

屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究

內政部建築研究所自行研究報告

104
年度

屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 104 年 12 月

PG10405-0137

屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究

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 104 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The Drag coefficient of roof type solar
photovoltaic panels.

BY

CHIEH YU, CHEN

Dec , 2015

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	2
第三節 研究方法與進度	3
第二章 文獻回顧	5
第一節 前期研究	5
第二節 太陽能光電板相關研究	9
第三節 風力與建築物相關理論	32
第四節 國內相關規範	36
第五節 其它相關	53
第三章 試驗計畫與結果	63
第一節 試驗儀器及條件建立	63
第二節 矩型建築物	79
第三節 斜屋頂建築物	99
第四節 風壓、阻力與升力係數推導	104
第五節 可視化試驗	111
第六節 結果討論	116
第四章 結論與建議	119
第一節 結論	119
第二節 建議	121
附錄一 期初審查會議紀錄與回應	123
附錄二 期中審查會議紀錄與回應	127

附錄三 期末審查會議紀錄與回應.....	137
參考書目	145

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	8
表 2-2 常用空氣基本性質表 (乾空氣在 1.0atm 下)	35
表 2-3 太陽光電發電設備免請領雜項執照簽證表	40
表 2-4 太陽光電發電設備結構安全證明書	41
表 2-5 太陽光電發電設備工程完竣證明書	42
表 3-1 風速計規格性能	66
表 3-2 試驗條件	74
表 3-3 壓力量測設定數值	76
表 3-4 矩型建築物光電板模型量測壓力係數表	105
表 3-5 矩型建築物-含女兒牆光電板模型量測壓力係數表	107
表 3-6 斜屋頂建築物光電板模型量測壓力係數表	109
表 4-1 屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表	120

圖次

圖 2-1 屋頂突出物模型 (1:20) 設置圖	5
圖 2-2 模型試驗分組圖 (A、B)	6
圖 2-3 以CFD模擬無格柵均勻流場風速剖面等值圖	6
圖 2-4 屋頂突出物模型設置圖	7
圖 2-5 太陽能電池組成原理圖	9
圖 2-6 風洞紊流場試驗-2	10
圖 2-7 風洞紊流場試驗-3	10
圖 2-8 全球太陽光電發展統計	11
圖 2-9 單晶矽太陽能光電板	11
圖 2-10 多晶矽太陽能光電板	12
圖 2-11 薄膜太陽能板	12
圖 2-12 聚光型太陽能電池	13
圖 2-13 染料敏化太陽能電池	13
圖 2-14 獨立型系統	14
圖 2-15 混合型系統	15
圖 2-16 併聯型系統	15
圖 2-17 太陽能模組組成	16
圖 2-18 特製的強化玻璃統	16
圖 2-19 物理物質- 15295P/UF	17
圖 2-20 太陽能電池	18
圖 2-21 太陽能光電板背板組成	18
圖 2-22 太陽能光電板接線盒組成	19
圖 2-23 太陽能模組框架	20
圖 2-24 太陽能模組產品製成	20
圖 2-25 常見屋頂支架型	21
圖 2-26 常見斜屋頂支架型	22
圖 2-27 常見屋頂支架型	23
圖 2-28 水塔構造物氣動力試驗	23
圖 2-29 屋頂型太陽能追蹤器	24
圖 2-30 斜屋頂上太陽能光電板陣列	25
圖 2-31 太陽能板風力負載特性分析研究	27
圖 2-32 太陽能版所受風力示意圖	27
圖 2-33 光電板破損、模型與風攻角關係示意圖	28
圖 2-34 角渦流易在建築物向風角落處產生示意圖	29
圖 2-35 單片太陽能板表面尖峰淨風壓係數分布	29
圖 2-36 計算黏滯阻力 F_s 無因次阻力係數 C_F 值	30

圖 2-37 以CFD模擬不同風攻角下支架的耐風能力	31
圖 2-38 作用於物體的壓力與剪應力	33
圖 2-39 建築物表面風壓分佈示意圖	35
圖 2-40 建築物耐風設計規範有關風壓分佈	45
圖 2-41 煙囪、水塔風力係數表	46
圖 2-42 相關災害預防資料	53
圖 2-43 新聞報導	54
圖 2-44 太陽光電設置推動大事紀	56
圖 2-45 主要申請流程	57
圖 2-46 申請流程檢附文件	58
圖 2-47 蘋果日報照片	61
圖 2-48 蘋果日報照片	62
圖 3-1 風洞實驗館	63
圖 3-2 風洞本體圖	64
圖 3-3 多頻道電子壓力掃描器設備圖	65
圖 3-4 風速計及電源供應器	67
圖 3-5 矩型建築物主體模型參考標準圖 204 型	68
圖 3-6 斜屋頂建築物主體模型參考標準圖 207 型	69
圖 3-7 太陽能光電板模型 (茂○公司為國內生產的XS-72 系列) ..	69
圖 3-8 A組矩型建築物築物主體模型圖.....	70
圖 3-9 B組矩型建築物-含女兒牆主體模型圖	70
圖 3-10 C組斜屋頂建築物主體模型圖.....	70
圖 3-11 矩型建築物與女兒牆模型圖	72
圖 3-12 太陽能光電板模型壓力孔位	73
圖 3-13 斜屋頂與太陽能光電板位置圖	74
圖 3-14 模型試驗分組圖 (A、B、C)	75
圖 3-15 均勻流場平均風速剖面圖	77
圖 3-16 A組模型試驗圖.....	79
圖 3-17 A組模型試驗來流圖.....	80
圖 3-18 A組模型試驗圖.....	81
圖 3-19 A組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	82
圖 3-20 A組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	83
圖 3-21 A組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	84
圖 3-22 A組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	85
圖 3-23 A組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	86
圖 3-24 A組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	87
圖 3-25 A組 5m/s及 10m/s風速下壓力孔位 C_p -m分佈圖	88
圖 3-26 B組模型試驗圖.....	89

圖 3-27 B組模型試驗來流圖.....	90
圖 3-28 均勻流場試驗示意圖	91
圖 3-29 B組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	92
圖 3-30 B組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	93
圖 3-31 B組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	94
圖 3-32 B組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	95
圖 3-33 B組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	96
圖 3-34 B組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	97
圖 3-35 B組 5m/s及 10m/s風速下壓力孔位 C_p -m分佈圖	98
圖 3-36 C組模型試驗圖.....	99
圖 3-37 C組模型試驗來流圖.....	99
圖 3-38 均勻流場試驗示意圖	100
圖 3-39 C組風速 $\alpha=17.5^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	101
圖 3-40 C組風速 $\alpha=17.5^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖.....	102
圖 3-41 C組風速 $V=5\text{m/s}$ 及 $V=10\text{m/s}$ 風速下壓力孔位 C_p -m分佈圖.....	103
圖 3-42 A組矩型屋頂建築物光電板風阻形狀係數分佈圖.....	106
圖 3-43 B組矩型屋頂建築物-含女兒牆光電板風阻形狀係數分佈圖 .	108
圖 3-44 C組斜屋頂建築物光電板風阻形狀係數分佈圖.....	110
圖 3-45 Coherent Innova 70C、設備特點.....	111
圖 3-46 可視化試驗實驗設備照片	113
圖 3-47 矩型建築物 (A組) 流場情形	114
圖 3-48 矩型建築物-含女兒牆 (B組) 流場情形	114
圖 3-49 斜屋頂建築物 (C組) 流場情形.....	115
圖 3-50 A、B、C組流場流向綜合討論圖	115

摘要

關鍵詞：風阻形狀係數、太陽能光電板

一、研究緣起

臺灣地處西太平洋颱風盛行區域，又於極端氣候變異下，建築物及相關附屬設施耐風能力與評估，近來越受重視。由於當前能源使用觀念改變，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」，以及地方政府制訂「高雄市建築物設置太陽光電設施辦法」規範建築物屋頂太陽光電設施之設置，以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。而今(104)年 8 月及 9 月時，臺灣相繼受到蘇迪勒、杜鵑強烈颱風侵襲，民眾對於強風的威脅又更加明顯有感。

本所自去(103)年自行研究「以不同風場模式建立屋頂突出物耐風量測技術研究」即掌握時事潮流，預先洞察社會需求，針對建築物屋頂突出物的耐風能力評估，開始以「單片型屋頂型太陽能光電板」為例，利用風洞實驗及 CFD 探討模擬不同風場與模型尺度之關係，並建立本所實驗室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。去(103)年研究成果經審查會議專家學者建議，期能為工程界進一步提出太陽能光電板風阻形狀係數，以利設計者參考應用。

有鑑於此，本研究即以國內常見屋頂型太陽能光電板類型，建置符合實際情況之縮尺模型，進行受風實驗並分析應力，計算風壓係數 C_p (Pressure coefficient)，推導出阻力係數 C_D (Drag coefficient)、升力係數 C_L (Lift coefficient)等與風阻有關的形狀係數。除了可供工程界設計時應用參考，更希望能提供我國「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 104 年「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫(1/4)」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、研究方法及過程

本研究將彙整國內外屋頂太陽能板相關研究成果、規範等，並以國內常用屋頂型太陽能板型式，建立 1/10 試驗縮尺模型，透過電子壓力掃描器等儀器設備，進行風洞試驗驗證。將採用一組 6 片光電板型式，以安裝在屋頂上方(含女兒牆)、貼覆斜屋頂等型式，並且依據文獻資料變化光電板不同傾斜角度、不同風向角、不同支架高度等因素，來進行實驗。再透過計算分析推導出風阻形狀係數 C_p 、 C_D 、 C_L 。

步驟如下：

1. 文獻回顧：彙整國內外屋頂太陽能板相關研究成果、規範等，以及瞭解國內常用屋頂型太陽能板型式。
2. 模型試驗：以國內常用屋頂型太陽能板型式建立試驗縮尺模型，藉由力平衡儀、電子壓力掃描器進行較為密集風洞試驗與驗證。
3. 歸納比對法：透過計算分析，並比對國內外文獻，求取該類風阻形狀係數 C_p 、 C_D 、 C_L 。

三、重要發現

1. 屋頂型光電板壓力值的變化，承受的風壓值以負風壓為主，表示屋頂型光電板受到建築物上方與兩側氣流加速繞過，以及該傾斜角裝設位置的影響，導致所受風壓均以牽引力為主，而形成負風壓（吸力）相當明顯，此力量亦可能造成光電板的損壞主因，而掀翻光電板，而不是直接使光電板受到正向的壓力吹損破壞。此點可與日前蘇迪勒颱風（104年8月）侵台後所造成光電板的損害災情不謀而合，研判該屋頂型光電板模組破壞的方式幾乎是整個模組合支架被風拉拔而起，驗證本研究的實驗相當合理。
2. 經整理各組實驗不同來流風攻角 β 與光電板傾斜角 α 時，風壓係數 C_p 值的變化如下：
 - (1) 矩型建築物
來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 0.80~1.25， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 1.47~1.53， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.90~1.30， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
 - (2) 矩型建築物-含女兒牆
來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 0.75~1.10， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 0.95~1.26， $C_{p(\alpha=15^\circ)} \doteq C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.80~1.20， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
 - (3) 斜屋頂建築物
來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 1.04~1.28，
來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 1.35~1.40，
來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.82~0.94。
3. A、B、C 在來流風攻角 $\beta=45^\circ$ 試驗結果中，光電板所承受的風壓值均為最大。而更可發現，當含有女兒牆時，明顯削弱了風壓對光電板的影響；至於斜屋頂的建築物，仍以來流風攻角 $\beta=45^\circ$ 時，光電板所承受的風壓值均為最大。因此，光電板在建築角隅處所受角渦漩影響，研判該處最為脆弱，應予避免或強化保護。
4. 各組試驗計算的 C_D 、 C_L 值將會受到傾斜角 α 的影響；而當光電板的受到負風壓牽引時，矩型建築物在沒有女兒牆的保護作用下，所受到的牽引力將會特別加劇，應特別注意。

5. 本研究經試驗後發現，屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數，與設置型態、傾斜角有一定關係，經以最大值平均數求出後，數據表整理如表 4-1「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」，可提供給我國「建築物耐風設計規範及解說」作為後續修訂參考。本表與該規範表 2.12 煙囪、水塔等之風力係數 C_f 有所區隔，主因在於該 2.12 表係以假設風力作用方向與風向平行，同時該類型與屋頂太陽能光電板有所不同，同時對於太陽能光電板的設置需求不同，對於設計者在設計時，可參考各項係數進行，惟對於光電板組成的扣件、支架等結構行為，則應另予考量。

四、建議事項

建議一：

光電板的設置應避開建築物角隅處：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

由研究可知，角隅處的容易受到角渦漩的影響而有受到風壓破壞之可能，因此，對於光電板的設置應在相關規範條文中註明「光電板的設置以避開建築物角隅處為原則。如無法避開時，應該強化該支架與框架之構材材質，以增加抗風能力」。

建議二：

提出屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表供修訂及設計者參考：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

本研究經試驗後發現，屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數，與設置型態、傾斜角有一定關係，經以最大值平均數求出後，數據表整理如表 4-1「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」，並可提供給我國「建築物耐風設計規範及解說」作為後續修訂參考。本表可與該規範表 2.12 煙囪、水塔等之風力係數， C_f 有所區隔，主因在於該 2.12 表係以假設風力作用方向與風向平行，同時該類型與屋頂太陽能光電板設置需求有所不同，因此由本研究提出，以供設計者在設計時，可參考各項係數進行，惟對於光電板組成的扣件、支架等結構行為，則應另予考量。

Abstract

Key word: Drag coefficient, Solar photovoltaic panels

In this study, we build with the scale model of the actual situation to simulate the domestic common roof type solar photovoltaic panels in Taiwan, and carry out experiments and analyze the structure of the wind stress, calculated pressure coefficient C_p (Pressure coefficient), deduce the drag coefficient C_D (Drag coefficient), lift coefficient C_L (Lift coefficient) and other relevant shape factor, in addition to the reference for the engineering design applications, but also hope to provide wind-resistant building design specification modified recommendations.

The study found that, when the building contain parapet (wall), significantly weakened the influence of pressure on the photovoltaic panels. In addition, affected by the inclination angle α , and will affect the calculated value of C_D and C_L . The roof type solar photovoltaic panels on rectangular building of no parapet (wall), which will be intensified by traction effect, should pay special attention. The result of Table 4-1, "Roof type photovoltaic panels form drag coefficient table" is available to be the reference of "wind-resistant building design specifications and explanations" as the subsequent revision.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

臺灣地處西太平洋颱風盛行區域，又於極端氣候變異下，建築物及相關附屬設施耐風能力與評估，近來越受重視。由於當前能源使用觀念改變，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」，以及地方政府制訂「高雄市建築物設置太陽光電設施辦法」規範建築物屋頂太陽光電設施之設置，以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。而今(104)年 8 月及 9 月時，臺灣相繼受到蘇迪勒、杜鵑強烈颱風侵襲，民眾對於強風的威脅又更加明顯有感。

本所自去(103)年自行研究「以不同風場模式建立屋頂突出物耐風量測技術研究」即掌握時事潮流，預先洞察社會需求，針對建築物屋頂突出物的耐風能力評估，開始以「單片型屋頂型太陽能光電板」為例，利用風洞實驗及 CFD 探討模擬不同風場與模型尺度之關係，並建立本所實驗室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。去(103)年研究成果經審查會議專家學者建議，期能為工程界進一步提出太陽能光電板風阻形狀係數，以利設計者參考應用。

有鑑於此，本研究即以國內常見屋頂型太陽能光電板類型，建置符合實際情況之縮尺模型，進行受風實驗並分析應力，計算風壓係數 C_p (Pressure coefficient)，推導出阻力係數 C_D (Drag coefficient)、升力係數 C_L (Lift coefficient)等與風阻有關的形狀係數。除了可供工程界設計時應用參考，更希望能提供我國「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 104 年「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫(1/4)」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。

第二節 研究目的與內容

一、研究目的

本研究以國內常見屋頂型太陽能光電板類型，建置符合實際情況之縮尺模型，進行受風實驗並分析應力，計算風壓係數 C_p ，推導出阻力係數 C_D 、升力係數 C_L 等與風阻有關的形狀係數，除了可供工程界設計時應用參考，更希望能提供建築物耐風設計規範後續增修建議。進行本研究同時也符合本所 104 年「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫(1/4)」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，提昇生活品質與保障。

二、研究內容

本研究彙整國內外屋頂太陽能板相關研究成果、規範等，並以國內常用屋頂型太陽能板型式，建立 1/10 試驗縮尺模型，透過電子壓力掃描器等儀器設備，進行風洞試驗驗證。本研究採用一組 6 片光電板型式，以安裝在屋頂上方（含女兒牆）、貼覆斜屋頂等型式，並且依據文獻資料變化光電板不同傾斜角度、不同風向角、不同支架高度等因素，來進行實驗。再透過計算分析推導出風阻形狀係數 C_p 、 C_D 、 C_L 。

三、預期成果

1. 完成國內外常用屋頂型太陽能板類型等資料蒐集與比較分析。
2. 藉由建立屋頂型太陽能板風洞試驗，累積屋頂型太陽能板的風洞實驗數據，歸納產出風阻形狀係數，以供業界設計參考，並適時提出建築物耐風設計規範及解說之增修建議。

第三節 研究方法與進度

一、研究方法

1. 文獻回顧：彙整國內外屋頂太陽能板相關研究成果、規範等，以及瞭解國內常用屋頂型太陽能板型式。
2. 模型試驗：以國內常用屋頂型太陽能板型式建立試驗縮尺模型，藉由力平衡儀、電子壓力掃描器進行較為密集風洞試驗與驗證。
3. 歸納比對法：透過計算分析，並比對國內外文獻，求取該類風阻形狀係數 C_p 、 C_D 、 C_L 。

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(矩型屋頂)			■	■	■				
4	試驗資料彙整計算 C_p				■	■	■			
5	期中報告撰擬與審查				■	■				
6	均勻流模型縮尺試驗(斜屋頂)					■	■	■		
7	試驗資料彙整計算 C_p						■	■		
8	推算 C_p 、 C_D 、 C_L						■	■	■	
9	期末報告撰擬與審查							■	■	■

(資料來源：本研究整理)

第二章 文獻回顧

第一節 前期研究

一、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。

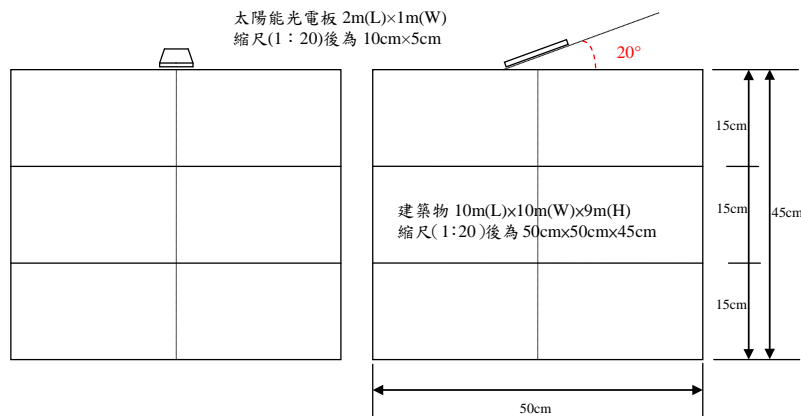


圖 2-1 屋頂突出物模型 (1:20) 設置圖

(資料來源：本研究整理)

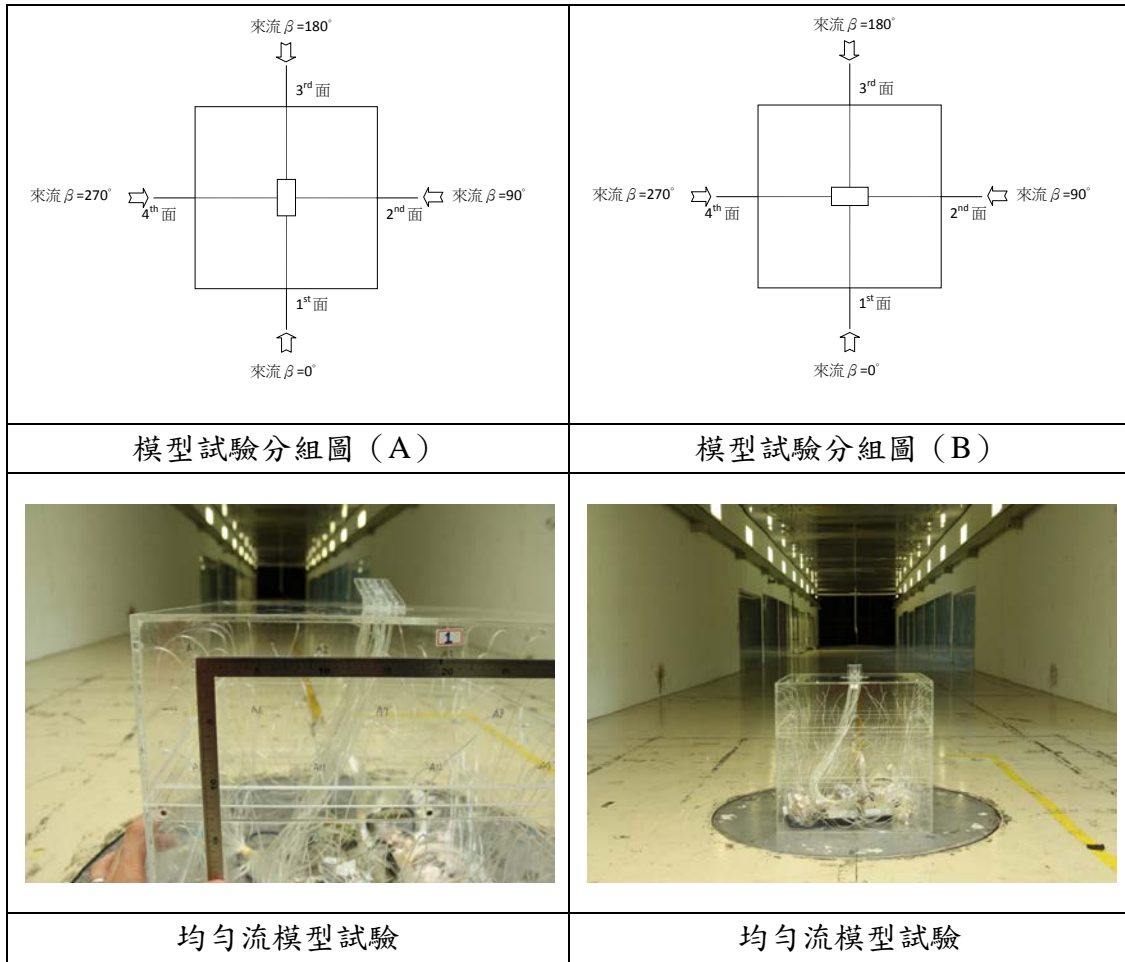


圖 2-2 模型試驗分組圖 (A、B)

(資料來源：本研究整理)

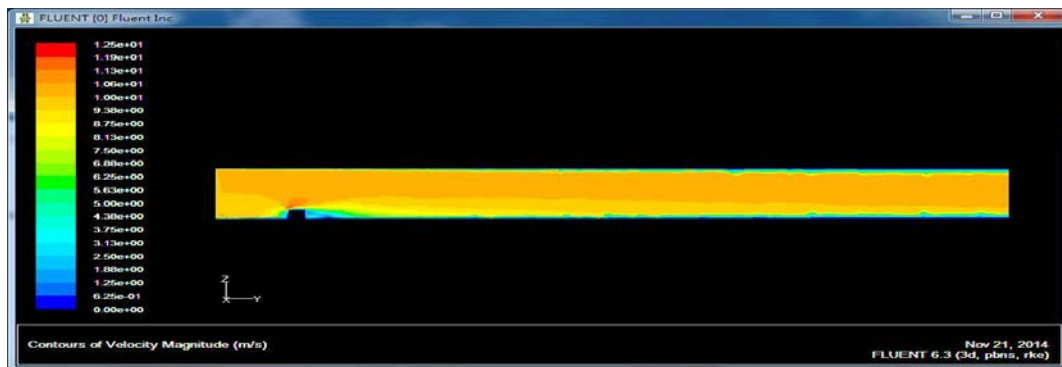


圖 2-3 以 CFD 模擬無格柵均勻流場風速剖面等值圖
(資料來源：本研究整理)

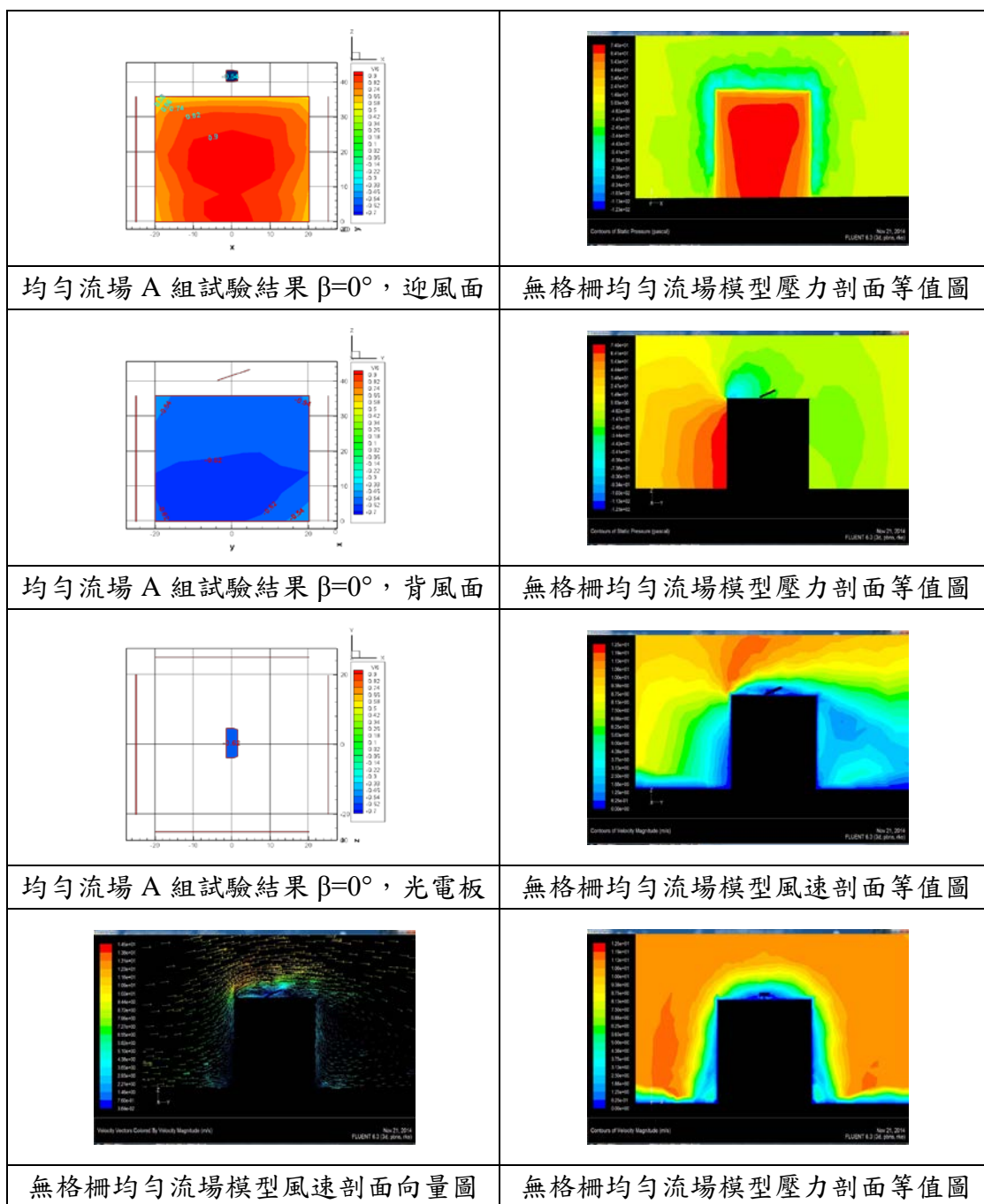


圖 2-4 屋頂突出物模型設置圖

(資料來源：本研究整理)

本研究所得，可將其壓力係數列為本研究在計算光電板的風阻係數之用。

表 2-1 屋頂突出物模型量測壓力係數表

組別	流場	β	建築物模型量測平均 風速主壓力係數 C_p		光電板模型量測平均 風速主壓力係數 C_p	
			+	-	+	-
A	均勻	0°	1.029	0.734	-	0.666
A	均勻	90°	1.028	0.723	-	0.614
A	均勻	180°	0.998	0.731	-	0.599
A	均勻	270°	0.990	0.694	-	0.639
B	均勻	0°	1.006	0.725	-	0.671
B	均勻	90°	1.013	0.733	-	0.650
B	均勻	180°	1.000	0.762	-	0.643
B	均勻	270°	0.989	0.701	-	0.655
A	紊流(30cm×30cm)	0°	1.149	1.178	-	1.178
A	紊流(30cm×30cm)	90°	1.158	1.267	-	1.146
A	紊流(30cm×30cm)	180°	1.130	1.148	-	1.042
A	紊流(30cm×30cm)	270°	1.126	1.103	-	1.236
B	紊流(30cm×30cm)	0°	1.125	1.155	-	1.328
B	紊流(30cm×30cm)	90°	1.137	1.163	-	1.248
B	紊流(30cm×30cm)	180°	1.139	1.164	-	1.081
B	紊流(30cm×30cm)	270°	1.143	1.128	-	1.248
A	紊流(10cm×10cm)	0°	2.308	1.980	-	1.786
A	紊流(10cm×10cm)	90°	2.295	1.962	-	1.685
A	紊流(10cm×10cm)	180°	2.254	2.000	-	1.523
A	紊流(10cm×10cm)	270°	2.259	2.003	-	1.737
B	紊流(10cm×10cm)	0°	2.276	1.987	-	1.639
B	紊流(10cm×10cm)	90°	2.299	1.980	-	1.659
B	紊流(10cm×10cm)	180°	2.289	1.964	-	1.346
B	紊流(10cm×10cm)	270°	2.316	1.974	-	1.702

(資料來源：本研究整理)

第二節 太陽能光電板相關研究

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)

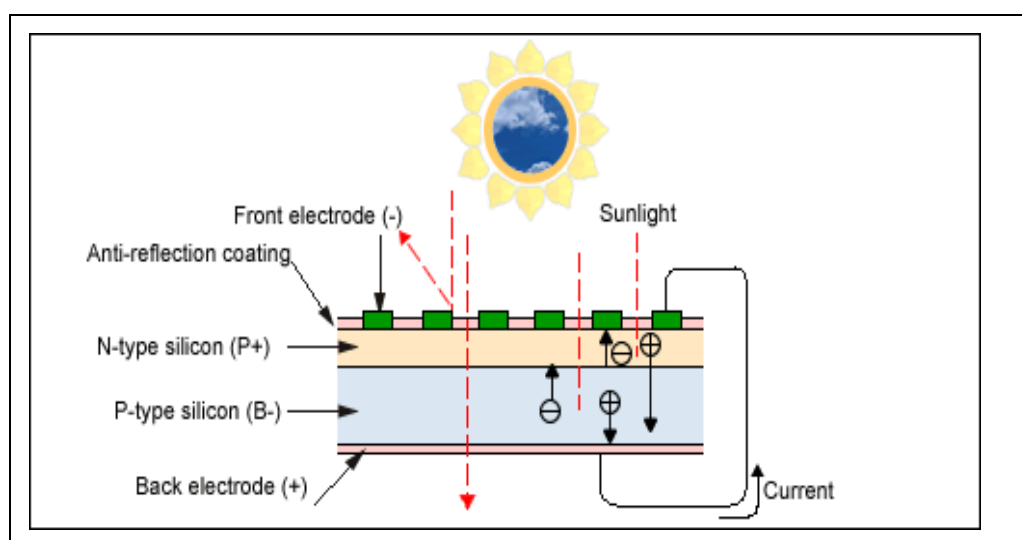
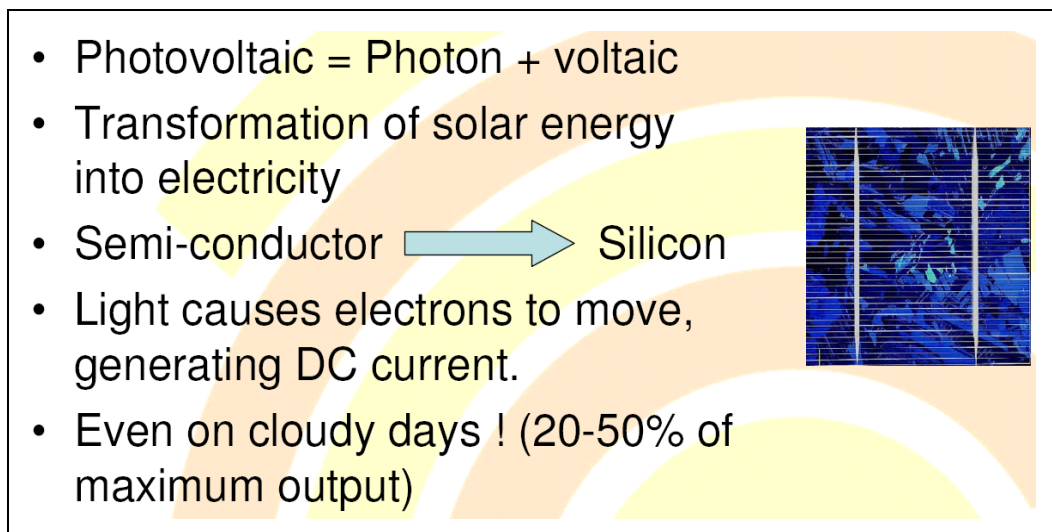


圖 2-5 太陽能電池組成原理圖

(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。

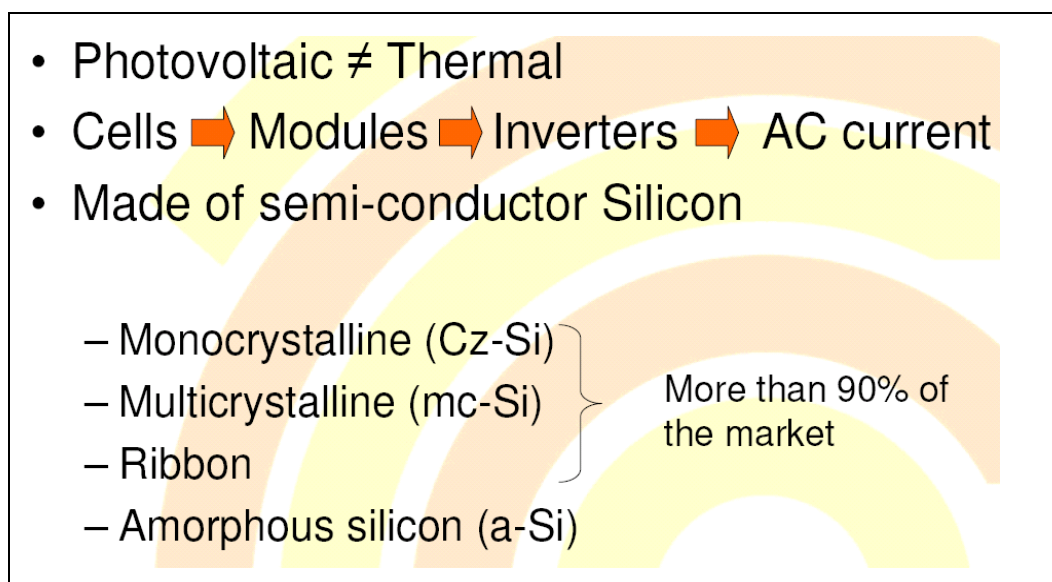


The diagram features a background of stylized sun rays in yellow and orange. On the right side, there is a small image of a blue solar panel with white grid lines. The text is arranged in a list format on the left.

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

圖 2-6 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)



The diagram features a background of stylized sun rays in yellow and orange. The text is arranged in a list format on the left. A bracket on the right groups the material types.

- Photovoltaic \neq Thermal
- Cells \rightarrow Modules \rightarrow Inverters \rightarrow 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 2-7 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)

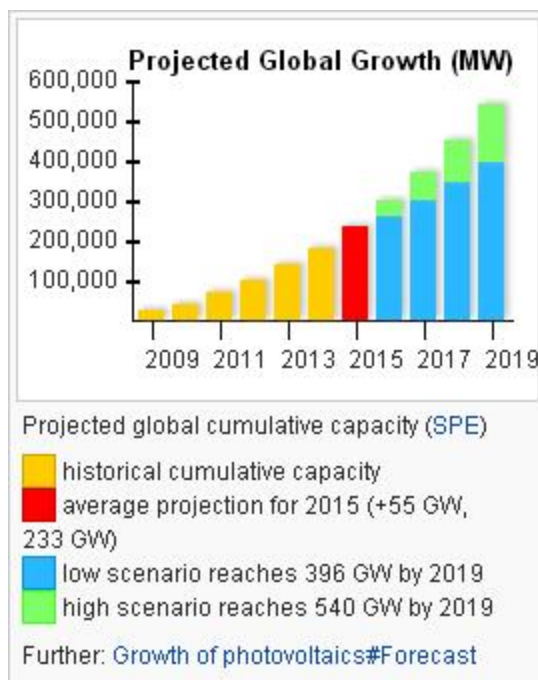


圖 2-8 全球太陽光電發展統計

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

二、太陽能模組

1. 太陽能模組介紹 (又稱太陽能電池)

(1) 單晶矽太陽能光電板

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)。



圖 2-9 單晶矽太陽能光電板

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

(2) 多晶矽太陽能光電板

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%。



圖 2-10 多晶矽太陽能光電板

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

(3) 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）。



圖 2-11 薄膜太陽能板

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

(4) 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。

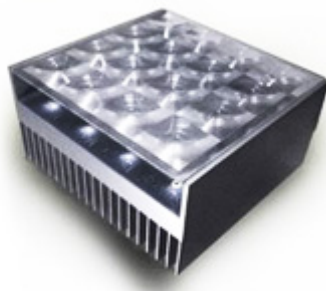


圖 2-12 聚光型太陽能電池

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

(5) 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，因此適合建材化作為建築窗材，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%。



圖 2-13 染料敏化太陽能電池

（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。

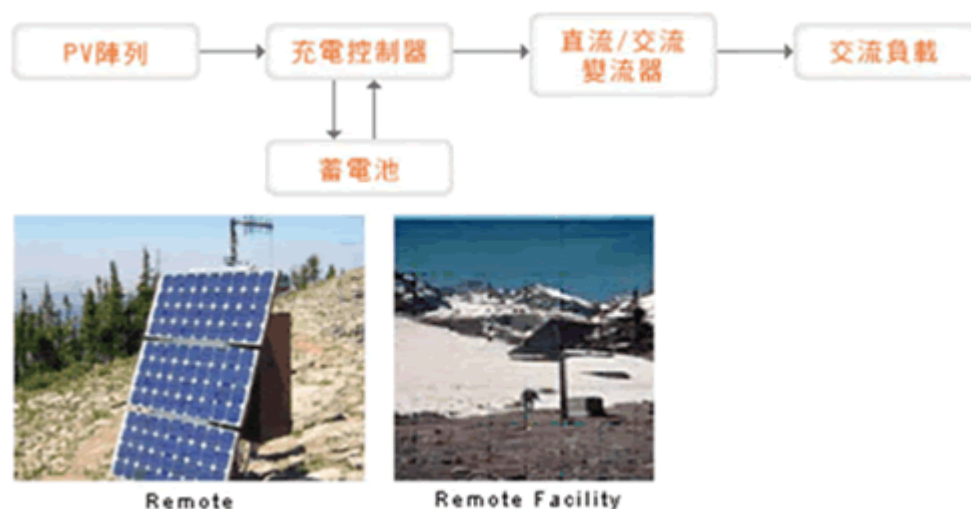


圖 2-14 獨立型系統

(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。

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。

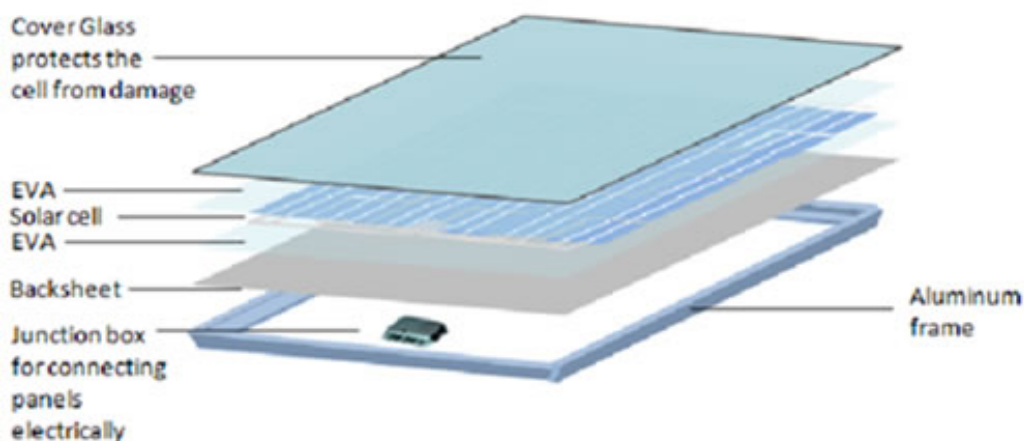


圖 2-17 太陽能模組組成

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



圖 2-18 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 CO₂... 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 ¹⁴
UV Cutoff Wavelength	nm	360
Adhesion to glass	N/10 mm (lb/in)	70-88 (40-50)

圖 2-19 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。

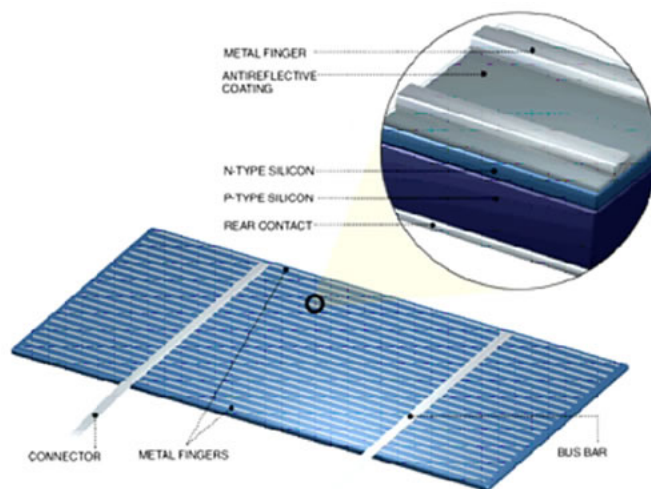


圖 2-20 太陽能電池

(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。

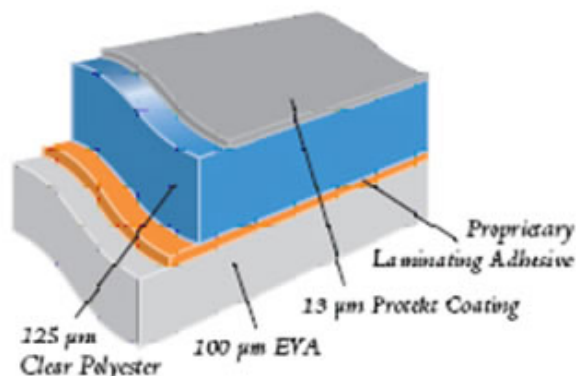


圖 2-21 太陽能光電板背板組成

(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。

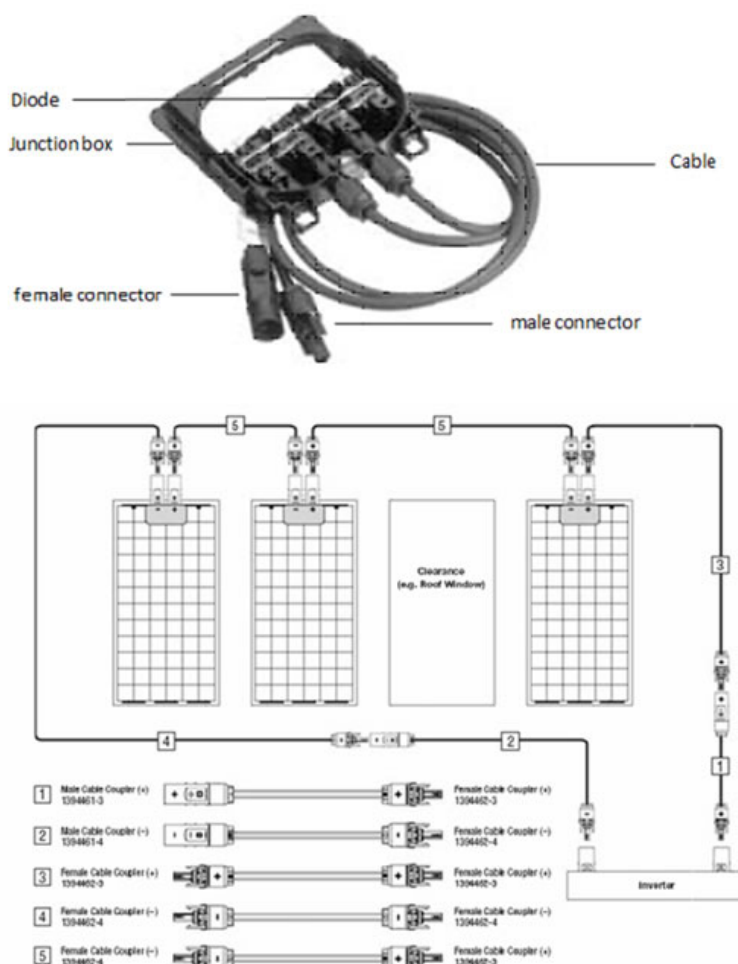


圖 2-22 太陽能光電板接線盒組成

(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。

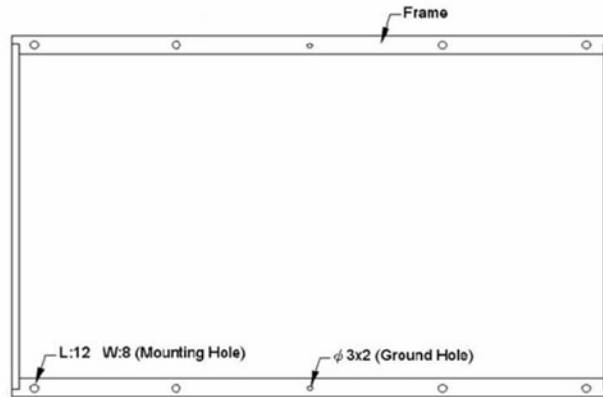


圖 2-23 太陽能模組框架

(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。

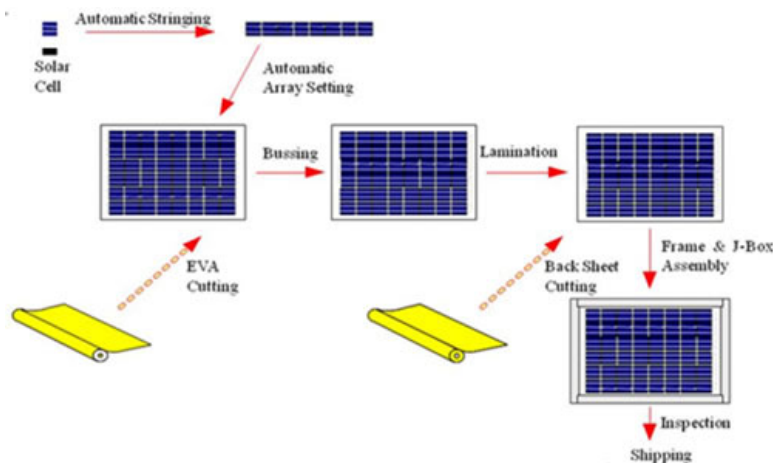


圖 2-24 太陽能模組產品製成

(資料來源：

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

二、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屋頂上方。相關種類如下圖所示。



圖 2-25 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

亦是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。



圖 2-26 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。



圖 2-27 常見屋頂支架型

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

三、建物附屬設施

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。

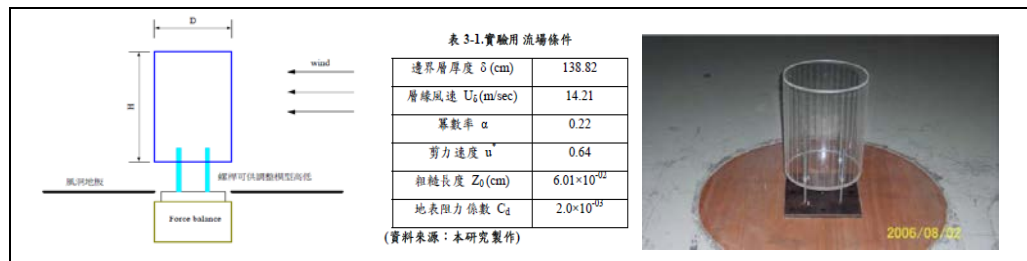


圖 2-28 水塔構造物氣動力試驗

(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. 臺灣地區小型風力發電應用於中高樓層建築之法制化可行性研究（陳旭彥，江哲銘，2008）。

研究透過實際案例監測與數值模擬（PHOENICS），探討小型風力發電機設置可行性，及與建築物結合對環境與施工之影響，並建立相關設置準則供法規修訂參考

3. 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° , while the maximum suction (negative net pressure) occurs when the relative wind direction is 180° , 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° 時有最大風載重，而 180° 有最大吸力（負風壓）。



圖 2-29 屋頂型太陽能追蹤器

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

4. 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 2-30 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)

5. 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%。

6. 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.

7. 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：

For applications of solar thermal energy, solar water heaters (SWHs) are becoming common. In this study, the effect of a cross wind on the aerodynamic characteristics of residential (an inclined flat plate with a horizontal cylinder) and large-scale SWHs (an inclined flat plate only) are experimentally investigated. The tests are conducted in a low speed wind tunnel and the relative wind direction with respect to the test model, β , ranges from 0 to 135-deg. Measurements of the mean and fluctuating pressures are presented. These results demonstrate that higher suction and fluctuating pressure are observed near the upwind corner, particularly for the test case of $\beta = 30$ deg.

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。

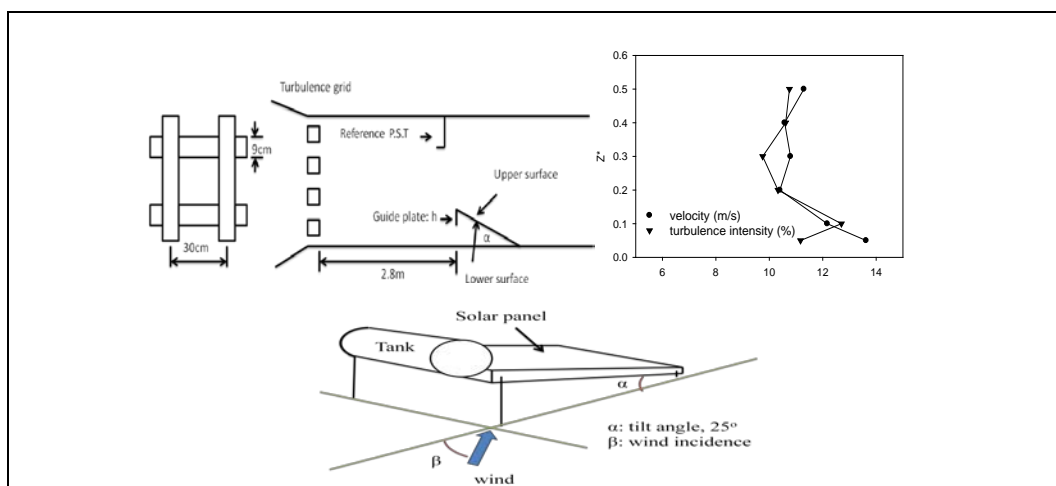


圖 2-31 太陽能板風力負載特性分析研究

(資料來源：太陽能板風力負載特性分析研究)

8. 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。

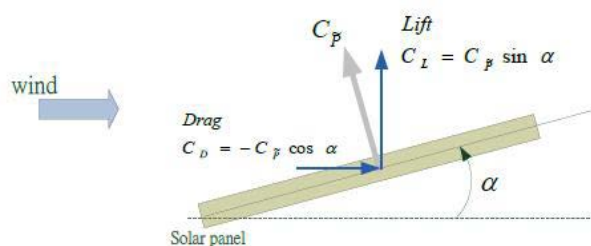


圖 2-32 太陽能板所受風力示意圖

(資料來源：太陽能板設置於不同斜屋頂上所受風壓之初探)

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° 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° 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)

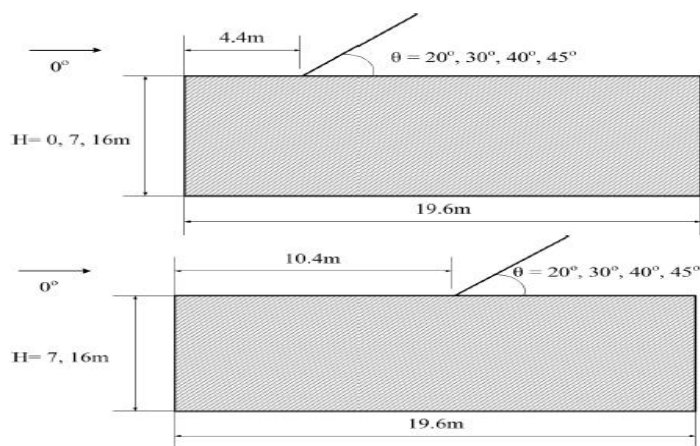
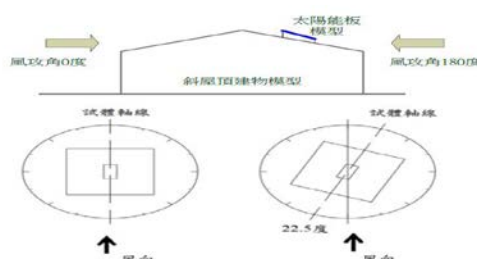


Figure 4.4.1 Elevation of building models with inclined solar panels attached

圖 2-33 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。

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, $C_{p_{bot}}(t)$, at the same locations

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

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

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

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

圖 2-36 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。

16. 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° 、 90° 、 180° 下, 最大風速 60m/s 時, PV Panel 與支架結構的耐風能力。

Abstract

The mounting structure of photovoltaic (PV) panel must be designed to withstand wind-induced loads; however, there are no standards about wind load requirements for PV panel mounting structure in Taiwan. Since Taiwan lay in the path of typhoons, the PV panel mounting structure should be able to withstand the massive loads resulting from severe typhoons. In this study, the safety of a new designed stand-alone ground-mounted PV array mounting structure subjected to high wind loads was investigated by fluid-structural interaction analyses. The inclination angle of PV panel considered is 30 degree in this study. The design wind speed is 60 m/sec and the wind loads were evaluated under three different incident directions (0° , 90° and 180°). CFD analyses were used to calculate the aerodynamic forces acted on PV panel and mounting structure and then these forces were applied to the finite element model of PV panel and mounting structure for structure analyses. The critical regions of components of mounting structure were identified and the weak regions which could not meet the requirement were redesigned to improve the reliability. The analyses results showed that the Von-Mises stress in critical region was the smallest under the wind with incident direction of 90° , and the wind with incident direction of 180° applied the highest wind load on the structure thus the Von-Mises stress in critical region is the highest. However, according to current design, the maximum Von-Mises stress in all components of mounting structure is below the yield stress of the materials of these components under all loading cases.

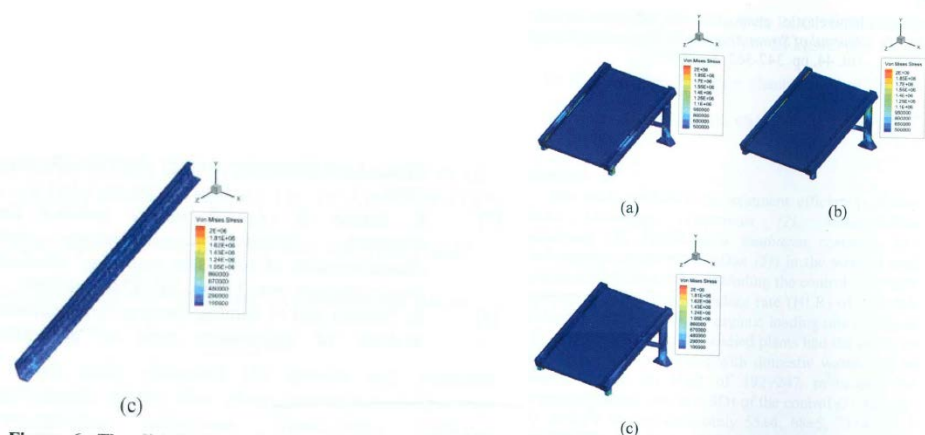


Figure 6: The distribution of Von-Mises stress of C-shape part of mounting structure due to 60m/sec wind load with (a) 0° , (b) 90° and (c) 180° incident directions.

Figure 5: The distribution of Von-Mises stress of mounting structure due to 60m/sec wind load with (a) 0° , (b) 90° and (c) 180° incident directions.

圖 2-37 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)

第三節 風力與建築物相關理論

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 μ 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 ρ 、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 ρU^2 。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。

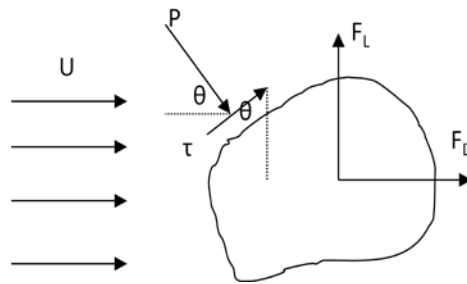


圖 2-38 作用於物體的壓力與剪應力

(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 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。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， ρ 為空氣的密度。在大氣壓力及溫度 20°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 m/s ，若風壓係數 $C_p = 1.0$ ，則在每平方公尺的面積上約有 100kgf 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， μ 為流體動力黏滯係數， ν 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： ρ 為空氣密度，風速單位為 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 2-2 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 (N/m^3)
20	1.204	1.51	12.02
30	1.165	1.60	11.81
40	1.127	1.69	11.43

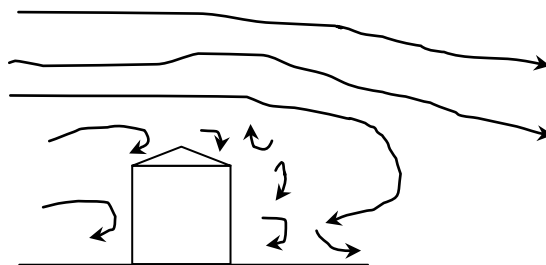


圖 2-39 建築物表面風壓分佈示意圖

(資料來源：本研究整理)

第四節 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 2-3 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: %) 管制規則容積率規定(實際容積率: %)	
		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 (簽名或蓋章) 以上資料由本建築師/土木技師/結構技師簽證負責			開業/執 業圖戳	
中 華 民 國 年 月 日				

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

表 2-4 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 2-5 太陽光電發電設備工程完竣證明書

太陽光電發電設備工程完竣證明書	
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	
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。

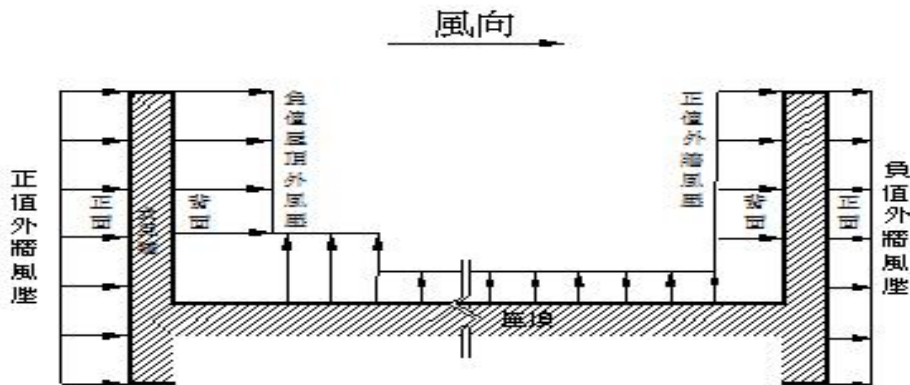
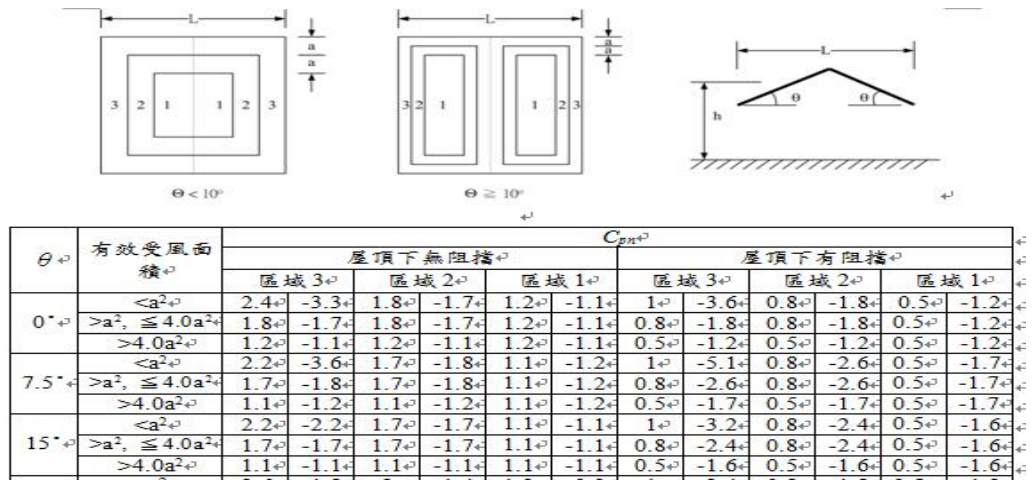
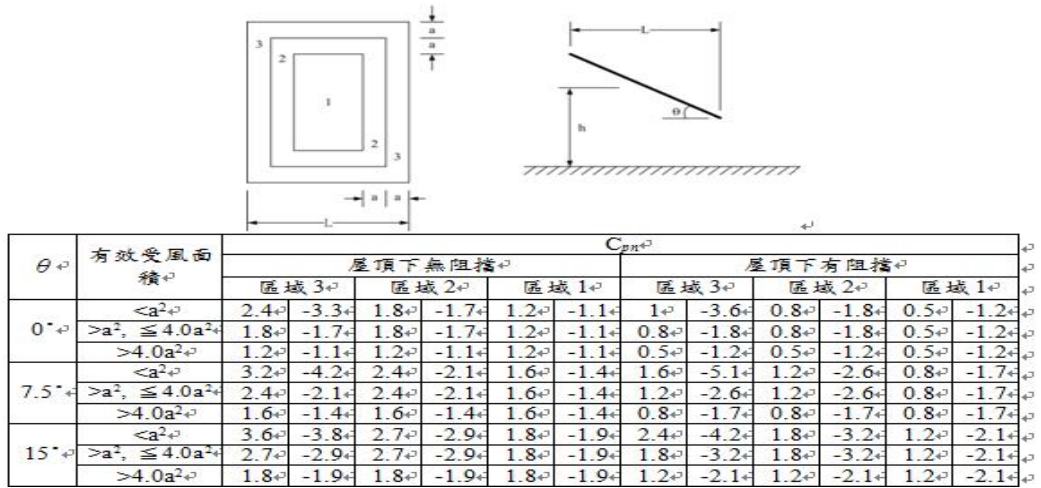


圖 2-40 建築物耐風設計規範有關風壓分佈
(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

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， 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。

圖 2-41 煙囪、水塔風力係數表

(資料來源：建築物耐風設計規範及解說)

五、 建築整合型太陽光電發電設備示範獎勵辦法

修正日期：民國 103 年 08 月 13 日

第 1 條

本辦法依再生能源發展條例（以下簡稱本條例）第十一條第二項規定訂定之。

第 2 條

本辦法所稱中央主管機關為經濟部。

中央主管機關得視業務需要，將本辦法有關建築整合型太陽光電發電設備認可及獎勵補助之受理、審查、核定、查驗、撤銷及廢止與其相關業務事項之全部或一部委任經濟部能源局或委託其他專業機構辦理。

第 3 條

建築整合型太陽光電發電設備應符合下列條件，始得認可：

一、以下列方式之一設置而與建築物整合以取代全部或部分建材，且移除後將致建築物功能減損者：

（一）頂蓋式：太陽光電模組直接作為全部或部分之頂蓋建材，具供建築物封閉、覆蓋及防水功能（如附件一頂蓋式）。

（二）帷幕式：太陽光電模組直接作為帷幕牆之全部或部分建材，並具供建築物封閉及防水功能（如附件一帷幕式）。

（三）其他經中央主管機關認可之設置方式。

二、總裝置容量超過十（峰）瓩，不及五百（峰）瓩。

三、屬新品設備。

四、設置成本須高於申請受理年度中央主管機關公告屋頂型太陽光電發電設備電能躉購費率採用參數之期初設置成本。

前項建築物，須符合建築法第四條規定，且非以軟質塑膠布、硬質塑膠或其他易於拆卸之建材完整包覆。

第 4 條

符合前條規定者，得填具認可申請表（附件二）並檢附下列文件，向中央主管機關申請：

一、設置計畫：含裝置容量、模組及變流器之型號及規格、電力品質、系統安全、配置說明、維護規劃。

二、申請人身分證明文件。但申請人為政府機關、公立學校及醫院，得以機關函文為之。

三、建築整合型太陽光電發電設備設置圖說。

建築主管機關核發之建造執照影本。

五、設置建築整合型太陽光電發電設備建築師設計簽證表（附件三）。

六、總購置費用明細及每（峰）瓦平均成本之預算書（附件四）。

其他經中央主管機關指定之相關文件。

第 5 條

前條申請案經審查通過者，中央主管機關應核發認可文件；其記載事項如下：

一、申請人。

二、建築整合型太陽光電發電設備之設置型式。

三、計畫設置之發電設備數量、總裝置容量及設置場址。四、其他依法應履行之事項。

前項審查，中央主管機關得遴聘相關機關（構）代表及專家、學者三至七人擔任審查委員審議。

第一項第一款至第三款記載事項，不得變更。但有正當理由且經中央主管機關核准者，不在此限。

第 6 條

取得認可文件之太陽光電發電設備，其購置獎勵補助金額每（峰）瓦以新臺幣五萬元為上限核計。但每一申請案獎勵補助總額不得超過新臺幣一千萬元。

前項太陽光電發電設備生產之電能適用本條例第九條規定之躉購費率者，其獎勵基準不得超過其每（峰）瓦設置成本及中央主管機關訂定屋頂型太陽光電設備電能躉購費率計算參數採用之設置成本之差額。

第 7 條

取得認可文件者，得於與經營電力網之電業併聯後，填具示範獎勵補助申請表（附件五）並檢附下列文件，向中央主管機關申請示範獎勵補助：

- 一、建築整合型太陽光電發電設備認可文件影本。
- 二、再生能源發電設備同意備案證明影本。
- 三、設置建築整合型太陽光電發電設備竣工簽證表（附件六）。
- 四、總購置費用明細及每（峰）瓦平均成本之決算書（附件七）。
- 五、經營電力網之電業核發之完成併聯通知文件影本。
- 六、其他經中央主管機關指定之相關文件。

第 8 條

申請文件有下列情形之一者，中央主管機關得通知申請人於三十日內補正：

- 一、申請文件不符第四條或前條規定。
- 二、由代理人申請，未附具委任書。
- 三、其他經中央主管機關認為應予補正。

申請案有下列情形之一者，中央主管機關應不予受理：

- 一、未取得認可文件。
- 二、經依前項通知補正，逾期未為補正或補正不完全。
- 三、非由認可文件記載之申請人或其代理人申請。

第 9 條

中央主管機關審查本辦法之申請示範獎勵補助案，準用第五條第二項規定。申請示範獎勵補助案經二分之一以上出席委員審查通過者，中央主管機關得核定其設置計畫及每（峰）瓦獎勵補助金額上限。但實際撥付金額，依獎勵補助金額領據為準。

第 10 條

申請人應自示範獎勵核定之日起一年內，依其計畫內容完成發電設備之設置，及取得電業執照、自用發電設備登記證或設備登記函，並向中央主管機關請領獎勵補助金額；逾期未請領者，視為放棄獎勵。

申請人未能於前項期間完成發電設備之設置及請領獎勵補助金額者，得於該期限屆滿前一個月內，以書面敘明理由向中央主管機關申請展延一次，展延期間不得超過一年或再生能源發電設備設置管理辦法所定應取得電業執照、自用發電設備登記證或申請設備登記之期限。

第 11 條

申請人依前條規定請領示範獎勵補助金額，應檢具下列文件：

- 一、領款申請書（附件八）及經核定之設置計畫。
- 二、獎勵補助金額領據（附件九）。
- 三、發電設備製造商出具之新品保證書。
- 四、經註冊會計師簽證後之建築整合型太陽光電發電設備支出憑證。
- 五、中央主管機關核定之電業執照、自用發電設備登記證或再生能源發電設備登記函影本。
- 六、其他經中央主管機關指定之文件。

第八條規定，於前項申請案件準用之。

第 12 條

示範獎勵補助經費預算經立法院刪減（除）或凍結時，中央主管機關得視實際情形刪減（除）示範獎勵補助經費。

年度預算用罄時，中央主管機關得不受理當年度示範獎勵補助申請。

第 13 條

本辦法所需經費，由再生能源發展基金支應；中央主管機關每年應公告獎勵之額度。

第 14 條

受示範獎勵補助者自受領獎勵補助金額之日起五年內，應遵守下列事項：

- 一、非經中央主管機關同意，不得將發電設備轉讓、拆除或遷移。
- 二、發電設備損壞且無法修復者，應具明理由向中央主管機關報備。
- 三、逐年編具運轉資料年報，送中央主管機關備查；並依中央主管機關之通知，補充或說明其資料。

中央主管機關於前項期間內得派員查核發電設備設置及運轉情形，受示範獎勵補助者不得規避、妨礙或拒絕。

第 15 條

受認可或示範獎勵補助者申請文件如有虛偽不實、違法或現場查驗有未依核准圖說施工且無法改善之情事，中央主管機關應撤銷其認可或示範獎勵補助之核定。

受示範獎勵補助者有下列情形之一者，中央主管機關得廢止其示範獎勵補助核定之全部或一部：

- 一、設置或使用情形與核定之設置計畫內容不符，且情節重大。
- 二、違反前條第一項各款之一或第二項規定，經限期改善而未改善。

依前二項規定撤銷或廢止認可或示範獎勵補助之核定，受認可或示範獎勵補助者三年內不得再申請。

第 16 條

本辦法自發布日施行。

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。

第五節 其它相關

一、災害預防

有關屋頂突出物是否會因為颱風地震影響所產生的災害問題，曾由相關民代提案。

臺北市議會第 11 屆議員書面質詢用紙

質詢日期：中華民國 102 年 12 月 23 日

質詢議員：林○○

質詢對象：建管處

質詢題目：磁磚掉落危險，冷氣機、水塔掉落就不危險？不該等天外飛來橫禍才來想辦法！

說明：

一、半年 3 起磁磚掉落砸傷路人，引起郝市長震怒，並要求建立「檢舉獎金」制度。

冷氣機、水塔沒有連環掉落，就不會被重視嗎？

二、本席從民國 92 年起多次質詢，冷氣機滴水只會弄髒路人、環境，卻能開罰，而老舊公寓大廈不論是窗型冷氣或是分離式冷氣的室外機，都是機身以鐵架外掛壁體，經年累月的日曬雨淋，導致鐵架生鏽而搖搖欲墜，不僅影響景觀，更可能發生冷氣掉落砸傷人的意外，卻沒有任何因應措施。莫拉克風災時，就曾發生強風吹落冷氣傷人意外。本席多次建請市府必須研擬相關辦法，宣導民眾定期檢修鐵架，或把窗型冷氣機身部份移到室內，或將分離式冷氣的室外機放於陽台內，相關單位至今沒有回應。

三、舊建物住戶更換儲水設施，大都保留舊水泥水塔，再於其上放置不鏽鋼水塔，或是放於屋頂突出物上，因此不鏽鋼水塔的位置就會超高，且多在屋頂的女兒牆邊，若遇颱風或地震，都可能凌空而降。民國 98 年 12 月 29 日台北市四級地震，就發生兩件公寓頂樓的金屬水塔掉落地面，壓毀 2 部車，好在沒人員傷亡。建物屋頂一個個水塔，如同一顆顆不定時炸彈，本席一再呼籲市府要及早防患，也未得到任何回應。

四、大樓磁磚脫落砸人，郝市長震怒說，「市府可保證外來旅客到北市的安全，卻無法保證『從天外來橫禍』，很荒唐！」本席認為，對於冷氣、水塔若不再事先防範，郝市長的這句話勢必還要再說。郝市長指示即日起要對屋齡逾 30 年的大樓總體檢，本席要求公寓大廈必須同時體檢冷氣外掛及水塔放設位置，勿等憾事發生再來檢討。

圖 2-42 相關災害預防資料

(資料來源：台北市議員林○○提案內容

http://tcc0725.tcc.gov.tw/onweb.jsp?webno=3333333327&webitem_no=453)

二、新聞報導

依據蘋果日報 2014 年 02 月 15 日報導：

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，尤其是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。



圖 2-43 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。

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

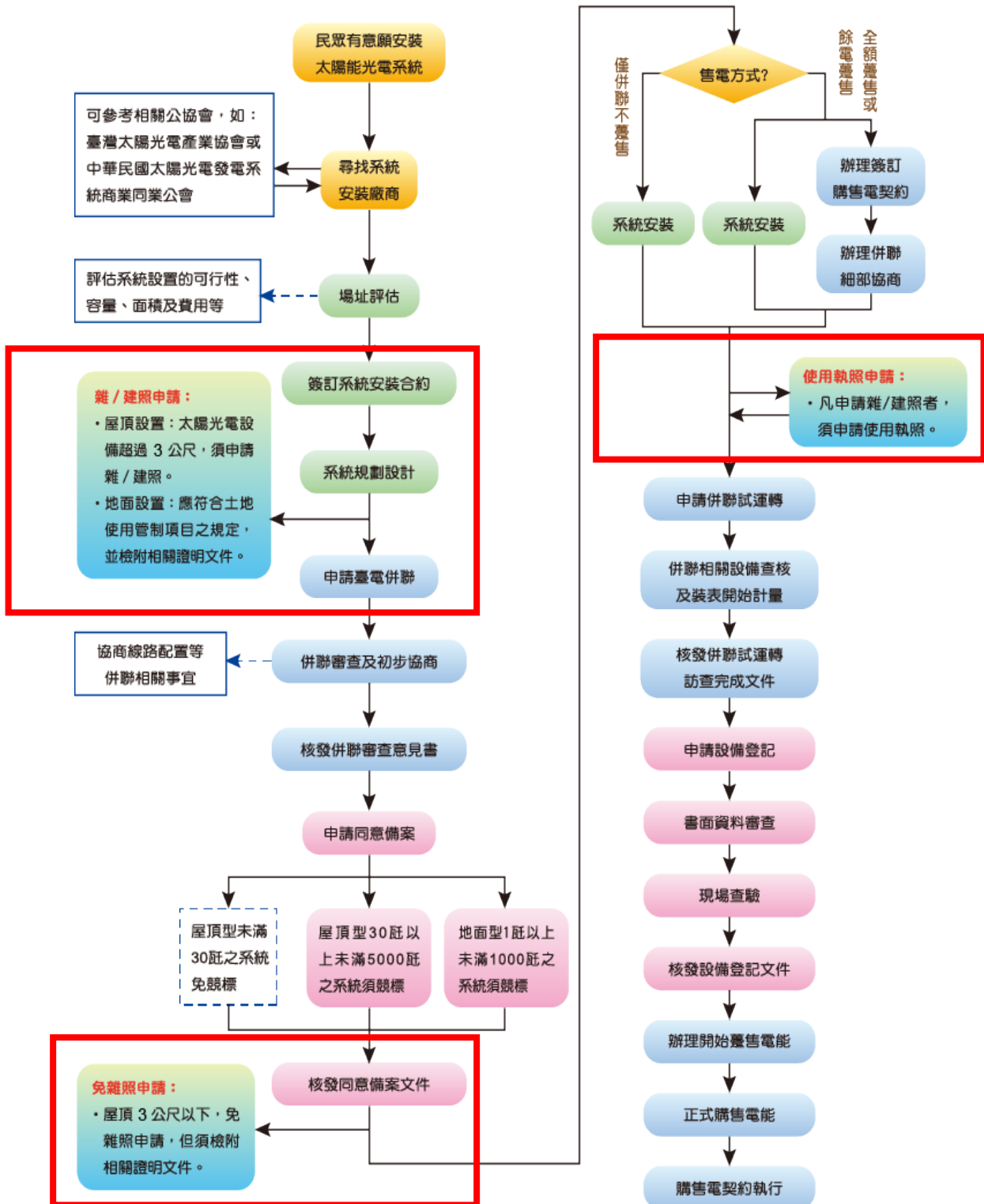


圖 2-45 主要申請流程

(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。

圖 2-46 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。

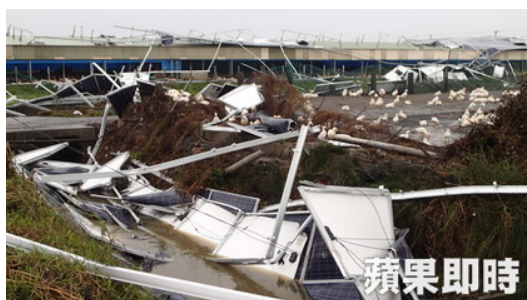
謝忠賢說，他貸款 1500 萬裝太陽能，並和太陽能商約定另積欠 1500 萬，發電後逐清償，如今太陽能廠商已先協助清除道路上的太陽能板，並告知該公司有保險，會負責復原，不過颱風的震撼力，已讓他驚嚇不已。

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

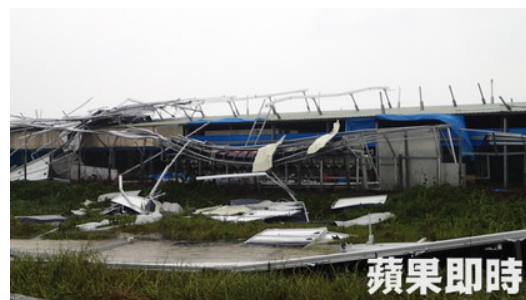
台電重視，以免出人命。謝忠賢說，鴨子特性是受到驚嚇會無`法下蛋，估計要一個月後才能復原，且目前因鴨場停電，也無法抽取地下水，等於停水、停電狀態，但這個月期間仍要持續付出飼料成本，因此損失難以估計，由於全國各地鴨場都有程度不一損失，情況若嚴重，鴨蛋恐漲價。（俞泊霖／彰化拍攝報導）

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。

圖 2-47 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。

圖 2-48 蘋果日報照片

(資料來源：蘋果日報網站)

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。本研究試驗在第一測試區中採均勻流場進行，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：

(一) 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)

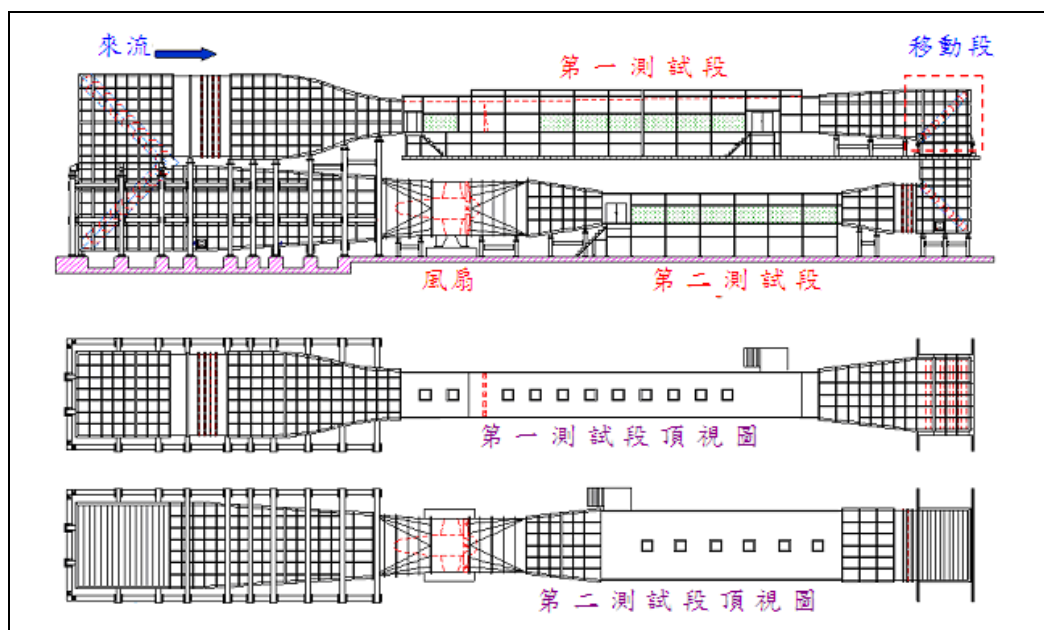


圖 3-2 風洞本體圖

(資料來源：本研究整理)

(二) 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°C to 60°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汙染儀器。



類比/數位訊號控制基座模組電子式



壓力掃描模組



電磁式氣閥



類比/數位訊號控制基座之電源供應器



USB 延長裝置



USB 延長裝置之電源供應器



外接電源供應器(電磁式氣閥用)



外接氣體壓力源

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)

(三) 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。

2. 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

(一) 模型製作

依據期初會議結論與建議，本研究設定在以符合實際狀況居多之建築物為主，並以國內常用屋頂型太陽能板型式，並依據文獻資料建立試驗縮尺模型。

1. 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○公司為國內生產的 XS-72 系列的產品單元長 1956mm×989mm 為參考（如圖 3-7），再依據去（104）年度期末審查委員建議，採用一組 6 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 200mm×10mm 的壓克力板製成，同時採用 C 型鋁擠型材料，模擬光電板扣件及支架，並在光電板上間隔約 2cm 預留壓力孔，經過排列，長向有 9 排，短向 4 排，一個單元有 36 個壓力量測孔，一組共計有 216 個孔位，由此進行密集風洞試驗。
2. 考量縮尺比例，以低矮建築為主，另參考內政部（營建署）制訂住宅及附屬建築物建築工程標準圖 204 及 207 型的型態，建構時將矩型建築物樓高以一般標準樓層（3m）起計，選用 3 層樓即長 10m×寬 10m×高 9m 之矩形建築物，並且設計可升降型的模型，在屋頂上方設置 0.8m 高（模型高 8cm）的女兒牆，以利探討女兒牆的影響差異；而斜屋頂建築物同樣以高長 10m×寬 10m×高 9m 為原則，至於斜屋頂的傾斜角度則依照該標準圖的比例，以 10：3 的角度來設置。
3. 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。為了模型製

作上的便利，本研究選用傾（仰）角 15、20 及 25 度（ α ）為試驗條件，模型經縮尺後，如下圖 3-5 至 3-9 所示。安裝方式以在 3 種常見屋頂上方設置型態為主，分為有女兒牆、無女兒牆變化光電板 3 種傾斜角度（15°、20°、25°）變換不同支架高度（平放於屋頂面、架高最高 1m），以及斜屋頂等 3 種模型，屋頂傾斜角度為 $\alpha = \tan^{-1}(3/10) \approx 16.7^\circ$ 。

4. 至於支架高度則選用低於 3m 的方式並以縮小尺寸鋁擠型固定來進行模擬，該高度可隨光電板傾仰角（ α ）調整，當 $\alpha = 25^\circ$ 時，後段支架為最高近 8cm，換算實際尺寸為 0.8m。本研究的支架模擬以模擬形式為主，對於支架的細節與正確尺寸，則不在本次的探討範圍。
5. 考量過去相關研究，變化不同來流風向角 β （與來平行 0° 、反向平行 180° 、 45° ），量測並探討迎風、背風、角隅等 3 處壓力。
6. 光電板的設置位置，在矩型建築物部分，以建築物屋頂前緣中間位置為主，斜屋頂在於預設迎風面處架設。
7. 由於建築的型態以矩型為主，而去（103）年業就矩型建築物風壓量測及模擬，瞭解迎風及背風壓力情形，因此，今年度的模型就不再重複量測，而將重點著重於光電板的部分。至於斜屋頂的部分，該屋頂下方建築型態亦和矩型建築物同，所以該部分也直接引用，作為後續進行分析。
8. 再透過計算分析，比對國內外文獻，計算推導出風阻形狀係數 C_p 、 C_D 、 C_L 。

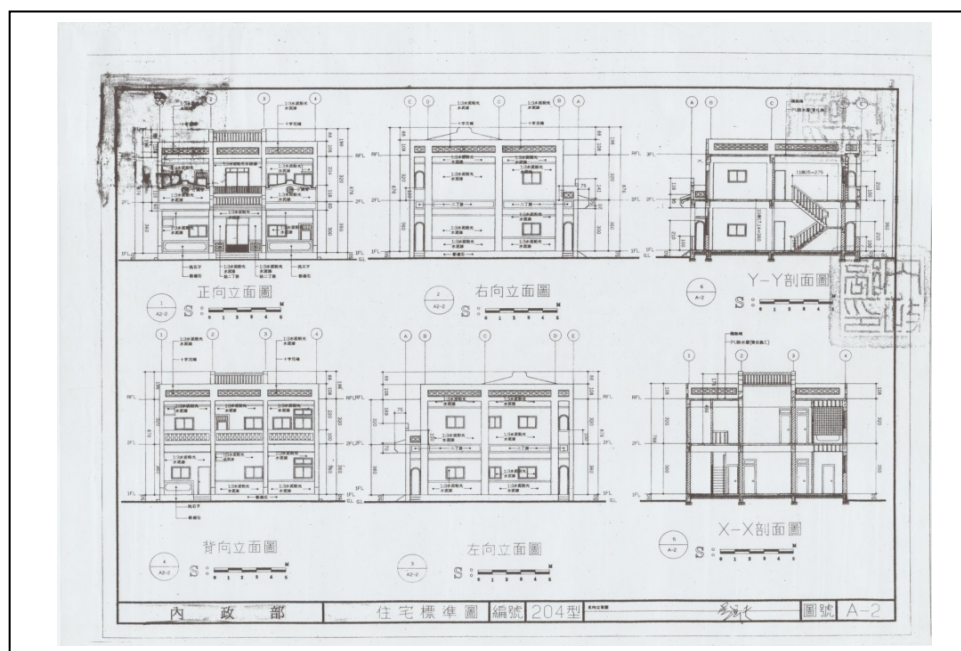


圖 3-5 矩型建築物主體模型參考標準圖 204 型
（資料來源：本研究整理）

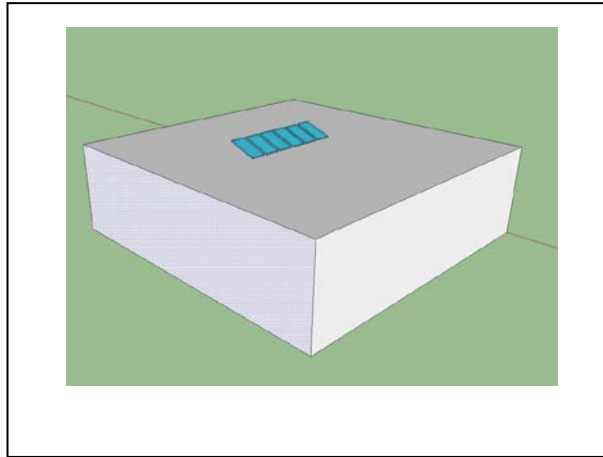


圖 3-8 A 組矩型建築物築物主體模型圖
(資料來源：本研究整理)

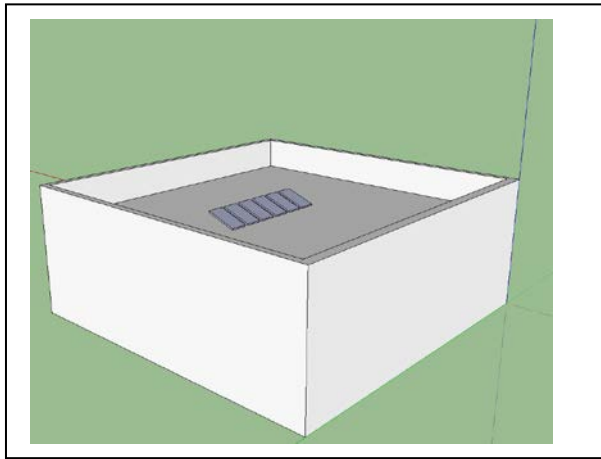


圖 3-9 B 組矩型建築物-含女兒牆主體模型圖
(資料來源：本研究整理)

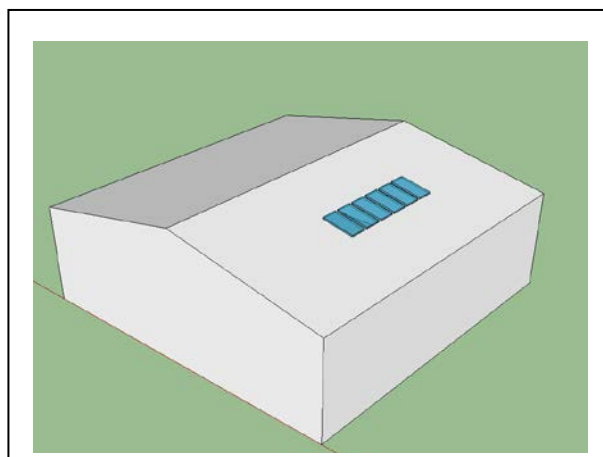


圖 3-10 C 組斜屋頂建築物主體模型圖
(資料來源：本研究整理)

(二) 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與風洞的通風面積比值(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:

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

其中

ε_t : 總修正係數 (Total Blockage)

ε_{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 m², 模型面積 A_m 為:

風攻角角度 0° 或 180° 時, A、B、C之 A_m 為 0.9m(H)×1.0 m(W)=0.9 m², 二者比值為 $A_m / A_s = 0.08 < 0.1$, 所以本研究之模型縮尺(1:20), 不受阻塞效應影響。

惟風攻角角度 45° 時, 截面積的 W 會形成 1.41m, 此時模型面積 $A_m = 0.9\text{m(H)} \times 1.41\text{ m(W)} = 1.269\text{ m}^2$, 則二者比值為 $A_m / A_s = 0.122 > 0.1$

此時的風速應該修正為

$$V_c = V_A \times [1 + 1/4(1 + 0.122)] = 1.281 V_A$$

不過由於本研究主要在探討光電板的風壓量測, 因此, 將風速計架設在光電板模型同高的位置, 對於建築物模型阻塞比影響, 即暫不考量。

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，並考量未來可進行光電板不同角度之壓力分佈，將支架設置為可調整式，至於光電板的排列方式，則以常見的 6 片組立方式進行，當然，也考量後續研究的便利性，組立方式也可改為 3 片為一組的，共計 2 組的方式進行。至於壓力孔位（可連接 0.04” 的壓力管線），如前述每個光電板單元設置計有 36 個孔位，6 個立面共計 216 個孔位。光電板相對位置如圖 3-14

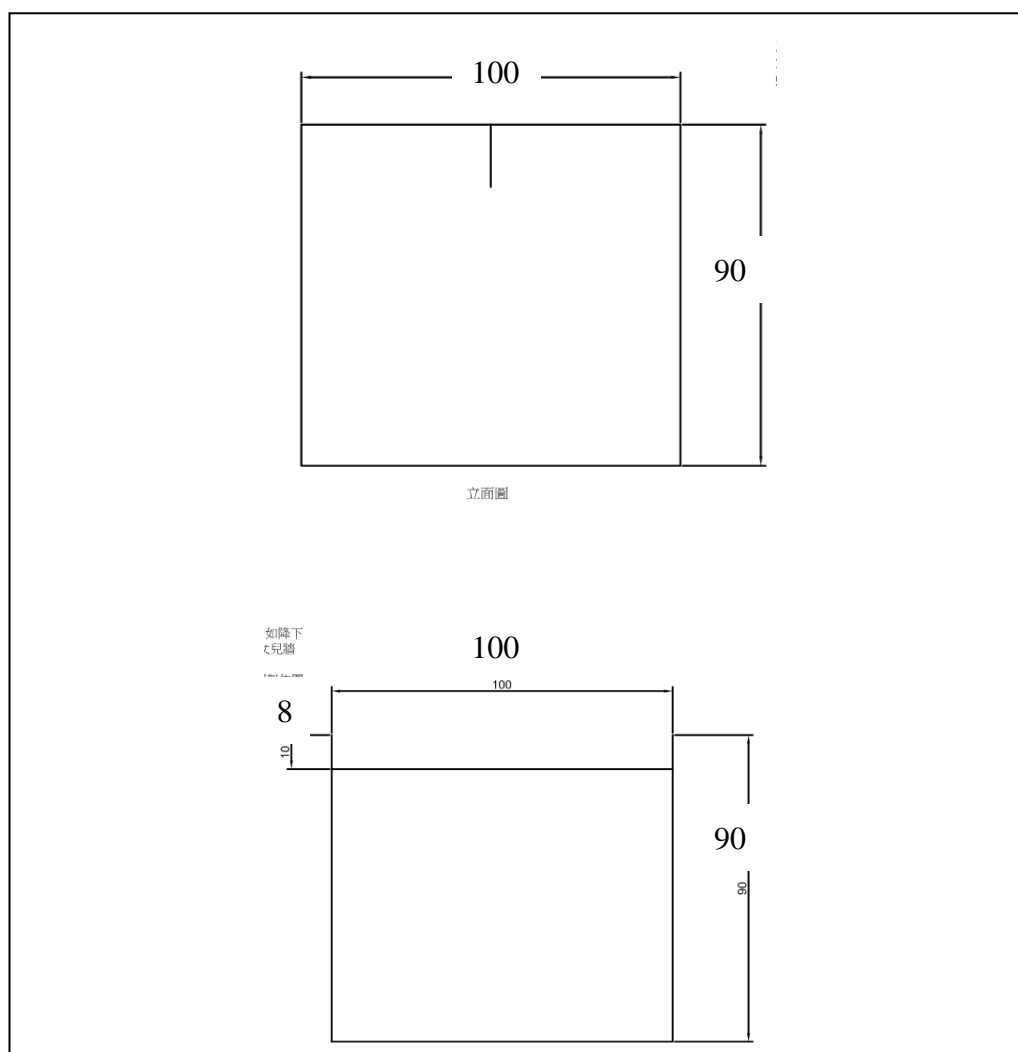


圖 3-11 矩型建築物與女兒牆模型圖

(資料來源：本研究整理)

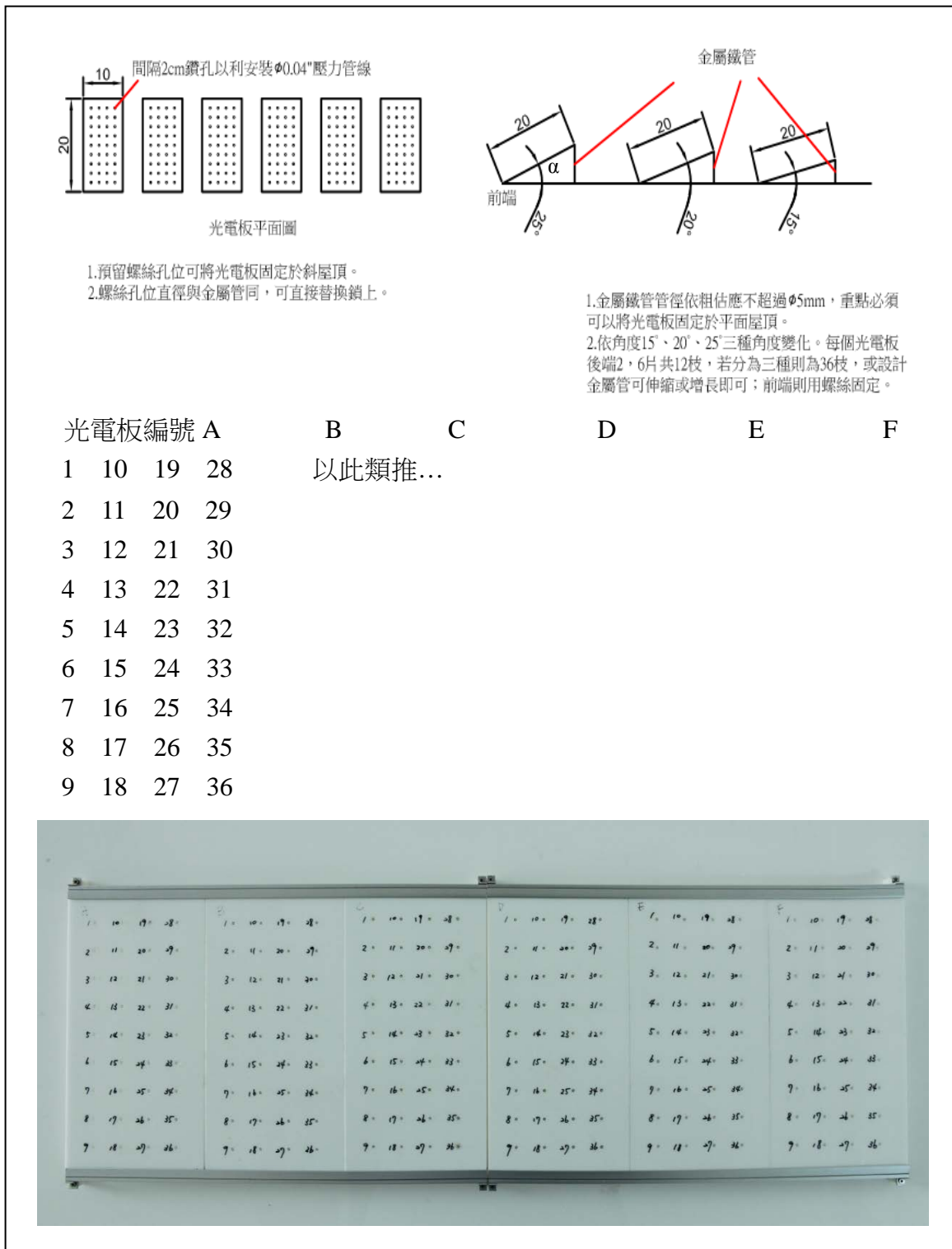


圖 3-12 太陽能光電板模型壓力孔位

(資料來源：本研究整理)

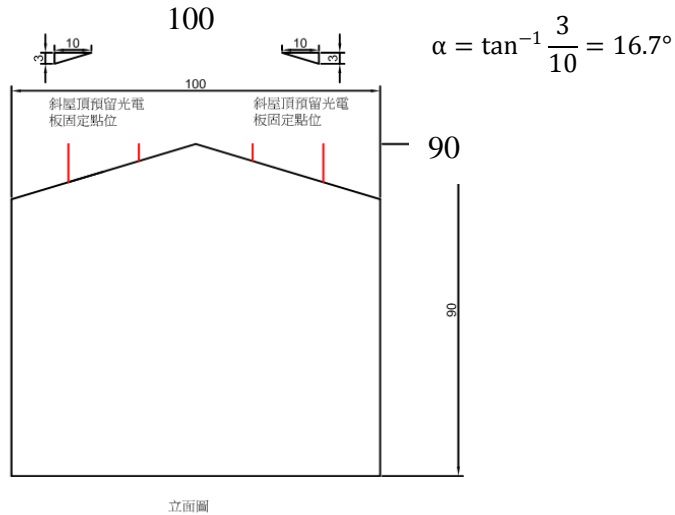


圖 3-13 斜屋頂與太陽能光電板位置圖

(資料來源：本研究整理)

(三) 試驗重點

本研究重點著重於藉由壓力量測與風阻係數推算，如要探討光電板的材質與支架結構型態的抗風能力，需考量不同材質的光電板與支架來進行材料模擬，因此，在本研究期程內，將先就不同風向角對光電板模型風壓分布變化進行量測，尤其是迎風、背風及角隅位置，所以規劃來流角度有 0 度（迎風）、45 度（角隅）、180 度（迎風）等 3 種，同時變化光電板傾（仰）角 15、20 及 25 度（ α ），並依將規劃 3 種建築物型態（即矩型、矩型含女兒牆、斜屋頂等），並藉由 5m/s、10m/s 不同風速，分組探討風壓分布與影響。

表 3-2 試驗條件

項目	內容								
建築物類型	A 矩型建築物			B 矩型建築物 含女兒牆			C 斜屋頂建築物		
設定風速 V(m/s)	5		10	5		10	5		10
風向角 β	0°	45°	180°	0°	45°	180°	0°	45°	180°
傾仰 α 角	15°	20°	25°	15°	20°	25°	16.7°	16.7°	16.7°
光電支架模型高度 cm	$20\sin \alpha$	$20\sin \alpha$	$20\sin \alpha$	$20\sin \alpha$	$20\sin \alpha$	$20\sin \alpha$	平貼	平貼	平貼
量測順序	1. 均勻流場平均風速剖面確認。 2. 模型壓力分布量測。 3. 數據分析、計算。								

(資料來源：本研究整理)

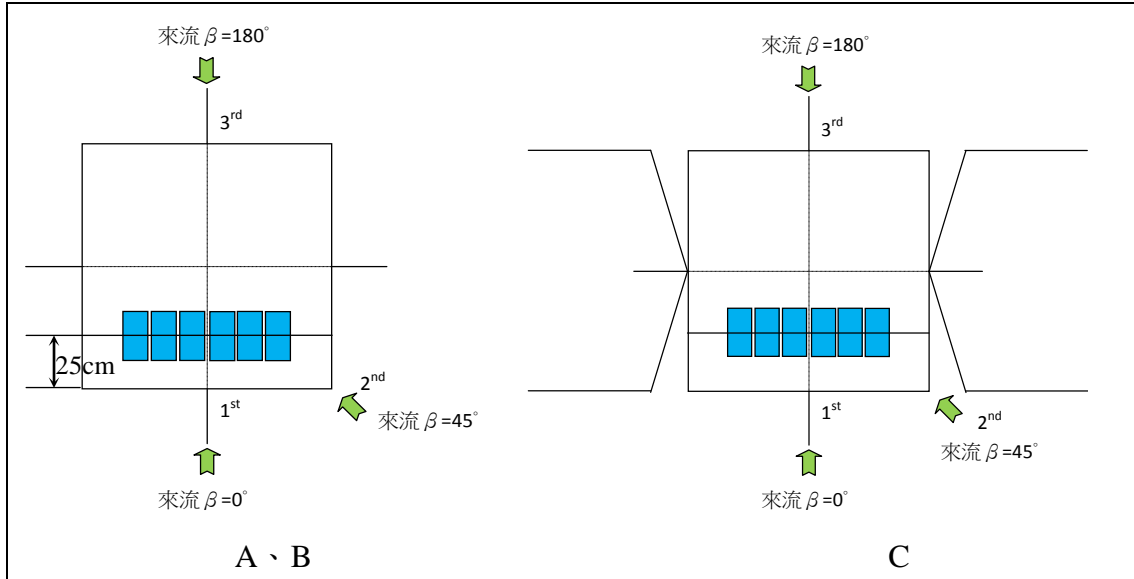


圖 3-14 模型試驗分組圖 (A、B、C)

(資料來源：本研究整理)

(四) 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 10m/s，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 $\pm 2,490$ Pa，數據準確度 $\pm 0.15\%$ 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 5、10m/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°、45°、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 3-3 壓力量測設定數值

1. set chanX <input>：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。 set chan1 0 清除測點 set chan1 1-1..1-64 設定第 1 個模組使用 1 至 64 測點 set chan1 2-1..2-64 設定第 2 個模組使用 1 至 64 測點 set chan1 3-1..3-64 設定第 3 個模組使用 1 至 38 測點 set chan1 4-1..4-24 設定第 4 個模組使用 1 至 24 測點 calz 設定測點歸零
2. set fps1 <input>：設定擷取資料筆數。 set fps1 32768 設定擷取資料點數為 32768 點
3. set period <input>：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： $\text{sampling rate} = \frac{1}{\text{<input>} \times \text{<number of channels>} \times 10^{-6}}$ input number：輸入值 number of channels：最大模組設定之測點數 set period 61 以單一模組 64 點計，本研究取樣頻率為 256Hz。
4. set conout <input>：設定擷取資料之表示方式顯示於螢幕或存為檔案。 set conout 3 儲存於檔案，檔名由 SCAN000.DAT 起始
5. 量測結果透過計算（包括主壓力值 pm、擾動壓力值 pr），並以 Tecplot 軟體繪製試驗結果壓力分布圖（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。

（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，配合前述協同研究案所需之風速設定（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%。

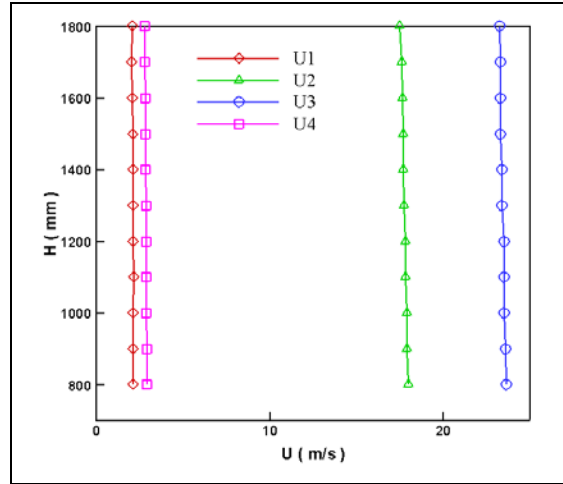


圖 3-15 均勻流場平均風速剖面圖

(資料來源：本研究整理)

(五) 雷諾數計算

D 為物體直徑 1m。

ν 為運動黏滯係數 $1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

當 $U=5\text{m/s}$ 時

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = \frac{5 \times 1}{1.60 \times 10^{-5}} = 3.125 \times 10^5$$

當 $U=10\text{m/s}$ 時

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{U D}{\nu} = \frac{10 \times 1}{1.60 \times 10^{-5}} = 6.25 \times 10^5$$

(六) 風壓係數 C_p 、阻力係數 C_D 、升力係數 C_L 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_m ：量測時的平均風速壓力，即為主壓力，亦即為 $P-P_0$

P_r ：量測時的擾動風速壓力。

ρ ：量測時的空氣密度(kg/m^3)。

所計算出的 C_p 值，本研究定義為主風壓係數 C_{p-m} ，擾動風壓係數 C_{p-r} 。

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 α 及 C_p 逕行推導。

$$C_L = C_p \sin \alpha$$

$$C_D = C_p \cos \alpha$$

第二節 矩型建築物

一、矩型建築物

1. A 組試驗風速

(1) $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 。

$\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

(2) $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 。

$\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

(3) $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 。

$\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

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

$\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

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

$\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

(6) $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 。

$\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

來流為時阻塞比為 $\frac{0.9 \times 1.0}{2.6 \times 4} = 0.087 < 0.1$ ，所以計算壓力係數時，可不用

修正風速。

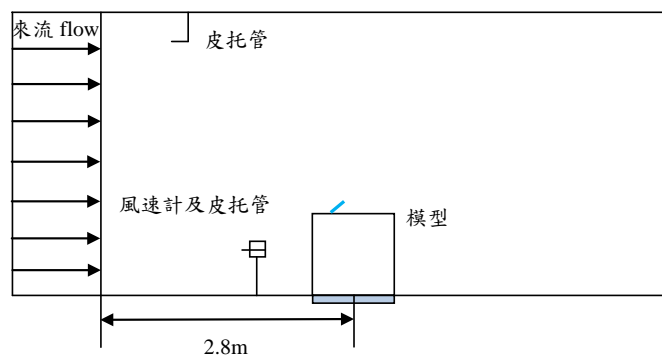


圖 3-16 A 組模型試驗圖

(資料來源：本研究整理)

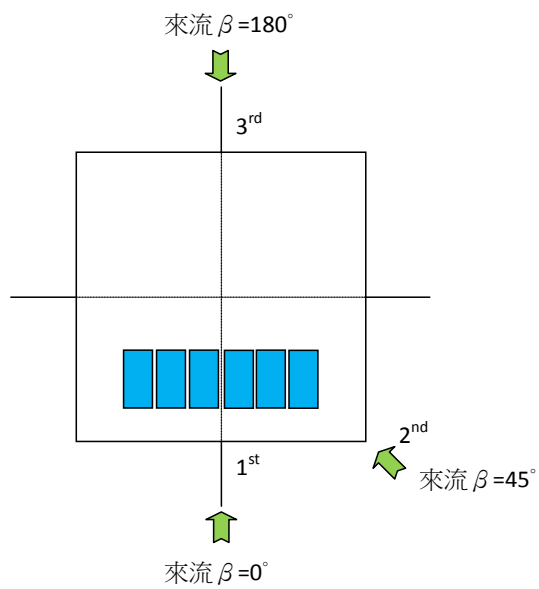


圖 3-17 A 組模型試驗來流圖

(資料來源：本研究整理)

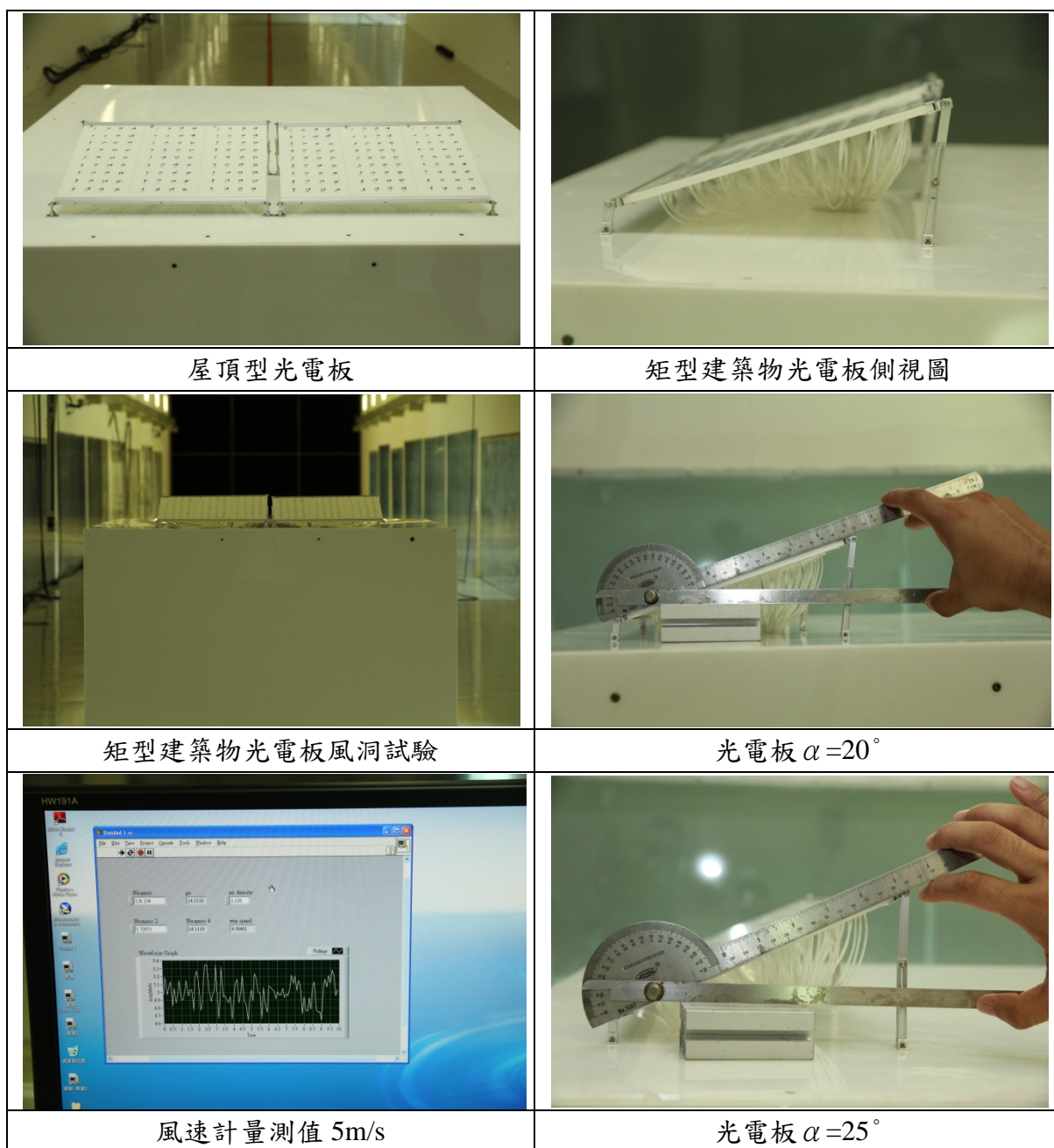


圖 3-18 A 組模型試驗圖

(資料來源：本研究整理)

- 量測時溫度 34°C ，大氣壓力 1001.9hPa ，壓力掃描器量測時單位為 Pa，空氣密度 ρ 取 1.1165kg/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 C_p -r 一併呈現，以利判讀參考。
- 試驗結果如下。

(1) A 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$

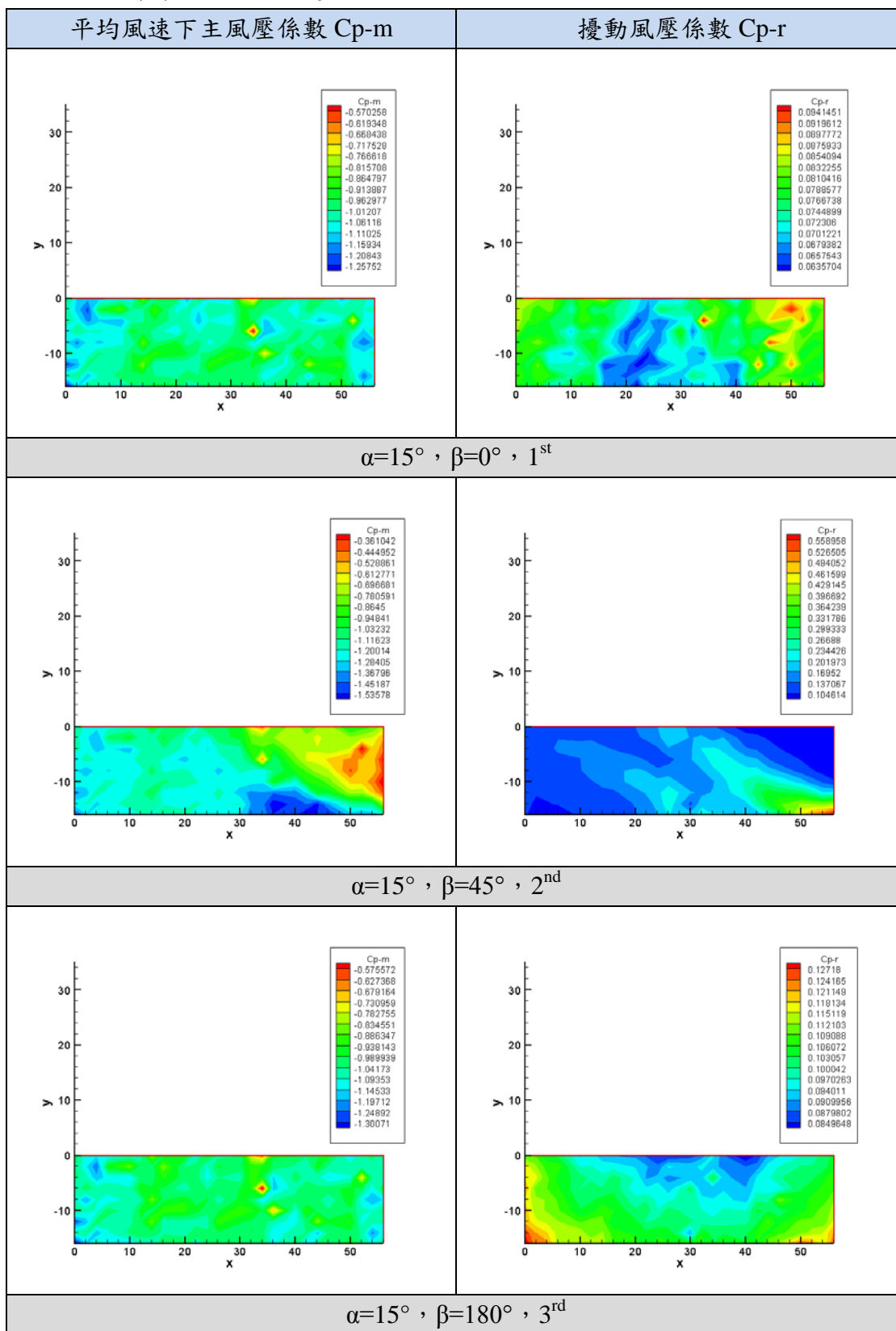


圖 3-19 A 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(2) A 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$

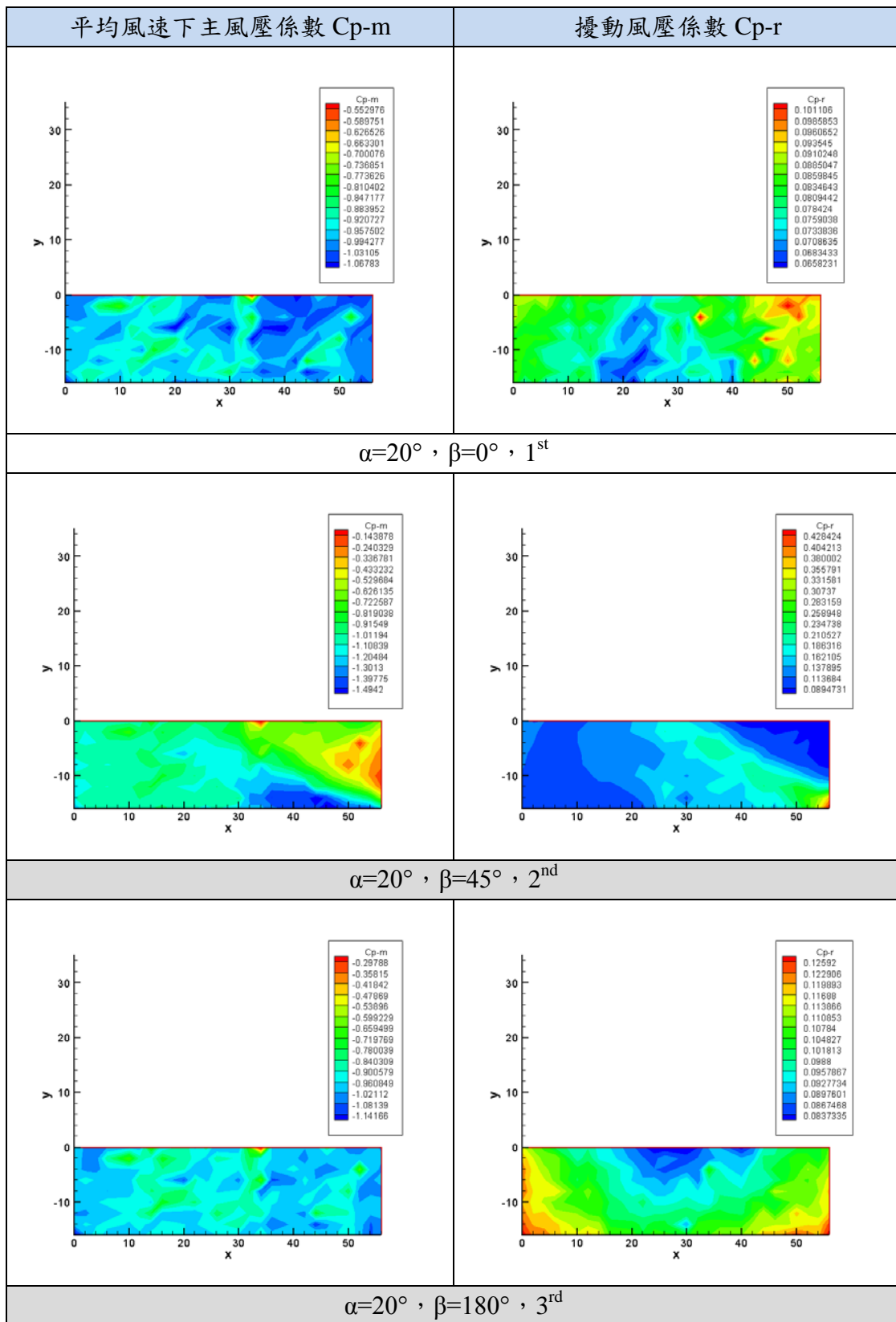


圖 3-20 A 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(3) A 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$

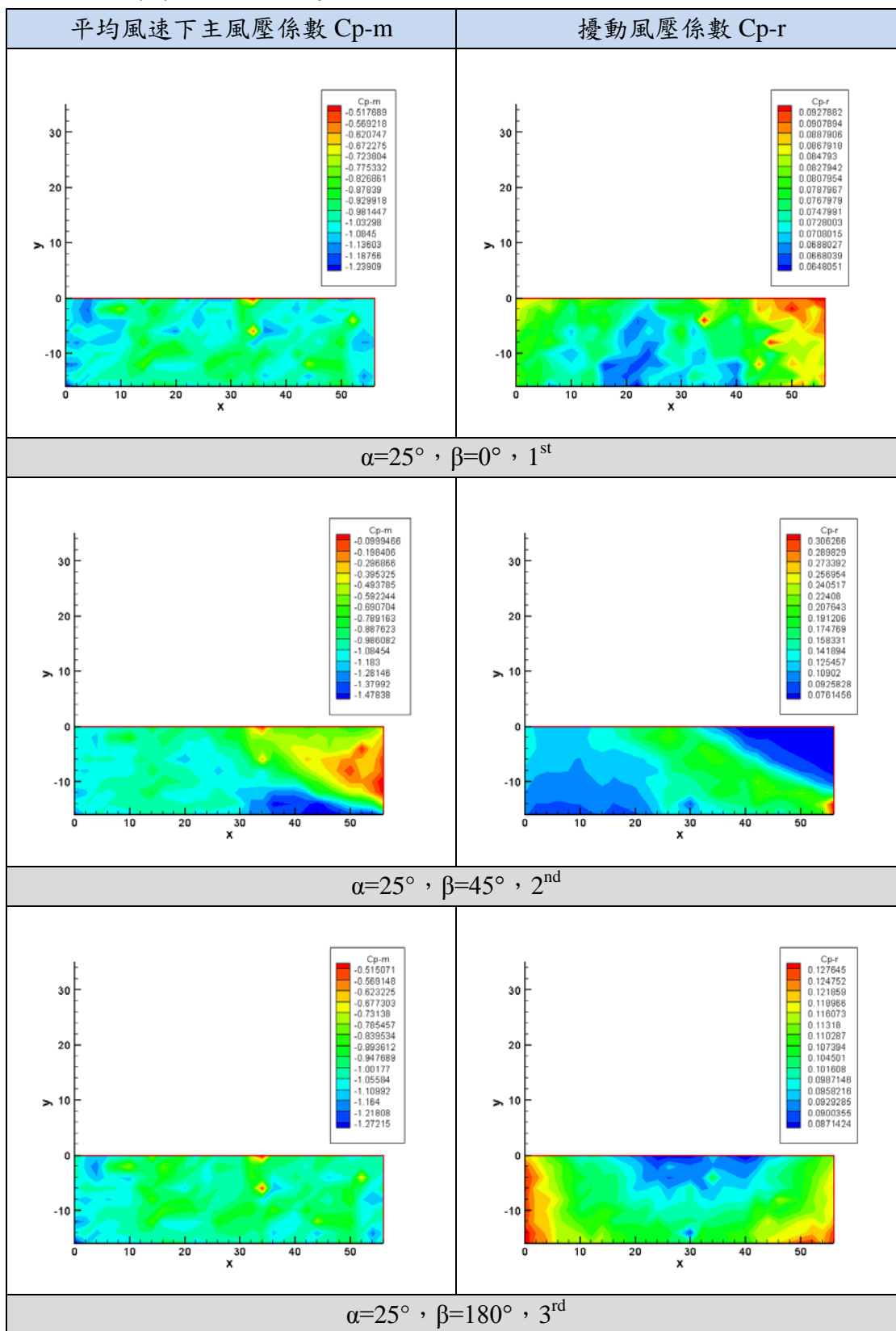


圖 3-21 A 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(4) A 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$

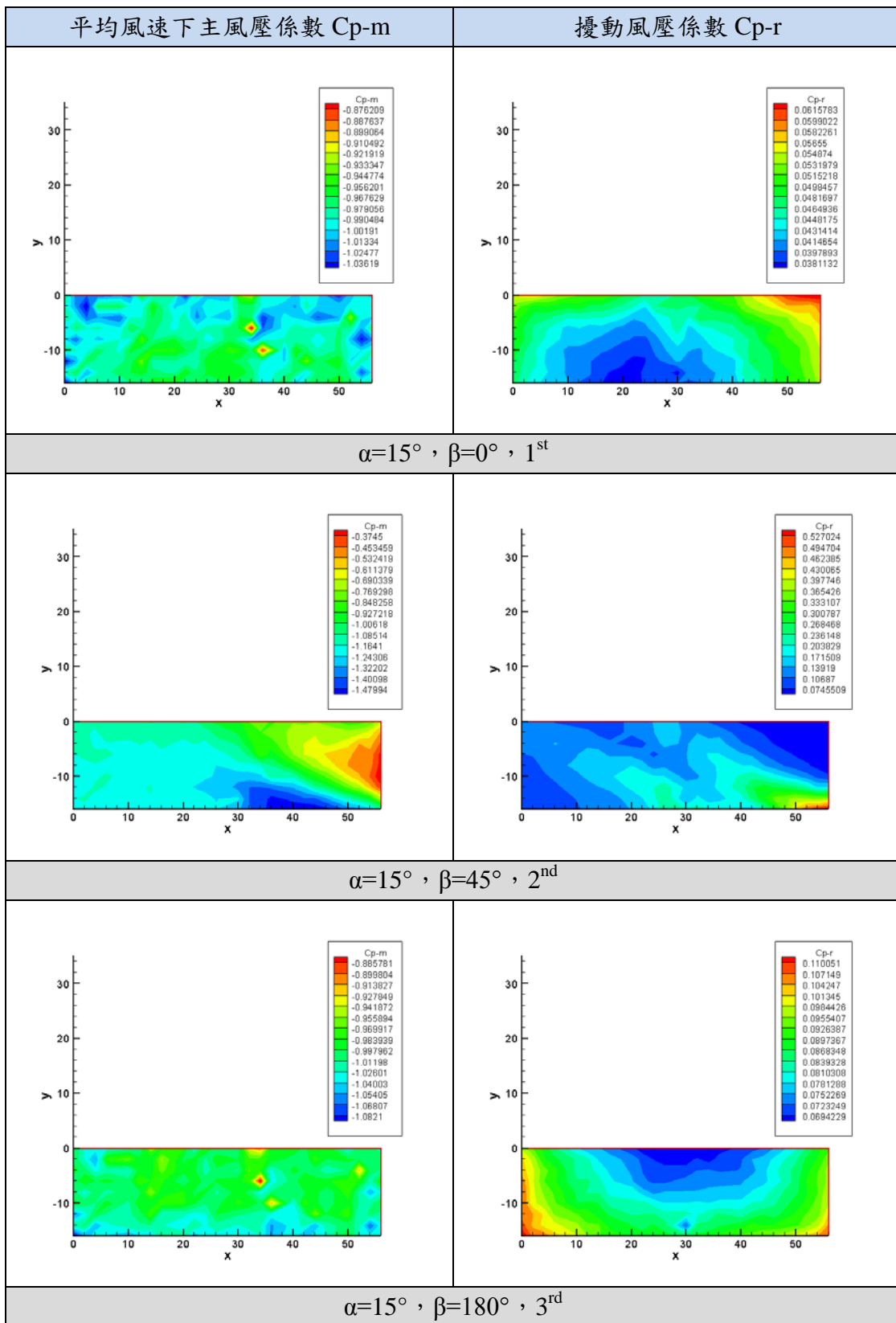


圖 3-22 A 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(5) A 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$

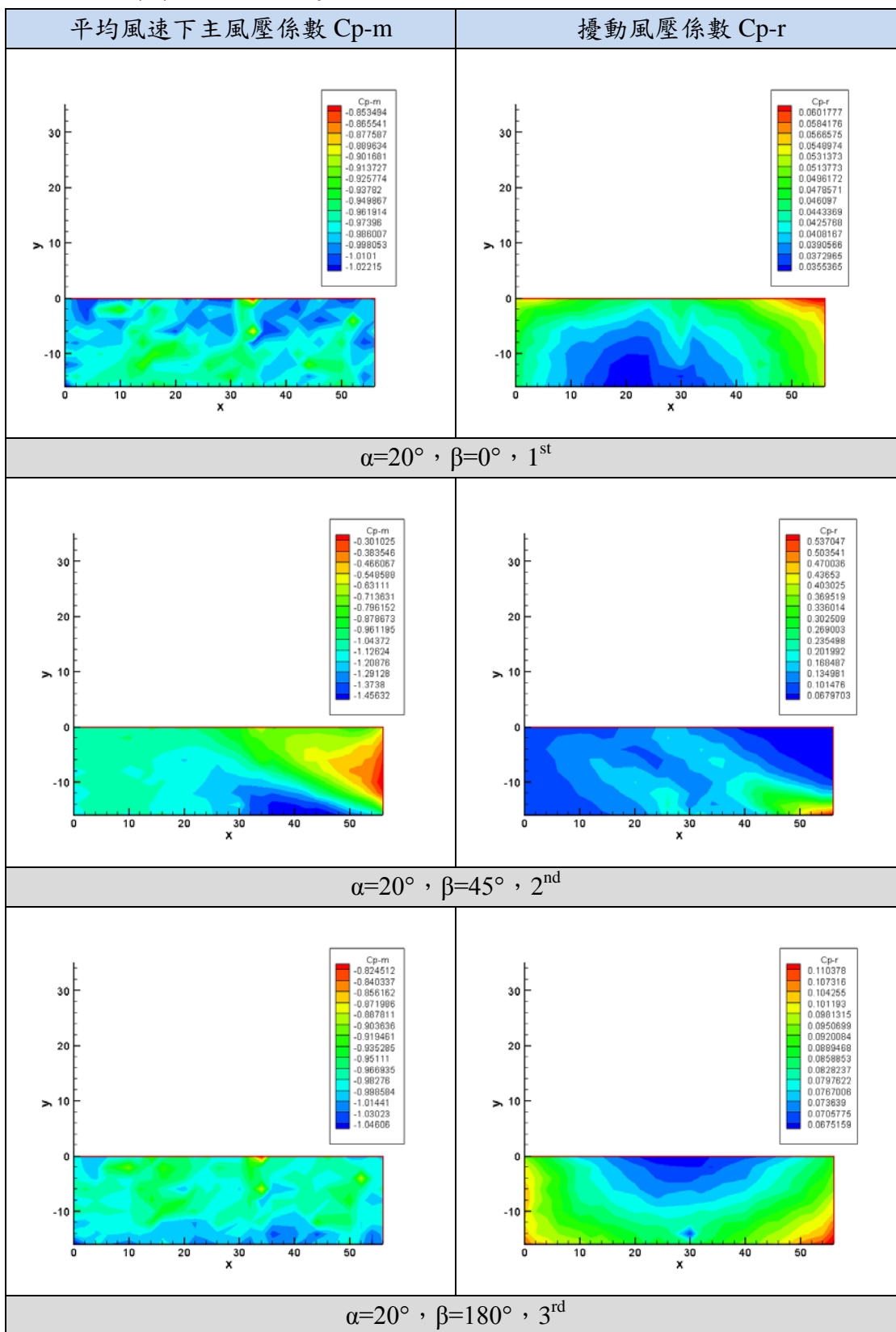


圖 3-23 A 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(6) A 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$

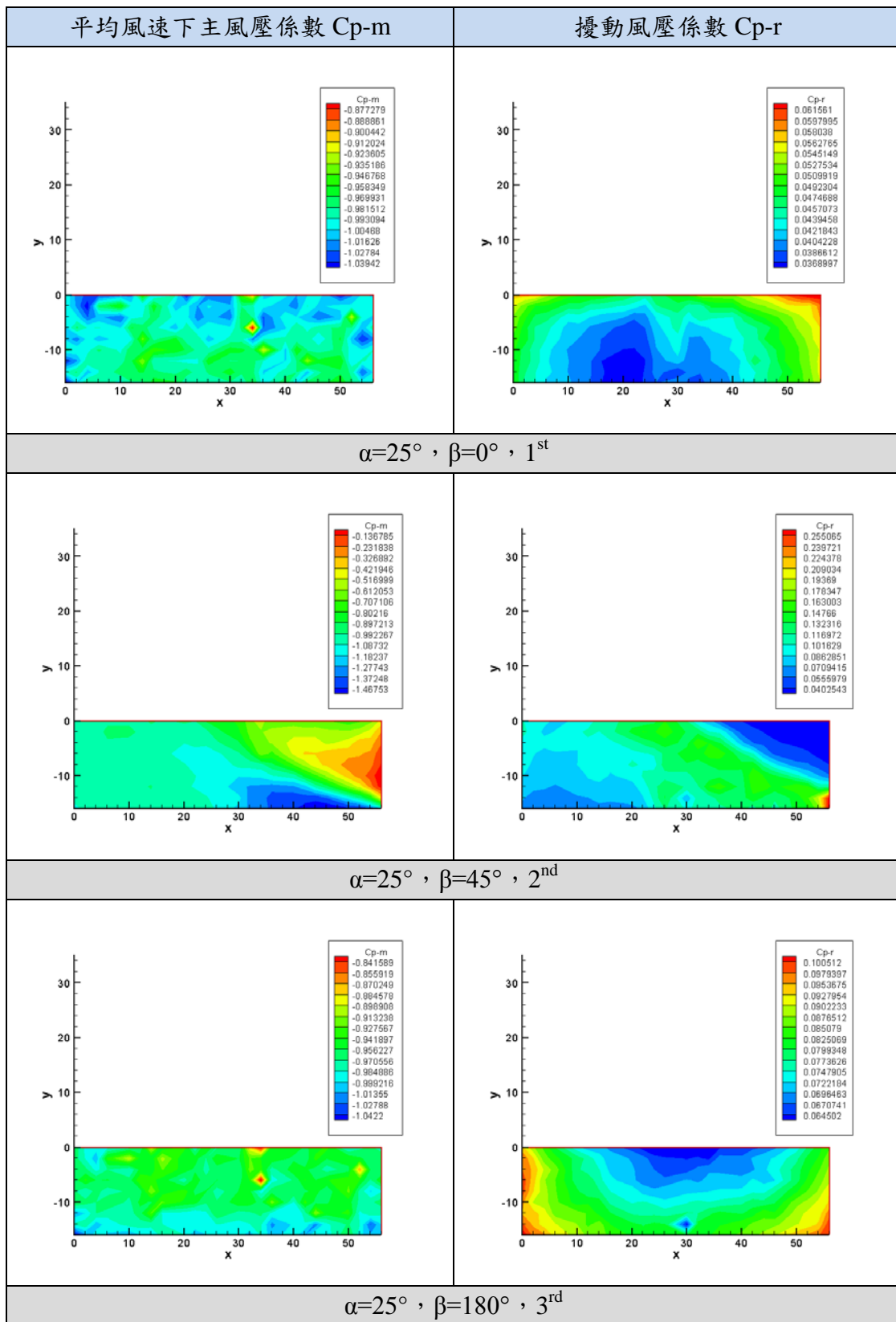


圖 3-24 A 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
 (資料來源：本研究整理)

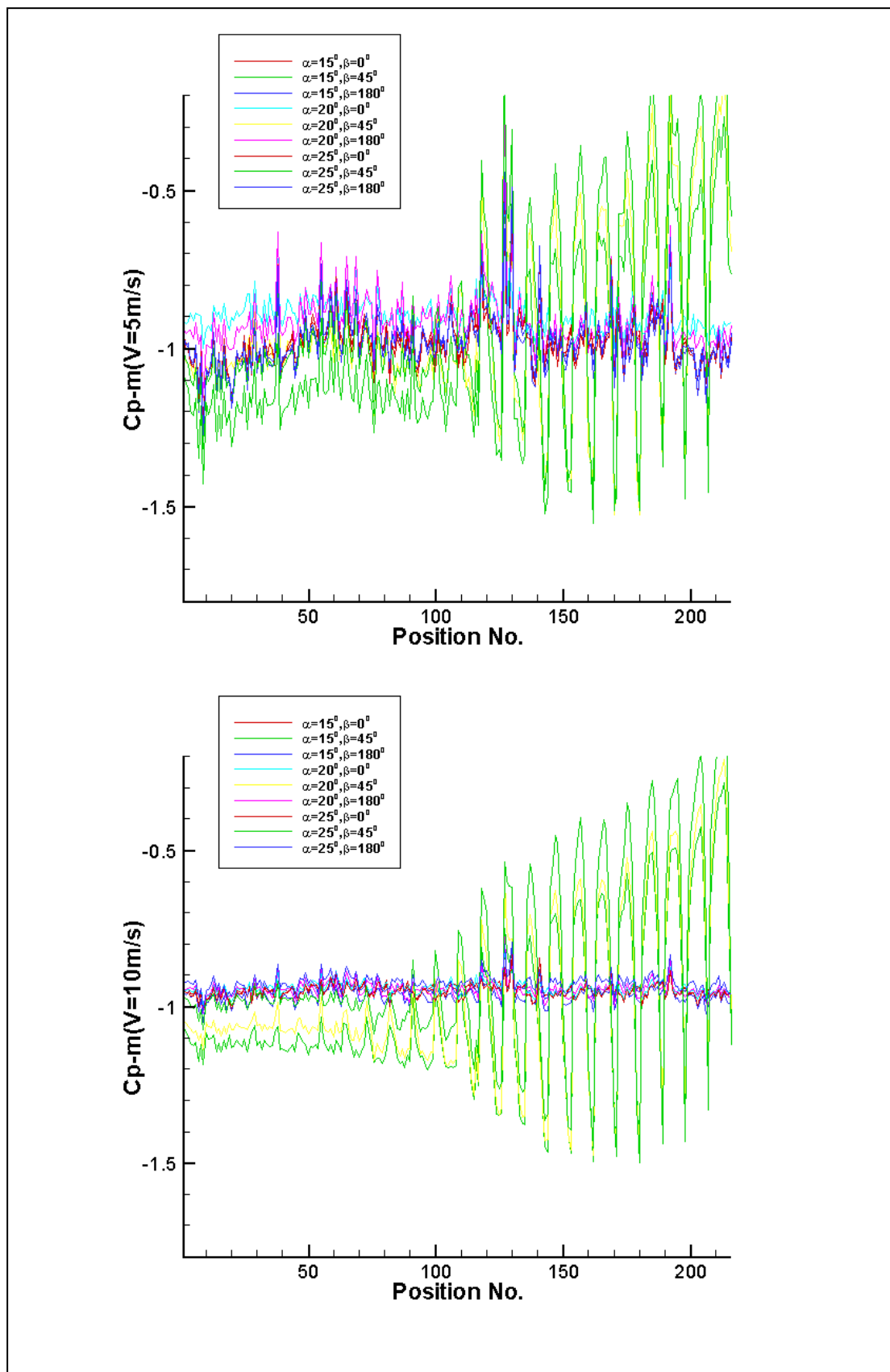


圖 3-25 A 組 5m/s 及 10m/s 風速下壓力孔位 C_p-m 分佈圖
(資料來源：本研究整理)

二、矩型建築物-含女兒牆

1. B 組風速

- (1) $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$
- (2) $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$
- (3) $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$
- (4) $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$
- (5) $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$
- (6) $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

來流為時阻塞比為 $\frac{0.9 \times 1.0}{2.6 \times 4} = 0.087 < 0.1$ ，所以計算壓力係數時，可不用修正風速。

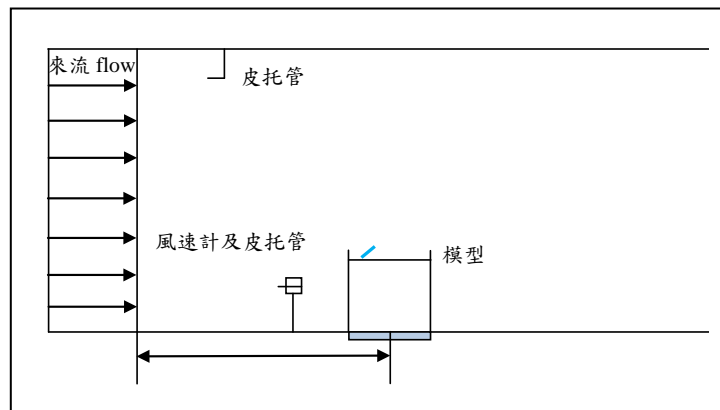


圖 3-26 B 組模型試驗圖

(資料來源：本研究整理)

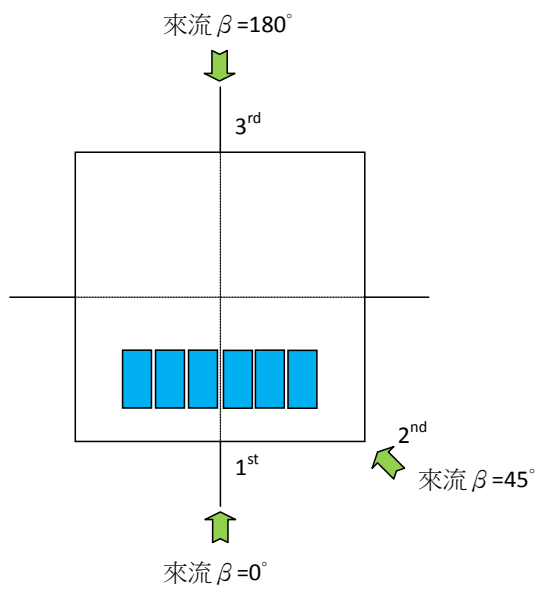


圖 3-27 B 組模型試驗來流圖
(資料來源：本研究整理)

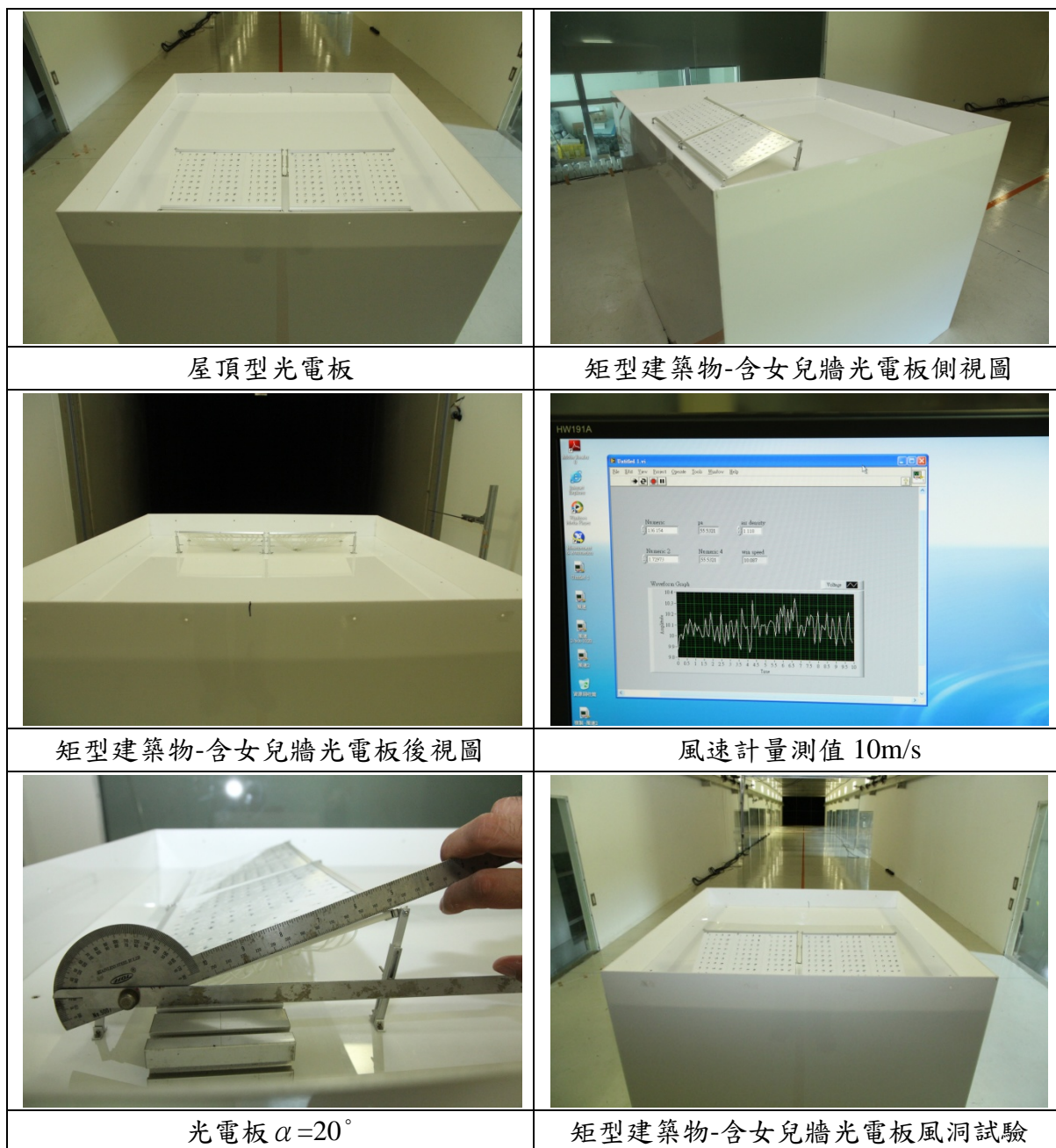


圖 3-28 均勻流場試驗示意圖

(資料來源：本研究整理)

- 量測時溫度 32°C ，大氣壓力 1002.8hPa ，壓力掃描器量測時單位為 Pa，空氣密度 ρ 取 1.1165kg/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。

- 試驗結果如下。

(1) B 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$

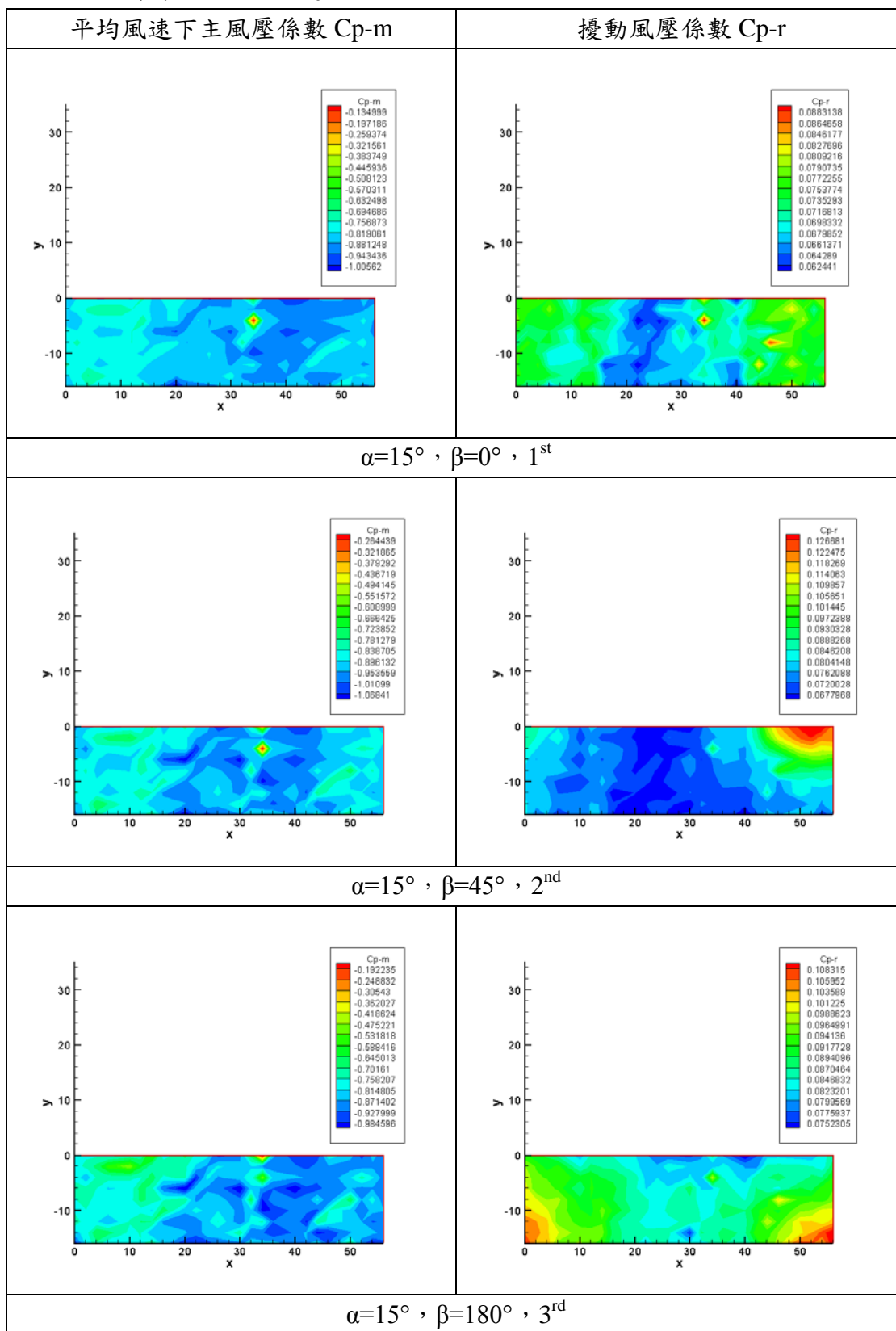


圖 3-29 B 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(2) B 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$

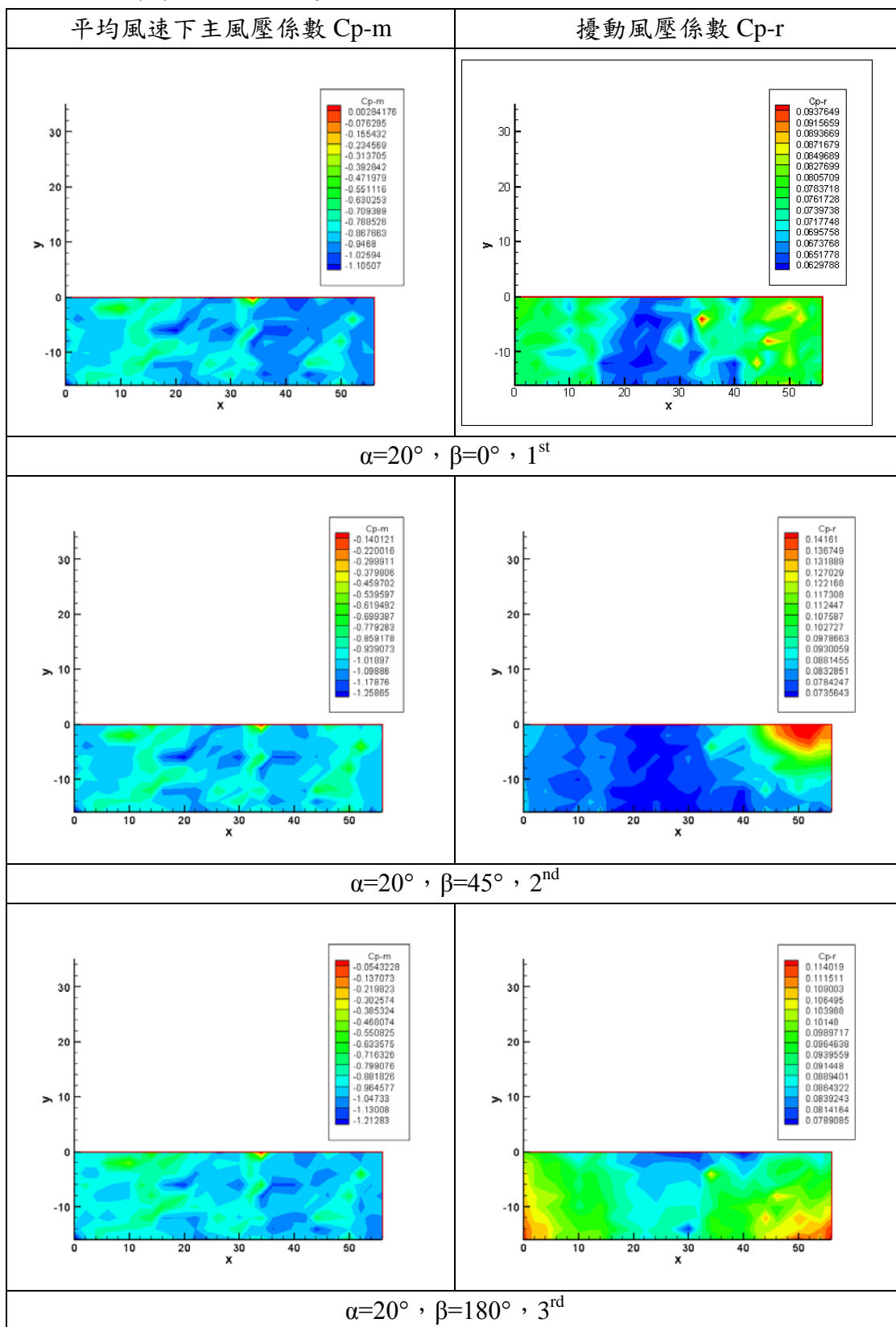


圖 3-30 B 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(3) B 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$

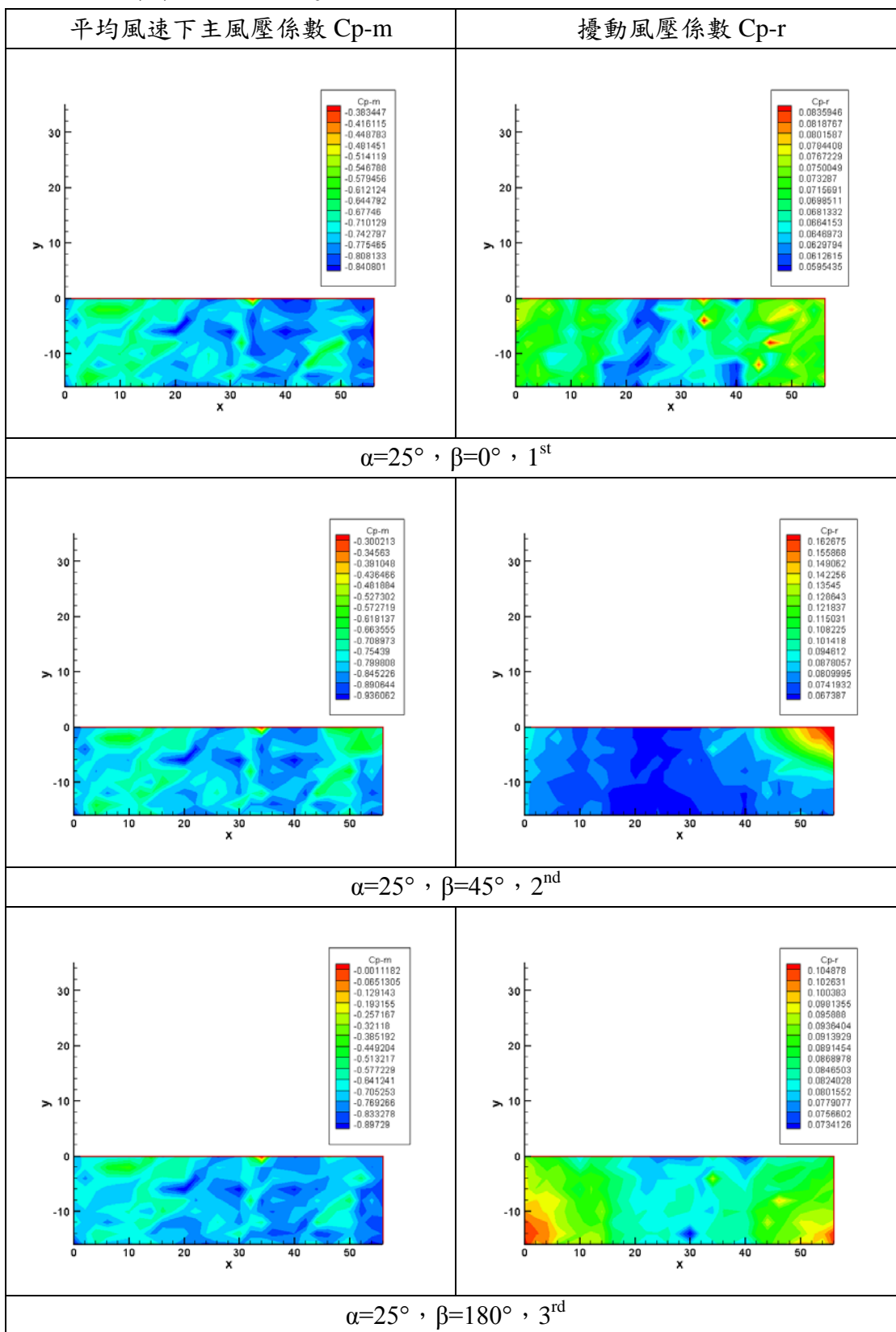


圖 3-31 B 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(4) B 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$

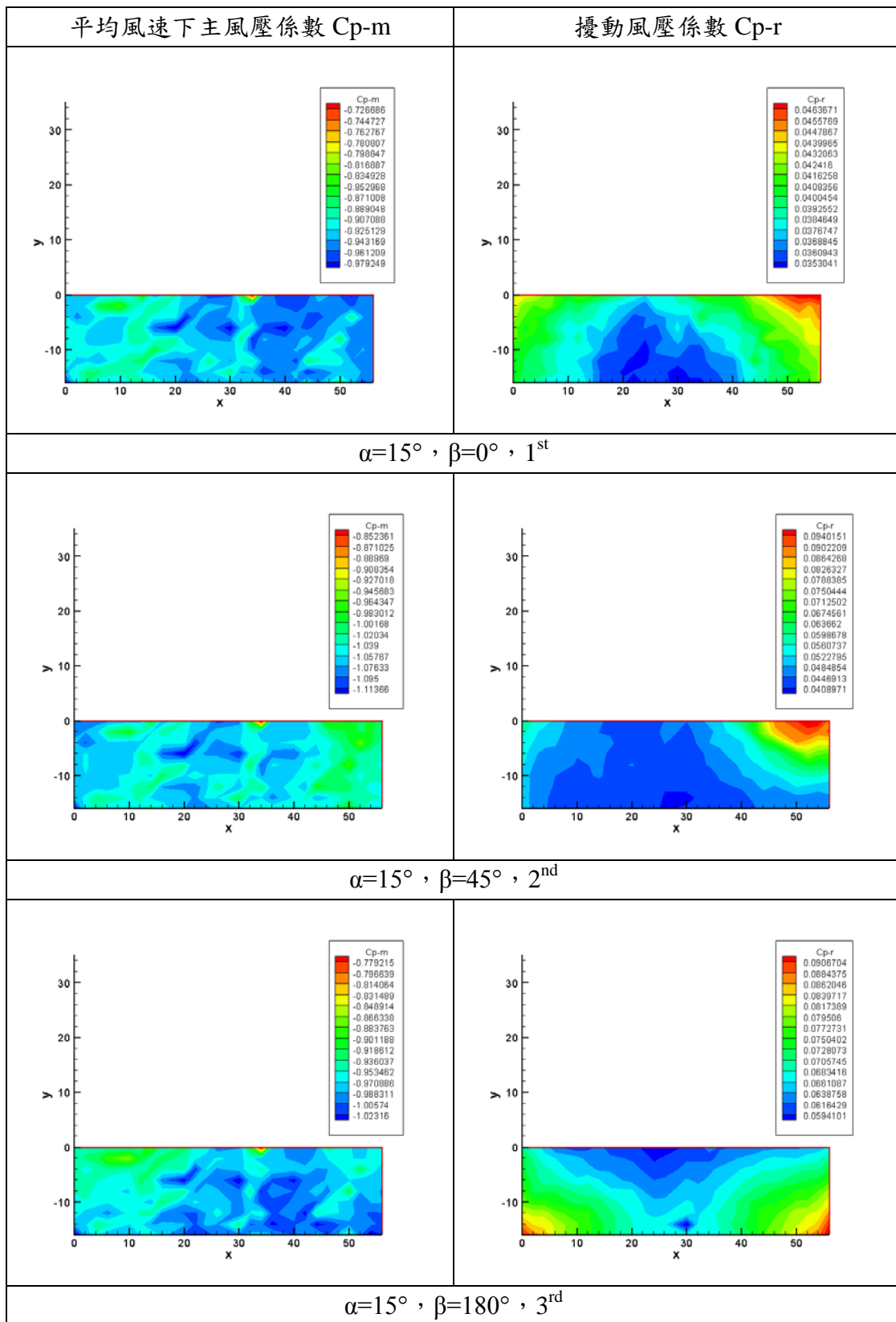


圖 3-32 B 組風速 $\alpha=15^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(5) B 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$

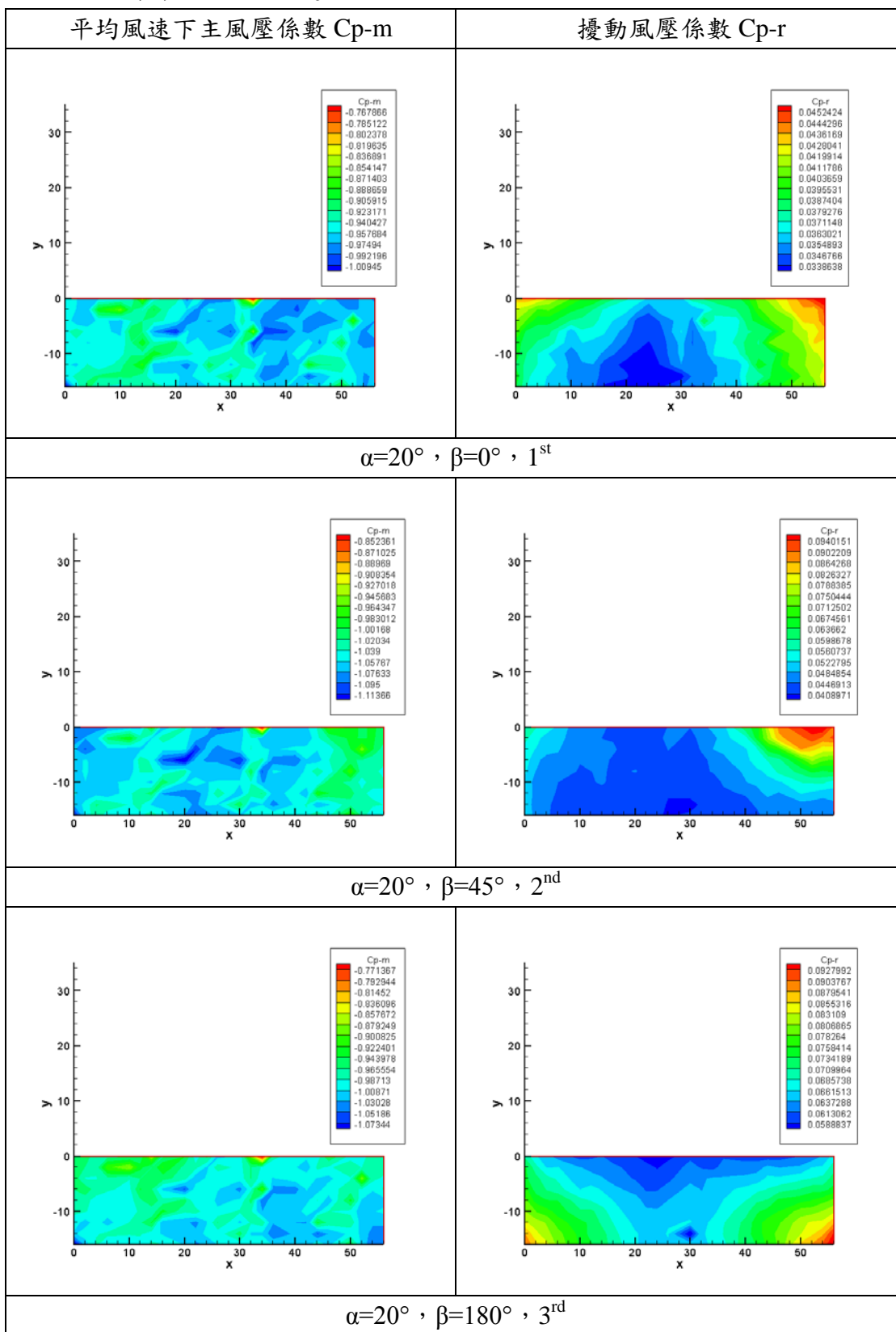


圖 3-33 B 組風速 $\alpha=20^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

(6) B 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$

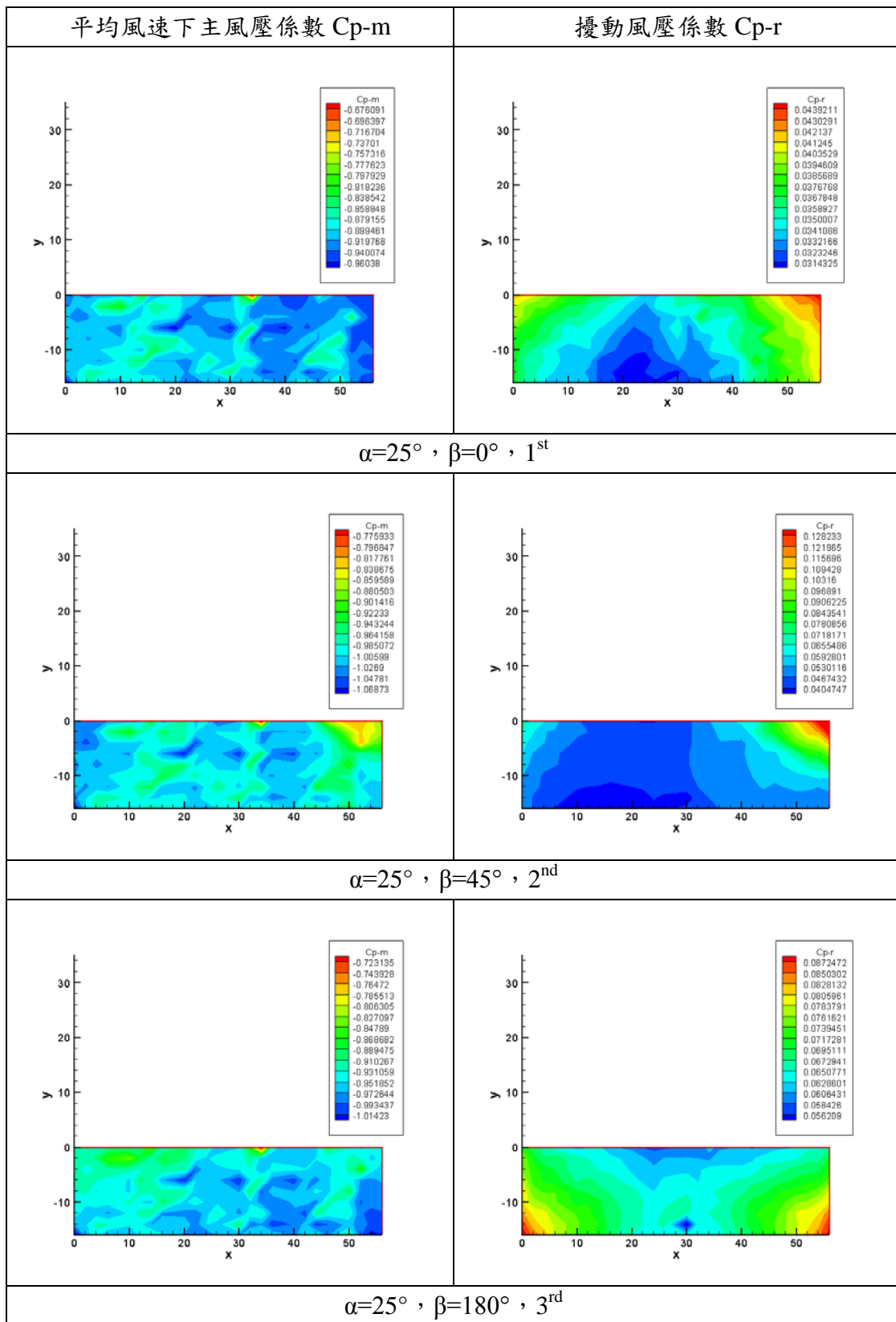


圖 3-34 B 組風速 $\alpha=25^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
(資料來源：本研究整理)

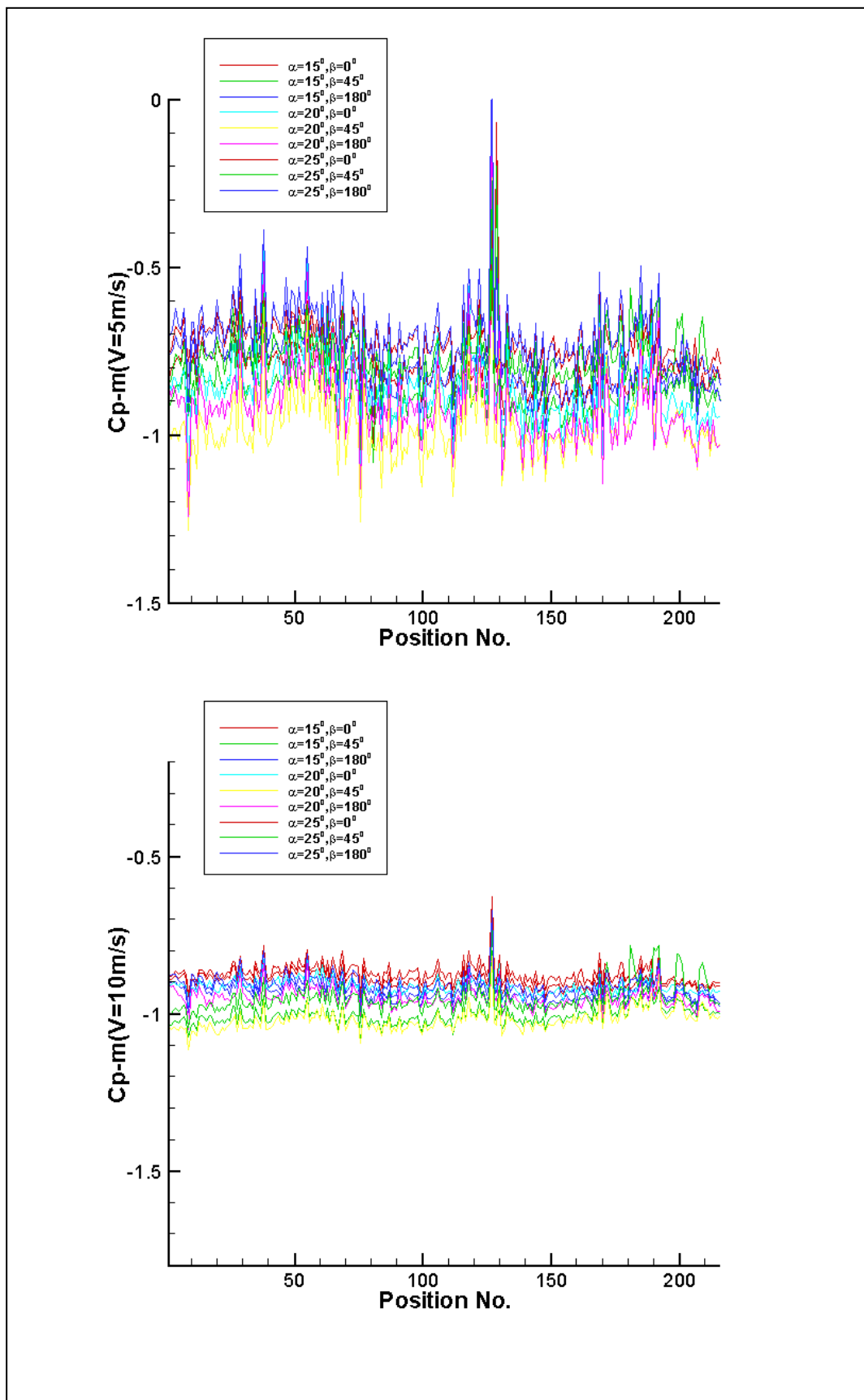


圖 3-35 B 組 5m/s 及 10m/s 風速下壓力孔位 C_p -m 分佈圖
(資料來源：本研究整理)

第三節 斜屋頂建築物

一、斜屋頂建築物

1. C 組試驗風速

- (1) $V=5\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$
- (2) $V=10\text{m/s}$ 。
 $\beta=0^\circ、45^\circ、180^\circ$

來流阻塞比為 $\frac{0.9 \times 1.0}{2.6 \times 4} = 0.087 < 0.1$ ，所以計算壓力係數時，可不用修正風速。

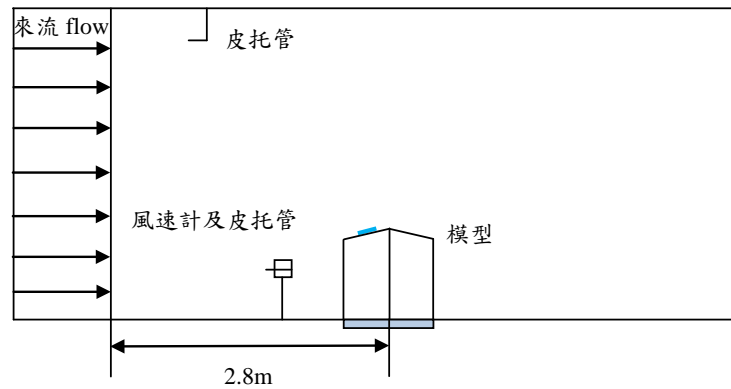


圖 3-36 C 組模型試驗圖

(資料來源：本研究整理)

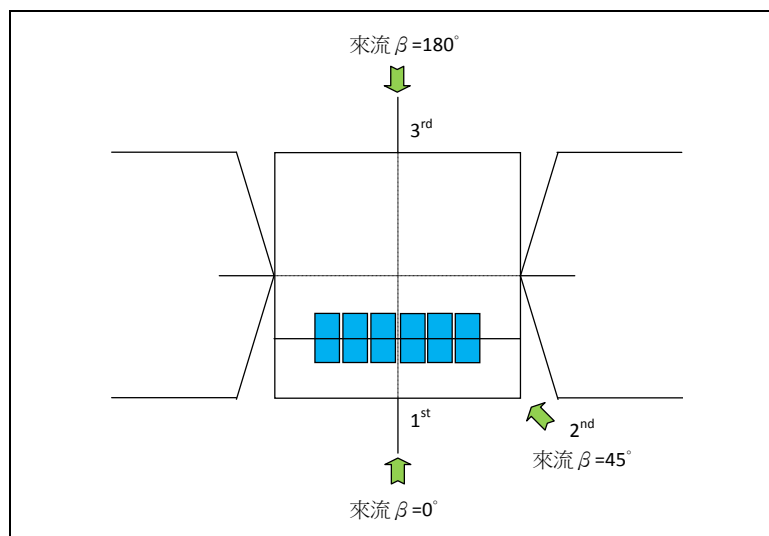


圖 3-37 C 組模型試驗來流圖

(資料來源：本研究整理)

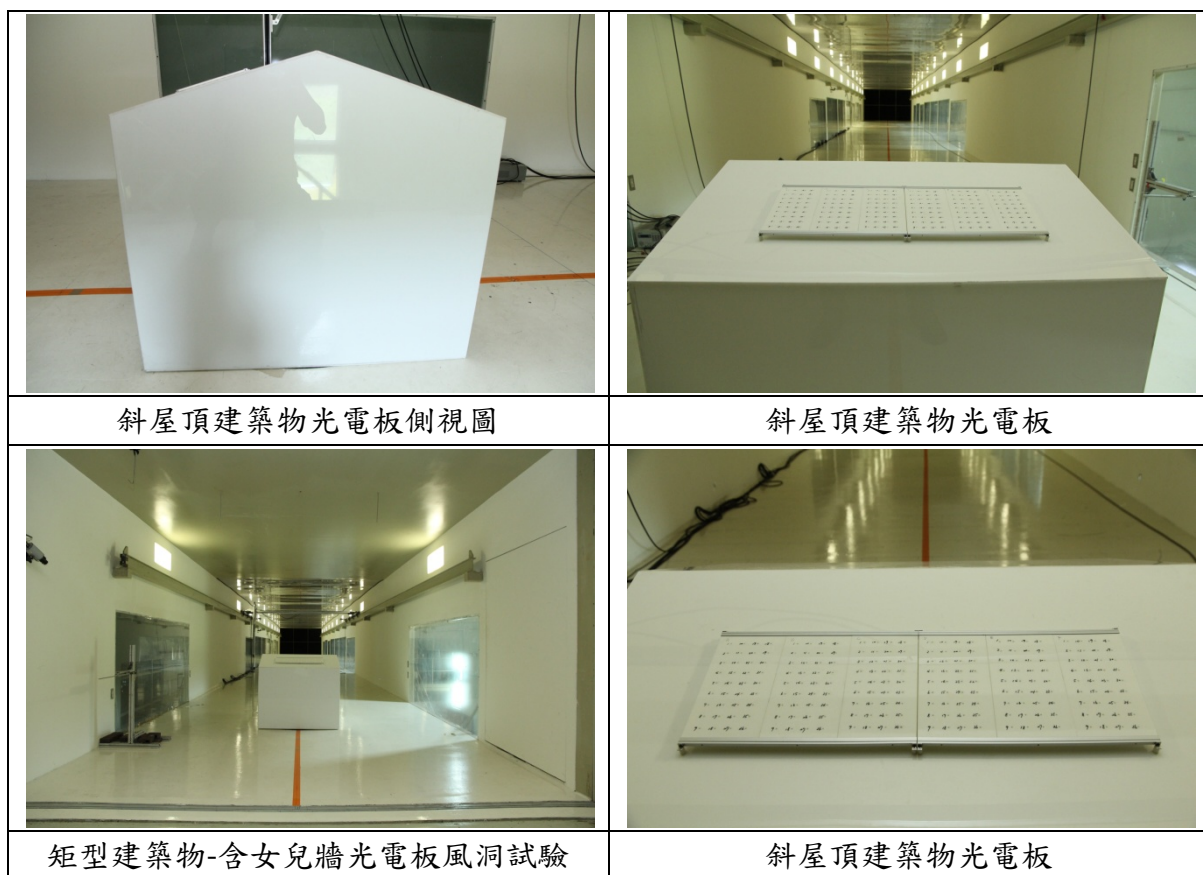


圖 3-38 均勻流場試驗示意圖

(資料來源：本研究整理)

4. 試驗結果如下。

(1) C 組風速 $V=5\text{m/s}$

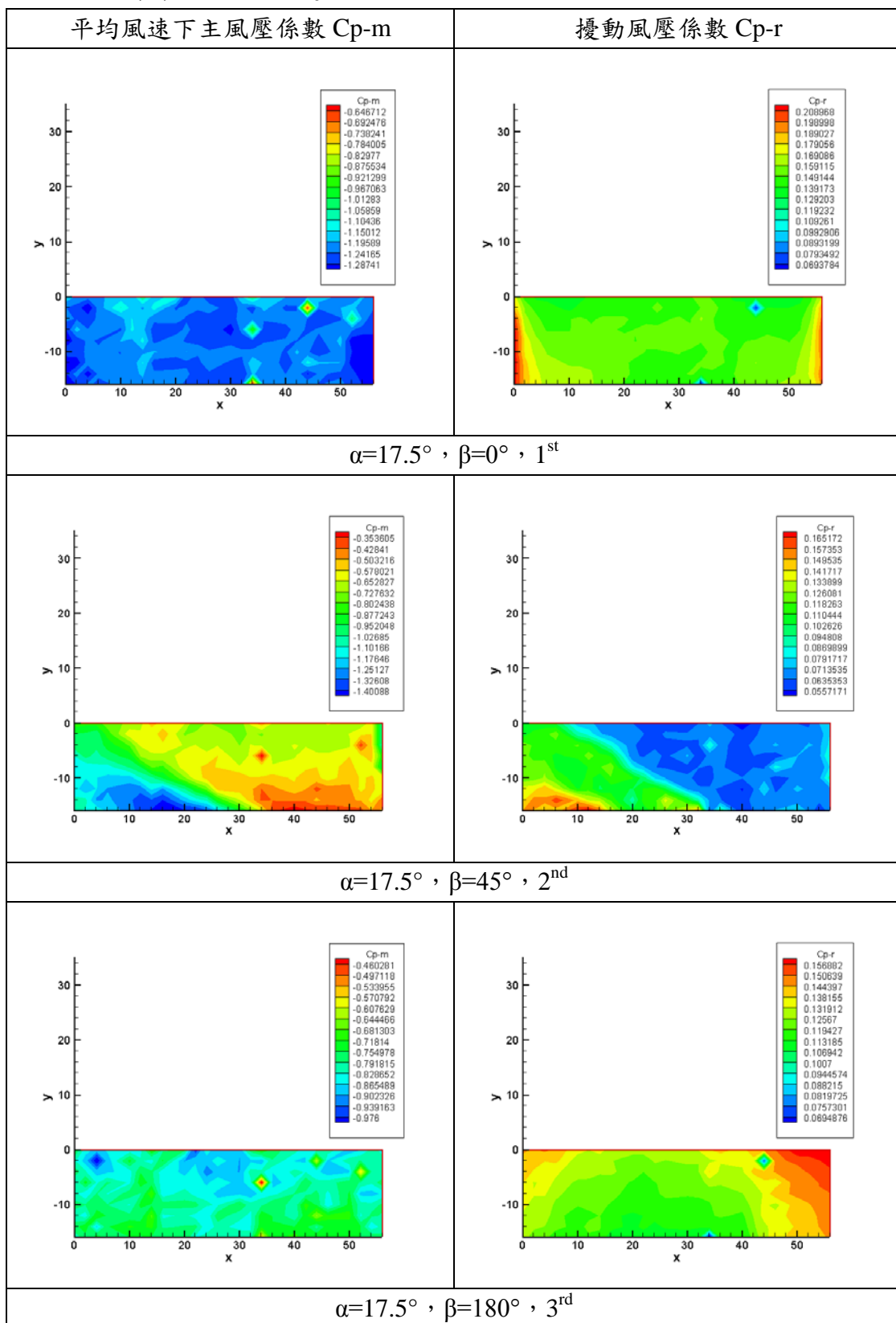


圖 3-39 C 組風速 $\alpha=17.5^\circ$ 及 $V=5\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖

(資料來源：本研究整理)

(2) C 組風速 $V=10\text{m/s}$

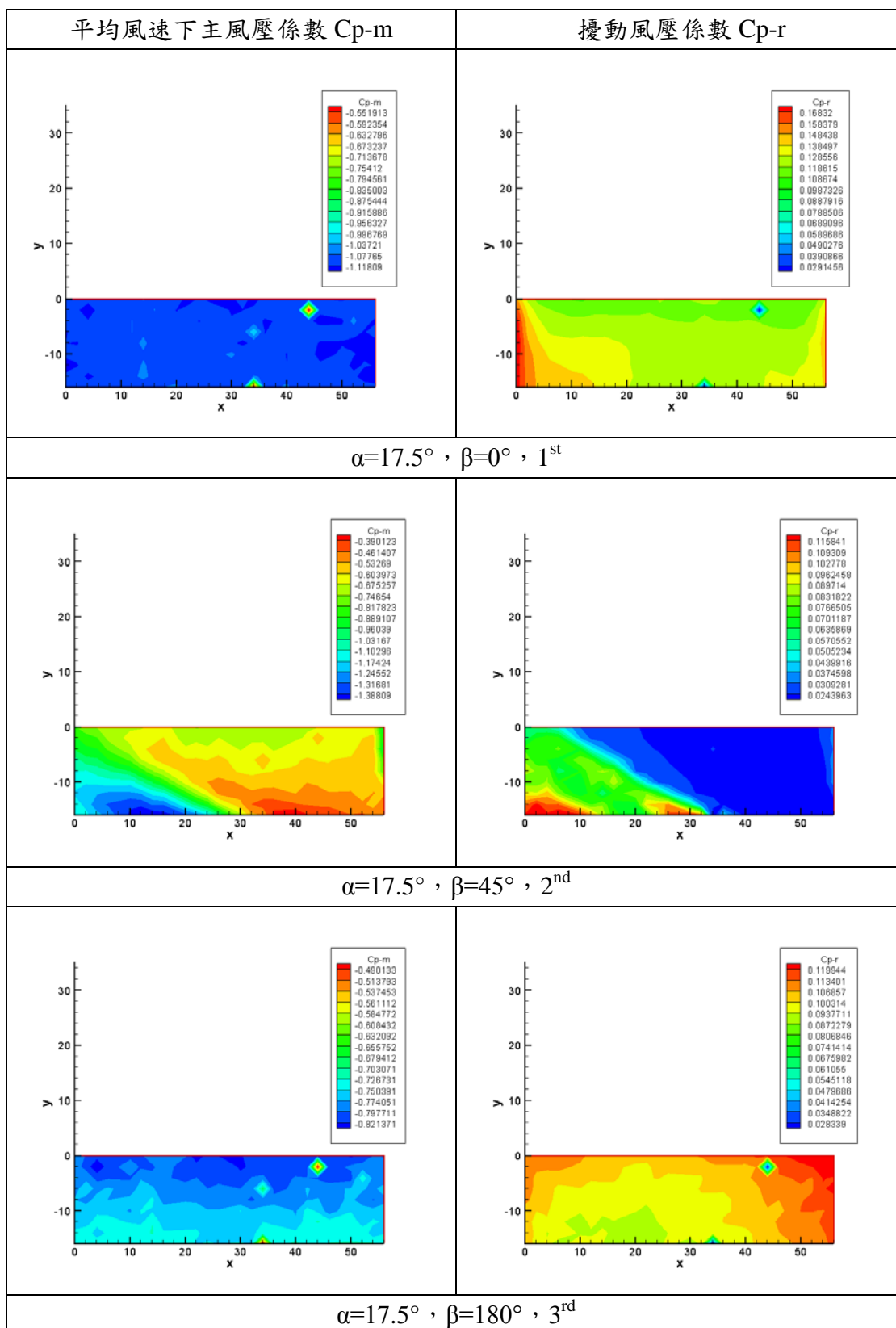


圖 3-40 C 組風速 $\alpha=17.5^\circ$ 及 $V=10\text{m/s}$ 光電板風壓分佈圖
 (資料來源：本研究整理)

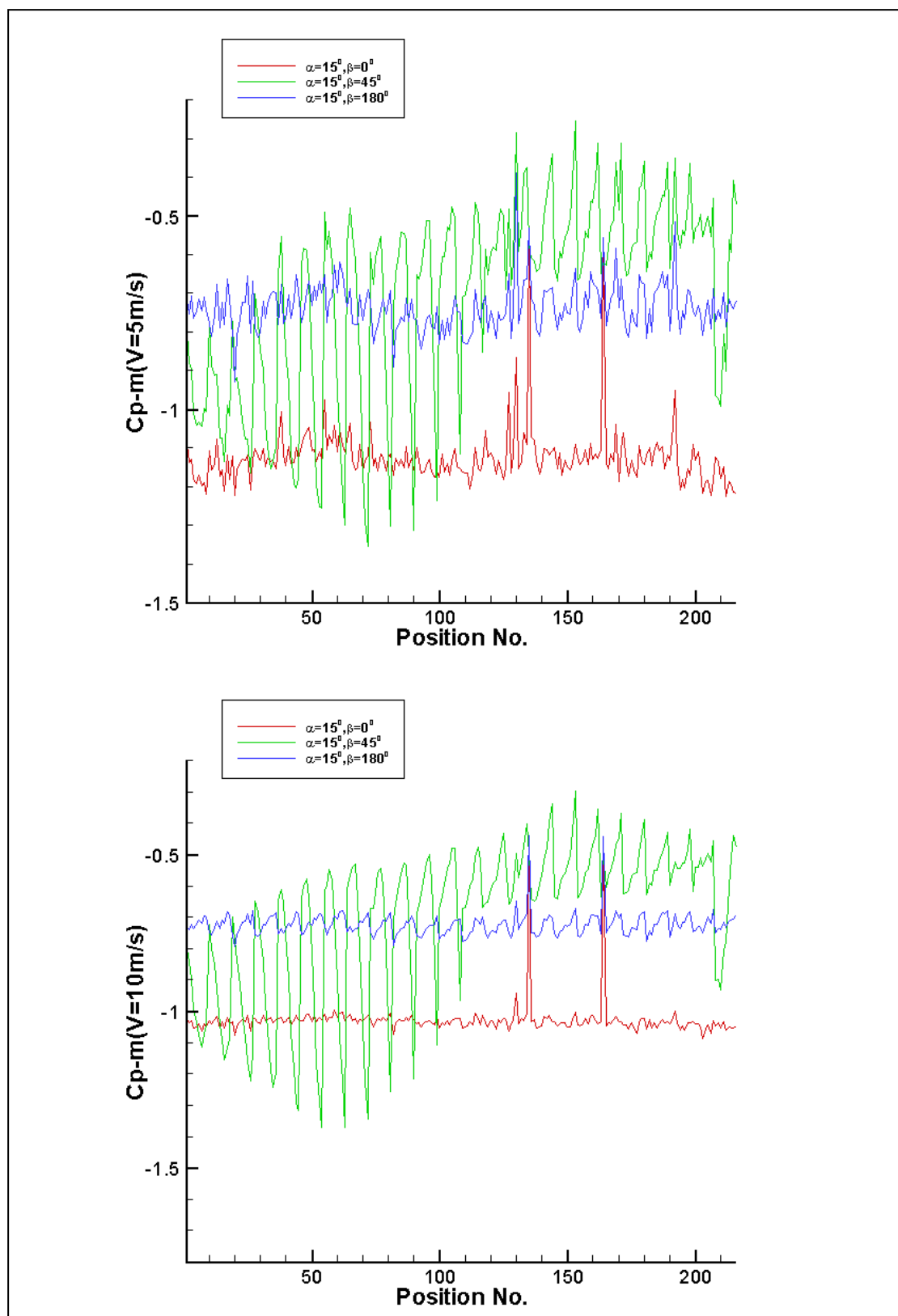


圖 3-41 C 組 $V=5\text{m/s}$ 及 $V=10\text{m/s}$ 風速下壓力孔位 C_p-m 分佈圖
(資料來源：本研究整理)

第四節 風壓、阻力與升力係數推導

試驗結果整理

1. 本次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。
2. 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 α 及 C_p 逕行推導。

$$C_L = C_p \sin \alpha$$

$$C_D = C_p \cos \alpha$$

表 3-4 矩型建築物光電板模型量測壓力係數表

項次	建築物 型態	傾斜角 α	來流 β	風速 V(m/s)	主壓力 pm 最大值 (Pa)	主壓力係數 C_p -m最大值	換算 C_L 最大值	換算 C_D 最大值
1	矩型建 築物	20°	0°	5	-15.44	1.01	0.35	0.95
				10	-59.1	0.99	0.34	0.93
2	矩型建 築物	20°	45°	5	-23.23	1.53	0.52	1.44
				10	-87.94	1.48	0.51	1.39
3	矩型建 築物	20°	180°	5	-17.55	1.15	0.39	1.08
				10	-60.69	1.02	0.35	0.96
4	矩型建 築物	25°	0°	5	-18.85	1.01	0.43	0.92
				10	-60.06	1.01	0.43	0.92
5	矩型建 築物	25°	45°	5	-23.03	1.51	0.64	1.37
				10	-89.3	1.5	0.63	1.36
6	矩型建 築物	25°	180°	5	-19.37	1.27	0.54	1.15
				10	-60.38	1.01	0.43	0.92
7	矩型建 築物	15°	0°	5	-19.08	1.25	0.32	1.21
				10	-59.87	1.01	0.26	0.98
8	矩型建 築物	15°	45°	5	-23.65	1.55	0.4	1.5
				10	-89.09	1.5	0.39	1.45
9	矩型建 築物	15°	180°	5	-19.75	1.3	0.34	1.26
				10	-62.64	1.05	0.27	1.01

(資料來源：本研究整理)

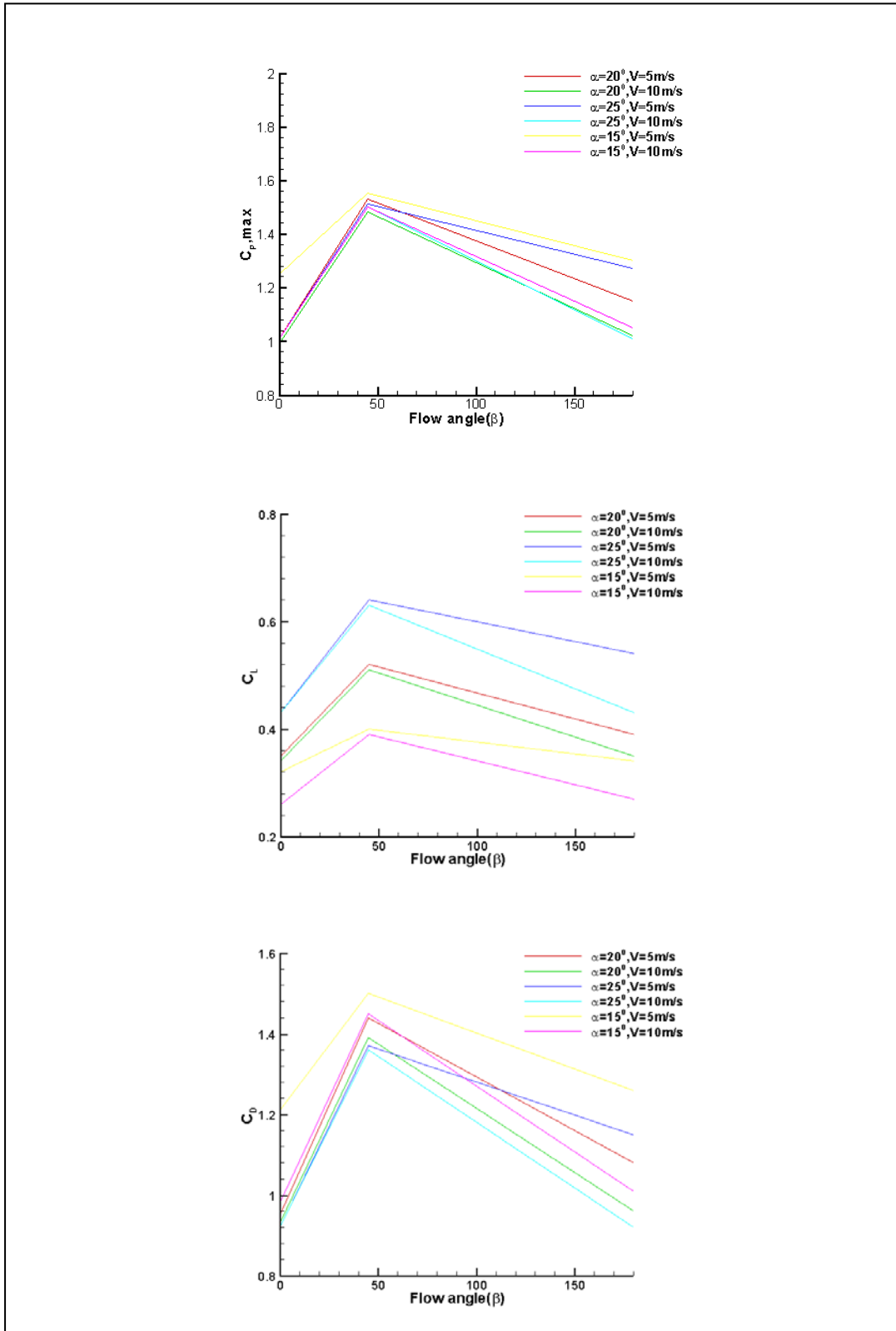


圖 3-42 A 組矩型屋頂建築物光電板風阻形狀係數分佈圖
(資料來源：本研究整理)

表 3-5 矩型建築物-含女兒牆光電板模型量測壓力係數表

項次	建築物 型態	傾斜角 α	來流 β	平均 風速 V(m/s)	主壓力 pm 最大值(Pa)	主壓力係數 C _{p-m} 最大值	換算C _L 最大值	換算C _D 最大值
1	矩型建 築物-含 女兒牆	20°	0°	5	-17.29	1.14	0.39	1.07
				10	-58.6	0.98	0.34	0.92
2	矩型建 築物-含 女兒牆	20°	45°	5	-19.55	1.28	0.44	1.2
				10	-66.39	1.11	0.38	1.04
3	矩型建 築物-含 女兒牆	20°	180°	5	-18.92	1.24	0.42	1.17
				10	-62.49	1.05	0.36	0.99
4	矩型建 築物-含 女兒牆	25°	0°	5	-12.76	0.84	0.35	0.76
				10	-55.97	0.84	0.35	0.76
5	矩型建 築物-含 女兒牆	25°	45°	5	-14.33	0.94	0.4	0.85
				10	-62.19	1.04	0.44	0.94
6	矩型建 築物-含 女兒牆	25°	180°	5	-14.04	0.92	0.39	0.83
				10	59.07	0.99	0.42	0.9
7	矩型建 築物-含 女兒牆	15°	0°	5	-15.59	1.02	0.26	0.99
				10	-56.92	0.96	0.25	0.93
8	矩型建 築物-含 女兒牆	15°	45°	5	-16.44	1.08	0.28	1.04
				10	-64.62	1.09	0.28	1.05
9	矩型建 築物-含 女兒牆	15°	180°	5	-15.2	1	0.26	0.97
				10	-59.39	1	0.26	0.97

(資料來源：本研究整理)

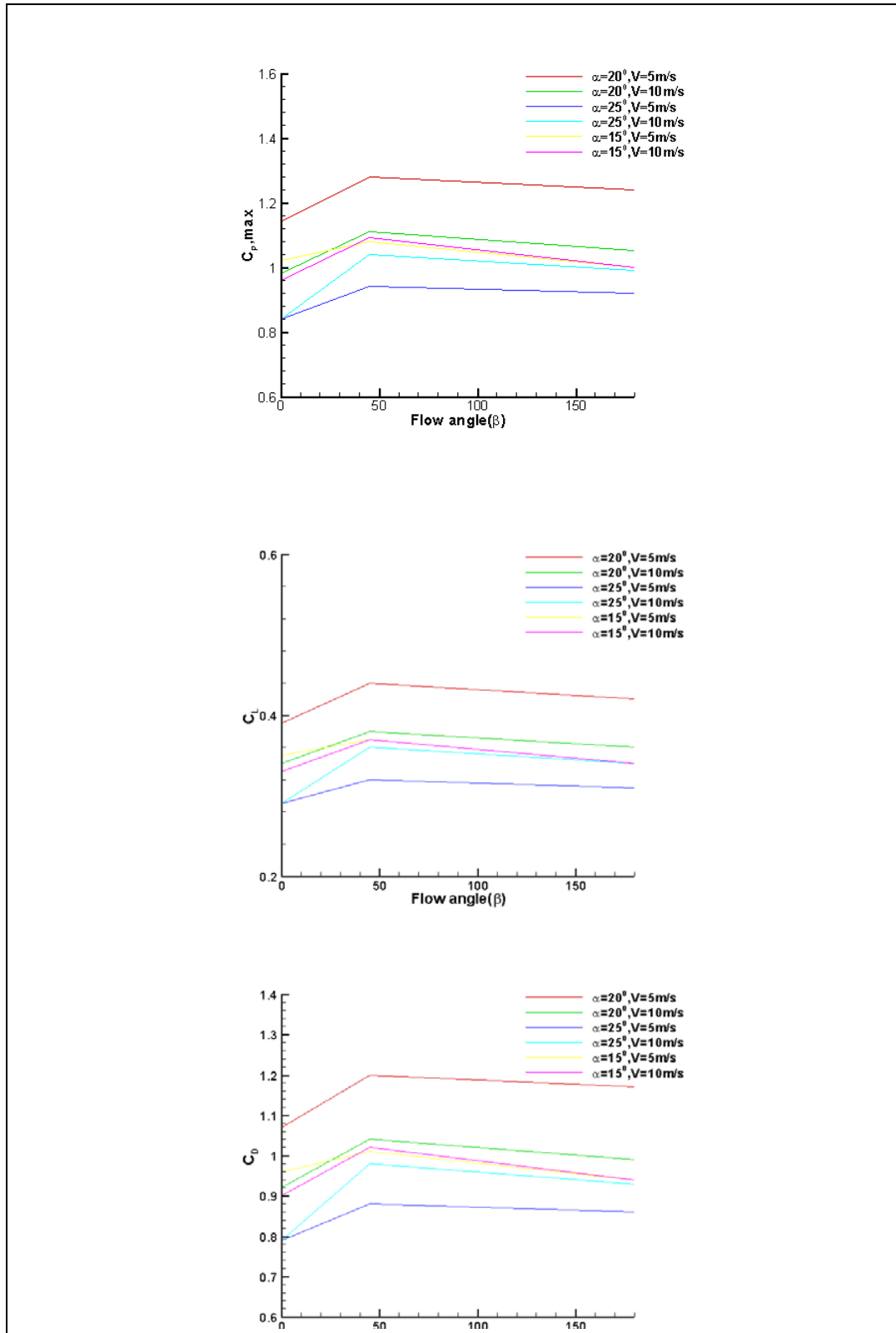


圖 3-43 B 組矩型屋頂建築物-含女兒牆光電板風阻形狀係數分佈圖
(資料來源：本研究整理)

表 3-6 斜屋頂建築物光電板模型量測壓力係數表

項次	建築物 型態	屋頂 角度 α	來流 β	平均 風速 V(m/s)	主壓力 pm 最大值(Pa)	主壓力係數 C _p -m最大值	換算C _L 最大值	換算C _D 最大值
1	斜屋頂 建築物	16.7°	0°	5	-18.63	1.22	0.35	1.16
				10	-64.76	1.09	0.31	1.04
2	斜屋頂 建築物	16.7°	45°	5	-20.62	1.36	0.39	1.3
				10	-81.58	1.37	0.39	1.31
3	斜屋頂 建築物	16.7°	180°	5	-14.15	0.93	0.27	0.89
				10	-47.24	0.79	0.23	0.75

(資料來源：本研究整理)

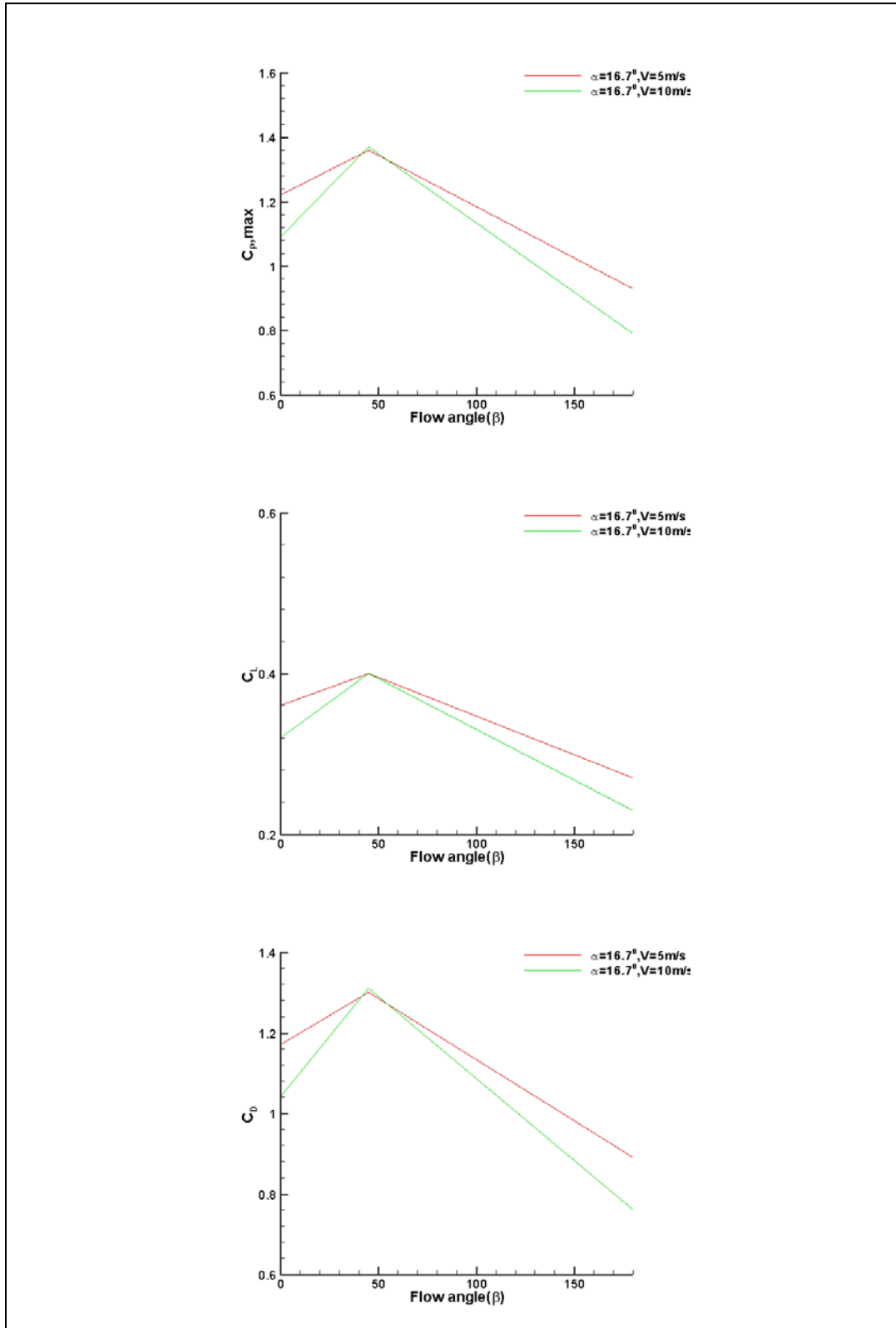


圖 3-44 C 組斜屋頂建築物光電板風阻形狀係數分佈圖
(資料來源：本研究整理)

第五節 可視化試驗

一、試驗設備簡介

為了更加瞭解光電板在建築物屋頂處的流場情形，本研究特別應用本實驗室所擁有的氬離子雷射，進行可視化試驗。

在進行可視化試驗之實驗設備，可分為下列主要部分：

1. 氬離子雷射主體總成：本項設備為 Coherent 公司所生產，包含雷射主機 Innova 70C、控制電源、操作控制器、雷射延長線線座（包含雷射頭）。

Innova 70C Features:

- Aluminum resonator structure for fast warm-up and excellent pointing stability
- Intracavity aperture for precise mode control
- Linear passbank power supply for low-noise operation
- Compact digital remote control for ease-of-use
- Innova Series V plasma tube for long trouble-free lifetime

The Innova 70C has earned an excellent reputation as a laboratory and industrial workhorse. It provides a unique combination of high performance and affordability for applications such as Raman spectroscopy, fluorescence spectroscopy, laser pumping, and laser doppler velocimetry. The Innova 70C is available in argon, krypton and mixed-gas configurations, with output wavelengths from the ultraviolet to the infrared.

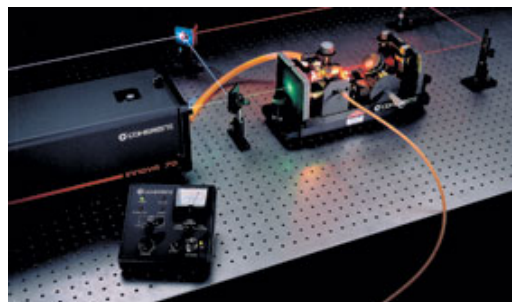


圖 3-45 Coherent Innova 70C、設備特點

(資料來源：<https://www.coherent.com/products/index.cfm?354/Innova-70>)

2. 冷卻裝置：包含冷卻水塔、冰水機（採用蒸餾水，避免水垢及雜質生成）。
3. 煙流設備：包含煙流產生產生器、。

二、可視化試驗試驗流程

試驗及設備啟動順序如下

1. 開啟冷卻水塔，確認循環水量足夠。
2. 開啟冰水主機，確認蒸餾水水量是否足夠。
3. 開啟控制電源至 Standby 位置，並先將雷射區域擋板架好，以利觀察雷射色相及焦距調整。
4. 打開控制器，開啟程序完成。
5. 調整功率值，一般控制在 0.5W，並注意雷射色相是否維持在藍綠色。若雷射無顯示，表示雷射主機的稜鏡並無對焦而無法折射產生，必須藉由調整鈕進行上下左右四個方向的調整。
6. 將雷射延長線座架設模型前方（來流處），開啟煙流設備，藉由低風速的情形下，觀察煙流在流場中的表現。以上環境須在陰暗處進行。

三、進行模型煙流流場觀察。

依序進行下列模型觀察光電板與建築物之間的流場：

1. 矩型建築物
2. 矩型建築物-含女兒牆
3. 斜屋頂建築物



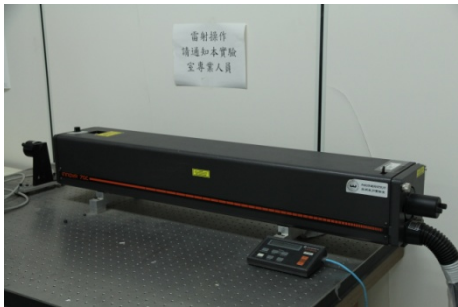


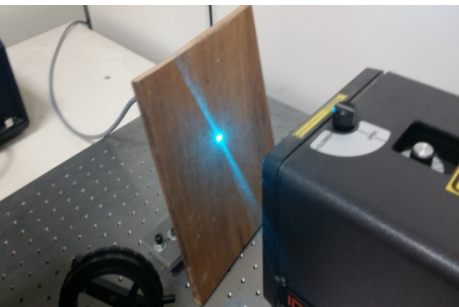


	
<p>冷卻水塔</p>	<p>冰水主機</p>
	
<p>Coherent Innova 70C</p>	<p>控制電源</p>
	
<p>操作控制器</p>	<p>雷射前方擋板</p>
	
<p>稜鏡調整鈕</p>	<p>雷射延長線座</p>

圖 3-46 可視化試驗實驗設備照片
 (資料來源：本研究整理)

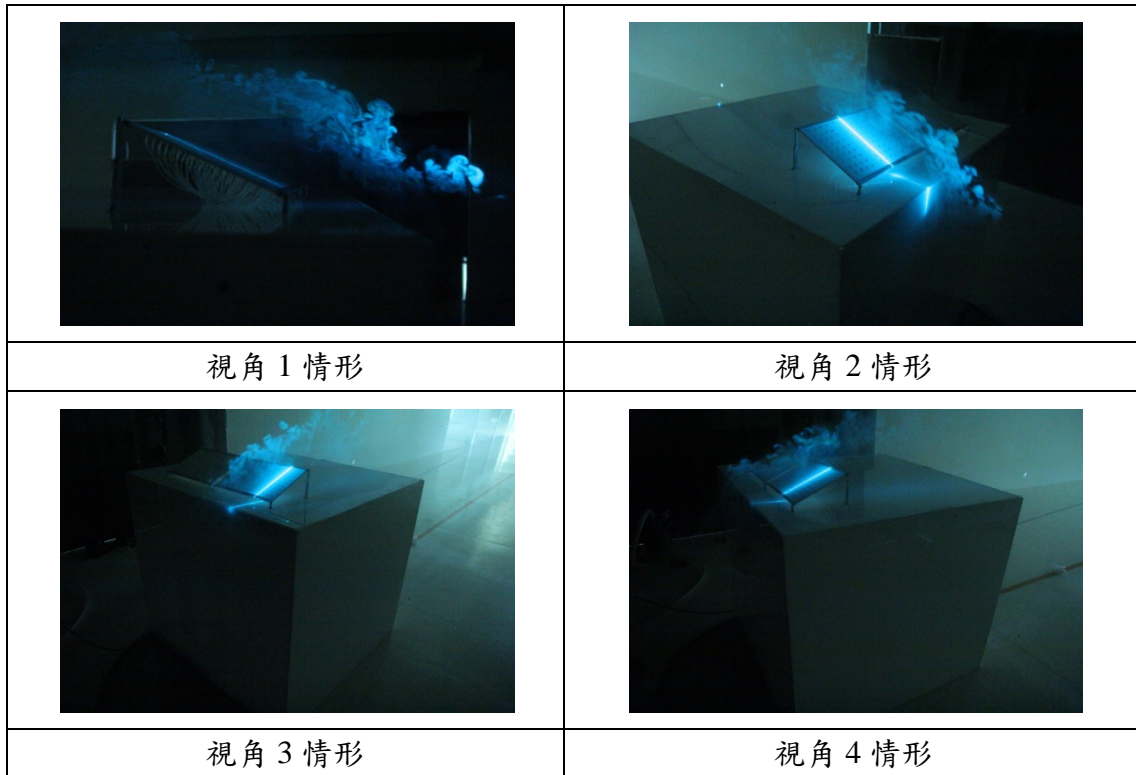


圖 3-47 矩型建築物 (A 組) 流場情形

(資料來源：本研究整理)

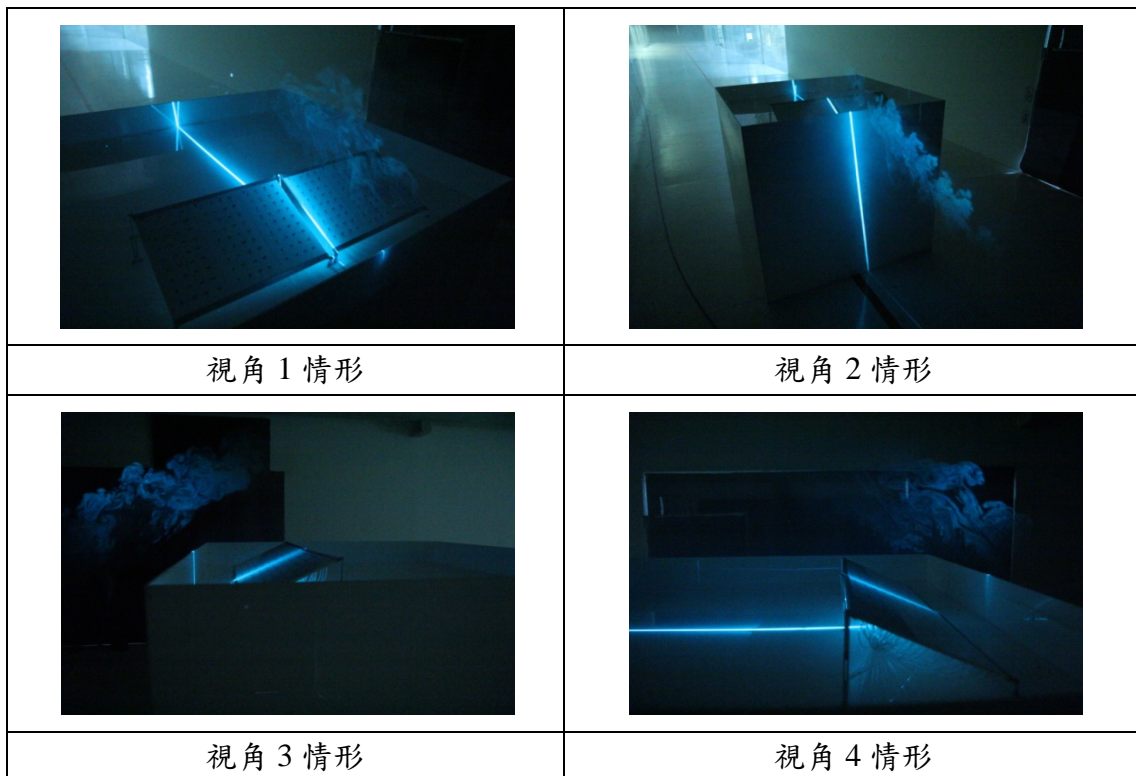


圖 3-48 矩型建築物-含女兒牆 (B 組) 流場情形

(資料來源：本研究整理)

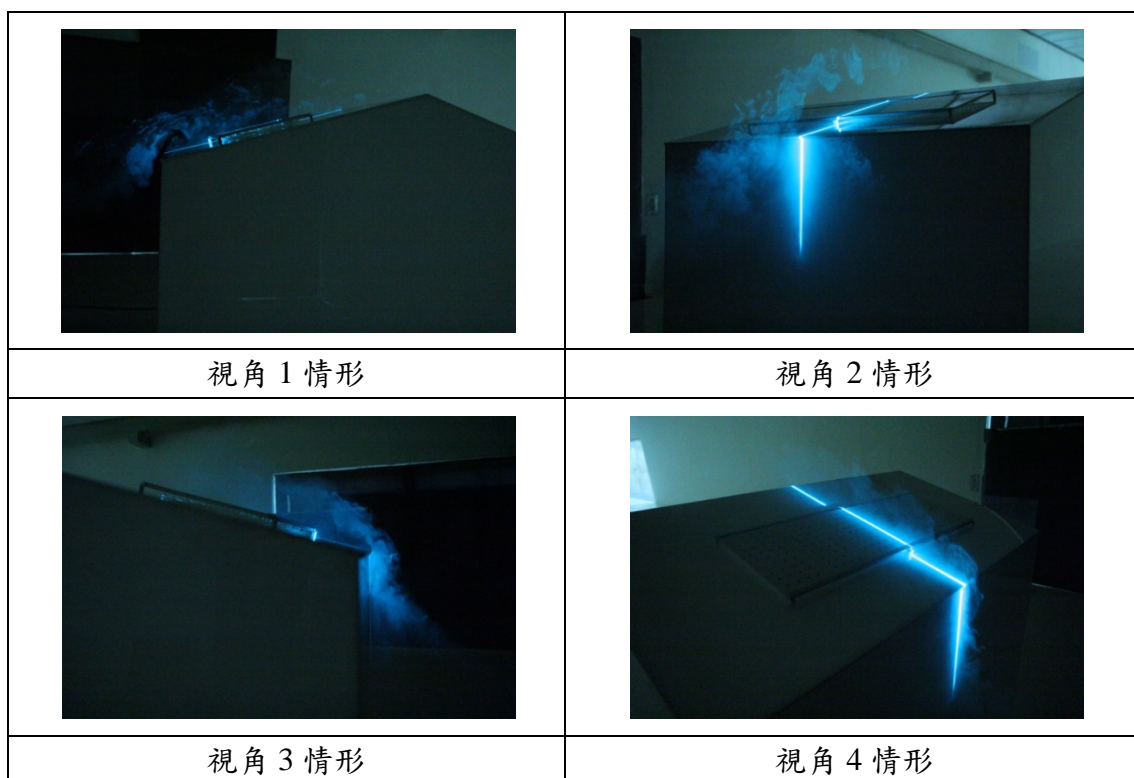


圖 3-49 斜屋頂建築物 (C 組) 流場情形

(資料來源：本研究整理)

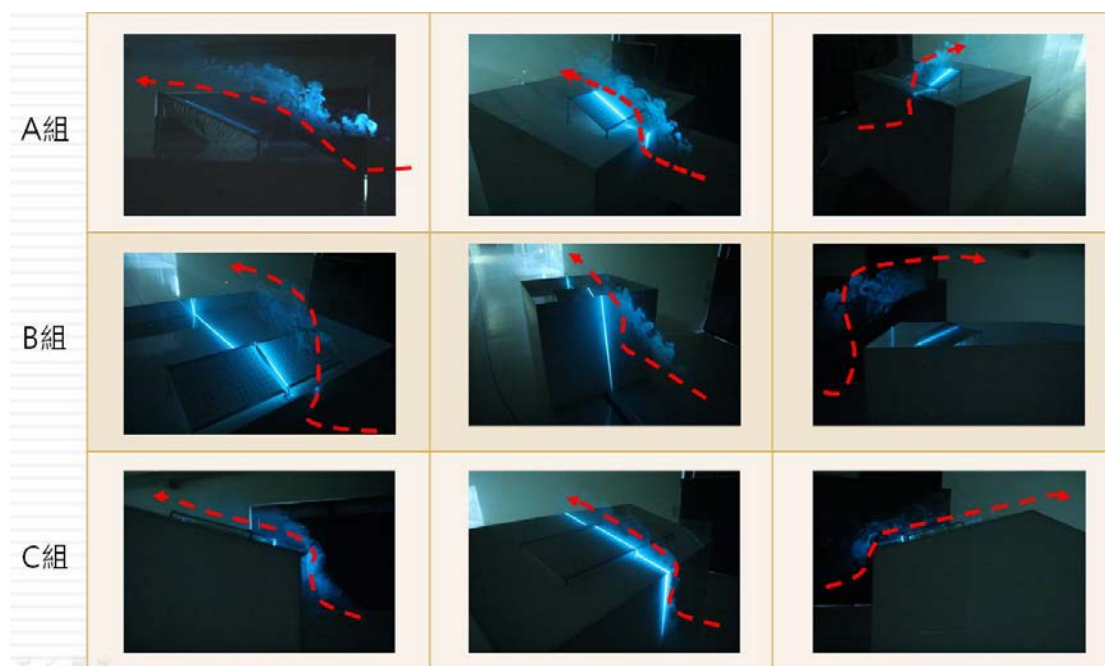


圖 3-50 A、B、C 組流場流向綜合討論圖

(資料來源：本研究整理)

第六節 結果討論

1. 由本次的實驗結果，可以觀察到屋頂型光電板壓力值的變化，不難發現其所承受的風壓值以負風壓為主。該結果與本章第五節所進行的可視化試驗流場流向趨勢相符，也與本人 103 年研究案結果的物理現象相同；其表示屋頂型光電板受到建築物上方與兩側氣流加速繞過，以及該傾斜角裝設位置的影響，導致所受風壓均以牽引力為主，而形成負風壓（吸力）相當明顯，此力量亦可能是造成光電板的損壞主因，致使掀翻光電板，而不是直接使光電板受到正向的壓力吹損破壞。此點可與日前蘇迪勒颱風（104 年 8 月）侵台後所造成光電板的損害災情不謀而合，讀者可與本文第二章圖 2-48 比對，該屋頂型光電板模組破壞的方式幾乎是整組飛落，研判都是整個模組合支架被風拉拔而起，驗證本研究的實驗相當合理。
2. 經整理各組實驗不同來流風攻角 β 與光電板傾斜角 α 時，風壓係數 C_p 值的變化如下：
 - (1) 矩型建築物（根據圖 3-19 至圖 3-25 判讀）
 - 來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 0.80~1.25， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
 - 來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 1.47~1.53， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
 - 來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.90~1.30， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
 - (2) 矩型建築物-含女兒牆（根據圖 3-29 至圖 3-35 判讀）
 - 來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 0.75~1.10， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
 - 來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 0.95~1.26， $C_{p(\alpha=15^\circ)} \doteq C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
 - 來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.80~1.20， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
 - (3) 斜屋頂建築物（根據圖 3-39 至圖 3-41 判讀）
 - 來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 1.04~1.28，
 - 來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 1.35~1.40，
 - 來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.82~0.94。
3. A、B、C 在來流風攻角 $\beta=45^\circ$ 試驗結果中，光電板所承受的風壓值均為最大。而更可發現，當含有女兒牆時，明顯削弱了風壓對光電板的影響；至於斜屋頂的建築物，仍以來流風攻角 $\beta=45^\circ$ 時，光電板所承受的風壓值均為最大。因此，光電板在建築角隅處所受角渦漩影響，研判該處最為脆弱，應予避免或強化保護。
4. 由表 3-4、表 3-5、表 3-6 換算出各組試驗的 C_D 、 C_L 最大值，併同圖 3-42、圖 3-43、圖 3-44 可發現，計算的 C_D 、 C_L 值將會受到傾斜角 α 的影響；而當光電板的受到負風壓牽引時，矩型建築物在沒有女兒牆的保護作用下，所受到的牽引力將會特別加劇，應特別注意（如圖 3-50 A 組與 B 組

的對照可知)。

5. 另於數據資料中，發現本研究所採用的壓力掃描器模組中，有幾個孔位呈現錯誤的壓力值，因在討論時不影響結果，爰不予採計，惟仍可從壓力分布圖中可明顯看出部分點位較大的跳動(如圖 3-25、3-35 及 3-41)。

第四章 結論與建議

第一節 結 論

- 屋頂型光電板壓力值的變化，承受的風壓值以負風壓為主，表示屋頂型光電板受到建築物上方與兩側氣流加速繞過，以及該傾斜角裝設位置的影響，導致所受風壓均以牽引力為主，而形成負風壓（吸力）相當明顯，此力量亦可能造成光電板的損壞主因，而掀翻光電板，而不是直接使光電板受到正向的壓力吹損破壞。此點可與日前蘇迪勒颱風（104年8月）侵台後所造成光電板的損害災情不謀而合，研判該屋頂型光電板模組破壞的方式幾乎是整個模組合支架被風拉拔而起，驗證本研究的試驗相當合理。
- 經整理各組實驗不同來流風攻角 β 與光電板傾斜角 α 時，風壓係數 C_p 值的變化如下：
 - 矩型建築物

來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 0.80~1.25， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，

來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 1.47~1.53， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，

來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.90~1.30， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)}$ ，
 - 矩型建築物-含女兒牆

來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 0.75~1.10， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，

來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 0.95~1.26， $C_{p(\alpha=15^\circ)} \doteq C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，

來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.80~1.20， $C_{p(\alpha=15^\circ)} > C_{p(\alpha=20^\circ)} > C_{p(\alpha=25^\circ)}$ ，
 - 斜屋頂建築物

來流 $\beta=0^\circ$ 時， C_p 近似 1.04~1.28，

來流 $\beta=45^\circ$ 時， C_p 近似 1.35~1.40，

來流 $\beta=180^\circ$ 時， C_p 近似 0.82~0.94。
- A、B、C 在來流風攻角 $\beta=45^\circ$ 試驗結果中，光電板所承受的風壓值均為最大。而更可發現，當含有女兒牆時，明顯削弱了風壓對光電板的影響；至於斜屋頂的建築物，仍以來流風攻角 $\beta=45^\circ$ 時，光電板所承受的風壓值均為最大。因此，光電板在建築角隅處所受角渦漩影響，研判該處最為脆弱，應予避免或強化保護。
- 各組試驗計算的 C_D 、 C_L 值將會受到傾斜角 α 的影響；而當光電板的受到負風壓牽引時，矩型建築物在沒有女兒牆的保護作用下，所受到的牽引力將會特別加劇，應特別注意。

5. 本研究經試驗後發現，屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數，與設置型態、傾斜角有一定關係，經以最大值平均數求出後，數據表整理如下表 4-1 「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」，可提供給我國「建築物耐風設計規範及解說」作為後續修訂參考。本表與該規範表 2.12 煙囪、水塔等之風力係數 C_f 有所區隔，主因在於該 2.12 表係以假設風力作用方向與風向平行，同時該類型與屋頂太陽能光電板有所不同，同時對於太陽能光電板的設置需求不同，對於設計者在設計時，可參考各項係數進行，惟對於光電板組成的扣件、支架等結構行為，則應另予考量。

表 4-2 屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表

建築物型態	傾斜角 α	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。

第二節 建議

建議一：

光電板的設置應避開建築物角隅處：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

由研究可知，角隅處的容易受到角渦漩的影響而有受到風壓破壞之可能，因此，對於光電板的設置應在相關規範條文中註明「光電板的設置以避開建築物角隅處為原則。如無法避開時，應該強化該支架與框架之構材材質，以增加抗風能力。」

建議二：

提出屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表供修訂及設計者參考：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

本研究經試驗後發現，屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數，與設置型態、傾斜角有一定關係，經以最大值平均數求出後，數據表整理如表 4-1「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數表」，並可提供給我國「建築物耐風設計規範及解說」作為後續修訂參考。本表可與該規範表 2.12 煙囪、水塔等之風力係數， C_f 有所區隔，主因在於該 2.12 表係以假設風力作用方向與風向平行，同時該類型與屋頂太陽能光電板設置需求有所不同，因此由本研究提出，以供設計者在設計時，可參考各項係數進行，惟對於光電板組成的扣件、支架等結構行為，則應另予考量。

附錄一 期初審查會議紀錄與回應

內政部建築研究所 104 年度第 3 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：104 年 2 月 16 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、蘇鴻奇、姚志廷、
林霧霆、褚政鑫

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究案主持人簡報：(略)

七、發言要點：

(一)「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」案：

1. 建議先蒐集不同屋頂形式、光電板與主體結構的連結關係、光電板安裝方式、支架高度、光電板材質、受風破壞案例等等資料，並分析其影響程度以及可能造成毀損原因後，再進一步進行實驗設計。
2. 有關含女兒牆的屋頂縮尺模型製作，應盡量符合實際情形，以免影響實驗結果。
3. 除了既有光電板材質與形式外，建議亦可進一步討論不同材料、形狀、粗糙摩擦度等影響。
4. 建議將光電板安裝方式影響程度完整呈現，以提供設計或使用端能正確且便於申請使用。

(二)「木構造屋頂耐火性能設計與驗證研究」案：

1. 研究內容擬採用組合構件耐火性能累加方式，因涉管理與驗證等相關複雜議題，宜請再考量其妥適性，並請蒐集探討美國、加拿大與日本等各國木構造建築管理有關木構造防火性能審核認可程序內容。

2. 有關去年木構造樓板研究成果與美國 APA 圖例之差異性，應深入探討原因為何？
3. 有關木構造樓屋頂設計方式，應先蒐集參考美國工程木材協會 APA 或其他國內外規範圖例。後續試體設計是否參考法規僅探討屋頂構架或是尚包含被覆材料，宜再確認。
4. 研究過程應充份調查國內木構造樓板與屋頂構造案例，明確掌握設計與施工的差異性，以利後續研究內容之妥適性。

(三)「隔熱建材節能效益及綠建材基準研擬之研究」案：

1. 文獻回顧部分提及實驗屋實測與解析結果差異甚大，本年度之研究應先探討導致差異可能原因。
2. 國外解析軟體參數設定，如室內空調溫度設定、外氣條件、建築構造等，是否與國內不同，因而導致解析結果無法反應實測結果，請加以釐清。
3. 由於環保署已訂有「建築用隔熱材料」環保標章基準，未來研擬隔熱材料之綠建材標章基準時，應相互比對參考。
4. 本研究定義之隔熱建材係指屋頂或含外牆的隔熱材料，應敘明清楚。
5. 請說明本研究分析之耗能僅是夏季冷氣空調之耗能，還是包括冬季暖氣空調之耗能。
6. 過去有相關學者曾進行隔熱建材基準之研究，建議可蒐集並參考相關文獻。

(四)「建材逸散法定毒性總揮發性有機化合物資料庫與調查之研究」案：

1. 補充說明本研究引用之 ISO 標準及 CNS 標準比較，請探討現行之分級制度。
2. 彙整建材逸散檢測之定性及定量是否並存？本研究資料庫僅納入定性資料，建議說明資料庫用途。
3. 考量資料庫完整性及彙整其他類建材逸散定性資料，評估是否納

入其他認可實驗室資料，俾評估建材逸散調查及統計。

4. 研究內容將以接著劑類建材進行 TVOC 定量試驗，過去缺乏該類建材逸散 VOCs 數據，其逸散情形對人體健康影響之探討建議納入。

(五)「地面磁磚防滑改善對策之研究」案：

1. 為使題目與研究內容相符，題目名稱建議修正為「地坪防滑改善對策之研究」。
2. 本所過去有關防滑係數研究之數值，建議可於研究中加以探討。
3. 公共場所有關防滑改善之管理方法及處置，建議可從管理學中的 3E(Engineering, Enforcement and Education)方式著手。
4. 如為研究地坪材料之選擇，可先探討如何選擇防滑之磁磚，再說明研究如何改善。

八、會議結論：

春節假期將至，請同仁於假期前盡快將相關業務於期限內妥適辦理完竣，並確實掌握假期內辦公廳舍、實驗設施的安全，以及保持電話暢通，以利必要之聯繫與處置。另亦請同仁於出遊時注意自身安全，切勿酒後駕車。

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。

九、散會：(下午 4 時 10 分)

審查意見回應表

項次	審查意見	回應
1	建議先蒐集不同屋頂形式、光電板與主體結構的連結關係、光電板安裝方式、支架高度、光電板材質、受風破壞案例等等資料，並分析其影響程度以及可能造成毀損原因後，再進一步進行實驗設計。	業於第二章文獻回顧內容中呈現，並將持需蒐集以利完整。
2	有關含女兒牆的屋頂縮尺模型製作，應盡量符合實際情形，以免影響實驗結果。	建築物的製作係參考營建署標準圖說設計，並將女兒牆納入矩型建築物屋頂上，相關說明如第三章。
3	除了既有光電板材質與形式外，建議亦可進一步討論不同材料、形狀、粗糙摩擦度等影響。	考量研究期程，本項將於後續研究中辦理。
4	建議將光電板安裝方式影響程度完整呈現，以提供設計或使用端能正確且便於申請使用。	將於試驗完後，藉由所計算相關係數與關係後，將建議內容呈現於期末報告。

附錄二 期中審查會議紀錄與回應

本所 104 年度自行研究「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」、「建築風洞試驗監控系統規劃研究」、「都市區域風環境影響評估分析研究」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：104 年 8 月 6 日（星期四）上午 9 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主持人：陳組長建忠
李鎮宏

記錄：陳玠佑、郭建源、

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」案：

林技師增吉：

1. 請說明進行風洞實驗時採用最大風速為多少？
2. 未來應將試驗結果所推導之 C_D 、 C_L 與目前風力規範列表比較，並建議實務設計時以採用何者為合理。

柯總經理鎮洋：

1. 本案研究針對屋頂型太陽能光電板進行風阻形狀係數之研究，研究成果僅適用「屋頂型」太陽光電能板，建議增加實務設計之應用內容。
2. 研究成果如何納入現行「建築物耐風設計規範及解說」，建議於研究中提出規範或解說之修正或補充說明。
3. 請說明研究中所採用的地況為何？例如地況 A、B 或 C。

楊教授宏宇：

1. 光電板架設位置與地貌分佈具有直接相關性，應列入未來研究工作重點。
2. 地形與模擬參數因產生流場之不同而有所不同，所以在建築物耐風設計規範內應予納入。
3. 建築物外觀主體因設計概念而有多元變化之發展，未來針對風阻形狀係數之研究，須將國內現有建築物主體分類研究，方可使研究更臻完備。

鄭技師昭鑾：

1. 屋頂太陽能光電板風阻形狀係數研究，應儘速完成，俾對目前有關屋頂或屋頂突出物設置太陽能光電設施免請雜照，制定各種安全設置法規。
2. 太陽能光電板是矽晶圓或薄膜等材料組成，各種材料應有它的使用年限，如光電板老化後就變成廢棄物，應亦探討未來這些廢棄物如何處理，是否可回收再利用，或與核廢料一樣造成環境污染。

蕭教授葆義：

1. 相關資料文獻蒐集許多，期中報告內容已符合預期成果。
2. 建議未來期末報告除了考慮計算 C_D 、 C_L 之外，擾動均方根值 $(C_D)_{rms}$ 與 $(C_L)_{rms}$ 也可納入。

林教授子平：

1. 資料蒐集完整，研究理論及方法描述詳實。
2. 在應用方法內容可再簡化清楚描述，以利於後續設計者參考。

陳組長建忠：

1. 宜請考量金門、馬祖、澎湖等外島能源缺乏條件下，提出適合該風場以及較能容易採用的太陽能板類型。
2. 研究內容宜考量朝向提出雜項執照對於受風影響之審查要項，及相關安全基準，以落實審查與安全。

計畫主持人回應（陳副研究員玠佑）：

1. 本研究為更進一步探究光電板風壓分布情形，在考量模型縮尺與雷諾數的條件下，實驗時最高風速為 10m/s，並採用均勻流的風場為原則進行風壓量測，再以無因次化呈現與推導，所得結果可供設計時直接推算與應用，因此，也無須再由地況 A、B、C 紊流場條件來進行吹試，相關研究內容業於報告書第 3 章詳述。
2. 有關光電板的應用、風阻形狀係數的量化，以及在設計參考、環境適用條件與各項規範修訂建議原則，將藉由後續實驗與 C_D 、 C_L 的推導完成後（含主壓力、擾動均方根值所推導值），一併呈現於期末報告。
3. 至於光電板老化、廢棄物處理污染，及不同建築物主體的影響等等，考量研究期程擬規劃於未來研究探討。

（二）「建築風洞試驗監控系統規劃研究」案：

林技師增吉：

1. 建議期末簡報時，應到試驗現場察看監測系統與驗證效果。
2. 建議及早完成研究，以利後續試驗使用。
3. 建議增加操作手冊。
4. 請補充說明 TAF 目前申請情況。

柯總經理鎮洋：

1. 本監控系統撰寫完成，請提出後續維修和發展構想。
2. 有關監控系統之架構為何，宜提出文字論述，以利補充說明與了解。
3. 對於應用數據後續使用發展(如：量測物之基本週期、Mode shape…等)，值得鼓勵進行後續研究。
4. 請撰寫使用手冊。

楊教授宏宇：

1. 監控系統規劃需納入環境風場變化(如：受週遭環境之影響)，始能反映真實風場相關數據。

2. 參數選項內宜列入自然災害發生時（如：颱風及強風）之風場值，以利於得知該風場基準及紊流的變化，進而推估自然災害發生時風的影響。

鄭技師昭鑾：

1. 本研究認為使用圖控軟體 LabVIEW 進行風洞試驗監控系統的精準度超出目前使用 VB 系統，試問增加多少百分比或是僅是相近？請補充說明。
2. 報告書第 4 章第 1 節結論 4 所述，目前尚缺參考風速量測，建議應儘速完成，使 LabVIEW 能建立更完整的風洞監控系統。

蕭教授葆義：

1. 期中審查報告內容均符合預期成果。
2. 目前研究風力量測系統之自動化，是否會因為電腦作業系統更新，而量測系統亦需隨之修正？

林教授子平：

1. 本研究屬實驗室重要工作項目，並期望解決操作平台及系統的問題。
2. 對於系統日後維護、更新時可能產生的挑戰，應可進一步描述與說明。

陳組長建忠：

1. 報告內容所稱 LabVIEW 試算結果與 VB 程式很一致，其中兩組數據是一樣還是數據接近？誤差多大？
2. 相對於目前採用 VB 程式系統有利之處為何？

計畫主持人回應（李主任鎮宏）：

1. 新建監測系統使用手冊將於版面配置、參數顯示、數據驗證、資料讀取儲存及相關功能確認無誤後，撰寫納入期末報告中。
2. 本案目前僅針對建築結構基底風力之監測與分析加以研究，後續仍待納入環境行人風場與建築表面風壓實驗監測部

分。

3. 在風力數據比對部分，於同步及同一擷取頻率之前提下，目前 2 套監測系統所量得之資料經比對分析後相同。

(三)「都市區域風環境影響評估分析研究」案：

林技師增吉：

1. 請說明強風及弱風如何分別？
2. 本次風洞試驗採用風速是多大？
3. 風場與雷諾數之關係如何？
4. 弱風及氣流可能多是層流狀況，請說明層流對通風改善之影響。
5. 安全及舒適度是以強風陣風為主要考量，而本研究是風對環境影響評估，請提出具體原則，以利規劃設計參考。
6. 建議以彩色圖表示流場。

柯總經理鎮洋：

1. 臺灣地形非常多樣性，從海邊平原或盆地，丘陵地、高山、山岳、峽谷，各都市發展程度皆有不同（如：台北市、新北市、高雄市、台中市、台南市、桃園市等）。建議建築研究所可朝大區域、大尺度環境影響評估著手，提出都市發展建議。
2. 本案以個案研究(新北市中和區都更案例)而言，值得鼓勵。

楊教授宏宇：

1. 平均風速隨高度變化考慮不同基準的建築體設計來進行研究，頗有價值。
2. 街谷效應內風場變化（通風狀況）因交通流量密度並會產生熱流，而干擾風場分布狀況可納入研究範圍內討論。
3. 盛行風向（含側風結果）背景值在街谷或空曠地區而言，前者風向較不穩定，後者可視為均勻流，所以有待深入探討其不同的結果。

4. 風向具不確定性，而報告內容以每 10 度進行分析，與傳統氣象每 22.5 度觀測值如何進行比對？因為以 10 度為間距範圍太細，恐甚難觀測（弱風區除外）。
5. 都市區尚有山谷風效應、盆地效應及海陸風效應，均可列入考慮。

鄭技師昭鑾：

現在台北市大部分是 4-5 層老公寓，政府為鼓勵都更，給予相當高的容積率，無形中都更建築物可獲得建造更多更高的樓層，但會對鄰近低樓層未符合都更的住戶，形成一種無形的傷害，如風流、遮陽、交通、空氣…等影響，因此建議促進研究結果應用到建築法規，對都更的設計應先經相關主管單位進行風環境影響評估合乎法規後，才能核發建築執照。

蕭教授葆義：

1. 期中審查報告內容均符合預期成果。
2. 本案藉由個案研究之經驗與成果，提供都市設計區域風場改善策略。

林教授子平：

1. 本主題攸關都市環境的舒適性，也與能源耗用密切相關，具有極高之價值。
2. 可進一步將舒適性的議題或指標，與風速進一步連結，即可了解通風後對人行環境的健康，舒適性提升。
3. 因本主題甚大，現階段建議可著重在都市風環境操作實驗方法及分析基準之建立即可。

陳組長建忠：

1. 研究成果應導向有用的量化，或可供都市更新及都市設計審查人員能審查之用。
2. 風洞環境與實體都市空間都可用之數值誤差多大？

計畫主持人回應（郭副研究員建源）：

1. 本研究進行都市強風及弱風評估，強風係指高層建築所導

引風場在近地表面附近形成之瞬間強風，對行人產生不舒適性或安全性疑慮，目前世界各國訂有相關評估準則。而弱風則是在都市街谷內，風速過低而影響戶外自然通風之風場，參考香港研究以 1 m/s 為基準。

2. 風洞試驗時模擬之大氣邊界層緣風速約為 12.5 m/s，計算所得雷諾數約 1.5×10^6 ，依據Townsend(1976)研究，當雷諾數大於 10^4 ，紊流流場不受雷諾數影響，故試驗風速符合動力相似性。另試驗時風攻角係配合氣象局提供之氣象資料以每 10 度作為分界。
3. 本研究係針對都更案例探討其附近方圓約 300 公尺範圍街廓之風場，以確認風洞實驗方法及評估基準，並進一步研擬改善策略，俾供相關審查參考使用。對於大尺度之都市風場問題則可納入未來研究參考。
4. 有關都市風場之街谷效應、山谷風效應、盆地效應、海陸風效應及不同地形地物對風場影響等，在風洞試驗中將依不同區域之地形地貌特性建置相關模型以模擬前述風場效應，而本研究選定之區域僅有街谷效應，無法逐一考慮其他風場特性。另街谷中交通流量問題則不在本研究範圍內。

九、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。

十、散會：下午 12 時 10 分。

審查意見回應表

項次	審查意見	回應
1	<p>(1) 請說明進行風洞實驗時採用最大風速為多少？</p> <p>(2) 未來應將試驗結果所推導之 CD、CL 與目前風力規範列表比較，並建議實務設計時以採用何者為合理。</p>	<p>(1) 本研究為更進一步探究光電板風壓分布情形，在考量模型縮尺與雷諾數的條件下，實驗時最高風速為 10m/s，並採用均勻流的風場為原則進行風壓量測，再以無因次化呈現與推導，所得結果可供設計時直接推算與應用，因此，也無須再由地況 A、B、C 紊流場條件來進行吹試，相關研究內容業於報告書第 3 章詳述。</p> <p>(2) 業於第四章結論中說明。</p>
2	<p>(3) 本案研究針對屋頂型太陽能光電板進行風阻形狀係數之研究，研究成果僅適用「屋頂型」太陽光電能板，建議增加實務設計之應用內容。</p> <p>(4) 研究成果如何納入現行「建築物耐風設計規範及解說」，建議於研究中提出規範或解說之修正或補充說明。</p> <p>(5) 請說明研究中所採用的地況為何？例如地況 A、B 或 C。</p>	<p>(1) 基於研究團隊僅有 1 人，對於全面性研究將規劃於後續年度進行。</p> <p>(2) 業於第四章結論中說明。</p> <p>(3) 本研究為更進一步探究光電板風壓分布情形，在考量模型縮尺與雷諾數的條件下，實驗時最高風速為 10m/s，並採用均勻流的風場為原則進行風壓量測，再以無因次化呈現與推導，所得結果可供設計時直接推算與應用，因此，也無須再由地況 A、B、C 紊流場條件來進行吹試，相關研究內容業於</p>

		報告書第3章詳述。
3	<p>(1) 光電板架設位置與地貌分佈具有直接相關性，應列入未來研究工作重點。</p> <p>(2) 地形與模擬參數因產生流場之不同而有所不同，所以在建築物耐風設計規範內應予納入。</p> <p>(3) 建築物外觀主體因設計概念而有多元變化之發展，未來針對風阻形狀係數之研究，須將國內現有建築物主體分類研究，方可使研究更臻完備。</p>	<p>(1) 有關光電板的應用、風阻形狀係數的量化，以及在設計參考、環境適用條件與各項規範修訂建議原則，如第四章詳述。</p> <p>(2) 感謝指教。將納入未來年度研究。</p>
4	<p>(1) 屋頂太陽能光電板風阻形狀係數研究，應儘速完成，俾對目前有關屋頂或屋頂突出物設置太陽能光電設施免請雜照，制定各種安全設置法規。</p> <p>(2) 太陽能光電板是矽晶圓或薄膜等材料組成，各種材料應有它的使用年限，如光電板老化後就變成廢棄物，應亦探討未來這些廢棄物如何處理，是否可回收再利用，或與核廢料一樣造成環境污染。</p>	<p>(1) 感謝指教。</p> <p>(2) 有關光電板老化、廢棄物處理污染，及不同建築物主體的影響等等，考量研究期程擬規劃於未來研究探討。</p>
5	<p>(1) 資料蒐集完整，研究理論及方法描述詳實。</p> <p>(2) 在應用方法內容可再簡化清楚描述，以利於後續設計者參考。</p>	<p>(1) 感謝指教。</p> <p>(2) 業經於第三、四章補充。</p>
6	<p>(1) 宜請考量金門、馬祖、澎湖等外島能源缺乏條件下，提出適合該風場以及較能容易採用的太陽能板類型。</p> <p>(2) 研究內容宜考量朝向提出雜項執照對於受風影響之審查要項，及相關安全基準，以落實審查與安全。</p>	<p>(1) 感謝指教。本研究以通用條件進行，至於外島地區將納入未來年度研究。</p> <p>(2) 考量研究團隊能力，將納入未來年度研究。</p>

附錄三 期末審查會議紀錄與回應

本所 104 年度自行研究「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」、「建築風洞試驗監控系統規劃研究」、「都市區域風環境影響評估分析研究」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：104 年 11 月 26 日（星期四）下午 2 時 30 分

二、地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 4 會議室

三、主持人：陳組長建忠

記錄：陳玠佑、郭建源

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究」案：

林技師增吉：

1. 報告書第 32 頁之二、1 有關黏滯阻力符號 u 應為 μ ，請修正。
2. 請說明未來如何將 C_P 、 C_D 、 C_L 應用於「建築物耐風設計規範及解說」，以利作為光電板結構安全設計之參考。
3. 建議編撰為參考手冊或增訂為規範附錄，以利工程界採用。

楊教授宏宇：

1. 針對不同建築物設置光電板藉由實驗研究獲取所承受風壓值大小，對實際建築物架設太陽能光電板而言，是非常重要的。目前研究僅對於 3 種屋頂形式之特殊參數及傾斜角進行測試，未來若能進一步將更多不同屋頂形式的建築物一併納入探討，所得負壓風阻值等量化數據，將更有利於建築設計參考。

2. 老舊建築物和新建高樓大廈之環境風場差異仍大，建議未來針對太陽能光電板設置於該類型條件下，進行更深入研究。

鄭技師昭鑾：

1. 本案已研究出不同類型建築物與設置型態相關的太陽能光電板風阻形狀係數 C_p 、 C_D 、 C_L ，以及與傾斜角 α 相對應關係，應可提供作為「建築物耐風設計規範及解說」修訂的依據，俾讓結構設計者有所遵循。
2. 光電板劣化或老化後形成廢棄物如何處置？是否會造成環境污染？建議未來有類似研究議題時，併同納入探討。

蕭教授葆義：

1. 文獻資料蒐集豐富，整理比較分析清楚。
2. 報告書之參考書目撰寫格式應一致，部分文獻撰寫有缺漏部分資訊，如引用文獻頁碼等，建請一併補齊。

陳組長建忠：

1. 本研究係探討太陽能光電板風阻係數，惟實驗時有多少物化性質需予模擬，如形狀、屋頂斜率、材質…等。另對於實驗數量是否具有足夠的代表性？
2. 報告書第 44 頁引述建築物耐風設計規範宜考量朝向該規範之 3.3 節封閉式或部分封閉式建築物、3.4 節開放式建築物等內容，請深入釐清與本所曾執行「開放式建築創新應用科技計畫」之開放式建築之關連性？

計畫主持人回應（陳副研究員玠佑）：

1. 有關研究成果應用，將於成果報告完成後提供給相關主管機關，如內政部營建署、經濟部能源局等，以利供作為規範修訂參考依據。
2. 光電板形式業遵循實務現況進行，並採用常見型態的建築物完成模擬實驗，所得數據應具有相當代表性。而未來對於風洞試驗的進行可參考本研究方式，對於不同形狀、屋頂斜率、材質的條件，進行模擬實驗，以求取趨近於實際情形的數據。

3. 本研究所引用規範所稱開放式建築物，依該規範 1.3 節專有名詞定義：「開放式建築物為建築物至少兩個牆面各有 80% 以上之面積為開口。」，屬於建築物實體的定義；而 103 年「開放式建築創新應用科技計畫」所指開放式建築(Open building)則為建築設計理念，二者定義截然不同。
4. 有關符號修正、參考書目、文獻內容編撰方式等寶貴意見，將於成果報告書一併修正。

(二)「建築風洞試驗監控系統規劃研究」案：

林技師增吉：

1. 建議研擬操作手冊或流程，以利後續應用。
2. 建議通過審查。

楊教授宏宇：

1. 資料擷取受有限元素網格大小及參數設定影響關係密切，惟執行資料擷取時如何取得最佳化設計，仍是未來可否反應真實風力的關鍵，建議可再深入研究。
2. VB 及 LabVIEW 正確性及精確性比對，仍是爾後賡續研究要注意的課題，系統轉化過程須多次確認其準確性，方能有效掌握風力與風速數據之結果，並確認與實際數值誤差會是最小。

鄭技師昭鑾：

3. 本研究針對建築物結構風載重試驗，已達到預期的目標與成果。
4. 建議未來能對於行人環境風場、建築物外表披覆風壓列入研究探討。

蕭教授葆義：

3. 期末報告已完成預期工作項目，符合預期成果需求。
4. 建置 LabVIEW 圖控軟體之風速與風力監測系統使用標準操作手冊，可納入報告之附錄。

陳組長建忠：

本案起因於 LabVIEW 為多數實驗室使用，擬取代 VB 以提昇實驗效率，但請考量 LabVIEW 不能滿足實驗資料擷取及分析需要時，如何因應？

計畫主持人回應（李主任鎮宏）：

1. 本研究建立之 LabVIEW 風速與風力監測系統，其標準操作手冊(SOP)，將納於成果報告附錄中。
2. 風壓量測數據點數最佳化部分，將參考 ACSE-49(2012)內容，來進一步確認與六力平衡儀量測上面的差異。
3. 將比對 LabVIEW 圖控介面與 VB 系統在資料擷取功能上差異，避免實驗數據不正確性。

(三)「都市區域風環境影響評估分析研究」案：

林技師增吉：

1. 報告書第 XI 頁，四、建議一之句點請刪除。
2. 報告書第 7、8 頁之表 2-1，請勿分開並應保持在同一頁，以利閱讀。
3. 報告書第 9 頁第 4 行，行人風場「形」字有誤。
4. 報告書第 12 頁七之 effect 有誤。
5. 報告書第 8 頁應有紊流強度之概述，請補充。
6. 報告書第 16 頁第 1 行[5]應改為如下圖 2-10 所示。
7. 報告書第 20 頁圖 3-3 未標示指北方向，請補充。
8. 報告書第 25 頁請增加「二」字風速量測設備。
9. 街谷 C1~C9 之高寬比，請增加採用之高度及街谷實際寬度等相關數據。
10. 缺少都更後建築物設計配置建築物高度，應加以說明。
11. 報告書第 67 頁第 4 點第 3 行，原來街谷風場風速相對降低，請增加「風速」二字。

楊教授宏宇：

1. 針對基地建築物都更前後風場表現會隨周邊街谷及地貌而有所不同，爾後可以再深入研究及探討。
2. 盛行風向及相對濕度對都市區域風環境與舒適度，有決定性之影響，未來對環境影響評估可進一步探討研究。
3. 報告書第 6 頁公式 (A-3) 應修正為 (2-3)。
4. 報告書第 22 頁風速低於 0.2m/s 以下不予分析，其原由係因靜風風向不定所致。
5. 風向建議以 22.5° 區分，較能反應至 16 種風向相對位置。

鄭技師昭鑾：

新北市政府已領先注意到風環境問題，將空氣流通評估納入都市設計審議規則，對於隸屬中央的內政部更應刻不容緩，建議應速將研究成果訂定相關標準，做為全國各都市設計審計規則依據。

蕭教授葆義：

1. 期末報告均已完成預期成果。
2. 建議於報告書第 26 頁增列本研究所採用之 Irwin 地表風速計尺寸，例如 d、di、h、D、H 等。
3. 報告書第 26 頁第 13 行，Irwin[17]請更正為 Irwin[24]。
4. 報告書第 27 頁第 2 行資料來源[11]請更正資料來源為[24]。

陳組長建忠：

1. 都市更新僅是建築開發手段之一種，論述宜請妥適掌握可使用範圍，如都市設計、環境影響評估、市地重劃、區段徵收、開發許可或一般不採都市更新的拆除違建等情形，是否可用，請納入評估。
2. 目前各縣市對環境風場在審查時的做法為何，請補充。

計畫主持人回應（郭副研究員建源）：

1. 本研案旨在分析都市內不同建築型態對附近區域街廓內之環境風場特性，風洞試驗採用都更案例係配合實驗室已有之特定區域建築量體模型以減少人力物力負擔，研究所擬

之評估方法適用於探討都市區域之環境風場特性，且不以都市更新為限。

2. 有關目前各縣市對於風環境之法令規定與相關作為，本研究將儘速調查後納入成果報告書。
3. 本研究試驗採用之風攻角係配合氣象資料以每 10 度為一區分，俾利數據分析結果之呈現。另有關溫、濕度對風場影響問題可考慮納入未來研究課題辦理。
4. 有關本報告書中文字編輯、符號說明、文獻註記、儀器說明與試驗模型尺度等不足之處，將於成果報告書中一併修正。

七、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期末報告，經審查結果原則通過。
- (二) 請詳實記錄與會審查委員及出席代表意見，並請計畫主持人參採及確實依照本部規定格式提交成果報告，注意文字圖表之智慧財產權，如有引述相關資料，應註明資料來源，對於成果報告之結論與建議事項內容，須考量應為具體可行，並鼓勵將研究成果投稿建築相關學報或期刊。

八、散會：下午 4 時 40 分。

審查意見回應表

項次	審查意見	回應
1	<p>(1) 報告書第 32 頁之二、1 有關黏滯阻力符號 u 應為 μ，請修正。</p> <p>(2) 請說明未來如何將 C_P、C_D、C_L 應用於「建築物耐風設計規範及解說」，以利作為光電板結構安全設計之參考。</p> <p>(3) 建議編撰為參考手冊或增訂為規範附錄，以利工程界採用。</p>	<p>(1) 已修正。</p> <p>(2) 有關研究成果應用，將於成果報告完成後提供給相關主管機關，如內政部營建署、經濟部能源局等，以利供作為規範修訂參考依據。</p> <p>(3) 感謝委員指教，將努力於後續辦理。</p>
2	<p>(1) 針對不同建築物設置光電板藉由實驗研究獲取所承受風壓值大小，對實際建築物架設太陽能光電板而言，是非常重要的。目前研究僅對於 3 種屋頂形式之特殊參數及傾斜角進行測試，未來若能進一步將更多不同屋頂形式的建築物一併納入探討，所得負壓風阻值等量化數據，將更有利於建築設計參考。</p> <p>(2) 老舊建築物和新建高樓大廈之環境風場差異仍大，建議未來針對太陽能光電板設置於該類型條件下，進行更深入研究。</p>	<p>(1) 感謝委員指教，納入後續研究。</p> <p>(2) 將納入後續研究。</p>
3	<p>(1) 本案已研究出不同類型建築物與設置型態相關的太陽能光電板風阻形狀係數 C_P、C_D、C_L，以及與傾斜角 α 相對應關係，應可提供作為「建築物耐風設計規範及解說」修訂的依據，俾讓結構設計者有所遵循。</p> <p>(2) 光電板劣化或老化後形成廢棄物如何處置？是否會造成環境污染？建議未來有類似研究議題時，併同納入探討。</p>	<p>(1) 感謝委員指教。</p> <p>(2) 感謝指教，將納入未來年度研究。</p>

4	<p>(1) 文獻資料蒐集豐富，整理比較分析清楚。</p> <p>(2) 報告書之參考書目撰寫格式應一致，部分文獻撰寫有缺漏部分資訊，如引用文獻頁碼等，建請一併補齊。</p>	<p>(3) 感謝委員指教。</p> <p>(4) 業修正補充。</p>
5	<p>(1) 本研究係探討太陽能光電板風阻係數，惟實驗時有多少物化性質需予模擬，如形狀、屋頂斜率、材質…等。另對於實驗數量是否具有足夠的代表性？</p> <p>(2) 報告書第 44 頁引述建築物耐風設計規範宜考量朝向該規範之 3.3 節封閉式或部分封閉式建築物、3.4 節開放式建築物等內容，請深入釐清與本所曾執行「開放式建築創新應用科技計畫」之開放式建築之關連性？</p>	<p>(1) 光電板形式業遵循實務現況進行，並採用常見型態的建築物完成模擬實驗，所得數據應具有相當代表性。而未來對於風洞試驗的進行可參考本研究方式，對於不同形狀、屋頂斜率、材質的條件，進行模擬實驗，以求取趨近於實際情形的數據。</p> <p>(2) 本研究所引用規範所稱開放式建築物，依該規範 1.3 節專有名詞定義：「開放式建築物為建築物至少兩個牆面各有 80% 以上之面積為開口。」，屬於建築物實體的定義；而 103 年「開放式建築創新應用科技計畫」所指開放式建築 (Open building) 則為建築設計理念，二者定義截然不同。。</p>

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. 陳旭彥，江哲銘 (2008)。臺灣地區小型風力發電應用於中高樓層建築之法制化可行性研究。國立成功大學建築系碩士論文。
5. 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。
6. 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.
7. 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。
8. 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。
9. 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。
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
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。

15. 台北市議會 (2013)。臺北市議會第 11 屆議員提案內容，2015 年 2 月 4 日取自 http://tcc0725.tcc.gov.tw/onweb.jsp?webno=3333333327&webitem_no=453
16. 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>。
17. 經濟部 (2014)。建築整合型太陽光電發電設備示範獎勵辦法，103 年 8 月 13 日修正發布。2015 年 7 月 10 日取自 http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1090
18. 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
19. 經濟部標準檢驗局 (2015)。CNS 標準。2015 年 7 月 10 日取自 www.bsmi.gov.tw。
20. 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>。
21. 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>
22. 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>
23. 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>
24. 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。
25. 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。

REFERENCES in English

1. 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
2. Aly Mousaad (2013). Aerodynamic Loads on Solar Panels.
3. ASCE Standard ASCE/SEI 49-12,Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures,2012,Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
4. Bienkiewicz(1995). Proper orthogonal decomposition and reconstruction of multi-channel roof pressure.
5. K. Chung, K. Chang, Y. Liu(2008). Reduction of wind uplift of a solar collector model,Vol.96, Pages 1294-1306.
6. Eleni Xypnitou (2012). WIND LOADS ON SOLAR PANEL SYSTEMS ATTACHED TO BUILDING ROOFS. Concordia University Montreal, Quebec, Canada.
7. Jewel B. Barlow February 22, 1999. Low-Speed Wind Tunnel Testing ,
8. 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.
9. Innova(2015).Products, Innova 70C
Features.<https://www.coherent.com/products/index.cfm?354/Innova-70,30>
Nov.,2015