

菲特(FITOW)颱風

影響松山機場低空風切之觀測個案分析研究

蒲金標¹ 徐茂林²

摘要

本文利用2013年10月5-6日菲特(FITOW) 颱風侵襲期間，地面自動測報系統(AWOS)測報資料，以松山機場跑道兩頭(R10和R28)之風速、以及風速和氣壓跳動情形，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。

研究結果顯示在菲特颱風暴風圈接近、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。如果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。

關鍵詞：菲特颱風、低空風切、氣壓跳動

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

¹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。

²貝氏卡曼股份有限公司總經理。

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 $\text{風切} = \Delta \vec{v} / \Delta s$

$\Delta \vec{v}$ 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，要經歷逆風、順風和下沉氣流的風場。目前還沒有一個成熟的科學依據，可促成對微爆氣流和其引發的低空風切做精確的預報。

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達每小時 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)。

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

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個遠端測風塔，系統會將每一測風塔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個遠端測風塔係以13個遠端測風塔風場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×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 $>1\sigma$ 之次數除以10；氣壓每分鐘 $>1\sigma$ 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日於松山和台灣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(gust 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 >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 $>1\sigma$ ，彼此相當一致性。

本文嘗試以2013年10月5-6日菲特颱風影響松山機場低空風切之個案觀測，分析風速每秒和氣壓每分鐘跳動 >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

本文資料採用民用航空局松山機場低空風切警告系統2013年10月5-6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)以及中央氣象局歷史颱風2013年(菲特)颱風資料。其中低空風切警告系統係以每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 $>1\sigma$ 之次數除以10；氣壓每分鐘 $>1\sigma$ 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。本文嘗試以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。 $X_i = Y_i - Y_{i-1}$ ，其中 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(σ)計算公式，如下列：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

其中 $n=172800$ 秒(2天48小時)，同時僅就氣象要素跳動值不等於零($X_i \neq 0$)之部分加以計算。

三、低空風切警告

2013年10月5日0000Z中度颱風菲特(FITOW)，颱風中心(960 hPa)位在台北東方620公里海面上向西北西移動。近中心最大風速75KT，瞬間最大陣風95KT。7級風暴風半徑250公里，10級風暴風半徑80公里，暴風圈逐漸接近台灣東方620公里海面。對台灣北部海面構成威脅，如圖1a。台北松山機場在0000-1100Z間松山機場氣壓降為1004.1 hPa，風速增強，機場下陣雨，於0130Z- 0409Z出現最大平均風向風速 VRB-020°/08-10G15-21KT；於0941Z- 1143Z出現 VRB- 010°/08-09G15-26KT。機場低空風切警告系統僅僅於0100Z在強陣風19KT下，每小時發出輕度和中度風切警告各1次。松山氣象台根據風切警告系統或飛行員報告，於0100- 0600 Z發布R10跑道輕度到中度風切報告，如圖2。顯見0200-0600Z警告系統沒有發出風切警告。

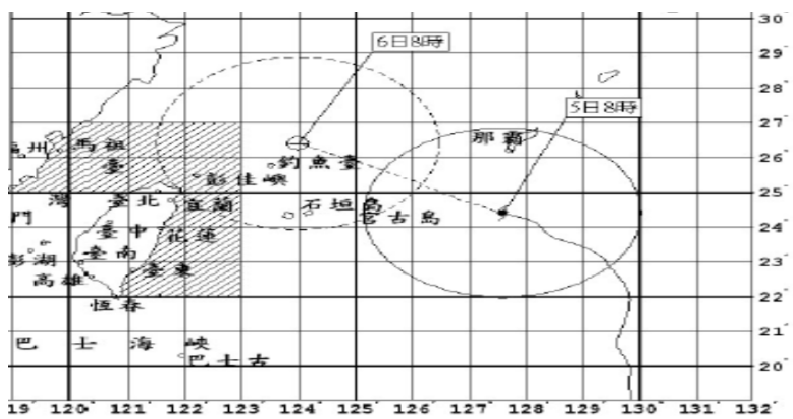
5日1200Z中度颱風中心(960hPa)位在台北東方450公里海面上向西北西移動。暴風圈進入台灣北部海面。對台灣北部地區構成威脅，如圖1b。台北松山機場在1200-2300Z間機場繼續下陣雨，最大平均風

向風速VRB-280°-330°/08-13G15-24KT。機場低空風切警告系統於1200Z(1400Z)，每小時發出輕度5次(輕度8次和15次中度)風切警告，更於1800Z-2300Z每小時發出16-41次風切警告，其中發出8-22次中度風切警告，如圖2。松山氣象台根據風切警告系統或飛行員報告，除了於1600Z-1700Z沒有風切報告之外，於1200-1500Z和1800-2300Z發布R10跑道輕度到中度風切報告，其中於2300Z兩跑道頭(R10和R28)都有中度風切報告如圖2。

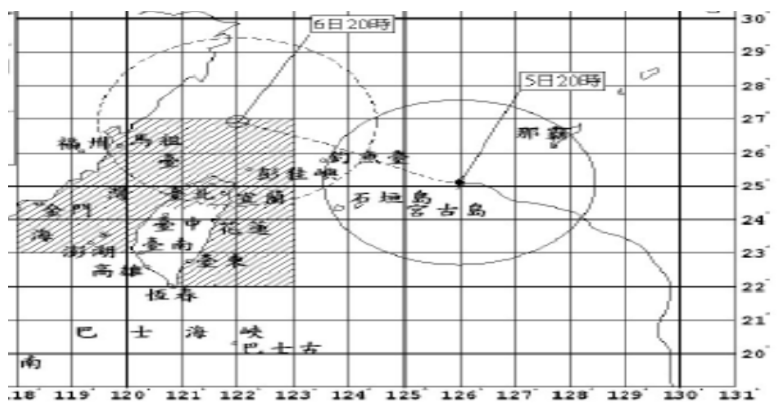
6日0000Z中度颱風中心(960hPa)位在台北的東方550公里海面上向西北西移動。暴風圈進入台灣北部陸地。對台灣北部陸地構成威脅，如圖1c。台北松山機場在6日0000-1100Z間機場氣壓於0130Z降至1001 hPa以下，於0530-0630Z氣壓降至最低，達997.3hPa，繼續下陣雨，最大平均風向風速220°-310°/15-8G20-42KT。機場低空風切警告系統於0000-1000Z，每小時發出3-293次風切警告，其中發出中度風切3-218次和強烈風切2-16次，尤其於0600Z發出輕度風切61次、中度風切218次和強烈風切14次，總計1小時高達293次風切，如圖2。松山氣象台根據風切警告系統或飛行員報告，於0000-1100Z發布R28跑道輕度到中度風切報告，如圖2。

6日1200Z中度颱風中心(965hPa)位在台北的北方190公里海面上，向西北西轉西移動。暴風圈仍涵蓋台灣北部陸地，機場氣壓回升至1001hPa以上，如圖1d。台北松山機場在6日1200-2300Z間機場迅速雨停風速減弱，最大平均風向風速080°-130°/9G13KT以下。機場低空風切警告系統不再發出風切警告，松山氣象台也沒有風切報告。

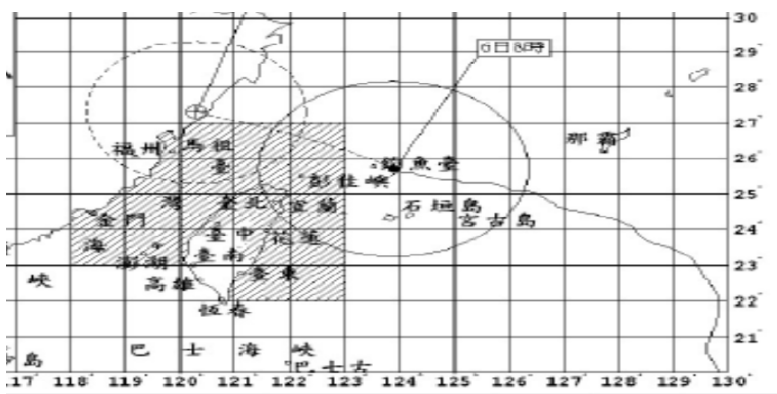
以上分析顯示颱風暴風圈逐漸接近台灣北部地區時，風速逐漸增強，R10風切斷斷續發生；暴風圈侵襲時，風速達到最強，R28風切發生頻繁且強烈；暴風圈遠離之後，風速減弱，就不再發生風切。



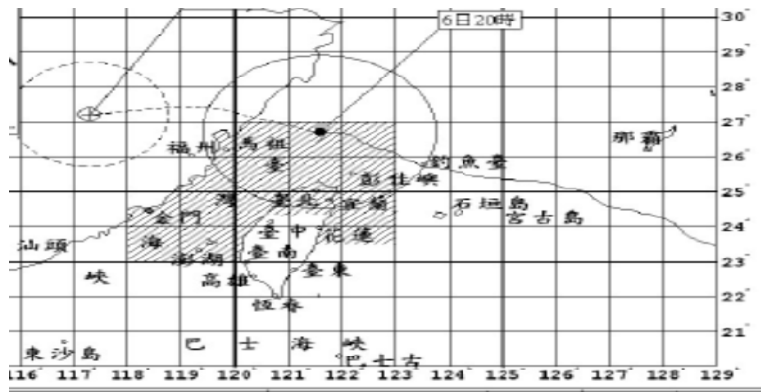
(a)5 日 0000Z



(b)5 日 1200Z



(c)6 日 0000Z



(d) 6 日 1200Z

圖 1 2013 年 10 月菲特(FITOW)颱風路徑圖 (a) 5 日 0000Z (b) 5 日 1200Z (c) 6 日 0000Z (d) 6 日 1200Z (摘自中央氣象局網站)

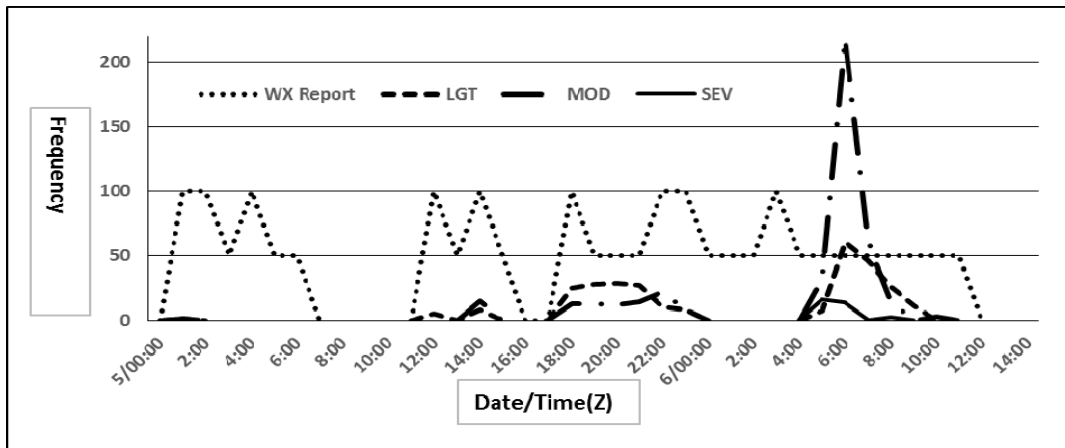


圖 2 2013 年 10 月 5-6 日松山機場低空風切警告系統發布風切警告分布。圖中點線代表氣象台風切報告、斷線代表輕度風切(15-19 KT)，短點線代表中度風切(20-29KT)，實線代表強烈風切(30-35 KT)。

(一)強風出現時間與次數

本節按中度菲特颱風 (5 日 0000- 2300ZC) 和籠罩 (6 日 0000-1100Z) 期間，將松山機場跑道兩頭R10和R28每秒風速分成 15-19KT、20-29KT和30-42KT等三種強度，來分析其發生時段和次數 (每10秒計為1次)。

5 日 0000-2300Z 暴風圈接近期間，機場R10和R28最大陣風分別出現15-31KT(1021Z/31KT)和15-30KT(1032Z/30KT)，如圖3。

R10於5日0100-0300Z、0900-1500Z和1700-2300Z出現最大陣風>14KT，每小時次數分別為7-14次、2-160次和2-100次，其中於2100-2300Z每小時分別出現38次、24次和100次。同時，R28於5日0100-1400Z和1700-2300Z出現最大陣風>14KT，每小時次數分別為1-60次和2-40次，其中於1000和2300Z每小時分別出現60次和40次。暴風圈接近期間R10和R28也有少數時段出現1-15次最大陣風>19KT，R10(0100Z/1次、1000-1100Z/4, 2次、1800Z/1次以及2100-2300Z /6, 3, 15次)；R28 (0200Z/2次、0500-0600Z/1, 2次、0900-1200Z/4次, 10次, 7次, 5次、1900Z/1次、2100Z/2次以及2300Z/2次)，如圖4。

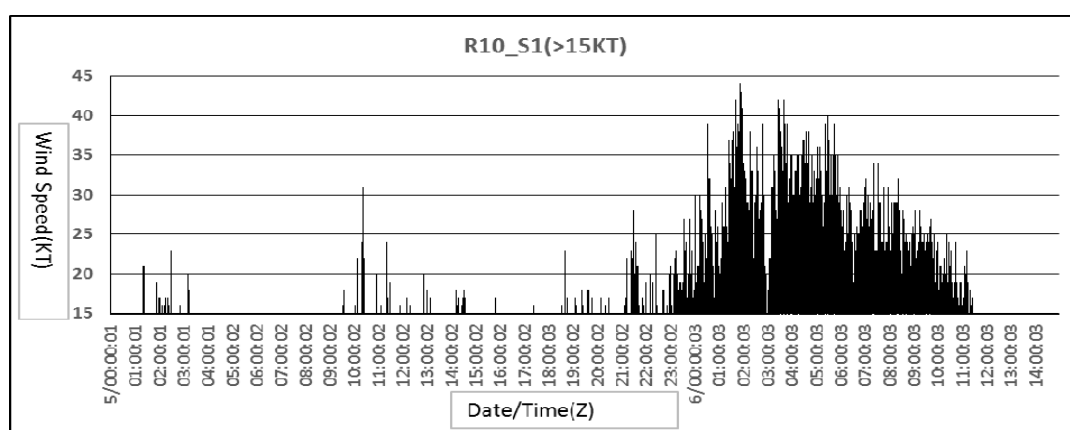
5日暴風圈接近期間機場風切系統發出風切警告或氣象台發布風切報告期間(0100-0600Z、1200-1500Z和1800-2300Z)，除了1500Z R10或R28風速沒有>15KT之外，其餘時間，R10或R28風速都>15KT。另外，於5日0900-1100Z機場沒有風切警告或報告，但R10或R28風速卻有風速都>15KT。顯示暴風圈接近期間開始有部分時段出現最大陣風>14KT，同時機場風切現象也斷斷續續發生。

6日0000-1100Z暴風圈侵襲期間，R10和R28最大陣風分別出現15-44KT(0151Z/44KT)和15-45KT(0625Z/45KT)，如圖3。R10於6日0000-1100Z頻繁出現最大陣風>14KT，每小時次數為45-336次，其中於0000-1000Z每小時分別出現100次以上(0500Z/ 336次)。R28也於同一時段頻繁出現最大陣風>14KT，每小時次數為78-360次，其中於0100-1000Z每小時分別出現200次以上(0400Z/ 360次)，如圖5。暴風圈侵襲期間R10和R28也有很多時段頻頻出現20-29KT和30-46KT之最大陣風，其中R10於0000-1000Z頻頻出現20-29KT最大陣風41-185次 (0400-0500Z/184-185 次) 和 於 0100-0800Z 出現

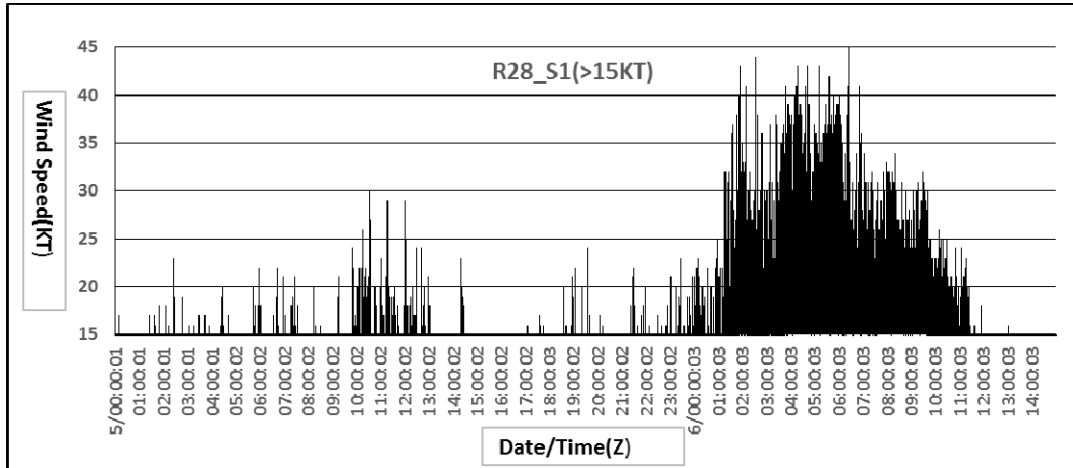
30-45KT(0300-0500Z/16-26次)；R28於0100-1000Z頻頻出現20-29KT最大陣風35-256次(0400-0800Z/235-256次)和於0100-0900Z出現30-46KT(0300-0600Z/33-89次)，如圖5。尤其 R10(R28)於0100-0300Z和0500Z(0100-0600Z)最大風速出現40-44KT(40-45KT)，其中於0151Z(0625Z)出現44KT(45KT)，如圖4。6日暴風圈侵襲和機場風切系統發出風切警告或氣象台發布風切報告期間(0000-1100Z)，R10或R28最大陣風都超過14KT，其次數激增，且最大陣風達20-46KT之次數也頻頻出現。

6日1200Z颱風暴風圈逐漸遠離台灣北部地區，R10和R28最大風速都沒有超過14KT，機場就不再發生風切警告和報告。

以上分析顯示颱風暴風圈逐漸接近台灣北部地區時，最大陣風增強，最大陣風超過14KT，次數雖少，但R10風切就斷斷續續發生；暴風圈侵襲時，最大陣風達到最強，最大陣風>14KT之次數激增，且最大陣風達30-46KT，風切發生就越頻繁且強烈；暴風圈遠離之後，最大陣風減弱，風速很少超過14KT，就不再發生風切。

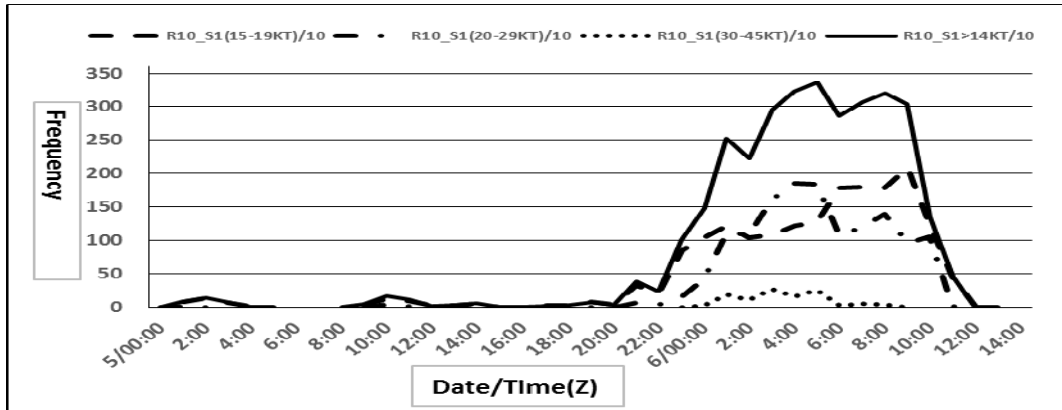


(a)

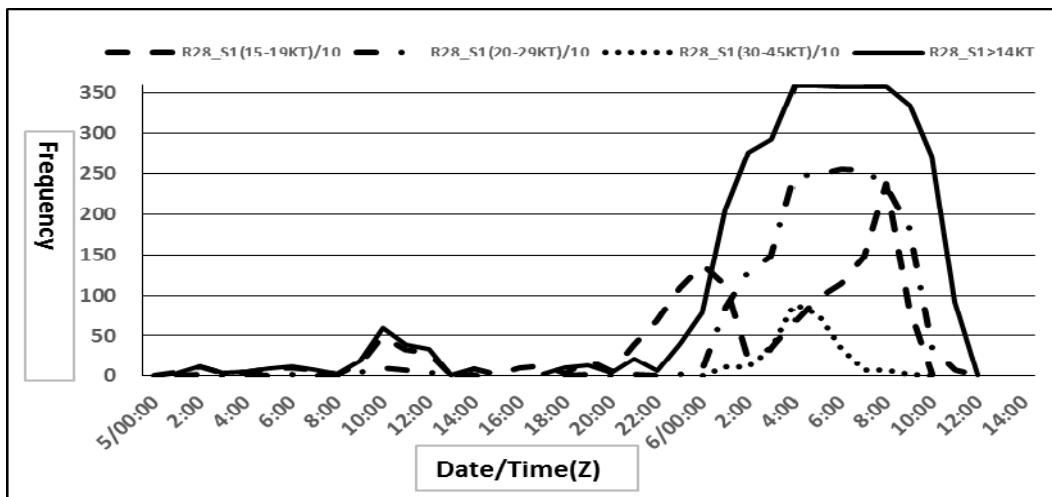


(b)

圖 3 2013 年 10 月 5-6 日松山機場風速>1σ 之分布 (a) R10(>15.4KT) (b) R28(>16.9KT)



(a)



(b)

圖 4 2013 年 10 月 5-6 日松山機場風速分類之次數，藍色(16-19KT)、紅色(20-29KT)和綠色(≥30KT) (a) R10 (b) R28

(二)風速跳動大於 1σ 之次數

5-6日暴風圈接近和龍罩期間，機場R10 (R28)風速跳動 $>1\sigma$ 分別為3.0KT和2.6KT，如圖6；其跳動之次數，如圖7。風速越大，風速跳動越大，風切發生次數越多，且強度越強。

5日0000-2300Z暴風圈接近期間，機場R10或R28風速跳動超過 1σ ，風速跳動4-6KT，每小時出現次數1-16次(R10於2100-2300Z出現9-16次；R28於1000-1200Z出現11-16次)。R10於1000Z、2100Z和2300Z零星出現風速跳動7-9KT每小時各1次；R28於0900-1200Z也零星出現風速跳動7-9KT每小時各1次。氣象台於0100-0600Z、1200-1500Z和1800-2300Z跑道R10有輕度到中度風切報告；風切警告系統於0100Z和1200Z發出1-5次輕度或中度風切警告，於1400Z和1800-2300Z每小時各發出輕度或中度風切警告8-29次之多。

顯示5日0000-2300Z颱風暴風圈接近階段，除了0000Z、0700-1100Z和1600-1700Z，風速跳動出現 $>1\sigma$ 而機場沒有風切之外，其餘多數時段R10和R28風速跳動 $>1\sigma$ 之時段和頻率，與機場風切出現頻率，兩者都有相當一致性，尤其氣象台天氣報告有中度風切紀錄時，風速跳動都出現 $>1\sigma$ ，且次數多。

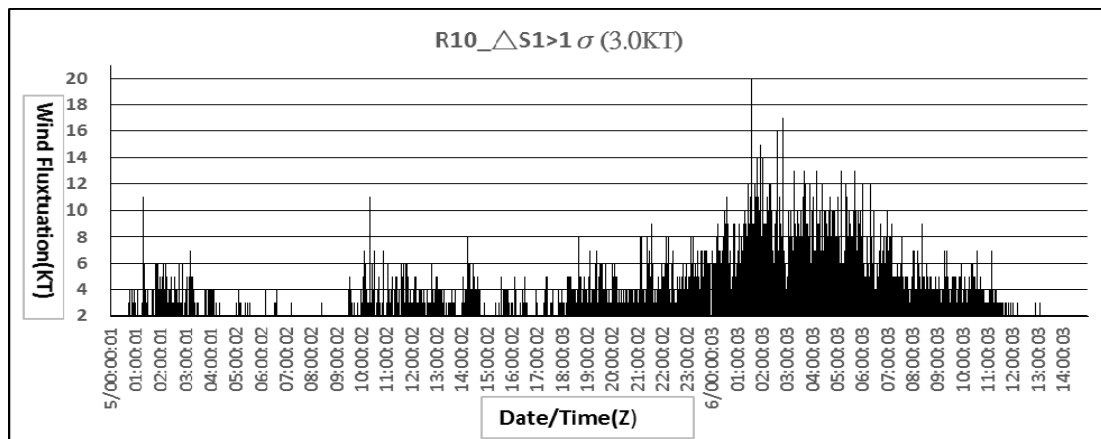
6日0000-1100Z暴風圈侵襲期間，R10和R28風速跳動都超過 1σ ，風速跳動4-6KT，每小時出現次數2-37次，如圖5和圖6。例如，R10於6日0000-0700Z頻繁出現風速跳動7-9KT，每小時達1-10次(0100-0300Z，每小時達10次之多)；於0100-0500Z出現風速跳動達10-12KT，每小時達1-2次。R28於6日0100-0600Z和0800Z頻繁出現風速跳動7-9KT，每小時達1-5次(0200-0400Z，每小時達5次之多)；於

0100-0300Z出現風速跳動達10-12KT，每小時達1次。6日暴風圈侵襲和機場風切系統發出風切警告或氣象台發布風切報告期間(0000-1100Z)，R10或R28風速跳動4-6KT，其次數激增，且風速跳動7-9KT之次數也頻頻出現。

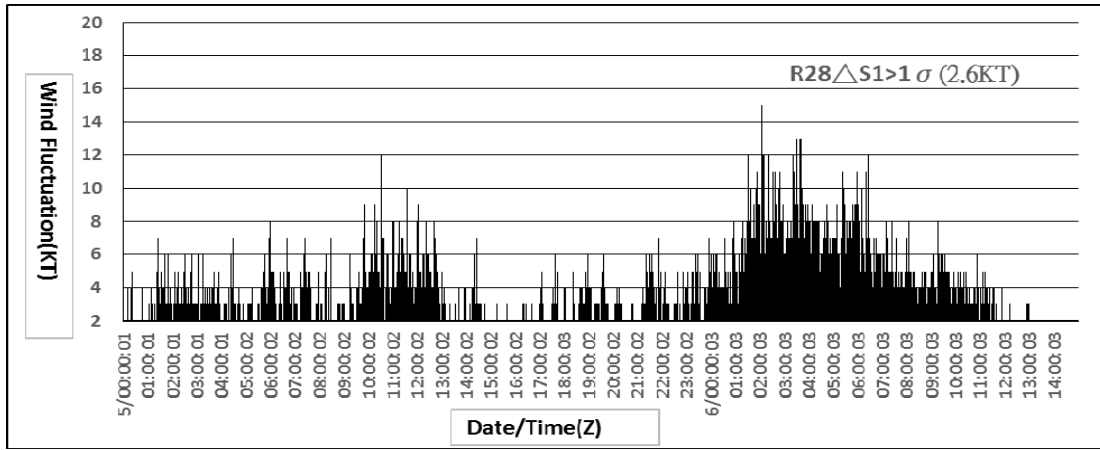
6日0000-1100Z颱風暴風圈侵襲階段，R10和R28風速跳動 $>1\sigma$ 之時段和頻率，與機場有風切紀錄之時段和頻率完全符合。此時段氣象台也有輕度或中度風切紀錄，但是風切警告系統於0000-0400Z卻沒有發布風切警告。

6日1200-2300Z颱風暴風圈脫離階段，風速跳動沒有 $>1\sigma$ ，機場也沒有出現風切現象，彼此非常有一致性。

以上分析顯示，颱風暴風圈接近和籠罩兩階段，風速越大，風速每秒跳動也越大，風切發生頻率越多，強度越強。遠離階段風速減弱，風速每秒跳動就變小，風切現象就不再發生。

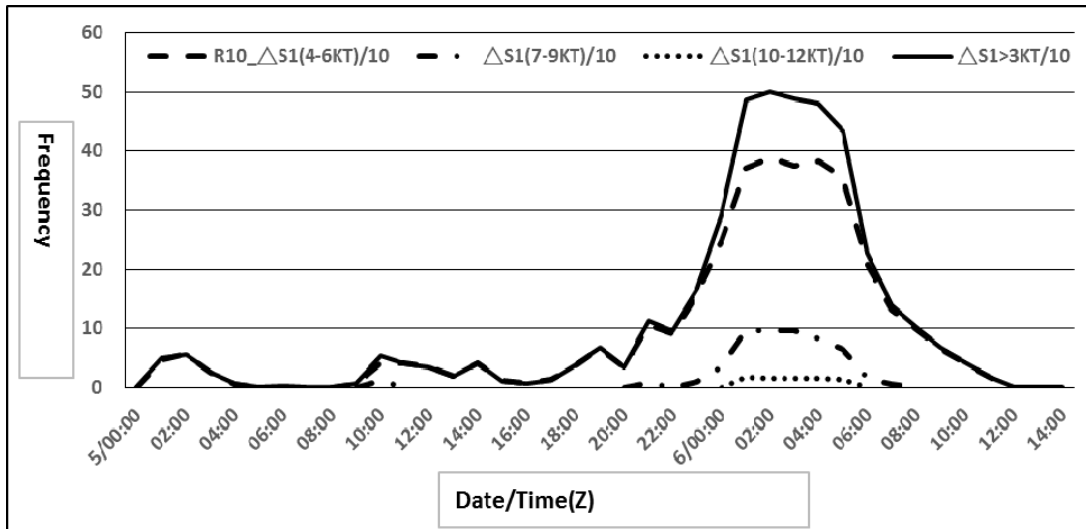


(a)

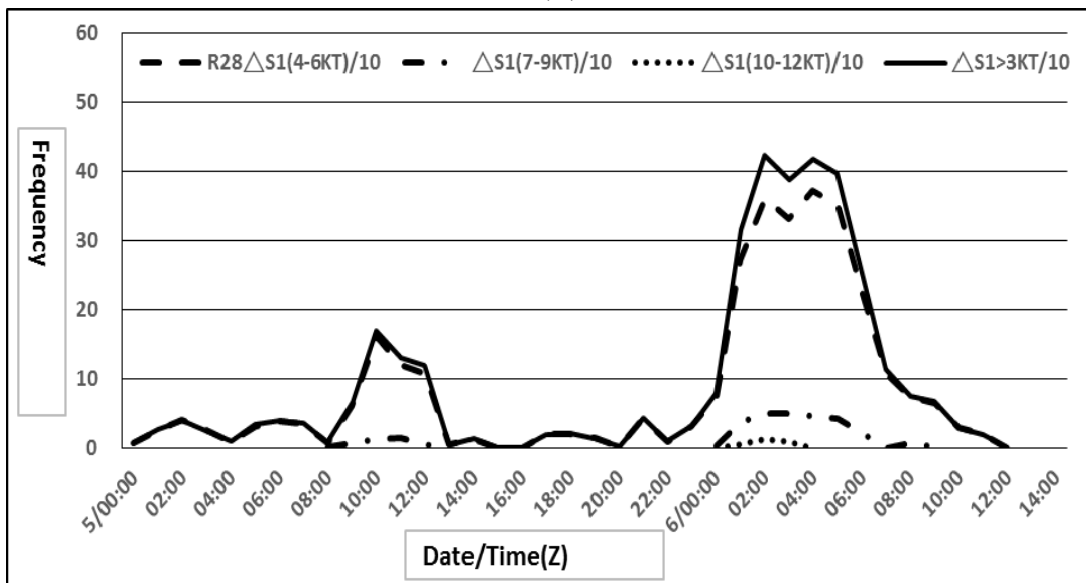


(b)

圖 5 2013 年 10 月 5-6 日松山機場風速跳動大於 1σ 之分布(a) R10 (b) R28



(a)



(b)

圖 6 2013 年 10 月 5-6 日松山機場風速跳動大於 1σ 之次數，其中實線代表風速

跳動大於 3KT、斷線代表風速跳動達 4-6KT、斷點線代表風速跳動達 7-9KT 和虛線代表風速跳動達 10-12KT。(a) R10 (b) R28

(三) 氣壓跳動大於 1σ 之次數

5-6日暴風圈接近和龍罩期間，機場R10 (R28)氣壓跳動 $>1\sigma$ 分別為0.19hPa和0.17hPa，如圖7；其跳動之次數，如圖8。

5日0000-2300Z暴風圈接近期間，機場R10或R28氣壓跳動超過 1σ ，氣壓跳動0.2-0.6hPa，每小時出現次數6-60次，其中於0300 Z每小時出現24次，於0800-1200Z出現24-48次，於1500-2300Z出現24-60次之多。R10還於0300Z、1000Z和2200Z氣壓跳動0.4-0.6 hPa每小時各達6-18次。

氣象台於0100-0600Z、1200-1500Z和1800-2300Z跑道R10有輕度到中度風切報告；風切警告系統於0100Z和1200Z發出1-5次輕度或中度風切警告，於1400Z和1800-2300Z每小時各發出輕度或中度風切警告8-29次之多。

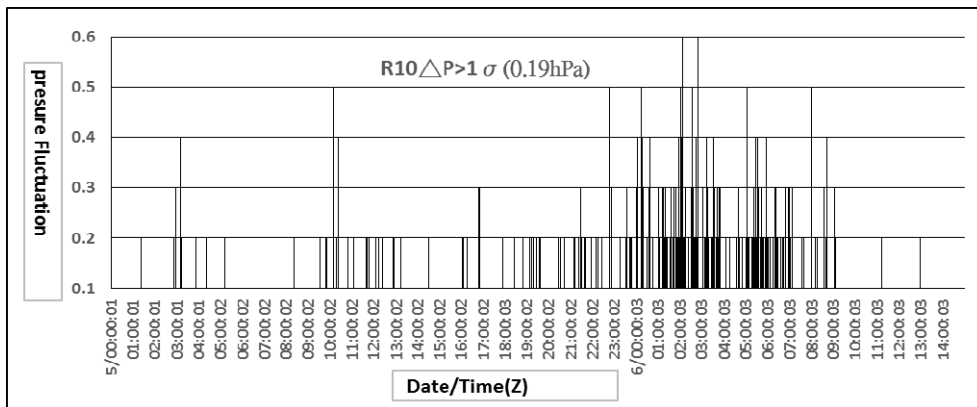
顯示5日0000-2300Z颱風暴風圈接近階段，風速越大，氣壓跳動越大，風切發生次數越多，且強度越強。氣壓跳動 $>1\sigma$ 之時段和頻率，與機場風切出現頻率，兩者都有相當一致性，尤其氣象台天氣報告有中度風切紀錄時，氣壓跳動都出現0.2-0.6Pa，且次數多。

6日0000-1100Z暴風圈侵襲期間，機場風切警告或氣象台風切機場風切警告或氣象台風報告期間，R10或R28氣壓跳動都超過 1σ ，氣壓跳動0.2-0.6hPa，大幅增加，每小時出現次數24-174次，其中於0100-0300Z出現126-138次；於0500-0600Z出現102-174次之多。另外，氣壓跳動0.3-0.6hPa，於0000-0900Z出現6-36次，其中於0700Z達36次之多，如圖7和圖8。氣象台於6日0000-1100Z跑道R28有輕度到

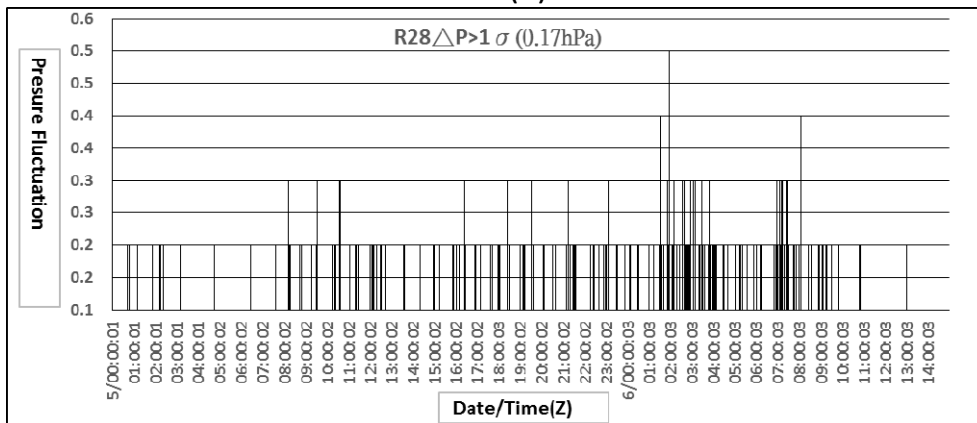
中度風切報告；風切警告系統於6日0500-1000Z每小時各發出風切警告3-293次，其中中度風切警告每小時各發出3-218次，於0500-0600Z和0800Z各發出強烈風切警告 16次、14次和2次之多。

6日1200-2300Z颱風暴風圈脫離階段，氣壓跳動沒有 $>1\sigma$ ，機場也沒有出現風切現象，彼此非常有一致性。

顯示6日0000-1100Z颱風暴風圈侵襲階段，氣壓跳動次數多，風切現象頻繁，強度強。R10或R28氣壓跳動 $>1\sigma$ 之時段和頻率，與機場有風切紀錄之時段和頻率完全符合，尤其在0100-0300Z和0500-0600Z氣壓跳動 $>1\sigma$ ，每小時各出現100次以上，於0500Z高達174次。此時段氣象台也有輕度或中度風切紀錄，但是風切警告系統於0000-0400Z卻沒有發布風切警告。

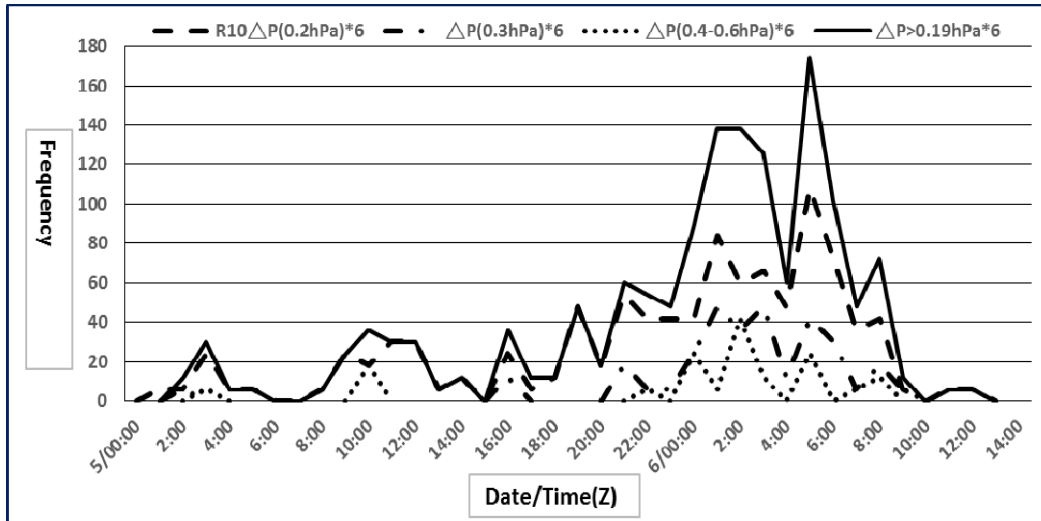


(a)

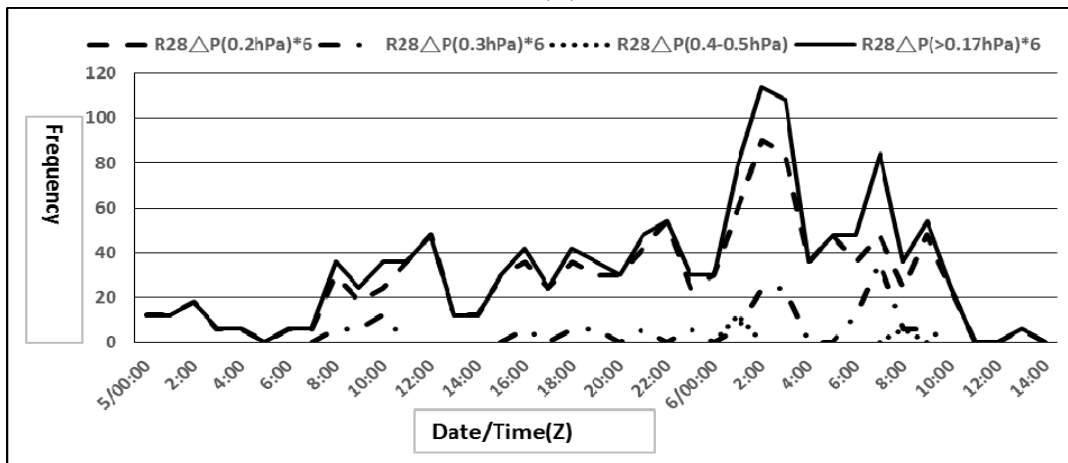


(b)

圖 7 2013 年 10 月 5-6 日松山機場氣壓跳動大於 1σ 之分布(a) R10 (b) R28



(a)



(b)

圖 8 2013 年 10 月 5-6 日松山機場氣壓跳動大於 1σ 之次數，其中實線代表氣壓跳動大於 1σ 、斷線代表氣壓跳動達 0.2hPa、斷點線代表氣壓跳動達 0.3hPa 和虛線代表風速跳動達 0.4-0.6hPa。(a) R10 (b) R28

四、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，在菲特颱風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)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 >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 $>1\sigma$ 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 $>1\sigma$ 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 KT，是輕度低空風切警報之發布標準。蒲等(2015)顯示在颱風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。本文分析顯示在菲特颱風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 $>1\sigma$ ，尤其風速達20KT。就可能發生中度低空風切。機場風速和氣壓 $>1\sigma$ 和次數與機場風切發生時段，兩者發生時段相當一致。

五、結論

本文利用2013年10月5-6日中度颱風菲特(FITOW)與松山機場低空風切個案，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) 機場於颱風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40-45KT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，風切次數越多且強度越強。
- (三) 機場風速和氣壓 $>1\sigma$ 和次數與機場風切發生時段，兩者發生時段相當一致。

六、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臺提供松山機場觀測和風切警告資料以及誠開公司黃芷薰小姐的協助。

七、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.