

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

降低航空器滑出跑道工程技術之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-3114-E-002-002-
執行期間：95年11月01日至96年12月31日
執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：周家蓓

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：李美慧
碩士班研究生-兼任助理：鄺國軒

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97年04月01日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

降低航空器滑出跑道工程技術之研究

計畫編號：NSC95-3114-E-002-002-

執行期限：95/11/1~96/12/31

主持人：周家蓓 國立台灣大學土木工程學研究所

一、中文摘要

跑道之摩擦係數係維持航機起降安全重要指標之一，機場養護單位透過定期之檢測與改善策略之執行，可維持跑道之抗滑能力。本研究整合計畫徵求書之工作項目，針對國內跑道鋸槽施工之流程、使用機具、施作時機及成效等文獻進行彙整，並實際針對國內不同形式跑道之抗滑值資料進行分析，以瞭解鋸槽施作之成效與其對抗滑值提升之影響。研究成果顯示，柔性鋪面因紋理組成之不同，擁有叫價之抗滑能力，其次則為經過鋸槽之剛性鋪面，而未經其他紋理處理之剛性鋪面，則僅由面層提供排水能力，其鋪面之抗滑值較低。

此外，國內外研究報告顯示，鋸槽之施作將提升抗滑值 0.1~0.2，於國內剛性跑道施作經驗亦顯示相同之結果，唯其施工之審核至今並無一有效方式可供執行，僅仰賴人工與抽樣量測鋸槽尺寸進行。有鑑於此，研究執行期間利用雷射位移計及電動代步車研發鋪面鋸槽尺寸自動化量測設備，經實驗室與機場現地檢測均顯示其可有效量測鋸槽尺寸，且可反映跑道之抗滑檢測結果，未來將可應用於跑道鋸槽之定期評估，以確實掌握跑道摩擦係數之變化。

除抗滑能力維持外，跑道設計於兩端佈設安全區域，但若機場週邊土地使用受限，則可裝設工程材料組檔系統 (Engineered Materials Arresting System, EMAS)，以防止航機滑出跑道。研究中整理其設計、佈設等規範，並整理國內機場各跑道目前跑道端安全區域之設計

與周圍土地使用情況，以作為後續探討國內機場裝設 EMAS 可行性分析使用。

關鍵字：航空站跑道、鋸槽、抗滑值、EMAS

二、研究緣起與目的

機場鋪面管理系統 (Airport Pavement Management System) 中，『跑道抗滑值』(亦即為「跑道摩擦係數」) 為跑道安全性能的主要指標，其原因在於適當之鋪面抗滑值表現，可提供以下功能：(1) 使航空器降落後能在適當距離內煞停。(2) 在側風、引擎故障時，使航空器能維持良好之方向控制。(3) 縮短航空器在落地區滑行的時間，減短航空器於跑道之使用時間。

藉由定期之監控及胎屑清除作業，維持跑道之抗滑值於門檻值以上，進而避免航空器於潮濕鋪面上降落時產生水滑現象導致意外事故的發生。跑道抗滑養護養護之作業最常使用之技術為道面胎屑清除，用以提升跑道之抗滑能力。

除胎屑清除外，可另以鋸槽 (grooving) 之方式提高鋪面之抗滑能力，FAA 亦有相關規範對機場鋪面鋸槽之寬度、深度、間距有定有詳細之標準。

航空站除跑道道面提供抗滑能力供航機煞停使用外，根據 FAA 之跑道設計規範規定各機場於跑道終點需保留特定長度之跑道安全區域 (Runway Safety Area, RSA)，使飛機於突發狀況時能有足夠之煞停空間以確保人員及飛機安全。但部分航空站因受限於都市發展或天然環境的限制，使得跑道終點無足夠空間滿足安全區域之設置；為降低航機滑出跑道之損害及

人員傷害，FAA 於 1998 年提出「工程材料阻擋系統」(Engineered Materials Arresting Systems(EMAS) for Aircraft Overruns)公告，用以發展新型之飛機攔截系統。EMAS 目前已於美國 20 座機場，共計 25 條跑道安裝；為確保航機滑出跑道能有足夠之空間煞停，本研究亦將檢視國內各機場之跑道安全區域是否足夠，並評估國內機場跑道設置 EMAS 系統之需求及可行性，以提出提升跑道安全之工程建議。

經由上述背景分析經由上述背景分析，本研究擬完成下列七項工作項目：(1)彙總國內外相關跑道鋸槽研究報告，(2)搜集已鋸槽跑道之整體效能，(3)評估國內機場跑道是否增設鋸槽之需求及可行性，(4)審視國內外研究成果提出避免鋸槽跑道缺點之改善工法，(5)審視國內外研究成果提出 EMAS 之可能材料、施工工法及驗證方式，(6)評估國內機場跑道是否增設 EMAS 之需求及可行性，及(7)參考國內外規範及各型航機性能提出可能提升跑道安全之工程建議。

整體研究流程如圖 1 所示，由於國科會計畫審定僅核定第一年之工作內容，因此，於第一年計畫執行期間除完成預定之工作內容外，針對國內機場跑道鋸槽及胎屑清洗之成效，亦透過檢測數據之分析完成其對跑道抗滑能力改善之評估；整體而言，已完成之工作內容為圖 1 中長粗虛線範圍。

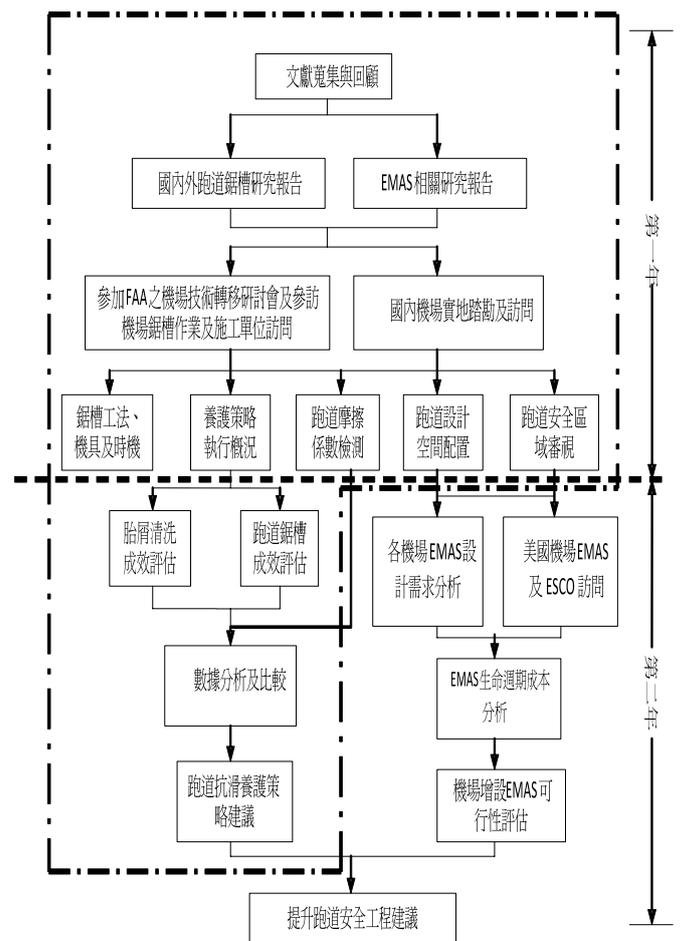


圖 1 研究流程圖

三、機場抗滑檢測資料分析

鋪面抗滑能力的物理意義即在於反應鋪面和輪胎之間存在的阻抗能力，因此除了鋪面本身的特性會影響抗滑值之外，輪胎的特性或其他影響鋪面及輪胎的外在環境因素，亦將對抗滑值的變化產生影響，這些因素可歸納為鋪面因素、運具因素、環境因素和水滑現象等，抗滑值的變化趨勢關係乃受各種因素同時影響。

研究團隊曾於民國八十九年至九十一年間進行兩期之機場跑滑道抗滑特性檢測與分析研究 (NSC89-2211-E-002-131[12] 及 NSC90-2211-E-002-029[13])。第一年期之計畫藉由分析實驗設計所得數據，瞭解跑道抗滑特性，並以 FAA 之養護評估標準進行檢視與分析，所得結果已作為擬定

本土化抗滑檢測規範之依據，第二年期研究則根據上述結論擬定抗滑檢測規範以及構建抗滑值預測迴歸式，並建立建議之抗滑檢測頻率、胎屑清除頻率與抗滑檢測頻率對照表如表一及表二所示。

表 1 抗滑檢測頻率表

每日累積降落班次數	寬體機型比例			
	0	0~20%	20%~50%	50%~100%
<15 架次	12 個月	6 個月	4 個月	3 個月
16~30 架次	4 個月	3 個月	2 個月	1 個月
31~60 架次	2 個月	1 個月	2 週	1 週
61~90 架次	1 個月	2 週	1 週	1 週
91~120 架次	2 週	2 週	1 週	1 週
121~180 架次	1 週	1 週	1 週	1 週
>180 架次	1 週	1 週	1 週	1 週

表 2 胎屑清除頻率與抗滑檢測頻率對照表

胎屑清除頻率	24 個月	18 個月	12 個月	9 個月	6 個月	4 個月	3 個月	2 個月	1 個月
抗滑檢測頻率	12 個月	6 個月	4 個月	3 個月	2 個月	1 個月	2 週	1 週	1 週

為瞭解不同鋪面形式與紋理處理方式對鋪面抗滑值之影響，並評估胎屑清除改善鋪面摩擦係數之功效；本研究針對國內機場跑道進行相關抗滑檢測試驗，以下將分別比較不同鋪面形式、落地區/非落地區等之抗滑檢測結果，並由檢測數據評估不同抗滑能力改善策略之功效。

以國內各機場跑道之鋪面形式分類，

共可區分為全跑道柔性、全跑道無鋸槽剛性、全跑道有鋸槽剛性、與剛與柔性混和區段跑道四大類，利用連續式抗滑儀進行跑道全長檢測之結果如圖 2 所示

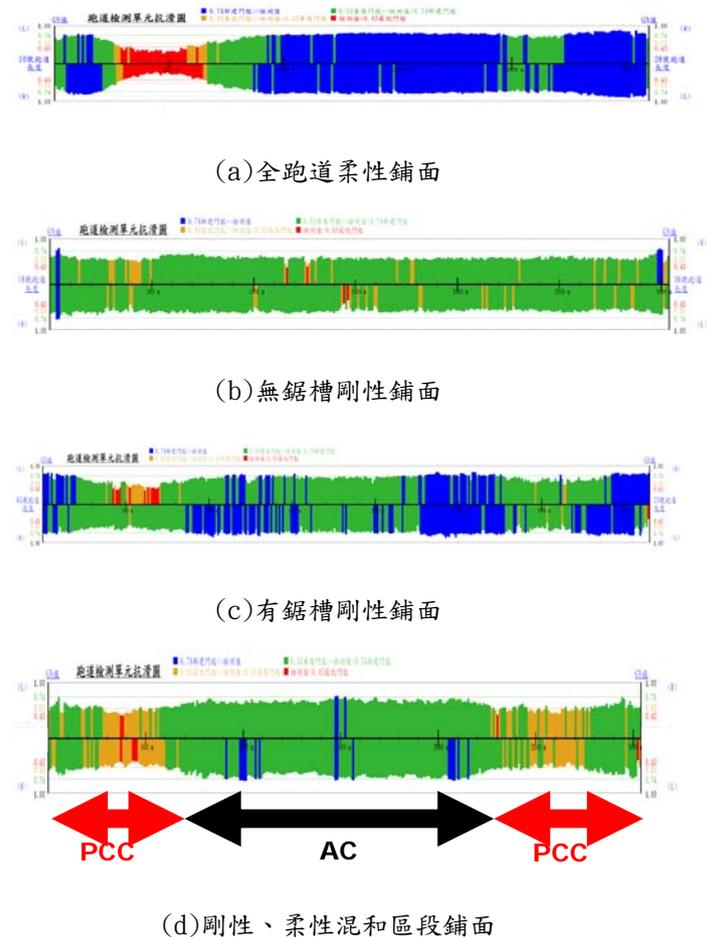


圖 2 不同鋪面形式抗滑檢測結果

由非降落區之檢測結果可知，在航機較少使用之區段，鋪面面層之胎屑沈積情況較少，主要展現原始鋪面骨材所提供之抗滑能力，且柔性鋪面所能提供之抗滑能力最佳，平均抗滑值可達 0.75 以上；其次為經過鋸槽處理之剛性鋪面，平均抗滑值約在 0.7 左右；而無鋸槽之剛性鋪面所顯示之抗滑值較低，平均約在 0.55~0.60 之間。

在靠近跑道端之落地區，由於航機起降之頻繁使用及胎屑沈積之影響，抗滑值

多為跑道全長最低之區段；由不同鋪面檢測結果可看出，柔性鋪面由於抗磨損能力較低，經長期航機使用及胎屑沈積後，抗滑值下降之趨勢較為明顯，部分區域抗滑值甚至低於最低養護門檻值(0.43)(圖 2a 中紅色區域)；而有鋸槽之剛性鋪面受胎屑沈積影響區域亦有抗滑值滑落之現象，但其平均抗滑值仍可維持在 0.6；綜合上述，相較於無鋸槽之剛性鋪面而言，剛性鋪面之鋸槽可有效提升跑道之抗滑能力，且在航機使用造成之磨損與胎屑沈積等影響下，可維持較佳之抗滑能力，以降低航機降落打滑之危險性。

為改善跑道落地區域抗滑值低落之問題，國內機場養護管理單位會依據抗滑檢測之數據分析，定期施行適當之抗滑改善策略；柔性鋪面較常見之方式為胎屑清除與刨除重鋪，柔性鋪面刨除重鋪後，落地區之抗滑值大幅提昇，且皆維持在鋪面新建之抗滑值門檻以上，對鋪面抗滑能力改善之功效顯著。胎屑清除之功效部分，若跑道落地區胎屑累積狀況嚴重，覆蓋於鋪面紋理之胎屑厚實，利用化學藥劑法無法完全溶解面層累積之胎屑，對於抗滑值之提升功效較不顯著。剛性鋪面之改善策略則為胎屑清除及部分機場進行跑道鋸槽，由檢測經驗得知，胎屑清除作業約可提升跑道平均抗滑值 0.05~0.15，跑道鋸槽施作區域之摩擦係數明顯高於未鋸槽之區域，約可提升抗滑值 0.08~0.16，為一有效之策略，且其持久性較佳，對摩擦係數之維持有較明確效果。

四、跑道鋸槽作業評估

由國內機場跑道抗滑檢測分析中得知，國內各機場依據道面抗滑能力不同，不定期施行胎屑清除等養護策略，藉此提升跑道之抗滑能力；大部分之航空站皆可透過胎屑之清洗有效改善跑道之抗滑能

力，但若胎屑沈積狀況嚴重，一般高壓水柱或化學溶劑已無法將道面胎屑有效清除，則可考慮透過其他方式進行跑道抗滑能力提升之作業，常見的方式則為道面重新整建或鋸槽。

NASA 自 1950 年代末起對航機濕地降落進行研究，機場鋪面鋸槽為 1962 年由 Walter B. Horne & Thomas J. Yager 所創，在 1967 年首度施作橫向鋸槽於 NASA Wallops Flight Facility 之試驗鋪面，在美國空軍與 FAA 支援下進行測試，對抗滑能力提升有極佳效果，至 1990 年代鋸槽已有完善之相關研究並有大致定論。現行關於機場鋸槽之規範則為 1997 年 3 月 FAA 發布之 AC150/5320-12C，認可鋸槽的效用並對其工法進行規範。

紋理施作為保持良好抗滑能力之方式。剛性鋪面和柔性鋪面都有適當的紋理施作技術。對剛性鋪面而言，若表層混凝土尚未完全硬化，施作掃紋和刮槽都是非常推薦的工法，鋸槽則可同時適用於塑性混凝土、已硬化的混凝土以及柔性鋪面。FAA AC 150/5370-10, Standards for Specifying Construction of Airports 中有詳細之跑道紋理施作說明。

鋸槽技術係指在鋪面上施作比掃紋和刮槽尺寸更大且更深的凹槽，已被證明在潮濕狀態下，能非常有效提高鋪面抗滑值並防止水滑現象。鋸槽適用於各種鋪面。對剛性鋪面而言，新建的混凝土因保持塑性，可使用形塑的方式施作，已使用或是以硬化的鋪面則需以鋸切的方式施作；柔性鋪面則都以鋸切的方式施作。鋪面鋸槽目前技術漸趨成熟，並成為國際通用之機場鋪面抗滑處理工法。但鋸槽之定義有特定尺寸標準，需以特定規格機具施工方可達到定義之型態，相較於存在已久之公路鋪面紋理處理技術諸如掃紋、刮槽……等

工法，鋸槽之施工速度較慢、施工難度高、成本亦較高，且為達到理想抗滑能力，驗收之規範亦較嚴格，故目前並不普及於公路鋪面，較常施作於高安全標準之機場鋪面。

FAA 建議在正常狀況下，機場主跑道全長皆應施作鋸槽，若有與次要跑道相交之狀況，鋸槽將分段施工，而跑道與高速滑行道交叉區域之鋸槽施作則應照規範施工，詳細規範皆列於 AC150/5320-12C。此外，由國外文獻之實驗可知，積水深度較深者水滑現象發生機率較高，但有於施作鋸槽之積水區域，打滑情況明顯改善，由此可見鋸槽對於維護雨天航機運作安全有確實之助益。也有文獻針對不同尺寸鋸槽進行有限元素法模擬分析，所得之結果為在限定範圍內，隨鋸槽尺寸加大、間距縮短，抗滑能力也隨之提升，因密集的鋸槽成為排水通道，對於提升水滑速率(意即降低水滑之機率)有其效果，其中橫向鋸槽之效果較為明顯，橫向鋸槽能使鋪面有效摩擦係數提升至兩倍。

紐西蘭也曾在大型研究計畫中長期監測各跑道鋪面抗滑值，圖 3 為其中一條柔性鋪面跑道之抗滑值紀錄。測試使用儀器為 Findlay Irvine 公司之 Grip Tester，以時速 65Km/h 速度測得抗滑值。

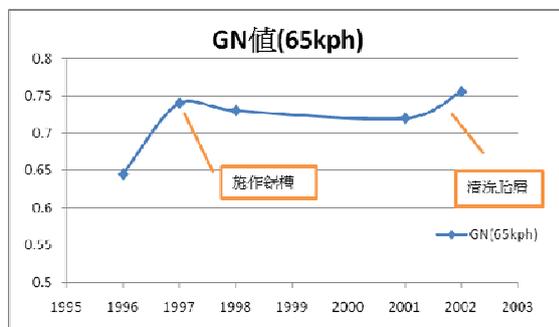


圖 3 紐西蘭跑道抗滑值

由圖 3 可看出由，1997 年在既有鋪面

施作鋸槽的效果非常明顯，且施作鋸槽後抗滑值是以緩慢速度下降，表示鋪面能長時間保持優良抗滑能力，於 2002 年於清洗胎屑也有提升抗滑值的效果，但不及當初施作鋸槽之效果明顯。

由資料所得之經驗為鋪面橫向鋸槽具優良排水能力，且能有效提升摩擦力，對於提升機場跑道抗滑能力有極優良效果。相對於航機滑出跑道時所可能產生之機場營運成本損耗，甚或更嚴重之生命財產損失，跑道施作鋸槽為一保險之行為，但仍須依照標準規範施作方可達到預期之效果。國內目前雖無鋸槽相關規範，但可參照美國 FAA 之規範制定合用之法規，期能普及於國內各機場，提供航空運輸更安全之保障。

本研究除進行跑道抗滑檢測外，於計畫執行期間亦發展鋪面鋸槽幾何尺寸自動化量測設備，設備組成主要係將雷射位移計與資料擷取設備放於置具中，並架設於電動代步車前輪軸上方，如圖 4 所示。於低速(2 km/hr)進行時，並設定雷射位移計之接收頻率為 800Hz，可使水平位移輸出間距縮小至 1mm。此設備已於實驗室內進行鋸槽模擬平台之幾何尺寸量測與資料比對，量測結果不論是鋸槽間距、寬度或深度之偏差或精密度都相當令人滿意，誤差約在 2%-4%之間，圖 5 即為量測之部份資料圖。本研究已於桃園機場 05/23 跑道及台南機場進行量測，桃園機場收集之部份資料如圖 6 所示。



圖 4 鋸槽幾何尺寸自動化量測設備

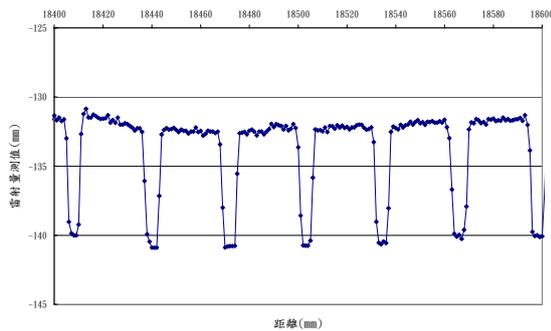


圖 5 鋸槽模擬平台量測結果

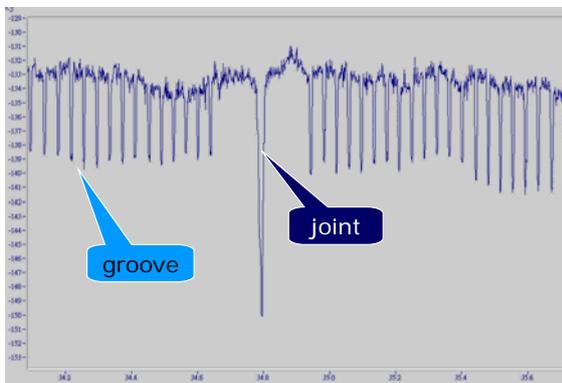


圖 6 05/23 跑道鋸槽量測原始圖

利用分析軟體計算於桃園機場 05/23 跑道量測之鋸槽深度、寬度與間距，統計距路肩約 9 公尺測線之檢測結果，避免胎屑沈積與航機行駛對鋸槽磨損之影響，以評估施工之標準是否符合規範，並繪製尺寸分佈頻率長方圖如圖 7~圖 9。在鋸槽深度之量測結果，其分佈之範圍在 1.2mm~10.0mm 之間，且約有 90%之深度介

於 $6.0 \pm 1.6\text{mm}$ ，符合 FAA 於 AC 150/5320-12C 中建議之標準鋸槽尺寸；但由統計結果可知，深度超過 6mm 之鋸槽約佔 57.1%，並無達到 FAA 建議之施工品質（60%以上之鋸槽深度不得低於 6mm）。於寬度之統計結果，多數鋸槽寬度界在 6.0~10.8mm 之間，寬度在 $6+1.6\text{mm}$ 約僅佔 32%，可見其鋸槽寬度多較 FAA 建議之標準尺寸為大。於圖 3.38 之間距統計結果顯示，鋸槽之間距多分佈在 32~47mm 之間，符合 FAA 規範之標準尺寸（35~38mm）者約佔 54%，其他間距則多在 41mm 以上，此趨勢與寬度之量測結果相同。綜合三項檢測結果，05-23 跑道之鋸槽施工大致符合 FAA 所建議之鋸槽標準尺寸，但在寬度與間距之施工皆有偏大之傾向，主要可能與使用之鋸片刀厚度有關；此外，亦可瞭解該跑道施工品質控制良好，鋸切完成之溝槽幾何形狀僅在小範圍當中變動，且大部分之施工皆控制在規範建議之範圍內，並無偏差較大之施工狀況，此結果亦反應在鋪面摩擦係數之檢測。

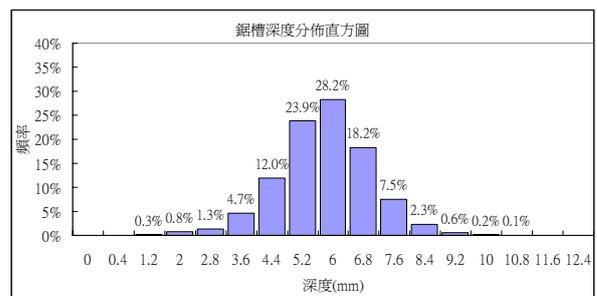


圖 7 桃園機場 05-23 跑道鋸槽深度量測結果

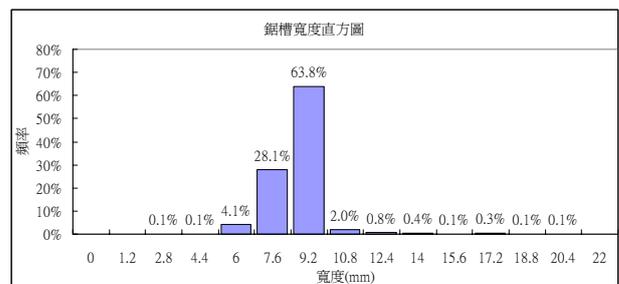


圖 8 05-23 跑道鋸槽寬度量測結果

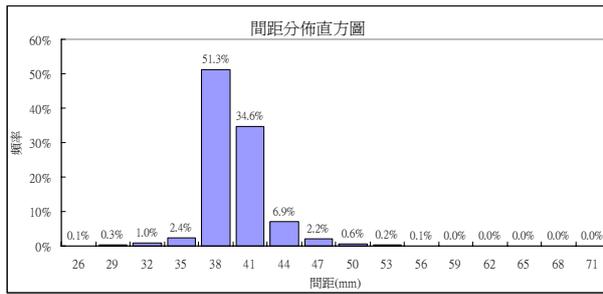


圖 9 05-23 跑道鋸槽間距量測結果

本研究於 96 年 5 月 22 日機場跑道養護關場之際，進行 05-23 跑道全長之連續式抗滑檢測、定點式摩擦係數量測與鋸槽幾何形狀之檢測。圖 10 為跑道全長之連續式抗滑檢測結果，於 05 跑道端落地區，因航機使用頻繁致使胎屑沈積嚴重，使得落地區之抗滑能力下滑，且部分區域低於養護之最低門檻(0.43)；其他區域因鋪面鋸槽有效改善其抗滑能力，平均抗滑值皆維持在 0.7 以上。

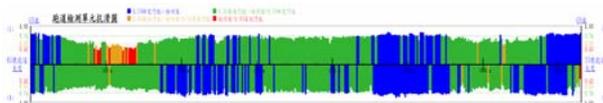


圖 10 桃園國際機場 05-23 跑道連續式抗滑檢測結果

本研究另對台南機場於 2006 年 1 月完成 36 跑道端 0~810 公尺範圍剛性鋪面之鋸槽作業量測，鋸槽施工區段之平均抗滑值由 0.54 提升至 0.64，有效改善鋪面抗滑能力不足之問題。本研究於 2007 年 4 月 15 日清晨跑道尚未開放之際，進行 36 跑道端之鋸槽施工幾何尺寸之量測，測線主要以跑道中心線兩側三公尺範圍為主。

由現地觀察結果可知，施工單位並無依照 FAA 建議之施工準則進行，檢測人員發現部分版塊之鋸槽深度明顯過淺，僅約 2~3mm，且有施工不均勻之現象，如圖 11 及圖 12 所示，因此，剛鋸槽完成之平均抗

滑值僅提升至 0.64，較桃園國際機場 05-23 跑道全長之檢測結果為差。



圖 11 36 跑道端剛性鋪面鋸槽深度不足現象 (僅約 2~3mm)



圖 12 36 跑道端剛性鋪面鋸槽不均勻現象

為進一步瞭解鋸槽之施工狀況，利用所開發之鋸槽尺寸自動化量測設備進行 36 跑道端有鋸槽剛性鋪面之量測，其原始量測結果如圖 13，圖中虛線高度為依據 FAA 規範建議之鋸槽深度(6mm)，由圖可明顯看出多數鋸槽之平均深度均未達規範建議標準，且多分佈在 2~3mm 之間，甚至部分鋸槽深度僅約 1mm。

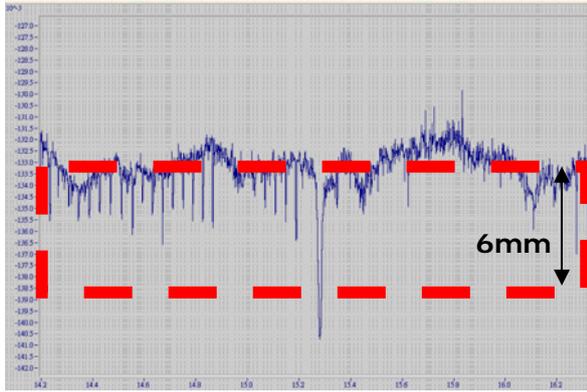


圖 13 台南機場 36 跑道端鋸槽尺寸量測原始圖

五、跑道安全區審視與 EMAS 系統介紹

航空站除跑道道面提供抗滑能力供航機煞停使用外，根據 FAA 之跑道設計規範規定各機場於跑道終點需保留特定長度之跑道安全區域(Runway Safety Area, RSA)，使飛機於突發狀況必須採取破降或放棄起飛時，能有足夠之煞停空間以確保人員及飛機安全。但部分航空站因受限於都市發展或天然環境的限制，如河流、鐵路、公路等，使得跑道終點無足夠空間滿足安全區域之設置，為了降低航機滑出跑道之損害及人員傷害，FAA 於 1998 年提出「工程材料阻擋系統」(Engineered Materials Arresting Systems(EMAS) for Aircraft Overruns)公告，用以發展新型之飛機攔截系統。

在跑道長度的設計部分，FAA 與 ICAO 均有詳細之規範說明，而配合國內機場所使用之航機，檢核其跑道設計之長度，均符合所需之最小長度值，顯示在正常之航機起降情況下，並無跑道長度不足之問題。跑道長度除依照 FAA 與 ICAO 設計法設計基本長度外，尚須預留足夠空間以供緩衝或緊急狀態使用。比較發現，在機場跑道長度部分 ICAO 規範略較 FAA 嚴謹，而安全區域範圍部分，則是 FAA 規範標準較高。一般於航空設計時與跑道相關之安全

區域有緩衝區、清除區、淨空區等各項參考規範，依 FAA 建議設計之安全區域長度如表 3 所示。

表 3 跑道端頭安全區域檢核表(依據 FAA 規範)

*檢核欄中，○代表合格，●代表不合格

機場名稱	跑道編號	跑道端安全區 (m)		安全區規範長度(m)	安全區檢核
		05	23		
桃園國際機場	05-23	05	620	300	○
		23	510		
高雄國際機場	06-24	06	560	300	○
		24	635		
台北國際機場	09-27	27	200	300	27● 09○
		09	730		
台中清泉崗機場	18-36	10	50	300	●
		28	120		
嘉義機場	18-36	36	390	300	○
		18	345		
台南機場	18L-36R	36R	40	300	●
		18L	70		
屏東南機場	09-27	09	35	N/A	N/A
		27	245		
屏東北機場	08-26	08	30	240	●
		26	230		
花蓮機場	03-21	03	50	300	●
		21	75		
台東豐年機場	04-22	04	55	300	●
		22	45		

馬公 機場	02-20	02	25	300	●
		20	180		
金門 機場	06-24	06	115	300	●
		24	70		
綠島 機場	17-35	17	30	180	●
		35	60		
蘭嶼 機場	13-31	13	55	180	●
		31	80		
望安 機場	02-20	02	185	180	02○ 20●
		20	170		
七美 機場	02-20	02	30	180	●
		20	15		
馬祖 北竿 機場	03-21	03	15	240	●
		21	15		
馬祖 南竿 機場	03-21	03	0	240	●
		21	0		
恆春 機場	14-32	14	65	240	●
		32	55		

雖然 FAA 及 ICAO 基準略有不同，但無論依何者之要求，國內各機場跑道長度皆無虞，然多處航空站之安全區的範圍卻遠低於兩者規範要求，尤以離島機場情況特別嚴重。將在第二年之後續研究中加強探討其對策，以確保飛航安全之維護。

本研究另一項工作重點為探索工程材料阻擋系統(EMAS)之功能，其發展是由柔性地面攔截系統發展演化而來，通常安裝於距跑道終點某一定之後退距離的範圍內，利用一種易粉碎性的混凝土材質預鑄構件組成，以物理能量轉換之概念，利用材料吸收飛機動能使其於設計範圍內安全減速停止，又因其使用材料強度較弱，航機陷入 EMAS 系統後並不會對航機本身造成損害，降低航機損害可能產生之危險性

於人員的傷害。EMAS 之材料主要透過精確的配比公式，用水泥、水與特殊的泡沫摻合，以預鑄方式製成套件，並規劃不同尺寸供現場安裝整體攔截床之設計要求。EMAS 安裝之地點、尺寸與材料，隨機場跑道、設計機型與滑出跑道速度而有所不同，由電腦程式可以完整的計算與評估所使用的材料、安裝位置及所需長度。

道面之摩擦能力會因降雨、下雪、結冰或積水等現象而降低，但 EMAS 系統則不因其環境因素的改變，影響其成效，於降雨或積水嚴重之天候狀況，仍可以有效的使航機減速於安全區域中，且當航機發生滑出跑道之狀況時，待人員疏散後，即可將航機拖離跑道範圍，並可於短時間內開放跑道之使用，降低對後續機場營運之影響。

六、結論

於機場抗滑相關文獻與現的檢測資料可知，以鋪面紋理所能提供之摩擦力而言，於柔性鋪面具有最佳之表現，其次則為有鋸槽之剛性鋪面與無鋸槽之剛性鋪面，主要原因和鋪面材料組成特性有關；雖柔性鋪面能提供較佳之抗滑能力，但由於其抗磨損與承載能力不及剛性鋪面，於航機頻繁起降與胎屑沈積於表面後，摩擦係數下降之趨勢較為明顯，亦導致降落區之摩擦係數低於剛性鋪面。在胎屑沈積嚴重之落地區域，由於附著於跑道面層之胎屑厚實，利用化學藥劑法移除胎屑之成效較不顯著；於柔性鋪面可進行落地區之剷除重鋪作業，不僅具有施工工期短、降低對機場營運影響之優點外，對於落地區摩擦係數之改善可提升抗滑值 0.25 以上，有效改善落地區抗滑能力不足之問題。於剛性鋪面之胎屑清除功效與柔性鋪面類似，約可提升抗滑值 0.05~0.15；除較常使用之化學藥劑清除法外，透進行跑道部分長

度之鋸槽作業可得跑道摩擦係數改善之功效，約可提升抗滑值 0.08~0.16。

由道面鋸槽研究相關研究與國內外施工經驗可知，透過鋸槽之施作，可以有效的改善鋪面之排水效能，並提升其所能提供之抗滑能力，但需配合適當之機具與施工品質之控管，才能確保施工之成效，以達預定改善之抗滑能力。研究除整理國外施工經驗、使用機具外，並實地量測進行國內機場之鋸槽成效評估。於國內剛性跑道鋸槽施工經驗可知，四座跑道之抗滑值皆因鋸槽之施作而有所改善，約提升抗滑值 0.08~0.11。於鋸槽幾何尺寸之檢核部分，透過研究團隊研發之自動化檢測設備，可以快速並準確的量測鋸槽之深度、寬度與間距，並於研究期間執行兩座跑道之檢測，並瞭解不同之施工品質確實會影響摩擦係數之提升，在符合 FAA 相關規範之施作下，跑道整體之抗滑能力表現較佳，此檢測方法亦可替代傳統人工抽樣之評估方式，並可提供機場管理單位定期檢驗跑道鋸槽之磨損情況，以提供適當之養護方式及維持跑道良好之抗滑能力。

依據我國「民用機場設計暨運作規範」及 ICAO 機場跑道設計規範，並針對國內各機場目前之航機使用情形，分析跑道之設計長度與安全區域是否足夠，此外，亦收集國內機場跑道配置圖與空照圖等相關資訊，瞭解機場跑道安全區域若有不足之處，其未來延伸之可能性，以評估安全區域之整體效能，提出跑道安全區域之改善建議。整理國內機場資料可知，以跑道長度設計而言，各機場跑道之設計長度皆符合 FAA 規範計算之設計長度，並無跑道長度不足之問題；在安全區域的探討部分，部分機場因周圍土地使用與環境受限等因素，致使跑道端之延伸安全區域不符合 FAA 或 ICAO 之規範建議範圍；將於後續研

究中探討其改善策略，透過完整之經濟效益分析，選擇較佳之執行方案，以維護航機起降之安全。

本研究中整理 EMAS 發展背景、規範與設計考量等相關資訊，可結合機場航機使用、安全區域及周圍土地使用現象，規劃設計 EMSA 裝設所需之長度與位置，未來將可進一步結合國內機場現況之相關資料，以評估各跑道裝設 EMAS 系統之需求與可行性。

六、 參考文獻

1. FAA AC 150/5200-22
2. FAA AC 150/5300-13
3. FAA AC 150/5325-4B
4. FAA ORDER 5200.9 :「Financial Feasibility and Equivalency of Runway Safety Area Improvements and Engineered Materials Arresting Systems」
5. Federal Aviation Administration Advisory Circular 150/5320-12C, 1997
6. G.P. Ong and T.F. Fwa “Analysis of Effectiveness of Longitudinal Grooving Against Hydroplaning” TRB Annual Meeting 2006.
7. ICAO , “Airport Services Manual Part 2 : Pavement Surface Conditions” , Third Edition, 1994.
8. ICAO “C/CAR DCA/9-IP/07”
9. ICAO Doc 9157-AN/901 “Aerodrome Design Manual Part 1 Runways.”
10. IFALPA : Runway End Safety Area
11. International Civil Aviation Organization, Annex 14 - Aerodromes, 1999
12. NASA Official Gail S. Langevin, NASA website “Runway Friction and Tire Technology” , Oct. 17 2003 updated.
13. Thomas J. Tager, W. Pelham Phillips and Perry L. Deal “Evaluation of Braking Performance of a Light, Twin-Engine Airplane on Grooved and Ungrooved Pavements” NASA TN D-6444 1971
14. Toan, DV “Runway Friction Performance in NZ” , Beca Infrastructure Ltd, Auckland, New Zealand.
15. Wayne K. San Filippo and Hugh DeLong, ” Engineered Materials Arresting System(EMAS):An Alternative Solution to Runway Overruns” , Air Transport 2002 117, 23 (2002)
16. 中華民國交通部民用航空局 “台北飛航情報區飛航指南” , 民國九十五年十一月。
17. 交通部民用航空局,「民用機場設計暨運作規範」, 民國九十四年。
18. 吳翔文 “機場跑道抗滑值預測模式及檢測規範初探” , 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文, 2001。
19. 周家蓓,「機場跑道抗滑特性檢測與分析(2)」, 國家科學委員會研究報告, 民國 91 年 8 月。(NSC90-2211-E-002-029)
20. 周家蓓,「機場跑道抗滑特性檢測與分析(I)」, 國家科學委員會研究報告, 民國 90 年 8 月。(NSC89-2211-E-002-131)