

莫拉克颱風登陸前後之強陣風特性分析

林博雄¹ 杜佳穎² 吳華富¹

¹臺灣大學大氣科學系 ²國家實驗研究院颱風洪水研究中心

摘要

常態性氣象測站的旋轉式風杯或螺旋槳風速風向計，所採行的時間取樣頻率不高，以 1~10 分鐘平均值和該期間最大風速與陣風等參數來做為當地風場特徵之參考；然而這些參數無法完整呈現風場紊流特性，比如「陣風持續時間」是航空器起降安全和風力發電機組安全控制所關切的參數，特別是颱風侵襲期間的強陣風特性，更需要有高頻風場觀測設備和數據來加以分析整理。國家實驗研究院颱風洪水研究中心 15m 機動式通量觀測系統，於 2009 年夏季安置於嘉義縣東石鄉鰲鼓村海埔新生地進行近地面水氣、熱輻射和 CO₂ 通量觀測，本文使用該通量觀測資料其中的 CSAT3 音波風速計 10Hz 高頻三維風場原始資料，整理分析 2009 年 8 月 6 日至 8 月 8 日(莫拉克登陸臺灣前後)期間，陣風因子(gust factor, 最大風速與平均風速比值, GF)、陣風持續時間(gust duration, GD)、亂流強度(turbulence intensity, TI)。分析結果顯示，TI 因子可以簡要突顯出紊流擾動的概況，GF 在登陸期則可超過 10；莫拉克臺颱風侵臺期間各階段 GD 平均值確實都在世界氣象組織所提出的熱帶風暴的 3 秒之內，並與 TI 呈現正相關的趨勢。然而颱風從接近到遠離期間，GD 都有高達 5 秒的現象，甚至在 8 月 8 日 06:00LST 出現 7 秒的極大值，因此我們認為熱帶風暴的 GD 值應可修正到 5~7 秒。此外，資料品管標記顯示降水會造成音波風速計量測失效頻率增大，原始數據並出現超越量測範圍的不合理值，因此強陣風分析必須謹慎檢查降水對音波風速計的干擾。

關鍵字：莫拉克颱風、亂流強度、音波風速計

一、前言

在氣候變遷與全球生態保護的環保意識倡導下，再生能源開發應用是一項人類可及的積極作為，其中離岸風力發電更在北歐地區快速成長。然而海上風暴對於風機結構以及控制邏輯的挑戰，是工程與氣象的共同議題。東亞地區因有颱風劇烈天氣，對於北歐地區所設計的風機結構設計如何調適修正，是風機產業在東亞地區發展的必要問題。舉例來說，風機工程所關心的氣象因子，如離地 50m 和地面觀測(10m)的差異、亂流強度(turbulence intensity, TI)、最大風速與平均風速比值的陣風因子(gust factor, GF)，以及陣風持續時間(gust duration, GD)等。

現階段中央氣象局在臺灣地區的常態性氣象測站，所採用的旋轉式風杯或螺旋槳風速風向計，時間取樣頻率約 1~6 秒，資料儲存通常以 10 分鐘時間間距的平均值和該期間最大風速與陣風，來做為當地風場特徵之參考。航空氣象觀測針對危害飛行天氣條件所設定的觀測記錄頻率，則由 10 分鐘縮短為 2 分鐘，然而這些慣有風場參數無法完整呈現風場紊流特性。世界氣象組織(WMO,1996)曾針對熱帶地區建議「陣風持續時間」為 3 秒，但從中央氣象局和民航局機場測站資料沒有實際記錄可供佐證，因此上述問題必須要有更高時間頻率的風場觀測設備和數據來加以分析。

透過(超)音波在一對已知距離的發射端與接收端傳送，因環境風場擾動所造成的都普勒

相位偏移效應，來反求高頻風速與風向擾動，讓數學計算公式所定義的平均場與擾動場，能真正對應到實際觀測資料(Wauben, 2007)，並能直接量測陣風的「持續時間」。國家實驗研究院颱風洪水研究中心(TTFRI)的 15m 機動式通量觀測系統，於 2009 年夏季安置於嘉義縣東石鄉鰲鼓村海埔新生地進行近地面的水氣、熱輻射和 CO₂ 等通量觀測，通量觀測所需的 10Hz 高頻三維風場即是由 Campbell CSAT3 音波風速計所記錄。因此，本文利用該系統 15m 高度的音波風速計原始資料，來探討 2009 年 8 月 6 日至 8 月 8 日(莫拉克登陸臺灣前後)期間，陣風因子、陣風持續時間以及亂流強度的時間演替特徵。

二、資料來源與分析方法

TTFRI 的機動通量塔觀測站位於嘉義縣東石鄉鰲鼓村海濱，四週皆為平坦的低矮樹叢和濕地。Campbell CR1000 記錄器儲存 10Hz 觀測值原始資料，我們經由全球 fluxnet 學術社群資料交換格式和品管程序，先將 TTFRI 的原始資料整理成每 10 分鐘區段，品管標記(QC flag)也一併輸出。此外，每 10 鐘的上層(15m)觀測位置水平風場(U,V)的平均風速(WS_avg)、標準差、最大風速(WS_max)、TI、GF、GD 等數值也加以計算和輸出；TI、GF、GD 等參數的定義分別如下所述：

TI：10 分鐘觀測時間內 3600 個風速數值的標準差除以平均值的百分比(單位:%)。

GF：10 分鐘觀測時間內風速極大值除以平均值(單位:無)。

GD: 10 分鐘觀測時間內風速大於平均值加 2 倍標準差的最長持續時間(單位:秒)。

由於 TTFRI 沒有雨量觀測，因此我們採用中央氣象局 COK29 自動氣象站(TTFRI 測站以北約 20km 處)的風場與雨量逐時資料來做為背景場使用。

三、颱風登陸前後強陣風特性分析與結果

莫拉克颱風 7 級風暴風圈在 8 月 6 日 23:00LST~8 月 7 日 2:00LST 觸及臺灣東岸陸地，颱風中心並於 8 月 7 日 23:00LST 登陸臺灣東岸，8 月 8 日 11:00~14:00LST 颱風中心由臺灣西北部陸地進入臺灣海峽，強降水發生在臺灣中部和西南部山區。圖 1 顯示中央氣象局 COK29 自動氣象站從 8 月 6 日到 8 月 8 日三天的逐時風速風向和雨量演變，我們將這三天區分為四階段來加以討論(表 1):

(1) 平靜期/ 8 月 6 日 00:00~19:00LST

東石地區無雨到開始下小雨，10 分鐘平均風速和極端風速分別是 0.97 m/s 和 4.0 m/s，GD 只有 0.9 秒，但是 T 已經是 52%，GF 則是 4.6。

(2) 接近期/ 8 月 6 日 20:00~8 月 7 日 24:00LST 颱風外圍第一波雨帶間歇性降雨出現，10 分鐘平均風速和極端風速分別增大到 5.7 m/s 和 36.8 m/s，TI 則些微增加到 62%，GD 也增大 2 倍到 1.74 秒，GF 也增大到 6.73。

(3) 登陸期/ 8 月 8 日 01:00~8 月 8 日 12:00LST 颱風內核區雨帶帶來雨量，但降水強度尚未太大，10 分鐘平均風速和極端風速繼續分別增強到 6.8 m/s 和 59.6 m/s，TI 也再增加到 81%，GD 擴大到 2.13 秒，GF 更放大到 11.12。

(4) 遠離期/ 8 月 8 日 13:00~24:00LST

颱風中心由陸地進入海峽，西南氣流挾帶的雨量突增、降水強度增大，10 分鐘平均風速反常增強到 9.67 m/s，但是極端風速則稍下降到 54.2 m/s；GD 降低到 1.88 秒，TI 和 GF 也分別下降到 63%和 5.9。

以上四階段的各種風速參數變化，都顯示東石海濱地區風速與紊流，隨著颱風暴風圈登陸而增強，甚至在颱風遠離期所引入西南氣流風場階段，平均風速和極端風速仍相當強烈，唯有

TI 和 GF 顯著下降。

經由上述資訊，我們歸納幾項重點：

- (1) 風速增大之時，風速標準差也隨之放大，TI 因子可以突顯出紊流擾動的演替狀況。
- (2) GF 在登陸期可超過 10 (11.1)，比平靜期 (4.6) 放大了 2.4 倍。
- (3) 世界氣象組織所提出的熱帶風暴的 GD 約 3 秒，莫拉克颱風侵臺期間各階段 GD 平均值確實都在 3 秒以下，並與 TI 呈現正相關的趨勢(圖 2)。然而，後三期階段 GD 都有高達 5 秒的現象，甚至在 8 月 8 日 06:00LST 出現 7 秒的極大值(圖 3)，因此我們認為熱帶風暴的 GD 值應可修正到 5~7 秒。

此外，我們從資料品管標記發現降水會造成音波風速計量測失效頻率增大，原始數據並出現超越量測範圍的不合理值，因此強陣風分析必

須謹慎檢查降水對音波風速計的干擾 (Wauben , 2007)。

參考文獻:

- Wauben, W. M. F, 2007: Wind Tunnel and Field Test of Three 2-D Sonic Anemometers, KNMI Technical Report No. 296, KNMI, De Bilt.
- WMO, 1996: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Sixth edition, WMO No. 8, WMO, Geneva.

表 1: 莫拉克颱風侵臺期間(2009 年 8 月 6 日至 8 月 8 日)TTFRI 東石站四階段風場參數與累積雨量。

	WS_10min	WS_max	TI	GD	GF	Rainfall
平靜期	0.97	4.03	52	0.09	4.6	6
接近期	5.7	36.8	62	1.74	6.7	40.5
登陸期	6.79	59.6	81	2.13	11.1	17
遠離期	9.67	54.2	63	1.88	5.9	135.5

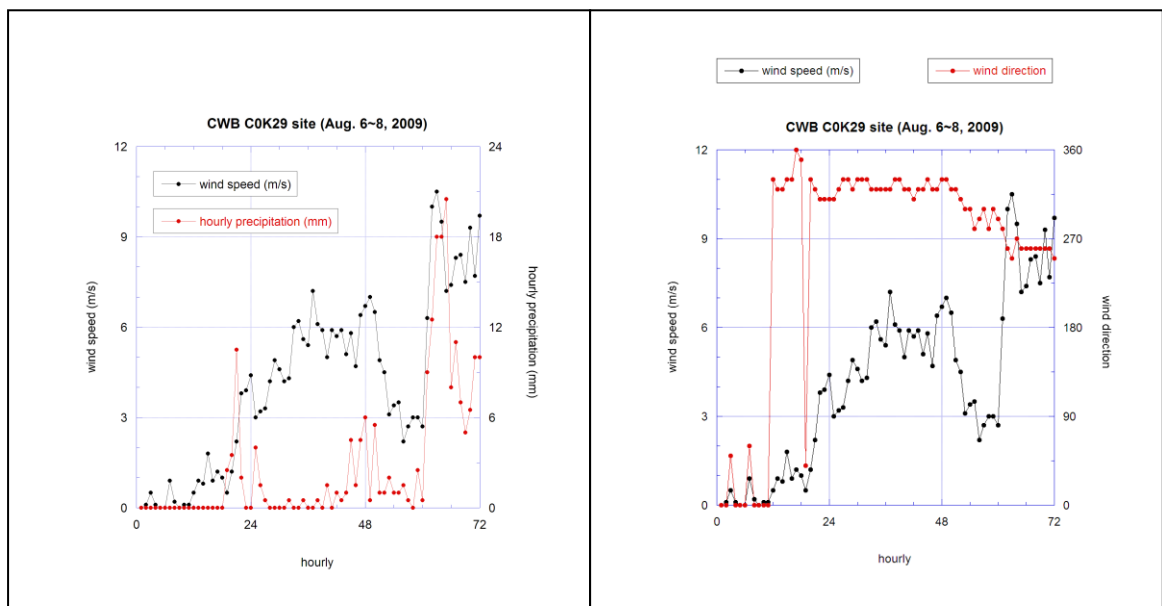


圖 1: 中央氣象局 C0K29 自動氣象站從 8 月 6 日到 8 月 8 日三天的逐時風速與雨量(左)、風速與風向(右)時間序列。

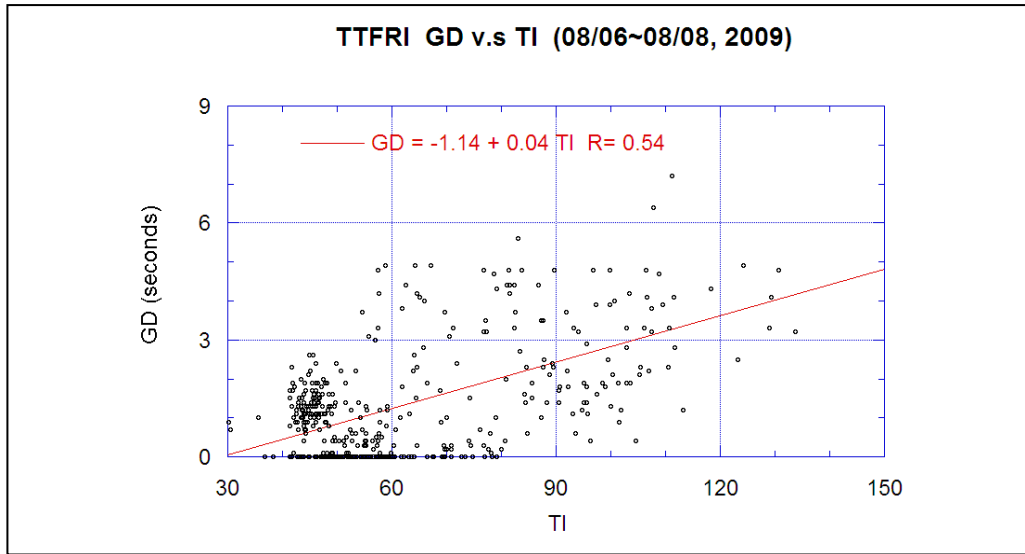


圖 2: 莫拉克臺颱風侵臺期間 TTFRI 東石通量站的 GD 值和 TI 值。

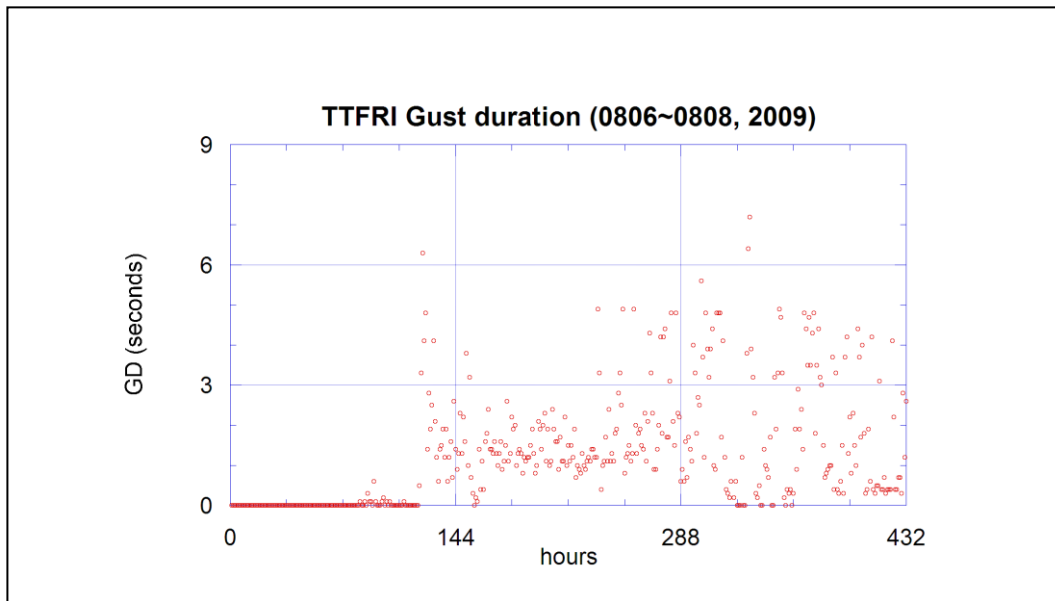


圖 3: 莫拉克臺颱風侵臺期間 TTFRI 東石通量站 GD 值時間序列。