

國際耐風設計規範局部風壓係數之本土化擬合研究

內政部建築研究所委託研究報告109年度

國際耐風設計規範局部風壓 係數之本土化擬合研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 109 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)

計畫編號：10915G0016

國際耐風設計規範局部風壓 係數之本土化擬合研究

受委託者：社團法人中華民國風工程學會

計畫主持人：羅元隆

協同主持人：陳瑞華

研究助理：林禹安、王家驊

研究期程：中華民國 109 年 1 月至 109 年 12 月

研究經費：新台幣 130 萬元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 109 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
圖次	III
表次	IX
摘要	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究動機	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究內容與方法	4
第二章 設計風載重理論與驗證	7
第一節 設計風載重背景知識	7
第二節 COOK AND MAYNE 法	13
第三節 KASPERSKI 法	18
第四節 COOK AND MAYNE 法與 KASPERSKI 法的比較分析	25
第三章 大氣邊界層原理	39
第一節 大氣邊界層原理	39
第二節 風對結構體的作用	43
第三節 我國氣象測站的極值風速特性	48
第四章 風洞實驗數據分析	57
第一節 風洞實驗設置	57
第二節 本計畫風洞實驗案例	66
第三節 CAARC 大樓風洞實驗結果	68
第四節 雙斜屋頂低矮建築風洞實驗結果	85
第五節 綜合討論	96

第五章 耐風規範修正研擬.....	113
第一節 我國規範目前之內容解說	113
第二節 本計畫提出之第五章之修改建議	127
第三節 本計畫提出之第三章之新增建議及各規範比較..	131
第四節 我國規範第二章與第三章係數差異性試算例	149
第六章 結論與建議.....	151
第一節 結論.....	152
第二節 建議.....	153
附錄一 採購評選會議意見回應.....	155
附錄二 第一次專家座談會意見與回應.....	165
附錄三 期中審查會議意見回應.....	169
附錄四 第二次專家座談會意見與回應.....	177
附錄五 期末審查會議意見回應.....	181
參考文獻.....	185

圖次

圖 1-1 計畫執行流程圖	6
圖 2-1 極值風速與極值風壓係數的聯合機率密度分布圖	13
圖 2-2 $c-v$ 平面聯合機率密度等高線分布圖($\tau_v = 0$ 、 $\tau_c = 0$)	16
圖 2-3 $c-v$ 平面風載重估算值等高線分布圖($\tau_v = 0$ 、 $\tau_c = 0$)	16
圖 2-4 $c-v$ 平面聯合機率密度等高線分布圖($\tau_v = 0.1$ 、 $\tau_c = -0.1$)	17
圖 2-5 極值風速 $f_v(v)$ 分布(左)與極值風壓係數 $1 - F_c(c)$ 分布(右)	20
圖 2-6 式(2-11)中 $f_v(v) \cdot 1 - F_c(c)$ 曲線	20
圖 2-7 最佳設計非超越機率百分比($\tau_v = -0.1 \sim 0.1$ 、 $\tau_c = -0.1 \sim 0.1$)	24
圖 2-8 最佳非超越機率百分比曲線圖(Kasperski 法)	26
圖 2-9 最佳非超越機率百分比曲線圖(Cook and Mayne 法)	26
圖 2-10 最佳非超越機率百分比曲線圖(Kasperski 法， $\tau_c = 0.1$)	27
圖 2-11 最佳非超越機率百分比曲線圖(Kasperski 法， $\tau_c = -0.1$)	28
圖 2-12 最佳非超越機率百分比曲線圖(Cook and Mayne 法， $\tau_c = 0.1$)	28
圖 2-13 最佳非超越機率百分比曲線圖(Cook and Mayne 法， $\tau_c = -0.1$)	29
圖 2-14 前兩階極值風速分布下的聯合機率密度分布圖	30
圖 2-15 考慮颱風前三個小時的極值風速分布	30
圖 3-1 紊流長度尺度參數 C 、 m 與高度 Z_0 關係圖	43
圖 3-2 鈍體分離流及渦漩示意圖	45
圖 3-3 台北測站颱風事件最大風速分布圖	50
圖 3-4 台北測站颱風事件最大風速擬合的極值分布圖	51
圖 3-5 我國 30 個氣象測站之形狀參數(左)及變異係數(右)分布圖	52
圖 3-6 台北測站颱風事件前 5 階最大風速分布圖	53

圖 3-7 台北測站颱風事件前 5 階颱風強度比例分布圖	53
圖 3-8 台北測站颱風事件前 5 階最大風速變異係數(左)與形狀參數(右)分布圖	54
圖 3-9 我國 31 個測站颱風事件前 3 階颱風強度分布圖	54
圖 3-10 我國 31 個測站颱風事件前 3 階颱風變異數分布圖	55
圖 4-1 內政部建築研究所循環式大氣邊界層風洞示意圖	58
圖 4-2 淡江大學第一號風洞實驗室大氣邊界層風洞示意圖	59
圖 4-3 IFA-300 智慧型風速儀、探針及校正儀	60
圖 4-4 壓力量測系統	61
圖 4-5 壓力訊號處理系統(RADBASE3200)	62
圖 4-6 64 頻道壓力感應器模組	63
圖 4-7 風壓管之管線修正使用之頻率域轉換函數	65
圖 4-8 CAARC 大樓模型示意圖	68
圖 4-9 CAARC 大樓模型風壓孔位分布示意圖	69
圖 4-10 平均風壓係數於 0 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	71
圖 4-11 平均風壓係數於 15 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	71
圖 4-12 平均風壓係數於 30 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	72
圖 4-13 平均風壓係數於 45 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	72
圖 4-14 平均風壓係數於 60 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	73
圖 4-15 平均風壓係數於 75 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	73
圖 4-16 平均風壓係數於 90 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	74

圖 4-17 平均風壓係數於 105 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	74
圖 4-18 平均風壓係數於 120 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	75
圖 4-19 平均風壓係數於 135 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	75
圖 4-20 平均風壓係數於 150 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	76
圖 4-21 平均風壓係數於 165 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	76
圖 4-22 平均風壓係數於 180 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	77
圖 4-23 擾動風壓係數於 0 度風攻角下之等高線分布圖 (D→A→B→C)	78
圖 4-24 擾動風壓係數於 15 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	78
圖 4-25 擾動風壓係數於 30 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	79
圖 4-26 擾動風壓係數於 45 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	79
圖 4-27 擾動風壓係數於 60 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	80
圖 4-28 擾動風壓係數於 75 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	80
圖 4-29 擾動風壓係數於 90 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	81
圖 4-30 擾動風壓係數於 105 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	81
圖 4-31 擾動風壓係數於 120 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	82

圖 4-32 擾動風壓係數於 135 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	82
圖 4-33 擾動風壓係數於 150 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	83
圖 4-34 擾動風壓係數於 165 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	83
圖 4-35 擾動風壓係數於 180 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)	84
圖 4-36 低矮建物模型示意圖	85
圖 4-37 低矮建物模型風壓孔位分布示意圖	86
圖 4-38 平均風壓係數於 0 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	88
圖 4-39 平均風壓係數於 15 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	88
圖 4-40 平均風壓係數於 30 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	89
圖 4-41 平均風壓係數於 45 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	89
圖 4-42 平均風壓係數於 60 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	90
圖 4-43 平均風壓係數於 75 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	90
圖 4-44 平均風壓係數於 90 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	91
圖 4-45 擾動風壓係數於 0 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	92
圖 4-46 擾動風壓係數於 15 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	92
圖 4-47 擾動風壓係數於 30 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)	93

圖 4-48 擾動風壓係數於 45 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D).....	93
圖 4-49 擾動風壓係數於 60 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D).....	94
圖 4-50 擾動風壓係數於 75 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D).....	94
圖 4-51 擾動風壓係數於 90 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D).....	95
圖 4-52 極值風壓係數於 0 度風攻角下之形狀參數等高線分布圖(D→A→B→C).....	97
圖 4-53 極值風壓係數於 0 度風攻角下之變異係數等高線分布圖(D→A→B→C).....	97
圖 4-54 不同形狀參數的極值分布函數於非超越機率百分比的分布圖(圖中 tau 即為 τ).....	98
圖 4-55 CAARC 大樓模型分區示意圖.....	99
圖 4-56 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區示意圖.....	99
圖 4-57 CAARC 大樓模型分區的變異數分布範圍.....	100
圖 4-58 CAARC 大樓模型分區的形狀參數分布範圍.....	101
圖 4-59 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的變異數分布範圍.....	102
圖 4-60 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的形狀參數分布範圍.....	103
圖 4-61 CAARC 大樓模型分區的非超越機率百分比估算結果(假設風壓係數為甘保).....	105
圖 4-62 CAARC 大樓模型分區的非超越機率百分比估算結果(假設風壓係數為廣義).....	105
圖 4-63 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的非超越機率百分比估算結果(假設風壓係數為甘保).....	106
圖 4-64 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的非超越機率百分	

比估算結果(假設風壓係數為廣義).....	107
圖 4-65 不同非超越機率百分比與最佳值、規範參考值之比較(CAARC 大樓模型).....	109
圖 4-66 不同非超越機率百分比與最佳值、規範參考值之比較(雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型)	110
圖 4-67 滿足 75%信賴區間下樣本數不足的調整因子	111
圖 4-68 滿足 90%信賴區間下樣本數不足的調整因子	111
圖 5-1 低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(無屋簷, $7^{\circ} \leq \theta \leq 20^{\circ}$)	132
圖 5-2 低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(有屋簷, $7^{\circ} \leq \theta \leq 20^{\circ}$)	133
圖 5-3 低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(有、無屋簷均同, $20^{\circ} \leq \theta \leq 27^{\circ}$)	134
圖 5-4 低於 18 公尺高的雙邊斜屋頂建築物(無屋簷, $27^{\circ} \leq \theta \leq 45^{\circ}$)	135
圖 5-5 低於 18 公尺高的雙邊斜屋頂建築物(有屋簷, $27^{\circ} \leq \theta \leq 45^{\circ}$)	136
圖 5-6 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷, $\theta \leq 7^{\circ}$)	137
圖 5-7 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷, $7^{\circ} \leq \theta \leq 20^{\circ}$)	138
圖 5-8 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷, $20^{\circ} \leq \theta \leq 27^{\circ}$)	139
圖 5-9 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷, $27^{\circ} \leq \theta \leq 45^{\circ}$)	140
圖 5-10 低於 18 公尺高的單邊單斜屋頂建築物($3^{\circ} \leq \theta \leq 10^{\circ}$)	141
圖 5-11 低於 18 公尺高的單邊單斜屋頂建築物($10^{\circ} \leq \theta \leq 30^{\circ}$)	142
圖 5-12 低於 18 公尺高的多跨山形屋頂	143
圖 5-13 低於 18 公尺高的多跨單邊單斜屋頂	144
圖 5-14 低於 18 公尺高的階梯式屋頂	145
圖 5-15 低於 45 公尺的圓拱形屋頂	146

表次

表 2-1 建築或結構分類及其對應之使用年限期間內破壞超越機率 p_L	10
表 2-2 不同使用年限與不同建築或結構分類配對下的各種可能年破壞超越 超越機率值.....	11
若我們擴大以上四項極值分布的參數影響觀察範圍，則可以獲得以下圖 2-7 結果。.....	21
表 2-3 影響設計風載重非超越機率的測試結果表.....	22
表 2-4 前兩階颱風強度對設計風載重非超越機率的測試結果表.....	32
表 2-5 前三階颱風強度對設計風載重非超越機率的測試結果表.....	35
表 3-1 不同地況之指數律參數.....	40
表 3-2 不同地況之地表粗糙長度尺度.....	41
表 3-3 地表粗糙長度尺度對應之 β	42
表 4-1 本計畫高層建築物模型.....	66
表 4-2 本計畫低矮建築物模型.....	67
表 5-1 我國目前規範 3.1 節內容之解說.....	113
表 5-2 我國目前規範 3.2 節內容之解說.....	114
表 5-3 我國目前規範 3.3 節內容之解說.....	116
表 5-4 我國目前規範 3.4 節內容之解說.....	116
表 5-5 我國目前規範 5.1 節內容之解說.....	117
表 5-6 我國目前規範 5.2 節內容之解說.....	119
表 5-7 ISO 4354-2009 規範對設計風壓係數之規定.....	121
表 5-8 AWES-QAM-2019-1 規範對設計風壓係數之規定.....	122
表 5-9 我國目前規範 5.3 節內容之解說.....	123
表 5-10 我國目前規範 5.4 節內容之解說.....	125
表 5-11 本研究針對規範 5.3 節本文提出之建議.....	127

表 5-12	本研究針對規範 5.3 節解說提出之建議	128
表 5-13	低於 45 公尺的圓拱形屋頂正、負壓係數	147
表 5-14	各國規範與我國規範局部風壓係數比較	148
表 5-15	第二章 GC_p 及第三章(GC_p)係數比較	150

摘要

關鍵詞：設計風載重、風壓係數、極值分析理論、風洞實驗

一、研究緣起

我國屬強震、強颱多發地區，不定期受到強烈地震造成人命經濟損失外，每年侵襲台灣三至四次的颱風也常常造成巨大的經濟損失。我國 1961 年至 1998 年 38 年間所受風災累積金額為 4562 億元；而百年一遇的 921 大地震受災損失金額約為 3200 億元。特別是我國民眾普遍對於風災感受不深，常造成對於風力對建築結構物造成之損害的輕忽。尤其是我國都會區普遍存在的違建屋頂以及違建招牌等附屬結構物，每每於颱風期間受強風吹落造成行人或其他結構體的損傷嚴重。

根據最新的美國規範 ASCE7-16([2])修訂結果，風力及風壓係數趨於保守，顯示其對於未來極端氣候的防範更升高一級。我國目前規範主要參考 ASCE7-88 及 ASCE7-02，已有十幾年差距。且對照美、日兩國規範來看，在局部風力風壓設計係數的篇幅上有所不足，對於工程界在應用規範時造成不敷使用，實屬堪慮。此外，目前規範([23])第二章與第三章內容所列之風力係數與風壓係數無法全然相吻合。再者，倘若執行風洞實驗而不知如何藉由極值分析理論獲得與規範一致的設計值，則風洞實驗數據將失去可信度。

研究團隊基於以上所述，希望能透過本計畫之執行，檢視各國國際規範最新條文內容進行本土化，並且考量我國本土民情而有的不同結構型態，進行有效限度的風洞實驗，提出針對現行規範第三章有關局部風壓係數的修訂草案，並提出規範第五章中，風洞實驗及極值分析方法的驗證，與時俱進。

二、研究方法及過程

本研究採用傳統的風洞物理模擬方法，進行計畫執行內容各部分的探討依據。首先在風壓係數部分，選擇具代表性的低矮建築物及高層建築物數座做為風洞實驗模型，量取其表面風壓並分析其風壓係數與規範比較。利用有限度的風洞實驗成果檢驗規範設計值的保守與否。此外，比較各國規範中有條列但我國規範內容尚無的設計值，依

據風洞實驗比較的原則，提出可符合與其他設計值一致性的新設計參數。再來，根據此風洞實驗進行極值分析理論的套用，提出同時符合國內外規範的風洞實驗數據處理方式，作為未來國內各單位執行風洞實驗數據分析的標準。最後針對各國規範對風洞實驗設定條件的差異性進行比較，歸納出適合於我國且符合學理的風洞實驗準則。

本研究之研究內容與步驟如後：

(1) 風洞實驗

本研究於內政部建築研究所的風雨風洞實驗室及淡江大學風工程研究中心第一風洞實驗室中進行縮尺模型的風壓量測實驗。風壓量測實驗首先須以皮托管量測邊界層高度風速。其原理為利用量測內外管的壓力差，經熱線流速儀校正後可量測邊界層位置的動態風速作為參考風速壓。接著量測各模型表面的動態分壓分布，並利用參考風速壓來計算風壓係數。對於高層建築、低層建築而言，風速的改變並不會造成分離的現象改變，因此可以僅採用一合理縮尺風速即可；然而具有曲面的結構物則會因為雷諾數的影響而改變風力的估算。在本研究中，將盡量採用高風速以獲得符合實際的高雷諾數範圍。然而，為有效於計劃期間完成本研究之目的，縮尺模型之製作以第三章的低矮雙斜屋頂建築物及平屋頂高層建築物為主要研究對象。

(2) 理論分析

本研究進行風壓量測後進行風壓係數的計算。接著採用各國規範以及近期風工程研究成果來估算設計值。此部分將探討基於極值分析理論而估算之風壓係數的結果，並做出歸納建議。

(3) 規範估算

同樣為了指出目前規範所提供的設計風力的合理性，本研究採用主要國際規範針對相同結構物進行估算比較，最後提出我國規範目前需要修改的部分以及可以新增的設計圖表種類。

三、重要發現

從規範比較中可發現，我國目前規範的內容確實有幾處不合理之處。首先，我國

規範第三章的內容中，作為提供給工程師參考的主要內容可以分為兩部分：(1)封閉式與部分封閉式建築所使用的第三節，以及(2)開放式建築物所參考的第四節。此兩部分針對有效面積效應的評估方式不同，前者以絕對值呈現，後者以相對值呈現。研究團隊原嘗試於本計畫執行期間進行探討，然而受限於風洞實驗時間有限而且其目的與原計畫目的稍有不同，故建議日後另行進行探討。第二，作為可取代規範設計值的風洞實驗項目，無法於目前規範內容中得知如何進行分析估算設計值，僅以文字要求須進行極值分析。本計畫則於後續章節針對此缺失提出詳細的說明。第三，目前規範第三章內容明顯不足，除了參考各國最新規範予以補足外，應提出如何進行風洞實驗以及如何以極值分析方式估算正確設計風壓係數。

本計畫比較 Cook and Mayne([3]、[4]、[5])所提出的估算風壓係數方法以及 Kasperski([9]、[10]、[11]、[12])所提出的方法，並以多種不同的參數組合進行驗證，發現決定合理設計風壓係數的因素有四：(1)極值風速的分布型態、(2)極值風速的變異數、(3)極值風壓係數的分布型態、以及(4)極值風壓係數的變異數。其中極值風速的資料來源自本土風場特性，而極值風壓係數則來自於風洞實驗中所獲得的足夠樣本數量的最大或最小風壓係數。

檢討我國三十座人工測站的颱風事件資料可發現，各測站颱風期間最大十分鐘平均風速具有相當高的變異數約為 0.4 至 0.6 之間，遠高於 Cook and Mayne([3]、[4]、[5])當時針對英國各地風場所定義的 0.15。此外，由各測站的各颱風期間第二大(第二階)、第三大(第三階)十分鐘平均風速紀錄看來，變異數維持不變且強度大約為最大十分鐘平均風速的 0.9 及 0.8 倍左右。根據 Cook and Mayne 方法([3]、[4]、[5])以及 Kasperski 方法([9]、[10]、[11]、[12])驗證的結果看來，無須考量二階以上的的颱風強度。由高層建築及低矮建築案例的計算結果中得知，由於我國各測站風速、風向變異數相當高，故若單純考慮理論計算可以假設本土設計合理的風壓係數非超越機率百分比為 65%至 70%間。然而實際上我國風速風向資料密度尚嫌不足，因此研究團隊認為仍應偏向保守設計，故可有別於 Cook and Mayne([3]、[4]、[5])提議的 78%，參考採用 ISO 4354-2009 所要求的 80%。綜合以上發現，本研究團隊提出針對我國規範第三章內容以及第五章風洞實驗內容的建議修正內容。

四、主要建議事項

建議一

研訂風洞實驗準則及草擬報告書評定機制，以確保風洞實驗品質：立即可行建議

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

根據本計畫第二次專家座談會議中委員建議，風洞實驗報告書應納入建築管理機制，作為結構計算書類之一的重要參考文件。我國規範中明確規定，凡進行風洞實驗者，得以風洞實驗中所獲得之風力取代規範內所提供的設計值。換言之，風洞實驗報告書的效力應等同於建築物耐風設計規範。目前實務狀況，風洞實驗報告書並未完全納入建築管理之書類，因此權責不明。研究團隊認為，風洞實驗報告書由接受委託進行風洞實驗的單位撰寫，且除了風洞實驗外，計算風載重的理論方法與過程亦十分複雜，多半為技師或工程師之專業範圍。既然風洞實驗報告書內容足以取代規範，故其進行風洞實驗時的要求應當更為詳細，甚至應講究實驗單位的能力認證。故此，研究團隊認為，未來有必要針對風洞實驗各項細節進行一系列的研究，彌補目前已發現之設計漏洞，且建立第三方評定機制，為風洞實驗品質把關。

建議二

已擬具建築物耐風設計規範修正內容，建議納入未來修訂範圍：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、社團法人中華民國風工程學會

本計畫研究成果具有以極值分析理論結合我國本土風場之特性，所得成果可應用於增修我國建築物耐風設計規範第五章風洞實驗內容，研究成果明確指出在滿足風洞實驗的基本要求下，應採取何種評估方式以獲得合理的設計風壓係數值。此外，參考國外規範內容所建議新增之風洞實驗基本條件內容，也能提高我國風洞實驗結果之品質，同時要求國外執行風洞實驗的單位應符合我國規範所要求的高標準。最後，參考各國規範所列出之新增設計風壓係數亦可多少提高建築物耐風設計規範之使用性，未

來則可斟酌納入規範第三章新增內容。

建議三

進行有效面積效應的實尺寸風壓研究：立即可行建議

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

執行本計畫期間發現，目前我國建築物耐風設計規範第三章內容有不一致之處，主要在於封閉式與部分封閉式所參考的第三節內容與開放式建築物所參考的第四節內容，對於有效面積的考量方式不同。其主因是由於前兩版規範修訂時採用了不同時期的 ASCE 版本，因此產生此不一致之處。根據研究團隊經驗，有效面積的探討應以實尺寸模型進行風洞測試，故本研究團隊建議採用內政部建築研究所近年發展的室外造風機進行戶外吹風實驗，並採用真實材質且不同尺寸的受風樣本進行有效面積的研究。

第一章 緒 論

第一節 研究動機

我國屬強震、颱風多發地區，不定期受到強烈地震造成人命經濟損失外，每年侵襲台灣四至五次的颱風也常常造成巨大的經濟損失。特別是我國民眾普遍對於風災感受不深，常造成對於風力對建築結構物造成之損害的輕忽。我國 1961 年至 1998 年 38 年間所受風災累積金額為 4562 億元；而百年一遇的 921 大地震受災損失金額約為 3200 億元。直觀上，一次的大地震將重創整個社會，但常年的颱風所造成的影響雖然不多卻可以累積很可觀的損害金額。我國自詡為發展中國家要邁入已發展國家之林，面對災損的態度更應提升一層。尤其是我國都會區普遍存在的違建屋頂以及違建招牌等附屬結構物，每每於颱風期間受強風吹落造成行人或其他結構體的損傷嚴重。

我國建築物耐風設計規範及解說為 2015 年版([23])，僅經過 2014 年的第一次修訂，主要大部分內容為根據 ASCE 7-88、7-02 而來。此外，第二章計算整體設計風力的內容部分則再加上日本規範(AIJ 2004)的橫風向、扭轉向風載重的設計概念。根據最新的美國規範 ASCE 7-16([13])修訂結果，風力及風壓係數都趨於保守，顯示其對於未來極端氣候的防範更升高一級。我國目前規範大部分內容距離最新的美國規範 ASCE 7-16([13])跟日本規範 AIJ 2015([1])均已有十幾年差距。且對照兩國規範來看，我國規範在第三章內容中針對局部風力風壓設計係數的篇幅上有明顯不足。對於工程界在應用規範時造成的不敷使用，實屬堪慮。此外，目前規範第二章與第三章內容所列之風力係數與風壓係數無法全然相吻合的情況。再者，國內具備執行風洞實驗的單位機構不多，倘若執行風洞實驗無法與國際接軌，對於國內設計者而言將不知如何藉由極值分析理論獲得與規範一致的設計值或者進行合理的判讀，如此一來國內單位的風洞實驗數據將失去可信度。第三，本所基於過去 105 年度([21])及 108 年度([17])的協辦案研究成果，針對基本設計風速提出了廣泛的修訂建議，應與規範第二、三章的修訂盡速合併進行，以便利推出與時俱進符合時宜的新版本

規範。

建築物耐風設計規範及解說自 2015 年最新版本公布，以及目前我國政府發展光電、風電等綠能設施以來，結構物受風影響所產生的結構安全問題、人體舒適度問題甚或吹落物造成其他結構物損傷的情形，逐漸受到大眾的重視。特別是現代電腦運算能力大幅提升，較過往更能準確地預測颱風路徑以及威力，然而我國每年受颱風侵襲所造成的經濟損失卻遲遲無法有效下降。仔細判斷可以歸納出兩點因素：首先我國民情普遍關注天災造成傷亡數量而較不重視經濟損失的重要性，再者我國目前規範不足之處尚多，遇到工程問題多半由於經驗不足的判斷或者錯誤依據導致錯誤設計。

結構物耐風設計的核心可分為三個面向來探討：風場特性、風力特性、結構特性。基本設計風速的修訂研究在過去 105 及 108 年度分別藉由本所協辦案進行深入研究而已有初步的建議修訂方向與內容。結構特性則取決於設計者的目標結構物種類而定，藉由正確的等值靜載重方法來進行動態放大效應的預測，因而推導出正確的風力分布。風力特性則必須由規範提供或者由設計者委託實驗單位進行風洞實驗獲得，然而前者所提供的設計值實際上亦是累積風洞實驗結果得來。由於風洞實驗所耗費的成本甚鉅，因此各國規範形成之時必然會參考他國成熟的規範內容([2]、[15]、[24])來做為參考。其中值得一提的是，風洞實驗的模擬要求以及數據分析處理亦有其標準，必須符合國際上的學理認知。本研究重要性由上述可以獲得充分理解，因此本研究之預期目標亦依循此核心概念而設定，透過本案之執行來完善我國規範中相關條文的內容，與國際接軌。

第二節 研究目的

有關本案的研究情況其實由規範修訂的版本就可以大致了解，絕大部分國家的規範至少修訂至 2012 年後為最新版本。換言之，各國在此期間累積了不少的風洞實驗數據做為回歸設計值使用，或者互相參考使用。此外，各國規範中針對風洞實驗的要求更為一致也更加提高實驗模擬的可靠度。例如紐澳準則(AWES-QAM-2019-1)所規範的風洞實驗標準甚至可以作為學術論文要求之標準使用。可以想見在理解到規範不可能完整包括所有結構物種類的風力風壓係數下，屬於個案性質的風洞實驗，其品質要求將會更加受到重視。因此，本研究主題的設立應可認為十分符合目前規範修訂急迫性之所需。

基於以上研究背景所述，研究團隊希望透過本所委託研究計畫執行。首先檢視國際規範最新條文內容以進行本土化，接著考量我國本土民情而有的不同結構型態進行有效限度的風洞實驗，然後針對風洞實驗以及風洞數據處理提出合理且符合國際水準的判斷準則，最後提出相關內容的規範修訂內容。

第三節 研究內容與方法

本研究採用傳統的風洞物理模擬方法進行計畫執行內容各部分的探討依據。首先在風壓係數部分，選擇具代表性的低矮建築物及高層建築物做為風洞實驗模型，量取其表面風壓並分析其風壓係數與各規範比較，利用有限度的風洞實驗成果檢驗規範設計值的保守與否。此外，比較各國規範中有條列但我國規範內容尚無的設計值，依據風洞實驗比較的原則，提出可符合與其他設計值一致性的新設計參數。再來，根據此風洞實驗進行極值分析理論的套用，提出同時符合國內外規範的風洞實驗數據處理方式，作為未來國內各單位執行風洞實驗數據分析的標準。最後針對各國規範對風洞實驗設定條件的差異性進行比較，歸納出適合於我國且符合學理的風洞實驗準則。

本研究之研究內容與步驟如後：

(1) 風洞實驗

本研究於內政部建築研究所的風雨風洞實驗室及淡江大學風工程研究中心第一風洞實驗室中進行縮尺模型的風壓量測實驗。風壓量測實驗首先須以皮托管量測邊界層高度風速。其原理為利用量測內外管的壓力差，經熱線流速儀校正後可量測邊界層位置的動態風速作為參考風速壓。接著量測各模型表面的動態分壓分布，並利用參考風速壓來計算風壓係數。對於高層建築、低層建築而言，風速的改變並不會造成分離的現象改變，因此可以僅採用一合理縮尺風速即可；然而具有曲面的結構物則會因為雷諾數的影響而改變風力的估算。在本研究中，將盡量採用高風速以獲得符合實際的高雷諾數範圍。然而，為有效於計劃期間完成本研究之目的，縮尺模型之製作以第三章的低矮雙斜屋頂建築物及平屋頂高層建築物為主要研究對象。

(2) 理論分析

本研究進行風壓量測後進行風壓係數的計算。接著採用各國規範以及近期風工程研究成果來估算設計值。此部分將探討基於極值分析理論而估算之風壓係數的結果，並做出歸納建議。

(3) 規範估算

同樣為了指出目前規範所提供的設計風壓係數的合理性，本研究採用美、日、ISO 等主要國際規範([13]、[1]、[8])針對相同結構物進行估算比較，最後提出我國規範目前需要修改的部分以及可以新增的設計圖表種類。

本計畫中涉及一定程度的風洞實驗工作，因此需要仰賴內政部建築研究所的硬體設備以及技術人員的協助。為因應本案需要的計算，除將採用 MATLAB 程式語言撰寫極值分析理論程式以外，亦須參考大量文獻作為數據比較的工具。由於風洞模型實驗量測須於本所位於台南市歸仁區的低速風洞實驗設施進行，在設施與儀器之使用方面，敬請本所相關人員提供必要之配合與協助。

本計畫之研究步驟分為如後三部分說明(參見圖 1-1)：

- (1) 規範蒐集及比較，其內容包含以下子項目：各國規範蒐集；代表性案例選定(風洞實驗模型)；風壓係數試算及比較；提出可能新增之風力風壓係數設計值的建議內容。
- (2) 風洞模型實驗，其內容包含以下子項目：縮尺模型製作；實驗儀器整備；風洞實驗量測；風力/風壓係數計算；各國風洞實驗準則比較及歸納；提出風洞實驗模擬條件流程建議。
- (3) 極值分析理論試算，其內容包含以下子項目：數據處理參考文獻收集；數據分析比較；風洞實驗結果與各國規範設計值差異性比較；提出標準風洞數據分析流程建議。

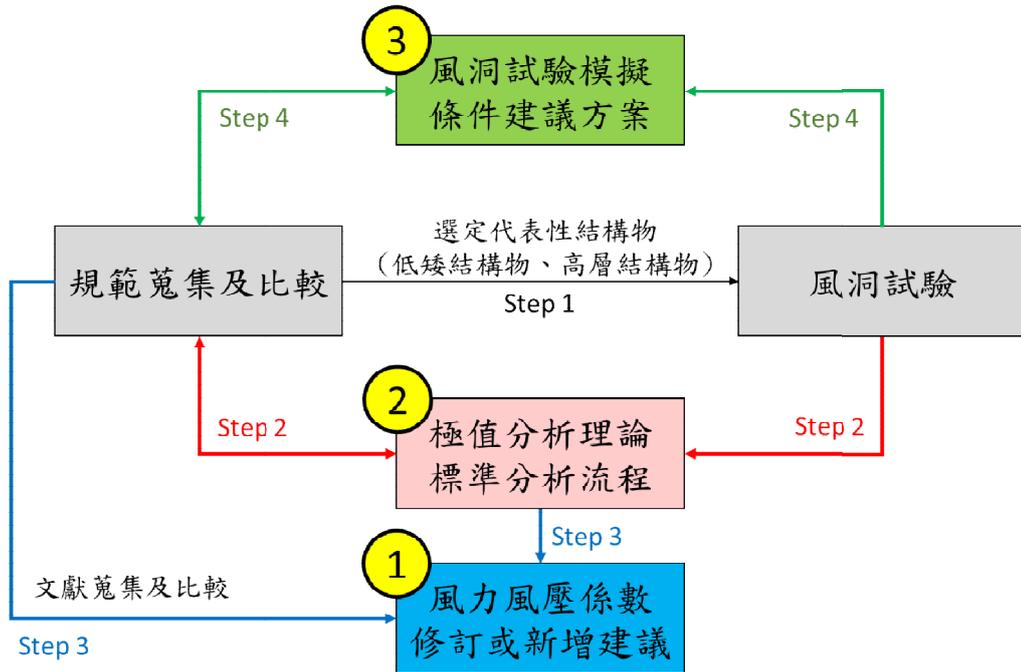


圖 1-1 計畫執行流程圖

資料來源：【本研究整理】

第二章 設計風載重理論與驗證

第一節 設計風載重背景知識

2.1.1 前言

建築物耐風設計一般分為三大部分考量。首先是針對建築物本體結構強度安全；再者是針對建築物表面披覆材等局部構件，如帷幕牆、造型窗等；最後則是針對建築物受強風作用所產生的振動或變形是否造成該建築物使用者的不安或不舒適感。其中，對於建築物本體結構強度安全的推估，應考慮結構動力特性顯著與否，再加以決定放大載重因子的計算方式。例如，當結構與風力共振反應不顯著時，結構反應主要由來風特性決定，稱之為背景風力或者背景反應；若共振反應顯著，則除了背景風力外，尚須考慮結構與風力共振下所引發較大比例的共振反應。我國規範中針對建築結構區分為剛性結構與柔性結構，計算風載重時，兩者均需考慮計算其陣風反應因子，差別在於陣風反應因子的組成是否將柔性結構的共振特性凸顯出來。而當進行帷幕牆或披覆物之設計時，其比例與建築物相差較大，且可將帷幕牆或披覆物直接視為剛體而不考慮其共振行為。最後，對於結構物受風反應所造成之人體不舒適的問題，則由結構反應加速度來加以規範。由於不舒適性的主觀感受較難以量化，因此多採用等級範圍區分。但各國規範中仍定義一加速度上限值作為估算之參考。

考慮我國常見之建築物多半屬於中低層鋼筋混凝土建築，其第一基本振態結構頻率多為 1 Hz 以上屬於剛性結構，因此工程師在進行風力估算時多透過規範上所建議的風壓係數值或風力係數值查表計算之。即便是屬於跨度較大的科技廠房抑或其他結構體，為了安全考量，在初步設計時多半藉由調整結構頻率進入剛性範圍以避免共振反應的顯著發生。由此可見，針對剛性結構的背景風力計算是我國較為常見的耐風設計。更進一步說，若可以得知結構體局部風壓值，則可以透過面積積分計算整體風力，亦可以利用局部風壓值計算帷幕牆或披覆物所需要的局部風力。

過去曾有不少國內文獻針對此低層建築物提出研究並探討如何提出適當的設計風力係數作為工程實例設計。陳([18]、[19])於內政部建築研究所的研究報告中指出，低層建築物受風作用時，主要載重由拱型構造產生之渦漩控制，有起拱的低層建築屋

頂不論是山形、拱形、球形構造，提高拱高皆會造成較大的風載重，且平行屋脊的風向會讓此現象更為顯著。此外，羅和林([28])利用四個不同斜率屋頂的氣動力模型進行風洞實驗，發現由於低層建築浸沒於大氣邊界層底層，因此紊流強度較高，建築物表面亦有較大的風壓擾動，特別是角隅由於流體分流，會出現較大的尖峰值。由屋頂斜率對於表面風壓之影響發現，屋頂角度為45度時，迎風面為正壓，背風側為負壓；而當屋頂角度低於15度時，屋頂已不存在正壓區。我國規範中亦針對各種不同類型屋頂的低層建築物給予風力係數設計，可說針對此類建築物的研究成果頗為豐厚。類似情況在國外也是如此。除了低矮建物，我國針對大跨度結構或高層建築亦累積了不少的風洞實驗結果，提供大量的氣動力資訊。在大跨度結構部分，鄭等人([26])進行了一連串大跨徑屋蓋結構的氣動力風壓量測實驗以及耐風設計分析；羅([22])則採用了35個不同跨高比、不同側牆高比的圓頂型屋蓋結構進行氣動力風壓量測，針對平均風壓係數、擾動風壓係數、風壓頻譜、交頻譜等動力特性提出近似公式，並比較近似公式與日本規範所計算出的風壓風力值。在高層建築部分，鄭([27])針對各種不同高寬比、深寬比的高層建築，在不同來流下進行各種參數分析，建立一個十分龐大的氣動力資料庫，提供我國工程師登入系統試算，並與規範計算值做比較。

然而從各項文獻結果中可以發現，以風洞實驗為基礎而發展出的設計風壓係數或設計風力係數，多半來自於實驗筆數不夠多的情況，以及逕自以實驗最大值作為設計值的做法，無法確認其偏保守或偏不保守。換言之，為了求取正確的設計風壓係數而採用的極值分析過程中，極值分布本身已經被假設為單一行為—甘保分布(Gumbel Distribution)。以此為假設前提下所評估的設計風壓係數不會在分布曲線尾端部分呈現彎曲，也無法知道若當回歸期改變時，其設計風壓係數是否等比例放大或縮小。此外，極值變異數也對於評估設計風壓係數或風力係數時，具有很重要的影響成分，同樣的，在不足夠的樣本紀錄數量下，變異數亦無法納入考量。比較可行的方法是透過非高斯轉換理論(Peng et al. [30])，在認為可被接受的範圍內，假設其極值分布行為具有高度重複性。因此可以根據較短紀錄來模擬多筆且長時間的虛擬紀錄，進而求取虛擬極值，作為設計評估。然而這些方法仍需得經過多方的評估確認方可普遍採用。

本計畫為了導正國內對於設計風壓係數的評估方式，並且注重風洞實驗結果的品

質，本節內容首先介紹利用 ISO 2394 ([31])所建議的建築物分類及回歸期作為解釋，闡述建築物受風破壞之超越機率定義；接著介紹設計風載重的基本公式，由決定設計風載重的兩大因素—設計風速及風壓係數，分別說明如何正確評估。

2.1.2 建築物分類、使用年限與年超越破壞機率

建築物設計風載重主要由建築物的年破壞超越機率來決定，其中用以決定年破壞超越機率的參數則有建築物的使用年限以及建築物於使用年限內破壞的超越機率。建築物的使用年限越長，代表用以設計的載重越大；建築物使用年限內破壞的超越機率越低，也同樣代表設計載重更大。根據工程師對於建築物使用種類之不同、期望其使用年限之不同，以目前極端氣候的顯著影響性，未來極有可能考慮不再以同一回歸期來決定結構物的設計值，而是根據結構物的特殊性及功能性來做更彈性的設計。因此，了解極值分布曲線的整體行為將變得具有意義，也更需要導入非超越機率的觀念來進行更為可靠的設計。

建築物分類原則可以參考 ISO 2394 ([31])最新的分類原則，如下表 2-1 所示 (Kasperski [12])。表 2-1 中所示的建築或結構分類大概可以符合工程師用以判斷標的物的類別，也有可能因為區域性的不同或者業主的要求，而採用不同的分類。然而一般來說，設計風載重應考慮保守的原則進行類別判斷。

表 2-1 建築或結構分類及其對應之使用年限期間內破壞超越機率 p_L

類別	建築或結構分類	使用年限期間內破壞超越 機率 p_L
0	在建築物或結構破壞的情況下對於人命或財產沒有危害。	0.40
1	在建築物或結構破壞的情況下對於人命或財產有低程度的危害。例如沒有人常居住的農舍或溫室。	0.20
2	不屬於第 0、1、3、4、5 類的建築或結構。例如一般辦公室大樓、商用大樓、工廠、或一般住宅。	0.10
3	設計來容納較多人數的建築或結構，例如高層建築、體育館或音樂廳。	0.05
4	設計來作為災後復原所需的建築或結構、或者具有危害性設施的建築或結構。例如醫院、橋梁。	0.025
5	設計來作為保存人命免於受到極端大自然災害的建築或結構、或者具有文化價值的歷史古蹟、避難所、紀念碑等等。	0.005

資料來源：【本研究整理】

根據期盼建築物或結構的使用年限不同，多半可在 1 年至 100 年的變化範圍內，可以利用表 2-1 以及式(2-1)來決定建築物或結構的年破壞超越機率。

$$p_1 = 1 - (1 - p_L)^{1/L} \quad (2-1)$$

式(2-1)中 p_L 即為建築物或結構使用年限期間內破壞超越機率； p_1 即為建築物或結構的年破壞超越機率； L 為使用年限。若標的物為第 3 類建築或結構，則代入式(2-1)後可以得到年破壞超越機率為 0.001。也就是說，當進行設計風載重的估算時，可以

假設該標的物必須依照 0.001 的年破壞超越機率來推算所需要的設計風載重。

表 2-2 顯示為不同使用年限與不同建築或結構分類配對下的各種可能年破壞超越機率值。在這邊要特別注意的是，我國建築物耐風設計規範中所採用的為使用狀態 (Serviceability Limit State) 設計而非極限狀態 (Ultimate Limit State) 設計，因此通常在依循規範計算後與其他載重結合時，必須放大而轉為極限狀態設計。

表 2-2 不同使用年限與不同建築或結構分類配對下的各種可能年破壞超越機率值

p_1	建築或結構分類					
使用年限 L	0	1	2	3	4	5
1	1/2.5	1/5	1/10	1/20	1/40	1/100
2	1/4.5	1/10	1/20	1/40	1/80	1/200
5	1/10	1/25	1/50	1/100	1/200	1/500
10	1/20	1/45	1/95	1/200	1/395	1/995
20	1/40	1/90	1/190	1/390	1/790	1/1990
50	1/100	1/225	1/475	1/975	1/1975	1/4975
80	1/160	1/360	1/760	1/1560	1/3160	1/7960
100	1/200	1/450	1/950	1/1950	1/3950	1/9950

資料來源：【本研究整理】

設計風載重 的計算可以經由下式(2-2)決定：

$$w_{des} = \frac{1}{2} \rho_{des} v_{des}^2 c_{des} \quad (2-2)$$

其中 ρ_{des} 是設計空氣密度，可以藉由空氣濕度及溫度決定。然而在一般的室溫下，多假設為 1.15 至 1.25 kg/m³ 範圍內。 v_{des} 為設計風速，由標的物所在的地區長年累積的氣象資料進行分析所獲得，又因為其值的評估多以極值分析理論進行，因此又可稱為極值風速。 c_{des} 則為設計風速風壓係數，由標的物幾何外型所決定，可以透過合理的風洞實驗求得。

我國規範定義基本設計風速為 50 年一遇的極值風速進行風載重的設計。若假設目標為第三類建築物，分別考慮使用狀態設計(使用期限 1 年)及極限狀態設計(使用期限 50 年)，則在相同破壞機率下，可以估算極限狀態下的設計風載重為使用狀態下的設計風載重的 1.6 倍。根據研究團隊經驗，國內工程師常利用規範計算出風載重後，乘以 1.6 倍再與靜載重、活載重組合進行分析。由於我國所受颱風型態多樣，而且地形、地物的影響十分劇烈，因此風載重的計算應保守考慮，建議此 1.6 值不應再進行折減。

第二節 Cook and Mayne 法

1979年由 Cook and Mayne ([4])提出基於年破壞超越機率，利用極值風速及極值風壓係數的聯合機率密度分布函數來求取設計風壓係數的方法。根據圖 2-1 所示，假設風洞實驗中符合雷諾數穩定時，極值風速分布與極值風壓係數分布互相獨立，可以假設兩者的聯合機率密度分布為個別的機率密度分布相乘，如式(2-3)所示：

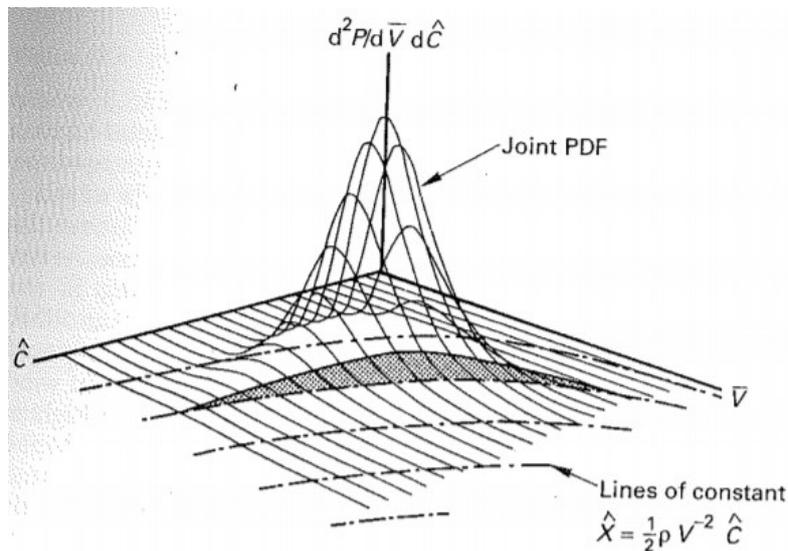


圖 2-1 極值風速與極值風壓係數的聯合機率密度分布圖

資料來源：【擷取自 Cook and Mayne, 1980 [5]】

$$f(c, v) = f_c(c)f_v(v) \quad (2-3)$$

式(2-3)中的機率密度分布函數 $f_c(c)$ 和 $f_v(v)$ 可採取一般常見的甘保分布或者廣義極值分布。而通常極值分布函數多以累積機率密度分布函數來表示。如式(2-4)、(2-5)分別為甘保分布及廣義極值分布。此兩式以極值的平均值及標準差來表示，有益於之後計算時考量極值風速及極值風壓係數的變異係數(Coefficient of Variation)。

$$F(x) = \exp \left\{ -\exp \left[- \left(\gamma + \frac{\pi}{\sqrt{6}} \frac{x-m_x}{\sigma_x} \right) \right] \right\} \quad (2-4)$$

$$F(x) = \exp \left[- \left(f_1 - \text{sign}(\tau) \cdot f_2 \cdot \frac{x-m_x}{\sigma_x} \right)^{\frac{1}{\tau}} \right] \quad (2-5a)$$

$$f_1 = \Gamma(1 + \tau) \quad (2-5b)$$

$$f_2 = \sqrt{\Gamma(1 + 2\tau) - f_1^2} \quad (2-5c)$$

兩式中 γ 為 Gamma 函數，其值為 0.57726； x 為極值變數； m_x 為極值變數的平均值； σ_x 為目標極值變數的標準差； τ 為廣義極值分布的形狀參數，同樣具備有決定極值分布曲線尾端性狀的功能。若 τ 為 0 時，式(2-5)會收斂至式(2-4)而成為甘保分布。若 τ 不為 0 且大於 0 時，則為弗雷歇分布(Frechet distribution)；若 τ 不為 0 且小於 0 時，則為韋伯分布(Weibull distribution)。由於廣義極值分布基本上由三個參數所決定，因此可以預想式(2-2)及式(2-3)中所涉及的關係必須同時考量此三個參數變化。其中，可以進一步定義極值變數的變異數為式(2-6)：

$$\text{cov}(x) = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (2-6)$$

由圖 2-1 中所示，假設可以找到一組風載重等同於式(2-2)，亦即：

$$\frac{1}{2} \rho v^2 c = \frac{1}{2} \rho_{des} v_{des}^2 c_{des} = w_{des} \quad (2-7)$$

則必定有無限多 (ρ, v, c) 組合可以滿足式(2-7)。倘若我們進一步簡化空氣密度為常數而非變數，則式(2-8)成立：

$$v^2 c = v_{des}^2 c_{des} \quad (2-8)$$

在式(2-8)中仍然可以發現要得到式子成立的組合仍有無數多種。然而我們可以引進年破壞超越機率的概念來達到求取正確的設計風壓係數方法。設計風載重的非超越機率可以式(2-1)中的年超越破壞機率來表示。以採取使用年限 50 年的第三類建築物為例，其年破壞超越機率則為 1/975，大約為 1/1000 即 0.001。轉換為非超越機率則為 $1 - 0.001 = 0.999$ 。換言之，對照至圖 2-1 中，則可以理解，當 $c - v$ 平面的 $\frac{1}{2} \rho v^2 c$ 常數曲線移動至 $\frac{1}{2} \rho_{des} v_{des}^2 c_{des}$ 時，其曲線下所包含之曲面體積應達 0.999 機率。

假設空氣密度為 1.25 kg/m^3 ；極值風速屬於甘保分布，其平均值為 16 m/s、標準差為 2.4 m/s；極值風壓係數屬於甘保分布，其平均值為 1、標準差為 0.125 時，可以將圖 2-1 以 MATLAB 程式繪製成 $c - v$ 平面等高線分布圖，如圖 2-2 所示。若將每一組 (v, c) 代入計算其風載重估算值，則可以獲得圖 2-3 的結果。當圖 2-3 中的曲線下方所佔的曲面體積積分等同於非超越機率值 0.999 時，則該曲線滿足式(2-7)。將此時的 w_{des} 、符合 0.999 非超越機率的已知 v_{des} 、以及空氣密度 ρ 代入式(2-2)反算則可以獲得 c_{des} 。再進一步將 c_{des} 以及 m_c 、 σ_c 代入式(2-4)，則最終可以獲得 $F_{c,des}$ ，極值風壓係數的最佳非超越機率值。此即為 Cook and Mayne 法的流程。

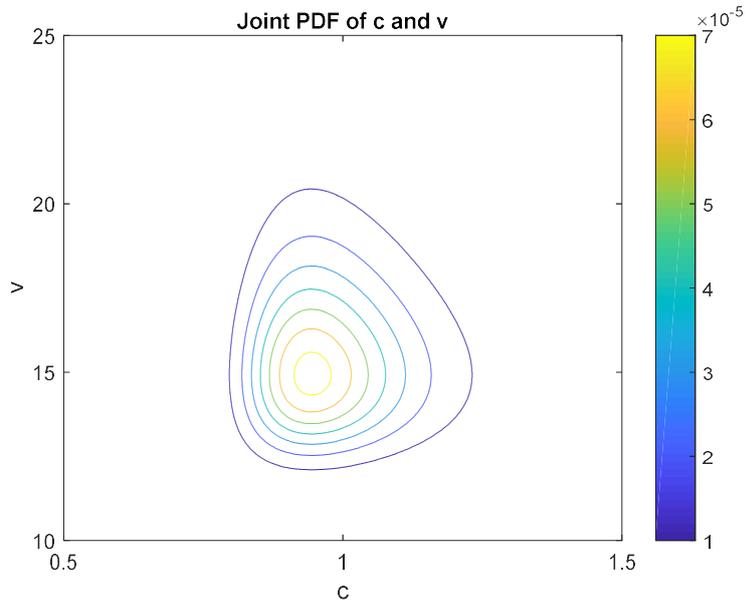


圖 2-2 $c - v$ 平面聯合機率密度等高線分布圖 ($\tau_v = 0$ 、 $\tau_c = 0$)

資料來源：【本研究整理】

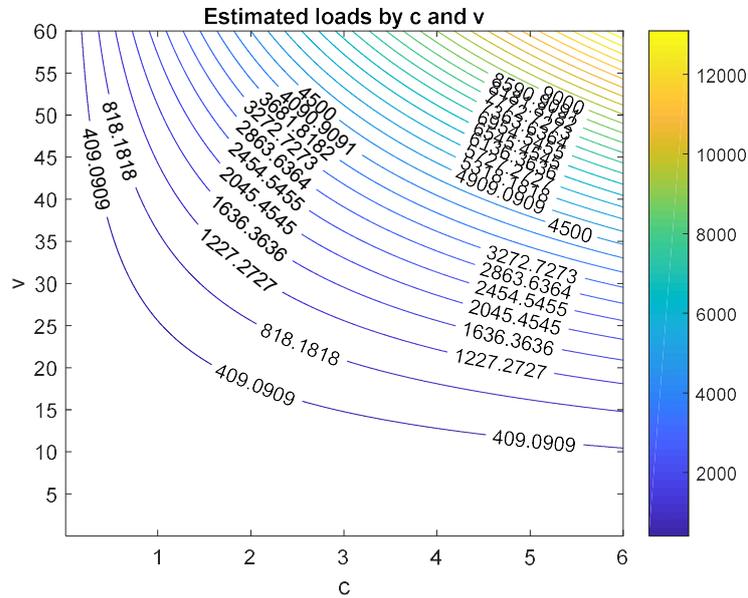


圖 2-3 $c - v$ 平面風載重估算值等高線分布圖 ($\tau_v = 0$ 、 $\tau_c = 0$)

資料來源：【本研究整理】

根據 Cook ([3])利用英國實場監測風速資料的特性、以及低矮建築物風洞實驗模型的風壓係數於各風向角下的特性，歸納訂出極值風壓係數的非超越機率百分比可假設為 78%，稱為 Cook and Mayne 係數([5])，為目前探討風洞實驗極值數據時，最常用來探討設計風載重的作法。後來 ISO 規範([8])亦納入此概念，並更加保守地採用 80%非超越機率值。

本研究團隊採用 MATLAB 數值方法將甘保分布延伸至廣義極值分布。例如，同樣採用圖 2-2 的數值，但將極值風速改為形狀參數 0.1 的廣義極值分布、極值風壓係數改為形狀參數-0.1 的廣義極值分布，再次繪製成圖 2-4 如下。當聯合機率密度分布形狀改變後，採用圖 2-3 的風載重估算分布圖將獲得不同的極值風壓係數的最佳非超越機率值 $F_{c,des}$ 。同樣地，若改變極值風速或者極值風壓係數的變異數，將改變等高線分布圖的所佔體積，而再次獲得不同的最佳非超越機率值 $F_{c,des}$ 。

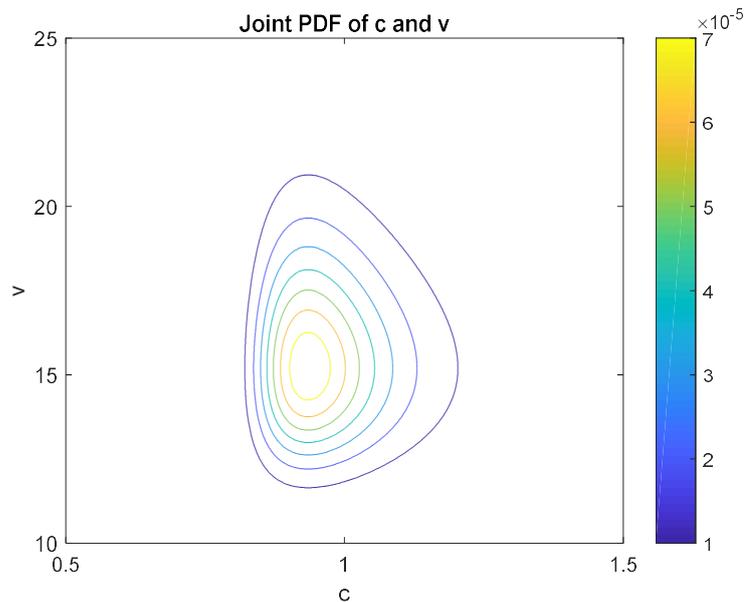


圖 2-4 $c - v$ 平面聯合機率密度等高線分布圖($\tau_v = 0.1$ 、 $\tau_c = -0.1$)

資料來源：【本研究整理】

第三節 Kasperski 法

由式(2-2)可以發現，設計風載重的年破壞超越機率可由極值風速與極值風壓係數共同決定，因此可以式(2-9)表示之：

$$p(w > w_{des}) = \int_{v=0}^{\infty} f_v(v) \cdot \int_{c=c_{lim}}^{\infty} f_c(c) dc dv \quad (2-9)$$

式(2-9)中 $p(w > w_{des})$ 表示為風載重估算值大於設計風載重，因而導致破壞的超越機率； $f_v(v)$ 與 $f_c(c)$ 則分別為極值風速與極值風壓係數的機率密度分布函數。換言之，標的物的年破壞超越機率等於極值風速與極值風壓係數機率分布密度函數的乘冪關係。其中極值風速 v 積分範圍可為0至 ∞ ，而極值風壓係數 c 的相對應積分範圍則為風壓係數下限值 c_{lim} 至 ∞ 。

考量式(2-8)關係，可獲得式(2-10)：

$$c_{lim} = \frac{2 \cdot w_{des}}{\rho \cdot v^2} = \frac{v_{des}^2 \cdot c_{des}}{v^2} \quad (2-10)$$

利用式(2-10)改寫式(2-9)為：

$$p(w > w_{des}) = \int_{v=0}^{\infty} f_v(v) \cdot [1 - F_c(c_{lim})] dv \cong p_{target} \quad (2-11)$$

式(2-11)表示為極值風速機率密度分布函數與極值風壓係數累積機率分布函數的單層乘冪關係。

根據式(2-1)及表 2-2 所計算求得的標的物之年破壞超越機率，以及式(2-11)利用極值風速及極值風壓係數乘冪關係而推估的破壞超越機率，兩者應該相等：

$$p(w > w_{des}) \cong p_{1,target} \quad (2-12)$$

由式(2-11)及(2-12)可以瞭解，要能正確評估設計風載重的年破壞超越機率，必須分別深入瞭解極值風速與極值風壓係數的機率分布特性。以下採用前一節相同的數值進行範例計算。

步驟 1

假設空氣密度 ρ 為一定值： $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ 。

步驟 2

極值風速屬於甘保分布，其平均值為 16 m/s、標準差為 2.4 m/s，假設年破壞超越機率為 0.001，則非超越機率則為 0.999。將以上數值代入式(2-4)中可計算求得 v_{des} ：
 $v_{des} = 25.9 \text{ m/s}$ 。

步驟 3

極值風壓係數屬於甘保分布，其平均值為 1、標準差為 0.125，假設極值風壓係數的非超越機率為 0.78。將以上數值代入式(2-4)中可計算求得 c_{des} ： $c_{des} = 1.095$ 。

步驟 4

假設極值風速範圍可由 10 變化至 35 m/s，此範圍改變。將步驟 2、3 的結果代入式(2-10)，則可以獲得 c_{lim} 的變化範圍： $c_{lim} = 0.816 \sim 7.347$ 。

步驟 5

由於極值風速 v 、極值風壓係數 c 皆符合甘保分布，將甘保分布微分即可得到 $f_v(v)$ 而 $1 - F_c(c)$ 可直接得到，並畫出 $f_v(v)$ 與 $1 - F_c(c)$ 如下：(積分極值風速間隔假設為 0.1 m/sec，且雖然 $F_c(c)$ 是 c_{lim} 的函數，但畫圖的時候仍以極值風速 v 為橫座標畫圖)

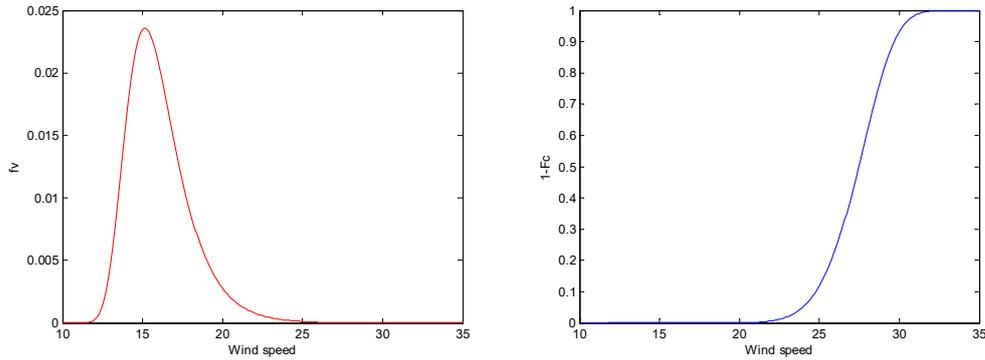


圖 2-5 極值風速 $f_v(v)$ 分布(左)與極值風壓係數 $1 - F_c(c)$ 分布(右)

資料來源：【本研究整理】

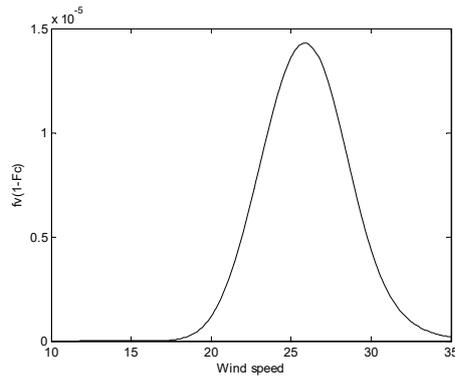


圖 2-6 式(2-11)中 $f_v(v) \cdot [1 - F_c(c)]$ 曲線

資料來源：【本研究整理】

步驟 6

將圖 2-5 左右兩圖相乘後繪製成圖 2-6。積分 $f_v(v) \cdot [1 - F_c(c)]$ 曲線即可得到設計風載重的超越機率。注意，這時候的積分結果未必會等於設計風載重的目標超越機率 0.001，因為這個積分結果是假設極值風壓係數的非超越機率為 78%下的結果。在本範例假設的參數下，計算而得的超越機率是 0.00097279，趨近於 0.001 但不相等。

步驟 7

若將步驟 3 中的極值風壓係數的非超越機率假設為 77%，然後重新由步驟 3 到步驟 6 再算一次，則可以獲得積分結果為 0.0009929，此結果更接近 0.001。因此可以說在這個範例中極值風壓係數的最佳非超越機率應該假設為 77% 而非 78%。

本研究團隊同樣利用 MATLAB 程式撰寫，將甘保分布延伸至廣義極值分布，其計算結果與上節採用 Cook and Mayne 法相同，其比較內容於下節中進行解說。假如我們要知道上述各步驟中會影響設計風載重非超越機率的因素，則可以簡單用同一範例，改變其中的參數項目來看設計百分比有何影響，而設計百分比的不同也會造成設計風載重的不同，如下表 2-3 所示，初始值項為上面範例之使用值。由表 2-3 可以發現影響設計風載重的超越機率因素有四個為：

- (1)極值風速的形狀參數(非超越機率曲線型態)；
- (2)極值風速的變異係數(非超越機率曲線擾動程度)；
- (3)極值風壓係數的形狀參數(非超越機率曲線型態)；
- (4)極值風壓係數的變異係數(非超越機率曲線擾動程度)。

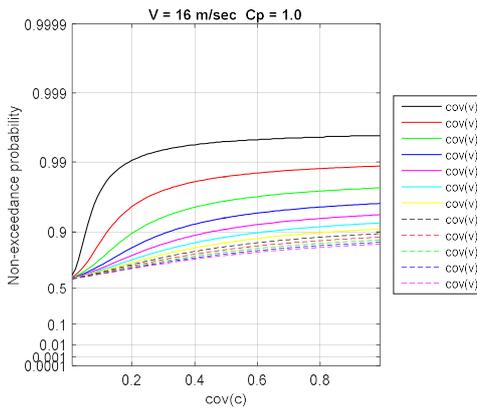
若我們擴大以上四項極值分布的參數影響觀察範圍，則可以獲得以下圖 2-7 結果。

表 2-3 影響設計風載重非超越機率的測試結果表

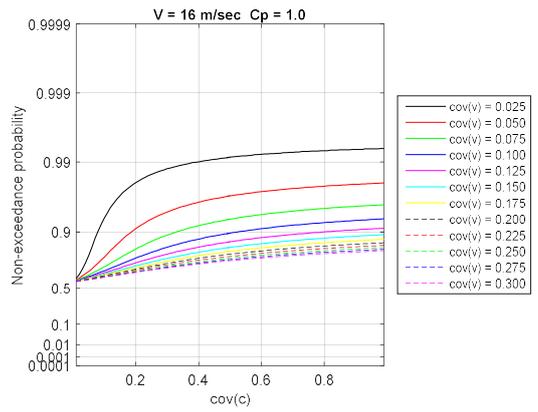
參數	初始值	測試 1	測試 2	測試 3	測試 4	測試 5	測試 6	測試 7
ρ	1.25	1.15	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
τ_v	0	0	0.1	0	0	0	0	0
m_v	16	16	16	20	16	16	16	16
$cov(v)$	0.125	0.125	0.125	0.125	0.150	0.125	0.125	0.125
τ_c	0	0	0	0	0	0.1	0	0
m_c	1	1	1	1	1	1	1.2	1
$cov(c)$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20
%	77.06	77.06	84.61	77.06	74.62	73.02	77.06	81.54
w_{des}	455.87	419.40	406.43	712.30	521.50	451.54	547.05	484.34

資料來源：【本研究整理】

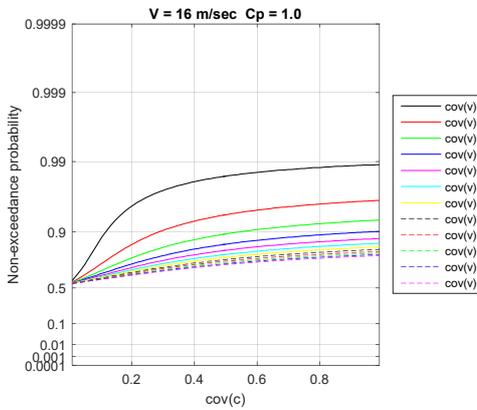
第二章 設計風載重理論與驗證



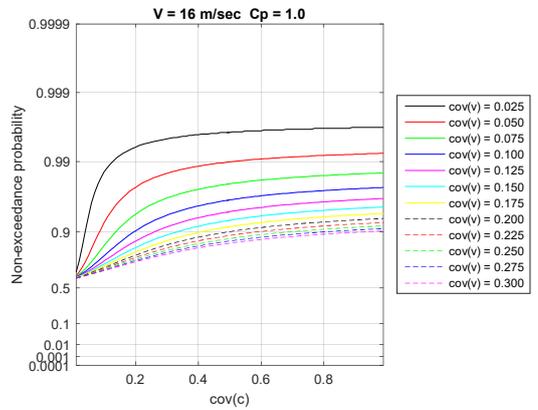
(a) $\tau_v = -0.1$ 、 $\tau_c = -0.1$



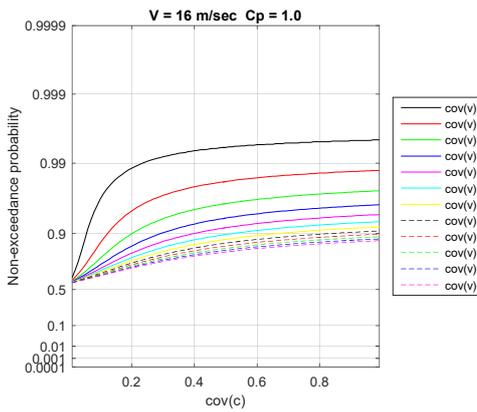
(b) $\tau_v = -0.1$ 、 $\tau_c = 0.0$



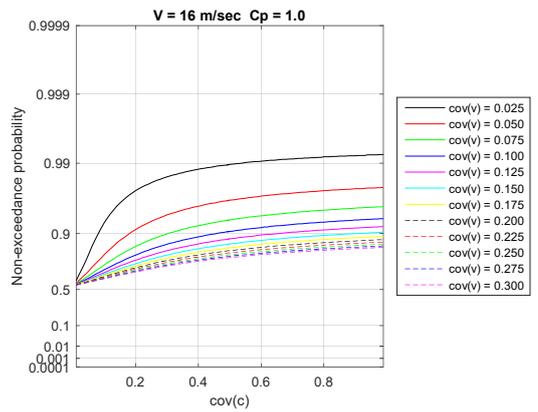
(c) $\tau_v = -0.1$ 、 $\tau_c = 0.1$



(d) $\tau_v = 0.0$ 、 $\tau_c = -0.1$

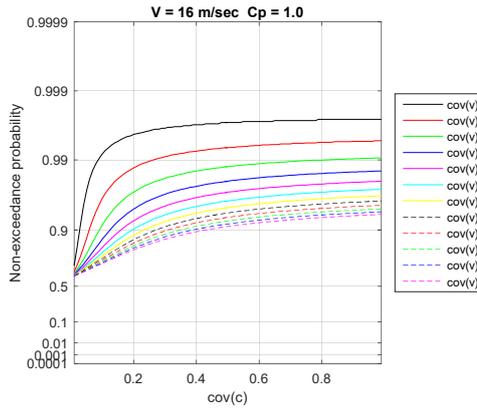


(e) $\tau_v = 0.0$ 、 $\tau_c = 0.0$

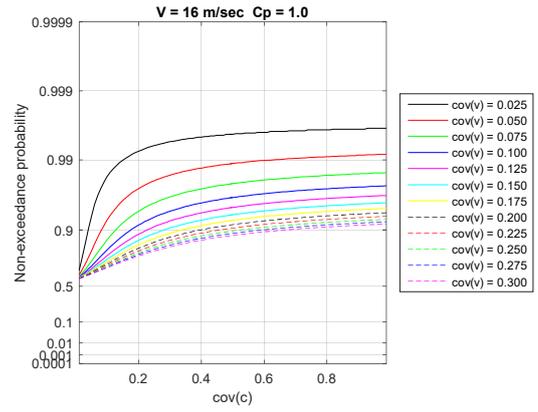


(f) $\tau_v = 0.0$ 、 $\tau_c = 0.1$

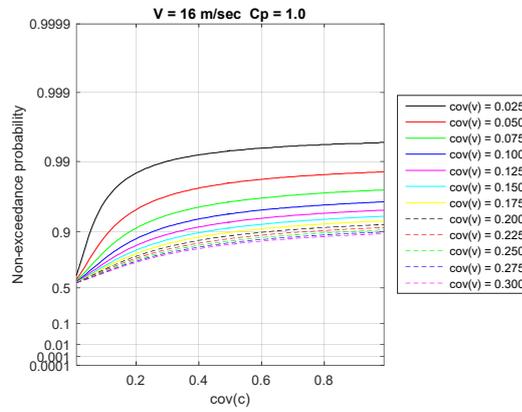
國際耐風設計規範局部風壓係數之本土化擬合研究



(g) $\tau_v = 0.1$ 、 $\tau_c = -0.1$



(h) $\tau_v = 0.1$ 、 $\tau_c = 0.0$



(i) $\tau_v = 0.1$ 、 $\tau_c = 0.1$

圖 2-7 最佳設計非超越機率百分比($\tau_v = -0.1 \sim 0.1$ 、 $\tau_c = -0.1 \sim 0.1$)

資料來源：【本研究整理】

第四節 Cook and Mayne 法與 Kasperski 法的比較分析

2.4.1 兩方法的結果比對

由於第二節與第三節內容中所闡述的方法均以 MATLAB 程式撰寫而成，為了減低迭代過程過於繁複而導致分析時間過長，故程式中均假設極值風速範圍不宜過大，而且風速間隔以 0.01 m/s、極值風壓係數的非超越機率為 0.251 至 0.999 之間。同樣假設第二節與第三節的參數如下：

空氣密度 ρ ：1.25 kg/m³；

極值風速分布型態 τ_v ：0

極值風壓係數分布型態 τ_c ：0

極值風速的平均值 m_v ：24 m/s

極值風壓係數的平均值 m_c ：2

假設極值風速的變異係數範圍在 0.05 至 0.8 之間，而極值風壓係數的變異係數範圍在 0.05 至 1.0 之間。其中極值風速的變異係數因為各國氣候特性不同而有差異，故假設範圍較大，以 Cook and Mayne 及 Kasperski 所提出的範例，相關文獻指出大致為 0.15 左右，實際上與我國相差甚大。圖 2-8 為採用 Kasperski 法於 50 年回歸期狀況下的最佳非超越機率百分比隨著 $cov(c)$ 變化的曲線圖。圖 2-9 則為採用 Cook and Mayne 法的結果。然而，由於以 MATLAB 執行 Cook and Mayne 法時所耗費時間較長，故圖 2-9 僅以部分極值風速變異數案例為主顯示。

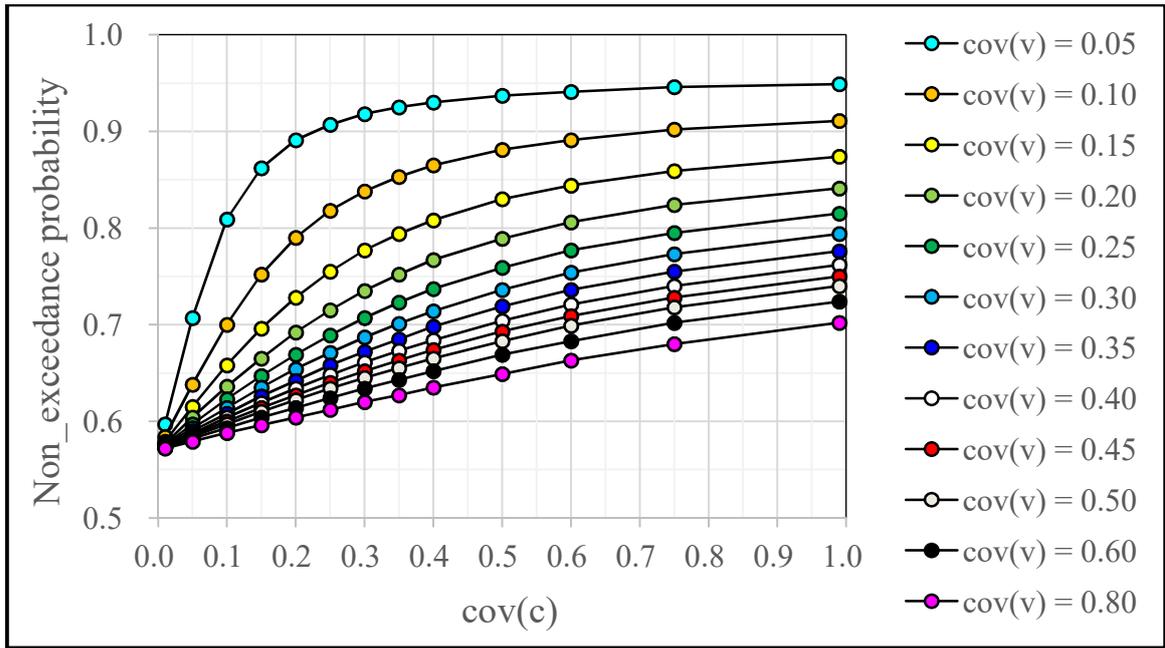


圖 2-8 最佳非超越機率百分比曲線圖(Kasperski 法)

資料來源：【本研究整理】

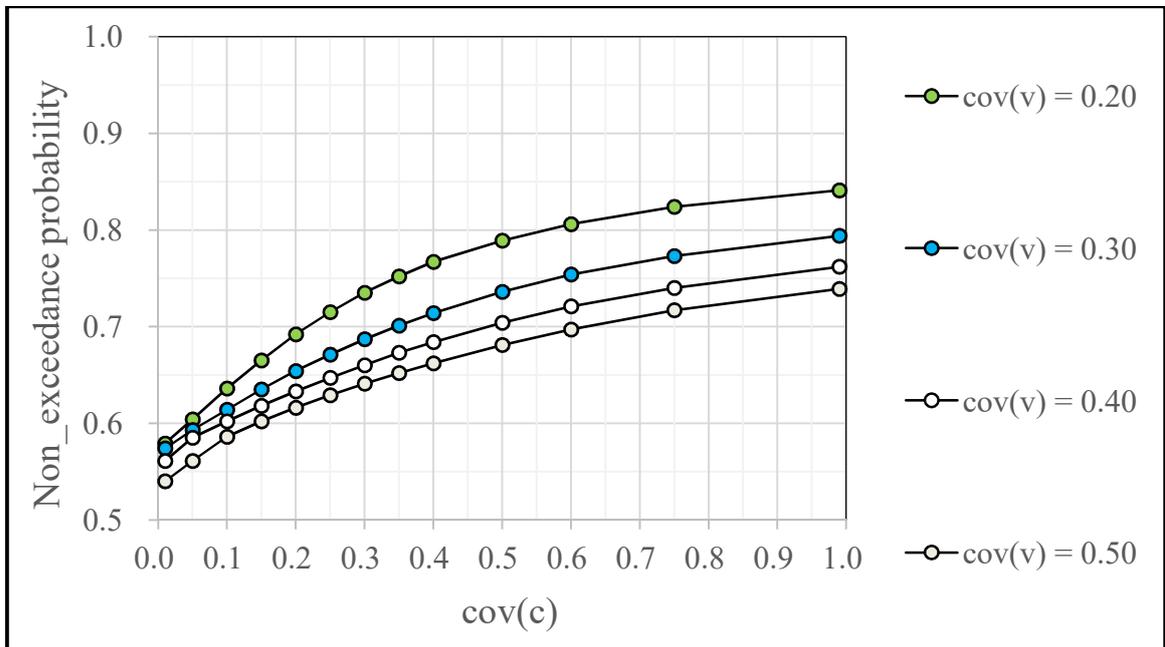


圖 2-9 最佳非超越機率百分比曲線圖(Cook and Mayne 法)

資料來源：【本研究整理】

由圖 2-8 所示可以發現，無論極值風速的變異係數為何，最佳非超越機率百分比均隨著極值風壓係數的變異係數增加而增加。再者，極值風速的變異係數越高，則最佳非超越機率百分比值增加的速率越慢。其主要的原因在於極值風速的變異係數越高表示其極值風速擾動範圍越大，所佔的聯合機率密度分布面積越廣，因此不需要增加太多的非超越機率百分比的值，即可以獲得與目標年超越破壞機率相同的積分機率值，快速滿足式(2-12)。對應到極值風壓係數則亦獲得較小的設計值。另一方面，比較圖 2-8 及圖 2-9 可以看出兩方法所得結果之一致性，顯示本研究團隊所撰寫的 MATLAB 程式無誤。圖 2-10 至圖 2-13 顯示出採用極值風壓係數分布型態 τ_c 分別為 0.1 及-0.1 的結果，同樣兩方法亦具有一致性。

比較圖 2-8、2-10、2-11 三圖的結果可以得知，改變極值風壓係數分布的形狀參數將導致非超越機率百分比的整體數值分布上升或下降約 3-5%。一般而言，風壓係數的極值分布擬合多半在-0.1 至 0.1 之間，少數會超越此範圍。

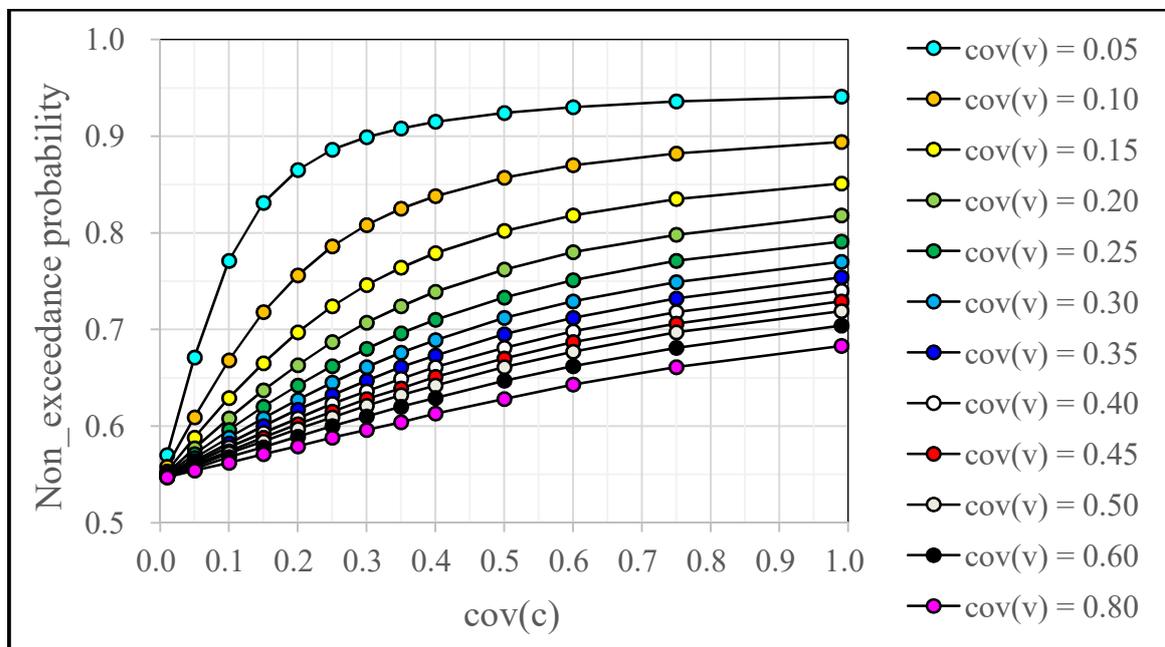


圖 2-10 最佳非超越機率百分比曲線圖(Kasperski 法， $\tau_c = 0.1$)

資料來源：【本研究整理】

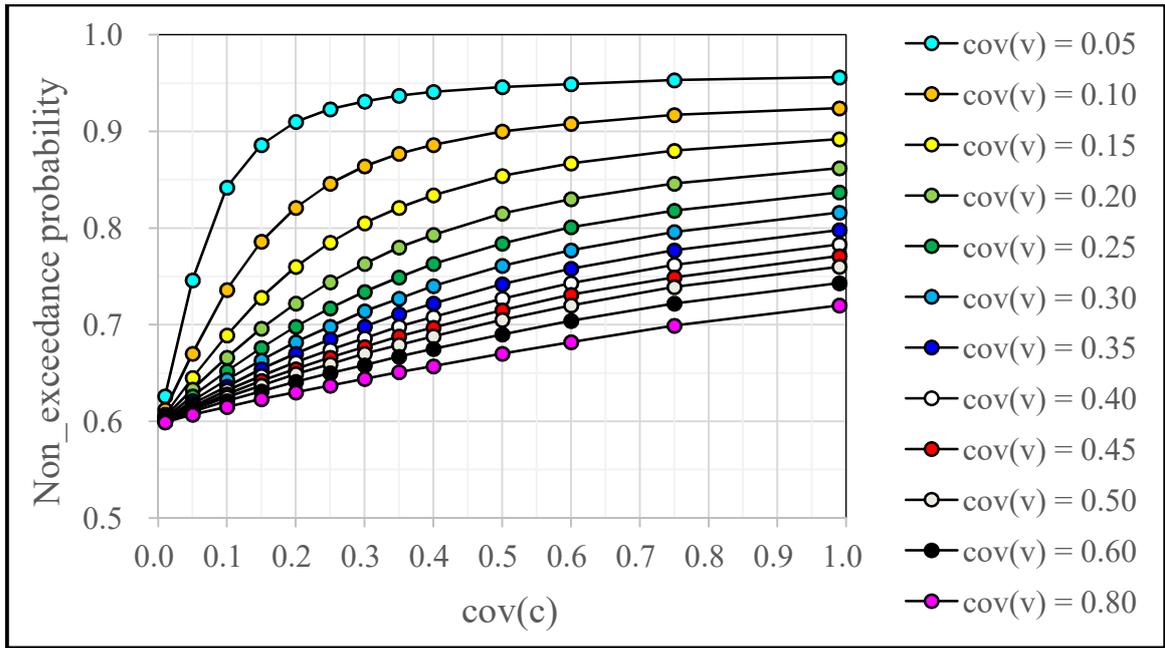


圖 2-11 最佳非超越機率百分比曲線圖(Kasperski 法, $\tau_c = -0.1$)

資料來源：【本研究整理】

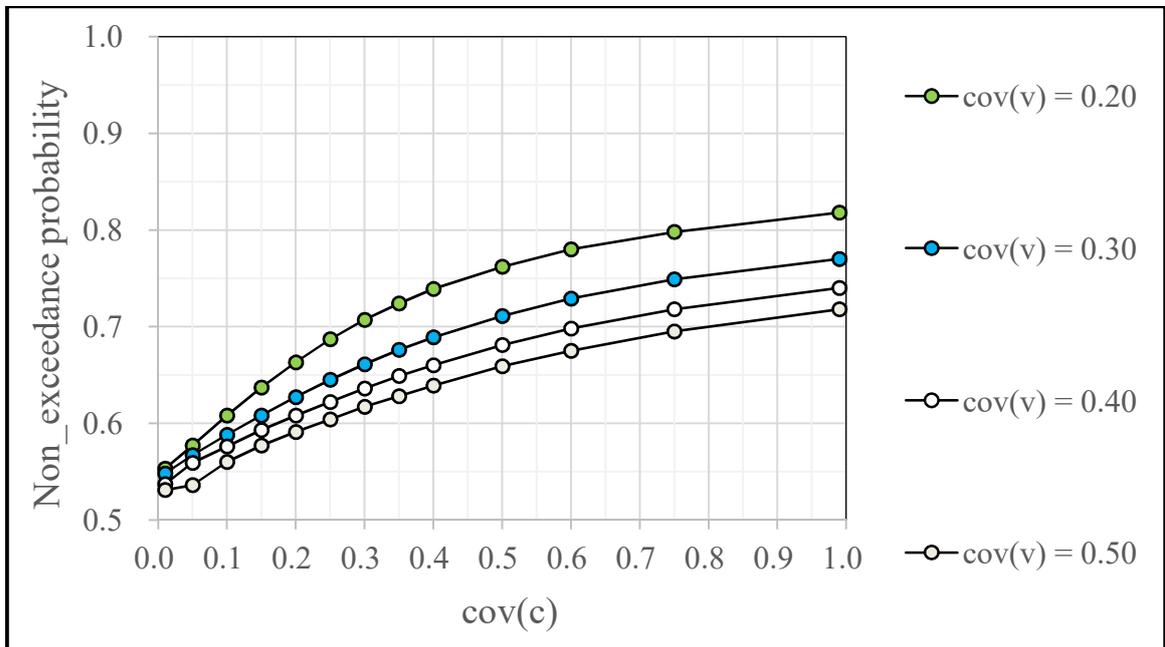


圖 2-12 最佳非超越機率百分比曲線圖(Cook and Mayne 法, $\tau_c = 0.1$)

資料來源：【本研究整理】

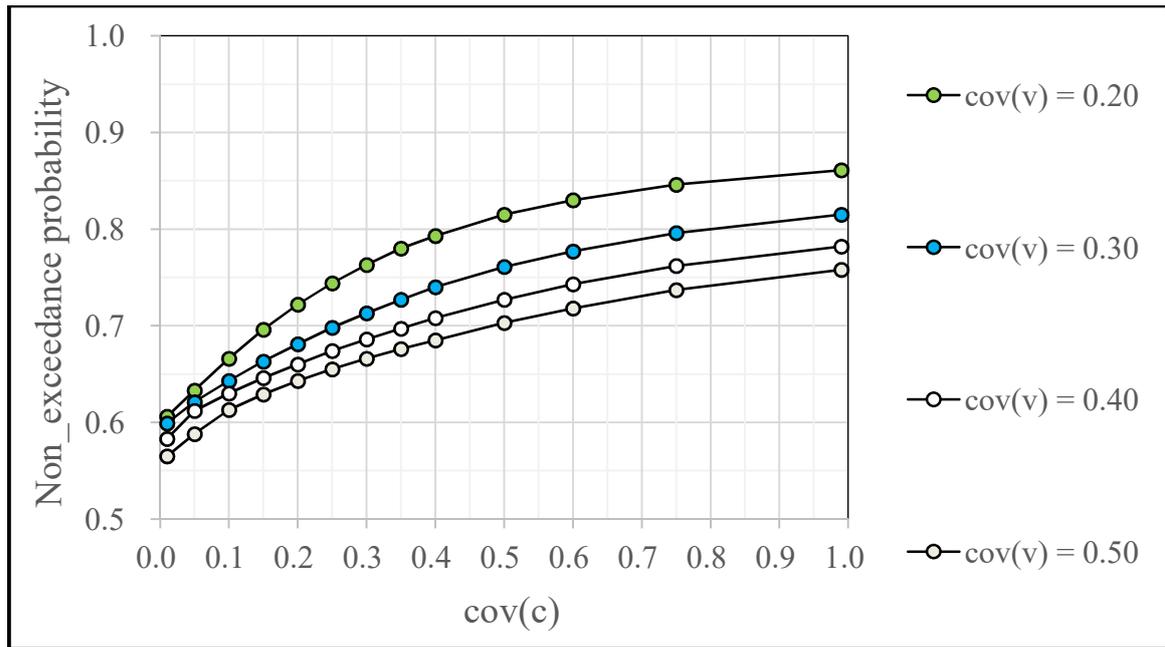


圖 2-13 最佳非超越機率百分比曲線圖(Cook and Mayne 法, $\tau_c = -0.1$)

資料來源：【本研究整理】

2.4.2 高階效應之探討

事實上，Cook and Mayne ([3]、[5])針對颱風事件中第二高、第三高、或更高階的極值風速分布亦同樣考量在內。如圖 2-14 所示為考量前兩階極值風速分布下的示意圖。當決定年破壞超越機率後，風載重估算值曲線將往上移動，以確保曲線以上所占的機率體積積分可符合目標年破壞超越機率。然而有趣的是，倘若曲線往上移動，則第二階的分布所佔的比例將變少。倘若考慮第三階以上的分布，則其影響將更低。相同地，Kasperski ([10]、[11]、[12])也考慮了前三個小時的颱風強度下，其累積超越機率將略大於目標年破壞超越機率，印證了與 Cook and Mayne ([3]、[5])相同的原理。圖 2-15 中所示，考慮前三個颱風強度下的累積機率約為 0.00137，僅較目標值高了 0.00037，對於提升極值風壓係數的非超越機率百分比十分有限。

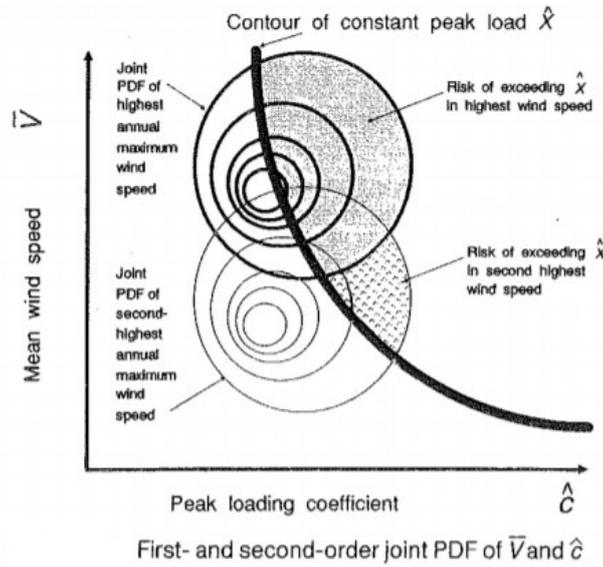
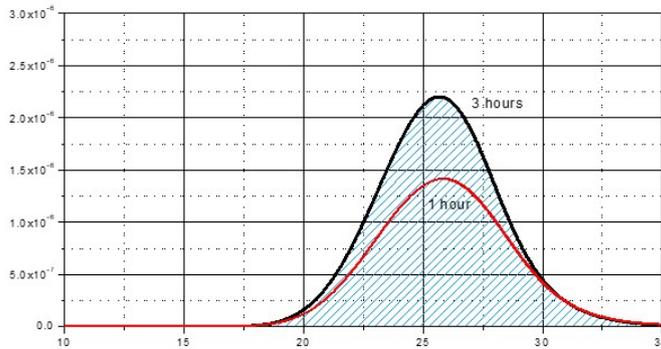


圖 2-14 前兩階極值風速分布下的聯合機率密度分布圖

資料來源：【擷取自 Cook and Mayne (1980)】



basic parameters for f_v and f_c

duration of storm: three hours

rel. $I_1 = 1.00$

rel. $I_2 = 0.96$

rel. $I_3 = 0.93$

$p(w > w_{des}) = 0.00137$

圖 2-15 考慮颱風前三個小時的極值風速分布

資料來源：【擷取自 Kasperski, 2014 [14]】

本研究團隊採用前三階的颱風強度影響，來驗證是否僅需第一階颱風強度即可。第一階的颱風強度即選取某測站的所有颱風事件期間的最大十分鐘平均風速樣本，作為該測站的極值風速統計，計算其分布型態、平均值、及變異數。第二階的颱風強度即為選取颱風事件期間的第二大十分鐘平均風速樣本，計算其分布型態、平均值、及

變異數。以此類推爾後階數。一般而言，第二大通常為第一大強度的 90%，第三大多半為第二大強度的 80-90%範圍。而通常分布型態及變異數沒有太多改變。為了有效比較前兩階的影響以及前三階的影響，表 2-4 為前兩階的假設參數及測試結果，表 2-5 則為前三階的假設參數及測試結果。為了有效控制參數變化範圍，不至於進行無止盡的測試比較，表 2-5 的測試採用相同於表 2-4 的前兩階極值風速的參數，並依據第二階的數據進行第三階數據的假設。由此 120 個測試案例結果看來，第二階以後的影響微乎其微，可以忽略不計。

表 2-4 前兩階颱風強度對設計風載重非超越機率的測試結果表

案例	年超越破壞機率	空氣密度 kg/m ³	極值風壓係數			第一階極值風速			第二階極值風速			非超越 機率百分比 K	非超越 機率百分比 C
			τ_c	m_c	$cov(c)$	τ_v	m_v	$cov(v)$	τ_v	m_v	$cov(v)$		
1	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	18	0.15	0.717	0.717
2	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	18	0.25	0.933	0.932
3	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	18	0.35	0.998	0.998
4	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	18	0.45	0.999	0.999
5	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	16	0.15	0.701	0.701
6	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	16	0.25	0.790	0.789
7	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	16	0.35	0.965	0.964
8	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	16	0.45	0.999	0.998
9	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	14	0.15	0.697	0.697
10	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	14	0.25	0.725	0.724
11	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	14	0.35	0.830	0.829
12	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.2	14	0.45	0.964	0.963
13	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	18	0.15	0.699	0.699
14	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	18	0.25	0.922	0.922
15	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	18	0.35	0.998	0.998
16	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	18	0.45	0.999	0.999
17	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	16	0.15	0.696	0.696
18	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	16	0.25	0.752	0.752
19	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	16	0.35	0.958	0.958
20	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	16	0.45	0.998	0.998

第二章 設計風載重理論與驗證

21	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	14	0.15	0.696	0.696
22	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	14	0.25	0.703	0.703
23	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	14	0.35	0.794	0.794
24	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	-0.1	14	0.45	0.956	0.956
25	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	18	0.15	0.696	0.696
26	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	18	0.25	0.885	0.885
27	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	18	0.35	0.995	0.995
28	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	18	0.45	0.999	0.999
29	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	16	0.15	0.696	0.696
30	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	16	0.25	0.703	0.703
31	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	16	0.35	0.929	0.929
32	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	16	0.45	0.996	0.996
33	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	14	0.15	0.696	0.696
34	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	14	0.25	0.696	0.696
35	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	14	0.35	0.731	0.731
36	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0	14	0.45	0.922	0.922
37	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	18	0.15	0.696	0.696
38	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	18	0.25	0.812	0.812
39	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	18	0.35	0.989	0.989
40	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	18	0.45	0.999	0.999
41	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	16	0.15	0.696	0.696
42	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	16	0.25	0.696	0.696
43	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	16	0.35	0.865	0.865
44	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	16	0.45	0.989	0.989

國際耐風設計規範局部風壓係數之本土化擬合研究

45	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	14	0.15	0.696	0.696
46	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	14	0.25	0.696	0.696
47	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	14	0.35	0.696	0.696
48	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.1	14	0.45	0.843	0.843
49	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	18	0.15	0.696	0.696
50	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	18	0.25	0.735	0.735
51	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	18	0.35	0.973	0.973
52	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	18	0.45	0.998	0.998
53	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	16	0.15	0.696	0.696
54	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	16	0.25	0.696	0.696
55	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	16	0.35	0.756	0.756
56	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	16	0.45	0.970	0.970
57	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	14	0.15	0.696	0.696
58	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	14	0.25	0.696	0.696
59	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	14	0.35	0.696	0.696
60	0.02	1.2	0	2	0.15	0	20	0.15	0.2	14	0.45	0.716	0.716

資料來源：【本研究整理】

表 2-5 前三階颱風強度對設計風載重非超越機率的測試結果表

案例	年超越破壞機率	空氣密度 kg/m ³	第三階極值風速			非超越 機率百分比 K	非超越 機率百分比 C
			τ_v	m_v	$cov(v)$		
1	0.02	1.2	-0.2	16	0.2	0.726	0.726
2	0.02	1.2	-0.2	16	0.3	0.933	0.932
3	0.02	1.2	-0.2	16	0.4	0.998	0.998
4	0.02	1.2	-0.2	16	0.5	0.999	0.999
5	0.02	1.2	-0.2	14	0.2	0.704	0.704
6	0.02	1.2	-0.2	14	0.3	0.79	0.789
7	0.02	1.2	-0.2	14	0.4	0.965	0.964
8	0.02	1.2	-0.2	14	0.5	0.999	0.998
9	0.02	1.2	-0.2	12	0.2	0.698	0.698
10	0.02	1.2	-0.2	12	0.3	0.725	0.724
11	0.02	1.2	-0.2	12	0.4	0.83	0.829
12	0.02	1.2	-0.2	12	0.5	0.964	0.963
13	0.02	1.2	-0.1	16	0.2	0.703	0.703
14	0.02	1.2	-0.1	16	0.3	0.922	0.922
15	0.02	1.2	-0.1	16	0.4	0.998	0.998
16	0.02	1.2	-0.1	16	0.5	0.999	0.999
17	0.02	1.2	-0.1	14	0.2	0.696	0.696
18	0.02	1.2	-0.1	14	0.3	0.752	0.752
19	0.02	1.2	-0.1	14	0.4	0.958	0.958
20	0.02	1.2	-0.1	14	0.5	0.998	0.998

國際耐風設計規範局部風壓係數之本土化擬合研究

21	0.02	1.2	-0.1	12	0.2	0.696	0.696
22	0.02	1.2	-0.1	12	0.3	0.703	0.703
23	0.02	1.2	-0.1	12	0.4	0.794	0.794
24	0.02	1.2	-0.1	12	0.5	0.956	0.956
25	0.02	1.2	0	16	0.2	0.696	0.696
26	0.02	1.2	0	16	0.3	0.885	0.885
27	0.02	1.2	0	16	0.4	0.995	0.995
28	0.02	1.2	0	16	0.5	0.999	0.999
29	0.02	1.2	0	14	0.2	0.696	0.696
30	0.02	1.2	0	14	0.3	0.703	0.703
31	0.02	1.2	0	14	0.4	0.929	0.929
32	0.02	1.2	0	14	0.5	0.996	0.996
33	0.02	1.2	0	12	0.2	0.696	0.696
34	0.02	1.2	0	12	0.3	0.696	0.696
35	0.02	1.2	0	12	0.4	0.731	0.731
36	0.02	1.2	0	12	0.5	0.922	0.922
37	0.02	1.2	0.1	16	0.2	0.696	0.696
38	0.02	1.2	0.1	16	0.3	0.812	0.812
39	0.02	1.2	0.1	16	0.4	0.989	0.989
40	0.02	1.2	0.1	16	0.5	0.999	0.999
41	0.02	1.2	0.1	14	0.2	0.696	0.696
42	0.02	1.2	0.1	14	0.3	0.696	0.696
43	0.02	1.2	0.1	14	0.4	0.865	0.865
44	0.02	1.2	0.1	14	0.5	0.989	0.989

45	0.02	1.2	0.1	12	0.2	0.696	0.696
46	0.02	1.2	0.1	12	0.3	0.696	0.696
47	0.02	1.2	0.1	12	0.4	0.696	0.696
48	0.02	1.2	0.1	12	0.5	0.843	0.843
49	0.02	1.2	0.2	16	0.2	0.696	0.696
50	0.02	1.2	0.2	16	0.3	0.735	0.735
51	0.02	1.2	0.2	16	0.4	0.973	0.973
52	0.02	1.2	0.2	16	0.5	0.998	0.998
53	0.02	1.2	0.2	14	0.2	0.696	0.696
54	0.02	1.2	0.2	14	0.3	0.696	0.696
55	0.02	1.2	0.2	14	0.4	0.756	0.756
56	0.02	1.2	0.2	14	0.5	0.97	0.97
57	0.02	1.2	0.2	12	0.2	0.696	0.696
58	0.02	1.2	0.2	12	0.3	0.696	0.696
59	0.02	1.2	0.2	12	0.4	0.696	0.696
60	0.02	1.2	0.2	12	0.5	0.716	0.716

資料來源：【本研究整理】

根據本章節對於設計風載重的介紹以及目前風工程界中常用以判斷最佳設計風壓係數的兩種方法，可以確立幾項在後續分析中須注意的重點：

(1)決定設計風載重的因素有四：極值風速的分布型態、變異數；極值風壓係數的分布型態、變異數。

(2)颱風期間所採取的樣本可以最大十分鐘平均風速為主體進行極值風速的分布型態、變異數的計算。第二階之後的可以不予考慮。

(3)Kasperski 法相較於 Cook and Mayne 法來說，MATLAB 執行運算的速度較快。由於兩者所得結果一致，故可以在往後的分析中採用 Kasperski 法即可。

第三章 大氣邊界層原理

第一節 大氣邊界層原理

3.1.1 大氣邊界層

風的主要成因是大氣中風壓分布不均所造成，由於地球表面空氣的流動受到地面起伏、建築物、林木分佈等的摩擦作用影響，使得吹過地面的風呈現紊流(turbulent flow)流況，平均風速形成一垂直分布剖面，越接近地表風速越小，影響之範圍稱為大氣邊界層(Atmospheric boundary layer)。大氣邊界層頂部的風速稱作梯度風速(Gradient velocity)，此梯度高度以上的風速已不受到地形地物的影響。大氣邊界層之厚度通常在數百公尺至數公里之間，與風場強度、地表之粗糙度及地球緯度有關。

3.1.2 平均風速剖面

在大氣邊界層中，風速隨高度變化形成風速剖面，一般在廣大且均勻的地況發展下，有兩種經驗公式能描述不同高度上的平均風速分佈：指數律(Power law)及對數律(Logarithmic law)，分述如下：

指數律(Power law)

$$U(z) = U(\delta) \times \left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha} \quad (3-1)$$

在式(3-1)中的 $U(z)$ 為某高度 z 的風速； δ 為大氣邊界層高度； $U(\delta)$ 為大氣邊界層高度 δ 的平均風速； α 值取決於地表粗糙度及大氣穩定度。當 α 值隨地表粗糙度及大氣穩定度之增加而變大， δ 亦是如此。 δ 、 α 之值可依地形之不同，採用表 3-1 的建議值。指數律對於高風速和距地面 0.1δ 以上邊界層內之平均風速剖面適用性較佳。

對數律(Logarithmic law)

$$U(z) = \frac{1}{k} u_* \ln \left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (3-2)$$

式(3-2)中 k (von Karman's constant, 約為 0.4); u_* 為地表摩擦速度 (Friction velocity); z 為距離地表高度; z_0 為地表粗糙長度尺度 (Roughness length)。 z_0 對照不同地況的關係可參考表 3-2。探討地表面風場特性, 平均風速剖面使用對數律剖面較適。現今的高層建築皆有上百公尺之高度, 所受風力 90%~95% 由結構物上半部承受, 故以指數律描述本實驗較符合實際狀況。

表 3-1 不同地況之指數律參數

地形分類	Davenport		ANSI	
	α	$\delta(m)$	α	$\delta(m)$
海岸地區	-	-	1/10	215
開闊地區	0.16	275	1/7	275
鄉鎮郊區	0.28	400	1/4.5	400
都市地區	0.4	520	1/3	460

資料來源：【本研究整理】

表 3-2 不同地況之地表粗糙長度尺度

	z_0 (公分)
沙地	0.01 ~ 0.1
農地	4 ~ 10
偏遠郊區	20 ~ 40
鄉鎮區	80 ~ 120
都會區	200 ~ 300

資料來源：【本研究整理】

3.1.3 紊流強度剖面

一般接近地表面附近的氣流屬於紊流，風速是由平均風速跟擾動風速所組成其瞬時的速度向量可以分成縱向、側向及垂直向。當中以縱向速度擾動對結構影響遠大於其他方向。紊流強度為擾動風速均方根值與平均風速之比值，是描述紊流最簡單有效的方法，其表示式可定義如下：

$$TI_u(z) = \frac{\sqrt{u'(z)^2}}{U(z)} \quad (3-3)$$

上式(3-3)中 $TI_u(z)$ 為高度 z 處縱向 U 的紊流強度； $U(z)$ 為該高度的平均風速； $\sqrt{u'(z)^2}$ 為擾動風速的均方根值。當風的擾動在越接近地面時，地表越粗糙，則風速擾動越大。由此可知風的擾動與地表粗糙程度有關係，Bietry et al. ([32])曾以下式預測此一關係：

$$\overline{u'^2} = \beta \times u_*^2 \quad (3-4)$$

上式(3-4)中係數 β 一般認為與高度無關而與地表粗糙程度有關，其常用值可參考表 3-3。

表 3-3 地表粗糙長度尺度對應之 β

$z_0(\text{cm})$	0.005	0.07	0.3	1	2.5
β	6.5	6	5.25	4.85	4

3.1.4 紊流長度尺度

在流場中任一點的風速擾動，可視為由平均風速帶來許多大小不一的渦漩(Eddies)疊加所造成，各渦漩皆會對該點造成週期性擾動。而紊流長度尺度便是指流場內渦漩大小的平均尺寸。在實際量測時，量測者不可能同時獲得流場內各點之瞬時資料，故利用凍結流場(Frozen field)觀念，即在一穩定流場，單點歷時量測的資料其統計特性可代表平均流速在同樣時間內流過之距離，在此距離內各點瞬時資料的統計特性。利用此觀念將自相關性函數對時間軸積分，可得時間尺度(Time scale)，再乘上平均風速，即可得紊流長度尺度(Integral length scale)。

大氣邊界層中紊流長度尺度有九個分量分別表 u 、 v 、 w 三向風向在 x 、 y 、 z 三軸向之長度尺度，最常考慮的是 x 向 u 分量的尺度，定義為：

$$L_u^x = \frac{U}{\overline{u'^2}} \int_0^\infty R_u(\tau) d\tau \quad (3-5)$$

其中 $R_u(\tau)$ 為擾動風速的自相關函數，由定點擾動風速頻譜做反傅立葉轉換可得之，故上式可改寫為：

$$L_u^x = U \cdot T_e \quad (3-6)$$

$$T_e = \int_0^\infty \frac{R_u(\tau)}{u'^2} d\tau = \int_0^\infty \frac{U(t)U(t+\tau)}{u'^2} d\tau \quad (3-7)$$

其中 τ 為時間延遲(Time lag)。紊流長度尺度會隨地表粗糙尺度增大而降低的函數。Counihan ([33])建議在高度 $Z = 10 \sim 240$ 公尺之間，x 向之縱向紊流尺度 L_u^x 與高度 z 關係經驗式為：

$$L_u^x = C \cdot Z^m \quad (3-8)$$

其中 C 會隨地表粗糙長度尺度 z_0 增加而降低的函數， m 則反之。式中係數 C 與 m 可由圖 3-1 曲線獲得。

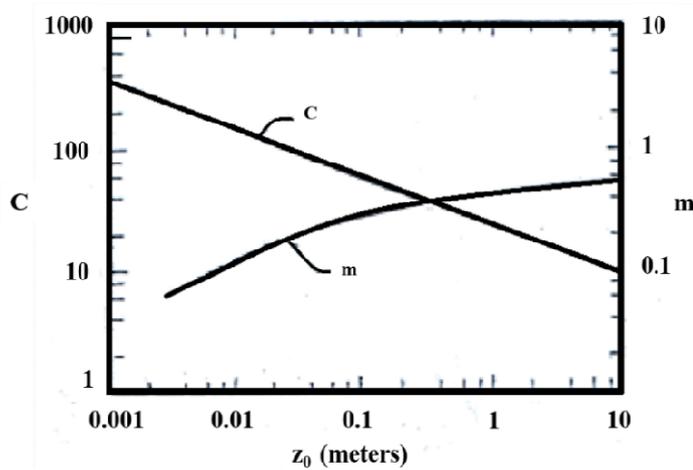


圖 3-1 紊流長度尺度參數 C 、 m 與高度 Z_0 關係圖

資料來源：【本研究整理】

第二節 風對結構體的作用

當氣流流經結構體，由於流體本身(如風速、紊流強度之大小等)以及結構體造成

流體於結構表面形成的分離現象、尾跡等，皆會使結構體發生各種形式的振動，此屬氣動力現象。此外，結構振動也影響了其附近流體行為，改變了流體作用於結構上的壓力，進而使結構的振幅有所變化，這種流體與結構體間耦合情形，稱為氣彈力現象。此壓力變化與結構體運動之位移、速度、加速度相互耦合對結構振動的影響，分別可視為氣動力勁度、氣動力阻尼和氣動力質量的效應。一般結構受風作用時，氣動力阻尼對於結構的振動現象有較大的影響，足以表示大多數之氣彈力現象。

3.2.1 氣動力現象 — 分離 (Separation)

當流體流經鈍體表面時，會產生一逆壓梯度(Adverse pressure gradient)發生衰減效果，其慣性力在接近物體表面時，產生衰減進而在物體表面產生分離或逆流(Reverse flow)之現象。並且受表面曲率、粗糙度及雷諾數的影響，使流體在其表面有分離的現象。對於具有尖銳邊緣之鈍體，氣流之分離必在此尖銳邊緣上發生，並且在鈍體後之尾跡中造成渦漩。至於具連續表面曲率之物體，其分離的位置和雷諾數有關，雷諾數越大者，則分離點會越往後移。

3.2.2 氣動力現象 — 再接觸 (Reattachment)

分離後之剪力流由於對外界自由流之捲增(Roll-up)及動量輸入(Entrainment)作用而使分流線(Separation line)曲率增大，繼而使剪力層增厚，當柱體之深寬比夠大，則分流線將再度接觸到鈍體之頂面或兩側面，是為再接觸現象。再接觸現象之發生與鈍體長寬比、高寬比及流場特性有密切關係。深寬比增加則此現象越容易發生，紊流強度增大使再接觸點靠近鈍體前緣。

3.2.3 氣動力現象 — 尾跡(Wake)

流體流經鈍體產生分離後，分離出之渦漩向下游逐漸消散，其流動軌跡形成尾跡。尾跡中渦漩對結構來說為一負壓區，間歇性尾跡渦旋亦對結構體形成擾動性外力。有關鈍體渦漩、分離跟再接觸情形，可由圖 3-2 示意圖看出。

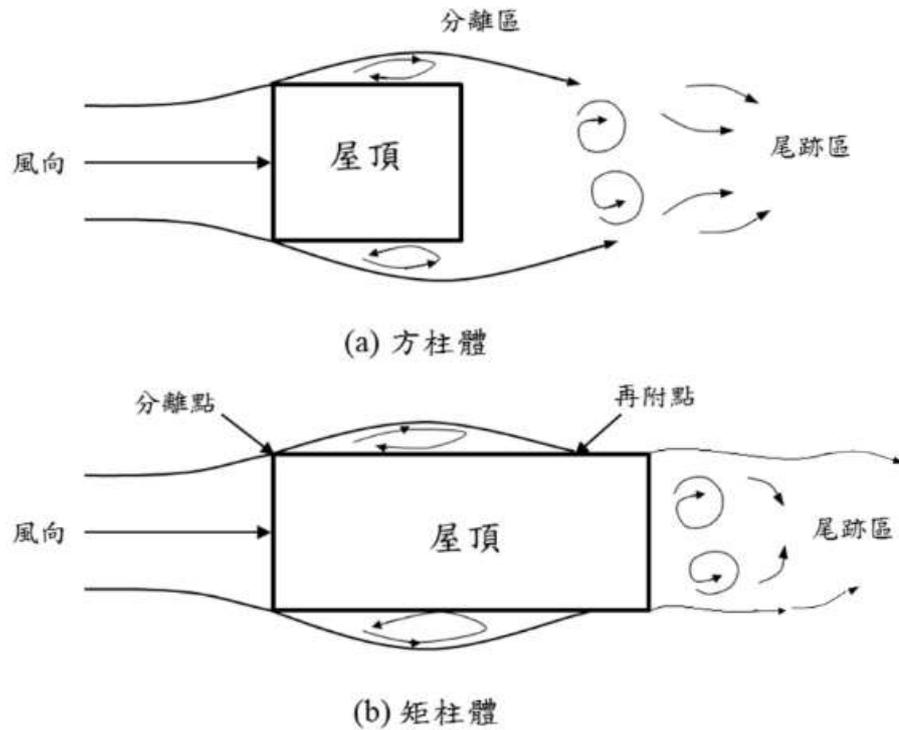


圖 3-2 鈍體分離流及渦旋示意圖

資料來源：【本研究整理】

3.2.4 氣動力現象 — 渦散作用 (Vortex shedding)

氣流流經鈍體時，於兩側產生分離剪力層，在分離後會交互流出渦旋，對結構體側面產生週期性作用力，稱為渦散作用。而此分離剪力層隨距離之增加增厚，在結構背風面捲曲，產生渦旋並形成尾跡。渦散作用具有一特徵頻率稱之為渦散頻率 (Shedding frequency)，其對橫風向作用有相當大影響，不但和風速有關亦和結構物形狀、大小有關，對於非圓形結構物則和風攻角也有關。一般以無因次之史特赫數 (Strouhal number) 表示其關係：

$$S_t = \frac{f_x \cdot D}{U} \quad (3-9)$$

其中 f_x ：渦散頻率； D ：結構特徵尺度。一般而言，方柱之史特赫數約為0.11，圓柱

則約為0.2，其物理意義代表尾流中最顯著之大尺度渦漩的無因次化頻率。當進行環境風洞大氣紊流邊界層之相關模擬時，為了使其近似實際之流場，須滿足相似性原則，包括：

3.2.5 相似性原則 — 幾何相似性(Geometric similarity)

模型和各方向比例縮尺與實際結構物尺度大小比例相同，以滿足流體之連續性。

3.2.6 相似性原則 — 動力相似性(Dynamic similarity)

即密度福祿數(Densimetric Froude Number)、羅士培數(Rossby Number)、李察遜數(Richardson Number)、雷諾數(Reynolds Number)需與實際流場情況相同。

3.2.7 相似性原則 — 羅士培數(Ro)：

為慣性力與科氏力之比值。根據 Snyder ([34])的研究結果顯示，嚴格來說應用非旋轉風洞模擬大氣邊界層時(即不需考慮地球自轉的影響)，模擬對象之水平尺度不得超過5公里。而 Cermak ([35])則認為水平尺度在10公里以內即可忽略科氏力的效應。

3.2.8 相似性原則 — 李本遜數(Ri)：

為浮力與慣性力之比值，當中浮力是由流場溫度變化之溫差所形成，本實驗之風場特性為中性大氣紊流邊界層，此邊界層內溫度不隨高度不同而產生變化，任一高度皆為等溫，因此不需考慮李本遜數。

3.2.9 相似性原則 — 雷諾數(Re)：

即為慣性力與黏滯力比值，其關係式如下：

$$\text{Re} = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu} \quad (3-10)$$

其中 ρ 為流體密度；U、L 為流場之特徵長度及速度； μ 為動力黏滯係數； ν 為運動黏滯係數。自然界大氣邊界層之雷諾數高達 10^8 以上，在風洞內絕無可能模擬。但 Townsend ([36])的研究顯示，紊流在高雷諾數時具有雷諾相似性之特徵，即當雷諾數

超於某個臨界值後，紊流結構之特徵不受雷諾數大小之影響。Cermak ([37])和 Snyder ([34])提出風洞內之雷諾數臨界值為 10^4 ，及邊界層之雷諾數大於 10^4 即可。

3.2.10 相似性原則 — 密度福祿數(Fr)：

為慣性力與重力之比值，其關係式如下：

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{\frac{gL\Delta\rho}{\rho}}} \quad (3-11)$$

其中 U、L 為流場之特徵長度及速度；g 為重力加速度； $\Delta\rho$ 為排放氣體與空氣之密度差； ρ 為空氣密度。

相似性原則 — 熱力相似性(Thermal similarity)：即艾卡數(Eckert Number)、普朗特數(Prantl Number)與實際流場相似。

3.2.11 相似性原則 — 艾卡數(Ec)：

代表流場黏滯性與摩擦加熱之相互作用，由於本實驗之風場特性為中性大氣紊流邊界層，邊界層屬於低次音速流動，而根據 Cermak ([35])研究指出，因黏滯力之摩擦產生之熱功效應，於低速流動情況下可予以忽略。

3.2.12 相似性原則 — 普朗特數(Pr)：

代表渦旋黏滯性與動力黏滯性之作用情形。若風洞內之氣溫、氣壓與外界之情形相近，且無明顯變化時，則風洞模擬實驗與實際之普朗特數相同，因此不需考慮此無因次參數。

第三節 我國氣象測站的極值風速特性

根據研究團隊於 105 年度執行內政部建築研究所協辦案的研究成果，以台北測站為例解釋如下。首先可從中央氣象局 CWB 下載 1958 年至 2019 年的所有颱風數據，此數據為每小時單筆十分鐘平均風速為原則；另外亦可由大氣研究中心 DBAR 下載 1961 年至 2019 年的颱風數據，同樣以每小時單筆十分鐘平均風速做紀錄。將此兩者的颱風事件中最大風速值抓取出來後，可繪製如圖 3-3 所示的依年份變化的極值風速圖。由圖中可看出，颱風事件最大風速逐年減少，而且趨於集中。此結果與 105 年研究團隊所執行的計畫成果一致。另外，CWB 的數值似乎稍微較 DBAR 的數值為大，尤其是 1958 年的幾個颱風數值更是相對其他數值來得大很多，對極值分布具有相當程度的影響。

若將 CWB 及 DBAR 的數據進行極值分布型態的擬合，則可以繪製出如圖 3-4 的擬合曲線圖。由圖可看出，CWB 數據所擬合的形狀參數絕對值較大，較 DBAR 數據偏離甘保分布，但是差距可說不大。可見得 1958 年代較高的數據影響的確存在。兩者形狀參數絕對值均小於 0.1，在應用時當可假設為甘保分布較為便利。在擬合甘保分布的兩圖中可看出，極值風速的變異係數頗大，分別為 0.45(CWB)、0.4(DBAR)。對照 Cook and Mayne 當時所提出的 0.15 差距頗大，判斷將會對極值風壓係數的非超越機率百分比估算有影響。

考慮我國共 30 個人工氣象測站的颱風事件數據，則可以分別識別出每一測站的形狀參數及變異係數。如圖 3-5 所示為形狀參數與變異係數分布圖。可以發現形狀參數多半小於絕對值 0.2 以下，少數測站如台南、七股、永康超過 0.3。一般而言，形狀參數大於 0.3 的案例很少見，研究團隊建議應該考慮實際測站現場風速風向計的架設位置與周遭地形地物的影響，進行數據修正。另一方面可以發現各測站的變異係數均有大於 0.3 的情況發生。研究團隊判斷這極有可能除了風速風向計附近地形地物的可能干擾原因外，台灣多變的颱風路徑造成多種風向角資料亦可能是造成變異係數變化劇烈的原因。一般而言，極值風速的變異係數過大，亦將對極值風壓係數的非超越機率百分比估算造成影響，降低百分比的估算值。

根據第二章最末節的討論內容，可以採用 DBAR 數據中，每一颱風的前五階最大風速紀錄，繪製出前五階最大風速的極值風速分布圖及其特性，作為了解採用高階估算其最佳非超越機率百分比的試算，並與僅採用一階作法相比較。圖 3-6 為台北測站 CWB 數據(僅提供第一階)、以及 DBAR 數據前五階最大風速的分布圖。其中 CWB 數據為紅色，DBAR 數據為黑色(階數越高，顏色越淡)。可以從目測看來，前幾階的極值分布特性應頗相近。若以 DBAR 數據第一階最大風速的平均值作為正規化分母，除以 CWB 數據以及第二、三、四、五階最大風速的平均值，則可以得到圖 3-7。可以發現第二階之後颱風強度衰減的趨勢。根據 Kasperski 的文獻來看，台北測站的強度衰減的更快，證明台灣本土的颱風特性雖然可歷時數小時，但其實僅有第一階的最大風速資料控制估算最佳非超越機率百分比的估算。觀察其極值分布的特性，如圖 3-8，則可以發現前五階變異係數及形狀參數均十分接近。可以說蠻符合颱風事件中，前 N 階最大風速彼此之間具有 I.I.D. 的特性存在。圖 3-9 則為我國 31 個測站所記錄到的前三階颱風強度的分布，圖 3-10 則為前三階變異數的變化。要注意的是，橫軸為測站編號，並無任何物理意義的排序，僅單獨觀察各測站的各階差距即可。

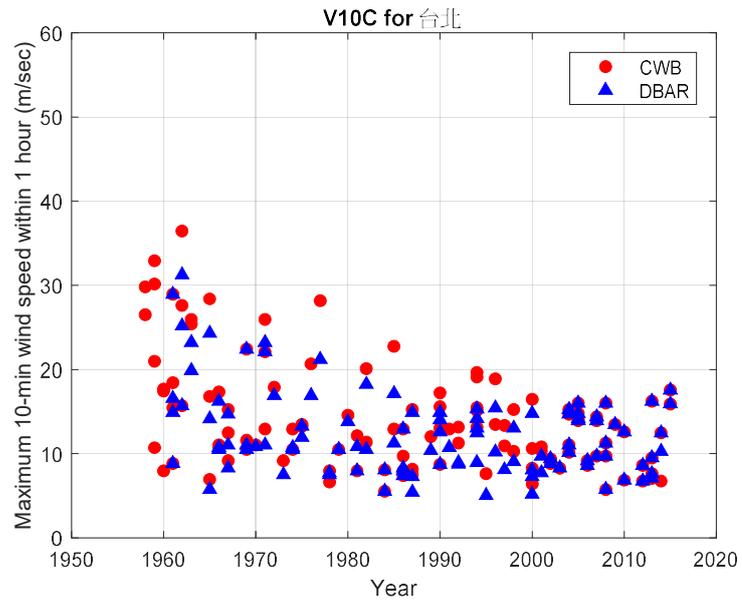
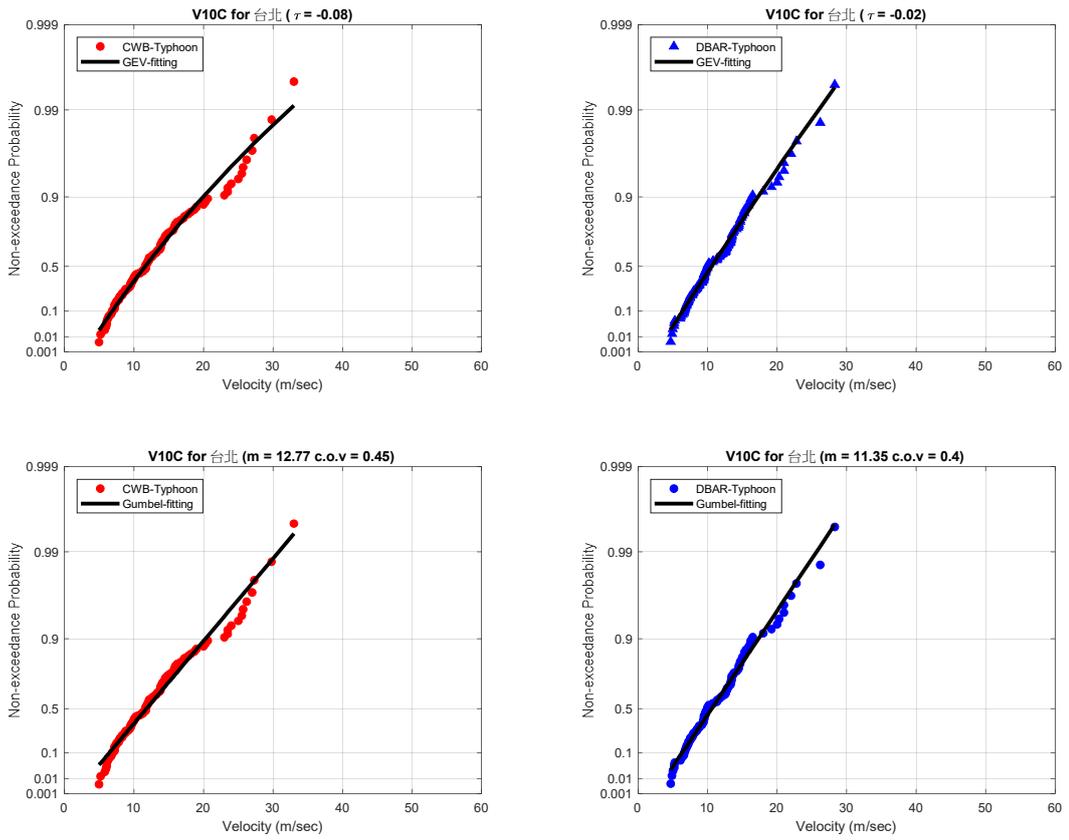


圖 3-3 台北測站颱風事件最大風速分布圖

資料來源：【本研究整理】



(a) CWB

(b) DBAR

圖 3-4 台北測站颱風事件最大風速擬合的極值分布圖

資料來源：【本研究整理】

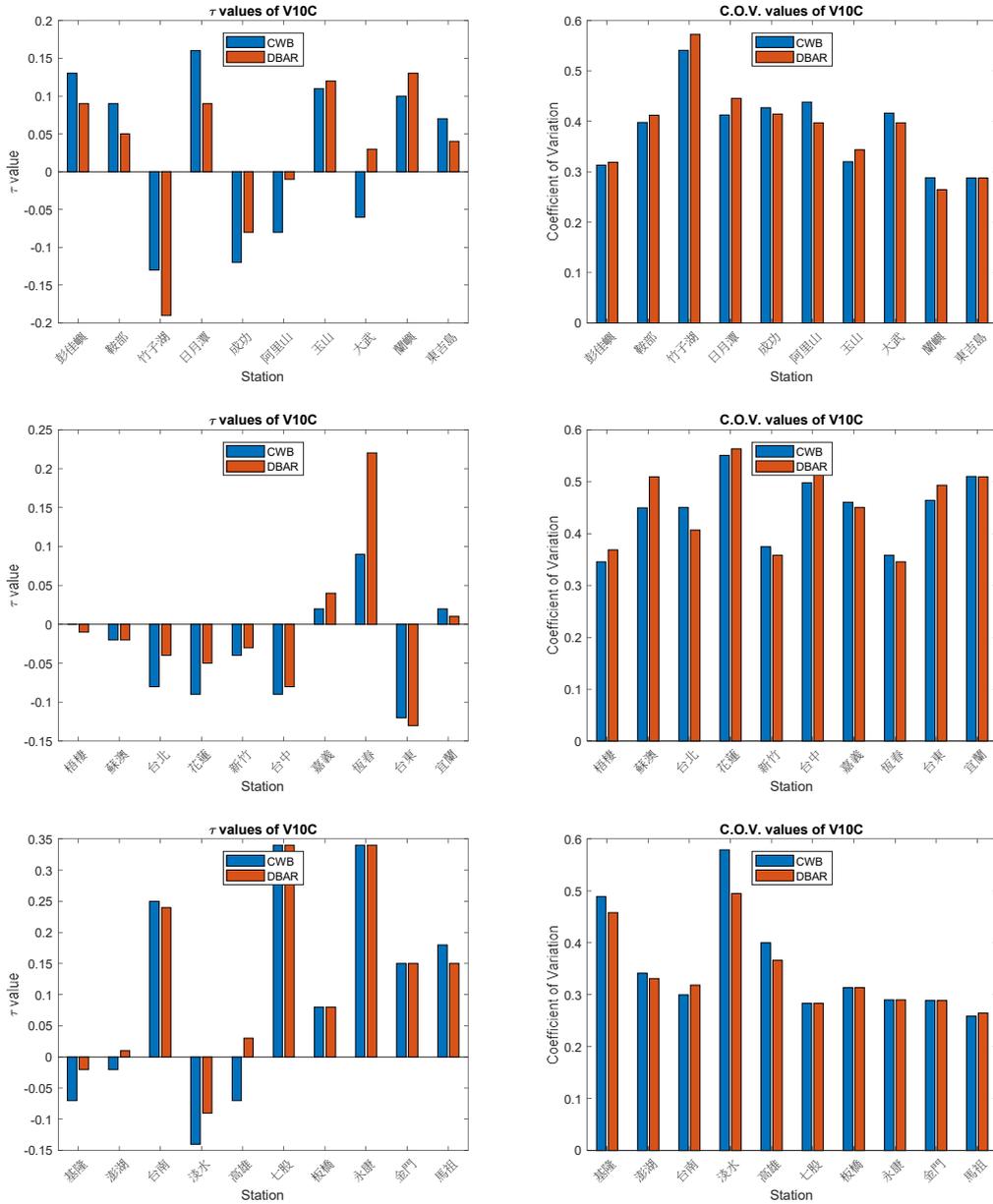


圖 3-5 我國 30 個氣象測站之形狀參數(左)及變異係數(右)分布圖

資料來源：【本研究整理】

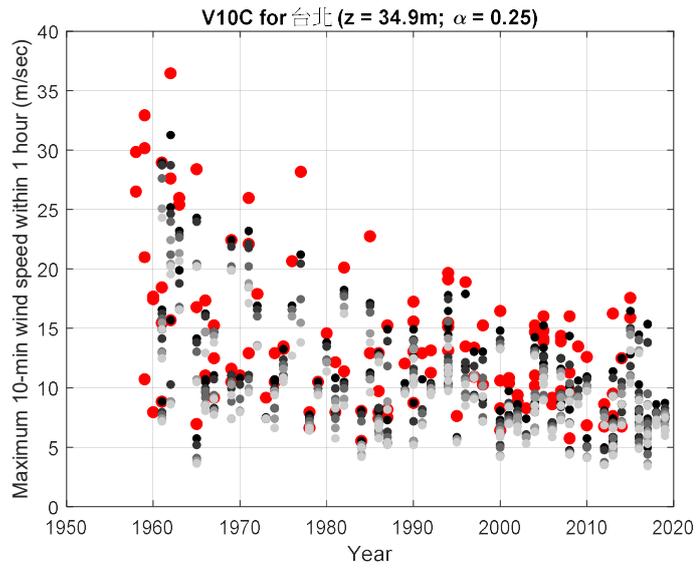


圖 3-6 台北測站颱風事件前 5 階最大風速分布圖

資料來源：【本研究整理】

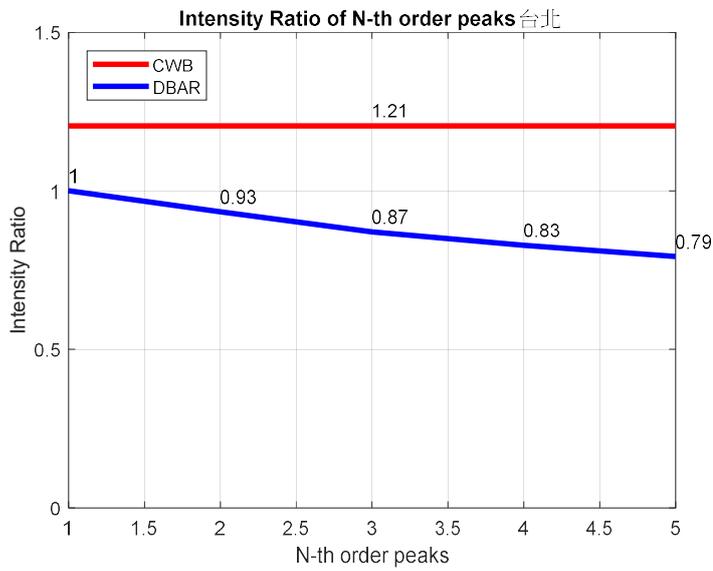


圖 3-7 台北測站颱風事件前 5 階颱風強度比例分布圖

資料來源：【本研究整理】

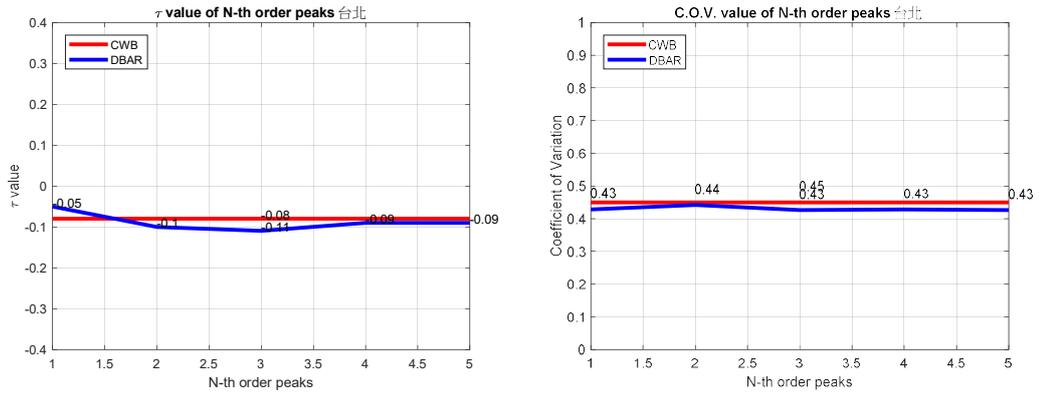


圖 3-8 台北測站颱風事件前 5 階最大風速變異係數(左)與形狀參數(右)分布圖

資料來源：【本研究整理】

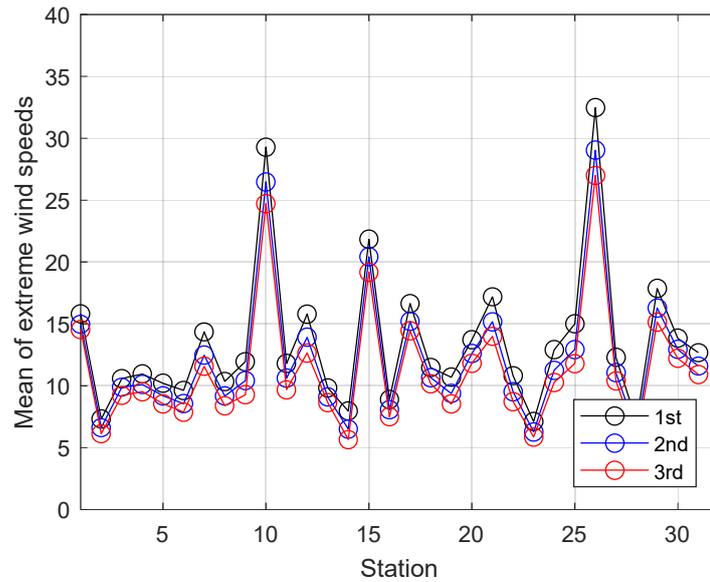


圖 3-9 我國 31 個測站颱風事件前 3 階颱風強度分布圖

資料來源：【本研究整理】

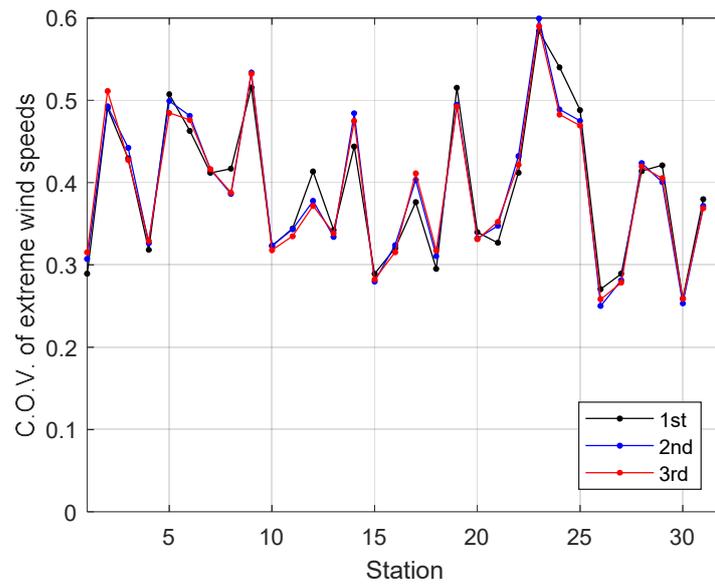


圖 3-10 我國 31 個測站颱風事件前 3 階颱風變異數分布圖

資料來源：【本研究整理】

第四章 風洞實驗數據分析

第一節 風洞實驗設置

本計劃由於進行多種不同模型之表面風壓量測實驗，故難以在短期時間內將所有風洞實驗在同一實驗室執行完畢。因此規劃將低矮建築物模型、高層建築物模型的風壓量測實驗分別於台南市歸仁區的內政部建築研究所風雨風洞實驗室、淡江大學風工程研究中心第一號風洞實驗室，兩個大小不同、性能些許差異的風洞實驗機具中執行。以下分別針對此兩實驗室的機具做簡單介紹。

4.1.1 內政部建築研究所風雨風洞實驗室

內政部建築研究所風洞實驗室內，其風洞本體為一垂直向的封閉迴路系統，總長度為 77.9 公尺，最大寬度為 9.12 公尺，最大高度為 15.9 公尺。風洞本體具有兩個測試區段，第一測試區配置有兩個旋轉盤，第一座旋轉盤直徑 1 公尺，安置於距測試區入口處 3 公尺處，從事一般流體力學研究；第二座旋轉盤直徑 2.6 公尺，置於可移動式軌道上，定位於距測試區入口端約 25.5 公尺或 31.5 公尺處，並以機械控制使其做旋轉及上下運動，以進行建築物受風力作用的空氣動力學研究及污染擴散實驗為主。第二測試區並配置一座旋轉盤，位於風洞本體整流段出口 15 公尺，轉盤直徑為 2.6 公尺，主要用途為以橋梁全模型氣彈測試為主。實驗室相應性能參數與配置圖如圖 4-1 所示。風洞頂部為可調式上蓋板，以維持測試段壓力梯度為零，並將阻塞比降到最低。此循環式風洞採用總功率為 500 kW 的直接傳動軸流式風扇，並以變頻器控制馬達轉速。本計劃實驗於第一測試段之第二旋轉盤進行。

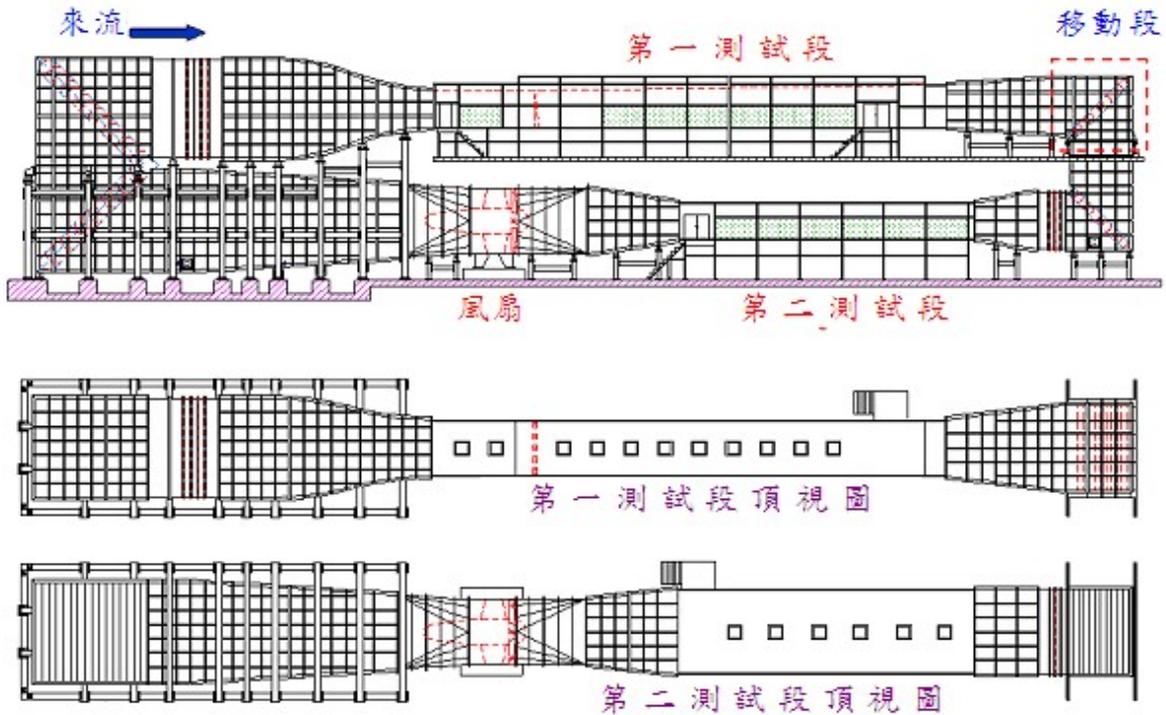


圖 4-1 內政部建築研究所循環式大氣邊界層風洞示意圖

資料來源：【本研究整理】

4.1.2 淡江大學第一號風洞實驗室

淡江大學風工程研究中心第一號大氣邊界層風洞實驗室進行，該風洞屬吸入式開放型風洞。如圖 4-2 所示，風洞實驗段長 12.0 公尺、斷面寬 2.2 公尺、高 1.8 公尺，風洞頂板高度可調整，其最大調整高度為 0.3 公尺。動力段為離心式風扇(Centrifugal fan)，由具 250 匹馬力之直流無段變速馬達帶動。風速的調整可藉由控制風扇之轉速而不同，正常運轉下其流速範圍為 1.0 m/s 至 28 m/s。風洞進口段之收縮比為 3.6:1，進口段前方設有蜂巢管(Honey core tube)及三層之阻尼網(Damping screen)，可降低風洞內自由流之紊流強度約為 0.5% ~1%。此外，風洞實驗段靠近動力段部分設有直徑 2 公尺之旋轉工作平台(圓盤，Turntable)。平台可經由電腦操控轉動，其數位式角度計之量測精度可達 $\pm 0.5^\circ$ 。旋轉台一側設有觀測室，可透過大型之強化玻璃窗觀測實

驗的進行。

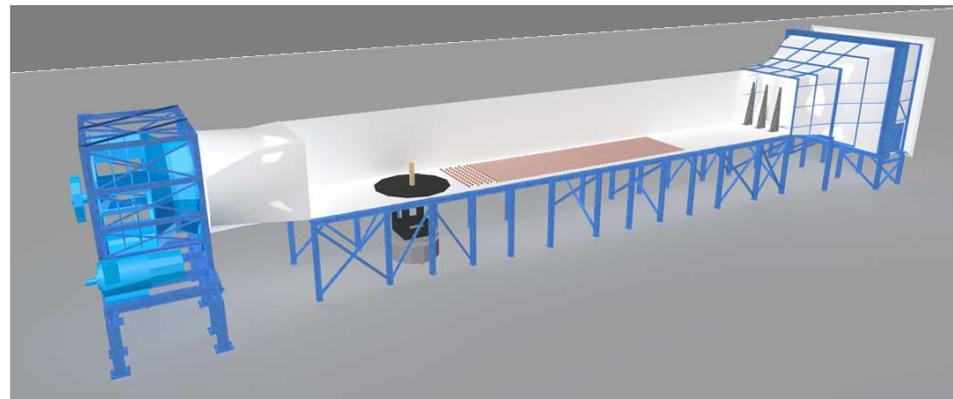
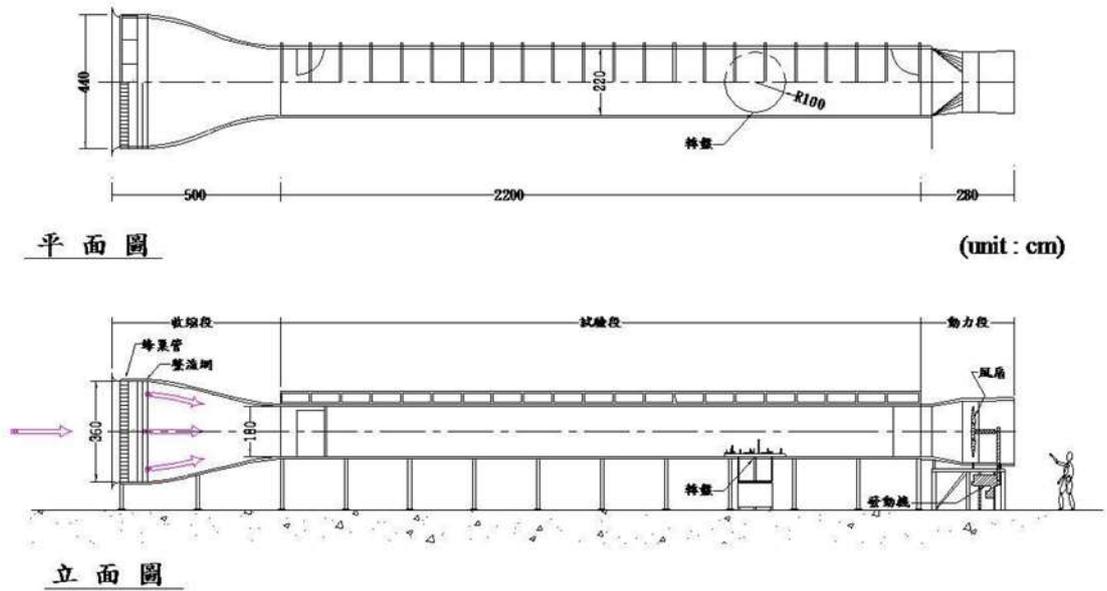


圖 4-2 淡江大學第一號風洞實驗室大氣邊界層風洞示意圖

資料來源：【本研究整理】

4.1.3 風速量測

風洞實驗室進行風速量測所使用的儀器有皮托管及熱模探針兩類。皮托管 (Pitot-static tube) 用於風洞內的風壓實驗參考風速量測，以及模型表面風壓量測之參考

國際耐風設計規範局部風壓係數之本土化擬合研究

壓量測。皮托管的使用可由風速及壓力關係式可轉換為相對應之風速 U (m/s)：

$$U = \sqrt{2\Delta p/\rho} \quad (4-1)$$

其中 Δp 為皮托管所量測的壓力差(Pa); ρ 為空氣密度(約為 $1.29 - 0.004T$,單位為 kg/m^3 , T 為實驗時之空氣攝氏溫度)。熱模探針風速儀 (Thermal anemometer)用於對邊界層風速剖面及紊流特性之量測。此套 TSI 公司生產之熱風速儀量測系統包括有 IFA-300 智慧型風速儀、model 1210-20 一般用途熱膜探針、model 1125 探針率定器，如圖 4-3 所示。



圖 4-3 IFA-300 智慧型風速儀、探針及校正儀

資料來源：【本研究整理】

熱模探針風速儀是利用電流通過金屬導線時會使導線溫度升高，而當流體流經金屬表面時，會帶走部分熱量之原理來量測流體之速度，其基本電路為惠斯頓電橋 (Whetstone bridge)。當探針(Probe)所在位置之電阻 R 值因溫度之改變而改變時，會使電橋失去平衡。探測元(Sensor)之運作方式可採用恆電流式(Constant current)及恆溫式

(Constant temperature)兩種。恆溫式流速儀利用補償電路，因應流速之變動，對流經探測元之電流做瞬間的改變來維持探測元之操作溫度固定不變(因而探測元之電阻亦不變)，使電橋保持平衡狀態，經由回饋電壓的變化來得知所要量測流場中流速之變化。

熱膜探針之探頭，即所謂的探測元，為一長 1.0 mm 直徑 0.005 mm 之石英棒 (Quartz rod)，上面覆以高純度之鉑金膜(Platinum film)，其外再覆以一層鋁質之保護薄膜。探針是採用 TSI Model 1125 探針率定器依照廠商所設定之標準程序進行率定，探針經過率定後可得到探針回饋電壓和風速間之確切關係。由風速儀所輸出之電子訊號經過類比/數位轉換器(A/D converter)由電腦系統讀取而後進行計算、分析及紀錄、存檔。測試時探針是架設在風洞內由電腦所控制之載具天車上，天車可在三個軸向上作獨立之移動。探測元之軸線呈水平且與逼近流之流向垂直。

4.1.4 風壓量測

風壓實驗採用多頻道電子式風壓掃描器，用來同步擷取作用於建築物表面各點的瞬時風壓，所得之數據經過處理後便可得結構系統所受的平均風力、擾動風力和外牆所受之局部風壓，圖 4-4 為壓力量測系統示意圖。

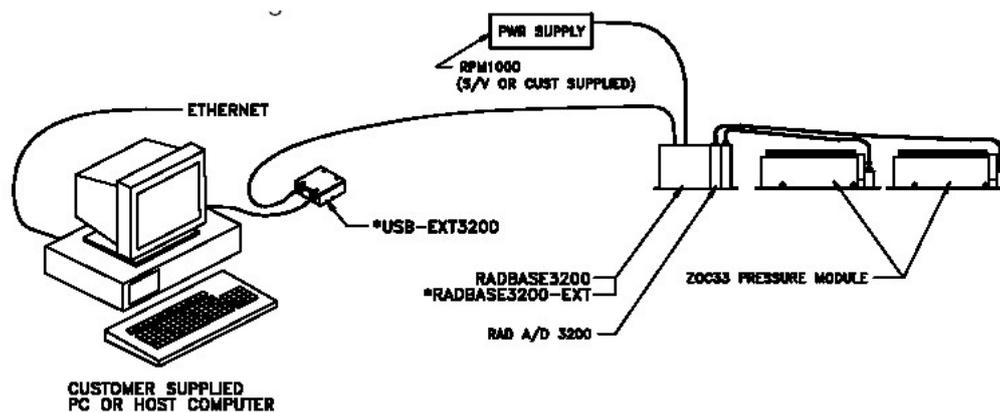


圖 4-4 壓力量測系統

資料來源：【本研究整理】

壓力量測系統的元件通常包括：

(1) 壓力訊號處理系統(RADBASE3200，圖 4-5)

- 最多可支援 8 組類比訊號轉換成數位訊號之轉換器(A/D MODULE)
- 最多可支援 8 組壓力感應模組，共 512 個壓力量測點。
- 類比訊號轉換成數位訊號(A/D convert)解析度達 16bit。
- 最大採樣速率可達 500Hz。
- 採 USB 介面傳輸，具備網路控制與傳輸功能。

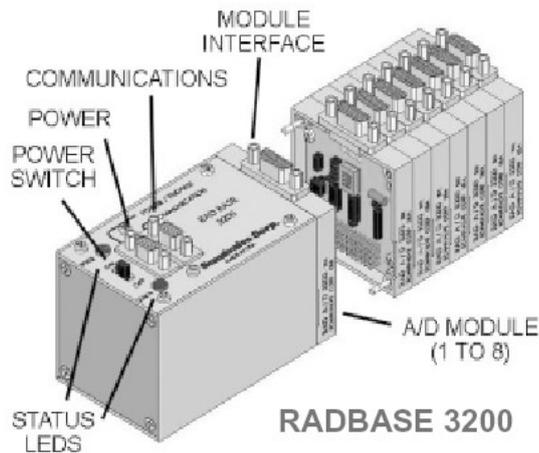


圖 4-5 壓力訊號處理系統(RADBASE3200)

資料來源：【本研究整理】

(2) 壓力感應器模組(ZOC33，圖 4-6)

- 壓力感應範圍為 ± 10 in H₂O
- 誤差範圍為 $\pm 0.2\%$

實驗中將各個風壓孔之壓力訊號經 PVC 管傳遞至壓力感應器模組，測得之訊號傳至訊號處理系統計算後所得壓力值傳回電腦。

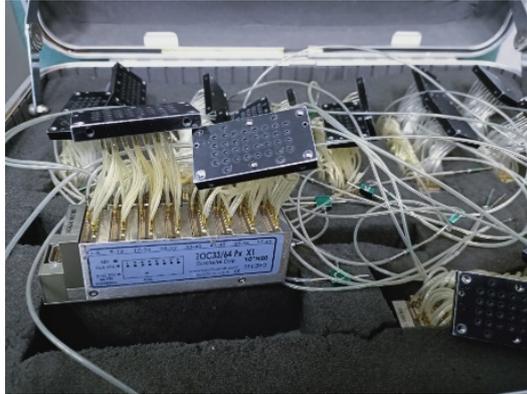


圖 4-6 64 頻道壓力感應器模組

資料來源：【本研究整理】

4.1.5 數據處理

實驗數據的採樣頻率須高於反應的可能最高頻率，但過高的採樣頻率需較多的計算時間與人力，對分析之準確度並無實質的意義；而若採樣頻率太接近反應的可能最高頻率，則會於不連續傅立葉轉換中發生頻率混淆的錯析現象(Aliasing)。此錯析現象是因傅立葉轉換後的資料，會於 0.5 倍處對稱出現而使頻率混淆。此 0.5 倍採樣頻率稱為截斷頻率(Nequist folding frequency) f_c ：

$$f_c = 1/2h = 1/(2f_{sample}) \quad (4-2)$$

其中 f_{sample} 為採樣頻率； h 為採樣時間間距。為避免上述錯析現象，有二種方法可以採用：(1)選擇足夠大之採樣頻率，使得反應的可能最高頻率低於截斷頻率 f_c ，則不連續傅立葉轉換的對稱行為便不會影響實際數值。一般而言可令採樣頻率高於截斷頻率 2 倍以上。(2)將所期望之最大頻率以上之高頻率濾去，再選擇 f_c 等於所期望之最大頻率，則可得低於 f_c 部份的正確結果。

4.1.6 管線修正

當模型表面的壓力經由管線傳遞至壓力掃描器時，壓力訊號會受風壓管之幾何尺寸影響而被扭曲，此時量測到的平均壓力是不受管線系統影響的，但某些頻率的壓力訊號會被放大或衰減而影響擾動壓力量測之準確性，因此須將風壓訊號受扭曲的部分進行還原。

訊號還原方式一般會採用兩種方式，第一種是針對風壓管本身進行處理，係指在管中加裝細管或其他材料，利用物理方式將扭曲的訊號進行放大或衰減，以回復原有訊號。第二種則是求出原始訊號及扭曲訊號之關係，即指將所取得的扭曲訊號，利用已知關係，透過數學方法還原成原始訊號。這些過程稱為管線修正，而本實驗之管線修正，乃採取第二種方式進行修正。找出原始訊號和扭曲訊號兩者間之數學關係，此過程稱為管線率定。

管線率定一般採用白噪訊號(White noise)作為訊號源，利用白噪訊號產生器並透過訊號放大器，將放大後之白噪訊號輸入振動器，產生具有白噪訊號特性之氣壓訊號。將此氣壓訊號，同時各透過 5 公分內之 PVC 短管，及風壓實驗所採用之 PVC 長管，傳遞至各自對應之壓力掃描器。經短管所傳遞之訊號可視為真實訊號(未經 PVC 管扭曲壓力)，定義為 $X(t)$ ；而經 PVC 長管所傳遞之訊號為扭曲訊號，定義為 $Y(t)$ 。管線率定即利用數學方式找出 $X(t)$ 與 $Y(t)$ 間之轉換關係，轉換關係如下所述：

$$H_R(\omega) = Re[S_{XY}(\omega)]/S_X(\omega) \quad (4-3)$$

$$H_I(\omega) = -Im[S_{XY}(\omega)]/S_X(\omega) \quad (4-4)$$

其中 $H_R(\omega)$ 及 $H_I(\omega)$ 分別為 $X(t)$ 與 $Y(t)$ 之頻率域轉換函數； $S_X(\omega)$ 為真實訊號 $X(t)$ 之能譜密度函數； $S_Y(\omega)$ 為扭曲訊號 $Y(t)$ 之能譜密度函數； $S_{XY}(\omega)$ 為 $X(t)$ 、 $Y(t)$ 之交頻譜； $Re[S_{XY}(\omega)]$ 、 $Im[S_{XY}(\omega)]$ 則分別代表 $X(t)$ 、 $Y(t)$ 之實部交頻譜與虛部交頻譜。經風壓模型所量測之壓力管線訊號，即必須以上述結果進行修正，管線修正步驟如下：

令實驗時經過管線扭曲之時間域原始風壓訊號為 $A(t)$ ， $B(t)$ 為修正後之訊號。將原始風壓訊號 $A(t)$ 進行快速傅立葉轉換後，可得頻率域之項 $A_R(\omega) + iA_I(\omega)$ 。利用下述 $H_R(\omega)$ 及 $H_I(\omega)$ 於頻率域進行原始數據修正：

$$B_R(\omega) = \frac{H_R(\omega)A_R(\omega) + H_I(\omega)A_I(\omega)}{H_R(\omega)H_R(\omega) + H_I(\omega)H_I(\omega)} \quad (4-5)$$

$$B_I(\omega) = \frac{H_R(\omega)A_I(\omega) - H_I(\omega)A_R(\omega)}{H_R(\omega)H_R(\omega) + H_I(\omega)H_I(\omega)} \quad (4-6)$$

最後將頻率域修正後訊號 $B_R(\omega) + iB_I(\omega)$ 進行反傅立葉轉換，則可得到一組新的時間域訊號 $B(t)$ ，該訊號即為管線修正完成之訊號。圖 4-7 為風壓管線之頻率域轉換函數，該風壓管為透明 PVC 管。

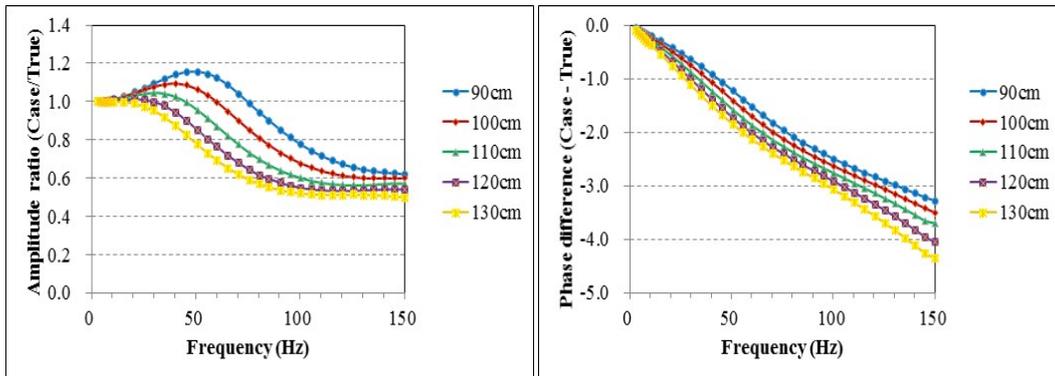


圖 4-7 風壓管之管線修正使用之頻率域轉換函數

資料來源：【本研究整理】

第二節 本計畫風洞實驗案例

本研究主要目的非在於累積龐大的氣動力資料庫，而傾向於利用幾個較為具代表性的案例進行風洞實驗，透過合理的分析計算出設計風壓係數後，得以與目前各國規範中相同型態的建築物種類進行比較。表 4-1、4-2 所示為本計畫規劃之兩類建築物風洞實驗設定。表 4-1 中較為特殊的實驗案例為 CAARC 大樓模型。與其他實驗案例不同之處在於，此模型為真實存在之建築物，且該大樓表面布置有實場監測大樓表面風壓與屋頂風速風向計。未來若研究團隊有機會取得該大樓實場監測數據，則能夠更深入進行風洞實驗與實場監測的比較。另一個不同於其他實驗案例的地方則是，CAARC 大樓模型進行長達實場六十小時的風洞實驗量測，累積十分穩定的風壓係數數據，適合進行本計畫中第二章中所探討的最佳設計風壓係數的兩種方法。表 4-1 與 4-2 的矩柱高層建築物模型及低矮建築物模型均進行實場至少十六小時的表面風壓量測，符合 Cook and Mayne 所建議的極值樣本數量。

表 4-1 本計畫高層建築物模型

	深寬比	高寬比						地況
	1	3	4	5	6	7	8	A、B、C
矩形柱	1.2	3	4	5	5.5	×	×	
	2	3	4	4.24	×	×	×	
	4	3	×	×	×	×	×	
	CAARC	0.67	4					

◎矩形柱之實驗風攻角均為 0 度；CAARC 大樓模型之實驗風攻角為 0、15、30、45、60、75、90、105、120、135、150、165、180 度。

資料來源：【本研究整理】

表 4-2 本計畫低矮建築物模型

屋頂傾斜 角	實驗風攻角						
	0	15	30	45	60	75	90
5°	○						○
15° (大)	○	○	○	○	○	○	○
15° (中)	○						○
15° (小)	○						○
35°	○						○

資料來源：【本研究整理】

本計畫雖然已於計畫期程內完成所有風洞實驗案例的量測，然而由於數量龐大，分析時間過久，因此以下兩節僅以 CAARC 大樓高層建築模型以及 15° 雙斜屋頂低矮建築物模型列出其風洞實驗結果，包含平均風壓係數分布及擾動風壓係數分布。其後再於第五節內容中探討極值風壓係數與我國風場特性綜合下的分析結果，並利用其他建築物模型進行綜合比較。

第三節 CAARC 大樓風洞實驗結果

4.3.1 CAARC 大樓模型

本研究所採用的 CAARC 模型為高層矩柱斷面模型，以壓克力板製作，實驗中採用之模型寬為 11.4 cm、深為 7.6 cm、高為 45.7 cm，量測所用之風壓管長 150 cm，範圍為 4 側面，不包含頂面，一共 330 個風壓孔，模型及孔位分布如圖 4-8 及圖 4-9 所示。

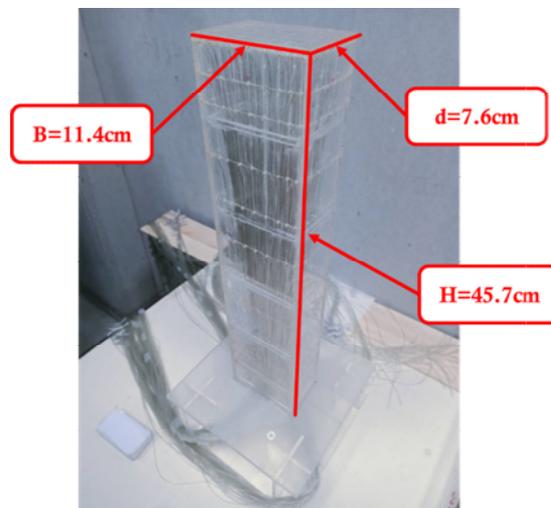


圖 4-8 CAARC 大樓模型示意圖

資料來源：【本研究整理】

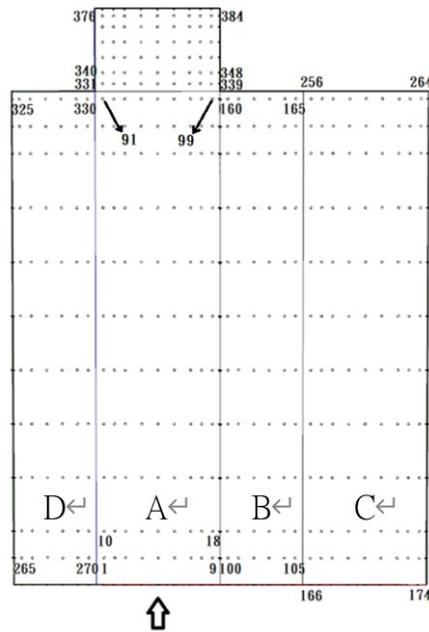


圖 4-9 CAARC 大樓模型風壓孔位分布示意圖

資料來源：【本研究整理】

4.3.2 縮尺計算及採樣

有鑑於風洞實驗與實場之比例不一，故在計算過程中需要加入縮尺理念修正數值，在這次的實驗中長度縮尺是以假定 CAARC 與風洞之高度比為 1：400，其換算之實際建物高為 182.8m，再以台北測站之 C 地況設計風速 42.5m/s 換算 B 地況去計算實際建物高之設計風速，其計算出之值與風洞實驗模型建物高的風速比，則會得到其比例約為 1：6.417，再依據速度為長度除以時間之概念，我們即可換算出時間之縮尺為 1：62.335，也就是說在實驗室量測的 1 秒為實場量測之 62.335 秒的概念。

實驗採用 Scanivalve 電子壓力掃描器進行風壓取值，採樣頻率為 500 Hz，每筆採樣時長為 57.8 秒，採樣長度為 28,900 個數據點，每組風向角各採 60 筆資料以便後續作分析之計算。本實驗在得到採樣數據後經過以下幾個步驟去做處理：(1)將所得之 CAARC 模型的原始數據做二進位轉十進位後，再進行管線失真的校正得到風壓歷時，接著以皮托管測量到之模型高的動壓與靜壓進行無因次化獲得風壓係數歷時之數據；(2)將得到之每個風壓孔的風壓歷時數據去做平均、擾動、偏態、峰態、最大、

最小之極值計算；(3)接著以每個風壓孔之最大、最小風壓係數以及氣象局之處理過之風速資料去帶入設計風載重之計算，求得設計風載值。

4.3.3 平均風壓係數分布

圖 4-10 至 4-22 為 CAARC 大樓在標準 B 地況下，大樓四個立面的平均風壓係數等高線分布圖。由圖 4-10 至 4-22 的角度變化可以看到很明顯的平均風壓係數緩慢地變化。

4.3.4 擾動風壓係數分布

圖 4-23 至 4-35 為 CAARC 大樓在標準 B 地況下，大樓四個立面的擾動風壓係數等高線分布圖。由圖 4-23 至 4-35 的角度變化可以看到很明顯的擾動風壓係數緩慢地變化。

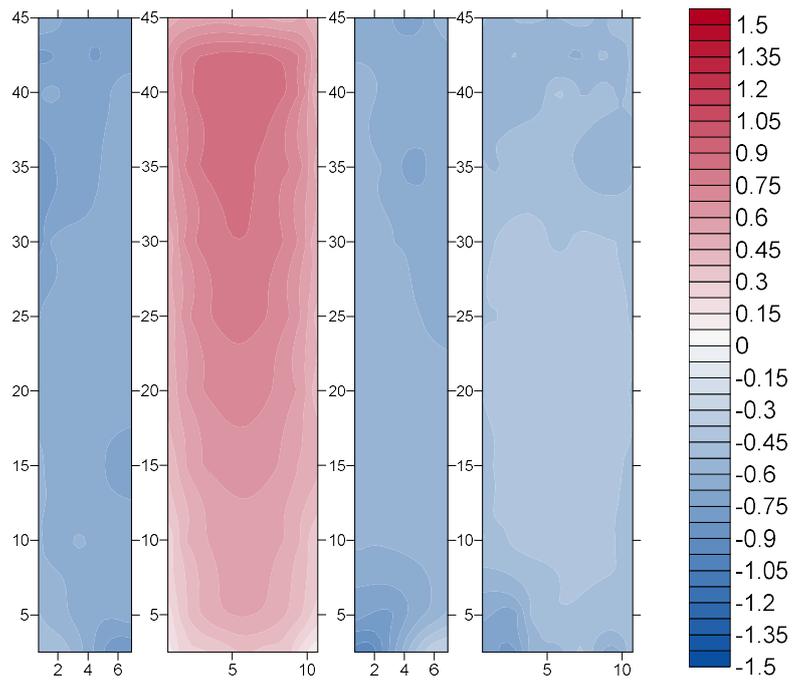


圖 4-10 平均風壓係數於 0 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

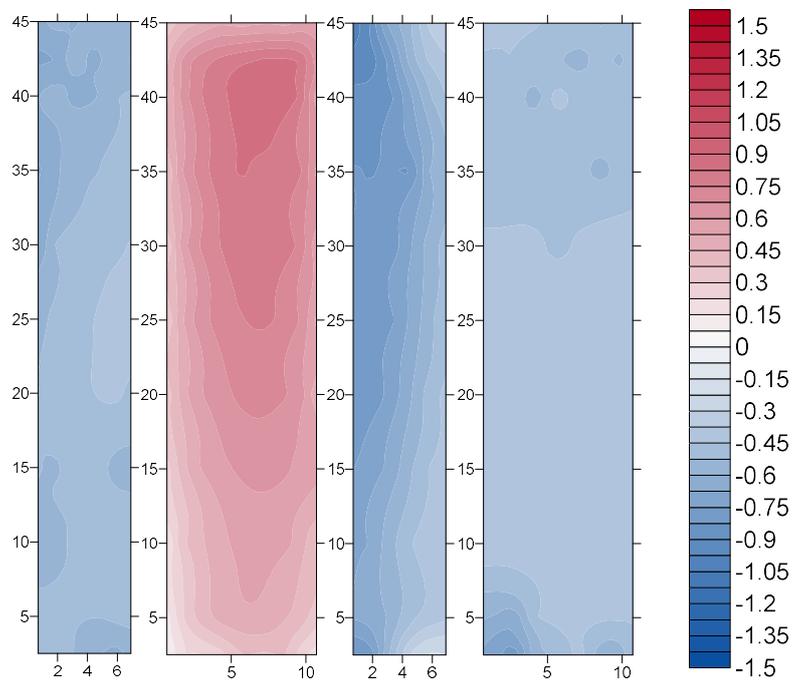


圖 4-11 平均風壓係數於 15 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

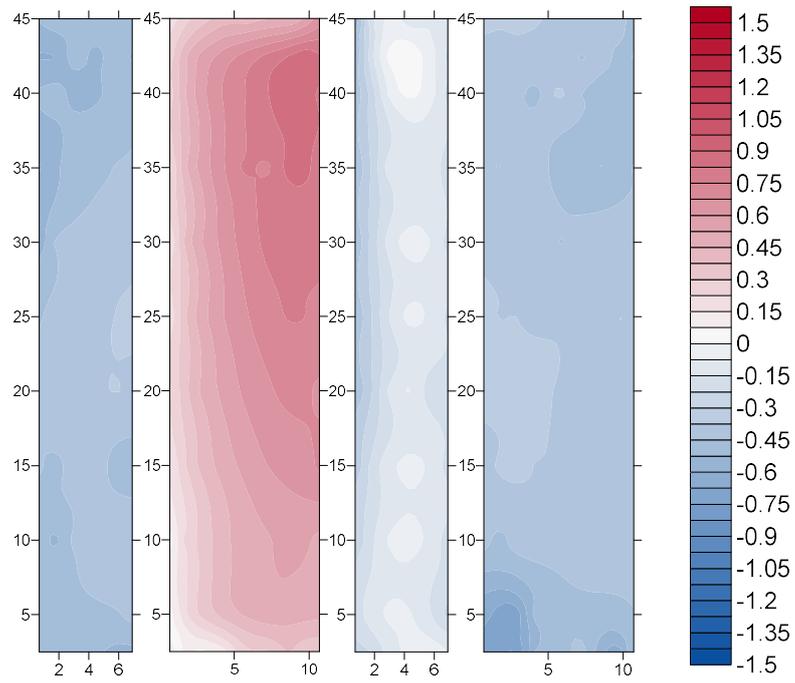


圖 4-12 平均風壓係數於 30 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

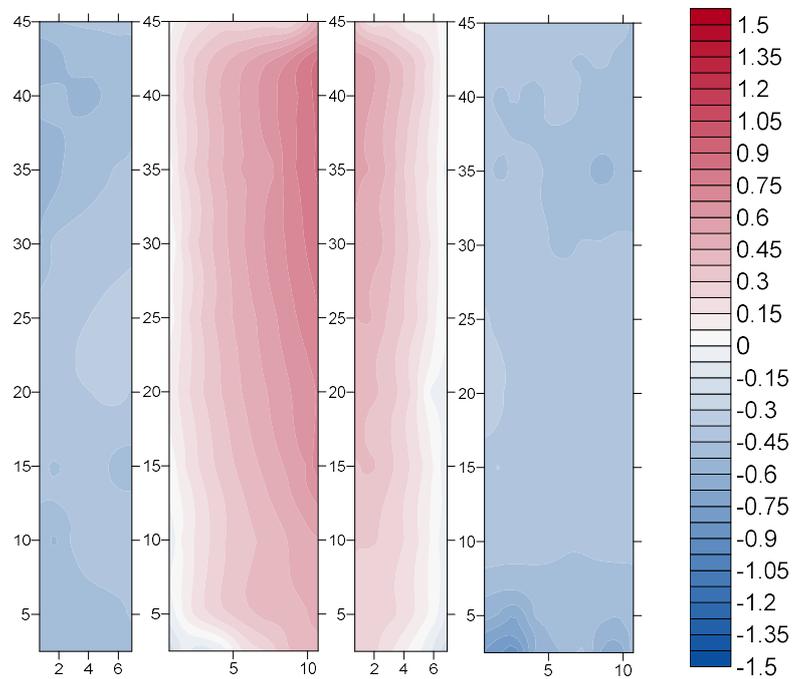


圖 4-13 平均風壓係數於 45 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

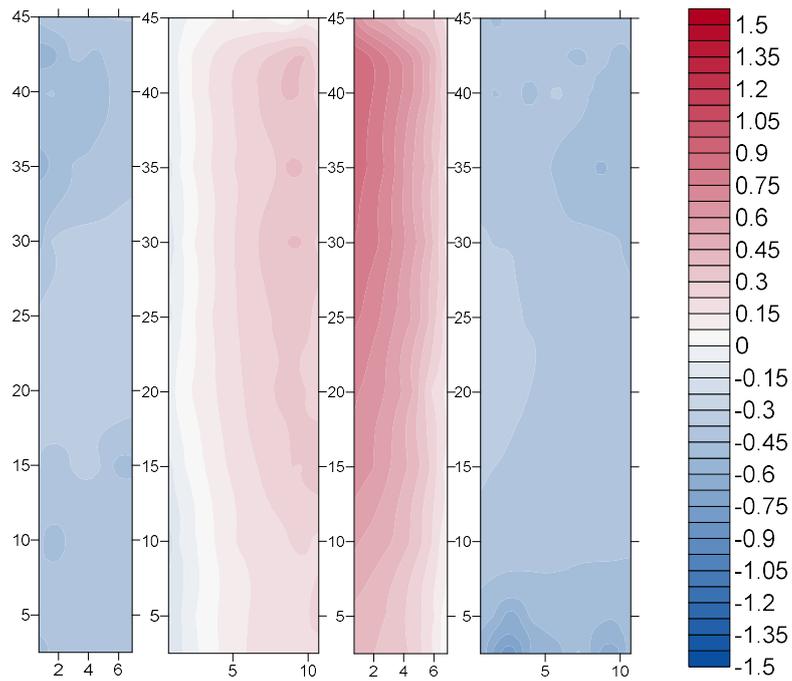


圖 4-14 平均風壓係數於 60 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

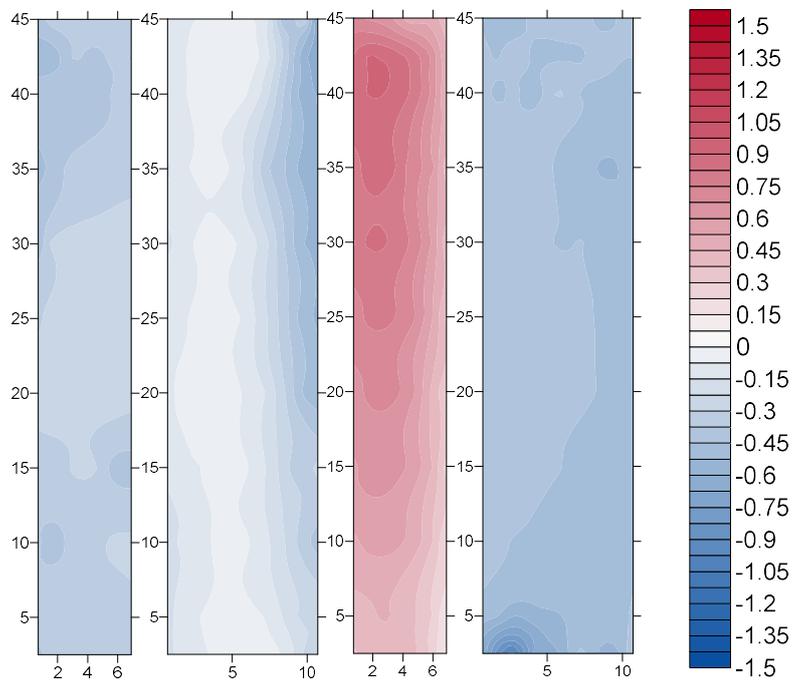


圖 4-15 平均風壓係數於 75 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

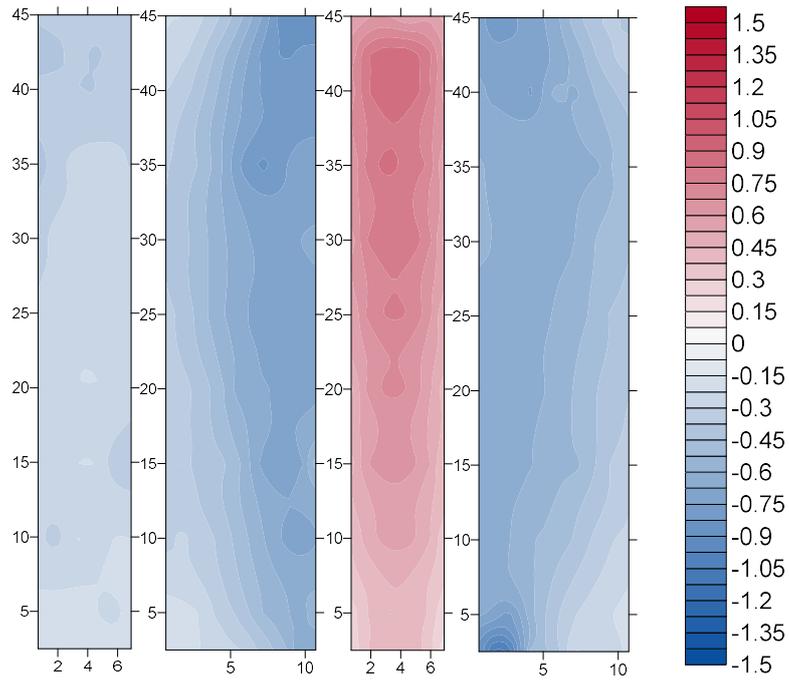


圖 4-16 平均風壓係數於 90 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

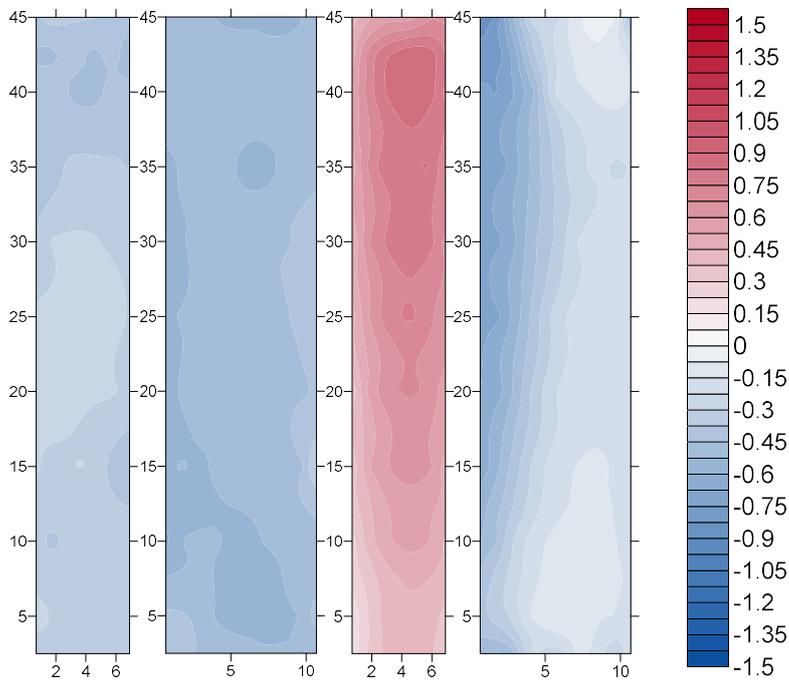


圖 4-17 平均風壓係數於 105 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

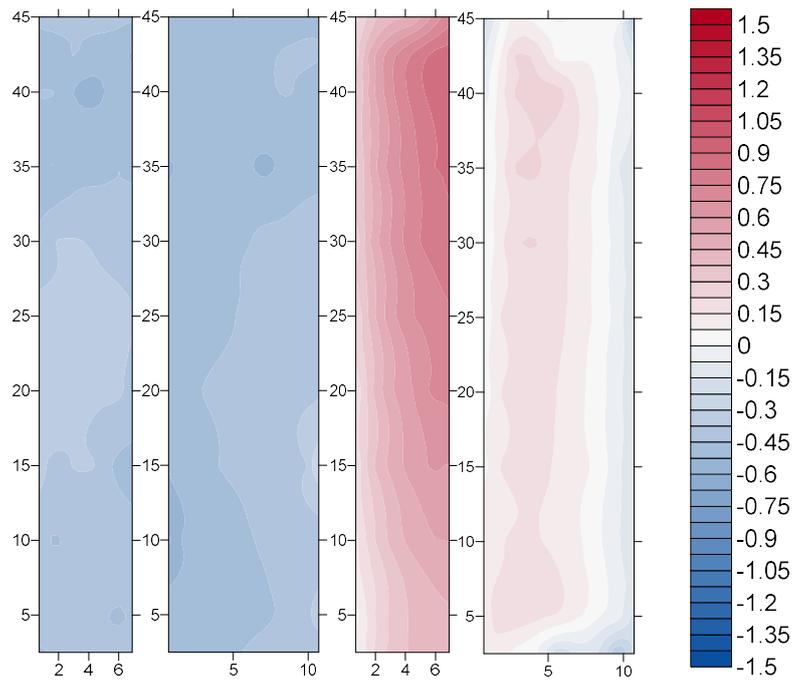


圖 4-18 平均風壓係數於 120 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

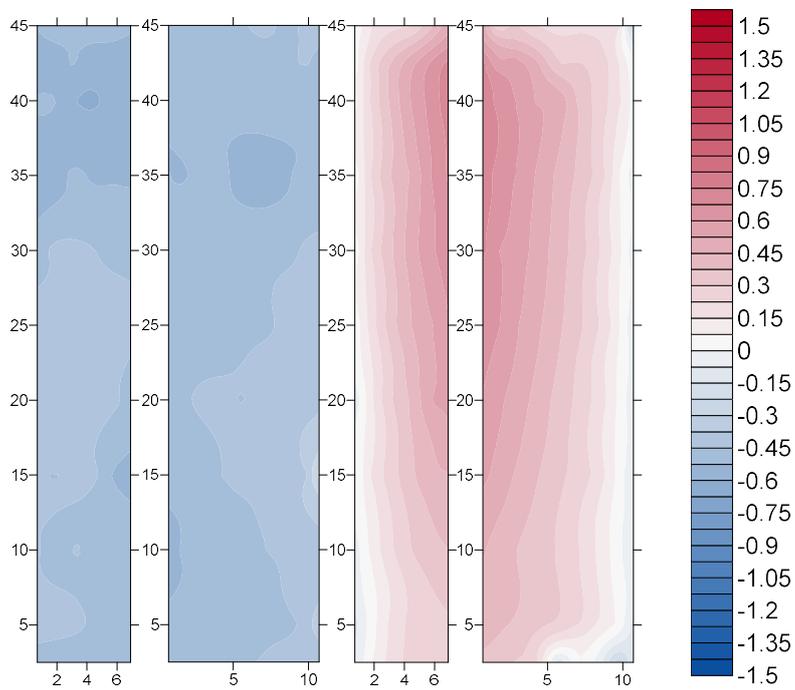


圖 4-19 平均風壓係數於 135 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

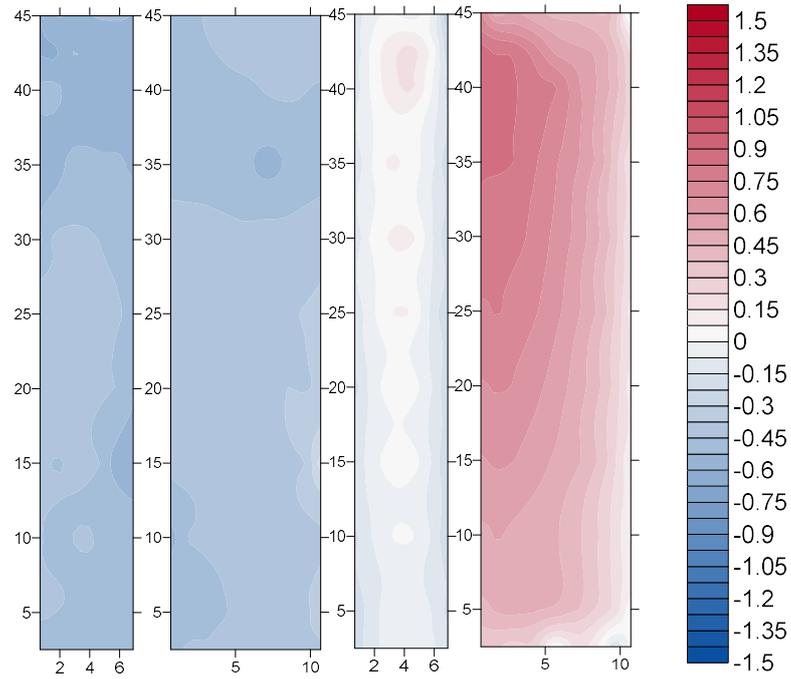


圖 4-20 平均風壓係數於 150 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

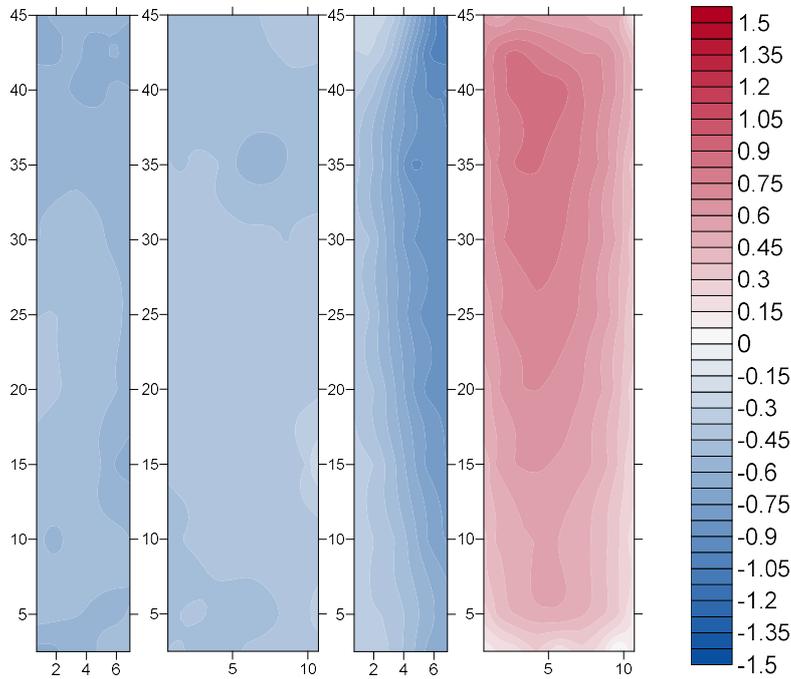


圖 4-21 平均風壓係數於 165 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

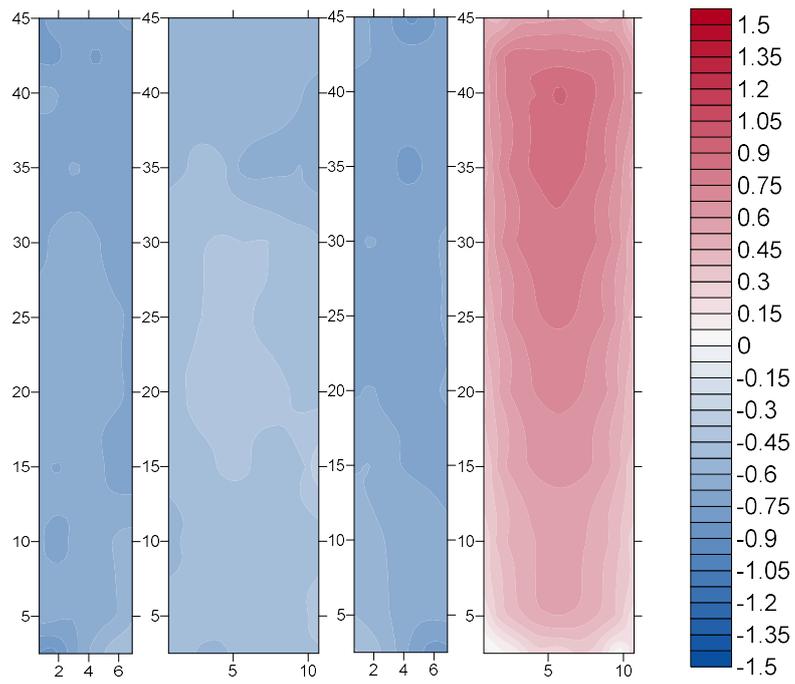


圖 4-22 平均風壓係數於 180 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

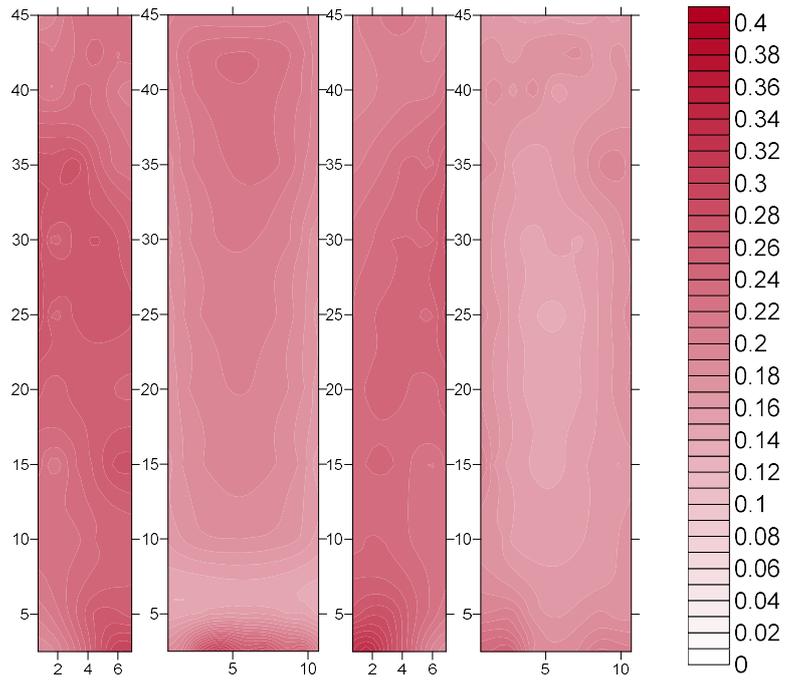


圖 4-23 擾動風壓係數於 0 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

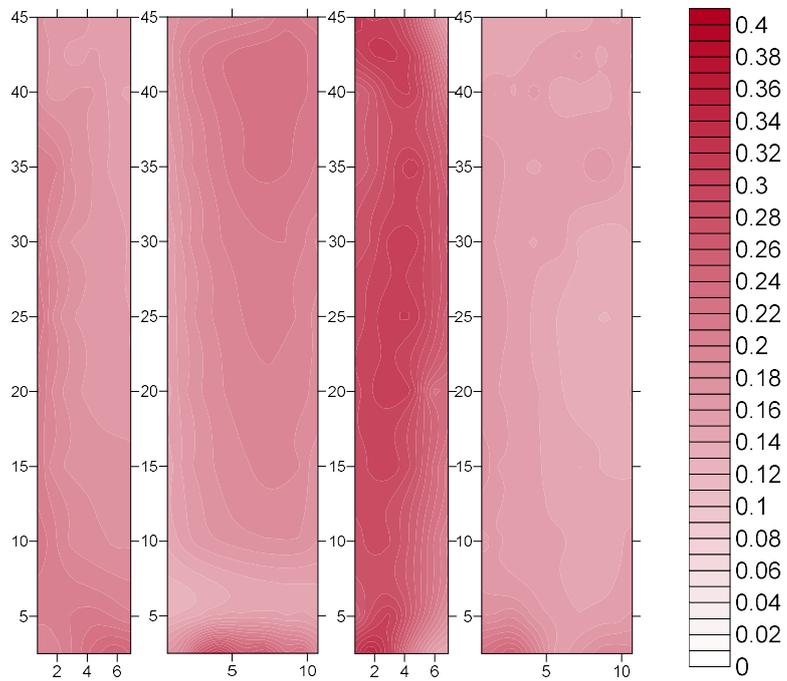


圖 4-24 擾動風壓係數於 15 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

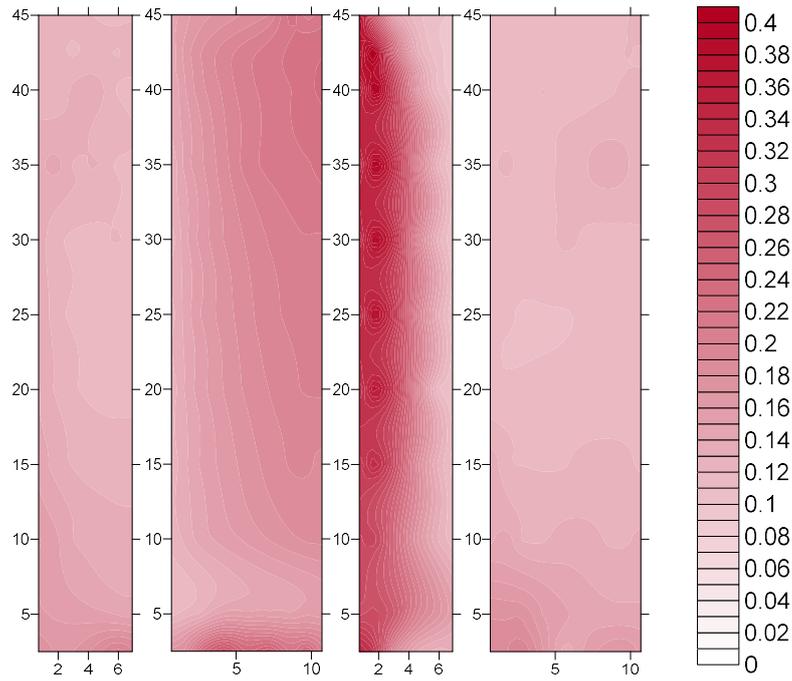


圖 4-25 擾動風壓係數於 30 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

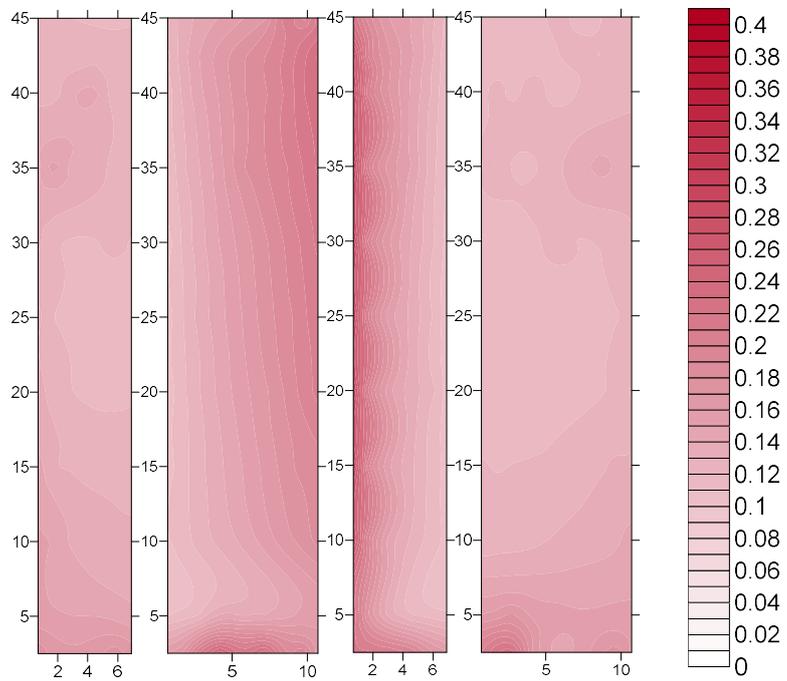


圖 4-26 擾動風壓係數於 45 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

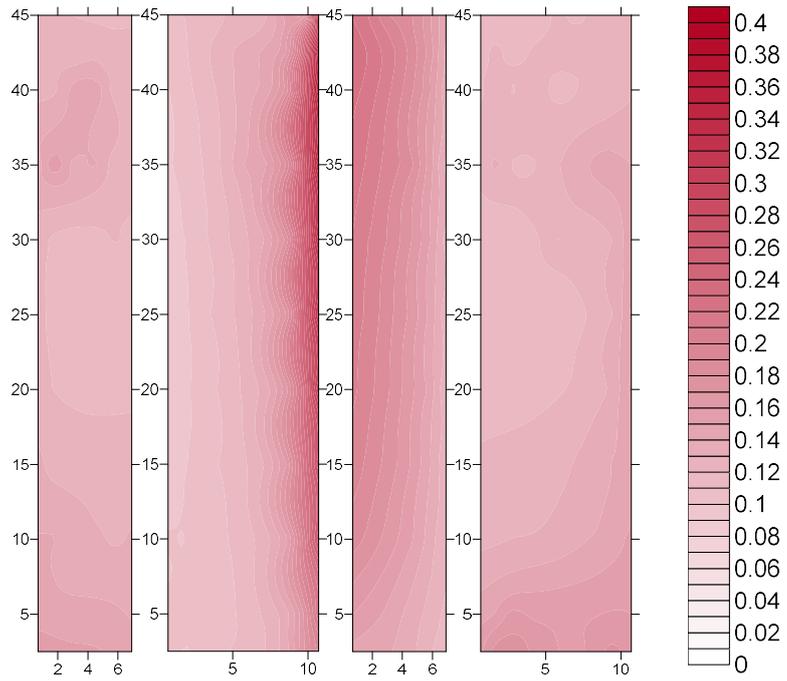


圖 4-27 擾動風壓係數於 60 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

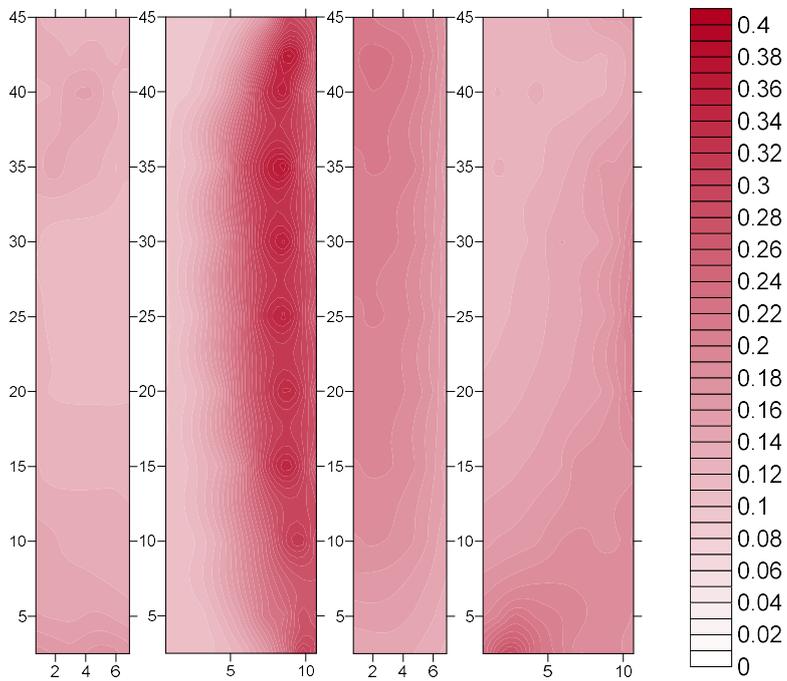


圖 4-28 擾動風壓係數於 75 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

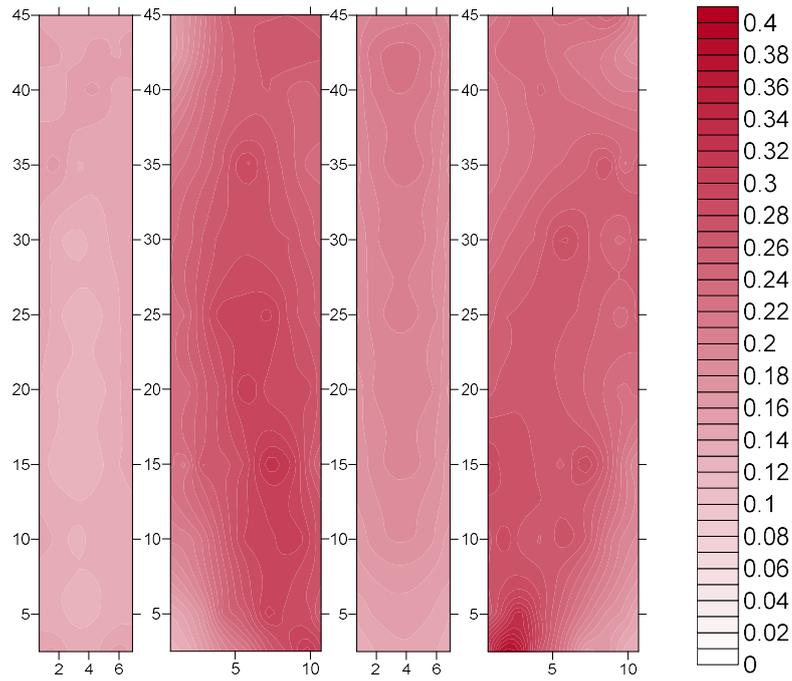


圖 4-29 擾動風壓係數於 90 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

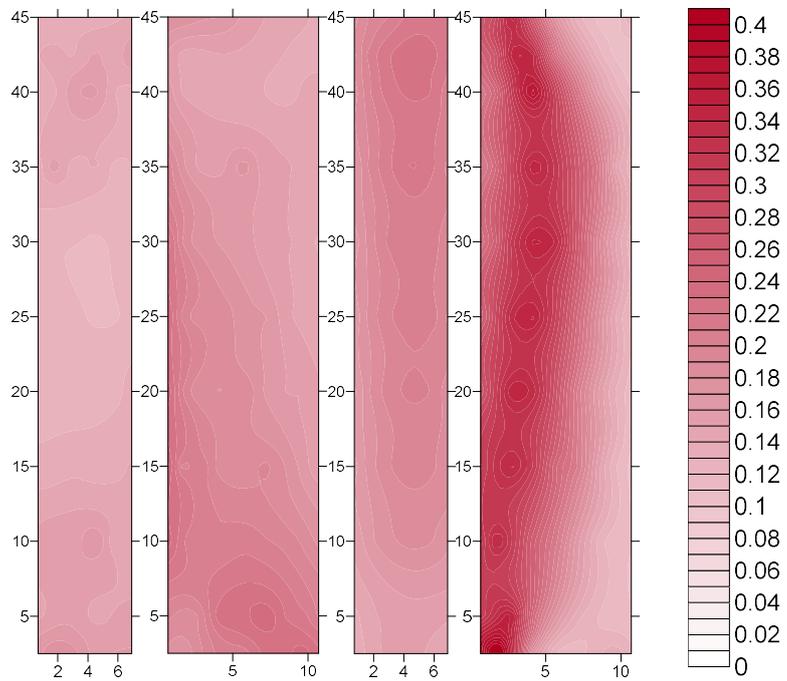


圖 4-30 擾動風壓係數於 105 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

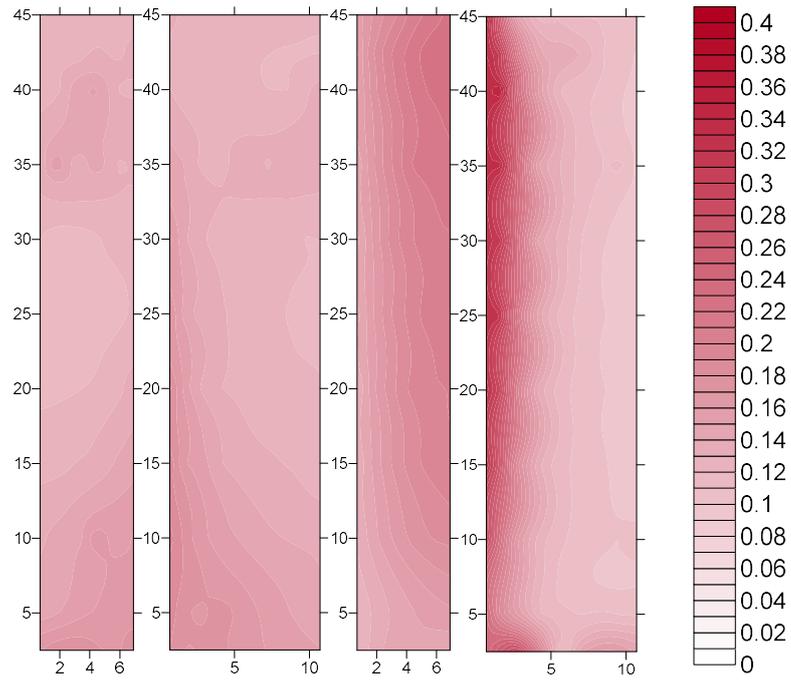


圖 4-31 擾動風壓係數於 120 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

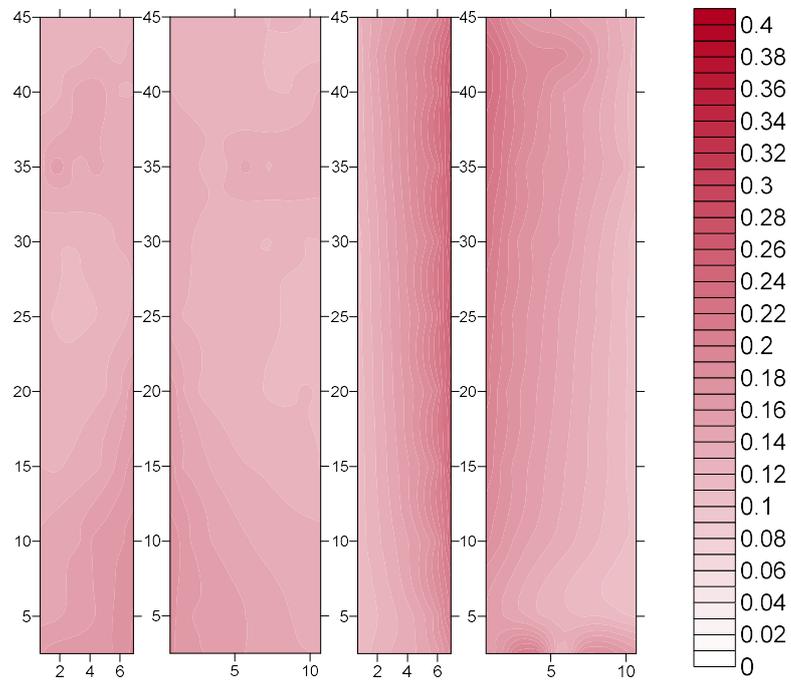


圖 4-32 擾動風壓係數於 135 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

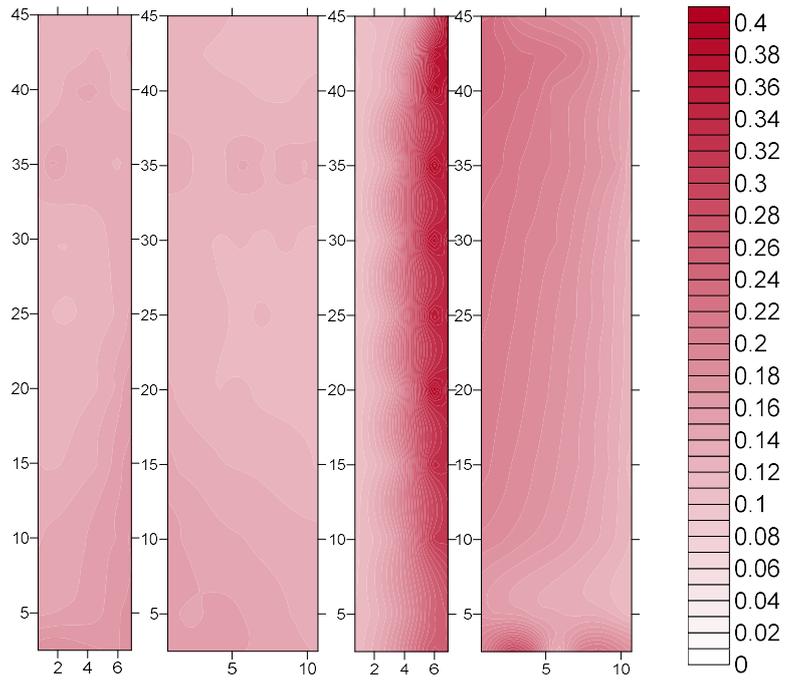


圖 4-33 擾動風壓係數於 150 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

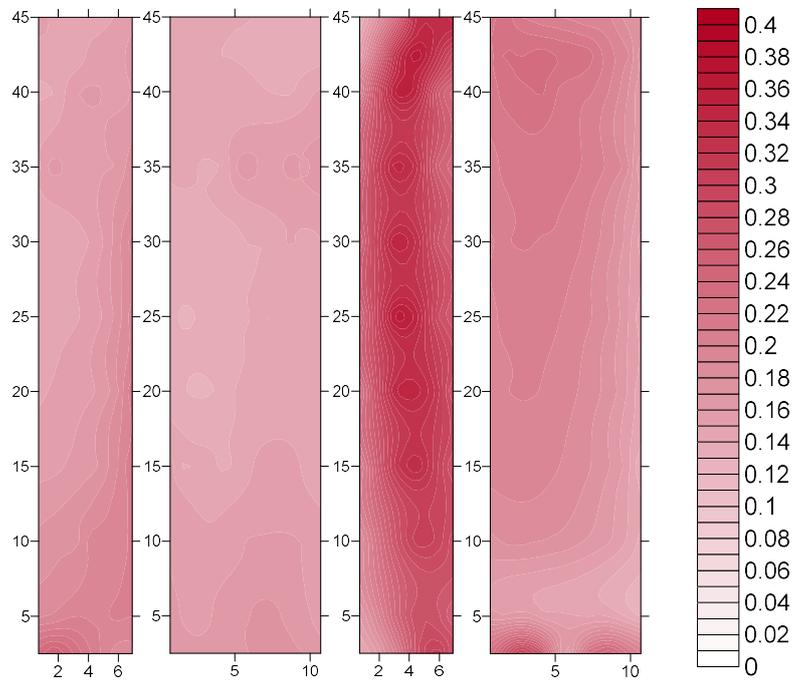


圖 4-34 擾動風壓係數於 165 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

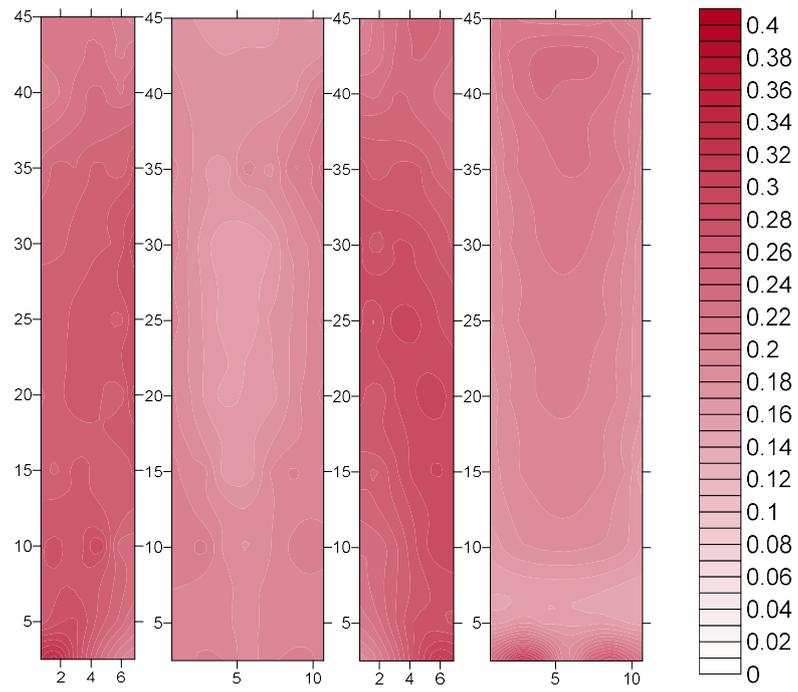


圖 4-35 擾動風壓係數於 180 度風攻角下之等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

第四節 雙斜屋頂低矮建築風洞實驗結果

4.4.1 雙斜屋頂低矮建築模型概述

本研究所採用的雙斜屋頂低矮建築物模型以壓克力板製作，採用之模型寬為 38.1 公分、深為 24.38 公分、高為 27.64 公分。量測所採用之風壓管線長均為 90 公分，分布範圍為四個側面以及兩個屋頂面，總共 446 個風壓孔。其模型照片及風壓孔位分布如圖 4-36 及圖 4-37 所示。

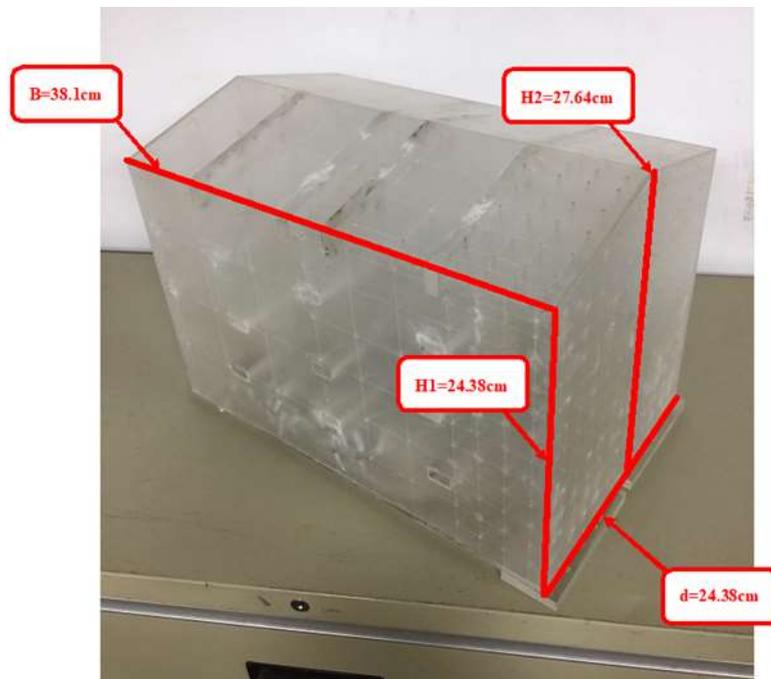


圖 4-36 低矮建物模型示意圖

資料來源：【本研究整理】

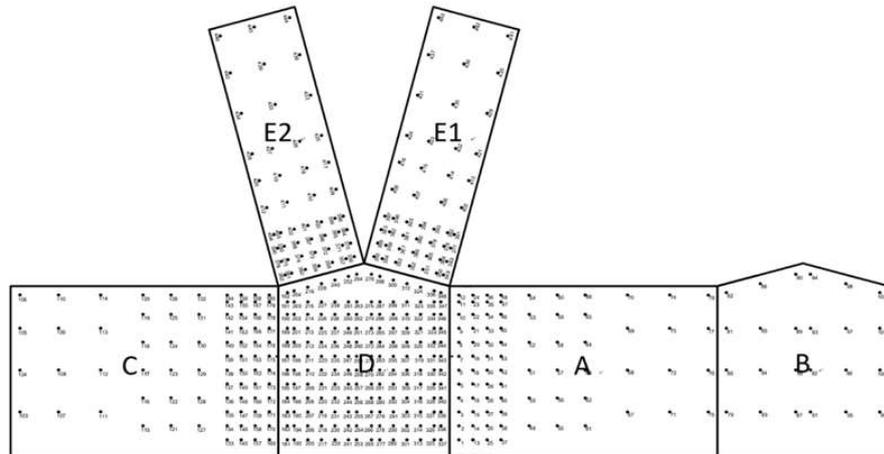


圖 4-37 低矮建物模型風壓孔位分布示意圖

資料來源：【本研究整理】

4.4.2 縮尺計算及採樣

實驗中長度縮尺是以假定低矮建物與風洞之高度比為 1/50，其換算之實際建物高為 13.825 公尺，再以新北測站之 C 地況設計風速 37.5 m/s 換算實際建物高之設計風速 39.37 m/s，其計算出之值與風洞實驗模型建物高的風速為 8.7 m/s。則得到其比例約為 1/4.525。再依據速度為長度除以時間之概念，即可換算出時間縮尺為 1/11.05，換言之，在實驗室量測的 1 秒為實場量測之 11.05 秒的概念。

實驗採用 Scanivalve 電子壓力掃描器進行風壓取值，採樣頻率為 300 Hz，每筆採樣時長為 92.30856 分鐘，採樣長度為 1,661,554 個數據點。本實驗在得到採樣數據後經過以下幾個步驟去做處理：(1)將所得到之低矮建物模型的原始數據做二進位轉十進位後，再進行管線失真的校正得到風壓歷時，接著以皮托管測量到之模型高的動壓與靜壓進行無因次化獲得風壓係數歷時之數據；(2)將得到之每個風壓孔的風壓歷時數據去做平均、擾動、偏態、峰態、最大、最小之極值計算；(3)接著以每個風壓孔之最大、最小風壓係數以及氣象局之處理過之風速資料去帶入設計風載重之計算，求得設計風載值。

4.4.3 平均風壓係數分布

圖 4-38 至 4-44 為 15 度雙斜屋頂低矮建築物在標準 B 地況下，大樓六個面展開的平均風壓係數等高線分布圖。由圖中的角度變化可以看到很明顯的平均風壓係數緩慢地變化。為了滿足低矮建築物的縮尺比例計算，低矮建築物採用 C 地況作為流場且於內政部建築研究所較高風速的風洞實驗室中進行表面風壓量測。其結果顯示風壓量測應可確保後續的極值樣本無誤。另外，風壓量測進行時為一長時間連續量測，後續分析時方分段進行極值的選取。

4.4.4 擾動風壓係數分布

圖 4-45 至 4-51 為 15 度雙斜屋頂低矮建築物在標準 B 地況下，大樓六個面展開的擾動風壓係數等高線分布圖。由圖中的角度變化可以看到很明顯的平均風壓係數緩慢地變化。由圖中可以明顯看到極大的擾動值發生於具有風向角時屋頂靠近牆面的尖角處。

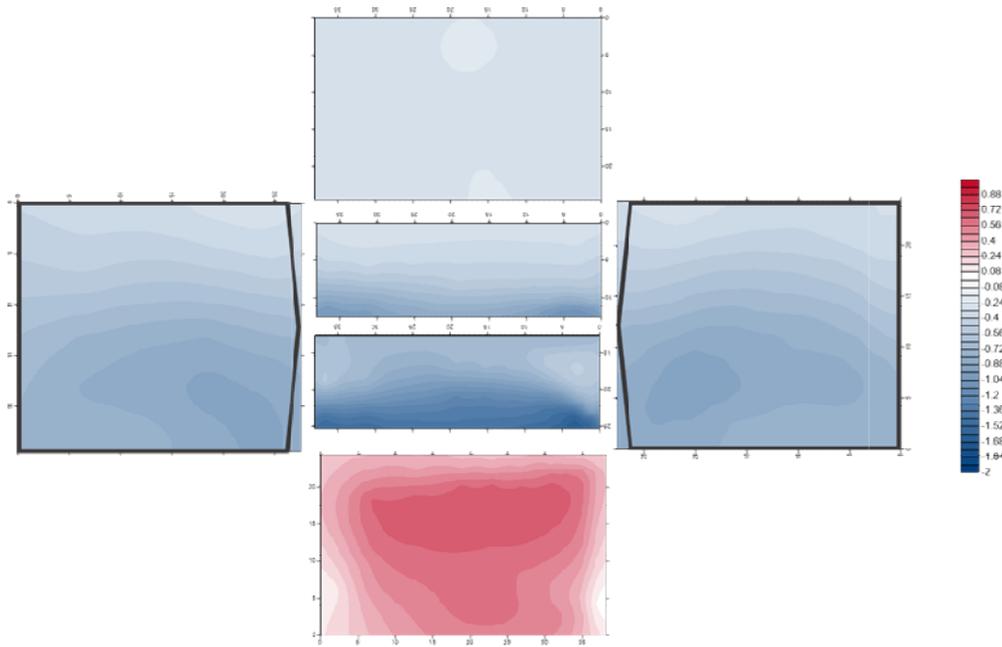


圖 4-38 平均風壓係數於 0 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

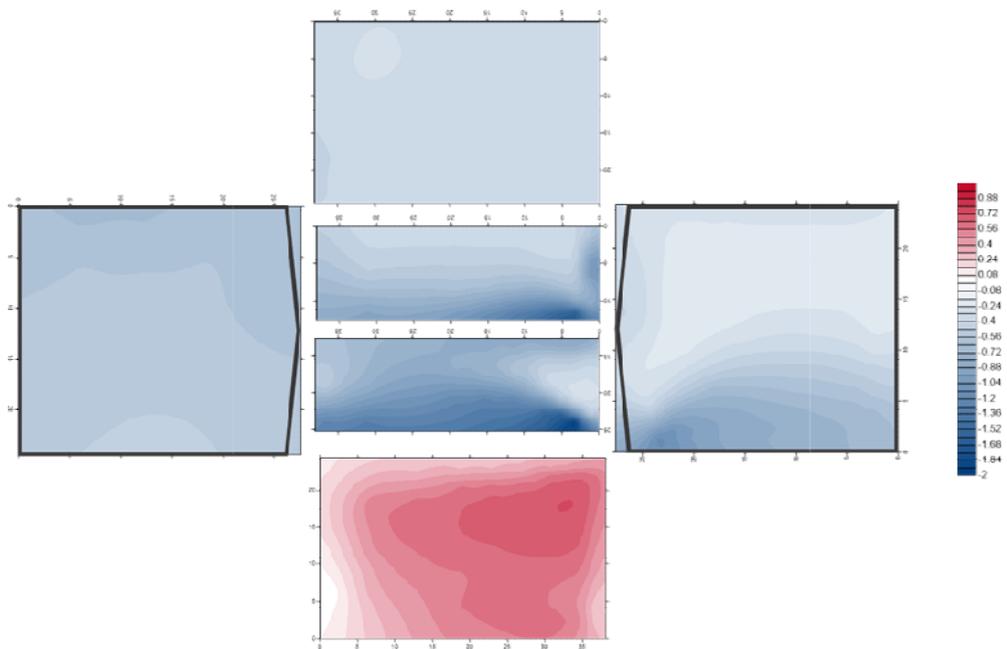


圖 4-39 平均風壓係數於 15 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

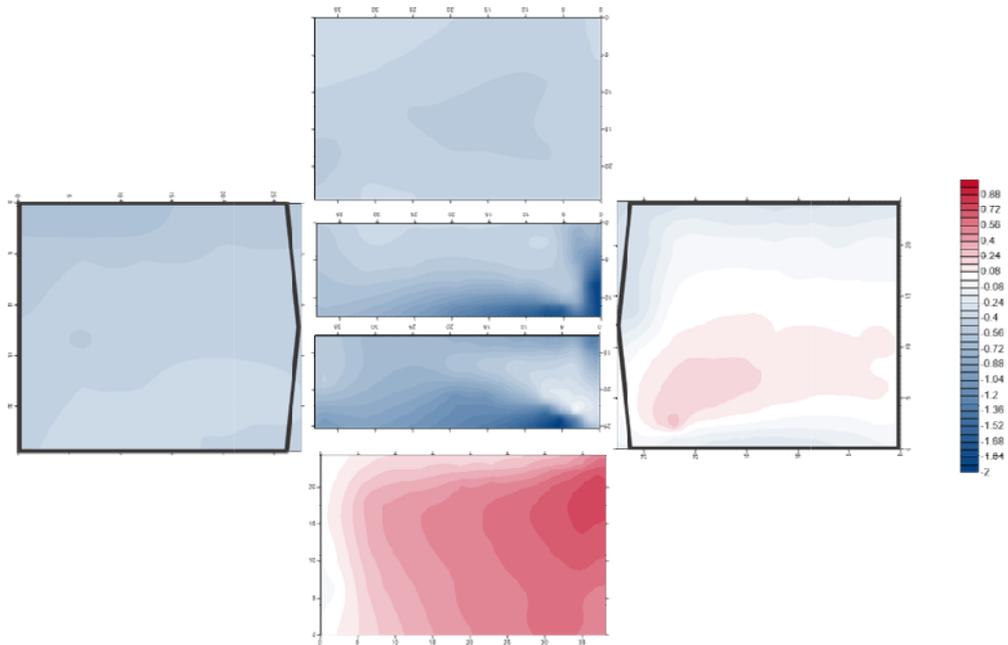


圖 4-40 平均風壓係數於 30 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

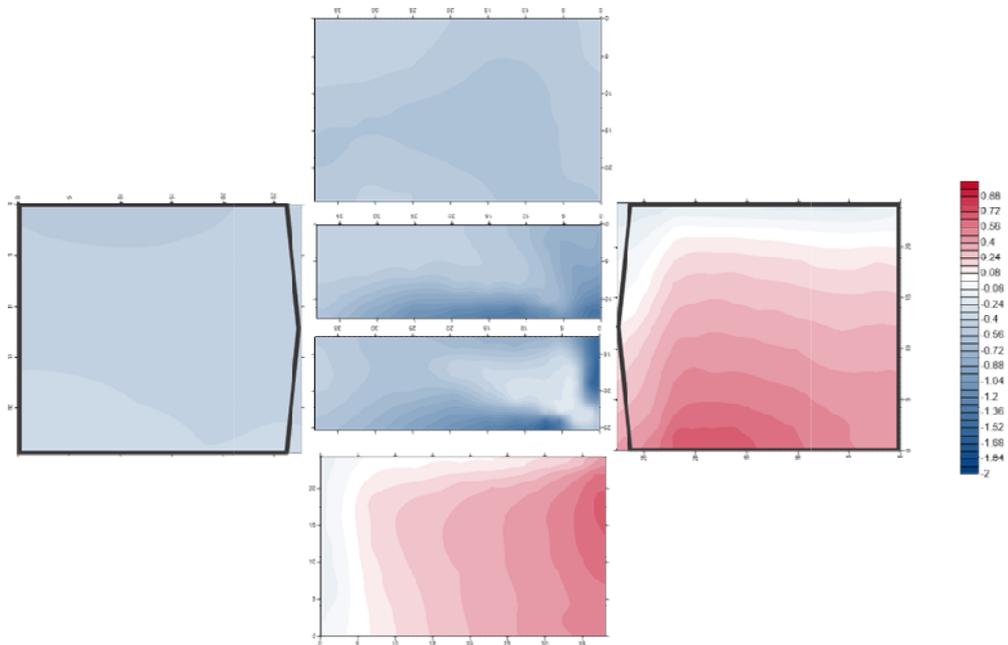


圖 4-41 平均風壓係數於 45 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

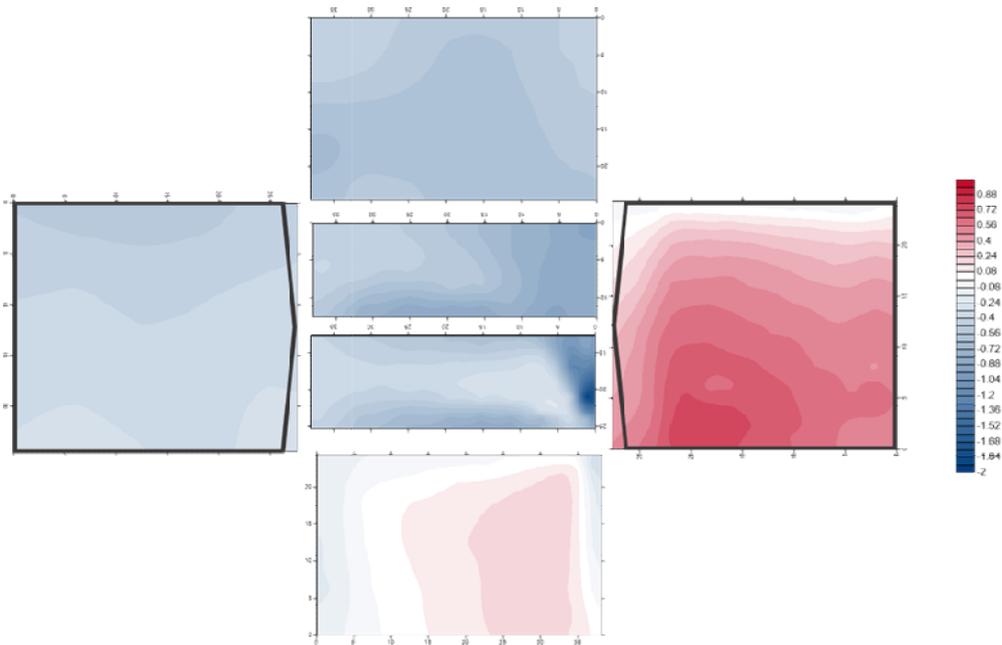


圖 4-42 平均風壓係數於 60 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

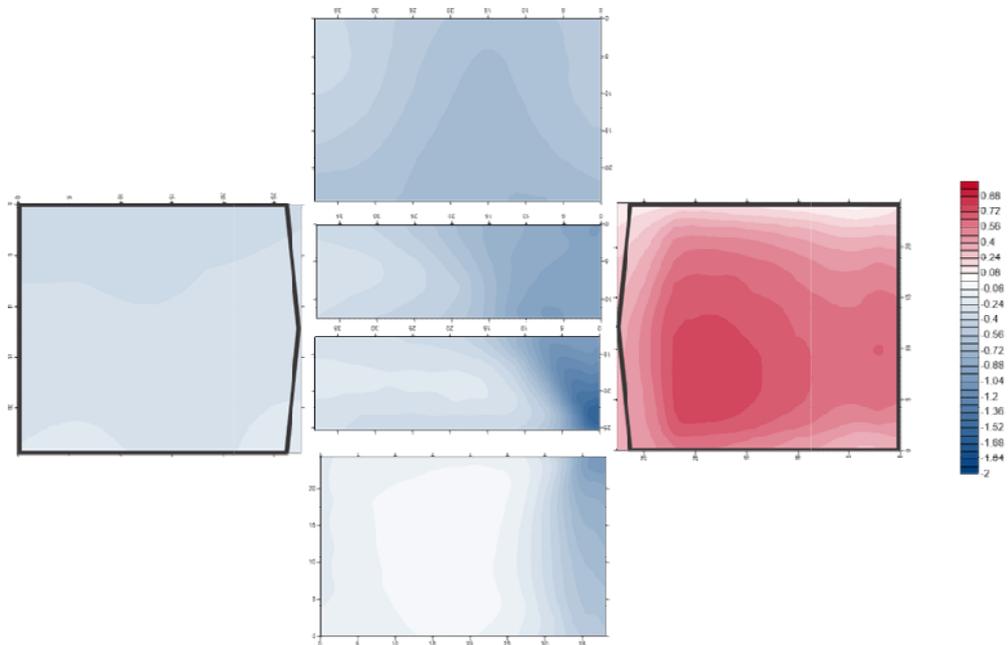


圖 4-43 平均風壓係數於 75 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

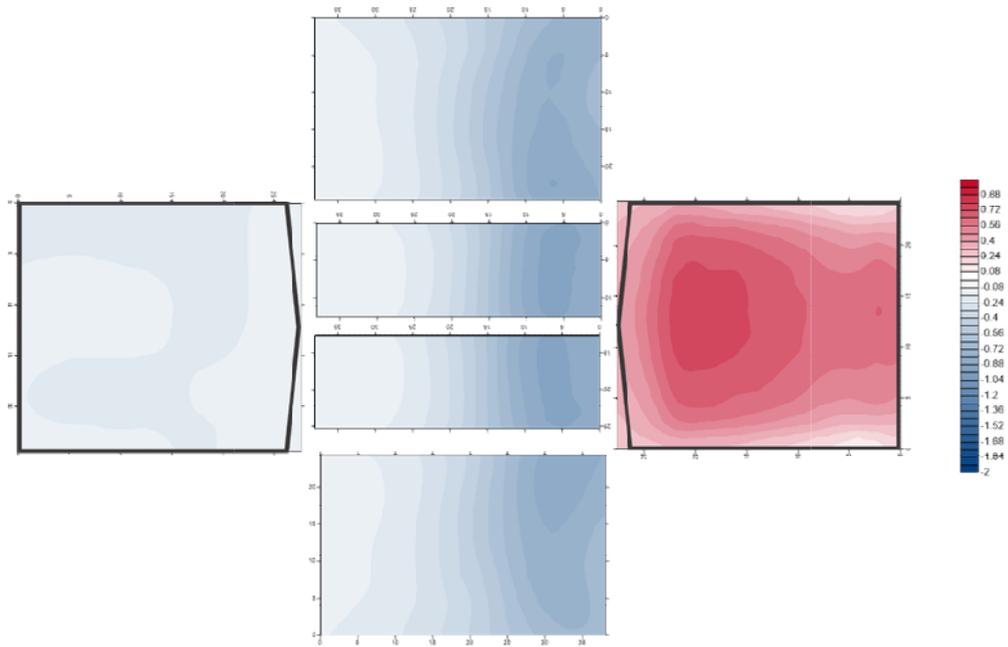


圖 4-44 平均風壓係數於 90 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

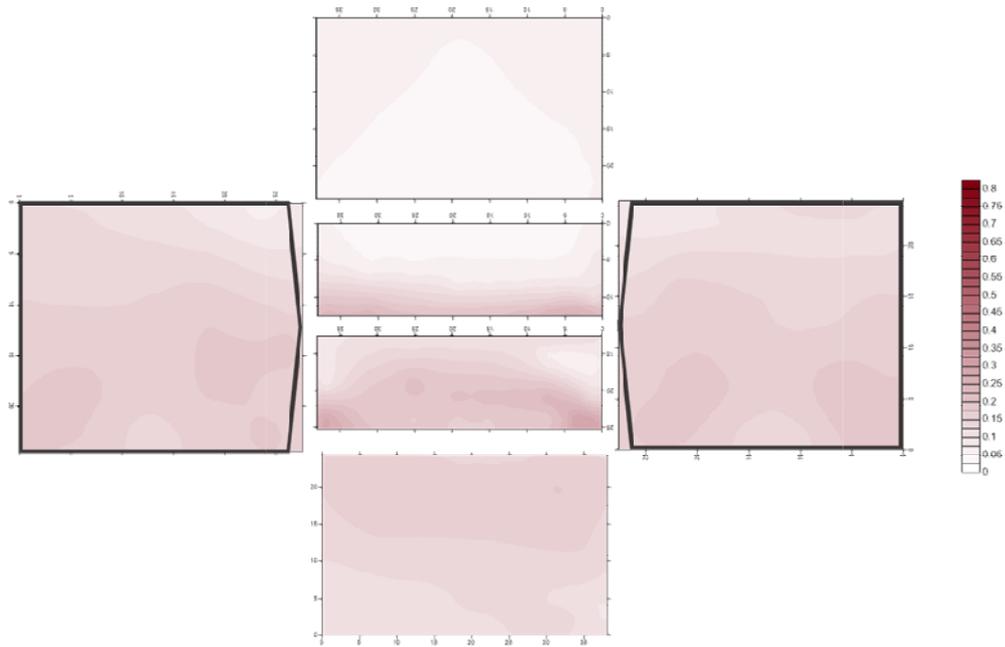


圖 4-45 擾動風壓係數於 0 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

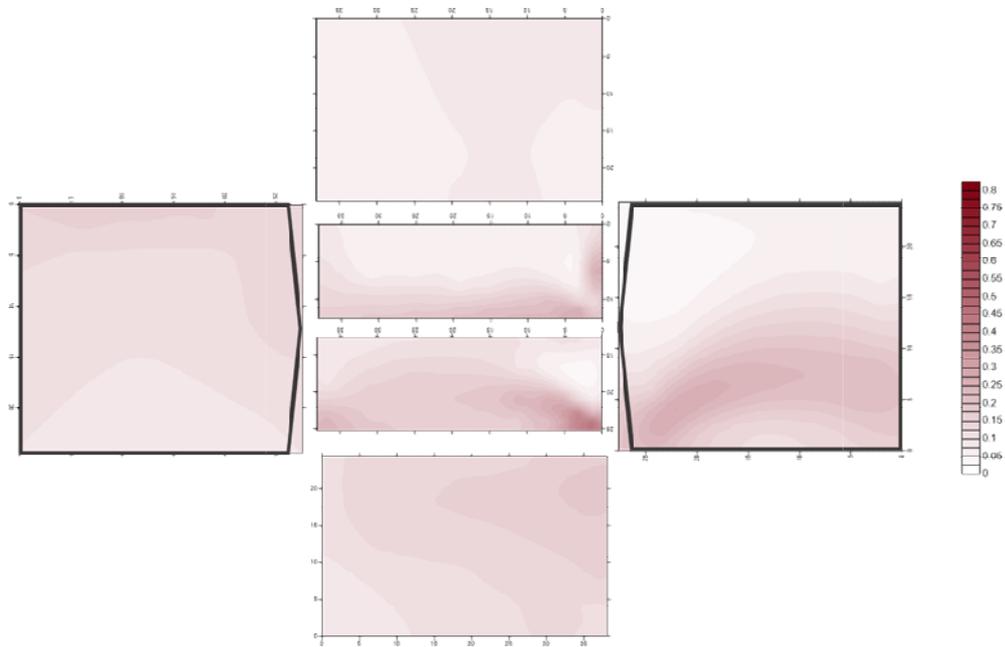


圖 4-46 擾動風壓係數於 15 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

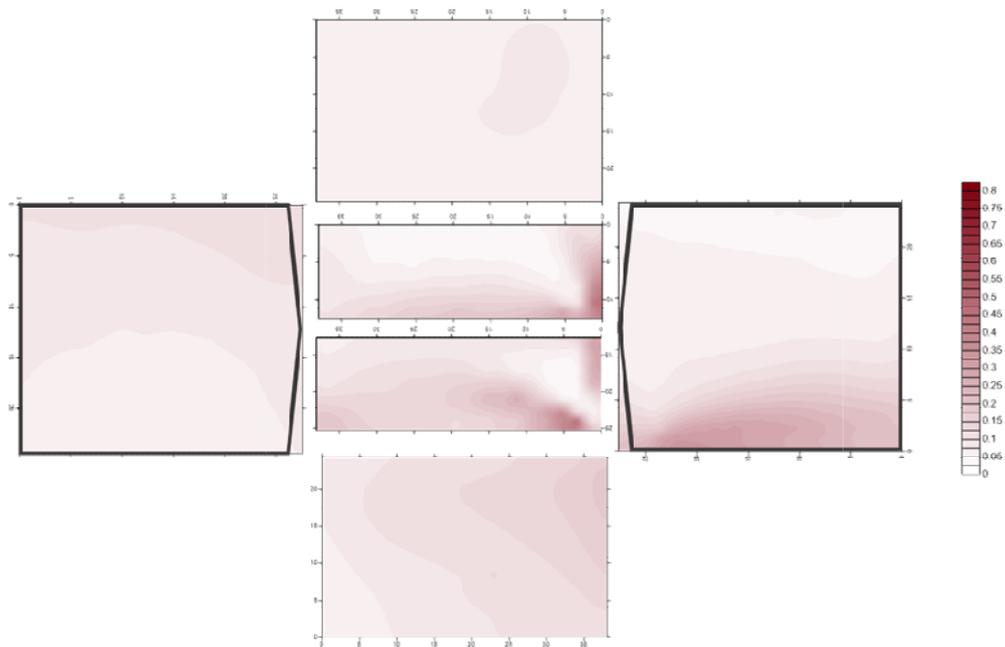


圖 4-47 擾動風壓係數於 30 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

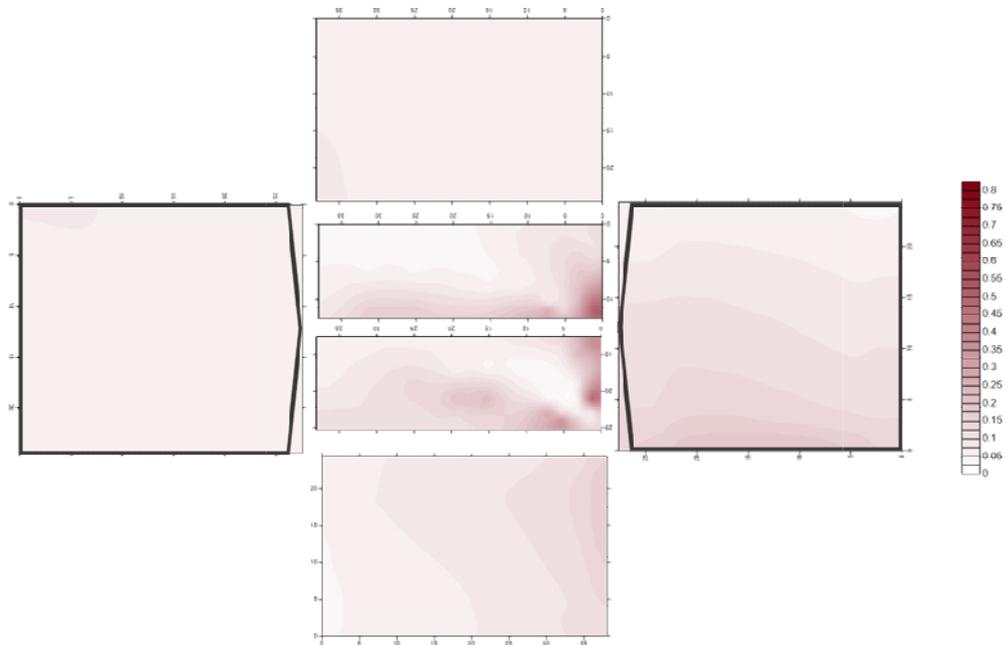


圖 4-48 擾動風壓係數於 45 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

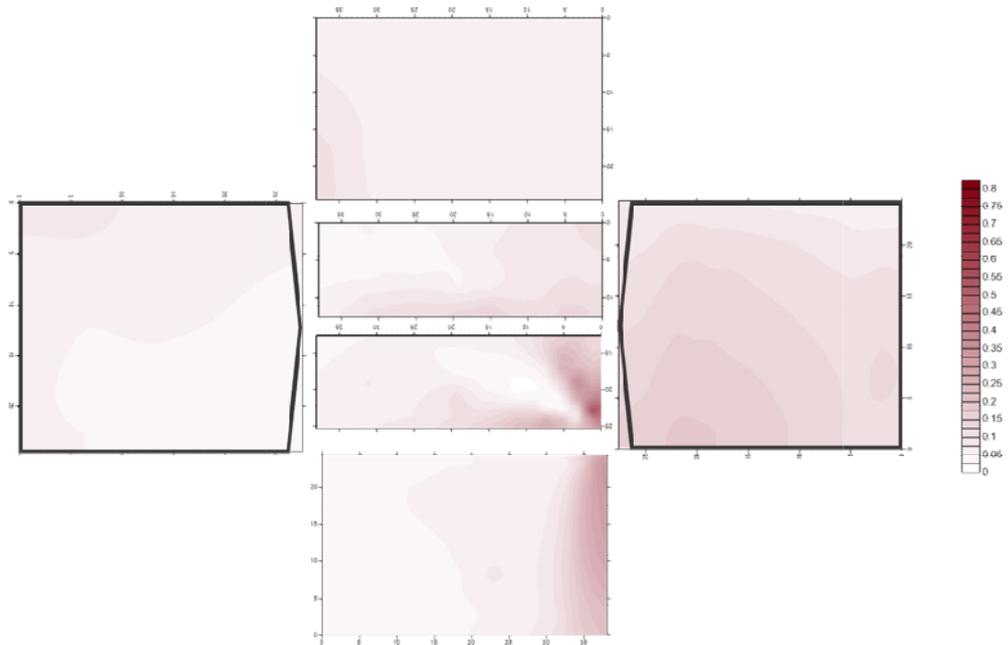


圖 4-49 擾動風壓係數於 60 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

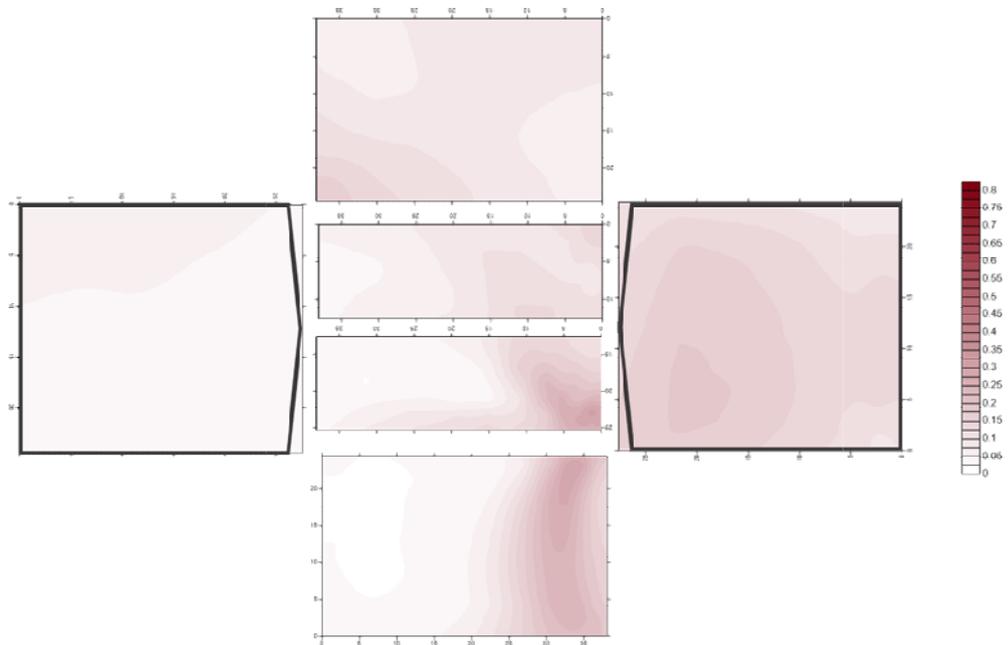


圖 4-50 擾動風壓係數於 75 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

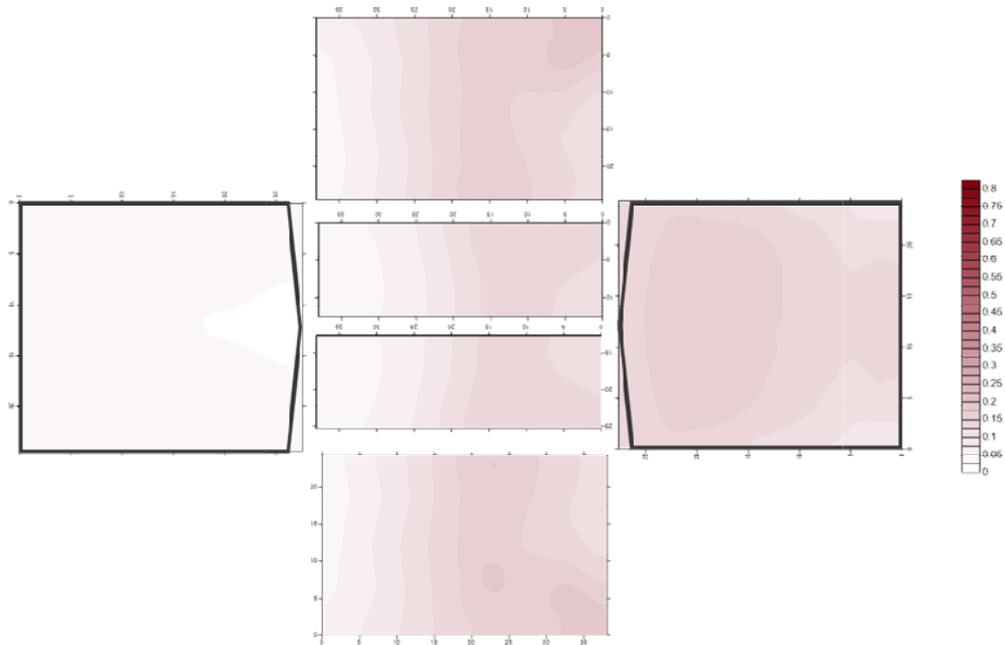


圖 4-51 擾動風壓係數於 90 度風攻角下等高線分布圖(B→A、E1、E2、C→D)

資料來源：【本研究整理】

第五節 綜合討論

整合我國本土氣候特性與風洞實驗結果時，可以根據第二章理論背景來進行非超越機率百分比的估算，而不需實際計算其詳細的設計風壓係數。舉例來說，圖 4-52 及圖 4-53 為 CAARC 大樓模型於 0 度風攻角下的形狀參數、變異數等高線分布圖。根據第二章內容可以得知，影響設計風載重最為重要的四個因素中，包含極值風壓係數的極值分布型態(形狀參數 τ_c)以及變異係數 $cov(c)$ 。CAARC 大樓模型所量測的六十筆實場一小時的監測數據中，以一秒移動平均方式在每一筆小時的紀錄中擷取最大、最小值。接著利用平均值的正、負與否來判斷採用最大風壓係數或最小風壓係數來進行極值曲線的擬合，估算其形狀參數並計算其變異係數。由圖 4-52 中可以發現大部分的風壓孔所顯示的形狀參數落在-0.2 至 0.2 之間，較少數會有絕對值超過 0.3 的狀況。若以圖 5-54 中所顯示的不同形狀參數之極值分布曲線來看，則可以看到在非超越機率百分比 50%-90%範圍內，形狀參數改變並不影響對應的約化變數(Reduced Variate)多少。換言之，採用甘保分布來擬合極值風壓係數應可接受。另一方面，變異係數的變化則在 0 至 0.25 之間，相對於文獻中低矮建築物情況較低，換言之，其極值分布較為集中。

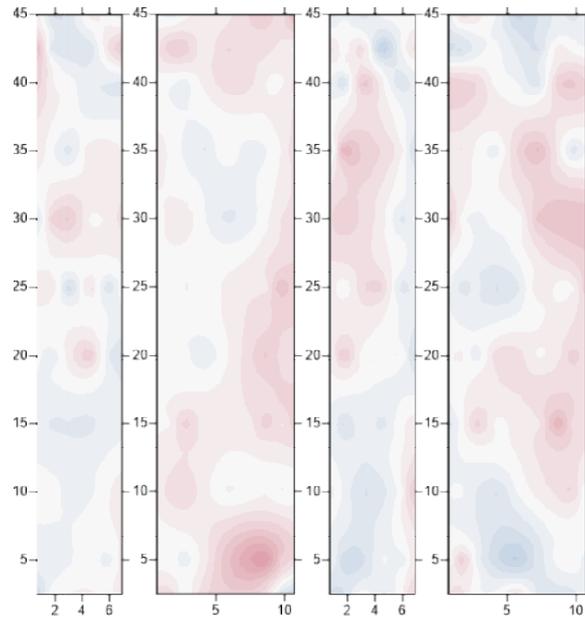


圖 4-52 極值風壓係數於 0 度風攻角下之形狀參數等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

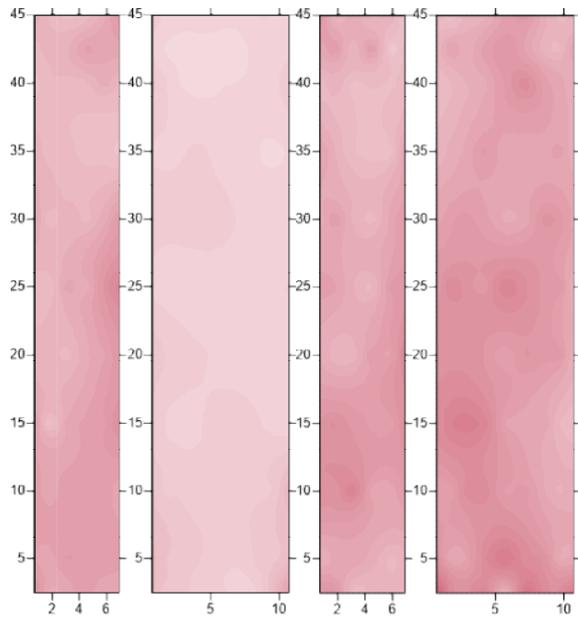


圖 4-53 極值風壓係數於 0 度風攻角下之變異係數等高線分布圖(D→A→B→C)

資料來源：【本研究整理】

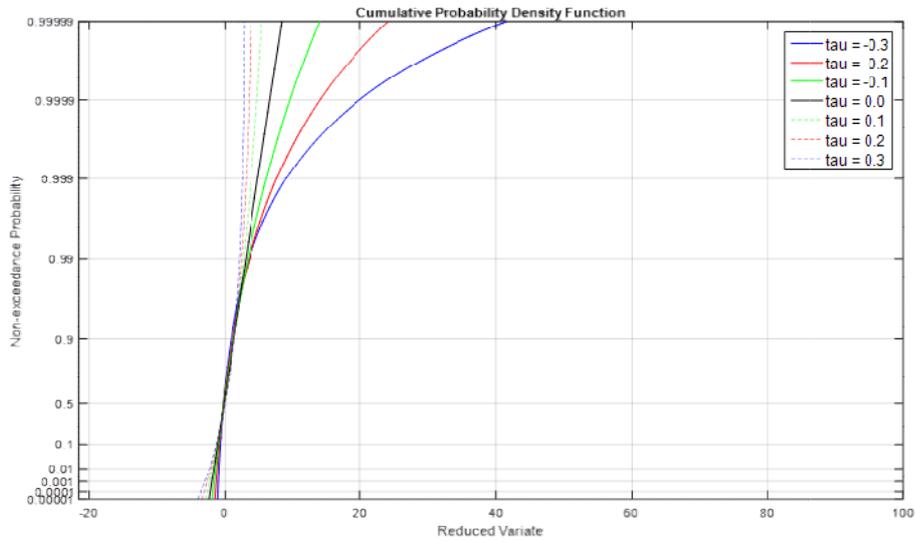


圖 4-54 不同形狀參數的極值分布函數於非超越機率百分比的分布圖(圖中 tau 即為 τ)

資料來源：【本研究整理】

為了全面了解究竟訂定多少非超越機率百分比適合我國規範訂定設計風壓係數所使用，有必要考量更多因素進行比較分析。以下分別針對本章前兩節所採用的 CAARC 大樓模型、低矮建築模型，配合我國 30 個人工測站，進行非超越機率百分比的估算。首先根據我國規範中針對此兩類建築物模型進行分區，如圖 4-55 及圖 4-56 的分區示意圖，亦將兩模型的表面分區進行探討。再者，採用多個角度的風洞實驗結果進行比較，納入因風向角改變而導致的變化。最後，則納入 30 個人工測站的極值風速變異數進行估算。

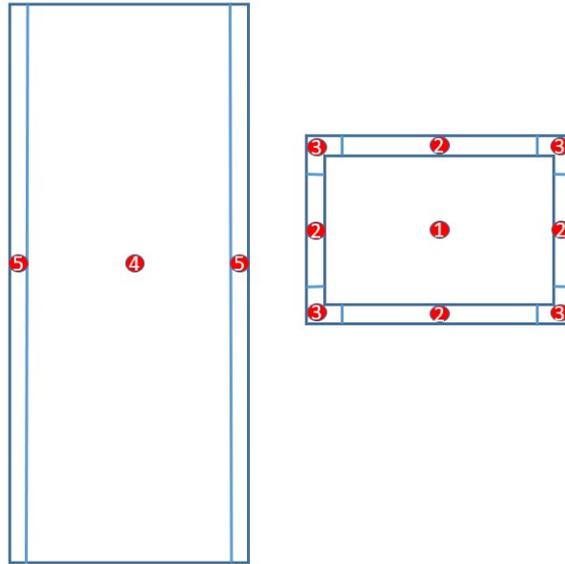


圖 4-55 CAARC 大樓模型分區示意圖

資料來源：【本研究整理】

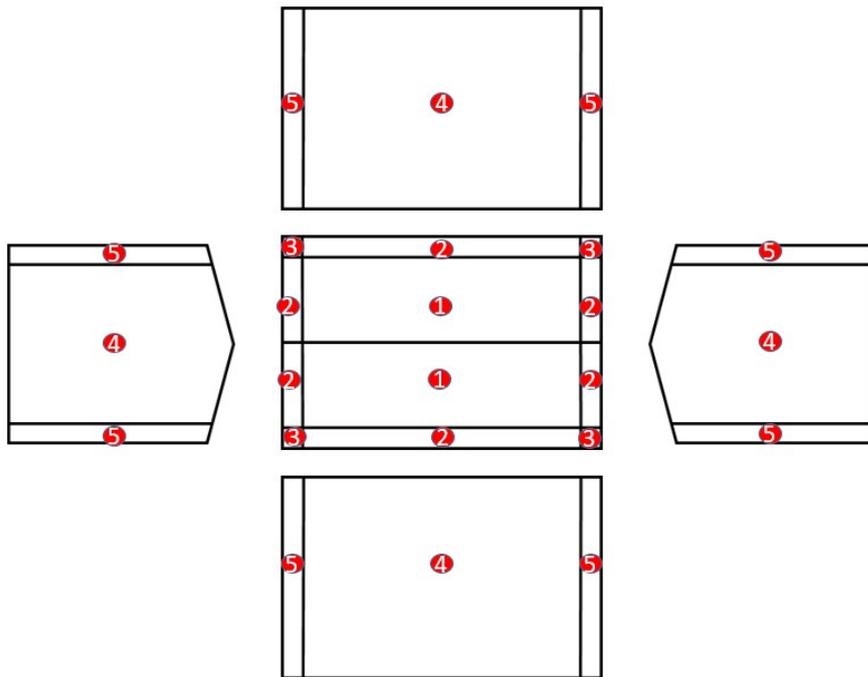


圖 4-56 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區示意圖

資料來源：【本研究整理】

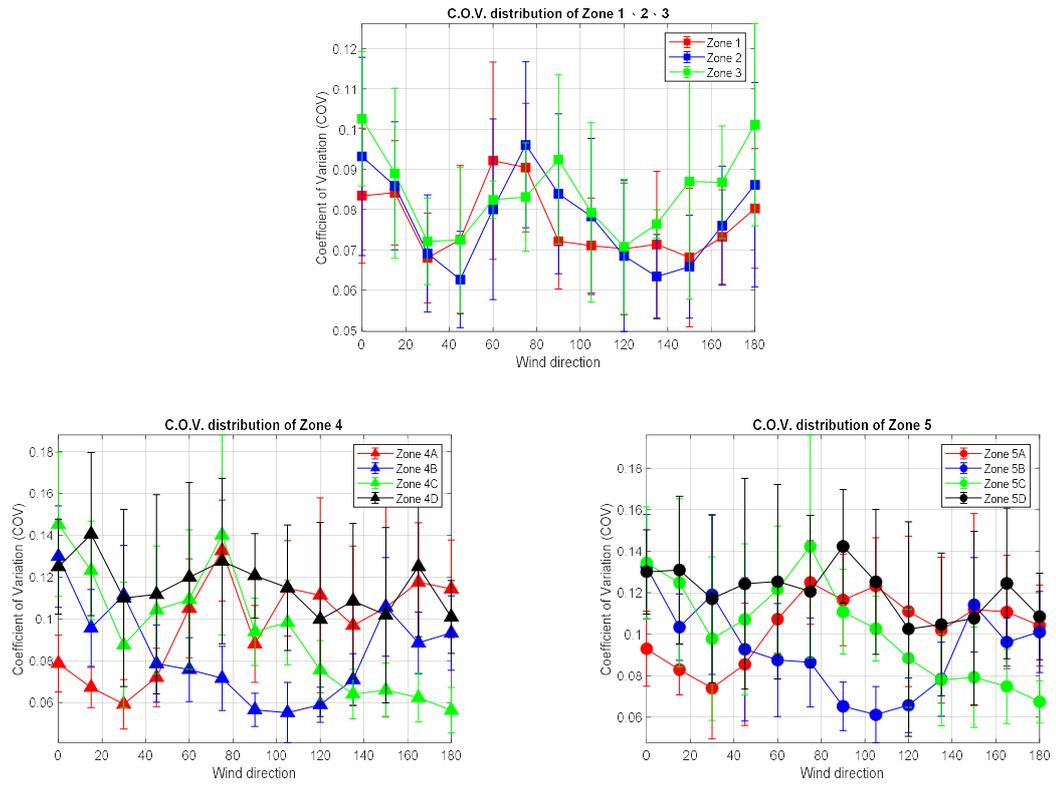


圖 4-57 CAARC 大樓模型分區的變異數分布範圍

資料來源：【本研究整理】

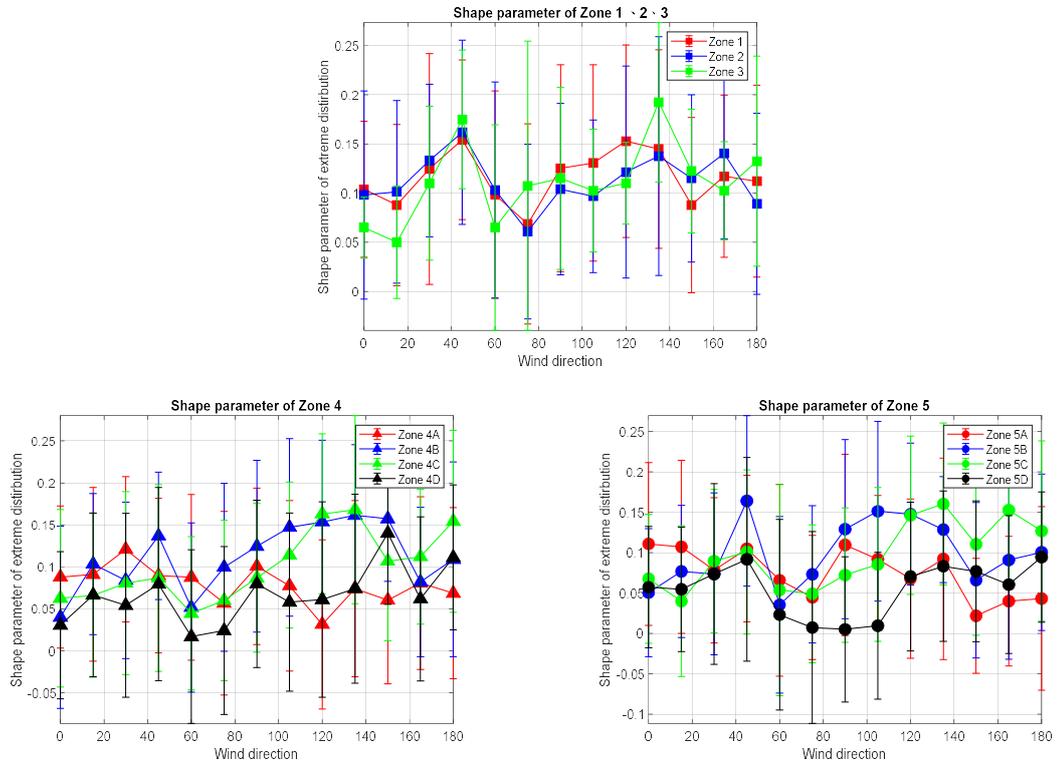


圖 4-58 CAARC 大樓模型分區的形狀參數分布範圍

資料來源：【本研究整理】

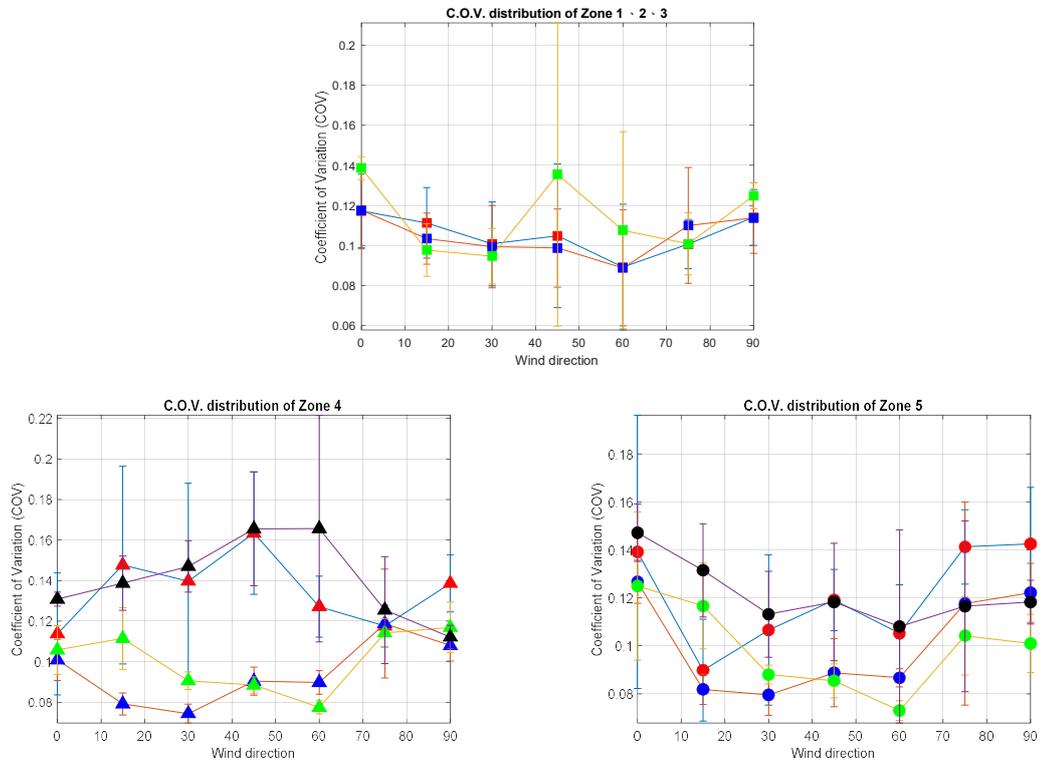


圖 4-59 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的變異數分布範圍

資料來源：【本研究整理】

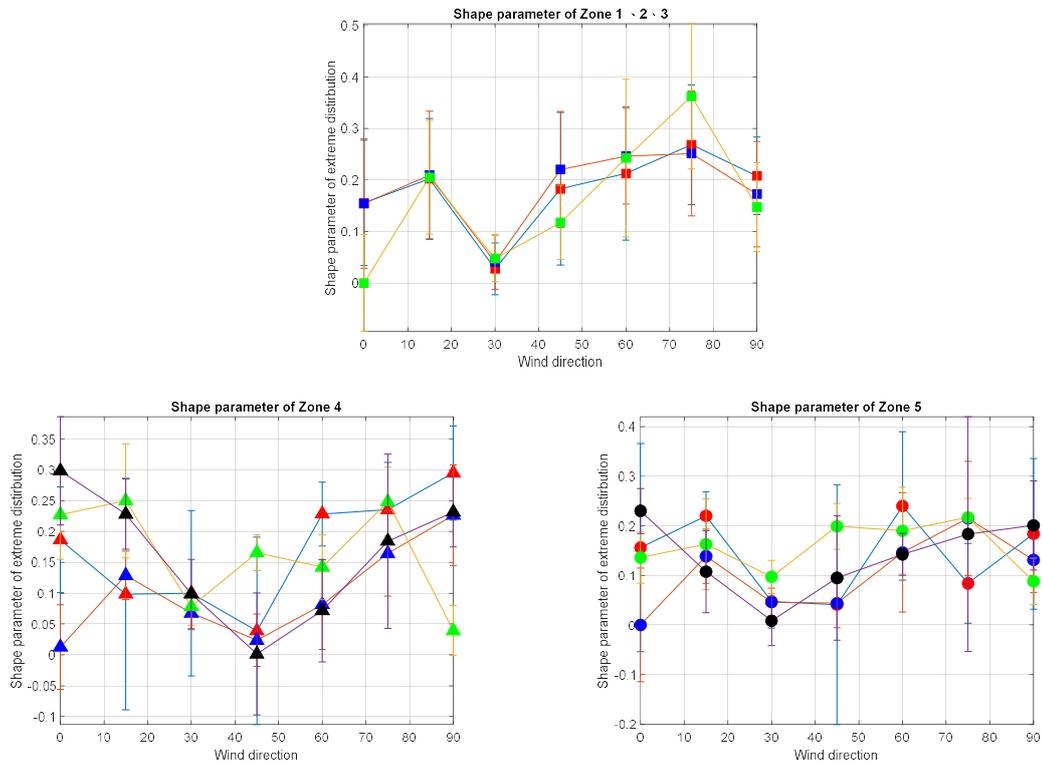


圖 4-60 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的形狀參數分布範圍

資料來源：【本研究整理】

圖 4-57、4-58、4-59、4-60 則分別表示為兩模型的極值風壓係數的變異數分布範圍以及形狀參數分布範圍。比較兩模型的變異數分布範圍以及形狀參數分布範圍可以發現，低矮建築物模型的範圍稍微較高層建築物模型的結果為高，然而十分有限。首先可以歸納出即便是不同形狀的建築物模型，其極值風壓係數的變異係數範圍大致上在 0.3 以內，有少許局部超過 0.3，但整體來說應該可以假設為平均值約 0.2 左右。此假設若與 Cook and Mayne 所採用的低矮建築物模型結果相比，相去不遠。另一方面，形狀參數也是低矮建築物模型稍微高一些，但是相差有限。若考量到圖 4-54 對於分

布函數尾巴性狀對設計值的影響，以及考慮到實際操作時的便利性，可以直接假設極值風壓係數分布為甘保分布，亦即 τ_c 為 0。

圖 4-61 及圖 4-62 為 CAARC 大樓模型配合我國 30 測站的極值風速資料，以 Kasperski 法所進行的非超越機率百分比的估算結果。圖 4-61 為假設極值風速及極值風壓係數均為甘保分布的狀況；圖 4-62 為假設極值風速為甘保分布、極值風壓係數為廣義分布的狀況。圖中所顯示的誤差範圍為兩倍標準差，也就是將近 90% 所涵蓋的範圍。比較兩圖可以發現，採用廣義極值分布會導致兩倍標準差範圍變大，但不會改變平均值多少。

圖 4-63 及圖 4-64 則為雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型的估算結果。其估算結果與 CAARC 大樓模型十分接近，可以歸納出，採用甘保分布假設的非超越機率百分比大致上介於 55% 至 65% 的範圍，低於 Cook and Mayne 所建議的 78%，亦低於 ISO 4354-2009 所建議的 80%。

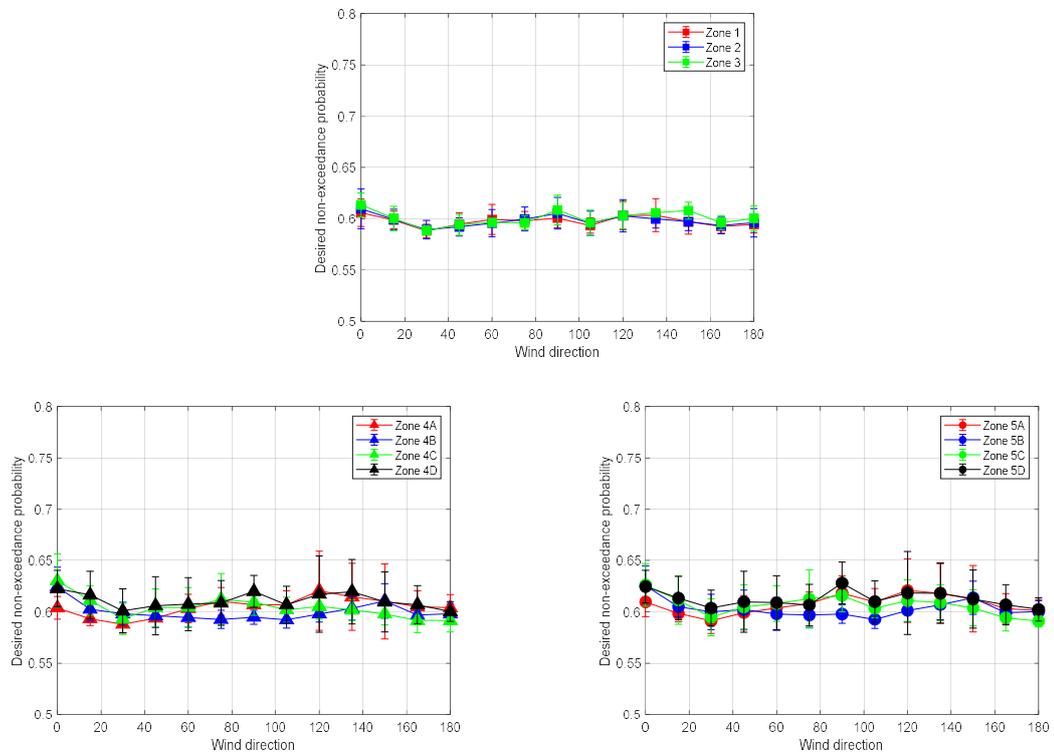


圖 4-61 CAARC 大樓模型分區的非超越機率百分比估算結果(假設風壓係數為甘保)

資料來源：【本研究整理】

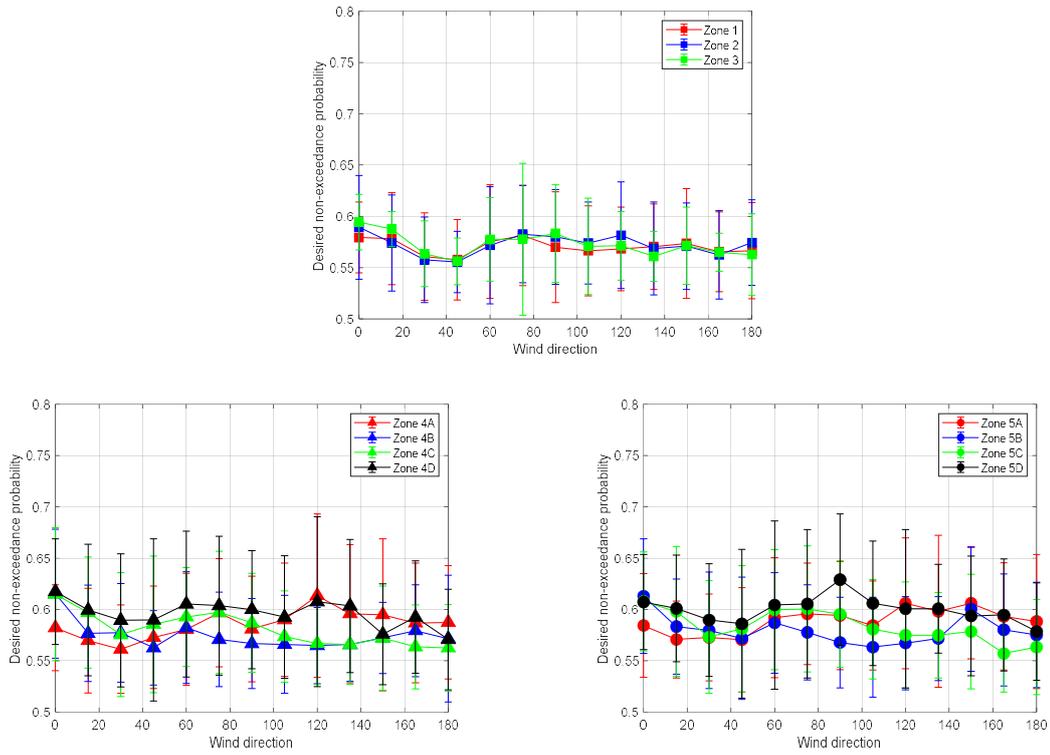


圖 4-62 CAARC 大樓模型分區的非超越機率百分比估算結果(假設風壓係數為廣義)

資料來源：【本研究整理】

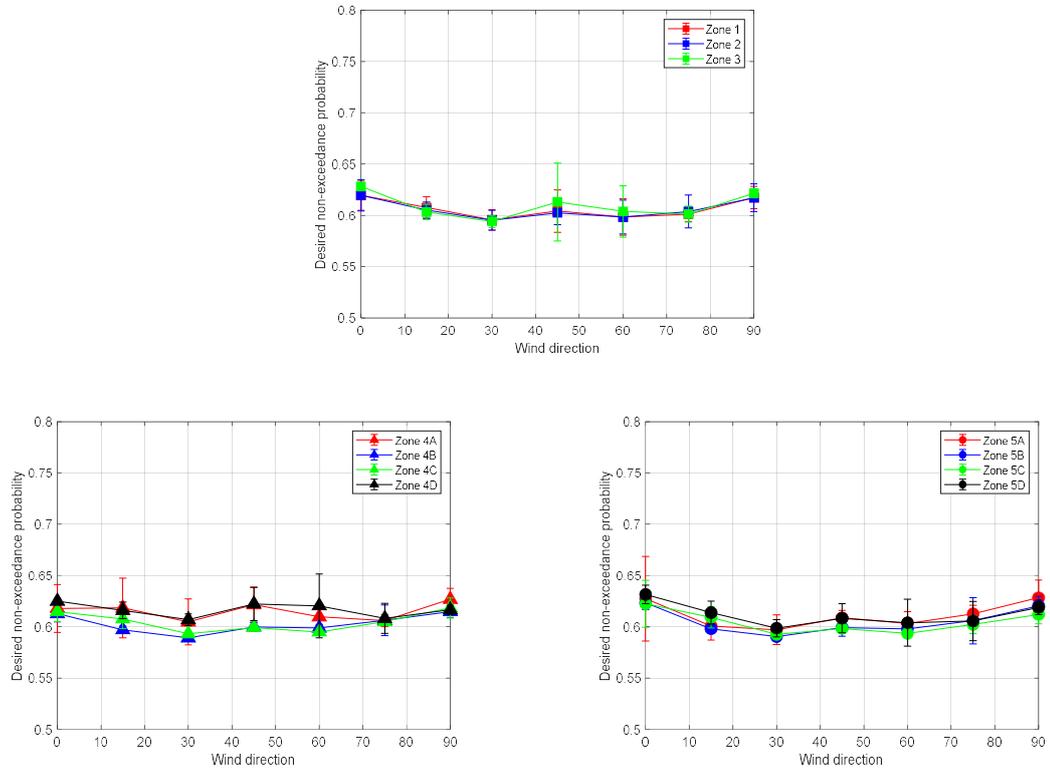


圖 4-63 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的非超越機率百分比估算結果
(假設風壓係數為甘保)

資料來源：【本研究整理】

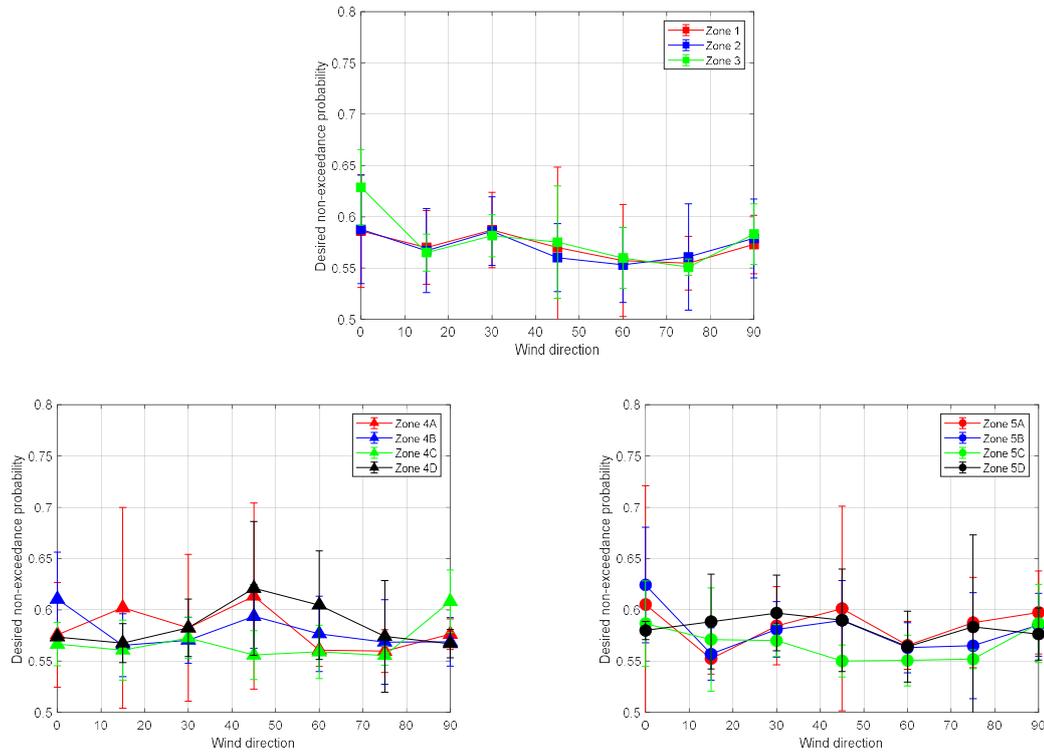


圖 4-64 雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型分區的非超越機率百分比估算結果
(假設風壓係數為廣義)

資料來源：【本研究整理】

本計畫於執行期間除了上述兩建築物模型外，亦針對表 4-1 及表 4-2 的多個建築物模型進行表面風壓量測。檢視其結果發現，其變異數與形狀參數的分布範圍與上述模型十分相近，因此應可推算出類似的非超越機率百分比估算結果。在此不予贅述。

由於我國氣候特性的變異數高，理論上不需要較高的非超越機率百分比即可滿足年超越破壞機率的要求。而從上述的研究成果也確實發現此一致的現象。然而，本研究團隊認為，可直接採用 ISO 規範中 80% 的非超越機率百分比，應當是可以接受的

選擇，主要考量的原因有以下幾點：(1)規範偏向保守設計，故雖然本研究進行了為數龐大的風洞實驗，終究是不足以代表所有建築物的，因此偏保守的設計是為了滿足未來可能出現的各式各樣建築物型態；(2)我國本土氣候具有十分高的變異數，目前可以說平均值高達 0.4 左右，在少數測站甚至出現 0.6 的狀況。然而，我國測站數量不足以代表全台灣各種地形，因此有必要適度降低因為高變異數造成的影響；(3)風洞實驗之量測與風速之量測，難保因為儀器設備的關係無法獲取足夠的數量或者維持良好的數據品質，因此在考量數據量不夠的狀況之下，應當提高估算的保守性。圖 4-65 及圖 4-66 為考量不同極值樣本數在假設為甘保分布前提下，滿足 75%信賴區間以及 90%信賴區間的調整因子(Lo and Kasperski, 2019)。可以從圖上發現，當樣本數不夠時，由於不確定分布型態的改變以及變異數的改變程度，因此有必要針對估算值乘上一調整因子。

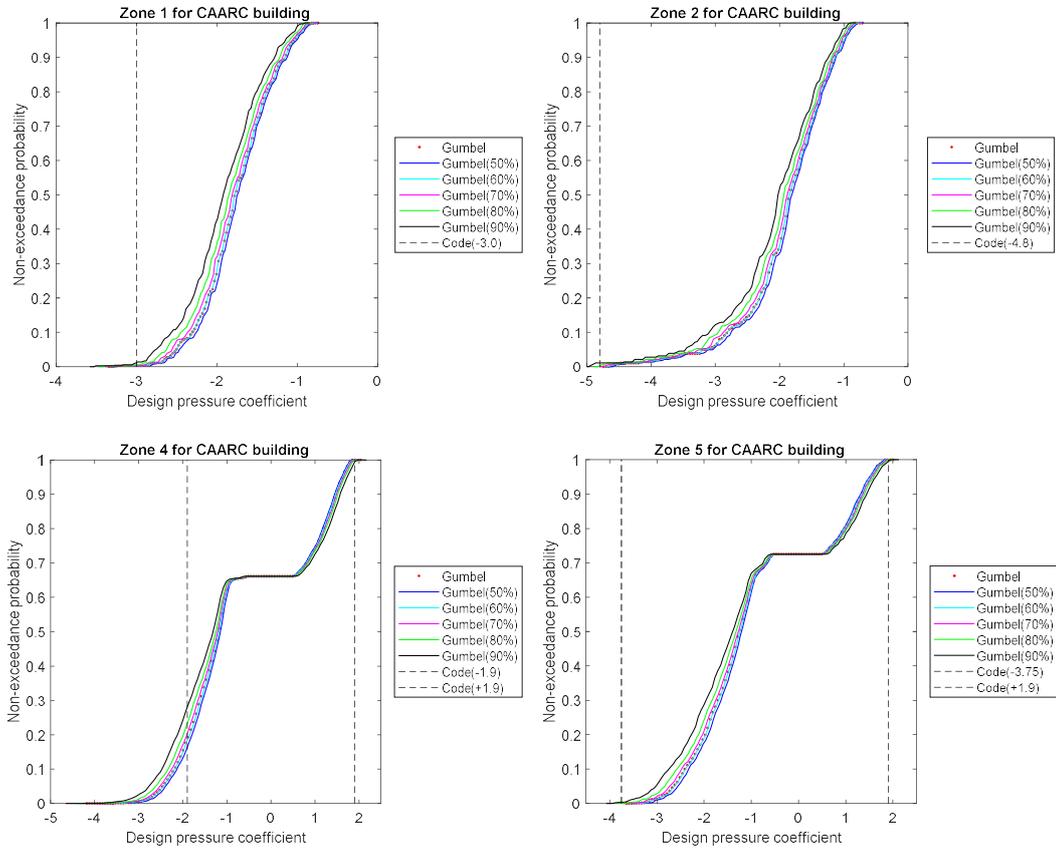


圖 4-65 不同非超越機率百分比與最佳值、規範參考值之比較(CAARC 大樓模型)

資料來源：【本研究整理】

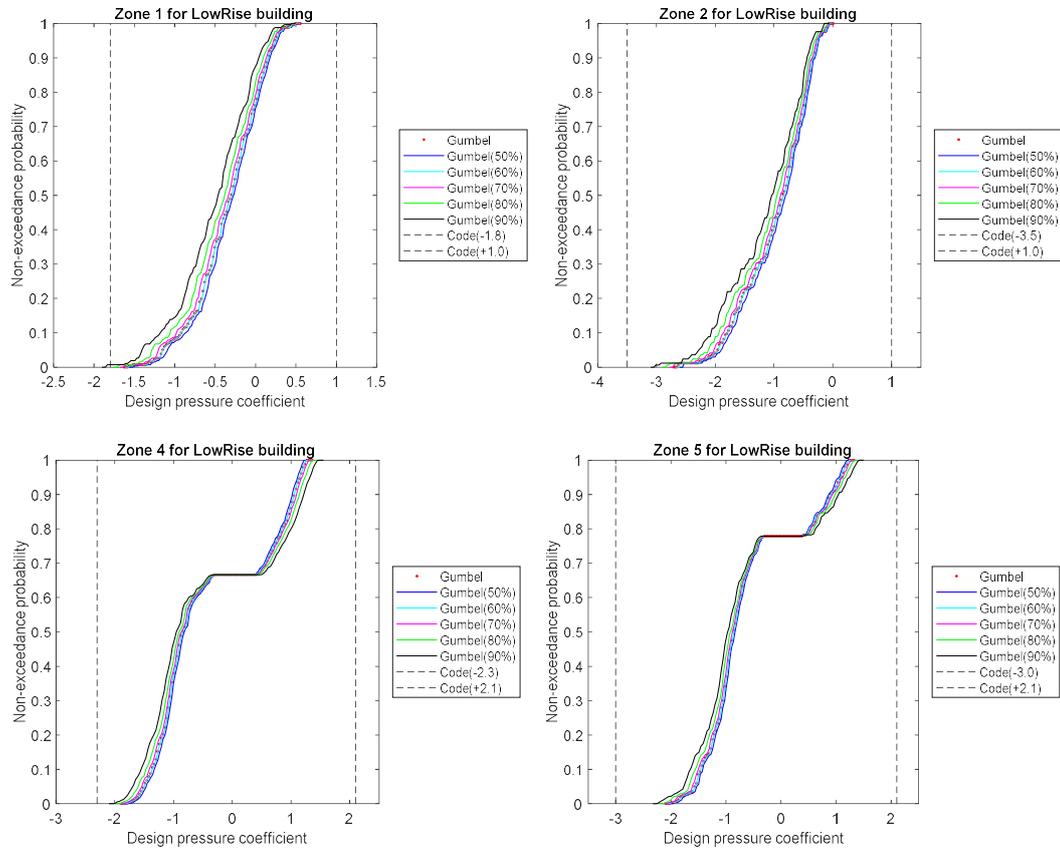


圖 4-66 不同非超越機率百分比與最佳值、規範參考值之比較(雙斜(屋頂斜角 15°)屋頂低矮建築物模型)

資料來源：【本研究整理】

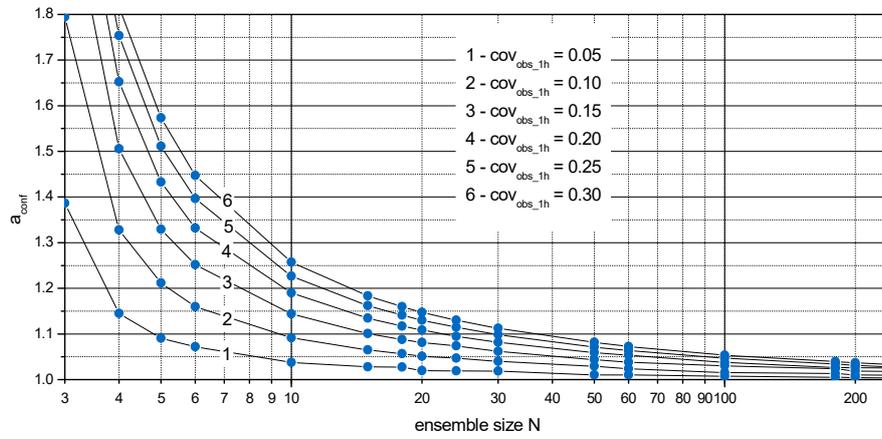


圖 4-67 滿足 75%信賴區間下樣本數不足的調整因子

資料來源：【本研究整理】

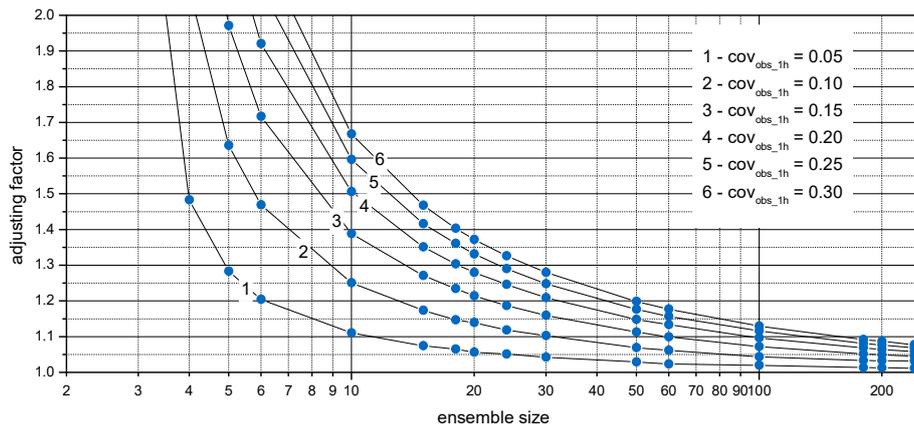


圖 4-68 滿足 90%信賴區間下樣本數不足的調整因子

資料來源：【本研究整理】

第五章 耐風規範修正研擬

第一節 我國規範目前之內容解說

目前我國規範中針對極值風壓係數的規定除了第三章內容中所提供的參考圖表外，僅有第五章內容中提及有關極值風壓係數的少許文字，實屬不足。考量到目前我國規範內容所提供給技師或工程師計算風力或風壓的圖表尚嫌不足，在結構物受風敏感度上升時，經常必須採用風洞實驗取代規範。因此可以說風洞實驗報告本身由規範給予法律上的位階，承認其與規範平等的地位。本研究團隊認為，由於風力受結構物外型影響甚大，因此無論規範內提供的圖表如何更新，亦將永遠追不上現實生活中發展出來的各式各樣建築物，因此有效的風洞實驗模擬以及正確的數據分析方法才是治本方法。基本概念是，由規範承認風洞實驗之有效性後，應當由實驗單位提出具有學理邏輯的分析方式，估算結構物的風壓係數作為風載重的計算依據。

雖然本計畫執行內容無法針對規範提出大部分的修改建議，然而於計畫執行過程中發現了許多值得於未來改善的重點，可做為本所後續研究的項目。以下分成第三章(表 5-1 至表 5-4)及第五章(表 5-5 至表 5-8)各小節之內容分段解說並提出未來須注意改進的建議。並於本章第二節中歸納出本計畫提出之修訂建議草案。

表 5-1 我國目前規範 3.1 節內容之解說

<p>3.1 適用範圍</p> <p>規則性封閉式、部分封閉式與開放式建築物或地上獨立結構物之局部構材及外部被覆物所應承受之設計風壓，依本章規定的方法計算之。若有可靠之實驗結果或文獻提供證明，在計算時可考慮由其他鄰近建築物或障礙物之遮蔽所造成之風速壓折減，或考慮透氣性外牆之風壓折減。若局部構材及外部被覆物之受風面積大於 65 平方公尺，則也可以依 2.2 節之公式計算設計風壓。</p>
<p>解說：</p> <p>封閉式或部分封閉式建築物中局部構材及外部被覆物之設計風壓，因考慮到其受風面</p>

積較小，平均風壓較大，且同時要考慮到外風壓與內風壓，因此其設計風壓與主要風力抵抗系統之設計風壓不同。此外，其外風壓係數與內風壓係數與陣風反應因子 G 合併在一起，不可分離。

對於開放式建築物而言，由於沒有內、外風壓的區分，且此種結構物的規模通常也不大，因此主要風力抵抗系統與局部構材及外部被覆物之設計風力計算一般並沒有不同，但針對開放式建築之斜屋頂局部構材及外部被覆物之設計風力，應依據 3.4 節之規定計算。

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

本文中提及「若有可靠之實驗結果或文獻提供證明，在計算時可考慮由其他鄰近建築物或障礙物之遮蔽所造成之風速壓折減，或考慮透氣性外牆之風壓折減。」然而根據研究團隊多年執行干擾效應的研究成果顯示，鄰近建築物所造成的干擾效應未必是遮蔽造成的風速壓折減，部分敏感干擾位置所造成的局部風壓急遽上升反而容易造成局部破壞而導致內壓改變，進而影響風力計算。此外，透氣性外牆的設立在部分風攻角時，有機會造成局部風壓的上升，亦非絕對的風壓折減。建議文具可修改如下：

「若有可靠之實驗結果或文獻提供證明，在計算時可考慮由其他鄰近建築物或障礙物之干擾所造成之局部風壓變化，或考慮透氣性外牆對於局部風壓之影響。」

表 5-2 我國目前規範 3.2 節內容之解說

3.2 封閉式或部分封閉式建築物局部構材及外部被覆物之設計風壓計算式

封閉式或部分封閉式建築物之局部構材及外部被覆物所應承受之設計風壓 p ，依本節規定之公式計算，相關公式亦整理列於表 2.1。

封閉式或部分封閉式建築物高度不超過 18 公尺者，其局部構件及外部被覆物之設計風壓 p ，依下式計算：

$$p = q(h)[(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (3.1)$$

式中， $q(h)$ 為平均屋頂高度 h 處之風速壓，依 2.6 節之規定計算； (GC_p) 為外風壓係數，依 3.3

節之規定計算； (GC_{pi}) 為內風壓係數，依 2.9 節之規定計算。

封閉式或部分封閉式建築物高度超過 18 公尺者，其局部構件及外部被覆物之設計風壓 p ，依下式計算：

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi}) \quad (3.2)$$

式中對迎風面牆，風速壓 q 採 $q(z)$ ；對背風面牆、側牆與屋頂，風速壓 q 採 $q(h)$ ； $q(z)$ 與 $q(h)$ 依 2.6 節之規定計算。對封閉式建築物或內風壓取負值之部分封閉式建築物，風速壓 q_i 採 $q(h)$ ；對內風壓取正值之部分封閉式建築物， q_i 採 $q(z_{n_0})$ 或 $q(h)$ ，其中 z_{n_0} 為會影響正值內風壓之最高開口高度。 (GC_p) 為外風壓係數，依 3.3 節之規定計算。 (GC_{pi}) 為內風壓係數，依 2.9 節之規定計算。

參考圖 3.5，屋頂女兒牆之局部構材及外部被覆物之設計風壓 p ，依下式計算：

$$p = q_p[(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (3.3)$$

式中， q_p 為屋頂女兒牆頂端之風速壓。 (GC_p) 為外風壓係數，依 3.3 節之規定計算。屋頂女兒牆體內之內風壓係數 (GC_{pi}) ，應根據屋頂女兒牆體之開口率，依 2.9 節之規定計算。根據圖 3.4，當女兒牆位於建築物迎風面時，需在女兒牆之正面施加正值外牆風壓，而在女兒牆之背面施加負值屋頂外風壓；而當女兒牆位於建築物

背風面時，需在女兒牆之背面施加正值外牆風壓，而在女兒牆之正面施加負值外牆風壓。

解說：

本節設計風壓與設計風力之計算式及其分類，係按 ASCE 7-02 規範之規定。表 2.1 將各種情況應採用的計算式分別列出。

圖 3.4 為建築物屋頂女兒牆外風壓之分布示意圖；圖 3.5 為單一屋頂女兒牆之內風壓與外風壓分布示意圖。

(省略圖 3.4 及圖 3.5 以節省報告篇幅)

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

3.2 節與 3.3 節內容實際上同為封閉式或部分封閉式建築物之局部構材及外部被覆物所應承受之設計風壓 p 的內容，沒有必要特別分成兩小節敘述。特別是封閉式與部分封閉式的計算方式與開放式不同，將設計風壓的公式單獨成一節是沒有意義的作

法。建議直接將 3.3 節本文接於 3.2 節本文之後。解說的部分亦可結合。

表 5-3 我國目前規範 3.3 節內容之解說

<p>3.3 封閉式或部分封閉式建築物局部構材及外部被覆物之外風壓係數</p> <p>高度不超過 18 公尺之建築物中局部構材及外部被覆物之外風壓係數(GC_p)見圖 3.1；高度超過 18 公尺之建築物中局部構材及外部被覆物之外風壓係數(GC_p)見圖 3.2。</p>
<p>解說：</p> <p>圖 3.1 與圖 3.2 係參考 ASCE 7 規範，分別提供建築物平均屋頂高度小於或等於 18 公尺及大於 18 公尺時，設計其牆與屋頂的局部構件或外部被覆物所用之外風壓係數(GC_p)。</p> <p>本規範風速之平均時間為 10 分鐘，但 ASCE 7-02 風速之平均時間為 3 秒鐘，根據 Durst Curve，ASCE 7-02 之風速為本規範風速之 1.443 ($=1.53/1.06$)倍，故本規範之(GC_p)為 ASCE 7-02 (GC_p)之 2.083 ($=1.443 \times 1.443$)倍。</p> <p>(省略圖 3.1 及圖 3.2 以節省報告篇幅)</p>

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

本小節的內容依其性質應可與 3.2 節結合為同一節。未來在新增各種不同外形封閉式及部分封閉式建築物的風壓係數時，僅需新增圖表於附圖即可。

風速壓的計算以 10 分鐘平均風速為主，配合後續外風壓係數亦由美國規範轉換而來($1.443 \times 1.443 = 2.083$ 倍)。判斷第三章所計算之風力應為 10 分鐘長度，與第二章 1 小時長度之風力不同。我國規範目前第二章與第三章常有設計風力時間長短不一致的問題，故在採用不同版本規範甚或不同國家規範做為參考時，常發生係數無法收斂的狀況。此現象在未來規範修訂上勢必造成困難，因此有必要通盤考量統一之。

表 5-4 我國目前規範 3.4 節內容之解說

<p>3.4 開放式建築物之斜屋頂局部構材及外部被覆物之設計風壓</p>

開放式建築物之斜屋頂局部構材及外部被覆物承受之設計風壓 p ，依下式計算：

$$p = q(h)GC_{pn} \quad (3.4)$$

式中 $q(h)$ 為平均屋頂高度 h 處之風速壓，依 2.6 節之規定計算； G 採用普通建築之陣風反應因子，依 2.7 節之規定計算；淨風壓係數 C_{pn} 見圖 3.3。

解說：

本節之計算式係按 ASCE 7-10 規範之規定。對於所有高度之開放式建築物，其屋頂面上各區域所受風壓以淨風壓係數考慮，圖 3.3 為開放式建築物之屋頂局部構材及外部被覆物之淨風壓係數 C_{pn} 示意圖。

(省略圖 3.3 以節省報告篇幅)

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

本節中所定義的計算方式與第二章類似，而從其 G 值的計算可以得知開放式結構物的設計風力為以一小時為主，而非跟前兩節所採用的十分鐘一致。同樣地，有關於設計風力時間長短不一致的問題應該在未來規範修訂時通盤整理統一之。

比較 3.3 節及 3.4 節可以發現，兩小節採用了不同的有效面積考量方式。3.3 節以有效面積的絕對值作權重，3.4 節則以有效面積的比例做權重。此兩者之不同容易造成規範使用者混淆。研究團隊認為，有效面積的權重難以僅僅透過風洞實驗進行驗證，應以實物尺寸的模型進行高風速實驗，同時探討有效面積以及材料對於 G 值的影響，評估是否局部風壓係數的決定與結構動力特性無關。

表 5-5 我國目前規範 5.1 節內容之解說

5.1 適用範圍

建築物之耐風設計，依本規範無法提供所需之主要抗風系統設計風力或是外部被覆物之設計風壓風力資料時，得以風洞實驗作為耐風設計之依據。當建築物之高度超過 100 公尺，或風力效應明顯時，建議進行風洞實驗。凡施行風洞實驗之建築物，其設計風力、

設計風壓與舒適性評估得以風洞實驗結果為準。

解說：

建築物與地上獨立結構物所受的風力基本上是鈍狀彈性體與流體之間的空氣動力現象或空氣彈力現象，由於建築結構的多樣性，目前無法以純理論模式或數值方法解析之。作用於建築主要抗風系統上的風力可分為順風向、橫風向與扭轉向風力，各個風向的風力又可區分為平均風力與擾動風力。順風向風力主要是由風場中的逼近流所造成，可以透過條狀定理(strip theorem)以及準穩態定理(quasi-steady theorem)得到合理的評估。建築設計上重要的橫風向擾動風力主要來自流體通過建築物時，發生的流體分離(separation)與渦散現象(vortex shedding)所造成的週期性作用力。當建築物的高寬比與柔度都很大時，有可能在設計風速之內發生結構共振現象，而造成過大的振動反應。然而此一現象，與建築物幾何造型有密切關係，目前並無妥善的分析模式可供解析。對於一般幾何造型規則的建築物而言，扭轉向風力的影響小於順風向及橫風向風力。由於扭轉向風力也是源自流體分離，故亦無分析模式，必須依賴風洞物理模型實驗。

本規範中的各項風力與風壓係數，大多根據單棟、規則造型建築物的風洞實驗數據，且未考慮可能出現的空氣彈力現象。建築物之幾何形狀特殊(明顯異於規則矩型柱體)者，或其橫風向與扭轉向周期接近者，或是建築物受到鄰近特殊地形、地物(鄰近大型建築物、山谷、山坡或峭壁等)影響者，或是經檢核可能發生渦散共振、鎖定或其他空氣動力不穩定現象者，得採行風洞實驗測算其設計風力。凡施行風洞實驗之建築物，其設計風力以風洞實驗結果為準。

建築物高度超過 100 公尺，其振動周期較長，受風的影響較顯著，尤其地震總橫力係數隨高度增加而降低，當風力總橫力大於地震總橫力後，建築物的結構設計將受風力控制，其時風力計算是否準確就變成很重要的問題，如能輔以風洞實驗，將設計風力及其分布估計得準確一些，將可提高建築物的安全性。況且，建築物之高度超過 100 公尺時，其規模必較大，造價亦較高，萬一因風力產生損壞的損失也將較嚴重，因此建議進行風洞實驗。

風洞實驗所測得之主要抗風系統設計風力與建築被覆物之設計風壓，包括了標的建築物本身的空氣動力特性以及周圍建築物的遮蔽效應，一般多小於規範計算值。由於周圍建築物的遮蔽效應日後可能出現變化，因此在引用風洞實驗數據時應考慮這項不定因素。除非能夠確認風洞實驗時周圍建築物並無明顯遮蔽效應，否則引用風洞實驗之設計風壓風力時，以不低於規範計算值的 80% 為宜。

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

規範 5.1 節本文中提及在某些情況下得以採用風洞實驗結果作為取代規範計算的設計風力來源。換言之，此時的風洞實驗報告書應具有法律效力而應視為結構計算書的一部分。然而由於我國風工程教育並未普及，截至目前為止並未有任何國家考試以風力作為試題內容作為檢驗技師資格，因此我國技師或工程師未能孰悉如何以風洞實驗結果來估算結構物之設計風力。再者，未來社會建築物千奇百樣，且風力主要受結構物外型影響而不同，規範更新速度將遠不及建築物發展的速度。最後值得一提的是，目前 CFD 數值流體力學模擬風洞實驗的技術雖能模擬流體於鈍體周圍的流場特性，但尚未能良好模擬鈍體上所受之壓力，也就是說，作為估算結構體設計風力的來源並不穩定，因此風洞實驗仍具有必要性。綜合以上，且斟酌目前我國社會現實，確保風洞實驗結果作為設計風力來源一事具有品質保障，是極為重要的。

對於主導計算的技師來說，檢驗風洞實驗報告書中所提供的合理設計風力是必要的，故若技師本身不具有此項專業能力時，建議應委請第三方來檢核風洞實驗報告的內容或由具有專業能力的結構外審團隊來進行檢核。另一方面，應由執行風洞實驗及製作風洞實驗報告書、提供設計風力的單位，主責其實驗及報告的品質。此外，若採用風洞實驗報告取代規範計算者，則其結構計算書應納入風洞實驗報告書作為附錄以便日後備查。雖然以上之建議作法勢必造成目前工程界運作上的一些困擾，但是以長遠來看，應較能維護風洞實驗的品質且具有較為明確的權責關係。

表 5-6 我國目前規範 5.2 節內容之解說

5.2 風洞實驗之主要項目

風洞實驗之項目宜包括提供主要風力抵抗系統之設計風力及局部構件及外部被覆物之局部設計風壓。此外，亦宜包括半年回歸期風速下屋頂加速度尖峰值及建築物對其附近風場環境造成之影響。

解說：

一般而言，建築設計規劃時應當列入考慮的風力影響包括下列四項：(1)建築主要結構系統所承受之整體風力，(2)局部構件及外部被覆物所受之局部風壓，(3)建築風擺所造成之舒適性問題，(4)環境微氣候—鄰近地表之風場環境。適用於土木工程相關實驗所需要的風洞，由於需求不同，與航太工程所常見的風洞有若干基本功能上的差異。最主要的差別即在於應用於土木工程的風洞需要足夠長度的實驗段，來發展實驗所需要的紊流邊界層。以下是一般建築物較常見的風洞實驗項目：

(一)

建築主要抗風系統所承受之整體風力實驗：1980 年代初期，Davenport & Tschanz 等人發展出高頻力平衡儀(high frequency force balance)，此後很快的形成各風洞實驗室量測結構物所受整體風力的標準程序。實驗的方法是將剛性的建築縮尺模型安置在一個高自然頻率之五分量力平衡儀上，量測建築模型基底彎矩及剪力。倘若高層建築的基本振態為線性，則剛性模型的基底彎矩與廣義座標之風力成一常數比例。將實驗量測所得之基底彎矩做成頻譜密度函數並予以適當的振態修正之後，即為廣義座標風力頻譜，再據以計算等值靜態設計風載重及舒適性評估。另一種建築主要抗風系統整體風力的實驗量測方法是經由對表面風壓的積分過程取得整體風力。動態風力需根據同步量測之風壓數據，或採用合理可信的方法測算而得。

(二)

局部構件及外部被覆物所受之局部風壓實驗：表面風壓實驗是一種空氣動力實驗，受測試建築模型僅需遵守幾何縮尺，無須考慮其結構動力特性。一般風壓模型多由壓克力製成，在模型表面開設足夠的風壓量測孔，透過管線連接至壓力轉換器量測表面風壓。進行風壓實驗時，應適度考量風向的影響，將量測所得資料，利用統計方法，算得各風壓孔之極值風壓。將極值風壓配合該地區之設計風速，換算可得各點設計風壓。

(三)

結構空氣彈力實驗：大多數的高層建築並沒有明顯的空氣彈力效應，無論是設計風載重，或是風擺的舒適性評估，都可以根據前述之高頻力平衡儀實驗數據計算而得。只有極少數的超高建築，或是根據計算結果顯示可能出現過大振幅的情況下，才需考慮採取進一步的結構空氣彈力模型實驗。進行結構空氣彈力實驗時，需適當考量建築結構的動力特性（質量、勁度、阻尼等）。

(四)

環境風場舒適性評估：隨著經濟的發展高樓的設計除了居住以及商業的基本功能之外，生活與居住品質的重要性日益提昇。因此，興建一座建築除了需要考慮到風形成的結構安全性問題之外，影響地面行人舒適的微氣候變化等也應做適度的規劃與評估。由於一般都市地形、地況過於複雜以及流況之高度三維性，使得數值模擬在應用上有其極大的侷限性與困難度。因此以風洞物理模擬實驗，配合實場的氣象資料來作風場舒適性的評估，仍是目前較為可行及可信的方法。

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

規範 5.2 節中本文提及目前採用風洞實驗進行結構物耐風或環境風場的項目。於解說中更分類為四種常見的風洞實驗種類，配合規範 5.3 節所要求的基本模擬條件，可視為風洞實驗技術的主要核心。解說中針對局部構件及外部被覆物所受之局部風壓實驗提及：「進行風壓實驗時，應適度考量風向的影響，將量測所得資料，利用統計方法，算得各風壓孔之極值風壓。將極值風壓配合該地區之設計風速，換算可得各點設計風壓。」即為本計畫主要探討的極值分析理論與設計風載重理論。然而，甚為可惜的是，並未有針對「統計方法」提出說明或者指引適當的參考文獻，導致目前不同單位執行風洞實驗所採集的數據，不見得採用等值的方法估算其設計風壓係數，造成設計風力不一致的現象。研究團隊認為，在執行完良好模擬的風洞實驗後，亦應執行合理的數據分析方法，方能成就一完善的風洞實驗報告書提供正確的設計風力。

根據 ISO 4354-2009 中所載明的下列文字，明確提出設計風壓係數的決定取決於極值風壓係數的非超越機率百分比 80%：

表 5-7 ISO 4354-2009 規範對設計風壓係數之規定

An appropriate design fractile value for the aerodynamic pressure coefficients is the 80 % fractile of the respective extremes. This value can be obtained from the mean and rms value of the extremes as follows in Equation (D.1), assuming that the extremes follow a Type I extreme

value distribution:

$$C_{p,80\%} = C_{p,mean} \pm 0.7C_{p,rms} \quad (D.1)$$

where

$C_{p,80\%}$ is the 80%-fractile of the extreme pressure coefficients corresponding to a reference period of 1 hour. $C_{p,mean}$ is the mean value of the extreme pressure coefficients from 1-hour samples. $C_{p,rms}$ is the rms value of the extreme pressure coefficients from 1-hour samples. The minus sign in (D.1) is used in case of negative mean pressure coefficients.

資料來源：【ISO 4354-2009 規範】

另外在紐澳風洞實驗準則 AWES-QAM-1-2019 中，雖然沒有提及明確的非超越機率百分比為何，但指引出可以採用的參考文獻，讓設計者可引用作為估算設計風壓係數的方法：

表 5-8 AWES-QAM-2019-1 規範對設計風壓係數之規定

B7.

Determination of peak external pressure coefficients. The peak external pressure coefficient for design shall be determined as the statistical average (maximum or minimum) for a defined windstorm length in full-scale (not less than ten minutes or more than three hours).

Various methods can be used to efficiently determine the average external extreme pressure peaks—e.g. up-crossing counts (Melbourne, 1977b), sampling of maxima and minima (Peterka, 1983), determination of the extremes for shorter periods than the defined windstorm length and fitting of an extreme value distribution (Mayne and Cook, 1979). Alternatively, if the average is taken of multiple extremes in repeated identical (ergodic) experiments, no less than five time-series samples should be used.

資料來源：【AWES-QAM-2019-1 規範】

研究團隊認為，非超越機率百分比的設定應依照本土氣候特性來決定，當時最早由 Cook and Mayne 所提出的 78%，乃基於英國當地氣候條件所決定，未必適合台灣。依照本計畫研究成果顯示，採取 80% 作為極值風壓係數非超越機率百分比來估算其設計風壓係數，應當是較為合理的作法。

表 5-9 我國目前規範 5.3 節內容之解說

<p>5.3 風洞實驗應遵守之模擬要求</p> <p>採用風洞實驗測算建築物設計風力及風力效應時，應遵守下列風洞實驗模擬要求：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 風洞實驗之設計應依照實驗項目性質，合宜的遵守建築結構與流場的各項模型縮尺。 2. 風洞實驗應適當模擬建築物位址所在之大氣邊界層流特性，包括邊界層高度、平均風速剖面以及紊流強度、紊流尺度等大氣紊流特性。 3. 風洞實驗時，對於建築物可能造成影響的鄰近地貌、地物，應作適當的模擬。 4. 風洞實驗時，建築物及鄰近地貌、地物模型超過風洞斷面積的 8% 時，應採取合理的方法修正阻隔效應。 5. 風洞實驗時應妥善考慮雷諾數效應。 6. 風洞實驗時應考慮不同風向的影響，並根據各風向實驗的數據，以合宜的方法組成數個對結構最不利的風力載重。
<p>解說：</p> <p>執行風洞實驗時，需妥善考慮縮尺模型與原型(proto-type)結構之間的模擬相似律(modeling similitude)，如此風洞縮尺實驗結果才能正確的應用於原型結構。設計高層建築風洞實驗時，需要滿足流場的模擬相似性以及結構空氣動力(或是結構空氣彈力)之模擬相似性。建築風工程探討的是建築物在強風作用下的結構反應，所需考量的風場屬於小範圍的中性邊界層流，以風洞進行縮尺模擬時，需要正確模擬下列幾項自然風場特性：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 逼近流在不同高度上的平均風速分布； (2) 逼近流在不同高度上的擾動風速(紊流強度)分布；

(3) 逼近流擾動風速之頻率分布特性；

(4) 標的建築物與鄰近建築物之模擬。

正確模擬高層建築之空氣彈力特性時，則需滿足下列模擬相似律：

(1) 慣性力比：
$$\frac{\rho_s}{\rho_a} = \frac{\text{結構慣性力}}{\text{流體慣性力}}$$

(2) 彈性力比：
$$\frac{E}{\rho U^2} = \frac{\text{結構慣性力}}{\text{流體慣性力}}$$

(3) 阻尼比： $\xi = \text{結構振動之能量耗損率}$ ；

(4) 雷諾數：
$$R_e = \frac{\rho_a U D}{\mu_a} = \frac{\text{流體慣性力}}{\text{流體黏滯力}}$$

(5) 風場與高層建築應有相同之模型幾何縮尺。

此外，結構主要振態之頻率比以及振態函數都是重要的模擬參數。對於大多數的高層建築，空氣彈力現象並不顯著，結構空氣動力模型實驗便能提供足夠的抗風設計相關資料，此時前述有關結構動力相關的模擬相似律便可忽略。

風洞中的自然風場的模擬可區分為遠場與近場模擬等兩項。遠場模擬的是逼近紊流邊界層的特性。風洞實驗常以錐形擾流板、粗糙元素、阻牆等邊界層元素的組合，模擬各種大氣邊界層流場。所謂近場模擬指的是標的建築物與鄰近建築物之模擬，藉由近場模擬可以得到標的建物鄰近的地形與建物對於風場的影響。一般而言，建築物對於下游的影響範圍，大約是尾跡寬度的 6~8 倍。因此合宜的模擬範圍是以基地主建築物為中心，半徑大於鄰近高度超過 60 公尺之建築物最大寬度的 8 倍，或者 300 公尺之較大者。在此半徑內之鄰近建築物全依縮尺比例製成模型置於風洞實驗段之轉盤上。

風洞實驗時，使用之建築物及鄰近地貌、地物模型過大時，會造成風洞內流場明顯的加速現象，進而造成實驗量測的誤差，稱之為阻隔效應 (blockage effect)。因此，當風洞實驗使用之建築物及鄰近地貌、地物模型超過風洞斷面積的 8% 時，應採取合理的方法修正阻隔效應，使量測實驗段之縱向壓力維持為一定值。

風洞模擬使用縮尺模型，一般多在經過適當縮尺的較低風速來進行實驗，縮尺模型實驗的雷諾數通常比實體結構物小 2~3 個量級 ($10^2 \sim 10^3$)。進行風洞實驗時應使得縮尺模型與原型之間具有雷諾數相似性 (Reynold's Number similarity)。一般而言，對於紊流邊界層的模擬，適當的風洞雷諾數為 10^5 以上；具有銳角的建築物縮尺模型，適當的雷諾數為 10^4 以上；具有曲面的建築物則需採取適當的方式考量雷諾數的影響。

風洞實驗時建築物受到鄰近地形地物的影響，正向來風未必是最不利狀況，應考慮不同風向的影響。根據各風向實驗的數據，以合宜的方法組成數個對結構最不利的風力載重。

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

規範 5.3 節為進行風洞實驗時所必須遵守的各種實驗基本要求，與規範 5.2 節內容應可視為一體來解釋。然而相較於紐澳準則「AWES-QAM-1-2019」、美國準則「Wind tunnel testing for buildings and other structures (ASCE/SEI 49-12)」、日本建議之文獻「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック」來說，我國規範 5.3 節的本文條述之項目明顯不足，解說內容不足且雜亂不易閱讀。舉例來說，風洞實驗的基本要求應分為三部分，另外再加上數據分析方法的要求，總共四部分。前三部分依序為風場模擬要求、模型製作要求、訊號量測要求。目前規範內容主要集中在風場模擬要求，對於模型之製作以及訊號的量測未有較為謹慎的要求，故常常導致不同單位執行結果不一，無法保證其品質。研究團隊建議未來應參考美、日、紐澳的作法，風洞實驗技術之要求應另行成立技術手冊，作為輔佐耐風設計規範的重要文獻。一來可以於規範中引用此技術手冊而不變動規範，二來可以在技術手冊中針對四部分的品質要求充分詳述說明，提高我國技術水準。

表 5-10 我國目前規範 5.4 節內容之解說

5.4 設計時風洞實驗報告之引用

根據風洞實驗計算主要風力抵抗系統之設計風力與局部構件之設計風壓時，應依據 2.5 節之規定，採用 50 年或 100 年回歸期之設計風速；計算屋頂尖峰加速度時，應採用半年回歸期之設計風速。風洞實驗時應考慮不同風向的影響，計算風力時，除了規範另有規定，不得使用具有方向性的設計風速。

建築物的設計風力應考慮數種最嚴重的風向，設計風力組合應同時包括各層的二水平主軸方向風力以及扭矩。局部構件之設計風壓應採用風洞實驗在各風向下測算所得的最大極值風壓。舒適性評估則以半年回歸期風速為基準，檢核屋頂加速度。

解說：

本節說明在設計階段如何充分引用風洞實驗報告，使其對設計的幫助發揮最大的效用。風洞實驗通常會包括很多風向，報告中也應建議幾個最嚴重的風向要納入設計中考慮。當然這幾個風向的風力要與其他載重做組合，要按照其他規範載重組合的規定。

建築物的風洞實驗，一般採用剛性模型，以高頻力平衡儀或是風壓量測，測得模型的瞬時風壓與風力，再配合建築結構的動力特性，計算各層之動態風力，加上靜態風力後使得極值風力，是為建築物之等值靜態設計風力。風洞實驗報告中應明示其順風向、橫風向與扭矩設計風力及設計風壓所對應之風速回歸期（50 年或 100 年），並明示結構設計者各項設計風力的施加方式，或其對應之座標。測算屋頂尖峰加速度時，通常亦是根據模型測得的廣義風力歷時，配合結構動力特性求算而得，因此風洞實驗報告也應明確表示，屋頂尖峰加速度係對應半年回歸期的風速。

資料來源：【建築物耐風設計規範及解說 2015 年版】

規範 5.4 節內容中提及之「局部構件之設計風壓應採用風洞實驗在各風向下測算所得的最大極值風壓。」雖然指出應以極值風壓為設計值，但並非「最大」極值風壓。此一寫法會誤導設計者採用錯誤的風洞實驗數據。首先，倘若不同單位採用不同採樣頻率，雖然量測時間相同，但採樣頻率高者勢必獲得較高的極值(最大、最小值)。根據 AWES-QAM-1-2019，在滿足數據不發生錯析的前提下，訊號的有效時間間隔需考量其物理意義，並非越高越好。再者，「最大」一詞代表並未對收集到的極值進行統計分析。以 Cook and Mayne 所建議的 78% 來說，是求取對應極值非超越機率曲線 78% 處的極值風壓係數值為設計值。若採用「最大」，則量測時間越久，自然就獲得「更大」的最大極值風壓，同樣失去物理意義。

規範 5.4 節的本文為報告之引用，然而其解說內容中僅提及風力及加速度的評估，對於局部風壓或者環境風場未有說明。建議應當對照 5.2 節中的四項分類進行說明。此外，倘若考量風洞實驗報告的法律效力位階，在本節應當加入報告書的第三方檢核要求以及收錄於結構計算書的必要性。

第二節 本計畫提出之第五章之修改建議

有鑑於前幾章節的研究成果以及上一節所提出的詳細討論，考量到某些修訂需建立於更多研究成果方能完成，故本節僅就本計畫執行內容提出針對目前規範第五章有關風洞實驗部分的建議。

本研究針對規範 5.3 節的「本文部分」提出下列建議：

表 5-11 本研究針對規範 5.3 節本文提出之建議

<p>5.3 風洞實驗應遵守之模擬要求</p> <p>採用風洞實驗測算建築物設計風力及風力效應時，應遵守下列風洞實驗模擬要求：</p> <ol style="list-style-type: none">1. ... (略)2. ... (略)3. ... (略)4. ... (略)5. ... (略)6. ... (略)7. 進行表面風壓量測時，應考量風壓孔位密度、風向角、參考風速壓之設置、管線校正、採樣頻率、以及極值風壓係數之合理估算。
--

資料來源：【本研究製作】

由於進行表面風壓量測時，風壓孔位的密度、參考風速壓的位置、風向角影響、模型上風壓管線的內徑、長度影響、量測儀器設備的採樣頻率等，在在影響取樣的品質，故應當參考國外行之有年的實驗準備建議，提醒計算設計風力或執行風洞實驗者注重此部分的基本要求，即便是不具風工程背景的技師亦可根據此本文內容要求執行風洞實驗的單位符合。

此外，極值風壓係數的合理估算應基於具有學理邏輯的基礎上進行。可以參考 ISO 4354-2009 或 AWES-QAM-1-2019 的作法，直接定義非超越機率百分比或者給出可指引作法的文獻。研究團隊認為，進行統計分析給出設計值的估算方法有許多，不應限定何種方法，但也不應完全忽略不寫。故研究團隊認為應可於規範 5.3 節的解說部分予以新增。

本研究針對規範 5.3 節的「解說部分」提出下列建議：

表 5-12 本研究針對規範 5.3 節解說提出之建議

<p>解說：</p> <p>...(前略)</p> <p>設置風壓孔密度時，應考量孔位密度不宜過小，導致局部風壓偏小而不保守。一般來說，可參考 AWES-QAM-1-2019 建議的，建築物表面每 120m^2 至少設置一個以上風壓量測位置。針對表面邊緣處則應採更高密度。</p> <p>以風壓量測決定設計風壓係數時，應考量各風向角下的極值風壓。建議可以每十度角為一間距，進行 36 個風向角的風壓量測。</p> <p>風壓量測所獲得之結果應以極值風壓相對於平均參考風速壓的係數形式呈現。平均參考風速壓應設置於不受到建築物干擾的位置，一般可採用低頻的皮托管設置於模型高度處之側牆。</p> <p>風壓量測由於模型尺寸及架設導致管線過長時，應針對使用之管線進行訊號校正。其所考量之頻率校正範圍可參考 AWES-QAM-1-2019 內容，針對 $2U_h/B$ 以下的頻率範圍進行振幅及相位之校正，其誤差不可大於 10%。風壓量測的採樣頻率應考量能正確估算極值風壓係數為原則，採用過高的採樣頻率時宜考量低通濾波器避免訊號錯折。</p> <p>設計風壓係數的決定應考量本土強風特性進行合理估算。參考 ISO 4354-2009 及 Cook and Mayne (1980)，得以甘保分布擬合足夠數量之極值樣本數，採非超越機率百分比 75% 所對應之極值風壓係數為設計值。建議極值樣本數至少 15 筆以上。採用廣義分布擬合時，應考量增加樣本數以符合擬合之準確性。估算設計風壓係數的統計方法亦應詳載於風洞實驗報告中。</p>
--

資料來源：【本研究製作】

新增的解說內容分別針對幾項跟表面風壓量測實驗有關的項目參考 AWES-QAM-1-2019 內容而定。首先是風壓孔密度不宜過低，尤其是建築物轉角處或者預期鈍體表面發生流場特性改變的區域，例如分離點附近、再接觸點附近等可能發生較大負壓的區域，理應設置較高密度的風壓孔以確保局部風壓係數的設計值估算正確。

第二新增的內容則是強調風洞實驗應具備有多個風向角下的極值特性，以便估算極值風壓時可以涵蓋所有可能來風風向的最大局部風力。一般來說，國外規範或準則常以 10 度風攻角為間隔，進行共 36 個風攻角的表面風壓量測。

第三個考量新增的解說條文為參考風速壓位置的設定。由於各實驗室尺寸、性能均有不同，故實驗結果需以無因次化的係數表示之。而不同實驗室若採用不同參考風速壓的設置來進行無因次化係數的計算，則無法進行互相比較進而確定何者正確與否。瀏覽目前絕大部分以風洞實驗為基本的學術文章，多半均以模型高度處的平均風速壓作為參考風速壓，針對模型表面上所量測到的動壓差進行無因次化係數的求取。然而需要注意的是，即便已經確立了參考風速壓的位置，亦必須考量設置此參考點所可能造成的干擾效應，必須確保不致於對模型產生壓力量測的任何干擾。另外，由於參考風速壓僅需以平均值作為約化分母，故一般採用低頻的皮托管即可滿足需求。

目前規範 5.3 節的解說中僅針對模型製作需滿足不造成阻塞效應的 8% 要求。然而不僅僅是模型尺寸與風洞斷面尺寸的比例問題需要重視，附著於模型表面的風壓管線亦需要進行訊號調整。一般來說，風壓管線的內徑以及管長具有扭曲訊號的可能性。因此，通常在進行風壓管線的選擇時，應該事先進行管線率定，針對 $2U_h/B$ 以下的頻率範圍進行振幅及相位之校正，其誤差不可大於 10%。其中考量 U_h/B 值的頻率界線主要是因為採樣頻率需與流場平均風速大小有關。風速過高但採樣頻率較低，則將量測不到真正具有最大、最小值的高頻訊號；而當風速過低且採樣頻率較高時，則需要進行時間移動平均或低通訊號過濾器，以確保訊號的最大值是由流場與鈍體之間的關係

形成，而非雜訊。兩倍的 U_h/B 值則是考量了 Nyquist 頻率的影響。

最後新增的解說內容則是根據本計畫執行結果來建議。根據我國本土氣候特性以及參考各文獻之內容，建議得以甘保分布函數作為極值風壓係數的分布型態，並以非超越機率百分比 75%作為估算設計風壓係數值的對應百分比。此外，根據各文獻建議以及本研究團隊採用風洞實驗數據做為探討結果，建議至少 15 筆以上的極值樣本數量進行曲線擬合。然而，研究團隊認為極值分析方法不應限定於此種，因此建議得以等值的方式進行估算。換言之，利用風洞實驗結果進行估算時，可採用其他方式進行，但應先證明其效果與本計畫研究成果具有等值的結果，較具保障的作法則是將採用的估算方法載明於風洞實驗報告書中。另外，採用廣義極值分布函數亦是可行的方法，然而根據研究團隊經驗，應該採用更多的極值樣本數量方能確保其分布尾巴性狀的擬合正確，進行分布函數的檢定是必須的。

本計畫執行第二次專家座談會議時，曾有委員認為以上新增之解說內容過多，是否應當以附錄方式列於規範其後。然而，本研究團隊認為應可另行研製風洞實驗技術手冊，除了可以減少規範本文及解說內容的龐大文字量外，亦可減輕不少未來修訂規範行政上的負擔。目前美、日、紐澳均採此作法。

第三節 本計畫提出之第三章之新增建議及各規範比較

目前各國規範針對局部風壓係數均有更新，然而由於重複性極高，故研究團隊整理後，將各規範間相同類型但不同係數依照風力作用時間不同及 Durst Curve 修正。以下為本計畫所參考的規範編號：(1)美國規範：ASCE/SEI 7-16；(2)日本規範：AIJ Recommendations for Loads on Buildings 2015 (AIJ-2019 English Version)；(3)紐澳規範：AN/NZS 1170.2 Supplement 1: 2002；(4)加拿大規範：National Building Code of Canada 2015；(5)國際標準規範：ISO 4354-2009；(6)義大利規範：CNR-DT 207/2008；(7)德國規範：DIN EN 1991-1-4:2010-12；(8)中國規範：GB 50009-2012；(9)韓國規範：KBC 2015。

美國規範 ASCE 系列一直是我國重要的設計參考來源。我國規範第三章局部風壓係數的制定主要來源即為美國規範 ASCE 7-10 以前的版本。在比較各國規範內容後可以發現，美國規範與加拿大規範內容相近，歐洲各國規範雷同部分頗多，而日本韓國則較為相似。倘若仔細比較這三系列的內容，同時考量我國規範沒有的部分，則可以發現較多可以新增的種類來自美加系列，而日韓系列則在圓頂屋蓋以及圓拱屋蓋有所建議。基於此，本報告書條列出可以新增的種類如後續所示。然而，研究團隊發現，目前規範 3.4 節內容其計算方式可視為第二章設計風力的延伸，僅僅因為結構物的型態不同而放置於第三章。故本計畫中新增的部分以規範 3.2 節及 3.3 節為主。研究團隊建議，3.4 節內容應可與太陽能光電相關的風壓或風力係數進行整合，另行討論。以下所列之圖表(圖 5-1 至圖 5-15、表 5-13)均擷取自 ASCE/SEI 7-16 圖表及 AIJ-2015 圖表，並稍作修改以適用於我國規範。

表 5-14 則列出各國規範與我國規範第三章內容中有關局部風壓係數參考圖表之異同。一般來說，各規範相互間也會參考彼此新增的內容，並斟酌納入自己規範內。因此，以年代最為接近現代的美國規範 ASCE/SEI 7-16 具有最多可供參考的圖表，且我國規範原本即參考美國早年規範而來，風壓係數之轉換係數固定，極為便利。

低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(無屋簷， $7^{\circ} \leq \theta \leq 20^{\circ}$)

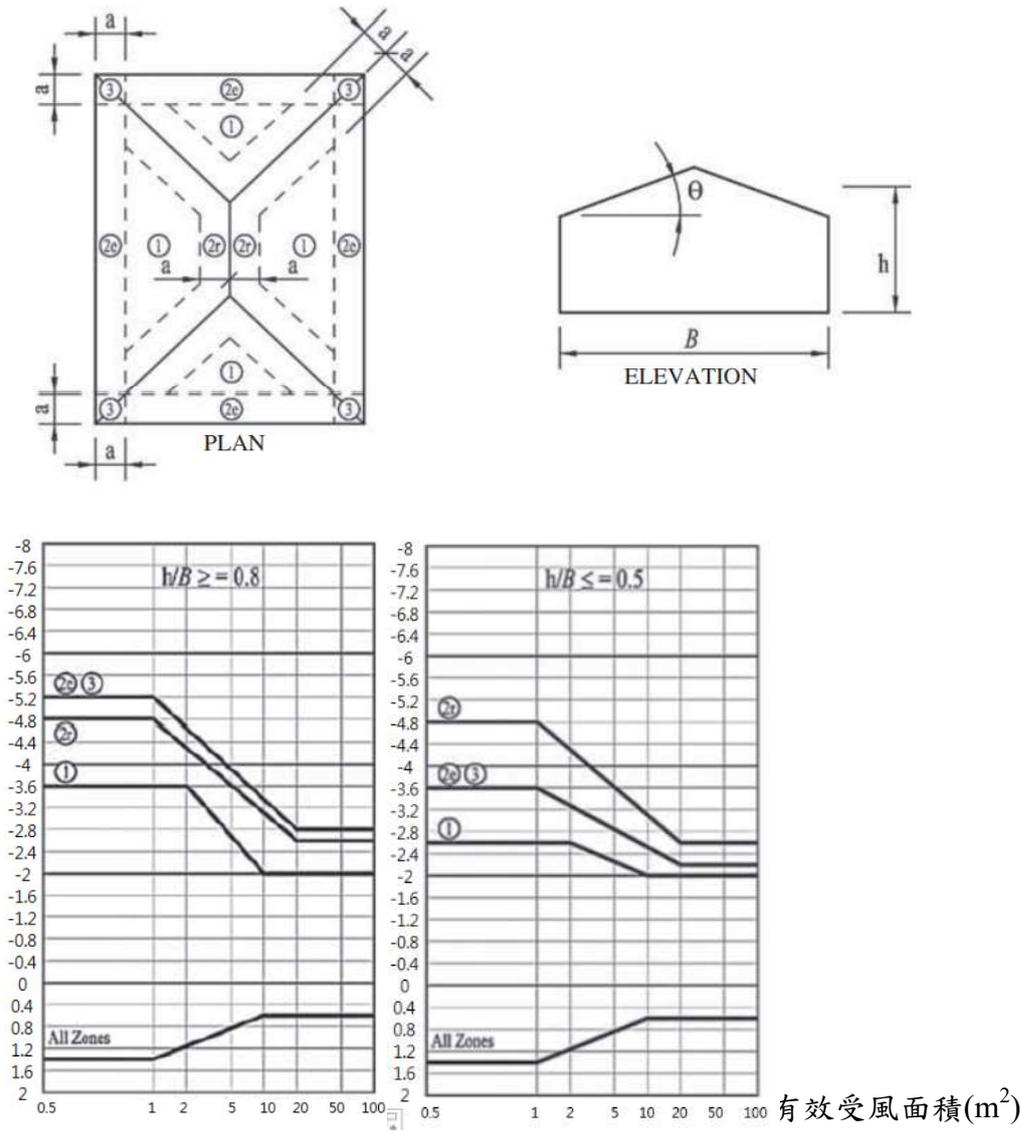


圖 5-1 低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(無屋簷, $7^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 $0.4h$ 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。 h 為平均屋頂高度，但對於 $\theta \leq 10^\circ$ 者可取屋檐高度。 B 為垂直於來風風向的牆面寬度。 θ 為屋頂相對於水平的角度。 h/B 介於 0.5 與 0.8 之間的 (GC_p) 值可以內插方式求得。

低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(有屋簷, $7^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$)

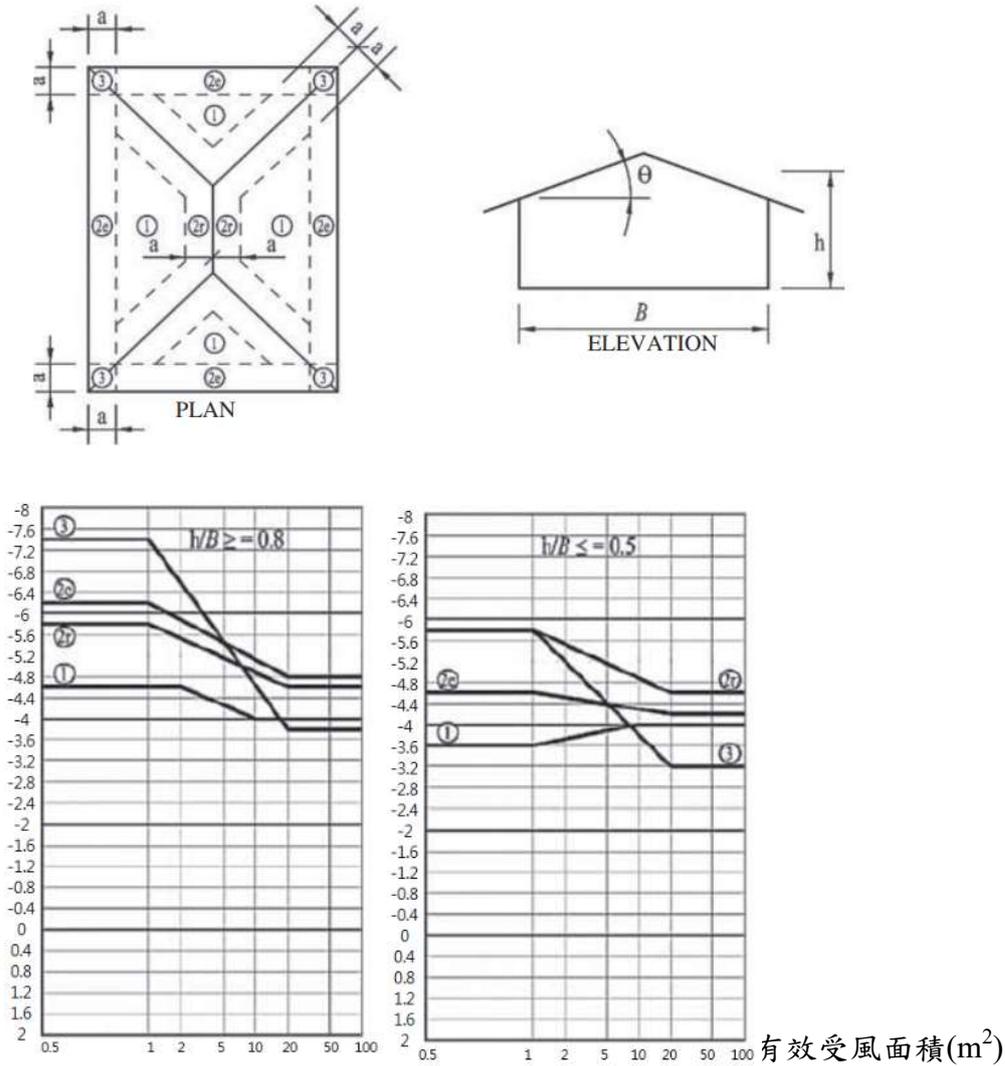


圖 5-2 低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(有屋簷， $7^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 $0.4h$ 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。 h 為平均屋頂高度，但對於 $\theta \leq 10^\circ$ 者可取屋檐高度。 B 為垂直於來風風向的牆面寬度。 θ 為屋頂相對於水平的角度。 h/B 介於 0.5 與 0.8 之間的 (GC_p) 值可以內插方式求得。

低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(有、無屋簷均同， $20^\circ \leq \theta \leq 27^\circ$)

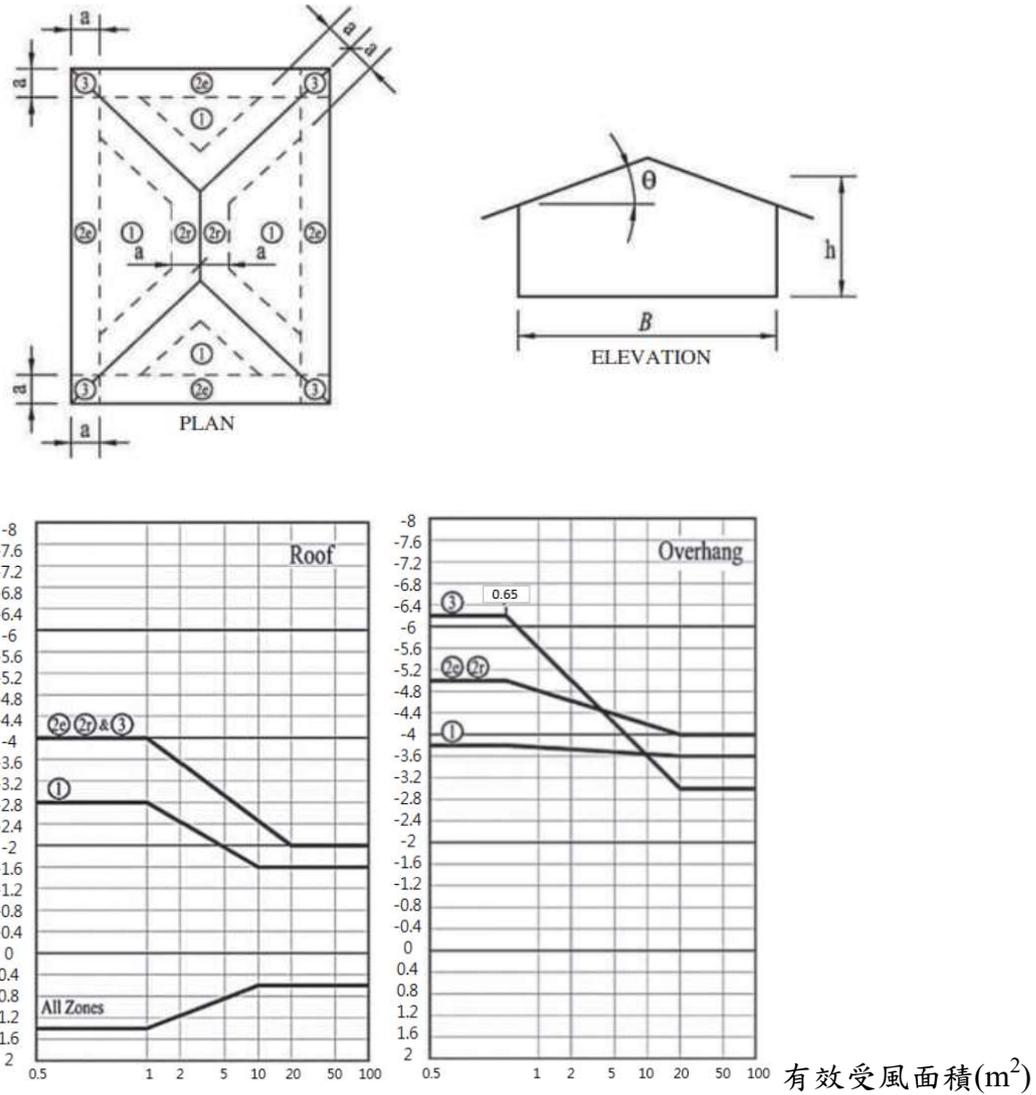
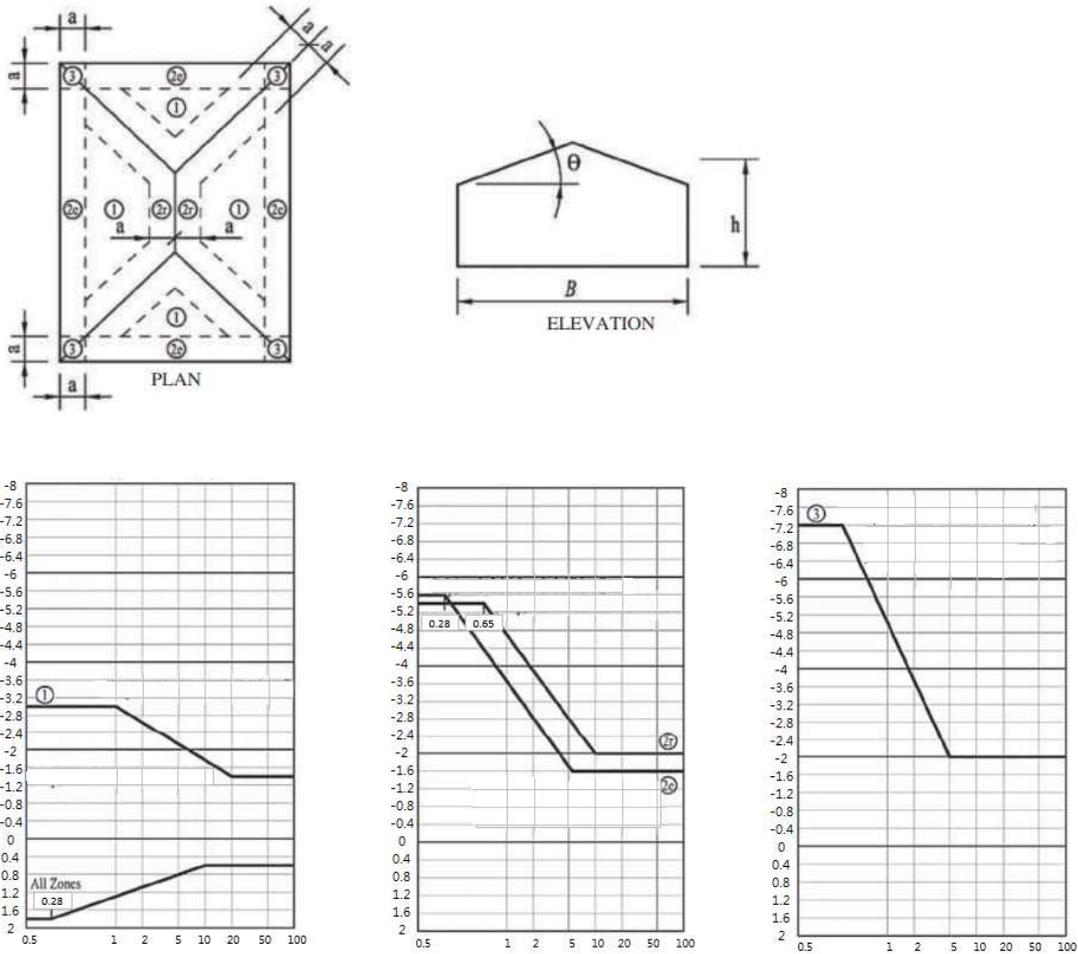


圖 5-3 低於 18 公尺高的雙邊雙斜屋頂建築物(有、無屋簷均同， $20^\circ \leq \theta \leq 27^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 $0.4h$ 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。 h 為平均屋頂高度。 B 為垂直於來風風向的牆面寬度。 θ 為屋頂相對於水平的角度。

低於 18 公尺高的雙邊斜屋頂建築物(無屋簷， $27^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)



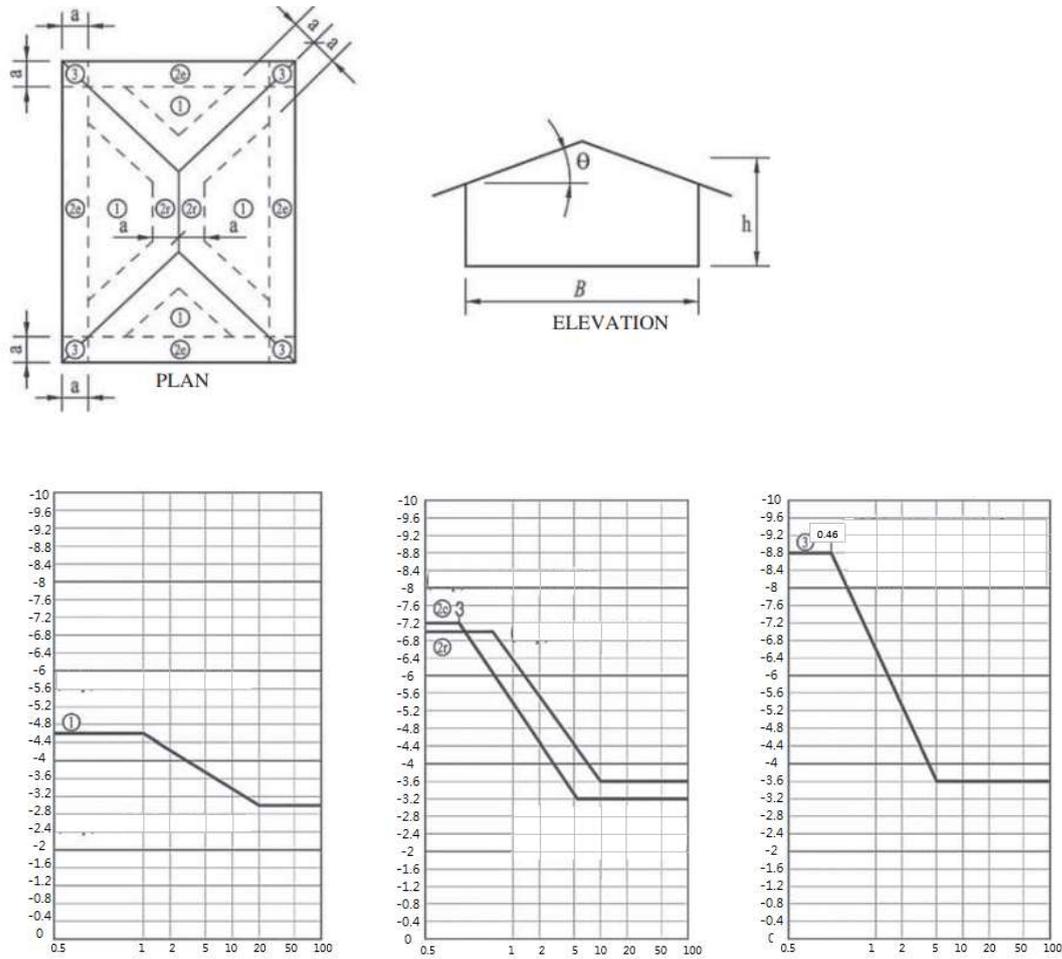
有效受風面積(m²)

圖 5-4 低於 18 公尺高的雙邊斜屋頂建築物(無屋簷， $27^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 0.4h 或者最小水平尺寸的 10%兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4%或者小於 1 公尺。h 為平均屋頂高度。B 為垂直於來風風向的牆面寬度。 θ 為屋頂相對於水平的角度。 A_{min} 為最小採用面積，換言之若計算面積小於 A_{min} 時採用對應於 A_{min} 的 (GC_p) 值。 A_{max} 為最大採用面積，換言之若計算面積大於 A_{max} 時採用對應於 A_{max} 的 (GC_p) 值。(我國屋頂多半小於 45° ，故大於 45° 者不列。)

低於 18 公尺高的雙邊斜屋頂建築物(有屋簷， $27^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)



有效受風面積(m²)

圖 5-5 低於 18 公尺高的雙邊斜屋頂建築物(有屋簷, 27° ≤ θ ≤ 45°)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 0.4h 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。h 為平均屋頂高度。B 為垂直於來風風向的牆面寬度。θ 為屋頂相對於水平的角度。A_{min} 為最小採用面積，換言之若計算面積小於 A_{min} 時採用對應於 A_{min} 的 (GC_p) 值。A_{max} 為最大採用面積，換言之若計算面積大於 A_{max} 時採用對應於 A_{max} 的 (GC_p) 值。(我國屋頂多半小於 45°，故大於 45° 者不列。)

低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷, θ ≤ 7°)

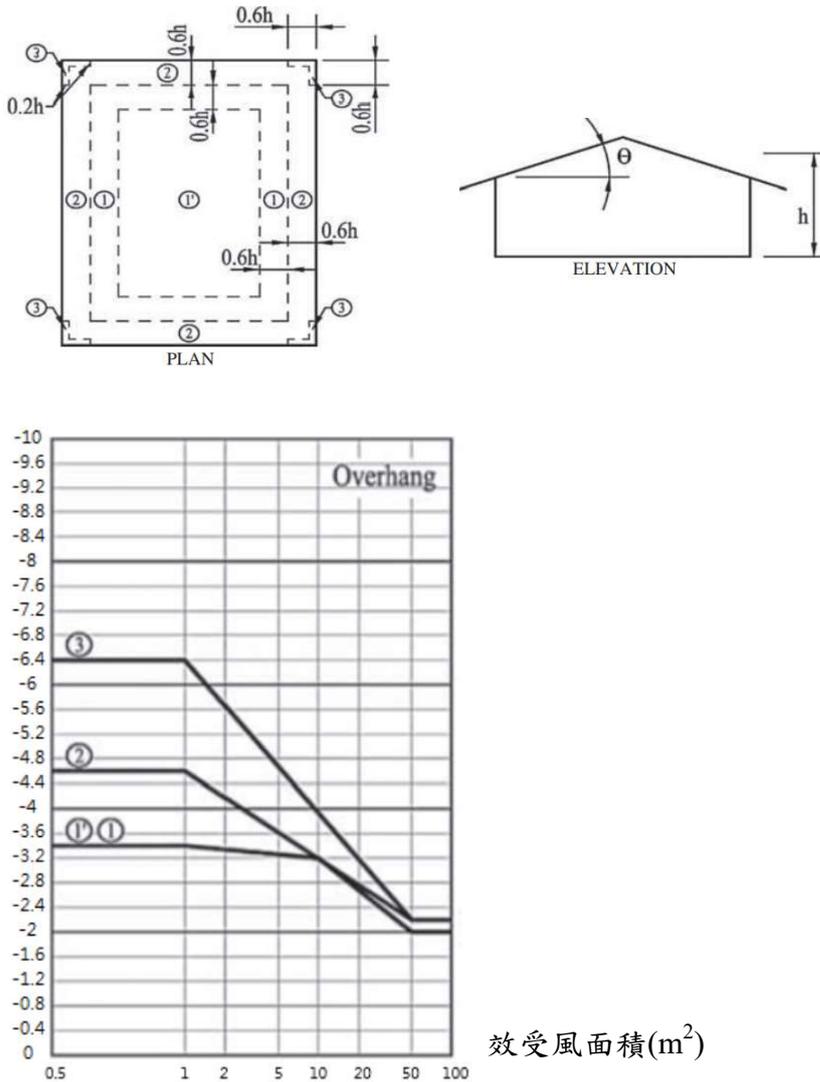


圖 5-6 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $\theta \leq 7^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：B 為垂直於來風方向的水平建築物寬度。當 θ 小於 10° 時，h 取屋簷高度。 θ 為屋頂斜率。若 θ 小於 7° 的屋頂設高度大於或等於 1 公尺高的女兒牆於屋頂周圍，Zone 3 的負值應為 Zone 2 所用；Zone 2 跟 Zone 3 的正值應該等同於 Zone 4 跟 Zone 5。屋簷區域的值包含了來自上、下表面的風壓貢獻。

低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $7^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$)

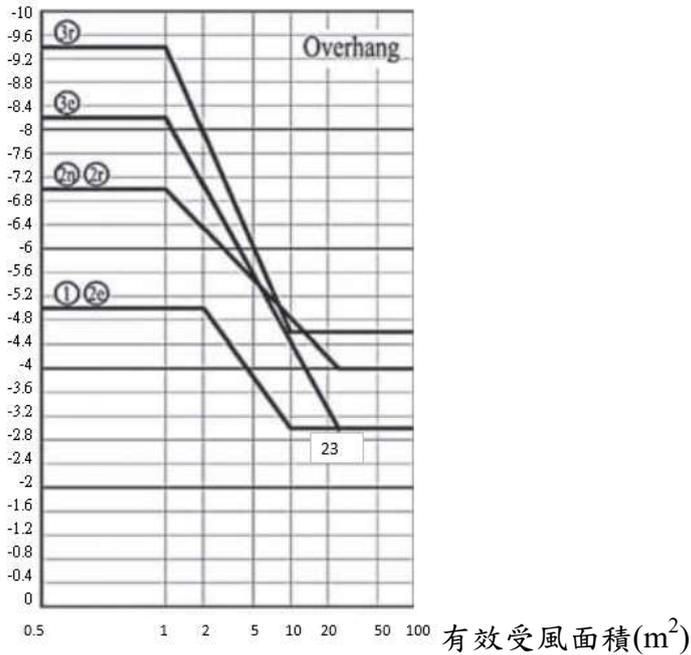
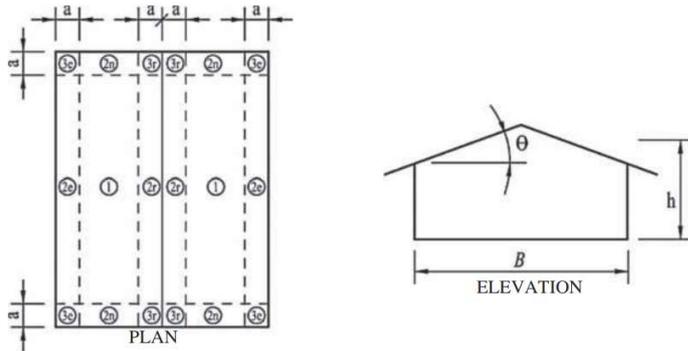


圖 5-7 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $7^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 $0.4h$ 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。 B 為垂直於來風方向的水平建築物寬度。 h 為平均屋頂高，但當 θ 小於 10° 時， h 取屋簷高度。 θ 為屋頂斜率。屋簷區域的值包含了來自上、下表面的風壓貢獻。

低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $20^\circ \leq \theta \leq 27^\circ$)

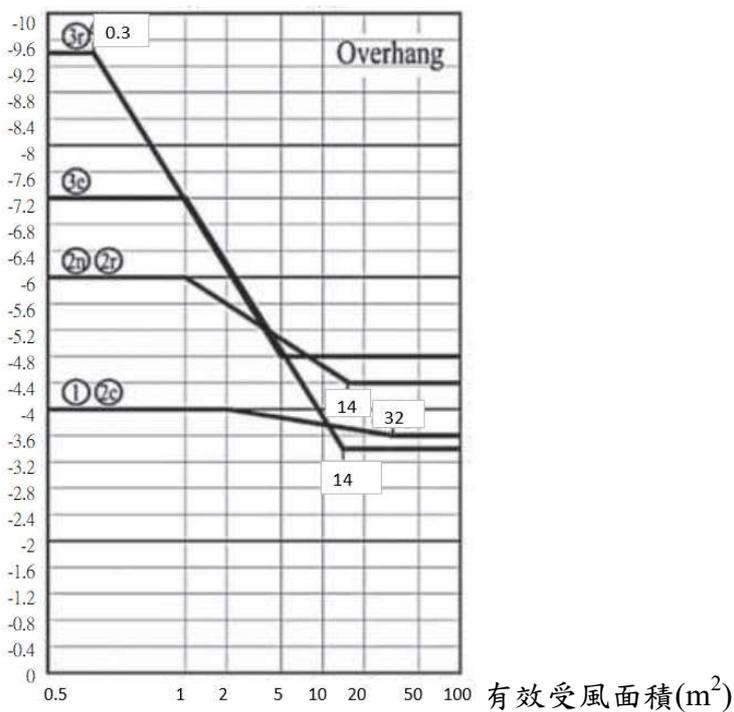
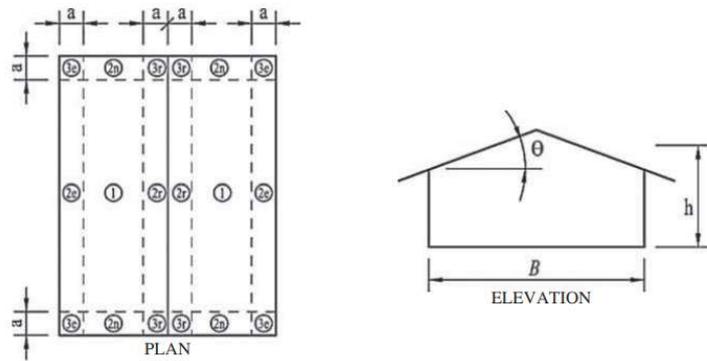


圖 5-8 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $20^\circ \leq \theta \leq 27^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 $0.4h$ 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。 B 為垂直於來風方向的水平建築物寬度。 h 為平均屋頂高。 θ 為屋頂斜率。屋簷區域的值包含了來自上、下表面的風壓貢獻。

低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $27^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)

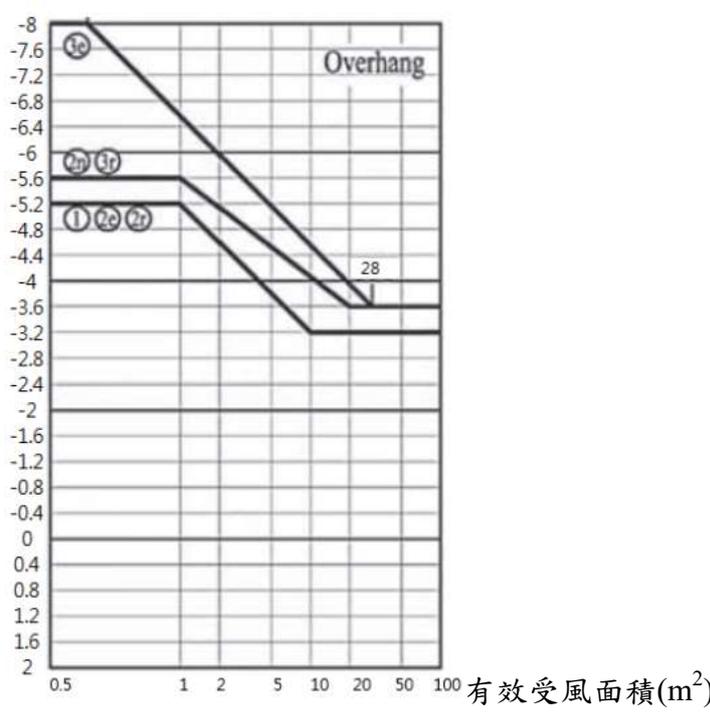
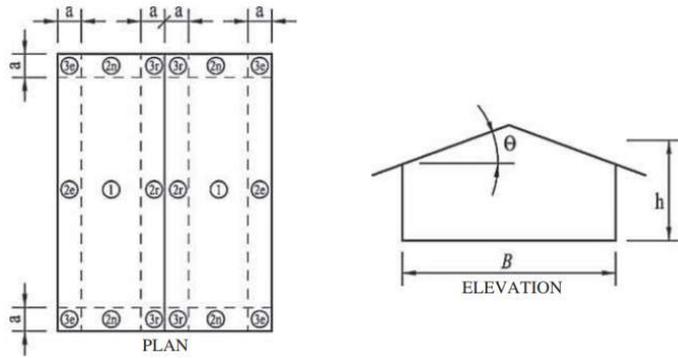


圖 5-9 低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂建築物(有屋簷， $27^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為 $0.4h$ 或者最小水平尺寸的 10% 兩者中取小者。但不可小於最小水平尺寸的 4% 或者小於 1 公尺。 B 為垂直於來風方向的水平建築物寬度。 h 為平均屋頂高。 θ 為屋頂斜率。屋簷區域的值包含了來自上、下表面的風壓貢獻。

低於 18 公尺高的單邊單斜屋頂建築物($3^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$)

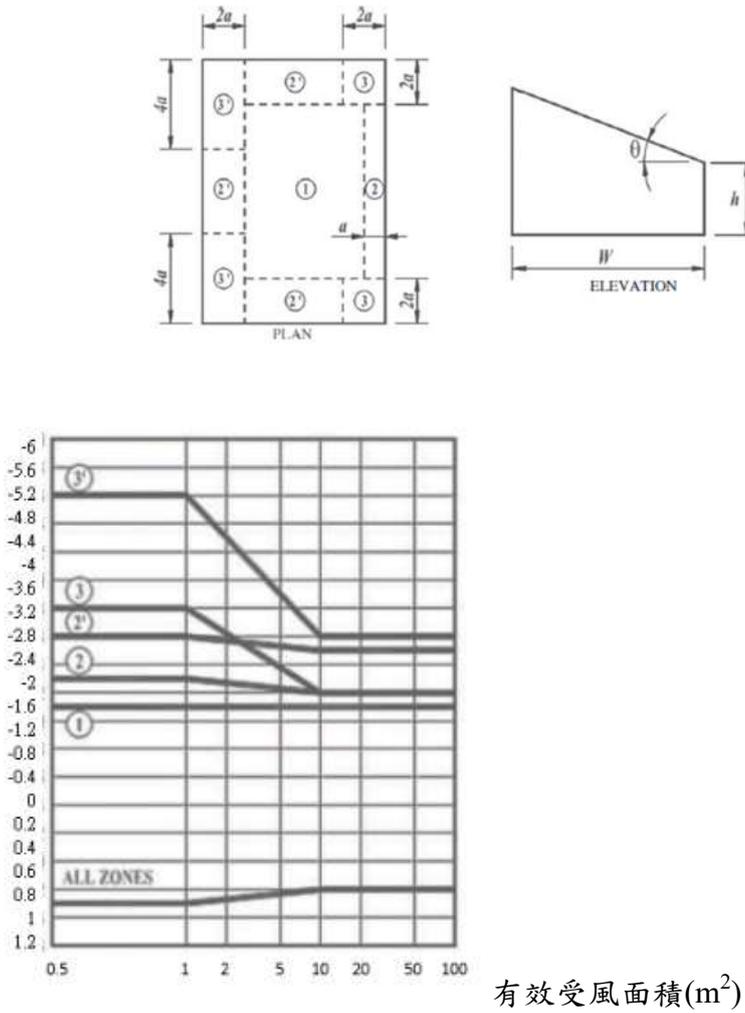


圖 5-10 低於 18 公尺高的單邊單斜屋頂建築物($3^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為單一跨最小水平尺寸的 10% 或 $0.4h$ 取小者。但不可小於單一跨最小水平尺寸的 4% 或 1 公尺。 h 取屋簷高度。 θ 為屋頂斜率。 W 為建築物寬度。對於 θ 小於 3° 時，應考慮採用低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂 $\theta \leq 7^\circ$ 建築物的圖表。

低於 18 公尺高的單邊單斜屋頂建築物($10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$)

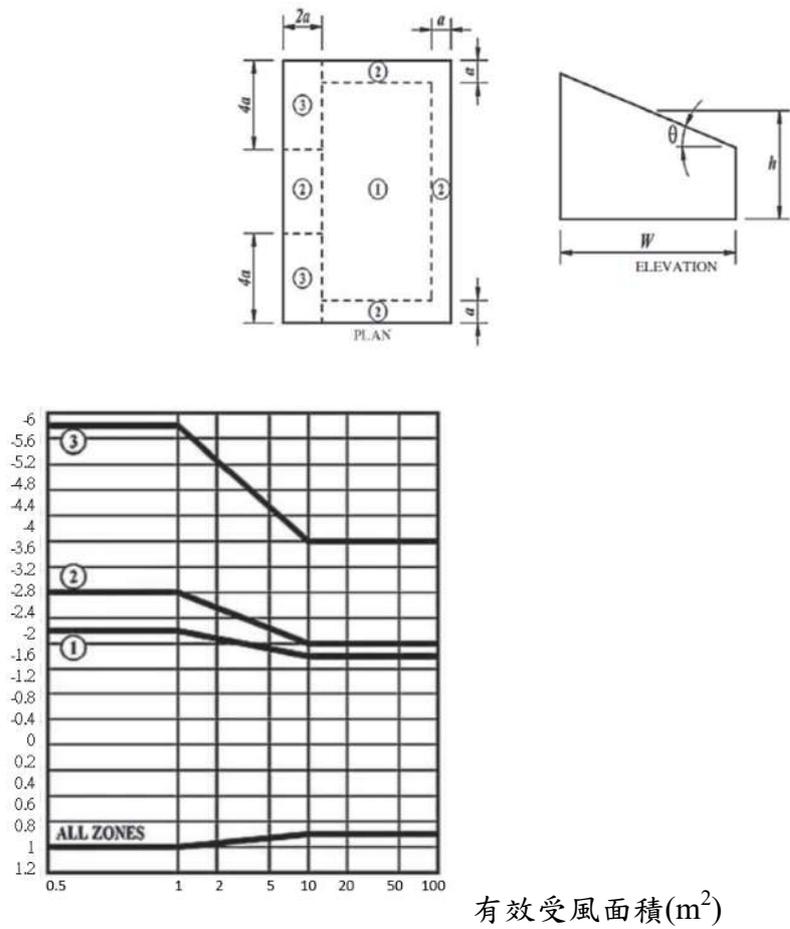
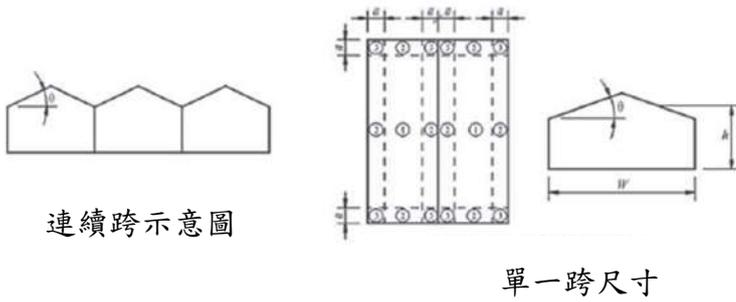


圖 5-11 低於 18 公尺高的單邊單斜屋頂建築物($10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$)

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

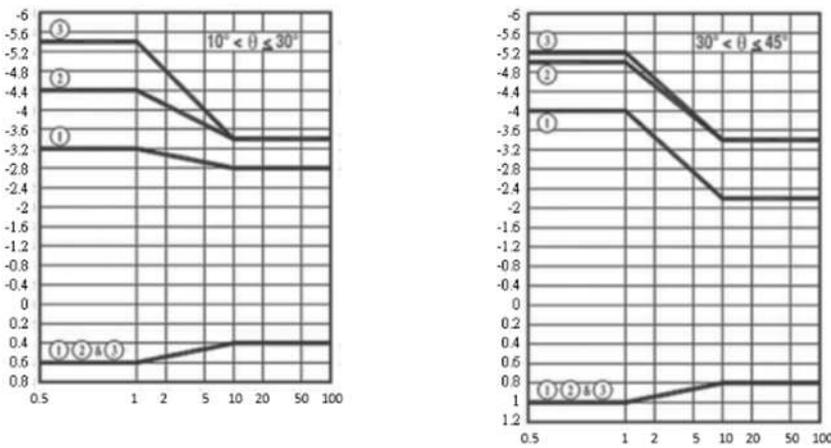
備註：其中 a 為單一跨最小水平尺寸的 10% 或 $0.4h$ 取小者。但不可小於單一跨最小水平尺寸的 4% 或 1 公尺。 h 取平均屋頂高度。 θ 為屋頂斜率。 W 為建築物寬度。

低於 18 公尺高的多跨山形屋頂



連續跨示意圖

單一跨尺寸



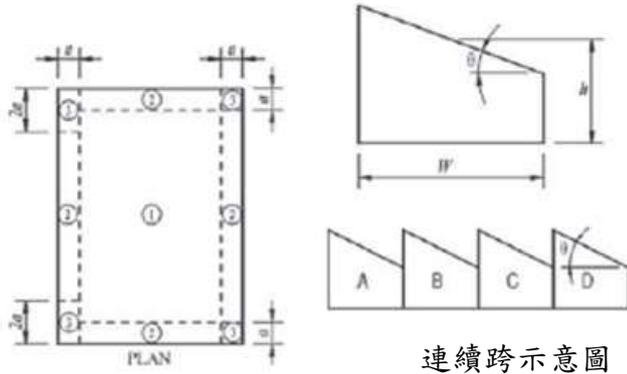
有效受風面積(m^2)

圖 5-12 低於 18 公尺高的多跨山形屋頂

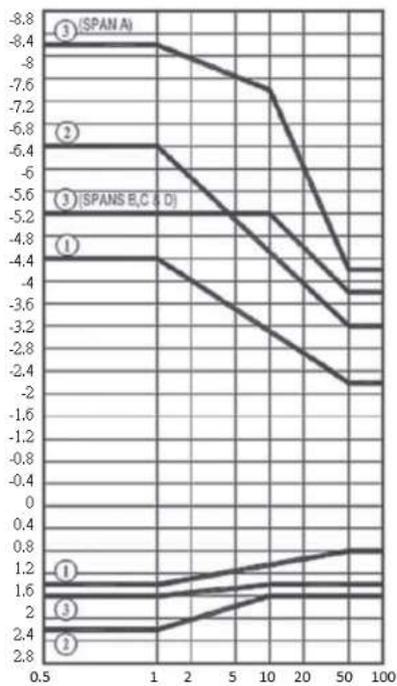
資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為單一跨最小水平尺寸的 10% 或 $0.4h$ 取小者。但不可小於單一跨最小水平尺寸的 4% 或 1 公尺。 h 為平均屋頂高度，但當 θ 小於 10° 時， h 取屋簷高度。 θ 為屋頂斜率。 W 為單一跨寬度。對於 θ 小於 10° 時，應考慮採用低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂 $\theta \leq 7^\circ$ 建築物的圖表。

低於 18 公尺高的多跨單邊單斜屋頂



連續跨示意圖



有效受風面積(m²)

圖 5-13 低於 18 公尺高的多跨單邊單斜屋頂

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為單一跨最小水平尺寸的 10% 或 0.4h 取小者。但不可小於單一跨最小水平尺寸的 4% 或 1 公尺。h 為平均屋頂高度，但當 θ 小於 10° 時，h 取屋簷高度。 θ 為屋頂斜率。W 為單一跨寬度。對於 θ 小於 10° 時，應考慮採用低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂 $\theta \leq 7^\circ$ 建築物的圖表。

低於 18 公尺高的階梯式屋頂

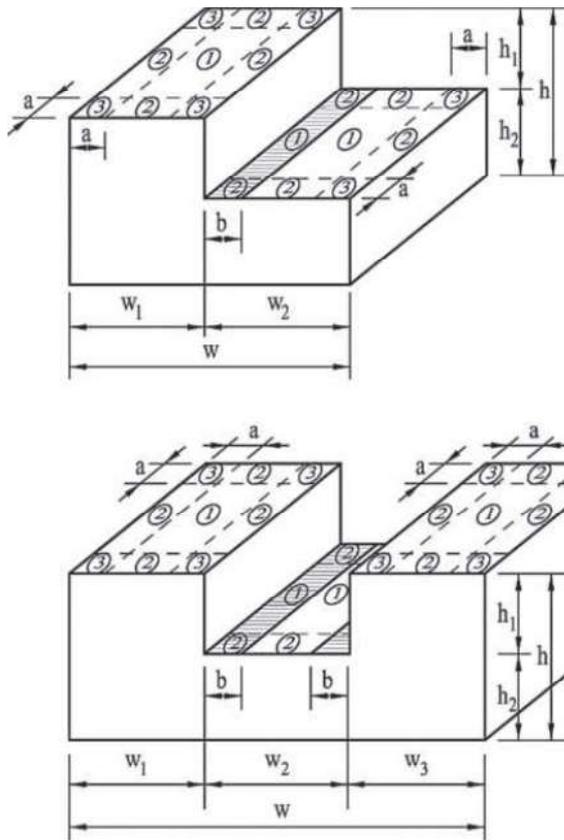
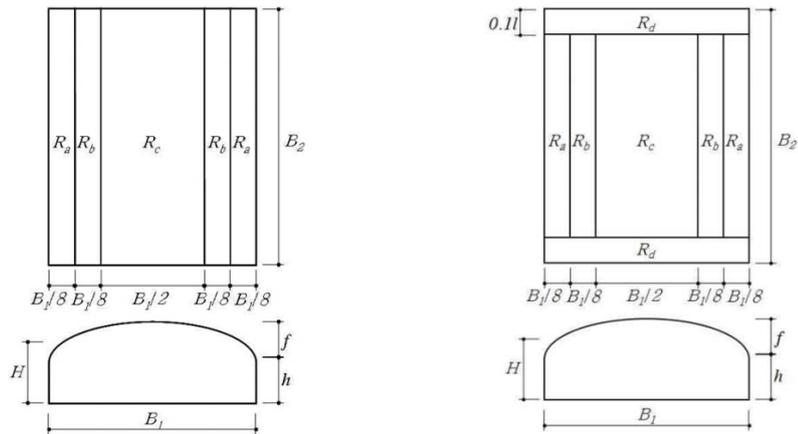


圖 5-14 低於 18 公尺高的階梯式屋頂

資料來源：【擷取自 ASCE/SEI 7-16】

備註：其中 a 為單一跨最小水平尺寸的 10% 或 $0.4h$ 取小者。但不可小於單一跨最小水平尺寸的 4% 或 1 公尺。 b 為 $1.5h_1$ ，但不可大於 30 公尺。 h 為平均屋頂高度。 $h_i = h_1$ 或 h_2 ； $h = h_1 + h_2$ ； $h_1 > 3$ 公尺； $h_i/h = 0.3 - 0.7$ 之間。 W 為建築物寬度。 $W_i = W_1$ 或 W_2 或 W_3 ； $W = W_1 + W_2$ 或 $W_1 + W_2 + W_3$ ； $W_i/W = 0.25 - 0.75$ 之間。 θ 為屋頂斜率。對於較低或較高的階梯屋頂，除了屋頂與上牆面交接處外，可採用低於 18 公尺高的雙邊單斜屋頂 $\theta \leq 7^\circ$ 建築物的圖表。屋頂與上牆面交接處的 Zone 3 可視為 Zone 2，而 Zone 2 可視為 Zone 1。斜線區域正值的 GC_p 可以雙邊單斜屋頂建築物的牆面作設計。

低於 45 公尺的圓拱形屋頂



正壓分區(左)、負壓分區(右)

圖 5-15 低於 45 公尺的圓拱形屋頂

資料來源：【擷取自 AIJ-2015】

備註：牆面設計則依照高度考慮為大於 18 公尺的平屋頂建築物牆面或者小於 18 公尺的雙邊單斜建築物牆面。表中沒有的 f/B_1 及 h/B_1 可以內插方式估算。 B_1 為拱寬。 B_2 為屋頂深度。 H 為平均屋頂高度。 f 為拱高。 h 為牆面高度未達拱的部分。 l 為 $4H$ 、 B_1 、 B_2 當中取小者。

表 5-13 低於 45 公尺的圓拱形屋頂正、負壓係數

正壓係數

f/B_1	Zone R _a			Zone R _b			Zone R _c		
	$h/B_1=0$	$h/B_1=0.3$	$h/B_1=0.7$	$h/B_1=0$	$h/B_1=0.3$	$h/B_1=0.7$	$h/B_1=0$	$h/B_1=0.3$	$h/B_1=0.7$
0.1	0.8	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
0.3	2.0	2.3	1.8	1.6	1.4	1.2	0.6	0.4	0.4
0.4	2.2	2.4	2.4	1.9	1.8	1.8	0.8	0.6	0.5

負壓係數

f/B_1	Zone R _a			Zone R _b			Zone R _c			Zone R _d		
	$h/B_1=0$	$h/B_1=0.3$	$h/B_1=0.7$									
0	-2.5	-3.2	-3.2	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-5.4	-5.4
0.1	-1.4	-4.2	-4.8	-1.8	-2.2	-3.2	-2.5	-2.5	-2.5	-3.4	-4.8	-4.4
0.3	-1.4	-2.4	-2.6	-2.0	-3.2	-3.2	-3.8	-4.4	-4.5	-4.0	-4.4	-4.5
0.4	-1.8	-2.4	-2.6	-2.4	-3.2	-3.2	-4.3	-4.4	-4.6	-4.0	-4.4	-4.8

資料來源：【擷取自 AIJ-2015】

表 5-14 各國規範與我國規範局部風壓係數比較

分類	Taiwan	ASCE	AIJ	AN/NZ S	NBC	DIN EN	GB	KBC
低於 18 公尺高的雙 邊單斜屋頂建築物	○	○	○	○	○	○	○	○
低於 18 公尺高的雙 邊雙斜屋頂建築物		○	○		○	○		○
低於 18 公尺高的單 邊單斜屋頂建築物		○	○	○	○	○	○	○
低於 18 公尺高的多 跨山形屋頂		○			○	○		○
低於 18 公尺高的多 跨單邊單斜屋頂		○						○
低於 18 公尺高的階 梯式屋頂		○			○	○		
低於 45 公尺的圓拱 形屋頂		○						○

資料來源：【本研究製作】

第四節 我國規範第二章與第三章係數差異性試算例

由於我國規範第二章內容及第三章分別參考美國規範系列不同版本的內容，因此在係數收斂上可以看出有些許的差異。此為目前國內業界工程師反應之問題點之一。研究團隊在本計畫執行期間雖以第三章及第五章內容為主，但在此提供一計算例顯示其差異性。礙於報告篇幅，在此提出以高層建築物為主的外牆係數比較，假設各種可能的變化並將結果列於表 5-15。從表中可以發現，若以受風面積作為探討，較小的受風面積將導致第三章最大風力係數較第二章最大風力係數為保守，即便是假設陣風反應因子為 2.2 的狀態下亦然。另一方面，若考慮較大受風面積，則第三章的正壓係數略小於第二章正壓係數，而負壓係數則較為相近。然而倘若加入結構動力特性的考量，換言之，僅考慮陣風反應因子為 1.88(動力效應不明顯，較接近第三章的剛性假設)，則第三章結果均較第二章保守，與受風面積小的部分雷同。由此一簡單的例子可以看出，即便採用同一系列的國家規範做為參考，亦應注意版本間更新的內容是否差異較大而需要斟酌考量。我國規範以參考美國規範為主，在未來修訂規範內容時，應全盤考量規範中各章節的係數變動，方能具有統一性，不致造成工程師使用上的困擾。

表 5-15 第二章 GC_p 及第三章(GC_p)係數比較

第二章 GC_p (我國規範圖 2.4)					
牆面位置		C_p	$G = 1.88$	$G = 2$	$G = 2.2$
迎風面		0.8	1.50	1.60	1.76
L/B = 0 ~ 1		-0.2	-0.38	-0.40	-0.44
背風面	L/B = 2	-0.3	-0.56	-0.60	-0.66
	L/B >= 4	-0.5	-0.94	-1.00	-1.10
側風面		-0.7	-1.32	-1.40	-1.54
第三章 (GC_p) (我國規範圖 3.2)					
受風面積(m^2)	Zone 4	Zone 5	Case 1	Case 2	Case 3
<=2	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
	-1.90	-3.75	-2.27	-2.09	-1.99
>=50	-1.50	-2.10	-1.62	-1.56	-1.53
	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
面積比 Case 1 : Zone 4 / Zone 5 = 0.8 / 0.2 Case 2 : Zone 4 / Zone 5 = 0.9 / 0.1 Case 3 : Zone 4 / Zone 5 = 0.95 / 0.05					

資料來源：【本研究製作】

第六章 結論與建議

本研究採用傳統的風洞物理模擬方法進行計畫執行內容各部分的探討依據。首先在風壓係數部分，選擇具代表性的低矮建築物及高層建築物數座做為風洞實驗模型，量取其表面風壓並分析其風壓係數與各規範比較，利用有限度的風洞實驗成果檢驗規範設計值的保守與否，並提出如何修訂。此外，比較各國規範中有條列但我國規範內容尚無的設計值，依據風洞實驗比較的原則，提出可符合與其他設計值一致性的新設計參數。再來，根據此風洞實驗進行極值分析理論的套用，提出同時符合國內外規範的風洞實驗數據處理方式，作為未來國內各單位執行風洞實驗數據分析的標準。最後針對各國規範對風洞實驗設定條件的差異性進行比較，歸納出適合於我國且符合學理的基礎式及進階式的風洞實驗準則。

第一節 結論

本計畫以多種不同的參數組合進行驗證，發現決定合理設計風壓係數的因素有四：(1)極值風速的分布型態、(2)極值風速的變異數、(3)極值風壓係數的分布型態、以及(4)極值風壓係數的變異數。其中極值風速的資料來源自本土風場特性，而極值風壓係數則來自於風洞實驗中所獲得的足夠樣本數量的最大或最小風壓係數。檢討我國三十一座人工測站的颱風事件資料可發現，各測站颱風期間最大十分鐘平均風速具有相當高的變異數約為 0.4 至 0.6 之間。此外，由各測站的各颱風期間第二大、第三大十分鐘平均風速紀錄看來，變異數維持不變且強度大約為最大十分鐘平均風速的 0.9 及 0.8 倍左右，無須考量二階以上的的颱風強度。由高層建築及低矮建築案例的計算結果中得知，可以假設本土設計合理的風壓係數非超越機率百分比可以假設為 75%，有別於 Cook and Mayne([3]、[4]、[5])提議的 78%或者 ISO 4354 所要求的 80%。綜合以上發現，本研究團隊提出針對我國規範第三章內容以及第五章風洞實驗內容的建議修正內容。

從規範比較中可發現，我國目前規範的內容確實有幾處不合理之處。首先，我國規範第三章的內容中，作為提供給工程師參考的主要內容可以分為兩部分：(1)封閉式與部分封閉式建築所使用的第三節以及(2)開放式建築物所參考的第四節。此兩部分針對有效面積效應的評估方式不同，前者以絕對值呈現，後者以相對值呈現。建議日後另行進行探討。第二，作為可取代規範設計值的風洞實驗項目，無法於目前規範內容中得知如何進行分析估算設計值，僅以文字要求須進行極值分析。本計畫提出詳細的說明並提出建議修訂之草案。第三，目前規範第三章內容不足，除了參考各國最新規範予以補足外，本計畫亦提出建議未來風洞實驗的發展方向。值得注意的是，本計畫比較各國最新規範的局部風壓係數後得知，各國進度不一，其中以美國規範 ASCE 7-16 更新最多。我國規範即以美國規範為架構進行制定，故在局部風壓係數轉換上十分便利，採用目前規範中的風速轉換方式即可。此外，本計畫亦在報告內容中建立一例，說明在等值的有效面積假設下，第二章風力係數與積分第三章風壓係數所得之風力係數不盡相同，在未來值得投入心力校正，以確保設計值的收斂一致性。

第二節 建議

建議一

研訂風洞實驗準則及草擬報告書評定機制，以確保風洞實驗品質：立即可行建議

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

根據本計畫第二次專家座談會議中委員建議，風洞實驗報告書應納入建築管理機制，作為結構計算書類之一的重要參考文件。我國規範中明確規定，凡進行風洞實驗者，得以風洞實驗中所獲得之風力取代規範內所提供的設計值。換言之，風洞實驗報告書的效力應等同於建築物耐風設計規範。目前實務狀況，風洞實驗報告書並未完全納入建築管理之書類，因此權責不明。研究團隊認為，風洞實驗報告書由接受委託進行風洞實驗的單位撰寫，且除了風洞實驗外，計算風載重的理論方法與過程亦十分複雜，多半為技師或工程師之專業範圍。既然風洞實驗報告書內容足以取代規範，故其進行風洞實驗時的要求應當更為詳細，甚至應講究實驗單位的能力認證。故此，研究團隊認為，未來有必要針對風洞實驗各項細節進行一系列的研究，彌補目前已發現之設計漏洞，且建立第三方評定機制，為風洞實驗品質把關。

建議二

已擬具建築物耐風設計規範修正內容，建議納入未來修訂範圍：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所、社團法人中華民國風工程學會

本計畫研究成果具有以極值分析理論結合我國本土風場之特性，所得成果可應用於增修我國建築物耐風設計規範第五章風洞實驗內容，研究成果明確指出在滿足風洞實驗的基本要求下，應採取何種評估方式以獲得合理的設計風壓係數值。此外，參考國外規範內容所建議新增之風洞實驗基本條件內容，也能提高我國風洞實驗結果之品質，同時要求國外執行風洞實驗的單位應符合我國規範所要求的高標準。最後，參考

各國規範所列出之新增設計風壓係數亦可多少提高建築物耐風設計規範之使用性，未來則可斟酌納入規範第三章新增內容。

建議三

進行有效面積效應的實尺寸風壓研究：立即可行建議

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

執行本計畫期間發現，目前我國建築物耐風設計規範第三章內容有不一致之處，主要在於封閉式與部分封閉式所參考的第三節內容與開放式建築物所參考的第四節內容，對於有效面積的考量方式不同。其主因是由於前兩版規範修訂時採用了不同時期的 ASCE 版本，因此產生此不一致之處。根據研究團隊經驗，有效面積的探討應以實尺寸模型進行風洞測試，故本研究團隊建議採用內政部建築研究所近年發展的室外造風機進行戶外吹風實驗，並採用真實材質且不同尺寸的受風樣本進行有效面積的研究。

附錄一 採購評選會議意見回應

項次	審查意見	廠商回應
1	<p>使用內政部建築研究所風雨風洞實驗室，是否已取得使用權或承諾可使用？另外該實驗室使用率如何？是否可支持本案所需？</p>	<p>感謝委員提醒。研究團隊會就進度安排與建研所風雨風洞實驗室盡速進行討論安排，進度不足之處則由淡江大學實驗室補足。過去研究團隊曾與風雨風洞實驗室合作進行若干研究項目的實驗，成果頗佳，故實驗室儀器設備應可滿足本計畫進行所需，惟實驗進度須與實驗室排程進行協商討論。</p>
2	<p>研究計畫書第 9 頁之極值分析理論程式，該程式撰寫後的 V&V (Verification & Validation 軟體驗證及確認)情況為何？請說明。</p>	<p>感謝委員提醒。極值分析理論的部分會包含 V&V、可靠度分析的說明，以確保各實驗室採用此標準流程分析數據時有所依據。</p>
3	<p>研究計畫書第 15 頁報價以 12 個月為計算基礎，本案決標後已不足 12 個月，請說明。</p>	<p>感謝委員提醒。本計畫由於必須要進風洞實驗及其分析，因此時程上本研究團隊已經著手進行規範蒐集及研究，針對幾個不同的問題點提出次進度表進行解決，相信可以滿足服務建議書之進度規劃。</p>

<p>4</p>	<p>請說明風洞設備使用費編列 20 萬元的概估內容。</p>	<p>感謝委員提問。本計畫規劃之風洞實驗使用費為 20 萬元，主要是依據現在內政部建築研究所實驗室規定提出約一個禮拜的真正使用時間，與進度規劃所需的兩三個月時程意義不同。實際上風洞實驗會依據性能需求不同而以淡江大學實驗室做補足實驗工作。</p>
<p>5</p>	<p>2 個實驗模型可否代表研究需求？</p>	<p>感謝委員提問。模型經費上安排僅就計劃期間內所製作的新模型而言，研究團隊過去進行學術研究所累積的模型亦可納入計畫範圍使用，不需另行編列預算重製。</p>
<p>6</p>	<p>第 1 次專家座談會預定安排於期中審查後不久，要討論之主題規劃如何安排？</p>	<p>感謝委員建議。研究團隊會將第一次專家座談時間重新安排以確保不與期中審查太近而失去其舉辦意義。</p>
<p>7</p>	<p>現行業界的意見請納入資料收集一併考量。</p>	<p>感謝委員提問。由於本計畫隸屬於內政部建築研究所，因此本計畫範疇主要是以建築物為對象來做考量。因此除了可包含地上或屋頂光電支撐系統、天幕、鷹架外，類似風機、橋梁等非建築</p>

		<p>物均不屬於本計畫範疇。然而，由於本計畫分項工作中所提的極值分析理論標準流程以及風洞實驗條件要求，均非單獨限定於建築物範圍，因此在推廣應用上仍可適用於風機、橋梁設計風載重的實驗設計。另外，低矮建築物中若屬於曲面特殊造型(穹頂)或者質量較輕(薄膜)，則由於鈍體空氣動力學行為不同於矩柱，而有探討的必要性存在。本計畫會斟酌篇幅討論現行規範中橫風向與扭轉向風力的給定方式是否可以有簡化空間。然而，檢視目前世界各國橫風向與扭轉向風力本身所需的研究成果尚無法真正提出一可廣泛使用之計算式，故研究團隊認為仍需在未來另闢專題來深入探討為佳。</p>
8	<p>本研究案之成果，看起來較通用於颱風對土地改良物(建築構造物或農作物)。本人曾於交通部高鐵路(現為鐵道局)服務，高鐵列車快速進出隧道，相反方向之不同列車同時於隧道內相會</p>	<p>感謝委員提問。隧道內單列車輛快速通過或雙列車輛快速交叉通過所造成的 Overshoot 現象屬於極度非定常性外力，通常需要進行實驗或者模擬方有可能求取用以設計的風壓係數值。類似</p>

	<p>時，其所造成之風壓不小，不知本案成果可否衍生類似高鐵個案之應用？另外當年（約民國82~83年）國內尚無能力(包括風洞設備及能力經驗不足)處理，高鐵局保送到美國專業大學協助做實驗，本案研究成果，對於建立我國此類風洞實驗設備建管是否有所助益？</p>	<p>此種特例在以建築物為主的規範中較難列入。但若委員有需求，研究團隊可另行致電委員深入討論。本計畫內容將不包含此現象的探討。</p>
<p>9</p>	<p>本研究進度及預期完成之工作項目，採用甘特圖顯示各主要工作項日期程，對整個計畫案之進度確實動向很難掌握，建議增列 S curve 進度曲線，以橫軸表示工作時程，縱軸表示完成累計值來表示整個計畫執行進度，方能於履約階段檢討比較整個計畫之實際進度與預定進度是否異常，以作為趕工控管達進度管理目標。</p>	<p>感謝委員建議。研究團隊會採用委員建議的 S 曲線來控管本計畫之進度執行，並於每次會議中向審查委員或專家學者提出說明。</p>
<p>10</p>	<p>獨立兩棟樓面對東北季風吹，所造成之周遭風力風壓係數暨干擾效應，與獨立三棟以上大樓，東北季風所造成周遭相互旋風作用(扭轉向風載重)所造成之風力風壓係數，以上請依城市及</p>	<p>感謝委員提問。在本次計畫內確實有提出干擾效應現象說明的空間，且除了國外規範以外，國內業已累積不少研究成果可據以引用。在本計畫中研究團隊會首先思考如何以定性化的描述</p>

	<p>郊區，分開求取正確設計值。</p>	<p>文字加入現有規範說明中。但由於干擾風力的因素太過多種，因此無法列為本計畫主要工作項目之一，建議未來由建研所另立研究案進行統整歸納，再提出量化的設計建議。</p>
<p>11</p>	<p>本案針對高層建築、大跨度結構物（如跨河大橋），及臨時結構物（如施工架）等不同種類的載重風力風壓係數比較，選定三個主要參考規範之理由為何？另請綜合說明其他國家新增之風力風壓係數設計值之考量及優點。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫內容中針對大跨度建築物或者附屬於建築之上的臨時性結構議會加入各規範的比較探討。若有新增部分亦會諮詢各專家學者及業者的意見適度加入。本次計畫蒐集規範至少達七種以上，且尚有年份版本之區別，因此可參考的文獻量應已足夠。主要以美國、日本、ISO 規範為主要考量在於，我國規範多從美國規範精神而來，而現行耐風規範亦然，故在考量不大幅改變設計者的習慣前提下，採用美國規範為主；日本則因為與我國有較為相同的建物環境（非氣候環境），因此日本規範所提供的風力風壓係數具有高度參考價值；ISO 規範則是國際間通用的規範，而歐洲、亞洲各國規範亦涉及太多須考</p>

		量的因素，故以 ISO 規範來做為代表，但仍在細節部分提及其他規範之精神。
12	案例選定是否有參考對象及代表性？	感謝委員提問。本次案例選定主要鎖定各規範均有的建築結構種類作為比較探討，故低矮建築物及高層建築物均將涵蓋在內，然而計畫時間有限，風洞實驗不可能涵蓋所有案例，因此研究團隊會先進行規範比較後選定製作。
13	風洞實驗項目是包含六力平衡風力計算及(或)表面風壓計算設計風力。	感謝委員提問。本計畫因探討風壓與風力係數收斂問題，故須採用風壓量測設備。不足之處則由淡江實驗室準備儀器設備運往使用。
14	靜載重已被其他成熟規範長期使用，請另行訂名。	感謝委員建議。研究團隊會針對名詞上所造成疑慮進行修改並徵詢專家學者意見。
15	局部是點狀的嗎？多大的點？應要有個明確的範圍。	感謝委員提問。所謂局部風壓係數係指建築物表面之局部所受到的風壓經過正規化所得之設計值，此設計值用以計算出由單一帷幕牆系統所受之風力。因此設計者再決定外部構材尺寸(面

		<p>積)之後，配合規範所建議的風壓係數，方能計算出正確的風壓值。所謂局部並非指點狀。美國規範在給定風壓係數後尚有考慮構材面積的折減，而目前我國現行規範則並無清楚說明。因此本研究計畫希望納入此學理基礎，讓設計者更能明白風壓係數與風力係數之原理，確保設計者正確使用規範內容。</p>
<p>16</p>	<p>現行規範有爭議或疑義，屬於本次研究範圍者，應請納入研究分析。</p>	<p>感謝委員建議。研究團隊遵照辦理。若考量其爭議或疑義無法於本計畫期間完成者，本計畫亦將提出建議方案，規劃於未來完成。</p>
<p>17</p>	<p>局部風壓在結構分析是否真的有所不足，以致造成實際風災，其損失情況如何？如沒有，本案訂定的必要性，及正面與負面之優缺點何在？</p>	<p>感謝委員提問。我國受風災影響導致辦公大樓帷幕牆受極大負壓後剝落甚或玻璃破裂導致內壓增大，將整片帷幕牆吸出砸落地面的情景皆可由歷年的新聞報導畫面可見，是十分常見的都市型風災種類。此類災害其中最決定性因素即在於局部風壓係數的定義，也就是本計畫欲加以研究之主要範圍，本計畫之必要性可想而知。在各國規範中，均</p>

		<p>針對風力係數與風壓係數定義進行仔細探討，因此本計畫的執行不僅可更新我國現行規範的不足，更可能可以善用過去本所曾執行過的風洞實驗，經由本計畫提出的數據處理方式轉化而成為有效的設計參考值。</p>
<p>18</p>	<p>請提出本案風洞實驗之成本、人力及收費等詳細資料與分析，並妥適安排時程。</p>	<p>感謝委員提醒。研究團隊將就計畫經費範圍內所能運用之額度與建研所風雨風洞實驗室團隊討論進行為期一周的實驗。其中所需之耗材主要用以製作數座模型，如服務建議書所列，執行實驗之人力由本計畫研究助理進行之。該助理過去曾於風雨風洞實驗室執行風壓實驗，故應可有效率完成本計畫所需要的實驗項目。最後，風雨風洞實驗室的收費額度將由服務建議書規劃之額度支付。若有需要補足之實驗將於主持人所擔任之淡江大學風工程研究中心進行之。</p>
<p>19</p>	<p>資料蒐集費請依本所估算數額控管，及早於期中前妥適動支購置實體或數位書籍。</p>	<p>感謝委員提醒。研究團隊遵照辦理。</p>

20	研究期間及結案後一定期間內請配合提供本部(所)重要會議的報告稿件及結論,建議應先擬出文字稿,並與執行之主協辦單位洽商定稿後再納入期末及成果報告。	感謝委員提醒。研究團隊遵照辦理。
----	--	------------------

附錄二 第一次專家座談會意見與回應

審查委員	審查意見	研究團隊回應
蕭教授葆義	風力計算中，有關風壓係數、風速之平均時間 10 分鐘或 1 小時，建議各章規範修正未來朝一致化。	感謝蕭教授的提問，本研究計畫在內容將會提及此一重要定義問題，做為未來修訂規範的共識。目前本研究團隊傾向採取一小時時間長度的最大風力，其極值代表尖峰時間為一秒。
辛副總經理其亮	請公式簡單化，以利開業之技師或建築師用於其結構計算中。	感謝辛副總的提問，公式簡單化是大家具有的共識，本研究團隊亦抱持相同理念，以方便工程師使用為主。目前規範已具有兩套計算方式，一為複雜但較精準的公式，一為簡易計算式。本研究團隊擬持續相同的作法，但在規範格式上應重新編排，可能對於工程師閱讀上較為容易接受。
	開業之技師或建築師，因工作量大且壓力大，常常沒有時間深入了解公式，最好有簡易公式易於遵循。	同 1.回覆內容。事實上，本研究團隊希望未來能開發規範專家系統便利工程師的計算，取代由工程師自行開發 EXCEL 計算風力造成之誤算。
	風力時間最好統一，以利使用。	同蕭教授提問，本研究團隊謹遵辦理。
	規範宜明確要求。	本次研究計畫將依照預期目標提出我國規範中風洞實驗基本要求項目，做為未來各單位執行風洞實驗的準則。
劉副教授	研究成果作為修訂規範之依據，量測時間長度可	感謝劉教授提問，同蕭教授提問，本研究團隊謹遵辦理。

<p>明怡</p>	<p>一致(1 小時、10 分鐘、3 秒鐘...等)。</p>	
	<p>極值分析結果經風洞實驗驗證，可作為修訂規範之依據。</p>	<p>同辛總經理提問 4，本研究團隊謹遵辦理。</p>
	<p>內風壓係數之極值分析，有關開放式、部分封閉式與封閉式之結構可作為未來研究方向，其研究結果亦可作為修訂規範之依據。</p>	<p>內風壓係數可以說是目前最為困難的評估項目。主要原因在於建立內風壓係數的風洞實驗難度頗高，同時量測儀器需具備同步化功能。此一問題未在本研究預期目標內，但是十分建議建研所列為未來可以執行的計畫項目，本研究團隊十分樂意接受此題目的風洞實驗挑戰。</p>
<p>簡主任工程師慶文</p>	<p>建築或廠房局部風壓係數應有區別計算，尤其長形廠房，例如：一般煤倉長邊不能大於 500m；(剪力磨擦係數是否納入考量設計？是否有尺寸修正？)</p>	<p>感謝簡主任工程師提問。一般而言，建築與廠房的局部風壓係數評估方式不會因為建築跟廠房的結構動力特性不同而有所不同，主因為第三章局部風力是以靜力分析，不考慮結構振動問題，僅有外型所引致的風壓係數問題。此外，廠房的長度絕對值不應做為局部風壓係數的影響因素，而應為長、寬、高的相對比例。剪力磨擦一般來說應為牆面粗糙度造成，通常會造成風力減弱。規範中並不考慮此一參數，屬於保守原則考量。</p>
	<p>極值風壓係數的變異係數不應超過 0.3，一般小於 0.1。</p>	<p>極值風壓係數的變異係數(Coefficient of Variation)與一般考量材料的變異係數不同，並不能直接規定不可超過多少，而必須由實際的風洞實驗依據不同風向來評估。不同外形的建築物很可能會有不同的變異係數。</p>

	<p>建議納入 EN/BS code (EN1991)討論，探討看看風壓係數的數據依據。</p>	<p>英國規範中有關局部風壓係數的圖表確實值得拿來做為本次計畫參考的文獻之一。但本研究架構始於美國規範，在不更動整體架構的狀況下，本研究團隊僅參考局部風壓係數部分。</p>
<p>傅總經理 仲麟</p>	<p>會影響到非超越機率百分比的因素，包括極值風速的變異係數，此項特性可能會因為所在地不同或周邊地形影響而有所差異，所以可以檢核台灣地區各地的風速變異係數，來檢查風壓非超越機率之適用範圍。</p>	<p>感謝傅總經理提問，此提議符合本計畫研究範圍，本團隊謹遵辦理。</p>
	<p>在風洞實驗章節可將極值風壓係數之計算流程敘明，以提供各風洞實驗單位，在進行實驗資料分析時有一個共同的標準及程序，以避免不同實驗單位所得之結果有明顯差異。</p>	<p>此建議與本計畫預期目標相同，本團隊謹遵辦理。</p>

附錄三 期中審查會議意見回應

項次	審查意見	廠商回應
1	<p>報告 48 頁不同幾何之高低層建築模型，文中說明已經執行完成風洞實驗待整理資料，因為幾何規則，國際上是否已經有相關文獻風壓係數可供比較，若有建議附上以強化報告論述。</p>	<p>感謝委員提問。我國目前第三章規範內容主要對象為建築物種類為雙斜屋頂低矮建築物及平屋頂高層建築物的外牆附屬結構物。我國規範係參考美、日規範而來，故常見之各國規範均有相同可比較的設計值。研究團隊將於期末報告呈現各國比較之結果。</p>
2	<p>目前實務上台灣不同行政區因為基本風速不同造成風速壓差異甚大(風速的平方)，使得設計者因而不放心採用低風速行政區風壓(有時風壓計算只有 1.2kPa)，或是以自由心證選用地況來調高風壓，以台灣面積狹小，建議新規範不要做過多的風壓區分與選項。</p>	<p>感謝委員指教。基本設計風速的修訂問題非為本計畫執行範圍。但依研究團隊過去經驗，業界意見多傾向於避免相鄰兩區的風速差異過大而造成設計時取巧採用不保守的風速而有安全疑慮。台灣地形起伏甚大，區域都市化十分顯著，故若以大範圍均一設計風速的概念，勢必導致大多數區域過於保守的現象。</p>
3	<p>期中報告已經顯示規則矩形建築之風壓係數，不過實務上建築外殼風壓變化常見於露臺、欄杆、雨遮、塔裙樓相接處，建築</p>	<p>感謝委員建議。確實實際建物外表有其不同的粗糙度，並非規範中所示的簡易幾何形狀。一般而言，表面粗糙度會影響流體經過</p>

	<p>設計常因此處風壓影響預算外觀而做許多討論及修改，期末報告如時間足夠，應可補充幾何變化建築物之分析，以使未來風力規範更趨完整。</p>	<p>鈍體時所造成的小渦漩，因而早成破壞風力結構而導致風力些許下降。所以在設計時，通常會簡化實際結構物的表面為平滑表面，因而獲得偏保守的風力值。本研究團隊可於期末視進度執行狀況來決定是否增加一段有關於此的文字說明或圖說。</p>
<p>4</p>	<p>實務上大規模建築案件一定會執行風洞作為外牆風壓設計依據，小規模建築案件常用鋁門窗級 240 或 360 級作為設計標準。期待新設計風壓規範能成為業界信賴的標準。</p>	<p>感謝委員建議與期許。本研究計畫之預期成效若能達成，將有益於協助國內工程師更深入了解耐風設計。</p>
<p>5</p>	<p>本研究對於既有風力規範增修說明，讓使用者更清楚條文背景避免誤用。並加強有關風洞實驗之規範，對於工程實務應用而言確實非常必要。另外，有關規範本土化，國際規範依據大量之風動實驗結果歸納而成，而本研究之風動實驗，在結構形式上，本土結構形式與國際主要差異為何？</p>	<p>感謝委員提問。事實上，各國規範所累積的風洞實驗數量龐大，但是因為各國所採用的風力時間以及陣風定義不同，因此本研究團隊認為若要能廣納各國規範的設計值進入國內規範為本土工程師所用，首先必須訂出標準分析流程以及風洞實驗的基本條件要求。如此一來，轉換國外的參數時即可因本土氣候特性及建物環境不同，而有學理</p>

		上的支持來轉換參數。本計畫所謂的本土化即為此義。
6	計畫名稱特別提到「本土化」，故建議研究中可先針對台灣本土與國際規範進行比較，擬定主要之本土化差異因子（例如：本土化風場特性、風力特性、結構特性及產業特性等），後續即可針對已明確之個本土化差異因子進行檢討與建議，繼而落實本土化之目標。	感謝委員建議。本研究團隊目前已針對影響設計時最大的風場特性進行比較分析，同時亦針對形成設計值過程中所謂的敏感參數進行比較，應能於期末報告時提出全盤性的說明。
7	P.1 第二章 v.s. 第三章之差異改善? Ex: 柱子是結構(風力小)或帷幕直料(風力大)?	感謝委員提問。本研究計畫聚焦於規範第三章內容的修訂。雖然研究團隊已經指出目前規範內容中第二章與第三章之間的些許矛盾可議點，但由於執行時間有限，不宜擴大本計畫範圍至第二章內容的修訂。故本研究團隊可於期末計畫內容中提出研究團隊對於未來規範修訂的大致方向建議，但期許本所可於明年准予本研究團隊持續進行此研究。
8	P.48 建議增加低矮建築模型的說明敘述。	感謝委員建議。研究團隊謹遵辦理。

9	前幾年台灣的實測計畫進度?成果?有無納入?	感謝委員詢問。很遺憾本所未能實施實場建築物監測計畫來作為最佳驗證風力計算的對象。研究團隊將持續爭取經費來進行此一重要計畫。
10	目前研究案會提及第四章與第五章之差異極大的問題嗎?	感謝委員提問。研究團隊將於期末報告進行各國規範內容比較時說明此一現象。然而研究團隊認為，分區差異大主要還是在於受到結構物幾何外型影響，依照基本鈍體空氣動力學理論，確實因為流體分離現象而在角隅處所受的風壓較大。
11	針對其中專家座談會之意見，如何納入計畫執行中，如簡化公式，量測時間等，請說明。	感謝委員建議。研究團隊將於後續期末報告中針對各項專家座談意見以及期中報告審查意見回覆，納入本文內容說明，以確保各委員意見均已回覆。
12	請補充預期與實際進度。	感謝委員建議。研究隊團將於後續專家座談會及期末報告中詳細說明預期進度與調整進度過程的文字說明。研究團隊認為，滾動式調整進度有益於本計畫執行上的效率，故研究團隊往後

		仍將視各工作項目進度進行微幅調整。
13	建議可參考歐洲規範，將建築物的設置期限以回歸期不同的方式區別。	感謝委員建議。研究團隊認為採用歐洲規範亦無不可，然仍需要經過多次的專家座談與業界溝通，甚至整個風力設計的概念亦須進行大幅度的修改。因此，研究團隊認為以本研究計畫現階段的發現為基礎來進行下一階段的規範修訂較為容易。
14	圖 4-38 顯示相較 1970 年以前，颱風事件的最大風速越小，是否表示耐風設計規範的設計風速有下修的空間。另建議可參考耐震規範以微分區區別設計風速。	感謝委員提問。確實過去的早年紀錄所顯示的颱風強度較大，然而那是指十分鐘平均風速。當進行局部風壓設計值，我們仍須考慮陣風的影響，因此就顯示出本研究進行極值分析的重要性。目前亦有業界建議採用微分區來進行基本設計風速的給定，然而我國地形起伏甚大，而且風力產生的原因跟地震力產生原因不同，不能將地震力設計的概念強行套用在風力上。
15	風洞實驗的結果顯示 4、5 區的界線不明確，是否有相互參考的。	感謝委員提問。研究團隊將於完整分析完風洞實驗結果後，於期末報告針對所謂分區的問題做

		一說明。
16	擬合為本土化，如何做?是擬合什麼，目前本土化什麼?	感謝委員提問。前幾位委員已針對本土化定義提出疑問，亦由研究團隊回覆，在此不再贅述。
17	何以不設第三方 Peer review? 本所以往研發的防火避難性能設計，目前國內廣為使用，且台建中心審核，有經驗可循，風如要做。	感謝委員支持。研究團隊認為在部分特殊結構物進行風力設計時，確實需要有更嚴格的 Peer-Review 的制度存在。研究團隊認為此制度的設置涉及層面較大，應可參考國內已經具備此制度的規範做為參考對象，進而於專家座談中討論，形成共識。
18	何以限制學理公式?甚至要求實驗管理量測?(是何法會何位階應擬定)。	感謝委員提問。本研究團隊並非限制學理公式，而是希望於規範條文的解說內容中提出本研究團隊認為可行的極值分析方法做為參考。以設計者角度來說，當然可以尋求更為合理的方法。然而，也同樣必須提出具備有學理背景的方法才能被採用。此外，風洞實驗若未經過模擬條件的要求勢必容易造成流場不正確而得到不正確的風

		<p>壓，最後導致使用何種方法都無法獲得正確的設計值。因此，研究團隊認為風洞實驗基本條件的要求是分析方法的基礎，必須加以規定。</p>
19	<p>目前研究成果，以指出規範太保守(太嚴格)，但似乎技師來反映此項窒礙難行，請進一步了解</p>	<p>感謝委員提問。規範太保守而導致窒礙難行的情況，以研究團隊過往的經驗來說並未發生過。倘若是公式複雜而導致計算錯誤的狀況確實曾有。然而目前工程師計算風力均已採用電腦計算而非手算，何來公式複雜而無法計算之道理？風力計算與地震力計算的本質不同，因此在各國規範中計算風力均具有相同的複雜度，建議本所未來可以開發專家系統解決所謂公式複雜無法計算的問題。另外，風力保守與否與我國風速風向變化有關，而通常簡化公式就會使風力更趨保守。追求經濟實惠的風力就會導致公式複雜化。</p>
20	<p>與□前□ 2.3</p>	<p>感謝委員提問。與之前其他委員相同的提問已於上述回應中答覆，在此不再贅述。</p>

附錄四 第二次專家座談會意見與回應

審查委員	審查意見	研究團隊回應
	<p>建議可詳述風洞實驗與計算極值的相互關係。</p>	<p>感謝委員建議。本計畫所提及之極值分析理論與風洞實驗的相連性為本計畫之核心，理應於期末報告中詳述其連動關係。</p>
<p>陳組長建忠</p>	<p>規範內文及定義都很好，風洞實驗實驗室是否有依照現行規範執行實驗?法規定義完成後，建議可推動履行監督責任的配套措施，增強規範的約束力。</p>	<p>感謝委員建議。目前國內較具規模之風洞實驗室應已遵循我國目前規範內容執行風洞實驗。然而檢視目前規範內容明顯有不足之處，尤其是為了求取正確的風壓係數設計值時，更應注重實驗的數據品質，因此有必要檢視目前國際間最新規範內容，並加以修訂。</p>
	<p>建議可告知新增規範附錄的用意，係參考輔助或是實驗準則。</p>	<p>感謝委員提問。根據其他委員建議，若於規範本文或解說中提及如何進行極值分析過程將過於繁複，而且進行極值分析的方法很多種，本計畫僅就最常提及的兩種方式進行討論。故研究團隊將採用附錄方式，詳述極值分析過程作為參考作法之一，但不限於此法。另外於規範本文及解說中以簡短但符合本次提議修定的精神的文字來做修訂。</p>

	第三章局部空間風壓係數，建議數據可參考建研所歷年的相關研究及他國的風力規範。	感謝委員建議。本計畫將參考至少七國規範進行新增風壓係數內容的參考，並結合過去建研所計畫曾執行過的不同類別提出看法，評估是否納入本計畫新增內容。
鄭教授啟明	極值分析結果不以風洞實驗驗證，建議以類似極值統計分析得出設計值。	感謝委員建議。由於採用風洞實驗結果驗證規範設計值將導致實驗量過大，故本計畫擬採用少數具有代表性的案例進行驗證，主要以極值統計分析方式推導出結論。
	建議規範以多定性方向修訂，不論是在風洞實驗的步驟解說或以附錄方式呈現極值分析的方法，供技師/建築師參考使用。	感謝委員建議。研究團隊謹遵辦理。
張教授景鐘	建議規範不只是參考性質，要有約束性及強制力才有參考價值。	感謝委員建議。規範得以風洞實驗結果取代，故風洞實驗應具有一定的法規位階。進行風洞實驗的單位應具備有一定程度的專業且應當經過適當的審核，方能提供風洞實驗結果作為風載重之設計。本研究將於期末報告提及委員所提之建議，並建請我國相關政府部分應思考如何將風洞實驗之法階及其權責明訂清楚。
	建議規範內的解釋以附錄呈現。	感謝委員建議。研究團隊謹遵辦理。
姚副總經	建議規範可明列符合風	感謝委員建議，研究團隊謹遵辦

<p>理村淮</p>	<p>洞實驗的條件，取代現行結構需求而進行的風洞實驗。</p>	<p>理。</p>
	<p>建議帷幕風壓考慮的值可不用和大樓安全的參考值相同。</p>	<p>感謝委員建議。針對此點，研究團隊認為應與大樓整體風力設計所考量的回歸周期設計值一致。由於局部風壓造成的局部破壞，極可能改變內壓而導致整體設計風力改變，尤其是科技廠房之類的大跨度結構。為了保守起見，研究團隊認為目前 50 年回歸期的設計風力並不算太高，且應保持一致，作為整體風力與局部風壓的準則。</p>
	<p>建議規範可提出風洞實驗監督審核的專業人員。</p>	<p>感謝委員建議。由本計畫所比較的結果中得知，國外所遵循的規範多為被動式建議值，而我國規範則為強制性要求。然而由於民情不同，若我國規範中不針對風洞實驗予以品質的審核要求，則很可能淪為設計安全上的漏洞，實屬堪慮。研究團隊擬於期末報告中解釋此一現象並提出風洞實驗相關章節應修改的草案。同時，一併提出風洞實驗報告的重要性應受到重視，在未來應作為建管處納管的文件之一。</p>
<p>吳教授 毓庭</p>	<p>建議極值風速的參考數據可因時因地制宜，增加變異性。</p>	<p>感謝委員建議。研究團隊目前僅採用三十個人工測站作為極值風速變異性的考量，密度上顯然不夠。然而我國其他多達四百多個無人測站的紀錄並不完整，或不足夠，無法進行極值風速分析。從研究成果看來，可發現我國人工測站變異性高，極有可能影響作為設計值所對應的非超越機率百分比。目前世界上常用者為 78%，我國則較低。</p>

附錄五 期末審查會議意見回應

項次	審查意見	廠商回應
1	本研究所提及耐風規範內容修正建議，極具參考價值。	感謝委員支持。
2	對於本案提出耐風設計技術手冊之編訂建議甚表贊同，未來可持續開發適合本土之耐風設計。	感謝委員支持。
3	本研究指出，設計風壓係數採60%以上即相當接近本土資料，然而本研究卻提出75%之建議值。請補充說明理由。	感謝委員提問。研究團隊於本成果報告中針對60%、70%、80%、90%的結果進行比較。並將結果重新調整為與ISO 4354-2009一致，均為80%。其主要原因在於，Cook and Mayne所提出的78%為研究論文結果，而ISO 4354-2009為正式規範要求，位階不同。此外，75%、78%、80%結果差異不大，故可直接採用ISO建議值。
4	本研究提出每隔10度進行不同風向的風洞實驗之建議，是否因為容易與氣象資料整合？	感謝委員提問。的確在進行風洞實驗時，特意採用了與氣象資料相符的結果。然而未來是否需要如此，研究團隊認為應可仿效日本規範AIJ-2015簡化為16風向即可。

<p>5</p>	<p>於風洞實驗中，如何考量披覆物外部構造有效受風面積之風壓折減？</p>	<p>感謝委員提問。本研究所採用的風壓係數均為考量與 ASCE 規範系列相同之最小有效面積 0.5 平方公尺，幾乎等同於風壓孔面積放大至實場尺寸。本研究中並未針對有效面積進行探討，僅提出第三章中對於有效面積不應 3.2 節、3.3 節與 3.4 節採用不同有效面積認定方式的疑慮。研究團隊亦於建議中提出應進行有效面積的相關實驗計畫，期盼能於未來本所計畫中進行深入探討。</p>
<p>6</p>	<p>第 3 章建議風洞實驗應遵守其模擬要求，是否國內外實驗室均可符合此項要求？若該單位認為其實驗方法更為合理，應如何處理？以上請研究團隊多方考量。</p>	<p>感謝委員提問。研究團隊認為我國規範應參考國外目前針對風洞實驗品質要求所推出的技術手冊，並制定針對風洞實驗模擬的最低限度要求，以確保風洞實驗結果能確實反映出真實風力狀況，並用以設計。目前我國規範內容中雖有些許的量化要求，然而不夠全面，因此研究團隊建議未來應由本所規畫提出風洞實驗技術之參考手冊，輔助規範執行。</p>

7	研究結果可納入未來耐風規範附冊說明內。	感謝委員建議。研究團隊將建議將目前研究成果納入未來規範修訂內容中，但仍需採納各方專家學者意見，決定是否納入規範附錄亦或另成他冊索引。
8	規定不必太過詳細，僅做原則性宣告即可，以適用其他各國之情況。	感謝委員建議。
9	研究成果及內容之陳述符合需求。	感謝委員支持。
10	建議歸納案中關鍵重大之規範建議項目，以助於後續研擬規範時建立共識。	感謝委員建議。成果報告結論部分已針對本研究內容詳列出幾點重大發現。
11	風壓係數研究結果確實不妥，如可進行修改，切勿延宕。建議本研究之規範成果應書面送予營建署並尋求合作。	感謝委員建議。

参考文献

- [1] AIJ Recommendations for Loads on Buildings 2015 (AIJ-2019), Architectural Institute of Japan, 2019.
- [2] American Society of Civil Engineers – Wind tunnel testing for buildings and other structures (ASCE/SEI 49-12), Structural Engineering Institute, American Society of Civil Engineers, 2012.
- [3] Bietry, J., Sacre, C., and Simiu, E., 1978. Mean wind profiles and changes of terrain roughness, Journal of Structural Division, ASCE, 104, p1585-1593.
- [4] Cermak, J.E., 1975. Application of fluid mechanics to wind engineering, A freeman scholar lecture, Journal of Fluids Engineering, ASME, 97, p9-38.
- [5] Cermak, J.E., 1981. Wind tunnel design for physical modeling of atmospheric boundary layer, Journal of Engineering Mechanics, 107, p623-642.
- [6] Cook, N.J. and Mayne, J.R., 1979. A novel working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design. Journal of Industrial Aerodynamics, 4, p149-164.
- [7] Cook, N.J. and Mayne, J.R., 1980. A refined working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 6, p125-137.
- [8] Cook, N.J., 1990. *The designer's guide to wind loading of building structures –part 2: static structures*. Butterworths.
- [9] Counihan, J., 1973. Simulation of an adiabatic urban boundary layer in a wind tunnel, Atmospheric Environment, 7, p673-698.
- [10] Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions (includes Amendment A1: 2010 + Corrigendum AC: 2010) English translation of DIN EN 1991-1-4:2010-12, DIN-Sprachendienst, 2010.
- [11] Guide for the assessment of wind actions and effects on structures (CNR-DT 207/2008), Advisory Committee on Technical Recommendations for Constructions, National Research Council of Italy, 2010.
- [12] International Standard: General Principles on Reliability for Structures (ISO 2394:2015), International Standard Organization, 2015.
- [13] International Standard: Wind actions on structures (ISO 4354:2009), International Standard Organization, 2009.
- [14] Kasperski, M., 2003. Specification of the design wind load based on wind tunnel experiments. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91, p527-541.
- [15] Kasperski, M., 2007. A consistent model for the codification of wind loads. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95, p1114-1124.
- [16] Kasperski, M., 2009. Specification of the design wind load – A critical review of code concepts. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 97, p335-357.
- [17] Kasperski, M., 2014. Specification of the design value of the aerodynamic coefficient. Class notes for advanced school on wind engineering, March 13-14, 2014, Taipei, Taiwan.
- [18] Lo, Y.L., Kasperski, M., 2019. Adjusting for uncertainties in estimated design loads from small ensembles – application and evaluation, Proceeding of The 15th International Conference on Wind Engineering Beijing, China; September 1-6, 2019
- [19] Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16), Structural Engineering Institute, American Society of Civil Engineers, 2016.

- [20] National Building Code of Canada 2015 Volume 1 and 2, Canadian Commission on Building and Fire Codes, National Research Council of Canada, 2015.
- [21] Peng, X., Yang, L., Gavanski, E., Gurley, K.R., and Prevantt, D.O., 2014. A comparison of methods to estimate peak wind loads on buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 126, p11-23.
- [22] Quality Assurance Manual: Wind Engineering Studies of Buildings (AWES-QAM-1-2019), Australian Wind Engineering Society, 2019.
- [23] Snyder, W.H., 1972. Similarity criteria for the application of fluid models to the study of air pollution meteorology, *Boundary Layer Meteorology*, 3, p113-134.
- [24] Structural design actions – Wind actions – Commentary (AN/NZS 1170.2 Supplement 1: 2002), Standard Australia, 2002.
- [25] Townsend, A.A., 1956. The structure of turbulent shear flow, Cambridge University Press, p53.
- [26] 中華人民共和國國家標準：建築結構荷載規範 GB 50009-2012，中華人民共和國住房和城鄉建設部、中華人民共和國國家質量監督檢驗檢疫總局，2012年5月。
- [27] 朱佳仁，建築物耐風設計規範之基本設計風速修訂研究，108年內政部建築研究所協同研究計畫報告，內政部建築研究所。
- [28] 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック〈2008〉，財團法人日本建築中心，2008年。
- [29] 建築物耐風設計規範及解說，內政部營建署，2015年1月。
- [30] 陳若華，低層建築耐風設計風載重之修訂研究，96年內政部建築研究所委託研究計畫報告，內政部建築研究所。
- [31] 陳若華，建物附屬設施及臨時構造物耐風設計準則之探討，95年內政部建築研究所委託研究計畫報告，內政部建築研究所。
- [32] 陳瑞華，帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬，106年內政部建築研究所協同研究計畫報告，內政部建築研究所。
- [33] 鄭啟明，高層建築耐風設計風力頻譜與風載重之修訂研究，96年內政部建築研究所研究計畫報告，內政部建築研究所。
- [34] 鄭啟明，羅元隆，聶國昫，大跨徑屋蓋結構之氣動力特性與耐風設計，106-108學年度科技部專題研究計畫，科技部。
- [35] 羅元隆，Kasperski, M., 2018年，以極值分析理論推估最佳設計風壓係數，結構工程，第33期第113-134頁。
- [36] 羅元隆，林逸崧，2018年，低矮建物屋頂表面之極值設計風壓係數探討，中國土木水利工程學刊，第30卷第1期第37-50頁。
- [37] 羅元隆，建築耐風設計規範風速模式探討及設計風速修訂研究，105年內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所。
- [38] 羅元隆，應用風洞實驗進行建築結構物等值靜載重評估研究，107年內政部建築研究所委託研究報告，內政部建築研究所。