

2013年蘇力颱風侵襲期間臺灣桃園國際機場顯著氣壓大變化與低空風切之相關性分析研究

蒲金標 林清榮
財團法人中華氣象環境研發中心

摘要

本文分析2013年7月12-13日蘇力颱風侵襲期間，臺灣桃園國際機場顯著氣壓大變化與低空風切之相關性分析。研究結果顯示颱風暴風侵襲期間，機場在北風分量強風和南風分量強風兩時段裡，幾乎同時出現跑道顯著氣壓大變化和低空風切現象。在兩個強風時段，顯著氣壓大變化和低空風切次數之時間分布相當一致。機場兩天顯著氣壓大變化與低空風切每小時發生次數相關係數分別達接近0.90；每4-5分鐘、6-8分鐘和9-12分鐘兩者短時間相關係數分別達0.60、0.65和0.72。機場每4-6分鐘和每7-12分鐘顯著氣壓大變化發生次數佔低空低切警告的比例約達76-79%和82-89%，尤其每8分鐘以上，其比例都接近90%。應證顯著氣壓大變化可替代風場作為監測跑道風切現象之依據。

關鍵詞：蘇力颱風、顯著氣壓大變化、低空風切和回歸相關係數

蒲金標 財團法人中華氣象研究發展中心董事。
地址：10670臺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
林清榮 財團法人中華氣象研究發展中心助理研究員。

一、前言

機場低空風切(Low-level Wind Shear)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。風切是非常複雜的且很難預測的小尺度氣象現象，飛機遭遇強烈順風或逆風可以在瞬間變弱或變強，而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，可作為提供飛行員加強注意飛行安全重要項目之一。

根據美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)定義，低空風切警告表示測風台偵測風速增量(頂風)超過15kts以上或風速減量(順風)15至29kts，微爆氣流警告為測風臺偵測風速減量(順風)超過30kts以上。低空風切之強度以兩個測風台間量測之風向量差分為三種強度，依風速大小分成輕度風切(15-19kts)、中度風切(20-29kts)和強烈風切

(≥30kts)。另外，系統經過資料處理，機場任何區域風場有強烈輻散現象，也會發出風切的警報。

蒲(2004)研究稱桃園機場低空風切系統在沿著機場跑道向外延伸3海浬和跑道中段共設有15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(050°~230°)之分量，計算跑道兩端進場或離場航道方向之頂風(增風)或順風(減風)強度，來偵測位在跑道或跑道兩端離到場1~3海浬的低空風切情形。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。桃園機場LLWAS系統15個遠端測風台係以15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。機場LLWAS系統係以每10秒的週期，即時更新風場資料，遇有低空風切發生時，系統會發出警告一次。

Bedard(1977)研究顯示氣壓跳升為每分鐘氣壓上升高過0.169hPa，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)，觀測到雷暴兩外流引發氣壓上升1.5hPa。另外，Wakimoto (1982)認為陣風鋒面經過測站，常帶來氣壓上升、氣溫下降、風向突變以及風速突增的現象，這些現象是造成低空風切主要原因之一。

蒲等(2015)研究颱風侵襲松山機場氣壓每分鐘有最大變差幅度2.7hPa之變化。Viana et al. (2007)以短時間地面氣壓變差(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層(atmospheric boundary layer)之特性。

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),可偵測到陣風鋒面的時間比地面觀測站所測到的時間,提早三分鐘。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。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較差時,就有可能有風切現象,系統即時發出風切警告。陳與袁(2014)以相鄰兩個測風儀所測得風速訊號相減,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。

機場在穩定大氣之下,一般氣象要素如氣壓等觀測,其每分鐘前後觀測變差幅度,通常是在一定範圍內,若變差範圍是近似於常態分布,約68%或95%數值分布在1個或2個標準差之內。在不穩定大氣之下,該等氣象要素變差大,可能會超出1個或2個標準差。蒲、徐、游及劉(2014)分析2012年5月2日松山機場台灣低壓鋒面雷兩個案、蒲、徐及游(2015)分析2013年7月12-13日蘇力颱風侵襲期間松山機場LLWS(拼錯)個案、蒲與徐(2016)分析2013年2月24日東北季風影響松山機場LLWS(拼錯)之個案觀測個案、蒲與徐(2016)分析2013年10月5~6日菲特(FITOW)颱風影響松山機場LLWS(拼錯)之觀測個案以及蒲與林(2017)分析2014~2016年馬祖南竿機場誤失進場風切與LPF。同時蒲與林(2017)針對2010~2014年松山機場、2013和2015~2016年臺灣桃園國際機場以及2014~2016年馬祖南竿機場等機場,及時產製每分鐘風切與顯著氣壓變化(Large Pressure Fluctuation, LPF)分布圖,可說明松山、桃園、馬祖南竿等不同機場於東北季風、低壓鋒面雷雨、颱風等不同天氣系統下,針對低空風切和LPF發生時段和強度,皆可用LPF來偵測低空風切的發生。

本文嘗試分析2013年7月12-13日蘇力颱風期間機場05L跑道顯著氣壓大變化與低空風切之相關性,或許可以找出每一機場都可以顯著氣壓大變化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

本文資料採用臺灣桃園機場低空風切警告系統(Low-Level Wind-Shear Alert System; LLWAS),2013年7月12-13日風切警告資料(每10秒擷取風塔資料)、機場地面天氣觀測報告(801C表)、定時天氣報告(METAR)和特別天氣報告(SPECI)以及地面自動化測報系統(Auto Weather Observation System; AWOS)(每秒一筆資料),其中LLWAS系統係以每10秒計算是否有風切現象,而機場AWOS系統之氣壓,雖然都是每秒紀錄,但氣壓是每分鐘觀測變動,略有不同。為利於分析比較起見,將每10秒低空風切調整以每1分鐘為基準,如果1分鐘裡有多次風切,強度不一時,則取最大者,例如,1分鐘裡有3次風切,強度分別為15KT、20KT和35KT,則取最大者35K。

為瞭解顯著氣壓大變化與低空風切兩者發生之相關性,本節按每小時和短時間(每1-12分鐘)分析顯著氣壓大變化與低空風切發生次數之回歸相關性,以期驗證顯著氣壓大變化可以替代風場來提供機場偵測風切的方法之可能性。

三、研究成果

7月12日1200Z中度颱風蘇力,暴風圈進入臺灣中部以北和東半部陸地,12日1900Z於新北市與宜蘭縣交界處登陸,13日0000Z左右於新竹附近出海,13日0800Z前後進入中國福建。在颱風暴風圈籠罩下,機場有12日1300-2200Z北風分量強風時段和13日0100-0900Z南風分量強風時段,幾乎同時段出現低空風切和跑道出現顯著氣壓大變化現象。在這兩時段機場風速越強,風切和氣壓大變動強度也越強,三者發生時段也有相當的一致性。

(一)低空風切與顯著氣壓大變化次

數和強度分布

前述在機場12日1300-2200Z北風分量強風和13日0200-0900Z南風分量強風兩個時段,幾乎同時段出現低空風切和跑道出現顯著氣壓大變化現象。在這兩時段機場風速越強,風切和氣壓大變動強度也越強,三者發生時段也有相當的一致性。本節進一步分析兩者發生次數分布。

北風分量強風時段跑道出現顯著氣壓大變化和低空風切每小時發生次數各為3-37次和4-52次,其中12日1500-2000Z是每小時發生次數最高峰時段,前者每

小時發生次數達19-37次，後者達25-52次，如圖4。南風分量強風時段跑道顯著氣壓大變化和低空風切各為6-26次和6-43次，其中13日0200-0800Z每小時發生次數有另一較高鋒時段，前者每小時發生次數達11-26次，後者每小時達13-43次，如圖1。

顯示兩個強風時段，跑道顯著氣壓大變化和低空風切發生次數之時間分布有相當的一致性。

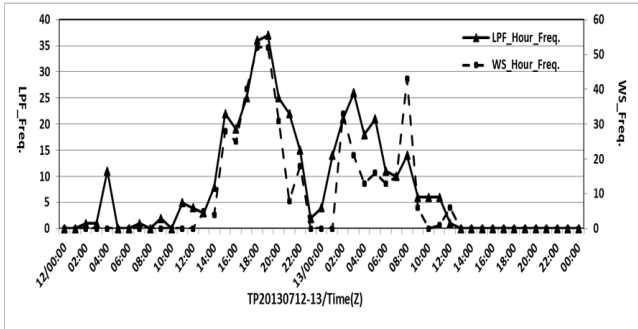


圖1 7月12-13日臺灣桃園國際機場05L跑道顯著氣壓大變化(實線)和低空風切警告(虛線)發生次數分布圖。

(二) 顯著氣壓變化與低空風切回歸 相關性分析

前述兩個強風時段，機場低空風切和顯著氣壓大變化強度 and 次數變化之時間分布有相當的一致性，本節進一步作顯著氣壓大變化與低空風切發生次數之回歸相關分析。

1. 每小時次數

12日0000Z至13日2400Z機場顯著氣壓大變化與低空風切每小時(總共48筆)發生次數回歸相關，前者設為自變數(x)，後者設為應變數(y)，如圖2，其回歸方程為 $y=1.1886x$ ，兩變數相關性(R2)達77.66%，相關係數(R)為0.8812，意謂每小時顯著氣壓大變化發生時，低空風切也會發生，前者發生次數多時，後者發生次數也會多，兩者相關性很高。

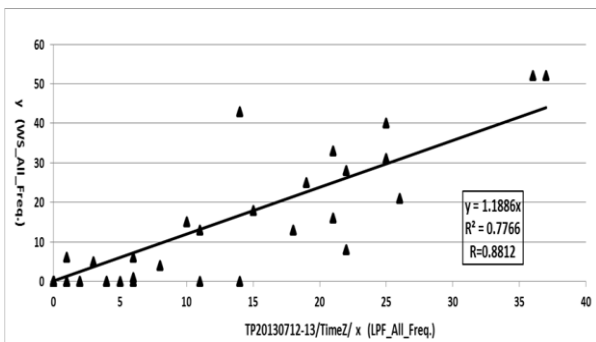


圖2 2013年7月12-13日臺灣桃園國際機場每小時顯著氣壓大變化與低空風切次數回歸相關分析圖。

2. 按分鐘次數

為了要了解在短時間內機場顯著氣壓大變化與低空風切之相關性，本節按每1~12分鐘加以分析。

12日0000Z至13日0000Z機場顯著氣壓大變化與低空風切每1分鐘(總共2880筆)發生次數回歸相關，前者設為自變數(x)，後者設為應變數(y)，其回歸方程為 $y=0.4496x$ ，兩變數相關性(R2)偏低，僅3.49%，相關係數(R)為0.19，意謂每1分鐘顯著氣壓大變化和低空風切發生之相關性偏低。逐步增加時間，每2分鐘(總共1440筆)發生次數回歸相關，其回歸方程為 $y=0.6396x$ ，兩變數相關性(R2)提高至14.7%，比每1分鐘分別提高約4倍和2倍，相關係數(R)為0.38，意謂每2分鐘顯著氣壓大變化和低空風切發生之相關性提高。隨後分析每3、4、5、6、7、8、9、10、11和12分鐘(分別為960、720、576、480、411、360、320、288、262和240筆)發生次數回歸相關，其中每6分鐘顯著氣壓大變化與低空風切發生次數回歸相關分析圖，如圖3。兩變數相關性和相關係數分別為20.8%/0.46、31.3%/0.56、35.2%/0.59、38.4%/0.62、42.9%/0.65、44.2%/0.66、49.3%/0.70、48.7%/0.70、49.8%/0.71和52.8%/0.73，如圖4。短時間內兩者相關性提升至21-53%，其中每4-5分鐘兩變數相關性和相關係數提高至31-35%/0.46-0.59；每6-8分鐘提高至38-44%/0.62-0.66；每9-12分鐘提高至49-52%/0.70-0.73。顯示顯著氣壓大變化和低空風切在短時間的相關性大幅提升，應證顯著氣壓大變化可以提供機場偵測風切的方法。

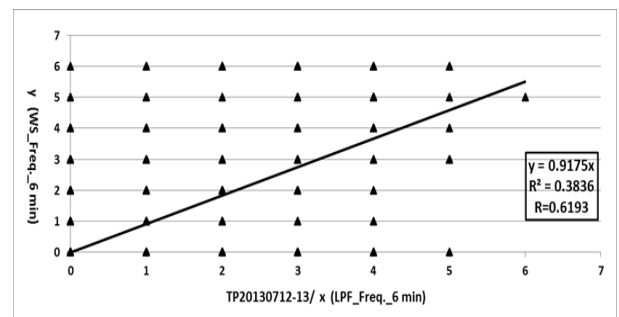


圖3 2013年7月12-13日臺灣桃園國際機場每6分鐘顯著氣壓大變化與低空風切發生次數回歸相關分析圖。

鐘顯著氣壓大變化佔同時間低空風切發生次數之比例。

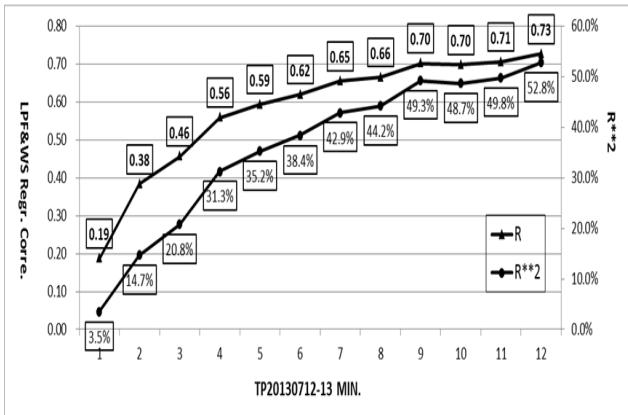


圖4 2013年7月12-13日臺灣桃園國際機場短時間顯著氣壓大變化與低空風切發生次數之相關性(R2)和相關係數(R)。

(三) 顯著氣壓大變化與低空風切警告發生時間比較

告發生時間比較

本節更進步分析每1~12分鐘機場顯著氣壓大變化和低空風切同時發生之次數，分別佔該時間低空風切發生次數之比例，當每1分鐘低空風切總共發生次數434次，同時段顯著氣壓大變化發生174次，顯著氣壓大變化佔低空風切發生次數的40.1%，如圖5。顯然在每1分鐘兩者同時發生的次數佔低空風切發生的比例偏低。唯在每2-3分鐘同時發生的次數(159次；145次)佔低空風切發生(277次；220次)的比例大幅提升至57.4-65.9%。隨著時間略微拉長，其比例也跟著有顯著增加，例如，當每4-6分鐘同時發生的次數(132次；120次；105次)佔低空風切發生(173次；151次；133次)的比例大幅提升至76.3-78.9%。當每7-12分鐘同時發生的次數(98次；92次；86次；89次；84次；78次)佔低空風切發生(120次；107次；98次；92次；86次；76次；74次；69次)的比例約達81.7-89.8%。無論兩者發生時段、回歸分析和同時間發生之比例分析，都顯示機場顯著氣壓大變化可偵測到大部分低空風切的發生，因而顯著氣壓大變化應可作為風場作為監測跑道風切現象之依據。

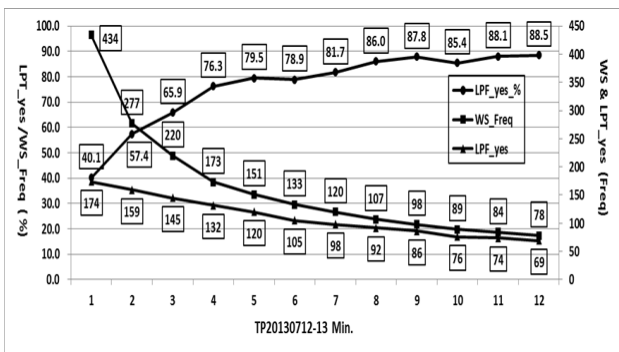


圖5 2013年7月12-13日臺灣桃園國際機場每1~12分鐘顯著氣壓大變化與低空風切發生次數之比例

四、討論

兩地間氣壓梯度越大，風速越大；兩個時間點間氣壓改變，風場也會跟著改變。顯著氣壓大變化可反應氣壓梯度和氣壓在時間上的改變。藉著單一測站，前後時間氣壓差，去除多數氣壓差值為零，以所剩氣壓值大於零，來計算氣壓差值之標準差，再以大於一個標準差與低空風切做分析。雖然AWOS使用的數位氣壓計精確度為±0.1hPa，但是藉著單一測站，本身前後時間氣壓差，可去除氣壓計精確度的問題。

颱風暴風侵襲期間，桃園國際機場在北風分量強風時段和南風分量強風時段裡幾乎同時出現低空風切和跑道出現顯著氣壓大變化現象，且風速越強，風切和氣壓挑動強度也越強，三者發生時段有其一致性。低空風切和顯著氣壓大變化強度和次數變化之時間分布亦然。

機場顯著氣壓大變化與低空風切每小時發生次數回歸相關分析，其相關性達近70%，相關係數(R)接近0.9，兩者相關性很高。兩者短時間相關分析，每4-5分鐘、6-8分鐘和9-12分鐘兩者相關性分別約達35%、40%和50%；相關係數分別約達0.60、0.65和0.72。顯示顯著氣壓大變化和低空風切在短時間的相關性相當高。以機場顯著氣壓大變化與低空風切警告發生時間比較分析，當每4-6分鐘和每7-12分鐘顯著氣壓大變化與低空風切警告同時發生分別佔低空風切的比例約達76-79%和82-89%，尤其每8分鐘以上，其比例都接近90%。無論兩者發生時段、回歸分析和同時間發生之比例分析，都顯示機場顯著氣壓大變化可偵測到大部分低空風切的發生，因而顯著氣壓大變化應可作為風場作為監測跑道風切現象之依據。

本研究為了要了解在短時間內機場顯著氣壓變化與低空風切之相關性，按每1分鐘及逐分鐘增加至18分鐘加以分析其相關性，兩者發生之所以有時間落差，可能為兩者地點不同，距離又遠所致。如果參考機場氣壓變化與風切亂流警告系統發明專利權(專利證書，發明第I611198號)以及新式樣「風切亂流偵測及警告系統」(新型第M533697號)，在機場四周廣設氣壓觀測站矩陣(9x3)系統使用單一氣壓測站每分鐘氣壓大波動，就可提早偵測或警告亂流發生之時間和地點，對飛機起降的安全和旅客生命安全，更可確保。從本研

究可知，以機場範圍內現有自動觀測系統觀測到的氣壓資料，可以建立機場低空風切警告輔助系統，並可解決美國FAA / LLWAS系統在機場找不到腹地來裝置風塔的問題，以及系統建置和維修之困難。

五、結論

本文分析2013年7月12-13日蘇力颱風期間機場05L跑道顯著氣壓大變化與低空風切警告之相關性，獲得下列成果：

- (一) 颱風暴風侵襲期間，機場在北風分量強風時段和南風分量強風時段裡，幾乎同時出現跑道顯著氣壓大變化和低空風切現象，且風速越強，顯著氣壓大變化和低空風切警告強度也越強，三者發生時段有相當的一致性。
- (二) 在北風分量強風和南風分量強風兩個時段，顯著氣壓大變化和低空風切次數之時間分布相當一致。
- (三) 機場顯著氣壓大變化與低空風切每小時發生次數相關係數分別達接近0.90和0.80；每4-5分鐘、6-8分鐘和9-12分鐘兩者短時間相關係數分別達0.60、0.65和0.72。
- (四) 機場每4-6分鐘和每7-12分鐘顯著氣壓大變化發生次數佔低空風切警告的比例約達76-79%和82-89%，尤其每8分鐘以上，其比例都接近90%。

致謝

本文在財團法人氣象環境研究中心陳琰亮先生、施蔡國瑛女士等支持下完成。感謝美國威斯康辛大學麥迪遜分校(Wisconsin-Madison)朱寶信博士指導，論文審查委員提供寶貴意見，以及貝氏卡曼科技公司徐茂林先生協助，感謝民用航空局飛航服務總臺提供松山機場地面自動觀測系統資料。

參考文獻

- 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：臺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，2004：台灣桃園中正國際機場低空風切系統與低空風切之分析研究，飛航天氣期刊，2，1-33。
- 蒲金標、徐茂林、游志遠和劉珍雲，2014：臺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。
- 蒲金標與徐茂林，2016：東北季風影響松山機場低空風切之個案觀測分析，氣象學報，53，23-38。
- 蒲金標與徐茂林，2016：菲特(FITOW)颱風影響松山機場低空風切之觀測個案分析研究，飛航天氣期刊，25，30-50。
- 蒲金標與林清榮，2017：馬祖南竿機場誤失進場風切與顯著氣壓大變化分析，航空安全及管理季刊，4，65-78。
- 蒲金標與林清榮，2018：2014-2016年馬祖南竿機場跑道風切與氣壓大波動發生時間關連性分析研究，航空安全及管理季刊，5，42-55。
- 蒲金標與林清榮，2018：2010~2014年松山機場低空風切與氣壓大波動之日變化分析研究，大氣科學，45，261-280。
- 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.
- International Civil Aviation Organization, 2005: Manual on Low-Level Wind Shear, May 3, 2014 – First Edition — 2005. Doc 9817 -AN/449, pp. 213.
- Shreffler, Jack H. and Francis S. Binkowski, 1981: Observations of Pressure Jump Lines in the Midwest, 10-12 August 1975. Mon. Wea. Rev., 109, 1713-1725.
- Viana Samul, Carlos Yaguei, Gregorio Maqueda2 and Genaro Galan, 2007: Study of diurnal pressure fluctuations generated by waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. Física de la Tierra, 19, 55-71.
- 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.

The Correlation Analysis between the Occurrence of Large Pressure Fluctuation and Low-Level Wind Shear in the period of “Soulik” Typhoon invading Taiwan Taoyuan International Airport during 12-13 July, 2013.

Chin-Piao Pu

Ching-Jung Lin

China Meteorological and Environmental R&D Center

Abstract

In this study, we analyzed the correlation between the occurrence of large pressure fluctuation and low level wind shear in the period of “Soulik” Typhoon invading Taiwan Taoyuan International Airport during 12-13 July, 2013. Results show that the airport large pressure fluctuations will occur simultaneously with wind shear on 12-13 July. During the typhoon storms, almost the large pressure fluctuation and low level wind shear occurred at the same time in the north wind component strong wind and the south wind component strong wind, and the wind speed was stronger, the large pressure fluctuation and wind shear the intensity of the stronger, the three periods of time have their consistency. The correlation coefficient between the large airport air pressure and low-level wind shear per hour and more than medium intensity was 0.90 and 0.80 respectively; Short-term correlation coefficients for each of 4-5 minutes, 6-8 minutes, and 9-12 minutes were 0.60, 0.65, and 0.72, respectively. The proportion of high variation in large pressure fluctuation in the airport every 4-6 minutes and every 7-12 minutes accounted for 76-79% and 82-89% of the low-level wind shear. Especially every 8 minutes or more, the ratio is close to 90%. It should be demonstrated that the large pressure fluctuation can replace the wind field as the basis for monitoring the wind shear phenomenon.

Keyword : ” Soulik” typhoon, Large Pressure Fluctuation, Low Level Wind Shear, Correlation Analysis.