

內政部建築研究所
建築工程技術發展與整合應用計畫(二)
協同研究計畫
第 1 案「竹構造建築物設計技術研究」
資料蒐集分析報告

中華民國 110 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)

內政部建築研究所
建築工程技術發展與整合應用計畫(二)
協同研究計畫
第 1 案「竹構造建築物設計技術研究」
資料蒐集分析報告

研究主持人：王榮進

協同主持人：杜怡萱

研究員：李台光、黃國倫、周楷峻、張三酉

研究助理：林均容、鄭少耘

研究期程：中華民國 110 年 3 月至 110 年 12 月

中華民國 110 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)

目次

目次.....	i
表次.....	iii
圖次.....	v
摘要.....	vii
ABSTRACT.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究主題.....	3
1.3 計畫預期目標.....	4
第二章 研究方法與流程.....	5
2.1 研究採用之方法.....	5
2.2 研究採用方法之原因.....	8
2.3 研究步驟.....	9
第三章 文獻回顧.....	10
3.1 相關論文及研究計畫.....	10
3.2 國內外相關設計規範.....	13
3.3 大跨距薄殼竹構造建築案例.....	15
第四章 專家小組會議.....	19
4.1 第一次專家小組會議.....	21
4.2 第二次專家小組會議.....	25
4.3 第三次專家小組會議（視訊會議）.....	29
4.4 林雅茵建築師會後建議.....	32
4.5 第四次專家小組會議（視訊會議）.....	35

4.6 甘銘源建築師會後討論（視訊會議）	39
4.7 第五次專家小組會議（視訊會議）	40
第五章 竹構造建築物設計規範草案	42
第六章 政策、輿論收集分析及初步因應策略	116
6.1 私部門的竹材推廣	116
6.2 公部門的竹材推廣	118
6.3 初步因應策略建議	119
第七章 建議制訂之 CNS 標準列表	121
第八章 結論與建議	123
8.1 結論	123
8.2 建議	124
參考文獻	125
附錄一 期中審查會議記錄及研究團隊回應	
附錄二 期末審查會議記錄及研究團隊回應	
附錄三 ISO 22156:2004 規範內容	
附錄四 ISO 22156:2021 規範內容	
附錄五 祕魯竹構造技術規範內容	

表次

表 2.1	竹構造設計規範草擬章節架構與現行相關規範之比較.....	7
表 4.1	竹構造專家小組成員	19
表 4.2	竹構造專家小組會議列表.....	20

圖次

圖 1.1	武重義之竹構造大跨距建築.....	2
圖 1.2	Simon Velez 之竹構造棚架與步道橋.....	2
圖 1.3	大藏建築師事務所之竹構造空間棚架.....	2
圖 2.1	台灣竹會出版之竹構築指南.....	6
圖 2.2	本研究步驟與流程圖.....	9
圖 3.1	雲林農博生態園區之竹構造.....	15
圖 3.2	故宮南院生命之樹竹構穹頂.....	16
圖 3.3	ZCB 竹亭.....	16
圖 3.4	鑽石島社區中心之大圓頂.....	17
圖 3.5	Jenny Garzón 步行橋.....	17
圖 3.6	2000 年世博 ZERI 展館.....	18
圖 3.7	Guanacas 人民之家圖書館.....	18
圖 6.1	2021 年第 12 屆世界竹子大會海報.....	116
圖 6.2	《從竹子到竹房子》一書.....	117

摘要

關鍵字：竹構造、結構設計、建築規範

一、研究緣起

近年來，永續循環之建材逐漸受到重視，此類建材除了木構造較為國人熟知，並已經訂定「木構造建築物設計及施工規範」，竹構造亦為近年來逐漸成熟的再生材料。竹材屬於快速生長之材種，約 4 至 6 年間即可成熟並當作建材使用。因應近年國內外竹構造建築案例有增加之趨勢，本研究針對本土竹材料建立基礎設計資料，並蒐集彙整國內外竹構造相關資料，歸納常用之接合形式與設計方法，研擬一套可行之竹構造設計規範草案。期望藉此提供國內竹構造應用於建築物之設計參考，並健全竹構造建築物之建造、使用與管理，加速推動本土竹材於營建產業之普及性。

二、研究方法及過程

本研究首先整理國內外研究文獻中之材料測試結果、竹構造接合形式與設計方法，建置竹材料性質與接合形式之基礎資料庫。再邀集竹、木構造相關領域學者與設計專業人員組成專家小組，定期召開會議，針對本土竹構造設計規範草案提供架構建議、審定內容、檢視其與國內現行相關法規之相容性。根據專家小組會議之討論結果，本研究擬定之竹構造建築物設計規範內文主要參考 ISO 22156 之 2021 年版，並加入部分秘魯竹構造技術規範、ISO 22156 之 2004 版內容。除容許應力設計法外，也參考 ASCE16-95 納入極限狀態設計法之內容，採兩設計法併陳方式草擬規範。最後參考台灣現行之木構造建築物設計及施工技術規範之章節，以條文搭配解說之方式，草擬出規範草案。並列出建議配套制定之竹材性質測試相關 CNS 國家標準。

三、重要發現

(一) 大多數國外竹構造設計規範皆明言竹構造基本上非耐火構造，不能期望比照木構造以碳化層厚度達到自身防火時效之要求，若不是設計為非防火構造，則需以外加方式加以防火保護。

(二) 國內目前仍欠缺竹材料性質測試之 CNS 國家標準，造成竹構造設計規範之材料性質相關規定僅能援引 ISO 22157 等國外標準，本研究第七章列出了建議制定之竹材料性質測試相關 CNS 國家標準，作為後續擬定 CNS 標準之參考。

(三) 台灣木構造建築物設計規範以容許應力法為設計邏輯，而美國木構規範 (ASCE16-95) 採極限設計法，根據專家小組會議之討論，結構設計專業人員多希望竹構造設計規範能與國際趨勢接軌，故本計畫採容許應力法與極限設計法併陳方式，然而極限設計法部分之內容較為簡略。

(四) 根據專家小組會議之討論結果，為延續傳統技術並加以推廣，竹構造設計規範草案中應納入台灣傳統之編竹夾泥牆工法，然而目前因缺乏台灣傳統編竹夾泥牆之相關資料，目前於竹構造設計規範草案中的內容僅包含基本資訊，詳細設計細節有待後續研究加以補足。

四、建議事項

建議一

短期建議：竹構造建築物設計規範草案

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本研究已整理國內外竹構造相關研究文獻中，並組成專家小組草擬出竹構造建築物設計規範草案。本研究建議將此設計規範草案送請營建署參考辦理。

建議二

短期建議：竹材料性質測試 CNS 國家標準

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

目前材料性質相關測試規定僅能參考國外標準，本研究建議依第七章列出之項目擬定竹材料性質測試之 CNS 國家標準。

ABSTRACT

Keywords: Bamboo Structure, Structural Design, Design Standard

Bamboo is an eco-friendly, recyclable, and low-carbon building material, that can be grown in 4 to 6 years. In response to the increasing use of bamboo in architectural structure cases in recent years, this study established design data of local bamboo materials from former studies, summarized commonly used joint types and design methods, and developed a draft design standard for bamboo structures. In addition to being used as a design reference, it is hoped that this study could benefit the construction quality and the administration of bamboo structures, and eventually promote the efficient use of local bamboo.

This study first collected various bamboo material test data, joint types, and design methods from domestic and international research to establish a database of bamboo material properties and joint types. Then, researchers and design experts of bamboo and wood structures were invited to form an expert committee. Committee meetings were held every six weeks to review and discuss the draft standard, provide suggestions, and examine the compatibility of the standard with current laws and regulations.

The developed draft design standard of bamboo structure mainly referred to ISO 22156:2021, and adopted part of the content of Peru bamboo structure standard and ISO 22156:2004. In addition to allowable stress design method, limit state design method that followed ASCE16-95 was also added the draft standard. The draft was compiled per the regular format of domestic design codes for structures. Suggestions for the future CNS standards related to bamboo materials were also listed.

第一章 緒論

1.1 研究背景

為因應全球暖化與極端氣候問題，節能減碳是人類與環境共同永續發展必須採行之對策。在台灣，建築相關產業之二氧化碳排放量約佔全國總排放量的三成左右，其中除了建材之生產與運輸、建築使用過程的能源消耗，也包括建築生命週期結束時之廢棄物處理，因此若使用在地生產且能自然分解的材料，不但能節省運輸及製造過程的耗能，也能減少廢棄物對環境的負擔。

台灣的竹種類繁多，分布範圍極廣，且竹材具有許多優點，例如：質量輕、低汙染、可回收、生產週期短等，是容易取得且環保之綠建材。相較於其他天然建材，生長與循環速度快，竹材只需4到6年就能夠成長為建材，是利用性極高的資源。過去在台灣常見各種使用竹材建造的構造物，如竹角厝、竹亭、竹橋等，然而隨著時代進步，竹材逐漸被認為是過時、不安全的材料，使得竹構造長期不受重視，多只被視為臨時性建築或景觀工程之附屬構造物。竹構造由於天然材料變異性高、難以規格化，接合形式種類繁多且構法多未標準化，如何確認材料強度與接合部之有效性，是竹構造設計之關鍵課題。

近年於國內外已有多數建築師將竹構造應用於較大規模永久性建築物之案例，例如越南武重義（Vo Trong Nghia）建築師以竹構造設計餐廳、會議中心等大跨距空間，哥倫比亞 Simon Velez 建築師設計竹構造棚架與人行步橋，台灣大藏聯合建築師事務所將竹構造應用於雲林農博展館及台中華德福學校半戶外空間棚架，如圖1.1至1.3所示，顯見竹構造作為建築材料之價值已重新得以發揮並受到一定程度之認可。然而，台灣並無竹構造設計與施工相關規範，使得竹構造應用於建築時，欠缺系統性之指引與有效管理，因此有必要針對竹構造之設計技術與方法加以深入探討。

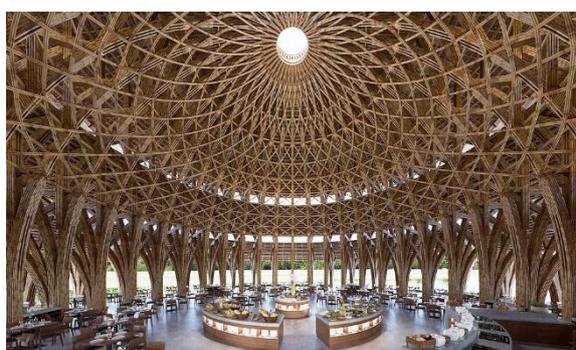


圖1.1 武重義之竹構造大跨距建築 (取自 <https://www.vtnarchitects.net/>)



圖1.2 Simon Velez 之竹構造棚架與步道橋 (取自 <http://www.simonvelez.net/>)



圖1.3 大藏建築師事務所之竹構造空間棚架 (取自 <https://architdz.com/>)

1.2 研究主題

1.2.1 研究主旨

竹材料為永續環保綠建材，近年於國內外常見竹構造應用於大規模建築之案例。本研究因應竹構造建築物之設計需求，針對本土竹材料建立材料性質基礎資料，歸納常用接合形式與設計方法，彙整國內外相關資料，研擬竹構造設計規範之可行性並提出草案，做為國內推廣竹構造建築物之初步建議。

1.2.2 研究緣起

近年來，永續循環之建材逐漸受到重視，此類建材除了木構造較為國人熟知，並已經訂定「木構造建築物設計及施工規範」，竹構造亦為近年來逐漸成熟的再生材料。竹材屬於快速生長之材種，約4至6年間即可成熟並當作建材使用。根據林試所之統計，目前台灣之竹林面積約有20萬公頃以上，佔台灣人工林面積的半數，為具有經濟生產規模及發展潛力的再生材料。然而，目前台灣並未針對竹構造之使用方式及材料性能如彈性模數、破壞強度、乃至於施工規範等，有明確的定義。綜觀世界各國，亦僅有少數國家對於竹材訂有簡易的施工規定。因此，為了有效利用台灣既有且豐富的竹材資源，研擬竹構造設計規範確為當務之急。

1.2.3 研究目的

本研究為協助提振本土竹產業，提升竹構造於建築物之應用可能性，擬針對本土竹材料建立基礎設計資料，並蒐集彙整國內外竹構造相關資料，歸納常用之接合形式與設計方法，以研擬一套可行之竹構造設計規範草案，期望可提供國內竹構造應用於建築物之設計參考。

1.2.4 本研究計畫之重要性

本研究從促進本土竹材於建築之應用出發，期望藉由竹材料之推廣帶動竹產業鏈之復興，開啟本土林產業之永續循環。材料性質資料之取得為竹構造建築物設計過程中最

為基本之步驟，接合形式、設計方法與規範之建立能健全竹構造建築物之建造、使用與管理，加速推動本土竹材於營建產業之普及性，對產業之發展與永續價值之塑造具備相當之重要性。

1.3 計畫預期目標

本研究之預期目標包括：

1. 透過既有研究文獻蒐集，建立竹構造材料性質之基礎資料如彈性模數、破壞強度等。
2. 針對竹構造設計時可能的接合形式及設計方法提出建議。
3. 研擬竹構造設計相關規範之草案。
4. 探討大跨距薄殼竹構造建築案例之應用。
5. 蒐集彙整國內外相關資料，研擬國內推廣竹構造建築物初步建議。
6. 政策、輿論、政府施政計畫收集分析以及初步因應策略措施研擬。

第二章 研究方法與流程

2.1 研究採用之方法

本研究透過以下方法進行：

1. 國內外文獻蒐集與整理

整理國內外研究文獻中之材料測試結果，建置竹材料性質之基礎資料庫，包括彈性模數、抗壓強度、抗拉強度、抗剪強度、抗彎強度等。參考國內外文獻中之竹構造接合形式與設計方法，進行歸納與分類。蒐集並翻譯國外竹構造設計與施工相關規範，作為研擬本土竹構造設計規範草案之參考。

2. 專業人員諮詢

諮詢竹、木構造相關學者與曾使用竹、木構造進行設計之建築、結構領域專業者，了解竹構造用於台灣建築之現況、經驗、限制與未來發展方向。根據專家建議檢討文獻資料之應用可行性。

3. 專家小組會議

邀集竹、木構造相關領域學者與設計專業人員組成專家小組，定期召開會議，針對本土竹構造設計規範草案提供架構建議、審定內容、檢視其與國內現行相關法規之相容性。

4. 研擬竹構造設計規範內容

本研究以台灣現行竹構造相關設計指南、現行木構造設計規範及國外竹構造設計規範為參考，訂定本土竹構造設計規範之基本架構。規範訂定目標為建構符合安全基本要求的建築物，建立相關建造規模、設計強度、材料性質、耐久性等適用性及準則，並釐清規範之適用範圍。台灣現有台灣竹會於 2020 年出版之竹構築指南，如圖 2.1 所示，包含竹材力學性質、竹接頭工法、設計要點、施工規範、非防火構造規則要點、竹材加工及廠商等，但內容較為簡要，完整性不如正式規範。國外可參考之規範包括 ISO-22156、秘魯竹構造技術文件及中國圓竹結構建築技術規程，本研究參考上述文件與規範，建立

台灣竹構造設計規範草案，草擬規範章節架構與現行木構造設計規範及國外規範之對照比較如表 2.1 所示。



圖 2.1 台灣竹會出版之竹構築指南（引用自

https://greenmedia.today/events/2020/bamboo-house/?fbclid=IwAR2rIVocQj_9H8iJUP2RCVPt0fcVLg86L9eAH6XpriTDwysq27PLU-Rqz4o#buy）

表 2.1 竹構造設計規範草擬章節架構與現行相關規範之比較

規範章節架構	木構造建築物設計 及施工技術規範	ISO-22156:2004	ISO-22156:2021	秘魯技術文件	中國圓竹結構 建築技術規程
第一章 總則	1. 總則	1. 總則 2. 參考規範 3. 術語和定義 4. 符號	1. 適用範圍 2. 參考規範 3. 術語與定義 4. 符號與縮寫	1. 目的 2. 範圍 3. 規範性 4. 術語	1. 總則 2. 術語和符號
第二章 結構設計 觀念與原則	2. 結構計畫及各部 分構造	5. 基本要求 6. 設計概念 12. 桁架	5. 設計基本要 求 11. 桁架	5. 注意事項	4. 結構設計基 本規定
第三章 材料	4. 材料及容許應力	13. 板 17. 分級	6. 構件元件與 材料性質 14. 結構分級	6. 結構用竹 特性	3. 材料
第四章 結構分析	3. 結構分析 5. 構材設計	7. 結構設計 8. 假設 9. 梁 10. 柱	7. 竹結構分析 模型之建立 8. 受彎構件 9. 受軸力構件	7. 結構設計 與分析	5. 荷載、作用效 應計算 9. 構造要求 6. 構件設計 7. 地基與基礎
第五章 構材接合 部	6. 構材接合部設計	11. 接頭	10. 接頭與續接		8. 連接
第六章 板構材			12. 剪力板		
第七章 作為混凝 土或泥土 之補強材		14. 作為補強材			
第八章 建築物之 耐久性與 維護計畫	8. 建築物耐久性與 維護計畫	15. 耐久性與維 護	15. 品質管控與 評估	9. 維護	12. 防護要求
第九章 建築物防 火	9. 建築物之防火	16. 防火	13. 耐火		
其他	7. 框組式構造	18. 品質管控		8. 施工流程	9. 構造要求 11. 保溫節能與 通風空調設計 13. 施工及質量 驗收

2.2 研究採用方法之原因

本研究所採用方法之背景與原因說明如下：

1. 國內外文獻蒐集與整理

竹構造並非普遍使用之建築材料，我國建築法規常依循之美、日等國皆無竹構造設計或施工規範，現有規範或技術手冊多來自中南美洲。竹材之種類繁多而變異性高，其材料性質散見於國內外研究文獻中，需要廣泛蒐集並加以整合梳理。竹構件之接合形式多樣性高，難有一致性之標準規格，亦需要多方參考以訂定原則性之設計標準。

2. 專業人員諮詢

雖然缺乏現行竹構造設計規範，但國內外已有多數竹構造建築設計案例，故預計透過諮詢具備竹構造建築設計經驗之專業者，了解其設計與施工方法、所使用材料性質資料取得來源、依循法規根據等。

3. 專家小組會議

設計規範之涵蓋範圍廣泛，為使內容儘可能完整與周全，並預留後續修正及補充空間，透過密集召開之專家小組會議，廣納各方意見，從多元角度研商規範架構與條文內容之合適性。

4. 研擬竹構造設計規範內容

竹材雖非木質材料，但與木材同為單一纖維方向之天然材料，同樣具備非等向性及變異性高之特點，其設計邏輯應有共通之處，因此預計以現行木構造建築物設計及施工技术規範為參考依據訂定規範章節架構，並佐以國外規範及現有竹構造設計指南補足規範實質內容。

2.3 研究步驟

本研究之流程與步驟如圖 2.2 所示：

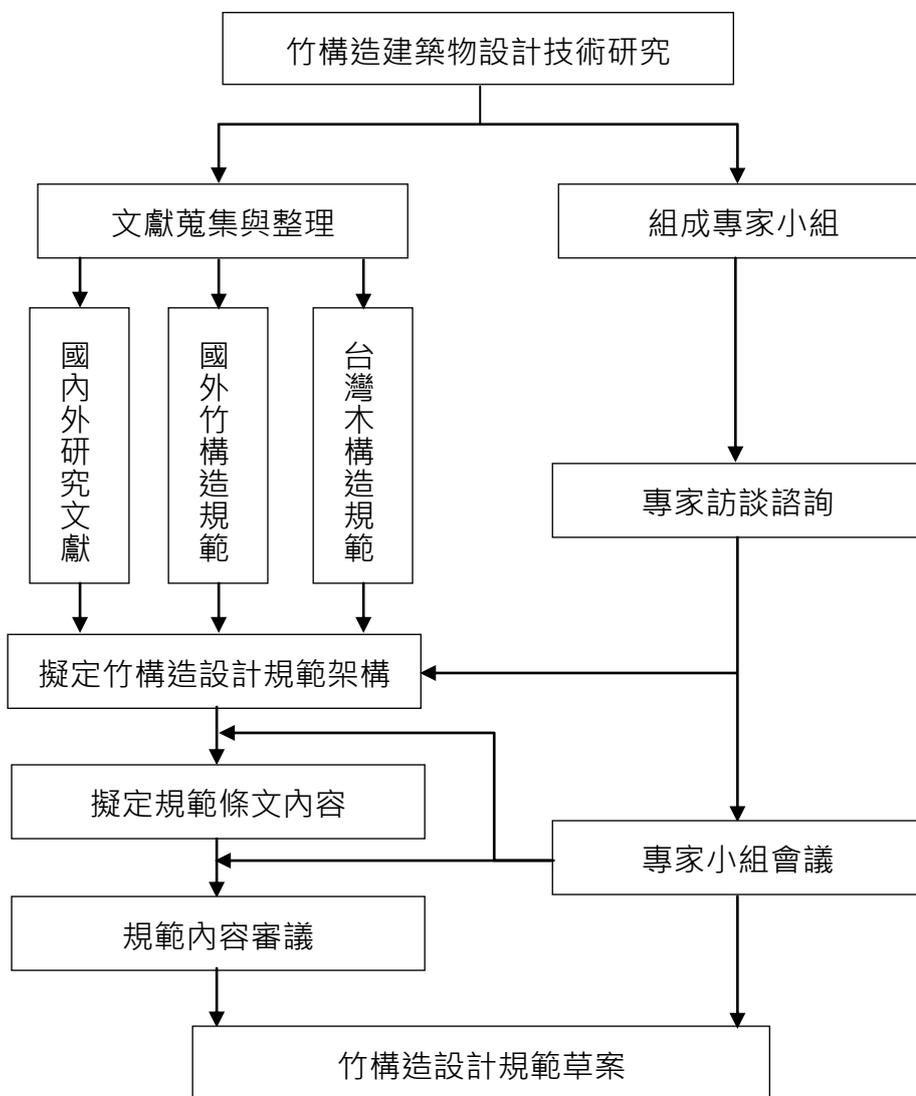


圖 2.2 本研究步驟與流程圖

第三章 文獻回顧

3.1 相關論文及研究計畫

(1) 國內相關文獻

1. 馬子斌(1964),「臺灣主要竹材之物理性質及力學性質」, 臺灣省林業試驗所報告[1]

此研究針對台灣本土重要竹材, 包括桂竹、麻竹、刺竹、長枝竹及孟宗竹, 針對其物理性質及力學性質進行試驗調查, 量測其含水率、比重、收縮率、抗彎強度、縱壓強度、橫壓強度、縱向抗張強度及縱向抗剪強度。

2. 林維治與張添榮(1996),「林維治先生竹類論文集」, 臺灣省林業試驗所[2]

此書為作者林維治先生共 19 篇竹類研究論文之集成, 內容包括台灣與東南亞各竹種的分類、生長概況、林業分布、種植方法、加工利用與病蟲害等。書中對於各竹種都有詳細的外觀紀錄, 並記載各竹種的地下莖、竹筍、竹桿與竹葉的尺寸範圍與竹種辨認方式。此外, 對於各竹種的生長月份、顏色變化、特徵都有詳細的記載。

3. 黃世孟與劉安平(2003),「推展竹材建築與落實竹材科技補助研究計畫」, 內政部建築研究所補助研究計畫報告[3]

此研究報告整理國內外竹構造物案例, 並詳細記錄構造物基本資料、使用狀況、基本設計原則與施工方式, 內容包括竹屋、竹亭、竹橋、竹牆、竹圍籬等竹構造物。報告中對竹構造物之結構系統、構法、竹材處理方式皆有詳細解說, 其中, 竹構造接頭依接合形式分為: 以繩索摩擦力繫緊的接頭、榫接或螺栓接合、穿枋式接頭、繫結材接合、複合式接頭; 又依接合部位分為: 線性接合、垂直接合、非垂直接合、基礎接合; 方便設計者根據設計需求查閱。

4. 穆寶貴(2007), 台灣竹構建築結構體構法之調查研究[4]

此研究透過文獻整理與實地訪查十棟台灣傳統竹構造建築, 整理台灣竹構建築之常用構法。內容對竹屋構法之介紹相當詳細, 並進一步整理傳統竹材處理方法與接頭作法,

其中接頭大多採繩索或榫接接合。此研究亦歸納傳統竹構之施作流程及構造要點，與台灣現行施工程序比較，最後針對構法、材料提出問題探討與建議改善方式。

5. 游家誠(2009)，古蹟歷史建築修復施作過程竹材保護棚架系統之研擬與應用[5]

歷史建築修復過程中，需使用保護棚架確保修復中之建物不會因日曬雨淋而損壞，此研究提出以竹構替代鋼構建造保護棚架，不僅可以減少施工時間與材料成本，也符合生態環保觀念。研究中先進行竹材之基本材料試驗，提出竹材之力學強度參考數值，再探討竹棚架接頭行為，並針對繩索與鐵線綁紮兩種接合方式進行結點旋轉剛度試驗與結點滑移試驗。此研究提出三種竹構保護棚架系統方案：類虹橋構架系統、聯合桁架系統與混合構架系統，並對各方案進行結構分析，以容許應力法設計構件斷面。

(2) 國外相關文獻

1. Jules J. A. Janssen (1981), *Bamboo in Building Structures* [6].

此論文探討竹子作為熱帶國家建築結構材料的可行性，內容先測定竹材的各項力學性質，包括：楊氏係數、抗壓強度、抗彎強度、抗剪強度、抗拉強度、波松比、密度等；接著針對一組跨距 8m 的竹桁架進行測試研究：先使用不同材料之桁架接頭進行抗壓試驗，再對不同接頭類別之竹桁架進行載重試驗。

2. Christopher Davies (2008), *Bamboo Connections* [7].

此研究目的是檢視世界上現有之竹接頭並整理接頭強度的可靠數據，內容將接頭種類分為傳統工法接頭與新式工法接頭，並詳述各種接頭的性質。此研究建構了垂直接合接頭之基本力學強度測試系統，並針對垂直接合中四種不同類別的接頭（竹梢接合、木節點版(gusset plate)接合、灌注混凝土接合及鋼鐵內套管）進行抗拉、抗彎與抗剪試驗。

3. Roberval Bráz Padovan (2010), *O Bambu Na Arquitetura: Design De Conexões Estruturais* [8].

此研究探討竹子應用為建築材料的可行性，內容先介紹竹子的基本資料，並整理竹

材力學強度之數據，透過巴西當地的傳統與現代竹構造建築案例整理，將接頭分為傳統接頭與新式接頭，再依接合部位分類為續接、垂直接合與非垂直接合。研究最後針對灌注混凝土並使用鐵件束制之接頭進行抗拉試驗，並由此研發一種端部接頭作法，此種接頭能夠適應不同的接合部位。

4. Oscar Hidalgo López (1981), *Manual de Construcción con Bamboo*. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos [9].

此書為哥倫比亞的竹構造施工手冊。內容包括：竹子的介紹、竹材加工方式、傳統竹接頭圖說、不同型式竹構造物的建造方式。此書內容圖文並茂，針對竹材的挑選與加工、竹接頭的製作、各型式構造物的施工皆有完整圖說指引。

5. Jules J. A. Janssen (2000), *Design and Building with Bamboo*, Beijing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) [10].

作者將其累積 25 年之竹構造相關研究寫成此書，內容包括：竹子的介紹、種植與保存、材料之力學強度、竹接頭介紹、基礎製作、竹構造建築設計等。其中，竹構造接頭依接合部位分為：竹材內接合、竹斷面上接合、竹外周上接合的垂直方向及水平方向接頭。

6. Tania Cerrón Oyague (2014), *Manual de Construcción de Estructuras con Bambú*, Lima: SCENICO [11].

此文獻為秘魯的竹構造施工手冊，內容包括：竹材的性質、竹材處理、竹構造建築設計、竹接頭的分類與竹構造建築建造過程。

7. Jorge Morán Ubidia (2015), *Construir con Bambú Manual de Construcción*, Beijing: INBAR [12].

國際竹與藤組織（INBAR）的竹構造施工手冊，內容包括：竹材挑選與加工、基礎與設備施作、竹接頭的介紹與製作、結構系統介紹、竹構造的施工與養護等並提供大量圖片說明。

3.2 國內外相關設計規範

1. American Society of Civil Engineers(1996), Standard for Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Engineered Wood Construction, AF&PA/ASCE 16-95[13]。

此規範為美國之木構造建築物設計規範，以載重與抵抗力因子設計法 (Load and Resistance Factor Design, LRFD, 即極限狀態設計法) 作為木結構之設計方法。規範中提供了不同極限狀態之載重組合與抵抗力因子，以及各類構材之設計計算公式。

2. 中華民國內政部營建署(2003), 木構造建築物設計及施工技術規範[14]。

此規範為台灣現行之木構造建築物設計規範，以容許應力法作為木結構之設計方法，並提供常見樹種之容許應力參考值。規範除了詳細說明構材設計與分析方法外，也納入了框組式構造相關的設計指引及防火相關規定。

3. ISO(2004), Bamboo - Structural Design, ISO 22156:2004[15]。

此文件為 ISO 提供之竹結構設計規範，適用於圓竹、竹片及竹集成材，並採極限狀態設計法 (Limit state design)，內容包括：構造的安全性、使用性、耐久性等。此文件也說明接頭試驗須符合 ISO 6891 及 ISO16670 兩篇木構造設計標準。

4. 中国工程建设标准化协会(2016), 园竹结构建筑技术规程：CECS434[16]。

此規範將竹構造建築視為木構造建築的一種，其內容包括：材料、結構設計、載重、構件、基礎、接頭、構造、防火與隔音、保溫節能與通風空調、構材之防護、施工與驗收的基本規定。

5. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017), Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú [17]。

此文件為祕魯之竹構造技術規範，內容包括：竹材介紹、材料之力學強度、結構分析與設計、施工流程、竹接頭設計等，其中對竹構造的施工流程與各種接頭的製作方式提供相當詳細的圖解說明。

6. ISO(2019) , Bamboo Structures - Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo Culms - Test Methods , ISO 22157:2019[18] 。

此 ISO 文件內容包含竹材的選用、採樣、儲存等一般性規定，以及竹材的含水率、密度、單位質量等物理性質與竹材力學強度之測試方法。

7. ISO(2021) , Bamboo Structures - Bamboo Culms - Structural Design , ISO 22156:2021[19] 。

此文件為 ISO 提供之最新版竹結構設計規範，與舊版 ISO 22156:2004 所不同的是，規範僅適用於圓竹，並採容許承載容量設計法（Allowable load-bearing capacity design, ACD）且提供了各種調整係數，內容包括：基本設計原則、環境之服務等級、各項構材的詳細設計方法、耐久性影響等。規範中特別引進了輕質水泥竹框架（LCBF）系統，可作為竹結構之剪力牆，最後於附錄中也提供各式竹接頭之範例。

3.3 大跨距薄殼竹構造建築案例

由於竹材具備質量輕、高抗壓、抗彎、抗拉性能等優點，國內外已有許多將竹材用於大跨距或薄殼之建築案例，用途諸如室內或室外之展覽館、餐廳、圖書館與步行橋等等。本節列舉國內外之大跨距竹構案例，並說明其用途與相關資訊。

1. 雲林農博生態園區餐廳及戶外棚架

此案例為台灣大藏聯合建築師事務所所設計，位於雲林虎尾。建築師將農博基地作為竹構築的大型實驗場所，常設設施如大門入口棚架、餐廳、廁所等空間都採用竹構造，如圖 3.1 所示。此案例皆使用雲林石壁地區之孟宗竹作為主要結構材料，再結合鋼材形成大型的薄殼或桁架結構。



(a) 傘狀竹構屋頂的餐廳



(b) 大門入口棚架

圖 3.1 雲林農博生態園區之竹構造 (取自 <https://architdz.com/>)

2. 故宮南院生命之樹竹構穹頂

此案例為台灣大藏聯合建築師事務所所設計，位於嘉義故宮南院。此案例使用相同長度之竹稈，以互持方式交錯形成一大跨距薄殼圓頂，此薄殼結構除接地支承端使用金屬件輔助接合外，其餘接頭皆以繩索綁紮方式完成。此案例位於戶外，作為展覽與活動使用，如圖 3.2 所示。



圖 3.2 故宮南院生命之樹竹構穹頂（取自 <https://architdz.com/>）

3. ZCB 竹亭

ZCB 竹亭（ZCB Bamboo Pavilion）為香港中文大學建築學院所設計，建造於香港九龍灣零碳天地(ZCP)。此案例由一座四層樓高、跨度 37m、撓曲主動竹網格殼結構構成，佔地面積約 350 平米，可容納 200 人，如圖 3.3 所示，作為舉辦推廣永續與低碳生活之展覽、活動使用。此結構之材料使用張力薄膜與 473 支天然竹桿，並使用廣東竹鷹架技術以手工方式綁紮。



圖 3.3 ZCB 竹亭（取自 <https://www.archdaily.com/>）

4. 鑽石島社區中心

此案例為越南武重義（Vo Trong Nghia）建築師所設計，位於越南胡志明市鑽石島。整個社區中心內有八座巨大竹亭，提供當地居民及遊客舉辦派對、宴會等活動，也能作為餐廳使用。其中兩個最大的竹亭為直徑 24 公尺、高度 12.5 公尺之竹構雙層圓頂結構，

如圖 3.4 所示，外層的屋頂形成深簷以保護竹結構免受陽光與暴雨的影響。



圖 3.4 鑽石島社區中心之大圓頂（取自 <https://www.archdaily.com/>）

5. Jenny Garzón 步行橋

此案例為哥倫比亞 Simon Velez 建築師與哥倫比亞城市發展研究所、國家培訓學院等機構共同完成設計之步行橋。此步行橋使用南美刺竹（瓜多竹）為材料，由拱結構承擔主要垂直載重，以達到大跨距之效果，如圖 3.5 所示。此步行橋總長度為 45.6 公尺，平均高度為 5.8 公尺。



圖 3.5 Jenny Garzón 步行橋（取自 <https://www.ideassonline.org/>）

6. 2000 年世博 ZERI 展館

此案例為哥倫比亞 Simon Velez 建築師所設計，為 2000 年德國漢諾瓦世博之零浪費

基金會(Zero Emissions Research and Initiatives)展館。此展館之總寬度為 80 公尺，總高為 14.4 公尺，如圖 3.6 所示。此展館之材料主要使用南美刺竹（瓜多竹），構件彼此以金屬件與螺栓輔助接合，並於接合處之空心竹管內灌注砂漿。



圖 3.6 2000 年世博 ZERI 展館（取自 <https://www.zeri.org/>）

7. Guanacas 人民之家圖書館

此案例為哥倫比亞 Simón Hosie 建築師所設計，為哥倫比亞西南部考卡省的一個小自治市之圖書館，為 2004 年第十九屆哥倫比亞建築雙年展的獲獎作品。此案例為兩層樓之竹構造，平面略呈橢圓狀，中央挑高之大跨距空間為閱覽區，作為此圖書館空間之主體。



圖 3.7 Guanacas 人民之家圖書館（取自 <https://bambusecologico.blogspot.com/>）

第四章 專家小組會議

本計畫邀集竹、木構造相關領域學者、設計專業人員、相關研究機構及主管機關代表組成專家小組，定期召開會議，針對本土竹構造設計規範草案提供架構建議、審定內容、檢視其與國內現行相關法規之相容性。本計畫之專家小組成員如表 4.1 所示：

表 4.1 竹構造專家小組成員

姓名	職稱	服務單位	專長經驗與本計畫之關係
甘銘源	建築師	大藏聯合建築師事務所	竹構造專業設計人員
林雅茵	建築師	林雅茵建築師事務所	竹構造專業設計人員
林裕仁	博士	行政院農業委員會林業試驗所	研究機構代表
施忠賢	結構技師	施忠賢結構技師事務所	竹結構專業設計人員
陳冠帆	結構技師	原型結構工程顧問公司	竹結構專業設計人員
陳威成	專委	內政部營建署建管組	建築管理主管機關代表
陳啓仁	教授	國立高雄大學建築學系	木構造專家學者
黃盈賓	博士	工業技術研究院中分院	研究機構代表
葉玉祥	助理教授	國立高雄大學建築學系	木構造專家學者

本計畫總共召開五次專家小組會議，如表 4.2 所示，五次會議之討論議題及專家意見詳見 4.1 節至 4.7 節。另外，專家小組成員林雅茵建築師於會後來函提出討論內容列於 4.4 節，甘銘源建築師於會後討論內容列於 4.6 節。

表 4.2 竹構造專家小組會議列表

會議	日期	形式
第一次專家小組會議	110 年 4 月 8 日	實體會議
第二次專家小組會議	110 年 5 月 4 日	實體會議
第三次專家小組會議	110 年 6 月 8 日	視訊會議
林雅茵建築師會後建議	110 年 6 月 8 日	來信建議
第四次專家小組會議	110 年 8 月 10 日	視訊會議
甘銘源建築師會後討論	110 年 9 月 1 日	視訊會議
第五次專家小組會議	110 年 9 月 24 日	視訊會議

4.1 第一次專家小組會議

時間：110 年 4 月 8 日，上午 10：00

出席人：甘銘源建築師、林裕仁博士、林雅茵建築師、施忠賢結構技師、陳冠帆結構技師、陳威成專委、黃盈賓博士、葉玉祥助理教授、李台光博士

主持人：杜怡萱教授

記錄人：張三酉

會議討論紀錄（按發言順序排列）：

杜怡萱教授：

- (1) 本案為內政部建研所協同研究「竹構造設計技術研究」，目的在於透過國內專家小組協助審議訂定竹構造設計規範草案，目前預計以 ISO22156 作為主要的參考規範，輔以其他規範加以增改。
- (2) 竹材的相關強度資料可能要提供保守的容許應力建議值放在附錄，如果設計者實際進行試驗，可以試驗值取代建議值，保留設計者自由選擇的空間。
- (3) 關於限制竹構造的高度跟規模與否，如建築技術規則已經加以限制非防火構造的規模，也不必在竹構造規範裡明文限制。
- (4) 由於竹材的材料測試方法沒有 CNS 可以參考，考慮到立法程序的複雜性，援用國際測試規範還是儘量於規範解說而非正式條文中說明。
- (5) 結構設計的相關規定可簡化為構件與接頭，規定力學行為與基本原則，避免對結構系統加以限制或規定，以保留設計者的自由度。耐震設計上，竹構造不適用週期經驗公式，可能需另外做模態分析。
- (6) 竹構造的施工與取材需要制定標準，並且規定要有施工說明書。材料的分類可能要透過竹種區分，同時也能透過提供國內竹種的數據來鼓勵使用國內材。
- (7) 可透過在規範的開頭載明「本規範適用竹構造或竹混合構造」以納入竹構造相關的混合構造。

施忠賢結構技師：

- (1) 如果本竹構造規範以 ISO 規範為基礎出發，可以像美國的鋼構規範整合容許應力與極限應力法。為了避免竹材的容許應力參考值過於保守，可以像 ISO22156 一樣不提供參考值，請設計者使用自己試驗得到的容許應力值。如果真的需要在規範中提供容許應力參考值，儘量放在附錄就好。
- (2) 建議不要直接規定竹構造的高度或規模，可依據非防火構造的高度規定辦理。
- (3) 結構設計方面，建議像 ISO22156 只訂一個簡略、原則性的架構，以避免後續修改的麻煩。
- (4) 採用竹構混合構造時，竹構以外的材料可能要根據其他構造規定去檢討，結構設計者只要知道竹子傳多少力給其他構造就可以計算。
- (5) 竹構造的結構分析或許可以像 ASCE 提供結構分析示範例，讓設計者能照著示範進行分析。

陳冠帆結構技師：

- (1) 竹構造規範的容許應力值可先引用國外數據，下一階段再進行實驗。
- (2) 竹構造建築目前只能作為非防火構造檢討，但儘量還是保留特殊審查的空間。
- (3) 竹構造耐震設計的 R 值通常最多取到 3.6，但因竹構造樓層數低，反而是風力控制。如果未來竹構造能突破 3 層樓，R 值影響結構設計的效應才會出來。
- (4) 如果要確保材料品質，雖然可以在規範中規定，但還是需要取材的人有心選擇品質夠好的材料，強度才會符合規範的需求。

林雅茵建築師：

- (1) 使用竹構造的優點是因為價格便宜，如規範太嚴格會降低竹構造的使用意願。
- (2) 材料分級雖然可以規定，但進場查驗很難落實。
- (3) 竹構造接合部的形式很多樣化且一再推陳出新，接合部的相關規定應可涵蓋新式接

頭之可能性。

- (4) 竹構造設計方面，制定規範的意義是在於確保一般性的使用，讓每個人就算不做試驗也可以採用竹構造。這方面其實很兩難，竹構的構造形式可能有比目前有的更多種，一旦規定太多又會限制設計的空間。
- (5) 竹材性能的測試規範可以參考印尼的 SNI 8020:2014 與 SNI 7944:2014 兩篇規範。
- (6) 竹材有搭配其他材料做成混合構造的可能，比如以竹子搭配土做成牆壁，如此一來可以彌補竹材怕火的缺點。但在以往的經驗中，使用規範沒有提及的混合構造時，會很難說服承辦或業主。因此混合構造的內容是否能加入這次的竹構造規範？

林裕仁博士：

- (1) 目前竹構造規範可只規定原則性的架構，如以後有增加內容的需要，可以像木構造規範以補充的方式增加內容。
- (2) 在現階段缺乏相關資料的狀況下，儘量不要規定竹材處理的方式，就連木構造規範的相關規定也是累積很多年才有一定的資料參考。
- (3) 竹材來源方面，原則上應鼓勵使用國內材。
- (4) 建議竹材之材料分級暫不加以明確定義。

葉玉祥助理教授：

- (1) 竹材的防火測試或許能透過性能評定中心。
- (2) 如果混合構造沒有被納入在規範裡，不一定設計能比較自由，大多時候是沒有寫在規範中的構造就不能使用。

甘銘源建築師：

- (1) 竹構造建築不太可能像木構造一樣做成防火構造，實務面通常以一定規模以下適用非防火構造檢討，而建築技術規則已有限制非防火構造的高度，竹構造可不用再規定。

- (2) 竹材的年份可於處理的時候看出來，但經過處理就難以看出，對於材料查驗之落實有一定的困難度。
- (3) 竹材料的含水率是很基本的要求。含水率會影響竹材的收縮、開裂問題，竹構造規範可能要像木構造規範一樣規定竹材含水率要趨近環境含水率。

李台光博士：

- (1) 建築技術規則總則編有提及若 CNS 無相關規定時，是否能依國際標準辦理。

陳威成專委：

- (1) 竹構造規範訂出相關原則以外，建議可以再加入施工規範，因業界較關心竹構造有無標準做法。
- (2) 若要求每次設計都進行材料試驗，會增加成本，建議竹構造規範還是提供容許應力值，如使用者要以試驗值取代規範容許值，可參考風洞試驗規定試驗容許值不可以超過規範的百分之幾。使用者進行竹材實驗得出的試驗值換算為容許值的方法也需要評定標準與相關機構。
- (3) 建議在竹構造規範中直接限制竹構造建築的樓高，連同使用年限與使用方式。

黃盈賓博士：

- (1) 竹材的挑選方式可提供一個參考標準值，只要超過這個值就算符合品質。
- (2) 竹材產業技術諮詢中心的竹知識庫有三篇竹材基本性質的資料可以參考。
- (3) 竹構造規範的設計章節建議分為元件與整體，比如說竹子的元件雖然耐燃性差，可是敷上土後的土角厝具有一定的防火性能。制定規範時應該要考慮現在市場需求的規模，並朝這個方向制定規範。

4.2 第二次專家小組會議

時間：110 年 5 月 4 日，下午 2：00

出席人：林裕仁博士、林雅茵建築師、施忠賢結構技師、陳冠帆結構技師、陳威成專
委、黃盈賓博士、葉玉祥助理教授、李台光博士

主持人：杜怡萱教授

記錄人：張三酉

ISO 22156:2004 各章節討論：

第一章：適用範圍

- (1) 竹構造規範章節架構參照台灣木結構設計規範，第一章為總則，1.1 節為適用範圍。
- (2) 第一段內容改為：本規範適用於竹構造建築物，包含竹材與複合構材製作之結構。
- (3) 文中的圓竹皆改「原竹」。
- (4) 第二段內容直接刪掉。

第二章：參考規範

- (1) 於材料性質的章節解說中加入「可以參考 ISO22157 或相關規範」。
- (2) 機械固件（Fastener）之中文名稱參考鋼結構規範決定。

第三章：術語與定義、第四章：符號與縮寫

- (1) 雖然之前的規範術語都是放在附錄，但現在新的規範都是放在前面。
- (2) 原竹、膠合集成竹的定義也要列入。
- (3) 其他術語有需要的時候再隨時列入。

第五章：基本要求

- (1) 第五章的內容比較像結構設計原則，可以納入第一章的 1.2 節。

- (2) 5.1 節總則的內容可以保留。
- (3) 5.2 節意外事件可改為「結構設計應盡力使其不危害生命安全為原則」。
- (4) 5.5 節的例外條款可加入「經直轄市縣市主管機關認定者，不適用本規範要求」，其餘內容放解說即可。

第六章：設計觀念

- (1) 第六章的內容可納入第一章總則。
- (2) 6.1 節的意思應為不能使用經驗法則代替，可保留此節內容。
- (3) 6.2 節的例外包含傳統經驗與評估報告，放在解說即可。
- (4) 前世代的經驗建議改為傳統經驗，其內容除工法以外也包含材料等等。
- (5) 傳統經驗的描述中，「公眾的智慧」建議改為「共同的智慧財產」。
- (6) 6.3 節替代設計可改為「依建築技術規則總則編第四條，允許使用與本標準不同的替代設計規範」。

第七章：結構設計

- (1) limit state 目前翻譯為界限狀態。
- (2) 7.2.1 節原文為特徵值，相較於標稱強度比較有統計上的意義，此處可以沿用特徵值。
- (3) 後續再參考鋼結構 LFD 與美國木構極限狀態設計法，訂出載重因子。
- (4) 7.5 節確實施工改為施工要求，可再討論是否改到其他章節。

第八章：基本假設

- (1) 此章節可與設計方法納為同一章。
- (2) 內容加上「考慮」不完全筆直、漸變斷面與竹節間距，如何考慮交給專業者判斷。
- (3) 「白努力定理」可刪除。

第九章：梁（主要受撓曲作用）

- (1) 第一句統一為計算臨界點處的應力。
- (2) 維持長度超過直徑 25 倍則不需檢查剪力的條款。

其他討論事項（按發言順序排列）：

杜怡萱教授：

因台灣沒有竹材的 CNS 測試方法，現階段需引用 ISO22157 進行竹材測試。

第十章以後的內容請各專家另找時間閱讀，接下來會先以這次討論結果先參考台灣木構造設計規範擬訂初稿。

林雅茵建築師：

需要考慮結構計算與現場的關係，可能有幾百支竹材一次進料，尺寸很容易不一樣。而且竹材通常是買全竹才會節省，可能從頭到尾用在很多不同地方。

葉玉祥助理教授：

現場竹材規格不確定的問題，其實就是 7.5 節所講的設計假設應與施工一致，設計時使用多大的竹材斷面施工時就應選擇那種。

陳冠帆結構技師：

在規範的開頭盡量不要干擾設計者使用容許應力或極限狀態設計法。

竹構造的規範的章節建議比照木結構。

傳統工法例外條款應該要避免鑽漏洞的可能，如何認證傳統工法很重要。

林裕仁博士：

木構造設計規範的總則只有適用範圍，不太完整，設計觀念與要求應該要併入總則。
傳統工法的認證還是需要請專家認定。

施忠賢結構技師：

現在許多歐洲的規範都是使用特徵值而不是標稱強度，如果要順應國際潮流，我們的規範應該要使用特徵值。

下次會議可能就要訂出載重組合的載重因子，可參考美國木結構規範。

陳威成專委：

我們擬定的雖然叫做「建築物設計規範」，但如果是有申請雜照的廣告看板也會需要遵守規範。

建築技術規則的精神是如有國家規範則用國家規範，如沒有國家規範才能使用國際規範。

4.3 第三次專家小組會議（視訊會議）

時間：110 年 6 月 8 日，下午 2：00

出席人：林裕仁博士、林雅茵建築師、施忠賢結構技師、陳冠帆結構技師、陳威成專委、陳啓仁教授、黃盈賓博士、葉玉祥助理教授

主持人：杜怡萱教授

記錄人：張三酉

會議討論紀錄（按發言順序排列）：

杜怡萱教授：

- (1) 目前完成之竹構造規範草案為參考 ISO 22156:2004、台灣木構造設計規範與秘魯竹構造技術規範擬定之版本，但不久前 ISO 22156 出了 2021 版，因此接下來會改為套用新的 ISO 22156 的內容來修改草案。
- (2) 新版 ISO 22156 的內容使用部分安全係數設計法（PSFD）。上次的會議雖然有討論到規範是否要同時納進容許應力設計法與極限狀態設計法（LRFD），現在我們的規範是否依照 ISO，使用 PSFD 就好。如果還是要納入 LRFD，就還需要參考美國木構極限設計法規範。
- (3) 關於傳統工法之適用認定，我們可以訂出原則性的規定，在實際執行上可能比較接近 case by case 的情形。
- (4) 因目前沒有竹構的 CNS 測試方法，也無法由我們制定，只能在解說寫可參考 ISO 22157 或其他相關規範。沒有 CNS 規範的問題我們會在期中報告反應給建研所。

陳啓仁教授：

- (1) PSFD 相對於容許應力法取的安全係數比較寬鬆，算是改良版的容許應力法。
- (2) 竹構造規範應可以納進風土或傳統建築，讓這些建築不再是非法構造。現在規範草案雖然有新增 1.1.2 節的特例條款，但解讀上較為接近用新材料新工法，如此一來

小規模的構造較難適用。我建議規範新增關於本土認證的內容，傳統工法的測試數據也可以慢慢累積起來。

- (3) 如果使用傳統與現代混合的工法，就應與其他新的建築物一樣，需要被科學驗證。無論是什麼工法，材料與接點的強度等等都應該要能被計算出來，除非完全使用傳統工法才能使用經驗法則。
- (4) 關於傳統工法的適用認定，竹構造規範應該要起到指導性的作用，否則地方政府可能不想認定。
- (5) 重要的補充內容可以放在解說，解說的地位可等同本文，但附錄就不屬於條文的一部份。

施忠賢結構技師：

- (1) PSFD 相較於容許應力設計法較為詳細，安全係數也分為較多種，應是目前的趨勢。
- (2) 建議我們的竹構造規範除了 PSFD 以外還是可以保留 LRFD。

陳冠帆結構技師：

- (1) 新版 ISO 提到 LRFD 的部分其實也沒有很清楚。我們或許可以像 ISO 這樣保留一個標題或章節，將來要新增內容會比較容易。

林裕仁博士：

- (1) 秘魯規範第七章裡關於竹材特性的內容應納進竹構造規範。(註：已納入)
- (2) 竹構造規範可以新增 1.1.3 小節將傳統工法的適用認定方式納入正式條文。

林雅茵建築師：

- (1) 規範如可納進傳統工法，對於傳統工法的推動會有很大的幫助。另一方面，部分使用傳統工法的新構造應也要能適用規範。
- (2) 閩式建築與原住民建築一樣都屬於傳統工法，我們規範所指的傳統工法不應將閩式

建築排外。

- (3) 竹構造規範的數據來源要透過實驗取得，但業主不一定有足夠的經費做實驗，這會是一個問題。
- (4) 傳統工法的適用認定如果限制基地區位，可能會有問題，原住民建築雖然都在特定的地方，但閩式建築分佈範圍較廣，可能難以認定。

陳威成專委：

- (1) 關於傳統工法之適用認定問題，就如上次討論所說，放寬給地方政府去認證，地方政府對當地的工法或狀況也比較了解。
- (2) 竹構造規範目前關於「前世代的經驗」解說部分，因為是翻譯內容所以敘述語法不太通順，需要再調整。
- (3) 目前如要制定一個竹構測試的 CNS 規範，可能要先有一個完整的研究，再向主管機關提案。另一種替代方法是直接將測試方法定在竹構造規範裡，不過制定在 CNS 還是比較正規的方法。

黃盈賓博士：

- (1) 秘魯規範雖然有規定明確的竹種，但台灣用來建築的竹種其實也只有固定幾種，竹種限制可以不必再加以規定。
- (2) 傳統工法方面，除了能依照經驗法則設計以外，如可以慢慢累積傳統工法相關的測試數據會很好。

葉玉祥助理教授：

- (1) 關於傳統工法的適用認定，目前規範所寫的雖然是「經過遷移」就不適用，但 ISO 的原文是 migration，似乎並非完全指地理性的遷移，也沒有明定認定的單位，可能由不同的人來認定會有差異。

4.4 林雅茵建築師會後建議

4.4.1 林雅茵建築師 2021 年 6 月 8 日來信內容：

關於今天稍早會議中討論到關於前世代的經驗一節，如果從保存與活化傳統文化技藝，以及推廣竹構應用的角度來看，我覺得在實務上應可能會遇到如下幾種情況，補充提出供大家參考與指正。

我覺得這些情況如果要全交由地方建管單位來認定，恐有實質上的困難，故而建議仍能進一步釐清。

一、老建物

- (1) 古蹟、歷史建築
- (2) 不具古蹟、歷史建築身分

二、新建

- (1) 傳統材料、工法、型制、特定族群祖居地之內(如原住民族)
- (2) 傳統材料、工法、型制、特定族群祖居地之外(如原住民族)
- (3) 傳統材料、工法、型制、無法指認特定地理區域範圍(如閩式、客家式)

以上關於傳統型制的認定恐會有爭議，需進一步釐清。

- (4) 傳統材料、工法、新舊混和型制或新型制
- (5) 傳統材料、新舊混和工法、新舊混和型制或新型制
- (6) 傳統材料、新工法、新型制

而從政府推廣與協助的角度論，關於無法適用此節(前世代的經驗)的狀況，在實務上則非常需要政府在材料工法構造試驗的部分提供協助，以幫助人民在經濟合理的情形下合法建築。

另外，會後我很大略地瀏覽了一下這份新的規範(ISO_22156_2021(en)，雖然其中的相關計算我多半看不太懂，不過似乎了解了為何您會決定以此規範而非木構規範為藍本。事實上木構與竹構在設計的層面上是相當不同的，而這份規範已開始從竹材的特性與竹

構設計的特殊性去做考量。

期待臺灣能做出一份最有參考性的竹構規範。謝謝您。

4.4.2 林雅茵建築師 2021 年 6 月 10 日來信內容：

因為下一次的討論已經是期中報告了，而心中還有一些存在已久的疑問，我不知道自己想的對不對，幾經斟酌覺得放棄這個表達的機會日後會後悔，所以決定還是提出來。

我一直在想設計規範這個東西到底是甚麼，應該要有甚麼功能。裕仁博士上次會議中提到秘魯的規範後，我才好好地看了一下這次成大辛苦做出來的中文翻譯(很慚愧)，也才比較清楚我一直以來的困擾到底是甚麼。

即使沒有木構設計規範或竹構設計規範，其實只要建築師設計得出來，業主又有錢做一些必要的材料，接頭甚至構造試驗，那麼對木構與竹構已有了解與經驗的結構技師以現有的分析方法，自行作一些假設，應該就有辦法完成結構計算，讓建築師可以請照。只是如果有了這份規範，對其他有興趣但沒有經驗的技師而言，要做竹構應該就會容易得多。

然而我想，既是設計規範，除了探討後階段的結構分析計算(也就是結構技師的工作)之外，也應該能對前階段的結構設計(也就是建築師的工作)具有參考價值。從這個角度來看，秘魯的規範相當程度地做到了，遺憾的是在接頭強度的部分仍未有相關數據，當然也談不上各類接頭設計的破壞機制與相應的設計策略與規範建議。不過相較之下，設計者依據這份規範已經能夠簡單地入手進行設計，並且因為結構分析計算的方法已經開始從竹構設計的角度來探討，因此結構分析所得的數據與結果似乎也能夠有效地回饋設計者，讓設計調整的方向與方法對設計者而言變得比較具體，不會那麼抽象，並能在設計策略的調整與選擇上提供有效的依據及彈性空間。

從國外早期的規範(實在說沒有太大參考與應用價值)到這次看到的秘魯規範和新的 ISO 22156，我覺得最大的進展是規範制定者已經開始掌握到竹的特點及竹構設計與法規面的需求，並且逐步地做出回應。

不過雖然有這些國外的成果作為基礎，我也了解台灣要自己制定一份優質而完善的規範，並藉此起到推廣竹構的目的，現在才是起步而已。

無論何種構造，在我看來，基礎研究與各項有效數據的累積都是決定該構造的規範是否具有實質內容的一項很核心與必要的工作，而這也恰恰是目前臺灣要發展竹構最缺乏的一個環節。除了結構力學的面向，還有耐久性與防火等等各種面向都需要探討。此外，竹材亦經常與其他材料工法結合為混合構造來提升耐久性，防火性及穩定性，這也是另一項很值得加以探討的課題。

幸而建研所與成大的這項計畫讓此事有了一個很好的開始，加上杜主任又召集到了這麼多優秀的前輩專家一同來共襄盛舉，我相信若能有更長遠的規劃與持續努力，此事的成功是很可以期待的。

雖然一直有在用竹子，但是直到 2012 年到比利時去參加了第九屆世界竹會之前，我想像不到這種材料在現代工業社會還能得到翻身的機會，並且也能開始在臺灣重新受到重視。因為機緣難得，所以不管說對說錯，都很珍惜並感到榮幸能有這樣的參與機會。

也藉此跟大家說聲抱歉，雖說在學校曾得到老師盡心教導過，但是對於結構分析的認識實在淺薄，如果因此說了甚麼外行話或佔用了大家太多時間，還請大家能夠繼續包涵與包容。謝謝。

4.5 第四次專家小組會議（視訊會議）

時間：110 年 8 月 10 日，下午 2：00

出席人：林裕仁博士、林雅茵建築師、施忠賢結構技師、陳冠帆結構技師、陳威成專
委、黃盈賓博士、葉玉祥助理教授

主持人：杜怡萱教授

記錄人：張三酉

竹構造規範草案各項議題討論：

1.1.1 節之竹構建築物的高度限制：

- (1) 原條文限制竹構造建築不得超過 7m 與兩層樓可能過於嚴格，限制了竹構造未來發展空間，因此放寬為 9m 與三層樓。
- (2) 建築技術規則已對建築物高度加以定義（ex.斜屋頂計算簷高），此規範中不需重複定義，可直接沿用建築技術規則定義於解說說明。
- (3) 如建築師欲設計更高，則適用 1.1.2 條文。
- (4) RC 之上增建木構或竹構的混構會有認定上的問題，執行面上很難去定義。

1.1.1 節之規範適用與不適用範圍：

- (1) 本規範目前雖只適用於圓竹建築物，但保留未來納入集成竹之可能性，刪除不適用集成材之規定。
- (2) 原條文關於竹構造適用於小型商業、輕工業建築等用途限制，但這些建築都沒有明確的定義，此段予以刪除。
- (3) 刪除原條文兩項不適用對象，僅保留不適用於鷹架。

1.1.2 節向中央主管機關申請不適用本規範之規定：

- (1) 此節內容是指與規範不同之設計要提交內政部審查，事實上在磚、木構規範都有類

似條文，但從來沒有人使用過。後文關於傳統經驗的內容可往前移至本處解說。

2.7 節耐久性之敘述：

- (1) 此節耐久性考量第三點「建築外殼應具備足夠滲透性以減輕室內加熱、通風或空調產生之負壓」，可能與第二點所述之「細部或設計保持通風乾燥」雷同，但目前遵照 ISO 22156 的寫法，予以保留。「室內加熱」建議改為「室內暖房」。

3.2 節之竹材弓形偏差限制：

- (1) 此節引用祕魯規範之規定，限制竹材弓形偏差不得超過 0.33%，然而許多傳統建築所使用之竹子弓形偏差皆很大，甚至刻意選用彎曲的竹子，因此此項弓形限制予以刪除。

4.2.1 節極限狀態設計法的安全係數/強度折減係數引用來源：

- (1) 本規範極限狀態設計法的強度折減係數與載重組合一律套用 ASCE 的規定，較為統一。
- (2) 不建議用同等強度標準比較極限設計法與容許應力法，不同的設計法具有不同的需求面或特性，建議本規範新增極限設計法與容許應力法的計算例。

4.2.2 節缺乏竹構造適用之韌性容量 R 值：

- (1) 本規範的 R 值可直接對應到耐震設計規範，如為剪力牆系統，可使用輕構架剪力嵌版之值 3.2，如為框架式系統可使用 4.0。
- (2) 竹構造主要受風力所控制，R 值多寡的影響並不大。

4.3.1 節之容許應力法說明：

- (1) 第 7 項「設計應力之決定應與木結構採用相似的方法」之敘述應為多餘，予以刪除。

6.2 節「LCBF 板系統」：

- (1) 本規範可保留 LCBF 系統之內容，並加入本土的編竹夾泥牆系統，並將各系統之細節置於附錄。
- (2) 章節順序上應先說明本土工法，因此建議 6.2 節改為編竹夾泥牆，6.3 節為 LCBF 系統。
- (3) 圖 6.2-1 說明第 7 項之「鍍鋅金屬網」原文為「galvanised metal lath」，建議改翻為「鍍鋅金屬板條」。
- (4) 規範附錄中對 LCBF 系統高度規定有區分一般地區和強震強風區，因台灣全為強震強風區，故一律適用強震強風區之高度限制，一般地區之高度限制予以刪除。

第七章「作為混凝土或泥土之補強材」：

- (1) 此章節為舊版 ISO22156 內容，於新版 ISO22156 已刪除，建議本規範予以保留。7.2 節所述之竹筋混凝土雖涵蓋到編竹夾泥牆，但此章的內容可視為通則，編竹夾泥牆只是竹筋的一種做法。

舊版規範之竹合板、竹纖維板相關內容：

- (1) 舊版規範的竹板相關內容應保留，建議應合併至材料章節，不適合放在剪力牆章節。
- (2) 內容中提及之塑合板原文是 particleboard，翻譯成合板較佳。

舊版規範之品質管控相關內容：

- (1) 舊版規範之品質管控內容為「品質保證手冊」，其敘述較接近工廠的標準化生產而非建築的施工，在此規範中並不合適。
- (2) 本規範應獨立一章節說明品質管控，說明材料進場驗收相關的內容，內容可詢問大藏建築師事務所之建議。

可制定之 CNS 標準建議：

- (1) 可建議制訂的 CNS 標準包括竹材試驗標準或材料規範，可參考木構或磚構規範中所提到之 CNS 標準。

4.6 甘銘源建築師會後討論（視訊會議）

時間：110 年 9 月 1 日，下午 2：00

出席人：甘銘源建築師

主持人：杜怡萱教授

記錄人：張三酉

竹構造規範草案各項議題討論：

2.3 節劈裂敏感性：

除了可使用徑向束制避免劈裂，也能透過黑線纏繞、填入樹脂、端部留節等方式改善，可於解說列舉這些方式。

2.8 節高溫影響：

此節之適用對象為建造完成之竹材，竹材處理過程如高溫乾燥則不受此節限制。

3.2 節結構用竹材：

原第五點與第六點之竹材裂痕標準不一致，第五點修改為每支竹材不得有寬度超過 1mm 或通過竹節之裂痕。第六點之 20% 裂痕限制改為 10%。

5.9 節竹稈圓周面承載容量：

解說補充防止劈裂之方法，參照 2.3 節。

附錄：

應補充高溫乾燥等竹材處理之內容

4.7 第五次專家小組會議（視訊會議）

時間：110 年 9 月 24 日，下午 2：00

出席人：甘銘源建築師、林裕仁博士、林雅茵建築師、施忠賢結構技師、陳冠帆結構技師、陳威成專委、陳啓仁教授、黃盈賓博士、陶其駿博士

主持人：杜怡萱教授

記錄人：張三酉

竹構造規範草案各項議題討論：

6.1 節之剪力牆高寬比限制：

- (1) 原條文規定「牆體高度與長度比高於 2 者，皆視為不堅固」，考慮實際建築常用尺寸，並與 ISO22156 採一致標準，將高寬比限制放寬到 3。

6.2 節編竹夾泥牆：

- (1) 台式之編竹夾泥牆一般稱為「屏仔壁」，而非原標題括弧之「編泥牆」，為避免閱讀上的困難，文中直接稱之為「編竹夾泥牆」即可，並刪去括弧。
- (2) 編竹夾泥牆之「籬仔」在部分地區稱為「屏仔」，可括號備註。
- (3) 「倒竹」與「豎竹」改為「倒篴」與「豎篴」，並補充兩者之差異為竹皮與籬梗平行與否。
- (4) 圖例中編竹夾泥牆最外層於實際案例中不一定為白灰，建議改為「防水層或面飾層」。
- (5) 6.2.2 節之編竹夾泥牆設計性質決定調整為「應透過試驗或經試驗支持之相關佐證資料決定」

附錄四之施工品質管控：

- (1) 文中多次提到「廠商」、「承包商」、「主辦單位」等民間契約用語，本規範應比照法

規寫法，改為「設計單位」或「施工單位」等用語較為恰當。

- (2) 1.3 提到「廠商應委託國家認可之實驗室進行檢驗」，因竹構並無對應之 TAF 認證試驗機構，建議改為「宜由國內具有公信力之試驗機構辦理」。
- (3) 竹材檢驗之取樣方式應再更詳細規定，取樣數量應有依據，可參考木構之取樣標準。含水率之測量宜以含水率最高之竹頭為準。

其他討論事項：

- (1) 竹材相關之 CNS 規範雖然不多，但如 CNS 3219 或 CNS 16065 等既有之國家規範，應儘量引用至規範中。如含水率之測試方法即可引用 CNS 規範。
- (2) 規範中之單位應比照相關規範如木構造規範之寫法。
- (3) 規範文中之術語應前後一致並定義清楚

第五章 竹構造建築物設計規範草案

根據專家小組會議之討論結果，本計畫所擬定之竹構造建築物設計規範以 ISO 22156:2021 為主要參考規範，納入部分祕魯竹構造技術規範、ASCE16-95 之內容作為補充，並參考台灣現行之木構造建築物設計及施工技術規範之章節架構，以條文搭配解說之方式，草擬出規範草案，如下文之內容所示。

目錄

第一章	總則
第二章	結構設計觀念與原則
第三章	材料
第四章	結構分析
第五章	構材接合部
第六章	板構材
第七章	作為混凝土或泥土之補強材
第八章	建築物之耐久性與維護計畫
第九章	建築物防火
附錄 A	常見竹種力學性質
附錄 B	竹接頭的範例與分類
附錄 C	滿足第六章的 LCBF 組件設計
附錄 D	施工品質管控

第一章 總則

黃字：台灣木構規範

棕字：ISO22156

綠字：秘魯竹構規範

1.1 適用範圍

1.1.1 本規範適用於竹結構之設計，其主要承重結構由竹（圓竹、竹片、膠合集成竹）構成或由圓竹製成框架的剪力板系統構成。

竹構造建築物之簷高不得超過 9m，且不得超過二層樓。

本規範不適用於竹材建造之施工架結構。

（來源：ISO 第一章）

1.1.2 竹構造建築物之設計，經檢附申請書、結構計算及實驗或調查研究報告，向中央主管建築機關申請認可者，得不適用本規範一部或全部之規定。（參考磚構造設計規範 1.1.3）

【解說】

（一）本規範主要規定竹建築物結構及竹與其他構造併用建築物的竹構造部分之設計與一般施工要求，惟詳細之施工規範須由設計者另訂之。

（二）竹構造使用之竹材屬天然材料，其與鋼筋混凝土造或鋼構造等人工材料之結構不同。因此，進行竹構造之設計及施工時，應充分瞭解其特性。

（來源：木構 1.1）

（三）建築物之高度依建築技術規則施工編第一條規定，簷高為自基地地面起至建築物簷口底面或平屋頂底面之高度。

（四）符合下列之任一設計觀念可被視為遵守本規範。

(1) 過去世代的傳統經驗

如滿足以下條件，且過去世代的傳統經驗在當地受到妥善保存並傳承至今，則過去世代的經驗（即風土建築）可被視為非正規、未經編纂的「標準」。

(a) 其內容應為一般公認可達成足夠的結構性能。

(b) 其內容可被視為「古老而純粹的傳統」或「公眾智慧財」。

(c) 所在社區應被歸類為相對不受干擾的社會型態，並具備特定的社會模式。

(d) 所在社區了解施工技術並能夠進行所需的維護，維護對竹材而言相較其他建材更為重要。

傳統經驗的應用受到以下限制：

(a) 其內容僅能應用在類似情境。

(b) 其內容不可套用於不同尺度規模。

(c) 若經遷移，此等傳統的存在便不再具備自明性。

(2) 透過試驗確認之設計

如果結構構件或系統的組成或配置無法按照本規範的規定進行分析設計，可根據以下原則，透過試驗測試結果確認其結構性能及其符合本規範之意旨：

- (a) 測試應為足尺規模，並使用能夠代表所設計結構或與其等級相同的竹桿。
- (b) 測試時除了施予必要外力、變形與應力外，還需加載至破壞並記錄破壞模式。因此，僅進行「驗證測試 (proof-testing)」並不滿足本節要求。
- (c) 預期強度應根據至少 10 組相同試體之測試的第 10 百分位數評估，該值可為 3.4 節所定義之特徵值 $X_{0.05,0.75}$ 與 $X_{mean,0.75}$ 。未經任何書面解釋不得刪除任何測試結果。
- (d) 測試結果應以適合同儕審查的報告形式呈現。該報告應提供能重現測試的足量細節。

(3) 替代設計

依建築技術規則總則編第四條，允許使用與本規範不同的替代設計規範。

(來源：ISO 5.11)

1.2 術語與符號

1.2.1 術語

本規範所使用之術語，其意義如下：

弓形：因竹材為天然材料，竹桿為不完全筆直之構件，弓形偏差率為斷面中心偏差距相對於竹桿總長之比例。

反曲點、拐點：受彎構件之構件曲率與彎矩為零的位置。

外徑：一支竹子的橫截面直徑，通常取自節間中點附近，透過測量兩直交方向外側相對點距離的平均值，或周長的量測值換算。

平衡含水率：使竹材既不會從環境中吸收水分，也不會向環境流失水分的含水率。

竹片：竹片為竹桿縱向切割而成，包含完整內外層的竹材。

竹桿、竹竿：單支竹子。竹桿由整支完整斷面的竹子構成，除竹節以外之斷面通常為空心圓柱體。

竹節：竹桿中有橫膈壁之部位，區分相鄰節間。

竹蓆：透過剖開竹桿並打通竹節進行縱向切割以製成之扁平構件。

竹構造：建築中由數個竹材元件組成的結構或非結構部件。

竹齡：竹材砍伐時之生長年齡。

收縮：由於纖維經過飽和，導致竹材水份降低時體積縮小。

含水率：竹桿之水分重量比例，以乾燥後質量的百分比表示。

作用點：結構組件（通常為桁架）之相連構件承受之軸向載重合力相交的位置。

非贅餘：在傳力路徑中某個結構構件被移除或破壞時，若結構中沒有替代或足夠的傳力路徑可傳遞該構件所承擔之載重，則該構件為非贅餘構件。

桁條：通常為水平式元件，支撐於梁或柱上，用以將屋頂的均佈荷重傳遞至梁或柱。

處理過的木材或竹材：木材或竹材經由某種自然或化學程序，使去除濕氣或使其抵抗蛀蟲或腐朽。

剪力跨：受彎構件之最大彎矩與最近的反曲點之間的距離。

組件、多桿組件：由多支竹桿組成的結構構件，且多支竹桿組合時可作為單一結構構件共同作用。

接頭：兩支或多支竹構件的接合部。

乾燥：使竹材或木材減少水份含量的自然或人工工序。

韌性：透過試驗測定之極限位移與降伏位移的比例。

圓竹：竹子的原始狀態。

節間：兩個竹節之間的竹桿中空區域。

綁紮：以材料連續網綁接頭區域來連接竹桿的方法。

輕量水泥竹框架 LCBF：源自拉丁美洲的改良式風土建築技術，以條狀、扁平狀或小直徑竹材固定在竹或木框架上，再使用水泥砂漿抹灰製成的剪力牆。

編竹夾泥牆：台灣本土的閩式建築技術，於構架內以竹篾或五節芒編成骨架，再以黏性高之壁土抹灰製成的牆工法。

壁厚：竹桿壁的厚度，通常取自節間中點附近，沿桿斷面圓周間隔 90°角進行四次測量並取平均值。

膨脹：因為竹材元件水份增加至纖維飽和，造成體積增長。

橫隔板：結構元件，通常為水平或輕微傾斜，用以將水平載重傳遞至支撐的牆體或炭板。

斷面積：垂直於桿軸方向的截斷面面積。

斷面漸變度：因竹材為天然材料，竹桿頭尾斷面大小具有差距，斷面漸變度為最小和最大外徑之差與長度的比值。

續接：兩支竹桿沿軸向連接，用於將結構構件長度延伸到超過單桿之長度。

纖維飽和點：如含水率低於纖維飽和點，只有細胞壁中的水分會留存，即細胞腔中無自由水的狀態。

(來源：ISO 第三章)

(來源：秘魯第五章)

【解說】

- (1) 輕量水泥竹框架的水泥砂漿抹灰使用小尺寸金屬網補強，另一種方式是將水泥砂漿直接塗在固定於框架之擴張金屬網上。此種系統也被稱為“bahareque encementado”或複合竹剪力牆。
- (2) 非贅餘構件的破壞會導致其所在傳力路徑之破壞。
- (3) 剪力跨通常假設等於受均佈載重之簡支梁跨度的一半或受側向載重之柱子高度的一半。

1.2.2 符號

本規範所使用計算式、圖、表中之符號，除特殊規定外，其意義如下：

A 單桿的斷面積

A_{min} 構成構件的最小單桿斷面積

a	構件的剪力跨長度
B	彎矩放大係數
b	LCBF 板長度
b_{max}	從竹桿橫截面中心到竹桿末端中心連線的最大直交偏差距
b_0	竹桿為受壓構件時，於中央高度處測得最大弓形偏差距
C	LCBF 端部構件因抵抗傾覆力矩所受的壓力
C_{bow}	竹桿為受壓構件時，用以考慮初始弓形的折減係數
C_{DE}	彈性模數的修正係數，用以考慮服務等級與載重持續時間
C_{DF}	強度的修正係數，用以考慮服務等級與載重時間
C_{EB}	端部支承條件的修正係數
C_R	構件贅餘度係數
C_T	高溫修正係數
C_v	考慮剪力變形的修正係數
C_0	考慮竹桿軸向與載重夾角的修正係數
c	柱相互作用方程式的校準參數
D	標稱桿徑
D_{dowel}	插梢直徑
d	受彎構件的總深度
Δ_u	接頭極限位移
Δ_y	接頭降伏位移
E_d	設計使用之彈性模數
E_k	根據相關規範測定，具有 75% 可信度之平均特徵壓力彈性模數
$(EI)_d$	設計使用之元件撓曲剛度
$(EI)_k$	具有 75% 可信度之平均特徵元件撓曲剛度
F	施加於 LCBF 之水平力（風力或地震分析）
F_b	插梢之容許承載力
F_{resf}	與受軸力或受彎構件之軸方向垂直的束制力
FS_c	元件安全係數
FS_j	接頭安全係數
FS_m	材料安全係數
F_y	接頭強度
F_{yk}	具有 75% 可信度的第 5 百分位數接頭特徵強度
f_c	根據相關規範測定之平行纖維抗壓強度
f_i	表示竹材容許設計強度的通用符號
f_{ik}	具有 75% 可信度的第 5 百分位數特徵強度
f_m	根據相關規範測定之平行纖維抗彎強度
f_{m90}	根據相關規範測定之垂直纖維抗彎強度
f_t	根據相關規範測定之平行纖維抗拉強度

f_{t90}	根據相關規範測定之垂直纖維抗拉強度
f_v	根據相關規範測定之抗剪強度
h	LCBF 板之高度
I	單桿的慣性矩
I_{\min}	構成構件的最小單桿慣性矩
K	有效長度係數
K_e	接頭之剛度
K_{ek}	具有 75% 可信度之特徵平均接頭剛度
K_M	用於圓周面承載計算之係數
KL	有效受壓構件長度
$k_{\text{mean},0.75}$	計算 75% 可信度特徵平均值之係數
$k_{0.05,0.75}$	計算 75% 可信度特徵第 5 百分位數之係數
L_{cir}	圓周面承載區域沿竹桿軸向的長度
L	構件長度
L	受軸力構件之側向束制點間的工作長度
LCBF	輕量水泥竹框架
M	單桿或多桿元件繞其主軸彎曲時的撓曲強度
M_{cd}	設計彎矩
M_r	單桿或多桿構件的彎矩強度
M_u	受彎構件所承受之最大彎矩
w	竹材之含水率
w_{EMC}	平衡含水率
w_{FSP}	竹材於纖維飽和點之含水率
w_M	測試時之含水率
N_c	單桿或多桿元件的平行纖維抗壓強度
N_{cd}	設計壓力
N_{cr}	受軸力構件的壓力強度
N_t	單桿的平行纖維抗拉強度
N_{td}	設計拉力
N_{tr}	受軸力構件的拉力強度
n	材料或元件測試之試體數量
n	組成一個構件的竹桿數量
P_b	未填充之竹桿端部承載強度
P_c	受壓構件的壓潰強度
P_{cir}	未填充竹桿的圓周面承載強度
P_e	受壓構件的挫屈強度
P_u	受壓構件所承受之最大軸力
p_{cir}	圓周面承載均布壓力

S	單桿彈性斷面模數
s	位於同一縱向中心線上的最小插梢間距，或插梢與載重方向上最近之竹節或桿端部的距離
T	LCBF 端部構件因抵抗傾覆力矩所受的拉力
V	材料或元件測試之平均值除以標準差所得之變異係數
V	單桿或多桿元件繞其主軸彎曲時的剪力強度
V_b	LCBF 抵抗水平作用力之基底剪力
V_r	單桿或多桿構件的剪力強度
$X_{0.05}$	材料或元件測試之第 5 百分位數
$X_{0.05,0.75}$	具有 75% 可信度之特徵第 5 百分位數
X_i	表示竹構件容許設計強度的通用符號
X_{ik}	具有 75% 可信度的第 5 百分位數元件特徵強度
X_{mean}	材料或元件測試之平均值
$X_{mean,0.75}$	具有 75% 可信度之特徵平均值
α_y	起始降伏地震力放大係數
β	圓周面承載區域之圓心角
δ	標稱竹桿壁厚
θ	施加於插梢連接件上的載重與竹桿軸向之夾角
μ	接頭韌性
ψ	相鄰插梢中心線之圓心角
ϕ_i	強度折減係數之通用符號

第二章 結構設計觀念與原則

2.1 結構設計基本原則

結構的設計和建造應使其：

- (1) 在考慮預期壽命和成本的情況下，保持可使用的狀態。
- (2) 能夠承受在施工和使用過程中可能發生的所有外力作用與影響，並具備足夠的耐久性。
- (3) 結構設計應使其遭遇爆炸、撞擊或人為過失等意外事件時，不致危害生命安全。

2.2 設計方法

竹結構設計應以計算為本，確認結果並未超過相應極限狀態、容許承載強度或容許應力，並滿足以下前提：

- (1) 結構由具有適當資格與經驗的專業設計人員設計。
- (2) 結構由具有適當技能和經驗的人員建造。
- (3) 在工廠與現場的生產過程得到充分監督與品質管控。
- (4) 依照本規範或相關材料、產品規範中的規定妥善使用建築材料與產品。
- (5) 結構得到充分維護。
- (6) 根據設計之預期方式使用結構。

(來源：ISO 5.1、5.2)

【解說】

2.3 劈裂之影響

竹桿容易發生縱向劈裂。劈裂通常與竹桿的含水率變化有關。劈裂之發生可能衍生非贅餘構件，並可能需要更換構件或結構中的竹桿。

劈裂的影響在設計中可透過假設的情境進行檢討，其中假設劈裂發生於構件或接頭中最不利的位置。在此劈裂狀態的構件或接頭應至少保留其強度之 75%。如不能保留 75% 的強度，則在設計構件或接頭時應假設劈裂會發生，並於設計中對強度加以折減。

使用徑向束制可部分減少劈裂的影響。

(來源：ISO 5.3)

【解說】

以線材纏繞是常見的徑向束制方式，除徑向束制外，填入樹脂或於竹桿端部留竹節也

可能提高竹桿之抗劈裂能力。

2.4 贅餘度

應儘可能不使用非贅餘結構、構件或元件。

構件贅餘度係數 C_R 之定義如表 2.4-1 所示。

表 2.4-1 構件贅餘度係數 C_R

結構之構件贅餘度	C_R
非贅餘	0.90
贅餘	1.10
其餘結構	1.00

(來源：ISO 5.4)

【解說】

(一) 非贅餘構件

非贅餘構件應符合以下條件之一。

- (1) 將該承重構件從結構或傳力路徑中移除將導致結構破壞。
- (2) 該承重構件由多桿製成，如從多桿組件中移除任何單桿都會導致構件破壞。

(二) 贅餘構件

贅餘構件應符合以下條件。

由四個以上相同剛度的結構構件連接到連續載重分配路徑（例如樓板小梁、椽、桁條或桁架的情況），此外符合下列兩點之一。

- (1) 連續載重分配路徑能夠重新分配載重。
- (2) 結構構件之間相距不超過 60cm，載重分配構件至少連續兩個跨度，且載重分配構件中的任何接頭都是錯開的。

(來源：ISO 5.4)

2.5 使用性之注意

應考慮結構或其元件發生變形可能對結構使用性與居住性、裝修材及非結構元件所造成的影響。

(來源：ISO 5.5)

2.6 服務等級

竹結構的構件應根據竹材所暴露之環境分類為 2.6.1、2.6.2 或 2.6.3 所指定的服務等級之一。這些服務等級與竹子的力學性能有關。與耐久性相關的使用等級規定於 2.7 節。同一結構中的不同元素或構件可能為不同的服務等級。

2.6.1 服務等級 1

竹材中的平衡含水率如不超過 12%，歸類為服務等級 1。

服務等級 1 代表相對濕度保持在 65% 以下的室內空調或暖房環境。

2.6.2 服務等級 2

竹材中的平衡含水率如不超過 20%，歸類為服務等級 2。

服務等級 2 代表大多數的室內非暖房或非冷房環境，但相對濕度經常或長期超過 85% 的環境除外。

2.6.3 服務等級 3

如環境或氣候條件導致竹子含水率高於服務等級 2，歸類為服務等級 3。

服務等級 3 的載重持續時間係數(C_{DF} 與 C_{DE})與高溫修正係數(C_T)應透過試驗決定。

(來源：ISO 5.6)

2.7 耐久性

竹結構設計時應加以預先考慮，確保結構的耐久性。

耐久性為竹材在預期使用壽命期間，處於預期服務環境時抵抗幾何、物理或力學性能退化的能力。火災的影響於第九章中討論。

目前已知沒有任何竹材對生物性侵襲具有顯著的天然抵抗力。竹材應被視為「不耐久的」，需要加以維護以防止下列情況之發生：

- (1) 真菌侵襲。
- (2) 蛀蟲與白蟻的侵襲。
- (3) 蛀船蟲的侵襲（暴露在海洋環境時）。

對竹材的處理應證明不會影響竹材的力學性能（強度與剛度），或者根據第三章測定竹材處理後的力學性能。

耐久結構需滿足下列考量：

- (1) 建造時應確保竹材已達到建築物所在位址之平衡含水率 w_{EMC} 。含水率 w 不得超過纖維飽和點 w_{FSP} ，如果纖維飽和點為未知，可假設 $w_{FSP}=30\%$ 。
- (2) 建築細部應設計成使竹材可保持通風乾燥，並確保如果竹材暫時受潮，在材料變質前能再次乾燥。
- (3) 建築外殼應具備足夠滲透性以減輕室內暖房、通風或空調產生之負壓，這些負壓可能使竹材吸入水分或濕氣。

(來源：ISO 5.7)

【解說】

(一) 使用等級

結構中的竹材應根據其所處的環境分類為 ISO 21887 定義的使用等級之一。表 2.7-1 總結了使用等級與基本耐久性注意事項。

除設計壽命少於 5 年的結構外，竹材不應使用於等級 3.2。任何竹材不得使用於等級 4 與等級 5。

表 2.7-1 使用等級、耐久性考慮與適當的維護措施

使用等級	服務狀態	典型用途	針對生物性侵害的保護		
			真菌	昆蟲	白蟻
1	室內，乾燥	構架，屋頂構件	-	是	是
2	室內，偶爾潮濕 (可能結露)	構架、屋頂構件、地面 層小梁、外牆框架	是	是	是
3.1	室外，位於地面以上並 免受雨水和紫外線侵襲	受保護的室外構架與雜 項工作物	是	是	是
3.2 ^a	室外，位於地面以上且 暴露於大氣環境中	未受保護的室外構架與 雜項工作物，包括飾 面、垂直承重構件、未 受保護的裸露桿端	是	是	是
4.1 ^b	與地面接觸或位於地下	地面上的底板或柱子、 埋入地下的柱子或樁	是	是	是
4.2 ^b	深入地下，淡水中	樁	是	是	是
5 ^b	海水或鹹水中	包括飛濺區在內之海洋 樁	是		

^a 竹材不應使用於 3.2 類，但設計壽命少於 5 年之結構除外。
^b 竹材不得使用於此等級。

(二) 金屬元件防鏽蝕

金屬連結物和其他結構連接件應具備耐鏽蝕性或施予防鏽保護措施。

(來源：ISO 5.7)

(三) 相關試驗標準

竹材耐久性相關之試驗宜根據下列 CNS 標準：

CNS452 木材含水率試驗法

CNS3219 加壓注入防腐處理竹材

CNS16065 木竹材之抗黴性試驗法

2.8 高溫影響

溫度升高時，竹材的強度與剛度會降低。高溫對竹材的影響是立即的，程度則取決於竹材含水率。如溫度未超過 65°C，恢復到正常環境溫度後，高溫的暫時影響是可逆的。如長時間暴露在高於 65°C 的環境下，會導致竹桿強度與剛度的永久損失。將竹材冷卻至低於正常環境溫度時，其強度會增加。

對於一般溫度波動與偶爾高溫且不超過 65°C 的環境，本規範的參考設計值仍可適用。

竹材不得用於長期暴露在 50°C 以上或短期暴露在 65°C 以上環境的結構。

此節之高溫影響意指建造完成之竹材所受之高溫，竹材處理過程如高溫乾燥不受此節限制。

(來源：ISO 5.8)

【解說】

本節所稱之「短期」意指數小時至不超過 24 小時之情形；「長期」意指 24 小時至數日或數週之情形。

2.9 維護、檢查與替換之注意

竹桿可能因各種原因在使用時發生縱向劈裂或以其他方式損壞。

應儘可能對竹承重構件的維護與檢查制定措施，特別是構成非贅餘傳力路徑之構件。

應儘可能考量未來替換結構中之單桿或構件的需求。

(來源：ISO 5.9)

【解說】

2.10 桁架

(1) 桁架為構件以鉸接方式接合之組件，包含平面(2D)或空間(3D)桁架結構。桁架可使用多桿構件。在平面桁架中，所有構件與接點應對稱於桁架平面。在空間桁架中，接點處所有構件之排列應使其作用線交於作用點。

(2) 構件應設計至能抵抗 4.4.2 節規定之軸壓力與拉力。對於受壓構件，構件之長度 L 應取挫屈方向束制點間的長度且有效長度係數 $K=1$ (4.4.2.2 節)。構件之設計

應能抵抗 4.4.1 節規定之彎曲。

- (3) 桁架壓力弦之每處接頭應受支撐以防止面外挫屈與側向變形。側向束制應提供足夠的約束與剛度，以抑制束制點的側向移動。束制力應能夠抵抗垂直於桁架平面的作用力 F_{resc} ， F_{resc} 根據 4.4.2.2 節計算。
- (4) 拉力弦與壓力弦應儘可能在桁架的剪力跨上連續。可使用續接構件，續接接頭應按第五章之規定設計。
- (5) 桁架接頭應設計成提供最小限度的轉動束制，在一般情況下不傳遞彎矩給連接之構件，即「鉸接」。桁架接頭應按第五章之規定設計，以抵抗根據 4.1 節之分析求得之設計力。
- (6) 桁架之分析應包括接頭之變形。
- (7) 必要時應考慮接頭元件之潛在挫屈。

(來源：ISO 第十一章)

【解說】

第三章 材料

3.1 一般規定

元件與材料性質應於代表竹材預期服務等級的含水率下測定。
元件所測定之性質為元件強度或剛度。作為結構構件的元件強度可以透過單桿或多桿組件測定。組件強度可透過分級推斷。

(來源：ISO 6.1)

【解說】

材料性質宜根據 ISO 22157 規定之材料測試測得。元件強度或剛度可由材料性質乘上幾何參數計算。

註：材料性質的例子如破壞應力或彈性模數。將壓應力(f_c)乘以斷面積(A)可求得元件承載強度(Af_c)。同理，將彈性模數(E)乘以慣性矩(I)可求得元件撓曲剛度(EI)。

(來源：ISO 6.1)

竹材宜根據 ISO 19624 進行分級並推定其元件或材料性質。單項工程竹材長度超過 10000m 時，應採用分級。

如果不採用 ISO 19624 之分級規則，則應採用以下的簡化分級程序：

- (1) 竹資源應經過目視挑選並納入 ISO 19624:2018 第 6 章列出之所有條件與幾何性質。
- (2) 與設計相關之特徵力學、物理與幾何性質應根據 ISO 19624:2018 之 8.2 節決定。
- (3) 元件之撓曲剛度或彈性模數與剪力強度應於每 2000m 竹材進行一次例行評估。如果這些參數之平均值較設計使用值低 10% 以上，則需對所有性質進行全面評估。

(來源：ISO 第十四章)

3.2 結構用竹材

- (1) 竹材砍伐時的竹齡應在四年到六年之間。
- (2) 竹材的含水率必須符合所在地的平均濕度。當建築使用新鮮的竹材時，應考慮所有注意事項，確保竹材乾燥後能保持設計所預期的結構性質。
- (3) 竹材必須保有良好的自然耐久性，並阻擋外在破壞因子（煙、濕氣、蛀蟲、霉菌等）。
- (4) 每支竹材的斷面漸變度不得超過 1.0%。
- (5) 每支竹材不得有寬度超過 1mm 或通過竹節之裂痕。
- (6) 若是竹材的枝幹有等於或高於 10% 的裂痕，即認定為不適用於建築。
- (7) 所有竹材在未使用之前皆不得有蛀孔。
- (8) 不得使用有任何腐朽情況的竹材。

(來源：秘魯第七章)

【解說】

3.3 竹板構材

3.3.1 一般規定

在另有竹板的 CNS 出現前，竹板構材應符合以下規定。

3.3.2 竹膠合板

竹膠合板片為竹篾編織膠結而成，或以多層竹條交叉膠結而成。竹膠合板的生產應使其對應所指定的服務等級，在整個結構的預期壽命中保持完整性和強度。其結構性質測試可根據木膠合板之相關國家規範進行。

3.3.3 合板和纖維板

竹合板和纖維板的生產應使其對應所指定的服務等級，在整個結構的預期壽命中保持完整性和強度。其結構性質測試可根據木合板和纖維板之相關國家規範進行。

3.3.4 黏著劑

黏著劑應使竹板能保持整體性。

(來源：ISO 第十三章:2004)

【解說】

3.4 特徵值

3.4.1 具 75% 可信度之特徵平均值

材料或元件性質應根據相關規範進行測試，並計算為特徵值，其具有 75% 的可信度可代表全體數據。具 75% 可信度之特徵平均值應根據式 3.4-1 計算：

$$X_{\text{mean},0.75} = X_{\text{mean}} \left(1 - \frac{k_{\text{mean},0.75} V}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.4-1)$$

其中

$X_{\text{mean},0.75}$ 為具有 75% 可信度之特徵平均值。

X_{mean} 為測試之平均值。

$k_{\text{mean},0.75}$ 為表 3.4-1 所示用於計算 75% 可信度特徵平均值之係數。

V 為測試之平均值除以標準差所得之變異係數。

n 為試體數量。

表 3.4-1 $k_{\text{mean},0.75}$

試體數量 n	$k_{\text{mean},0.75}$
3	0.82
5	0.74
10	0.70
30	0.68
50	0.68
100	0.68
>100	0.67

3.4.2 具 75% 可信度之特徵第 5 百分位數

具 75% 可信度之特徵第 5 百分位數應根據式 3.4-2 計算：

$$X_{0.05,0.75} = X_{0.05} \left(1 - \frac{k_{0.05,0.75} V}{\sqrt{n}} \right) \quad (3.4-2)$$

其中

$X_{0.05,0.75}$ 為具有 75% 可信度之特徵第 5 百分位數。

$X_{0.05}$ 為需要以測試數據內插計算之第 5 百分位數。

$k_{0.05,0.75}$ 為表 3.4-2 所示用於計算 75% 可信度特徵第 5 百分位數之係數。

V 為測試之平均值除以標準差所得之變異係數。

n 為試體數量。

表 3.4-2 $k_{0.05,0.75}$

試體數量 n	$k_{0.05,0.75}$
5 ^a	—
10 ^a	—
30	2.01
50	1.94
100	1.85
>100	1.76

註：

^a 很難從少量數據獲得第 5 百分位數

(來源：ISO 12122-1)

【解說】

材料、元件性質之測試及特徵值之測定若無可參考之 CNS 標準，可參考 ISO 22157、ISO 12122 或其他相關國際規範。

台灣常見竹種之材料性質建議值可參考附錄 A。

3.5 構件容許設計強度

構件的容許設計承載強度應以元件特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如式 3.5-1 所示：

$$X_i = X_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times (1/FS_c) \quad (3.5-1)$$

其中

X_i 為構件設計強度。

X_{ik} 為具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵構件強度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{0.05,0.75}$ 。

X_i 可為下列強度：

N_t 為單桿的平行纖維抗拉強度。

M 為單桿或多桿元件繞其主軸彎曲時的撓曲強度。

V 為單桿或多桿元件繞其主軸彎曲時的剪力強度。

C_R 為 2.4 節之構件贅餘係數。

C_{DF} 為表 3.5-1 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

表 3.5-1 強度之載重持續時間係數 C_{DF}

載重持續時間	2.6 節定義之服務等級		
	1	2	3
永久與長期載重	0.60	0.55	詳見 2.6.3
短期載重	0.75	0.65	
瞬時載重 (風與地震)	1.00	0.85	

C_T 為表 3.5-2 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 3 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

表 3.5-2 高溫係數 C_T

	2.6 節定義之服務等級		
	1	2	3
$T \leq 38^\circ\text{C}$	1.00	1.00	詳見 2.6.3
$38^\circ\text{C} < T \leq 52^\circ\text{C}$	0.90	0.90	
$52^\circ\text{C} < T \leq 65^\circ\text{C}$	0.80	0.80	

FS_c 為表 3.5-3 所示之元件安全係數。如使用極限狀態設計法，則另依 4.2.3 規定。

表 3.5-3 元件安全係數 FS_c

	N_c	N_t	M	V
FS_c	2.0	2.0	2.0	4.0

(來源：ISO6.3)

【解說】

- (1) 由於軸向載重強度取決於許多因素並受挫屈不穩定性影響，因此抗壓強度無法被拆成分量計算。
- (2) 剪力的 FS_c 為撓曲的兩倍，以確保受彎構件由「撓曲臨界」行為控制並有助於減輕劈裂現象。
- (3) 設計單桿或多桿構件時應使其不受扭力作用。

3.6 容許設計強度

材料的容許設計強度應依照 3.4 節測定之材料特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如式 3.6-1 所示：

$$f_i = f_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times (1/FS_m) \quad (3.6-1)$$

其中

f_i 為容許設計強度。

f_{ik} 為具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵強度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{0.05,0.75}$ 。

f_i 可為以下強度：

f_c 平行纖維抗壓強度。

f_t 平行纖維抗拉強度。

f_m 平行纖維抗彎強度。

f_v 抗剪強度。

f_t 垂直纖維抗拉強度。

f_m 垂直纖維抗彎強度。

C_R 為 2.4 節之構件贅餘度係數。

C_{DF} 為表 3.5-1 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係

數應選擇組合中載重持續時間最短者之對應係數。

C_T 為表 3.5-2 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

FS_m 為表 3.6-1 所示之材料安全係數。如使用極限狀態設計法，則另依 4.2.3 規定。

表 3.6-1 材料安全係數 FS_m

	f_c	f_t	f_m	f_v	f_{t90}	f_{m90}
FS_m	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	2.0

3.6.1 應用容許應力時的竹桿幾何尺寸

當應用容許設計強度來計算元件強度時，竹桿的幾何性質測定方式如下：

D 為在分級程序中測定的竹桿標稱直徑。此外，對於在整個長度範圍內直徑變化量小於 10% 的竹桿，以兩端部測量之直徑平均值作為桿徑 D 。對於在整個長度範圍內直徑變化量大於 10% 的竹桿，以該桿長度範圍內最小直徑作為桿徑 D 。

δ 為在分級程序中測定的竹桿標稱壁厚。此外，對於桿壁厚從竹桿一端至另一端之變化量小於 10% 的竹桿，以兩端部測量之壁厚平均值作為桿壁厚 δ 。對於桿壁厚從竹桿一端至另一端之變化量大於 10% 的竹桿，以兩端部之最小壁厚作為桿壁厚度 δ 。

單桿斷面積依式 3.6-2 計算：

$$A = (\pi/4) \times [D^2 - (D - 2\delta)^2] \quad (3.6-2)$$

單桿慣性矩依式 3.6-3 計算：

$$I = (\pi/64) \times [D^4 - (D - 2\delta)^4] \quad (3.6-3)$$

單桿彈性斷面模數依式 3.6-4 計算：

$$S = (\pi/32D) \times [D^4 - (D - 2\delta)^4] \quad (3.6-4)$$

(來源：ISO6.4)

【解說】

剪力的 FS_m 為撓曲的兩倍，以確保受彎構件由「撓曲臨界」行為控制並有助於減輕劈裂現象。與剪力相似，垂直纖維抗拉行為 f_{t90} 為脆性破壞，需調高安全係數。

設計單桿或多桿構件時應使其不受扭力作用。

3.7 元件撓曲剛度

設計中使用的元件撓曲剛度 $(EI)_d$ 依式 3.7-1 計算：

$$(EI)_d = (EI)_k \times C_{DE} \times C_T \quad (3.7-1)$$

其中

$(EI)_k$ 為具有 75% 可信度之平均元件特徵撓曲剛度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{\text{mean},0.75}$ 。
 C_{DE} 為表 3.7-1 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。

表 3.7-1 模數之載重持續時間係數 C_{DE}

載重持續時間	2.6 節定義之服務等級		
	1	2	3
永久與長期載重	0.50	0.45	詳見 2.6.3
短期載重	1.00	0.95	
瞬時載重（風與地震）	1.00	0.85	

C_T 為表 3.5-2 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應使用該係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需使用該係數。

（來源：ISO6.5）

【解說】

3.8 彈性模數

設計中使用的彈性模數 E_d 依式 3.8-1 計算：

$$E_d = E_k \times C_{DE} \times C_T \quad (3.8-1)$$

其中

E_k 為具有 75% 可信度之平均特徵壓力彈性模數。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{\text{mean},0.75}$ 。
 C_{DE} 為表 3.7-1 所示之服務類別與載重時間修正係數。

C_T 為表 3.5-2 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應使用該係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需使用該係數。

（來源：ISO6.6）

【解說】

第四章 結構分析

4.1 一般規定

4.1.1 載重

計算應力與變形所採用之載重，應依據實際狀況且符合建築技術規則之規定。另外，施工載重或其他特殊載重亦應一併考量。

(來源：木構 3.2)

4.1.2 基本假設

竹構件和竹結構的設計應基於應用力學原理計算。通常，竹結構的基本假設如下：

- (1) 竹材於容許應力下，模擬為線性材料。
- (2) 竹桿之模擬滿足伯努利梁定理（即平面維持平面）。
- (3) 竹桿保守模擬為空心管，其斷面尺寸為桿之最小尺寸
- (4) 如有精確的直徑、壁厚、漸變度資訊，可更精準地模擬竹桿形狀。

- (5) 應考慮不筆直構件引起的二次效應。因假設其為彈性，應依照相應缺陷採用彎矩或軸力放大係數（如 4.4.2.5 節定義之 B）。
- (6) 除非可由試驗數據證明半剛性（彈簧）或固接的合理性，竹結構中的接頭應假設為鉸接。接頭或接合部剛度於 5.3 節中定義。
- (7) 在考慮接頭剛度之分析中，應計入接頭的變形或滑移。
- (8) 在決定靜不定竹構架中的載重時，應考慮因接合部與構件剛度變化引起的傳力路徑變化。應盡量對結構載重傳遞路徑進行敏感性分析。可透過分級準則或其他合理方式評估構件與接頭剛度參數預期變化之範圍。
- (9) 在決定竹結構的振動周期時，應考慮接頭和構件剛度的變化，因這些變化可能顯著影響結構振動週期的計算結果。

（來源：ISO 第七章）

【解說】

- (1) 本節所指的是將物理現實的建築結構「轉譯」為用於執行設計計算的數學模型之過程。
- (2) 竹節不會以固定的間隔出現，這在實務上是個問題，因接頭或支承設置於竹節附近較佳。
- (3) 大多數情形下，可使用平均斷面尺寸來建模。

4.1.3 應力計算

各構材之斷面應力，應小於對應之容許應力或滿足極限狀態之要求。

4.1.4 剛性檢討

設計結構物各構材及接合部時，其受力後之變形不得妨礙建築物使用性。

4.1.5 結構物之增強

在考量結構設計之假設條件、製造及施工狀況、材料缺點、劣化等因素時，結構物構材及接合部應視必要性予以增強。

（來源：木構 5.1）

【解說】

- （一）構材與接合部除強度上需滿足安全性外，尚需避免因剛性不足引致之使用性障礙，例如樓板梁振動過大引起之不適感或作業障礙、門窗等開關之障礙、天花粉飾材之龜裂等，故剛性或撓度之計算檢討乃為必要。
- （二）在設計風力或地震力作用下，各構材之應力將有可能達到比例限度，屆時變形

量將劇增，應力之容許餘裕不多，故需注意因計算上之誤差或其他考慮不周而引起這類之問題。另外，如竹材腐朽等可能發生之劣化現象亦需考慮，尤其是重要之結構體，應以增加斷面來因應。

(來源：木構 5.1)

4.2 極限狀態設計法

4.2.1 極限狀態

極限狀態指結構不再滿足設計性能要求的狀態。極限狀態分為最終極限狀態和使用性極限狀態。

最終極限狀態指的是結構倒塌或其他可能危及人身安全的結構破壞形式。結構倒塌前的狀態，若簡化視為等同於倒塌，也被歸類為最終極限狀態。最終極限狀態意指以下兩項：

- (1) 結構整體或任何一部分發生不穩定。
- (2) 因過大的變形或力量導致破壞，造成結構整體或任何一部分（包括支承和基礎）斷裂或喪失穩定性。

使用性極限狀態指不再滿足特定使用需求準則之狀態。使用性極限狀態意指以下兩項：

- (1) 產生過大的變形或撓度，對結構外觀與使用機能造成影響（包括設備或使用性的失效），或導致裝修或非結構元件損壞。
- (2) 產生過大振動，導致人員不舒服、限制使用功能效率、造成建築本身或其內容物損壞。

(來源：ISO7.1:2004)

【解說】

設計時應確認未超過臨界極限狀態。所有關鍵的設計情境與載重類型都應考慮在內，並考慮作用力的方向或位置可能存在的誤差。

計算應納入所有相關變數並使用適當的設計模型（必要時透過試驗加以補充）。模型應足夠精確以預測結構行為，並與（人力）施工水準及設計依據資訊之可靠性相稱。

(來源：ISO7.3:2004)

4.2.2 載重組合

結構及其構件所需提供之強度，須依係數化載重組合後之臨界狀況決定。臨界狀況可能在一種或多種載重作用時發生，其對應之標稱載重與載重組合應依據建築技術規則及相關規範之規定辦理。若建築技術規則及相關規範中並無相關規定，則須

檢核下列之載重組合：

$$1.4D$$

$$1.2D + 1.6L$$

$$1.2D + 0.5L \pm 1.6W$$

$$1.2D + 0.5L \pm E$$

$$0.9D \pm E$$

$$0.9D \pm 1.6W$$

其中，

D = 靜載重，結構物構件重量及永久附加物重量。

L = 活載重，包括室內人員、傢俱、設備、貯存物品、活動隔間等。

W = 風力載重，依據「建築物耐風設計規範及解說」之規定。

E = 地震力載重，依據「建築物耐震設計規範及解說」之規定，惟其中起始降伏地震力放大係數 α_y 取 1.0。

(來源：鋼構 2.2)

【解說】

竹構造之結構系統韌性容量 R 依「建築物耐震設計規範及解說」規定，若為構架系統，建議 R 可取 4.0，若為剪力牆系統，建議 R 依輕構架剪力嵌版系統取 3.2。

4.2.3 強度折減係數

使用極限狀態設計法之構件強度與接頭強度依 3.5、3.6 與 5.2 節規定，並以強度折減係數代替安全係數項 ($1/FS_c$ 、 $1/FS_m$ 或 $1/FS_j$) 計算構件強度與接頭強度。

強度折減係數如表 4.2-1 所示：

表 4.2-1 強度折減係數 ϕ_i ($1/FS$)

用途	符號	強度折減係數	備註
平行纖維壓力	ϕ_c	0.90	用以代替 3.5 或 3.6 節之 $1/FS_c$ 或 $1/FS_m$
平行纖維撓曲	ϕ_b	0.85	
挫屈穩定	ϕ_s	0.85	用以計算 4.4.2.3 節之挫屈強度
平行纖維拉力	ϕ_t	0.80	用以代替 3.5 或 3.6 節之 $1/FS_c$ 或 $1/FS_m$
垂直纖維拉力	ϕ_{t90}	0.65	
垂直纖維撓曲	ϕ_{m90}	0.65	
剪力/扭矩	ϕ_v	0.65	
接頭	ϕ_z	0.65	用以代替 5.2 節之 $1/FS_j$

(來源：ASCE16-95)

【解說】

使用極限狀態設計法進行設計時，以強度折減係數代替安全係數項計算構件強度與接頭強度。3.5 節之構件設計強度改依 4.2-1 式計算：

$$X_i = X_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times \phi_i \quad (4.2-1)$$

3.6 節之材料設計強度改依 4.2-2 式計算：

$$f_i = f_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times \phi_i \quad (4.2-2)$$

5.2 節之構件設計強度改依 4.2-3 式計算：

$$F_y = F_{yk} \times C_{DF} \times \phi_i \quad (4.2-3)$$

其中

X_i 為極限狀態設計法之設計強度。

X_{ik} 為具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵構件強度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{0.05,0.75}$ 。

f_i 為極限狀態設計法之設計強度。

f_{ik} 為具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵強度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{0.05,0.75}$ 。

F_y 為極限狀態設計法之接頭設計強度。

F_{yk} 為根據 5.1 節所測定具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵接頭強度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{0.05,0.75}$ 。

C_R 為 2.4 節之構件贅餘係數。

C_{DF} 為表 3.5-1 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

C_T 為表 3.5-2 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 3 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

ϕ_i 為強度折減係數之通用符號，如表 4.2-1 所示。

使用極限狀態設計法計算構件設計強度、材料設計強度與接頭設計強度時應對應不同元件、材料或接頭行為，選擇相應的強度折減係數 ϕ_i 。例如計算平行纖維抗拉強度 f_t 時，應使用 $\phi_t = 0.8$ 進行強度折減。

4.3 容許應力設計法**4.3.1 容許應力**

使用容許應力設計法之構件強度、接頭強度、撓曲剛度與彈性模數由特徵值推導，依 3.5、3.6、3.7 與 3.8 節規定。

【解說】

從特徵值推導設計應力，應遵循以下規則。

(1) 強度和剛度參數應基於材料在結構中受力類型之對應測試來決定，或根據相似竹

種或竹基材料的類比，或根據不同性質之間的確定關聯推定。

- (2) 應確保尺寸安定性和環境行為可滿足所指定的需求。
 - (3) 應特別注意來自不同地區的材料之間的差異。
 - (4) 由於特徵值的計算乃根據破壞前應力和應變維持線性關係之假設，因此個別構件的強度驗證也應基於此等線性關係。
 - (5) 結構行為通常可藉由線性材料模型（彈性行為）來予以評估。
 - (6) 服務等級應根據 2.6 節，依區域內出現的溫度和相對濕度來定義。
- （來源：ISO7.2.2:2004）

4.3.2 載重組合

設計應力係依據建築結構狀況與設計載重，經由結構力學理論分析求得。另外，應考量依據建築物用途之特殊載重、施工中載重或其他載重。構材設計時，應依建築技術規則之規定，以最不利之載重組合所得之應力為構材之設計應力。載重組合可參考下表 4.3-1 所示。

表 4.3-1 容許應力設計法之載重組合

載重狀態	符號	一般地區	多雪地區
長期	經常	D+L	D+L+S ₂
短期	積雪時	D+L+S ₁	D+L+S ₁
	暴風時	D+L+W	D+L+W D+L+S ₃ +W
	地震時	D+L+E	D+L+S ₃ +E
	火災時	D+L	D+L+S ₂

其中

D：靜載重

L：活載重（有施工載重時應計入）

S₁：雪載重，依屋頂斜率或落雪情況得適當折減

S₂：多雪地區之雪載重（最深積雪量之值的 70%），依屋頂斜率或落雪情況得適當折減

S₃：多雪地區之雪載重（最深積雪量之值的 35%），依屋頂斜率或落雪情況得適當折減

W：風力

E：地震力

其他載重包括施工載重與溫差載重等。

（來源：木構 3.5）

【解說】

4.4 構件設計

4.4.1 受彎構件

4.4.1.1 一般規定

- (1) 受彎構件所受之彎矩應小於或等於 4.4.1.3 節所定義之構件彎矩強度 M_r 。
- (2) 受彎構件所受之剪力應小於或等於 4.4.1.3 節所定義之構件剪力強度 V_r 。
- (3) 受彎構件的設計強度應儘可能不受剪力破壞模式主控。

4.4.1.2 多桿組合受彎構件

- (1) 多桿組合受彎構件應對稱於彎曲軸之直交軸，且總深寬比不應大於 3。深寬比大於 1.5 的構件應滿足本節之側向支撐要求。
- (2) 排列成三角形束的多桿組合受彎構件應使三角形之一邊對齊構件的壓力面。
- (3) 多桿組合受彎構件中的竹桿應儘可能保持接觸。在任何情況下，竹桿間之淨距不得超過構件中的平均桿徑。
- (4) 多桿組合受彎構件之組裝應使幾何性質之頭尾變化不超過 10%，通常將構件之竹桿頭尾方向交互組裝。
- (5) 多桿組合受彎構件之相鄰竹桿連結部需配置於所有無支撐長度的末端，且間距不得大於較小桿徑之 10 倍。連結部應根據第四章之要求進行設計，在構件相鄰桿間之三個主軸方向皆至少能傳遞 1.5 kgf/cm 之力量。
- (6) 多桿組合受彎構件之側撐要求

當多桿組合受彎構件之構件繞強軸受彎且深寬比超過 1.5 時，需要配置滿足以下條件的側向支撐：

- (a) 構件壓力側之側向束制間隔不超過構件寬度之 10 倍。
- (b) 構件的壓力側與拉力側在所有支承端都受到側向束制。
- (c) 側向束制應提供足夠的約束與剛度，以抑制束制點的橫向移動。作用於構件之所有束制應能夠共同抵抗垂直於受彎構件軸向的總和力 ΣF_{resf} ，其不小於式 4.4-1 之計算值：

$$\Sigma F_{resf} \geq (M_u/d) \times 0.04 \quad (4.4-1)$$

- (d) 個別側向束制應能夠抵抗垂直於受彎構件軸向的力量 F_{resf} ，其不小於式 4.4-2 之計算值：

$$F_{resf} \geq (M_u/d) \times 0.015 \quad (4.4-2)$$

其中

M_u 為受彎構件所受之最大彎矩。

d 為受彎構件之總深度。

(e) 總束制力 ΣF_{resf} 應按構件束制點間距之比例分配。

(f) 側向束制應連接到適當的支撐系統，以將束制力傳遞到構件的有效支承點，或者連接到能滿足類似功能之結構獨立部分。當兩個或多個平行構件中間需要側向束制時，並不適合將這些構件連接在一起讓它們彼此支持。

4.4.1.3 受彎構件強度

可透過竹桿強度加總或本章所述之構件幾何性質計算多桿構件強度。

(1) 根據元件強度計算撓曲強度

由元件強度定義之構件撓曲強度依式 4.4-3 計算：

$$M_r = M \quad (4.4-3)$$

其中

$M = \Sigma M_i$ 為組成 3.5 節所定義構件之單桿設計撓曲強度 M_i 之總和，或

M 為 3.5 節所定義的多桿構件依精算求得之設計撓曲強度。

(2) 根據單桿元件強度計算受彎構件之剪力強度

由元件強度定義之構件剪力強度依式 4.4-4 計算：

$$V_r = V \quad (4.4-4)$$

其中

$V = \Sigma V_i$ 為組成 3.5 節所定義構件之單桿設計剪力強度 V_i 之總和，或

V 為 3.5 節所定義的多桿構件依精算求得之設計剪力強度。

(3) 根據抗彎強度計算撓曲強度

由抗彎強度與竹桿幾何尺寸決定之構件撓曲強度依式 4.4-5 計算：

$$M_r = f_m \times \Sigma S \quad (4.4-5)$$

其中

f_m 為 3.6 節所述之平行纖維抗彎強度。

ΣS 為 3.6.1 節所定義的組成構件之單桿斷面模數總和。

(4) 根據抗剪強度計算多桿組合受彎構件之剪力強度

由抗剪強度與竹桿幾何尺寸決定之構件剪力強度依式 4.4-6 計算：

$$V_r = f_v \times \Sigma \frac{3\pi\delta \left[D^4 - (D - 2\delta)^4 \right]}{8 \left[D^3 - (D - 2\delta)^3 \right]} \quad (4.4-6)$$

其中

f_v 為 3.6 節所述之平行纖維抗剪強度。

式中的第二項為構成多桿構件之單桿幾何性質總和。

D 與 δ 定義於 3.6.1 節。

4.4.1.4 撓度計算

撓度應使用彈性斷面性質計算。為了將計算之撓度與國家建築規範規定的使用性撓度限制值進行比較，彈性撓曲剛度可依本節決定。

(1) 根據元件性質計算撓曲剛度

用以決定撓度之撓曲剛度 EI 由元件性質依式 4.4-7 計算：

$$EI=(EI)_d \times C_v \quad (4.4-7)$$

其中

$(EI)_d = \Sigma(EI)_{di}$ 為組成多桿構件之單桿 $(EI)_{di}$ (3.7 節) 之總和，或

$(EI)_d$ 由 3.7 節所定義之多桿構件依精算求得

C_v 為考慮剪力變形之修正係數，依式 4.4-8 計算：

$$C_v=0.5+0.05 \times (a/D) \leq 1.00 \quad (4.4-8)$$

其中

a 為構件之剪力跨。

D 定義於 3.6.1 節。

(2) 根據材料與幾何性質計算撓曲剛度

由材料與幾何性質決定之撓曲剛度 EI 依式 4.4-9 計算：

$$EI=E_d \times \Sigma I \times C_v \quad (4.4-9)$$

其中

E_d 為 3.8 節定義設計中使用的彈性模數

ΣI 為 3.6.1 節定義組成多桿構件之單桿慣性矩的總和

C_v 為考慮剪力變形之修正係數

(3) 長期撓度

應將妥善算定的 $(EI)_d$ 或 E_d (分別見 3.7 及 3.8 節) 值分別應用於長期與短期載重分量，再將各自計算之長期與短期撓度分量相加求得總長期撓度。

(來源：ISO 第八章)

【解說】

4.4.2 受軸力構件

4.4.2.1 一般規定

- (1) 施加於受軸力構件上的壓力應小於或等於 4.4.2.3 節定義之構件壓力強度 N_{cr} 。
- (2) 施加於受軸力構件上的拉力應小於或等於 4.4.2.4 節定義之構件拉力強度 N_{tr} 。
- (3) 多桿組合軸力構件應使竹桿配置符合下列條件之一：
 - (a) 對稱於兩個主軸。
 - (b) 輻射對稱。
 - (c) 呈三角形排列，且每邊有相同數量之竹桿。
- (4) 使用單桿作為軸力構件是許可的，此類構件應被視為 2.4 節所定義之非贅餘構件。
- (5) 多桿組合軸力構件中竹桿間之淨距不得超過構件中的平均桿徑。
- (6) 多桿構件之相鄰竹桿連結部需配置於所有無支撐長度的末端，且間距不得大於較小桿徑之十倍。連結部應根據第四章之要求進行設計，在構件相鄰桿間之三個主軸方向皆至少能傳遞 1.5 kgf/cm 之力量。
- (7) 於相鄰連結部之間，個別桿件之最小迴轉半徑計得之長細比，不得超過多桿組合構件整體長細比之 3/4。此外，多桿組合構件沿其長度方向至少應有二個中間連結部。
- (8) 必要時根據 4.4.2.2 節計算受壓構件之側向支撐需求。
- (9) 組成受軸力構件之竹桿弓形偏差不應超過分級規定中的限制。弓形偏差率不應超過 $L/50$ ，其中 L 為構件之無支撐長度。
- (10) 如受軸力構件之載重偏心超過 $d/4$ （其中 d 為構件的最小整體尺寸），應根據 4.4.2.5 節定義之軸力與撓曲共同作用進行設計。

4.4.2.2 受壓構件有效長度

受壓構件之有效長度為構件側向束制點間工作長度 L 與竹構件建議有效長度係數 K 之乘積， K 值如表 4.4-1 所示。對於多桿構件而言，兩個主軸方向之有效長度係數可能不同。

表 4.4-1 有效長度係數 K

	受壓構件邊界條件			桁架元素 (詳見 2.10)
	鉸接-鉸接	鉸接-固接	固接-固接	
有側向束制	1.10	0.80	0.65	1.00
無側向束制	2.40	2.10	1.20	不允許

(1) 受壓構件之側向束制

側向束制應提供足夠的約束與剛度，以抑制束制點的橫向移動。束制力應能夠抵抗垂直於受束制構件軸向的作用力 F_{resc} ，根據式 4.4-10 計算：

$$F_{resc} \geq (P_u / C_{bow}) \times 0.01 \quad (4.4-10)$$

其中

P_u 為受壓構件可承受之最大軸力。

C_{bow} 為用以考慮組成受壓構件之竹桿初始弓形的折減係數，根據式 4.4-11 計算：

$$C_{bow}=1 - (b_0/0.02) \quad (4.4-11)$$

其中

b_0 為組成受壓構件之竹桿中央高度處最大弓形偏差率，根據式 4.4-12 計算，且不應超出 4.4.2.1 節之限制：

$$b_0=b_{max}/L<0.02 \quad (4.4-12)$$

b_{max} 為從竹桿橫截面中心到竹材末端中心連線的最大直交偏差距離。

L 為構件長度。

側向束制應連接到適當的支撐系統，以將束制力傳遞到構件的有效支承點，或者連接到能滿足類似功能之結構獨立部分。當兩個或多個平行構件中間需要側向束制時，並不適合將這些構件連接在一起讓它們彼此支持。

4.4.2.3 壓力強度

可透過竹桿強度加總或本章所述之構件幾何性質計算以不同尺寸竹桿組成的多桿構件強度。

(1) 根據材料與幾何性質計算壓力

構件的壓力強度根據式 4.4-13 計算：

$$N_{cr}=\frac{P_c+P_e}{2c} - \sqrt{\left(\frac{P_c+P_e}{2c}\right)^2 - \frac{P_cP_e}{c}} \quad (4.4-13)$$

其中

P_c 為本節定義之壓潰強度。

P_e 為本節定義之挫屈強度。

$c = 0.80$

(2) 壓潰強度

受壓構件的壓潰強度 P_c 應根據材料強度與幾何性質依式 4.4-14 計算：

$$P_c=f_c \times \Sigma A \quad (4.4-14)$$

其中

f_c 為 3.6 節之平行纖維抗壓強度

ΣA 為 3.6.1 節所定義組成構件之單桿斷面積總和。

(3) 挫屈強度

受壓構件之挫屈強度 P_e 依式 4.4-15 或 4.4-16 計算：

$$P_e=\frac{\phi_s n \pi^2 E_d I_{min} C_{bow}}{(KL)^2} \quad (4.4-15)$$

或

$$P_e = \frac{\phi_s n \pi^2 (EI)_{d,\min} C_{\text{bow}}}{(KL)^2} \quad (4.4-16)$$

其中

ϕ_s 為極限設計法之挫屈穩定強度折減係數，如使用容許應力設計法，則令 $\phi_s = 1$ 。

n 為組成構件之竹桿數。

E_d 為 3.8 節之設計彈性模數。

I_{\min} 為 3.6.1 節所定義組成構件之單桿的最小慣性矩。

$(EI)_{d,\min}$ 為 3.7 節所定義組成構件之單桿的最小撓曲剛度。

C_{bow} 為 4.4.2.2 節所定義之組成受壓構件的竹桿初始弓形折減係數。

KL 為 4.4.2.2 節定義之受壓構件有效長度。

由於挫屈強度受到許多因素影響，因此挫屈強度無法被拆成分量計算。

4.4.2.4 拉力強度

可透過竹桿強度加總或本章所述之構件幾何性質計算以不同尺寸竹桿組成的多桿構件強度。設計單桿構件時，則忽略加總符號，以單桿進行計算。

由軸拉力控制之設計或構件行為是非常罕見的。應特別注意傳遞拉力至構件之接頭。

(1) 根據元件強度計算拉力強度

由元件強度定義之構件拉力強度依式 4.4-17 計算：

$$N_{tr} = N_t \quad (4.4-17)$$

其中

$N = \sum N_{ti}$ 為組成 3.5 節定義之構件單桿拉力強度 N_{ti} 之總和。

N_t 由 3.5 節所定義的多桿構件依精算求得之設計拉力強度。

(2) 根據材料與幾何性質計算拉力強度

由強度與幾何性質定義之構件拉力強度依式 4.4-18 計算：

$$N_{tr} = n \times f_t \times A_{\min} \quad (4.4-18)$$

其中

n 為組成構件之竹桿數。

f_t 為 3.6 節之平行纖維抗拉強度。

A_{\min} 為 3.6.1 節所定義組成構件之單桿的最小斷面積。

4.4.2.5 軸力與撓曲共同作用

對於同時承受軸力和彎矩之構件，包括初始偏心超出 4.4.2 節限制之構件，應套用式 4.4-19 或 4.4-20 之破壞準則。

淨軸壓：

$$N_{cd}/N_{cr} + BM_{cd}/M_r \leq 1.0 \quad (4.4-19)$$

淨軸拉：

$$N_{td}/N_{tr} + M_{cd}/M_r \leq 1.0 \quad (4.4-20)$$

其中

N_{cd} 為設計壓力。

N_{cr} 為 4.4.2.3 節定義之壓力強度。

N_{td} 為設計拉力。

N_{tr} 為 4.4.2.4 節定義之拉力強度。

M_{cd} 為設計彎矩。

M_r 為 4.4.1.3 節定義之彎矩強度。

B 為根據式 4.4-21 計算之彎矩放大係數：

$$B = [1 - N_{cd}/P_e]^{-1} \quad (4.4-21)$$

P_e 為 4.4.2.3 節定義之挫屈強度。

(來源：ISO 第九章)

【解說】

第五章 構材接合部

5.1 一般規定

- (1) 接頭應構成可在兩個或多個單桿或結構構件之間傳遞設計內力之路徑。
- (2) 接頭應具備可預測的變形特性並與其實際使用及設計內力所採用的分析方法一致。
- (3) 接頭之設計應使其具備足夠強度、剛度、韌性並能防止竹桿劈裂。
- (4) 接頭處所有連接竹桿的軸心線應儘可能交於同一作用點。如無法交於同一作用點，則設計接頭與連接構件時應考慮竹桿力造成的偏心。

(來源：ISO10.1)

【解說】

接頭之降伏載重 (F_y ，見 4.2 節)、彈性剛度 (K_e ，見 4.4 節) 與韌性 (μ) 根據相關規範定義。所有接頭應滿足 5.2 與 5.3 節之要求。竹桿續接應滿足 5.6 節之要求。金屬連接件、輔助元件或附屬件應符合 5.7 節的要求。

接頭設計性質之決定方式如下：

- (一) 根據完整接頭試驗決定設計性質

接頭設計性質應基於相同幾何尺寸、聯結部件、細部以及構件連接特性與等級之足尺完整接頭測試來建立。測試宜根據 ISO 16670 進行，並根據 ISO/TR 21141 計算接頭性質。特徵值之測定宜根據 ISO 12122-5 或 ISO 12122-6 進行。

為了產生正確的彎矩剪力比，設計用來抵抗彎矩之接頭組件，測試時應令載重施加於接頭相連竹構件之反曲點。

(二) 根據元件強度決定設計性質

此方法僅適用於接頭破壞模式已被充分了解且能被可靠地預測之前提下。此方法應通過完整接頭測試之驗證。

應以接頭中各元件強度之最小者計算接頭強度。為確保行為符合預期，接頭中所有其他元件之強度應至少為此接頭關鍵元件強度之 1.25 倍。

接頭強度不應由脆性破壞模式($\mu \leq 1.25$)或竹桿縱向劈裂(5.5 節)所控制。這類破壞模式之強度應至少為接頭關鍵元件強度之 1.25 倍。

元件強度應根據相關測試標準、方法或根據 ISO 12122-5 計算之特徵強度來計算。

5.8 至 5.10 節提供了一些完善接頭類型的元件強度與詳細要求。

(來源：ISO10.2、10.3)

5.2 接頭容許設計強度

接頭容許設計承載強度應依照 5.1 節測定之接頭特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如式 5.2-1 所示：

$$F_y = F_{yk} \times C_{DF} \times (1/FS_j) \quad (5.2-1)$$

其中

F_y 為接頭設計強度。

F_{yk} 為根據 5.1 節所測定具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵接頭強度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{0.05,0.75}$ 。

C_{DF} 為表 3.5-1 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

FS_j 為表 5.2-1 所示之接頭安全係數。如使用極限狀態設計法，則另依 4.2.3 規定。

5.2-1 接頭安全係數 FS_j

	$\mu < 1.5$	$1.5 \leq \mu < 4.0$	$\mu \geq 4$
FS_j	3.0	2.5	2.0

其中 μ 為 5.4 節定義之韌性。若韌性為未知，應假設 $\mu = 1.25$ 。

(來源：ISO10.4)

【解說】

5.3 接頭剛度

設計中使用之接頭撓曲剛度 K_e 依式 5.3-1 計算：

$$K_e = K_{ek} \times C_{DE} \quad (5.3-1)$$

其中

K_{ek} 為具有 75% 可信度之平均特徵接頭剛度。在 3.4 節中，該值表示為 $X_{\text{mean},0.75}$ 。
 C_{DE} 為表 3.7-1 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

(來源：ISO10.5)

【解說】

5.4 接頭韌性

韌性 μ 為極限位移 Δ_u 與降伏位移 Δ_y 的比例。

$\mu < 1.25$ 之接頭不得用於承重結構。

$\mu \leq 2.00$ 之接頭不得用於靜不定構架之抗彎矩接合。

$\mu \leq 2.5$ 之接頭不得用於結構的主要抗震系統。

(來源：ISO10.6)

【解說】

5.5 防止竹桿劈裂

(1) 接頭之設計應能降低竹桿縱向劈裂風險。

(2) 為減少位於桿端附近接頭處之竹桿劈裂，接頭與桿端之間應儘可能至少包含一個竹節。

(來源：ISO10.7)

【解說】

單桿可採用徑向圍束來防止劈裂發生。應根據 5.1 節進行測試，以確認接頭在假想劈

裂發生後仍具備 2.3 節要求之殘餘強度。

用於提供徑向圍束力之束帶應環繞竹桿圓周提供均勻作用力，且收緊時不應損傷竹桿。

金屬圍束帶之所有元件應根據其暴露之環境(2.7 節)加以相應的防鏽蝕保護。

註：徑向圍束帶的例子包括：金屬管夾、塑膠束（線）帶與預力綁紮(5.7.3 節)。

5.6 續接接頭

(1) 續接接頭為將兩竹桿沿軸向連接的接頭類型。

(2) 搭接為將兩構件沿平行方向連接，兩構件之軸相距一桿徑。搭接之設計應考慮由桿軸偏心引起之彎矩。

(3) 續接接頭應儘可能遠離其他接頭。

(4) 撓曲構件中之續接接頭應儘可能位於彎矩最小之位置（位於反曲點最佳）。

(5) 續接接頭之存在通常會降低所在構件之強度。續接構件之強度應依第三章計算並納入續接之影響。

（來源：ISO10.8）

【解說】

5.7 接頭中非竹材元件之規定

5.7.1 接頭中的金屬元件

接頭之所有金屬元件應根據其暴露之環境（詳見 2.7 節）加以相應的防鏽蝕保護。如有多個金屬元件彼此接觸，元件應採用相同材料，以消除電位差腐蝕（Galvanic corrosion）的可能性。

5.7.2 使用流動性材料填充之接頭（灌漿接頭）

流動性填充材料可基於下列理由用於接頭或接合部之節間區域：

(1) 為接頭或接合部的埋入元件提供錨固。

(2) 提高節間區域之承載強度。

使用時，流動性填充材料應符合下列條件：

(1) 與竹材相容，對竹桿材料或幾何性質不造成有害影響。

(2) 具有足夠流動性，能夠完全填滿預計填充之區域。

(3) 不因固化而導致顯著的收縮或膨脹。

受填充之竹材於填充時應已達到平衡含水率(w_{EMC})。

5.7.3 綁紮

綁紮接合有下列兩種形式：

(1) 綁紮作為接合部之主要傳力機制。此種綁紮接合之幾何形式與製作方法通常基於傳統方法，且通常會以某種方式施加預力。

(2) 綁紮用於輔助或加強另一種接合類型。此種接頭中，綁紮之貢獻可以透過試驗來確定，且不應為控制接頭極限性能之關鍵。

綁紮也可作為減少竹桿劈裂之方法（5.5 節）。

綁紮之材料不應於所處環境中分解，且其預期防火性能應優於竹桿。

5.7.4 機械與專利接頭系統

有多種用於連接單桿的專利機械接頭，這些竹桿接合方式通常用於建立空間構架。機械接頭應依 5.1 節之方法預先進行檢驗，證明其於可接受的變形程度內，能夠抵抗至少 1.25 倍之接合元件容許設計強度。

（來源：ISO10.9）

【解說】

5.8 竹桿端部承載強度

包括魚嘴形接合的開口部分在內，未填充竹桿之端部承載強度依式 5.8-1 計算：

$$P_b = C_{EB} \times f_c \times A \quad (5.8-1)$$

其中

f_c 為 3.6 節之平行纖維抗壓強度。

A 為 3.6.1 節之竹桿斷面積。

$C_{EB} = 0.80$ 適用承載於平面之平切口。

$C_{EB} = 0.40$ 適用承載於另一支竹材之魚嘴形接合。

填充桿之端部承載強度應根據 5.1 節決定。

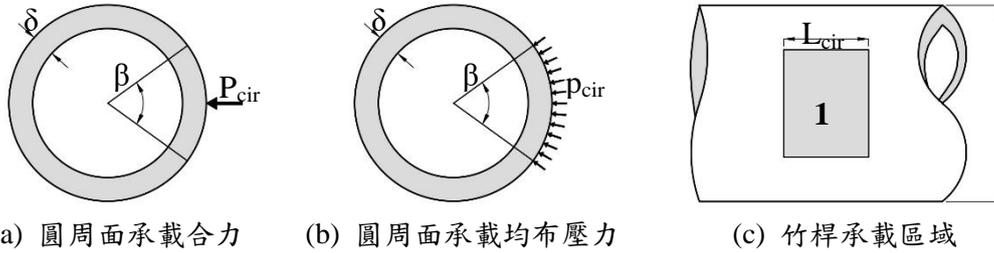
端部承載載重應均勻分佈於竹桿之整個斷面。

（來源：ISO10.10）

【解說】

5.9 竹桿圓周面承載強度

配合空心竹桿之接頭應設計成使竹桿的圓周面承載區域至少包含八分之一之圓周（即圓心角至少為 $\beta=45^\circ$ ）。如圖 5.9-1 所示。



說明

1 承載區域

圖 5.9-1 圓周面承載接合之幾何參數

未填充竹桿之圓周面承載強度依式 5.9-1 計算：

$$P_{cir} = p_{cir} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) DL_{cir} \leq \frac{2f_{m90}L_{cir}\delta^2 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{3DK_M} \quad (5.9-1)$$

其中

P_{cir} 為圓周面承載合力。

p_{cir} 為圓周面承載均布壓力。

f_{m90} 為垂直纖維抗彎強度。

β 為圓周面承載區域之圓心角。

L_{cir} 為圓周面承載區域之長度。

D 與 δ 定義於 3.6.1 節。

K_M 如表 5.9-1 所示。

表 5.9-1 用於圓周面承載計算之係數 K_M

β	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
K_M	0.067	0.112	0.164	0.220	0.277	0.333	0.386	0.432	0.471	0.500
註： $K_M = (1/\pi) \times [(\pi - \beta/2) \cos(\pi - \beta/2) + (\pi - \beta/2)]$ ， β 以弧度表示										

未填充竹桿之圓周面承載強度不應超過式 5.9-2 計算之值：

$$P_{cir} \leq 0.5 \times L \times \delta \times f_c \quad (5.9-2)$$

其中 f_c 為平行纖維抗壓強度。

為減少因圓周面承載造成之劈裂，承載區域與桿端間應至少距離兩倍竹桿直徑（ $2D$ ），且應儘可能有一竹節位於承載區域與桿端之間。

圓周面承載載重應均勻分佈於承載區域。應注意確保承載區域之末端尖角不損傷桿壁。

填充桿之圓周面承載強度應依 5.1 節決定。

(來源：ISO10.11)

【解說】

關於竹材之劈裂與防止劈裂方法，見 2.3 節。

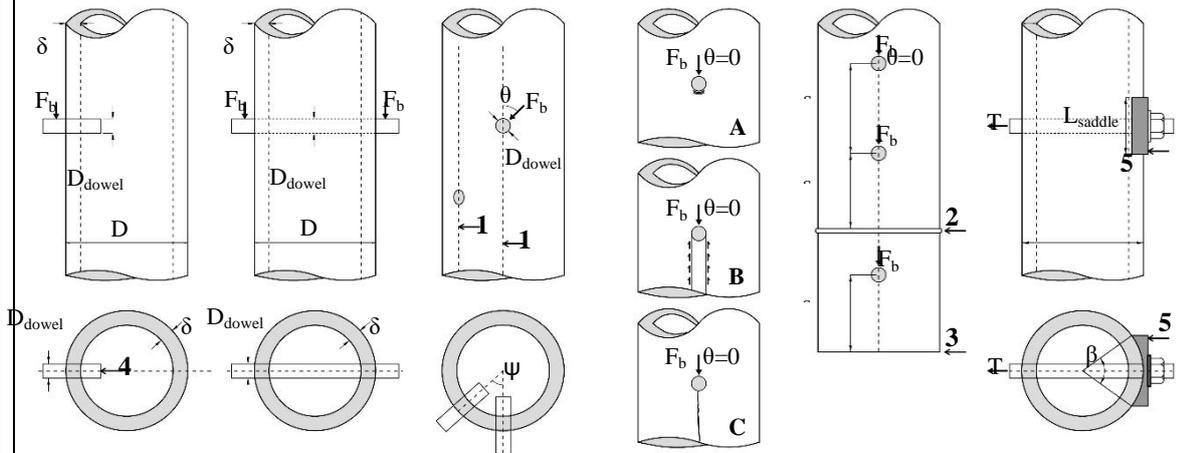
5.10 貫穿桿壁之插梢接頭

(1) 用以傳遞剪力之接合件包括梢釘、插梢、螺栓、木螺絲釘或其他類似的錨栓（統稱為插梢），這些插梢貫穿桿壁或沿直徑穿透兩側桿壁（分別如下圖 a 與 b 所示），此類接合之設計應使最小強度由插梢施力處之承載破壞所控制。

(2) 插梢本身之剪力和組合力強度應超過本節計算之設計強度。插梢與載重幾何條件會影響插梢強度之計算結果。

(3) 當竹桿所受之載重相對於桿軸之夾角 $0^\circ < \theta \leq 5^\circ$ ，位於同一節間內之插梢中心線應儘可能避免縱向對齊，而改為於圓周方向分散配置。

(4) 相鄰插梢中心線之間距圓心角應儘可能不小於 $\psi = (115 \times D_{\text{dowel}} / D)$ 度（如圖 5.10-1c 所示）



(a) 插梢貫穿單側桿壁 (b) 對稱承力之插梢貫穿兩側桿壁 (c) 中心線之徑向間隔 (d) 破壞模式 (e) 插梢中心線縱向對齊排列 (f) 抵抗橫向拉力之方法 (5.10.3)

說明

- 1 插梢中心線
- 2 竹節
- 3 桿端
- 4 插梢貫穿處之完整直徑
- 5 鞍座
- A 承載破壞
- B 剪力撕裂破壞
- C 劈裂破壞

圖 5.10-1 插梢接合之幾何參數

5.10.1 單插梢強度

本節規定貫穿單側桿壁之插梢強度。如單一連續插梢貫穿兩側桿壁，則 F_b 可以雙倍計算。

當單桿接合部中包含複數插梢時，不可直接將個別插梢的強度加總，必須根據 5.1 節 進行測試，以決定多插梢接合的折減係數。

插梢之容許承載強度 F_b 依下式計算：

$$F_b \leq D_{\text{dowel}} \times \delta \times f_c \times C_\theta \quad (5.10-1)$$

其中

D_{dowel} 為插梢之直徑。若為螺絲釘， D_{dowel} 為 1.1 倍之螺絲釘根部直徑。

δ 為 3.6.1 節定義之桿壁厚。

f_c 為平行纖維抗壓強度。

C_θ 為考慮相對於竹桿軸向(0°)之加載角度修正係數，如表 5.10-1 所示。

F_b 應施加於桿壁外側。載重 F_b 之偏心不應超過一倍桿壁厚或連接板厚。

5.10-1 加載角度修正係數 C_θ

插梢載重條件	相對於竹桿軸向(0°)之加載角度	
	$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$	$\theta > 5^\circ$
插梢僅貫穿單側桿壁 (圖 2a) 或不對稱承力之插梢貫穿兩側 桿壁	0.3	0.2
對稱承力之插梢貫穿兩側桿壁 (圖 2b)	0.7	0.4

在 $0^\circ < \theta \leq 5^\circ$ 的情況下，容許承載強度 F_b 不應超過依式 5.10-2 計算之剪力撕裂強度 (圖 5.10-1d (B))：

$$F_b \leq 1.6 \times s \times \delta \times f_v \quad (5.10-2)$$

其中

s 為位於同一縱向中心線上的最小插梢間距，或插梢與載重方向上最近之竹節或桿端部的距離 (見圖 5.10-1e)。

δ 為 2.3.1 節定義之桿壁厚。

f_v 為抗剪強度。

此外，在 $0^\circ < \theta \leq 5^\circ$ 的情況下，容許承載強度 F_b 不應超過依式 5.10-3 計算之劈裂強度 (圖 5.10-2d 中的 C)：

$$F_b \leq \frac{\pi \delta D_{\text{dowel}} f_{t90}}{2(1 - D_{\text{dowel}}/D)^2} \quad (5.10-3)$$

其中

D_{dowel} 為插梢之直徑。若為螺絲釘， D_{dowel} 為 1.1 倍之螺絲釘根部直徑。

D 與 δ 定義於 3.6.1 節。

f_{t90} 為垂直纖維抗拉強度。

F_b 的剪力撕裂與劈裂限制已包含一個額外的安全係數 1.25，用來避免剪力撕裂與承載引起之劈裂控制構件之極限狀態。

5.10.2 插梢規定

- (1) 除木螺絲釘外，插梢應插入直徑不大於插梢直徑 110% 之預鑽孔，除後文所述之壓入式插梢以外，預鑽孔直徑亦不得小於插梢直徑。插梢直徑不得超過 $D/8$ 。
- (2) 除自攻螺絲釘外，木螺絲釘或金屬板螺絲釘應插入直徑為螺絲釘標稱直徑 $1/4$ 至 $1/2$ 之間的預鑽孔。自攻螺絲釘與鑽尾螺絲釘可於不預鑽孔的情形下安裝。
- (3) 不得使用打入釘或釘槍來連接結構竹構件。
- (4) 插梢應完全貫穿桿壁並以全直徑接合桿壁（圖 5.10-1a）。為使螺絲釘以全直徑接合桿壁，錐形之螺絲釘尖端必須完全進入桿內。
- (5) 螺栓或螺紋插梢應使用墊片與螺帽固定，螺帽拴緊至不超過「手指拴緊」的程度。若使用環境可能發生振動，應使用緊固墊片或其他方法確保螺帽不會鬆動。
- (6) 壓入式插梢（例如衝梢、楔鍵等）應插入尺寸等於或略小於插梢尺寸之預鑽孔或預切孔。安裝插梢所需的力不應損傷桿壁。
- (7) 壓入式插梢之設計應使用模數類似於竹子的材料，並應考慮插梢可能發生之乾縮或膨脹。

5.10.3 插梢接頭之拉力

- (1) 除以下情況外，插梢不應設計用以抵抗垂直於桿壁之拉力（即插梢拉拔力）。
- (2) 穿透竹桿之螺栓或螺紋插梢僅能設計以圖 5.10-1f 所示之方式抵抗拉力。此情況下應使用符合竹子直徑之承載鞍座。鞍座之承載強度應按 5.9 節之要求設計，並令承載區域之長度等於鞍座長度減去插梢孔直徑。

（來源：ISO10.12）

【解說】

第六章 板構材

6.1 橫隔板及剪力牆

6.1.1 橫隔板與剪力牆組合之設計必須足以承受百分之百的作用側向力，例如風力、地震力，或地面以下之土壓力與水壓力。

6.1.2 橫隔板與剪力牆必須足夠堅固以：

- (1) 限制側向移位，以免對其他結構元件造成損害。
- (2) 減少牆體與地板之振動至可接受範圍。
- (3) 對其他元件提供支撐，以避免其扭轉或挫屈。

6.1.3 橫隔板與剪力牆之間的接合，或是與其他元件之接合，皆要能夠傳導並抵禦地震或風載重造成的剪力。

6.1.4 需特別注意剪力牆與地基的錨固。每一面獨立牆都要與地基有至少兩處連結，其間距不得超過 200cm。

6.1.5 凡牆體高度與長度比高於 3 者，皆視為不堅固。

6.1.6 在長期載重的情況下，應確認牆體的變形不超過 $h/1200$ (h 為牆體高度)。

6.1.7 每一面個別的剪力牆，必須能夠承受牆體上部質量所分配的側向力，除非考慮橫隔板之柔性並對剪力分佈進行詳細分析。

6.1.8 建築物的剪力牆必須沿兩個正交方向配置，每個方向之牆體間距小於 400cm。剪力牆的分佈應儘量維持剛度與強度之勻稱。

6.1.9 若牆體間距超過 400cm，且水平連接構件（樓板、屋頂等）的剛性無法確保牆體間之共同作用，則不應實施此設計。

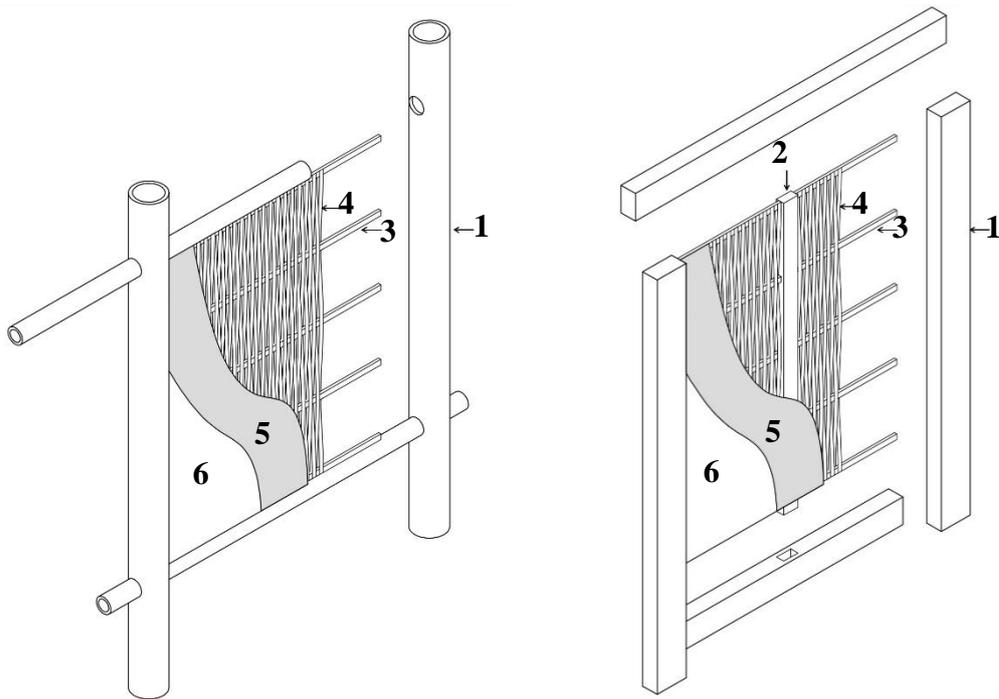
（來源：秘魯 8.8）

【解說】

6.2 編竹夾泥牆

6.2.1 一般規定

- (1) 本規範所述之編竹夾泥牆屬於台灣的傳統建築技術，為於竹或木框架系統中編入竹材或五節芒，再塗抹土灰製成之複合剪力板。
- (2) 編竹夾泥牆之竹桿件應符合本規範之要求。鋸木桿件之設計應符合對應之木構造設計規範要求與本節之意旨。
- (3) 編竹夾泥牆之構造如圖 6.2-1 所示。首先於框架內置入兩端削扁之水平竹片（籬梗），其兩端插入框架之垂直構件，再以竹篾（籬仔或屏仔）前後穿梭於籬梗佈滿整個壁體，接著以黏土混合纖維材之土灰塗抹於壁體兩面，最後施以防水層。
- (4) 若壁體單元寬度過大，可於壁體中每隔一定間距配置扁平之垂直木料（暗梗）以提高壁體剛度。
- (5) 高度小於寬度之壁體可能將籬梗改為垂直配置，籬仔（屏仔）為水平向或與籬梗呈 45 度兩向交錯編織。



(a) 竹框架編竹夾泥牆

(b) 木框架編竹夾泥牆

說明

- 1 竹或木框架
- 2 暗梗，固定於上下邊框之榫口（純竹構造工法無此構件）
- 3 籬梗，兩端插入垂直構件
- 4 籬仔（屏仔），前後穿梭於籬梗

5 黏土混合纖維材

6 防水層或面飾層

圖 6.2-1 編竹夾泥牆之構造

6.2.2 載重與設計性質

編竹夾泥牆若作為結構中之主要傳力構件，應能夠抵抗本規範所規定的載重或載重組合，並設計使其不致發生面內及面外方向之破壞。

編竹夾泥牆之設計性質應透過試驗或由試驗支持之相關佐證資料決定。

【解說】

- (1) 日式傳統編竹夾泥牆「土壁」與台灣編竹夾泥牆之構造相異，因此不在本節的討論範圍內。
- (2) 傳統工法中，黏土所添加的纖維材一般為米糠或斬碎稻草。
- (3) 編竹夾泥牆之籬梗間距一般約為 24 至 30cm。
- (4) 一般而言，壁體寬度每 45.5cm(約 1.5 台尺)配置一支暗梗，暗梗之寬度約為 6cm。如壁體無暗梗，則每一單元壁體寬度通常不超過 60cm。
- (5) 構成籬仔(屏仔)之竹篾依編竹方式分為「倒篾」與「豎篾」兩種，「倒篾」之竹皮與牆面平行，編織時正、背面交互配置；「豎篾」之竹皮與牆面垂直。另外也可使用曬乾除葉之五節芒作為籬仔。
- (6) 編竹夾泥牆含編竹之整體土層厚度約為 3.5 至 4.5cm。

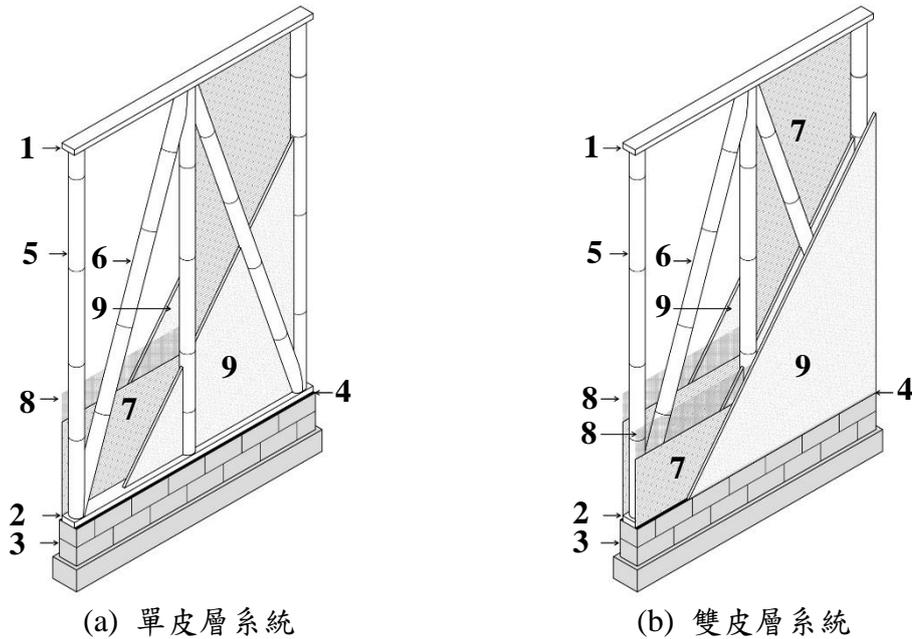
6.3 LCBF 板系統

6.3.1 一般規定

- (1) 本規範所述之輕量水泥竹框架(Light cement bamboo frame, LCBF)為一種現代工程技術，利用竹材或金屬網構成的網格固定於竹或木框架系統，再以水泥或石灰砂漿抹灰處理製成之複合剪力板。剪力板之高寬比不應大於 3.0。LCBF 板或牆可抵抗 6.3.2 節所述之來自風、衝擊或地震的短期側向力。剪力板通常可如 6.3.2 節所述承載局部靜載重。其設計強度依 6.3.3 節測定。
- (2) LCBF 之竹桿件應符合本規範之要求。鋸木桿件之設計應符合對應之木構造設計規範要求與本節之意旨。
- (3) LCBF 框架配置可有斜撐或無斜撐。
- (4) LCBF 板可以是單皮層(僅一面附有網格)或雙皮層(兩面附有網格)。砂漿抹灰可能施作於網格之單面或雙面。本規範不包含網格置於竹框架中心線之系統，此作法會使網格於相鄰板間無法連續。單與雙皮層之 LCBF 如圖 6.3-1 所示。
- (5) 板之開口如果滿足下列要求，可於 LCBF 牆系統中開窗或其他開口：
 - (a) 依測試決定 LCBF 板強度時考慮開口周邊框架的貢獻。

(b)開口之四個邊皆有框架加強。

如開口尺寸超過 LCBF 板長度或高度的 1/3，則該板應被視為被開口分隔之兩片獨立板。此種情況下，應以板端元件與相關的連結件來固定開口。此類開口正上方或正下方之板區域的貢獻不應包含在整體牆強度計算中。



說明

- 1 頂板，通常為木材
- 2 底板，通常為木材
- 3 混凝土或磚石上之基座
- 4 防潮膜
- 5 竹立柱（可使用木材）
- 6 竹斜撐（可使用木材）
- 7 牆網格可由竹條、竹篾、小徑竹、藤條或鍍鋅金屬板條構成
- 8 釘於網格上之鍍鋅鋼線網
- 9 水泥砂漿或石灰砂漿抹灰處理

圖 6.3-1 輕量水泥竹框架(LCBF)施工例

6.3.2 載重

LCBF 應能夠抵抗本規範所規定的載重或載重組合，並構成本節所述之傳力路徑。

(1) 面外載重

因風、衝擊或地震作用之面外載重會在板中引起頂板與底板之間的垂直跨向撓曲，與垂直構件之間的水平跨向撓曲。圖 6.3-2 顯示了 LCBF 之牆網格如何水平跨越竹立柱，及竹立柱如何垂直跨越於頂板與底板間。

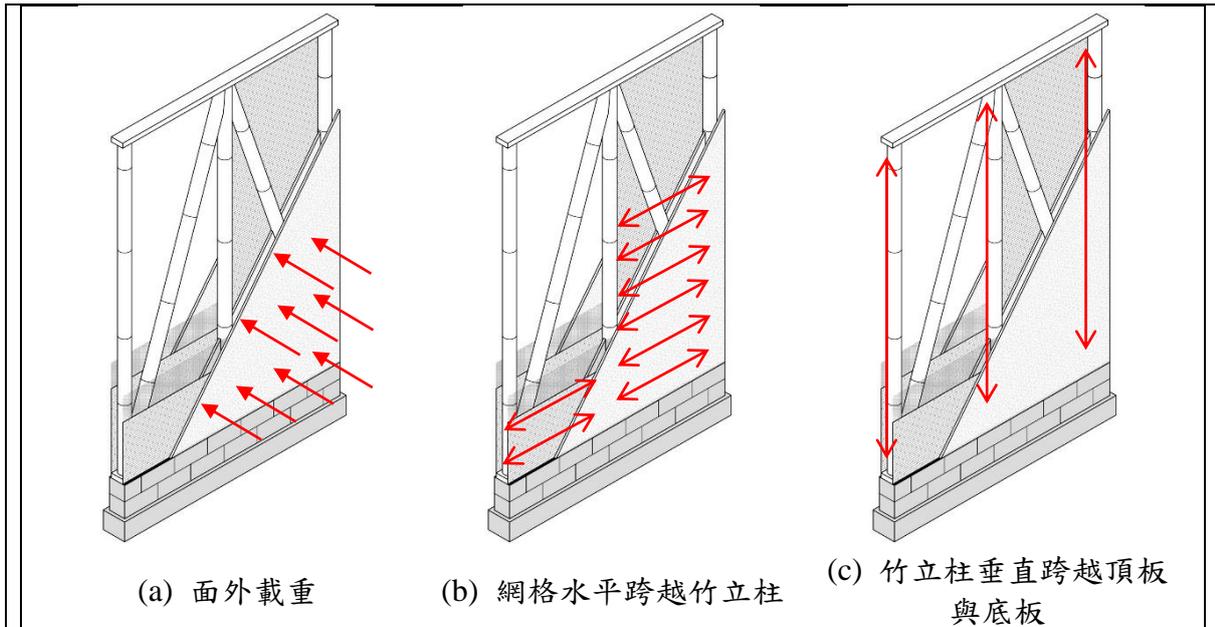


圖 6.3-2 LCBF 構造抵抗面外載重之機制

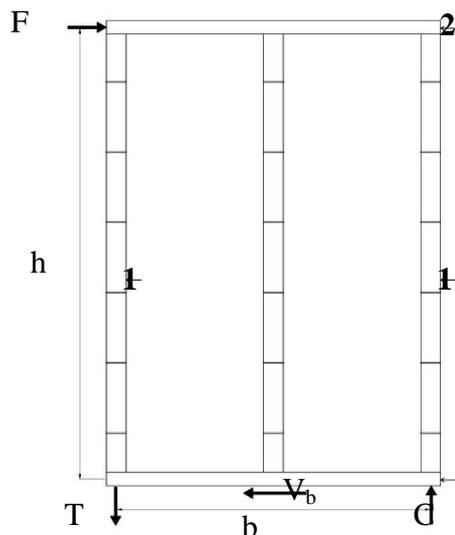
- (a) LCBF 板的垂直跨桿件（立柱）對面外載重的撓曲抵抗應根據第四章決定。應假設砂漿或牆網格不貢獻強度。垂直跨構件與頂板或底板間之接合應根據第五章決定。
- (b) 應透過試驗或分析決定水平跨網格對面外載重的撓曲抵抗。水平跨網格與垂直跨構件之間的連接應依照第五章決定。

(2) 面內載重

面內受力的情況下，LCBF 板或牆應依垂直懸臂之行為來設計(圖 6.3-3)。應考慮臨界框架構件之板剪力強度、壓力強度與拉力強度，以及牆體接合部之傾覆與滑動破壞。

為了充分抵抗面內載重，LCBF 系統之設計與細部應使以下傳力路徑能有效地建立：

- (a) 來自上部樓層或屋頂、導風牆與橫隔板之剪力可傳遞到連續的頂板。
- (b) 頂板將剪力傳遞到 LCBF 竹框架桿件及砂漿與牆網格之複合體，再由其將剪力傳遞到底板。如砂漿與牆網格之複合體和面內斜撐（如果有）加起來，應假定可抵抗 100% 之面內剪力。
- (c) 因傾覆而產生之軸力（壓力與拉力）應僅由 LCBF 板端之垂直框架構件抵抗。這些構件與其接合部之強度應根據第四章與第五章決定。可假設框架構件在牆平面內不發生挫屈。LCBF 板中的中間框架構件應被假設為不能抵抗傾覆力。
- (d) 軸向載重路徑應通過框架元件與頂板或底板間的接合傳遞至結構基礎。



說明

1 LCBF 板端之框架構件

2 頂板

3 底板

F 水平作用力（根據風力或地震力分析）

V_b 抵抗 F 之基底剪力

T 抵抗傾覆力矩之端部構件拉力， $T=(F \times h) / b$

C 抵抗傾覆力矩之端部構件壓力， $C=(F \times h) / b$

h LCBF 板之高度

b LCBF 板之長度

圖 6.3-3 LCBF 板之懸臂行為

（靜載重之作用應與所示之側向載重作用疊加）

(3) 靜載重

LCBF 板可以抵抗靜載重，前提是跨越頂板與底板間之垂直框架桿件能直接單獨承擔靜載重。這些構件之壓力強度應根據第四章決定。應假設砂漿與牆網格之複合體不貢獻強度，但可假設垂直框架構件在牆平面內受到束制而不發生挫屈。

（來源：ISO 第十二章）

【解說】

LCBF 剪力牆或板之強度宜根據 ISO 21581 決定。抗風、抗震與抗衝擊載重宜根據 ISO 21581:2010 之 6.1 節或 6.3 節的方法決定。

測試結果之解釋宜根據 ISO/TR 21141。特徵值的測定宜根據 ISO 12122-6。分析中應採用完整牆板組件之特徵側向剛度，以確保水平變位維持在相關國家規範之限制範圍

內。

面內設計應假設牆板於設計地震力下保持彈性行為（即假設韌性比為 1）。

第七章 作為混凝土或泥土之補強材

7.1 用於混凝土中

使用竹材作為混凝土、砂漿、石膏等材料中之補強材（竹筋）時，須經過測試並滿足以下要求：

- (1) 在結構的預期壽命期間，為使竹材擔負拉力補強材的角色，要特別注意竹材的膨脹、乾縮、握裹、以及濕度與鹼性環境對竹材的影響。
- (2) 其變形應符合整體結構要求。

7.2 用於泥土中

使用竹材作為泥土中之補強材（竹筋）時，須經過測試並滿足以下要求：
在結構的預期壽命期間，為使竹材擔負拉力補強材的角色，要特別注意有機環境對竹材的影響。

（來源：ISO 第十四章）

【解說】

第八章 建築物之耐久性與維護計畫

8.1 耐久計畫之基本方針

8.1.1 建築物之耐久性，須於建築及結構之規劃設計時充分考量，並由適切之施工、使用及維護管理來確保整個生命週期之耐久性；

8.1.2 須制定周詳之維護管理計畫，並由使用者遵循實施。

(來源：木構 8.1)

8.1.3 竹材容易受到多種生物性影響，如竹材含水率長時間超過 20%，則會腐爛（真菌侵襲）。除非能確認侵襲竹材之昆蟲無法於特定區域生活或生存，否則應該假設昆蟲侵襲竹材的風險存在。暴露在海洋環境之竹材可能受到海生蛀蟲的侵襲。

(來源：ISO B.1)

8.2 考慮耐久性之規劃設計方法

8.2.1 設定建築物之耐用年限

耐用年限係對建築物整體及各部位、構件與機器等各別推定之，依劣化程度判定之耐用年數或依腐化程度判定之耐用年數，取其較小值。

8.2.2 考慮耐久性之規劃設計方法係依所設定之耐用年數實施之。若以結構體之劣化為主，判定其耐用年數時，設計上應考量防止腐化之目的，制訂增改建築計畫及解體材再利用等變通性。

(來源：木構 8.1)

8.3 相關考慮因素

(1) 竹材採收後需防雨防潮，儲存之竹材仍為青綠色時需保持竹桿周圍空氣流動，使竹材能夠呼吸。

(2) 施工時僅使用乾燥之竹材。

(3) 結構細部（特別是接合部）之設計應確保積水不易累積或進入竹桿內部。

(4) 竹材不得使用在會與積水或土壤接觸之情況。

(5) 在結構中，應儘可能保護竹子免受水與雨的影響（即透過設計保護）：

(a) 將竹材放置在高於地面的基座或柱礎上，並以防潮膜隔離竹材與基座或柱礎。

(b) 使用防水屋頂覆蓋。

- (c) 使用屋頂深出簷或陽台來保護竹構件不受雨水侵襲。
 - (d) 使用耐久與防水的飾面。
 - (e) 儘可能讓結構室內的竹子裸露，使其潮濕時便於乾燥。
- (6) 具有地下昆蟲侵襲（如白蟻）風險的地方，應將竹材架高於堅固的基座或柱礎上，使地面昆蟲需建造外部可見的遮蔽管以通達竹材，當發現時能加以摧毀。
- (7) 竹結構需要在整個生命週期中進行維護，特別是防水飾面的定期維修。

（來源：ISO B.2）

【解說】

（一）竹材之處理

可用於木材之保護處理種類繁多，並具有不同程度之功效、成本、易用性與安全性，其中部分已經測試用於竹材，但關於其功效之資料仍較為稀少。

- (1) 幾乎沒有證據表明竹材於表 2.7-1 所規定使用等級 3.2、4 與 5 級環境中能可靠地發揮作用。除非經過試驗證明，否則於這些使用等級中，應假設用於木材的保護處理措施對竹材無效。
- (2) 硼化物廣泛用於竹材之保護處理，以防止甲蟲與白蟻對竹材的破壞。應依照經過同儕審查之指南來使用硼化物處理竹材，使其留持度大於等於 4kg/m^3 或根據 EN 350 測定之留持度。硼化物應僅用於使用等級 1、2 與 3.1。
- (3) 對於使用等級 3.2 級或更高之竹材，應僅使用化學固定式防腐劑。
- (4) 油漆與清漆雖然能稍微防止紫外線輻射引起的漂白，但應視為無法防止水分或生物有機體進入竹材。
- (5) 應特別注意裁切、鑽孔或其他侵入性或穿過竹斷面的處理。這些部位於組裝後可能需額外處理以防止局部劣化。
- (6) 在選擇保護或化學處理措施時，下列考慮事項非常重要：
 - (a) 化學藥品與處理設施的可及性。
 - (b) 待處理的竹材量。
 - (c) 竹材的種類，某些竹種較容易處理。
 - (d) 竹材的預期使用等級。
 - (e) 環境健康和安全的特定法規。
 - (f) 從採伐地點到處理設施的運輸時間，某些處理方法需要竹材維持在新鮮剛採伐之狀態。
 - (g) 預算。
 - (h) 處理類型或化學處理方法之效果。
 - (i) 化學物質是否會影響竹結構或任何金屬連接件。
 - (j) 化學物質在處理過程以及最終固定狀態下對人類與動物的毒性。
 - (k) 化學物質之毒性與殘留量、淋溶作用、燃燒風險及結構壽命終止的關係。
 - (l) 是否對竹材之全厚度進行處理。

(來源：ISO B.3)

(二) 竹材之耐用年限

竹材之耐用年限可參考表 8.3-1。

表 8.3-1 竹材耐用年限之建議

	未經處理	硼化物處理	固定式防腐劑處理*
室內	2 至 6 年	30 年以上	30 年以上
室外，位於地面以上	0.5 至 4 年	2 至 15 年	30 年以上
室外，與地面接觸	0.5 年以下	1 年以下	15 年以上

*: 此年限乃基於目前為止根據使用固定式防腐劑之竹材與木材樁測試所得之估計值。目前尚不清楚竹材暴露於雨水中是否會增加劈裂的可能性，進而弱化接頭與竹桿且導致進水。

(來源：Kaminski, S., Lawrence, A., Trujillo, D., and King, C., “Structural use of bamboo, Part 2: Durability and preservation.”, *Structural Engineer*, 94(10), 38-43, 2016.)

(三) 維修建議事項

所有的竹構造建築在其使用期間必須定期進行檢查、調整與維修。竹構造之保養通常使用以下材料：蠟、膠、清漆或油漆，並遵循以下原則：

- (1) 露天的竹構造至少每六個月保養一次。
- (2) 位於室外且有遮簷之竹構造至少每年保養一次。
- (3) 室內竹構造至少每兩年保養一次。
- (4) 若因竹材收縮、震動或其他因素導致連接件鬆脫，需重新調整或鎖固。
- (5) 如竹構件有裂痕、過分變形、腐朽或蟲蛀，則必須更換竹材。
- (6) 如發現蛀蟲，必須將其消滅。
- (7) 應確保原始設計之通風系統能正常運作。
- (8) 應排除水氣以避免發霉。
- (9) 必須確保防火與電力的特別防護機制正常運作。
- (10) 建築中靠近火源的地方，必須進行隔離或使用不燃材料、防火或延遲性介質，確保其具備一小時防火時效。
- (11) 竹材元件與其他部位之間應保留足夠的空間，以確保發生火災時能有更多的緩衝時間。
- (12) 定期檢查接頭，如有鬆脫則需更換。

(來源：祕魯第十章)

第九章 建築物防火

9.1 一般規定

竹構造建築物之防火設計及施工，除應依建築技術規則建築設計施工編第三章規定外，其構造系統之防火設計依本章規定。本章規定以外之其他火災安全防護措施(防火設計)，應經中央主管建築機關認可。

(來源：木構 9.1)

9.2 竹構造建築物防火規劃基本原則

竹構造建築物應依下列事項，考量必要之防火措施：

- (1)防火區劃依規定設置，以各種構造及防火設備區隔達到規定之防火時效。
- (2)內部裝修依相關內部裝修限制設計。
- (3)外牆及屋頂，以使用不燃材料建造或覆蓋為原則。
- (4)走廊、通道及出入口應符合逃生避難安全要求。
- (5)防火間隔依規定留設，避免火災延燒至鄰棟建築物。
- (6)消防安全設備請依各類場所消防安全設備設置標準規定辦理。

(來源：木構 9.2)

【解說】

竹構造建築物依建築技術規則建築設計施工編規定，需考量必要之防火措施。竹構造建築物防火安全設計之一般目的，為抑制火災引起的危險造成建築物本身與鄰棟建築物中的人員傷亡及財產損失。設計之考量，應以防止突發性火災的發生，及避免在火災發生後造成之人員傷亡與財產損失。竹構造建築物防火規劃基本原則如下：

(一) 防火區劃設置規定如下：

竹構造建築物屬非防火構造者，依建築技術規則建築設計施工編第八十一條規定：其總樓地板面積應按每五〇〇平方公尺，以具有一小時以上防火時效之牆壁予以區劃分隔。

連棟式竹構造建築物屬非防火構造，依建築技術規則建築設計施工編第八十四條規定：建築面積超過三〇〇平方公尺且屋頂為木造等可燃材料建造之屋架時，應在長度每十五公尺範圍內以具有一小時以上防火時效之牆壁區劃之，並應突出建築物外牆面五十公分以上。但與其交接處之外牆面長度有九十公分以上，且該外牆構造具有與防火區劃之牆壁同等以上防火時效者，得免突出。

(二) 竹構造建築物之內部裝修材料，依建築技術規則建築設計施工編第八十八條規定。

(三) 竹構造建築物屬非防火構造者，外牆及屋頂應使用不燃材料建造或覆蓋，依建築

技術規則建築設計施工編第八十四條之一規定。但符合同編第一百十條之一第二項者，不在此限。

(四) 竹構造建築物之走廊、通道及出入口，應依建築技術規則建築設計施工編第四章第一節出入口、走廊、樓梯之規定設計。

(五) 防火間隔設置規定如下：

竹構造建築物屬非防火構造者，其防火間隔應依建築技術規則建築設計施工編第一百十條之一規定。

(來源：木構 9.2)

附錄 A 常見竹種力學性質

本規範收錄了常見竹種力學性質試驗資料，參考自多篇國內外文獻，包含彈性模數與材料強度。本規範收錄之試驗資料僅作為參考，因竹材為天然材料，受到許多如年份、生長環境等因素影響，實際強度仍需根據適當規範進行分級或測試決定。

附表 A-1 常見竹種的材料彈性模數比較 (平均值±標準差)

	竹種	文獻	壓力 彈性模數 (kgf/cm ²)	拉力 彈性模數 (kgf/cm ²)	撓曲 彈性模數 (kgf/cm ²)
國內 試驗 資料	桂竹	林家荷[1]	6.0×10 ⁴	-	-
	孟宗竹	游家誠[2]	-	13.1×10 ⁴	-
	箭竹	林家荷[1]	4.0×10 ⁴	-	-
	刺竹	張三酉[3]	2.9×10 ⁴ ±1.5×10 ⁴	21.9×10 ⁴ ±3.1×10 ⁴	-
國外 試驗 資料	南美刺竹	Salzer et al. [4]	-	-	13.2×10 ⁴ ±3.6×10 ⁴
	孟宗竹	Shan et al. [5]	-	-	15.1×10 ⁴ ±1.7×10 ⁴

附表 A-2 常見竹種的平行纖維強度比較 (平均值±標準差)

	竹種	文獻	平行纖維 抗壓強度 (kgf/cm ²)	平行纖維 抗拉強度 -有節 (kgf/cm ²)	平行纖維 抗拉強度 -無節 (kgf/cm ²)	平行纖維 抗拉強度 -混合 (kgf/cm ²)	平行纖維 抗剪強度 (kgf/cm ²)
國內 試驗 資料	刺竹	馬子斌[6]	502.6 ±100	-	-	1671.0 ±488	83.7 ±27
		張三酉[3]	556.7 ±128.0	1328.3 ±126.6	-	-	88.8 ±20.3
	桂竹	馬子斌[6]	638.7 ±104	-	-	1283.0 ±339	77.6 ±31
		林家荷[1]	811.1 ±92.6	-	-	-	-
	孟宗竹	游家誠[2]	655.2 ±64.5	-	1593.7 ±284.0	-	87.9 ±13.2
		馬子斌[6]	648.2 ±159	-	-	-	125.1 ±18
		杜怡萱[7]	-	-	1635.7 ±230.1	-	-
	麻竹	馬子斌[6]	390.2 ±94	-	-	1097.0 ±306	64.7 ±28
	箭竹	林家荷[1]	585.5 ±129.8	-	-	-	-
長枝竹	馬子斌[6]	606.2 ±87	-	-	2228.0 ±470	91.4 ±17	
國外 試驗 資料	刺竹	Mitch[8]	578.2 ±71.4	-	-	-	93.8 ±23.5
	南美刺竹	Salzer et al.[4]	371.2 ±81.6	1655.0 ±440.5	-	-	80.6 ±17.3
	孟宗竹	永井拓生 等[9]	-	2707.3	2276.0	2515.6 ±827.2	-
		Shan et al.[5]	541.6 ±114.9	1191.5 ±201.8	1664.0 ±440.5	-	194.5 ±24.8

附表 A-3 常見竹種的抗彎與垂直纖維強度比較 (平均值±標準差)

	竹種	文獻	抗彎 強度 (kgf/cm ²)	垂直纖維 抗壓強度 (kgf/cm ²)	垂直纖維 抗拉強度 (kgf/cm ²)
國內 試驗 資料	刺竹	馬子斌[6]	132.9 ±34	66.4 ±23	-
	桂竹	馬子斌[6]	311.4 ±102	216.9 ±60	-
		馬子斌[6]	120.7 ±55	167.1 ±50	-
	麻竹	馬子斌[6]	66.1 ±19	51.8 ±17	-
	長枝竹	馬子斌[6]	296.2 ±85	100.5 ±31	-
國外 試驗 資料	刺竹	Mitch [8]	-	-	10.23 ±2.21
	南美刺竹	Salzer et al.[4]	640.4 ±175.4	-	-
	孟宗竹	Shan et al.[5]	383.5 ±55.3	-	-

參考資料：

1. 林家荷，「竹材應用於薄膜式完全張力體之研究」，碩士論文，國立成功大學建築學系，台南，2015。
2. 游家誠，「古蹟歷史建築修復施作過程竹材保護棚架系統之研擬與應用」，碩士論文，國立成功大學建築學系，台南，2009。
3. 張三酉，「竹片應用於撓曲主動空間結構之研究」，碩士論文，國立成功大學建築學系，台南，2021。
4. Salzer, C., Wallbaum, H., Alipom, M., and Lopez, L. F., “Determining material suitability for low-rise housing in the Philippines: physical and mechanical properties of the bamboo species *Bambusa blumeana*,” *BioResources*, 13(1), 346-369, 2018.
5. Shan, B., Gao, L., Li, Z., Xiao, Y. & Wang, Z., “Research and Applicant of Solar Energy-Prefabricated Bamboo Pole House.”, *Proceedings of the 12th International Symposium on Structural Engineering*, 2012.
6. 馬子斌，「臺灣主要竹材之物理性質及力學性質」，台灣省林業試驗所報告第 106 號，1964。
7. 杜怡萱，竹構接頭設計委託試驗報告，國立成功大學建築系，台南，2019。
8. Mitch, D., “Splitting Capacity Characterization of Bamboo Culms”, Bachelor Thesis, University of Pittsburgh, 2009.
9. 永井拓生、陶器浩一，「竹の設計強度の算定および人力施工が可能な接合法の開発」，*日本建築学会技術報告集*，第 22 卷第 52 号，925-928，2016。

附錄 B 竹接頭的範例與分類

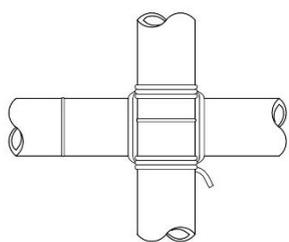
竹構造之接頭有許多種分類方式，本規範介紹兩種竹接頭分類方式，分別為依接合機制分類與依傳力機制分類，並提供各類別之竹接頭範例。

(一) 依接合機制分類

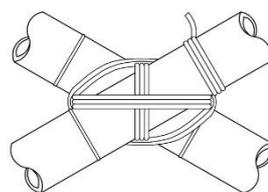
(1) 綁紮式接合

此種接頭原則上儘量不對竹材進行切削或穿孔，將竹材緊靠後於外部纏繞拉力構件，利用拉力構件收緊時對竹材接觸面造成壓力之摩擦型接合，是最簡單也最常見的接合形式，其優點為價格便宜、施工快速、可因應天然竹材尺寸差異，亦可根據接合方向變化綁紮方式，缺點為綁紮力度不一、強度難以控制等。

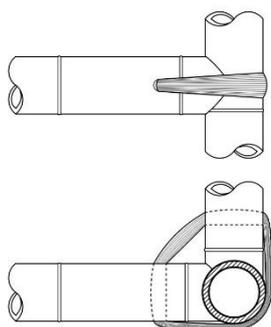
綁紮式接合範例如附圖 B-1 所示。傳統的綁紮材多為天然材料，如樹皮、竹皮、藤等，可直接綁紮，也可將竹材局部切削以增加接觸面積，或搭配構件彼此穿透和插梢接合，可較直接綁紮來得堅固。使用竹皮、藤蔓等材料綁紮時，應先以水泡軟後再施工，待其乾燥收縮就能提升強度。現代綁紮材料包括鐵線、橡膠繩等。



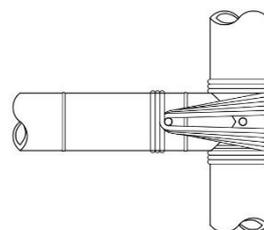
(a) 尼龍繩或麻繩之正交綁紮



(b) 尼龍繩或麻繩之非正交綁紮



(c) 雙向穿透式綁紮接合



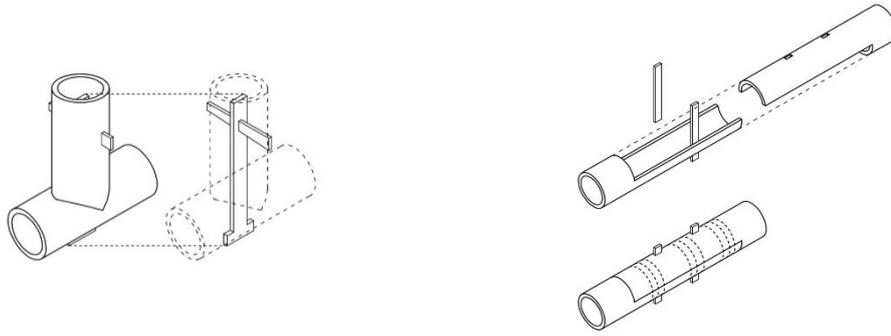
(d) 混合綁紮、切削與插梢之接合

附圖 B-1 綁紮式接合範例

(2) 插梢式接合

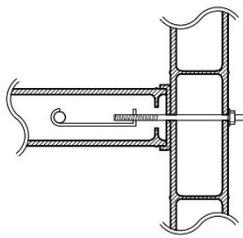
此類接合需於竹材上先鑽孔，以插榫、竹釘、螺栓等插梢構件穿過固定，屬於剪力型接合。綁紮式接合範例如附圖 B-2 所示。使用插榫接合之接頭因竹材斷面形狀為圓形，需要事先精準切割榫孔之插榫接合設計與施作皆較為困難；使用竹釘或螺栓接合則較容易施作。

插梢式接合的缺點為應力集中，若鑽孔太靠近端部，容易引致平行纖維方向之劈裂破壞。建議可在插梢通過的竹節處灌注混凝土以增加強度，但此舉亦會使竹材變得笨重。

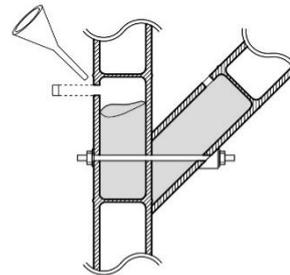


(a) 使用竹榫的插梢式接合

(b) 使用木榫的軸向插梢式續接



(c) 使用螺栓與鉤釘的插梢式接合



(d) 灌注混凝土增加強度之插梢式接合

附圖 B-2 插梢式接合範例

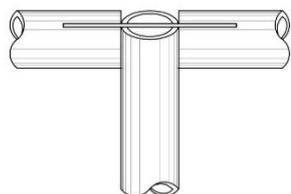
(3) 中介構件接合

中介構件接合乃利用其他材料製作接頭構件，而竹材之間只輕微接觸或完全無接觸。此接合法之優點為接頭強度可提高、可因應方向多變之接合、竹材加工較為簡單等；缺點為設計成本較高、施工較複雜等。中介構件接合範例如附圖 B-3 所示。中介構件與竹材間的接合可再細分為以下兩種：

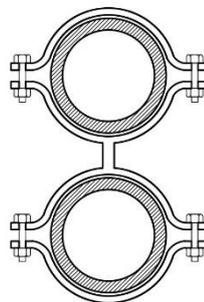
- a. 中介構件嵌入竹材內部：中介構件先嵌入竹材內部後，再以膠合、灌注填充材產生之握裹力接合，或搭配綁紮接合提高握裹力。
- b. 中介構件包裹於竹材外部：中介構件包覆於竹材外部，利用夾合機制固定的摩擦型接合，或是使用插梢固定的剪力型接合。

若中介構件不只一個時，中介構件之間的接合可再分為以下兩種：

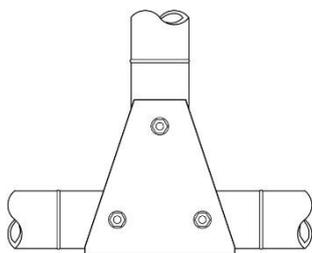
- i. 節點版接合：主要用於平面接合。
- ii. 多向接頭接合：主要用於立體接合。



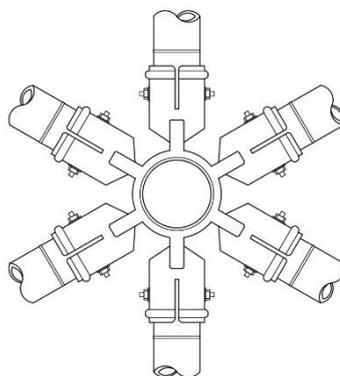
(a) 木材內嵌式接頭



(b) 外包式夾具接合



(c) 木節點版接合

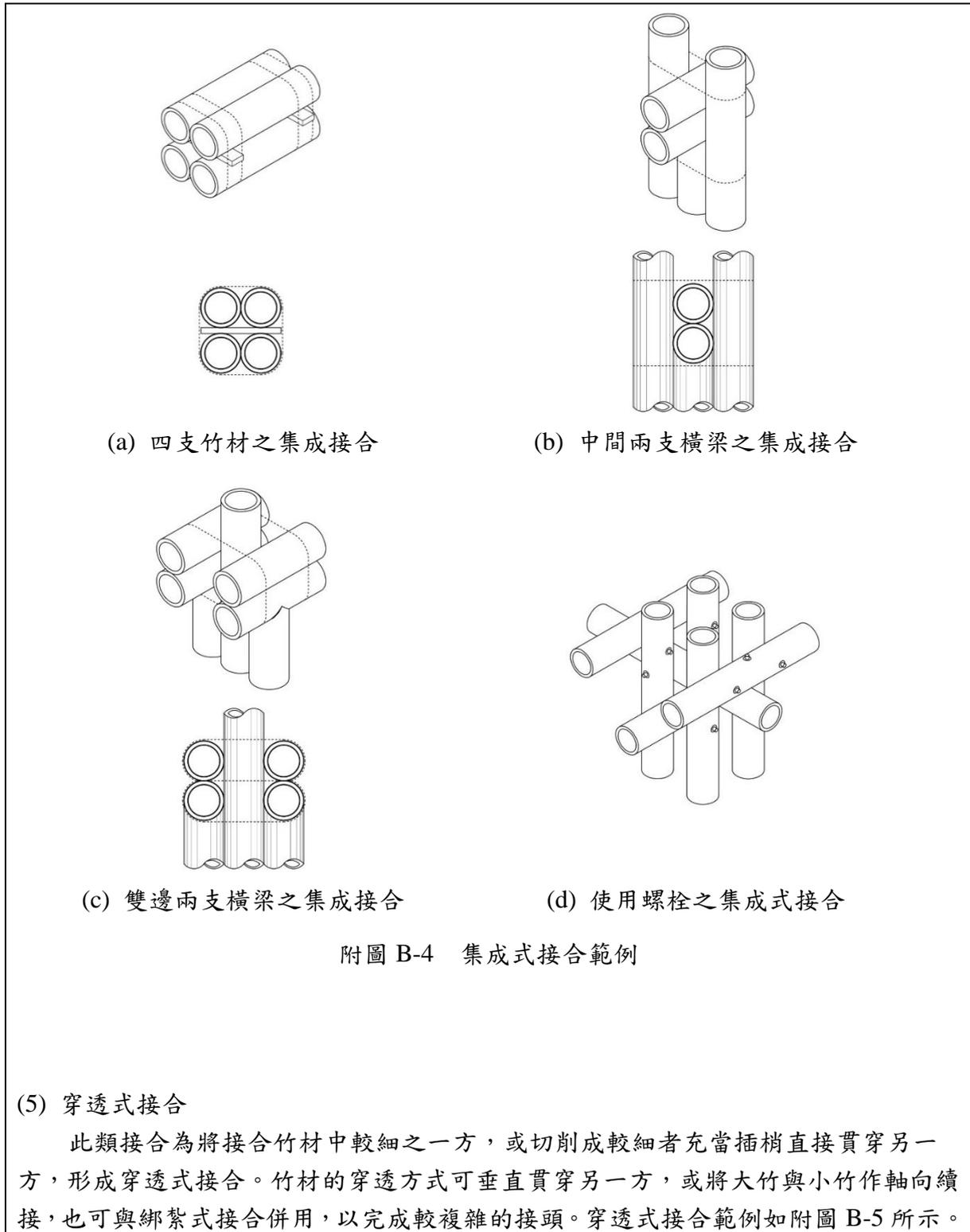


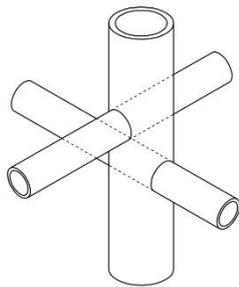
(d) 連接外包式夾具之金屬多向接頭

附圖 B-3 中介構件接合範例

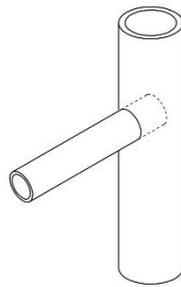
(4) 集成式接合

集成式接合指的是接合處各向竹材數量不止一支，以分散應力並提高接合處剛性之多對多接合。集成式接合範例如附圖 B-4 所示，傳統的集成式接合多用繩索直接將竹材成束綁紮，現代則較常用螺栓插梢式集成接合。集成式接合可容許局部抽換老朽竹材，以延長竹構造的使用年限。

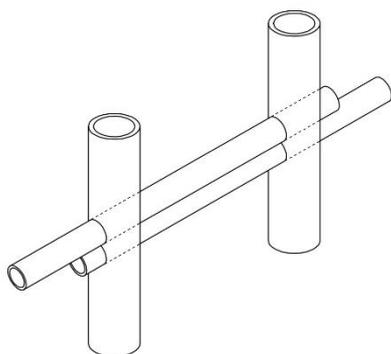




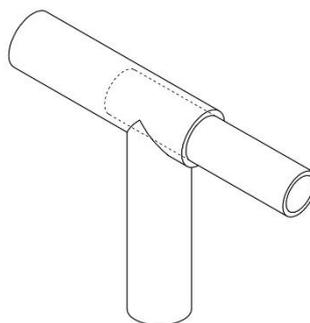
(a) 垂直貫穿之接合



(b) 半貫穿之接合



(c) 作為搭接之穿透式接合

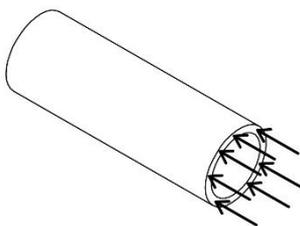


(d) 利用竹徑差異作軸向續接，注意應盡可能支承於接合部位

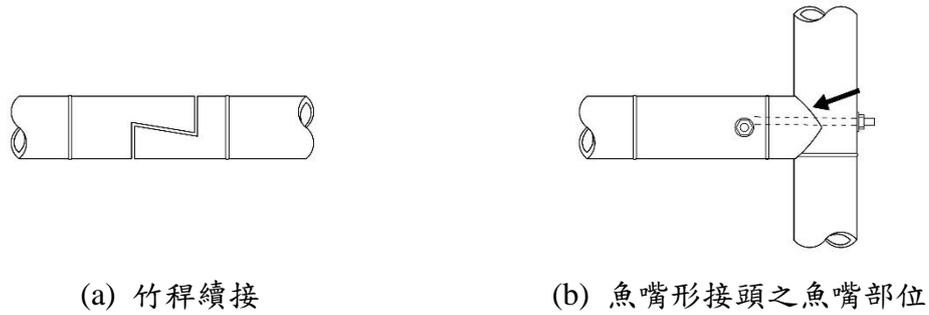
附圖 B-5 穿透式接合範例

(二) 依傳力機制分類

(1) 透過全斷面接觸以傳遞壓力

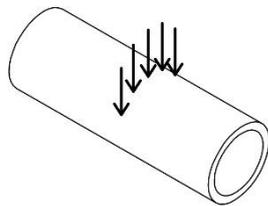


附圖 B-6 全斷面接觸以傳遞壓力示意圖

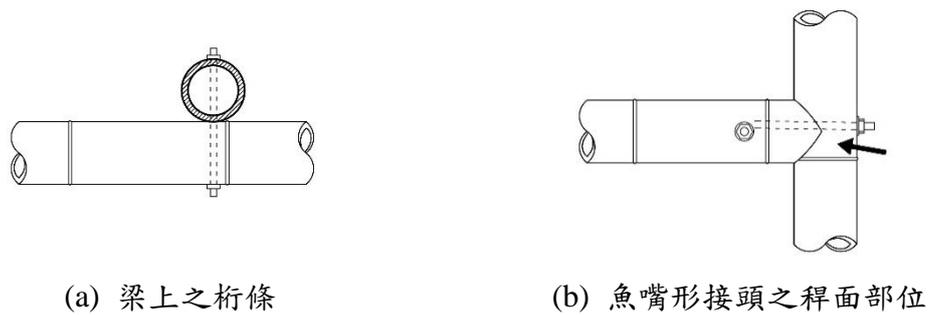


附圖 B-7 全斷面接觸以傳遞壓力範例

(2) 傳遞垂直於桿軸之力

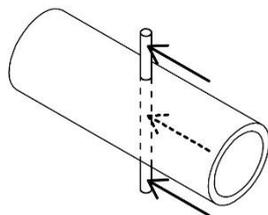


附圖 B-8 垂直於桿軸之力示意圖

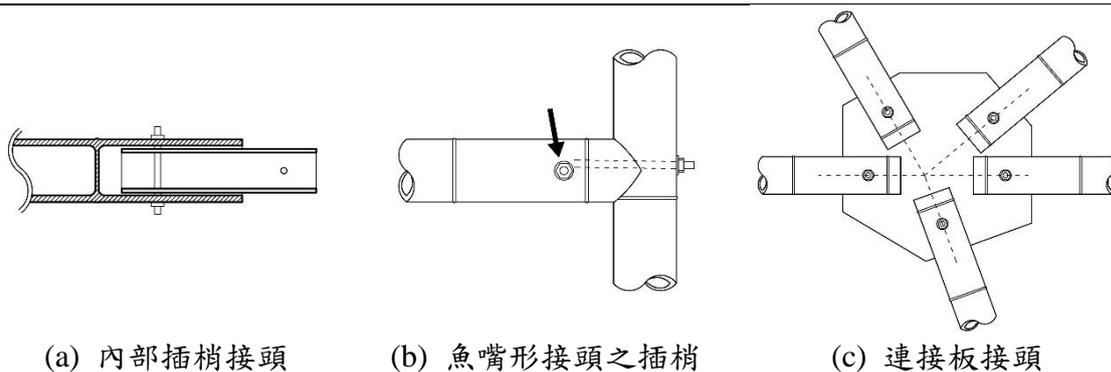


附圖 B-9 垂直於桿軸之力範例

(3) 經由插梢承载力與剪力，將力從直交構件透過程內或外部連接傳遞到竹桿壁

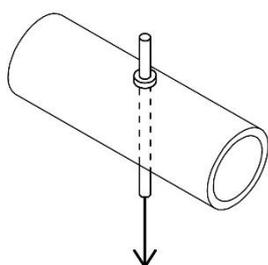


附圖 B-10 插梢承载力與剪力示意圖

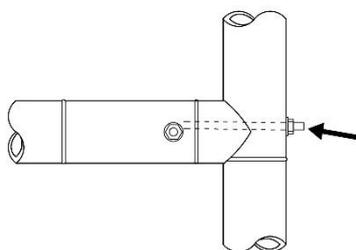


附圖 B-11 插梢承载力與剪力之範例

(4) 經由插梢傳遞拉力

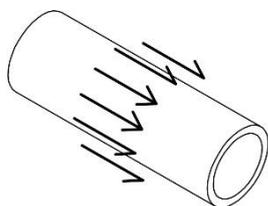


附圖 B-12 插梢傳遞拉力示意圖

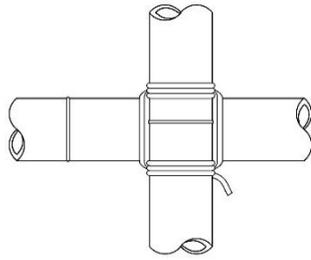


附圖 B-13 插梢傳遞拉力之範例：魚嘴形接頭之繫件

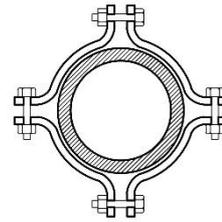
(5) 透過竹稈外表面之摩擦傳力



附圖 B-14 竹稈外表面之摩擦傳力示意圖



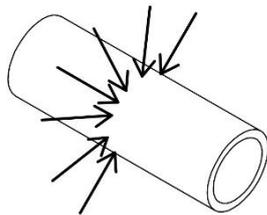
(a) 綁紮接頭



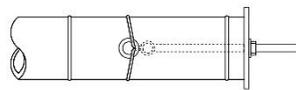
(b) 鍛造夾具接合

附圖 B-15 竹桿外表面之摩擦傳力範例

(6) 透過剪力與垂直於桿軸向之圓周應力將圍壓力傳遞到桿中心



附圖 B-16 傳遞到桿中心之圓周應力示意圖



附圖 B-17 傳遞到桿中心之圓周應力範例：同心綁紮接頭

(來源：ISO 附錄 D)

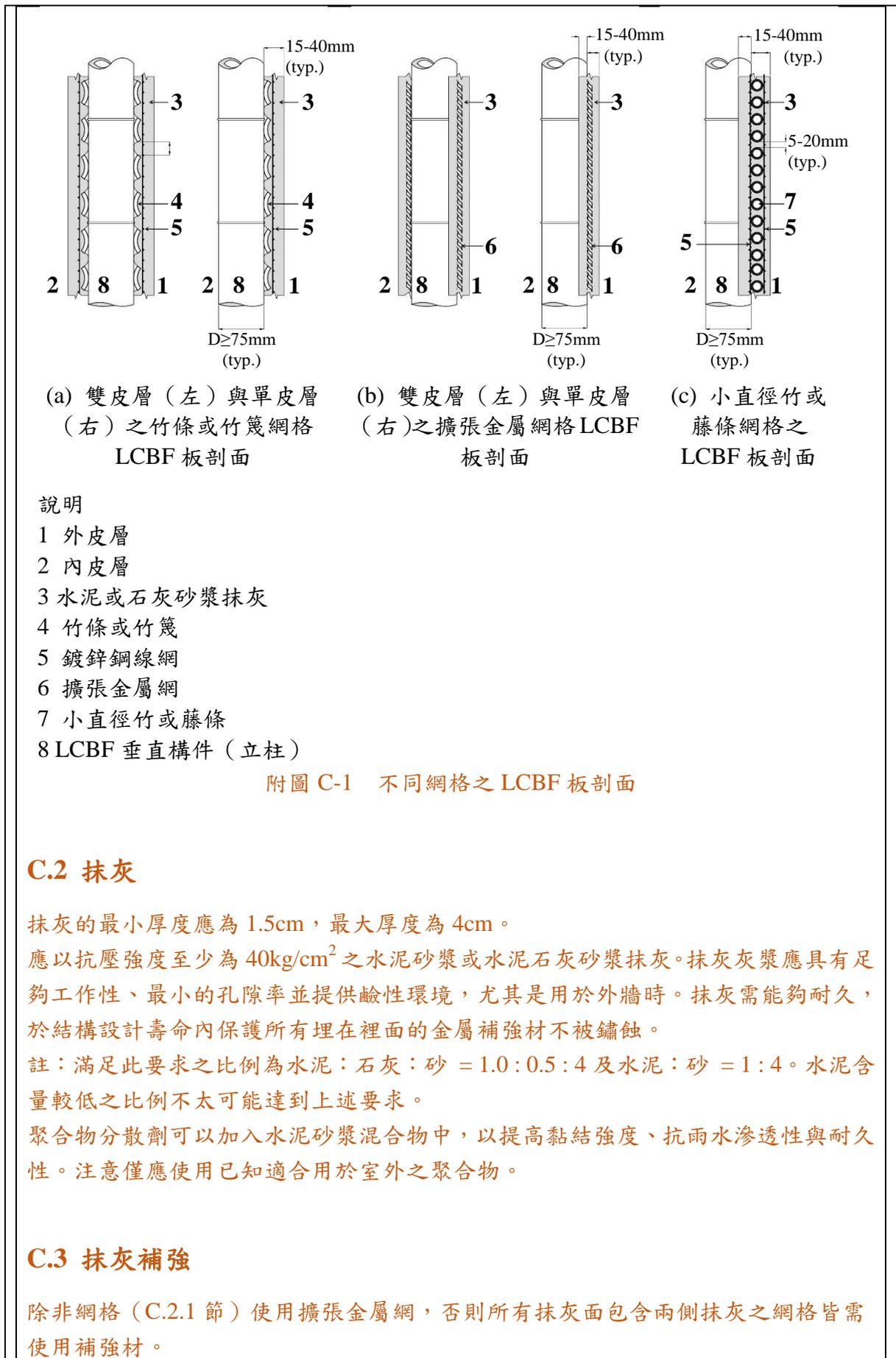
附錄 C 滿足第六章的 LCBF 組件設計

C.1 牆網格

牆網格可由竹條、竹篾、小直徑竹、藤條或鍍鋅金屬網組成（見附圖 C-1）。抹灰處理之牆網格應符合 6.3.1 與 6.3.2 節。附表 C-1 提供了滿足 6.3.1 節要求之牆網格和立柱間距組合。

附表 C-1 符合 6.3.1 節要求之牆網格、立柱間距與連接件組合

網格類型	網格材料尺寸	與砂漿接合之較佳網格間距	最大立柱間距	網格與框架之機械連接件
竹條或竹篾	最小厚度=0.8cm	網格元素間距介於 0.5cm 與 2cm 間	中心距 60cm	使用 0.3cm 釘子間隔 15cm 釘入竹稈，釘入處最小壁厚=0.7cm
擴張金屬網	最小重量=1400g/m ²	N.A.	中心距 60cm	使用 0.3cm 釘子間隔 15cm 釘入竹稈，釘入處最小壁厚=0.7cm
小直徑竹或藤條	最小直徑=1.5cm 最小壁厚=0.3cm	網格元素間距介於 0.5cm 與 2cm 間	中心距 100cm	根據第五章決定



C.2 抹灰

抹灰的最小厚度應為 1.5cm，最大厚度為 4cm。

應以抗壓強度至少為 40kg/cm^2 之水泥砂漿或水泥石灰砂漿抹灰。抹灰灰漿應具有足夠工作性、最小的孔隙率並提供鹼性環境，尤其是用於外牆時。抹灰需能夠耐久，於結構設計壽命內保護所有埋在裡面的金屬補強材不被鏽蝕。

註：滿足此要求之比例為水泥：石灰：砂 = 1.0 : 0.5 : 4 及水泥：砂 = 1 : 4。水泥含量較低之比例不太可能達到上述要求。

聚合物分散劑可以加入水泥砂漿混合物中，以提高黏結強度、抗雨水滲透性與耐久性。注意僅應使用已知適合用於室外之聚合物。

C.3 抹灰補強

除非網格（C.2.1 節）使用擴張金屬網，否則所有抹灰面包含兩側抹灰之網格皆需使用補強材。

抹灰補強材通常為鍍鋅鋼線網，其 AWG 規格約為 19 至 22 (直徑 0.10 至 0.07cm)，最大網孔尺寸為 2cm。這種鋼線網俗稱為雞籠網 (Chicken wire)。

補強材應使用螺絲釘、釘槍或釘子(5.10.2 節)固定於框架上，注意固定時不應造成框架桿件劈裂。

C.4 垂直構件 (立柱)

垂直構件應使用木材或竹立柱。竹立柱直徑應不小於 7.5cm。鋸木材應至少為 3.8×8.9cm (標稱 2×4 inch)，其中較寬一側應垂直於板面之方向。

立柱之最大中心距應為 60cm。如果滿足以下兩個條件，最大間距可提高至 100cm：

- 網格使用實心竹材或藤條，直徑大於 1.5cm 且壁厚大於 0.3cm。
- 立柱為鋸木材或直徑至少 10cm 之竹立柱。

立柱應能夠抵抗重力及傾覆衍生之拉力與壓力載重，而不挫屈或壓潰底板或頂板。應確保在板端立柱與基礎間傳遞拉力的直接路徑。

立柱與底板或頂板間之接合必須能夠傳遞包括拉力在內之所有預期面內與面外力。

C.5 斜撐

斜撐應使用竹材、木材或鋼。竹斜撐之直徑應不小於 7.5cm。鋸木材支撐應至少為 3.8×8.9cm (標稱 2×4 inch)，其中較寬一側應垂直於板面之方向。

斜撐構件可設計為僅抵抗拉力、僅抵抗壓力或可抵抗拉力與壓力。使用斜撐時，每個 LCBF 板中必須至少安裝一個有效的斜撐桿件。

C.6 頂板與底板

頂板與底板應使用木材或竹材。竹頂板與底板之直徑應不小於 7.5cm。鋸木材桿件應至少為 3.8×8.9cm (標稱 2×4 inch)，其中較寬一側應垂直於板面之方向。

頂板與底板應該是連續的，並跨越面外束制點。端部接合應設計為可完全承受面外載重。

頂板與底板應能夠抵抗來自垂直框架桿件與斜撐之側向載重，這在板端垂直桿件抵抗重力與傾覆壓力時特別重要。

底板應儘可能直接支承於基礎，且固定處間距不超過 50cm。於 LCBF 板端部應視需要提供額外的錨固力以抵抗上抬力。

(來源：ISO 附錄 E)

附錄 D 施工品質管控

D.1 一般規定

D.1.1 本附錄說明竹結構之材料、竹材處理之流程步驟、竹材轉接頭之製作與組構步驟、竹構件之現場安裝、施工吊裝方式與檢驗等事項之相關規定。

D.1.2 本附錄之工作範圍包含：

- (1) 依據契約及設計圖說之規定，凡屬於竹結構構架、大型圓竹結構、竹樓板構架等實竹製作之竹構造等工作項目。
- (2) 材料取得、製作、組立、搬運、現場吊裝等竹材處理到施工之過程。
- (3) 為完成竹材處理到施工所需之一切人工、材料、機具、設備、動力、運輸及其完成後之清理工作等。
- (4) 如無特殊規定時，工作內容應包括但不限於附屬竹結構之竹材轉接頭、連接件、小五金配件及完成後之表面塗裝等。

D.1.3 施工單位應委託國內具有公信力之試驗機構進行檢驗，檢驗報告應提交設計單位，檢驗試體需包含防腐處理後之竹材、竹材轉接頭或其他配件，且能顯示其紋路、質感及顏色等。

D.1.4 完工前後及保固期內，凡發現因使用材質不良或施作不良，以致成品有脫榫、開裂、變形或其他弊端時，施工單位應負責拆去不良材質更換並重作。

D.1.5 竹材或接頭應進行檢驗。竹材之含水率之測量部位宜以含水率最高之竹頭為準，取樣及檢驗方式應依農產品檢查及檢驗辦法進行；竹接頭之結構強度應每 300 支檢驗一次，不足 300 支亦檢驗一次。

D.2 竹材料

D.2.1 砍伐之竹材應符合 3.2 節之規定。

D.2.2 竹材長度依設計需求，且需預留至少 30cm 之損耗長度。

D.2.3 砍伐後需人工離地搬運，表面不可有蛀孔及開裂。

D.3 竹材處理

D.3.1 殺青處理

方式有煮沸法或炭火法，目的為去除竹材表皮上的油污與減少竹肉的醣分。竹材於煮沸的水槽中充分浸泡 20 分後取出，再將竹材表面污垢刷洗乾淨，刷洗過程應避免破壞竹材原有之自然保護層。

D.3.2 高溫乾燥

於乾燥窯以蒸氣加溫至 70° C 後，換熱管加溫至 110° C，將竹管壁中之游離水轉變成蒸氣逸散，降低含水率至 15% 以下後，方可出窯。

D.3.3 初步加工

竹材裁切至需求長度（毛料），需求長度尺寸需經幾何分析、分解製造圖之精密計算，如因誤差導致現場無法組裝之情況，施工單位需自行負責拆去。

D.3.4 塗裝保護

使用油性潑水劑一底一度塗裝於竹材表面，可達防水透氣之效果，避免發霉。

D.3.5 竹材運送及存放

所有竹材、配件及加工後之竹裝修料，在存放處、工廠內、搬運中、運達工地及其他工作施工時應以監造單位同意之適當措施保護之，並須有場地可存放，須置於通風、有覆蓋、不受潮地點，並注意防禦火災產生之可能性。如日後發現有彎曲變形、發霉、磨損擦傷、蛀孔及開裂者應剔除，不得採用。

D.4 竹構造之施作

D.4.1 竹構造中之金屬元件應進行適當之防鏽處理。

D.4.2 構件與接頭之施作，其尺寸、式樣、品質須符合設計圖及施工製造圖之相關規定，並須先製作樣品送審及進行竹接頭試驗。

D.4.3 施工單位之放樣技術人員應於適當及寬敞之場地執行放樣工作，放樣技術人員應先閱讀了解全部圖樣，繪製必要之幾何分析、分解製造圖，再將各部結構在放樣場地畫線翻製足尺實樣，校對每一詳細尺度妥當後製成樣板，以憑裁切。放樣技術人員於實樣畫線時，如發現與原圖不符或有施工不便之處，應即時報告設計單位核對處理。

D.4.4 安裝時竹構件應裝置平直，所有搭接之處均應拼接緊密。

第六章 政策、輿論收集分析及初步因應策略

本研究針對竹材推廣之背景進行調查分析，包含民間單位的推廣、政府政策面之推廣及現階段之推廣成效。6.1 與 6.2 節分別簡介私部門與公部門的竹材推廣，6.3 節整合並提出初步之因應策略。

6.1 私部門的竹材推廣

國內外有眾多持續推廣竹材使用之民間單位，其中具代表性之民間組織如下：

(1) 世界竹會

世界竹會(World Bamboo Organization)之前身為為國際竹業協會 (IBA)，旨在促進世界各地竹材之環境、社會經濟、生物與文化的交流。世界竹會每 3 至 4 年舉辦一次世界竹子大會(WBC)，2021 年第 12 屆 WBC 本預計於台灣舉行，但因疫情緣故而取消，圖 6.1 為本屆 WBC 之宣傳海報。

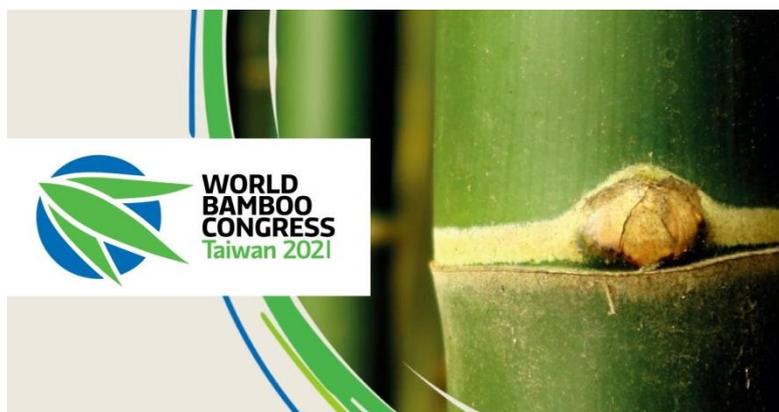


圖 6.1 2021 年第 12 屆世界竹子大會海報

(2) 台灣竹會

台灣竹會於 2013 年組成，期望扮演國內外竹產業交流的全方位平台，透過資訊、技術、文化、教育，致力於推廣竹產業之文化交流、經驗傳承，並藉國際交流刺激國內

竹產業重生。

2020 年出版《從竹子到竹房子：給所有人的竹構築指南》，如圖 6.2，將台灣數十年來的竹建築技術與經驗，轉化為一般民眾易讀之手冊，網站上另有《竹構築指南線上專業版》提供更詳細的竹構設計指南，此外也公開大藏聯合建築師事務所之多個竹構案例的基本圖面參考。

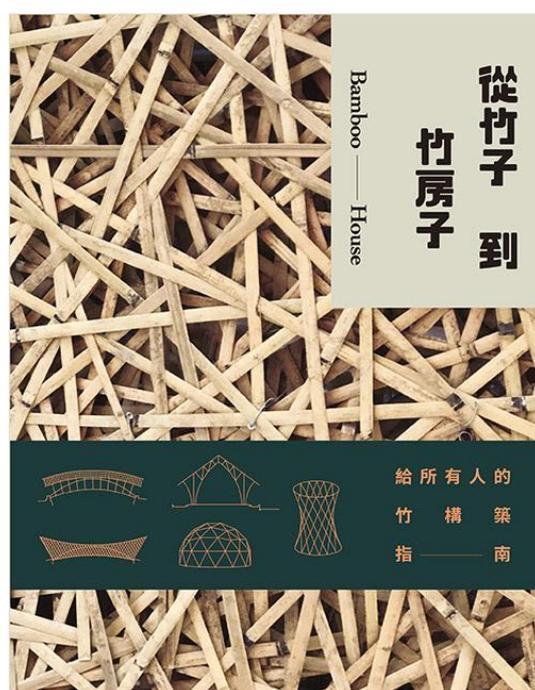


圖 6.2 《從竹子到竹房子》一書

(3) 竹材產業技術諮詢中心

為工研院與林務局協助組成「竹產業創新服務團」之諮詢平台，主要針對目前竹材產業中「消費者對竹材產品認知不足」、「市場及技術資訊不易取得」與「缺乏行銷通路」的三項問題，採取教育或提供諮詢的方式，加強產業之行銷溝通。

(4) 綠媒體

綠媒體以「綠的傳媒者」為定位，並透過數位媒體、實體出版、線下活動及論壇展覽推廣綠色生活之理念。綠媒體關注之議題涵蓋餐飲、田園、市集、永續設計等等，並

與台灣竹會合作宣傳並架設《從竹子到竹房子》一書之數位內容。

(5) 其他

國內外有許多致力於推廣木竹構造並協助推動木竹產業之單位與組織，例如台灣木建築產業研究院協會、中華木質構造建築協會、木之家種子協會等等，提供木竹產業技術或教育推廣之資源。

6.2 公部門的竹材推廣

近年來，包含本研究計畫在內，政府發起多個計畫持續推廣竹材的使用。本節將公部門的竹材推廣政策大致上分為兩類，第一類將竹材視為綠建材、環保材料的一種，藉由推動竹材使用達到節能減碳的目的；第二類為因應竹產業逐漸沒落，著重在竹產業方面的振興。以下分別介紹公部門兩類政策的推廣。

(1) 竹材作為綠建材之推廣政策

近年之節能減碳政策主要來自於行政院於2009年12月成立之「節能減碳推動會」，此推動會每三至六個月召開一次，並於第一次會期確定「國家節能減碳總計畫」之架構。「國家節能減碳總計畫」中提出十大標竿方案、35項標竿型計畫作為推動重點，並定期追蹤執行進度及成效。十大標竿方案中第六項「營建綠色新景觀與普及綠建築」底下細分之「推動新建綠建築及推廣使用節能減碳綠建材」標竿型計畫即為內政部之執行範疇。

內政部近年來持續推動綠建築與綠建材之使用，除了完成綠建築分級評估制度並依使用型態訂定不同的評估手冊，也執行了許多綠建築相關計畫並推動木竹構造之使用。

(2) 竹產業振興之政策

此部分之政策背景為台灣竹產業近年來受到工資、土地成本上升，並遭遇國際低價

競爭而逐漸沒落。為協助具傳統代表性的竹產業轉型與振興，農委會於 2004 年推動「竹產業轉型與振興計畫」，企圖提高竹材之附加價值，並降低弱勢產業族群的失業率。此計畫與工業技術研究院合作，進行竹材加工技術研發、設備系統設計、生態教育及推廣應用。

2017 年農委會林務局所推動之「國產竹材產銷供應鏈建構與技術推廣計畫」更與工業技術研究院合作成立前文所述之「竹材產業技術諮詢中心」，持續推廣竹產業技術，並成功媒合、輔導多個創新竹材創業案例。

6.3 初步因應策略建議

雖然私部門與公部門皆長期推動竹材使用與竹產業振興發展，竹構造出現於台灣空間景觀之案例仍舊稀少，原因可能來自於是市場上對於竹構造仍相當保守，竹材依然被認為是過時、不安全的材料，多只用於臨時性建築或景觀附屬構造物。另外，竹構造之推動多僅限於技術方面之推廣，無法實際帶動竹構造需求的成長，導致台灣目前仍只有零星的竹構案例。

針對上述問題，本研究提出之初步因應策略建議如下：

(1) 制定竹構造規範與相關標準

藉由制定竹構造之設計技術規範與竹材相關標準，協助竹構管理制度化，以解決現階段竹構造因欠缺系統性之指引與有效管理，導致只用於非正式與臨時性建築之狀況。可藉官方帶頭推動竹構造規範，翻轉竹構造過時、不安全之印象，進而加速推動本土竹材於營建產業之普及性。

(2) 將竹構造連結地方意象

現階段竹構造推動面臨難題之一為需求層面的不足，如政府單位能將竹構造與地方意象做連結，使竹構造不再只是一種構造選擇，而是能直接扮演地方特色，或許能從根

本上增加竹構造之需求。就如褚瑞基建築師於 ta 台灣建築雜誌的文章「竹子建築的再想像與復興契機」[21]提到：「國發會所羅列及管考的『推動地方創生政策』可能就是是否能復興竹產業以及其相關竹景觀、竹文化、竹永續的關鍵政策。」。褚瑞基建築師也提到諸多政府之地方創生相關計畫如「農村再生第二期實施計畫」、「營造休閒運動環境計畫」、「創意生活產業發展計畫」或「原民部落營造計畫」等等皆能以竹文化、竹樂活為主題營造地方之景觀風貌，藉由竹構造之使用，推動台灣「鄉、鎮、原民部落」的地方再生，進而復興台灣地方之竹產業、竹文化。

儘管本研究能以制定竹構造規範完成竹構造技術面之管理制度化，但如要拉起整個竹產業鏈的需求，仍須由政府主導，整合地方創生相關之諸多計畫，以竹文化、竹生活意象連結地方，帶頭創造竹構造之使用需求。

第七章 建議制訂之 CNS 標準列表

國內目前仍欠缺竹材料性質及竹構造相關測試之 CNS 國家標準，造成竹構造設計規範之材料性質相關規定僅能援引 ISO 22157 等國外標準，因此本研究參考既有之木材相關 CNS 標準及國外 ISO 標準，列出建議制定之 CNS 國家標準及其參考標準如下：

- (1) 竹材之分類（參考標準：CNS 442 木材之分類）
- (2) 竹材之常見缺點（參考標準：CNS 443 木材之常見缺點）
- (3) 竹材之物理與強度試驗之取樣方法與一般要求（參考標準：CNS 450 木材之物理與強度試驗之取樣方法與一般要求）
- (4) 竹材密度試驗法（參考標準：CNS 451 木材密度試驗法）
- (5) 竹材含水率試驗法（參考標準：CNS 452 木材含水率試驗法）
- (6) 竹材抗壓試驗法（參考標準：CNS 453 木材抗壓試驗法）
- (7) 竹材平行纖維方向抗彎試驗法（參考標準：CNS 454 木材抗彎試驗法）
- (8) 竹材垂直纖維方向抗彎試驗法（參考標準：ISO 22157，竹結構－竹稈物理與力學性質之測定－測試方法）
- (9) 竹材平行纖維方向剪力強度試驗法（參考標準：CNS 455 木材平行纖維方向剪力強度試驗法）
- (10) 竹材平行纖維方向抗拉試驗法（參考標準：CNS 456 木材抗拉試驗法）
- (11) 竹材垂直纖維方向抗拉試驗法（參考標準：ISO 22157，竹結構－竹稈物理與力學性質之測定－測試方法）
- (12) 竹材衝擊抗彎強度試驗法（參考標準：CNS457 木材衝擊抗彎強度試驗法）
- (13) 竹材磨耗試驗法（參考標準：CNS 458 木材磨耗試驗法）
- (14) 竹材尺度收縮率試驗法（參考標準：CNS 459 木材尺度收縮率試驗法）
- (15) 竹材硬度試驗法（參考標準：CNS460 木材硬度試驗法）

- (16) 竹材防腐劑（參考標準：CNS14495 木材防腐劑）
- (17) 木竹結構剪力牆試驗法（參考標準：ISO 21581:2010，木結構－剪力牆之靜態與往復載重試驗方法）
- (18) 木竹結構接頭試驗法（參考標準：ISO 12122-5，木結構－特徵值之測定－第 5 部分：機械接合）
- (19) 木竹結構組件試驗法（參考標準：ISO 12122-6，木結構－特徵值之測定－第 6 部分：大型元件與組件）

第八章 結論與建議

8.1 結論

本計畫總共完成之工作包括：文獻蒐集整理、組成專家小組、擬定竹構造設計規範架構、召開五次專家小組會議、草擬竹構造設計規範內容、並提出政策、輿論收集分析及初步因應策略建議，分別詳述如下。

1. 文獻蒐集整理

已蒐集國內外設計、施工規範及相關資料包括：

- (1) 設計規範：ISO 竹構造設計規範 (ISO 22156) 2004 年版及 2021 年版、秘魯竹構造技術規範、中國園竹結構建築技術規程 (CECS434)、台灣木構造建築物設計及施工技術規範、美國木構造極限設計規範 (ASCE16-95) 等。
- (2) 施工規範：INBAR 竹施工手冊 (2015)、秘魯竹構造施工手冊 (2014)、Janssen 竹設計與施工著作 (2000)、López 竹施工著作 (1981) 等。
- (3) 其他：ISO 竹材料性質測試規範 (ISO 22157)、香港竹棚架設計及搭建指引、竹財產業技術諮詢中心竹材性質資料、印尼竹材料相關標準、及 ISO 22156 中引用之相關 ISO 材料性質測定標準等。

本計畫檢視各文獻內容並經專家小組討論後，選定相關性最高之 ISO 22156 作為本計畫竹構造設計規範之主要參考依據，並加入部分秘魯竹構造技術規範內容。前述規範全文之中文翻譯詳列於本報告之附錄。

2. 專家小組組成與專家小組會議

已邀集 9 位專家組成專家小組，組成包括相關領域學者、設計專業人員、相關研究機構及主管機關代表，並總共舉辦五場專家小組會議。會議中對本計畫草擬竹構造設計規範之架構與參考國外規範之依據達成共識，並針對傳統工法之適用性、竹構造之防火規定、施工相關規定是否納入、設計方法採容許應力法或極限設計法、竹材料測試欠缺

CNS 國家標準是否可引用國際標準、竹混合構造是否納入...等問題加以討論。

3. 竹構造設計規範架構及內容草擬

根據專家小組會議之共識，本計畫仿照台灣木構造建築物設計及施工技術規範之章節架構擬定竹構造設計規範草案，內文原主要參考 ISO 22156 之 2021 年版，並加入部分秘魯竹構造技術規範、ISO 22156 之 2004 版。除容許應力設計法外，也參考 ASCE16-95 納入極限狀態設計法之內容，採兩設計法併陳方式草擬規範。

4. 政策、輿論收集分析及初步因應策略建議

本計畫收集分析民間單位及政府政策面針對竹材使用之推廣措施，及現階段之推廣成效，並參考相關文獻提出初步之因應策略建議。

8.2 建議

(一) 建議一

短期建議：竹構造建築物設計規範草案

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本研究已整理國內外竹構造相關研究文獻中，並組成專家小組草擬出竹構造建築物設計規範草案。本研究建議將此設計規範草案送請營建署參考辦理。

(二) 建議二

短期建議：竹材料性質測試 CNS 國家標準

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

國內目前仍欠缺竹材料性質測試之 CNS 國家標準，造成竹構造設計規範之材料性質相關規定僅能援引 ISO 22157 等國外標準，本研究列出了建議制定之竹材料性質測試相關 CNS 國家標準，作為後續擬定 CNS 標準之參考。

參考文獻

1. 馬子斌，(1964)，「臺灣主要竹材之物理性質及力學性質」，台灣省林業試驗所報告第 106 號。
2. 林維治、張添榮，(1996)，「林維治先生竹類論文集」，台灣省林業試驗所出版，台北。
3. 黃世孟、劉安平，(2003)，「推展竹材建築與落實竹材科技補助研究計畫」，內政部建築研究所補助研究計畫報告。
4. 穆寶貴，(2007)，「台灣竹構建築結構體構法之調查研究」，碩士論文，國立成功大學建築系，台南。
5. 游家誠，(2009)，「古蹟歷史建築修復施作過程竹材保護棚架系統之研擬與應用」，碩士論文，國立成功大學建築系，台南。
6. Janssen, J, (1981). “Bamboo in building structures”, Master Thesis, Eindhoven University of Technology.
7. Davies, C., (2008). “Bamboo Connections”, Master Thesis, University of Bath.
8. Padovan, R. B., (2010). “O Bambu Na Arquitetura: Design De Conexões Estruturais”, Master Thesis, Universidade de São Paulo.
9. López, O. H., (1981). *Manual de construcción con bamboo*. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos.
10. Janssen, J., (2000). *Design and Building with Bamboo*, Beijing: International Network for Bamboo and Rattan.
11. Oyague, T. C., (2014). *Manual de Construcción de Estructuras con Bambú*, Lima: SCENICO.
12. Ubidia, J. M., (2000). *Construir con Bambú Manual de construcción*, Beijing: International Network for Bamboo and Rattan.

13. American Society of Civil Engineers, (1996). AF&PA/ASCE 16-95: *Standard for Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Engineered Wood Construction*, New York, USA.
14. 中華民國內政部營建署，(2003)，木構造建築物設計及施工技術規範。
15. ISO, (2004). *ISO22156:2004: Bamboo—Structural*, Geneva, Switzerland.
16. 中国工程建设标准化协会，(2016)，园竹结构建筑技术规程：CECS434。
17. Ministerio de Vivienda, (2017). *Construcción y Saneamiento, Norma Técnica E.100 para el uso deBambú*.
18. ISO, (2004). *ISO22157: Bamboo structures—Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms—Test methods*, Geneva, Switzerland.
19. ISO, (2021). *ISO 22156:2021: Bamboo Structures—Bamboo Culms—Structural Design*, Geneva, Switzerland.
20. 社團法人臺灣竹會，(2020)，「從竹子到竹房子：給所有人的竹構築指南」，田園城市出版。
21. 褚瑞基，(2021)，「竹子建築的再想像與復興契機」，ta 台灣建築雜誌，306，98-101。

附錄一 期中審查會議記錄及研究團隊回應

委員	審查意見	回覆
陳正平	<p>一、規範草案</p> <p>1.2.3(2)及(3)(4)中之「結構形式」，建議改為「結構型式」。</p> <p>1.2.3(4)「連續性」建議改為「完整性」。</p> <p>3.1.5 中之「得」，建議改為「應」。或移至解說中並改為「宜」。</p> <p>1 3.3.2 之載重組合，建議參照「鋼結構設計規範」。</p> <p>5.2 中「偏心率」建議改為「偏心」。</p> <p>5.2.4 中「固接」建議改為「剛接」。</p>	感謝委員寶貴意見，遵照辦理。
陳煥燁	<p>1. 從設計者的角度各種材料都能有設計規範作為設計依循是很重要的，所以支持台灣能研發自己的竹構造設計規範。</p> <p>2. 設計規範草案裡面的專有名詞，建議可參考國內其他 RC、SS 規範之用語，例如 3.2 節的“界限狀態”在其他規範似無此用語。</p> <p>3. 3.3.2 載重組合，目前僅定義 $\alpha_y=1.0$，就設計者而言並沒有辦法計算出設計地震力，仍缺少其他參數值（例如 $R=?$）建議應徵詢“建築物耐震設計規範”委員的建議。</p> <p>4. 竹構材不耐火害，適合作為永久建物嗎？</p>	感謝委員寶貴意見。規範用語將參考其他規範採一致用語，設計地震力參數將參考木構造設計規範並徵詢專家小組建議決定。竹構造目前可適用建築技術規則非防火構造相關規定，滿足一定樓地板面積規模以下及防火間隔之條件下，即可用於永久建物。
歐昱辰	<p>1. 可建議需訂定之相關 CNS 規範。</p> <p>2. 台灣常見竹種之材料性質建議值可參考附錄一，未見此附錄，請補充。</p> <p>3. 建議第三點提到目前並無竹構造極限設計法之詳細參考依據，但 22156：2004 係根據極限狀態設計法，第五章規範草案極限狀態設計法</p>	感謝委員寶貴意見。CNS 規範需求將列於期末報告建議中，台灣常見竹種之材料性質亦會補上。ISO 22156：2004 雖稱根據極限狀態設計法，但條文內容僅為原則性規定，欠缺具體細節如載重組合、強度折減因數等，目前規範草案內容乃參考美國木構造極限設計法規範，後續將參考 ISO

	與容許應力法皆有提，請釐清。	22156：2021 修正。
廖文義	本研究透過既有研究文獻蒐集，建立竹構造材料性質之基礎資料如彈性模數、破壞強度等，並進行研擬竹構造設計相關規範之草案。研究中探討大跨距薄殼竹構造建築案例之應用及蒐集彙整國內外相關資料，研擬國內推廣竹構造建築物初步建議。本研究成果豐碩可提供給業界運用，符合預期成果需求。但建議應該增加接頭即與基礎接合部設計之規範或提供範例供工程師參考。	感謝委員寶貴建議，遵照辦理。
王亭復	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本報告請列出研究計畫進度表及本期要達到目標。 2. 請說明列出台灣本地產構造用竹材種類及單位重，彈性模數，縱向抗拉強度，縱向抗壓強度，抗彎強度，橫向抗剪強度。 3. p35，2.2 特徵值原文為何？單位：N/mm^2？該公式是否意味每次設計階段均需測試統計？何不先規定 R_k 值或上述強度之容許應力值 σ_{all}，再以試驗驗證。測試統計可由產製商就其產品測試統計出產證明。 4. ISO 22156-2021 業於 2021-06-17 公布與 2004 年版有很大差異且較合理，因此建議本案設計規範以此為主要參考規範予補充修訂。 5. 其實秘魯的規範較近吾等熟習的美國規範如 ASCE，AISC 的寫法及用法，ISO 則為西歐如 EN，BS 規範標準。 6. 規範草案所有公式及圖，表應予編號。 	感謝委員寶貴意見。研究進度及預期目標於期中簡報時已說明。台灣本地產竹材材料性質之既有資料並不齊全，將列為下年度研究計畫，並將目前既有資料列於規範草案附錄中。特徵值原文為「Characteristic value」，乃為統計用語，其單位隨所統計之性質而定，竹材為天然材料，每次建造均需根據所取得竹材測定材料強度，無法要求規格化強度。本規範草案後續將依照 ISO 22156：2021 修訂，並參酌秘魯規範之相關內容加以補充。
邱昌平	本計畫名稱中有“技術”二字，所以研究重點宜放在預期成果 5、6 兩項。應深入了解為何在農業社會時的台灣，滿山遍野到處有竹林，卻百年以	感謝委員寶貴意見。竹構造於近年在國際間再度興起，國內外之案例皆在增加中，國內亦有雲林農博、台中華德福學校等現代竹建築之應用。現代

	<p>來少有人蓋竹屋。目前竹林更少，竹建材的加工場、職人、加工工具設備扣件供應等都是問題，所以只能不計成本的做戶外棚架藝術作品，無法作為長期居住、集會用的永久建築物。建築法、建築技術規則、CNS、工程會的施工綱要規範等更難納入，理工農的教育培訓也困難重重。經濟性、技術性、安全性、耐久性等都是問題。故建議朝“參考規範”作主架構，ISO 的、秘魯的譯文等做其附錄。</p>	<p>竹構造與農業時代之傳統竹建築不同，採用工程邏輯設計，亦有國際規範 ISO 22156 可供參考。國內亦由竹產業團體、研究機構、設計事務所等產官學連攜大力推動中，本計畫僅為其中一環，規範草案訂定後仍有賴主管機關審定後續程序。</p>
江支川	<ol style="list-style-type: none"> 1. 竹構造的相關文獻與國外規範雖然不多，但專家學者的深入討論顯示台灣竹構造具有發展的條件與潛力，期待竹構造的設計成果能相繼出現。 2. 竹構造的建築物與木構造相比，耐久性不強、保養維護不易、空間私密性不高、與他種建材的接合度不高等等等，也許是設計竹構造建築物，無法普及發展的原因之一。 3. 竹子適合做傢具(椅子、床鋪等)，輕巧強韌是優點。如能加工形成「板材」型態，則使用範圍應該可以擴大。 	<p>感謝委員寶貴意見。竹構造在國外已有透過框組壁式工法應用於低層住宅的構法，也常見以積層材方式應用於家具之例子。保養維護及耐久問題在相關規範中皆略有提及，本計畫會納入考量。</p>
王炤烈	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要訂定一項新的設計規範確實不容易，目前研究團隊所收集的資料與研究成果已屬不易。 2. 竹子材料不像工業產品，能有一定的品質或規格，竹材料除設計時要做某些假設外，本研究可能要要求廠商在找到材料後，要進行那些試驗，以驗證那些品質，以提供進行施工時之詳細設計。 3. 除一些術語外，有些名詞，如斷面漸變度、筆直度等，建議能定義更詳細，以避免誤會。 4. 在所提的極限狀態設計法中，在載重組合中載重係數最高的風力，雖註 	<p>感謝委員寶貴建議。本計畫將參照相關規範，探討極限狀態設計法載重組合係數與強度折減係數之合理性，並於後續詳加補充術語表。</p>

	<p>明是依我國耐風設計規範，為其等級不同，差異不小，建議配合各項載重所考量標準，可再補充於解說中說明。</p> <p>5.在極限狀態設計法中之強度折減係數，是註明來源為 ASCE，建議再配合容許應力之強度再調整，使兩設計法之安全性相當，且例如壓力強度與拉力強度，在兩項設計法中之設計結果能相當。</p>	
--	--	--

附錄二 期末審查會議記錄及研究團隊回應

委員	審查意見	回覆
王炤烈	<p>1. 整份規範就項目，在內容上尚稱完整，包括材料、設計方法，惟在應用上，有些內容仍易產生有困難，後續可再配合學術研究、工程案例，予以補充及強化。</p> <p>2. 在強度設計法中，例如載重組合係數是參考我國相關規範，但竹構造實務中之載重比例會與如 RC、鋼結構之載重比例不同，建議可再研究。</p> <p>3. 對於範例 B 提供之資料很不錯，但如綁紮方式可能較適用在臨時工程，用中介構件接合應較適用較長期工程，惟如以鋼板插入，對竹材易順紋路產生批列，相關施工需要說明。</p>	<p>感謝委員寶貴意見。載重組合係數係同時參考美國木構造極限設計規範 ASCE 與我國相關規範，因其載重組合係數皆大致相同，故以我國規範為主。綁紮接合雖多用於臨時性工程，但優點為施工簡單，便於配合尺寸變異性較大的竹桿件，在國內外皆有試驗研究，其破壞形式為滑動主控，但仍有一定強度，可供設計參考。竹桿件較少使用鋼板插入工法，多採螺栓接合。本規範草案在 5.10 節提供相關規定。</p>
陳正平	<p>1. 建議「稈」改用「桿」。否則鋼結構是否用「鐸」，木結構用「桿」，塑膠結構？</p> <p>2. 通常複合係指不同材料合成作用，若多根合併宜用組合。第 4.4.2.1(3)「多桿複合」建議改為「多桿組合」（同鋼結構）。</p> <p>3. 4.4.2.1(6) 多桿組合構件建議改為「由兩支以上組合而成之受壓構材，相鄰連結間，個別桿件之最小迴轉半徑計得之長細比，不得超過組合構材整體長細比之 3/4。此外，組合構材沿其長度方向至少應有二個中間接合點」。</p>	<p>感謝委員寶貴意見，遵照辦理。</p>
陳澤修	<p>1. 竹構造之使用對環保及綠建材而言，是值得肯定，特別是在低樓層級臨時建築物之使用，應可以推廣。</p> <p>2. 竹構造最大的問題還是耐久性及防火需求 2 大問題。</p> <p>3. 耐久性經防腐處理後，能否概估使</p>	<p>感謝委員寶貴意見。目前規範草案中針對防火之規定乃參考木構造設計規範，實務上多半以非防火構造物進行檢討與規模限制。根據國外文獻 (Kaminski et al.)，未經處理且無保護的竹構造耐用年限不超過 5 年，但若</p>

	<p>用年限？</p> <p>4. 防火部分，除了防火塗料外，是否應配合其他防火材料一起使用。防火部分依非防火構造物檢討。</p> <p>5. 建議未來若能考慮用竹子的韌性在低樓層構造物，取代鋼筋的可能性。</p>	<p>經防蟲防腐處理，且有固定式保護層，耐用年限估計可達30年以上。竹材若要取代鋼筋，除了材料性質之外，還需克服與混凝土的握裹和錨定問題。</p>																
陳建忠	<p>1. 草案第9章，如技術規則已有名定者，可不予列舉，並與木構造比對，就其異同，再予明定。</p> <p>2. 究竟竹構造是否為長期構造？要建立於建築法規，建築技術規則及其規範似仍須社會各界集結共識，尤其在耐久性、防火等需探討之處仍多。宜請考量。尤其營建署及其人員意見態度很重要，要入法，需要其操作，宜事先建立共識。</p> <p>3. 竹材如果是使用原竹，其表面多熱容量，會膨脹等，都是相對於木材不利於使用，應請注意。</p> <p>4. 農委會林業試驗所在竹材建築已經投入多年人力及經費。</p>	<p>感謝委員寶貴意見。第9章防火相關規定已經具備實務經驗之建築業界專家檢視，並參酌建研所安全防災組意見。專家小組會議委員中已納入營建署代表於過程中提供意見，後續亦將參酌其建議辦理。竹材使用時與木材類似，需符合含水率相關規定，並注意劈裂之問題，均已納入規範草案。</p>																
邱昌平	<p>1. 如第八章中之結論所述4大項工作，皆以豐富繁重之內容完成本研究案之預期成果。尤以第五章「竹構造建築物設計規範草案」為最大研究標的，但卻全以竹材為建築物結構，如此繼續下去，很難在未來有一個真正可以使用的設計規範和施工規範的。如果採用 mixed structural system，即主結構用鋼、木、RC 為主，竹材用於次要結構及裝飾材，則尚可行。秘魯的竹構造技術規範還比較可行，且應用範圍限二樓以內之建築。其附件之範例，亦是以鋼材結構作柱梁，其 9.3.4.2 夾層應為二樓部分樓中樓版之設計。</p> <p>2. p.93 第八章建築物（含構材）耐久性（含耐火性能）與維護計畫，仍有</p>	<p>感謝委員寶貴建議。將比照秘魯規範將竹構造高度限制改為2層樓以內，並於第八章條文解說中納入秘魯規範 p.III-31 建議之維修參考事項。耐用年限之決定，可參考國外文獻(Kaminski et al.) 之建議，依照竹材所在環境及是否經過處理、有無保護來決定，如下表。</p> <table border="1" data-bbox="874 1585 1374 1816"> <caption>Table 1: Suggested approximate length of time before bamboo will need to be replaced (assuming warm aggressive environment with risk of termite and beetle attack)</caption> <thead> <tr> <th></th> <th>Untreated</th> <th>Treated with boron</th> <th>Treatment with fixed preservatives*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Internal</td> <td>2-6 years</td> <td>≥30 years</td> <td>≥30 years</td> </tr> <tr> <td>External above ground</td> <td>0.5-4 years</td> <td>2-15 years</td> <td>≥30 years</td> </tr> <tr> <td>External in ground contact</td> <td><0.5 years</td> <td><1 year</td> <td>≥15 years</td> </tr> </tbody> </table> <p>* This is an inferred estimate based on a combination of limited testing conducted so far using fixed preservatives in bamboo, and on evidence from stake tests of timber. It is not yet known whether severe exposure to rain increases the likelihood of splitting, which would weaken the culm and its connections, and allow further water ingress!</p> <p>國內外皆有針對日式或台式編竹夾泥牆體進行試驗之研究文獻，設計者可不需親自進行試驗，參考既有試驗結果進行設計。橫膈版側力之傳遞有許</p>		Untreated	Treated with boron	Treatment with fixed preservatives*	Internal	2-6 years	≥30 years	≥30 years	External above ground	0.5-4 years	2-15 years	≥30 years	External in ground contact	<0.5 years	<1 year	≥15 years
	Untreated	Treated with boron	Treatment with fixed preservatives*															
Internal	2-6 years	≥30 years	≥30 years															
External above ground	0.5-4 years	2-15 years	≥30 years															
External in ground contact	<0.5 years	<1 year	≥15 years															

	<p>不少困難點，如耐用年限如何決定 (8.2.1)，如何維護 (由誰維護？使用者不可能清楚的)？如秘魯的 p. III-31 維修，有十多項)</p> <p>3. 牆體等如何在試驗室做實驗？</p> <p>4. 側力之傳遞如何有效傳到各抗側力構件？p.85 第六章版構材，板不等於版。缺橫隔板之設計圖及其與剪力牆之連接圖。6.2 編竹夾泥牆剪力牆版缺少 6.3 LCBF 的要件。</p>	<p>多方法，例如透過水平斜撐或剛性樓板傳遞，本規範僅規定設計原則，實際細節及施作方式由設計者依照需求決定。</p>
黃中和	<p>1. 適用範圍中，提及不適於鷹架，建議「鷹架」修正為「施工架」，另外，是否於解說中說明不適用之緣由。</p> <p>2. 竹「桿」或竹「稈」是否需統一？</p> <p>3. 部分條文無解說內容，是否需補充？</p> <p>4. 專有名詞中，或許可以刪除代號，例如外徑”D”。且此處 D 與符號定義之 D 不太相同，請確認之。其他類似情形見修正之。</p> <p>5. 有關多雪地區規定，是否與國內環境適用之說明，或需特別定義請說明之。</p> <p>6. 附件 ISO 文件之目錄與內文不能相符合請修正之。</p>	<p>感謝委員寶貴建議。「鷹架」將修正為「施工架」並於解說說明不適用之理由。竹「稈」將統一為竹「桿」。其他結構規範亦非每條文皆有解說，編排時無解說者取消解說欄位。名詞定義中將不列入英文代號。多雪地區規定乃引用自我國木構造設計規範，故應無環境適用問題。ISO 文件有區分 2004 年版和 2021 年版，兩者章節數量不同。</p>
營建署	<p>1. 1.1 解說：滿足「過去世代的傳統經驗」的條件定義模糊，另請舉例台灣竹構造建築物滿足「過去世代的傳統經驗」條文之條件，文字「妥善保存並傳承至今」是否有限制保存年限。</p> <p>2. 2.1 「結構的設計和建造應使其：(1) 在考慮預期壽命和成本的情況下，適當概率保持可使用的狀態，」文末為「，」請確認是否漏字或為「。」</p> <p>3. 2.8 高溫影響：「長期」、「短期」是否有時間參考？</p> <p>4. 3.1 一般規定：「元件容量」係容許</p>	<p>感謝貴單位寶貴意見。1.1 條文所謂妥善保存者為工法技術之知識，並非建物本身之保存，故無保存年限之問題。2.1 將修正標點符號。2.8 「長期」與「短期」之時間參考將蒐集資料後決定，「適當」或「適量」可由設計者根據其設計性能需求予以調整之。3.1 「容量」之原文為「Capacity」，在本草案中，大部分用到「容量」之處皆可代換為「強度」。</p>

	<p>應力或其他，請再說明，其他章節用詞有「容量」處亦請說明。</p> <p>5. 建議依本部法制作業函令稿範例，增加訂定案說明欄位。</p> <p>6. 部分草案條文翻譯感太重，請參考法規體例修正條文。另條文中「適當」、「適量」、「長期」、「短期」等未定量文字，請補充說明其定義或時間，例如 2.1、2.2、2.8、3.2 節等。</p> <p>7. 經查貴所後續年度將辦理「有關竹建材耐燃、竹構造耐火及竹建築空間防火相關技術研發及測試驗證」、「大跨距薄殼等竹構造建築相關技術研究、竹構件基本受力行為，與原竹構造及集成竹構造接合系統設計等研究」、「有關竹建材防蟲、碳足跡盤查、及竹炭吸附甲醛能力之相關研究」，建議前揭研究完成後將研究成果納入竹構造規範草案條文內，本署再一併辦理竹構造規範訂定作業。</p>	
--	---	--

附錄三 ISO 22156:2004 規範內容

國際標準 ISO 22156

初版 2004-05-15

竹 — 結構設計

目錄

1. 適用範圍
2. 參考規範
3. 術語與定義
4. 符號與縮寫
5. 基本要求
6. 設計觀念
7. 結構設計
8. 基本假設
9. 梁 (主要載重為撓曲)
10. 柱 (主要載重為軸向)
11. 接頭
12. 組合結構 (桁架)
13. 板
14. 作為混凝土或泥土之補強材
15. 耐久性與保存
16. 防火
17. 分級
18. 品質管控
19. 附錄 A (資料) : 歷史背景
20. 附錄 B (資料) : 適用前提

竹 — 結構設計

1. 適用範圍

本國際標準適用於竹結構的使用，即以竹（圓竹、竹片、膠集成竹）製作之結構，或以竹為主要材料，透過黏著劑或機械緊固件連接在一起的板材。

本國際標準以極限狀態設計法和結構性能為基礎，詳見 7.1 節。本國際標準僅規範結構的力學抗性、使用性和耐久性。其他要求例如隔熱或隔音則不在本標準考慮範圍。竹材用於複合結構時可能需要本國際標準以外的額外考量。本標準涵蓋一部分的工程執行（現地施工、工廠內的構件製造以及現地安裝），包括規定應指明所使用建材和產品的品質，現場的施工標準也須遵守設計原則的假設。

2. 參考規範

以下為使用本標準之必要參考文件。若為標註日期的參考文件，僅適用此處所引用的版本。若為無標註日期的參考文件，則適用其最新版本（包括所有修訂內容）。

ISO 6891，木結構 – 以機械連接物製成的接頭 – 測定強度和變形特性的一般原則。

ISO 16670，木結構 – 以機械固件製成的接頭 – 擬靜態反覆載重測試方法

ISO 22157-1，竹材 – 物理與力學性質之測定方法 – 第一部分：需求

3. 術語與定義

以下術語和定義適用本標準。

3.1

接頭 (Joint)

為兩個或多個竹結構元件間的連接

3.2

竹節 (Node)

竹莖長出枝條，同時在竹莖內部有橫隔壁的位置。

4. 符號與縮寫

σ_{all} 容許應力 (單位： N/mm^2)

I_B 面積之二次矩，慣性矩 (單位： mm^4)

5. 基本要求

5.1 總則

結構的設計和建造應使：

- 在考慮其預期壽命和成本的情況下，適當概率保持可使用的狀態，
- 具有適當的可靠性，能夠承受在施工和使用過程中可能發生的所有外力作用與影響，並在適量的維護成本下具備足夠的耐久性。

註：另見附錄 B

5.2 意外事件

結構設計應使其不因爆炸、衝擊、或其他人為原因造成不成比例之損害。

5.3 潛在損壞

應透過下列措施來限制或避免潛在損壞：

- 避免、消除或減少建築物可能遭受的災害
- 選擇受到所考慮的災害影響較小的結構形式
- 選擇即使單獨構件意外缺損時仍可適當維持的結構形式和設計
- 選擇能夠在單獨構件間保持足夠連續性的結構形式和設計。

5.4 材料選擇

上述要求應透過選擇適當的材料、設計和細部，及指定生產、建造和使用程序來滿足。

5.5 例外

所有竹結構應完全符合本標準。作為例外，只符合 6.2.2 或 6.2.3 的構造可被視為符合本標準的要求。

開放該例外的目的，是因非正規的建造過程 (building processes in the informal sector) 通常需要長期的教學與培訓，以充分協助自力建造，並促進低收入群體自力更生。國家建築法規應指定從零開始的逐步漸進過程，直到將來可以達到上述假設為止。

6. 設計觀念

6.1 觀念以計算為根據

除 6.2 節另有規定者，竹構造設計觀念應以計算為根據，並確認結果沒有超過相應界限狀態或容許應力 (見第 7 章)。

6.2 例外觀念

6.2.1 總則

符合 6.2.2 或 6.2.3 之任一設計觀念可被視為遵守本標準。

6.2.2 前世代的經驗

如前世代的傳統經驗在當地受到妥善保存並傳承至今，此等專業知識可被視為非正規、未經編纂的「標準」。

可依據的準則包括：

- 其內容應為一般已知和接受的。
- 應將其視為古老、純粹的傳統，作為公眾的智慧。
- 社區應具有不受干擾的社會型態，並具有公認的社會模式。

限制包括：

- 其內容僅能應用在類似情境，
- 若經遷移，此等傳統的存在便不再具備自明性。

6.2.3 評估報告

根據地震和颱風等災後評估報告，如報告中記載了於確定強度的災害中倖免於難的結構形式，則可將類似結構視為足以應對類似等級的災害。

可依據的準則包括：

- 該報告應由在該領域公認具有足夠經驗的工程師撰寫
- 該報告應被國際專業社群接受或通過審查認可
- 該報告應提供完整的細節和訊息，使人們可以建造類似的結構

限制包括：

- 該報告僅適用於類似情境。

6.3 替代設計

允許使用與本標準不同的替代設計規範，條件是替代規範符合相應原則，並且所規範之強度、使用性、耐久性要求與本標準同等或在本標準以上。

7. 結構設計

7.1 界限狀態

註：有關容許應力設計法，另見 7.4 節

界限狀態指結構不再滿足設計性能要求的狀態。界限狀態分為最終界限狀態和使用性界限狀態。

最終界限狀態指的是結構倒塌或其他可能危及人身安全的結構破壞形式。結構倒塌前的狀態，若簡化視為等同於倒塌，也被歸類為最終界限狀態。最終界限狀態意指以下兩項：

- 結構整體或任何一部分發生不穩定
- 因過大的變形或力量導致破壞，造成結構整體或任何一部分(包括支承和基礎)斷裂或喪失穩定性。

使用性界限狀態指不再滿足特定使用需求準則之狀態。使用性界限狀態意指以下兩項：

- 產生過大的變形或撓度，對結構外觀與使用機能造成影響(包括設備或使用性的失效)，或導致裝修或非結構元件損壞
- 產生過大振動，導致人員不舒服、限制使用功能效率、造成建築本身或其內容物損壞。

7.2 材料性質

7.2.1 特徵值

材料性質以透過 ISO 22157-1 取得之測試結果估算之第 5 百分位數來決定，且其具有 75% 的可信度可代表全體數據。此值稱為特徵值，可根據以下公式計算：

$$R_k = R_{0.05} \left(1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right)$$

其中：

R_k = 特徵值

$R_{0.05}$ = 測試結果的第 5 百分位數

m = 測試結果的平均值

s = 測試結果的標準差

n = 試體數量 (至少為 10)

7.2.2 設計應力

從特徵值推導設計應力，應遵循以下規則。

強度和剛度參數應基於材料在結構中受力類型之對應測試來決定，或根據相似竹種或竹基材料的類比，或根據不同性質之間的確定關聯推定。

應確保尺寸安定性和環境行為可滿足所指定的需求。

應特別注意來自不同地區的材料之間的差異。

由於特徵值的計算乃根據破壞前應力和應變維持線性關係之假設，因此個別構件的強度驗證也應基於此等線性關係。

結構行為通常可藉由線性材料模型 (彈性行為) 來予以評估。

服務等級應根據區域內出現的溫度和相對濕度來定義。

設計應力之決定應與木結構採用相似的方法。

7.3 設計要求

設計時應確認未超過關鍵界限狀態。所有關鍵的設計情境與載重類型都應考慮在內，並考慮作用力的方向或位置可能存在的誤差。

計算應納入所有相關變數並使用適當的設計模型 (必要時透過試驗加以補充)。模型應足夠精確以預測結構行為，並與 (人力) 施工水準及設計依據資訊之可靠性相稱。

界限狀態的驗證以及部分安全係數應符合相關的國家標準。

計算中應考慮的載重和作用力應符合相關的國家標準。

7.4 容許應力

可以採用容許應力設計法來替代前述的極限狀態設計法。容許應力可透過下列公式由測試結果求得：

$$\sigma_{all} = R_k \times G \times \frac{D}{S}$$

其中

σ_{all}	為容許應力 (單位：N/mm ²)
R_k	為特徵值
G	為實驗室與現地差異之修正值，預設值為 0.5
D	為載重作用時間的修正值： <ul style="list-style-type: none"> - 1.0 為長期載重 - 1.25 為長期加短期載重 - 1.5 為以上加上風載重
S	為安全係數，預設值為 2.25

註：在標準差為 15% 且於長期載重下，容許應力約為平均極限強度的 1/7。

7.5 確實施工

設計人員應根據本條注意確保施工的確實度。

使用氣乾竹材與使竹材保持氣乾的細部，令竹材一旦變濕還能夠再次乾燥，避免材料因水分含量過多而變質。(有關耐久性與維護，參見第 15 章)

注意以竹材製成的牆壁、地板與屋頂的滲透性可能導致內部壓力，從而改變作用在牆壁、地板與屋頂上的淨風載重。

應特別注意工廠和現地的人為施工品質是否與假設相符。

其他類似的相關項目。

8. 基本假設

本節所指的是將物理現實的建築結構「轉譯」為用於計算過程中的符號模式系統之過程。基本假設乃基於應用力學理論。通常，竹結構的基本假設如下：

竹材保持彈性行為直至破壞，塑性行為可視為不顯著。

竹桿在分析時視為不同厚度之空心管結構。

竹桿在分析時視為不完全筆直的桿件。

竹桿在分析時視為斷面漸變。

竹節不會以固定的間隔出現，這在實務上是個問題，因接頭或支承設置於竹節附近較佳。

使用常規的結構分析方法定義初始曲率、直徑與壁厚。

所有接頭與支承均應視為鉸接，除非有具體數據佐證半剛性接頭彈簧或固接的合理性。

伯努利定理（平面維持平面）可適用於竹桿件。

9. 梁（主要受撓曲作用）

梁的設計應以計算為根據。如載重是對稱的，則應基於以下各項進行計算。若載重非對稱，應計算臨界點處的應力。

慣性矩 I_B 的測定應依下列原則決定。

- 根據 ISO 22157-1 量測桿件兩端的外徑與壁厚
- 依據上述數值，計算梁中點的平均外徑與壁厚。
- 慣性矩 I_B 以上述之平均外徑和壁厚計算。

註：此為保守的計算方法。另一種計算方法為分別計算桿件兩端的 I_B 值再取 I_B 值的平均，其結果數值較大，因此本標準不採用此計算方法。

應使用國家相關規範規定的載重計算最大撓曲應力，並與界限狀態或容許應力進行比較。

應計算撓度並與國家標準規定的容許撓度進行比較。在計算撓度時應考慮初始曲率。

如梁的長度小於竹桿較細端直徑的 25 倍，則應檢核該端中性軸處的剪應力。

所有作用在梁上的載重或支承反力，應盡可能使其作用於竹節處或竹節附近。

對於同時受軸力和撓曲共同作用的梁，應考慮兩種應力的相互影響。

10. 柱（主要受軸力作用）

應選擇最筆直的竹桿作為柱構件。

柱的設計應基於以下兩項之一：

- 應以相同竹種、尺寸，在其他相關變因相同之條件下進行足尺挫屈試驗。
- 計算應基於以下各項進行。

慣性矩依據第 9 章決定。

除任何因側向載重引起的撓曲應力外，還應考慮因初始曲率、偏心率或撓度引起的二次撓曲應力。

挫屈的計算應根據尤拉公式，並將慣性矩折減至 90%。此折減乃為考慮竹桿斷面漸變的效應。斷面漸變度的定義為最小和最大外徑之差與長度的比值。如斷面漸變度小於 1/170，則本段可不適用。

同時受軸壓與撓曲共同作用的柱構件需要特別注意。

11. 接頭

11.1 總則

11.1.1 以計算為根據

接頭的設計應能達成構件之間的結構連續性，包括：

- 使力之傳遞符合預期方式。
- 撓度可有效預測，且保持在可接受的範圍內。

竹接頭設計觀念應以計算為根據，且基於 11.1.3 節、11.1.4 節或 11.1.5 節中的方案之一。

11.1.2 例外

基於 6.2.1 節或 6.2.2 節的概念可被視為遵守竹接頭設計觀念。

11.1.3 完整接頭方案

在此方案中，需指明完整接頭的已知承載能力及幾何形狀並用於特定尺寸的構件，包括所有緊固元件尺寸和位置的描述。此方案的相關數據應基於足尺試驗決定。

11.1.4 元件容量方案

此方案允許接頭依照個別元件之性能容量來設計其承載能力。每個元件的性能容量應與幾何形狀和載重方向有關，此等性能容量的相關數據應基於足尺試驗決定。

註：性能容量意指元件的強度數值，例如受壓構件的容量單位為 kN；木結構中的釘接合通常依此方式設計：每根釘子之容許載重為已知，以特定的幾何配置組合適當數量的釘子，即可設計出有效的接頭。

11.1.5 設計原則方案

此方案應指明接頭的材料和基本力學性質，使設計者配合幾何形狀與載重方向之變化設計出安全、有效的接頭。

註：原則提供性能容量可有效發揮所必須具備的要求，這些要求通常是非數值的細部規定，例如受壓構件的末端接合部須具備適當的有效長度使其性能容量有效發揮。其他常見的例子包括組合式柱構件中各元件間間距與接合方式，或挫屈束制的剛性需求。

11.2 測試

足尺接頭或元件之測試應根據 ISO 6891 或 ISO 16670 進行。

11.3 測試結果

使用接頭試驗取得之載重-變形圖時，應考慮以下各項。

採用複數緊固件的接頭容量通常會小於各單獨緊固件容量的總和。

如在接頭中使用一種類型以上的緊固件，則應考慮到不同緊固件特性的影響。

如果接頭承受反覆載重，則接的容量會降低。

11.4 良好的設計操作

在易受災地區的良好設計操作應考慮以下方面。

颱風和地震造成竹結構的損壞多是由接頭破壞引起的，因此應對接頭加以特別注意。

結構的設計應使結構構件與接頭具有足夠的強度，以承受劇烈地震引起的線性側向力。若有試驗可做為佐證，接頭的阻尼可納入考慮。

除非有直接測試可證明，否則不應期望接頭具有韌性。

應考慮以斜撐或實心牆面抵抗面內剪力。

12. 組合結構 (桁架)

12.1 總則

除非使用更通用的模型，否則在分析時應使用沿系統線 (system lines) 排列並連接在一起的梁元素來模擬桁架。

所有構件的系統線應位於構件輪廓內，而外周構件的系統線應與構件中心線重合。

偏心接合部或支承可使用虛擬梁元素模擬。虛擬梁元素的方向應盡可能與構件中的力方向一致。

如已在單支受壓構件的強度驗證中考慮幾何非線性行為 (挫屈不穩定性)，則分析中可忽略不計。

12.2 整體分析

應根據眾所周知的力學原理對桁架進行分析並計算構件和接頭的變形，在計算構件的力和力矩時應考慮支撐結構剛度與支承偏心的影響。

如果內部構件的系統線與其中心線不一致，則這些構件的強度驗證應考慮偏心率的影響。

分析應使用適當的構件剛度值 (考慮含水量、載重時間、材料等級、竹節與節間差異以及斷面漸變) 並考慮接頭滑移 (基於試驗)。虛擬梁元素之剛性應假設與相鄰元素一致。

由於竹材發生破壞前的應力-應變圖皆維持線性，只應進行線性分析。

接頭一般假設為鉸接。

接頭之強度驗證須考慮接頭滑移，除非該滑移對內力和力矩分配的影響可忽略不計。

如接頭的變形不會對構件內力和力矩的分配產生顯著影響，則可假設其為固接。

12.3 簡化分析

作為整體分析的替代方案，對於滿足以下條件的完全三角桁架可進行簡化分析：

- 外部輪廓為一三角形或矩形。
- 支承寬度的一部分位於支承節點正下方。

- 如為三角形桁架，高度超過跨度之 0.15 倍；如為矩形（平行）桁架，高度超過跨度之 0.10 倍。

計算構件軸力時應假設所有接頭為鉸接。

構件於接頭處連續時，其內部彎矩應將此構件當作通過接頭之連續梁來計算。接頭處的撓度與部分束制的影響應被考慮。

12.4 構件的強度驗證

對於受壓構件，面內強度驗證的有效長度通常採計兩個相鄰反曲點間的距離。

對於完全三角形的桁架，沒有特別剛性連結之單跨構件和沒有側向載重或支撐之連續構件的有效長度應為跨度長度。

當進行簡化分析時，有效長度可依以下假定。

a) 對於承受側向載重但沒有明顯端部彎矩的連續構件：

- 於外跨：跨度的 0.8 倍
- 於內跨：跨度的 0.6 倍
- 於接頭：最大相鄰跨度的 0.6 倍

b) 對於承受側向載重且有明顯端部彎矩的連續構件：

- 於有彎矩的梁端：0（即無需考慮柱效應）
- 於倒數第二個跨：跨度的 1 倍
- 於剩餘的跨度和接頭：如上點所述

進行受壓構件與接頭的強度驗證時，應將計算所得軸力增加 10%。

應檢查構件的側向（面外）穩定性是否足夠。

13. 板

13.1 總則

在另有竹板的國際標準出現前，以下內容適用。

13.2 竹膠合板

竹膠合板片為竹蓆編織膠結而成，或以多層竹條交叉膠結而成。竹膠合板的生產應使其對應所指定的服務等級，在整個結構的預期壽命中保持完整性和強度。其結構性質測試可根據木膠合板之相關國家規範進行。

13.3 塑合板和纖維板

竹塑合板和纖維板的生產應使其對應所指定的服務等級，在整個結構的預期壽命中保持完整性和強度。其結構性質測試可根據木塑合板和纖維板之相關國家規範進行。

13.4 黏著劑

黏著劑應能保持整體性。

14. 作為混凝土或泥土之補強材

14.1 用於混凝土中

使用竹材作為混凝土、砂漿、石膏等材料中之補強材（竹筋）時，須經過測試並滿足以下要求。在結構的預期壽命期間，為使竹材擔負拉力補強材的角色，要特別注意竹材的膨脹、乾縮、握裹、以及濕度與鹼性環境對竹材的影響。其變形應符合整體結構要求。

14.2 用於泥土中

使用竹材作為泥土中之補強材（竹筋）時，須經過測試並滿足以下要求。在結構的預期壽命期間，為使竹材擔負拉力補強材的角色，要特別注意有機環境對竹材的影響。

15. 耐久性與保存

為了確保結構有足夠的耐久性，應考慮以下相關因素：

- 竹材的預期使用壽命
- 結構用途
- 性能需求準則
- 預期的環境條件
- 材料的組成、特性與性能
- 構件形狀與結構細部
- 施工品質與管控程度
- 特殊的保護措施
- 使用壽命期間可能的維護方式

在設計階段應考慮環境條件，以評估其在耐久方面的重要性，並採行足夠的材料保護措施。

應對竹材和竹基材料進行防腐處理，除非材料本身對於預定用途已具備足夠的天然耐久性。對於出口用竹材，應進行對原產地與目的地環境雙方皆足夠的防腐處理。

通常只有乾燥過或特定季節的竹子可被使用。否則，應特別注意接頭於乾燥過程中發生的尺寸變化。這些變化會在接頭內產生內部應力，可能進而導致變形或破壞。

金屬緊固件和其他結構接合構件於必要時應具備抗鏽蝕能力，或採取防鏽措施。

於保存處理過程中，應特別注意對環境及對工人與使用者的健康之影響。

應特別注意避免因竹材劣化、水分累積、接頭附近通風不良、及蛀蟲與白蟻的侵襲導致接頭破壞。

16. 防火

防火等級根據相關國家標準訂定。

17. 分級

竹材應根據經核可的規則分級以確保其使用性能以及強度和剛度值的可靠性。

分級規則應基於竹材的目視檢測，或能測量一種或多種性質之非破壞性檢測，或兩種方法之結合。

應特別注意竹材的年齡、斷面漸變度、筆直度、節距與竹節分佈。

18. 品質管控

18.1 總則

對於每個產品與生產設施，應編寫品質保證手冊，並經合格機構認可。合格機構指可進入生產設施並具有專業技術人員的機構，透過檢查、抽樣與測試的方式驗證產品的等級、度量、竹種、構造、黏合、施工和其他屬性，並遵守品質保證手冊中所指定的要求。合格機構必須與被驗廠商無任何財務利益關係，也不得由其擁有、運營或控制。

18.2 品質保證手冊

品質保證手冊應包括品質保證計劃所需之項目，包括以下內容。

材料規格，包括進料、檢驗與驗收要求。

品質保證之檢驗測試與驗收程序。

採樣與檢查頻率。

不符規格或失控狀況下應遵循的程序。

與產品性能品質相關的成品標記、處理、保護與運輸要求。

18.2 品質保證記錄

所有相關的品質保證記錄應依照當前狀態隨時更新，並可供合格機構人員審查。這些記錄至少應包括：

- 所有檢查記錄和測試設備校準報告，包括進行測試的人員識別。
- 所有測試數據，包括重新測試與不合格之作業相關數據，以及任何因測試或檢查不合格作業的糾正措施之詳細資訊。

18.3 測試程序

品質控管手冊應包含最基本的測試程序，以保持產品品質。

品質保證測試的數據應在運送樣品前進行評估。分析程序應確定材料性能是否在統計控制之下。選擇的管控等級應與當前的設計值與材料預期用途一致。

當數據分析顯示材料性能低於管控等級時，應重新檢查相關生產流程。

附錄 B

(相關資訊)

適用前提

在本國際標準中，以下前提適用。

- 結構由具有適當資格和經驗的人員設計。竹結構設計專業者之資格驗證為該當結構建造地主管機關之權責。
- 在工廠與現場均應有充分監督與品管。
- 由具有適當技能和經驗的人員進行施工。
- 建築材料與產品的使用符合本國際標準或相關材料產品規定。
- 結構會受到充分維護。
- 結構之使用遵照設計說明書 (Design Brief)。

附錄四 ISO 22156:2021 規範內容

國際標準 ISO 22156:2021

初版 2021-06-24

竹結構 – 竹稈 – 結構設計

目錄

1. 適用範圍
2. 參考規範
3. 術語與定義
4. 符號與縮寫
5. 設計基本要求
 - 5.1 一般規定
 - 5.2 設計方法
 - 5.3 劈裂敏感性
 - 5.4 贅餘度
 - 5.4.1 非贅餘結構構件
 - 5.4.2 贅餘結構構件
 - 5.5 使用性之注意
 - 5.6 服務等級
 - 5.6.1 服務等級 1
 - 5.6.2 服務等級 2
 - 5.6.3 服務等級 3
 - 5.7 耐久性
 - 5.7.1 使用等級
 - 5.7.2 金屬元件防鏽蝕
 - 5.8 高溫影響
 - 5.9 維護、檢查與替換之注意
 - 5.10 竹結構之地震力折減係數
 - 5.11 替代設計方法
 - 5.11.1 部分安全係數設計(PSFD)與載重與抵抗力因子設計法(LRFD)
 - 5.11.2 過去世代的經驗
 - 5.11.3 透過試驗確認之設計
6. 構件元件與材料性質
 - 6.1 一般規定
 - 6.2 材料與元件特徵性質
 - 6.3 構件容許設計容量
 - 6.4 容許設計強度

- 6.4.1 應用容許應力時的竹桿幾何尺寸
- 6.5 組件撓曲剛度
- 6.6 彈性模數
- 7. 竹結構分析模型之建立
- 8. 受彎構件 (梁)
 - 8.1 一般規定
 - 8.2 多稜複合受彎構件
 - 8.2.1 多稜複合受彎構件之側撐要求
 - 8.3 受彎構件容量
 - 8.3.1 根據元件容量計算撓曲容量
 - 8.3.2 根據抗彎強度計算撓曲容量
 - 8.4 撓度計算
 - 8.4.1 根據元件性質計算撓曲剛度
 - 8.4.2 根據材料與幾何性質計算撓曲剛度
 - 8.4.3 長期撓度
- 9. 受軸力構件
 - 9.1 一般規定
 - 9.2 受壓構件有效長度
 - 9.2.1 受壓構件之側向束制
 - 9.3 壓力容量
 - 9.3.1 根據材料與幾何性質計算壓力
 - 9.3.2 壓潰容量
 - 9.3.3 挫屈容量
 - 9.4 拉力容量
 - 9.4.1 根據元件容量計算拉力容量
 - 9.4.2 根據材料與幾何性質計算拉力容量
 - 9.5 軸力與撓曲共同作用
- 10. 接頭與續接
 - 10.1 一般規定
 - 10.2 根據完整接頭試驗決定設計性質
 - 10.3 根據元件容量決定設計性質
 - 10.4 接頭容許設計容量
 - 10.5 接頭剛度

- 10.6 接頭韌性
- 10.7 防止竹桿劈裂
 - 10.7.1 以徑向圖束防止劈裂
- 10.8 續接接頭
- 10.9 接頭中非竹材元件之規定
 - 10.9.1 接頭中的金屬元件
 - 10.9.2 使用流動性材料填充之接頭 (灌漿接頭)
 - 10.9.3 綁紮
 - 10.9.4 機械與專利接頭系統
- 10.10 竹桿端部承載力
- 10.11 竹桿圓周面承載力
- 10.12 貫穿桿壁之插梢接頭
 - 10.12.1 單插梢容量
 - 10.12.2 插梢規定
 - 10.12.3 插梢接頭之拉力
- 11. 桁架
- 12. 剪力板 (牆)
 - 12.1 一般規定
 - 12.1.1 板開口
 - 12.2 載重
 - 12.2.1 面外載重
 - 12.2.2 面內載重
 - 12.2.3 自重
 - 12.3 設計強度計算
- 13. 耐火
- 14. 結構分級
- 15. 品質管控與評估
- 附錄 A (資料): 本文基本條款
- 附錄 B (資料): 耐久性與維護建議
- 附錄 C (資料): 耐震與替代設計因子的範例
- 附錄 D (資料): 竹接頭的範例與分類
- 附錄 E (資料): 滿足第十二章的 LCBF 組件設計

前言

本文針對使用全稈圓竹作為主要承擔垂直與水平載重之結構系統的一、二層建築結構，提供結構設計方法。本文涵蓋接頭設計、輕量水泥竹框架剪力板設計，以及耐久性問題，並於附錄提供了達成設計和性能目標的相關方法。

竹結構 — 竹稈 — 結構設計

1. 適用範圍

本規範適用於竹結構之設計，其主要承重結構由圓竹構成或由圓竹製成框架的剪力板系統構成。

除第十二章規定外，本規範適用於高度不超過 7m 的一層與兩層住宅、小型商業、機構或輕工業建築。

本規範僅涵蓋竹結構的力學抗性、使用性與耐久性要求。

本規範准許對竹結構設計採用容許承載容量設計法 (Allowable load-bearing capacity design, ACD) 或容許應力設計法 (Allowable stress design, ASD)。容許承載容量和容許應力可以在同一結構中組合使用。

本規範也認可基於部分安全係數設計法 (Partial safety factor design, PSFD)、載重與抵抗力因子設計法 (Load and resistance factor design, LRFD，即極限狀態設計法) (見 5.11.1)、過去世代建立的經驗(見 5.11.2)或透過試驗確認並出具報告(見 5.11.3)之設計方法。

本規範不考慮其他要求，例如隔熱或隔音。竹結構可能需要考慮超出本規範範圍的額外要求。為確保建築材料和產品品質能符合設計要求，對其可能造成影響的相關施工執行也涵蓋在本規範的範圍內。

本文提供了許多修正係數，以符號 C_i 表示。這些係數是基於最佳工程判斷得出的經驗係數，可視為能普遍適用於建築構造用竹材。影響竹材性能的參數很多，可透過試驗取得強度和剛度特徵值以明確化。附錄 A 總結了本規範制定的基礎準則。

本規範不適用於：

- 由工程竹製品製成的結構，例如膠合集成竹、直交集成竹、定向纖維板或緻密竹材料。
- 竹材補強材料，其中竹材不是主要的承重成分，包括竹筋補強之混凝土、磚石或泥土。
- 用竹材建造的鷹架結構。

2. 參考規範

以下為本規範所引用之參考規範，其部分或全部內容涵蓋在本規範之條文中。其中若為附註日期的參考

規範，僅能適用此處所引用的版本。若為無附註日期的參考規範，則適用其最新版本（包括所有修訂內容）。

ISO 12122-1，木結構 – 特徵值之測定 – 第 1 部分：基本要求

ISO 12122-5，木結構 – 特徵值之測定 – 第 5 部分：機械接合

ISO 12122-6，木結構 – 特徵值之測定 – 第 6 部分：大型元件與組件

ISO 16670，木結構 – 以機械聯結物製成的接頭 – 擬靜態反覆載重測試方法

ISO 19624，竹結構 – 竹稈分級 – 基本原則與程序

ISO 21581:2010，木結構 – 剪力牆之靜態與往復載重試驗方法

ISO 21887，木材與木製品之耐久性 – 使用類別

ISO 22157，竹結構 – 竹稈物理與力學性質之測定 – 測試方法

3. 術語與定義

本規範使用以下術語和定義。

以下網址為 ISO 與 IEC 所維護之標準術語資料庫：

- ISO 線上瀏覽平台：<https://www.iso.org/obp>
- IEC 電子百科：<http://www.electropedia.org/>

3.1

組件

多稈組件

由多支竹稈組成的結構構件，且多支竹稈組合時可作為單一結構構件共同作用。

3.2

竹稈

竹竿

單支竹子。

註 1：竹稈由整支完整斷面的竹子構成，除竹節以外之斷面通常為空心圓柱體。

3.3

斷面積

A

垂直於稈軸方向的截斷面面積。

3.4

韌性

μ

透過試驗測定之極限位移與降伏位移的比例。

註 1：接頭之韌性比根據 ISO/CD TR 21141 測定。

3.5

平衡含水率

W_{EMC}

使竹材既不會從環境中吸收水分，也不會向環境流失水分的含水率。

3.6

纖維飽和點

W_{FSP}

如含水率低於纖維飽和點，只有細胞壁中的水分會留存，即細胞腔中無自由水的狀態。

3.7

竹蓆

透過剖開竹稈並打通竹節進行縱向切割以製成之扁平構件。

註 1：竹蓆通常被稱為 “esterilla”。

3.8

節間

兩個竹節之間的竹稈中空區域。

3.9

接頭

兩支或多支竹構件的接合部。

3.10

綁紮

以材料連續網綁接頭區域來連接竹稈的方法。

3.11

輕量水泥竹框架

LCBF

源自拉丁美洲的改良式風土建築技術，以條狀、扁平狀或小直徑竹材固定在竹或木框架上，再使用水泥砂漿抹灰製成的剪力牆。

註 1：水泥砂漿抹灰使用小尺寸金屬網補強，另一種方式是將水泥砂漿直接塗在固定於框架之擴張金屬網上。此種系統也被稱為“bahareque encementado”或複合竹剪力牆。

3.12

含水率

w

竹稈之水分重量比例，以烘箱乾重的百分比表示。

3.13

竹節

竹稈中有橫隔壁之部位，區分相鄰節間。

3.14

非贅餘

在傳力路徑中某個結構構件被移除（破壞）時，若結構中沒有替代或足夠的傳力路徑可傳遞該構件所承擔之載重，則該構件為非贅餘構件。

註 1：非贅餘構件的破壞會導致其所在傳力路徑之破壞。

3.15

外徑

D

一支竹子的橫截面直徑，通常取自節間中點附近，透過測量兩直交方向外側相對點距離的平均值，或周長的量測值換算。

3.16

反曲點

拐點

<受彎構件>構件曲率與彎矩為零的位置。

3.17

剪力跨

<受彎構件>最大彎矩與最近的反曲點(見 3.16)之間的距離

註 1：剪力跨通常假設等於受均佈載重之簡支梁跨度的一半或受側向載重之柱子高度的一半。

3.18

續接

兩支竹稈沿軸向連接，用於將結構構件長度延伸到超過單稈之長度。

3.19

竹片

竹片為竹稈縱向切割而成，包含完整內外層的竹材。

3.20

[竹稈]壁厚

δ

竹稈壁的厚度，通常取自節間中點附近，沿稈斷面圓周間隔 90°角進行四次測量並取平均值

3.21

作用點

<結構組件（通常為桁架）>相連構件承受之軸向載重合力相交的位置

4. 符號與縮寫

A	單稈的斷面積
A_{min}	構成構件的最小單稈斷面積
a	構件的剪力跨長度
B	彎矩放大係數
b	LCBF 板長度
b_{max}	從竹稈橫截面中心到竹稈末端中心連線的最大直交偏差距離
b_0	竹稈為受壓構件時中央高度處最大測量弓形偏差
C	LCBF 端部構件因抵抗傾覆力矩所受的壓力
C_{bow}	竹稈為受壓構件時用以考慮初始弓形的折減係數
C_{DE}	彈性模數的修正係數，用以考慮服務類別與載重持續時間
C_{DF}	強度與容量的修正係數，用以考慮服務類別與載重時間
C_{EB}	端部支承條件的修正係數
C_R	構件贅餘度係數
C_T	高溫修正係數
C_v	考慮剪力變形的修正係數
C_θ	考慮竹稈軸向與載重夾角的修正係數

c	柱相互作用方程式的校準參數
D	標稱桿徑
D_{dowel}	插梢直徑
d	受彎構件的總深度
Δ_u	接頭極限位移
Δ_y	接頭降伏位移
E_d	設計使用之彈性模數
E_k	根據 ISO 22157 測定，具有 75%可信度之平均特徵壓力彈性模數
$(EI)_d$	設計使用之元件撓曲剛度
$(EI)_k$	具有 75%可信度之平均特徵元件撓曲剛度
F	施加於 LCBF 之水平力 (風力或地震分析)
F_b	插梢之容許承載力
F_{resf}	與受軸力或受彎構件軸向垂直的束制力
FS_c	元件安全係數
FS_j	接頭安全係數
FS_m	材料安全係數
F_y	接頭容量
F_{yk}	具有 75%可信度的第 5 百分位數接頭特徵容量
f_c	根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗壓強度
f_i	表示竹材容許設計強度的通用符號
f_{ik}	具有 75%可信度的第 5 百分位數特徵強度
f_m	根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗彎強度
f_{m90}	根據 ISO 22157 測定之垂直纖維抗彎強度
f_t	根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗拉強度
f_{t90}	根據 ISO 22157 測定之垂直纖維抗拉強度
f_v	根據 ISO 22157 測定之抗剪強度
h	LCBF 板之高度
I	單桿的慣性矩
I_{min}	構成構件的最小單桿慣性矩
K	有效長度係數
K_e	接頭之剛度
K_{ek}	具有 75%可信度之平均特徵接頭剛度
K_M	用於圓周面承載計算之係數
KL	有效受壓構件長度
L_{cir}	圓周面承載區域沿竹桿軸向的長度
L	構件長度
L	受軸力構件之側向束制點間的工作長度
$LCBF$	輕量水泥竹框架
M	單或多竹桿元件繞其主軸彎曲時的撓曲容量

M_{cd}	設計彎矩
M_r	單或多竹桿構件的彎矩容量
M_u	受彎構件所承受之最大彎矩
w	竹材之含水率
w_{EMC}	平衡含水率
w_{FSP}	竹材於纖維飽和點之含水率
w_M	測試時之含水率
N_c	單桿或多桿元件的平行纖維抗壓容量
N_{cd}	設計壓力
N_{cr}	受軸力構件的壓力容量
N_t	單桿的平行纖維抗拉容量
N_{td}	設計拉力
N_{tr}	受軸力構件的拉力容量
n	組成一個構件的竹桿數量
P_b	未填充之竹桿端部承載容量
P_c	受壓構件的壓潰強度
P_{cir}	未填充竹桿的圓周面承載容量
P_e	受壓構件的挫屈容量
P_u	受壓構件所承受之最大軸力
p_{cir}	圓周面承載均布壓力
S	單桿彈性斷面模數
s	位於同一縱向中心線上的最小插梢間距，或插梢與載重方向上最近之竹節或桿端部的距離
T	LCBF 端部構件因抵抗傾覆力矩所受的拉力
V	單或多竹桿元件繞其主軸彎曲時的剪力容量
V_b	LCBF 抵抗水平作用力之基底剪力
V_r	單或多桿構件的剪力容量
X_i	表示竹構件容許設計容量的通用符號
X_{ik}	具有 75%可信度的第 5 百分位數元件特徵容量
β	圓周面承載區域之圓心角
δ	標稱[竹桿]壁厚
θ	施加於插梢連接件上的載重與竹桿軸向之夾角
μ	接頭韌性
ψ	相鄰插梢中心線之圓心角

5. 設計基本要求

5.1 一般規定

本規範根據容許承載容量設計法(ACD)或容許應力設計法(ASD)，以確保結構的安全與性能。

結構的設計和建造應使：

- 在考慮其預期壽命和成本的情況下，適當概率保持可使用的狀態，
- 具有適當的可靠性，能夠承受在施工和使用過程中可能發生的所有外力作用與影響，並在適量的維護成本下具備足夠的耐久性。
- 結構不因爆炸、撞擊或人為過失等異常事件對使用者生命構成不成比例之危害。

5.2 設計方法

竹結構設計應以計算為本，確認結果沒有超過相應容許承載容量或容許應力，並滿足以下前提：

- 結構由具有適當資格與經驗的專業設計人員設計。
- 結構由具有適當技能和經驗的人員建造。
- 在工廠與現場的生產過程得到充分監督與品質管控。
- 依照本規範或相關材料、產品規範中的規定妥善使用建築材料與產品。
- 結構得到充分維護。
- 根據設計之預期方式使用結構。

5.3 劈裂敏感性

竹稈容易發生縱向劈裂。劈裂通常與使用中的竹稈含水率變化有關。劈裂的敏感性可能衍生非贅餘構件（見 5.4.1），並可能需要更換構件或結構中的竹稈（5.9 節）。

劈裂的影響在設計中可透過假設的情境進行檢討，其中假設劈裂發生於構件或接頭中最不利的位置。在此劈裂狀態的構件或接頭應至少保留其容量之 75%。如不能保留 75% 的容量，則在設計構件或接頭時應假設劈裂會發生，並於設計中對容量加以折減。

使用 10.7.1 節所述之徑向束制可部分減少劈裂的影響。

5.4 贅餘度

應儘可能不使用非贅餘結構、結構構件或元件。

構件贅餘度係數 C_R 之定義如表 1 所示。

表 1 – 構件贅餘係數 C_R

結構之構件贅餘度	C_R
5.4.1 所定義之非贅餘	0.90
5.4.2 所定義之贅餘	1.10
其餘結構	1.00

5.4.1 非贅餘結構構件

非贅餘結構構件應符合以下條件之一。

- 將該承重構件從結構或傳力路徑中移除將導致結構破壞。
- 該承重構件由多稜製成，如從多稜組件中移除任何單稜都會導致構件破壞。

5.4.2 贅餘結構構件

贅餘結構構件應符合以下條件。

由四個以上相同剛度的結構構件連接到連續載重分配路徑（例如樓板小梁、椽、桁條或桁架的情況），此外符合下列兩點之一。

- 連續載重分配路徑能夠重新分配載重。
- 結構構件之間相距不超過 600mm，載重分配構件至少連續兩個跨度，且載重分配構件中的任何接頭都是錯開的。

5.5 使用性之注意

應考慮結構或其元件發生變形可能對結構使用性與居住性、裝修材及非結構元件所造成的影響。

5.6 服務等級

竹結構的構件應根據竹材所暴露之環境分類為 5.6.1、5.6.2 或 5.6.3 所指定的服務等級之一。這些服務等級與竹子的力學性能有關。與耐久性性能相關的使用等級規定於 5.7.1。同一結構中的不同元素或構件可能為不同的服務等級。

5.6.1 服務等級 1

竹材中的平衡含水率如不超過 12%，歸類為服務等級 1。

註：服務等級 1 代表相對濕度保持在 65%以下的室內空調或加熱環境，相當於 ISO 21887 之使用等級 1 (詳見 5.7.1)。

5.6.2 服務等級 2

竹材中的平衡含水率如不超過 20%，歸類為服務等級 2。

註：服務等級 2 代表大多數的室內非加熱或非冷房環境，但相對濕度經常或長期超過 85%的環境除外，此服務等級相當於 ISO 21887 之使用等級 2 或 3.1 (詳見 5.7.1)。

5.6.3 服務等級 3

如環境或氣候條件導致竹子含水率高於服務等級 2，歸類為服務等級 3。

服務等級 3 的載重持續時間係數 (C_{DF} 與 C_{DE}) 與高溫修正係數(C_T)應透過試驗決定(見 5.11.3)。

5.7 耐久性

竹結構設計時應加以預先考慮，確保結構的耐久性。

耐久性為竹材在預期使用壽命期間，處於預期服務環境時抵抗幾何、物理或力學性能退化的能力。火災的影響於第 13 章中討論。

目前已知沒有任何竹材對生物性侵襲具有顯著的天然抵抗力。竹材應被視為「不耐久的」，需要加以維護以抵抗下列情況：

- 真菌侵襲。
- 蛀蟲與白蟻的侵襲。
- 蛀船蟲，若竹子暴露在海洋環境中。

對竹材的處理應證明不會影響竹材的力學性能(強度與剛度)，或者根據第 6 章測定竹材處理後的力學性能。

耐久結構需滿足下列考量：

- 建造時應確保竹材已達到建築物所在位址之平衡含水率 w_{EMC} 。含水率 w 不得超過纖維飽和點 w_{FSP} ，如果纖維飽和點為未知，可假設 $w_{FSP}=30\%$ 。

- 建築細部應設計成使竹材可保持通風乾燥，並確保如果竹材暫時受潮，在材料變質前能再次乾燥。
- 建築外殼應具備足夠滲透性以減輕室內加熱、通風或空調產生之負壓，這些負壓可能使竹材吸入水分或濕氣。

附錄 B 提供了竹結構耐久設計的額外建議。

5.7.1 使用等級

結構中的竹材應根據其所處的環境分類為 ISO 21887 定義的使用等級之一。表 2 總結了使用等級與基本耐久性注意事項。

除設計壽命少於 5 年的結構外，竹材不應使用於等級 3.2。任何竹材不得使用於等級 4 與等級 5。

表 2 – 使用等級、耐久性考慮與適當的維護措施

使用等級	服務狀態	典型用途	針對生物性侵害的保護		
			真菌	昆蟲	白蟻
1	室內，乾燥	構架，斜屋頂構件	-	是	是
2	室內，偶爾潮濕 (可能結露)	構架、屋頂構件、地面層 小梁、外牆框架	是	是	是
3.1	室外，位於地面以上並免受雨水和紫外線侵襲	受保護的室外雜項工作物 與構架	是	是	是
3.2 ^a	室外，位於地面以上且暴露於大氣環境中	未受保護的室外構架與雜項工作物，包括飾面、垂直承重構件、未受保護的裸露稈端	是	是	是
4.1 ^b	與地面接觸或位於地下	地面上的底板或柱子、埋入地下的柱子或樁	是	是	是
4.2 ^b	深入地下，淡水中	樁	是	是	是
5 ^b	海水或鹹水中	包括飛濺區在內之海洋樁	是		
^a 竹材不應使用於 3.2 類，但設計壽命少於 5 年之結構除外。 ^b 竹材不得使用於此等級。					

5.7.2 金屬元件防鏽蝕

金屬聯結物和其他結構連接件應具備耐鏽蝕性或施予防鏽保護措施。

5.8 高溫影響

溫度升高時，竹材的強度與剛度會降低。高溫對竹材的影響是立即的，程度則取決於竹材含水率。如溫度未超過 65°C，恢復到正常環境溫度後，高溫的暫時影響是可逆的。如長時間暴露在高於 65°C 的環境下，會導致竹材強度與剛度的永久損失。將竹材冷卻至低於正常環境溫度時，其強度會增加。

對於一般溫度波動與偶爾高溫不超過 65°C 的環境，本規範的參考設計值仍可適用。

竹材不得用於長期暴露在 50°C 以上或短期暴露在 65°C 以上環境的結構。

5.9 維護、檢查與替換之注意

竹材可能因各種原因在使用時發生縱向劈裂或以其他方式損壞。

應儘可能制定措施對竹承重構件進行維護與檢查，特別是構成非贅餘傳力路徑之構件。

應儘可能考量未來替換結構中之單材或構件的需求。

5.10 竹結構之地震力折減係數

地震力折減係數必須根據適當的國家建築或國家耐震規範決定。附錄 C.2 提供了基於本規範選擇竹結構地震力折減係數的指引。

5.11 替代設計方法

允許使用與本規範不同的替代設計方法，前提是替代方法需符合 5.1 節的一般設計要求。

基於 5.11.1、5.11.2 或 5.11.3 節之一的竹結構替代設計方法可被視為符合本規範。

5.11.1 部分安全係數設計(PSFD)與載重與抵抗力因子設計法(LRFD)

附錄 C.3 提供了本規範對依照 PSFD 或 LRFD 方法設計竹結構的指引，前提是國家建築或施工標準允許這些方法用於竹結構。

5.11.2 過去世代的經驗

如滿足以下條件，且過去世代的傳統經驗在當地受到妥善保存並傳承至今，則過去世代的經驗（即風土建築）可被視為非正規、未經編纂的「標準」。

- 其內容應為一般公認可達成足夠的結構性能。
- 其內容可被視為「古老而純粹的傳統」或「公眾智慧財」。

- 所在社區應被歸類為相對不受干擾的社會型態，並具備特定的社會模式。
- 所在社區了解施工技術並能夠進行所需的維護，維護對竹材而言相較其他建材更為重要。

過去世代經驗的應用受到以下限制：

- 其內容僅能應用在類似情境。
- 其內容不可套用於不同尺度規模。
- 若經遷移，此等傳統的存在便不再具備自明性。

5.11.3 透過試驗確認之設計

如果結構構件或系統的組成或配置無法按照本規範的規定進行分析設計，可根據以下原則，透過試驗測試結果確認其結構性能及其符合本規範(5.1 節)之意旨：

- 測試應為足尺規模，並使用能夠代表所設計結構或與其等級相同的竹稈。
- 測試時除了施予必要外力、變形與應力外，還需加載至破壞並記錄破壞模式。因此，僅進行「驗證測試 (proof-testing)」並不滿足本節要求。
- 預期容量應根據至少 10 組相同試體之測試的第 10 百分位數評估，該值為 6.2 節所定義之特徵值 X_{1k} 。未經任何書面解釋不得刪除任何測試結果。
- 測試結果應以適合同儕審查的報告形式呈現。該報告應提供能重現測試的足量細節。

6. 構件元件與材料性質

6.1 一般規定

用於結構承重的竹構件元件或材料性質應根據第 14 章的分級確定。

元件與材料性質應於代表竹材預期服務等級的含水率下測定。

元件所測定之性質為元件容量或剛度。作為結構構件的元件容量可以透過單稈或多稈組件測定。組件容量可透過分級推斷。

材料性質根據 ISO 22157 規定之材料測試測得。元件容量或剛度可由材料性質乘上幾何參數計算。

註：材料性質的例子如破壞應力或彈性模數。將壓應力(f_c)乘以斷面積(A)可求得元件承載容量(Af_c)。同理，將彈性模數(E)乘以慣性矩(I)可求得元件撓曲剛度(EI)。

6.2 材料與元件特徵性質

元件或材料性質之特徵值應使用第 14 章所述分級程序測定之等級來推斷。

如未按照第 14 章進行分級，則應根據 ISO 12122-1 測定元件或材料性質的特徵值。

6.3 構件容許設計容量

構件的容許設計承載容量應依照 6.2 節測定之元件特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如式(1)所示：

$$X_i = X_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times (1/FS_c) \quad (1)$$

其中

X_i 為設計容量。

X_{ik} 為具有 75%可信度(6.2 節)之第 5 百分位特徵構件容量。在 ISO 12122-1 中，該值表示為 $X_{i,0.05,0.75}$ 。

X_i 可為下列容量：

N_t 為單稜的平行纖維抗拉容量。

M 為單或多竹稜元件繞其主軸彎曲時的撓曲容量。

V 為單或多竹稜元件繞其主軸彎曲時的剪力容量。

C_R 為 5.4 節之構件贅餘係數。

C_{DF} 為表 3 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

表 3 – 容量與強度之載重持續時間係數 C_{DF}

載重持續時間	5.6 節定義之服務等級		
	1	2	3
永久與長期載重	0.60	0.55	詳見 5.6.3
短期載重	0.75	0.65	
瞬時載重 (風與地震)	1.00	0.85	

C_T 為表 4 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 3 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

表 4 – 高溫係數 C_T

	5.6 節定義之服務等級		
	1	2	3
$T \leq 38^{\circ}\text{C}$	1.00	1.00	詳見 5.6.3
$38^{\circ}\text{C} < T \leq 52^{\circ}\text{C}$	0.90	0.90	
$52^{\circ}\text{C} < T \leq 65^{\circ}\text{C}$	0.80	0.80	

FS_c 為表 5 所示之元件安全係數。

表 5 – 元件安全係數 FS_c

	N_c	N_t	M	V
FS_c	2.0	2.0	2.0	4.0

註 1：由於軸向載重容量取決於許多因素並受挫屈不穩定性影響，因此抗壓容量無法被拆成分量計算。

註 2：剪力的 FS_c 為撓曲的兩倍，以確保受彎構件由「撓曲臨界」行為控制並有助於減輕劈裂現象（5.3 節）。

設計單桿或多桿構件時應使其不受扭力作用。

6.4 容許設計強度

材料的容許設計強度應依照 6.2 節測定之材料特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如式(2)所示：

$$f_i = f_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times (1/FS_m) \quad (2)$$

其中

f_i 為容許設計強度。

f_{ik} 為具有 75%可信度(6.2 節)之第 5 百分位特徵強度。在 ISO 12122-1 中，該值表示為 $f_{i,0.05,0.75}$ 。

f_i 可為以下強度：

f_c 根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗壓強度。

f_t 根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗拉強度。

f_m 根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗彎強度。

f_v 根據 ISO 22157 測定之抗剪強度。

f_t 根據 ISO 22157 測定之垂直纖維抗拉強度。

f_m 根據 ISO 22157 測定之垂直纖維抗彎強度。

C_R 為 5.4 節之構件贅餘度係數。

C_{DF} 為表 3 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中載重持續時間最短者之對應係數。

C_T 為表 4 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

FS_m 為表 6 所示之材料安全係數。

表 6 – 材料安全係數 FS_m

	f_c	f_t	f_m	f_v	f_{t90}	f_{m90}
FS_m	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	2.0

註：剪力的 FS_m 為撓曲的兩倍，以確保受彎構件由「撓曲臨界」行為控制並有助於減輕劈裂現象(5.3 節)。與剪力相似，垂直纖維抗拉行為 f_{t90} 為脆性破壞，需調高安全係數。

設計單桿或多桿構件時應使其不受扭力作用。

6.4.1 應用容許應力時的竹桿幾何尺寸

當應用容許設計強度(6.4 節)來計算元件容量時，竹桿的幾何性質測定方式如下：

D 為根據第 14 章之分級程序測定的竹桿標稱直徑。此外，對於在整個長度範圍內直徑變化量小於 10% 的竹桿，以兩端部測量之直徑平均值作為桿徑 D 。對於在整個長度範圍內直徑變化量大於 10% 的竹桿，以該桿長度範圍內最小直徑作為桿徑 D 。

δ 為根據第 14 章之分級程序測定的竹桿標稱壁厚。此外，對於桿壁厚從竹桿一端至另一端之變化量小於 10% 的竹桿，以兩端部測量之壁厚平均值作為桿壁厚 δ 。對於桿壁厚從竹桿一端至另一端之變化量大於 10% 的竹桿，以兩端部之最小壁厚作為桿壁厚度 δ 。

單桿斷面積依式(3)計算：

$$A = (\pi/4) \times [D^2 - (D - 2\delta)^2] \quad (3)$$

單桿慣性矩依式(4)計算：

$$I = (\pi/64) \times [D^4 - (D - 2\delta)^4] \quad (4)$$

單桿彈性斷面模數依式(5)計算：

$$S = (\pi/32D) \times [D^4 - (D - 2\delta)^4] \quad (5)$$

6.5 元件撓曲剛度

設計中使用的元件撓曲剛度 $(EI)_d$ 依式(6)計算：

$$(EI)_d = (EI)_k \times C_{DE} \times C_T \quad (6)$$

其中

$(EI)_k$ 為具有 75%可信度(6.2)之平均元件特徵撓曲剛度。在 ISO 12122-1 中，該值表示為 $(EI)_{mean,0.05,0.75}$ 。

C_{DE} 為表 7 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。

表 7 – 模數之載重持續時間係數 C_{DE}

載重時間	5.6 節定義之服務類別		
	1	2	3
永久與長期載重	0.50	0.45	詳見 5.6.3
短期載重	1.00	0.95	
瞬時載重 (風與地震)	1.00	1.00	

C_T 為表 4 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應使用該係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需使用該係數。

6.6 彈性模數

設計中使用的彈性模數 E_d 依式(7)計算：

$$E_d = E_k \times C_{DE} \times C_T \quad (7)$$

其中

E_k 為根據 ISO 22157 測定的具有 75%可信度(6.2)之平均特徵壓力彈性模數。在 ISO 12122-1 中，該值表示為 $E_{mean,0.05,0.75}$ 。

C_{DE} 為表 7 所示之服務類別與載重時間修正係數。

C_T 為表 4 所示之服務溫度修正係數。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應使用該係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需使用該係數。

7. 竹結構分析模型之建立

建立結構分析模型是將物理現實的建築結構「轉譯」為用於執行設計計算的數學模型之過程。

應根據適當的國家建築規範所規定的載重或載重組合，於臨界位置計算承載力或應力需求。

竹構件和竹結構的設計應基於應用力學原理計算。通常，竹結構的基本假設如下：

- 竹材於容許應力下，模擬為線性材料。
- 竹稈之模擬滿足伯努利梁定理（即平面維持平面）。
- 竹稈保守模擬為空心管，其斷面尺寸為稈之最小尺寸

註：大多數情形下，可使用平均斷面尺寸來建模。

- 如有精確的直徑、壁厚、漸變度資訊，可更精準地模擬竹稈形狀。
- 應考慮不筆直構件引起的二次效應。因假設其為彈性，應依照相應缺陷採用彎矩或軸力放大係數（如 9.5 節定義之 B）。
- 竹結構中的接頭應假設為鉸接，除非可由試驗數據證明半剛性（彈簧）或固接的合理性。接頭或接合部剛度於 10.5 節中定義。
- 在考慮接頭剛度之分析中，應計入接頭的變形或滑移。
- 在決定靜不定竹構架中的載重時，應考慮因接合部與構件剛度變化引起的傳力路徑變化。應盡量對結構載重傳遞路徑進行敏感性分析。可透過分級準則或其他合理方式評估構件與接頭剛度參數預期變化之範圍。
- 在決定竹結構的振動周期時，應考慮接頭和構件剛度的變化，因這些變化可能顯著影響結構振動週期的計算結果。

8. 受彎構件（梁）

8.1 一般規定

受彎構件所受之彎矩應小於或等於 8.3.1 或 8.3.2 節所定義之構件彎矩容量 M_r 。

受彎構件所受之剪力應小於或等於 8.3.1.1 或 8.3.2.1 節所定義之構件剪力容量 V_r 。

受彎構件的設計容量應儘可能不受剪力破壞模式主控。

8.2 多稈複合受彎構件

多桿複合受彎構件應對稱於彎曲軸之直交軸，且總深寬比不應大於 3。深寬比大於 1.5 的構件應滿足橫 8.2.1 節之側向支撐要求。

排列成三角形束的多桿複合受彎構件應使三角形之一邊對齊構件的壓力面。

多桿複合受彎構件中的竹桿應儘可能保持接觸。在任何情況下，竹桿間之淨距不得超過構件中的平均桿徑。

多桿複合受彎構件之組裝應使幾何性質之頭尾變化不超過 10%，通常將構件之竹桿頭尾方向交互組裝。

多桿複合受彎構件之相鄰竹桿連結部需配置於所有無支撐長度的末端，且間距不得大於較小桿徑之 10 倍。連結部應根據第 10 章之要求進行設計，在構件相鄰桿間之三個主軸方向皆至少能傳遞 1500 N/m 之力量。

8.2.1 多桿複合受彎構件之側撐要求

當多桿複合受彎構件之構件繞強軸受彎且深寬比超過 1.5 時，需要配置滿足以下條件的側向支撐：

- 構件壓力側之側向束制間隔不超過構件寬度之 10 倍。
- 構件的壓力側與拉力側在所有支承端都受到側向束制。
- 側向束制應提供足夠的約束與剛度，以抑制束制點的橫向移動。作用於構件之所有束制應能夠共同抵抗垂直於受彎構件軸向的總和力 ΣF_{resf} ，其不小於式(8)之計算值：

$$\Sigma F_{resf} \geq (M_u/d) \times 0.04 \quad (8)$$

- 個別側向束制應能夠抵抗垂直於受彎構件軸向的力量 F_{resf} ，其不小於式(9)之計算值：

$$F_{resf} \geq (M_u/d) \times 0.015 \quad (9)$$

式中

M_u 為受彎構件所受之最大彎矩。

d 為受彎構件之總深度。

- 總束制力 ΣF_{resf} 應按構件束制點間距之比例分配。
- 側向束制應連接到適當的支撐系統，以將束制力傳遞到構件的有效支承點，或者連接到能滿足類似功能之結構獨立部分。當兩個或多個平行構件中間需要側向束制時，並不適合將這些構件連接在一起讓它們彼此支持。

8.3 受彎構件容量

可透過竹桿容量加總或本章所述之構件幾何性質計算多桿構件容量。

8.3.1 根據元件容量計算撓曲容量

由元件容量定義之構件撓曲容量依式(10)計算：

$$M_r = M \quad (10)$$

其中

$M = \sum M_i$ 為組成 6.3 節所定義構件之單稈容許設計撓曲容量 M_i 之總和，或

M 由 6.3 節所定義的多稈構件依精算求得之容許設計撓曲容量。

8.3.1.1 根據單稈元件容量計算受彎構件之剪力容量

由元件容量定義之構件剪力容量依式(11)計算：

$$V_r = V \quad (11)$$

其中

$V = \sum V_i$ 為組成 6.3 節所定義構件之單稈容許設計剪力容量 V_i 之總和，或

V 由 6.3 節所定義的多稈構件依精算求得之容許設計剪力容量。

8.3.2 根據抗彎強度計算撓曲容量

由容許抗彎強度與竹稈幾何尺寸決定之構件撓曲容量依式(12)計算：

$$M_r = f_m \times \Sigma S \quad (12)$$

其中

f_m 為 6.4 節所述之平行纖維容許抗彎強度。

ΣS 為 6.4.1 節所定義的組成構件之單稈斷面模數總和。

8.3.2.1 根據抗剪強度計算多稈複合受彎構件之剪力容量

由容許抗剪強度與竹稈幾何尺寸決定之構件剪力容量依式(13)計算：

$$V_r = f_v \times \Sigma \frac{3\pi\delta [D^4 - (D - 2\delta)^4]}{8 [D^3 - (D - 2\delta)^3]} \quad (13)$$

其中

f_v 為 6.4 節所述之平行纖維容許抗剪強度。

式中的第二項為構成多稜構件之單稜幾何性質總和。

D 與 δ 定義於 6.4.1 節。

8.4 撓度計算

撓度應使用彈性斷面性質計算。為了將計算之撓度與國家建築規範規定的使用性撓度限制值進行比較，彈性撓曲剛度可依 8.4.1 或 8.4.2 節決定。

8.4.1 根據元件性質計算撓曲剛度

用以決定撓度之撓曲剛度 EI 由元件性質依式(14)計算：

$$EI = (EI)_d \times C_v \quad (14)$$

其中

$(EI)_d = \Sigma(EI)_{di}$ 為組成多稜構件之單稜(6.5 節) $(EI)_{di}$ 之總和，或

$(EI)_d$ 由 6.5 節所定義之多稜構件依精算求得

C_v 為考慮剪力變形之修正係數，依式(15)計算：

$$C_v = 0.5 + 0.05 \times (a/D) \leq 1.00 \quad (15)$$

其中

a 為構件之剪力跨。

D 定義於 6.4.1 節。

8.4.2 根據材料與幾何性質計算撓曲剛度

由材料與幾何性質決定之撓曲剛度 EI 依式(16)計算：

$$EI = E_d \times \Sigma I \times C_v \quad (16)$$

其中

E_d 為 6.6 節定義設計中使用的彈性模數

ΣI 為 6.4.1 節定義組成多稜構件之單稜慣性矩的總和

C_v 為 8.4.1 節定義考慮剪力變形之修正係數

8.4.3 長期撓度

應將妥善算定的 $(EI)_d$ 或 E_d (分別見 6.5 及 6.6 節) 值分別應用於長期與短期載重分量，再將各自計算之長期與短期撓度分量相加求得總長期撓度。

9. 受軸力構件

9.1 一般規定

施加於受軸力構件上的壓力應小於或等於 9.3.1 節定義之構件壓力容量 N_{cr} 。

施加於受軸力構件上的拉力應小於或等於 9.4.1 或 9.4.2 節定義之構件拉力容量 N_{tr} 。

多桿複合軸力構件應使竹桿配置符合下列條件之一：

- 對稱於兩個主軸。
- 輻射對稱。
- 呈三角形排列，且每邊有相同數量之竹桿。

使用單桿作為軸力構件是許可的，此類構件應被視為 5.4.1 節所定義之非贅餘構件。

多桿複合軸力構件中竹桿間之淨距不得超過構件中的平均桿徑。

多桿構件之相鄰竹桿連結部需配置於所有無支撐長度的末端，且間距不得大於較小桿徑之十倍。連結部應根據第 10 章之要求進行設計，在構件相鄰桿間之三個主軸方向皆至少能傳遞 1500 N/m 之力量。

必要時根據 9.2.1 節計算受壓構件之側向支撐需求。

組成受軸力構件之竹桿弓形偏差不應超過 ISO 19624 分級規定中的限制。弓形偏差率不應超過 $L/50$ ，其中 L 為構件之無支撐長度。

如受軸力構件之載重偏心超過 $d/4$ (其中 d 為構件的最小整體尺寸)，應根據 9.5 節定義之軸力與撓曲共同作用進行設計。

9.2 受壓構件有效長度

受壓構件之有效長度為構件側向束制點間工作長度 L 與竹構件建議有效長度係數 K 之乘積， K 值如表 8 所示。對於多桿構件而言，兩個主軸方向之有效長度係數可能不同。

表 8 – 有效長度係數 K

	受壓構件邊界條件			桁架元素 (詳見第 11 章)
	鉸接-鉸接	鉸接-固接	固接-固接	
有側向束制	1.10	0.80	0.65	1.00
無側向束制	2.40	2.10	1.20	不允許

9.2.1 受壓構件之側向束制

側向束制應提供足夠的約束與剛度，以抑制束制點的橫向移動。束制力應能夠抵抗垂直於受束制構件軸向的作用力 F_{resc} ，根據式(17)計算：

$$F_{resc} \geq (P_u / C_{bow}) \times 0.01 \quad (17)$$

其中

P_u 為受壓構件可承受之最大軸力。

C_{bow} 為用以考慮組成受壓構件之竹稈初始弓形的折減係數，根據式(18)計算：

$$C_{bow} = 1 - (b_0 / 0.02) \quad (18)$$

其中

b_0 為組成受壓構件之竹稈中央高度處最大弓形偏差率，根據式(18)計算，且不應超出 9.1 節之限制：

$$b_0 = b_{max} / L < 0.02 \quad (19)$$

b_{max} 為從竹稈橫截面中心到竹材末端中心連線的最大直交偏差距離

L 為構件長度。

側向束制應連接到適當的支撐系統，以將束制力傳遞到構件的有效支承點，或者連接到能滿足類似功能之結構獨立部分。當兩個或多個平行構件中間需要側向束制時，並不適合將這些構件連接在一起讓它們彼此支持。

9.3 壓力容量

可透過竹稈容量加總或本章所述之構件幾何性質計算以不同尺寸竹稈組成的多稈構件容量。

9.3.1 根據材料與幾何性質計算壓力

構件的壓力容量根據式(20)^[15]計算：

$$N_{cr} = \frac{P_c + P_e}{2c} - \sqrt{\left(\frac{P_c + P_e}{2c}\right)^2 - \frac{P_c P_e}{c}} \quad (20)$$

其中

P_c 為 9.3.2 節定義之壓潰容量。

P_e 為 9.3.3 節定義之挫屈容量。

$c = 0.80$

9.3.2 壓潰容量

受壓構件的壓潰容量 P_c 應根據材料強度與幾何性質依式(21)計算：

$$P_c = f_c \times \Sigma A \quad (21)$$

其中

f_c 為 6.4 節之容許平行纖維抗壓強度

ΣA 為 6.4.1 節所定義組成構件之單稈斷面積總和。

9.3.3 挫屈容量

受壓構件之挫屈容量 P_e 依式(22)或(23)計算：

$$P_e = \frac{n\pi^2 E_d I_{min} C_{bow}}{(KL)^2} \quad (22)$$

或

$$P_e = \frac{n\pi^2 (EI)_{d,min} C_{bow}}{(KL)^2} \quad (23)$$

其中

n 為組成構件之竹稈數。

E_d 為 6.6 節之設計彈性模數。

I_{min} 為 6.4.1 節所定義組成構件之單稈的最小慣性矩。

$(EI)_{d,min}$ 為 6.5 節所定義組成構件之單稈的最小撓曲剛度。

C_{bow} 為 9.2.1 節所定義之組成受壓構件的竹稈初始弓形折減係數。

KL 為 9.2 節定義之受壓構件有效長度。

註：由於挫屈容量受到許多因素影響，因此挫屈容量無法被拆成分量計算。

9.4 拉力容量

可透過竹稈容量加總或本章所述之構件幾何性質計算以不同尺寸竹稈組成的多稈構件容量。設計單稈構件時，則忽略加總符號，以單稈進行計算。

由軸拉力控制之設計或構件行為是非常罕見的。應特別注意傳遞拉力至構件之接頭。

9.4.1 根據元件容量計算拉力容量

由元件容量定義之構件拉力容量依式(24)計算：

$$N_{tr} = N_t \quad (24)$$

其中

$N = \sum N_{ti}$ 為組成 6.3 節定義之構件單稈容許拉力容量 N_{ti} 之總和。

N_t 由 6.3 節所定義的多稈構件依精算求得之容許設計拉力容量。

9.4.2 根據材料與幾何性質計算拉力容量

由強度與幾何性質定義之構件拉力容量依式(25)計算：

$$N_{tr} = n \times f_t \times A_{min} \quad (25)$$

其中

n 為組成構件之竹稈數。

f_t 為 6.4 節之容許平行纖維抗拉強度。

A_{min} 為 6.4.1 節所定義組成構件之單稈的最小斷面積。

9.5 軸力與撓曲共同作用

對於同時承受軸力和彎矩之構件，包括初始偏心（涵蓋國家規範規定之意外偏心）超出第 9 章限制之構件，應套用式(26)與(27)之破壞準則。

淨軸壓：

$$N_{cd}/N_{cr} + BM_{cd}/M_r \leq 1.0 \quad (26)$$

淨軸拉：

$$N_{td}/N_{tr} + M_{cd}/M_r \leq 1.0 \quad (27)$$

其中

N_{cd} 為設計壓力。

N_{cr} 為 9.3 節定義之壓力容量。

N_{td} 為設計拉力。

N_{tr} 為 9.4 節定義之拉力容量。

M_{cd} 為設計彎矩。

M_r 為 8.3 節定義之彎矩容量。

B 為根據式(28)計算之彎矩放大係數：

$$B = [1 - N_{cd}/P_e]^{-1} \quad (28)$$

P_e 為 9.3.3 節定義之挫屈容量。

10. 接頭與續接

10.1 一般規定

接頭應構成可在兩個或多個單桿或結構構件之間傳遞設計內力之路徑。

接頭應具備可預測的變形特性並與其實際使用及設計內力所採用的分析方法一致。

接頭之設計應使其具備適當容量、剛度、韌性並能防止竹桿劈裂。降伏載重 (F_y , 見 10.4 節)、彈性剛度 (K_e , 見 10.5 節) 與韌性 (μ) 根據 ISO/TR 21141 定義。接頭之靜態 (單向) 特徵設計性質可根據 10.2 或 10.3 節決定。接頭之抗震能力應根據 10.2 節決定。所有接頭應滿足 10.6 與 10.7 節之要求。竹桿續接應滿足 10.8 節之要求。金屬連接件、輔助元件或附屬件應符合 10.9 節之要求。

接頭處所有連接竹桿的軸心線應儘可能在交於同一作用點。如無法交於同一作用點，則設計接頭與連接構件時應考慮竹桿力造成的偏心。

10.10 至 10.12 節提供了一些完善接頭類型的元件容量(10.3 節)與詳細要求。附錄 D 提供了非全面性之接頭類型清單與性質描述。

10.2 根據完整接頭試驗決定設計性質

接頭設計性質應基於相同幾何尺寸、聯結部件、細部以及構件連接特性與等級之足尺完整接頭測試來建立。測試應根據 ISO 16670 進行，並根據 ISO/TR 21141 計算接頭性質。特徵值之測定應根據 ISO 12122-5 或 ISO 12122-6 進行。

為了產生正確的彎矩剪力比，設計用來抵抗彎矩之接頭組件，測試時應令載重施加於接頭相連竹構件之反曲點。

10.3 根據元件容量決定設計性質

此方法僅適用於接頭破壞模式已被充分了解且能被可靠地預測之前提下。此方法應通過完整接頭測試 (10.2 節) 之驗證。

應以接頭中各元件容量之最小者計算接頭容量。為確保行為符合預期，接頭中所有其他元件之容量應至少為此接頭關鍵元件容量之 1.25 倍。

接頭容量不應由脆性破壞模式 ($\mu \leq 1.25$) 或竹桿縱向劈裂 (10.7 節) 所控制。這類破壞模式之容量應至少為接頭關鍵元件容量之 1.25 倍。

元件容量應根據適當的測試標準、方法或根據 ISO 12122-5 計算之特徵容量來計算。

10.10 至 10.12 節提供了一些完善接頭類型的元件容量 (10.3 節) 與詳細要求。

10.4 接頭容許設計容量

接頭容許設計承載容量應依照 10.2 或 10.3 節測定之接頭特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如式 (29) 所示：

$$F_y = F_{yk} \times C_{DF} \times (1/FS_j) \quad (29)$$

其中

F_y 為接頭設計容量。

F_{yk} 為根據 10.2 或 10.3 節所測定具有 75% 可信度之第 5 百分位特徵接頭容量。在 ISO 12122 中，該值表示為 $F_{y,0.05,0.75}$ 。

C_{DF} 為表 3 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

FS_j 為表 9 所示之接頭安全係數。

表 5 – 接頭安全係數 FS_j

	$\mu < 1.25$	$1.5 \leq \mu < 4.0$	$\mu \geq 4$
FS_j	3.0	2.5	2.0

其中 μ 為 10.6 節定義之韌性。若韌性為未知，應假設 $\mu=1.25$ 。

10.5 接頭剛度

設計中使用之接頭撓曲剛度 K_e 依式(30)計算：

$$K_e = K_{ek} \times C_{DE} \quad (30)$$

其中

K_{ek} 為具有 75%可信度(6.2 節)之平均特徵接頭剛度。在 ISO 12122 中，該值表示為 $K_{e,mean,0.75}$ 。

C_{DE} 為表 7 所示之服務等級與載重持續時間修正係數。載重組合之持續時間係數應選擇組合中持續時間最短者之對應係數。

10.6 接頭韌性

韌性 μ 為根據 ISO/TR 21141 以試驗測定之極限位移 Δ_u 與降伏位移 Δ_y 的比例。

$\mu < 1.25$ 之接頭不得用於承重結構。

$\mu \leq 2.00$ 之接頭不得用於靜不定構架之抗彎矩接合。

$\mu \leq 2.5$ 之接頭不得用於結構的主要抗震系統。

10.7 防止竹桿劈裂

接頭之設計應能降低 5.3 節所述之竹桿縱向劈裂風險。

為減少位於桿端附近接頭處之竹桿劈裂，接頭與桿端之間應儘可能至少包含一個竹節。

10.7.1 以徑向圍束防止劈裂

單桿可採用徑向圍束來防止劈裂發生。應根據 10.2 節進行測試，以確認接頭在假想劈裂發生後仍具備 5.3 節要求之殘餘容量。

用於提供徑向圍束力之束帶應環繞竹稈圓周提供均勻作用力，且收緊時不應損傷竹稈。

金屬圍束帶之所有元件應根據其暴露之環境(5.7.2 節)加以適當的防鏽蝕保護。

註：徑向圍束帶的例子包括：金屬管夾、塑膠束（線）帶與預力綁紮(10.9.3 節)。

10.8 續接接頭

續接接頭為將兩竹稈沿軸向連接的接頭類型。附錄 D 提供了接頭幾何形狀之範例。

搭接為將兩構件沿平行方向連接，兩構件之軸相距一稈徑。搭接之設計應考慮由稈軸偏心引起之彎矩。

續接接頭應儘可能遠離其他接頭。

撓曲構件中之續接接頭應儘可能位於彎矩最小之位置（位於反曲點最佳）。

續接接頭之存在通常會降低所在構件之容量。續接構件之容量應依第 8 或 9 章計算並納入續接之影響。

10.9 接頭中非竹材元件之規定

10.9.1 接頭中的金屬元件

接頭之所有金屬元件應根據其暴露之環境（詳見 5.7.2 節）加以適當的防鏽蝕保護。如有多個金屬元件彼此接觸，元件應採用相同材料，以消除電位差腐蝕（Galvanic corrosion）的可能性。

10.9.2 使用流動性材料填充之接頭（灌漿接頭）

流動性填充材料可基於下列理由用於接頭或接合部之節間區域：

- 為接頭或接合部的埋入元件提供錨固。
- 提高節間區域之承載容量。

使用時，流動性填充材料應符合下列條件：

- 與竹材相容，對竹稈材料或幾何性質不造成有害影響。
- 具有足夠流動性，能夠完全填滿預計填充之區域。
- 不因固化而導致顯著的收縮或膨脹。

受填充之竹材於填充時應已達到平衡含水率(E_{MC})。

10.9.3 綁紮

綁紮接合有下列兩種形式：

- 綁紮作為接合部之主要傳力機制。此種綁紮接合之幾何形式與製作方法通常基於 5.11.2 節所述之傳統方法，且通常會以某種方式施加預力。
- 綁紮用於輔助或加強另一種接合類型。此種接頭中，綁紮之貢獻可以透過試驗 (10.2 或 5.11.3 節) 來確定，且不應為控制接頭極限性能之關鍵。

綁紮也可作為減少竹稈劈裂之方法(10.7.1 節)。

綁紮之材料不應於所處環境中分解，且其預期防火性能應優於竹稈。

10.9.4 機械與專利接頭系統

有多種用於連接單稈的專利機械接頭，這些竹稈接合方式通常用於建立空間構架。

機械接頭應依 10.2 節之方法預先進行檢驗，證明其於可接受的變形程度內，能夠抵抗至少 1.25 倍之接合元件容許設計容量。

10.10 竹稈端部承載容量

包括魚嘴形接合的開口部分在內，未填充竹稈之端部承載容量依式(31)計算：

$$P_b = C_{EB} \times f_c \times A \quad (31)$$

其中

f_c 為 6.4 節之容許平行纖維抗壓強度。

A 為 6.4.1 節之竹稈斷面積。

$C_{EB} = 0.80$ 適用承載於平面之平切口。

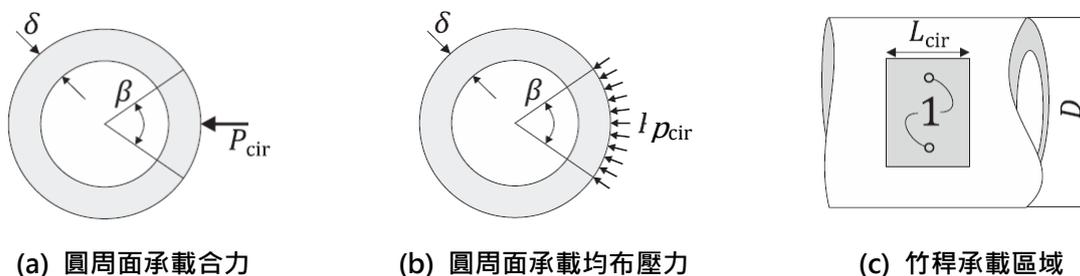
$C_{EB} = 0.40$ 適用承載於另一支竹材之魚嘴形接合。

填充稈之端部承載容量應根據 10.2 節決定。

端部承載載重應均勻分佈於竹稈之整個斷面。

10.11 竹稈圓周面承載容量

配合空心竹稈之接頭應設計成使竹稈的圓周面承載區域至少包含八分之一之圓周 (即圓心角至少為 $\beta=45^\circ$)。如圖 1 所示。



圖例

1 承載區域

圖 1 - 圓周面承載接合之幾何參數

未填充竹稈之圓周面承載容量依式(32)計算：

$$P_{cir} = p_{cir} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) D L_{cir} \leq \frac{2f_{m90} L_{cir}^2 \delta^2 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{3DK_M} \quad (32)$$

其中

P_{cir} 為圓周面承載合力。

p_{cir} 為圓周面承載均布壓力。

f_{m90} 為根據 ISO 22157 測定之垂直纖維抗彎強度。

β 為圓周面承載區域之圓心角。

L_{cir} 為圓周面承載區域之長度。

D 與 δ 定義於 6.4.1 節。

K_M 如表 10 所示。

表 10 - 用於圓周面承載計算之係數 K_M

β	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
K_M	0.067	0.112	0.164	0.220	0.277	0.333	0.386	0.432	0.471	0.500
註： $K_M = (1/\pi) \times [(\pi - \beta/2) \cos(\pi - \beta/2) + (\pi - \beta/2)]$ · β 以弧度表示										

未填充竹稈之圓周面承載容量不應超過式(33)計算之值：

$$P_{cir} \leq 0.5 \times L \times \delta \times f_c \quad (33)$$

其中 f_c 為根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗壓強度。

為減少因圓周面承載造成之劈裂，承載區域與稈端間應至少距離兩倍竹稈直徑(2D)，且應儘可能有一竹節位於承載區域與稈端之間。

圓周面承載載重應均勻分佈於承載區域。應注意確保承載區域之末端尖角不損傷稈壁。

填充稈之圓周面承載容量應依 10.2 節決定。

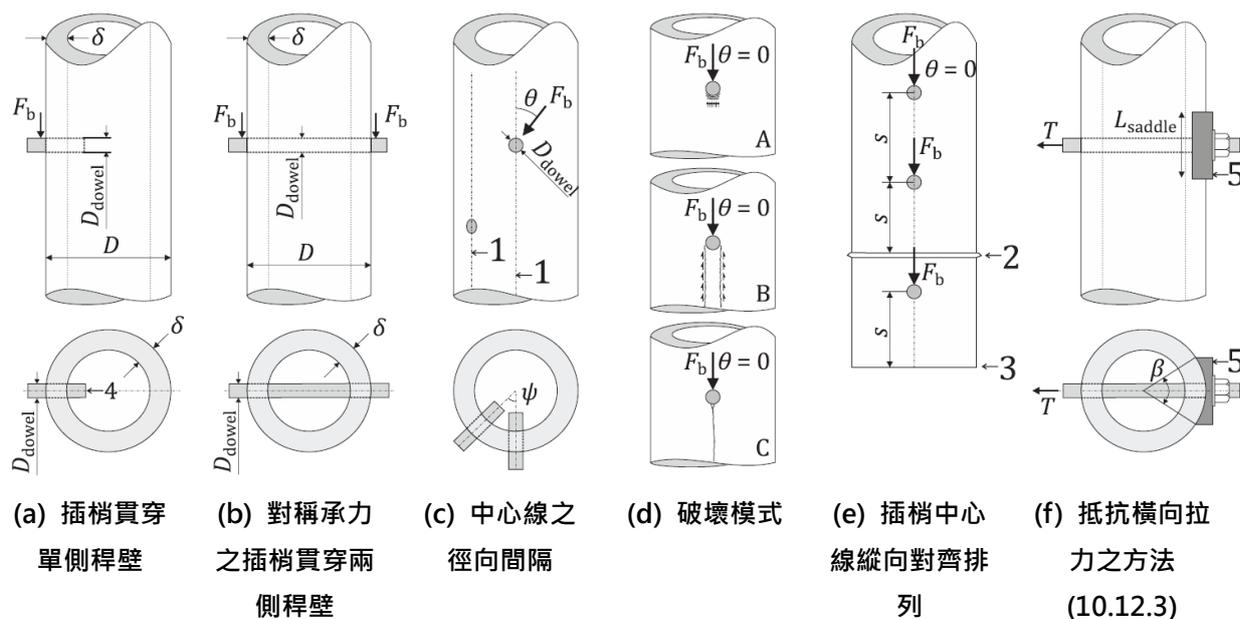
10.12 貫穿稈壁之插梢接頭

用以傳遞剪力之接合件包括梢釘、插梢、螺栓、木螺絲釘或其他類似的錨栓（統稱為插梢），這些插梢貫穿稈壁或沿直徑穿透兩側稈壁（分別如圖 2a 與 2b 所示），此類接合之設計應使最小容量由插梢施力處之承載破壞所控制。

插梢本身之剪力和組合力容量應超過本節計算之設計容量。插梢與載重幾何條件會影響插梢容量之計算結果。

當竹稈所受之載重相對於稈軸之夾角 $0^\circ < \theta \leq 5^\circ$ ，位於同一節間內之插梢中心線應儘可能避免縱向對齊，而改為於圓周方向分散配置。

相鄰插梢中心線之間距圓心角應儘可能不小於 $\psi = (115 \times D_{dowel}/D)$ 度（如圖 2c 所示）。



圖例

- 1 插梢中心線
- 2 竹節
- 3 桿端
- 4 插梢貫穿處之完整直徑
- 5 鞍座
- A 承載破壞
- B 剪力撕裂破壞
- C 劈裂破壞

圖 2 – 插梢接合之幾何參數

10.12.1 單插梢容量

本節規定貫穿單側桿壁之插梢容量。如單一連續插梢貫穿兩側桿壁，則 F_b 可以雙倍計算。

當單桿接合部中包含複數插梢時，不可直接將個別插梢的容量加總，必須根據 10.2 節進行測試，以決定多插梢接合的折減係數。

插梢之容許承載容量 F_b 依式(34)計算：

$$F_b \leq D_{dowel} \times \delta \times f_c \times C_\theta \quad (34)$$

其中

D_{dowel} 為插梢之直徑。若為螺絲釘， D_{dowel} 為 1.1 倍之螺絲釘根部直徑。

δ 為 6.4.1 節定義之桿壁厚。

f_c 為根據 ISO 22157 測定之平行纖維抗壓強度。

C_θ 為考慮相對於竹稈軸向(0°)之加載角度修正係數，如表 11 所示。

註： F_b 應施加於稈壁外側，如圖 2 所示。載重 F_b 之偏心不應超過一倍稈壁厚或連接板厚。

表 11 – 加載角度修正係數 C_θ

插梢載重條件	相對於竹稈軸向(0°)之加載角度	
	$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$	$\theta > 5^\circ$
插梢僅貫穿單側稈壁 (圖 2a) 或不對稱承力之插梢貫穿兩側稈壁	0.3	0.2
對稱承力之插梢貫穿兩側稈壁 (圖 2b)	0.7	0.4

在 $0^\circ < \theta \leq 5^\circ$ 的情況下，容許承載容量 F_b 不應超過依式(35)計算之剪力撕裂容量 (圖 2d (B)):

$$F_b \leq 1.6 \times s \times \delta \times f_v \quad (35)$$

其中

s 為位於同一縱向中心線上的最小插梢間距，或插梢與載重方向上最近之竹節或稈端部的距離 (見圖 2e)。

δ 為 6.4.1 節定義之稈壁厚。

f_v 為根據 ISO 22157 測定之抗剪強度。

此外，在 $0^\circ < \theta \leq 5^\circ$ 的情況下，容許承載容量 F_b 不應超過依式(36)計算之劈裂容量 (圖 2d 中的 C):

$$F_b \leq \frac{\pi \delta D_{dowel} f_{t90}}{2(1 - D_{dowel}/D)^2} \quad (36)$$

其中

D_{dowel} 為插梢之直徑。若為螺絲釘， D_{dowel} 為 1.1 倍之螺絲釘根部直徑。

D 與 δ 定義於 6.4.1 節。

f_{t90} 為根據 ISO 22157 測定之垂直纖維抗拉強度。

註： F_b 的剪力撕裂與劈裂限制已包含一個額外的安全係數 1.25，用來避免剪力撕裂與承載引起之劈裂控制構件之極限狀態。

10.12.2 插梢規定

除木螺絲釘外，插梢應插入直徑不大於插梢直徑 110%之預鑽孔，除後文所述之壓入式插梢以外，預鑽孔直徑亦不得小於插梢直徑。插梢直徑不得超過 $D/8$ 。

除自攻螺絲釘外，木螺絲釘或金屬板螺絲釘應插入直徑為螺絲釘標稱直徑 1/4 至 1/2 之間的預鑽孔。自攻螺絲釘與鑽尾螺絲釘可於不預鑽孔的情形下安裝。

除了附錄 E.2 中允許的情況外，不得使用打入釘或釘槍來連接結構竹構件。

插梢應完全貫穿稈壁並以全直徑接合稈壁 (圖 2a)。

註：為使螺絲釘以全直徑接合稈壁，錐形之螺絲釘尖端必須完全進入稈內。

螺栓或螺紋插梢應使用墊片與螺帽固定，螺帽拴緊至不超過「手指拴緊」的程度。若使用環境可能發生振動，應使用緊固墊片或其他方法確保螺帽不會鬆動。

壓入式插梢 (例如衝梢、楔鍵等) 應插入尺寸等於或略小於插梢尺寸之預鑽孔或預切孔。安裝插梢所需的力不應損傷稈壁。

壓入式插梢之設計應使用模數類似於竹子的材料，並應考慮插梢可能發生之乾縮或膨脹。

10.12.3 插梢接頭之拉力

除以下情況外，插梢不應設計用以抵抗垂直於稈壁之拉力 (即插梢拉拔力)。

穿透竹稈之螺栓或螺紋插梢僅能設計以圖 2f 所示之方式抵抗拉力。此情況下應使用符合竹子直徑之承載鞍座。鞍座之承載容量應按 10.11 節之要求設計，並令承載區域之長度等於鞍座長度減去插梢孔直徑。

11. 桁架

桁架為構件以鉸接方式接合之組件，包含平面(2D)或空間(3D)桁架結構。桁架可使用多稈構件。在平面桁架中，所有構件與接點應對稱於桁架平面。在空間桁架中，接點處所有構件之排列應使其作用線共線於作用點。

構件應設計至能抵抗第 9 章規定之軸壓力與拉力。對於受壓構件，構件之長度 L 應取挫屈方向束制點間的長度且有效長度係數 $K=1$ (9.2 節)。構件之設計應能抵抗第 8 章規定之彎曲。

桁架壓力弦之每處接頭應受支撐以防止面外挫屈與側向變形。側向束制應提供足夠的約束與剛度，以抑制束制點的側向移動。束制力應能夠抵抗垂直於桁架平面的作用力 F_{resc} ， F_{resc} 根據 9.2.1 節計算。

拉力弦與壓力弦應儘可能在桁架的剪力跨上連續。可使用續接構件，續接接頭應按第 10 章之規定設計。

桁架接頭應設計成提供最小限度的轉動束制，在一般情況下不傳遞彎矩給連接之構件，即「鉸接」。桁架接頭應按第 10 章之規定設計，以抵抗根據第 7 章之分析求得之設計力。

桁架之分析應包括接頭之變形。

必要時應考慮接頭元件之潛在挫屈。

12. 剪力板 (牆)

12.1 一般規定

本規範所述之輕量水泥竹框架(Light cement bamboo frame, LCBF)為一種現代工程技術，利用竹材或金屬板條構成的網格固定於竹或鋸木框架系統，再以水泥或石灰砂漿抹灰處理製成之複合剪力板。剪力板之高寬比不應大於 3.0。LCBF 板或牆可抵抗 12.2.1 與 12.2.2 節所述之來自風、衝擊或地震的短期側向力。剪力板通常可如 12.2.3 節所述承載局部靜載重。其設計強度依 12.3 節測定。

LCBF 之竹元素應符合本規範之要求。鋸木元素之設計應符合對應之木構造設計規範要求與本節的意旨。

LCBF 框架配置可有斜撐或無斜撐。具有斜撐之 LCBF 系統不得超過三層樓與 9m 的高度。不具斜撐之 LCBF 系統不得超過兩層樓與 7m 的高度。

LCBF 板可以是單皮層 (僅一面附有網格) 或雙皮層 (兩面附有網格)。砂漿抹灰可能施作於網格之單面或雙面。本規範不包含網格置於竹框架中心線之系統，此作法會使網格於相鄰板間無法連續。單與雙皮層之 LCBF 如圖 3 所示。

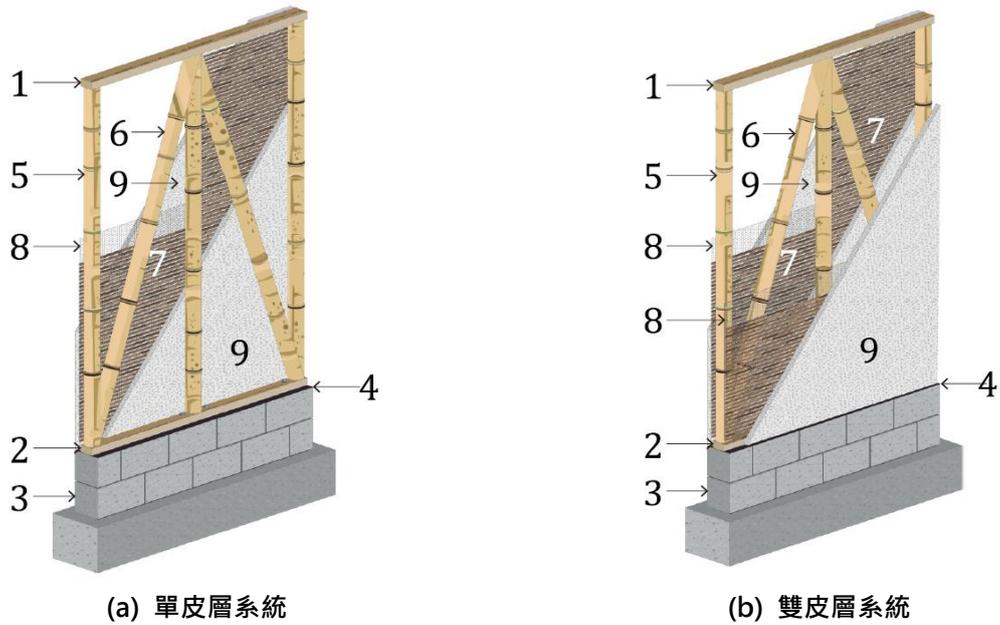
LCBF 系統之各元素細部說明範例如附錄 E 所示。

12.1.1 板之開口

如果滿足下列要求，可於 LCBF 牆系統中開窗或其他開口：

- 依 12.3 節決定 LCBF 板容量時考慮開口周邊框架的貢獻。
- 開口之四個邊皆有框架加強。

如開口尺寸超過 LCBF 板長度或高度的 1/3，則該板應被視為被開口分隔之兩片獨立板。此種情況下，應以板端元件與相關的連結件來固定開口。此類開口正上方或正下方之板區域的貢獻不應包含在整體牆容量計算中。



圖例

- 1 頂板，通常為木材
- 2 底板，通常為木材
- 3 混凝土或磚石上之基座
- 4 防潮膜
- 5 竹立柱（可使用木材）
- 6 竹斜撐（可使用木材）
- 7 牆網格可由竹條、竹蓆、小直徑竹、藤條或鍍鋅金屬板條構成
- 8 釘於網格上之鍍鋅鋼線網
- 9 水泥砂漿或石灰砂漿抹灰處理

圖 3 – 輕量水泥竹框架(LCBF)施工例

12.2 載重

LCBF 應能夠抵抗對應之國家建築規範所規定的載重或載重組合，並構成 12.2.1、12.2.2 與 12.2.3 節所述之傳力路徑。

12.2.1 面外載重

因風、衝擊或地震作用之面外載重會在板中引起頂板與底板之間的垂直跨向撓曲，與垂直構件之間的水平跨向撓曲。圖 4 顯示了 LCBF 之牆網格如何水平跨越竹立柱，及竹立柱如何垂直跨越於頂板與底板間。

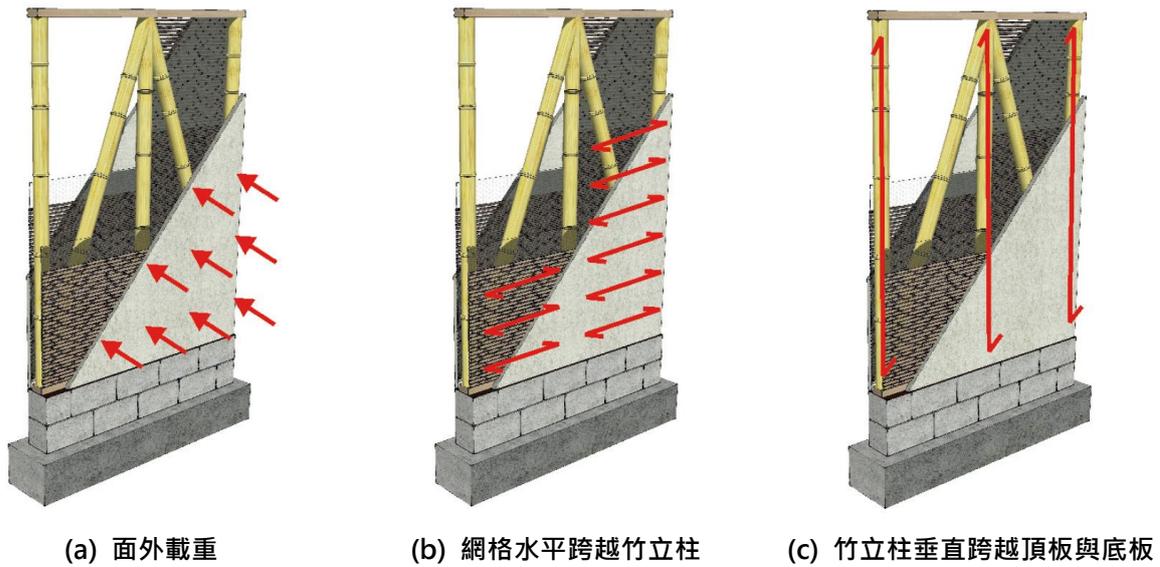


圖 4 – LCBF 構造抵抗面外載重之機制

LCBF 板的垂直跨元素（立柱）對面外載重的撓曲抵抗應根據第 8 章決定。應假設砂漿或牆網格不貢獻強度。垂直跨構件與頂板或底板間之接合應根據第 10 章決定。

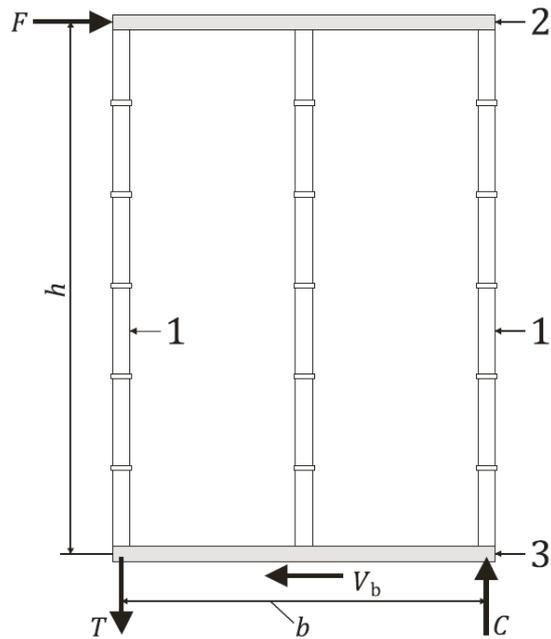
除非滿足附錄 E.2.1 中建議之最小網格性質，否則應透過試驗或分析決定水平跨網格對面外載重的撓曲抵抗。水平跨網格與垂直跨構件之間的連接應依照第 10 章決定。

12.2.2 面內載重

面內受力的情況下，LCBF 板或牆應依垂直懸臂之行為來設計（見圖 5）。應考慮臨界框架構件之板剪力容量、壓力容量與拉力容量，以及牆體接合部之傾覆與滑動破壞。

為了充分抵抗面內載重，LCBF 系統之設計與細部應使以下傳力路徑能有效地建立：

- 來自上部樓層或屋頂、導風牆與橫隔板之剪力可傳遞到連續的頂板。
- 頂板將剪力傳遞到 LCBF 竹框架元素及砂漿與牆網格之複合體，再由其將剪力傳遞到底板。如砂漿與牆網格之複合體和面內斜撐（如果有）加起來，應假定可抵抗 100% 之面內剪力。
- 因傾覆而產生之軸力（壓力與拉力）應僅由 LCBF 板端之垂直框架構件抵抗。這些構件與其接合部之容量應根據第 9 章與第 10 章決定。可假設框架構件在牆平面內不發生挫屈。LCBF 板中的中間框架構件應被假設為不能抵抗傾覆力。
- 軸向載重路徑應通過框架元件與頂板或底板間的適當接合傳遞至結構基礎。



圖例

1 LCBF 板端之框架構件

2 頂板

3 底板

F 水平作用力 (根據風力或地震力分析)

V_b 抵抗 F 之基底剪力

T 抵抗傾覆力矩之端部構件拉力 · $T = (F \times h)/b$

C 抵抗傾覆力矩之端部構件壓力 · $C = (F \times h)/b$

h LCBF 板之高度

b LCBF 板之長度

圖 5 – LCBF 板之懸臂行為

(靜載重之作用應與所示之側向載重作用疊加)

12.2.3 靜載重

LCBF 板可以抵抗靜載重，前提是跨越頂板與底板間之垂直框架元素能直接單獨承擔靜載重。這些構件之壓力容量應根據第 9 章決定。應假設砂漿與牆網格之複合體不貢獻強度，但可假設垂直框架構件在牆平面內受到束制而不發生挫屈。

12.3 設計強度之決定

LCBF 剪力牆或板之容量應根據 ISO 21581 決定。抗風、抗震與抗衝擊載重應根據 ISO 21581:2010 之 6.1 節或 6.2 節的方法決定。

測試結果之解釋應根據 ISO/TR 21141。特徵值的測定應根據 ISO 12122-6。分析中應採用完整牆板組件

之特徵側向剛度，以確保水平變位維持在相關國家規範之限制範圍內。

面內設計應假設牆板於設計地震力下保持彈性行為（即假設韌性比為 1）。

13. 耐火

應假設竹材本身之耐火性微乎其微。如國家法規要求竹材於火災中發揮作用，則需要施予某種形式的防火保護或處理。

竹結構組件（例如牆板）之耐火等級應根據對應之國家防火測試標準測定。

14. 結構分級

竹材應根據 ISO 19624 進行分級並推定其元件或材料性質。單項工程竹材長度超過 10000m 時，應採用分級。

如果不採用 ISO 19624 之分級規則，則應採用以下的簡化分級程序：

- 竹資源應經過目視挑選並納入 ISO 19624:2018 第 6 章列出之所有條件與幾何性質。
- 與設計相關之特徵力學、物理與幾何性質應根據 ISO 19624:2018 之 8.2 節決定。
- 元件之撓曲剛度或彈性模數與剪力強度應於每 2000m 竹材進行一次例行評估。如果這些參數之平均值較設計使用值低 10% 以上，則需對所有性質進行全面評估。

可依 5.11.2 節之準則挑選竹材。

15. 品質管控與評估

品質管控與評估不在本規範之範圍以內。儘管如此，仍應針對材料、施工與構造方法加以適當的品質管控與評估。採用可驗證之分級準則（見第 14 章）可證明對工程使用之竹稈進行了適當品質管控。

附錄 A

(相關資訊)

本規範基本條款

A.1 一般規定

超過 1600 種之竹種中，只有其中大約 100 種適合用於承重結構。儘管如此，竹材有顯著的種類間與同種內變異性。本規範基於同儕審查研究與已建立的竹構造施工規範訂定。設計者在使用本規範之規定時應考慮一些隱性限制。

A.2 竹種

大多數可取得之竹材性質數據來自相對少數竹種的研究，包括以下屬與種：

瓜多屬 *G. Angustofolia Kunth, G. Aculeata*

剛竹屬 *P. edulis, P. meyeri, P. nigra, P. bambusoides*

牡竹屬 *D. giganteus, D. asper, D. strictus, D. barbatus*

巨竹屬 *G. apus, G. atter, G. atrovioleacea*

刺竹屬 *B. blumeana, B. stenostachya, B. oldhami*

A.3 竹稈尺寸

大多數可取得之承重結構竹材數據來自直徑 D 大於 50mm 之竹稈。多稈成束之壓力構件如柱子或桁架弦桿可能會有例外。測定直徑小於 $D = 50\text{mm}$ 竹稈的特徵材料性質可能是不切實際的且僅能作為元件性質。

用於承重結構之全稈竹的直徑與壁厚比 (D/δ) 通常小於 12。如超過此閾值，會有稈壁局部挫屈之虞。

附錄 B (相關資訊)

耐久性與保護建議

B.1 一般規定

竹材容易受到多種生物性影響：

如竹材含水率長時間超過 20%，則會腐爛（真菌侵襲）。

大多數國家皆有可侵襲竹材之昆蟲。侵襲竹材之典型昆蟲為白蟻與各種甲蟲。各物種之流行因國家、氣候、土壤、溫度與海拔等因素而異。除非明確知道侵襲竹材之昆蟲因無法於特定區域生活或生存，否則應該假設昆蟲侵襲竹材的風險存在。如國家標準沒有昆蟲侵襲風險之相關規定，應諮詢當地或國家專家，就昆蟲侵襲風險與竹材適當處理或保護措施提出建議。

暴露在海洋環境之竹材可能受到海洋蛀蟲的侵襲。

B.2 竹結構耐久設計之建議

竹結構耐久設計之一般建議如下：

竹材採收後需防雨防潮，儲存之竹材仍為青綠色時需使竹子能夠呼吸（保持竹稈周圍空氣流動）。

施工時僅使用乾燥之竹材。

結構細部（特別是接合部）之設計應確保積水不易累積或進入稈內部。

在與積水或土壤接觸之條件下不得使用竹材。

在結構中，應儘可能保護竹子免受水與雨的影響（即透過設計保護）：

- 將竹材抬高到地面以上的基座或柱礎上，並以防潮膜隔離竹材與基座或柱礎。
- 使用防水屋頂面。
- 使用屋頂深出簷或陽台來保護竹構件不受雨水侵襲。
- 使用耐久與防水的飾面。
- 儘可能將竹子裸露在結構室內，使潮濕時便於乾燥。

具有地下昆蟲侵襲（如白蟻）風險的地方，應將竹材架高於堅固的基座或柱礎上，使地面昆蟲需建造外部可見的遮蔽管以通達竹材，如發現時能銷毀。

竹結構需要在整個生命週期進行維護，特別是定期維修防水飾面。

B.3 竹材保護

可用於木材之保護處理種類繁多，並具有不同程度之功效、成本、易用性與安全性。儘管關於其功效之數據較少，其中部分已測試使用於竹材。

幾乎沒有證據表明竹材於使用等級 3.2、4 與 5 級環境中能可靠發揮作用。除非經過實驗證明，否則於這些使用等級中，應假設木材保護處理對竹材無效。

註：EN 350:2016^[2]提供了評估木材保護處理用於竹材之功效的框架。

硼化物廣泛用於竹材保護處理，以防止甲蟲與白蟻對竹材的破壞。應按同儕審查指南使用硼化物處理竹材，使其保留水平大於或等於 4kg/m^3 ，或根據 EN 350 測定之保留水平。硼化物應僅用於使用等級 1、2 與 3.1 (5.7.1 節)。

對於使用等級 3.2 級或更高(5.7.1 節)之竹材，應僅使用化學固定防腐劑。

油漆與清漆雖然能稍微防止紫外線輻射引起的漂白，但視為無法防止水分或生物有機體進入竹材。

應特別注意裁切、鑽孔或其他侵入性或穿過竹斷面的處理。這些部位於組裝後可能需額外處理以防止局部劣化。

在選擇保護或化學處理措施時，下列考慮事項非常重要：

- 化學處理與處理設施的可用性。
- 待處理的竹材量。
- 竹材的種類，某些竹種較容易處理。
- 竹材的預期使用等級 (5.7.1 節)。
- 國家之特定法規，尤其是環境健康和安全的法規。
- 從砍伐地點到處理設施的運輸時間，某些處理方法需要新鮮砍伐之竹材。
- 預算。
- 處理類型或化學處理方法之效果。
- 化學物質是否會影響竹結構或任何金屬連接件。

- 化學物質分別在處理過程與最終固定狀態下對人類與動物的毒性。
- 化學物質之毒性，因它與殘留量、過濾、燃燒風險與結構壽命終止有關。
- 是否對竹材之全厚度進行處理。

附錄 C (相關資訊)

耐震與替代設計因子的範例

C.1 一般規定

以下建議為說明性的，並假設使用之載重因子與北美^[5]或歐洲規範^[3]類似。

C.2 竹結構地震力折減係數

竹構架結構行為表現出有限之遲滯能量消耗，被認定為標稱韌性結構。因此竹結構設計應使用適當的韌性、力量折減或行為係數（取決於使用之國家規範）取 1 以保持彈性。如該係數包含根據參考文獻[3]或[5]進行設計之元素過載，則該係數可以增加到 1.5。

透過試驗確認之設計(5.11.3 節)可用於確認韌性、力量折減或行為係數之值。應遵循國家規範推導這些係數。替代韌性、力量折減或行為係數不應大於 2.5。

本規範要求地震帶的竹結構接頭具一定的韌性(10.6 節)，但此種韌性不能用於降低地震力需求。

C.3 部分安全係數設計(PSFD)與載重與抵抗力因子設計法(LRFD)

使用極限狀態設計法之構件容量與接頭容量依 6.3、6.4 與 10.4 節規定，但安全係數修改如下：

表 C.1 – 元件安全係數 FS_c

	N_c	N_t	M	V
FS_c	1.5	1.5	1.5	3.0

表 C.2 – 材料安全係數 FS_m

	f_c	f_t	f_m	f_v	f_{t90}	f_{m90}
FS_m	1.5	1.5	1.5	3.0	3.0	1.5

表 C.3 – 接頭安全係數 FS_j

	$\mu < 1.25$	$1.5 \leq \mu < 4.0$	$\mu \geq 4$
FS_j	2.00	1.75	1.50

附錄 D (相關資訊)

竹接頭的範例與分類

以下內容提供了非全面性之接頭類型清單與基本力傳遞機制之性質描述。

註：圖片與描述引用自參考文獻[14]。

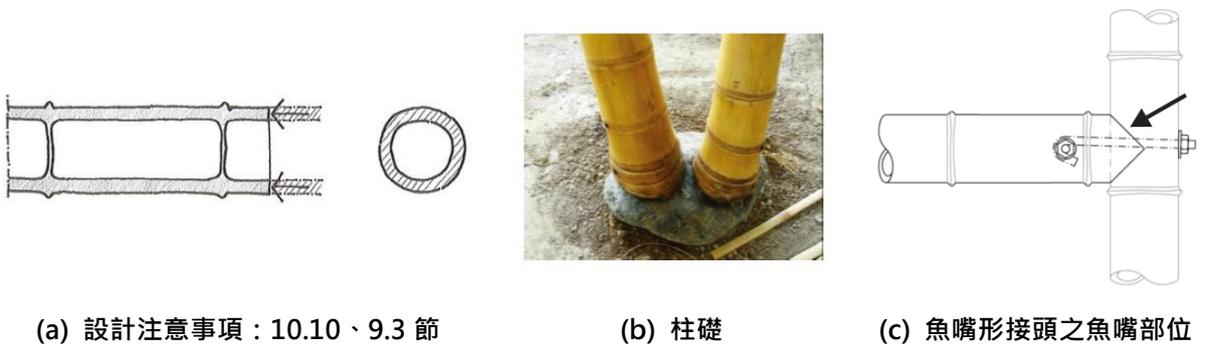


圖 D.1 – 透過與整個斷面接觸以傳遞壓力

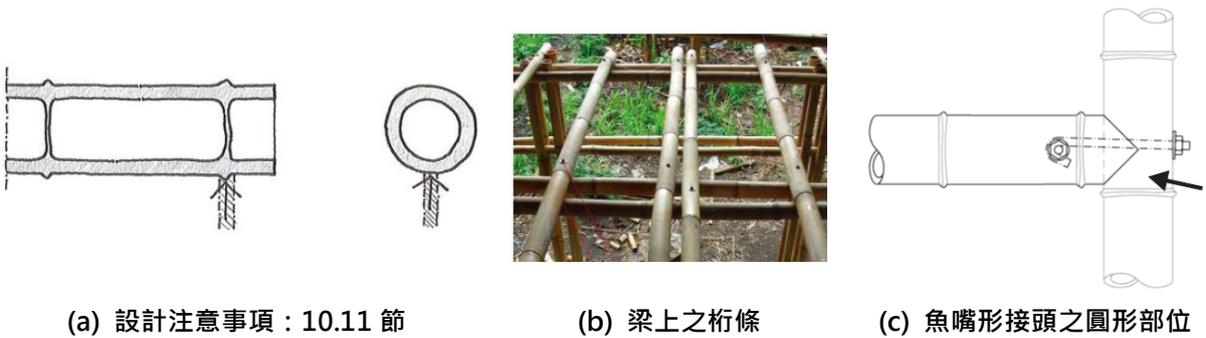


圖 D.2 – 傳遞垂直於桿軸之力

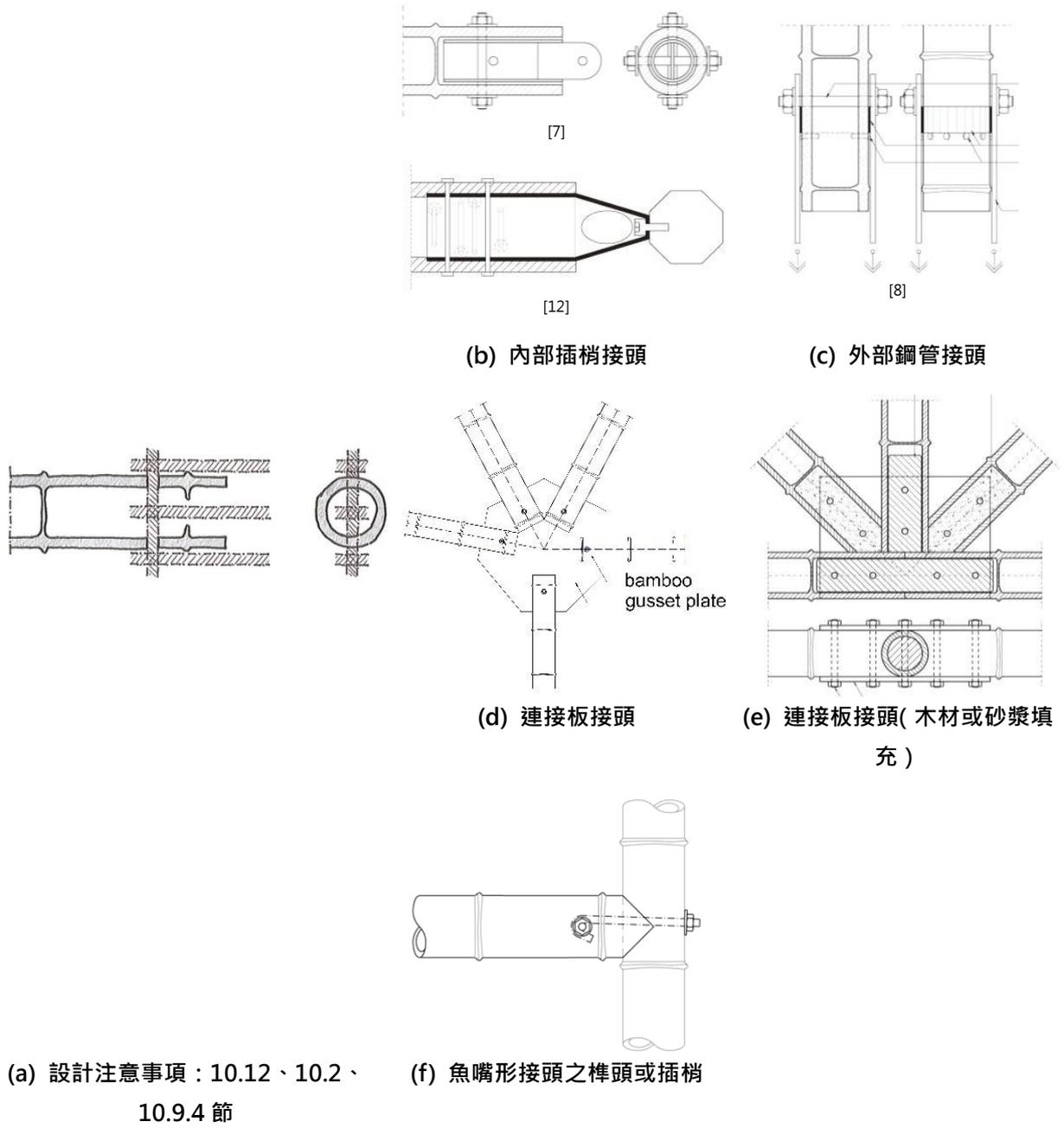


圖 D.3 - 經由插梢能載力與剪力，將力從垂直構件透過程內部或外部連接傳遞到竹桿壁

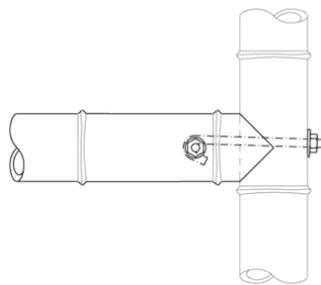
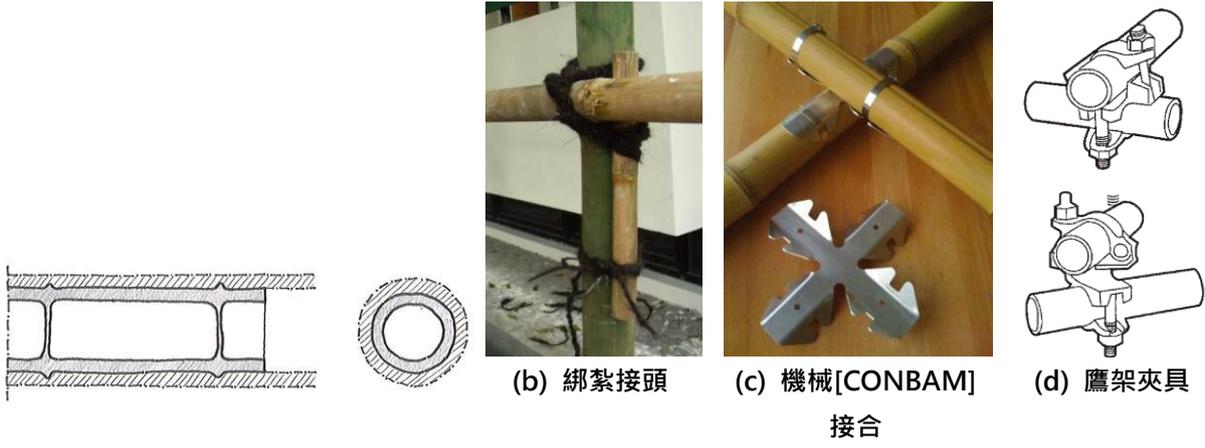
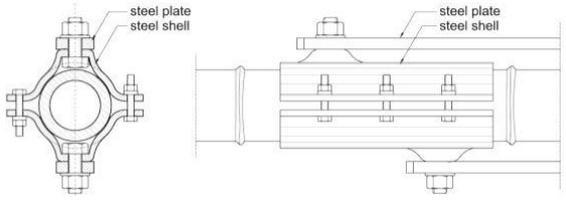


圖 D.4 - 插梢拉力-魚嘴形接頭之繫件

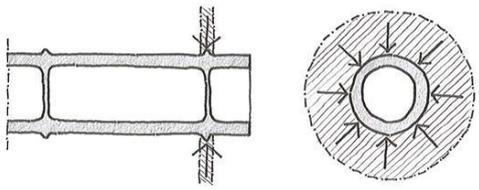


(a) 設計注意事項：10.2、10.9.3、10.9.4 節

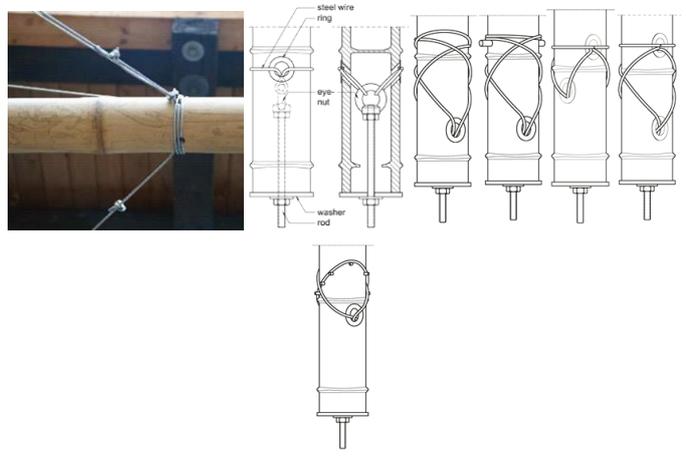


(e) 鍛造夾具接合^[6]

圖 D.5 – 透過竹稈外表面傳遞摩擦力



(a) 設計注意事項：10.2、10.9.3 節



(b) 同心綁紮接合^[13]

圖 D.6 – 透過剪力與垂直於稈軸之圓周應力將圍壓力傳遞到稈中心

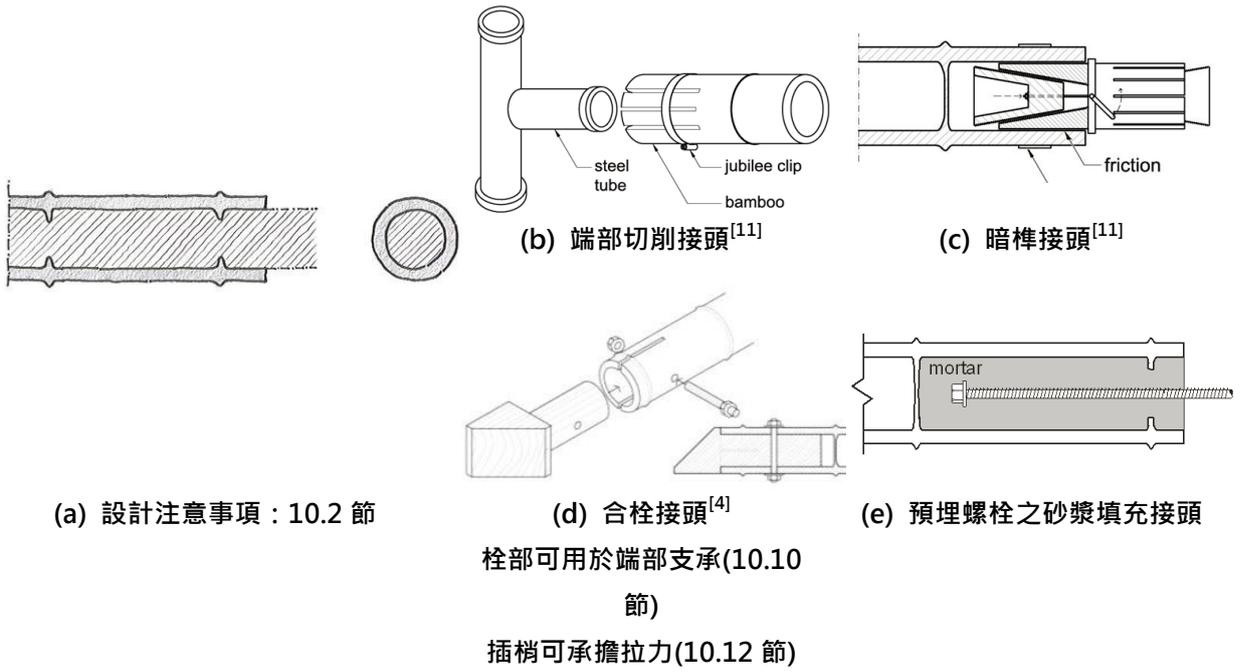


圖 D.7 – 透過內表面傳遞摩擦力或壓力至竹節橫隔壁

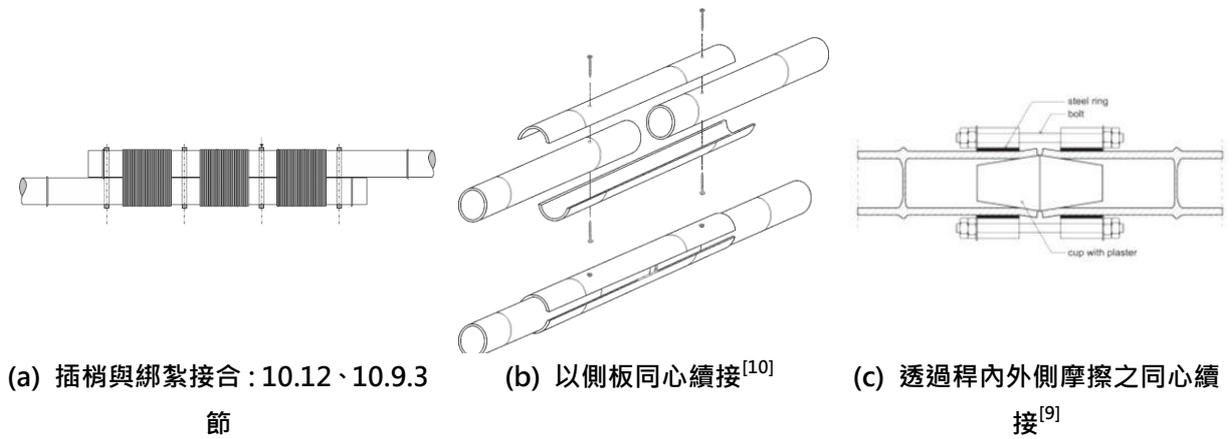


圖 D.8 – 搭接與續接接頭 (10.7 節)

附錄 E (相關資訊)

滿足第十二章的 LCBF 組件設計

E.1 一般規定

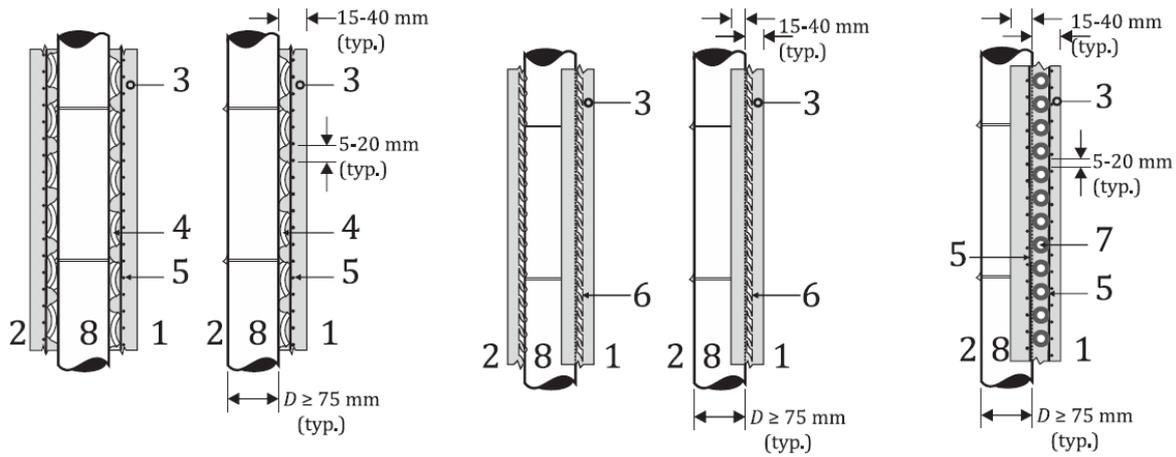
12.1 節允許有斜撐之 LCBF 系統達到三層或 9m 高，而無斜撐之 LCBF 系統允許達到兩層或 7m 高。在中度或強震區域或強風力地區，建議有斜撐之 LCBF 系統不超過兩層或 7m 高，無斜撐之 LCBF 系統不超過一層或 4m 高。

E.2 LCBF 元件之要求

牆網格可由竹條、竹蓆、小直徑竹、藤條或金屬板條組成（見圖 E.1）。抹灰處理之牆網格應符合 12.2.1 與 12.2.2 節。表 E.1 提供了滿足 12.2.1 節要求之牆網格和立柱間距組合。

表 E.1 – 符合 12.2.1 節要求之牆網格、立柱間距與連接件組合

網格類型	網格材料尺寸	與砂漿接合之較佳網格間距	最大立柱間距	網格與框架之機械連接件
竹條或竹蓆	最小厚度=8mm	網格元素間距介於 5mm 與 20mm 間	中心距 600mm	間隔 150mm，使用 3mm 釘子釘入竹稈，釘入處最小壁厚=7mm
金屬板條	最小板條重 =1400g/m ²	N.A.	中心距 600mm	間隔 150mm，使用 3mm 釘子釘入竹稈，釘入處最小壁厚=7mm
小直徑竹或藤條	最小直徑=15mm 最小壁厚=3mm	網格元素間距介於 5mm 與 20mm 間	中心距 1000mm	根據第 10 章決定



(a) 雙皮層 (左) 與單皮層 (右) 之竹條或竹蓆網格 LCBF 板剖面

(b) 雙皮層 (左) 與單皮層 (右) 之金屬板條網格 LCBF 板剖面

(c) 小直徑竹或藤條網格之 LCBF 板剖面

圖例

- 1 外皮層
- 2 內皮層
- 3 水泥或石灰砂漿抹灰
- 4 竹條或竹蓆
- 5 鍍鋅絲網
- 6 金屬板條
- 7 小直徑竹或藤條
- 8 LCBF 垂直構件 (立柱)

圖 E.2 – 不同網格之 LCBF 板剖面

E.2.2 抹灰

抹灰的最小厚度應為 15mm，最大厚度為 40mm。

應以抗壓強度至少 4MPa 之水泥砂漿或水泥石灰砂漿抹灰。抹灰灰漿應具有足夠工作性、最小的孔隙率並提供鹼性環境，尤其是在用於外圍牆。抹灰需能夠耐久，於結構設計壽命內保護嵌入式鋼筋不被鏽蝕。

註：滿足此要求之比例為水泥：石灰：砂 = 1.0：0.5：4 及水泥：沙子 = 1：4。水泥含量較低之比例較不能達到上述要求。

分散聚合物可以加入水泥砂漿混合物中，以提高黏結強度、抗雨水滲透性與耐久性。注意僅應使用已知適合用於室外之聚合物。

E.2.3 抹灰補強

除非網格 (E.2.1 節) 使用金屬板條，否則所有抹灰面包含兩側抹灰之網格皆需使用補強材。

抹灰補強材通常為鍍鋅絲網，其 AWG 規格約為 19 至 22 (直徑 1.00 至 0.70mm)，最大網孔尺寸為 20mm。

補強材應使用螺絲釘、釘槍或釘子(10.12.2 節)固定於框架上，注意不應使框架元素劈裂。

E.2.4 垂直構件 (立柱)

垂直構件應使用木材或竹立柱。竹立柱直徑應不小於 75mm。鋸木材應至少為 38×89mm (標稱 2×4 英寸)，其中較寬一側應垂直於板面之方向。

立柱之最大中心距應為 600mm。如果滿足以下兩個條件，最大間距可提高至 1000mm：

- 網格使用實心竹材或藤條，直徑大於 15mm 且壁厚大於 3mm。
- 立柱為鋸材或直徑至少 100mm 之竹立柱。

立柱應能夠抵抗重力及傾覆衍生之拉力與壓力載重，而不挫屈或壓潰底板或頂板。應提供在板端立柱與基礎間的拉力傳遞直接路徑。

立柱與底板或頂板間之接合必須能夠傳遞包括拉力在內之所有預期面內與面外力。

E.2.5 斜撐

斜撐應使用竹材、木材或鋼。竹斜撐之直徑應不小於 75mm。鋸材支撐應至少為 38×89mm (標稱 2×4 英寸)，其中較寬一側應垂直於板面之方向。

斜撐構件可設計為僅抵抗拉力、僅抵抗壓力或需抵抗拉力與壓力。使用斜撐處之每個 LCBF 板中必須至少安裝一個主動斜撐元素。

E.2.6 頂板與底板

頂板與底板應使用木材或竹材。竹頂板與底板之直徑應不小於 75mm。鋸木元件應至少為 38×89mm(標稱 2×4 英寸)，其中較寬一側應垂直於板面之方向。

頂板與底板應該是連續的，並跨越面外束制點。端部接合應設計為完全承受面外載重。

頂板與底板應能夠抵抗來自垂直框架元件與斜撐施之側向載重。這在板端垂直元素抵抗重力與傾覆壓力特別重要。

底板應儘可能直接支承於基礎，且鎖固間隔不超過 500mm。如需要，應於 LCBF 板端部提供額外的錨固力以抵抗上抬力。

參考文獻

- [1] ISO/TR 21141, *Timber structures — Timber connections and assemblages — Yield and ultimate characteristics and ductility from test data*2)
- [2] EN 350:2016, *Durability of wood and wood-based products. Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials*
- [3] EN 1991, *Eurocode 1: Actions on structures, European Committee for Standardization*
- [4] Arce, O., *Fundamentals of the Design of Bamboo Structures*. PhD Dissertation, Technical University of Eindhoven, 1993
- [5] ASCE 7-16, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston VA*
- [6] Brusnowitz , G., *Knotenpunkt - Verbindung für Fachwerke aus Bambus [Hub - connection for frameworks of bamboo]*, Deutsches Patentamt, 1988
- [7] Dethier , J, Liese , W, Otto , F, Schaur , E. and Steffens , K., *Grow Your Own House* (A. V. Vegesack, and M. Kries, editors) Weil am Rhein: Vitra Design Museum, 2000
- [8] Forero, E.H., *Uniones a Tension en Guadua con Mortero y Varilla [Mortar and Rod Bamboo Joints in Tension]*, Undergraduate Dissertation, Departamento de Ingeniera Civil y Agricola, Universidad Nacional de Colombia, 2003
- [9] Inoue, M, Nakahara , M, Tanaka , K, Adachi , H, Imabayashi , M. and Miyauchi , H., *Development of Connecting Method for Natural Round Bamboo*. EWPA, 2004
- [10] Jayanetti, D, Follet, P., *Bamboo in Construction - An Introduction*, INBAR Technical Report No. 16, TRADA Technology Limited UK, 1998
- [11] Nienhuys , S., *Bambu cana Guadua: Recomendaciones para el Uso en la Construcción [Guadua Bamboo: Recommendations for Use in Construction]*, Instituto Ecuatoriano de Normalization INEN, 1978
- [12] Obermann , T. M. and Laude , R., *Bamboo Poles for Spatial and Light Structures, From Models to Realization*. Montpellier (Motro R., editor), 2004
- [13] Widyowijatnoko , A., *Traditional and Innovative Joints in Bamboo Construction*, PhD Dissertation, RWTH Aachen University, 2012
- [14] Widyowijatnoko , A. and Harries , K.A., “Chapter 20: Joints in Bamboo Construction” in *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications*, 2nd edition [K.A. Harries and B. Sharma, editors]. Woodhead (Elsevier) Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2019
- [15] Ylinen A., , *A method of determining the buckling stress and the required cross sectional area for centrally loaded straight columns in elastic and inelastic range*. Publication of the International Association for Bridge and Structural Engineering, **16**, 529-550, 1956
- [16] Young , W.C., *Roark’s Formulas for Stress and Strain*, 6th edition, McGraw Hill, 1989
- [17] Zahn J.J., , *Re-examination of Ylinen and Other Column Equations*, ASCE Journal of Structural Engineering 118(10), 2716-2728, 1992

附錄五 祕魯竹構造技術規範內容

技術規範

E. 100 竹構

目錄

1. 概要
2. 目標
3. 應用範圍
4. 法規
5. 術語表
6. 基本安全考量
7. 竹構的技術特性
8. 結構的分析與設計
 - 8.1 分析方法
 - 8.2 設計方法
 - 8.3 荷重
 - 8.4 應力
 - 8.5 彈性模量
 - 8.6 彎曲元件的設計
 - 8.7 軸壓力元件的設計
 - 8.8 剪力牆、地震或風力之側向力
 - 8.9 接合的設計
9. 施工流程
10. 維修
11. 附件資訊
 - 附件 A：竹材元件的切割方式
 - 附件 B：彎曲受力的計算輔助
 - 附件 C：地震力或風壓對高度至二樓之建築的作用剪力之簡易評估方式
 - 附件 D：接合的設計

附件 E：竹建築的防火標準

附件 F：秘魯的竹材資訊

附件 G：竹構建築的範例

附件 H：符號及略語

1. 概要

- 1.1. 用於建材的竹子為禾本科多年生植物，生長於亞洲和美洲的熱帶與溫帶地區，高度可達 30 公尺。
- 1.2. 瓜多竹 (Guadua angustifolia) 是一種生長於安第斯-亞馬遜區域之國家的竹子。在祕魯，它可生長於海拔 2000 公尺以下的地區，在亞馬遜地區可以看到天然的竹林，而在其他地區則為一般栽植。
- 1.3. 相較於同屬的其他品種，瓜多竹的優點為其枝幹的結構性質，例如承重力：其鋼度等同或高於某些木材，甚至可以媲美鋼材與某些高科技合金。它可以吸收能量並保持高度韌性，因此被視為抗震結構的理想建材。

2. 目標

設立抗震建築之設計與施工的技術規範，使用瓜多竹 (Guadua angustifolia) 或其他物理力學特性相似的竹材。

3. 應用範圍

- 3.1. 凡國內高度二樓以內之建築（最大動荷重為 250 Kgf/m²），皆必須符合此規範。
- 3.2. 此規範應用於以竹子為建材的建築。

4. 法規

下列規定包含了本規範必備的標準，必須參考有效期限的文件：

4.1 法律基礎

- 最高政令 N°011-2006-VIVIENDA：通過國家建築標準的 66 條技術規範。
- 最高政令 N°010-2009-VIVIENDA：修改國家建築標準的 8 條規範，及規範 A.030 Hospedaje（住宿）的一項附件。
- 最高政令 N°004-2008-AG：宣布種植竹子與瓜多竹為國家目標。
- 行政命令 N°0521-2008-AG：通過竹子與瓜多竹的國家推廣計畫。

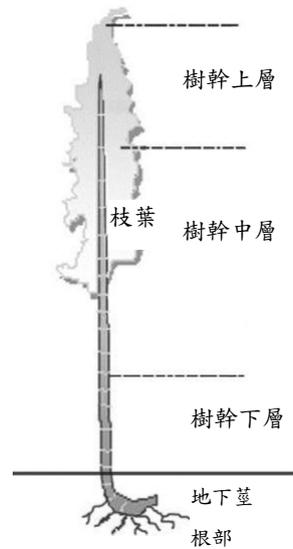
4.2 參考標準

- 哥倫比亞抗震建築及設計規範 NSR-98：標題 E 一樓與二樓的房子。
- ISO 標準 22156:2004：竹子 - 結構設計
- ISO 標準 22157-1:2004：竹子 - 物理及力學特性的測定 - 第一部：要求。
- ISO 標準 22157-1:2004：竹子 - 物理及力學特性的測定 - 第二部：實驗室手冊。
- 哥倫比亞技術規範 NTC 5301 - 瓜多竹竹節的保存與乾燥
- 規範 NTP 341.026：1970：螺帽用熱處理碳鋼條
- 規範 NTP 341.028：1970：螺栓及螺絲用熱處理碳鋼條

5. 術語表

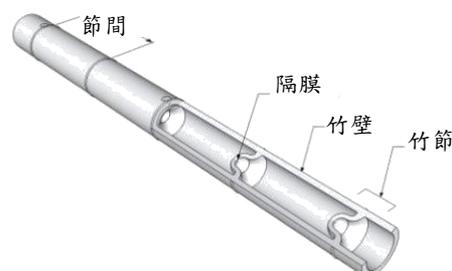
本規範中使用的術語解釋如下：

- 5.1. **Acabado (成品表面)**：木材或竹材元件之表面的自然或人工最終型態。塗裝的最終型態，其經由：刷洗、打磨、去污以完成自然表面，而表面加工則使用：臘、漆、染料、油等塗料。
- 5.2. **Acción conjunta (連結作用)**：數個結構元件的組合，其間隙不得超過 60 公分，用以承受局部或範圍荷重。
- 5.3. **Arriostre (支撐)**：用以加強垂直荷重支撐牆與非支撐牆之穩定性及強度的（水平或垂直）輔助構造或橫牆。
- 5.4. **Anclajes (錨)**：用以輔助或固定結構元件的各式鋼鐵輔件。
- 5.5. **Aserrado (鋸)**：將樹幹縱向切割的程序，以取得俗稱木塊或木板的橫面方形木材。
- 5.6. **Bambú o Planta de Bambú (竹子)**：為可再生的自然資源。有木質枝幹的草本植物，屬於禾本科、竹亞科、籜竹族。



- 5.7. **Caña de Bambú (竹杆)**：竹子的支幹，通常是多節空心，並且由以下部分所組成：

- a) **竹節**：藉由隔膜將竹竿分為若干節的部份或結構。
- b) **節間**：竹竿的兩個竹節間的部位。
- c) **隔膜**：竹節中的硬膜，將竹竿內部分節。
- d) **竹壁**：為木質組織的竹竿外部。



- 5.8. **拱架**：用以承載垂直荷重的網狀結構。
- 5.9. **竹材結構**：建築中由數個竹材元件組成的結構或非結構部件（例如：竹構造）。
- 5.10. **收縮**：由於纖維飽和，導致木材水份降低，造成體積縮小。以木材之青面積的比例來表示，可分為直線的（放射狀的、切線的或縱向的）與容積的。
- 5.11. **桁**：通常為水平式元件，垂直支撐於椽或小樑之上，用以連結這些元件並均佈屋頂的荷重。
- 5.12. **三角板**：在夾層或屋頂的角落安置以形成三角的元件，用以平面限制結構膜的變形。
- 5.13. **結構膜**：結構元件，通常為水平或輕微傾斜，用以均佈水平作用荷重於支撐的牆體或炭板。
- 5.14. **竹材元件**：每一個以竹材製作的構件。
- 5.15. **夾層**：在建築中分隔樓層的竹構造。
- 5.16. **瓜多竹**：為一種木質竹子，原生於安第斯區域國家的熱帶地區，其物理及力學性質適合作為抗震建築。
- 5.17. **膨脹**：因為木材元件水份增加至纖維飽和，造成體積增長。以乾木材的體積比例來表示。
- 5.18. **處理過的木材與/或竹材**：木材或竹材經由某種自然或化學程序，使去除濕氣及/或使其抵抗蛀蟲或腐朽。
- 5.19. **剪力牆**：承受由地震晃動或風壓造成的側向水平荷重。此荷重對結構平面產生剪力。一面剪力牆是由木結構支柱所組成，包括上下樑、支撐、中部加固器（視需求），以及單面或雙面塗裝。
- 5.20. **原木**：竹子的原始狀態。
- 5.21. **乾燥**：使竹材或木材減少水份含量的自然或人工工序。

6. 基本安全考量

基於地震或火災的安全考量，所有的建築必須保持一定的間隔（參考標準 A.010 – 設計的一般原則）

7. 結構竹材的技術特性

- 為了適用本規範，必須使用瓜多竹。
- 竹子的樹齡必須在四年與六年之間。
- 竹材的含水率必須符合地方的平均濕度。當建築使用新鮮的竹材時，負責的專家應考慮到所有注意事項，以確保竹材乾燥後能保持設計上原有的結構。
- 竹材必須保有良好的自然耐久性，並適當阻擋外在因子（煙、濕氣、蛀蟲、霉菌等）。
- 每件竹材的枝幹與軸心的起始偏差不得超過 0.33%。將竹材放在平面上並觀察其間距以測定此偏差值。
- 每件竹材的圓錐形不得超過 1.0%。

- 每件竹材不得有竹節周邊的裂痕，或是枝幹上的縱向裂痕。若是竹材有裂痕，必須位於外部纖維的最高處或最低處。
- 若是竹材的枝幹有等於或高於 20% 的裂痕，即認定為不適用於建築。
- 所有竹材在未使用之前皆不得有蛀孔。
- 不得使用有任何腐朽情況的竹子。

8. 結構的分析與設計

8.1 分析方法

本規範中的原則與應力數據可適用於常規線性及彈性分析出來的結構。測定荷重對於結構之作用（變形、力量、力矩），必須使用確切的假設和工程中可信的方法。

8.2 設計方法

本規範中的竹材元件之設計，必須符合作用荷重，採用容許應力的方法。此應力只能適用於符合規範第七條-竹構的技術特性之竹材。

竹材元件的設計必須考量抵抗性、剛度與穩定性之標準。需考慮每個情況的臨界點：

8.2.1 抵抗性要求

竹材元件的設計必須符合使用荷重所產生的作用力，並且在每個情況下依實際係數修正，不論等同或低於材料的各項應力。

8.2.2 剛度要求

所有

- 所有撓度皆以作用荷重進行評估。
- 需要根據長期作用荷重的時間需要提高撓度（延遲變形）。
- 各元件與結構系統的撓度必須低於或等於應力。
- 凡為竹構組成的系統，需在接頭結構上額外加入即時或長期撓度。

8.3 荷重

凡結構之設計必須足以承受以下荷重：

- 自重與其他永久負載或靜荷重。
- 作用超載荷重或活荷重。
- 地震力、風力、降雨或其他因素造成的超載荷重。

作用超載荷重與地震力、風力和積雪形成的超載荷重之測定，將依照國家建築法規 E.020 – 荷重之規範。

當作用超載荷重或動荷重為持續作用或長期作用（例如圖書館或倉庫的超載荷重），其長期撓度測定需判定為靜荷重。

8.4 容許應力

8.4.1 竹構設計使用的應力為表格 8.4.1 所指示者。

表格 8.4.1. 容許應力

應力				
撓曲 (f_m)	平行拉力 (f_t)	相對壓力 (f_c)	剪力 (f_v)	垂直壓力 ($f'_{c\perp}$)
V-8				

5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mp (13 g/cm ²)
-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

8.4.2 根據表格 8.4.1 的應力數值以及表格 8.5 的彈性模數，依由荷重時間、均稱與其他因素造成的係數進行校正，根據一般公式測定所有構件的校正應力（或作用力）：

$$f'_i = f_i C_D C_L C_r$$

在此：

f'_i = 依作用校正之應力

f_i = 作用中的應力

C_D = 荷重時間的校正係數（永久荷重為 0.9、活荷重為 1）

C_L = 樑的側向穩定性之校正係數（參考 8.6.3 彎曲元件的穩定性）

C_r = 荷重均佈作用之校正係數。對於小樑、桁、木板架與木結構的設計，有一個保證綜合作用力，此作用力可提高 10% ($C_r=1.1$)，但各元件的間隔不得超過 0.6 毫米。

8.5 彈性模數

表格 8.5 為設計竹構所使用的彈性模數

彈性模數

彈性模數 (E)	
E _{PROM} (平均)	E _{MIN} (最低)
9500 Mpa (95000Kg/cm ²)	7300 Mpa (73000 Kg/cm ²)

8.6 彎曲元件之設計

- 彎曲元件即為承載與軸心垂直或幾乎垂直荷重的水平或幾乎水平的元件：橫樑、小樑與桁。
- 在設計承受彎曲的竹構或元件時必須確認以下作用，不得超過各作用力之校正應力。
 - (a) 撓度。
 - (b) 撓曲，包括構成樑的水平穩定性。
- (c) 對纖維的平行剪力。
- (d) 擠壓（對纖維的正交施壓）。

- 必須確保承受彎曲的竹構支撐不會因擠壓（正交施壓）而折斷。假使竹節沒有足夠的強度，則需要將竹材支撐的節間填滿水泥漿、木塊或其他可以達到相同剛度的材料。
- 如果某荷重集中於某一個竹材，它必須支撐在竹節。而荷重處旁邊的節間必須填滿水泥漿、木栓或其他可以確保相同剛度的材料。
- 當樑結構使用一件以上的竹材，其接頭的設計必須足以承受該組合形成的荷重。
- 應避免於樑結構鑿孔。如有必要，應在圖紙上標明，並遵守下列規範：
 - 不得於荷重點或支撐附近的中性軸鑿孔。
 - 有別於上述情況，孔洞必須位於中性軸，於任何情況下皆不得在竹構受力處鑿孔。
 - 最大孔徑為 4 公分。
 - 在支撐或荷重點鑿孔乃是為了在節間填充泥漿。

8.6.1 彎曲元件的許用撓度

8.6.1.1 在下列情況必須計算撓度：

- a) 最不利的永久荷重與作用超載荷重組合。
- b) 單獨作用的超載荷重。

8.6.1.2 許用撓度必須遵循下列數值：

- a) 針對裝有石膏吊頂的建築之永久荷重加上作用超載負荷：L/300，無石膏吊頂者：L/250。
對於斜屋頂與工業建築：L/200。
- b) 針對所有類型的建築之作用超載負荷：L/350 或 最大值 13 毫米。
若為突出結構，則「L」為支撐各面之間的內徑，或支撐面至末端之距離。

8.6.1.3 評估最大撓度時，必須考慮到永久作用荷重造成的變形會增幅至 80%（延遲變形）。

8.6.2 彎曲元件的抵抗性要求

8.6.2.1 彎曲

- c) 由彎曲「 σ_m 」所產生的壓力或引力，不應超過特定撓度 f'_m 的應力。（參考章節 8.4 應力）

8.6.2.2 纖維的平行剪力

- a) 計算出的剪力「 τ 」，不應超過對特定纖維 f'_V 的作用剪力之最大應力。(參考章節 8.4 應力)
- b) 臨界斷面：如果元件支撐於下方，並於上方有荷重，則應確認距離支撐點等於高度之處剪力抗性，除非為突出構件。

8.6.2.3 纖維的垂直壓力

- a) 在支撐處與其他集中荷重點，需確認計算的纖維的垂直壓力「 σ_c 」，不得超過竹構組合可承受的纖維垂直壓力值 $f'_{C\perp}$ 」。(參考章節 8.4 應力)

8.6.2.4 為計算作用力，可參考附錄資訊 B：彎曲受力的計算輔助。

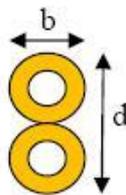
8.6.3 彎曲元件的穩定性

需施加支撐以避免纖維因受壓所造成的側彎。

8.6.3.1 竹子原本就很穩定。

8.6.3.2 兩件或以上的竹材本身就不穩定，需在支撐上加以限制。

8.6.3.3 若為組合樑的情況（兩件或以上竹材），若其高度（**d**）與寬度（**b**）關係高於 1，則需加上側邊輔件以免扭轉或挫屈。



8.6.3.4 組合樑的水平穩定性：若為組合樑的情況（兩件或以上竹材），必須以表格 8.6.3.4 的 C_L 值減低其許可撓度(F_b)。

表格 8.6.3.4

不同 d/b 關係之 C_L 係數

d/b	C_L
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

8.6.3.5 水平穩定性：由數支竹材組成，而高度大於寬度的樑結構，需要評估是否需要在元件受壓處加裝側邊支撐，根據下列情況：

若 $d/b = 2$ 則不需加裝側邊支撐。

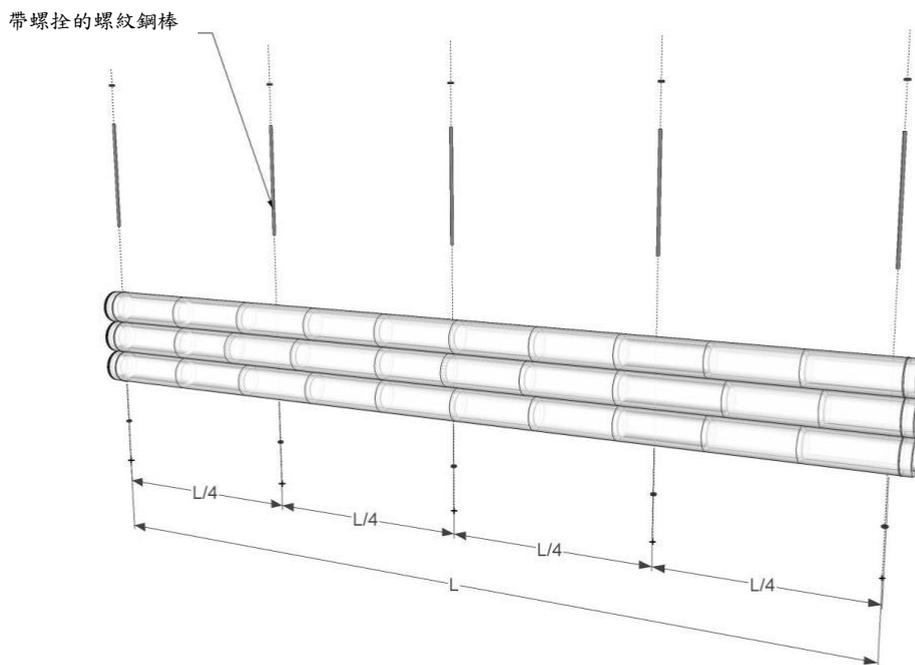
若 $d/b = 3$ 則需要限制支撐的側向位移。

若 $d/b = 4$ 則需要以桁或小樑來限制支撐與受壓邊的側向位移。

若 $d/b = 5$ 則需要限制支撐的側向位移，並於受壓邊加裝木板以加固。

8.6.4 組合樑的接頭分佈：

當使用兩件或以上竹材組合樑時，必須使用橫向鋼材接頭以確保其穩定性與結構功能。接頭之間的最大間距不得超過樑的三倍高度之最低值或內徑的四分之一。



組合結構的接頭之細節

8.7 承受軸力的元件之設計

承受軸壓的元件為斷面穿過幾何中心、與縱軸有相同方向的受力元件。

8.7.1 承受軸力的元件：

竹材的任何竹節的作用軸壓力(f_t)不得超過依修正係數改過的軸壓應力值(F_t')，其公式為：

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F_t'$$

在此：

f_t	=	作用壓力，單位為 MPa
T	=	作用軸壓力，單位為 N
F_t'	=	依係數修正後的應壓力，單位為 MPa
A_n	=	元件中的淨空間，單位為 mm^2

8.7.2 承受軸壓之元件：

8.7.2.1 有效長度為一根兩端帶有輔件的等直立柱之理論長度。立柱的有效長度可用下列公式計算：

$$l_e = l_u k$$

在此：

l_u = 元件側面無支撐之長度，單位為毫米

l_e = 有效長度，單位為毫米

k = 有效長度之係數，根據下列表格的支撐之限制

支撐的形式	k
兩端有輔件(元件的兩端必須限制其縱向之正交移位)	1.0
一端限制其轉動及移位，而另一端為自由	2.0

8.7.2.2 此公式可計算立柱的均稱：

$$\lambda = \frac{l_e}{r}$$

在此：

λ = 元件之長細比

L_e = 元件的有效長度，單位為毫米
 r = 斷面的轉動半徑，單位為毫米

8.7.2.3 立柱的分類：根據其均稱關係，竹柱可分為短、中、長三種：

立柱	均稱
短	$\lambda < 30$
中間	$30 < \lambda < C_k$
長	$C_k < \lambda < 150$

均稱值 C_k 為中間立柱與長立柱之間的界線，其計算公式為：

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

在此：

F'_c = 修正過的纖維平行壓應力，單位為 MPa
 $E_{0.05}$ = 彈性模數的百分之五，單位為 MPa

在任何情況下皆不允許使用稱均值超過 150 的柱子。

8.7.3 承受彎曲與軸壓之元件的設計

承受軸壓之彎曲元件：同時承受軸壓與彎曲之結構元件，其設計必須符合以下公式：

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

在此：

f_t = 作用壓力，單位為 MPa.
 F'_t = 依相關係數修正後的應壓力，單位為 MPa
 F_b = 作用彎曲力，單位為 MPa
 F'_b = 修正後的彎曲應力，單位為 MPa

承受彎曲壓力之元件：同時承受壓力與彎曲之結構元件，其設計必須符合以下公式：

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

在此：

f_c = 對纖維作用的平行壓力，單位為 MPa
 F'_c = 修正過的纖維平行應壓力，單位為 MPa
 F_b = 作用彎曲力，單位為 MPa
 F'_b = 修正後的彎曲應力，單位為 MPa

K_m = 力矩的放大係數，以下公式計算：

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$$

在此：

K_m = 力矩的放大係數

N_a = 作用的荷重壓力，單位為 N

N_{cr} = 歐拉的臨界荷重，用以下公式計算：

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{\ell_e^2}$$

在此：

N_{cr} = 歐拉的臨界荷重，單位為 N

$E_{0.05}$ = 百分之五的彈性模數，單位為 MPa

I = 斷面之慣性力矩，單位為 mm^4

ℓ_e = 元件之有效長度，單位為毫米

8.7.4 應力

8.7.4.1 設計時所使用的應力應為表格 8.4.1 中所表示者。

8.7.4.2 對於竹木結構的設計，若加固其支撐結構，可以提高 10% 的應力。

8.7.5 彈性模數

8.7.5.1 設計立柱時使用的彈性模數必須和彎曲設計的一樣。(參考表格 8.5 彈性模數)

8.7.5.2 設計竹木結構時必須使用彈性模數的平均值，而設計單獨立柱時則使用模數的最小值。

8.7.6 受壓元件之容許荷重

8.7.6.1 承受軸壓力之元件的設計必須考慮到最低偏心率，可採用下列三種形式。

8.7.6.2 短立柱：計算其容許荷重需以斷面面積乘以與纖維平行壓力的應力值。

$$N_{adm} = f_c A$$

8.7.6.3 中立柱：對於有擠壓及不穩定性之中間立柱可使用以下公式¹

$$N_{adm} = f_c A \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

8.7.6.4 長立柱的允許荷重取決於彈性的考量。基於彎曲的安全考量，以歐拉公式來測定其最大荷重。所有立柱的斷面之通用公式為：

$$N_{adm} = \frac{\pi^2 EA}{2,5(\lambda)^2}$$

圓柱：

$$N_{adm} = 0,2467 \frac{EA}{(\lambda)^2}$$

8.7.7 承受彎曲壓力之元件的設計

8.7.7.1 承受彎曲複合壓力的元件設計必須符合以下公式：

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m |M|}{Z f_m} < 1$$

8.7.7.2 當有彎曲複合壓力時，其彎矩依軸負荷之作用放大。此加入的力矩作用乘以 K_m

$$K_m = \frac{1}{1 - 1,5 \frac{N}{N_{cr}}}$$

在此：

N 作用的軸荷重。

N_{adm} 依立柱之公式計算出的容許軸荷重。

K_m 力矩放大係數。

$|M|$ 元件最大彎矩之絕對值。

Z 產生彎曲之軸邊的斷面模數。

f_m 彎曲應力。

N_{cr} 被施加彎矩之斷面的歐拉臨界荷重值。

8.8 剪力牆，地震或風力之側向力

8.8.1 抵抗性與剛度要求

- 8.8.1.1 結構模與剪力牆的組合之設計必須足以承受百分之百的作用側向力，例如風力或地震之作用力，與特殊情況時的土地壓力或堆積的材料。
- 8.8.1.2 剛性樓板與剪力牆必須足夠堅固以：
- 限制側向移位，以免對其他結構元件造成損害。
 - 減少牆體與地板之震動範圍至可接受範圍。
 - 對其他元件提供支撐，以避免其扭轉或挫屈。
- 8.8.1.3 剛性樓板與剪力牆之間的接合，或是與其他元件之接合，皆要能夠傳導並抵禦地震或風壓的剪力。
- 8.8.1.4 需特別注意剪力牆與地基的錨固。每一面獨立牆都要與地基有至少兩處連結，其間距不得超過兩公尺。
- 8.8.1.5 凡牆體高度與長度比高於 2 者，皆視為不堅固。
- 8.8.1.6 在一般作用力的情況下，因為足以超載承受平常風壓與輕度至中度地震，需要確認牆體的變形不超過 $h/1200$ (h 為牆體高度)。
- 8.8.1.7 每一面個別的剪力牆，必須能夠承受由依靠牆體之物件形成的側向壓力，除非進行剪力之均佈的分析，並考慮到結構膜的彈性。
- 8.8.1.8 地震或風壓的作用剪力依規範 E.030-抗震設計中的標準來判定此兩種荷重力，或藉由其他工程上的適合程序來測定。
- 8.8.1.9 要計算對於高度至二樓之建築的地震或風壓之剪力，可以使用附錄資訊 C - **地震力或風壓對高度至二樓之建築的作用剪力之簡易評估方式**。
- 8.8.1.10 建築物的剪力牆必須沿兩個正交方向佈置，每個方向間距小於四公尺。這些元素的分佈必須盡量一致，對於影響範圍的作用強度應均稱。
- 8.8.1.11 若是牆體的間距超過四公尺，建築平面結構（夾層、屋頂等）的彈性無法確保其整體作用力，則無法實施此設計。
- 8.8.1.12 關於剪力牆強度的計算，負責工程師可以參考標準 E.010-國家木建築規範：第八章 - 剪力牆、側向力、地震力與風力。

8.9 接合的設計

接合的強度取決於接合的類型及使用的元件。測定其應力數值最少需五次試驗的結果，使用的材料與施工設計需考量 3 的安全因素。

於附件 D (資訊)：**接合設計**中可以找到某些接合與應力數據的參考細節。

9 施工流程

若是要使用與本章節不同的施工程序，必須依據相關的技術計算，並由專業工程人員負責。

9.1 建築用材

9.1.1 木材

- 木條的品質需依循現行標準 **E.010 - .國家木建築規範**。
- 用於牆體、夾層與屋頂之木材的機械分級最低必須符合現行標準 **E.010 - .國家木建築規範**中的 C 級。

9.1.2 鋼材

- 接頭與錨為鋼材構件，而螺帽、螺拴、螺絲與墊片為鋼材輔件。
- 螺帽之品質必須符合標準 NTP 341.026:1970-螺帽用熱處理碳鋼條之規範。
- 螺拴、螺絲與墊片之品質必須符合標準 NTP 341.028:1970-螺拴與螺絲用熱處理碳鋼條之規範。
- 無論是電鍍或鍍鋅之螺絲、螺拴、螺帽與扁鐵皆必須做防鏽處理，尤其是位於室外或有濕氣的環境。

9.1.3 水泥漿

- 用於填充節間的水泥漿之最大比例為 1:4 (水泥-粗砂)，其品質必須符合 E70 國家建築水泥法規之標準。
- 用於抹牆之水泥漿，其品質必須符合 E70 國家建築水泥法規之標準。

9.1.4 素混凝土與鋼筋混凝土

- 混凝土與結構鋼材之品質必須符合 E60 國家建築鋼筋混凝土法規之標準。

9.1.5 輔助鐵網

- 可使用以下種類：
 - 編織鐵線網：最大線徑 1,25 mm，六邊形網目不超過 25,4mm
 - 電鍍鐵網：最大線徑 1,25 mm，方形網目不超過 25,4mm
- 抹牆用的 其他能夠符合抹牆之黏合與穩固作用的鐵網。

9.2 施工前置作業

- 要在建築施工之土地實施合適的防水設施 (前置工程、臨時工程等)
- 為了卸載、存放與堆置整個工程使用的竹材，必須遵守 **國家建築法規 G.050-施工中安全**之現行標準。

- 由於竹杆的不規則形狀，所有結構用的竹材元件必須根據其軸心來考量。
- 竹材的使用與施工程序必須遵守國家木建築法規 NTE E.010-之規範。

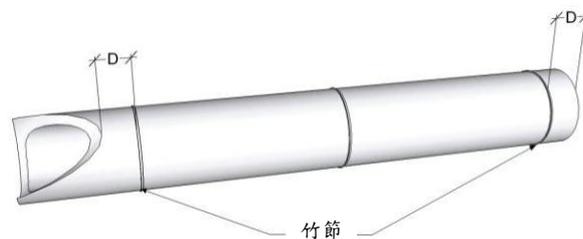
9.3 施工流程

9.3.1 基礎、柱礎、石板與地板

- 將依循國家建築法規 E.050 土地與基礎之標準。
- 必須在自然地面上建構一個最少高 20 公分的柱礎，用以承受所有垂直的竹材結構（立柱與結構牆）。

9.3.2 竹材元件之間的接頭

切割竹材時，於兩端或距離 $D = 6\text{ cm}$ 以內處必須留有一個完整的竹節。

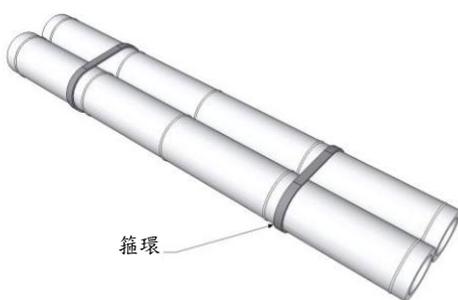


竹材元件不得用釘子做接合。

9.3.2.1 竹材元件之類型

9.3.2.1.1 夾緊或綁扎接合

- 必須避免箍環或綁扎繩移位。
- 可使用其他非鐵製材料，例如：麻繩、皮帶、塑膠或其他類似材料。設計者必須適當解釋為何使用此類接合。



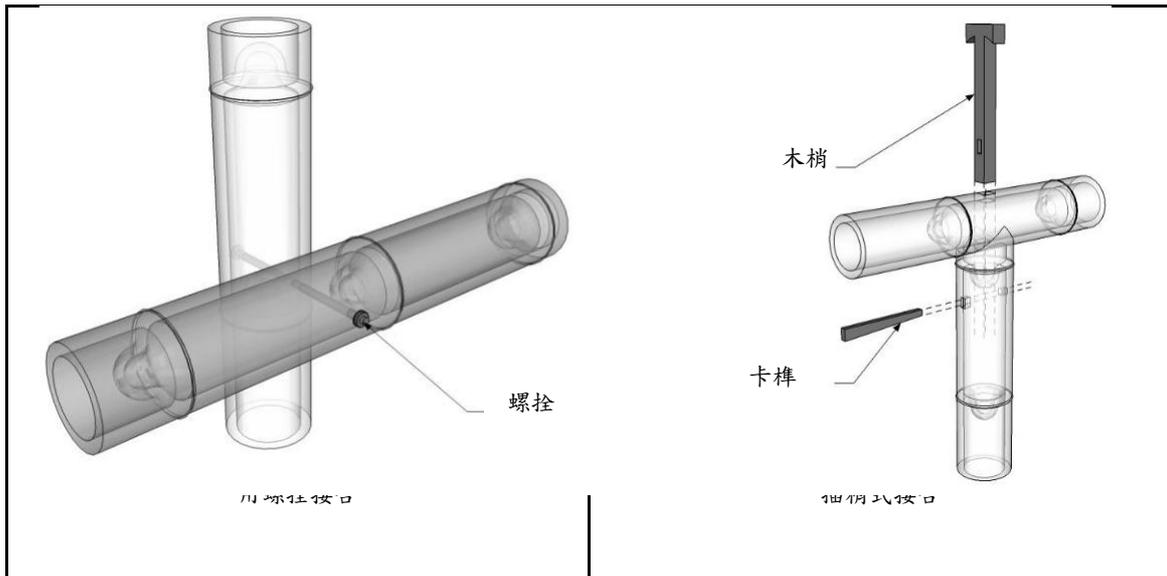
夾緊接合



綁扎接合

9.3.2.1.2 插梢式接合

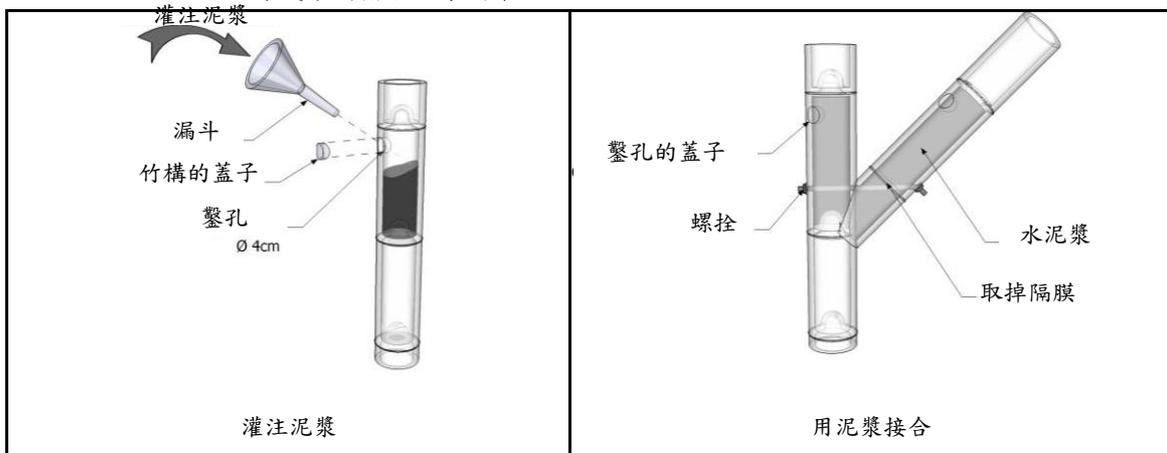
- 插梢為結構木材或強度類似的材料。在竹材與螺拴頭或螺帽之間加入墊片、扁鐵或其他強度類似之材料。
- 可用加固螺紋鐵條或市售連續螺紋鐵條來製作螺拴。參考 9.1.2 鋼材元件。
- 為了安裝螺拴而對節間進行的鑿孔必須穿過竹構的軸心。



9.3.2.1.3 水泥漿接合

當竹構節間承受擠壓力，或因設計上需要填充水泥漿，可以使用下列方法：

- 水泥漿的製程需參考章節 9.1.3 – 水泥漿，必須有足夠流動性以完全填滿節間。可以使用減少泥漿水份的非腐蝕性添加劑。
- 灌注泥漿時，應藉由位於最靠近竹節上方處的鑿孔，其最大直徑為 4 公分。可使用漏斗或泵浦協助泥漿的灌注。



9.3.2.1.4

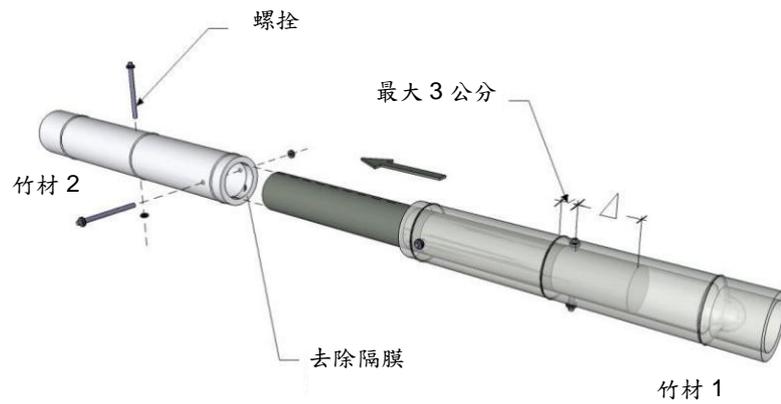
軸向接合

如要軸向連接兩件竹材，必須選擇直徑相似的竹材，依照下列三種情況採用接頭。

使用木構元件

使用木構元件連接兩件竹材，需使用兩個最小 9 毫米的螺拴，正交固定於各元件。螺拴距離竹節的最大距離為 30 毫米。

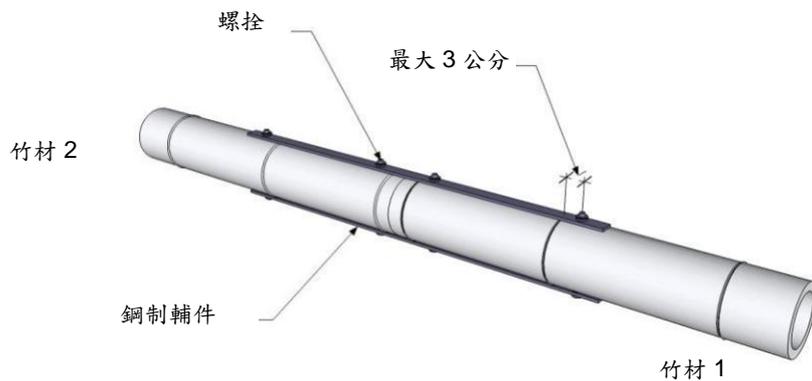
 (三角) = 螺拴與連接兩件竹材的木構邊緣之間距。  的最低數值為螺拴直徑的 5。



情況 2：使用兩件鋼材輔件

使用兩件鋼材輔件連接兩件竹材，需使用最小 9 毫米的螺拴，與接頭縱軸平行固定。

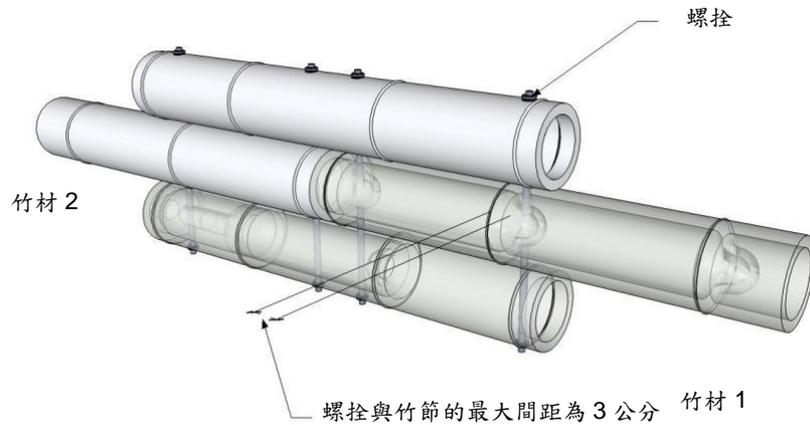
螺拴距離竹節的最大距離為 30 毫米。



情況 3：使用兩件竹構

使用兩件竹構元件連接兩件竹材，需使用最小 9 毫米的螺栓，與接頭縱軸平行固定。

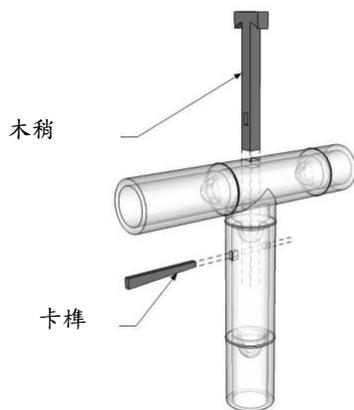
螺栓距離竹節的最大距離為 30 毫米。



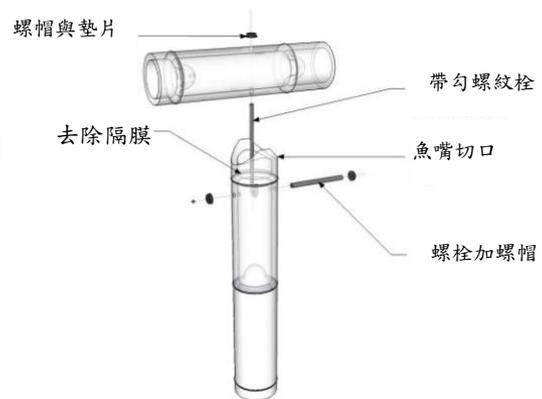
9.3.2.1.5 正交接合與斜向接合

這些接合必須持有以下特性：

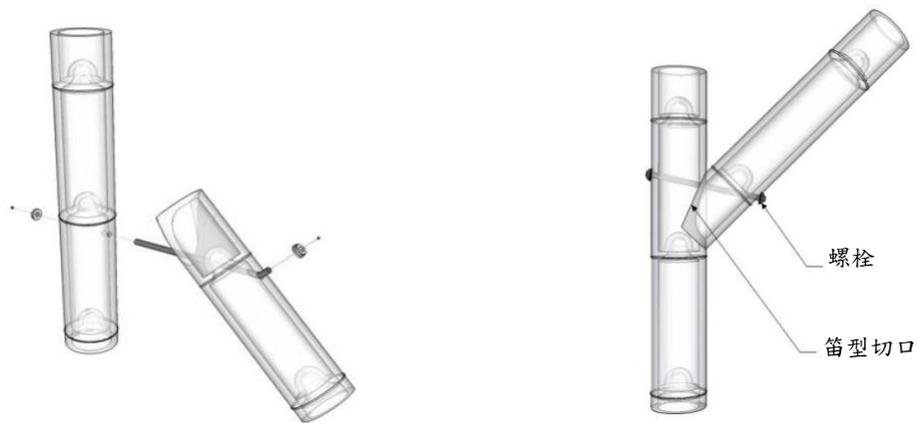
- 竹構之間需達到最大接觸面，並根據附件資訊 A：竹材元件的切割方式進行切割，或是採用其他可以達到此目標之工法。
- 必須確保接合的強度，使用章節 9.3.2.1.2 插梢式接合，與/或章節 9.3.2.1.3 水泥漿接合所指示的接頭。



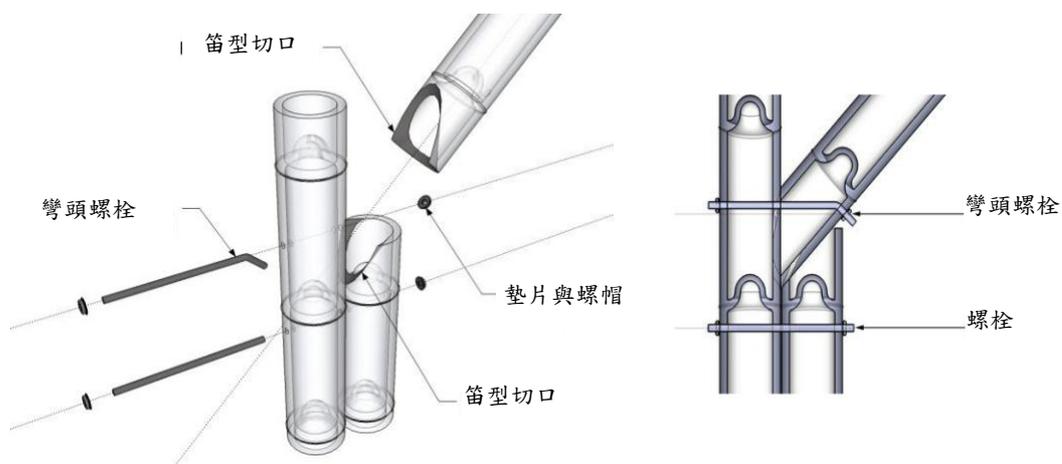
以插梢正交接合



用螺栓正交接合



一般斜向接合



帶輔助竹材之斜向接合

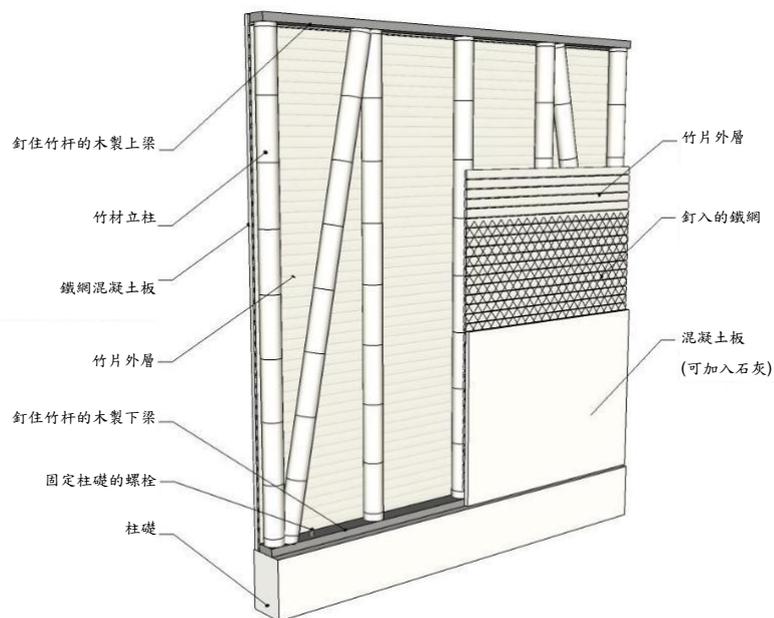
9.3.3 立柱與結構牆（垂直結構）

9.3.3.1 立柱

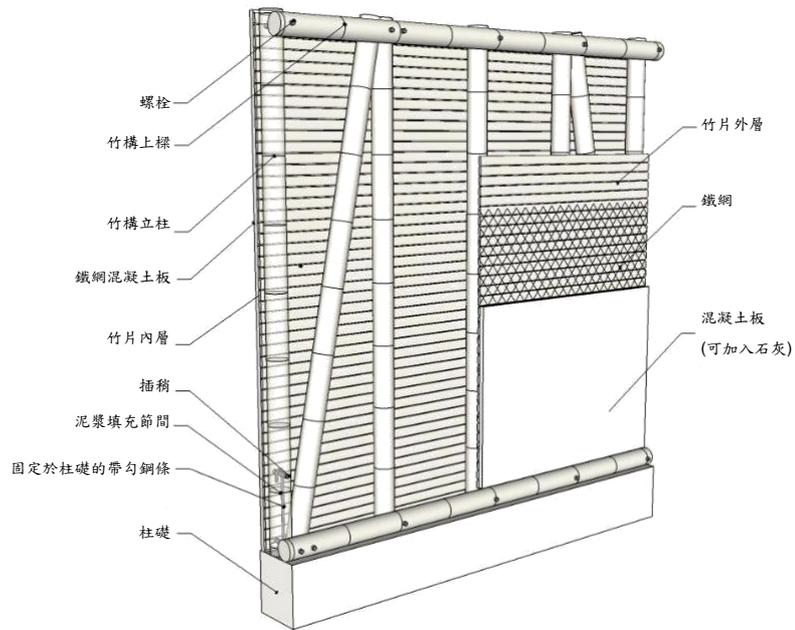
- 立柱應使用一件竹構或兩件或以上的竹構組合，垂直向下安置於基礎上。
- 由多件竹材所組成的立柱，必須使用箍環或螺栓接合，其間距不超過立柱高度的三分之一。

9.3.3.2 結構牆

- 竹製結構牆必須由竹結構或竹木結構所組成，其構成為橫向樑、垂直的支柱與塗裝。
- 竹材的直徑不得小於 80 毫米。
- 立柱與對角線數值之間的距離由結構設計制定。
- 若採用木樑，其最低寬度必須與竹柱的直徑一樣。上樑的最低厚度為 35 毫米，而下樑為 25 毫米。
- 若使用竹樑，必須依照章節 9.3.4.2.3 竹構夾層之規範，以避免其擠壓。



木樑結構牆

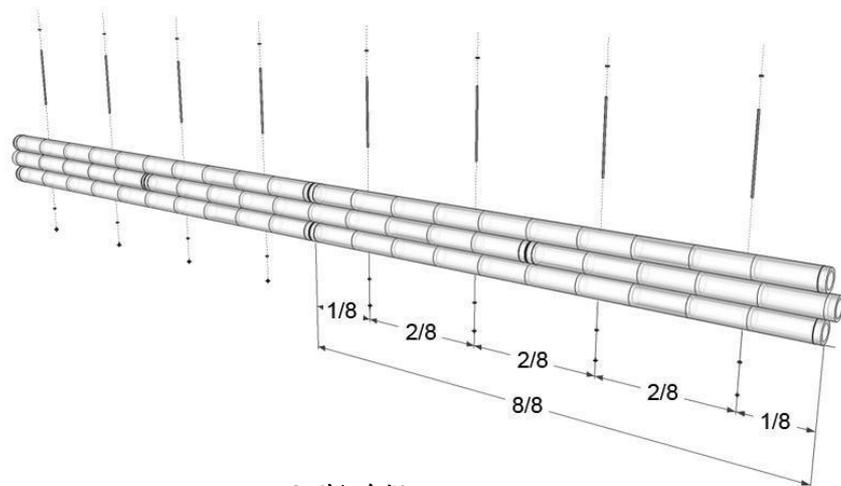


竹樑結構牆

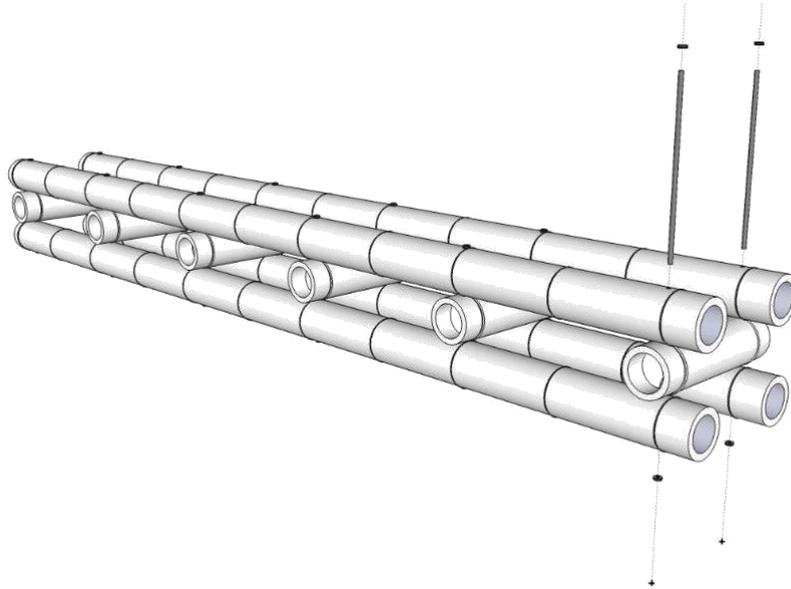
9.3.4 樑與夾層（水平結構元件）

9.3.4.1 樑

- 由一根或數根竹材組合成樑。
- 由數根竹材組成的樑，必須用箍環或螺栓接合，間距不超過樑長度的四分之一。
- 如果需要更長的竹構，需要縱接兩件竹材，依據章節 9.3.2.1.3 水泥漿接合之規範。
- 組成樑的竹材應交替安置。



A 型組合樑



B 型組合樑

9.3.4.2 夾層

9.3.4.2.1 本規範中的竹構建築不得使用混凝土板的夾層，除非有合理的結構計算。

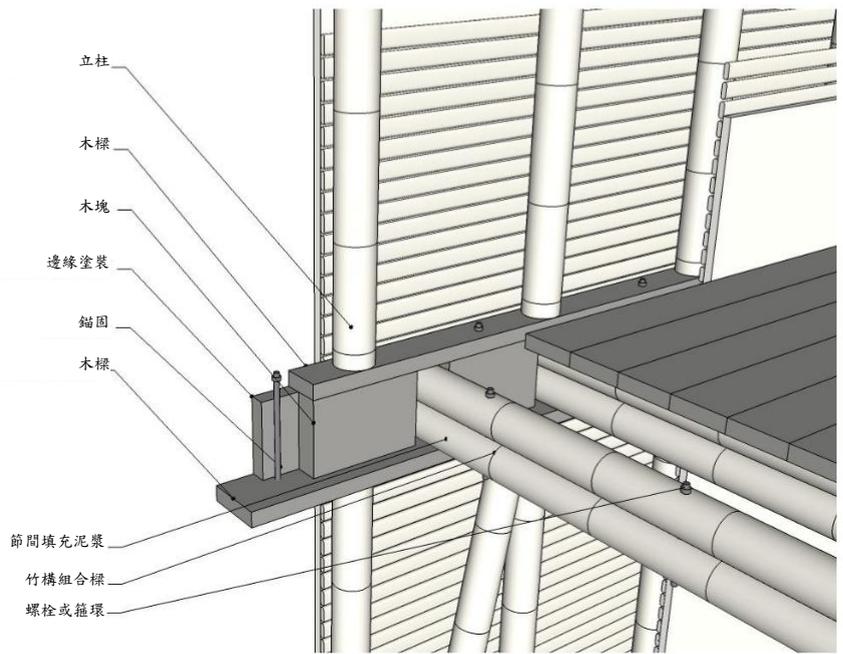
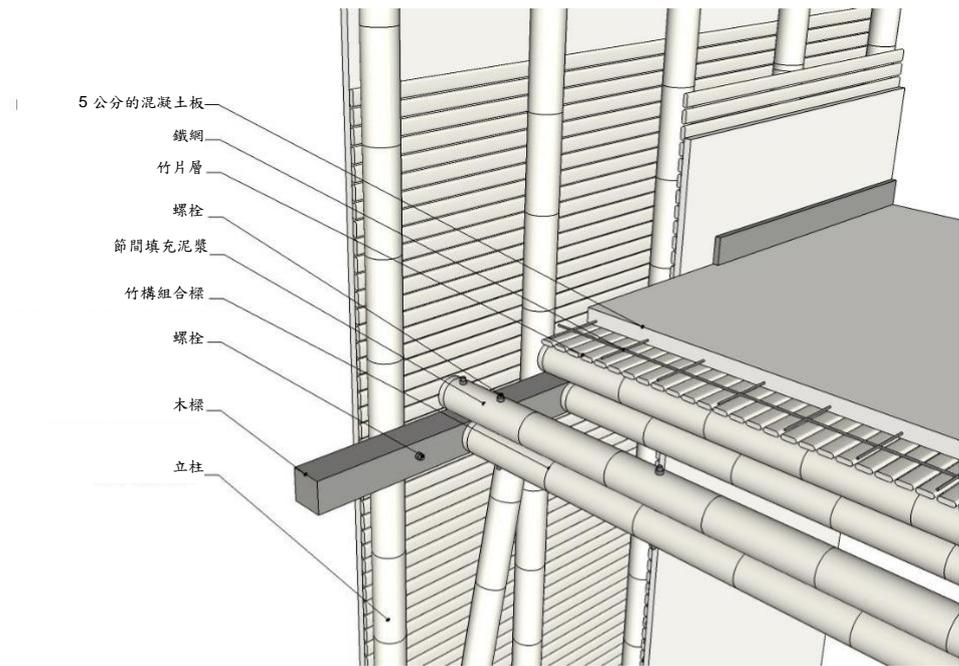
9.3.4.2.2 根據使用材料，夾層的施工程序應遵守國家建築法規 III.2 章之中的技術規範。

9.3.4.2.3 竹構夾層

- 竹構夾層的設計應依循本規範之第八章-結構的分析與設計。
- 竹構夾層應避免擠壓到竹樑的末端，可採用以下兩種方案：
放置木塊，其高與竹樑一樣。
在竹樑支撐的節間注入水泥漿。
- 若為多件竹材疊置組合的竹樑，需考慮加入必要的支撐以免側彎。

9.3.4.2.4 夾層的塗裝

- 夾層的塗裝必須為較輕的材料，重量不超過 120 Kg/m²，除非有合理的結構計算。
- 如果在夾層下方安裝吊頂，必須保持內部空間的通風。



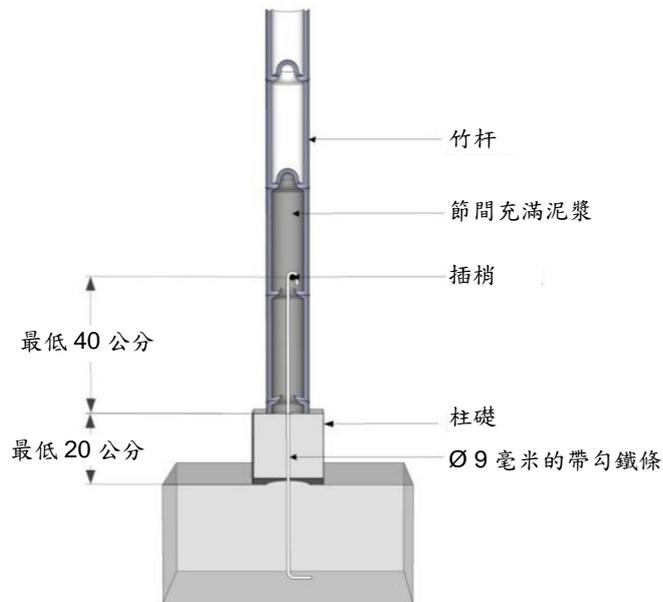
9.3.5 不同作用的接合

9.3.5.1 立柱與基礎的接合

- 藉由螺栓連結產生拉力。螺栓必須穿過竹材的第一或第二節間。
- 每一個立柱至少都要有一件竹材與基礎或柱礎連接。
- 有穿透鋼材構件或插梢的節間需根據本規範章節 9.1.3 水泥漿之標準，用水泥漿填滿。
- 可使用有防潮設計的止水帶避免竹材與混凝土結構或毛石接觸。
- 柱礎與立柱的接合可為兩種形式：

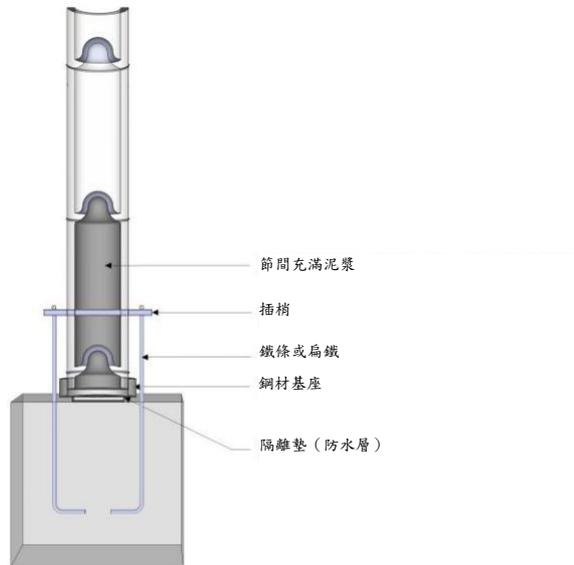
1:內嵌錨固式接合

- a. 於基礎嵌入一根最低直徑 9 毫米的帶勾鐵條。此鐵條於基礎之上的最低長度為 40 公分。
- b. 在安置竹立柱之前，需取掉竹杆頭兩個竹節的隔膜。
- c. 於鐵條彎勾處插入一根最少直徑 9 毫米的螺栓或插梢。
- d. 鐵條穿透的節間將注滿泥漿，根據章節 9.1.3 水泥漿之標準。



2:外部錨固式接合

於基礎嵌入一個裝有兩根最低直徑 9 毫米的鐵條或扁鐵的鋼材基座。此鐵條或扁鐵於基礎之上的最低長度為 40 公分。插入一根最低直徑 9 毫米的插梢(螺栓)，以連結兩根鐵條或扁鐵並固定竹材立柱。



9.3.5.2 基礎與牆體之接合

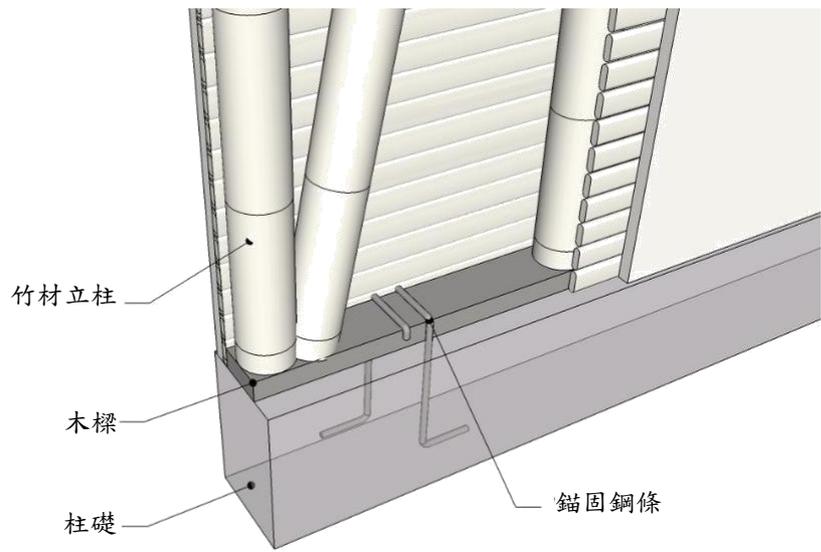
9.3.5.2.1 每一面牆最少都要有兩處以鐵製接頭與基礎或柱礎接合，錨固之間的距離不得超過 2.5 公尺。

9.3.5.2.2 若是有門，則兩端都要有錨固

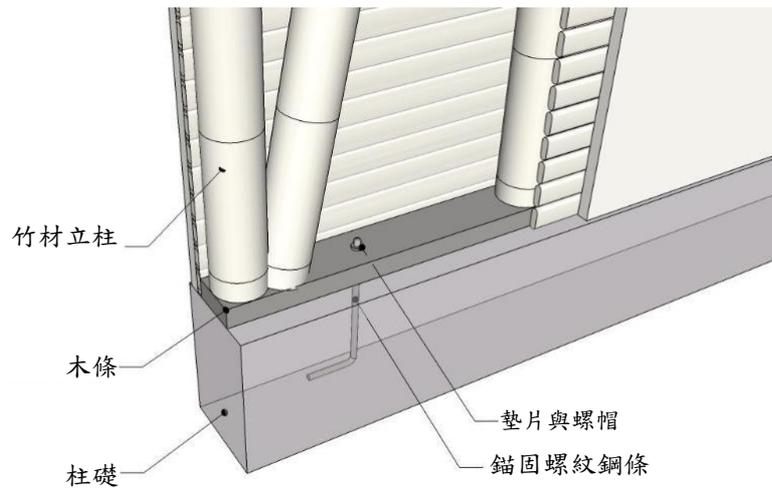
9.3.5.2.3 類型：

- 木條樑的接合

此類型的樑需以螺紋鐵條固定於基礎，使用符合本規範章節 9.1.2-鋼材之標準的螺帽與墊片來固定。木條必須用防水帶與混凝土或毛石基礎隔離。



用鋼條錨固



用螺紋鋼條固定

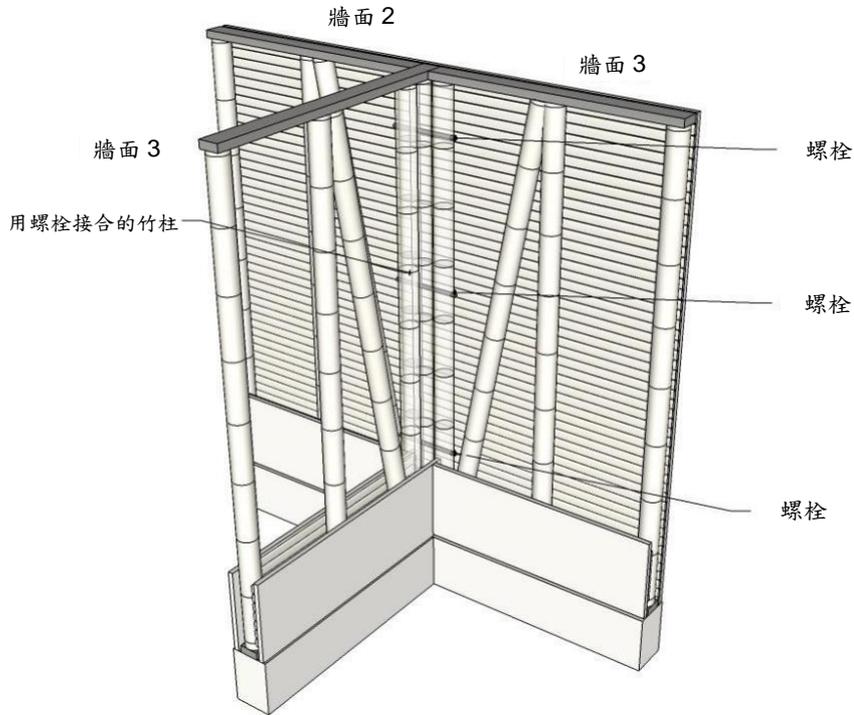
- 與竹樑接合

在此情況，必須根據章節 9.3.5.1 基礎與立柱的接合中對於竹柱的規範，使牆體固定立柱與基礎接合。

9.3.5.3

牆體之間的接合

藉由螺栓或箍環固結合。每一個接合都必須有至少三個結合點，各自位於牆體高度之三分之一處。螺栓最低直徑為 9 毫米。



9.3.5.4

使用木桁為牆體與夾層之接合

牆體與夾層之接合（參考 9.3.4.2 夾層）必須遵守以下原則：

- 夾層必須有一根固定的樑。
- 一樓與二樓的牆體必須持有結構上的連結性。
- 夾層與牆體結構的固定方式必須確保其整體作用。
- 需確保竹樑不會形成擠壓。

9.3.5.5

牆體與屋頂之接合

牆體與屋頂之接合必須遵守以下原則：

- 屋頂處必須有一根固定樑。
- 屋頂與承受的牆體必須達成結構上的連結性。
- 屋頂結構與牆體的固定方式必須確保其整體作用。
- 需確保竹樑不會形成擠壓。

9.3.5.6

立柱與屋頂之接合

屋頂結構與立柱的固定方式必須確保其整體作用。

9.3.6 屋頂

9.3.6.1 屋頂的結構

- 屋頂的支撐結構必須形成一個能夠承受垂直與水平荷重的穩定整體，因此需具備相應的錨固與支撐。
- 根據使用的材料，屋頂的施工程序需遵循國家建築結構法規章節 III.2 的技術規範。
- 若結構為竹材，則必須符合以下條件：

屋頂重量必須是輕的。

屋頂使用的材料必須確保足夠的防水性，以防止濕氣對竹材或支撐的木結構造成影響。

超過 60 公分之屋簷必須安裝額外輔助結構，除非有合理的結構設計。

9.3.6.2 屋頂之塗裝

- 塗裝的材料需遵循國家建築結構法規章節 III.2 的技術規範。
- 這些使用的材料必須確保足夠的防水性，以防止濕氣對竹材或支撐的木結構造成影響。
- 若使用會因毛細作用而產生水份的建材，例如瓦片屋頂，則不得與竹材直接接觸，以避免腐朽。
- 屋頂的材料必須保護竹構免於日光的照射。

9.3.6.3 吊頂

如有安裝吊頂，需採用輕質材料固定於夾層或屋頂的結構，並使屋頂與夾層之間保持通氣性。

9.3.7 衛生設備、電力與機械系統

9.3.7.1 衛生設備

- 衛生設備需遵循國家建築法規章節 III.3 之規範。
- 衛生設備不得嵌入竹材結構中。

9.3.7.2 電力與機械系統

- 電力與機械系統需遵循國家建築法規章節 III.4 之規範。
- 電力設施可以嵌入竹構牆體中，如需要鑿孔，孔徑不得超過竹材的五分之一。

- 導電的線路必須裝有套管或使用護套電線，並於末端安裝鐵製接線盒或其他不燃材料。電線的連接或分岔必須做好絕緣措施並安置接線盒。
- 結構的釘子不得穿透或阻礙電力裝置。

10 維修

所有的竹構建築在其使用期間必須進行檢查、調整與維修。

竹構之保養必須使用以下材料：蠟、膠、清漆或油漆，並遵循以下原則：

- 露天的竹構至少每六個月保養一次。
- 位於室外但無露天的竹構至少每年保養一次。
- 室內竹構至少每兩年保養一次。
- 若因竹材之收縮、震動或其他因素導致鬆脫，需重新調整其輔件。
- 如竹構元件有裂痕、過分變形、腐朽或蟲蛀，則必須更換竹材。
- 如發現蛀蟲，必須採取方法將其消滅。
- 應確保原始設計上的通風系統能正常運作。
- 應避免會造成發霉的水氣並排除造成水氣之因素。
- 必須確保防火與電力的特別防護機制正常運作。
- 建築中靠近火源的地方，必須進行隔離或使用不燃材料、防火或延遲性介質（符合祕魯法規者），以確保發生火災時至少能支撐一個小時。
- 竹材的元件與部位必須有多餘的空間，以確保發生火災時能有更多的緩衝時間。
- 定期檢查接頭，如有鬆落則需更換。

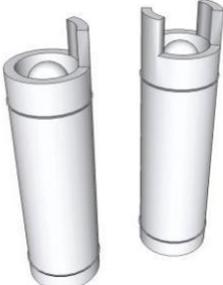
附件資訊

附件 A： 竹材元件的切割方式

- 當兩件竹材位於同一個平面時，建議根據欲結合的方式，進行可達到最大接觸面積之切割，或是使用可以達到此目標的接合元件。

- 基本切割方式為：

A.1 直切口

無耳切割	留耳切割
	

A.1.2 L 斜切口

無耳切割	留耳切割
	

A.1.3 魚口

無耳切割	留耳切割
	

A.1.4

箭口

無耳切割	留耳切割
	

附件 B： 彎曲受力的計算輔助

B.1 彎曲受力

竹材任何斷面的作用彎曲應力(f_b)，不得超過由相關係數修正後的允許彎曲應力(f'_b)，依據以下公式：

$$f_m = \frac{M}{S} \leq f'_m$$

f_m = 作用彎曲應力，單位為：Mpa

f'_m = 修正後的應力，單位為：Mpa

M = 對元件之作用力矩，單位為：N mm

S = 斷面模數，單位為： mm^3

竹材的斷面模數 S 依下列公式表示：

$$S = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32 D_e}$$

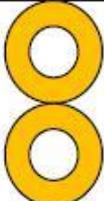
在此：

S = 斷面模數，單位為： mm^3

D_e = 竹材外部的平均直徑，單位為 mm

t = 竹管壁的平均厚度，單位為 mm

B.2 為確認兩件或以上竹構組合的抗彎強度，必須計算每個別情況的斷面模數。於下列表格顯示某些竹構組合的斷面模數。

斷面	$S (\text{mm}^3)$
	$\frac{\pi(5D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)}{32D_e} \quad (\text{G.12.8-6})$
	$\frac{\pi(35D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)}{96D_e} \quad (\text{G.12.8-7})$

B.3 由數根竹材組成的彎曲元件，其整體的慣性為每根竹材的個別慣性之總和($I = \sum I_i$)。若施工人員可以確保其整體作用，那就可以用平行軸的原理計算其慣性：

$$I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$$

I = 組合斷面之慣性，單位為 mm^4
 A_i = 個別竹材的面積，單位為 mm^2
 D_i = 竹材組合之幾何中心與個別竹材之幾何中心之距離，單位為毫米
 I_i = 依據個別竹材自身幾何中心得到的慣性，單位為 mm^4

B.4 應以與支撐之距離等於元件高度(h)來計算最大剪切強度。由一根竹材構成的樑，其高度等於自身的外徑(D_e)，除了突出結構，其最大剪切強度需計算於支撐面。由兩根竹材組成的樑，其高度(h)等於元件的實際高度，測定其最大剪切強度時需考慮到其斷面的不平均受力，並且應低於竹材之纖維平行剪力的最大應力值(F'_v)，根據表格 8.4.1 應力，並以相關的係數進行修正。

B.5 纖維的平行剪力

竹材任何斷面之作用的纖維平行剪力(f'_v)，不得超過依係數修正後的纖維平行剪力的最大應力值(F'_v)，根據以下公式：

$$f'_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$$

在此：

f'_v = 作用的平行纖維剪力，單位為 MPa
 A = 竹材元件之斷面面積，單位為 mm^2
 D_e = 竹材斷面之平均外徑，單位為毫米
 t = 竹材之平均厚度，單位為毫米
 F'_v = 依相關係數修正後的纖維平行剪力的最大應力值，單位為 MPa
 v = 評估的斷面之剪力，單位為 N

B.6 擠壓

纖維的正交壓力，必須於支撐處或小面積之集中荷重點特別確認。作用之纖維正交壓力不得超過依係數修正過的正交允許壓力。

B.7 擠壓

纖維的正交壓力依下列公式計算：

$$f'_{c\perp} = \frac{3 R D_e}{2 t^2 l} < F'_p$$

在此：

$f'_{c\perp}$ = 依相關係數修正過的纖維正交允許壓力，單位為

d_c = 纖維的正交壓力，單位為 MPa

D_e = 竹材的斷面平均外徑，單位為毫米

t = 竹材的斷面平均厚度，單位為毫米

l = 支撐的長度，單位為毫米

R = 對纖維正交作用的力量，單位為 N

B.8 擠壓

所有承受纖維正交壓力的節間都需注滿水泥漿、木塊，或是其他能夠確保相同剛度之材料。若是無法達到應力值 F'_p ，則需縮減至其四分之一 $F'_p/4$ 。

B.9 承受軸壓力之元件

單件竹構的斷面轉動半徑當以下列公式計算：

$$r = \frac{\sqrt{\left(D_e^2 + (D_e - 2t)^2\right)}}{4}$$

在此：

D_e = 竹材斷面的平均外徑，單位為毫米

t = 竹材斷面的平均厚度，單位為毫米

r = 斷面的轉動半徑

B.10 承受軸壓力之元件

設計由兩件或以上竹材所組成的承受軸壓之元件，使用本附件單元 B.9-承受軸壓力之元件的公式來計算其均稱值，採用下列公式計算其轉動半徑：

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

在此：

I = 根據 B11-承受軸壓力之元件所計算的斷面慣性

A = 橫向斷面之面積，單位為 mm^2

r = 斷面的轉動半徑

B.11

承受軸壓力之元件

當組合數件竹材為一個受壓元件時，其整體慣性的計算為每根竹材的單獨慣性($I = \sum I_i$)之總和。如果建築師能確保其整體作用，則慣性可以使用下列方法計算：

若受壓元件為桁架結構，其慣性計算為($I = \sum (A_i d_i^2)$)， A_i 為個別竹材之面積，而 d_i 為竹材組合之幾何中心與個別竹材之幾何中心的距離。

若承受壓力的是縱接元件，其慣性計算則為($I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$)， I_i 為每根竹材依據其幾何中心之單獨慣性。

附錄 C： 地震力或風壓對高度至二樓之建築的作用剪力之簡易評估方式

C.1 地震

可將屋頂覆蓋的建築面積乘以下列表格的數值，以測定地震所造成的剪力：

C.1.1. 輕質屋頂之建築，使用如：瀝青板、纖維水泥屋頂板、鍍鋅薄鋼板等建材。

C.1.1.1 一層樓的建築： 10,7 kg 乘以覆蓋面積的 m^2

C.1.1.2 二層樓的建築：

二樓：16,1 kg 乘以二樓屋頂覆蓋面積的 m^2

一樓：16,1 kg 乘以總屋頂覆蓋面積的 m^2

C.1.2 使用瓦片或類似重質屋頂之建築

C.1.2.1 一層樓的建築： 29,5 kg 乘以屋頂覆蓋面積的 m^2

C.1.2.2 二層樓的建築：

二樓：29,8 kg 乘以二樓屋頂覆蓋面積的 m^2

一樓：22 kg 乘以全部屋頂覆蓋面積的 m^2

C.2 風力

應以每個方向的受力面積乘以下列表格之係數來測定風壓的剪力：

C.2.1 一層樓的建築：21kg 乘以受力面積的 m^2

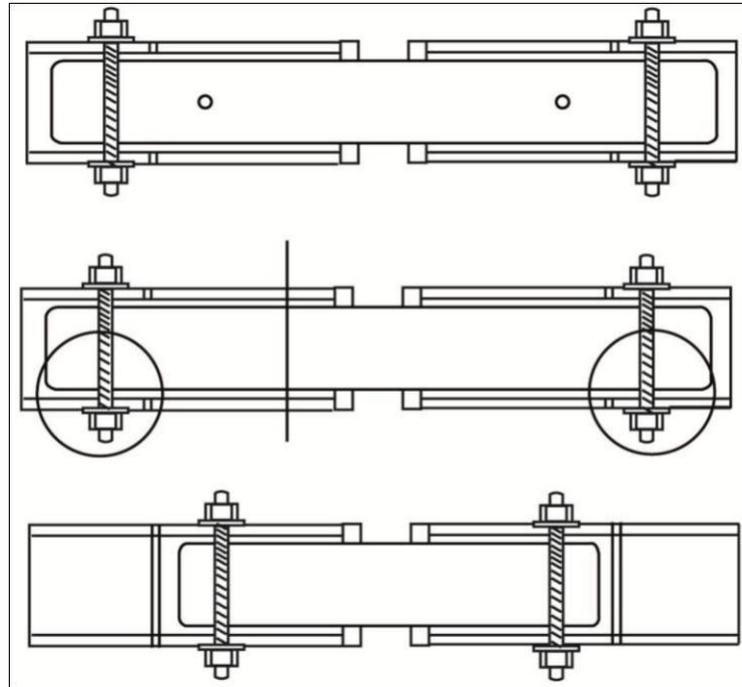
C.2.2 二層樓的建築：

二樓：21 kg 乘以二樓受力面積的 m^2

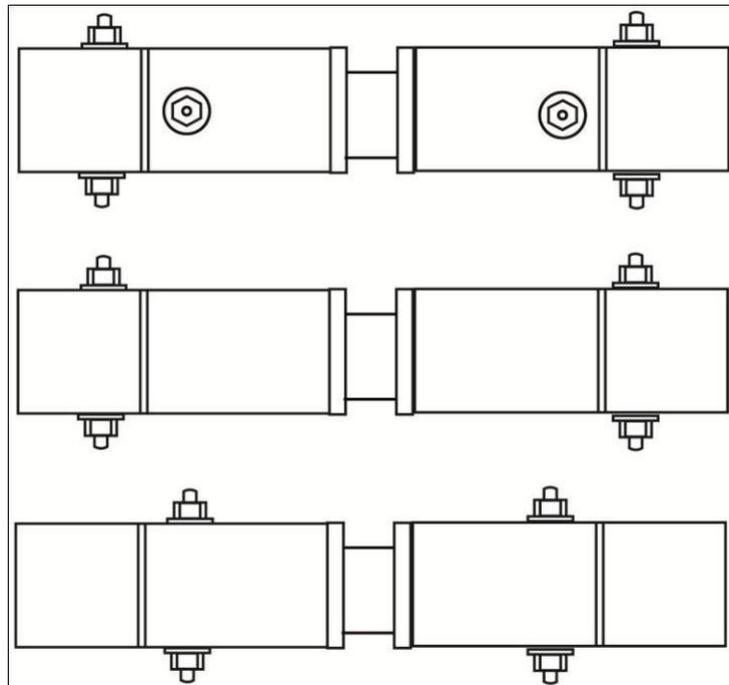
一樓：21kg 乘以總面積的 m^2

附件 D： 接合的設計

D.1 軸向續接：使用木梢及每端一個 3/8" 的螺栓以形成 200kg 的應力強度。使用木梢及每端兩個 3/8" 的螺栓以形成 350kg 的應力強度。



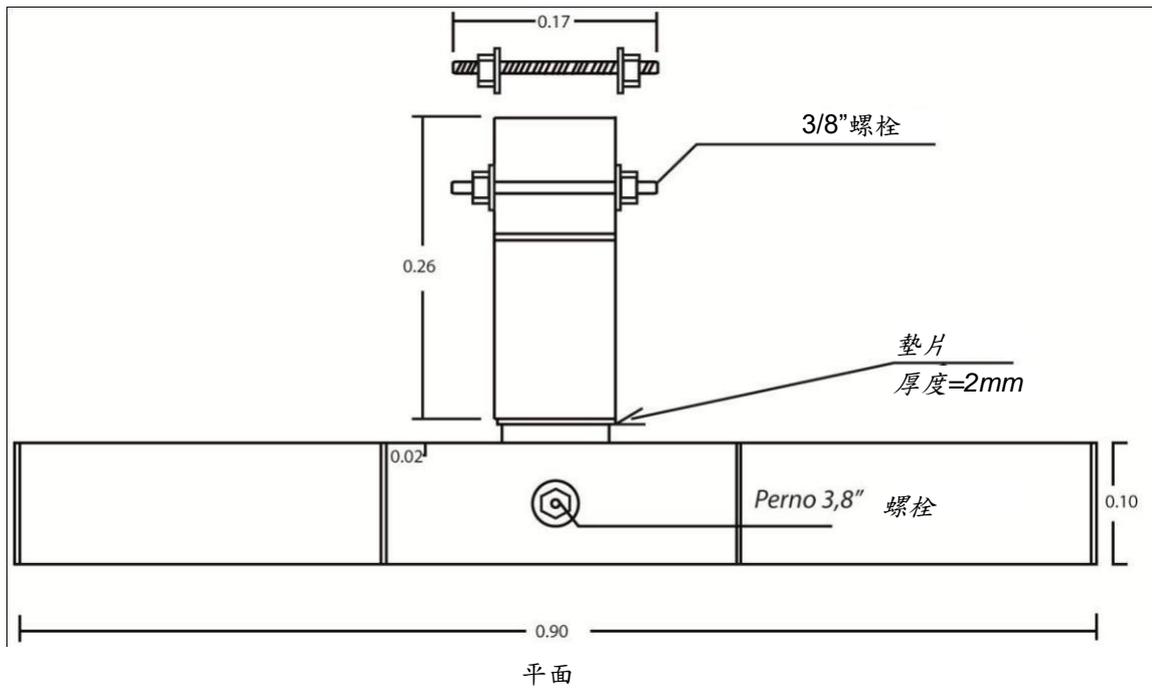
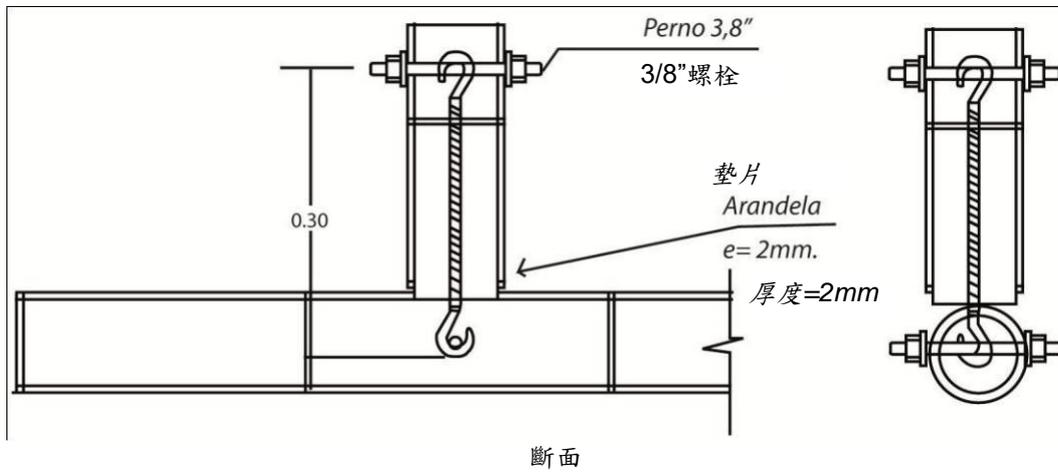
斷面



平面

D.2

正交接合:根據下列圖表使用鐵條、3/8"的螺栓與卡榫,以形成 200kg 的應力強度。



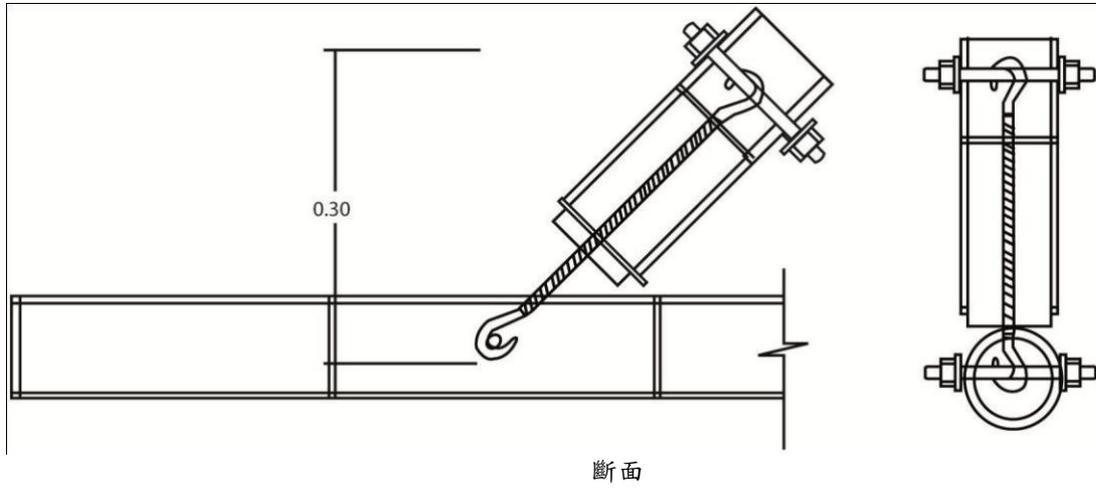


PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

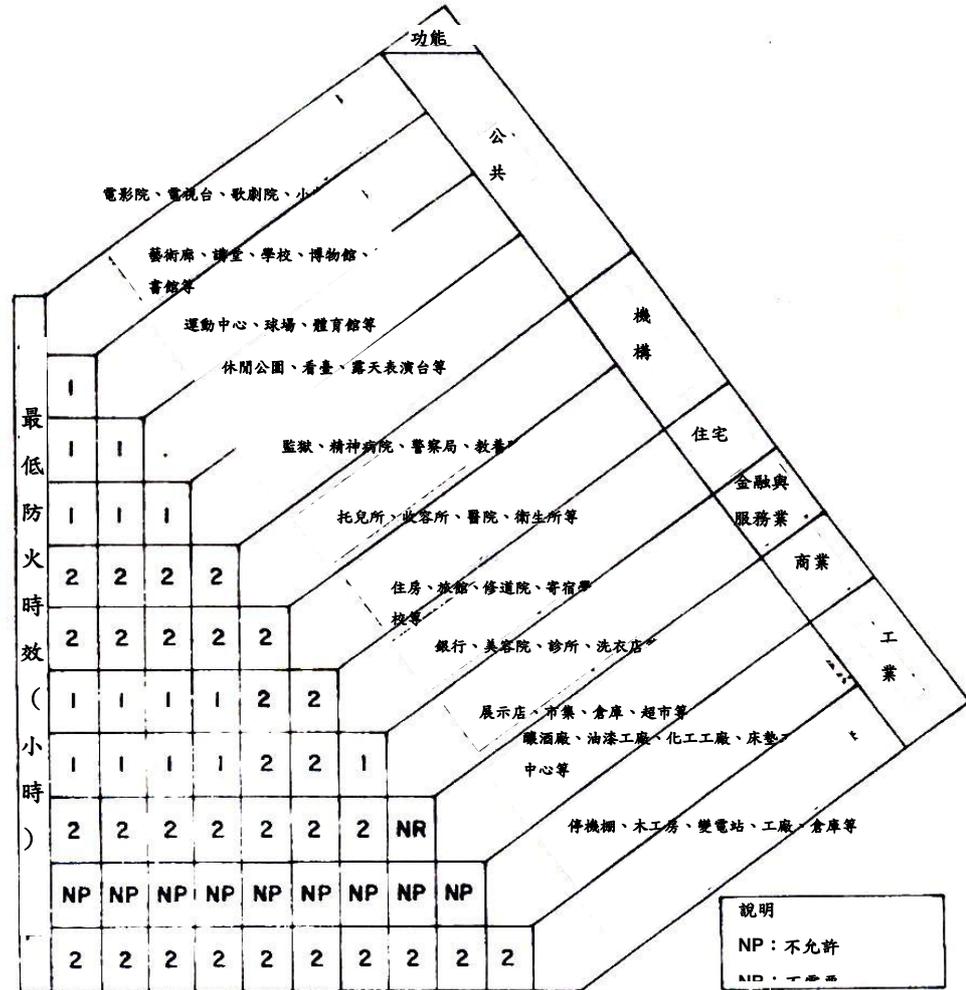
D.3

斜交接合：根據以下圖表，使用鐵條、3/8"的螺栓與卡榫，和水泥漿（水泥/砂比例 1:3），以形成 200kg 的應力強度。



附件 E： 竹建築的防火標準

E.1 根據其主要功能，各種竹構建築的最低防火時效



● 套用加拿大國家建築法規

來源：標準 E0.10 木構

E.2 包覆外殼的指定時間

外殼描述	時間 (分)
12,5 毫米的纖維板	5
8 毫米的酚膠合板	5
11 毫米的酚膠合板	10
14 毫米的酚膠合板	15
9,5 毫米的石膏板	10
12,7 毫米的石膏板	15
15,9 毫米的石膏板	30
9,5 毫米的雙層石膏板	25
12,7 毫米與 9,5 毫米的石膏板	35
12, 7 毫米的雙層石膏板	40
4,5 毫米的水泥板與 9,5 毫米的石膏板	40(*)
4,5 毫米的水泥板與 12,7 毫米的石膏板	50(*)

(*) 數值僅適用於牆體

來源：標準 E0.10 木構

E.3 塗裝的防火標準

牆面材料	塗裝厚度 (毫米)	塗裝	
		砂與波特蘭水泥	砂與石膏
木條	13	5 分鐘	20 分鐘
12,5 毫米的纖維板	13	-----	20 分鐘
9,5 毫米的石膏板	13	-----	35 分鐘
9,5 毫米的石膏板	16	-----	40 分鐘
9,5 毫米的石膏板	19	-----	50 分鐘
擴張的鐵絲網	19	20 分鐘	50 分鐘
擴張的鐵絲網	23	25 分鐘	60 分鐘
擴張的鐵絲網	26	30 分鐘	80 分鐘

來源：標準 E0.10 木構

E.4 建築之間的限制距離

暴露於火焰 的部位		無防護設施之空間(%)											
		防護設施之距離 (公尺)											
面積 m ²	L/H 或 H/L 之關係	低於 1:2	1,2	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6	7	8	9
10	低於 3:1	0	8	10	18	29	46	91	100				
	3:1 至 10:1	0	8	12	21	33	50	96	100				
	高於 10:1	0	11	18	32	48	68	100					
15	低於 3:1	0	7	9	14	22	33	63	100				
	3:1 至 10:1	0	8	10	17	25	37	67	100				
	高於 10:1	0	10	15	26	39	53	87	100				
20	低於 3:1	0	7	9	12	18	26	49	81	100			
	3:1 至 10:1	0	8	10	15	21	30	53	85	100			
	高於 10:1	0	9	14	23	33	45	72	100				
25	低於 3:1	0	7	8	11	16	23	41	66	98	100		
	3:1 至 10:1	0	8	9	13	19	26	45	70	100			
	高於 10:1	0	9	13	21	30	39	62	90	100			
30	低於 3:1	0	7	8	11	15	20	35	56	83	100		
	3:1 至 10:1	0	7	9	12	17	23	39	61	88	100		
	高於 10:1	0	8	12	19	27	36	56	79	100			
40	低於 3:1	0	7	8	10	13	17	28	44	64	89	100	
	3:1 至 10:1	0	7	8	11	15	20	32	48	69	93	100	
	高於 10:1	0	8	11	17	24	31	47	66	88	100		
50	低於 3:1	0	7	8	9	12	15	24	37	53	72	96	100
	3:1 至 10:1	0	7	8	10	14	18	28	41	57	77	100	
	高於 10:1	0	8	10	14	20	25	38	51	67	85	100	
60	低於 3:1	0	7	8	9	11	14	21	32	45	62	81	100
	3:1 至 10:1	0	7	8	10	13	16	25	36	49	66	85	100
	高於 10:1	0	8	10	14	20	25	38	51	67	85	100	

來源：標準 E0.10 木構

附件 F: 祕魯竹子的資訊

F.1. 分類

- 界：被子植物
- 支：單子葉植物
- 目：禾本目
- 科：禾本科
- 亞科：竹亞科
 - 族：籜竹族 (木本)
 - 族：黍竺族 (草本)
 -

F.2 祕魯的種類

至今在祕魯有發現大約 50 種原生與外來的木本竹子 (某一些種類未識別), 包含以下亞族與屬別:

原生種類: 38 種

- 節柱竹亞族
 - ◆ *Arthrostylidium* 節柱竹屬 2 種
 - ◆ *Alounemia* 牧笛竹屬 7 種
 - ◆ *Elytostachys* 甲稔竹屬 1 種
 - ◆ *Merostachys* 偏穗竹屬 1 種
 - ◆ *Ripidocladum* 扇枝竹屬 2 種
 - ◆
- 丘竹亞族
 - ◆ *Chusquea* 丘竹屬 19 種
 - ◆ *Neurolepsis* 1 種
- 瓜多竹亞族
 - ◆ *Guadua* 瓜多竹屬 5 種

外來或引進品種: 12 種

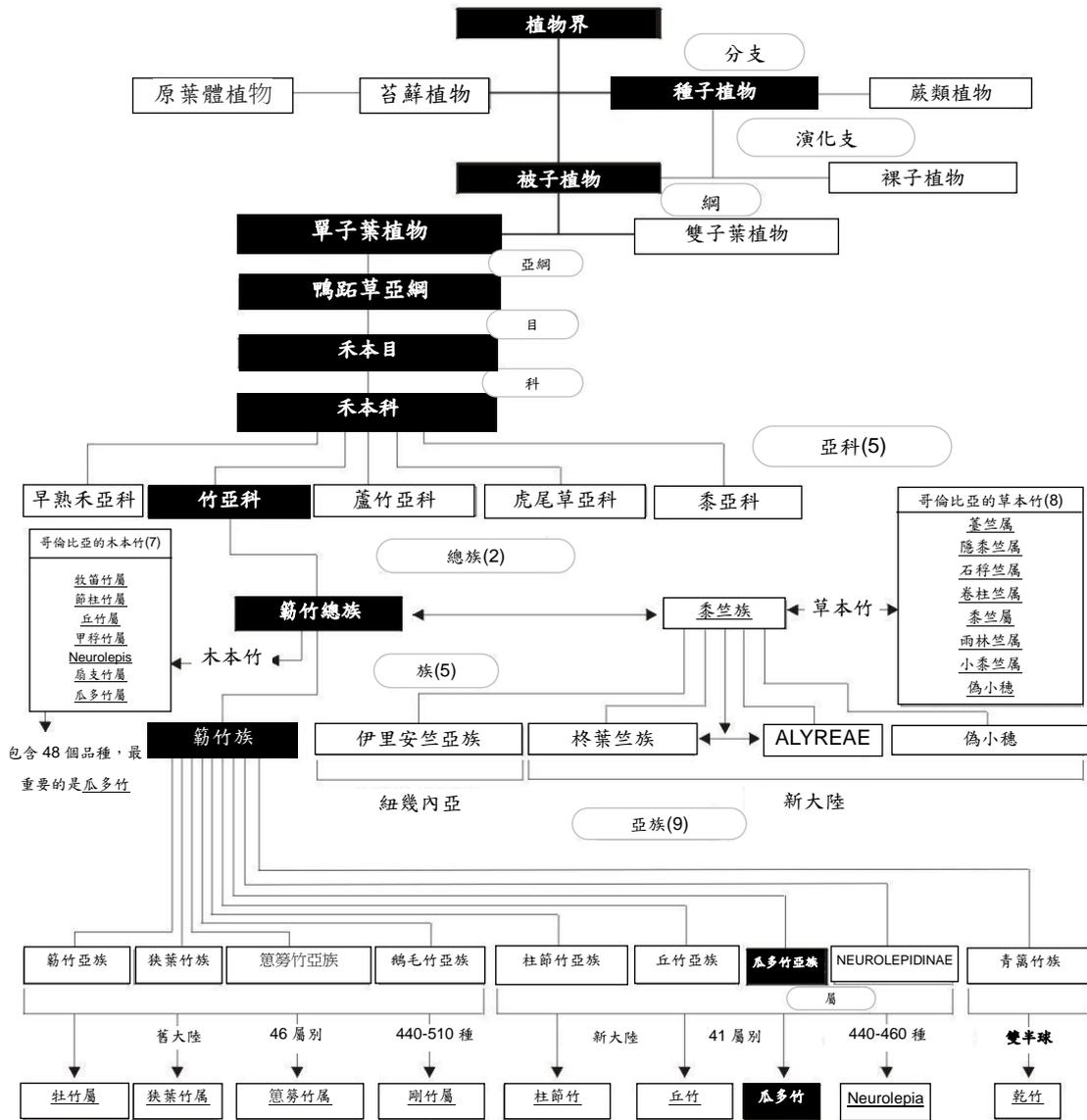
- 籜竹亞族
 - ◆ *Bambúesa* 籜竹屬 7 種
 - ◆ *Dendrocalamus* 牡竹屬 2 種
 - ◆ *Gigantochloa* 巨竹屬 1 種
 - ◆
- Sub Tribu Shibataeinae 鵝毛竹亞族
 - ◆ *Phyllostachys* 剛竹屬 2 種
 - ◆

五種不同的瓜多竹:

- ◆ *Guadua angustifolia*
- ◆ *Guadua sarcocarpa*
- ◆ *Guadua superba*
- ◆ *Guadua weberbaueri*
- ◆ *Guadua paniculata*

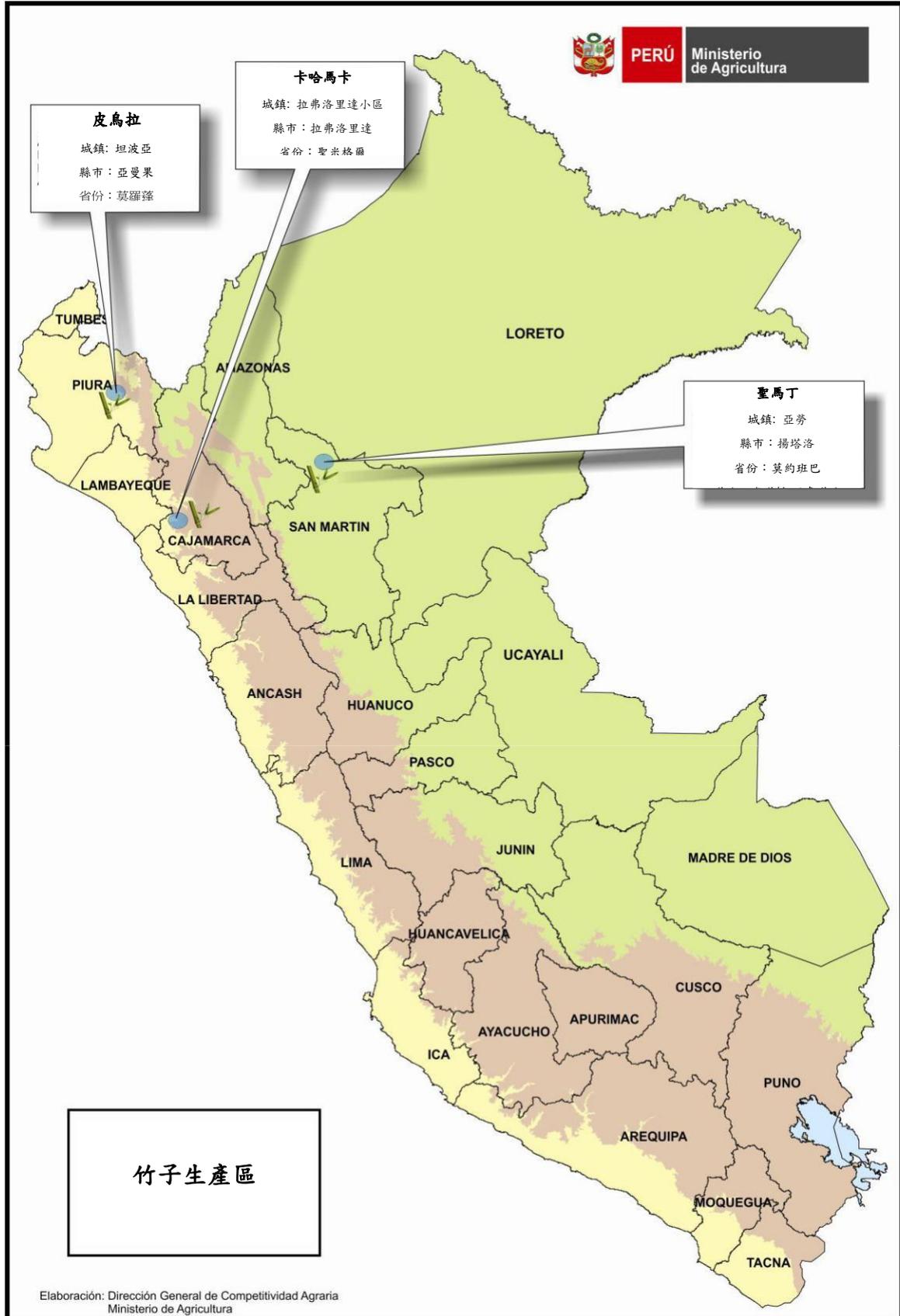
F.3 瓜多竹的分類

q



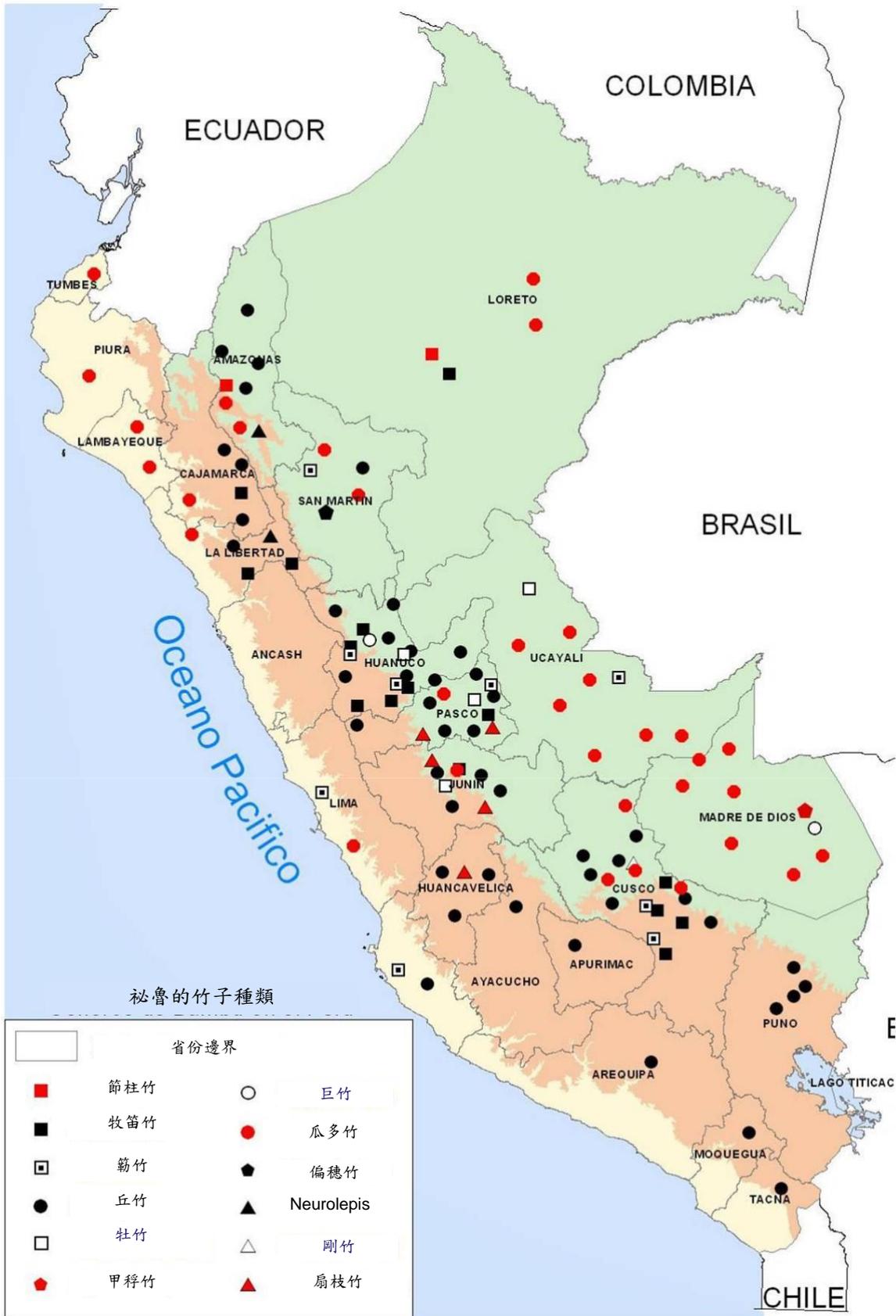
來源：國際竹籐組織(INBAR).

F.4 結構竹材的大量產區 (瓜多竹)



2011 年

F.4 其他種類的竹子產區

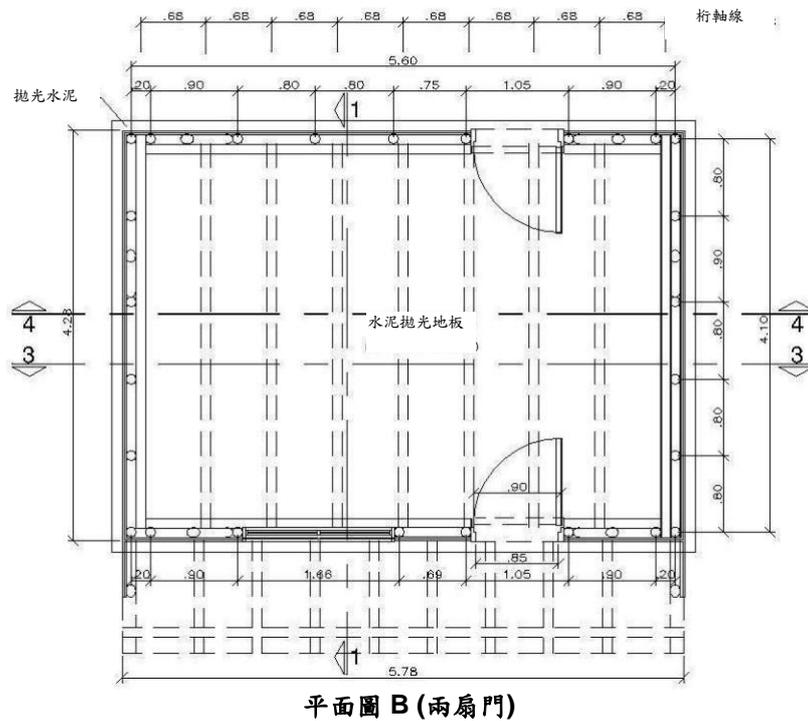
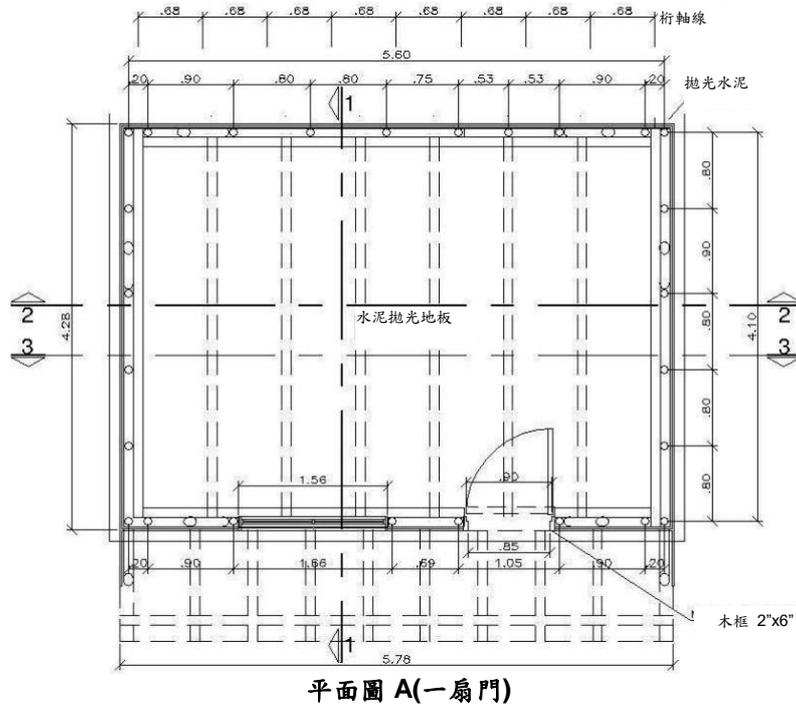


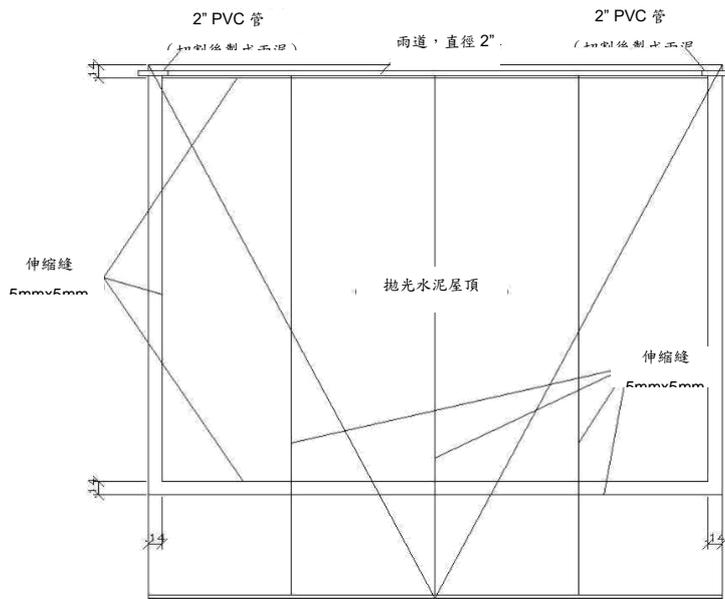
來源：秘魯-竹子

ANEXO G: 附件 G: 竹建築的範例

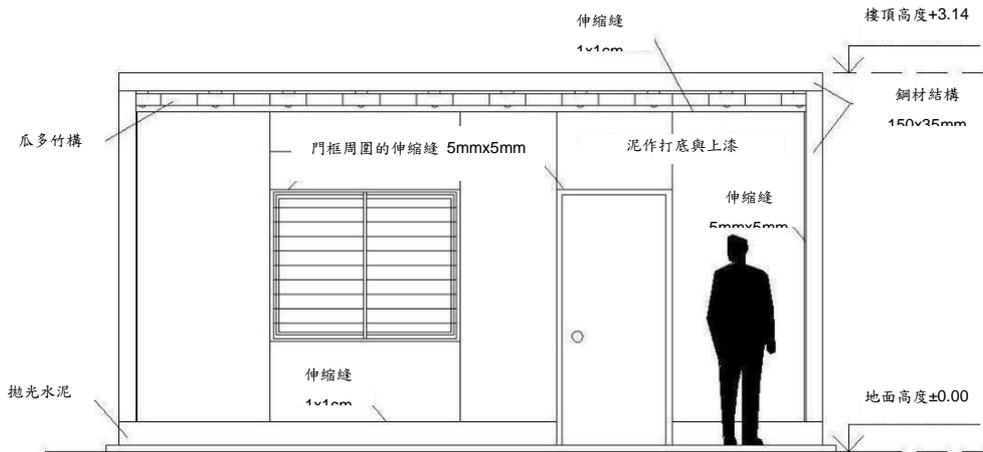
(面積為 4.28 m x 5.78 m.之一層樓建築)

G.1 構造:

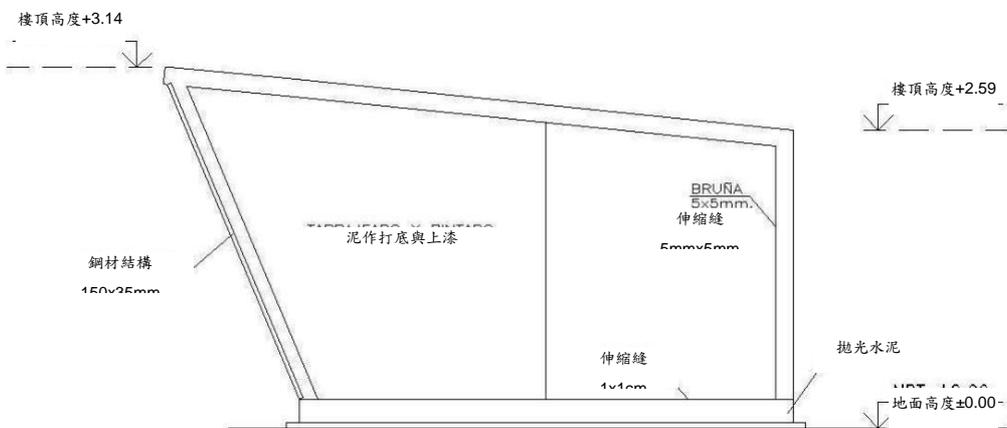




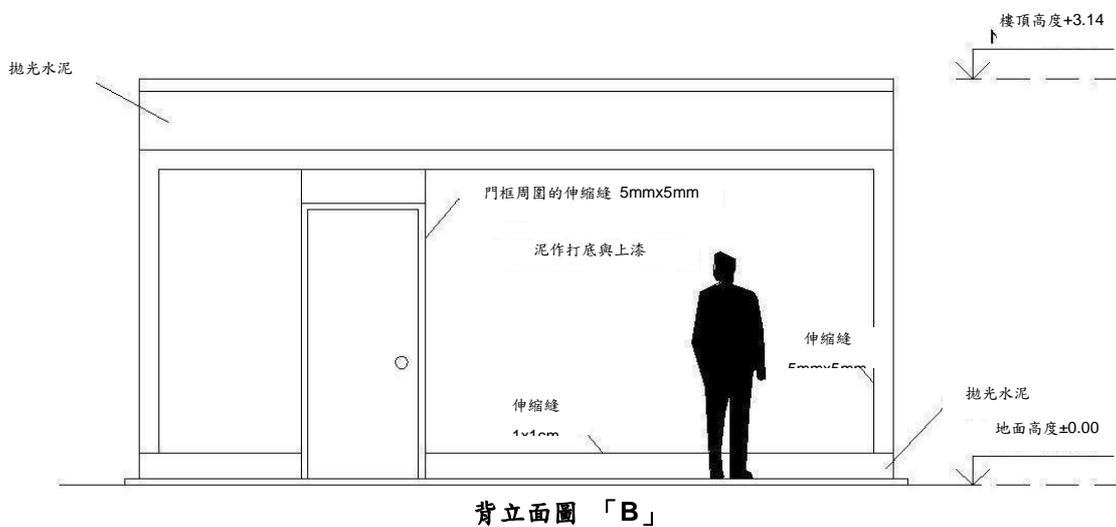
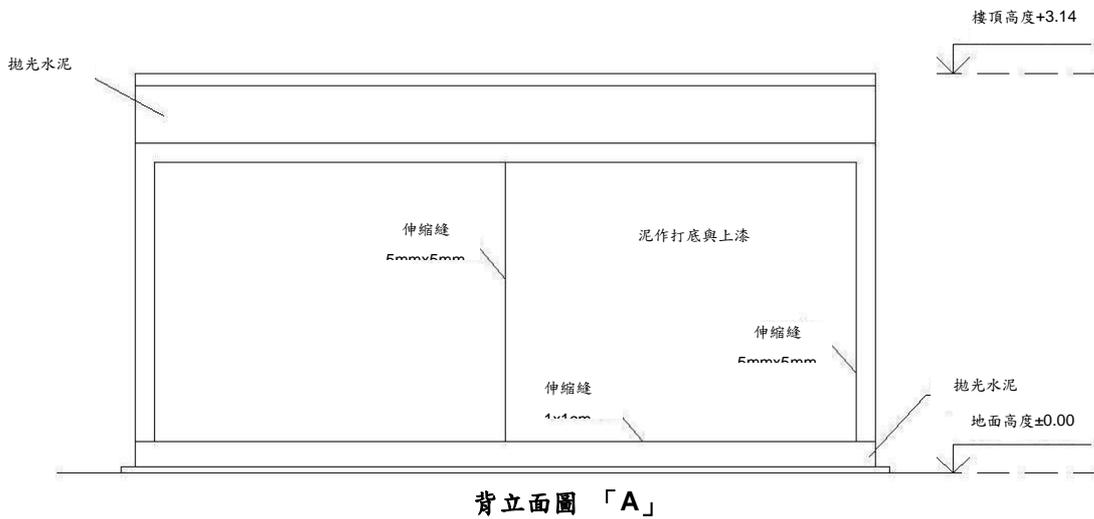
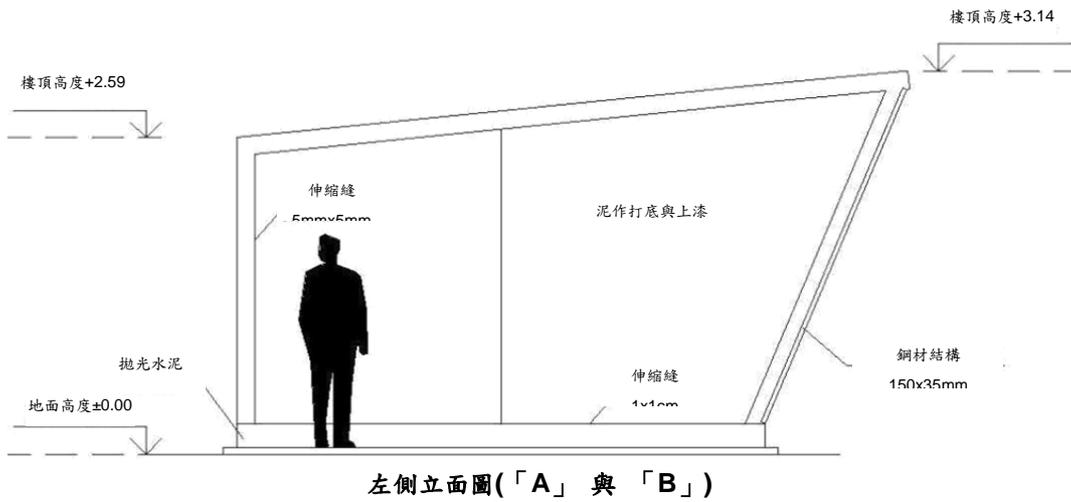
屋頂平面圖 (A 與 B)

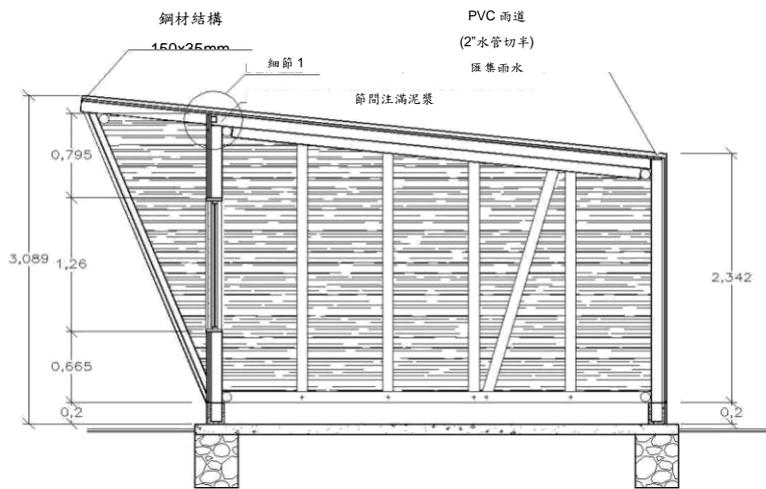


正立面圖(「A」與「B」)

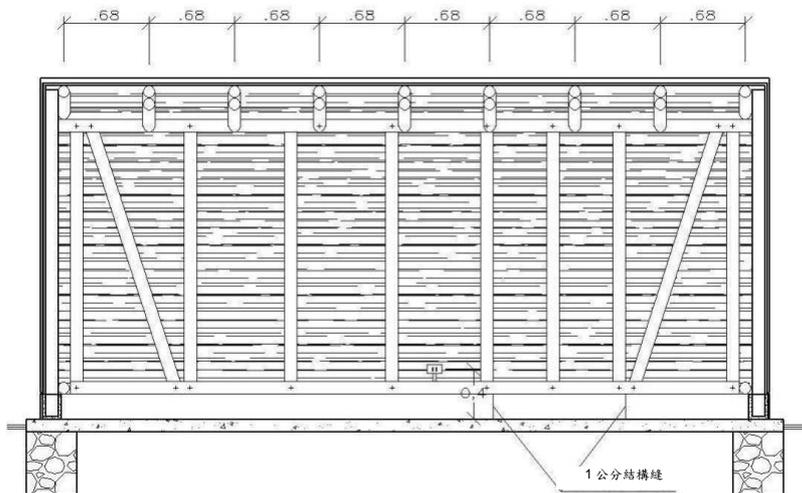


右側立面圖(「A」與「B」)

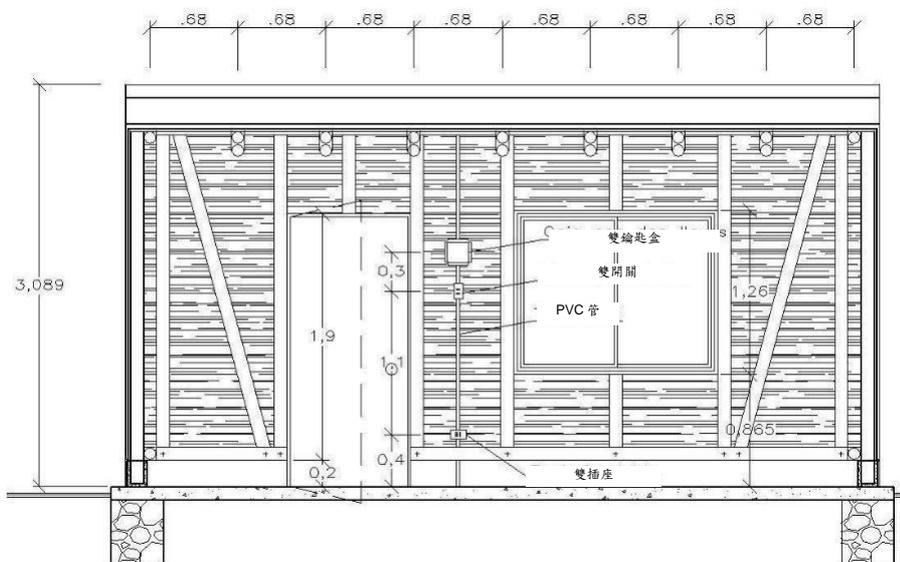




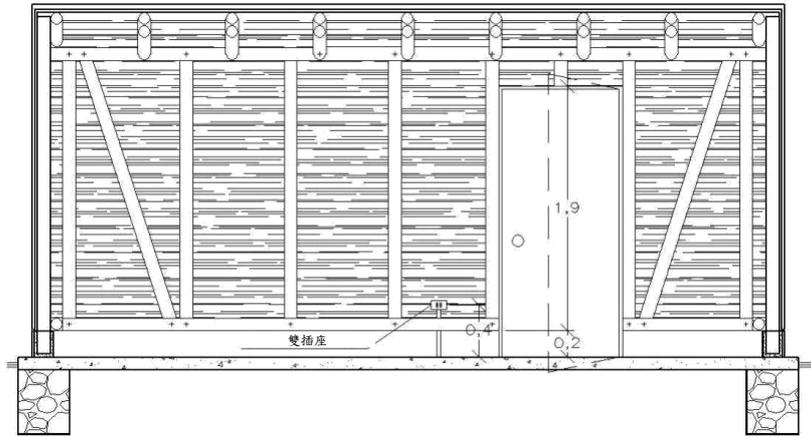
斷面 1-1



斷面 2-2

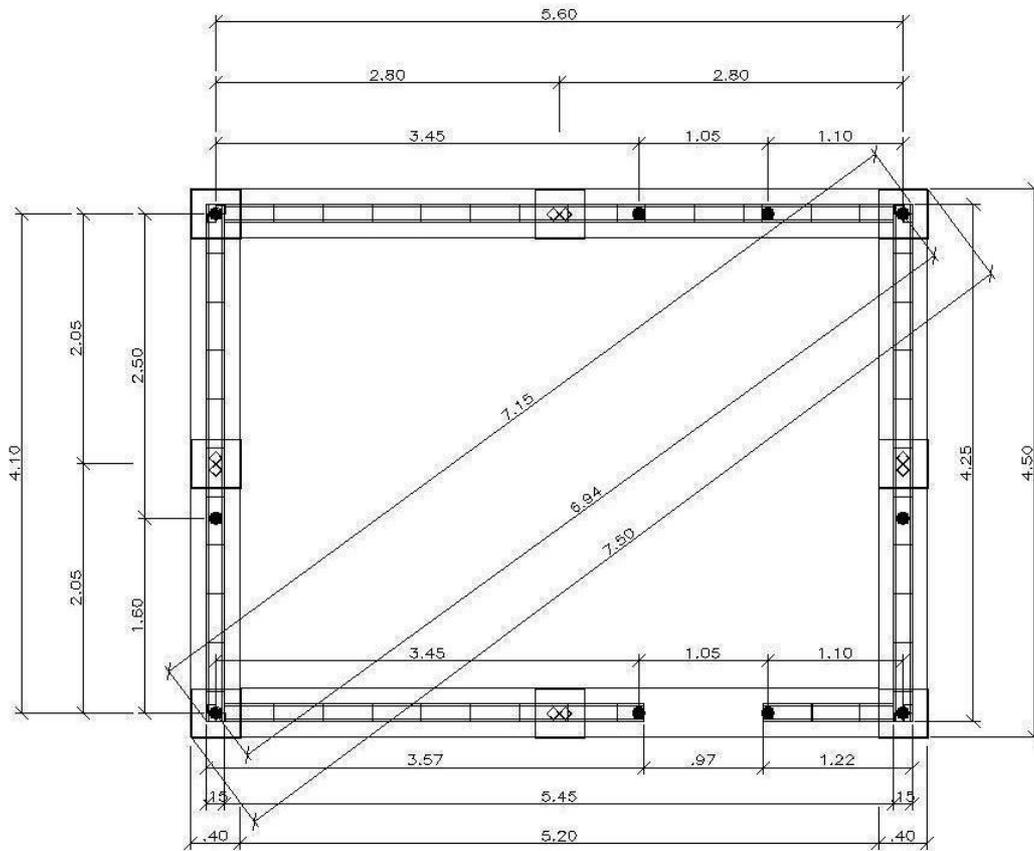


斷面 3-3



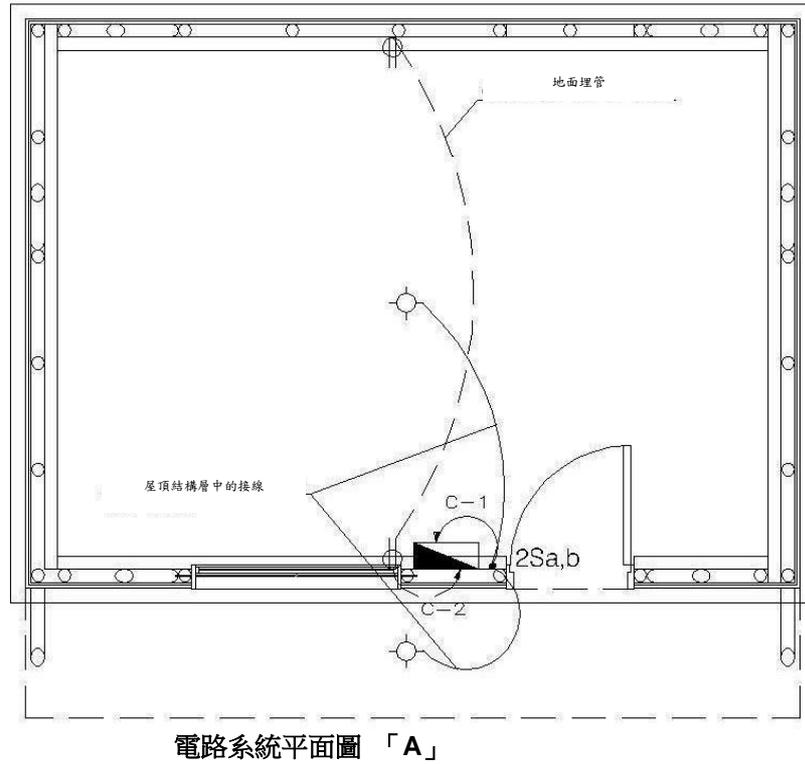
斷面 4-4

G.2 結構

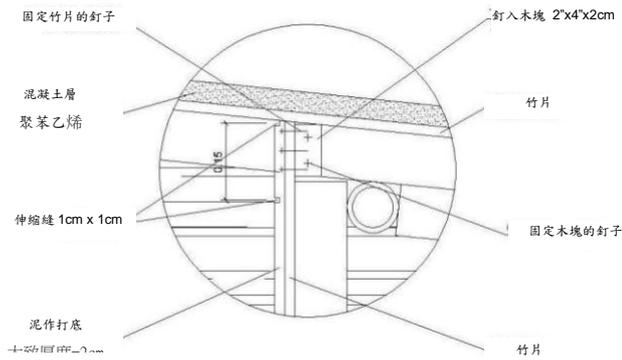


基礎平面圖

G.3 電路



G.4 細節



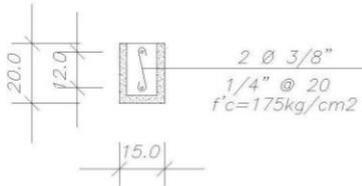
細節 1



細節 2

U 型混凝土塊的典型細節

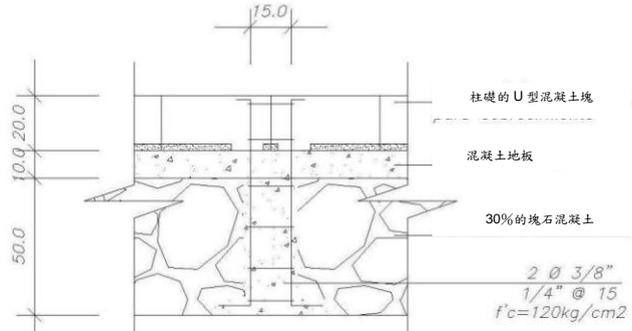
所有的角度皆需要鐵條的連續性



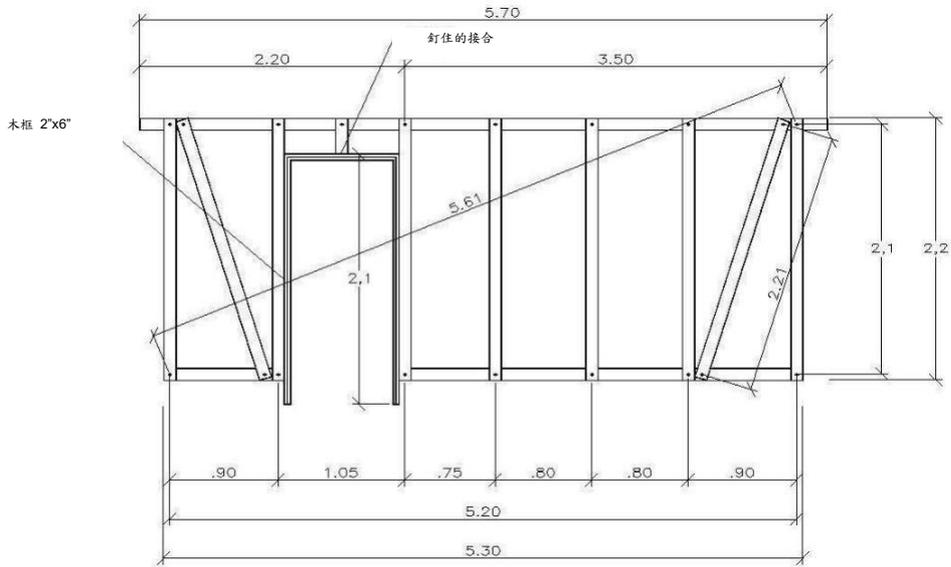
細節 3



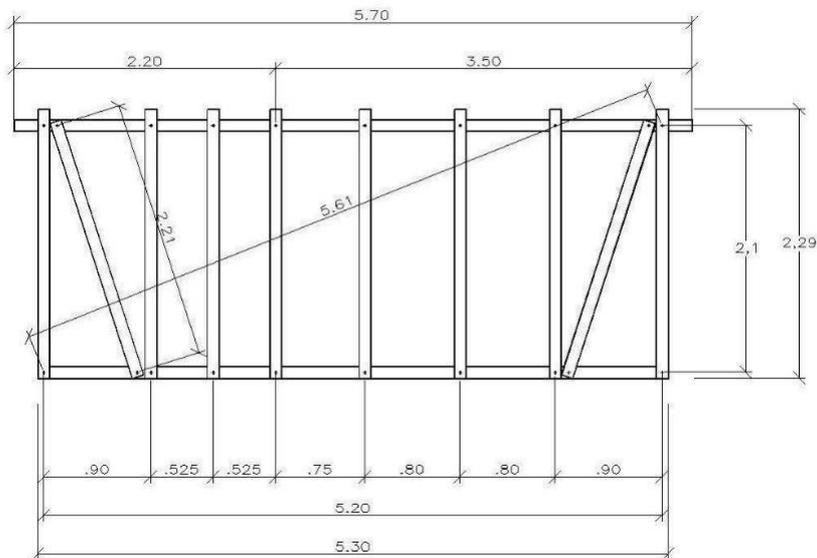
柱礎與基礎之錨固



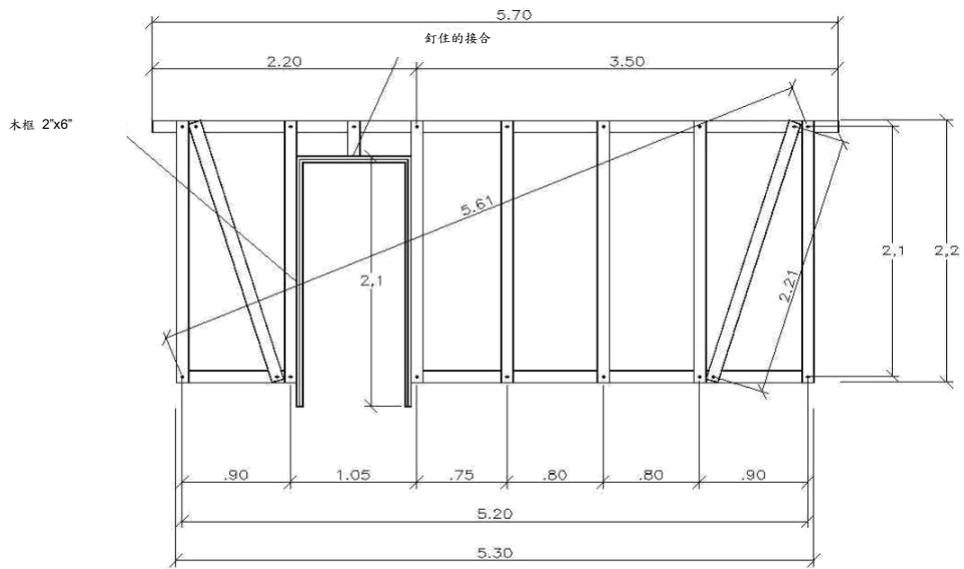
細節 4



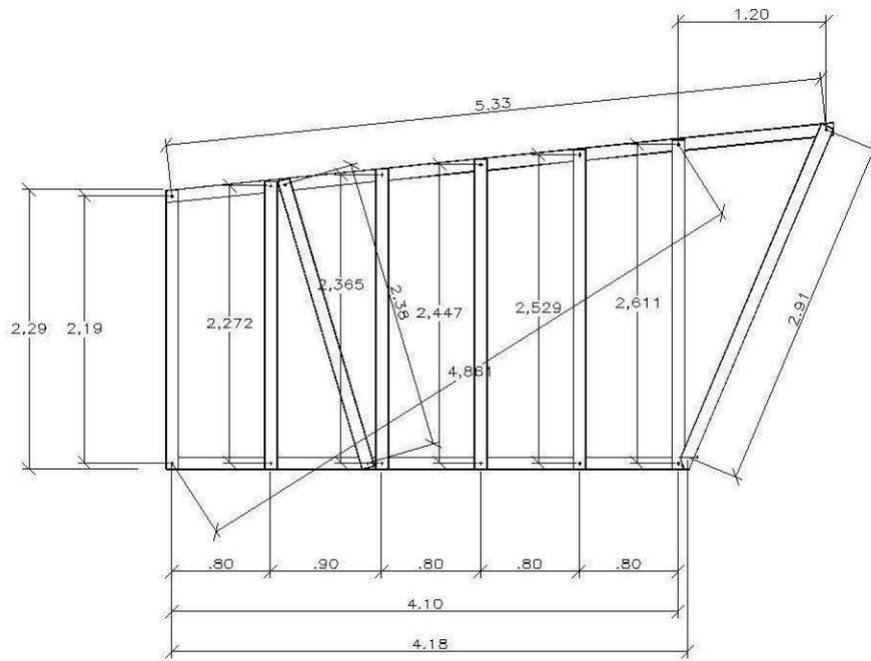
細節 5：縱向正立面圖



細節 6：縱向背立面圖「A」



細節 7：縱向背立面圖「B」



細節 8：側立面圖

來源：聖馬丁·包瑞斯大學的住宅、社區與建築學院。

附件資訊 H：符號與略語

H.1. 符號

A	面積
a	接合元件之間的距離、支撐長度、空間。
b	木料的厚度、最小面積。
C_d	依受風角度之位置的面積係數。
C_k	限制中間立柱的係數。
c	中心軸至最外側纖維的距離。
d	受壓元件的斷面臨界面積；螺栓或釘子的直徑。
d	靜荷重
E	彈性模數或楊氏係數
E_{min}	最低彈性模數
E_{prom}	竹構的平均彈性模數最低值
f_c	纖維平行允許壓力
f_{c⊥}	纖維正交允許壓力
f_m	纖維平行允許拉力
f_v	纖維平行允許剪力
f_t	纖維平行允許拉力
G	剪切或剛度模數
h	木料的均稱，高度
I	斷面的慣性力矩
I_x	X-X 軸的慣性力矩
I_y	Y-Y 軸的慣性力矩
i	轉動半徑
K	有效長度的係數
K_m	放大力矩的係數
K_d	變形因子
L	光/跨度/內徑
l	元件長度
l	超載荷重
l_c	桁軸之間的距離
l_d	斜柱或力柱之長度
l_{ef}	有效長度
l_{eq}	等同長度
M	彎矩

MPa	兆帕
N	牛頓
N_{cr}	造成彎曲的軸壓力
N_{adm}	允許軸壓力
P,Q	集中力量
P	風壓或風吸力
Pa	帕斯卡
q	動態壓力
r	半徑
S	平面之面積矩
s	增大空間
t	平面厚度
V	風速剪力
w	均佈荷重
w_d	平均靜荷重
w_l	動荷重或平均超載荷重
Z	斷面模數
∞	關係角度
λ	均稱量
σ_∥	纖維平行作用壓力
σ_c	纖維正交作用壓力
σ_m	彎曲造成的正常作用拉力或壓力
σ_t	纖維平行方向作用拉力
τ	剪力

H.2.略語

@	對每一個
adm	允許的
CH	含水量
CHE	平衡含水量
cm	公分
DB	基本密度
ELP	彈性限度之應力

竹構造建築物設計技術研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王榮進、杜怡萱、李台光、黃國倫、周楷峻、

張三酉、林均容、鄭少耘

出版年月：110 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN：978-986-5456-55-9