

低層建築物附屬設施之耐風性能研究

研究主持人：鄭元良

協同主持人：陳若華

研 究 員：劉文欽 聶國昫

研 究 助 理：周晉成 許育銘

內政部建築研究所 研究報告

中華民國一〇一年十二月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目錄

目錄.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	XI
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究方法.....	3
第二章 文獻回顧.....	9
第一節 國內外規範相關規定比較.....	9
第二節 相關文獻資料探討.....	18
第三章 研究內容與方法.....	31
第一節 研究內容.....	31
第二節 建築物氣動力實驗.....	32
3-2.1 實驗模型規劃.....	32
3-2.2 流場規劃.....	35
3-2.3 氣動力實驗規劃.....	37
第四章 研究結果與討論.....	43
第一節 平屋頂上太陽能板氣動力特性.....	43
4-1.1 太陽能板表面淨風壓係數分布.....	43
4-1.2 太陽能板表面整體淨風壓係數變化.....	47
第二節 斜屋頂上太陽能板氣動力特性.....	51

第三節 斜屋頂上高架水塔氣動力特性.....	61
第五章 附屬設施風載重特性分析.....	65
第一節 附屬設施氣動力特性.....	65
第二節 附屬設施之風荷載與結構反應.....	67
5-2.1 結構系統分析的建構.....	67
5-2.2 結構模型之氣動力載重資料.....	67
5-2.3 基本型式受風載重作用.....	69
5-2.4 變化桿件配置之影響.....	71
第三節 小結.....	77
第六章 結論與建議.....	79
第一節 結論.....	79
第二節 建議.....	80
參考文獻.....	82
附錄一、期中審查會議意見回覆表.....	85
附錄二、期末審查會議意見回覆表.....	89
附錄三、專家座談會議紀錄與審查意見回應.....	96

表次

表 2-1 開放式建築物之單斜示屋頂的風力係數， C_f	11
表 3-1 實驗模型類型規劃.....	35
表 5-1 基本構形太陽能熱水系統支撐結構載重歷時資料分析之最大桿件內力.....	71
表 5-2 上游立面上增加斜撐桿件構形歷時載重資料分析之最大桿件內力	73
表 5-3 增加太陽能板邊框長向斜撐桿件構形歷時載重資料分析之最大桿件內力	75

圖次

圖 1-1 安裝於屋頂之太能熱水系統及水塔.....	3
圖 2-2 紐澳地區耐風設計規範AS/NZS 1170.2:2002對於開放式建築物單斜平板屋頂版的淨風壓係數規定	15
圖 2-3 日本規範AIJ2004對於建築物對於開放式建築物斜平板屋頂版的淨風壓係數規定.....	16
圖 2-4 英國BSI (BS 6399-2 : 1997)對於建築物對於開放式建築物斜平板懸伸屋頂版的風壓係數符號定義.....	17
圖 2-5 英國BSI (BS 6399-2 : 1997)對於建築物對於開放式建築物斜平板懸伸屋頂版的風壓係數.....	18
圖 2-6 風向與屋脊垂直時,深寬比4,山形廠房建築物模型表面平均風壓係數分佈,(a)屋頂坡度1:1,(b)屋頂坡度1:2,(c)屋頂坡度1:4,(d)屋頂坡度1:8。.....	22
圖 2-7 風向與屋脊平行時,深寬比4,山形廠房建築物模型表面平均風壓係數分佈,(a)屋頂坡度1:1,(b)屋頂坡度1:8。 .	23
圖 2-8 風向與屋脊平行時,不同深高比山形廠房建築物模型表面平均風壓係數分佈,(a)深高比1,(b)深高比2,(c)深高比4,(d)深高比6。.....	24
圖 2-9 風向與屋脊平行時,深高比4,山形廠房建築物模型表面擾動性風壓係數分佈,(a)屋頂坡度1:1,(b)屋頂坡度1:8。 25	25
圖 2-10 風向與屋脊垂直時,深寬比4,山形廠房建築物模型表面擾動性風壓係數分佈,(a)屋頂坡度1:1,(b)屋頂坡度1:4,(c)屋頂坡度1:8。.....	26
圖 2-11 風向與屋脊垂直時,深高比4,山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈,(a)屋頂坡度1:1,(b)屋頂坡度1:4,(c)	

屋頂坡度 1:8。	27
圖 2-12 風向與屋脊平行，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a) 屋頂坡度 1:1，(b) 屋頂坡度 1:4，(c) 屋頂坡度 1:8。	28
圖 2-13 屋頂坡度 1:4，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a)風向與屋脊平行，(b)風向與屋脊夾角 11 度，(c)風向與屋脊夾角 22.5 度，(d)風向與屋脊夾角 45 度，(e)風向與屋脊垂直。	29
圖 2-14 屋頂坡度 1:8，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a)風向與屋脊平行，(b)風向與屋脊夾角 22.5 度，(c)風向與屋脊夾角 45 度，(d)風向與屋脊垂直。	30
圖 3-1 模型於風洞中進行實驗量測	33
圖 3-2 電子式壓力掃描模組.	34
圖 3-3 壓力訊號處理系統.	34
圖 3-4 流場特性之垂直分佈，(a)平均風速剖面，(b)紊流強度剖面	36
圖 3-5 安裝於平屋頂上太陽能板安裝位置與風向角定義 . . .	39
圖 3-6 安裝於平屋頂上太陽能板	39
圖 3-7 安裝於平屋頂上太陽能板位置定義(a)屋前，(b)屋中，(c)屋後。	40
圖 3-8 安裝於斜屋頂上太陽能板安裝位置與風向角定義 . . .	41
圖 3-9 安裝於斜屋頂上高架水塔位置與風向角定義	41
圖 4-1 位於平屋頂中央區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，風向角(a)180 度，(b)150 度，(c)135 度，(d)120 度，(e)90 度，(f)45 度，(g)30 度，(h)0 度。	45

圖 4-2 位於平屋頂中央區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)90 度，(c)135 度，(d)180 度。	46
圖 4-3 位於平屋頂中央區域太陽能板尖峰淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)45 度，(c)135 度，(d)180 度。	47
圖 4-4 位於平屋頂上(含女兒牆)太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化.	48
圖 4-5 位於平屋頂上太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化.	49
圖 4-6 位於平屋頂上抬高3公分之太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化.	49
圖 4-7 位於平屋頂上(含女兒牆)太陽能板整體擾動性淨風壓係數隨風向角變化.	50
圖 4-8 位於平屋頂上太陽能板整體擾動性淨風壓係數隨風向角變化.	50
圖 4-9 位於平屋頂上抬高3公分之太陽能板整體擾動性淨風壓係數隨風向角變化	51
圖 4-10 位於1:2斜屋頂前緣區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。	53
圖 4-11 位於1:2斜屋頂前緣區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。	54
圖 4-12 位於1:4斜屋頂前緣區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。	55
圖 4-13 位於1:4斜屋頂前緣區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。	56
圖 4-14 位於1:8斜屋頂前緣區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，	

風向角(a)0度，(b)15度，(c)45度，(d)90度。 57

圖4-15 位於1:8斜屋頂前緣區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，風向角(a)0度，(b)15度，(c)45度，(d)90度。 58

圖4-16 位於1:2斜屋頂不同區域太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形 59

圖4-17 位於1:2斜屋頂不同區域太陽能板擾動性淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形 59

圖4-18 位於1:4斜屋頂不同區域太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形 60

圖4-19 位於1:4斜屋頂不同區域太陽能板擾動性淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形 60

圖4-20 不同片數之太陽能版配置位於1:2斜屋頂屋脊區域太陽能板平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈 61

圖4-21 高架圓筒水塔配置位於1:4斜屋頂屋脊區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角0度。 62

圖4-22 高架圓筒水塔配置位於1:4斜屋頂屋脊區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角180度。 62

圖4-23 高架圓筒水塔配置位於1:4斜屋頂邊緣區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角0度。 63

圖5-1 太陽能熱水器結構分析計算的模型 67

圖5-2 太陽能板四個角隅支撐點之點位定義 68

圖5-3 推估之實尺寸太陽能版各角隅支撐點所受風荷載時序列資料 68

圖5-4 基本構形太陽能熱水系統支撐結構 70

圖5-5 上游立面上增加斜撐桿件太陽能熱水系統支撐結構 72

圖 5-6 增加太陽能板邊框長向之斜撐桿件太陽能熱水系統支撐結構..... 74

圖 5-7 底座平面增加斜撐桿件之太陽能熱水系統支撐結構.. 76

圖 5-8 斜屋頂面上所受風力之垂直與水平分量..... 78

摘 要

關鍵詞：建築物附屬設施、風壓係數、風載重

一、研究緣起

建築物附屬設施在提供建築物使用階段各項必須的功能及其維護，包括室內及室外均有多種的附屬設施及設備的設置，以受風作用而言，應以室外部份為主要考量目標，室外部份易受風作用影響的包括水塔、廣告招牌物、雨庇、遮陽、空調設備、太陽熱能系統等。而就低矮形建築物而言，常有附屬設施採用附掛方式安裝於建築物外殼，其支架系統亦未與建築物主抗風結構系統密切結合，因此有必要針對此類設施的耐風性能加以檢討。

二、研究方法及過程

1. 文獻資料蒐集與比較：
 - i. 國內低層建築附屬設施安裝現況資料蒐集與檢討。
 - ii. 整理關於水塔、招牌等氣動力特性之現有相關研究成果。
 - iii. 蒐集不同屋頂型式對於建築物外部流場的影響文獻資料，並整理作為實驗設計之基礎。
 - iv. 市面上常用的太陽能集熱板支撐結構系統資料蒐集與檢討，並配合太陽能集熱板受颱風破壞與結構性能檢討。
 - v. 低層建築物中常見太陽能集熱板安裝方式資料彙整。
2. 氣動力實驗規劃：
 - i. 流場規劃：協助建立風洞實驗所需的流場，將以均勻紊流場模鄉村地況大氣邊界層底層流況。
 - ii. 模型設計：氣動力模型將利用壓克力版製作，模型包括太陽熱能系統、圓桶型水塔等縮尺模型，模型表面佈設壓力孔，搭配壓力管線系統，量測表面風壓變化，並與文獻資料相驗證。
 - iii. 低層建築物模型：為表現不同建築物屋頂型式對於氣動力特徵的變化，本研究依據國內規範定義範圍選擇五種不同坡度(1:1, 1:2, 1:4, 1:8 以及平屋頂)的斜屋頂

低層建築附屬設施耐風性能研究

建築物模型，模型屋頂面設置孔位，將氣動力模型安裝於屋頂面上，提供可安裝在上、下游側及屋脊等位置的可能性。針對平屋頂模型系列，將另行以外加女兒牆方式進行氣動力實驗。

- iv. 彙整本所研究成果，規劃氣動力模型風洞實驗，了解不同屋頂形式條件下，附屬設施所受風壓與局部尖峰風壓的資料，評估對建築物附屬設施風載重的影響。
- v. 實驗控制參數：氣動力實驗研究主要探討不同屋頂型式及安裝位置的影響，因此在建築物模型方面實驗參數控制以此兩種因子為主。另考慮安裝方式，因此氣動力模型架設支架高度設計為可調整式，表現不同抬高比例對於風載重的影響。
- vi. 由實驗量測所得之低層建築附屬設施表面風壓資料首先將計算其表面風壓均值、擾動值、尖峰因子(peak factor)、擾動風壓頻譜(spectrum)、機率密度函數(PDF)的識別、空間相關性(spatial correlation)及頻率特性等，以完整掌握表面風壓分佈情形。有關風壓的時序列資料同時亦分析其偏態(skewness)與峰度(kurtosis)係數。
- vii. 利用氣動力模型表面風壓，採有效貢獻面積加權積分方式，將瞬時載重分配至各連接之承結構系統的節點，供結構分析之用。
- viii. 由空間相關性探討建立平版表面風載重傳遞過程與分析。

3. 支承結構系統分析：

- i. 本研究將配合常見的支承結構系統詳細設計資料，利用結構分析軟體，建立建築物附屬設施支承結構的分析檔，以供後續分析之用。
- ii. 結構分析軟體將採用 Midas 軟體，透過圖形化界面建立模型，再由氣動力實驗所獲得之風載重歷時資料加以分析。
- iii. 本計畫將利用有限元素法結構分析軟體，利用氣動力實驗成果數據，進行支承結構系統內力與變位分析，並討論最大可能內力與變位出線的位置。配合對結構系統不利的危險條件討論，將嘗試以變化桿件布置方式，觀察結構反應的改善情形。

4. 載重的評估：

- i. 推估低層建築物附屬設施在典型屋頂形式、不同安裝位置及市面上常用的支撐結構系統下，所受風載重資料，檢討市面上常用的支撐結構系統的優缺點，並做成改進建議。
- ii. 透過結構分析軟體計算與風壓分布的檢討，探討安裝位置與所受風載重的比較。

5. 結構系統的比較與耐風設計策略研擬：
 - i. 透過支撐結構系統的結構安全檢討，就附屬設施安裝所需的條件或規劃設計原則進行歸納。
 - ii. 由本研究在配合對結構系統不利的危險條件討論，比較不同桿件配置方式，對結構反應的改善情形，有助於研擬提升太陽能熱水系統結構耐風性能的設計手法。

三、重要發現

1. 屋頂坡度的影響：以低矮型建築物表面風壓與屋頂坡度的變化，屋頂坡度越大則正負風壓擾動更為劇烈，作用在附屬設施的紊流擾動亦高。而有掀翻危險的平板類設施，下版面表面風壓分布受到局部加速影響，而略有變化，因此與安裝間隙有關。
2. 安裝位置的選擇：安裝在屋脊位置的設施所受到氣動力作用最為強烈，因處於分離剪力流越過建築物的區域，因此風荷載最大。至於安裝在邊緣區域的設施，風荷載較為減緩。
3. 架高安裝的影響：提高架設基座的高度，使間隙放大，有使風荷載略減緩的現象，對於有掀翻危險性的構造而言，亦有所助益。
4. 風向角的變化：以設計考慮，構造物應能抵抗所有風向角的來流作用，因此檢討其氣動力載重時，各風向角均加以檢核，以風荷載最嚴重的條件，進行結構分析可有效提升系統的安全性。
5. 女兒牆的影響：本研究顯示女兒牆產生的屏蔽作用對減輕風荷載助益甚大，因此平屋頂面上安裝附屬設施如能配合女兒牆設置，對於設施的耐風性能最有幫助。
6. 低矮建築物屋頂太陽能板氣動力特性：本研究以太陽能板縮尺模型至於不同坡度之斜面屋頂上，量測其版面的平均及擾動性淨風壓係數分布，就風向角零度而言，屋頂坡度未明顯改變平均淨風壓係數的分布，而平均淨風壓均呈現較為均勻的分布情形，小攻角時平均淨風壓係數即有較明顯的增加，同時以角隅附近有較劇烈的變化；風向角為 90 度時，風向為平行於屋脊，且對太陽能版而言屬側吹方式，上下版面風壓均相似，因此平均淨風壓分布趨近於零。
7. 不同片數之太陽能版配置：位於 1:2 斜屋頂屋脊區域太陽能板高端迎向來流，3 片

連裝太陽能版中間版的平均淨風壓係數其負值甚至略低於單片的情形，顯示受到掀翻的風載重較為嚴重。而太陽能版低端轉而迎向來流，此時3片連裝太陽能版中間版的平均淨風壓係數其正值略低於單片的情形，顯示風荷載略為減輕，因風壓屬正值，作用力方向為指向太陽能版，本身即較無掀翻之危險性。

8. 太陽能板表面風壓空間相關性：受風作用後，表面風壓主要受到分離剪力流的渦散作用為主，因此表面風壓分布情形與渦流再接觸現象有密切關係，本研究採用的模型配置，由其表面風壓的相關性分析顯示，上游分離剪力流的再接觸區域約在版長的三分之一附近。表面風壓作用的機率特性，則仍以高斯分布為主。
9. 太陽能熱水系統支承結構系統桿件佈署以採用斜撐為佳，如增加在上游立面高處或增加於太陽能集熱板邊框中點，均有助於增加桿件內力分散的效果，且對於瞬間彎矩極值得出現有減抑的作用，提升結構安全。
10. 要提升太陽能集熱版的耐風作用強度，宜將太陽能集熱板適度墊高，促進氣流亦可由版下大量通過。同時減少太陽能板直接置放於平面的情形，有助於減少上游抬高部分版下所形成的風壓回昇現象。過高的版下空間，易使桿件內力彎矩上昇，亦會有增加桿件挫曲的風險。
11. 紊流擾動作用下，以及考量所有可能出現的風向角，結構體所承受的載重幾乎均非對稱型式，且如僅用靜載重分析，所得之桿件內力未能反映可能出現的最大載種狀況。

四、主要建議事項

1. 建築物附屬設施尚有包括力面上附掛的構件，如雨庇、側面市招、遮陽構造等，多以緊附於建物外殼之形式存在，其氣動力載重條件需將建築物氣動力作用與附屬設施氣動力特性共同考量，是否成為破壞的原因應特別加以重視。
2. 太陽能熱水系統架設方式多採用角鋼支架，本研究以剛性接頭為考量，長期疲勞破壞應進一步考慮。
3. 目前規範中有關類似構造物的支架安全規定仍嫌不足，安裝及品保規範尚待加強。
4. 現行建築物耐風設計規範修訂建議：
 - (1) 規範「2.8 節 風壓係數與風力係數」解說中關於多種不同開放式建築物的風力係數

說明中，部分受風面積定義建議加以修改，如：“…表 2.9 取自 ASCE 7-88 規範，提供開放式建築物之單斜式屋頂之風力係數 C_f 。計算設計風力所用的面積為『屋頂面投影在與風向垂直之平面的面積』。……”，建議修正為『屋頂面的面積』。

(2)現行規範「3.2 設計風壓計算式」主要內容封閉或部分封閉式建築物局部構材及外部披覆物設計風壓計算式，建議可參考 ASCE7-10 規範，增列「開放式建築物之斜屋頂局部構材及外部披覆物設計風壓」資料，增加完整性。

5.根據研究發現，本研究針對建築物附屬設施風載重評估，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

(1)立即可行之建議

國內建築物附屬設施耐風設計規範之修訂

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

建築物附屬設施受到風損失敗，常見於颱風侵襲之後，綜合整理國內外相關研究成果，檢討設計方式，並透過實際案例的結構分析成果，除可作成改進建議，有必要進行規範之修訂，以提昇國內建築物附屬設施的耐風性能。

(2)長期性建議

低矮建築物外部附屬設施的支架結構系統設計與安裝規程

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

低矮建築物外部附屬設施支架結構系統的設計常以經驗加以簡化，由於較不易安排更多的結構桿件，有必要建立更有效率的抗風結構系統設計建議，或制定基本而具一般性的設計與安裝規程，以提高結構系統的性能與減少風災經濟損失。

ABSTRACT

Keywords: Components of buildings, wind pressure, Wind loadings

The design of support structures system of building outside components is a important topic in Taiwan area due to the typhoon affection. So this issue should be paid much attention to it. For the outside components of buildings we take the solar panel and water tank as studying focus in this year. The wind loading on these type of structures should be carefully study for the special wind loading mechanism on them. A series of aerodynamic experiments were conducted to investigate the aerodynamic characteristics of these type buildings and the extreme wind loading were estimated by the data we got in this project. The rigid solar panels and water tank aerodynamic models were test in the wind tunnel with atmospheric boundary layer flow fields. In the study of solar panel wind loadings, we used the concept of net pressure to explore the truly aerodynamic characteristics of the thin flat panels. The pressure distribution, extreme wind loading and total force were calculated. Also we used the structural analysis software to value the variant support structure system of solar panel on low-rise building roof and some of design suggestions were made with the results of analysis. This project concludes that:

1. Roof slope effects: For the low-rise buildings, the steep roof slope may cause more serious turbulent effects. So, to the structural safety of building outside components, selection of location is very important consideration.
2. Location of installation: The roof ridge is the area under strong vortex shear layer affect. It is evident that the center line of roof will be the strong turbulent region, it is dangerous to the building components to install there. The side of roof will be safer to the structures.
3. The height of support system: To rise the base line of support structures may avoid the local acceleration in the gap between roof and components.
4. Wind angle effect: For the safety of structures all possible angle of wind should be considered. The special angle of attack and roof type should be considered together.
5. The existence of parapet of roof top: Un this study the existence of parapet will reduce the

wind loading on the roof top building components dramatic.

6. The aerodynamic characteristics of solar panel on low-rise building roof top: The distribution of surface pressures on low-rise buildings will dominant the aerodynamic characteristic solar panel on it. But the small angle of wind attack may cause the strong suction on the corner of panel, it should be carefully check.
7. Multi-panel: For the multi-panel set on the roof top of low-rise buildings, The are seems no more serious aerodynamic characteristics appeared in the results of tests.
8. Spatial correlation of panel: The aerodynamic correlation of solar panel surface is dominant by the separation shear layer of leading edge. With the analysis of surface pressures correlation, the correlation length of panel surface pressure is about one third of the panel length.
9. The results of structural analysis with the wind loadings shown, that the braces in the support system will play an important role on the dispersion of member stresses. Usage of braces in the structures will improve the efficiency of structures.
10. Increasing the height of support structures of solar panel will be a simple and efficient method to improve the wind resistant ability. But suitable location should be selected carefully, the center ridge line region should be avoided.
11. Due to the highly turbulence effect, the wind loadings on the structures will be variant very quickly. So the analysis of wind loadings time history on the structures will be important to the assessments of structural safety. If only the symmetric and static wind loadings were applied to the structural analysis, there may be under estimated to the wind effects on them.

The suggested study issues comes to the immediate and long-term strategies are descript below.

For immediate strategies:

The disasters were often happened to the structures of buildings components due to typhoon or

other strong wind in Taiwan area. With the review of research reports and aerodynamic tests results, the design code for buildings components wind loadings should be modified. And the wind disaster loss may be deduced more in the future.

For long-term strategies:

The suitable design procedure and analysis code should be developed for the building outside components. The better structure system standards should be studied or created.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

建築物附屬設施在提供建築物使用階段各項必須的功能及其維護，包括室內及室外均有多種的附屬設施及設備的設置，以受風作用而言，應以室外部份為主要考量目標，室外部份易受風作用影響的包括水塔、廣告招牌物、雨庇、遮陽、空調設備、太陽熱能系統等。而就低矮形建築物而言，常有附屬設施採用附掛方式安裝於建築物外殼，其支架系統亦未與建築物主抗風結構系統密切結合，因此有必要針對此類設施的耐風性能加以檢討。

本研究探討低層建築物附屬設施所受風載重的特性，參考國外案例與規範的比較，歸納國內從事建築物附屬設施設計工作時應注意的要項或法則，並檢討補充規範內容的必要性。同時本研究利用剛性模型的氣動力實驗建立包括變化屋頂型式、女兒牆影響與模型位置等多種建築物附屬設施受風載重的模式，並對其擾動性風載重特徵，包括尖峰因子、空間相關性等資料逐步累積，確立常見型態的建築物附屬設施受風作用基本資料，以供設計者參用。研究中針對氣動力實驗模型搭配結構系統，並由實驗載重資料及結構反應分析，了解較為優越的結構系統設計或桿件安排建議，有助於提升類似建築物耐風性能設計參考，並協助本所風雨風洞實驗室建立此類結構物風載重實驗量測與資料分析的技術能量。

在低層建築物中常見的附屬設施包括水塔、廣告招牌物、太陽熱能系統等，因多半不屬建築物主要抗風結構系統，因此其結構系統設計通常較為簡化。此類結構物造型多變，結構系統受風荷載的計算及考慮項目常以簡化或經驗作取捨，在現行規範中主要針對招牌廣告物進行規定，其他構造物之耐風性能較無明確規定，有必要提供的合適的風力係數，提供附屬設施安裝與規劃之參考，並建議風載重評估程序，對於業界實際從事類似案例設計工作上將有所裨益。

國內關於建築物的設計風載重於建築技術規則中已作基本的規範，隨風工程科技的進步，對於建築物風載重作用的機制更具體的掌握，國內外設計風載重的規範亦

隨之更新。國內規範「建築技術規則」對於建築物附屬設施的受風行為及設計載重主要對於桁架式塔型構造物的設計風力利用空腹形狀因數加以修正，對於煙囪、水塔則提供簡單的形狀因數加以修正，實際工程設計則尚需更細部的風壓資料、擾動性因素的考慮等資料供作參考。較完備的建築物耐風設計規範為內政部於95年9月22日以台內營字第0950805664號令所訂定發布的「建築物耐風設計規範及解說」(96年1月1日生效)，對於各種不同類型建築物受風作用及其評估程序均有完整的規範，有關獨立招牌、女兒牆等設計風載重，亦有提供計算程序。

建築技術規則建築設計施工篇第七章雜項工作物中有關廣告牌塔構造的規定，第147條 廣告牌塔、裝飾塔、廣播塔或高架水塔等之構造應依下列規定：

1. 主要部份之構造不得為磚造或無筋混凝土造。
2. 各部份構造應符合本規則建築構造編及建築設備編之有關規定。
3. 設置於建築物外牆之廣告牌不得堵塞本規則規定設置之各種開口及妨礙消防車輛之通行。

關於廣告招牌等構造物其抗風設計依國內「建築物耐風設計規範及解說(95年版)」規範除以建築物結構系統的風載重為考量主體，對於建築物附屬設施的受風行為及設計載重包括獨立招牌及女兒牆受風作用，亦提出設計風載重計算公式及表格可查用。

對於建築物附屬設施國內法規之管理方式，在「招牌廣告及樹立廣告管理辦法(93.06.17)」中規定樹立廣告設置於地面高度超過六公尺或設置於屋頂上高度超過三公公尺者均需申請雜項執照，未達上述規模者免申請雜項執照，但仍需經主管建築機關或其委託之專業團體申請審查許可；包括台北市、桃園縣、台中市、苗栗縣等地方縣市對於招牌廣告及樹立廣告管理亦大多訂定類似的管理規則，透過申請雜項執照或經主管建築機關或其委託之專業團體審查認可。

低層建築物的耐風性能研究本所已累積可觀的成果，研究顯示主要結構系統抗風設計應屬保守，而表面披覆物抗風設計則為需要重視的部分。以國內建築物實際使用的情形，低層建築物樓層數不高，頂層及立面為充分利用，附屬設備相當的多，包括有水塔、招牌、天線、太陽能熱水系統等。關於水塔、招牌等氣動力特性本所已有相關研究成果，而國內日漸普及的太陽能熱水系統亦須加以關注，統整研究低層建築物

附屬設施之耐風性能。

以太陽能熱水系統之集熱板或太陽能發電之光伏板為例，強風作用時，支撐架本身投影面積甚小，受風作用影響不大；透空架設的板面大面積受風作用則相對強烈許多，就整體結構系統而言，剛性較差的元件(集熱版)卻受最大的風力作用，在風力反覆擾動作用下，可能因集熱板與支撐架結合部位的疲勞破壞，使得集熱板脫出損壞；或集熱板風載重傳遞到支撐架，而過細的角鋼可能產生局部扭轉破壞；或與建築物主體的結合錨定強度不足，亦可能形成支撐結構的損毀。因此附屬設施的耐風性可能因建築物設計之初缺乏足夠的參考資料，或增設時未經專業結構技師的把關，而造成難以確認其可抗風強度的水準，有必要加以進一步研究，提供氣動力載重資料。



圖 1-1 安裝於屋頂之太能熱水系統及水塔

資料來源：本研究拍攝

第二節 研究方法

低層建築物附屬設施所受風載重除本身形狀引起的氣動力行為外，另一方面由於安裝的位置，亦會受到建築物外周邊流場的影響而產生不同的效應，低層建築物本身受風作用後，形成的渦漩十分強烈，過去在有關低層建築物表面披覆物受風作用的研究，可獲知不同屋頂區位的變化差異非常大，相同的氣流作用議會影響所安裝的附屬

低層建築附屬設施耐風性能研究

設施。以目前規範或研究成果主要針對附屬設施本身氣動力載重，安裝位置多在屋頂上，受到屋頂坡面、女兒牆、平屋頂上的區位等影響甚大，如綜合考量安裝位置的影響，歸納其影響效應，建議安裝或應避免的位置，對於提升此類附屬設施的耐風性能應有所裨益。

台灣地區的建築物本體多採用加強磚造、鋼筋混凝土造或鋼骨構造等型態，強風對結構系統的危害並不明顯。在歷次颱風中，除了農、漁業之外，最常見的風害多屬建築物之附屬構造物損害，如招牌、水塔、屋頂搭建物、外牆玻璃等；或公共設施毀損，如交通號誌、標示牌、電線電纜等；或臨時構造物倒塌，如工地圍籬、施工架、樣品屋、戶外舞台等。對於公共安全為潛在威脅，有必要加以預防。

低層建築物的耐風性能研究本所已累積可觀的成果，研究顯示主要結構系統抗風設計應屬保守，而表面披覆物抗風設計則為需要重視的部分。以國內建築物實際使用的情形，低層建築物樓層數不高，頂層及立面為充分利用，附屬設備相當的多，包括有水塔、招牌、天線、太陽能熱水系統等。關於水塔、招牌等氣動力特性本所已有相關研究成果，而國內日漸普及的太陽能熱水系統亦須加以關注，統整研究低層建築物附屬設施之耐風性能。

以屋頂太陽能熱水系統的安裝為例，過去專注在節能的效果，安裝太陽能集熱板以爭取日照為主，為提升效率，未必能採用配合屋頂坡度方式安裝太陽能集熱板，而可能需架高以取得較有效率的角度，安裝於屋頂且採用獨立的支撐結構為常見方式之一；另一方面受限於屋頂面上可安裝位置並不一定可完全配合，選取的位置可能處於不利的風況，在缺乏詳細的結構強度檢討下，往往成為颱風肆虐的受害者。

綜上所述，對於低層建築物附屬設施的耐風性能評估，應包括不同屋頂構型外型對於建築物附屬設施的風載重影響，安裝位置對於附屬設施本身所受風載重的影響，建築物附屬設施自身氣動力載重的特徵，以及結構支撐系統在受到風載重作用下的結構反應評估等方面進行整合研究，並提出建議，將有助於提昇低層建築物附屬設施的耐風性能。綜整過去研究成果，本年度研究對象將主要聚焦於提升水塔與太陽熱能系統等附屬設施的耐風性能。

本計畫將建立低層建築物附屬設施風載重評估所需資料及耐風設計策略探討，有

必要進行系列的紊流場中氣動力模型實驗，並針對實驗資料進行評估建構模式，採用的研究方法如下：

1. 文獻資料蒐集與比較：

- (1) 國內低層建築附屬設施安裝現況資料蒐集與檢討。
- (2) 整理關於水塔、招牌等氣動力特性之現有相關研究成果。
- (3) 蒐集不同屋頂型式對於建築物外部流場的影響文獻資料，並整理作為實驗設計之基礎。
- (4) 市面上常用的太陽能集熱板支撐結構系統資料蒐集與檢討，並配合太陽能集熱板受颱風破壞與結構性能檢討。
- (5) 低層建築物中常見太陽能集熱板安裝方式資料彙整。

2. 氣動力實驗規劃：

- (1) 流場規劃：協助建立風洞實驗所需的流場，將以均勻紊流場模擬鄉村地況大氣邊界層底層流況。
- (2) 模型設計：氣動力模型將利用壓克力版製作，模型包括太陽熱能系統、圓桶型水塔等縮尺模型，模型表面佈設壓力孔，搭配壓力管線系統，量測表面風壓變化，並與文獻資料相驗證。
- (3) 低層建築物模型：為表現不同建築物屋頂型式對於氣動力特徵的變化，本研究依據國內規範定義範圍選擇五種不同坡度(1:1, 1:2, 1:4, 1:8 以及平屋頂)的斜屋頂建築物模型，模型屋頂面設置孔位，將氣動力模型安裝於屋頂面上，提供可安裝在上、下游側及屋脊等位置的可能性。針對平屋頂模型系列，將另行以外加女兒牆方式進行氣動力實驗。
- (4) 彙整本所研究成果，規劃氣動力模型風洞實驗，了解不同屋頂形式條件下，附屬設施所受風壓與局部尖峰風壓的資料，評估對建築物附屬設施風載重的影響。
- (5) 實驗控制參數：氣動力實驗研究主要探討不同屋頂型式及安裝位置的影響，因此在建築物模型方面實驗參數控制以此兩種因子為主。另考慮安裝方式，因此氣動力模

低層建築附屬設施耐風性能研究

型架設支架高度設計為可調整式，表現不同抬高比例對於風載重的影響。

- (6) 由實驗量測所得之低層建築附屬設施表面風壓資料首先將計算其表面風壓均值、擾動值、尖峰因子(peak factor)、擾動風壓頻譜(spectrum)、機率密度函數(PDF)的識別、空間相關性(spatial correlation)及頻率特性等，以完整掌握表面風壓分佈情形。有關風壓的時序列資料同時亦分析其偏態(skewness)與峰度(kurtosis)係數。
- (7) 利用氣動力模型表面風壓，採有效貢獻面積加權積分方式，將瞬時載重分配至各連接之承結構系統的節點，供結構分析之用。
- (8) 由空間相關性探討建立平版表面風載重傳遞過程與分析。

3. 支承結構系統分析：

- (1) 本研究將配合常見的支承結構系統詳細設計資料，利用結構分析軟體，建立建築物附屬設施支承結構的分析檔，以供後續分析之用。
- (2) 結構分析軟體將採用 Midas 軟體，透過圖形化界面建立模型，再由氣動力實驗所獲得之風載重歷時資料加以分析。
- (3) 本計畫將利用有限元素法結構分析軟體，利用氣動力實驗成果數據，進行支承結構系統內力與變位分析，並討論最大可能內力與變位出線的位置。配合對結構系統不利的危險條件討論，將嘗試以變化桿件布置方式，觀察結構反應的改善情形。

4. 載重的評估：

- (1) 推估低層建築物附屬設施在典型屋頂形式、不同安裝位置及市面上常用的支撐結構系統下，所受風載重資料，檢討市面上常用的支撐結構系統的優缺點，並做成改進建議。
- (2) 透過結構分析軟體計算與風壓分布的檢討，探討安裝位置與所受風載重的比較。

5. 結構系統的比較與耐風設計策略研擬：

- (1) 透過支撐結構系統的結構安全檢討，就附屬設施安裝所需的條件或規劃設計原則進行歸納。
- (2) 由本研究在配合對結構系統不利的危險條件討論，比較不同桿件配置方式，對結構反應的改善情形，有助於研擬提升太陽能熱水系統結構耐風性能的設計手法。

第二章 文獻回顧

第一節 國內外規範相關規定比較

我國建築物設計規範中最早有關風力設計規範以民國六十三年頒佈的「建築技術規則—建築構造編」中「第一章、基本規則」的「第四節、風力」有明確的條文規範。在建築技術規則本部分中對於建築物風力(第三十二條)、最小風壓力(第三十三條)、風昇力(第三十四條)、斜屋頂風力(第三十五條)、傾倒作用(第三十六條)、風力錨固(第三十七條)、形狀因數(第三十八條)、空腹形狀因數(第三十九條)、風力擺動(第四十條)、風洞試驗(第四十一條)等項目作規範，同時界定了台灣地區的風力級區。建築技術規則將風力視為準靜力的行為，因此利用風壓力作用在建築物投影面積上的方式考慮順風向風力作用，而橫風向風力主要著眼於四周圍蔽建築物的屋頂風昇力。對於建築物受風作用時側面的橫向風力未作明確規範，僅利用對於高聳建築物的風力搖擺問題及對風洞試驗合法性的承認作為控制。

國內關於建築物的設計風載重於建築技術規則中作基本的規範，隨風工程科技的進步，對於建築物風載重作用的機制更具體的掌握，我國規範設計風載重的規範亦隨之更新，以建築技術規則為法源制訂「建築物耐風設計規範」。在國內「建築物耐風設計規範(民國 95 年版)」規範中雖並未對類似屋頂太陽能板等構造物設計風載重作直接相關的規定，仍可依據開放式建築物的單斜屋頂版風載重條件加以假設，作為設計參考。

本研究同時參考包括澳洲 AS/NZS 1170.2 2002、英國 BSI「Loading for Buildings — Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2 : 1997)、美國 ASCE「Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE7-05」、日本建築學會(Architectural Institute of Japan)的「AIJ Recommendations for Loads on Buildings」(2004)等規範或研究報告，檢視各國規範中有關類似單斜平板構造物所需考量的風力設計部分。研究果顯示，國外規範以美國、紐澳等國的耐風設計規範中對於與本研究內容較為相近，值得參考。以下簡述國內外有關類似懸挑屋蓋結構物(以單斜屋頂版加以模擬)設計風力的相關規範內容。

一、國內「建築物耐風設計規範及解說(95年版)」規範

依國內「建築物耐風設計規範及解說(95年版)」，類似屋頂架設之太陽能板構造物可以單斜屋頂版加以模擬，由於板下並無周邊封圍設施，因此以開放式建築物看待。依國內規範所謂「開放式建築物」係指建築物每一方向牆面皆至少有80%之面積為開口，也就是對每一方向牆面皆滿足 $A_0 \geq 0.8 A_g$ ，其中 A_g 為受正值外風壓牆面總面積， A_0 為該牆面總開口面積。

開放式建築物使用風力係數及投影面積，來計算設計風力。依國內「建築物耐風設計規範及解說(95年版)」第2.2節中對於開放式建築物或地上獨立結構物所應承受之設計風力 F ，依下式計算：

$$F = q(z_{A_f}) G C_f A_f \quad (2.1)$$

式中 C_f 為風力係數，依規範2.8節之規定計算； A_f 為投影在與風向垂直之平面上的面積； $q(z_{A_f})$ 為面積 A_f 形心高度 z_{A_f} 處之風速壓； G 為普通建築之陣風反應因子，依我國耐風設計規範之2.7節之規定計算。

式中用到風速壓的計算，依規範定義各種不同用途係數之建築物在不同地況下，離地面 z 公尺高之風速壓 $q(z)$ 依下式計算，其單位為 kgf/m^2 。

$$q(z) = 0.06 K(z) K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 \quad (2.2)$$

式中， $K(z)$ 稱為風速壓地況係數，此值為離地面 z 公尺之風速壓與標準風速壓(地況 C ，離地面10公尺處)之比值，依下式計算：

$$\begin{aligned} K(z) &= 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} ; z > 5\text{m} \\ &= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} ; z \leq 5\text{m} \end{aligned} \quad (2.3)$$

各種地況種類之 α 值及梯度高度 z_g ，依我國耐風設計規範之2.3節規定，查規範中表2.2定之。 K_{zt} 稱為地形係數，代表在獨立山丘或山脊之上半部或懸崖近頂端處之風速局部加速效應。 I 為用途係數， $V_{10}(C)$ 為地況 C 高度10公尺處之設計風速。

表 2-1 開放式建築物之單斜示屋頂的風力係數， C_f

θ	各種 L/B 值之 C_f						
	5	3	2	1	1/2	1/3	1/5
10	0.2	0.25	0.3	0.45	0.55	0.7	0.75
15	0.35	0.45	0.5	0.7	0.85	0.9	0.85
20	0.5	0.6	0.75	0.9	1.0	0.95	0.9
25	0.7	0.8	0.95	1.15	1.1	1.05	0.95
30	0.9	1.0	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0
θ	各種 L/B 值所對應的壓力中心位置，X/L						
	2~5	1	1/5~1/2				
10~20	0.35	0.30	0.30				
25	0.35	0.35	0.40				
30	0.35	0.40	0.45				

註：(1)風力垂直作用在屋頂面上，向內及向外均要考慮。

(2) B ：與風向垂直的屋頂尺寸，m。

L ：與風向平行的屋頂尺寸，m。

X ：從屋頂之迎風面屋簷到壓力中心的距離，m。

θ ：屋頂斜面與水平面所夾的角度。

資料來源：國內「建築物耐風設計規範」

陣風反應因子乃考慮風速具有隨時間變動的特性，及其對建築物之影響。此因子將順風向造成的動態風壓轉換成等值風壓處理。

普通建築之陣風反應因子可取 1.77，或依下式計算：

$$G = 1.927 \left(\frac{(1 + 1.7g_Q I_{\bar{z}} Q)}{1 + 1.7g_V I_{\bar{z}}} \right) \quad (2.4)$$

式中 g_Q 與 g_V 均可取 3.4；紊流強度 $I_{\bar{z}}$ 與背景反應 Q 分別依下式計算：

$$I_{\bar{z}} = c (10/\bar{z})^{1/6} \quad (2.5)$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{B+h}{L_{\bar{z}}} \right)^{0.63}}} \quad (2.6)$$

式中 \bar{z} 為等效結構高度，其值為結構高度 h 的 60%，但不可小於 z_{\min} ， z_{\min} 和式(2.10)中之 c 值列於規範表 2.2； $L_{\bar{z}}$ 為紊流積分尺度，由下式計算：

$$L_{\bar{z}} = \ell (\bar{z}/10)^{\bar{\epsilon}} \quad (2.7)$$

式中 ℓ 和 $\bar{\epsilon}$ 之值列於我國耐風設計規範之表 2.2。

二、美國 ANSI/ASCE 7-10 規範的淨風壓係數

我國耐風設計規範主要參考來源即是美國 ASCE 「Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE7-95」規範，因此 ASCE 規範的設計建議內容與目前國內現行規範甚為接近，有關開放式建築物定義亦與國內規範相似。目前較新版的 ASCE7-05 規範對於開放式建築物單斜平板屋頂版的主抗風結系統設計所使用的設計風力採用淨風壓(Net pressures)的概念加以表達，如圖 2-1 所示。淨風壓係數表達的是上表面風壓係數與下表面風壓係數相減的共同作用結果，亦隱含對於相關性的考量於其中，相較於國內規範的風力係數作法，對於局部風壓變化的掌握較為細密，亦提供相對於斜面的正向與背向來流作用下的係數，以及平板不同仰角的影響，值得參考。

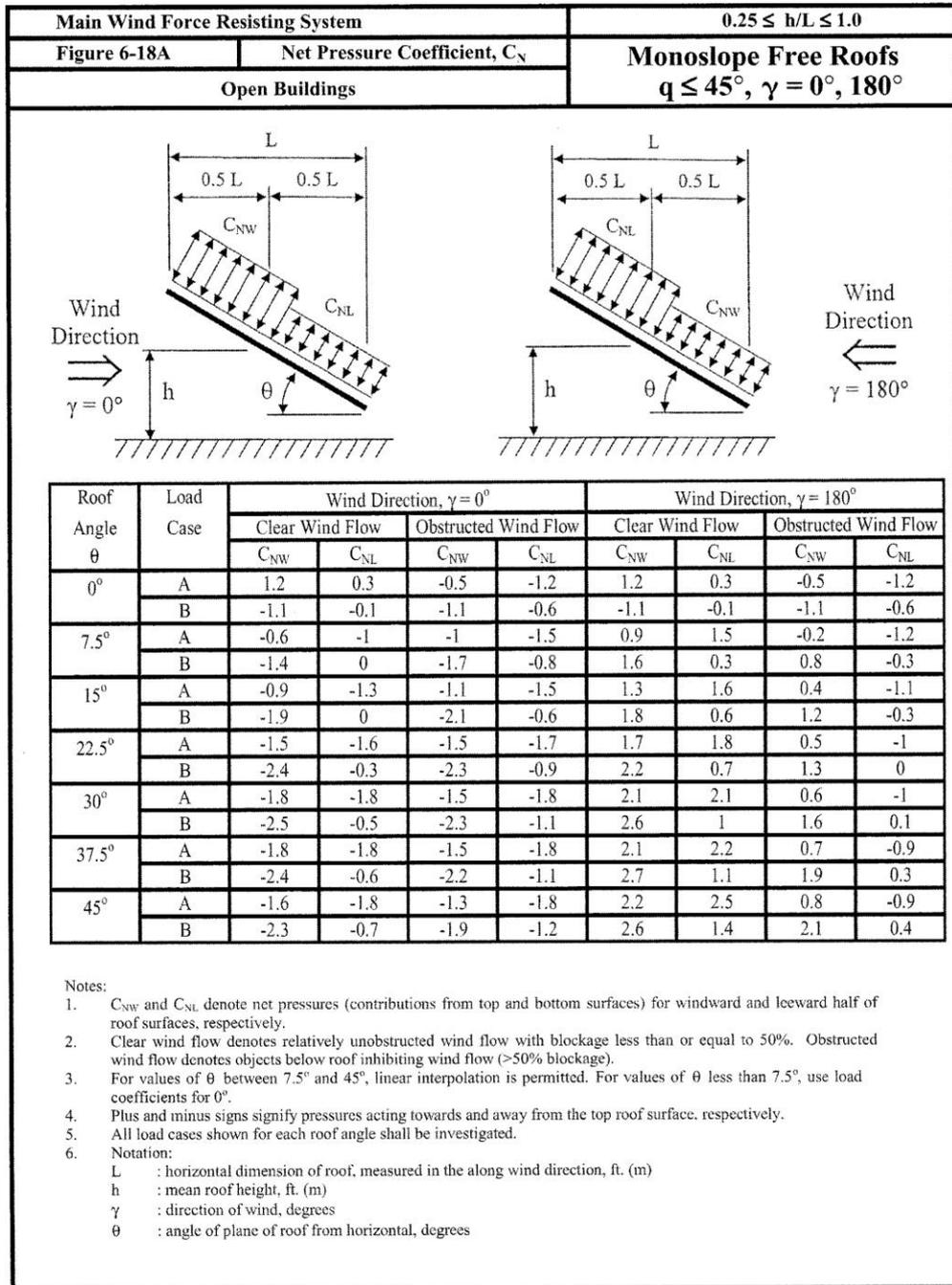


圖 2-1 美國 ASCE7-10 規範對於開放式建築物單斜平板屋頂版的淨風壓係數規定

資料來源：ANSI/ASCE7-10

三、紐澳 AS/NZS 1170.2:2002 規範

紐西蘭、澳洲等國對於建築物受風作用的影響研究深入，且研究成果迅速納入設計規範中，因此紐澳地區採用的耐風設計規範 AS/NZS 1170.2:2002 亦值得參考。

AS/NZS 1170.2:2002 規範建議對於建築物 8 個不同方位角之基地風速以下式計算：

$$V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_s M_t) \quad (2.8)$$

其中 V_R ：3 秒陣風風速

M_d ：風向因子

$M_{z,cat}$ ：高度因子

M_s ：遮蔽因子

M_t ：地形因子

構型已定義清楚而基地地況未明的情形，建議以標準有效風速搭配具方向性之風壓係數加以檢核。對於需要進一步詳細檢核週邊地形、建物群對風場影響時，如臨近明顯地型變化或都市地區，建議以具方向性的有效風速搭配標準風壓係數進行檢核。設計風速需取與正交於建築物 45 度範圍內最大風速之線性內插值。

規範將紐澳地區分為颶風作用區與非颶風作用區兩類，各類再細分為數種區域，各區域的 3 秒陣風在不同迴歸年數的區域風速以表列方式顯示，迴歸年數由 5 年至 2000 年，並提供各區域的經驗公式可供直接計算。規範針對不同區域提出風向因子，以表列方式顯示，其值介於 0.8 至 1.0 之間。

對於單斜平板屋頂版的主抗風結系統設計所使用的設計風力亦採用淨風壓的概念加以表達，如圖 2-2 所示，在同一面上風壓分布以上下游平面分別表述。對於不同順風向深度的建築物加以分類，區分為平均屋頂高度(h)與順風向建築物深度的比值(h/d)區分為 $h/d \leq 0.25$ 、 $h/d = 0.5$ 、 $h/d > 1$ 三個區間以表列方式呈現；而不同仰角及來流方向的影響，亦均納入考量，可與國內規範設計結果做比較。

Roof pitch (α) degrees	$\theta = 0$ degrees				$\theta = 180$ degrees			
	$C_{p,w}$		$C_{p,l}$		$C_{p,w}$		$C_{p,l}$	
	Empty under	Blocked under	Empty under	Blocked under	Empty under	Blocked under	Empty under	Blocked under
0	-0.3, 0.4	-1.0, 0.4	-0.4, 0.0	-0.8, 0.4	-0.3, 0.4	-1.0, 0.4	-0.4, 0.0	-0.8, 0.4
15	-1.0	-1.5	-0.6, 0.0	-1.0, 0.2	0.8	0.8	0.4	-0.2
30	-2.2	-2.7	-1.1, -0.2	-1.3, 0.0	1.6	1.6	0.8	0.0

Conditions	h/d	Horizontal distance (x) from windward edge	Net pressure coefficients ($C_{p,n}$)
For $\alpha \leq 5^\circ$, or For all α with $\theta = 90^\circ$	$0.05 \leq h/d < 0.25$	$x \leq 1h$	Values given for $C_{p,w}$ in Table D4(A), for $\alpha = 0^\circ$
		$1h < x \leq 2h$	Values given for $C_{p,l}$ in Table D4(A), for $\alpha = 0^\circ$
		$x > 2h$	-0.2, 0.2 for empty under -0.4, 0.2 for blocked under

FIGURE D2 MONOSLOPE FREE ROOFS

圖 2-2 紐澳地區耐風設計規範 AS/NZS 1170.2:2002 對於開放式建築物單斜平板屋頂版的淨風壓係數規定

資料來源：AS/NZS 1170.2:2002

四、日本 AIJ2004 規範

日本建築學會(Architectural Institute of Japan)的「AIJ Recommendations for Loads on Buildings」(2004 版)建議的風載重設計方法主要有兩種程序：Detailed procedure I 及 Detailed procedure II，一般而言高度高於 45 公尺以上的柔性建築物才需用 Detailed procedure II 進行設計。日本規範 AIJ2004 對於建築物外風壓的規定以建築物高度 45 公尺作為分類的依據，對於高度 45 公尺以下的建築物外風壓，分別針對不同型的低層建築物表面風壓以不同建築物面向為區分加以表現，其外風壓以圖表方式呈現。日本

低層建築附屬設施耐風性能研究

規範 AIJ2004 對於建築物構件及表面披覆物的耐風設計時，提供尖峰風壓係數作為放大設計載重之用。

日本規範 AIJ2004 中對於基本設計風速(U_H)以所規定之平坦開闊地、10m 高度處的 10 分鐘平均風速為基本設計風速，設計風速之迴歸週期採 100 年。對於不同年份之迴歸期其轉換因子以下式定之，

$$R = 0.54 + 0.1 \ln(r) \tag{2.9}$$

r 為設計迴歸期。

關於屋頂風載重計算，AIJ2004 公式為：

$$W_R = q_H C_R G_R A_R \tag{2.10}$$

其中 C_R 為屋頂風力係數如下表所示， q_H 為風速壓， G_R 為屋頂風載重的陣風因子， A_R 為屋頂面積。

Table A6.13 Wind force coefficient C_R for free roofs with rectangular base

roof angle θ (°)	windward roof R_U		leeward roof R_L	
	positive	negative	positive	negative
$-30 \leq \theta \leq -10$	$0.7 + 0.01 \theta$	$-0.6 + 0.03 \theta$	$0.05 - 0.025 \theta$	$-1.2 - 0.03 \theta$
$-10 < \theta < 10$	0.6	-0.9	0.3	-0.9
$10 \leq \theta \leq 30$	$0.3 + 0.03 \theta$	$-1.15 + 0.025 \theta$	0.3	$-0.6 - 0.03 \theta$

$H(m)$: reference height
 θ (°): roof angle
 Positive indicates downwards.

圖 2-3 日本規範 AIJ2004 對於建築物對於開放式建築物斜平板屋頂
版的淨風壓係數規定

資料來源：AIJ Recommendations for Loads on Buildings(2004)

五、英國 BS6399-2:1997 規範

關於英國之風力規範以「Loading for buildings — Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2:1997)規範為主。英國 BSI「Loading for Buildings — Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2:1997)規範中對於建築物屋頂面上外部風壓分布有甚為詳細的規定，配合規範中的圖例說明與表格，定義包括平屋頂、單斜向屋頂、單脊雙斜向屋頂(包括外斜及內斜兩種)、具備水平屋脊區間的雙斜向屋頂(包括外斜及內斜兩種)、四面斜屋頂、多斜面屋頂、連續單斜面屋頂、連續山形屋頂等多種形式，同時懸伸摺版型兩庇亦包括在內。規範中對於風載重評估方式主要包括兩種：標準風壓法(Standard method)及風向風壓法(Directional method)兩種；標準風壓法計算風載重的方式對於封閉式建築物採用外壓減內壓方式估算，非封閉式建築物則直接提供淨風壓係數。風向風壓法配合風向給予不同的外風壓係數，再配合不同風向的風速資料加以評估。

基本設計風速 (basic wind speed, V_b)由規範中所提供之地圖分區中直接查得，代表以 50 年迴歸之小時平均風速。BS6399-2:1997 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此引用本規範設計與國內規範比較時需加以調整。

英國 BSI (BS 6399-2 : 1997)對於建築物對於開放式建築物斜平板懸伸屋頂版的風壓係數符號定義及風壓係數值規定如圖 2-4、圖 2-5 所示，英國規範中對於風壓係數的定義較為明確，可供參用。

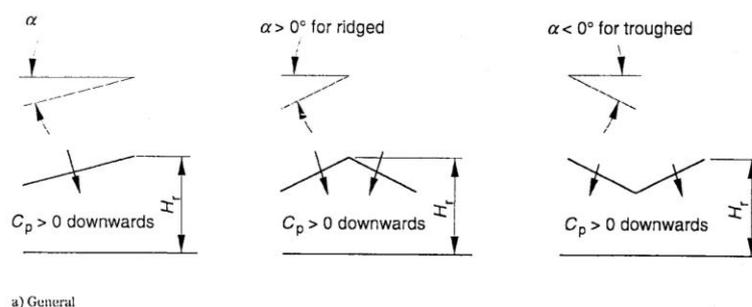


圖 2-4 英國 BSI (BS 6399-2 : 1997)對於建築物對於開放式建築物

斜平板懸伸屋頂版的風壓係數符號定義

資料來源：英國 BSI(BS 6399-2:1997)規範

Table 13 — Net pressure coefficients C_p for free-standing monopitch canopy roofs

Pitch angle α	Load case	Overall coefficients	Local coefficients		
			A	B	C
0°	Maximum, all ζ	+0.2	+0.5	+1.8	+1.1
	Minimum $\zeta = 0$	-0.5	-0.6	-1.3	-1.4
	Minimum $\zeta = 1$	-1.2	-1.3	-1.8	-2.2
5°	Maximum, all ζ	+0.4	+0.8	+2.1	+1.3
	Minimum $\zeta = 0$	-0.7	-1.1	-1.7	-1.8
	Minimum $\zeta = 1$	-1.4 (- 1.2)	-1.4 (- 1.2)	-2.6	-2.6 (- 2.1)
10°	Maximum, all ζ	+0.5	+1.2	+2.4	+1.6
	Minimum $\zeta = 0$	-0.9	-1.5	-2.0	-2.1
	Minimum $\zeta = 1$	-1.4 (- 1.1)	-1.4 (- 1.1)	-2.6	-2.7 (- 1.8)
15°	Maximum, all ζ	+0.7	+1.4	+2.7	+1.8
	Minimum $\zeta = 0$	-1.1	-1.8	-2.4	-2.5
	Minimum $\zeta = 1$	-1.5 (- 1.0)	-1.5 (- 1.0)	-2.9	-2.8 (- 1.6)
20°	Maximum, all ζ	+0.8	+1.7	+2.9	+2.1
	Minimum $\zeta = 0$	-1.3	-2.2	-2.8	-2.9
	Minimum $\zeta = 1$	-1.5 (- 0.9)	-1.5 (- 0.9)	-2.9	-2.7 (- 1.5)
25°	Maximum, all ζ	+1.0	+2.0	+3.1	+2.3
	Minimum $\zeta = 0$	-1.6	-2.6	-3.2	-3.2
	Minimum $\zeta = 1$	-1.4 (- 0.8)	-1.4 (- 0.8)	-2.5	-2.5 (- 1.4)
30°	Maximum, all ζ	+1.2	+2.2	+3.2	+2.4
	Minimum $\zeta = 0$	-1.8	-3.0	-3.8	-3.6
	Minimum $\zeta = 1$	-1.4 (- 0.8)	-1.4 (- 0.8)	-2.0	-2.3 (- 1.2)

NOTE 1 Interpolation may be used for solidity ratio in the range $0 < \zeta < 1$ and for intermediate pitch angles.

NOTE 2 Where two values are given for $\zeta = 1$, the first value is for blockage to the low downwind eaves and the second value (in parentheses) is for blockage to the high downwind eaves.

NOTE 3 Load cases cover all possible wind directions. When using directional effective wind speeds, use:
 a) these values of C_p with the largest value of V_e found; or
 b) directional values of C_p from reference [6].

圖 2-5 英國 BSI (BS 6399-2 : 1997)對於建築物對於開放式建築物

斜平板懸伸屋頂版的風壓係數

資料來源：英國 BSI (BS 6399-2 : 1997)規範

第二節 相關文獻資料探討

1.設計風載重之相關規範

國內關於建築物的設計風載重於建築技術規則中已作基本的規範，隨風工程科技的進步，對於建築物風載重作用的機制有更具體的掌握，國外設計風載重的規範亦隨之更新，我國規範亦逐步更新中。以現行國內規範而言，主要的適用對象以建築物結構系統的風載重為主要考量，對於建築物附屬設施的受風行為及設計載重則多未提及，僅對於桁架式塔型構造

物的設計風力利用空腹形狀因數加以修正，對於煙囪、水塔則提供簡單的形狀因數加以修正，實際工程設計則尚需更細部的風壓資料、擾動性因素的考慮等資料供作參考。

對於建築物附屬設施國內法規之管理方式，在「招牌廣告及樹立廣告管理辦法(93.06.17)」中規定樹立廣告設置於地面高度超過六公尺或設置於屋頂上高度超過三公公尺者均需申請雜項執照，並經主管建築機關或其委託之專業團體申請審查許可；其他地方縣市對於招牌廣告及樹立廣告管理亦大多訂定類似的管理規則，透過專業團隊的審查始得發照。

國外包括美、日、紐澳、英國、加拿大等國建築設計相關規範對於建築物設計風載重均甚為重視，隨風工程科技研發的進步，將研究成果落實於規範條文之間。我國內政部建研所積極推動各項建築規範的更新與修訂，對於建築物設計風力規範參考國外先進國家修訂，並逐年推動。本所於民國 91 及 92 年廣泛的比較各國規範中關於設計風載重的考慮方式，則是以建築物主要結構系統耐風設計及規範架構為探討主軸。

ANSI/ASCE 7-02 對於建築構件(components)與外牆(cladding)提出建議設計風壓與風力計算公式，對於如煙囪、圓桶穀倉、屋頂設備、實體招牌、開放式招牌等提出風壓估算表以供查用，同時 ASCE 出版「Guide to the use of the wind load provisions」補充說明規範使用方式，其中並舉單版式招牌設計峰在重視範例作為說明，對於工程師從事設計工作助益甚大。

紐澳規範 AS/NZS 1170.2:2002[7]對於設計風載重，以附錄方式補充說明關於附屬設施設計風力的考慮；在附錄 C 中說明有關圓形穀倉表面風壓的變化，整體順風向平均風力係數則以單一數值考慮；在附錄 D 中說明有關獨立式單版廣告牌及雨庇的設計風載重，相關風力係數均以查表方式取得。由以上舉例說明，顯示國外規範對於建物附屬設施的設計風力亦十分重視，以避免風災的損失，國內關於此部份則仍有待強化。

2.建築物附屬設施氣動力實驗成果

本所過去於低層建築物風載重研究已累積相當多，包括屋頂風載重分布、水塔風載重等的資料，配合目前低層建築物常見的附屬設施發展趨勢對風載重的影響，可進一步通盤檢討各不同類型附屬設施耐風性能，值得持續研究。

本所 95 年研究計畫「建物附屬設施及臨時構造物耐風設計準則之探討」討論包括水塔與招牌廣告物之風載重，水塔構造物以力平衡儀進行整體風力量測，研究成果顯示水塔模型

低層建築附屬設施耐風性能研究

直立時，阻、升力係數均未隨模型高度及距地高度而變化，約略為一定值，其中阻力係數也符合 ANSI 規範中圓柱型建築之風力係數，其值約為 0.7。因此對於水塔之阻升係數設計規範，可以地面上之圓柱型建築之規範當參考值設計，其最大誤差在 5% 之內。

研究顯示，提高圓筒型水塔高度，促使受風力作用面積的形心位置提高，使得傾倒彎矩上升，其可視為建物在受風場下受力的指標。對於水塔腳座設計而言，需增加柱腳抵抗拉拔及彈性挫曲的能力，單就筒體本身所受風力改變並不大。

在模型垂直設置結果發現，由於模型左右對稱，因此 C_{Fmx} 也約略為一定值，而 C_{Fmy} 則是隨著模型越遠離地面而增加，如將距地高度以特徵長度柱寬無因次化為距地比，可發現 C_{Fmy} 隨距地比增加，在 0~0.8 區段間由約 0.3 上升至 0.5 左右，此一數據可作為設計參考。

實驗中發現，橫置模型之一般化外力皆比模型直立時大，因此在設計上需與直立情況作區隔，而橫風向及順風向之最大一般化外力皆發生於風向角 45° 時，其橫風向一般化外力係數 C_{Fmy} 在 45° 風向角時較 0° 條件下增加約 50%，顯示不對稱外形對其設計風力影響甚大，評估設計風力必須注意風向角的影響。紐澳規範中對於廣告招牌等設計風力的考慮均含風向角的影響，顯示其影響不可忽視。

本研究採用力平衡儀進行整體風力量測，如需考慮局部風壓時變性的變化，仍須由表面風壓量測成果，進一步分析其對結構系統內力的影響。

3. 低層建築物之受風作用

本所 95 年研究計畫「低層廠棚式建築物風載重評估之研究」取用四種不同屋面坡度的系列低層建物模型，運用同步量測技術，獲得表面風壓資料，探討不同幾何尺寸與風向角作用下的低層建築物受風作用特性，分析包括風壓係數的統計特性、分布特性，並利用正交模態分析(POD)了解風壓作用的特徵結構。同時利用相關性積分法探討結構系統的受風反應及推估最大等值靜載重。表面風壓量測顯示，低層建築物由於浸沒大氣邊界層流場的底層，為高紊流強度的流場作用，建物表面風壓的分布具有高擾動性風壓及尖峰風壓作用，特別是角隅處由於流場分流的影響，通常有甚高的尖峰風壓作用，尖峰因子可能較一般高層建築更高。風壓機率密度函數屬於左偏的型態，在角隅及屋頂邊緣地帶，峰度係數可達 6~9 之間，其風壓機率密度函數屬於高狹峰形態。由表面風壓分布與建物幾何尺寸的關係探討顯示，相

同屋面坡度的建物變化深高比，對表面風壓分布較無明顯的改變，顯示促成風壓分布形式的三維流場機制應相似。低層建築物表面風壓分布的重要尺度因子為建物高度，不論是表面風壓、擾動性風壓或尖峰風壓分布均顯示與建物高度有比例上的關係。

(1) 平均風壓係數分布

山形廠房建築物在風向與屋脊垂直時，表面平均風壓隨屋頂坡度變化如圖 2-6 所示。由圖中顯示屋頂坡度 1:1 及 1:2 的建物模型，屋頂迎風區有正風壓的分布，而屋頂坡度 1:4 及 1:8 的建物模型，則全屋頂面上均為負風壓的分布，顯示在屋頂坡度角大於 27 度時，位於迎風側的屋頂面上有直接受風作用產生的正壓，屋頂坡度角小於 27 度時，屋頂面風壓主要來自渦流作用，因此以負壓為主。

風向與屋脊平行時，建築物表面平均風壓分布如圖 2-7 所示，不同屋頂坡度建築物其平均風壓係數分布情形亦類似，顯示在此主導表面氣流作用的是越過建築物三維渦流作用，在不同深高比(建築物順風向屋脊長度與側牆高度之比)條件下如圖 2-8 所示。而深高比的增加使下游區的分布有持續延伸的表現，因上游區屬分離剪力層渦流直接作用區，而下游區則屬在接觸作用後的區域。

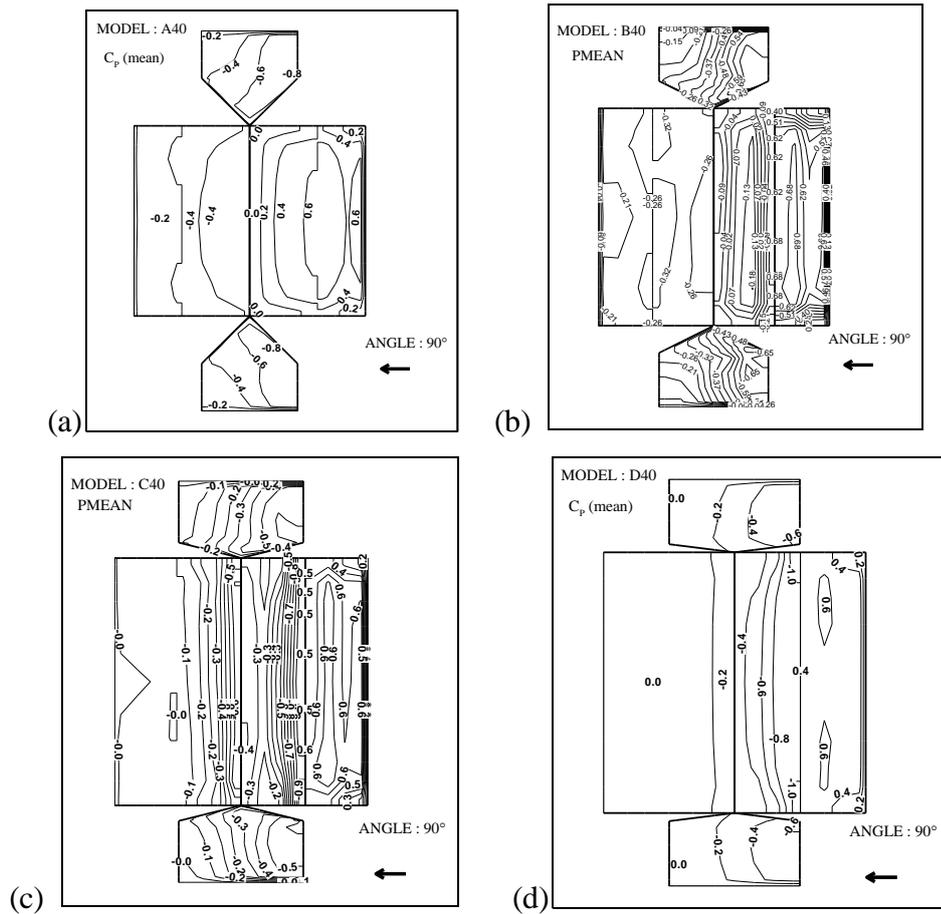


圖 2-6 風向與屋脊垂直時，深寬比 4，山形廠房建築物模型表面平均風壓係數分佈，(a)屋頂坡度 1:1，(b)屋頂坡度 1:2，(c)屋頂坡度 1:4，(d)屋頂坡度 1:8。

資料來源：本研究繪製

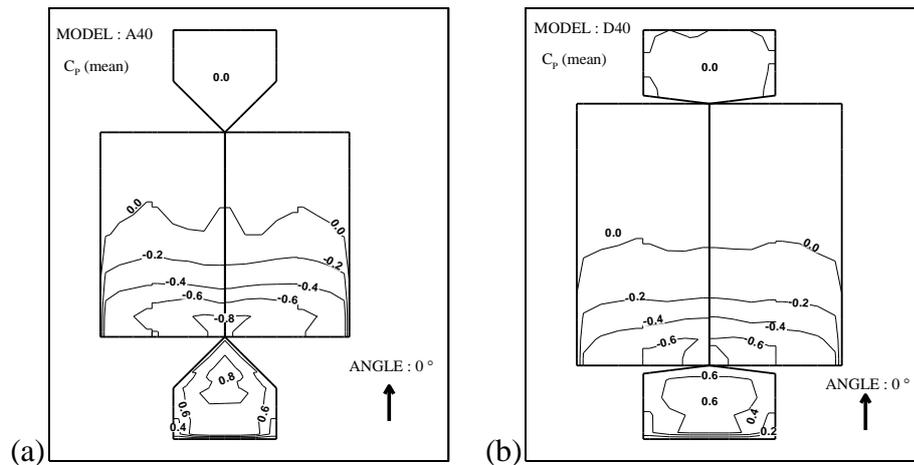


圖 2-7 風向與屋脊平行時，深寬比 4，山形廠房建築物模型表面平均風壓係數分佈，(a)屋頂坡度 1:1，(b)屋頂坡度 1:8。

資料來源：本研究繪製

因建築物模型基本構型及側牆高均相同，各不同屋頂坡度模型的側牆面則均有類似的風壓分佈，上游接近流體分離區有較低的負壓，向下游延伸則逐漸回昇。建築物模型背風面的牆面風壓分佈均為負值，在風向與屋脊垂直時，隨屋頂坡度角的減少有逐漸回昇的趨勢。

在風向與屋脊平行時，背風面的山牆在深高比為 1.0 時，因三維渦流回捲仍具影響性，因此有較低的負壓。而在較大深高比時，備方面山牆有壓力回升的狀況。綜合比較平均風壓的分布情形顯示，在風向與屋脊平行時，平均風壓的分布是對稱的，以上由區的結構構架受到較大的風荷載，下游區則偏低。而在風向與屋脊垂直時，左右結構系統受風力作用均近似，屋頂坡度影響風壓分部較明顯，坡度大者使上游有正風壓、背風面負風壓作用明顯；坡度小者使上游有較嚴重的負風壓作用，而背風面則出現明顯的壓力回升。

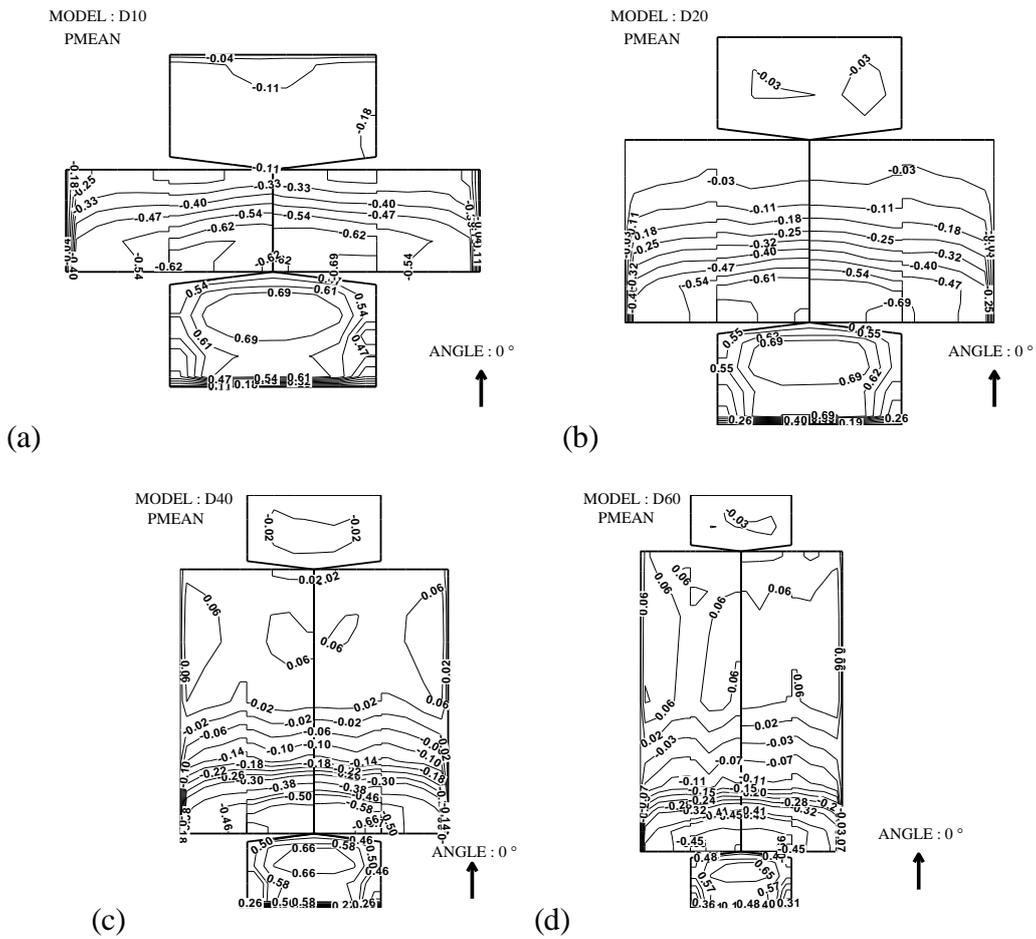


圖 2-8 風向與屋脊平行時，不同深高比山形廠房建築物模型表面平均風壓係數分佈，(a) 深高比 1，(b) 深高比 2，(c) 深高比 4，(d) 深高比 6。

資料來源：本研究繪製

(2) 擾動性風壓係數分佈

不同屋頂坡度條件下，各建築物模型表面擾動性風壓係數分佈如圖 2-9 及圖 2-10 所示，由圖 2-9 顯示，風向與屋脊平行時，不同屋頂坡度的建築物表面擾動性風壓係數其實具有相類似的分布，深高比增加促使分布情形顯示為向下游延展的狀況，最大

擾動性風壓係數仍是出現在屋頂面上游邊緣。因此可推測對於風荷載作用而言，風向平行於屋脊時，迎風的第一組剛構架受到最大的風壓擾動作用，如考慮到空間相關性時，對於第一組剛構架應會有較高的等值靜載重。

風向與屋脊垂直時，屋頂坡度越小的模型，在屋頂上游邊緣區，擾動性風壓有越高的趨勢。特別是在屋頂坡度比為 1:8 的屋頂面上，角隅處的擾動性風壓係數有大幅提升的現象，顯示在低緩的屋頂面上角隅處有較強烈的角錐型渦流形成，而在較高屋頂坡度的屋頂面角隅則較不強烈。對於屬背風面的牆面上擾動性風壓則有隨屋頂坡度趨緩而小幅下降。

比較不同模型的表面擾動性風壓分佈情形顯示，主要擾動風壓變化具有類似的分佈情形，顯示對於類似幾何構形的建築物其風壓擾動作用機制甚為相似。

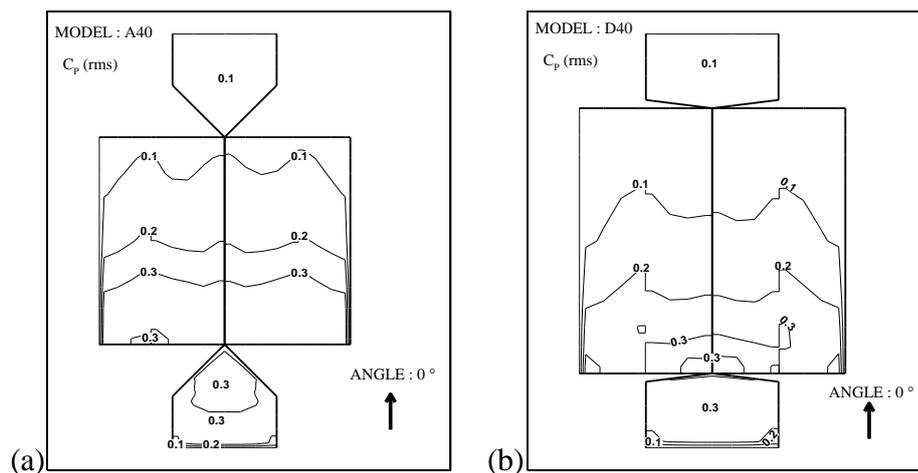


圖 2-9 風向與屋脊平行時，深高比 4，山形廠房建築物模型表面擾動性風壓係數分佈，(a)屋頂坡度 1:1，(b)屋頂坡度 1:8。

資料來源：本研究繪製

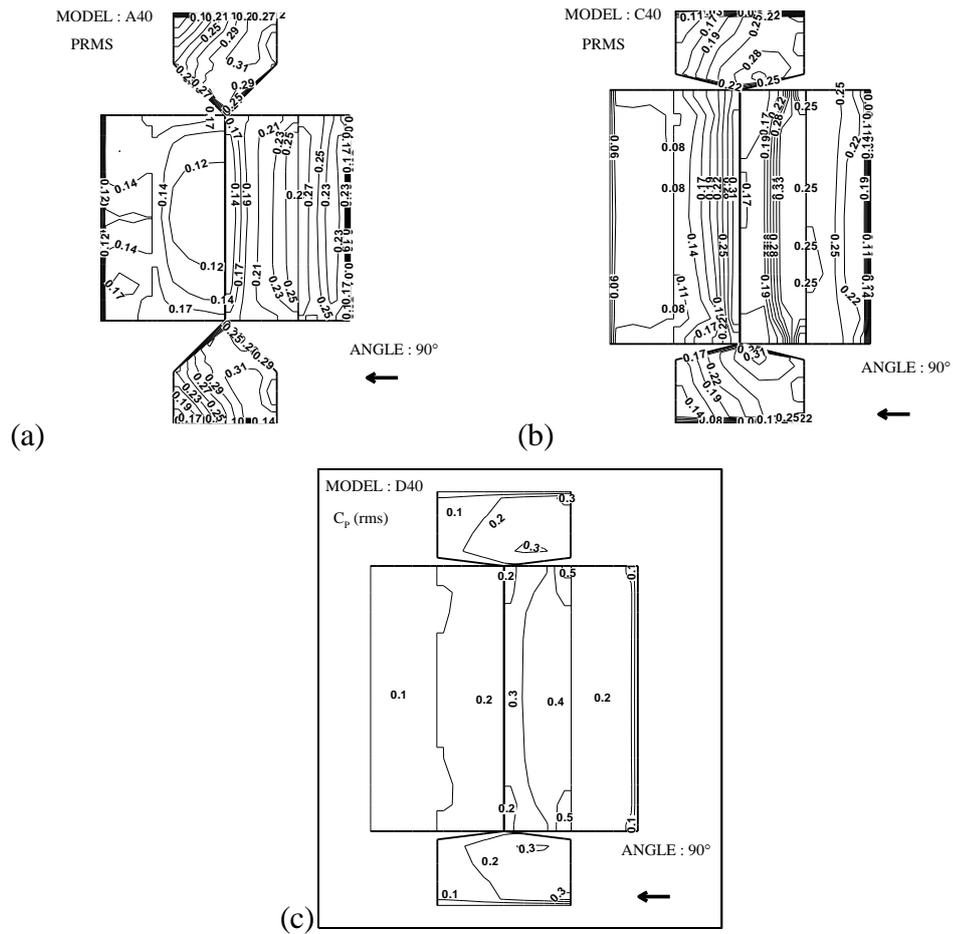


圖 2-10 風向與屋脊垂直時，深寬比 4，山形廠房建築物模型表面擾動性風壓係數分佈，(a)屋頂坡度 1:1，(b)屋頂坡度 1:4，(c)屋頂坡度 1:8。

資料來源：本研究繪製

(3) 尖峰風壓係數分佈

不同屋頂坡度條件下，各建築物模型表面尖峰風壓係數分佈如圖 2-11 及圖 2-12 所示，由圖 2-11 顯示，風向與屋脊平行時，產生的尖峰風壓高於風向與屋脊垂直的情形下，特別是在屋頂面或側牆上游邊緣區域，推測與角隅的渦漩分離流作用有關。

由圖 2-12 顯示，在風向與屋脊平行時，各不同屋頂坡度的尖峰風壓分佈情形及其

大小均甚為類似。風向與屋脊垂直時，在屋頂坡度 1:8 的屋頂面上產生的尖峰風壓最高，相對的隨屋頂坡度的增加，尖峰風壓作用則趨緩。

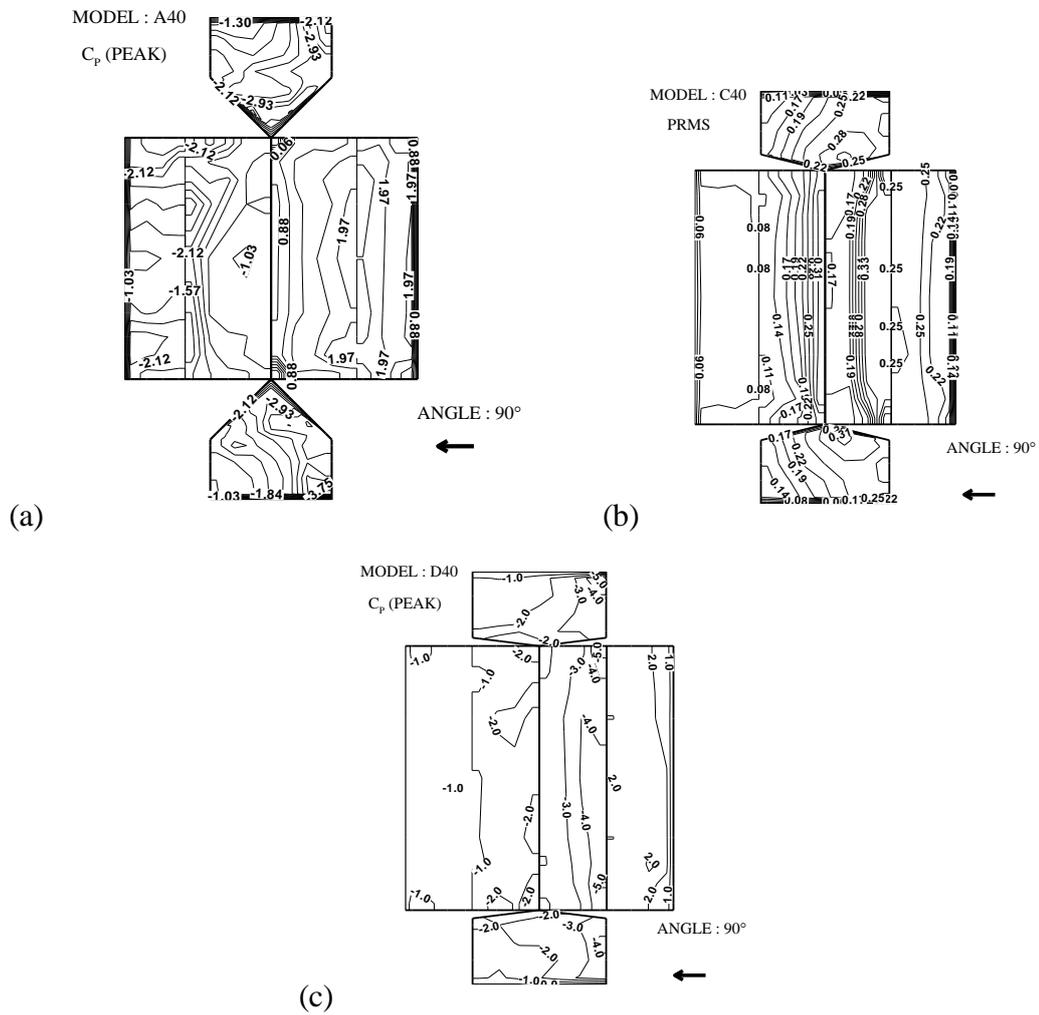


圖 2-11 風向與屋脊垂直時，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a)屋頂坡度 1:1，(b)屋頂坡度 1:4，(c)屋頂坡度 1:8。

資料來源：本研究繪製

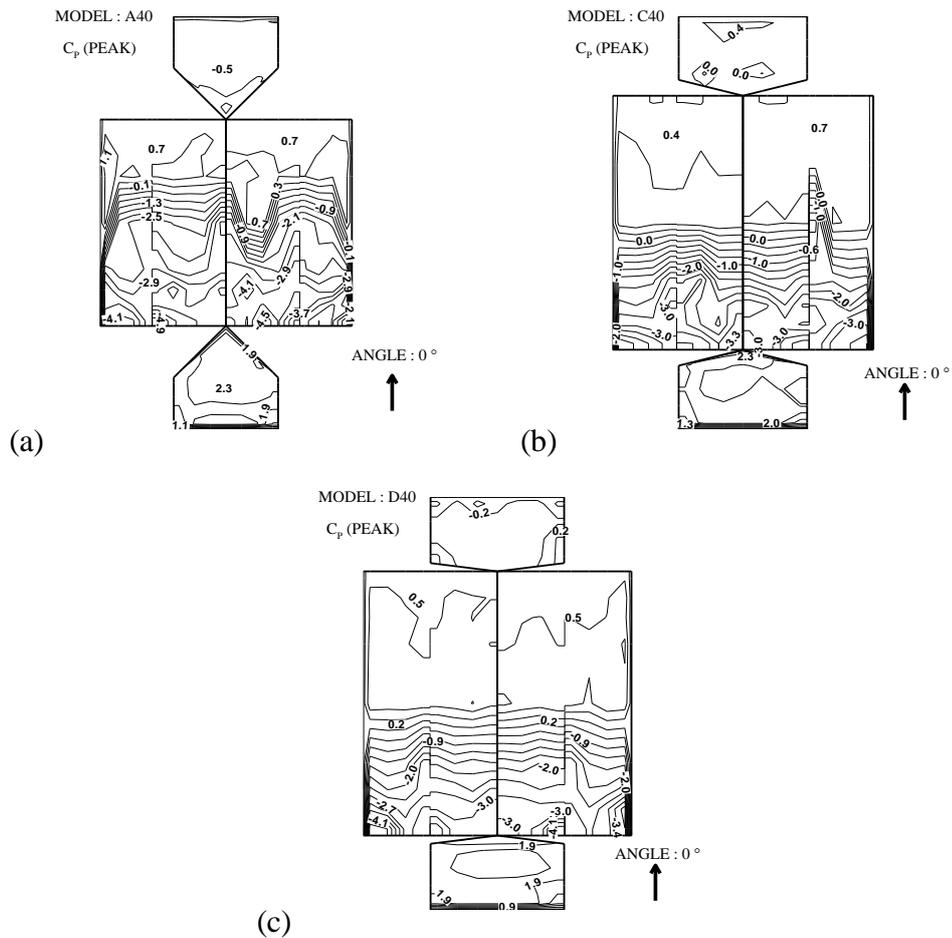


圖 2-12 風向與屋脊平行，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a) 屋頂坡度 1:1，(b) 屋頂坡度 1:4，(c) 屋頂坡度 1:8。

資料來源：本研究繪製

在風向與屋脊有小於 90 度的條件下，以具有低緩坡度屋頂的面上產生最高的尖峰風壓，如圖 2-13 與圖 2-14 所示。在屋頂坡度 1:4 及 1:8 的模型表面風壓，以風向與屋脊夾角約 23 度附近在上游角隅處有甚嚴重的負風壓出現。Ginger(2000)對低層廠房的載重條件研究時，指出夾角 30 度時，出現特殊的載重狀況。

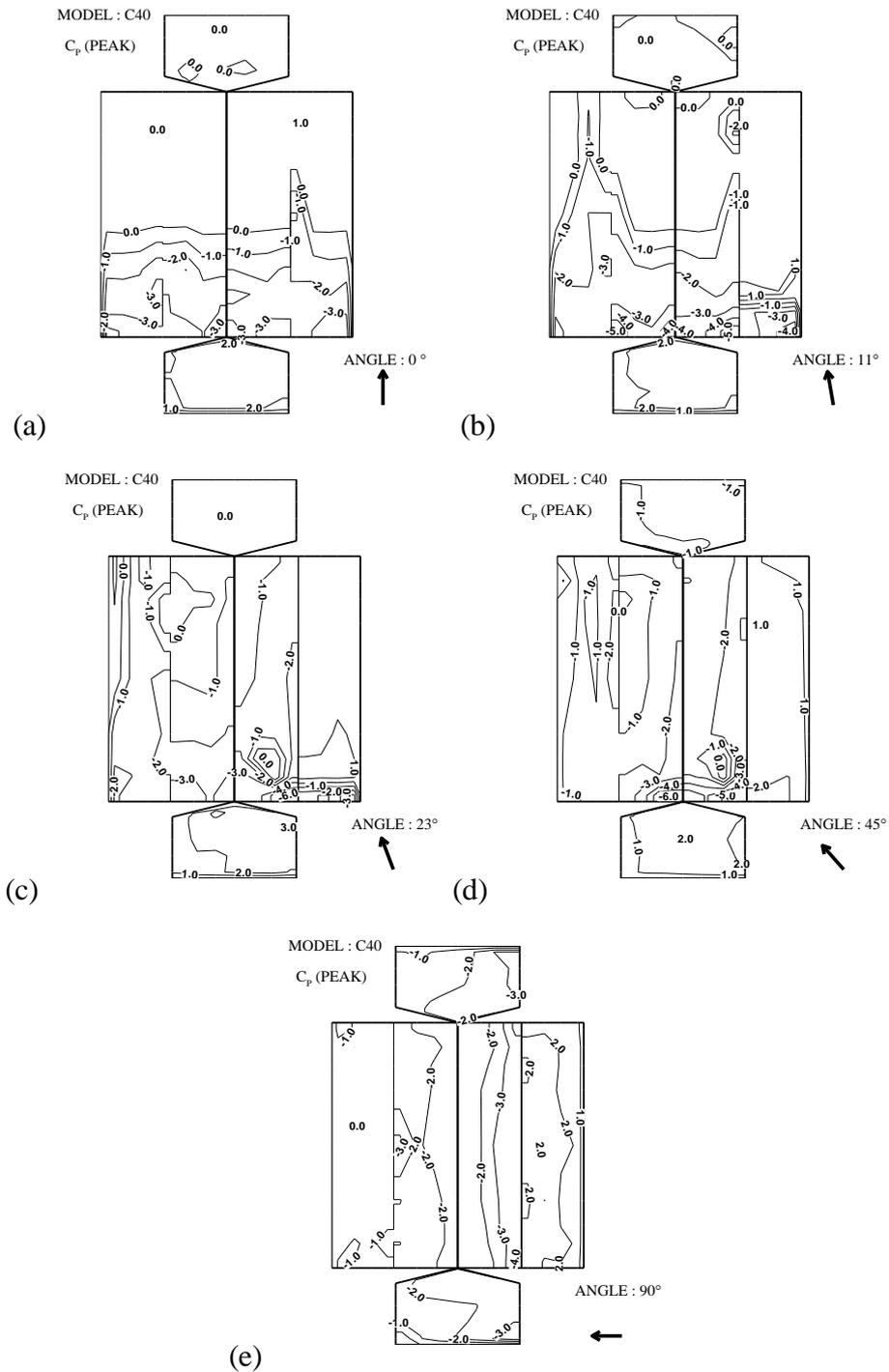


圖 2-13 屋頂坡度 1:4，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a)風向與屋脊平行，(b)風向與屋脊夾角 11 度，(c)風向與屋脊夾角 22.5 度，(d)風向與屋脊夾角 45 度，(e)風向與屋脊垂直。

資料來源：本研究繪製

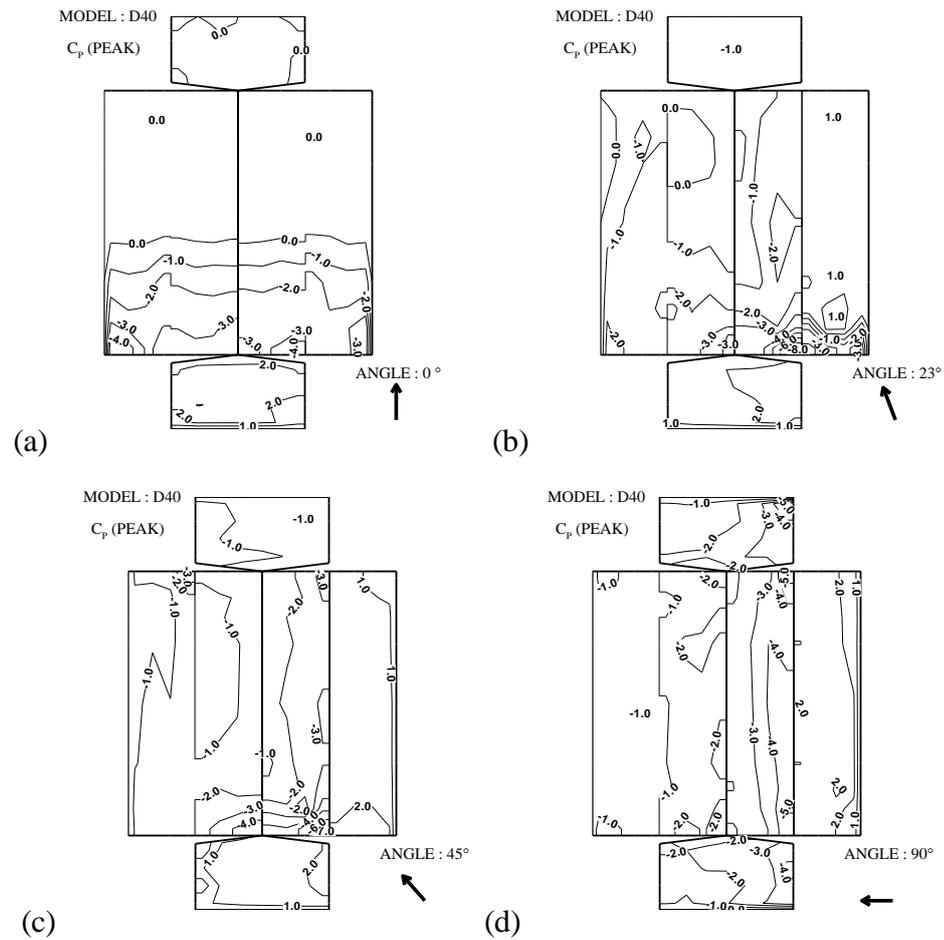


圖 2-14 屋頂坡度 1:8，深高比 4，山形廠房建築物模型表面尖峰風壓係數分佈，(a)風向與屋脊平行，(b)風向與屋脊夾角 22.5 度，(c)風向與屋脊夾角 45 度，(d)風向與屋脊垂直。

資料來源：本研究繪製

第三章 研究內容與方法

第一節 研究內容

本研究探討低層建築物附屬設施所受風載重的特性，參考國外案例與規範的比較，歸納國內從事建築物附屬設施設計工作時應注意的要項或法則，並檢討補充規範內容的必要性。同時本研究利用剛性模型的氣動力實驗建立包括變化屋頂型式、女兒牆影響與模型位置等多種建築物附屬設施受風載重的模式，並對其擾動性風載重特徵，包括頻譜、尖峰因子、模態分佈等資料逐步累積，確立常見型態的建築物附屬設施受風作用基本資料，以供設計者參用。研究中針對氣動力實驗模型搭配結構系統，並由實驗載重資料及結構反應分析，了解較為優越的結構系統設計或桿件安排建議，有助於提升類似建築物耐風性能設計參考，並協助本所風雨風洞實驗室建立此類結構物風載重實驗量測與資料分析能力。

本計畫將建立低層建築附屬設施風載重評估所需資料及耐風設計策略探討，對於低層建築物附屬設施的耐風性能評估應包括：不同屋頂構型外型對於建築物附屬設施的風載重影響，安裝位置對於附屬設施本身所受風載重的影響，建築物附屬設施自身氣動力載重的特徵，結構支撐系統在受到風載重作用下的結構反應評估等面向。就以上各面向進行整合研究，並提出建議，將有助於提昇低層建築物附屬設施的耐風性能，研究方法採用之原因如下：

1. **國內外相關研究文獻的探討：**針對低層建築附屬設施設計案例，蒐集相關案例風載重評估方法與成果資料，工作內容包括蒐集風工程相關期刊中有關此議題的最新研究成果發表，以供國內設計準則建立的參考。以及國內外文獻中有關低層建築附屬設施風載重研究的實驗成果資料加以蒐集，比對實驗條件加以分類整理。文獻資料的比對為驗證本研究規劃設計之氣動力實驗正確性的依據，同時模型設計時須考量實務上的需求與法規的限制，避免實驗內容與實際需求脫節。
2. **國外規範相關比較：**國外規範有關低層建築附屬設施設計風載重的規定可作為設計參考值，並可與氣動力實驗成果比較。國外規範在此部分較有詳細規定或有示範案例者包括美國 ASCE 7-05)、日本 AIJ 2004、紐澳 AS/NZS 1170.2 2002、英國 BS6399-2:1997 等國建築設計相關規範，有助於實驗模型設計與界定研究對象。

3. **氣動力實驗量測**:本研究探討內容除模型本身造型影響,並加入建築物與附屬設施配置的影響,因此實驗量測項目較為繁雜,採用規劃數個典型的低層建築附屬設施製作剛性縮尺模型於本所台南風雨風洞實驗室進行氣動力實驗,以量測所得資料進行結構分析,並歸納設計策略。
4. **資料分析**:氣動力實驗量測資料分析可直接觀察氣動力特性,進一步分析其平面上的模態,可了解其主要風力擾動結構。而結合結構系統的設計,將與結點相關之區域面積依其貢獻面積加權可求得個節點載重歷時資料,可提供結構軟體進行分析計算,找出桿件內力分布
5. **結構分析軟體計算**:本研究將依據實驗所獲得的風載重歷時資料及規劃設計的結構系統,利用有限元素法結構分析軟體探討結構系統的受風反應(包含內力與變位),依據所獲得的結構圖,建立供結構分析計算的模型,以節點載重進行變位分析的計算,桿件內力的分析成果,可以觀察不同位置的桿件其受載重情形是否有集中的情形,桿件包括軸力、剪力及彎矩的分析成果,檢討結構系統設計耐風性能。氣動力實驗所獲得的風載重資料可透過多種不同支撐結構系統的模擬,找出有利的桿件布置方式,期使桿件內力分布盡可能趨向均勻,嘗試的過程可透過電腦軟體的模擬,迅速有效的獲得解答。同時氣動力實驗資料已包括屋頂型式及安裝位置的影響條件,因此綜合評比結構分析的成果,可發掘出針對不同型式屋頂有利的安裝位置或支撐結構桿件布置策略,對於提升低層建築物附屬設施耐風性能甚有裨益。

第二節 建築物氣動力實驗

3-2.1 實驗模型規劃

本計畫研究重點為建築物附屬設施的風載重評估,本年度以氣動力載重分布情形為探討重點,採用剛性(rigid)構造物模型設計,控制的參數包括屋頂坡度、安裝位置、風向角、支架抬高等,屋頂造型以平板設計,氣動力實驗研究成果並與文獻資料相驗證。規劃進行的模型設計採用雙斜屋頂為主,屋頂坡度包括 1:1、1:2、1:4、1:8 及平屋頂。同時採用單元模組化設計,因此可以有數個併排。平屋頂實驗內容,並檢核有關

女兒牆的影響。

實驗規劃以多種屋頂坡度、安裝位置、風向角的建築模型進行實驗，以探討包括風壓變化、整體風載重變化及結構受風力評估等。

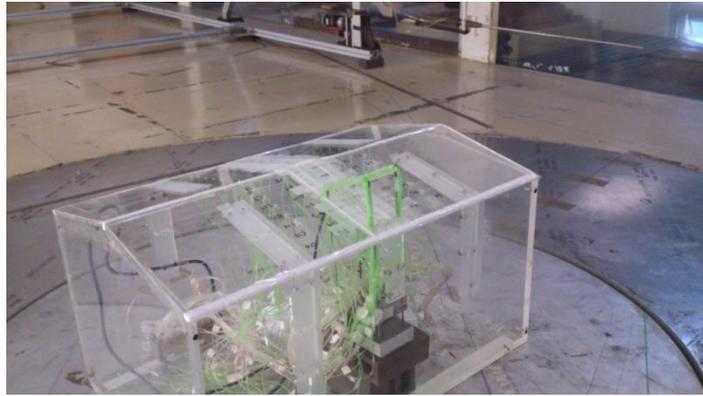


圖 3-1 模型於風洞中進行實驗量測

資料來源：本研究拍攝

本研究低層建築物氣動力模型利用壓克力版製作，建築物模型幾何尺寸為高 30 公分、寬 60 公分、深 40 公分，模型的高寬比為 1:2、寬深比為 3:2，太陽能板模型總厚度控制在 1 公分，為薄壓克力板黏合的中空板，板面上上下布設風壓孔，夾層安置管線。風壓孔以細 PVC 管線製作之壓力傳感管線系統(tubing system)與量測儀器相接，本次模型實驗視屋頂坡度變化共佈設 112~122 個風壓孔，利用本所實驗室現有的電子式壓力掃描器量測模型屋頂上下面同步的風壓資料。氣動力模型實驗量測時，利用旋轉模型底座的方式，表現改變風向角的效果。



圖 3-2 電子式壓力掃描模組

資料來源：本研究拍攝



圖 3-3 壓力訊號處理系統

資料來源：本研究拍攝

壓力量測管線系統為內徑 1mm、長 25 公分之 PVC 管，實驗前經具白噪音(white noise)特性之擾動壓力信號進行率定，驗證無扭曲頻率可達 35Hz 以上。管線系統連接至電子式壓力掃描模組上的壓力輸入埠，電子式壓力掃描器以 64 個量測孔為一模組，壓力量測模組安置於模型內部，模型規劃以鄰近 64 個孔位規劃為同一壓力模組，分別接入電子式壓力掃描器。表面風壓量測使用之壓力掃描器(ZOC33/64 PX 如圖 3-2)，該

系統每個單一模組有 64 個壓力輸入管(pneumatic inputs)，對應 64 個壓電式壓力感應器，每一壓力感應器皆可單獨校正。輸入管藉由內徑 1mm PVC 管連接至模型量測點以量測壓力。各模組接連接至壓力訊號處理系統(RAD BASE 3200 如圖 3-3)，此系統可支援類比數位之轉換，最高可支援 8 個模組，其解析度達 16bits，最大採樣頻率為 500Hz，傳輸介面為 USB，具備網路控制及傳輸功能。本研究之採樣頻率為 250Hz，每次實驗採樣 180 秒，擷取之資料轉換完成之後藉由此系統傳至個人電腦儲存分析。

表 3-1 實驗模型類型規劃

模型類型	屋頂坡度	安裝位置	風向角
太陽能板	1:1	前緣、中央屋脊、後緣等三處	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。
	1:2	前緣、中央屋脊、後緣等三處	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。
	1:4	前緣、中央屋脊、後緣等三處	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。
		中央屋脊處抬高模型支架 3cm	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。
	1:8	前緣、中央屋脊、後緣等三處	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。
	平屋頂	前緣、前 1/4 位置、中央屋脊等三處	0~180 度，每隔 30 度作一次量測。
		加設女兒牆，模型安裝於前 1/4 位置	0~180 度，每隔 30 度作一次量測。
		前緣、前 1/4 位置、中央屋脊等三處，模型架高 3cm。	0~180 度，每隔 30 度作一次量測。
高架水塔	1:2	中央屋脊、後緣等三處	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。
	1:4	中央屋脊、後緣等三處	0~360 度，每隔 30 度作一次量測。

資料來源：本研究整理

3-2.2 流場規劃

本研究利用內政部建築研究所台南風洞實驗室進行建築物氣動力模型實驗研究，風洞設施為一封閉式的循環風洞，具有兩種測試斷面(第一測試區 4 m × 2.6 m、第二

低層建築附屬設施耐風性能研究

測試區 $6\text{ m} \times 2.6\text{ m}$ ，本研究利用內政部建築研究所台南風洞實驗室進行實驗，採用第二試驗段進行，試驗段長 26.5 m ，風洞可提供最大風速為 25 m/s 。氣動力模型置於試驗段旋轉台的中央，可用數控旋轉台旋轉模型，表現不同風向角的效果。風洞中邊界層流場之模擬方式為在試驗段上游區域擺設錐形渦流產生器 (spire) 以及地表粗糙元素 (roughness element)，以產生近似鄉村地形之大氣邊界層來流。所產生平均流速剖面指數律分佈之 α 值為 0.16 ，而在距地 10 cm 處之紊流強度 (turbulence intensity) 約為 12% ，流場之平均風速剖面及紊流強度如圖 3-4 所示。

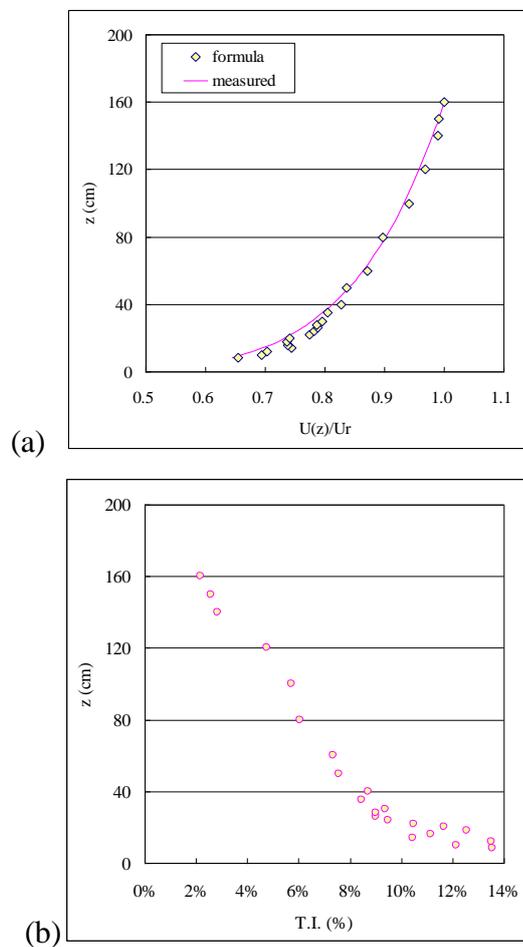


圖 3-4 流場特性之垂直分佈，(a)平均風速剖面，(b)紊流強度剖面

資料來源：本研究整理

3-2.3 氣動力實驗規劃

本計畫研究重點為建築物附屬設施的風載重評估，本年度以氣動力載重分布情形為探討重點，採用剛性(rigid)構造物模型設計，配合過去已完成之實驗成果，本年度以屋頂太陽能系統之集熱板、屋頂水塔等為實驗重點，控制的參數包括屋頂坡度、底座抬高、安裝位置、風向角等，屋頂造型以壓克力平板配合鋁合金承版與骨架設計，可變化不同屋頂面坡度，氣動力實驗研究成果並與文獻資料相驗證。各類實驗項目如表 3-1 所示，規劃之氣動力實驗包括：

1. 平屋頂建築物模型系列實驗：太陽能板在平屋頂上不同位置的氣動力特性探討，以及加裝女兒牆對於太陽能板產生的遮蔽現象。
2. 斜屋頂建築物模型系列實驗：太陽能板在雙斜屋頂上不同位置的氣動力特性探討，配合不同屋頂坡度模型進行實驗，屋頂坡度包括 1:1、1:2、1:4、1:8 等四種不同坡度變化，太陽能板架設方式均採用獨立腳架方式裝設，因此太陽能板模型下方為開放式，另於屋頂坡度允許的條件下，安裝模型低點直接貼附於屋頂面上。為考慮大型太陽熱能系統的狀況，同時製作相同模型但不含壓力管線的太陽能板模型，採併排方式放置於屋頂面上，探討多片系統的狀況。
3. 屋頂水塔模型實驗：本研究同時製作水塔之氣動力實驗模型，利用腳架架設於模型屋頂面上，前期研究案已利用六分量力平衡儀進行水塔所受風力之實驗，本期採用風壓模型進行實驗，可進一步量測水塔表面不同區域之表面風壓資料。
4. 流場規劃：以均勻紊流場模鄉村地況大氣邊界層底層流況。
5. 模型設計：氣動力模型將利用壓克力版製作，模型包括太陽熱能系統、圓桶型水塔等縮尺模型，模型表面佈設壓力孔，搭配壓力管線系統，量測表面風壓變化，並與文獻資料相驗證。由文獻資料中類似氣動力實驗成果，太陽能熱水系統之儲水筒的設置有降低版面部份風壓的作用，在單片系統中效應較為明顯，如為多片串聯系統，則儲水桶應為另行安置，較無影響。本研究取較保守的條件檢討版面風載重，因此不考慮儲水桶的影響。
6. 低層建築物模型：為表現不同建築物屋頂型式對於氣動力特徵的變化，本研究依

據國內規範定義範圍選擇五種不同坡度(1:1, 1:2, 1:4, 1:8 以及平屋頂)的斜屋頂建築物模型，模型屋頂面設置孔位，將氣動力模型安裝於屋頂面上，提供可安裝在上、下游側及屋脊等位置的可能性。針對平屋頂模型系列，將另行以外加女兒牆方式進行氣動力實驗。

7. 實驗控制參數：氣動力實驗研究主要探討不同屋頂型式及安裝位置的影響，因此在建築物模型方面實驗參數控制以此兩種因子為主。另考慮安裝方式，因此氣動力模型架設支架高度設計為可調整式，表現不同抬高比例對於風載重的影響。
8. 由實驗量測所得之低層建築附屬設施表面風壓資料首先將計算其表面風壓均值、擾動值、尖峰因子(peak factor)、擾動風壓頻譜(spectrum)、機率密度函數(PDF)的識別、空間相關性(spatial correlation)及頻率特性等，以完整掌握表面風壓分佈情形。氣動力係數定義如下所示：

$$\text{平均風壓係數 } C_p = \frac{\bar{P}}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (3.1)$$

$$\text{擾動性風壓係數 } C'_p = \frac{\sqrt{P'^2}}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (3.2)$$

其中 P 為風壓時序列資料， \bar{p} 為平均壓力， $\sqrt{p'^2}$ 為擾動性風壓的均方根值， ρ 為空氣密度， U 為平均風速。

有關風壓的時序列資料同時亦分析其偏態(skewness)與峰度(kurtosis)係數，定義如下所示：

$$\text{偏態(skewness)係數 } C_s = \frac{E[(p - \bar{p})^3]}{\sigma_p^3} \quad (3.3)$$

$$\text{峰度(kurtosis)係數 } C_k = \frac{E[(p - \bar{p})^4]}{\sigma_p^4} \quad (3.4)$$

其中 $E[\dots]$ 為期望值， σ_p 為擾動性壓力的均方根值。

$$\text{相關係數 } r_{ij}(\tau) = \frac{\overline{[p_i(t) - \bar{p}_i][p_j(t+\tau) - \bar{p}_j]}}{\sigma_{p_i} \sigma_{p_j}} \quad (3.5)$$

淨風壓係數(net pressure) $C_{Pnet}(t) = C_{Pupper}(t) - C_{Plower}(t)$ (3.6)

9. 太陽能板整體風荷載，採用氣動力模型板表面風壓，以各風壓孔有效貢獻面積加權積分方式，求得瞬時的整體風荷載，觀察不同風向角與模型安裝條件對於整體和載平均值及擾動值的影響。同時將載重立時資料分配至各連接之承結構系統的節點，供結構分析之用。
10. 建築物模型頂面上在太陽能板周邊，亦布設風壓孔，以量測屋頂表面風壓分布情形，了解附屬設施安裝後對於屋頂表面風壓的影響。

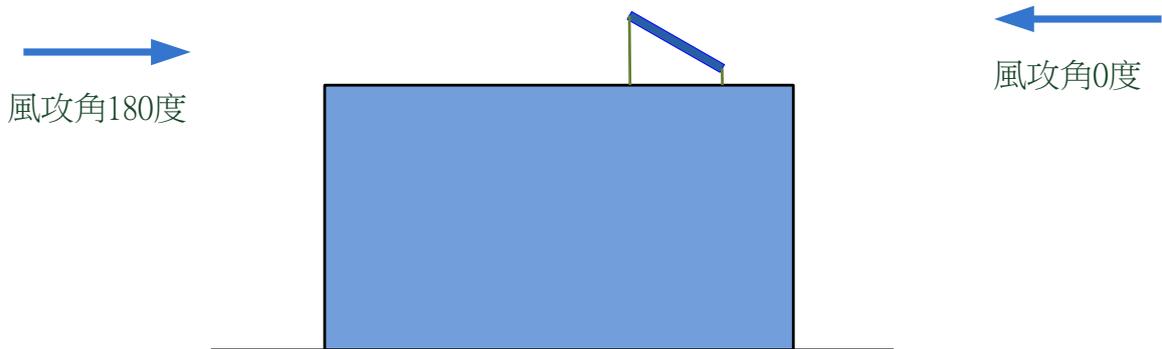


圖 3-5 安裝於平屋頂上太陽能板安裝位置與風向角定義

資料來源：本研究繪製



圖 3-6 安裝於平屋頂上太陽能板

資料來源：本研究拍攝

低層建築附屬設施耐風性能研究

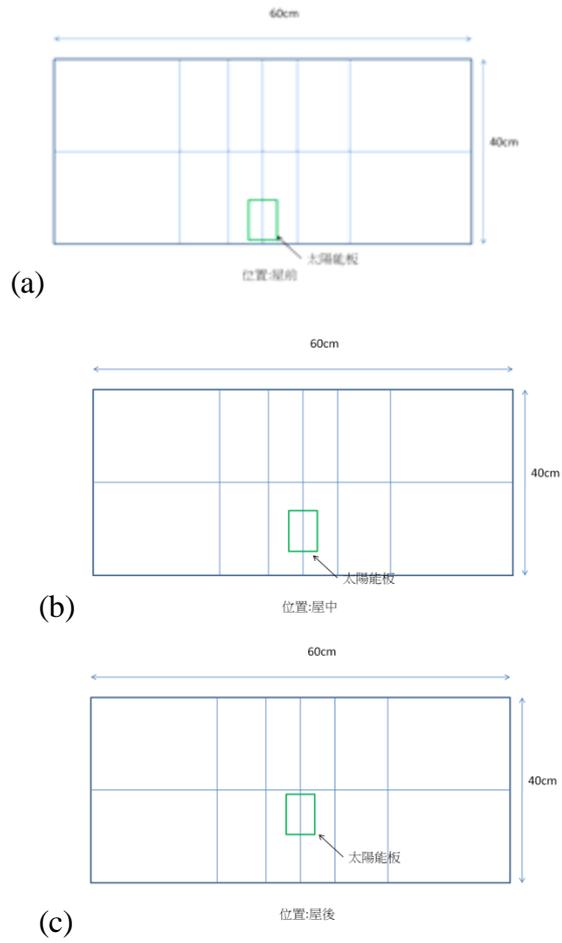


圖 3-7 安裝於平屋頂上太陽能板位置定義(a)屋前，(b)屋中，(c)屋後。

資料來源：本研究繪製

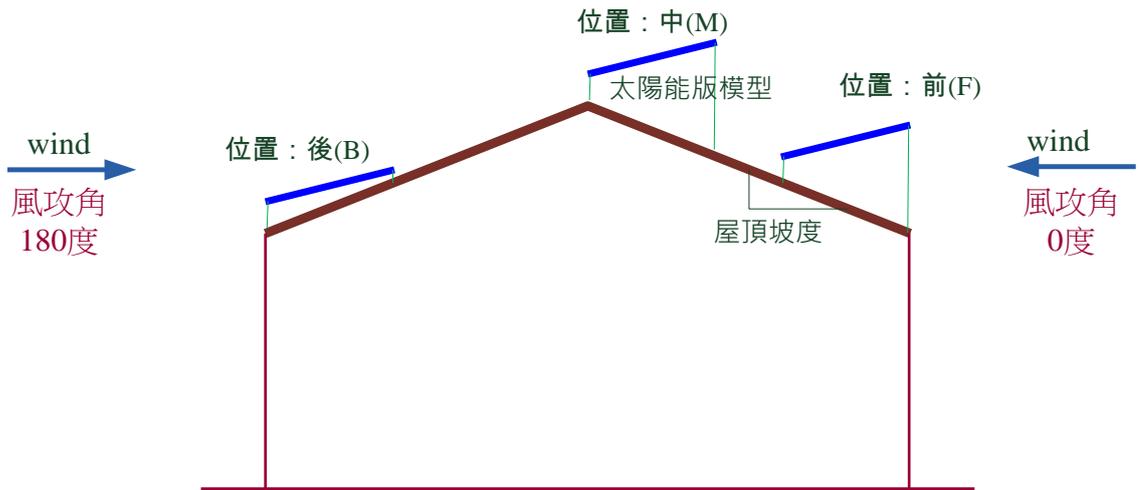


圖 3-8 安裝於斜屋頂上太陽能板安裝位置與風向角定義

資料來源：本研究繪製

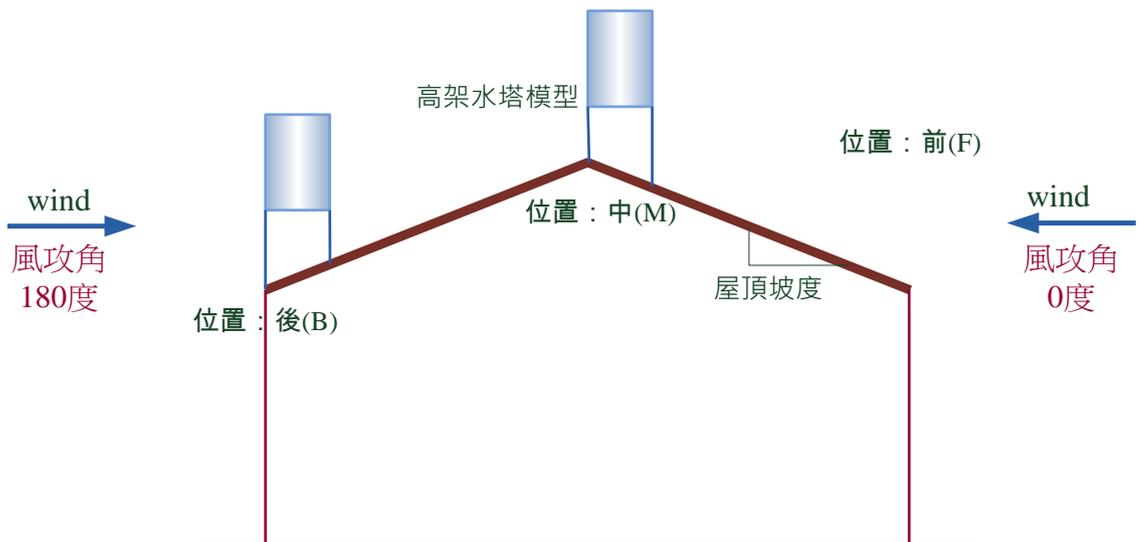


圖 3-9 安裝於斜屋頂上高架水塔位置與風向角定義

資料來源：本研究繪製

第四章 研究結果與討論

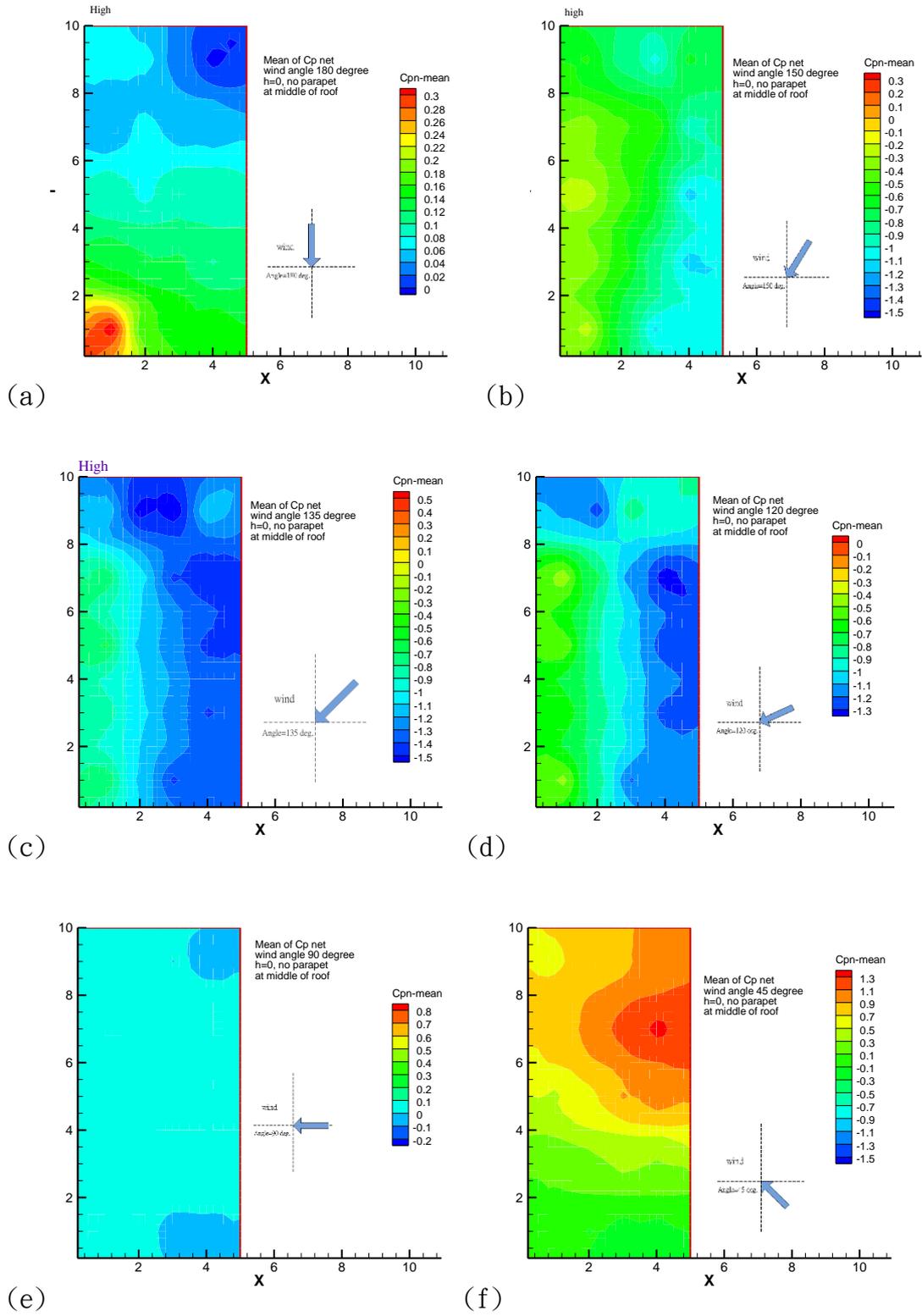
為探討低層建築物附屬設施的氣動力特性，本研究就文獻資料中研究成果加以綜合，並設計部份氣動力實驗加以補充，實驗成果與分析如下所述。

第一節 平屋頂上太陽能板氣動力特性

4-1.1 太陽能板表面淨風壓係數分布

由文獻中可知，不同風向角對於低矮建築物屋頂表面風壓的分布有重大的影響，而太陽能版等附屬設施常安裝於低矮建築物屋頂面上，所受之氣動力載重亦將隨風向角的改變有所變化。平屋頂上太陽能板表面風壓變化如圖 4-1 所示，在無女兒牆的平屋頂中央區位的太陽能版所受平均淨風壓係數之分布，圖中淨風壓係數為上下版面瞬時風壓同步相減的結果，正值代表以上版面觀點時風壓指向版面，負值代表風壓遠離版面(定義同 ASCE 7 版面風壓係數的符號規定)。如圖 4-1 所示，風向 0 度及 180 度時，版面淨風壓分布並未有明顯劇烈變化(如圖 4-1(a)、4-1(h))，風向角 180 度時版面淨風壓呈現正值的分佈且接近零值，風向角 0 度時版面淨風壓呈現正值的分佈且接近零值，而版面風壓變化較為大的情形多出自 45 度附近的風向角，不論是斜版的高側或是低側，均使版面承受較大的氣動力載重。如圖 4-1(b)~(d)所示，風向由版的高側逼近，版面淨風壓係數為甚低的負值，特別是在上風的角隅附近，有甚低的負風壓值，顯示此時版面承受較大的抬升的外力，對太陽能版而言，則存在掀翻的尾險性。而風向來自低側的 45 度附近時，版面相同承受較大的氣動力載重，但其值大多為正值，顯示此時氣動力載重以指向版面為主，對於結構而言屬偏安全的情況。

低層建築附屬設施耐風性能研究



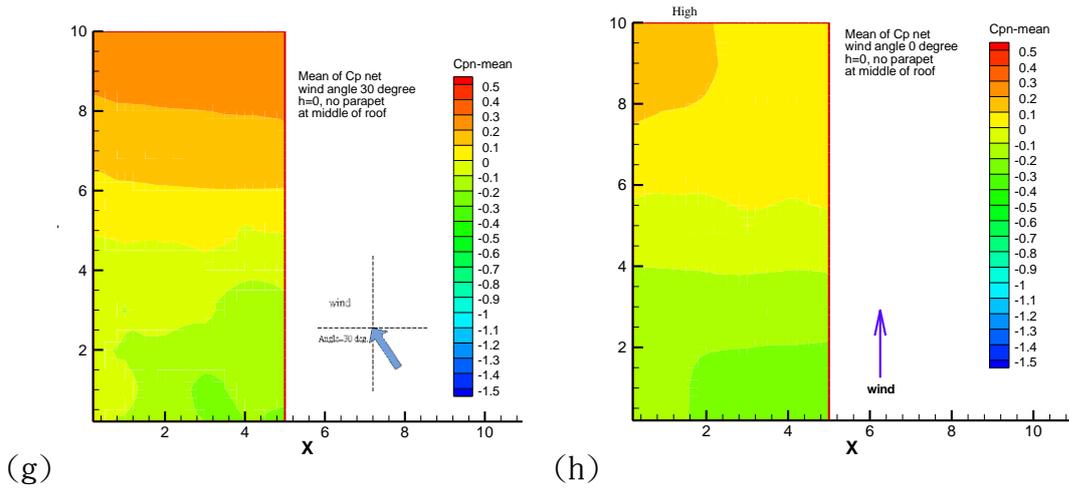


圖 4-1 位於平屋頂中央區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，風向角 (a)180 度，(b)150 度，(c)135 度，(d)120 度，(e)90 度，(f)45 度，(g)30 度，(h)0 度。

資料來源：本研究整理

太陽能板擾動性淨風壓係數的分布如圖 4-2 所示，圖中擾動性淨風壓係數變化較為劇烈的區域主要在接近來流的上游角隅，與版面角隅渦流生成關係密切。如圖 4-2(a) 風向平行於版面長軸向，而版面低側為上游側，擾動性淨風壓係數下降。如上游角隅屬於較為開放的高側，則擾動性淨風壓係數提高。

太陽能板尖峰淨風壓係數的分布如圖 4-3 所示，如圖 4-3(a)顯示當來流由平版的低側吹向平版時，版面尖峰淨風壓係數以正值分布為主，正的風壓值係壓向版面，反而較不具掀翻的風險。而來流由平版的高側區域吹向平版時，版面尖峰淨風壓係數變為甚低的負值，甚至在斜向 45 度作用時，有最嚴重的負尖峰風壓係數，此條件對於太陽能板而言，掀翻的危險最大，應加以特別注意。

低層建築附屬設施耐風性能研究

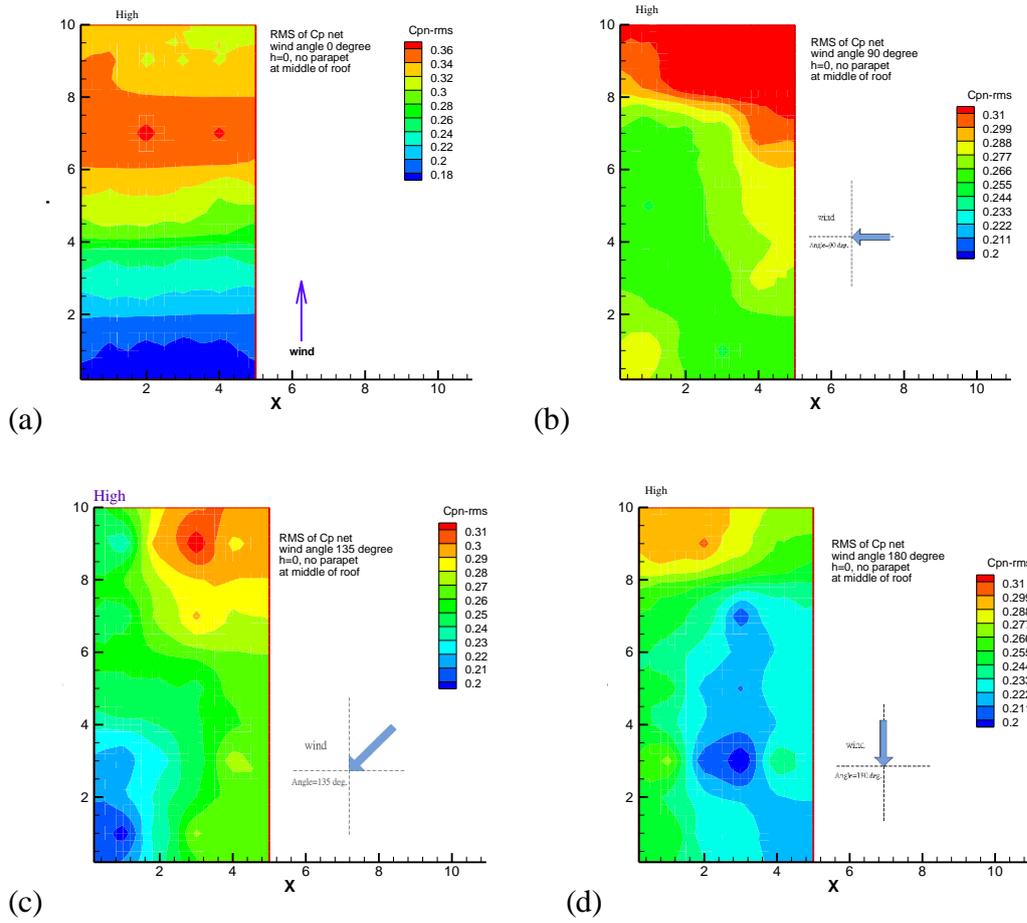


圖 4-2 位於平屋頂中央區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)90 度，(c)135 度，(d)180 度。

資料來源：本研究整理

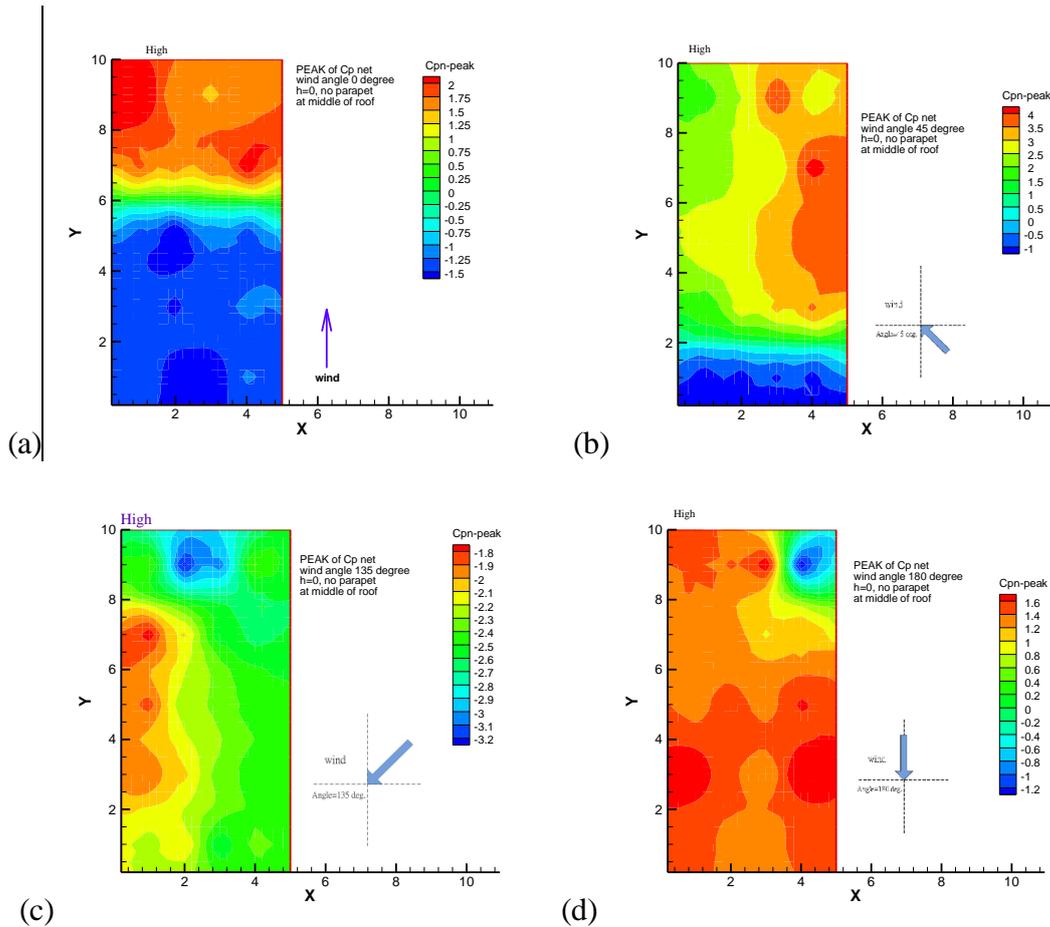


圖 4-3 位於平屋頂中央區域太陽能板尖峰淨風壓係數分佈，風向角
(a)0 度，(b)45 度，(c)135 度，(d)180 度。

資料來源：本研究整理

4-1.2 太陽能板表面整體淨風壓係數變化

為了解屋頂面上太陽能版所受之整體氣動力載重，本研究將版面上各風壓孔位的淨風壓係數以各風壓孔貢獻面積加權平均得版面整體淨風壓係數。如圖 4-4 為平屋頂含女兒牆條件下，太陽能版的整體平均淨風壓係數隨不同位置及風向角的變化，相對於圖 4-5 及 4-6 分別為無女兒牆而考慮抬高與否的條件，顯示圖 4-4 的風壓係數分布較為緩和，正負壓變化幅度不大，整體均位於 ± 0.5 之間，而前段所發現的斜 45 度來流條件，則有較大的變化。

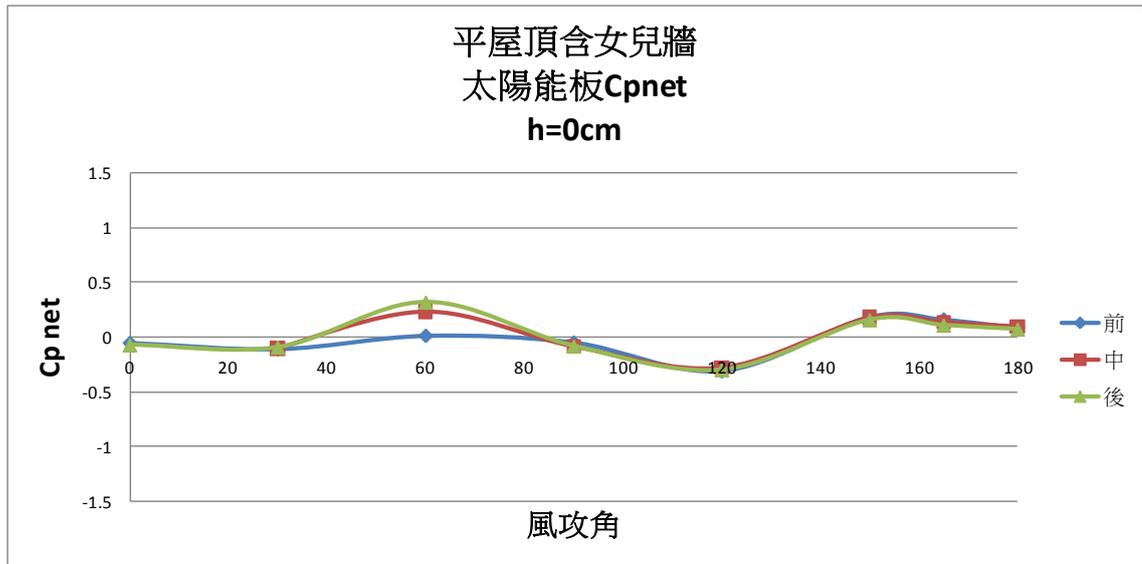


圖 4-4 位於平屋頂上(含女兒牆)太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化

資料來源：本研究整理

而圖 4-5 與 4-6 則顯示有較大的起伏變化，特別是在 45 度斜吹的條件下，不論太陽能版置放於屋頂前中後三個區域，均有較極端的出現；比較風向角 45 度附近，整體淨平均風壓係數為正值，特別是位於後方的位置有較高的正值，但幅度並不大，因此三個區位其值可視作相似。風向角 135 度附近，則有最低的負值，表示此風向角附近來流對太陽能版風載重將大幅增加，同時其值為負值，代表版面承受掀翻的可能性大增，對於結構系統而言，屬較危險的配置。與具備女兒牆的模型實驗成果相比較其值仍高出甚多，因此就保護太陽能板減少風害的角度而言，能將太陽能系統安裝於距女兒牆的屋頂，是較安全的規劃。同時圖 4-5 與 4-6 兩這比較顯示，抬高版下間隙，似乎未能明顯減緩氣動力載重，推測由於平屋頂建築其外周邊流場仍是由主建築物分離剪力流所形成的拱門型渦漩所主導，因此模型下方的間隙，尚未對氣動力載重產生改變。

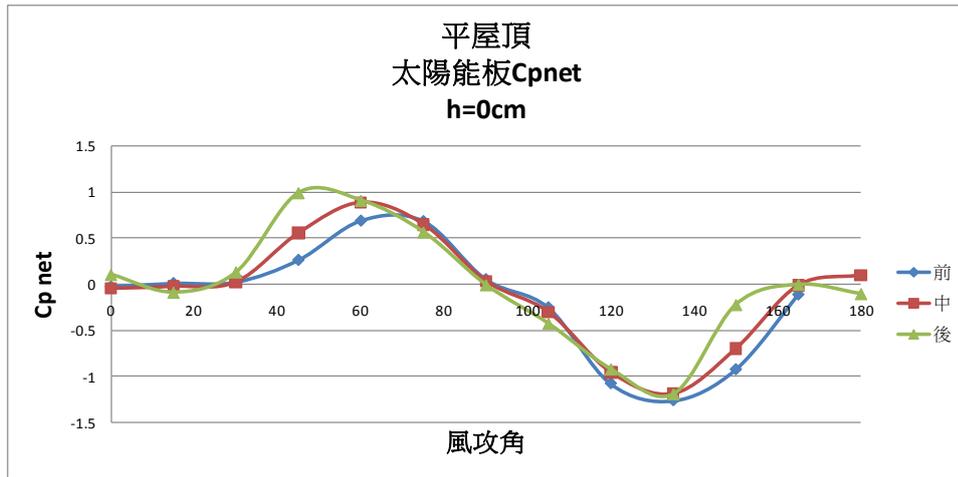


圖 4-5 位於平屋頂上太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化

資料來源：本研究整理

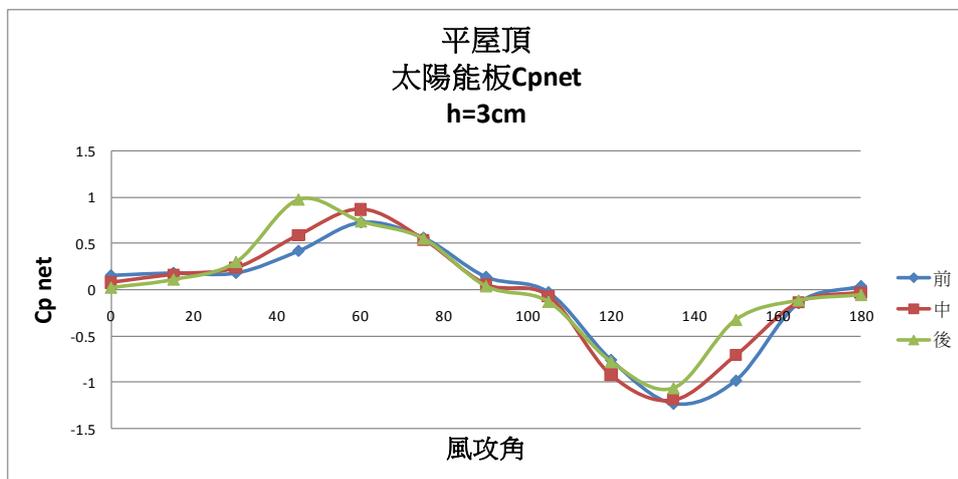


圖 4-6 位於平屋頂上抬高 3 公分之太陽能板整體平均淨風壓係數隨

風向角變化

資料來源：本研究整理

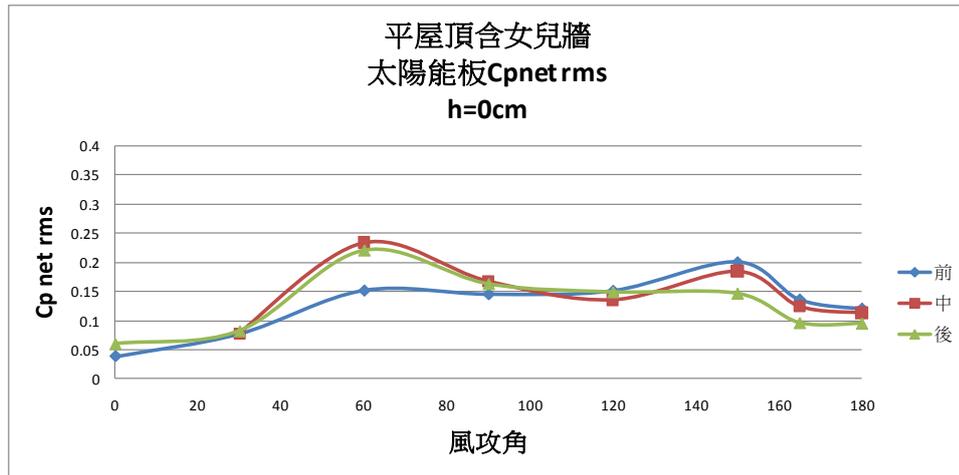


圖 4-7 位於平屋頂上(含女兒牆)太陽能板整體擾動性淨風壓係數隨風向角變化

資料來源：本研究整理

在擾動性風壓方面，本研究以相同的加權計算風式，計算太陽能版整體擾動性淨風壓係數，計算成果如圖 4-7 至 4-9 所示。平屋頂含女兒牆者，其擾動性淨風壓係數明顯偏低，特別是位於前緣位置時，因女兒牆遮蔽效應明顯，擾動性風壓係數最低。如圖 4-8 及 4-9 所示，仍是以 45 度斜吹時擾動性較高，特別是相對於來流方向屬於下風側的配置條件，有較大的擾動值。圖 4-9 顯示當太陽能板位於上風側(風向角 0~90 度)時，抬高太陽能板底下間隙，有略為縮小擾動性風壓係數的情形。

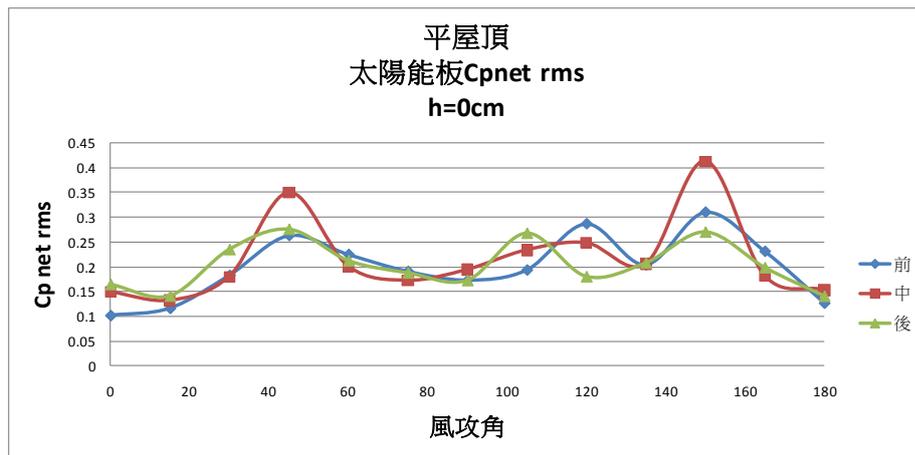


圖 4-8 位於平屋頂上太陽能板整體擾動性淨風壓係數隨風向角變化

資料來源：本研究整理

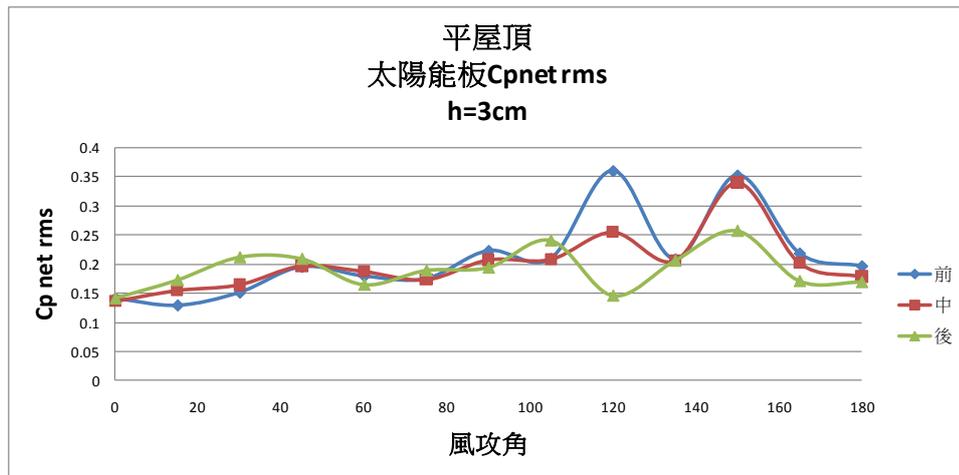


圖 4-9 位於平屋頂上抬高 3 公分之太陽能板整體擾動性淨風壓係數
隨風向角變化

資料來源：本研究整理

第二節 斜屋頂上太陽能板氣動力特性

本研究以太陽能板縮尺模型至於不同坡度之斜面屋頂上，量測其版面的平均及擾動性淨風壓係數分布如圖 4-10~4-15 所示。比較圖 4-10、4-12、4-14 等平均淨風壓係數分布可見，就風向角零度而言，屋頂坡度未明顯改變平均淨風壓係數的分布，而平均淨風壓均呈現較為均勻的分布情形，小攻角時平均淨風壓係數即有較明顯的增加，同時以角隅附近有較劇烈的變化；風向角 45 度時，來流由太陽能版高側斜 45 度吹襲，隨屋頂坡度的減小，則負風壓作用愈益嚴重，教部力於結構安全。風向角為 90 度時，風向為平行於屋脊，且對太陽能版而言屬側吹方式，上下版面風壓均相似，因此平均淨風壓分布趨近於零。比較圖 4-11、4-13、4-15 等擾動性淨風壓係數分布可見，風向角 45 度附近，擾動性風壓作用最為強烈。

將版面各風壓孔依其貢獻面積瞬時加權平均為整面上之風壓，再計算其平均與擾動性淨風壓係數隨風向角變化之分布情形，以屋頂坡度 1:2 為例，如圖 4-16 及圖 4-17 所示。風向角零度時為垂直於屋脊，而風向角 90 度時則為平行於屋脊。由圖 4-16 的

整體平均淨風壓係數分布顯示，太陽能板位於風向角零度時上游區域的前緣時，受不同風向角作用下，整體平均淨風壓反而均趨近於零，顯示太陽能版傾斜方向雖與屋頂面坡度方向相反，且位於邊緣渦流作用較劇烈的區域，但因渦流受到太陽能板的破壞，使得整體受力較輕微。而位於屋脊位置的太陽能版，其整體平均淨風壓係數隨風向角的變化最為劇烈，負壓狀況時為最低，且正壓狀況時為最高，顯示位於屋頂最高處時，其受風載重將最大。而太陽能版位於零攻角時下游端的情形，太陽能版傾斜方向與屋頂面坡度方向近似，雖太陽能板下方仍有開放透空，足以讓氣流通過，但其整體平均淨風壓係數有隨位於屋脊線上太陽能版受風作用近似的變化，雖其幅度略為減輕，仍屬較為不利的狀況。由圖 4-17 的擾動性整體淨風壓係數分布狀況可見，仍是以位於屋脊線的太陽能版所受擾動性風壓最為嚴重，而位於後端(太陽能版傾斜方向與屋頂面坡度方向近似)的太陽能板亦有近似的情況。

屋頂坡度 1:4，太陽能板整體平均與擾動性淨風壓係數隨風向角變化之分布情形，如圖 4-18 及圖 4-19 所示，由太陽能板整體平均淨風壓係數的變化可見屋頂坡度較為平緩時，可能掀翻的負風壓作用有略微減緩。如將太陽能板的底座抬高，亦顯示可更進一步減緩負風壓作用。

不同片數之太陽能版配置位於 1:2 斜屋頂屋脊區域太陽能板平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈如圖 4-20 所示，在小攻角時，太陽能版高端迎向來流，此時 3 片連裝太陽能版中間版的平均淨風壓係數其負值略相等於單片的情形，且負值甚低，顯示受到掀翻的風載重較為嚴重。而風向角大於 90 度時，太陽能版低端轉而迎向來流，此時 3 片連裝太陽能版中間版的平均淨風壓係數其正值略低於單片的情形，顯示風荷載略為減輕，因風壓屬正值，作用力方向為指向太陽能版，本身即較無掀翻之危險性。

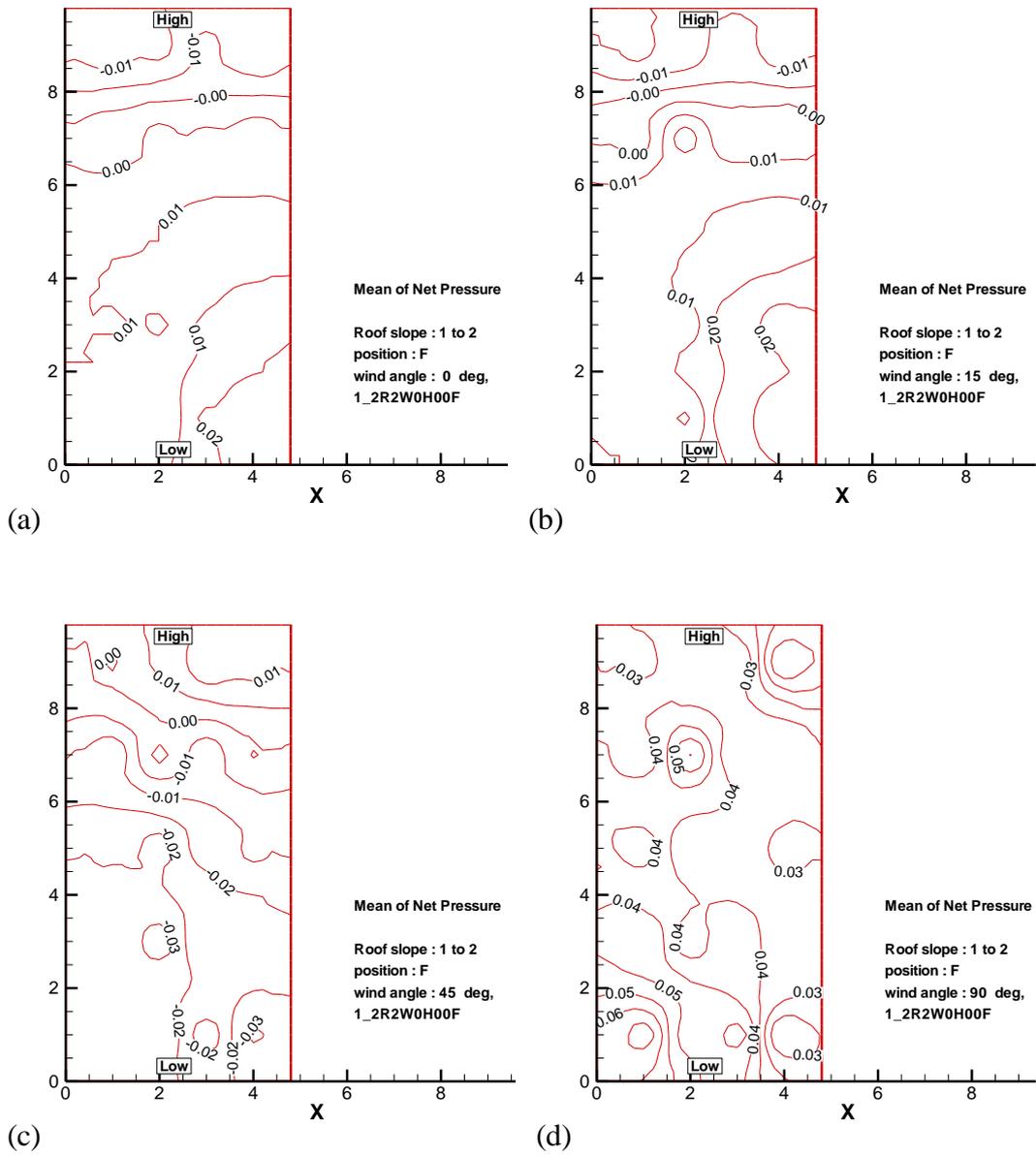


圖 4-10 位於 1:2 斜屋頂前緣區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，
風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。

資料來源：本研究繪製

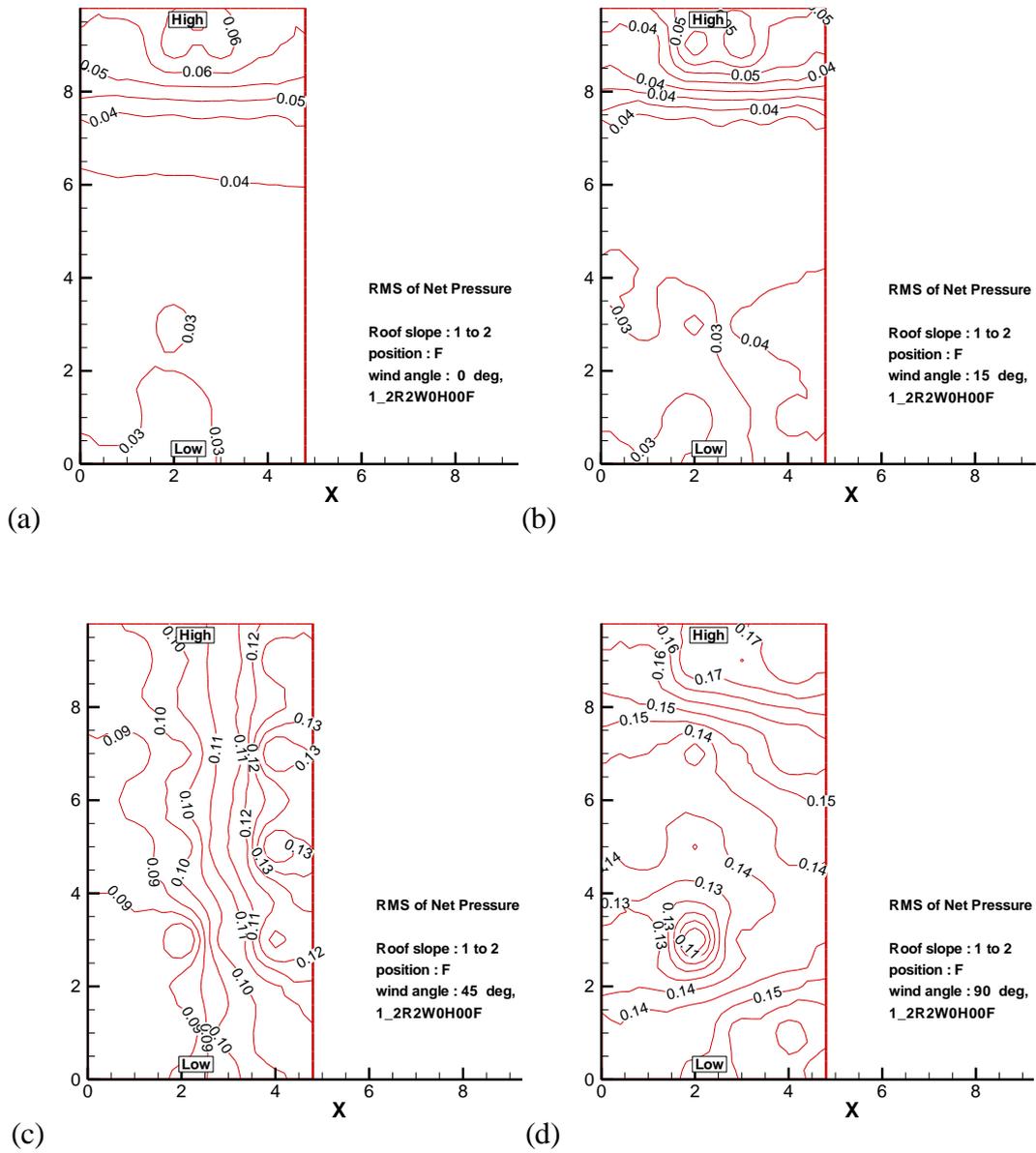


圖 4-11 位於 1:2 斜屋頂前緣區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。

資料來源：本研究繪製

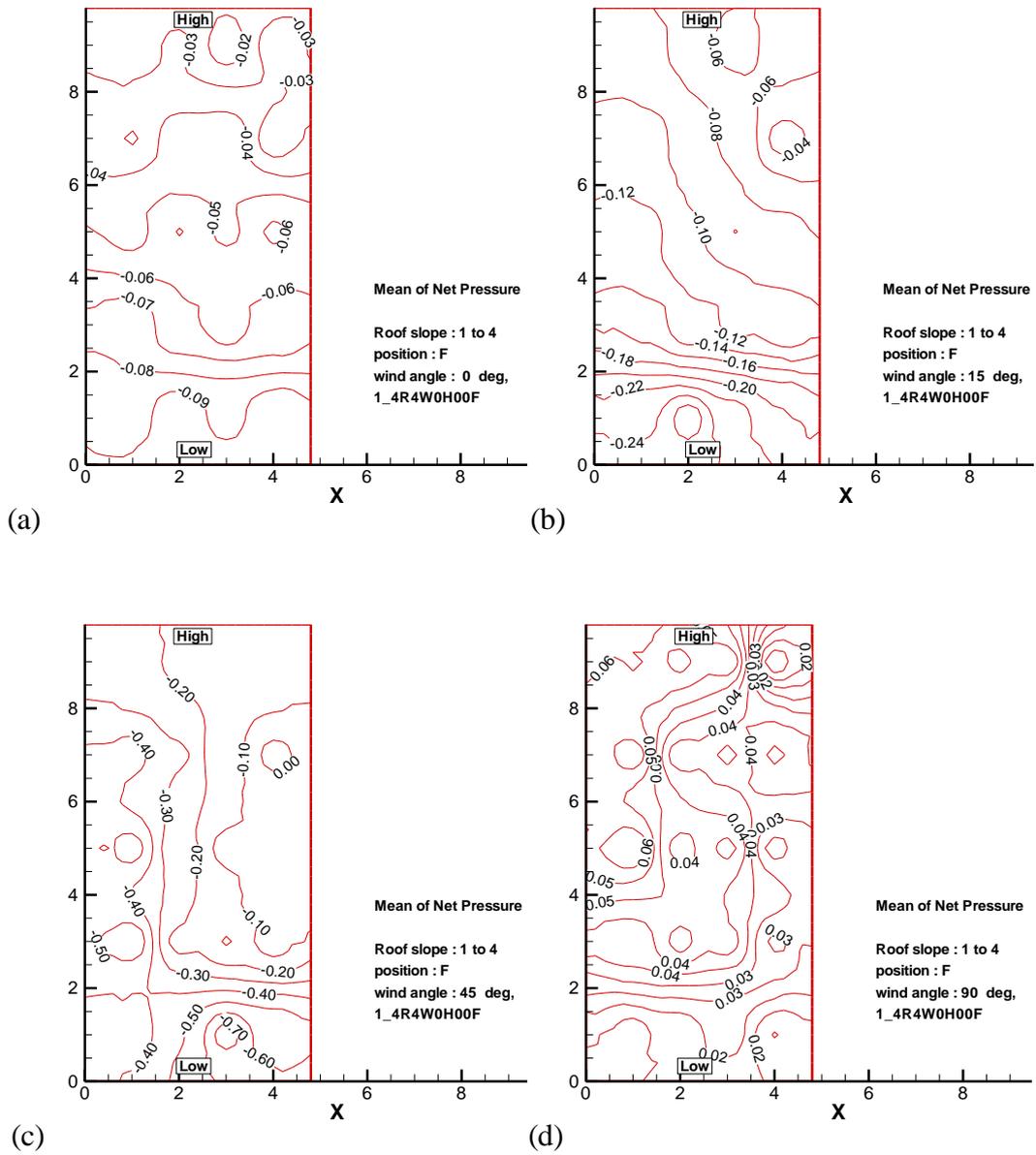


圖 4-12 位於 1:4 斜屋頂前緣區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。

資料來源：本研究繪製

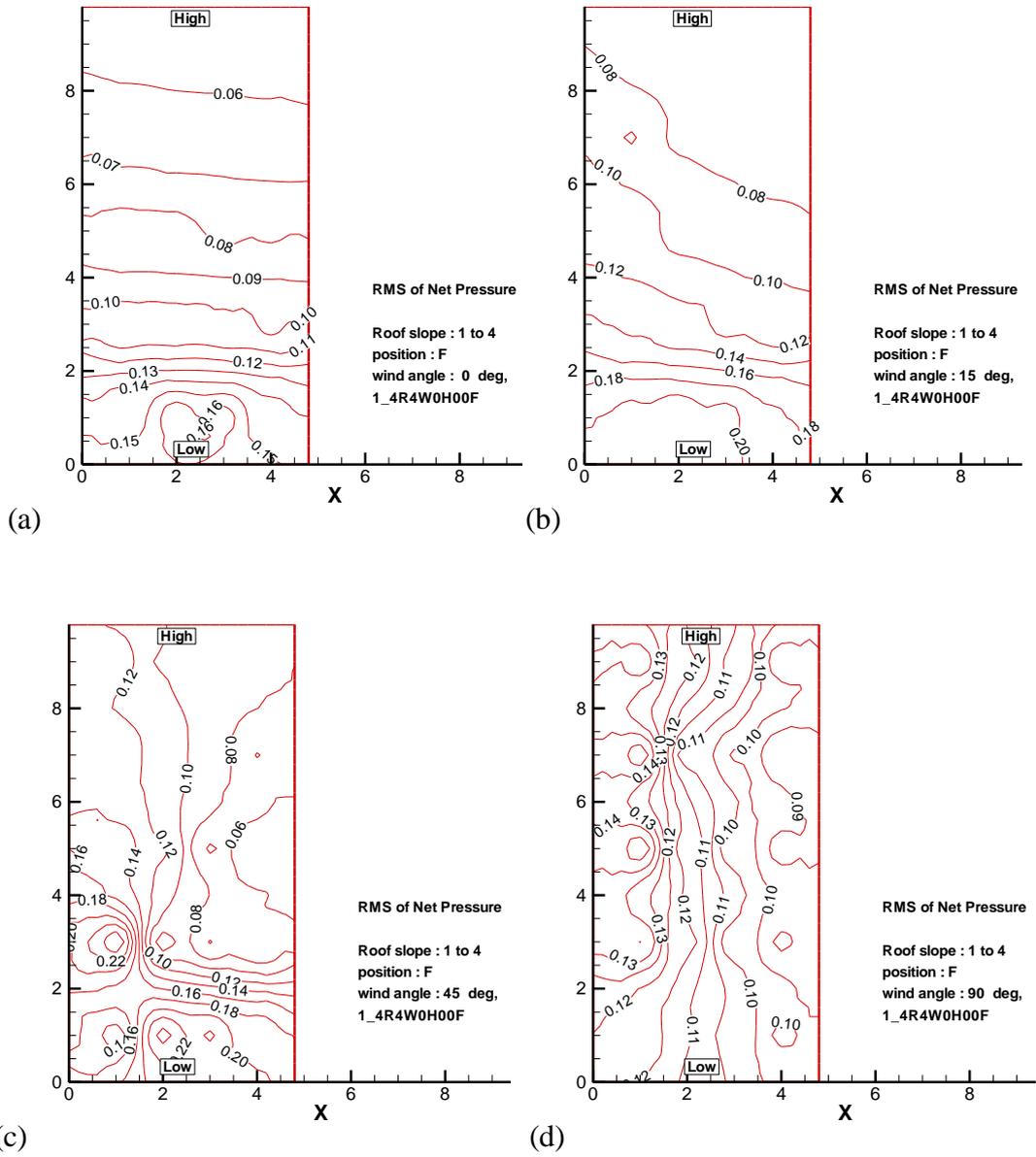


圖 4-13 位於 1:4 斜屋頂前緣區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，
風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。

資料來源：本研究繪製

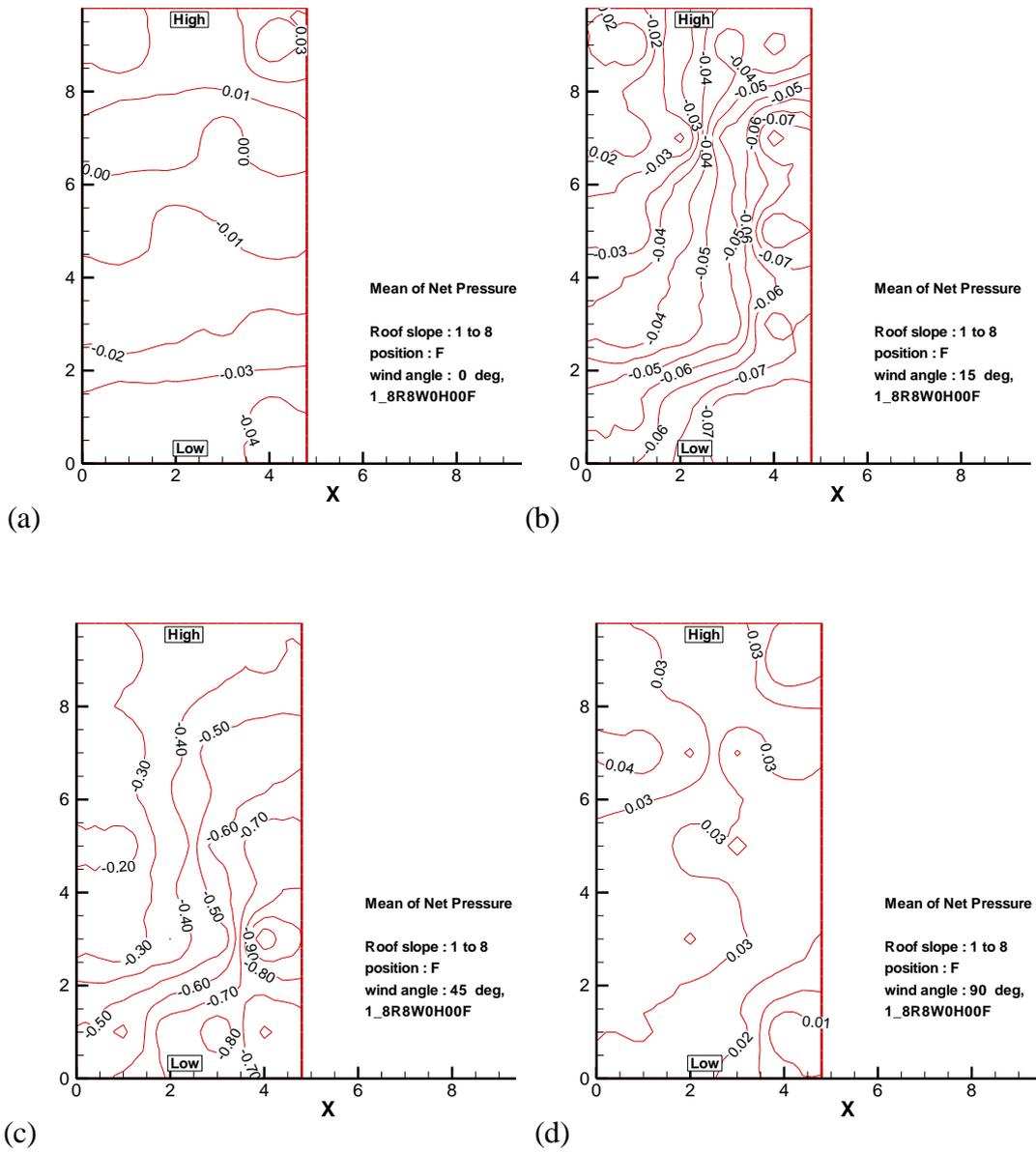


圖 4-14 位於 1:8 斜屋頂前緣區域太陽能板平均淨風壓係數分佈，風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。

資料來源：本研究繪製

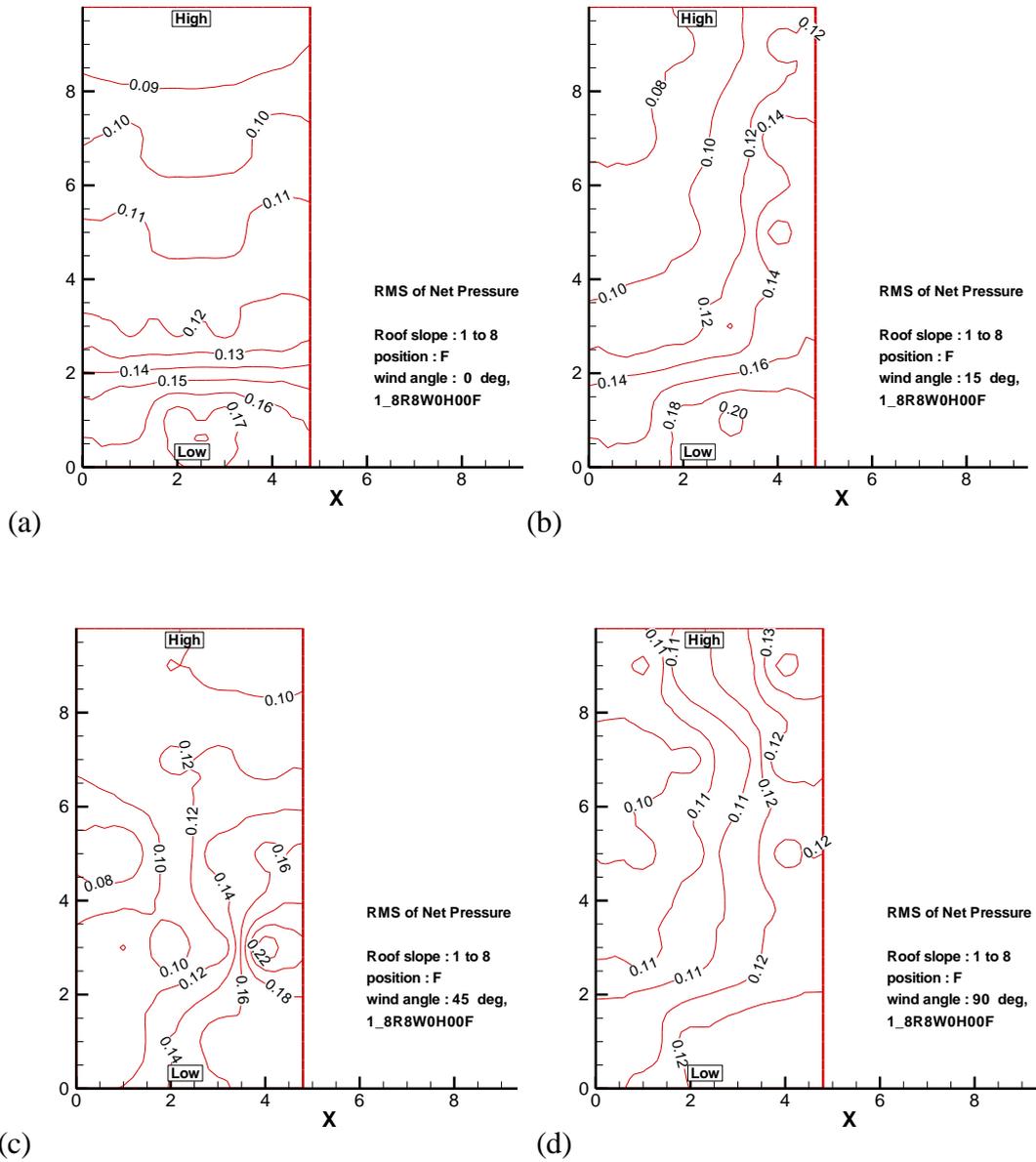


圖 4-15 位於 1:8 斜屋頂前緣區域太陽能板擾動性淨風壓係數分佈，
風向角(a)0 度，(b)15 度，(c)45 度，(d)90 度。

資料來源：本研究繪製

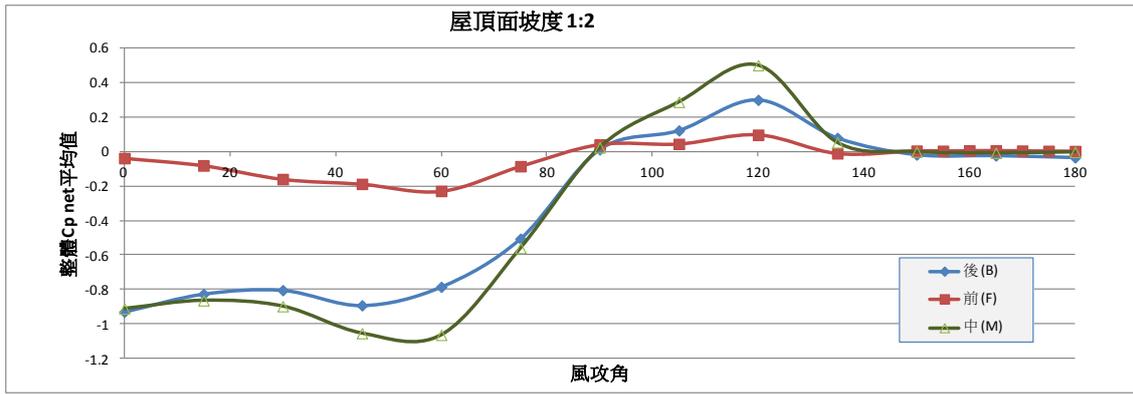


圖 4-16 位於 1:2 斜屋頂不同區域太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形

資料來源：本研究繪製

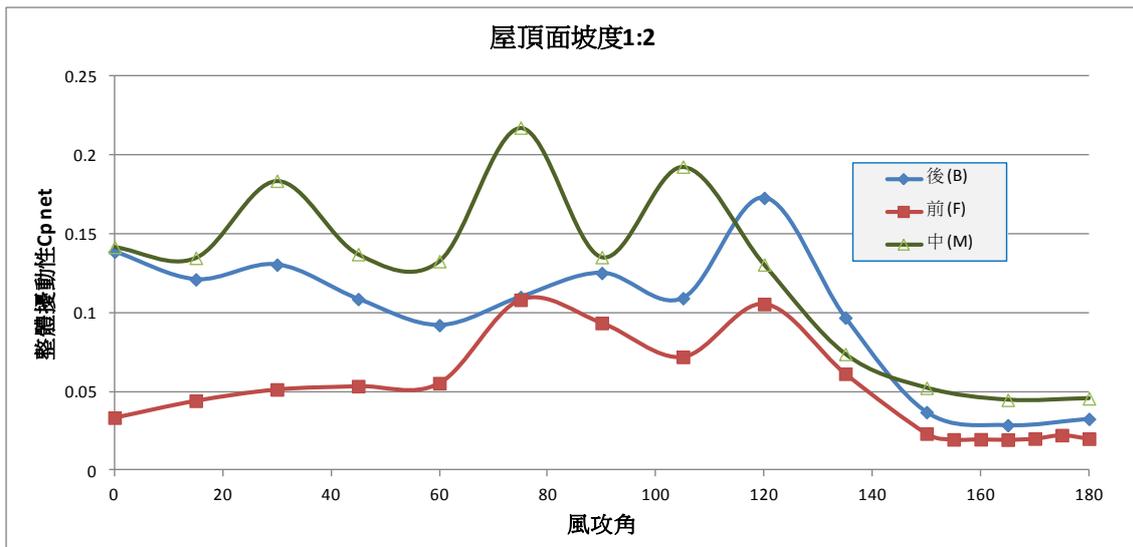


圖 4-17 位於 1:2 斜屋頂不同區域太陽能板擾動性淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形

資料來源：本研究繪製

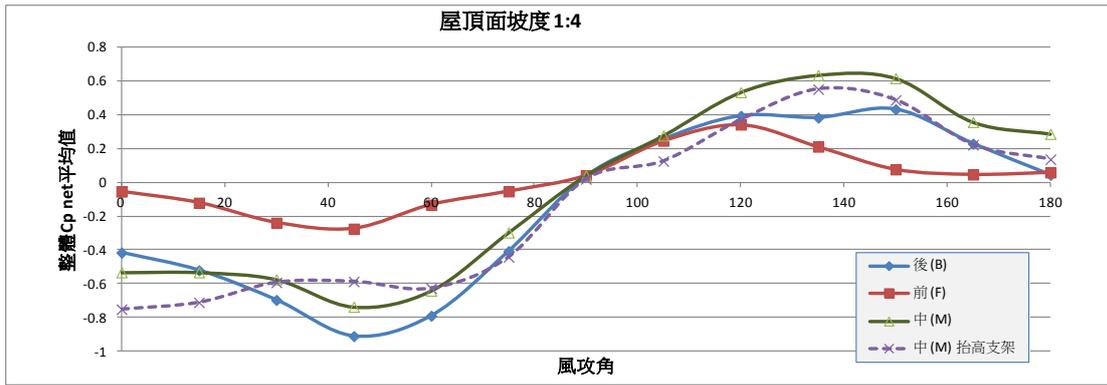


圖 4-18 位於 1:4 斜屋頂不同區域太陽能板整體平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形

資料來源：本研究繪製

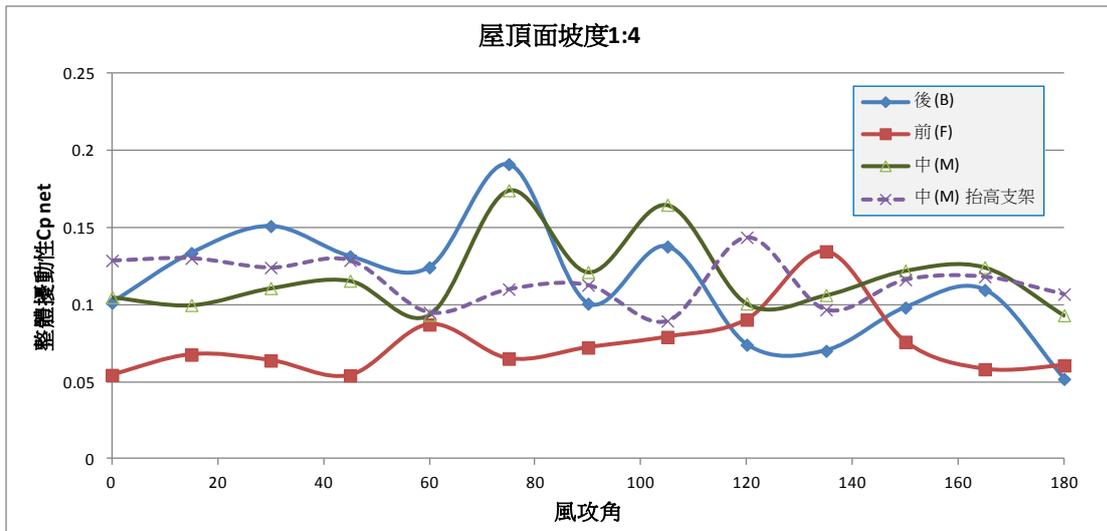


圖 4-19 位於 1:4 斜屋頂不同區域太陽能板擾動性淨風壓係數隨風向角變化之分佈情形

資料來源：本研究繪製

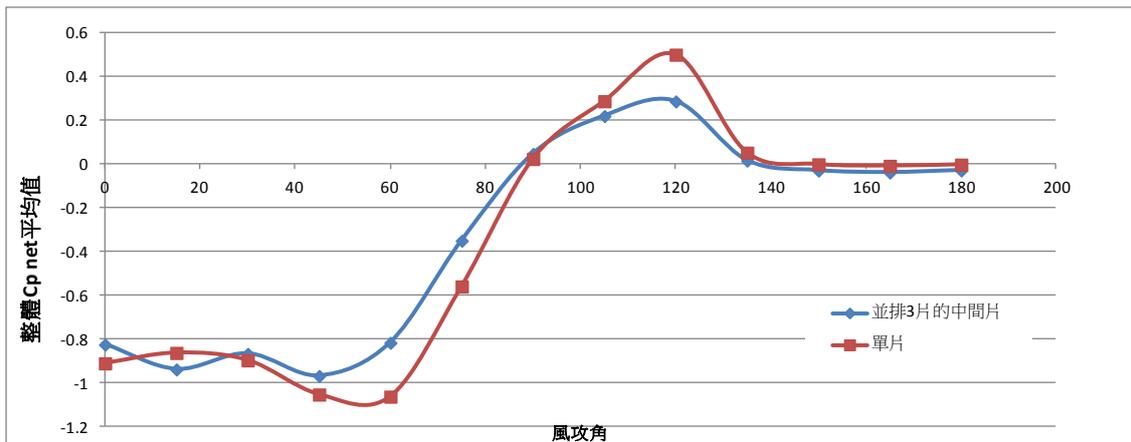


圖 4-20 不同片數之太陽能版配置位於 1:2 斜屋頂屋脊區域太陽能板
平均淨風壓係數隨風向角變化之分佈

資料來源：本研究繪製

第三節 斜屋頂上高架水塔氣動力特性

本研究以高架圓筒型水塔模型置於相同系列斜屋頂模型上，量測水塔上中下三層水平圓周上的風壓分布，如圖 4-21~4-26 所示。如圖 4-21 及圖 4-22 所示，水塔置於屋脊位置時，所受到的氣動力載重最大，塔身上中下三層的風壓係數分布較為一致，顯示所受風壓作用機制相似。而至於邊緣區域的高架水塔，其風壓係數分布如圖 4-23 及圖 4-24 所示，風壓係數下降甚為明顯，特別是下層較接近屋頂面區域，受到屋頂面上較強烈的紊流擾動影響，平均風壓係數下降較多。屋頂面坡度為 1:2 條件時，不同區域水塔所受風壓情形如圖 4-25 及圖 4-26 所示，仍是以屋脊區域的水塔其風壓係數較高，邊緣區域的水塔則下降甚多，其值更略低於屋頂坡度 1:4 的情形，顯示較高坡度的屋頂面，對於水塔形成較佳的遮蔽作用，減緩風荷載。綜合而言，置於屋脊附近位置，應為對支撐結構系統的安全性較不利的區域。

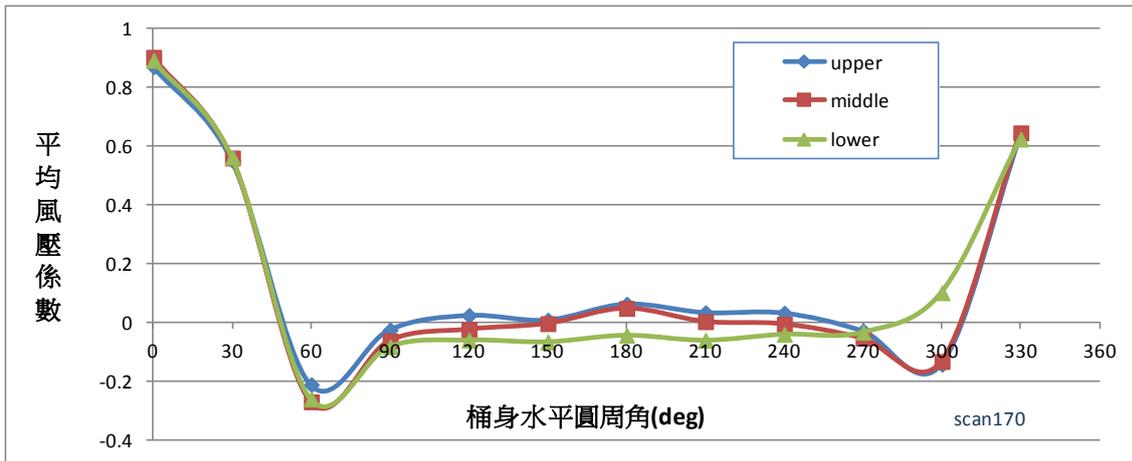


圖 4-21 高架圓筒水塔配置位於 1:4 斜屋頂屋脊區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角 0 度。

資料來源：本研究繪製

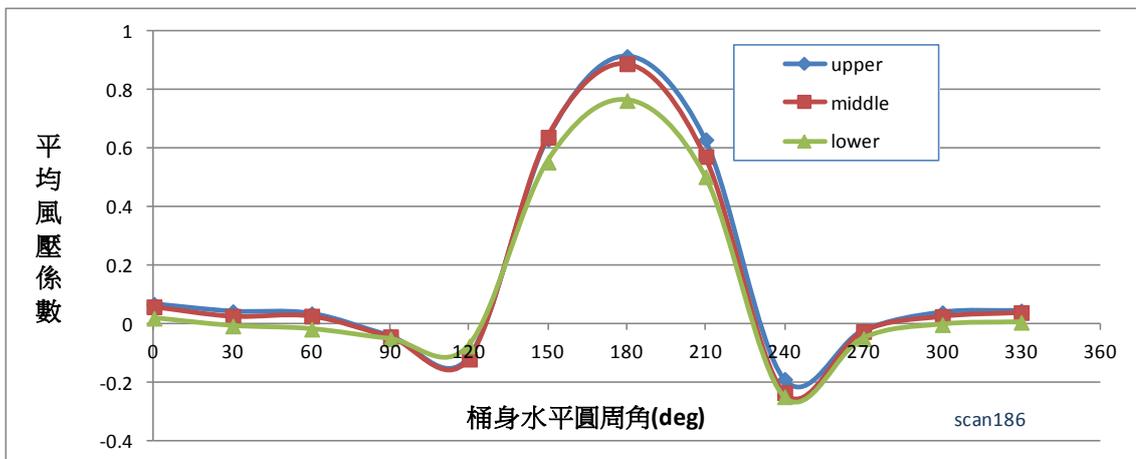


圖 4-22 高架圓筒水塔配置位於 1:4 斜屋頂屋脊區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角 180 度。

資料來源：本研究繪製

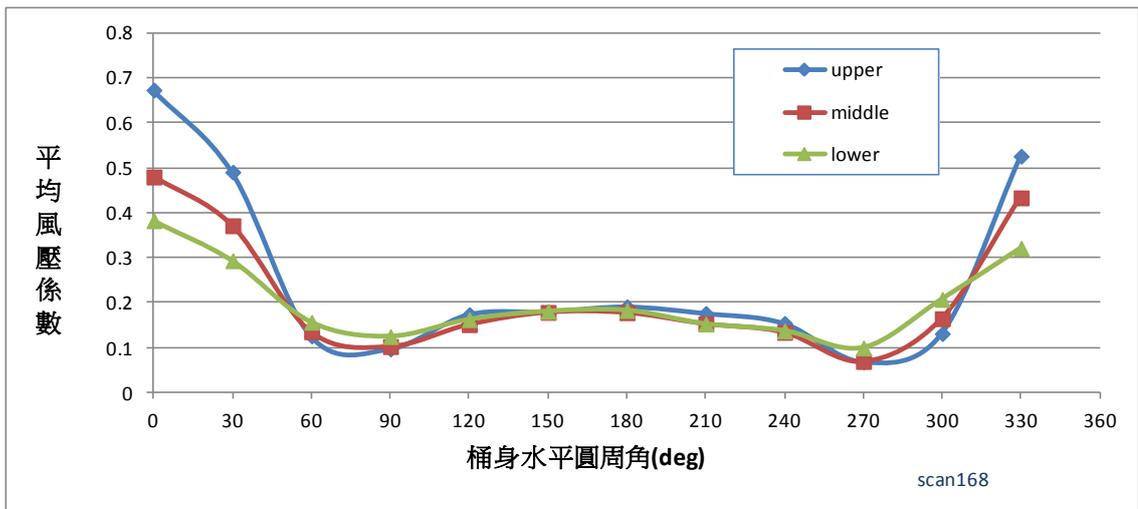


圖 4-23 高架圓筒水塔配置位於 1:4 斜屋頂邊緣區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角 0 度。

資料來源：本研究繪製

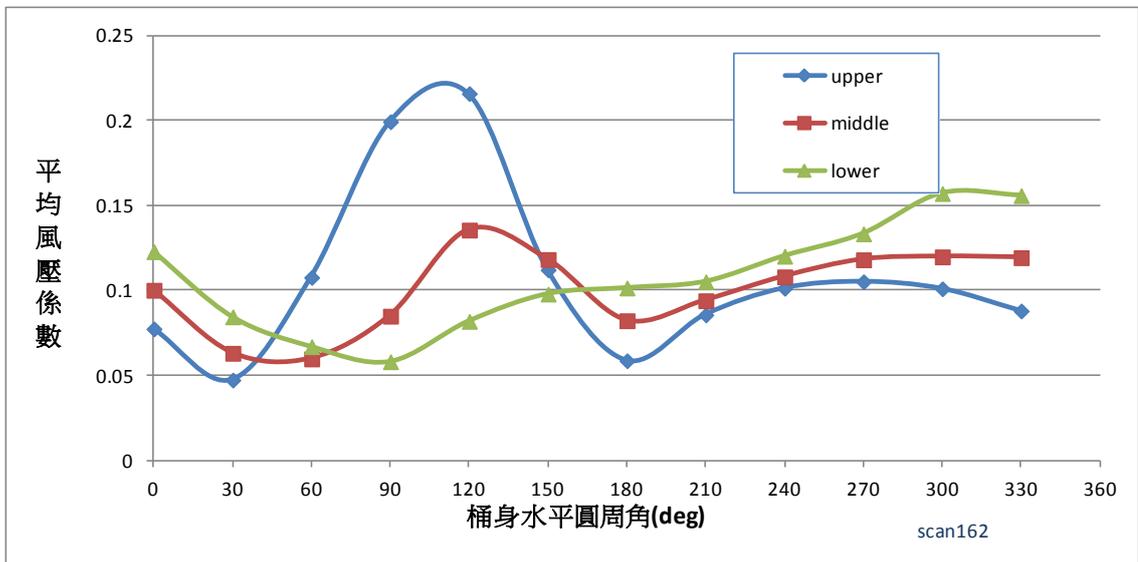


圖 4-24 高架圓筒水塔配置位於 1:4 斜屋頂邊緣區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角 90 度。

資料來源：本研究繪製

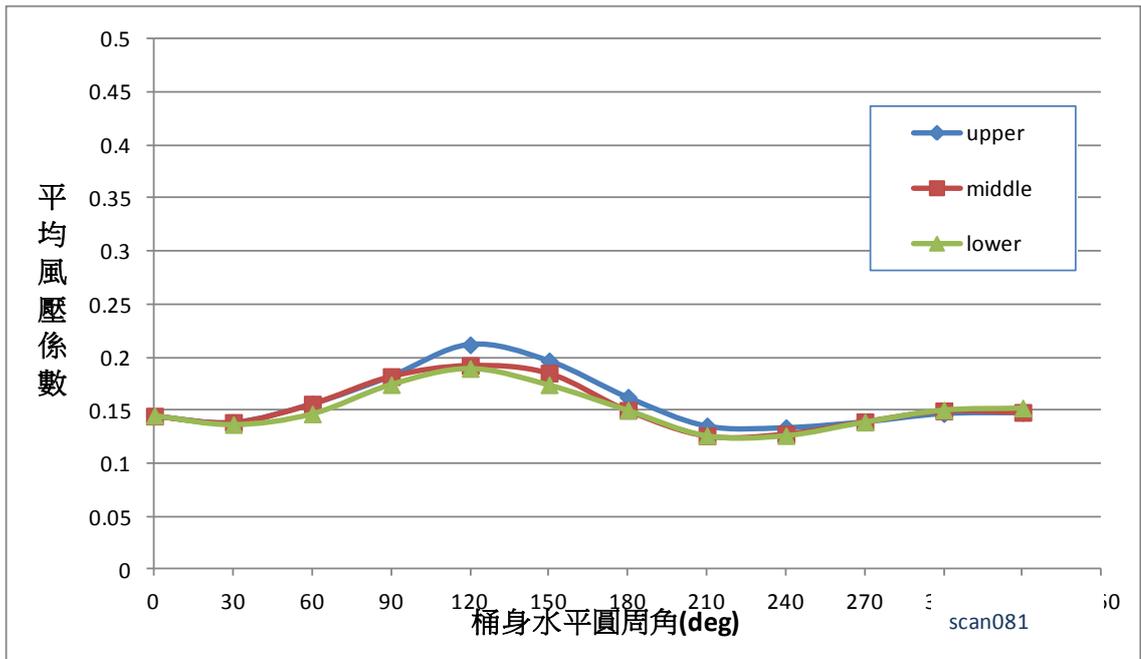


圖 4-25 高架圓筒水塔配置位於 1:2 斜屋頂邊緣區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角 0 度。

資料來源：本研究繪製

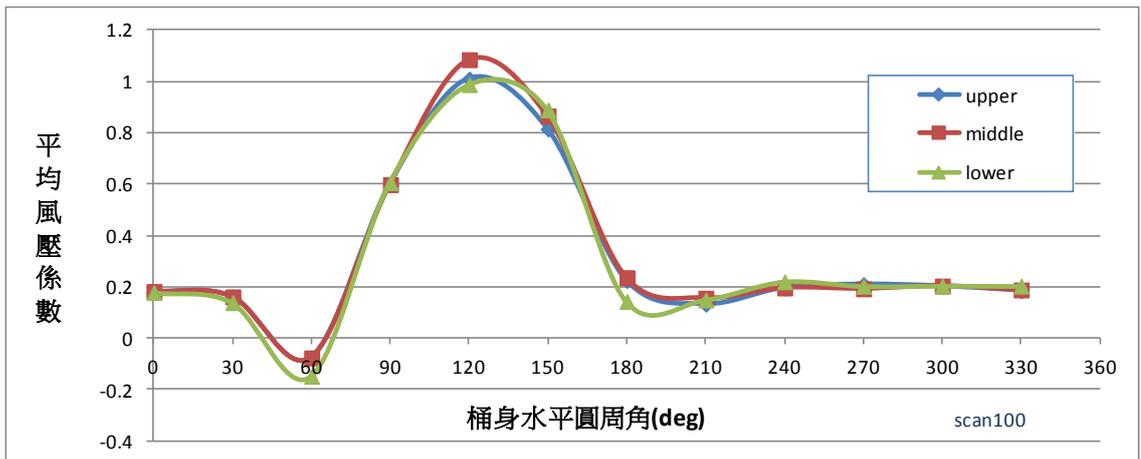


圖 4-26 高架圓筒水塔配置位於 1:2 斜屋頂屋脊區域筒身各層平均淨風壓係數隨，風向角 180 度。

資料來源：本研究繪製

第五章 附屬設施風載重特性分析

第一節 附屬設施氣動力特性

本研究探討低矮型建築物的附屬設施氣動力特性，綜整過去研究成果並進行氣動力實驗，對於低矮型建築物本身的表面風壓分布及附屬設施的風壓分布進行了解。本年度研究將研究對象聚焦於屋頂上較常使用的設施，包括太陽能板、高水塔等設施，考量屋頂面構造條件，變化屋頂面坡度、平屋頂女兒牆及設施是否架高、多片式等條件，以不同風向角進行氣動力實驗，實驗成果分析如前章所述，綜合整理其氣動力特徵如下。

1. 屋頂坡度的影響：屋頂坡度如增加，由低矮建築物表面風壓分布可知，屋頂面風壓正負交替變化更為劇烈，因此架設於屋頂上的設施所受風壓擾動亦隨之上升，就設施表面風壓的變化而言，主導整體模型氣動力現象的主角應是拱門形渦漩的作用，附屬設施的量體與建築物本體的量體相比仍為甚小，因此其所處區域如為強烈負壓區，則設施本身表面風壓亦受到類似的作用。以低矮型建築物表面風壓與屋頂坡度的變化，屋頂坡度越大則正負風壓擾動更為劇烈，作用在附屬設施的紊流擾動亦高。而有掀翻危險的平板類設施，下版面表面風壓分布受到局部加速影響，而略有變化，因此與安裝間隙有關。
2. 安裝位置的選擇：由於低矮形建築物表面風壓變化甚為劇烈，因此附屬設施安裝位置亦會有甚大的影響，本研究針對安裝位置，比較包括屋脊、邊緣等不同區域的差異性，顯示安裝在屋脊位置的設施所受到氣動力作用最為強烈，因處於分離剪力流越過建築物的區域，因此風荷載最大。至於安裝在邊緣區域的設施，雖然屋頂邊緣渦流擾動亦大，但受到屋頂坡面的影響，高起的屋面更有可能對於其上的設施產生遮蔽的作用。如有偏斜的風向角作用，安裝在邊緣區域的設施如位於邊緣的中間區域，則較能避開強烈角隅渦流的作用，仍屬安全。但如為安裝在屋脊附近，則不易獲得減緩風荷載的條件。
3. 架高安裝的影響：對於表面風壓的分布，如為平板類設施，與屋頂面接近的下版面受到間隙內局部加速可能產生較大的負壓，如提高架設基座的高度，使間隙放大，由氣動力實驗量測成果顯示，有使風荷載略減緩的現象，對於有掀翻危險性

的構造而言，有所助益。

4. 風向角的變化：以設計考慮，構造物應能抵抗所有風向角的來流作用，因此檢討其氣動力載重時，各風向角均加以檢核，以風荷載最嚴重的條件，進行結構分析可有效提升系統的安全性，本研究以太陽能板受風影響而言，平屋頂配合高側斜45度來流的條件，版面風壓分布最不對稱且差異甚大，因此作為分析檢討的案例。
5. 女兒牆的影響：本研究在平屋頂實驗針對女兒牆存在的影響，亦一併檢討，研究顯示女兒牆產生的屏蔽作用對減輕風荷載助益甚大，因此平屋頂面上安裝附屬設施如能配合女兒牆設置，對於設施的耐風性能最有幫助。
6. 平板多片與單片的差異：本研究亦探討單片太陽能板與三片並排時中央版相互比較其氣動力性能，研究顯示中央版因邊緣緊鄰其他版，其邊緣的渦流擾動作用有被隔離的現象，雖然版與版之間仍有小間隙，但不足以影響整體渦流結構的分配，因此其風荷載略低於單片的情形。由文獻可知，如比較三片並排太陽能板的風荷載，則側邊版的風荷載是高於中央版的。

第二節 附屬設施之風荷載與結構反應

5-2.1 結構系統分析的建構

為能了解結構系統的受力情形，本研究以平頂屋頂上太陽能板受到高側 45 度紊流作用為案例進行支撐結構分析，觀察不同桿件布局的受力情形，本計畫使用結構分析軟體 Midas 進行分析工作。檢驗的對象以太陽能板支撐結構為例，建立供結構分析計算的模型，如圖 5-1 所示。

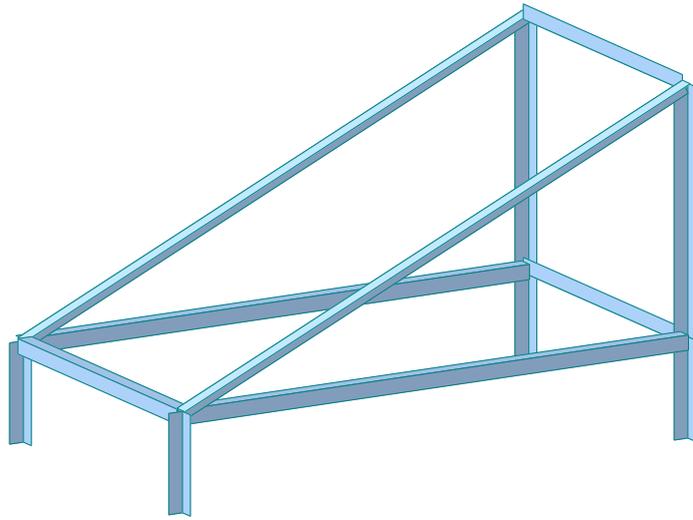


圖 5-1 太陽能熱水器結構分析計算的模型

資料來源：本研究繪製

由氣動力實驗結果知平頂屋頂上太陽能板受到高側 45 度紊流作用時，風載重形成最不利於結構安全的情況，因此由該實驗量測所得之資料，依實尺寸比利建立風荷載之時序列資料。結構分析所得桿件內力，可以觀察不同位置的桿件其受載重情形是否有集中的情形，桿件包括軸力、剪力及彎矩的分析成果。

5-2.2 結構模型之氣動力載重資料

為配合結構分析軟體的分析計算與檢討，本研究將氣動力實驗所得之淨風壓時序列資料，透過貢獻面積加權積分的方式，並將荷載分散於太陽能板四個角隅支撐點，點位定義如圖 5-2 所示。由圖 4-5 可知，最可能產生掀翻太陽能板的負風壓發生於風

低層建築附屬設施耐風性能研究

向角 135 度附近，因此採用此風向角的量測資料進行分析計算。計算太陽能集熱板四角落支撐點上的風載重時序列資料，以版淨風壓係數加權積分所得之時序列資料樣本如圖 5-3 所示。

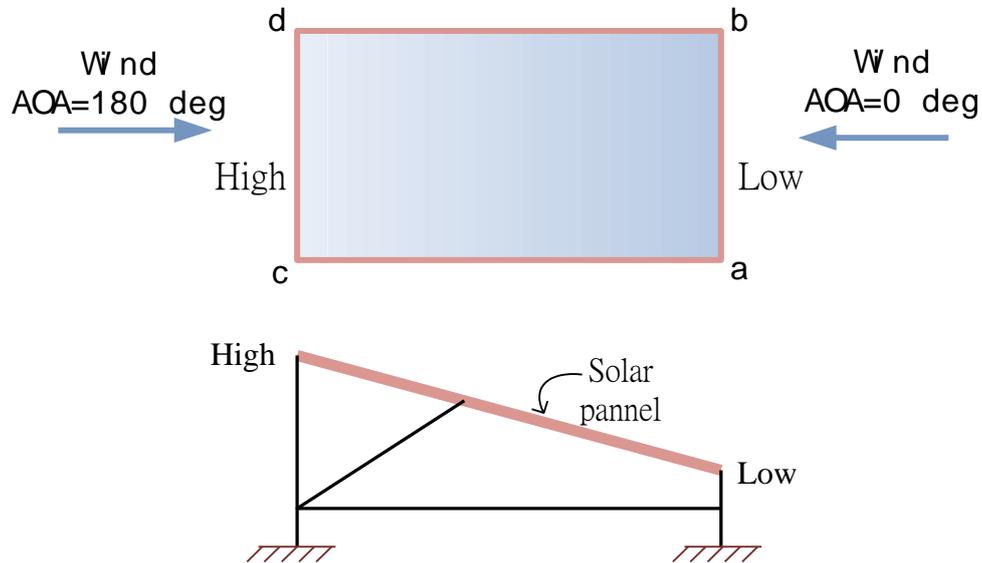


圖 5-2 太陽能板四個角隅支撐點之點位定義

資料來源：本研究繪製

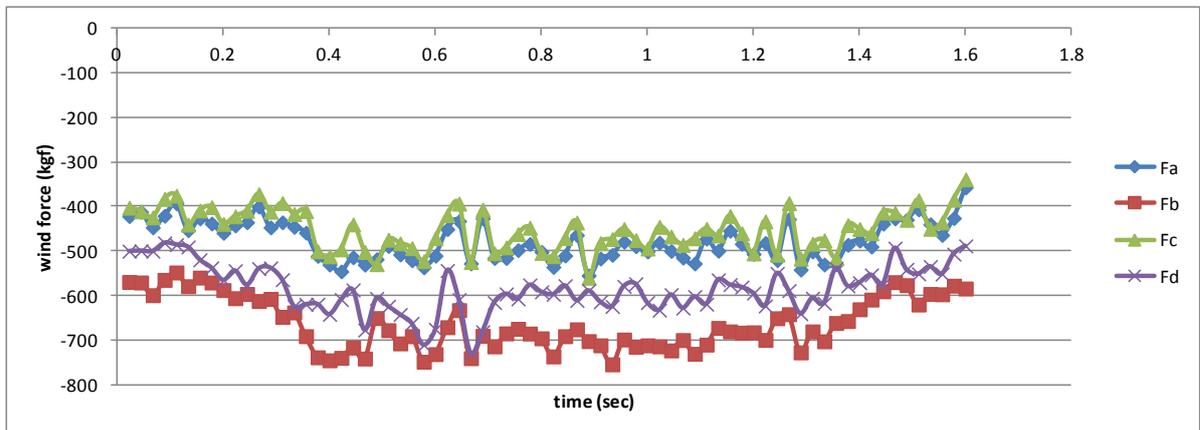


圖 5-3 推估之實尺寸太陽能版各角隅支撐點所受風荷載時序列資料

資料來源：本研究繪製

5-2.3 基本型式受風載重作用

本研究利用風洞實驗所獲得的風壓載重時序列資料，搭配太陽能熱水系統支撐結構設計，分析動態載重對於結構桿件內應力的影響，首先以常見的簡單剛性構架為支撐結構系統，定義為基本型式，再變化不同的外加斜撐桿件於框架之中，透過結構分析軟體了解對整體應力的影響。以結構安全的角度而言，內力不宜過度集中於少數的桿件，以提升材料使用效率，直接以靜載重的分析可觀察內力分布的基本狀況，但考慮紊流擾動影響，瞬間可能出現甚大的桿件內力，亦可能造成桿件挫曲或接頭的破壞，因此須採用氣動力實驗所獲得的風載重資料進行歷時分析，以觀察內力的變化過程。

首先以基本構形的結構系統進行分析，如圖 5-4。桿件設計使用 JIS L30X3 角鋼，桿件接頭均採剛性接合，基本型式各桿件及節點編號如圖面所示。計算時採用設計風速採用高雄市之 37.5m/sec，以實際尺寸的太陽能熱水系統為對象，建立載重歷時資料，程式計算完成後列表整理時間過程中發生之最大應力及彎矩之桿件。載重條件 (Loading cases) 考慮結構自重及風力造成的動態反應過程，本研究採用之時序列資料取用側版表面風壓加權積分所得之支承點載重時序列資料，進行分析，計算採用直接積分法 (Direct integration method)，系統組尼採用 1%。

基本構型結構系統承受風洞中模擬之紊流場時序列風壓資料作用時，桿件最大內力如表 5-1 所示，以外側上游垂直桿所受作用力最大。而在外側垂直桿(1、2 及 4 號桿件)出現甚大的彎矩值，太陽能板邊框外側桿件(5 號桿件及 11 號桿件)亦有較高的彎矩作用。

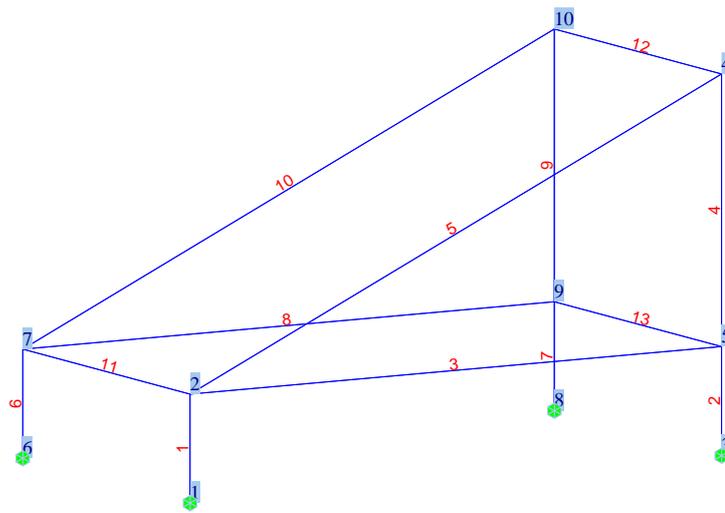


圖 5-4 基本構形太陽能熱水系統支撐結構

資料來源：本研究繪製

表 5-1 基本構形太陽能熱水系統支撐結構載重歷時資料分析之最大桿件內力

	Axial (kgf)	Shear-y (kgf)	Shear-z (kgf)	Torsion (kgf*cm)	Moment-y (kgf*cm)	Moment-z (kgf*cm)
Node I Max.	578.60	0.80	5.07	0.59	279.70	24.06
At time	1.04	1.63	1.65	1.63	1.65	1.63
Beam	2	2	4	11	4	3
Node I Min.	-114.30	-1.37	-85.43	-0.36	-1139.00	-41.08
At time	1.63	1.63	1.65	1.63	1.65	1.63
Beam	5	11	2	7	1	11
Node J Max.	578.60	0.80	5.07	0.59	589.20	41.08
At time	1.04	1.63	1.65	1.63	1.65	1.63
Beam	2	2	4	11	2	11
Node J Min.	-114.30	-1.37	-85.43	-0.36	-170.80	-25.77
At time	1.63	1.63	1.65	1.63	1.65	1.63
Beam	5	11	2	7	5	8

UNIT SYSTEM ...: cm, kgf

資料來源：本研究整理

5-2.4 變化桿件配置之影響

1. 上游立面上增加斜撐桿件：由基本構形的分析結果顯示，在風壓作用下桿件內力分布並不平均，且有部分桿件彎矩甚高，以在上游立面桿件較明顯，嘗試利用在上游立面上增加斜撐桿件，如圖 5-5 所示，各桿件及節點編號如圖面所示。以紊流場作用歷時資料建立之風載重歷時分析所得桿件最大應力如表 5-2 所示，外側桿件瞬間出現較高彎矩的情形已獲得大幅改善，顯示增加斜撐有助於分散瞬間不平均載重對結構系統彎矩內力的影響。但比較軸力的變化則顯示，接近上游側的垂直桿，如 2 號與 7 號桿件，其軸力增加。

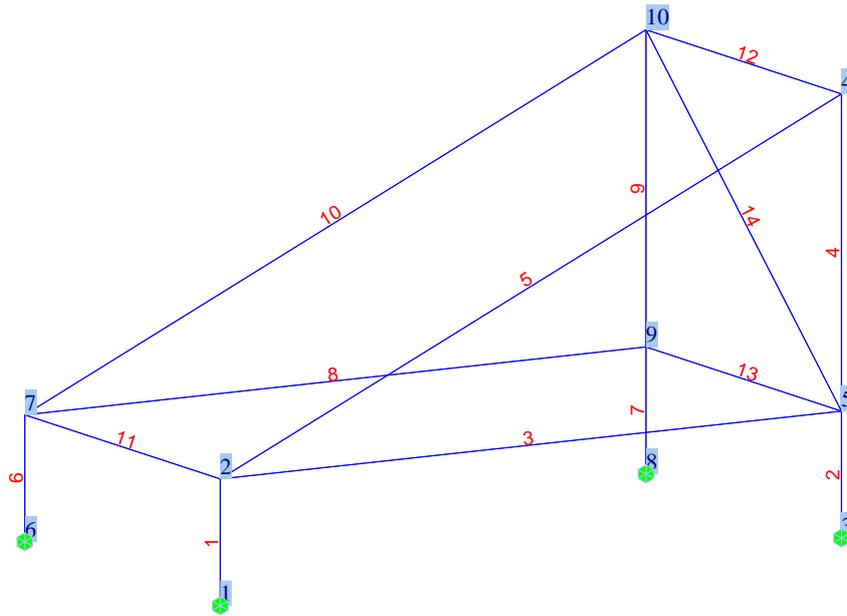


圖 5-5 上游立面上增加斜撐桿件太陽能熱水系統支撐結構

資料來源：本研究繪製

表 5-2 上游立面上增加斜撐桿件構形歷時載重資料分析之最大桿件內力

	Axial (kgf)	Shear-y (kgf)	Shear-z (kgf)	Torsion (kgf*cm)	Moment-y (kgf*cm)	Moment-z (kgf*cm)
Node I Max.	791.60	0.06	0.67	0.80	2.02	10.74
At time	1.46	1.85	1.45	1.85	1.75	1.47
Beam	2	11	14	1	6	9
Node I Min.	-143.90	-0.04	-1.25	-0.81	-2.00	-8.74
At time	1.67	1.85	1.46	1.75	1.85	1.45
Beam	7	7	5	6	1	15
Node J Max.	791.60	0.06	0.67	1.08	2.40	10.40
At time	1.46	1.85	1.45	1.85	1.75	1.46
Beam	2	11	14	6	1	14
Node J Min.	-143.90	-0.04	-1.25	-0.96	-2.70	-19.14
At time	1.67	1.85	1.46	1.75	1.85	1.46
Beam	7	7	5	1	6	5

UNIT SYSTEM ...: cm,kgf

資料來源：本研究整理

2.增加太陽能板邊框長向之斜撐：考慮結構系統中以太陽能板邊框為最長之桿件，因此由支柱結點增加斜撐之邊框長桿之中點，構形如圖 5-6 所示，各桿件及節點編號如圖面所示。以紊流場作用歷時資料建立之風載重歷時分析所得桿件最大應力如表 5-3 所示，外側桿件瞬時並未出現較高彎矩，顯示太陽能板邊框加設長向之斜撐，亦有助於分散瞬間不平均載重對結構系統的影響。本案例可強化外框架的支撐效果，所以本案例在歷時分析成果上，桿件內力彎矩極值均偏低，改善效果良好。與前一案例相似的是軸力有上升的現象，特別是上游側的基層垂直桿。

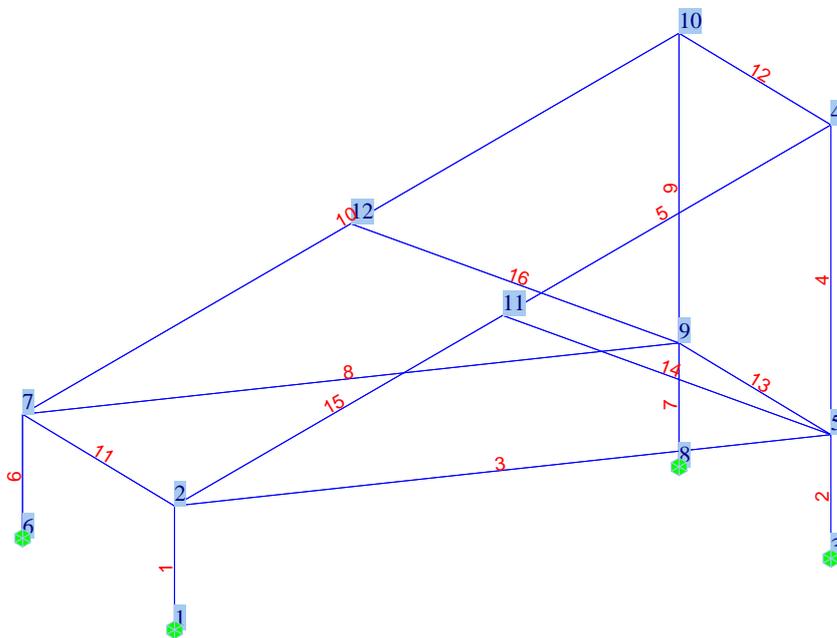


圖 5-6 增加太陽能板邊框長向之斜撐桿件太陽能熱水系統支撐結構

資料來源：本研究繪製

表 5-3 增加太陽能板邊框長向斜撐桿件構形歷時載重資料分析之最大桿件內力

	Axial (kgf)	Shear-y (kgf)	Shear-z (kgf)	Torsion (kgf*cm)	Moment-y (kgf*cm)	Moment-z (kgf*cm)
Node I Max.	803.20	1.18	0.77	24.48	11.06	11.31
At time	1.46	1.46	1.47	1.46	1.67	1.47
Beam	2	7	2	12	12	4
Node I Min.	-144.00	-2.45	-0.87	-4.45	-60.87	-12.65
At time	1.67	1.46	1.47	1.67	1.46	1.46
Beam	7	9	6	12	12	14
Node J Max.	803.20	1.18	0.77	15.83	69.54	10.00
At time	1.46	1.46	1.47	1.46	1.46	1.48
Beam	2	7	2	7	12	2
Node J Min.	-144.00	-2.45	-0.87	-27.97	-39.35	-5.83
At time	1.67	1.46	1.47	1.46	1.46	1.47
Beam	7	9	6	12	7	5

UNIT SYSTEM ...: cm,kgf

資料來源：本研究整理

3.增加底座平面之斜撐：增加底座框架的斜桿，構形如圖 5-7 所示，各桿件及節點編號如圖面所示。以紊流場作用歷時資料建立之風載重歷時分析所得桿件最大應力如表 5-4 所示，外側桿件瞬時並未出現較高彎矩，顯示增加底座平面之斜撐，有助於分散瞬間不平均載重對結構系統的影響。將表 5-4 與表 5-3 相比較，桿件彎矩有小幅下降。分析所得顯示，此類結構系統造就勁度較大的底座結構，因此大部分的外力游動度較高的桿件分攤，因此 2 號與 7 號桿件軸力較高，且其值以張力形式的值較高，顯示屬於掀翻的作用型式。

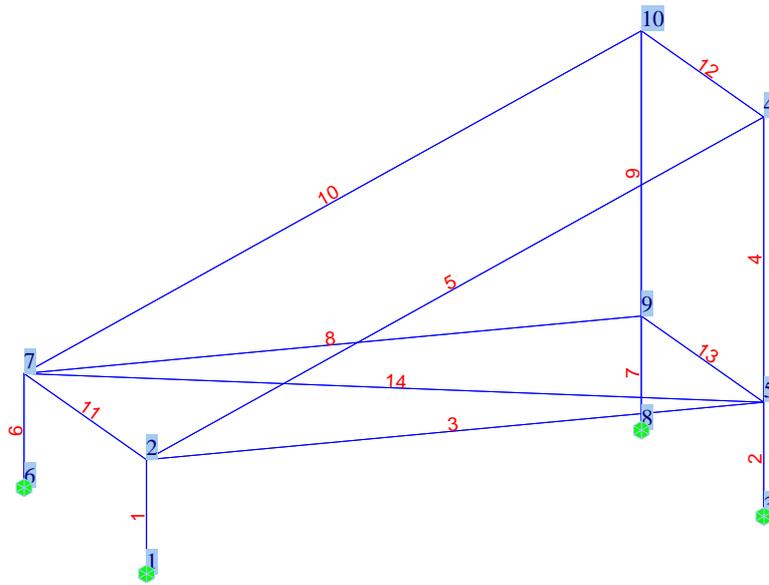


圖 5-7 底座平面增加斜撐桿件之太陽能熱水系統支撐結構

資料來源：本研究繪製

表 5-4 底座平面增加斜撐構形歷時載重資料分析之最大桿件內力

	Axial (kgf)	Shear-y (kgf)	Shear-z (kgf)	Torsion (kgf*cm)	Moment-y (kgf*cm)	Moment-z (kgf*cm)
Node I Max.	800.60	0.11	0.52	0.88	1.32	11.18
At time	1.46	1.76	1.44	1.85	1.75	1.47
Beam	2	7	7	6	1	4
Node I Min.	-143.90	-0.11	-0.58	-0.53	-2.19	-3.14
At time	1.67	1.76	1.47	1.75	1.85	1.64
Beam	7	6	4	1	6	6
Node J Max.	800.60	0.11	0.52	1.34	3.14	9.11
At time	1.46	1.76	1.44	1.84	1.75	1.47
Beam	2	7	7	1	6	7
Node J Min.	-143.90	-0.11	-0.58	-1.26	-3.34	-5.57
At time	1.67	1.76	1.47	1.75	1.84	1.47
Beam	7	6	4	6	1	5

UNIT SYSTEM ...: cm,kgf

資料來源：本研究整理

第三節 小結

建築物附屬設施的安裝常於建築物興建完成後再行加建或於使用階段搭設，因此其耐風性能或承受的風載重恐未列於原主結構的分析計算中，本研究就其所受風載重及安裝位置等條件加以探討，可供安裝附屬設施及錨定於屋頂面時強度需求的參考。舊建築物屋頂等常用於安裝附屬設施的位置其混凝土強度因長年風化或原先施工等原因，可能造成強度較低，因此錨定時需特別加以局部補強化，並對防水層的破壞加以修補。如於斜屋頂面鋼構架增設設備，支撐結構與屋頂構架主梁的連接更需加強。

由本研究顯示，如太陽能板類的附屬設施其受風作用時，支撐結構的內力主要來自版面的風壓，因此其載重應以總力考慮，較為合理，如以現行建築物耐風設計規範開放式建築物單斜式屋頂的支撐結構承受來自屋頂斜面風載重加以對比，如圖 5-8 所示，現行規範考慮與風向垂直之投影面積，推估得之風力載重為水平力，如以總力考

量時應以屋頂面積為準，因此建議修訂規範「2.8 節 風壓係數與風力係數」解說中關於多種不同開放式建築物的風力係數說明中，部分受風面積定義建議加以修改，如：”…表 2.9 取自 ASCE 7-88 規範，提供開放式建築物之單斜式屋頂之風力係數 C_f 。計算設計風力所用的面積為『屋頂面投影在與風向垂直之平面的面積』。……”，建議修正為『屋頂面的面積』。

另現行規範「3.2 設計風壓計算式」主要內容封閉或部分封閉式建築物局部構材及外部披覆物設計風壓計算式，建議可參考 ASCE 7-10 規範，增列「開放式建築物之斜屋頂局部構材及外部披覆物設計風壓」資料，增加完整性。

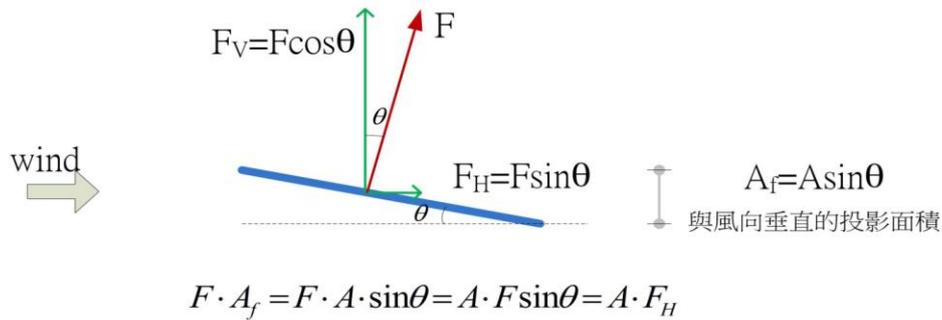


圖 5-8 斜屋頂面上所受風力之垂直與水平分量

資料來源：本研究繪製

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究探討低矮型建築物的附屬設施氣動力特性，綜整過去研究成果並進行氣動力實驗，對於低矮型建築物本身的表面風壓分布及附屬設施的風壓分布進行了解，綜合整理結論如下。

1. 屋頂坡度的影響：以低矮型建築物表面風壓與屋頂坡度的變化，屋頂坡度越大則正負風壓擾動更為劇烈，作用在附屬設施的紊流擾動亦高。而有掀翻危險的平板類設施，下版面表面風壓分布受到局部加速影響，而略有變化，因此與安裝間隙有關。
2. 安裝位置的選擇：安裝在屋脊位置的設施所受到氣動力作用最為強烈，因處於分離剪力流越過建築物的區域，因此風荷載最大。至於安裝在邊緣區域的設施，風荷載較為減緩。
3. 架高安裝的影響：提高架設基座的高度，使間隙放大，有使風荷載略減緩的現象，對於有掀翻危險性的構造而言，亦有所助益。
4. 風向角的變化：以設計考慮，構造物應能抵抗所有風向角的來流作用，因此檢討其氣動力載重時，各風向角均加以檢核，以風荷載最嚴重的條件，進行結構分析可有效提升系統的安全性。
5. 女兒牆的影響：本研究顯示女兒牆產生的屏蔽作用對減輕風荷載助益甚大，因此平屋頂面上安裝附屬設施如能配合女兒牆設置，對於設施的耐風性能最有幫助。
6. 低矮建築物屋頂太陽能板氣動力特性：本研究以太陽能板縮尺模型至於不同坡度之斜面屋頂上，量測其版面的平均及擾動性淨風壓係數分布，就風向角零度而言，屋頂坡度未明顯改變平均淨風壓係數的分布，而平均淨風壓均呈現較為均勻的分布情形，小攻角時平均淨風壓係數即有較明顯的增加，同時以角隅附近有較劇烈的變化；風向角為 90 度時，風向為平行於屋脊，且對太陽能版而言屬側吹方式，上下版面風壓均相似，因此平均淨風壓分布趨近於零。
7. 不同片數之太陽能版配置：位於 1:2 斜屋頂屋脊區域太陽能板高端迎向來流，3 片

連裝太陽能版中間版的平均淨風壓係數其負值甚至略低於單片的情形，顯示受到掀翻的風載重較為嚴重。而太陽能版低端轉而迎向來流，此時3片連裝太陽能版中間版的平均淨風壓係數其正值略低於單片的情形，顯示風荷載略為減輕，因風壓屬正值，作用力方向為指向太陽能版，本身即較無掀翻之危險性。

8. 太陽能板表面風壓空間相關性：受風作用後，表面風壓主要受到分離剪力流的渦散作用為主，因此表面風壓分布情形與渦流再接觸現象有密切關係，本研究所採用的模型配置，由其表面風壓的相關性分析顯示，上游分離剪力流的再接觸區域約在版長的三分之一附近。表面風壓作用的機率特性，則仍以高斯分布為主。
9. 太陽能熱水系統支承結構系統桿件佈署以採用斜撐為佳，如增加在上游立面高處或增加於太陽能集熱板邊框中點，均有助於增加桿件內力分散的效果，且對於瞬間彎矩極值得出現有減抑的作用，提升結構安全。
10. 要提升太陽能集熱版的耐風作用強度，宜將太陽能集熱板適度墊高，促進氣流亦可由版下大量通過。同時減少太陽能板直接置放於平面的情形，有助於減少上游抬高部分版下所形成的風壓回昇現象。過高的版下空間，易使桿件內力彎矩上昇，亦會有增加桿件挫曲的風險。
11. 紊流擾動作用下，以及考量所有可能出現的風向角，結構體所承受的載重幾乎均非對稱型式，且如僅用靜載重分析，所得之桿件內力未能反映可能出現的最大載種狀況。

第二節 建議

1. 建築物附屬設施尚有包括力面上附掛的構件，如雨庇、側面市招、遮陽構造等，多以緊附於建物外殼之形式存在，其氣動力載重條件需將建築物氣動力作用與附屬設施氣動力特性共同考量，是否成為破壞的原因應特別加以重視。

2. 太陽能熱水系統架設方式多採用角鋼支架，本研究以剛性接頭為考量，長期疲勞破壞應進一步考慮。
3. 目前規範中有關類似構造物的支架安全規定仍嫌不足，安裝及品保規範尚待加強。
4. 現行建築物耐風設計規範修訂建議：
 - (1) 規範「 2.8 節 風壓係數與風力係數」解說中關於多種不同開放式建築物的風力係數說明中，部分受風面積定義建議加以修改，如：“…表 2.9 取自 ASCE 7-88 規範，提供開放式建築物之單斜式屋頂之風力係數 C_f 。計算設計風力所用的面積為『屋頂面投影在與風向垂直之平面的面積』。……”，建議修正為『屋頂面的面積』。
 - (2) 現行規範「 3.2 設計風壓計算式」主要內容封閉或部分封閉式建築物局部構材及外部披覆物設計風壓計算式，建議可參考 ASCE 7-10 規範，增列「開放式建築物之斜屋頂局部構材及外部披覆物設計風壓」資料，增加完整性。

參考文獻

1. American Society of Civil Engineering, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE7-10, 2002.
2. Architectural Institute of Japan, “AIJ Recommendations for Loads on Buildings,” AIJ, 1996
3. Alfredo H-S. Ang, Wilson H. Tang, 1975, “Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume I--Basic Principles,” published by John Wiley & Sons, Inc.
4. Bienkiewicz, B. , Y. Tamura, H.J. Ham, H. Ueda, K. Hibi, 1995, Proper orthogonal decomposition and reconstruction of multi-channel roof pressure, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.54/55, pp.369-381
5. Canadian Commission on Building and Fire Codes, National Research Council of Canada, “National Building Code of Canada 1995, (NBC1995)”
6. Canadian Commission on Building and Fire Codes, National Research Council of Canada, “User’s Guide – NBC 1995 Structural Commentaries (Part 4)”
7. Cook, N.J. & J.R. Mayne, “A Refined Working Approach to the Assessment of Wind Loads for Equivalent Static Design”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.6, p.p.125-137, (1980).
8. Cook, N.J. & J.R. Mayne, “A Novel Working Approach to the Assessment of Wind Loads for Equivalent Static Design”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.4, p.p.149-164, (1979).
9. Levitan, M.L., K.C. Mehta, 1992a Texas Tech field experiments for wind load. Part I : building and pressure measuring system, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.43, pp.1565-1576.
10. Levitan, M.L., K.C. Mehta, 1992b Texas Tech field experiments for wind load. Part II : meteorological instrumentation and terrain parameters, Journal of Wind Engineering and

- Industrial Aerodynamics, Vol.43, pp.1577-1588.
11. Michael Kasperski, 1996, Design wind loads for low-rise buildings : A critical review of wind load specifications for industrial buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.61, p.p.169-179
 12. Standards Australia, “AS/NZS 1170.2 2002”
 13. Standards Australia, “AS/NZS 1170.0 Supplement 1 : 2002”
 14. Simu, E. & R.H. Scanlan, “Wind effect on structures”, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 3rd. edition, 1996.
 15. Tamura, Y. and Suganuma, S. 1999 Proper orthogonal decomposition of random wind pressure field, Journal of Fluid and Structures, Vol.13, pp.1069-1095
 16. Tieleman, H.W., D. Surry, K.C. Mehta, 1996 Full/model-scale comparison of surface pressures on the Texas Tech experimental building, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.61, p.p.1-23
 17. Tieleman, H.W., T.A. Reinhold, M.R. Hajj, 1997 Importance of turbulence for the prediction of surface pressure on low-rise structures, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.69-71, p.p.519-528
 18. Tieleman, H.W., M.R. Hajj, T.A. Reinhold, 1998 Wind tunnel simulation requirements to assess wind loads on low-rise buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.74-76, p.p.675-685
 19. 何明錦，陳若華，2006，「低層廠棚式建築物風載重評估之研究」，內政部建築研究所專題研究計畫報告。
 20. 陳若華，2007，「低層建築耐風設計風載重之修訂研究」，內政部建築研究所專題研究計畫報告。
 21. 「最新建築技術規則」，2005，詹氏書局。
 22. 「建築物耐風設計規範及解說」，營建雜誌社 編印，內政部建築研究所，2006，台灣。

附錄一、期中審查會議意見回覆表

期中審查會議--審查意見回應對照表

審查委員	審查意見	回應
陳技師奕信	1. 本計畫探討之附屬設施多為屋頂設施物，建議增加地面層之入口雨遮耐風性能評估。	建築物附屬設施範圍較為廣泛，因此本年度研究內容聚焦於低矮建築物屋頂附屬設施為主。
	2. 報告書第 2-1 節，耐風設計規範之法源依據「建築技術規則」，內容文意可能有違規範體系，請解釋。	感謝指導，已修正第 2-1 節中關於國內奈風設計規範之法源說明，依據建築技術規則而來。
	3. 實務上常有太陽能板設置於走廊天花板頂蓋(或框架頂蓋)，其抬高尺寸較大，因其耐風性能與太陽能熱能系統類似，建議一併評估，以增加本研究對業界之貢獻。	關於抬高太陽能板支架尺寸產生的氣動力效果影響，已納入本研究 4-1.2 節中，就抬高後風荷載及為抬高的情形加以比較，同時並納入 6-1 節的結論中。
	4. 從應用角度可否提出整體靜風壓係數之建議設計值，直接以表列或簡單回歸公式，可供建築師在設計時直接運用，增加研究實用性。	遵照辦理，已於第四章中就各種不同配置條件下產生的整體風壓係數隨不同風向角變化情形，以圖表方式呈現。
	5. 太陽能熱水系統之儲水筒是否影響板面風壓分佈情況，進而對設計造成影響？請在後續報告書中補充。	由文獻資料中類似氣動力實驗成果，太陽能熱水系統之儲水筒的設置有降低版面部份風壓的作用，在單片系統中效應較為明顯，如為多片串聯系統，則儲水桶應為另行

		安置，較無影響。本研究取較保守的條件檢討版面風載重，因此不考慮儲水桶的影響，關於此點說明補充於第 3-2.3 節模型設計之說明中。
蕭教授葆義	1. 建議將文中所提附屬設施標的明確界定，以利後續設計者參考。	遵照辦理，關於本研究低層建築物附屬設施的標的補充說明於第 1-1 節緒論的說明中，以釐清研究內容。
	2. 建議將低層建築物模型寬深高之比例納入報告，以提供後續設計者參考。	遵照辦理，關於本研究低層建築物模型的高寬比為 1:3，寬深比為 3:2，已納入報告第 3-2.1 節中說明。
鄭教授啟明	3. 研究進度符合原定計畫，初步績效良好。	感謝指導。
	4. 報告格式清楚，文字通暢明瞭易讀，值得學習。	感謝指導。
	5. 請說明實驗中流場與模型縮尺是否保持一致?	本研究大氣邊界層流場縮尺為 1:300，模型縮尺如配合此縮尺將因尺寸過小難以製作，考慮低層建築物位於邊界層底部 10% 以下高度範圍內，僅能以紊流強度符合地況 C 為準，模型縮尺適度放寬，本研究採用 1:20，由過去關於低層建築物表面風壓量測的比較，此項修改後，量測之表面風壓尚能符合現場量測的成果(以 TTU 實場場建築物為比較對象)。
	6. 目前研究著重於單件太陽能板，後續研究是否包含多件太陽能板或不同長寬比?	遵照辦理，本年度研究中以同時考量三片並排及單片兩種不同排列方式的差異，兩者的比較如圖 4-9 所示，太陽能板尺寸採用常見的 1m x 2m 型式。更進一步不同排列方式、不同長寬比太陽能板等的研究，則需後續研究進行。

	7. 原後續研究內容包含圓筒水塔，建議集中於太陽能板，以利成效呈現。	感謝指導，圓筒型高架水塔表面風壓的量測已於後半段研究階段完成，包括不同屋頂斜度及不同安裝位置的影響，研究成果討論於報告第 4-3 節。
胡總監銘煌	1. 建議報告書中，將附屬設施之耐風性能研究成果與現行規範規定列表比較，並提出明確建議，俾利設計者應用。	遵照辦理，將本研究成果及相關規範規定列表比較，並對於附屬設施安裝、選擇位置、氣動力特徵等討論於第 6-1 節結論之中。
	2. 報告書符號應有明確說明，例如：第 3、4 頁中第 (1)~(4) 公式等。	遵照辦理，已補充各公式符號之說明。
	3. 報告書中第 2 頁提到本研究主要為水塔與太陽熱能系統等附屬設施，唯目前成果集中於後者，對水塔未有著墨，請說明。	感謝指導，配合實驗進度的安排，圓筒型高架水塔表面風壓的量測安排於後半段研究階段，目前均已完成，包括不同屋頂斜度及不同安裝位置的影響，研究成果討論於報告第 4-3 節。
江建築師星仁	1. 建議報告書中將公式內符號加以定義說明。	遵照辦理，已補充各公式符號之說明。
	2. 何謂低層建築物？請清楚定義。另建築物附屬設施定義為何？請清楚說明。	遵照辦理，補充說明於第一章。
	3. 報告書第 9 頁表 2-1 及 2-2 表達之意義，建議於文中敘明。	感謝指導，此兩表格分別引用自國內建築物耐風設計規範及 ASCE 7-10 規範，配合開放式建築物之單斜屋頂版所用之設計風力計算，補充說明於第 2-1 節介紹規範之文字敘述。
林組長建宏	1. 附屬設施影響因子尚包括設置位置及固定方式，可在報告書中進行相關說	遵照辦理，於第四章研究成果與討論中，就不同安裝位置、架設高度等實驗成果加以討論。綜合整理的低層建築物附屬設施氣

低層建築附屬設施耐風性能研究

	明。	動力特性說明，敘述於第 5-1 節中。
	2. 研究第 2 階段中針對多種屋頂坡度的設定，其依據為何？	本研究未能涵蓋由低緩坡度到陡峭坡度的屋頂，分類為 1:1、1:2、1:4、1:8 等，相應的角度為 45 度、26.56 度、14 度及 7.1 度，亦即規範中對於不同屋頂坡度的分界值。
	3. 建議報告書文獻回顧部分，補充各國附屬設施設計風壓之規定，以增加本研究之貢獻度。	遵照辦理，就本研究所蒐集之各國相關規定，一併列於第二章之中。
鄭主任秘書元良	1. 請將低層建築物及附屬設施定義及涵蓋範圍界定清楚？	遵照辦理，補充說明於第一章。
	4. 建築物附屬設施種類及安裝方式眾多，本案為何僅做屋頂部分？請予釐清。	感謝指導，建築物附屬設施種類甚多，安裝方式亦各異，耐風性能的檢討並兼顧實驗所需時程，因此本年度研究內容聚焦於低矮建築物屋頂附屬設施為主。

附錄二、期末審查會議意見回覆表

內政部建築研究所

召開本所 101 年協同研究「集合式住宅對建築物自然通風的影響」、「低層建築物附屬設施之耐風性能研究」及「建築物受風災損壞原因實際案例調查研究」等 3 案期末審查會議。

時 間：101 年 11 月 2 日（星期五）上午 9 時 30 分			
地 點：大坪林聯合開發大樓 15F 第 3 會議室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓）			
主 席：鄭主任秘書元良 鄭元良 紀錄：李信宏 劉介元			
出席人員	簽到處	代理人	
		職 稱	簽 到 處
方教授富民			
胡總監銘煌			
苗教授君易			
陳教授瑞華			
鄭教授啟明			
蕭教授葆義			
謝教授俊民			
內政部營建署			
中華民國全國建築師公會			
中華民國土木技師公會全聯會			
中華民國結構技師公會全聯會			

低層建築附屬設施耐風性能研究

社團法人中華民國風工程學會			
朱教授佳仁	朱佳仁		
陳教授若華	陳若華		
張教授景鐘	張景鐘		
陳組長建忠	陳建忠		
劉主任文欽			
陳副研究員玠佑	陳玠佑		
李專案助理研究員信宏	李信宏		
劉研發替代役介元	劉介元		
相關人員			

期末審查會議--審查意見回應對照表

審查委員	審查意見	回應
胡總監銘煌	1. 建議將建築物附屬設施之名詞修正一致，並以法規用語為主。	遵照辦理。
	2. 第二章文獻回顧中，規範名稱宜改為(1)國內「建築物耐風設計規範及解說」規範；(2)美國 ANSI/ASCE 規範；(3)紐澳 AS/ANI 規範；(4)日本 AIJ 規範；(5)英國 BS 規範，年代於內文中交代即可。	遵照辦理。
	3. 報告書中圖 4.3 中央區域太陽能板尖峰淨風壓係數缺漏(d)圖，請修正。	遵照辦理，修正報告內容。
	4. 結論及建議事項，前後內容、盡量一致，可將建議分成短期建議、及長期建議。	遵照辦理，修正報告內容。
	5. 研究成效非常好。	感謝指導。
陳教授瑞華	1. 根據報告書中 P.81 結論 10，是否可提供太陽能板下方高度建議值？	本年度研究內容架高的條件僅為一種，較難就架高高度影響進行定量的討論，後續相關議題研究，將進一步探討。
	2. 可將本研究成果整理後，提出對於風力規範修正相關建議？	本研究綜整近年關於低矮建築物的氣動力特

		性、附屬設施氣動力特性等內容，並就耐風設計規範內容研提修訂建議。
鄭教授啟明	1. 本研究的研究內容相當豐富，風洞試驗及後續的結構分析過程亦嚴謹，研究結果符合預期。	感謝指導。
	2. 報告書中 P.35 頁「實驗模型規劃」部分文字有誤，請修正。	遵照辦理，修正報告內容。
	3. 建議將文中「風向角」用語改為建築常用之「風向角」。	遵照辦理，已修正報告內文，統一使用「風向角」名詞。
	4. 研究成果之低層建築風壓及太陽能板淨風壓係數分佈，對於研究相關議題是重要的資料，但對設計者過於複雜無法使用，建議將其簡化為數個” pressure zone” 以利使用。	遵照辦理，配合增補報告內容。
謝教授俊民	1. 研究包含多組多風向風洞實驗具價值，可提供設計者參考使用。	感謝指導。
	2. 請具體說明太陽能板之長、寬、高之比例關係。	遵照辦理，補充於報告模型設計之敘述。
	3. 報告書中圖 3-5 與圖 3-8，太陽能板安裝角度(面向)與迎風面相反，建議可以略做修改以利後續讀者閱讀比較。	感謝指導。

	<p>4. 請補充架設位置距離牆角的距離。</p>	<p>本年度研究中模型架設位置均以位於屋頂面之中央區域為主，以屋頂面的前、中、後三個點位安置模型。</p>
	<p>5. 將平、斜屋頂多片安裝是否有安全疑慮？請列入考量。</p>	<p>本研究中亦就多片式安裝條件進行氣動力實驗，研究顯示多片式安裝因渦流作用區域被區分在不同的版面，對於氣動力現象的變化程度，略為趨緩。</p>
	<p>6. 太陽能板上下兩面，風壓差異為何？</p>	<p>本研究的氣動力實驗是採上下版面同步量測，作即時的壓差相減計算，上下版面的風壓資料均有個別紀錄。上版面以分離剪力流的渦漩作用為主，呈現各區差異較大的負壓分布，而下版面受到邊壁束縮限制，負壓明顯有回升現象，且分布較為均勻。</p>
<p>苗教授君 易</p>	<p>1. 關於附屬設施受力規範，請針對台灣風況、附屬設施進行討論，並與國外規範比較。</p>	<p>遵照辦理，修正報告內容。</p>

低層建築附屬設施耐風性能研究

<p>江建築師星仁</p>	<p>1. 簡報中 P.25 1:4 、P.26 1:2 無法識別圖及模型之差異。</p>	<p>遵照辦理，修正報告內容。</p>
	<p>2. 報告書中 P.69 比較表，是否可提出具體建議?</p>	<p>遵照辦理，修正報告內容。</p>
	<p>3. 報告書中 P.69 太陽能版與第 3 案 P.25 之板，兩個字不同建議統一為正確寫法。</p>	<p>參考太陽熱能產業文件資料中的用語，統一修正為「太陽能板」。</p>
<p>陳技師正平</p>	<p>1. 本研究著重形狀係數研究，但附屬設施大多建築興建完成後再附加，因此錨定設計更為重要，且大部分損害現象均為錨定設計缺失，建議在報告書中討論之。</p>	<p>遵照辦理，補充報告內容，於第五章增加第三節內容。</p>

	2. 附屬設施常由專業廠商施工，在缺乏結構技師參與情況下，失敗案例較多，相關情況可在報告書中說明。	遵照辦理，並補充於報告第一章內容中說明。
	3. 舊有建物混凝土強度常有偏低或受隔熱層阻礙情形，致錨定強度不足，可在報告書中提及相關現況及建議。	遵照辦理，補充報告內容，於第五章增加第三節內容。
陳組長建忠	1. 本案內容詳細豐富，建議於報告書中結論及建議及內文格式可參考部頒格式進行修正。	遵照辦理，參考部頒格式進行修正。
鄭主任秘書 元良	1. 請整理本案及以往相關研究案之成果，提出設計規範條文修正草案建議。	遵照辦理，就耐風設計規範內容研提修訂建議，於第五章增加第三節內容。
	2. 文中引用甚多專有名詞，請依國內法規或規範用語加以統一。	遵照辦理，修正報告內容。

附錄三、專家座談會議紀錄與審查意見回應

內政部建築研究所

101 年度建築先進技術創新開發與推廣應用計畫

第 8 案協同研究計畫

「低層建築物附屬設施之耐風性能研究」專家座談會

- 一、時間：101 年 12 月 14 日 上午 10 時
- 二、地點：建國科技大學 設計學院會議室
- 三、主持人：陳若華
- 四、上級指導人員：李信宏
- 五、出席人員簽到表：

記錄：葉奇文

李信宏

出席人員	簽到
建國科技大學土木系 許懷後 主任	許懷後
建國科技大學土木系 丑倫彰 教授	丑倫彰
土木技師 陳明源	陳明源
國立聯合大學建築系 吳桂陽 教授	吳桂陽
致遠景觀顧問公司 呂適仲 經理	呂適仲
建國科技大學空間設計系 蔡慶豐 教授	蔡慶豐

本所101年協同研究「低層建築物附屬設施之耐風性能研究」 專家座談會議紀錄

一、時間：101年12月14日（星期五）上午10時00分

二、地點：建國科技大學設計學院會議室

三、主持人：陳若華

記錄：蕭秀美

四、出席人員：如簽到單

五、主席致詞：(略)

六、執行單位簡報：(略)

七、綜合討論意見：(依發言順序排序)

(一)「低層建築物附屬設施之耐風性能研究」案：

丑教授倫章：

- 1.建議可將台灣地區各地之風向圖，提出太陽能板之裝備角度的建議。
- 2.根據本研究的結果，裝設太陽能板時，四個角落之稱點所受的力量差異極大，因此在修訂設計規範時應特別注意。
- 3.本研究結果顯示太陽能板稍微提高時會減低風壓，建議能進一步提出高度提升的範圍建議。
- 4.水塔受風壓之影響與受地震之影響可做一比較，若地震力影響很多，則風力之影響應可忽略。請補充說明U形與L形建築物模型風洞與矩形建築物實驗結果之差異。

陳技師明源：

- 1.P.36 圖 3-4(a)圖例倒置(formula \longleftrightarrow measured)
- 2.P.40 圖 3-7 太陽能板位置定義與 p.35 表 3-1 之安裝位置說明不一致。
- 3.建議依據對水塔之最大風向結果，可與地震力對水塔之影響比較。
- 4.後續可在進行太陽能板與屋頂屋及平行或90度之其他方向之風壓效

益為何。

蔡教授慶豐：

1. 對建築物附屬設施之安裝方式的安全性及危險因子提出具體的分析與建議，具有參考的正面價值。
2. 如能配合建築物之屋頂造型，提供一些安裝的標準圖說，以供業界或民眾參考，將更加如有其研究價值。
3. 就太陽能集熱板而言，缺乏實際被風力破壞的案例調查及破壞類型的設計比較，以便和研究之成果相互比對驗證。
4. 業界目前裝設太陽能板的位置，在斜屋頂的構造，很多皆裝在屋脊上，這合研究結果相互違背，故本案之結論可提共重新擬定施工規範的參考。
5. 建築物之附屬設施的種類頗多，而本案主要以太陽能集熱板為主要的實驗項目。後續言就可擴大到其他項目。

吳教授桂陽：

1. 研究方法可行，其成果值得重視。
2. 本研究結論與發現與法規修正的連結宜再清楚說明。
3. 對各種條件可再說明：例如(1).地點：會固定北中南的季節風而有所不同。(2).構造物的高度不同時有何變化？(3).構造物的面積不同時有何變化？(4).構造物與週遭環境的關係不同時有何變化？

呂經理適仲：

1. 由景觀設計來看，低層建築之附屬設施佔都市景觀美質又其環境品質之部分，十分重要，然風截常為景觀師所忽略。本研究聚時計景觀設計專業之參考價值。

2. 國內綠建築中之屋頂花園(由為傳統土之綠牆做法)常見於屋及附近之植生較差,是否可能為風造成的與坡度(屋頂)是否有關?在景觀設計與相關研究中,甚難了解,本研究之成果若於未來可應用於上,將有助於問題之解決。本人曾擔任台北縣(現新北市)之綠屋頂研究審查委員,在綠屋頂之研究中(校園空間),常面臨部分植生狀況不佳,雖然據推測風之影響卻無直接證據,雖然本研究之成果可驗證。
3. 建議未來可增加考量屋頂綠化和植栽槽之分析。(綠建築之考量)
4. 女兒牆設置高度對屋頂風力之影響為何?

許主任懷後:

1. 對於附屬設施受風壓之狀況已進行多項因子的探討,其結果亦頗具實用及參考價值。
2. 建議在各項因子的影響效應探討後,亦能針對降低風壓及提高耐風性之改進措施(例如:改善風場或風壓之附屬元件)提出後續之探討。
3. 低層建築物之定義或其高度變化對耐風性的影響,亦請說明。

研究單位回應(陳若華):

1. 建築物附屬設施多為建築物主體完工後或於使用階段才再增建的部分,因此受風作用後,可能為支撐結構系統的破壞,亦可能因錨定不良而掀翻,因此除探討建築物外部附屬設施的氣動力特性外,實際安裝的確保亦非常重要。
2. 本研究綜整近年關於低矮建築物的氣動力特性、附屬設施氣動力特性等內容,並就耐風設計規範內容研提修訂建議。
3. 低矮建築物外部附屬設施的安裝規程可結合本研究的成果,及實際破壞案例加以建立。
4. 在強烈颱風作用下,不對稱風向造成的結構超載,發生的機率甚高,應加以重視並值得進一步研究。

5. 感謝各位先進的指導，將依據建議儘速修訂報告內容。

專家座談--審查意見回應對照表

低層建築附屬設施耐風性能研究

審查委員	審查意見	回應
丑教授倫章	1. 建議可將台灣地區各地之風向圖，提出太陽能板之裝備角度的建議。	感謝指導，報告內容配合修訂。
	2. 根據本研究的結果，裝設太陽能板時，四個角落之稱點所受的力量差異極大，因此在修訂設計規範時應特別注意。	感謝指導，報告內容配合修訂。
	3. 本研究結果顯示太陽能板稍微提高時會減低風壓，建議能進一步提出高度提升的範圍建議。	本年度研究內容架高的條件僅為一種，較難就架高高度影響進行定量的討論，後續相關議題研究，將進一步探討。
	4. 水塔受風壓之影響與受地震之影響可做一比較，若地震力影響很多，則風力之影響應可忽略。	感謝指導，報告內容配合修訂。
	5. 請補充說明門形與 L 形建築物模型風洞與矩形建築物實驗結果之差異。	不同平面型狀的建築物其外週區氣流作用差異甚大，本年度僅就單純矩形塊量體建築物進行實驗，不易催論其他形狀建築物的影響，後續研究將持續探討。
陳技師明源	1.P.36 圖 3-4(a) 圖例倒置 (formula \longleftrightarrow measured)	感謝指導，報告內容配合修訂。
	2.P.40 圖 3-7 太陽能板位置定義與 p.35 表 3-1 之安裝位置說明不一致。	感謝指導，報告內容配合修訂。

	<p>3.建議依據對水塔之最大風向結果，可與地震力對水塔之影響比較。</p>	<p>感謝指導，後續研究將就此進一步探討。</p>
	<p>4.後續可在進行太陽能板與屋頂屋及平行或90度之其他方向之風壓效益為何。</p>	<p>感謝指導，後續研究將就此進一步探討。</p>
<p>蔡教授慶豐</p>	<p>1. 對建築物附屬設施之安裝方式的安全性及危險因子提出具體的分析與建議，具有參考的正面價值。</p>	<p>感謝指導。</p>
	<p>2. 如能配合建築物之屋頂造型，提供一些安裝的標準圖說，以供業界或民眾參考，將更加如有其研究價值。</p>	<p>本年度研究內容仍以氣動力現象及其結構反應影響性進行探討，後續研究將就此進一步探討。</p>
	<p>3. 就太陽能集熱板而言，缺乏實際被風力破壞的案例調查及破壞類型的設計比較，以便和研究之成果相互比對驗證。</p>	<p>感謝指導，並補充於報告第一章內容中說明。</p>
	<p>4. 業界目前裝設太陽能板的位置，在斜屋頂的構造，很多皆裝在屋脊上，這合研究結果相互違背，故本案之結論可提供重新擬定施工規範的參考。</p>	<p>感謝指導。</p>

低層建築附屬設施耐風性能研究

	5. 建築物之附屬設施的種類頗多，而本案主要以太陽能集熱板為主要的實驗項目。後續言就可擴大到其他項目。	感謝指導。
吳教授桂陽	1. 研究方法可行，其成果值得重視。	感謝指導。
	2. 本研究結論與發現與法規修正的連結宜再清楚說明。	感謝指導，並補充於報告第六章之內容。
	3. 對各種條件可再說明：例如(1)地點：會固定北中南的季節風而有所不同。(2)構造物的高度不同時有何變化？(3)構造物的面積不同時有何變化？(4)構造物與週遭環境的關係不同時有何變化？	感謝指導，關於太陽能板與建築物量體比例的影響、安裝位置的影響等，本研究建立不同受風條件下的初步成果，仍有待後續進一步研究。
呂經理適仲	1. 由景觀設計來看，低層建築之附屬設施佔都市景觀美質又其環境品質之部分，十分重要，然風荷載常為景觀師所忽略。本研究具實際景觀設計專業之參考價值。	感謝指導。

	<p>2. 國內綠建築中之屋頂花園(由為傳統土之綠牆做法)常見於屋及附近之植生較差，是否可能為風造成的與坡度(屋頂)是否有關？在景觀設計與相關研究中，甚難了解，本研究之成果若於未來可應用於上，將有助於問題之解決。本人曾擔任台北縣(現新北市)之綠屋頂研究審查委員，在綠屋頂之研究中(校園空間)，常面臨部分植生狀況不佳，雖然據推測風之影響卻無直接證據，雖然本研究之成果可驗證。</p>	<p>感謝指導，由本研究所獲得的屋頂面氣動力特性資料，可供屋頂植栽設計時的參考。</p>
	<p>3. 建議未來可增加考量屋頂綠化和植栽槽之分析。(綠建築之考量)</p>	<p>感謝指導，後續研究將就此進一步探討。</p>
	<p>4. 女兒牆設置高度對屋頂風力之影響為何？</p>	<p>本研究以一般女兒牆高為準設計縮尺模型，關於女兒牆高度的影響，後續研究將就此進一步探討。</p>
<p>許主任懷後</p>	<p>1. 對於附屬設施受風壓之狀況已進行多項因子的探討，其結果亦頗具實用及參考價值。</p>	<p>感謝指導。</p>

低層建築附屬設施耐風性能研究

	<p>2. 建議在各項因子的影響效應探討後，亦能針對降低風壓及提高耐風性之改進措施(例如：改善風場或風壓之附屬元件)提出後續之探討。</p>	<p>感謝指導，本研究卻力其氣動力特性與建立風載重資料，有助於後續研究進一步探討。</p>
	<p>3. 低層建築物之定義或其高度變化對耐風性的影響，亦請說明。</p>	<p>感謝指導，低層建築物以線型耐風設計規範界定為高度 18 公尺以下的建築物，因此其所受風力為大氣邊界層底部的高強度紊流區，由過去研究顯示主要均為拱門型渦漩的擾動，因此小幅度的高度變化差異不大。研究中採用地況 C 之大氣邊界層流場進行實驗，模型高度控制位於底不高紊流強度區域，以符合現況。</p>

低層建築物附屬設施之耐風性能研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：鄭元良、陳若華、劉文欽、聶國昫、周晉成、許育銘

出版年月：101 年 12 月

版次：第一版

低層建築附屬設施耐風性能研究

ISBN： 978-986-03-4705-0