

# 單片太陽能板支架結構風力分析研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 105 年 9 月



PG10505-0033

# 單片太陽能板支架結構風力分析研究

研究人員：陳玠佑

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 105 年 9 月



MINISTRY OF THE INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

The research of Wind load analysis on  
Monolithic PV support structures.

BY

CHIEH YU, CHEN

Sep, 2016



## 目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的與內容.....	1
第三節 研究方法與進度.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 前期研究.....	5
第二節 太陽能光電板種類.....	9
第三節 太陽能光電板研究.....	22
第四節 風力相關理論.....	39
第五節 國內相關規範.....	43
第六節 國外相關規範.....	63
第三章 試驗計畫與結果.....	67
第一節 試驗儀器及條件建立.....	67
第二節 單片型光電板模型試驗.....	84
第三節 2X3 陣列型光電板模型試驗.....	107
第四節 單片型支架結構分析.....	120
第五節 小結.....	135
第四章 結論與建議.....	139
第一節 結論.....	139
第二節 建議.....	141
附錄一 期初審查會議紀錄與回應.....	143
附錄二 期中審查會議紀錄與回應.....	147

附錄三 其他相關 .....	158
參考書目 .....	171



## 表次

表 1-1 研究計畫進度表 .....	3
表 2-1 屋頂突出物模型量測壓力係數表 .....	6
表 2-2 屋頂突出物模型量測壓力係數表 .....	11
表 2-3 常用空氣基本性質表 (乾空氣在 1.0atm 下) .....	42
表 2-4 太陽光電發電設備免請領雜項執照簽證表 .....	47
表 2-5 太陽光電發電設備結構安全證明書 .....	48
表 2-6 太陽光電發電設備工程完竣證明書 .....	49
表 2-7 建築物耐風設計規範圖表-1 .....	52
表 2-8 建築物耐風設計規範圖表-2 .....	53
表 2-9 建築物耐風設計規範圖表-3 .....	54
表 2-10 建築物耐風設計規範圖表-4 .....	55
表 2-11 建築物耐風設計規範圖表-5 .....	56
表 2-12 建築物耐風設計規範圖表-6 .....	56
表 3-1 風速計規格性能 .....	71
表 3-2 阻塞比效應計算 .....	77
表 3-3 試驗條件 .....	79
表 3-4 壓力量測設定數值 .....	80
表 3-5 雷諾數計算 .....	82
表 3-6 風力模型 V=20m/s 風力量測結果及風力係數計算表 .....	89
表 3-7 風力模型 V=25m/s 風力量測結果及風力係數計算表 .....	89
表 3-8 單片型 1x1 風壓模型量測壓力係數相對最大值表 .....	101
表 3-9 單片型 1x1 風壓模型量測區域平均淨風壓表 .....	104
表 3-10 陣列型 2x3 風壓模型量測壓力係數相對最大值表 .....	116
表 3-11 陣列型 2x3 風壓模型量測區域平均淨風壓表 .....	118
表 3-12 單片型 1x1 風力係數與規範值比較表 (L/B=2) .....	122
表 3-13 單片型 1x1 風力係數與規範值比較表 (L/B=1.88) .....	122
表 3-14 單片型 1x1 模組及相關組件示意圖表 .....	126
表 3-15 結構材料性質表 .....	127
表 3-16 支架結構材料重量計算表 .....	128
表 3-17 支架組件材料重量計算表 .....	128



## 圖次

圖 2-1 前期研究模型試驗分組圖 (A、B) .....	6
圖 2-2 前期研究屋頂突出物模型 (1:20) 設置圖 .....	7
圖 2-3 前期研究模型試驗分組圖 (A、B) .....	7
圖 2-4 前期研究以CFD模擬無格柵均勻流場風速剖面等值圖 .....	8
圖 2-5 前期研究屋頂突出物模型設置圖 .....	8
圖 2-6 太陽能電池組成原理圖 .....	9
圖 2-7 風洞紊流場試驗-2 .....	10
圖 2-8 風洞紊流場試驗-3 .....	10
圖 2-9 全球太陽光電發展統計 .....	10
圖 2-10 獨立型系統 .....	12
圖 2-11 混合型系統 .....	13
圖 2-12 併聯型系統 .....	13
圖 2-13 太陽能模組組成 .....	14
圖 2-14 特製的強化玻璃統 .....	14
圖 2-15 物理物質- 15295P/UF .....	15
圖 2-16 太陽能電池 .....	16
圖 2-17 太陽能光電板背板組成 .....	16
圖 2-18 太陽能光電板接線盒組成 .....	17
圖 2-19 太陽能模組框架 .....	18
圖 2-20 太陽能模組產品製成 .....	18
圖 2-21 常見屋頂支架型 .....	19
圖 2-22 常見斜屋頂支架型 .....	20
圖 2-23 常見屋頂支架型 .....	21
圖 2-24 常見屋頂支架型 .....	22
圖 2-25 三點式變位量測之定位基準 .....	23
圖 2-26 文獻-風壓風力論述參考圖 .....	24
圖 2-27 文獻-結果與ASCE-7 比對 .....	24
圖 2-28 文獻-屋頂陣列型光電板風力計算 .....	26
圖 2-29 文獻-屋頂陣列型風力風壓計算 .....	27
圖 2-30 風洞試驗各項風力、風壓係數整理與計算 .....	28
圖 2-31 文獻-支架分佈應力計算 .....	29
圖 2-32 以CFD模擬不同風攻角下支架的耐風能力 .....	30
圖 2-33 水塔構造物氣動力試驗 .....	31
圖 2-34 屋頂型太陽能追蹤器 .....	31
圖 2-35 斜屋頂上太陽能光電板陣列 .....	32
圖 2-36 太陽能板風力負載特性分析研究 .....	34

圖 2-37 太陽能板所受風力示意圖 .....	34
圖 2-38 光電板風壓量測結果 .....	35
圖 2-39 光電板破損、模型與風攻角關係示意圖 .....	36
圖 2-40 角渦流易在建築物向風角落處產生示意圖 .....	36
圖 2-41 單片太陽能板表面尖峰淨風壓係數分布 .....	37
圖 2-42 計算黏滯阻力 $F_s$ 無因次阻力係數 $C_F$ 值 .....	37
圖 2-43 作用於物體的壓力與剪應力 .....	40
圖 2-44 建築物表面風壓分佈示意圖 .....	42
圖 2-45 日本JPEA對於光電板應用之相關作為 .....	63
圖 2-46 日本JPEA對於 10kW 以上太陽光發電設計重點提示 .....	64
圖 2-47 日本JPEA對於光電板相關簽證檢核 .....	64
圖 2-48 日本光電板與建築相關法規關連性圖 .....	65
圖 2-49 日本太陽能光電板申請設置流程圖 .....	66
圖 3-1 風洞實驗館 .....	67
圖 3-2 六力平衡儀設備圖 .....	68
圖 3-3 多頻道電子壓力掃描器設備圖 .....	70
圖 3-4 風速計及電源供應器 .....	72
圖 3-5 風速計及電源供應器 .....	73
圖 3-6 太陽能光電板模型（茂迪公司生產的XS-72 系列） .....	73
圖 3-7 單片型（1×1）規格尺寸圖 .....	74
圖 3-8 單片型（2×3）規格尺寸側視圖 .....	75
圖 3-9 單片型（2×3）規格尺寸上視圖 .....	75
圖 3-10 太陽能光電板模組(安集科技股份有限公司ACP-M660 系列).76	
圖 3-11 光電板模型風壓孔mesh圖 .....	78
圖 3-12 模型試驗分組圖 .....	79
圖 3-13 均勻流場平均風速剖面圖 .....	81
圖 3-14 風力模型試驗示意圖 .....	84
圖 3-15 風力模型試驗來流圖 .....	84
圖 3-16 風力模型受力座標圖 .....	86
圖 3-17 風力模型於流場受力情形圖 .....	86
圖 3-18 風力模型試驗情形圖 .....	87
圖 3-19 不同風速下控制介面圖 .....	88
圖 3-20 不同風速下風力模型風力及風力係數分佈圖 .....	90
圖 3-21 單片型 1×1 風壓模型試驗示意圖 .....	91
圖 3-22 單片型 1×1 風壓模型試驗來流圖 .....	91
圖 3-23 單片型 1×1 風壓模型於流場受力情形圖 .....	92
圖 3-24 單片型 1×1 風壓模型受力分佈圖 .....	92
圖 3-25 單片型 1×1 光電板均勻流場試驗圖 .....	93

圖 3-26 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=0^\circ\sim45^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$ 風壓分佈圖	94
圖 3-27 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=60^\circ\sim105^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$ 風壓分佈圖	95
圖 3-28 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=120^\circ\sim165^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$ 風壓分佈圖	96
圖 3-29 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=180^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$ 風壓分佈圖	97
圖 3-30 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=0^\circ\sim15^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$ 風壓分佈圖	97
圖 3-31 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=30^\circ\sim75^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$ 風壓分佈圖	98
圖 3-32 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=90^\circ\sim135^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$	99
圖 3-33 單片型 1×1 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=150^\circ\sim180^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$ 風壓分佈圖	100
圖 3-33 單片型 1×1 風壓模型區域平均淨風壓區	102
圖 3-34 單片型 1×1 風壓模型量測風壓分佈圖	103
圖 3-36 單片型 1×1 光電板實尺寸支架組立圖	105
圖 3-37 單片型 1×1 光電板模組實尺寸支架組立圖	106
圖 3-38 陣列型 2×3 風壓模型試驗示意圖	107
圖 3-39 陣列型 2×3 風壓模型試驗來流圖	107
圖 3-40 陣列型 2×3 風壓模型於流場受力情形圖	108
圖 3-41 陣列型 2×3 風壓模型受力分佈圖	108
圖 3-42 陣列型 2×3 單光電板模型均勻流場試驗圖	109
圖 3-43 陣列型 2×3 風壓模型 $\alpha=30^\circ$ ， $\beta=0^\circ\sim60^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$ 風壓分佈圖	110
圖 3-44 陣列型型 2×3 風壓模型 $\alpha=30^\circ$ ， $\beta=75^\circ\sim135^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$ 風壓分佈圖	111
圖 3-45 陣列型 2×3 風壓模型 $\alpha=30^\circ$ ， $\beta=150^\circ\sim180^\circ$ ， $V=10\text{m/s}$	112
圖 3-46 陣列型 1×1 風壓模型 $\alpha=30^\circ$ ， $\beta=0^\circ\sim60^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$ 風壓分佈圖	113
圖 3-47 陣列型型 2×3 風壓模型 $\alpha=30^\circ$ ， $\beta=75^\circ\sim135^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$ 風壓分佈圖	114
圖 3-48 陣列型 2×3 風壓模型 $\alpha=15^\circ$ ， $\beta=150^\circ\sim180^\circ$ ， $V=20\text{m/s}$	115
圖 3-49 陣列型 2×3 風壓模型區域平均淨風壓區	117
圖 3-50 陣列型 2×3 風壓模型量測風壓分佈圖	119
圖 3-51 風力模型支架受力評估圖	120
圖 3-52 單片型 1×1 風壓模型區域平均淨風壓區概念	123
圖 3-53 風力模型支架分區受力評估圖	124

圖 3-54 簡化受力評估圖 .....	129
圖 3-55 太陽能板光電板風力設計對策圖 .....	137
附錄圖 1 新聞報導.....	158
附錄圖 2 太陽光電設置推動大事紀.....	160
附錄圖 3 主要申請流程.....	161
附錄圖 4 申請流程檢附文件.....	162
附錄圖 5 蘋果日報照片 .....	165
附錄圖 6 蘋果日報照片 .....	166
附錄圖 7 蘋果日報照片 .....	167
附錄圖 8 尼伯特颱風.....	168
附錄圖 9 台灣颱風論壇.....	169
附錄圖 10 台灣颱風論壇.....	169

## 摘要

關鍵詞：太陽能光電板、支架

### 一、研究緣起

由於能源使用觀念改變，屋頂型太陽能光電板在政府大力推行下能見度趨多，尤其以經濟部推動「陽光屋頂百萬座計畫」並於 103 年修正「設置再生能源設施免請領雜項執照標準」，以及地方政府（如：高雄市）制訂「高雄市建築物設置太陽光電設施辦法」，透過鼓勵方式期望達到節能減碳目的；惟太陽能光電板容易遭颱風吹落而造成危險，但卻無相關規範要求，臺灣在去（104）年 8 月及 9 月相繼受到蘇迪勒、杜鵑強烈颱風侵襲，光電板掉落情形相當驚人，民眾對於強風威脅又更加明顯有感。

去(104)年自行研究「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」即掌握時事潮流，預先洞察社會需求，以國內常見屋頂型太陽能光電板，建置符合實際情況縮尺模型，進行實驗分析計算風壓係數 $C_P$ 、阻力係數 $C_D$ 及升力係數 $C_L$ 等形狀係數，並探討得知光電板在角隅區所承受的風壓值均為最大，且當含有女兒牆時，明顯削弱了風壓對光電板的影響。研究也提出具體建議之「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」可供設計立即應用參考，以解決國內無相關規範之困境。然而，去年工研院綠能所鑑於國內現況，多次與本所探討可否再針對支架部分進行相關研究，爰本研究將依實務需求進一步探究支架結構受風情形，以利完整提供太陽能光電板在抗風設計之參考。

### 二、研究方法及過程

本研究彙整國內外太陽能光電板有關支架研究成果、規範等，以及整理國內常用型式，建置符合實際情況之縮尺模型，透過力平衡儀，於不同風速與環境條件進行受風試驗。採用一組單片光電板，以不同型式之組合條件，將風力 1/10 縮尺模型連結於在六力平衡儀，變化不同風速、風向角等條件，量測三方向平均受力值（ $F_X$ 、 $F_Y$ 與 $F_Z$ ），再藉由無因次化後（ $C_{FX}$ 、 $C_{FY}$ 與 $C_{FZ}$ ），計算分析支架結構應力分佈。另外，考量儀器設備限制，也藉由風壓模型，進行單片型、陣列型 1/5 縮尺模型風壓量測，求取風壓係數後，按照應力分配估算支架受力。

步驟如下：

1. 文獻回顧：彙整國內外太陽能光電板支架相關研究成果、規範等，以及瞭解整理國內常用型式。
2. 模型試驗法：配合既有儀器設備（六力平衡儀），以單片太陽能光電板建置模型，於不同風速與環境條件，量測不同型式支架受風情形。
3. 歸納分析法：分析計算結構應力分配（含基座、直橫料、斜撐、扣件夾具、壓板等）計算分析後，整理提出對策，以供設計參考應用。

### 三、重要發現

1. 由試驗結果可知光電板承受風壓值仍以負風壓為主，表示不論是屋頂型或地面型，或者不論是單片型或陣列型，對於光電板的抗風，應以負風壓為主。本研究認為，目前對於光電板模組本身，開始有單位或廠商以門窗抗風方式來進行檢測，也有利用衝擊試驗等來瞭解光電板模組本身的正向抗壓能力（僅進行單方向試驗），但卻忽略負風壓對於光電板模組的影響。
2. 透過試驗所得風壓或風力係數，將其還原至現場假設條件，以一般常理而言，在 40m/s 的情形下，支架應該足以抵抗，但若在 60m/s（約 17 級）的條件下，支架橫桿很有可能在彎曲及拉伸強度不足情形下，就受到破壞了，而該橫桿或滑軌破壞後，即使支架基礎系統尚由螺栓鎖固，可能還不至於整體掀翻，但如此的強風，光電板模組若僅靠 4 個扣件夾具固定，可能不足以抵抗 60m/s 以上的強風，導致光電板模組被風吹走，而支架可能還固定在地面或屋頂上，此論點與真實受風破壞後的情形（新聞報導照片）相差不遠。因此，提昇材料強度（如改用強度較高的鋼材）、夾具扣件數量、固定方式的改變，或許才能增加抗風的能力，至於要加到何種程度才算足夠，恐怕就要依照設計條件來計算了，畢竟要遇到超過 16、17 級風的機率到底有多高，實在難預料。
3. 本研究選用實尺寸案例的組裝與緊固，皆透過 M8 螺栓與夾具才能將太陽能板模組安裝在該支架上，惟如何確定是否緊固，似乎必須依賴相關規定要求及施工人員的經驗才能確保；而若安裝工具選取不當，在支架可調整角度處最容易形成空轉失敗，尤其以螺栓部分（例如於連接器、腳鋁設有橢圓長型孔處）最明顯，即使該材料商已在螺栓前端增加塗料提高摩擦性能，或許可減少脫落之情形發生，但相對的，要使其安裝緊固，就相當不容易。
4. 本研究所呈現的泛指需由支架系統組立於平屋頂或地面上的光電板支架，對於斜屋頂建築物上的光電板抗風設計，建議可直接與斜屋頂的建築物併同考量，惟前提應掌握其與屋頂（鋼浪板或其他）間的連結，例如足以視為可一同變形之結構行為。
5. 不論風力或風壓對於支架的影響，恐怕不是單純的進行支架以類似材料拉拔試驗方式來進行，而應該注意對於力量分配至鋁合金材料本身或者扣件夾具位置，甚至後續在管理維護上的作為，這樣才可能是對於光電板抗風最有效的方式。至於對於設計使用端，本研究所提「太陽能板光電板風力設計對策」可提供設計前、中、後的參考。



#### 四、建議事項

建議一：

提出「太陽能板光電板風力設計對策」供設計參考應用：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

協辦機關：內政部建築研究所

不論風力或風壓對於支架的影響，恐怕不是單純的進行支架以類似材料拉拔試驗方式來進行，而應該注意對於力量分配至鋁合金材料本身或者扣件扣點位置，甚至後續在管理維護上的作為，這樣才可能是對於光電板抗風最有效的方式。本研究所提「太陽能板光電板風力設計對策」可提供設計前、施工中、施工後的參考，期望能為國內在再生能源的應用上，提供具體且於可立即使用的想法與思維，共同發展永續家園。

建議二：

未來應建立單片型太陽能光電板抗風檢測及評估方法：中長期可行建議

主辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

協辦機關：內政部建築研究所

本研究發現，不論任何型式光電板所承受風力或風壓值仍以拉力或負風壓為主，目前國內尚無針對各類型光電板抗風檢測規範，建議未來應採納依據近年本研究所提風阻係數、支架評估方式等，完整建立單片型太陽能光電板抗風檢測及評估方法供作設計者參考。

## Abstract

Key word: Solar photovoltaic panels, Support Structures, Wind load analysis

In this study, we collected specifications and research of solar PV panels support structures, but also selected commonly types to build the actual model. Using a set of monolithic solar PV panels, to combine different types of conditions, the 1/10 scale model is connected to the balancer, in different variations of wind speed, wind direction and other conditions, measuring the average force value in three directions ( $F_X$ ,  $F_Y$  and  $F_Z$ ), then after its dimensionless ( $C_{FX}$ ,  $C_{FY}$  and  $C_{FZ}$ ), calculation and analysis of structural stress-free distribution of the stent. Also, consider the equipment limits also apply pressure model, 1/5 of a scale monolithic type, array type model pressure measurements, calculated after pressure coefficient estimate support force.

By the research results, for the solar photovoltaic panels wind, should be the main negative air pressure. In the case of 40m / s, the support should be sufficient to resist, but if more than 60m / s, the support is likely to be damaged, even if the base to still fixed on the ground or roof not overturned, the photovoltaic panel module still can't resist even it had fixed by 4 fasteners.

This study suggests that increasing the strength of the material, such as the use of high strength steel fasteners as well as the number of fixed or changing the way in order to increase the capacity of the wind.

And how to ensure the fastening assembly are tightened, we must rely on the relevant requirements and construction experience, and should pay attention to the stress distribution of aluminum alloy material itself or fastener, or even as a follow-up in the management of maintenance.

This study suggests that:

1. The proposed "solar panel photovoltaic panels wind Design Strategy" for reference application design.
2. In The future, It should establish a monolithic solar photovoltaic panels wind resistance detection evaluation methods.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

由於能源使用觀念改變，屋頂型太陽能光電板在政府大力推行下能見度趨多，尤其以經濟部推動「陽光屋頂百萬座計畫」並於 103 年修正「設置再生能源設施免請領雜項執照標準」，以及地方政府（如：高雄市）制訂「高雄市建築物設置太陽光電設施辦法」，透過鼓勵方式期望達到節能減碳目的；惟太陽能光電板容易遭颱風吹落而造成危險，但卻無相關規範要求，臺灣在去（104）年 8 月及 9 月相繼受到蘇迪勒、杜鵑強烈颱風侵襲，光電板掉落情形相當驚人，民眾對於強風威脅又更加明顯有感。

去(104)年自行研究「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」即掌握時事潮流，預先洞察社會需求，以國內常見屋頂型太陽能光電板，建置符合實際情況縮尺模型，進行實驗分析計算風壓係數 $C_p$ 、阻力係數 $C_D$ 及升力係數 $C_L$ 等形狀係數，並探討得知光電板在角隅區所承受的風壓值均為最大，且當含有女兒牆時，明顯削弱了風壓對光電板的影響。研究也提出具體建議之「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」可供設計立即應用參考，以解決國內無相關規範之困境。然而，去年工研院綠能所鑑於國內現況，多次與本所探討可否再針對支架部分進行相關研究，爰本研究將依實務需求進一步探究支架結構受風情形，以利完整提供太陽能光電板在抗風設計之參考。

### 第二節 研究目的與內容

#### 一、研究目的

由於國內太陽能光電板目前多以鋁支架為主，該材質與型式對於抗風程度，尚無相關規範，以致於本研究擬以彙整國內外太陽能光電板有關支架研究成果、規範等，以及整理國內常用型式，再建置符合實際情況之縮尺模型，進行受風實驗，並計算分析支架結構應力分佈。期望完整建立太陽能光電板抗風設計參考，並持續提供我國「建築物耐風設計規範」後續增修建議。而發展本研究同時也符合本所 105 年「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫(2/4)」分項計畫「風工程技術提昇多元整合研究計畫」之「實驗技術品質提昇與發展」、「多元化跨領域應用研究」重點目標，俾利藉此有效預防與控制風災危害，提昇國人生活品質與保障。

## 二、研究內容

本研究彙整國內外太陽能光電板有關支架研究成果、規範等，以及整理國內常用型式，建置符合實際情況之縮尺模型，透過力平衡儀，於不同風速與環境條件進行受風試驗。採用一組單片光電板，以不同型式之組合條件，將風力 1/10 縮尺模型連結於在六力平衡儀，變化不同風速、風向角等條件，量測三方向平均受力值 ( $F_x$ 、 $F_y$ 與 $F_z$ )，再藉由無因次化後 ( $C_{Fx}$ 、 $C_{Fy}$ 與 $C_{Fz}$ )，計算分析支架結構應力分佈。另外，考量儀器設備限制，也藉由風壓模型，進行單片型、陣列型 1/5 縮尺模型風壓量測，求取風壓係數後，按照應力分配估算支架受力。

## 三、預期成果

1. 完成單片型太陽能光電板支架結構風力分析。
2. 結合過去研究，整合完成具體「太陽能光電板風力設計對策」，以供業界設計參考，進而提供建築物耐風設計規範增修參考。

# 第三節 研究方法與進度

## 一、研究方法

1. 文獻回顧：彙整國內外太陽能光電板支架相關研究成果、規範等，以及瞭解整理國內常用型式。
2. 模型試驗法：配合既有儀器設備（六力平衡儀），以單片太陽能光電板建置模型，於不同風速與環境條件，量測不同型式支架受風情形。
3. 歸納分析法：分析計算結構應力分配（含基座、直橫料、斜撐、扣件夾具、壓板等）計算分析後，整理提出對策，以供設計參考應用。

## 二、研究流程

研究流程如下圖。

表 1-1 研究計畫進度表

項次	工作項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	文獻蒐集回顧	■	■	■	■	■	■			
2	模型設計與製作	■	■	■						
3	均勻流模型縮尺試驗（單片型、陣列型）			■	■	■				
4	試驗資料彙整計算 $C_F$ 、 $C_p$				■	■	■			
5	期中報告撰擬與審查				■	■				
6	支架應力計算						■			
7	成果報告撰擬與審查						■			

（資料來源：本研究整理）



## 第二章 文獻回顧

### 第一節 前期研究

太陽能光電板在政府大力推行並放寬設置規定，然而在推行與應用綠色能源的同時，光電板尚未有明確的規範與要求，本所為能即時掌握時事脈絡與社會需求，自 103 年先利用實驗及電腦模擬探討「以不同風場模式建立屋頂突出物耐風量測技術研究」；復於 104 年進行「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」。

#### 一、屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究，陳玠佑，2015

於 104 年進行「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」，以國內常見屋頂型太陽能光電板，建置符合實際情況之縮尺模型，藉由試驗與分析計算風壓係數 $C_P$ 、阻力係數 $C_D$ 及升力係數 $C_L$ 等形狀係數，期能提供設計應用及建築物耐風設計規範後續增修參考。

研究發現：

1. 屋頂型光電板受到建築物上方與兩側氣流加速繞過，以及傾斜角裝設位置影響，導致所受風壓均以牽引力為主，形成負風壓（吸力）相當明顯（如圖 8），研判可能是造成光電板受風後致使掀翻損壞主因，而非直接使光電板受到正向的壓力吹損破壞。此與蘇迪勒颱風（104 年 8 月）襲臺後造成光電板的損害災情照片不謀而合，顯示光電板受損情形幾乎是整組合支架被風拉拔而起。
2. 由分組試驗結果可知來流風攻角  $\beta=45^\circ$ ，光電板所承受風壓值均為最大；而當建築物含有女兒牆時，明顯削弱了風壓對光電板的影響。矩型建築物如沒有女兒牆的保護作用下，加上角渦漩影響後，將使光電板所受牽引力加劇，應特別予以注意。
3. 由研究可知，角隅處受到角渦漩的影響而使光電板易遭破壞，對於光電板抗風的設置，建議應在相關設置規範條文中註明「光電板的設置以避開建築物角隅處為原則。如無法避開時，應該強化該支架等構材，以增加抗風能力。」
4. 以目前而言，雖然對於光電板的抗風要求尚無明確規範，希望經由本研究所提「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」，可供修訂及設計者參考。至於對於光電板組成的扣件、支架等結構行為，仍應進一步計算與考量，本所也將持續進行相關研究，以達成節能減碳、永續發展之目標。

表 2-1 屋頂突出物模型量測壓力係數表

建築物型態	傾斜角 $\alpha$	$C_P$	$C_L$	$C_D$
矩型建築物矩	15°	1.53	0.40	1.48
	20°	1.51	0.52	1.42
	25°	1.51	0.64	1.37
矩型建築物-含女兒牆	15°	1.09	0.28	1.05
	20°	1.20	0.41	1.13
	25°	0.99	0.42	0.90
斜屋頂建築物	16.7°	1.37	0.39	1.31

註：假設建築物正向方向與風向平行。

(資料來源：本研究整理)

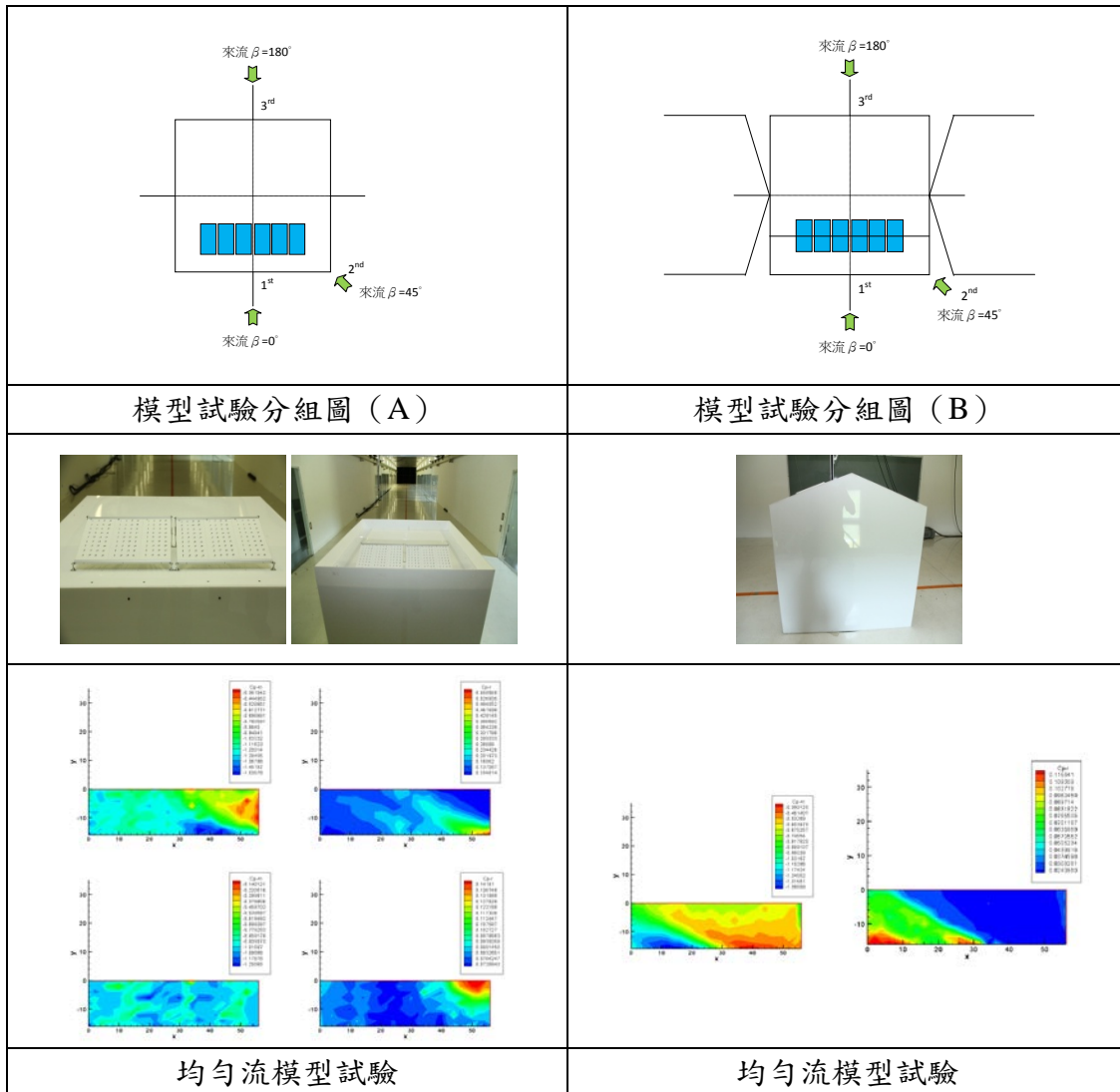


圖 2-1 前期研究模型試驗分組圖 (A、B)

(資料來源：本研究整理)



## 二、以不同風場模式建立屋頂突出物耐風量測技術研究，陳玠佑，2014

屋頂突出物設置如依據一般建築風場模擬縮尺範圍進行試驗，將因縮尺過小以致無法對該設備局部風場進行評估，該研究以屋頂型太陽能光電板為例，利用格柵網建立不同紊流場進行 A、B 分組風洞實驗，以及及 CFD 探討模擬不同風場與模型尺度之關係，並建立本所對於該類附屬物之具體耐風量測技術，包括：電子式壓力掃描器資料擷取作業程序書、電腦數值模擬作業程序書等。

研究發現：

1. 不論均勻流場或紊流場，A、B 組試驗結果迎風面都是最大正風壓，背風面都是最小負風壓，模型上方之光電板模型及建築物模型兩側，受到上方與兩側氣流加速繞過影響，形成負風壓，趨勢符合現況。
2. 建置不同紊流場時，人為影響頗大，在量測不確定度權重應多予考量。
3. 光電板模型在格柵網 30cm 紊流場，B 組風壓值大於 A 組，而格柵網 10cm 紊流場則為 A 組所承受的風壓值都大於 B 組，至於風壓表現整理如表 2-1。
4. 均勻流場與紊流速度場模擬趨勢分布類同，光電板受到來流牽引，形成負風壓。至於壓力分佈圖趨勢亦同，惟細部內容仍有些差異，研判與網格設定有關。

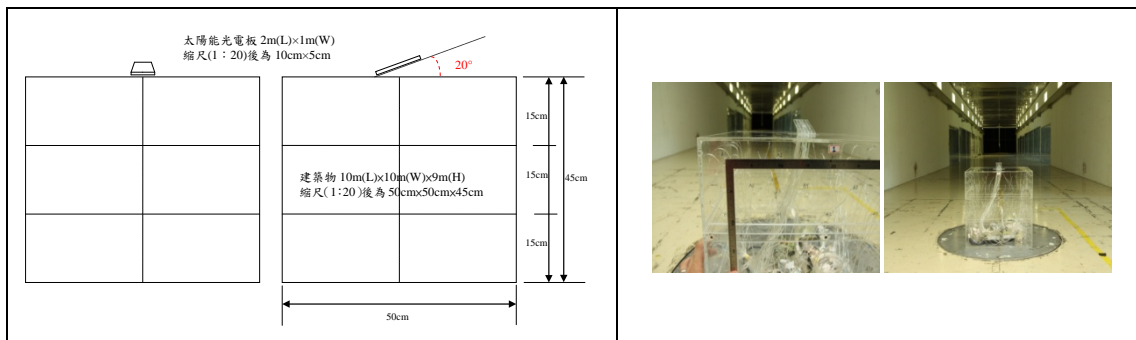


圖 2-2 前期研究屋頂突出物模型 (1:20) 設置圖  
(資料來源：本研究整理)

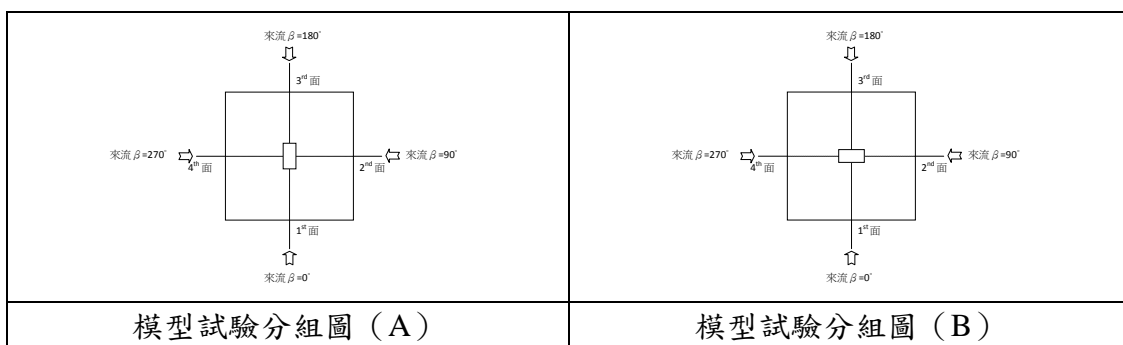


圖 2-3 前期研究模型試驗分組圖 (A、B)

(資料來源：本研究整理)

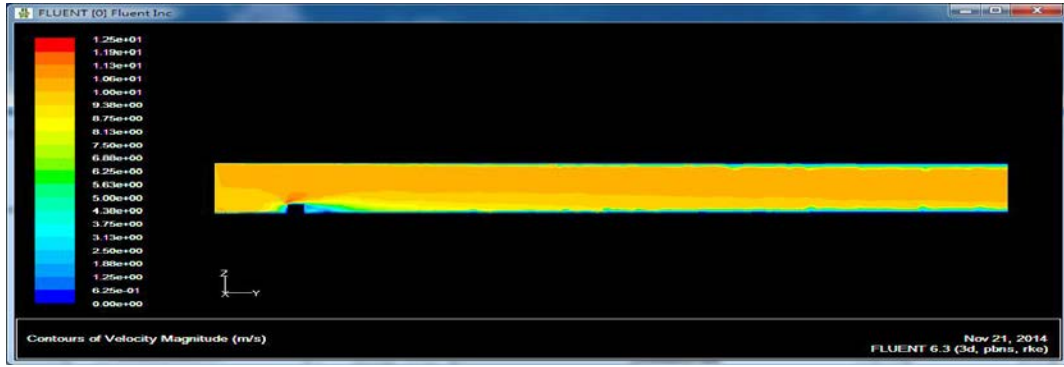


圖 2-4 前期研究以 CFD 模擬無柵格均勻流場風速剖面等值圖  
(資料來源：本研究整理)

<p>均勻流場 A 組試驗結果 <math>\beta=0^\circ</math>，迎風面</p>	<p>無柵格均勻流場模型壓力剖面等值圖</p>
<p>均勻流場 A 組試驗結果 <math>\beta=0^\circ</math>，背風面</p>	<p>無柵格均勻流場模型壓力剖面等值圖</p>
<p>均勻流場 A 組試驗結果 <math>\beta=0^\circ</math>，光電板</p>	<p>無柵格均勻流場模型風速剖面等值圖</p>
<p>無柵格均勻流場模型風速剖面向量圖</p>	<p>無柵格均勻流場模型壓力剖面等值圖</p>

圖 2-5 前期研究屋頂突出物模型設置圖  
(資料來源：本研究整理)

## 第二節 太陽能光電板種類

### 一、太陽能光電板

1. 太陽光發電之重要歷史（許國強，2002, Oct，太陽光發電原理與應用，工研院）
  - 1954 年 Bell Labs 發展出矽太陽電池 (Chapin 等人，轉換效率約 6%)
  - 1956 年第一個太陽電池製作成功
  - 1958 年開始太空應用(GaAs)
  - 1970 年開始太陽光發電系統地面應用(Si) (能源危機)
  - 1976 年 Carlson 製作出第一個非晶薄膜太陽電池
  - 1980 年消費性薄膜太陽電池應用(a-Si, CdS/CdTe)
  - 1990 年與公用電力併聯之太陽光發電系統技術成熟(Grid-Connected PV System, Si) (電力電子技術)
  - 1992 年起歐美、日各國推動 PV 補助獎勵
  - 2000 年建材一體型太陽電池應用(BIPV)

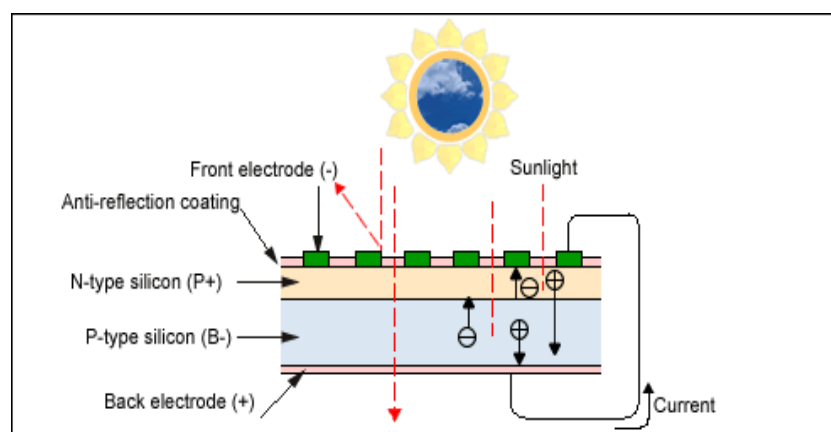


圖 2-6 太陽能電池組成原理圖

（資料來源：M. Viaud, Photovoltaic Solar Electricity Part of Global Strategy, AIE Conf., 2004 年 9 月）

2. Photovoltaic, PV，M. Viaud, Photovoltaic Solar Electricity Part of Global Strategy, AIE Conf., 2004 年 9 月

米歇爾曾經對於 PV 下過定義，並強調 PV 非太陽能熱水器。只能說在某種程度上的類同。

- Photovoltaic = Photon + voltaic
- Transformation of solar energy into electricity
- Semi-conductor → Silicon
- Light causes electrons to move, generating DC current.
- Even on cloudy days ! (20-50% of maximum output)

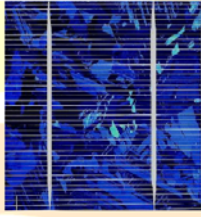


圖 2-7 風洞紊流場試驗-2

(資料來源：M. Viaud, Photovoltaic Solar Electricity Part of Global Strategy, AIE Conf., 2004 年 9 月)

- Photovoltaic ≠ Thermal
- Cells → Modules → Inverters → AC current
- Made of semi-conductor Silicon
  - Monocrystalline (Cz-Si)
  - Multicrystalline (mc-Si)
  - Ribbon
  - Amorphous silicon (a-Si)

More than 90% of the market

圖 2-8 風洞紊流場試驗-3

(資料來源：M. Viaud, Photovoltaic Solar Electricity Part of Global Strategy, AIE Conf., 2004 年 9 月)

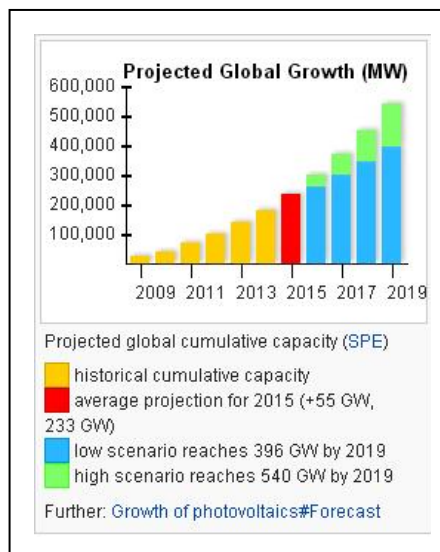





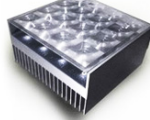

圖 2-9 全球太陽光電發展統計

(資料來源：<https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>)

## 二、太陽能模組

1. 太陽能模組，又稱太陽能電池，依材料種類整理如表 2-2。

表 2-2 屋頂突出物模型量測壓力係數表

種類	內容說明	照片
單晶矽太陽能板	一般使用在大面積電力轉換的發電系統或太空衛星電力上，成本比較高。也是使用時間最長久的太陽能板類型。其轉換效率亦為目前所有類型之太陽能板中最高的（20-25%左右），性能穩定，單晶矽的生產過程與半導體使用的單晶矽相同，都要透過緩慢的長晶過程，所以單晶矽是圓形的（為了製作方便，晶柱會切成正方形，所以一般市售之太能板會留有四個圓角）。	
多晶矽太陽能板	多晶矽太陽能板的光電轉換效率雖不如單晶矽高（一般 10-24%），但成本比單晶矽低許多，製程上也較簡單，其他原理與單晶矽電池大致相同。晶矽電池在製成後因結晶構造初期並不很穩定，所以剛開始使用的前一、兩年會發生結構劣化問題，這會使得轉換效率降低，只不過這種劣化現象會慢慢減少。晶矽電池在光劣化後轉換效率下降幅度較低，最多不會超過 20%；而非晶矽電池則下降幅度較大，有些材質甚至超過 50%。	
薄膜太陽能板	為非晶矽太陽能板，採用濺鍍或印刷方式製作，依據材料不同可分為 Amorphous、CdTe、CIGS 等，Amorphous 薄膜前幾年在臺灣相當熱門，在當時因為具有價格優勢，目前多數量產薄膜太陽板轉換效率仍無法與晶矽太陽板抗衡，所需安裝面積大，且結晶矽大幅度降價，目前業界採用數目越來越少（但是其低製造成本仍然使其在市場有一席之地）。	
聚光型太陽能電池	晶片由砷化鎵作為發電材料，又稱為三五族，其特點為發電效率高（可達 35%-40%），但需要一個精準的追蹤裝置（Solar tracker）將晶片對準太陽，因此在此在整體造價上與矽結晶系統相比仍然偏高，另外長期的運轉維護也是要考慮的問題，雖然轉換效率高但是由於向陽時間長，過去用於太空產業，現在搭配太陽光追蹤器可用於發電產業，比較不適合用於一般家庭，耐熱性比一般晶圓型太陽能電池又來的高，不是很普遍。	
染料敏化太陽能電池	染料敏化太陽能電池（簡稱 DDSC），因其材料便宜、可在低溫、簡單的製程製作，且具備可撓性、多彩性與可透光性等特性，應用範圍廣泛。其擁有半透明特性，因此適合建材化為建築窗材，適用於玻璃帷幕大樓，同時作為遮陽、絕熱及發電利用的功能，製造成本低，因為其製造過程中的真空條件。顏色和形狀的自由程度高。在顏色上有青色，紅，黃三種原色的使用，能產生不同的顏色。可切出使用者最喜愛的形狀，彎曲塑膠基板。轉換效率約 5% 至 10%。	

（資料來源：<http://www.hengs.com/solarproducts-pv%20module.html>）

## 2. 太陽能模組組成

太陽能模組發電效能介於 85W 到 230W 之間，其應用範圍甚廣，舉凡太陽能熱水器、太陽能街燈，甚至進入連網發電階段（由電力公司整

合電力以提供整體區域用電)，皆是現代環保生活中典型的太陽能應用實例。隨著太陽能電池效率的增加、成本的降低及環保意識的高漲，太陽能產業已蓄勢待發，未來成長可期。太陽能發電系統種類：

(1) 獨立型系統

獨立型系統係指可單獨供應目前其所需之電力，而不需要與電力公司的配電傳輸網路作併聯的系統。由於在夜間或陰雨天無法由太陽光產生電力，因此獨立型系統加入了蓄電池組，在陽光充足時儲存適當電力，以提供穩定之電源。獨立型系統主要可應用於電力輸配線不容易到達或是無法供電的地區，如人口稀少的山區或離島。其次也常應用於道路標示、資訊顯示板或路燈照明等電器用之小型電力系統。

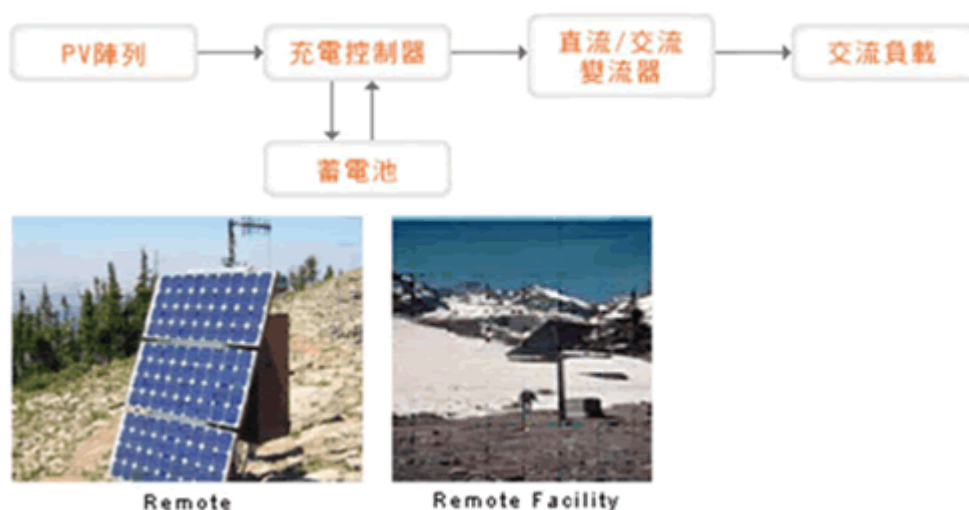


圖 2-10 獨立型系統

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

(2) 混合型系統

太陽能光電與市電及蓄電池搭配。平時太陽光電系統併聯發電，並供負載及充電，夜間由台電供電。天災、地變，電力中斷時，仍有足夠的蓄電池電力可以緊急防災使用，待到市電回復時就沒有問題。獨立型系統由於蓄電池每天循環充放電加速更換蓄電池頻率，如果緊急負載平時由市電供給，閒置PV陣列又覺得過於浪費，此時以有效率幾乎不需維護的串聯型運作，在市電停電時才於獨立型模式運作，來減緩更換蓄電池頻度，因此混合型系統融合了兩種系統的優點。

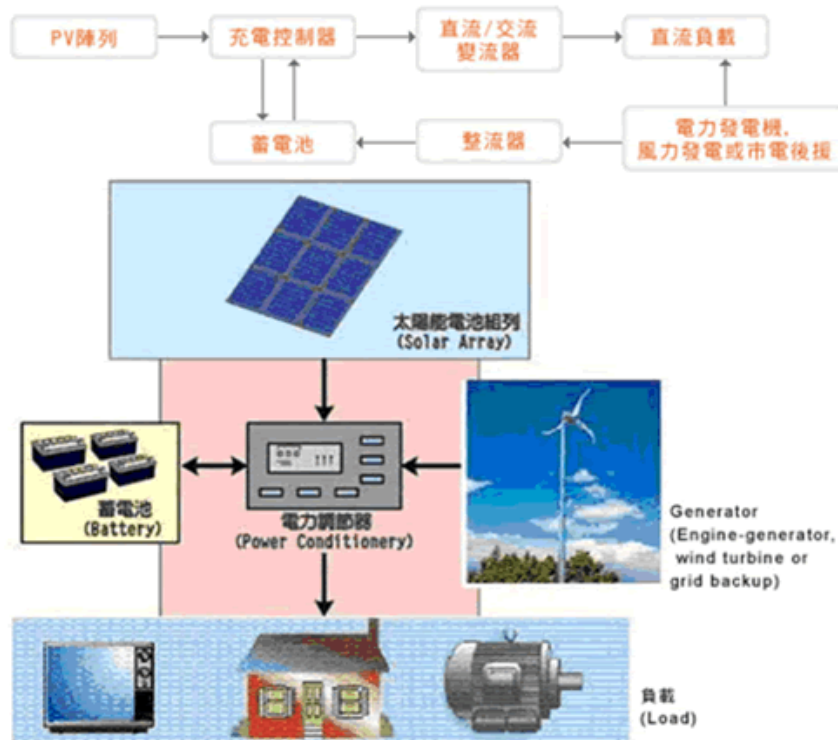


圖 2-11 混合型系統

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdftp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

### (3) 併聯型系統(Grid-connected System)

與電力公司的配電傳輸網路併接，成為電力系統上的一個小型發電設備。市電負載併聯，平時與太陽光電系統併聯發電，並供負載，不夠的電由台電供電。好比將市電電力系統當作一個無限大、大、無窮壽命的免費蓄電

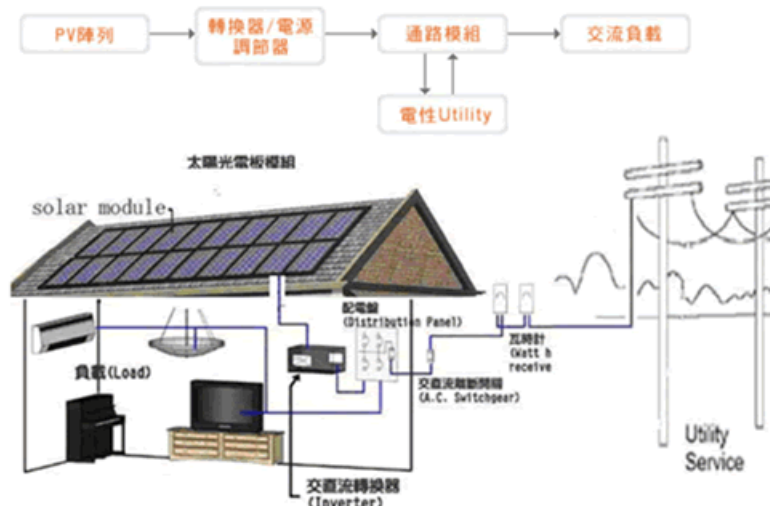


圖 2-12 併聯型系統

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdftp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

### 3. 太陽能模組組成結構

市面上的太陽能模組種類相當多，本研究所蒐集的資料，屬於較為常見的方式。該組成內容有以下幾項：

#### (1) 低鐵強化玻璃

通常太陽能模組利用太陽照射半導體(矽)的效應而產生電力。當太陽能模組應用於一般住宅時，通常是被安裝在屋頂上的，並由此方式吸收較多的太陽幅射能。於此應用下，太陽能模組是直接暴露在風雨中，其他還可能包括冰雹、飛塵、沙、或小石子…等。因此顧慮，太陽能模組大多由特製的強化玻璃保護著矽原料不被破壞。光伏太陽能發電需要非常大量的太陽能照射，所以保護玻璃也相對需要較高的光透度和較低的反射率。

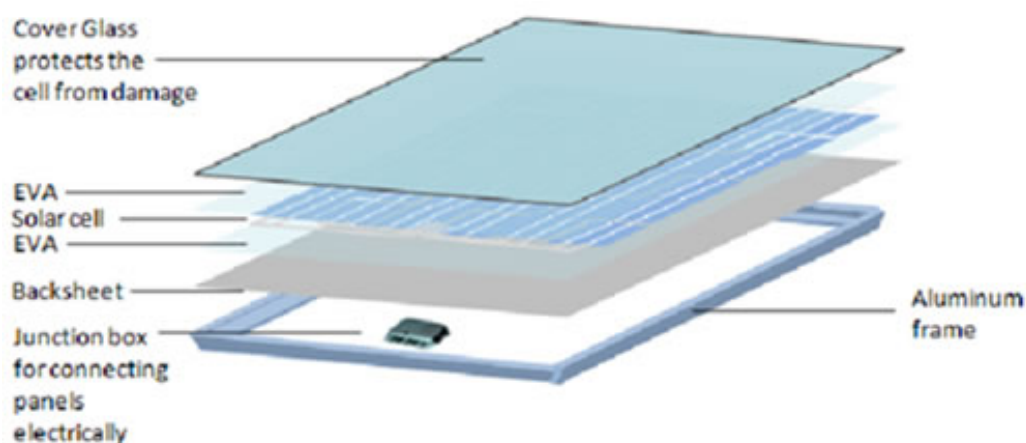


圖 2-13 太陽能模組組成

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdftp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)



圖 2-14 特製的強化玻璃統

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdftp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)



## (2) EVA

太陽能電池經由層壓而被上層玻璃及下層 EVA 保護著。EVA(ethylene-vinyl acetate)是一種專門為太陽能模組所使用的膠原料。

EVA 的組成包含了許多封膠太陽能模組所需的化學物質。

EVA 材質必需擁有保護模組背面的物理優勢和較高的透光率。必須使用 150°C 真空層壓使 EVA 與模組及其它部件結合。而於此條件下才可產生 70~80% 交聯度的 EVA 膠與模組緊密結合增加物理優勢。層壓作業需要真空層壓機、加熱、和沖壓程式以確認所有層壓參數的正確性。抽真空階段不只將空氣抽出，也還抽出了因熱分解(例 Lupersol® TBEC for EVA 15295)所產生的過氧化物(如 CO<sub>2</sub>... 等等)

Property	Units	15295P/UF
Ultimate Tensile Strength	MPa (PSI)	18.6 (2700)
Ultimate Elongation	%	800-900
Young's Modulus	MPa (PSI)	7.8 (1130)
Hardness	Shore A/D	69/21
Optical Transmission	%	93
Refractive Index		1.482
Dielectric Strength	V/mil	1600
Volume Resistivity	Ohm/cm	8.17 x 10 <sup>14</sup>
UV Cutoff Wavelength	nm	360
Adhesion to glass	N/10 mm (lb/in)	70-88 (40-50)

圖 2-15 物理物質- 15295P/UF

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

## (3) 太陽能電池

純度精鍊的矽原料為光伏電池的主要原料來源。傳統的光伏電池是由矽晶圓組成(n 型矽層堆於更薄的 p 型矽層組成)。所謂 p-n 連結點是為 p 矽層與 n 矽層所交錯之處。電性產生區域 p-n 的連結點。當太陽照射在光伏電池表面時，電池會製造電性 hole pairs 而後提供所需動力(電力)。此作用會歸屬電流於一個電力負載器裡。一個典型的光伏電池再開路電流，沒有任何負載的情況下可製造約 0.5-0.6V 直流電壓。光伏電池連接成串，平行陣列來成

所謂的太陽能模組板。太陽能模板可以不同大小與不同的瓦特數組成。一般的電壓為 12V, 24V；而瓦特數範圍則在 5W~100W。

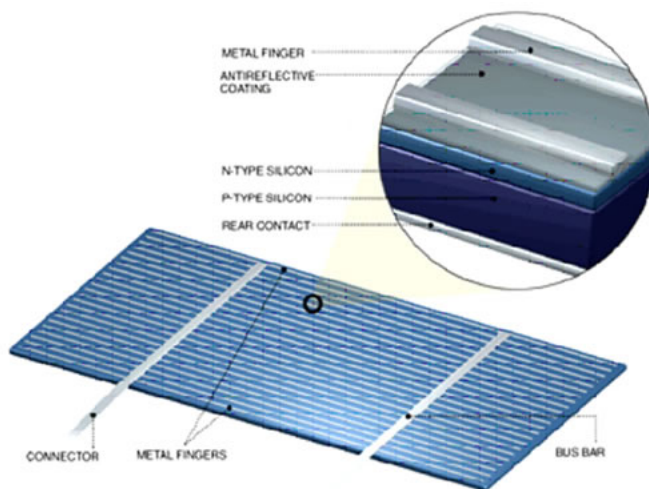


圖 2-16 太陽能電池

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

#### (4) 背板

背板是由多層次的薄膜所組成，主要為保護電子零件而形成熱真空層壓使電子產品為耐用。

背板各層將是由客製化的交聯聚酯膠粘劑使其永久粘合在一起的。每一部品在多分子層中發揮其各自的效用。PVF/Protekt 的作用是在惡劣的氣候下也能提供良好的保護作用，而 PET(polyester)具有優異的物理特性和絕緣優點。合併 EVA(乙烯醋酸乙烯酯)的薄層為分子結合劑位在背板與密封劑之間，在真空層壓後可創造更大的粘結強度。

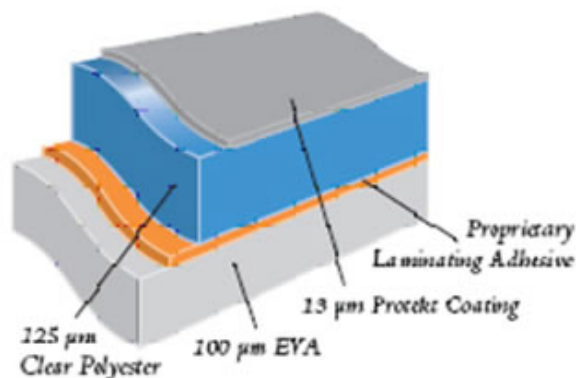


圖 2-17 太陽能光電板背板組成

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

## (5) 接線盒

接線盒是太陽能電池組件一個最重要的組成部分而其重要性往往被低估。接線盒是將太陽能電池發出的電力集中後然後再輸出，若沒有接線盒則太陽能模組則無法適當的運行其發電功能。

接線盒是由耐用的塑膠所製成，且應可承受外在環境影響達 20 年以上。接線盒中至少要有三條旁路二極體組成，主要是為了對應陰影遮蔽的影響，且盒子必須以矽膠來緊附在太陽能模組的背面。接線盒是一個具有彈性且開放的結構，它能夠允許串行以及平行互相連接經由直接連接或可分離連接器。在接線盒中，最多有六個終止處提供給導電帶連接。公母接線頭的設計必須要能承受高電壓與高電流。藉由極性重要的遮蔽物來維繫其安全性，完全包住不使外露電線一直連接到系統端。接付直流交流變流器的接線盒即使在困難的架設位置公母接器也能夠安全相互結合。

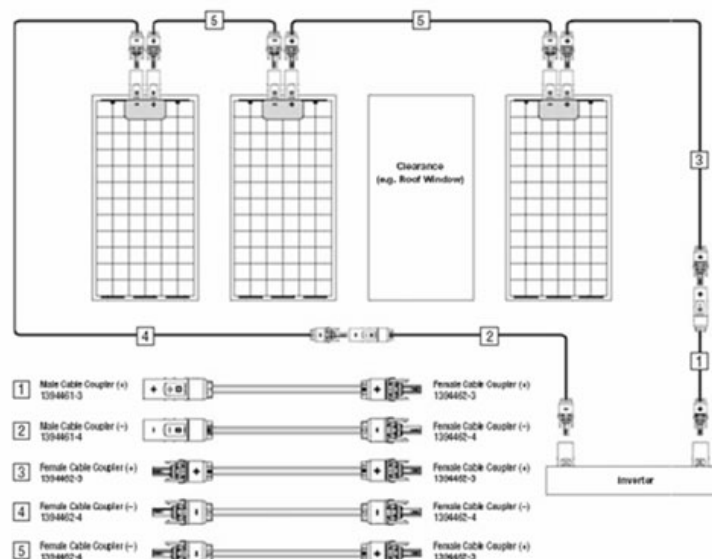
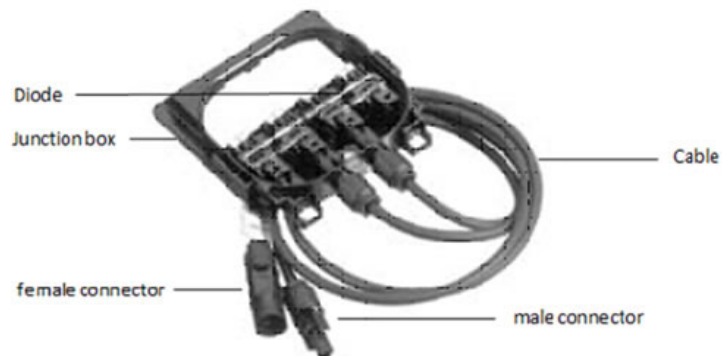


圖 2-18 太陽能光電板接線盒組成

(資料來源：<http://www.feedpool.com.tw/pdftp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

## (6) 框架

框架是太陽能模組重要的一部分。它的功用有保護與美觀之效。框架必須夠強壯能固定住層壓板，且能具有保護作用能夠承受外在環境的影響與幫助模組安裝之效。太陽能模組最好的材質為鋁。此材質強度夠且輕也不容易腐蝕。

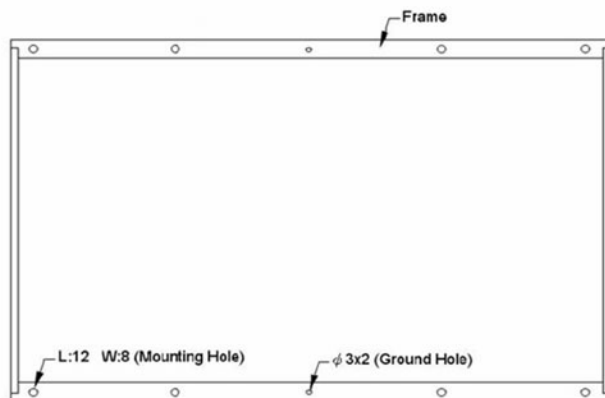


圖 2-19 太陽能模組框架

(資料來源：

<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

#### 4. 太陽能模組產品製成

本研究所舉的產品實例，在製程中第一步驟是為串接，主要是將太陽能電池以導電帶在自動機台上串接在一起。在串接後，成串的太陽能電池藉由排版機將其於 EVA 與玻璃上排列整起。之後 會由人員以導電帶將電池串連接導電。層壓機以真空高溫高壓將 EVA，太陽能電池與背板結合在一起。最後再組上鋁框與接線盒後進行電性測試。

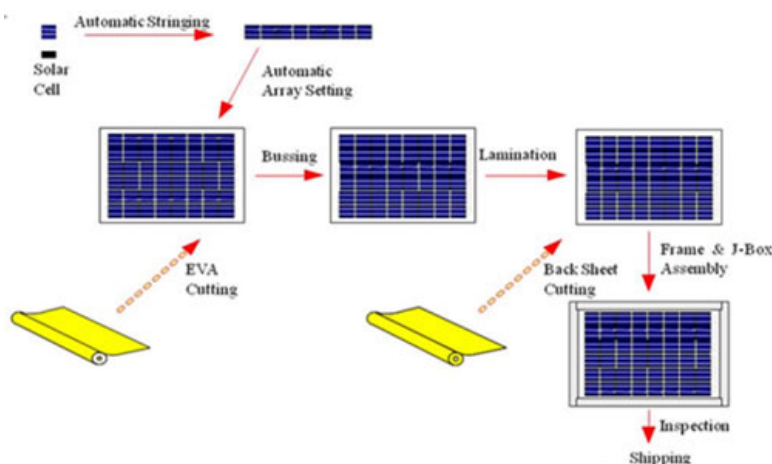


圖 2-20 太陽能模組產品製成

(資料來源：

<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>)

### 三、屋頂太陽能光電設置的種類

#### 1. 屋頂支架型

主要以鋁擠型材料支架與扣件將光電板固定在建築物屋頂上方平台，也可應用於地面。相關種類如下圖所示。由於坊間的支架廠商開發類型甚多，加上支架商與光電板商之技術是分開的，因此，支架廠商為了可適用於多數光電板，或是為了要因應各種不同的環境與使用條件（例如屋頂、地面、光電板田等），對於支架的搭建要求，均以輕量且可快速組立為目標，而使用單位也可能因為自行更改組立方式，進而容易忽略抗風能力。



圖 2-21 常見屋頂支架型

(資料來源：<http://www.hamak.com.tw/04products/index.php?id=3>)

## 2. 斜屋頂型

利用支架固定光電板於斜屋頂上方，至於斜屋頂的種類甚多，對於支架構材變化種類就依各廠商研發方式而定。通常會搭建在斜屋頂的鋼浪版上方，係以貼覆方式之支架結合，因此，在抗風的能力上，通常可與屋頂的抗風條件相同，一般多會與屋頂視為一體，除非該光電板與屋頂間的間隙過大，才需要特別計算。



圖 2-22 常見斜屋頂支架型

(資料來源：<http://www.hamak.com.tw/04products/index.php?id=3>)

## 3. 棚架(架高)型

以架高支架的方式，將光電板至於上方，並可作為遮陽或遮雨之用，也有人作為停車棚，因此支架材料的選擇較多，不限於鋁合金，也有直接採用鋼結構等建築物用的方式搭建，在抗風的先天條件上，優於前二者。

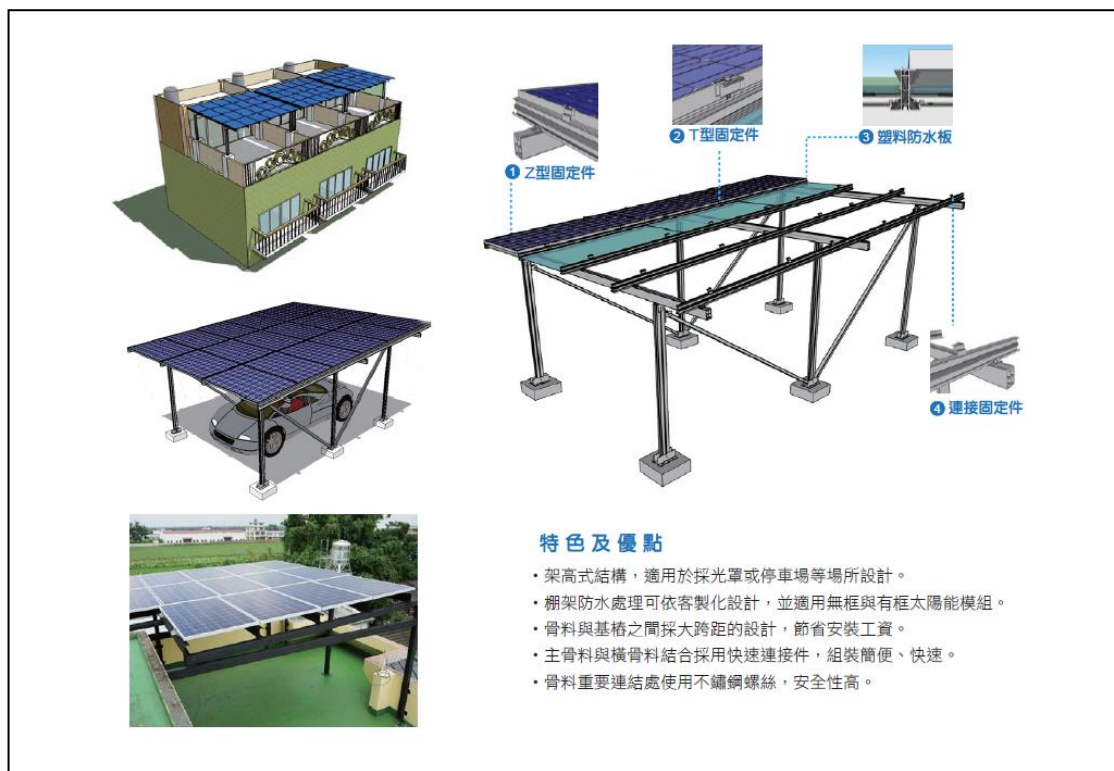


圖 2-23 常見屋頂支架型

(資料來源：<http://www.hamak.com.tw/04products/index.php?id=3>)

### 第三節 太陽能光電板研究

#### 一、支架研究

##### 1. 太陽能板扣件(Laurence Claus)，

該研究針對一種特別有挑戰性的屋頂，採用不規則形狀或不平坦的磚瓦或木板，以一種有鈎形的設計可用於西班牙式（或黏土的）磚瓦、混凝土瓦與木板式屋頂。這些鈎子可以牢固鎖入瓦片上的屋頂次層結構，而留在該瓦片上，然後再蓋上另一層瓦片結果，可提供一個牢固的鎖固點給光電板或其安裝架。



圖 2-24 常見屋頂支架型

(資料來源：文獻)

另一為金屬屋頂結構用的鎖固裝置。一個扣件系統直接連接進入次層結構。顯示連接梯形屋頂彎樑的系統，利用其強度來支撐鎖固地點。對於有接縫的金屬屋頂，其外形更為長方形，廠商也有各種有效的鎖緊裝置，利用屋頂的縫或突出的外形做支撐。隨著太陽能系統的成本持續降低，對於可更新能源的興趣越來越高，這些安裝將會變得更常見。研究中也提醒，由於鎖固要求的獨特性質與需求，先進扣件系統之使用與發展將持續其重要性。系統設計師與安裝人員充分了解可選擇的產品，小心且適當的設計並應用它們，是非常重要的。

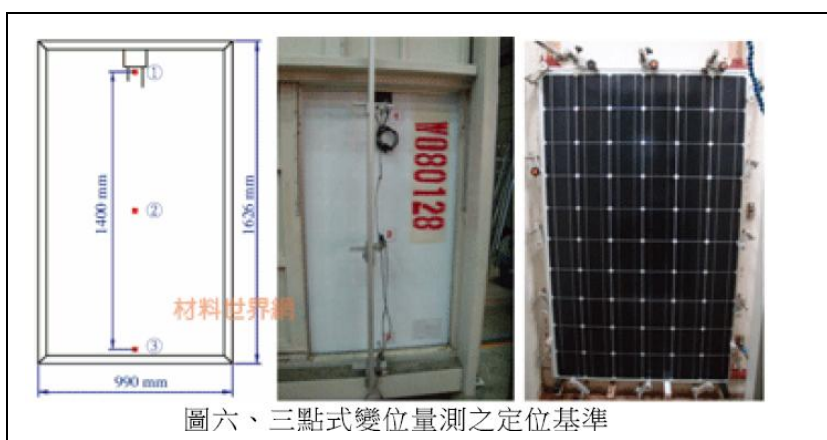
##### 2. 一般型結晶矽太陽光電單元模組之抗風壓檢測研究分析(陳烜睿、徐春明、張貴維、江哲銘等，2012)

該研究針對國際太陽光電模組檢測認證規範IEC-61215之機械荷重測試為受力檢測範圍，採用中央標準檢驗局CNS-13972風壓試驗為研究方法、蒲福風級表為對照基準，以及參照營建法中建築物設計風力之計算，進行該一般型結晶矽太陽光電模組於台灣建築的適用性能評估研究。該研究設計與實驗規劃包含抗風壓研究之實驗探討因子、太陽光電單元實驗模組設計與製作、實驗設備分析及流程設計。

該研究係以「帷幕牆及其附屬門、窗與天窗正負風壓結構性能試驗



法」來量測光電板本身的變位，且對於與實務上光電板架設後的情形差異頗大。



圖六、三點式變位量測之定位基準

圖 2-25 三點式變位量測之定位基準

(資料來源：文獻)

3. Wind Loading on Full-scale Solar Panels (Zeinab Samani,2016). Wind load governs the design of supporting structures of solar panels and constitutes approximately fifty percent of the total cost. There are various test scale related issues while testing solar panels (small structures) in boundary layer wind tunnel laboratories meant for tall buildings (large structures). Emergence of large testing facilities, however, is enabling testing full-scale solar panels. In this thesis an extensive experimental program is conducted at WindEEE Dome using full-scale solar panels and finite element modeling. The experimental program includes: (i) high resolution pressure tests to understand the sensitivity of pressure taps density and distribution; (ii) force balance test to determine the reactions of the solar panel under wind loading accounting for aeroelastic effects and validate pressure test results; (iii) finite element modeling to assess the internal stress of the solar rack elements and improvement of the rack cross section. The results of this comparison is shown in Table 3.3 which indicates that ASCE-7 offers a good estimation for the drag force applied on a solar panel which is conservative if the parameter are correctly chosen.

該研究係以全尺寸的光電板進行風洞吹試，並且與ASCE-7進行比對，所得結果相當具有參考性，尤其又加上電腦模擬，是目前少見的風洞設備與試驗論證。而對於陣列型與單片型的風力風壓分佈考量，值得本研究參考應用。

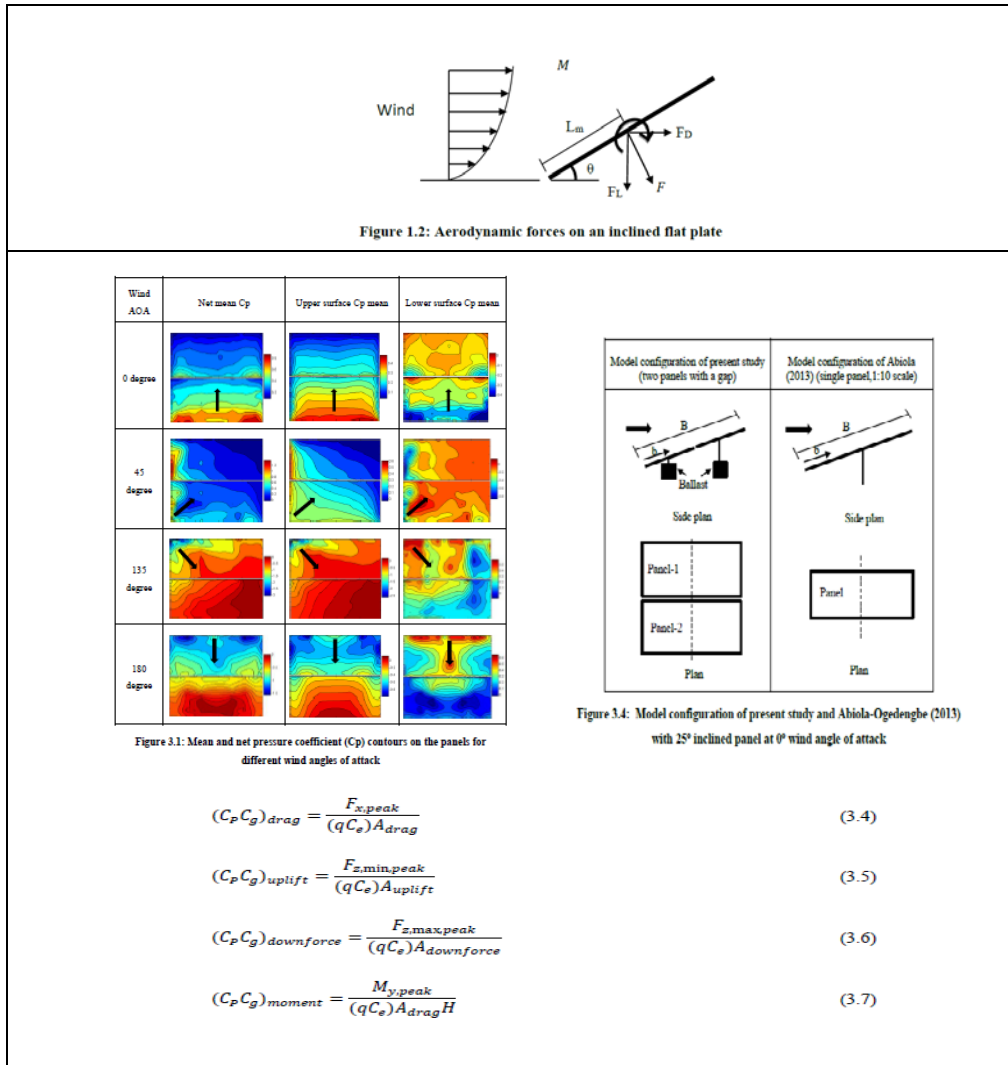


圖 2-26 文獻-風壓風力論述參考圖

(資料來源：文獻)

Table 3.2: Peak pressure coefficient load case

Wind AOA	Flow	Maximum peak			Minimum peak		
		(CpCg) <sub>drag</sub>	(CpCg) <sub>uplift</sub>	(CpCg) <sub>moment</sub>	(CpCg) <sub>drag</sub>	(CpCg) <sub>uplift</sub>	(CpCg) <sub>moment</sub>
0 degree	Boundary layer, Z <sub>0</sub> =0.01	1.41	1.27	1.35	-0.08	-0.02	0.19
30 degree	Boundary layer, Z <sub>0</sub> =0.01	1.04	1.18	1.33	0.31	-0.06	0.26
45 degree	Boundary layer, Z <sub>0</sub> =0.01	1.04	1.18	1.33	0.31	-0.06	0.26
135 degree	Boundary layer, Z <sub>0</sub> =0.01	1.2	1.41	3.37	-0.23	0.15	0.27
150 degree	Boundary layer, Z <sub>0</sub> =0.01	1.45	1.7	4.04	-0.28	0.25	0.47
180 degree	Boundary layer, Z <sub>0</sub> =0.01	1.7	1.71	4.09	-0.09	0.27	0.61

Table 3.3: Drag force Coefficient obtained from ASCE and maximum Cp from experimental analysis for 0 degree wind angle of attack

	C <sub>p</sub> C <sub>g</sub>
ASCE	1.95
Experimental	1.7

圖 2-27 文獻-結果與 ASCE-7 比對

(資料來源：文獻)

4. Wind Load Calculations for PV Arrays (Stephen Barkaszi, P.E. , Colleen O'Brien, P.E., 2010). In this report, we provide sample calculations for determining wind loads on PV arrays based on ASCE Standard 7-05. We focus on applying the existing codes and standards to the typical residential application of PV arrays mounted parallel to the roof slope and relatively close (3 to 6 inches) to the roof surface. We do not address other array configurations or building-integrated PV. It will require much more work to gather information and develop standards specific to wind loading on rooftop PV installations. Although the information in this report does not completely solve the problem, it does provide initial guidance to designers and code officials. In this paper, we recommend an approach for the structural design of roof-mounted PV systems based on ASCE Standard 7-05. We provide examples that demonstrate a step-by-step procedure for calculating wind loads on PV arrays. The approach is applicable to PV modules mounted on rooftops that are no more than 60 feet high, when the PV array is oriented parallel to the roof surface, and when the mounting structure is sufficiently rigid. The PV array should be mounted a maximum of six inches above the roof surface. This distance is measured from the bottom of the PV frame to the roof surface, and is based on assumptions about typical mounting system configurations. The building should meet all requirements listed in Section 6.4.1.1 of ASCE Standard 7-05. It is important that design professionals read and understand the appropriate codes and standards when designing rooftop PV systems. This report is not meant to be a substitute for existing codes and standards. It is also important for design professionals to stay current with existing codes and standards, because we expect the body of information about designing PV systems to withstand local wind loading to grow rapidly in the near future.

該報告係以屋頂陣列型為標的物，並特別針對示範案例進行簡易計算，值得本研究參考應用。

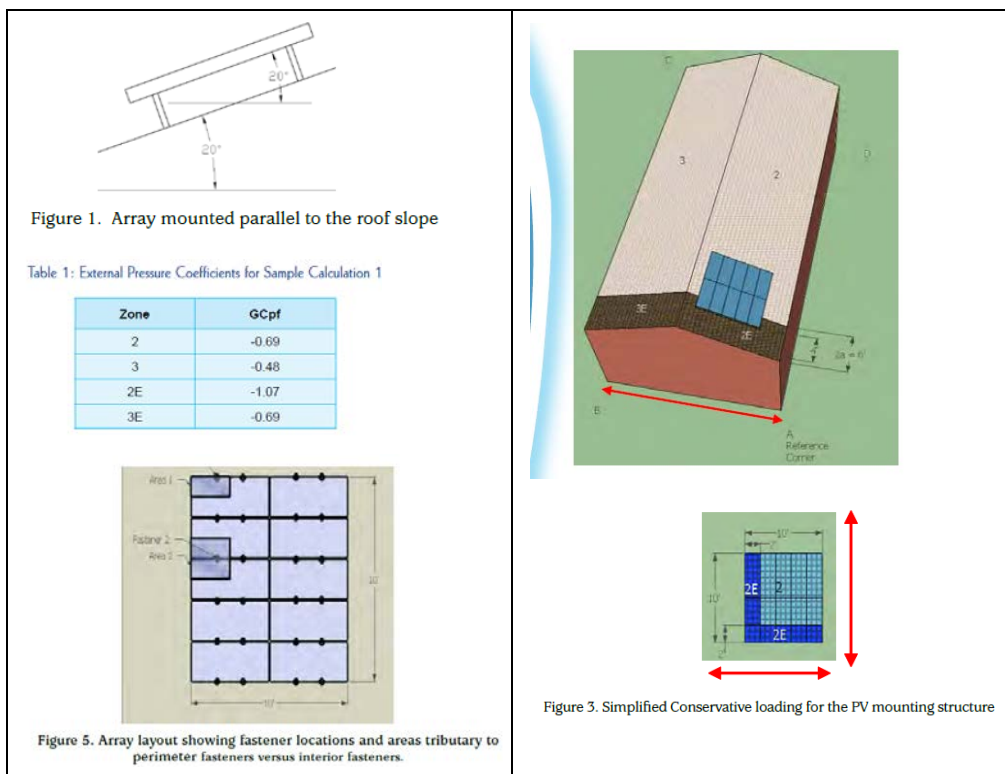


圖 2-28 文獻-屋頂陣列型光電板風力計算

(資料來源：文獻)

5. AREA-AVERAGED CHARACTERISTICS OF WIND LOADS ON ROOF-MOUNTED SOLAR ARRAYS. (Jinxin Cao, Yukio Tamura, Akihito Yoshida, Shuyang Cao, 2013). With the increasing use of solar photovoltaics, wind-induced loads on rooftop solar arrays have become a problem. A series of wind tunnel experiments have been performed to evaluate wind loads on solar panels on flat roofs, mainly focusing on their area-averaged characteristics such as mean and negative peak force coefficients, and peak factors. Solar array models were fabricated with pressure taps installed as densely as possible to identify the area-averaged characteristics. Design parameters of solar arrays including panel position, tilt angle and distance between arrays have been considered. Although values for unfavorable mean and peak differ for different tilt angles, the variation tendencies and peak factors are similar. The results were also compared to Japanese Standard (JIS C 8955) which correctly estimates negative mean module force coefficients but not peak values.

該研究亦以屋頂型陣列光電板為研究主體，並探討正反面風壓影響，計算風力值後與JIS C8955進行比對。

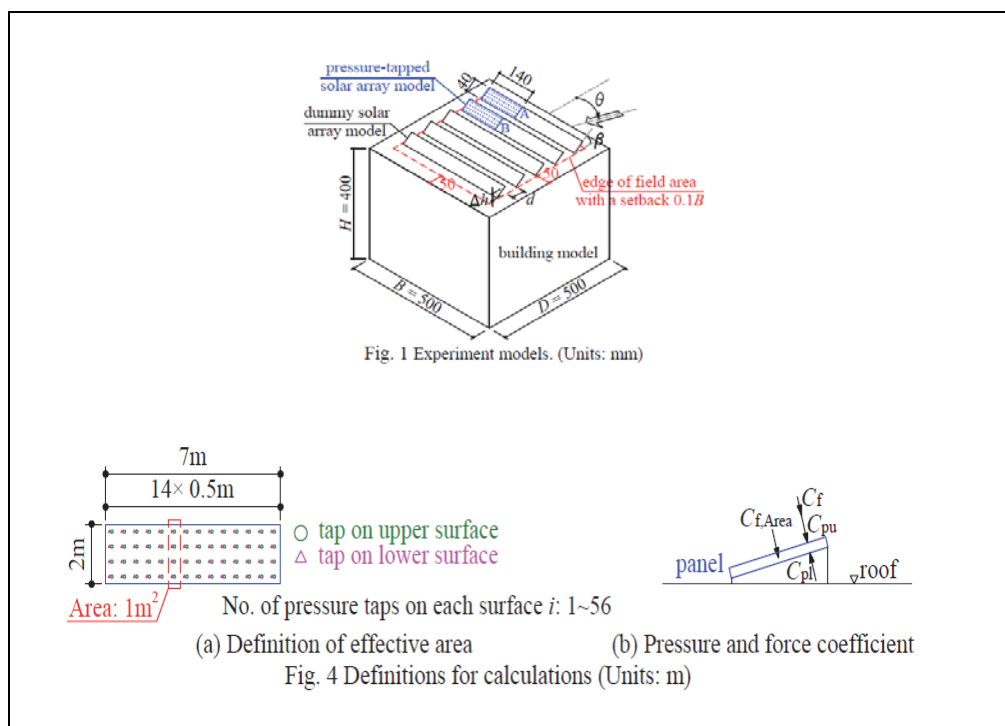


圖 2-29 文獻-屋頂陣列型風力風壓計算

(資料來源：文獻)

6. Forces and Moments on Flat Plates of Small Aspect Ratio with Application to PV Wind Loads and Small Wind Turbine Blades. (Xavier Ortiz, David Rival and David Wood, 2015). To improve knowledge of the wind loads on photovoltaic structures mounted on flat roofs at the high angles required in high latitudes, and to study starting flow on low aspect ratio wind turbine blades, a series of wind tunnel tests were undertaken. Thin flat plates of aspect ratios between 0.4 and 9.0 were mounted on a sensitive three-component instantaneous force and moment sensor. The Reynolds numbers varied from  $6 \times 10^4$  to  $2 \times 10^5$ . Measurements were made for angles of attack between  $0^\circ$  and  $90^\circ$  both in the free stream and in wall proximity with increased turbulence and mean shear. The ratio of drag to lift closely follows the inverse tangent of the angle of incidence for virtually all measurements. This implies that the forces of interest are due largely to the instantaneous pressure distribution around the plate and are not significantly influenced by shear stresses. The instantaneous forces appear most complex for the smaller aspect ratios but the intensity of the normal force fluctuations is between 10% and 20% in the free-stream but can exceed 30% near the wall. As the wind tunnel floor is approached, the lift and drag reduce with increasing aspect ratio, and there is a reduction in the high frequency components of the forces. It is shown that the centre of pressure

is closer to the centre of the plates than the quarter-chord position for nearly all cases.

該研究透過風洞試驗，進行光電板力量與彎矩的量測，得到相當多值得參考之結果。

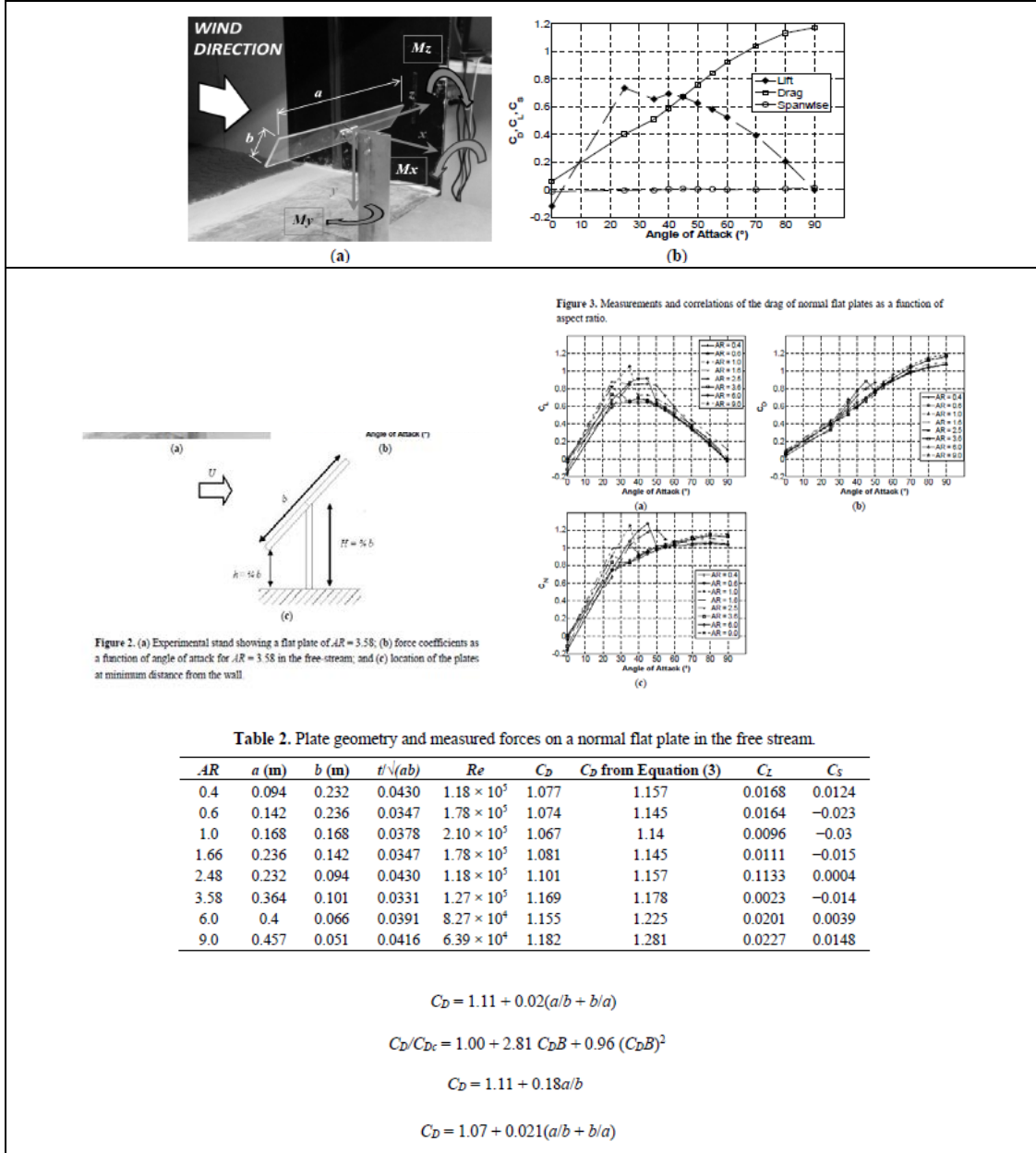


圖 2-30 風洞試驗各項風力、風壓係數整理與計算  
(資料來源：文獻)

7. Wind Load Acting on PV Panels and support structures with various layouts (Daisuke Somekawa, Tetsuro Taniguchi, Yoshihito Taniike, 2013). This study investigates the wind loads acting on ground mounted photovoltaic panels and the support structures thereof with wind tunnel experiments. As a result, observed at the northernmost panel is the minimum wind force

coefficient to which the corresponding wind load exceeds the wind load specified in IEC 61215. On the other hands, the maximum and minimum wind force coefficients for the support structures have almost same values in various layouts of PV arrays. This means that the design wind loads for support structures can be determined independent on the array arrangements.

The maximum peak wind force coefficients take almost constant value at each panel slope among the various layout patterns. The minimum peak wind force coefficients have also similar tendency, except in Pattern C in  $\theta=10^\circ$ , which is slightly lower than those in the other layout patterns. Consequently, it can be concluded that the array arrangements does not significantly affect to the design wind force coefficients for the support structures.

該研究以陣列型光電板，依照各風壓風力係數，計算支架分佈應力，並採均佈與非均佈方式評估，本篇內容也相當值得本研究參考。

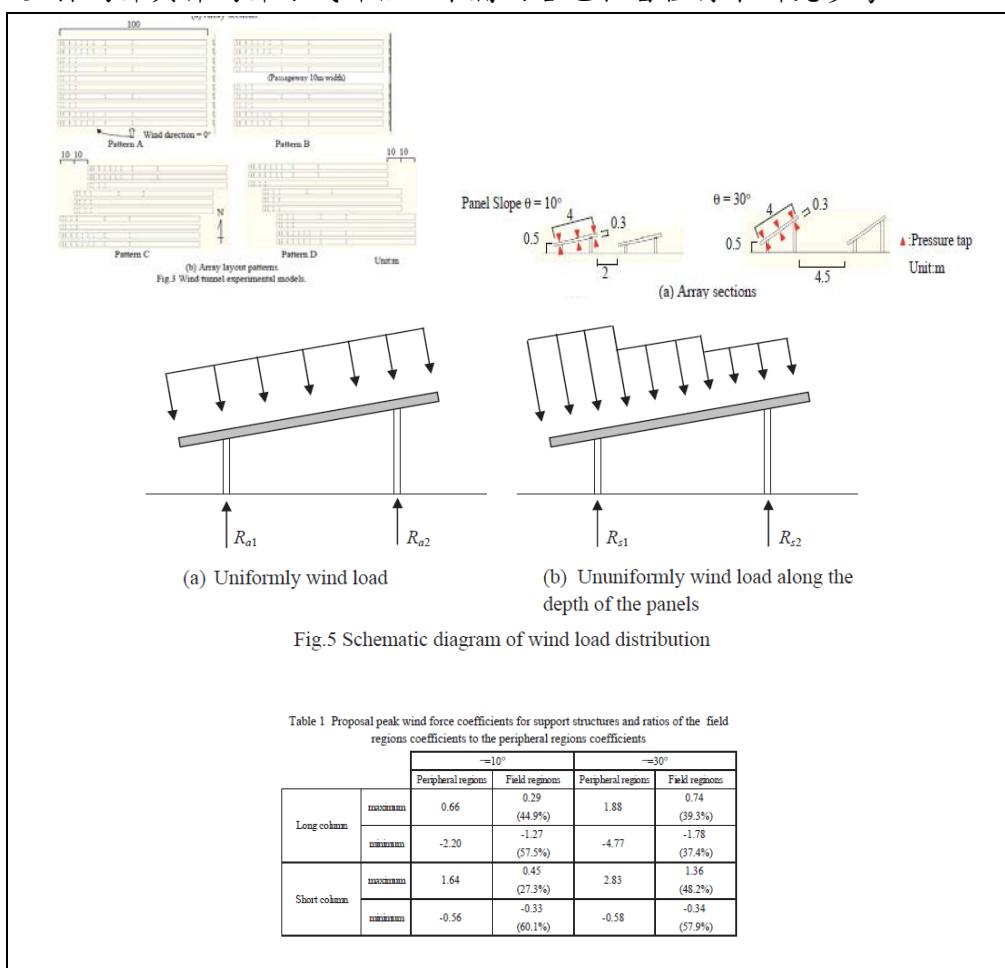


圖 2-31 文獻-支架分佈應力計算

(資料來源：文獻)

8. Evaluating the safety of Photovoltaic Panel mounting structure under high wind load, Hsing-han Yen 等人，2011。

該研究以CFD模擬風攻角 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 下，最大風速60m/s時，PV Panel與支架結構的耐風能力。

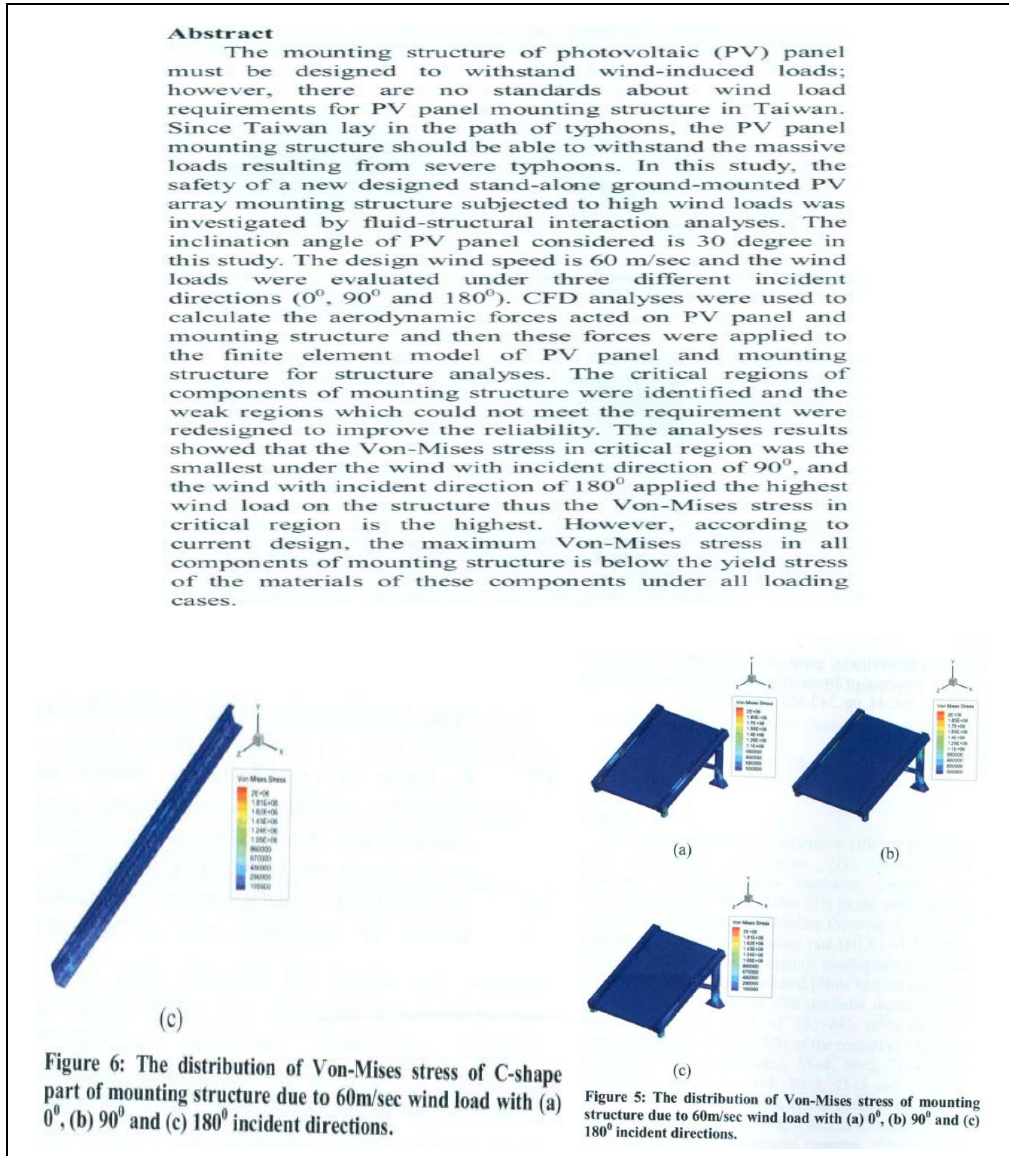


圖 2-32 以 CFD 模擬不同風攻角下支架的耐風能力

(資料來源：P1.145-148, Minamata International symposium on Environment and Energy Technology (Mission 2011) .6-8 December, 2011, Kumamoto, Japan)



## 二、建物附屬設施相關研究

1. 建物附屬設施及臨時構造物耐風設計準則之探討（陳若華、方富民、鍾政洋，2006年），蒐集國內外建築物附屬設施或臨時結構物的耐風設計方法，並進行水塔構造物氣動力試驗，提出設計準則草案與設計範例（獨立招牌設計風載重計算示範例）供參。

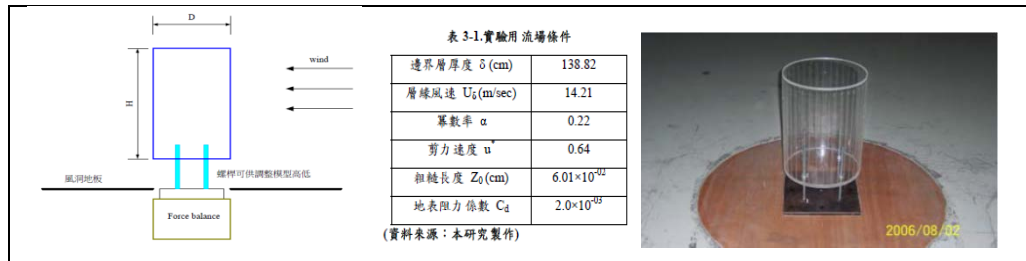


圖 2-33 水塔構造物氣動力試驗

(資料來源：建物附屬設施及臨時構造物耐風設計準則之探討)

2. Aerodynamic Loading of Solar Trackers on Flat-Roofed Buildings（曹盛哲，蔡易廷，朱佳仁，2014年）

This study uses wind tunnel experiments to investigate the aerodynamic loading on the solar tracker installed on a flat-roof building. The pressure distributions of a flat, rectangular solar tracker are measured for different wind directions, azimuth angles, inclined angles and pedestal heights. The experimental results reveal that the maximum wind load occurs when the relative wind direction is  $0^\circ$ , while the maximum suction (negative net pressure) occurs when the relative wind direction is  $180^\circ$ , and the absolute value of the maximum suction is greater than the maximum positive pressure for the same tracker height and inclined angle. In addition, due to the separation shear layer on the building roof, the wind load decreases as the tracker height decreases.

研究採用屋頂型的太陽能板追蹤器進行不同風向角模擬量測，發現風向角  $0^\circ$  時有最大風載重，而  $180^\circ$  有最大吸力（負風壓）。



圖 2-34 屋頂型太陽能追蹤器

(資料來源：Aerodynamic Loading of Solar Trackers on Flat-Roofed Buildings)

3. 斜屋頂上太陽能光電板陣列之氣動力特性研究（陳若華、鍾光民、陳建忠，2013，科技部專題研究計畫）。

研究將針對太陽能板陣列進行氣動力載重試驗並推估整體風荷載，同時透過 CFD 進行比較驗證。預計採地況 C 大氣邊界層流場，邊界層厚度約為 1.5 公尺，對應的長度縮尺為 1/200。由於市售太陽能光電板常見的尺寸，如採用 1/200 等長度縮尺進行試驗，則太陽能板模型過小，難以量測其局部風壓分佈情形，因此本研究採用部分邊界層模擬技術，在考量雙斜屋頂低層建築物使模型縮尺控制在 1/20，而流場縮尺亦以此為目標進行部分邊界層模擬。



圖 1. 太陽能板架設方式，(a)架高設於屋頂面[17]，(b)平貼於屋頂面[18]。

圖 7. 斜屋頂建築物太陽能板座向與屋脊線非垂直之布置

圖 2-35 斜屋頂上太陽能光電板陣列

（資料來源：斜屋頂上太陽能光電板陣列之氣動力特性研究）

4. 風力負載下太陽能板之結構分析與改善，許育銘，2013。

該研究利用有限元素分析軟體 ANSYS 14.0 對風力負載下之太陽能板進行結構應力分析。結果發現風速 60 m/s、風向角 135 度時太陽能板會因局部強烈負壓造成不銹鋼外殼產生極大應力而造成損壞，本研究利用改變不銹鋼外殼與玻璃的厚度以及加裝支架來降低太陽能板之最大應力值以增強耐風性能。不銹鋼外殼厚度增為 1.4 mm 後，在風速 60m/s、風向角 135 度之負載條件下其最大應力可由降伏強度之 100.5% 降為 45%。玻璃之厚度減少為 2.4 mm 後在風速 80m/s、風向角 180 度之負載條件下應力值約為 66.7% 的拉伸強度，安全性還是足夠，因此最佳之厚度配置為不銹鋼外殼 1.4 mm、玻璃 2.4 mm。市面上有廠商在集熱板下面中間處安裝補強支架，但分析結果發現此安裝方式無法改善太陽能板上之最大應力值，因此本研究將支架位置改為靠近負壓區域，利用最佳化得到最有效改善應力的支架布置方式，在風速 60 m/s 負載下不銹鋼外殼之最大應力可由降伏強度之 100.5% 降為 63%。

5. Comparison of wind pressure measurements on Silsoe experimental building from full-scale observation, wind-tunnel experiments and various CFD techniques,

國外學者 H. Irtaza1，亦曾採用方形體來進行 CFD 模擬和實場實驗交互驗證，必獲得相當良好之應用結果。

其摘要如下：The paper is the result of extensive research concentrated on analyzing the accuracy and numerical stability to assess the various turbulence models available widely and the state of the art techniques for the numerical simulation of turbulent fluid flow with a view of finding the most appropriate models for computational wind engineering. These investigations suggest that a turbulence model, suitable for wind engineering applications, should be able to model the anisotropy of turbulent flow while maintaining the ease of use and computational stability. Keeping this in mind five turbulence models such as Standard  $k-\epsilon$ , RNG  $k-\epsilon$ , Realizable  $k-\epsilon$ , Reynolds Stress Method and Large Eddy Simulation have been tested in an attempt to account for anisotropic turbulence and curvature related strain effects and the same have been compared with the full-scale and wind-tunnel data for the present study. Better turbulence models that will be more accurately predict bluff body flow fields and that are numerically stable for complex geometries are of paramount importance if the uses of CFD techniques are to gain wide acceptance by the wind engineering community.

6. Wind Loads of Solar Water Heaters: Wind Incidence Effect., Chin-Cheng Chou, Kung-Ming Chung and Keh-Chin Chang, 第五屆全國風工程研討會，2014，國立中央大學。

該論文摘要如下：

太陽能板風力負載特性分析研究，文中探討不同太陽能光電板傾斜角度與來流間，對於光電板承受風力的表現。該研究主要是利用風洞測試，探討紊流強度及風向角對家用及大型太陽能熱水系統表面壓力分佈及上升力的影響。依颱風的風場特性，在風洞入口處安裝均勻格網提高流場紊流強度，風向角則介於  $0^\circ$  -  $135^\circ$  之間。亦採用導流板之設計，在不同測試條件下，分析導流板之效應。由於模型阻塞比過大，該研究利用二座不同測試段尺寸之風洞與兩種尺寸之模型，以低阻塞比為集傾斜平板風壓數據為基準，當阻塞比增加時，在上板面前端迴流與側邊角渦流處區域風壓明顯受到加速效應，並利用 Maskell 阻塞比修正公式修正被加速區域內壓力誤差。

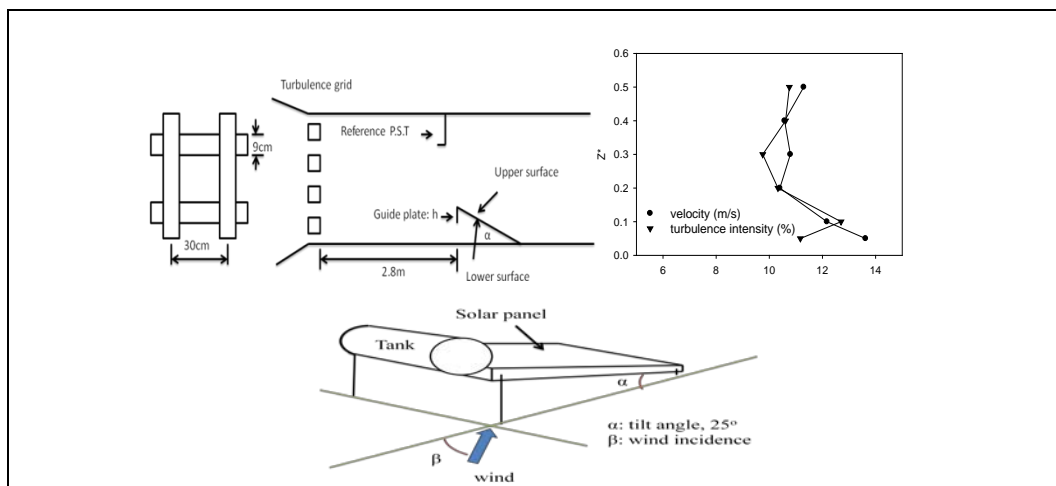


圖 2-36 太陽能板風力負載特性分析研究

(資料來源：太陽能板風力負載特性分析研究)

7. 太陽能板設置於不同斜屋頂上所受風壓之初探，陳若華，2012 年，空間設計學報。

以四種坡度斜屋頂上安裝的太陽能板為對象，進行風洞實驗，探討其所受之淨風壓所產生的影響。太陽能板模型形式為一般太陽能尺寸規格比例 1/20 進行製作，研究顯示屋頂坡度較陡峭者，對於下風側的太陽能板將起遮蔽的作用，而如太陽能板位於上風側，則因局部氣流加速引起太陽能板受到負壓作用，但仍屬較不嚴重的情形。而屋頂坡度較為平緩的情形下，太陽能板受到負風壓的作用較為嚴重，利於結構安全。在風攻角方面，不利於結構安全的風攻角主要發生在 22.5~45 度之間，而非規範中提供的正吹型態。由整體昇力的比較更可明顯看到負風壓作用將使得太陽能板被掀翻的可能性增加，因此安裝時須有近一步防護措施，以為提升結構系統的耐風性能。

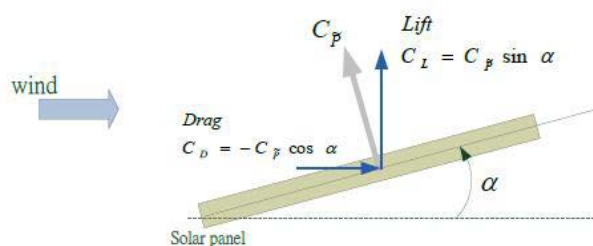


圖 2-37 太陽能板所受風力示意圖

(資料來源：太陽能板設置於不同斜屋頂上所受風壓之初探)

8. 建築物屋頂上太陽能板的風力負載，李勝雄，2013。  
探討太陽能板在平屋頂的建築物上的風力負載。在兩種不同的入流下，分別量測了建築物在不同風向角下，屋頂上方的速度流場與壓力分佈。

結果顯示屋頂上方最大紊流強度發生於高度  $z/H_b = 1.1$  至  $1.2$  處。鑒於前人對於在屋頂上太陽能板的研究，本篇論文透過風洞實驗改變建築物風向角、女兒牆高度及太陽能板座向角來研究平頂建築物上方太陽能板的風力負載。實驗結果顯示：當風向角為  $0^\circ$  時，屋頂最大負壓發生於建築物屋頂前緣，而女兒牆可減低建築物屋頂前緣的負壓力約  $15 \sim 25\%$ 。當風向角為  $45^\circ$ ，女兒牆可減低建築物屋頂角隅的負壓力約  $20 \sim 25\%$ 。當屋頂無女兒牆的狀況下，風向角為  $0^\circ$  及  $45^\circ$  時，太陽能板所受的升力向下，風向角為  $180^\circ$  及  $225^\circ$  時，太陽能板所受的升力向上。不論風向為何，太陽能板的高度愈高，其所受的淨風壓係數的絕對值愈大。當屋頂裝設女兒牆後，太陽能板所受的淨風壓係數皆大幅減小。

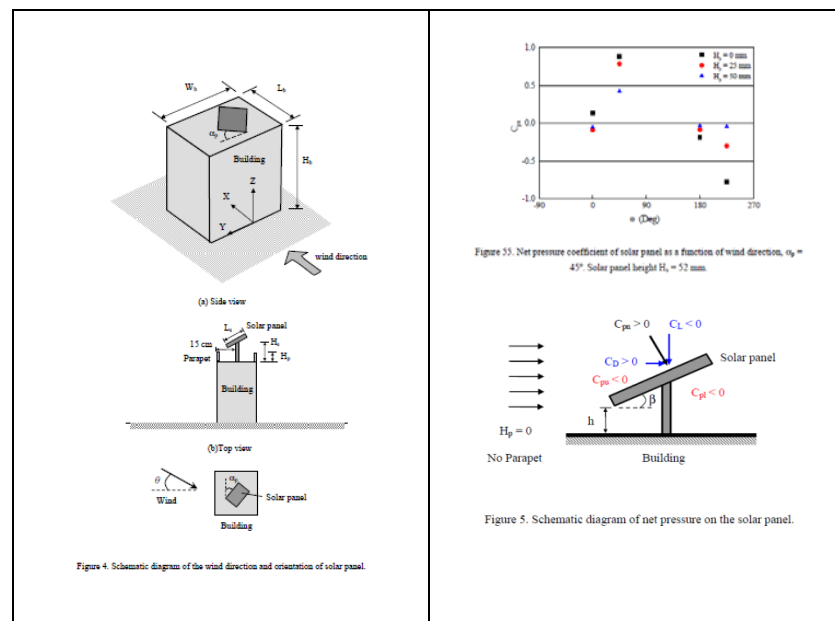


圖 2-38 光電板風壓量測結果

(資料來源：建築物屋頂上太陽能板的風力負載)

9. Wind Loads on solar panel systems attached to building roofs, Eleni Xypnitou, Concordia University Montreal, Quebec, Canada, August 2012  
The wind direction of  $135^\circ$  can be considered critical since most critical pressure coefficients occur for this wind direction. More specifically, the greatest suction is experienced by the corner panel located at the roof corner facing the wind flow (panel 1) for  $135^\circ$  wind direction. The most critical values of local net pressure coefficients occur at pressure tap denoted "1" which is found at the upper corner of panel 1.

文中探討不同太陽能光電板傾斜角度與來流間，對於光電板承受風力的表現。



Figure 1.1.1 Damaged solar collectors (after Chung et al, 2008)

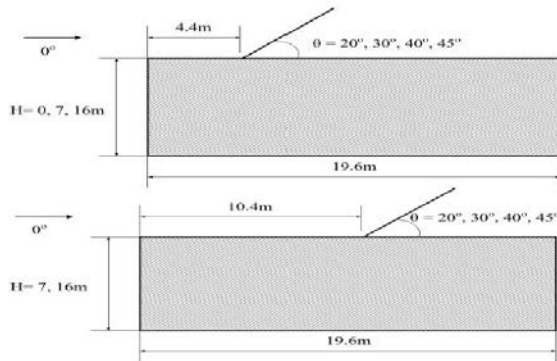
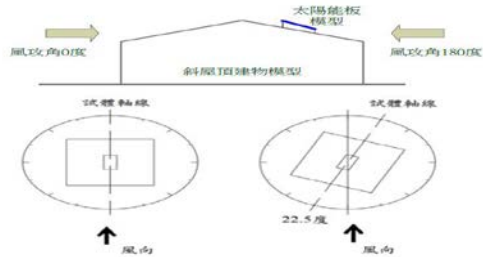


Figure 4.4.1 Elevation of building models with inclined solar panels attached

圖 2-39 光電板破損、模型與風攻角關係示意圖

(資料來源：WIND LOADS ON SOLAR PANEL SYSTEMS ATTACHED TO BUILDING ROOFS)

10. 鍾光民、張克勤等人

Redution of wind uplift of a solar collector odel., 2008

Wind load on residential and large-scale solar collector models., 2011

研究單片太陽能熱水器及熱板氣動力特性，發現在版面上端產生迴流區，兩側形成角渦流並產生三維交互作用。

11. Bienkiewicz &, 1995, Proper orthogonal decomposition and reconstruction of multi-channel roof pressure.

指出角渦流易在建築物向風角落處產生。

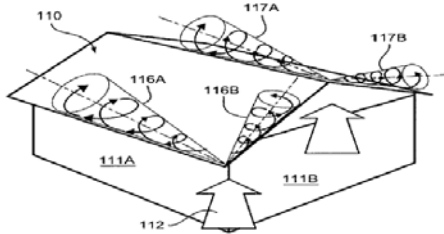


圖 2-40 角渦流易在建築物向風角落處產生示意圖

(資料來源：Bienkiewicz &, 1995, Proper orthogonal decomposition and reconstruction of multi-channel roof pressure.)

12. 低層建築物附屬設施之耐風性能研究，陳若華等人，2012，內政部建築研究所。

研究曾經進行無女兒牆平屋頂中央區為的單片太陽能板表面尖峰淨風壓係數分布。分布值約在-0.3~-1.5 間。

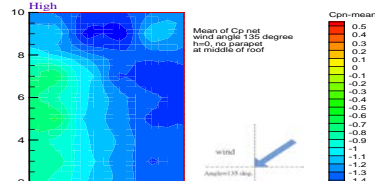


圖 2-41 單片太陽能板表面尖峰淨風壓係數分布  
(資料來源：低層建築物附屬設施之耐風性能研究)

13. Aerodynamic Loads on Solar Panels, Aly Mousaad, 2013

Aly Mousaad提出以淨值壓力係數 $C_p$ 來計算黏滯阻力 $F_s$ 無因次阻力係數 $C_F$ 值。

#### RESULTS OF THE GEOMETRIC SCALE STUDY

The net pressure coefficient at any location on an individual module,  $C_{p_{net}}(t)$ , is the simultaneous difference between the upper pressure coefficient at the upper surface,  $C_{p_{upper}}(t)$ , and the pressure coefficient at the bottom surface,  $C_{p_{lower}}(t)$ , at the same locations

$$C_{p_{net}}(t) = C_{p_{upper}}(t) - C_{p_{lower}}(t). \quad (1)$$

The coefficient of the normal load acting on test model is defined as follows:

$$C_F(t) = \frac{\sum_{i=1}^n C_{p_{net,i}}(t) \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

where  $A_i$  is the tributary area of tap number  $i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  (total number of taps).

圖 2-42 計算黏滯阻力 $F_s$ 無因次阻力係數 $C_F$ 值

(資料來源：Aerodynamic Loads on Solar Panels, Aly Mousaad, 2013)

14. 陽光屋頂耐風評估與設計準則，何明錦、陳若華等人，內政部建築研究所協同研究報告，2015

該研究由氣動力實驗與結構分析等方向來探討風場對太陽光電板或陣列的風載重，涵蓋模型氣動力實驗、結構分析軟體的計算檢討與耐風性能優化設計建議等。研究結果顯示風荷載主要受到安裝位置及光電板陣列排列方式影響，在多排太陽光電板陣列的受風作用以接近建築物邊緣的第一排最為強烈，後排的光電板受到前排的遮擋，其受風力減少甚多。另一方面建築物屋頂面之角隅渦流是影響光電板擾動性風力的重要因素，設置位置應以能避開角隅渦流作用區為首要選擇。本計畫由實驗資料取得量化的評估成果，有助於後續提升耐風性能之設計準則建立。

15. 傾斜度對於太陽能光電板效率之量測與分析，吳正鵬等人，2011 中華科技大學學報 46 期(2011.1) p33-41

該研究主要在架設一太陽能光電設備，利用調整鹵素燈泡輻射量來照射太陽能光電板產生光伏效應特性以形成電壓與電流，使形成太陽能光測試電系統。由於太陽光電池是一個 PN 介面二極體，經由發生產生電子-電洞對，將光能轉換成電能，並將太陽能電池所產生一獨立電流以供給負載而作功，因而本實驗在不同輻射量照射下來作出傾斜角度不同之數據。實驗中利用輻射量測計量取輻射值，當改變太陽能光電板之傾角，藉由 I-V 曲線量測計測得電壓、電流之大小，繪製成 I-V 曲線圖，再與輻射量作分析比較；並使用熱顯像儀拍攝太陽能板的表面溫度，來比較不同傾斜角溫度變化。



## 第四節 風力相關理論

### 一、風力負載

在探討耐風量測時，重點在於風力負載。朱佳仁（2006）對此有如此定義：受強風吹襲的建築物，建築物會阻礙空氣的流動並受到空氣所施予的衝擊力，此種衝擊力便稱為風力負載（Wind load）。並將風力依其方向分為：平行於流向的作用力稱為阻力(Drag)或拖曳力，垂直於流向的作用力稱為側向力，若側向力的方向與重力的方向平行，則可稱為升力（Lift）。

### 二、形狀阻力（朱佳仁，2006）

物體所受之阻力可依其來源分為物體表面黏滯阻力(Viscous drag 或 skin drag)和形狀阻力(Form drag)：

#### 1. 黏滯阻力

黏滯阻力來自於作用在物體表面的剪應力(Shear stress):

$$F = \mu \cdot \left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0} \cdot A$$

式中  $\mu$  為流體的動力黏滯係數， $\left. \frac{du}{dy} \right|_{y=0}$  為物體邊壁(y=0)處之速度梯度，A

為流體與物體接觸之表面積。因此黏滯阻力與流體黏滯係數、邊壁處的速度剖面及物體的表面積有關。

物體邊壁附近的流況稱為邊界層流，其流況可分為層流邊界層(Laminar boundary layer)和紊流邊界層(Turbulent boundary layer)，是雷諾數、物體表面的粗糙度或流場是否受到干擾而定。由層流邊界層轉變為紊流邊界層的臨界雷諾數約介於  $5 \times 10^5 \sim 2 \times 10^7$  之間，確切的數值則視粗糙度和自由流的流況而定。

當邊界層流往下游發展，流場的不穩定性會逐漸增強，成為過渡流(Transitional flow)。當雷諾數  $Re_x > 10^7$  時，流場很難再維持在層流的狀況，邊界層中充滿著許多渦旋，流速呈現不規則的變化，流況變為紊流。但若物體表面十分粗糙，對流場造成很大的擾動，獲自由流為紊流，則邊界層流能一開始就是紊流。

#### 2. 形狀阻力

形狀阻力來自於物體迎風面與背風面的壓力差異，作用於物體表面的壓力包括靜壓力(Static pressure)與動壓力(Dynamic pressure)，靜壓力可以由流體密度  $\rho$ 、重力加速度  $g$  與高程  $Z$  計算 ( $P_s = -\rho gz$ ) 而得。在地表附近高程差異並不大，靜壓力相近，可以忽略不計。動壓力則因為流體無法穿透

物體表面，垂直於物體表面得流速為零，流體流動之動能會轉換成動壓力xx。物體表面受之壓力常以無因次的壓力係數(Pressure coefficient)來表示

$$C_p = \frac{P_d - P_0}{\frac{1}{2} \rho U_0^2}$$

其中 $P_d$ 和 $P_0$ 分別為不受物體影響(自由流)處的壓力與流速。壓力係數與物體外型及受壓面之位置有關，一般而言，鈍形物體(Bluff body)迎風面之壓力為正壓力，背風面之壓力為負壓力，合力便為形狀阻力。

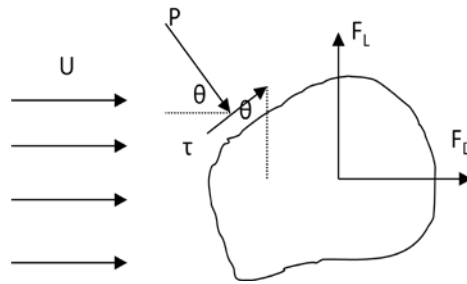


圖 2-43 作用於物體的壓力與剪應力

(資料來源：本研究整理暨參考風工程概論,朱佳仁,2006)

如圖 2-33 所示，物體所受之阻力可由物體表面的壓力  $P$  與剪應力  $\tau$  以面積積分求得：

$$F_D = \int_A (P \cos \theta + \tau \sin \theta) dA$$

式中  $\theta$  為該點之壓力  $P$  與流向之夾角。升力則為：

$$F_L = \int_A (-P \sin \theta + \tau \cos \theta) dA$$

物體所受之阻力和升力可以無因次的阻力係數(Drag coefficient)和升力係數(Lift coefficient)表示：

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$$

其中 $F_D$ 為阻力， $F_L$ 為升力， $A$ 為體垂直於流向的投影面積。物體的阻力係數和升力係數與物體幾何形狀、風攻角、雷諾數、馬赫數皆有關。當流場為不可壓縮流場時，馬赫數的影響可以忽略不計。

物體所受之阻力和升力與流向有密切的關係，譬如一塊垂直於流向的平板，平板前後的壓力差異所形成的形狀阻力遠大於平板所受之黏滯

阻力。反之，若是平板與流向平行，平板所受之阻力怎大部分來自於平板表面的黏滯阻力。若物體前方的流場是上下對稱的均勻流，且物體的幾何形狀亦是上下對稱，則流經物體的流場亦會上下對稱。換言之，物體上方和下方所受的壓力會大小相同，但方向相反，亦即平均升力為零。

建築物表面所受之風壓分佈可以無因次的壓力係數(Pressure coefficient)表示如下：

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho V^2}$$

式中 $C_p$ 為壓力係數， $P$ 為建築物表面某一位置之壓力， $P_0$ 為不受建築物影響之位置的壓力（參考壓力）， $V$ 為不受建築物影響之位置的風速， $\rho$ 為空氣的密度。在大氣壓力及溫度 $20^\circ\text{C}$ 狀況下，空氣密度 $\rho=1.20\text{ kg/m}^3$ 。壓力係數隨位置、建築物外型而異，其值約介於 $-2.0 \sim 2.0$ 之間。臺灣地區颱風的最大風速可達 $40\text{ m/s}$ ，若風壓係數 $C_p = 1.0$ ，則在每平方公尺的面積上約有 $100\text{kgf}$ 的外力。一般的門窗、玻璃及招牌可能會被吹壞，簡陋的木造房屋就可能會被吹倒。

### 三、尾流（朱佳仁，2006）

當流體流經鈍形體時，物體後方的流場稱為尾流（Wake flow），尾流得流況與物體所受的之阻力有密切關係，尾流流況和阻力係數皆為雷諾數的函數。

$$Re = \frac{\rho UD}{\mu} = \frac{UD}{\nu}$$

其中： $D$ 為物體直徑， $\mu$ 為流體動力黏滯係數， $\nu$ 為運動黏滯係數， $U$ 為流體與物體間的相對速度。

### 四、表面風壓

在建築物迎風面承受器流的直接衝擊效應，所受的壓力為正向壓力。而在建築物背風面及側面，因氣流加速通過壓力低於大氣壓力，為負壓力（即吸力）。建築物表面所受之壓力常以風速壓（Velocity pressure）表示（朱佳仁，2006）：

$$q(z) = \frac{1}{2}\rho v^2(z)$$

其中： $\rho$ 為空氣密度，風速單位為 $\text{m/s}$ ，風速壓的單位為 $\text{Pa}(\text{N/m}^2)$ ， $U$ 為流體與物體間的相對速度。

表 2-3 常用空氣基本性質表 (乾空氣在 1.0atm 下)

溫度 $^{\circ}\text{C}$	空氣密度 $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	運動黏滯係數 $\nu(\times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s})$	單位重 $(\text{N}/\text{m}^3)$
20	1.204	1.51	12.02
30	1.165	1.60	11.81
40	1.127	1.69	11.43

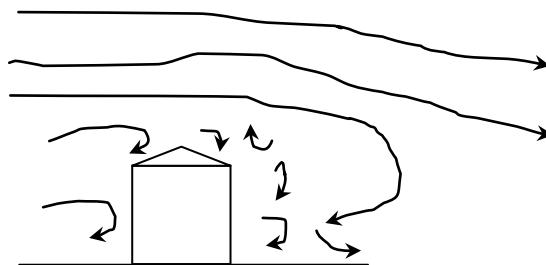


圖 2-44 建築物表面風壓分佈示意圖

(資料來源：本研究整理)

## 第五節 國內相關規範

### 一、 建築技術規則

1. 第一章用語定義第1條第1項第10款，對於屋頂突出物有以下定義：

屋頂突出物：突出於屋面之附屬建築物及雜項工作物。

- (一) 樓梯間、升降機間、無線電塔及機械房。
- (二) 水塔、水箱、女兒牆、防火牆。
- (三) 雨水貯留利用系統設備、淨水設備、露天機電設備、煙囪、避雷針、風向器、旗竿、無線電桿及屋脊裝飾物。
- (四) 突出屋面之管道間、採光換氣或再生能源使用等節能設施。
- (五) 突出屋面之三分之一以上透空遮牆、三分之二以上透空立體構架供景觀造型、屋頂綠化等公益及綠建築設施，其投影面積不計入第九款第一目屋頂突出物水平投影面積之和。但本目與第一目及第六目之屋頂突出物水平投影面積之和，以不超過建築面積百分之三十為限。
- (六) 其他經中央主管建築機關認可者。

因此，從建築技術規則而言，對於屋頂突出物僅有定義的宣告，無任何對於耐風或相關量測之要求。然而，為了求得生活永續，綠色能源意識抬頭，對於太陽能光電系統與建築物之間的影響，也日獲重視，曾有相關提案向內政部營建署申請函示，如下所述。

2. 有關屋頂突出物設置太陽能光電系統疑義案

- (1) 內政部營建署 99.01.27 營署建管字第 0992901601 號函，按「屋頂突出物：突出於屋面之附屬建築物及雜項工作物... (四) 突出屋面之管道間、採光換氣或再生能源使用等節能設施。」為建築技術規則建築設計施工編第 1 條第 10 款所明定。又按本署 96 年 11 月 6 日營署建管字第 0962918506 號函(附件一)結論(一)所載，「本部 92 年 4 月 22 日台內營字第 0920085758 號函(附件二)有關設置太陽能供電系統遭遇建築相關法規限制決議：『為簡化流程，建築物設置太陽光電發電設備高度在 1.5 公尺以下者免申請雜項執照。至其結構安全部分應由依法登記開業之建築師或土木技師或結構技師簽證負責，並函送該管直轄市、縣(市)政府備查；系統若與電網併聯，並應依經濟部相關併聯技術規範辦理。』係指設置於建築物屋頂設置太陽光電發電設備高度在 1.5 公尺以下者免申請雜項執照。...」查前開函釋尚無限制太陽能光電發電設備不得設置於屋頂突出物之規定，是來函所詢於屋頂突出物上設置太陽能光電發電設備申請雜項執照事宜，得依前揭函釋辦理。

(2) 另按「再生能源發電、利用系統及相關設施，依不同設施特性，就其裝置容量、高度或面積未達一定規模者，免依建築法規定請領雜項執照。前項關於免請領雜項執照之設備容量、高度或面積標準，由中央主管機關會同中央建築主管機關定之。」為再生能源發展條例第 17 條所明定，考量前開條例甫公布施行，中央主管機關經濟部刻正研訂前揭免請領雜照標準（附件三）中，是目前仍依現行相關規定辦理，爾後如有再生能源免請領雜項執照事宜，請逕向該部請示為宜。

(3) <<附件一>>

內政部營建署函 96.11.06.營署建管字第 0962918506 號

主旨：檢送 96 年 9 月 5 日研商太陽光電發電設備設置事宜會議紀錄乙份，請 查照。

<<會議紀錄>>

結論：

（一）本部 92 年 4 月 22 日台內營字第 0920085758 號函有關設置太陽能供電系統遭遇建築相關法規限制決議：「為簡化流程，建築物設置太陽光電發電設備高度在一點五公尺以下者免申請雜項執照。致其結構安全部分應由依法登記開業之建築師或土木技師或結構技師簽證負責，並函送該管直轄市、縣（市）政府備查；系統若與電網併聯，並應依經濟部相關併聯技術規範辦理。」係指設置於建築物屋頂設置太陽光電發電設備高度在一點五公尺以下者免申請雜項執照。至於建築基地範圍內之空地設置之太陽光電發電設備者，因涉建築基地建蔽率、建築面積與整體法定空地之檢討，應依建築法之規定申請雜項執照。另於建築物外牆設置之太陽光電發電設備者，請依建築相關法規檢討。（二）至各直轄市、縣（市）政府如為因應當地發展特色及地方特殊環境需求推動節約能源，得依建築技術規則總則編第 3 條之 2 之規定，另定其設計、施工、構造或設備規定，報經本部核定後實施。

(4) <<附件二>>

內政部函 92.04.22.台內營字第 0920085758 號

主旨：檢送 92 年 3 月 31 日研商再生能源推動事宜會議紀錄乙份，請 查照。

<會議紀錄>

七、討論事項：

（一）設置風力發電系統遭遇土地面積計算問題

決議：

一、本部 92 年 3 月 26 日內授中辦地字第 0920082365 號令修正發布之「非都市土地使用管制規則」已於第六條附表一農牧、林

業、國土保安及交通用地容許作公用事業設施(限於點狀或線狀使用。點狀使用面積不得超過六百六十平方公尺)下之許可使用細目增列「風力發電機組」,至其點狀使用面積計算,於有建蔽率地區者,為建築物本身所占地面及其所應留設之法定空地;設施物為立體使用者,除地面使用部份外,應加計該設施物上空及地下構造外緣垂直投影使用面積,是風力發電機組之葉片投影及其基座與附屬建築物靜止不動時其上空及地下構造外緣垂直投影使用面積如未逾六百六十平方公尺者,得以容許使用方式設置,惟如超過上開規定者,自應循變更編定之方式並依規定辦理。

二、按民法物權編第七百七十三條規定,土地所有權,除法令有限制外,於其行使有利益之範圍內,及於土地之上下,風力發電機組葉片隨風向不同偏航時,其扇葉垂直投影如落於鄰近土地上,應取得地主同意,該鄰近土地如屬國有者,應函請土地代管機關同意,至租金部分,請財政部國有財產局儘速研訂相關標準。

(二) 設置太陽能供電系統遭遇建築相關法規限制

決議:

為簡化流程,建築物設置太陽光電發電設備高度在一點五公尺以下者免申請雜項執照。致其結構安全部分應由依法登記開業之建築師或土木技師或結構技師簽證負責,並函送該管直轄市、縣(市)政府備查;系統若與電網併聯,並應依經濟部相關併聯技術規範辦理。

(三) 配合全國非核家園會議辦理綠建築示範,配合學校校外活動展示、國內外廠商再生能源攤位展示

決議:

因本年度綠建築博覽會係由本部建築研究所辦理,有關配合全國非核家園會議辦理綠建築示範活動,由該所結合綠建築博覽會一併配合辦理。

3. 設置再生能源設施免請領雜項執照標準

經濟部 99.4.30 經能字第 09904602150 號令、內政部 99.4.30 台內營字第 0990819902 號令會銜訂定發布全文 6 條

經濟部 101.9.17 經能字第 10104605250 號令、內政部 101.9.17 台內營字第 1010808483 號令會銜修正發布第 5 條條文

經濟部 103.9.22 經能字第 10304603660 號令、內政部 103.9.22 台內營字第 1030809676 號令會銜修正全文 7 條;並自發布日施行

第一條 本標準依再生能源發展條例(以下簡稱本條例)第十七條第二項規定訂定之。

第二條 本標準所適用之範圍,以設置太陽能熱水系統產品及太陽光電發電設備為限。

前項太陽光電發電設備係包含太陽光電模組、無頂蓋之支撐架及其他轉換太陽光能為電能之必要設施。

本標準所稱建築物，指依建築法規定取得建造執照及其使用執照者，或實施建築管理前，已建造完成之合法建築物。

第四條 設置於建築物屋頂之太陽能熱水系統產品，其高度為二公尺以下者，得免依建築法規定申請雜項執照。

第五條 設置太陽光電發電設備，符合下列條件之一者，得免依建築法規定申請雜項執照：

一、設置於建築物屋頂或露臺，其高度自屋頂面或露臺面起算三公公尺以下。

二、設置於屋頂突出物，其高度自屋頂突出物面起算一點五公尺以下。

三、設置於非都市土地使用管制規則所定之再生能源發電設施容許使用項目及許可使用細目之用地，其設置面積未超過六百六十平方公尺，並符合該管制規則有關建蔽率及容積率之規定，其高度為三公公尺以下太陽光電發電設備設置於屋頂、露臺或屋頂突出物，不得超出該設置區域。

第六條 設置前條太陽光電發電設備者，應於設置前，檢附下列證明文件送所在地主管建築機關備查：

- 一、太陽光電發電設備之再生能源發電設備同意備案文件影本。
- 二、依法登記開業或執業之建築師、土木技師或結構技師出具太陽光電發電設備免請領雜項執照簽證表（附件一）及結構安全證明書（附件二）。

前條太陽光電發電設備應於竣工後，檢附依法登記開業或執業之建築師、土木技師或結構技師出具之太陽光電發電設備工程完竣證明書（附件三），報請所在地主管建築機關備查。



表 2-4 太陽光電發電設備免請領雜項執照簽證表

申請日期： 年 月 日

申請人 (設置者)	姓名或 機構名稱		身分證明文件 統一編號	
	地址			
負責人	姓名		身分證明文件 統一編號	
	地址			
設置場址			<input type="checkbox"/> 建造執照(文號:_____) <input type="checkbox"/> 使用執照(文號:_____) <input type="checkbox"/> 其他證明文件(函號:_____)	
簽證建築師、土木技師或結構技師	姓			
	開業證書/執業			
	事務所			
	負責人			
	事務所			
簽證內容				
適用範圍	本案設置之太陽光電發電設備僅包含太陽光電模組、無頂蓋之支撐架及其他轉換太陽光能為電能之必要設施。		<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合	
適用類型	<input type="checkbox"/> 屋頂	設置高度自屋頂面起算為三公尺以下。	<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合 (量測高度: 公尺)	
	<input type="checkbox"/> 露臺	設置高度自露台面起算,為三公尺以下。	<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合 (量測高度: 公尺)	
	<input type="checkbox"/> 屋頂突出物	設置高度自屋頂突出物面起算,為一點五公尺以下。	<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合 (量測高度: 公尺)	
	<input type="checkbox"/> 地面型	設置於非都市土地使用管制規則所定之再生能源發電設施容許使用項目及許可使用細目之用地且設置面積未超過六百六十平方公尺,並符合該管制規則有關建蔽率及容積率之規定。	<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合 (設置: 平方公尺)  管制規則建蔽率規定 (實際建蔽率: %)	
		設置高度為三公尺以下。	<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合 (量測高度: 公尺)	
設置區域	太陽光電發電設備之設置未超出該設置區域。		<input type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 不符合	
應檢附備查圖說	<input type="checkbox"/> 剖面示意圖			
	<input type="checkbox"/> 平面配置圖			
	<input type="checkbox"/> 立面圖			
此致 主管機關 建築師、土木技師或結構技師 以上資料由本建築師/土木技師/結構技師簽證負責   中華民國 年 月 日			開業/執 業圖戳	

(資料來源：內政部營建署，<http://www.cpami.gov.tw>)

表 2-5 太陽光電發電設備結構安全證明書

太陽光電發電設備結構安全證明書	
申請人(設置者)：	
設置地址：	
設置容量：單一模組裝置容量____瓩，總裝置容量____瓩	
經結構計算後，本案設置之太陽光電發電設備，其組立後之結構安全設計符合相關法規之要求。且不影響原有建築物結構安全（設置於屋頂、露臺或屋頂突出物者，須勾選）。	
特此證明	
簽名或蓋章：	開業/執業圖戳
開業/執業執照號碼：	
事務所名稱：	
中華民國○○年○○月○○日	

(資料來源：內政部營建署，<http://www.cpami.gov.tw>)

表 2-6 太陽光電發電設備工程完竣證明書

<b>太陽光電發電設備工程完竣證明書</b>	
申請人(設置者)：	
設 置 地 址：	
設 置 容 量：單一模組裝置容量____瓩，總裝置容量____瓩	
本案業已於中華民國__年__月__日按圖施工完竣，經本_____（建築師、土木技師或結構技師）確認其太陽光電發電設備之設置區域、結構及高度，符合「設置再生能源設施免請領雜項執照標準」之規定。	
特此證明	
簽 名 或 蓋 章：	開業/執業圖戳
開業/執業執照號碼：	
事 務 所 名 稱：	
中華民國○○年○○月○○日	

(資料來源：內政部營建署網站，<http://www.cpami.gov.tw>)

## 二、 高雄市建築物設置太陽光電設施辦法，2013.06.03，高雄市政府

第三條 本辦法所稱太陽光電設施，指太陽能光電板、支架（含欄杆）、維修設施及轉換太陽光能為電能之必要設施。

第四條 太陽光電設施應依建築法規定申請雜項執照，於領得雜項執照後，應依再生能源發電設備設置管理辦法規定向中央主管機關申請同意備案。前項太陽光電設施符合設置再生能源設施免請領雜項執照標準規定者，得免請領雜項執照。

第五條 建築物屋頂設置太陽光電設施，同時符合下列各款情形者，得免計入屋頂突出物面積及建築物高度：

一、太陽光電設施從屋頂面起算高度在四點五公尺以下，水平投影面積之和在建築面積百分之五十以內。但其水平投影面積之和未逾三十平方公尺者，得不受水平投影面積之和在建築面積百分之五十以內之限制。

二、太陽光電板水平投影面積占太陽光電設施水平投影面積百分之七十以上。

## 三、 建築技術規則

中華民國 98 年 1 月 5 日台內營字第 0970810022 號修正「建築技術規則」建築設計施工編部分條文及建築設備編第二十六條條文，自發布日施行。

建築技術規則建築設計施工編部分條文修正條文

第一條 本編建築技術用語，其他各編得適用，其定義如下：

1. 建築物高度：自基地地面計量至建築物最高部分之垂直高度。但屋頂突出物或非平屋頂建築物之屋頂，自其頂點往下垂直計量之高度應依下列規定，且不計入建築物高度：
  - (一)第十款第一目之屋頂突出物高度在六公尺以內或有昇降機設備通達屋頂之屋頂突出物高度在九公尺以內，且屋頂突出物水平投影面積之和，除高層建築物以不超過建築面積百分之十五外，其餘以不超過建築面積百分之十二點五為限，其未達二十五平方公尺者，得建築二十五平方公尺。
2. 屋頂突出物：突出於屋面之附屬建築物及雜項工作物：
  - (五)突出屋面之三分之一以上透空遮牆、三分之二以上透空立體構架供景觀造型、屋頂綠化等公益及綠建築設施，其投影面積不計入第九款第一目屋頂突出物水平投影面積之和。但本目與第一目及第六目之屋頂突出物水平投影面積之和，以不超過建築面積百分之三十為限。

#### 四、 建築物耐風設計規範及解說

目前國內對於建築物耐風設計，首見於民國 95 年訂定「建築物耐風設計規範及解說」，96 年 1 月 1 日正式施行，而基於規範內容過於艱澀難用，復於內政部 103 年 6 月 12 修正，自中華民國 104 年 1 月 1 日生效。其中有關耐風設計之風壓相關者為以下章節：

##### 第二章建築物設計風力之計算

##### 2.6 風速壓

##### 2.8 風壓係數與風力係數

##### 2.9 內風壓係數

##### 第三章局部構材及外部被覆物之設計風壓

##### 3.1 適用範圍

##### 3.2 設計風壓計算式

##### 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

等對於屋頂突出物多無特別規定與說明，僅於表 2.12 煙囪、水塔等之風力係數列有相關數據供使用。

##### 第三章局部構材及外部被覆物之設計風壓

##### 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

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：

$$P=q(h)GC_{pn}$$

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。

對於開放式建築物，該屋頂版的主抗風系統設計所使用的設計風力採用淨風壓(Net pressure)概念。

依照現行耐風設計規範而言，目前對於光電板並無要求，如以業界實務情況而言，在 3 公尺以下免申請雜項執照即可進行安裝與使用，對於光電板的抗風壓或結構行為，則形成設計端與技術端必須自行考量與負責的。

經查耐風設計規範表 2.12 對於屋頂的附屬物，如煙囪、水塔具有風力係數。因此，在進行本研究後，應可先從該表進行增修。而至於由於沒有雜項執照的要求，光電板的等同於不適用耐風設計規範之約束，在此，仍建議可由經濟部能源局或本部營建署的特別規範或規定，甚至技術手冊等等的建立，在實務情形與推廣應用的層面下，予以約束。

表 2-7 建築物耐風設計規範圖表-1

$\theta$	有效受風面積	$C_{pn}$											
		屋頂下無阻擋						屋頂下有阻擋					
		區域 3		區域 2		區域 1		區域 3		區域 2		區域 1	
0°	$<a^2$	2.4	-3.3	1.8	-1.7	1.2	-1.1	1	-3.6	0.8	-1.8	0.5	-1.2
	$>a^2, \leq 4.0a^2$	1.8	-1.7	1.8	-1.7	1.2	-1.1	0.8	-1.8	0.8	-1.8	0.5	-1.2
	$>4.0a^2$	1.2	-1.1	1.2	-1.1	1.2	-1.1	0.5	-1.2	0.5	-1.2	0.5	-1.2
7.5°	$<a^2$	3.2	-4.2	2.4	-2.1	1.6	-1.4	1.6	-5.1	1.2	-2.6	0.8	-1.7
	$>a^2, \leq 4.0a^2$	2.4	-2.1	2.4	-2.1	1.6	-1.4	1.2	-2.6	1.2	-2.6	0.8	-1.7
	$>4.0a^2$	1.6	-1.4	1.6	-1.4	1.6	-1.4	0.8	-1.7	0.8	-1.7	0.8	-1.7
15°	$<a^2$	3.6	-3.8	2.7	-2.9	1.8	-1.9	2.4	-4.2	1.8	-3.2	1.2	-2.1
	$>a^2, \leq 4.0a^2$	2.7	-2.9	2.7	-2.9	1.8	-1.9	1.8	-3.2	1.8	-3.2	1.2	-2.1
	$>4.0a^2$	1.8	-1.9	1.8	-1.9	1.8	-1.9	1.2	-2.1	1.2	-2.1	1.2	-2.1

註：1. 當滿足  $0.25 \leq h/L \leq 1$  且  $\theta \leq 45^\circ$  時，方可使用上表。  
 2. 屋頂下無阻擋係指屋頂下阻塞比低於 50%，如高於 50% 則視為屋頂下有阻擋。  
 3. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。  
 4. 每個部分應依最大正負壓力設計之。  
 5. 介於表列  $\theta$  間之值，可用線性內插求得。  
 6. 符號說明：  
     a：最小寬度的 10%，但不小於 0.9 m。  
     h：平均屋頂高度；若  $\theta \leq 10^\circ$ ，則採用屋簷高度。  
     L：順風向之建築物水平深度。  
      $\theta$ ：屋頂斜面與水平面所夾的角度。

圖 3.3(a) 開放式建築物之單斜屋頂局部構件及外部被覆物淨風壓係數  
 (資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

表 2-8 建築物耐風設計規範圖表-2

$\theta$	有效受風面積	$C_{PM}$											
		屋頂下無阻擋						屋頂下有阻擋					
		區域 3		區域 2		區域 1		區域 3		區域 2		區域 1	
0°	$<a^2$	2.4	-3.3	1.8	-1.7	1.2	-1.1	1	-3.6	0.8	-1.8	0.5	-1.2
	$>a^2, \leq 4.0a^2$	1.8	-1.7	1.8	-1.7	1.2	-1.1	0.8	-1.8	0.8	-1.8	0.5	-1.2
	$>4.0a^2$	1.2	-1.1	1.2	-1.1	1.2	-1.1	0.5	-1.2	0.5	-1.2	0.5	-1.2
7.5°	$<a^2$	2.2	-3.6	1.7	-1.8	1.1	-1.2	1	-5.1	0.8	-2.6	0.5	-1.7
	$>a^2, \leq 4.0a^2$	1.7	-1.8	1.7	-1.8	1.1	-1.2	0.8	-2.6	0.8	-2.6	0.5	-1.7
	$>4.0a^2$	1.1	-1.2	1.1	-1.2	1.1	-1.2	0.5	-1.7	0.5	-1.7	0.5	-1.7
15°	$<a^2$	2.2	-2.2	1.7	-1.7	1.1	-1.1	1	-3.2	0.8	-2.4	0.5	-1.6
	$>a^2, \leq 4.0a^2$	1.7	-1.7	1.7	-1.7	1.1	-1.1	0.8	-2.4	0.8	-2.4	0.5	-1.6
	$>4.0a^2$	1.1	-1.1	1.1	-1.1	1.1	-1.1	0.5	-1.6	0.5	-1.6	0.5	-1.6

註：1. 當滿足  $0.25 \leq h/L \leq 1$  且  $\theta \leq 45^\circ$  時，方可使用上表。  
 2. 屋頂下無阻擋係指屋頂下阻塞比低於 50%，如高於 50% 則視為屋頂下有阻擋。  
 3. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。  
 4. 每個部分應依最大正負壓力設計之。  
 5. 介於表列  $\theta$  間之值，可用線性內插求得。  
 6. 符號說明：  
 $a$ ：最小寬度的 10%，但不小於 0.9 m。  
 $h$ ：平均屋頂高度；若  $\theta \leq 10^\circ$ ，則採用屋簷高度。  
 $L$ ：順風向之建築物水平深度。  
 $\theta$ ：屋頂斜面與水平面所夾的角度。  
 3.3(b) 開放式建築物之雙斜屋頂局部構件及外部被覆物淨風壓係數

圖 3.3(a) 開放式建築物之單斜屋頂局部構件及外部被覆物淨風壓係數

(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

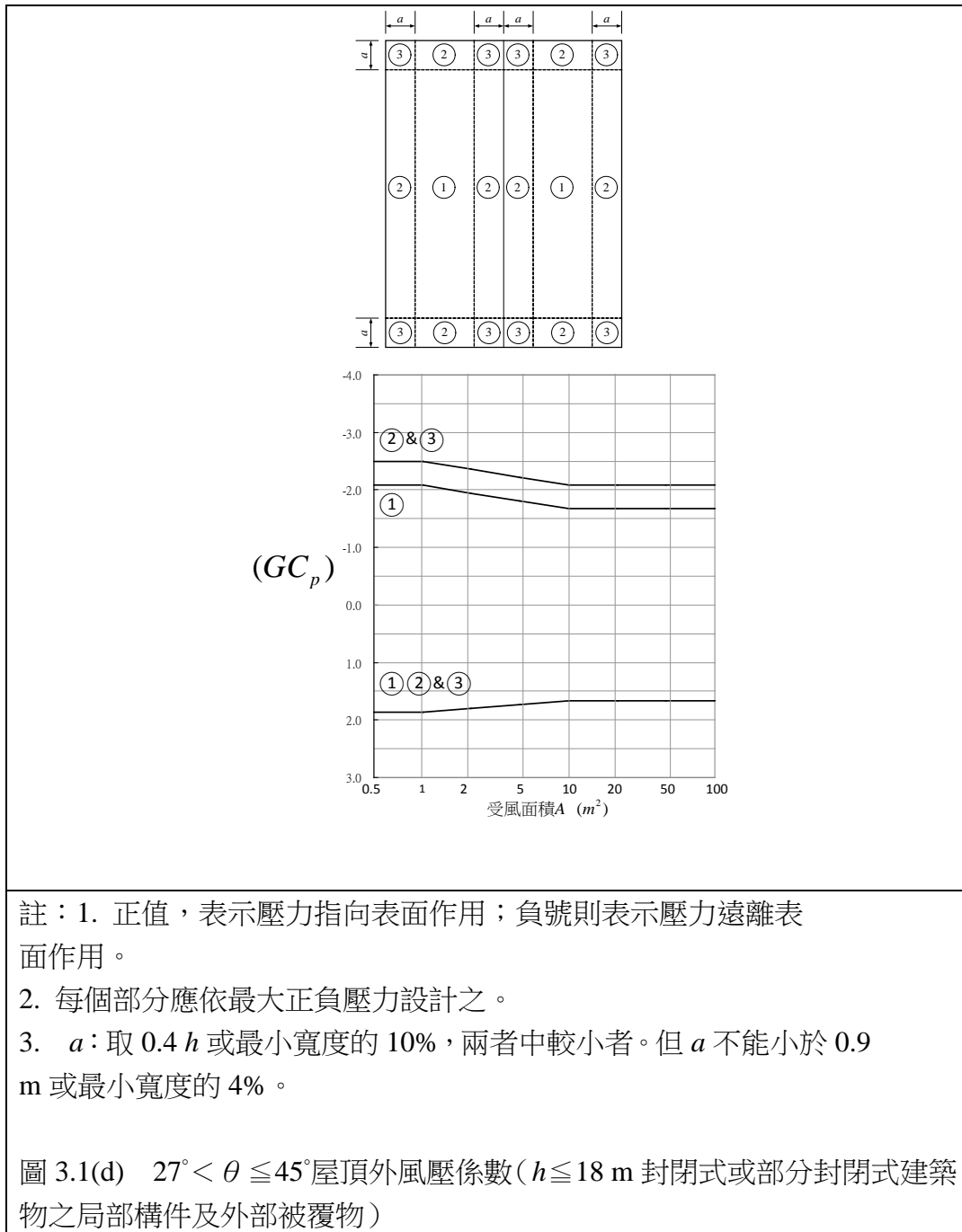
表 2-9 建築物耐風設計規範圖表-3

<p>註：1. <math>\theta \leq 7^\circ</math>時，若屋頂四周有高度<math>\geq 0.9</math> m之女兒牆，③區可以當②區處理。</p> <p>2. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。</p> <p>3. 每個部分應依最大正負壓力設計之。</p> <p>4. <math>a</math>：取 <math>0.4h</math> 或最小寬度的 10%，兩者中較小者。但 <math>a</math> 不能小於 <math>0.9</math> m 或最小寬度的 4%。</p> <p>圖 3.1(b) <math>\theta \leq 7^\circ</math>屋頂外風壓係數 (<math>h \leq 18</math> m 封閉式或部分封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)</p>	<p>註：1. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。</p> <p>2. 每個部分應依最大正負壓力設計之。</p> <p>3. <math>a</math>：取 <math>0.4h</math> 或最小寬度的 10%，兩者中較小者。但 <math>a</math> 不能小於 <math>0.9</math> m 或最小寬度的 4%。</p> <p>圖 3.1(c) <math>7^\circ &lt; \theta \leq 27^\circ</math>屋頂外風壓係數 (<math>h \leq 18</math> m 封閉式或部分封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)</p>

(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)



表 2-10 建築物耐風設計規範圖表-4



(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

表 2-11 建築物耐風設計規範圖表-5

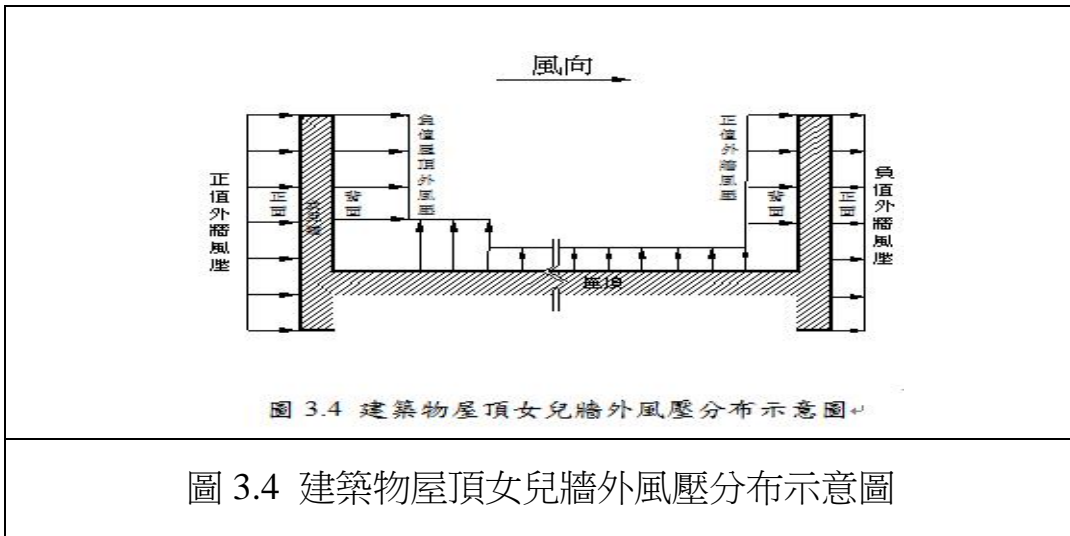


圖 3.4 建築物屋頂女兒牆外風壓分布示意圖

(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

表 2-12 建築物耐風設計規範圖表-6

表 2.12 煙囪、水塔等之風力係數, $C_f$				
結構物之橫斷面形狀	表面粗糙程度	不同 $h/D$ 值之 $C_f$		
		1	7	25
方形 (風向垂直於某面上)	所有	1.3	1.4	2.0
方形 (風向沿著對角線)	所有	1.0	1.1	1.5
六邊形或八邊形 ( $D\sqrt{q(z)} > 1.5$ )	所有	1.0	1.2	1.4
圓形 ( $D\sqrt{q(z)} > 1.5$ )	中度光滑	0.5	0.6	0.7
	粗糙 ( $\frac{D'}{D} \cong 0.02$ )	0.7	0.8	0.9
	極粗糙 ( $\frac{D'}{D} \cong 0.08$ )	0.8	1.0	1.2
圓形 ( $D\sqrt{q(z)} \leq 1.5$ )	所有	0.7	0.8	1.2

註：(1) 假設風力作用方向與風向平行。  
 (2) 欲求其他  $h/D$  值之  $C_f$ ，可做線性內插。  
 (3)  $D$ ：結構物之直徑或最小水平尺寸，m  
 $D'$ ：結構物表面突出構材的深度，m  
 $h$ ：結構物高度，m  
 $q(z)$ ：風速壓， $\text{kgf/m}^2$   
 (4) 計算設計風力所用之受風面積為，結構物投影在與風向垂直之平面上的面積。

表 2.9 開放式建築物之單斜式屋頂的風力係數, $C_f$							
$\theta$	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
$\theta$	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  
 $\theta$ ：屋頂斜面與水平面所夾的角度。  
 (3) 計算設計風力所用之受風作用特徵面積為屋頂面積。

(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

## 五、 「高雄港區合法建物屋頂空間設置太陽光電發電設備」設計規範， 1040306

### 一、規範效力

(一)本設計規範研訂之目的，係訂定高雄港區合法建物屋頂空間未來設置太陽能光電發電系統基本規範，爰乙方於進行設計時，須予以充分了解本設計規範之內容、太陽光電發電系統設計條件及相關國家法令規定，詳加檢討後再行設計。

(二)乙方於興建各項設施前(含管道及線路…等固定設施之設置)，需檢附相關圖說、結構計算書…等相關資料(詳附件，港工作業同意書申請流程說明)，應向甲方申請港工作業同意後施工，惟相關設計成果仍由乙方自行負責，不因港工作業同意而免除乙方之責任，若有因設計不當導致任何損失，包括營運損失或設施損壞，概由乙方負責及修復。

(三)本設計規範中註明引用其他技術規則，如建築技術規則、電業法、再生能源發展條例、高雄市綠建築自治條例…等，使用時應自行查明該引用資料是否有更新。

(四)資料蒐集與研判分析：

1. 乙方應自行主動蒐集辦理本案工作所需之資料或數據等。
2. 甲方於既有資料及能力範圍內應盡量予以協助，惟甲方提供之各類資料不保證完全無誤，乙方於投資及設計前仍應自行赴現場勘查，如所提供之各類資料互有牴觸不符或不正確等情形時，乙方應先研判分析確認後再使用。

### 二、太陽能光電設備設計準則：

#### (一) 屋面承載力與面積

高雄港區合法建物屋頂空間可設置面積上限以相關法令及建物實際可承載之結構載重為限，且須經依法登記開業之建築師或土木、結構等相關專業技師簽證。

#### (二) 方位、傾斜角度

1. 太陽光電發電系統設置，以面南為優先考慮方位，且系統應有適當傾斜角度，以利疏水及模組清潔。
2. 增設太陽能發電設備，以不減損既有建築物之原設計採光、通風及機械排煙功能為原則。

#### (三) 結構及材料

1. 考量本案設置地區近濱海，鹽分水氣量大，材料之處理與使用儘量符合模組二十年之使用期與系統五年保固期，固定支架、附屬週邊設備所用金屬，應使用不銹鋼或鋁擠(陽極處理、鍍膜厚度 $7\mu\text{m}$ 以上)等抗鹽害之材質。
2. 安裝後太陽光電系統設備自身及與建築物結合之整體結構強度，應符合建築法規耐震及抗風要求。

#### (四) 產品規範要求

本設備發電系統模組，應優先使用品質較佳者，且符合下列標準規範之一者：

1. 中華民國國家標準(CNS)認證:CNS15114、CNS15115等。

2. 國際電工委員會 (International Electrotechnical Commission, 簡稱IEC) 認證: IEC61215、IEC61646等。

3. 日本電氣安全與環境研究所 (JET) 認證。

4. 美國UL認證: UL1703。

#### (五) 系統併聯

1. 乙方規劃設置之太陽光電發電系統, 應自行向台灣電力公司及相關單位申請同意併聯; 甲方不負責收購所生電力, 亦不負責向台灣電力公司辦理併聯、躉購及申請等相關作業。

2. 乙方完成太陽能光電發電系統工程設備後, 應依再生能源發展條例向台灣電力公司辦理併聯、躉購及申請等相關事宜, 必要之費用概由乙方負擔。

3. 使用之變壓設備, 其絕緣油不得含有多氯聯苯等有毒物質, 並符合「屋內線路裝置規則」401條款之規定。

4. 配電器材設計時之選用應考量適用於濱海耐潮濕及鹽害之防蝕材料, 屋外型配電箱體須用不銹鋼316級以上或更優材質者。

5. 基地範圍連接公共道路之電力等其他管道可協調甲方共同使用已既設完成之管道設施, 惟基地範圍內若無既設港區公共管道, 應由乙方自行設計及設置, 所需管路、線路部分應由乙方自行負責。

#### 三、 本案工程介面整合:

1. 增設太陽能發電設備所需管道時, 以不直接貫穿屋頂為原則, 避免破壞屋頂層之水密性, 若因設置太陽能板導致損及屋頂結構或漏水, 承租廠商應切結保證負責並依甲方通知之時限內完成修復或復原。

2. 設置太陽能發電設備須規劃設置維修通道、安全索系統等保障維修人員安全之設備, 且符合職業安全衛生法等相關法規規定, 上述勞安設備與責任應由乙方自行負責。

3. 乙方規劃之PV設備, 應以本建物屋頂可承載之重量為原則, 若超出時, 乙方應負責結構之補強; 或朝減量設置方式處理, 以符合結構安全規定, 前述補強或減量設置所衍生之成本及發電量減少, 應由乙方自行在投標前審慎評估, 決標後不得應求補償或折減租金與管理費。

4. 乙方所規劃設置之PV設備, 應考慮與周遭整體環境及景觀做搭配, 設計內容若甲方認為有影響結構安全、港區發展或整體環境及景觀時, 應依甲方之建議修改設計內容, 乙方應配合辦理, 並不得要求任何補償。

5. 增設太陽能發電設備所需管路、線路原則上以暗管佈設, 不得以架空方式佈設, 惟於既有結構物部分得以明管佈設, 但不得妨礙原使用功能及整體景觀為原則, 另相關設備可規劃於室內, 惟分租事宜應由乙方自行洽原承租業者討論, 亦可規劃以戶外型式設置於戶外, 並依契約規定支付土地租金。

6. 增設太陽能發電設備所需之配電設備, 在符合結構安全之條件下, 原則上以附掛在該既設建築物牆面之方式設計。

7. 乙方規劃設置之太陽光電發電系統，為配合與台灣電力公司供電線路併聯饋接，若依法規規定需於港區範圍內設置受電場或配電場，設置位置及所需土地面積應洽甲方辦理，並依契約規定辦理土地增租，並支付土地租金，惟若所需設置之位置在港區範圍外，乙方應自行洽土地所有權人或管理機關租用。

#### 四、 太陽光電發電設備之設置

1. 乙方應檢送本案之配置圖、設計圖、結構計算書、施工計畫書、施工說明書等相關資料向甲方申請港工作業同意書，於取得同意書後方能申報開工。

2. 乙方於應填具開工報告表向甲方申報開工，經甲方函復同意開工後方得進場施工，甲方函復同意開工時應副知內部相關單位。

3. 乙方於設置期間如有增減做設施、變更設置方案…等變更設計情事，應先提送變更設計圖說、結構計算書…等資料，取得甲方同意後始得施工。

4. 前揭乙方於興建期間申請港工同意、開工、變更設計、相關檢（試）驗報告、竣工、驗收及申請建造等相關資料依法須有登記開業之建築師或土木、結構等相關專業技師簽證等，應由各該相關建築師或專業技師簽證及於契約指定之相關文件簽章。

5. 乙方於太陽光電發電系統營運期間，若為營運需要進行之改善、修繕、增建、改建相關設施…等施工，應依本項第1-4款之規定辦理。

#### 五、 其他：

1. 太陽光電發電系統設置，應符合「再生能源發展條例」、「高雄市綠建築自治條例」、消防法及建築法等相關法令之規定，另本系統結構安全須送依法登記開業之建築師或土木、結構等相關專業技師簽證負責，並函送該管直轄市、縣(市)政府備查；電力系統部分應依法規規定送合格登記之電器承裝業或執業電機技師簽證負責。

2. 裝設PV系統相關之配線設計與施工須符合國內「屋內線路裝置規則」及「屋外供電線路裝置規則」。

3. 為因應都會區未來之供電電壓等級，南星計畫區之PV系統與台電之併聯線路應採25kV級電纜。

#### 六、 太陽光電模組產品登錄作業要點，2015.6

一、 經濟部（以下簡稱本部）為提供太陽光電模組產品之合格資訊，建立合格模組產品名單以提高民間設置者信心，並揭示其規格、已取得之安全規範及產品驗證等公開資訊，特訂定本要點。

二、 太陽光電模組產品之登錄，依本要點辦理。但商品檢驗主管機關另有規定者，依其規定。

三、本要點執行機關為本部能源局（以下簡稱能源局），並得委託相關專業機構執行本要點規定事項。

四、本要點適用對象為依中華民國公司法設立登記且從事太陽光電模組產品相關製造或代理之公司。

五、申請人應填具太陽光電模組產品登錄申請表(如附件一)，並檢具下列文件向能源局提出：

(一) 公司最新登記(變更)文件、最近一期營業人銷售額及稅額申報書(401表)；如公司設立未滿半年，得以公司負責人簽署之依法營運聲明書(如附件二)代替之。

(二) 太陽光電模組產品規格書。

(三) 太陽光電模組產品通過驗證標準之證明文件(含文件(Certificate)及完整試驗報告書或其他可資證明文件)：

1. 性能驗證證書。

2. 安全驗證證書。

前項第一款所檢附之文件應為影本，且應註明「與正本相符」字樣並加蓋申請人公司章及負責人印章。

第一項第三款所檢附之驗證證書，其有效期限自申請日起算至少須六個月以上。

六、前點第一項第三款之驗證標準，係指符合下列各款中華民國國家標準(CNS)與國際電工委員會(IEC)標準規定者：

(一) 性能驗證：應採CNS 15114、CNS 15115、CNS 15534或IEC 61215：2005、IEC 61646：2008、IEC 62108：2007驗證標準。

(二) 安全驗證：應採CNS 15118-2或IEC 61730-2：2004驗證標準。

除前項所定之驗證標準外，申請人就其它國際通行驗證標準，如認可資適用時，得檢附相關資料提請能源局審查；經審查通過者，視同符合前項規定。

七、第五點第一項第三款之驗證證書/試驗報告書，須經由以下第三方驗證機構/測試實驗室核發：

(一) 驗證機構：國際電工委員會電工產品合格測試與認證組織(IECEE)於太陽光電類別中列名之國際驗證機構(NCB, National Certification Body)；全國認證基金會認證可執行太陽光電產品驗證之驗證機構，或透過太平洋認證合作組織(PAC, Pacific Accreditation Cooperation)、國際認證論壇(IAF, International Accreditation Forum)簽署多邊相互承認協議(MLA, Multilateral Recognition Arrangement)之驗證機構。

(二) 測試實驗室：國際電工委員會電工產品合格測試與認證組織(IECEE)於太陽光電類別中列名之驗證機構測試實驗室(CBTLs, Certification Body Testing

Laboratories)；全國認證基金會認證可執行太陽光電產品測試之實驗室，或透過亞太實驗室認證聯盟(APLAC, Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation)、國際實驗室認證聯盟(ILAC, International Laboratory Accreditation Cooperation)簽署相互承認協議(MRA, Mutual Recognition Arrangement)之測試實驗室。

八、經審核符合規定之申請案，由能源局登錄於太陽光電模組產品登錄網站(以下簡稱本網站)。

九、太陽光電模組產品登錄於本網站之內容如下：

- (一) 廠牌。
- (二) 型號。
- (三) 尺寸。
- (四) 額定輸出功率。
- (五) 有效期限。
- (六) 取得性能驗證所適用之驗證標準及驗證單位。
- (七) 取得安全驗證所適用之驗證標準及驗證單位。
- (八) 其他產品備註事項。

十、太陽光電模組產品登錄有效期限自審核通過之次日起，為期二年。但驗證證書有效期限早於登錄有效期限者，登錄期限以驗證證書有效期限為準。

登錄於本網站之資料有任何變動，應由申請人提出變更申請。

十一、申請人得於登錄有效期限屆滿日前三個月內，檢附聲明書(如附件三)、原同意函、產品規格書與通過驗證標準之相關證明文件向能源局申請展延，每次展延期限為二年。但展延期限不得超過驗證證書之有效期限。

十二、登錄於本網站之太陽光電模組產品有下列情形之一者，能源局得移除其登錄：

- (一) 申請人所提出之相關文件有偽造不實、變造或其他違法情事，經查證屬實。
- (二) 性能驗證證書或安全驗證證書於登錄期限內因故失效。
- (三) 登錄有效期限屆滿未經申請展延或展延審核未通過。
- (四) 產品使用期間曾發生事故，經能源局認定有安全疑慮。

有前項第一款情形者，能源局自移除該登錄之日起一年內，不受理同一申請人之申請案。

有第一項第四款情形者，能源局自移除該登錄之日起一年內，不受理同一型號產品之申請案。

## 七、 相關試驗標準

與本研究相關的試驗標準，目前蒐集的有 CNS、IEC 及 UL 等，整理如下：

- CNS 12555 B4071 住宅用太陽能熱水器
- CNS 12556 B7275 太陽能集熱器集熱性能檢驗法
- CNS 12557 B7276 太陽能蓄熱槽蓄熱性能檢驗法
- CNS 12558 B7277 自然循環式太陽能熱水系統檢驗法
- CNS 15011 K8022 太陽能－詞彙（太陽熱能）
- CNS 15034 K8025 太陽能熱水器－吸收器、連接管路及配件之彈性橡膠材料－評估方法
- CNS 15064-1 K8026-1 太陽能－在不同地球表面接收狀況下之參考太陽光譜照射度－第 1 部：大氣光程 1.5 下之直接垂直與半球太陽照射度
  
- CNS 15125-1 K8029-1  
太陽能加熱－家用熱水系統－第 1 部：性能評比程序之室內試驗法
- CNS 15125-2 K8029-2  
太陽能加熱－家用熱水系統－第 2 部：僅用太陽能系統的性能特性與年度性能預測之室外試驗法
- CNS 15125-3 K8029-3  
太陽能加熱－家用熱水系統－第 3 部：太陽能加輔助系統之性能試驗法
- CNS 15126 K8030  
太陽能－熱水系統－相關內部腐蝕材料之選擇指引
- CNS 15165-2 K8031-2  
太陽能集熱器試驗法－第 1 部：合格試驗程序
  
- IEC 61215：陸用型結晶矽太陽能模組設計資格和型式驗證
- IEC 616146：陸用型薄膜型太陽能模組設計資格和型式驗證
- IEC 61730：太陽能模組安全資格，第 1 和第 2 部分；結構和測試要求，包括保護等級 II
- UL 1703 UL：平面式太陽能模組和配電盤的安全標準；太陽能建築一體化的擴展安全檢驗（BIPV）
- IEC 62108：按照 IEC 62108:2007/EN 62108:2008 標準的 CPV（聚光型太陽能）模組設計資格和型式驗證
- IEC 61701：鹽霧防腐測試，包含太陽能模組在鹽霧空氣中的要求

惟上述各項標準中，尚無特別針對耐風或抗風壓等測試有所特別要求，多數以該蓄電或集熱功能為主要要求，另外對於結構的腐蝕與強度有所規範。



## 第六節 國外相關規範

對於國外相關規範，本研究特別選取鄰近先進國家-日本為探討對象。日本目前對於太陽能光電的發展也相當積極，其中「太陽光發電協會 JPEA」扮演了相當重要的角色，不但擘劃未來對於再生能源的使用規定，提出相當多的檢核表供申請者、使用者及開發者的遵循。領域除了發電、設計施工、荷重設計，甚至與消防系統的連結等。

另外更提出「太陽能光發電系統設計與施工」專書，其內容包括太陽能電池元件的特性、結構及種類，功率調節器的工作原理、功能、電路構成以及種類、選擇方法，相關設備及部件如元件、接線箱、蓄電池、防雷擊對策等，以及太陽能發電系統設計與施工、維護檢查及測量。並在最後一章和附錄中介紹日本的安裝太陽能發電系統的相關法令及手續，以及聯網系統技術要求準則、日本重要地區日照量資料等。

該部分對國內相關部門及企業具有較高參考價值，也可作為從事太陽能應用相關領域工作的技術人員、研發人員及管理人員的技術指導書籍。

日本在此領域別的投入與成效，相當值得我國借鏡與學習。不過綜觀國內外對於光電板抗風的研究，仍以以歐美國家居多，反倒是位於颱風盛行地區的台灣與日本相對較少，這是比較奇特的現象，尤其在相關規範更是寥寥無幾，期待未來能在此範圍內能有更多對於抗風的助益。

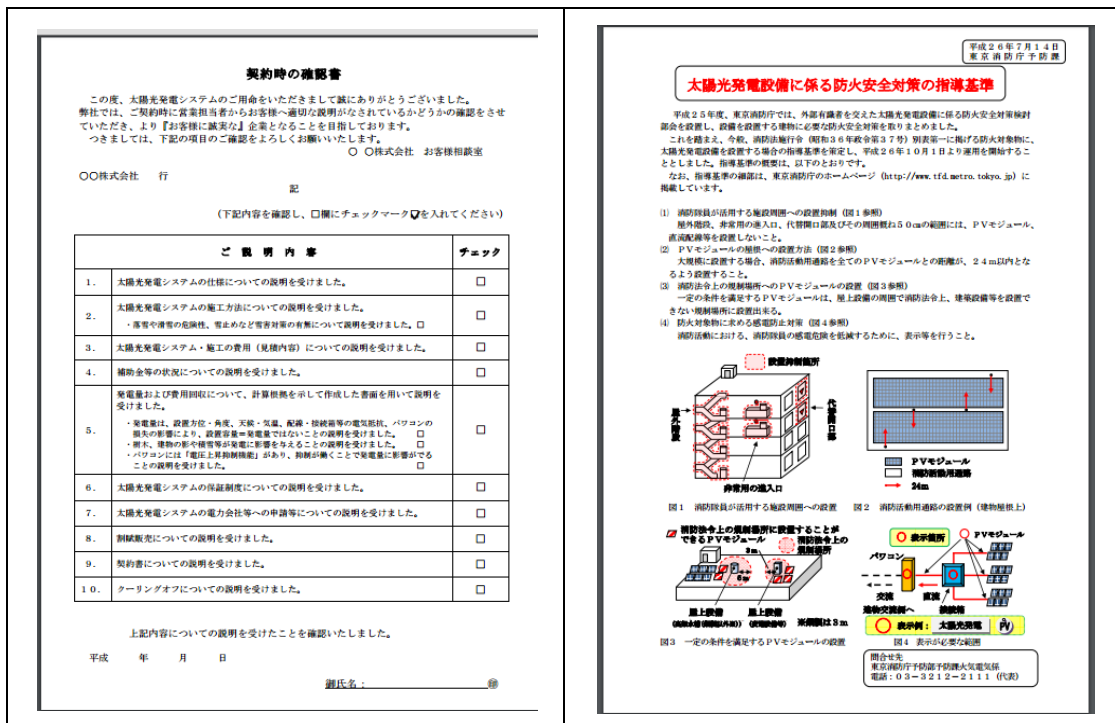


圖 2-45 日本 JPEA 對於光電板應用之相關作為  
(資料來源：JPEA、本研究整理)

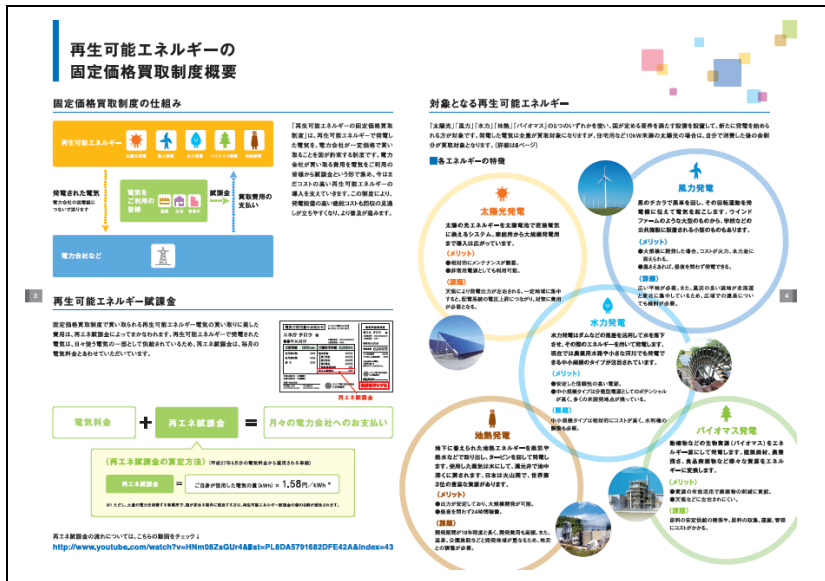


圖 2-46 日本 JPEA 對於 10kW 以上太陽光發電設計重點提示 (資料來源：JPEA、本研究整理)

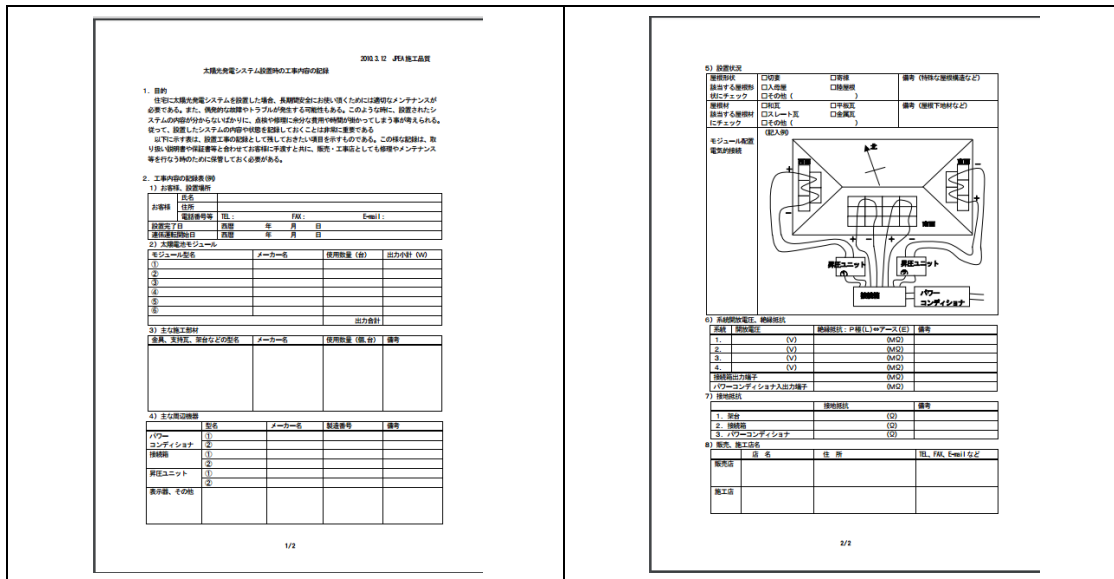


圖 2-47 日本 JPEA 對於光電板相關簽證檢核 (資料來源：JPEA、本研究整理)

太陽光発電システム導入にかかわる主な法律には、「建築基準法」と「電気事業法」があります。

太陽電池モジュールの設置形態や設置方式、システムの規模によって対応が異なりますので、詳細は設置業者ならびに所轄官庁にお問い合わせ下さい。

### 建築基準法関連

建築物の屋根材や外壁材として太陽電池モジュールを用いる場合は、建築基準法が定める「構造耐力」「防火性」「耐久性」「安全性」に関する要求基準を十分に検討・確認してモジュールの選定を行うことが必要です。

### 電気事業法関連

太陽光発電は発電システムなので、電気事業法による規制を受けます。

システムの出力規模や電圧の種別によって、必要となる手続きが異なります。

電気工作物	太陽光発電部分の 工事計画	工事 計画	使用前 検査	使用 開始届	主任 技術者	保安 規定	届出先
一般用	50kW 未満 (※2)	不要	不要	不要	不要	不要	不要
自家用	50kW 未満 (※3)	不要	不要	不要	外部委託 承認	届出	経済産業省 産業保安 監督部
	50kW 以上 500kW 未満	不要	不要	不要	外部委託 承認	届出	経済産業省 産業保安 監督部
	500kW 以上 2000kW 未満	不要	不要	不要 (※1)	外部委託 承認	届出	経済産業省 産業保安 監督部
	2000kW 以上	届出	実施	不要 (※1)	選任	届出	経済産業省 産業保安 監督部

※1 出力 500kW 以上の電気工作物を譲渡、借用する場合には、使用開始届が必要。

※2 低圧連系の 50kW 未満、もしくは独立型システムの 50kW 未満が該当する。

※3 高圧受電・連系での、50kW 未満の自家用電気工作物。

- ・保安規定については、他の自家用電気工作物が既に設置されている場合には、保安規定の変更・追加手続きが必要。
- ・高圧または、特別高圧の変電設備・蓄電設備（4800AH・セル以上）を設置する場合には、所轄消防署へ、設置届出が必要。

図 2-48 日本光電板與建築相關法規關連性圖

（資料來源：JPEA、本研究整理）

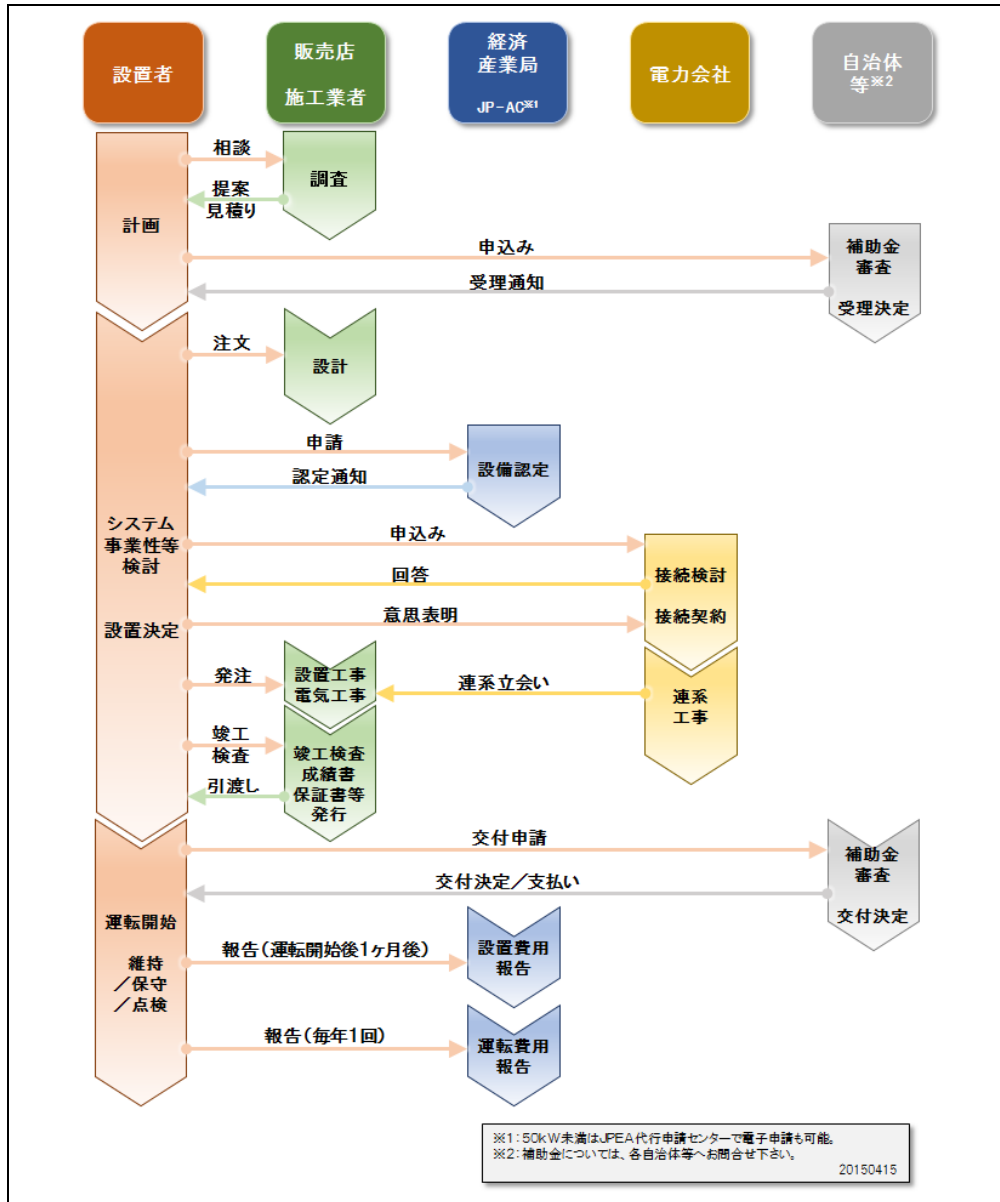


圖 2-49 日本太陽能光電板申請設置流程圖  
(資料來源：JPEA、本研究整理)

## 第三章 試驗計畫與結果

本研究係應用本所位於台南市歸仁區成大校區內風洞實驗館之風洞設備，該設備屬於封閉迴路式風洞，並有兩個測試區。第一測試區 4.0m(寬)×2.6~3m(高)×30m(長)，最大風速約 30m/s；第二測試區 6.0m(寬)×2.6~3m(高)×20m(長)，最大風速約 20m/s。本研究為瞭解光電板直接受風後之抗風能力，因此試驗在第一測試區中採「均勻流場」進行，而不採用地況條件，以利可知道光電板所能承受的相對及值。相關試驗儀器設備及條件，分述如下。

### 第一節 試驗儀器及條件建立

#### 一、試驗儀器：

##### (1) 風洞：

本所風洞本體(如圖 3-1 及圖 3-2)為一垂直向的封閉迴路系統，總長度為 77.9m，最大寬度為 9.12m，最大高度為 15.9m。整個風洞本體具有 2 個測試區段，第一測試區中配置有 2 個旋轉盤，第一座旋轉盤直徑 1m，安置於距測試區入口處 3m 處，從事一般流體力學研究；第二座旋轉盤直徑 3m，置於可移動式軌道上，定位於距測試區入口端約 25.5m 處，並以機械控制使其做旋轉及上下運動，將以建築物受風力作用的空氣動力學研究及污染擴散試驗為主，空風洞最大風速為 30 m/s。第二測試區則配置一座旋轉盤，其距離風洞本體整流段出口 15m 處，轉盤直徑為 3m，主要用途以橋梁測試為主，空風洞最大風速為 20 m/s。本次試驗於本實驗室第一測試段之第 1 旋轉盤進行，並採均勻流方式進行，風扇轉速監測係由風洞操控面板控制馬達轉速，並藉由控制台監測。

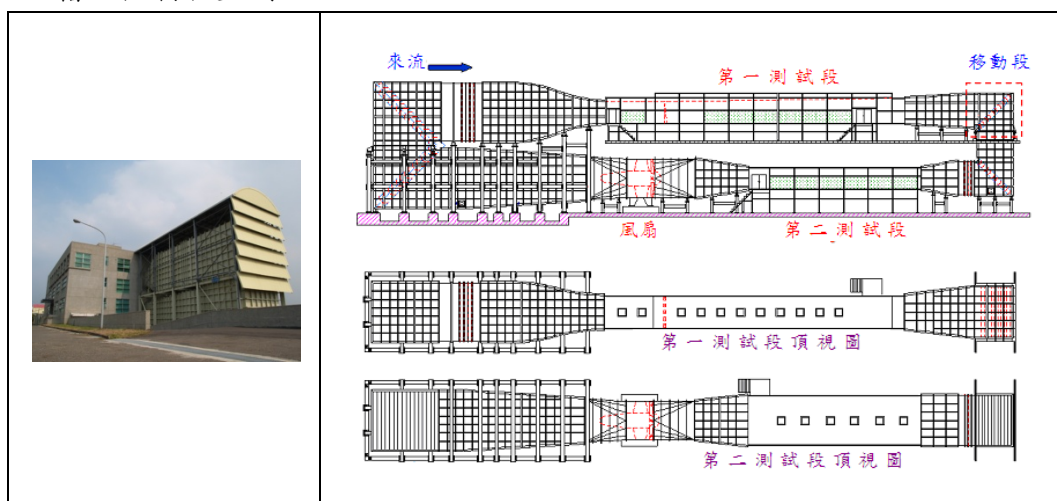


圖 3-1 風洞實驗館

(資料來源：本研究整理)

(2) 六力平衡儀



	<p><u>六力平衡儀 (Force Balance)</u>                  外徑: 191mm, 高: 51mm                  Load Range: <math>F_X</math>、<math>F_Y</math> 為 <math>\pm 315</math> N ; <math>F_Z</math> 為 630 N;  <math>M_X</math>、<math>M_Y</math>、<math>M_Z</math> 為 63 N-m                  非直線性: 定格 0.5% 以下                  遲滯現象: 定格 0.5% 以下                  溼度飄移: 定格 0.3% /<math>^{\circ}</math>C 以下                  容許過負荷: 定格 500%                  輸出解析度: Full Scale 1/16384(14bit A/D converter)                  操作溫度: 0~45<math>^{\circ}</math>C , 相對溼度: 0~90% RH</p>
	<p><u>供電系統</u>                  操作電壓需求: 120 VAC(108-132 VAC, 60HZ)                  操作溫度: 0~45<math>^{\circ}</math>C                  相對溼度: 0~90% RH                  輸出電壓: + 15 VDC</p>
	<p><u>訊號傳輸模組</u>                  操作電壓: +15 VDC                  操作溫度: 0~45<math>^{\circ}</math>C                  相對溼度: 0~90% RH                  類比輸出電壓(Analog output): +/- 10VDC</p>
	<p><u>類比訊號傳輸盒</u></p>
	<p><u>類比/數位轉換器</u>                  NI CompacDAQ-9172(analog-digital)。本系統最高可連結 8 個模組。                  時間解析度(Timing resolution)為 50ns。                  取樣頻率(Sampling rate)最高可達 3.2MHz。配合四個 NI 9215 模組, 每個模組共有四個訊號輸入端, 並具有同步取樣功能(sample and hold), 可同步取樣<math>\pm 10</math>V 的四個輸入通道, 電壓輸出解析度可達 0.3mV。取樣頻率為 100kHz。解析度: 16-bit, 可以 USB 傳輸至電腦存取資料。</p>

圖 3-2 六力平衡儀設備圖

(資料來源: 本研究整理)

## (3) 多頻道電子壓力掃描器

用來同步擷取作用於結構表面各點的瞬時風壓，經過適當的處理便可得到結構系統所受之平均風力、擾動風力以及外牆所受之局部風壓。本研究所採用之儀器為 SCANIVALVE 公司產品，其元件包括：

1. 壓力訊號處理系統(RADBASE3200)
  - a. 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)
  - b. 最多可支援 8 組壓力感應模組，共 512 個壓力量測點。
  - c. 其類比訊號轉換成數位訊號(A/D convert)解析度達 16bit。
  - d. 最大採樣速率可達 500 Hz。
  - e. 採用 USB 介面傳輸。
  - f. 具備網路控制與傳輸功能。
2. 類比/數位模組(RAD A/D 3200 module)
  - a. 連接電子式壓力掃描模組並進行訊號轉換。
  - b. 連接電磁式氣閥並控制壓力輸入模式。
3. 電磁式氣閥(MSCP Solenoid control pack)
4. 電子式壓力掃描模組(ZOC 33/64Px)
  - a. 具 64 組壓力輸入管
  - b. 量測範圍： $\pm 10 \text{ inH}_2\text{O}$  or  $\pm 1 \text{ psi}$  or  $\pm 2.5 \text{ kPa}$ 。
  - c. 量測精度： $\pm 0.15\%$  最大量測範圍。誤差範圍為 $\pm 0.2\%$ 。
  - d. 資料擷取速度：40 kHz (單獨一點最大掃描速度)。
  - e. 輸出電壓： $\pm 2.5 \text{ V}$ 。
  - f. 操作溫度範圍： $0^\circ\text{C}$  to  $60^\circ\text{C}$ 。
  - g. 試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，其量得訊號傳至壓力訊號處理系統計算後所得壓力值傳回電腦。

## 5. 外接電源供應器

電磁式氣閥須另外接電源，供電需求為 24 伏特之直流電源。

## 6. 外接氣體壓力源

外接氣體之壓力須調整至 65 psi，若使用高壓鋼瓶氣體，則須確認高壓鋼瓶內部壓力高於 200 psi 以避免鋼瓶內之雜質與水氣入侵，進而損害或污染儀器。



圖 3-3 多頻道電子壓力掃描器設備圖

(資料來源：本研究整理)

#### (4) 風速計及皮托管

1. 風速計：為精確便捷且可即時瞭解測試區來流風速，採用由 TSI 公司生產之熱線式風速計，型號為 8465。該風速計量測速度由 0~50m/s。相關性能規格如表 3-1。



表 3-1 風速計規格性能

	8455/8465	8475
Range	25 to 10,000 fpm (0.127 to 50.8 m/s), selectable	10 to 500 fpm (0.05 to 2.54 m/s), selectable
Accuracy	±(2% of reading at 64.4 to 82.4°F (18-28°C) +0.5% of full scale of selected range)	±(3% of reading at 68.0-78.8°F (20 to 26°C) +1% of full scale of selected range)
Response time	0.2 seconds	5.0 seconds
Input power	11 to 30 VDC or 18 to 28 VAC, 350 mA maximum	

該量測設備經過 CALP-EC-Q001(V1.6)校正。本研究將風速計設置模型最高處附近，高度約 100cm，以利做為模型高度的附近的參考風速。

- 皮托管(Pitot tube): 在本試驗中採用皮托管進行來流場靜壓力及參考風速量測，主要目的在於量測結果參考。皮托管是由內外兩管組合而成，其內管為滯流管，管口正對流向，外管的管壁有小孔連通到一個側管利用內外兩管的壓力差異計算流速所量測到的壓力差值，係利用伯努利方程式(Bernoulli equation)，即依據下列計算式出相應之風速。本研究作為風速計時設置於風洞來流入口上方，作為靜壓力時，則設置於模型附近，高度約 50cm，以利做為模型高度的附近的參考風速。由皮托管所量測到的壓力差值，利用薄膜型壓力轉換器，將壓力差以電壓形式輸出至壓力轉換電壓顯示器，再透過 NI 資料擷取系統，將資料傳回電腦，依據伯努利方程式(Bernoulli equation)計算出相應之風速。計算式如下：

$$\frac{P_1}{\gamma_a} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_a} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_a} - \frac{P_1}{\gamma_a}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{P_2}{\gamma_a} - \frac{P_1}{\gamma_a}}$$

$$V_{\infty,u} = \sqrt{\frac{2q_{\infty,u}}{\rho_{\infty}}}$$



圖 3-4 風速計及電源供應器

(資料來源：本研究整理)

## 二、試驗條件

### (1) 模型製作

經過前期研究及文獻蒐集發現，如欲直接瞭解光電板模組與支架的關係，坊間通常會應用電腦模擬計算軟體（如 ETABS、MIDAS、SAP2000 等）來推算支架結構應力分配。惟本研究認為，由於利用電腦模擬軟體，容易受到環境參數設定的影響，進而影響計算結果與實際試驗結果的差距；而若欲將光電板與支架置於風洞試驗，又容易因為風洞、儀器設備及縮尺條件的限制，往往無法以全尺寸的方式來進行，本所過去承接相關委託檢測試驗案時，也常有類似情形發生。為了瞭解風力的分佈，通常會採用 2 種方式來進行，首先可以採用風力模型，透過基底受力情形，依據各分（樓）層的高度來進行分配計算；另外，可採用風壓模型，將各表面風壓量測資料，進行積分計算，同樣也可以得到各分（樓）層的力量，當然，所設計模型與風場縮尺等條件，也都必須考量，如此才能得到相當接近於真值的近似結果。不過，由於光電板模型的設置環境條件，誠如本研究文獻蒐集所述，內容種類相當多，而相關廠商業者也曾多次聯繫本所亟欲檢測光電板直接受風的抗風能力，然又苦於目前規範尚無整體直接受風檢測的相關標準與規範，因此，本研究仍嘗試以規劃試驗的方式來進行，並依據各次會議結論與建議，試驗模型將分別以風力模型及風壓模型，進行風洞試驗吹試，以利瞭解模組與支架間相互的關係。

本研究在此也特別說明，太陽能光電板吸光效果、材質及相關系統非本研究重點，因此，本研究僅針對其外觀樣式及傾斜角度來考量。若考慮文獻與實務上設置，當位居北半球時，方向應朝向正南方，才能獲得最長日照；反之，在南半球時則相反。至於安裝角度，則需視安裝地點所在的經緯度而定，一般而言，過去相當多研究會考量 10~30 度間，惟多數研究及產品開發中指出，以臺灣而言，地理位置平均落在 23.5，因此傾（仰）角則應在 23.5 度附近。

1. 縮尺風力試驗模型：由於本所目前可直接量測基底受力的試驗儀器，係以六力平衡儀（Force Balance），該儀器設備重點整

理如圖 3-2。一般在檢測建築物的直接受風力，均以縮尺模型鎖固於該儀器上方，而模型必須為剛性不變形，才能在風洞吹試過程中量測到各方向的分力（矩）資料。因此，考量前期研究 1/10 的單片板光電板模型尺寸，恰可於進行風力量測，並行瞭解該種縮尺方式，基底各方向的分力，以利進行比對計算。

- A. 該光電板模型以參考市面上太陽能光電板常見單元尺寸為主，經過蒐集各廠商的型號，以茂迪公司為生產的 XS-72 系列的產品單元長 1956mmx989mm 為參考，係以 1 片光電板型式，單元尺寸為 2m x 1m，縮尺為 1/10，所以光電板的尺寸經縮尺後以 200mmx100mm 的壓克力板製成，為了得到該模型基底受力，並避免模型變形或扭曲而影響量測結果，模型支架部分特別予以強化，亦即假設該模型為剛性不變形。
- B. 本研究選用傾（仰）角 20 度（ $\alpha$ ）為試驗條件，相關圖說如圖 3-5。

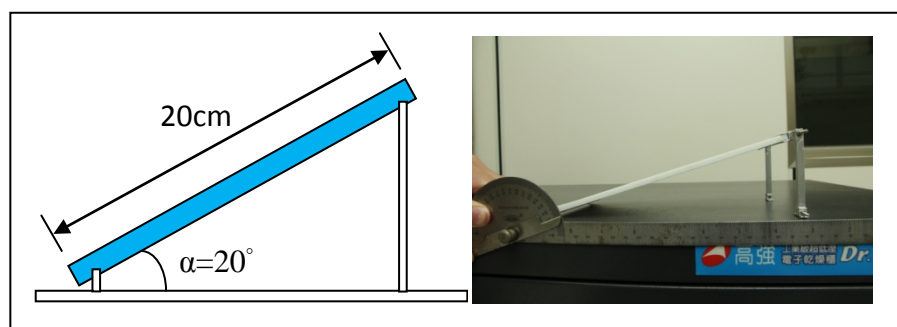


圖 3-5 風速計及電源供應器

（資料來源：本研究整理）

Electrical Performance Parameters	XS72C3-330-G		XS72C3-330-G		XS72C3-330-G	
	Wp	Wp	Wp	Wp	Wp	Wp
Max. Power Voltage (Vmp)	37.1	37.1	37.1	37.1	37.1	37.1
Max. Power Current (Imp)	8.93	8.93	8.93	8.93	8.93	8.93
Open-Circuit Voltage (Voc)	45.57	45.57	45.57	45.57	45.57	45.57
Short-Circuit Current (Isc)	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28	9.28

圖 3-6 太陽能光電板模型（茂迪公司生產的 XS-72 系列）

（資料來源：本研究整理）

2. 縮尺風壓試驗模型：為了更瞭解單片型光電板的風壓情形，本研究將以 1/5 縮尺比例，直接進行風壓量測。經過文獻蒐集，並透過工研院綠能所的協助，支架部分選用推進工業有限公司所生產的鋁合金支架型式，縮尺為 1/5。在經過與業界先進訪談後，目前光電板除了特別要瞭解光電板發電功率及單片檢測外，通常都會以陣列方式設置，以利於大面積發電，因此，本研究除了考量單片型外，也將進行陣列型的探討。本研究也特別感謝推進工業有限公司協助，依據本研究需求，提供相關技術圖說。

- A. 單片型 (1x1)：單片型支架型式，相關圖說如圖 3-7，縮尺為 1/5。光電板傾 (仰) 角 15 度 ( $\alpha$ )。
- B. 陣列型 (2x3)：單片型支架型式，相關圖說如圖 3-8 及圖 3-9，縮尺為 1/5。光電板傾 (仰) 角約為 30 度 ( $\alpha$ )。

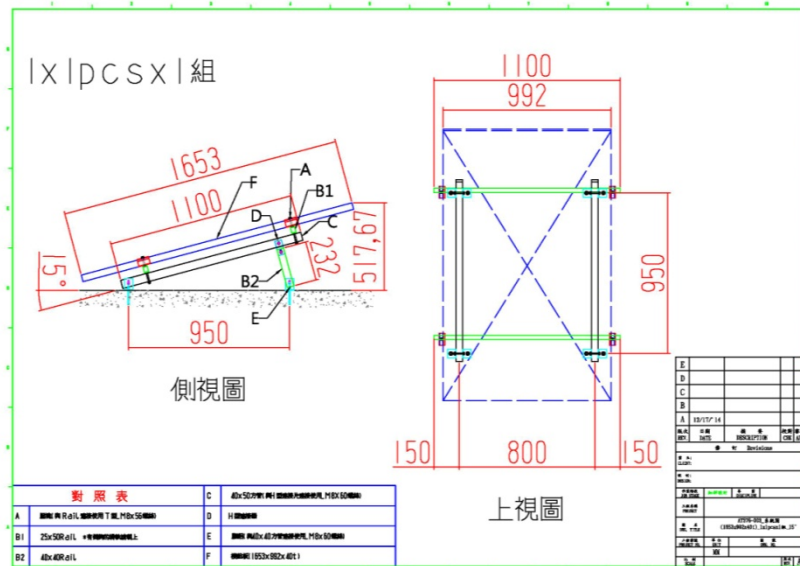


圖 3-7 單片型 (1x1) 規格尺寸圖  
(資料來源：本研究整理)

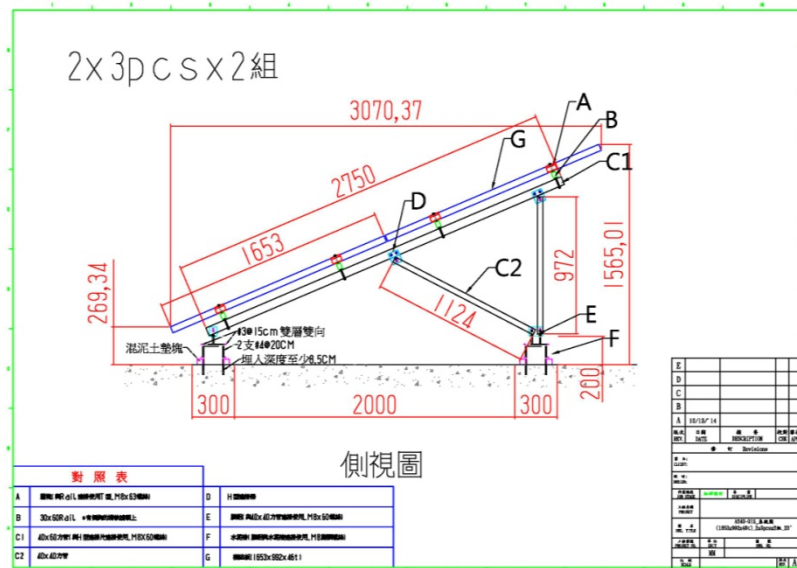


圖 3-8 單片型 (2x3) 規格尺寸側視圖  
(資料來源：本研究整理)

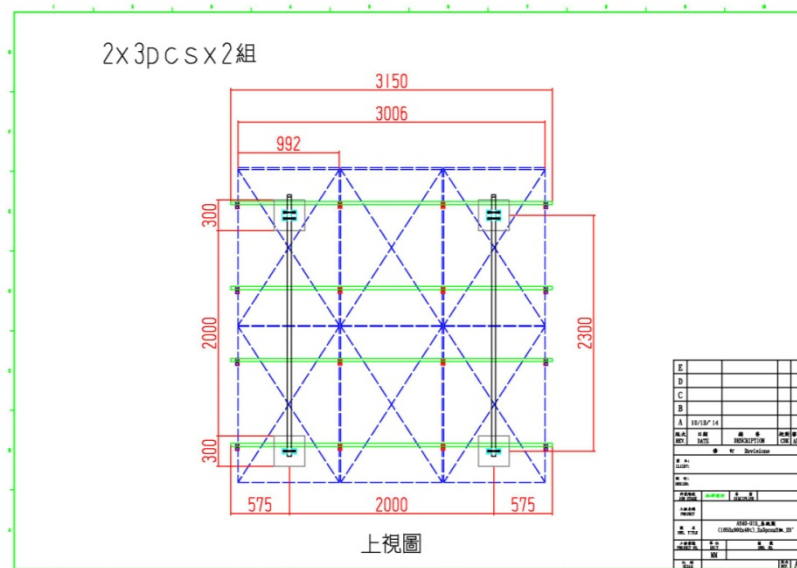


圖 3-9 單片型 (2x3) 規格尺寸上視圖  
(資料來源：本研究整理)

- 全尺寸風力試驗模型：誠如前述，本所在進行相關委託檢測試驗案時，對於全尺寸的風力試驗，在目前風洞試驗設備條件下，尚有眾多限制，為了瞭解全尺寸與模型試驗的關係，也將嘗試於後續進行量測。至於量測主體在考量儀器設備尺寸後，將採用單片型 (1x1)，而光電板則選用安集科技股份有限公司所生產的 ACP-M660 系列的產品 (單元長 1632mmx995mm)，試驗目

- 前安排於期中審查後進行，詳細內容也將於期末報告中呈現。
- 為瞭解各來流量對光電板受風影響，將變化不同來流風向角 $\beta$ ，即與來平行 $0^\circ \sim 180^\circ$ ，每 $15^\circ$ 變化量測並探討壓力分佈。
  - 透過計算分析，完成太陽能光電板支架結構風力分析流程。結合過去研究，整合完成具體「太陽能光電板風力設計對策」，進而提供業界及建築物耐風設計規範增修參考。

**ACP-M660 Series 240W-270W Multi-Crystalline Photovoltaic Modules**

---

**AC Electrical Data**

Maximum Continuous Power Output	238W
Nominal Voltage	168V – 270V
Nominal Frequency	57 Hz – 65 Hz
Nominal Output Current	@240 VAC 0.99 A
	@208 VAC 1.14 A
	@240 VAC 211 V – 264 V
	@208 VAC 183 V – 229 V
Nominal Operating Voltage Range	
Nominal Operating Frequency	59.3 Hz – 60.5 Hz
Total Harmonic Distortion	IEEE 1547 Compliant
Maximum Units per 20A Branch	Maximum Units Per 20 A Branch @240 VAC 16 (Single Phase)
CEC Weighted Efficiency	95%
Peak Inverter Efficiency	95.70%

---

**DC Electrical Data**

Normal Power Output	240-270W
Power Tolerance	0 /+ 3%

---

**Mechanical Characteristics**

Dimensions of the Module (W×H×D)(mm)	1552X945X40
Weight of the Module(kg)	22
AC cable length	output cable: 691.1(mm) extension cable: 1049 (mm)
Module to module AC wiring	Fully-guarded, locking AC connector
Ground wiring	UL approved, equipment ground for module and inverter carried through internal inverter wiring - no external ground wires required
Junction box	IP 65
Series fuse rating Inside Junction Box	15A

---

<p><b>Warranty</b></p> <p>Product Warranty:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5 years for material and workmanship</li> <li>25 years for micro inverter</li> </ul> <p>Performance Guarantee:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>90% for 10 years Guaranteed output</li> <li>80% for 25 years Guaranteed output</li> </ul>	<p><b>Operating Conditions</b></p> <p>PV Module Operating Temperature: <math>-40^\circ\text{C}</math> to <math>+85^\circ\text{C}</math></p> <p>Ambient Temperature Range: <math>-40^\circ\text{C}</math> to <math>+85^\circ\text{C}</math></p> <p>Maximum Static Load: Snow load 5400pa Wind load 2400pa</p>
--	--

---

<p><b>Certificate</b></p> <div style="display: flex; align-items: center;"> </div>	<p><b>DC Temperature Coefficient</b></p> <table border="0"> <tr><td>Isc Temperature Coefficient:</td><td><math>\alpha(\%/^\circ\text{C})</math></td><td>+0.48</td></tr> <tr><td>Voc Temperature Coefficient:</td><td><math>\beta(\%/^\circ\text{C})</math></td><td>-0.36</td></tr> <tr><td>Pmax Temperature Coefficient:</td><td><math>\gamma(\%/^\circ\text{C})</math></td><td>-0.03</td></tr> <tr><td>NOCT:</td><td>(<math>^\circ\text{C}</math>)</td><td>46±2</td></tr> </table>	Isc Temperature Coefficient:	$\alpha(\%/^\circ\text{C})$	+0.48	Voc Temperature Coefficient:	$\beta(\%/^\circ\text{C})$	-0.36	Pmax Temperature Coefficient:	$\gamma(\%/^\circ\text{C})$	-0.03	NOCT:	( $^\circ\text{C}$ )	46±2
Isc Temperature Coefficient:	$\alpha(\%/^\circ\text{C})$	+0.48											
Voc Temperature Coefficient:	$\beta(\%/^\circ\text{C})$	-0.36											
Pmax Temperature Coefficient:	$\gamma(\%/^\circ\text{C})$	-0.03											
NOCT:	( $^\circ\text{C}$ )	46±2											

Anji Technology Co., LTD

No.23, 46th Stn Road, Ananshi District, Tainan 709, Taiwan

Tel: +886 6 510 5989 Fax: +886 6 510 5989 E-mail: service@anjitek.com

\* Specifications are subject to change

web link: www.anjitek.com

6"156mm Multi-Crystalline silicon photovoltaic AC Modules 『6吋多晶 AC 模組』

Module Type	Maximum Power (w)	Number of cells (pcs)	Dimensions (W×H×D)(mm)
ACP-M660	240-270	60(6×10)	1632×995×40

圖 3-10 太陽能光電板模組(安集科技股份有限公司 ACP-M660 系列)  
(資料來源：本研究整理)

76

## (2) 實驗考量

## 1. 阻塞比影響

根據 Barlow et al.(1999, 參考文獻)指出, 風洞試驗中模型的迎風面積 $A_m$ 與風洞的通風面積 $A_s$ 比值( $A_m / A_s$ , 阻塞比, Blockage ratio), 通常介於 0.01~0.1 之間, 一般皆以 0.05 為基準值; 若阻塞比大於 0.1 時, 風洞中的氣流有加速現象, 與實際風場不符, 導致測量上的不準確, 稱為阻塞效應(Blockage effect), 當有阻塞問題時, 必須針對試驗結果加以修正。修正係數的考慮方式, 如下近似公式:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{sb} + \varepsilon_{wb,t}$$

以一般型態模型在風洞內進行時, 修正係數可近似為:

$$\varepsilon_t = \frac{1 \text{ model frontal area (模型前緣截面積)}}{4 \text{ test-section area (測試段截面積)}}$$

其中

$\varepsilon_t$ : 總修正係數 (Total Blockage)

$\varepsilon_{sb}$ : 固體阻塞修正係數 (Solid Blockage)

$\varepsilon_{wb,t}$ : 尾流阻塞修正係數 (Wake Blockage)

另外, 同時依照 Hackett.(1999)所指, 考慮到牆面壓力時, 最終的修正數可為:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{sb} + \varepsilon_{wb,t}$$

$$V_c = V_A(1 + \varepsilon_t)$$

其中

$V_c$ : 修正後風速

$V_A$ : 量測時風速

## 2. 阻塞比計算與修正

本研究所進行試驗場所為本所風洞第一測試段, 斷面積 $A_s$ 為 2.6m(H)×4m(W)=10.4 m<sup>2</sup>, 模型面積 $A_m$ 為:

風攻角角度 0° 或 180° 時是投影面積最大時, 風力或風壓模型  $A_m$  及如下表:

表 3-2 阻塞比效應計算

類別	模型縮尺比例	縮尺後 $A_m$ 估算(m <sup>2</sup> )	$A_m / A_s$ , 阻塞比,
風力模型	1/10	$0.1 \times (0.2 \sin 20^\circ) = 0.0068$	$6.53 \times 10^{-4}$
風壓模型單片型 (1×1)	1/5	$0.2 \times 0.1 = 0.02 \text{ m}^2$	$1.9 \times 10^{-3}$
風壓模型陣列型 (2×3)	1/5	$0.6 \times 0.3 = 0.18 \text{ m}^2$	0.017
全尺寸 (If need)	1/1	$1 \times 0.5 = 0.5 \text{ m}^2$	0.05

(資料來源: 本研究整理)

經計算後阻塞比  $A_m / A_s < 0.1$ ，所以本研究不論是模型縮尺，或是全尺寸模型試驗，皆不受阻塞效應影響。

### 3. 風壓量測

本研究為進行模型風壓量測，因此選用厚度 5mm 之透明壓克力板膠結而成，並參考文獻及模型縮尺比例，本研究本次在壓克力板上下方均佈設風壓孔。至於壓力孔位（可連接 0.04” 的壓力管線），於單片型（1x1）單元設置每一表面計有 80 個孔位，上下共計 160 個孔位；而陣列型（2x3）單元設置每一表面計有 154 個孔位，上下共計 308 個孔位，光電板相對位置如圖 3-11。

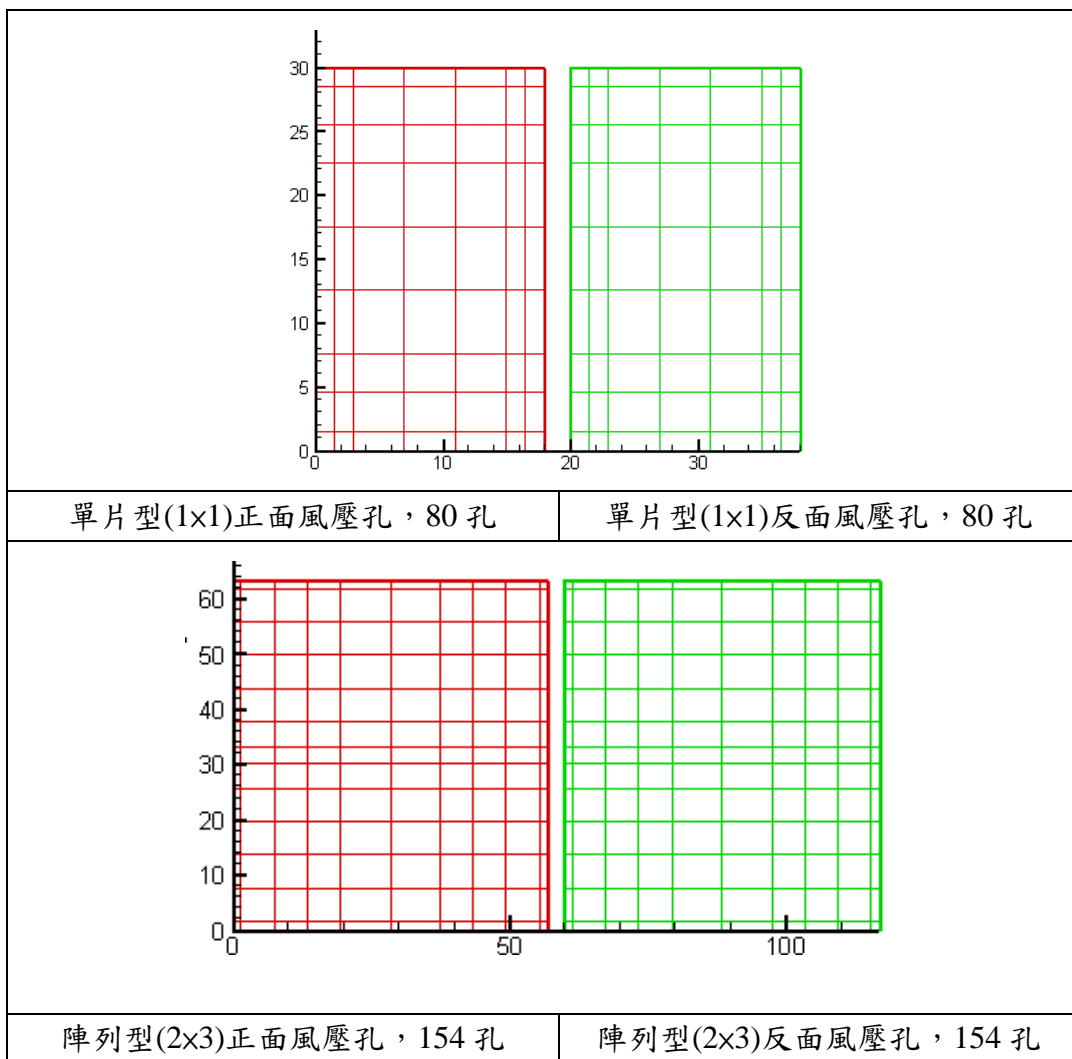


圖 3-11 光電板模型風壓孔 mesh 圖

（資料來源：本研究整理）



(3) 試驗重點

本研究重點著重後續支架評估與計算，藉由風力模型、風壓模型、全尺寸等，進行風力、風壓量測，分組規劃如下表。

表 3-3 試驗條件

項目	內容			
類型	A		B	
	風力模型		風力模型	
設定風速 V(m/s)	20	25	10	20
風向角 $\beta$	0°~180°，每 15° 變化量測並探討壓力分佈。			
傾仰 $\alpha$ 角	20°		單片型 1x1	陣列型 2x3
			15°	30°
量測順序	1. 均勻流場平均風速剖面確認。 2. 模型風力、風壓分布量測。 3. 數據分析、計算。			

(資料來源：本研究整理)

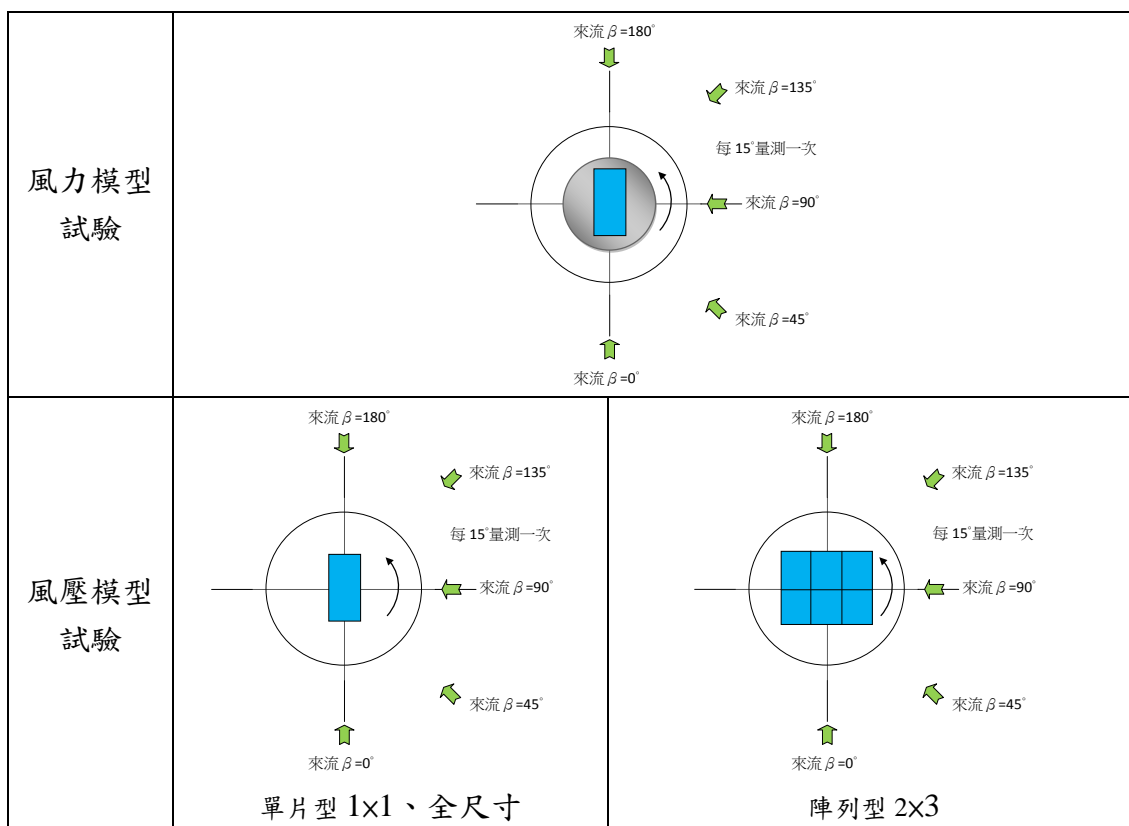


圖 3-12 模型試驗分組圖

(資料來源：本研究整理)

(4) 均勻流場

本研究在均勻流風速剖面確認後無誤後，為使流場風速一致，模型吹試採用固定風速，著手進行壓力量測，並依照分組進行。

壓力量測係採用 SCANIVAVLE 壓力掃描閥(Model ZOC 33/64Px 64-port, scan rate = 45 kHz)量測範圍為±2,490 Pa，數據準確度±0.15%量測範圍。U 依據孔位數共使用了 4 個 module scanner，透過使用內徑 0.04” (1.1 mm)、長度 130cm 之 p.v.c 管，在風速 5、10m/s 情況下進行壓力分佈量測。

掃描取樣頻率設定為 256 Hz，擷取 32,768 筆數據，風速自 0m/s 開始至 10、20m/s 穩定後，隨即開始量測，每次風向角量測擷取時間約為 3 分鐘，停止後在進行角度變換，依序從 0°、15°，每 15° 至 180°，資料經由類比/數位 AD 訊號擷取轉換後，紀錄所有歷時資料，再透過相關繪圖軟體呈現風壓等值圖。

表 3-4 壓力量測設定數值

<p>1. set chanX &lt;input&gt;：設定擷取之測點，X 表示第幾個 group(1~8)，一般以 1 表示，設定測點須照順序輸入。</p> <p>set chan1 0                    清除測點</p> <p>set chan1 1-1..1-64        設定第 1 個模組使用 1 至 64 測點</p> <p>set chan1 2-1..2-64        設定第 2 個模組使用 1 至 64 測點</p> <p>set chan1 3-1..3-32(單片型 1x1) 設定第 3 個模組使用 1 至 32 測點</p> <p>set chan1 3-1..3-64(陣列型 2x3) 設定第 3 個模組使用 1 至 64 測點</p> <p>set chan1 4-1..4-64(陣列型 2x3) 設定第 4 個模組使用 1 至 64 測點</p> <p>set chan1 5-1..5-52(陣列型 2x3) 設定第 5 個模組使用 1 至 52 測點</p> <p>calz                            設定測點歸零</p>
<p>2. set fps1 &lt;input&gt;：設定擷取資料筆數。</p> <p>set fps1 32768                設定擷取資料點數為 32768 點</p>
<p>3. set period &lt;input&gt;：設定掃描模組各點間之時間間距，其值範圍為 25~65535，單位為微秒，轉換成取樣頻率(sampling rate)之換算公式為：</p> $\text{sampling rate} = \frac{1}{\text{<input>} \times \text{<number of channels>} \times 10^{-6}}$ <p>input number：輸入值</p> <p>number of channels：最大模組設定之測點數</p> <p>set period 61                    以單一模組 64 點計，本研究取樣頻率為 256Hz。</p>
<p>4. set conout &lt;input&gt;：設定擷取資料之表示方式顯示於螢幕或存為檔案。</p> <p>set conout 2                    顯示於電腦螢幕</p> <p>set conout 3                    儲存於檔案，檔名由 SCAN000.DAT 起始</p>
<p>5. 量測結果透過計算（包括平均主壓力值 pm、擾動壓力值 pr），並以 Tecplot 軟體繪製試驗結果壓力分布圖（平均主壓力係數圖 Cp-m、擾動壓力分布 Cp-r），俾於檢視壓力分布情形。</p>

(資料來源：本研究整理)

本實驗室風洞設備為循環式風洞，使用第一測試段，斷面尺寸為 2.6 m (高)× 4.0 m (寬)× 36.5 m (長)，收縮段比例為 4.71，使用單層蜂巢網與 3 層紗網整流，最高風速可達 30 m/s，紊流強度約 0.3%。在進行實驗前，先確認風速剖面。

量測風速剖面係使用熱線測速儀系統來進行，利用 Single-type 熱線測速探針安裝在三維移動機構上，在距離測試段入口下游 2.8m 位置並距離地面高度 0.8m 起算（即第一迴轉盤中心）進行量測，取樣頻率為 250Hz，取樣數為 4096 筆資料，配合風速設定（來流風速為 1.02m/s、2.1m/s、17.73m/s、23.4m/s），相關風速剖面圖如下，說明該風速自低速區至高速區流場表現。至於紊流強度，則依風洞設備條件默認為紊流強度約 0.3%。

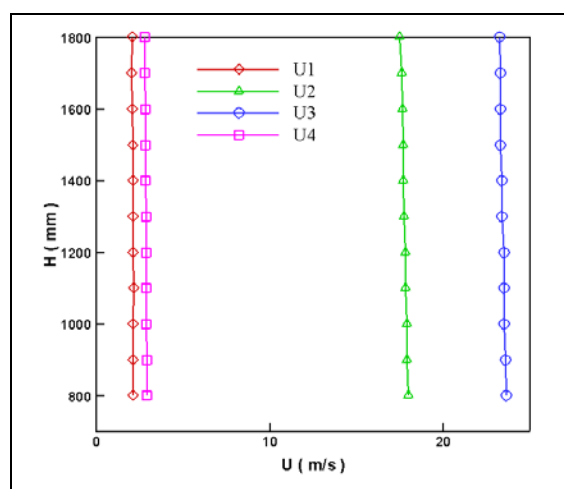


圖 3-13 均勻流場平均風速剖面圖

（資料來源：本研究整理）

#### (5) 雷諾數計算

依照文獻建議，風洞試驗雷諾數應滿足如下：

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U L}{\nu} > 10^4 \quad (\text{大氣流況})$$

$$Re_H = \frac{\rho U H}{\mu} = \frac{U H}{\nu} > 10^4 \quad (\text{建築物周遭風場})$$

L 為物體特徵長度， $\nu$  為運動黏滯係數  $1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ，U 為特徵風速。

H 為主建築物模型之高度。

縮尺後模型雷諾數計算如表 3-5。

表 3-5 雷諾數計算

	L 特徵 長度 (m)	H 模型 高度 (m)	v 運動黏 滯係數 m <sup>2</sup> /s	U 風速 m/s	Re	ReH
風力模型	0.19	0.07	1.6×10 <sup>-5</sup>	20	2.375×10 <sup>5</sup>	8.75×10 <sup>4</sup>
	0.19	0.07	1.6×10 <sup>-5</sup>	25	2.969×10 <sup>5</sup>	1.094×10 <sup>5</sup>
風壓模型 (1x1)	0.32	0.1	1.6×10 <sup>-5</sup>	10	2×10 <sup>5</sup>	6.25×10 <sup>4</sup>
	0.32	0.1	1.6×10 <sup>-5</sup>	20	4×10 <sup>5</sup>	1.25×10 <sup>5</sup>
風壓模型 (2x3)	0.6	0.3	1.6×10 <sup>-5</sup>	10	3.75×10 <sup>5</sup>	1.875×10 <sup>5</sup>
	0.6	0.3	1.6×10 <sup>-5</sup>	20	7.5×10 <sup>5</sup>	3.75×10 <sup>5</sup>

此風洞試驗的平均雷諾數均介於 10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>，符合文獻（朱佳仁，2006）建議，該流場可忠實地模擬出大氣之流況。

#### (6) 風壓係數C<sub>p</sub>、阻力係數C<sub>D</sub>、升力係數C<sub>L</sub>計算

建築物表面所受之風壓分佈可以無因次的壓力係數(Pressure coefficient)表示如下：

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho v^2}$$

風速的部分，區分為平均風速及擾動風速，因此經過量測計算後，本研究定義為：

P<sub>m</sub>：量測時的平均風速壓力，為主壓力，亦即為P-P<sub>0</sub>

P<sub>r</sub>：量測時的擾動風速壓力。

ρ：量測時的空氣密度(kg/m<sup>3</sup>)。

所計算出的C<sub>p</sub>值，本研究定義為主風壓係數C<sub>p-m</sub>，擾動風壓係數C<sub>p-r</sub>。

依照文獻（朱佳仁，2006）物體所受之阻力可由物體表面的壓力 P 與剪應力 τ 以面積積分求得：

$$F_D = \int_A (P \cos \theta + \tau \sin \theta) dA$$

式中 θ 為該點之壓力 P 與流向之夾角。升力則為：

$$F_L = \int_A (-P \sin \theta + \tau \cos \theta) dA$$

物體所受之阻力和升力可以無因次的阻力係數(Drag coefficient)和升力係數(Lift coefficient)表示：

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$$

其中 $F_D$ 為阻力， $F_L$ 為升力， $A$ 為體垂直於流向的投影面積。物體的阻力係數和升力係數與物體幾何形狀、風攻角、雷諾數、馬赫數皆有關。

依據文獻（陳若華，2012）所知或可由光電板傾（仰）角 $\alpha$ 及 $C_p$ 逕行推導。

$$\begin{aligned}C_L &= C_p \sin \alpha \\C_D &= -C_p \cos \alpha\end{aligned}$$

## 第二節 單片型光電板模型試驗

### 一、 單片型光電板 (1/10) 風力試驗

#### 1. 試驗風速試驗。

- (1)  $\alpha=20^\circ$  及  $V=20\text{m/s}$ 、 $20\text{m/s}$ 。由於光電板縮尺模型 1/10 在本所風洞內相對較小，在低風速 ( $<10\text{m/s}$ ) 的風場裡面，所得到的數值都偏小，因此直接將風速相對調高，之後再換算成無因次化，因此，並不會受到風速的影響。
- (2)  $\beta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $165^\circ$ 、 $180^\circ$ 。

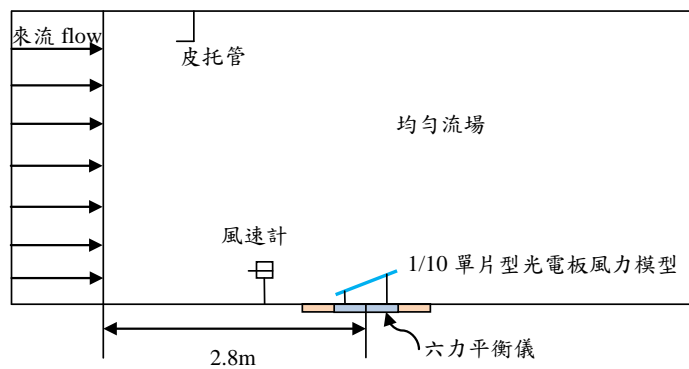


圖 3-14 風力模型試驗示意圖

(資料來源：本研究整理)

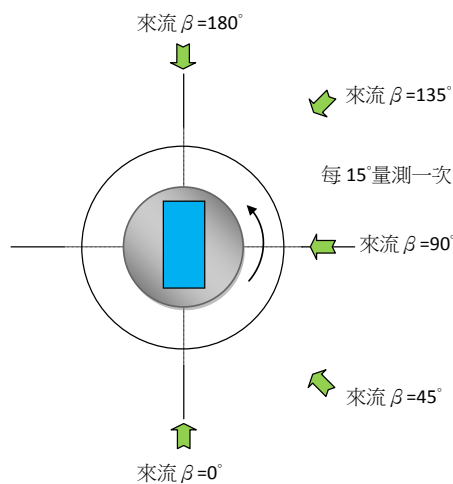


圖 3-15 風力模型試驗來流圖

(資料來源：本研究整理)

2. 來流為時阻塞比 $<0.1$ ，所以計算風力係數時時，可不用修正風速。
3. 風力係數計算。

考量抗拉與抗壓。

$$C_{FX} = F_X / (0.5\rho U^2 A) \quad C_{FY} = F_Y / (0.5\rho U^2 A) \quad C_{FZ} = F_Z / (0.5\rho U^2 A)$$

式中

$C_{FX}$  = 無因次化X向平均受力

$C_{FY}$  = 無因次化Y向平均受力

$C_{FZ}$  = 無因次化Z向平均受力

$F_X$  = 量測之X向平均受力(N)

$F_Y$  = 量測之Y向平均受力(N)

$F_Z$  = 量測之Z向平均受力(N)

$A$  = 建築物(或光電板)模型投影面積( $m^2$ )

$H$  = 建築物(或光電板)模型高(m)

$\rho$  = 空氣密度( $kg/m^3$ )

$U$  = 建築物(或光電板)模型高之參考風速(m/s)，此處設定為20m/s及25m/s

若要考量彎矩。

$$C_{MX} = M_X / (0.5\rho U^2 AH) \quad C_{MY} = M_Y / (0.5\rho U^2 AH) \quad C_{MZ} = M_Z / (0.5\rho U^2 AH)$$

式中

$C_{MX}$  = 無因次化X向平均力矩

$C_{MY}$  = 無因次化Y向平均力矩

$C_{MZ}$  = 無因次化Z向平均力矩

$M_X$  = 量測之X軸平均力矩(Nm)

$M_Y$  = 量測之Y軸平均力矩(Nm)

$M_Z$  = 量測之Z軸平均力矩(Nm)

透過以下公式將無因次化受力轉換為現場實際建築物(或光電板)之平均受力

$$\text{現場X向平均受力} = C_{FX} \times 0.5\rho U_R^2 A_R$$

$$\text{現場Y向平均受力} = C_{FY} \times 0.5\rho U_R^2 A_R$$

$$\text{現場Z向平均受力} = C_{FZ} \times 0.5\rho U_R^2 A_R$$

式中

$U_R$  = 建築物(或光電板)高之參考風速(m/s)

$A_R$  = 建築物(或光電板)投影面積( $m^2$ )

$H_R$  = 建築物(或光電板)高(m)

由於模型各支架無法與儀分別連結，因此必須透過一個連結平板得知，而所得的數據，則係以整體為考量，亦即是在光電板正下方的力量。而為了利於計算，本研究也僅能將 X、Y、Z 力量各別求出，然後再配至各支架。

六力平衡儀係由 VB 程式語言撰寫控制程式，並將所有數據經由資料擷取轉換器擷取電壓值後，分別計算而得。

另外，本研究以均勻流場計算。量測時溫度  $32.5^{\circ}\text{C}$ ，大氣壓力  $1006.4\text{hPa}$ ，壓力掃描器量測時單位為 Pa，空氣密度  $\rho$  取  $1.165\text{kg/m}^3$ 。

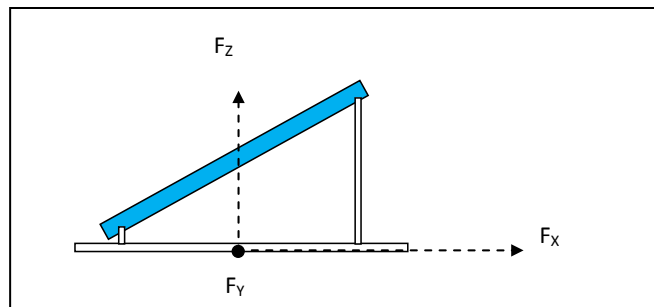


圖 3-16 風力模型受力座標圖

(資料來源：本研究整理)

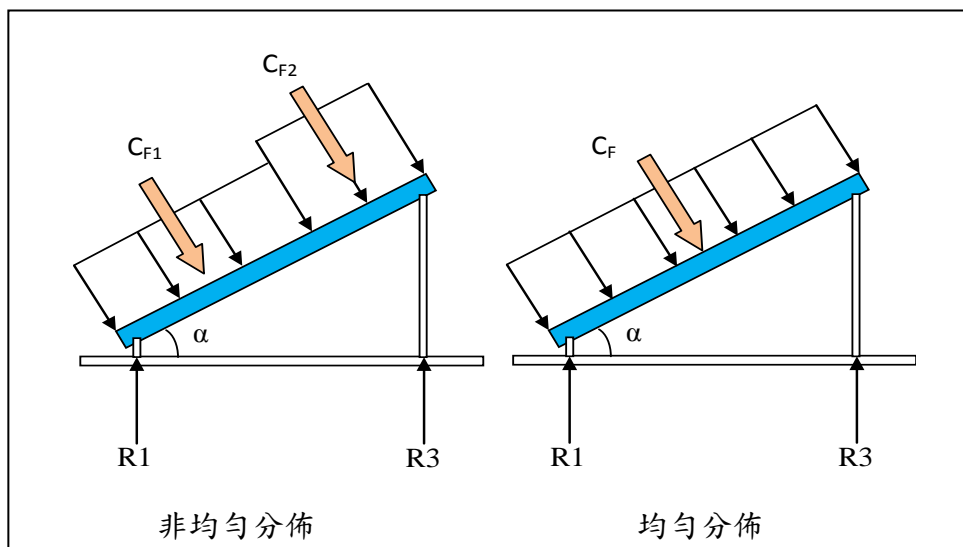


圖 3-17 風力模型於流場受力情形圖

(資料來源：本研究整理)

4. 試驗情形與結果如下。



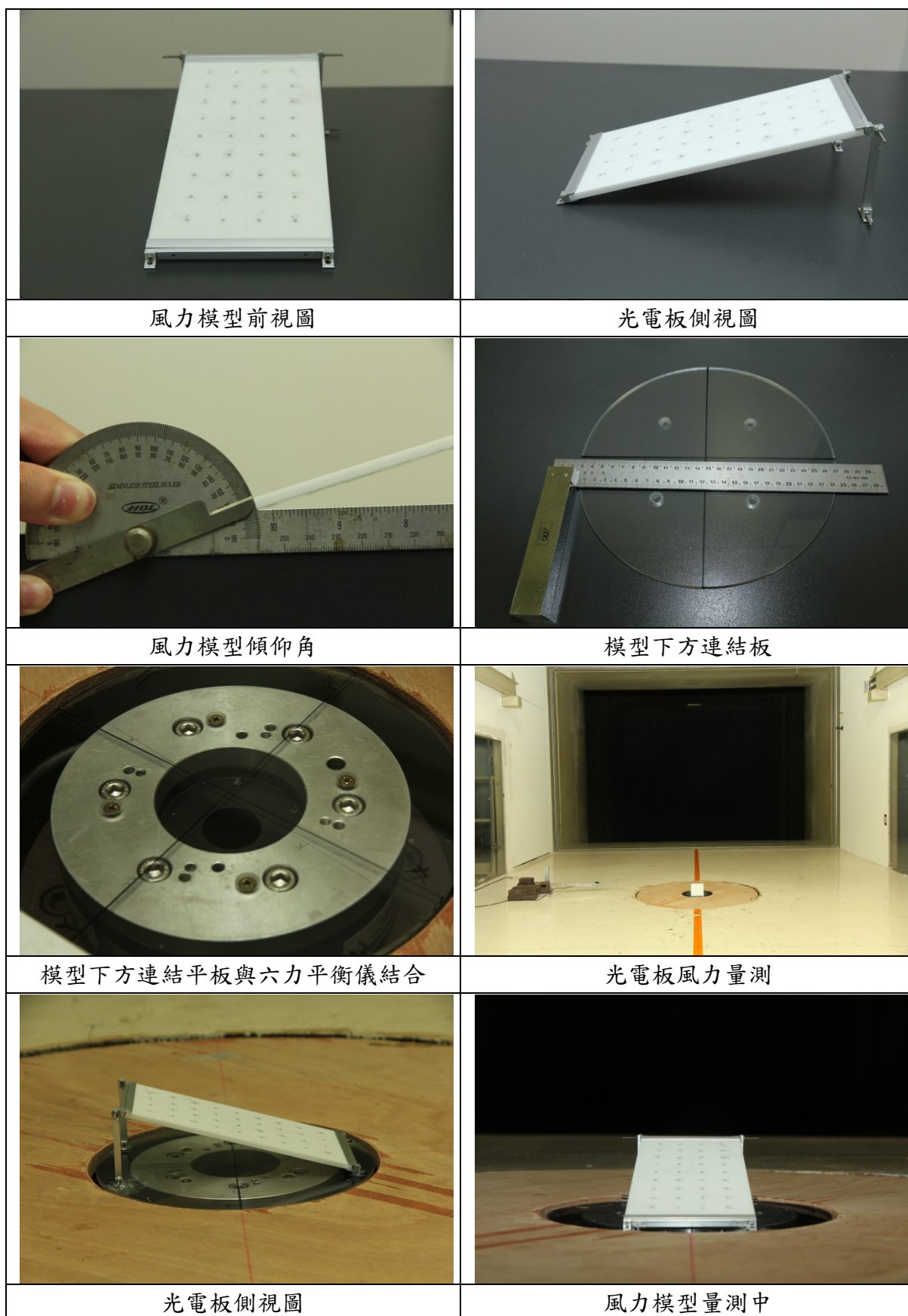


圖 3-18 風力模型試驗情形圖

(資料來源：本研究整理)

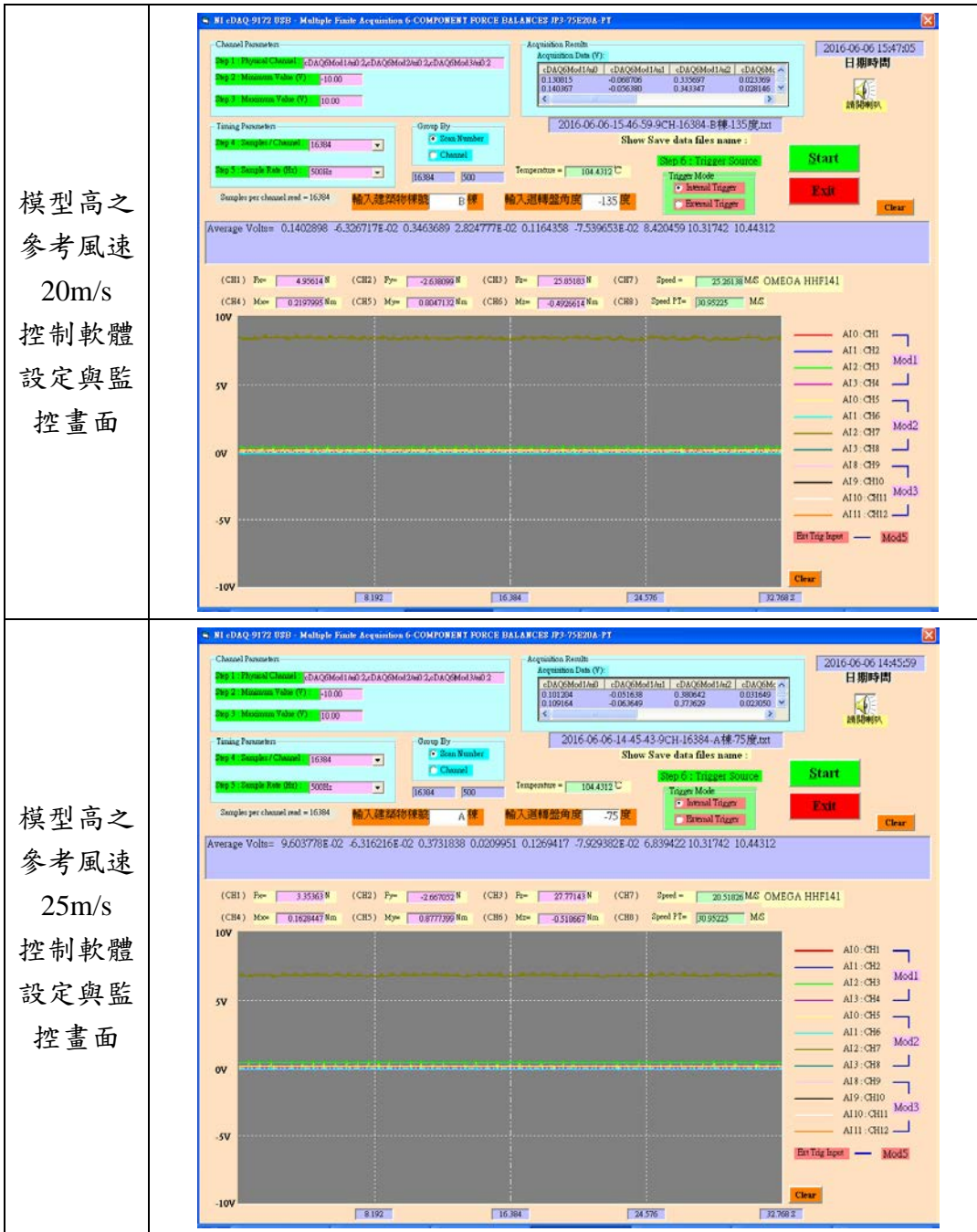


圖 3-19 不同風速下控制介面圖

(資料來源：本研究整理)

表 3-6 風力模型 V=20m/s 風力量測結果及風力係數計算表

風攻角	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$C_{FX}$	$C_{FY}$	$C_{FZ}$
180	0.8382	-0.0230	-0.6893	0.2000	-0.0055	-0.1644
165	0.8759	0.1583	-0.6212	0.2086	0.0377	-0.1480
150	0.8471	0.3213	-0.5296	0.2017	0.0765	-0.1261
135	0.7951	0.3743	-0.4532	0.1890	0.0890	-0.1077
120	0.6964	0.3460	-0.7586	0.1649	0.0819	-0.1796
105	0.5780	0.2585	-1.0786	0.1373	0.0614	-0.2562
90	0.5070	0.0251	-1.4975	0.1203	0.0060	-0.3553
75	0.5713	-0.1928	-1.8064	0.1346	-0.0454	-0.4256
60	0.7010	-0.3197	-1.9997	0.1657	-0.0756	-0.4725
45	0.7982	-0.2941	-2.1021	0.1886	-0.0695	-0.4968
30	0.8405	-0.2094	-2.1766	0.1973	-0.0492	-0.5109
15	0.7660	-0.1424	-1.9792	0.1804	-0.0335	-0.4662
0	0.7518	0.0427	-2.0411	0.1770	0.0100	-0.4805

(資料來源：本研究整理)

表 3-7 風力模型 V=25m/s 風力量測結果及風力係數計算表

風攻角	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$C_{FX}$	$C_{FY}$	$C_{FZ}$
180	1.5056	-0.0254	-0.8400	0.2354	-0.0040	-0.1314
165	1.4539	0.3378	-0.7740	0.2269	0.0527	-0.1208
150	1.3104	0.6219	-0.6283	0.2057	0.0976	-0.0986
135	1.1576	0.6956	-0.7021	0.1813	0.1090	-0.1100
120	0.8911	0.5907	-1.0605	0.1389	0.0921	-0.1653
105	0.6735	0.3752	-1.6072	0.1061	0.0591	-0.2532
90	0.5958	-0.0155	-2.3340	0.0928	-0.0024	-0.3639
75	0.7595	-0.4597	-2.7949	0.1187	-0.0719	-0.4370
60	1.0235	-0.7251	-3.0709	0.1593	-0.1129	-0.4781
45	1.2558	-0.7010	-3.1960	0.1968	-0.1099	-0.5008
30	1.4162	-0.5798	-3.1488	0.2205	-0.0903	-0.4904
15	1.4536	-0.4286	-3.1097	0.2265	-0.0668	-0.4846
0	1.5465	-0.0832	-3.1494	0.2421	-0.0130	-0.4930

(資料來源：本研究整理)

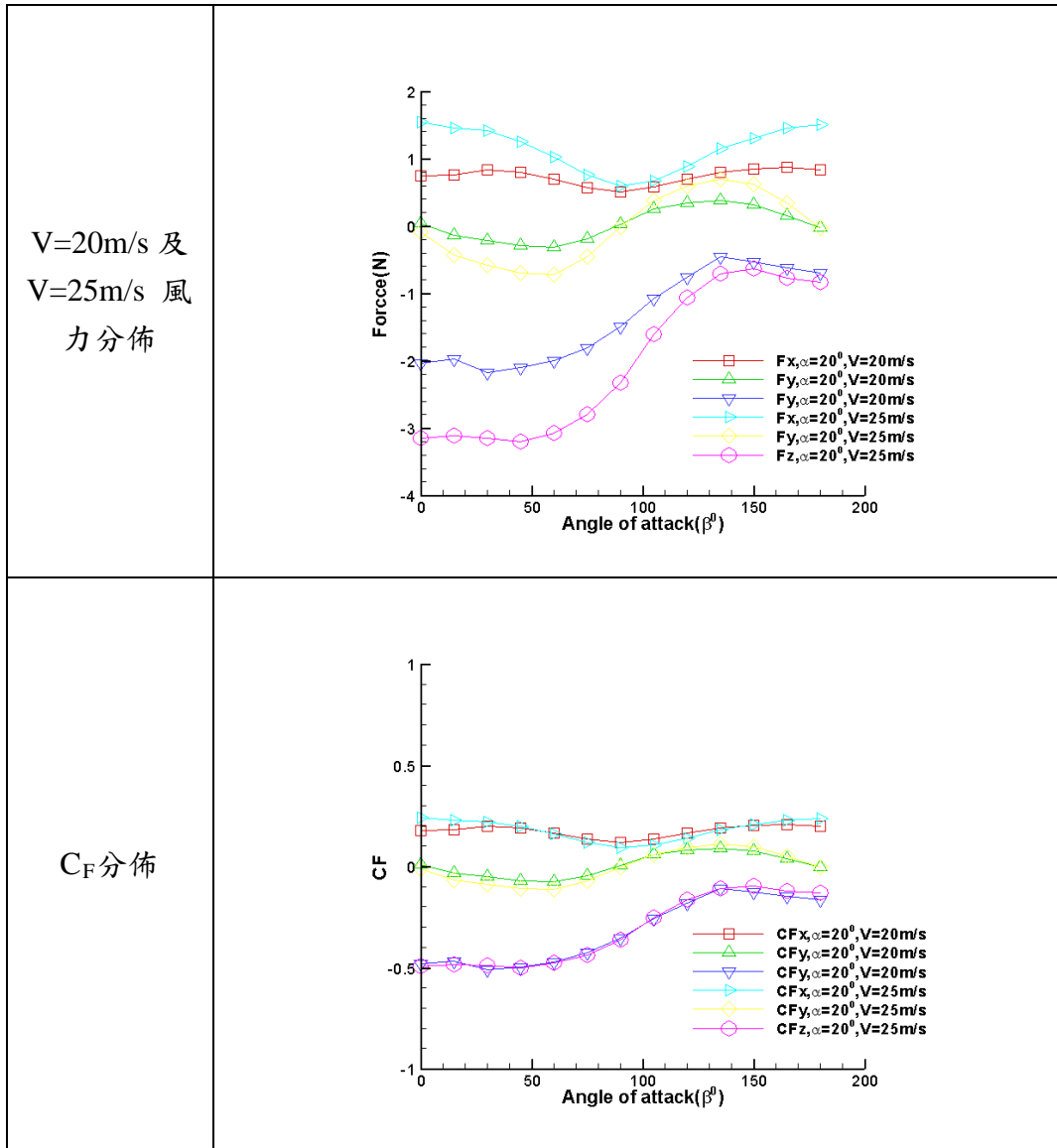


圖 3-20 不同風速下風力模型風力及風力係數分佈圖

(資料來源：本研究整理)

有關風力係數結果，整理如下：

$$C_{FX}=0.09\sim 0.24$$

$$C_{FY}=-0.11\sim 0.01$$

$$C_{FZ}=-0.09\sim -0.51$$

由上圖可知 $C_{FZ}$ 約在來流風攻角 45 度，呈現相對高峯值( $C_{FZ}=-0.50$ )，也就是形成一個牽引力的情形，符合角隅處角渦旋影響最大之處。而在進行本項試驗，模型與支架必須透過平板組立，才能與試驗儀器結合，因此，對於量測數值本研究認為，如要計算各支架所受力量，則應以基底總力合平均分配至各支架。至於平板本身的影響程度，擬暫予以忽略。

## 二、 單片型光電板(1/5)風壓試驗

### 1. 試驗風速試驗

(1)  $\alpha=15^\circ$ 及  $V=10\text{m/s}$ 、 $20\text{m/s}$ 。

(2)  $\beta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $165^\circ$ 、 $180^\circ$ 。

2. 來流為時阻塞比 $<0.1$ ，所以計算風力係數時時，可不用修正風速。

量測時溫度  $32^\circ\text{C}$ ，大氣壓力  $1004.6\text{hPa}$ ，壓力掃描器量測時單位為Pa，空氣密度 $\rho$ 取  $1.165\text{kg/m}^3$ ，平均風速壓力等值圖則以壓力係數 $C_p$ -m呈現，另將擾動風壓分布圖一併呈現，以利判讀參考。

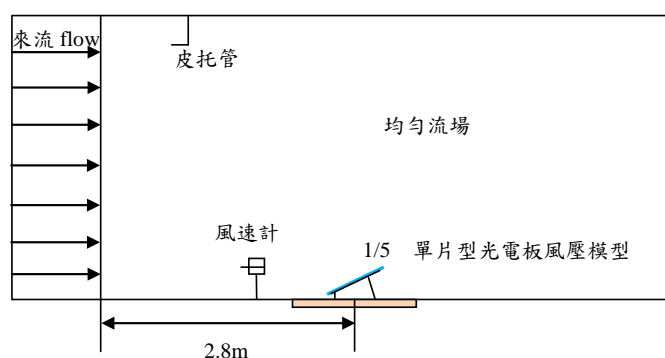


圖 3-21 單片型 1x1 風壓模型試驗示意圖

(資料來源：本研究整理)

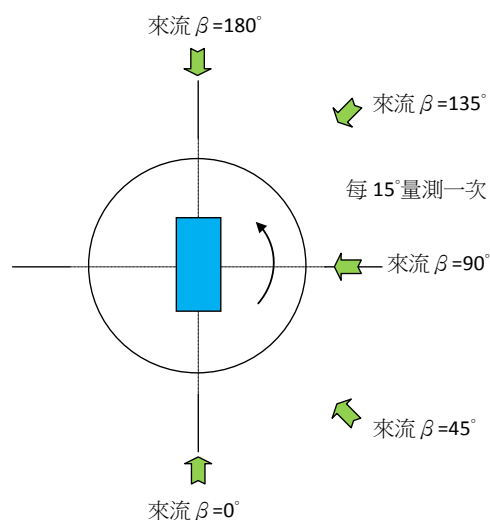


圖 3-22 單片型 1x1 風壓模型試驗來流圖

(資料來源：本研究整理)

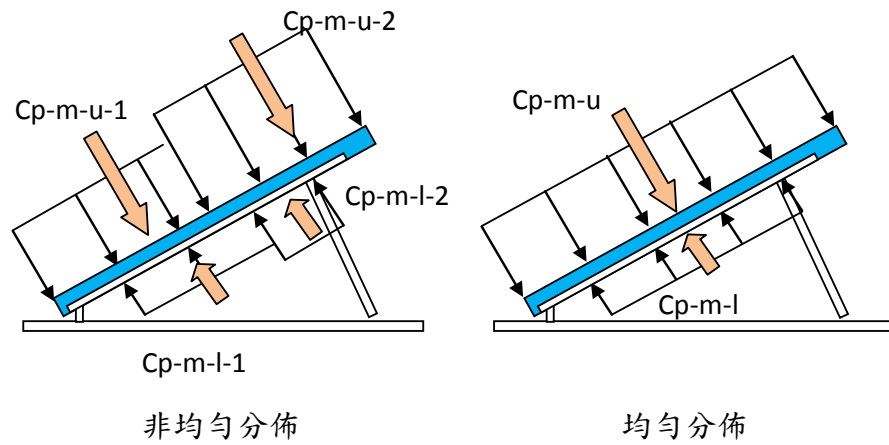


圖 3-23 單片型 1x1 風壓模型於流場受力情形圖  
(資料來源：本研究整理)

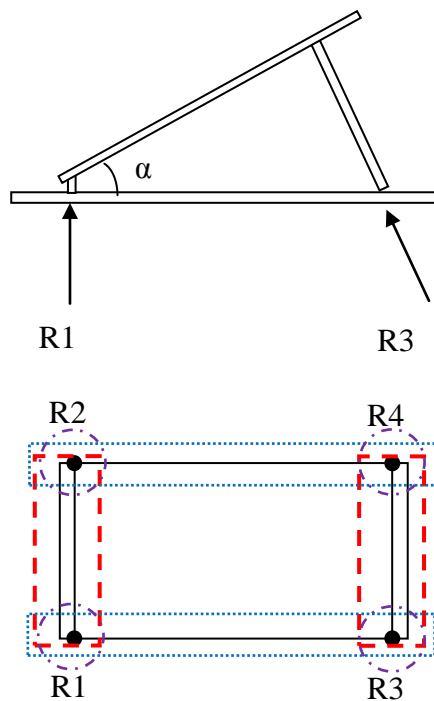


圖 3-24 單片型 1x1 風壓模型受力分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

3. 風壓係數計算。  
淨風壓  $C_{pn} = (\text{正面 } C_{pm-u}) - (\text{反面 } C_{pm-l})$
4. 試驗情形與結果如下。

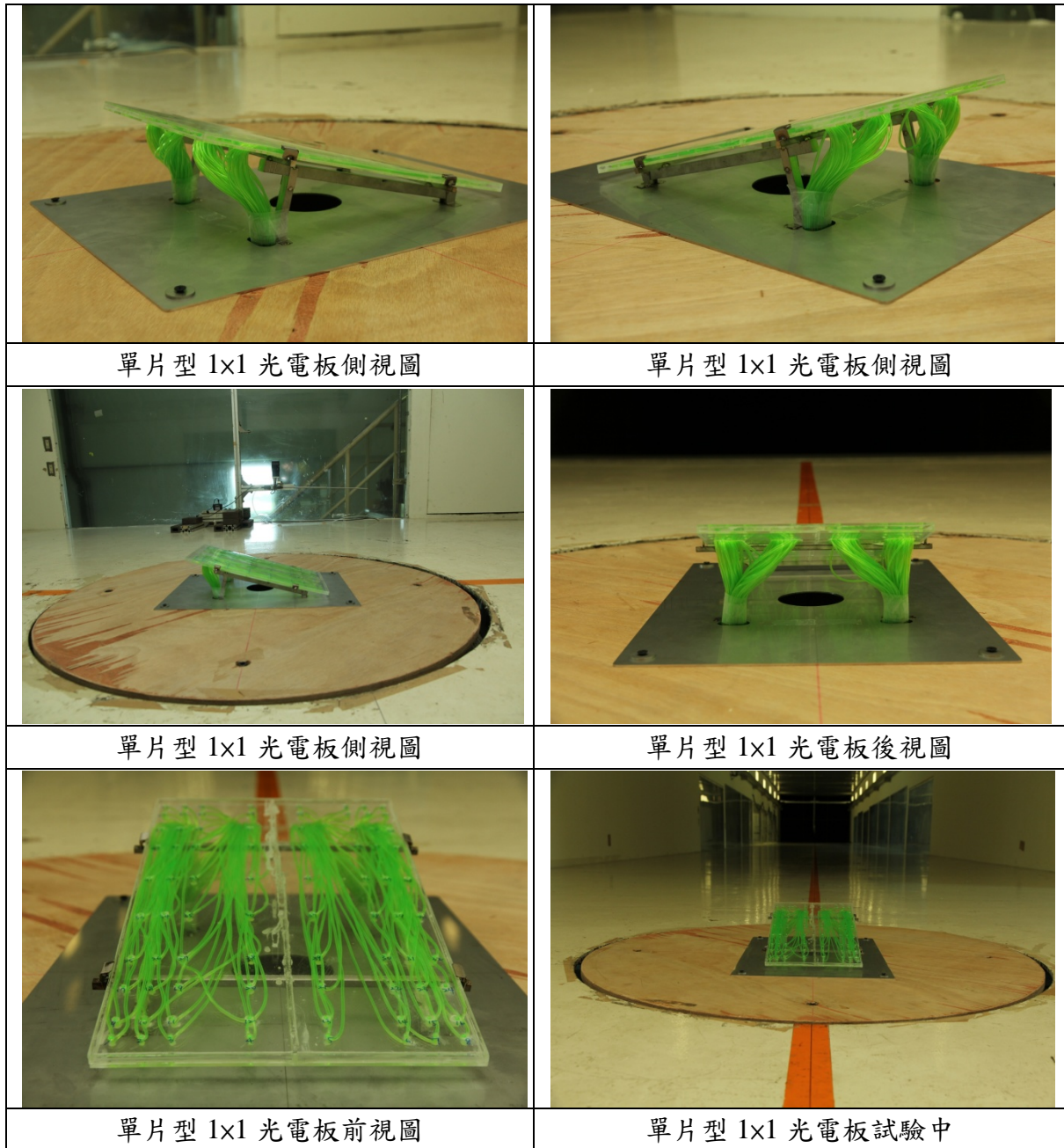


圖 3-25 單片型 1x1 光電板均勻流場試驗圖  
(資料來源：本研究整理)

(1) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim 45^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

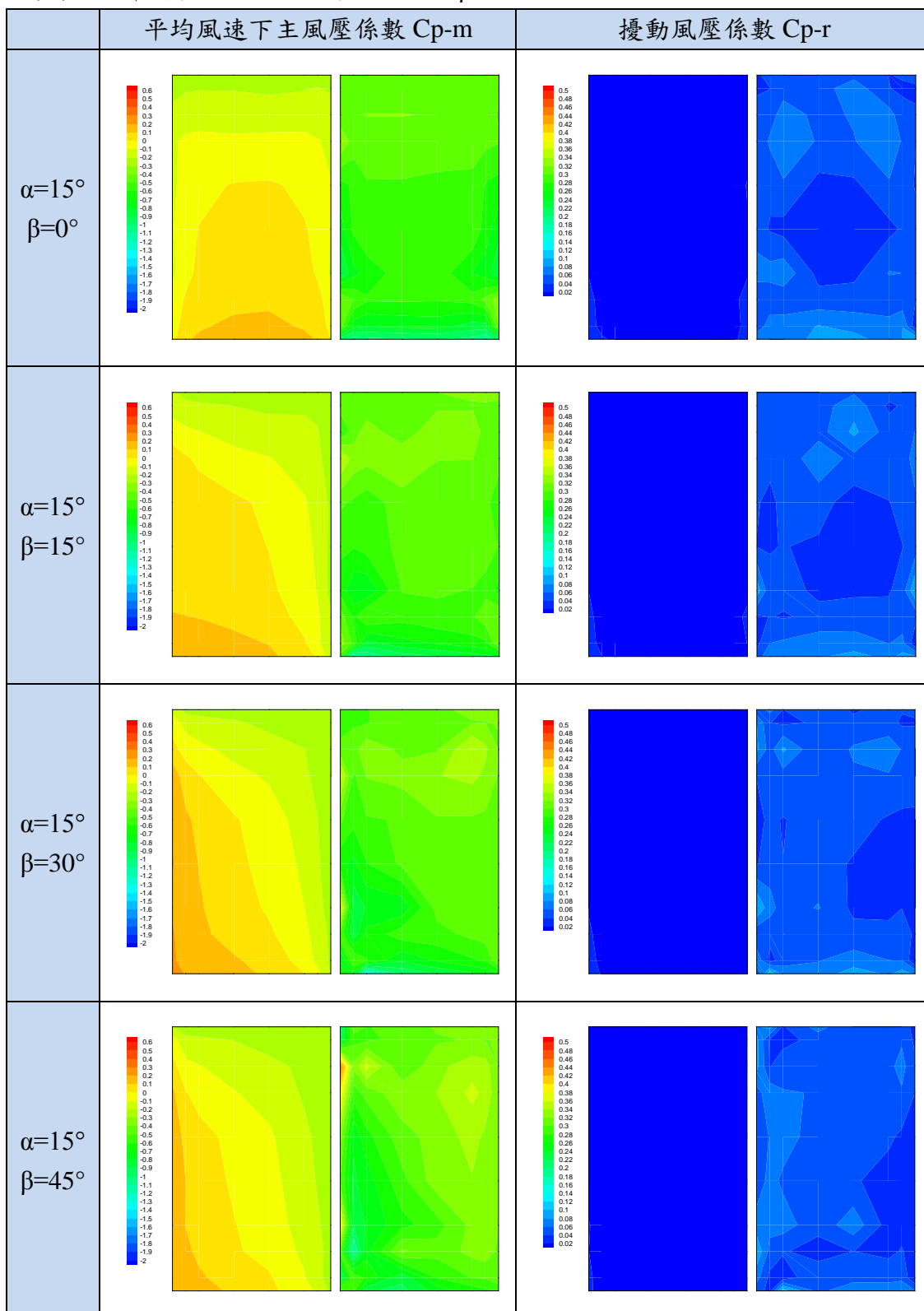


圖 3-26 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim 45^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)



(2) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=60^\circ\sim 105^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

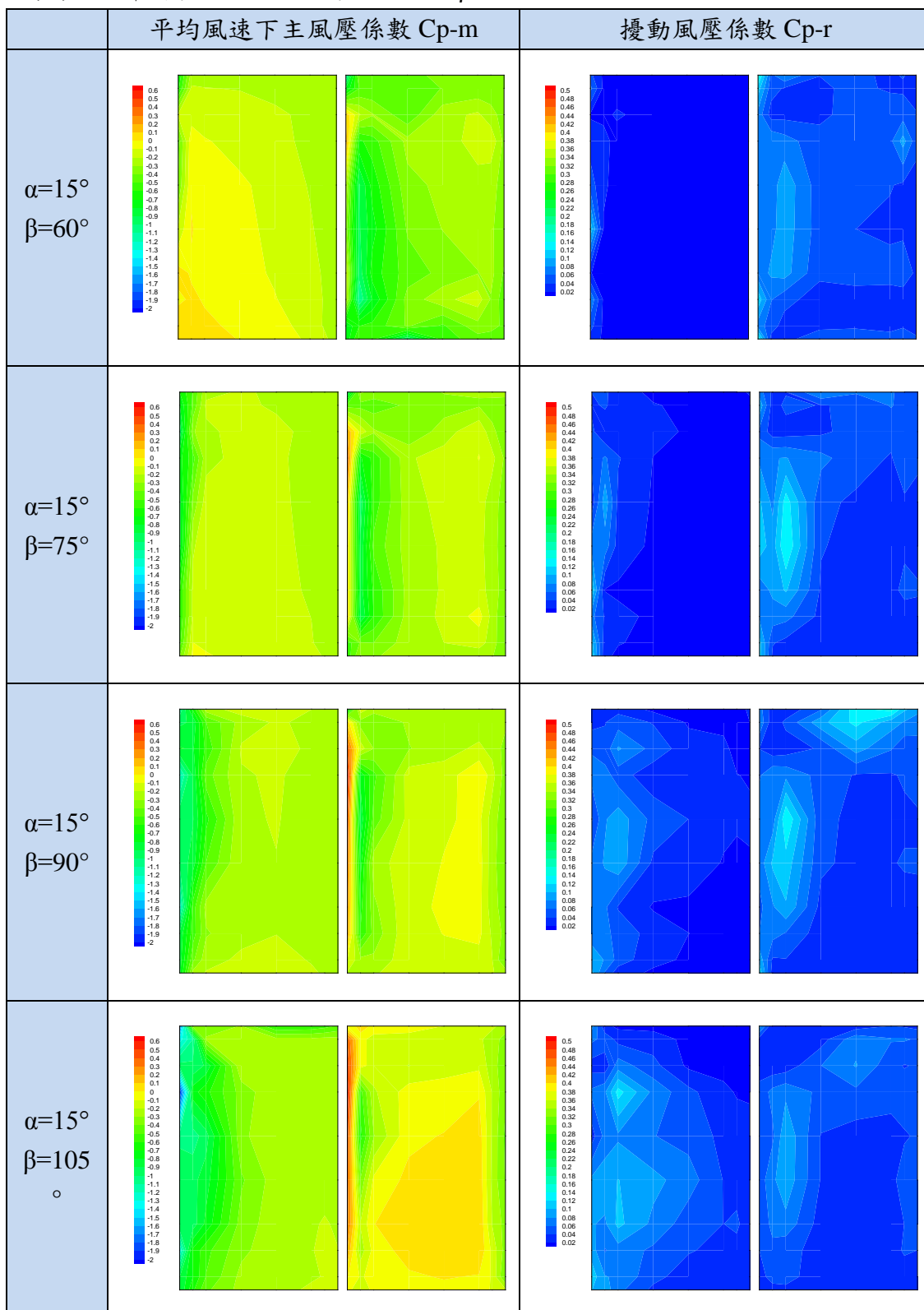


圖 3-27 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=60^\circ\sim 105^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(3) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=120^\circ\sim 165^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

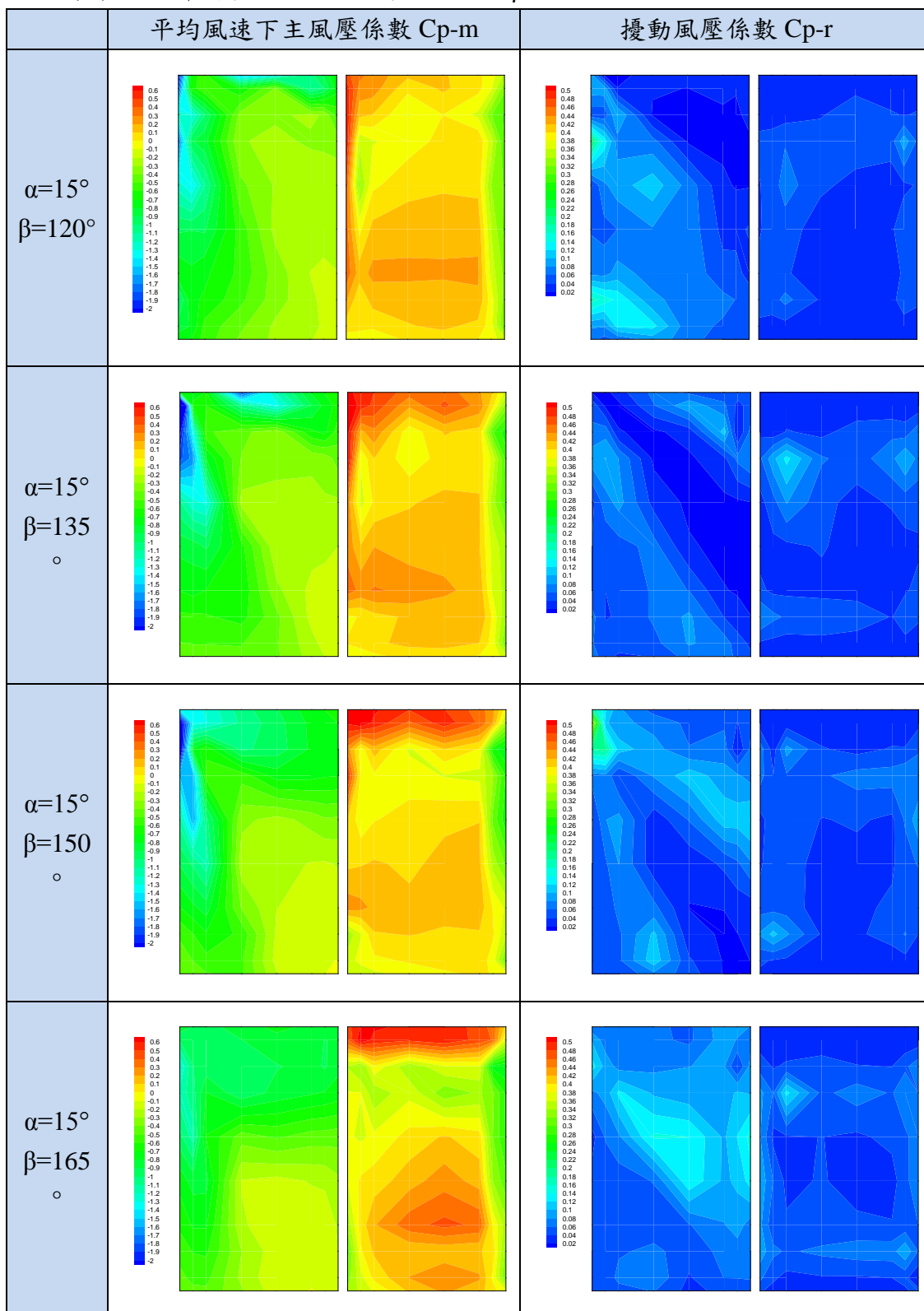


圖 3-28 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=120^\circ\sim 165^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(4) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=180^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

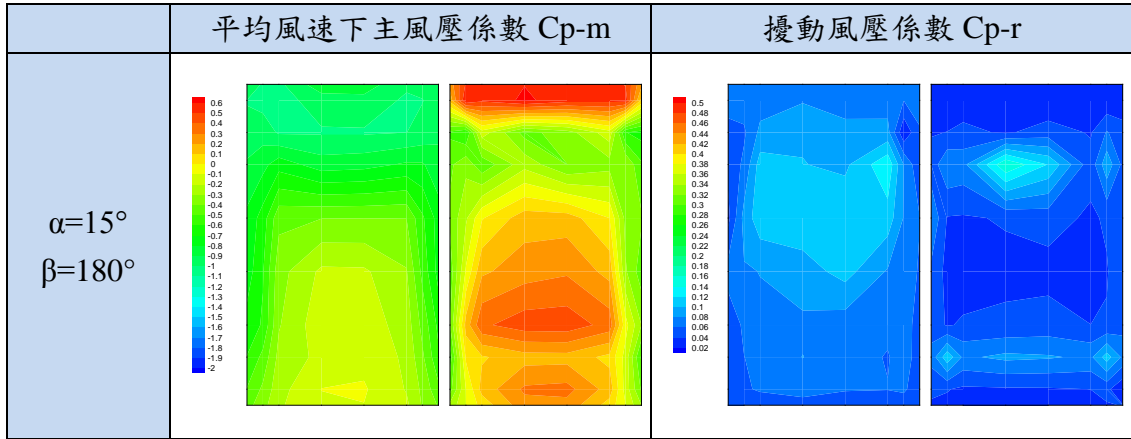


圖 3-29 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=180^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(5) 單片型風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim 15^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

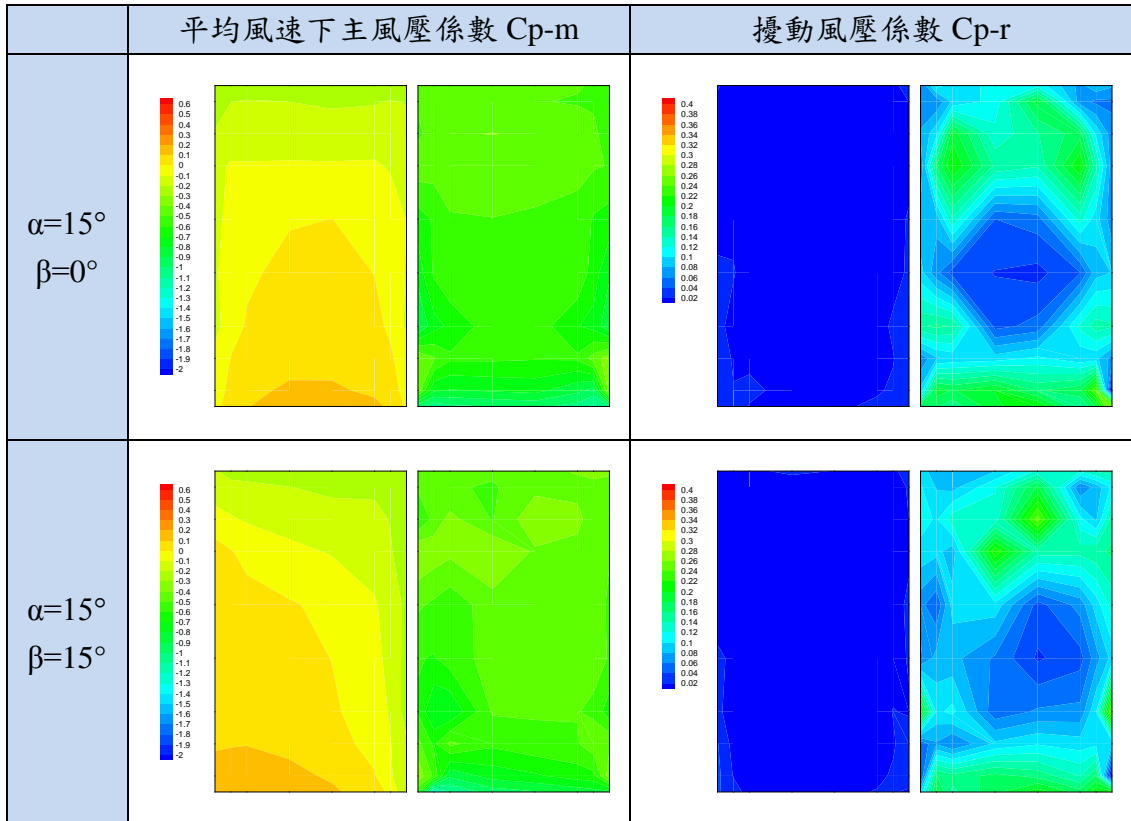


圖 3-30 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim 15^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(6) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=30^\circ\sim75^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

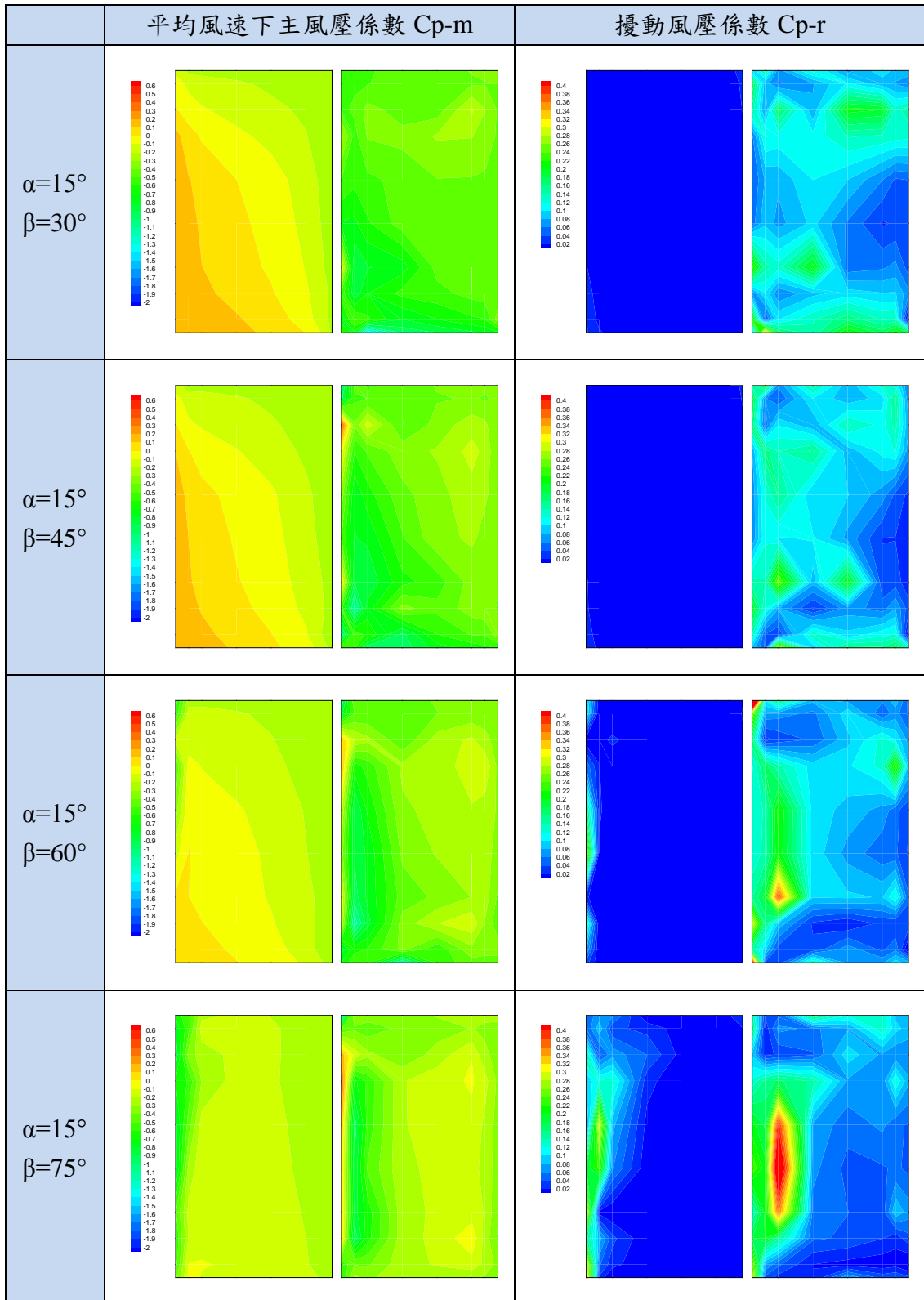


圖 3-31 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=30^\circ\sim75^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(7) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=90^\circ\sim 135^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

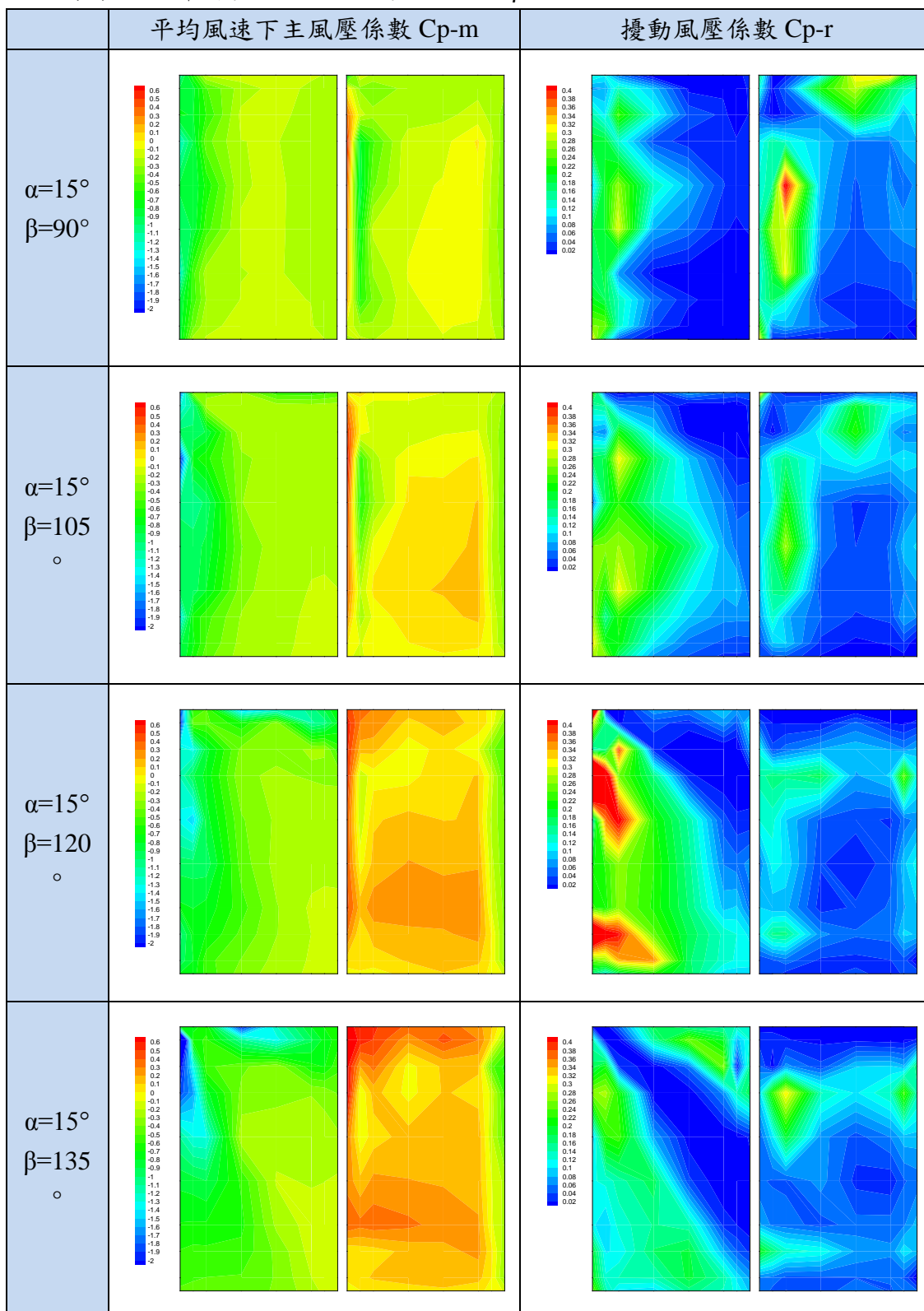


圖 3-32 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=90^\circ\sim 135^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$   
(資料來源：本研究整理)

(8) 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=150^\circ\sim 180^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

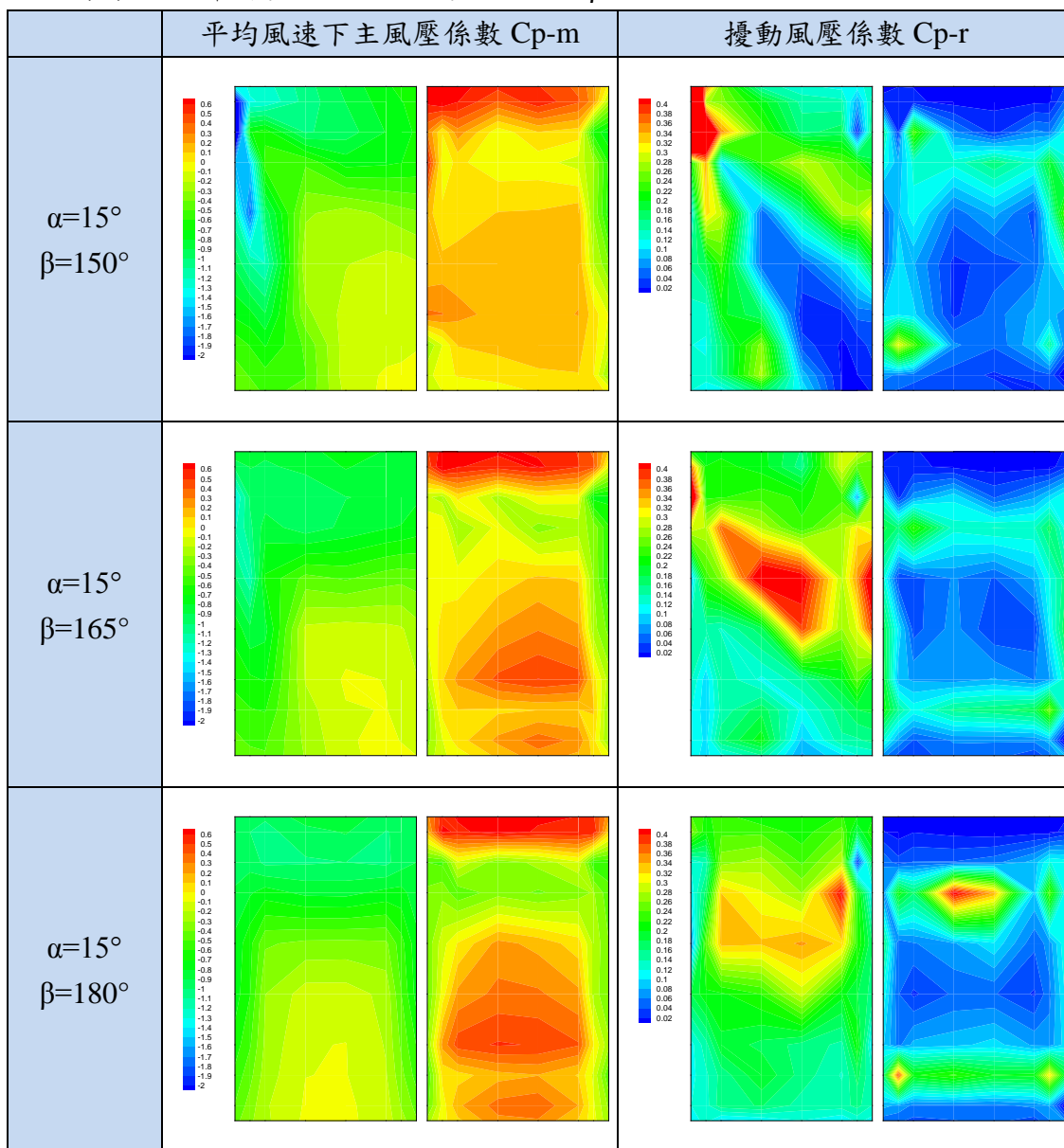


圖 3-33 單片型 1x1 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=150^\circ\sim 180^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$  風壓分佈圖  
 (資料來源：本研究整理)

表 3-8 單片型 1×1 風壓模型量測壓力係數相對最大值表

風速 V(m/s)	來流 $\beta$ ( $^{\circ}$ )	正面平均壓力係數 Cp-m 相對最大值	反面平均壓力係數 Cp-m 相對最大值	淨風壓 Cpn 相對最大值	備註
10	0	-0.27	-1.09	-1.36	
	15	-0.27	-1.19	-1.47	
	30	-0.27	-1.34	-1.62	
	45	-0.29	-1.11	-1.40	
	60	-0.69	-1.13	-1.82	
	75	-0.96	-0.95	-1.92	
	90	-1.25	-0.87	-2.12	
	105	-1.93	-0.63	-2.56	
	120	-2.09	0.63	-1.47	
	135	-3.37	0.72	-2.65	
	150	-2.28	-0.80	-3.08	
	165	-1.29	-0.78	-2.07	
	180	-1.04	-0.64	-1.68	
20	0	-0.27	-1.13	-1.39	
	15	-0.27	-1.26	-1.53	
	30	-0.29	-1.42	-1.70	
	45	-0.29	-1.13	-1.42	
	60	-0.64	-1.17	-1.81	
	75	-0.88	-1.19	-2.07	
	90	-1.29	-0.89	-2.18	
	105	-1.96	0.64	-1.32	
	120	-2.00	0.57	-1.43	
	135	-3.40	0.72	-2.68	
	150	-2.50	-0.77	-3.28	
	165	-1.32	-0.74	-2.06	
	180	-1.03	0.65	-0.37	

(資料來源：本研究整理)

有關單片型 1x1 風壓模型量測壓力係數相對最大值結果，整理如下：

正面  $C_{p-m} = -0.27 \sim -3.40$

反面  $C_{p-m} = 0.57 \sim -1.42$

淨風壓  $C_{pn} = -0.37 \sim -3.28$

上表所表現出的是各壓力孔位的相對最大值，正值為直接受風壓力，負值為逆壓力，也就是所謂的拉力或牽引力。

進行支架結構分析時，可以參考本次試驗結果來進行，然而上表所表示的是各測點孔位的相對最大值，因此，對於淨風壓的相對最大值，僅可供為參考，其原因在於各測點的壓力值並非剛好在同一孔位的上下位置，再加上孔位間受到壓力管線佈設的影響，對於該數值結果，就會有相當大的差異。某些孔位剛好在角落邊，所得風壓甚高 ( $C_{p-m} > 3$ )，倘若直接採用計算，結果將導致過於保守，而較不合理。

所以本研究認為，若能將該單片型 1x1 風壓模型分區，將支架的受壓（拉）力區域，區分成正面 A1、A2、A3、A4，反面 B1、B2、B3、B4，對於均佈承受風壓，才能算是合理。

經計算  $C_{pn-a}$  = 正面平均  $C_{p-u}$  - 反面平均  $C_{p-l}$

因此，

$C_{pn-a}(A1/B1) = -0.31 \sim -0.70$

$C_{pn-a}(A2/B2) = -0.06 \sim -0.70$

$C_{pn-a}(A3/B3) = -0.51 \sim -0.93$

$C_{pn-a}(A4/B4) = -0.43 \sim -0.86$

該結果顯示，A3/B3、A4/B4 後端（支撐端）的受力高於 A1/B1、A2/B2 後端（支撐端），與風場受力相符，主因在於後端抬高使受風面積變大，當然受風壓一定較大，亦顯示試驗結果合理。

詳細的支架結構計算，將於後續章節陳述。

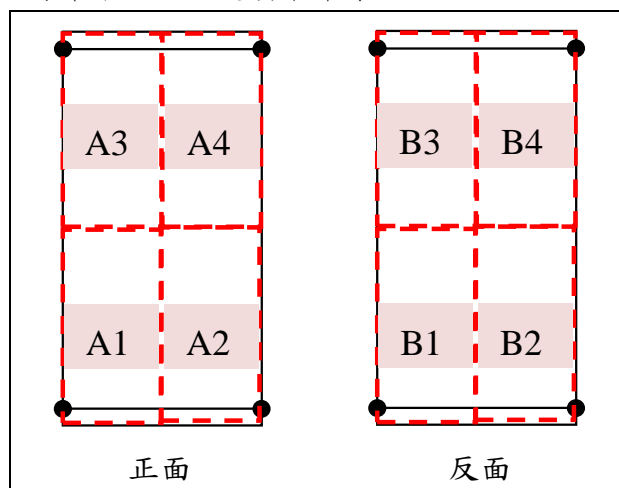


圖 3-34 單片型 1x1 風壓模型區域平均淨風壓區  
(資料來源：本研究整理)



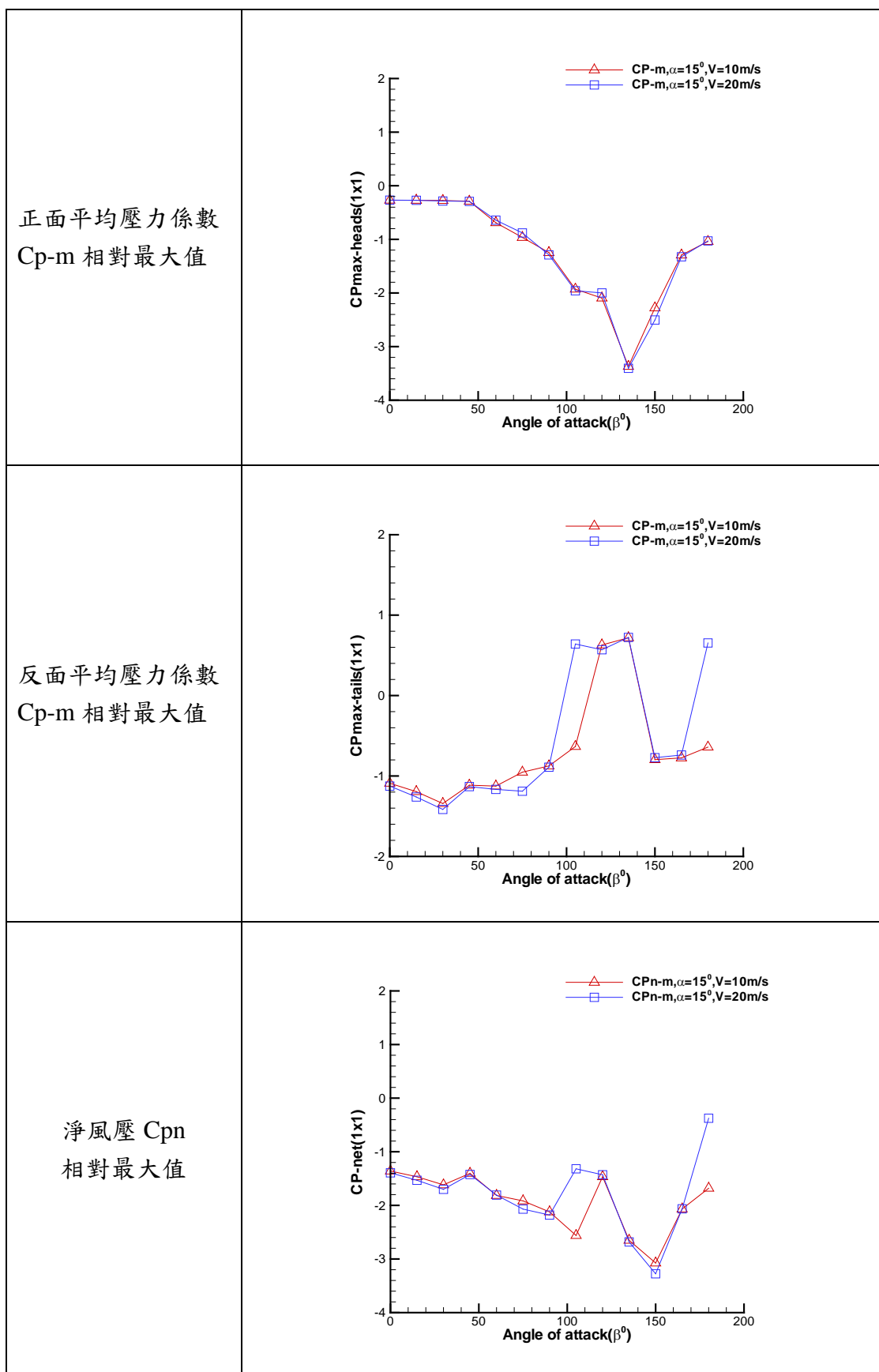


圖 3-35 單片型 1x1 風壓模型量測風壓分佈圖

(資料來源：本研究整理)

表 3-9 單片型 1x1 風壓模型量測區域平均淨風壓表

風速 V(m/s)	來流 $\beta$ ( $^{\circ}$ )	區域平均淨風壓 C <sub>pn-a</sub>				
		A1/B1	A2/B2	A3/B3	A4/B4	
10	0	-0.68	-0.68	-0.62	-0.64	
	15	-0.56	-0.64	-0.53	-0.61	
	30	-0.55	-0.66	-0.51	-0.59	
	45	-0.57	-0.60	-0.54	-0.57	
	60	-0.62	-0.54	-0.67	-0.53	
	75	-0.64	-0.46	-0.76	-0.49	
	90	-0.70	-0.41	-0.86	-0.45	
	105	-0.70	-0.32	-0.83	-0.50	
	120	-0.60	-0.27	-0.85	-0.67	
	135	-0.50	-0.25	-0.84	-0.65	
	150	-0.61	-0.19	-0.93	-0.76	
	165	-0.55	-0.13	-0.80	-0.84	
180	-0.37	-0.35	-0.86	-0.86		
20	0	-0.70	-0.70	-0.64	-0.66	
	15	-0.58	-0.65	-0.56	-0.62	
	30	-0.57	-0.66	-0.53	-0.60	
	45	-0.59	-0.59	-0.54	-0.57	
	60	-0.63	-0.54	-0.66	-0.53	
	75	-0.65	-0.45	-0.77	-0.48	
	90	-0.70	-0.38	-0.85	-0.43	
	105	-0.70	-0.28	-0.82	-0.48	
	120	-0.58	-0.21	-0.76	-0.65	
	135	-0.46	-0.19	-0.82	-0.61	
	150	-0.58	-0.12	-0.90	-0.71	
	165	-0.51	-0.06	-0.75	-0.80	
180	-0.31	-0.28	-0.81	-0.81		

(資料來源：本研究整理)

為求模型與實尺寸物件間的差異，本研究也選購一組單片型的支架系統及模組，實際組立圖說如下。原本預定置入風洞進行量測，但如何在不破壞物件的條件下進行抗風量測，對於風力量測儀器設備並無法滿足，而若要採用風壓量測儀器設備，對於壓力管線的佈設又無法克服。因此，本研究即先將其組立完成，從中瞭解組立的過程，進而提出相關建議。至於抗風量測，則可列於後續研究再來

思考如何進行。這也啟發了本研究對於後續如能提出相關檢測試驗方法，有了極大的研究動力，所能創造的價值與能量，應該可以為太陽能光電板有所實尺寸的量測上有所貢獻。

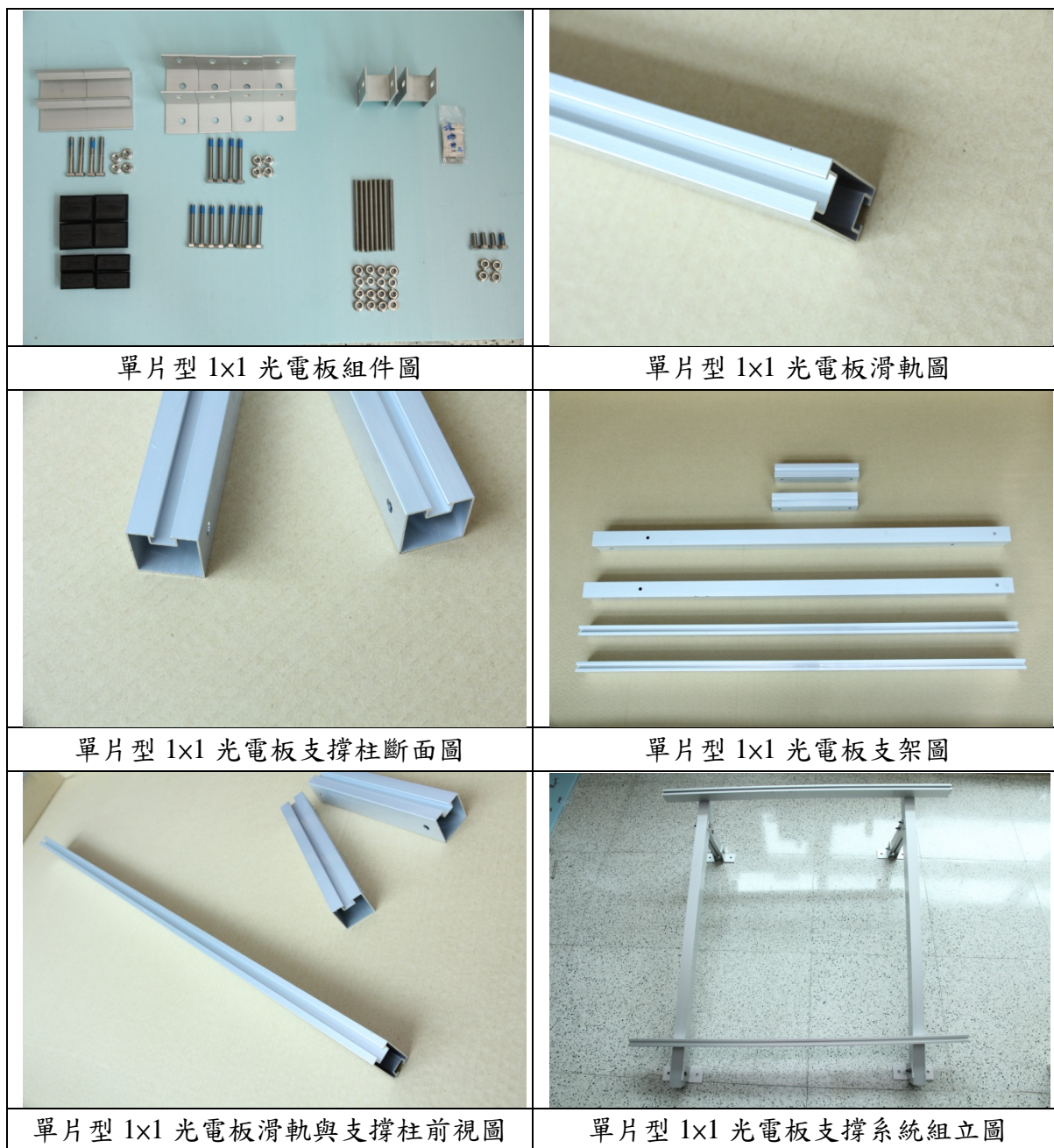


圖 3-36 單片型 1x1 光電板實尺寸支架組立圖

(資料來源：本研究整理)

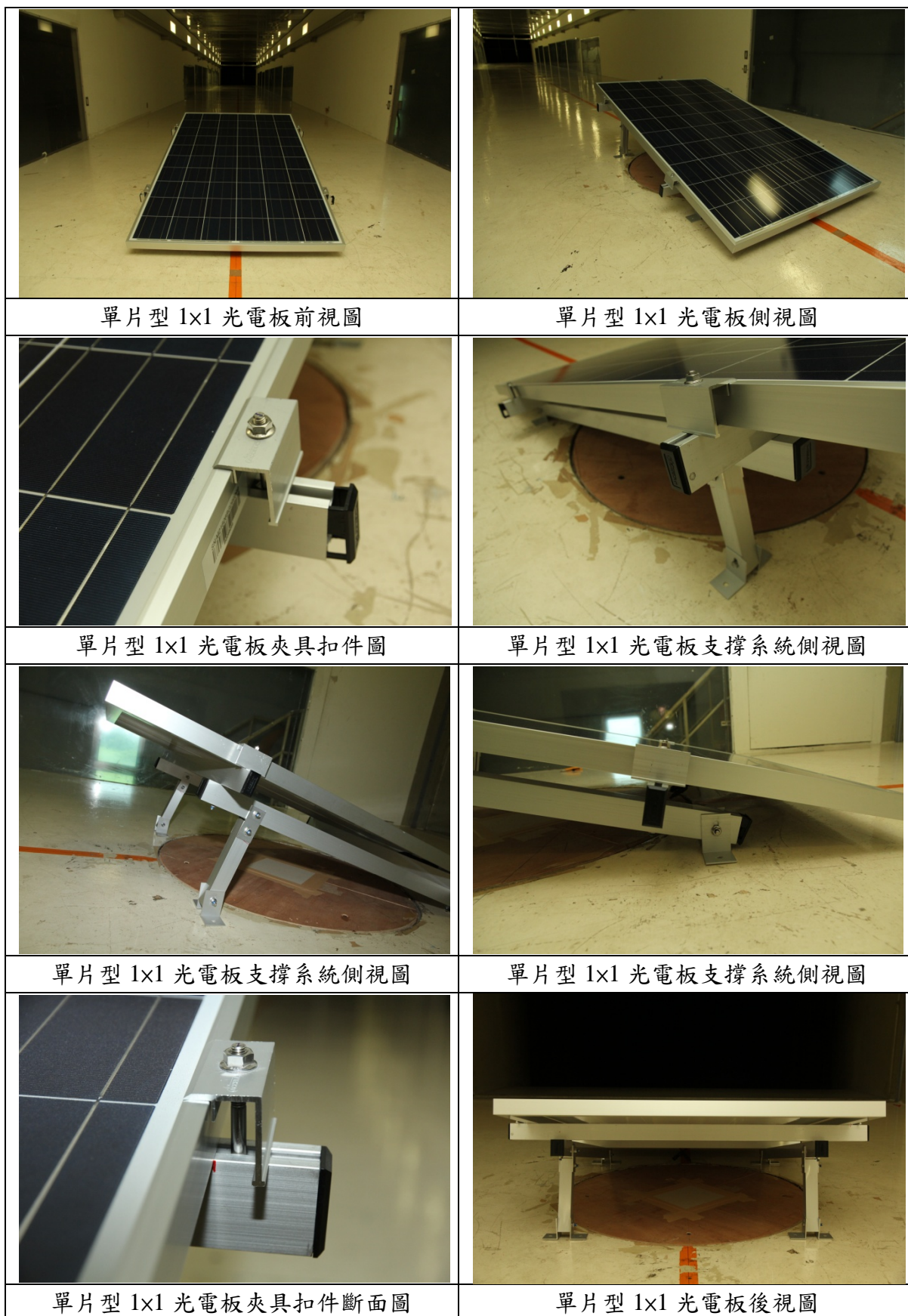


圖 3-37 單片型 1x1 光電板模組實尺寸支架組立圖

(資料來源：本研究整理)

### 第三節 2X3 陣列型光電板模型試驗

#### 一、2X3 型光電板

##### 1. 試驗風速試驗

(1)  $\alpha=15^\circ$  及  $V=10\text{m/s}$ 、 $20\text{m/s}$ 。

(2)  $\beta=0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $165^\circ$ 、 $180^\circ$ 。

2. 來流為時阻塞比 $<0.1$ ，所以計算風力係數時時，可不用修正風速。

量測時溫度  $32^\circ\text{C}$ ，大氣壓力  $1006.8\text{hPa}$ ，壓力掃描器量測時單位為  $\text{Pa}$ ，空氣密度  $\rho$  取  $1.165\text{kg/m}^3$ ，平均風速壓力等值圖則以壓力係數  $C_p$ -m 呈現，另將擾動風壓分布圖一併呈現，以利判讀參考。

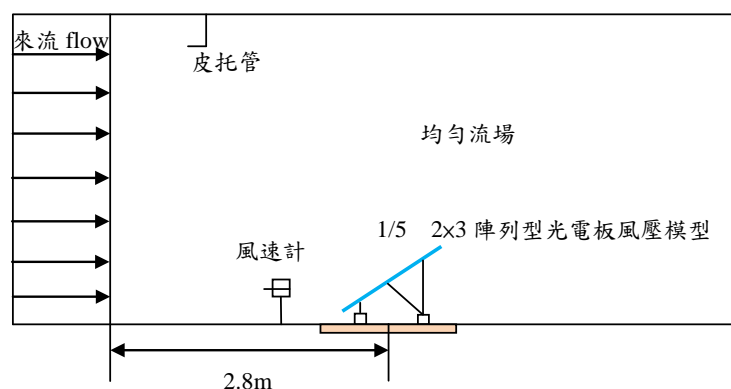


圖 3-38 陣列型 2x3 風壓模型試驗示意圖

(資料來源：本研究整理)

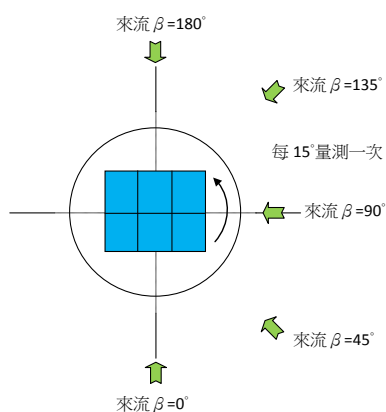


圖 3-39 陣列型 2x3 風壓模型試驗來流圖

(資料來源：本研究整理)

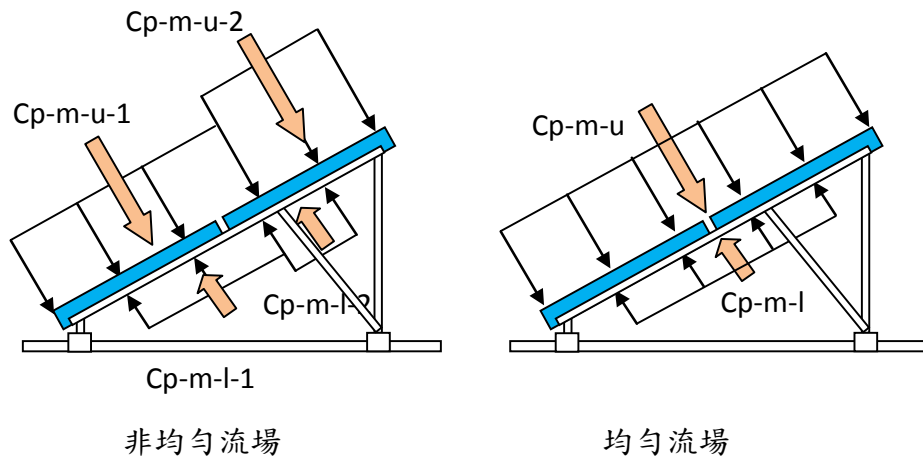


圖 3-40 陣列型 2x3 風壓模型於流場受力情形圖  
(資料來源：本研究整理)

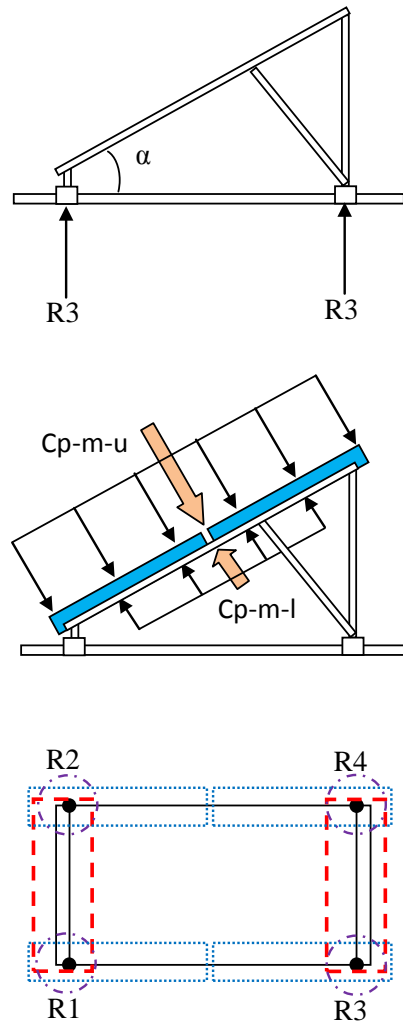


圖 3-41 陣列型 2x3 風壓模型受力分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

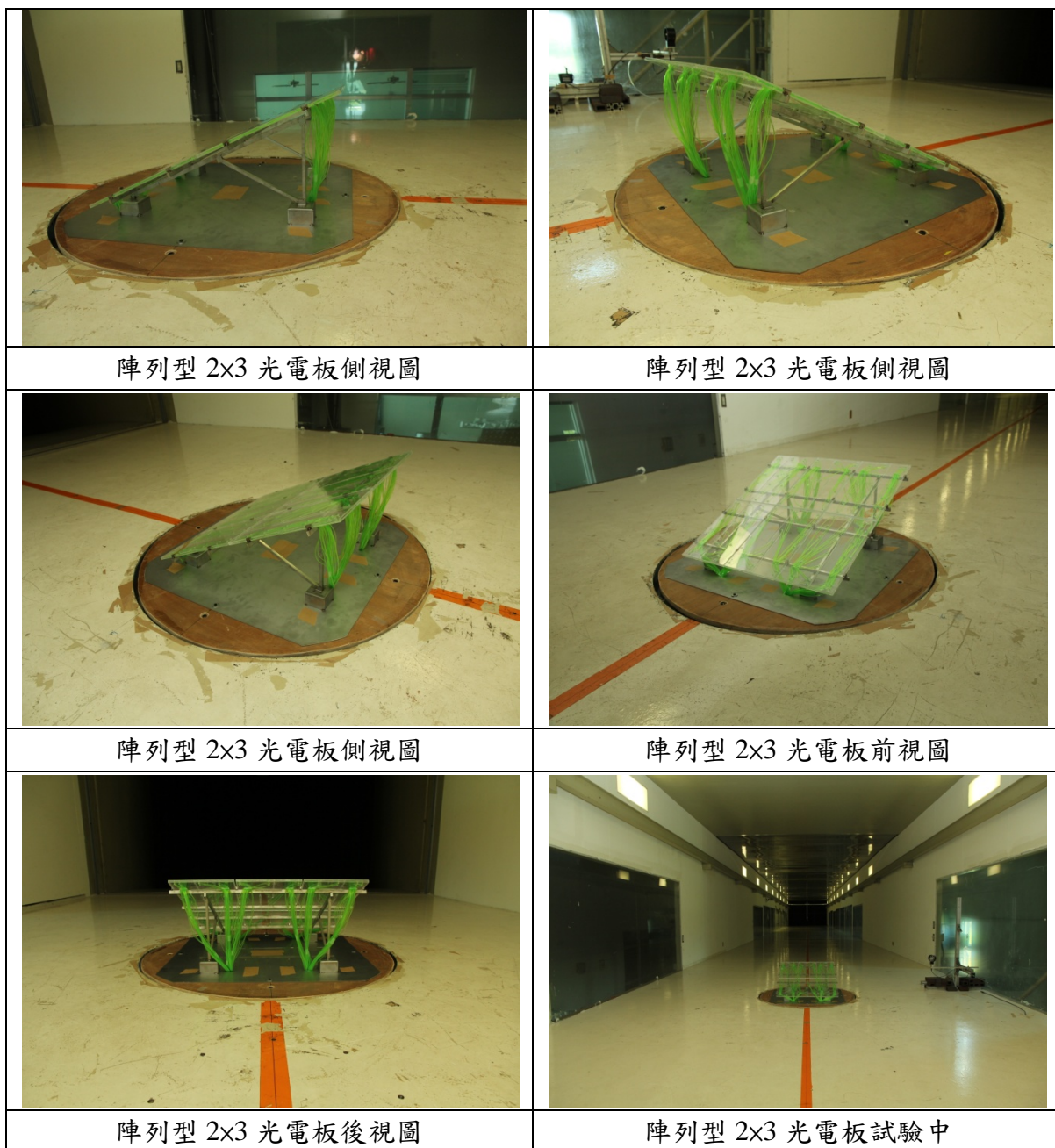


圖 3-42 陣列型 2x3 單光電板模型均勻流場試驗圖

(資料來源：本研究整理)

3. 試驗結果如下。

$$\text{淨風壓 } C_{pn} = (\text{正面 } C_{pm-u}) - (\text{反面 } C_{pm-l})$$

4. 試驗情形與結果如下。

(1) 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim 60^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

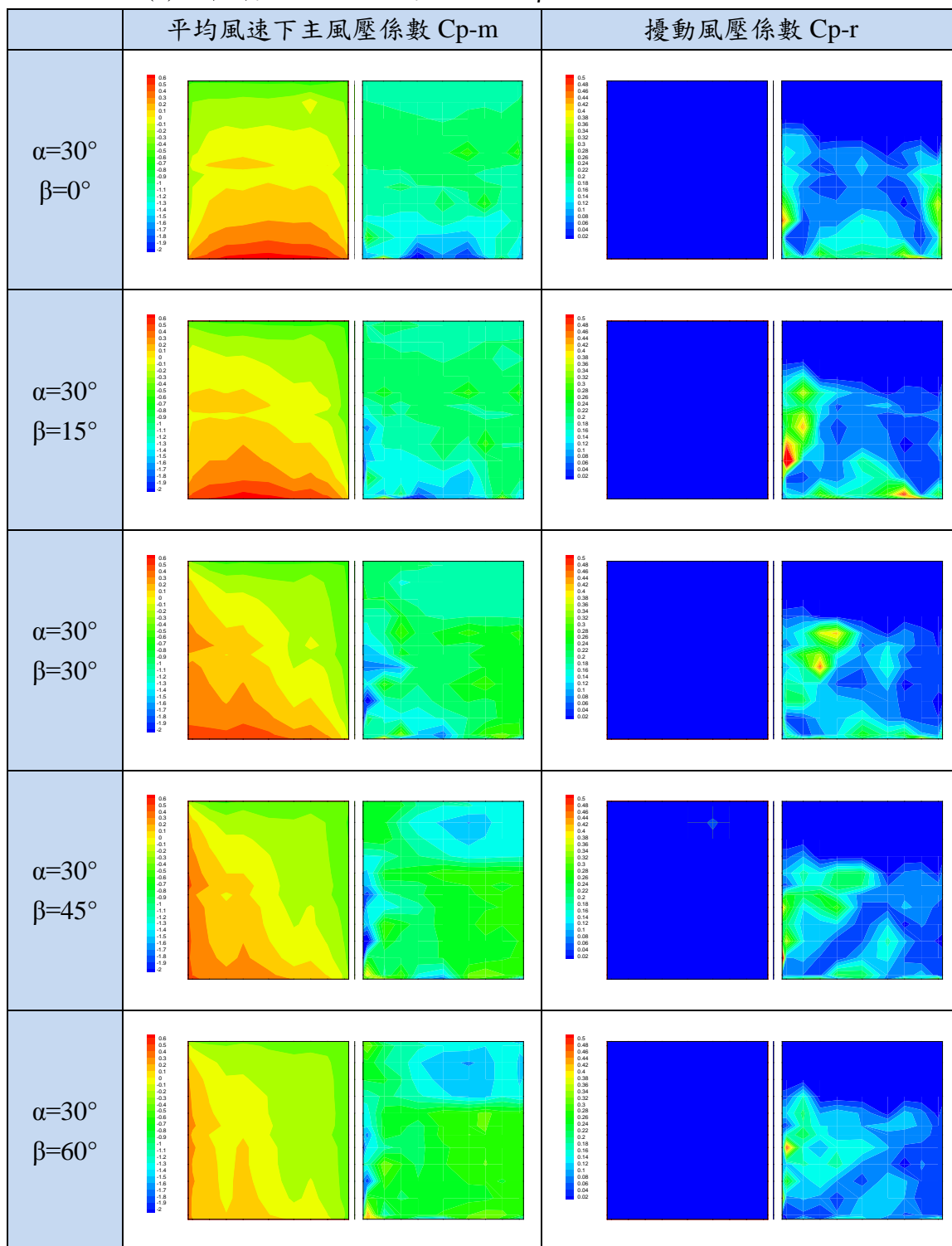


圖 3-43 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim 60^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)



(2) 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=75^\circ\sim 135^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

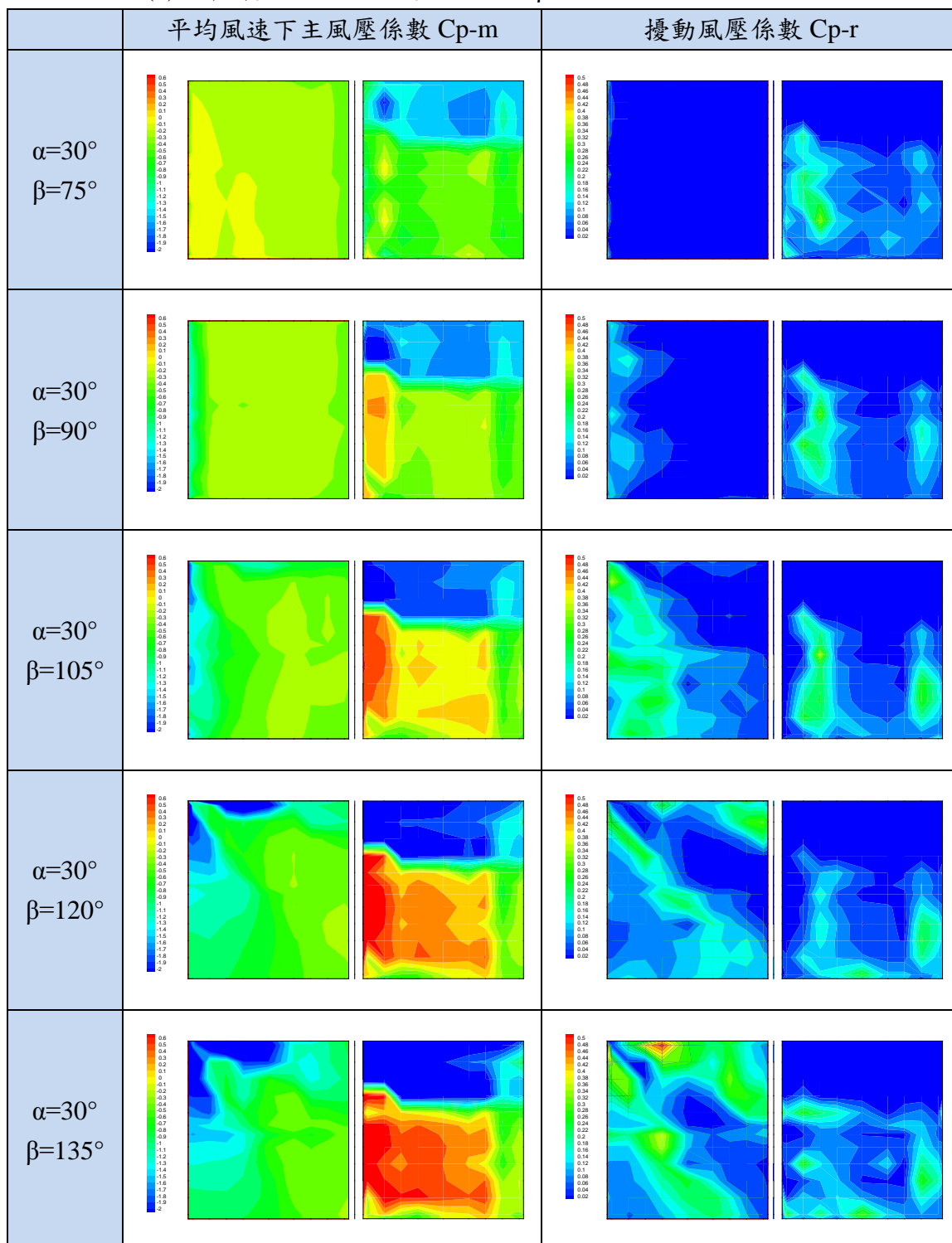


圖 3-44 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=75^\circ\sim 135^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(3) 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=150^\circ$  ,  $\beta=150^\circ\sim 180^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

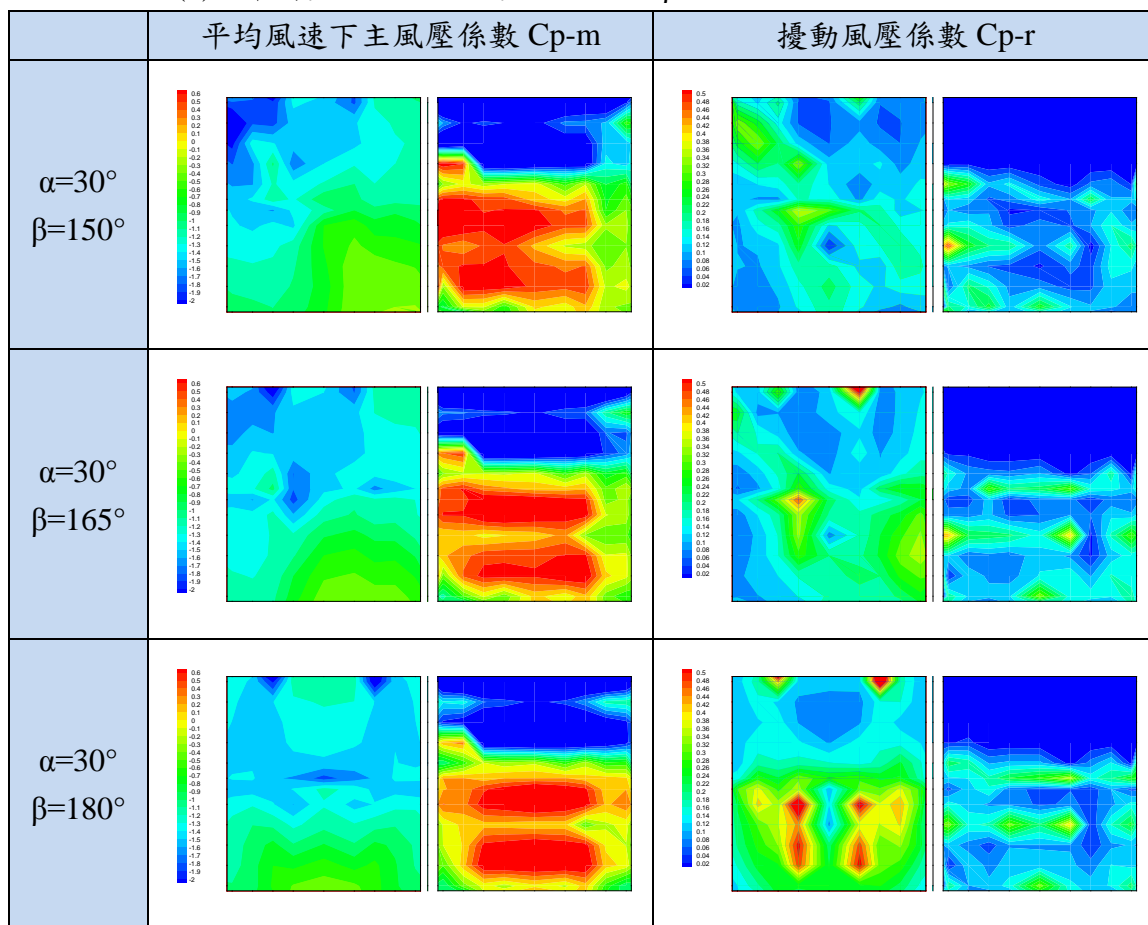


圖 3-45 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=150^\circ\sim 180^\circ$  ,  $V=10\text{m/s}$

(資料來源：本研究整理)

(4) 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim60^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

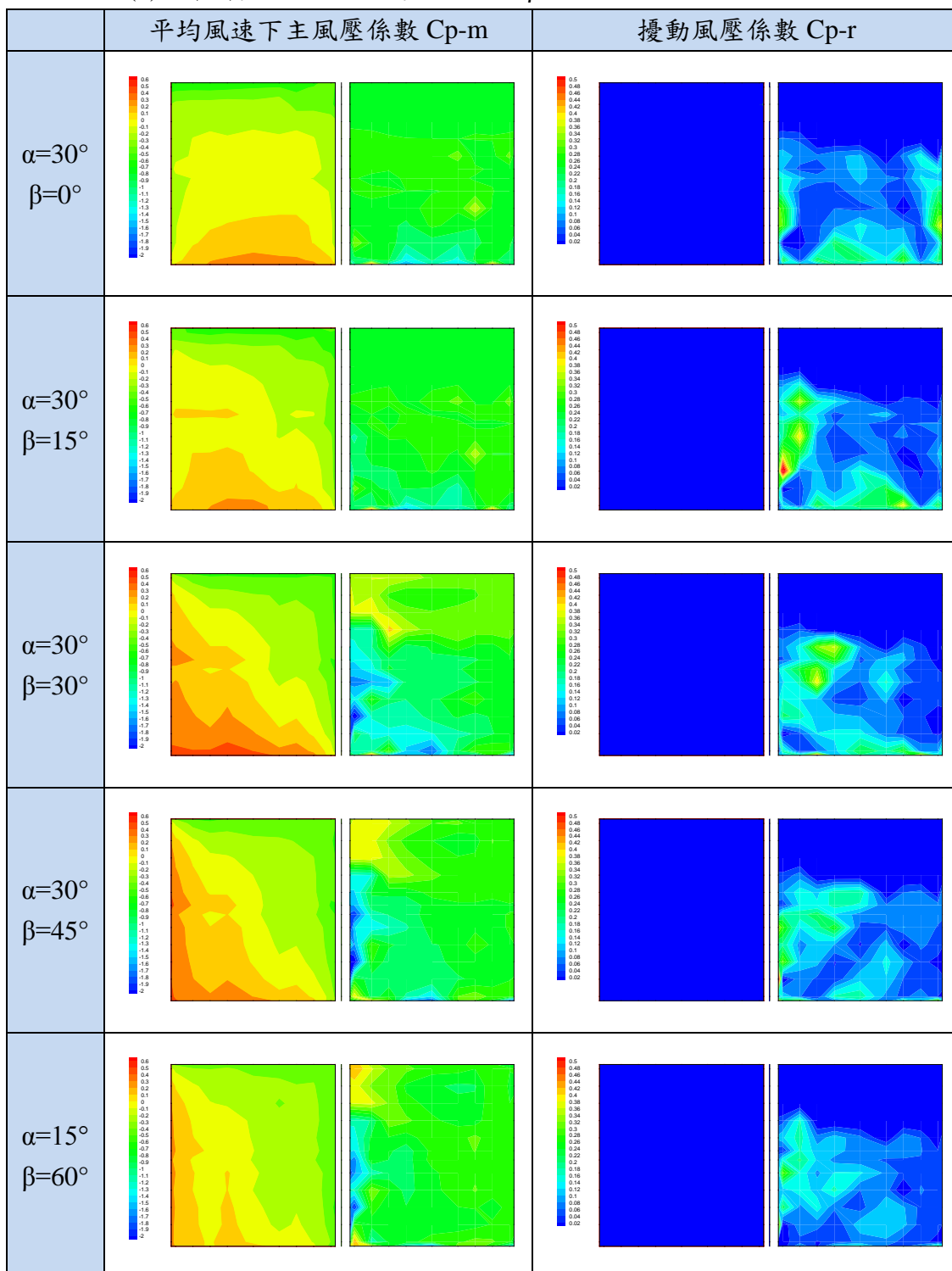


圖 3-46 陣列型 1x1 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=0^\circ\sim60^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(5) 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=75^\circ\sim 135^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

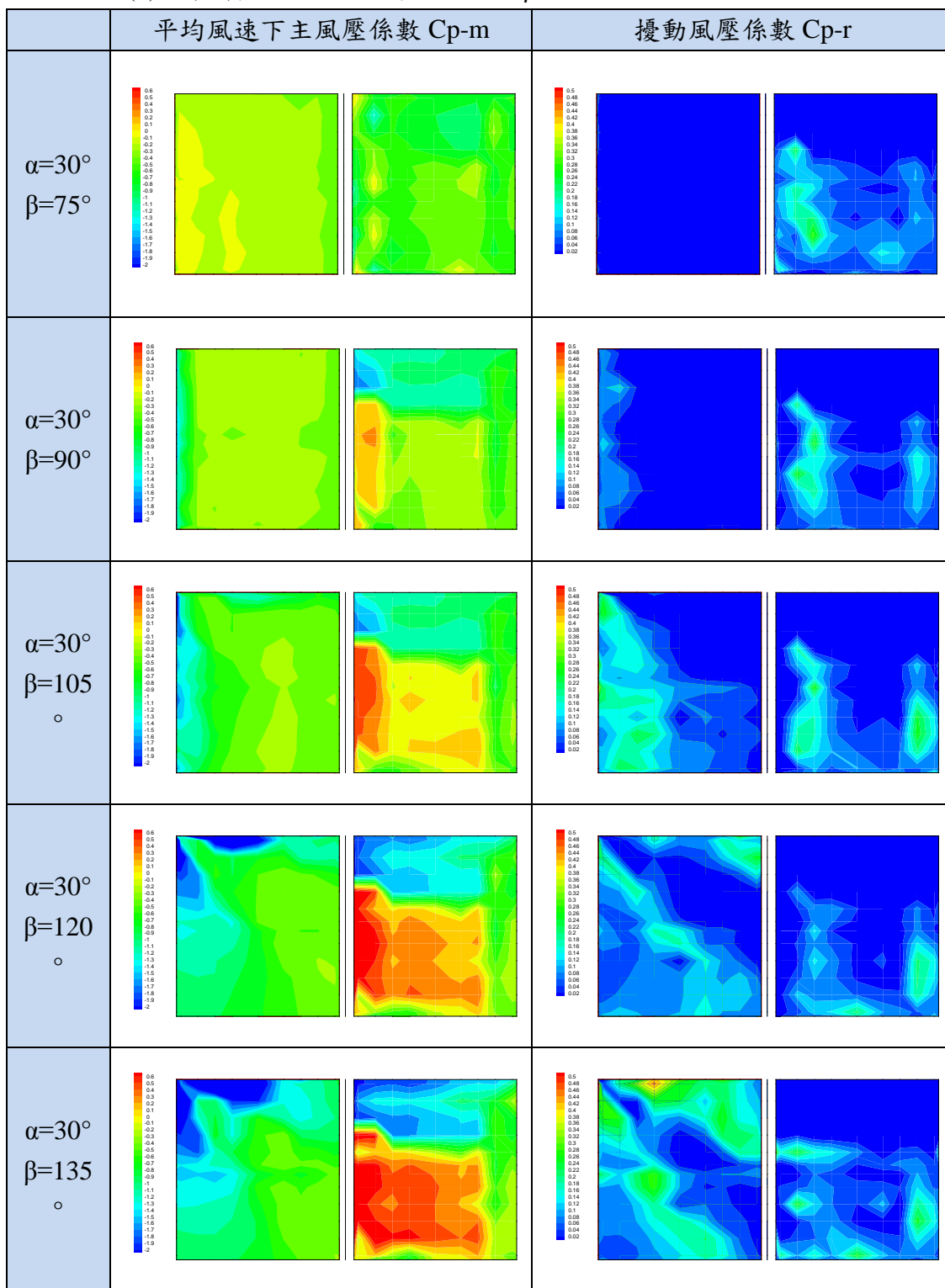


圖 3-47 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=75^\circ\sim 135^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$  風壓分佈圖  
(資料來源：本研究整理)

(6) 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=30^\circ$  ,  $\beta=150^\circ \sim 180^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

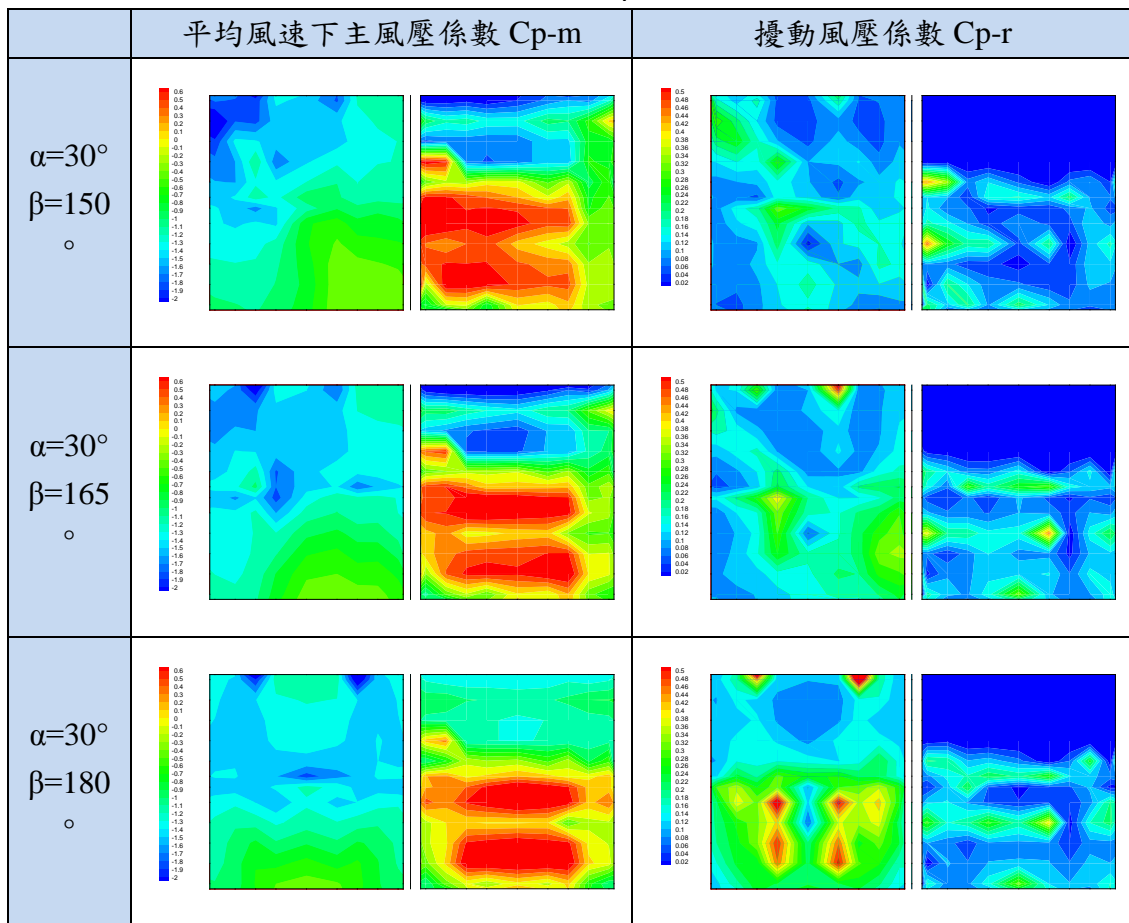


圖 3-48 陣列型 2x3 風壓模型  $\alpha=15^\circ$  ,  $\beta=150^\circ \sim 180^\circ$  ,  $V=20\text{m/s}$

(資料來源：本研究整理)

表 3-10 陣列型 2x3 風壓模型量測壓力係數相對最大值表

風速 V(m/s)	來流 $\beta$ ( $^{\circ}$ )	正面平均壓力係數 Cp-m 相對最大值	反面平均壓力係數 Cp-m 相對最大值	淨風壓 Cpn 相對最大值	備註
10	0	0.70	-1.56	2.25	
	15	0.66	-1.69	2.34	
	30	0.55	-1.61	2.16	
	45	0.50	-1.66	2.16	
	60	0.37	-1.63	2.00	
	75	-0.40	-1.47	1.07	
	90	-1.17	-1.57	0.40	
	105	-1.54	-1.78	0.24	
	120	-2.76	-1.99	-0.77	
	135	-3.35	-2.11	-1.24	
	150	-1.71	-2.14	0.43	
	165	-1.68	-2.24	0.56	
	180	-1.70	-2.24	0.55	
20	0	0.36	-1.13	1.49	
	15	-0.40	-1.08	0.68	
	30	0.53	-1.57	2.10	
	45	0.47	-1.86	2.33	
	60	-0.38	-1.66	1.28	
	75	-0.33	-1.03	0.70	
	90	-1.16	-1.22	0.06	
	105	-1.59	-1.22	-0.37	
	120	-2.64	-1.48	-1.16	
	135	-3.36	-1.52	-1.84	
	150	-1.64	-1.56	-0.08	
	165	-1.74	-1.66	-0.08	
	180	-1.77	-0.96	-0.81	

(資料來源：本研究整理)

有關陣列型 2x3 風壓模型量測壓力係數相對最大值結果，整理如下：

正面  $C_{p-m}=0.36\sim-3.36$

反面  $C_{p-m}=-0.96\sim-2.24$

淨風壓  $C_{pn}=2.33\sim-1.24$

同樣地，上表所表現出的是各壓力孔位的相對最大值，正值為直接受風壓力，負值為逆壓力，也就是所謂的拉力或牽引力。與單片型 1x1 相同的是，對於淨風壓的相對最大值，僅可供為參考，其原因亦在於各測點的壓力值並非剛好在同一孔位的上下位置，再加上孔位間受到壓力管線佈設的影響，對於該數值結果，就會有相當大的差異，某些孔位剛好在角落邊，所得風壓甚高 ( $C_{p-m}>3$ )，倘若直接採用計算，結果是會相當保守較不合理。

本次試驗也參照單片型 1x1 風壓模型分區，將支架的受壓（拉）力區域，區分成正面 A1、A2，反面 B1、B2，對於均佈承受風壓，才能算是合理。

經計算  $C_{pn-a}=\text{正面平均 } C_{p-u}-\text{反面平均 } C_{p-l}$ 。因此，

$C_{pn-a}(A1/B1)=-0.31\sim 1.08$

$C_{pn-a}(A2/B2)=-0.06\sim 0.70$

試驗結果仍受到壓力管線過密的影響，尤其是反面的部分，經由上述各角度壓力分佈圖可清楚看到；另外，陣列型的是藉由單片型的排列組合而成，每個單元間的間隙(gap)，以及受限於模型佈孔仍不夠密集，致使影響大過於單片型所呈現的結果。不過，正面的整體壓力分佈仍可知道在角隅受風的牽引相當明顯，而平均承受風壓，在經過計算修正後，負風壓  $C_{pn}$  最高也都在 -0.70 左右，正風壓  $C_{pn}$  則在 1.08 左右。

由於本次試驗所受到的干擾較多，且本研究主要係探討單片型太陽能光電板，所以對於陣列型 2x3 試驗結果，可作為後續研究或設計參考，但有關結構計算，則直接以單片型的方式來進行。

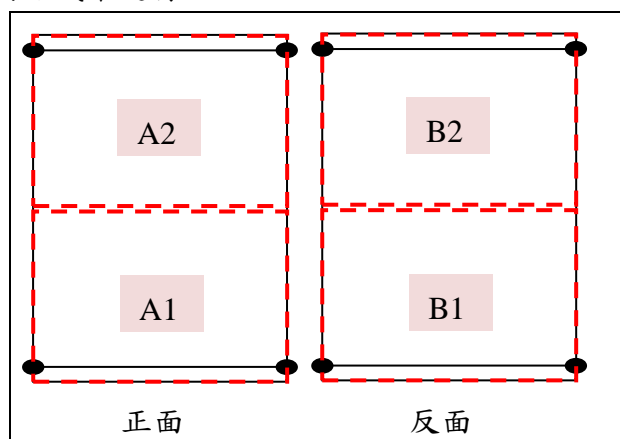


圖 3-49 陣列型 2x3 風壓模型區域平均淨風壓區  
(資料來源：本研究整理)

表 3-11 陣列型 2x3 風壓模型量測區域平均淨風壓表

風速 V(m/s)	來流 $\beta$ ( $^{\circ}$ )	區域平均淨風壓 C <sub>pn-a</sub>		備註
		A1/B1	A2/B2	
10	0	1.08	0.59	
	15	1.05	0.60	
	30	0.91	0.63	
	45	0.76	0.67	
	60	0.57	0.69	
	75	0.25	0.66	
	90	-0.15	0.54	
	105	-0.43	0.38	
	120	-0.61	0.14	
	135	-0.71	0.02	
	150	-0.74	0.05	
	165	-0.81	0.11	
	180	-0.85	0.14	
20	0	0.61	0.33	
	15	0.60	0.33	
	30	0.90	0.24	
	45	0.75	0.29	
	60	0.56	0.30	
	75	0.25	0.27	
	90	-0.15	0.25	
	105	-0.43	-0.02	
	120	-0.60	-0.22	
	135	-0.72	-0.39	
	150	-0.75	-0.33	
	165	-0.82	-0.27	
	180	-0.85	-0.44	

(資料來源：本研究整理)



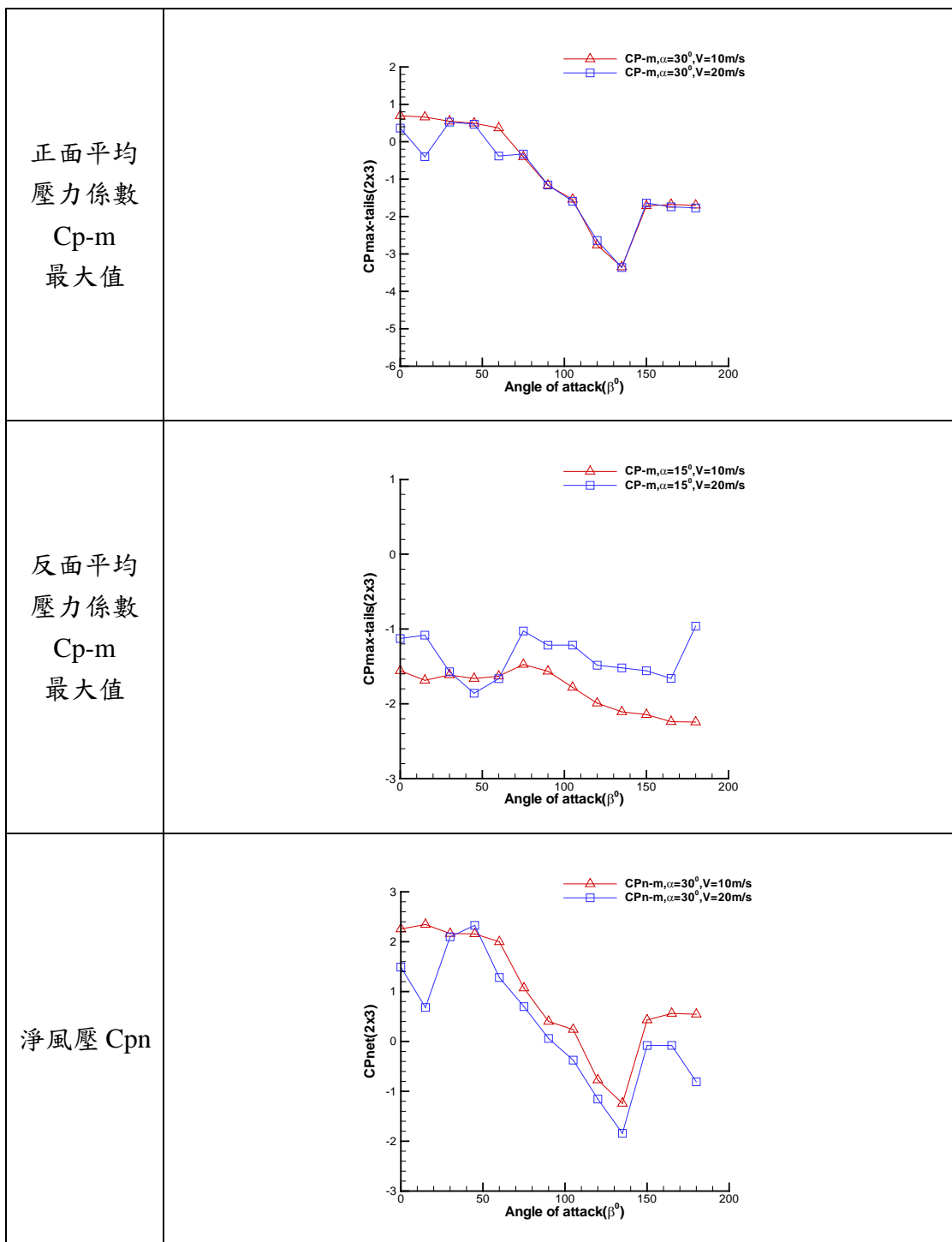


圖 3-50 陣列型 2x3 風壓模型量測風壓分佈圖

(資料來源：本研究整理)

### 第四節 單片型支架結構分析

#### 壹、風力模型受力計算

一、在風力模型方面，試驗結果經無因次化表示以 $C_F$ 表示，如於均勻流場受力情形，且又假設為均佈受力，該光電板模組受力，如下圖方式表示。

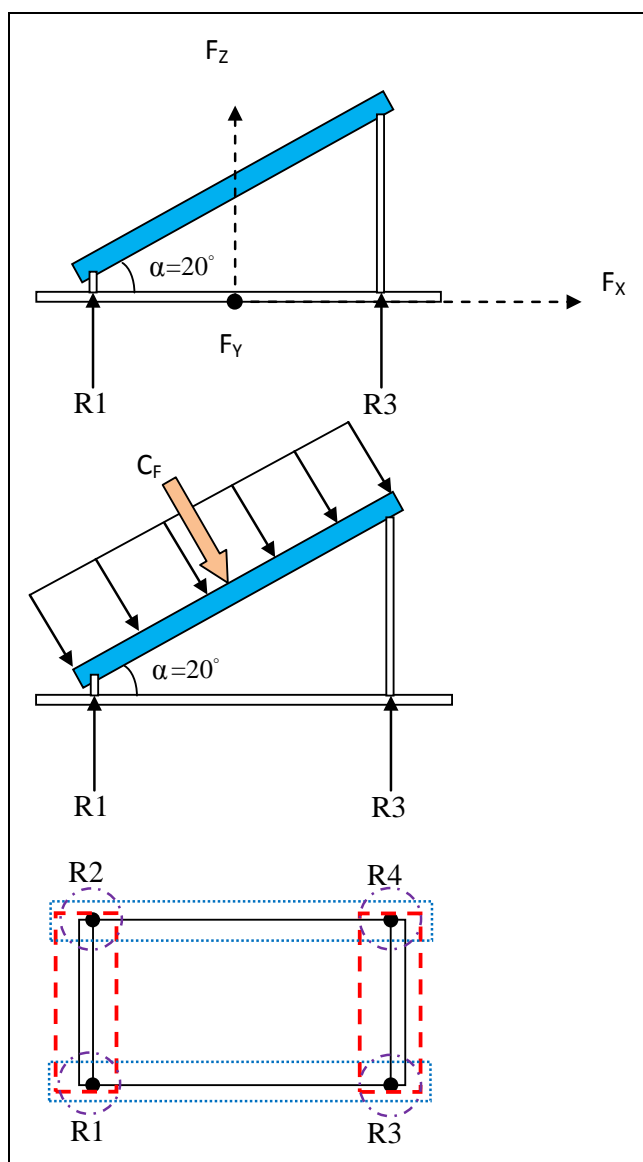


圖 3-51 風力模型支架受力評估圖

(資料來源：本研究整理)

二、由試驗結果圖可知 $C_{FZ}$ 約在來流風攻角 45 度，呈現相對高峰值 ( $C_{FZ}=-0.50$ )，本研究也說明過，因為模型與儀器的影響，因此，如要計算各支架所受力量，則應以基底總力合平均分配至各支架。至於平板本身的影響程度，擬暫予以忽略。

三、該風力模型量測推估最大值 $C_{FX}=0.24$ ， $C_{FY}=-0.11$ ， $C_{FZ}=-0.51$ 。

四、透過以下公式將無因次化受力轉換為現場實際建築物之平均受力

$$\text{現場X向平均受力} = C_{FX} \times 0.5\rho U_R^2 A_R$$

$$\text{現場Y向平均受力} = C_{FY} \times 0.5\rho U_R^2 A_R$$

$$\text{現場Z向平均受力} = C_{FZ} \times 0.5\rho U_R^2 A_R$$

式中

$U_R$  = 建築物 (或光電板) 高之參考風速 (m/s)

$A_R$  = 建築物 (或光電板) 投影面積 ( $m^2$ )

$H_R$  = 建築物 (或光電板) 高 (m) = 假設光電板設置 5 層 ( $H=15m$ )

$\rho$  = 空氣密度 ( $kg/m^3$ ) =  $1.165 (kg/m^3)$  (當氣溫  $30^\circ C$  時)

五、此處假設光電板設置 5 層 ( $H=15m$ ) 樓建築物平屋頂上，所處台南安平沿海地區為 C 地況 ( $\alpha=0.15$ )，經查「建築物耐風設計規範與解說」基本設計風速為  $37.5m/s$ ，換算高度 15m 處之實際高度風速為：

$$U_R = \left(\frac{15}{10}\right)^{0.15} \times 37.5 \cong 40 \text{ m/s}$$

光電板投影面積，以  $L=2m$ ， $W=1m$ ，為求便利與保守計算，將光電板面積視為投影面積。

$$A_R = 2 \times 1 = 2 \text{ m}^2$$

所以，計算現場受力如下：

$$\text{現場X向平均受力} = C_{FX} \times 0.5\rho U_R^2 A_R = 0.24 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 2 \doteq 447 \text{ kg}$$

$$\text{現場Y向平均受力} = C_{FY} \times 0.5\rho U_R^2 A_R = -0.11 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 2 \doteq -205 \text{ kg}$$

$$\text{現場Z向平均受力} = C_{FZ} \times 0.5\rho U_R^2 A_R = -0.51 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 2 \doteq -951 \text{ kg}$$

六、X 向與 Y 向力量，經由 4 個支撐點，平均分佈受力，可計算出所受剪應力。而 Z 方向亦由 4 個支撐點，平均分佈受力，可計算出所受拉應力或壓應力。然而由於本次風力模型所採用的是簡易型式的縮尺模型，因此對於該模型支架細部的應力分析不予進行，相關實尺寸支架應力分析，將綜合風壓模型試驗結果再以專章節進行評估計算。

七、本研究所得風力係數可與現行規範表 2.9「開放式建築物之單斜式屋頂的風力係數， $C_f$ 」比對，發現現行規範重點考量近似矩型的建築物，倘若要進行比對，以該表 2.9 所呈現的條件，尚須考量建築物的寬度 B 及長度 L。

其中：

風力垂直作用在屋頂面上，向內及向外均要考慮。

計算設計風力所用之受風作用特徵面積為屋頂面積。

L：平行於風向之建築物水平尺寸，m

B：垂直於風向之建築物水平尺寸，m

若直接套用在本次光電板風力模型上，對於 L 的定義似乎無法直接適用，因此，本研究認為可以下 2 種方式進行比對：

(一) 將光電板的長寬直接視為 L 及 B，則  $L/B=2m/1m=2$ 。

表 3-12 單片型 1x1 風力係數與規範值比較表 (L/B=2)

C <sub>F</sub> 值比較		現行規範		本研究		
θ	L/B	2		2		
	10	0.3		-		
	15	0.5		-		
	20	0.75		C <sub>FX</sub>	C <sub>FY</sub>	C <sub>FZ</sub>
				0.24	-0.11	-0.51
	25	0.95		-		
	30	1.2		-		

(資料來源：本研究整理)

(二) 將光電板的長寬以建置於屋頂或地面時所佔的 L 及 B 起計，則

$$L/B=(2m \times \cos 20^\circ)/1m \doteq 1.88。$$

表 3-13 單片型 1x1 風力係數與規範值比較表 (L/B=1.88)

C <sub>F</sub> 值比較		現行規範		本研究		
θ	L/B	2	1	1.88		
	10	0.3	0.45	-		
	15	0.5	0.7	-		
	20	0.75	0.9	C <sub>FX</sub>	C <sub>FY</sub>	C <sub>FZ</sub>
					0.24	-0.11
	25	0.95	1.15	-		
	30	1.2	1.3	-		

(資料來源：本研究整理)

八、比對結果發現，本研究在風力模型的試驗上，相當接近。惟由於對於建築物本身的條件、重要性等，本來就與光電板不同，因此在風力承受面積更大的情形下，相對於光電板而言，規範值就顯得偏大且保守，這是很正確的。不過，由本研究所得可供未來規範修正時參考，或許可獨立專章節或專門規範，供光電板在抗風條件下使用。

貳、風壓模型受力計算

一、有關風壓模型，試驗結果壓力量測時單位為Pa，經無因次化表示以 $C_{p-m}$ 方式表示主壓力的表現，也可從 $C_{p-r}$ 看出各種不同風向角在趨勢上的變化，另外考量正面與反面的加乘效果，有些情形下，光電板所受的是壓和拉，某些情況可能是二方面受壓，或是二方面受拉，此由淨風壓值 $C_{pn-a}$ 可以略知一二（表 3-9 及圖 3-52）。

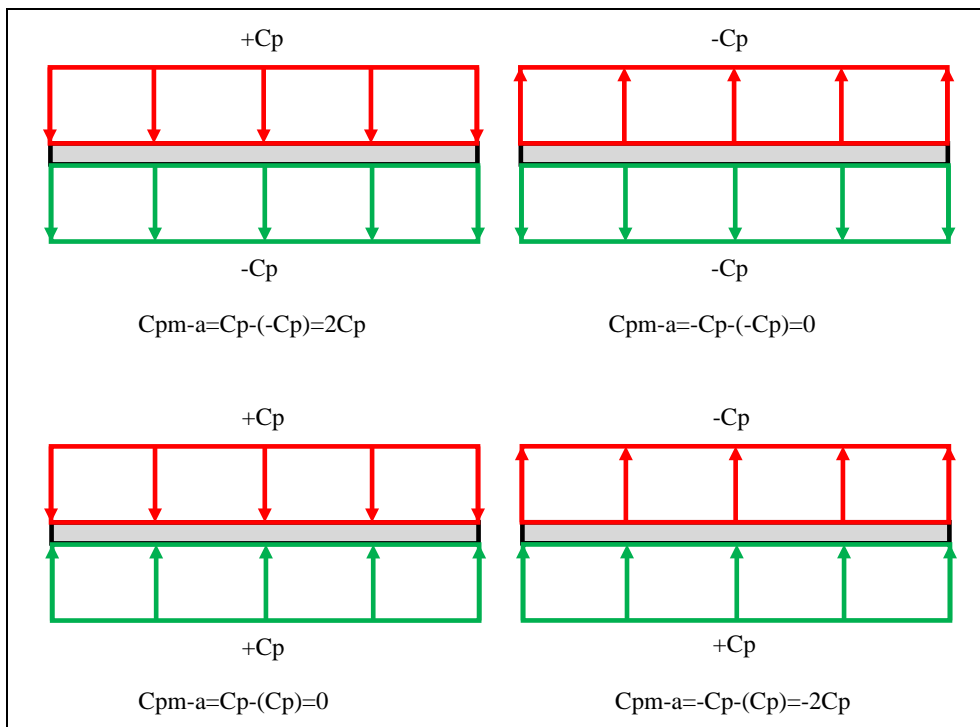


圖 3-52 單片型 1x1 風壓模型區域平均淨風壓區概念

（資料來源：本研究整理）

二、至於風壓值對於各支架的影響，也可以將量測 $C_{p-m}$ 最大值、 $C_{pn-a}$ ，由受力面積反推各支點受力，而為了可以快速評估，同樣也將以簡化方式評估，亦即分區域方式進行。

三、經試驗結果

依前述假設條件，換算高度 15m 處之實際高度風速為 40m/s，並忽略相關環境影響參數，例如用途係數、風速壓、陣風反應因子等影響。

$$\text{至於 } A_R = 1.635 \times 0.992 \doteq 1.64 \text{ m}^2$$

$$C_{pn-a(A1/B1)} = -0.70$$

$$\begin{aligned} P_{(A1/B1)} \text{ 平均風壓} &= C_{pn-a(A1/B1)} \times 0.5\rho U_R^2 A_R \\ &= -0.70 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 1.64 \doteq 1070 \text{ kg/m}^2 \text{ (拉)} \end{aligned}$$

$$C_{pn-a(A2/B2)} = -0.70$$

$$\begin{aligned} P_{(A1/B1)} \text{ 平均風壓} &= C_{pn-a(A2/B2)} \times 0.5\rho U_R^2 A_R \\ &= -0.70 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 1.64 \doteq 1070 \text{ kg/m}^2 \text{ (拉)} \end{aligned}$$

$$C_{pn-a(A3/B3)} = -0.93$$

$$P_{(A1/B1)} \text{ 平均風壓} = C_{pn-a(A3/B3)} \times 0.5\rho U_R^2 A_R \\ = 0.93 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 1.64 \doteq 1422 \text{kg/m}^2 \text{ (拉)}$$

$$C_{pn-a(A4/B4)} = -0.86$$

$$P_{(A1/B1)} \text{ 平均風壓} = C_{pn-a(A4/B4)} \times 0.5\rho U_R^2 A_R \\ = 0.86 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 1.64 \doteq 1315 \text{kg/m}^2 \text{ (拉)}$$

依照分區受力，及等同於光電板受到非均佈風壓，因此，則 A1/B1、A2/B2，係為光電板前端受力區；而 A3/B3、A4/B4，應為後端（支撐柱端）受力區。

惟為便於計算，若將該 4 區域再平均，則單片型光電板  $C_{pn-a} = -0.80$ ，再根據文獻（陳若華，2012。李勝雄，2013）：

$$\text{升力係數 } C_L = C_p \times \cos\alpha = 0.8 \times \sin 15^\circ = 0.77$$

$$\text{阻力係數 } C_D = C_p \times \sin\alpha = 0.8 \times \cos 15^\circ = 0.20$$

又（朱佳仁，2006）

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}, \quad C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$$

$$F_L = C_L \times 0.5\rho U_R^2 A_R = 0.77 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 1.64 \doteq 1177 \text{kg}$$

$$F_D = C_D \times 0.5\rho U_R^2 A_R = 0.20 \times 0.5 \times 1.165 \times 40^2 \times 1.64 \doteq 306 \text{kg}$$

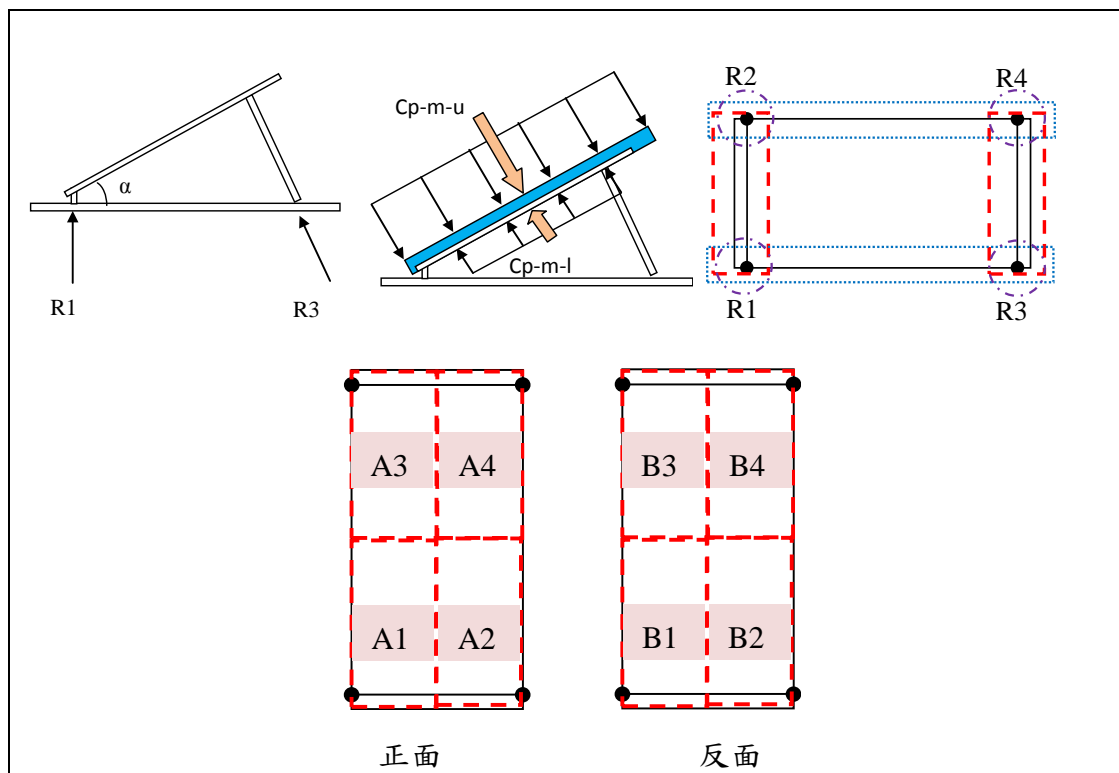


圖 3-53 風力模型支架分區受力評估圖

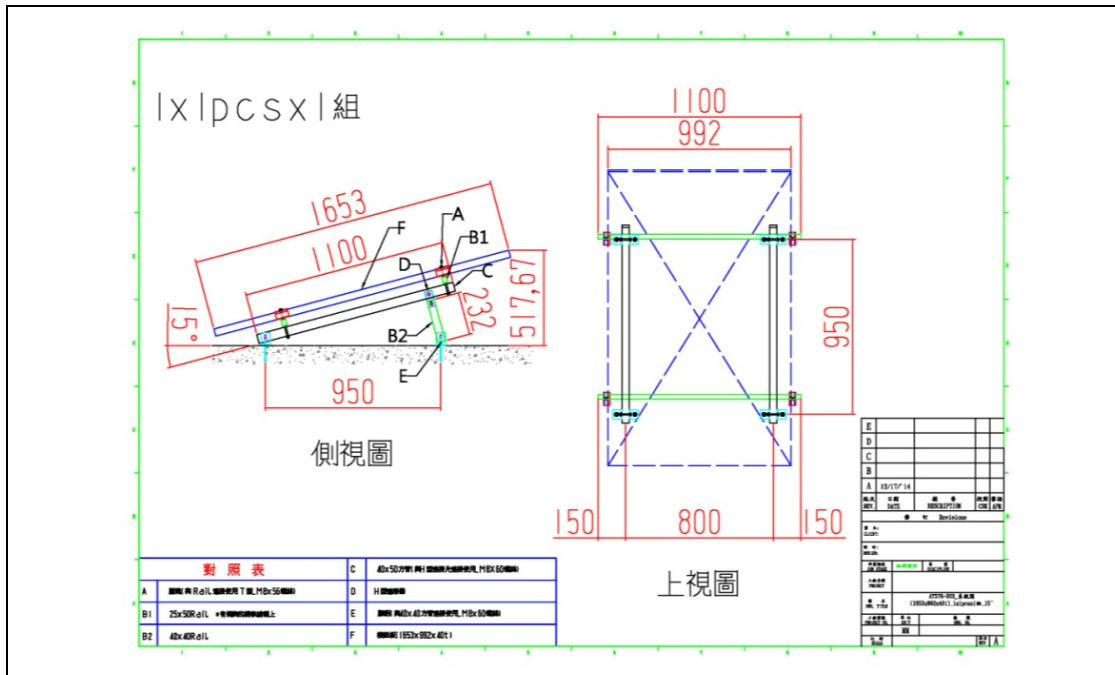
（資料來源：本研究整理）

## 參、單片型支架結構風力分析

- 一、在進行光電板支架設計時，為了可以承受各種荷重，支架的材料選用也都將影響強度的表現。因此，本章節對於單片型支架結構計算的考量，將以容許應力的角度來逐一說明。
- 二、本示範案例採用計算單片型太陽能板支架之結構組成，大致上可分為 3 個部分，分別為基礎、支撐架及太陽能電池組件。
  1. 基礎：一側透過腳鋁與地面基礎組成（通常與混泥土地面或屋頂預埋螺栓，或是預壘樁預埋螺栓結合），另一側與支撐柱（40mm×40mm 方管）結合。
  2. 支撐架：支撐架組成又可分為支撐柱（40mm×40mm 方管）、斜撐桿（40mm×50mm 方管，透過連接器與支撐柱結合）、雙面側滑軌桿（25mm×50mm 方管）、側壓塊夾具，以及緊固用白鐵螺栓（#304，M8）。
  3. 太陽能板組件：一般單片型尺寸介於 2000mm×1000mm 之間，常見的有 1653×992×40t(23kg)、1552×945×40t(22kg)，藉由側壓塊夾具或滑軌器結合在支撐架上，並以腳鋁長型橢圓孔或連接器，調整角度。本例傾仰角係為 15 度。

本案例緊固皆透過 M8 螺栓與夾具，將太陽能板安裝在該支架上，因此，是否緊固，則必須依賴施工人員的經驗與其他相關要求，才能確保。以下將依模型試驗風壓係數  $C_{pm-a}$  及太陽能板受風面積，逐步進行強度計算與檢核。相關條件如下表，並陳述如下。

表 3-14 單片型 1x1 模組及相關組件示意圖表



編號	品名	數量	材質	型號尺寸(mm)
A	側壓塊(與 Rail 連接使用 T 型_M8x56 螺栓)	4	鋁合金 6005 陽極處理	36×41×70×3t
	M8x56 螺栓	4	白鐵#304	M8
B1	25×50Rail (倒鈎朝上)	2	鋁合金 6005 陽極處理	25×50×1.45t
B2	40×40 方管 Rail	2	鋁合金 6005 陽極處理	40×40×1.45t
C	40×50 方管(與 H 型連接器連接使用 T 型_M8x60 螺栓)	2	鋁合金 6005 陽極處理	40×50×1.95t
	M8x60 螺栓	4	白鐵#304	M8
D	H 型連接器	2	鋁合金 6005 陽極處理	46.5×85.85×40×3t
E	腳鋁(與 40×40 方管連接使用 T 型_M8×60 螺栓)	8	鋁合金 6005 陽極處理	50×70×50×3t
	M8x60 螺栓	4	白鐵#304	M8
F	模組板	1	依各廠而定	1653×992×40t(22.5kg)或 1552×945×40t(22kg)

(資料來源：推進工業有限公司、本研究整理)



## 三、計算內容

## (一) 計算條件

1. 設計對象：詳如上表 3-14。
2. 強度計算條件：假設光電板設置 5 層(H=15m)樓建築物平屋頂上，所處台南安平沿海地區為 C 地況 ( $\alpha=0.15$ )，經查「建築物耐風設計規範與解說」基本設計風速為 37.5m/s，換算高度 15m 處之實際高度風速為：

$$U_R = \left(\frac{15}{10}\right)^{0.15} \times 37.5 \cong 40 \text{ m/s}$$

$\rho$ =空氣密度 ( $\text{kg/m}^3$ )=1.165( $\text{kg/m}^3$ ) (當氣溫 30°C 時)

3. 荷重條件包括：固定荷重、風壓荷重，但不考慮積雪荷重。

(二) 強度計算：計算時將依照受正壓力及拉力所引起材料的彎曲應力及變形量，支撐柱壓縮及拉身強度，螺栓強度等。

## 1. 結構材料

由於本案例材料供應商未能提供相關數據，因此本研究自行估算所需之截面二次矩 I 及截面係數 Z 估算如下：

表 3-15 結構材料性質表

編號	截面二次矩 I( $\text{cm}^4$ )		截面係數 Z( $\text{cm}^3$ )	
	$I_x$	$I_y$	$I_x$	$I_y$
B1	3.58	1.23	1.43	0.98
B2	2.93	2.93	1.46	1.46
C	6.49	4.61	2.60	2.30

(資料來源：本研究整理)

## 2. 荷重條件

## (1) 固定荷重 G

單片型光電板模組  $G_M=22.5 \text{ kg}=220.5\text{N}$

經查 6005 鋁鎂矽合金常應用於鋁擠型材與管材，其密度  $\rho$  為  $2.7\text{g/cm}^3=2.7\text{t/m}^3$ ，彈性模數  $E=69\text{GPa}$ ，極限抗拉強度 190 to 300 MPa，降服強度 100 to 260 MPa。

根據 CNS 1308，對於厚度在 6mm 以下之 6005A 鋁合金，抗拉強度須  $\geq 270(\text{N/mm}^2, \text{MPa})$ ，降服強度須  $\geq 225(\text{N/mm}^2, \text{MPa})$ ，伸長率須  $\geq 8\%$ 。因此，在未能取得材料規格資料時，則設定允許抗拉強度及彎曲強度均為  $270(\text{N/mm}^2, \text{MPa})$ ，允許降服強度為  $225(\text{N/mm}^2, \text{MPa})$ 。

至於容許變形量，經參考文獻，假設鋁擠型構件產生長度 (支撐距離) 1/1000 的變形量為基礎計算。

以下計算，則為示範例，實際仍須依照材料所提供之正確數值，本研究特此說明。

表 3-16 支架結構材料重量計算表

編號	單位長重 kg/m	數量	長度 m	合計重	
				kg	N
G <sub>B1</sub>	0.56	2	1.1	1.24	12.17
G <sub>B2</sub>	0.60	2	0.232	0.28	2.75
G <sub>C</sub>	0.91	2	1.1	1.99	19.55

(資料來源：本研究整理)

表 3-17 支架組件材料重量計算表

編號	單件重量 kg	數量	合計重	
			kg	N
G <sub>A</sub>	0.044	4	0.175	1.71
G <sub>D</sub>	0.077	2	0.155	1.52
G <sub>E</sub>	0.049	2	0.097	0.95
G <sub>S-60</sub>	0.051	8	0.41	4.00
G <sub>S-56</sub>	0.05	4	0.4	1.96
G <sub>x</sub>	1.5	1	1.5	14.7

(資料來源：本研究整理)

G<sub>x</sub>:其他配件如接線箱、其他線材或相關材料，假設為=1.5kg，約 14.7N。

所以固定荷重

$$G = G_M + G_A + G_{B1} + G_{B2} + G_C + G_D + G_E + G_{S-60} + G_{S-56} + G_x \doteq 280N$$

(2)風壓荷重W<sub>w</sub>

不論藉由風力或風壓模型，所得風力均可作為本次結構分析的參考，而由於風壓模型所得壓力係數C<sub>P</sub>，若以規範精神而論，主要用於封閉式或部分封閉式普通建築物或地上獨立結構物之主要風力抵抗系統，同時也都要考慮風速壓、陣風因子等考量；而風力係數C<sub>F</sub>，則可直接用於開放式建築物或地上獨立結構物。經比對本研所得結果，對於正壓力取C<sub>FX</sub>=0.24 計算，拉力取C<sub>L</sub>=0.77 計算。惟此為示範計算，對於正式的設計，應該視實際受風條件決定係數的使用。

因此，

現場平均受風壓力荷重（正風壓）

$$W_w = C_{FX} \times 0.5\rho U_R^2 A_R \doteq 315\text{kg} \doteq 3086\text{N}$$

現場平均受風拉力荷重（負風壓）

$$W_w' = C_L \times 0.5\rho U_R^2 A_R \doteq 1177\text{kg} \doteq 11534\text{N}$$

(3)總荷重

正風壓時，受風壓力  $G + W_w = 280 + 3086 = 3366\text{N}$

負風壓時，受風壓力  $G + W_w' = 280 - 11534 = -11254\text{N}$

(三) 簡化計算

1. 橫樑計算方式

為簡化計算，將支撐架斜撐桿（編號C）以下圖方式進行，分別設定 a、b、c 點，以受到均佈荷重的橫樑來計算。

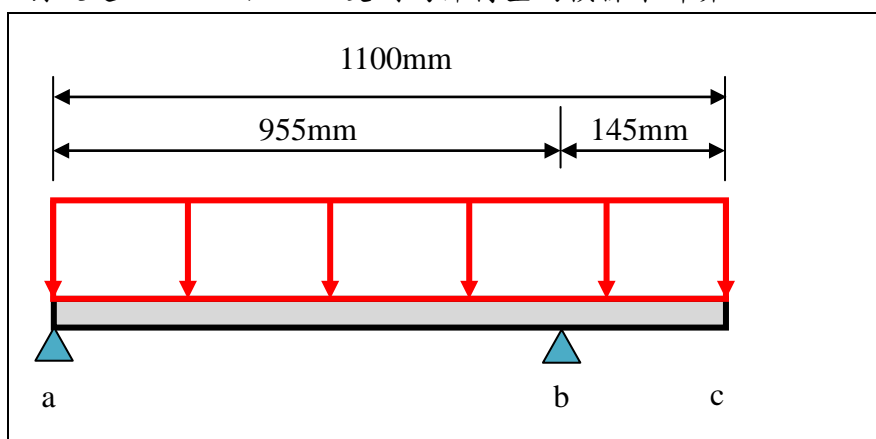


圖 3-54 簡化受力評估圖

（資料來源：本研究整理）

作用於 a 點至 c 點間，求取 a、b 點之反力及力矩。並可分為 ab 間簡支樑和 bc 間的懸臂樑。

2. ab 間彎曲應力

彎曲力矩 M 可由下列表示

$$M = \frac{WL^2}{8}$$

式中

W：單位長度質量

L：跨距長度

$$\text{應力 } \sigma = \frac{M}{Z}$$

式中

Z：截面係數

當正風壓時：

$$W = 3366 \times \frac{955}{1100} \div 0.955 \cong 3060(\text{N/m})$$

$$M_2 = \frac{3060 \times 0.955^2}{8} \cong 349(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$\sigma_2 = \frac{349 \times 100}{2.3 \times 2} \approx 7587(\text{N/cm}^2)$$

由於所使用材料為鋁合金 6005，假設該允許彎曲應力為 27000N/cm<sup>2</sup>，所以

$$\frac{7587}{27000} < F.S = 1$$

當負風壓時：

$$W = 11254 \times \frac{955}{1100} \div 0.955 \cong 10231(\text{N/m})$$

$$M_1 = \frac{10231 \times 0.955^2}{8} = 1166(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$\sigma_1 = \frac{1166 \times 100}{2.3 \times 2} \approx 25348(\text{N/cm}^2)$$

由於所使用材料為鋁合金 6005，假設該允許彎曲應力為 27000N/cm<sup>2</sup>，所以

$$\frac{25348}{27000} < F.S = 1$$

### 3. ab 間彎曲變形

彎曲變形量  $\delta$  可以下列公式表示：

$$\delta = \frac{5 \times P_T \times L^3}{384 \times E \times I_M}$$

式中

$P_T$ ：總荷重 (G+W)

$I_M$ ：軸向截面 2 次力矩  $I_x=6.49\text{cm}^4$ 、 $I_x=4.61\text{cm}^4$  (本示範例僅示範  $I_x$  算法)

E：材料縱向彈性係數=鋁 69GPa=  $6.9 \times 10^6 \text{N/cm}^2$

當正風壓時：

$$P_T = 3366 \times \frac{95.5}{110} \approx 3877(\text{N})$$

$$\delta_2 = \frac{5 \times 3877 \times 95.5^3}{384 \times 6.9 \times 10^6 \times 6.49 \times 2} \approx 0.49(\text{cm})$$

對於跨距長 95.5cm，最大位移量為 0.49cm，因此

$$\frac{0.49}{95.5} \approx \frac{5.13}{1000} < \text{假設容許界限值} \frac{L}{1000} = \frac{95.5}{1000}$$

當負風壓時：

$$P_T = 11254 \times \frac{95.5}{110} \approx 9771(\text{N})$$

$$\delta_1 = \frac{5 \times 9771 \times 95.5^3}{384 \times 6.9 \times 10^6 \times 6.49 \times 2} \approx 0.85(\text{cm})$$

對於跨距長 95.5cm，最大位移量為 0.85cm，因此

$$\frac{0.85}{95.5} \approx \frac{8.90}{1000} < \text{假設容許界限值} \frac{L}{1000} = \frac{95.5}{1000}$$

以上為單片分析，當有多塊太陽能板在該跨距上時，則應均分該位移量。例如有 4 塊的話，則位移量為其 1/4。照理而言，該些許位移量，由鋁合金內的密封材料即可吸收。

#### 4. bc 間彎曲應力

彎曲力矩 M 可由下列表示

$$M_2 = WL$$

當正風壓時：

式中

$$W = 3366 \times \frac{14.5}{110} = 444(\text{N})$$

$$M_3 = 444 \times 0.145 = 65\text{N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_3 = \frac{65 \times 100}{6.49 \times 2} \approx 493(\text{N}/\text{cm}^2)$$

由於所使用材料為鋁合金 6005，假設該允許彎曲應力為 27000N/cm<sup>2</sup>，所以

$$\frac{493}{27000} < F.S = 1$$

當負風壓時：

$$W = 11254 \times \frac{14.5}{110} = 1484(\text{N})$$

$$M_4 = 1484 \times 0.145 = 215\text{N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_4 = \frac{215 \times 100}{6.49 \times 2} \approx 1657(\text{N}/\text{cm}^2)$$

由於所使用材料為鋁合金 6005，假設該允許彎曲應力為

27000N/cm<sup>2</sup>，所以

$$\frac{1657}{27000} < F.S = 1$$

### 5. bc 間變形

彎曲變形量  $\delta$  可以下列公式表示：

$$\delta = \frac{W \times L^3}{3 \times E \times I_M}$$

當正風壓時：

式中

$$W = 3366 \times \frac{14.5}{110} = 444(\text{N})$$

$I_M$ ：軸向截面 2 次力矩  $I_x=6.49\text{cm}^4$ 、 $I_y=4.61\text{cm}^4$ （本示範例僅示範  $I_x$  算法）

E：材料縱向彈性係數=鋁 69GPa=  $6.9 \times 10^6 \text{N/cm}^2$

$$\delta_3 = \frac{444 \times 14.5^3}{3 \times 6.9 \times 10^6 \times 6.49 \times 2} \approx 0.005(\text{cm})$$

對於跨距長 14.5cm，最大位移量為 0.536cm，因此

$$\frac{0.005}{14.5} \approx \frac{0.345}{1000} < \text{假設容許界限值} \frac{L}{1000} = \frac{14.5}{1000}$$

以上為單片分析，當有多塊太陽能板在該跨距上時，則應均分該位移量。例如有 4 塊的話，則位移量為其 1/4。照理而言，該些許位移量，由鋁合金內的密封材料即可吸收。

當負風壓時：

$$W = 11254 \times \frac{14.5}{110} = 1484(\text{N})$$

$$\delta_4 = \frac{1484 \times 14.5^3}{3 \times 6.9 \times 10^6 \times 6.49 \times 2} \approx 0.017(\text{cm})$$

對於跨距長 14.5cm，最大位移量為 0.536cm，因此

$$\frac{0.017}{14.5} \approx \frac{1.172}{1000} < \text{假設容許界限值} \frac{L}{1000} = \frac{14.5}{1000}$$

以上為單片分析，當有多塊太陽能板在該跨距上時，則應均分該位移量。例如有 4 塊的話，則位移量為其 1/4。照理而言，該些許位移量，由鋁合金內的密封材料即可吸收

## 6. 支撐柱挫曲

當細長比較大時，一旦受到壓縮，彎曲破壞的機率高於壓縮破壞，此情形即為挫曲。挫曲荷重可由下列歐拉公式求得：

$$P_k = n \cdot \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2}$$

式中

$P_k$ ：挫曲荷重 (N)

$I$ ：軸向截面 2 次力矩=2.93cm<sup>4</sup>

$n$ ：由兩端支撐條件決定的係數。兩端鉸接時為 1

$E$ ：材料縱向彈性係數=6.9×10<sup>6</sup>N/cm<sup>2</sup>

$L$ ：軸長=23.2cm

$$P_k = 1 \times \pi^2 \times \frac{6.9 \times 10^6 \times 2.93}{23.2^2} \approx 370715(\text{N})$$

支撐柱(編號 B2)有 2 個，每根承擔的總荷重為 3366/2≐1683(N)  
所以

$$\frac{1683}{370715} < F.S = 1$$

## 7. 支撐柱(編號 B2)拉伸強度

由於太陽能板受到負風壓相當大，因此風壓荷重值對於支撐柱也將行程拉力作用，嚴格說來，對於拉力的承受，要由 2 個支撐柱及 2 個基礎腳鋁來承受，為簡化計算，本案例假設單純由支撐柱來承受所有拉力值。

拉伸應力可由下列求得：

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

式中

$P$ ：拉伸張力 11254 N/2≐5627N

$A$ ：支撐柱截面積=1.46cm<sup>2</sup>

所以

$$\sigma_t = \frac{5627}{1.46} \approx 3854\text{N/cm}^2$$

所使用材料的鋁合金 6005，假設該允許拉伸應力為 27000N/cm<sup>2</sup>，  
則

$$\frac{3854}{27000} < F.S = 1$$

## 8. 螺栓強度

作為支撐架的安裝螺栓，本案例採用白鐵#304 之M8 螺栓，假設與SS400 具有同樣的強度，因此，對於該螺栓之容許剪應力取為 $13230\text{N/cm}^2$ 。

檢核該螺栓會產生最大應力是拉力造成剪應力  $\tau$

$$\tau = \frac{1}{2} \times \frac{P}{A} (\text{N/cm}^2)$$

式中

P：總荷重 $P_{\tau}=11254\text{N}$ （取最大值）

A：螺栓截面積 $=0.36\text{cm}^2$

$$\tau = \frac{11254}{2 \times 0.36} \approx 15630 (\text{N/cm}^2)$$

支撐架係用 4 個螺栓安裝在基礎和支撐柱上，嚴格說來，4 個螺栓所承受的荷重是不同的，最好要分別計算出荷重。本例為簡化計算，假設所承受荷重最多的 2 個螺栓來承受總荷重，因此，每單一個螺栓承受剪應力則為  $15630/2=7815 \text{N/cm}^2$ 。

$7815 \text{N/cm}^2 < 13230\text{N/cm}^2$ ，所以沒有問題。

9. 滑軌(編號 B1)可參照上述步驟 1~5，檢核容許應力及變形，至於壓塊夾具、腳鋁等，皆由螺栓接合，一旦螺栓破壞，則該組件也一併失效。本研究就不再重複檢核計算，讀者可自行依照需求進行。

四、本案例實尺寸的組裝與緊固皆透過 M8 螺栓與夾具，將太陽能板安裝在該支架上，因此，如何確定是否緊固，則必須依賴施工人員的經驗與其他相關要求才能確保。而本研究也發現安裝工具若不齊全，在調整角度處最容易形成空轉失敗，尤其在高拉力螺栓的部分（例如於連接器、腳鋁設有橢圓長型孔處），雖然該材料商已在在前端增加塗料提高摩擦性能，意使螺栓不易脫落或減少脫落之情形發生，但相對的，要使其安裝緊固，就相當不容易。另對於坊間曾有可收合的光電板型式，對於此型式則應另外掌握該夾具扣件的在收合前後的材料行為與表現。當然也可以參照本研究所列之計算方式、設計對策，來進行設計。



## 第五節 小結

### 一、風力模型：

1. 從單片型風力模型 $C_{FX}$ 、 $C_{FY}$ 、 $C_{FZ}$ 分佈可知， $\beta=45^\circ$ 及 $\beta=135^\circ$ 附近形成正負雙主峰 (peak)，趨勢呈現對稱，可知道在風力模型本身的穩固性符合試驗條件所設定，相對合理。而且，也是明顯在角隅可得到最大的受力值。
2. 至於 $C_F$ 正負號方向，代表與座標值設定方向相反，也就是說，在圖面上所得，係為整體模型受到風壓推拉力，所得結果相當符合常理。
3. 本研究嘗試將試驗所得 $C_{FX}=0.24$ ， $C_{FY}=-0.11$ ， $C_{FZ}=-0.51$ 與規範表 2.9 相比，比對結果發現，本研究在風力模型的試驗上，與規範值相當接近。惟由於對於建築物本身的條件、重要性等，本來就與光電板不同，因此在風力承受面積更大的情形下，相對於光電板而言，規範值就顯得偏大且保守，這是很正確的。不過，由本研所得可供未來規範修正時參考，或許可獨立專章節或專門規範，供光電板在抗風條件下使用。

### 二、風壓模型：

1. 單片型 (1x1) 的正面平均主風壓表現，均以負風壓 (牽引力或拉力) 為主，並且以來流 $\beta=135^\circ$ 附近最大，驗證前期研究及文獻所述角隅渦流影響的合理性。而反面的主風壓在 $\beta=120^\circ$ 、 $135^\circ$ 卻形成正風壓 (壓力)，對於光電板的受力，則形成一拉一壓。至於淨風壓經換算後，趨勢與正面主風壓類同，主因在於反面的風壓，在角隅方向時，均有加成效果，不得不注意。
2. 單片型 (1x1) 試驗結果如表所列，然而該表所表示的是各測點孔位的相對最大值，因此，對於淨風壓的相對最大值，僅可供為參考，其原因在於各測點的壓力值並非剛好在同一孔位的上下位置，再加上孔位間受到壓力管線佈設的影響，對於該數值結果，就會有相當大的差異，某些孔位剛好在角落邊，所得風壓甚高 ( $C_{p-m}>3$ )，倘若直接採用計算，結果是會相當保守較不合理。所以本研究認為，若能將該單片型 1x1 風壓模型分區，將支架的受壓 (拉) 力區域，區分成正面 A1、A2、A3、A4，反面 B1、B2、B3、B4，對於均佈承受風壓，才能算是合理。  
 $C_{pn-a}(A1/B1)=-0.31\sim-0.70$ ， $C_{pn-a}(A2/B2)=-0.06\sim-0.70$ ，  
 $C_{pn-a}(A3/B3)=-0.43\sim-0.86$ ， $C_{pn-a}(A4/B4)=-0.51\sim-0.93$ ，  
 該結果顯示，A3/B3、A4/B4 後端 (支撐端) 的受力高於 A1/B1、A2/B2 後端 (支撐端)，與風場受力相符，主因在於後端抬高使受風面積變大，當然受風壓一定較大，亦顯示試驗結果合理。
3. 陣列型 (2x3) 的正面主風壓表現，以來流 $\beta=45^\circ$ 及 $\beta=135^\circ$ 附近剛好形成正負雙主峰 (peak)，驗證前期研究及文獻的合理性。而淨風壓的變

動較大，主要受到反面主風壓的影響，在一拉一壓的作用下，變異性較大，研判受到各個單元光電板間隙氣流擾動影響，另外，也有可能是風壓管線較多，收線不易，多少有影響實際值。

4. 陣列型（2x3）試驗結果仍受到壓力管線過密的影響，尤其是反面的部分，經由上述各角度壓力分佈圖可清楚看到；另外，陣列型的是藉由單片型的排列組合而成，每個單元間的間隙(gap)，以及受限於模型佈孔仍不夠密集，致使影響大過於單片型所呈現的結果。不過，正面的整體壓力分佈仍可知道在角隅受風的牽引相當明顯，而平均承受風壓，在經過計算修正後，負風壓  $C_{pn}$  最高也都在-0.70 左右，正風壓  $C_{pn}$  則在 1.08 左右。

### 三、設計對策

1. 經參考國內外規範、文獻與研究作法，再由本研究模型試驗後，認為可以建立「太陽能板光電板風力設計對策」，對於目前尚無明確規範的太陽能光電板，應可提供給設計使用者的參考。
2. 相關對策以下頁流程圖方式呈現。

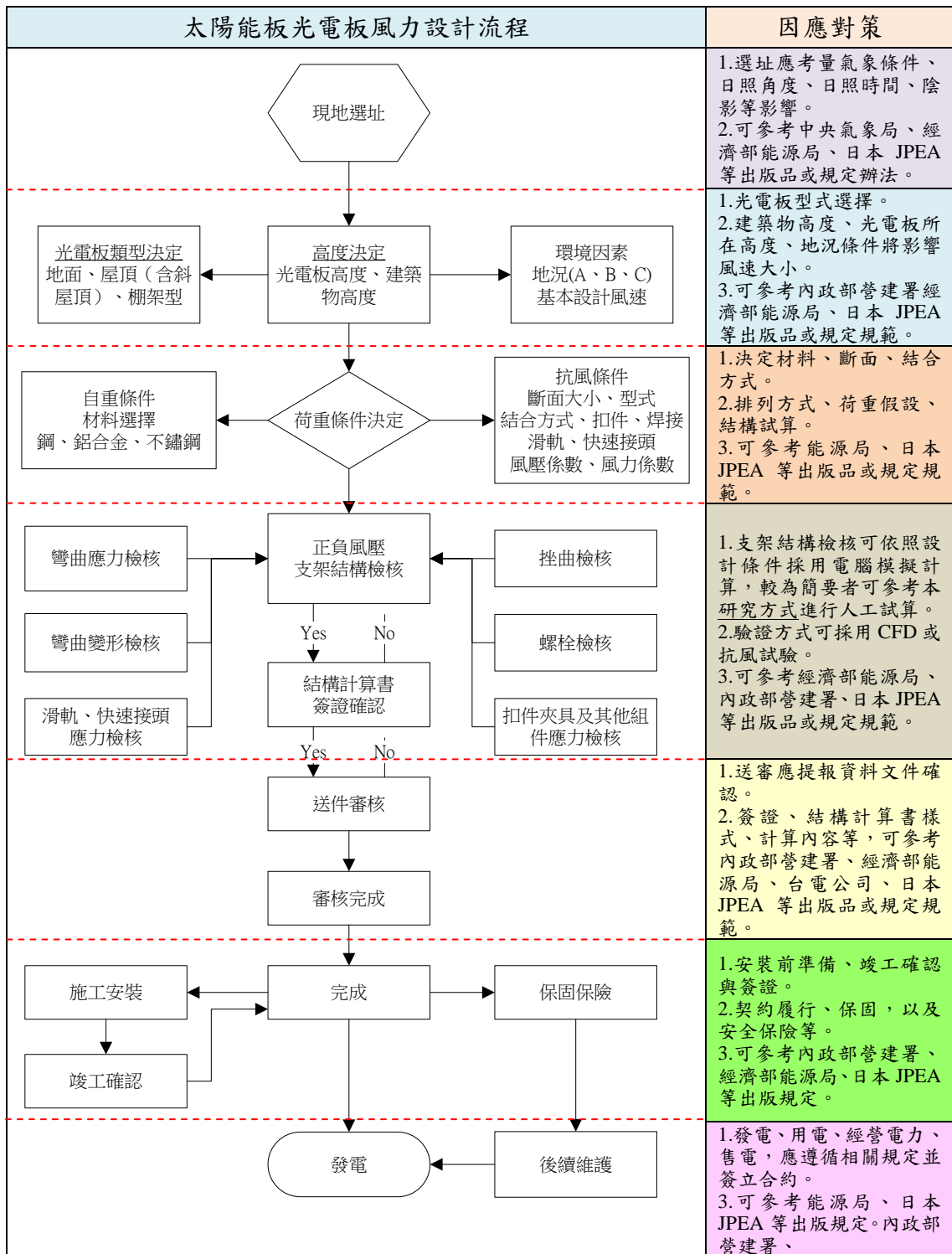


圖 3-55 太陽能板光電板風力設計對策圖

(資料來源：本研究整理)



## 第四章 結論與建議

### 第一節 結 論

1. 由試驗結果可知光電板承受風壓值仍以負風壓為主，表示不論是屋頂型或地面型，或者不論是單片型或陣列型，對於光電板的抗風，應以負風壓為主。本研究認為，目前對於光電板模組本身，開始有單位或廠商以門窗抗風方式來進行檢測，也有利用衝擊試驗等來瞭解光電板模組本身的正向抗壓能力（僅進行單方向試驗），但卻忽略負風壓對於光電板模組的影響。
2. 透過試驗所得風壓或風力係數，將其還原至現場假設條件，以一般常理而言，在 40m/s 的情形下，支架應該足以抵抗，但若在 60m/s（約 17 級）的條件下，支架橫桿很有可能在彎曲及拉伸強度不足情形下，就受到破壞了，而該橫桿或滑軌破壞後，即使支架基礎系統尚由螺栓鎖固，可能還不至於整體掀翻，但如此的強風，光電板模組若僅靠 4 個扣件夾具固定，可能不足以抵抗 60m/s 以上的強風，導致光電板模組被風吹走，而支架可能還固定在地面或屋頂上，此論點與真實受風破壞後的情形（新聞報導照片）相差不遠。因此，提昇材料強度（如改用強度較高的鋼材）、夾具扣件數量、固定方式的改變，或許才能增加抗風的能力，至於要加到何種程度才算足夠，恐怕就要依照設計條件來計算了，畢竟要遇到超過 16、17 級風的機率到底有多高，實在難預料。
3. 本研究在模型試驗後，原本預定將單片型全尺寸模組及支架，置入風洞吹試，但對於風力的量測，無法以現有儀器來克服，而風壓量測，又必須破壞光電板本身來裝設儀器管線，因此，只好暫時作罷。但如何設計該類型模組的試驗方式，如何建立檢測標準，都將是一個很好的未來課題，尤其是截至目前為止，國內尚未能有相關檢測機構單位可進行光電板的抗風測試，如能建立也是為國內創造福音與契機。
4. 本研究選用實尺寸案例的組裝與緊固，皆透過 M8 螺栓與夾具才能將太陽能板模組安裝在該支架上，惟如何確定是否緊固，似乎必須依賴相關規定要求及施工人員的經驗才能確保；而若安裝工具選取不當，在支架可調整角度處最容易形成空轉失敗，尤其以螺栓部分（例如於連接器、腳鋁設有橢圓長型孔處）最明顯，即使該材料商已在螺栓前端增加塗料提高摩擦性能，或許可減少脫落之情形發生，但相對的，要使其安裝緊固，就相當不容易。
5. 本研究所呈現的泛指需由支架系統組立於平屋頂或地面上的光電板支架，對於斜屋頂建築物上的的光電板抗風設計，建議可直接與斜屋頂的建築

物併同考量，惟前提應掌握其與屋頂（鋼浪板或其他）間的連結，例如足以視為可一同變形之結構行為。

6. 不論風力或風壓對於支架的影響，恐怕不是單純的進行支架以類似材料拉拔試驗方式來進行，而應該注意對於力量分配至鋁合金材料本身或者扣件夾具位置，甚至後續在管理維護上的作為，這樣才可能是對於光電板抗風最有效的方式。至於對於設計使用端，本研究所提「太陽能板光電板風力設計對策」可提供設計前、中、後的參考。

## 第二節 建議

建議一：

提出「太陽能板光電板風力設計對策」供設計參考應用：立即可行建議

主辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

協辦機關：內政部建築研究所

不論風力或風壓對於支架的影響，恐怕不是單純的進行支架以類似材料拉拔試驗方式來進行，而應該注意對於力量分配至鋁合金材料本身或者扣件扣點位置，甚至後續在管理維護上的作為，這樣才可能是對於光電板抗風最有效的方式。本研究所提「太陽能板光電板風力設計對策」可提供設計前、施工中、施工後的參考，期望能為國內在再生能源的應用上，提供具體且於可立即使用的想法與思維，共同發展永續家園。

建議二：

未來應建立單片型太陽能光電板抗風檢測及評估方法：中長期可行建議

主辦機關：內政部營建署、經濟部能源局

協辦機關：內政部建築研究所

本研究發現，不論任何型式光電板所承受風力或風壓值仍以拉力或負風壓為主，目前國內尚無針對各類型光電板抗風檢測規範，建議未來應採納依據近年本研究所提風阻係數、支架評估方式等，完整建立單片型太陽能光電板抗風檢測及評估方法供作設計者參考。





## 附錄一 期初審查會議紀錄與回應

### 內政部建築研究所 105 年度第 3 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：104 年 3 月 1 日(星期二)下午 2 時正

二、地點：本所簡報室

三、主席：何所長明錦

記錄：陳玠佑、姚志廷、蔡介

四、出席人員：詳簽到簿

峰、褚政鑫、陳柏翰

五、主席致詞：(略)

六、確認第 2 次研究業務協調會議紀錄：

決定：有關「建築物設置無障礙設施設備勘檢人員培訓講習教材研訂」題目修訂應再力求簡明扼要，請再研討後修正；另「屋頂綠化之成本效益分析及最佳化策略研究」案變因仍多，應予掌控避免研究範圍過大致使研究效益受限。餘確認。

七、研究案主持人簡報：(略)

八、發言要點：

(一)「單片太陽能板支架結構風力分析研究」案：

1. 實驗設計時應考量文獻與現況調查，可簡化為：(1)支撐架結構強度檢討(2)支撐架與光電板之間結合性檢討(3)光電板模組與主建築物連接穩定性檢討等 3 種主要情況，深究破損原因，並求得有利於基礎穩定的設計情況，使研究成果更具價值。
2. 支架與光電板模型的設計除了考量儀器限制外，應設法貼近實務，包括支架的傾斜角度、扣件種類等。
3. 除了強化支架結構外，建議亦可考量於颱風來襲時，將光電板模組收合，避免直接受風而損壞，惟仍考量可行性。

(二)「健康綠建材對室內甲醛濃度影響之研究」案：

1. 本案實驗設計與構想大致可行，但請避免對其他建築節能之委託研究計畫造成干擾。
2. 實驗屋之溫度、濕度、通風狀況等應力求接近真實狀況，如無法控制相關變因，可考慮於本所全尺寸環控艙進行研究。
3. 本研究擬以本所實驗屋作為研究對象，惟實驗屋並未開窗，室內污染物恐會累積，無法消散，請再思考如何達到預期目標。
4. 請補充說明為何僅探討甲醛濃度，而未納入 TVOC；另室內甲醛之來源很多，未必是塗料，亦請一併考量。
5. 請補充說明如何量測甲醛濃度衰減之變化，及手持式儀器量測的單位為何，是否有單位轉換之問題。
6. 建議從甲醛分子量大小，評估量測點位之位置。
7. 建議從既有檢測過之建材，挑選實驗所需之綠建材，至非綠建材

部分，再從市售產品中挑選，並檢測其逸散速率。

8. 「建築物室內裝修管理辦法」相關書表內應可加入綠建材相關資訊之欄位，強化室內裝修之管理。

**(三)「圓型 LED 嵌燈之照明效率及品質研究」案：**

1. 本案成果請提出 LED 照明相關建議，以提供做為我國國家標準或本所綠建築解說與評估手冊內容之修訂參考。
2. 本案參照 LM-63-02 標準格式整理之 IES 電子檔，建議能與原廠數據或國際文獻進行比對，俾增進可靠度與有效性。
3. 有關成本效益分析，除考量照明器具建置及用電成本結構外，請將光衰因素納入，並進行分項影響評估，以增進應用參考價值。
4. 前期已完成直管系列之嵌入式(T-BAR)燈具、山型及中東型燈具相關研究，進行本案緣由為何？請補充敘明。
5. 目前市售 OLED 光源價格、性能及普及性為何？請將研究調查之資訊整理呈現，俾供相關單位研訂標準或消費者選用光源之參考。

**(四)「景觀步道無障礙設施設備設計基準之研究」案：**

1. 本案應聚焦於景觀步道之設計原則，特別是安全性之考量，建議應從景觀步道之設計元素著手，掌握移動行為之觀景、標示、如廁及緊急求助等元素進行研究。
2. 建議應先瞭解問題及提出初步成果後，再召開專家學者會議，以有效討論解決對策。
3. 有關景觀步道部分設施設備之智慧化程度、防災避難及管理維護等面向，亦可考量納入研究。

**(五)「對應高齡者空間分佈都市防災策略之研究」案：**

1. 天然災害涵蓋淹水、土石流及地震等不同類型之災害，本研究擬探討的災害類型為何，建議清楚界定。
2. 本研究題目中所指空間分布係指何種空間、都市防災策略係指實質策略或行政措施，建議能予以釐清。
3. 「都市計畫定期通盤檢討實施辦法」第 6 條規定中提及依災害潛勢等情形檢討都市防災避難場所及設施，建議本研究可評估參考此規定進行研究內容討論。
4. 本研究擬運用本部地理資訊圖資雲服務平台 (TGOS) 進行圖資套疊分析，相關圖資的精細度為何？是否可符合後續策略討論的需要？
5. 防災策略包含災前預防及災中應變，對於高齡者的討論，可能比較偏重災中應變的部分，而其中又可能涉及預警、疏散及避難據點開設等階段，這些階段如何在本研究擬討論的策略中呈現，建議補充說明。

6. 簡報內容中提到高齡者及身障者，其身體、行動條件並不相同，本研究擬討論對象為何？建議於研究範疇中予以清楚界定。
7. 簡報中提及臨時收容場所的收容能量為每人 2 平方公尺，建議本研究可評估是否討論高齡者所需的空間面積為何。
8. 本研究擬使用本部 TGOS 平台做為研究討論的工具，建議亦可將研究過程中所發現該系統可補充修正處予以提出，以回饋其進行改善、擴充。
9. 日本進行防災工作時，首先便是畫出災害潛勢地區，並套疊、整合人口資料、災害種類及發生頻率等，以風險概念呈現，了解受災情形並預擬對策。本研究明確針對高齡者及天然災害，透過圖資套疊分析，可逐步了解在不同災害中，高齡者的人口分布情形及受災風險程度，探討其因應對策，逐步聚焦討論可能的預警、疏散、避難收容等措施。建議可再選擇案例地區進行討論，透過實際案例檢討，使成果更為具體。
10. 本研究除套疊災害潛勢及人口資料外，建議還可將避難據點、都市計畫圖及防救災道路等圖資納入套疊分析，並可嘗試將相關單位現有資料納入分析思考，除了解災害發生時的影響外，越多資料進行分析討論，越可能產生具價值之研究成果。

#### 九、會議結論：

- (一) 最近流行感冒肆虐，請同仁多加注意身體健康，並減少出入公共場所，必要時加強自身防護。
- (二) 過去研究如有具體成果者，可適時先向國內建築學報或具有 TSSCI 同等水準之學報（刊）投稿；而研究成果架構完整欲投稿國際學刊時，該英譯需求亦可申請專人協助。
- (三) 請參考與會同仁之寶貴意見，並請納入研究內容參採修正，使研究成果更為豐富完整。

#### 十、散會：(下午 4 時 15 分)

### 審查意見回應表

項次	審查意見	回應
1	實驗設計時應考量文獻與現況調查，可簡化為：(1)支撐架結構強度檢討(2)支撐架與光電板之間結合性檢討(3)光電板模組與主建築物連接穩定性檢討等 3 種主要情況，深究破損原因，並求得有利於基礎穩定的設計情況，使研究成果更具價值。	業於第二章文獻回顧內容中呈現，並將持需蒐集以利完整。電訪業界、工研院、蒐集資料
2	支架與光電板模型的設計除了考量儀器限制外，應設法貼近實務，包括支架的傾斜角度、扣件種類等。	本研究模型即採用
3	除了強化支架結構外，建議亦可考量於颱風來襲時，將光電板模組收合，避免直接受風而損壞，惟仍考量可行性。	感謝委員指教，本研究主要以不可收合的為對象，對於可收合的業於第三章說明。



3.3(b)。

2. 報告書第 51 頁圖 2-44 於原建築物耐風設計規範應為「圖 3.4 建築物屋頂女兒牆外風壓分布示意圖」，且應補充其規範圖 3.1(b)、3.1(c)、3.1(d)及 3.2 才算完整，以供應用或檢核。
3. 建議於進行太陽能板及支架等模型風洞試驗時，先依上述規範規定係數設計，且考慮側風不平衡穩定性。
4. 請將目前已量測風壓模型係數表（表 3.8 及 3.9）與上述規範值比較。

林理事長志憲：

1. 本研究針對支撐架、光電板、主建築物之間扣件，以及光電板傾角之抗風檢測與結構計算，惟如何回饋到目前應檢附結構安全證明書之必要性？而製程規格化（含扣件）簽證時，是否也應一併呈現或檢附委託相關抗風測試報告？
2. 有關期初審查所提，如有太陽能光電板依照抗風極限可進行收合者，其設計條件為何？
3. 符合本計畫實用之經濟性及推廣效益可再論述。
4. 後續風力模型可另採市售常見範例比對結果。
5. 原則符合預期成果，建議依上述意見補充。

柯總經理鎮洋：

1. 本研究針對太陽能板支架結構風進行研究，其成果應用對於太陽能板業者，或建築師、結構技師而言，兩者重視觀點不太相同。如應用於太陽能板業者，個人認為是廠商範疇；而應用於建築師與結構技師，則為如何錨錠於結構物之受力，或是如何能夠安全錨錠。
2. 國內類似課題越來越多，如懸吊式輕鋼架天花板之錨錠、消防設備之錨錠、通訊電塔之錨錠等等，這些都是現階段結構技師想知道的重點。因此，研究成果是否能針對錨錠點之受力和錨錠設計重點，提出建議供參。

陳技師宗斌：

1. 本研究擬完成「太陽能板光電板風力設計對策」，然建築物耐風設計規範是否有相關幾何、高度、風場相關研究及設計參數，可供比對或直接套用。
2. 本研究主題為單片型太陽能光電板支架結構風力，如研究成果可指出與風力規範有所差異時，將會很有研究價值。
3. 研究的對象應要先定義支撐架的邊界條件，方能瞭解分析結果與實際情形的差異。

陳技師郁潔（書面意見）：

1. 做為一份設計手冊或規範，請考量光電板支架與不同主結構

系統之風壓關聯性，例如固定於開放建築屋頂或封閉建築屋頂，或光電板本身就是鋼架屋頂構造之風力，是否有所不同。

2. 目前國內鋁構造物之設計均採美國 Aluminum Association 設計規範，合金常用 6063-T5、6161-T6 或 6105-T5，螺栓多為不銹鋼 A2-70，期末報告應力計算部分請參考。

陳組長建忠：

1. 災害及安全是很重要的課題，但太陽能板在風災中，是人身安全問題抑或是財物損失？宜予定位，以引導研究方向。
2. 以之前損壞案例，在風力作用下，單片型太陽能板以及支架似乎不是受損重點，而應探討該支點接合部是採用夾的或以鉚釘、螺栓、焊接固定，其作用是否可行？應予釐清。
3. 請參考先進國家類似規範。

計畫主持人回應（陳副研究員玠佑）：

1. 有關後續應力計算，將在期末報告中以專章呈現，並將嘗試尋求既有建築物耐風設計規範可相互比對內容，進行討論。
2. 由於坊間太陽能光電板樣式種類繁多，本研究已參酌業界常用範例作為試驗對象，至於應力計算的內容，將設定條件提出通則性考量，以利應用。
3. 本研究基於政府開始重視並推行光電板而起，因此，確保抗風能力應可減少人員或財物損害，後續將探討各支點接合部的影響。
4. 另有關報告內容應加強論述及應補充說明部分，亦將於期末報告中呈現。

## （二）「行人風場評估模式技術規範草案研擬」案：

中華民國土木技師公會全國聯合會 林技師增吉：

1. CFD 模擬結果尚未提出，建議增加專章說明。
2. 風洞試驗結果與 CFD 模擬結果應作分析比較，建議增加專章說明。

王教授价巨：

1. 研究背景相關案例應有引用及佐證。
2. 目前討論多以單棟為考量，「都市」特性及密集性應加以考量，例如報告書第 20 頁 Moon (2014) 提出的特性，是否適用？
3. 前面提到多為大樓，模擬卻以 5 層樓為主，其結果是否適用？若欲納入環評中，目前規定 100m 以上才需要環評，又不完全與模擬設定相符。

4. 若有法令規範建議,宜具共通性及考量建築設計端的需求。

王技師亭復：

建議增加討論過去曾發生行人風場問題,另業經改善之大樓(如:台電大樓),建議依氣象局氣象預報達高風速時段進行量測,以驗證改善效果。

林理事長志憲：

1. 本階段尚未進行至 CFD 與風洞試驗結果比對討論,若後續分析有顯著差異,抑或為特殊高層建築造型或建築群,如何規範?
2. 本案針對高層建築物渠化效應進行討論,若建築群不僅為低矮樓層,包含高層建築物之排列(如同開發案、多棟)之評估,亦可納入模型,同時應列舉國內外樣態及其棟距影響。
3. CFD 與風洞試驗結果如何競合?如何互相引用以減少誤差。
4. 目前成果尚符預期目的。

柯總經理鎮洋：

1. 建築物風場會影響周遭環境,包括鄰近建築物,因此評估準則不僅影響本體建築物,也會影響本體以外之建築物。或許會影響開發規模(高度、方向、形狀…)。
2. 評估準則建議納入工程因素外,尚須將環境、都市發展等因素納入,避免使評估準則造成太多整體之負面發展。

陳技師宗斌：

1. 未來行人風場評估技術規範,有關風場舒適度評估是會建議應用公式或採用採用貴所建立的 CFD 模擬技術進行評估?
2. CFD 模擬技術需與風洞試驗結果比較。過去 101 或大巨蛋是否有相關風洞試驗資料可以比對?

陳技師郁潔(書面意見)：

1. 本研究採未來將形成全國通用之規範,建議可增加研究案例進行風洞試驗及 CFD 之結果比對,以為較完整客觀之結論。
2. 不同軟體之 CFD 分析是否均符合本研究之結論?

陳組長建忠：

1. 行人風場如欲以環評、都市設計扣合,宜確實掌握上下接軌條件。
2. 用字所謂嚴謹應是正面,但本文似乎意圖解讀某些業界是負面,是否是保守之意,其他文字亦請釐清。
3. 請參考先進國家類似規範。

計畫主持人回應(郭副研究員建源)：



1. 因法令規定特定條件應評估行人風場問題，目前國內每年至少有數十案之評估案件，但卻缺少相對應的評估規範。本研究旨在建立一個具通用性的評估規範，以供可遵循的試驗原則及一致性的審議標準。
2. 行人風場評估時對於周遭地形地物的模擬，係以個案不同情況決定。不同的建築基地所在半徑範圍約 400m 內之各種地形地物模型皆應建置，以模擬風場經過到達基地附近的運動過程。本案之風洞試驗僅為一研究案例，期能將評估過程與方法作為研擬通用評估模式的基礎。
3. 風洞試驗是目前評估行人風場公認最具可靠之評估工具，但試驗過程仍有些限制，例如模型縮尺後量測設備的配置空間、量測點位無法事先清楚掌握等問題，而 CFD 模擬可輔助解決前述問題，因此本研究對風洞試驗與 CFD 模擬之定位為相輔相成的評估工具，而非準確度比對。
4. 台電大樓執行實場風速量測非本案研究範圍，可納入後續研究參考。另對於行人風場評估規範應再考慮社會經濟影響，且參考其他國家規範或用語應釐清等問題，將於期末報告書中討論修正。

### (三)「建築物速度型被動消能元件非線性靜力分析之研究」案：

中華民國土木技師公會全國聯合會 林技師增吉：

1. 目次第三章標題與內文不符。
2. 報告書第 5 頁標題「壹、力學型為」，請修正為「壹、力學行為」。
3. 建議增加第五章「設計範例」。

王教授价巨：

1. 設計範例是否區分建物類型，並考量其必要性。
2. 阻尼器安裝是否為其必要條件？若有，應納入分析設計流程。
3. 結論部分不宜出現文獻引用。

王技師亭復：

1. 第三章 RC 結構遲滯行為（圖 3.1~3.4）應有更明確表示及說明，例如勁度衰減可以  $K_1 > K_2 > K_3$ ，強度劣化（衰減）之迴圈間（cyclic）及迴圈內（in cyclic）衰減，與握裹滑落之卸載時，勁度降低後再恢復等圖示，並據以討論本研究 Takeda 遲滯模型，解答上述問題。
2. 請簡單回顧 1970 年之 Takeda Model 及之後各學者改進之模型。
3. 導出 3.22 式是否可以韌性比  $\mu$  及  $\alpha$  關係式，而依其  $\mu$  高低

列表分類出等效阻尼比  $\xi$ ，以利實際應用 FEMA 440 (ATC 55)。

4. 式 3.29 及式 3.30 阻尼修正因數來源，請說明。
5. 建議本研究所得結果與 FEMA 440 第六章相互比較。

林理事長志憲：

1. 建議可增加案例分析，耐震補強設計之分析態樣及設計案例，加強說明結構功能績效點，以強化研究成果及誤差或限制等。
2. 阻尼器相關規格之應用及計算設計手冊，應予流程化(含輸入、輸出)，對於不同材質、斜撐(如圖 2.13) 是否有修正建議？如黏滯型、黏彈性型及鋼結構等。
3. 建議將簡報內容之工程應用實例、設計目標流程等等，納入報告本文。
4. 等效阻尼比修正應加強論述 RC 受震之非線性行為，以及計算實例、驗證結果及程式化等。
5. 建議將理論分析置於附錄，實例分析、重要圖表可於本文強化。

柯總經理鎮洋：

研究內容使用於實務案例，希望在設計範例中，有較詳細的使用說明，如使用流程或案例中，能應用數據表格、圖說來呈現，將使讀者便於應用，對於研究成果的推動也更加容易。

陳技師宗斌：

1. 研究目的應要說明推動新式等效線性系統之原因，以及與過去等效線性系統之差異。
2. 目前的統計資料與過去使用方式的誤差是否顯著？
3.  $\beta$  應是反應遲滯型迴圈不飽滿的情形，如同 ATC40 中之  $\kappa$ ，未來如何建議  $\beta$  值？

陳技師郁潔(書面意見)：

1. 文中之中英文拼字請再校核。
2. 建議研究報告至少增加 2 組範例演試，並做結果論述。

陳組長建忠：

1. 都更案件屬有施作消能元件者為何？是否有其必要？而其設置與設計內容是否妥當？有無維護的問題？
2. 此元件常見於樓梯間，是否有必要或有其價值？

計畫主持人回應(陳助理研究員長佑)：

1. 本研究文獻回顧將補充 1970 年 Takeda 遲滯模型及後續各學者改進之模型，並作相關比較與探討。
2. 有關 RC 結構遲滯行為探討，以及本研究如何應用 Takeda

模型進行模擬與簡化等內容，將於報告中再補充說明。

3. 有鑑於本研究所提等效勁度(週期)及等效阻尼比計算過於複雜，後續將考量以簡單的 $\mu$ 、 $\alpha$ 迴歸公式來取代，或者以查表方式呈現，以利後續應用與比較。
4. 本研究後續將依照設計流程增列實際案例說明，並就阻尼器相關安裝限制、連接構材細部設計等詳細說明。
5. 本研究所提之阻尼比修正因數 $\beta$ ，後續將考量數種模型與地震類型，以非線性動力分析結果來進行統計分析，並據以提出建議值供設計者參考應用。
6. 關於都更案件加裝消能元件之補強設計及裝設位置是否妥當等問題，結構工程師應就個案結構弱層、結構對稱性，以及結構加裝消能元件後之應力重新分配情形等來進行分析與考量，並據以決定安裝位置、組數與設計參數。另消能元件維護問題，如消能元件變形量及最大出力在原設計範圍內，多數消能元件皆能回復至原狀態，但若是相連接的結構元件產生永久變形，將影響消能元件設計值，必須由結構工程師現場檢視消能元件變形量及破壞情形，並經重新評估計算後，據以判斷是否需要更換消能元件。

#### 八、 會議結論：

- (一) 本次會議3案期中報告，經審查結果原則通過。請詳實記載與會審查委員及出席代表意見，並請計畫主持人參採，於期末審查時作適當回應。
- (二) 請計畫主持人掌握研究時程，並請留意成果報告格式，以符規定。

#### 九、 散會：下午5時

項次	審查意見	回應
1	有關報告書第 59 至 70 頁其他相關資料，建議移至附錄表示。	已修正如附錄三。
2	建議增加支架應力分析計算專章。	已增修於第三章第四節。
3	建議設定類型或納入情境設定，方能有效取得共通性規範依據。例如若以屋頂型式區分，則未必有角隅的問題。而若需強化，則應該說明如何強化。	本研究係以單片型為主，並提出單片型光電板試驗與結構計算內容，至於是否能全面涵蓋所有範圍，應由使用者在專案設計的情形下，自行判定與參考。
4	風洞試驗是否僅以單棟建物模擬？	本研究特別針對單片型光電板來進行，並無討論建築物的模擬。
5	相關研究應說明對於本研究的貢獻，並加以整理分析。	業於第二章逐一整理說明與分析。
6	若需有法令規範建議，宜更慎重討論建築設計端的考量，其與建築物銜接的部分，應有所著墨。	本研究對於建議內容如第五章，至於於建築物銜接的部分，重點在於基礎設計，然然而經計算，受風損壞的主要原因並非在於與建築物的銜接處。
7	災害破壞的結果是複合成因的呈現，在研究動機到研究設計，應避免成為單一因素的思考。	感謝指教，將納入辦理。
8	第二章文獻回顧第 51 頁宜增加開放式建築物之單斜屋頂 $C_F$ ，且局部構件及外部披覆淨風壓係數之單斜或雙斜屋頂，在耐風設計內容宜予補充完整，如規範之表 2.9 及圖 3.3(a)、圖 3.3(b)。	已補充。

9	報告書第 51 頁圖 2-44 於原建築物耐風設計規範應為「圖 3.4 建築物屋頂女兒牆外風壓分布示意圖」，且應補充其規範圖 3.1(b)、3.1(c)、3.1(d) 及 3.2 才算完整，用或檢核。	已補充。
10	建議於進行太陽能板及支架等模型風洞試驗時，先依上述規範規定係數設計，且考慮側風不平衡穩定性。	該規範所用係數係為建築物專用，在某些條件下無法直接應用於本研究之光電板模型。而測風不平衡穩定性在模型設計上甚難表現，將納入後續研究辦理。
11	請將目前已量測風壓模型係數表(表 3.8 及 3.9) 與上述規範值比較。	已於第三章完成。
12	本研究針對支撐架、光電板、主建築物之間扣件，以及光電板傾角之抗風檢測與結構計算，惟如何回饋到目前應檢附結構安全證明書之必要性？而製程規格化(含扣件)簽證時，是否也應一併呈現或檢附委託相關抗風測試報告？	有關結構計算分析與設計對策可供設計使用時參考，而能否於簽證時提出測試報告，將納入後續研究參考。
13	有關期初審查所提，如有太陽能光電板依照抗風極限可進行收合者，其設計條件為何？	該收合型產品在市面上尚不常見，相關初步討論業於結論中說明，也將納入未來研究。
14	符合本計畫實用之經濟性及推廣效益可再論述。	感謝委員指教。
15	後續風力模型可另採市售常見範例比對結果。	感謝指教，將考量試驗設備的對應性納入辦理。
16	原則符合預期成果，建議依上述意見補充。	感謝委員指教。

17	本研究針對太陽能板支架結構風進行研究，其成果應用對於太陽能板業者，或建築師、結構技師而言，兩者重視觀點不太相同。如應用於太陽能板業者，個人認為是廠商範疇；而應用於建築師與結構技師，則為如何錨錠於結構物之受力，或是如何能夠安全錨錠。	感謝委員指教。
18	國內類似課題越來越多，如懸吊式輕鋼架天花板之錨錠、消防設備之錨錠、通訊電塔之錨錠等等，這些都是現階段結構技師想知道的重點。因此，研究成果是否能針對錨錠點之受力和錨錠設計重點，提出建議供參。	感謝委員指教。
19	本研究擬完成「太陽能板光電板風力設計對策」，然建築物耐風設計規範是否有相關幾何、高度、風場相關研究及設計參數，可供比對或直接套用。	已於設計對策中提出。 感謝委員指教，將納入參考
20	本研究主題為單片型太陽能光電板支架結構風力，如研究成果可指出與風力規範有所差異時，將會很有研究價值。	感謝委員指教，將納入參考。
21	研究的對象應要先定義支撐架的邊界條件，方能瞭解分析結果與實際情形的差異。	感謝委員指教，將納入參考。
22	做為一份設計手冊或規範，請考量光電板支架與不同主結構系統之風壓關聯性，例如固定於開放建築屋頂或封閉建築屋頂，或光電板本身就是鋼架屋頂構造之風力，是否有所不同。	感謝委員指教，將納入參考。
23	目前國內鋁構造物之設計均採美國 Aluminum Association 設計規範，合金常用 6063-T5、6161-T6 或 6105-T5，螺栓多為不銹鋼 A2-70，期末報告應力計算部分請參考。	感謝委員指教。本研究所採該類型螺栓為 6005，而其重點在於容許應力的差異，將納入參考。

24	災害及安全是很重要的課題，但太陽能板在風災中，是人身安全問題抑或是財物損失？宜予定位，以引導研究方向。	以本研究的標的，重點在於颱風侵襲時，減少光電板飛落，才能避免人身與財物的危害。
25	以之前損壞案例，在風力作用下，單片型太陽能板以及支架似乎不是受損重點，而應探討該支點接合部是採用夾的或以鉚釘、螺栓、焊接固定，其作用是否可行？應予釐清。	已於第四章結論中討論與說明。
26	請參考先進國家類似規範。	已於第二章增加日本規範內容。

## 附錄三 其他相關

### 一、新聞報導

#### 出租屋頂賣電 年賺 5%回饋金

【王筱君／台北報導】政府補助推廣再生能源，使投資太陽能成最新趨勢，《蘋果》記者發現，有太陽能板業者在拍賣網站推出「租頂樓送遮陽棚」方案，屋主除省搭建鐵皮遮陽棚費用，每年還可獲 5%賣電收入，20 年到期後可免費獲贈設備。房仲業者提醒，因合約期限為 20 年，期間難免有房屋買賣機會，須釐清相關權責，以免產生糾紛。

臺灣日照豐沛，尤其中、南部更有利太陽能發電，部分建商推案時打出「屋頂日照就能變黃金」建置太陽能發電系統賣點，與台電簽約合作，賣電所得可直接回饋給社區住戶，包括台南「人間清境」、「天賜良緣」與高雄「映美墅」建案等。



附錄圖 1 新聞報導

（資料來源：蘋果日報）

#### 20 年後免費獲設備

但上述方案仍以大型社區為主，一般民眾若想裝設，除自掏腰包，也可考慮與業者合作，單純出租屋頂，賺取 1 年 5%賣電回饋金。

在拍賣網站徵求屋主的鉅騰太陽能有限公司經理張富程表示，以租賃最小單位面積為 20 坪來算，民眾每年可獲 5000 元賣電所得，租賃合約為 20 年，之後發電設備免費送給屋主，但限制台中以南，擁有合法頂樓且未加蓋、無日遮者適用。

張富程解釋，以常見的 10K 瓦發電容量，在中南部可年產 13000 度電，若把電力賣給台電，1 年可有 9 萬元收入，但需 22 坪空間裝置 40 塊太陽能板，1 套裝置成本 80 萬元，「民眾也可選擇自行裝置方案，國泰世華、永豐銀行都有提供貸款方案。」

#### 留意買賣轉換合約

「太陽能裝置系統在臺灣發展不算純熟，南部較適用。」住商不動產企劃研究室主任徐佳馨提



醒，民眾除要注意合約內容，也要考量 20 年內若房屋有買賣轉換，後續合約如何履行。

至於民眾自行裝置太陽能板是否須申請執照？內政部營建署建築管理組表示，按經濟部能源局設置再生能源免請領雜項標準規範，凡高度低於 3 公尺、面積 600 平方公尺（約 181 坪）內，無須另外申請執照。

### 比搭鐵皮漂亮

在高雄經營運輸業的民眾張喬玲去年底出租住家頂樓，她表示：「比鐵皮屋頂還漂亮，又可遮雨，高市府最近有推廣，去年 800 萬元補助款都被申請一空，我還來不及申請。」高雄蚵仔寮民眾歐先生說，出租屋頂可省 30 萬元搭建鐵皮屋頂費用，「會考慮使用」。

資料來源：《蘋果》採訪整理

依據蘋果日報 2013 年 04 月 03 日報導：

## 設太陽能光電 高雄市放寬屋頂 100%

2013年04月03日 20:46 讚 <402 | 8+1 | 2

高雄市再突破《建築法》規定，市政會議今天通過「太陽能光電設施修正辦法」，將原訂50%的設置面積，放寬為屋頂全部面積、露臺、天井與外牆均可申設，且免計入建築容積，該項修正規定，將送內政部提案。

「新頭殼newtalk」報導，工務局長楊明州說，去年通過民間申請件數為280件，已有5萬坪屋頂面積設置太陽能光電，數量全台居冠，放寬規定通過後，民間申設總件數可望增至400件，太陽能光電設施總面積估計可達8萬坪。

為服務有意申辦的民眾及業者，市府工務局也結合經濟部能源局，在市府四維行政中心5樓成立專案辦公室，提供免費體檢太陽能光電和單一窗口諮詢服務。

高市今年度已於3月28日開辦光電補助，每峰瓦（KWp）補助8千至1萬3千元，每件申請案及申請人

最高補助金額以60萬元為限。

## 二、經濟部「陽光屋頂百萬座」計畫

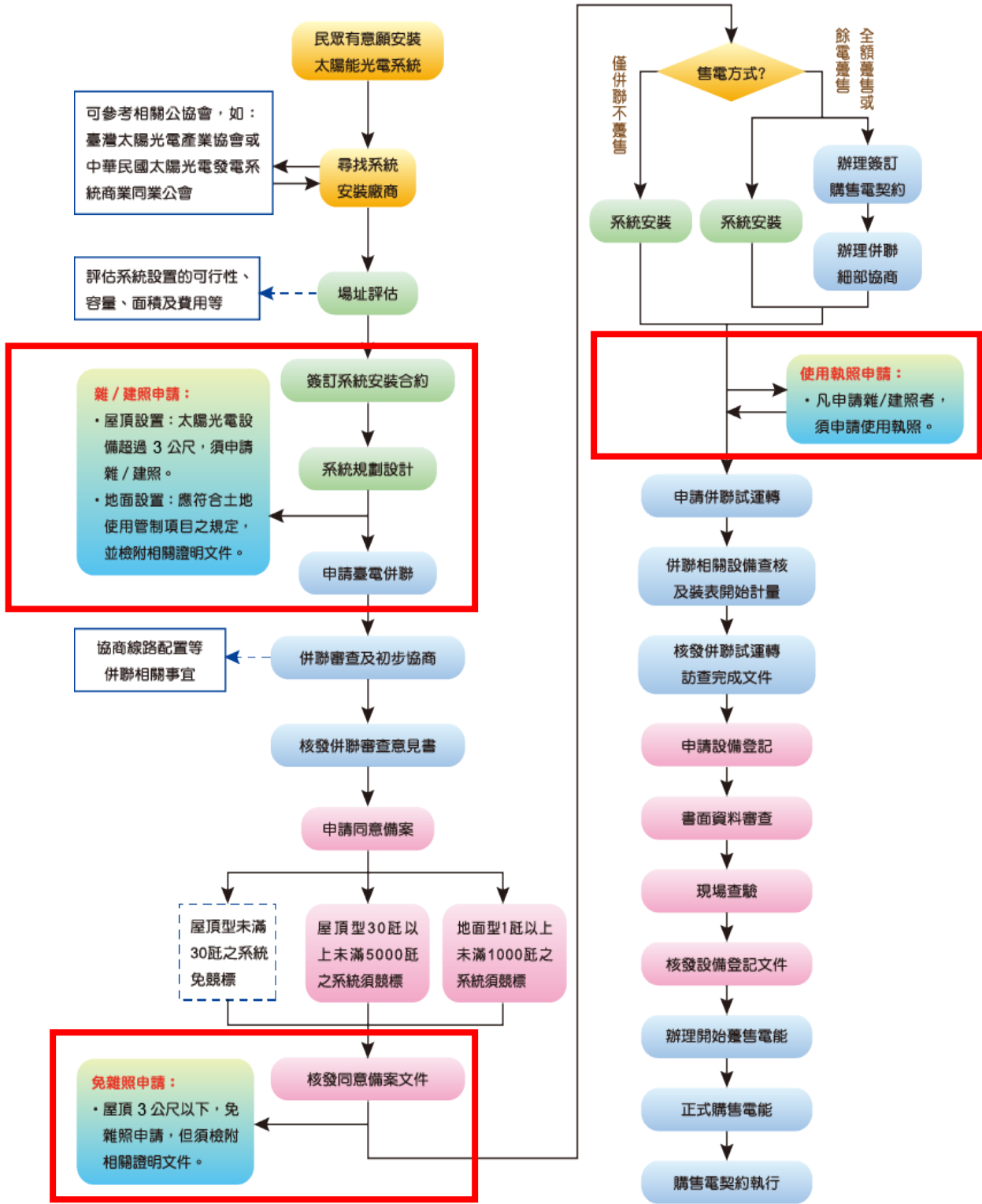
經濟部能源局刻正推行的計畫有：

1. 建置澎湖低碳島專案計畫
2. 綠色能源產業躍升計畫
3. 陽光屋頂百萬座
4. 千架海陸風力機

其中以「陽光屋頂百萬座」計畫，所直接採用的太陽能板與本研究所探



民眾及相關受理單位： 民眾 臺灣電力公司 經濟部能源局 系統安裝業者 地方政府



附錄圖 3 主要申請流程

(資料來源：經濟部陽光屋頂百萬座計畫)

**雜/建照申請：**屋頂設置：太陽光電設備超過3公尺，須申請雜/建照。

地面設置：應符合土地使用管制項目之規定，並檢附相關證明文件。

**雜照申請：**

1. 土地權利證明文件  
(1) 土地登記簿本 (2) 地籍圖簿本 (3) 土地使用同意書 (土地自有者，免附)。
2. 工程圖樣：位置圖、地盤圖、平面圖、立面圖、與剖面詳細圖。
3. 建築線指定圖
4. 其他有關文件：  
(1) 使用共同壁者應檢附協定書。  
(2) 起造人委託建築師設計及請領建築執照者，應檢附委託書。  
(3) 使用耕地者應檢附無耕地三七五租約證明書。

**併聯審查及初步協商**

**檢附文件：**

1. 申請併聯審查檢附書表  
(1) 併聯申請表 (2) 系統衝擊分析報告 (視需要)
2. 聯初步協商  
(1) 併聯審查意見書 (2) 併聯協議書 (3) 系統保護設備資料表 (4) 工程圖
3. 地政機關意見書，設置於屋頂者，免附。

**申請同意備案**

**檢附文件：**

1. 申請表  
(1) 申請人身分證明 (2) 設置場址使用說明 (3) 設置場址最近一期之電費單據。但未供電者，免附 (4) 發電設備設置計畫書  
(5) 經營電力網之電業核發之併聯審查意見書 (6) 地政機關意見書。但設置於屋頂者，免附
2. 競標應檢附文書  
(1) 價格標單 (2) 繳交保證金

**免雜照申請：**屋頂3公尺以下，免雜照申請，但須檢附相關證明文件。

**免雜照申請：**

1. 太陽光電發電設備之再生能源發電設備認定證明影本。
2. 建築師、土木技師或結構技師出具太陽光電發電設備簽證文件。
3. 依非都市土地使用管制規則規定，經目的事業主管機關核准可使用之文件。

附錄圖 4 申請流程檢附文件

(資料來源：經濟部陽光屋頂百萬座計畫)

## 太陽能屋頂放利多 50 瓩下免繳線補費

2015-07-17 18:35

〔記者黃佩君／台北報導〕為鼓勵民間設置太陽能板發電，經濟部能源局本月通過台電修改的再生能源收購規章，家戶安裝屋頂型太陽能板免收併網工程費（俗稱線路補助費）標準，由原先的裝置容量 10 瓩提高到 50 瓩，家戶裝置太陽能板可省數萬到 40 萬，已申請者可追溯到本月 9 日。

台電表示，50 瓩約為裝置 150 坪太陽能板；而除 50 瓩以下免費外，以上部分也一改過去擾民的浮動價格，明定標準。低壓用戶 50 瓩至 100 瓩，每瓩 1050 元；100 瓩至 500 瓩，每瓩 1470 元；而高壓用戶 50 瓩至 500 瓩，每瓩收費 630 元。過去民眾申設太陽能板，若使用台電公司新設未滿 3 年線路時，須繳交數萬到數十萬不等的線補費；且該費用包括該線路設置電線、變壓器、電桿等費用，數目不定，讓民眾在安裝太陽能板時，估算成本增添不少變數及糾紛。

環團之前就批評，線補費僅台電內規，原應適用大型發電廠，不應用於民間小型太陽能發電。經各地方縣市及業者於全國能源會議極力爭取後，能源局指示台電研議改正，台電因此在五月提出 50 瓩以下免收方案，於本月初經能源局通過。

而民眾關心裝設太陽能板何時可回本，台電配電處副處長陳銘樹指出，彰化以南可發電的有效日照時數較長，每瓩每年發電量約 1300 度，依今年售電每度約 6.8 元計算，預計 8 年可回本。不過北部日照較短，每瓩每年發電約僅 920 度，回收期相對較長，但也僅需 9 年。

陳銘樹也指出由於過去免費門檻較低，去年僅約半數申請件在 50 瓩以上，現在免費門檻拉高，預估將可大量提升申請量及裝置容量。

## 【更新】太陽能板種電才啟用 蘇迪勒刮走 3 千萬

2015 年 08 月 09 日 23:20

彰化縣芳苑鄉一處養鴨場在屋頂設置 1500 坪的太陽能板「種電」，「試車」發電啟用才 2 週，就遭「蘇迪勒」颱風無情摧毀，4500 塊太陽能板扭曲變形，甚至遭吹往 100 公尺外，7 年級生的負責人謝忠賢目睹全毀情況非常傻眼，直呼「我還有貸款，這太誇張了」！

依中央氣象局觀測資料，彰化縣昨日鹿港測站則測到 9 級風，每秒風速 20.9 公尺，大城測站測到 6 級風，每秒風速 13.8 公尺。8 日凌晨，這處高約 10 公尺、養育 2 萬多隻鴨的鐵皮養鴨場，不耐強風狂襲，屋頂總重 83 公噸的太陽能板全毀，支架散落滿地。

每塊 18.5 公斤的太陽能板，最遠飛到 100 公尺外，扭曲變形如海苔狀，散落馬路、溝渠及洪姓鴨農的鴨場水池中，現場慘不忍睹，猶如電影「明天過後」場景，一支附掛電筒的台電混擬土電桿，也應聲斷裂，橫躺在鴨場內。

33 歲的謝忠賢無奈表示，因政府陸續鼓勵農民種電、轉型，加上評估設置太陽能，可遮陽減少屋頂曝曬，可能會提高蛋鴨下蛋率，又可增加一項「種電」副業收入，因此才貸款斥資 3 千萬，半年前請廠商開始施工，2 週前完工，目前還在「試車」發電階段。

謝忠賢說，試車期間日照多的時候，每天可發電約 2500 度，估計一個月約可收入 30 餘萬元，「但這次真的超嚴重，整個屋頂、鐵皮屋都毀損，天災太嚴重了」。當初雖知道海風較大，但附近已有豬舍、雞舍安裝前例，效果不錯，因此才嘗試。

在一旁飼養 2 千隻櫻桃鴨的鴨農洪玉成(55 歲)說，鴨場內可裝 8 噸重的飼料桶被亂飛的太陽能板削去半邊全毀，另有逾百隻鴨子慘死，要向對方求償。雞農林永祥說：「芳苑鄉一片淒慘、很可憐，沒看過那麼大的損害，滿目瘡痍」，自己的雞場硬體損失加上雞場淹水預期雞隻感冒死亡，保守估計損失至少 300 萬。

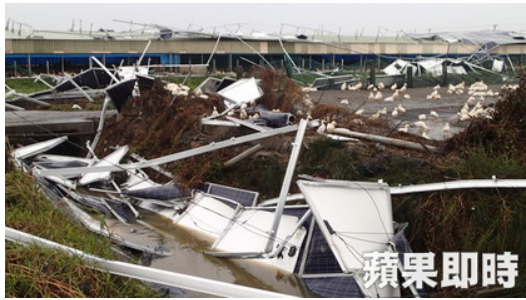
謝忠賢說，他貸款 1500 萬裝太陽能，並和太陽能商約定另積欠 1500 萬，發電後逐清償，如今太陽能廠商已先協助清除道路上的太陽能板，並告知該公司有保險，會負責復原，不過颱風的震撼力，已讓他驚嚇不已。

世居當地的一位鄉民說，這次是半世紀以來影響當地最嚴重的颱風，比 30 年前的韋恩颱風還嚴重，由於鴨場附近仍未復電，且電力設備毀損未修，電線脫落掉在水池中，鴨農擔心突然來電會觸電，但撥台電客服電話 1911 卻打不通，呼籲

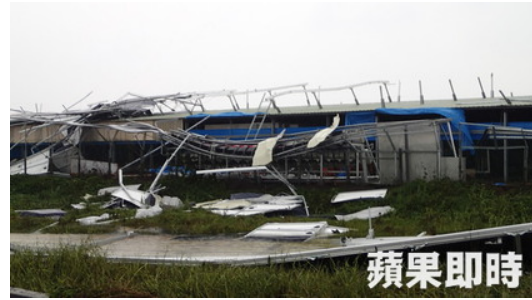
台電重視，以免出人命。謝忠賢說，鴨子特性是受到驚嚇會無`法下蛋，估計要一個月後才能復原，且目前因鴨場停電，也無法抽取地下水，等於停水、停電狀態，但這個月期間仍要持續付出飼料成本，因此損失難以估計，由於全國各地鴨場都有程度不一損失，情況若嚴重，鴨蛋恐漲價。（俞泊霖／彰化拍攝報導）

出版時間：21:27

更新時間：23:20



鴨農種電 1500 坪，慘遭颱風無情摧毀。



養鴨場屋頂的太陽能板慘遭摧毀。



養鴨場屋頂的太陽能板慘遭摧毀。



電桿也遭狂風吹斷，場面驚人。



電桿被強風吹斷。



太陽能板飛到 100 公尺外另一處鴨場。

附錄圖 5 蘋果日報照片

（資料來源：蘋果日報網站）



4500 塊太陽能板飛散四處。



太陽能板扭曲變形。



太陽能板飛到另處養鴨場，

被害人表示要求償。



太陽能板每塊重 18.5 公斤。



太陽能板遭摧毀。



太陽能板飛到另處養鴨場水池。



現場慘況猶如電影「明天過後」場景。

附錄圖 6 蘋果日報照片

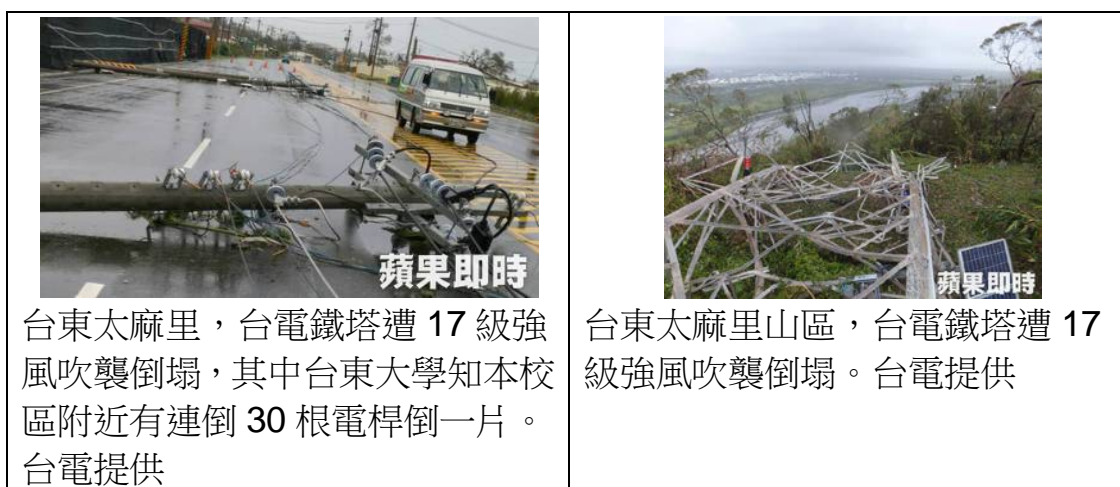


## 台東 17 級強風 台電電桿連續 30 根被吹倒

2016 年 07 月 08 日 17:51

<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/life/20160708/904085>

強颱風尼伯特造成全台累積 51 萬戶停電，台電目前已搶修復電約 44 萬戶逾 86%，尚有約 7 萬戶停電中，台電表示，因尼伯特從台東登陸，狹帶的 17 級強風與大雨創下台東百年紀錄，造成台東地區大範圍樹木傾倒壓損電桿電線導致停電，其中台東大學知本校區附近就有連續約 30 根電桿倒塌，須重建電桿與拉線才能復電，大風大雨也造成山區等區域交通中斷，影響搶修進度。強颱風尼伯特自今晨 5 時 50 分於台東太麻里登陸襲台至下午 2 時 30 分已正式出海，截至下午 5 時止，強烈風雨造成樹木或各式招牌壓損電桿、電線而導致停電，全台至今累積曾有約 51 萬戶停電，經緊急動員約 2000 人風雨中搶修，已修復超過 86%、約 44 萬戶，尚有約 7 萬戶停電中，主要地區為台東縣約 4.9 萬戶、屏東縣約 1.3 萬戶、高雄市約 4 千戶。台電表示，今天即時動員 2000 人投入搶修，另機動從外縣市調派支援人力，今明兩天陸續從花蓮、嘉義等地動員近 50 人與超過 20 輛昇空車、吊臂車與挖土機等工作車輛支援台東搶修復電。（許麗珍／台北報導）



附錄圖 7 蘋果日報照片

（資料來源：蘋果日報網站）

## 尼伯特颱風／台東 17 級風破站史紀錄「感覺房子快被拔起來！」

2016/07/08 07:38 王彩鸞 / 報導

聯合影音

<https://video.udn.com/news/522369>

尼伯特颱風清晨 5 時 50 分從台東太麻里登陸，測得每秒鐘 57.2 公尺的 17 級陣風，破了該站測得最強陣風紀錄，刷新了民國 44 年測到的每秒 51.8 公尺陣風紀錄。

氣象局預報中心主任鄭明典在臉書上留在這筆紀錄，「房子感覺要被拔起了，一直狂震」、「好可怕！房子都在搖」，台東地區網友在鄭明典臉書留言回應。

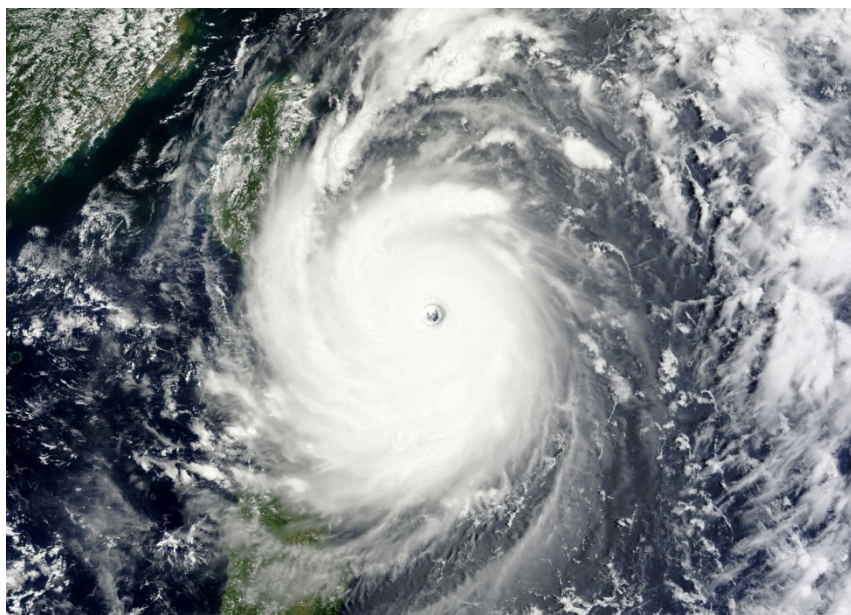
17 級風是指每秒風速在 56.1~61.2 公尺，相當於每小時 202~220 公里的風速喔。根據蒲福風級表描述，只要 6 級風，就難以撐傘；8 級級行人就感覺寸步難行；10 級風能把樹連根拔起或吹斷。

民國 94 年 7 月 18 日強烈颱風海棠來襲，花蓮出現 17 級陣風(每秒 58.5 公尺，相當於每小時 210 公里)，把美侖飯店的大玻璃吹破。台灣本島平地通常要強烈颱風來襲，才會出現 17 級強陣風，曾在基隆、宜蘭、蘇澳、花蓮、成功、澎湖等氣象站測得過 17 級(或以上)陣風。

(資料來源：聯合影音網站)

## 台灣颱風論壇

強烈颱風 編號：1601 (02 W) 名稱：尼伯特 (Nepartak)



附錄圖 8 尼伯特颱風

(資料來源：<http://twtybbs.com/thread-11414-1-1.html>)

**台灣颱風論壇**  
7月6日 18:25

【「接近傳說」等級颱風再現：尼伯特！】  
 ▶挑戰傳說？今晚將是最後機會！  
 繼去年西北太平洋風王—蘇迪勒颱風，尼伯特颱風再次創下了「近中心最大風速 58 m/s」的紀錄（每秒 58 公尺 相當於 時速 210 公里）不但追平了蘇迪勒，另外尼伯特颱風也是「史上最強的第 1 號颱風」

依照中央氣象局的定義：  
 颱風等級分為：輕度颱風、中度颱風、強烈颱風  
 而近年為了讓民眾更能理解，再將每個級別分成上限、中等、下限，例如：中颱上限、強颱上限。

在日本氣象廳的定義中，近中心最大風速超過 55 m/s 的颱風就是「猛烈」級別的颱風，也是日本氣象廳分級的最上限，要達到這個級別非常不容易！

而 60 m/s 以上，這種『六』字頭的風速，近二十年來才出現過兩次，分別是 2010 年的梅姬颱風以及 2013 年的海燕颱風，這種超乎想像的風速被風迷們視為『傳說』，而兩次都直接衝擊菲律賓，造成毀滅性的災情！

★尼伯特颱風的強度已經達到巔峰，不過未來即將通過的海域海水熱含量以及海溫都相當高，想挑戰 60 m/s 以上這個「傳說級」的強度的話，今天晚上會是最後努力機會！

我們是將有侵台、大家比較耳熟能詳的颱風來給各位做比較，而尼伯特颱風這樣的風速真的很有！

#台灣颱風論壇\_賴重祐 編輯  
 #尼伯特 #強颱 #史上最強 1 號颱風 #颱風 #資料視覺化 #蘇迪勒  
 #分享任一文章即可抽獎  
 討論區：<http://goo.gl/WZQFpE>

國際標準	國際性代碼	輕度颱風	中度颱風	強烈颱風
<17.1	17.2-22.6	22.7-30.9	>31	
輕度	輕度	輕度	輕度	輕度
中等	中等	中等	中等	中等
強烈	強烈	強烈	強烈	強烈
猛烈	猛烈	猛烈	猛烈	猛烈

**台灣颱風論壇**  
7月8日 6:24

【尼伯特在 5:50 已於太麻里登陸！】  
 根據氣象局 14-1 報，尼伯特颱風已經正式在台東太麻里登陸，受到地形影響，颱風中心有稍微往西南掉的現象，可能有打轉情形出現，需要密切觀察！

目前台東地區風雨持續，中南部的風雨也逐漸增強中！西南部沿海(高雄、台南)已經出現 7-9 級的強陣風！

截至目前強陣風紀錄：  
 蘭 嶼 71.3 m/s (站史第 14)  
 台 東 57.2 m/s (站史第 1)  
 大 武 35.0 m/s (站史第 15)

尼伯特討論區：<http://goo.gl/WZQFpE>  
 #分享任一文章即可抽風速計  
 #台灣颱風論壇\_蔡羽晨 編輯

強烈颱風 (編號第 1 號 國際命名: NEPARTAK, 中文譯名: 尼伯特)  
 第 14-1 報 民國 105 年 7 月 8 日 6 時 15 分發布

附錄圖 9 台灣颱風論壇

(資料來源：台灣颱風論壇 FB 網站 <https://www.facebook.com/twtybbs/?fref=ts>)

**台灣颱風論壇**  
7月8日 2:11

蘭嶼陣風：71.3 m/s! 超過 17 級! (站史 14)

#分享任一文章即可抽風速計  
 討論區：<http://goo.gl/WZQFpE>

#台灣颱風論壇\_陳柏宏 編輯  
 #尼伯特颱風 #尼伯特 #颱風 #海警 #陸警 #登陸 #民謠 #蘭嶼

氣象局蘭嶼即時風速 2016年07月08日02時00分(TST)

**台灣颱風論壇**  
7月8日 5:16

【57.2 m/s! 創下台東站史第一!!】  
 稍早四點半左右，尼伯特在台東市吹出每秒 57.2 公尺強陣風直接創下台東測站陣風站史第一!!

同時宣告：打破 1955 年艾瑞絲颱風高懸 61 年的 51.8 m/s 紀錄!

不過不要大意，由雷達回波判斷，颱風南側眼牆更強，也許紀錄有再往上的可能，南方的大武測站也可以注意。

尼伯特討論區：<http://goo.gl/WZQFpE>  
 #分享任一文章即可抽風速計  
 #台灣颱風論壇\_蔡羽晨 編輯

氣象局台東市風速 2016年07月08日05時00分(TST)

附錄圖 10 台灣颱風論壇

(資料來源：台灣颱風論壇 FB 網站 <https://www.facebook.com/twtybbs/?fref=ts>)



## 參考書目

### 中文資料

1. 內政部 (2014)。建築物耐風設計規範及解說。2014 年 1 月 1 日施行。
2. 陳若華、方富民、鍾政洋 (2006)。建物附屬設施及臨時構造物耐風設計準則之探討。內政部建築研究所協同研究報告。
3. 周晉成 (2013)。太陽能板風力負載特性分析研究。成功大學航空太空系博士論文。
4. 何明錦、陳若華(2015)。陽光屋頂耐風評估與設計準則。內政部建築研究所協同研究案報告。
5. 蔡豐欽、吳正鵬、許柏偉、許翔 (2013)。太陽能光電熱水混合系統對於傾斜角度之影響及其整體效益分析，Journal of China University of Science and Technology Vol.55-2013.04.
6. 陳若華，包匡，曾亮，李旻原 (2012)。太陽能板設置於不同斜屋頂上所受風壓之初探。空間設計學報，Vol.13。
7. 陳若華 (2012)。低層建築物附屬設施之耐風性能研究。內政部建築研究所協同研究報告。
8. 許育銘 (2013)。風力負載下太陽能板之結構分析與改善。國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文。
9. 李勝雄 (2013)。建築物屋頂上太陽能板的風力負載。國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
10. 朱佳仁 (2006 年)。風工程概論。科技圖書。
11. 建築技術規則 (2013)。營建雜誌社。
12. 吳正鵬等人 (2011)。傾斜度對於太陽能光電板效率之量測與分析。中華科技大學學報 46 期，p33-41。
13. 內政部營建署 (2010)。有關屋頂突出物設置太陽能光電系統疑義一案。2010 年 01 月 27 日營署建管字第 0992901601 號函。2015 年 2 月 4 日取自 [http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13213&Itemid=114](http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=13213&Itemid=114)
14. 內政部營建署 (2010)。設置再生能源設施免請領雜項執照標準，2012 年 09 月 17 日發布。2015 年 2015 年 2 月 4 日取自

- [http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10563&Itemid=57](http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=10563&Itemid=57)。
15. 經濟部 (2012), 陽光屋頂百萬座計畫。2015 年 2 月 3 日取自  
<http://mrpv.org.tw/about.php?id=1>。
  16. 經濟部 (2013)。太陽光電模組產品登錄作業要點, 2013 年 9 月 16 日公告。  
2015 年 7 月 10 日取自 [http://www.tcpv.org.tw/System/system\\_more?id=1](http://www.tcpv.org.tw/System/system_more?id=1)
  17. 經濟部標準檢驗局 (2015)。CNS 標準。2015 年 7 月 10 日取自  
[www.bsmi.gov.tw](http://www.bsmi.gov.tw)。
  18. 高雄市政府 (2013)。高雄市建築物設置太陽光電設施辦法, 2013 年 6 年 3  
日發布, 2015 年 2 月 3 日取自  
<http://law.kcg.gov.tw/law/PrintNewsContent.aspx?id=734>。
  19. 聚恆科技股份有限公司 (2015)。太陽能模組介紹 (又稱太陽電池、太陽能光  
電板或矽晶板)。2015 年 7 月 10 日取自  
<http://www.hengs.com/solarproducts-pv%20module.html>
  20. 肥特補科技股份有限公司 (2015)。太陽能模組。2015 年 7 月 10 日取自  
<http://www.feedpool.com.tw/pdfp28/front/bin/ptlist.phtml?Category=11>
  21. Hamak 哈瑪克科技公司 (2015)。HAMAK SOLAR 產品。2015 年 7 月 10 日  
取自 <http://www.hamak.com.tw/04products/index.php?id=3>
  22. Chin-Cheng Chou, Kung-Ming Chung and Keh-Chin Chang (2014). Wind Loads  
of Solar Water Heaters: Wind Incidence Effect. 第五屆全國風工程研討會論文集,  
國立中央大學, 第 255-268 頁。
  23. 曹盛哲, 蔡易廷, 朱佳仁 (2014)。Aerodynamic Loading of Solar Trackers on  
Flat-Roofed Buildings。第五屆全國風工程研討會, 國立中央大學, 第 255-268  
頁。
  24. Laurence Claus. (2015)。太陽能板扣件。螺栓世界雜誌, p117. 技術論壇,  
2015 年 3 月 31 日取自  
[www.fastener-world.com.tw/0\\_magazine/ebook/pdf\\_download/FW\\_152\\_C\\_117.p  
df](http://www.fastener-world.com.tw/0_magazine/ebook/pdf_download/FW_152_C_117.pdf).
  25. 陳烜睿、徐春明、張貴維、江哲銘。(2012) 一般型結晶矽太陽光電單元模組  
之抗風壓檢測研究分析。工業材料雜誌 304 期。

## REFERENCES in English

1. Zeinab Samani .(2016).Wind Loading on Full-scale Solar Panels, Graduate Program in Civil and Environmental Engineering, Electronic Thesis and Dissertation Repository, Western University.
2. Stephen Barkaszi, P.E. , Colleen O’ Brien, P.E.(2010).Wind Load Calculations for PV Arrays.Sola America Board for Codes and Standards.
3. Jinxin Cao, Yukio Tamura, Akihito Yoshida, Shuyang Cao.(2013).AREA-AVERAGED CHARACTERISTICS OF WIND LOADS ONROOF-MOUNTED SOLAR ARRAYS.The Eighth Asia-Pacific Conference onWind Engineering,Decemer 10-14,2013,Chennai,India.
4. Xavier Ortiz , David Rival and David Wood .(2015).Forces and Moments on Flat Plates of Small Aspect Ratio withApplication to PV Wind Loads and Small Wind Turbine Blades.Energies 2015,82438-2453.
5. Daisuke Somekawa, Tetsuro Taniguchi, Yoshihito Taniike .(2013).Wind Load Acting on PV Panels and support structures with various layouts.
6. Hsing-han Yen etc. (2011). Evaluating the safety of Photovoltaic Panel mounting structure under high wind load, Minamata International symposium on Environment and Energy Technology, Mission 2011.P.6-8 December,2011,Kumamoto,Japan,P1.145-148
7. Aly Mousaad (2013). Aerodynamic Loads on Solar Panels.
8. ASCE Standard ASCE/SEI 49-12,Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures,2012,Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
9. Bienkiewicz(1995). Proper orthogonal decomposition and reconstruction of multi-channel roof pressure.
10. K. Chung, K. Chang, Y. Liu(2008). Reduction of wind uplift of a solar collector model,Vol.96, Pages 1294-1306.
11. Eleni Xypnitou (2012). WIND LOADS ON SOLAR PANEL SYSTEMS ATTACHED TO BUILDING ROOFS. Concordia University Montreal, Quebec, Canada.
12. Jewel B. Barlow February 22, 1999. Low-Speed Wind Tunnel Testing ,
13. H. Irtaza, R.G. Beale, M.H.R. Godley, A. Jameel(2013) .Comparison of wind pressure measurements on Silsoe experimental building from full-scale observation, wind-tunnel experiments and various CFD techniques, International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 5, No. 1, 2013, pp. 28-41.
14. 太陽光発電協会, JPEA. <http://www.jpea.gr.jp/index.html>