

建築物耐風設計規範之基本設計風速修訂研究

內政部建築研究所協同研究報告

108 年度

建築物耐風設計規範之基本設計風速 修訂研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

建築物耐風設計規範之基本設計風速 修訂研究

- 研究主持人 ： 陳建忠
協同主持人 ： 朱佳仁
研究員 ： 羅元隆、蔡宜中、張淇喻、郭建源
研究助理 ： 林禹安、羅仕亮、游聲迪
研究期程 ： 中華民國 108 年 3 月至 108 年 12 月
研究經費 ： 新台幣玖拾捌萬柒仟伍佰元

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次	I
表次	III
圖次	V
摘要	XI
Abstract	XII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 台灣設計風速之研究	4
第三節 風場模式之研究	6
第二章 颱風模式	15
第一節 颱風資料庫	15
第二節 颱風生成模式	16
第三節 颱風路徑模式	18
第四節 參數化風場模式	26
第五節 邊界層模式	34
第三章 模式驗證	39
第一節 颱風生成位置之驗證	39
第二節 颱風路徑之驗證	40

第三節 風場模式驗證.....	47
第四章 各地設計風速.....	67
第一節 風速樣本.....	67
第二節 極值風速.....	67
第三節 機率函數之推求.....	72
第四節 各地的設計風速.....	73
第五節 建議之設計風速.....	87
第六節 地形對風速之影響.....	109
第五章 結論與建議.....	117
第一節 結論.....	117
第二節 建議.....	118
附錄一 第一次工作會議審查意見執行現況.....	121
附錄二 期中審查會議意見與回應一覽表.....	123
附錄三 專家座談會議審查意見表.....	127
附錄四 期末審查會議意見與回應一覽表.....	133
參考書目.....	137

表次

表 1. 不同氣象單位提供之颱風資料	16
表 2 不同研究所建議之海面阻力係數公式	35
表 3. HOLLAND 風速轉換為 10 公尺風速之文獻	36
表 4. 颱風生成位置分別使用均勻亂數與伽瑪亂數侵台機率比較 表	42
表 5. 均勻亂數生成位置之颱風樣本數對颱風侵台路徑之比較表	46
表 6. 模擬時間對颱風侵台機率之比較表	46
表 7. 中央氣象局地面氣象站資料表	69
表 8. 中央氣象局測站風速計高度更動年份表	70
表 9. 台灣測站位置之颱風發生率與設計風速	78
表 10. 台灣地區 50 年重現期設計風速之比較(1).....	79
表 11. 台灣地區 50 年重現期設計風速之比較(2).....	80
表 12. 台北市各區之設計風速建議值	89
表 13. 基隆市各區之設計風速建議值	89
表 14. 新北市各鄉鎮之設計風速建議值	90
表 15. 桃園市各區之設計風速建議值	91
表 16. 新竹地區各鄉鎮之設計風速建議值	92

表 17. 苗栗地區各鄉鎮之設計風速建議值	93
表 18. 台中市各區之設計風速建議值	94
表 19. 彰化地區各鄉鎮之設計風速建議值	96
表 20. 南投地區各鄉鎮之設計風速建議值	97
表 21. 雲林地區各鄉鎮之設計風速建議值	98
表 22. 嘉義地區各鄉鎮之設計風速建議值	99
表 23. 台南市各區之設計風速建議值	100
表 24. 高雄市各區之設計風速建議值	102
表 25. 屏東地區各鄉鎮之設計風速建議值	104
表 26. 離島地區之設計風速建議值	105
表 27. 宜蘭地區各鄉鎮之設計風速建議值	106
表 28. 花蓮地區各鄉鎮之設計風速建議值	107
表 29. 台東地區各鄉鎮之設計風速建議值	108

圖次

圖 1 台灣及鄰近國家的設計風速 (A)台灣；(B)日本；(C)南韓； (D)菲律賓	3
圖 2 颱風風速的風向角示意圖(綠色箭頭為模擬之風向角).....	10
圖 3 颱風經過中央山脈示意圖	12
圖 4 颱風蒙地卡羅模式之計算流程圖	15
圖 5 西北太平洋歷史颱風(N = 1323).....	17
圖 6 模擬颱風的生成位置(A)經緯度 5×5 均勻亂數所模擬出之 位置(N = 13230)；(B)經度 10 內緯度以伽瑪機率分佈所模擬 出之位置(N = 13230)	17
圖 7 歷史颱風(2003~2016)初始位置中心氣壓差之機率分佈 ...	18
圖 8. 歷史颱風所有時間之中心氣壓差(A)機率分佈；(B)預測殘 差之分佈	21
圖 9. 歷史颱風移動方位角(以正北為 0 順時針之角度)(A)機率分 佈；(B)預測殘差之分佈	22
圖 10. 歷史颱風移動速度(A)機率分佈；(B)預測殘差之分佈 ...	23
圖 11. 颱風中心距離台灣的定義	24
圖 12. 中央氣象局的颱風路徑分類	24
圖 13 本研究採用之侵台路徑分類	25

圖 14 比較前人與本研究之 B 值(A)發生機率分佈；(B)本研究模式所得 B 值比較.....	27
圖 15 B 值對風速分佈之影響(A)梅姬颱風(2016 年 9 月 27 日)之風場($R_{MW} = 18.5$ KM)；(B)蘇力颱風(2013 年 7 月 13 日)之風場($R_{MW} = 37.0$ KM).....	28
圖 16 JTWC 觀測之最大風速半徑 R_{MW} 與中心氣壓 P_C 關係圖	29
圖 17 由 JWTC 所觀測之最大風速半徑 R_{MW} 與本研究模式所得 R_{MW} 比較.....	30
圖 18 R_{MW} 值對風速分佈之影響(A)梅姬颱風(2016 年 9 月 27 日 0 時)之風場($B = 1.41$)；(B)蘇力颱風(2013 年 7 月 13 日 12 時)之風場($B = 1.36$)	31
圖 19. 第二類路徑颱風登陸台灣後中心氣壓差的變化(JTWC 資料).....	32
圖 20. 第三類路徑颱風登陸台灣後中心氣壓差的變化(A) JTWC 資料；(B) CWB 資料.....	33
圖 21 第四類路徑颱風登陸台灣後中心氣壓差的變化(JTWC 資料).....	34
圖 22 花蓮測站探空氣球量測與預測之風速剖面(A)梅姬颱風；(B)蘇迪勒颱風；(C)聖帕颱風；(D)泰利颱風.....	38

圖 23 模擬颱風的生成位置(A)經緯度 5×5 均勻亂數所模擬出之 位置(N = 13230) ;	40
圖 24 蒙地卡羅模擬之颱風路徑分類.....	43
圖 25. 歷史與蒙地卡羅模擬的颱風路徑百分比之比較圖.....	44
圖 26. 時間步為 6 小時，模擬時間 240 小時後，颱風最後位置 圖	47
圖 27. 蘇力颱風(A)颱風路徑；(B)模擬之壓力場.....	49
圖 28. 蘇力颱風在不同時間的模擬風場	50
圖 29. 蘇力颱風海平面中心氣壓隨時間之變化	51
圖 30. 蘇力颱風風速隨時間之變化(A)彭佳嶼測站；(B)龍洞測站	52
圖 31. 梅姬颱風(A)颱風路徑；(B)模擬之壓力場.....	53
圖 32. 梅姬颱風的模擬風場.....	54
圖 33. 梅姬颱風海平面中心氣壓隨時間之變化	55
圖 34. 梅姬颱風各測站之風速隨時間變化圖(A)花蓮站；(B)宜蘭 站；(C)梧棲站.....	57
圖 35. 潭美颱風風速隨時間之變化圖(A)颱風路徑；(B)彭佳嶼測 站；(C)馬祖測站.....	58
圖 36. 尼伯特颱風風速隨時間之變化圖(A)颱風路徑；(B)蘭嶼測	

站；(C)測站.....	59
圖 37. 莫蘭蒂颱風風速隨時間之變化圖(A)颱風路徑；(B)大武測站；(C)東吉島測站；	61
圖 38. 康芮颱風風速隨時間之變化圖(A)颱風路徑；(B)蘭嶼測站；(C)彭佳嶼測站.....	63
圖 39. 泰利颱風隨時間之變化圖(A)颱風路徑；(B)高雄站；(C)東吉島站；(D)台南站；(E)永康站	66
圖 40. 台灣地區中央氣象局地面觀測站位置圖	68
圖 41. 設計風速的計算流程圖.....	71
圖 42. 花蓮測站歷史風速年最大值法(A)機率密度函數；(B)累積機率密度函數(線性軸)；(C)累積機率密度函數(非線性軸)..	75
圖 43. 花蓮站模擬風速之門檻值法 (A)累積機率密度函數(線性軸)；(B)累積機率密度函數(非線性軸).....	76
圖 44. 歷史資料計算得各地的設計風速(A)北部測站；(B)中部測站；(C)南部測站;(D)東部與離島測站	82
圖 45. 歷史資料計算得台灣各地的設計風速(A)內陸測站；(B)沿海測站；(C)離島測站	84
圖 46. 模擬和歷史資料計算得之設計風速(A)內陸測站；(B)沿海測站；(C)離島測站	85

圖 47 台灣地區設計風速之分佈圖	86
圖 48.各地設計風速建議值之決定示意圖	88
圖 49. 雙山丘風洞模型之示意圖和照片	111
圖 50. 山丘前方($x = -3H$)風洞中心線之時間平均風速 $U(z)$ 剖面 圖	112
圖 51. 不同坡度單山丘頂部($x = 0$)中心線之時間平均風速剖面 圖	112
圖 52. 不同坡度單山丘頂部中心線之縱向紊流強度剖面圖....	113
圖 53. 不同坡度單山丘頂部中心線之垂向紊流強度剖面圖....	113
圖 54. 雙山丘頂部中心線之時間平均風速剖面圖	114
圖 55. 雙山丘頂部中心線之縱向紊流強度剖面圖	114
圖 56. 全台設計風速建議值.....	115

摘要

關鍵詞: 蒙地卡羅模式，颱風模擬，風災，設計風速

台灣位於西北太平洋颱風活躍區，颱風所帶來的豪雨和強風往往對台灣帶來重大的災害損失，因此設計結構物強度時必須考量當地強風的發生機率和設計風速。目前台灣各地所使用的基本設計風速是以中央氣象局所屬 24 個氣象測站 1947~1991 年間，所發生的 128 個侵台颱風最大十分鐘平均風速為樣本；利用甘保機率函數求得 50 年重現期，轉換成平坦開闊地況、離地面高度 10 m 之風速，各縣市鄉鎮再利用附近氣象測站內插而得。但這 24 個測站分佈的密度不夠，苗栗、彰化、雲林縣沒有地面測站提供長期、可靠的風速資料，桃園唯一的新屋站 2013 年才啟用。當颱風的樣本數不足時，計算出的設計風速其正確性令人存疑，因此有必要予以修正。本研究採用蒙地卡羅模式(Monte Carlo method)模擬颱風路徑、中心氣壓、風速和風向，擴展颱風風速之樣本數。

本研究先利用統計分析美軍聯合警報中心1970~2016年之北太平洋上颱風的生成位置、移動速度、方向角、中心氣壓，找出其與經緯度之關係；再使用颱風中心氣壓差與風速之間的參數化模式及蒙地卡羅模式來模擬侵台颱風之移動路徑、中心氣壓及風速，並使用邊界層流模式來計算近地表之風速、風向。中央山脈地形對颱風中心氣壓的影響則以一個指數衰減函數方式來模擬，模擬之地表風速並與中央氣象局沿海測站之颱風風速比對，有不錯的結果。再用模式模擬13230場在北太平洋的颱風路徑，其中有2259場侵台颱風，利用統計分析和甘保機率函數模擬這2259場侵台颱風的最大風速。並與1961~2017年間歷史颱風風速計算得之設計風速比較，最後再利用模擬風速直接計算台灣無測站地區各鄉鎮的強風發生機率和基本設計風速，提出新的設計風速建議值，全台的設計風速介於34~58 m/s，風速級距為2.0 m/s。

Abstract

Keywords: Monte Carlo model, Typhoon simulation, Wind-related hazard, Design wind speed.

Taiwan is located in the tracks of most Northwest Pacific typhoons. The strong winds and heavy rains cause severe property damages to Taiwan. Hence, the simulation of the land-falling typhoons is essential to the risk assessment of the wind-related hazards in Taiwan. This study developed a Monte Carlo model to simulate the tracks and wind fields of the land-falling typhoons. The Monte Carlo model is based on the historical data of typhoons in the Northern Pacific Ocean between 1970~2016, collected by the Joint Typhoon Warning Center (JTWC) of the U.S. The wind fields of typhoons were simulated by a parametric model of Holland (1980). The effects of the Central Mountain on the strength of typhoons were modeled by an exponential decay function. The simulated paths and wind speeds compare favorably with the observed results of typhoons collected by the Central Weather Bureau (CWB) of Taiwan. Then the simulated wind speeds of 2259 land-falling typhoons were used to calculate the probability of extreme wind speeds and the basic design wind speeds in different areas of Taiwan for the Buildings Code of Wind Loads.

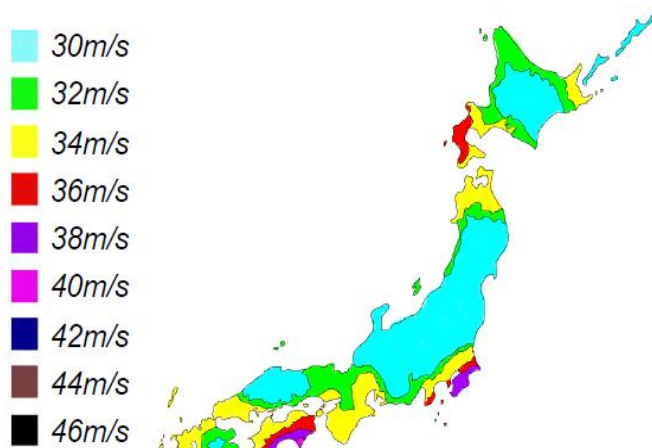
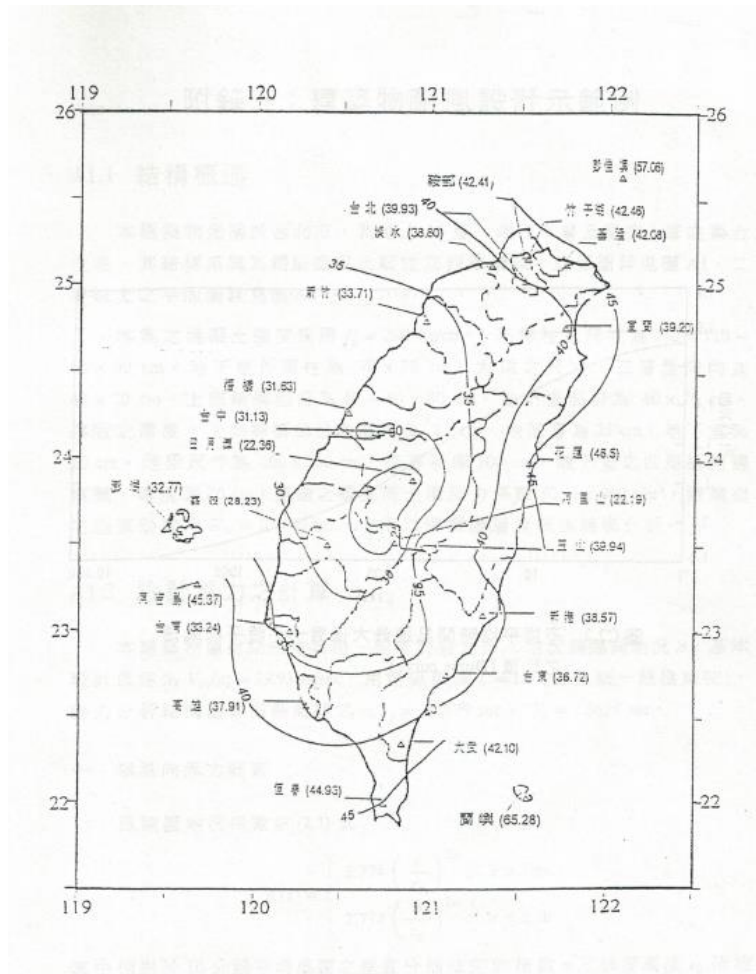
第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

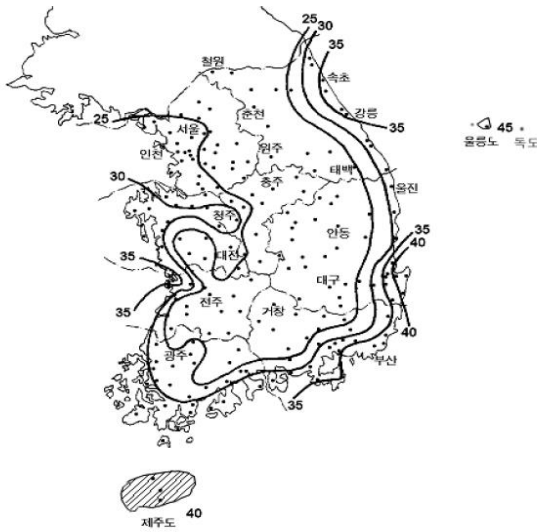
台灣位於西北太平洋颱風頻繁區，颱風所伴隨而來的強風和豪雨，常對台灣地區造成巨大災害。根據中央氣象局1897~2005年的資料，109年間共有391次颱風侵襲台灣(有發佈陸上颱風警報者)，年平均發生次數為3.6次，佔北太平洋西部颱風的17%。而每次颱風侵襲台灣皆會帶來極大的經濟損失，例如2001年納莉颱風重創北台灣，台北市及汐止大淹水，財務損失300多億台幣；2009年莫拉克颱風重創南台灣，造成大規模山崩、嚴重土石流及水患，共造成681人死亡，18人失蹤，農林業損失超過195億元台幣；2016年夏季接連三個颱風，尼伯特、莫蘭蒂、梅姬颱風襲台，依據農委會公佈之農業災情報告統計全台溫網室受損面積為989公頃，經濟損失共達153億元。

內政部消防署的統計資料顯示：颱風為台灣最主要的天然災害，歷年累積颱風造成的財物損失超過地震所造成的損失。然而台灣目前的產物保險制度中較普遍有火險和地震險，風災保險並不普及，風災所造成的財物損失完全由受災戶和政府所承擔，有些企業或農民甚至會被一次嚴重的風災所擊垮。若採用風災保險，可分擔政府補貼災民之財務負擔。但評估台灣各地強風發生機率及相關的風險評估，必須有足夠的颱風風速、風向數據。此外，台灣近年來欲發展離岸風機，離岸風機的造價十分昂貴，必須有風災保險，以降低強風對風機損壞之風險。但在評估離岸風機設置地點之強風發生機率及相關的風險時，普遍地缺乏長期的海上風速觀測資料。

中央氣象局在陸地上有400多個氣象觀測站，但大多是2000年之後設立的自動觀測站，其中歷史較久，有人維護儀器、監控的地面氣象站目前只有30個。當颱風風速地樣本數不足時，統計分析而得之各地的設計風速便可能產生誤差。傳統的颱風預報皆是由大氣環流模式加上周遭的大氣壓力、海水溫度等邊界條件用高速電腦計算而得，但因為模式的精準度及邊界條件的改變，不同模式所預測路徑、風速和降雨量往往與實際的觀測結果有所不同。並且大氣模式必須使用高速電腦、耗費大量的計算時間才能預報一場颱風，若要預測數百場颱風之風速、風向的發生機率便不可行。本研究採用蒙地卡羅模式(Monte Carlo model)來推估颱風路徑、中心氣壓和風速的變化，所需的計算時間遠小於大氣模式的計算時間，故可預測數萬場颱風之路徑、風速變化，再利用統計分析研究颱風風速的發生機率。

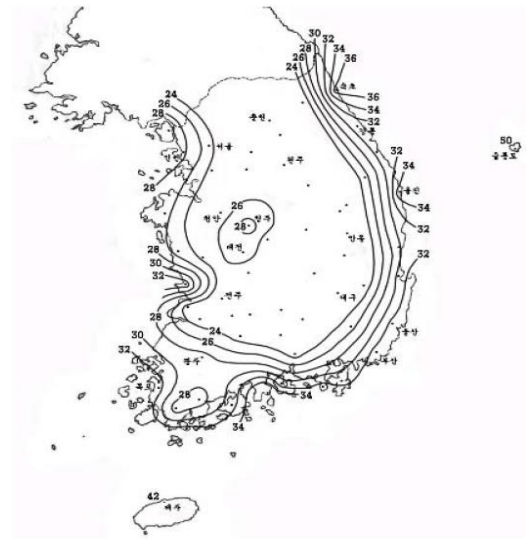


南韓建築規範(1995)



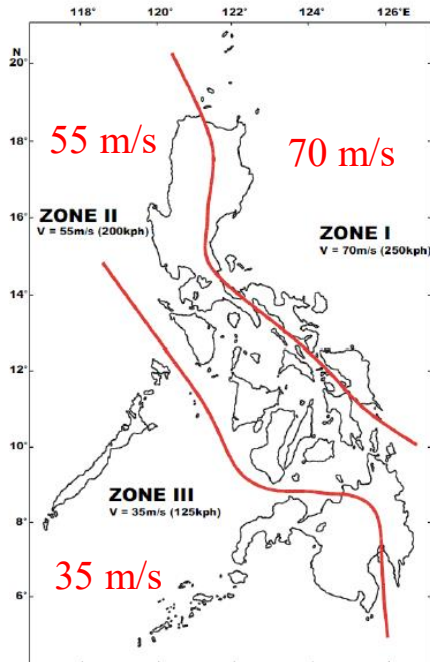
設計風速 25 ~ 40 m/s
風速間格 5 m/s

研究論文(2009)



設計風速 24 ~ 50 m/s
風速間格 2 m/s

建築規範(2001)



研究論文(2010)

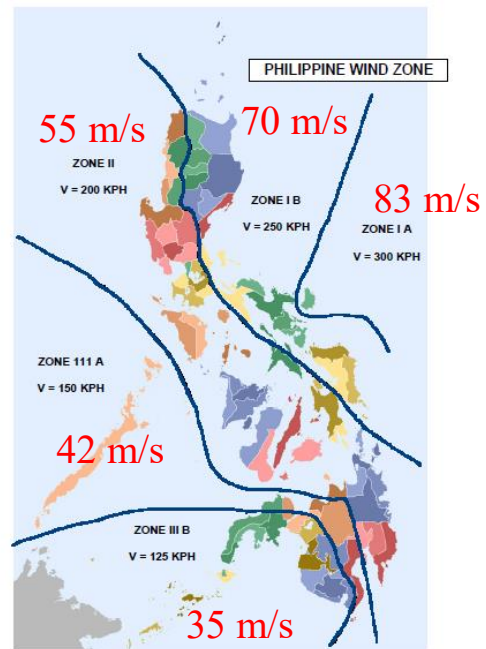


圖 1 台灣及鄰近國家的設計風速 (a)台灣；(b)日本；(c)南韓；(d)菲律賓

資料來源：本研究整理

本研究先分析美軍聯合警報中心 1970~2016 年間的西北太平洋颱風歷史資料，研究颱風的生成位置、移動路徑、移動速度和中心氣壓之變化，並且發展一套完整的蒙地卡羅模式模擬颱風路徑、中心氣壓、風速和風向，並與中央氣象局的颱風資料比對、驗證。再藉由此模式模擬侵台颱風的風場，並統計分析侵台颱風的風速變化，以彌補颱風風速資料之不足。在結構物強度設計時，必須考慮到結構物的使用年限中所可能發生的極值風速(Extreme wind)，本模式進而預測台灣各地強風發生機率和設計風速，並與「建築物耐風設計規範及解說」內所列的設計風速加以比較。以下先整理台灣地區設計風速的相關研究。

第二節 台灣設計風速之研究

世界上有風災的國家都有其風力規範，風力規範中皆會針對該國訂定設計風速。本研究蒐集台灣鄰國的設計風速，如圖1所示。日本、新版的韓國風力規範皆採用十分鐘平均風速來計算設計風速，風速級距皆採用2.0 m/s，菲律賓則與美國相同採取三秒鐘平均風速，風速級距皆採用7~15 m/s。

台灣現行的「建築物耐風設計規範」(2014)中的基本設計風速是採用蔡益超、陳瑞華、項維邦(1996)的研究結果，此設計風速便是採用中央氣象局地面氣象站之年最大颱風風速為樣本計算50年重現期(每年超越機率2%)的風速，其定義為在平坦開闊的地面(即地況C)在高度10公尺處的風速 U_{10} ，再內插可得台灣各鄉鎮的基本設計風速。

蔡益超、林宗賢(1984)最早開始分析1947~1980年間中央氣象局的24個地面氣象站所紀錄的98場侵台颱風不分風向的逐時平均風速與陣風風速資料，並以甘保機率分佈計算台灣地區的十分鐘平均風速，再求得25年、50年和100年重現期的設計風速。

張景鐘(1995)使用1951~1990年間中央氣象局的24個氣象測站，最大十分鐘平均風速為樣本，並針對極值第I型、第II型、韋伯、萊利四種機率分佈，探討台灣地區風速的機率分佈函數。以K-S檢定與卡方檢定結果所示，大多數測站以極值第I型(甘保)分佈為佳。再採用超值或然理論(Exceedance Probability Theory)與動差法(Method of Moment)，利用指數律將各站50年重現期風速轉換成地況C高度10公尺的設計風速 U_{10} 。此研究結果為以超值或然率理論求得之50年迴歸期基本設計風速比使用動差法求得的風速高。

陳瑞華(1995)以中央氣象局所屬24個氣象站1947~1991年間，所發生的128個侵台颱風最大十分鐘平均風速為樣本。並使用氣象站地況、位置變遷之資料將風速進行修正。以密合度試驗(Goodness-of-fit)的方法驗證24個氣象站，由每場颱風所造成的最大十分鐘平均風速，使用甘保分佈來描述，求得100、50、25、10、5年迴歸期風速。並將各個氣象站50年重現期風速轉換為平坦開闊地況、離地面高度10 m之基本設計風速。現行之台灣各縣市鄉鎮的基本設計風速便是依據此篇研究(蔡益超、陳瑞華、項維邦, 1996)。

莊月璇(2000)分析25個中央氣象局地面氣象站1961~1999年之間的風速資料，分為平時風速(daily wind)與極值風速(extreme wind)，分別探討其適用之機率分佈函數，並比較迴歸法、動差法、最大概似法所求得之機率函數參數。平時風速則以韋伯機率函數最適合，可用於風力發電評估之用。在極值風速方面，採用颱風風速法、年最大值法、門檻值法3種不同方法來取樣，結果顯示：甘保函數為最適用於極值風速之機率函數，再計算各測站50年重現期風速作為設計風速。

羅元隆(2015)使用台灣中央氣象局所屬29個氣象站1961~2012年間的風速資料，針對所選取之資料分析其統計特性，觀察其逐年統計特性之相關性及各測站逐年最大風速之趨勢，接著進行區域統計特性計算，研究GEV、Gumbel、Frechet、Weibull機率分佈模式，依據不同測站給予不同的極值分佈函數。並利用逐年統計特性及區域統計特性所得之結果做為基礎並進行年最大風速之模擬。以上研究皆分析中央氣象局測站的歷史颱風風速資料，並未研究無測站之區域的風速。當台灣地區測站分佈的密度不夠，苗栗、彰化、雲林縣沒有地面測站提供長期、可靠的風速資料，當樣本數不足時，計算出的設計風速的正確性令人存疑，因此有必要予以修正。

此外，台灣現行的「建築物耐風設計規範」(2014)中基本設計級距的差異間隔為5.0 m/s，但因為風壓、風力皆與風速平方成正比，差一個級距的風速會造成計算得之結構物的風力差異很大，會引起當結構物跨越不同設計風速區的設計疑義。譬如跨越淡水河口的淡江大橋，在新北市淡水區的設計風速為42.5 m/s，新北市八里區的設計風速為37.5 m/s。負責淡江大橋結構設計的工程公司原本採用設計風速37.5 m/s，後來被要求採用設計風速42.5 m/s，其耐風強度相差28%。該結構設計公司原本不肯修改，後來經學者專家會議決定要採較保守的設計風速42.5 m/s，才彌平爭議。

第三節 風場模式之研究

本研究根據前人研究颱風風場的基礎下，建立適用於台灣的颱風蒙地卡羅模式，模式包含：颱風生成位置、颱風路徑、颱風風場、邊界層模式，而以下為國內外關於颱風模擬之重要研究文獻回顧。

Fujita (1952)最早開始使用參數化模式計算颶風風場，他假設颶風氣壓 $P(r)$ 隨半徑方向的距離 r 衰減，如下式：

$$\frac{P_a - P(r)}{P_a - P_c} = \left[1 + \left(\frac{r}{R_{mw}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中 P_c 為近海平面高度處的中心氣壓， P_a 為近海平面高度處的外圍氣壓， R_{mw} 為最大風速半徑。

Schloemer (1954)研究美國佛羅里達海上之颶風中心氣壓隨半徑方向之變化，發現式(1)的中心氣壓衰減太快，於是 Schloemer (1954)建議：氣壓 $P(r)$ 隨半徑方向的距離 r 以指數率衰減較符合實際颶風中心氣壓衰減的形式，如下式：

$$\frac{P(r) - P_c}{P_a - P_c} = \exp \left[- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right) \right] \quad (2)$$

Holland (1980)使用式(2)研究侵襲澳大利亞的三場颶風，發現式(2)並不是每一場颶風都能模擬的很好，於是改良 Schloemer (1954)的研究成果，使用尺度參數 B 值(Scaling parameters)來描述颶風壓力場的衰減，如下式：

$$\frac{P(r) - P_c}{P_a - P_c} = \exp \left[- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right] \quad (3)$$

式中 P_c 為近海平面高度處的中心氣壓， P_a 為近海平面高度處的外圍氣壓， R_{mw} 為最大風速半徑， B 為尺度參數。在不考慮地表摩擦阻力的狀況下，在距離中心 r 處的風速 $V(r)$ 與壓力梯度 dP/dr 的關係為：

$$\frac{V^2}{r} + fV = \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} \quad (4)$$

式中 ρ 為空氣密度， f 為柯氏力(Coriolis)係數：

$$f = 2\Omega \sin(LA) \quad (5)$$

式中 $\Omega = 7.292 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 為地球自轉速度， LA 為颶風中心的緯度。上式求解可得：

$$V(r) = -\frac{rf}{2} \pm \left[-\frac{r}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{1/2} \quad (6)$$

將颶風壓力場(3)式帶入(6)式可得距離颶風中心 r 公尺處的風速 $V(r)$ ：

$$V(r) = \left[B \frac{P_a - P_c}{\rho_a} \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \exp \left(- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right) + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{1/2} - \frac{rf}{2} \quad (7)$$

此模式中的尺度參數 B 值，最大風速半徑 R_{mw} 會影響颶風風速的準確性，但Holland並未說明如何決定尺度參數 B 和最大風速半徑 R_{mw} 。

Hubbert and Wolf(1991)研究西北太平洋的颱風，得到在不同中心氣壓下，建議尺度參數 B 與中心氣壓的關係：

$$B = 1.5 + \frac{980 - P_c}{100 \cdot \rho_a} \quad (8)$$

式中 P_c 為中心氣壓，單位為hPa。

Harper & Holland (1999) 提出 B 值與颱風中心氣壓差的相關模式如下式：

$$B = 2.0 - \left(\frac{P_c - 900}{160} \right) \quad (9)$$

Willoughby et al. (2004)使用最大風速與緯度回歸出經驗公式：

$$B = 0.886 + 0.0177V_{\max} - 0.0049LA_t \quad (10)$$

Powell et al. (2005)依據觀測數據提出 B 值、最大風速半徑與中心壓力差的經驗公式：

$$B = 1.38 - 0.00309R_{mw} + 0.00184\Delta P \quad (11)$$

Vickery et al. (2009)將前兩者模式整合提出一個無因次參數 A 值，此 A 值與最大風速半徑、科氏力、海溫、颶風中心壓力差與颱風中心壓力有關：

$$A = \frac{R_{mw} \cdot f}{\sqrt{2R_d T_s \cdot \ln \left(1 + \frac{\Delta P}{P_c \cdot e} \right)}} \quad (12)$$

B 值與 A 值的關係式如下：

$$B=1.732 - 2.237\sqrt{A} \quad (13)$$

Lin and Chavas (2012)使用最大風速、科氏力、空氣密度與中心氣壓規劃出經驗式，如下所示：

$$B = \rho_a \left(\frac{V_{\max}^2 + f \cdot R_{mw} \cdot V_{\max}}{P_a - P_c} \right) \quad (14)$$

中央氣象局(CWB)所建議的公式計算 B 值經驗相關係數(蔡育霖, 2014)與近中心最大風速 V_{\max} 之平方成正比關係，並與環境壓力和颱風中心氣壓差值成反比，如下所示：

$$B = \frac{1}{P_a - P_c} \left(\frac{V_{\max}^2}{5.375^2} \right) \quad (15)$$

Willoughby et al. (2006)對 Holland (1980)的研究進行測試，發現考量單一颱風事件時，風速剖面的模擬結果與實際觀測結果誤差較大，因此必須修正。他們提出一套分區公式計算颱風梯度風速，如式(16)~(18)，與 Holland (1980)不同之處在於分區公式能改善原模式高估颱風眼牆至颱風中心的風速，及颱風眼牆外風速遞減過快的問題。

$$V(r)=V_i=V_{\max} \left(\frac{r}{R_{mw}} \right)^n \quad (0 \leq r \leq R_1) \quad (16)$$

$$V(r)=V_i(1-w)+V_0w \quad (R_1 \leq r \leq R_2) \quad (17)$$

$$V(r) = V_{\max} \exp\left(-\frac{r - R_{mw}}{x_1}\right) \quad (R_2 \leq r) \quad (18)$$

式中 V_{\max} 為最大風速， V_i 為颱風眼牆內的風速， n 為颱風眼指數，以式(17)計算。 V_0 為颱風眼牆外的風速， R_1 與 R_2 為最大風速半徑的過渡區， w 為加權係數，當 $r < R_1$ ， $w = 0$ ；當 $R_2 < r$ ， $w = 1$ ；當 $R_1 < r < R_2$ ， w 值如式(21)。作者建議過渡區大小為10~25 km， x_1 為外圍環流的衰減長度，如式(22)。 R_{mw} 為最大風速半徑，如式(23)， R_1 使用式(24)求得。

$$V_{\max} = 2.16\sqrt{Z_e - Z_c} \quad (19)$$

$$n = 0.431 + 0.136V_{\max} - 0.006LA_t \quad (20)$$

$$w(\xi) = 126\xi^5 - 420\xi^6 + 540\xi^7 - 315\xi^8 + 70\xi^9 \quad (21)$$

$$x_1 = 270.5 - 4.78V_{\max} + 6.176LA_t \quad (22)$$

$$R_{mw} = 46.4 \exp(-0.0155V_{\max} + 0.0169LA_t) \quad (23)$$

$$w \left(\frac{R_{\max} - R_1}{R_2 - R_1} \right) = \frac{\frac{\partial V_i}{\partial r}}{\frac{\partial V_i}{\partial r} - \frac{\partial V_0}{\partial r}} = \frac{nx_1}{nx_1 + R_{mw}} \quad (24)$$

式中 $Z_e - Z_c$ 為颱風外圍與颱風中心的等壓面高度差，單位 km。 ξ 為無因次化距離：

$$\xi = \frac{r - R_1}{R_2 - R_1} \quad (25)$$

Ou et al. (2002) 提出：颱風在移動的過程中，颱風的風向與暴風半徑之切線方向有所偏離，如圖 2 所示，他們建議偏離角可設為定值 25° 。國外也有學者對風向角有所研究，Phadke et al. (2003) 認為實際的風向角與暴風半徑切線方向之偏角與距離颱風中心位置之遠近有關，如下式，其值介於 $10^\circ \sim 25^\circ$ 之間。

$$\beta = 10^\circ \left(1 + \frac{r}{R_{mw}} \right) \quad 0 \leq r < R_{mw} \quad (26)$$

$$\beta = 20^\circ + 25^\circ \left(\frac{r}{R_{mw}} - 1 \right) \quad R_{mw} \leq r < 1.2R_{mw} \quad (27)$$

$$\beta = 25^\circ \quad \geq 1.2R_{mw} \quad (28)$$

MacAfee et al. (2006) 則考量到實際颶風的非對稱性現象，提出了結合梯度風速、颶風移動速度之切向角模式來計算真實的颶風風速：

$$V_{gpt}(r) = \sqrt{\left(-V_g \cos \theta_r \right)^2 + \left(V_g \sin \theta_r + \frac{V_c \cdot r \cdot R_{mw}}{R_{mw}^2 + r^2} \right)^2} \quad (29)$$

式中 V_g 為梯度風速， θ 為風速的切向角度， V_c 為颶風移動速度。

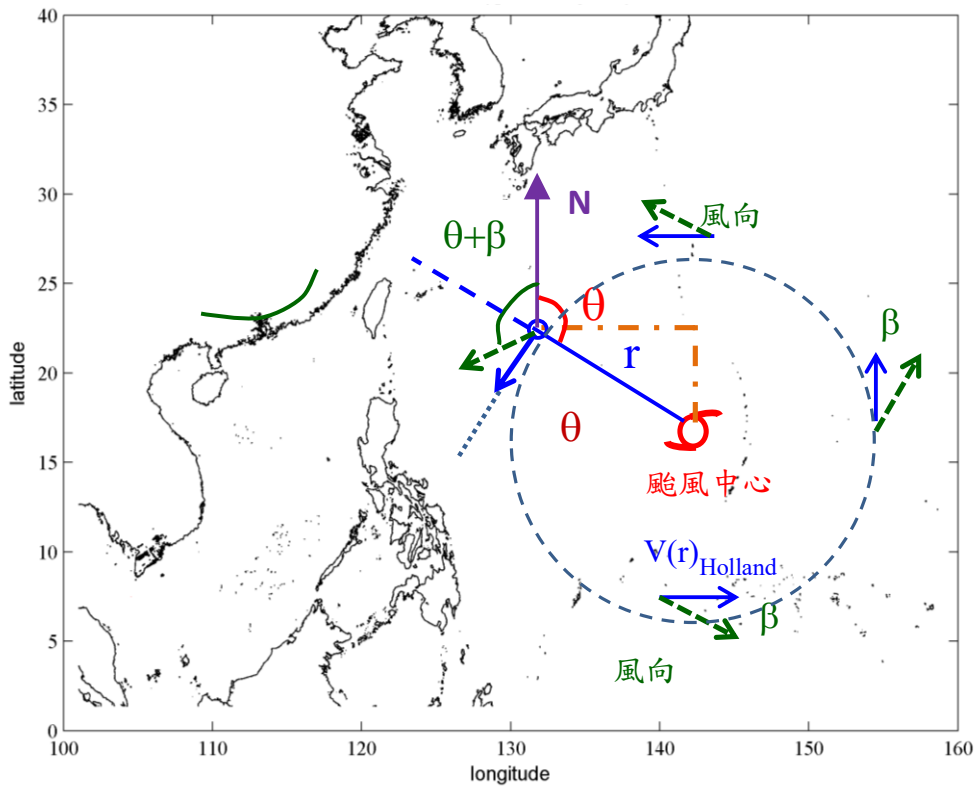


圖 2 颱風風速的風向角示意圖(綠色箭頭為模擬之風向角)

資料來源：本研究整理

Jelesnianski et al. (1992) 為美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 建立 Slosh Model 模擬風暴潮，其風場模式為：

$$V(r) = 2V_{\max} \frac{R_{mw} r}{(R_{mw}^2 + r^2)} \quad (30)$$

Phadke et al. (2003) 建議使用 Rankine 渦流來預測颶風在半徑方向上的風速分佈：

$$V = \begin{cases} V_{\max} \left(\frac{R}{R_{mw}} \right)^B, & R < R_{mw} \\ V_{\max} \left(\frac{R_{mw}}{R} \right)^B, & R > R_{mw} \end{cases} \quad (31)$$

式中 B 值介於 0.4 至 0.6 之間，而 Phadke et al. (2003) 使用 B = 0.5。

以上的研究針對颱風風場的計算，至於颱風路徑模式的研究有 Vickery (2000) 和 Yin et al. (2009)，不同的研究所使用的迴歸方程式略有不同。Vickery et al. (2000) 針對

美國颶風風險模式提出新的理念，以往颶風模擬生成至消散，所使用的參數為經度、緯度、中心氣壓、移動速度與移動方位角，作者認為海平面溫度為颶風生成模式重要的參數，並且進行模擬也有不錯的結果。

$$\Delta V_{c,t} = a_0 + a_1 V_{c,t-1} + a_2 \theta_{c,t-1} + a_3 LA_{t-1} + a_4 LO_{t-1} + \varepsilon_v \quad (32)$$

$$\ln(P_{c,t}) = b_0 + b_1 \ln(P_{c,t-1}) + b_2 \ln(P_{c,t-2}) + b_3 \ln(P_{c,t-3}) + b_4 T_{s,t} + b_5 (T_{s,t} - T_{s,t-1}) + \varepsilon_p \quad (33)$$

$$\theta_t = c_0 + c_1 \theta_{t-1} + c_2 V_{c,t-1} + c_3 LA_{t-1} + c_4 LO_{t-1} + \varepsilon_\theta \quad (34)$$

式中 $V_{c,t}$ 、 $\Delta P_{c,t}$ 和 θ_t 為颶風在時間 t 的移動速度、中心氣壓差和移動方向，下標 $t-1$ 、 $t-2$ 與 $t-2$ 分別代表前一個時間、前兩個時間步與前三個時間步， LA 與 LO 為緯度與經度， $a_0 \sim a_4$ 、 $b_0 \sim b_4$ 和 $c_0 \sim c_4$ 為迴歸之經驗係數， ε_v 、 ε_p 、 ε_θ 為移動速度、中心氣壓差和移動方向的迴歸殘差， T_s 為海平面溫度，但文中並未說明如何計算 T_s 。

Yin et al. (2009)研究西太平洋的颶風歷史資料，利用迴歸分析颶風移動速度、中心氣壓和移動方向與其經緯度之關係，建議颶風的中心氣壓、移動方向與移動速度可以前兩個時間步之資料和經緯度來推估，如下所示。

$$V_{c,t} = a_0 + a_1 V_{c,t-1} + a_2 V_{c,t-2} + a_3 LA_{t-1} + a_4 LO_{t-1} + \varepsilon_v \quad (35)$$

$$\Delta P_{c,t} = b_0 + b_1 \Delta P_{c,t-1} + b_2 \Delta P_{c,t-2} + b_3 LA_{t-1} + b_4 LO_{t-1} + \varepsilon_p \quad (36)$$

$$\theta_t = c_0 + c_1 \theta_{t-1} + c_2 \theta_{t-2} + c_3 LA_{t-1} + c_4 LO_{t-1} + \varepsilon_\theta \quad (37)$$

式中 $V_{c,t}$ 、 $\Delta P_{c,t}$ 和 θ_t 為颶風在時間 t 的移動速度、中心氣壓差和移動方位角，下標 $t-1$ 、 $t-2$ 分別代表前一個時間和前兩個時間步， LA 與 LO 為緯度與經度， $a_0 \sim a_4$ 、 $b_0 \sim b_4$ 和 $c_0 \sim c_4$ 為迴歸之經驗係數， ε_v 、 ε_p 、 ε_θ 為移動速度、中心氣壓差和移動方向的迴歸殘差。

蔡孝忠等(2011)結合中央氣象局之大氣模式所預測颶風的路徑及蒙地卡羅模式來推估颶風偏離預測路徑之差值，結果顯示：預測時間12小時所預測之颶風中心的經緯度與實際路徑的平均誤差為12公里，但當模擬時間為72小時，平均誤差高達87公里。他們推估：造成誤差的原因可能為大氣模式計算時間長和邊界條件改變，造成路徑失準，以及在使用蒙地卡羅方法的殘差迴歸分析中，所考慮的因子不夠完善。

此外，颱風登陸後，受地形影響，中心氣壓差與風速皆會有所衰減，如圖 3 所示。Vickery et al. (2005) 模擬颶風登陸時，中心氣壓差改變的衰減模式，如下式：

$$\Delta P_c(t) = \Delta P_{co} \exp(-\alpha t) \quad (38)$$

式中 α 為衰減係數， ΔP_{co} 為登陸前一時刻颶風中心氣壓差。他們根據不同地區海岸線登陸的颶風做迴歸分析，發現在颶風登陸的第一個時間步開始有關鍵的作用，他們整理出三種不同衰減係數之模式：

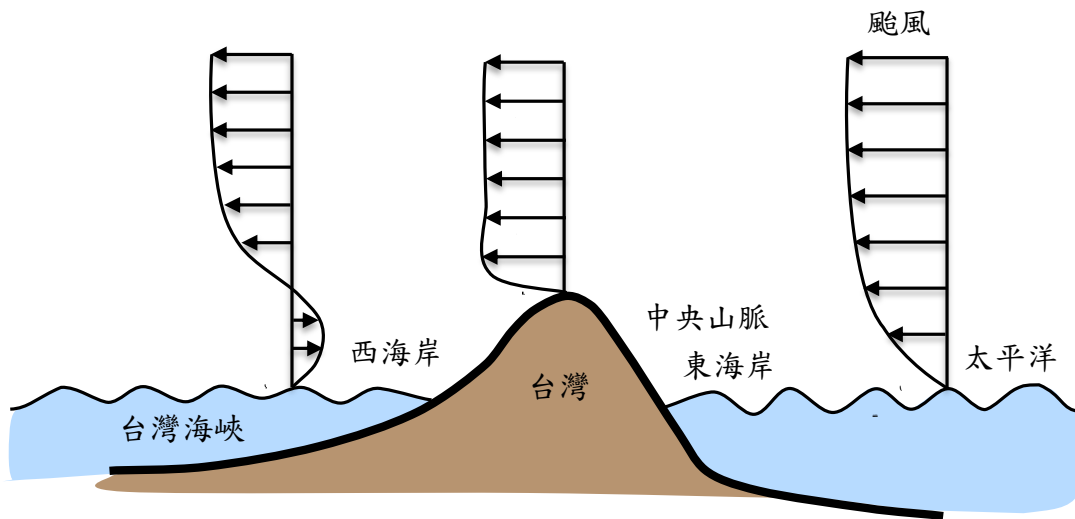


圖 3 颱風經過中央山脈示意圖

資料來源：本研究繪製

$$\alpha = a_0 + a_1 \Delta P_{co} + \varepsilon \quad (39)$$

$$\alpha = a_0 + a_1 \left(\frac{\Delta P_{co}}{R_{mw}} \right) + \varepsilon \quad (40)$$

$$\alpha = a_0 + a_1 \left(\frac{\Delta P_{co} V_c}{R_{mw}} \right) + \varepsilon \quad (41)$$

式中 a_0 、 a_1 為迴歸係數， P_{co} 為登陸的前一時刻颶風中心氣壓差， ε 為迴歸殘差(Residual)。

宋柏勳(2017)根據 Hall et al. (2007)的方式將西太平洋颱風生成位置北緯 $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 與東經 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ，經緯度 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 分成一小區間。再使用 Yin et al. (2009)的方式，模擬颱風路徑和侵襲朝鮮半島的颱風，他將登陸南韓的颱風分為 6 塊區塊並依據不同海岸線登陸做迴歸分析：

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta P_o + \alpha_2 LA_t + \alpha_3 LO_t + \varepsilon_\alpha \quad (42)$$

式中 $\alpha_0 \sim \alpha_3$ 為迴歸係數， ε_α 為殘差，整理出 6 個衰減係數 α 。並且使用二維的高斯核平滑(Gaussian Kernel Smoother)的機率建立颱風消散模式。但其研究結果顯示，颱風登陸後風速有高估的情況，並且歷史資料中並無觀測站的高度，在驗證時有些許問題。

Huang and Xu (2012)考慮颱風中心壓力和溫度隨高度之變化，利用理想氣體的狀態方程和動量方程式：

$$\theta = T \left(\frac{P_o}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (43)$$

$$P = \rho RT \quad (44)$$

$$J\Delta T = C_v \Delta T + P\Delta\alpha \quad (45)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (46)$$

式中 θ 為位溫(potential temperature)，單位為 K， J 為絕對熱源，單位為 J， C_v 為定容比熱， C_p 為定壓比熱，單位為 J/(kg·K)， $R = 287 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ 為空氣的氣體常數， P_o 為海平面($z = 0$)大氣壓力， z 為距離海平面高度， g 為重力加速度。經過整理後可得下式：

$$\frac{\partial \Pi}{\partial z} = -\frac{g}{\theta} \quad (47)$$

$$\Pi = C_p \left(\frac{P_o}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad (48)$$

上式又稱為艾克納函數(Exner function)。由邊界條件 $z = 0$ 時， $P = P_o$ 帶入上式，可得大氣壓力 P 隨著高度變化的表示式：

$$P(z) = P_o \left(1 - \frac{gz}{\theta C_p} \right)^{R/C_p} \quad (49)$$

Holland (1980)建議之颱風氣壓隨半徑方向的變化式：

$$P_o(r) = \left\{ P_{c0} + \Delta P_{c0} \exp \left[- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right] \right\} \quad (50)$$

將上式之颱風氣壓分佈帶入式(46)，最後可得氣壓隨著不同高度下的改變式：

$$P(r,z) = \left\{ P_{c0} + \Delta P_{c0} \exp \left[- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right] \right\} \left(1 - \frac{gz}{\theta C_p} \right)^{R/C_p} \quad (51)$$

再由(48)式可計算得距離颱風中心r公尺處的風速V(r)：

$$V(r,z) = \left\{ - \frac{\Delta P_c}{\rho_a} \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B B \exp \left[- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right] \left(1 - \frac{gz}{\theta C_p} \right)^{R/C_p} + \frac{r^2 f^2}{4} \right\}^{1/2} - \frac{rf}{2} \quad (52)$$

第二章 颱風模式

颱風蒙地卡羅模式包括颱風生成模式、颱風路徑模式、颱風風場模式及邊界層流模式。颱風生成模式依據歷史資料模擬由熱帶低氣壓轉為颱風的生成位置(經度、緯度)與初始的中心氣壓；颱風路徑模式以歷史颱風資料建立模擬颱風移動速度、移動方向與中心氣壓之經驗式，並推算颱風路徑；颱風風場模式利用颱風中心氣壓、最大風速半徑與颱風中心位置計算出半徑範圍內的風速；而邊界層模式則計算不同高度的風速，模式預測結果並與侵台颱風之歷史資料比對，其計算流程如圖4所示。

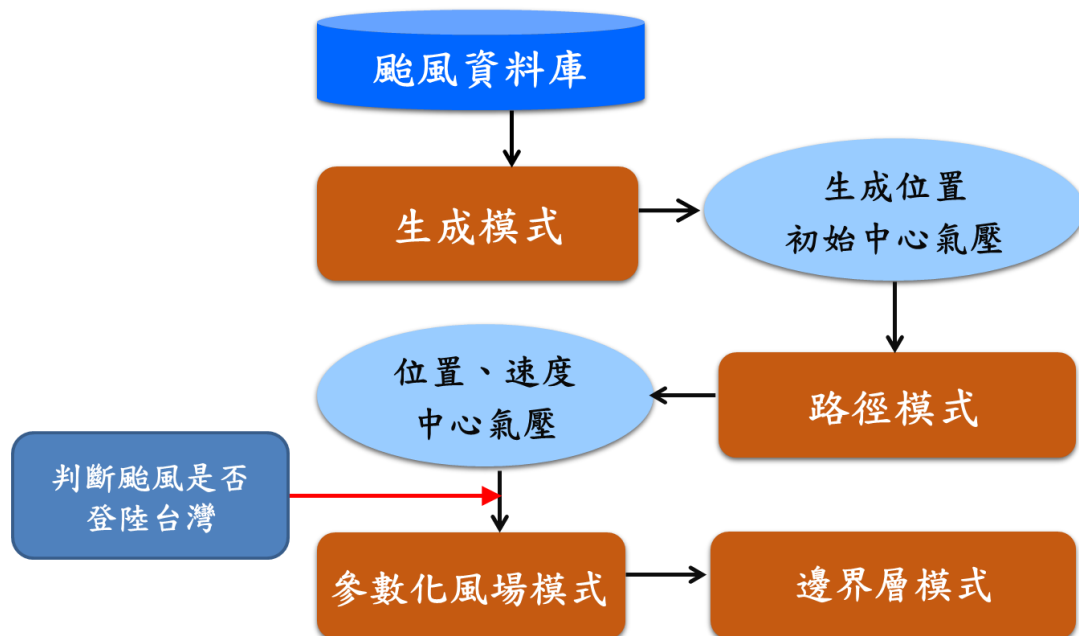


圖 4 颱風蒙地卡羅模式之計算流程圖

資料來源：本研究整理

第一節 颱風資料庫

西北太平洋區域之歷史颱風資料來源分別為美軍聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)、日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)的區域專業氣象中心(RSMC, Regional Specialized Meteorological Center)。美軍聯合颱風警報中心提供資料有每六小時一筆的颱風中心經度、緯度、最大持續風速、颱風中心氣壓與最大風速半徑等；日本氣象廳(JMA)所提供的資料有每六小時一筆的颱風中心經度、緯度、

最大持續風速、颱風中心氣壓、七級風半徑與十級風半徑。而台灣中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)所提供的颱風資料庫僅針對有發佈台灣海上陸上颱風警報之颱風，提供資料包括：颱風中心經度、緯度，最大持續風速，颱風中心氣壓、七級風半徑與十級風半徑，如表1所示。本研究為了模擬完整的西北太平洋颱風，使用1970~2016年聯合颱風警報中心資料，並根據前人研究颱風的基礎下，建立適用於台灣的颱風模式，模式包含，颱風生成模式、颱風路徑模式、參數化颱風風場模式和邊界層模式。

表 1. 不同氣象單位提供之颱風資料

	JTWC	JMA	CWB
經度、緯度	√	√	√
中心氣壓 P_c	√	√	√
最大持續風速 V_{max}	√	√	√
最大風速半徑 R_{mw}	√	-	-
七級風半徑	-	√	√
十級風半徑	-	√	√

資料來源：本研究整理

第二節 颱風生成模式

颱風的生成位置必須考慮空間分佈，而根據美軍聯合颱風警報中心(JTWC)的資料顯示：西北太平洋在1970~2016年間，共生成1323場颱風。本研究使用兩種方法：第一種方法為將西太平洋由經度100~180度，緯度0~40度的範圍，經度每5°和緯度每5°區分為一個格網，如圖5(a)所示。

本研究先統計歷史颱風記錄在各個網格內的數量，生成模式再按照其分佈數量在每一個網格之內使用均勻亂數來模擬颱風初始位置，共生成13230場颱風，如圖6(a)所示；第二種方法則為將西太平洋由經度100~180度的範圍，經度每10°區分為一個區間。統計歷史颱風在緯度上的發生機率，接近伽瑪機率函數(Gamma distribution)，如圖5(c)所示。於是生成模式便按照其分佈數量在經度10°的區間內，緯度上使用伽瑪分佈亂數，經度上使用均勻分佈亂數來模擬颱風初始位置，共生成13230場颱風，如圖6(b)所示。

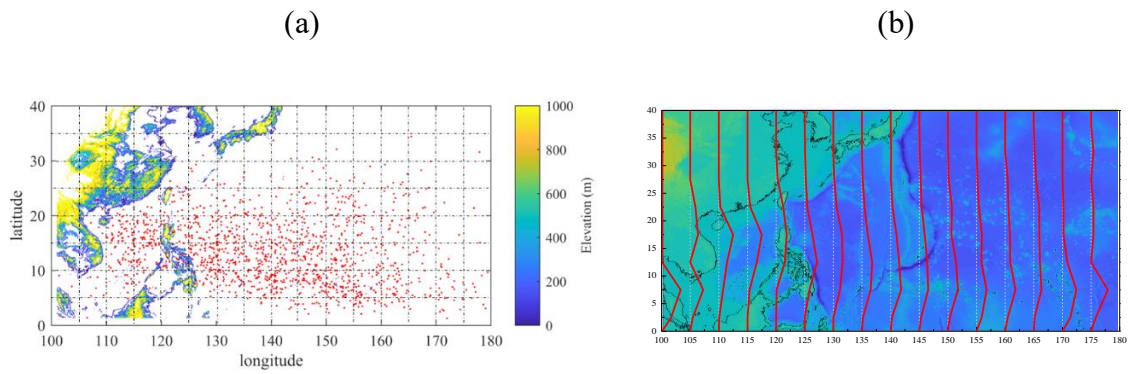
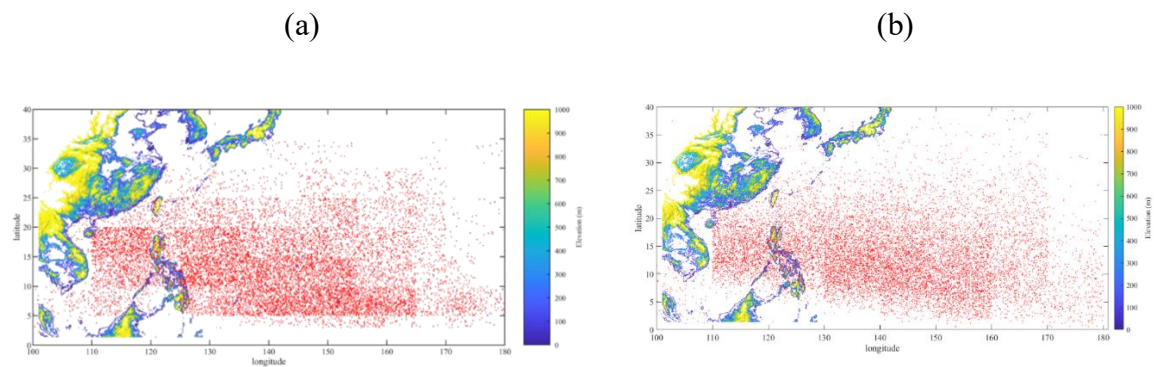


圖 5 西北太平洋歷史颱風(N = 1323)

(a) 初始位置之分佈；(b)以緯度劃分初始位置之分佈

資料來源：本研究整理

聯合颱風警報中心(JTWC)的歷史颱風資料庫從2003年開始才有颱風中心氣壓資料(有437場)，初始中心氣壓介於956 ~ 1010 hPa之間，平均值1006.0 hPa，標準差4.07 hPa，其機率分佈如圖7所示。

圖 6 模擬颱風的生成位置(a)經緯度 5×5 均勻亂數所模擬出之位置(N = 13230)；(b) 經度10內緯度以伽瑪機率分佈所模擬出之位置(N = 13230)

資料來源：本研究整理

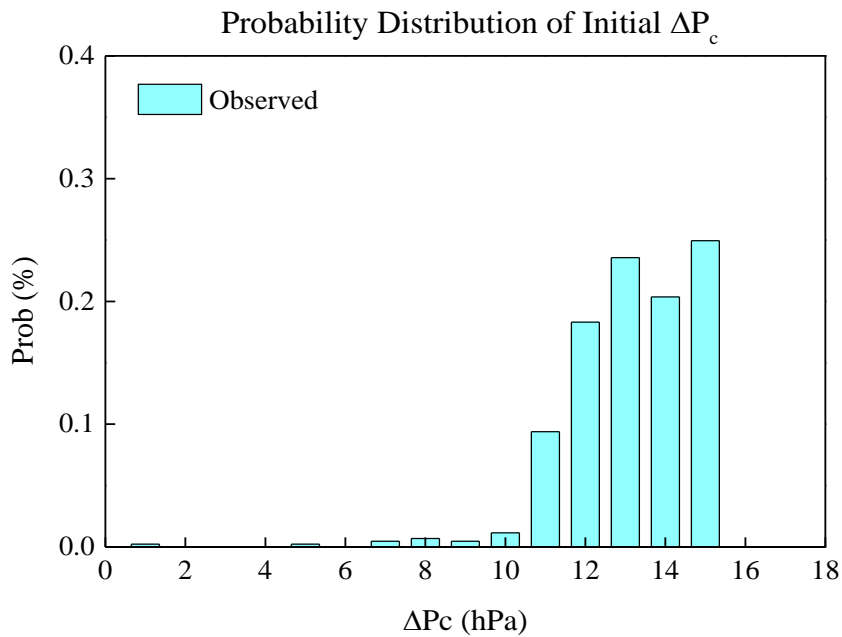


圖 7 歷史颱風(2003~2016)初始位置中心氣壓差之機率分佈

資料來源：本研究整理

第三節 颱風路徑模式

本研究分析美國聯合颱風警報中心所記錄的1970~2016年颱風歷史資料，擷取其生成位置的經緯度、中心氣壓、移動速度、方向等資料，統計分析這些參數的平均值、標準差和相關係數。在歷史資料中並無颱風移動速度與颱風移動方位角的資料，於是使用大圓方法(Great-circle distance)計算颱風移動距離，利用計算出每一時間步颱風的移動距離d，再間接算出颱風移動速度，如下式：

$$d = 2R \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{LA_t - LA_{t-1}}{2} \right) + \cos(LA_{t-1}) \cdot \cos(LA_t) \sin^2 \left(\frac{LO_t - LO_{t-1}}{2} \right)} \right) \quad (53)$$

移動距離的單位為公里(km)；地球半徑 $R = 6371 \text{ km}$ ； LA 與 LO 為緯度與經度；下標 t 、 $t-1$ 分別代表此刻時間步和前一個時間步。移動方位角方位角(以正北為 0 順時針之角度)：

$$\cos \theta = \cos(LA_{t-1} - LA_t) \cos(LO_{t-1} - LO_t) + \sin(LA_{t-1} - LA_t) \sin(LO_{t-1} - LO_t) \quad (54)$$

本研究使用Yin et al. (2009)的方式，由颱風中心的經緯度計算颱風的移動速度、

中心氣壓差和移動方向的變化：

$$V_{c,t} = a_0 + a_1 V_{c,t-1} + a_2 V_{c,t-2} + a_3 LA_{t-1} + a_4 LO_{t-1} + \varepsilon_v \quad (55)$$

$$\Delta P_{c,t} = b_0 + b_1 \Delta P_{c,t-1} + b_2 \Delta P_{c,t-2} + b_3 LA_{t-1} + b_4 LO_{t-1} + \varepsilon_p \quad (56)$$

$$\theta_t = c_0 + c_1 \theta_{t-1} + c_2 \theta_{t-2} + c_3 LA_{t-1} + c_4 LO_{t-1} + \varepsilon_\theta \quad (57)$$

式中 $V_{c,t}$ 、 $\Delta P_{c,t}$ 和 θ_t 為颱風在時間 t 的移動速度、中心氣壓差和移動方向， $t-1$ 、 $t-2$ 分別代表前一個時間和前兩個時間步， LA 與 LO 為緯度與經度， $a_0 \sim a_4$ 、 $b_0 \sim b_4$ 和 $c_0 \sim c_4$ 為迴歸之經驗係數， ε_v 、 ε_p 、 ε_θ 為移動速度、中心氣壓差和移動方向的迴歸殘差。

圖8(a)為1323場歷史颱風(共11,797筆資料)的中心氣壓差的發生機率，其值介於2~163 hPa之間，平均值37.96 hPa，標準差25.51hPa，其機率分佈如藍色柱狀圖所示。圖9(a)為歷史颱風的移動方位角，介於0~358之間，平均值233.59，標準差58.08，其機率分佈如藍色柱狀圖所示。圖10(a)為歷史颱風的移動速度之分佈，介於1.45~57.11 km/hr之間，平均值17.5 km/hr，標準差9.2 km/hr，其機率分佈如藍色柱狀圖所示，接近高斯機率函數。圖8(b)~圖10(b)比較歷史觀測與模擬之颱風移動速度、氣壓差、移動方位角的發生機率，式(56)~(58)計算得之殘差十分接近高斯機率分佈曲線，亦即殘差可以高斯分佈之亂數來模擬。

本研究設定每個時間步 $\Delta t = 6$ hr，模擬時間長度 $T = 240$ hr。經由迴歸經驗式所得到颱風移動速度和方位角，便可推算下一個時間步颱風中心的經度與緯度：

$$LA_t = \sin^{-1} \left[\sin(LA_{t-1}) \cos\left(\frac{d}{R}\right) + \cos(LA_{t-1}) \cos(\theta_t) \sin\left(\frac{d}{R}\right) \right] \quad (58)$$

$$LO_t = LO_{t-1} + \tan^{-1} \left(\frac{\cos(LA_{t-1}) \sin(\theta_t) \sin\left(\frac{d}{R}\right)}{\cos\left(\frac{d}{R}\right) - \sin(LA_{t-1}) \sin(LA_t)} \right) \quad (59)$$

重覆上式(55)~(59)至颱風中心氣壓高於990 hPa及距離台灣200 km為止。當颱風中心氣壓 $P_c > 990$ hPa時，表示颱風已轉變為熱帶型低氣壓，不再屬於颱風，模式便儲存其資料，再去模擬下一場颱風。

本研究定義當颱風中心距離台灣本島極北、極南、極東、極西四個點中任意一點

在200公里之內，即為颱風侵襲台灣，如圖11所示。而本研究進一步對侵台的颱風路徑進行分類，中央氣象局則將颱風侵台路徑分為九類，如圖12所示。而本研究將侵台颱風路徑共分七大類，本研究將台灣的極北點(25.3°N)以北、緯度24.2°N、緯度23.0°N和極南點(21.9°N)由北到南分為五大區域，再以中央山脈的經度(121.0°E)為基準分成左右兩大區域，如圖13所示。當颱風侵台前一個時間步及侵台當時的位置都在某個區域之內，其路徑即屬於此類，如果皆不屬於以上分類，便判定為其他類。因本研究之第六與七類路徑與中央氣象局第六~九類路徑定義略有不同，故本研究之其他類百分比不同於中央氣象局的其他類。

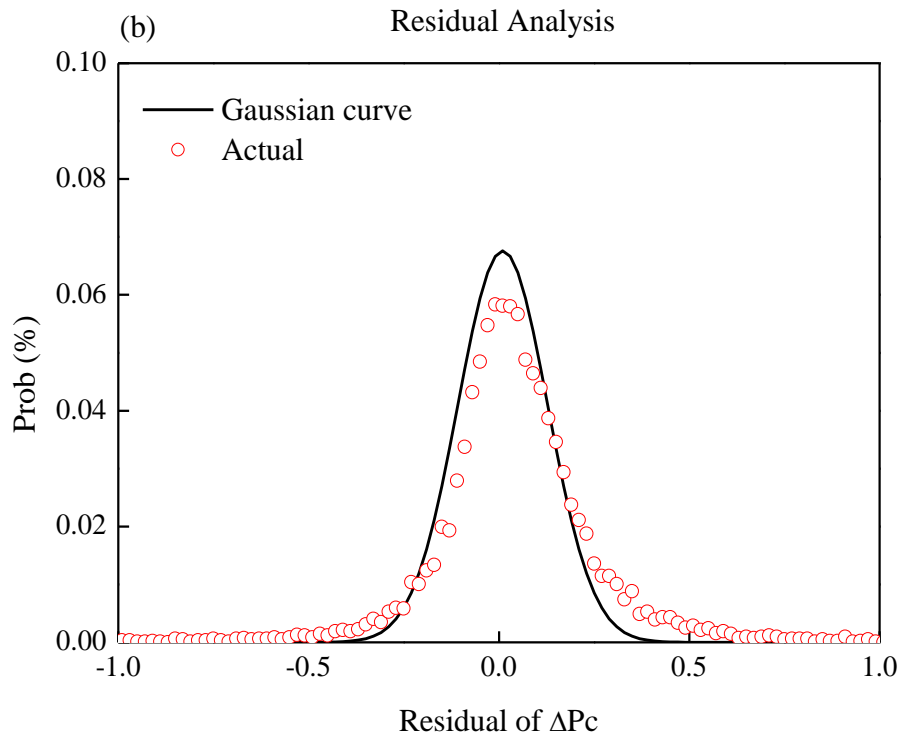
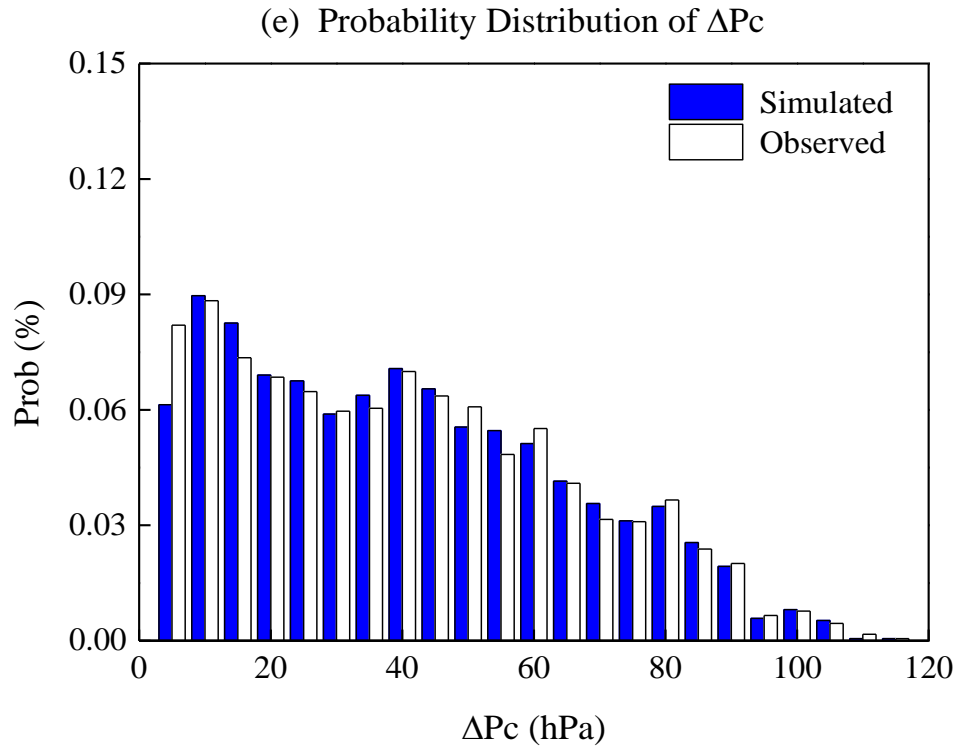


圖 8. 歷史颱風所有時間之中心氣壓差(a)機率分佈；(b)預測殘差之分佈

資料來源：本研究整理

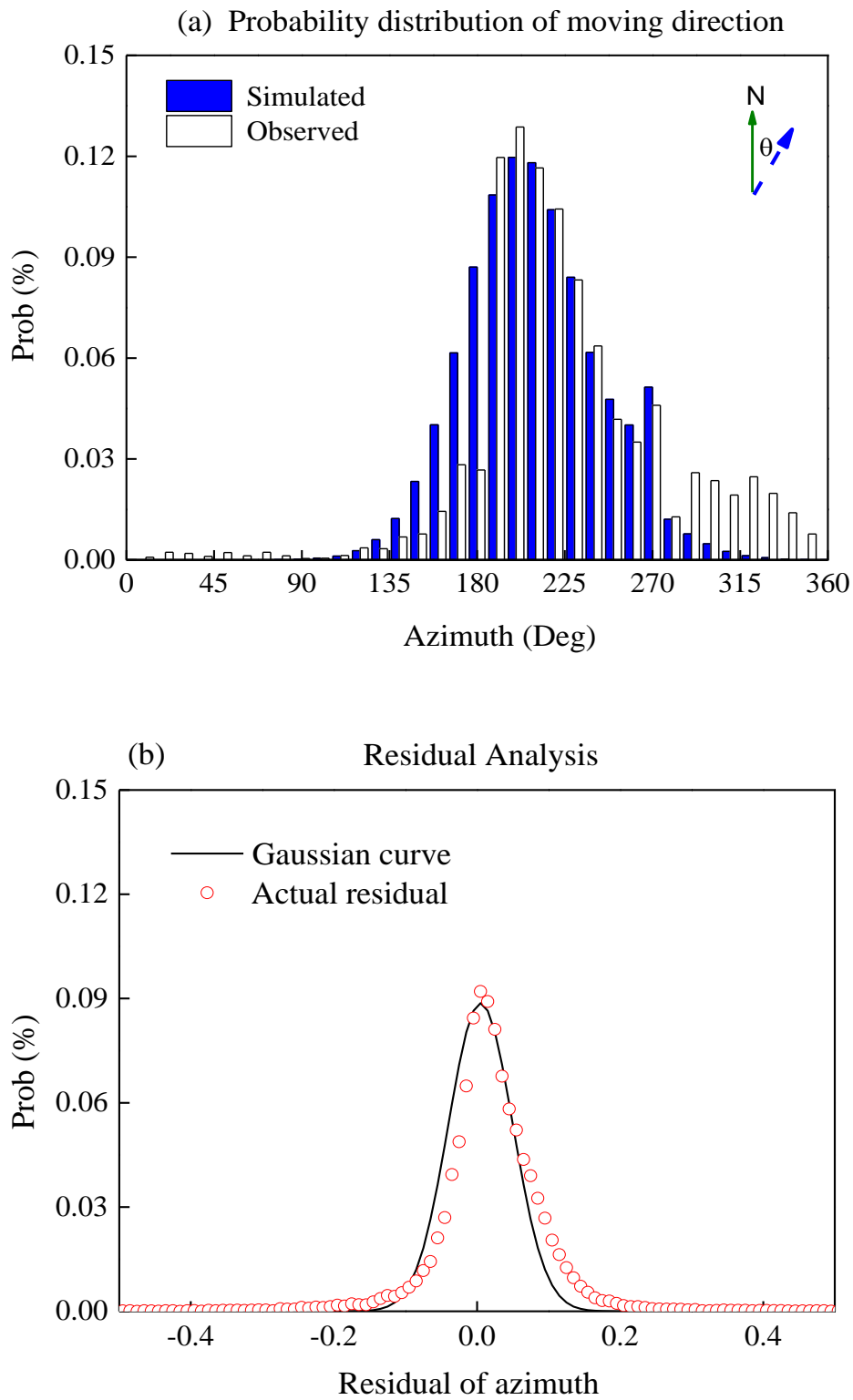


圖 9. 歷史颱風移動方位角(以正北為 0 順時針之角度) (a)機率分佈；(b)預測殘差之分佈

資料來源：本研究整理

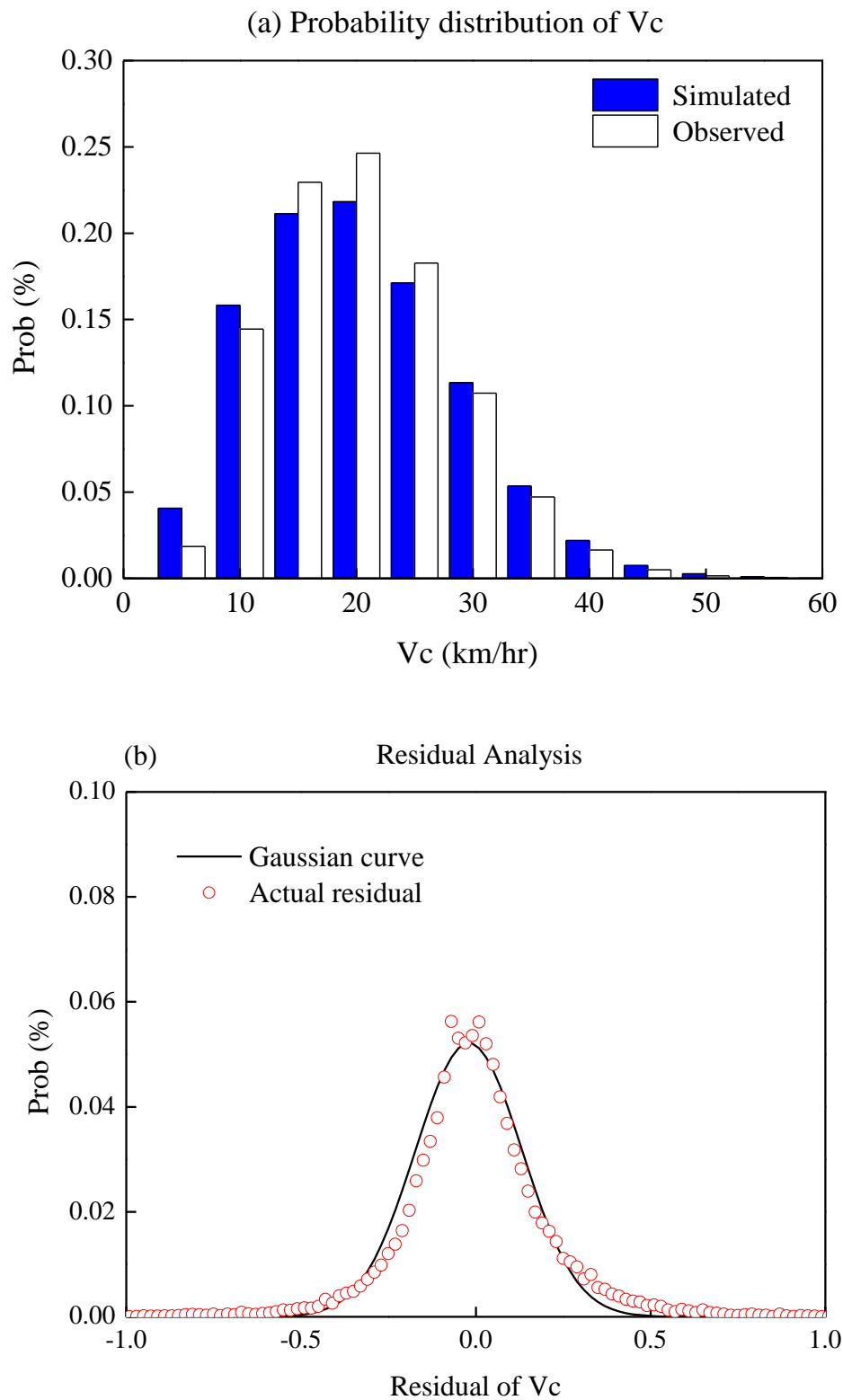


圖 10. 歷史颱風移動速度(a)機率分佈；(b)預測殘差之分佈

資料來源：本研究整理



圖 11. 颱風中心距離台灣的定義

資料來源：圖片來自 google map

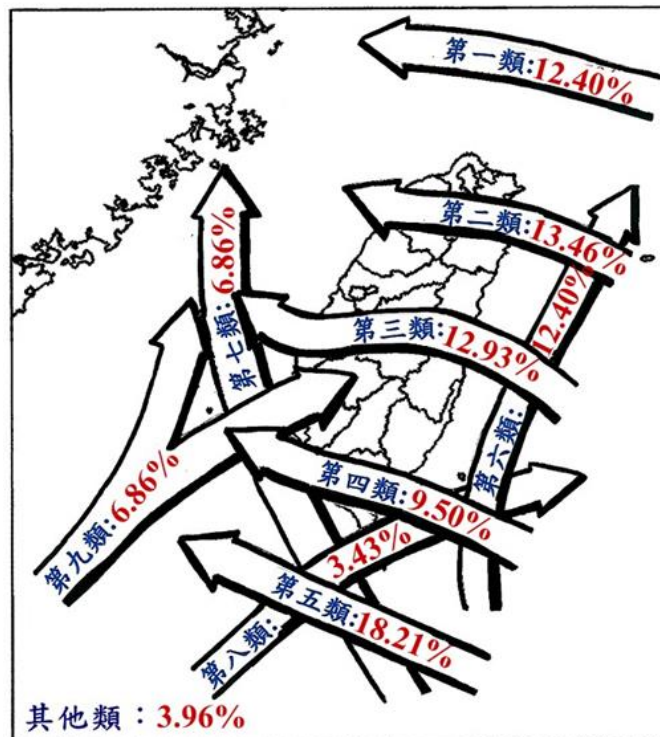


圖 12. 中央氣象局的颱風路徑分類

資料來源：中央氣象局

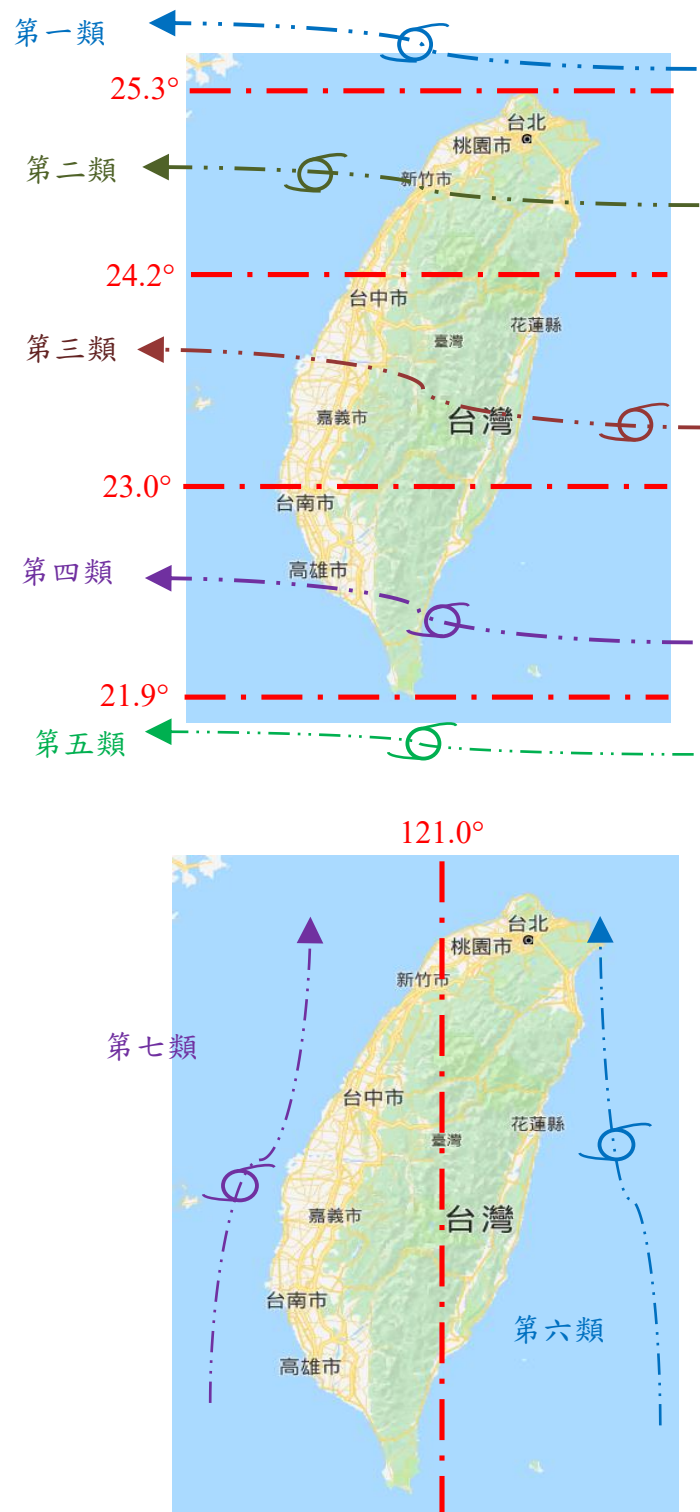


圖 13 本研究採用之侵台路徑分類(圖片來自 google map)

資料來源：本研究整理

第四節 參數化風場模式

本研究定義當颱風中心距離台灣本島極北、極南、極東、極西四個點中任意一點在200公里之內，即為颱風侵襲台灣。當颱風接近台灣時，便計算颱風風場。模擬流程為先將蒙地卡羅路徑模式計算得之颱風中心經度、緯度與氣壓差輸入至Holland參數化風場模式中，如下式：

$$V(r) = \left[B \frac{P_a - P_c}{\rho_a} \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \exp \left(- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right) + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{1/2} - \frac{rf}{2} \quad (60)$$

式中 $V(r)$ 為距離颶風中心 r 公尺處的風速，單位為 m/s ； P_c 為近海平面高度處的中心氣壓； P_a 為近海平面高度處的外圍氣壓，單位為 Pa ； R_{mw} 為最大風速半徑，單位為 m ； B 為尺度參數， ρ_a 為空氣密度，單位為 kg/m^3 ， f 為柯氏力(Coriolis)係數，單位為 s^{-1} ：

$$f = 2\Omega \sin(LA) \quad (61)$$

式中 $\Omega = 7.292 \times 10^{-5} s^{-1}$ 為地球自轉速度， LA 為颱風中心的緯度。

JWTC 資料並未提供颱風的尺度參數 B 值，本研究使用 Holland 模式回推 B 值，利用 JTWC 資料收集的 59 場侵台颱風的 258 筆 $P(r)$ 、 P_c 、 R_{mw} 、 r 資料，設定 $P_a = 1013$ hPa 如下式：

$$\frac{P(r) - P_c}{P_a - P_c} = \exp \left[- \left(\frac{R_{mw}}{r} \right)^B \right] \quad (62)$$

$$B = \ln \left\{ - \ln \left[\frac{P(r) - P_c}{P_a - P_c} \right] \right\} / \ln \left(\frac{R_{mw}}{r} \right) \quad (63)$$

式中 $P(r)$ 為在距離颱風半徑 r 時之中心氣壓， P_c 為颱風中心氣壓， R_{mw} 為最大風速半徑，單位為公里(km)。由上式所推得 B 值介於0.04~1.98，平均值為0.72，標準差為0.24，小於前人建議 B 值範圍1.0~2.5。

本研究參考前人做法，利用 JTWC 資料收集的 59 場侵台颱風的 258 筆資料迴歸求得尺度參數 B 之經驗模式：

$$B = 0.746 - 0.0091LA + 0.0116\Delta P_c + 0.0175R_{mw} \quad (64)$$

式中 LA 為颱風中心緯度； ΔP_c 為海平面處的中心氣壓差，單位為hPa； R_{mw} 為最大風速半徑，單位為公里(km)。由上式所推得最大的 B 值值介於1.33~2.86，平均值為1.9，標

準差為0.29。圖14(a)為比較前人研究(式(9)~(11))與式(64)推得之B值分布圖，式(63)計算得之B值小於式(64)之B值，而本研究提出的式(64)之B值與前人研究較為相近；圖15(b)為式(63)與式(64)的比較圖。

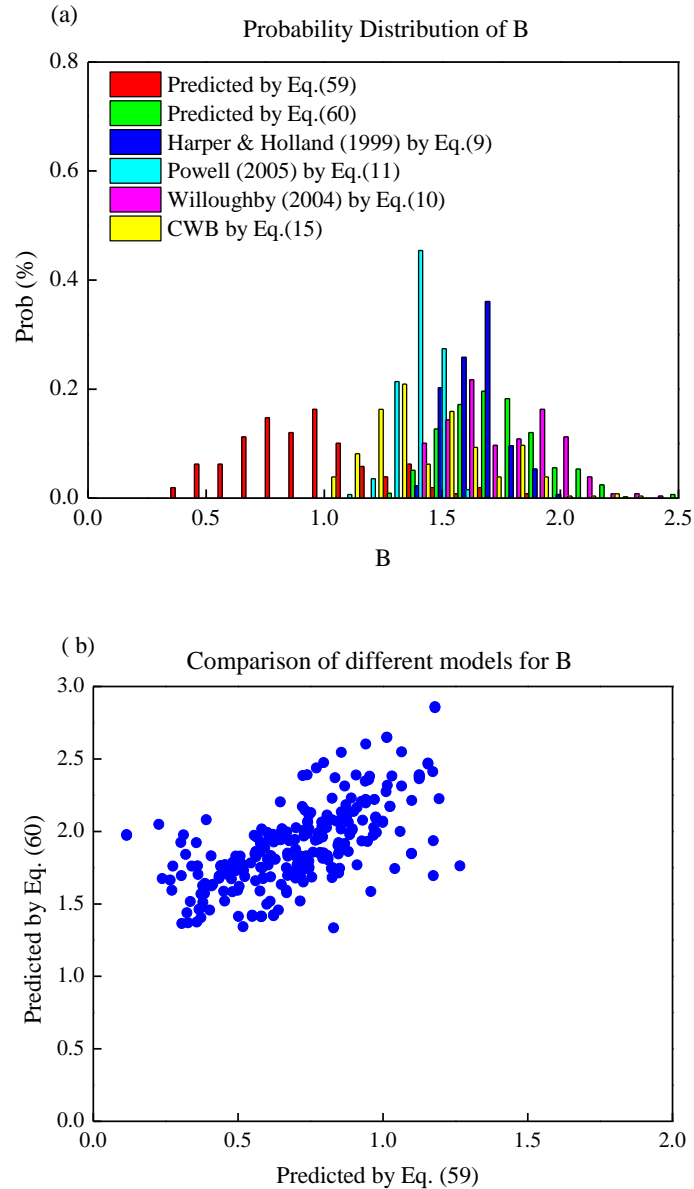


圖 14 比較前人與本研究之B值(a)發生機率分佈；(b)本研究模式所得B值比較

資料來源：本研究整理

本研究利用2016年9月27日12時梅姬颱風登陸台灣時的觀測資料(緯度 $LA = 23.7^\circ$ ，經度 $LO = 122.4^\circ$ ， $P_c = 940$ hPa， $V_{max} = 45$ m/s， $R_{mw} = 18.52$ km)計算其風速分佈，並與前人建議之預測公式之B值比較其風速分佈，顯示於圖15(a)。圖15(b)為2013年7月13

日蘇力颱風登陸台灣時(緯度 $LA=24.8^\circ$ ，經度 $LO=122.4^\circ$ ， $P_c=945\text{ hPa}$ ， $V_{\max}=45\text{ m/s}$ ， $R_{\text{mw}}=37.04\text{ km}$)的風速分佈，由此二圖可看出式(60)式所預測之最大風速 V_{\max} 十分接近Harper & Holland (1999)、Powell et al. (2005)和Vickery et al. (2009)之風速分佈。中央氣象局(CWB)和Lin & Chavas (2012)所建議的B值公式會導致最大風速 V_{\max} 偏小，故本研究採用(60)式計算B值。

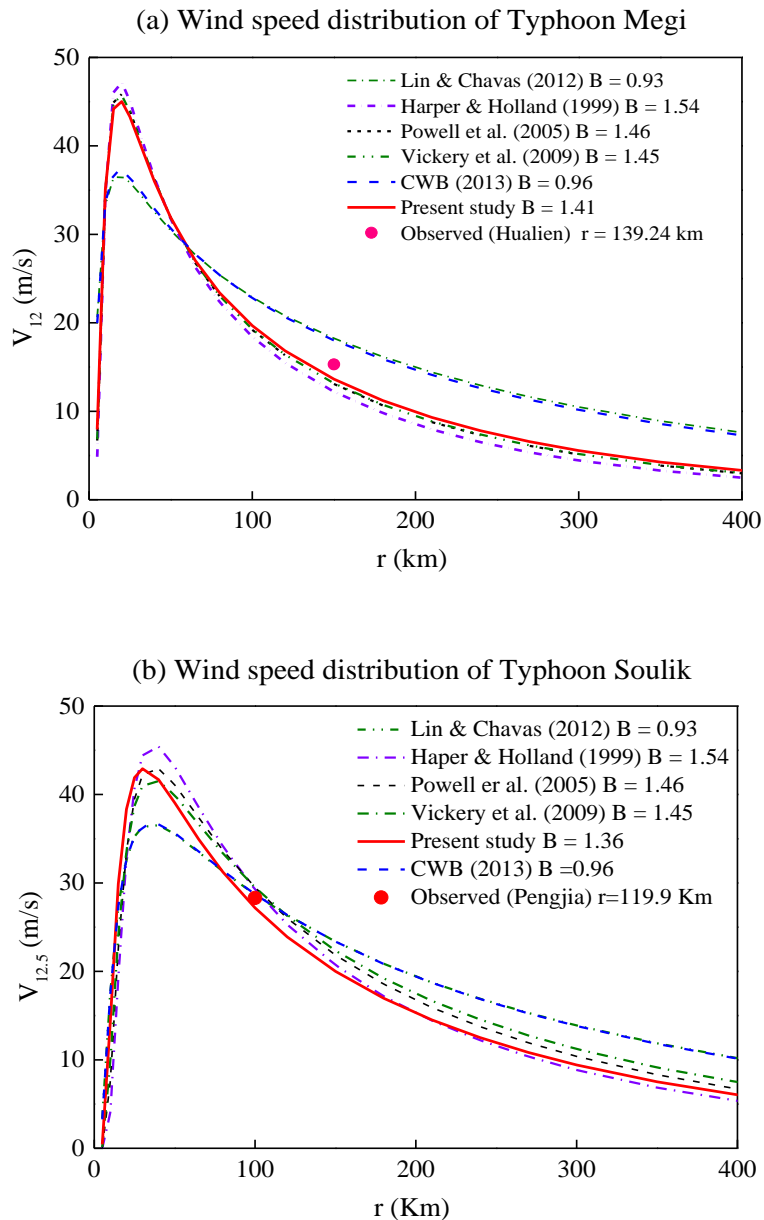


圖 15 B值對風速分佈之影響(a)梅姬颱風(2016年9月27日)之風場($R_{\text{mw}}=18.5\text{ km}$)；
(b)蘇力颱風(2013年7月13日)之風場($R_{\text{mw}}=37.0\text{ km}$)

資料來源：本研究整理

$$R_{mw} = \begin{cases} 42.6 - 0.86(P_c - 990) & 990 \leq P_c \\ 51.0 - 0.84(P_c - 980) & 980 \leq P_c < 990 \\ 58.4 - 0.74(P_c - 970) & 970 \leq P_c < 980 \\ 63.0 - 0.46(P_c - 960) & 960 \leq P_c < 970 \\ 70.0 - 0.234(P_c - 930) & 930 \leq P_c < 960 \\ 80.0 - 0.167(P_c - 870) & 870 \leq P_c < 930 \\ 80 & P_c < 870 \end{cases} \quad (65)$$

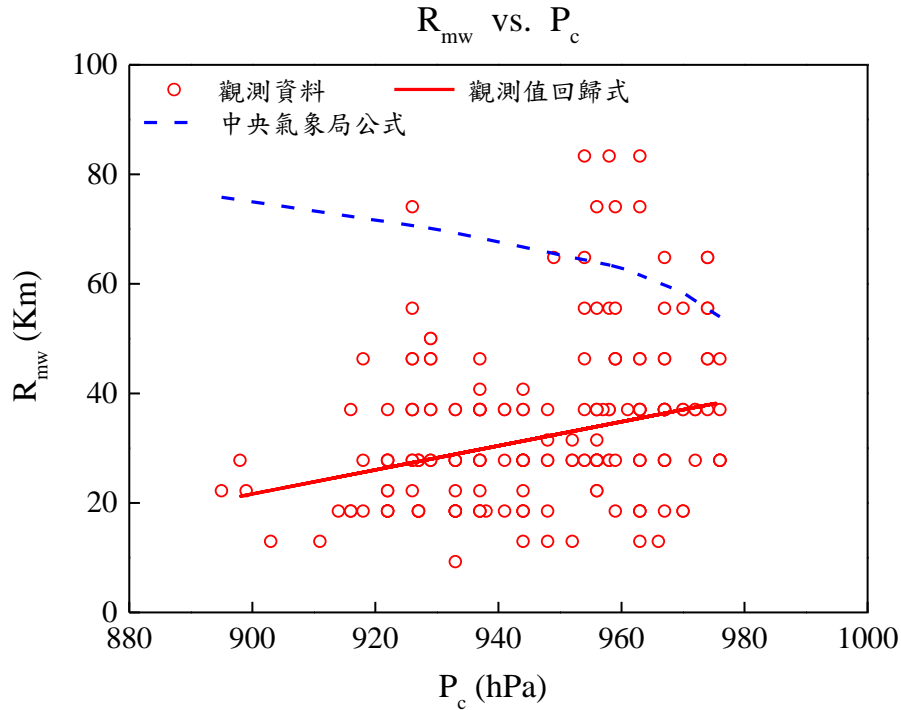


圖16 JTWC觀測之最大風速半徑 R_{mw} 與中心氣壓 P_c 關係圖

資料來源：本研究整理

本研究利用JTWC的颱風資料求得最大風速半徑 R_{mw} 的經驗式：

$$R_{mw} = \exp(3.7916 + 0.00484LA_t - 0.0068\Delta P_c) \quad (66)$$

式中 LA 為颱風中心緯度， ΔP_a 為海平面處的外圍氣壓，單位為hPa，見圖17。CWB公式之趨勢與本研究之經驗公式完全相反。

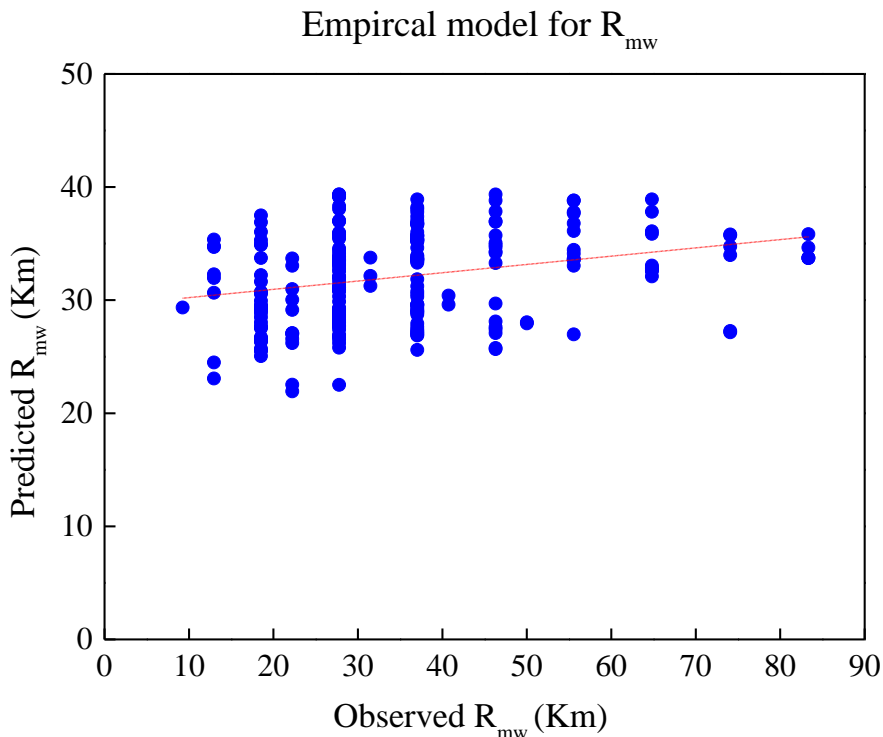


圖 17 由JWTC所觀測之最大風速半徑 R_{mw} 與本研究模式所得 R_{mw} 比較

資料來源：本研究整理

圖 18(a)利用 2016 年 9 月 27 日 12 時梅姬颱風登陸台灣時的觀測資料(緯度 $LA = 23.6^\circ$ ，經度 $LO = 120.3^\circ$ ， $P_c = 940 \text{ hPa}$ ， $V_{\max} = 45 \text{ m/s}$ ， $B = 1.41$)，比較不同預測公式之 R_{mw} 值所計算得之風速分佈，花蓮站地面觀測風速計高度 $z = 12 \text{ m}$ ，此結果顯示中央氣象局(CWB)所建議的 R_{mw} 公式高估地表風速。圖 18(b)為 2013 年 7 月 13 日蘇力颱風登陸台灣時(緯度 $LA = 24.5^\circ$ ，經度 $LO = 122.9^\circ$ ， $P_c = 945 \text{ hPa}$ ， $V_{\max} = 45 \text{ m/s}$ ， $B = 1.36$)不同預測公式之 R_{mw} 值所計算得之風速，龍洞浮標站的高度 $z = 2.0 \text{ m}$ 。由此兩張圖可得知，本研究所使用的 B 值與 R_{mw} 公式相較於前人研究，較符合侵台颱風之結果。

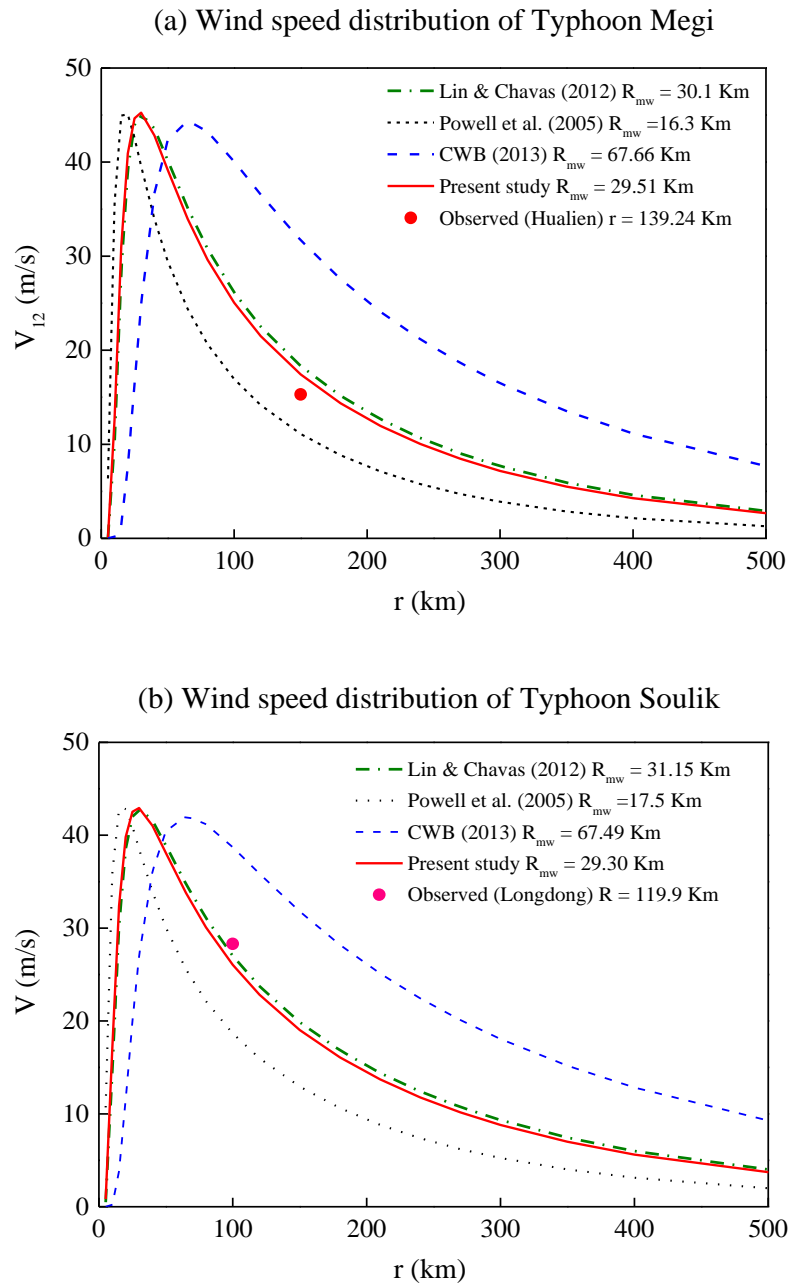


圖 18 R_{mw} 值對風速分佈之影響(a)梅姬颱風(2016年9月27日0時)之風場($B = 1.41$)；
(b)蘇力颱風(2013年7月13日12時)之風場($B = 1.36$)

資料來源：本研究整理

本研究採用使用指數衰減函數方式來模擬地形對颱風中心氣壓的影響：

$$\Delta P_c(t) = \Delta P_{co} \exp(-\alpha t) \quad (67)$$

式中 ΔP_{co} 為登陸的前一時刻颱風中心氣壓差，單位為hPa， α 為地形的衰減係數。本研究設定一旦颱風中心碰觸到陸地，每一個時間步皆依據當時颱風中心的經緯度去計算

衰減係數，再計算颱風的中心氣壓，故每一個時間步的衰減係數皆不同。不同之颱風路徑有不同的衰減係數之計算公式，路徑1、5、6、7的颱風並未經過中央山脈，衰減係數為零。路徑2、3、4的颱風有經過中央山脈，必須計算其衰減係數。

第二類路徑經過台灣北部的雪山山脈，由聯合颱風警報中心(JTWC)在2001年至2016年共有7場颱風，圖19顯示這7場颱風中心氣壓差 $\Delta P_c(t)$ 隨時間的變化。由JTWC的中心氣壓數據回歸分析可得 α 衰減係數的經驗式：

$$\alpha = 3.327469 - 0.001297\Delta P_o - 0.008387LA_t - 0.024868LO_t \quad (68)$$

此式的判定係數 $R^2 = 0.486$ 。

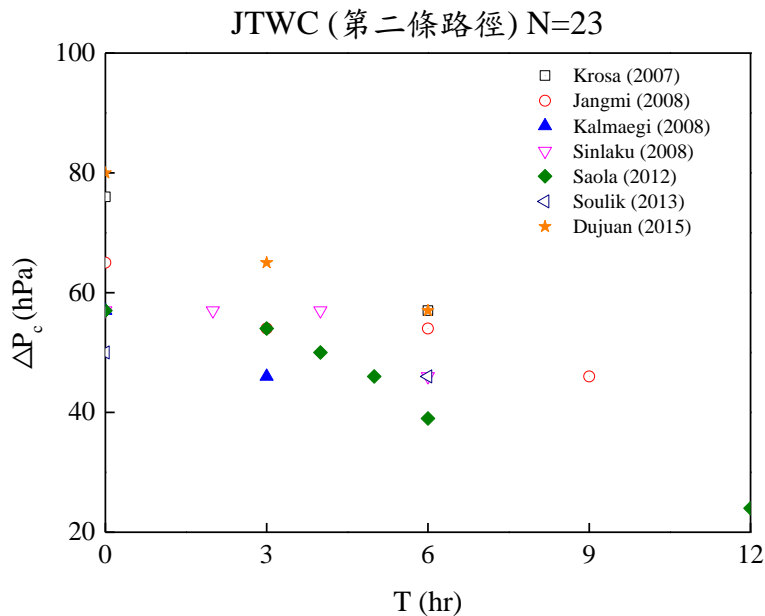


圖 19. 第二類路徑颱風登陸台灣後中心氣壓差的變化(JTWC資料)

資料來源：本研究整理

第三類路徑，由聯合颱風警報中心(JTWC)和中央氣象局(CWB)在2001至2016年資料庫中找到有9場颱風，圖20顯示這9場颱風中心氣壓差 $\Delta P_c(t)$ 隨時間的變化。由迴歸分析JTWC的氣壓數據可得到衰減係數 α 值的經驗式：

$$\alpha = -1.4 + 0.000189\Delta P_o + 0.0157LA_t + 0.0086LO_t \quad (69)$$

此式的判定係數 $R^2 = 0.266$ 。

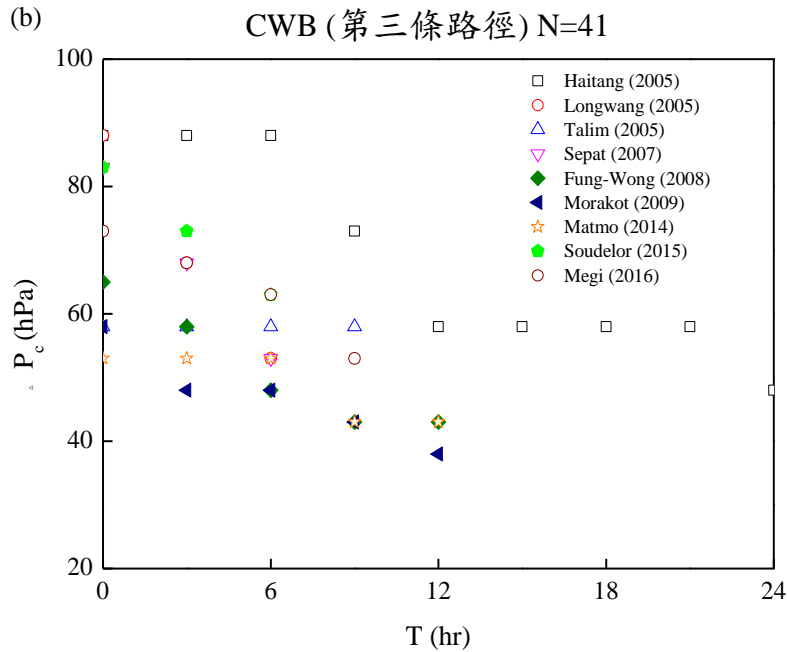


圖 20. 第三類路徑颱風登陸台灣後中心氣壓差的變化(a) JTWC資料；(b) CWB資料

資料來源：本研究整理

由第三路徑的歷史資料可發現針對同一場颱風，JTWC的中心氣壓和CWB的中心氣壓值並不完全相同。推測是因為颱風中心氣壓不易直接量測，是採用間接推估。JTWC和CWB的推估方法不同，得到不同的中心氣壓值。針對第三類路徑的相同9場颱風，中央氣象局(CWB)的中心氣壓數據迴歸分析可得到 α 之預測公式：

$$\alpha = 2.30518 + 0.000363\Delta P_0 - 0.00383LA_t - 0.01831LO_t \quad (70)$$

式中判定係數 $R^2 = 0.268$ 。本研究選擇使用由JTWC資料所回歸的衰減係數。

第四類路徑的颱風經過中央山脈南部，由聯合颱風警報中心(JTWC)在2001年至2016年共有6場颱風，圖21顯示這6場颱風中心氣壓差 $\Delta P_c(t)$ 隨時間的變化。由迴歸分析JTWC的氣壓數據可得到衰減係數 α 值的經驗式：

$$\alpha = 2.679535 + 0.00026\Delta P_0 + 0.004202LA_t - 0.02288LO_t \quad (71)$$

此式的判定係數 $R^2 = 0.489$ 。

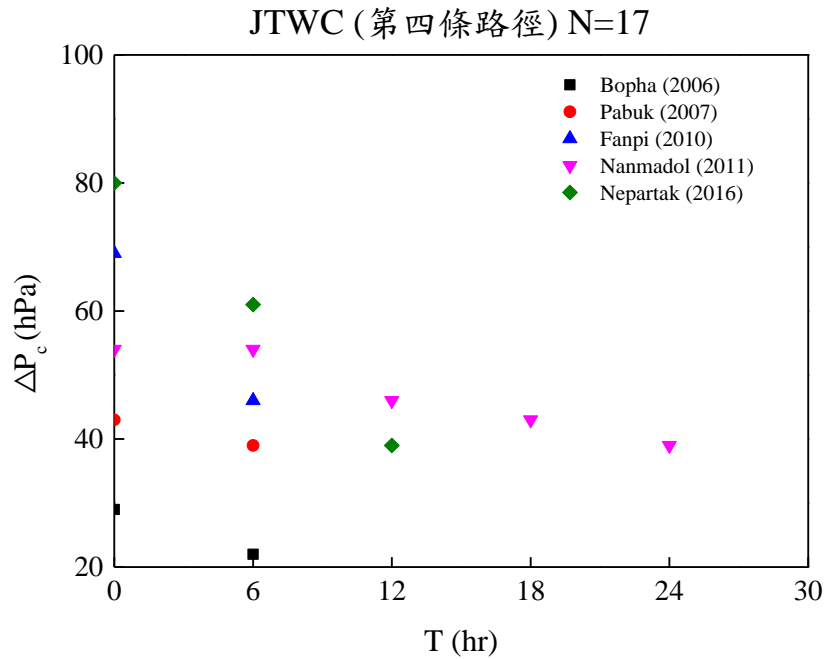


圖 21 第四類路徑颱風登陸台灣後中心氣壓差的變化(JTWC資料)

資料來源：本研究整理

第五節 邊界層模式

對流層中最接近地表的風場因為受到地表邊界的影響，風速的垂向剖面呈不均勻分佈，稱為大氣邊界層流(Atmospheric Boundary Layer flow)。依據地表粗糙度的影響程度又可以分為近地層與外域層，可採用對數律(Logarithmic law)或指數律(Power law)轉換成不同高度 z 處的時間平均風速。對數律為：

$$\frac{U(z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z - d_0}{z_0} \right) \quad (72)$$

其中 u_* 為剪力速度， z_0 為粗糙長度， d_0 為零風面高度，單位為m， $\kappa = 0.40$ 為馮卡門常數。

強風在海面上吹襲，海面的粗糙長度與風浪的波高成正比關係，波浪高度愈高，風吹過海面的阻力愈大。無因次的阻力係數定義為：

$$C_{10} = \frac{\tau_o}{\rho U_{10}^2} = \frac{u_*^2}{U_{10}^2} \quad (73)$$

因為風速 U 會隨高度而變，工程上常以距離地面10m處量測得之風速 U_{10} 為標準。許

多研究顯示海面的風阻係數 $C_{10} = (u_{*a}/U_{10})^2$ 與風速 U 有密切的關係。表 2 整理不同研究所建議之阻力係數公式。海面的粗糙長度 z_{0a} 與波浪高度成正比，波浪高度又與剪力速度 u_{*a} 有關，Charnock (1955)建議：

$$z_o = a \frac{u_*^2}{g} \quad (74)$$

式中 g 為重力加速度， a 為正比係數。依據實驗數據，Charnock (1955)建議 $a = 0.0123$ ，Garratt (1977) 建議 $a = 0.0145$ ，Wu (1981)建議 $a = 0.0185$ 。

風工程相關研究則較常使用指數律：

$$\frac{V(Z)}{V_0} = \left(\frac{Z}{\delta} \right)^n \quad (75)$$

其中 U_0 為梯度風速，單位為 m/s ， δ 為梯度高度， n 為指數。

表 2 不同研究所建議之海面阻力係數公式

作者	經驗公式	適用範圍
Deacon & Webb (1962)	$C_{10} = (1.0 + 0.07U_{10}) \times 10^{-3}$	$U_{10} < 14 \text{ m/s}$
Wieringa (1974)	$C_{10} = (0.87 + 0.048U_{10}) \times 10^{-3}$	$U_{10} > 5 \text{ m/s}$
	$C_{10} = 0.7 \times 10^{-3} U_{10}^{0.3}$	$5 \sim 15 \text{ m/s}$
Kondo (1975)	$C_{10} = (1.2 + 0.025U_{10}) \times 10^{-3}$	$8 \sim 16 \text{ m/s}$
	$C_{10} = 0.073 \times 10^{-3} U_{10}$	$25 \sim 50 \text{ m/s}$
Smith & Banke (1975)	$C_{10} = (0.63 + 0.066U_{10}) \times 10^{-3}$	$3 \sim 21 \text{ m/s}$
Garratt (1977)	$C_{10} = (0.75 + 0.067U_{10}) \times 10^{-3}$	$4 \sim 21 \text{ m/s}$
	$C_{10} = 0.51 \times 10^{-3} U_{10}^{0.46}$	
Wu (1980)	$C_{10} = (0.8 + 0.065U_{10}) \times 10^{-3}$	$U_{10} > 1.0 \text{ m/s}$
Yelland & Taylor (1996)	$C_{10} = (0.6 + 0.07U_{10}) \times 10^{-3}$	$6 \sim 26 \text{ m/s}$
Vickers & Mahrt (1997)	$C_{10} = (0.75 + 0.067U_{10}) \times 10^{-3}$	$4 \sim 16 \text{ m/s}$

風速 U_{10} 的單位為 $[m/s]$

資料來源：本研究整理

本研究採用下式將預測之風速轉換成高度 $z = 10 \text{ m}$ 之風速 V_{10} ：

$$V_{10} = V_H \left(\frac{10}{Z_H} \right)^n \quad (76)$$

V_H 為 Holland (1980) 風場模式計算得之風速， Z_H 為 Holland 風速之高度，指數 n 值採用表 2 建議之值。

Vickery (2009) 整理不同研究所建議之轉換係數，如表 3 所示，由此表可得之前人們使用 V_H 轉換成 V_{10} ，所使用的係數介於 0.65~0.86 之間，並且 Vickery (2009) 表示 V_H 的高度是低於邊界層高度 300 m，他們建議 $Z_H = 27 \sim 176 \text{ m}$ 。

表 3. Holland 風速轉換為 10 公尺風速之文獻

作者	V_{10}/V_H	Z_H (m)
Georgiou (1985)	0.65~0.86	27 ~ 178
Harper and Holland (1999)	0.70	108
Vickery et al. (2000a, 2000b)	0.70~0.72	89 ~ 108
Franklin et al.(2003)	0.80	44
Powell et al. (2005)	0.73	82
Vickery et al. (2009b)	0.67~0.74	74 ~ 144

風速 V_H 、 V_{10} 的單位為 [m/s]， Z_H 利用指數 $n = 0.15$ 計算而得

資料來源：本研究整理

本研究分析 10 場颱風：2016 年梅姬颱風、2016 年尼伯特颱風、2015 年蘇迪勒颱風、2013 年蘇力颱風、2013 年康芮颱風、2008 年鳳凰颱風、2008 年辛樂克颱風、2007 年聖帕颱風、2005 龍王颱風、2005 泰利颱風，在花蓮氣象站 (121.605°E , 23.977°N) 利用探空氣球量測之風速剖面，最佳的 Z_H 值有 8 場 $Z_H = 40 \sim 58 \text{ m}$ ，只有 2 場的 $Z_H = 100 \sim 110 \text{ m}$ ，故採用 $Z_H = 50 \text{ m}$ 帶入指數律將 Holland 模式預測之風速 V_H 換算成 10 m 高度的風速 V_{10} 。在花蓮測站， V_H 轉換成 V_{10} 的係數為 0.76，其他測站的轉換係數介於 0.67 ~ 0.83 之間。

以 2016 年 9 月 27 日侵台的中度颱風梅姬 (Megi) 為例，梅姬颱風的中心於 27 日下午 2 時由花蓮登陸，穿越中央山脈，於當天晚間 9 時由雲林麥寮出海至台灣海峽。這部分計

算未使用蒙地卡羅模式來計算其路徑，直接使用中央氣象局觀測之颱風路徑、中心壓力的數據。圖22(a)中藍色符號為2016年梅姬颱風在花蓮氣象站以探空氣球於2016年9月27日量測得之風速垂向剖面，紅色的曲線為本模式使用指數律的計算結果，設定指數 $n = 0.173$ ，Holland模式預測風速之高度 $Z_H = 50 \text{ m}$ ，風速平均誤差為18.8%。

2015年8月8日強烈颱風蘇迪勒(Soudelor)侵襲台灣，梅姬颱風的中心於8日清晨4時由花蓮縣登陸，穿越中央山脈，於當天中午12時由雲林台西鄉出海至台灣海峽。路徑、中心壓力直接使用中央氣象局觀測之數據。圖22(b)中藍色符號為蘇迪勒颱風在花蓮氣象站以探空氣球於2015年8月7日12時量測得之風速垂向剖面，紅色的曲線為本模式使用指數律的計算結果，設定指數 $n = 0.173$ ，Holland模式之高度 $Z_H = 50 \text{ m}$ ，平均誤差為16.6%。

2007年8月18日侵台的強烈颱風聖帕(Sepat)侵襲台灣，颱風中心於18日清晨5時由花蓮登陸，穿越中央山脈，於當天中午12時由彰化縣濁水溪口出海至台灣海峽。直接使用中央氣象局觀測之颱風路徑、中心壓力的數據。圖22(c)比較探空氣球於2007年8月17日12時量測得之風速剖面與使用指數律的計算結果，設定指數 $n = 0.173$ ，Holland模式之高度 $Z_H = 50 \text{ m}$ ，平均誤差為14.0%。

2005年8月31日侵台的強烈颱風泰利(Talim)侵襲台灣，颱風中心於31日下午5時由花蓮登陸，穿越中央山脈，於當天晚間12時由台中出海至台灣海峽。圖22(d)中藍色符號為泰利颱風在花蓮氣象站以探空氣球於2005年8月31日12時風速垂向剖面，紅色的曲線為本模式使用指數律的計算結果，設定指數 $n = 0.17$ ，Holland模式之高度 $Z_H = 50 \text{ m}$ ，平均誤差為18.9%。

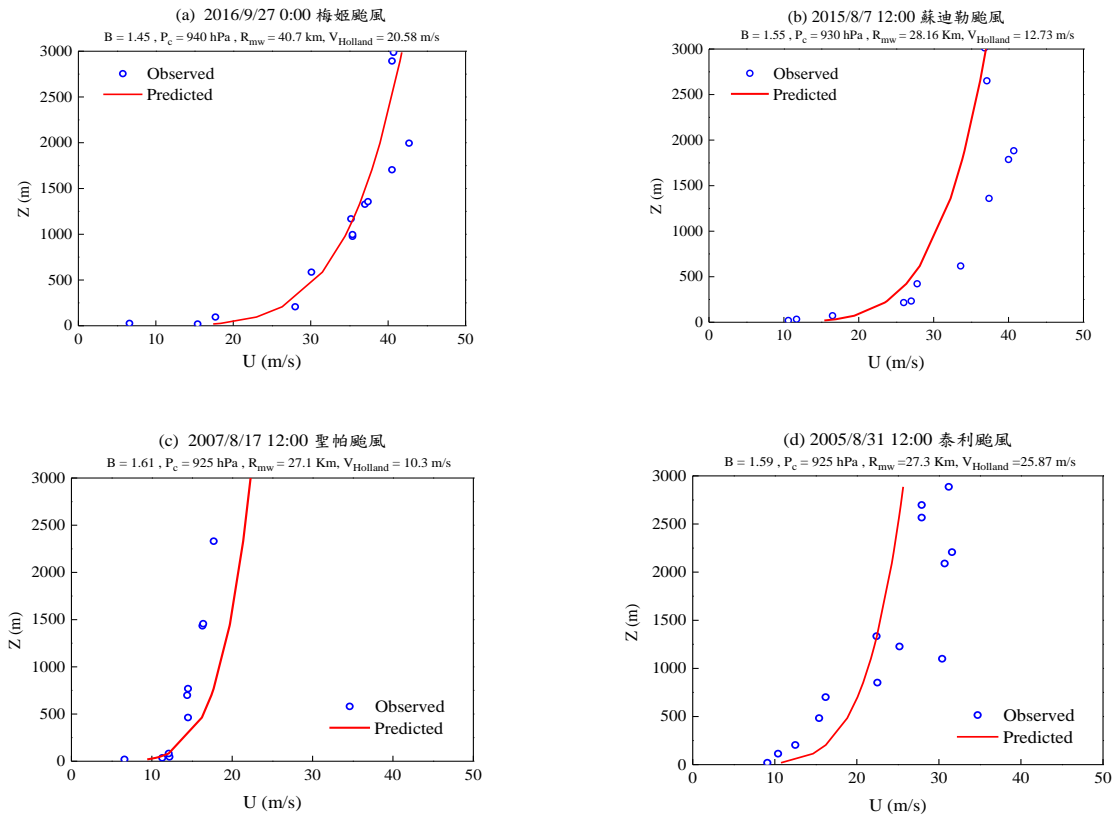


圖 22 花蓮測站探空氣球量測與預測($n = 0.173, Z_H = 50 \text{ m}$)之風速剖面(a)梅姬颱風；(b)蘇迪勒颱風；(c)聖帕颱風；(d)泰利颱風

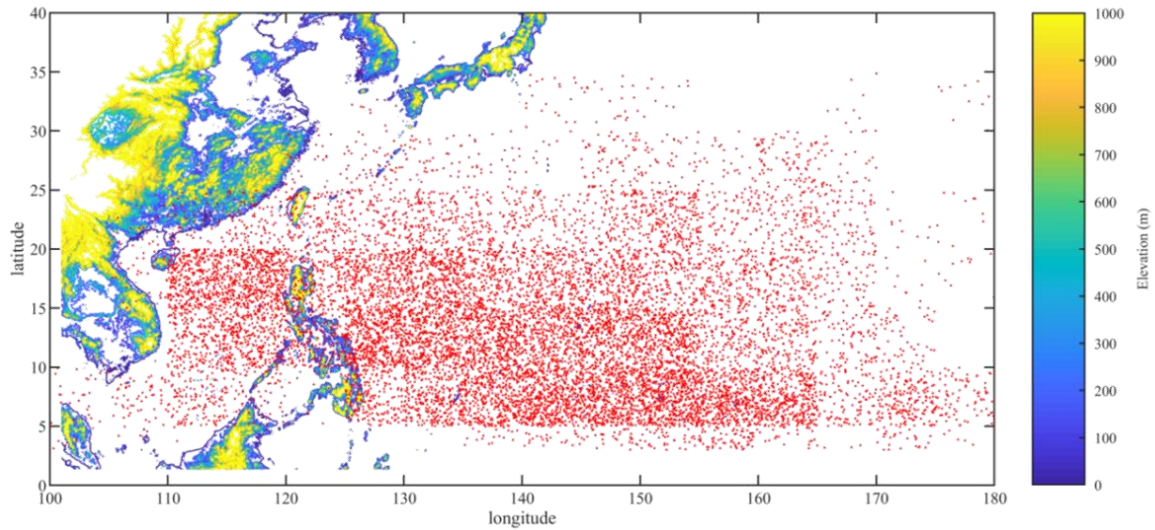
資料來源：本研究整理

第三章 模式驗證

第一節 颱風生成位置之驗證

美軍聯合颱風警報中心(JTWC)的資料顯示：西北太平洋在1970~2016年間，共生成1323場颱風，平均一年生成28.1場颱風。侵襲台灣數量為224場颱風，平均一年生成4.76場颱風，侵台機率為17%。本研究使用兩種方法，第一種方法為將西太平洋由經度100~180度，緯度0~40度的範圍，經度每5°和緯度每5°區分為一個格網。先算出歷史颱風記錄在各個網格內的數量，生成模式再按照其分佈數量在每一個網格之內使用均勻亂數來模擬颱風初始位置；第二種方法則為將西太平洋由經度100~180度的範圍，經度每10°區分為一個區間。統計歷史颱風的初始位置隨著緯度變化的機率分佈為伽瑪分佈(Gamma distribution)，於是生成模式再按照其分佈數量在每一個區間之內緯度使用伽瑪亂數，經度使用均勻亂數來模擬颱風初始位置。使用兩種方法，各別生成13,230場颱風與26460場颱風，按歷史颱風之比例分佈於西北太平洋海域之內。圖23為西北太平洋上歷史颱風的生成位置，圖23(a)為使用經緯度 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 小區間內，用均勻分佈亂數模式所模擬出颱風的生成位置。但因為不同網格內颱風模擬之數量有明顯差異，故在網格邊界處可看出颱風密度的改變，而圖23(b)使用經度10°區間內，緯度上加瑪分佈之生成位置，較為接近連續變化之分佈情況，模擬的颱風生成位置與歷史颱風生成位置之分佈相當吻合。

(a)



(b)

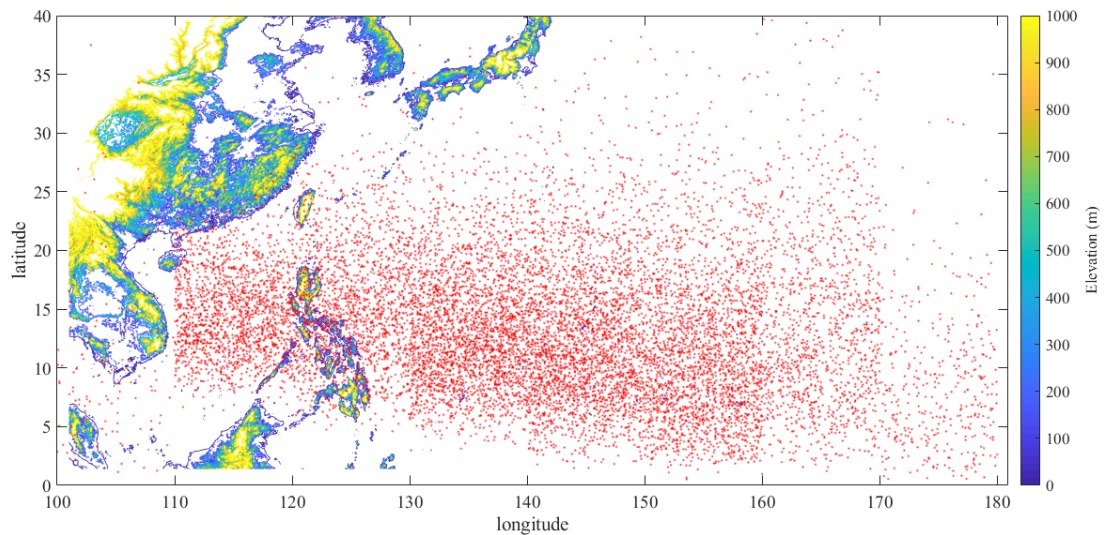


圖 23 模擬颱風的生成位置(a)經緯度 5×5 均勻亂數所模擬出之位置(N = 13230)；
(b)經度10內緯度以伽瑪機率分佈所模擬出之位置(N = 13230)

資料來源：本研究繪製

第二節 颱風路徑之驗證

颱風路徑之蒙地卡羅模式利用颱風生成模式所產生的初始經緯度和高斯亂數產生的初始移動速度、氣壓差、移動方位角和殘差，帶入式(51)~(53)計算下一個時間步之移動速度、氣壓差和移動方位角，重覆以上的步驟至颱風中心氣壓高於990 hPa為止。當颱風中心氣壓高於990 hPa時，表示颱風已轉變為熱帶型低氣壓，不再屬於颱風，模

式便開始模擬另一場颱風。

表4為颱風生成位置分別使用均勻亂數與伽瑪亂數侵台機率的比較表，兩者皆產生13230場與26460場颱風，並且在路徑模式中的時間步使用1小時、3小時與6小時做時間步的敏感度分析，模擬時間長度為240小時，生成模式使用均勻亂數模擬13,230場颱風之中，時間步為1小時共有2263場颱風侵襲台灣，機率为17.1%，時間步為3小時共有2271場颱風侵襲台灣，機率为17.2%，時間步為6小時共有2259場颱風侵襲台灣，機率为17.3%；生成模式使用均勻亂數模擬26460場颱風之中，時間步為1小時共有4532場颱風侵襲台灣，機率为17.1%，時間步為3小時共有4541場颱風侵襲台灣，機率为17.2%，時間步為6小時共有4608場颱風侵襲台灣，機率为17.4%。生成模式使用伽瑪亂數模擬13,230場颱風之中，時間步為1小時共有2274場颱風侵襲台灣，機率为17.2%，時間步為3小時共有2286場颱風侵襲台灣，機率为17.3%，時間步為6小時共有2250場颱風侵襲台灣，機率为17.0%；生成模式使用伽瑪亂數模擬26460場颱風之中，時間步為1小時共有4513場颱風侵襲台灣，機率为17.1%，時間步為3小時共有4531場颱風侵襲台灣，機率为17.1%，時間步為6小時共有4554場颱風侵襲台灣，機率为17.2%。由此可知無論是均勻亂數或伽瑪亂數皆十分接近歷史颱風侵台之機率17%。

本研究進一步對侵台的颱風路徑進行分類，中央氣象局則將颱風侵台路徑分為九類，如圖12所示。本研究將侵台颱風路徑共分七大類，本研究將中央氣象局所分類之第八與第九類併至其他類，並將台灣的極北點(25.3°N)以北、緯度24.2°N、緯度23.0°N和極南點(21.9°N)由北到南分為五大區域，再以中央山脈的經度(121.0°E)為基準分成左右兩大區域，如圖13所示。當颱風侵台前一個時間步及侵台當時的位置都在某個區域之內，其路徑即屬於此類，如果皆不屬於以上分類，便判定為其他類。圖26為本研究所模擬之各類颱風路徑圖，而圖27為比對歷史和模擬之各侵台路徑的機率，此圖顯示本模式模擬的颱風侵台路徑十分接近歷史資料。

表 4. 颱風生成位置分別使用均勻亂數與伽瑪亂數侵台機率比較表

颱風位置 生成方式	颱風 樣本數	時間步	侵台颱風 數目	百分比(%)	中央氣象局 歷史資料
均勻亂數	13230	1	2263	17.1%	17 %
		3	2271	17.2%	
		6	2259	17.1%	
	26460	1	4532	17.1%	
		3	4541	17.2%	
		6	4595	17.4%	
伽瑪亂數	13230	1	2274	17.2%	
		3	2286	17.3%	
		6	2250	17.0 %	
	26460	1	4513	17.1 %	
		3	4531	17.1 %	
		6	4554	17.2 %	

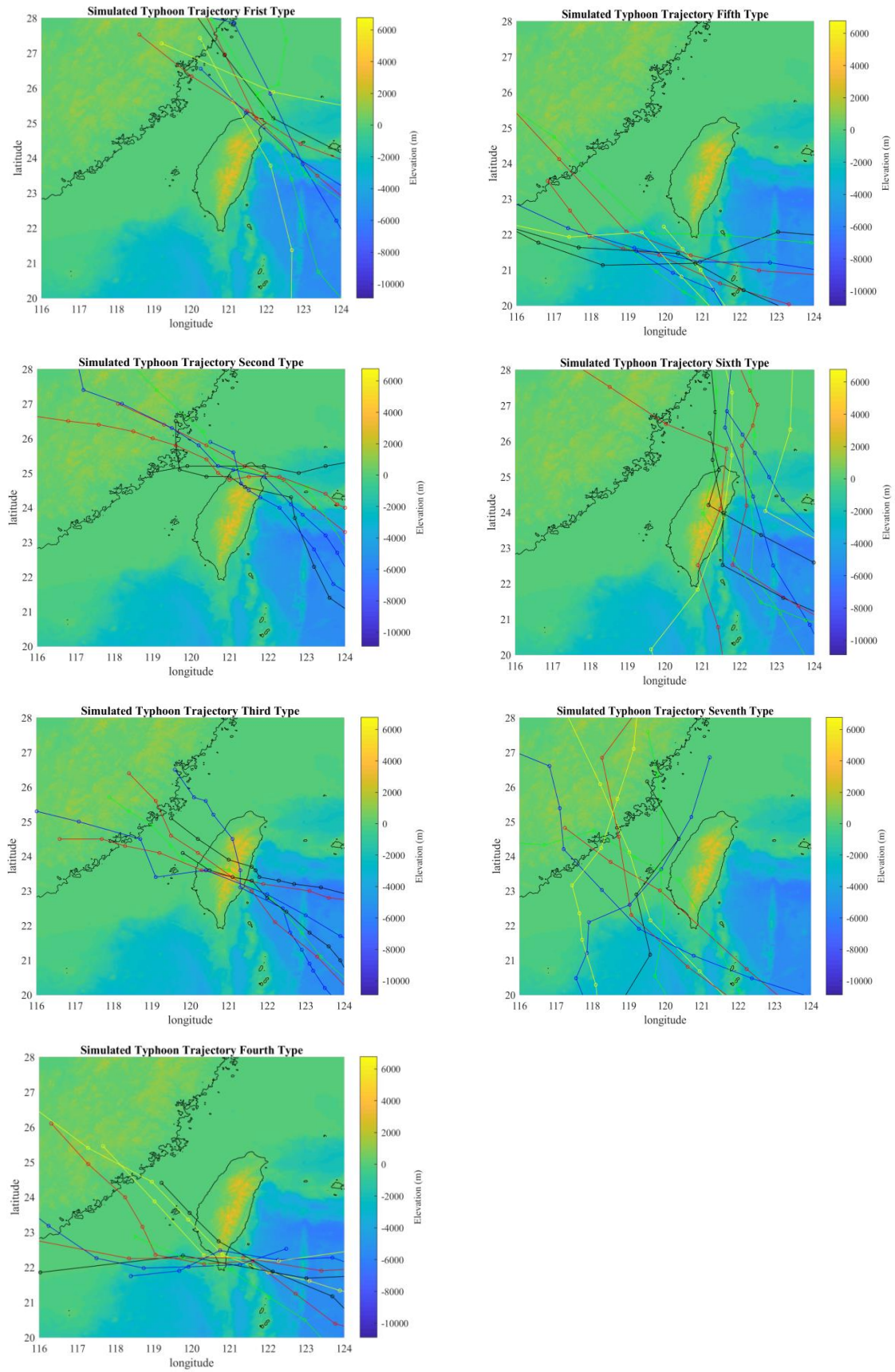


圖 24 蒙地卡羅模擬之颱風路徑分類

資料來源：本研究整理

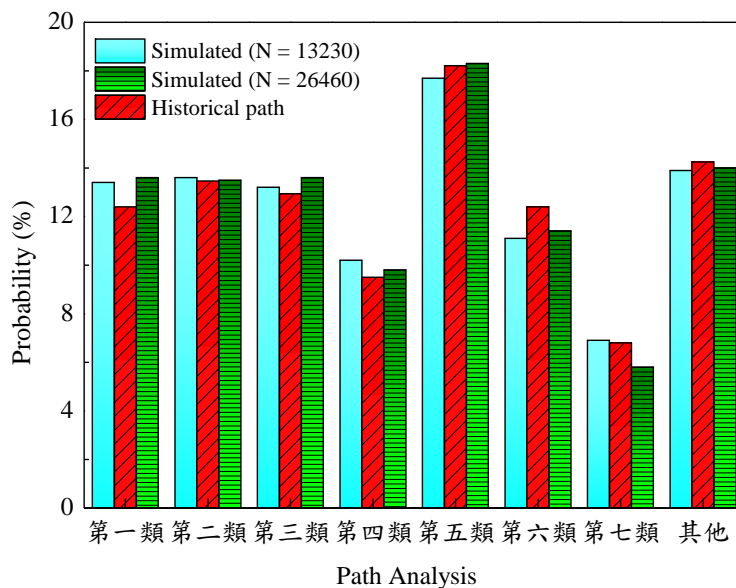


圖 25. 歷史與蒙地卡羅模擬的颱風路徑百分比之比較圖

資料來源：本研究整理

為測試不同的模擬時間步長對颱風侵台路徑之影響，總颱風樣本數設為 $N = 13,230$ ，模擬時間長度 $T = 240$ 小時，初始生成位置皆為均勻分佈於經緯度 $5^\circ \times 5^\circ$ 小區間之內，時間步分別設定為 $\Delta t = 1、3、6$ 小時。表4比較模擬結果，可以發現時間步長對颱風侵台路徑之影響並不敏感，皆十分接近歷史颱風路徑之百分比，故本研究採用時間步長為6小時。

表5比較所有颱風樣本數 $N = 13,230$ 和 $24,680$ ，對各類路徑侵台數量影響之敏感度分析，可看出：樣本數 $N = 13,230$ 與 $N = 26,460$ 場颱風，颱風路徑分類皆十分接近中央氣象局所分類的百分比。第一路徑颱風的百分比為12.4%，模擬颱風樣本數 $N = 13,230$ 場中有2259場侵台，而通過本研究判定第一路徑的百分比為13.4%，樣本數 $N = 26,460$ 場颱風共有4595場侵台，而通過本研究判定第一路徑的百分比為13.6%。

第二類路徑侵台數量之敏感度分析：中央氣象局判定颱風為第二路徑之百分比為13.46%，模擬13,230場颱風中第二路徑的百分比為13.6%，模擬26,460場颱風中第二路徑的百分比為13.5%。第三類路徑侵台數量之敏感度分析可看出：中央氣象局判定颱風為第三路徑之百分比為12.9%，模擬13,230場颱風中第三路徑的百分比為13.6%，模擬

26,460場颱風中第三路徑的百分比為12.93%。第四類路徑侵台數量之敏感度分析：中央氣象局判定颱風為第一路徑之百分比為12.4%，模擬13,230場颱風中第四路徑的百分比為13.4%，模擬26,460場颱風中第四路徑的百分比為13.6%。

第五類路徑侵台數量之敏感度分析：中央氣象局判定颱風為第五路徑之百分比為18.21%，模擬13,230場颱風中第五路徑的百分比為17.7%，模擬26,460場颱風中第五路徑的百分比為18.3%。第六類路徑侵台數量影響之敏感度分析：中央氣象局判定颱風為第六路徑之百分比為12.4%，模擬13,230場颱風中第六路徑的百分比為11.1%，模擬26,460場颱風中第六路徑的百分比為11.4%。第七類路徑侵台數量影響之敏感度分析：中央氣象局判定颱風為第七路徑之百分比為6.8%，模擬13,230場颱風中第七路徑的百分比為6.9%，模擬26,460場颱風中第七路徑的百分比為5.8%。其他類路徑侵台數量影響之敏感度分析：中央氣象局判定颱風為其他路徑之百分比為14.25%，模擬13,230場颱風中其他路徑的百分比為13.9%，模擬26,460場颱風中其他路徑的百分比為14.0%。

表 5. 均勻亂數生成位置之颱風樣本數對颱風侵台路徑之比較表

Percentage (%)	N=13230	N=26460	中央氣象局 歷史資料
第一類	13.4%	13.6%	12.4%
第二類	13.6%	13.5%	13.46%
第三類	13.2%	13.6%	12.93%
第四類	10.2%	9.8%	9.5%
第五類	17.7%	18.3%	18.21%
第六類	11.1%	11.4%	12.4%
第七類	6.9%	5.8%	6.8%
其他	13.9%	14.0%	14.25%
總和	100%	100%	100%

資料來源：本研究整理

表 6. 模擬時間對颱風侵台機率之比較表

Landfall Probability		Total simulation Time (hrs)			
		120	180	240	300
Time step	3 hr	12.7%	16.7%	17.6%	17.9%
	6 hr	12.1%	16.4%	17.0%	17.5%
	9 hr	11.7%	16.3%	16.6%	17.3%
	12 hr	11.4%	16.2%	15.5%	17.0%

資料來源：本研究整理

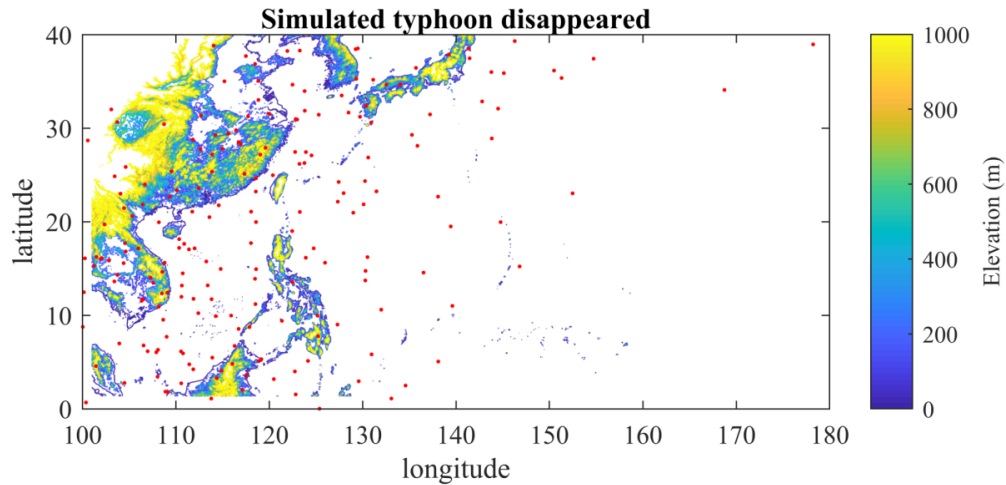


圖 26. 時間步為6小時，模擬時間240小時後，颱風最後位置圖

資料來源：本研究整理

第三節 風場模式驗證

颱風風場模式模擬流程為先將路徑模式計算得之經緯度、中心氣壓差輸入式(60)計算尺度參數 B 值、最大風速半徑 R_{mw} ，再利用式(56)計算每一個時間步的風速，每六小時一筆。本研究以2013年的颱風蘇力(Soulik)和2016年梅姬颱風為例，計算其壓力場與風場。第2類路徑蘇力颱風於2013年7月13日侵襲台灣北部，其中心於凌晨3時登陸宜蘭與新北市交界，隔日上午8時於新竹市出海。圖29(a)為蘇力颱風之颱風路徑圖。圖29(b)為模擬蘇力颱風的壓力場。圖30(a)~(d)為蘇力颱風的模擬風速場。

登陸後的衰減效應依據不同的颱風路徑分別使用式(69)、式(71)計算衰減係數，再帶入式(68)計算登陸後的颱風中心氣壓，再使用Holland (1980)模式計算距離颱風中心半徑 $r=250$ km範圍內的風速。最後使用指數律換算地面風速，設定指數 n ， $Z_H=50$ m為Holland模式之高度。

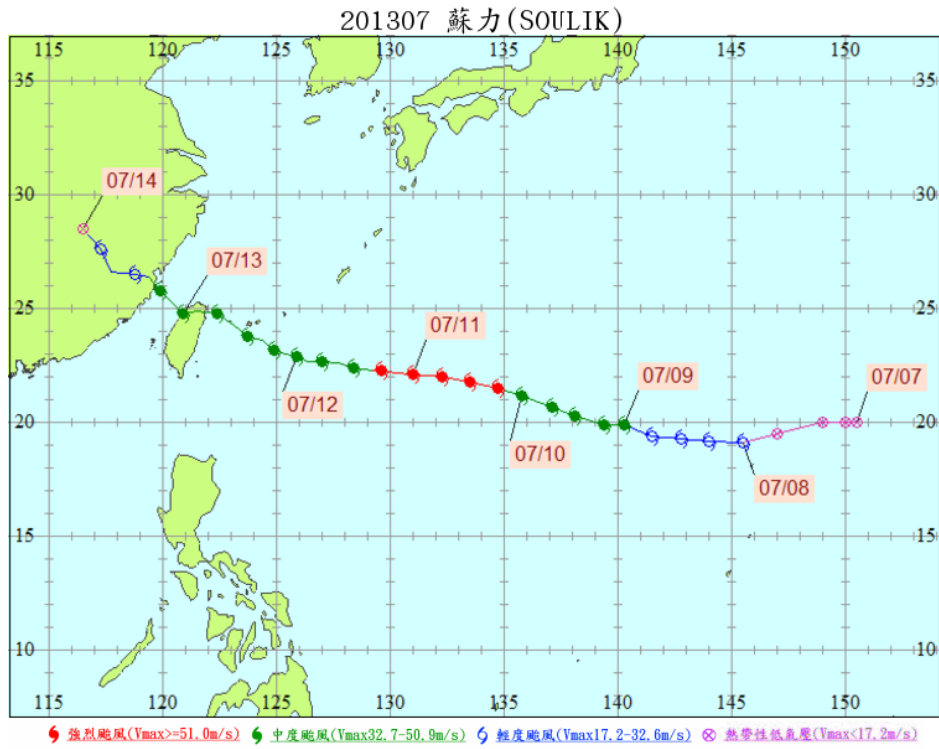
圖31為比較蘇力颱風由颱風半徑碰觸到台灣開始預測其中心壓力的變化，最大風速半徑 R_{mw} 由式(67)計算，每六小時預測一次。式(69)預測之中心壓力 P_c 比式(70)更接近觀測資料，故本研究採用式(69)預測地形的衰減係數。

圖32(a)比較第二類路徑蘇力颱風在彭佳嶼測站($122.071^\circ E$, $25.629^\circ N$)之觀測風速

與模擬風速，測站高度 $z = 12.5$ m，設定指數 $n = 0.11$ ，Holland風速之高度 $Z_H = 50$ m。圖32(b)為蘇力颱風在台灣北部的龍洞浮標測站(121.924°E , 24.097°N)之觀測和模擬風速，測站高度 $z = 2$ m，設定指數 $n = 0.17$ 。由結果可發現：本模式可模擬颱風風速隨著颱風中心的移動先增強後減弱的趨勢。在颱風半徑碰觸到台灣之前，衰減係數為零；在颱風觸及台灣之後，用式(69)預測衰減係數，可準確地預測颱風風速的變化。

梅姬颱風於2016年9月27日侵襲台灣東部，其中心於下午14時登陸花蓮海岸，當日晚上9時於雲林麥寮出海。圖33(a)為中央氣象局所提供梅姬颱風之路徑圖。圖33(b)為模擬梅姬颱風的壓力場。圖34(a)~(d)為梅姬颱風的模擬風速場。圖35比較梅姬颱風由颱風半徑碰觸到台灣開始預測其中心壓力的變化，最大風速半徑 R_{mw} 由式(67)計算，每六小時預測一次。

(a)



(b)

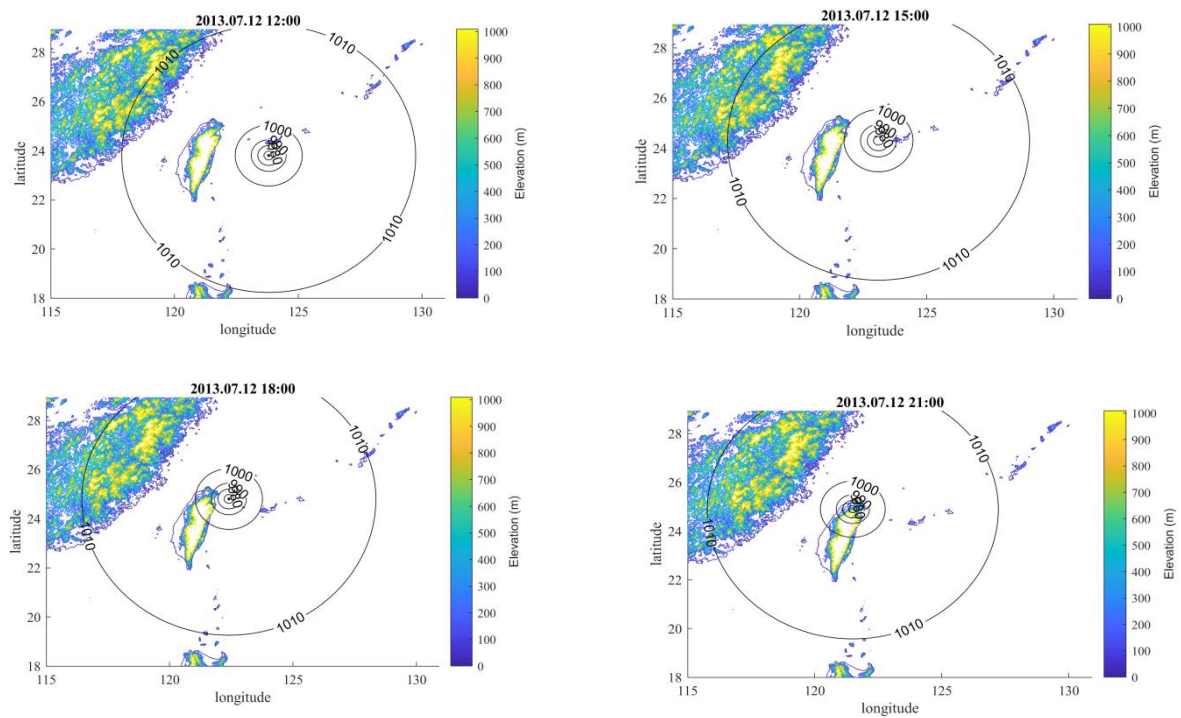


圖 27. 蘇力颱風(a)颱風路徑；(b)模擬之壓力場

資料來源：本研究整理

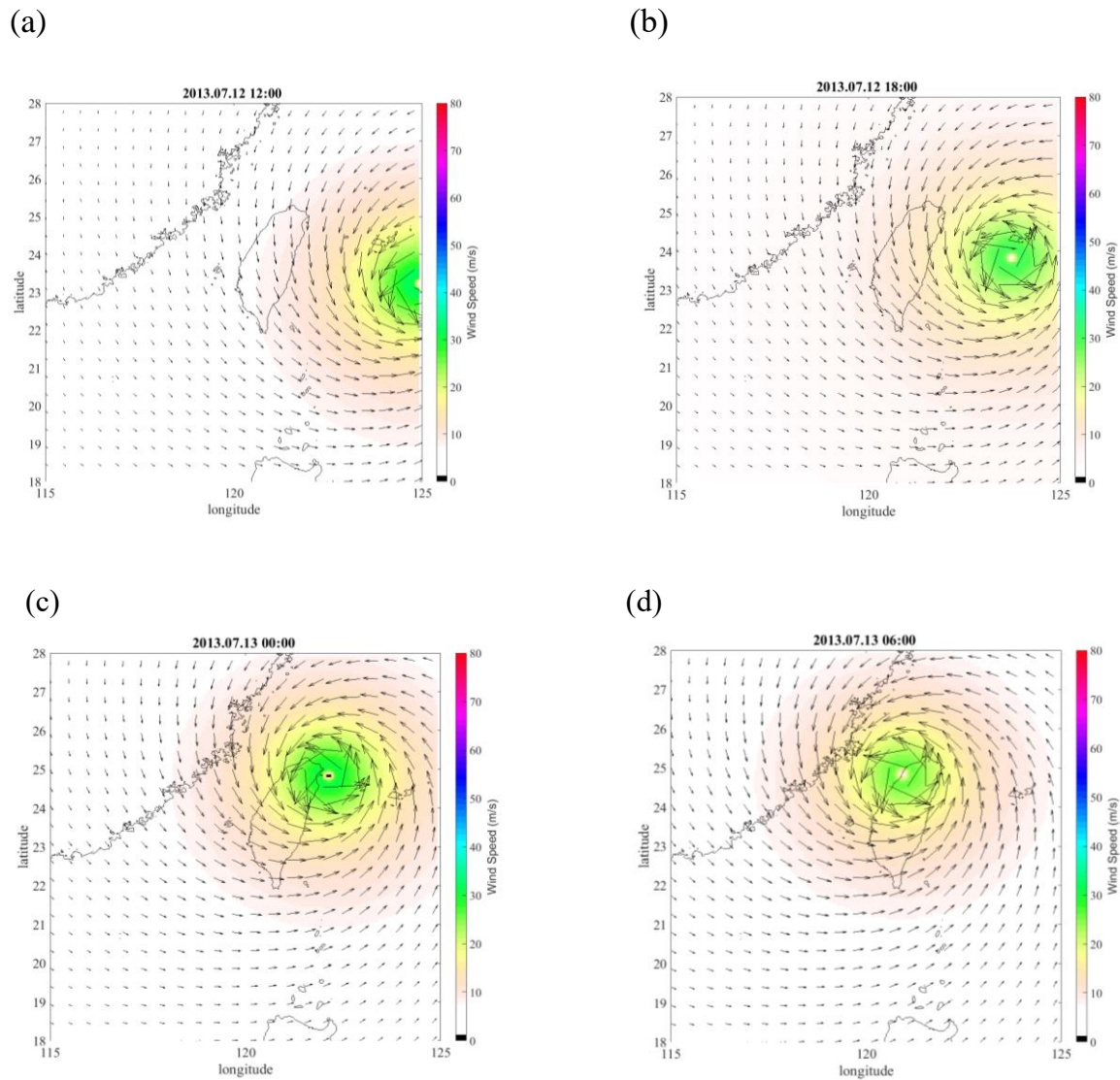


圖 28. 蘇力颱風在不同時間的模擬風場

資料來源：本研究整理

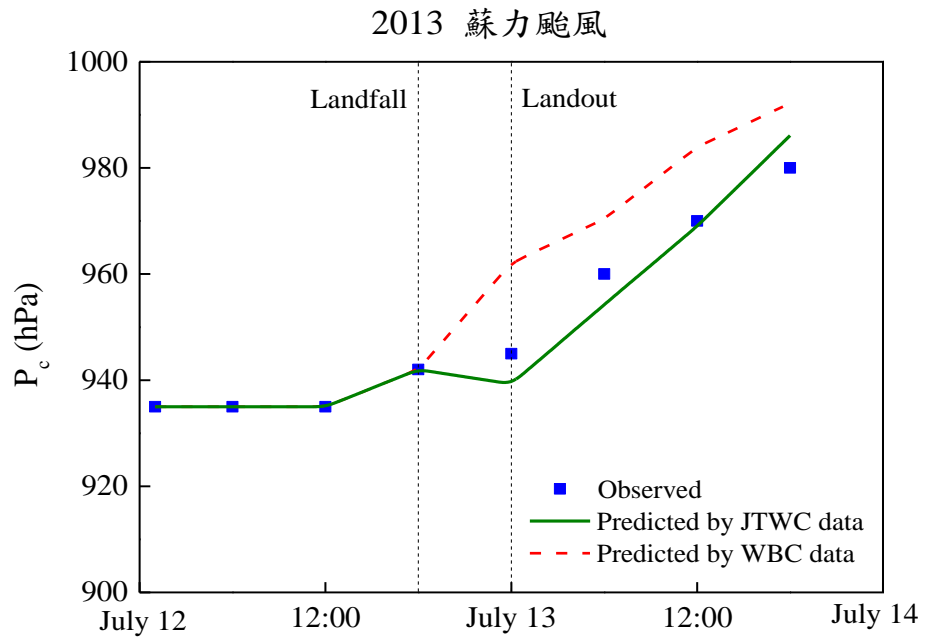


圖 29. 蘇力颱風海平面中心氣壓隨時間之變化

資料來源：本研究整理

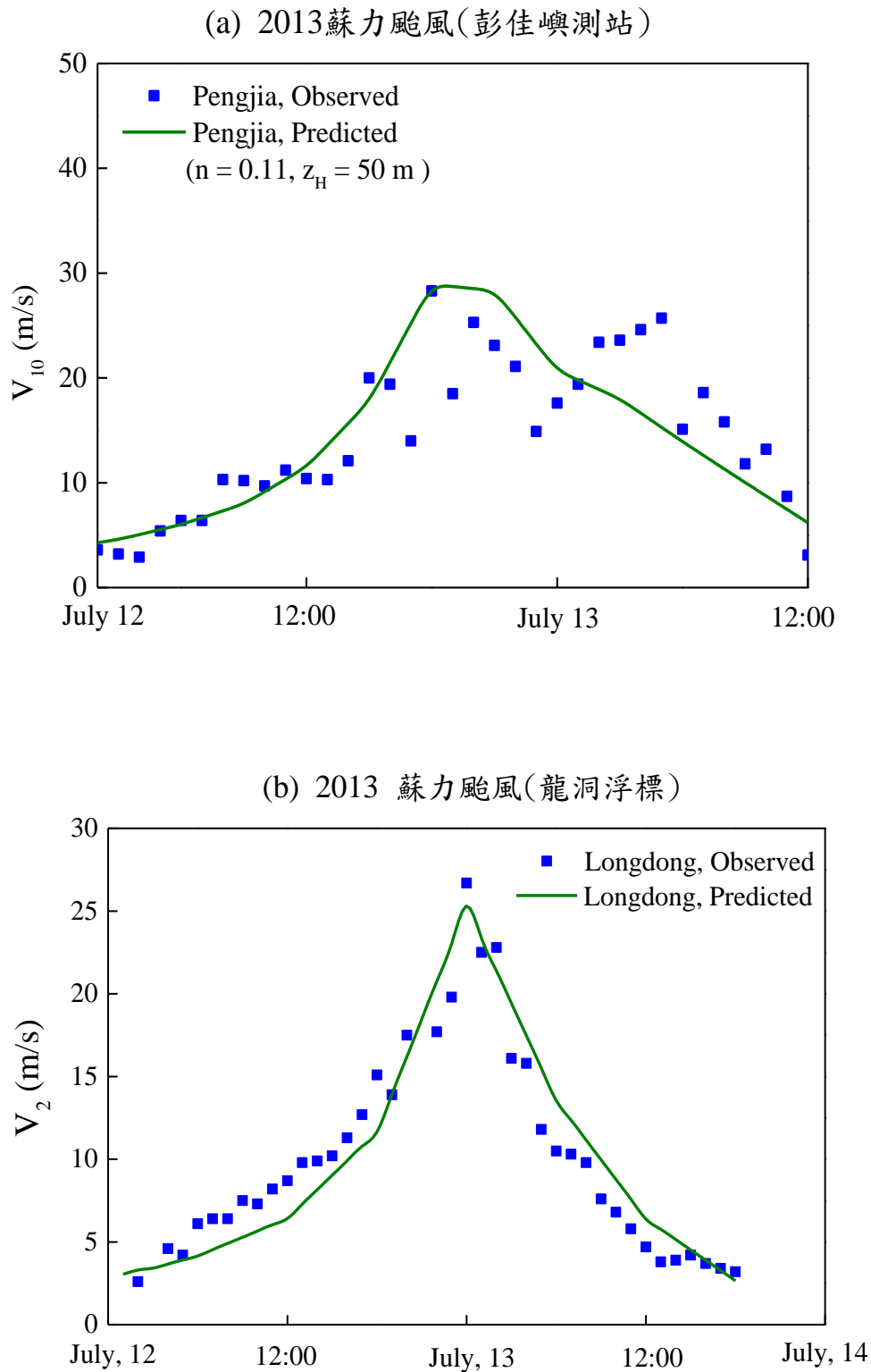
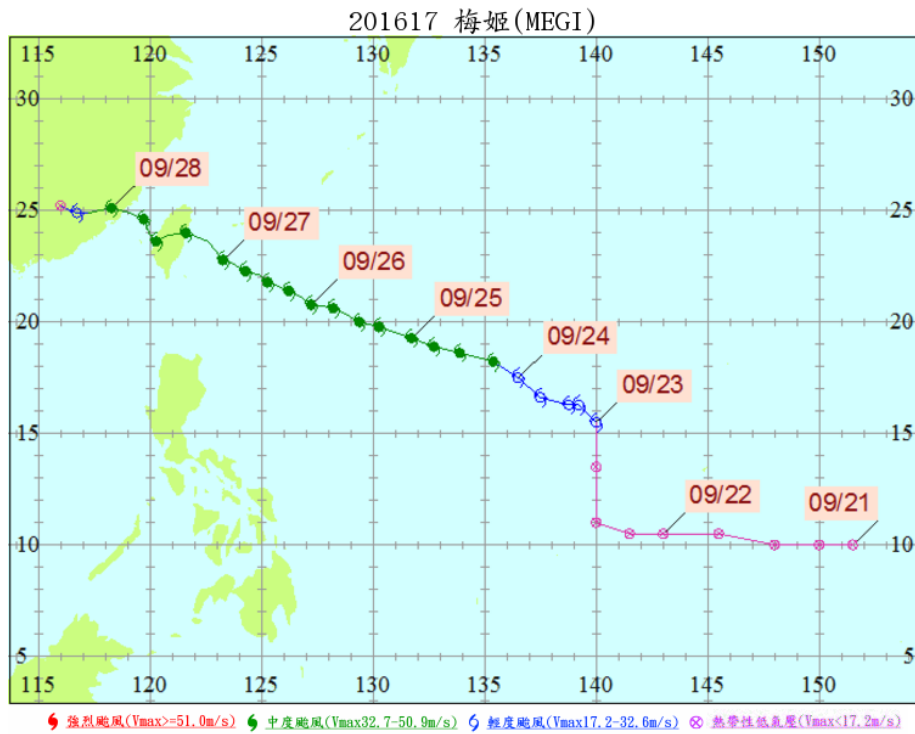


圖 30. 蘇力颱風風速隨時間之變化(a)彭佳嶼測站(距海平面 10 m 高度處)；(b)龍洞測站(距海平面 2 m 高度處)

資料來源：本研究整理

(a)



(b)

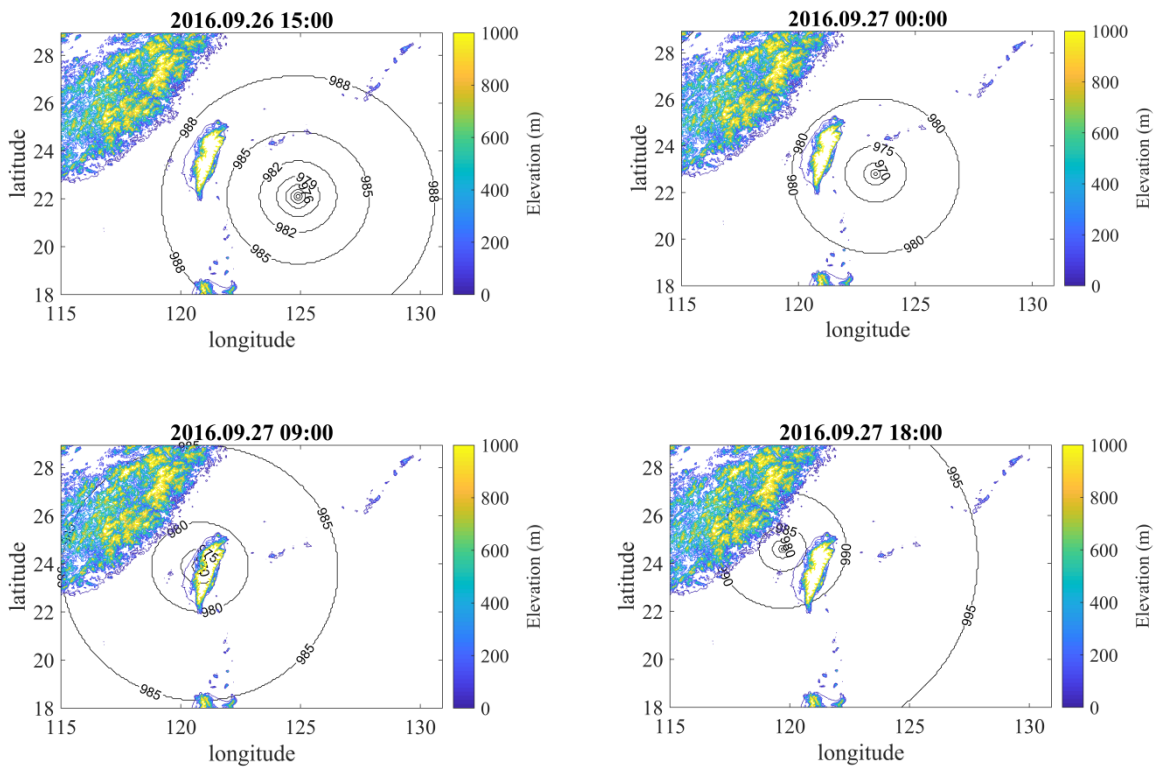


圖 31. 梅姬颱風(a)颱風路徑；(b)模擬之壓力場

資料來源：本研究整理

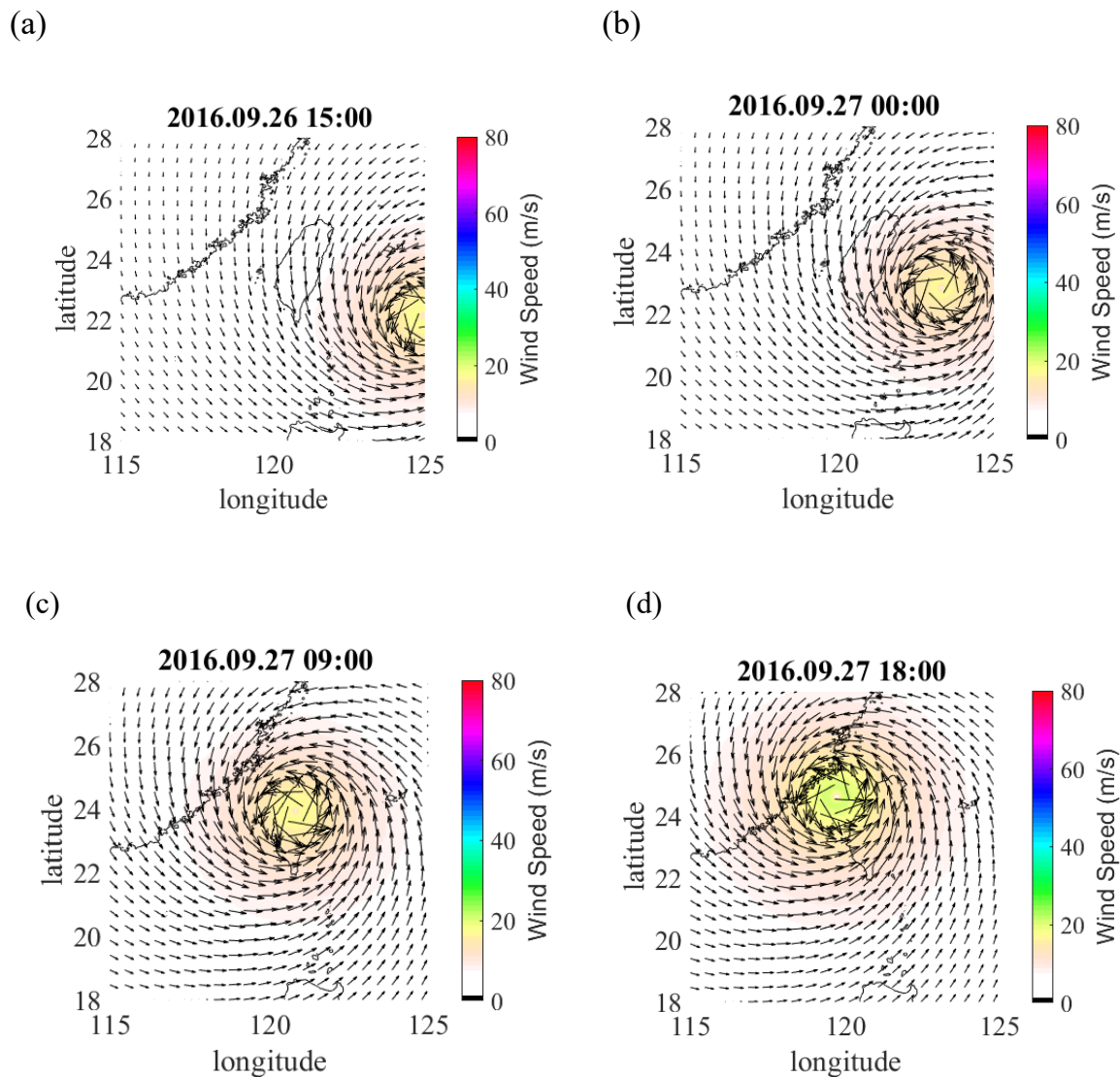


圖 32. 梅姬颱風的模擬風場

資料來源：本研究整理

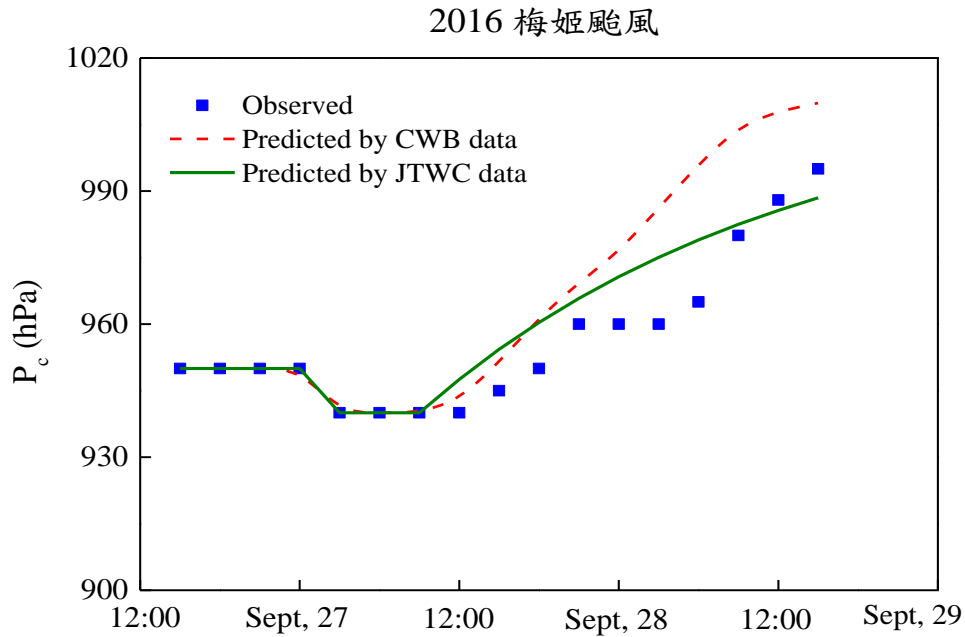


圖 33. 梅姬颱風海平面中心氣壓隨時間之變化

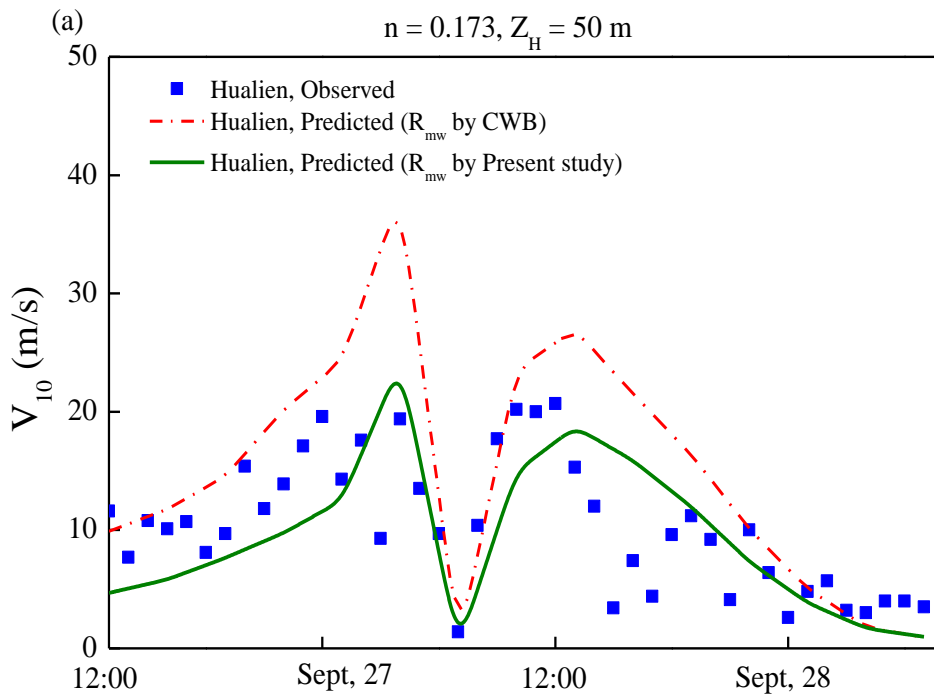
資料來源：本研究整理

圖36(a)比較第三類路徑梅姬颱風在花蓮測站(121.613°E, 23.975°N)之觀測風速與模擬風速，測站高度 $z=12\text{ m}$ 。由結果可發現：本模式可模擬颱風風速隨著颱風中心的移動先增強後減弱，再增強的變化趨勢，並且颱風中心接近花蓮測站時精準的捕捉到颱風眼牆內之風速變化。在颱風半徑碰觸到台灣之前，衰減係數為零；在颱風觸及台灣之後，用式(69)預測衰減係數。換言之，本模式可預測侵台颱風之路徑、中心氣壓與風速，可用於評估颱風在台灣各地造成之強風風速和風災的發生機率。本研究也模擬梅姬颱風在宜蘭測站(121.7565°E, 24.7640°N)之風速，如圖36(b)所示，由圖中能發現，本模式不只能模擬梅姬颱風中心風速，更能準確地模擬在颱風暴風圈內的風速，而颱風穿越中央山脈之後，因地形因素中心壓力差變小，在梧棲測站的風速預測較差。

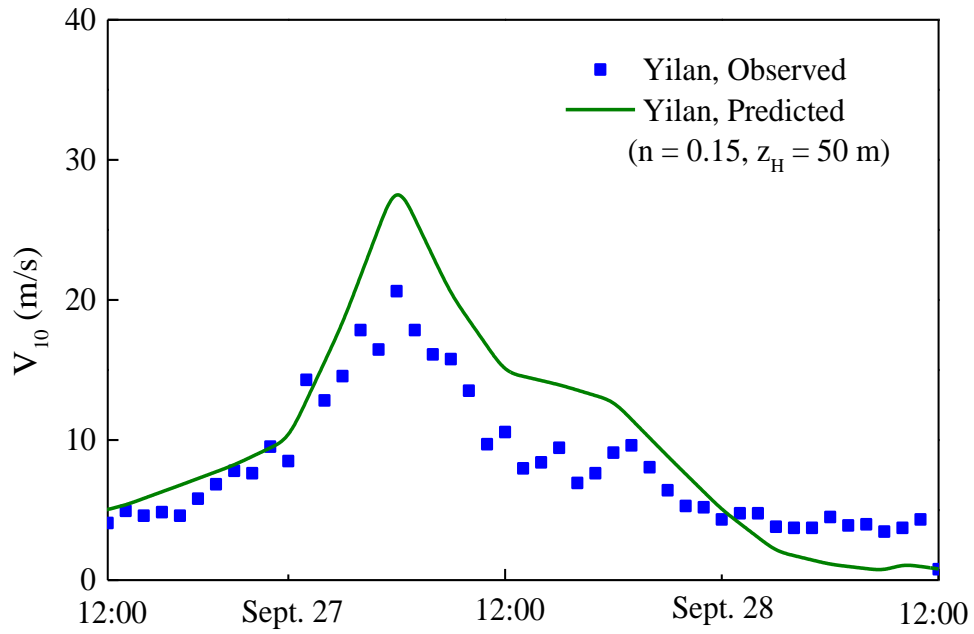
圖37(a)為第一類路徑潭美颱風之路徑圖，圖37(b)比較潭美颱風在彭佳嶼測站122.0797°E, 25.6280°N觀測之風速，測站高度 $z=10\text{ m}$ 。第一類路徑並未著陸，所以不需要衰減中心氣壓，由圖中可知，本研究之模式能捕捉到風速整體趨勢。圖37(c)比較潭美颱風在馬祖測站(119.923°E, 26.169°N)觀測之風速，測站高度 $z=14\text{ m}$ 。由圖中可知，本研究之模式能捕捉到風速變化趨勢。

2016 梅姬颱風(花蓮測站)

$n = 0.173, Z_H = 50 \text{ m}$



(b) 2016 梅姬颱風(宜蘭測站)



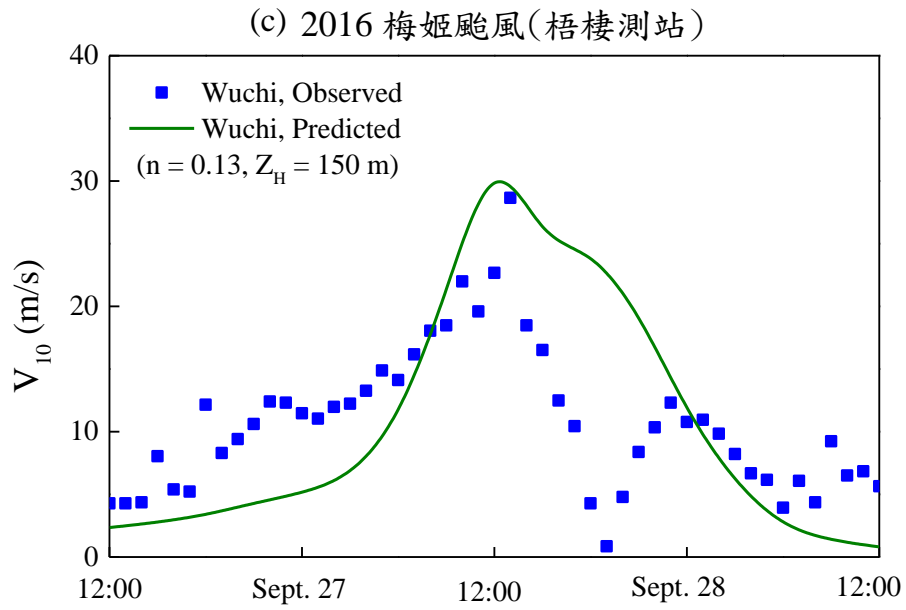
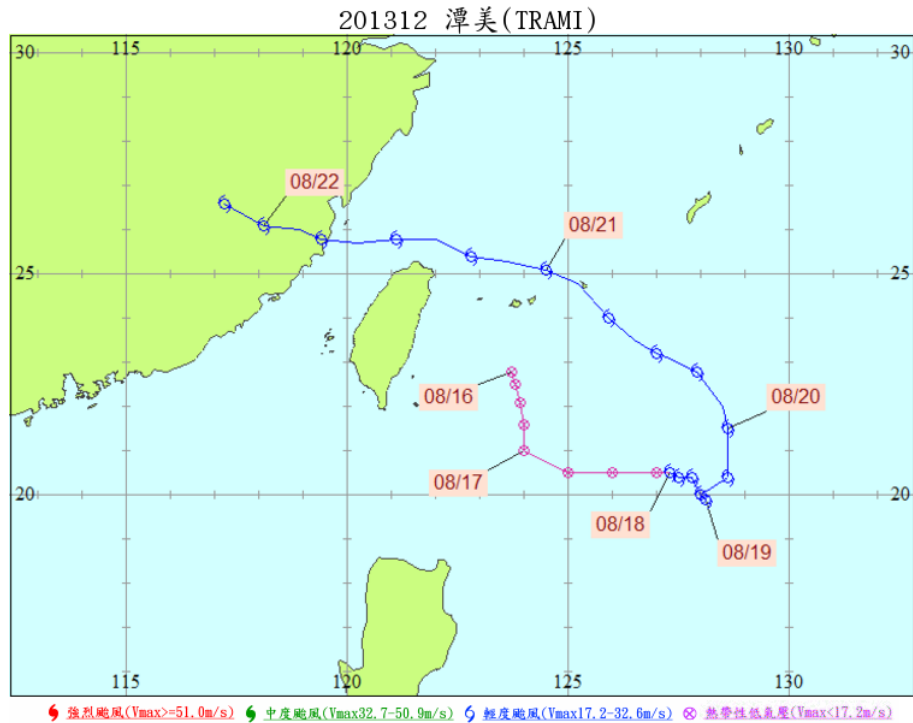


圖 34. 梅姬颱風各測站之風速隨時間變化圖(a)花蓮站；(b)宜蘭站；(c)梧棲站

資料來源：本研究整理

(a)



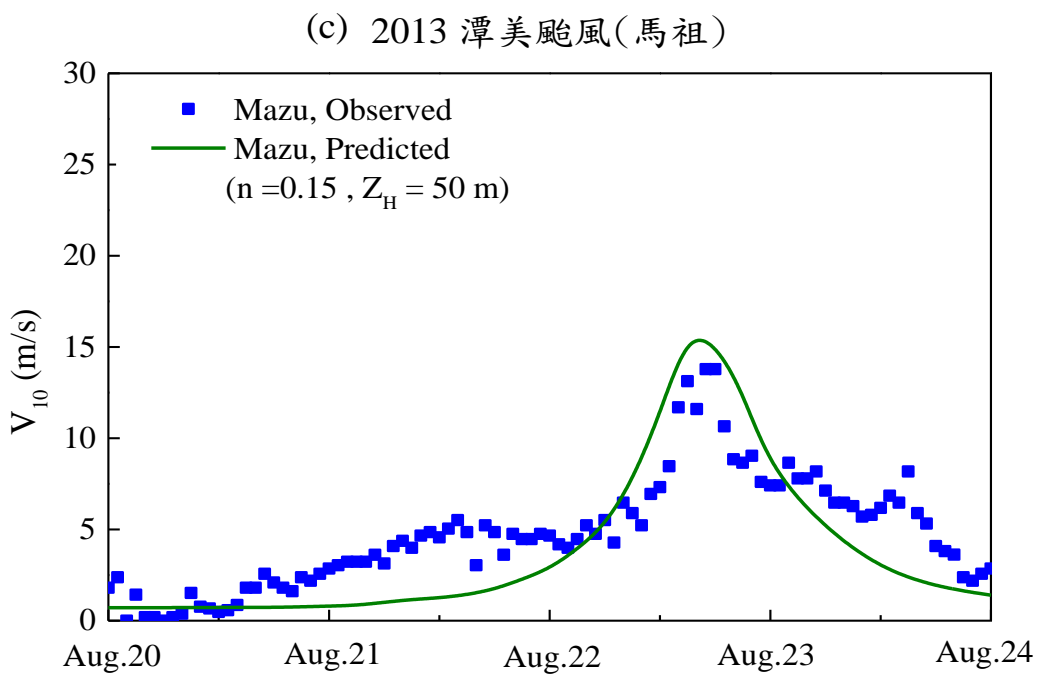
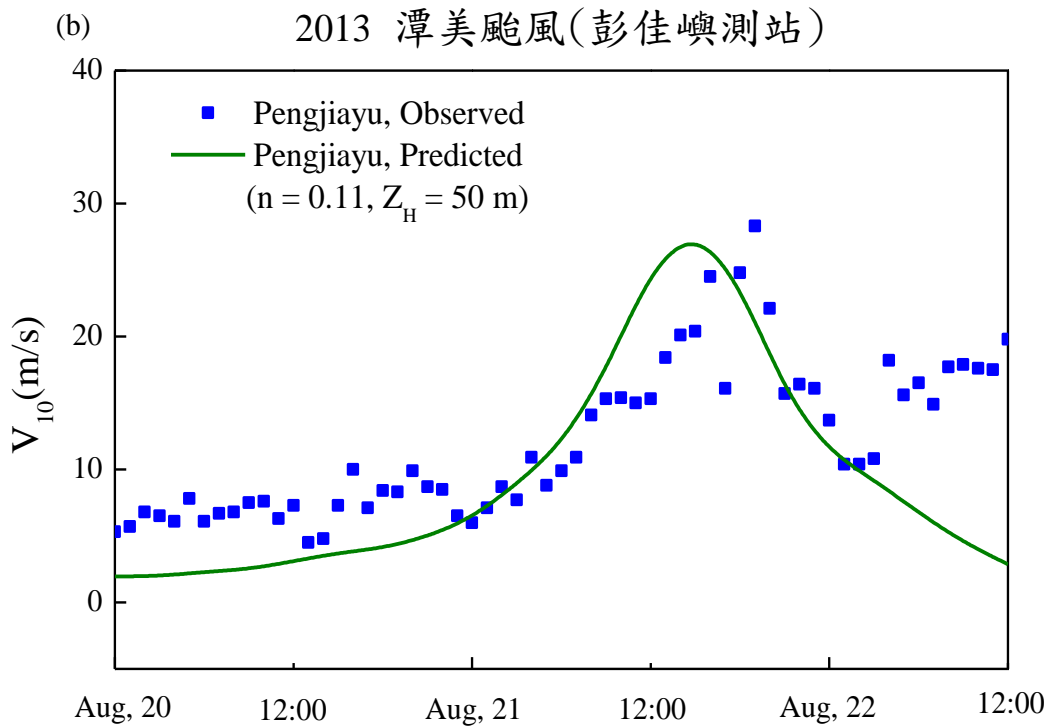


圖 35. 潭美颱風風速隨時間之變化圖(a)颱風路徑；(b)彭佳嶼測站；(c)馬祖測站

資料來源：本研究整理

圖38(a)為第四類路徑尼伯特颱風之路徑圖，此颱風2016年7月8日上午在台東登陸，下午由台南進入台灣海峽。



2016 尼伯特颱風(蘭嶼測站)

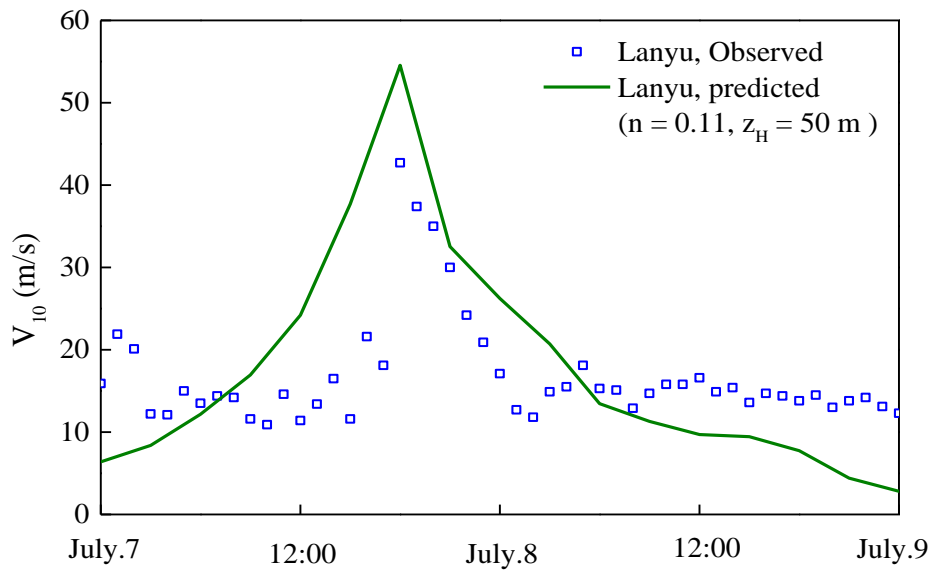


圖 36. 尼伯特颱風風速隨時間之變化圖(a)颱風路徑；(b)蘭嶼測站；(c)測站

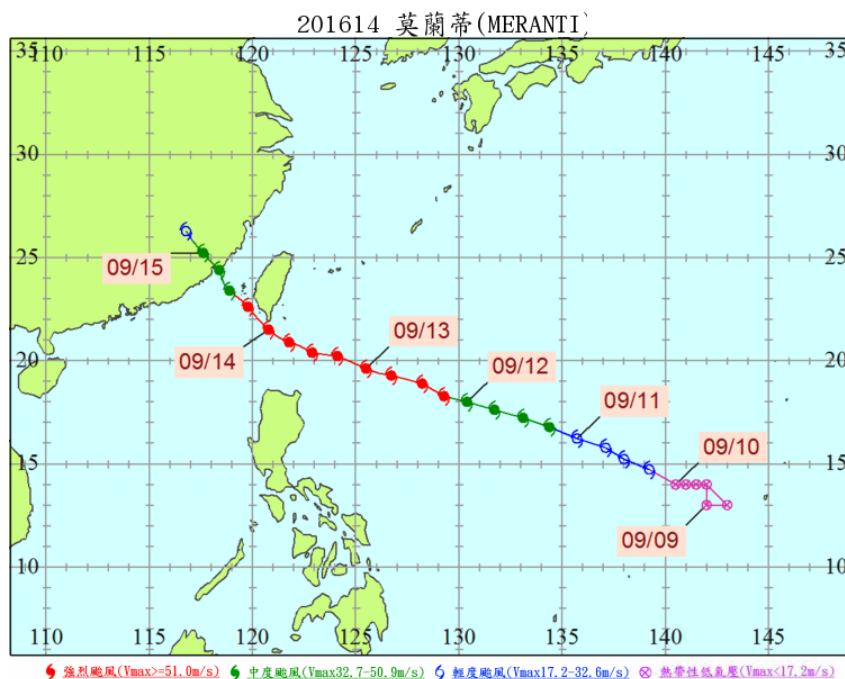
資料來源：本研究整理

圖39(a)為第五類路徑莫蘭蒂颱風之路徑圖，此颱風由台灣南方的巴士海峽通過，颱風中心並未著陸，所以中心氣壓的衰減係數設為零，圖39(b)、39(c)為台灣東部的大武站(120.9038°E, 23.3557°N)和台灣海峽的東吉島站(119.669°E, 23.257°N)觀測與模擬風速。由圖中可知，本研究之模式能準確預測颱風之最大風速，並且能掌握風速變化之趨勢；由這兩個觀測站的驗證結果可得知，本模式可精準預測沿海測站的風速。

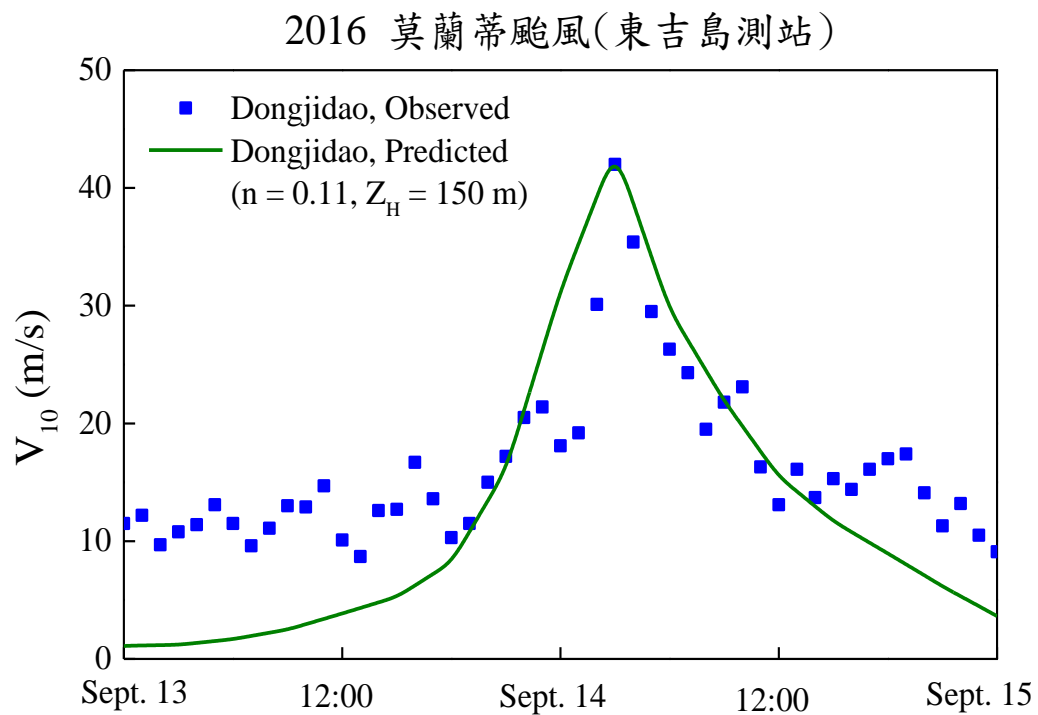
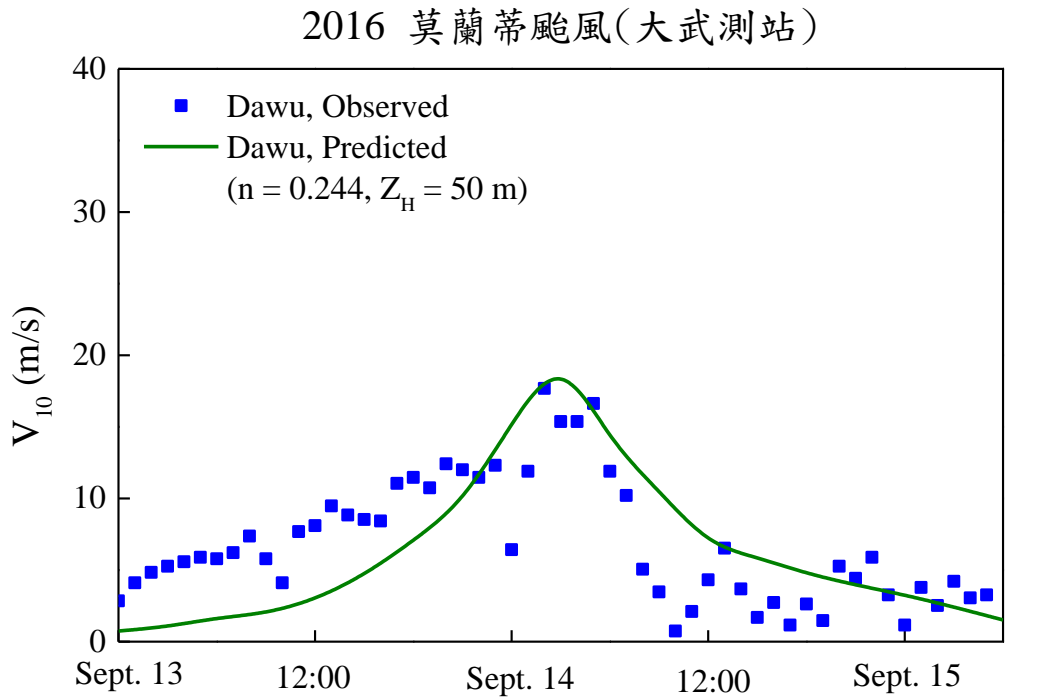
圖40(a)為第六類路徑康芮颱風之路徑圖，康芮颱風在台灣東海岸由南往北經過，中心未著陸，所以中心氣壓的衰減係數設為零，圖40(b)為台灣北部的彭佳嶼測站(122.0797°E, 25.6280°N)、東部的蘭嶼測站(121.5505°E, 22.0387°N)觀測與模擬風速之比較圖。由圖中可知，本研究之模式能預測颱風在離島之最大風速，並且能掌握風速變化之趨勢。

圖41(a)為第七類路徑泰利颱風之路徑圖，泰利颱風穿越台灣海峽，中心未著陸，所以不需要衰減中心氣壓。圖41(b)~(c)為東吉島測站(119.669°E, 23.257°N)與台南測站(120.1969°E, 22.9953°N)之觀測與模擬風速比較圖，可知本研究之模式能預測颱風在西海岸都市之最大風速。

(a)



(b)

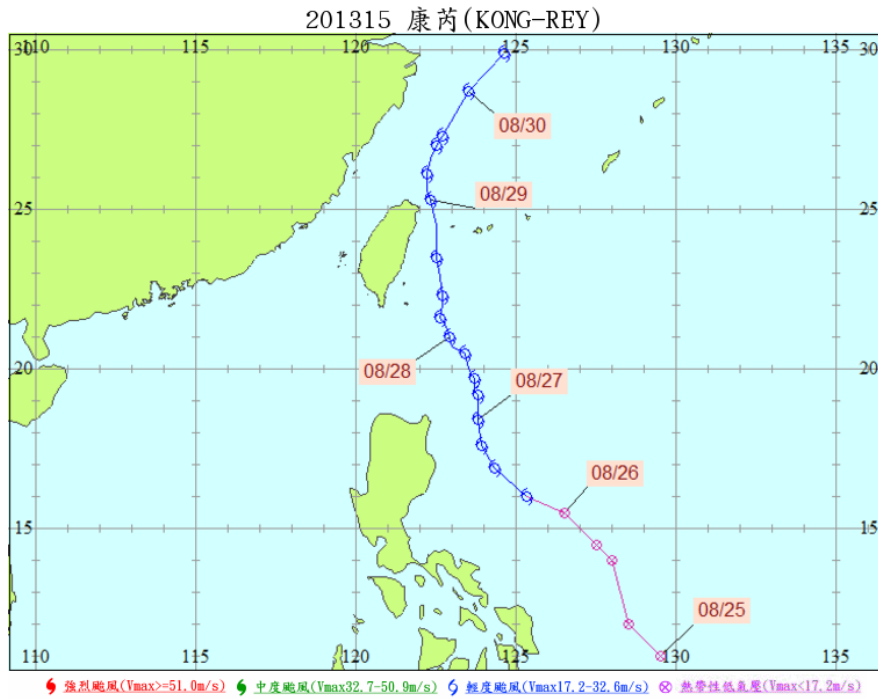


(c)

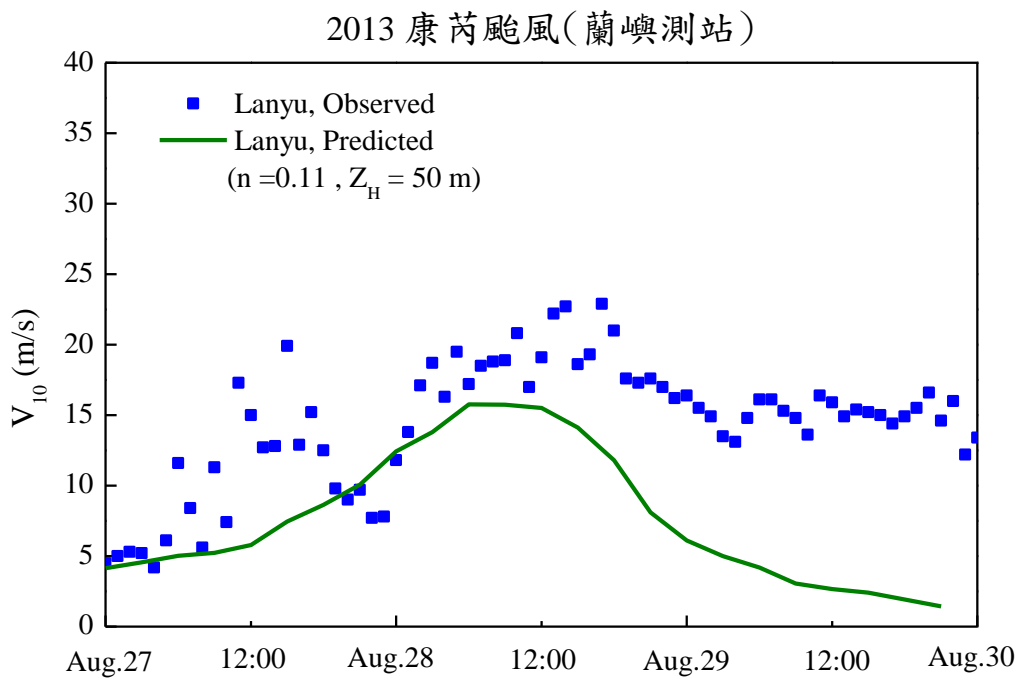
圖 37. 莫蘭蒂颱風風速(10 m 高度處)隨時間之變化圖(a)颱風路徑；(b)大武測站；(c)東吉島測站；

資料來源：本研究整理

(a)



(b)



(c)

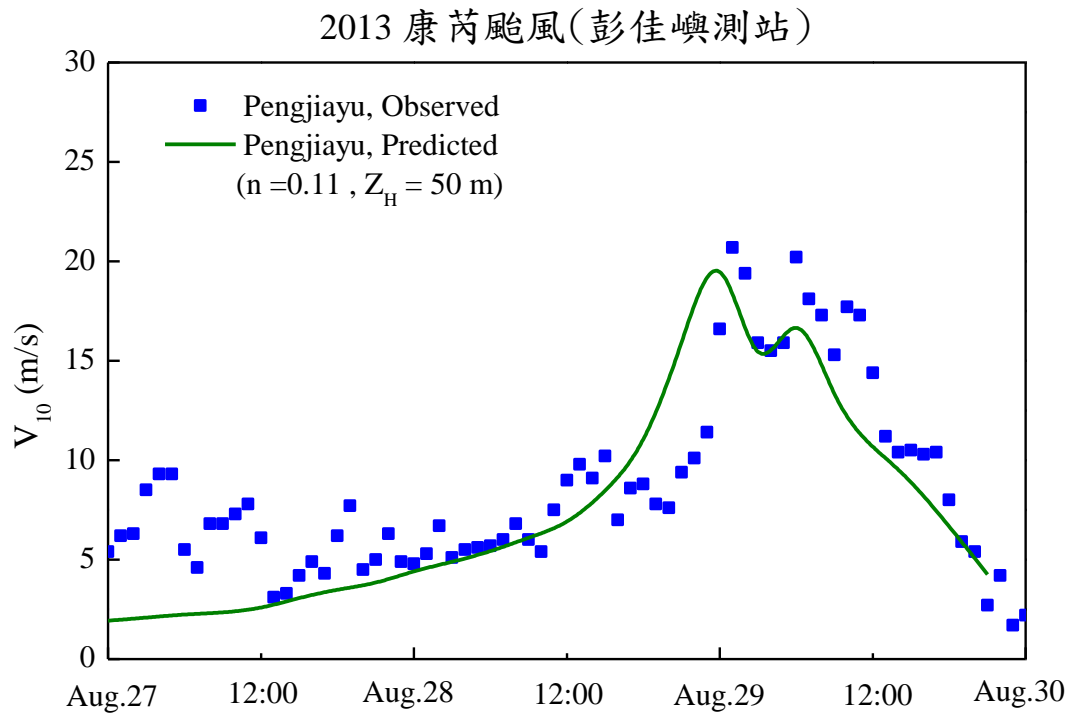
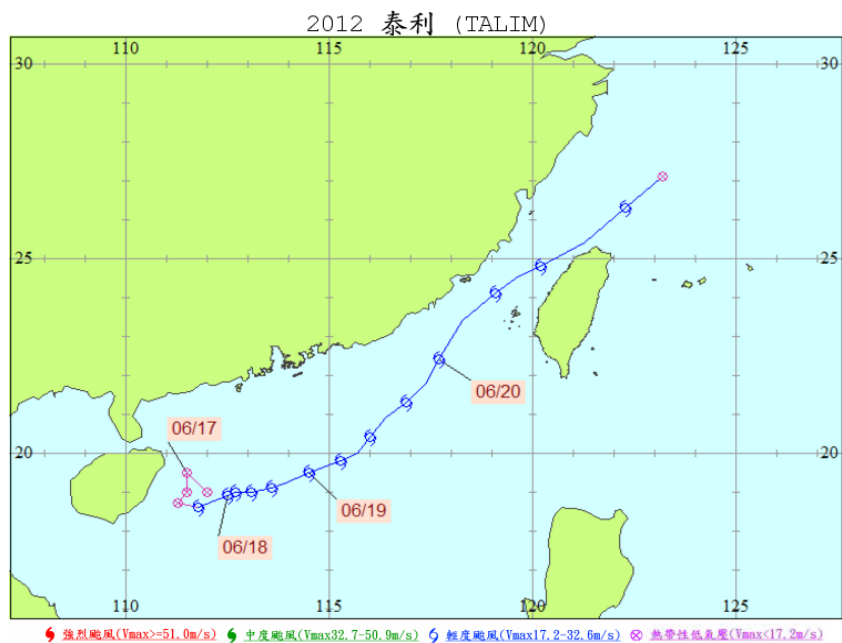


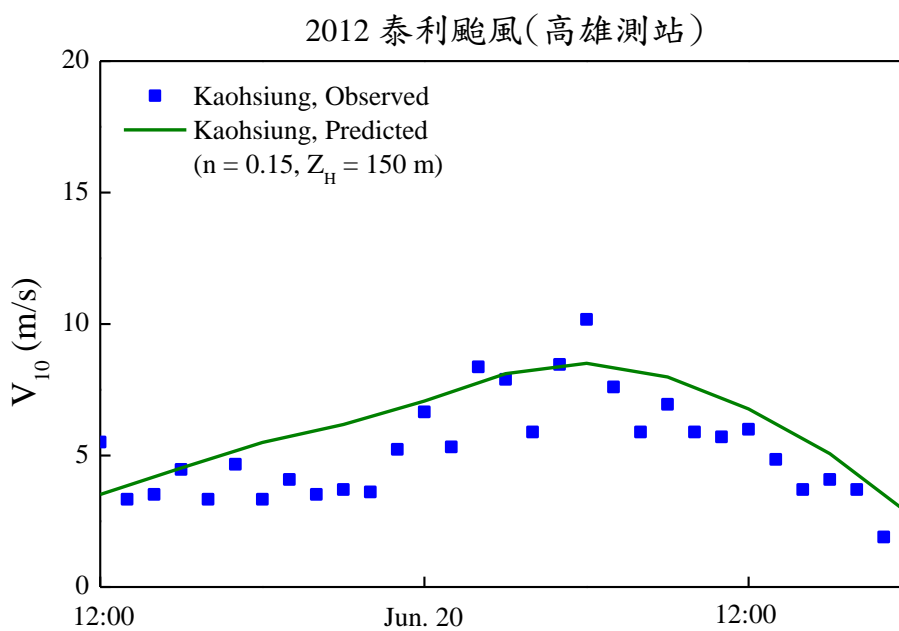
圖 38. 康芮颱風風速隨時間之變化圖(a)颱風路徑；(b)蘭嶼測站；(c)彭佳嶼測站

資料來源：本研究整理

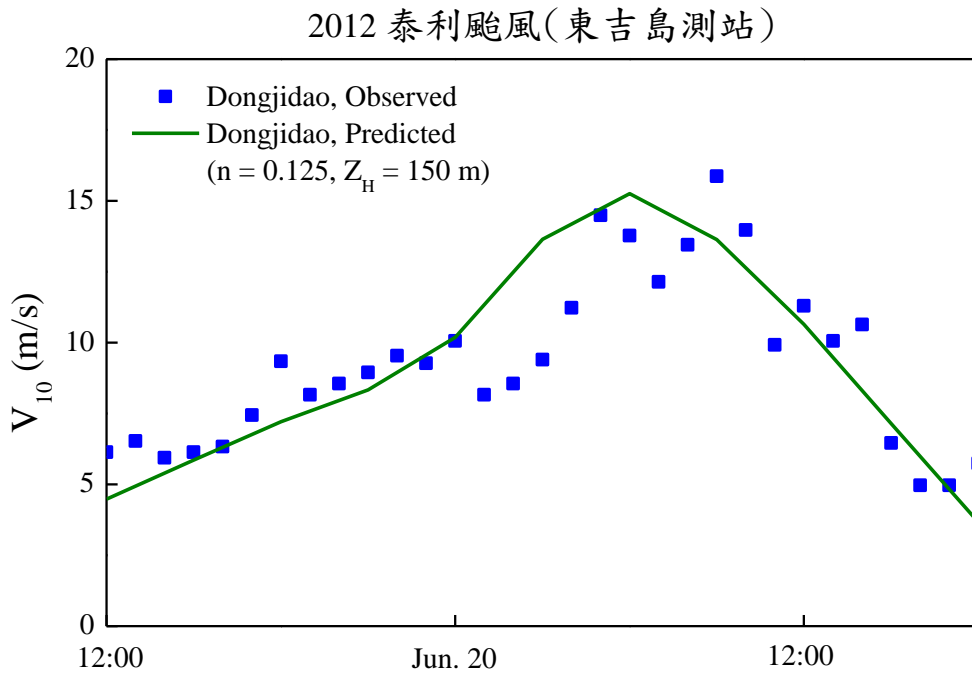
(a)



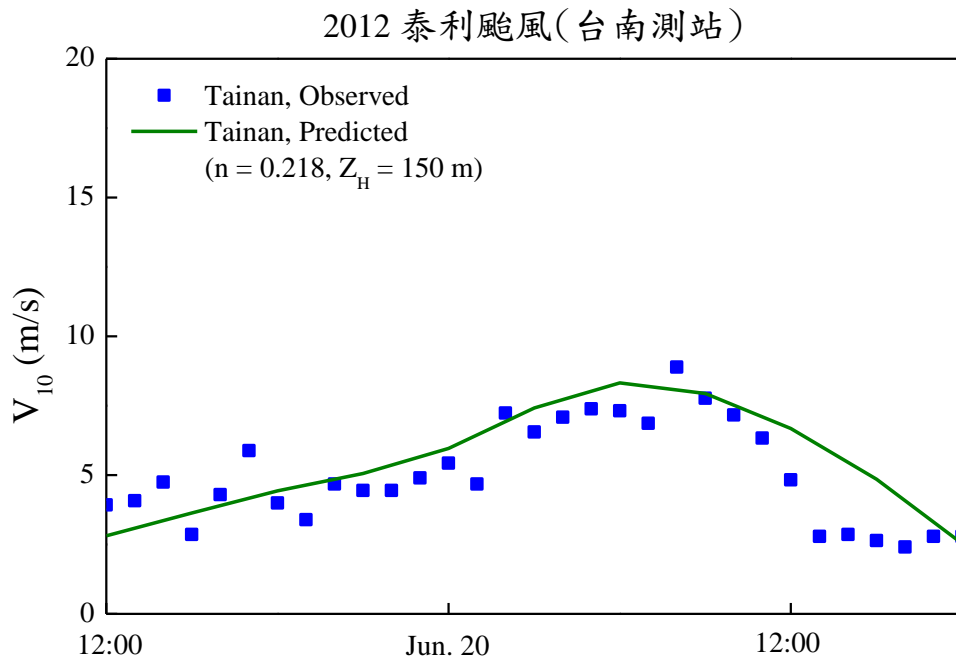
(b)



(c)



(d)



(e)

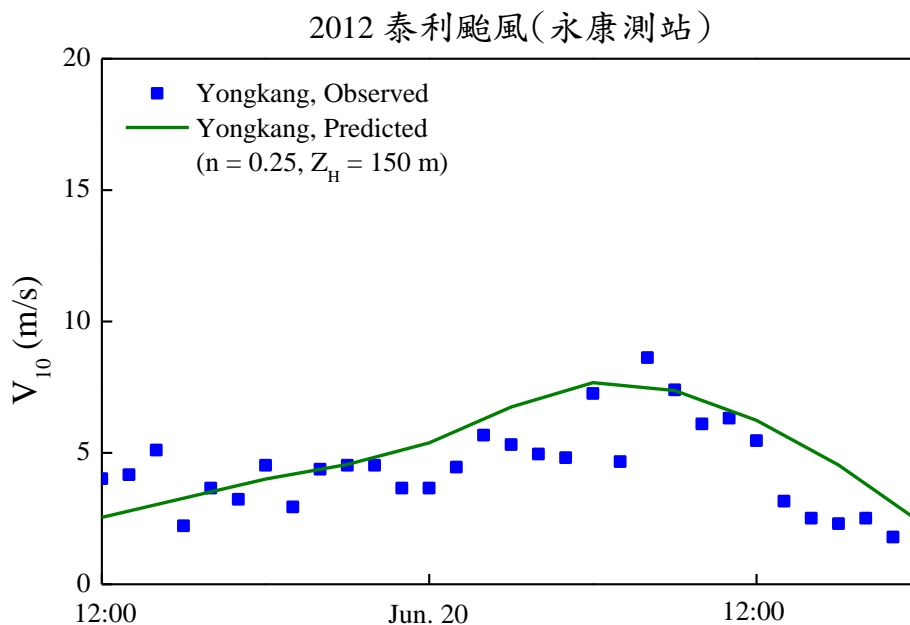


圖 39. 泰利颱風隨時間之變化圖(a)颱風路徑；(b)高雄站；(c)東吉島站；(d)台南站；
(e)永康站

資料來源：本研究整理

第四章 各地設計風速

第一節 風速樣本

本章分析的風速資料包含中央氣象局所屬的有人看守的地面觀測站之歷史資料與蒙地卡羅模式所模擬之風速料，表7整理中央氣象局30個的地面觀測站的基本資料，圖40為地面測站位置圖。分析歷史風速資料時，必須剔除原始資料中不合理之極值風速，本研究刪除連續兩個小時之風速資料差異大於30 m/s者。且有些測站因年份不同，風速計架設高度也有所不同，表816整理各氣象站風速計高度之改變。本研究使用指數律將歷史風速轉換成10 m高度之風速，各氣象站之地況參數沿用蔡益超、林宗賢(1984)所建議之地況，但鞍部、竹子湖站都在陽明山區，但指數分別為 $n = 0.11$ 、 0.25 ，梯度高度 $\delta = 233$ m、 400 m。台東、大武、恆春站都在海邊，但指數分別為 $n = 0.15$ 、 0.244 、 0.250 ，梯度高度 $\delta = 300$ m、 407 m、 233 m，不同的指數、梯度高度值會造成相鄰地區的模擬風速有相差頗大的設計風速。因此本研究將Holland模式預測的風速 V_H 利用地況 C 的指數 $n = 0.15$ 轉換成離地表10 m處之風速 V_{10} 。

無測站之地區，本研究使用蒙地卡羅模式模擬之2259場侵台颱風在368個鄉鎮市中心位置之風速。然而同一場颱風，因為其強度、路徑隨時間而變，在台灣各地模擬得之颱風風速亦隨之變化。本研究模擬侵台期間每六小時所發生之風速，模擬風速有大有小，一場颱風選取該地一個最大風速，但這些最大風速並非都大於輕度颱風的風速門檻17.2 m/s，因此必須篩選風速。本研究採用不同的門檻值篩選，發現風速門檻愈高，資料筆數愈少，其平均值愈大，標準差愈小，導致設計風速愈小。所以本研究將門檻值訂為10 m/s。當單場颱風在高度10公尺處之模擬最大風速大於10 m/s之風速資料才會被選取為風速樣本，計算流程圖如圖41所示。

第二節 極值風速

本研究分析歷史風速時，採用年最大值法，亦即每年找最該年最大風速值，再求取這些極值風速的機率分佈。極值風速之機率分佈一般常使用甘保(Gumbel)分佈、極值第II型分佈、廣義極值分佈(GEV)、廣義普勒托分佈(GPD)來描述。前人研究中，甘保分佈最多人使用，其機率密度函數(PDF)與累積機率函數(CDF)分別如下式：

$$f(x) = \frac{1}{b} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right) - \exp \left(- \frac{x-a}{b} \right) \right] \quad (77)$$

- 馬祖

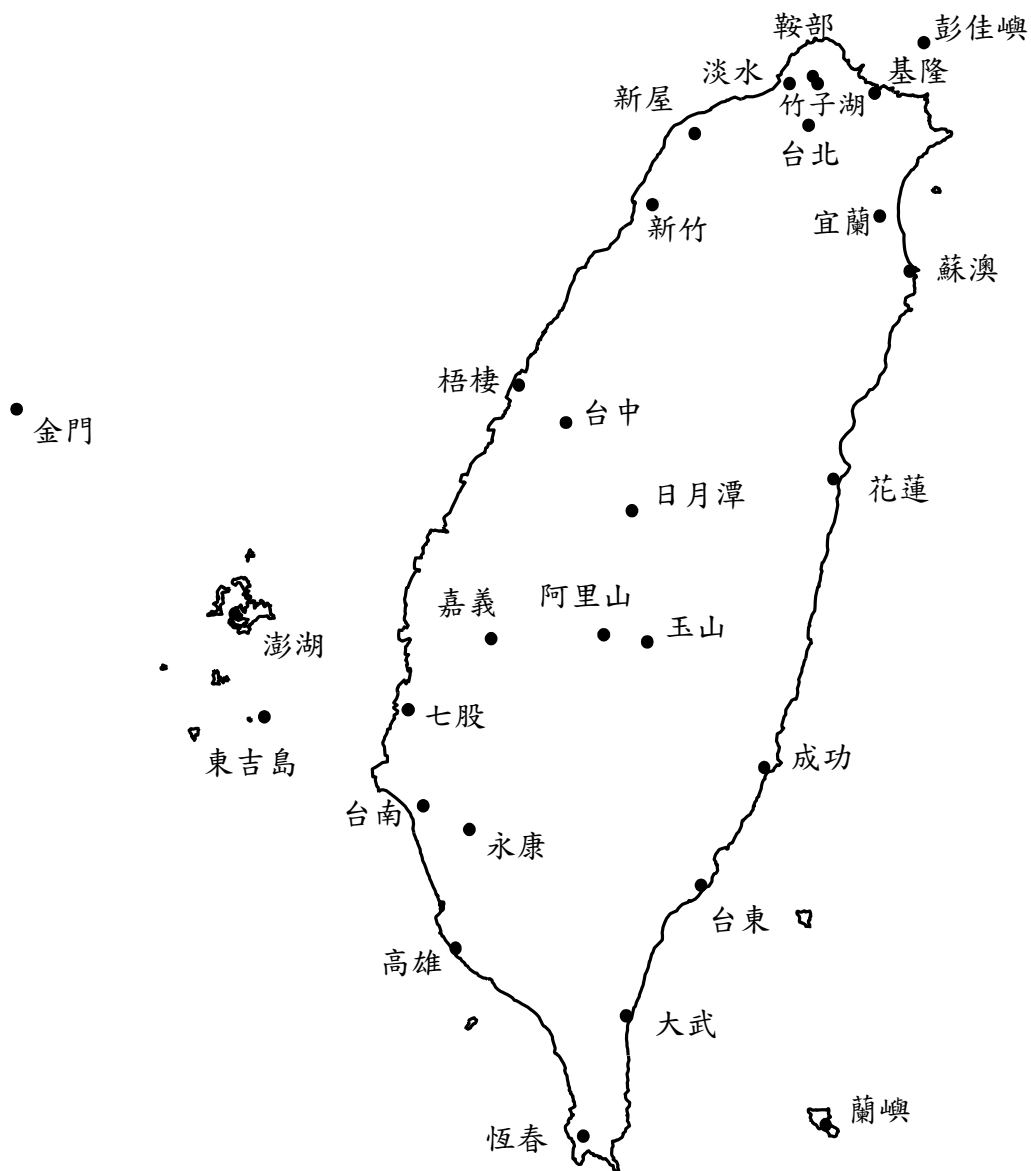


圖 40. 台灣地區中央氣象局地面觀測站位置圖

資料來源：本研究整理

表 7. 中央氣象局地面氣象站資料表

測站	測站代碼	設站年	風速計高度(m)	東經	北緯	n	δ (m)
彭佳嶼	466950	1909	12.50	122° 04'17"	25° 37'46"	0.110	233
鞍部	466910	1937	7.31	121° 31'13"	25° 11'11"	0.110	233
竹子湖	466930	1937	11.03	121° 32'11"	25° 09'54"	0.250	400
淡水	466900	1942	12.20	121° 26'24"	25° 09'56"	0.150	300
基隆	466940	1946	34.60	121° 43'56"	25° 08'05"	0.250	400
台北	466920	1896	34.90	121° 30' 21"	25° 02'21"	0.250	400
新竹	467571	1938	15.60	120° 58'11"	24° 48'08"	0.194	350
宜蘭	467080	1935	26.00	121° 44'53"	24° 45'56"	0.150	300
台中	467490	1896	17.20	120° 40'33"	24° 08'51"	0.250	400
梧棲	467770	1976	33.20	120° 30'54"	24° 15'31"	0.130	267
花蓮	466990	1910	12.00	121° 36'18"	23° 58'37"	0.173	321
日月潭	467650	1941	8.00	120° 53'60"	23° 52'59"	0.150	300
澎湖	467350	1896	14.60	119° 33'19"	23° 34'02"	0.150	300
阿里山	467530	1933	15.10	120° 48'18"	23° 30'37"	0.110	233
嘉義	467480	1968	14.50	120° 25'28"	23° 29'52"	0.167	313
玉山	467550	1943	9.20	120° 57'06"	23° 29'22"	0.150	300
東吉島	467300	1962	9.10	119° 39'35"	23° 15'32"	0.125	260
成功	467610	1940	12.80	121° 21'55"	23° 05'57"	0.144	245
台南	467410	1897	36.60	120° 11'49"	22° 59'43"	0.218	378
台東	467660	1901	11.40	121° 08'48"	22° 45'15"	0.150	300
高雄	467440	1931	14.00	120° 18'29"	22° 34'04"	0.150	300
大武	467540	1940	12.70	120° 53'45"	22° 21'28"	0.244	407
蘭嶼	467620	1941	12.50	121° 33'02"	22° 02'19"	0.110	233
恆春	467590	1896	14.30	120° 44'17"	22° 00'20"	0.194	350
蘇澳	467060	1981	34.00	121° 51'52"	24° 36'06"	0.150	300
永康	467420	1996	37.60	120° 14'12"	23° 02'18"	0.25	400
金門	467110	2004	11.00	118° 17'21"	24° 24'26"	0.15	300
馬祖	467990	2004	14.00	119° 55'24"	26° 10'09"	0.15	300
板橋	466880	1972	14.10	121° 26' 31"	24° 59'51"	0.25	400
七股	467780	1991	10.00	120° 05' 11"	23° 08'50"	0.15	300
新屋	467050	2013	12.96	121° 02' 51"	25° 00'24"	0.194	350

資料來源：中央氣象局

表 8. 中央氣象局測站風速計高度更動年份表

基隆	1961 ~ 1975		1976 ~ 2018	
	11.0 m		34.6 m	
竹子湖	1970 ~ 1987		1988 ~ 2018	
	9.0 m		11.0 m	
台北	1961 ~ 1986	1987 ~ 1992.1	1992.2~1997.8	1997.9~2018
	23.4 m	33.8 m	23.7 m	34.9 m
宜蘭	1961 ~ 1987		1988 ~ 1998	
	9.4 m		14.8 m	
新竹	1961 ~ 1990		1991 ~ 2008	
	13.2 m		15.6 m	
台中	1961~1962	1963~1987	1988	1989
	12.5 m	16.6 m	16.85 m	17.4 m
梧棲	1976 ~ 1984		1985 ~ 2008	
	10.5 m		33.2 m	
台南	1961 ~ 1988	1989 ~ 1997	1998~2001	2002~2006
	16.3 m	36.6 m	37.6 m	36.6 m
高雄	1961 ~ 1975		1976 ~ 2018	
	12.8 m		14.0 m	
鞍部	1961~1987		1988~1995	
	8.3 m		7.4 m	
成功	1961~1975		1976~1987	
	12.8 m		12.3 m	
東吉島	1970~1975	1976~1987	1988~1990	1991~2018
	10.5 m	8.7 m	8.8 m	9.1 m
澎湖	1961~1987		1988~2018	
	14.2 m		14.6 m	

資料來源：中央氣象局

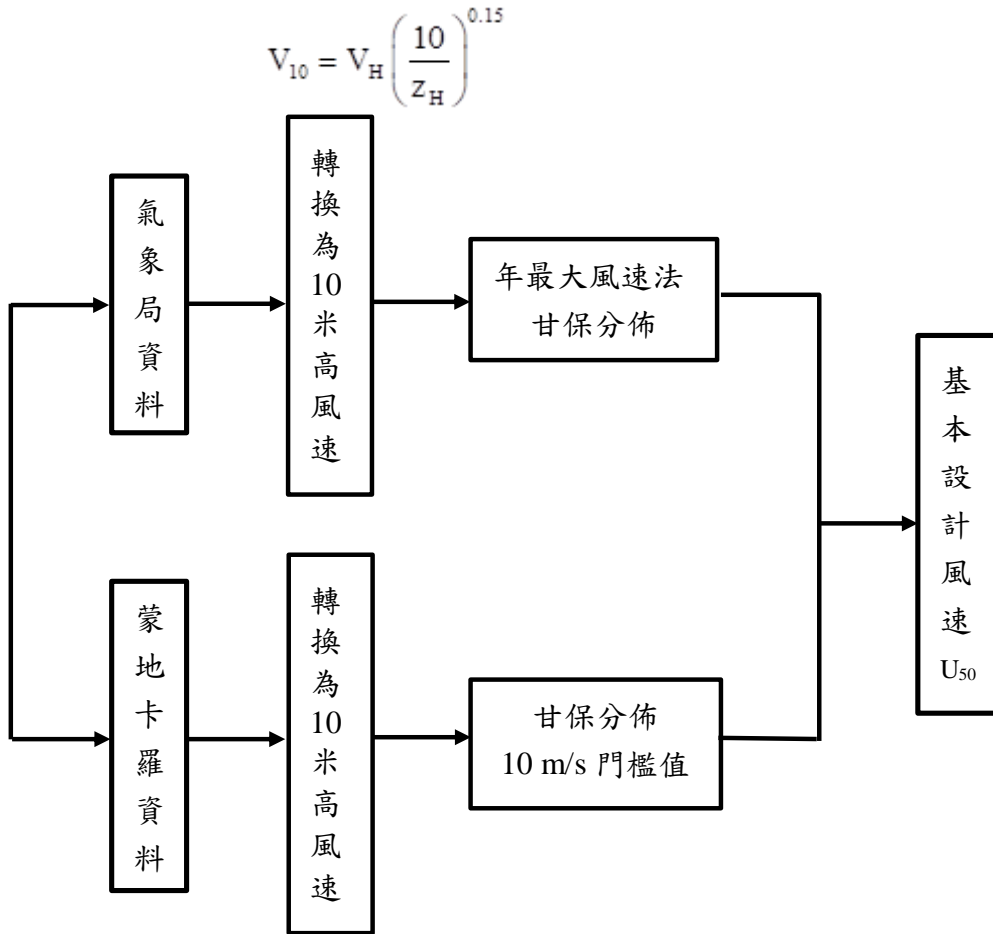


圖 41. 設計風速的計算流程圖

資料來源：本研究整理

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-a}{b} \right) \right] \quad (78)$$

式中 a 、 b 為模式參數。

廣義極值分佈 (Generalized Extreme Value, GEV) 的機率密度函數 (PDF) 與累積機率函數 (CDF) 為：

$$F(x) = \exp \left[-\left(1 - \frac{k(x-\beta)}{\alpha} \right)^{1/k} \right] \quad (79)$$

當參數 $k > 0$ 、 $k \rightarrow 0$ 、 $k < 0$ 時，通用型極值分佈變為韋伯分佈、甘保分佈、型 II 極值分佈 (Brabson and Palutikof, 2000)。

第三節 機率函數之推求

在推求機率函數之參數可採用動差法和最大概似法。以下分述之：

(1) 動差法(Methof of Moment, MOM)：

動差法乃使用資料之平均值與標準差和a、b參數之間的關係來計算模式參數：

$$a = 0.5772b - \bar{x} \quad (80)$$

$$b = \frac{\sigma\sqrt{6}}{\pi} \quad (81)$$

此法因為計算簡單所以是工程上最常使用的方法，但若樣本數過少，資料之平均值與標準差不具代表性，推求之機率函數的參數會有偏差。

(2) 最大概似法(Maximun likelihood)：

此法假設風速資料符合一機率密度函數 $f(x; a, b)$ ，其中a和b為模式參數。為了識別出最佳的模式參數，可在隨機取樣條件下，發生某特定風速值 x_i 的機率為 $f(X_i; a, b)$ ，而得到n個互相獨立的風速值 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 的可能性為：

$$L(X_1, X_2, \dots, X_n; a, b) = f(X_1; a, b)f(X_2; a, b)\dots f(X_n; a, b)$$

上式 $L(X_1, X_2, \dots, X_n; a, b)$ 為風速 X_1, X_2, \dots, X_n 的概似函數(Likelihood function)，使概似函數為最大值之模式參數 \hat{a} 與 \hat{b} 稱為最大概似值。將概似函數對a、b微分使其為0，可求得 \hat{a} 與 \hat{b} 。以最大概似法推求甘保函數參數的公式(Ochi, 1990)為：

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i e^{-x_i/b} \right) \left(\sum_{i=1}^n e^{-x_i/b} \right)^{-1} \quad (82)$$

$$a = -b \cdot \ln \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e^{-x_i/b} \right) \quad (83)$$

由式(82)先利用試誤法迭代求得b值後，代入式(83)即可求得a值。若發生機率採用廣義極值分佈(GEV)，其參數的公式如下：

$$\alpha = b_0 + \frac{(2b_1 - b_0)k}{\Gamma(1-k)(1-2^{-k})} \quad (84)$$

$$\beta = b_0 + \frac{\alpha[\Gamma(1-k)-1]}{k} \quad (85)$$

$$b_0 = \bar{X} \quad b_1 = \sum_{j=1}^{N-1} \frac{(N-j)x_j}{N(N-1)} \quad (86)$$

$$b_2 = \sum_{j=1}^{N-2} \frac{(N-j)(N-j-1)x_j}{N(N-1)(N-2)} \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad (87)$$

樣本數 n 很大時，使用最大概似法被認為是推得參數的最佳方法。

本研究採用動差法和最大概似法計算各測站的甘保機率函數和廣義極值分佈(GEV)的參數，以花蓮站的歷史颱風風速為例，平均值16.59 m/s 和標準差7.056 m/s，甘保機率的參數 $a = 13.42$ 和 $b = 5.5$ 。圖44為歷史資料之累積機率圖，圖45為模擬風速之累積機率圖。卡方檢定的結果為 $\chi^2 = 3.06$ ，卡方檢定在自由度13， $P = 0.95$ 的情況下，通過的標準為5.6。換言之，可用甘保機率函數來描述極值風速的發生機率。

第四節 各地的設計風速

本研究使用蒙地卡羅方法模擬之颱風來計算設計風速，必須考量颱風的發生機率。假設颱風之發生過程為卜桑過程(Poisson Process)，即某地區一年之中發生 λ 次颱風事件，且每次颱風皆為獨立事件，而這些 λ 次颱風的風速皆小於風速 U_T 的機率為：

$$P(U < U_T) = 1 - \exp[-\lambda(1 - F(U_T))] \quad (88)$$

其中 λ 為颱風之年平均發生率， $F(U)$ 為極值風速的累積機率函數。歷史資料中46年共有224場侵台颱風，全台不分區域的年平均發生率 $\lambda = 224/46 = 4.87$ 。蒙地卡羅模式利用46年歷史颱風1323場資料來模擬13230場颱風(相當於460年發生的颱風數目)，結果其中侵台颱風有2259場，侵台發生率 $\lambda = 2259/460 = 4.91$ 。

若採用年最大風速來取樣時，各測站的年平均發生率 $\lambda = 1$ 。但採用門檻值法時，在各測站發生強風的機率會因為颱風的強度、路徑不同而不同，故各地的強風年平均發生率 λ 可分歷史資料與模擬資料，分別計算。譬如花蓮站：

- (1)歷史資料中1961~2017年間57年共有84筆颱風風速資料，因此年平均發生率 $\lambda = 84/57 = 1.47$ 。
- (2)模擬資料為460年資料，模擬得花蓮站風速共有1267筆資料大於門檻值17.2 m/s，年平均發生率 $\lambda = 1267/460 = 2.75$ 。

圖43(a)為採用花蓮測站歷史資料之年最大風速取樣時的機率密度函數；圖43(b)為採用年最大風速取樣時之累積機率密度函數(使用非線性座標)；圖43(c)為採用年最大

風速取樣時之累積機率密度函數(使用線性座標)。圖44(a)、44(b)分別為採用蒙地卡羅法模擬花蓮測站，門檻值設為17.2 m/s取樣時的機率密度函數和累積機率密度函數(使用非線性座標)。

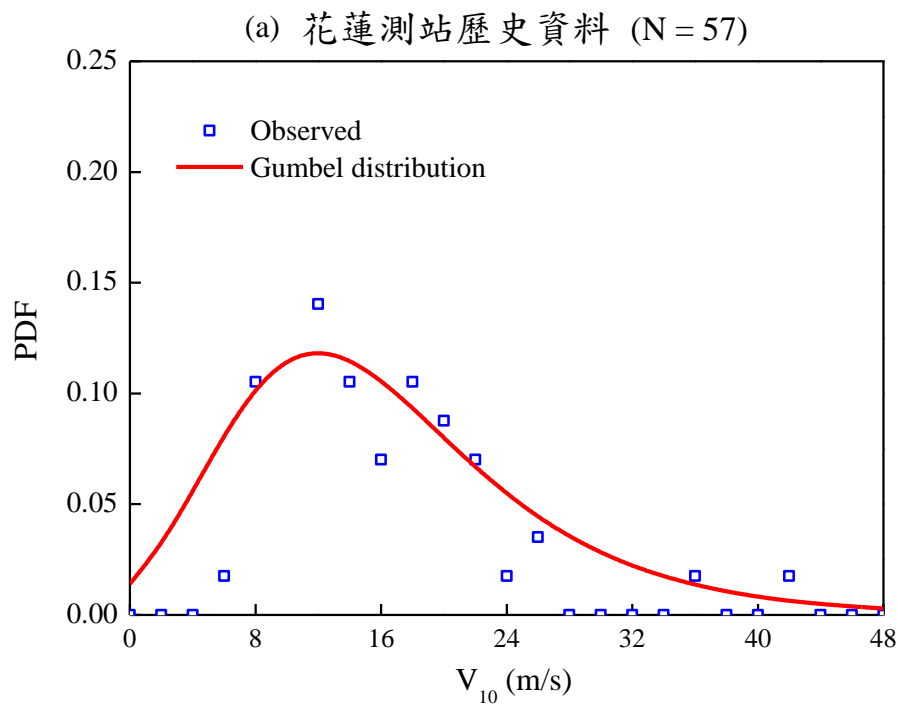
當極值風速之發生機率採用甘保函數，計算重現期為T年的設計風速 U_T ，則年超越機率為 $1/T$ 的設計風速如下：

$$U_T = a - b \cdot \ln \left\{ -\ln \left[1 + \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \right\} \quad (89)$$

基本設計風速為重現期 $T = 50$ 年，在C地況高度10公尺處風速 U_{50} 。

發生機率若採用廣義極值分佈(GEV)，計算重現期為T年的設計風速 U_T ，則年超越機率為 $1/T$ 的設計風速如下：

$$U_T = \beta + \left(\frac{\alpha}{k} \right) \left(1 - \left(-\ln \left(1 + \frac{1}{\lambda} \ln(F(x)) \right) \right) \right)^k \quad (90)$$



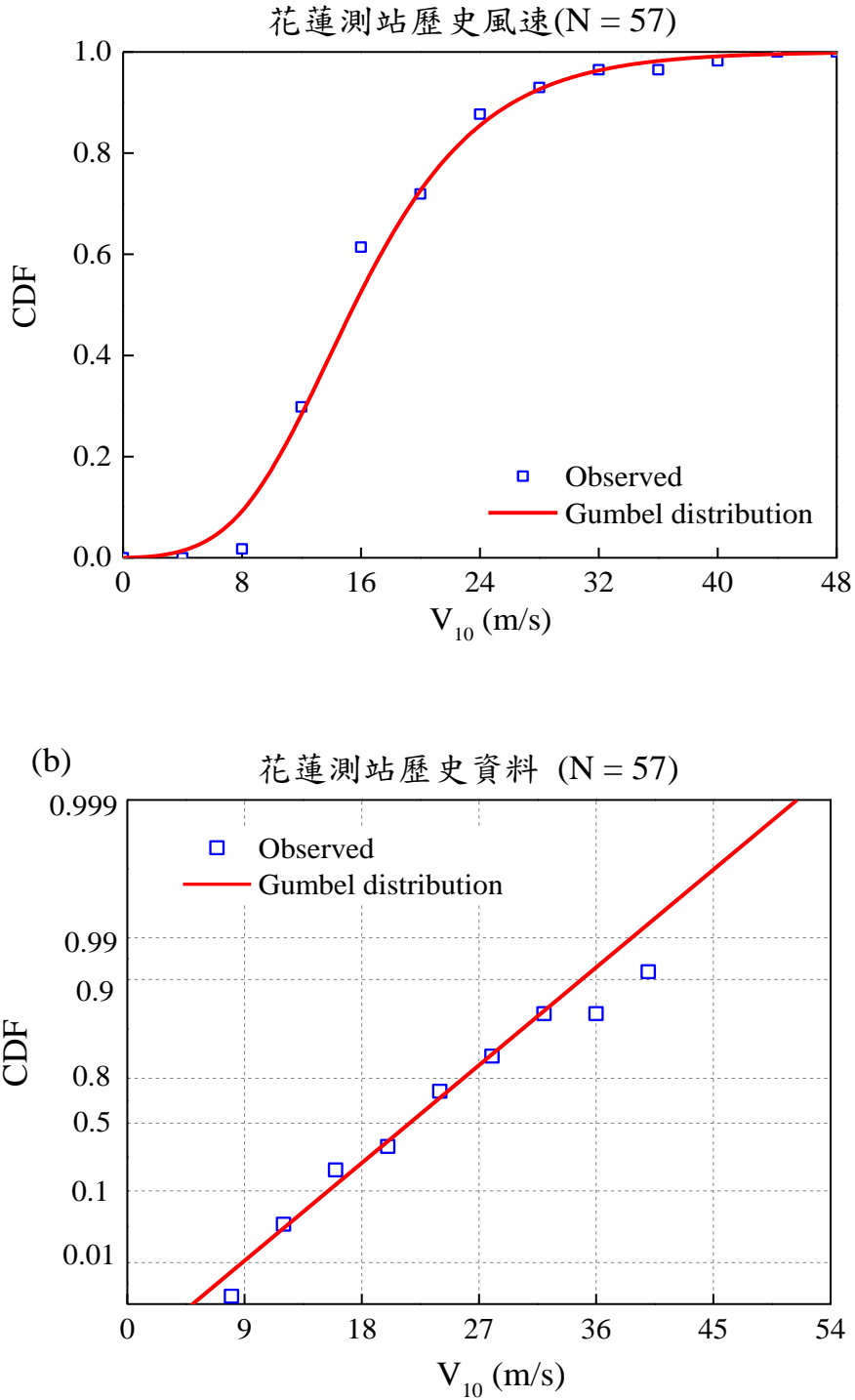


圖 42. 花蓮測站歷史風速年最大值法(a)機率密度函數；(b)累積機率密度函數(線性軸)；(c)累積機率密度函數(非線性軸)

資料來源：本研究整理

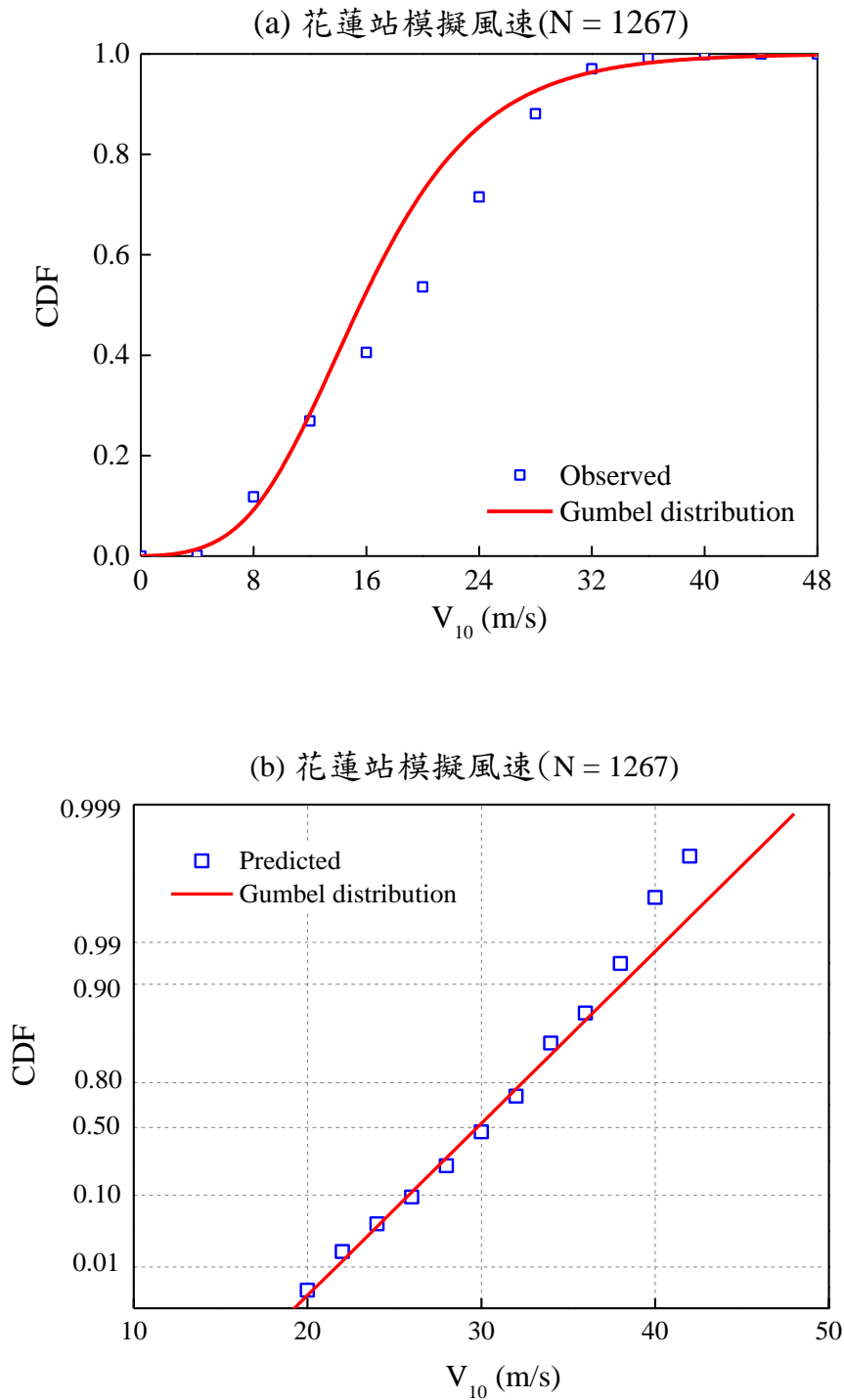


圖 43. 花蓮站模擬風速之門檻值法 (a)累積機率密度函數(線性軸)；(b)累積機率密度函數(非線性軸)

資料來源：本研究整理

表9比較台灣30測站位置使用歷史資料年最大值法與本研究之蒙地卡羅法模擬得颱風風速計算之基本設計風速(50年重現期在C地況高度10公尺處風速 U_{50})，與現有設計風速規範之差異，模擬風速的門檻值設為10 m/s來篩選風速。由表9可看出：模擬風

速用甘保函數和動差法之結果與用GEV函數和最大概似法之結果十分相近，且本研究利用歷史風速資料計算出之各測站的設計風速接近羅元隆(2015)計算出之設計風速，但大多數測站之結果大於模擬風速得之設計風速。這是因為風場參數化模式僅考慮地形對颱風造成之衰減效應，無法直接預測台灣複雜地況對風場的影響，導致模式計算出之內陸地區的設計風速較不準確。為保守起見，建議之設計風速採用不同方法的最大值。

表10為比較台灣30測站位置歷史風速資料年最大值法與本研究之蒙地卡羅法所求得颱風強風發生率與基本設計風速，沿海地區本研究所使用之模式與歷史資料接近。然而鞍部、竹子湖站都在陽明山區，模擬風速計這是因為風速換算時使用蔡益超、林宗賢(1984)所建議之指數 n 、梯度高度 δ 不同的緣故。台東、大武站都在台東海邊，但算得之設計風速分別為 $U_{50} = 40.7、53.9 \text{ m/s}$ ，也是因為兩地的指數、梯度高度不同的緣故。故本研究建議修改蔡益超、林宗賢(1984)所使用之指數 n 、梯度高度 δ 。

表11為中央氣象局30測站位置使用歷史資料年最大值法與蒙地卡羅法所求得之設計風速與前人研究之結果，圖45比較前人建議值和本計畫由歷史風速得之設計風速，顯示本研究使用歷史資料計算所得到的設計風速整體而言與羅元隆(2016)接近，但小於耐風設計規範中各測站的設計風速。這是因為張景鐘(1995)分析1951~1990年間氣象測站的颱風風速，蔡益超、陳瑞華、項維邦(1996)使用1947~1991年間的風速為樣本。而中央氣象局地面測站在1961年之前的颱風風速偏大，1961年之後年平均風速和最大風速的長期變化趨勢皆逐年下降(朱佳仁和張育峯, 2012)。這導致本研究計算所得各測站之設計風速小於耐風設計規範中的設計風速而蒙地卡羅模式所計算出來的結果。且在沿海地區的設計風速與歷史資料算出的設計風速相近。但靠近內陸及山區的測站，本模式所考慮的地形衰減效應，無法將台灣複雜地形的局部效應考量進去，導致於在蒙地卡羅的設計風速方面，相較於歷史資料所計算出的設計風速明顯較大。

本研究將台灣各地測站分為(1)內陸測站；(2)沿海測站；(3)離島測站。圖46比較歷史資料和模擬風速計算得之設計風速，內陸測站；(b)沿海測站；(c)離島測站。由此圖可看出：離島測站的設計風速最大，沿海測站次之，內陸測站的最小，這符合實場觀測之結果。

表 9. 台灣測站位置之颱風發生率與設計風速

氣象站	颱風發生率 λ		本研究之設計風速 U_{50} (m/s)		羅元隆 (2015) U_{50} (m/s)	建議值之 設計風速 U_{50} (m/s)
	歷史	模擬	歷史	蒙地卡羅模擬風速		
			年最大值法 U_{50} (m/s)	甘保分布+動差法 (門檻值 10 m/s)		
彭佳嶼	3.67	2.85	53.2	38.6	53.3	54
鞍部	2.23	3.01	36.5	35.3	38.1	40
竹子湖	0.14	3.01	36.1	35.4	40.1	42
淡水	0.49	3.04	35.2	35.3	37.3	38
基隆	0.54	2.95	41.3	35.5	49.4	50
台北	0.16	3.08	35.0	35.8	35.3	36
新竹	0.18	3.37	32.3	36.3	28.6	38
宜蘭	0.60	3.47	31.7	44.5	37.6	46
台中	0.04	3.82	36.0	37.4	34.7	38
梧棲	0.93	3.79	27.4	37.1	28.9	38
花蓮	0.63	3.91	37.1	46.5	48.7	50
日月潭	0.14	3.92	19.1	33.5	20.4	34
澎湖	0.58	4.25	26.4	38.2	27.0	40
阿里山	0.07	4.16	16.4	38.5	17.5	40
嘉義	0.16	4.25	23.5	38.3	28.1	40
玉山	2.53	4.42	33.7	33.7	37.1	38
東吉島	2.79	4.40	37.8	38.4	40.5	42
成功	0.93	4.50	33.9	47.7	44.3	48
台南	0.07	4.57	20.6	38.8	23.0	40
台東	0.23	4.72	28.1	47.3	28.8	48
高雄	0.42	4.72	29.3	39.0	29.3	40
大武	0.28	4.83	41.0	46.8	43.7	48
蘭嶼	4.07	4.80	54.6	47.5	55.8	56
恆春	0.47	4.79	25.9	39.4	31.5	40
蘇澳	0.71	3.51	30.2	44.7	43.6	46
永康	0.06	4.54	33.2	38.8	22.0	40
金門	0.36	3.26	36.8	35.0	24.5	38
馬祖	0.36	2.64	24.8	25.5	23.6	26
板橋	0.13	3.13	24.6	36.0	30.0	36
七股	1.19	3.62	26.5	35.7	27.0	36
新屋	1.20	3.26	39.2	35.7	-	40

資料來源：本研究整理

表 10. 台灣地區50年重現期設計風速之比較(1)

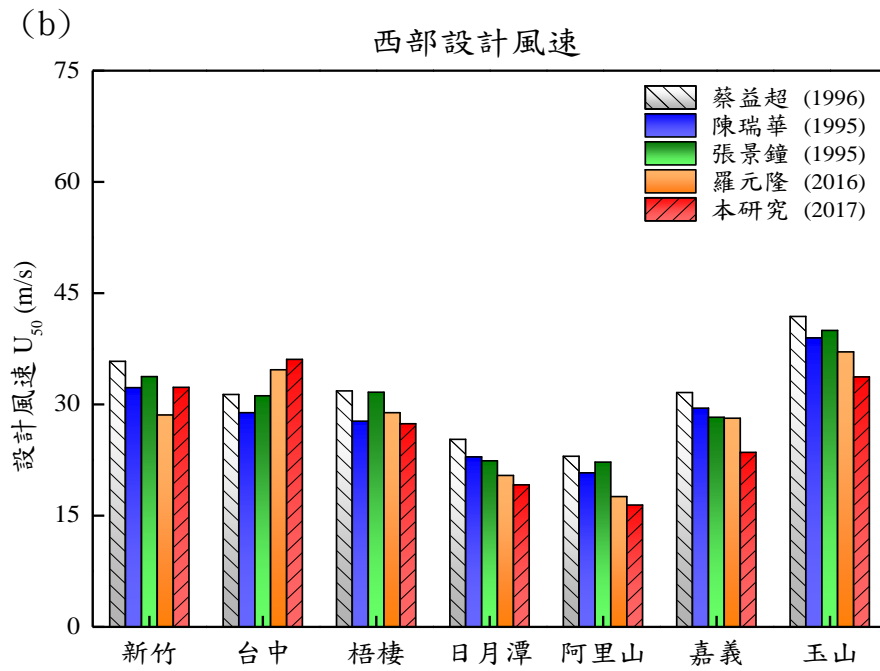
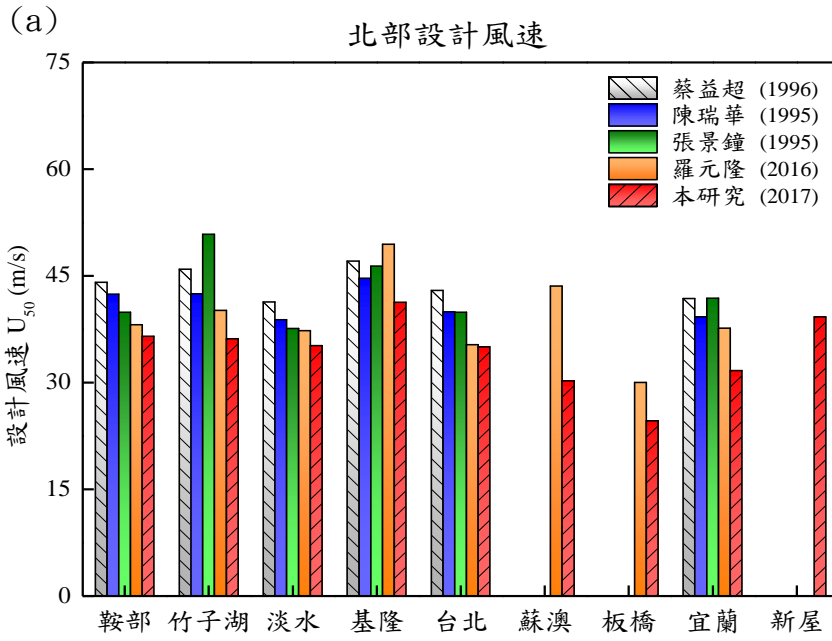
測站	資料年分	歷史 年最大值法 U_{50} (m/s)	蒙地卡羅模擬風速 (門檻值 10 m/s)		
			Z_H (m)	U_{50} (m/s)	年平均發生率 λ
彭佳嶼	1961-2017	53.24	50	38.6	2.85
鞍部	1961-2017	36.49	150	35.3	3.01
竹子湖	1961-2017	36.13	150	35.4	3.01
淡水	1961-2017	35.18	150	35.3	3.04
基隆	1961-2017	41.29	150	35.5	2.95
台北	1961-2017	34.98	150	35.8	3.08
新竹	1961-2017	32.30	150	36.3	3.37
宜蘭	1961-2017	31.66	50	44.5	3.47
台中	1961-2017	36.05	150	37.4	3.82
梧棲	1976-2017	27.39	150	37.1	3.79
花蓮	1961-2017	37.10	50	46.5	3.91
日月潭	1961-2017	19.13	300	33.5	3.70
澎湖	1961-2017	26.41	150	38.2	4.25
阿里山	1961-2017	16.42	150	38.5	4.16
嘉義	1968-2017	23.51	300	38.3	4.25
玉山	1961-2017	33.67	300	33.7	3.79
東吉島	1962-2017	37.76	150	38.4	4.40
成功	1961-2017	33.85	50	47.7	4.50
台南	1961-2017	20.64	150	38.8	4.57
台東	1961-2017	28.08	50	47.3	4.72
高雄	1961-2017	29.26	150	39.0	4.72
大武	1961-2017	40.95	50	46.8	4.83
蘭嶼	1961-2017	54.64	50	47.5	4.80
恆春	1961-2017	25.88	150	39.4	4.79
蘇澳	1982-2017	30.20	50	44.7	3.51
永康	2000-2017	33.24	150	38.8	4.54
金門	2004-2017	36.80	150	35.0	3.26
馬祖	2004-2017	24.75	150	25.5	2.64
板橋	1972-2017	24.60	150	36.0	3.13
七股	1991-2016	26.48	150	35.7	3.62
新屋	2013-2017	39.19	150	35.7	3.26

資料來源：本研究整理

表11. 台灣地區50年重現期設計風速之比較(2)

測站	資料年分	本研究 U_{50} (m/s)		蔡益超 1947-1980	陳瑞華 1947-1991	張景鐘 1951-1990	羅元隆 1961-2015
		年最大值法	甘保分佈				
彭佳嶼	1961-2017	53.2	38.6	62.0	57.1	59.1	53.3
鞍部	1961-2017	36.5	35.3	44.1	42.4	39.9	38.1
竹子湖	1961-2017	36.1	35.4	45.9	42.5	50.9	40.1
淡水	1961-2017	35.2	35.3	41.3	38.8	37.6	37.3
基隆	1961-2017	41.3	35.5	47.1	44.7	46.4	49.4
台北	1961-2017	35.0	35.8	43.0	39.9	39.9	35.3
新竹	1961-2017	32.3	36.3	35.8	33.7	32.2	28.6
宜蘭	1961-2017	31.7	44.5	41.8	39.2	41.8	37.6
台中	1961-2017	36.0	37.4	31.3	31.1	28.8	34.7
梧棲	1976-2017	27.4	37.1	31.8	31.6	27.7	28.9
花蓮	1961-2017	37.1	46.5	44.0	46.5	44.4	48.7
日月潭	1961-2017	19.1	33.5	25.3	22.4	22.9	20.4
澎湖	1961-2017	26.4	38.2	35.2	32.8	31.2	27.0
阿里山	1961-2017	16.4	38.5	23.0	22.2	20.7	17.5
嘉義	1968-2017	23.5	38.3	31.6	28.2	29.5	28.1
玉山	1961-2017	33.7	33.7	41.8	39.9	39.0	37.1
東吉島	1962-2017	37.8	38.4	41.9	45.4	41.8	40.5
成功	1961-2017	33.9	47.7	39.9	38.6	36.6	44.3
台南	1961-2017	20.6	38.8	34.4	33.2	32.2	23.0
台東	1961-2017	28.1	47.3	38.4	36.7	38.2	28.8
高雄	1961-2017	29.3	39.0	40.7	37.9	32.5	29.3
大武	1961-2017	41.0	46.8	44.0	42.1	41.8	43.7
蘭嶼	1961-2017	54.6	47.5	70.8	65.3	57.8	55.8
恆春	1961-2017	25.9	39.4	46.4	44.9	39.9	31.5
蘇澳	1982-2017	30.2	44.7	-	-	-	43.6
永康	1996-2017	33.2	38.8	-	-	-	22.0
金門	2004-2017	36.8	35.0	-	-	-	24.5
馬祖	2004-2017	24.8	25.5	-	-	-	23.6
板橋	2002-2017	24.6	36.0	-	-	-	30.0
七股	1991-2016	26.5	35.7	-	-	-	27.0
新屋	2013-2017	39.2	35.7	-	-	-	-

資料來源：本研究整理



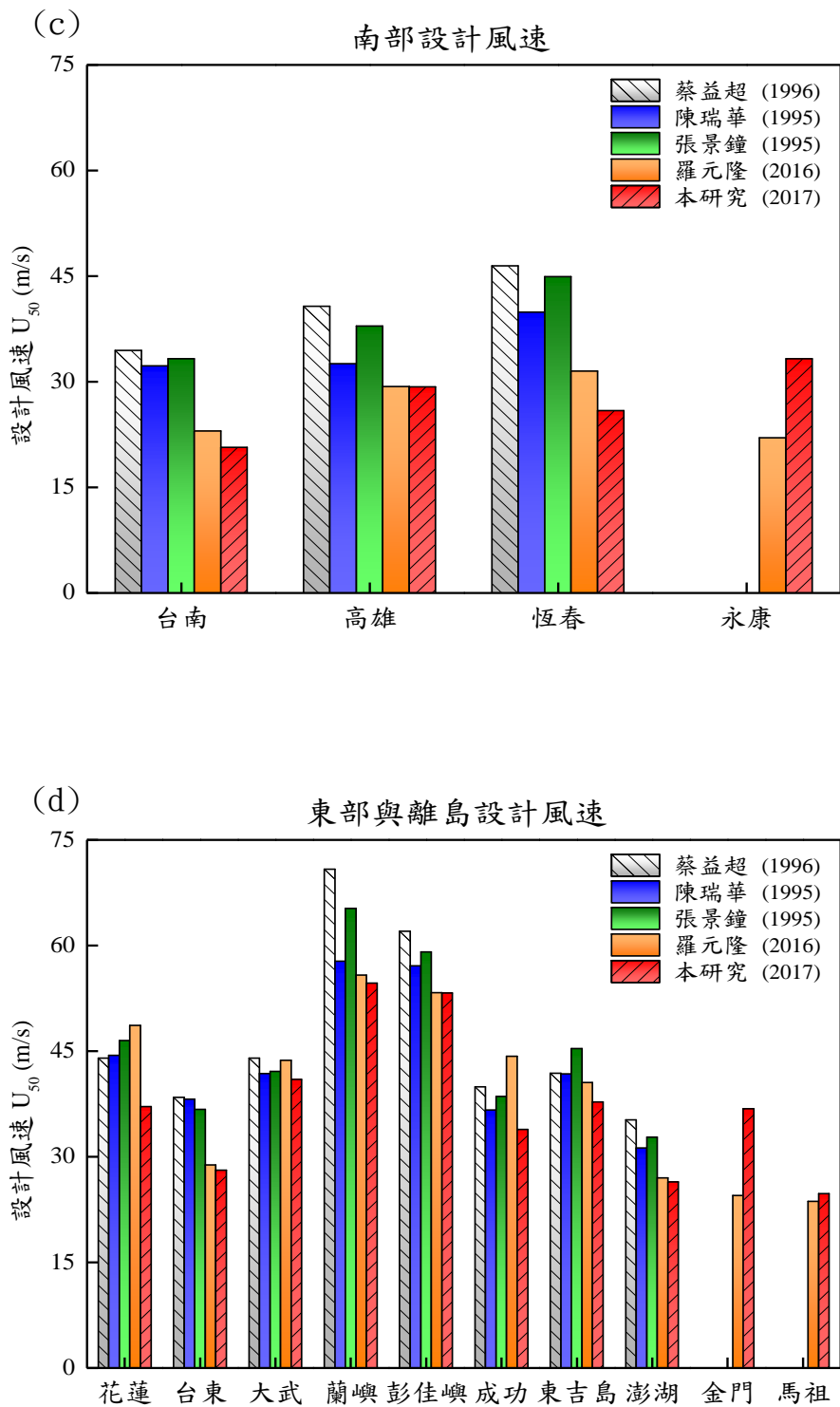
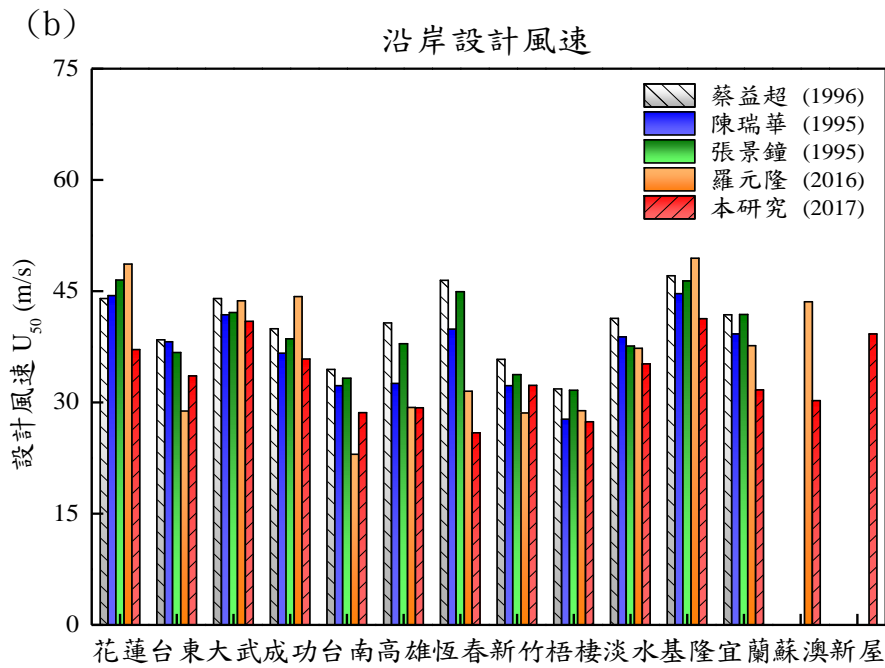
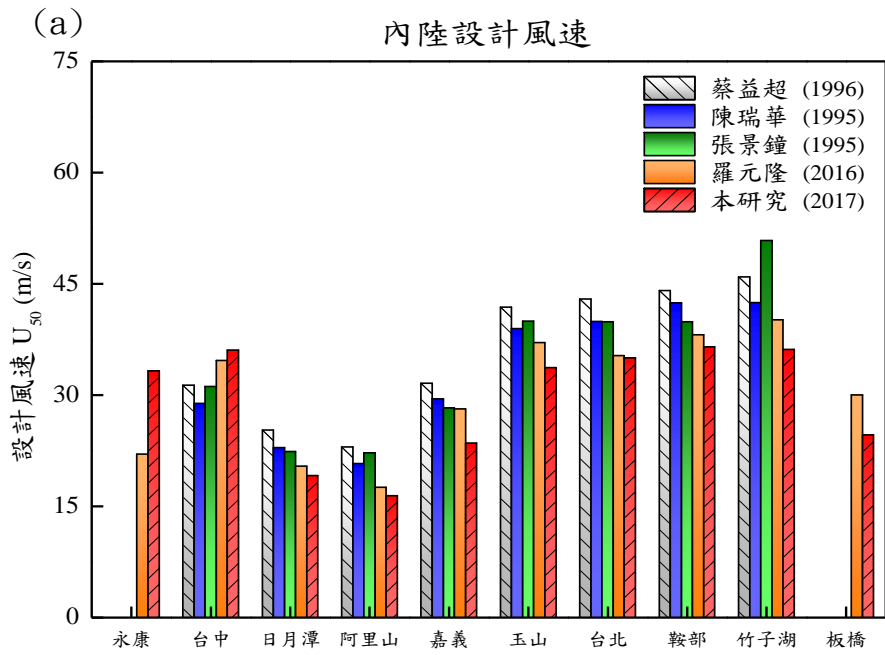


圖 44. 歷史資料計算得各地的設計風速(a)北部測站；(b)中部測站；(c)南部測站;(d)東部與離島測站

資料來源：本研究整理



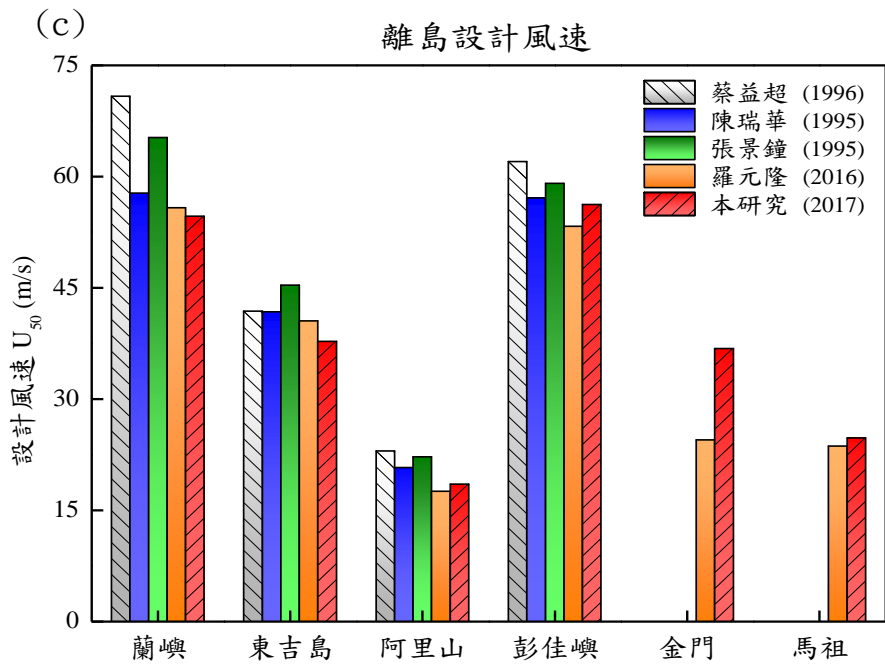
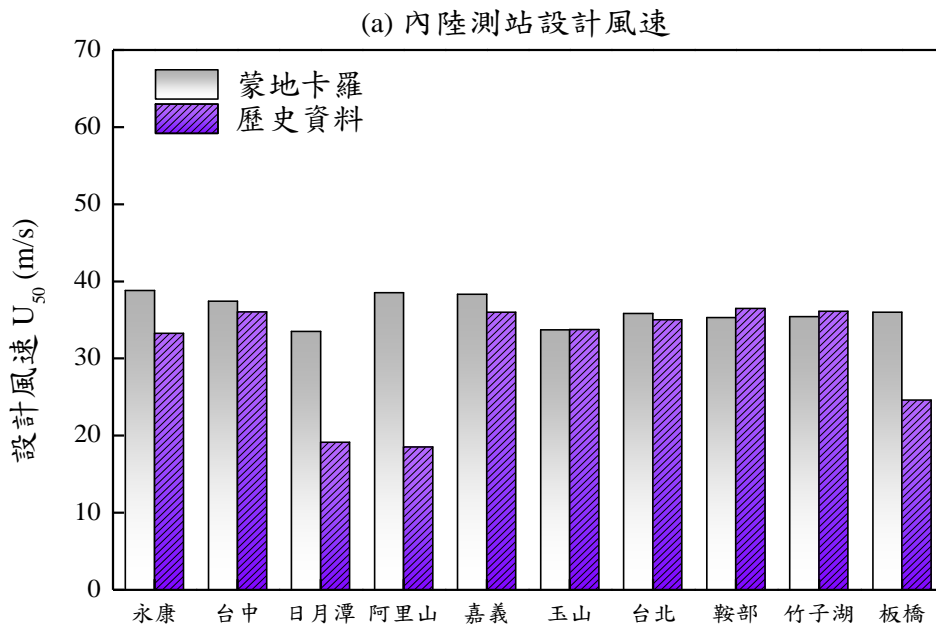


圖 45. 歷史資料計算得台灣各地的設計風速(a)內陸測站；(b)沿海測站；(c)離島測站
資料來源：本研究整理



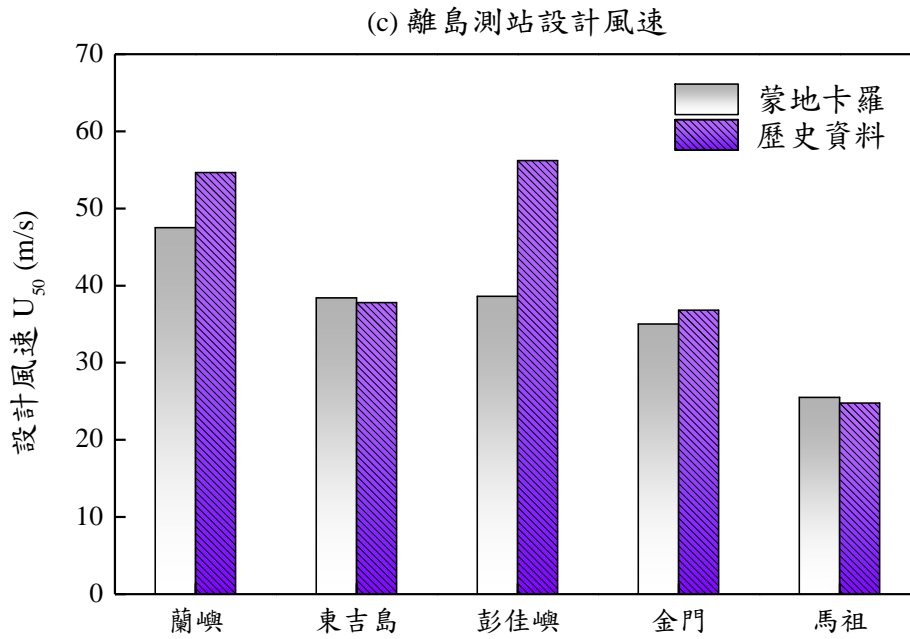
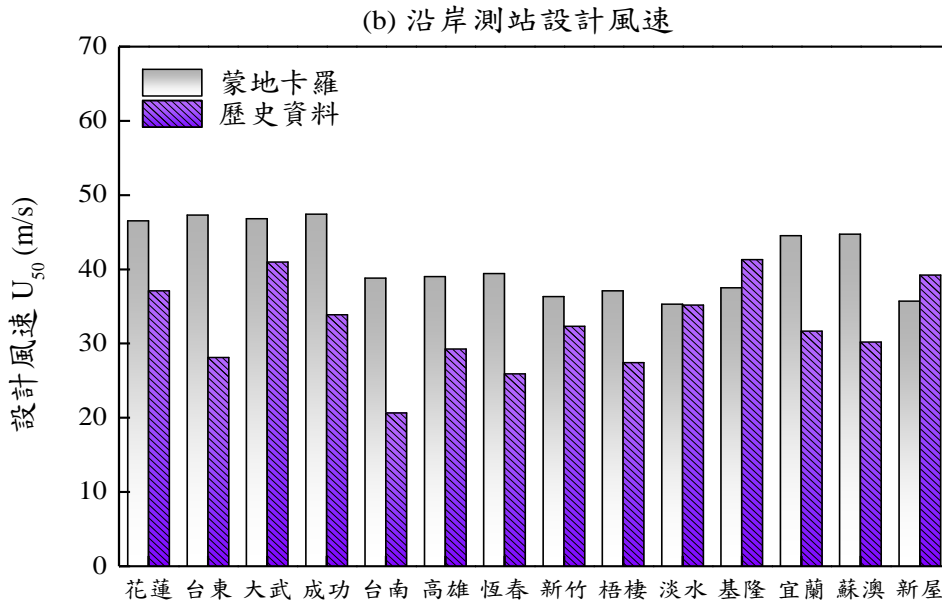


圖 46. 模擬和歷史資料計算得之設計風速(a)內陸測站；(b)沿海測站；(c)離島測站

資料來源：本研究整理

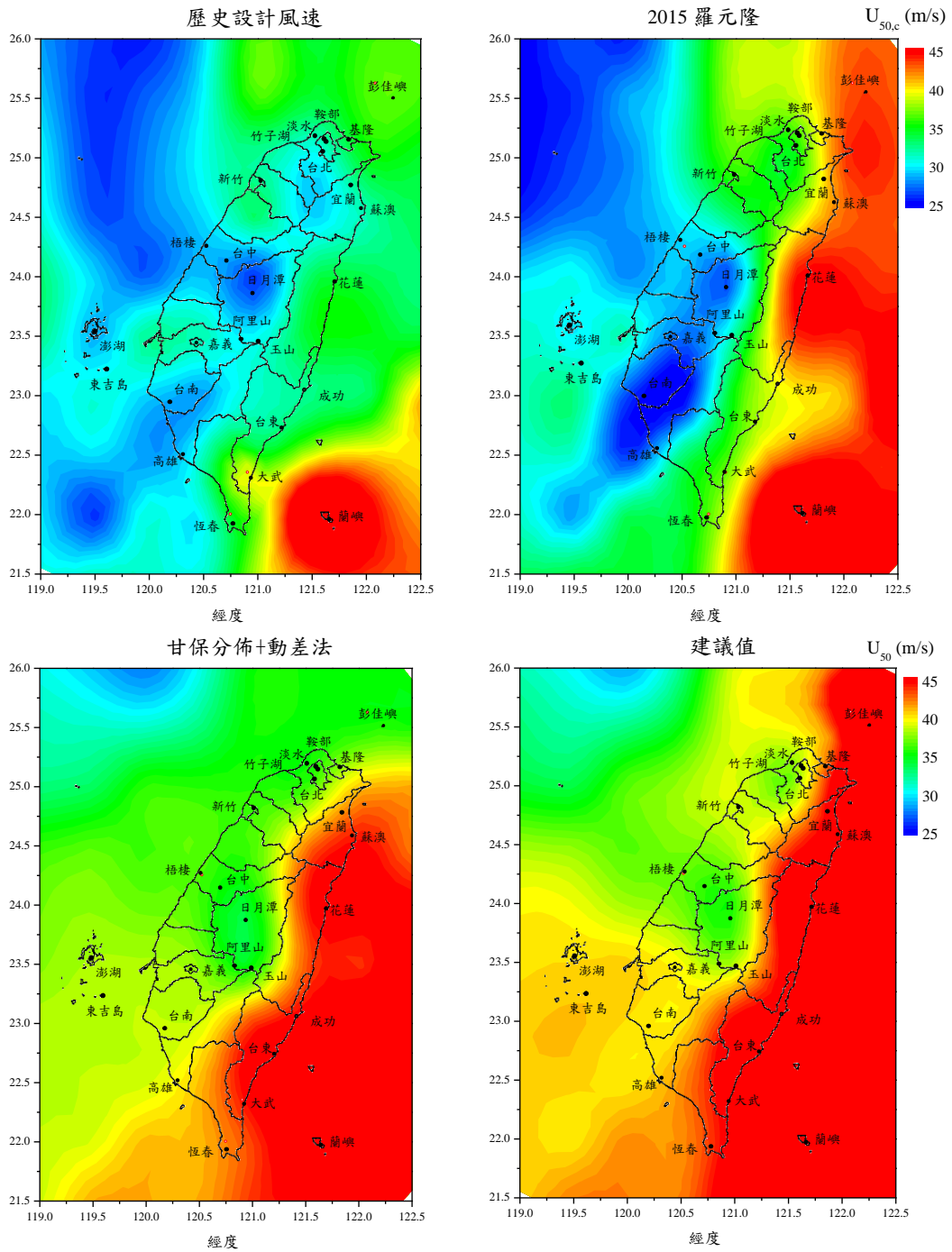


圖 47 台灣地區設計風速之分佈圖

第五節 建議之設計風速

本計畫分析中央氣象局所屬30個地面觀測站1961~2017年間颱風的最大風速，風速機率採用甘保(Gumbel)機率函數和廣義極值分佈(GEV)機率函數，計算離地面10公尺高，地況為C類，50年回歸期的10分鐘平均的基本設計風速，並和羅元隆(2015)計算結果比較。為保守起見，採用不同方法得之最大值做為建議之設計風速最大值，計算結果列於表17，流程如圖所示。無測站地區之鄉鎮的颱風最大風速利用蒙地卡羅模式模擬颱風風速，再利用動差法推求甘保機率函數。

台灣現行的「建築物耐風設計規範」(2014)中基本設計級距的差異間隔為5.0 m/s，但因為風壓、風力皆與風速平方成正比，差一個級距的風速會造成計算得之結構物的風力差異很大，會引起當結構物跨越不同設計風速區的設計爭議。為避免類似淡江大橋設計風速的疑義，本研究建議將台灣所有鄉鎮基本設計的級距差異由5.0 m/s降為2.0 m/s，且一律將設計風速進位至偶數，以方便工程計算，譬如38 m/s、40 m/s、42 m/s。計算得之各鄉鎮設計風速列於表12~表29。由表中的結果可看出：全台的設計風速介於32 ~ 58 m/s。且東海岸的設計風速大於西海岸的設計風速，最大的設計風速位於彭佳嶼，最小的設計風速位於南投縣。

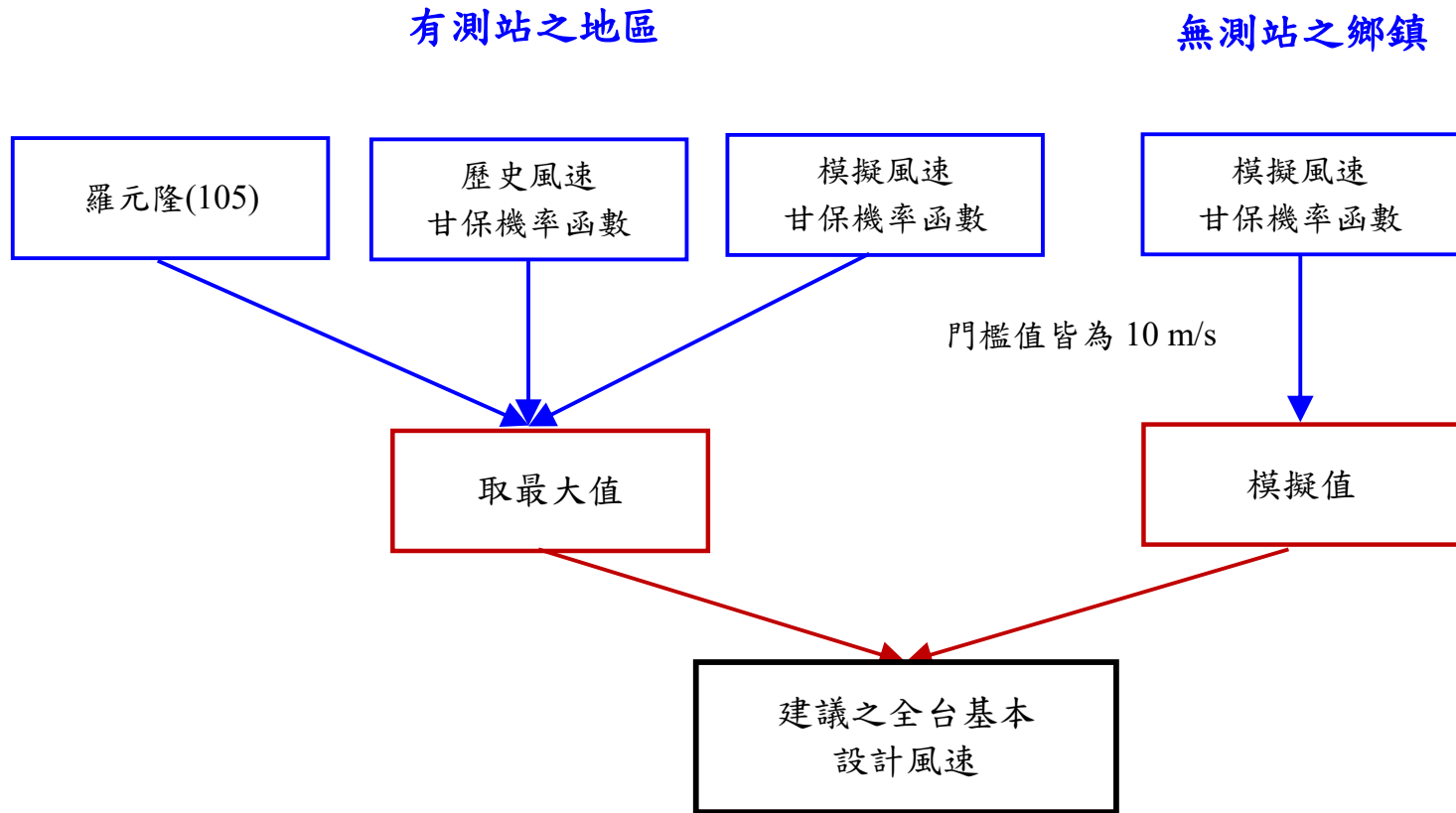


圖 48. 各地設計風速建議值之決定示意圖

資料來源：本研究整理

表 12. 台北市各區之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
台北市	北投區	42.5	-	35.5	3.05		36
	士林區	42.5	-	35.6	3.04		36
	中山區	42.5	-	35.7	3.06		36
	內湖區	42.5	-	35.7	3.04		36
	大同區	42.5	-	35.8	3.07		36
	松山區	42.5	-	35.8	3.06		36
	萬華區	42.5	-	35.9	3.09		36
	中正區 (台北站)	42.5	34.98	35.8	3.08	35.5	36
	大安區	42.5	-	35.8	3.08		36
	信義區	42.5	-	35.9	3.07		36
	南港區	42.5	-	35.9	3.06		36
	文山區	42.5	-	36.0	3.08		36

資料來源：本研究整理

表 13. 基隆市各區之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 $U_{50} \text{ (m/s)}$ 年最大值法	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				$U_{50} \text{ (m/s)}$ 甘保	λ		
基隆市地區	仁愛區	42.5	41.3	35.6	2.97	49.4	42
	信義區	42.5	-	35.5	2.93		42
	中正區	42.5	-	35.4	2.92		42
	中山區	42.5	-	35.4	2.95		42
	安樂區	42.5	-	35.4	2.96		42
	暖暖區	42.5	-	35.7	2.98		42
	七堵區	42.5	-	35.6	2.98		42

資料來源：本研究整理

表 14. 新北市各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$	規範	歷史風速	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$	
			$U_{50} \text{ (m/s)}$	年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$			甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$
新北市地區	板橋區	37.5	24.60	35.9	3.11	30.0	36
	中和區	37.5		36.0	3.11		36
	新莊區	37.5		35.9	3.12		36
	土城區	37.5		36.0	3.13		36
	汐止區	42.5		35.8	3.04		36
	鶯歌區	37.5		36.1	3.20		38
	淡水區	42.5	35.18	35.2	3.03	37.3	38
	五股區	37.5		35.7	3.09		36
	林口區	37.5	-	35.6	3.11		36
	深坑區	42.5		36.0	3.07		36
	坪林區	42.5	-	36.0	3.07		36
	石門區	42.5	-	34.8	2.93		36
	萬里區	42.5	-	35.4	2.97		36
	雙溪區	42.5	-	35.0	2.94		36
	烏來區	37.5	-	35.8	3.04		36
	三重區	37.5		35.8	3.08		36
	永和區	37.5		35.9	3.09		36
	新店區	37.5	-	36.2	3.13		38
	蘆洲區	37.5		35.7	3.08		36
	樹林區	37.5		36.0	3.15		36
	三峽區	42.5	-	35.9	3.11		36
	瑞芳區	42.5	-	35.6	2.93		36
	泰山區	37.5		35.8	3.12		36
	八里區	37.5	-	35.4	3.07		36
	石碇區	42.5	-	36.1	3.08		38
	三芝區	42.5	-	35.0	2.98		36
金山區	42.5	-	35.0	2.94		36	
平溪區	42.5	-	35.9	3.01		36	
貢寮區	42.5	-	35.4	2.97		36	

表 15. 桃園市各區之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 $\delta = 300$ m		規範 U ₅₀ (m/s)	歷史風速 年最大值法 U ₅₀ (m/s)	模擬風速 (Z _H = 150 m)		羅元隆 2015 U ₅₀ (m/s)	建議值 U ₅₀ (m/s)
				甘保機率 U ₅₀ (m/s)	λ		
桃園地區	桃園區	37.5	-	36.0	3.20		36
	中壢區	37.5	-	36.0	3.23		36
	平鎮區	37.5	-	36.0	3.23		36
	龍潭區	37.5	-	36.3	3.27		38
	楊梅區	37.5	-	36.1	3.27		38
	新屋區	37.5	39.19	35.9	3.26	-	40
	觀音區	37.5	-	35.6	3.23		36
	八德區	37.5	-	36.2	3.23		36
	大溪區	37.5	-	36.3	3.24		38
	大園區	37.5	-	35.6	3.19		36
	龜山區	37.5	-	35.9	3.17		36
	桃園機場	37.5	29.77	35.6	3.17		36
	復興區	37.5	-	36.5	3.26		38
	蘆竹區	37.5	-	35.8	3.18		36

資料來源：本研究整理

表 16. 新竹地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 δ = 300 m		規範 U ₅₀ (m/s)	歷史風速 年最大值法 U ₅₀ (m/s)	模擬風速 (Z _H = 150 m)		羅元隆 2015 U ₅₀ (m/s)	建議值 U ₅₀ (m/s)
				甘保機率 U ₅₀ (m/s)	λ		
新竹地區	新竹市	32.5	33.6	36.3	3.39	28.6	38
	竹北市	32.5	-	36.2	3.37		38
	湖口鄉	37.5	-	36.1	3.32		38
	新豐鄉	37.5	-	36.0	3.33		36
	新埔鎮	37.5	-	36.3	3.34		38
	關西鎮	37.5	-	36.5	3.33		38
	芎林鄉	32.5	-	36.4	3.38		38
	寶山鄉	32.5	-	36.4	3.40		38
	竹東鎮	32.5	-	36.5	3.39		38
	橫山鄉	37.5	-	36.6	3.40		38
	北埔鄉	32.5	-	36.6	3.41		38
	峨眉鄉	32.5	-	36.6	3.43		38
	尖石鄉	37.5	-	36.7	3.38		38
	五峰鄉	32.5	-	36.9	3.44		38

資料來源：本研究整理

表 17. 苗栗地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
苗栗地區	苗栗市	32.5	-	36.8	3.58	-	38
	竹南鎮	32.5	-	36.4	3.46	-	38
	後龍鎮	32.5	-	36.7	3.55	-	38
	通霄鎮	32.5	-	36.8	3.63	-	38
	苑裡鎮	32.5	-	36.8	3.64	-	38
	頭份市	32.5	-	36.5	3.47	-	38
	造橋鄉	32.5	-	36.6	3.52	-	38
	西湖鄉	32.5	-	36.8	3.59	-	38
	三灣鄉	32.5	-	36.6	3.48	-	38
	頭屋鄉	32.5	-	36.8	3.56	-	38
	公館鄉	32.5	-	36.9	3.60	-	38
	銅鑼鄉	32.5	-	36.9	3.61	-	38
	三義鄉	32.5	-	37.0	3.65	-	38
	獅潭鄉	32.5	-	36.9	3.55	-	38
	大湖鄉	32.5	-	37.1	3.63	-	38
	卓蘭鄉	32.5	-	37.2	3.68	-	38
南庄鄉	32.5	-	36.9	3.50	-	38	
泰安鄉	32.5	-	37.1	3.62	-	38	

資料來源：本研究整理

表 18. 台中市各區之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$	規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$	
			甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ			
台中地區	中區	32.5	-	37.4	3.82	-	38
	東區	32.5	-	37.4	3.83	-	38
	南區	32.5	-	37.4	3.83	-	38
	西區	32.5	-	37.3	3.82	-	38
	北區 (台中站)	32.5	36	37.3	3.81	34.7	38
	北屯區	32.5	-	37.3	3.81	-	38
	西屯區	32.5	-	37.3	3.81	-	38
	南屯區	32.5	-	37.3	3.83	-	38
	太平區	32.5	-	37.4	3.82	-	38
	大里區	27.5	-	37.4	3.82	-	38
	霧峰區	27.5	-	37.5	3.84	-	38
	烏日區	27.5	-	37.4	3.85	-	38
	豐原區	32.5	-	37.2	3.75	-	38
	后里區	32.5	-	37.1	3.73	-	38
	石岡區	32.5	-	37.2	3.73	-	38
	東勢區	32.5	-	37.3	3.74	-	38
	和平區	37.5	-	37.5	3.76	-	38
	新社區	32.5	-	37.3	3.74	-	38
	潭子區	32.5	-	37.2	3.77	-	38
	大雅區	32.5	-	37.2	3.79	-	38
神岡區	32.5	-	37.2	3.76	-	38	
大肚區	32.5	-	37.3	3.83	-	38	
龍井區	32.5	-	37.2	3.82	-	38	

	沙鹿區	32.5	-	37.2	3.80	-	38
	梧棲區	32.5	27.4	37.2	3.80	-	38
	清水區	32.5	-	37.1	3.77	-	38
	大甲區	32.5	-	37.5	3.85	-	38
	外埔區	32.5	-	37.2	3.82	-	38
	大安區	32.5	-	37.0	3.72	-	38

資料來源：本研究整理

表 19. 彰化地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 $\delta = 300$ m		規範 U_{50} (m/s)	歷史風速 年最大值法 U_{50} (m/s)	模擬風速 ($Z_H = 150$ m)		羅元隆 2015 U_{50} (m/s)	建議值 U_{50} (m/s)
				甘保機率 U_{50} (m/s)	λ		
彰化地區	彰化市	27.5	-	37.5	3.90	-	38
	員林市	27.5	-	37.7	3.95	-	38
	鹿港鎮	27.5	-	37.4	3.91	-	38
	和美鎮	32.5	-	37.4	3.88	-	38
	北斗鎮	27.5	-	37.9	4.00	-	38
	溪湖鎮	27.5	-	37.6	3.96	-	38
	田中鎮	27.5	-	38.0	4.00	-	38
	二林鎮	27.5	-	37.7	4.03	-	38
	線西鄉	32.5	-	37.3	3.88	-	38
	伸港鄉	32.5	-	37.2	3.84	-	38
	福興鄉	27.5	-	37.5	3.93	-	38
	秀水鄉	27.5	-	37.5	3.91	-	38
	花壇鄉	27.5	-	37.5	3.91	-	38
	芬園鄉	27.5	-	37.6	3.91	-	38
	大村鄉	27.5	-	37.6	3.93	-	38
	埔鹽鄉	27.5	-	37.6	3.94	-	38
	埔心鄉	27.5	-	37.7	3.96	-	38
	永靖鄉	27.5	-	37.8	3.98	-	38
	社頭鄉	27.5	-	37.9	3.98	-	38
	二水鄉	27.5	-	38.0	4.01	-	38
	田尾鄉	27.5	-	37.8	4.00	-	38
	埤頭鄉	27.5	-	37.8	4.00	-	38
	芳苑鄉	27.5	-	37.7	4.02	-	38
	大城鄉	27.5	-	37.8	4.08	-	38
竹塘鄉	27.5	-	37.9	4.04	-	38	
溪州鄉	27.5	-	37.9	4.03	-	38	

資料來源：本研究整理

表 20. 南投地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 300 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
南投地區	南投市	27.5	-	33.5	3.77	-	34
	埔里鎮	27.5	-	33.4	3.67	-	34
	草屯鎮	27.5	-	33.3	3.72	-	34
	竹山鎮	22.5	-	33.6	3.84	-	34
	集集鎮	22.5	-	33.6	3.79	-	34
	名間鄉	27.5	-	33.6	3.80	-	34
	鹿谷鄉	22.5	-	33.6	3.83	-	34
	中寮鄉	27.5	-	33.5	3.75	-	34
	魚池鄉 (日月潭)	27.5	19.1	33.5	3.70	20.4	34
	國姓鄉	27.5	-	33.3	3.64	-	34
	水里鄉	22.5	-	33.6	3.77	-	34
	信義鄉 (玉山)	37.5	33.7	33.7	3.79	37.1	34
	仁愛鄉	32.5	-	33.4	3.58	-	34

資料來源：本研究整理

表 21. 雲林地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 δ = 300 m		規範 U ₅₀ (m/s)	歷史風速 年最大值法 U ₅₀ (m/s)	模擬風速 (Z _H = 150 m)		羅元隆 2015 U ₅₀ (m/s)	建議值 U ₅₀ (m/s)
				甘保機率 U ₅₀ (m/s)	λ		
雲林地區	斗六市	27.5	-	38.1	4.10	-	40
	斗南鎮	27.5	-	38.1	4.12	-	40
	虎尾鎮	27.5	-	38.1	4.11	-	40
	西螺鎮	27.5	-	38.0	4.07	-	38
	土庫鎮	27.5	-	38.1	4.14	-	40
	北港鄉	27.5	-	38.2	4.24	-	40
	古坑鄉	27.5	-	38.2	4.13	-	40
	大埤鄉	27.5	-	38.1	4.19	-	40
	莿桐鄉	27.5	-	38.1	4.10	-	40
	林內鄉	27.5	-	38.1	4.05	-	40
	二崙鄉	27.5	-	38.0	4.09	-	38
	崙背鄉	27.5	-	38.0	4.10	-	38
	麥寮鄉	27.5	-	37.9	4.12	-	38
	東勢鄉	27.5	-	38.1	4.18	-	40
	褒忠鄉	27.5	-	38.1	4.14	-	40
	台西鄉	27.5	-	38.0	4.17	-	38
	元長鄉	27.5	-	38.1	4.18	-	40
	四湖鄉	32.5	-	38.2	4.21	-	40
口湖鄉	32.5	-	38.2	4.25	-	40	
水林鄉	32.5	-	38.2	4.26	-	40	

資料來源：本研究整理

表 22. 嘉義地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
嘉義地區	嘉義市	27.5	23.5	38.3	4.25	28.1	40
	太保市	32.5	-	38.3	4.29	-	40
	朴子市	32.5	-	38.3	4.30	-	40
	布袋鄉	32.5	-	38.4	4.37	-	40
	大林鎮	27.5	-	38.2	4.17	-	40
	民雄鄉	27.5	-	38.3	4.23	-	40
	溪口鄉	27.5	-	38.2	4.20	-	40
	新港鄉	27.5	-	38.2	4.24	-	40
	六腳鄉	32.5	-	38.2	4.28	-	40
	東石鄉	32.5	-	38.3	4.32	-	40
	義竹鄉	32.5	-	38.4	4.39	-	40
	鹿草鄉	32.5	-	38.3	4.31	-	40
	水上鄉	27.5	-	38.3	4.29	-	40
	中埔鄉	27.5	-	38.4	4.27	-	40
	竹崎鄉	27.5	-	38.4	4.22	-	40
	梅山鄉	27.5	-	38.3	4.17	-	40
	番路鄉	27.5	-	38.4	4.25	-	40
	大埔鄉	27.5	-	38.6	4.32	-	40
阿里山鄉	27.5	16.4	38.5	4.18	17.5	40	

資料來源：本研究整理

表 23. 台南市各區之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 150 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
台南地區	中西區	37.5	20.6	38.8	4.57	23	40
	東區	37.5	-	38.8	4.58	-	40
	南區	37.5	-	38.8	4.58	-	40
	北區	37.5	-	38.8	4.56	-	40
	安平區	37.5	-	38.8	4.57	-	40
	安南區	37.5	-	38.7	4.54	-	40
	新營區	32.5	-	38.5	4.39	-	40
	鹽水區	32.5	-	38.4	4.39	-	40
	白河區	27.5	-	38.4	4.34	-	40
	柳營區	32.5	-	38.5	4.42	-	40
	後壁區	32.5	-	38.4	4.33	-	40
	東山區	32.5	-	38.5	4.36	-	40
	麻豆區	32.5	-	38.6	4.47	-	40
	下營區	32.5	-	38.6	4.44	-	40
	六甲區	32.5	-	38.5	4.36	-	40
	官田區	32.5	-	38.6	4.45	-	40
	大內區	32.5	-	38.7	4.49	-	40
	佳里區	32.5	-	38.6	4.48	-	40
	學甲區	32.5	-	38.5	4.45	-	40
	西港區	32.5	-	38.6	4.50	-	40
七股區	37.5	26.5	38.7	4.50	27	40	
將軍區	32.5	-	38.5	4.46	-	40	
北門區	32.5	-	38.5	4.44	-	40	

新化區	32.5	-	38.8	4.54	-	40
善化區	32.5	-	38.7	4.49	-	40
新市區	32.5	-	38.8	4.54	-	40
安定區	32.5	-	38.7	4.50	-	40
山上區	32.5	-	38.8	4.50	-	40
玉井區	32.5	-	38.7	4.46	-	40
楠西區	32.5	-	38.7	4.43	-	40
南化區	32.5	-	38.8	4.50	-	40
左鎮區	32.5	-	38.8	4.51	-	40
仁德區	32.5	-	38.9	4.58	-	40
歸仁區	32.5	-	38.9	4.58	-	40
關廟區	32.5	-	38.9	4.58	-	40
龍崎區	32.5	-	38.9	4.57	-	40
永康區	32.5	-	38.8	4.54	-	40

資料來源：本研究整理

表 24. 高雄市各區之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 δ = 300 m		規範 U ₅₀ (m/s)	歷史風速 年最大值法 U ₅₀ (m/s)	模擬風速 (Z _H = 150 m)		羅元隆 2015 U ₅₀ (m/s)	建議值 U ₅₀ (m/s)
				甘保機率 U ₅₀ (m/s)	λ		
高雄地區	楠梓區	37.5	-	38.9	4.66	-	40
	左營區	37.5	-	38.9	4.68	-	40
	鼓山區	37.5	-	38.9	4.70	-	40
	三民區	37.5	-	36.0	3.08	-	40
	鹽埕區	37.5	-	38.9	4.71	-	40
	前金區	37.5	-	38.9	4.71	-	40
	新興區	37.5	-	38.9	4.70	-	40
	苓雅區	37.5	-	38.9	4.70	-	40
	前鎮區 (高雄站)	37.5	29.3	38.9	4.71	29.3	40
	旗津區	37.5	-	39.0	4.72	-	40
	小港區	37.5	-	39.0	4.72	-	40
	鳳山區	37.5	-	38.9	4.70	-	40
	大寮區	37.5	-	38.9	4.70	-	40
	鳥松區	37.5	-	38.9	4.68	-	40
	林園區	37.5	-	39.0	4.73	-	40
	仁武區	37.5	-	38.9	4.68	-	40
	大樹區	37.5	-	38.9	4.67	-	40
	大社區	37.5	-	38.9	4.66	-	40
	岡山區	37.5	-	38.9	4.64	-	40
	路竹區	37.5	-	38.9	4.62	-	40
橋頭區	37.5	-	38.9	4.65	-	40	
梓官區	37.5	-	38.9	4.66	-	40	
彌陀區	37.5	-	38.9	4.66	-	40	

永安區	37.5	-	38.9	4.64	-	40
燕巢區	37.5	-	38.9	4.64	-	40
田寮區	32.5	-	38.9	4.60	-	40
阿蓮區	32.5	-	38.9	4.60	-	40
茄萣區	37.5	-	38.9	4.61	-	40
湖內區	37.5	-	38.9	4.60	-	40
旗山區	32.5	-	38.9	4.59	-	40
美濃區	32.5	-	38.9	4.57	-	40
內門區	32.5	-	38.9	4.57	-	40
杉林區	32.5	-	38.9	4.54	-	40
甲仙區	32.5	-	38.8	4.46	-	40
六龜區	32.5	-	38.8	4.53	-	40
茂林區	32.5	-	38.9	4.55	-	40
桃源區	37.5	-	38.8	4.36	-	40
那瑪夏區	32.5	-	35.9	3.07	-	36

資料來源：本研究整理

表 25. 屏東地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 δ = 300 m		規範 U ₅₀ (m/s)	歷史風速 年最大值法 U ₅₀ (m/s)	模擬風速 (Z _H = 150 m)		羅元隆 2015 U ₅₀ (m/s)	建議值 U ₅₀ (m/s)
				甘保機率 U ₅₀ (m/s)	λ		
屏東地區	屏東市	37.5	-	38.9	4.68	-	40
	潮州鄉	37.5	-	39.0	4.72	-	40
	東港鎮	37.5	-	39.0	4.74	-	40
	恆春鄉	47.5	25.9	39.4	4.80	31.5	40
	萬丹鄉	37.5	-	39.0	4.71	-	40
	長治鄉	37.5	-	38.9	4.67	-	40
	麟洛鄉	37.5	-	39.0	4.69	-	40
	九如鄉	37.5	-	38.9	4.65	-	40
	里港鄉	37.5	-	38.9	4.63	-	40
	鹽埔鄉	37.5	-	38.9	4.63	-	40
	高樹鄉	37.5	-	38.9	4.60	-	40
	萬巒鄉	37.5	-	39.0	4.71	-	40
	內埔鄉	37.5	-	39.0	4.69	-	40
	竹田鄉	37.5	-	38.9	4.71	-	40
	新埤鄉	37.5	-	39.1	4.74	-	40
	枋寮鄉	42.5	-	39.1	4.76	-	40
	新園鄉	37.5	-	39.0	4.73	-	40
	崁頂鄉	37.5	-	39.0	4.73	-	40
	林邊鄉	37.5	-	39.1	4.75	-	40
	南州鄉	37.5	-	39.1	4.75	-	40
佳冬鄉	37.5	-	39.1	4.75	-	40	
琉球鄉	40.0	-	39.0	4.75	-	40	
車城鄉	42.5	-	39.4	4.79	-	40	

	滿洲鄉	47.5	-	39.5	4.80	-	40
	枋山鄉	42.5	-	39.2	4.77	-	40
	三地門鄉	37.5	-	38.9	4.63	-	40
	霧台鄉	37.5	-	39.0	4.61	-	40
	瑪家鄉	37.5	-	38.9	4.65	-	40
	泰武鄉	37.5	-	39.0	4.69	-	40
	來義鄉	37.5	-	39.1	4.71	-	40
	春日鄉	42.5	-	39.2	4.77	-	40
	獅子鄉	42.5	-	39.3	4.78	-	40
	牡丹鄉	42.5	-	39.4	4.79	-	40

資料來源：本研究整理

表 26. 離島地區之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 50 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
離島地區	彭佳嶼	57.0	56.2	38.6	2.85	53.3	58
	澎湖縣	33.0	26.4	46.3	4.27	38.0	48
	東吉島	45.0	37.8	45.9	4.04	40.5	46
	蘭嶼	65.0	54.6	46.7	4.30	55.8	56
	綠島	65.0	-	46.1	4.14	-	56
	金門	35.0	36.8	46.0	4.21	24.5	46
	馬祖	42.0	24.8	46.2	4.18	23.6	46

資料來源：本研究整理

表 27. 宜蘭地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 50 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
宜蘭地區	頭城鎮	47.5	-	38.5	2.17	-	40
	礁溪鄉	37.5	-	38.9	2.30	-	40
	宜蘭市	37.5	31.7	38.8	2.31	37.6	40
	壯圍鄉	47.5	-	38.7	2.30	-	40
	羅東鎮	37.5	-	38.9	2.34	-	40
	五結鄉	47.5	-	38.7	2.33	-	40
	蘇澳鎮	47.5	30.2	38.8	2.37	43.6	44
	冬山鄉	47.5	-	38.9	2.39	-	40
	南澳鄉	47.5	-	39.3	2.52	-	40
	三星鄉	37.5	-	39.1	2.40	-	40
	員山鄉	37.5	-	39.1	2.35	-	40
	大同鄉	37.5	-	39.2	2.50	-	40

資料來源：本研究整理

表 28. 花蓮地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 $n = 0.15$ $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 50 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
花蓮地區	花蓮市	47.5	37.1	46.4	3.91	48.7	50
	新城鄉	42.5	-	46.3	3.87	-	48
	吉安鄉	47.5	-	46.5	3.94	-	48
	壽豐鄉	42.5	-	46.6	4.01	-	48
	豐濱鄉	42.5	-	47.3	4.16	-	48
	玉里鎮	42.5	-	47.6	4.40	-	48
	富里鄉	37.5	-	47.5	4.51	-	48
	瑞穗鄉	42.5	-	47.3	4.27	-	48
	鳳林鎮	42.5	-	46.9	4.10	-	48
	光復鄉	42.5	-	46.4	3.99	-	48
	秀林鄉	42.5	-	46.1	3.84	-	48
	萬榮鄉	37.5	-	46.9	4.15	-	48
	卓溪鄉	37.5	-	47.5	4.40	-	48

資料來源：本研究整理

表 29. 台東地區各鄉鎮之設計風速建議值

地況參數 n = 0.15 $\delta = 300 \text{ m}$		規範 $U_{50} \text{ (m/s)}$	歷史風速 年最大值法 $U_{50} \text{ (m/s)}$	模擬風速 ($Z_H = 50 \text{ m}$)		羅元隆 2015 $U_{50} \text{ (m/s)}$	建議值 $U_{50} \text{ (m/s)}$
				甘保機率 $U_{50} \text{ (m/s)}$	λ		
台東地區	長濱鄉	47.5	-	47.6	4.34	-	48
	成功鎮	42.5	33.9	47.7	4.50	44.3	48
	池上鄉	47.5	-	47.5	4.55	-	48
	鹿野鄉	42.5	-	47.3	4.67	-	48
	東河鄉	42.5	-	47.5	4.57	-	48
	台東市	42.5	28.1	47.3	4.72	28.2	48
	卑南鄉	37.5	-	47.3	4.72	-	48
	金峰鄉	42.5	-	48.4	4.54	-	50
	太麻里鄉	42.5	-	47.0	4.78	-	48
	大武鄉	42.5	41.0	48.4	4.66	43.7	50
	達仁鄉	42.5	-	48.4	4.63	-	50
	海瑞鄉	37.5	-	47.4	4.56	-	48
	延平鄉	37.5	-	47.3	4.69	-	48
關山鎮	37.5	-	47.3	4.59	-	48	

資料來源：本研究整理

第六節 地形對風速之影響

台灣地區多山，而山區的風場往往因為地形的影響，風速、風向變得更難以預測。「建築物耐風設計規範」(2014)中的地形修正參數適用於平坦地區中一座獨立山丘、單一山脊或斷崖之地形。但中央氣象局的山區測站大多設置在連續山丘地形，非獨立山丘或山脊，譬如鞍部、竹子湖測站位於陽明山區、阿里山測站位於阿里山區、日月潭測站位於南投埔里山區。且這些測站位置大多在半山腰一小塊地形平坦處，因為受到周遭地形的遮蔽，量測得風速大多小於平地或山頂之風速。玉山北峰測站因為接近峰頂，較不受地形的遮蔽效應。而蘭嶼測站位於蘭嶼島的山頂上，距離海平面 324 公尺，風由四面八方吹來，毫無遮蔽。而氣流經過測站時，有風速加速流過地形之效應，故量得風速皆偏大。換言之，地形對風速的影響因地形、風向、測站位置等因素而變，很難用一個簡單公式予以修正。正確的研究方法是製作地形的縮尺模型，放在風洞內，在不同風向狀況下，量測測站位置的風速剖面以瞭解該地形對風速的影響，及風速剖面適用的指數和梯度高度。但這部分的工作不在本計畫範疇內，需要另一個計畫來完成。因此本研究藉由風洞實驗量測風吹過連續的對稱山丘的風速剖面，來決定山區風場的風速剖面指數和梯度高度，希望藉由相同的風速剖面指數和梯度高度來簡化不同高度之風速的換算，做為計算地表風速、工程設計之用。

本研究的風洞實驗是在中央大學土木系的風洞中進行，此風洞是一個低風速、開放、吸入式風洞。其主要構造部份可分為進口段、收縮段、試驗段及動力段。進口段內包括蜂巢管與四層整流細網的整流裝置，用以控制試驗段入口處之流況，使其為低紊流強度之流況。風洞之收縮段為兩個三次曲線相接而成，收縮比為 1:4。風洞全長 30 m，試驗段長 18.5 m，寬 3.05 m，高 2.1 m，側壁有玻璃可用來觀測風洞中流況，最高風速可達 20 m/s。為了避免馬達及風扇轉動而引致的振動會影響試驗品質，動力段與試驗段接縫處為一軟性帆布相連，且動力段具有一獨立基座，以防止振動傳遞到試驗段。

風洞試驗段利用渦流產生器與粗糙元模擬出邊界層流，渦流產生器的高度 $h = 1.4$ m，底部寬度 $b = 0.275$ m，間距 0.3 m。粗糙元為高度 4.7 cm，寬度 4.7 cm 之方塊，間距 5 cm。上風山丘之中心位於距離風洞試驗段入口 1.8 m 處，圖 49 為流場示意圖，下游距離 x 由上風山丘中心處往流場後方量測， z 為由風洞地板算起之垂直距離。山丘模型由高度 0.02 m 的圓形平板堆疊而成，山丘總高度 $H = 0.2$ m，底部寬度 $L = 0.8$ m，

坡度可隨意調整，兩座山之間的間距也可以調整。風洞實驗中三種不同坡度分別為 $S = 37\%$ 、 50% 、 77% ，山丘模型阻滯比為 13% 。

實驗中使用四孔風速計 Cobra probe (Turbulent flow) 來量測風場三維速度及紊流擾動速度(turbulent velocity)。本實驗中風洞之風扇轉速為 1100 rpm ，速度之採樣頻率為 1000 Hz ，採樣時間為 180 sec 。地表的風場因為受到地表邊界的影響，風速的垂向剖面呈不均勻分佈，稱為大氣邊界層流(Atmospheric Boundary Layer flow)。依據地表粗糙度的影響程度又可以分為近地層與外域層，可採用對數律(Logarithmic law)或指數律(Power law)轉換成不同高度 z 處的時間平均風速。對數律為：

$$\frac{U(Z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z - d_0}{z_0} \right) \quad (90)$$

其中 u_* 為剪力速度， z_0 為粗糙長度， d_0 為零風面高度，單位為 m ， $\kappa = 0.40 \sim 0.41$ 為馮卡門常數。

圖 50 為山丘地形前方 $x = -3H = -0.60 \text{ m}$ 處風洞的中心線上，在兩個不同的入流風速 $U_0 = 8.39 \text{ m/s}$ 和 12.54 m/s (風洞馬達轉速分別為 700 rpm 和 1100 rpm) 的時間平均風速 $U(z)$ 剖面圖，此流況中自由流之風速約為 $U_0 = 12.54 \text{ m/s}$ 。風速剖面亦可以指數律表示：

$$\frac{U(Z)}{U_0} = \left(\frac{z}{\delta} \right)^n \quad (91)$$

利用對數律可求得 $n = 0.269$ ， $\delta = 1.37 \text{ m}$ 。表 1 為實驗流況表，表中雷諾數 $Re = U_0 H / \nu$ ， H 為山丘的高度， ν 為空氣之運動黏滯係數。

山丘地形實驗包括兩部份：(1) 單一山丘模型試驗；(2) 兩座相同山丘模型試驗。圖 51 為單一山丘頂部三種不同坡度之時間平均風速 $U(z)$ 剖面圖，圖 52 為單一山丘頂部縱向紊流強度 σ_u / U_0 剖面圖，由此圖可以看出紊流強度在邊界層之內較大，在邊界層之外的自由流紊流強度則相當小，約為 $\sigma_u / U_0 = 16.5\%$ 。垂直方向紊流強度 σ_w / U_0 剖面圖顯示於圖 53，同樣地，在邊界層之內其垂直紊流強度較大，在自由流中紊流強度較小，平均約為 $\sigma_w / U_0 = 9.4\%$ ，故其垂直向之紊流強度約為縱向之紊流強度的一半，這結果顯示此風洞為一個低紊流強度的風洞。

風洞實驗之前座山頂、後座山頂時間平均風速 U 、 W 縱向紊流強度剖面圖顯示於圖 8 在山頂高度處的 $\sigma_u / U_0 = 19.3\%$ 。垂直方向紊流強度 σ_w / U_0 ，同樣地，在邊界層之內

其垂直紊流強度較大，在自由流中紊流強度較小，平均約為 $\sigma_w/U_o = 10.9\%$ 。圖53為單一山丘(坡度 $S = 0.50$)頂部的風速剖面圖，圖54比較雙山丘之上風和下風山丘頂部的風速剖面圖，山頂的風速十分接近。圖55為雙山丘頂部中心線之縱向紊流強度剖面圖，下風山丘頂部的紊流強度大於上風山丘頂部的紊流強度。

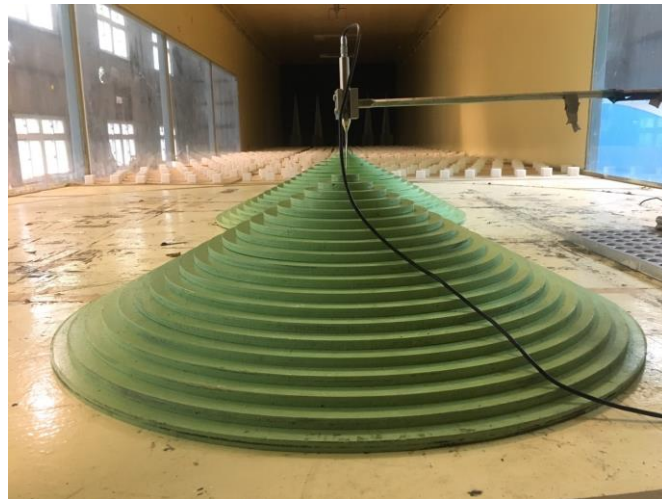
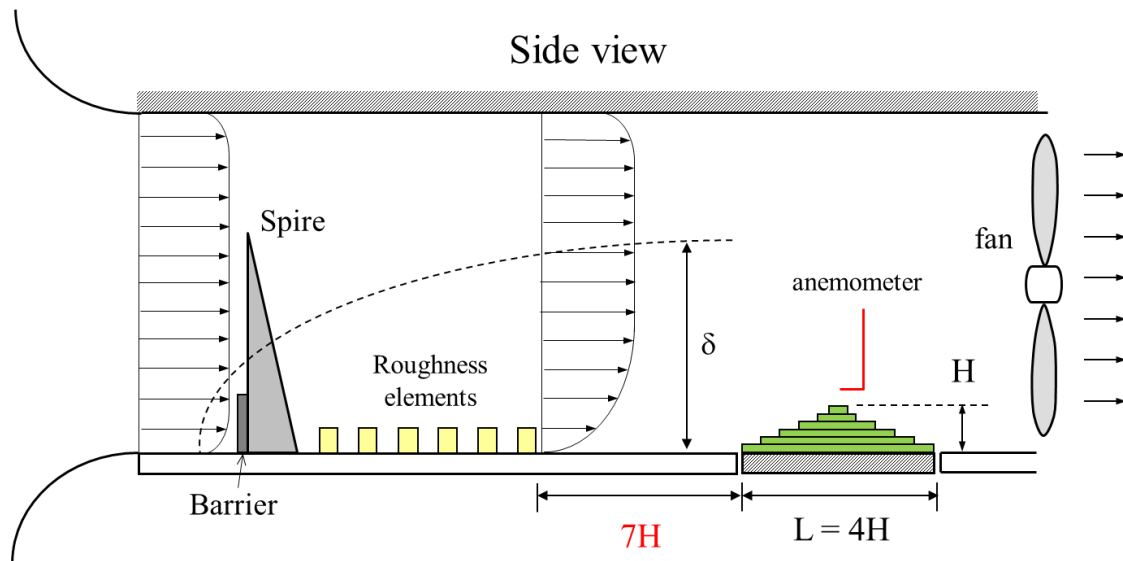


圖 49. 雙山丘風洞模型之示意圖和照片

資料來源：本研究整理

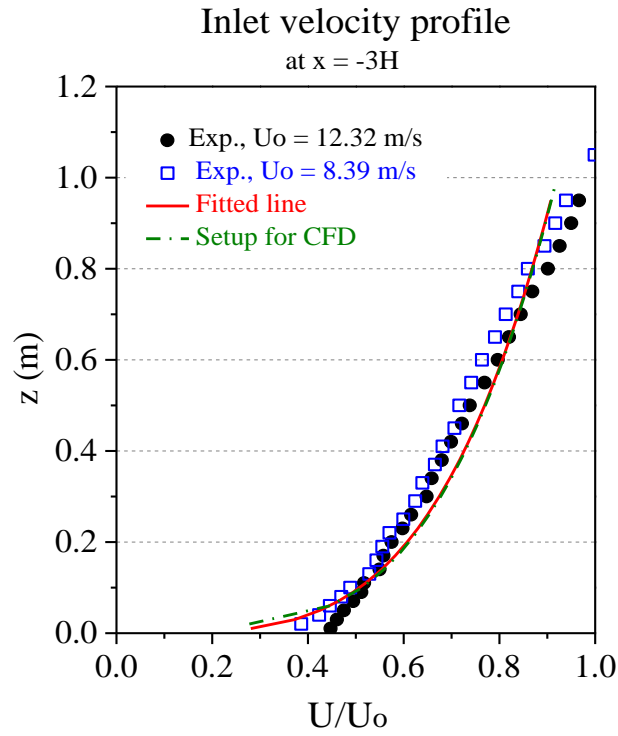


圖 50. 山丘前方($x = -3H$)風洞中心線之時間平均風速 $U(z)$ 剖面圖

資料來源：本研究整理

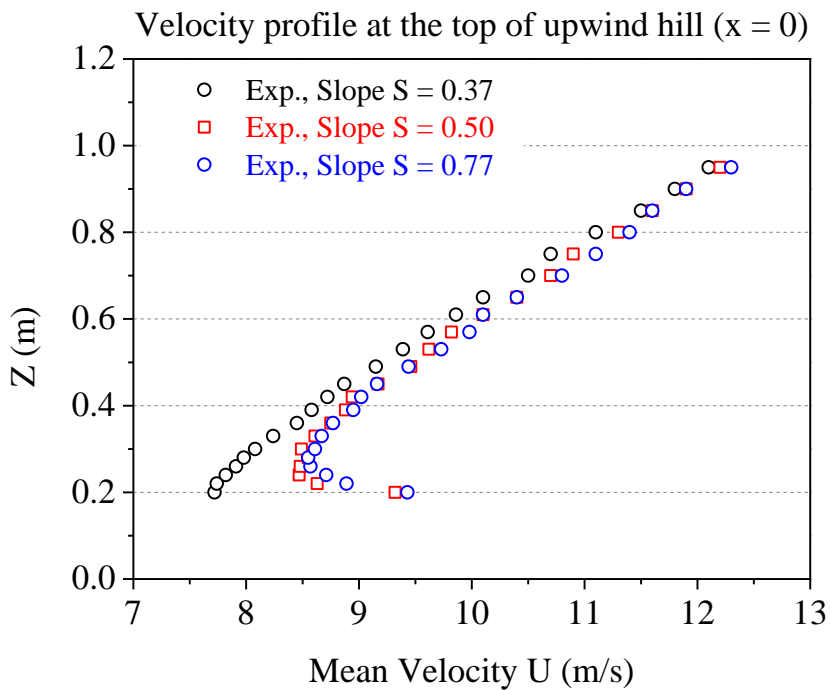


圖 51. 不同坡度單山丘頂部($x = 0$)中心線之時間平均風速剖面圖

資料來源：本研究整理

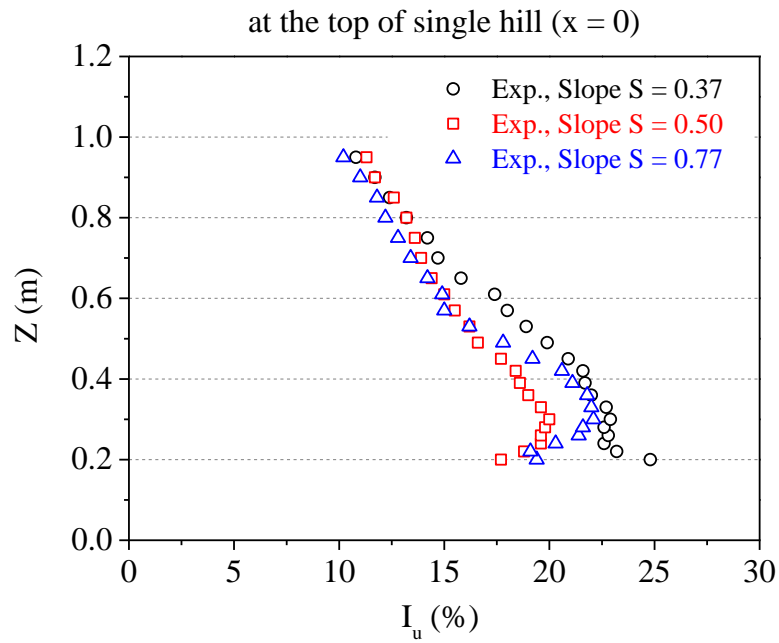


圖 52. 不同坡度單山丘頂部中心線之縱向紊流強度 σ_u/U_0 剖面圖

資料來源：本研究整理

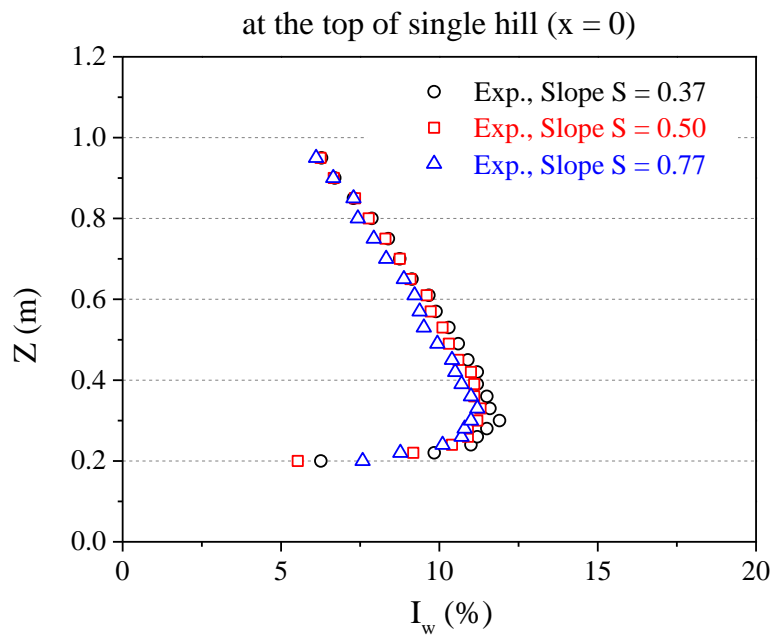


圖 53. 不同坡度單山丘頂部中心線之垂向紊流強度 σ_w/U_0 剖面圖

資料來源：本研究整理

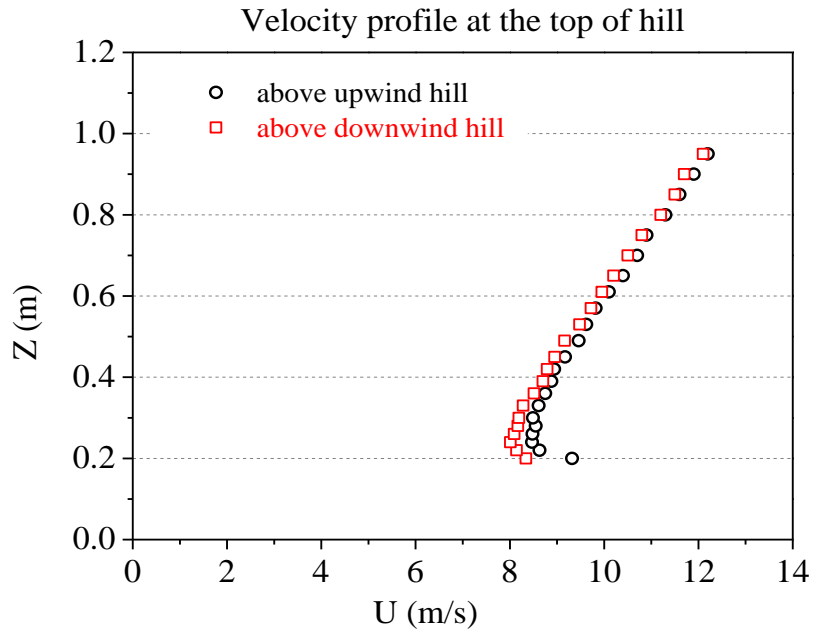


圖 54. 雙山丘頂部中心線之時間平均風速剖面圖
資料來源：本研究整理

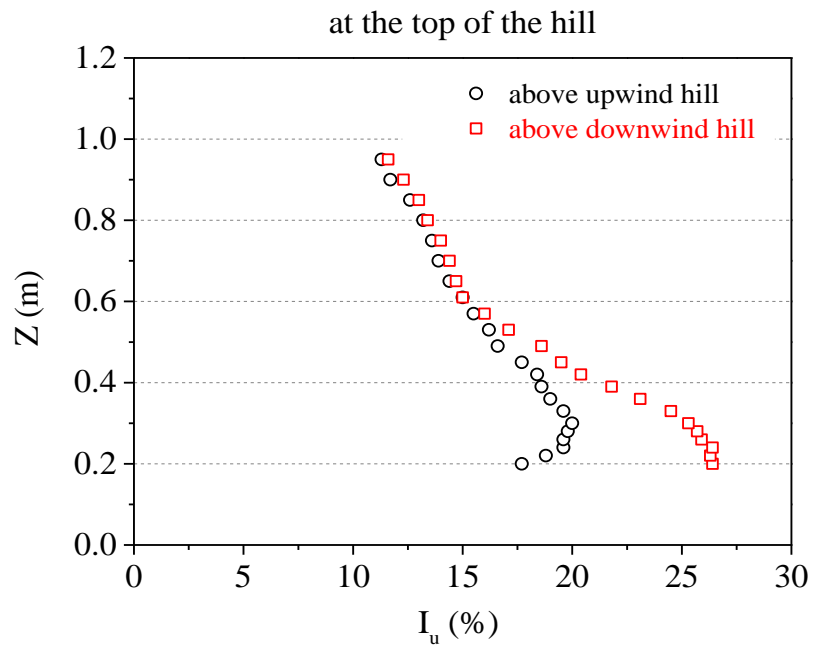


圖 55. 雙山丘頂部中心線之縱向紊流強度剖面圖
資料來源：本研究整理

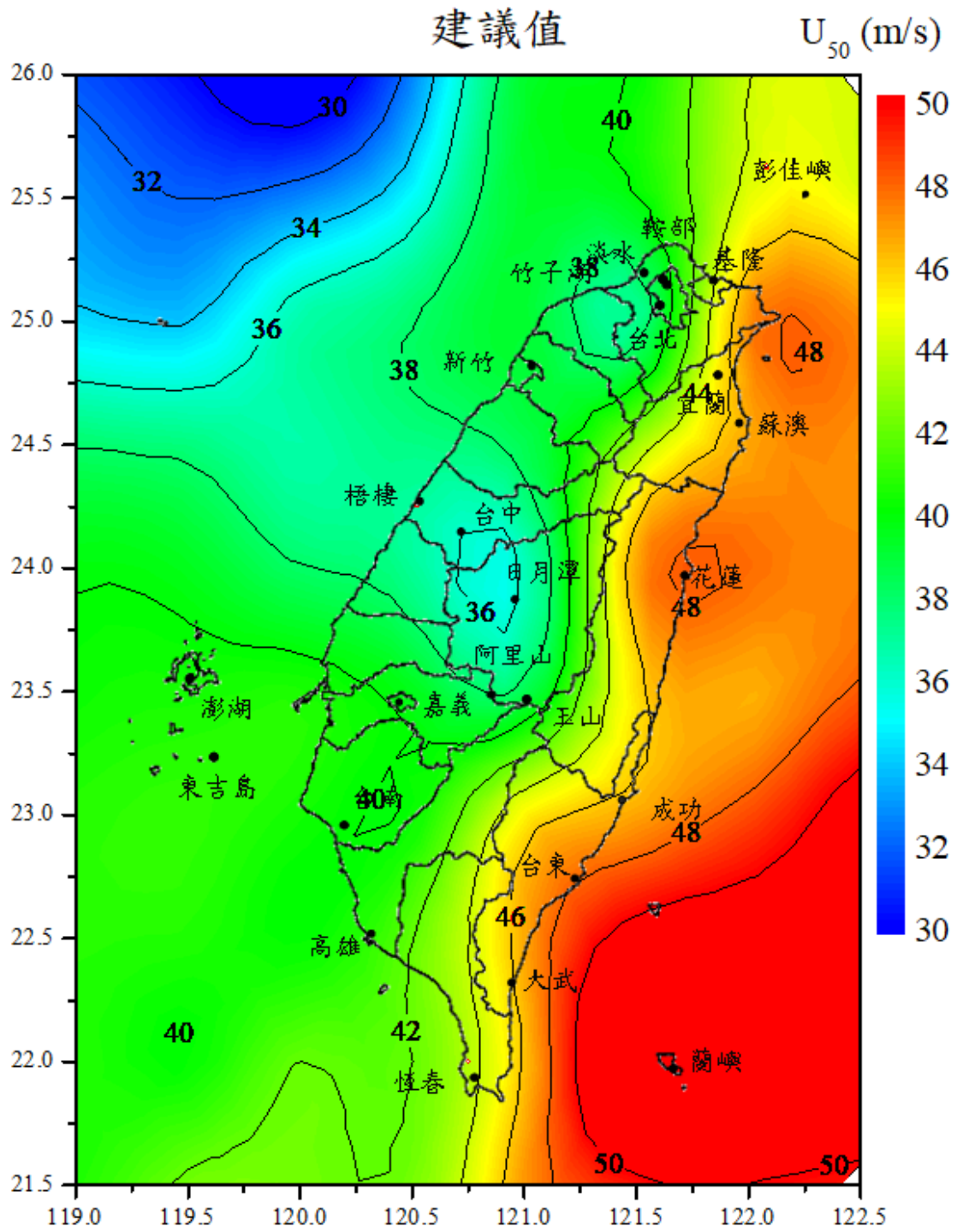


圖 56. 全台設計風速建議值

資料來源：本研究整理

第五章 結論與建議

第一節 結論

颱風為台灣最主要的天然災害，強風往往造成許多建築物、農作物和農業設施的損毀。依據內政部消防署的統計資料：歷年累積的颱風損失金額超過一次921集集大地震的損失。此外，台灣近年來欲發展太陽能光電和離岸風機等綠能科技，這些設施的造價十分昂貴，且易受強風損壞。設計結構物耐風強度時必須考量當地強風的發生機率和設計風速，甚至必須有風災保險，以降低強風對設施損壞之風險。目前台灣各地所使用的基本設計風速，是以中央氣象局於1947~1991年間，24個氣象測站之侵台颱風最大十分鐘平均風速為樣本，並求得50年重現期；各縣市鄉鎮再利用附近氣象測站內插而得。但因測站分佈的密度不均，像是苗栗、彰化、雲林縣沒有地面測站提供長期、可靠的風速資料，桃園唯一的新屋測站於2013年才啟用。當颱風的樣本數不足時，計算出設計風速的正確性令人存疑，因此有必要予以修正。

本研究先利用統計分析美軍聯合警報中心(JTWC) 1970~2016年間，北太平洋上颱風的生成位置、移動速度、方向角、中心氣壓與最大風速半徑等參數，找出其與經緯度之關係。再結合Yin et al. (2009)的颱風軌跡模式，發展一個完整的蒙地卡羅模式(Monte Carlo method)來模擬西北太平洋區域13,230場颱風的生成位置、移動路徑、速度和中心氣壓之變化；最後利用颱風中心氣壓差與風速之間的參數化模式及邊界層流的指數律換算成近地表之風速。參數化模式中的參數則由歷史颱風之數據迴歸分析而得，中央山脈地形對颱風中心氣壓的影響則以一個指數衰減函數方式來模擬。模擬之地表風速並與中央氣象局沿海地面測站之歷史颱風風速比對，模擬所得之侵台路徑的發生機率和地表風速皆十分接近中央氣象局的觀測資料。

最後利用蒙地卡羅模式模擬2259場侵台颱風之路徑與風速，用統計分析颱風在台灣各地產生最大風速的發生機率，並計算台灣無測站地區之各鄉鎮的基本設計風速。因此，本研究有以下結論：

1. 目前台灣各地所使用的「建築物耐風設計規範及解說」(2014)中的基本設計風速，是以中央氣象局所屬24個氣象測站1947~1991年間，所發生的128個侵台颱風最大十分鐘平均風速為樣本。利用甘保機率函數求得50年重現期之設計風速，各縣市鄉鎮再利用附近氣象測站內插而得。這24個測站分佈不均，沒有地面測站提供長

- 期與可靠的風速資料。當颱風的樣本數不足時，計算出設計風速的正確性令人存疑，因此有必要予以修正。
2. 利用蒙地卡羅模式模擬侵台颱風之路徑與風速，採用甘保(Gumbel)和廣義極值分佈(GEV)機率函數來直接計算台灣無測站地區各鄉鎮的強風發生機率和50年迴歸期的基本設計風速。並與1961~2017年間地面測站歷史颱風風速計算得之設計風速比較，取最大值當作該地區設計風速建議值。
 3. 將設計風速進位至偶數，全台的设计風速介於34 ~ 58 m/s。且為避免相鄰鄉鎮的設計風速差異過大，風速級距由5.0 m/s降為2.0 m/s。

第二節 建議

基於本計畫之研究成果，對未來設計風速之相關研究與規範的建議如下：

建議一

建築物耐風設計規範及解說訂定之各地的基本設計風速需要更新，建議主辦機關可考慮重新修訂台灣各地的基本設計風速：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會、內政部建築研究所

本計畫研究成果顯示：中央氣象局地面測站1961年之前的颱風風速偏大；1961年之後，因為氣候變遷和都市化的影響，台灣各地的風速逐漸在改變。尤其都會地區，建築物高度愈來愈高，造成許多地區的年平均風速和最大風速的長期變化趨勢皆逐年下降，故由歷史資料計算得之設計風速皆小於耐風設計規範中各測站的設計風速。且無測站地區的設計風速是利用24個氣象測站內插而得，但測站分佈的密度不夠，內插得之設計風速令人存疑。建議主辦機關在此計畫結束後可考慮重新審視、修訂建築物耐風設計規範及解說中台灣各鄉鎮的基本設計風速。

建議二

利用風洞實驗和計算流體力學模式研究台灣地形對颱風風場之影響：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會、交通部中央氣象局

本研究發展之蒙地卡羅模式模擬風速計算出之設計風速結果顯示：本研究之模式可預測沿海地區之設計風速，但模式所得之內陸地區設計風速卻較歷史資料之設計風速大。原因為本模式所考慮到的颱風受地形影響造成氣壓差之衰減，現階段無法準確地模擬台灣複雜地況對風場的直接影響；導致模式算出之內陸地區的颱風風速較不準確。為解決此問題，可製作台灣地形的縮尺模型，進行風洞實驗；逐一針對不同風向下，量測各測點位置的風速剖面以瞭解該地形對風速的影響。再採用大尺度計算流體力學(CFD)模式或中尺度大氣TWRF模式來模擬台灣地形對不同路徑之颱風風場的影響，並與風洞實驗結果比對、驗證。這樣不但可以預測颱風來襲時平地、山區的風速、風向，亦可決定中央氣象局山區測站風速剖面的指數和梯度高度，作為換算地表不同高度風速之用。

建議三

研究台灣六大都會區颱風所產生的風向及其發生機率：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會、交通部中央氣象局

統計分析歷史資料中各個颱風路徑對台灣地區六大都會區所產生的風向，及各個風向的發生機率。本研究發展之蒙地卡羅模式亦可以模擬颱風在台灣沿海地區的風向，可與歷史資料之風向比對。逐一針對不同風向下，分析颱風風速的發生機率以計算建築物設計風載重的折減因子。

附錄一 第一次工作會議審查意見執行現況

108.06.21

委員	審查委員意見	委託回應
<p>建研所 陳建忠組長</p>	<p>1. 蒙地卡羅路徑模式以線性關係表達是否有失真?</p>	<p>本研究利用線性關係模擬出之侵台颱風機率與歷史侵台機率比對，誤差不到 1%，故此路徑模式是可行的。</p>
	<p>2. 規範風速要下調，宜有強而有力的背景描述與研究基礎。</p>	<p>謝謝委員的提醒，本研究將清楚並完整的表示目前規範高估之有力證據。</p>
<p>建研所 蔡宜中副研究員</p>	<p>1. 有關「台灣目前無風災保險」，此話語可能有語病。例如目前本所風雨風洞實驗室之「風洞變頻器」，就有保產險公司之主約火險，並附加承保地震、颱風及洪水險。故可能(1)颱風險為附加於火險下而非單獨主約；(2)本實驗室之變頻器因位於室內空間，產險公司評估風險不大而願承保。不若所述離岸風機、農作物因位於戶外，產險公司評估風險太大而不同意承保。</p>	<p>謝謝委員的提醒，本研究將會注意報告之用詞。</p>
	<p>2. 目前耐風設計規範之基本設計風速皆以地區為單位，如高雄市之平地沿海舊市區到已經接近玉山國家公園的高雄市桃源區，都是同樣 37.5 m/s 的基本設計風速，顯然明顯不合理。若能如本研究將其細分為 368 個鄉鎮測站之設計風速，應該更為妥適；也讓產險公司有所依據，增加承保颱風險的意願。</p>	<p>本計畫研究之目的就是希望能探討全台各地設計風速。</p>
	<p>3. 除了提供 368 個鄉鎮測站之設計風速，離岸海上部分之設計風速有提供嗎（供離岸風機使用）？</p>	<p>本研究可以提供離岸海上部分之設計風速。</p>

附錄二 期中審查會議意見與回應一覽表

108.07.25

委員	審查委員意見	委託回應
台灣結構工程學會 列書竹技師	1. 目前許多地面型太陽能電廠，風力為關鍵，且多為貼近地面(4.5公尺以下)建議納入研究考量?	太陽能板的風力負載問題不在本研究範疇之內，如未來有接到相關研究成果，將可納入設計規範。
全國土木技師公會 江春琴技師	1. 建築物耐風設計規範，若宜再細分，是否可以簡化公式與查詢複雜度，以例設計進行。	本計畫只研究風速，耐風設計規範的風力計算公式不在本研究範疇之內，如未來修訂規範時，可建議審查委員注意此問題。
	2. P89 第 10 行有兩個逗號。	謝謝委員的提醒，本計畫團隊會修正此錯誤。
	3. 建築若為高樓較為風速控制，而高山高建築物機率不高，是否可以簡化其設計流程，以增加設計效益。	謝謝委員的提醒，本研究將會山區設計風速的計算，以增加設計效益。
中華民國全國建築師公會 楊勝德	1. 颱風路徑分類第七類破壞性最大、最嚴重。已有研究著力於第二路徑颱風中心氣壓的變化，若能集中火力研究第七類破壞性，較為急迫需要。	謝謝委員的提醒，期末報告將會針對行經台灣海峽颱風的路徑、中心氣壓的研究。
社團法人風工程學會 蕭葆義教授	1. 已完成期中之各項預期成果。	謝謝委員的肯定。
	2. 建議未來對於模式模擬山區地形之缺失，推算預測山區測站如何修正，補述說明。	期末報告將會依據風洞試驗結果來修正連續山區地形中的風速預測。

中華民國結構 工程技師公會 全國聯合會 陳正平	1. 模擬資料決定風速是否可靠？萬一與歷史資料相去太遠時如何取捨？	當模擬風速遠大於歷史風速推得之設計風速時，將採用歷史風速計算得之設計風速。
	2. 基本風速與地形相關，是否可納入模擬？	本模式有考量地形對颱風強度的影響，但因台灣地形複雜，對風速的影響很難用一個簡單公式來計算。
	3. 風力方向性的問題建議配合 ASCE 7 之載重組合規定。	風力方向性及載重組合的問題不在本計畫探討的範圍內。
	4. 風力規範建議簡化。	本計畫只研究風速，規範中風力計算不在本研究範疇之內，如未來修訂規範時，可建議審查委員注意此問題。
江哲銘教授	1. 本研究檢討目前相關結構風力之規範，並分析出不符合時代極端風速之條件。	謝謝委員的肯定。
	2. 建議將來有可能的話，可增加微型氣象站之數量，以提高模式之精準度。	如未來主辦機關對某些特定地點的風速想做更進一步之探討與研究，可在編列經費，設置微型氣象站，監測風速。
	3. 未來可因應台灣氣候分區特性，將其非為北、中、南、東四區，另位可分為都市區、鄉鎮區、沿海、平原、山區等不同參數，做出歸納分析會更具代表性。	本研究將在期末報告研擬出適合台灣各類地形之參數，沿海、平原、山區等地形的風速剖面參數。
	4. 建議明確擬提專業耐風設計上氣象資料所需要那些參數因子，才能涵蓋因應氣候條件環境之建築物耐風設計之必要要求？	耐風設計的主要參數為各地的設計風速，本研究期末報告會列出台灣各地的設計風速。

<p>陳啟中建築師</p>	<p>1. 建議比照耐震規範建立不同區之設計風速參數。</p>	<p>本研究將會在期末報告中將會列出台灣各縣市鄉鎮的設計風速。</p>
	<p>2. 只是與過去颱風資料做比較，對於未來極端氣候之產生之預測。</p>	<p>謝謝委員的建議，但未來氣候的變遷不在本研究的範疇之內，可另案研究。</p>
<p>蔡宜中副研究員</p>	<p>1. 本研究在招標之服務建議書「研究方法及過程」有提到：「為驗證風場模式之正確性，將針對台灣常見之地形製作縮尺模型，進行風洞實驗模擬地形造成的風速變化，以驗證模式，再比對地面觀測站之風速資料計算不同地形之風速」。目前看到期中報告此蒙地卡羅模式現階段無法準確地模擬台灣複雜地況對風場的影響，導致模式算出之內陸地區的設計風速較不準確，是否須搭配風洞實驗模擬地形來做修正？準備如何模擬？</p>	<p>地形效應之風洞實驗已開始進行，量測風吹過連續的對稱山丘的風速剖面來決定指數和梯度高度，預備修正蒙地卡羅模式算出之山區風速，期末報告將會包括風洞實驗之結果。</p>
	<p>2. 本研究在第五章初步建議提到：「因歷年風速逐年下降，故規範訂定之設計風速有高估之可能性，建議主辦機關在計畫結束後可重新修訂規範之設計風速」。同上項意見，耐風設計規範的修訂必須要建立在所發展的預測模式之準確性。目前蒙地卡羅模式「沿海地區」設計風速與歷史資料接近，但「內陸地區」的設計風速則較不準確，在規範的編修上可能較無依據而無法修訂。</p>	<p>當蒙地卡羅模式模擬之風速大於歷史風速推得之設計風速時，將採用各地測站之歷史風速來計算當地的設計風速。</p>

陳建忠組長	1. 氣象站風速降低有存疑是否受到建築物遮蔽之影響，於以釐清並排除存疑。	部分測站是有受到周遭建築物之遮蔽，故歷史風速較小之現象。
	2. 颱風在極端氣候時，常有強風。本研究分析是減弱，請考慮地型因數整合(歷史資料風速下降，但模擬的數值有下降？兩者如何比較或整合應用)，規範修訂建議是依據歷史資料是否本研究的方向嗎？	部分測站受到都市化的影響，量測得之颱風風速長期趨勢是逐年變小，導致設計風速小於規範中之設計風速。
	3. 本研究類似地震分區推估時可否依地形地物地貌歸納近來，以符實際。	本研究期末報告會分區列出台灣各地的設計風速。
王安強副所長	1. 修改規範要有充足的理由，現在做出來的研究要與過去相比，如果風速比歷史更小的話就牽扯經濟問題，故可多蒐集此方面之資料。	本研究期末報告會分區列出台灣各地的設計風速，讓規範審查委員決定是否修正設計風速。
	2. 太陽能板未來會是個趨勢，建議團隊可將太陽能板之規範納入討論。	太陽能板的風載計算不在本研究範疇之內，如未來有接到相關研究成果，將可納入設計規範。

附錄三 專家座談會議審查意見表

108.08.16

委員	審查委員意見	委託回應
中央大學 林沛練教授	1. 建築物耐風設計規範之基本設計風速修訂研究確有其合理性，研究計畫所提出該修訂之處也的確有其合理性。	謝謝委員的肯定。
	2. 利用蒙地卡羅模式是可以模擬數目非常多的颱風來做建築物耐風設計規範之樣本數。雖然統計上好像跟實際統計分佈相近，但沒有考慮地形影響，有可能會造成局部地區很大之誤差，因此建議分區驗證比較，例如東北、東、東南、北、西北、西、西南以及南區進行風速模擬與實際比較，應可了解地形效應造成蒙地卡羅方法估計設計風速之誤差。	期末報告會比對台灣各地區的實測颱風風速和模式預測風速之差異，以了解蒙地卡羅方法估計風速之誤差。
	3. 指數法或其他方法估計風速之垂直變化，和地表狀況關係密切，宜多找些較驗比較，例如利用較驗花蓮、屏東等探空氣球以及一些特定地點之鐵塔觀測資料進行比對，可以檢視不同環境之差異。	期末報告會較驗花蓮站、板橋站探空氣球的實測颱風風速和模式預測風速之差異，以檢視不同環境之風速差異。
	4. 中央氣象局有人之測站雖只有 30 個，但無人之自動氣象站目前可能已有 300-400 站，資料品質還不錯，氣象局正在考量已無人自動站取代有人觀測站，因此建議可以實際測站的觀測資料也進行統計分析以及比較，較能了解資料模擬資料之不確定性。	無人氣象測站的紀錄大多不超過 20 年，颱風樣本數不足，統計分析其風速可能會造成設計風速之誤差。
	5. 以桃園為例；內陸之桃園中壢的設計風速海邊大，與實際其況似有頗大之差異，可能需在考量。	模擬風速因使用不同的地況指數造成海邊設計風速較小，期末報告將以地況 C 來計算所有鄉鎮之設計風速，故此現象將不會發生。

台灣海洋大學河海工程系張景鐘教授	1. 本研究採用 JTWC 之資料，利用蒙地卡羅模擬颱風侵台之風速資料，對基本風速之研訂將有很大的幫助。	謝謝委員的肯定。
	2. 認同於設計風速數值取整數，以利實際工程設計應用。	謝謝委員的肯定，設計風速將建議以整數數值，方便工程設計應用。
	3. 每個測站有獨特的地理環境和時空變化，本研究將簡化測站地況為 A、B、C 三種，部分測站需再進一步檢視其合理性。	每個測站或位置的確有其獨特的地理環境和時空變化，本研究建議將測站的地況為 A、B、C、D 四種供驗證之用，但設計風速仍以地況 C 來計算。
祺昌工程科技有限公司 傅仲麟總經理	1. 不同風向下，地形效應有可能不同，所以由蒙地卡羅所計算出之高空風速換算至地面風速時，可能因為地況不同而使得 n 值不同，若不同風向之地形效應差異較大的區域，可能須依不同風向來計算地面風速轉換。	台灣的地形複雜，若每個測站或位置皆要考量風向，來決定其風速剖面的 n 值，則風速的計算將變得十分複雜，技師可能會使用錯誤。
	2. 最後提供的設計風速資料以 2 m/s 間隔來進行分區，會使目前的設計風力更加準確，應會受到結構設計者歡迎。	謝謝委員的肯定。
中央氣象局 科技中心 鄧仁星研究員	1. 建議使用 CWB 風速資料庫內的颱風資料與路徑等。	本計畫有使用 CWB 的颱風路徑及風速資料。
	2. 蒙地卡羅風速的空間分佈為圓對稱，對複雜地形的影響是不理想的。	複雜地形對颱風或非颱風風場的影響皆很難以一個簡單模式來模擬，需要後續的研究進行深入的分析。
	3. 路徑分類請參考 CWB/TDB 之明確定義。	請鄧博士提供中央氣象局的路徑分類的明確定義。

	<p>4. 設計風速明顯呈現東高西低，與離岸風場估出來的結果有很大的差異。</p>	<p>用不同方法推算之風速必定會有所不同，離岸風場的颱風資料很少，尚難以驗證何種方法計算的離岸風速較佳。</p>
	<p>5. 未來國際趨勢是朝向以大氣模式模擬取代蒙地卡羅模式。</p>	<p>目前大氣模式模擬颱風時間仍太長，故本年度之計畫仍以蒙地卡羅模式來模擬颱風風速。</p>
<p>淡江大學 土木系 王人牧教授</p>	<p>1. 本案計畫內容涵蓋面廣，預期成果對耐風設計規範修訂極為重要，目前可見成果豐富，模擬結果與實際風速之比較完整，提升預測模式之可信度，值得肯定。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>
	<p>2. 基本設計風速之修訂，宜綜合多重資料，謹慎修改。</p>	<p>期末報告建議之設計風速會採用保守值。</p>
<p>台灣科技大學建築科技中心 黎益肇教授</p>	<p>1. 本研究在規範之設計風速做了非常完整的分析，對於後續修訂工作提供可靠的資料基礎。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>
	<p>2. 山區之 n 與 δ 差異性很大，此區域範圍內是否都是指數分佈？</p>	<p>指數律之風速剖面不適用於山區，因此蔡益超教授建議之指數 n 與 δ 差異性很大。</p>
	<p>3. 邊界層模式在內陸換算，在複雜地形可能不適用，進而造成預測失準，建議未來研究可以考慮探討地形修正方法。</p>	<p>未來建研所可針對複雜地形的風速地形修正方式進行相關的研究。</p>
	<p>4. 實際颱風尺度很大，山區風洞實驗如何考慮科氏力對風向之影響？</p>	<p>風洞實驗無法納入科氏力對風向之影響。</p>
<p>淡江大學 土木系 鄭啟明教授</p>	<p>1. 本研究由歷史資料回歸以及蒙地卡羅模式探討基本設計風速。無論研究目的、研究方法及目前研究成果均非常合理。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>

	<p>2. 研究中提出基於歷史資料因地形因素，風速有扭曲現象是否應做全面修正。</p>	<p>測站之歷史風速會受到周遭地理環境的影響，用蒙地卡羅模式計算之風速則不受地況的影響，故建議設計風速仍以地況 C 來計算。</p>
	<p>3. 蒙地卡羅模式對制定未來台灣設計風速極為重要，但於模擬結果的驗證以及在複雜地形的應用需再加強。</p>	<p>建議未來建研所可針對複雜地形的風速地形修正方式進行相關的研究。</p>
<p>台灣科技大學營建工程系 陳瑞華教授</p>	<p>1. 建議檢查簡報檔第 55 頁之正確性。</p>	<p>模擬風速因使用不同的地況指數造成海邊設計風速較小，期末報告將以地況 C 來計算所有鄉鎮之設計風速，故此現象將不會發生。</p>
	<p>2. 未來可能之極端風速對於設計風速之影響?例如金門測站之經驗?</p>	<p>因為金門測站之歷史颱風的樣本數少，故多一筆 2016 年莫蘭蒂颱風的風速便對設計風速有很大影響。</p>
	<p>3. $\Delta P(t)$之α值差異性很大?(即使用 JTWC)</p>	<p>國外研究颶風的中心氣壓差$\Delta P(t)$受地形影響之衰減係數α值亦有很大的差異。</p>
<p>淡江大學 土木系 張正興教授</p>	<p>1. 本計畫利用蒙地卡羅模式來增加風速資料以補足氣象站數不足和資料年限不足的方法是很適當的。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>
	<p>2. 不同的 n 值與δ值決定設計風速的大小，本計畫針對過去規範的 n 值與δ值做修正，應更依每個位置更仔細考慮。</p>	<p>過去建議之 n 值與δ值未考慮測站周遭實際之地況，本研究依據測站周遭實際地況建議 n 值。但設計風速仍以地況 C 來計算，故不受 n 值影響。</p>
<p>蔡宜中副研究員</p>	<p>1. 本研究簡報第 3 張「設計風速是依據 1947~1990 年間…」誤繕，請修正為「設計風速是依據 1947~1991 年間…」。</p>	<p>謝謝委員的提醒，本計畫團隊會修正此錯誤。</p>

	<p>2. 本研究簡報第 6 張「民國 85 年建築物耐風設計規範中的設計風速是利用…」，請修正為「民國 104 年生效之建築物耐風設計規範中的設計風速是利用…」。</p> <p>雖然民國 104 年生效施行之規範在設計風速部分與民國 85 年相同，但原則上要做比較分析時，仍須以現行之最新版本為準，以免造成誤解。</p>	<p>謝謝委員的提醒，本團隊會修正此錯誤。</p>
	<p>3. 本研究若能由蒙地卡羅模式直接算出台灣其他地區(368個鄉鎮)測站之設計風速，因比現行 104 年之耐風設計規範區分精細，當然是更好。雖然研究發現風速是逐年降低的，但因都市化的結果可能造成某些測站後來被新建大樓所遮蔽而導致風速降低，不一定是實際的風速降低，此部分研究單位可能要多考量。</p>	<p>謝謝委員的提醒，期末報告將採用較保守方式來計算台灣各鄉鎮的設計風速。</p>
<p>陳建忠組長</p>	<p>1. 本所因材料老化耐氣候曝曬也設了小型氣候站，累積了一些氣象資料可供參考。</p>	<p>全台灣無人氣象站約有 400 多個，但大多數測站的紀錄只有幾年，颱風樣本數不足，或高度不夠高，統計分析其風速會造成誤差。</p>
	<p>2. 有機會也找蔡益超老師來參與發表經驗看法。</p>	<p>本研究團隊在會議前有邀請蔡教授來參與討論，但因蔡教授說他已退休，婉拒參加會議。</p>

附錄四 期末審查會議意見與回應一覽表

108.11.1

委員	審查委員意見	委託回應
新北市建築技師公會 張威建築師	1. 目前極端氣候造成超級颱風時常發生，建議考量前次襲擊日本的颱風風速。	颱風風速和其中心氣壓(強度)、路徑、地形有關。相同的颱風強度，走相同路徑，在不同的城市造成的風速便不同。故侵襲日本的颱風很難直接用來計算台灣各地的颱風風速。且侵襲日本的颱風所造成的災害大部分是水災，在本計畫研究範圍之外。
台北市建築技師公會	1. 風速間格改為 2 m/s，較能符合實際上使用，支持改為 2 m/s 間格。	謝謝委員的支持。
	2. 將老舊的法令，依照新的數據做模擬更新應予支持。	謝謝委員的肯定。
社團法人風工程學會 黎益肇教授	1. 設計風速在耐風設計規範中十分重要，依據新的實測統計資料，加上蒙地卡羅方法更新設計風速，提供規範修訂良好的基礎。	謝謝委員的肯定。
	2. P.108 入流風速剖面 $U_0 = 12.32$ m/s 似乎不太合理，多了 Setup for CFD。	本研究量測過幾次入流風速剖面，無因次化之後風速剖面可疊合在同一條線上，在合理範圍之內。
	3. 山丘實驗 $H = 0.2$ m， $\delta = 1.37$ m，在 B 地況下（縮尺為 1/300）山丘高約為 60m？代表性似乎不足。定型影響很難評估，值得未來繼續探討。	本研究之山丘實驗的縮尺比為 1/1000，山丘高約為 200 m，水平尺度為 800 m，邊界層高度 1000 m，為一小型山丘。國外已有此類研究。
	4. 增加規範之說明條文，讓使用者了解其精神。	期末報告中會加入設計風速之說明條文，讓使用者了解其精神。

<p>中華民國土木技師公會全國聯合會 江春琴技師</p>	<p>1. 離岸風力設備設計是否有規範建議表格?</p>	<p>「建築物耐風設計規範」只有台灣各鄉鎮(陸地)的設計風速,海上風速大於陸地風速。離岸風力設備之設計是否採用「建築物耐風設計規範」鄰近鄉鎮之設計風速則須主管機關的認定。</p>
<p>葉民權教授</p>	<p>1. 所提之各鄉鎮設計風速建議值,部分地區大幅降低,或是大幅提高,或是漏建議的其他鄉鎮,可以進一步說明其理由。</p>	<p>本研究團隊將在最終版之期末報告中補齊全台各鄉鎮之設計風速。</p>
	<p>2. 本計畫所使用之參數與中央氣象局不同,且較為適當,是否可作成建議。</p>	<p>謝謝委員的肯定與建議,就將在最終版之期末報告提出此建議。</p>
<p>陳啟中建築師</p>	<p>1. 建議增加台灣目前現行風速與未來修訂之風速比較表。</p>	<p>台灣目前現行設計風速與未來修訂之設計風速比較表在期末報告P.90-109。</p>
	<p>2. 風速由 5 m/s 改成 2 m/s 級距立意很好,在風速有斷層之鄉鎮是否可使用「內插方程式」。</p>	<p>若未來的設計風速之級距由 5 m/s 改成 2 m/s,風速斷層差異變小,便無需使用「內插方程式」。</p>
	<p>3. 耐震規範已修正多次,贊成耐風設計規範也必須修正。</p>	<p>謝謝委員的肯定與支持。</p>
<p>王安強副所長</p>	<p>1. 風速由調高或調低,在安全方面與經濟效益上皆有相對之影響。是否分年慢慢調。</p>	<p>若現行設計風速與未來修訂之設計風速差距過大,可逐年調整,若差異不大,建議一次修訂。</p>
<p>蔡宜中副研究員</p>	<p>1. 另本研究簡報第 7 張「設計風速是依據 1947~1990 年間…」誤繕,請修正為「設計風速是依據 1947~1991 年間…」。</p>	<p>謝謝委員的提醒,本研究團隊將修正其錯誤。</p>

	<p>2. 本研究已研擬台灣 368 個鄉鎮耐風設計規範之設計風速修正建議值，對未來修訂「建築物耐風設計規範」和評估風災保險有很大的助益。但畢竟蒙地卡羅模式是一種數值模擬方式，且其現階段無法準確地模擬台灣複雜地況對風場的影響，導致模式算出之內陸地區的設計風速較不準確。此設計風速修正建議值，在規範的編修上可能還需要集結學者專家審視後才能決定修訂與否。</p>	<p>本研究只是提出台灣 368 個鄉鎮設計風速之建議值，「建築物耐風設計規範」若要修訂，需要經過許多學者專家的審查會議討論之後才能定案。</p>
	<p>3. 蒙地卡羅模式之數值模擬，是根據其所提近年來風速測站所量得之風速與歷史風速相比有下降的趨勢。但實務上有可能是測站旁興建了大樓，因產生「遮蔽效應」而導致量測之風速值降低。且近年來因極端氣候興起，眾人普遍的認知是颱風越來越大，災損越來越嚴重。如果確實因「遮蔽效應」風速才降低，建立在此基礎的蒙地卡羅模式所算得之基本設計風速可能值得商榷。</p>	<p>雖然民眾普遍的認知是颱風越來越大，但中央氣象局的歷史颱風風速資料顯示，年最大颱風風速的長期趨勢是下降的，都會地區風速的下降趨勢又大於非都會地區(離島)的下降趨勢，其原因需氣象單位來釐清。</p>

參考書目

1. 蔡益超，林宗賢 (1984) 建築物所受風力規範研擬，國科會防災科技研究報告，NSC73-0414-P002-04。
2. 張景鐘 (1995) 台灣風力載重規範中相關係數之可靠度研究，國科會專題研究報告，NSC83-2211-E-019-001。
3. 陳瑞華 (1995) 風力規範中標稱風速與載重係數之研究(I)，國科會專題研究報告，NSC84-2211-E-011-013。
4. 蔡益超，陳瑞華，項維邦 (1996) 建築物風力規範條文解說及示範例之研訂，內政部建築研究所研究報告。
5. 廖志昌 (1995) 風力規範中標稱風速與高樓舒適度條文可靠度之研究，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文。
6. 莊月璇 (2000) 台灣地區風速機率分佈之研究，中央大學土木工程學系碩士論文。
7. 蔡孝忠、呂國臣、許乃寧、賈愛玫、DeMaria, M. (2011) 蒙地卡羅法在颱風侵襲機率估計的應用。大氣科學期刊，39-3，269-288。
8. 朱佳仁，張育峯 (2012) 1961~2008 期間台灣地面風速變化趨勢之分析，氣象學報，第 49 卷第 1 期，2012 年 12 月，51-68。
9. 蔡育霖 (2014) 風暴潮速算系統之建立及1845年雲林口湖事件之還原與研究。中央大學水海所研究所碩士論文。
10. 羅元隆 (2015) 建築耐風設計規範風速模式探討及設計風速修訂研究，內政部建築研究所研究報告。
11. 宋柏勳 (2017) 西北太平洋區域颱風模式建立-以韓國為例。中央大學土木工程研究所碩士論文。
12. Fujita, H. 1952. The exact pattern of a concentration-dependent diffusion in a semi-infinite medium, Part II. Text. Res. J. 22: 823-827.
13. Georgiou, P. N., 1985. Design wind speeds in tropical cyclone-prone regions. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering Science, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.
14. Harper, B. A. and Holland, G. J. 1999. An updated parametric model of the tropical cyclone. Proceedings of the 23rd Conference of Hurricane and Tropical Meteorology Dallas, Texas, pp. 893-896.
15. Holland, G. J. 1980. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes. Mon. Weather Rev. 108, 1212-1218.
16. Huang, W. F. and Xu, Y. L., 2013. Typhoon-induced non-stationary buffeting response of

- long-span bridges in complex terrain. *Eng. Struct.* 57, 406-415.
17. Hubbert, K. P. and Wolf, J. 1991. Numerical investigation of depth and current refraction of waves. *J. Geophys. Res.* 96 (9), 2737-2748.
 18. Jelesnianski, C. P., Chen, J. and Wilson, A. Shaffer 1992. SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes, NOAA Technical Report, NWS 48, Silver Springs, Maryland.
 19. MacAfee, A. W. and Pearson, G. M. 2006. Development and testing of tropical cyclone parametric wind models tailored for multitude application preliminary results. *J. Appl. Meteorol.* 45, 1244-1260.
 20. Ou, S. H., Liau, J. M. and Hsu, T. W. 2002. Simulating typhoon waves by SWAN wave model in coastal waters of Taiwan. *J. Ocean Engineering.* 29(18), 947-971.
 21. Phadke, A. C., Martino, C. D., Cheung, K. F. and Houston, S. H. 2003. Modeling of tropical cyclone winds and waves for emergency management. *J. Ocean Engineering.* 30(4), 553-578.
 22. Powell, M. D., Soukup, G., Cocke, S., Gulati, S., Morisseau-Leroy, N., Hamid, S., Dorst, N., Axe, L., 2005. State of Florida hurricane loss projection model: atmospheric science component. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 93(8), 651-674.
 23. Schloemer, R. W. 1954. Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okechobee. Florida US Weather Bureau, Hydromet. Rep., 31, 1-49.
 24. Verkaik, J. W., Smits, A. and Ettema, J. 2003. Extreme value analysis and spatial interpolation methods for the determination of extreme return levels of wind speed. KNMI-HYDRA project: Wind climate assessment of the Netherlands 2003. De Bilt, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) Phase Report 9: 1-202.
 25. Vickery, P. J., Skerlj, P. F. and Twisdale Jr. L. A. 2000. Simulation of hurricane risk in the U.S. using an empirical track model. *J. Struct. Eng. ASCE*, 126(10), 1222-1237.
 26. Vickery, P. J. 2005. Simple empirical models for estimating the increase in the central pressure of tropical cyclones after landfall along the coastline of the United States. *J. Appl. Meteorol.* 44, 1807-1826.
 27. Vickery, P. J. Masters, F. J., Powell, M. D., and Wadhwa, D., 2009. Hurricane hazard modeling: The past, present, and future. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 47, 2497-2517.
 28. Vickers, D. and L. Mahrt, 1997: Fetch limited drag coefficients. *Bound.-Layer Meteor.*, 85, 53-79.
 29. Willoughby, H. E. Darling, R. W. and Rahn, M. E. 2006. Parametric representation of the

- primary hurricane vortex. Part II: A new family of sectional continuous profiles. *Mon. Weather Rev.* 134, 1102-1120.
30. Yelland, M. J. and P. K. Taylor, 1996. Wind stress measurements from the open ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 541–558.
31. Yin, J. M., Welch, M. B., Yashiro, H. and Shinohara, M., 2009. Basin wide typhoon risk modeling and simulation for western north Pacific basin. The 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Taipei, Taiwan.

都市地區風環境流通效應影響評估分析研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：陳建忠、朱佳人、羅元隆、蔡宜中、張淇喻、郭建源、
林禹安、羅仕亮、游聲迪

出版年月：108年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5448-09-7 (平裝)