

# 溫室防颱結構材料技術研究

黃金川、楊順傑、鄭伊芬、黃宏群  
金屬工業研究發展中心

## 一、摘要

高溫、強風、暴雨為熱帶及亞熱帶地區常見的三大環境負荷。本研究提出了溫室抵抗環境負荷的設計原理與原則，並依造溫室所在地點的地形、地貌及強風暴雨之經驗數據，以進行溫室外部環境負荷抵抗設計，並考量溫室內的農作物所需的作業模式、需求空間動線及溫溼度參數進行溫室的內部環境控制設計，以完成溫室之總體規劃設計。本研究在溫室結構材料上，提出以材質優化、形狀設計、表面處理等三項材料製程設計與控制技術，以提升結構材料之結構強度、輕量化省成本及高耐蝕壽命性。並在溫室防颱強化上，提出結構強化、內部強化、外部強化及破風強化等四項防颱設計技術，以提升各種面對不同颱風等級時之防颱策略技術。

**關鍵字：**溫室、輕量化、結構材料

## 二、前言

臺灣地處亞熱帶，常見氣候正為冬天天氣寒冷，東北季風強勁，夏天酷熱，颱風多，且暴雨頻繁。加上近年來全球的強烈氣候變遷，強風暴雨，已成為此地區之農作物栽培持續會面臨的嚴苛挑戰，往往強颱侵襲下溫室受損嚴重(如圖 1)。因此以溫室進行之農作物栽培，將可提供了較穩定的栽培環境，能提高產能及穩定的農作物供給模式。但溫室的結構須承受外部環境的強風暴雨侵襲，溫室的內部環境也須面臨劇烈熱能累積，相對於如荷蘭之溫寒帶溫室，這都是我國溫室設計所需面臨挑戰的特別課題。各型農業設施的外部結構，都會面臨嚴苛的天候因素挑戰。以臺灣溫室夏天所面臨最大的挑戰即是颱風的侵襲及瞬間的大雨，這對基於成本考量下非高安全係數設計的溫室有極大的傷害風險。加上臺灣溫室於沿海有大量的應用，故對耐蝕性亦有相當的考量。目前在臺灣使用之農業栽種設施會遭遇的外在因素包含靠近海邊沿岸的區域鹽分較重，金屬結構易受鹽害銹蝕，而靠近工業區的區域易受酸雨或化學物質侵襲，導致使用年限不長。

內在因素則因為植物栽種的溫濕度環境需求，易造成栽種設施結構銹蝕。而農業投資仍為勞力密集獲利不易，故成本是一大重點。因此開發輕量化、高強度結構、高耐蝕性的臺灣特色之農業栽種設施及材料結構，極具有研究開發價值，另施作容易度及成本控制也是考量之重點。



圖 1 溫室受颱風侵襲的受損圖

### 三、材料與方法

先進農業生產國家，對農業設施大部分採較一般建築為寬鬆之規定，並針對溫室訂定相關規範，如美國國家溫室廠商協會結構設計手冊乃依據美國建築法規及美國土木工程學會標準，但其與一般基本建築物之間有不同載重係數[1]；歐州多國學者進行溫室設計研究，並由歐州標準化技術委員會訂立溫室結構與設計標準[2]；日本施設園藝協會出版園藝用設施之安全構造基準，但其中設施之風壓力及地震力仍依據日本建築基準法施行令計算[3]。

目前台灣則以農委會制定六種農業溫室標準圖樣[4][5](如圖 2)及內政部公告之建築物耐風設計規範及解說[6]供參考使用。台灣學者專家對於溫室結構也有相關之研究，對溫室也使用有限元素分析軟體進行溫室結構應力分析，探討對抗風強度之影響，也有使用風洞實驗研究溫室的風力負載[7][8]。隨著溫室的防颱設計迫切需求，溫室的防颱研究也隨之興盛。

本研究提出在溫室結構材料上，以材質優化、形狀設計、表面處理等三項材料製程技術，以提升結構材料之結構強度、輕量化省成本及高耐蝕壽命性。

#### 3.1 溫室設計的原則如下：

1. 溫室的功能以農作物之栽培為主要目的，基於成本考量，溫室設計非如同住宅及工廠之設計般具有相當高的安全係數，所以針對溫室所將面臨的環境負荷需仔細的考量設計與分析，以同時符合安全性、成本性與壽命性的考量。
2. 溫室所面臨的結構負荷包含自身之重力負荷、大自然之環境負荷、及氣候變遷所帶來的新衝擊負荷。而這些負荷的模式又包含了強度負荷、變動負荷、衝擊負荷、反覆負荷。溫室實際所面臨的強風暴雨，跟地形地貌有很大的相互關係，瞬間的

陣風強度往往會超出氣象報告所能完整預測。而台灣地處亞熱帶，其所面臨的強風暴雨，已成為溫室設計所必須面對的嚴苛挑戰。

3. 溫室以封閉型式設計形成結構強度，但破壞均往往發生於一起點，而起點經常是弱點或奇異點，一旦破壞形成，則會造成連鎖的破壞，跟開始的封閉設計又會有相當的不同，故任何破壞的細節均是考量的重點。而任一材料的破壞模式主要有應力破壞、應變破壞、疲勞破壞，除了拉力、剪力、扭力等瞬間的力量形式，長期所受的疲勞破壞亦為考量重點。
4. 材料結構扮演的角色即要面臨負荷時的力量與變形之抵抗與傳遞。最適當的結構設計在於當負荷來臨時，能同時讓多項的材料元件去共同承擔這負荷，並可以將瞬間的負荷可順利地傳遞到地面，讓大自然的衝擊回到地球上。

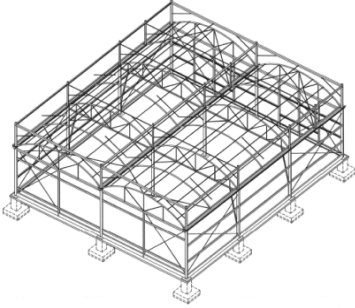
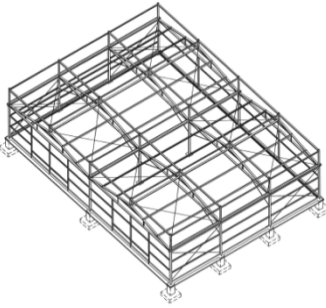
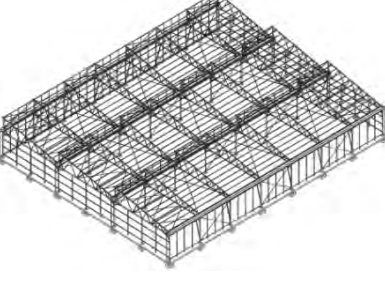
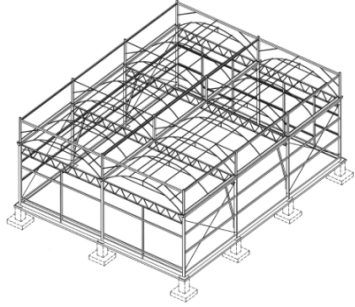
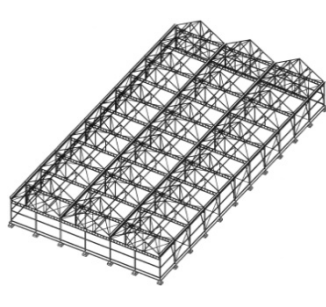

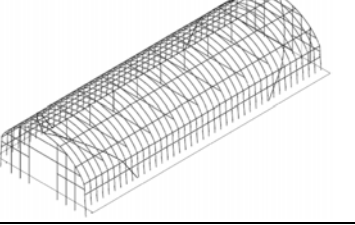
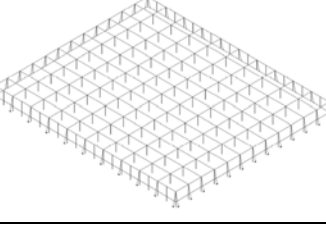
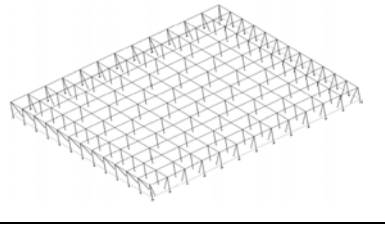
		
UBP 圓頂塑膠型溫室	VBP 山型塑膠型溫室	SP 單斜背塑膠型溫室
		
UTP 圓頂力霸塑膠型溫室	VTP 山型力霸塑膠型溫室	WTG Venlo 力霸玻璃型溫室
		
UP 簡易溫室	LT 水平網室	LTP 加強型水平網室

圖 2 溫室標準圖

### 3.2 溫室設計的主要考量因素：

#### 1. 地理性：

溫室座向、方位、地形、地貌都會影響風場流動，造成局部集中強風效應，導致溫室承受極大風壓。地質及地基結構，也因土壤富含水分造成鬆動，溫室支撐柱受強風吹襲將致移位。

#### 2. 氣候性：

颱風經過機率較高之區域，需提升溫室之耐風等級。暴雨之下之溫室排水槽設計須考量排水量及結構強度，尤其多連棟的溫室排水設計，以避免溫室屋頂積水增加結構負擔。

#### 3. 結構性：

溫室之材料結構與基礎之強度設計，需考慮變形、應力承受、抗彎強度等綜合考量，對連接件角色扮演，要確實掌握與落實。

#### 4. 耐蝕性：

溫室材料表面處理為防蝕處理之重要工作，化學性、物理性、電化學性腐蝕會造成結構材料腐蝕，使結構強度減弱，無法承受大型風壓。

## 四、結果與討論

### 4.1 溫室強化與輕量化設計

#### 1. 材料材質高強度化設計：

提高材料性能可提高溫室之結構性優化，而以材料之合金強化、熱機處理的晶粒細化、應用塑性加工的變形硬化，均可以促進材料之結構強化與輕量化，但同時須經材料的屈服強度、抗張強度、抗彎強度測試以證明新材料結構之優勢。

#### 2. 材料高剖面係數之優化設計：

結構材料之型式優化是在不改變材料材質即可提升的新優勢材料設計，本項如與上項之結合，將可促進結構件的材質強化與剖面型式優化的同步強度提升。

#### 3. 材料高耐蝕性設計：

材料結構之耐蝕處理為提升高壽命性的關鍵，進行新材料的處理優化將包含鍍前處理、鍍層處理、鍍後處理、塗層處理，以提升設施農業應用的強化抵抗環境能力。

### 4.2 溫室抗颱風強化設計

溫室設計分析首在因地制宜、考量方位及周遭環境的可能風場評估。溫室設計考量之地理位置，包含周遭環境的方位、陽光、風場、排水。受損嚴重的溫室，往往只順應交通方便與農作需求，而忽略應有的防颱防風防水之危機。溫室格局方位須將可使強勢結構面去面對最危險入風路徑，較弱結構面則需強化。

1. 結構組合強化：  
以科學化的溫室設計與分析方法、適當的元件材質選用與處理技術及正確的連結與施工方法，以提高溫室的可靠度與使用壽命。結構組合使用具有結構強度且耐振動的連接件，依溫室結構位置搭配合適之型材構件，可以使溫室達到耐 11 級風壓之結構強度。
2. 內、外部強化：  
對已建好之現有溫室及未來興建的溫室應進行防颱強化設計，增加溫室內、外部強化結構，於溫室圓頂結構增加補強梁並於外部支柱增加支撐桿，可提升溫室耐風壓等級由 11 級風增為 12 級風。
3. 破風強化：  
極高風險的颱風路徑經過區域之溫室，增加溫室破風牆或破風網等強化結構，可提升溫室耐風壓等級由 12 級風增為 13 級風。

#### 4.3 防颱溫室工程分析

溫室防颱設計之工程分析可依據以下步驟方法進行：

1. 針對溫室所在區域進行颱風路徑與機率分析：  
依據溫室預定設立位置，以大範圍縣市區域進行歷史颱風路徑分析，蒐集整理中央氣象局颱風資料庫之歷史資料，可得知縣市區域之颱風路徑經過方式及機率，並求得歷年颱風侵襲時之最大風速、最大陣風、最大雨量等，加以分析探討可得知縣市區域之可能風向、風力等級與颱風侵襲頻率。
2. 進行溫室側面與正面之受風力之風壓分布計算與分析：  
藉由溫室所在縣市區域之風場及雨勢資料，並以溫室設立周遭之地形地貌加以探討，以計算分析溫室側面與正面之承受風力與風壓分布。
3. 進行溫室受風等級提升一級之結構的電腦輔助工程分析：  
將溫室承受風力及風壓等級對溫室結構之影響，使用工程計算及模擬分析加以探討，並進行溫室承受風壓等級一級之性能提升。
4. 分析結構之應力應變圖及各部件之安全係數：  
藉由溫室工程計算及模擬分析，對溫室結構承受風壓後之應力應變進行分析，以求得溫室各部件之材料結構受力特性及相關安全係數。
5. 進行低安全係數之強化設計及過高安全係數部件之輕量化設計：  
依據溫室各部件之相關安全係數進行材料結構的強化設計，並對過高安全係數之部件進行輕量化設計，以求得適合之溫室零件。
6. 再提升風力級數一級，以再進行受風之結構電腦輔助工程分析：  
對於溫室部件之組合結構以受風特性進行電腦輔助工程分析，並改善修正部分材料結構強度，以提升溫室耐風力級數一級。
7. 當內部結構已經提升後，開始進行內部強化與外部強化的強化設計：

對於最適化之溫室材料結構組合，進行內部強化與外部強化之規劃，預先準備相關之部件組合連接設計，使溫室在颱風侵襲時能承受較高之風力級數。

8. 再提升風力級數一級，以進行強化設計後之溫室結構電腦輔助工程分析：  
以溫室內部強化與外部強化之材料結構設計，進行溫室結構電腦模擬分析，以提升溫室承受風力級數一級。
9. 當內部強化與外部強化設計完成後，再加載一級風力等級進行工程分析：  
依據內部強化與外部強化設計方式，提高溫室部件安全係數再進行溫室性能提升之工程分析，使溫室性能能承受加載一級風力之風壓。
10. 控制破風強化設計之破風密度，以利進行再加載一級之防颱強化設計：  
藉由增加溫室破風強化設計，並分析控制破風結構之密度，可提升溫室防颱性能與可承受風壓，使溫室防颱強化性能提升一級。

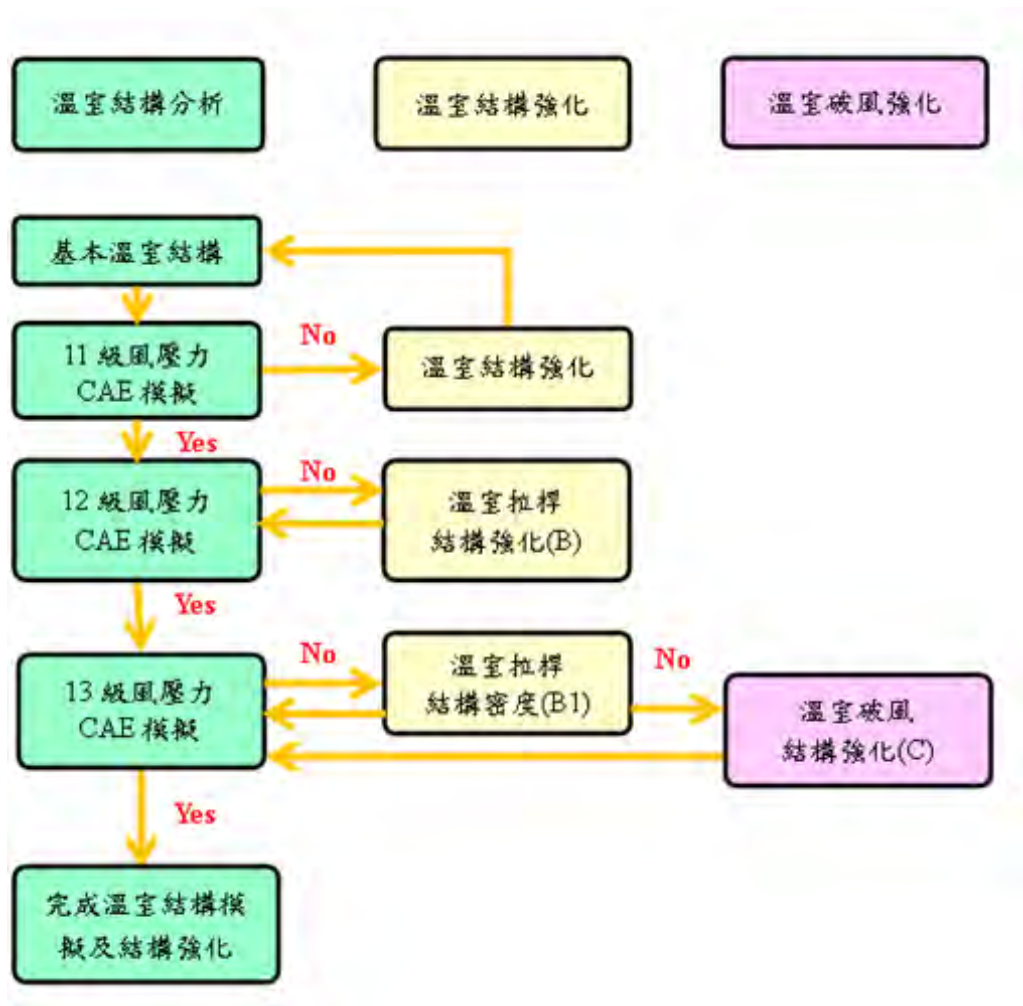


圖 3 溫室防颱設計流程圖

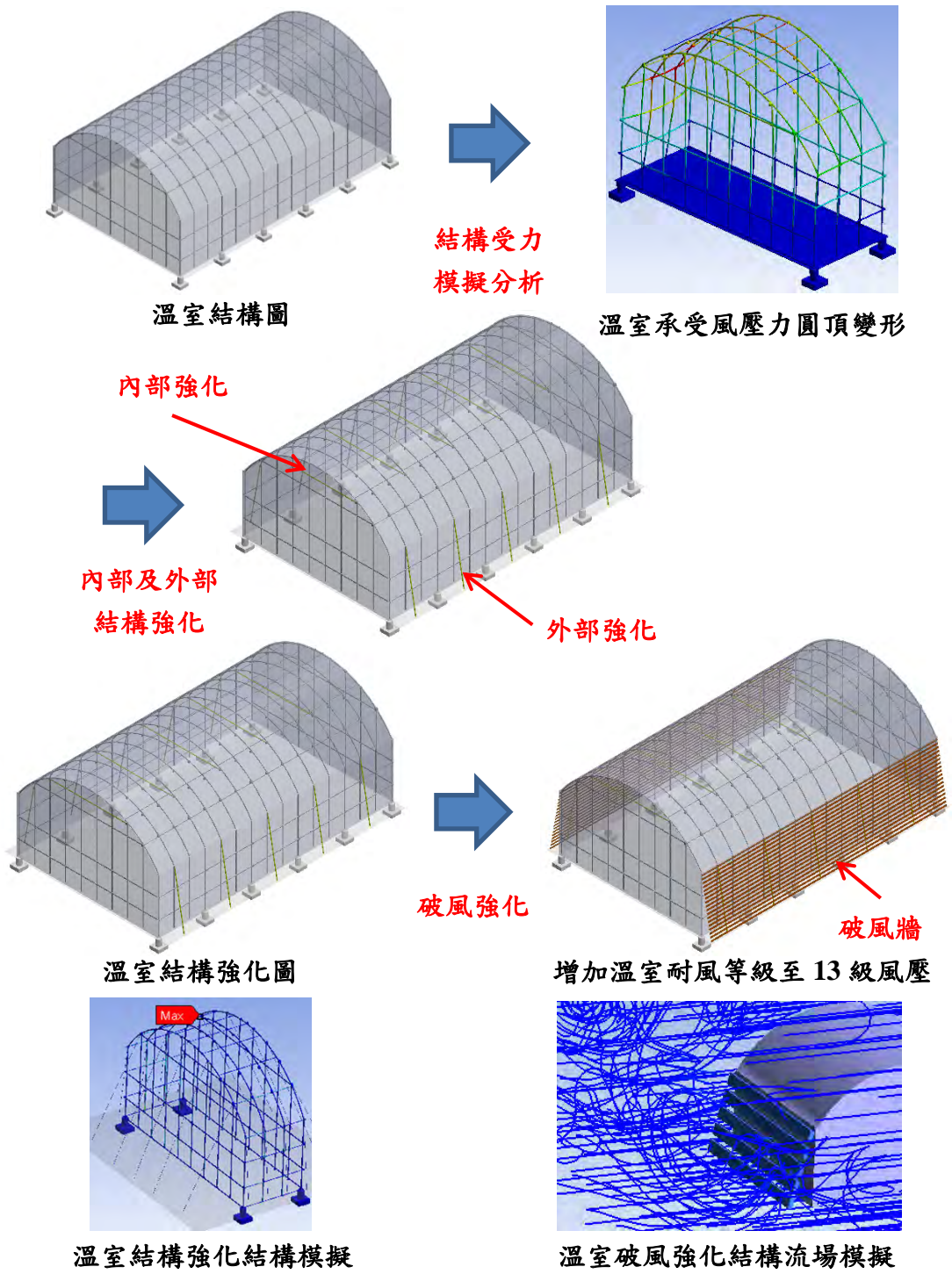


圖 4 溫室防颱設計電腦輔助工程分析圖

## 五、結論

本研究特針對台灣最常見的颱風侵襲抵抗，在溫室結構材料上，提出以材質強化、形狀優化、高耐蝕處理等三項技術，已成功提升結構材料之結構強度 30% 以上、輕量化省成本 15% 以上及高耐蝕壽命性 50% 以上。並提出除結構強化以外，溫室之內部強化、外部強化及破風強化的防颱應變模式，建立在高成本效率下，面對強颱暴雨的彈性的防颱設計，可成功提升防颱等級 2 級以上。

## 六、參考文獻

1. ASCE/SEI 7-10, 2013, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”, American Society of Civil Engineers.
2. EN13031-1, 2002, “Greenhouses-Design and construction. ”, The European Standard EN.
3. 日本施設園藝協會，1997，“園藝用施設安全構造基準(暫定基準)”。
4. 行政院農業委員會農糧署，2007，“農業用溫室標準圖樣及其結構計算書”，行政院農業委員會，農糧字第 0961062406 號。
5. 中華民國內政部，2014，“建築物耐風設計規範及解說”，內政部發布法規第 1030813291 號。
6. 林明仁、洪東奇，2008，“訂定農業用溫室標準圖樣及其結構計算書簡介”，農政與農情 97 年 2 月(第 188 期)。
7. 朱佳仁、林坦誼、楊智凱、劉明怡，2016，“半圓柱形溫室風壓係數之實驗研究”，農業工程學報。
8. 陳人豪、黃裕益，2016，“抗風型 UBP 溫室之建立”，國立中興大學碩士論文。