

太陽光電板支撐結構系統耐風性能 研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

(科技部 GRB 編號)
PG10802-0153

太陽光電板支撐結構系統耐風性能 研究

研究人員：李鎮宏 研究員兼主任

研究期程：中華民國 108 年 2 月至 108 年 12 月

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

Architecture and Building Research Institute,
Ministry of the Interior
Final Report

Wind Resistance Performance of Solar
Panels with Frame Structures

By
Lee, Chen-Hung

December , 2019

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VIII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起	1
第二節 政策依據與方向	4
第三節 文獻回顧	11
第四節 研究目的與方法	14
第二章 實尺寸太陽光電板耐風試驗規劃	17
第一節 前言	17
第二節 風場與振動量測規劃	19
第三節 距置型屋頂光電板配置	25
第三章 距置型單跨 4M 風向 I 耐風測試	37
第一節 前置實驗	37
第二節 試驗結果	41
第三節 小結	56

第四章 距置型單跨 6M 風向 I 耐風測試.....	59
第一節 陣風風速.....	59
第二節 面板風壓.....	65
第三節 構件振動.....	71
第四節 小結.....	74
第五章 距置型單跨 6M 風向 II 耐風測試.....	77
第一節 陣風風速.....	77
第二節 面板風壓.....	83
第三節 構件振動.....	89
第四節 小結.....	92
第六章 結論與建議.....	93
第一節 結論.....	93
第二節 建議.....	94
附錄一 期中審查意見答復表.....	95
附錄二 期末審查意見答復表.....	97
參考書目.....	99

表次

表 2-1 屋頂太陽能光電設置的種類	17
表 2-2 標準風壓	20
表 2-3 量測器數量及配置	23
表 2-4 構架尺寸	26
表 3-1 造風機變頻器與轉速對照表	37
表 3-2 最大陣風值平均 (m/s^2)	39
表 3-3 最大陣風值平均 (m/s^2)	40
表 3-4 加速計靈敏度(mV/g)	41
表 3-5 變頻器轉速控制	41
表 3-6 各部位尖峰加速度與基本振頻(8Hz)	46
表 3-7 各部位尖峰加速度與基本振頻(18Hz)	51
表 3-8 各部位尖峰加速度與基本振頻(30Hz)	55
表 4-1 不同風扇轉速下之陣風風速	59
表 4-2 風扇變頻轉速為 30Hz 下極值風壓	65
表 4-3 實驗風力係數計算	70
表 4-4 尖峰加速度	71
表 4-5 變頻轉速 30 Hz 下各部位尖峰加速度	75
表 5-1 不同風扇轉速下之陣風風速	77
表 5-2 風扇變頻轉速為 30Hz 下極值風壓	83
表 5-3 實驗風力係數計算	88
表 5-4 尖峰加速度	89

圖次

圖 1-1 太陽光電申請流程	4
圖 2-1 量測位置	20
圖 2-2 造風設備	21
圖 2-3 安裝風速計骨架	21
圖 2-4 風速計	21
圖 2-5 風速校驗配置	22
圖 2-6 加速計	22
圖 2-7 Labview 量測程式	23
圖 2-8 NI 模組	23
圖 2-9 加速度計分布	24
圖 2-10 實驗試體現場圖	26
圖 2-11 支撐構架	27
圖 2-12 加速計佈設位置	31
圖 2-13 風速計佈設位置	32
圖 2-14 實驗試體現場(風向 I)	33
圖 2-15 加速計佈設位置	34
圖 2-16 面板雙面風壓佈設位置	35
圖 2-17 實驗試體現場圖(風向 II)	35
圖 2-18 加速度計、風速計配置平面示意圖	36
圖 3-1 各風速計之歷時圖(20.6Hz)	38
圖 3-2 各風速計之歷時圖(30.0Hz)	40
圖 3-3 Wind_V1 風速歷時(8 Hz)	42
圖 3-4 Wind_V2 風速歷時(8 Hz)	42

圖 3-5 Wind_V3 風速歷時(8 Hz)	43
圖 3-6 Wind_V4 風速歷時(8 Hz)	43
圖 3-7 加速度歷時結果(8 Hz)	45
圖 3-8 Wind_V1 風速歷時(18 Hz)	47
圖 3-9 Wind_V2 風速歷時(18 Hz)	47
圖 3-10 Wind_V3 風速歷時(18 Hz)	48
圖 3-11 Wind_V4 風速歷時(18 Hz)	48
圖 3-12 加速度歷時(18 Hz)	50
圖 3-13 Wind_V1 風速歷時(30 Hz)	52
圖 3-14 Wind_V2 風速歷時(30 Hz)	52
圖 3-15 Wind_V3 風速歷時(30 Hz)	53
圖 3-16 Wind_V4 風速歷時(30 Hz)	53
圖 3-17 加速度歷時(30 Hz)	55
圖 3-18 不同風速下橫梁垂直向尖峰加速度	57
圖 3-19 不同風速下光電板垂直向尖峰加速度	57
圖 4-1 風扇變頻轉速 8 Hz 之風速歷時	60
圖 4-2 風扇變頻轉速 18 Hz 之風速歷時	61
圖 4-3 風扇變頻轉速 19.3 Hz 之風速歷時	60
圖 4-4 風扇變頻轉速 20.6 Hz 之風速歷時	62
圖 4-5 風扇變頻轉速 22 Hz 之風速歷時	62
圖 4-6 風扇變頻轉速 23.3 Hz 之風速歷時	63
圖 4-7 風扇變頻轉速 24.6 Hz 之風速歷時	63
圖 4-8 風扇變頻轉速 28 Hz 之風速歷時	64
圖 4-9 風扇變頻轉速 29.3 Hz 之風速歷時	64

圖 4-10 風扇變頻轉速 30 Hz 之風速歷時	65
圖 4-11 風壓歷時	70
圖 4-12 加速度歷時	73
圖 4-13 前方高端處最大陣風風速與量測位置	74
圖 4-14 後方處最大陣風風速與量測位置	75
圖 5-1 風扇變頻轉速 8 Hz 之風速歷時	78
圖 5-2 風扇變頻轉速 18 Hz 之風速歷時	79
圖 5-3 風扇變頻轉速 19.3 Hz 之風速歷時	79
圖 5-4 風扇變頻轉速 20.6 Hz 之風速歷時	80
圖 5-5 風扇變頻轉速 22 Hz 之風速歷時	80
圖 5-6 風扇變頻轉速 23.3 Hz 之風速歷時	81
圖 5-7 風扇變頻轉速 24.6 Hz 之風速歷時	81
圖 5-8 風扇變頻轉速 28 Hz 之風速歷時	82
圖 5-9 風扇變頻轉速 29.3 Hz 之風速歷時	82
圖 5-10 風扇變頻轉速 30 Hz 之風速歷時	83
圖 5-11 風壓歷時	88
圖 5-12 加速度歷時	91

摘要

關鍵字：太陽光電板、耐風測試、振動量測

在 108 年經濟部標準檢驗局「再生能源投(融)資第三方檢測驗證中心計畫」[1]中，推動太陽光電系統第三方檢測驗證，對於國內推動太陽光電系統建置可確保系統長期運轉可靠度，以目前國內推動太陽光電系統現況，金融業看好太陽光電長期投資效益穩定。惟台灣地處多颱風、地震區，從 104 年蘇迪勒颱風到 105 年尼伯特颱風侵襲台灣，造成許多太陽光電系統損壞，常見破壞包括基礎拉力不足、螺栓鎖固力不足、支架結構強度不足等，對於太陽光電系統結構安全逐漸受到重視，如不能防患於未然，不僅影響投資意願且對現階段推動太陽光電設置影響甚大。目前光電板生產廠商多以研發集電模組為主，支撐構架與接合安裝多由系統廠商進行，光電業者難以掌控施作品質，對於後期的維護運作的成本難以有效估算。

因此，如能針對實尺寸光電板及支撐系統進行耐風性能測試，提出標準實驗流程，協助光電廠商確認該光電模組之構架與接合系統之耐風性能，以確保整體太陽光電板於強風侵襲下之系統完整性。後續將依 CNS 14280「帷幕牆及其附屬門、窗物理性能試驗總則」第 4.4 項所述：動態水密性能試驗可檢測瞬間強風、陣雨對牆面所產生之效應，採用戶外大型風機，藉由系統性的實驗與測試，進行實尺寸之光電板及支撐系統耐風測試，包含建立實尺寸光電板支撐結構系統耐風測試流程及關鍵構件振動行為量測分析等。

第一章 緒論

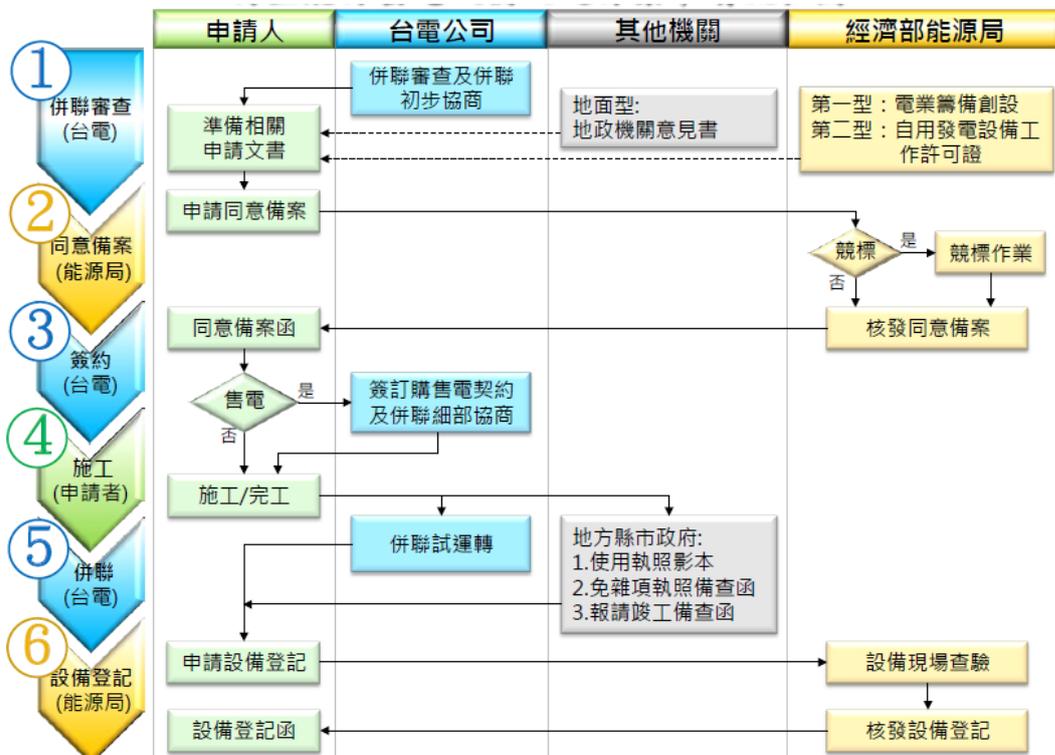
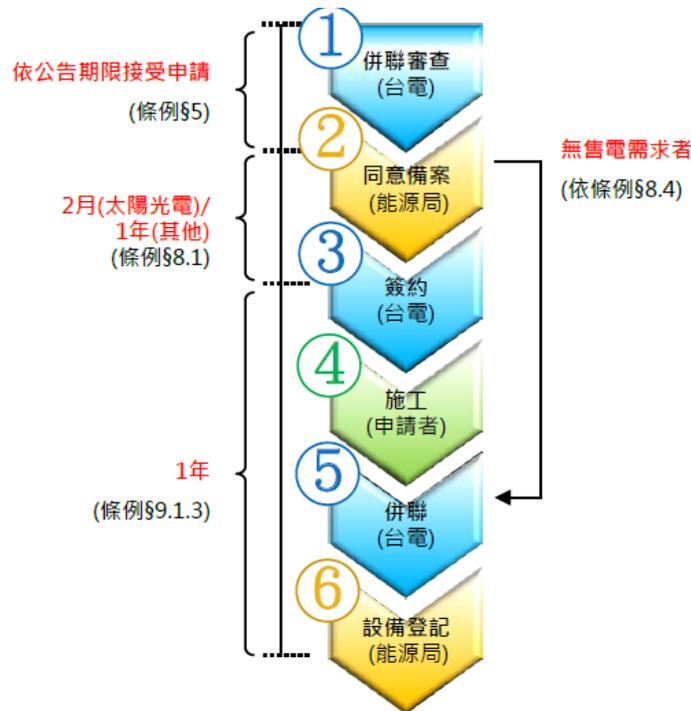
第一節 研究緣起

非核家園目標不僅僅是降低傳統發電系統的使用比例，也間接降低二氧化碳的排放及減少PM2.5對於環境及人體的危害。因此，行政院於民國105年9月8日核定「太陽光電2年推動計畫」，規劃2025年再生能源發電佔比為20%，其中太陽光電2025年規劃設置目標量為20GW，預估年發電量250億度電。截至民國106年6月底達成1,520MW，預期至108年底推動設置目標量達3,158MW，來擴大太陽光電系統設置容量，國內投(融)資更將投入1.2兆推動系統建置，系統後續營運長期穩定運轉將是很重要的關鍵。

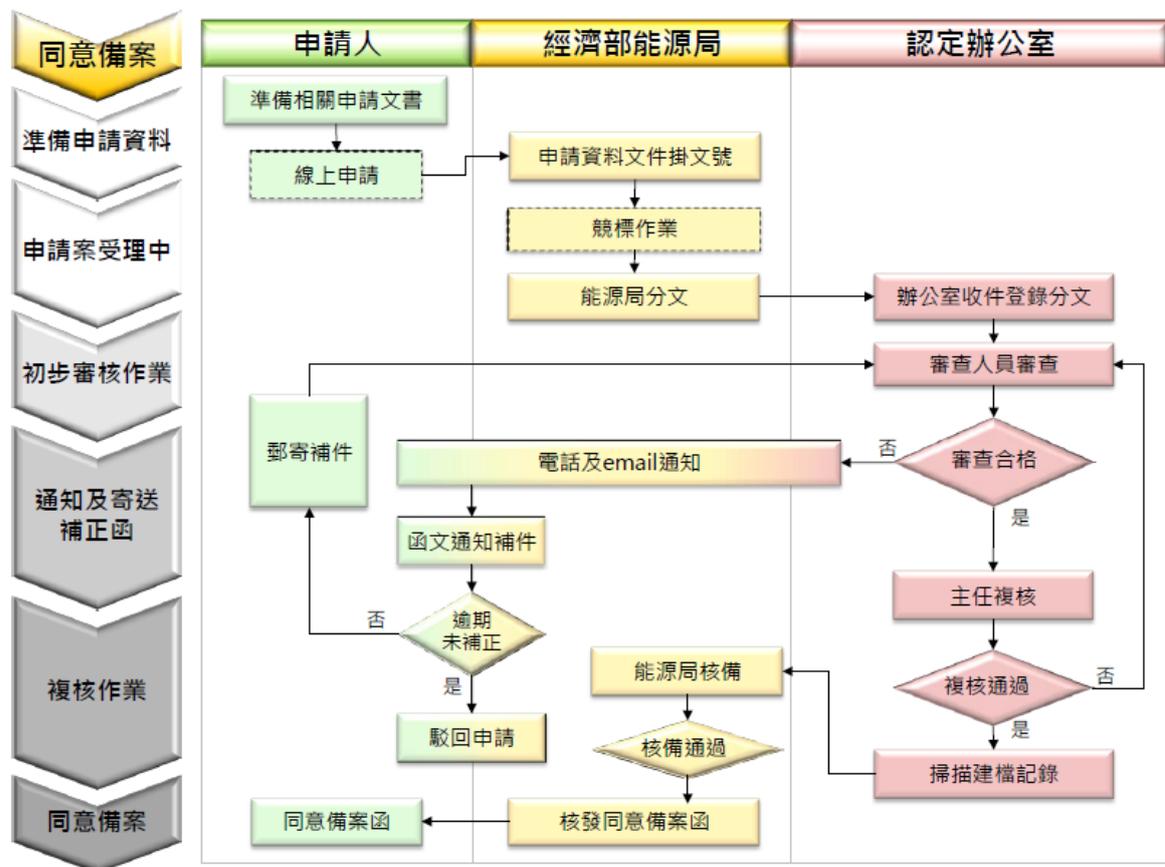
在108年經濟部標準檢驗局「再生能源投(融)資第三方檢測驗證中心計畫」[1]中，推動太陽光電系統第三方檢測驗證，對於國內推動太陽光電系統建置可確保系統長期運轉可靠度，以目前國內推動太陽光電系統現況，金融業看好太陽光電長期投資效益穩定。惟台灣地處多颱風、地震區，從104年蘇迪勒颱風到105年尼伯特颱風侵襲台灣，造成許多太陽光電系統損壞，常見破壞包括基礎拉力不足、螺栓鎖固力不足、支架結構強度不足等，對於太陽光電系統結構安全逐漸受到重視，如不能防患於未然，不僅影響投資意願且對現階段推動太陽光電設置影響甚大。該計畫朝投入建立太陽光電第三方檢測驗證制度，建構系統技術規範及專案風險管理平台，以降低系統投資風險且可吸引更多的檢測驗證人才投入此業務，有利於國內推動國內太陽光電系統建置及金融保險投資意願。

一般民眾可以依能源局投標規範（30KW 以下免競標，採先到先審），在順利取得合格標案，於能源局規定時間內完工併聯，之後完成設備登

記手續，IPP(獨立電場)建置完成。申請程序詳如下圖 1-1 所示。太陽光電申請流程包含併聯審查、同意備案、簽約與併聯試運轉、設備登記等 5 大步驟。至於免申請雜項執照之範疇，應以中央主管機關及地方縣市政府所頒訂之法令為依據。



行政流程	檢附文書	有效時間
併聯審查 (台電公司)	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.併聯初步協商 (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。	1年內須取得同意備案。
申請同意備案 (經濟部能源局)	1.應備文件 (1)申請表 (2)申請人身分證明。 (3)設置場址使用說明。 (4)設置場址之電費單據。但未供電者，免附。 (5)足資辨識設置場址及位置照片。 (6)經營電力網之電業核發之併聯審查意見書。 (7)地政機關意見書，但設置於屋頂者，免附。 (8)其他經中央主管機關指定之文件。 2.競標應檢附文書 (1)價格標單。 (2)繳交保證金憑證影本。 (3)與申請人名稱相同之存摺帳戶封面影本。	1、2書面資料依每期中央主管機關公告之期限送審。 *無售電需求者僅需檢附紅字部分文書 *除太陽光電發設備外其他發電設備須檢附文書請詳見再生能源發電設備同意備案申請表。
申請簽約 (台電公司)	1.申請簽訂購售電契約檢附書表 (1)同意備案。 (2)併聯計畫書。 (3)併聯審查意見書及初步協商結果。 (4)編冊之購售電契約書。 (5)電能產售分月售電量計劃表。 (6)電費匯款帳號入戶申請書。 (7)設置者身分證明文件。 2.申請併聯細部協商檢附書表 (1)同意備案。 (2)併聯審查意見書。 (3)併聯初步協商結果。	太陽光電應在2個月內，其他在再生能源發電設備應在1年內與經營電力網之電業辦理簽約。
施工 (設置者)		
併聯 (台電公司)	申請併聯試運轉，裝設計量電表。	1年內完成設置及併聯。
申請設備登記 (經濟部能源局)	應備文件 (1)設備登記申請表。 (2)同意備案文件影本。 (3)完工照片及平面配置圖。 (4)設備支出憑證。(統一發票或收據影本) (5)再生能源發電設備安裝廠商出具之裝置容量證明文件及其產品型錄。 (6)設備適用中華民國標準者，應符合該標準並取得商品檢驗主管機關認可之國內外檢驗機構或製造場所出具之證明文件 (7)依電業法相關規定有關承裝及施作之竣工試驗報告。如設置再生能源發電設備達一百瓩以上，符合電業設備及用戶用電設備工程設計及監造範圍認定標準者，應另檢附依法登記執業之電機技師或相關專業技師辦理設計與監造之證明文件及監造技師簽證之竣工試驗報告。 (8)第三型發電設備依建築法規定應取得之使用執照影本。但依法得免申請建造或雜項執照同意備查函，及報請直轄市、縣(市)政府竣工備查函影本。 (9)與經營電力網之電業簽訂之購售電契約及其核發之完成併聯通知函。 (10)其他經中央主管機關指定之文件。	應依第九條第三項於簽約之日起1年內申請設備登記，未能期限內完成者，得於屆期前2個月敘明理由，辦理展延(每次6個月為限)。 *無售電需求者僅需檢附紅字部分文書



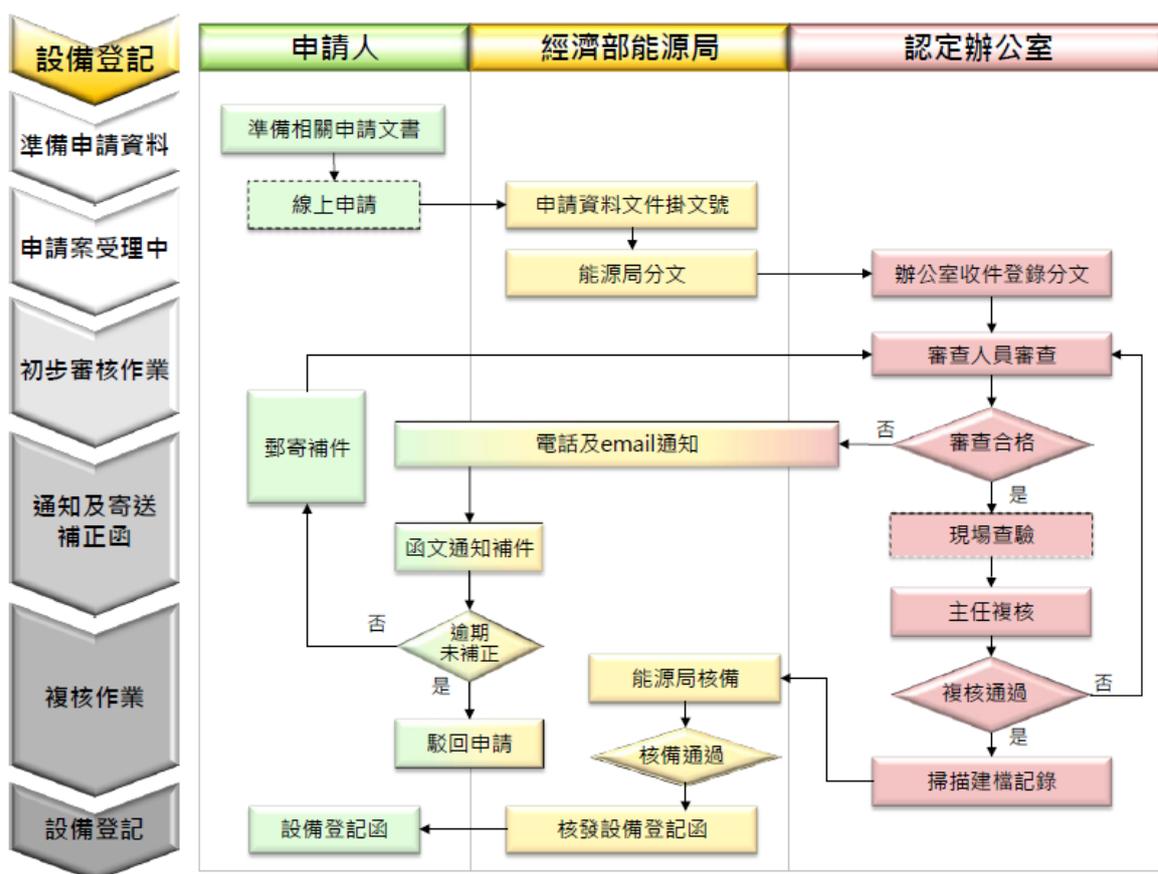


圖 1-1 太陽光電申請流程

資料來源:經濟部能源局

第二節 政策依據與方向

目前國內有關太陽能光電板設施設置，係以經濟部標準檢驗局 108 年「再生能源投(融)資第三方檢測驗證中心計畫」為主軸分年進行。對於太陽光電中長期推動來說，系統結構安全及系統長期穩定發電是金融保險業所關係的重點項目也是該計畫急於推動的方向，建立可信可靠的太陽光電系統檢測認驗證能量可協助投融資降低投資風險，並以專案管理方式定期追蹤系統運轉的穩定性。

建置太陽光電系統檢測認驗證能量計畫目標，分述如下：(1)建立國內太陽光電系統結構耐風設計標準；(2)建立國內太陽光電系統結構審查機制；(3)建立太陽光電系統維運檢測技術能力；(4)建立太陽光電系統投融

資風險評估機制；(5)建立太陽光電系統專案管理架構平台；(6)立太陽光電系統分級評價機制；(7)完成一件太陽光電系統檢測認驗證示範案例。

其分項目標與執行策略說明如下

分項目標	細部計畫名稱	執行策略說明(請依細部、子項計畫逐層說明)
太陽光電系統檢測認驗證能量建置	檢驗技術與專案管理平臺	專案管理係針對投融資需求建置的管理平臺，專案內容包括系統須符合國內相關併聯、躉購售電及設備認定等相關文件，系統元件相關測試報告、出廠證明及保固合約確認、竣工查驗系統檢測文件、系統發電監測資料與發電定期統計資料等，透過專案管理平臺可針對投融資的專案電廠長期的監督管理，確保融資資金無法回收之風險。專案評價主要以完工運轉之系統進行系統分級評價，主要分為幾個部分系統性能指標、設備性能指標及專案經濟性指標。設備性能指標包括模組效率、模組功率衰退情形、變流器效率、變流器故障頻率等，系統效能指標包括系統能效比(PR)、系統功率比(RA)、年發電量(DMY)等，經濟性指標包括度電成本(LCOE)、內部收益率(IRR)、淨現值等。專案管理平臺需透過資料定期查核及營運管理紀錄與追蹤，確保系統長期運行的穩定性，可配合電力公司躉購售電力電費單資料上傳或第三方檢測報告，確認系統效能進行評

		<p>價，對於系統安全需定期提供系統維運檢查資料包括串列絕緣電阻檢測、變流器故障統計、元件更換時間紀錄等確保系統維運的可信賴性。</p>
	<p>結構標準與檢測認證機制</p>	<p>國內太陽光電系統有一套建置申請流程包括設備認定與查核、電網併聯技術要點、結構免請領雜照標準等，對於大型電廠也有電業相關規定，以專案系統來說，系統安全與長期穩定運轉則是目前相對重要的工作重點。本項目針對金融銀行業關注的結構安全問題投入太陽光電系統結構耐風設計標準推廣與建立第三方結構審查機制，降低投融資</p>
	<p>建置太陽光電電廠測試試驗室與檢驗機構認證制度</p>	<p>依據「太陽光電電廠測試試驗室與檢驗機構認證制度報告」建置認證流程評鑑方案、評鑑計畫與評鑑技巧，並建置申請、審查、評鑑及認證決定相關技術程序與紀錄。透過開放說明會之模式說明開放認證申請之認證方案權利與義務條款，認證資格要求，認證流程與認證範圍之表示等</p>

其中針對結構標準與檢測認證機制與建置太陽光電電廠測試試驗室與檢驗機構認證制度的執行方法說明如下：

【結構標準與檢測認證機制】

國內太陽光電系統有一套建置申請流程包括設備認定與查核、電網併聯技術要點、結構免請領雜照標準等，對於大型電廠也有電業相關規定，以專案系統來說，系統安全與長期穩定運轉則是目前相對重要的工作重

點。本項目針對金融銀行業關注的結構安全問題投入太陽光電系統結構耐風設計標準推廣與建立第三方結構審查機制，降低投融資投資太陽光電電廠之風險。結構耐風設計牽涉到制度的制定，將透過本所頒訂之建築物耐風設計規範及土木、結構技師公會的合作，協助耐風設計標準推廣與應用。國內太陽光電系統過去推動補助系統於竣工時皆需要進行竣工查驗確保系統與申請時之設計契約相同，主要查驗項目包括以下內容。

檢查項目	內容
基本檢查	<ul style="list-style-type: none"> ■ 承包廠商是否已提供太陽光電發電系統竣工報告書 ■ 承包廠商是否已提供太陽光電發電系統竣工前安裝廠商自行檢查 ■ 承包廠商是否已提供操作手冊 ■ 承包廠商是否已提供使用說明手冊 ■ 承包廠商是否已完成教育訓練 ■ 太陽光電組列有無遮蔭（早上9點至下午3點無遮蔭） ■ 檢視系統發電量紀錄：累積發電天數，累積日平均發電量
太陽光電組列竣工檢查	<ul style="list-style-type: none"> ■ 太陽光電系統設置地址場所是否與合約書之設置地址場所 ■ 太陽光電模組是否通過驗證規範與合約書要求相符 ■ 太陽光電模組出廠資料表序號與太陽光電模組序號是否相符 ■ 太陽光電系統實際設置容量(額定功率)是否大於或等於合約設置容量 ■ 太陽光電模組是否有破損、刮痕或變色 ■ 太陽光電模組表面玻璃是否清潔 ■ 太陽光電系統組列是否標示模組串列走向 ■ 太陽光電系統組列接地線是否符合電工法規要求 ■ 太陽光電組列配管是否採用符合電工法規規定之配管材質 ■ 太陽光電系統是否確實設備接地(使用O型端子) ■ 太陽光電組列方位角，是否在誤差± 100範圍內 ■ 太陽光電組列傾斜角，是否在誤差± 50範圍內 ■ 太陽光電組列架台是否生鏽 ■ 太陽光電組列架台材質是否符合合約書要求與提供

	架台材質證明文件
直流接線箱	<ul style="list-style-type: none"> ■ 直流接線箱是否破損或變形 ■ 直流接線箱內部是否清潔 ■ 直流接線箱周圍環境是否清潔 ■ 直流接線箱內配線是否整齊 ■ 直流接線箱外殼正面是否張貼警示標語 ■ 直流接線箱位置是否設置於人員隨手可及之處 ■ 直流接線箱若裝置於戶外是否具有IP 55(含)以上等級之保護功能證明文件 ■ 直流接線箱是否放置正確的電路圖 ■ 突波吸收器數量與規格是否與合約書相符 ■ 直流安裝之導線是否具有色碼標示
交流配電箱	<ul style="list-style-type: none"> ■ 交流配電箱是否破損或變形 ■ 交流配電箱內部是否清潔 ■ 交流配電箱周圍環境是否清潔 ■ 交流配電箱內配線是否整齊 ■ 交流配電箱外殼正面是否張貼警示標語 ■ 交流接線箱若裝置於戶外是否具有IP 55(含)以上等級之保護功能證明文件 ■ 交流配電箱位置是否設置於人員隨手可及之處 ■ 交流配電箱是否放置正確的電路圖 ■ 直流離斷開關數量與規格是否與合約書相符 ■ 交流斷路器數量及規格是否與合約書相符 ■ 瓦時計是否有檢定合格標籤及鉛封 ■ 交流安裝之導線是否具有色碼標示
變流器	<ul style="list-style-type: none"> ■ 變流器是否通過驗證規範與合約書要求相符 ■ 變流器數量及規格是否與合約書相符 ■ 變流器周圍環境是否清潔 ■ 變流器位置是否裝設位置於人員隨手可及之處 ■ 變流器裝設位置是否通風良好 ■ 變流器接頭螺絲是否栓緊 ■ 變流器是否有異常聲音或異味 ■ 變流器是否能正常併聯供電 ■ 併接點斷電後，是否能自動解聯功能 ■ 併接點復電後，是否會自動併聯市電
變壓器(具備變壓器者)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 變壓器安裝相數、電壓、容量是否與補助合約書相符 ■ 變壓器裝設位置是否通風良好

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 變壓器是否離地安裝(避免潮濕造成漏電危險) ■ 其他狀況請說明
IEC62446現場 檢測	<ul style="list-style-type: none"> ■ 極性測試 ■ 開路電壓測試 ■ 運轉電流測試 ■ 串列絕緣阻抗測試 ■ 接地連續性測試 ■ 串列IV曲線測試
電業查驗	<ul style="list-style-type: none"> ■ 運轉、維護作業規範及程序書 ■ 電力系統單線圖設計圖面及資料是否完善，及是否有簽證或蓋章 ■ 太陽電池模板出廠型式報告 ■ 直/交流電力轉換器出廠型式試驗報告 ■ 斷路器及變壓器試運轉檢驗報告 ■ 各接地點之接地電阻量測報告 ■ 防止太陽光電發電系統獨立運轉功能試驗報告 ■ 架空線路/電力電纜設備試運轉檢驗報告 ■ 太陽電池模板與支撐架、水泥基礎樁等設計經系統結構安全專業技師簽證及送該管直轄市、縣(市)政府備查之文件。 ■ 太陽電池模板是否與基本資料相符 ■ 太陽電池模板運轉是否正常 ■ 太陽電池模板支撐架是否完善及是否與基本資料相符 ■ 直/交流電力轉換器否與基本資料相符 ■ 直/交流電力轉換器運轉是否正常 ■ 直流接線箱及交流配電盤是否完善 ■ 接地設施是否完善及是否與基本資料相符 ■ 避雷設施是否完善及是否與基本資料相符 ■ 變壓器運轉是否正常 ■ 保護系統運作是否正常及是否與基本資料相符 ■ 相關配電線路及管路裝設是否符合屋內線路裝置規則規定 ■ 架空線路/電力電纜運作是否正常及是否與基本資料相符 ■ 監控系統運作是否正常 ■ 興建地點與面積是否與原核准計畫相符

國際標準可參考IEC62446-1：2016標準之文件審查、系統檢測及現場檢查等內容，透過有經驗的國際第三方驗證機構協助建構國內檢測驗證能力，並透過推動實際系統檢測驗證，結合技術性及非技術性風險評估方法與制度，落實專案融資第三方檢測驗證，擴大國內推動太陽光電系統設置資金籌設之動能。

【建置太陽光電電廠測試試驗室與檢驗機構認證制度】

依據「太陽光電電廠測試試驗室與檢驗機構認證制度報告」建置認證流程評鑑方案、評鑑計畫與評鑑技巧，並建置申請、審查、評鑑及認證決定相關技術程序與紀錄。透過開放說明會之模式說明開放認證申請之認證方案權利與義務條款，認證資格要求，認證流程與認證範圍之表示等，並受理及執行一家符合性評鑑機構認證活動。太陽光電發電系統檢測驗證能量建置分期(年)工作內容太陽光電發電系統檢測驗證能量建置如下：

108年	<ul style="list-style-type: none"> (1) 電廠品質的關鍵性技術檢測能量建置規劃 (2) 建立智慧模組遠距無線通訊NB-IoT或LoRa技術的示範應用 (3) 電廠現場檢測與品質調查統計（熱影像/串列發電品質/EI影像） (4) 建立金融機構之技術性風險評分機制 (5) 推動太陽光電系統檢測遊測實驗室現場評鑑制度 (6) 太陽光電系統結構耐風設計(風壓係數)標準推廣 (7) 太陽光電發電系統第三方檢測驗證登錄機制研擬
109年	<ul style="list-style-type: none"> (1) 專案管理機制調查、平臺項目規劃、審查機制 (2) 專案系統檢測項目確認、實際測試與品質統計 (3) 太陽光電智慧模組監測系統示範應用 (4) 建立金融機構之非技術性風險評分機制

	<p>(5) TAF認可實驗室運作機制建立與配合檢測示範案例執行現場評鑑活動1場次，包含方法確認評估數據，人員操作技術能力及數據品質管制基準</p> <p>(6) 推動國內太陽光電發電系統專案管理平臺案例1件</p>
--	--

第三節 文獻回顧

目前國內對於太陽光電發電設備結構計算說明書之內容並無明確規範，多半由專業技師憑藉個人專業能力提供計算內容。有鑑於此，105年經濟部能源局委託工業技術研究院與臺中市結構工程技師公會研擬「太陽光電系統支撐架結構設計參考手冊」[2]與「太陽光電系統支撐架結構設計範例」[3]，內容包括系統類型分類定義、設計依據、材料、載重組合、設計圖說、結構計算書、分析設計流程、設計地震力、設計風力，主要設計依據是參考國內建築物耐風設計規範與解說[4]，跟太陽光電系統支撐架結構相關設計參數納入參考手冊。國內太陽光電系統支撐架(以下簡稱支撐架)，其所選用的構件通常為鋁擠斷面或是結構型鋼。針對不同材質的支撐架，其結構設計都應根據我國耐震設計及耐風設計等相關規範計算設計強度需求，再依照其支撐架材料選用的類型，即鋁合金造(鋁擠斷面)或是鋼造(結構型鋼)的構架系統，進行構件應力檢核(例如：鋁結構容許強度設計法、鋼結構極限設計法)，並且進一步地檢核構件組合的鎖固型式。其中光電板生產廠商多以研發集電模組為主，且測試標準多達43項，而支撐構架與接合安裝在實尺寸耐風測試上，仍無相關驗證機制與測試方法。

近幾年本所太陽光電板相關研究案如下

年度	案名
108	太陽光電系統之耐風設計規範研擬
106	低層平屋頂建築剪切流生成對陣列式太陽能光電板風荷載影響研究
105	單片太陽能板支架結構風力分析研究
	建築物整合太陽能光電板外牆耐風設計研究
104	屋頂型太陽能光電板風阻形狀係數研究
	陽光屋頂耐風評估與設計準則

歷年研究針對光電板耐風設計面已有所著墨，且將於今年彙整成規範。而在實尺寸耐風檢測上之測試方法尚付之闕如。

在 CNS 國家標準要求上，上前 包含一般 8 種、裝置與元件 12 種、模組 11 種、變流器 3 種、系統 9 種，共 43 種，針對面板模組進行一系列測試，包含最大功率、室外暴露測試、機械負荷測試等如下表。

編號	總號	國家標準名稱	公布日期	修訂公布日期
一般				
1	15011	太陽能－詞彙（太陽熱能）	095-06-13	
2	15032	太陽能－比較參考日射強度計校正各種場日射強度計	095-10-31	
3	15033	太陽能－量測半球太陽輻射與直接太陽輻射儀器之規格及分級	095-10-31	
4	15064-1	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	096-01-18	
5	15065	太陽能－使用一個日射強度計校正全天空輻射計	096-01-18	
6	15066	太陽能－比較參考全天空輻射計校正場全天空輻射計	096-01-18	
7	15166	太陽能－場全天空輻射計－使用實務建議	097-01-14	
8	15383	太陽日照強度分布分析表示法	099-09-30	
裝置與元件				

1	13059-1	光電伏打元件（第一部：光電伏打電流－電壓特性量測）	081-11-20	090-11-01
2	13059-2	光電伏打元件（第二部：基準太陽電池之要求）	091-12-05	101-09-12
3	13059-3	光電伏打元件（第三部：具光譜照射光參考數據之陸上光電伏打（P V）太陽元件量測原理）	081-11-20	090-11-01
4	13059-4	太陽光電裝置－第4部：基準太陽裝置－建立校正追溯性之程序	101-11-29	
5	13059-5	太陽光電裝置－第5部：以開路電壓法測定太陽光電裝置之等效電池溫度	102-11-29	
6	13059-7	太陽光電裝置－第7部：太陽光電裝置量測之光譜不匹配修正計算	101-11-09	
7	13059-8	光電伏打元件（第八部：光電伏打元件光譜響應之量測）	091-12-05	101-09-12
8	13059-9	光電伏打元件（第九部：太陽模擬器之性能要求	091-12-05	101-09-12
9	13059-10	太陽光電裝置－第10部：線性度量測法	102-11-29	
10	15120	太陽光電發電系統用之二次電池－一般要求與測試方法	096-09-14	
11	15187-6	低電壓熔線－第6部：太陽光電能源系統保護用熔線鏈之補充規定	101-02-10	
12	15600	太陽光電裝置－量測I-V 特性之溫度與照射度修正程序	101-11-09	
模組				
1	13059-6	光電伏打元件（第六部：基準太陽電池模組之要求）	091-12-05	101-09-12
2	15114	結晶矽陸上太陽光電模組－設計確認和型式認可	096-09-14	102-09-14
3	15115	薄膜陸上型太陽光電模組－設計確認和型式認可	101-01-05	
4	15116	太陽光電模組紫外線測試	096-09-14	102-09-14
5	15118-1	太陽光電模組之安全確認－第1部：構造要求	096-09-14	102-09-14
6	15118-2	太陽光電模組之安全確認－第2部：測試要求	096-09-14	102-09-14
7	15196	太陽光電模組之鹽霧腐蝕試驗	097-06-27	
8	15197	太陽光電模組抗撞擊損壞能力之測試（撞擊抵抗力測試）	097-06-27	

9	15198	結晶矽太陽光電陣列之 I - V 特性現場量測	097-06-27	
10	15534	聚光型太陽光電模組與組套件－設計確認和型式認可	101-02-14	
11	15711-1	太陽光電模組性能試驗與能量定額－第1部：照射度與溫度性能量測及功率定額	102-12-27	
變流器				
1	15117	太陽光電系統－電力調節器－量測效率之程序	096-09-14	
2	15426-1	太陽光電系統用電源轉換器之安全性－第1部：一般要求	100-06-07	
3	15426-2	太陽光電系統用電源轉換器之安全性－第2部：變流器之個別要求	102-02-22	
系統				
1	15113	太陽光電能源系統：名詞與符號	096-09-14	102-09-14
2	15119	太陽光電系統之性能監測－量測、數據交換與分析指南	096-09-14	102-09-14
3	15195	陸上太陽光電發電系統－概述與指南	097-06-27	
4	15199	建築物之電力安裝－第7－7.1.2部：特別設立或地點之要求－太陽光電電力供應系統	097-06-27	102-09-14
5	15381	太陽光電發電系統過電壓保護－指南	099-09-30	
6	15382	太陽光電系統－電力傳輸網界面之特性要求	099-09-30	
7	15384	直接耦合太陽光電水泵系統之效能特性	099-09-30	
8	15385	獨立式太陽光電系統之特性參數	099-09-30	
9	15599	市電併聯型太陽光電變流器孤島效應預防措施之測試程序	101-11-29	

第四節 研究目的與方法

太陽光電系統支撐架設計影響太陽光電系統長期運轉之可靠性，以目前規定尚未要求系統全面須提供結構計算說明書，此將影響未來太陽光電系統結構受到破壞時，無法檢核是否設計有依照原先結構設計施工，

亦無專業審查機制確保系統結構安全性，國內應該建立相關結構查核機制，以抽查方式對於建築物上設置太陽光電系統之結構進行結構安全查核，除了需要求所有系統需檢附結構計算說明書外，應由第三方結構專業公會或法人進行計算書審查或工程查核以確保結構安全無虞。另外，如有耐風設計規範不足之處，亦可透過本案建議之實尺寸耐風檢測或透過風洞試驗獲取相關風力設計參數，進行結構設計風力並委由專業技師進行結構計算檢核。對於未來推動太陽光電系統裝置容量 20GW，結構安全將是需要更嚴格的把關，除了保障系統本身發電性能的投資效益外，亦對於人員或物品破壞也有相的保障。

本案採用實驗室的戶外大型風機，藉由系統性的實驗與測試，提出建議之標準實驗流程，可協助光電廠商建立適合該光電模組之構架與接合系統之耐風設計與測試準則，以確保整體太陽光電板於強風侵襲下之系統完整性。經彙整現行檢測技術與制度面上需加以考量因素包含：

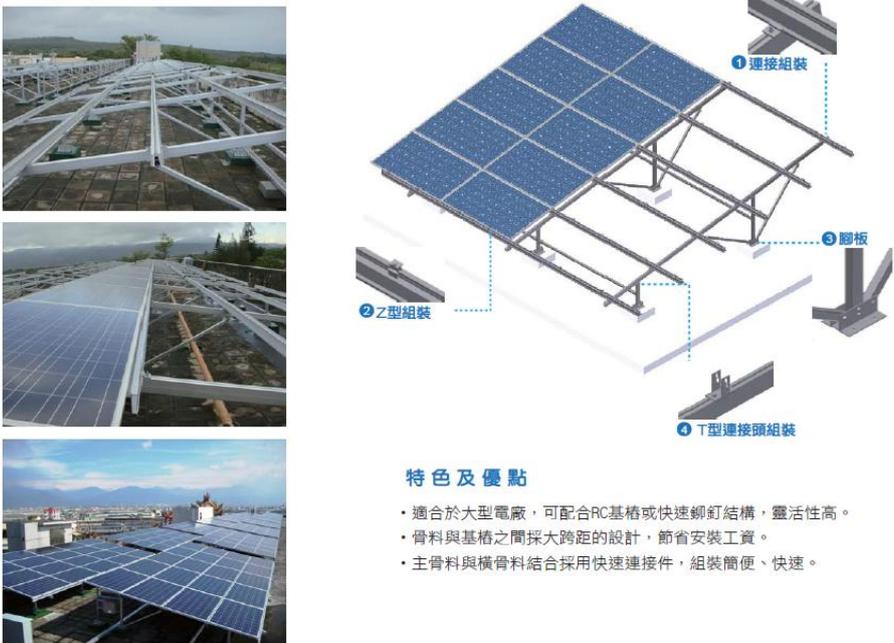
- ❖ 建立實尺寸光電板支撐結構系統耐風測試方法。
- ❖ 關鍵構件振動行為量測。
- ❖ 於經濟部標檢局第三方檢測驗證項目，納入光電板支撐結構系統耐風試驗，除能確保受風安全外，實驗室亦能增加檢測收入。
- ❖ 風致振動後光電板發電效率評估，由於板外觀受風下雖可能無明顯損傷，但因為變形振動等因素，隱裂現象或已發生導致集電效率減低。

第二章 實尺寸太陽光電板耐風試驗規劃

第一節 前言

本案所採用之太陽光電版構架分類係參考經濟部能源局與台中結構技師公會研擬之「太陽光電系統支撐架結構設計參考手冊」如下表 2-1 所示。由於平貼型光電板耐風設計可逕依「建築物耐風設計規範及解說」第三章<局部鉤材及外部被覆物之設計風壓>來逕行設計，故本次試驗規劃先暫不予納入，先針對距置型與棚架型來加以探討。

表 2-1 屋頂太陽能光電設置的種類

型式	支撐方式	圖片
距置型	以鋁擠型材料支架與扣件將光電板固定在屋頂上方	 <p>特色及優點</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適合於大型電廠，可配合RC基樁或快速鉚釘結構，靈活性高。 • 骨料與基樁之間採大跨距的設計，節省安裝工資。 • 主骨料與橫骨料結合採用快速連接件，組裝簡便、快速。

<p>平貼型</p>	<p>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。</p>	
<p>棚架型</p>	<p>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。</p>	

資料來源：經濟部能源局

第二節 風場與振動量測規劃

一、風場建置

依 CNS 14280「帷幕牆及其附屬門、窗物理性能試驗總則」第 4.4 項所述:動態水密性能試驗可檢測瞬間強風、陣雨對牆面所產生之效應。其氣體壓力差為設計值正風壓之 20%。氣體壓力差不得小於 300Pa,且不得大於 720Pa。因此,研究中應用 CNS 13973「帷幕牆及其附屬門、窗動態水密性能試驗法」之造風設備來提供等值風速之風力。

該造風裝置之直徑不得小於測試區域最大邊常之一半,但無須大於 4.1m,產生出來之風速需校正以建立測試所需壓力之等值風速。此校正方法須將風速計裝置在一個骨架上進行。風速量測裝置須能量測表 2-2 所示之標準風壓。骨架之設置須注意不得妨礙到空氣之行進。最少須在圖 2-1 所示之四個位置中,依表 2-2 讀取至少三個標準風壓。風速之量測須在每個四分之一圓內之 610×610 mm 方形範圍內進行。在上述四個位置中,讀取包括最少 60 秒內之最大值或陣風值,並將最大值或陣風值平均。最大值或陣風值之平均值與標準值之許可差為 ± 1.1 m/s

表 2-2 標準風壓

風壓 Pa	最大值或陣風值之平均風速 m/s
300	22.1
380	24.9
480	28.0
580	30.8
720	34.3

資料來源：本研究

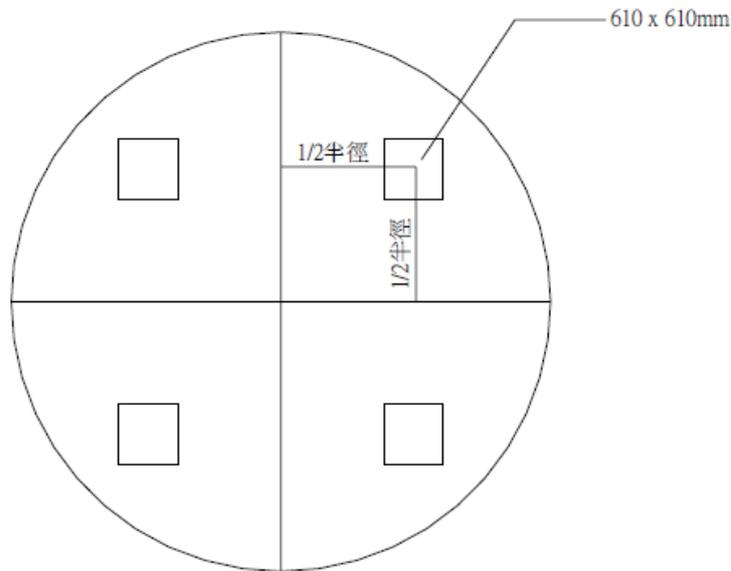


圖 2-1 量測位置

資料來源：本研究

目前實驗室之造風設備為 1500kW 4P 3300V ，0~80Hz， TIK-Vck #450LL，螺旋槳直徑 4.11m，推力值 2,000 至 12,500kg、變頻器電壓規格，輸入：3300V，輸出：3300V、變頻器容量：1800kVA 對於 3300V 輸出，額定輸出電流(A)：315，風扇葉片組合(圖 2-2)，搭配 4 支熱線式風速計測量風速(圖 2-3)及支撐固定架(圖 2-4)，整體配置如圖 2-5。



圖 2-2 造風設備

資料來源：本研究



圖 2-3 安裝風速計骨架

資料來源：本研究



圖 2-4 風速計

資料來源：本研究

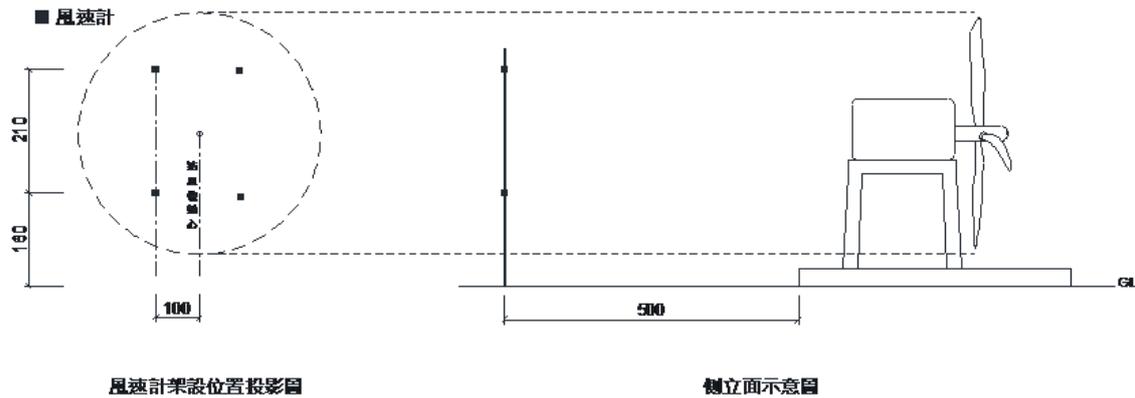


圖 2-5 風速校驗配置

資料來源：本研究

二、構件振動量測

目前所使用之加速規係為 G-Tech 公司所生產型號 ENDEVCO，靈敏度約為 100 mV/g、量測範圍 0~50g (圖 2-6)，搭配 LabView 軟體 (圖 2-7) 與硬體 NI 9234 模組 (圖 2-8) 進行振動數據量測收集。實驗前將鐵線綁在太陽能板邊緣中央的小孔洞，使之呈一水平於風向在太陽能板背面的支撐線。讓用配置於太陽能背板中央的加速度計電源線纏繞鐵線上作假固定。使加速度計在實驗過程中即使不慎掉落，也至少會垂掛在空中，不致掉落損毀。



圖 2-6 加速計

資料來源：本研究

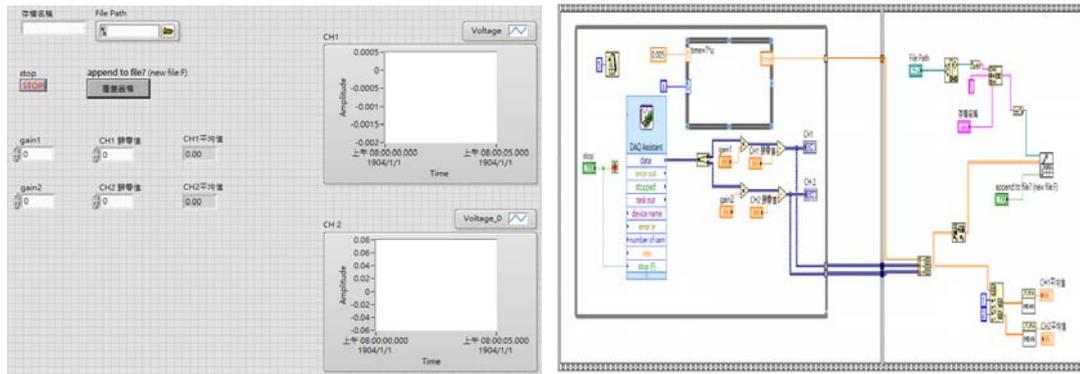


圖 2-7 Labview 量測程式

資料來源：本研究



圖 2-8 NI 模組

資料來源：本研究

下表為加速度計於構架及光電板上之配置

表 2-3 量測器數量及配置

配置如圖 5、圖 6 所示				
種類	編號名稱	數量	佈置位置	量測方向
加速度計	Acc_X1Y2_Z	12	太陽能板編號 X1Y2 背面中央	Z
	Acc_X2Y2_Z		太陽能板編號 X2Y2 背面中央	Z
	Acc_X3Y2_Z		太陽能板編號 X3Y2 背面中央	Z
	Acc_X4Y2_Z		太陽能板編號 X4Y2 背面中央	Z
	Acc_B1_Y		水平樑背側最左端	Y
	Acc_B2_Y		水平樑背側距左端 L/4 處	Y
	Acc_B3_Y		水平樑背側距左端 L/2 處	Y
	Acc_B4_Y		水平樑背側距左端 3L/4 處	Y
	Acc_B5_Y		水平樑背側最右端	Y

	Acc_B2_Z		水平樑背側距左端 L/4 處	Z
	Acc_B3_Z		水平樑背側距左端 L/2 處	Z
	Acc_B4_Z		水平樑背側距左端 3L/4 處	Z

資料來源：本研究

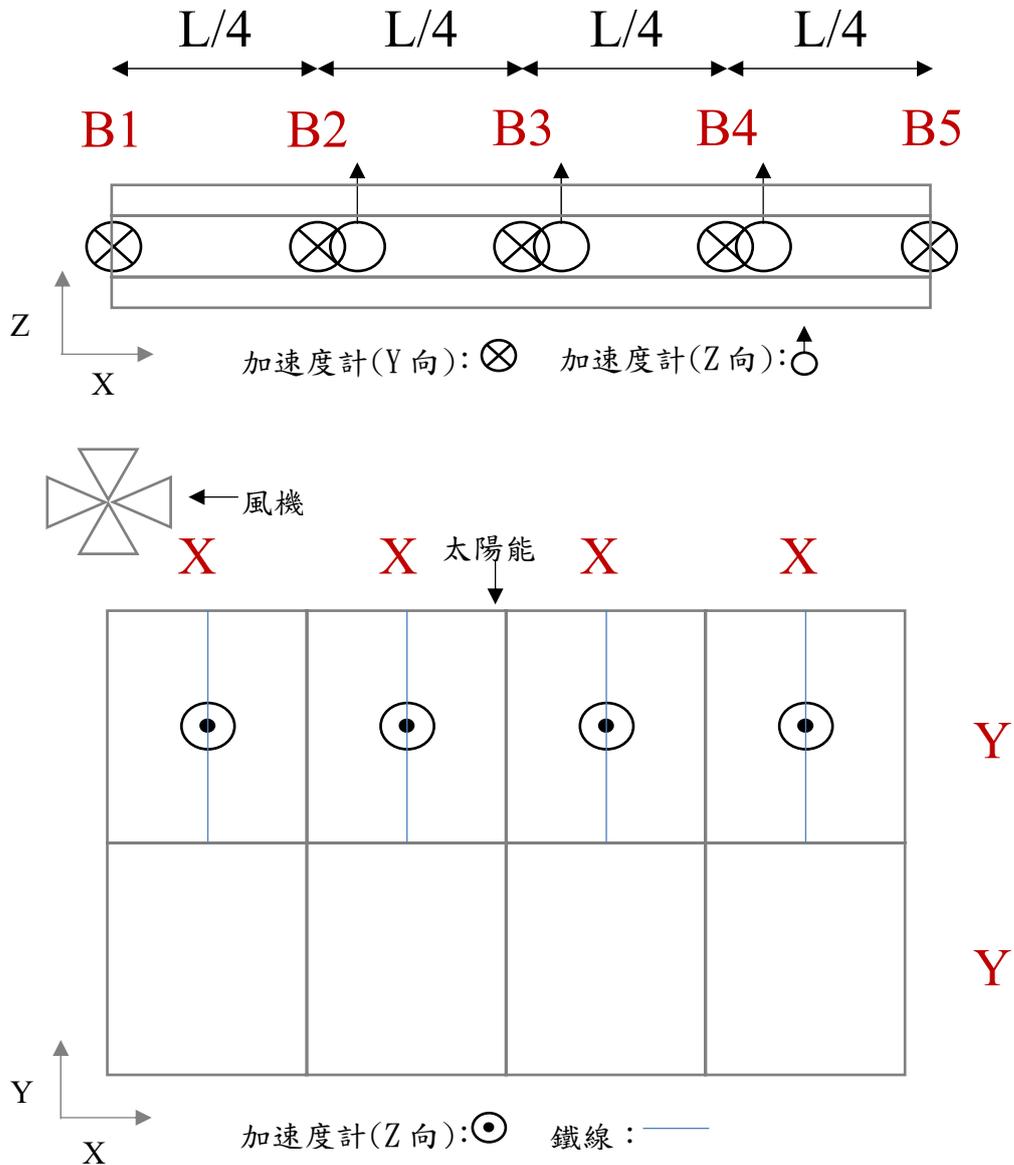


圖 2-9 加速度計分布

資料來源：本研究

(三)陣風風速

在後續研究中為能定義大尺度光電板試體於低紊流強度下，所量到測點風速資料之陣風風速，文中採用文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算，以數據分析時間 180s 為例，共計分割為 60 段，在每一段中計算最大值，然後將 60 組數據加以平均，即可求得對應之極值。

第三節 距置型屋頂光電板配置

研究中共計進行三次試驗，分別為單跨 4M-風向 I、單跨 6M-風向 I 及單跨 6M-風向 II。其中風向 I 系以光電板高端處迎風，風向 II 則以光電板低端處迎風，藉以檢視面板上風壓差異。

一、單跨 4M 風向 I(試驗一)

太陽能板及構架系統如圖 2-10 所示，8 塊太陽能板(前後各 4 片)以型鋼固定於下方鋼結構上，其單一塊光電板長寬厚尺寸為 163×98×4cm。兩個 H 型鋼作為基底，四根柱及左右兩斜樑以雙槽鋼組立，支撐太陽能板的四根水平樑使用槽型鋼。在迎風向及斜樑處另加角鋼作斜撐加固。順風向基礎中心距 2.95m、橫風向為 4m，斜率為 10^0 ，鋼結構各元件斷面及太陽能板尺寸如表 2-4 所示。



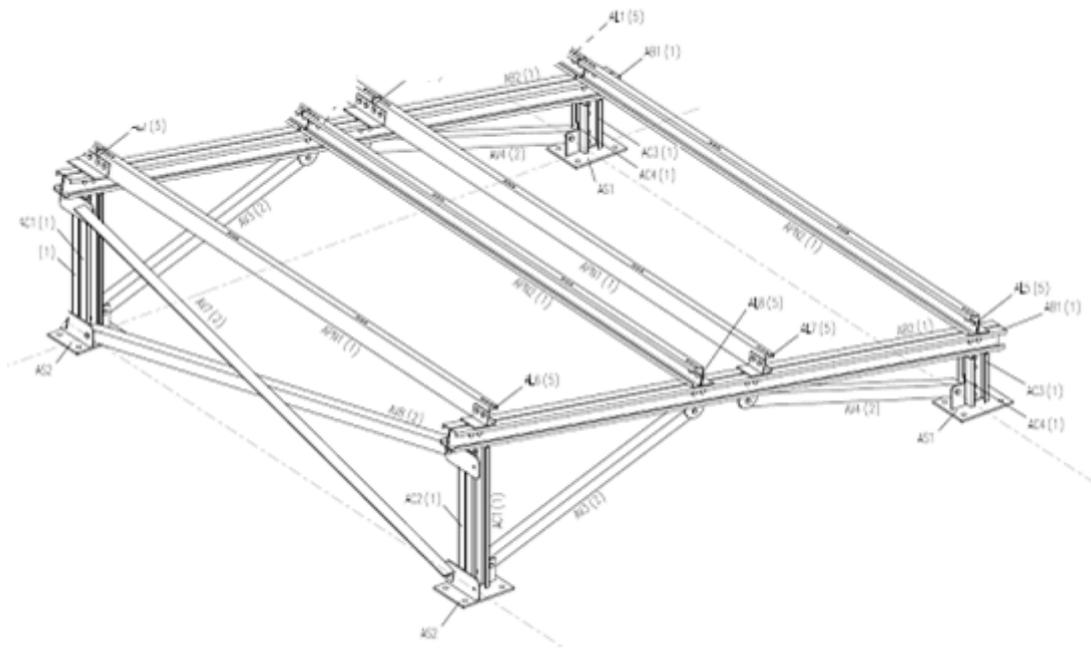
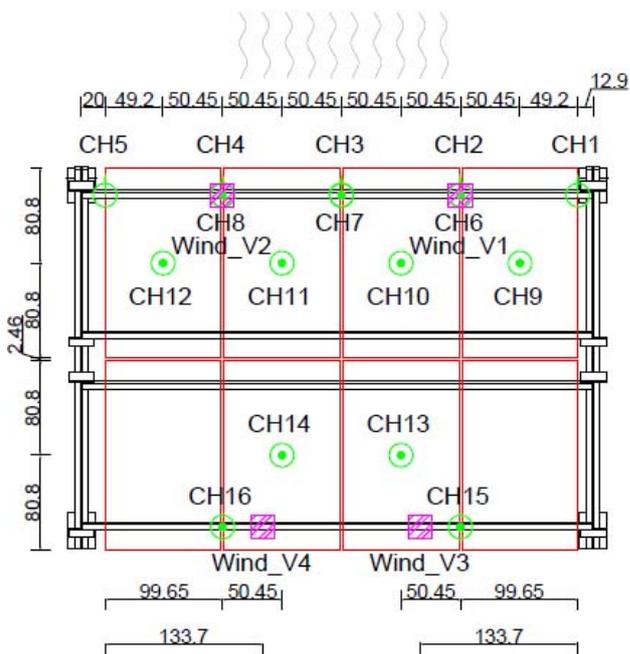


圖 2-11 支撐構架

資料來源：本研究

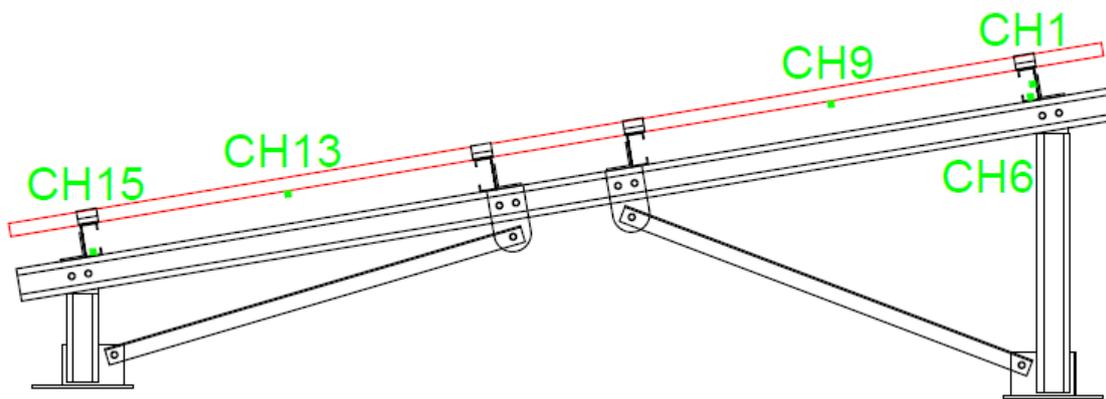
風速與加速計配置



單位：cm

圖例對照表		
圖例	說明	數量
	高頻加速度計(朝向射出紙外)	11
	高頻加速度計(朝向箭頭方向)	5
	熱線流速儀	4

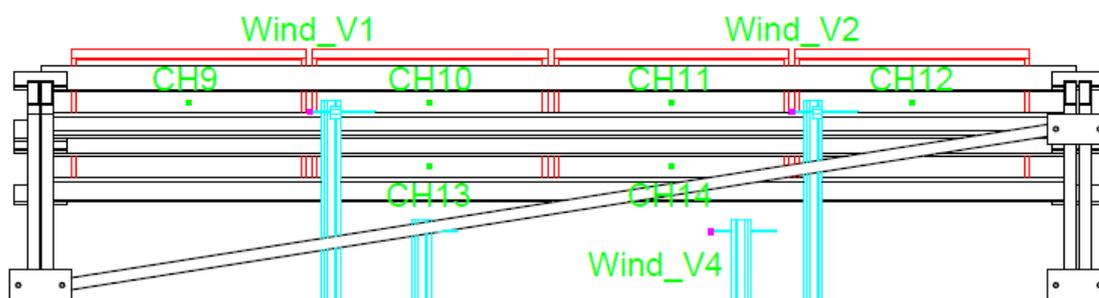
加速計配置平面示意圖



加速計配置側視示意圖



加速計配置前視示意圖



加速計配置後視示意圖



加速計實際配置前視圖



加速計實際配置側視圖



加速計實際配置後視圖



高頻加速度計 CH 1



高頻加速度計 CH 2、CH 6



高頻加速度計 CH 3、CH 7



高頻加速度計 CH 4、CH 8



高頻加速度計 CH 5



高頻加速度計 CH 9



高頻加速度計 CH 10



高頻加速度計 CH 11



高頻加速度計 CH 12



高頻加速度計 CH 13



高頻加速度計 CH 14



高頻加速度計 CH 15



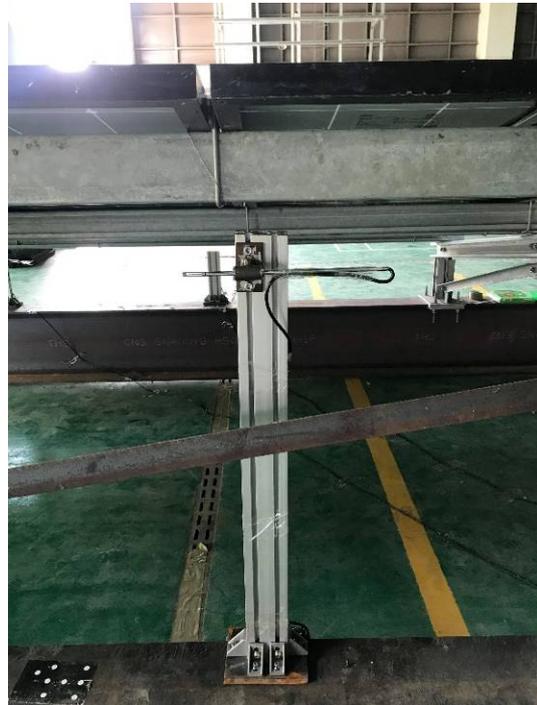
高頻加速度計 CH 16

圖 2-12 加速計佈設位置

資料來源：本研究



風速計 Wind_V1



風速計 Wind_V2



風速計 Wind_V3



風速計 Wind_V4

圖 2-13 風速計佈設位置

資料來源：本研究

二、單跨 6M 風向 I(試驗二)

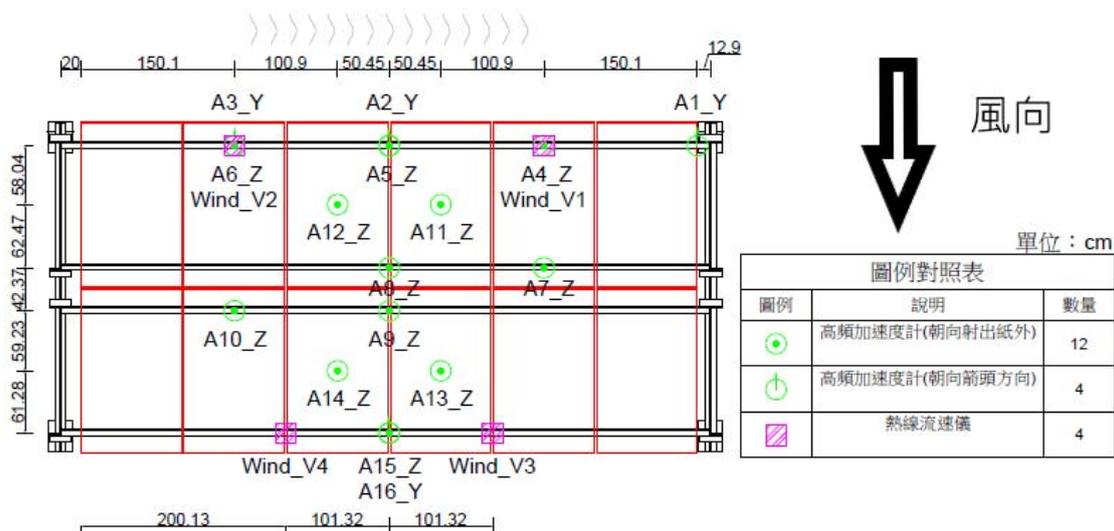
太陽能板及構架系統如圖 2-14 所示，12 塊太陽能板(前後各 6 片)以型鋼固定於下方鋼結構上，其單一塊光電板長寬厚尺寸為 163×98×4cm。兩個 H 型鋼作為基底，四根柱及左右兩斜樑以雙槽鋼組立，支撐太陽能板的四根水平樑使用槽型鋼。在迎風向及斜樑處另加角鋼作斜撐加固。順風向基礎中心距 2.95m、橫風向為 6m，鋼結構各元件斷面及太陽能板尺寸與表 2-4 相同，支撐構架亦與圖 2-11 相同，唯獨跨度加大為 6M。



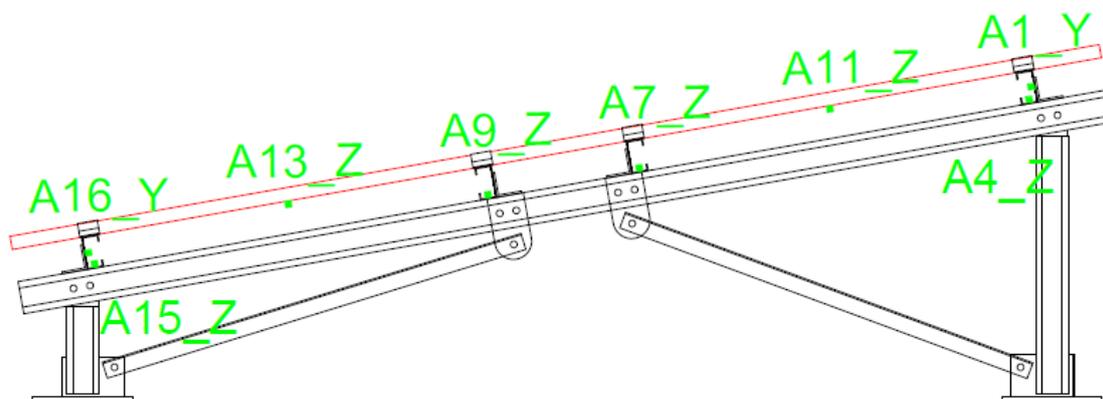
圖 2-14 實驗試體現場圖(風向 I)

資料來源：本研究

風速、風壓與加速計配置



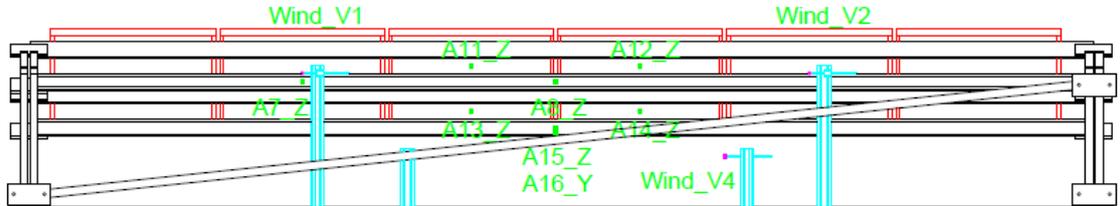
加速度計、風速計配置平面示意圖



加速度計、風速計配置側視示意圖



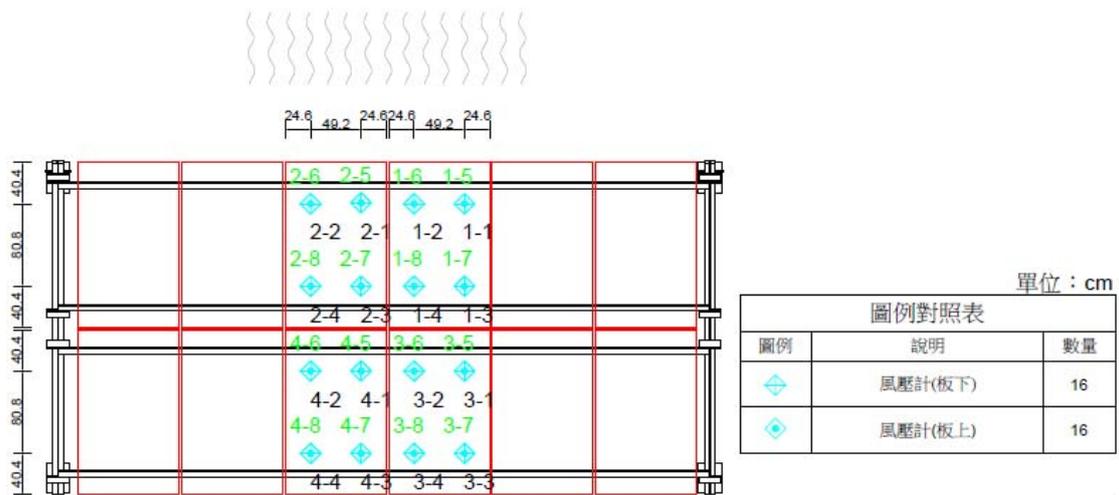
加速度計、風速計配置前視示意圖



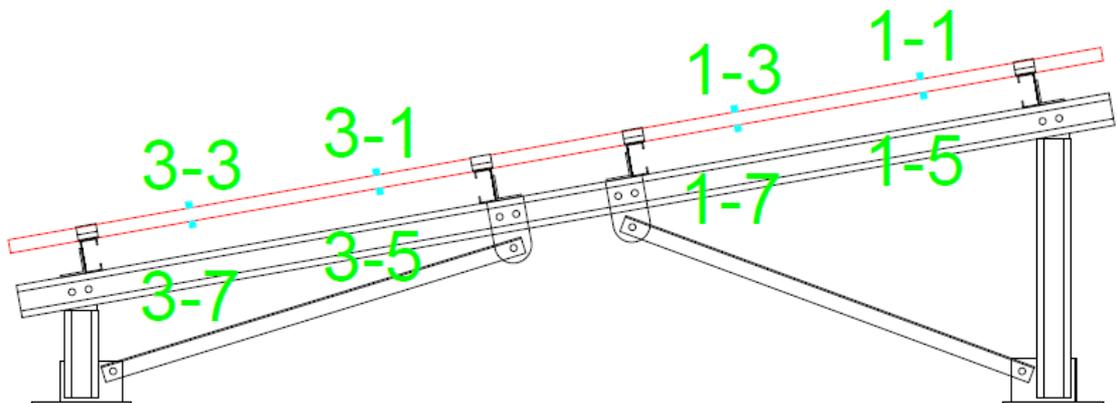
加速度計、風速計配置後視示意圖

圖 2-15 加速計佈設位置

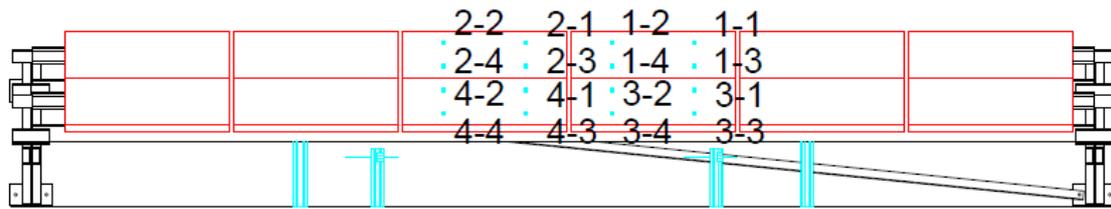
資料來源：本研究



風壓計配置平面示意圖



風壓計配置側視示意圖



風壓計配置前視示意圖

圖 2-16 面板雙面風壓佈設位置

資料來源：本研究

三、單跨 6M 風向 II (試驗三)

太陽能板及構架系統如圖 2-17 所示，風速、風壓與加速計配置皆與試驗二相同(圖 2-18)，唯獨試體轉 180 度，風由面板低端吹入高端吹出。



圖 2-17 實驗試體現場圖(風向 II)

資料來源：本研究

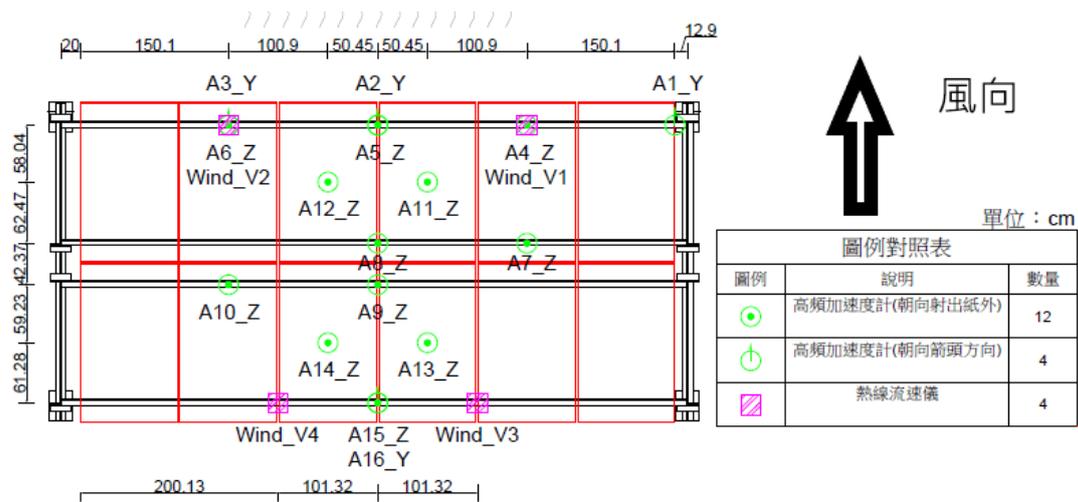


圖 2-18 加速度計、風速計配置平面示意圖

第三章 距置型單跨 4M 風向 I 耐風測試

第一節 前置實驗

(一) 淨風場風速測試

為能先行了解造風機變頻器轉速與淨風場風速間之關係(無試體)，以利於後續選擇實驗風速大小，遂依照第二章之風速量測校驗規定，於風機前 5m 處安裝骨架架設 4 支風速計，目前實驗已先進行較小轉速 20.6Hz 與大轉速 30Hz 之淨風風速測試，量測平均最大陣風風速如下表 3-1。

表 3-1 造風機變頻器與轉速對照表

變頻器轉速(Hz)	量測風速(m/s)
20.6	21.66
22	23.18
23.3	24.72
24.6	26.14
28	28.02
29.3	30.23
30	33.63

資料來源:本研究

(二) 實驗風速測定

風速爬升設定係以前 3 分鐘變頻器轉速達實驗值後，繼續維持 5 分鐘定速，總量測時間為 8 分鐘，量測頻率採用 500Hz。先後以 20.6 及 30Hz 變頻器轉速進行試體安裝後，4 支風速計之風速量測如下圖 3-1 與 3-2。在 20.6Hz 變頻轉速下，2 支安裝於前處之 V1

與 V2 風速計之陣風風速皆可達 20 m/s 以上，而安裝於光電板斜
後方支風速計 V3 與 V4 因縮斷面風速加劇影響，未因離造風機較
遠而有風速遞減過大的效應，亦能維持在 20 m/s 以上，代表整體
試驗風速差異不致過大。

1. 造風機變頻器轉速(20.6Hz)

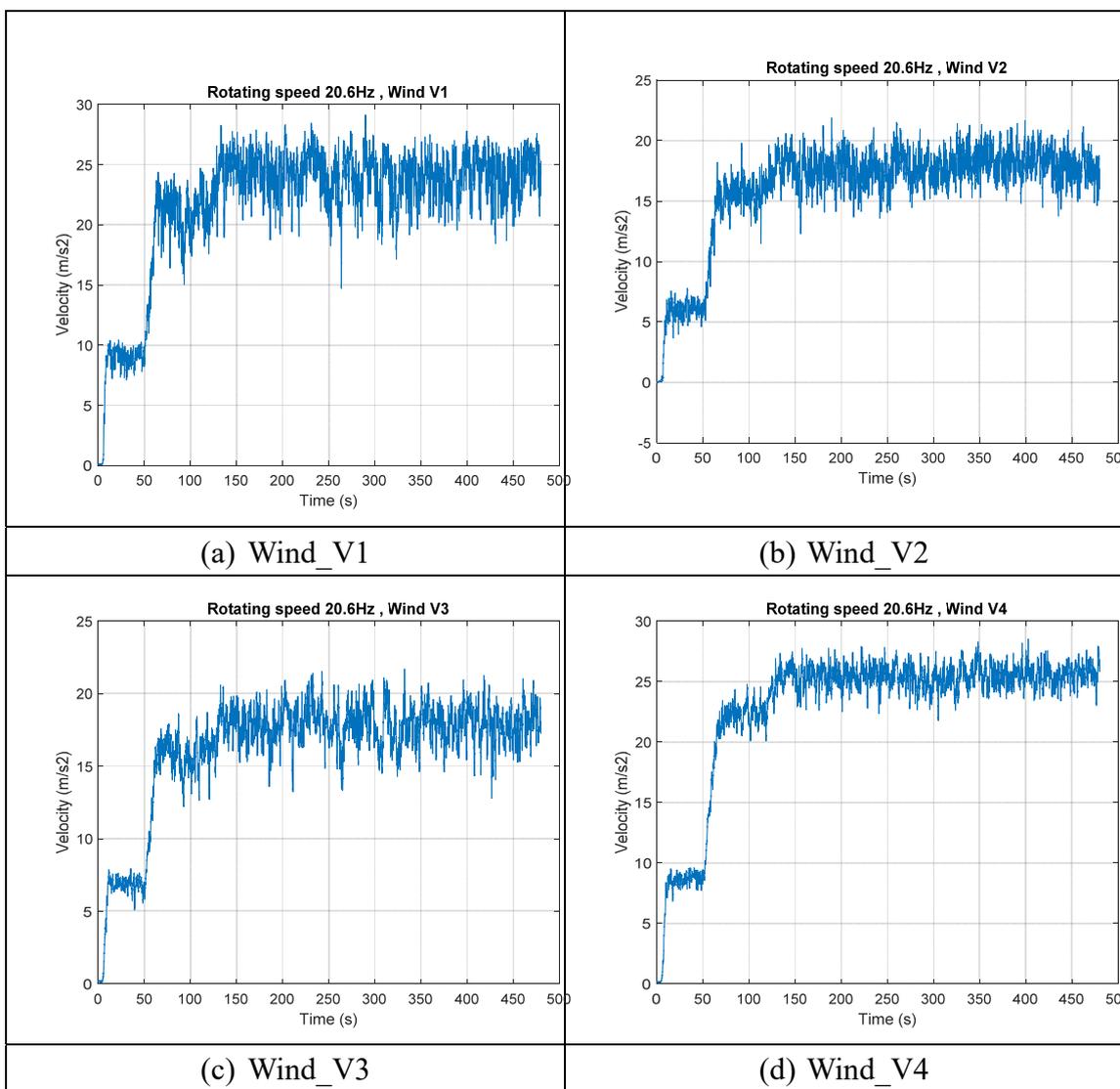


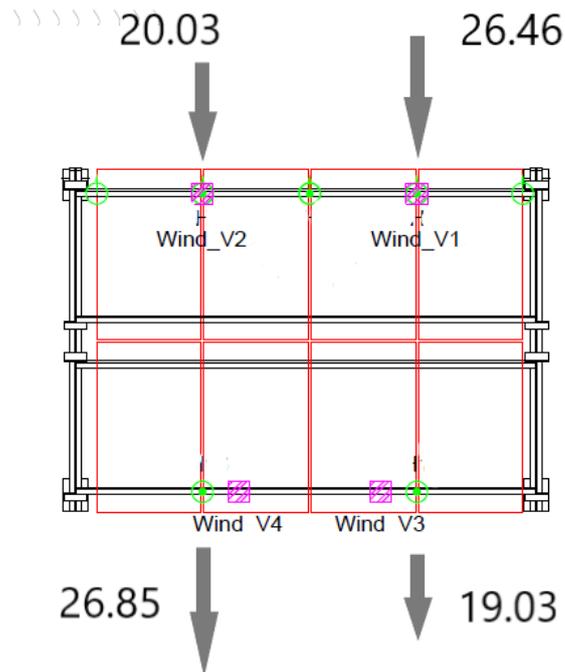
圖 3-1 各風速計之歷時圖(20.6Hz)

資料來源:本研究

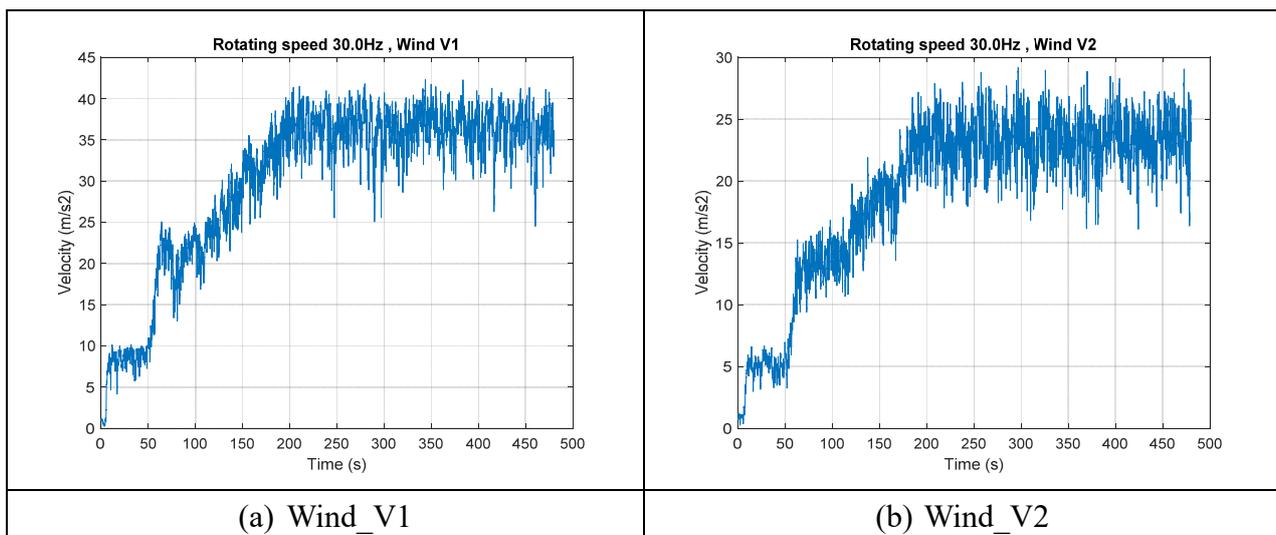
表 3-2 最大陣風值平均 (m/s²)

20.6 Hz	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
平均風速	23.98	17.91	17.90	25.45
擾動風速	1.83	1.26	1.33	0.93
陣風風速	26.46	20.03	19.63	26.85

資料來源:本研究



2. 造風機變頻器轉速(30.0Hz)



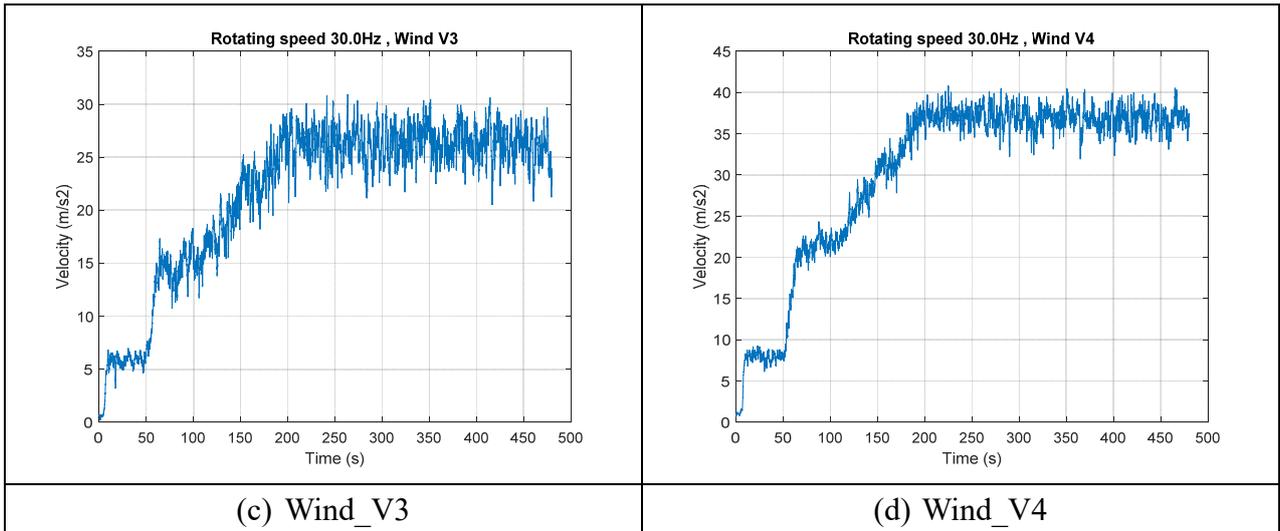


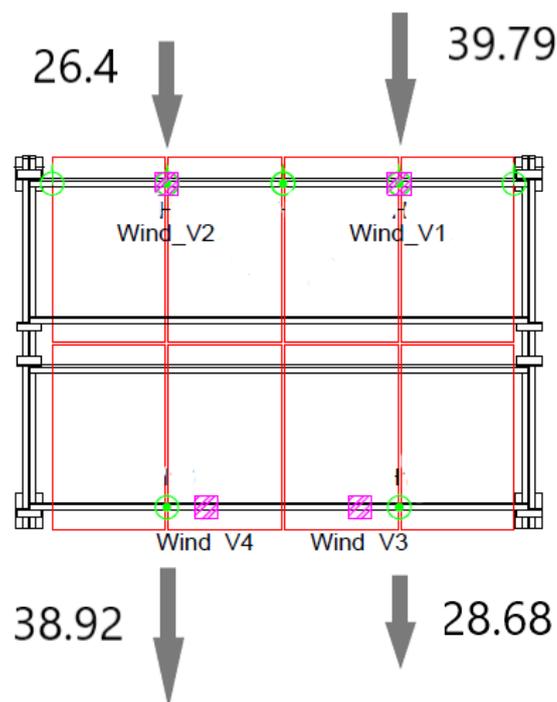
圖 3-2 各風速計之歷時圖(30.0Hz)

資料來源:本研究

表 3-3 最大陣風值平均 (m/s²)

30.0Hz	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
平均風速	36.27	23.21	26.24	36.89
擾動風速	2.53	1.98	1.72	1.34
陣風風速	39.79	26.40	28.68	38.92

資料來源:本研究



第二節 試驗結果

本次試驗共計採用 4 支風速計及 16 個加速度計(靈敏度如表 3-4)，
 加速度單位 g (m/s^2)，預計執行 次定速耐風測試，以變頻器轉速(Hz)
 來控制風升速率如表 3-5，而後維持穩定吹試 180s 並進行量測。

表 3-4 加速計靈敏度(mV/g)

<i>CH1</i>	<i>CH2</i>	<i>CH3</i>	<i>CH4</i>	<i>CH5</i>	CH6	<i>CH7</i>	CH8
100.2	98.55	99.74	101.9	101.4	100.6	103.7	103.3
CH9	<i>CH10</i>	<i>CH11</i>	CH12	<i>CH13</i>	<i>CH14</i>	<i>CH15</i>	<i>CH16</i>
101.1	100.8	103.2	103.1	102.6	101.2	101.1	102.6

資料來源:本研究

表 3-5 變頻器轉速控制

<i>Hz</i>	8	18	19.6	20.6	22	23.3	24.6
爬升時間(s)	48	108	118	124	132	140	148
<i>Hz</i>	28	29.3	30				
爬升時間(s)	168	176	180				

資料來源:本研究

(一)變頻轉速 8Hz

8.0Hz	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
平均風速	7.85	5.20	5.84	7.63
擾動風速	1.04	0.58	0.69	0.66
陣風風速	9.09	6.10	6.61	8.51

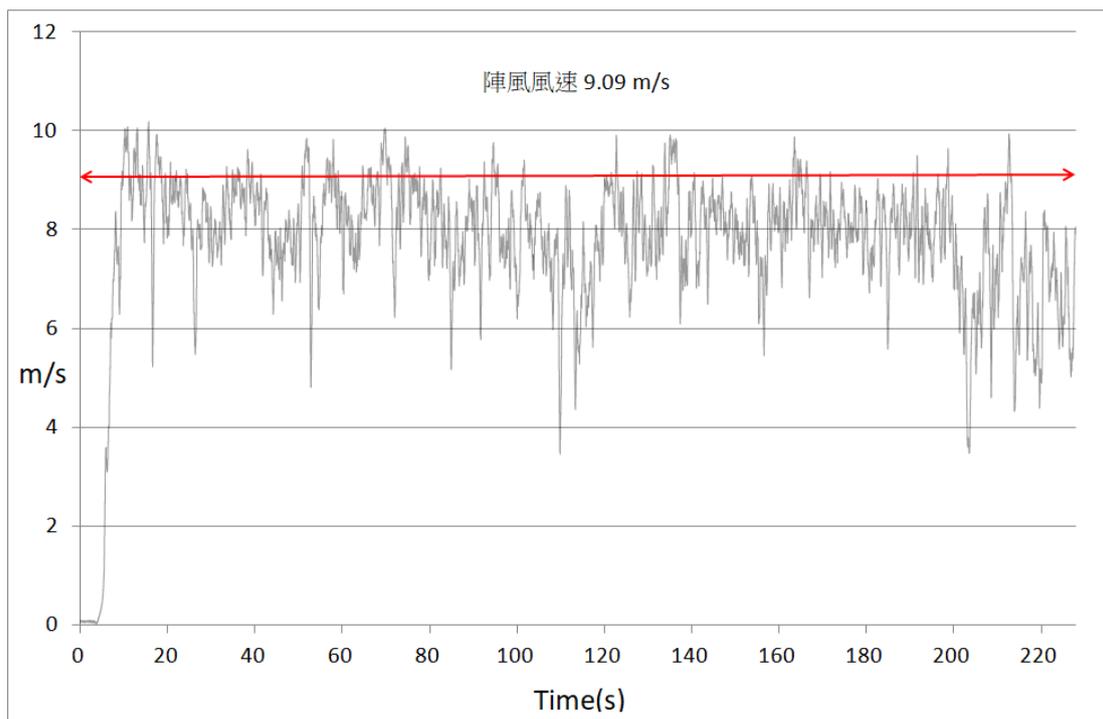


圖 3-3 Wind V1 風速歷時(8 Hz)

資料來源:本研究

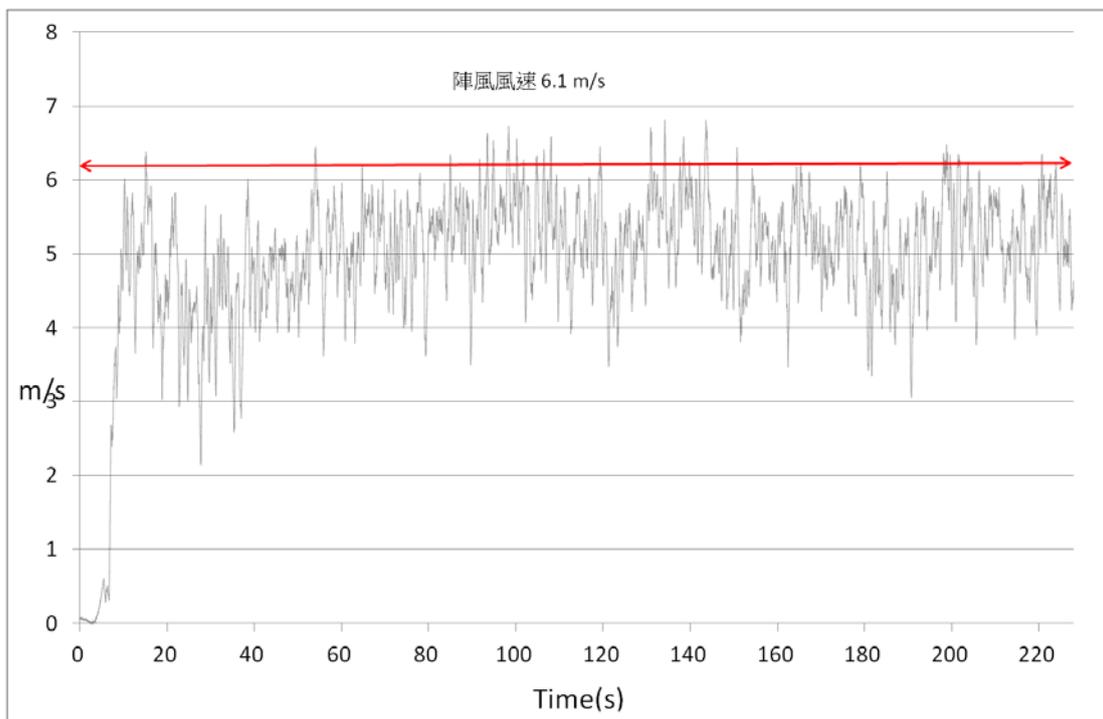


圖 3-4 Wind V2 風速歷時(8 Hz)

資料來源:本研究

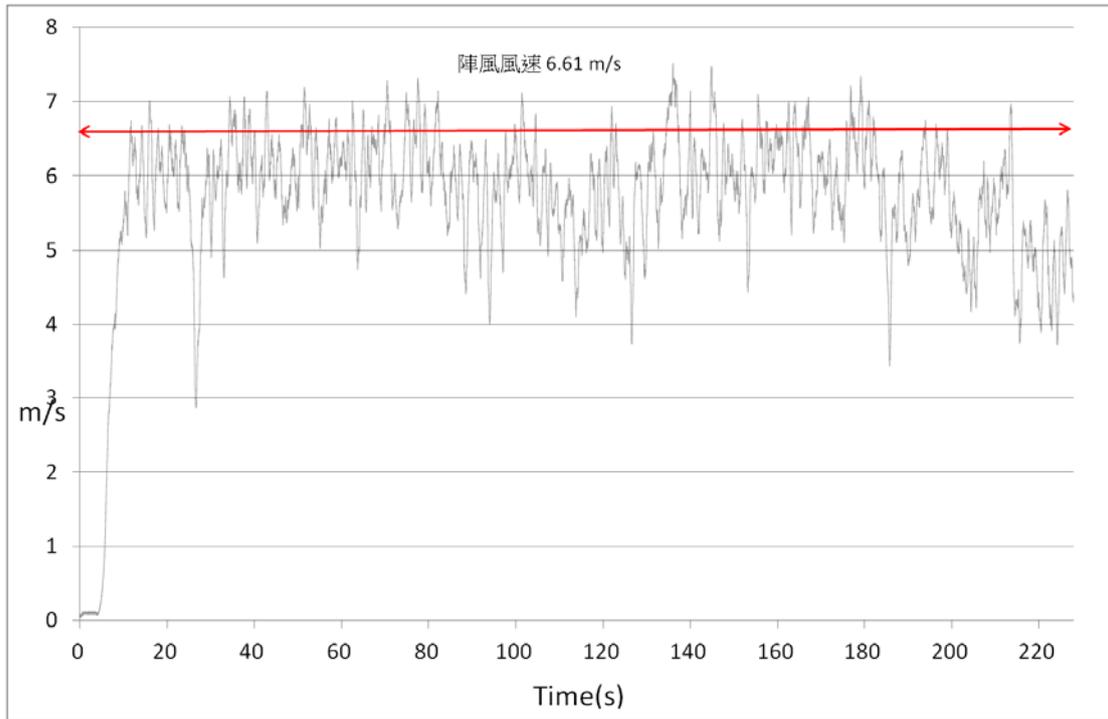


圖 3-5 Wind V3 風速歷時(8 Hz)

資料來源:本研究

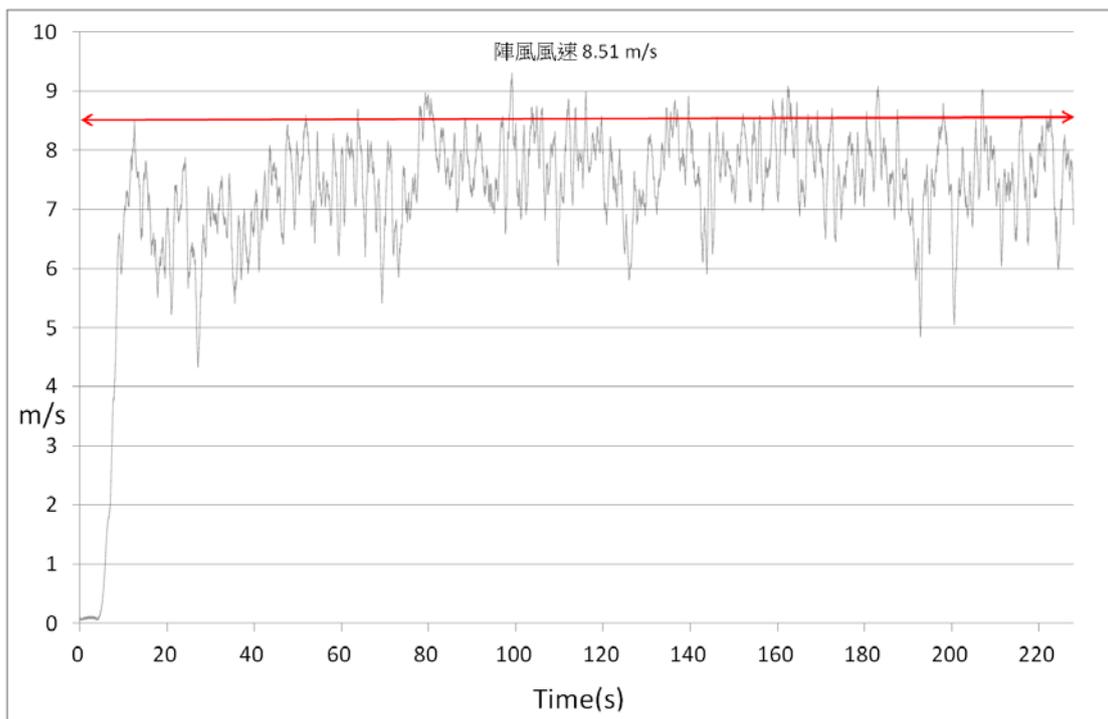
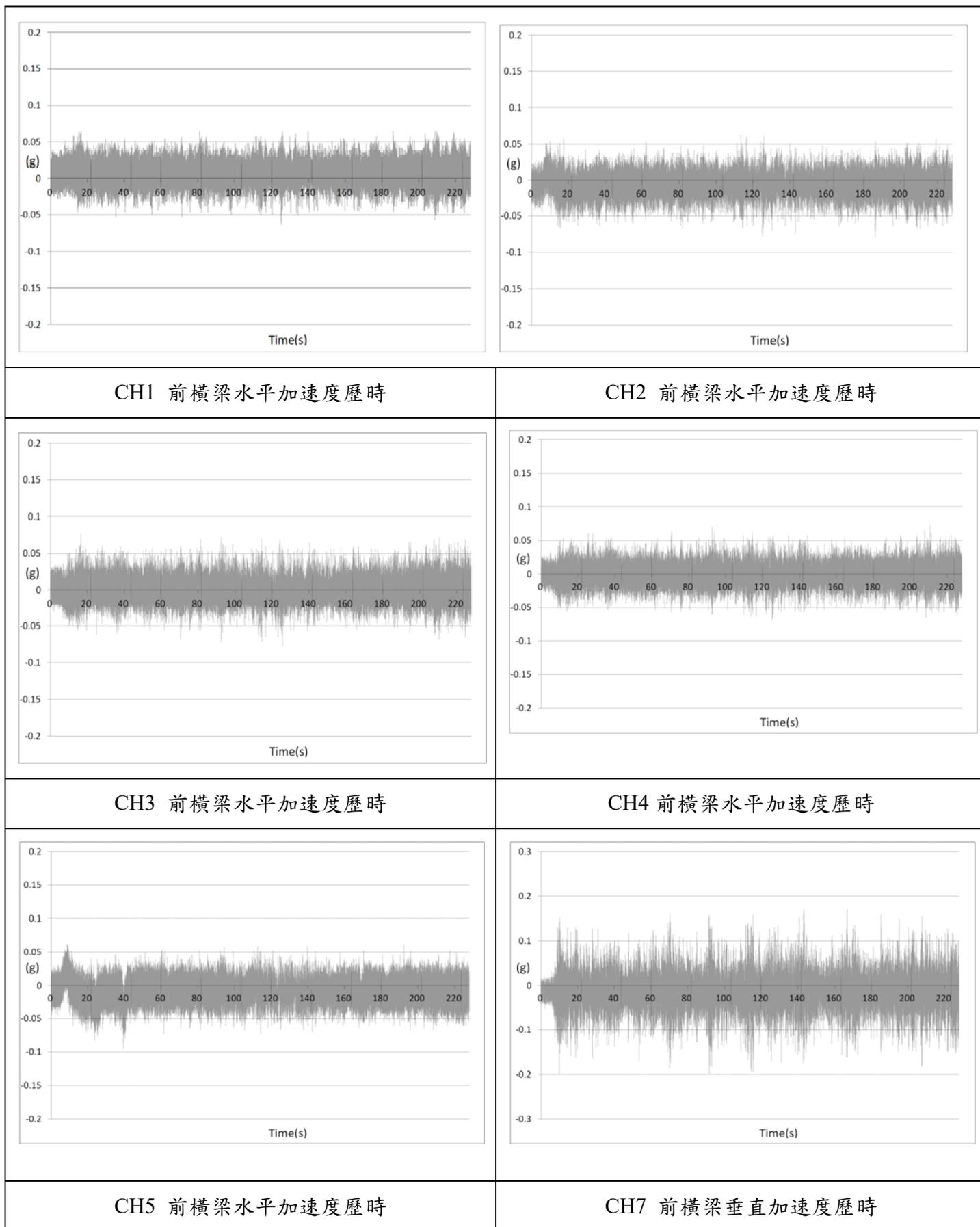


圖 3-6 Wind V4 風速歷時(8 Hz)

資料來源:本研究



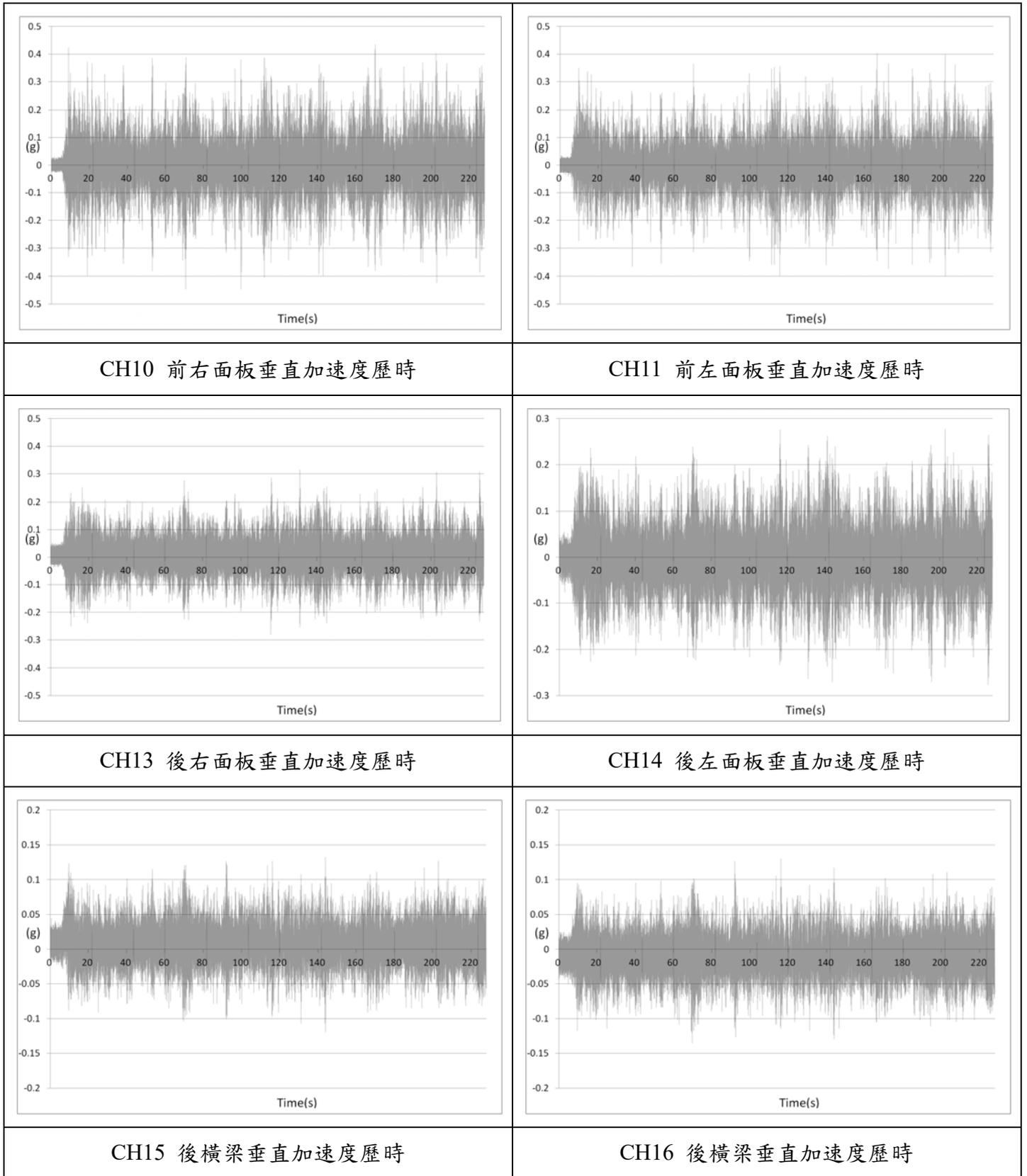


圖 3-7 加速度歷時 (8 Hz)

資料來源:本研究

發現前橫梁水平向振動之尖峰加速度值為 0.05g(CH1~CH5 尖峰平均)，橫梁垂直向振動之尖峰加速度值 0.11g，後橫梁垂直向風致振動之尖峰加速度值為 0.09g，前右、左光電板所受之尖峰加速度為 0.28g 及 0.25g，後右、左光電板所受之尖峰加速度約為 0.19g 與 0.18g。

表 3-6 各部位尖峰加速度(8Hz)

構件位置	尖峰加速度(g)
前橫梁水平向	0.05
前橫梁垂直向	0.11
前右光電板垂直向	0.28
前左光電板垂直向	0.25
後右光電板垂直向	0.19
後左光電板垂直向	0.18
後橫梁垂直向	0.09

資料來源:本研究

(二)變頻轉速 18Hz

18.0Hz	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
平均風速	21.87	12.60	15.46	19.90
擾動風速	1.37	1.35	1.09	1.15
陣風風速	23.84	14.93	16.99	21.37

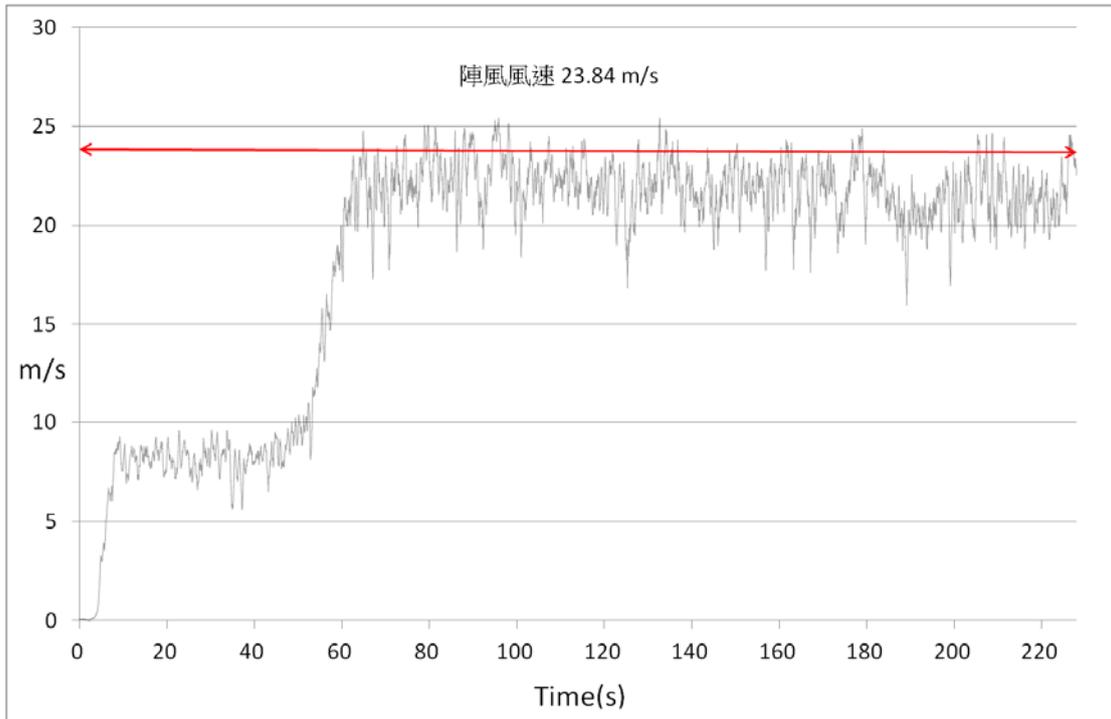


圖 3-8 Wind V1 風速歷時(18 Hz)

資料來源:本研究

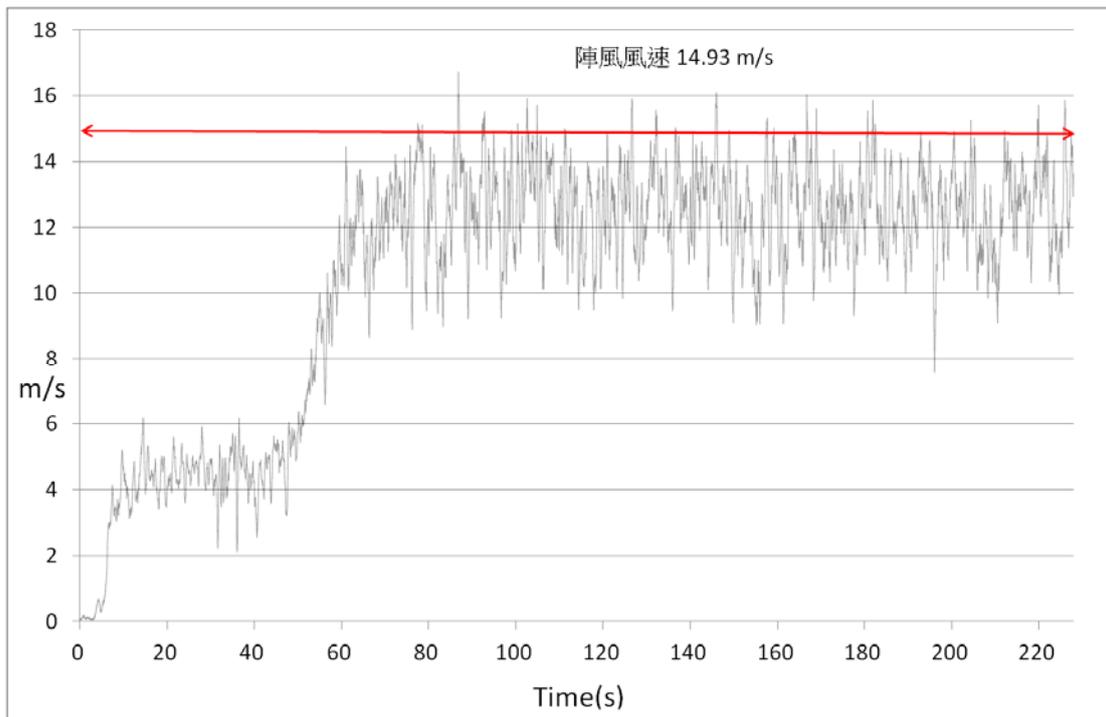


圖 3-9 Wind V2 風速歷時(18 Hz)

資料來源:本研究

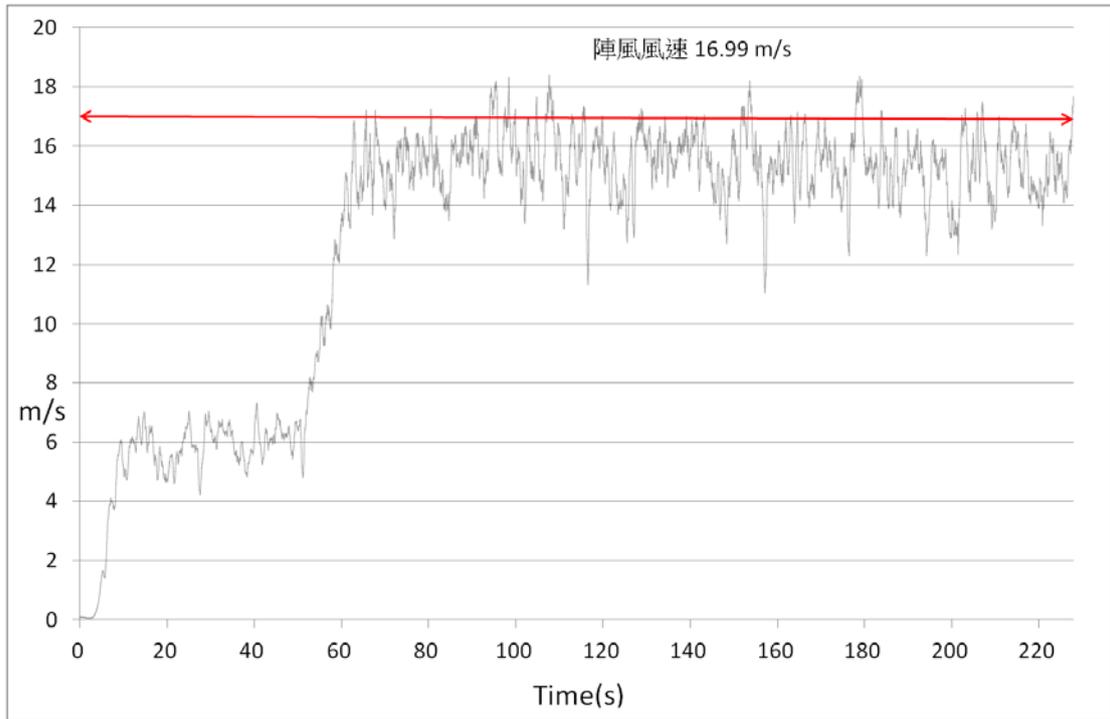


圖 3-10 Wind V3 風速歷時(18 Hz)

資料來源:本研究

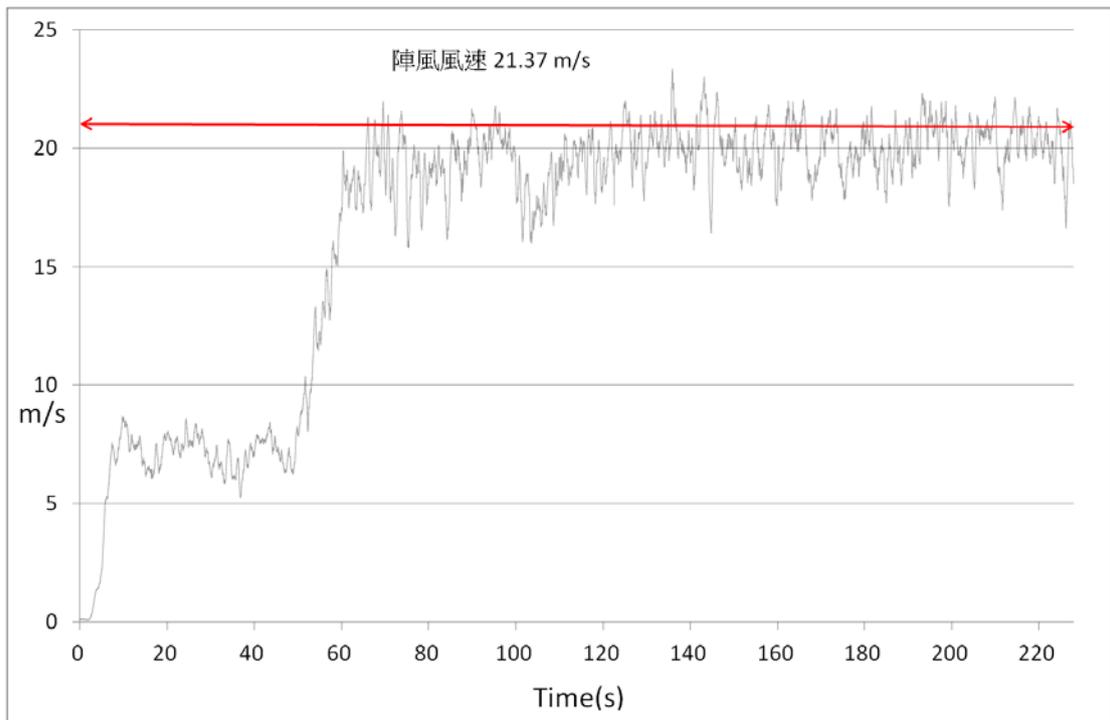
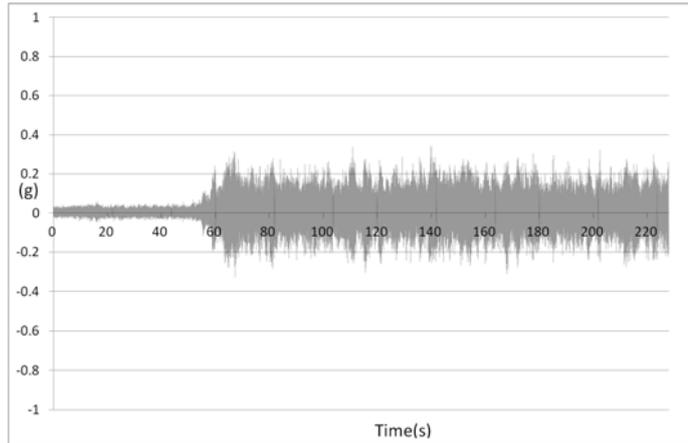
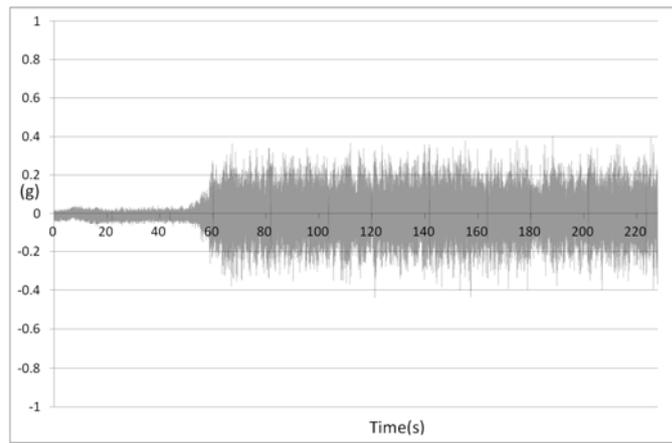


圖 3-11 Wind V4 風速歷時(18 Hz)

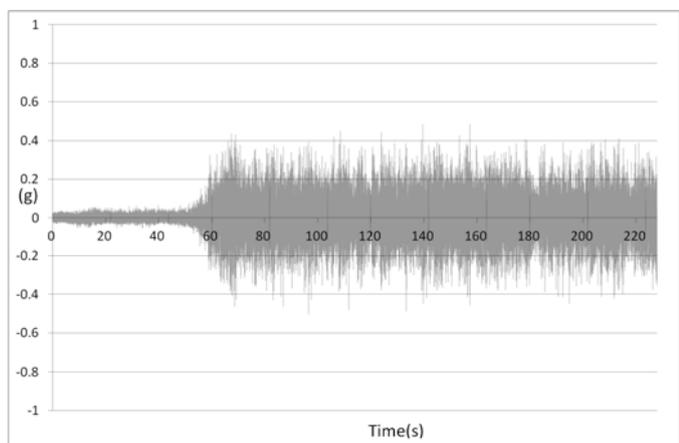
資料來源:本研究



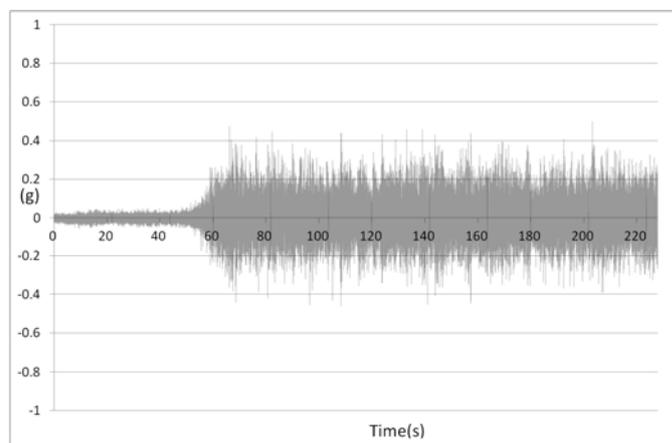
CH1 前橫梁水平加速度歷時



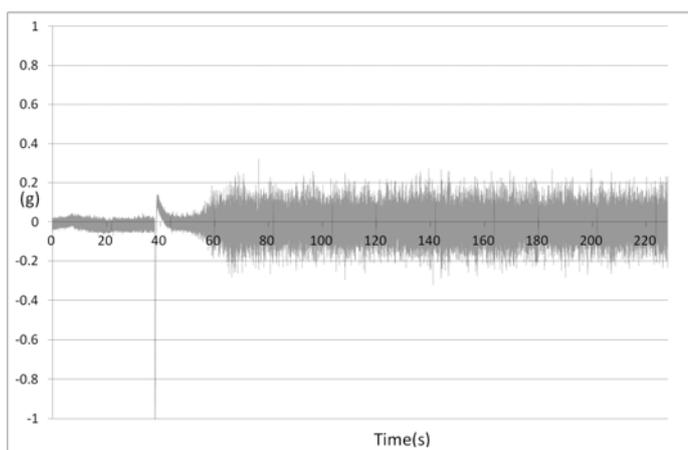
CH2 前橫梁水平加速度歷時



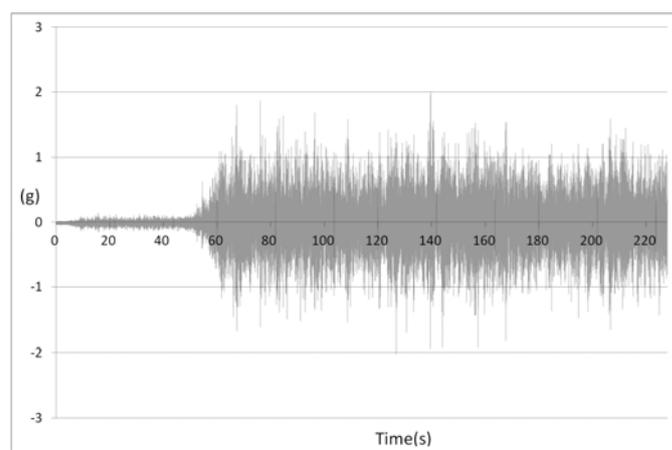
CH3 前橫梁水平加速度歷時



CH4 前橫梁水平加速度歷時



CH5 前橫梁水平加速度歷時



CH7 前橫梁垂直加速度歷時

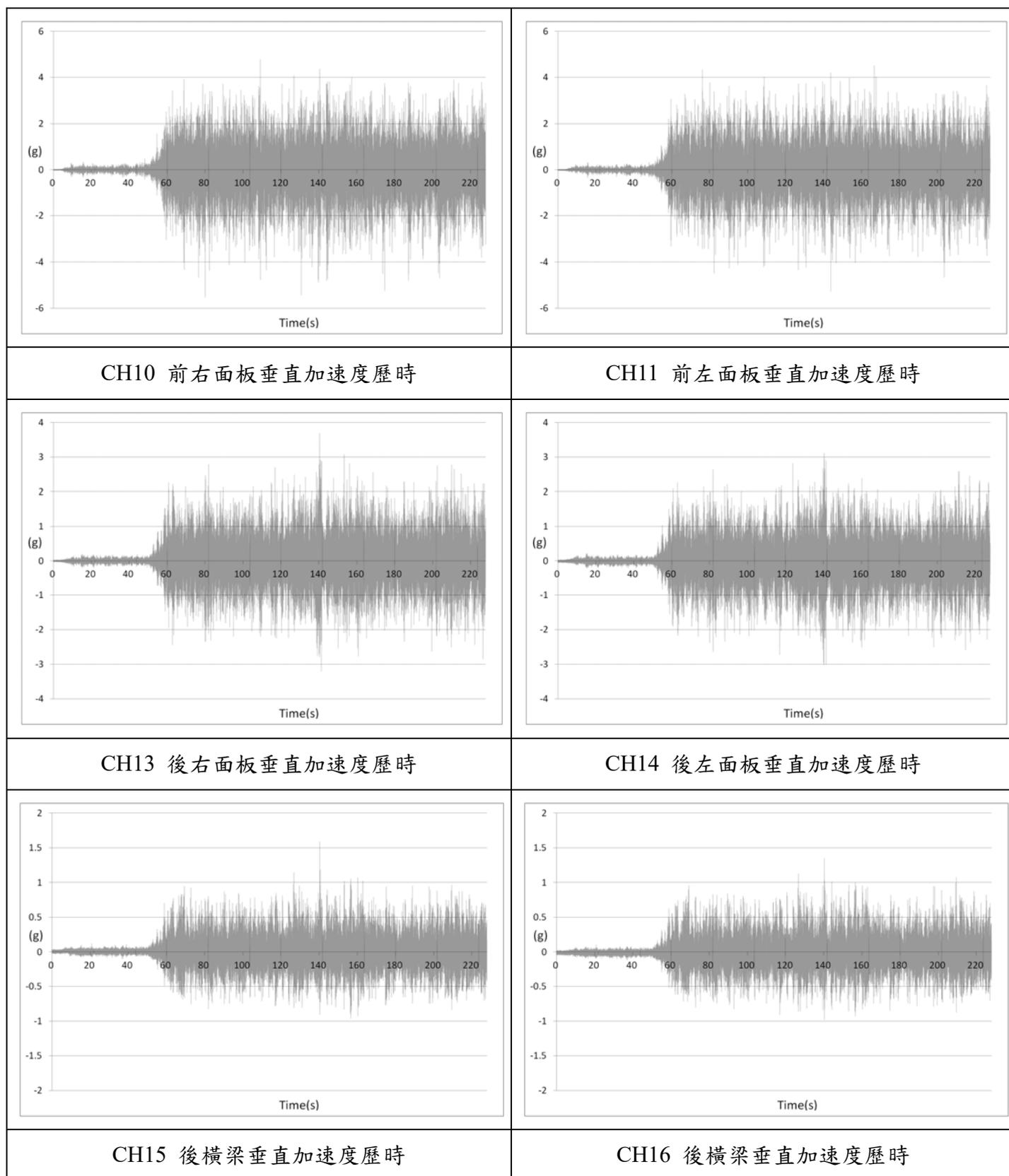


圖 3-12 加速度歷時結果(18 Hz)

資料來源:本研究

發現前橫梁水平向振動之尖峰加速度值為 0.27g(CH1~CH5 尖峰平均)，橫梁垂直向振動之尖峰加速度值 1.11g，後橫梁垂直向風致振動之尖峰加速度值為 0.71g，前右、左光電板所受之尖峰加速度皆為 2.88g，後右、左光電板所受之尖峰加速度約為 1.92g 與 1.76g。

表 3-7 各部位尖峰加速度(18Hz)

構件位置	尖峰加速度(g)
前橫梁水平向	0.27
前橫梁垂直向	1.11
前右光電板垂直向	2.88
前左光電板垂直向	2.88
後右光電板垂直向	1.92
後左光電板垂直向	1.76
後橫梁垂直向	1.11

資料來源:本研究

(二)變頻轉速 30Hz

30.0Hz	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
平均風速	36.89	21.91	27.18	29.81
擾動風速	2.02	2.39	1.56	1.86
陣風風速	39.68	25.35	29.32	33.26

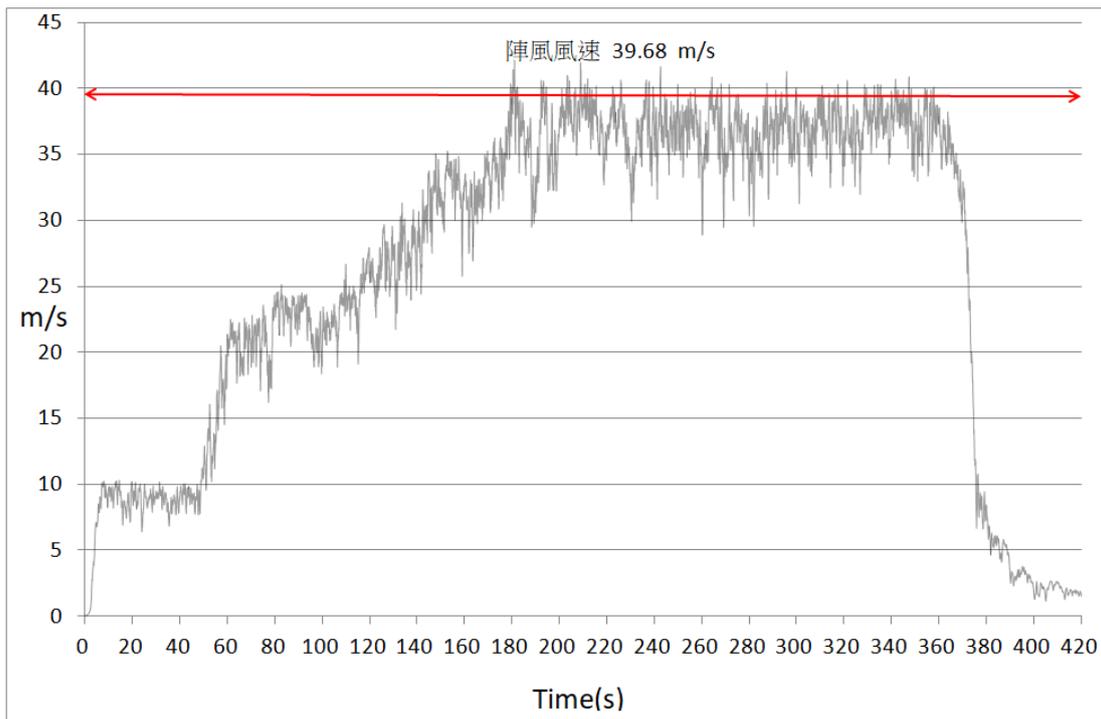


圖 3-13 Wind V1 風速歷時(30 Hz)

資料來源:本研究

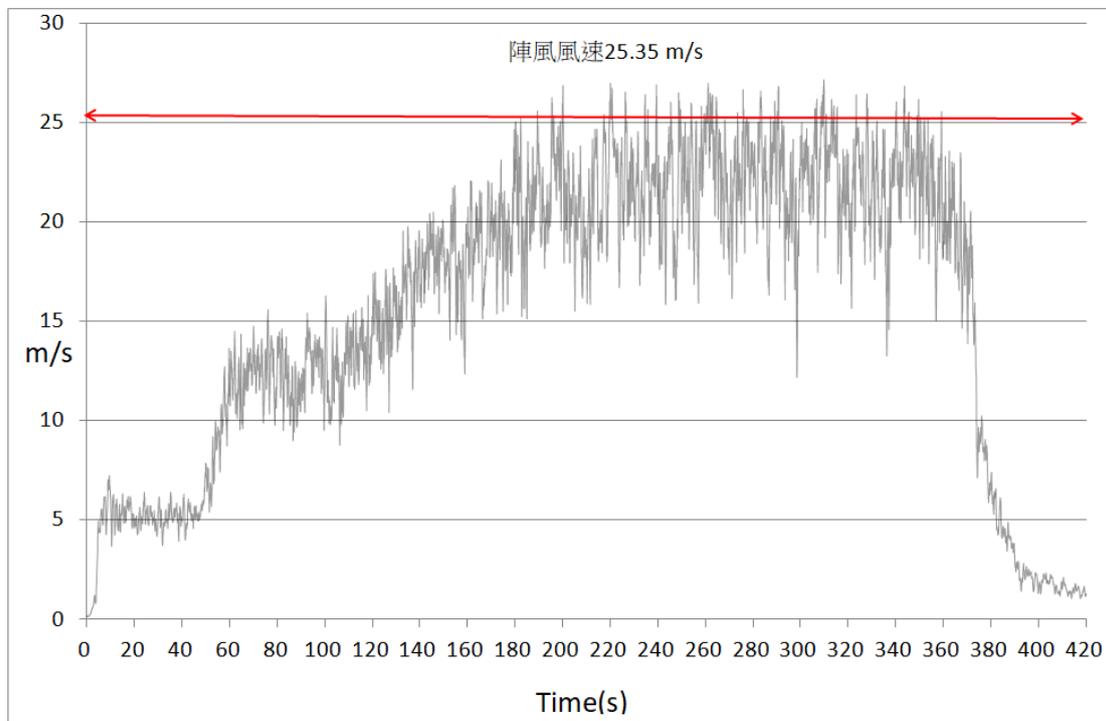


圖 3- 14 Wind V2 風速歷時(30 Hz)

資料來源:本研究

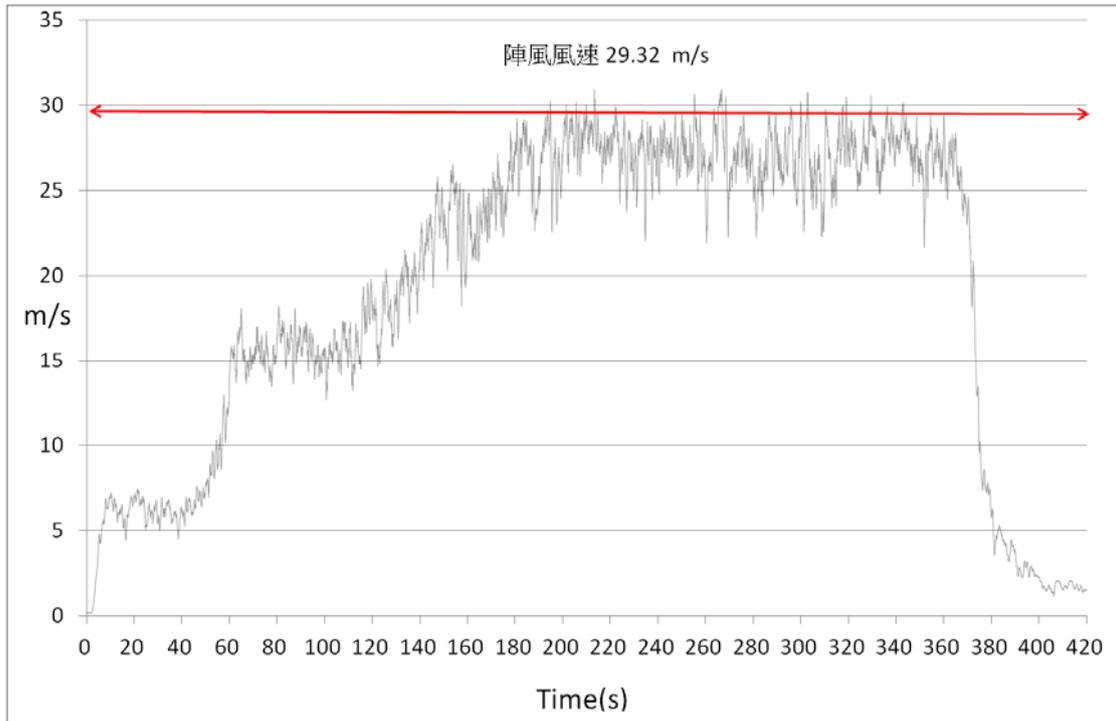


圖 3-15 Wind V3 風速歷時(30 Hz)

資料來源:本研究

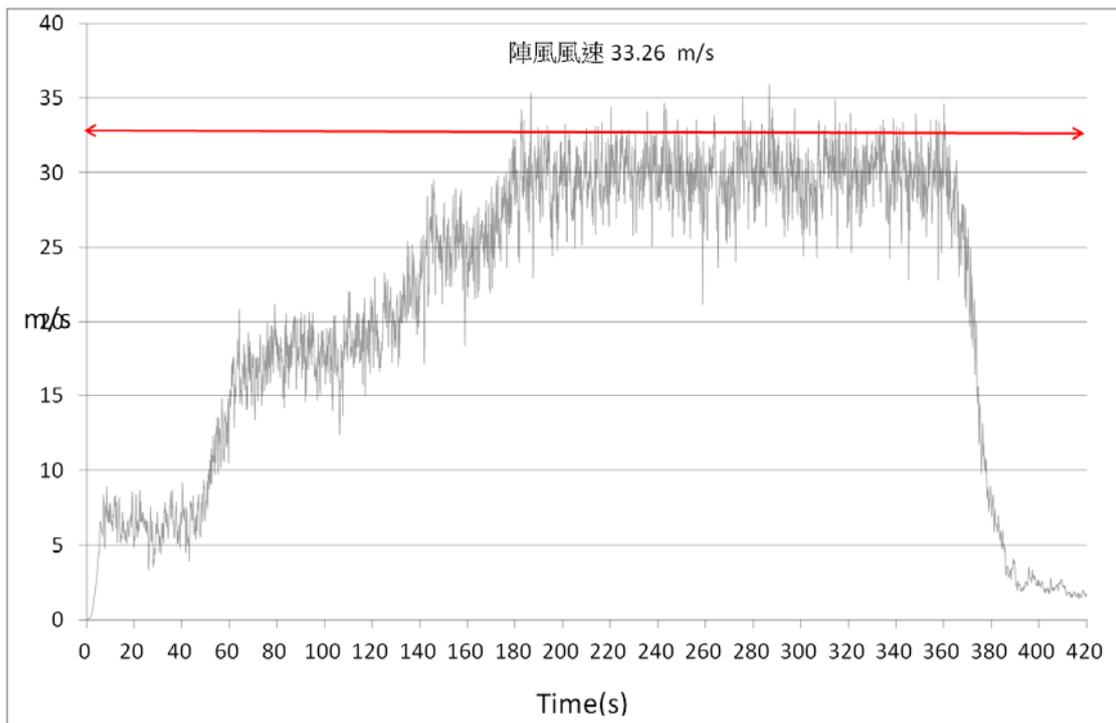
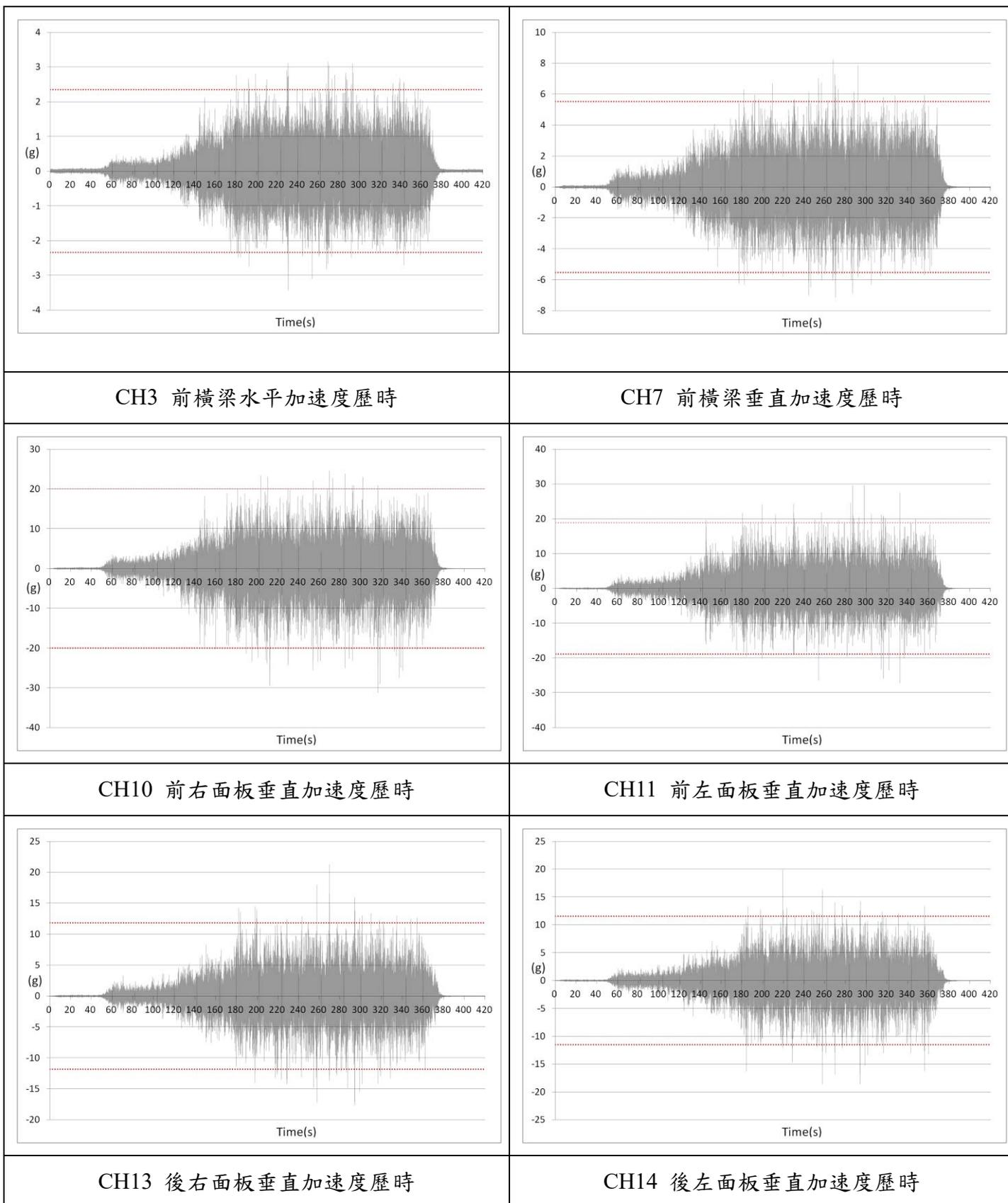


圖 3-16 Wind V4 風速歷時(30 Hz)

資料來源:本研究



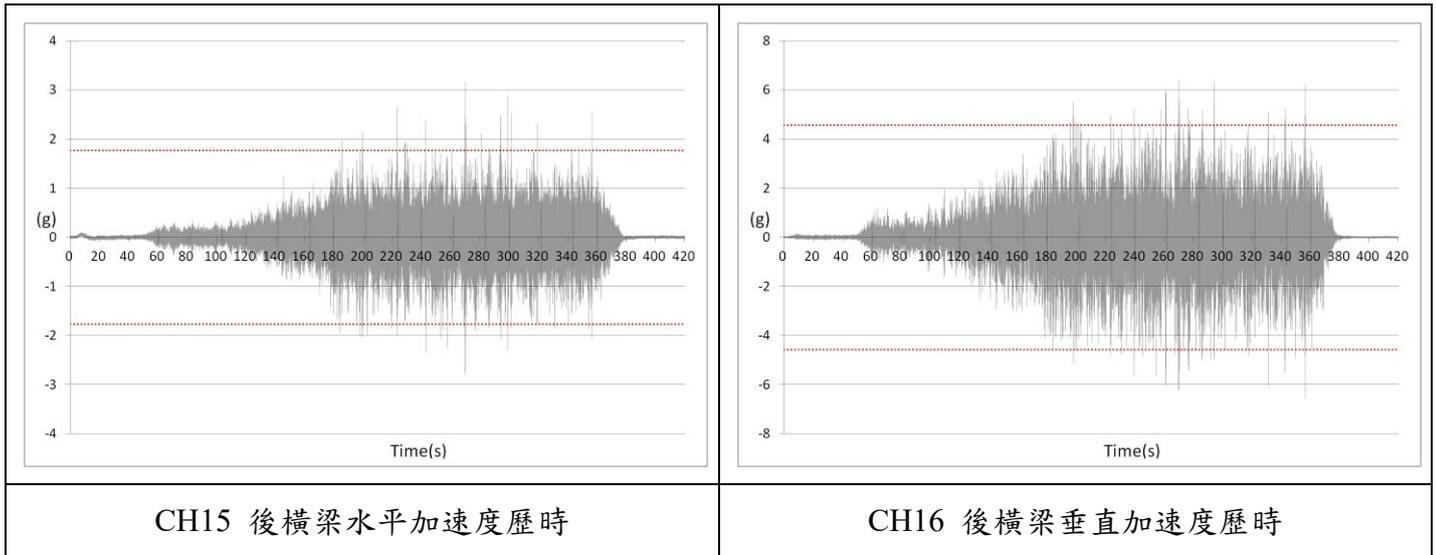


圖 3-17 加速度歷時 (30 Hz)

資料來源:本研究

發現前橫梁水平及垂直向振動之尖峰加速度值分別為 2.34g 與 5.52g，後橫梁水平及垂直向振動之尖峰加速度值分別為 1.77g 與 4.57g，前右、左光電板所受之尖峰加速度為 20.05g 與 18.84g，後右、左光電板所受之尖峰加速度為 11.84g 與 11.53g。

表 3-8 各部位尖峰加速度(30Hz)

構件位置	尖峰加速度(g)
前橫梁水平向	2.34
前橫梁垂直向	5.52
前右光電板垂直向	20.05
前左光電板垂直向	18.84
後右光電板垂直向	11.84
後左光電板垂直向	11.53
後橫梁水平向	1.77
後橫梁垂直向	4.57

資料來源:本研究

第三節 小結

本節探討經由變頻轉速 8~30 Hz 風速吹試下，所造成之陣風風速、各構件之尖峰加速度量測值差異陳述如下。

(一) 陣風風速

陣風風速(m/s)	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
變頻轉速 8 Hz	9.68	6.13	7.12	8.40
變頻轉速 18 Hz	23.72	14.68	16.74	19.77
變頻轉速 20.6 Hz	27.18	16.69	19.34	22.52
變頻轉速 22.0 Hz	28.67	17.81	20.68	23.56
變頻轉速 24.6 Hz	32.60	19.69	23.68	26.37
變頻轉速 28.0 Hz	34.08	20.95	24.85	27.45
變頻轉速 30 Hz	39.71	25.24	28.97	32.29

(二) 尖峰加速度

當風速加劇，各構件所承受之尖峰加速度如下表。

尖峰加速度(g)	前橫梁 水平向	前橫梁 垂直向	前右光 電板垂 直向	前左光 電板垂 直向	後右光 電板垂 直向	後左光 電板垂 直向	後橫梁 垂直向
變頻轉速 8 Hz	0.05	0.13	0.30	0.25	0.19	0.19	0.11
變頻轉速 18 Hz	0.42	1.33	4.14	3.74	2.29	2.26	1.07
變頻轉速 20.6 Hz	0.65	1.89	6.32	5.62	3.52	3.33	1.49
變頻轉速 22.0 Hz	0.84	2.33	8.21	6.99	4.32	4.35	1.75
變頻轉速 24.6 Hz	1.27	3.27	11.88	10.56	6.01	5.66	2.6
變頻轉速 28.0 Hz	1.52	3.84	14.24	11.81	6.72	NG	2.9
變頻轉速 30 Hz	2.42	5.44	20.48	18.91	11.99	11.94	4.67

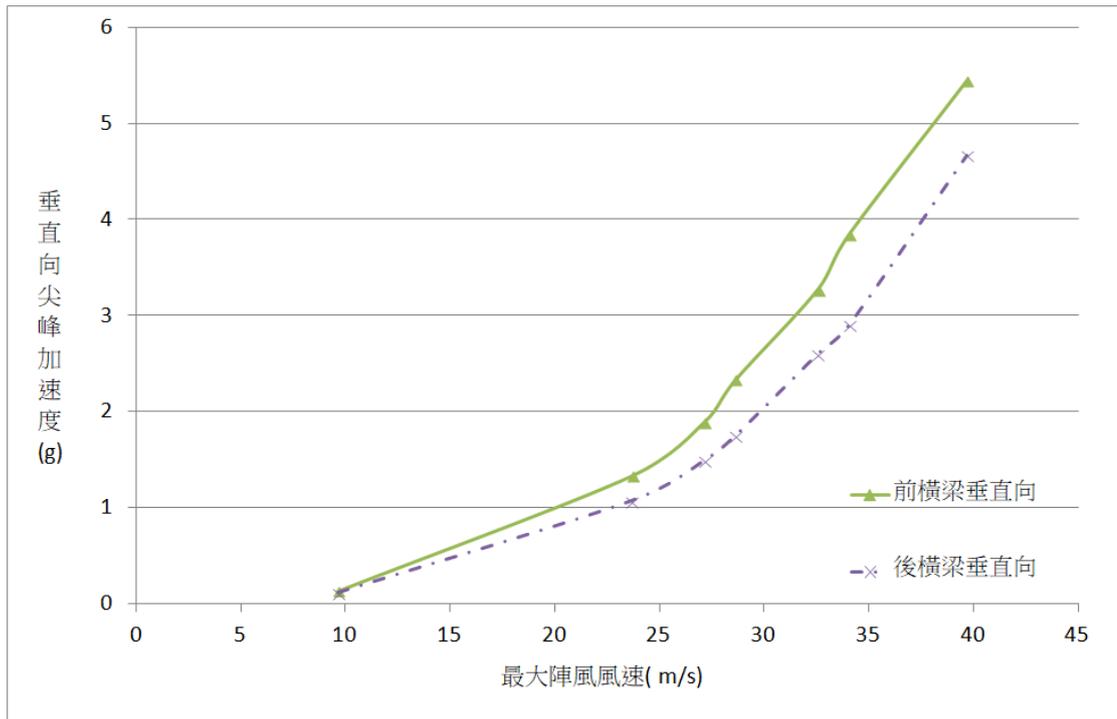


圖 3-18 不同風速下橫梁垂直向尖峰加速度

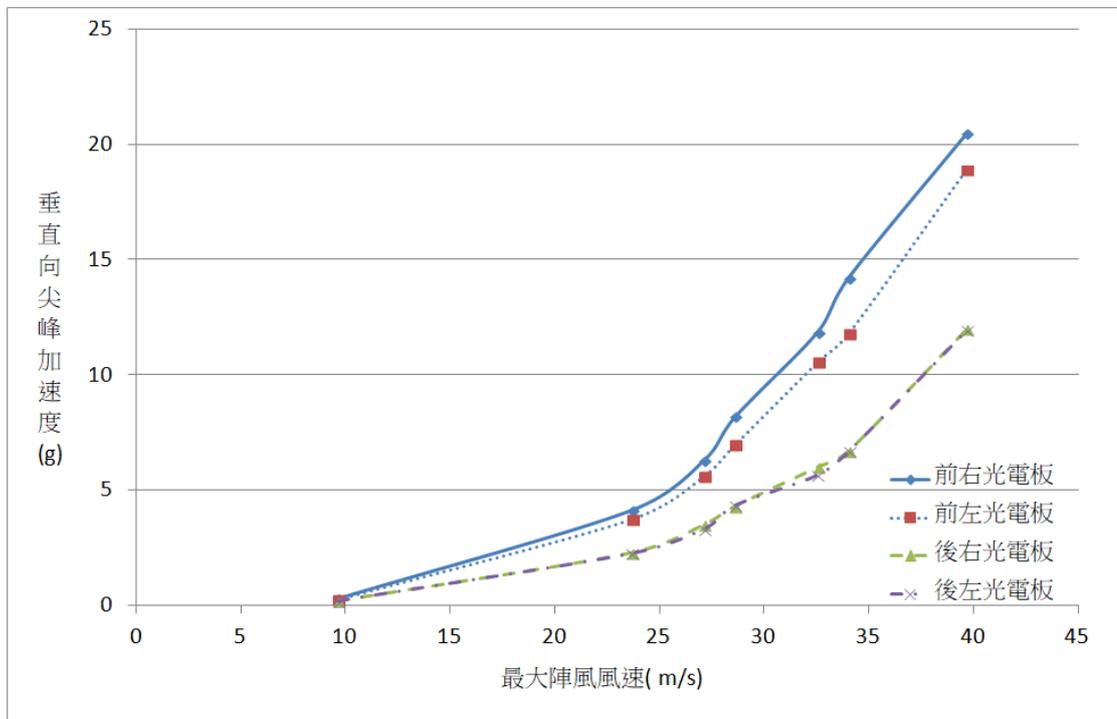
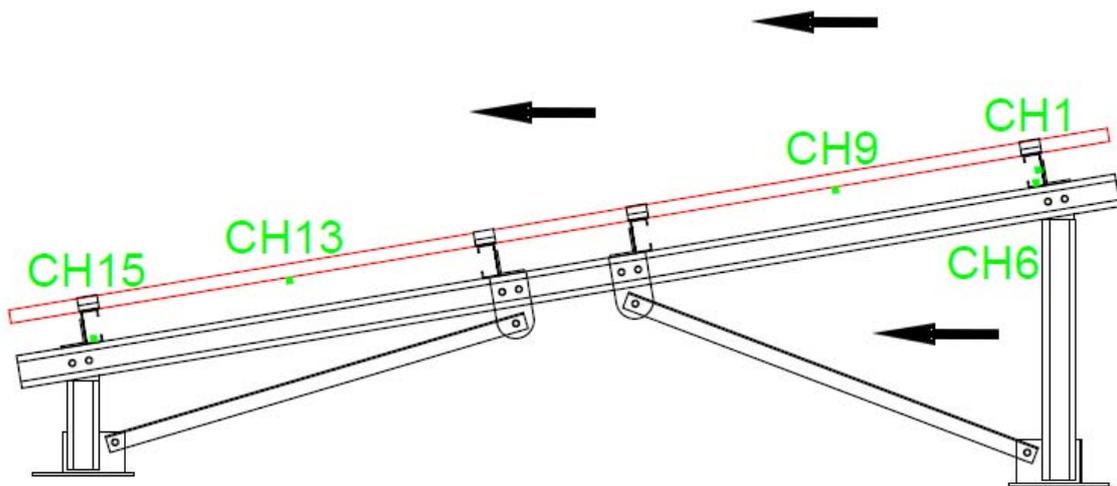


圖 3-19 不同風速下光電板垂直向尖峰加速度

現將該加速度資料以二項式曲線擬合(風速平方)外插推估當陣風風速達 60m/s 時，其前橫梁垂直向之尖峰加速度值約為 15g，而前光電板垂直向尖峰將達 50g 以上，超過加速度計可量測範圍($\pm 50g$)。因此後續如需進行高風速下之振動量測，則加速度計之量測範圍及貼合方式需加以注意，避免資料量測錯誤或震動脫落。

第四章 距置型單跨 6M 風向 I 耐風測試

試驗中共計進行 10 次不同風扇轉速下，光電板風壓與構件梁之加速度量測，所有測試結果如下所示。除加速階段按風扇轉速頻率乘以 6 為加速時間外，定速時間維持 3 分鐘後停止，再持續量測 1 分鐘。以風扇轉速 18Hz 為例，其升速時間為 108 s，定速時間 180s，降速時間 60s，測試時間共計 348 s，其他轉速之測試時間以此類推。後續將整體試驗數據依風速、面板風壓及構件振動等三大部分來加以呈現。



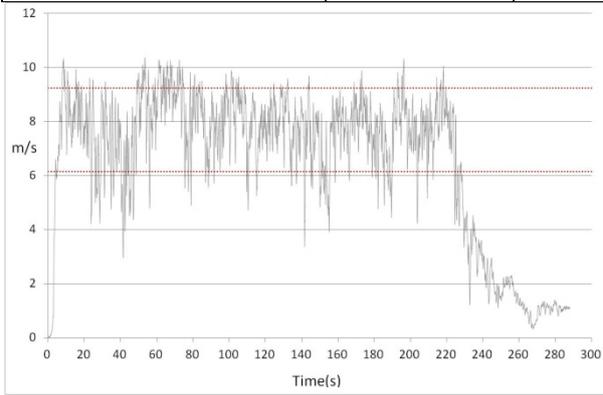
第一節 陣風風速

為能定義大尺度光電板試體於低紊流強度下，所量到測點風速資料之陣風風速，文中採用文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算。

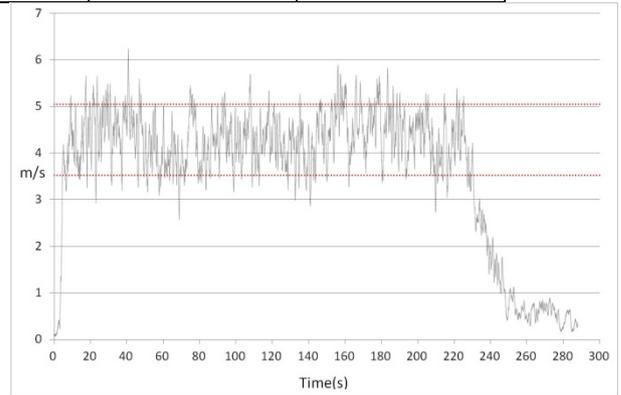
表 4-1 不同風扇轉速下之陣風風速

陣風風速(m/s)	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
變頻轉速 8.0 Hz	9.23	5.05	6.97	7.65
變頻轉速 18.0 Hz	21.24	12.44	16.36	18.93

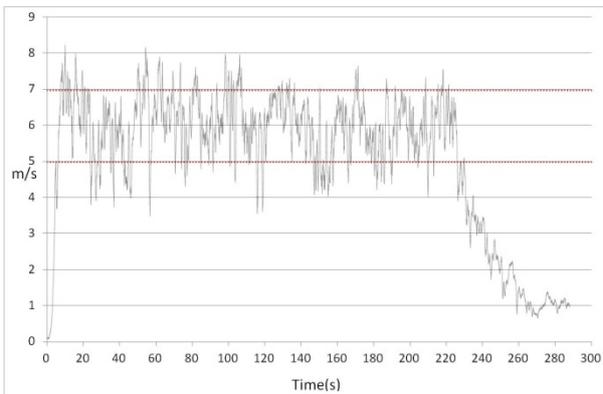
變頻轉速 19.3 Hz	22.77	13.13	17.80	19.93
變頻轉速 20.6 Hz	23.40	14.39	18.33	21.34
變頻轉速 22.0 Hz	25.02	15.40	20.68	23.14
變頻轉速 23.3 Hz	26.61	16.53	21.52	24.55
變頻轉速 24.6 Hz	27.63	17.13	22.50	25.64
變頻轉速 28.0 Hz	30.43	18.03	24.24	27.21
變頻轉速 29.3 Hz	31.59	19.24	25.53	28.15
變頻轉速 30.0 Hz	34.96	21.65	28.50	31.27



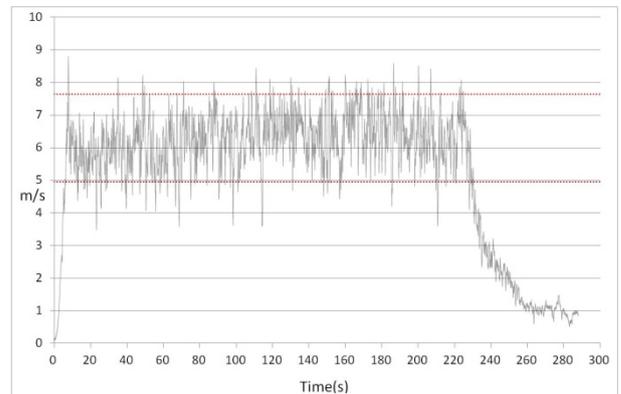
V1



V2

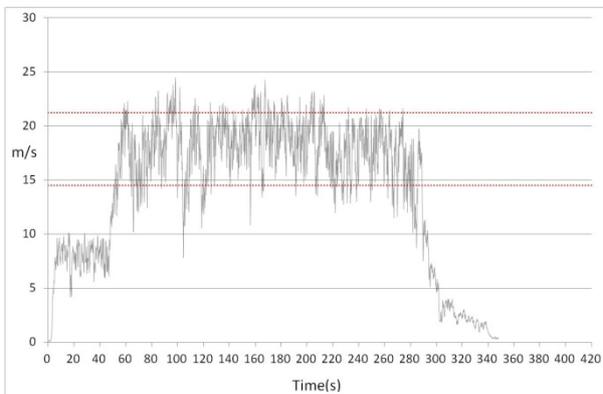


V3

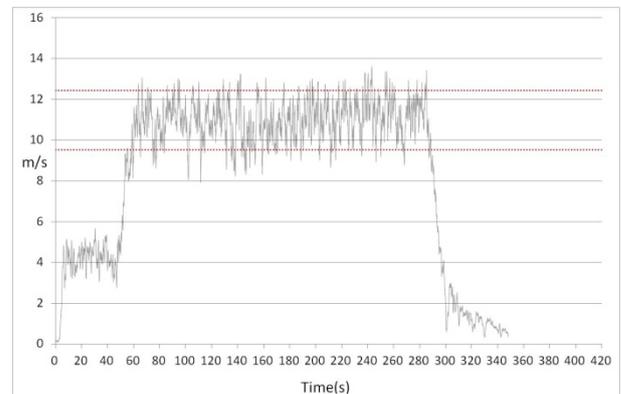


V4

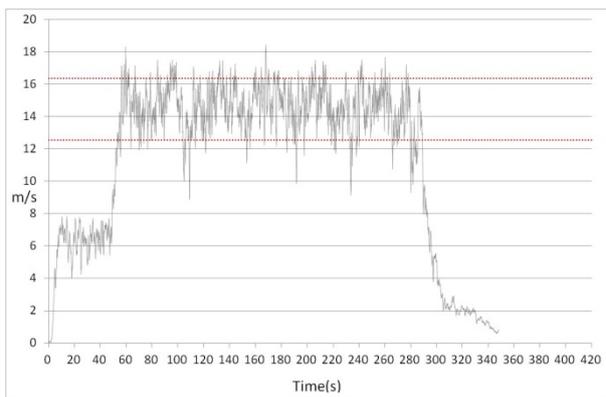
圖 4-1 風扇變頻轉速 8 Hz 之風速歷時



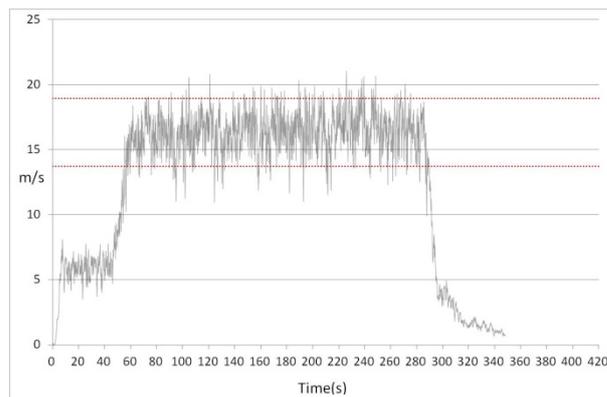
V1



V2

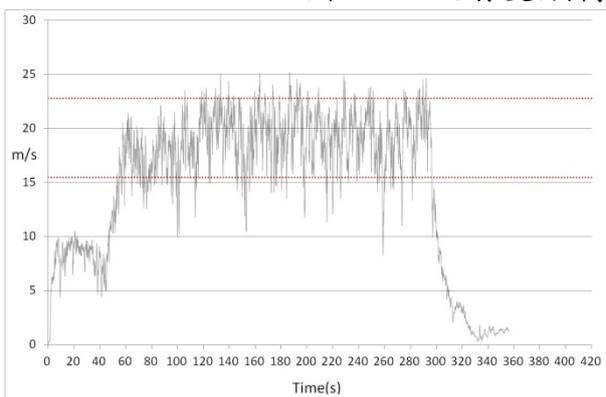


V3

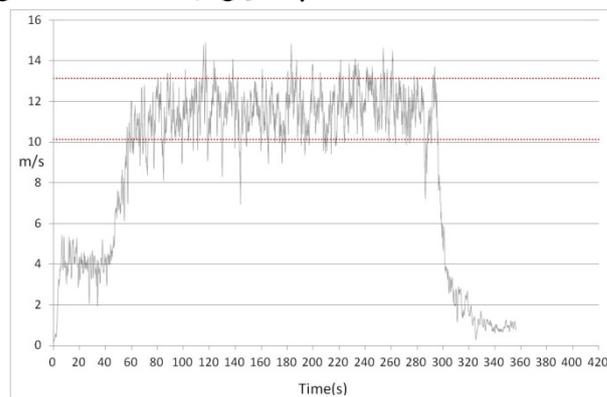


V4

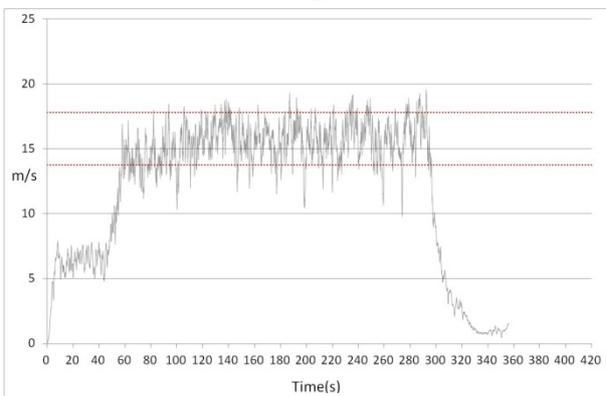
圖 4-2 風扇變頻轉速 18 Hz 之風速歷時



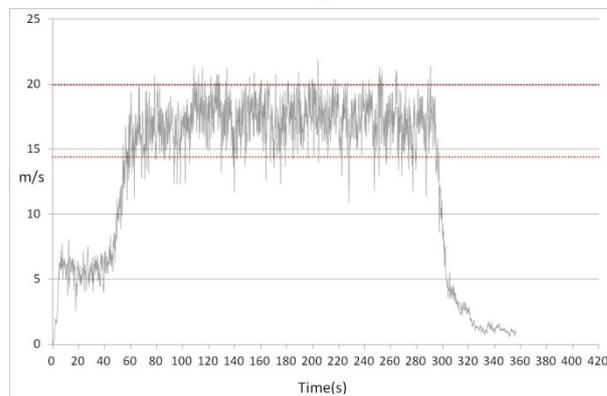
V1



V2

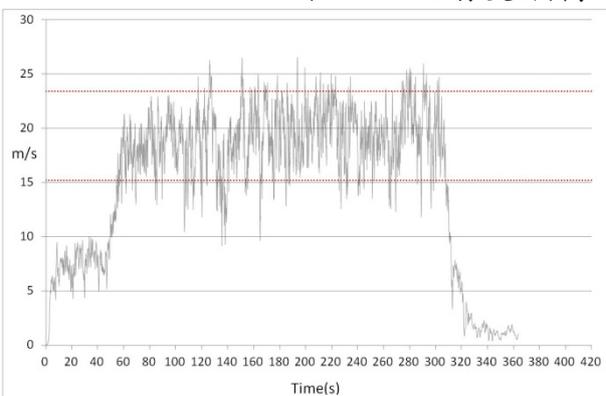


V3

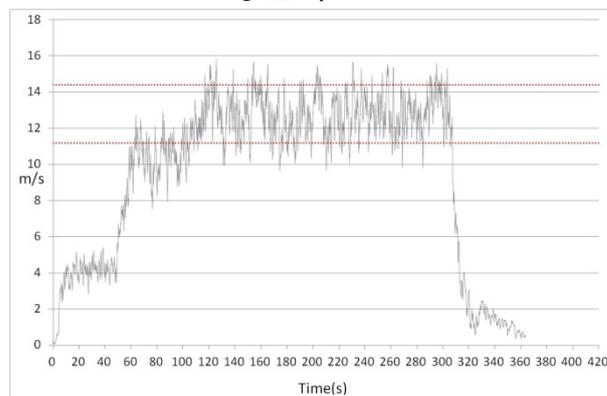


V4

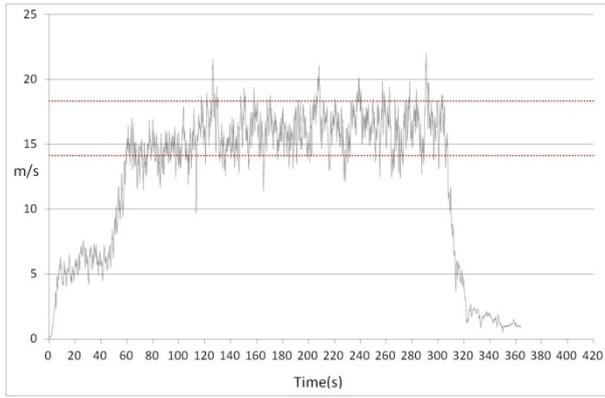
圖 4-3 風扇變頻轉速 19.3 Hz 之風速歷時



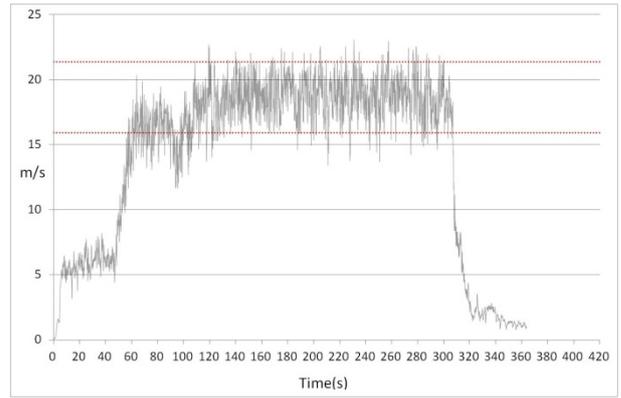
V1



V2

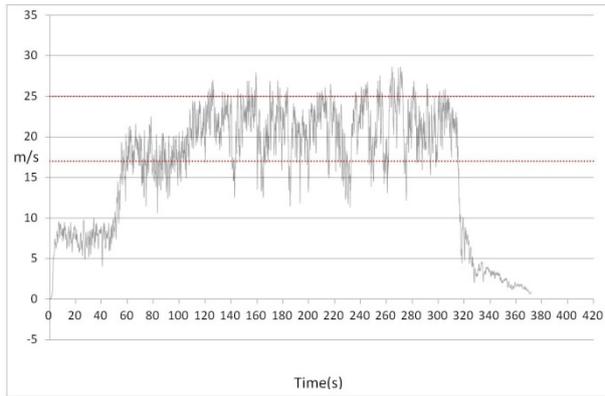


V3

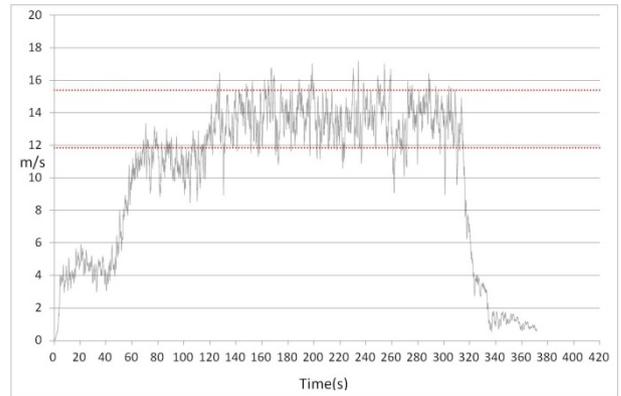


V4

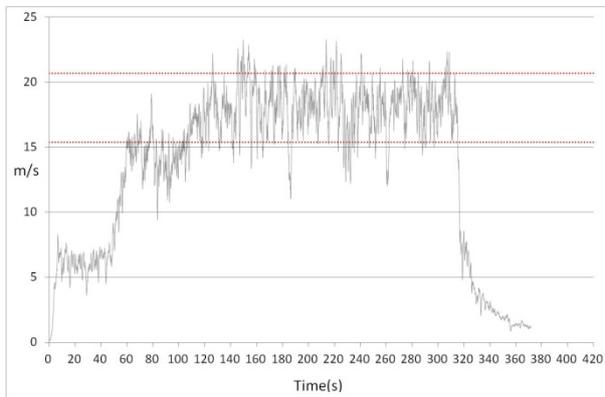
圖 4-4 風扇變頻轉速 20.6 Hz 之風速歷時



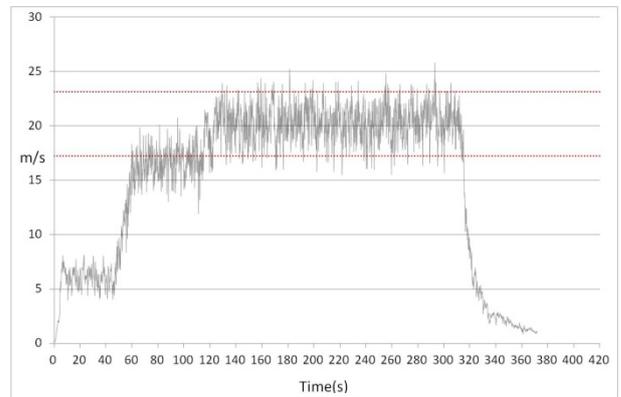
V1



V2

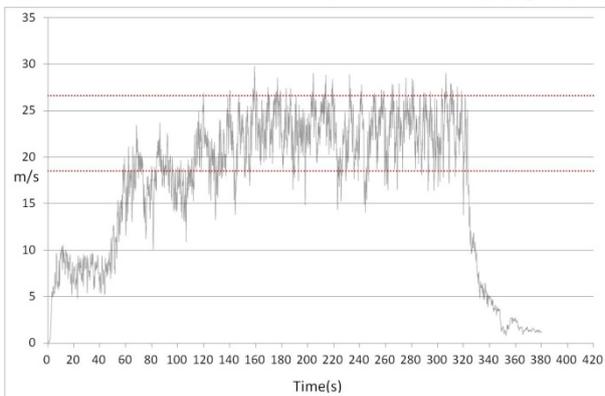


V3

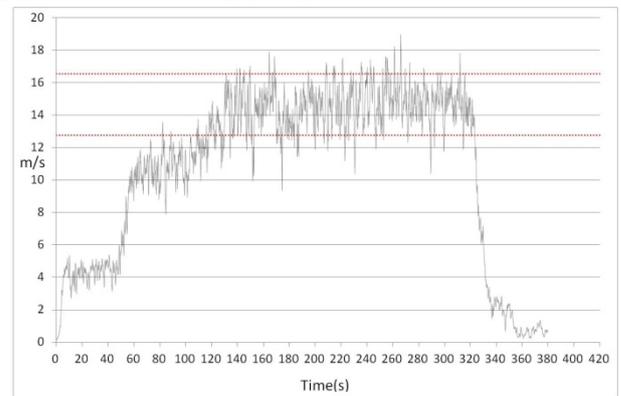


V4

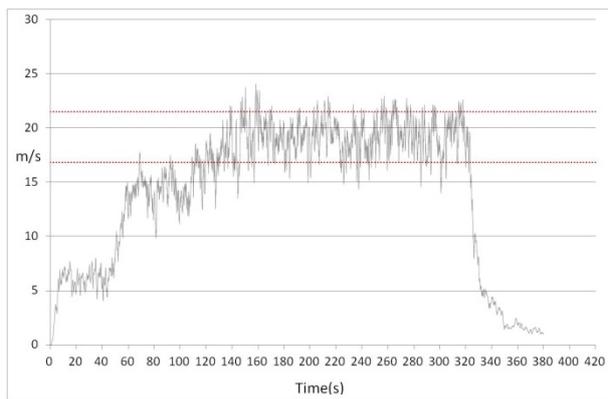
圖 4-5 風扇變頻轉速 22 Hz 之風速歷時



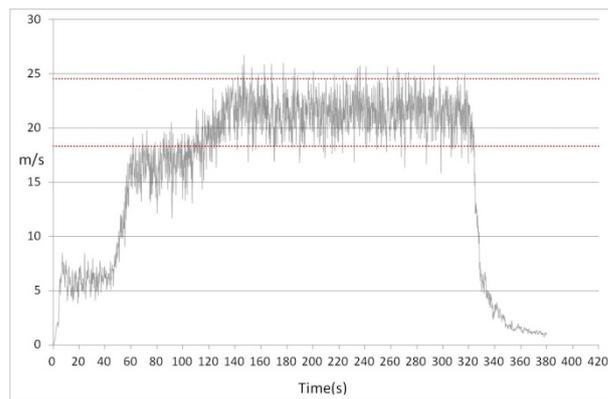
V1



V2

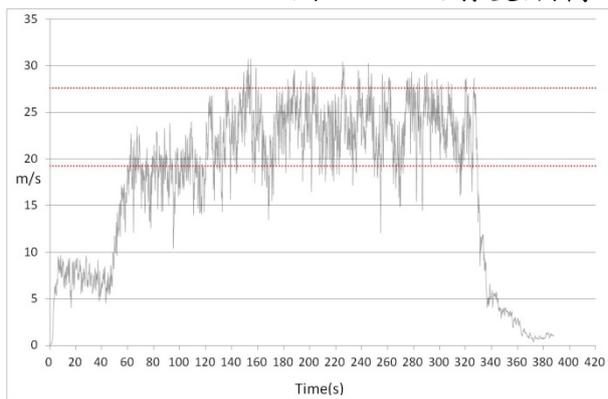


V3

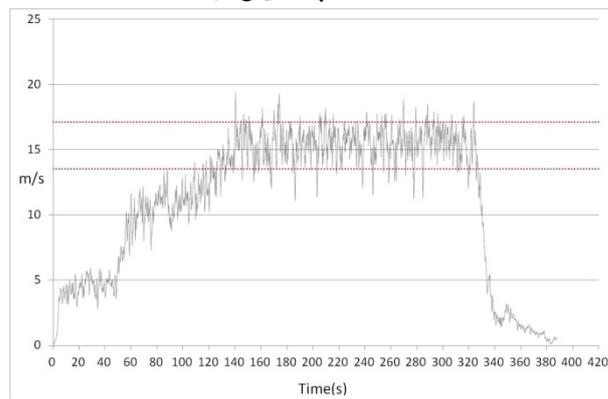


V4

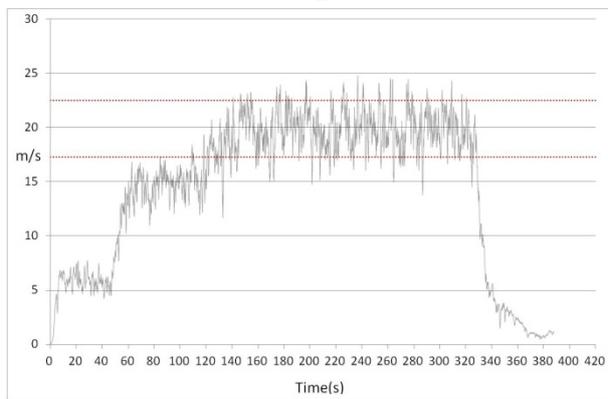
圖 4-6 風扇變頻轉速 23.3 Hz 之風速歷時



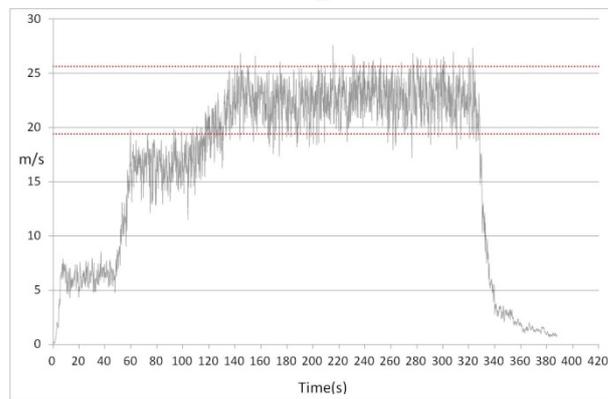
V1



V2

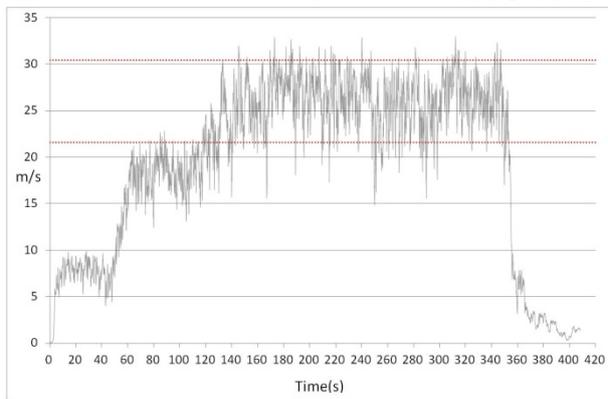


V3

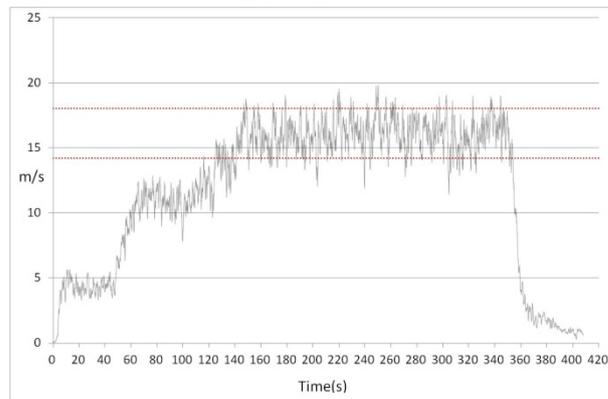


V4

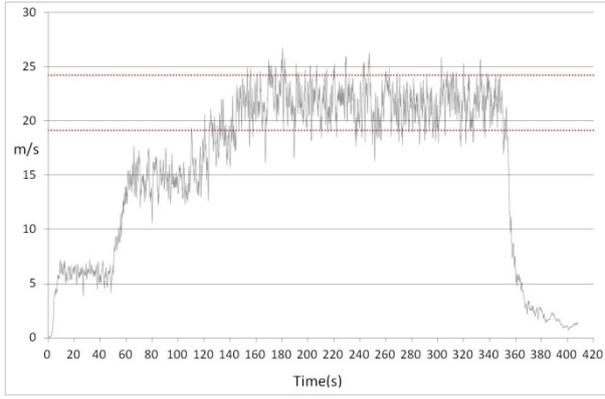
圖 4-7 風扇變頻轉速 24.6 Hz 之風速歷時



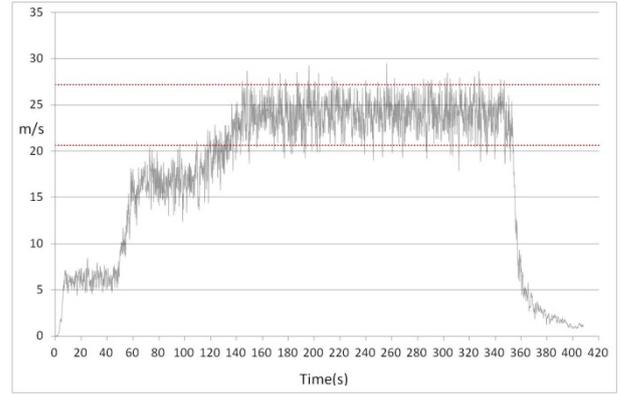
V1



V2

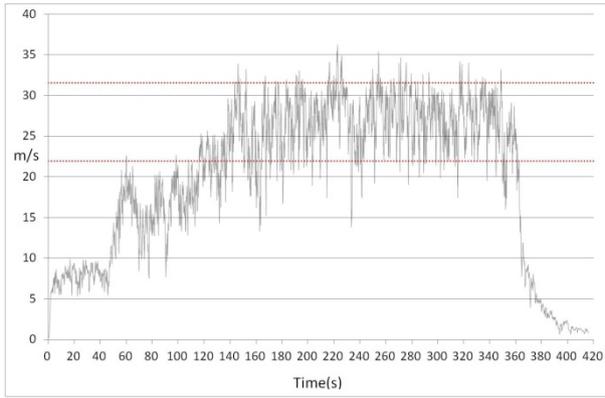


V3

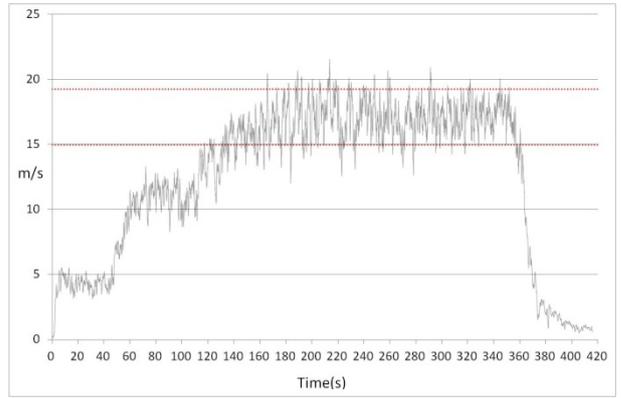


V4

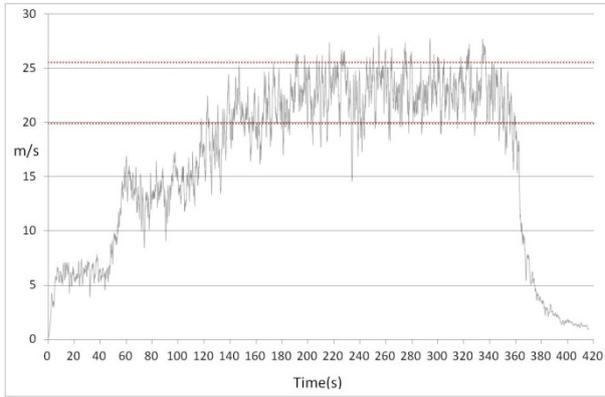
圖 4-8 風扇變頻轉速 28 Hz 之風速歷時



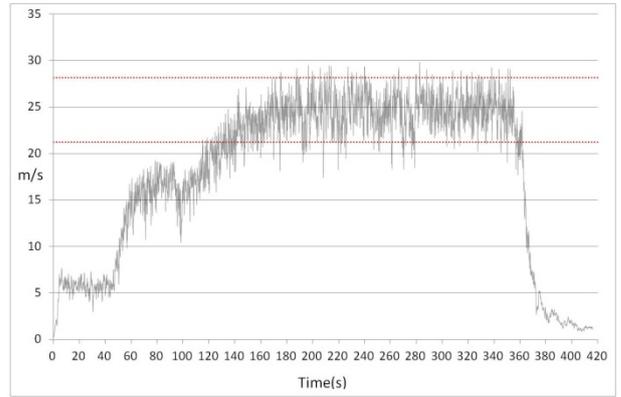
V1



V2

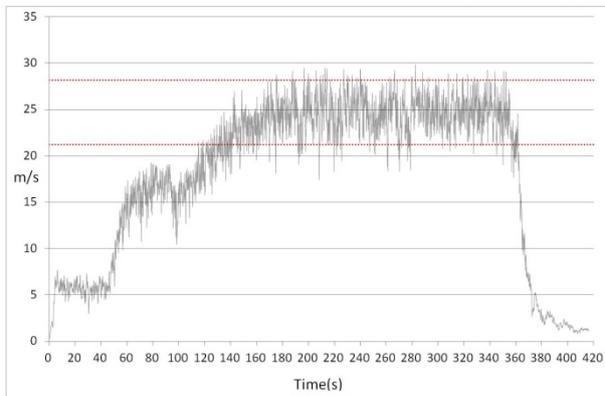


V3

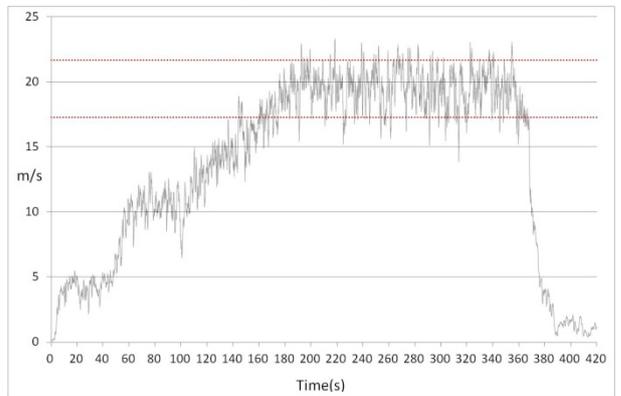


V4

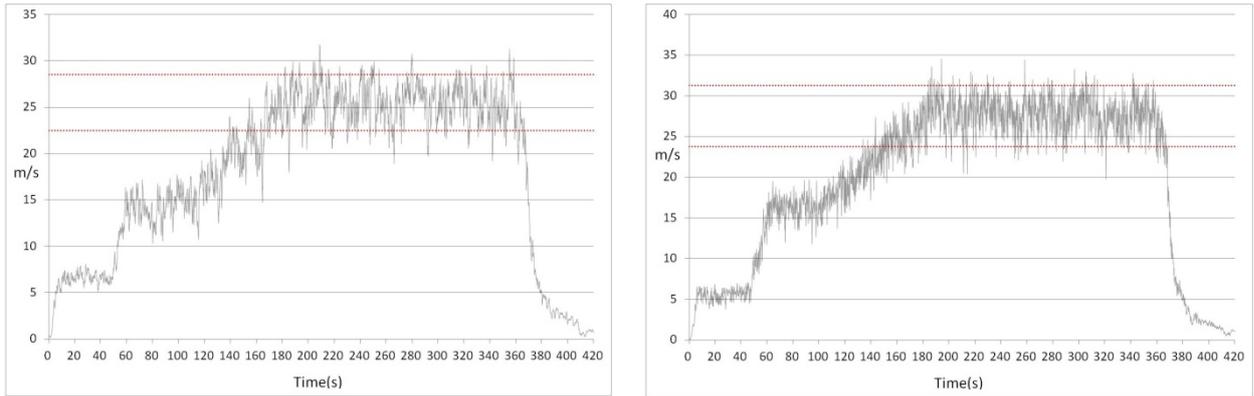
圖 4-9 風扇變頻轉速 29.3 Hz 之風速歷時



V1



V2



V3 V4

圖 4-10 風扇變頻轉速 30 Hz 之風速歷時

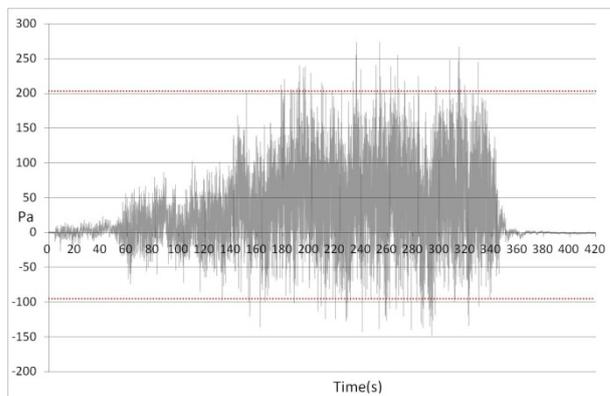
第二節 面板風壓

本案於中央 4 塊面板上之正反兩面皆安裝風壓管，每塊板正面及反面均勻區分為四等份，共計安裝 32 個風壓點位。由於各風扇轉速下風壓數據頗多版面有限，僅摘錄風扇變頻轉速為 30Hz 下之風壓數據。當時四支風速計之陣風風速分別為 34.96、21.65、28.5 與 31.27 m/s。而極值風壓，亦採文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算。

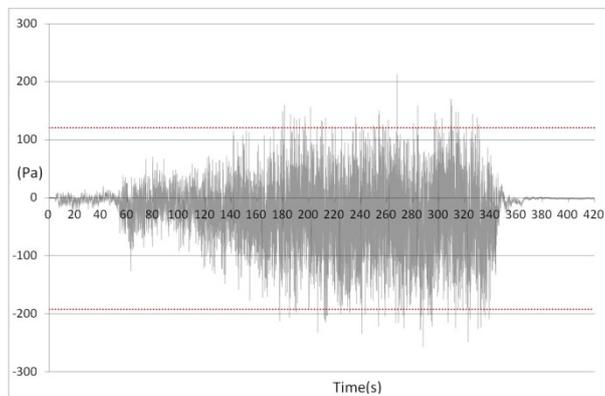
表 4-2 風扇變頻轉速為 30Hz 下極值風壓

點位	面板 1 (Pa)	點位	面板 2 (Pa)	點位	面板 3 (Pa)	點位	面板 4 (Pa)
1	202.97	9	99.68	17	228.51	25	198.66
	-94.71		-241.42		-29.04		-60.11
2	120.79	10	87.13	18	224.02	26	197.33
	-192.44		-225.73		-40.35		-58.34
3	174.7	11	170.75	19	187.78	27	234.25
	-97.99		-97.83		-77.11		-29.42
4	163.09	12	160.24	20	192.21	28	190.66
	-102.74		-105.76		-81.15		-71.79
5	47.54	13	65.65	21	242.39	29	256.77
	-258.91		-277.84		-25.87		-1.548
6	130.89	14	344.47	22	258.85	30	269.21
	-158.81		-74.08		-13.41		8.4
7	325.94	15	380.5	23	401.12	31	418.42

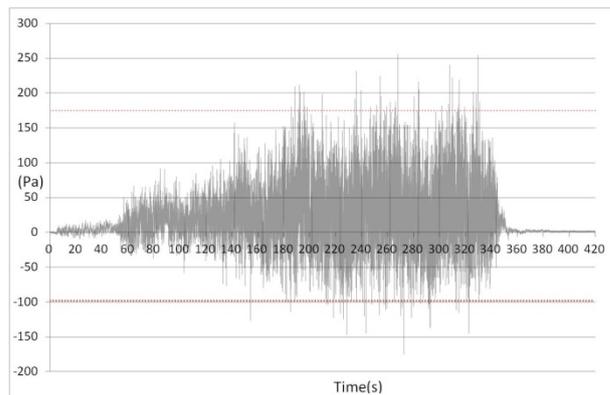
	-36.16		-111.45		89.6		145.8
8	368.8	16	363.56	24	402.12	32	374.34
	-82.7		-101.02		102.67		97.67



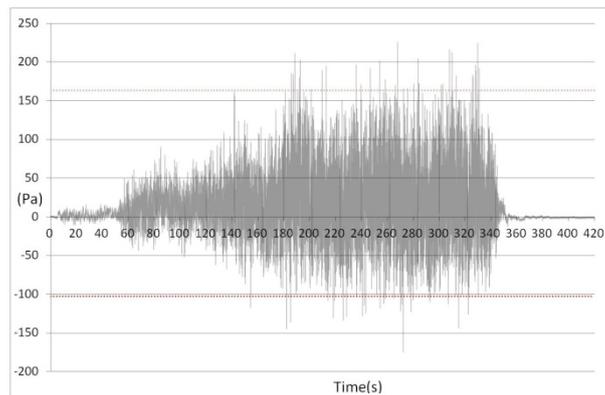
點位 1



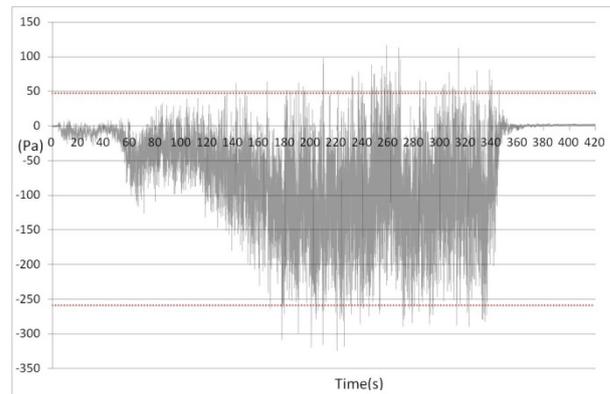
點位 2



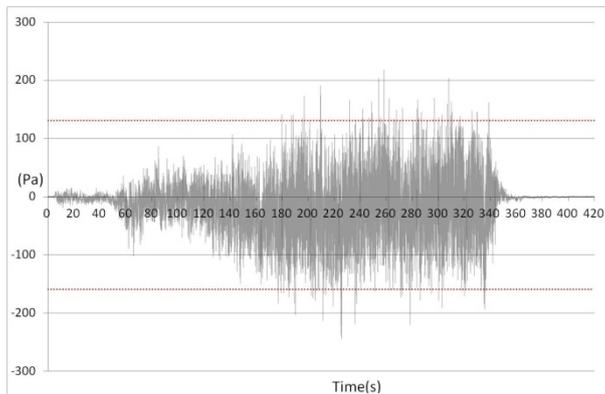
點位 3



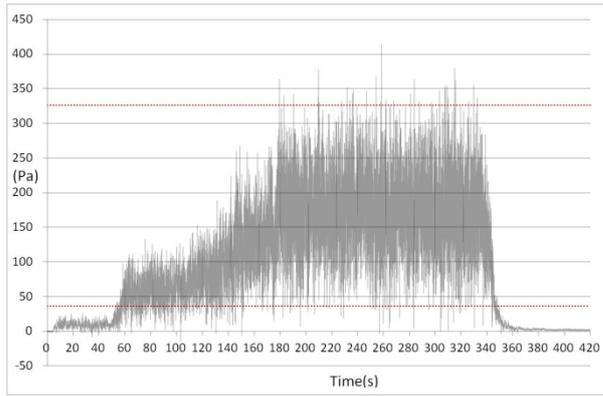
點位 4



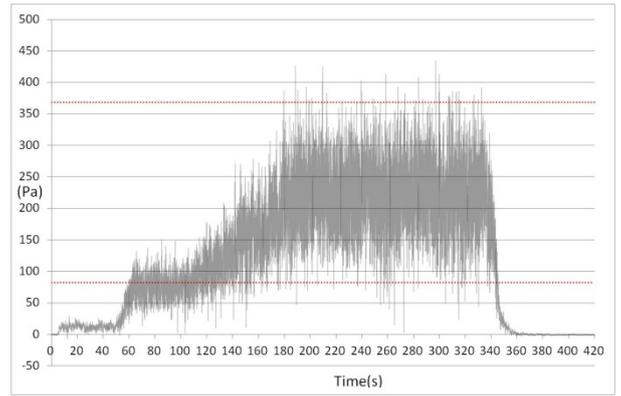
點位 5



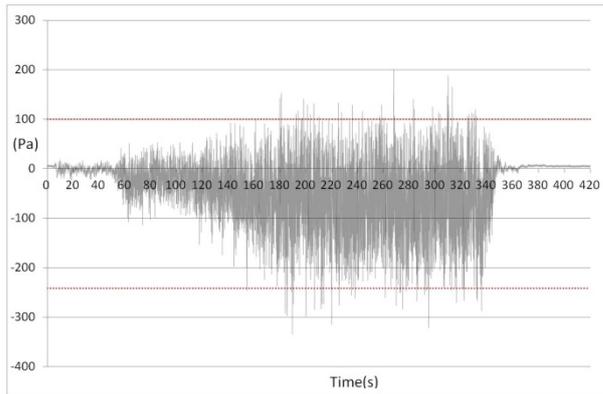
點位 6



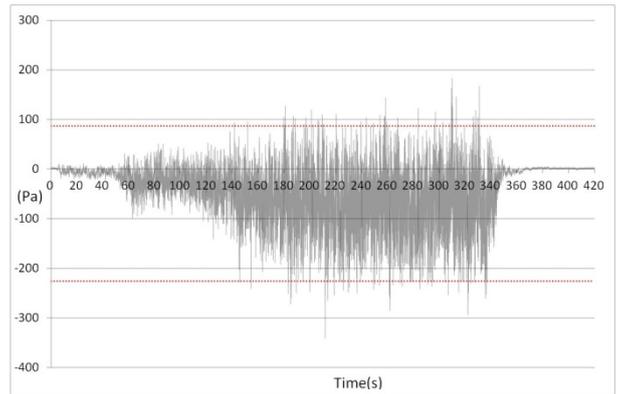
點位 7



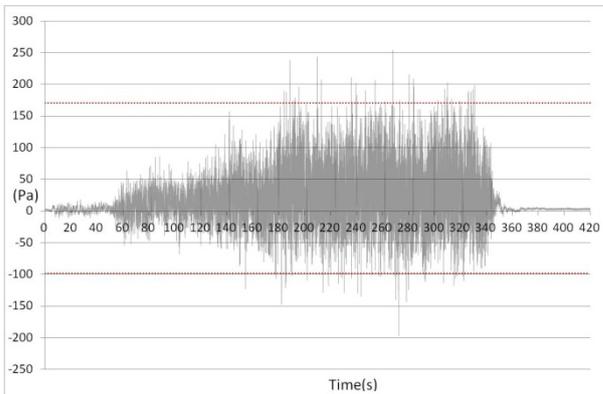
點位 8



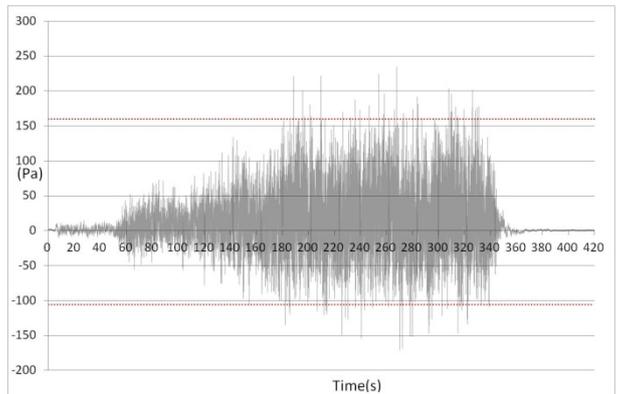
點位 9



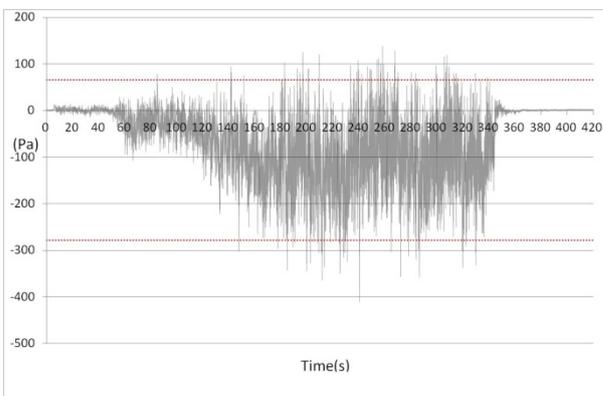
點位 10



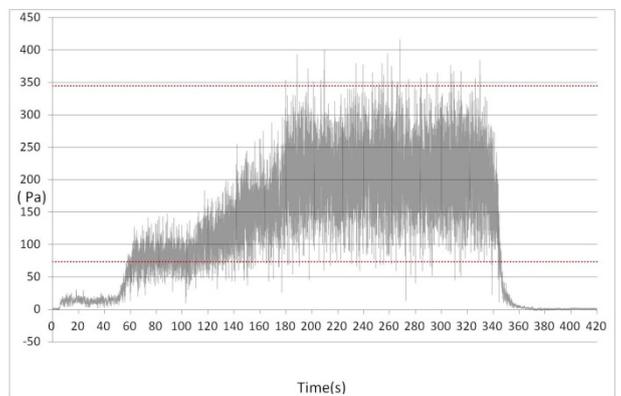
點位 11



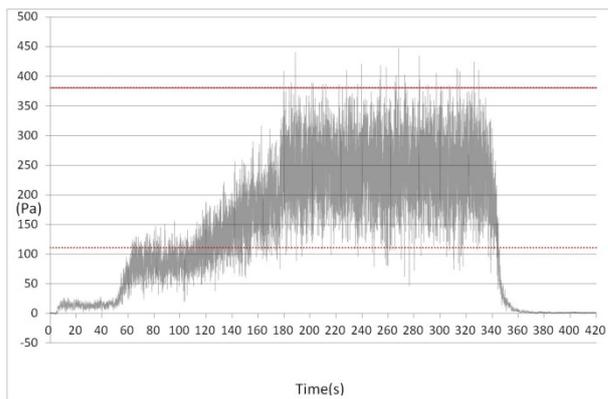
點位 12



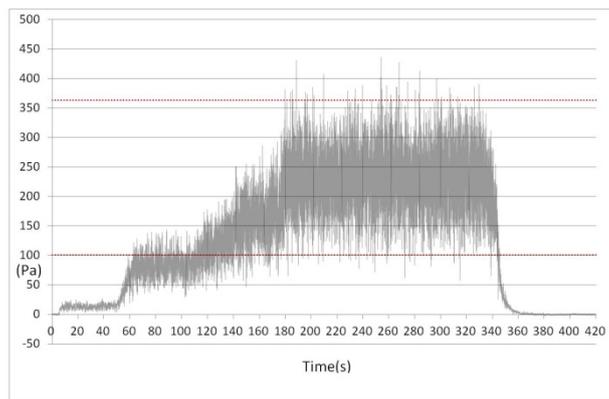
點位 13



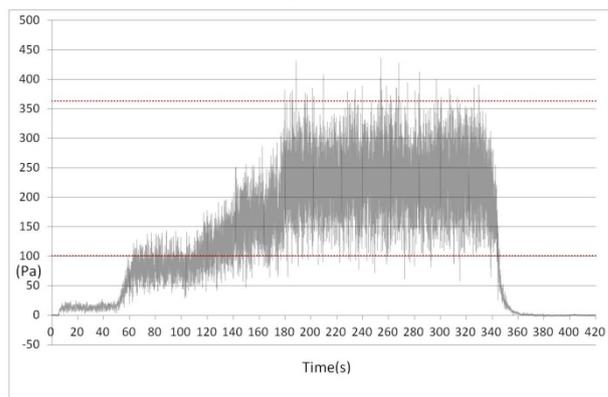
點位 14



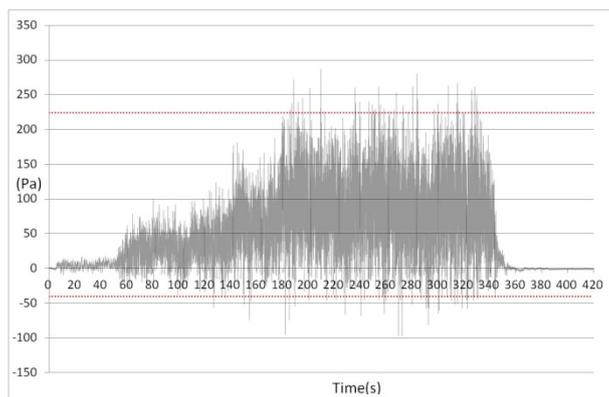
點位 15



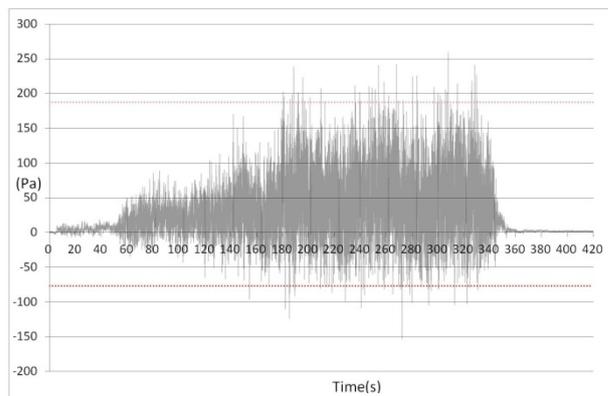
點位 16



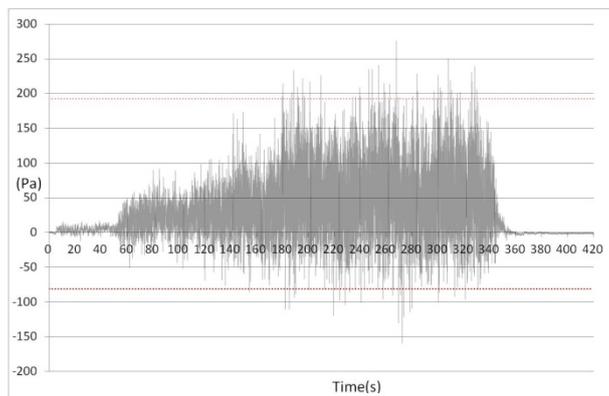
點位 17



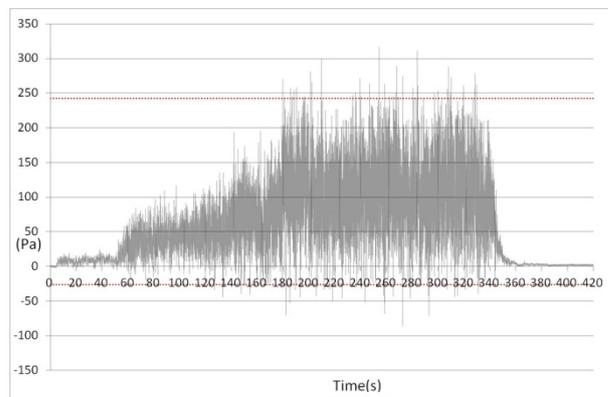
點位 18



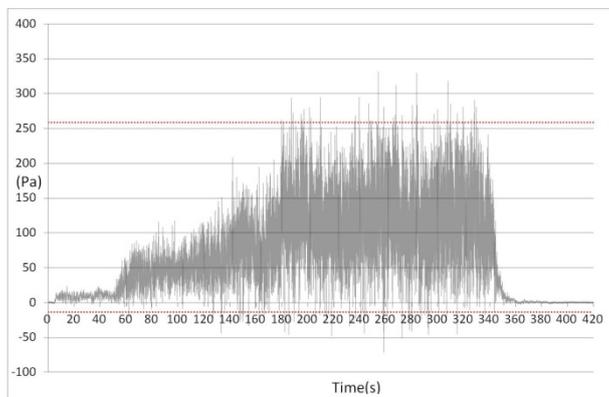
點位 19



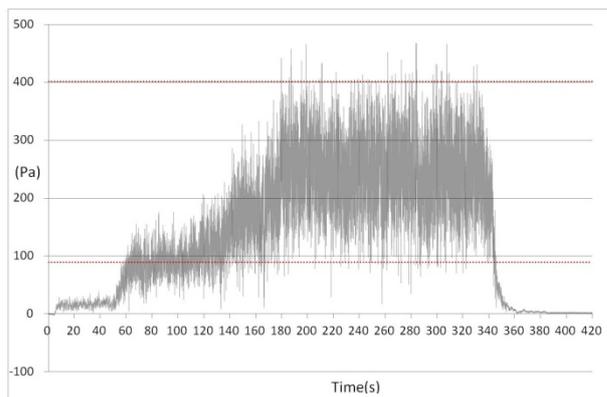
點位 20



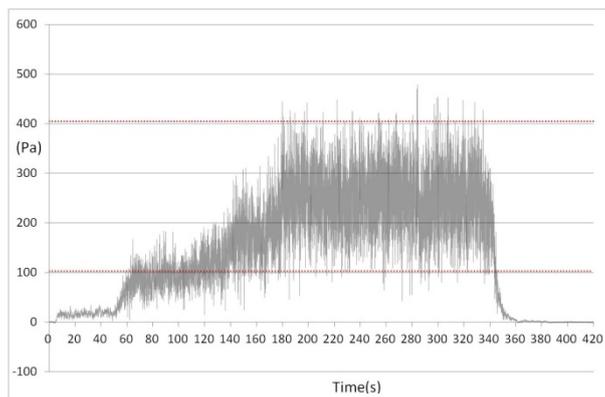
點位 21



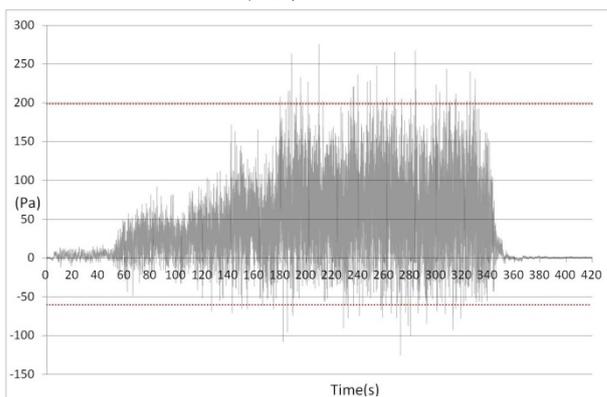
點位 22



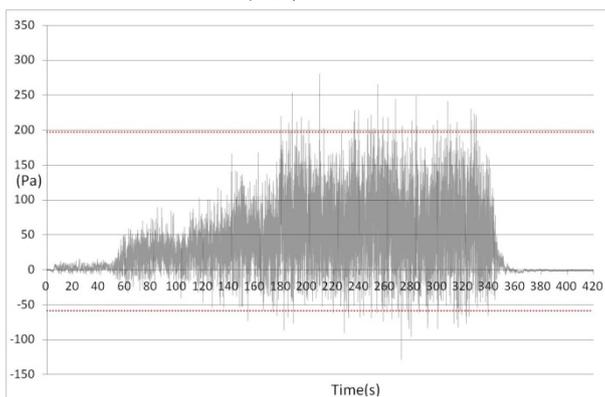
點位 23



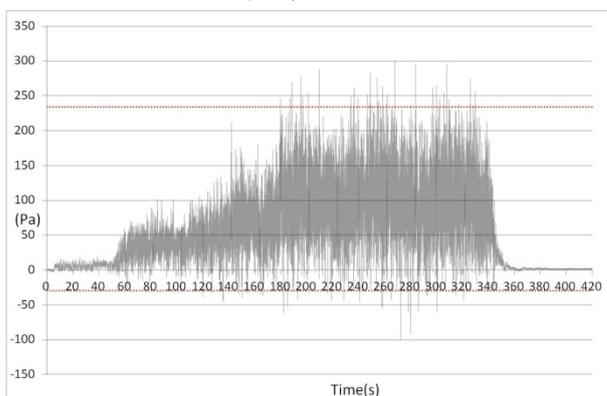
點位 24



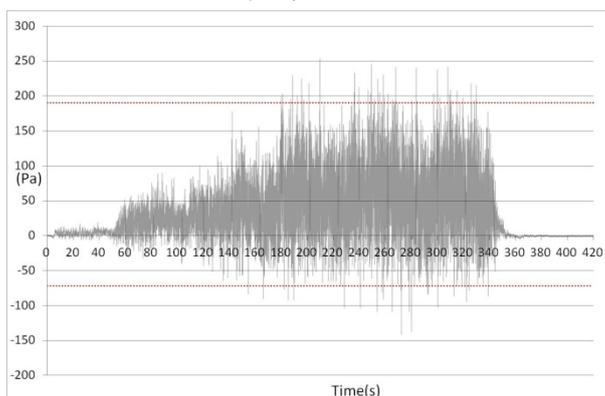
點位 25



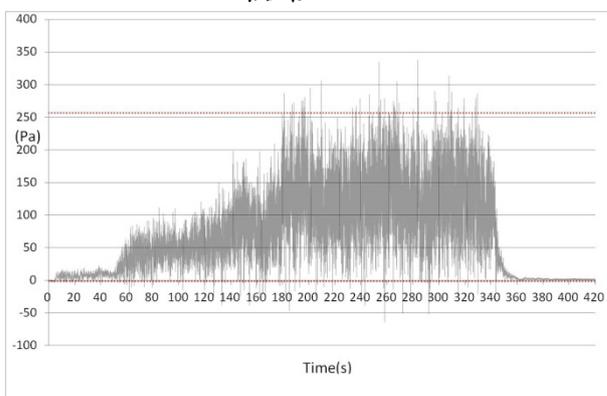
點位 26



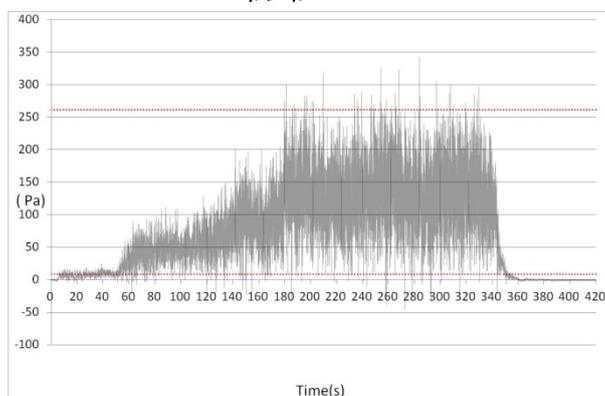
點位 27



點位 28



點位 29



點位 30

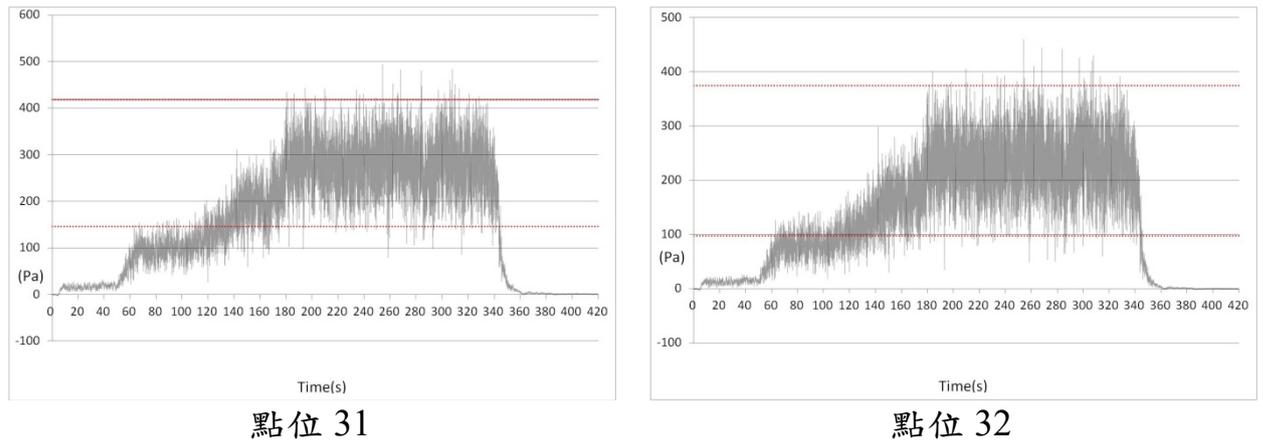


圖 4-11 風壓力時

資料來源:本研究

在建築物耐風設計規範中，對於開放式建築物之單斜式屋頂的風力係數 C_f ，可藉由查表方式計算得不同傾斜角度與長寬比下屋頂之風力係數值，由於本案太陽能光電板受風情形與開放式單斜式屋頂類似，故依該表計算求得本案之風力係數 $C_f=0.35$ ，壓力中心位置為 0.33。

另依實驗數據計算 4 塊面板之風力係數與位置發現，前 2 塊面板之實驗風力係數較大於規範值，後 2 塊面板之實驗風力係數則與規範值相近。而每塊面板之受風壓力中心位置則處於單一面板中心。因此，如將太陽光電板視為一開放式斜屋頂，將其各板風力係數加以平均計算，可得實驗風力係數 0.39 與規範值 0.35 相近；而實驗風壓力中心位置則處於具屋頂位置 $(X/L)=0.95$ 近中心處，與規範值 0.33 不相同。

表 4-3 實驗風力係數計算

項目	面板 1	面板 2	面板 3	面板 4
3 倍標準差風壓(Pa)	479.84625	545.0831	414.6863	395.4334
參考風速	34.96	34.96	34.96	34.96

面板寬 B	0.98	0.98	0.98	0.98
面板長	1.63	1.63	1.63	1.63
與風向平行 L	1.60524	1.60524	1.60524	1.60524
面板傾斜角度	10	10	10	10
風力係數 C_f	0.41	0.46	0.35	0.34
距各面板端位置	0.5142	0.5065	0.5098	0.5050
具屋頂位置(X/L)	0.95			

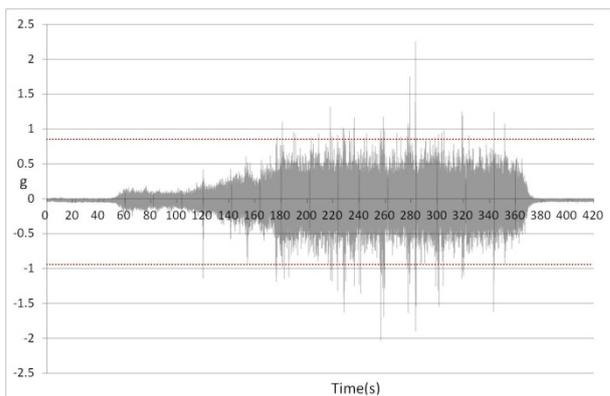
第三節 構件振動

本案於中央 4 塊光電面板上各安裝 1 個加速度計(CH 11~14)，加速度計 1~3 分別量測前橫梁水平向加速度歷時，加速度計 4~6 分別量測前橫梁 1 垂直向加速度歷時，加速度計 7~8 分別量測前橫梁 2 垂直向加速度歷時；加速度計 9、10 量測後橫梁 1 垂直向加速度歷時；加速度計 15 量測後橫梁 2 垂直向加速度歷時；加速度計 16 量測後橫梁 2 垂直向加速度歷時。由於各風扇轉速下風壓數據頗多版面有限，僅摘錄風扇變頻轉速為 30Hz 下之加速度歷時數據。而尖峰加速度值，亦採文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算。

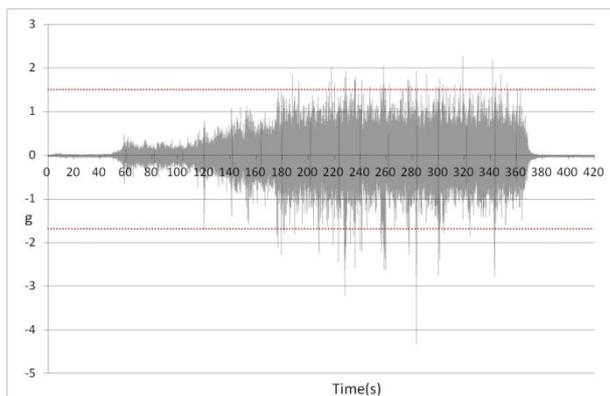
表 4-4 尖峰加速度

點位	尖峰加速度(g)	點位	尖峰加速度(g)	點位	尖峰加速度(g)	點位	尖峰加速度(g)
CH1	0.94	CH5	3.59	CH9	2.47	CH13	5.93
CH2	1.69	CH6	3.59	CH10	2.45	CH14	5.82
CH3	1.68	CH7	4.43	CH11	10.38	CH15	3.12
CH4	3.57	CH8	4.06	CH12	9.11	CH16	1.55

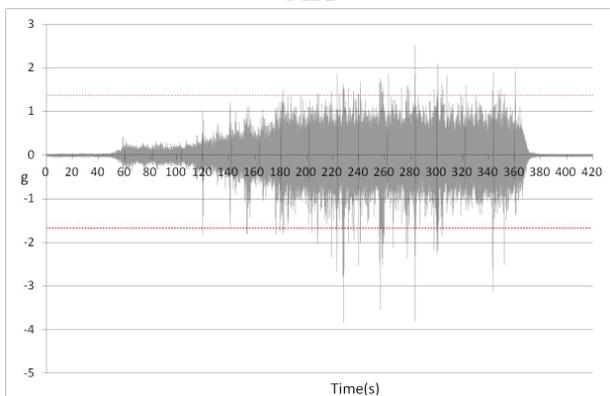
可以發現光電面板之最大加速度值為 10.38g，梁構件水平向尖峰加速度值為 1.69g、垂直向尖峰加速度值為 4.43g。



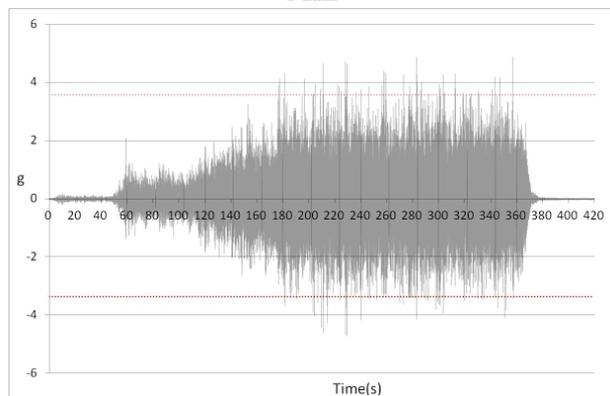
Ch1



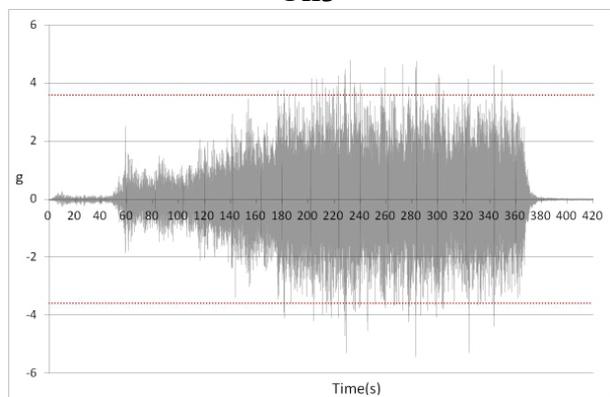
Ch2



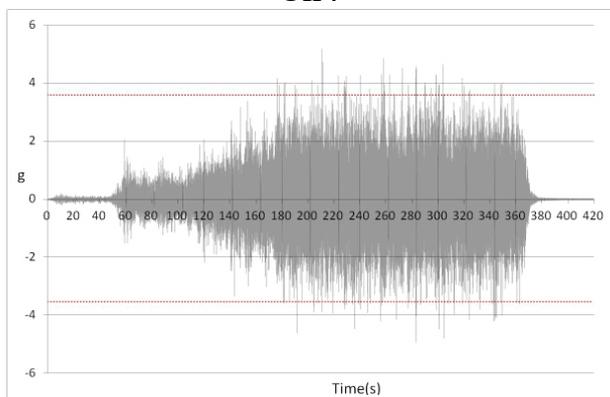
Ch3



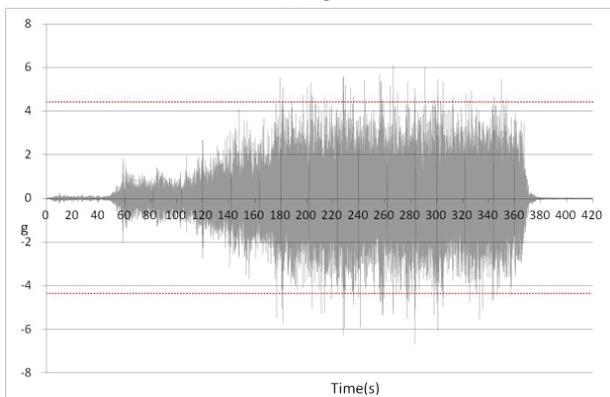
Ch4



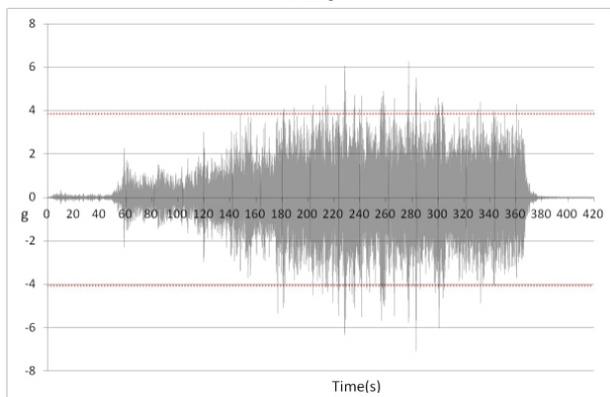
Ch5



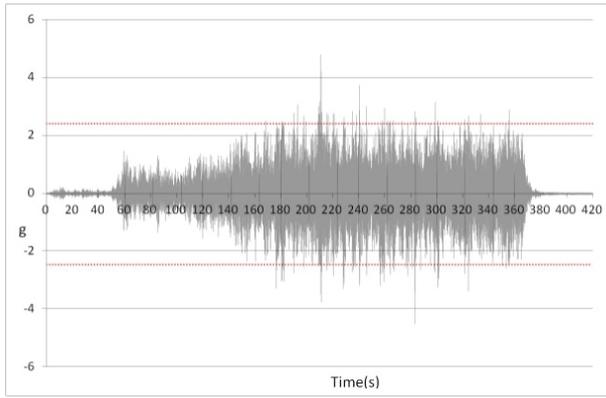
Ch6



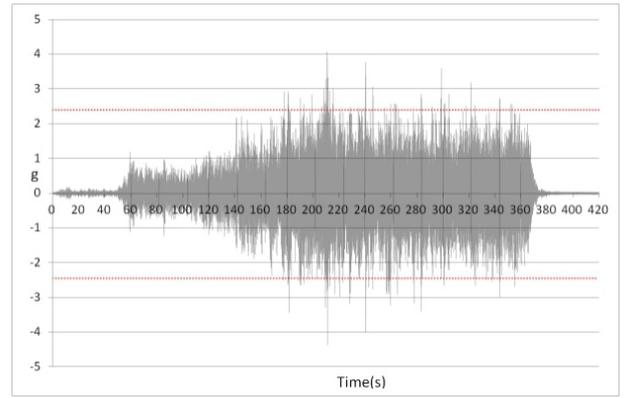
Ch7



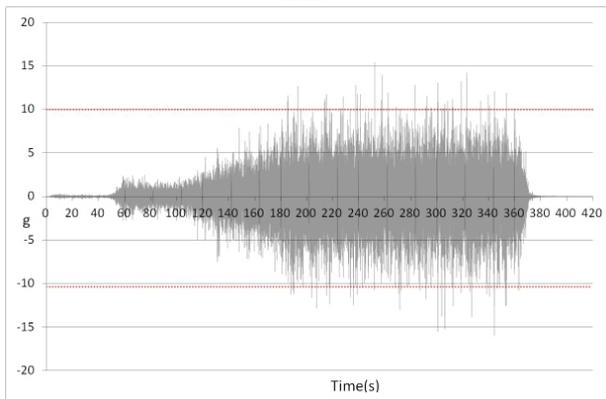
Ch8



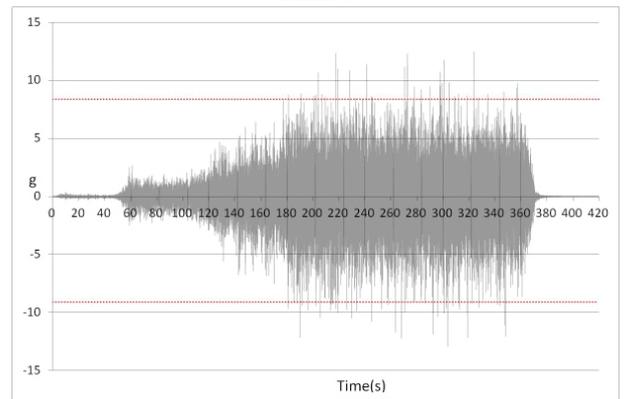
Ch9



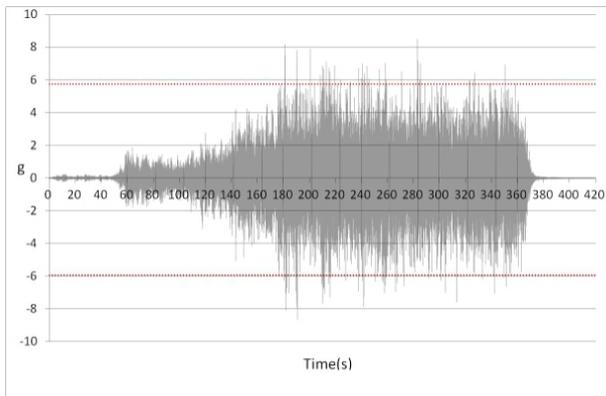
Ch10



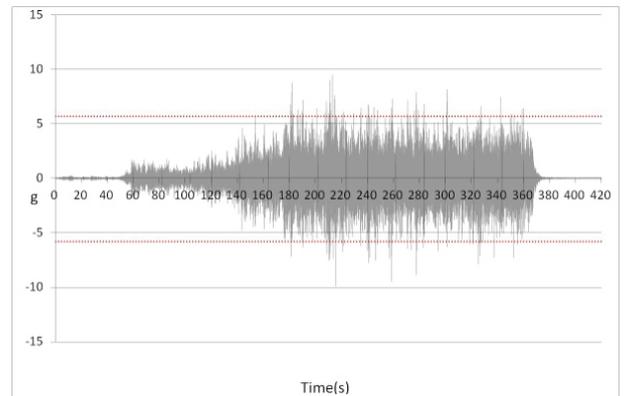
Ch11



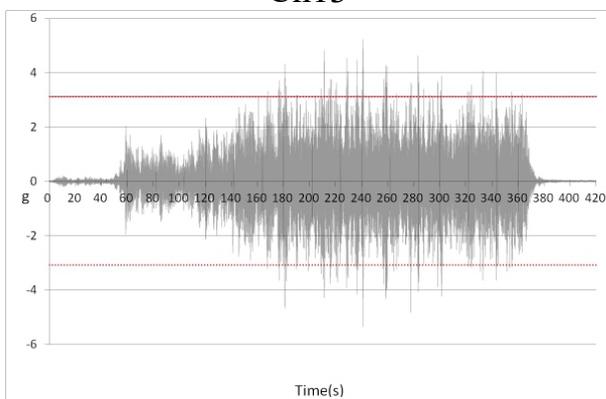
Ch12



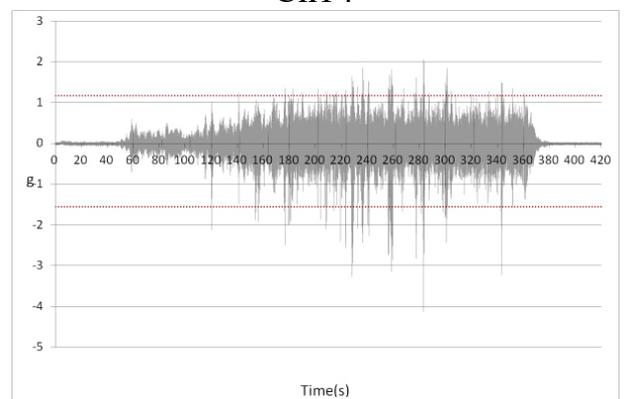
Ch13



Ch14



Ch15



Ch16

圖 4-12 加速度歷時

第四節 小結

本節針對 4m 與 6m 單跨太陽光電板之試驗風速及加速度結果來加以比對。四支風速計分別設在前高端處 2 支，後端 2 支。在 4m 單跨太陽光電板之試驗時，前 2 支位於距中央±100.9cm，後 2 支位於距中央±66.9cm 處。在 6m 單跨太陽光電板之試驗時，前 2 支位於距中央±151.4cm，後 2 支位於距中央±101.3cm 處。

經將陣風風速與對應位置數據，以 3 次方多項式擬合結果發現，前方高端處最大陣風風速發生處，平均約距中央 84cm 處，後端平均約距中央 56cm 處，其風場為東西傾斜約 25°。當變頻轉速為 30Hz 時之前方高端試驗最大陣風風速為 39.71m/s，擬合預估之最大陣風風速為 42.3 m/s；後方試驗最大陣風風速為 32.3m/s，擬合預估之最大陣風風速為 32.4 m/s。

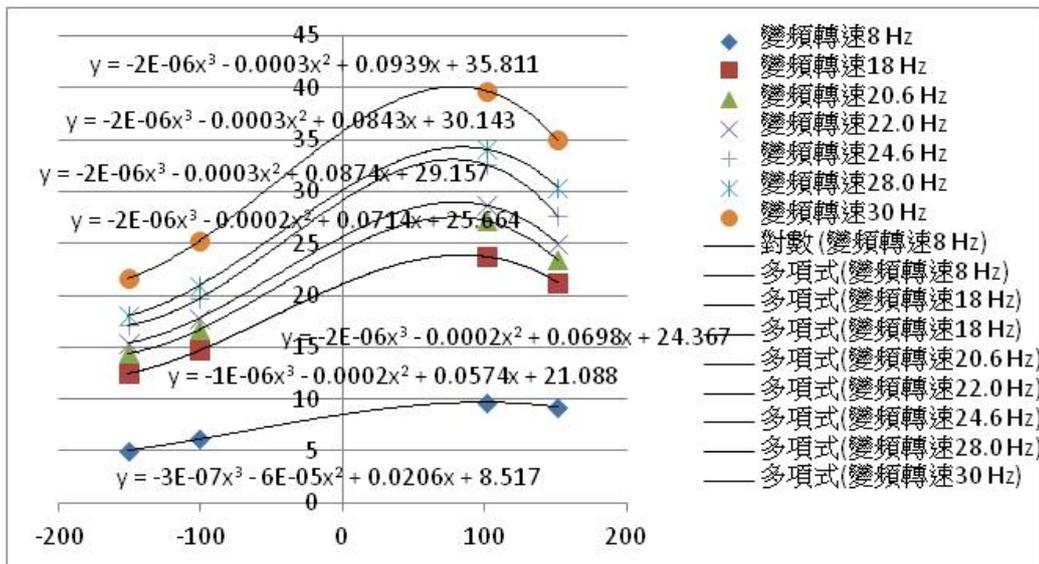


圖 4-13 前方高端處最大陣風風速與量測位置

資料來源:本研究

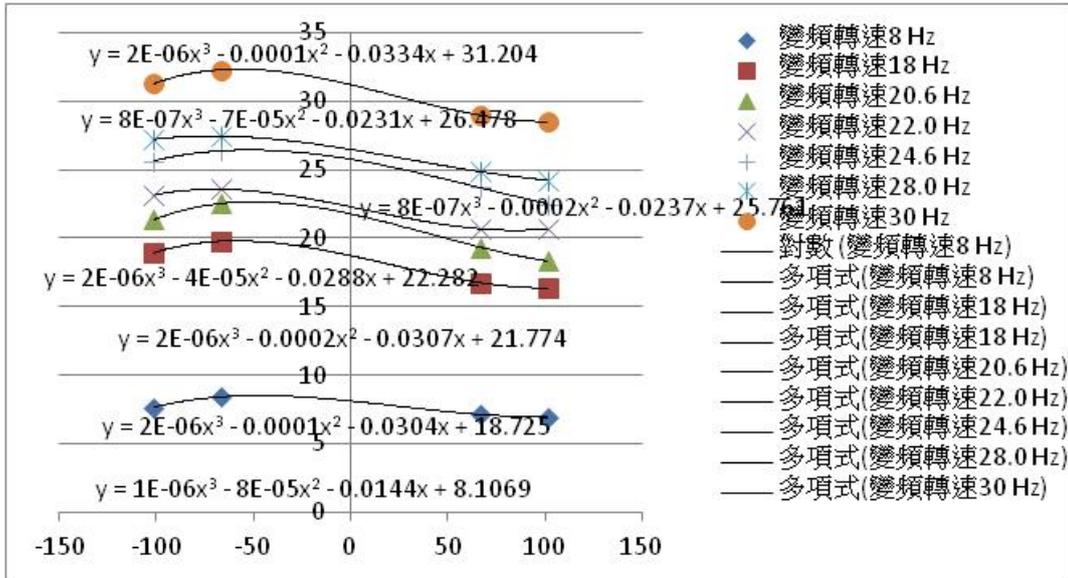


圖 4-14 後方處最大陣風風速與量測位置

資料來源:本研究

而在尖峰加速度的表現上，可預知如無結構性損壞發生，整體系統並處於彈性階段時，4m 單跨之加速度應比 6m 單跨加速度大，而實驗結果亦是如此，如下表。

表 4-5 變頻轉速 30 Hz 下各部位尖峰加速度

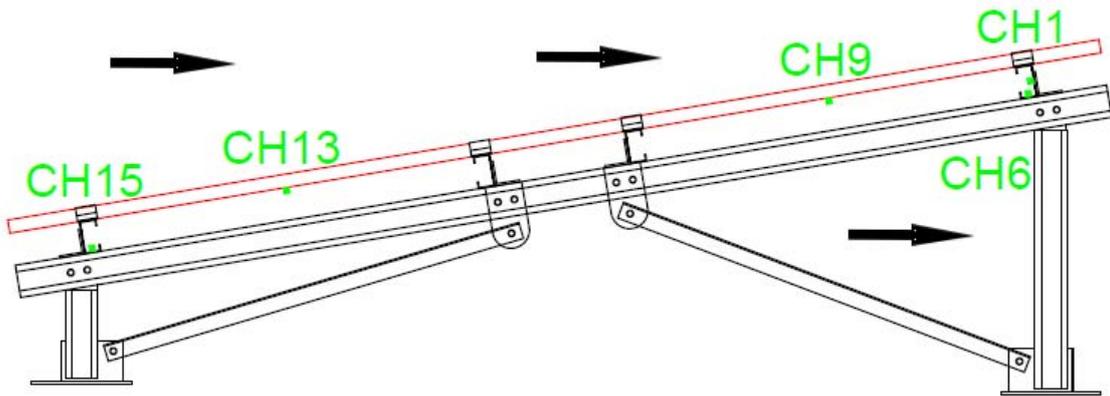
尖峰加速度(g)	前橫梁 水平向	前橫梁 垂直向	前右光 電板垂 直向	前左光 電板垂 直向	後右光 電板垂 直向	後左光 電板垂 直向	後橫梁 垂直向
4m 單跨	2.42	5.44	20.48	18.91	11.99	11.94	4.67
6m 單跨	1.69	3.59	10.38	9.11	5.93	5.82	3.12
差異(%)	-30.2	-34.0	-49.3	-51.8	-50.5	-51.3	-33.2

資料來源:本研究

由於光電板隱劣現象係易受板振動加速度或振幅大小影響，尚不可知。6m 單跨尖峰加速度雖遠小於 4m 單跨，但振幅卻較大，因此尚不宜判定何種跨度下之面板，較不受風致振動影響。

第五章 距置型單跨 6M 風向 II 耐風測試

試驗中共計進行 10 次不同風扇轉速下，光電板風壓與構件梁之加速度量測，所有測試結果如下所示。除加速階段按風扇轉速頻率乘以 6 為加速時間外，定速時間維持 3 分鐘後停止，再持續量測 1 分鐘。以風扇轉速 18Hz 為例，其升速時間為 108 s，定速時間 180s，降速時間 60s，測試時間共計 348 s，其他轉速之測試時間以此類推。後續將整體試驗數據依風速、面板風壓及構件振動等三大部分來加以呈現。



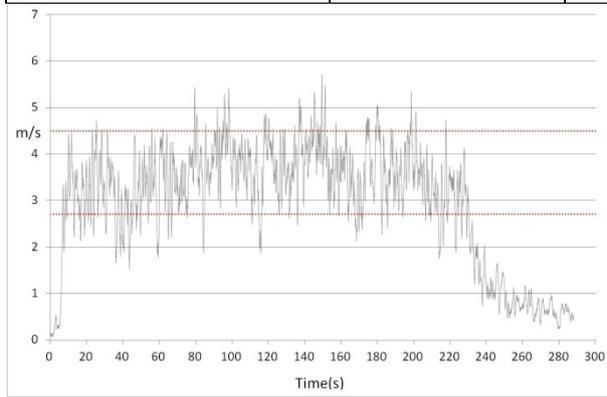
第一節 陣風風速

為能定義大尺度光電板試體於低紊流強度下，所量到測點風速資料之陣風風速，文中採用文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算。

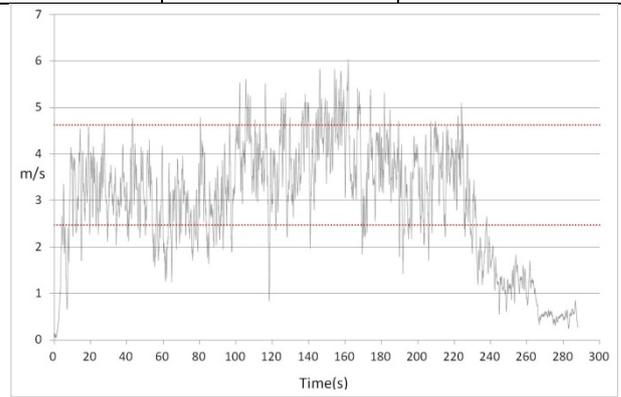
表 5-1 不同風扇轉速下之陣風風速

陣風風速(m/s)	Wind_V1	Wind_V2	Wind_V3	Wind_V4
變頻轉速 8.0 Hz	4.49	4.63	5.28	7.89
變頻轉速 18.0 Hz	9.85	10.29	11.21	19.23
變頻轉速 19.3 Hz	10.48	11.56	12.52	20.12
變頻轉速 20.6 Hz	11.71	12.03	13.37	21.79

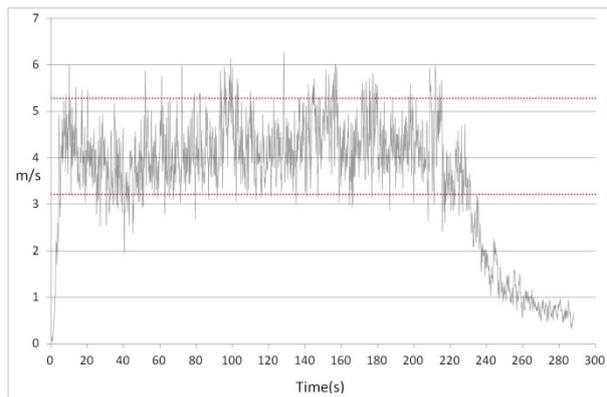
變頻轉速 22.0 Hz	11.92	12.94	13.73	22.63
變頻轉速 23.3 Hz	12.83	13.69	15.35	22.70
變頻轉速 24.6 Hz	14.91	13.33	16.67	25.74
變頻轉速 28.0 Hz	16.06	15.38	17.56	26.96
變頻轉速 29.3 Hz	16.96	16.41	18.58	28.57
變頻轉速 30.0 Hz	19.10	18.87	20.15	32.50



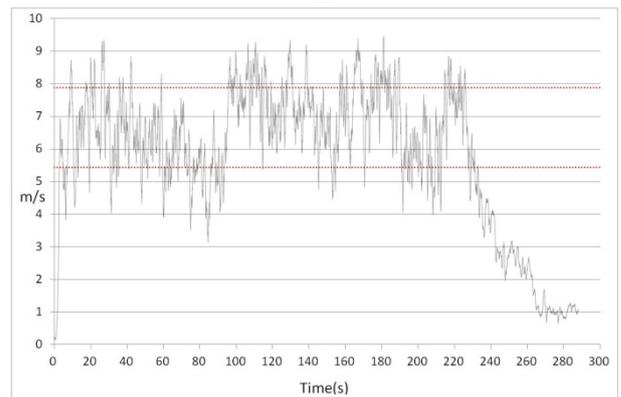
V1



V2

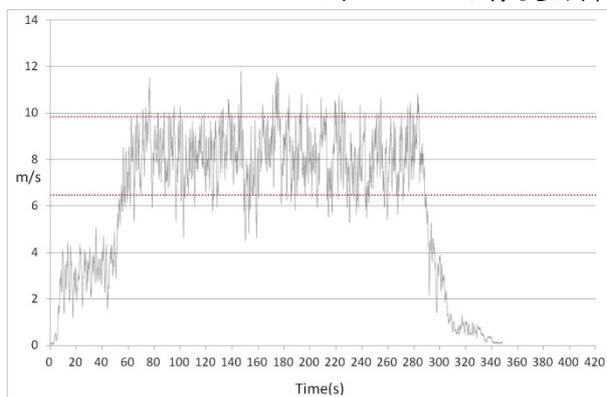


V3

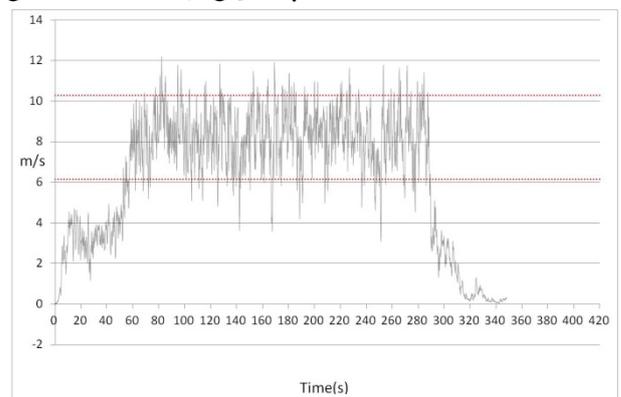


V4

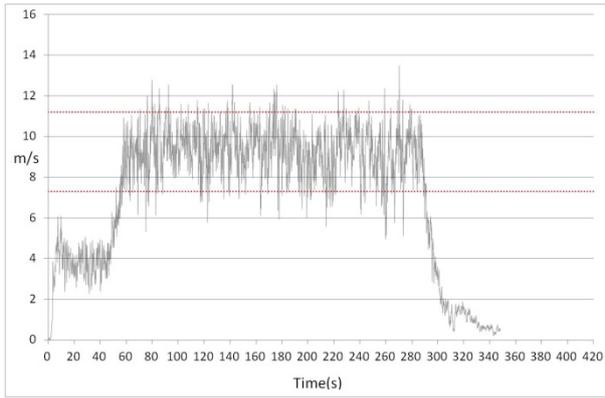
圖 5-1 風扇變頻轉速 8 Hz 之風速歷時



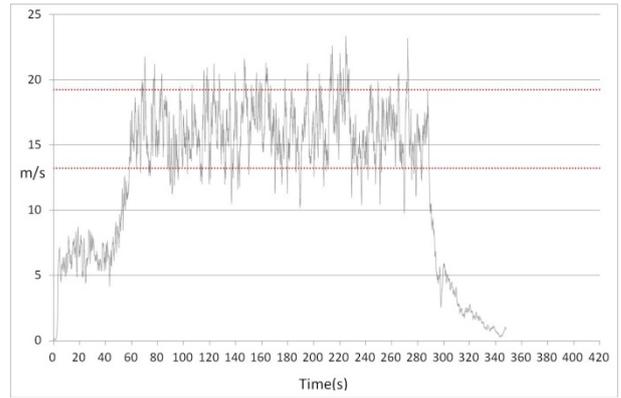
V1



V2

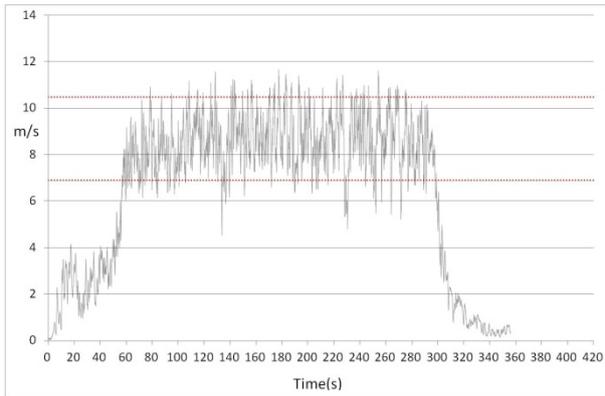


V3

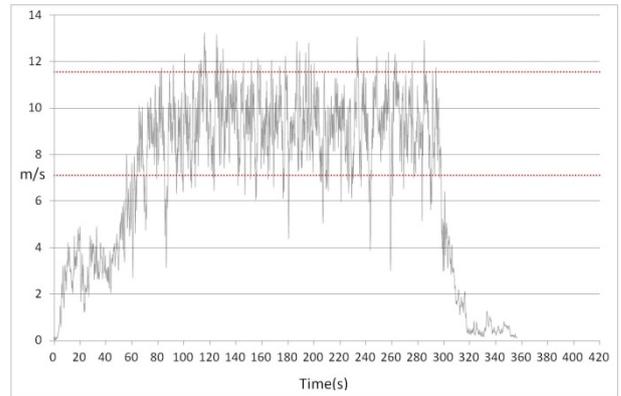


V4

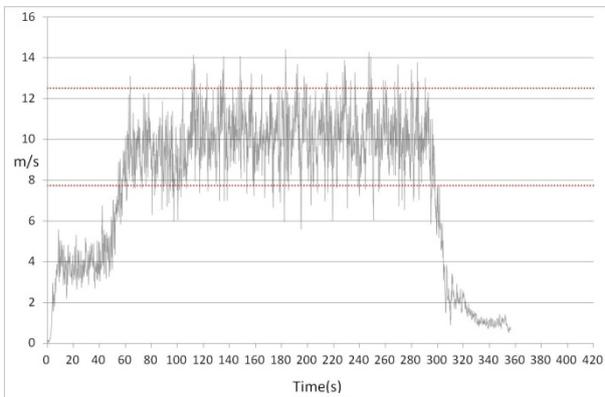
圖 5-2 風扇變頻轉速 18 Hz 之風速歷時



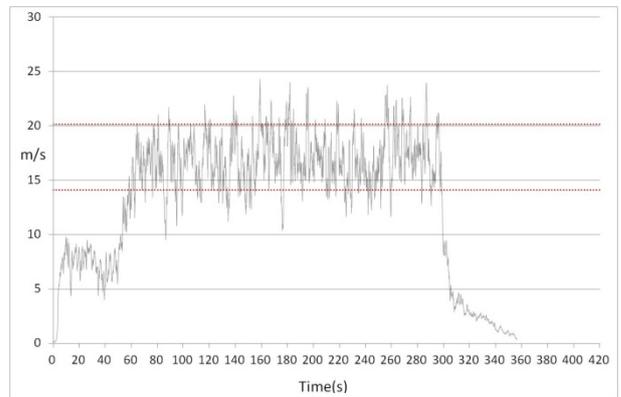
V1



V2

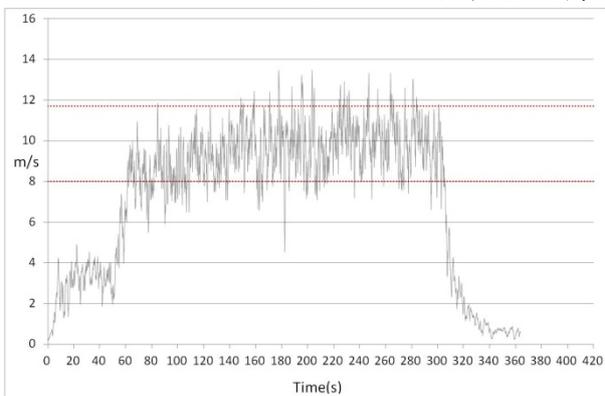


V3

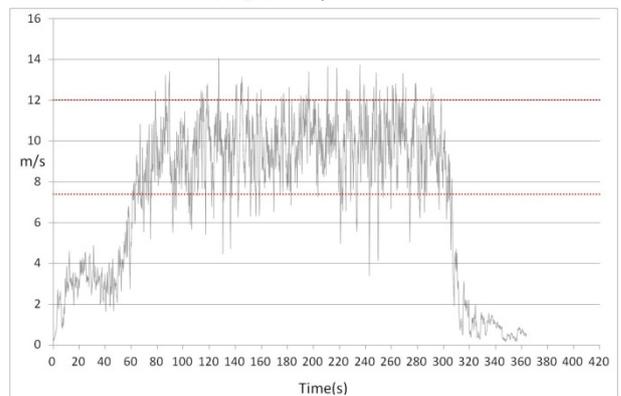


V4

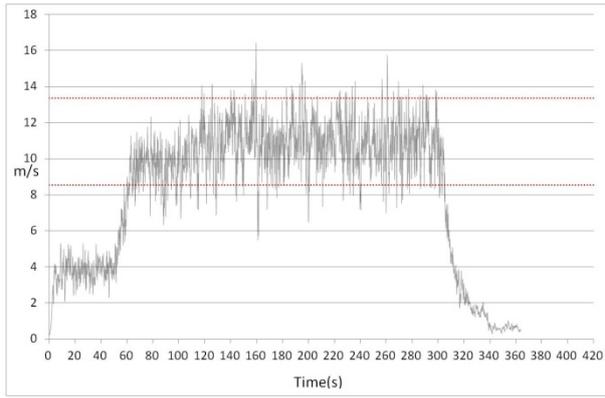
圖 5-3 風扇變頻轉速 19.3 Hz 之風速歷時



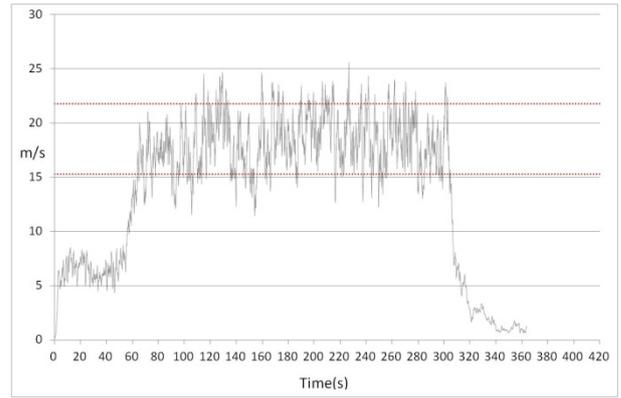
V1



V2

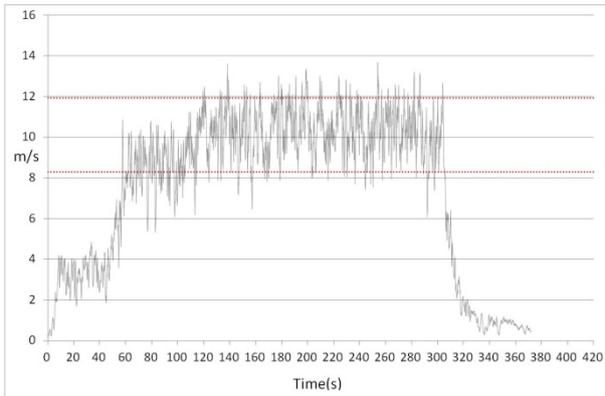


V3

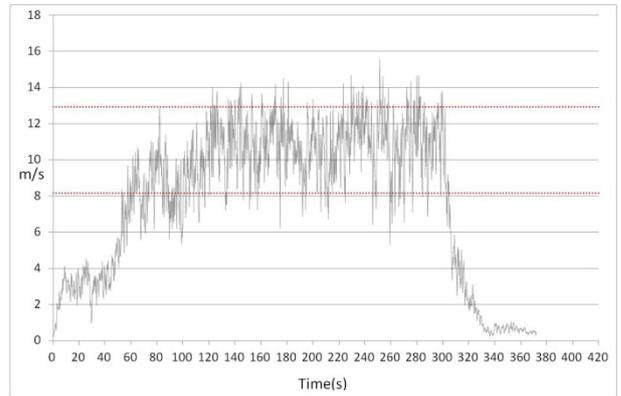


V4

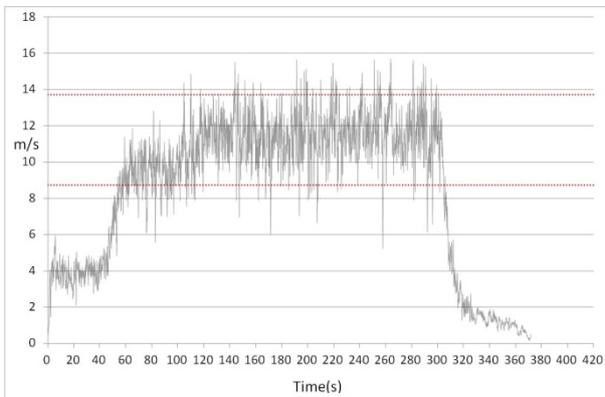
圖 5-4 風扇變頻轉速 20.6 Hz 之風速歷時



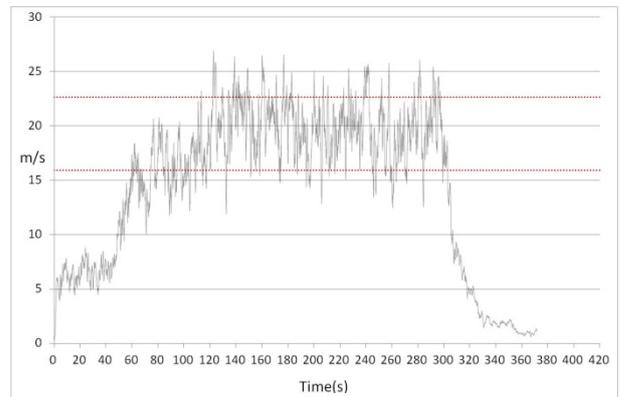
V1



V2

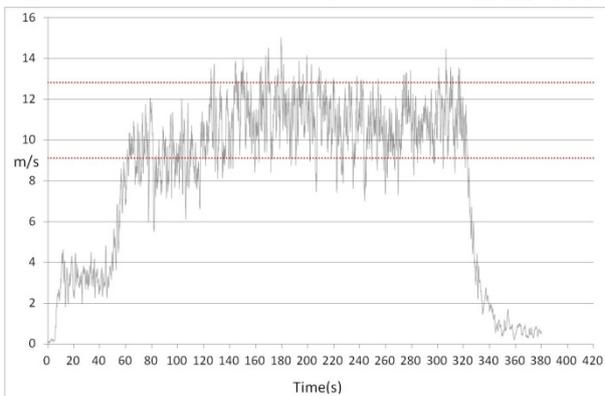


V3

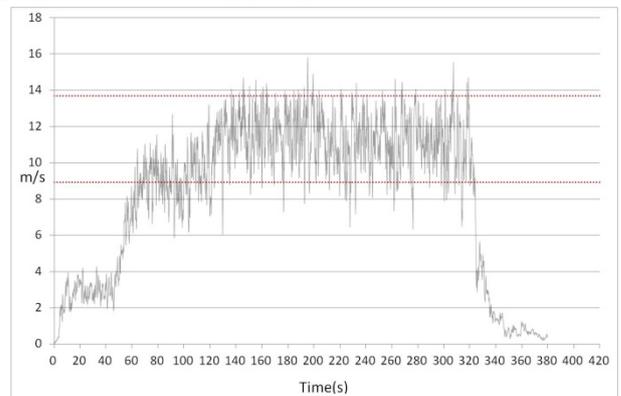


V4

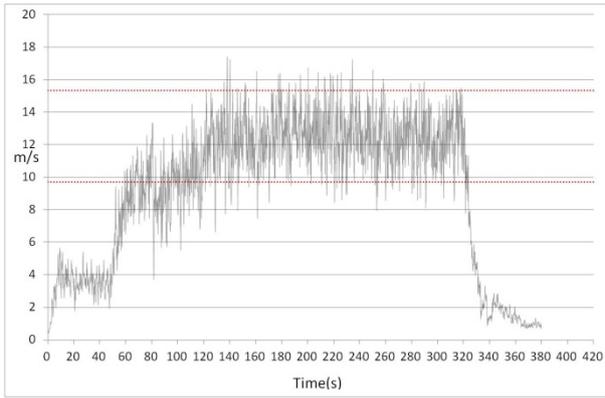
圖 5-5 風扇變頻轉速 22 Hz 之風速歷時



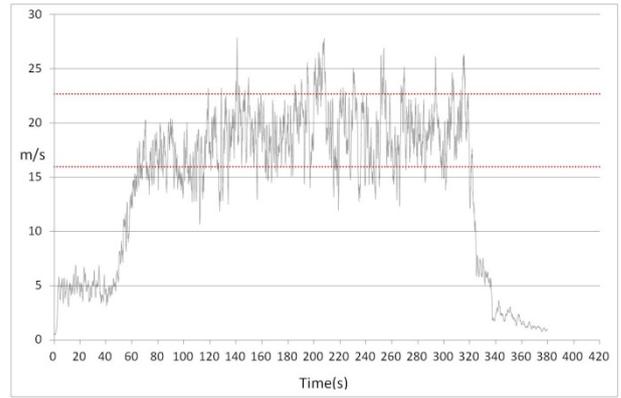
V1



V2

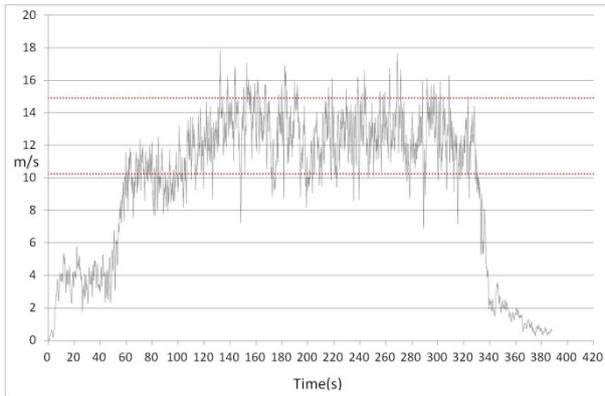


V3

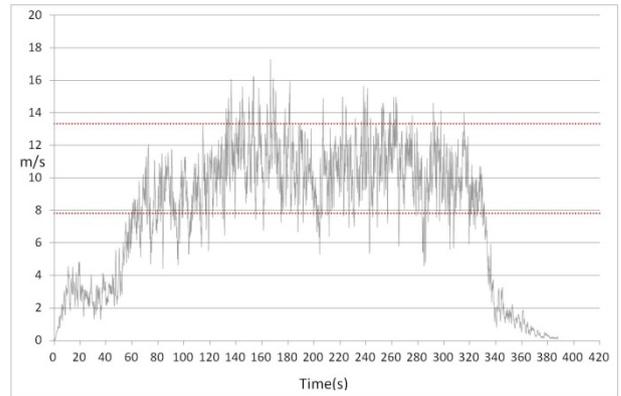


V4

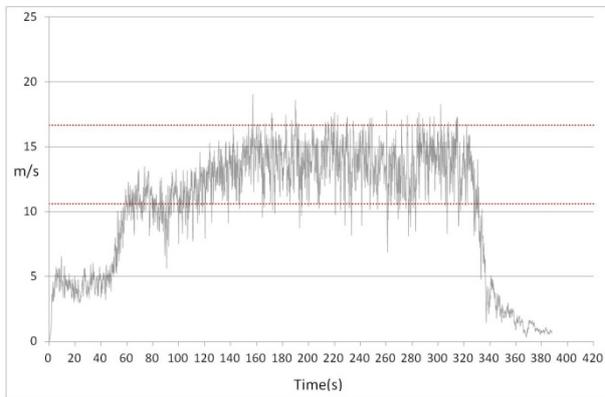
圖 5-6 風扇變頻轉速 23.3 Hz 之風速歷時



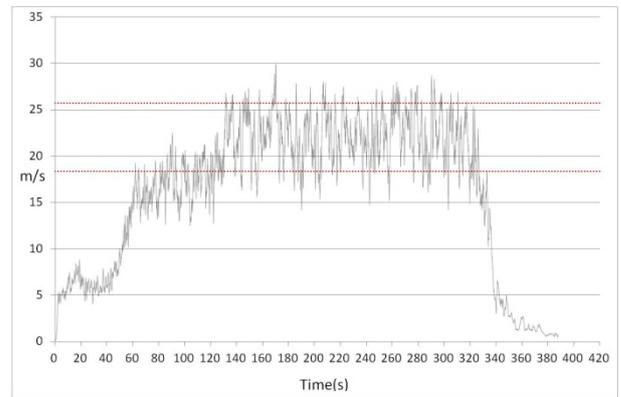
V1



V2

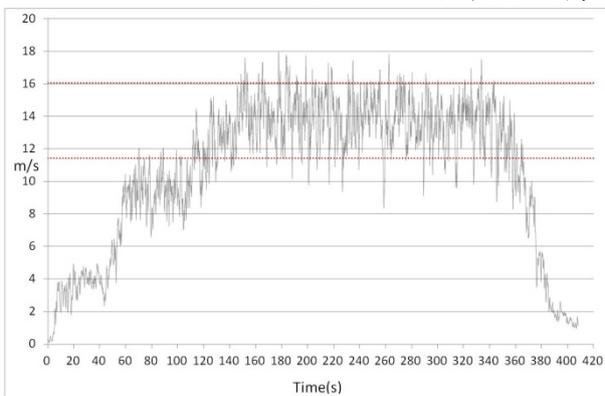


V3

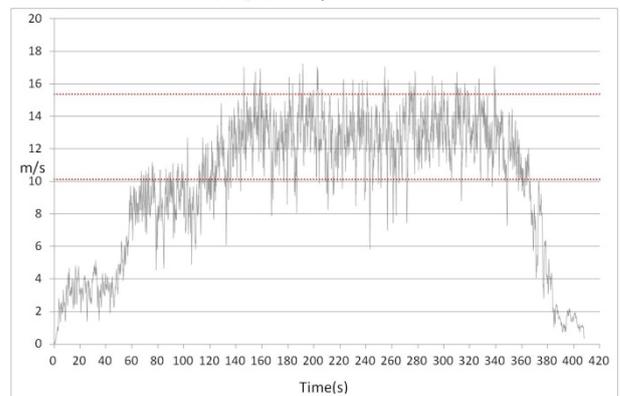


V4

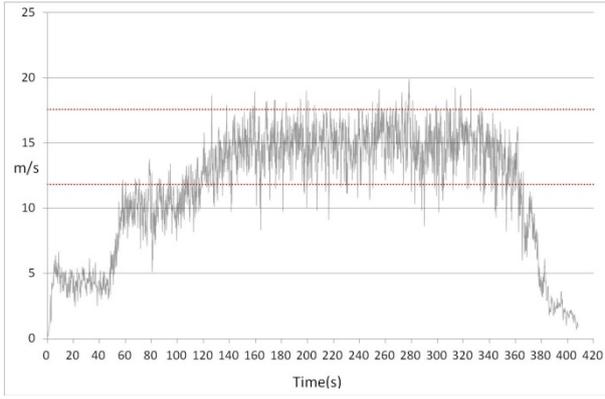
圖 5-7 風扇變頻轉速 24.6 Hz 之風速歷時



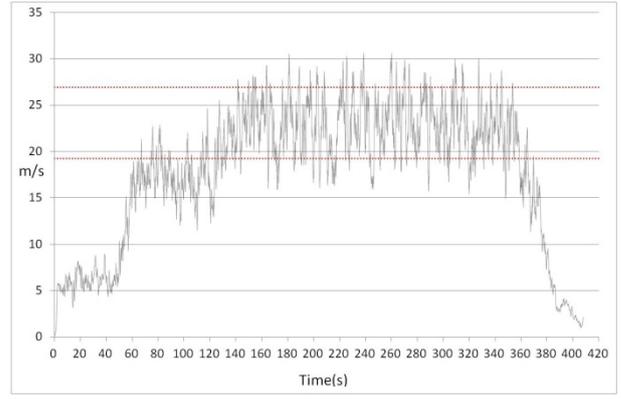
V1



V2

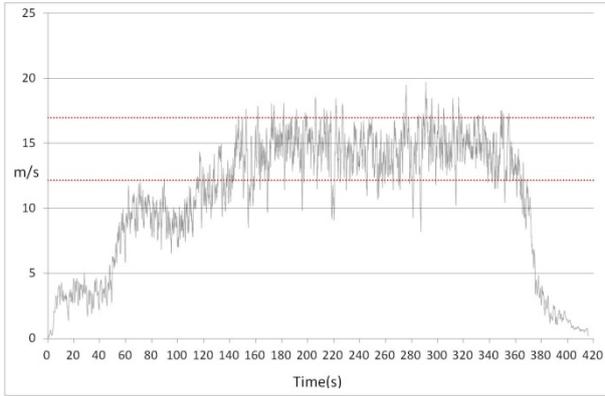


V3

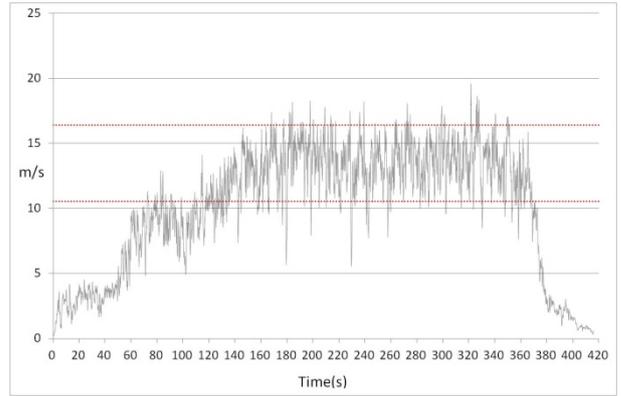


V4

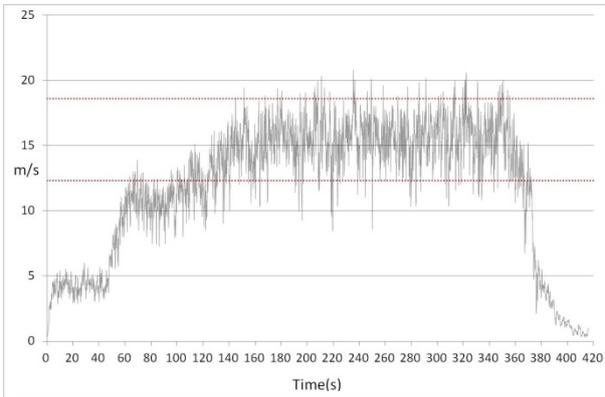
圖 5-8 風扇變頻轉速 28 Hz 之風速歷時



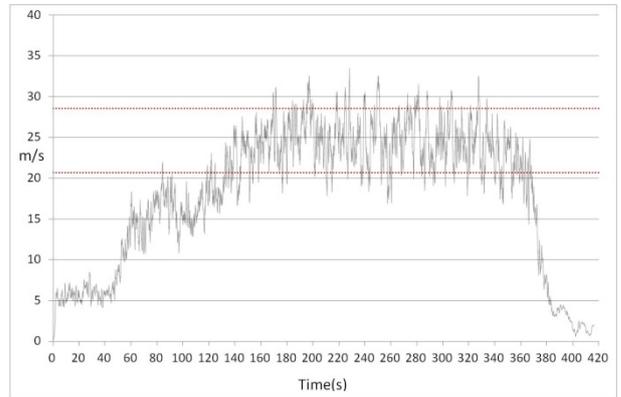
V1



V2

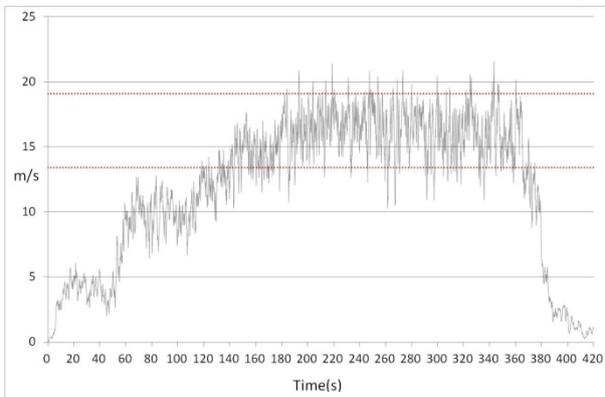


V3

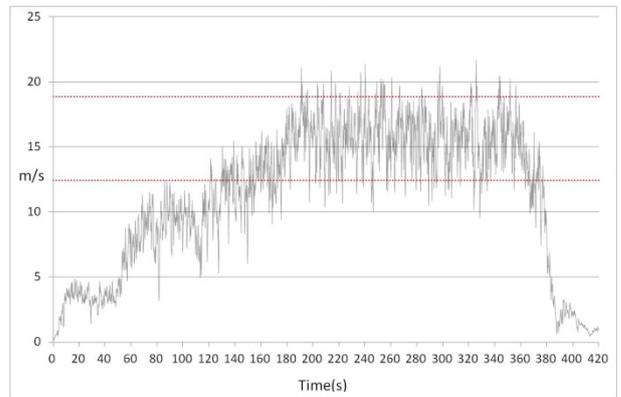


V4

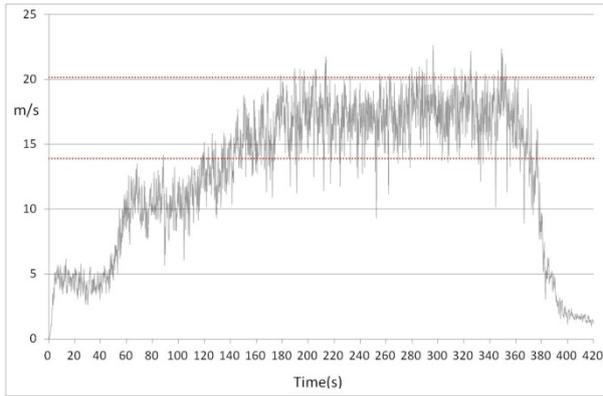
圖 5-9 風扇變頻轉速 29.3 Hz 之風速歷時



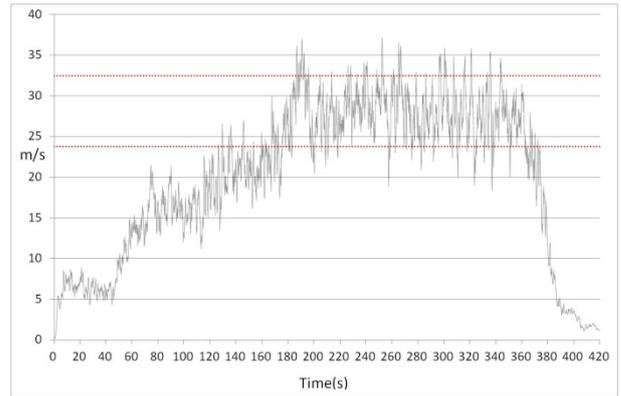
V1



V2



V3



V4

圖 5-10 風扇變頻轉速 30 Hz 之風速歷時

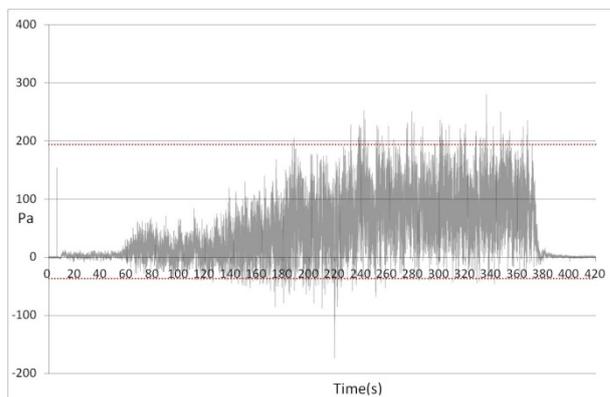
第二節 面板風壓

本案於中央 4 塊面板上之正反兩面皆安裝風壓管，每塊板正面及反面均勻區分為四等份，共計安裝 32 個風壓點位。由於各風扇轉速下風壓數據頗多版面有限，僅摘錄風扇變頻轉速為 30Hz 下之風壓數據。當時四支風速計之陣風風速分別為 19.1、18.87、20.15 與 32.5 m/s。而極值風壓，亦採文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算。

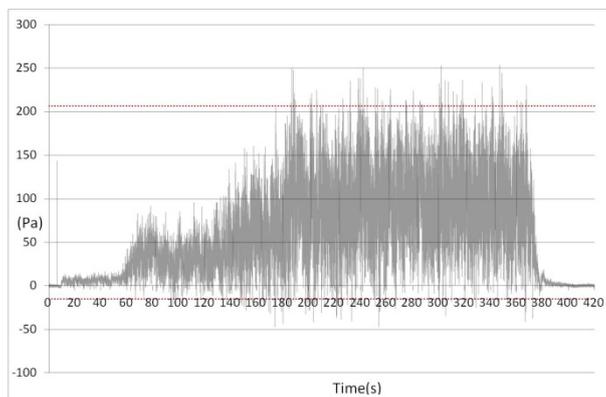
表 5-2 風扇變頻轉速為 30Hz 下極值風壓

點位	面板 1 (Pa)	點位	面板 2 (Pa)	點位	面板 3 (Pa)	點位	面板 4 (Pa)
1	193.68	9	192.55	17	206.15	25	324.27
	-37.05		-24.15		-19.85		94.98
2	206.67	10	208.08	18	226.39	26	402.83
	-14.89		-5.72		-2.84		168.46
3	202.05	11	177.20	19	229.29	27	363.73
	-17.31		-32.27		-21.95		124.12
4	202.04	12	251.91	20	307.21	28	430.88
	-15.16		34.76		50.10		181.50
5	214.01	13	250.96	21	264.74	29	247.97
	-11.61		14.18		5.26		-27.46
6	204.09	14	216.93	22	224.79	30	199.53

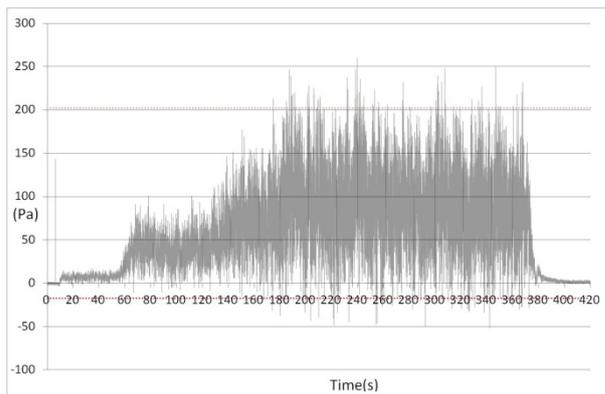
	-18.14		-17.95		-19.51		-68.65
7	174.17	15	143.85	23	116.04	31	-45.27
	-48.55		-70.49		-204.77		-311.25
8	155.49	16	146.38	24	13.09	<u>32</u>	-91.76
	-69.22		-68.09		-298.88		<u>-428.20</u>



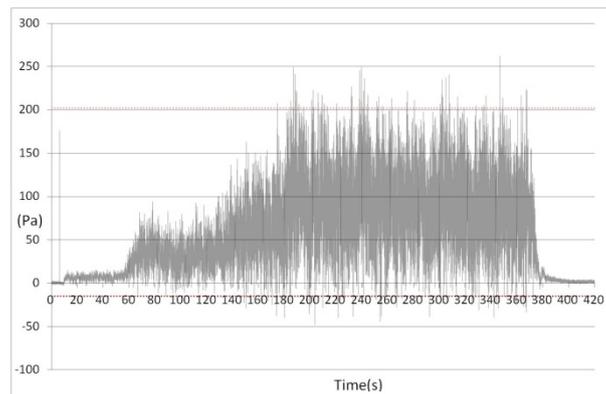
點位 1



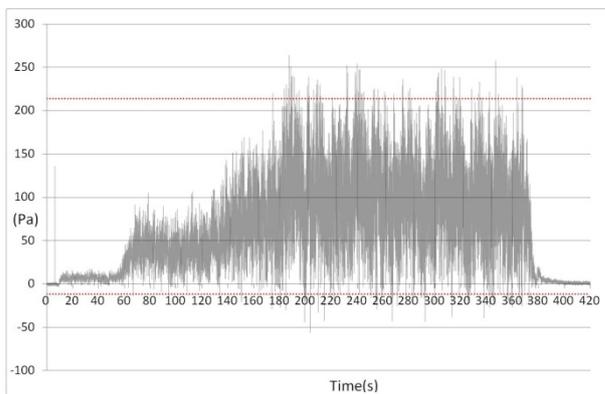
點位 2



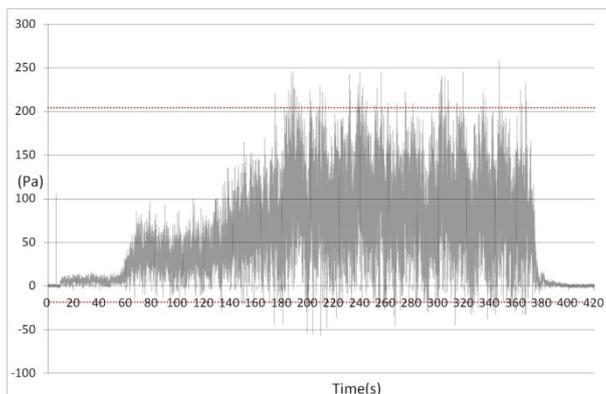
點位 3



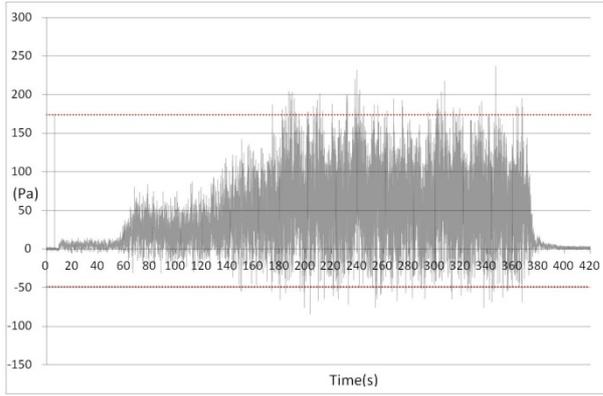
點位 4



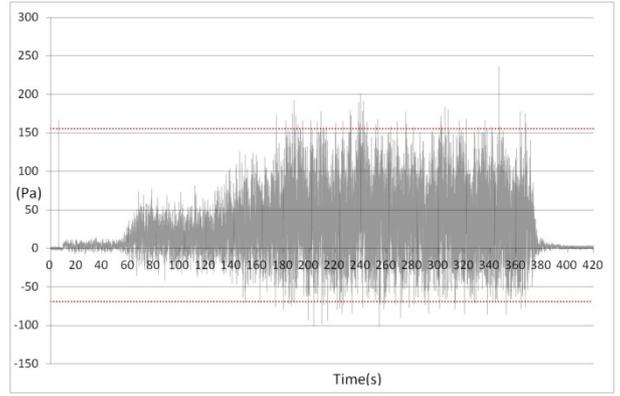
點位 5



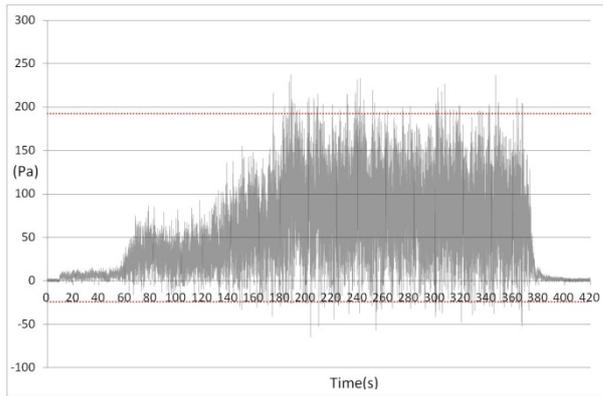
點位 6



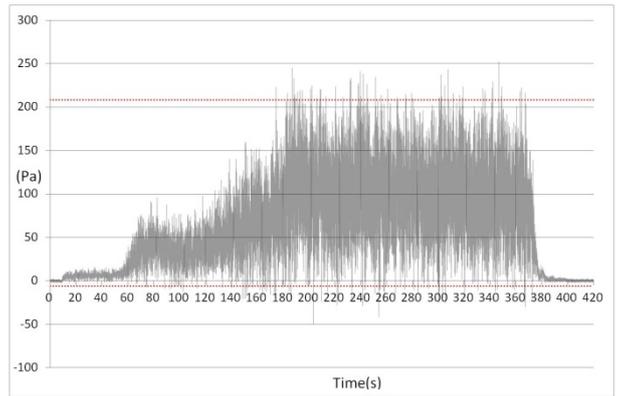
點位 7



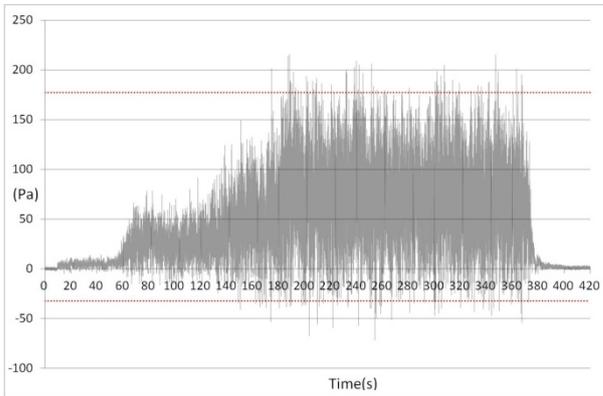
點位 8



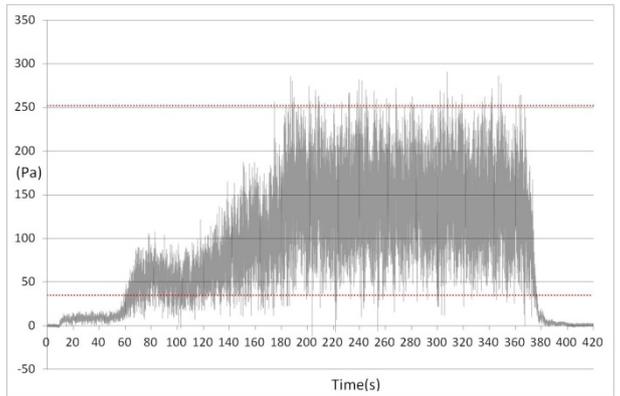
點位 9



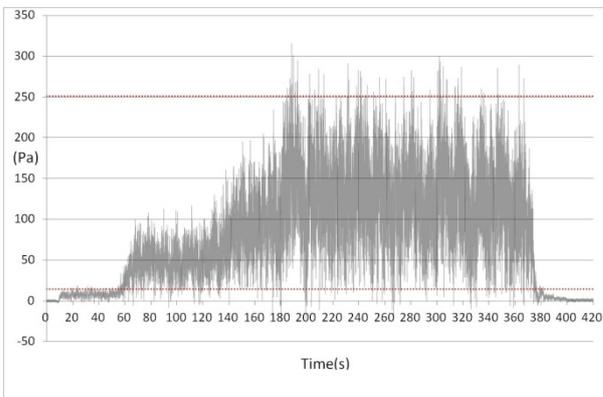
點位 10



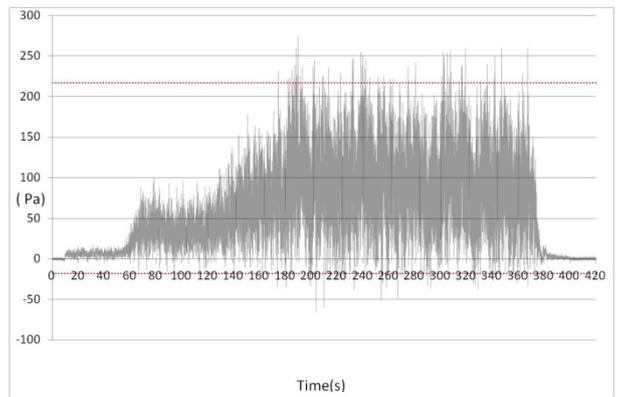
點位 11



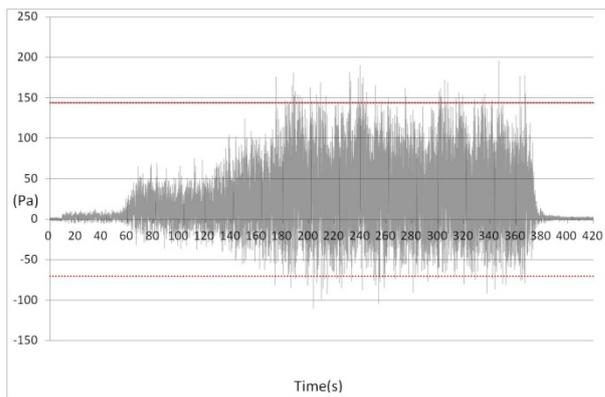
點位 12



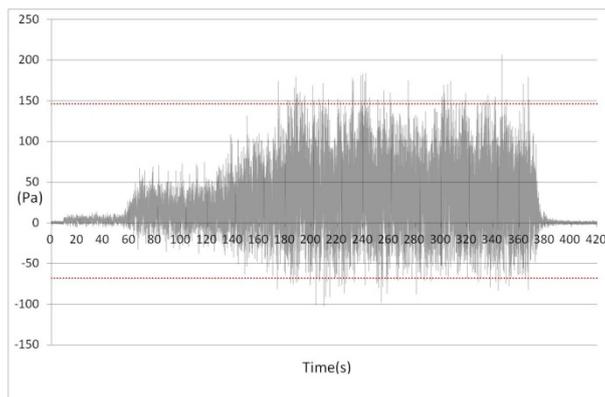
點位 13



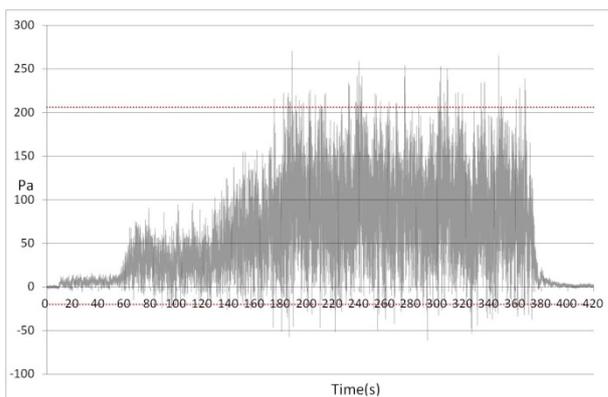
點位 14



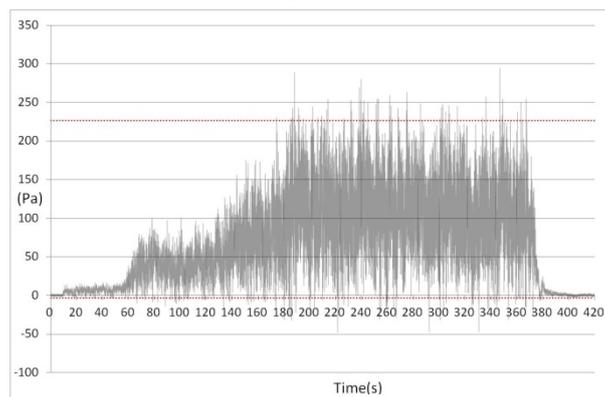
點位 15



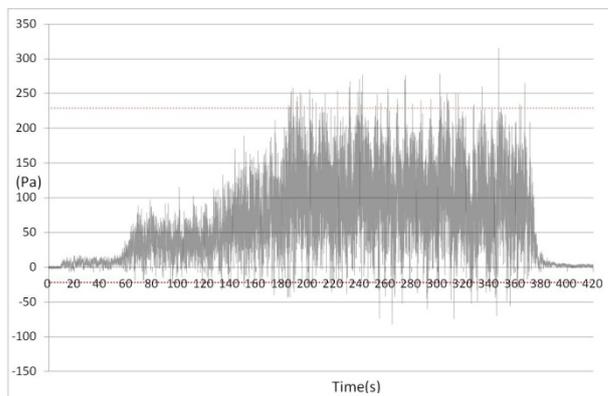
點位 16



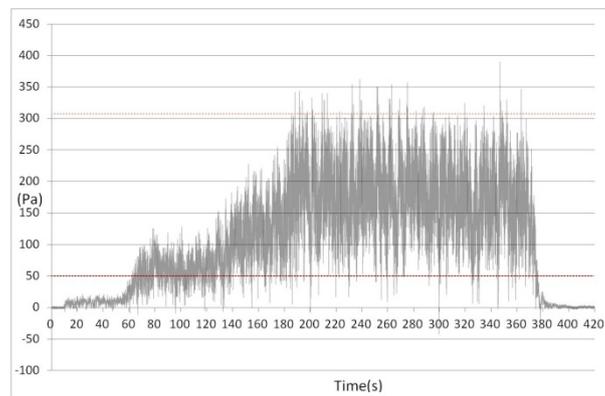
點位 17



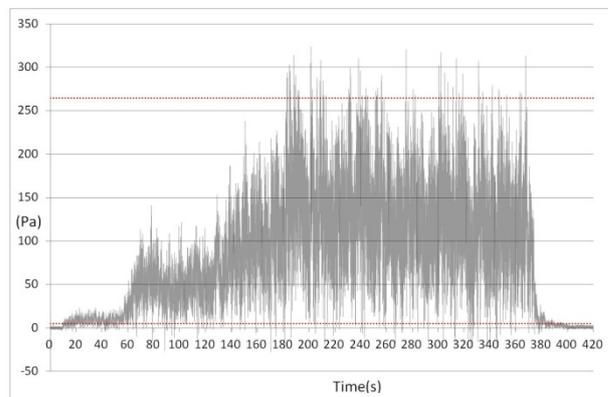
點位 18



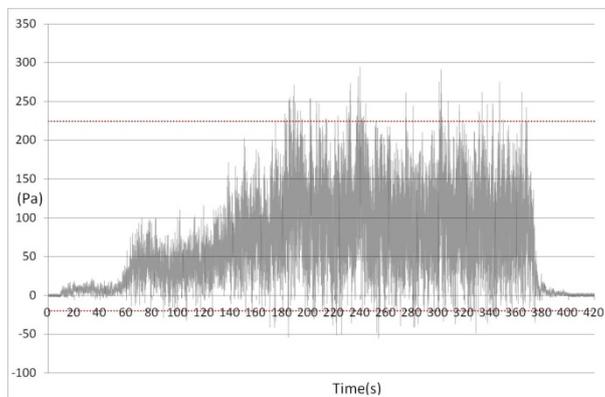
點位 19



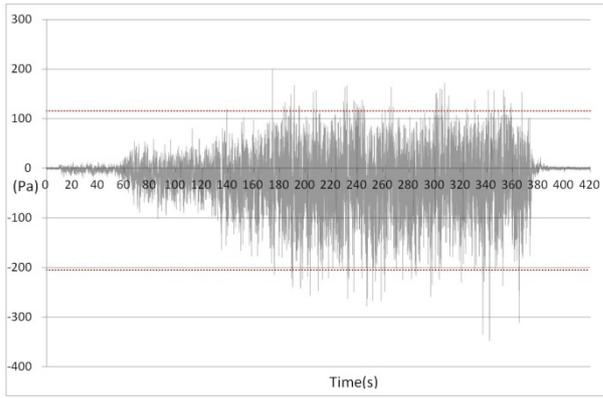
點位 20



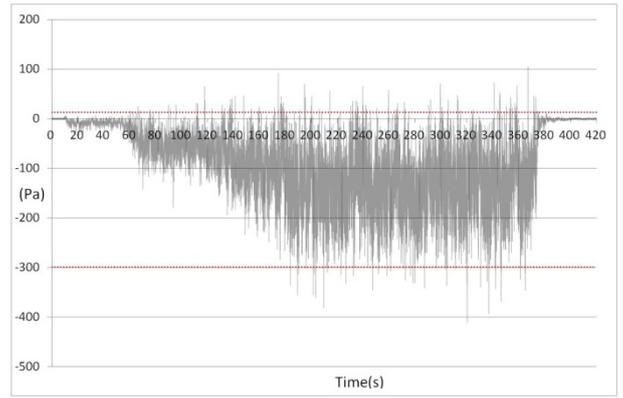
點位 21



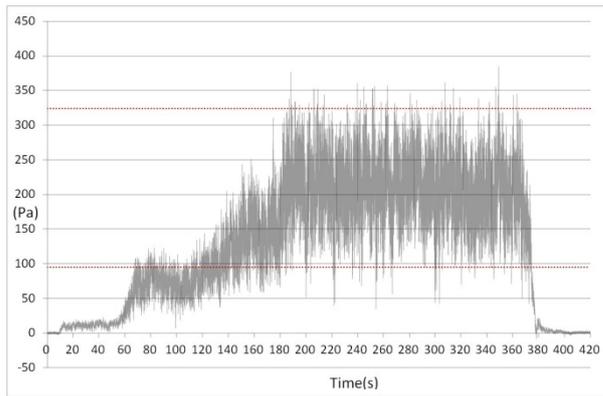
點位 22



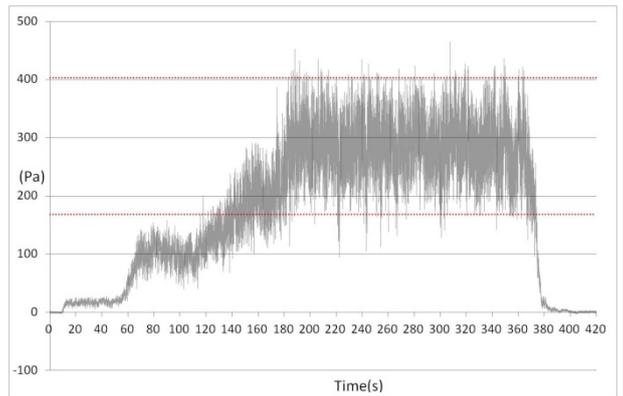
點位 23



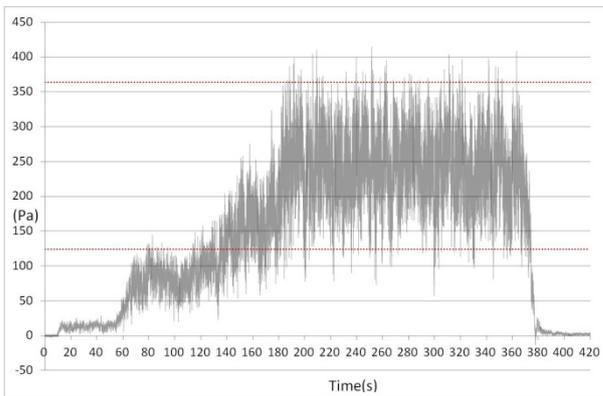
點位 24



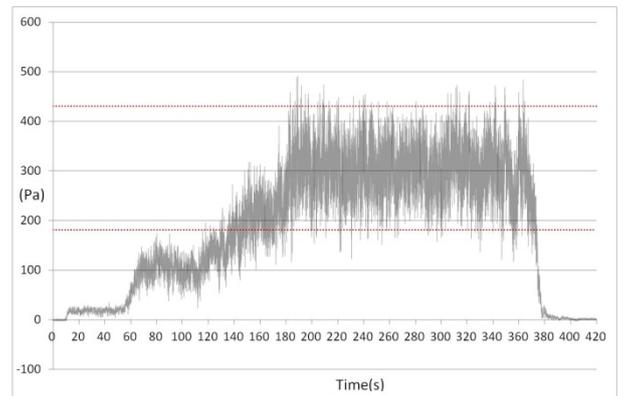
點位 25



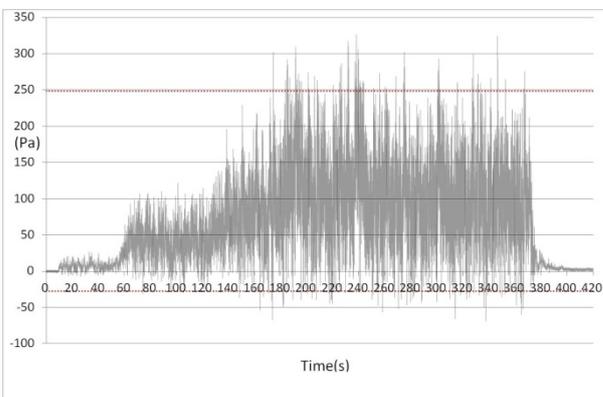
點位 26



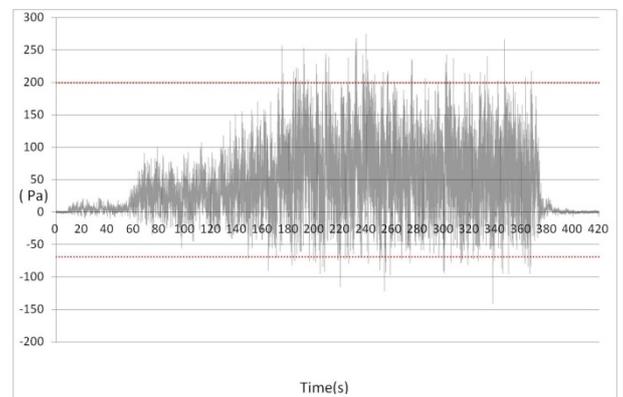
點位 27



點位 28



點位 29



點位 30

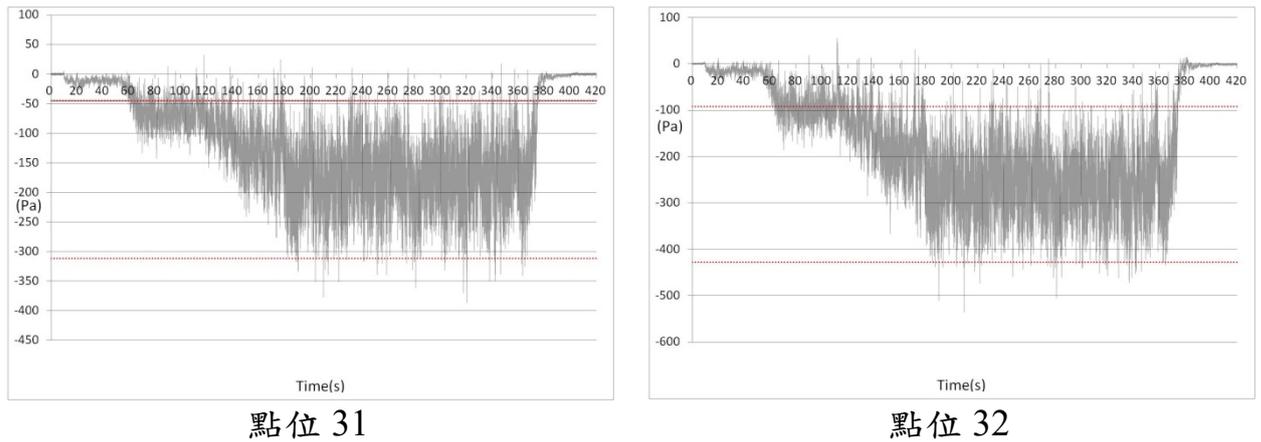


圖 5-11 風壓力時

資料來源:本研究

在建築物耐風設計規範中，對於開放式建築物之單斜式屋頂的風力係數 C_f ，可藉由查表方式計算得不同傾斜角度與長寬比下屋頂之風力係數值，由於本案太陽能光電板受風情形與開放式單斜式屋頂類似，故依該表計算求得本案之風力係數 $C_f=0.35$ ，壓力中心位置為 0.33。

另依實驗數據計算 4 塊面板之風力係數與位置發現，前 2 塊面板之實驗風力係數(面板 3、4)較大於規範值，後 2 塊面板之實驗風力係數則與規範值相近。而每塊面板之受風壓力中心位置則處於單一面板中心。因此，如將太陽光電板視為一開放式斜屋頂，將其各板風力係數加以平均計算，可得實驗風力係數 0.36 與規範值 0.35 相近；而實驗風壓力中心位置則處於具屋頂位置 $(X/L)=1.05$ 近中心處，與規範值 0.33 不相同。

表 5-3 實驗風力係數計算

項目	面板 1	面板 2	面板 3	面板 4
3 倍標準差風壓(Pa)	334.53	329.55	393.78	393.5
參考風速	32.5	32.5	32.5	32.5

面板寬 B	0.98	0.98	0.98	0.98
面板長	1.63	1.63	1.63	1.63
與風向平行 L	1.60524	1.60524	1.60524	1.60524
面板傾斜角度	10	10	10	10
風力係數 C_f	0.33	0.32	0.39	0.39
距各面板端位置	0.5	0.49	0.52	0.51
距屋頂位置(X/L)	1.05			

資料來源:本研究

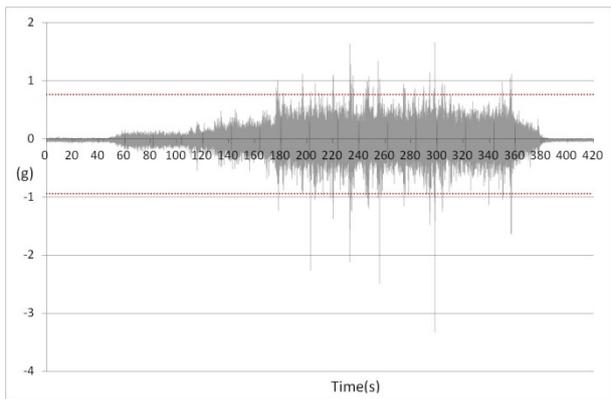
第三節 構件振動

本案於中央 4 塊光電面板上各安裝 1 個加速度計(CH 11~14)，加速度計 1~3 分別量測前橫梁水平向加速度歷時，加速度計 4~6 分別量測高端橫梁 1 垂直向加速度歷時，加速度計 7~8 分別量測高端橫梁 2 垂直向加速度歷時；加速度計 9、10 量測低端橫梁 1 垂直向加速度歷時；加速度計 15 量測低端後橫梁 2 垂直向加速度歷時；加速度計 16 量測後橫梁 2 垂直向加速度歷時。由於各風扇轉速下風壓數據頗多版面有限，僅摘錄風扇變頻轉速為 30Hz 下之加速度歷時數據。而尖峰加速度值，亦採文獻[5]之 Peak 3s Value 方法來加以計算。可以發現光電面板之最大加速度值為 8.24g，梁構件水平向尖峰加速度值為 2.35g、垂直向尖峰加速度值為 4.22g。

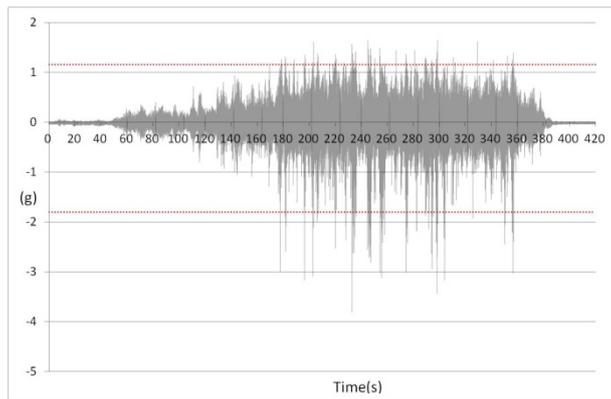
表 5-4 尖峰加速度

點位	尖峰加速度(g)	點位	尖峰加速度(g)	點位	尖峰加速度(g)	點位	尖峰加速度(g)
CH1	0.94	CH5	2.89	CH9	4.22	CH13	7.76
CH2	1.81	CH6	3.03	CH10	4.09	CH14	8.24
CH3	2.2	CH7	2.63	CH11	5.01	CH15	3.89
CH4	2.81	CH8	2.49	CH12	6.49	CH16	2.35

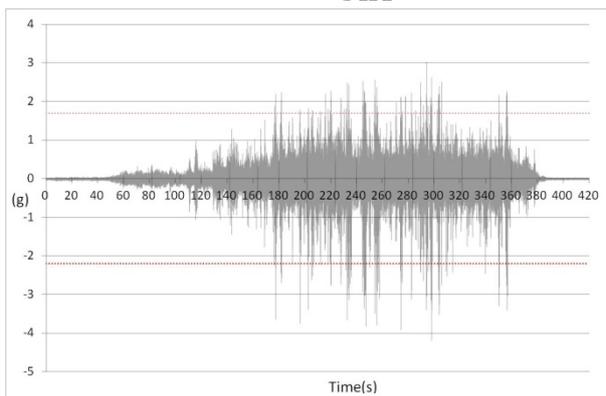
太陽光電板支撐結構系統耐風性能研究



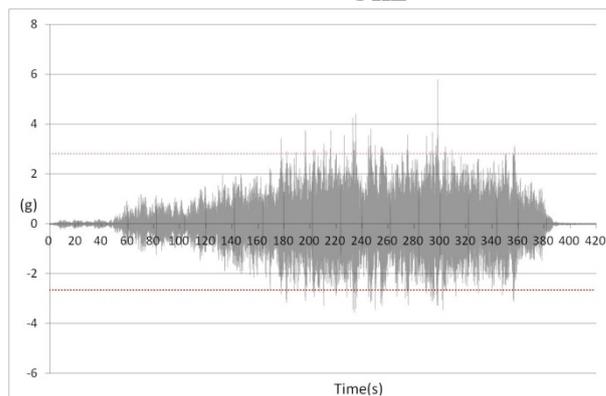
Ch1



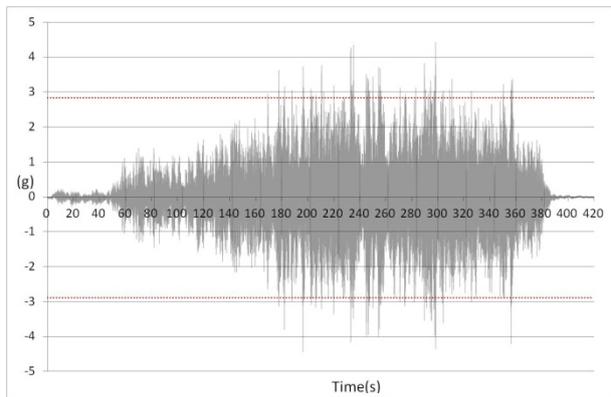
Ch2



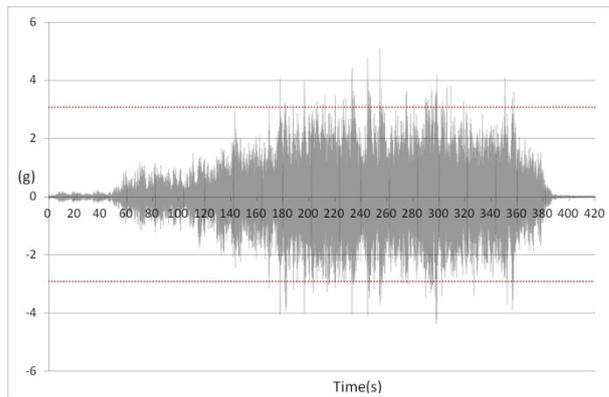
Ch3



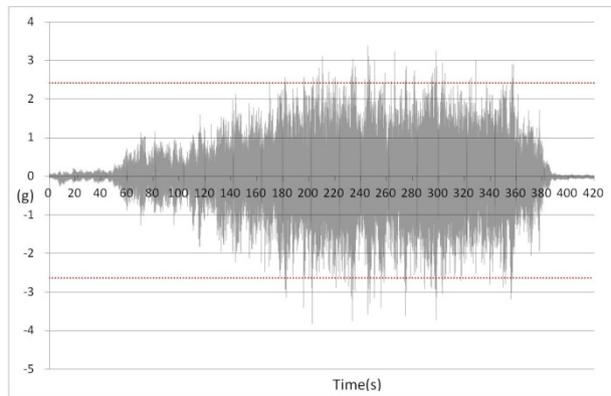
Ch4



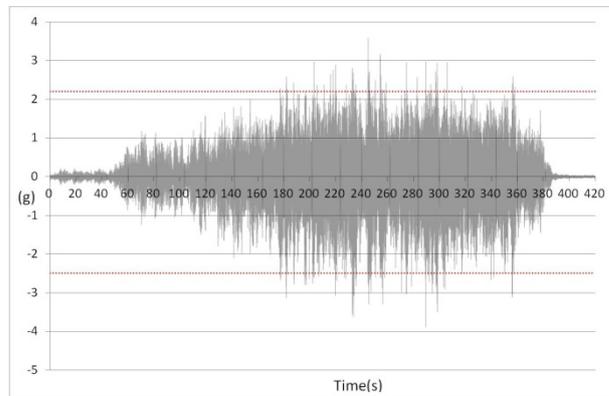
Ch5



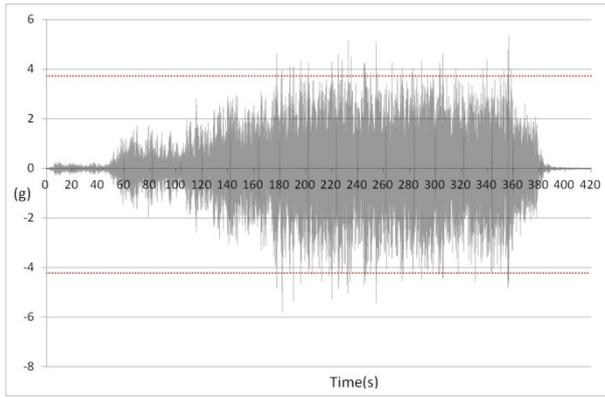
Ch6



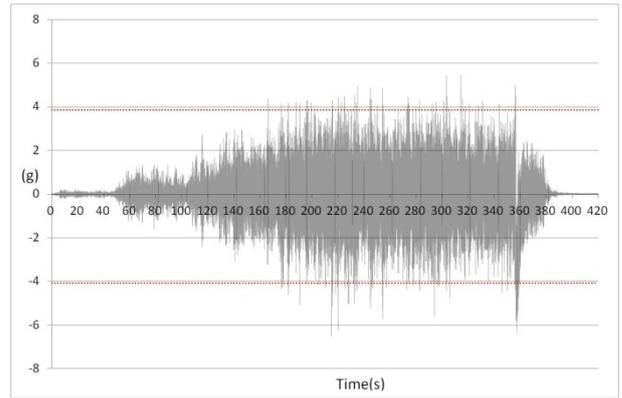
Ch7



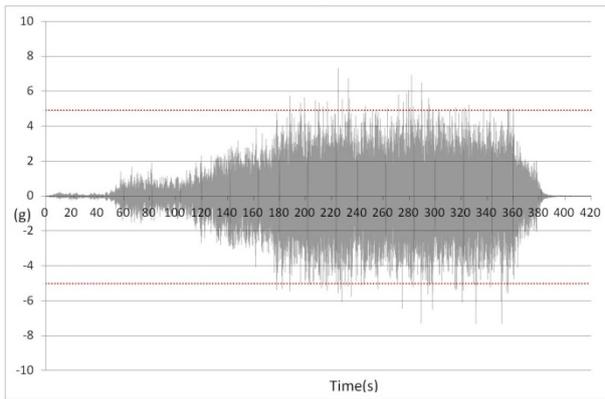
Ch8



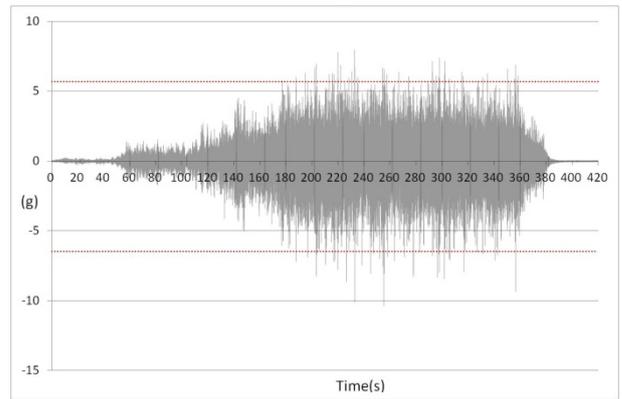
Ch9



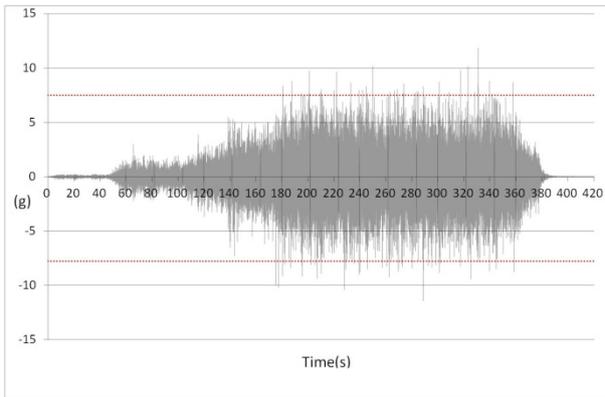
Ch10



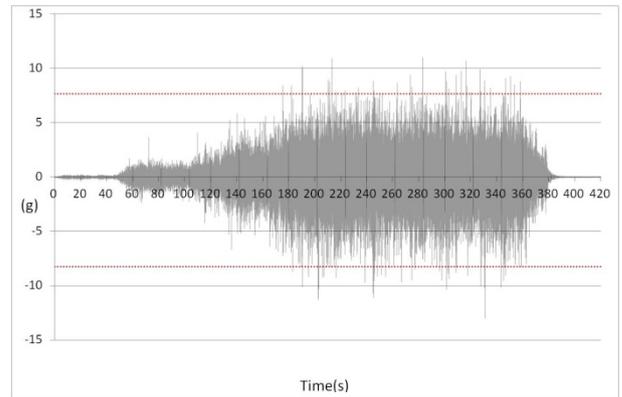
Ch11



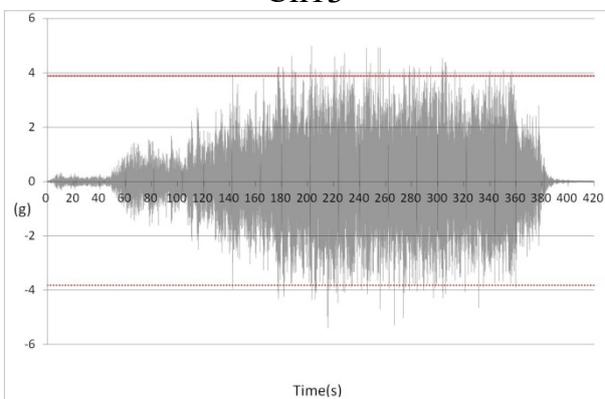
Ch12



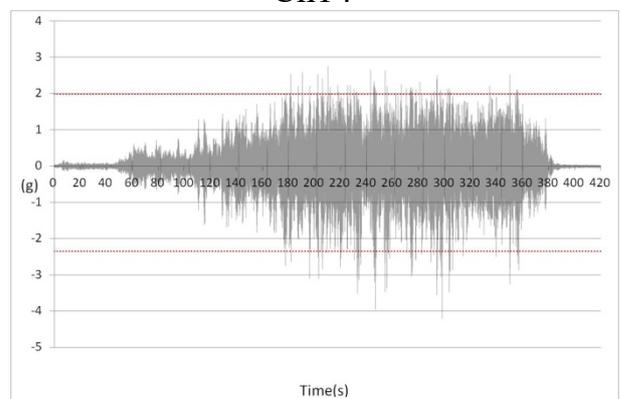
Ch13



Ch14



Ch15



Ch16

圖 5-12 加速度歷時

第四節 小結

本節針對 6m 單跨太陽光電板風向 I 與 II 之試驗風速、面板風壓及構件加速度結果來加以比對。當試體轉向後，風向 I 試驗下之各點風速皆較風向 II 之試驗風速來的大，當風扇變頻轉速來到 30Hz 時，風向 I 試驗之最大陣風風速為 34.96 m/s，而風向 II 之試驗最大陣風風速為 32.5 m/s。

在面板風壓部分，風扇變頻轉速 30Hz 時，風向 I 試驗下之最大極值正風壓發生於第 31 點位(反面)，其值為 418.42 Pa；最大極值負風壓發生於第 13 點位(反面)，其值為-277.84 Pa。風向 II 試驗下之最大極值正風壓發生於第 28 點位(正面)，其值為 430.88 Pa；最大極值負風壓發生於第 32 點位(反面)，其值為-428.2 Pa。

至於面板及構件在尖峰加速度下的表現，當風扇變頻轉速 30Hz 時，風向 I、II 試驗下面板，其最大尖峰加速度值分別為 10.38g 與 8.24g；梁構件水平向最大尖峰加速度值分別為 1.69g 與 2.35g；梁構件垂直向最大尖峰加速度值分別為 4.43g 與 4.22g。

第六章 結論與建議

第一節 結論

- 一、距置型單跨 4m-風向 I 試驗結果，當風扇變頻轉速達 30 Hz 時，其最大陣風風速為 39.71m/s，面板垂直向最大尖峰加速度為 20.05g；橫梁之水平與垂直最大尖峰加速度分別為 2.34g 與 5.52g
- 二、距置型單跨 6m-風向 I 試驗結果，當風扇變頻轉速達 30 Hz 時，其最大陣風風速為 34.96m/s，面板垂直向最大尖峰加速度為 10.38g；橫梁水平與垂直最大尖峰加速度分別為 1.69g 與 4.43g。最大極值正風壓為 418.42 Pa；最大極值負風壓為 -277.84 Pa。
- 三、距置型單跨 6m-風向 II 試驗結果，當風扇變頻轉速達 30 Hz 時，其最大陣風風速為 32.5m/s，面板垂直向最大尖峰加速度為 8.24g；橫梁水平與垂直最大尖峰加速度分別為 2.35g 與 4.22g。最大極值正風壓為 430.88 Pa；最大極值負風壓為 -428.2 Pa。
- 四、由於本研究之太陽能光電板受風情形與開放式單斜式屋頂類似，故參考「建築物耐風設計規範及解說」中，對於開放式建築物之單斜式屋頂的風力係數 C_f ，經查表計算求得本案之風力係數 $C_f=0.35$ ，壓力中心位置為 0.33。而依單跨 6m-風向 I 與 II 試驗結果加以計算光電板最大風力係數分別為 0.46 與 0.39，大於規範值，且其壓力中心位置系分別處於各光電板中心處，非如規範視為一整體計算其壓力中心。
- 五、由於光電板隱劣現象係易受板振動加速度或振幅大小影響，尚不可知。6m 單跨尖峰加速度雖遠小於 4m 單跨，但振幅卻較大，因此尚無法判斷何種跨度下之面板，較不受風致振動影響。

第二節 建議

建議一

光電板模組及支撐結構系統耐風測試流程:立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關： —

歸納本研究所進行實驗之樣態、試體安裝、量測設備、資料擷取及分析等測試過程，彙整成往後實驗室接受光電業者委託進行耐風測試流程。

建議二

太陽光電系統檢測認驗證能量建置:中長期建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：經濟部能源局

將實尺寸光電板模組與結構系統耐風檢測，納入推動太陽光電系統第三方檢測驗證項目內，對於國內推動太陽光電系統建置，應可確保系統長期運轉可靠度。

附錄一 期中審查意見答復表

審查意見	辦理情形
圖表的編號請配合文字說明連結	委員所提疏漏之處，將於期末報告中修正納入
支撐結構安全性建議納入以下 4 項考量因素：光電板邊框強度、C 型鋼桿件之接頭設計、支撐桿件之侵蝕、錨固在混凝土上之拉破強度等	本案係探究整體光電板構架之耐風行為測試，尚無納入細部或局部扣件或錨固系統之實驗。
實驗之測試風速及風場情況與實際太陽能板的設置地點、配置並不相同，形成的風力作用特性也不同，實驗與實際之風場特性如何模擬。另測試時間的長短與疲勞破壞結果直接相關，該如何表現實際的颱風作用？	實驗過程係以 CNS 14280「帷幕牆及其附屬門、窗物理性能試驗總則」中所規定之最大陣風風速量測方式與實際封場風速來加以比對；惟未探討長時間疲勞破壞等現象。
報告書第 35 頁之表 3-2 及 3-3，陣風風速最大值如何定義？另風速單位有誤請修正	研究中之陣風風速係以尖峰 3 秒來加以定義
表面風壓(淨風壓)與設計值關係如何？	後續將納入光電板上壓力孔佈設量測並與耐風設計相關係數比對之研究。
加速度是否與風速平方成正比？	是的，構件之加速度與風速平方相關，可參考期末報告第 58 頁
實尺寸光電板耐風測試，對系統結構設計幫助不大，但可朝向風力振動對螺栓鬆脫或太陽能電池隱裂來探討	已納於期末報告中
國內很多系統強調可抗 17 級風，耐風測試如何協助國內廠商證明此能力	目前造風機之最大陣風風速可達 13 級風，俟 109 年度造風機性能升級後將可達平均 60 m/s 之 17 級風，屆時本研究測試流程與量測配置將可應用於協助國內廠商檢證相關設備耐風能力。
如何將光電板耐風試驗納入現行法令制度與檢測機制中，以提	目前光電廠商以如何通過耐風檢測與支撐系統廠商篩選，進而與保

升本研究未來執行實際效益，宜加以考量

險公司討論降低設備保費為目標；如能將本案相關檢測要求納入躉購費率加成獎勵中，則可提升未來光電板耐風檢測成效

附錄二 期末審查意見答復表

審查意見	辦理情形
風壓分佈測試紀錄集中 6 m 中間部分，比較可惜，若能了解全部壓力 變化，就會完美。	單跨 4m 光電板耐風實驗於期中報告時已完成，當時因未能及時納入風壓管線佈設，故無風壓數據資料。
有關後續研究，是否能發展針對既有光電設施強度進行例如快篩之類 的檢測？	
報告書第 2 至 4 頁申請流程圖，第 2 頁免雜項執照備查函，再生能源 設施免請領雜項執照標準	報告書中所提光電板設置無須申請雜項執照之範疇，將於成果報告中
強烈颱風風速為 51 m/s 以上，本案風速僅達中度颱風，請補充說明	實驗室目前之造風機直徑為 4m，風扇運轉最大轉速為 30Hz，對應之 陣風風速約為 40m/s。
是否可提供一標準模組的參數尺寸及擺置方式，作為設計參數	已於報告書第 15 頁加以說明
本案透過戶外大型風機，藉由系統性實驗與測試，提出太陽光電板支撐結構系統耐風性能測試方法，確保太陽能光電系統之完整性及穩定 性。成果豐富，並可立即供國內工程實務參考，符合預期成果	感謝委員意見
報告書結論二，請補充風壓值，以便與結論三及四做比較	單跨 4m 光電板耐風實驗於期中報告時已完成，當時因未能及時納入 風壓管線佈設，故無風壓數據資料。
請詳述 3 秒陣風的定義與計算方式	已於成果報告第 25 頁中加以說明
風力係數(Cf)計算採耐風設計規範，建議採用太陽能板的規範	風力係數將以所量得之最大陣風風速，來加以無因次化。
加速度以 g 為單位，因數值非常大，請再確認單位	尖峰加速度單位為 $g(m/s^2)$ ，每一加速規皆有其對應之靈敏度係數，將 所量得電壓除以靈敏度係

	數即可得知加速度歷時。
--	-------------

參考書目

- [1] 政府科技發展中程個案計畫書「再生能源投(融)資第三方檢測驗證中心計畫」(106-109)，經濟部標準檢驗局。
- [2] 「太陽光電系統支撐架結構設計參考手冊」(105)，經濟部能源局。
- [3] 「太陽光電系統支撐架結構設計範例」(105)，經濟部能源局。
- [4] 「建築物耐風設計規範與解說」(104)，內政部。
- [5] Aly Mousaad Aly, Girma Bitsuamlak (2013). “ Aerodynamics of Ground-mounted solar panels: Test model scale effects”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 123, pp. 250-260.

