0.02	18.24±0.61	0.55±0.01
60 km/hr	32.25±0.89	0.44±0.01	28.28±0.91	0.51±0.01
70 km/hr	49.50±1.39	0.43±0.02	42.03±0.37	0.46±0.01

表 4 輕型機車左倒及右倒之金屬零件表

項目	輕型機車接觸地面之金屬零件				
	左倒	左制動煞車手把	中置駐車架	左置駐車架	起動桿
右倒	右制動煞車手把	中置駐車架	排氣管	無	無

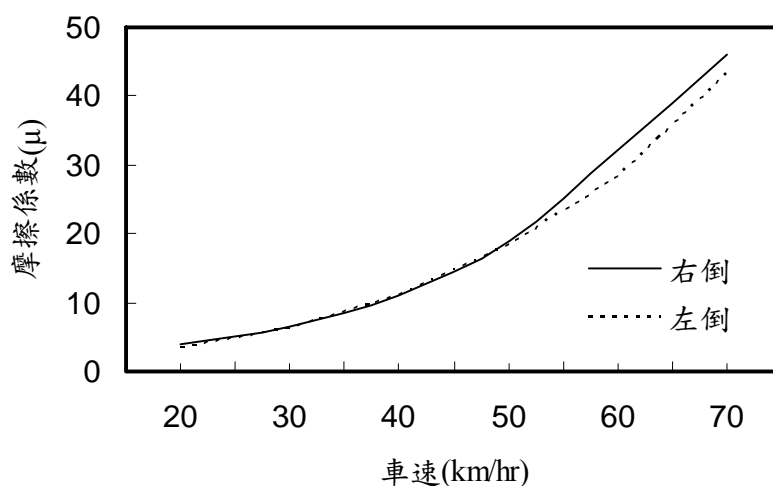


圖 4 刮地痕距離與試驗車速

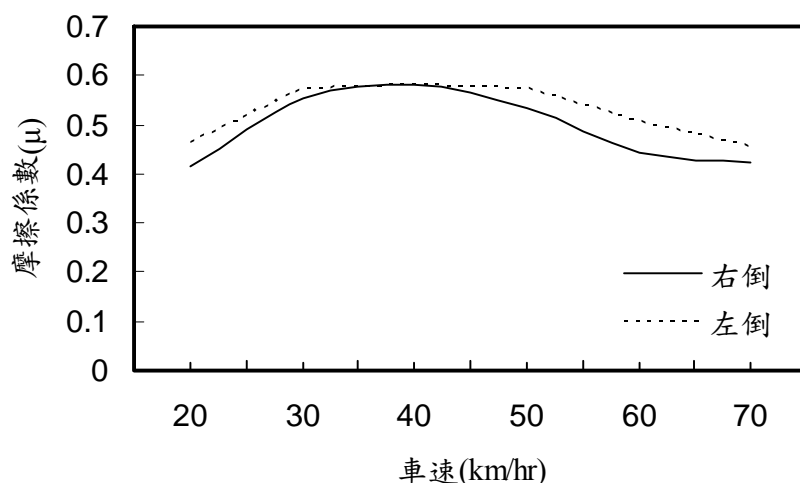


圖 5 摩擦係數與試驗車速

為進一步探討試驗機車右倒與左倒之刮地痕距離及摩擦係數值的差異，本研究再進行機車倒地拖行之拉力試驗，記錄機車倒地由靜止開始拖行直到設定速度一段時間之拉力值歷程。將初期由靜止到設定拖行速度之間的拉力數據移除，拖行速度分別以時速 20 與 30 km/hr 進行，其拉力值可經由方程式(1)換算為摩擦係數歷程，圖 6 至圖 9 分別為 4 部機車在時速 20 與 30 km/hr 時右倒與左倒之摩擦係數歷程，從這四圖中亦可看出左倒之摩擦係數比右倒高。將摩擦係數歷程加以平均則該 4 部機車摩擦係數平均值列於表 5，在時速 20 與 30 km/hr 時左倒之摩擦係數均比右倒高，並且時速 30 km/hr 之摩擦係數高於時速 20 km/hr，此趨勢與從刮地痕試驗(見表 3)所得到的結果相同。另外，在時速 30 km/hr 時機車倒地拖行之拉力試驗所得到之摩擦係數(見表 5) 低於刮地痕試驗值(見表 3)，差異原因是由於刮地痕試驗是在測試台上輕推機車使機車脫離後接觸地面因慣性滑動，由設定之速度滑行直到靜止所經過之刮地痕距離計算得到的(見方程(2))；而拉力試驗是將機車倒地由靜止以拉力方式拖行，受力方式不同且是在定速情況下利用方程(1)來得到對應的摩擦係數值，試驗操作的方式不同因而影響這兩種試驗結果的差異。

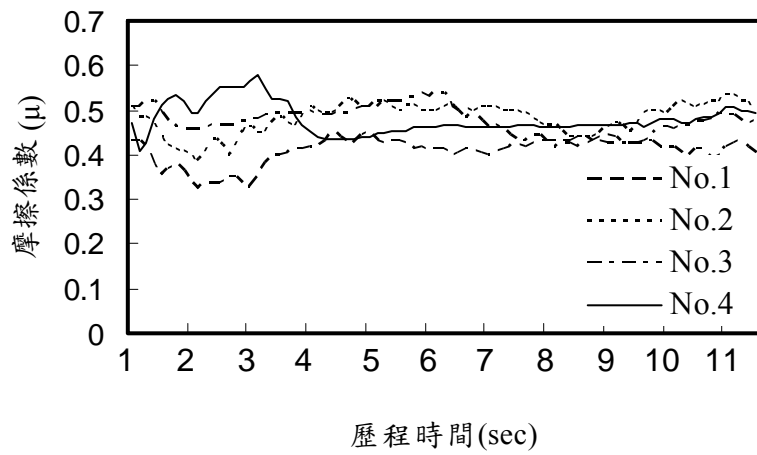


圖 6 右側 20 km/hr 摩擦係數值與歷程時間關係

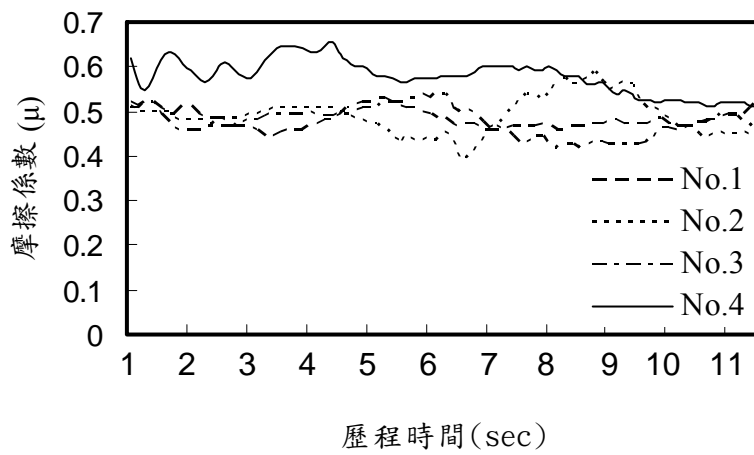


圖 7 左側 20 km/hr 摩擦係數值與歷程時間關係

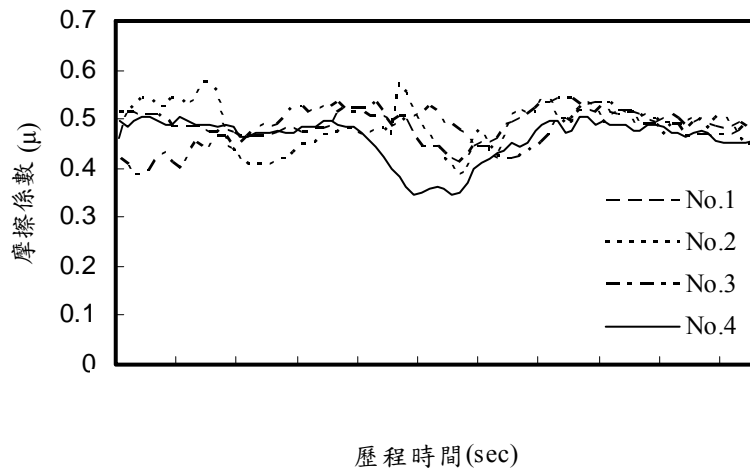


圖 8 右側 30 km/hr 摩擦係數與歷程時間關係

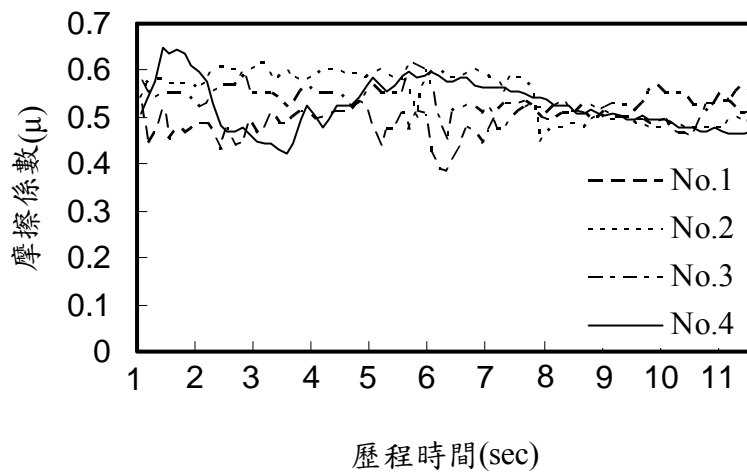


圖 9 左側 30 km/hr 摩擦係數與歷程時間關係

4 5 6

表 5 車速 20 km/hr 與 30 km/hr 之拉力試驗摩擦係數平均值

規格	摩擦係數平均值			
	車速 20 km/hr		車速 30 km/hr	
	右倒	左倒	右倒	左倒
No.1	0.43	0.48	0.49	0.49
No.2	0.48	0.49	0.49	0.55
No.3	0.48	0.49	0.48	0.54
No.4	0.49	0.58	0.46	0.53

伍、結論

本研究針對輕型機車作機車刮地痕試驗，在不同的試驗車速下量測輕型機車倒地後行經刮地痕距離，進而計算輕型機車倒地時摩擦係數的大小，同時探討不同試驗車速與輕型機車左倒與右倒對摩擦係數之影響，另外，本研究再利用拉力試驗，從結果可知輕型機車因兩側的零件差異所產生的拉力不同進而影響摩擦係數之變異性。

所得到的結論如下：

- (1) 車速會影響輕型機車刮地痕摩擦係數大小，試驗車速在 30~50 km/hr 左右時，輕型機車左倒或右倒之摩擦係數值最高，其值範圍落在 0.50~0.6 之間，車速超過 50 km/hr 後摩擦係數值逐漸減少。
- (2) 刮地痕試驗中輕型機車左倒之摩擦係數比右倒大，超過車速 40 km/hr 後兩者的差距更明顯。輕型機車兩側零件有一些差異，左側多了腳踏起動桿及左側駐車架，右側多了排氣管，試驗輕型機車倒地時起動桿或駐車架等突出物與地面接觸滑動時其所產生的阻力傾向較大，因此左側之摩擦係數較高。
- (3) 拉力試驗中，在時速 20 與 30 km/hr 時機車左倒之平均摩擦係數均比右倒高，並且時速 30 km/hr 之平均摩擦係數高於時速 20 km/hr，其趨勢與刮地痕試驗所得的結果相同。

參考文獻

1. Bruce F. McNally, ACTAR, Wade Bartlett, PE, ACTAR, “Motorcycle Speed Estimate Using Conservation of Linear and Rotational Momentum” , pp. 15-19, 2002.
2. Mohammed A. Quddus, Rober B. Noland, Hoong Chor Chin, “An Analysis of Motorcycle Injury and Vehicle Damage Severity Using Probit Models” ,No. 33, pp. 445-462, 2002.
3. K. S. Tan, S. V. Wong, R. S. Radin Umar, A. M. S. Hamouda, N. K. Gupta, “An Experimental Study of deformation Behaviour of Motorcycle Front Wheel-type Assembly Under Frontal Impact Loading” ,No. 32, pp. 1554-1572, 2006.
4. 葉名山指導教授，吳自強，民國九十四年七月「建置國內車輛基本資料庫以配合PC-Crash模擬軟體輔助重建現場圖之研究」，逢甲大學交通工程與管理所碩士論文
5. 郭曜彰指導教授，邱裕鈞，民國九十四年七月「汽機車碰撞事故之肇事鑑定專家系統」，逢甲大學交通工程與管理所碩士論文