

竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究

內政部建築研究所委託研究報告（112年度）

「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 112 年 11 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)

GRB 編號：11215G0018

竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究

受委託者：中華木質構造建築協會

研究主持人：王松永

協同主持人：楊德新

研究助理：鄭雅文、陳俞甯

研究期程：中華民國 112 年 2 月至 112 年 12 月

研究經費：新臺幣 100 萬元整

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 112 年 11 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
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	3
第二章 相關文獻資料彙整與分析	5
第一節 國內竹建築設計案例	5
第二節 國際竹建築設計案例	10
第三節 竹材構造系統	14
第四節 常見之竹材抗真菌與防蟲處理	14
第五節 非化學改質方式竹材防腐與防蟲處理技術	15
第六節 各國木材抗白蟻性試驗的相關標準	16
第七節 各國木材抗黴菌性試驗的相關標準	18
第三章 研究方法與進度說明	21
第一節 研究採用之步驟與方法	21
第二節 目前已完成進度	23
第四章 研究成果與發現	25
第一節 防蟲處理竹材抗白蟻性能	25
第二節 防黴處理竹材抗黴菌性能	28
第三節 防黴防蟲處理竹桿材性能	32
第四節 防黴防蟲竹集成地板性能	35
第五節 竹建材之防蟲、防黴最適化處理指引(草案)	36
第五章 結論與建議	43
第一節 結論	43
第二節 建議	44
附錄一：第一次工作會議	47

附錄二：第一次專家會議.....	49
附錄三：期初意見回應表.....	61
附錄四：期中報告審查會議.....	63
附錄五：第二次專家會議.....	69
附錄六：期末報告審查會議.....	81
參考書目	87

表次

表 2-1 GB/T 18260-2015 白蟻蝕害程度評估基準表.....	17
表 2-2 SNI 01.7207-2006 白蟻蝕害質量評估基準表	18
表 2-3 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準表	18
表 2-4 GB/T 18261-2013 黴菌生長程度評估基準表.....	19
表 2-5 GB/T 18261-2013 試樣材面變色評估基準表.....	19
表 2-6 ASTM D-4445 黴菌生長程度評估基準表.....	20
表 4-1 防蟲處理竹材抗白蟻性能	27
表 4-2 防黴處理竹材抗黴性能	29
表 4-3 抗蟲蟻與防黴性國產孟宗竹桿物理性質	33
表 4-4 抗蟲蟻與防黴性國產孟宗竹桿抗彎破壞型態	34
表 4-5 竹集成地板性能	35

圖次

圖 1-1 水泥及生物質材料碳生命週期碳捕捉及碳排放趨勢	1
圖 2-1 客家文化公園竹夢市集棚架外觀及接頭系統設計圖	6
圖 2-2 長榮堂外觀及構架系統設計圖	7
圖 2-3 北門翼全景外觀照片及施工圖說	8
圖 2-4 竹、之徑全景外觀照片及結構設計力學分析	9
圖 2-5 Nocenco Café 全景外觀照片及設計圖	10
圖 2-6 Grand World Phú Quốc 全景外觀照片及設計圖	11
圖 2-7 Panyaden International 竹構體育館外觀照片及模擬圖	12
圖 2-8 Piyandeling 工藝坊外觀照片及模擬圖	13
圖 2-9 竹材構造系統	14
圖 2-10 ASTM D-3345 白蟻蝕害程度評估基準表	17
圖 3-1 試驗架構圖	21
圖 4-1 不同防黴處理竹材抗黴試驗照片（竹青側：outer；竹黃側：inner）。	31
圖 4-2 ACQ 藥劑處理竹材縱剖後銅顯色照片及 CuO 吸收量。	32

摘要

關鍵詞：孟宗竹建材、防蟲技術、防黴技術

一、研究緣起

竹林之生長與更新較林木所需時間短，是值得開發之生物資材。特別是在目前國際間強調淨零碳排的議題上，我國竹林之碳吸存量為 $5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，明顯較針葉樹林（ $2.69 \pm 1.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）和闊葉樹林（ $2.20 \pm 1.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）為高，因此有效地應用我國特有豐富的竹資源成為淨零政策下的重要建築資材，更可視為我國淨零/低碳建築解方之一。然竹材在儲存過程中，因其澱粉、蛋白質與水分等，易受微生物侵襲而危害竹材品質，更甚者亦有研究指出，竹材對於生物劣化因子，如菌類、白蟻、蛀蟲等，比木材更易受危害。因此，為強化竹建材之利用，應針對竹建材防蟲蟻與抗黴技術加以研究，以發揮竹建材永續與環保之特性。同時，內政部建築研究所於109年12月29日以建研環字第1090011399號函修正「綠建築評估手冊(基本型)」，新增納入使用竹構造與竹建材相關加分規定，並自110年1月1日實施。竹建材的設計運用與相關技術研發，未來可提供產業界建材選擇與應用，作為綠建築設計之參考，可提高綠建築對環境之友善性與之可及性，並提升竹建材於永續綠建築產業之應用。

二、研究方法及過程

本研究首先進行文獻收集與分析歸納，整理國內外對於木竹構造設計運用與相關技術研發之文獻。選用戶外建材中常見的國產孟宗竹桿，以及室內裝修中使用的竹地板材作為評估對象，針對兩種材料的使用環境與目的評估適合之抗蟲蟻與抗黴技術，究明不同抗蟲蟻與抗黴處理的最佳製程，以作為未來竹建材加工處理之依據。最後完成防蟲蟻抗黴竹建材之各項基本性質測定，提出竹建材最適化製程處理指引（草案），供業界作為綠建築設計採用竹建材之參考，進一步創造低碳綠建築環境。

三、重要發現

- (一) 竹材經硼化合物系藥劑處理後，可有效地降低白蟻對竹材的蝕害，並且具有毒殺白蟻的效果。銅、烷基銨系化合物（ACQ）作為防蟲處理藥劑也展現了一定的抗白蟻效果，特別是當吸收量達到 5.2 kg/m^3 以上（K4）時，其抗白蟻性能顯著。
- (二) 竹材經護木漆塗布後，具有良好的抗黴性，在抗黴期間，竹材兩側的黴菌生長面積均為 0%。
- (三) 各種保存處理方式竹材之抗黴菌結果均顯示，竹黃側的黴菌生長面積通常都比竹青側為大，竹黃側更易受到黴菌的侵襲。
- (四) 竹桿材經 ACQ 處理後，其藥劑主要分布竹材兩端，且主要分布於竹壁外側，較難橫向滲透進入竹壁中心。
- (五) 無論經護木漆和環烷酸鋅的塗佈對竹材的抗彎性質沒有顯著影響，而 ACQ 處理竹材抗彎強度則略低於未處理組。

四、主要建議事項

建議一：

提升竹材抗蟲蟻與防黴性能以呼應竹材振興方案，拓展竹材之多元應用面：立即可行建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：財團法人台灣建築中心、中華木質構造建築協會

鼓勵在建築或都市規劃中使用進行過上述處理的竹材。竹材是一種可再生資源，並且具有良好的機械性能和美觀，尤其適合用於建築結構和裝飾材料。經過抗白蟻和抗黴處理的竹材能夠延長其使用壽命並降低維護成本。本研究以 ACQ 處理、硼化合物系藥劑、護木漆、環烷酸鋅塗料進行竹材的保護處理，已顯示顯

著的抗白蟻和抗黴效果，可提升竹材的使用壽命並降低環境因素對竹材的影響。同時，這種處理方式也有助於減少對環境的影響，目前木材保存加工廠之製程亦可因應，具有可行性。

建議二：

持續辦理竹建材防蟲防黴耐久性技術研究，確認竹建材戶外使用生命週期，並辦理竹材加工利用技術研習會，擴展竹材利用範疇：立即可行建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：財團法人台灣建築中心、中華木質構造建築協會

為推動竹材在建築領域的創新應用並加強其抗蟲蟻與防黴性能，透過竹材加工利用研習會，邀請建築師、專家學者及產業人士，共同探討和分享關於竹材抗蟲蟻與防黴處理的最新技術和研究成果，從而提升業界對竹材加工之正確知識，並將竹材的防蟲蟻與防黴技術納入建築材料的選擇和使用過程中的重要考量因素，讓更多建築師和開發商了解竹材利用可行性。另建立竹建材之耐久性資訊，提升竹建材之生命週期，擴大其應用範圍，創造對環境友善、可持續的低碳建築環境。

Abstract

Keywords: Moso bamboo construction materials; Anti-insect technology; Anti-mold technology

I. Research Background

The rapid growth and shorter renewal time of bamboo, compared to conventional timber, make it a promising bioresource for development. Particularly, in the current international context emphasizing net-zero carbon emissions, the carbon sequestration capacity of bamboo forests in Taiwan is measured at $5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, significantly higher than that of coniferous forests ($2.69 \pm 1.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) and broadleaf forests ($2.20 \pm 1.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$). Therefore, the effective utilization of our abundant indigenous bamboo resources becomes crucial as a key construction material under net-zero policies and can be considered a viable solution for net-zero/low-carbon construction. However, bamboo, during storage, is susceptible to microbial attacks due to factors such as starch, protein, and moisture content. Some studies have even indicated that bamboo is more vulnerable to biological degradation factors, such as fungi, termites, and wood-boring insects, compared to wood. To enhance the utilization of bamboo building materials, it is imperative to conduct research on insect and mold resistance technologies specific to bamboo construction materials, leveraging the sustainable and environmentally friendly characteristics of bamboo. Furthermore, the Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior issued a letter (No. 1090011399) amending the "Green Building Evaluation Manual (Basic Version)" on December 29, 2020, to include additional scoring criteria related to the use of bamboo structures and bamboo building materials. This amendment is effective from January 1, 2021. The design and technological development of bamboo building materials can provide the industry with choices and applications, serving as a reference for green building design. This contributes to enhancing the environmental friendliness and accessibility of green buildings, thereby promoting the application of bamboo building materials in the sustainable green building industry.

II. Methodologies

This study commenced with the collection, analysis, and synthesis of literature, organizing domestic and international documents on the design and application of wood and bamboo structures, as well as related technological developments. Domestically produced *Phyllostachys edulis* bamboo poles commonly used in outdoor construction and bamboo flooring employed in interior decoration were selected as the evaluation subjects. The study assessed suitable anti-termite and anti-mold technologies based on the usage environments and purposes of the two materials, aiming to determine the optimal processes for different anti-termite and anti-mold treatments. This information serves as a foundation for future processing of bamboo building materials. Finally, various fundamental properties of anti-termite and anti-mold bamboo building materials were measured, and a draft of guidelines for the optimized processing of bamboo building materials was presented. These guidelines are intended for industry use as a reference in adopting bamboo building materials in green building designs, contributing to creating a low-carbon green building environment.

III. Results

This project concludes that:

1. Boron compound treatment significantly reduces termite damage to bamboo, exhibiting an insecticidal effect on termites. Copper-based and alkyl ammonium compound (ACQ) insecticide treatments also demonstrate certain resistance to termites, particularly when the absorption level exceeds 5.2 kg/m³ (K4), showing significant anti-termite performance.
2. Bamboo, after application of wood preservative coatings, exhibits excellent resistance to mold. During the mold resistance period, the mold growth area on both sides of bamboo remains at 0%.

3. Results of mold resistance for bamboo subjected to various preservation treatments consistently show that the mold growth area on the inner side of bamboo is generally larger than that on the outer side, indicating higher susceptibility of the inner side to mold invasion.
4. ACQ-treated bamboo poles show that the chemicals are mainly distributed at both ends of the bamboo, with a predominant presence on the outer side of the bamboo wall, making it more challenging to penetrate the central part of the bamboo wall transversely.
5. Coating with wood preservative paint and Zinc naphthenate has no significant impact on the bending properties of bamboo. However, ACQ-treated bamboo exhibits slightly lower bending strength than the untreated group.

IV. Recommendations

Recommendation 1:

Enhance the insect and mold resistance of bamboo to align with bamboo revitalization initiatives, expanding the diverse applications of bamboo: immediate feasibility suggestion.

Organizer: Ministry of the Interior's Construction Research Institute.

Co-organizers: Taiwan Architecture Center, Bureau of Standards, Metrology and Inspection of the Ministry of Economic Affairs, Chinese Association of Wood Structure Building.

Encourage the use of bamboo subjected to the aforementioned treatments in construction or urban planning. Bamboo is a renewable resource with excellent mechanical properties and aesthetic appeal, making it particularly suitable for structural and decorative materials in construction. Bamboo treated for termite and mold resistance can prolong its lifespan and reduce maintenance costs. This study, utilizing ACQ treatment, boron compound agents, wood preservatives, and zinc naphthenate coatings for bamboo protection, has demonstrated significant anti-termite and anti-mold

effects, enhancing the durability of bamboo and mitigating environmental impacts. This treatment approach is feasible within the existing processes of wood preservation facilities, contributing to environmental sustainability.

Recommendation 2:

Continue research on the durability of insect and mold resistance in bamboo building materials, confirm the outdoor lifecycle of bamboo building materials, and conduct workshops on bamboo processing and utilization techniques to expand the scope of bamboo utilization: immediate feasibility suggestion.

Organizer: Ministry of the Interior's Construction Research Institute.

Co-organizers: Taiwan Architecture Center, Chinese Association of Wood Structure Building.

To promote innovative applications of bamboo in the construction field and enhance its resistance to insects and mold, workshops on bamboo processing and utilization should be conducted. Invite architects, experts, scholars, and industry professionals to discuss and share the latest technologies and research findings related to insect and mold resistance treatments for bamboo. This initiative aims to increase industry knowledge on bamboo processing, incorporating insect and mold resistance techniques into the selection and usage of building materials. Establishing information on the durability of bamboo building materials will extend their lifecycle, broaden their applications, and create an environmentally friendly, sustainable, and low-carbon building environment.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

我國於今年（2023 年）通過氣候變遷因應法，將 2050 年達淨零排放之長期目標明確入法，無疑是宣示將對於巨大的氣候風險，採取實質措舉，而國內建築業者在面對未來幾年內碳定價機制及碳稅碳費的徵收，將增加企業營運成本，同時國內對於減碳議題道德面逐漸增強，上述原因讓建築業須著手綠色轉型，未來於建築物設計之初，便必須著重低能耗設計，並選用低碳或碳儲存等建材，同時更重視延長建築物及建材使用週期，以達成 2050 年淨零排放的目標。

而各種建材中，木竹材為低碳及碳儲存建材首選，Arehart *et al.* (2021) 彙整近年報告，分析建材碳捕捉機制與生命週期中碳排放狀態，如圖 1-1 所示，木竹等生物基質材料，於生長過程中因光合作用將二氧化碳轉化為生物質，製成建材產品時則由於加工而有碳排放情形；然而水泥材料則於製造過程中會產生大量碳排放情形，僅於建造後有部分機會於材料表面與二氧化碳及水產生碳酸鈣，然而最終於廢棄階段仍然無法抵銷加工過程中所排放之碳，生物質材料則可透過回收再利用或長期儲存方式減緩碳排放，由此顯示木竹材實為環保之碳儲存建材。

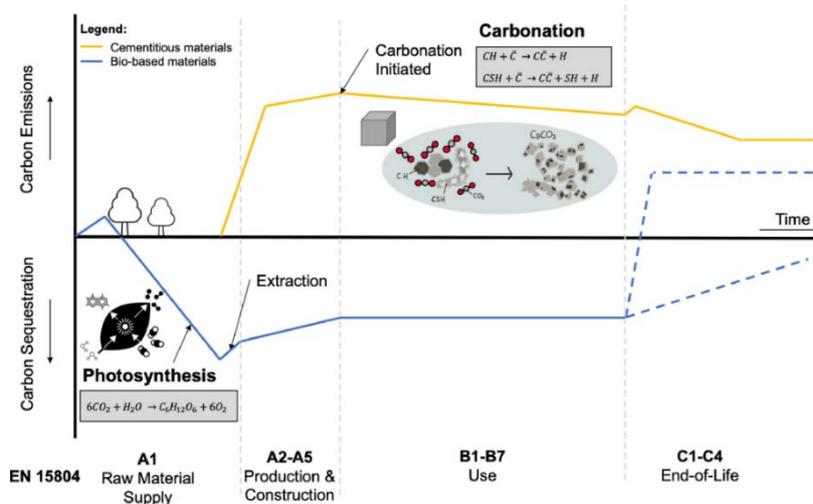


圖 1-1 水泥及生物質材料碳生命週期碳捕捉及碳排放趨勢

(資料來源：Arehart *et al.*, 2021)

近年來竹材的利用更被廣泛討論，竹材由於生長速度快，可於 3-5 年採收並

重新種植，相較於木材吸收二氧化碳效率更高，研究顯示竹林之碳吸存量為 $5.47 \pm 3.84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ，而針葉樹林和闊葉樹林分別為 $2.69 \pm 1.04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 與 $2.20 \pm 1.07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ；且竹材具備較高比強度，其高抗張及抗彎性能作為建材可符合更多元之設計運用，因此有效地應用我國特有豐富的竹資源成為淨零政策下的重要建築資材，更可視為我國淨零/低碳建築解方之一。

此外由於生長快速及比强度高關係，竹材價格較木材低，加工所需設備也較為簡易，竹產業可透過小型產業群聚達到少量訂製及多元加工成品，而不需要大型規模之木材加工廠及多層垂直產業鏈支撐。也因此竹材原本作為價格低廉材料於亞洲地區廣泛使用，近年來，歐美地區開始關注竹材作為建材的潛力，並逐步研發及採用竹材替代木材作為建築材料。惟竹材的化學組成與木材類似，其主要成分包括纖維素、半纖維素、戊聚糖（pentosans）和木質素。竹材中還含有蛋白質、脂肪和各種醣類，以及少量灰分元素。其中，蛋白質含量在 1.5%~6.0%之間，可溶性醣類為 2%，澱粉粒為 2.02%~5.18%，脂肪和蠟質為 2.18%~3.55%。然而，上述有機物質是昆蟲和微生物（如真菌）生長所需的養分。例如，木材腐朽菌需要纖維素、半纖維素和木質素來生長，而澱粉、蛋白質和醣等成分則是黴菌和竹囊蟲等昆蟲繁殖所需的營養成分（林書亨，2017）。如何減少竹材中的這些有機物質或添加化學藥劑以防止黴菌和昆蟲的生長，為發展竹建材之重要課題。

因此，為強化竹建材之利用，應針對竹建材防蟲蟻與抗黴技術加以研究，以發揮竹建材永續與環保之特性。同時，內政部建築研究所於 109 年 12 月 29 日以建研環字第 1090011399 號函修正「綠建築評估手冊(基本型)」，新增納入使用竹構造與竹建材相關加分規定，並自 110 年 1 月 1 日實施。具有耐久性能的竹建材設計運用與相關技術研發，可提供業界建材應用之參考，提高綠建築對環境之友善性與之可及性，並提升竹建材於永續綠建築產業之應用。

第二節 研究目的

本研究旨在建立竹建材的防蟲防黴關鍵技術，針對戶外用結構原竹建材和室內用竹板材進行相關的防蟲與抗黴技術研發，並對防蟲抗黴竹建材的各項基本性質進行全面的測定和評估。透過本研究的成果，我們期望能夠為業界在建築設計中選用竹建材提供重要的技術支援和決策參考。本研究透過系統性的實驗研究和性能評估，旨在深入瞭解竹材在不同環境條件下的抗蟲抗黴特性，並探索適用於竹建材的防蟲抗黴處理方法，從而提供業界在竹建材設計和應用中的實用指南和技術解決方案。我們將通過綜合分析和評估研究結果，為業界提供竹建材最適化製程處理指引，以確保竹建材的優異性能和長期使用的可靠性，同時推動低碳綠建築的發展，實現可持續建築產業的目標。歸納本研究目的如次：

- (一) 蒐集關於竹構造設計運用與相關技術研發的最新資訊。
- (二) 完成戶外用結構原竹建材及室內用竹板材之防蟲蟻與抗黴關鍵技術。
- (三) 完成防蟲蟻抗黴竹建材之各項基本性質測定，提出竹建材最適化製程處理指引(草案)，供業界作為綠建築設計採用竹建材之參考。

第二章 相關文獻資料彙整與分析

第一節 國內竹建築設計案例

「客家文化公園竹夢市集棚架」於 2015 年 10 月由大藏聯合建築事務所設計建造，設計圖如圖 2-1，選用台灣西部中海拔山區孟宗竹材，並以現代化技術設計標準化、系統化、搭建效率高之竹構系統，其構架系統運用竹材縱向纖維強度佳，及中空有節之特性，使材料成為承受軸荷之桁架系統，並可改善傳統耗費人力之榫接及綑綁法。標準化的接頭不僅增加強度，也克服竹材大小不一的難題，所有構件未來都可拆解更換或回收再利用。結構材料之孟宗竹經過煮沸殺青，裁切成合宜的竹桿，再組合成一架架單元構架，後續採用無毒安全的高溫乾燥處理，得以控制竹材的含水率，並以蜂蠟亞麻仁油塗裝。接頭系統利用不繡鋼纜線來纏繞，將竹接頭越拉越緊能預先防堵破壞，竹材雖然堅韌，卻有容易劈裂的缺點，竹接頭可在竹材劈裂前賦予橫向力，降低劈裂破壞可能性。

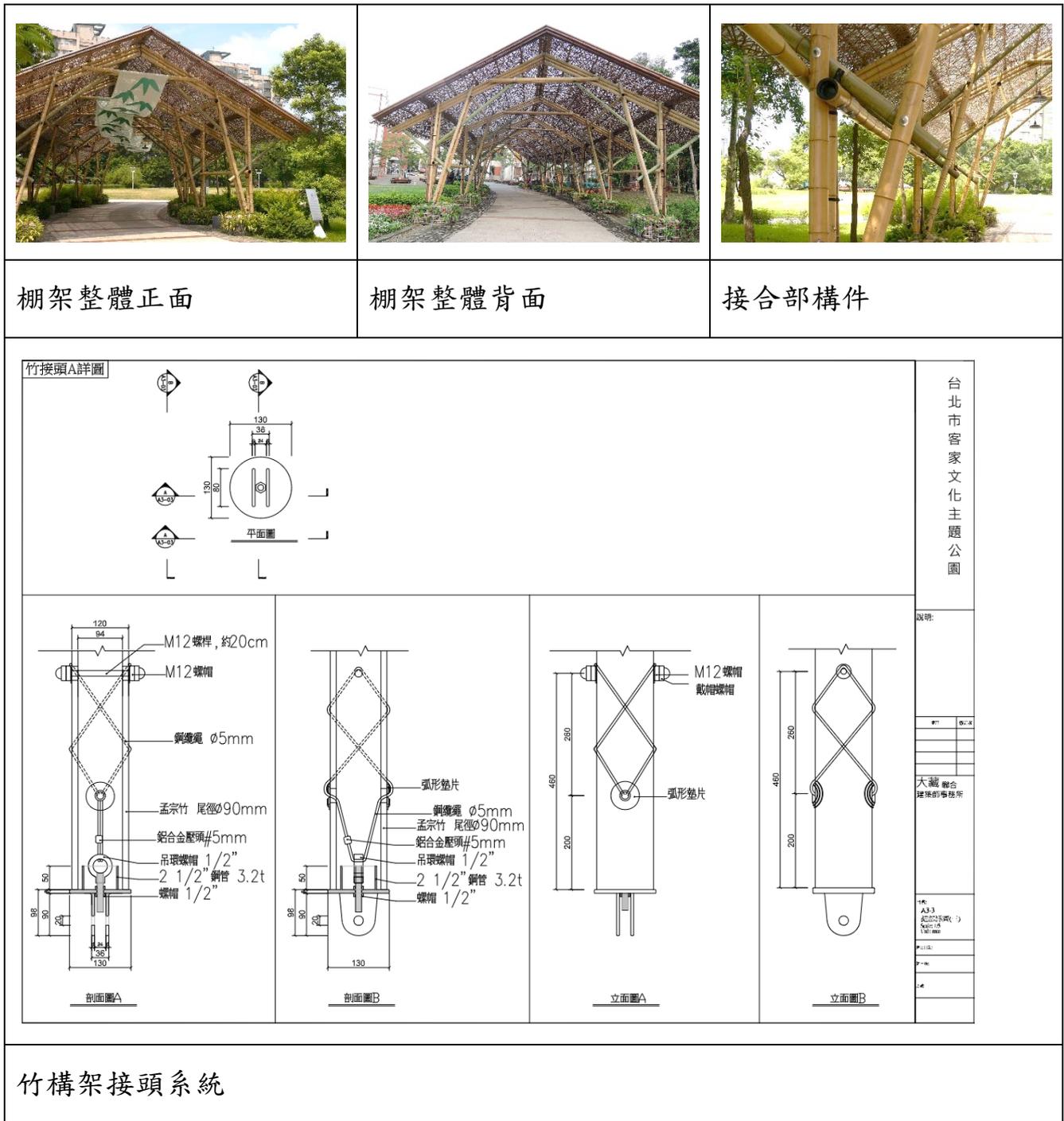


圖 2-1 客家文化公園竹夢市集棚架外觀及接頭系統設計圖

(資料來源：大藏聯合建築師事務所網站)

「長榮堂—長榮大學竹構集會堂」於 2022 年 09 月由大藏聯合建築事務所設計建造完成，設計圖如圖 2-2，選用桂竹及孟宗竹組合成環繞圓心的二十四組半月形竹桁架，每組竹桁架以鋼構為接頭，長度為 12 公尺，竹製桁架結構採用半月形設計，且大約在其三分之一的位置支撐於鋼筋混凝土(RC)柱之上。考慮到此

位置對結構強度的極大需求，桁架的下弦部分在此處設計為三層竹材結構。相對地，距離鋼筋混凝土柱較遠的另一端的下弦部分則採用雙層竹材。此設計方式體現了桁架內部的力學特性。而屋面板為輕鋼構骨架，包含天花板、隔熱材料及彎曲之防水夾板，皆於工廠預製並於現場吊裝。作為建材的竹材皆進行高溫乾燥處理，並由竹構師傅人工彎竹，放到模具上定型再組成桁架。

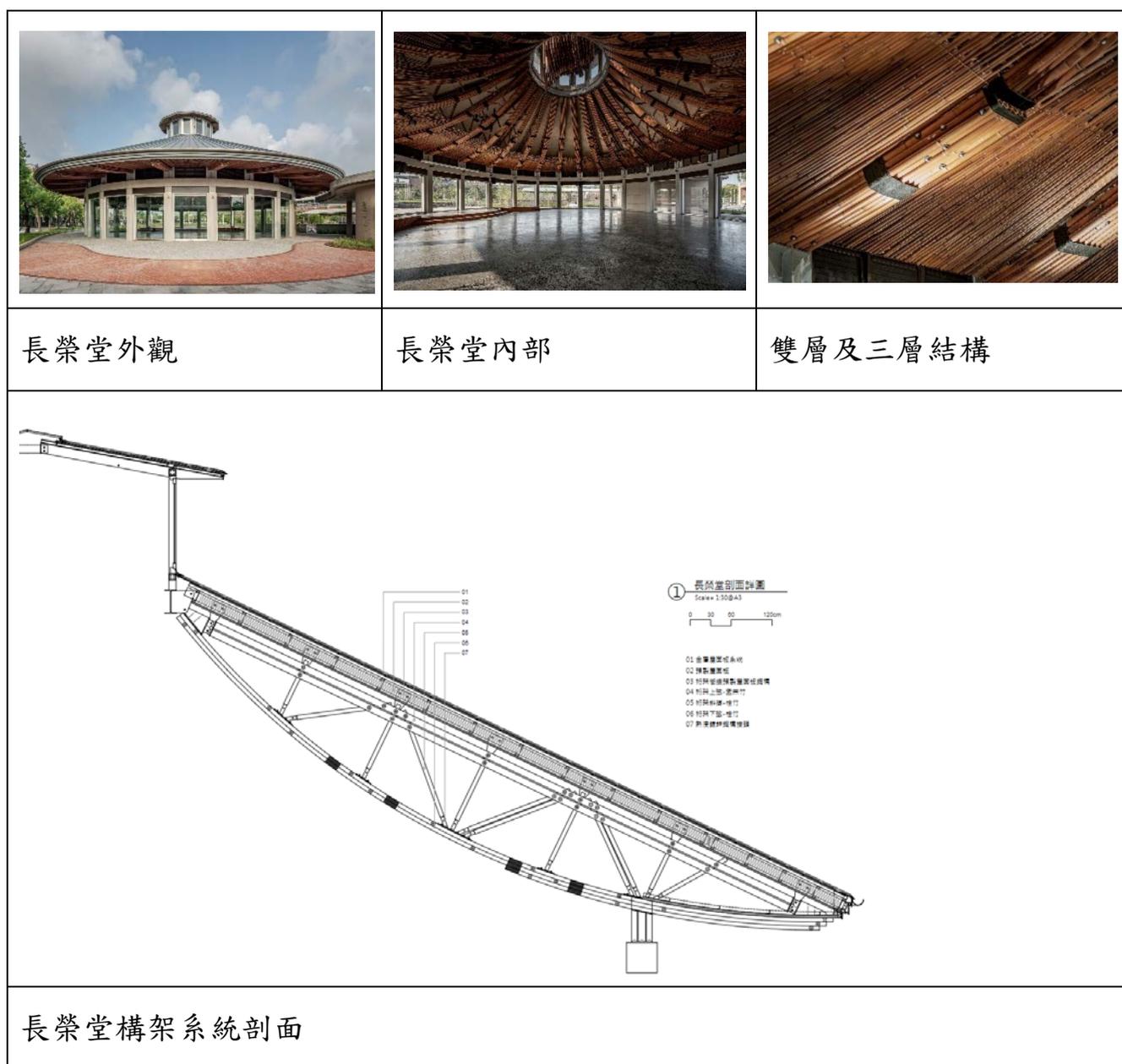


圖 2-2 長榮堂外觀及構架系統設計圖

(資料來源：大藏聯合建築師事務所網站)

「北門翼」於 2022 年 10 月由與木製研及原型結構工程顧問公司設計建造完

成，施工圖說如圖 2-3，整體架構選用直徑約 6.5 cm，長度最長 8.1m 之高溫乾燥國產桂竹，採用可轉向之萬向接頭及鋼板接頭之金屬連接件，並設計了最大懸挑 15 米的懸臂大出挑結構，而屋頂由 3 m 升高至 6m，主體設計後再經由「原型結構工程顧問」精密計算組件重量、結構分段型態及細節，最後採用單一基礎結構將構件集中，透過多向角度竹構件連接，藉由持續漸變的三角形竹管組合對夾龍骨，穩定整體系統。屋頂部分選用 PC 中空板，屋頂面積為 23×4 m，所使用金屬連接件則參考蛇口接頭進行改良，做出至多 7 根竹桿交會連接結構。

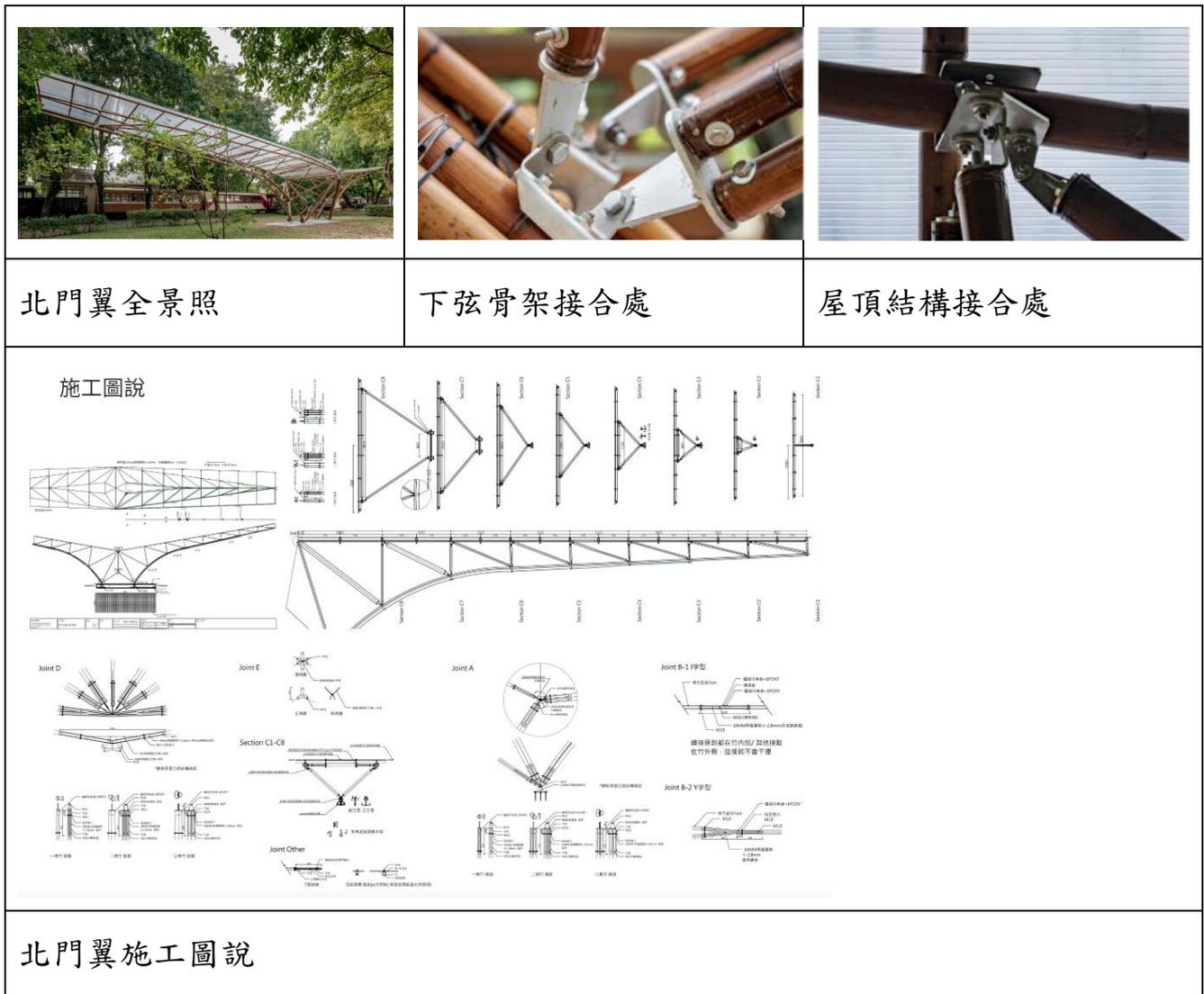


圖 2-3 北門翼全景外觀照片及施工圖說

(資料來源：構竹林鐵 2022_與木製研_北門翼)

「竹。之徑」於 2022 年由原型結構張家維設計建造完成，材料選用國產孟宗

竹及桂竹，設計圖如圖 2-4。主體構造為 3 根主弦桿，透過 21 道腹桿組成三角形相互連接。因此在設計上希望採用台灣傳統的竹包管作法，減少竹子的螺栓穿孔行為，以防止竹子穿孔過多之後發生劈裂破壞。由於三角管內部每根桿件的角度皆不同，因此在各個方向上均有形抗的作用，維持了整個形狀的穩定性。主體構造穩定後，為維持側向結構系統的穩定，添加側翼拱樑抑制側向變形，水平向度的系統也更穩定。而三角管內部每根桿件的角度皆不同，因此在各個方向上均有形抗的作用，維持了整個形狀的穩定性。(台灣竹會，2022)

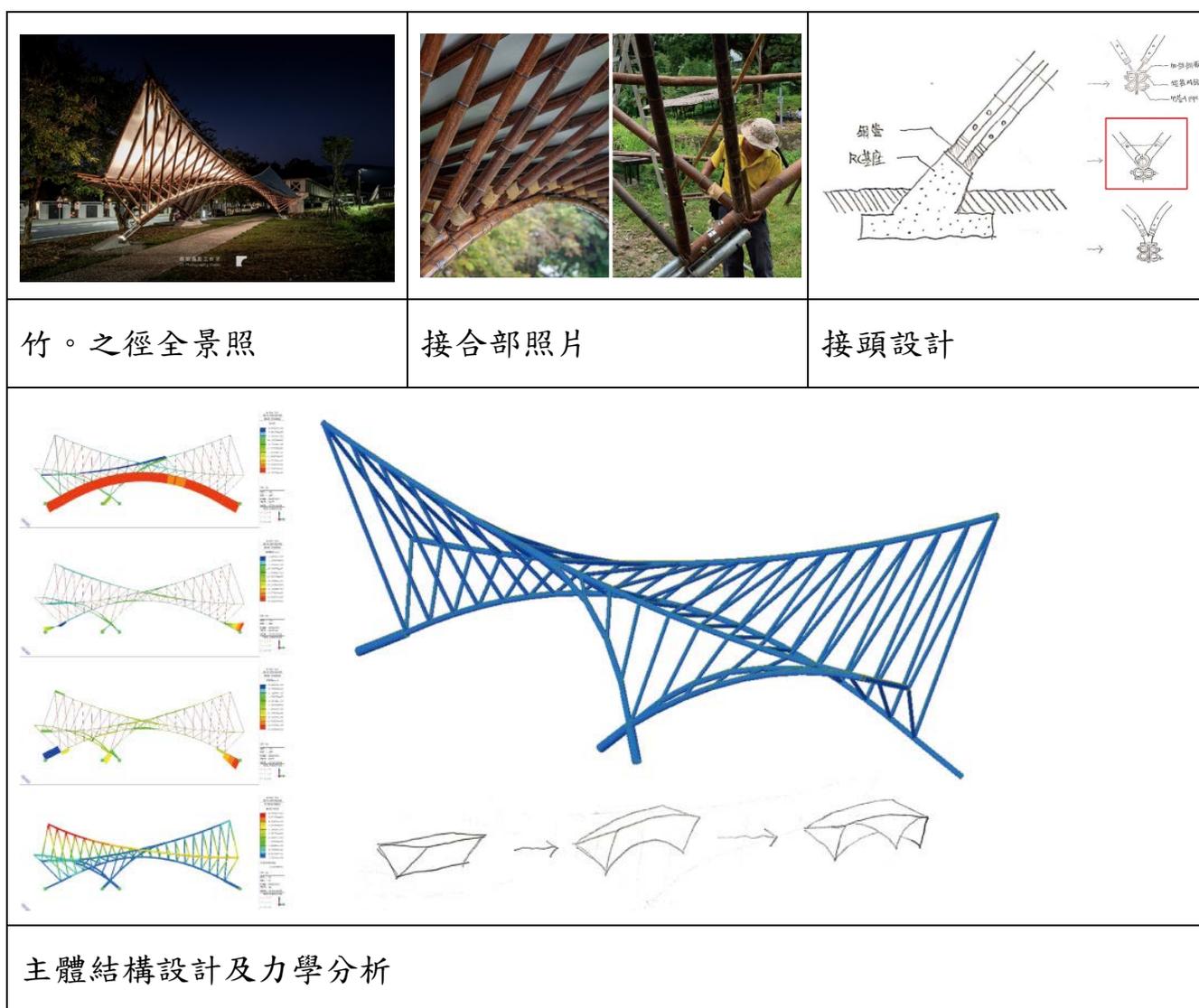


圖 2-4 竹。之徑全景外觀照片及結構設計力學分析

(資料來源：構竹林鐵 07 | 專訪-綠媒體)

第二節 國際竹建築設計案例

「Nocenco Café」於 2018 年由 Vo Trong Nghia Architects 設計建造完成，設計圖如圖 2-5。位於越南 Vinh 市中心的一棟現有七層混凝土建築屋頂上方。設計特點為兩個曲線形的竹製天花板被堆疊，製作出哥德式 and 越南風格的彎曲竹屋頂。於咖啡廳的第一層安裝十根竹柱以隱藏現有結構，並增加了四根柱子，創造類似洞穴之空間並將其劃分為不同的私人區域。由於竹材於熱帶地區為常見材料，因此減少施工時間及預算，且竹材質輕特點使施作較為便利，可使用起重機快速運送至七層樓高進行組裝作業。



圖 2-5 Nocenco Café 全景外觀照片及設計圖

(資料來源：Vo Trong Nghia Architects 官方網站)

位於越南的「Grand World Phú Quốc 接待中心」於 2021 年 4 月由 Vo Trong Nghia Architects 設計建造完成，設計圖如圖 2-6。設計理念為建立具越南文化之標誌性建築。建造團隊運用 42,000 根竹子構築佔地達 1,460 平方公尺的大型場域，整體結構包含拱門、圓頂與網格系統，其外觀呈現上邊長、下邊短的梯形狀，左右兩邊則為弧線，內部則利用竹材向內彎曲聚攏為拱狀，打造具「包覆感」環境，除圓拱造型之外，有些竹材被彎製呈不規則狀，作為越南傳統蓮花、銅鼓之意象。竹材皆為天然伐採後進行乾燥，並未經化學改質，構件間運用繩索及竹釘連結，而未使用金屬連接件，充分展現越南傳統竹構造工法。

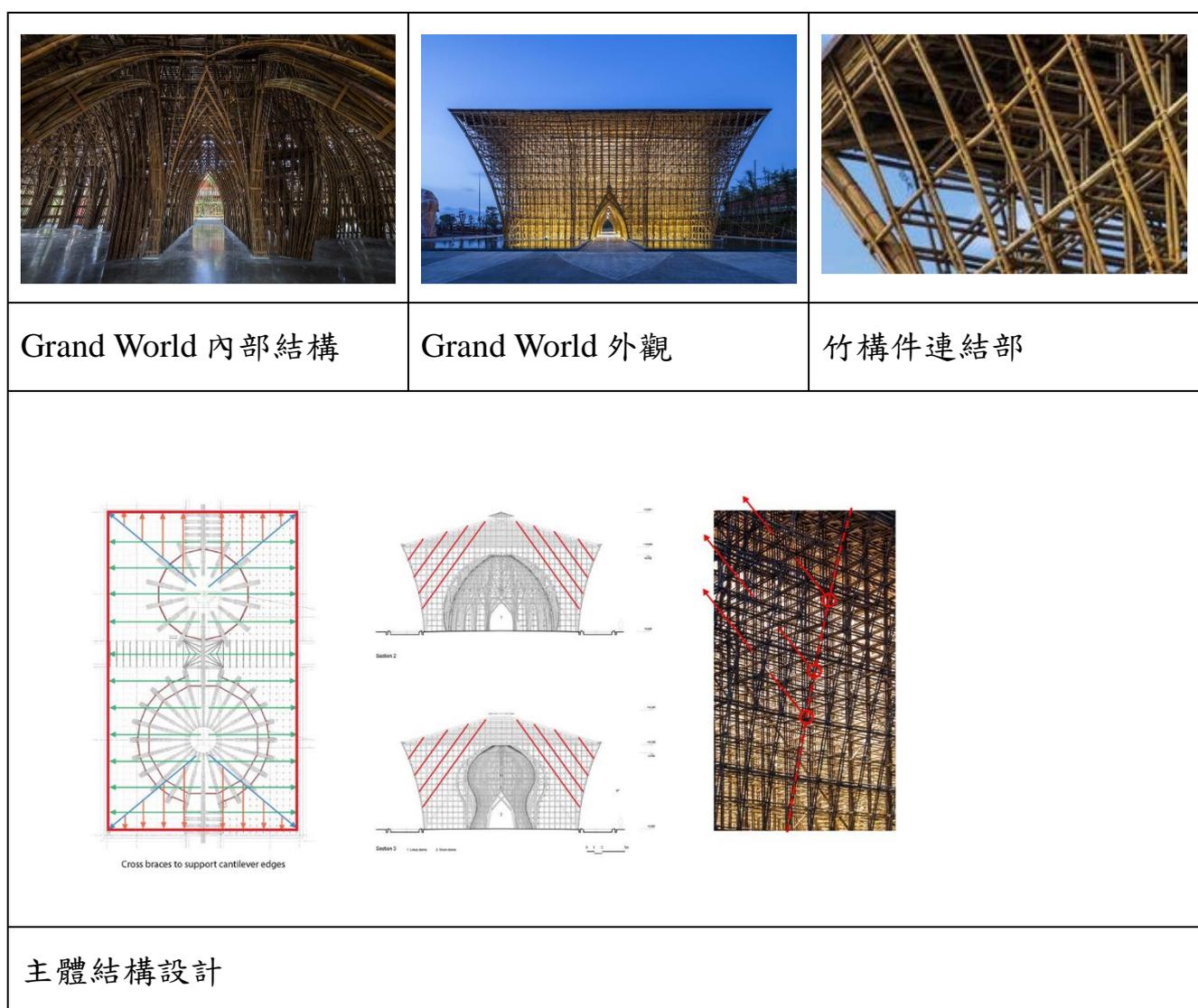


圖 2-6 Grand World Phú Quốc 全景外觀照片及設計圖

(資料來源：Alyn Griffiths, De zeen)

「Panyaden International 竹構體育館」於 2017 年由 Chiangmai Life Architects 設計建造完成，設計圖如圖 2-7。設計理念為以蓮花為基礎，由於 Panyaden 國際學校位於泰國清邁，傳統信仰佛教，而蓮花為佛教重要意象，因此採用三層屋頂呼應蓮花花苞，並覆蓋木瓦作為防水用，由於屋頂結構的縫隙和開放的牆壁使大廳全年自然通風，不需人工空調系統。內部構造已考慮載重、引張力及剪切力，確保可承受當地氣候及地震等天然衝擊，為長期使用竹材伐採後預先進行硼砂改質處理，增加其耐生物劣化性能，桁架跨度最大為 15 m，採用預鑄工法先將桁架於工廠搭建完成，完成地基後直接使用起重機吊裝組裝完成。

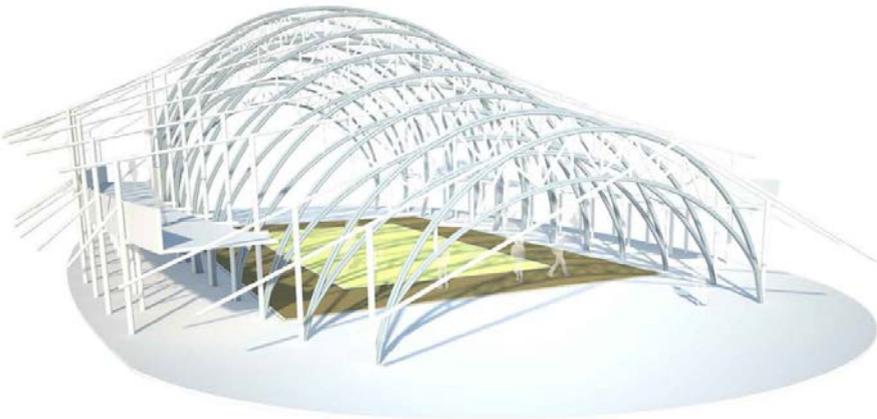
		
竹構體育館外觀	桁架系統	接合構造
		
外觀模擬圖		

圖 2-7 Panyaden International 竹構體育館外觀照片及模擬圖

(資料來源：Stephie Chiu, Shopping design)

位於印尼之「Piyandeling 工藝坊」於 2021 年由 Realrich Architecture Workshop - RAW Architecture 設計建造完成，設計圖如圖 2-8。為了簡化施工流程，Piyandeling 的採用建築外殼為管狀設計，而室內則為方形設計。為了抵擋來自北方的強風，因而選擇了管狀設計作為保護策略，轉移並降低風速。建物周圍使用 $3\text{ m} \times 6\text{ m}$ 的再生塑膠壁板覆蓋保護內部的竹子結構，而壁板可以輕鬆打開，此外壁板是利用回收廢料重新製作而成。而周圍壁板保護結構形成了一條 800 mm 的走廊，具有雙交叉空氣通風和雙層牆隔熱功能，且通往建築物的核心居住空間。透過回收廢料及竹材兩種建材結合，融合成了對傳統和更工業化的方法。

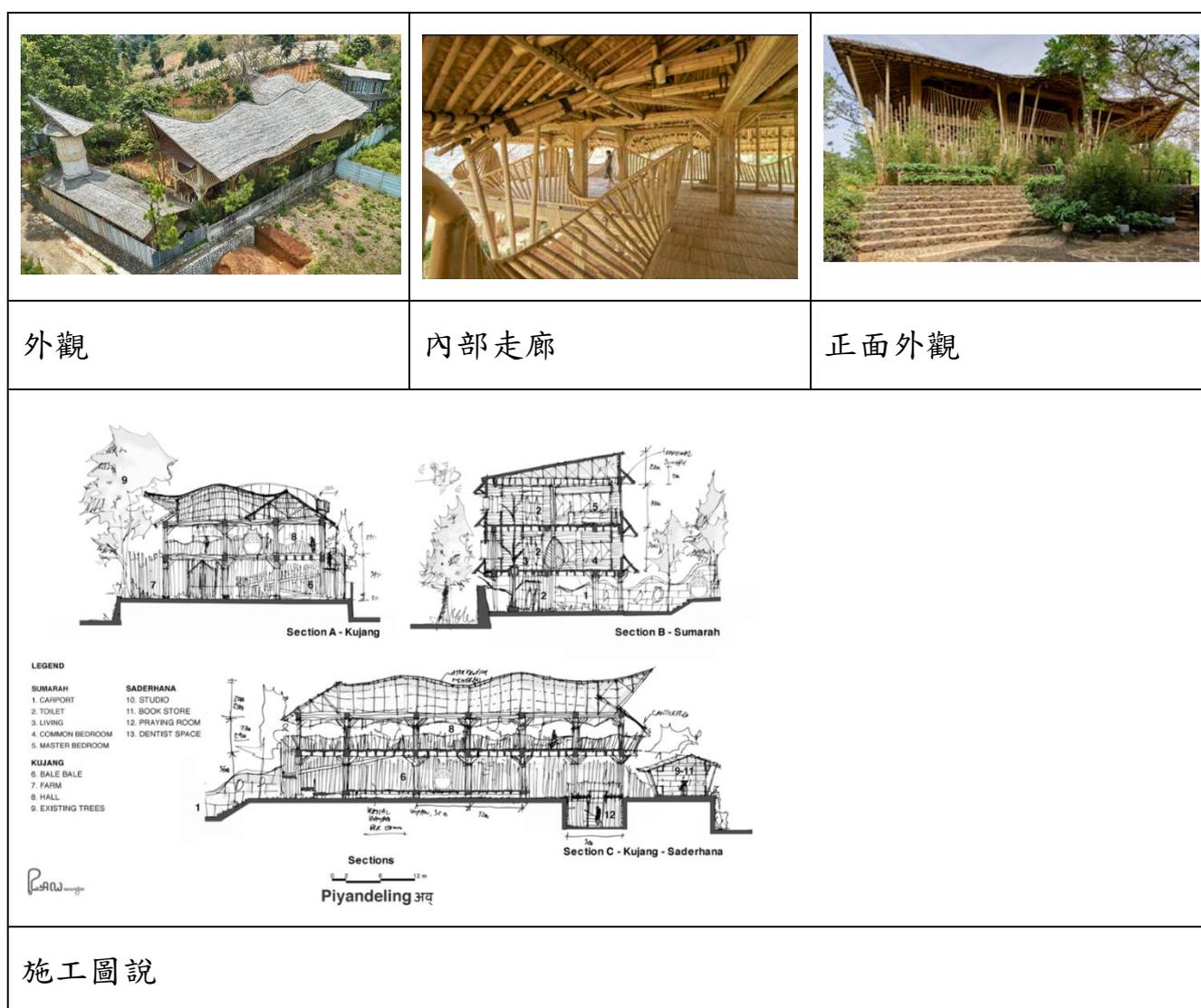


圖 2-8 Piyandeling 工藝坊外觀照片及模擬圖

(資料來源：Realrich Architecture Workshop - RAW Architecture 官方網站)

第三節 竹材構造系統

竹材構造系統可分為結構系統及非結構系統，如圖 2-9，由於竹材為軸向壓力與拉力較佳之材料，若能發揮竹材優點，便可製成更有效率之結構系統，依竹材受力情況可分為 5 種系統，分別為受壓之拱系統；受拉之吊索結構；受軸力之桁架；型抗結構的薄殼；成載重量之柱樑系統，由於竹材非均質，因此也常有同時具備多種系統之構造。而除了結構系統外，竹材也可透過竹片、竹展開板、竹管或編織竹網等形式，製作成屋頂、天花板、地板及牆面等非結構系統。

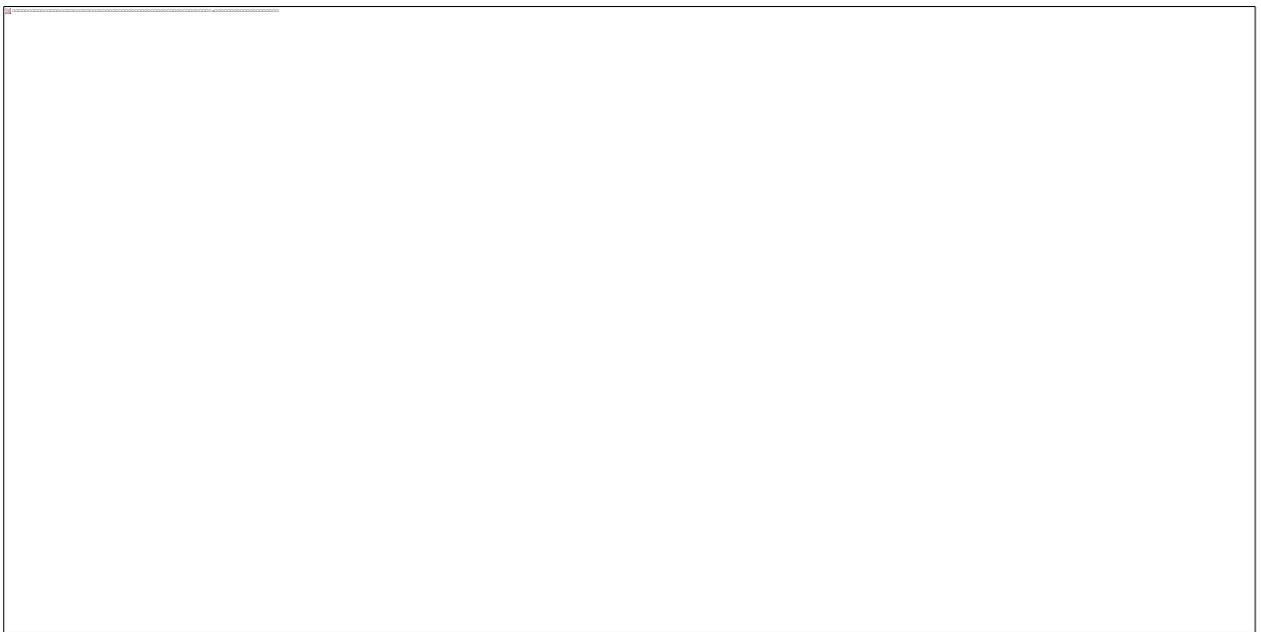


圖 2-9 竹材構造系統

(資料來源：從竹子到竹房子 給所有人的構竹指南)

第四節 常見之竹材抗真菌與防蟲處理

黃世孟 (2003) 收集國內竹材常見之竹材防腐與防蟲處理，我國常用防腐處理為焦油；油溶性防腐藥劑包含環烷酸銅、奎磷酸銅及 AAC；水溶性防腐藥劑包含 ACA、ACZA、AAC、CCA (已被禁用)；水溶性無機硼包含硼砂及硼酸；以及木材常用之水溶性藥劑 ACQ。其中實際訪查國內業者發現礙於設備成本、

技術支援、藥劑取得難易的考量，主要以焦油及 CCA 為主，然而焦油處理外觀不佳，CCA 現已禁止使用，而上述提及之防腐藥劑不乏砒霜、重金屬等劇毒成分，且竹材為價廉之購材，因此近幾年來許多國家均重新檢討防腐劑使用的潛在問題。

銅系化學藥劑成分中銅主要為殺菌劑 (Bactericide) 和真菌抑制劑 (Fungicide) (Vani *et al.*, 2022)，銅為非專一性蛋白質變性劑。銅離子會與真菌酵素上的氫硫基(-SH)作用 (李敏郎, 2009; Rai *et al.*, 2018)，導致真菌酵素及細胞壁蛋白質變性，進而達到真菌抑制作用。水溶性無機硼類藥劑成分中硼同樣為抗菌及抗蟲主要成分，且硼具有一大優勢，對於哺乳動物毒性較低，但可有效毒殺真菌及昆蟲，(Vani *et al.*, 2022) 具有價格便宜特點廣受竹加工廠做為保存處理使用。而油溶性之環烷酸銅於1986年報告 (De Groot and Stroukoff, 1986) 中便做為木材防腐藥劑使用，及非銅系藥劑之環烷酸鋅也已有使用一世紀歷史 (Evans, 2013)，此類藥劑為原油提煉副產物，市售產品中通常以疏水性乾性油作為溶劑，若以其他輕質有機溶劑作為溶劑反而防腐效果不佳 (Barnes and Murphy, 1995)，因此塗布後須有放置時間，待溶劑乾燥成膜後使用。

第五節 非化學改質方式竹材防腐與防蟲處理技術

林書亨 (2017) 列舉其他竹材非化學改質方式，如天然乾燥、人工乾燥、高溫乾燥、水浸法及煙燻法。天然乾燥是將竹材在自然環境中進行風乾的過程，透過這種方法，竹材中的水分可以慢慢蒸發，使竹材乾燥並具有較低的水分含量。此方法對環境友好，避免了化學藥劑的使用，同時可保留竹材的天然特性，然而天然乾燥需要較長的時間，且容易受到氣候和環境條件的影響，因此在實際應用中可能需要考慮時間和效率的問題；人工乾燥是通過將竹材置於特定的烘乾設備中，控制溫度和濕度，以加速竹材的乾燥過程，可提高乾燥的效率並縮短乾燥時間，但需要相應的烘乾設備和能源投入；高溫乾燥是將竹材暴露在高溫環境中，以加速水分的蒸發。高溫乾燥可以改變竹材的化學成分，提高其抗蟲蟻和抗黴菌

的能力，同時也有助於降低竹材的含水率，但過高的溫度可能對竹材造成損害，需要在控制適當的溫度範圍內進行；水浸法是將竹材浸泡在水中，以去除竹材中的澱粉，減少蟲害和黴菌的滋生。可提高竹材的抗蟲蟻和抗黴菌性能，但同樣需要注意浸泡的時間和浸泡液的成分；煙燻法則是將竹材暴露在煙燻的環境中，通過煙燻的物質和熱度處理，達到防蟲和防黴的效果，煙燻法可以改變竹材的表面特性，提高其抗蟲蟻和抗黴菌的能力，而煙燻的介質和方法需要適當的控制，以確保竹材不受過度熏燻或有害物質的影響。上述方式減少加工階段對人類及環境危害，也解決由化學藥劑廢液和處理過後產生的竹材廢料帶來的環境問題，然而若沒有長期維護，於戶外使用則須考慮使用年限及耐久性產生之安全風險。

非化學改質方式，如天然乾燥、人工乾燥、高溫乾燥，主要機制係竹材內部富含澱粉及蛋白質，為真菌及蟲蟻生長營養物質，因此透過蒸煮乾燥等步驟減少竹材內部碳水化合物被視為有效提升竹材生物抗性之方式 (Sun *et al.*, 2013)，如 Wang *et al.* (2020) 使用高溫乾燥處理孟宗竹，當使用 140°C 溫度乾燥後，竹材抗彎強度及抗彎彈性模數相對於未處理組反而有上升趨勢，並且降低竹材平衡含水率，Li *et al.* (2022) 則整理不同介質進行高溫熱處理技術，其中包含空氣熱處理、蒸氣熱處理、水熱處理及油熱處理，經過高溫處理後竹材表面顏色加深，且疏水性增加，推測為半纖維素及纖維素受高溫降解，而木質素高溫聚合產生醜體所致，由於疏水性增加使材料平衡含水率降低，抑制真菌生長達到抗菌效果。

第六節 各國木材抗白蟻性試驗的相關標準

國際間幾乎無對於竹材抗白蟻及抗黴菌效果評估標準，主要規範對象為木材，過去研究常參考木材相關標準進行竹材耐久性試驗，如白蟻性能方面， Brito *et al.* (2020) 進行改質竹片抗白蟻性能評估參考 ASTM D-3345，試驗方法與我國 CNS 標準差異處在於為除單一試材進行絕對性蝕害試驗外，也有雙重條件之選擇性試驗，取兩種條件做為白蟻蝕害目標，藉以評估白蟻偏好或忌避材料，此外白蟻非計數量而以重量為試驗標準，取 1 ± 0.05 g 白蟻進行試驗，兵蟻比例 1-3%，

試驗時間為 4 週，蝕害程度之評級方式主要依表面蛀蝕程度分為 0-10 級，如圖 2-10 所示。

Rating	Block Description	Image
10	Sound, surface nibbles permitted	
9	Light attack	
7	Moderate attack, penetration	
4	Heavy	
0	Failure	

圖 2-10 ASTM D-3345 白蟻蝕害程度評估基準表

(資料來源：ASTM D-3345)

Dong *et al.* (2021) 進行竹材抗白蟻性能評估參考中國標準 GB/T 18260-2015，試驗方法與我國 CNS 標準相異為白蟻非計數量而以重量為試驗標準，係取 3 g 約 1000 ± 100 隻白蟻進行試驗，試驗時間為 4 週，蝕害程度之評級方式主要依表面蛀蝕程度分為 0-10 級，如表 2-1 所示。

表 2-1 GB/T 18260-2015 白蟻蝕害程度評估基準表

試樣完好等級	試樣蛀蝕狀態和程度
10	完好
9.5	微痕蛀蝕，僅有 1-2 個紋路或蛀痕
9	輕微蛀蝕，截面面積有 <3% 明顯蛀蝕
8	中等蛀蝕，截面面積有 3%~10% 蛀蝕
7	中等蛀蝕，截面面積有 10%~30% 蛀蝕
6	嚴重蛀蝕，截面面積有 30%~50% 蛀蝕
4	非常嚴重蛀蝕，截面面積有 50%~75% 蛀蝕

(資料來源：GB/T 18260-2015)

前述標準主要以目視外觀做為評估蝕害程度之評級標準，另外與我國 CNS 標準相同有採用材料質量減少率為評估標準，Febrianto *et al.* (2014) 評估竹片抗白蟻性能則參考印度尼西亞國家標準 SNI 01.7207-2006，白蟻數量為 200 隻，試驗時間為 4 週，試驗後量測材料質量減少率並記錄白蟻死亡率，依表 2-2 所示做為評估基準。

表 2-2 SNI 01.7207-2006 白蟻蝕害質量評估基準表

Rating	Mass loss (%)
I	< 2.0
II	2.0-4.4
III	4.4-8.2
VI	8.2-28.1
V	>28.1

(資料來源：SNI 01.7207-2006)

第七節 各國木材抗黴菌性試驗的相關標準

抗黴菌性能方面，我國國家標準為 CNS 16065，以目視外觀評估真菌生長程度，如表 2-3 所示依菌絲分布分為 3 等級，藉此評估抗黴菌效果。若表面完全觀察不到菌絲發育，則為 0 級，若觀察到菌絲，但面積未超過 1/3 則為 1 級，超過 1/3 則為 2 級。

表 2-3 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準表

菌絲之發育	結果表示
在試片之接種部份，觀察不到菌絲之發育	0

在試片之接種部份所觀察到菌絲之發育部分之面積未超過全面積之 1/3	1
在試片之接種部份所觀察到菌絲之發育部分之面積超過全面積之 1/3	2

(資料來源：CNS 16065)

Hao *et al.* (2021) 參考中國標準 GB/T 18261-2013 進行竹材表面抗黴評估，如表 2-4 及表 2-5，與 CNS 相似，同樣以黴菌感染面積為基準，分為觀察不到菌絲感染 0 級，以及感染面積每 1/4 分為一級，最高 4 級。此外 GB/T 18261-2013 標準除了黴菌於材面表面生長程度分級外，另外將材料表面黴菌刷除後，評估材面變色程度，依據材面及內部顏色變化，同樣分為五級。

表 2-4 GB/T 18261-2013 黴菌生長程度評估基準表

感染值	試樣感染面積
0	試樣表面無菌絲、黴點
1	試樣表面感染面積 < 1/4
2	試樣表面感染面積 1/4~1/2
3	試樣表面感染面積 1/2~3/4
4	試樣表面感染面積 > 3/4

(資料來源：GB/T 18261-2013)

表 2-5 GB/T 18261-2013 試樣材面變色評估基準表

變色分級	試樣變色程度
0	試樣表面顏色正常，內部顏色正常
1	試樣表面僅少數變色斑點，最大變色斑點直徑不超過 2 mm，內部顏色正常
2	試樣表面明顯變色，連續變色表面積達到 1/3，或非連續變色或呈條帶狀變色面積達到 1/2，內部顏色正常
3	連續變色面積超過 1/3，或非連續變色或呈條帶狀變色面積超過 1/2，內部變色面積 < 1/10
4	試樣表面變色面積 > 3/4，內部變色 > 1/10

(資料來源：GB/T 18261-2013)

Yang *et al.* (2019) 進行竹材表面抗黴評估參考 ASTM D-4445，如表 2-6，與前述標準相似，同樣以黴菌生長面積為基準，分為六等級，觀察不到菌絲感染 0 級，隨黴菌生長面積增加，最嚴重到 5 級。綜合前述，抗黴性評估主要係以目視外觀評估真菌生長程度為主。

表 2-6 ASTM D-4445 黴菌生長程度評估基準表

Rating	Percentage Area of Growth	Intensity of Visible Growth
0	No growth on the surface	Spores not activated
1	Up to 10% growth on the surface	Initial stages of growth
2	Between 10 and 30% growth on the surface	New spores produced
3	Between 30 and 50% growth on the surface	Moderate growth
4	More than 50% growth on the surface	Plenty of growth
5	Very heavy and tight growth	Coverage around 100%

(資料來源：ASTM D-4445)

第三章 研究方法與進度說明

第一節 研究採用之步驟與方法

本研究首先進行文獻收集與分析歸納，整理國內外對於木竹構造設計運用與相關技術研發之文獻，建立研究的理論基礎。選用戶外建材中常見國產孟宗竹桿，以及室內裝修中使用的竹地板材作為評估對象，針對兩種材料的使用環境與目的評估適合之抗蟲蟻與抗黴技術，究明不同抗蟲蟻與抗黴處理的最佳製程，以作為未來竹建材加工處理之依據。最後在積極作為上，透過防蟲蟻抗黴竹建材之各項基本性質測定，提出竹建材最適化製程處理指引（草案），供業界作為綠建築設計採用竹建材之參考，進一步創造低碳綠建築環境，研究架構如圖 3-1 所示。

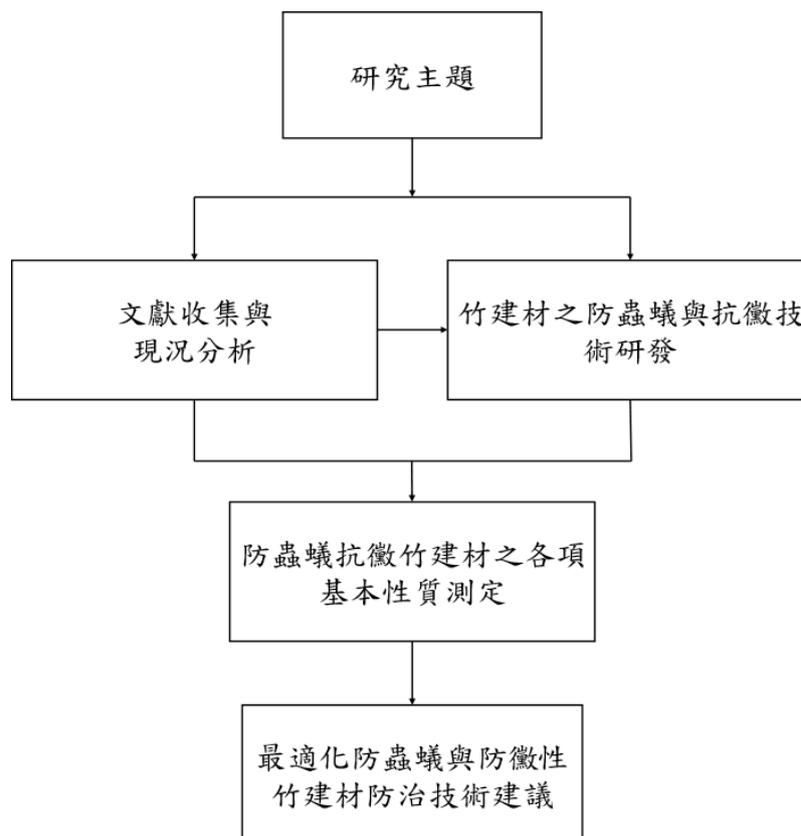


圖 3-1 試驗架構圖

(資料來源：本研究整理)

1. 文獻彙整與分析

本研究首先彙整與分析國內外木竹構造設計中有關竹材防蟲與防黴性之相關文獻，作為本研究執行之參考。

2. 研發防蟲與抗黴竹建材

a. 試驗材料

本研究以戶外建材常見之國產孟宗竹桿及室內裝修用竹地板材為研究對象。抗蟲蟻技術依使用目的不同，戶外用之孟宗竹桿選用 CNS 14495 中適合於加壓注入處理之硼化合物與銅、烷基銨系化合物 (Copper, Ammonium Quat) 防腐劑進行化學藥劑改質，並依據國家標準危害分級進行 K1-K4 藥劑處理，另外竹桿表面使用護木漆及環烷酸鋅進行塗佈。室內裝修用竹地板材考量與人體之接觸無危害性，參考 CNS 16159 熱改質木材定義之熱改質技術，以 160-220°C 高溫處理，同時參考前人研究於膠合劑中添加硼化合物之方法增進竹板拼接時之抗蟲蟻性。

b. 防蟲及抗黴性能評估

製備完成材料將進行防蟲以及抗黴性試驗以判定是否符合 CNS 標準之要求。抗蟲方面參考 CNS 15756 木材抗白蟻性試驗法，取台灣家白蟻 (*Coptotermes formosanus*)，一個飼育容器內置於入工蟻 150 隻與兵蟻 15 隻進行 21 日蝕害試驗。抗黴性參考 CNS 16065 木竹材之抗黴性試驗法，採用黴菌包含第 1 類：黑麴菌 *Aspergillus niger*、第 2 類：檸檬黃青黴 *Penicillium citrinum*、第 3 類：米根黴 *Rhizopus oryzae*、第 4 類：芽枝狀枝孢菌 *Cladosporium cladosporioides*、第 5 類：球毛殼菌 *Chaetomium globosum*。

3. 防蟲及抗黴性竹建材之性能評估

前一階段所研發之抗蟲蟻與防黴性試材，將分析其基本性質，包含密度、含水率、膠合性能、甲醛釋出量、抗彎強度等，均依其相關 ISO 或 CNS 標準進行試驗。分別為 ISO 22157-8 竹材密度試驗法、ISO 22157-7 竹材含水率試驗法、ISO 22157-12 竹材垂直纖維向抗彎試驗，竹集成材另依 CNS 11029 裝修用集成材進行膠合性能及甲醛釋出量評估。

4. 專家座談與諮詢

本研究於期中與期末報告前召開專家座談與諮詢，彙整專家意見，精進研究成果。

第二節 目前已完成進度

(一) 文獻彙整與分析

本研究中以進行竹材抗蟻及抗黴試驗方法條件評估，包含常見之竹材防腐與防蟲處理，並收集前人文獻案例，了解不同國家抗蟲及抗黴性能標準試驗方法及條件，相關內容已於第二章相關文獻資料彙整與分析已詳述於本期末報告 p.5。

(二) 試驗規劃與試材準備

已完成戶外用孟宗竹桿伐採、清洗、乾燥及防蟲防黴製備，包含竹片硼系、銅系藥劑注入，以及護木漆及環烷酸鋅表面塗佈，以及竹桿材銅系藥劑注入，以及護木漆及環烷酸鋅表面塗佈，研究方法已詳述於本期末報告 p.21。

(三) 防蟲及防黴性試驗評估

已完成抗白蟻性試驗及抗黴性試驗，抗白蟻性試驗初步研究成果與發現已詳述於本期末報告 p.25，抗黴蟻性試驗初步研究成果與發現已詳述於本期末報告 p.31。

(四) 防蟲及抗黴性竹桿材性能評估

已完成戶外用孟宗竹桿藥劑注入性能評估，研究成果與發現已詳述於本期末報告 p.32。

(五) 防蟲及抗黴性竹集成地板材性能評估

已完成孟宗竹集成地板材性能評估，研究成果與發現已詳述於本期末報告 p.35。

第四章 研究成果與發現

第一節 防蟲處理竹材抗白蟻性能

本研究將國產孟宗竹桿進行不同防蟲處理，並進行抗白蟻性能評估，經 21 日白蟻蝕害試驗後結果如表 4-1 所示，未經防蟲處理 (Untreated) 竹材質量減少率為 9.85%，質量減少量為 165 mg，白蟻致死率 90%，此結果與鄭雅文等 (2023) 研究相似，未加工處理竹材白蟻質量減少量為 139.3-175.3 mg，而本研究中參考 CNS 15756 木材抗白蟻性試驗法，使用柳杉邊材對照組作為白蟻活性評估基準，確認試驗有效性，結果也顯示質量減少率為 22.6%，超過 CNS 15756 標準中，質量減少率應大於 15% 基準方為有效，顯示本研究所採用之白蟻活性佳，其抗白蟻性能結果可客觀評估防蟲處理竹材生物耐久性。

硼化合物系藥劑為常見竹材防蟲處理藥劑，王守範及謝堂州 (1966) 報告便針對竹材於不同處理法下藥劑吸收量進行一系列研究，顯示我國使用硼化合物系藥劑作為竹材防蟲藥劑已久，本研究使用硼酸 (Boric acid) 進行竹材防蟲處理，並參考 CNS 3000 加壓注入防腐處理木材標準，依吸收量分為 2 種危害等級，分別為 K1 (硼酸 1.2 kg/m³ 以上) 及 K2 (硼酸 8.0 kg/m³ 以上)，由表 4-1 結果顯示經硼化合物系藥劑處理竹材，質量減少率為 0.90% (K1) 及 1.08% (K2)，質量減少量為 20 mg (K1) 及 22 mg (K2)，皆符合 CNS 15756 木材防腐防蟻劑抗白蟻性品質標準中，室內試驗注入處理品質 (質量減少率 3% 以下)，硼化合物系藥劑進行竹材防蟲處理具有顯著效果。此外，白蟻死亡率為 92.7% (K1) 及 93.3% (K2)，顯示硼化合物具有毒殺白蟻效果，藉此達到防蟲效果。

銅、烷基銨系化合物 (ACQ) 為木材常見之防腐藥劑，係近年來常用之新型水性生物耐久性改質藥劑，而本研究使用 ACQ 進行竹材防蟲處理，並參考 CNS 3000 加壓注入防腐處理木材標準，依吸收量分為 2 種危害等級，分別為 K3

(ACQ 2.6 kg/m³ 以上) 及 K4 (ACQ 5.2 kg/m³ 以上)，由表 4-1 結果顯示其質量減少率為 3.77% (K3) 及 0.96% (K4)，質量減少量為 80 mg (K3) 及 19 mg (K4)，其中 K3 危害等級處理竹材未達到抗白蟻性品質標準，而 K4 危害等級處理則具有顯著抗白蟻性，顯示高注入量銅、烷基銨系化合物藥劑改質，為有效之竹材防蟲方法。此外，白蟻死亡率為 84.0% (K3) 及 91.3% (K4)，白蟻死亡率高，顯示銅、烷基銨系化合物亦具有毒殺白蟻效果，藉此達到防蟲效果。

護木漆亦為常見之木材保存塗料，本研究使用市售戶外木結構用護木漆 (TT360-60-13 德寶水性護木漆-亮光柚木色) 進行塗布，由表 4-1 結果顯示其質量減少率為 3.92%，質量減少量為 73 mg，結果顯示使用護木漆塗布處理竹材雖然未達到抗白蟻性品質標準，但相對於未處理的竹材，質量減少率已明顯降低，由於護木漆主要係於材料表層形成塗膜，阻隔外界水分、紫外光及生物性危害，而材料內部未進行化學性改質處理，因此對白蟻較無毒殺或忌避效果，若白蟻透過蝕害使護木漆塗膜產生孔隙，便可能形成通道而造成材料危害，就白蟻死亡率而言，相較於未處理竹材有較高情形，則可能是塗膜本身白蟻無法消化或有毒而死亡所致。

環烷酸鋅為防腐藥劑 (CNS 14495)，而實際操作上也可做為塗料，本研究使用市售環烷酸鋅木材防蟲防腐塗料 (XJTM 木材抗菌防護漆 (PROTIM Solignum XJ CLEAR TIMBER PROTECTIVE)) 進行塗布，由表 4-1 結果顯示環烷酸鋅質量減少率為 1.32%，質量減少量為 26 mg，符合 CNS 15756 木材防腐防蟻劑抗白蟻性品質標準中，室內試驗注入處理品質 (質量減少率 3% 以下)，經環烷酸鋅塗布竹材具有顯著防蟲效果，而白蟻死亡率為 55.3%，甚至低於未處理竹材，此結果可觀察到兩種現象，白蟻幾乎無蝕害環烷酸鋅塗布竹材，而死亡率偏低，同時因無蝕害，故對白蟻並無毒殺效果；此外環烷酸鋅塗布較未處理死亡率低，推測竹材成分與木材相異，白蟻雖可蝕害，但竹材成分對白蟻生存可能有負面效果，使白蟻死亡率偏高，此結果需要進一步進行行為學觀察分析，或透過雙條件選擇性

試驗做進一步評估。

除國產孟宗竹桿進行藥劑注入及塗布防蟲處理外，本研究另設計常做為室內裝修用之竹地板材為研究對象。本研究使用異氰酸酯乳膠將竹片集成元集成，並於膠合劑中添加 0.2%_{wt} 硼酸，增加防蟲效果，由表 4-1 結果顯示裝修竹材集成材質量減少率為 10.87% (Untreated) 及 9.42% (Boric acid)，質量減少量為 263 mg (Untreated) 及 219 mg (Boric acid)，未達到抗白蟻性品質標準，此結果顯示膠合本身並無有效的防蟲作用，因此後續除考量增加膠合劑中硼酸添加量外，竹材本身亦須進行防蟲改質處理，才能達到抗白蟻能力。

表 4-1 防蟲處理竹材抗白蟻性能

		Mass loss (%)	Mass loss (mg)	Mortality (%)	
Bamboo	Untreated	9.85 (0.51)	165 (11)	70.0 (4.2)	
	Boric acid	K1	0.90 (0.06)	20 (1)	92.7 (4.8)
		K2	1.08 (0.05)	22 (3)	93.3 (5.5)
	ACQ	K3	3.77 (0.25)	80 (7)	84.0 (3.9)
		K4	0.96 (0.09)	19 (2)	93.3 (6.1)
	Wood oil	3.92 (0.27)	73 (6)	83.3 (5.1)	
	Zinc naphthenate	1.32 (0.19)	26 (2)	55.3 (3.7)	
	Laminated bamboo	Untreated	10.87 (0.52)	263 (16)	69.3 (3.3)
Boric acid		9.42 (0.44)	219 (19)	88.0 (4.8)	

(資料來源：本研究整理)

第二節 防黴處理竹材抗黴菌性能

不同防黴處理國產孟宗竹桿，經 28 日抗黴性能試驗結果如表 4-2，照片如圖 4-1 所示，由於竹片具有近竹青側 (Outer) 及近竹黃側 (Inner) 兩面性，因此分別進行竹青側 (Outer) 及竹黃側 (Inner) 試驗。未處理竹材黴菌生長面積分別為 61% (Outer) 及 100% (Inner)，由於竹材含有豐富澱粉，因此非常容易使黴菌生長，而竹青側生長範圍較小，係竹青側密度較高且富含蠟質，較為疏水因此黴菌不易生長所致，但無論竹青或竹黃側，以 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準表評估，皆為最嚴重之 2 級。

硼化合物系藥劑處理竹材經 28 日抗黴性能試驗結果顯示，K1 危害等級處理竹材黴菌生長面積分別為 40% (Outer) 及 45% (Inner)，K2 危害等級處理竹材黴菌生長面積分別為 3% (Outer) 及 7% (Inner)，根據 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準 K1 危害等級處理竹材兩面皆分類為 2 級，顯示 K1 等級抗黴效果不足，當吸收量達 K2 等級時，黴菌生長面積都大大減少，分類為 1 級，顯示 K2 級的藥劑的抗黴效果顯著優於 K1 級。另外與未處理竹材相似，竹黃側的黴菌生長面積都比竹青側的大，這可能表示竹黃側較為易受黴菌侵襲。然而，在使用 K2 等級硼化合物系藥劑處理後，兩側的黴菌生長面積都得到了顯著的控制，且兩者的差異不大。此外觀察照片 (圖 4-1) 可以發現 K1 危害等級處理竹材竹黃側生長菌株與未處理不同，非以黑麴菌為主，而是偏向檸檬黃青黴菌。

銅、烷基系銨化合物 (ACQ) 處理竹材經 28 日抗黴性能試驗結果顯示，K3 危害等級處理竹材黴菌生長面積分別為 66% (Outer) 及 40% (Inner)，K4 危害等級處理竹材黴菌生長面積分別為 30% (Outer) 及 0% (Inner)，以 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準表評估，K3 危害等級處理竹材兩面皆分類為 2 級，顯示 ACQ 進行 K3 危害等級竹材抗黴菌處理，其效果並不理想，當處理升至 K4 危害等級時，竹青側的黴菌生長面積下降到了 30%，即 2 級，而竹黃側的黴菌生長面積則下降到 0%，即 0 級。這顯示 K4 等級的處理效果顯著優於 K3 等級，尤其在

竹黃側的效果更佳。在 K3 等級的處理中，竹黃側的黴菌生長面積比竹青側的小。而在提升至 K4 等級處理後，竹黃側的黴菌生長面積下降至 0%，顯示 ACQ 對於竹黃側的防黴效果特別好。此結果推測係竹黃側密度較低，較容易使藥劑吸收所致。

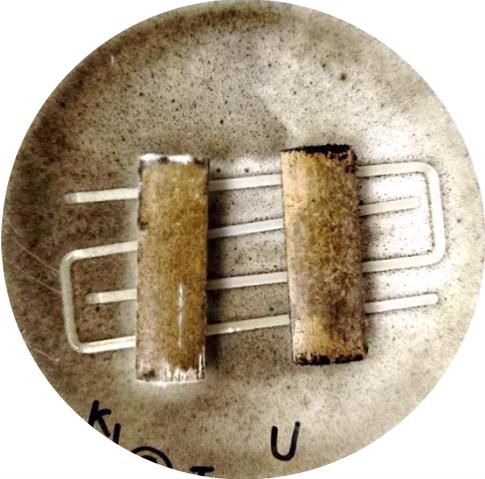
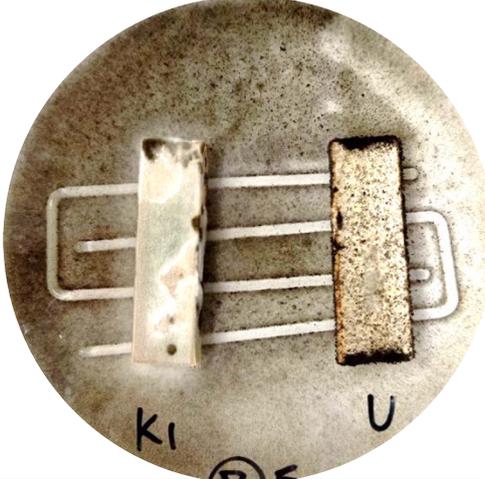
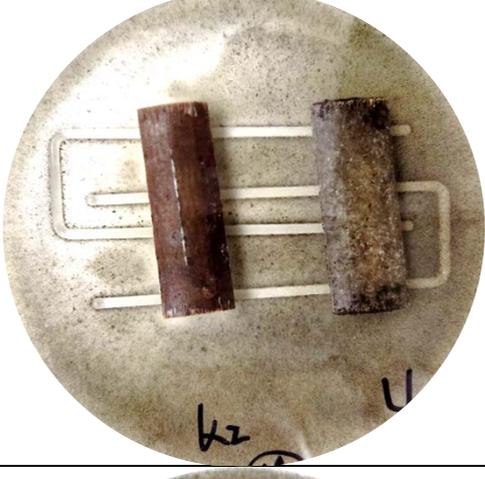
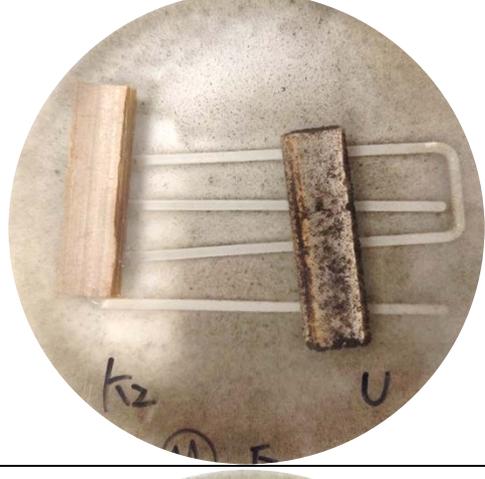
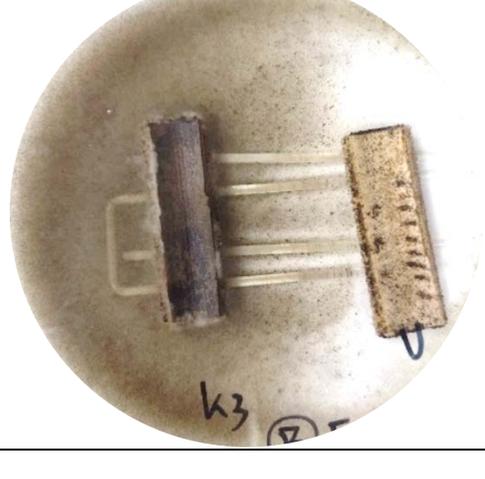
護木漆塗布竹材經 28 日抗黴性能試驗結果顯示，黴菌生長面積分別為 0% (Outer) 及 0% (Inner)，顯示護木漆在抗黴試驗中的表現非常良好，黴菌在竹材的外部 and 內部均沒有生長，以 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準表評估，皆為 0 級，表示該材料完全抵抗了黴菌的生長。推測係因為護木漆中可能含有某些防黴劑，或者其質能防止水分滲透，進而減少黴菌生長的可能性。

環烷酸鋅塗布竹材經 28 日抗黴性能試驗結果顯示，黴菌生長面積分別為 7% (Outer) 及 75% (Inner)，以 CNS 16065 黴菌生長程度評估基準表評估，竹青側等級為 1 級，竹黃側為 2 級，觀察照片可發現，竹黃側生長菌株與未處理組不同，非黑麴菌而以球毛殼菌為主，推測環烷酸鋅可能可抑制部分真菌株，但仍無法全面性抑制所致。

表 4-2 防黴處理竹材抗黴性能

		Outer		Inner	
		Area (%)	Rating	Area (%)	Rating
Untreated		61	2	100	2
Boric acid	K1	40	2	45	2
	K2	3	1	7	1
ACQ	K3	66	2	40	2
	K4	30	1	0	0
Wood oil		0	0	0	0
Zinc naphthenate		7	1	75	2

(資料來源：本研究整理)

	outer	inner
Boric acid K1		
Boric acid K2		
ACQ K3		

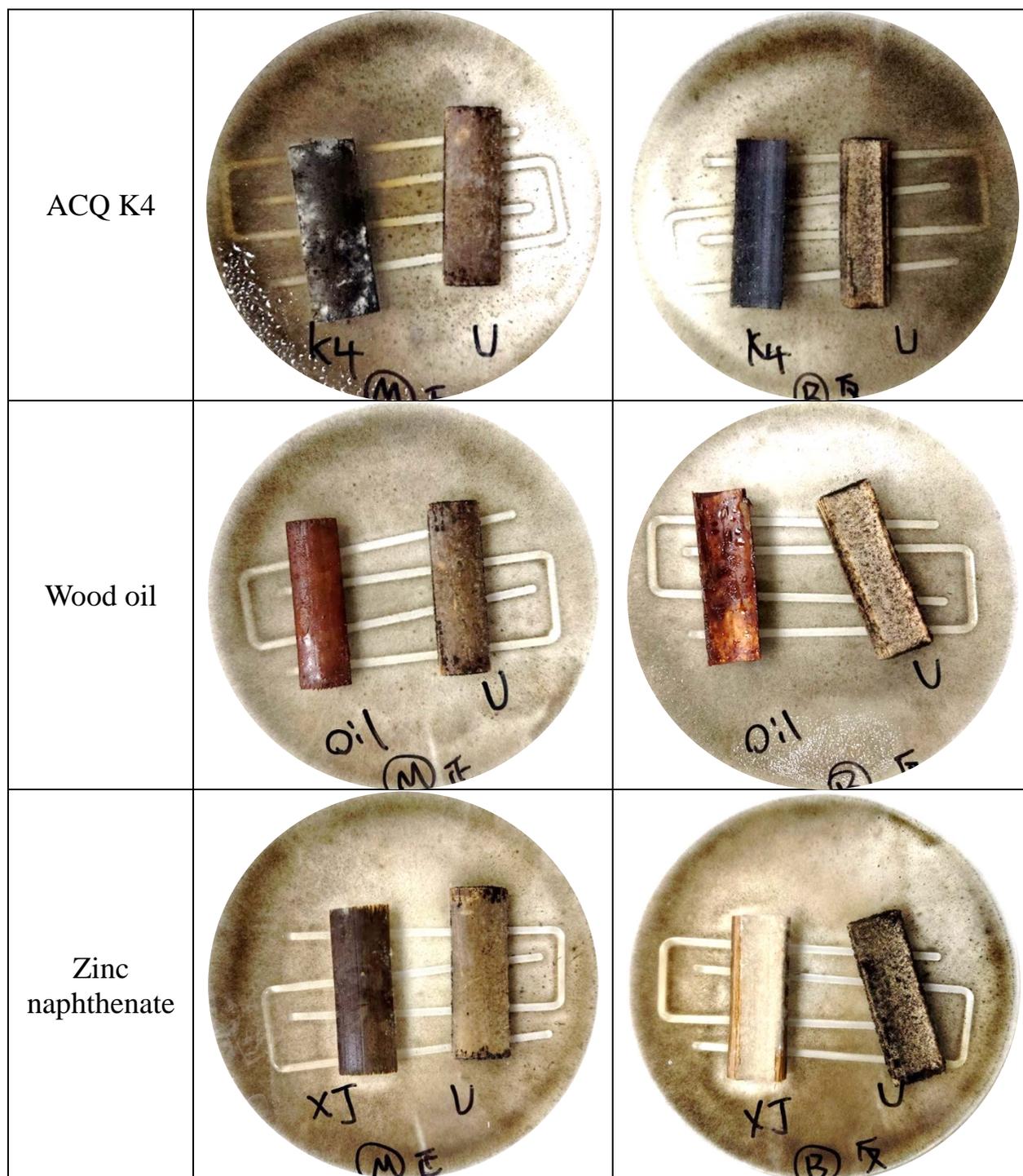


圖 4-1 不同防黴處理竹材抗黴試驗照片（竹青側：outer；竹黃側：inner）。

（資料來源：本研究整理）

第三節 防黴防蟲處理竹桿材性能

經前述試驗後，本研究選用 ACQ、護木漆及環烷酸鋅三種條件進行長度 2m 之竹桿材防黴防蟲處理，其中 ACQ 處理參考 CNS 3219 加壓注入防腐處理竹材，先減壓 0.08MPa 以上，後續加壓至 2.2MPa 以下，再進行後排氣及乾燥，完成加壓注入，為提高加壓注入效果，竹材先進行通節將竹節穿孔，使藥劑容易進入竹壁內側，藥劑濃度及加壓注入壓力皆採用 K4 等級針葉樹木材條件。

抗蟲蟻與防黴性國產孟宗竹桿藥劑注入後觀察藥劑滲透情形，如圖 4-2，參考 CNS 14730 使用鉻天青 S (Chromeazurol S) 進行 ACQ 藥劑顯色，試驗結果顯示藥劑僅存於竹青及竹黃面，竹肉部分幾乎無藥劑橫向滲透，而竹節處有進行通節，受破壞處有部分滲透情形，但藥劑仍無法橫向進入竹肉部分。將竹桿依各節間分為 6-7 段，並進行吸收量量測顯示竹桿末端 CuO 吸收量為 1.54-1.63 kg/m³，參考 CNS 3219 標準符合 K3 等級，而中間段 CuO 吸收量為 0.79-0.91 kg/m³，參考 CNS 3219 標準符合 K2 等級。

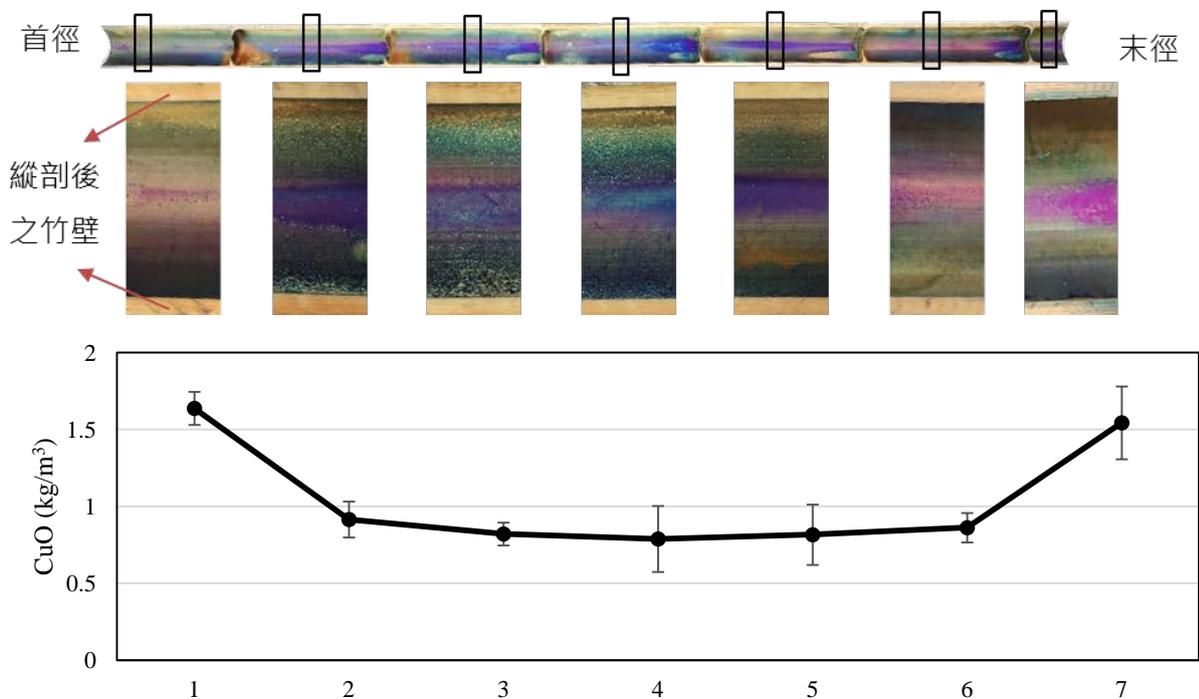


圖 4-2 ACQ 藥劑處理竹材縱剖後銅顯色照片及 CuO 吸收量。

(資料來源：本研究整理)

經不同抗蟲蟻與防黴性處理國產孟宗竹桿性質如表 4-3，ACQ 處理竹材含水率略高於其他組別，密度則各組別無明顯差別。由於 ACQ 藥劑為水溶性藥劑，因此注入後雖已進行 2 周以上養護及乾燥，含水率有稍高情形。而經過 ACQ 注入、護木漆及環烷酸鋅塗佈竹桿，密度皆無顯著差異，顯示進行抗蟲以及抗黴性處理後，其竹材性質無顯著影響。

抗彎性質方面，未處理竹材抗彎強度為 83.94 MPa，經 ACQ 處理竹材為 76.49 MPa；塗佈護木漆為 90.85 MPa；塗佈環烷酸鋅為 85.35 MPa。抗彎彈性模數方面，未處理竹材為 12.40 GPa；經 ACQ 處理竹材為 10.55 GPa；塗佈護木漆為 14.06 GPa；塗佈環烷酸鋅為 11.02 GPa。由於 ACQ 處理竹材強度較低，除可能含水率偏高之影響外，ACQ 處理前須進行竹材的通節處理，使竹節處橫向抵抗能力較弱，亦為造成抗彎性質下降之原因。而經護木漆及環烷酸鋅塗佈則對抗彎性質無顯著影響。

表 4-3 抗蟲蟻與防黴性國產孟宗竹桿物理性質

	Moisture content (%)	Density (kg/m ³)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
Untreated	20.16 (1.18)	1021 (12)	12.40 (0.69)	83.94 (4.10)
ACQ	27.63 (2.41)	999 (84)	10.55 (3.15)	76.49 (9.25)
Wood oil	21.78 (1.92)	1045 (35)	14.06 (1.05)	90.85 (2.80)
Zinc naphthenate	22.44 (1.67)	980 (141)	11.02 (0.88)	85.35 (5.64)

(資料來源：本研究整理)

經不同抗蟲蟻與防黴性處理國產孟宗竹桿抗彎試驗後，觀察期破壞型態結果，如表 4-4 顯示，不論未處理或處理材，其破壞型態皆可分為開裂破壞及壓潰破壞型態 2 種，在竹節附近的載重較易出現開裂破壞，而在節間則較易出現壓潰破壞型態，因為竹材本身竹節與節間距均不同，因此兩種破壞型態均可見。

表 4-4 抗蟲蟻與防黴性國產孟宗竹桿抗彎破壞型態

	開裂破壞	壓潰破壞
Untreated		
ACQ		
Wood oil		
Zinc naphthenate		

(資料來源：本研究整理)

第四節 防黴防蟲竹集成地板性能

除戶外用竹桿材外，本研究使用異氰酸酯乳膠將竹片集成為竹集成地板材，並施以環烷酸鋅塗佈，後續進行膠合性能及機械性能評估，依 CNS 11029 裝修用集成材進行煮沸剝離率測試結果，如表 4-5 顯示，不論是否塗佈環烷酸鋅，剝離率皆為 0%，顯示使用異氰酸酯乳膠膠合竹片無膠合不良情形，且塗佈後對膠合性能無顯著影響，而膠合剪力結果有相同情形，未塗佈之竹集成地板材膠合剪力為 10.68 MPa，塗佈後膠合剪力為 9.79 MPa，並無差異。而由於異氰酸酯乳膠非甲醛系膠合劑，量測甲醛釋出量結果顯示，無甲醛釋出。抗彎性質方面，未處理抗彎彈性模數為 10.72 GPa，塗佈環烷酸鋅組為 11.27 GPa；而抗彎強度未處理組為 69.81 MPa，塗佈環烷酸鋅組為 73.28 MPa，不論 MOE 或 MOR 經塗佈後皆有些許上升趨勢，顯示經塗佈後對於竹集成材性能並無負面影響。

表 4-5 竹集成地板性能

	剝離率 (%)	膠合剪力 (MPa)	甲醛釋出量 (mg/L)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
Untreated	0.0 (0.0)	10.68 (1.18)	0.0 (0.0)	10.72 (0.31)	69.81 (1.76)
Zinc naphthenate	0.0 (0.0)	9.79 (1.27)	0.0 (0.0)	11.27 (0.30)	73.28 (1.90)

(資料來源：本研究整理)

第五節 竹建材之防蟲、防霉最適化處理指引(草案)

一、竹建材使用情境

因應 2050 淨零碳排目標，建築建材使用具有固碳效益，且具備有生態綠建材性能潛力的竹建材，對建築部門的減碳措施是一重要課題。尤其，竹材生長速度快，可於 3-5 年採收並重新種植，符合生生不息且不虞匱乏的原則，同時相較於木材吸收二氧化碳效率更高；且竹材具備較高比強度，其高抗張及抗彎性能，近年原竹亦多作為室外用建材設計。此外，竹建材亦可做為室內裝修建材，透過竹單板、竹片等集成複合，可做為室內地板、壁板或其他裝修用材，使竹建材能有更多元之設計運用，故有效地應用我國特有豐富的竹資源成為淨零政策下的重要建築資材，可視為我國淨零/低碳建築解方之一。因此，擬定本指引提供產業應用竹建材時應注意之使用環境風險以及處理措施，以增進竹建材之使用生命週期。

二、竹建材使用環境風險

竹材的化學組成與木材類似，其主要成分包括纖維素、半纖維素、戊聚醣（pentosans）和木質素。竹材中還含有蛋白質、脂肪和各種醣類，以及少量灰分元素。其中，蛋白質含量在 1.5%~6.0%之間，可溶性醣類為 2%，澱粉粒為 2.02%~5.18%，脂肪和蠟質為 2.18%~3.55%。然而，上述有機物質是昆蟲和微生物（如真菌）生長所需的養分。例如，木材腐朽菌需要纖維素、半纖維素和木質素來生長，而澱粉、蛋白質和醣等成分則是黴菌和竹囊蟲等昆蟲繁殖所需的營養成分。如何減少竹材中的這些有機物質或添加化學藥劑以防止黴菌和昆蟲的生長，為發展竹建材之重要課題。

因此為強化竹建材之利用，應針對竹建材實際使用環境進行分級，並參考 CNS 3219 加壓注入防腐處理竹材標準，評估竹材作為建材在室內、室外及不同相對濕度環境下的適應性。透過表 1 提供指引，可評估在特定條件下，竹材是

否會受到蟲蟻或是真菌危害而有黴菌風險，此有助於協助建築師、工程師以及使用者在評估竹材所需加工等級，藉此達到適材適用目標。

表 1 竹材在不同使用環境下受危害之風險

使用環境	蟲蟻	真菌
竹材處於室內，且無蟲蟻危害之虞，或室內溫濕度可加以控制	無	無
竹材處於室內，室內相對濕度均勻分布，且 $70 \leq \%$	有	無
竹材處於室內，室內相對濕度均勻分布，且 $> 70\%$ 竹材處於室內潮濕範圍，竹材有防水處理。 竹材處於室外，但無直接受天候劣化。	有	有

三、竹建材之防蟲防黴因應策略

依據竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究，原竹建材可採用銅烷基銨系化合物藥劑（以下簡稱 ACQ 藥劑）進行防腐處理或塗布護木漆與環烷酸鋅塗料，可達到防蟲防黴效果，其中使用 ACQ 藥劑注入達 K3 等級吸收量（表 2）具有防蟲效果，而達 K4 等級吸收量具有防黴效果；護木漆塗布具備防黴效果；環烷酸鋅塗布則具有防蟲效果，因此針對所需環境可複合使用不同技術達到所要求之效益。

竹材對於防腐劑所需吸收量，因竹材使用環境不同，其吸收量亦異，竹材防腐劑吸收量基準依表 2 所示。

表 2 竹材在不同危害等級下之 ACQ 藥劑處理吸收量基準

危害等級	吸收量之適合基準	有效成分之最低吸收量
K2	以 ACQ 計，在 1.3 kg/m^3 以上	ACQ-1 CuO, 0.58 kg/m^3 ; Quat, 0.46 kg/m^3 ACQ-2 及 ACQ-3 CuO, 0.70 kg/m^3 ; Quat, 0.34 kg/m^3

危害等級	吸收量之適合基準	有效成分之最低吸收量
K3	以 ACQ 計，在 2.4 kg/m ³ 以上	ACQ-1 CuO, 1.08 kg/m ³ ; Quat, 0.84 kg/m ³ ACQ-2 及 ACQ-3 CuO, 1.29 kg/m ³ ; Quat, 0.63 kg/m ³
K4	以 ACQ 計，在 5.2 kg/m ³ 以上	ACQ-1 CuO, 2.33 kg/m ³ ; Quat, 1.83 kg/m ³ ACQ-2 及 ACQ-3 CuO, 2.78 kg/m ³ ; Quat, 1.37 kg/m ³

四、原竹建材實施防蟲、防黴處理之實務操作

原竹建材實施防蟲防黴處理之實務操作如圖 1，包含原竹伐採、裁切分段、通節處理（僅藥劑注入需通節）、原竹清洗、天然乾燥，並根據環境所需之防蟲防黴需求，採取 ACQ 藥劑注入或塗布處理，最後進行後乾燥及養護。

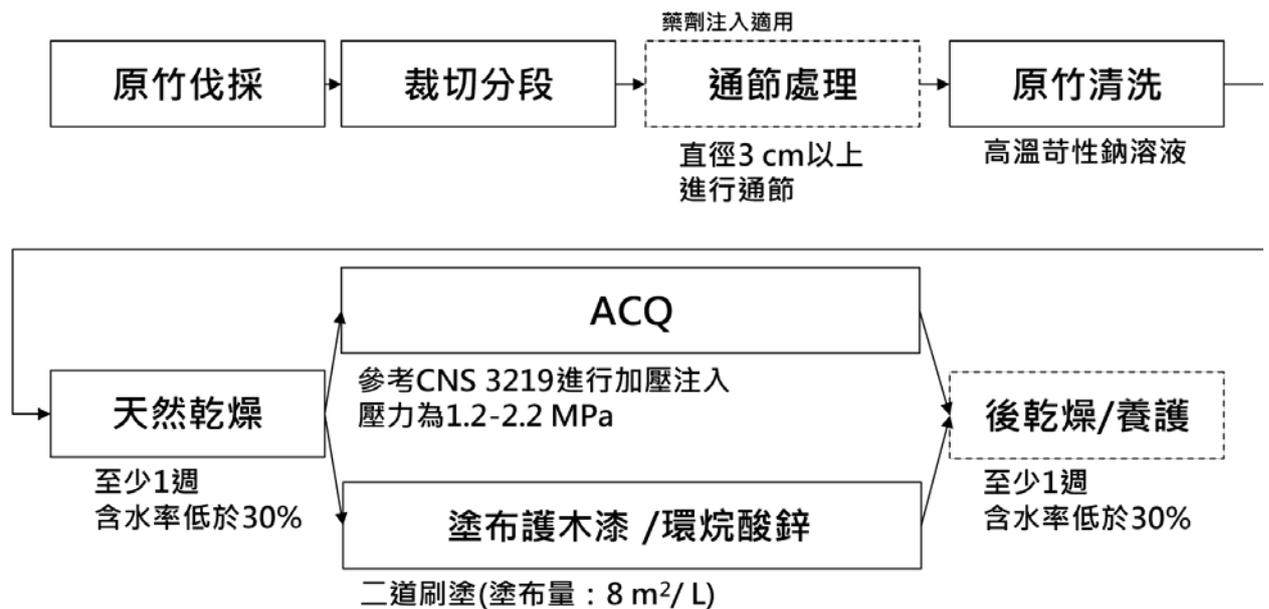


圖 1 不同危害等級 ACQ 藥劑注入竹材吸收量基準

4.1. 竹齡

實足齡不得少於 3 年。

4.2. 表面品質

竹材劈裂不得跨越節部、於同一節間中劈裂不得有 2 個、且同一根竹材中之

裂縫總數不得多於 2 個；彎曲度不超過 4%；竹材無蟲孔、腐朽缺點，或枯死、病死亦不得使用。

4.3. 抗蟲害、黴菌處理準備工作

4.3.1. 通節：若進行 ACQ 藥劑注入處理，直徑 3 cm 以上之竹材須予以通節，未滿 3 cm 之竹材得視實際需要予以通節。

4.3.2. 乾燥：處理前竹材之含水率應低於纖維飽和點（約含水率 30%）。

4.3.3. 竹種分組：不同竹種竹材應分別單獨施行藥劑注入處理。

4.4. 抗蟲害、黴菌藥劑

依 CNS14495 規定進行。

4.5. ACQ 藥劑注入處理方法

依表 3 條件進行，注入終了，靜置於一定場所，直至藥液自竹材之滴下變少為止。

表 3 藥劑注入壓力控制基準

前排氣	加壓	後排氣
減壓 0.08 MPa 以上	0.4 ~2.2 MPa	減壓 0.08 MPa 以上

ACQ 藥劑注入量為 200 kg/m^3 以上。但依所規定之注入處理進行，而注入量無法達到規定量時，可將壓力提高至 1.2 MPa-2.2 MPa (12.2 kgf/cm^2 - 22.4 kgf/cm^2)，持續加壓至壓入量不再增加，達到大致平衡為止。

4.6. 塗布處理方法

使用符合綠建材標章規範之合格綠建材護木漆或環烷酸鋅塗料刷塗，依據標示之規定進行，均勻完整刷塗於原竹表面與竹材首末二端橫斷面處。

4.7. 養護

注入或塗布藥劑後，應乾燥至不妨礙處理竹材使用的程度，或防腐劑之成分能固定在竹材中而進行之養護處理。一般約需 7 天。進行注入處理後之竹材，若有必要乾燥時，應利用天然乾燥或人工乾燥，乾燥至規定之含水率為止。

五、竹建材防蟲防霉處理之品質確保

5.1 取樣

依表 4 之規定。如吸收量測定不合格時，須依表數量加倍取樣。

表 4 取樣數量基準

每批竹材支數	試樣竹材支數
未滿 1,000 支	4 支
1,000 支以上，5,000 支以下	4 支，每增加 1,000 支抽 1 支，不足 1,000 支者以 1,000 支計算
5,001 支以上，10,000 支以下	6 支，每增加 2,000 支抽 1 支，不足 2,000 支者以 2,000 支計算
10,001 支以上，50,000 支以下	8 支，每增加 5,000 支抽 1 支，不足 5,000 支者以 5,000 支計算
50,001 支以上，100,000 支以下	10 支，每增加 10,000 支抽 1 支，不足 10,000 支者以 10,000 支計算
100,000 支以上	12 支，每增加 50,000 支抽 1 支，不足 50,000 支者以 50,000 支計算

5.2 吸收量

依 CNS 14730 之吸收量切斷取樣採取試片，再測定其吸收量。

5.3 防腐處理竹材之合格判定

從每批量所採取之試樣中，經試驗結果達合格數，如為全數之 90% 以上時，

該批量則視為合格；如合格數未滿全數之 70% 時，該批量視為不合格；如合格數達全數之 70% 以上，未滿 90% 時，該批量須重新採取 2 倍之試樣再試驗之，再試驗之結果合格數須為 90% 以上始視為合格，否則為不合格。

六、參考資料

CNS 14495 (2022) 木材防腐劑。經濟部標準檢驗局。

CNS 14730 (2022) 防腐處理木材之防腐劑吸收量測定法。經濟部標準檢驗局。

CNS 3000 (2015) 木材之加壓注入防腐處理方法。經濟部標準檢驗局。

CNS 3219 (2011) 加壓注入防腐處理竹材。經濟部標準檢驗局。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究針對孟宗竹桿進行不同防蟲處理方法，進一步評估其抗白蟻性能。實驗結果顯示，未經處理的竹材容易受到白蟻蝕害，質量減少率達 9.85%。在防蟲處理上，使用硼化合物系藥劑和環烷酸鋅具有顯著效果，尤其是硼酸的使用，能夠有效地降低白蟻對竹材的蝕害，並且具有毒殺白蟻的效果。銅、烷基系銨化合物（ACQ）作為防蟲處理藥劑也展現了一定的抗白蟻效果，特別是當吸收量達到 5.2 kg/m^3 以上（K4）時，其抗白蟻性能顯著。另一方面，護木漆塗布處理雖能減少竹材質量減少率，但其抗白蟻性能未達到預期的標準。此外，膠合劑的使用在防蟲效果上表現不佳。

根據 28 日抗黴性能試驗，國產孟宗竹桿未經處理的黴菌生長率相當高，兩側均為 2 級，而經過不同的抗黴處理後，硼化合物系藥劑的抗黴效果隨著處理等級的提升而增加，K2 等級顯著優於 K1 等級。無論何種處理，竹黃側的黴菌生長面積通常都比竹青側大，可能是由於竹黃側更易受黴菌侵襲。使用銅和烷基銨系化合物（ACQ）處理的竹材，抗黴效果在 K4 等級時表現良好，尤其是在竹黃側。護木漆塗布的竹材在抗黴試驗中的表現非常良好，兩側的黴菌生長面積均為 0%，顯示護木漆具有很好的抗黴效果。環烷酸鋅塗布的竹材對於抗黴效果來說，外側效果較好，但在竹材內側的抗黴效果相對較差。這可能是由於環烷酸鋅無法全面性抑制所有的真菌株。

本研究針對長度 2 m 的孟宗竹桿材進行防黴和防蟲處理，採用 ACQ、護木漆和環烷酸鋅三種方法。對於 ACQ 的處理，參考 CNS 3219 標準進行加壓注入，並進行通節以增強藥劑的滲透性。然而，觀察藥劑滲透情形發現，竹的中心部分幾乎沒有藥劑的橫向滲透，主要滲透集中在竹青和竹黃表面。

在竹材的抗彎性質方面，不同的處理方法對竹材的性質產生不同的影響。ACQ 處理的竹材由於含水率較高和進行的通節處理，其抗彎強度稍低。相反，護木漆和環烷酸鋅的塗佈似乎對竹材的抗彎性質沒有顯著影響。此外，處理後的竹材破壞型態大多是開裂破壞，尤其是經環烷酸鋅和護木漆處理的竹材，更容易出現開裂情形。

此外，本研究評估異氰酸酯乳膠製作竹集成地板材之性能。結果顯示，無論是否塗佈環烷酸鋅，其膠合性能均符合國家標準要求，且沒有甲醛釋出。

第二節 建議

建議一：

提升竹材抗蟲蟻與防黴性能以呼應竹材振興方案，拓展竹材之多元應用面：立即可行建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：財團法人台灣建築中心、經濟部標準檢驗局、中華木質構造建築協會

鼓勵在建築或都市規劃中使用進行過上述處理的竹材。竹材是一種可再生資源，並且具有良好的機械性能和美觀，尤其適合用於建築結構和裝飾材料。經過抗白蟻和抗黴處理的竹材能夠延長其使用壽命並降低維護成本。本研究以 ACQ 處理、硼化合物系藥劑、護木漆、環烷酸鋅塗料進行竹材的保護處理，已顯示顯著的抗白蟻和抗黴效果，可提升竹材的使用壽命並降低環境因素對竹材的影響。同時，這種處理方式也有助於減少對環境的影響，目前木材保存加工廠之製程亦可因應，具有可行性。

建議二：

舉辦竹材加工利用相關研習說明會，納入防蟲及防黴議題，宣導竹材生物防治技術：中長期建議

主辦單位：內政部建築研究所

協辦單位：財團法人台灣建築中心、中華木質構造建築協會

為推動竹材在建築領域的創新應用並加強其抗蟲蟻與防黴性能，首先，透過定期舉辦專題講習會和說明會，聚集建材專家、建築師、學者及業界人士，共同探討和分享關於竹材抗蟲蟻與防黴處理的最新技術和研究成果，從而提升業界對於這些技術的認識和興趣。將竹材的防蟲蟻與防黴技術納入建築材料的選擇和使用過程中的重要考量因素，讓更多建築師和開發商了解竹材利用可行性。並建立行業內外的合作網絡和共享資源，更快速提升竹材的抗蟲蟻與防黴技術，增進竹建材資源使用年限，於綠建築領域擴大其應用範圍，為創造更環保、可持續的建築環境貢獻力量。此外本研究在為期未滿一年內完成相關試驗，有關於諸多專家關心之耐久性試驗以及淋失性試驗，及經加速劣化後之竹材防黴與抗蟻性，在本期計畫中尚未有足夠時程進行，後續建議可就此部分再做精進研究，以利未來竹建材之應用。

附錄一：第一次工作會議

一、第一次工作會議簽到表

與會人員簽到表

會議名稱： 112 年度「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」第一次工作會議

會議時間： 112 年 5 月 8 日（星期一） 下午 14：00

會議地點： 內政部建築研究所 13 樓討論室(一)

會議主持人： **王松永** 名譽教授

出席者：

羅昭雄

高志翔

林麗蓮

楊佩璇

楊禮新

趙偉成

鄭雅文

陳俞甯

黃金婷

蘇亭鈺

附錄二：第一次專家會議

一、第一次專家會議開會通知

中華木質構造建築協會 開會通知

地址：10699 台大郵局 154 號信箱

中華木質構造建築協會

聯絡人：江上筠

聯絡電話：(02)33664654

傳 真：(02)33664681

E-mail：sywang@ntu.edu.tw

受文者：

發文日期：中華民國 112 年 6 月 12 日

發文字號：112 木構造字第 028 號

速別：

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文

會議名稱：第一次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談
與諮詢會

開會時間：112 年 6 月 28 日(星期三)上午 10 時

開會地點：內政部建築研究所 13 樓簡報室

主持人：王名譽教授松永

聯絡人及電話：楊教授德新 0932-381651

出席者：宜蘭大學森林暨自然資源學系羅盛峰教授、台灣大學森林環境暨資源學系張豐
丞教授、陽明交通大學建築研究所許倍銜教授、成功大學建築學系葉玉祥教
授、大藏聯合建築師事務所甘銘源建築師、德豐木業股份有限公司李岳峰董
事長、與木製研陳建同設計師、內政部建築研究所環境控制組羅時麒組長、
初樸建築師事務所葉育鑫建築師

列席者：內政部建築研究所、中華木質構造建築協會

理事長 卓志隆

二、第一次專家會議議程

內政部建築研究所

112 年度永續健康綠建築環境科技計畫委託研究計畫案 「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」

第 1 次專家諮詢會議

- 一、開會時間：民國 112 年 6 月 28 日（星期三）上午 10：00～12：10
- 二、開會地點：內政部建築研究所 討論室(一)（新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓）
- 三、會議議程

時間	議程
10:00-10:10	主席致詞、長官致詞
10:10-10:40	計畫報告： 竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究
10:40-11:50	綜合討論： 1. 本計畫之研究方向與初步結果評估 2. 期末階段試驗之規劃與建議
11:50-12:10	臨時動議

三、第一次專家會議簽到表

與會人員簽到表	
會議名稱：	第一次「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會
會議時間：	112年6月28日(星期三) 上午10:00
會議地點：	內政部建築研究所13樓簡報室
會議主持人：	王松永 名譽教授 王松永
出席者：	
宜蘭大學森林暨自然資源學系 羅盛峰教授	台灣大學森林環境暨資源學系 張豐丞教授 張豐丞
陽明交通大學建築研究所 許倍銜教授	成功大學建築學系 葉玉祥教授 葉玉祥
大藏聯合建築師事務所 甘銘源建築師 甘銘源	德豐木業股份有限公司 李岳峰董事長 李岳峰
初樸建築師事務所 葉育鑫建築師 葉育鑫	內政部建築研究所 環境控制組 羅時麒組長 林谷陶

四、第一次專家會議發言條- 林谷陶委員

112年6月28日

第一次「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表

姓名	林谷陶	E-Mail	linkutao@abrci.gov.tw
----	-----	--------	-----------------------

建議內容：

研究內容、期程務請符合專案服務建築業要求。

五、第一次專家會議發言條- 李岳峰委員

112年6月28日

第一次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表

姓名	李岳峰	E-Mail	tefeng.service@tefeng.com.tw
----	-----	--------	------------------------------

建議內容：

竹材防蟲防黴之研究對於目前市場利用竹構造的耐久性有實質之幫助。在第一階段實驗室驗證後，期望也有戶外田間試驗。更進一步來建議竹構材本身的防護性，以及後續竹構造構物的耐久性。

因此，希望本計畫能夠持續延續3~5年，來驗證實際上竹材耐候的現象。

△戶外室驗各種藥劑的流失率？

六、第一次專家會議發言條-甘銘源委員

112年6月28日

第一次「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表

姓名	甘銘源	E-Mail	Kan9374@gmail.com
----	-----	--------	-------------------

建議內容：

1. 試件釘材，建議適當加長，以符實際應用。
2. 竹材除虫蛀、發霉外，龜裂亦是嚴重問題，建議可採高溫乾燥竹比較耐候效果。

七、第一次專家會議發言條-張豐丞委員

112年6月28日

第一次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表

姓名	張豐丞	E-Mail	fcchang@ntu.edu.tw
----	-----	--------	--------------------

建議內容：

1. 建議增加淋洗試驗，以評估藥劑處理後之留存程度
2. 竹地板材處理方式可再評估
3. 實際使用年限建議新提計畫詳加評估
4. 處理製程的綜合工法建議加入報告內容

八、第一次專家會議發言條-葉育鑫委員

112年6月28日

第一次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表			
姓名	葉育鑫	E-Mail	hill@protop/ain.com
建議內容：			
<ul style="list-style-type: none">• 是否能增加高溫乾燥+處理法之複合方式且加入試驗, (k1, k2, k3, k4, 表面處理法)• 是否能增加桂竹, 或其他建材常用竹類加入試驗•			

九、第一次專家會議發言條- 葉玉祥委員

112年6月28日

第一次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表

姓名	葉玉祥	E-Mail	YEH1212@ncku.edu.tw
建議內容：			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究團隊的資料收集充份，文獻回顧與評析十分充足； 2. 研究團隊規劃的試驗相當充實，涵蓋的材料或工法很完整； 3. 建議之後可以呈現護木油在木材防蟻或防黴的效益，藉以比較，凸顯護木油在兩種材料之防蟻防黴的差異； 4. 建議在資料可取得的情況下，可以簡介一些傳統的處理方法，雖然不見得要跟現行處理方式或規範拉上關係，至少可以先簡單介紹，也算是在回應國際上設計規範會尊重傳統經驗法則的精神； 			

	法則的精神。	
林谷陶	1. 研究內容期程務必請符合原來服務建議書要求	1. 感謝委員建議，團隊會依服務建議書與契約書要求達成。
李岳峰	1. 竹材防蟲防黴之研究，對於目前市場利用竹構造的耐久性有實質之幫助，在第一階段實驗室驗證後，期望也有戶外田間試驗，更進一步來建議竹構材本身的防護性，以及後續竹構造建物的耐久性，因此希望本計畫能夠持續延續三至五年來驗證竹材耐候的現象。 2. 戶外試驗各種藥劑的流失率。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，淋失性試驗在標準上又稱之為耐候試驗，本計畫試驗已規劃後續進行比較分析。
甘銘源	1. 試體竹材建議適當加長以符實際應用 2. 竹材除蟲蛀發黴外，龜裂亦是嚴重問題，建議可採高溫乾燥竹，比較耐候效果	1. 感謝委員建議，本計畫在一年期間首先確認有效之處理法與製程，次而以最適化製程進行後續評估作業。而本研究後續將挑選具防蟲防黴處理方法，進行竹桿加工及性質評估，未來有機會也將進行實尺寸之戶外耐候、防黴、防蟲蟻試驗。 2. 感謝委員建議，本研究主要專注於竹材抗蟻及抗黴性能研究，而團隊也充分了解龜裂產生影響，後續也會規劃進行高溫乾燥竹材相關研

		究，除生物耐久性外，也進行較長時間耐候性能評估。
張豐丞	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議增加淋洗試驗，以評估藥劑處理後之留存程度 2. 竹地板材處理方式可再評估 3. 實際使用年限建議新提計畫，詳加評估 4. 處理製程的綜合工法，建議加入報告內容 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，淋失性試驗在標準試驗上為耐候試驗，計畫會一併進行並分析。 2. 感謝委員建議，本研究竹地板材試驗方式主要係參考合板抗蟲處理方法，後續會評估提升竹材本身抗蟲蟻性能。 3. 感謝委員建議與肯定。 4. 感謝委員建議，本研究團隊透過本計畫期中報告結果，規劃複合工法，評估不同防蟲防霉處理法加乘效益。
葉育鑫	<ol style="list-style-type: none"> 1. 是否能增加高溫乾燥加上處理法之複合方式組，加入試驗（K1、K2、K3、K4、表面處理法） 2. 是否能增加桂竹或其他建材常用竹類加入試驗 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，本研究係專注於竹材抗蟻及抗霉性能，期待後續也進行高溫乾燥竹材相關研究。 2. 感謝委員建議，本研究主要以國內建築較常使用孟宗竹材為研究材料，團隊將評估，規劃不同竹種之試驗。

(八) 臨時動議

無

散會（中午 12：10）

附錄三：期初意見回應表

內政部建築研究所

112 年度「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」委託研究計畫案

廠商回應一覽表

委員	評選委員意見(依發言順序)	廠商回應
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. 宜注意竹材使用於何種用途?結構材?裝修材?工地鷹架?因涉及生命週期，除防蟲防黴外，亦應考慮其最終處理方式，達到減碳及減廢功能。 2. 各種處理方式除應適合各式用途，如何檢測確認符合處理標準，除 CNS 外，涉及力學、耐久、耐候功能外，對身體健康及環境污染影響程度。 3. 除戶外用部分仍有室內用途宜一併考量。 4. 可考量科技化之影像判別、化學檢測、力學試驗取代肉眼判識。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，本計畫竹材分為竹桿與竹片，主用用途即為結構用與裝修用，並以耐久用途為主要考量。而本計畫採用之處理藥劑符合國家標準要求，亦屬環保型藥劑，對於未來最終處理方式並無疑慮。 2. 感謝委員建議，本計畫採用國家標準使用藥劑進行竹材處理，其各項性質檢測亦依國家標準進行，此於本會及國立中興大學森林學系均具有 TAF 實驗室可進行試驗。 3. 感謝委員建議，本計畫設計有竹建材之室內外用途別。 4. 感謝委員建議，本計畫原說明防黴性評估以肉眼辨識其發黴污染面積，是參考國家標準進行，惟於試驗終了判別時，將透過影像系統加以輔助；另有關藥劑吸收量以及力學試驗則均依國家標準，並以相關科學設備進行檢測試驗。
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對評選項目及提問均有考量及回應。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定及建議。
3	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前政府相當重視研發成 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，本計畫結束後可配

	<p>果之專利申請，授權與應用，本研究擬針對竹建材進行防蟲蟻與防黴關鍵技術開發，未來是否有機會轉化為專利，以增進研究成果價值。</p> <p>2. 本研究預計進行相關多項建材性能試驗，包括物理性質、機械性質、抗白蟻及防黴等性能，研究經費配置是否須編列相關試驗費，建議納入考量，另相關試驗若條件允許，可否至 TAF 認證實驗室執行？</p>	<p>合所裡規劃進行相關專利申請。</p> <p>2. 本計畫之各項試驗項目在本會及國立中興大學森林系均有相關設備可完成，故經費編列未編列試驗費用，而主要為材料費；另有關 TAF 實驗室部分，本會之木材品質中心即為 TAF 實驗室，目前亦執行多項 CAS 試驗，同時中興大學森林學系亦具有林產品檢測服務中心及森林產品檢測服務，可提供試驗服務。</p>
<p>4</p>	<p>1. 依據行政院推動竹構造與竹建材之使用政策，本所於綠建築評估項目中，新增納入使用竹構造與竹建材的加分規定，本案係針對竹建材防蟲防黴性能進行研發，預期提出指引(草案)，請問國外是否有相同高溫高熱氣候區的成功推動經驗可供參考。</p>	<p>1. 感謝委員建議，本案執行將積極收集相近氣候區之竹建材使用案例，作為本計畫參考。目前就竹建材而言，國外已推動工程竹材、規格竹材之使用，透過膠合或集成之方式進行竹建材之開發，然就目前國內市場面而言，則多以原竹作為構材，主要仍是考量成本、勞力密集、以及市場接受程度等，因此本計畫首以防蟲防黴關鍵技術之確認，同時以原竹(符合目前市場需求)以及竹片或稱竹集成元(現可作為裝修用途，未來可作為工程竹材發展之參考)出發，研究完成之成果可供產業以及施政參考。</p>

<p>黃理事長秀莊</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在主要建議事項及第3頁有提及竹建材適合用於建築結構，國內是否有竹建材建造（2樓以上）建築物之案例，建請補充說明。 2. 建議補充說明竹建材實際使用年限之調查，是否有相關調查資料，俾供參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，目前竹構造建築在國內應尚無2樓以上建築，後續會持續收集相關案例。 2. 感謝委員建議，竹建材之耐久年限相當重要，也是本案研究重點，惟計畫時程關係，本案以ACQ保存藥劑處理達K4等級，期待應具有與木材相同耐久年限。 另目前竹建材實際耐久年限較為不明，亦與使用環境有關，依專家會議建築師表示若在室內已有約10年之實務經驗，但在戶外則較為缺乏。
<p>陳委員瑞鈴</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究就國內外木竹構造設計案例及相關研究技術研發之資料蒐集尚有不足，宜加強充實。 2. 竹板材係供室內裝修使用對人體健康無害之需求相對較高。故其防蟲防黴技術建議加強非化學改質處理方式以資運用。 3. 請補充期初簡報會議意見回應表。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指正。 2. 感謝委員建議，本案規劃室內裝修用材部分亦主要以非化學改質方向處理，如需使用塗料亦以具綠建材標章產品施作。 3. 遵照辦理。
<p>李教授孟杰</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 臺灣的原生種竹子，具有就地取材的自然資材特性，本研究對其防蟲防黴的探討以及耐候性與耐久 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，惟竹材因其主成分易受竹蠹蟲危害，而戶外使用則易受黴菌與腐朽

	<p>性相關分析，可提升竹材的使用價值，具有相關意義。</p> <p>2. 目前利用硼酸類防腐摻料與環烷酸鋅類防腐摻料針對室內與室外竹材的防蟲防黴效益進行探討，建議可採用原竹本身的水楊酸進行防腐抑制分析，較屬天然材質，並建請判斷其可行性。</p> <p>3. 若將該材料經過防蟲防黴處理後，做為生態及健康室內裝修材，憑藉其材料的多孔性特性，是否仍具調濕功能？</p>	<p>菌危害，因此本案以目前市場上可供工業化生產技術之處理方式為主，期待能增進竹材之多元應用性。</p> <p>3. 作為生態與健康綠建材而言，不致因目前處理法而改變其性質。</p>
<p>中華民國全國建築師公會（張顧問文瑞）</p>	<p>1. 本研究首先進行文獻收集與分析歸納，整理國內外對於木竹構造設計運用與相關技術研發之文獻。選用戶外建材中常見的國產孟宗竹桿，以及室內裝修中使用的竹地板材作為評估對象，針對兩種材料的使用環境與目的評估適合之抗蟲蟻與抗黴技術。</p> <p>2. 竹建材何以侷限在地板材？其他部位，如牆面、天花板也有使用竹建材的可能，甚至於可以拿來當</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議，本案竹建材分為兩部分：一為室內用建材，主要以裝修用材為主，舉例地板材料，則是因其複合構成中施以藥劑處理，未來此複合結構亦可作為壁裝材用途無虞；二為建築結構用材，此則強調其於結構用途，因此以原竹桿件作為對象，並施以保存處理，增進其耐久性。</p> <p>3. 感謝委員建議，本案所採用者均為目前市場常用於室內</p>

	<p>成結構材，也很有價值。是否可以將關注點放大一些？</p> <p>3. 本研究是否有必要增加防蟲防黴處理對於使用者呼吸器官或系統的評估？</p>	<p>外用途之環保藥劑，亦有藥劑之物質安全資料表，故暫不進行相關評估作業。</p>
<p>台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）</p>	<p>1. 本研究所提竹建材防蟲防黴關鍵技術，是否有與國內業者合作研發或開發產品，建請補充說明。</p> <p>2. 建請補充說明竹建材之耐久性及減碳效益之評估，以供應用參考。</p>	<p>1. 感謝委員建議，本案所採用之方法均為市場上可進行之工業化生產方式，未來提出相關指引，市場亦可生產。</p> <p>2. 感謝委員建議，相關資訊於成果報告中補充。</p>
<p>張建築師矩墉</p>	<p>1. 竹構造與竹輕隔間牆已納入綠建築二氧化碳減量指標以及廢棄物減量指標的評分項目，是值得推廣的建材與構造方式。</p> <p>2. 在防蟲防黴的處理上應著重於對人體無害的處理方式，不得引發其他不良反應。</p> <p>3. 竹材的應用是否可以更加細微，如是否可做成竹的積層材。甚至以竹子的抗拉抗彎特性，取代 RC 中的鋼筋作用，若是可埋入混凝土中是否較無防蟲防黴問題。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議，本案所採用之方法亦同樣考量人體健康無虞下進行。</p> <p>3. 感謝委員建議，本案主要先針對原竹與竹裝修材之竹片進行評估，特別在目前是市場上對於竹材耐久性尚有疑問下，提出指引方法。未來市場成熟，建築構材除原竹應用外，使用竹層積材或竹集成材作為工程竹材，亦為未來竹產業推動之方向。</p>
<p>建研所（羅組長時麒）</p>	<p>1. 本研究係配合行政院協助竹建材產業發展需求執</p>	<p>1. 感謝組長說明。</p> <p>2. 感謝組長建議，遵照辦理。</p>

	<p>行，本所綠建築評估手冊已納入加分規定。</p> <p>2. 有關抗黴文獻及試驗中有關護木漆及焦油 2 種產品其成分及特性，建議補充說明。</p>	
<p>主席（樂主任秘書中丕）</p>	<p>1. 竹建材應用於室外環境易受日照影響，需加以評估竹建材之耐候特性，另竹建材應用於室內環境，對於人體健康影響及相關防護措施，建議補充說明。</p> <p>2. 有關防蟲防黴竹建材試驗材料之塗佈量及吸收量定義與效益分析，建議補充說明。</p>	<p>1. 感謝主席建議，遵照辦理。</p> <p>2. 感謝主席建議，本案塗佈量主要對象為護木漆塗料之應用需求，吸收量則是以硼化合物與 ACQ 藥劑達到 CNS 3000 號危害等級之適用量為主。後續將於成果報告中補充說明。</p>

附錄五：第二次專家會議

一、第二次專家會議開會通知

中華木質構造建築協會 開會通知

地址：10699 台大郵局 154 號信箱

中華木質構造建築協會

聯絡人：江上筠

聯絡電話：(02)33664654

傳 真：(02)33664681

E-mail：sywang@ntu.edu.tw

受文者：如出席人員

發文日期：中華民國 112 年 11 月 10 日

發文字號：112 木構造字第 057 號

速別：

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文

會議名稱：第二次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談
與諮詢會

開會時間：112 年 11 月 16 日(星期四) 14:00

開會地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第二會議室

主持人：王名譽理事長松永

聯絡人及電話：楊教授德新 0932-381651

出席者：成功大學建築學系葉玉祥教授、宜蘭大學森林暨自然資源學系羅盛峰教授、
國立虎尾科技大學農業科技系莊智勝教授、林業試驗所森林利用組林振榮研
究員、與木製研陳建同設計師、原型結構工程顧問有限公司陳冠帆技師、內
政部建築研究所羅時麒組長、內政部建築研究所、中華木質構造建築協會及
相關人員

理事長 卓志隆

二、第二次專家會議議程

內政部建築研究所

112 年度永續健康綠建築環境科技計畫委託研究計畫案 「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」

第2次專家諮詢會議

一、開會時間：民國112年11月16日（星期四）下午2：00～4：10

二、開會地點：內政部建築研究所第二會議室（新北市新店區北新路三段200號13樓）

三、會議議程

時間	議程
14:00-14:10	主席致詞、長官致詞
14:10-14:40	計畫報告： 竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究
14:40-16:00	綜合討論： 1.本計畫執行成果分享與交流 2.後續可精進之建議
16:00-16:20	臨時動議

三、第二次專家會議簽到表

與會人員簽到表	
會議名稱：	第二次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會
會議時間：	112年11月16日(星期四) 14:00
會議地點：	大坪林聯合開發大樓 15樓第二會議室
會議主持人：	王松永 名譽教授 王松永
出席者：	
內政部建築研究所 環境控制組 羅時麒組長 羅時麒	成功大學建築學系 葉玉祥教授 葉玉祥
宜蘭大學森林暨自然資源學系 羅盛峰教授 羅盛峰	國立虎尾科技大學 農業科技系 莊智勝教授 莊智勝
林業試驗所森林利用組 林振榮研究員 林振榮	與木製研 陳建同設計師 陳建同
原型結構工程顧問有限公司 陳冠帆技師	中興大學森林學系 楊德新教授 楊德新

四、第二次專家會議發言條-葉玉祥委員

112年11月16日

第二次「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表			
姓名	葉玉祥	E-Mail	YEH1212@ncku.edu.tw
建議內容：			
1. 研究團隊已有依照前期會議的建議增加國內外案例，藉以呈現木構造的具体应用，成果豐碩；			
2. 針對投影片第25頁提到的XRF，請研究團隊確認其中文名稱，是否為螢光或繞射的物理原理？			
3. 針對第23頁 ^{與第4頁} 投影片中的四點抗變試驗，建議團隊回顧一下試驗過程時，原竹是否有扭轉或面外的變形，裨益檢討未來的實驗架設計。			
4. 結尾的「重要發現」具有學術價值，很值得研究團隊融合到未來的後續研究，相信會有非常高的貢獻。			

五、第二次專家會議發言條-羅盛峰委員

第二次「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

112年11月16日

建議表		
姓名	羅盛峰	E-Mail
建議內容：		
<p>1. 竹材利用常會遭遇竹蠹蟲危害，未來是否可能增加比虫害相關實驗。下一新年度計劃增加。</p> <p>2. 建議未來編著竹材利用防虫蟻手冊，包括竹材加工、乾燥、防腐處理的操作準則及施工時防虫防霉注意事項，及完工後的維護管理。未來計劃增加此目標。</p> <p>3. 補充說明竹桿防腐液入廠後，縱向兩端處理後，藥劑滲透深度。</p> <p>4. ppt. p25. 竹桿 300 cm, 後面 ppt. p27, 29, 30. 竹桿長度 200 cm。</p> <p>5.</p>		

六、第二次專家會議發言條-莊智勝委員

112年11月16日

第二次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表		
姓名	莊智勝	E-Mail cs.chuang@nfu.edu.tw
建議內容：		
<p>1. 膠合劑分子量滲入的考量，如日本學者利用 PF (分子量 < 600) 可有效使白蟻致死</p> <p>2. XRF 的使用可納入規範中，可加速檢驗測量 Cu (銅) 藥劑的指標引自處理</p> <p>3. 塗料 (環氧的鈣) 其配方為樹脂 (油、蠟質為主) 或醇，可考量額外添加硼的藥劑，在塗料中，藉以提升防腐效果 或 防蟲效果。</p>		

七、第二次專家會議發言條-林振榮委員

112年11月16日
第二次「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表		
姓名	林振榮	E-Mail zzlin@tfri.gov.tw
建議內容：		
<p>1. 計劃成果相當豐富，有實質提供產、學、研參考之價值，尤其是循環利用、新興竹產業、淨零碳排、促進木材利用等；</p> <p>2. 竹構涉及耐久性及長期維護管理，故需要再建議未來計劃繼續長期、檢查、監測及維護試驗，或補充說明^{歸納}下一個階段計劃。</p> <p>3. 建議依據計劃成果，提供目前臺灣使用竹構件防黴防腐防治處理的建議，以提供產業及研究引用基礎，或補充說明。</p> <p>4. 原竹南層浸竹^(Boric acid 2H2O)的抗白蟻效果，有所不同。請補充說明？</p> <p>5. 原竹注入藥劑注入深度(長度或厚度)的結果，請補充說明？</p> <p>6. 竹桿材的含水率 20.16~27.63%，請補充說明？</p>		

八、第二次專家會議發言條-陳建同委員

112年11月16日

第二次「竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究」專家座談與諮詢會

建議表		
姓名	陳建同	E-Mail chientung.chen@gmail.com
建議內容：		
1. 內容非常好 貼近使用實況 值得推廣給更多建築師和相關業者		
2. 施工時若加工造成損傷(如切割或摩擦) 是否會造成防腐的影響,可當延伸研究		
3. 同樣處理的竹材在不同日晒,溼度變化下的影響,可當延伸研究貼近實際狀況		

九、第二次專家諮詢會議紀錄內容

「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」第二次專家諮詢會議 會議紀錄

(九) 開會時間：民國 112 年 11 月 16 日（星期四）下午 2：00～4：10

(十) 開會地點：內政部建築研究所 第二會議室（新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓）

(十一) 主席：王召集人松永 記錄：楊德新

(十二) 出席及請假委員：(詳如簽到表)

(十三) 列席人員：(詳如簽到表)

(十四) 計畫報告：略

(十五) 專家意見與回應：

專家意見		回應
葉玉祥	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究團隊已有依照前期會議的建議增加國內外案例，藉以呈現木構造的具體應用，成果豐碩 2. 針對投影片第 25 頁提到的 XRF，請研究團隊確認其中文名稱，是否為螢光或繞射的物理原理？ 3. 針對第 31 頁與第 40 頁投影片中的四點抗彎試驗，建議研究團隊回顧一下試驗過程中，原竹是否有扭轉和面外的變形，裨益檢討未來的實驗架設計。 4. 結尾的「重要發現」具有學術價值，很值得研究團隊融合到未來的後續研究，相信會有非常高的貢獻。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議與肯定。 2. 感謝委員建議，應為 X 射線螢光光譜儀。 3. 感謝委員建議，本研究中進行抗彎試驗無明顯之扭轉情形。 4. 感謝委員建議與肯定。

<p>羅盛峰</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 竹材利用常會遭遇竹蠹蟲危害，未來是否可能增加此蟲害相關實驗，下一新年度計畫增加。 2. 建議未來編著竹材利用竹蟲蟻手冊，包括竹材加工；乾燥；防蟲處理的操作準則及施工時防蟲防霉注意事項，及完工後的維護管理，未來計畫增加此目標。 3. 補充說明竹桿防腐注入後，縱向兩端處理後，藥劑滲透度， 4. PPT P25 竹桿 300 cm，後面 PPT P27、29、30，竹桿 200 cm。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由於竹蠹蟲較難操作，因此本試驗以可定量之白蟻，並參照相關標準進行抗蟲蟻研究。 2. 感謝委員建議，已新增「竹建材之抗蟲害、黴菌最適化處理流程指引」，提供作為參考。 3. 感謝委員建議，試驗結果顯示藥劑僅存於竹青及竹黃面，竹肉部分幾乎無藥劑橫向滲透，而竹節處有進行通節，受破壞處有部分滲透情形，但藥劑仍無法橫向進入竹肉部分。 4. 感謝委員指正，長度為 200 cm。
<p>莊智勝</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 膠合劑分子量滲入的考量，如日本學者利用 PF(分子量<600)可有效使白蟻致死。 2. XFR 的使用可納入規範中，可加速檢驗測量 Cu 藥劑的指引與處理 3. 塗料(環烷酸鋅)其配方為亞麻仁油、蠟質為主，或許可考量額外添加硼酸藥劑進入塗料中，藉以提升防腐效果或防蟲效果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議，由於本研究中竹地板材主要期待作為室內裝修用材使用，因此若使用甲醛系膠合劑可能有甲醛釋出疑慮。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員建議，視後續計畫之擴充性，可增加相關複合條件進行評估。
<p>林振榮</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 計畫成果相當豐富，有實質提供產學研參考之價值，尤其是循環利用，新 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議與肯定。 2. 感謝委員建議與肯定。 3. 感謝委員建議，已新增

	<p>興竹產業，淨零碳排，提升木材利用</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 竹構造涉及耐久性及長期為護管理，故需要在建議未來計畫繼續長期檢查、監測及維護試驗，或補充說明下一個階段計畫。 3. 建議依據計畫成果歸納提供目前台灣使竹構件防黴防蟲防治處理的建議，以提供產業及研究引用基礎，或補充說明。 4. 原竹與層積竹的抗白蟻效果有所不同，請補充說明? 5. 原竹注入藥劑注入深度（長度或厚度）的結果，請補充說明? 	<p>「竹建材之抗蟲害、黴菌最適化處理流程指引」，提供作為參考。</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 由於原竹具有高密度且具蠟質之竹青，因此藥劑注入後滲透效果較低，因此抗白蟻性能較低。 5. 感謝委員建議，試驗結果顯示藥劑僅存於竹青及竹黃面，竹肉部分幾乎無藥劑橫向滲透，而竹節處有進行通節，受破壞處有部分滲透情形，但藥劑仍無法橫向進入竹肉部分，而注入量則待後續規劃切片進行銅含量測定。
<p>陳建同</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 內容非常好貼近使用實況，值得推廣給更多建築師和相關業者。 2. 施作時若加工造成損傷(ex切割或摩擦)是否會造成防腐的影響，可當延伸研究。 3. 同樣處理的竹材在不同日曬、濕度變化下的影響，可當延伸研究貼近實際狀況。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議與肯定。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員建議，未來期待可規畫進行中長期之戶外耐候試驗。

附錄六：期末報告審查會議

「竹建材防蟲防黴關鍵技術之研究」期中報告審查會議

會議紀錄

(八) 開會時間：112年10月24日(星期二)上午9時30分

(九) 開會地點：內政部建築研究所簡報室(新北市新店區北新路三段200號13樓)

(十) 主席：樂主任秘書中丕 記錄：劉聿豐、鄂丁瑋、林霧霆

(十一) 出席及請假委員：(詳如簽到表)

(十二) 列席人員：(詳如簽到表)

(十三) 計畫報告：

略

(十四) 審查意見與回覆：

審查意見		回覆
江教授哲銘	<ol style="list-style-type: none"> 1. 期末成果報告書 P.24~P.34，已經完成戶外用結構原竹建材及室內用竹板材之防蟲蟻與抗黴關鍵技術，值得肯定 2. 建議可將研究報告 P.21~P.22 之竹材防蟲蟻、抗黴之各項基本性質測定之試樣準備、測試及評估等資料，彙整成「竹建材最適化製程處理指引(草案)」，以供應用參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，已將關鍵技術彙整成最適化處理指引章節於 P.36。
黃理事長秀莊	<ol style="list-style-type: none"> 1. 竹木材在減碳及固碳性能具有優異性，提出科學性的化學改質技術，以改善竹建材防蟲防黴的方法，具有重要的成果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 本研究中進行室內竹地板材已測定甲醛釋出量，由於使用之異氰酸酯乳膠非甲醛系膠合劑，量測甲醛釋出量結

	<p>2. 對於使用化學方式改質的竹建材，使用在室內環境時，是否符合健康綠建材的各項指標，另耐久性及淋失性試驗雖非本研究範圍，但亦建議可做為未來後續進一步的研究內容，以有所釐清。</p>	<p>果顯示，無甲醛釋出，符合健康綠建材指標。未來團隊亦會針對耐久性與淋失性規劃進行研究深入探討。</p>
<p>張建築師矩墉</p>	<p>1. 使用於竹材之防蟲防黴藥劑應確認對於人體無害方可採用。</p> <p>2. 請補充說明所有之藥劑處理是否有時效性?超過一定期限是否有補作之需要?裝修材及結構材的處理是否要有區別?</p> <p>3. 竹桿中間有節內部隔板，灌注藥劑時打孔如何確保能夠完全塗佈整個桿內部，另開孔是否因開孔過大影響強度，建請補充說明。</p>	<p>1. 感謝委員建議，本研究使用之藥劑皆符合 CNS 3000 標準。</p> <p>2. 感謝委員建議，防蟲防黴之關鍵技術所使用之處理方法，其流失性與耐久性為重要之評估，建議納為後續較為長期性的耐候試驗研究，以釐清處理竹材在戶外使用的狀況以及耐久性，有利於建立完整的處理技術指引說明。</p> <p>3. 感謝委員建議，本研究採用水溶性 ACQ 藥劑進行加壓注入處理，因此可完全含浸孟宗竹桿內側，而經本研究試驗結果顯示，由於 ACQ 藥劑處理需進行通節，因此抗彎機械性能有下降之情形。</p>
<p>陳委員瑞鈴</p>	<p>1. 國內竹建築案例長榮堂及臺北客家園區竹夢市集，所使用之竹構件或竹屋頂棚架，採用煮沸殺青、高</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p> <p>2. 感謝委員建議，環境使用條件對建材之耐久性具有顯著之影響，因此本報告中「第</p>

	<p>溫乾燥、塗裝蜂蠟亞麻仁油等多項防蟲防黴處理技術，另相關文獻亦提及煙燻法、水浸法等方式，這些均屬本研究蒐集彙整關鍵技術之範疇，宜列入俾可強化豐富指引之內容。</p> <p>2. 竹建材用於室內或戶外，作為結構材或裝修材料使用，或是否直接接觸土壤等因素，會有強弱不等的材料防蟲防黴性能需求，建議簡要分類分別闡述其最適化之製程處理方法，以利業界參採應用。</p> <p>3. 請補充期初審查會議意見回應表。</p>	<p>五節竹建材之防蟲、防黴最適化處理指引(草案)」也將環境使用風險評估納入其中，以利業界參採應用。</p> <p>3. 感謝委員建議，本計畫於期初階段有召開工作諮詢會議，由委員評估及確立計畫內容。相關之內容已附於附錄一章節。</p>
<p>黃理事長秀莊</p>	<p>1. 報告書第 VIII 頁三(一)竹材經硼化合物系藥劑處理後，可有效地降低白蟻對竹材的蝕害，並且有毒殺白蟻的效果，請問對人體是否有害?或是有何後遺症。</p> <p>2. 期中審查曾提出目前是否有竹建築 2 樓以上之案例，貴執行單位回覆稱在國內尚無 2 樓以上之建築，但在四、主要建議事項內說竹材是一種可再生資源，尤其適合用於建築結構，請釐清說明。</p>	<p>1. 本研究硼化合物系藥劑主要作為戶外用原竹建材藥劑注入使用，以劑量而言，成人攝取 1~3 克的硼酸會產生「硼酸中毒」症狀，但若觸摸表面並不會有立即之中毒風險，美國環保署 (U.S EPA) 已經訂定終生硼暴露在 1 mg/L 下，不會造成任何不舒服的反應 (國家環境毒物研究中心)。</p> <p>2. 竹建築需受相關建築法規規範。建築物目前相關法規有：建築法、建築技術規則、結構計算、消防法、建</p>

	<p>3. 簡報 P.29ACQ 藥劑進行加壓注入處理，建議補充說明是否需在每個竹節藥劑注入處理？</p>	<p>築室內裝修管理辦法等。臺灣建築技術規則(建築構造篇)中對建築物以磚構造、木構造、鋼構造、混凝土構造、鋼骨鋼筋構造、冷軋型鋼構造，建築物等構造分類，並有相對應的法規，惟對於竹構造尚未建立。因此目前竹建築多為公眾之臨時性建築。</p> <p>3. 本計畫之原竹藥劑處理係原竹經過通節處理，因此可處理全竹內外兩側。</p>
<p>簡組長昭群</p>	<p>1. 本研究處理方式是否有耐久年限評估，是否經過一段時間需再加強防蟲防霉處理，以延長竹建材使用時間。</p> <p>2. 建議本研究成果可提供農業部林業試驗所參考，共同推廣竹建材用途。</p> <p>3. 研究團隊試驗過程是否依據 CNS 規範試驗，有無提出增修訂 CNS 規範內容之建議。</p>	<p>1. 感謝委員建議，防蟲防霉之關鍵技術所使用之處理方法，其流失性與耐久性為重要之評估，建議納為後續較為長期性的耐候試驗研究，以釐清處理竹材在戶外使用的狀況以及耐久性，有利於建立完整的處理技術指引說明。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p> <p>3. 本研究包含密度、含水率、膠合性能、甲醛釋出量、抗彎強度等，均依其相關 ISO 或 CNS 標準進行試驗。</p>
<p>中華民國全國建築師公會(陳建築師俊芳)</p>	<p>1. 本研究報告書內文缺圖表說明，如圖 1-1、圖 2-1-圖 2-8、圖 4-2、表 2-2~表 2-6 及表 4-3~表 4-5 等，請補充修正。</p>	<p>1. 感謝委員建議，已統一修正。</p> <p>2. 感謝委員建議，防蟲防霉之關鍵技術所使用之處理方法，其流失性與耐久性為重</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 建議可增加各防黴防蟲工法之耐久性說明，以利參考應用。 	<p>要之評估，建議納為後續較為長期性的耐候試驗研究，以釐清處理竹材在戶外使用的狀況以及耐久性，有利於建立完整的處理技術指引說明。</p>
<p>台灣省建築材料商業同業公會聯合會(王總幹事榮吉)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 本研究竹建材構造設計與相關應用及技術蒐集完整，符合預期成果，值得肯定 本研究完成室內用及外用竹板材之防蟲抗黴相關技術之探討，可供業界應用。 竹材係國內在地化循環經濟節能建材之一，值得更深入的探討其用途及未來相關之應用技術，包括耐久性之評估基準等。 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員肯定。 感謝委員肯定。 感謝委員建議，防蟲防黴之關鍵技術所使用之處理方法，其流失性與耐久性為重要之評估，本團隊亦建議未來主辦單位納為後續較為長期性的耐候試驗研究，以釐清處理竹材在戶外使用的狀況以及耐久性，有利於建立完整的處理技術指引說明。
<p>羅組長時麒(林副研究谷陶代理)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 研究團隊須注意核銷進度，另涉及第2次專家座談會尚未召開團隊儘速召開。 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員建議，已召開第2次專家座談會，相關會議記錄如附錄四：第二次專家會議。
<p>樂主任秘書中丕</p>	<ol style="list-style-type: none"> 本研究竹建材防蟲防黴技術採用 ACQ 方式處理，其試驗結果符合相關國際標準，對應 CNS 國家標準等級為何?建議補充說明。 有關耐久性試驗，目前無可參考之國家標準，是否 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員建議，本研究針對 ACQ 之防蟲防黴試驗，主要依 CNS 國家標準操作，其中 K4 危害等級處理具有顯著抗白蟻性，並且竹青側黴菌試驗為 1 級、竹黃側為 0 級。 感謝委員建議，耐久性試驗部分可參考 CNS 6717 進行

	<p>有蒐集其他相關參考資料，俾供後續參考。</p>	<p>防腐性能基準評估、以及 CNS 15756 進行抗白蟻野外試驗，此外如本研究第二章相關文獻資料彙整與分析第六節級第七節，可參考各國相關之抗白蟻及抗黴菌相關標準，進行耐久性之評估。</p>
--	----------------------------	--

參考書目

中文參考文獻

1. 李敏郎（2009）植物殺菌劑之介紹使用。作物診斷及農藥安全使用手冊。P.61-89。
2. 林書亨（2017）竹構造防腐之研究。國立成功大學建築學系碩士論文。
3. 黃世孟（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. 王守範及謝堂州（1966）竹材防蛀防黴防腐試驗（II）。台灣林業試驗所報告第一二五號。
5. 鄭雅文、趙偉成、吳倫鴻、楊德新（2023）國產孟宗竹材密度分布特性對其基礎性質之影響。林業研究季刊。45：159-172。
6. 陳建同（2022）構竹林鐵 2022_與木製研_北門翼。與木製研網站簡報。
7. 馬萱人、原間影像工作室（2022）【構竹林鐵 07 | 專訪】竹。之徑：以精密結構工法，畫出林鐵歷史之徑。綠媒體。
8. 台灣竹會（2022）《竹。之徑》原型結構 x 張家維。網頁文章。
<https://www.taiwan-bamboo.org/tw/2022bamboo-as/>
9. CNS 14495（2022）木材防腐劑。經濟部標準檢驗局。
10. CNS 14730（2022）防腐處理木材之防腐劑吸收量測定法。經濟部標準檢驗局。
11. CNS 3000（2015）木材之加壓注入防腐處理方法。經濟部標準檢驗局。
12. CNS 3219（2011）加壓注入防腐處理竹材。經濟部標準檢驗局。

外文參考文獻

1. Arehart, J. H., J. Hart, F. Pomponi and B. D'Amico (2021) Carbon sequestration and storage in the built environment. *Sustainable Production and Consumption*, 27: 1047-1063.
2. Barnes, H. M. and R. J. Murphy (1995) The classics and the new age. *Forest Products Journal*, 45(9): 16-26.
3. Brito, F. M. S., J. B. Paes, J. T. da Silva Oliveira, M. D. C. Arantes and L. Dudecki (2020). Chemical characterization and biological resistance of thermally treated bamboo. *Construction and Building Materials*, 262, 120033.
4. DeGroot, R. C. and M. Stroukoff (1986) Efficacy of alternative preservatives used in dip treatments for wood boxes. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
5. Dong, Y. M., X. Y. Liu, J. J. Liu, Y. T. Yan, X. R. Liu, K. L. Wang and J. Z. Li (2021). Evaluation of anti-mold, termite resistance and physical-mechanical properties of bamboo cross-linking modified by polycarboxylic acids. *Construction and Building Materials*, 272, 121953.
6. Evans, P. (2003) Emerging technologies in wood protection. *Forest Products Journal*, 53(1):14-22.
7. Febrianto, F., Gumilang, A., Maulana, S., & Purwaningsih, A. (2014). Natural durability of five bamboo species against termites and powder post beetle. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 12(2):146-156.
8. Hao, X. M., Q. Y. Wang, Y. H. Wang, X. Han, C. L. Yuan, Y. Cao, Z. C. Lou and Y. J. Li (2021) The effect of oil heat treatment on biological, mechanical and physical properties of bamboo. *Journal of Wood Science*, 67(26):1-14.
9. Rai, M., A. P. Ingle, R. Pandit, P. Paralikar, S. Shende, I. Gupta, J. K. Biswas and S. S. da Silva (2018) Copper and copper nanoparticles: Role in management of insect-pests and pathogenic microbes. *Nanotechnology Reviews*, 7(4): 303-315.
10. Sun, R., Y. Liu, X. Li, R. Hou, J. Qiao and Y. Wu (2013) Effect of heat treatment on sugar of bamboo bundles *Journal of Central South University Forest Technology*,

33(6):132-135.

- 11.Vani, C. N., S. Prajwal, R. Sundararaj and T. K. Dhamodaran (2022) Chemical Preservatives in Wood Protection. In: Sundararaj, R. (eds) *Science of Wood Degradation and its Protection*. Springer, Singapore. 559-587.
- 12.Yang, S., Luo, S., Huang, A., Luo, Y., Li, D., Wu, Y., & Ji, N. (2019). Mold resistance of bamboo treated with copper complexes-grafted silica gel and its microdistribution in treated bamboo. *Journal of Wood Science*, 65(1): 62.
- 13.Griffiths, Alyn (2002) Vo Ttong Nghia Architects completes bamboo welcome centre for Grand World Phu Quoc. De zeen.

竹建材防蟲防霉關鍵技術之研究

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：王松永、楊德新、鄭雅文、陳俞甯

出版年月：112年12月

版次：第1版

ISBN：978-626-7344-27-9（平裝）