

簡易溫室結構強度分析之研究

張金元、田雲生、陳令錫

摘要

簡易型溫室廣泛應用於花卉蔬果作物栽培，然台灣地理環境受太平洋熱帶性低氣壓影響，夏季有強風侵襲，在結構耐風能力不足情況下，強風常使設施損壞，因此適度提昇設施結構耐風能力，以降低固定資本之損失。本研究採用建築物耐風設計規範，進行簡易型溫室結構受風強度分析，其受風壓力變化情形作為耐風能力提升之設計參考。本研究以對照組及五種補強方式進行結構分析，結果顯示，設施在棟長向處承受水平風向風速47.5 m/s，對照組為未進行補強結構設計之設施，最大應力發生處位於主立柱柱腳處，最大位移發生處位於主立柱拱形端部處，其變形量為40.7 mm；比較五種補強方式之結構耐風能力，以變形量結果排序，增加管徑及管厚19.4 mm、內部V形24.7 mm、內部山形 27.1 mm、增加管徑 27.2 mm、內部倒T形32.2 mm、對照組，其中以增加管徑及管厚方式，變形量降低結果為最佳，其所需之鋼材重量為2,287 kg，鋼材使用量亦為最高；採用內部山形結構補強方式，則可以最經濟之鋼材使用量150 kg，得到最佳之變形量降低結果，其組裝時僅需固定四處位置，具有施工容易優點；採用內部V形補強方式，變形量降低結果為三種內部補強結構中最佳。

中英文關鍵字：溫室Greenhouse、結構Structure、颱風Typhoon、有限元素法Finite Element Method。

前言

臺灣地理位置位處於北太平洋西部，氣候地帶包含亞熱帶及熱帶區，因受到海洋上空氣溫度及濕度升高產生對流作用，形成一熱帶性低氣壓，當風速大於每秒17.1公尺時即形成為颱風。在太平洋海域上，一年四季均可能發生颱風，台灣地區以7~9月之夏季期間侵襲機率較高。颱風來襲時將造成農作物毀損、淹水、品質及產量降低等問題，為使農作物栽培不受氣候影響，台灣地區廣泛使用簡易型設施進行栽培，以排除不利作物生長之環境因素。簡易型溫室主體骨架係以圓鐵管材搭設而成，塑膠布覆蓋於結構外部，基礎為無水泥固定之結構型式，以將主

體結構之圓鐵管材直接插入土壤中，再以地錨及鋼索牽引鎖固主體結構，具有構造簡單、搭設容易、價格低等優點，為目前採用最多之設施型式，然目前國內簡易型溫室建造無標準規格，且考量建造成本及使用需求，結構之搭設方式迥異及未進行結構應力分析，導致簡易型溫室結構有強度、安全之虞。

周(1995)在颱風災害調查中，指出隧道式簡易設施損毀原因，大部分係因設施橫向結構補強不夠，且若設施長度較長，整體受風面提升，側向面處結構將無法承受強風壓力，耐風能力不足時，將導致簡易溫室主骨架嚴重變形。侯(2004)運用結構分析軟體STAAD，探討簡易式隧道型輕構架溫室之結構安全及用材經濟，研究指出構造物高度相同、跨距越大，基礎向上拉拔力及軸壓力越大，且最大應力比發生位置及破壞均發生在與地接合處。

簡易型溫室廣泛應用於花卉蔬果作物栽培，然台灣地理環境受太平洋熱帶性低氣壓影響，夏季有強風侵襲，在結構耐風能力不足情況下，強風常使設施損壞，因此適度提昇設施結構耐風能力，以降低固定資本之損失。

研究方法

本文以對照組及五種補強方式，探討簡易型溫室結構之耐風性能，分析方法採用建築物耐風設計規範(內政部營建署，2006)，分析軟體使用ANSYS，進行簡易型溫室結構受風強度分析，其結構受力變化情況結果，作為設施結構耐風能力提升之設計參考。

風壓力為結構體受風時，在立向投影全面積所產生之壓力，建築物耐風設計規範作用在封閉式建築物上之風壓力 $P(\text{kgf}/\text{m}^2)$ ，為風速壓 $q(\text{kgf}/\text{m}^2)$ 、陣風反應因子 G 及風壓係數 C 之乘積，一般地區之風壓力 P 可由公式 $P = qGC_p - qi(GC_{pi})$ 求出，其中 P ：風壓力(kgf/m^2)、 q ：外風速壓(kgf/m^2)、 qi ：內風速壓(kgf/m^2)、 G ：普通建築物之陣風反應因子 $G = 1.77$ 、 C_p ：封閉式建築物受風壓作用之外風壓係數、 C_{pi} ：封閉式建築物受風壓作用之內風壓係數。簡易型溫室在颱風來襲前，為避免因風灌入設施造成結構損壞，將設施予以密閉作為防風措施，以避免風吹入結構主體，分析時將建築物視為封閉式，故此將不考量風從出入口及窗位置進入設施內所造成的內部風壓量，內風壓係數將以 $C_{pi} = 0$ 情況計算，風壓力公式 $P = qGC_p$ 。

依據簡易型溫室規格進行分析模型建模，骨架之管材外徑 $\phi = 29.4\text{mm}$ 、厚度 2mm ，為一般構造用鍍鋅鉸管材質，溫室外型尺寸：屋脊高度 1.8m 、圓拱高度 1.75m 、屋全部高度 3.55m 、跨距 6m ，溫室棟長向長度 20.8m ，主要骨架間距為 0.65m ，具有九組桁條向骨架及四支斜撐，斜撐安裝於溫室前、後向左側及右側處。

一組拱型骨架係由兩支圓拱鍍鋅鉅管與連接套管所組成，組裝完成之拱型骨架組直接插入土壤中壓實，再與桁條向骨架以彈簧夾或三通夾片接合固定後，整體結構再使用鋼索與地牛拉緊骨架結構以抵抗向上拉拔力。

骨架結構之各節點相對位置建立座標 (x,y,z) 系統，輸入ANSYS 軟體建立模組，管件接合方式以零件及螺栓相互連接，分析時係將各個接合處視為固定接點，並且假設各管材能確實接合。分析前，設定機械材料特性，給定彈性係數 (Elastic modulus, E)、浦松比 (Poisson's, ν) 及材料密度 (Density, ρ) 分析參數，單位系統為SI制 (m、s、kg、N)，網格尺寸選用軟體內建之Medium級數。參數給定條件為彈性係數 $E = 210 \text{ GPa}$ 、材料密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ 、浦松比 $\nu = 0.3$ 、體積彈性模量 Bulk modulus = 175 GPa、剪力模數 Shear modulus = 80.77 GPa、拉伸降伏強度 Tensile Yield Strength = 250 MPa。

結果

一、對照組變形量及發生位置:

對照組係未進行結構補強設計，其分析結果顯示，最大應力發生處位於溫室棟長向中央位置之主立柱柱腳處，而最大位移發生處則位於溫室中央位置之主立柱拱形端部處，變形量為40.7 mm，分析變形量發生原因，簡易溫室結構因內部無補強結構及中央處無斜撐以分擔風壓負荷，且因溫室棟長向長度越長，受風壓作用之面積越大，則載重應力越高，最大位移將發生於溫室棟長向中央處，並且最大位移之結果導致最大應力亦發生於溫室棟長向中央位置之主立柱柱腳處。

溫室結構在承受負載時，變形量太大將造成接合零件脫落、覆蓋之塑膠布破裂等問題(林，2001)。根據研究顯示，塑膠布溫室允許結構之變形量，樑之變形量須小於樑長度之一百五十分之一，而桁條之變形量須小於桁條長度之一百分之一(王，1988)，以簡易型溫室之主立柱長度6 m計算，則其變形量應小於40 mm，因此對照組承受風速47.5 m/s之風壓力作用時，變形量超過允許範圍，結構將發生損毀情形。

二、五種結構補強方式之變形量及鋼材使用量:

本研究規劃以五種結構補強方式增加耐風能力，五種結構補強方式分別為增加管徑及管厚、增加管徑，內部倒T形結構、內部V形結構、內部山形結構，其中前兩項為管徑補強改善措施，後三項則屬於設施內部結構補強措施。試驗結果如表顯示：

表一、五種結構補強方式之最大變型量及鋼材使用量

Table 1. Structural reinforcement for maximum deformation and Steel usage on the greenhouse

結構補強方式	管材規格mm			最大變型量mm	鋼材總重量kg	鋼材使用量kg
	外徑	內徑	厚度			
對照組	29.4	25.4	2	40.7	3,442	-
增加管徑	33.4	29.4	2	27.2	3,945	503
增加管徑及管厚	33.4	27.4	3	19.4	5,729	2,287
內部倒T形結構	29.4	25.4	2	32.2	3,610	168
內部V形結構	29.4	25.4	2	24.7	3,658	216
內部山形結構	29.4	25.4	2	27.1	3,592	150

以變形量結果排序，增加管徑及管厚19.4 mm、內部V形24.7 mm、內部山形27.1 mm、增加管徑27.2 mm、內部倒T形32.2 mm、對照組40.7 mm;以鋼材使用量結果排序，增加管徑及管厚2,287 kg、增加管徑503 kg、內部V形216 kg、內部倒T形168 kg、內部山形 150 kg、對照組。變形量降低結果以增加管徑及管厚方式為最佳，其所需之鋼材重量為2,287 kg，鋼材使用量為全部補強方式中最高，考量搭建成本情況下，此補強方式將增加較高之材料費用;採用內部山形結構補強方式，則可以最經濟之鋼材使用量150 kg，得到較佳之變形量降低效果，其組裝時僅需固定四處位置，具有施工容易優點;採用內部V形補強方式，變形量降低結果為三種內部補強結構中最佳，其所需之鋼材重量為216 kg，鋼材使用量為三種內部補強結構中最高;倒T形結構為五種補強方式中，變形量降低結果為最低，分析其原因，倒T形結構因無斜向支撐，以傳遞及分散垂直向應力，以分散主立柱所承受之風壓力，所承受之風壓力將無法經由垂直方向之分力，將風壓力傳遞至地面。觀察變形量降低結果，變形量降低幅度越高，結構補強之強度需要越大，以增加管徑及管厚之方式為例，因增加管材截面之面積，其斷面積增加，可承受彎矩、拉壓應力、剪力之能力亦增加。

三、內部補強結構安裝方式及經濟效益分析:

組裝及材料加工備料方式越容易，施工費用越低，探討三種內部結構補強組裝方式，組裝時，山形及倒T型結構僅需固定四處位置，鋼材使用量分別為150 kg及168 kg，而V型結構則需固定六處位置，鋼材使用量為216 kg，固定位置如圖以虛線圈選顯示。材料加工備料部分，倒T型及V型需增加兩種不同長度之管材，而山形則僅需同一種長度管材兩支，因此以組裝方式及材料加工備料探討經濟性及施工難易，則以山形之內部結構補強方式最為經濟及施工容易。簡易型溫室安裝

內部遮陰網或通風扇設備，補強結構將限制設備的安裝，以山形補強方式內部空間較大。

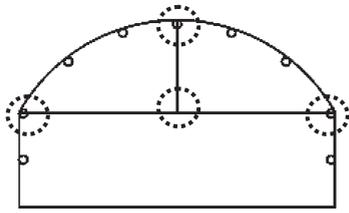


圖1.倒T型

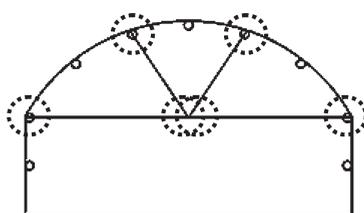


圖2.V型

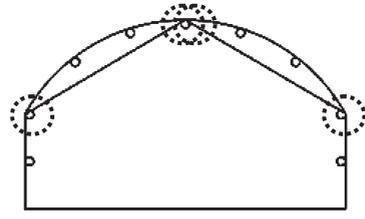


圖3.山形

討論

簡易溫室設施中，若是不具內部補強結構設計之型式，其結構較為薄弱，抗風強度不足，須適度加強結構強度，以延長簡易溫室設施之使用年限。經過模擬之五種補強結構，對於結構變形量改善皆有顯著效果及優缺點，而倒T形補強結構為國內結構常用形式，試驗結果中發現其耐風能力較V形結構及山形結構形式變形量降低結果較低，搭建時可考慮山形結構之補強形式。使用軟體進行結構補強方式耐風能力分析，除能節省時間外，亦能減少經驗試誤所造成的費用支出，然而雖經由結構分析，設施在遭遇強風侵襲時，氣候、風向及風壓之變化，卻無法像結構分析所設定的相同，從穩定的方向及相同的力量作用在溫室，因此設施仍存有損毀之風險及疑慮，除加強結構強度外，於颱風來臨前，正確及確實的防颱措施亦極為重要。未來，可就管件接合零件及基礎部分進行結構強度分析，並且就各項補強方式進行成本分析，以建立更準確及實用的分析資料，提供使用者參考應用。

參考文獻

- 1.內政部營建署 2006 建築物耐風設計規範及解說 台北。
- 2.王鼎盛 1988 設施園藝設計手冊 台灣大學農業工程學系農業設施研究室編印。
- 3.周慶安、姜義展 1994 颱風災後栽培設施損害情形調查評估 桃園區農業專訊 9:17-19。
- 4.林聖泉 2001 溫室結構設計設施栽培自動化 國立台灣大學生物產業機電工程學系 P.93~101。
- 5.侯文祥 林益鵬 2004 生物生產用隧道式輕構架溫室結構安全及經濟設計 農業工程學報 50(4):39-50。