

設計風速之方向性對於建築風載重之影響

傅仲麟¹ 陳煌志² 楊宗錦²

¹ 祺昌工程科技有限公司 總經理

² 祺昌工程科技有限公司 工程師

摘要

本研究針對台灣地區北、中、南三個測站之颱風期間風速資料，重新進行分析，並進一步分析各測站16個風向的設計風速，以作為配合風洞實驗結果，考量不同風向風速效應之依據。分析結果，以台中地區風壓折減較為明顯，而高雄地區風壓折減則較不明顯。本研究主要提供未來對於設計風速修正之參考，並了解修正後對於不同區域風壓設計值之影響程度。

關鍵字: 設計風速、風向、風載重、設計風壓

Keywords: design wind speed, wind direction, wind loading, design wind pressure

1. 前言

風對建築物的載重主要取決於風速、氣動力特性、結構特性三者。建築物受風之氣動力特性取決於建築物的造型，而風速則與建築物所在地區有關。此外，風向對於建築物之設計也有明顯的影響。若建築物是軸對稱的造型如圓柱，則其氣動力特性與建築物所受風吹襲之風向角無關。但若建築物並非軸對稱的造型如三角形或矩形，則不同風向角下建築物氣動力特性則有所不同。另外，不同風向下的風速條件也不盡相同。例如台北市的季風或颱風皆以東向或東北向為主。因此東風或東北風的風速較其他風向為高。因此，理論上建築物在各風向角之氣動力特性搭配該風向角之風速條件，並配合建築物結構特性，即決定了建築物的設計風載重。

目前在建築物風載重分析上，風速的方向性在設計風載重的應用方式，各國風力規範或是各實驗室之分析方法，目前並無一致之定論。本研究將挑選三個地區的建築試驗案例，並考量風向角效應在設計風壓之分析上，與目前規範所定義之設計風速考量所得到之設計值進行比較。以求進一步了解風向性之考量對於設計風載重之影響程度，及不同區域下其影響之差異。

2. 設計風速風向性研究及各國規範差異

一般的極值風速分析，皆單純以風速作為考量。並未考量風速可能是由不同

風向所產生的。對於非軸對稱建築物，如方形或長方形，不同風向的風力對其產生的影響不同。因此，若設計風速不考量風向角的差異，即假設各個風向角皆會產生同樣大的風速。或是說假定對建築物產生最大氣動力影響的風向角就是產生最大風速的風向角。當然，這是十分保守的作法。

對於設計風速及風載重與風向性的關係，亦有多位學者進行過相關研究。Masahiro Matsui 及 Takeshi Ishihara[1]提出有風向特性的颱風模擬方法，來模擬並預測極值風速的風向機率特性。Tatsuya Itoia, Jun Kanda[2]，曾提出不同風向角之風速相關性分析模式，作為修正各風向設計風速之理論依據。M. Kasperski[3]也曾提出針對低層建築，不同風向角風速與風力係數之機率特性，對於設計風載重影響之評估。

Nicholas Isyumov[4]也提出多種風向角考量之設計概念，對於結構反應所造成的差異，並與 ASCE 之設計值進行比較。其所整理之考量方式大約可歸納為下列幾種：

第一種方法稱為 Worst case approach，是在決定設計風速時，其風速採取每次颱風最大風速或每年最大風速，未考量各筆風速資料之風向差異，分析結果應用在所有風向，即每個風向皆採用同樣的極值風速。此方法可視為建築物發生最大氣動力效應的風向即為產生最大風速的風向。

第二種方法稱為 sector by sector 是蒐集各風向每次颱風最大風速或每年最大風速，假定各風向之極值風速是獨立的，各個風向獨立進行極值風速分析，各風向分析所得之風速將會有差異，各風向風速以「風向因子」作為各風向之風速之比例值呈現。

第三種方法稱為 up-crossing method 是同時考量建築物各風向之氣動力參數，結合各地區風速與風向特性，透過風速與風向之二維聯合機率分布函數，分析出結構受風反應之超越機率，進而得到特定迴歸期的風載重。

最後一種方法稱為 storm passage method 是考量風速與風向隨時間變化條件下之建築物最大受風反應。此方法是將建築物受風反應（如壓力，力矩等）表示為風向與風速的函數。透過檢核颱風的歷時風速與風向變化，可以取得每個颱風發生期間，建築物最大的受風反應。此方法較適用於檢核颱風所造成的建築物受風反應。但此方法需檢核大量颱風事件，因此，通常需配合颱風模擬，模擬出大量颱風的風速風向歷時資料，再進行受風反應檢核。

而目前各國所提出之設計風載重相關準則或規範對於風向性的考量則，一般分為下列幾種：

1. 不考量不同風向角風速的差異，亦即假設最大風速就發生在產生最大氣動力效應（風壓或風載重）之風向。此方法較偏保守。加拿大、中國、及台灣皆採此種設計風速概念。

2. 依據不同風向角下的風速資料，進行風速分析，因此各風向的設計風速不同。在規範中以方向因子(directional factor)作為各風向風速折減的係數。法國

[5]、英國[6]及澳洲[7]、日本[8]規範皆採此方法。而且其風向因子，因區域不同、亦有差異。此外，風速依方向因子(directional factor)所折減之幅度亦有上限，法國風向因子約為 0.7~1.0，風速最多折減 30%；英國風向因子約為 0.73~1.0；澳洲為 0.8~1.0；日本為 0.85~1.0，風速最多僅折減 15%。

3. 直接將設計風速壓乘上一個方向因子，而此方向因子與建築之風向敏感度有關，美國 ASCE7[9]即採此方式進行風載重折減。

3. 研究內容

本研究將針對數種設計風速之風向性考量方式，並挑選台北、台中、高雄三個都會區的建築，比較不同風向性考量方式對於風載重的影響。

設計風速風向性考量方式包括 Worst case approach、sector by sector 兩種方式與 sector by sector 修正。並在台北、台中、高雄三個區域各選擇一棟大樓，依據該大樓風洞試驗數據配合三種風速分析資料，計算設計風力進行比較。

3.1 氣象資料分析

為考量分析之一致性，本研究所採用之氣象資料為氣象局所提供之台北、台中、高雄 1961 年至 2015 年，共 55 年，每小時一筆之十分鐘平均風速資料進行分析。

首先，統計 1961 年至 2015 年台北、台中、高雄分別有 111 次、112 次及 129 次颱風事件。每次颱風事件，依據該颱風警報發布期間，取得該期間之每小時 10 分鐘平均風速資料，將每一筆颱風事件之每小時 10 分鐘平均風速資料，依據 16 個風向將資料分為 16 組，在每組颱風資料裡取出最大風速資料，則每一筆颱風事件可取得各風向之最大風速資料，將所有颱風事件依此原則進行資料採樣，可取得所有颱風事件在各風向之最大風速。此外，因各測站之地況不同，轉換為設計風速定義的高度與地況條件過程中需考量測站位置之地況及測站高度，將測站風速轉換至 C 地況 10 公尺高之風速。若測站安裝位置在市區，則各風向來風之地況與風速剖面皆類似，所有風向之風速皆可乘上相同的轉換參數。但若測站位於海邊，或市區邊緣，則不同風向角之地況有很大的差異，每個風向角之轉換參數會依來風所經過之地況條件而有差異。因此，需考量各測站各風向角之地況進行風速轉換。各測站各風向角之地況，經由衛星空照圖可進行判斷。

若設計風速不考量風向角之差異，每一個颱風事件，將測站各風向原始最大風速，轉換為 C 地況 10 公尺高之最大風速後，取出 16 個風向中風速的最大值，每一個颱風事件僅有一個最大值。將所有颱風最大風速資料以 gumbel distribution 進行，進行極值分布擬合。而且以颱風事件應用極值分析理論估算回歸期風速時，尚須以卜桑過程考量颱風年發生率之於年最大風速發生機率的關係。經分析後找出測站 50 年回歸期風速。台北、台中、高雄分別為 30m/s、

23m/s、28.5m/s。風速與目前規範設計風速有明顯差距，是因為採用資料不同所致，規範是採用 1947 年至 1991 年之中央氣象局颱風資料。而本研究為採用不同方式分析風速資料，需要較完整的風速歷時資料，因此採用 1961 年至 2015 年國家實驗研究院大氣水文資料庫較完整之風速資料。因早期紀錄颱風風速資料有較大之風速產生，因此規範之風速分析結果較大，但目前分析結果與 1999 年朱佳仁老師採用 1961 年至 1999 年風速資料之分析研究結果相近。

若設計風速考量風向角之差異，將每一筆颱風事件之每小時 10 分鐘平均風速資料，依據 16 個風向將資料分為 16 組，在每組颱風資料裡取出最大風速資料，則每一筆颱風事件可取得各風向之最大風速資料，將所有颱風事件依此原則進行資料採樣，可取得所有颱風事件在各風向之最大風速。但每次颱風不一定在每個風向角皆有風速資料，因此每個風向角之風速資料筆數並不一致。將各風向之最大風速資料以 gumbel distribution 進行極值分布擬和，透過分析可取得測站各風向 50 年回歸期風速。若將風速最高風向角之風速值訂為 1，則三個地區各風向 50 年回歸期風速之比例如下圖所示。

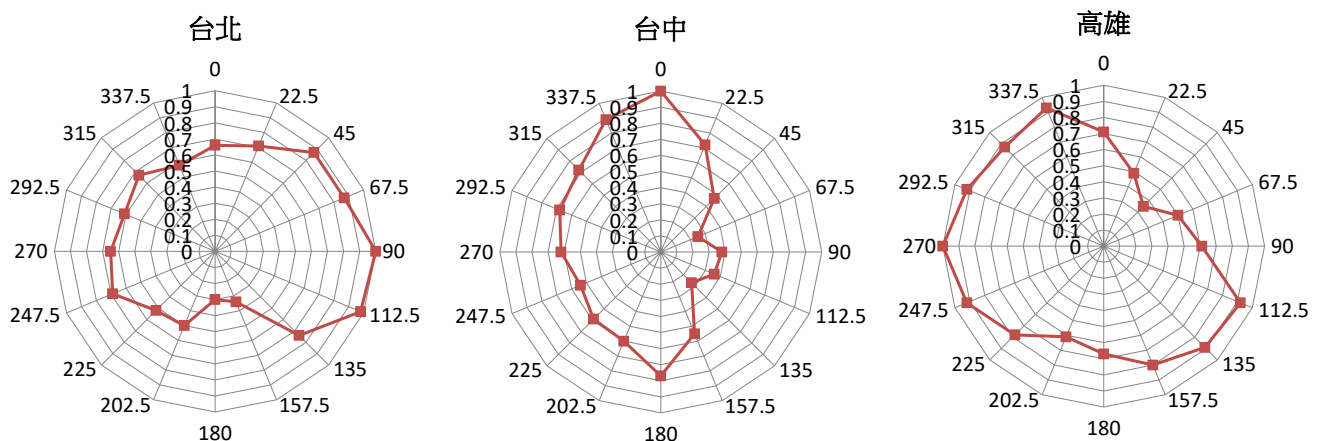


圖 1 各測站各風向角 50 年回歸期風速之比例

由圖上可觀察到，台北地區高風速主要集中在東風及東南東風，南風為風速較低之風向，各風向風速與最高風速比例大多落在 0.7~0.9 之間。台中測站高風速主要集中在北風及北北西風，北北東至東南風是風速較低的風向，其他風向風速與最高風速比例大多落在 0.6~0.8 之間。高雄測站高風速主要集中在西南西風至西北西風，東北風是風速較低的風向，其他風向風速與最高風速比例大多落在 0.8~0.9 之間。在此階段，已將風速區分為不同風向進行各風向風速特性之考量。

3.2 實驗數據分析

在本研究中，將在台北、台中、高雄三個地區，各選擇一棟高層建築之試驗

數據，配合不同氣象資料分析方式，進行外牆設計風壓之比較。為簡化比較內容，我們挑選了3座造型較為單純的高層建築，以建築物 2/3 高度處之東西南北四個面之邊角區域與中央區域選擇各選擇一個壓力測點，每棟建築物共 8 個壓力測點(如圖 2 所示)，來進行極值風壓比較。測點名稱第一個字母代表大樓代號(A、B、C)，第二個字母代表牆面方向(N、W、S、E)，第二個字母代表牆面角隅(C)或牆面中央(M)。三座建築物正負極值風壓係數隨風向角變化之情形如圖 3~8 所示。由圖可知各面測點僅有在該面處於迎風面時才会有量測到正極值風壓，因此，四面之風壓測點，在四個與牆面正交之風向，左右各約 50 度範圍內有極值正風壓，其他風向則無正風壓產生。而負風壓則以與牆面平行之左右側來風時極值風壓最大。3 棟大樓風壓分布型態皆相似，只是除 A 大樓外，B、C 大樓北側牆面皆未正對北方，而稍有偏轉角，因此風壓分布特性相同，但角度有些不同。

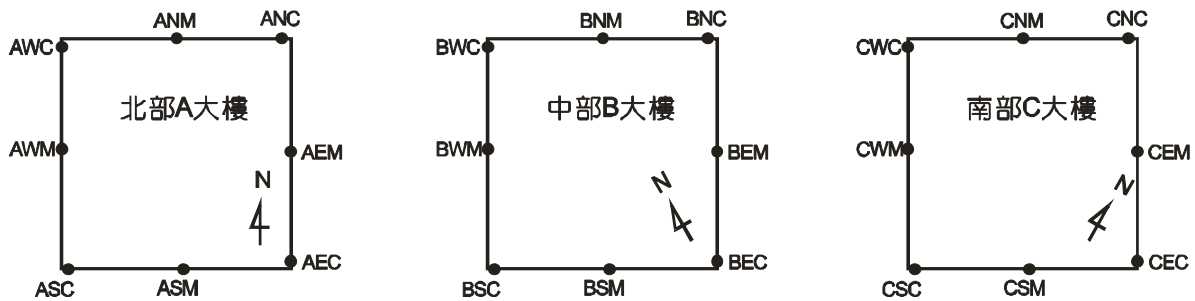


圖 2 三棟大樓風壓點分布位置圖

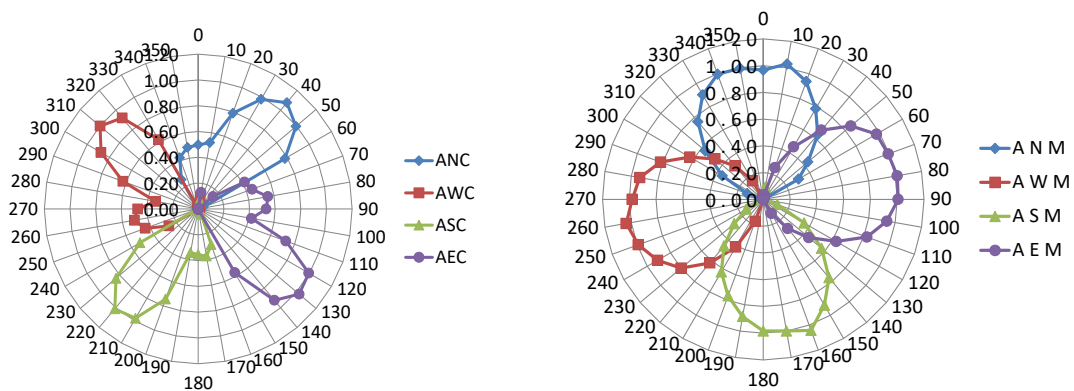


圖 3 北部 A 大樓四面極值正風壓係數隨風向角變化
(a)外牆角隅處測點 (b)外牆中央測點

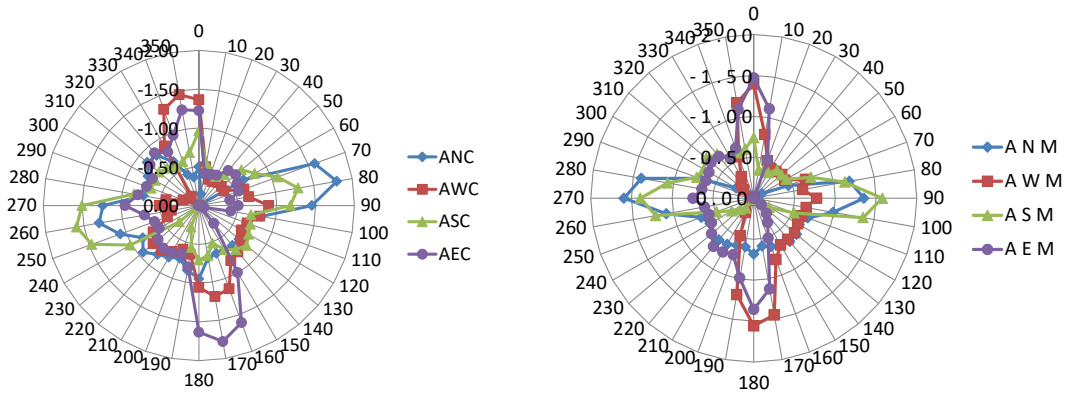


圖 4 北部 A 大樓四面極值負風壓係數隨風向角變化

(a)外牆角隅處測點 (b)外牆中央測點

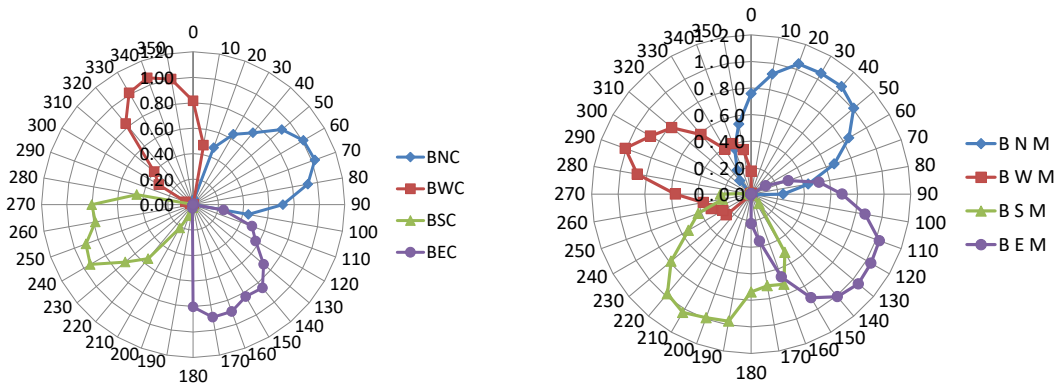


圖 5 中部 B 大樓四面極值正風壓係數隨風向角變化

(a)外牆角隅處測點 (b)外牆中央測點

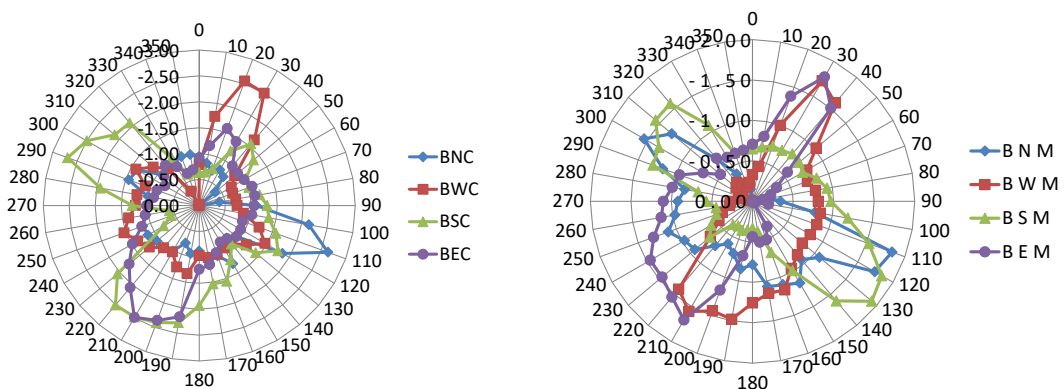


圖 6 中部 B 大樓四面極值負風壓係數隨風向角變化

(a)外牆角隅處測點 (b)外牆中央測點

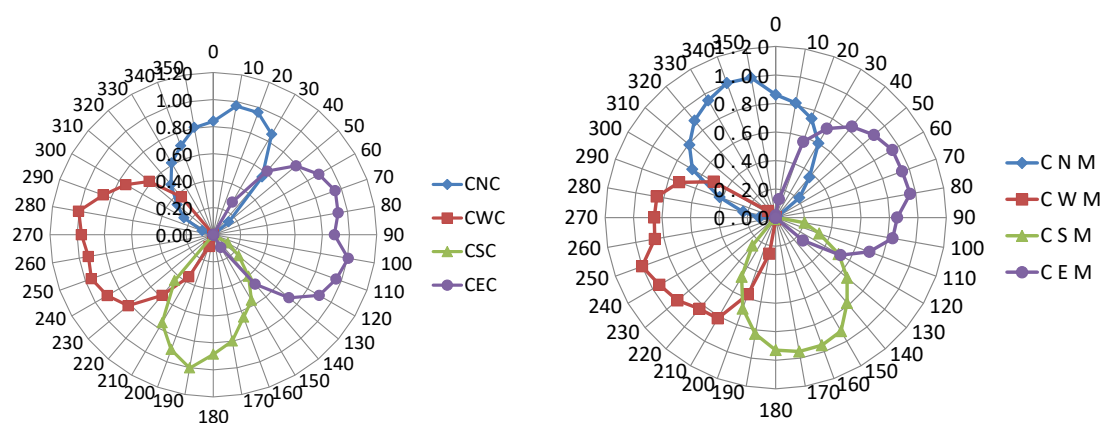


圖 7 南部 C 大樓四面極值正風壓係數隨風向角變化
(a)外牆角隅處測點 (b)外牆中央測點

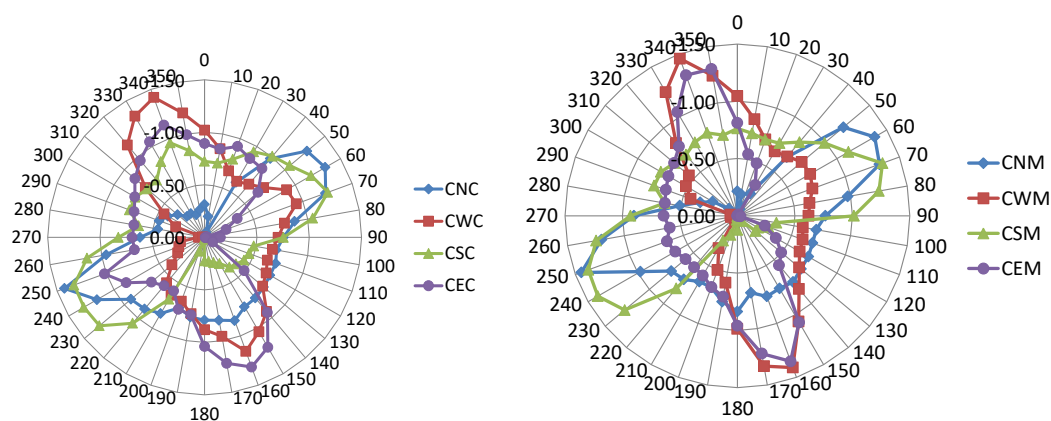


圖 8 南部 C 大樓四面極值負風壓係數隨風向角變化
(a)外牆角隅處測點 (b)外牆中央測點

3.3 設計風壓分析

極值風壓係數配合設計風速即可計算出設計風壓，設計風速之定義若不考量風向角之差異，稱之為 worse case method 在此暫稱為 method_1。若考量風向角之差異稱之為 sector to sector method 在此暫稱為 method_2。但因考量風向角之效應時，部分風向角風速折減相當多，參考各國規範折減值之下限約在 0.7~0.85 之間，因此，我們採最低折減比例為 0.8，修正 sector to sector method 在此暫稱為 method_3。

將極值風壓係數配合三種不同方法分析及定義的設計風速，可得到 3 種設計值，在圖中，將 method_1 所得到的設計值定為 1.0，則可顯示其他方法所得設計風壓之折減因子。因此，method_1 所得到的設計值最為保守。而採用 method_2 所得到折減程度，依測點位置及基地坐落於北、中、南皆有明顯差異。

先以北部 A 大樓而言，採用 method_2 所得到折減程度，在角隅處之風壓折減因子，正風壓約為 0.24~0.76 間，而負風壓在 0.19~0.87 間。在牆面中央處之風

壓折減因子，正風壓約為 0.17~0.98 間，而負風壓在 0.32~1.0 間。因為折減最多的風向是南風，南風造成最大風壓係數的區域，其折減量最多，如南向牆面中央處正風壓，及東向牆面角隅處之負風壓皆為受南風影響最大的區域，因此折減最多。若採用 method_3 所得到折減程度，在角隅處之風壓折減因子，正風壓約為 0.64~0.76 間，而負風壓在 0.64~0.87 間。在牆面中央處之風壓折減因子，正風壓約為 0.64~0.98 間，而負風壓在 0.64~1.0 間。最多折減 0.64。由圖上可觀察到，正風壓之折減以東向立面折減最少，南向立面折減最多，因為東風風速最高，而南風風速最低。但負風壓則以北向及南向折減較少，東西向折減較多，因為負壓主要以與風向垂直之立面負風壓最大，因此南風風速偏低時，東西向立面風壓也會折減較多。

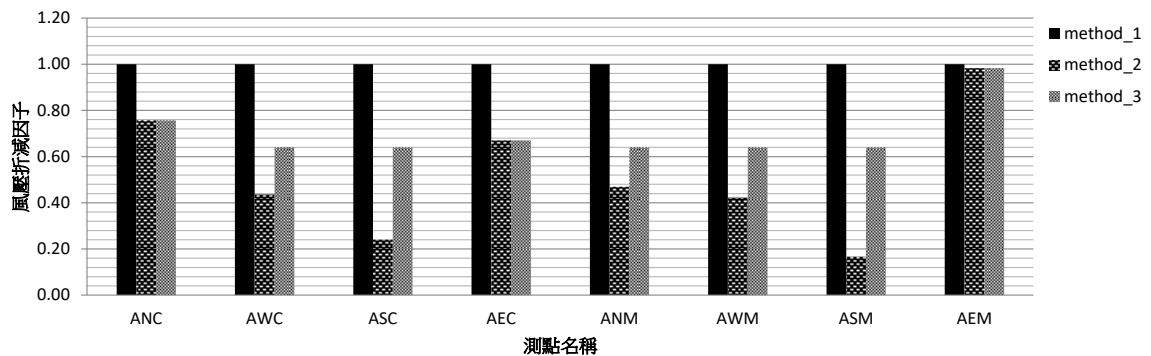


圖 9 北部 A 大樓四面極值正風壓折減因子

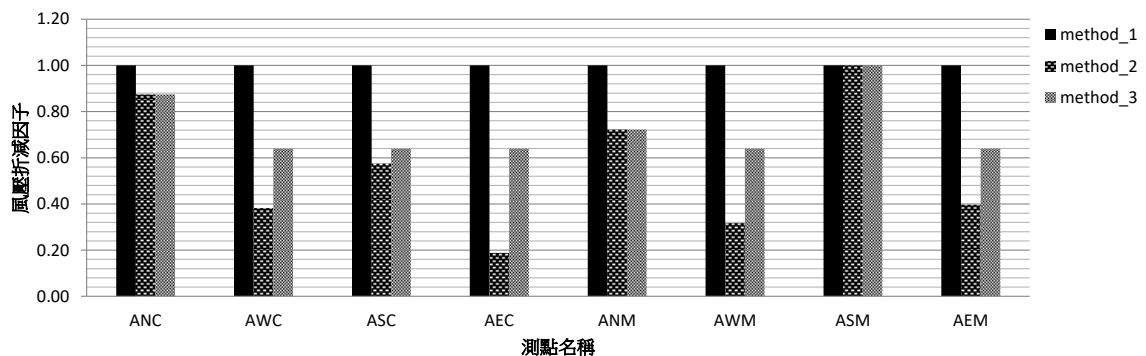


圖 9 北部 A 大樓四面極值負風壓折減因子

而對中部 B 大樓而言，採用 method_2 所得到折減程度，在角隅處之風壓折減因子，正風壓約為 0.14~0.79 間，而負風壓在 0.13~0.55 間。在牆面中央處之風壓折減因子，正風壓約為 0.15~0.57 間，而負風壓在 0.31~0.4 間。因為折減最多的風向是東風，東風造成最大風壓係數的區域，其折減量最多，如東向牆面中央處正風壓，及北向牆面角隅處之正、負風壓皆為受南風影響最大的區域，因此折減最多。若採用 method_3 所得到折減程度，在角隅處之風壓折減因子，正風壓約為 0.64~0.79 間，而負風壓皆為 0.64。在牆面中央處之風壓折減因子，正、負

風壓皆為 0.64。代表大多數測點風壓皆減至底限值。

對南部 C 大樓而言，採用 method_2 所得到折減程度，在角隅處之風壓折減因子，正風壓約為 0.44~0.94 間，而負風壓在 0.71~0.90 間。在牆面中央處之風壓折減因子，正風壓約為 0.43~0.9 間，而負風壓在 0.82~0.9 間。因為折減最多的風向是東北風，東北風造成最大風壓係數的區域，其折減量最多。如東向牆面中央處正風壓，為受東北風影響最大的區域，因此折減最多。若採用 method_3 所得到折減程度，在角隅處之風壓折減因子，正風壓約為 0.64~0.94 間，而負風壓在 0.71~0.90 間。在牆面中央處之風壓折減因子，正風壓約為 0.64~0.9 間，而負風壓在 0.82~0.9 間，大部分測點折減量並不多。

由上述結果，可以觀察到，台中測站的高風速非常集中在南北向，計算 36 個風向角的平均風速折減約為 0.57，台北測站雖然高風速以東風為主，但其他風向折減量沒有台中大，平均折減約為 0.65。而高雄相對而言除東北風偏低外其他風向折減值不大，平均折減量約為 0.74。因此，由結果觀察到，以台中考量風向折減最大，高雄折減量較低。

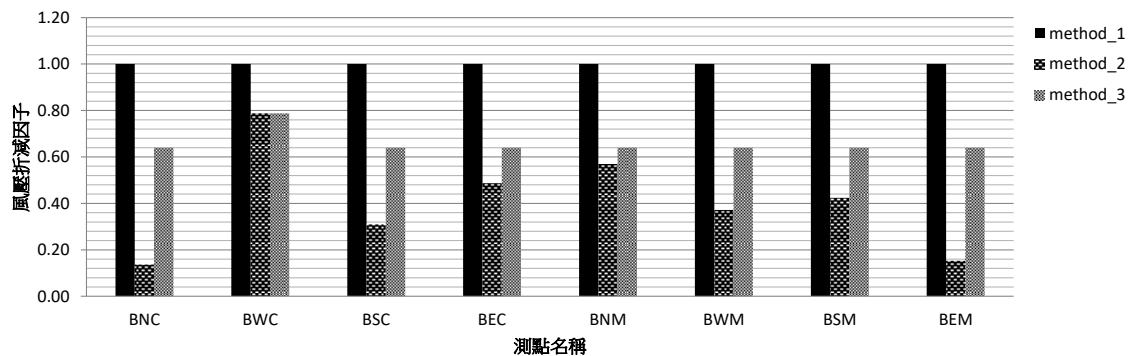


圖 10 中部 B 大樓四面極值正風壓折減因子

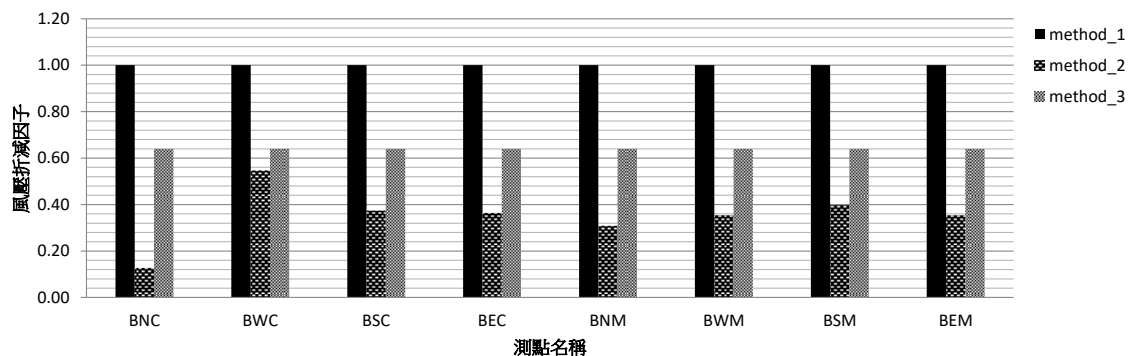


圖 11 中部 B 大樓四面極值負風壓折減因子

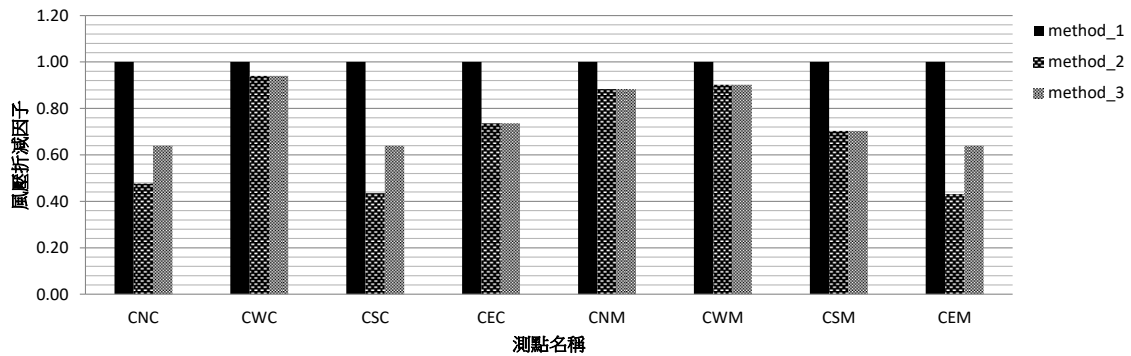


圖 12 南部 C 大樓四面極值正風壓折減因子

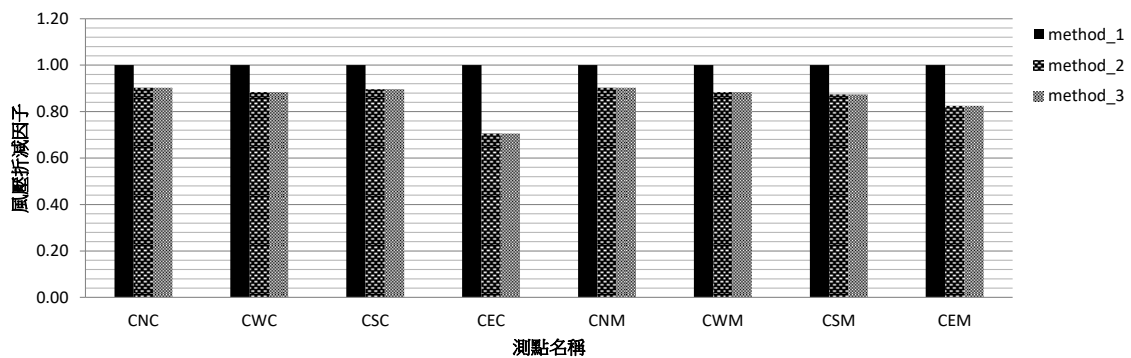


圖 13 南部 C 大樓四面極值負風壓折減因子

4. 結論

本研究針對台灣地區北、中、南三個測站之颱風期間風速資料，重新進行分析，並進一步分析各測站 16 個風向的設計風速，以作為配合風洞實驗結果，考量不同風向風速效應之依據。

風速重新分析結果，因採用資料之資料庫及時間不同，而與規範之定義值有差距，但與 1999 年，朱佳仁老師之研究結果相近。依風向分析後之結果，台北地區高風速主要集中在東風及東南東風，南風為風速較低之風向。台中測站高風速主要集中在北風及北北西風，北北東至東南風是風速較低的風向。高雄測站高風速主要集中在西南西風至西北西風，東北風是風速較低的風向。平均以台中市風速折減量較明顯。

另根據北、中、南三棟建築配合氣象資料分析結果，台北市部分測點折減因子達 20%，但參考各國規範，須訂定最低折減因子，建議風速最低折減因子為 0.8，則風壓最低則為 0.64。計算北、中、南三區之結果，以台中地區折減較為明顯，幾乎大部分區域皆折減至 0.64。而以高雄地區折減較不明顯，大部分區域風壓折減因子在 0.8 以上。

為考量設計合理性，因此本研究針對設計風速之方向性，進行了進一步的分析，並搭配北、中、南三個不同氣候特性地區之建築，進行風向性對設計風壓之影響，提供未來對於設計風速修正之參考，並了解修正後對於不同區域風壓設計

值之影響程度。

5. 參考文獻

- [1] M. Matsui, T. Ishihara, K. Hibi, 2002, Directional characteristics of probability distribution of extreme wind speeds by typhoon simulation, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 90, 1541-1553.
- [2] T. Itoi, J. Kanda, 2002, Comparison of correlated Gumbel probability models for directional maximum wind speeds, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90, 1631-1644.
- [3] M. Kasperski, 2007, Design wind loads for a low-rise building taking into account directional effects, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 95, 1125-1144.
- [4] N. Isyumov, E. Ho, P. Case, 2015, Influence of wind directionality on wind loads and responses, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 133, 169-180.
- [5] Eurocode 1 : Actions on structures - Part 1-4 : General actions - Wind actions - National Annex to NF EN 1991-1-4 :2005 - General actions - Wind actions
- [6] British Standards Institution, 2002. Loading for Buildings - Part 2: code of practice for wind loads, BS6399: Part2:1997 (Revised 2002).
- [7] Standards Australia/Standards New Zealand, 2011. Australia/New Zealand Standard, Structural Design Actions - Wind actions. Part2: 2011.AS/NZS 1170.2:2011.
- [8] 建築物荷重指針同解說 ,2015 ,日本建築學會
- [9] American Society of Civil Engineers, 2010. Minimum design loads for buildings and other structures, ASCE Standard ASCE/SEI 7-10.