

潭美颱風影響松山機場低空風切之個案觀測分析

蒲金標¹

徐茂林²

國立台北教育大學自然教育學系¹ 貝氏卡曼科技股份有限公司²

摘要

本文利用2013年8月21日潭美(TRAMI) 颱風侵襲期間，根據地面自動測報系統(AWOS)測報資料，就松山機場跑道兩頭(R10和R28)之風速、以及風速和跳動情形，分析其與機場低空風切警告系統(LLWAS)發出的風切警告加以分析。

研究結果顯示在潭美颱風暴風圈接近、侵襲和遠離階段，當風速越大，其風速和氣壓跳動幅度越大；風速越小，其風速和氣壓跳動幅度越小，跳動範圍超過一個標準差(1σ)之次數越多，引發風切警告次數越多且越強。風速和氣壓跳動範圍超過一個標準差之時段和次數，與低空風切發生時段，兩者發生時段相當一致，尤其是氣壓跳動比風速跳動發生時段與風切警告時段更為一致。

關鍵詞：潭美颱風、低空風切

蒲金標 國立台北教育大學自然教育學系兼任副教授、財團法人中華氣象研究發展中心副董事長兼執行長、貝氏卡曼股份有限公司監察人。

地址：10670台北市大安區和平東路三段9號9樓

手機：0932-592-908 E-Mail：pu1947@ms14.hinet.net

一、前言

機場低空風切(Low-level Wind Shear)或微爆氣流(Microburst)對飛航安全構成最嚴重威脅。由於低空風切發生在最低層500m(1,600ft)以下，風向或風速之突然變化，對飛機起降階段而言，則特別重要。當飛機在爬升離場和降落進場階段，飛機速度和高度都接近臨界值，飛機容易遭受風切的危險。

風切乃指大氣中單位距離內，風速或風向或兩者同時發生之突然大變化，如以數學式表示，則

$$\text{風切} = \Delta v^\wedge / \Delta s$$

Δv^\wedge 及 Δs 分別代表風向量變化及產生變化之距離。其風切可分為水平風切或垂直風切。

風切是非常複雜的且很難預測的小尺度氣象現象，它所造成的風場變化可能是緩慢的，也可能是快速和突然的。強烈的順風和逆風可以在瞬間變弱或變強，引發低空風切的發生。飛機在起飛和降落過程，要經過逆風、順風和下降氣流的風場。目前還沒有一個成熟的科學依據，可對低空風切做精確的預報，因此，及時監測風切現象的發生，提供給飛行員注意，就特別重要。

美國聯邦航空總署(FAA)和UCAR(1992)開發了第三代低空風切警告系統(Phase-III LLWAS)，該系統在跑道兩旁離中心線1海浬和跑道兩端向外延伸3海浬範圍內建置數十個測風塔。當數十個測風儀中的一個觀測到風場和所有測風儀的平均風場有每小時 15 海浬的差值時，就有可能有風切現象，系統即時發出風切警告。另一個情況就是資料處理的結果，發現有輻散(divergence)的風場，也會發出風切的警報。其原理是以任三具測風儀為頂點，兩兩連線形成一個三角形的區域，將測風儀量測到的風速與風向經由電腦做內差與平滑化處理，形成該區域的向量風場。對該區域的向量風場取輻散度(divergence)，其物理意義為描述該區域內部氣流對區域邊界之假想平面向外或向內流動的通量趨勢，即氣象領域對某區域風場「輻合」與「輻散」現象的定量化描述。其物理公式如式(1)。

$$\Delta = \text{div}(u, v) = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y \quad (1)$$

松山機場LLWAS系統沿著機場跑道向外延伸3海浬和跑道中段共設有13個遠端測風台，系統會將每一測風台所觀測的風場資料換算為跑道方向(100° ~ 280°)之分量，計算跑道兩端進場或離場航道方向之頂風(增速)或順風(減速)強度，來偵測位在跑道或跑道兩端離到場1~3海浬的低空風切或微爆氣流情

形。松山機場低空風切之強度從跑道及跑道兩端各向外延伸3海浬等區域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度來決定，根據FAA風切強度為標準，當頂風(增速)或順風(減速)數值介於15~19kts時，表示有輕度低空風切；介於20~29kts者稱之為中度風切；大於29kts者稱之為強烈風切，其中順風(減速)大於29kts者稱為微爆氣流。

機場風場觀測係以十分鐘平均數，提供給機場以外的國內外單位使用，另外以風場兩分鐘平均數僅提供給航管塔台和飛機起降使用。松山機場LLWAS系統13個遠端測風台係以13個遠端測風台風場10秒鐘平均數用來計算機場是否有低空風切的發生，即低空風切發出警告一次代表十秒鐘，警告時間是次數 \times 10秒，可以時間長短來呈現，比較有具體的概念。松山機場LLWAS系統係以每10秒的週期，即時(real time)更新風場資料，遇有低空風切發生時，系統會發出警告一次，所以本文每秒風速超過 1σ 之次數除以10；氣壓每分鐘超過 1σ 之次數乘以10倍，以利與LLWAS發出警告次數一致。

國際民航組織(ICAO, 2005)指出LLWAS-III系統監測低空風切的準確率可達90%，但仍有10%的誤報率。陳與袁(2014)使用診斷數學模式和測風儀，來克服LLWAS無法監測的「盲區」。我國民用航空局於2001年9月1日於松山和桃園國際機場各建置一套符合美國FAA第三代機場低空風切警告系統(Phase-III LLWAS)，原本要在高雄國際機場建置同樣規格的低空風切警告系統，後因該機場06跑道靠海，腹地不足，無法建置而放棄。

國際民航組織文件低空風切手冊(Doc 9817-AN1449)提到氣壓感應(微型氣壓計)裝設在機場週遭來偵測陣風鋒面冷空氣等所引起的氣壓跳升(pressure jump)，在某些情況下，可偵測到陣風鋒面的時間比地面測風所測到的時間，提早三分鐘。這種地面風場和氣壓的組合曾經測試過，但是尚未應用到LLWAS系統。

Wakimoto(1982)認為陣風鋒面(guest front)經過測站，常帶來氣壓上升和氣溫下降、風向突變以及風速突增的現象，這種現象是造成低空風切的主要原因之一。Viana, et al. (2007)曾以小尺度和短時間之地面氣壓跳動(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層(atmospheric boundary layer)之特性，將地面氣壓跳動光譜特性與亂流加以比較。蒲(2003)認為松山機場雷雨陣風、颱風強風、鋒面過境風場改變大，以及強烈東北季風都是引發低空風切之主因。何等(2005)研究顯示松山機場無論在強盛西南風盛行或結構完整的鋒面影響時期，其低空風切皆集中於風向 $280^\circ \sim 290^\circ$ 間發生。蒲等(2014；2015)顯示當大氣發生劇烈變化時，其風速和氣壓等觀測值，會產生大幅度的跳動現象，而其大幅度跳動現象，可能與低空風切發生有其關聯性。在雷雨陣風

鋒面來臨和大雷雨引發氣壓跳升現象發生時，透過風速和氣壓超過1個標準差(standard deviation)時，能偵測到低空風切現象的發生。通常氣壓突降或跳升現象，升降幅度越大，低空風切越強。蒲等(2015)分析蘇力颱風暴風圈侵襲期間機場低空風切警告系統發出風切警告之時段和次數，與風速和氣壓等跳動超過 1σ ，彼此相當一致性。

本文嘗試以2013年8月2日潭美颱風影響松山機場低空風切之個案觀測，分析風速和氣壓每分鐘跳動超過1個標準差之時段與次數，與現有松山機場低空風切警告系統發出風切警告加以分析比對，或許可以找出以氣壓跳動來替代風塔觀測風場之計算風切方式。

二、 資料來源和研究方法

本文資料採用民航局松山機場低空風切警告系統(LLWAS-III)，2013年2月24日風切警告資料(每10秒擷取風塔資料)、松山機場地面觀測報告(801C)(定時和特別觀測)和地面自動化測報系統(Automatic Weather Observation System : AWOS)(每秒一筆資料)以及日本氣象協會地面天氣圖等資料。其中低空風切警告系統係以每10秒計算是否有風切現象，換言之，每10秒發布1次是否有風切警告。而機場AWOS系統之風速和氣壓雖然都是每秒紀錄，但是氣壓是每分鐘觀測變動，略有不同。為便於分析機場風切現象，本文以機場低空風切系統每10秒時間尺度為主。所以本文每秒風速超過 1σ 之次數除以10；氣壓每分鐘超過 1σ 之次數乘以10倍。

機場在穩定大氣之下，一般氣象要素如氣壓等觀測，其每秒前後觀測數值跳動幅度，通常是在一定範圍內，若跳動範圍是近似於常態分佈的機率分佈，約68%數值分佈在1個標準差之內。在不穩定大氣之下，該等氣象要素跳動大，可能會超出1個標準差。本文嘗試就松山機場風速和氣壓每秒或每分鐘前後觀測跳動範圍超出1個標準差之次數與機場低空風切發生次數加以比較。

$$X_i = Y_i - Y_{i-1}$$

Y_i 代表這一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。

Y_{i-1} 代表前一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。

X_i 代表這一秒或這分鐘與前一秒或前一分鐘氣象要素之觀測差值(跳動值)。

再就氣象要素跳動觀測值($X_i \neq 0$) 計算其一天24小時總計86400秒，取固定的標準偏差。

標準偏差()計算公式，如下列：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

n=86400秒(一天24小時)

其中僅就氣象要素跳動值不等於零($X_i \neq 0$)之部分加以計算。

本文根據松山機場地面自動測報系統(AWOS)，以跑道兩頭(R10和R28)地面自動測報每秒或每分鐘資料，嘗試以2013年8月21日潭美颱風暴風圈接近、籠罩和遠離期間，分析機場跑道兩頭之風速，以及風速和氣壓等跳動(fluctuation)超過 1σ 之幅度和次數，與機場低空風切警告系統發出風切警告次數和發生時段加以比較。

三、低空風切警告

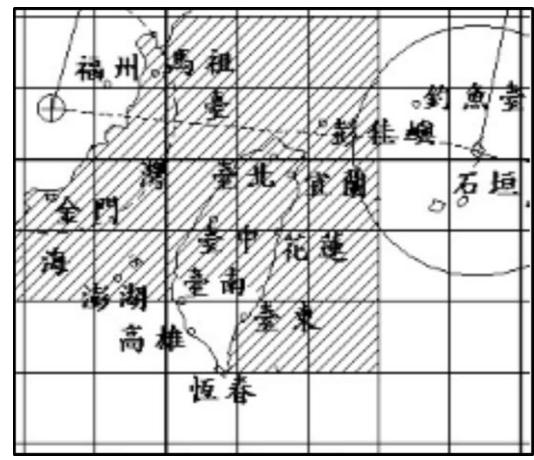
2013年8月21日0000UTC輕度颱風潭美(TRAMI)，中心氣壓(975百帕)，中心位在 25.1°N ， 121.4°E ，即在台北東方290公里海面上。近中心最大風速60KT，瞬間最大陣風75KT。7級風暴風半徑180公里，10級風暴風半徑50公里，暴風圈進入台灣東方近海，對宜蘭、花蓮、嘉義以北構成威脅，如圖1a。台北松山機場在0000-0600Z間機場下陣雨，最大平均風向風速 270-320/10G16KT。其中以0004 UTC陣風16KT和0333-0430UTC陣風15KT兩時段風速較強。機場低空風切警告系統於0300-0400UTC在強陣風15KT下，每小時分別發出56次和39次風切警告，其中輕度(中度)風切警告也分別發出20次和20次(27次和19次)，0300UTC還發出9次之多，如圖2。機場低空風切之強度，係以跑道及跑道兩端各向外延伸3海浬等區域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度為標準，將風速分成輕度風切(15-19KT)、中度風切(20-29KT)和強烈風切(30-35KT)等三種強度。松山氣象台根據風切警告系統或飛行員報告，於0300-0500 UTC發佈R10跑道風切報告，如圖3。

2013年8月21日0600UTC輕度颱風潭美(TRAMI)，中心氣壓(975百帕)，中心位在 25.4°N ， 122.8°E ，即在台北東北東方140公里海面上。近中心最大風速60KT，瞬間最大陣風75KT。暴風圈進入台灣中部以北、東北部和東部陸地，各地風雨持續增強。如圖1b。台北松山機場在0600-1200Z間機場仍持續下陣雨，甚至於0754-0845UTTC下強陣雨。0700UTC起風速開始增強，0700-1200UTC平均風速11-24KTG15-41KT，其中於0711-1038UTC(0800-0913UTC)最大陣風達30-41KT(30-41KT)，尤

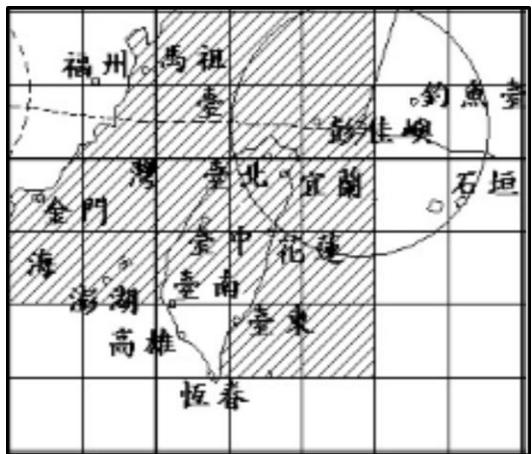
其於0809UTC最強陣風達41KT。機場低空風切警告系統於0700-0900UTC在強陣風30-34KT之下，每小時分別發出111次、235次和173次風切警告，其中輕度(中度)風切警告也分別發出46次、48次和76次(65次、164次和96次)，0800-0900UTC還發出強烈風切警告23次之多，如圖2；松山氣象台根據風切警告系統或飛行員報告，於0700-1100UTC發佈R28跑道風切報告，如圖3。

2013年8月21日1200UTC輕度颱風潭美(TRAMI)，中心氣壓(970百帕)，中心位在 25.8°N ， 121.1°E ，即在台北的北北西方90公里海面上。近中心最大風速60KT，瞬間最大陣風80KT。暴風圈仍籠罩台灣中部以北、東北部和東部陸地，各地風雨持續中。如圖1c。台北松山機場在1200-1800Z間機場仍持續下陣雨，甚至於1330-1500UTC下強陣雨。1200 UTC起最大陣風開始減弱，但是在1230-1330UTC最大陣風還有15-20KT，於1523UTC最大陣風減弱至7KT以下。機場低空風切警告系統僅於1400UTC發出中度風切3次。氣象台於1200-1500UTC在強陣風15-20KT(1200-1400UTC)之下，仍持續發布R10跑道風切報告，其中於1200UTC還發布R10和R2/8跑道風切報告，如圖3。

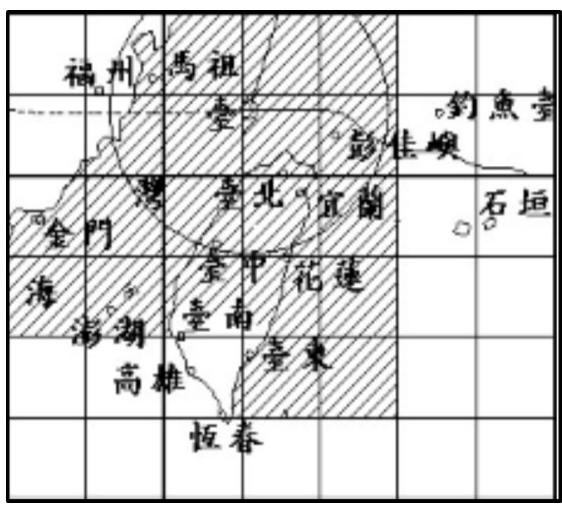
以上分析顯示，機場於輕度颱風潭美暴風圈接近和籠罩期間，在機場最大陣風增強至15KT或以上，就會引起松山機場低空風切的發生，尤其在強陣風30-34KT還發出強烈風切23次。



(a)



(b)



(c)

圖1 2013年8月21日地面天氣圖

(a)0000UTC (b) 0600UTC (c) 1200UTC
(摘自中央氣象局網站)

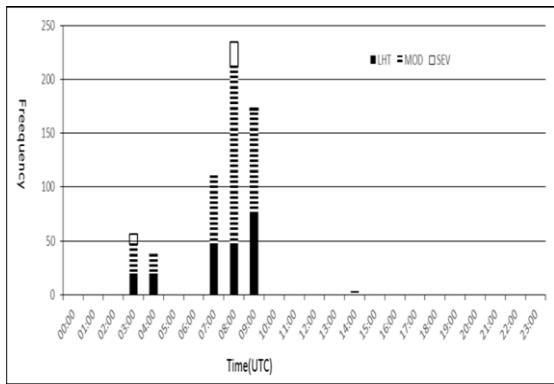


圖2 2013年8月21日松山機場低空風切警報系統逐時發布風切次數。

黑色實心表示輕度風切，條文線條表示中度風切和黑色中空表示強烈風切。註：機場低空風切之強度，係以跑道及跑道兩端各向外延伸3海哩等區

域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度為標準，將風速分成輕度風切(15-19KT)、中度風切(20-29KT)和強烈風切(30-35KT)等三種強度

四、機場地面自動測報資料

本節分析2013年8月21日輕度颱風潭美暴風圈接近(0000-0600UTC)和籠罩(0600-1500UTC)期間，松山機場跑道兩頭(R10和R28)之風速、以及風速和氣壓等跳動(fluctuation) 超過 1σ 之時段和次數，同時與機場低空風切警報系統發出風切警報發生時段和次數加以比較。每秒風速超過 1σ 之次數除以10；氣壓每分鐘超過 1σ 之次數乘以6，以利與LLWAS發出警報次數比較。

(一)、風速等於或大於19KT和次數

本節按21日0000-1000UTC輕度颱風潭美暴風圈接近(0000-0600UTC)和籠罩(0600-1500UTC)期間，松山機場跑道兩頭R10和R28每秒風速超過15 KT；再按機場低空風切之強度，從跑道及跑道兩端各向外延伸3海哩等區域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度為標準，將風速分成15-19KT、20-29KT和30-35KT等三種強度，來分析其發生時段和次數(每10秒計為1次)。

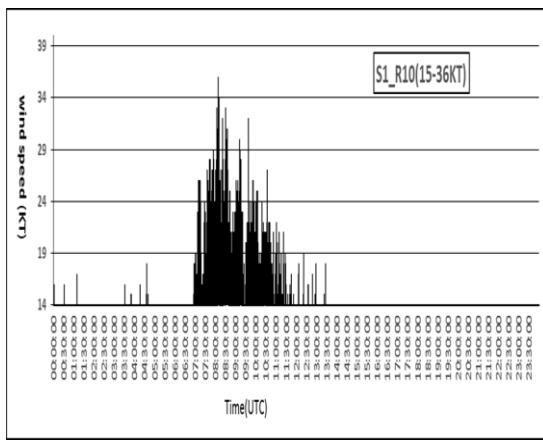
21日0000-0600UTC暴風圈接近期間，機場R10 (R28)風速皆在19KT或以下，風速不大，次數不多，每小時出現次數僅1-7次。在機場低空風切發生時刻(0300-0500UTC) R10(R28)風速15-19KT 之次數，每小時僅1-4次，不足於反應每小時出現風切39-56次，尤其於0300UTC還出現9次強烈風切，但機場跑道風速並不大多。如圖3和圖4。

21日0700-1200UTC暴風圈籠罩期間，機場R10 (R28)風速增強，在機場低空風切發生時刻(0700-1200 UTC) ，R10(R28)風速出現15-36KT (15-42 KT)，每小時出現次數8-281次(37-353次)，其中在機場低空風切警報系統發出風切警報時段(0700 -0900 UTC)，R10(R28) 風速出現15-36KT (15-42KT)分別有224次、281次和254次(256次、353次和349次)之多，尤其於0800-0900UTC系統發出強烈風切，R10 (R28) 風速出現30-36KT (30-42 KT)分別有4次和1次(14次和5次)，其中R10(R28) 風速於0807-0810 UTC (0804-0805UTC)出現34-36KT (34-42 KT)，可知強烈風切與颱風暴風雨有相關性，兩者在強風切和暴風時段有相當一致性。氣象台除了風切系統發出警報時段(0700-0900 UTC)發布風切報告之外，於1000-1200 UTC根據飛行員提報也發布風切報告，這段時間R10(R28) 風速出現15-29KT (15-29 KT)分別有213次、45次和8次(267次、86次和37次)，如圖3和圖4。跑道風速出現15KT或以上與

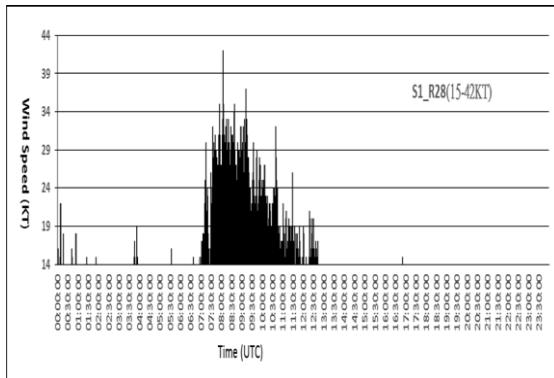
飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警告。

21日1300- 1500UTC暴風圈逐漸遠離期間，機場R10(R28)風速大幅減弱，僅僅於1300UTC風速出現18KT或以下，且只有2次，但是氣象台卻有風切報告(1300-1500UTC)和機場低空風切發布中度風切警告(1400UTC)3次，風切發出警告與風速減弱，是有不一致之處。

以上分析顯示機場每秒風速超過 1σ 和次數之時段與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段，兩者大部分時段近似一致，尤其颱風暴風圈侵襲時段，兩者發生時段更接近一致。

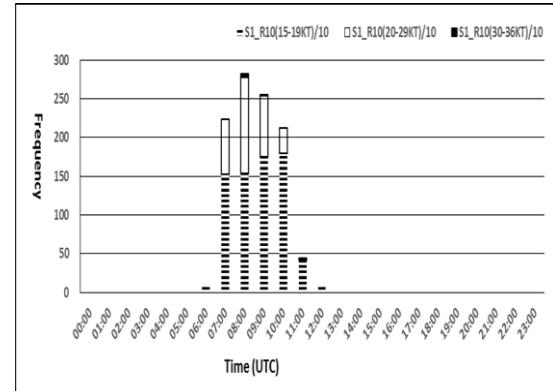


(a)

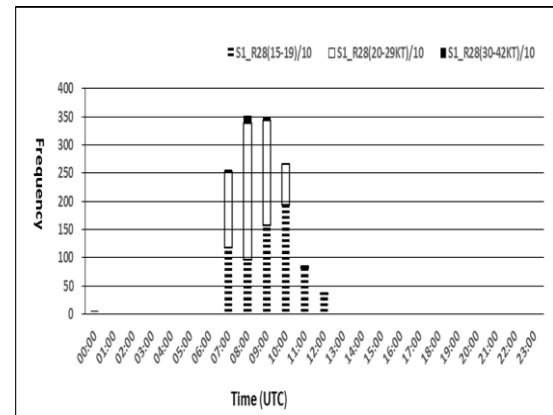


(b)

圖3 2013年8月21日松山機場R10和R28跑道風速超過14KT之分布。(a) R10 (b) R28



(a)



(b)

圖4 2013年8月21日松山機場R10和R28跑道風速超過14KT之發生次數分布。(a) R10 (b) R28，圖中橫條紋表示風速15-19KT，黑框空心表示風速20-29KT，黑色實心表示30KT或以上。

(二)、風速跳動次數

本節按21日0000- 1000UTC輕度颱風潭美暴風圈接近(0000-0600UTC)和籠罩(0600-1500UTC)期間，松山機場跑道兩頭R10和R28每秒風速跳動超過 1σ (2.31KT；2.0KT)，來分析其發生時段和次數(每10秒計為1次)。

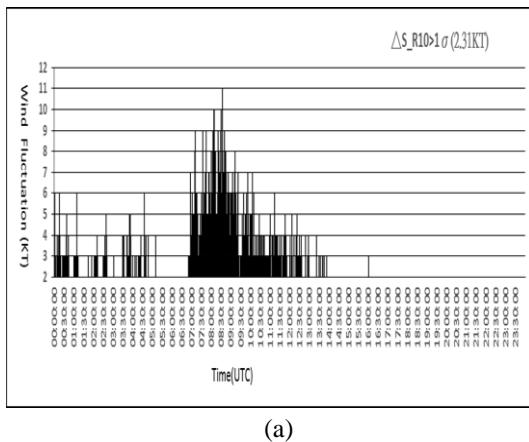
21日0000- 0600UTC暴風圈接近期間，機場R10(R28)風速皆在19KT或以下，風速不大，次數不多，每小時出現次數僅1-7次。對應跑道兩頭R10和R28每秒風速跳動超過 1σ (2.31KT；2.0KT)，風速跳動皆在7KT或以下，風速跳動不大，次數不多，每小時出現次數僅1-7次。在機場低空風切發生時刻(0300 - 0500UTC)R10(R28)風速跳動超過 1σ (2.31KT；2.0 KT)之次數，每小時僅1-4次，也不足於反應每小時出現風切39-56次，尤其於0300UTC還出現9次強烈風切，但機場跑道風速跳動並不大。

21日0700- 1200UTC暴風圈籠罩期間，機場R10(R28)風速跳動增強，在機場低空風切發生時刻

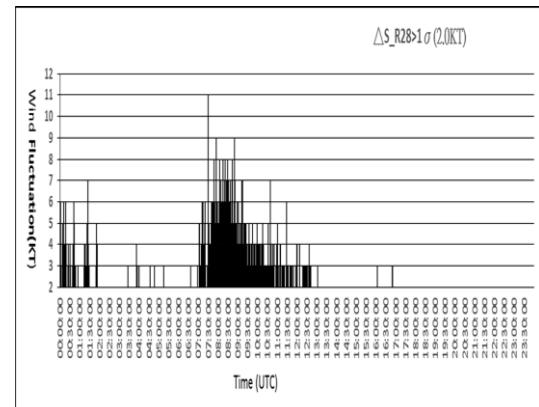
(0700 - 1200UTC) , R10(R28)風速跳動出現超過 1σ (2.31KT ; 2.0KT)之次數，每小時出現次數4-56次(3-52次)，其中在機場低空風切警報系統發出風切警報時段(0700-0900UTC) , R10(R28) 風速跳動出現超過 1σ (2.31KT ; 2.0KT)之次數，每小時出現次數24-56次(23-52次)，之多，尤其於0800-0900UTC 系統發出強烈風切，R10(R28) 風速跳動出現5-11KT(5-11KT)分別有15次和4次(8次和2次)，其中R10(R28) 風速跳動於0807-0833UTC(0804-0849)最大出現10-11KT (8 KT) , 可知強烈風切與颱風風速跳動有相關性，兩者在強風切和暴風時段有相當一致性。氣象台除了風切系統發出警報時段(0700-0900UTC)發布風切報告之外，於1000-1200UTC根據飛行員提報也發布風切報告，這段時間R10(R28) 風速跳動出現超過5-11KT之次數分別有8次、15次和4次(4次、8次和次)，如圖5和圖6。跑道風速跳動超過 1σ 與飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警報。

21日1300- 1500UTC暴風圈逐漸遠離期間，機場R10(R28)風速大幅減弱，風速跳動也減小，僅僅於1300UTC，R10風速出現18KT或以下，風速跳動超過 1σ 僅出現1次(<4KT) , 但是氣象台卻有風切報告(1300-1500UTC)和機場低空風切發布中度風切警報(1400UTC)3次，風切發出警報與風速跳動減弱，是有不一致之處。

以上分析顯示機場颱風侵襲時段，每秒風速跳動超過 1σ 和次數之時段與機場風切系統發出警報和氣象台發布風切報告時段，兩者大部分時段近似一致。

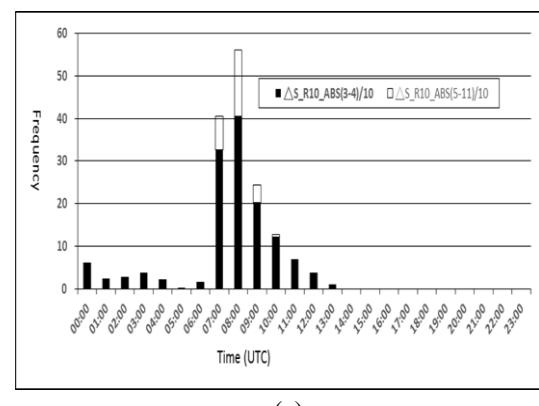


(a)

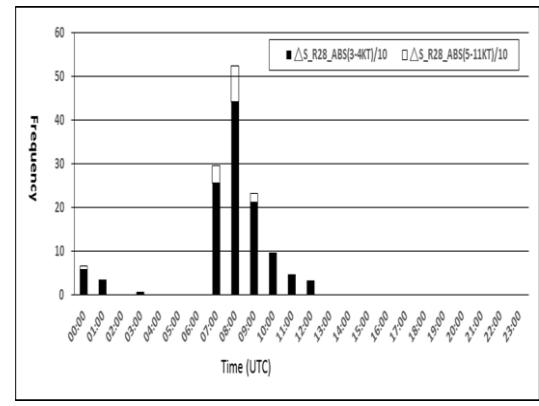


(b)

圖5 2013年8月21日松山機場R10和R28跑道風速跳動超過 1σ (2.31KT ; 2.0KT)之分布。(a) R10
(b) R28



(a)



(b)

圖6 2013年8月21日松山機場R10和R28跑道風速跳動超過 1σ (2.31KT ; 2.0KT)之次數分布。黑色表示風速跳動3-4KT；黑框空心表示風速跳動5-11KT。(a) R10 (b) R28

(三)、氣壓跳動超過 1σ 和次數

本節按21日0000-1000UTC輕度颱風潭美暴風圈接近(0000-0600UTC)和籠罩(0600-1500UTC)期間，松山機場跑道兩頭R10和R28氣壓跳動超過 1σ (0.14

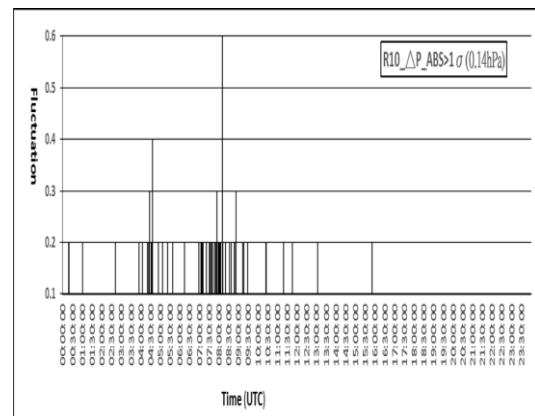
hPa；0.17hPa)，來分析其發生時段和次數(每分鐘改為每10秒計為1次)。

21日0000-0600UTC暴風圈接近期間，機場R10(R28)風速皆在19KT或以下，風速不大，次數不多，每小時出現次數僅1-7次；跑道兩頭R10和R28每秒風速跳動超過 1σ (2.31KT；2.0KT)，風速跳動皆在7KT或以下，風速跳動不大，次數不多，每小時出現次數僅1-7次。而R10和R28氣壓跳動超過 1σ (0.14 hPa；0.17hPa)，除了0425UTC和0434UTC(0354UTC)分別為0.3hPa和0.4hPa(0.4hPa)之外，氣壓跳動皆在0.2hPa或以下，次數較多，每小時出現次數，除R10於0200UTC次數為0之外，為6-54次(6-48次)。在機場低空風切發生時刻(0300-0500UTC)R10(R28)氣壓跳動超過 1σ 之次數，每小時分別為6次、54次和18次(48次、24次和12次)，正可以反應機場風切系統每小時出現風切39-56次，其中0300-0400UTC中度風切分別出現27次和19次以及0300UTC強烈風切出現9次。

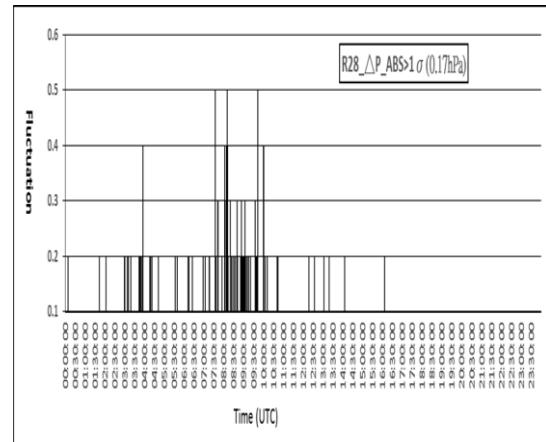
21日0700-1200UTC暴風圈籠罩期間，機場R10(R28)氣壓跳動增強，在機場低空風切發生時刻(0700-1200UTC)，R10(R28)氣壓跳動出現超過 1σ (0.14 hPa；0.17hPa)次數，每小時出現次數12-102次(12-132次)，其中在機場低空風切警告系統發出風切警告時段(0700-0900UTC)，R10(R28)氣壓跳動出現超過 1σ 之次數，每小時出現次數18-102次(48-132次)之多，尤其於0800-0900UTC系統發出強烈風切，R10(R28)氣壓跳動出現超過 1σ 分別有66次和18次(132次和96次)，其中R10(R28)氣壓跳動於0810UTC (0801-0810UTC和0942-0959UTC)最大出現0.6hPa (0.4-0.5hPa)，可知強烈風切與颱風氣壓跳動有相關性，兩者在強烈風切和氣壓時段有相當一致性。氣象台除了風切系統發出警告時段(0700-0900 UTC)發布風切報告之外，於1000-1200UTC根據飛行員提報也發布風切報告，這段時間R10(R28)氣壓跳動出現超過 1σ 之次數分別有12次、12次和0次(30次、0次和12次)，如圖7和圖8。跑道氣壓跳動超過 1σ 與飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警告。

21日1300-1600UTC暴風圈逐漸遠離期間，機場R10(R28)氣壓大幅減弱，氣壓跳動也減小，每小時出現次數分別為6次、0次、6次和0次(12次、6次、0次和6次)。氣象台卻有風切報告(1300-1500UTC)和機場低空風切發布中度風切警告(1400UTC)3次，風切發出警告與氣壓跳動減弱，比風速或風速跳動有相當一致性。

以上分析顯示機場氣壓跳動超過 1σ 和次數之時段與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段，兩者所發生時段比風速或風速跳動更有相當一致性。



(a)



(b)

圖7 2013年8月21日松山機場R10和R28跑道氣壓跳動超過 1σ (0.14hPa；0.17hPa)之分布。

(a) R10 (b) R28

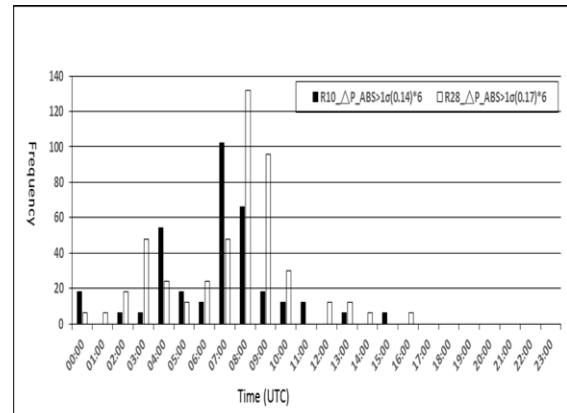


圖8 2013年8月21日松山機場R10和R28跑道氣壓跳動超過 1σ (0.14hPa；0.17hPa)之分布。

(a) R10(黑色實心) (b) R28(黑框空心)

綜合分析顯示，機場於輕度颱風潭美暴風圈接近和籠罩期間，在機場最大陣風增強至15KT或以上，就會引起松山機場低空風切的發生，尤其在強陣風31-34KT還發出強烈風切23次。機場風速越

強，風速和氣壓跳動越大，風切現象就越容易發生。機場每秒風速或風速跳動或氣壓跳動超過 1σ 和次數之時段與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段，兩者大部分時段近似一致，尤其颱風暴風圈侵襲時段，兩者發生時段更接近一致。風切警告時段與氣壓跳動超過 1σ 發生時段比風切警告時段與風速或風速跳動發生時段更有相當一致性。

五、 討論

Bedard(1977)研究顯示氣壓跳升(pressure jump)為每分鐘氣壓上升高過0.169hPa，這種氣壓跳升現象，通常在雷雨陣風鋒面可以觀測到的現象。氣壓跳升的時間和幅度，可以偵測到的是3分鐘內氣壓突然上升0.5hPa。Shreffler and Binkowski(1981)觀測到雷暴雨外流引發氣壓上升1.5hPa。另外，Wakimoto(1982)認為氣壓變化由降而升，再由升而趨正常，整個過程所需時間約為 15 分鐘，雷雨發生，短時間氣壓會有 5-7hPa 之變化。蒲等(2015)顯示颱風潭美暴風圈侵襲期間松山機場氣壓每分鐘最大跳動幅度，會有+2.6hPa或-1.3hPa之變化，同時伴隨頻繁和強烈低空風切發生。本文分析顯示亦然，在颱風潭美暴風圈籠罩期間松山機場氣壓每分鐘最大跳動幅度會有0.5~0.6hPa之變化，同時也伴隨頻繁中度低空風切發生。

Viana, et al. (2007)以小尺度和短時間地面氣壓跳動(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層(atmospheric boundary layer)之特性。並分析標準差(σ P70)與亂流之相關，認為風切控制了氣壓的跳動。蒲等(2015)與本文以氣壓跳動範圍超過1個標準差，其發生時段和次數與機場低空風切發生時段相當符合。蒲等(2015)與本文以風速和氣壓每秒或每分鐘跳動超過 1σ 之時段和次數，都能監測大部分低空風切現象(包含飛行員有風切報告)之發生，顯見以超過 1σ 為標準來偵測低空風切是可行的方法之一。

美國FAA/LLWAS-III系統以數十個測風儀中的一個觀測到風場與所有測風儀的平均風場有15 KT的差值時，就有可能有風切現象，系統即時發出風切警告。陳與袁(2014)使用診斷數學模式和測風儀，來克服LLWAS無法監測的「盲區」。他們以相鄰兩個測風儀所測得風速訊號相減值，代表跑道上的風速變化，風速變化量達15 K，是輕度低空風切警報之發佈標準。蒲等(2015)顯示在颱風潭美暴風圈侵襲期間松山機場跑道兩頭R10和R28風速和風速差分別達11KT和13KT，就可能發生低空風切。本文分析顯示在颱風潭美暴風圈籠罩影響之下，機場風切發生時段，機場風速大，風速和氣壓跳動都超過 1σ ，尤其風速達20KT。就可能發生中度低空風

切。機場風速和氣壓超過 1σ 和次數與機場風切發生時段，兩者發生時段相當一致。

六、 結論

本文利用2013年8月21日潭美颱風影響松山機場低空風切之個案，根據地面自動測報系統測報資料，就機場跑道兩頭R10和R28之風速和氣壓跳動等變動情形，分析其與機場低空風切警告系統(LLWAS)發出的風切警告加以分析。獲得下列研究成果：

(一) 機場於輕度颱風潭美暴風圈接近和籠罩期間，機場最大陣風增強至15KT或以上，就會引起松山機場低空風切的發生，尤其在強陣風30-42KT時，就可能有強烈風切現象。

(二) 機場風速越強，風速和氣壓跳動越大，風切現象就越容易發生。

(三) 機場風速和氣壓超過 1σ 和次數與機場風切發生時段，兩者發生時段相當一致，尤其是氣壓跳動比風速跳動發生時段與風切警告時段更為一致。

七、 致謝

本文在經濟部業界開發產業技術計畫「機場低空風切警告系統研發設計(NextG/LLWAS)專案補助下完成。感謝民用航空局飛航服務總台台北氣象中心提供松山機場觀測和風切警告資料，感謝總台飛航業務室主任管制員劉珍雲、台北氣象中心前主任童茂祥、副主任陳海根、莊清堯和黃禹璁等先生的協助。

八、 參考文獻

何台華、涂明聖、蒲金標及魏志憲，2005：2002年梅雨季桃園與松山機場低風切之個案研究，大氣科學，33，119-142。

陳介中與袁曉峰，2014：低空風切警報系統的改進，航空安全及管理季刊，1，85-102。

蒲金標，2003：台灣松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析，大氣科學，31，181-198。

蒲金標、徐茂林、游志遠及劉珍雲，2014：台灣低壓鋒面與松山機場低空風切個案研究，航空安全及管理季刊，1，227-243。

蒲金標、徐茂林及游志遠，2015：2013年7月12-13日蘇力颱風侵襲期間松山機場低空風切分析研究，大氣科學，43，27-46。

Bedard, A. J., H. B. Meade, 1977: The Design and Use of Sensitive Pressure-Jump Sensors to Detect Thunderstorm Gust Fronts. Part I : Pressure- Jump Detector Design. J. Appl. Meteor., 16, 1049–1055.

ICAO, 2005: Manual on Low-Level Wind Shear, 1st, International Civil Aviation Organization.

Shreffler, Jack H., Francis S. Binkowski, 1981: Observations of Pressure Jump Lines in the Midwest, Mon. Wea. Rev., 10-12.

UCAR,1992 : Appendix A&B , Network Expansion LLWAS (Phase III) , Algorithm Specification , University Corporation for Atmospheric Research , 51pp.

Viana, S. ,C. Yagüe, G. Maqueda and G. Morales(2007) : Study of the surface pressure fluctuations generated by waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. Física de la Tierra,19, 55-71. Ed.Univ. Compl. Madrid.

Wakimoto, Roger M., 1982: The Life Cycle of Thunderstorm Gust Fronts as Viewed with Doppler Radar and Rawinsonde Data. Mon. Wea. Rev., 110, 1060-1082.,

Case Study of Typhoon TRAMI Correlated Sung-Shan Airport Low-Level Wind Shear Analysis

Chin-Piao Pu¹ **Morris Hsu²**

Department of Science Education, National Taipei University.,¹
Bayes-Kalman Technology Inc.²

Abstract

In this study we try to analyze the relationship between the alarms that broadcasted by the Son-Sang airport existing LLWAS system and the wind speed, and wind speed & pressure fluctuations data from the surface observation systems on R10 & R28 runway threshold during the period when Typhoon TRAMI hit Taiwan.

Research results that during the typhoon period, when the wind speed is very strong, the wind speed and pressure fluctuation are high. On the contrary, when the wind speed is weak, the wind speed and pressure fluctuation are small value. Based on the normal distribution and confidence level, we believe the numbers, when the fluctuation value is over one sigma(standard deviation), the wind shear alarms occur more frequently, and the correspondent time interval is very consistent to some degree, especially the pressure fluctuations happens almost coincident with the LLWAS. We will use the bivariate random variables analysis to calculate the real data and find out the exact correlations

Key word: Typhoon TRAMI, Low Level Wind Shear.

Chin-Piao Pu, Cell Phone : 0932-592-908 E-Mail : pu1947@ms14.hinet.net