

輕質竹材水泥板於營建工程應用 之研究(第二年)

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 96 年 12 月

(國科會 GRB 編號)
PG9603-0430

輕質竹材水泥板於營建工程應用 之研究(第二年)

受委託者： 國立嘉義大學

研究主持人： 劉玉雯

協同主持人： 黃金城

研究員： 詹穎雯

研究助理： 石嘉玉

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 96 年 12 月

目次

目次	I
表次	III
圖次	V
摘要	IX
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法	4
第二章 蒐集之資料與文獻分析	7
第一節 纖維水泥板	7
第二節 有機纖維材料水泥板之發展與製作	14
第三節 有機纖維水泥板之性質	27
第四節 木絲水泥板	32
第三章 竹絲水泥板之預備試驗	39
第一節 竹絲之浸泡處理	39
第二節 竹絲水泥漿之凝結時間與抗壓強度	42
第三節 竹絲水泥板表面之平整性與抗彎強度	48
第四節 竹絲水泥板之單位重	55
第四章 竹絲水泥板之製作	61
第一節 材料	61
第二節 配比設計	66

第三節	竹絲水泥板之製作	68
第四節	試驗設備與方法	69
第五章	竹絲水泥板之性質	79
第一節	竹絲水泥板之物理性質	79
第二節	竹絲水泥板之力學性質	86
第三節	竹絲水泥板之抗衝擊能力	96
第四節	竹絲水泥板之隔熱性	104
第五節	竹絲水泥板之耐燃性	107
第六節	竹絲水泥板與木絲水泥板之性質比較	115
第七節	竹絲水泥板之經濟性分析	116
第八節	竹絲水泥板之品質管理	118
第六章	結論與建議	121
第一節	結論	121
第二節	建議	123
附錄		125
參考文獻	131

表次

表 2-1	輕隔間牆與磚牆、RC 牆特性比較分析	10
表 2-2	CNS 3802 纖維水泥板之性能規定	11
表 2-3	防火建材隔間板材特性	11
表 2-4	0.8 板及 1.0 板材料配比(質量比)	20
表 2-5	德國 Simepelkamp 公司的典型水泥纖維板原料配	20
表 2-6	加鋪木絲層對粒間孔隙式稻殼水泥板抗彎強度之影響	29
表 2-7	加強型稻殼水泥板之抗彎強度	29
表 2-8	CNS 9456 木絲水泥板之性質	35
表 2-9	市售木絲水泥板之機械性質	35
表 2-10	琉球松粒片與水泥混合後之凝結時間	36
表 2-11	琉球松粒片水泥板之理學及力學性質	36
表 3-1	竹絲水泥漿之配比	44
表 3-2	竹絲水泥漿之凝結時間	44
表 3-3	竹絲水泥漿之抗壓試驗結果	45
表 3-4	各組竹絲水泥板之配比	50
表 3-5	各組竹絲水泥板之抗彎強度	50
表 3-6	各組試驗添加乳膠及發泡劑竹絲水泥板之配比	57
表 3-7	竹絲水泥板之試驗結果	57
表 4-1	竹絲篩分析試驗結果	62
表 4-2	發泡劑(正己烷)之性質	62
表 4-3	有機鈦之性質	63

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

表 4-4	竹絲水泥板之配比設計	67
表 4-5	建築物室內裝修材料之耐燃試驗標準值(耐燃二級)	74
表 5-1	各組竹絲水泥板之容積比重與含水率	81
表 5-2	各組竹絲水泥板之吸水長度變化率	81
表 5-3	竹絲水泥板之抗壓強度	88
表 5-4	竹絲水泥板之彎曲破壞載重	88
表 5-5	竹絲水泥板之衝擊試驗結果	98
表 5-6	竹絲水泥板之熱傳導試驗結果	105
表 5-7	各組竹絲水泥板之耐燃試驗結果	108
表 5-8	竹絲水泥板與木絲水泥板之比較	115
表 5-9	竹絲水泥板之材料價格與用量	117
表 5-10	木絲水泥板之市場價格與竹絲水泥板成本	117
表 5-11	竹絲水泥板品質自主查核表	119

圖次

圖 1-1	研究步驟流程圖	5
圖 2-1	纖維水泥板應用於壁板	12
圖 2-2	水泥纖維板應用於建築物外牆板的情景	12
圖 2-3	水泥纖維板應用於室內的隔間施工	13
圖 2-4	典型的水泥纖維板廠型製作流程	21
圖 2-5	竹片分絲機結構示意圖	22
圖 2-6	廠型堆疊成型板材之設備器	23
圖 2-7	廠型的 Hatschek 機	23
圖 2-8	廠型板胚的脫模處理情景	24
圖 2-9	廠型板胚自動高壓蒸氣養護裝置	25
圖 2-10	高溫的飽合水蒸汽與壓力之關係	25
圖 2-11	木絲纖維水泥板成品	26
圖 2-12	水泥漿含量與孔隙式稻殼式水泥板抗彎強度及單位重之關係	30
圖 2-13	水泥漿含量與緻密式稻殼式水泥板抗彎強度及	30
圖 2-14	稻殼水泥板一貫作業自動化生產流程圖	31
圖 2-15	木絲水泥板應用於天花板	37
圖 2-16	木絲水泥板應用於壁板	37
圖 2-17	木絲水泥板應用於地板	38
圖 3-1	經水浸泡後烘乾之竹絲	40
圖 3-2	經水與 Na_2CO_3 溶液浸泡後烘乾之竹絲	40
圖 3-3	經水與有機鈦溶液浸泡後烘乾之竹絲	41

圖 3-4	吉爾摩氏針凝結時間測定之裝置	46
圖 3-5	恆溫恆濕箱之裝置	46
圖 3-6	竹絲水泥漿之抗壓強度	47
圖 3-7	未添加乳膠與發泡劑竹絲水泥板之情形	51
圖 3-8	水泥板抗彎強度試驗示意圖	51
圖 3-9	同配比水泥漿抹平於板材表面情形	52
圖 3-10	竹絲水泥板製作表面平整	52
圖 3-11	使用竹胚製成竹絲水泥板之情形	53
圖 3-12	竹絲水泥板放置厚木材之情形	53
圖 3-13	製作過程板材經加壓後之情形	54
圖 3-14	竹絲水泥板添加乳膠之情形	54
圖 3-15	添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板單位重	58
圖 3-16	添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板抗壓強度	58
圖 3-17	添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板抗彎強度	59
圖 3-18	添加發泡劑之竹絲水泥板	59
圖 4-1	竹塊粉碎試驗機	64
圖 4-2	長 4cm 竹塊碎化後未分篩之竹絲	64
圖 4-3	停留#4 之竹絲(約 1.3cm)	65
圖 4-4	通過#4 且停留#8 之竹絲(約 1.5cm)	65
圖 4-5	停留#50 之竹絲(約 0.5cm~1.5cm)	65
圖 4-6	試體之尺寸量測位置	75
圖 4-7	吸水長度變化率試驗之試片標線間距離	75
圖 4-8	萬能試驗機照片	76

圖 4-9	砂上全面支承	76
圖 4-10	耐衝擊試驗裝置	77
圖 4-11	隔熱材料導熱係數之測定裝置	78
圖 4-12	建築材料表面耐燃性試驗裝置	78
圖 5-1	竹絲水泥板之外觀	82
圖 5-2	竹絲水泥板裁切之情形	83
圖 5-3	裁切後之竹絲水泥板	83
圖 5-4	竹絲含量與板材單位重之關係	84
圖 5-5	竹絲含量與板材含水率之關係	84
圖 5-6	各組竹絲水泥板之吸水長度變化率	84
圖 5-7	竹絲水泥板不同發泡劑添加量之抗壓強度	89
圖 5-8	竹絲水泥板竹絲含量與抗壓強度之關係	89
圖 5-9	竹絲水泥板不同發泡劑添加量之彎曲破壞載	90
圖 5-10	竹絲水泥板竹絲含量與彎曲破壞載重之關係	90
圖 5-11	B6 抗彎試驗破壞斷面之情形	91
圖 5-12	B6H10 抗彎試驗破壞斷面之情形	92
圖 5-13	B8H10 抗彎試驗破壞斷面之情形	93
圖 5-14	B10H10 抗彎試驗破壞斷面之情形	94
圖 5-15	B8H5 抗彎試驗破壞斷面之情形	95
圖 5-16	B6H10 衝擊試驗後之情形	98
圖 5-17	B8H10 衝擊試驗後之情形	100
圖 5-18	B10H10 衝擊試驗後之情形	101
圖 5-19	B6 衝擊試驗後之情形	102
圖 5-20	B8H5 衝擊試驗後之情形	103

圖 5-21	竹絲水泥板含水率與熱傳導係數之關係	106
圖 5-22	竹絲水泥板密度與熱傳導係數之關係	106
圖 5-23	B6H10 耐燃試驗後之情形	109
圖 5-24	B8H10 耐燃試驗後之情形	110
圖 5-25	B10H10 耐燃試驗後之情形	111
圖 5-26	B6 耐燃試驗後之情形	112
圖 5-27	B8H5 耐燃試驗後之情形	113
圖 5-28	試驗後之標準板	114

摘要

關鍵詞：水泥板，熱傳導係數，衝擊性，耐燃性

一、研究緣起

因應高層結構及空間機能的多變性，以及室內彈性隔間的需求，隔間材料多要求輕質化，且施工時須講究快速與單純化。由於國內室內空間之裝修強度普遍過高，又常加以施用大量膠合劑之工法，造成建材甲醛持續溢散而污染室內空氣。而目前裝修與隔間常應用之木質(木絲)水泥板，大致可滿足良好之耐候性、尺寸安定性、隔音性與耐火性，並有防蟲性與防腐性等之良好性質；且在高溫潮濕之環境下，較不易受生物性或化學性作用而劣化。然而木材需種植多年始能利用，且在國土資源、森林保育之政策下，台灣地區之木材產量已逐漸減少。因此，本計畫之主要目的為以蔴竹材料取代木質材料製作竹質水泥板，以應用於建築隔間材料上，研究成果更可提供營建業之應用參考。

二、研究方法及過程

本研究以三種竹絲含量(6%、8%與10%)，以及二種發泡劑添加量(5%與10%)，分別製作竹絲水泥板以供板材各項性能測試用。測試項目主要為(1) 建立輕質竹材水泥板之配比設計與製造技術；(2) 探討輕質竹材水泥板之各項性能，包括含水率、容積比重、吸水長度變化率、耐衝擊性、耐燃性與隔熱性；(3) 分析比較輕質竹材水泥板與木質(絲)水泥板、纖維水泥板等之各項性能。

三、重要發現

試驗結果顯示，竹絲水泥板之含水率約為 10.1-13.2%，容積比重約為

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

1030-1230 kg/m³，已可達到工程應用上質輕之需求。各組竹絲水泥板之吸水長度變化率約為 0.04%-0.13%之間；彎曲破壞載重約為 61-82 kgf；熱傳導係數約為 0.177-0.272 kcal/m²°C·hr；衝擊作用後未出現龜裂、剝離、貫穿孔及裂開之情形，且凹陷直徑均在 20mm 以下。此外，由耐燃試驗顯示，各組竹絲水泥板均已達到耐燃 2 級之標準。因此，由以上之試驗結果可知，本研究製作之竹絲水泥板之各項性能均符合 CNS 3802 纖維水泥板之要求。

四、主要建議事項

1. 立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院農委會

制定獎勵措施，協助廠商研發新產品，以解決台灣地區竹材產量豐富，但因工資昂貴，竹材加工業外移情形嚴重之問題。

2. 中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院農委會

竹絲水泥板外觀之結構(如顏色、圖樣)，及其他附加功能(如除臭、淨化空氣)，可進一步研發。以因應國人生活品質提升，居住環境逐漸重視美觀與健康之需求。

ABSTRACT

Keywords: cement boards, thermal conductivity, impact, incombustibility

In order to adapt to the variety of high structure and the functions of space and the need of indoor flex compartment, the materials to separate space are commanded to be light, and the work to be fast and simple. The exaggerate modifications of indoor space and the crafty of using huge amounts of glue in Taiwan result in the spread of formaldehyde of structure materials and pollute the indoor air. The wood-based (wood-silk) cement board used in modification and compartment now can mostly satisfy the climate adaptive ability, size stability, soundproof and fire-resistant ability, and also has the good qualities of anti-bugs and anticorrosive abilities. Moreover, it's hardly affected by biological or chemical factors and turns bad when it's in the hot and humid environment. However, it takes a long time to grow trees for use. And under the policies of national resources and forest protection, the wood supply in Taiwan is decreasing. So the main goal of the project is to use the chaste tree and bamboo materials to substitute the wooden materials to make bamboo-based cement board and uses it as the material in compartment, and the results of the research can be used as a reference for building industry.

This research uses 3 kinds of bamboo containment (6%, 8% and 10%) and 2 kinds of bulb production containment (5% and 10%) to make separate bamboo cement boards to be used in the tests of every functions. The test goals are (1) to make light bamboo material cement board's component design and making skills; (2) to discuss each function of bamboo material, including water-containing rate, containment rate, variety rate of sulking water, impact endurance, fireproof ability

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

and hot-resistant ability; (3) to analyze and compare each function of light bamboo material cement board and wooden (silk) and fiber ones.

The result shows that the water containment of bamboo cement board is about 1030-1230kg/m³, which can meet the light standard of engineering usage. The changeability of length of water sulking in each group of bamboo is at the range of 0.04%-0.13%; the bend ruined weight is about 61-82kgf; the thermal conductivity is about 0.177-0.272kcal/m·Chr. After the impact, there is no cracks, detachment, pinholes and split, and the low diameter are all below 20mm. Besides, the result of heat-resistant shows that each group of bamboo cement board has already reached the second standard. Therefore, we can conclude from the above research can satisfy the demand of the CNS 3802 fiber cement board in every function.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

創新營建材料的研發為當前國內建築研究發展不可忽略之課題。現今的建築工程必須融入節約能源、資源再生利用、降低環境負荷、與風土環境親和共生的，以及永續發展等理念。建築物的規劃設計、施工過程、使用管理以及最後的拆除重建時都能在最節省能源、最有效利用資源與最低環境負荷的前提下，達到人、建築與環境的共生共榮與永續發展[1]。而綠建築的努力可從結構系統、建築材料等方面進行，如盡量採取輕質隔間牆與隔熱性能良好的外牆，並運用乾式施工法等，即可大量節省能源。

傳統的隔間材料—磚牆，雖然其建造成本低，但具有許多無法克服的問題，例如龜裂、防霉、防潮、白華（壁癌）等，且重量大，不利於耐震。而在因應高層結構及空間機能的多變性，以及室內彈性隔間的需求，隔間材料多要求輕質化，且施工時須講究快速與單純化。同時在消防安檢的時代之環境下，防火建材的搭配使用已是趨勢。因此，輕隔間與輕鋼架等施工方法已廣泛被使用於隔間材料。輕質隔間牆普遍具有良好的防火、防潮、防污染、耐撞擊力、耐震性、隔音效果佳、不龜裂、不變形、不腐爛等特性，隔間變更時，可拆卸、重複使用，減少廢棄物。在目前建造業日新月異，勞工短缺，而地震、天災頻繁之際，實為理想的隔間方式。而常見的輕隔間牆如石膏板、水泥板、氧化鎂板、碳酸鎂板、矽酸鈣板、輕質混凝土板等[2-3]。

就現代人之「時間-地點」分佈來說，每人每天在不同之建築室內空間活動的時間超過 90%，可見室內環境品質之重要性。而室內環境評估指標所佔權重最高之空氣環境，其評定要項包含數項因子，諸如甲醛、揮發性有機物質等多項污染物均來自建材。而室內裝修建材或其製作與施工中使

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

用之材料，如膠合劑、發泡膠與隔熱層等，均是室內甲醛的主要釋放源之一[3]。然而，由於國內室內空間之裝修強度普遍過高，又常加以施用大量膠合劑之工法，造成建材甲醛持續溢散而污染室內空氣。而目前普遍用於室內建築結構與裝潢用之粒片板或纖維板，未能十分理想地減少甲醛釋出。因此土木建築界仍然積極尋覓具有良好之耐候性、尺寸安定性、隔音性與耐火性，並有防蟲性與防腐性等良好性質之板材；同時又要有適當之強度、加工容易與易於人體健康之能力。而歷史悠久之木質(木絲)水泥板大致可滿足上述之需求性，尤其在高溫潮濕之環境下，較不易受生物性或化學性作用而劣化。然而木材需種植多年始能利用，且在國土資源、森林保育之政策下，台灣地區之木材產量已逐漸減少。因此，尋求替代木質材料，以作為建築室內隔間板材之材料，應為一高實務性與經濟性之研究課題。

台灣竹林面積分佈甚廣，自本地以迄海拔 1,500 公尺左右之山地，或為純林，或為混生，合計面積約 175,000 公頃[4]。且因其生長快速、更新快，成林後約三、四年即可採伐利用。而健康的竹林具有防風避震、淨化空氣、消滅噪音、水土保持、改善農村環境等功能；若未妥善管理而任其荒廢之竹林，反易導致地下莖系敗壞、病蟲危害、枯死、甚或引起災害。故砍伐老竹利用，既可促進國土保安，且可改善竹農生計。同時對天然資源漸趨匱乏之今日，竹材實為頗具發展潛力之加工原料。

近年來政府為提升整體竹產業的經濟產能及競爭力，積極推動「竹產業轉型及振興計畫」；而目前國內竹產業的發展以竹炭為重點執行工作[5]。竹炭則主要以孟宗竹與桂竹為主要材料，其他如蔴竹等竹材之應用則較少。而蔴竹常於沿海地區植之，以防風定砂，或應用為泥岩地區坡腳淤泥之植栽材料，山坡野溪之邊植護坡，水源涵養，及植生木樁等[4]。蔴竹稈肉堅厚，表皮厚而粗糙，強度高且強韌耐磨，可供建築及編織材料。早期先民之"竹管厝"之房屋建材，最喜愛用蔴竹，因其強度高，持久性亦佳。此外，竹材纖維強韌，並具有較木材材料較高比強度(強度與比重之比質)之特性[6]。因此，本

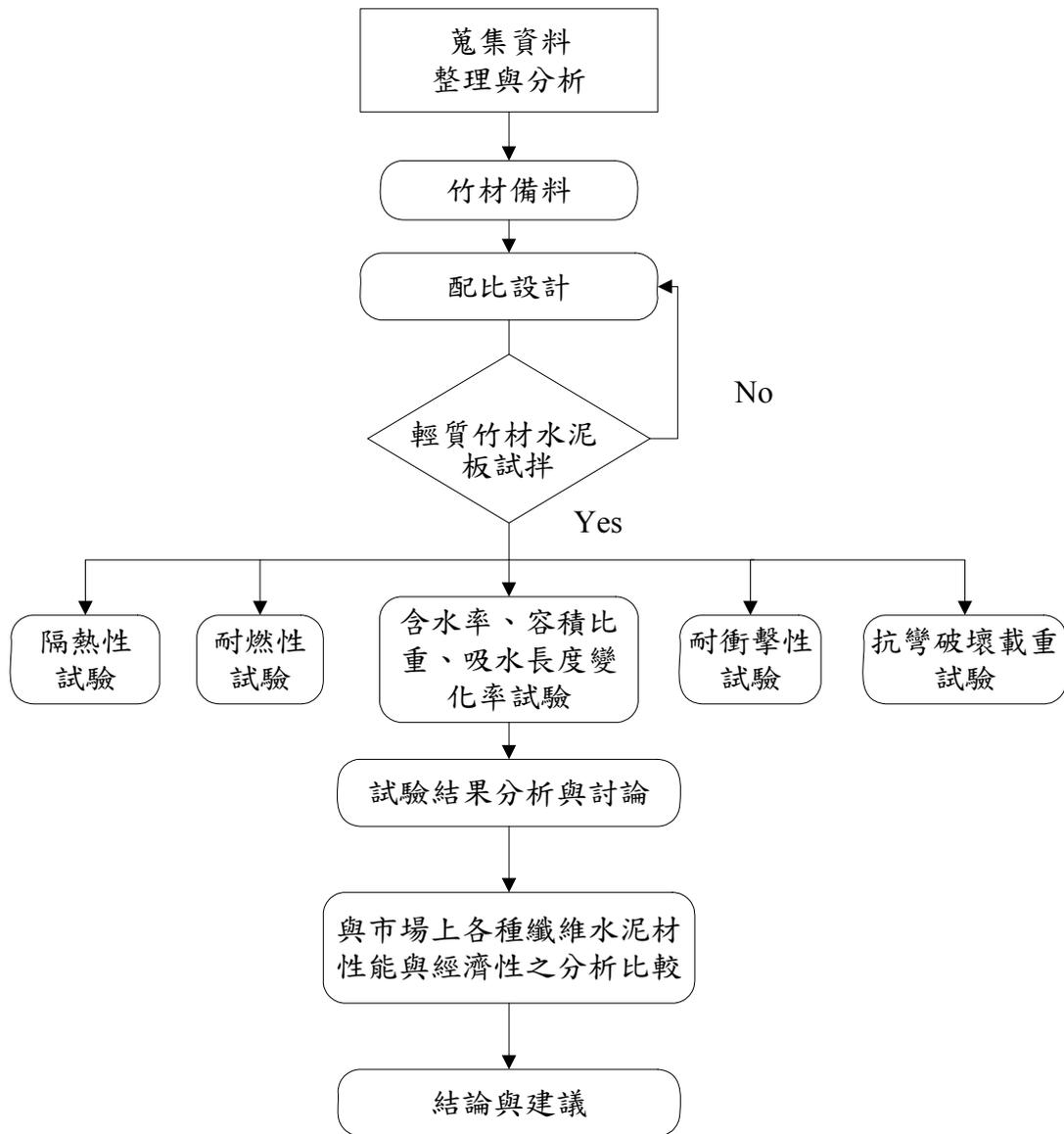
第一章 緒 論

計畫之主要目的為以荊竹材料取代木質材料製作竹質水泥板，以應用於建築隔間材料上，研究成果更可提供營建業之應用參考。

第二節 研究方法

本計畫以研發質輕、隔熱與耐燃性佳之多功能輕質竹材水泥複合板為主要目的。研究方法主要分成三大部分：(1) 建立輕質竹絲水泥板之配比設計與製造技術；(2) 探討輕質竹絲水泥板之各項性能，包括含水率、容積比重、吸水長度變化率、耐衝擊性、耐燃性與隔熱性；(3) 分析比較輕質竹絲水泥板與木質(絲)水泥板、纖維水泥板等之各項性能。

研究執行流程如圖 1-1 所示。



*資料來源：本研究整理

圖 1-1 研究步驟流程圖

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

第二章 資料蒐集與文獻分析

第一節 纖維水泥板

壹、纖維水泥板之特性

在台灣地狹人稠，建築物皆往高層伸展之環境下，建築物實在禁不起重壓型建材的使用(如 RC、磚塊等)。而業界亦早已引進輕隔間牆體工法(木板、石膏板)，但由於台灣位於亞熱帶，又濕又熱的環境，使得早期的木板受蟲蛀、石膏板容易受潮而影響品質。近代的隔間材料，從 1/2 B 磚牆及木構造隔間，到現在纖維水泥板則提供一般傳統式牆或輕質水泥牆的優點，並且可避免濕式工程不方便的問題。此外，不同於傳統磚牆或水泥牆的固定性，纖維水泥板防火及乾牆系統提供方便及可隨意搬移的彈性；輕隔間牆與磚牆、RC 牆特性比較分析如表 2-1 所示[7]。一般而言，纖維水泥板具有不怕長久水浸，不會腐蝕或發霉，不受白蟻侵蛀，也不受陽光及蒸氣影響，以及壽命長，且不須作特殊踢腳處理。由於纖維水泥板不怕水之特性，使其適用於潮濕地區貼磁磚或大理石的理想襯板。而其板材凹邊與平滑抗磨損板面設計，使板面可作無縫式平頭接合。同時其平滑抗磨損之表面便利於各式油漆及磁磚飾材。此外，纖維水泥板於水電配管施做容易，且施工快速，對室內隔間工程著實提供了非常大的便利性。

纖維水泥板主要由水泥、有機纖維以及石棉以外無機纖維等混合材料抄造成形。根據中國國家標準 CNS 3802 纖維水泥板之規定，有機纖維水泥板依容積比重分為兩種，0.8 板纖維水泥板及 1.0 板纖維水泥板，其性能規定如表 2-2 所示[8]。

貳、纖維水泥板產業概況

基於建築隔間材料防火性能之需求，各種水泥板之防火性均優於木質板材（如合板、美耐板等）。目前市場上與水泥纖維板類似的防火隔間板材，包括纖維石膏板、矽酸鈣板、石膏板、木絲水泥板等。

表 2-3 為各項隔間板材之特性比較[9]。一般而言，板材之密度將影響其耐撞擊性、吸水性、隔音性、防火性與吊掛性等。當密度越高時，以上之特性則越佳。此外，水泥板之吸水率亦為其應用推廣之要點。台灣地處於亞熱帶區，氣候較為溫暖潮濕，尤其在季節交替時，板面很容易因反潮而導致發霉，並影響其強度與變形。而矽酸鈣板與石膏板的吸水率明顯偏高，分別為 80%與 75%(表 2-3)，此情形成為石膏板在台灣推展困難之主因[10-12]。

因此，就整體特性而言，水泥纖維板與石膏纖維板是國內未來防火建材最適合開發的項目。然而產製石膏纖維板的石膏原料必需仰賴進口。而屬於本土自主原料生產的水泥纖維板，將成為最具有發展性的防火建材產品。水泥纖維板主要應用產品包括隔間板、裝飾壁板、外牆板、天花板、鋪面板、襯板、灌漿模板等用途。圖 2-1、圖 2-2、圖 2-3 [13-15]分別為水泥纖維板產品應用於室內和室外建材的實例情景，這些產品相較於國外進口之隔間防火建材，在價格上較為便宜，因此在國內具有龐大的市場遠景。

參、原料及製造

製造纖維水泥板所使用原料之規定如下[8]：

- (1) 水泥：水泥為 CNS 61 (卜特蘭水泥)所規定之第 I 型水泥或 CNS 3654(卜特蘭高爐水泥)所規定之第 1 種水泥。
- (2) 有機纖維：主要為木質纖維。
- (3) 無機質纖維材料：無機質纖維材料應為對纖維水泥板之品質無害者。
- (4) 珍珠岩：珍珠岩為 CNS 6992 (珍珠石粉)所規定之珍珠石粉。
- (5) 無機質混合材料：為爐石灰、飛灰、蛇紋石粉、矽石粉等無機質材料並應對製品之品質無害者。

肆、無機纖維水泥板

1. 石膏板

由於石膏板之隔音效果較木板好，因此早期常被使用為隔間材料。石膏板為石膏心材外覆紙料所製成，主要應用於一般的隔間。一般而言，石膏板具有以下之性質：

- (1)防火：石膏板受火燃燒時，因其結晶水的釋放達到防火之效果。
- (2)隔音：石膏板具有良好的隔音性，廣泛使用於要求安靜之建物之中。
- (3)防震：石膏板隔間牆有效減輕結構物之靜載重，配合其為柔性設計，能達到建物防震設計之要求。
- (4)經濟方便：石膏板牆施工快速，工地易維持清潔，管線配置容易，造價合理。
- (5)易碎、怕潮濕：潮濕空間的隔間牆如浴室，防火需求較高的空間如廚房，或是容易造成碰撞的空間較不適合。

2. 矽酸鈣板

矽酸鈣板為以矽酸、石灰為主要成分之無機質水泥板建材，其在 1000°C 的高溫之下，仍具有極佳之耐火性能。基本上矽酸鈣板具有：(1)防火性、隔音性、隔熱性佳；(2)具抗火耐燃、抗壓耐撞、抗潮耐候等強效功能；(3)重量輕、耐震度極佳，適合於超高建築等牆體；(4)可切鋸、可擊釘吊掛、不會蛀蟲腐蝕可久使用；(5)可表面塗漆、貼壁紙、及吊掛廚具衛浴設備等；(6)撓度大不易斷裂可作造型變化，以及較大之彎折而不易破裂；以及(7)搬運方便等特性。因此矽酸鈣板逐漸被廣泛應用為隔間材料。

表 2-1 輕隔間牆與磚牆、RC 牆特性比較分析[7]

特性/項目	隔間輕鋼架系統	1/2B 磚牆或 RC 牆
重量	35 kg/m ²	220~260 kg/m ²
節省空間	牆體厚度 10cm	牆體厚度 12cm 以上
防火時效	一小時 熱導係數 0.38kcal/m ² h	一小時 熱導係數 1.38~2.57kcal/m ² h
管路埋設	配管容易，骨架安裝後即可施工，不影響結構安全	埋管困難，磚牆須事後挖鑿，如施工不良會影響結構體安全，且易龜裂
環境評估	快速、乾淨、減少廢棄物	施工現場髒亂、易積水
地震影響	質輕，裂縫只在接縫處產生	高重量，地震時裂縫不規則產生，尤其門、窗框處
施工速度	快速，15~18 m ² /人日	緩慢，4~6 m ² /人日
隔 音	48dB	40~52dB
防潮性	石膏板不耐潮，需以水泥纖維板替代或配合防水處理之設計	尚可，但因吸水性強，易長霉、白華
平整度	牆面平整度佳	人工修飾，牆面平整度不易控制
敲擊感	不紮實，耐撞性差，需另經加裝吸音玻璃棉捲，或硬質板材補強	佳
內牆改修	快速、容易、乾淨	緩慢、笨重、雜亂
吊掛能力	配合膨脹螺絲，可作輕型懸掛(36kg 下)，重型懸掛另需橫向補強作業(80kg 以上)。	可吊掛重物

表 2-2 CNS 3802 纖維水泥板之性能規定[8]

種類	厚度 mm	容積比重	彎曲破壞載重 N/ { kgf }	耐衝擊性	吸水長度 變化 率(%)	耐燃性
0.8 纖維 水泥板	6	0.6 以上	120 { 12 }	不得有龜裂、剝離、貫穿孔及裂開，且凹陷應在 20mm 以下。	0.25 以下	耐燃 1 級 或 2 級
	8		210 { 33 }			
	10	330 { 33 }				
1.0 纖維 水泥板	6	0.9 以上	200 { 20 }			
	8		350 { 35 }			
	10	1.2 未滿	550 { 55 }			

表 2-3 防火建材隔間板材特性[9]

	矽酸鈣板	石膏板	水泥纖維板	纖維石膏板	木絲水泥板
密度	800~950 kg/m ³	750~775 kg /m ³	1300~1400 kg /m ³	1180±50 kg /m ³	1100~1300 kg /m ³
膨脹係數	0.1~0.15%	0.08~0.1%	0.15~0.2%	0.04%	< 2%
吸水率	75%	80%	30~40%	16.6%	21.7%
熱率傳導 率	0.17 kcal/mhr°C	0.13 kcal/mhr°C	0.4 kcal/mhr°C	0.27 kcal/mhr°C	0.108 kcal/mhr°C
pH 值	9	7	9	7	12



圖 2-1 纖維水泥板應用於壁板[9]



圖 2-2 水泥纖維板應用於建築物外牆板的情景[9]



圖 2-3 水泥纖維板應用於室內的隔間施工[9]

第二節 有機纖維水泥板之發展與製作

壹、有機纖維材料應用於水泥板之發展

早在 20 世紀初，已有學者以無機膠合劑與木材粒片製成商品，當時稱為石木板。但此石木板重量較重，在施工上較為不便。於是 1928 年時較輕質之木絲水泥板因應而生，此類商品迄今仍在被使用[16]。近年來所開發之植物纖維水泥複合板的性能，已可達到甚至超過木質水泥刨花板和水泥木屑板；且具有質輕，可釘、可螺釘，防火、防水、防蟲、防菌、耐濕、抗凍融性好、隔熱、保溫、導熱係數低，板面光滑平整，裝飾性良好，以及在生產和使用中無環境污染等特點。此類水泥板用途廣泛，其中以建築應用最有前途，其可與其他輕質材料配合製成內牆體、外牆體和坡屋面等建築構件，亦可製成永久性模板、門框及室內固定式家具等。

近年來研發之天然纖維水泥板，其構造與種類多樣化，此類板材之優點包括[17-21]：

1. 原材料的來源廣，可就地取材，減少了對環境有益的木材消耗，也減少對農田破壞，同時將影響環境質量的廢物轉變成優良的環境材料。
2. 主要物理力學性能高，既具有混凝土的優點，又具有木材的優良的性能。
3. 具有防蟲、防菌、耐燃。
4. 機械加工性能優良，可釘、可鋸、可做樺、能栓木螺絲。
5. 隔音、隔熱、保溫和化學穩定性等均好，使用中無有害揮發性有機化合物(Volatile organic compounds, VOCs)揮發。
6. 建房採用裝配式，建房勞動力消耗少，和磚混結構比，房屋的使用面積加大，抗震性能良好。
7. 板材的製造工程簡單，運輸中破損率低，建房的技術逐漸成熟，費用低、板材的銷售價低。

但另一方面，天然纖維水泥板亦有下列缺點包括：

1. 耐紫外線的性能較差，作外牆和屋面時要進行表面處理
2. 板材具有吸脫溼現象，故乾燥收縮，吸潮膨脹，所以做內牆時，板縫要給予特殊處理。

貳、有機纖維水泥板之製作

一般而言，典型水泥纖維板之製作流程，如圖 2-4 所示[22]。分別詳述如下：

1. 原料製備

依製板形式有所不同，若要製作纖維水泥板將必需先解纖。若要做木或竹絲則需先裁切、碎化再篩選。本研究之竹絲，則先裁切成 4cm，再以竹片分絲機進行碎化，分篩後使用。目前已有竹片分絲機，其結構示意圖如圖 2-5 所示，使得竹絲在量產方面的問題將得以克服。而此機械之運作原理為在機殼內壁中固定齒板，使物料與齒板及錘片摩擦擠壓，物料進入分絲室後，利用輸入的動力提高輪子的轉動，使物料在分絲室中不規則的翻滾，產生相互碰撞和摩擦作用，進而得到分散均勻的竹。依據中國國家標準 CNS 3802 對纖維水泥板所使用之原料混合材料比之標準比例(質量比)(表 2-4)，而纖維水泥板的製作原料之主要規範如下[23]：

1. 水泥：水泥為 CNS 61(卜特蘭水泥)所規定之第 I 型水泥或 CNS 3654(卜特蘭高爐水泥)所規定之第 1 種水泥。
2. 有機纖維：主要為木質纖維。
3. 無機質纖維材料：無機質纖維材料應為對纖維水泥板之品質無害者。
4. 珍珠岩：珍珠岩為 CNS 6992 [珍珠石粉] 所規定之珍珠石粉。
5. 無機質混合材料：為爐石粉、飛灰、蛇紋石粉、矽石粉等無機質材料，並應對製品之品質無害者。
6. 裝飾材料：纖維水泥板表面裝飾用之材料，應對品質無害者。

2. 漿體混合

依不同的原料特性，以不同配比混合製漿，使含纖維水泥砂漿，能夠獲得良好工作性以及較佳的物性檢測。製作麥稈水泥板主要混合參數為：稈灰比 1：6，水灰比 0.4：1，CaCl 為 7%[24]。德國 Siempelkamp 公司的典型水泥纖維板原料配比組成，可參考表 2-5 所提供的主要原料配比組成。孟宗竹粒片與水泥混合，以水灰比為 0.4-0.8 與水泥漿量為 5.0-6.5 較適宜 [25]。

3. 水泥板抄造

抄造成板技術對水泥纖維板的廠型製作而言，亦是重要的關鍵之一，目前水泥纖維板的廠型抄造製作均採用 Hatschek 機器，如圖 2-6 所示[25]，以減壓式抄造輪配合循環抄造毯的設備運作。由於國內先前的石棉板亦採用此類型製作方式，且在國內的產製運作已有數十年的時間。因此，國內相關板材業者在抄造成板的技術與經驗均已相當的成熟，許多現有的國內防火板材業者亦均由石棉板製造廠轉型而成[26-27]。

依據德國 Siempelkamp 公司提供的典型水泥纖維板原料抄造成板的漿體操作濃度值為 4%，國內大部分業者的抄造成板的漿體操作濃度值約為 5%，主要的考量是抄造成板的厚度需求與設備抄造的速度等因素。抄造成板過程亦必需考慮配比原料的漿體黏度、附著性、壓濾性等，並確認板的平整性等因素。

4、高壓成型

經過廠型抄造成型的板胚，再進一步的作高壓成型處理的技術，對水泥纖維板的廠型製作而言，可以說是最重要的關鍵。目前國內許多現有由石棉板製造廠轉型而成的防火板材業者，由於忽略了此關鍵技術，或是因高壓成型設備投資較高，而意圖省略此項處理。最後均導致水泥纖維板的產品物性不佳，或進而關廠。探究其原因，主要是先前石棉板業者使用的

石棉原料，其與水泥的結合非常良好，在石棉板廠中並不需要高壓成型的處理，即可以使石棉板產品達到非常良好的強度，以致忽略了此關鍵技術。因為水泥纖維板的產製是以木纖維取代已經漸被禁用的石棉，木纖維是有機物性質，其與無機質水泥的界面結合性不若石棉良好。而必須藉由高壓成型機的加壓來使水泥漿體滲入木纖維中，達成複合補強的功能。

目前水泥纖維板的廠型製作使用的高壓成型處理，主要是以堆疊式的高壓型設備(stacking press)(圖 2-7)。此項設備亦是德國 Siempelkamp 公司提供的關鍵水泥纖維板處理設備，其在世界的市場佔有率達到八成。堆疊式的高壓成型處理是藉由漸進式的加壓成型條件控制，亦即在加壓過程中不可過於急速，以免破壞板胚的結構，或引起水泥與纖維的移位，造成板內部的組成不均勻，因此加壓過程是採取漸進的增壓，直到板胚中的原料達到最佳的結合強度與緻密性。

依據德國 Siempelkamp 公司提供的典型水泥纖維板高壓成型處理條件，終壓操作值的範圍約為 $50-200\text{kg}/\text{cm}^2$ 。主要的差異考量為終壓操作值的壓力愈高，水泥纖維板產物的緻密性亦會愈高，相對板材產品的吸水性與強度亦會愈高，但是板材的可加工性亦會降低，因此較適用於室外板的應用需求，其範圍約為 $100-200\text{kg}/\text{cm}^2$ 。而對於較需要考量可加工性的室內用防火隔間板材，則必需使用較低的終壓操作值，其範圍約為 $50-100\text{kg}/\text{cm}^2$ 。就抄板而言，初成型的板胚含水率約 60%，經壓濾脫水後，含水率約 45%。

5. 初凝與脫模

當水泥纖維板的板胚，在經過前述的廠型堆疊式高壓成型處理後，板胚的水合作用，已開始由初凝階段漸漸進入終凝階段。亦即當水泥與水混合形成糊狀物時，水泥中的各種化合物即開始與水起化學作用，產生膠質體及互相黏結而成極堅硬的固體，若能保持潮濕狀態，則化學作用可保持數年之久。當水泥與水混合形成糊狀物，在短時間內保持可塑性，隨後漸漸因化學作用

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

而失去可塑性，此謂初凝(Initial set)，當混合物完全失去可塑性時，此謂終凝(Final set)，當終凝時若攪動混合物，將會嚴重損害強度。

由於堆疊式高壓成型處理是以平面鋼板作為模具，在完成高壓成型處理後，必須進一步將鋼板移除脫模，如圖 2-8 所示。此時板胚的初期強度若太弱時，脫模作業將會導致板胚的破損。因此，如何縮短板胚由初凝階段進入終凝階段的處理時間，變成生產線瓶頸與否的關鍵，尤其是在緯度較高的寒帶國家。通常水泥纖維板廠對初凝成型板胚的養護處理，是在可儲放台車作業的初凝養護室中，以 60°C 蒸汽進行養護處理，蒸汽養護處理的時間約 4-6 小時。

6. 蒸氣養護

當廠型水泥纖維板的板胚，在經過前述的堆疊式高壓成型與初凝養護室處理作業後，必須再利用高溫與高壓的蒸汽釜進行飽和水蒸汽養護，如圖 2-9 所示，以促進纖維板產物的水合反應作用完成。水泥纖維板的板胚在高溫蒸汽釜進行養護與常溫養護的主要差別如下：

1. 含水量會因高溫處理而降低。
2. 抗風化性能會提升。
3. 抗硫性能亦會提升。
4. 漿體的乾縮量會降低。
5. 高溫養護的時間通常低於 4-6 小時，其抗壓強度亦相當於常溫養護的 28 日的靜置處理。

通常蒸汽養護(Steam Curing)操作溫度約 120°C-180°C，為高溫的飽和水蒸汽與壓力之關係，如圖 2-10 所示。

依據德國 Siempelkamp 公司提供的典型水泥纖維板高壓蒸汽釜養護的處理條件為 180°C(蒸汽壓約 10kg/cm²)操作時間約 6 小時。由側面了解國內業者亦均採用相似的條件。

7. 裁切砂光

8. 成品

製作完成之纖維水泥板如圖 2-11 所示。

表 2-4 0.8 板及 1.0 板材料配比(質量比) [25]

分類	水泥	有機纖維 (烘乾值)	無機質纖維材 料(氣乾值)	珍珠岩 (氣乾值)	無機質混合材料 (氣乾值)
0.8 板	30~50	8~13	4~8	10~20	20~30
1.0 板				0	30~50

表 2-5 德國 Simepelkamp 公司的典型水泥纖維板原料配比組成[25]

原料名稱	紙纖維	矽砂	水泥	高嶺土
配比率	9 %	52 %	33 %	6 %

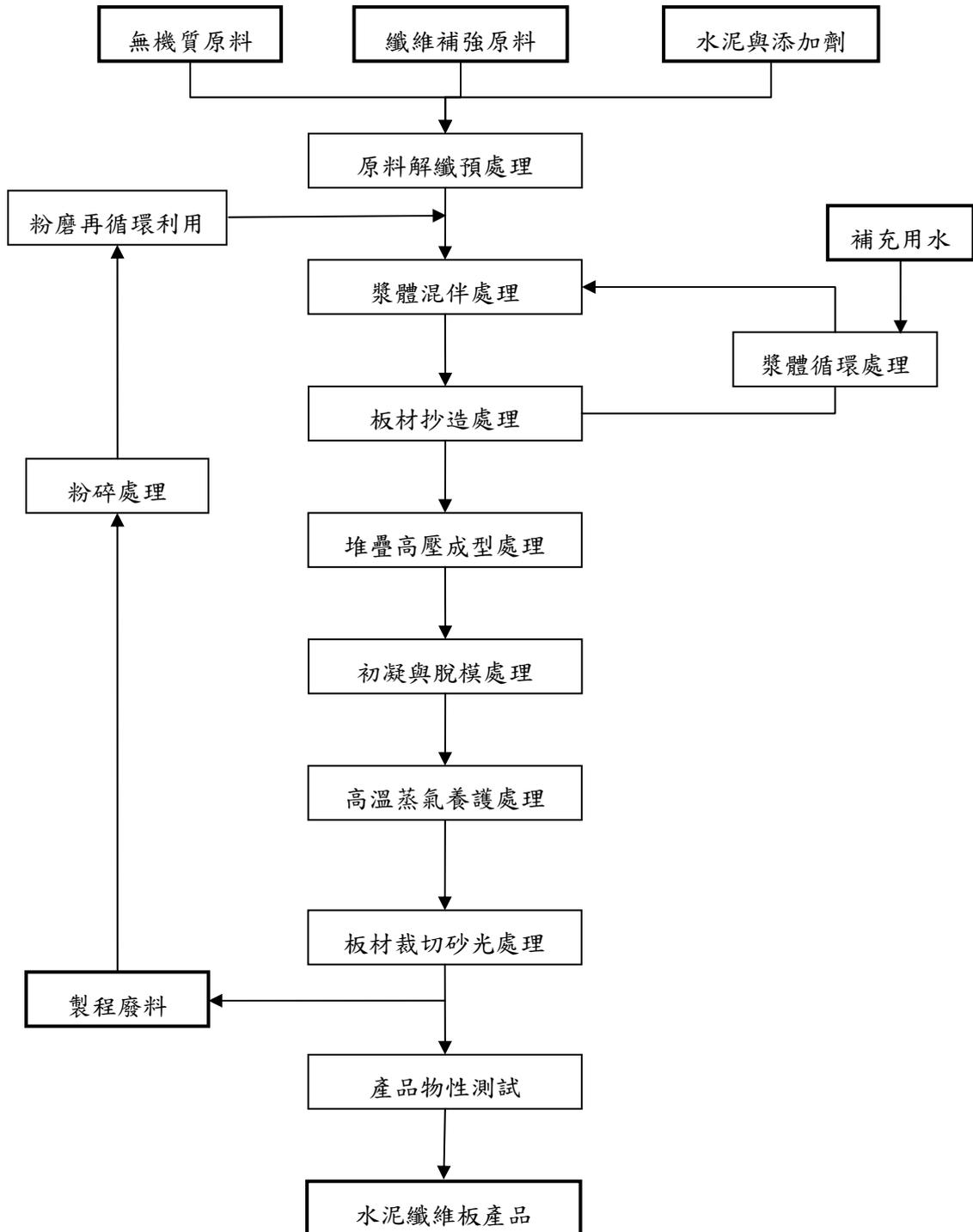
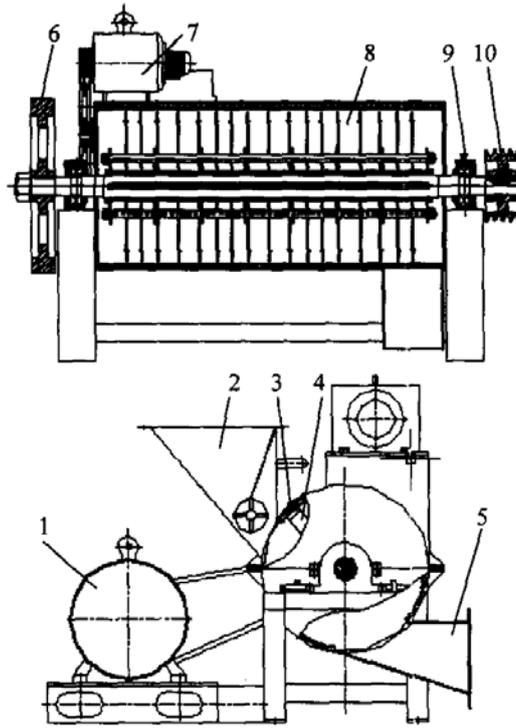


圖 2-4 典型的水泥纖維板廠型製作流程[25]



- 1、電動機 2、進料口 3 齒板 4、錘片 5、出料口 6 轉輪
7、調速電動機 8、分絲室 9、軸承座 10 主軸帶輪

圖 2-5 竹片分絲機結構示意圖[25]



圖 2-6 廠型堆疊成型板材之設備 [25]



圖 2-7(1) 廠型的 Hatschek 機器 [25]

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



圖 2-7(2) 廠型的 Hatschek 機器 [25]



圖 2-8 廠型板胚的脫模處理情景 [25]



圖 2-9 廠型板胚自動高壓蒸氣養護裝置 [25]

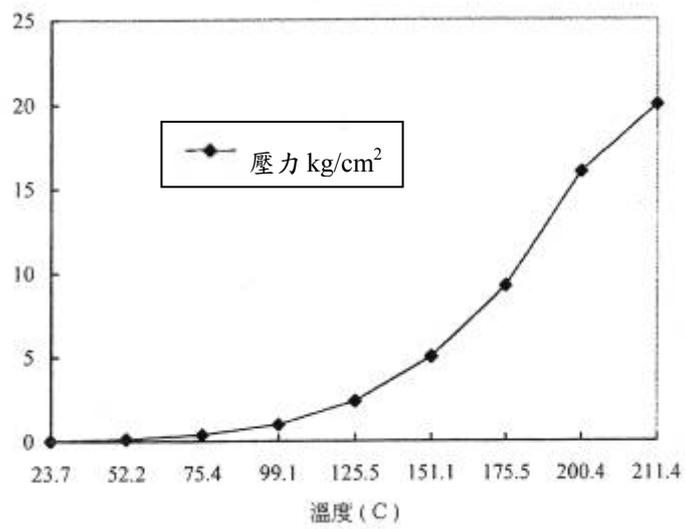


圖 2-10 高溫的飽合水蒸汽與壓力之關係[27]

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



圖 2-11 木絲纖維水泥板成品[27]

第三節 有機纖維水泥板之性質

壹、稻殼水泥板

利用稻殼製造水泥板時，由於稻殼在承擔外力上無法扮演任何角色，充其量只以填充材料方式存在。因此，稻殼水泥板先天上無法承受較大之荷重，使其應用時，只適合載重較小之建築結構，例如不受外力之為牆或隔牆等。但由於含有較大的孔隙率，將使得其隔熱性大增。適用於防止散熱或防火的建築物[28]。

製作孔隙式稻殼水泥板時，乃以顆粒較粗之稻殼代替砂部份與水泥拌合而成，提高夯實靜壓力或增加水泥含量，均會改善水泥板之抗彎強度，其中又以增加水泥量較為明顯。另一方面須注意的是，在提高強度的同時，其單位重也相對增加，如圖 2-12 所示[29]，意味著隔熱性會隨之變差。上述兩種造成強度上升的因子，而引起的單位重增加率相近。另外，製作孔隙式稻殼水泥板時，上下兩面加鋪木絲層，可有效地提高其抗彎強度，如表 2-6 所示[29]。

緻密式稻殼水泥板，乃以顆粒較細之稻殼代替砂部份與水泥拌合而成，再以外表面震動器夯實。其強度比傳統水泥砂漿者差些，但相較於孔隙式稻殼水泥板強度高出甚多。而影響緻密式稻殼水泥板之單位重、抗彎強度及抗壓強度之最有大因素乃為水泥含量，如圖 2-13 所示。然而，無論是孔隙式稻殼水泥板或緻密式稻殼水泥板，變化水灰比對兩者之強度改善幅度皆較小。

稻殼水泥板抗彎強度之加強，有兩種改善之方法：一為在稻殼水泥板上下表層加鋪木絲水泥層；另一為摻用木絲於稻殼水泥漿中。此兩者皆能獲得強度加強的效果，其合宜條件的改善程度比較如表 2-7。加鋪木絲層者雖比摻用木絲者高出約 15% 的增加率，但若從製造過程加以比較，可發現前者作業較為繁難且界面的結合不易，因而在工廠生產上使成本增加，故基本上摻

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

用木絲的加強性比較合乎經濟原則[29]。

在實際生產作業上，稻殼水泥板可類似於其他水泥板採用自動是一貫作業方式，其生產程序基本上可按圖 2-14 所示流程圖設計之。水泥板之養生若採用壓實後靜置室內晾乾方式，因強度成長較慢且晾乾時間較長，所需晾乾場地甚大。較快速的養生方法為採用高溫蒸氣保養法，可在一天之內使水泥板的強度提升到普通保養法 28 天的強度，此種方法保養室佔地較小，設備及維護費用較高，但已普遍為先進國家水泥製品廠所採用。

貳、竹粒片水泥板

利用孟宗竹加工廢料製造之竹粒片水泥板，其板材性質受到下列因素之影響[30-33]：

1. 孟宗竹加工廢料可被利用作為竹材粒片水泥板，唯原料須經前處理，方能成功，最適宜的前處理為冷水浸漬工夫。
2. 水分的添加量會影響板之彎曲強度，而適宜的水量則隨水泥板比重之增加而減少。
3. 粒片大小是影響水泥板彎曲強度之重要因素，選擇較大的粒片製板將有助於彎曲強度的增加。
4. 板材之彎曲強度隨比重增加而增加，且與水泥／竹質比成比例相關。
5. 水泥板硬化時間愈長，板材的彎曲強度愈大，但四週後的強度增加趨勢會逐漸緩和。
6. 水泥／竹質比較大者（ $R=2.5$ ）吸音性質較好。
7. 熱傳導率和比重成正比，而水泥／竹質比愈高者，其隔熱效果也愈好。
8. 水泥板之吸水率及厚度膨脹與比重關係不顯著，但與水泥／竹質比成線性相關。

表 2-6 加鋪木絲層對粒間孔隙式稻殼水泥板抗彎強度之影響[29]

木絲層(重量比)			稻殼水泥板		夯實靜 壓力 (kg/cm ²)	單位重-氣乾狀 態(kg/cm ³)		增減率 (%)	28 天抗彎 強度 (kg/cm ²)	增減率 (%)
木絲/ 稻殼	木絲/ 水泥 漿	水灰比	稻殼/ 水泥漿	水灰比						
1:19	1:44	0.37	1: 4.5	0.50	1.0	972	1.097	+9.7	8.67	+50
—	—	—	1: 4.5	0.50	1.0	886	1	0	5.78	0

表 2-7 加強型稻殼水泥板之抗彎強度[29]

水泥板條件	抗彎強度 kg/cm ² (N/mm ²)	增減率(%)
普通稻殼水泥板： 稻殼/水泥漿=1/4.5	5.78(0.566)	0
稻殼水泥板加鋪木絲層： 木絲層：木絲/稻殼=1/21 木絲/水泥漿=1/50	8.49(0.832)	+46.9
稻殼水泥板中摻用木絲： 稻殼/水泥漿=1/4.5 木絲/稻殼=1/7 木絲/水泥漿=1/10 木絲長度=8cm	7.52(0.737)	+30.1

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

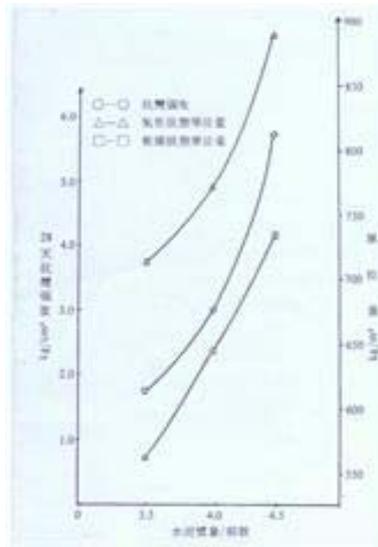


圖 2-12 水泥漿含量與孔隙式稻殼式水泥板抗彎強度及單位重之關係[29]

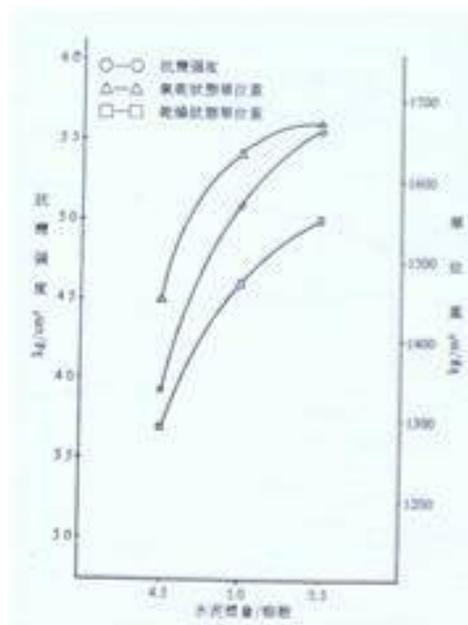


圖 2-13 水泥漿含量與緻密式稻殼式水泥板抗彎強度及單位重之關係[29]

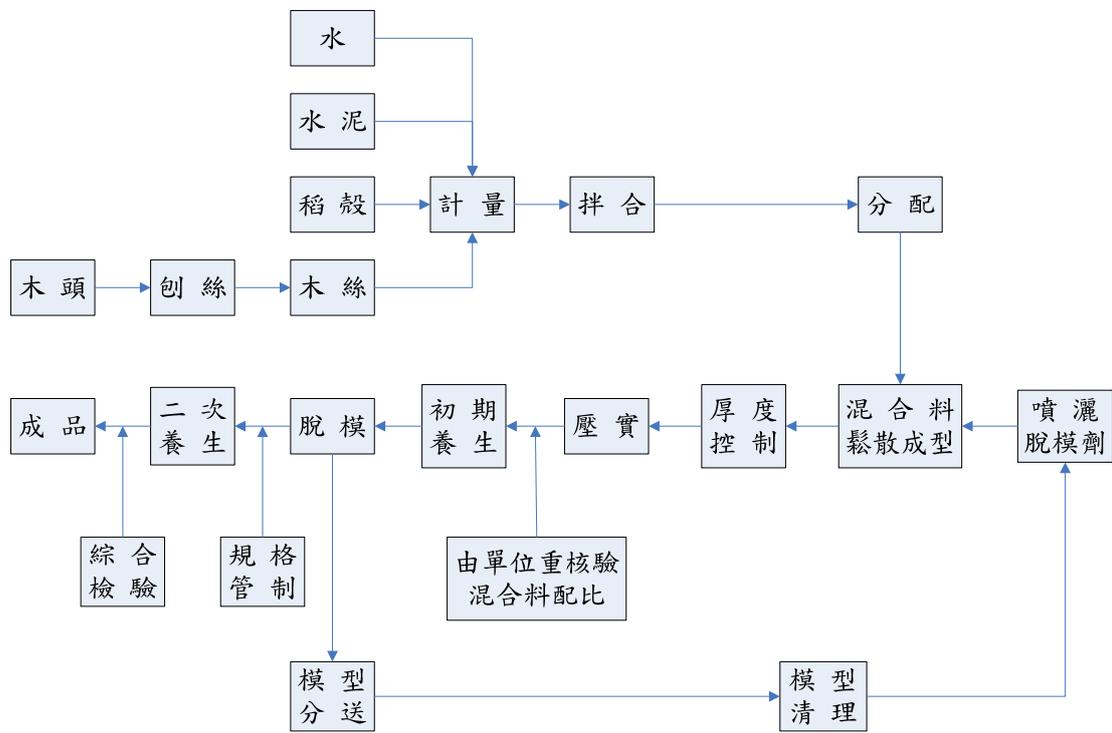


圖 2-14 稻殼水泥板一貫作業自動化生產流程圖[29]

第四節 木絲水泥板

木絲水泥板之製造方式為以木材粒片混合水泥，加壓製作成型板材，最早於 1937 年瑞士所研發。隨後在東德及蘇俄利用木材廢料與水泥製成板材 [14]，至今木絲水泥板之相關商品仍被普遍使用。根據中國國家標準 CNS 9456 木絲水泥板之規定，可分為隔熱木絲水泥板與耐燃木絲水泥板，其性質如表 2-8 所示。而木絲水泥板表面之木絲應均勻配列及分布，且其四隅應成直角，不得有翹曲、破損及貫穿之孔。木絲水泥板在符合上述條件下，依 CNS 2465 竹絲水泥板檢驗法之規定試驗，其須符合如表 2-8 所示之各項性質。其中耐燃木絲水泥板須符合 CNS 6532 建築物室內裝修材料之耐燃性試驗法中耐燃 2 級之規定[34]。

目前市售之木絲水泥板多為利用木材的邊皮材、端頭、蕊木(core)刨成木絲和水泥拌合成型、壓製、乾燥而成。此種水泥板具有質輕、耐衝擊性、隔熱性能佳、施工方便、防火、防潮、防霉及防蟻等特性，最適用於潮濕或乾燥地區的建材。木絲水泥板大多應用於天花板、壁板、地板等室內用途，如圖 2-15、圖 2-16 與圖 2-17 所示。此外，木絲水泥板面亦可安裝陶磚、大理石、石板、柏磚、木材或任何其他材料，於安裝後仍可具有表面以下一致性的堅固及持久性能。目前市場上木絲水泥板之機械性質如表 2-9[35-36]。

壹、木材粒片水泥板之性質

由台灣產材用於木材粒片水泥板製造之研究報告中，水泥板物理及力學性質之相關研究指出，以台灣泡桐；針葉樹材分別為台灣杉、柳杉和杉木；闊葉樹材為麻六甲合歡、柚木、楓香和山黃麻等八種台灣產木材製造木材粒片，目標密度設為 1.1g/cm^2 ，水泥用量與木材粒片絕乾重量之比例為 3：1，水灰比為 0.35，氯化鈣用量為水泥用量的 3%。由試驗結果顯示，氯化鈣具

有改善木材粒片水泥尺寸安定性的作用，浸水 24hr 後，未添加氯化鈣者，其厚度膨脹率為 0.36~1.31%；而添加氯化鈣者，其厚度膨脹率為 0.38~0.71%。此外，針葉樹之木材粒片水泥板較闊葉樹才容易成板，針葉材中未添加氯化鈣者之抗彎強度，以台灣杉 50kgf/cm² 最大，其次杉木 45 kgf/cm²，柳杉 17kgf/cm² 最小[37]。

杉木及柳杉粒片抽出物去除處理對木材粒片水泥板性質之影響研究指出，未處理之杉木與柳杉粒片水泥板之抗彎強度分別為 69.8 kgf/cm² 與 72.1 kgf/cm²。經採用不同前處理(冷水、熱水、經氧化鈉浸漬處理)，其中以杉木粒片經熱水處理 1hr，抗彎強度提高為 80.5 kgf/cm² 及柳杉粒片經熱水處理 0.5hr，其抗彎強度亦提高為 84.5 kgf/cm²[38]。

此外，由琉球松製成之粒片水泥板研究指出，琉球松木材粒片水泥板之吸水率與厚度膨脹率均較未處理及添加氯化鈣之杉木者低，如表 2-10 所示。由此可知，琉球松木材粒片水泥板具有良好的尺寸安定性。且其非破壞性彈性係數、破壞係數與螺絲釘保持力均較杉木者略小。但輕微線蟲病害之琉球松木材粒片在未處理時，並不適合用於製造木材粒片水泥板。並須添加氯化鈣當助凝劑後，始可提高其與水泥之凝結性質，並得到較高的強度。另輕微線蟲病害之琉球松木材粒片與水泥混合所需之終凝時間，為杉木的 1.4 倍，如表 2-11 所示。由此可知線蟲病害之琉球松木對水泥凝結具相當的抑制性，並不適合直接用於木材粒片水泥板之製造。若將粒片經熱水萃取亦或添加水泥助凝劑氯化鈣皆可縮短凝結時間，其中又以添加氯化鈣較適合工廠中的大量製造。此類木材粒片水泥板適用於非承重結構物用。

另一方面，由速生樹種木材製造建築用粒片板之適用性研究指出，以楓香、泡桐、柳杉邊材、楓香、木柚桐及台灣杉等速生樹種木材為原料，製作並進行水泥板之性能探討。研究成果指出，以泡桐、柳杉邊材及木柚桐為原料之水泥板較易抄板成型，且外觀較佳。而心材及邊皮材之差異不明顯。水泥板之抗彎強度約為 8.7~53.6 kgf/cm²；螺絲釘保持力實測值約為 8.42~37.40kgf/cm²，其中又以柳杉邊材粒片水泥板之螺絲釘保持力最大。而

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

含樹皮以及添加 NaSiO_3 者，對螺絲釘保持力具有不利之影響。浸水 2hr 之厚度膨脹率及吸水率分別為 0.63~7.83%及 24.71~55.94%；浸水 24hr 之厚度膨脹率及吸水率分別為 0.7~9.62%及 27.87~63.67%[40-41]。

表 2-8 CNS 9456 木絲水泥板之性質[33]

厚度 mm	尺度許可差 mm		質量 kg/m ²		容積比重	
	厚度	長度、 寬度	耐燃木絲 水泥板	隔熱木絲 水泥板	耐燃木絲 水泥板	隔熱木絲 水泥板
15	+1 -2	0 -3	9.0 以上	9.0 未滿	0.60 以上	0.60 未滿
20	+1 -2		11.0 以上	11.0 未滿	0.55 以上	0.55 未滿
25	+1 -2		12.0 以上	12.0 未滿	0.50 以上	0.50 未滿
30	0 -3		15.0 以上	15.0 未滿		
40	0 -3		20.0 以上	20.0 未滿		
50	0 -3		25.0 以上	25.0 未滿		

表 2-9 市售木絲水泥板之機械性質[35]

密度	1100-1300 kg/m ³
彈性係數	3000 N/mm ²
耐衝擊性	無龜裂, 剝離, 貫穿及裂開
含水率	12.4%
抗彎強度	9.0-12.0 N/mm ²
抗彎破壞載重	87.0 kgf
熱傳導率(K 值)	0.108 kcal/mhr°C

表 2-10 琉球松粒片與水泥混合後之凝結時間[41]

樹種	處理	初凝時間(分)	終凝時間(分)
琉球松	無	655	985
	熱水萃取	432	740
	+CaCl ₂	301	535
杉木	無	300	700

表 2-11 琉球松粒片水泥板之理學及力學性質[41]

樹種		琉球松	杉木	
處理		+CaCl ₂	無	+CaCl ₂
密度(g/cm ³)		1.38	1.38	1.38
含水率(%)		17.53	19.71	17.28
吸水率(%)	2hr	10.50	8.79	10.75
	24hr	11.91	16.33	14.72
厚度膨脹率(%)	2hr	0.17	0.18	0.29
	24hr	0.23	0.38	0.71
MOEn×10 ³ (kgf/cm ²)		28.53	30.11	30.89
MOR (kgf/cm ²)		34.43	45.28	52.95
螺絲釘保持力(kg/cm ²)		35.51	43.84	50.26
註：MOEn：非破壞性方法測得之彈性係數				



圖 2-15 木絲水泥板應用於天花板 [35]



圖 2-16 木絲水泥板應用於壁板[35]



圖 2-17 木絲水泥板應用於地板[35]

第三章 竹絲水泥板之預備試驗

本研究採用自台南玉井鄉種植之蔴竹，裁切成竹塊後，經粉碎試驗機碎化成竹絲纖維以作為竹絲水泥板之材料。由於竹絲纖維含有醣類和木質素以及抽出物等成份，當其與水泥結合時，將會造成水泥硬化速度延遲之現象。因此，本研究在製作竹絲水泥板前，預先對竹絲做浸泡處理，並分別測試其凝結情形與抗壓強度。

第一節 竹絲之浸泡處理

為改善竹絲水泥漿水化遲緩之問題，蔴竹原材料製成竹絲後，分別以下列 3 種方式進行浸泡處理，分述如下：

1. 以清水浸泡竹絲 16 小時後，將其烘乾備用，如圖 3-1 所示。
2. 竹絲泡水 16 小時後烘乾，再以 1% 之碳酸鈉(Na_2CO_3)溶液浸泡 40 分鐘，如圖 3-2 所示。
3. 竹絲泡水 16 小時後烘乾，再以 1% 之有機鈦溶液浸泡 40 分鐘。

經浸泡處理後之竹絲，再於溫度 85°C 之烘箱中放置 24 小時，以進行乾燥作用，最後儲存於通風乾燥處備用。圖 3-3 為經浸泡處理並烘乾後之竹絲。



*資料來源：本研究整理

圖 3-1 以清水浸泡後烘乾之竹絲



*資料來源：本研究整理

圖 3-2 以清水與 Na₂CO₃ 溶液浸泡後烘乾之竹絲



*資料來源：本研究整理

圖 3-3 以清水與有機鈦溶液浸泡後烘乾之竹絲

第二節 竹絲水泥漿之凝結時間與抗壓強度

壹、凝結時間

經前節所述之三種浸泡分法處理後之竹絲，以及未浸泡處理之竹絲，分別以相同之配比製作竹絲水泥漿試體，並進行水泥漿凝結時間試驗。以了解各種浸泡處理方法對竹絲水泥漿水化凝結時間之影響，並與不添加竹絲之對照組比較。各組配比均以 40% 爐石取代部份水泥作為膠結材料。各組試驗配比如表 3-1 所示。其中試體編號方式為：B 表竹絲用量重量百分比，N 表浸泡 Na_2CO_3 溶液，T 表浸泡有機鈦溶液，W 表浸水。例如竹絲用量為 6% 重量比，浸水 16 小時，經烘乾後浸泡有機鈦溶液，則試體編號為 B6W16T。

水泥漿之凝結時間測試，乃依據 CNS 786「水硬性水泥凝結時間檢驗法(吉爾摩氏針法)」試驗法；試驗儀器如圖 3-4a 所示。而為確保吉爾摩氏針能準確下落至水泥漿體而非竹絲纖維表面，每組配比經充分拌合 10 分鐘後，將竹絲水泥漿過濾出漿體部分，再製作成底徑 76mm 厚 12.7mm 之平頂錐型狀(圖 3-4b)，再置入溫度為 23°C 、溼度為 90%RH 之恆濕室中(圖 3-5)；直至測定凝結時間時方始取出測定。當以初凝試針接觸水泥試塊時，其能抵抗初凝試針而無明顯凹痕時，即認定水泥塊已達初凝時間。而終凝時間測定則以終凝試針。

竹絲水泥漿之凝結時間試驗結果，如表 3-2 所示。由結果顯示，未添加竹絲之水泥漿之對照組，凝結時間為 8-9 小時，終凝為 10-11 小時。而未經浸泡處理過之竹絲水泥漿之凝結時間最長，初凝時間為 17-18 小時，終凝時間為 25-26 小時。此外，經過清水浸泡 16 小時，再分別浸泡碳酸鈉(Na_2CO_3)或有機鈦溶液之竹絲水泥漿，初凝時間約為 8.5 小時，終凝時間為 11 小時。而僅浸泡清水者之初終凝時間約較

前二者晚 0.5-1 小時。由此可知，竹絲在與水泥拌合前，可以清水與碳酸鈉(Na_2CO_3)或有機鈦溶液浸泡之方式，改善竹絲中因醣份與木質素所引起之緩凝問題。

貳、抗壓強度

竹絲水泥漿之抗壓試驗結果如表 3-3 與圖 3-6 所示。由圖顯示，若竹絲未經任何處理，其與水泥拌合後之竹絲水泥漿七天齡期的抗壓強度僅為對照組之 3%。而經清水、清水加碳酸鈉(Na_2CO_3)、與清水加有機鈦溶液浸泡者，竹絲水泥漿之抗壓強度分別為對照組之 57%、64%、與 91%。由此可知，以清水加上有機鈦溶液浸泡處理後之竹絲再與水泥拌合，已可有效改善竹絲成份中對水泥水畫不利之影響，並達到與對照組相當之早期強度。因此，本研究後續竹絲水泥板之製作均採用經清水以及有機鈦溶液浸泡處理後之竹絲。

表 3-1 竹絲水泥漿試體之配比

試體編號	水膠比	竹絲 (W%)	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	爐石 (kg/m ³)	浸水 (小時)	Na ₂ CO ₃ (1%)	有機鈦 (1%)
B6W16	0.5	6	360	432	288	16	—	—
B6W16N						16	⊙	—
B6W16T						16	—	⊙
B6						—	—	—
B0		0				—	—	—

*資料來源：本研究整理

表 3-2 竹絲水泥漿試體之凝結時間

試體編號	初凝(小時)	終凝(小時)
B6W16N	8:30	11:10
B6W16T	8:30	11:00
B6W16	9:00	11:45
B6	17:45	25:15
B0	8:10	10:25

*資料來源：本研究整理

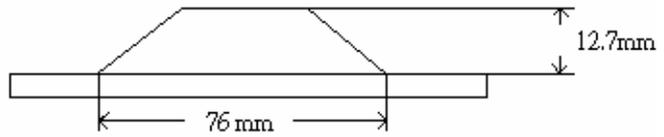
表 3-3、竹絲水泥漿試體之抗壓試驗結果

試體編號	7 天抗壓強度(kgf/cm ²)
B6W16N	88.4
B6W16T	125.6
B6W16	79.2
B6	4.7
B0	138.0

*資料來源：本研究整理



(a) 吉爾摩氏針



(b) 試樣尺寸

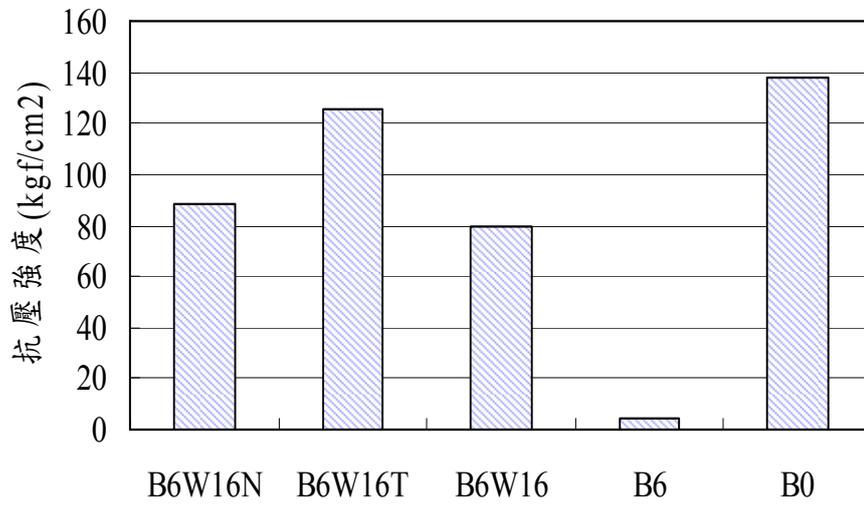
*資料來源：本研究整理

圖 3-4 吉爾摩氏針凝結時間測定裝置



*資料來源：本研究整理

圖 3-5 恆溫恆濕箱之裝置



*資料來源：本研究整理

圖 3-6 竹絲水泥漿試體之抗壓強度

第三節 竹絲水泥板表面之平整性與抗彎強度

依據 CNS 3804 纖維水泥板外觀缺點之種類和判定標準，距離纖維水泥板 60cm 以目視觀察，不得有非裝飾目的之凹凸、污染、刮傷等顯著情形發生。製作竹絲水泥板時，當竹絲含量大於竹絲水泥板重量 7% 以上時，竹絲纖維因比例過高，其漿量過少，導致竹絲上浮於板材表面，漿體容易沉於板材底部而無法完全包覆竹絲纖維，形成板材表面不平整之情形發生，如圖 3-7 所示。因此本研就嘗試用以下之四種方法加以改善，各種竹絲水泥板之配比設計如表 3-4 所示，其表面平整性與抗彎強度分述如下：(抗彎強度試驗之示意圖如圖 3-8 所示)

1. 使用同性質水泥漿抹平於竹絲水泥板表面，試體編號為 MR。試驗結果如圖 3-9.a 所示。由圖顯示，此方法對於竹絲上浮不明顯，或者使用竹絲篩號較小之板材表面，具有些許改善效果。但若非為以上之兩種情形，則效果不佳，如圖圖 3-9.b 所示。另由水泥板之抗彎強度試驗結果(表 3-5)可知，使用此方法處理之竹絲水泥板，其抗彎強度約較對照組增加 2.5%。
2. 先製作竹絲板胚，再製作水泥漿灌置入木模與抹平，如圖 3-10 所示，試體編號為 NR。此方法主要希望能改善水泥板表面不平整之情形外，亦可改善竹絲用量過大，造成不易成板之缺點。由試驗結果顯示，此方法可使竹絲水泥板表面平整，如圖 3-11 所示。但由於水泥漿體具有黏稠性，當水泥漿體澆置入竹胚時，漿體無法順利通過竹胚達至底部，使得板胚底部部分竹絲無法完全被漿體包覆(圖 3-11)。另一方面，此方法之竹絲纖維與漿體兩者未經過拌合作用，造成竹絲纖維表面和水泥漿體間界面的黏結與握裹能力

降低之情形，使得水泥板之抗彎強度下降，其抗彎強度為各組中最低者，僅為對照組之 39%。

3. 將灌製完成的竹絲水泥板置於室內約 1 小時後，平行放入相同尺寸之厚木材後倒置(圖 3-12)，並於其上方平均施加約 $30\text{g}/\text{cm}^2$ 壓力，試體編號為 CR。試驗結果顯示，竹絲水泥板材之表面可達平整狀態，如圖 3-13 所示。而此竹絲水泥板之抗彎強度較對照組約增加 12%。
4. 添加 AE-103H 和 AE-5020 兩種類型乳膠，試體編號為 AE1 與 AE2。製作水膠比為 0.5，竹絲含量 6%，爐石取代水泥量為 40%，並分別添加兩種不同類型之乳膠，乳膠添加量為乳膠/膠結料 0.2，各組配比如表 3-4 所示。由於乳膠具有黏性，可增加水泥漿體的稠度，以及竹絲和水泥漿體之間的黏結性，使得竹絲不易上浮，並能均勻分佈於板材中。此外，乳膠均勻分散於水泥板中，可具有填充孔隙之作用，進而提升水泥板之強度。試驗結果顯示，竹絲水泥板添加乳膠後，工作性和竹絲上浮情形均有效獲得改善，而兩種乳膠脂效果相差不大，如圖 3-14 所示。添加 AE-103H 型乳膠之竹絲水泥板(AE1)，其七天抗彎強度約為對照組之 102%。而 AE-5020 型乳膠者(AE2)則為對照組之 100%。

由以上四種處理方法之試驗結果可得，以第三種倒置加壓法處理之水泥板，可獲得較佳之表面平整性與抗彎強度。因此本研究後續之水泥板製作決定採用此種方法。

表 3-4 各組竹絲水泥板試體之配比

試體編號	用水量 (kg/m ³)	竹絲 (w%)	水泥 (kg/m ³)	爐石 (kg/m ³)	乳膠類型
R	360	6	432	288	—
AE1					AE-103H
AE2					AE-5020

*資料來源：本研究整理

表 3-5 各組竹絲水泥板試體之抗彎強度

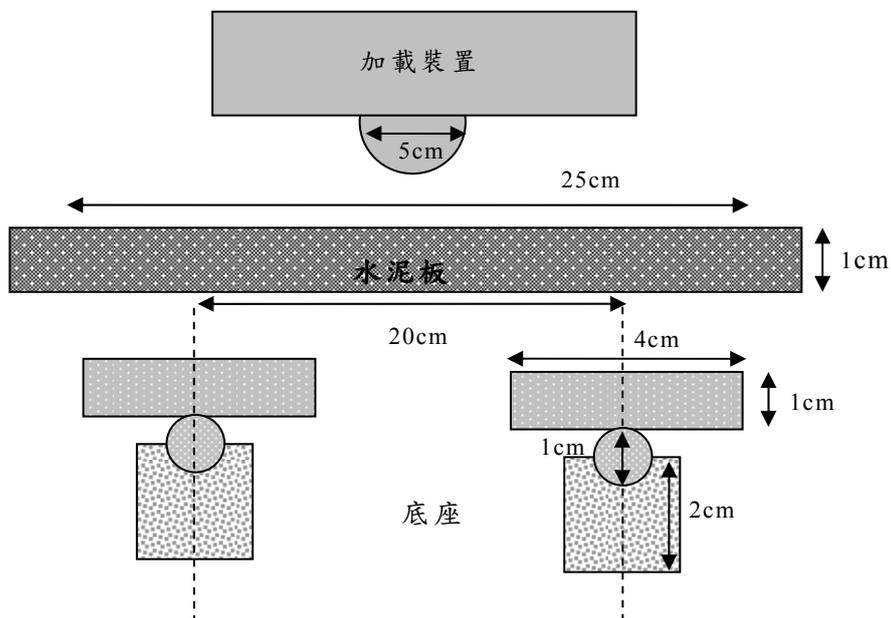
試體編號	抗彎強度(kgf/cm ²) (齡期 7 天)
MR	36.7
NR	13.9
CR	40.0
AE1	36.6
AE2	35.7
R(對照組)	35.8

*資料來源：本研究整理



*資料來源：本研究整理

圖 3-7 未添加乳膠與發泡劑竹絲水泥板之情形



*資料來源：本研究整理

圖 3-8 水泥板抗彎強度試驗示意圖

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



(a) #16 篩竹絲之水泥板



(b) #8 篩竹絲之水泥板

*資料來源：本研究整理

圖 3-9 同配比水泥漿抹平於板材表面情形



製作竹胚



澆置水泥漿

*資料來源：本研究整理



板材表面鏟平

圖 3-10 竹絲水泥板製作表面
平整過程



板材表面



板材背面

*資料來源：本研究整理

圖 3-11 使用竹胚製成竹絲水泥板之情形



*資料來源：本研究整理

圖 3-12 竹絲水泥板放置厚木材之情形

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



*資料來源：本研究整理

圖 3-13 製作過程板材經加壓後之情形



*資料來源：本研究整理

圖 3-14 竹絲水泥板添加乳膠之情形

第四節 竹絲水泥板之單位重

輕格間使用之水泥板必須符合質輕之要求。而由前節之試驗結果可知，添加乳膠可改善竹絲水泥板表面之平整性，且具有降低板材整體容積比重之效果。另一方面，增加水泥板材內之空氣含量，除可降低板材之單位重外，同時對於板材之隔熱效果亦有提升作用使用。因此本研究嘗試同時添加發泡劑與乳膠來製作竹絲水泥板，以探討其強度與單位種之性質。試驗規劃分為發泡劑用量5%與10%兩種；乳膠用量則有5%，10%與20%三種。各組配比如表3-6所示。

各組配比竹絲水泥板之物理性質與力學性質試驗結果如表3-7所示。由試驗結果圖3-15可知，竹絲水泥板添加發泡劑具有降低板材單位重之功能，各組添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板含水率約為10.2-13.0%，單位重介於930-1170 kg/m³之間。而發泡劑或乳膠之用量對竹絲水泥板單位重之影響並不明顯。由CNS 3802之規定，纖維水泥板中厚度為10mm之板材，其容積比重必須介於0.9 g/cm³~1.2 g/cm³間。而市售之木絲纖維水泥板密度約介於1.1~1.3g/cm³之間。因此，添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板已可達到質輕並符合CNS之要求。

此外，在強度方面，當竹絲水泥板中僅添加發泡劑時，其抗壓強度與抗彎強度均已發泡劑為10%者較高，如圖3-16與圖3-17所示。而除發泡劑外，再添加乳膠之竹絲水泥板，其抗壓強度與抗彎強度均因乳膠用量增加而減小。當發泡劑為5%，乳膠含量分別為10%與20%時，竹絲水泥板之抗壓強度僅為未含乳膠者之60%與30%，抗彎強度則為83%與52%。由此可知，竹絲水泥板中添加乳膠，對其強度將有不利之影響。此結果與前一節之試驗結果相符。且在試驗過程中發

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

現，添加發泡劑亦可改善板材製造過程中竹絲上浮之問題，如圖 3-18 所示。因此，本研究後續之試驗規劃，添加劑方面補採用乳膠，僅探討發泡劑之影響。

表 3-6 各組試驗添加乳膠及發泡劑竹絲水泥板之配比

試體編號	竹絲 (%)	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	爐石 (kg/m ³)	發泡劑 (%)	乳膠 (%)
B9	9	360	432	288	—	—
B9H5			432		5	—
B9H5AE10			360		5	10
B9H5AE20			288		5	20
B9H10			432		10	—
B9H5AE5			396		10	5
B9H10AE10			360		10	10

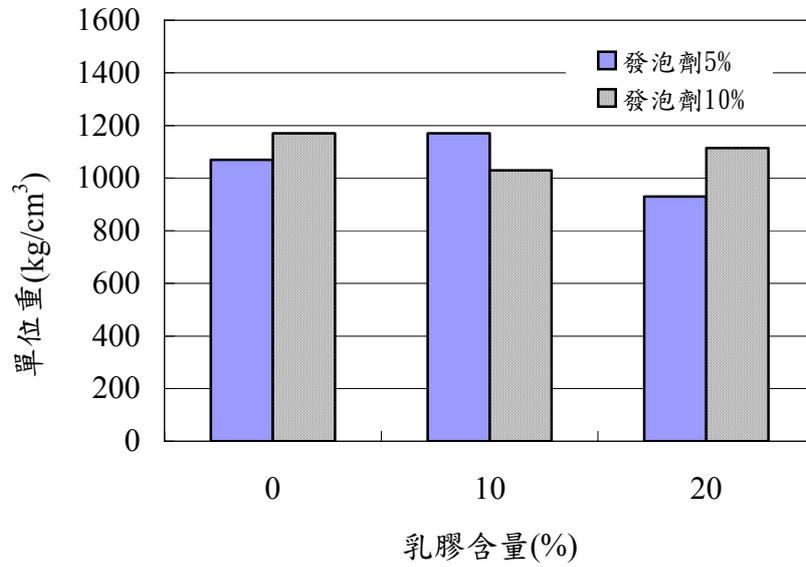
*資料來源：本研究整理

表 3-7 竹絲水泥板之試驗結果(齡期 7 天)

試驗編號	抗壓強度 (kgf/cm ²)	抗彎強度 (kgf/cm ²)	容積比重 (kg/m ³)	含水率 (%)
B9	106	48	1326	10.1
B9H5	96	42	1070	10.2
B9H5AE10	58	35	1170	12.0
B9H5AE20	29	22	930	12.6
B9H10	105	53	1170	11.0
B9H5AE5	87	50	1030	13.0
B9H10AE10	62	41	1115	12.9

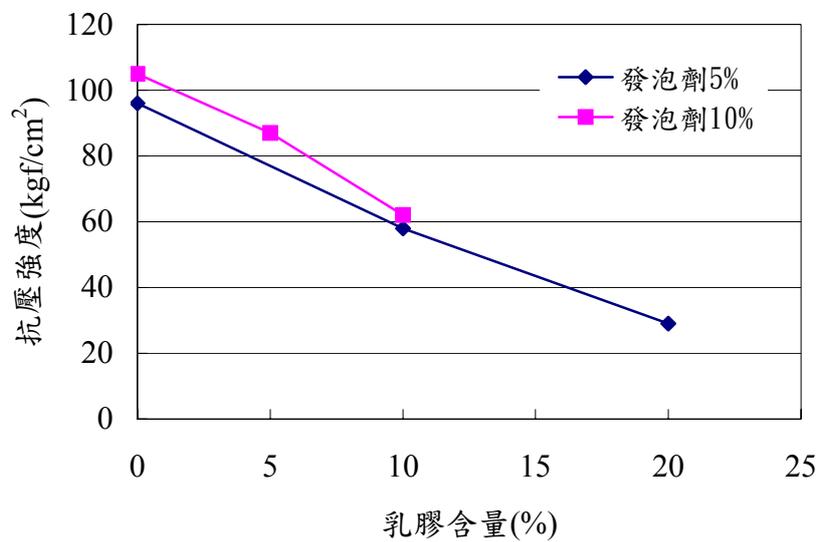
*資料來源：本研究整理

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



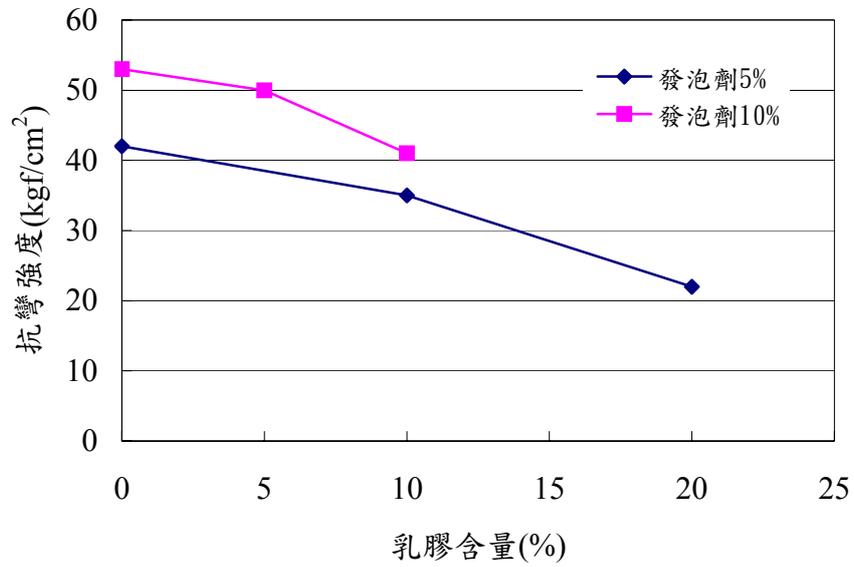
*資料來源：本研究整理

圖 3-15 添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板單位重



*資料來源：本研究整理

圖 3-16 添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板抗壓強度



*資料來源：本研究整理

圖 3-17 添加發泡劑與乳膠之竹絲水泥板抗彎強度



*資料來源：本研究整理

圖 3-18 添加發泡劑之竹絲水泥板

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

第四章 竹絲水泥板之製作

第一節 材料

本研究竹絲水泥板製作之材料包括水泥、水、爐石、竹絲、發泡劑與有機鈦等，各項材料性質如下：

1. 水泥：使用台灣水泥公司製造之普通波特蘭 Type I 水泥，其性質符合 CNS 61 第 I 型波特蘭水泥之要求。
2. 水：一般使用之自來水，符合 CNS 拌合水之要求。
3. 爐石：中聯爐石處理資源公司所提供之水淬爐石粉，比重為 2.89。
4. 竹絲：蔴竹之乾燥之密度為 0.85 g/cm^3 ，常態下(含水率約 10-12%)之密度為 0.93 g/cm^3 ，48 小時之吸水率為 66 %。試驗前先將蔴竹裁切成約 4cm 長之片塊，再將放入粉碎試驗機(圖 4-1)中製成竹絲(圖 4-2)，取通過#4 停留#50 篩上竹絲備用(圖 4-3~圖 4-5)，竹絲篩分析結果如表 4-1 所示。
5. 發泡劑(n-Hexane)：由島久藥品株式會社提供，其性質如表 4-2。
6. 有機鈦：型號為 TYZOR[®]TE，其性質如表 4-3。

表 4-1 竹絲篩分析試驗結果

篩號	留篩量(g)	留篩率(%)	累積率(%)
3/8"	0	0	0
#4	6.0	6.0	6.0
#8	31.1	31.1	37.1
#16	33.9	33.9	71.0
#30	18.0	18.0	89.0
#50	8.8	8.8	97.8
底盤	2.2	2.2	100.0
總計	100	—	—

*資料來源：本研究整理

表 4-2 發泡劑(正己烷)之性質

顏色/性狀	無色液體
分子量	88.16 g/mol
密度	0.6603 g/cm ³ (20°C/4°C).
沸點	68.95°C (760 mm-Hg)
折射率	1.37226 (25°C)
黏稠度	0.294 cp (25°C)
註：島久藥品株式會社製造，型號 n-Hexane；豐常實業有限公司代理	

表 4-3 有機鈦之性質

顏色	黃色
分子量	462 g/mol
TiO ₂ 含量	14.0 %
密度(20°C)	1.07 g/cm ³
黏稠度(20°C)	350 mPa*s
折射率(20°C)	1.487
流動點	-47°C
閃點	20°C
註：世純企業有限公司提供，型號 TYZOR®;TE。	



*資料來源：本研究整理

圖 4-1 竹塊粉碎試驗機



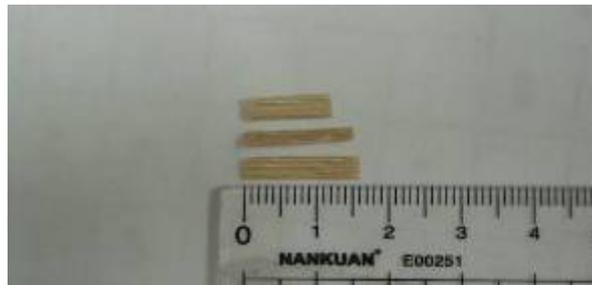
*資料來源：本研究整理

圖 4-2 長 4cm 竹塊碎化後未分篩之竹絲



*資料來源：本研究整理

圖 4-3 停留#4 之竹絲(約 1.3cm)



*資料來源：本研究整理

圖 4-4 通過#4 且停留#8 之竹絲(約 1.5cm)



*資料來源：本研究整理

圖 4-5 停留#50 之竹絲(約 0.5cm~1.5cm)

第二節 配比設計

壹、試驗參數

根據前一章之預備試驗結果，本研究之試驗參數定為竹絲含量與發泡劑用量，各種含量說明如下：

1. 竹絲含量(W%)：6%、8%、10%。
2. 發泡劑(W%)：0%、5%、10%。

貳、竹絲水泥板之配比設計

由於水泥係材料中添加竹絲纖維，將影響水泥水化速度產生緩凝之現象。因此根據第三章之預備試驗結果，先將竹絲浸泡清水後烘乾，再以 1%有機鈦溶液/竹絲重量比 20:1 浸泡 40 分鐘，浸泡後之竹絲取出烘乾備用。並分別添加用水量重量比 5%及 10%之發泡劑，以測試發泡劑添加多寡對竹絲水泥板性質之影響。

試驗配比採用水膠比(w/b)為 0.5。為減少水泥用量，各組配比均以取代率為 40%之爐石取代水泥作為膠結材料。各組試驗之配比如表 4-4 所示；其中試體編號方式為：B 表竹絲重量比，H 表發泡劑添加量。例如竹絲重量比為 10%，發泡劑添加 10%，則試體編號為 B10H10。

表 4-4 竹絲水泥板配比

編號	水膠比	竹絲 (%)	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	爐石 (kg/m ³)	發泡劑 (kg/m ³)	空氣含量 (%)
B6	0.5	6	360	432	288	—	10
B8H5		8	360	432	288	18	10
B6H10		6	360	432	288	36	10
B8H10		8	360	432	288	36	10
B10H10		10	360	432	288	36	10

*資料來源：本研究整理

第三節 竹絲水泥板之製作

竹絲水泥砂漿拌合程序說明如下：

1. 由配比計算之各種材料用量，劑量後備好待用。
2. 放入水泥和爐石乾拌兩分鐘，使其均勻，隨後倒入發泡劑和 3/4 用水量，以中速檔拌合兩分鐘。
3. 關閉拌合機，加入竹絲纖維，以中速檔拌合一分鐘後。
4. 關閉拌和器，隨後並倒入剩餘的 1/4 水量，再以中速檔拌和 10 分半鐘，關閉拌和器。
5. 每組配比拌和完成後，分別澆置 9 個 5×5×5cm 抗壓試體、3 個 10×10×1cm 含水率與容積比重試驗用試體，4×16×1cm 吸水長度變化試驗用試體，6 個 25×35×2cm 抗彎試驗用試體、20×20×1cm 隔熱試驗用試體、22×22×1cm 耐燃試驗用試體，以及 30×30×1cm 衝擊試驗用之試體。
6. 將澆製完成的竹絲水泥板於震動台震動約 1 分鐘，鏟平後置於室內約 1 小時後，平行放入相同尺寸之厚木材後倒置，於其上方平均施加約 30g/cm² 壓力。
7. 澆置隔日即解壓拆模，分別將試體置於陰暗通風室內，待試體至齡期，進行相關物理性質試驗(含水率、容積比重及容積比重)、力學性質試驗(抗壓強度與抗彎強度)、衝擊性試驗、隔熱性試驗以及耐燃性試驗。

第四節 試驗設備與方法

竹絲水泥板之各項性能測試，包括含水率、容積比重、吸水長度變化率、抗壓強度、抗彎強度、耐衝擊性、耐燃性與隔熱性試驗。各項試驗所使用之主要設備與方法如下說明：

壹、容積比重與含水率

依據 CNS 3802 之規定，容積比重與含水率之試驗法。使用同一竹絲水泥板試片進行試驗。採取試片試驗前之質量(W_1)將試片放入附有強制循環烘箱內，在溫度(105 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 下乾燥 24 小時，然後放入裝有無水氯化鈣或矽凝膠調節之乾燥器內冷卻至常溫，測其質量作為乾燥時試片之質量(W_0)。並依照規定之位置(圖 4-6)，量測試片之寬度、長度和厚度，計算其體積(V_0)。含水率與容積比重依下式求得：

$$\text{含水率}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

$$\text{容積比重} = \frac{W_0}{V_0}$$

三、吸水長度變化率試驗

竹絲水泥砂漿之吸水長度變化率試驗，依據 CNS 3802 之規定，將試片放入溫度保持(60 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ 附有強制循環之烘箱內 24 小時後取出，放入裝有無水氯化鈣或矽凝膠之乾燥器內冷卻至(20 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ 。於試片刻上標線，如圖 4-7 所示，以標線間距離作為基長(L_1)，使試片保持在溫度(20 ± 3) $^{\circ}\text{C}$ 水面下約 3cm，24 小時後取出，拭乾表面水分，測定標線間距(L_2)。吸水長度變化率(ΔL)依下式求得：

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

$$\Delta L(\%) = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100$$

式內： ΔL =吸水長度變化率(%)

L_1 = 乾燥時之標線長度(mm)

L_2 = 吸水時之標線間長度(mm)

肆、抗壓強度試驗

竹絲水泥砂漿之抗壓強度試驗為利用 100T 萬能試驗機，如照片圖 4-8 所示，最大載重為 600KN，壓力精度為 0.1KN，由下方油壓機向上加壓，再由電腦讀取。並參照 ASTM C39 規範，硬固混凝土圓柱試體抗壓試驗法進行。抗壓試驗完成後，取三個平均值表示各組試體之抗壓強度值。

伍、抗彎試驗

竹絲水泥砂漿板材之抗彎試驗為利用 100T 萬能試驗機(圖 4-9)，並參照中國國家標準 CNS 3904 規範，試片建築用板類彎曲試驗法進行，試驗構造如圖 3-8 所示。試體尺寸採用第 4 種試片尺寸為 30cm×25cm，試片狀態採用風乾狀態，即試片放置於通風良好之室內風乾 7 天以上者。試驗平均載重速度為 1 至 3 分鐘內可到達預期最大載重之程度。由下列式子計算求得抗彎強度：

$$\text{抗彎強度} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times W \times B^2} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

式中：P = 彎曲破壞載重 [N (kgf)]

L = 板長 (cm) (= 20cm)

W = 板寬 (cm) (= 30cm)

B = 板厚 (cm) (= 1cm)

上式中 L = 20cm，W = 30cm，B = 1cm，則抗彎強度 = P。

陸、耐衝擊性試驗

參考 CNS 3802 規範，並依據 CNS 9961 規範，建築用板類衝擊試驗法所規定之砂上全面支承法進行，如圖 4-10 所示。使用 30cm×30cm×1cm 之試體，使表面朝上保持水準，將球型重錘 W₂-500，質量約 530g，直徑約為 51mm，由高度 140mm 於試體中央部位自由落下(圖 4-7)，由距離 60cm 處以目視觀察試體之龜裂、剝離、貫穿及裂開狀態，並測量凹陷之直徑，其中龜裂是指球型重錘落下形成試體背面凸起圓周以外之龜裂。支承的砂應為通過 1.2mm 篩之乾燥狀態硬質砂，以標準砂為宜。

柒、隔熱性試驗

竹絲水泥板砂漿板材之隔熱性試驗，依據 CNS7332，利用如圖 4-11 所示之測定裝置，隔熱材料之導熱係數測定法(平板比較法)進行。將尺寸 20cm×20cm×1cm 試體平行固定置於圖 4-8 中試樣處，測定係於溫度在穩定狀態下進行，穩定狀態之判定為使標準板(θ_1, θ_2)，試體(θ_2, θ_3)之表面溫度變動值在下述範圍內。

$$\frac{(\theta_2 - \theta_1) \text{ 之每小時變動}}{(\theta_2 - \theta_1)} \text{ 為 } \pm 2\%$$

$$\frac{(\theta_3 - \theta_2) \text{ 之每小時變動}}{(\theta_3 - \theta_2)} \text{ 為 } \pm 2\%$$

以及在標準板及試樣之兩面溫差($\theta_2 - \theta_1, \theta_3 - \theta_2$)於 3°C 以上之條件時作測定。完成試驗後，紀錄導熱係數，試體尺寸、密度及試體之平均溫度，其中試體密度之質量為導熱係數試驗後所測得之試體質量。熱傳導係數依下式計算求得：

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

$$\lambda = \lambda_0 \times \frac{L}{L_0} \times \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_3 - \theta_2}$$

式內： λ = 試樣於平均溫度時之熱傳導係數(kcal/mh $^{\circ}$ C) { W/ mk }

λ_0 = 標準板於平均溫度時之熱傳導係數(kcal/mh $^{\circ}$ C) { W/ mk }

L = 試樣厚度(m)

L_0 = 標準板厚度(m)

$\theta_3 - \theta_2$ = 試樣之兩面溫度差($^{\circ}$ C)

$\theta_2 - \theta_1$ = 試樣之兩面溫度差($^{\circ}$ C)

$\frac{\theta_2 + \theta_3}{2}$ = 試樣之平均溫度($^{\circ}$ C)

$\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ = 標準板之平均溫度($^{\circ}$ C)

捌、耐燃性試驗

依據中國國家標準 CNS 6532 規範，建築物室內裝修材料之耐燃性試驗法進行，以 20cm \times 20cm \times 1cm 之耐燃性試體進行測試。試體完成後，須置放於通風良好室內一個月以上，再放入 35~45 $^{\circ}$ C 烘箱內乾燥 24 小時以上後，立即放入乾燥器養護 24 小時以上，進行調濕處理。試驗之前，先以標準石棉水泥真珠岩板檢定儀器之準確性。將試體放入加熱爐，依 CNS 6532 耐燃二級之規定進行 10min 之加熱燃燒試驗，測驗燃燒過程之排器溫度變化曲線，煙霧濃度變化曲線，於加熱時間結束時，隨即觀察板材餘焰延燒時間，以及貫穿板材試體背面之裂縫寬度，作為評估之依據。

耐燃性之評定係按照 CNS 6532 標準所規定之建築物室內裝修材料耐燃性物質試驗法。竹絲水泥砂漿板材之耐燃性試驗為建築材料表

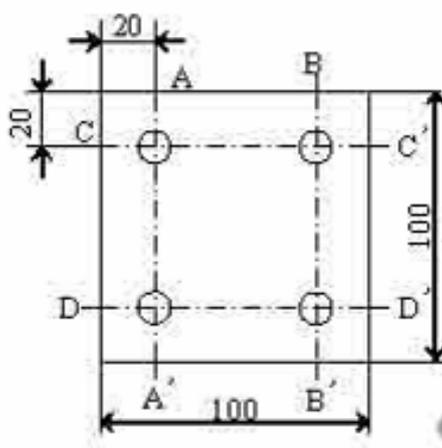
面試驗裝置(圖 4-12)。各種處理試體耐燃性能之評定與分級，以各試體取 3 個試體，進行表面燃燒試驗所測得知著火性、發熱性、發煙係數、餘焰時間及試體背面龜裂現象等相關數值，均需符合 CNS 6532 各耐燃級別判定標準始為合格(表 4-5)，並依序敘述如下：

1. 著火性(Ignitability)：即試體燃燒實驗之排器溫度區現超過標準溫度所需之時間(t_c)，由於 $td\theta$ 是由此點計算起，故可將 t_c 視為試體表面開始發熱之前所經過的時間(sec)，用來表示試體之著火性或著火難易性， t_c 值越大，表示試體越不容易燃燒。
2. 發熱性(Heat generation)：當進行耐燃性實驗時，著火後之排器溫度曲線與標準溫度曲線所包圍部份之面積($td\theta$)， $td\theta$ 值越大，表示試體燃燒所產生之熱量越大。
3. 發煙係數(Fuming factor)：即試體加熱燃燒期間，單位面積最大的發煙量(C_A)。
4. 餘焰時間(After flaming)：是指加熱結束後，試體表面持續焰燃的時間(t_l)，用來表示自熄性； t_l 值越大，表示試體自熄性越差。
5. 龜裂性(Cracking)：即耐燃性試驗後 $hoih$ ，觀測試體背面有無明顯貫穿板材全厚之裂縫發生，貫穿試體背面之裂縫寬度(ck)必須小於試體厚度之 $1/10$ 。

表 4-5 建築物室內裝修材料之耐燃試驗標準值(耐燃二級)

判定項目	合格基準
著火起始時間(tc, sec.)	> 180
溫度時間面積(tdθ, °C.min)	< 150
發煙係數(C _A)	< 60
餘焰時間(tl, sec.)	< 90
龜裂(Ck)	貫穿至試體背面之裂隙寬度未超過厚度的 1/10 以上

*資料來源：本研究整理

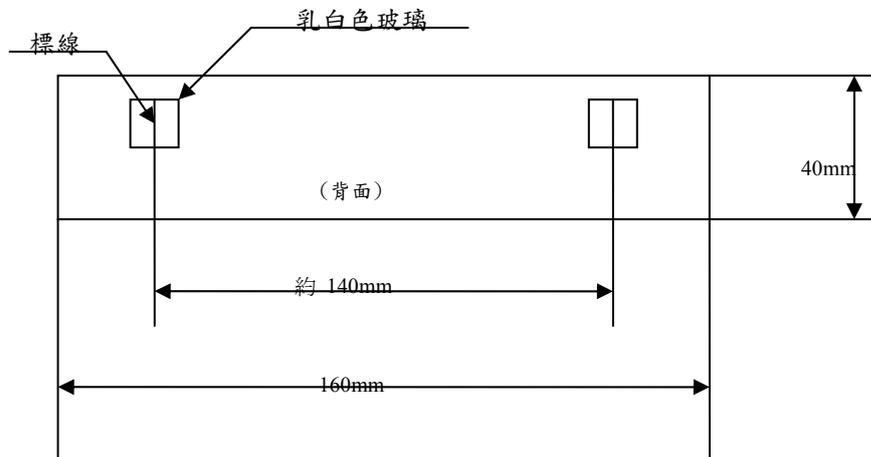


單位：mm

長度之量測位置：AA'及BB'計2處
 寬度之量測位置：CC'及DD'計2處
 厚度之量測位置：○記號處計4處

*資料來源：本研究整理

圖 4-6 容積比重與含水率試體量測位置



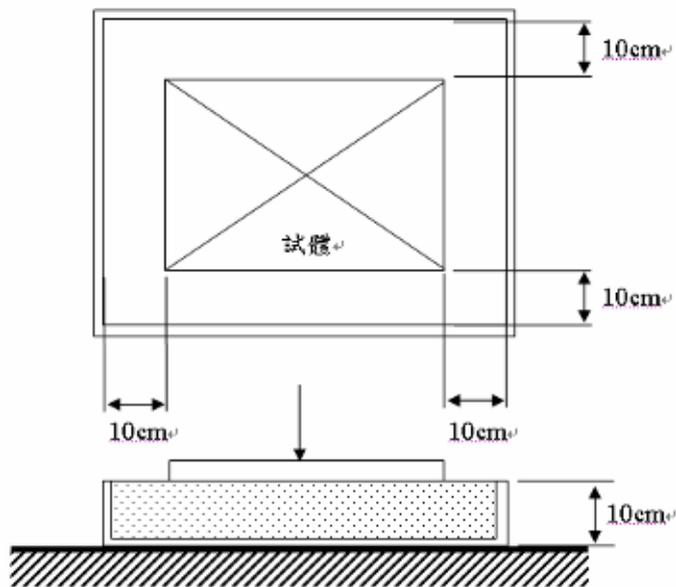
*資料來源：本研究整理

圖 4-7 吸水長度變化率試驗之試片標線間距離



*資料來源：本研究整理

圖 4-8 萬能試驗機照片



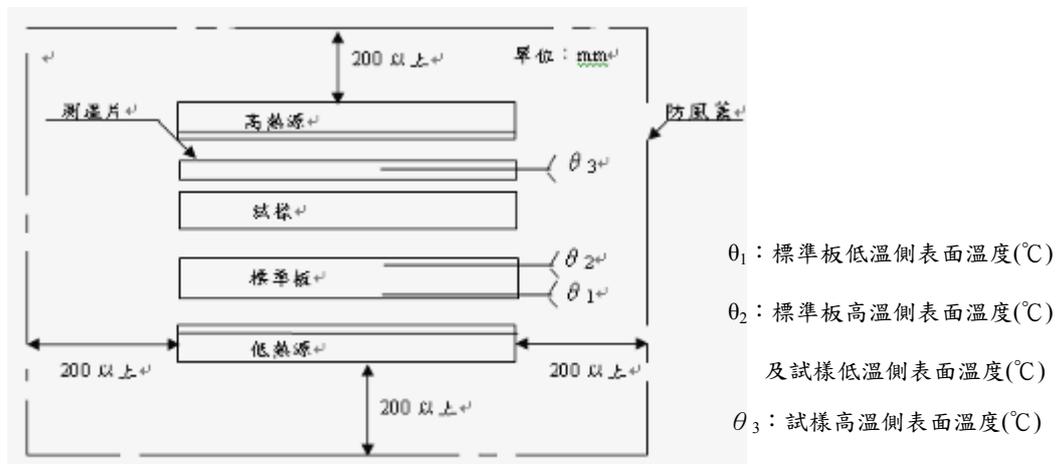
*資料來源：本研究整理

圖 4-9 砂上全面支承



*資料來源：本研究整理

圖 4-10 耐衝擊試驗裝置



*資料來源：本研究整理

圖 4-11 隔熱材料導熱係數之測定裝置



*資料來源：本研究整理

圖 4-12 建築材料表面耐燃性試驗裝置

第五章 竹絲水泥板之性質

由第四章試驗規劃，製作完成之厚度 10mm 的竹絲水泥板，依照 CNS 3802 之要求，放置於室內通風處一個月以上，以進行板材之各項試驗。

第一節 竹絲水泥板之物理性質

壹、竹絲水泥板之外觀

由竹絲水泥板外觀之觀測結果可發現，板材表現無缺損、開裂、剝離、或翹曲等現象發生，如圖 5-1 所示。且竹絲水泥板之四角成直角狀，經切割機裁切後(圖 5-2)之斷面仍可維持整齊平整之表面，如圖 5-3 所示。由此可知，竹絲水泥板之外觀目視檢查結果，已符合 CNS 3802 纖維水泥板之外觀品質標準。

貳、容積比重與含水率

各組竹絲水泥板之容積比重與含水率試驗結果如表 5-1 所示。由試驗結果可知，竹絲水泥板之容積比重約為 1030-1230 kg/m³，含水率約為 10.1-13.2%。依 CNS 3802 纖維水泥板之性能規格，屬於 1.0 纖維水泥板。而市售之木絲水泥板容積比重約為 1250-1370 kg/m³，含水率約為 12.4%。由此可知，竹絲水泥板之單位重已可達到工程應用上質輕之需求。

圖 5-4 為板材中竹含量與單位重之關係。由圖顯示，板材中添加 6%之竹絲較未添加者，可降低其單位重約 15%。而竹絲添加量為 8%與 10%時，板材之單位重變化約於 5%以內。此外，含水率與竹絲量之關係，如圖 5-5 所示。當竹絲水泥板添加 10%之發泡劑時，其含水

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

率隨竹絲含量增加而增加。此現象主要為竹絲本身的含水量帶入水泥板中，使得水泥板之含水率隨著竹絲量增加而提升。因此未來工程應用時，若於較潮濕地區需考慮竹絲水泥板之竹絲含量，以避免板材含水率過高之情形。

參、吸水長度變化率

各組竹絲水泥板之吸水長度變化率試驗結果如表 5-2 所示。當竹絲含量為 6%時，未添加發泡劑之竹絲水泥板，其吸水長度變化率為最低，僅為發泡劑 10%者之 31%，如圖 5-5 所示。而當添加 10%發泡劑時，竹絲水泥板之吸水長度變化率以竹絲含量為 8%者最低。各組竹絲水泥板之吸水長度變化率約為 0.04%-0.13%之間，而 CNS 3802 纖維水泥板吸水長度變化率之要求為 0.25%以下。由此可知，本研究之竹絲水泥板已符合規範要求。

表 5-1 各組竹絲水泥板之容積比重與含水率

試體編號	容積比重(kg/m ³)	含水率(%)
B6	1360	13.2
B8H5	1030	10.8
B6H10	1150	10.1
B8H10	1210	10.2
B10H10	1230	11.0

*資料來源：本研究整理

表 5-2 各組竹絲水泥板之吸水長度變化率

試體編號	吸水長度變化率(%)
B6	0.04
B8H5	0.08
B6H10	0.13
B8H10	0.09
B10H10	0.13

*資料來源：本研究整理

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



板材正面



板材背面



*資料來源：本研究整理

圖 5-1 竹絲水泥板之外觀



*資料來源：本研究整理

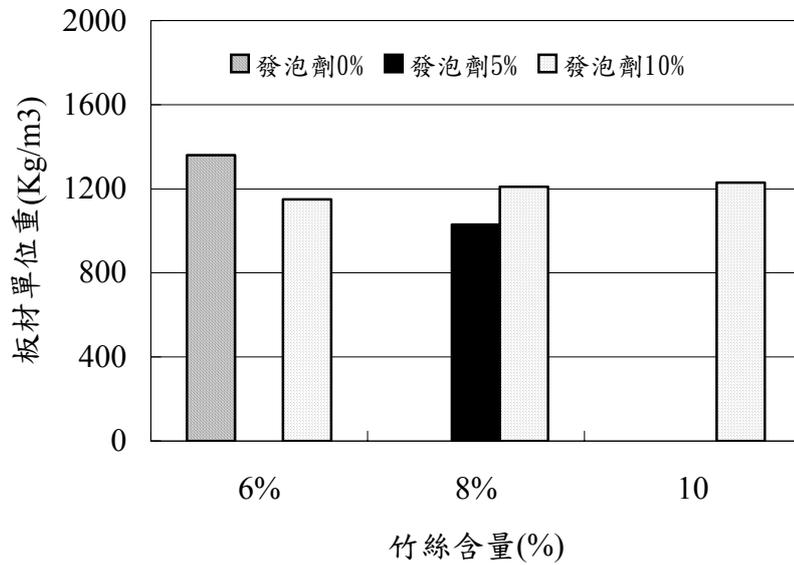
圖 5-2 竹絲水泥板裁切之情形



*資料來源：本研究整理

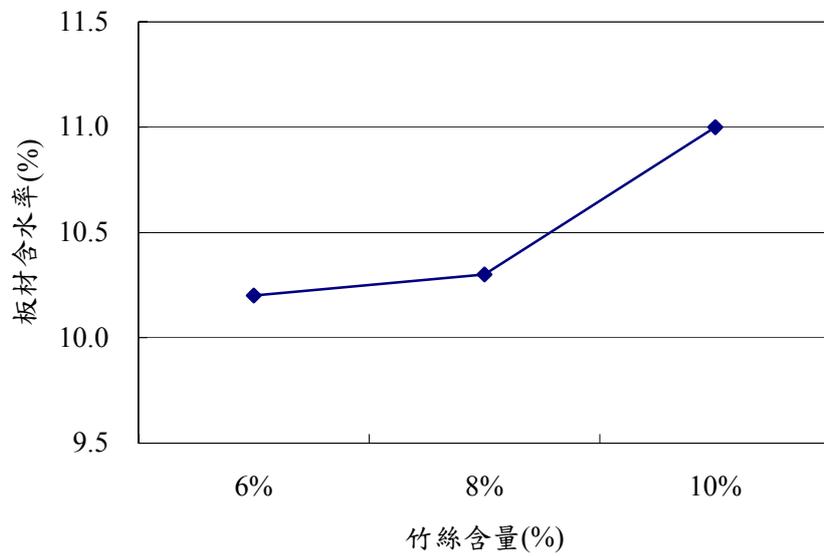
圖 5-3 裁切後之竹絲水泥板

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



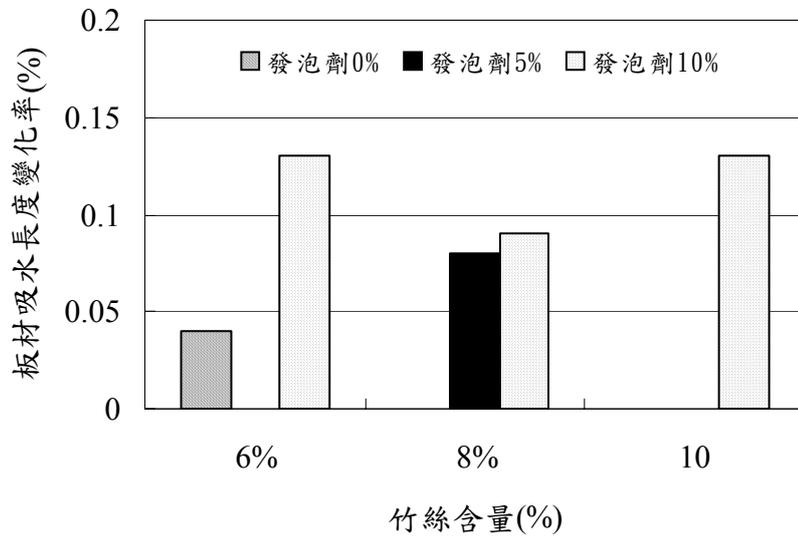
*資料來源：本研究整理

圖 5-4 竹絲含量與板材單位重之關係



*資料來源：本研究整理

圖 5-5 竹絲含量與板材含水率之關係



*資料來源：本研究整理

圖 5-6 各組竹絲水泥板之吸水長度變化率

第二節 竹絲水泥板之力學性質

壹、抗壓強度

各組竹絲水泥板之抗壓強度試驗結果如表 5-3 所示。當竹絲含量為 6%，未添加發泡劑之竹絲水泥板 7 天與 28 天的抗壓強度為 10%發泡劑者之 1.59 與 1.48 倍。而竹絲含量為 8%時，10%發泡劑之竹絲水泥板，其 7 天與 28 天之抗壓強度分別為 5%發泡劑者的 1.19 與 1.15 倍，如圖 5-7 所示。由以上試驗結果可知，添加發泡劑之竹絲水泥板抗壓強度低於未添加者。而添加 5%及 10%發泡劑之竹絲水泥板抗壓強度，隨著添加發泡劑增加而增加。因此，製作竹絲水泥板時，需注意發泡劑之添加用量，以期能達至質輕與強度兼具之竹絲水泥板。

另一方面，當發泡劑添加量為 10%時，無論齡期 7 天或 28 天，竹絲水泥板之抗壓強度皆隨竹絲含量增加而增加。當竹絲含量由 6%增加至 8%及 10%時，其 7 天與 28 天抗壓強度分別增加 1%-7%與 1.4%-12%，如圖 5-8 所示。由此可知，竹絲水泥板之抗壓強度雖隨著竹絲添加量增加而有所提升，但提升程度並不明顯。

貳、彎曲破壞載重

各組竹絲水泥板之彎曲試驗結果如表 5-3 所示。當竹絲含量為 6%，未添加發泡劑之竹絲水泥板，其彎曲破壞載重為 10%發泡劑者之 1.29 倍。而竹絲含量為 8%時，10%發泡劑之竹絲水泥板，其彎曲破壞載重為 5%發泡劑者的 1.12 倍，如圖 5-9 所示。由此可知，添加發泡劑之竹絲水泥板彎曲破壞載重低於未添加者。而添加 5%及 10%發泡劑之竹絲水泥板彎曲破壞載重，隨著添加發泡劑增加而增加。另一方面，當發泡劑添加量為 10%時，竹絲水泥板之彎曲破壞載重以竹絲含

第五章 竹絲水泥板之性質

量為 8%者最大，6%者次之，而 10%者最小，如圖 5-10 所示。此現象可能因板材中竹絲含量較多，使得水泥板之含水率增加，進而影響其彎曲破壞載重。各組竹絲水泥板抗彎試驗後之破壞情如圖 5-11~圖 5-15 所示。

CNS 3802 中，1.0 纖維水泥板，厚度 10mm 之彎曲破壞載重為 55kgf。而由以上之彎曲試驗結果可知，各組竹絲水泥板之彎曲破壞載重均大於規範值。因此，本研究製作之竹絲水泥板已符合工程應用之強度要求。

表 5-3 竹絲水泥板之抗壓強度

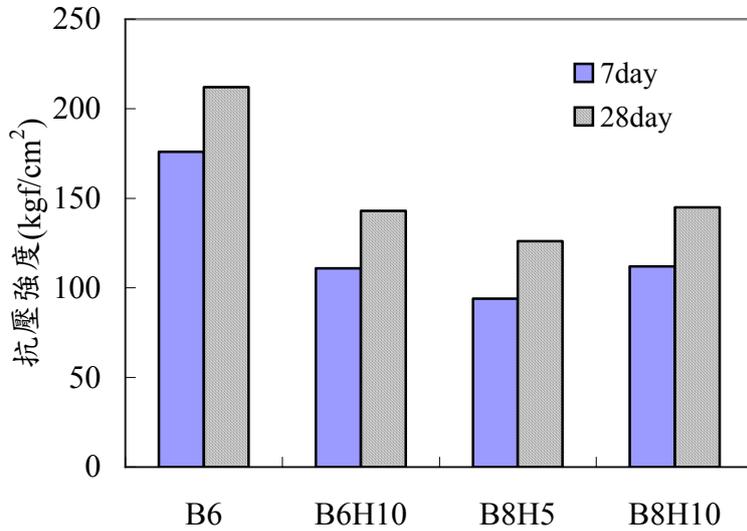
試體編號	抗壓強度(kgf/cm ²)	
	7 天	28 天
B6	176	212
B8H5	94	126
B6H10	111	143
B8H10	112	145
B10H10	119	160

*資料來源：本研究整理

表 5-4 竹絲水泥板之彎曲破壞載重

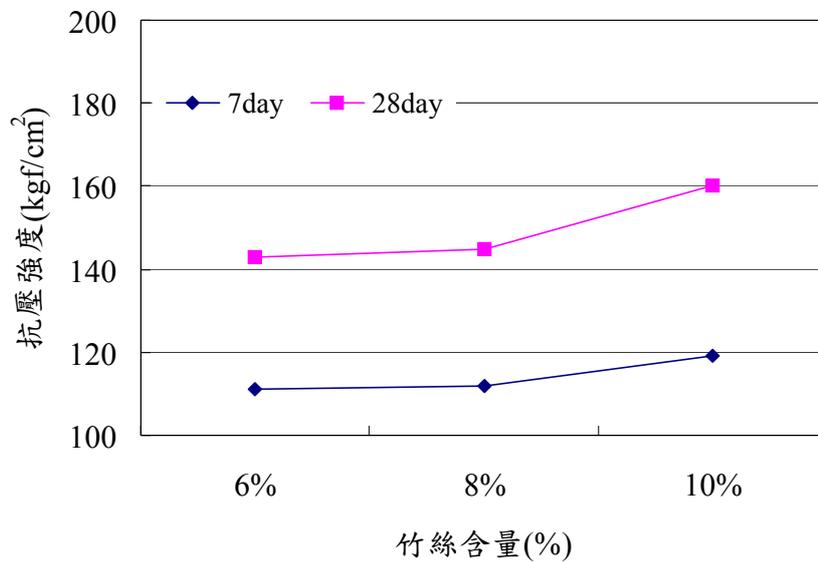
試體編號	彎曲破壞載重(kgf)	抗彎強度(kgf/cm ²)
B6	60.6	60.6
B8H5	65.7	65.7
B6H10	78.3	78.3
B8H10	82.3	82.3
B10H10	70.4	70.4

*資料來源：本研究整理



*資料來源：本研究整理

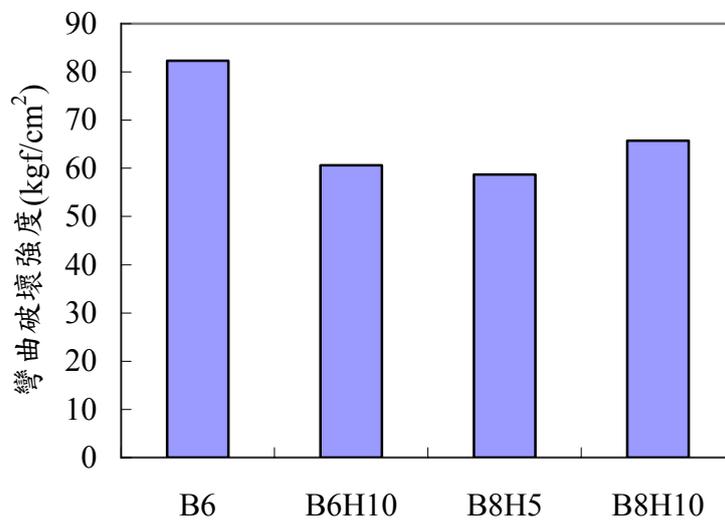
圖 5-7 竹絲水泥板不同發泡劑添加量之抗壓強度



*資料來源：本研究整理

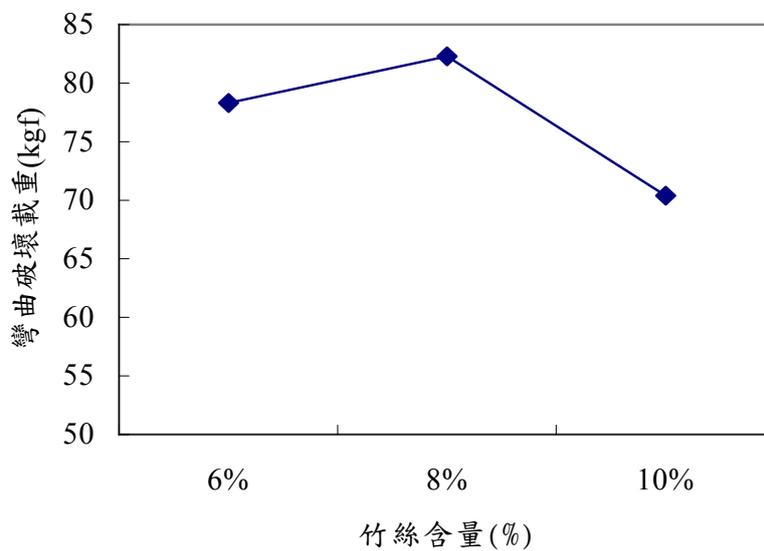
圖 5-8 竹絲水泥板竹絲含量與抗壓強度之關係

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



*資料來源：本研究整理

圖 5-9 竹絲水泥板不同發泡劑添加量之彎曲破壞強度



*資料來源：本研究整理

圖 5-10 竹絲水泥板竹絲含量與彎曲破壞強度之關係



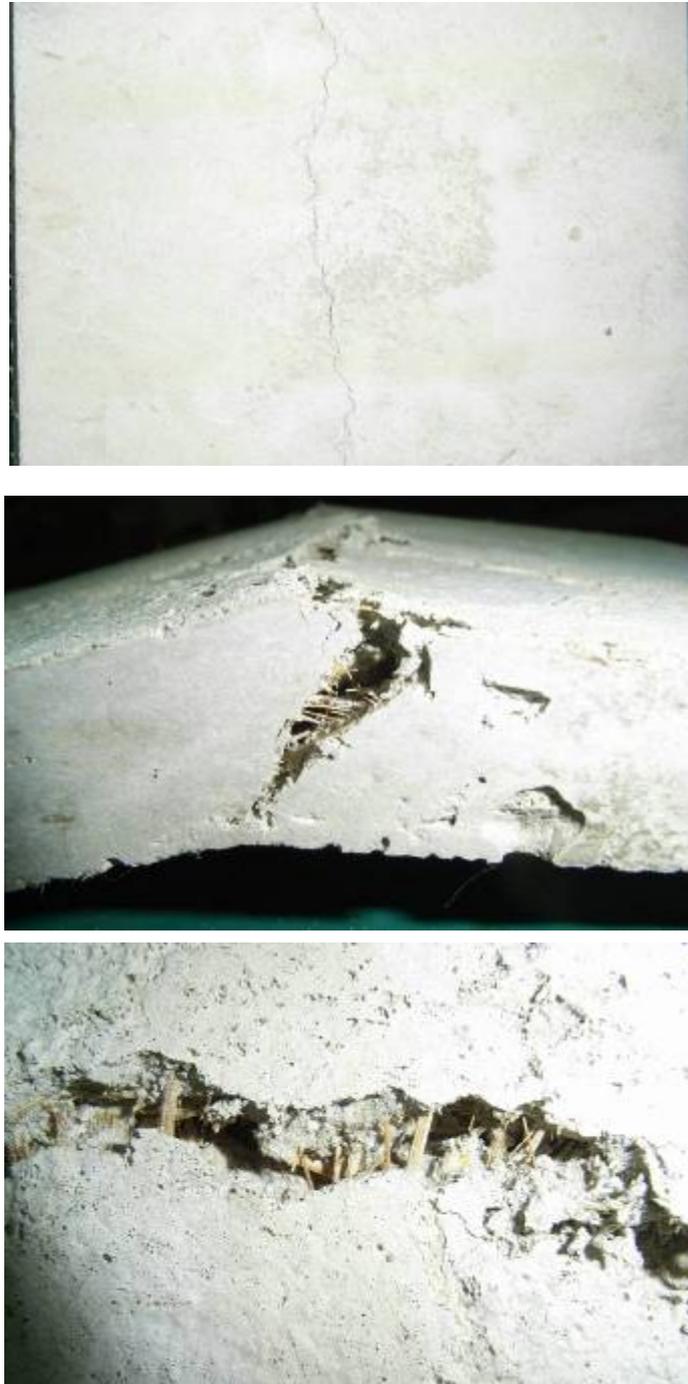
*資料來源：本研究整理

圖 5-11 B6 抗彎試驗破壞斷面之情形



*資料來源：本研究整理

圖 5-12 B6H10 抗彎試驗破壞斷面之情形



*資料來源：本研究整理

圖 5-13 B8H10 抗彎試驗破壞斷面之情形

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



*資料來源：本研究整理

圖 5-14 B10H10 抗彎試驗破壞斷面之情形



*資料來源：本研究整理

圖 5-15 B8H5 抗彎試驗破壞斷面之情形

第三節 竹絲水泥板之抗衝擊能力

由於竹絲纖維具有較水泥質材料佳之韌性，當竹絲水泥板在受到外來之衝擊力作用時，竹絲可吸收衝擊能量，使水泥板之破壞降低。一般而言，當竹絲水泥板受到高處落球的衝擊作用時，球落下之位能差將被板材吸收與分散為應變能。由於板材本身元素內應力的發展，導致凹陷與裂縫的產生。而板材之裂縫範圍多寡與衝擊能量大小、吸收能量以及竹絲水泥板內硬固水泥漿體性質有關。本計劃利用的單次落錘衝擊試驗，用以評估各組竹絲水泥板之相對的耐衝擊性能，並探討竹絲水泥板之抗衝擊能力。

各組竹絲水泥板之衝擊試驗結果如表 5-5 所示。當添加 10%發泡劑，竹絲含量分別為 6%、8%與 10%時，竹絲水泥板之衝擊凹陷直徑，分別為 20mm、10mm 以及 9mm。由此可知，隨著竹絲含量之增加，竹絲水泥板之衝擊凹陷直徑越小。由衝擊試驗後之板材可發現，竹絲含量為 6%之竹絲水泥板出現明顯的凹痕，板材背面亦可看出隆起之情形，以及沿著凸面延伸出之裂縫，圖 5-16 所示。竹絲含量為 8%者，其凹陷程度較不明顯，板材背面所產生的裂縫數量與凸面隆起程度皆較少，圖 5-17 所示。而竹絲含量為 10%者，在衝擊作用下，板材表面凹陷不明顯，且背面幾乎無隆起之情形發生，裂縫亦非常不明顯，需近距離始得以看出，圖 5-18 所示。由此可知，在相同發泡劑添加量下，竹絲含量 10%之竹絲水泥板其耐衝擊能力最佳。

另一方面，竹絲含量 6%時，未添加發泡劑之竹絲水泥板較添加 10%者，其受衝擊作用之凹陷程度不明顯，板材背面所產生的裂縫數量與凸面隆起程度亦較少，圖 5-19 所示。而當竹絲含量為 8%時，添加 5%發泡劑之竹絲水泥板相較於 10%者，其凹陷直徑多出 60%，且凹陷處較為明顯可見，且板材背面隆起程度較大，沿著凸面產生的裂

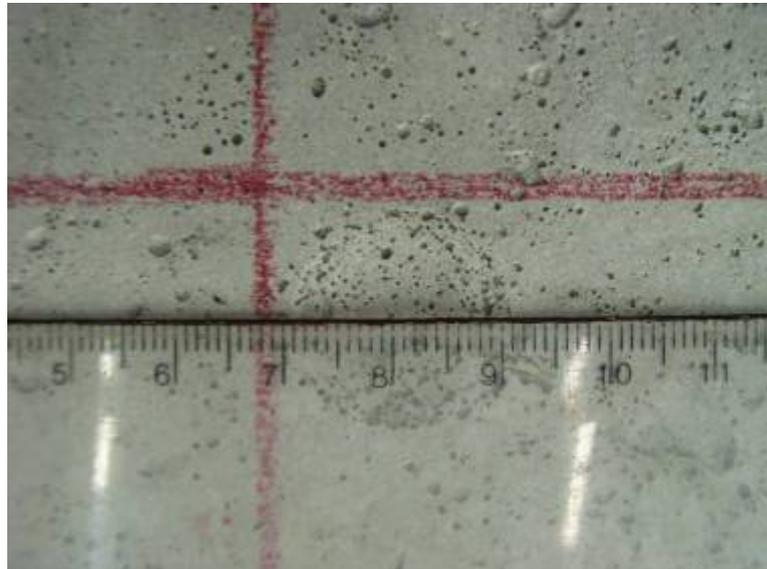
縫亦較明顯，如圖 5-20 所示。由此可知，在相同的竹絲含量下，添加 10%發泡劑之竹絲水泥板耐衝擊性較添加 5%者為佳。

根據 CNS 3802 纖維水泥板之耐衝擊性規定，纖維水泥板經衝擊作用後不得有龜裂(指球形重錘落下後形成試體背面凸起圓周以外的龜裂)、剝離、貫穿孔及裂開，且凹陷直徑應在 20mm 以下。而由以上竹絲水泥之衝擊試驗結果可知，本計劃研製的竹絲水泥板耐衝擊性均可達到規範之要求。

表 5-5 竹絲水泥板之衝擊試驗結果

試體編號	凹陷直徑 (mm)	備註	
		板材正面	板材背面
B6	10	無龜裂、剝離 貫穿孔與裂開 凹陷不明顯	產生微小裂縫
B8H5	16	無龜裂、剝離 貫穿孔與裂開 凹陷	凸起，並沿著凸面延 伸出微小裂縫
B6H10	20	無龜裂、剝離 貫穿孔與裂開 凹陷明顯	沿著明顯凸面延伸出 顯而易見之裂縫
B8H10	10	無龜裂、剝離 貫穿孔與裂開 凹陷不明顯	不明顯凸起，並沿著 凸面延伸出裂縫
B10H10	9	無龜裂、剝離 貫穿孔與裂開 凹陷不明顯	幾乎無凸起，且僅有 微小裂縫產生

*資料來源：本研究整理



衝擊正面



衝擊背面

*資料來源：本研究整理

圖 5-16 B6H10 衝擊試驗後之情形



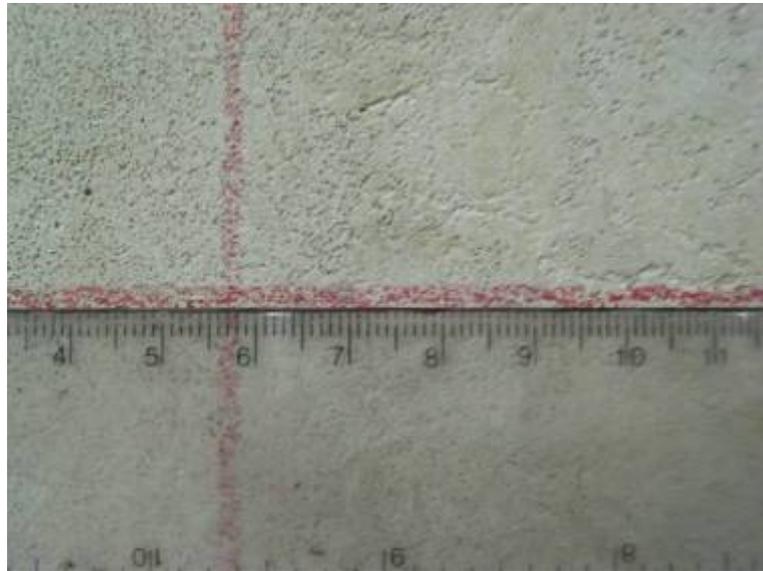
衝擊正面



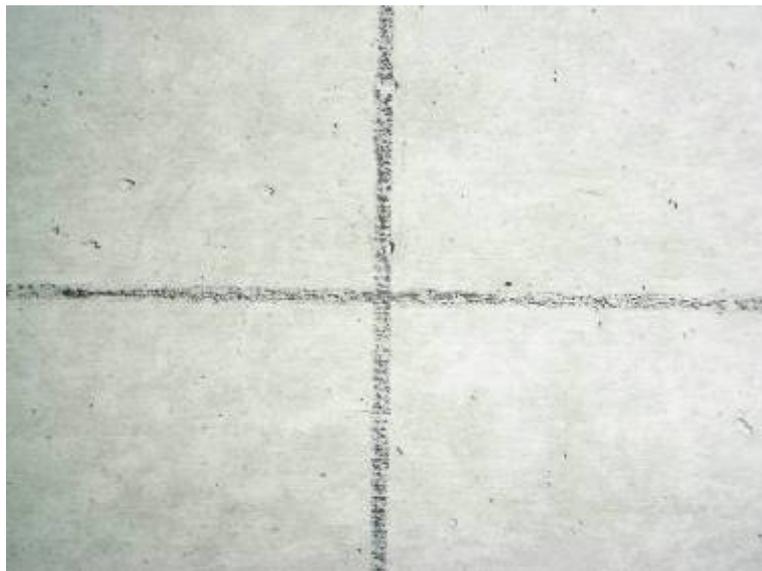
衝擊背面

*資料來源：本研究整理

圖 5-17 B8H10 衝擊試驗後之情形



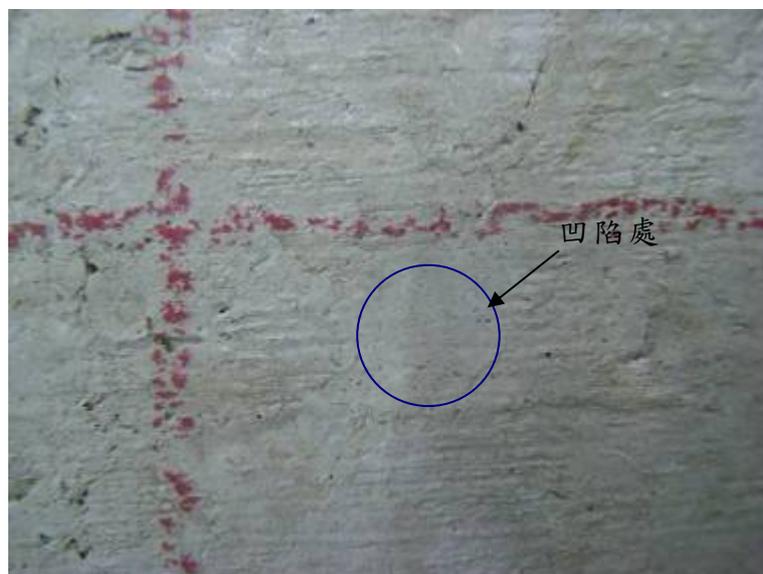
衝擊正面



衝擊背面

*資料來源：本研究整理

圖 5-18 B10H10 衝擊試驗後之情形



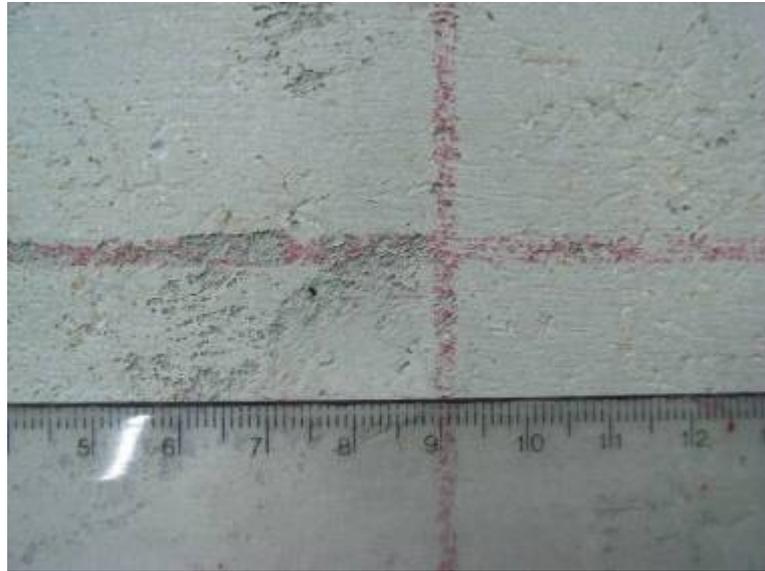
衝擊正面



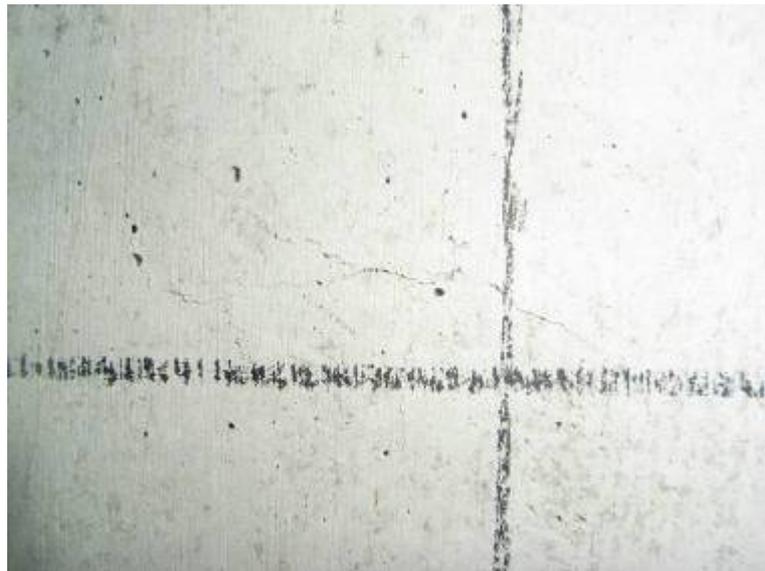
衝擊背面

*資料來源：本研究整理

圖 5-19 B6 衝擊試驗後之情形



衝擊正面



衝擊背面

*資料來源：本研究整理

圖 5-20 B8H5 衝擊試驗後之情形

第四節 竹絲水泥板之隔熱性

房屋建材之構成方式及材料性質乃決定其隔熱效果之基本因素。在節約能源之前提下，尋求良好的建材是迫切需要的。本計劃利用熱傳導定義，測定各組竹絲水泥板之熱傳導係數，並進行隔熱性分析，從而建立一個以隔熱性為基準之竹絲添加用量，以供營建工程界製作之參考。本研究除了測定對竹絲添加量對竹絲水泥板導熱性外，另外製作兩組添加不同發泡劑之試體以探討其版材隔熱性之影響。

各組竹絲水泥板之熱傳導試驗結果如表 5-6 所示。添加 10%發泡劑，竹絲含量為 6%、8%與 10%時，竹絲水泥板之熱傳導係數分別為 0.183、0.201 和 0.238 kcal/m²°C hr。由此可知，竹絲水泥板之熱傳導係數隨竹絲含量增加而增加。而竹絲含量為 8%，添加 5%與 10%發泡劑之竹絲水泥板熱傳導係數分別為 0.200 與 0.194 kcal/m²°C hr。竹絲含量為 6%，未添加與 10%發泡劑者為 0.258 與 0.183 kcal/m²°C hr。

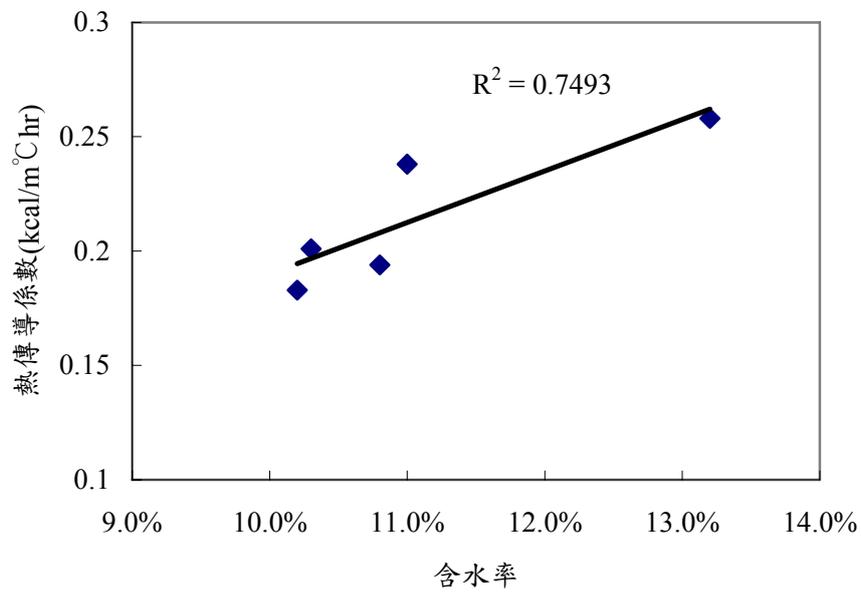
此外，由試驗結果可知，竹絲水泥板之含水率對於熱傳導係數有顯著之影響。當竹絲水泥板之含水率越高時，其熱傳導係數越大，如圖 5-21 所示。另竹絲水泥板之密度與熱傳導係數之關係，如圖 5-22 所示。由圖可知，基本上竹絲水泥板之熱傳導係數隨著密度增加而變大。因此，當竹絲水泥板以隔熱性能為主時，製作時須考量板材之含水率與密度，始能獲得理想之熱傳導係數。

表 5-6 竹絲水泥板之熱傳導試驗結果

試體編號		板厚 (cm)	試驗溫度 (°C)	熱傳導係數 (kcal/m°C hr)	密度 (g/cm ³)
B6	A	1.22	65.1	0.272	1.45
	B	1.21	64.8	0.243	1.40
B8H5	A	1.15	63	0.198	1.08
	B	1.13	63.4	0.189	1.07
B6H10	A	1.11	65.2	0.177	1.21
	B	1.18	65.3	0.189	1.20
B8H10	A	1.15	65.2	0.197	1.23
	B	1.2	64.7	0.204	1.18
B10H10	A	1.25	64.3	0.237	1.25
	B	1.26	64.5	0.239	1.24

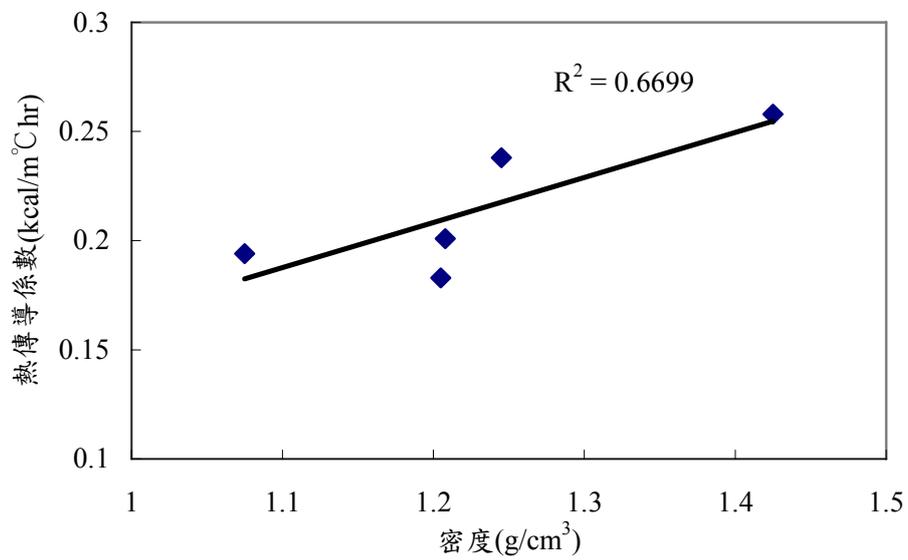
*資料來源：本研究整理

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



*資料來源：本研究整理

圖 5-21 竹絲水泥板含水率與熱傳導係數之關係



*資料來源：本研究整理

圖 5-22 竹絲水泥板密度與熱傳導係數之關係

第五節 竹絲水泥板之耐燃性

各組木絲水泥板之耐燃性試驗結果如表 5-7 所示，而其耐燃試驗後板材之表面情形如圖 5-22~圖 5- 所示。由耐燃試驗後板材之表面觀察可知，各組試體均無貫穿全厚之熔化，試體背面亦無龜裂，且無明顯之變形發生。而竹絲水泥板經耐燃性試驗後，其著火起始時間皆為 360sec，符合 CNS 6532 耐燃二級之規定。溫度時間面積(tdθ)為經耐燃試驗後之竹絲水泥板，經觀察表面無兩條裂縫相交之角度所求得之值，各組竹絲水泥板均為 0°C.min。此試驗結果符合 CNS 小於 150°C.min 之規定。而各組竹絲水泥板之發煙係數皆為 3，因其在燃燒期間，單位面積之發煙量小。且加熱試驗結束後，板材表面均無殘留火燄，故其餘焰時間皆為 0sec。此試驗結果亦符合 CNS 小於 90°C.min 之規定。由以上之版才耐燃性試驗結果可得，本研究製作之各組竹絲水泥板符合 CNS 6532 建築物室內裝修材料耐燃二級之要求，屬於耐燃二級之建材。

表 5-7 各組竹絲水泥板之耐燃試驗結果

試體編號	著火起始時間 (t_c , sec)	溫度時間面積 ($td\theta$, °C.min)	發煙係數 (C_A)	餘焰時間 (t_l , sec.)
B6	360	0	3	0
B8H5	360	0	3	0
B6H10	360	0	3	0
B8H10	360	0	3	0
B10H10	360	0	3	0

*資料來源：本研究整理



板材背面無貫穿板材之裂縫以及變形現象產生

*資料來源：本研究整理

圖 5-23 B6H10 耐燃試驗後之情形



板材背面無貫穿板材之裂縫以及變形現象產生

*資料來源：本研究整理

圖 5-24 B8H10 耐燃試驗後之情形



板材背面無貫穿板材之裂縫以及變形現象產生

*資料來源：本研究整理

圖 5-25 B10H10 耐燃試驗後之情形



板材背面無貫穿板材之裂縫以及變形現象產生

*資料來源：本研究整理

圖 5-26 B6 耐燃試驗後之情形

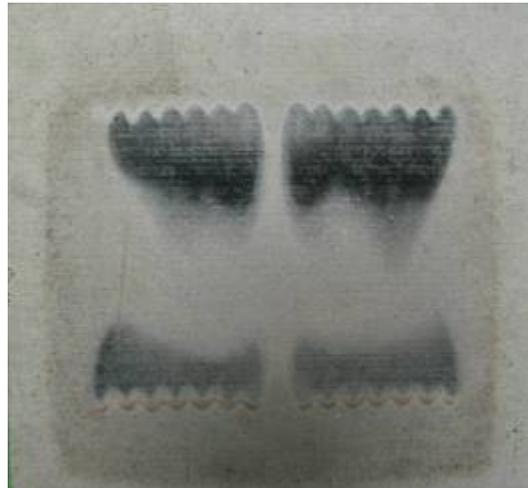
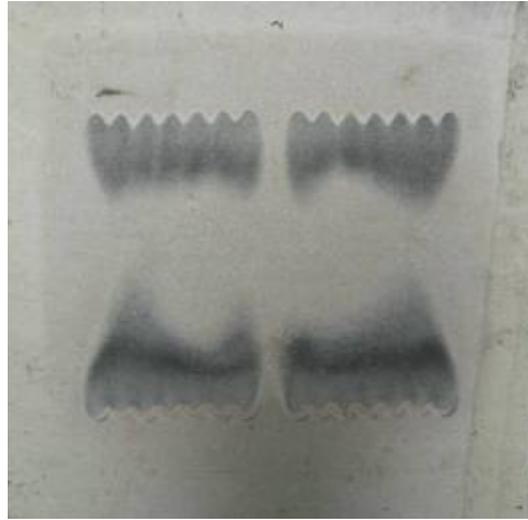


板材背面無貫穿板材之裂縫以及變形現象產生

*資料來源：本研究整理

圖 5-27 B8H5 耐燃試驗後之情形

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)



*資料來源：本研究整理

圖 5-28 試驗後之標準板

第六節 竹絲水泥板與木絲水泥板之性質比較

竹絲水泥板與木絲水泥板之比較如表 5-8 所示。

表 5-8 竹絲水泥板與木絲水泥板之比較

性 質	木絲水泥板	竹絲水泥板
密度	1100-1300 kg/m ³	1050-1250 kg/m ³
耐衝擊性	無龜裂，剝離，貫穿及裂開	無龜裂，剝離，貫穿與裂開凹陷
透水性	背面無水珠	背面無水珠
含水率	12.4%	10.2-13.0 %
抗彎強度	9.0-12.0 N/mm ²	6.5-8.1 N/mm ²
抗彎破壞載重	87.0 kgf	66-82 kgf
熱傳導率(K 值)	0.108 kcal/m · hr · °C	0.177-0.237 kcal/m · hr · °C
厚度膨脹(浸于水中 24hrs)	< 2%	0.08-0.13%

*資料來源：本研究整理

第七節 竹絲水泥板之經濟性分析

竹絲水泥板之材料成本，如表 5-9 所示；而木絲水泥板之市場價格與竹絲水泥板成本，如表 5-10 所示。由表 5-10 可知，竹絲水泥板之成本約為木絲水泥板售價之 23%-46%。而未來竹絲水泥板若能大量生產，則其成本應可再降低，估計約可減少 10%-20%。由此可知，竹絲水泥板甚具商業化生產之潛力。

表 5-9 竹絲水泥板之材料價格與用量

竹材	水泥	爐石粉	有機汰	發泡劑
30 元/kg	2.7 元/ kg	2.25 元/kg	500 元/kg	180 元/kg
74-124 kg/m ³	432 kg/m ³	288 kg/m ³	0.2 kg/m ³	36 kg/m ³

*資料來源：本研究整理

表5-10 木絲水泥板之市場價格與竹絲水泥板成本

板材尺寸	木絲水泥板	竹絲水泥板	價格比
4'×8'×8mm	600元/片	238	40%
4'×8'×10mm	750元/片	298	40%
4'×8'×12mm	950元/片	357	38%
3'×6'×16mm	960元/片	219	23%
3'×6'×15mm	500~600元/片	205	34~41%
3'×6'×20mm	600元/片	274	46%

*資料來源：本研究整理

第八節 竹絲水泥板之品質管理

壹、原料製作與儲放

竹絲水泥板製作材料中之竹材，於製作前先裁切成約 4cm 寬之片塊，再將放入粉碎試驗機中製成竹絲，取通過#4 停留#50 篩上竹絲備用。處理好之竹絲須儲放於乾燥處，若發現竹絲已受潮即應避免使用。

貳、板材之搬運與儲放

竹絲水泥板之搬運應防止碰撞、刮傷與污損，運送至現場的產品應完好無缺。搬運時，應從板材兩側長邊抬起，行進時豎立起板材以免損壞。而版材之儲放應選擇乾燥，不受日曬雨淋之場所。且地面應平坦，並鋪上墊板後才可堆放板材。儲放之場所若可能受雨水或高濕度影響，應施行覆蓋防水布等保護措施。而長期儲放時，應於通風良好之屋內使用敷板水平放置，橫斷面應整齊疊積，疊積之高度在 1.5m 以下。

參、板材之裁切與固定

竹絲水泥板使用木工電鋸裁切即可，亦可用自攻螺絲固定於輕鋼架上或使用上膠、打釘的方式固定於木構架上。

肆、板材之自主檢查

竹絲水泥板之品質自主查核表如表 5-9 所示。

表 5-10 竹絲水泥板品質自主查核表

竹絲水泥板品質自主查核表

工程名稱：○○○

查核日期： 年 月 日

項目	檢驗項目	查核結果		說明及改善情形	矯正完成日期
		合格	不合格		
1	板材規格是否符合合約或訂單之規定？				
2	板材之儲放場所是否妥當？				
3	板材之堆放方式是否妥當？				
4	板材是否有缺損、基板開裂、剝離之情形？				
5	板材是否扭曲、翹曲或裝飾面開裂？				
6	板材是否有非裝是目的之凹凸、污染、刮傷或混入雜物？				
7	板材紋樣、光澤及色調是否不協調？				
8	損壞之板材是否適當處理或禁止使用？				
9					
10					
矯正說明					

*資料來源：本研究整理

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

第六章 結論與建議

第一節 結論

本計畫以竹材取代木質材料，研發質輕、隔熱與耐燃性佳之多功能輕質竹絲水泥板為主要目的。研究方法主要分成三大部分：(1) 建立輕質竹絲水泥板之配比設計與製造技術；(2) 探討輕質竹絲水泥板之各項性能，包括含水率、容積比重、吸水長度變化率、耐衝擊性、耐燃性與隔熱性；(3) 分析比較輕質竹材水泥板與木質(絲)水泥板、纖維水泥板等之各項性能。以下綜合出各項主要結論：

1. 竹絲水泥板外觀無缺損、開裂、剝離、或翹曲等現象發生。且四角成直角狀，經切割機裁切後之斷面仍可維持整齊平整之表面。
2. 竹絲水泥板之容積比重約為 1030-1230 kg/m³，含水率約為 10.1-13.2%。依 CNS 3802 纖維水泥板之性能規格，屬於 1.0 纖維水泥板；已可達到工程應用上質輕之需求。
3. 竹絲水泥板之吸水長度變化率約為 0.04%-0.13%之間，符合 CNS 3802 纖維水泥板吸水長度變化率 0.25%以下之要求。
4. 竹絲水泥板之彎曲破壞載重約為 61-82 kgf/cm²，已大於 CNS 3802 所要求之 55 kgf/cm² 值。其中以竹絲含量為 8%之水泥板彎曲破壞載重最大。
5. 竹絲水泥板經衝擊作用後，未出現龜裂、剝離、貫穿孔及裂開之情形，且凹陷直徑均在 20mm 以下。而竹絲水泥板之衝擊凹陷直徑，隨著竹絲含量之增加而減小。
6. 竹絲水泥板之熱傳導係數約為 0.177-0.272 kcal/m[°]Chr。而板材之含水率與密度愈大時，其熱傳導係數愈大。
7. 耐燃試驗後，耐燃試驗後板材之表面無貫穿全厚之熔化，試體背面亦無龜

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第一年)

裂，且無明顯之變形發生。符合 CNS 6532 建築物室內裝修材料耐燃二級之要求。

8. 綜合板材之各項性能檢測結果，以竹絲含量 8%，以及添加 10%發泡劑所製成之竹絲水泥板，可較竹絲含量 6%與 10%者具有最佳之力學與耐燃性能。

第二節 建議

本計畫以研發竹材有機建材為主要目的，根據研究結果，提出以下具體建議：

建議一

制定獎勵措施：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院農委會

制定獎勵措施，協助廠商研發新產品，以解決台灣地區竹材產量豐富，但因工資昂貴，竹材加工業外移情形嚴重之問題。

建議二

提升竹絲水泥板之功能：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院農委會

竹絲水泥板外觀之結構(如顏色、圖樣)，及其他附加功能(如除臭、淨化空氣)，可進一步研發。以因應國人生活品質提升，居住環境逐漸重視美觀與健康之需求。

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第一年)

一、初審查會評審意見執行現況

960125

評審意見	執行現況
<p>沈教授得縣</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.本計畫為第二年計畫，因此在研究背景中應將第一年研究成果作摘要陳述。 2.本計畫研究經費缺各項經費用途之明細表或估算表，請補充；又研究經費中其他費用與雜支費是否重複。 3.本計畫竹材水泥板製作前竹材應如何取樣備料及品質管制，以達到可在竹材水泥板上應用，應先作探討。 4.竹材水泥板應用於營建工程是否可行，應先確定各種評估指標及品質驗收標準。 5.要落實竹材水泥板於營建工程上應用，建議本計畫除探討產製技術、耐燃性、隔熱性及經濟性評估外，建議增加品管作業流程、品質檢驗標準及施工規範之探討。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已補充，見 P6。 2. 本計劃經費編列謹遵照內政部委託研究計畫作業要點中經費編列標準處理，遺漏缺失之處已改正，如 p18。 3. 補充說明，如 P9。 4. 竹材水泥板之品質檢驗標準以”CNS 3802 纖維水泥板”為主要依據標準。 5. 輕質竹材水泥板之產製作業流程與品質檢驗標準，將完整於期末報告中提出。
<p>邱顧問昌平</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.本研究為跨年度連續性研究計畫，第一年研究順利完成，經建研所同意接受後，繼續擬定第二年之服務建議書。服務建議書宜見到第一年之成果摘要，與其預計延用至第二年的建議項目。 2.預期成果 4 與 5 兩點可合併討論，除了工程性質、耐燃、隔熱等性能評估比較外，尚可在應用上與施工性上做比較，如此即會涉及成本(經濟性)之討論。施工性包含工廠製作、儲放、輸運等。 3.若第一年未做竹粒片板、膏泥木炭複合板等之研究，且第二年也不擬採用，則不必再討論或比較。 4.若耐燃與隔熱試驗須委外或使用相關單位之設施，則經費宜列入並註明之。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 補充說明如 P6。 2. 預期成果已修正，如 P2 與 P20。由於契約書中為”完成輕質竹材水泥板應用上之經濟評估”，因此文字仍為經濟性評估，評估內容則可納入施工性探討。 3. 竹粒片板、膏泥木炭複合板等研究為參考文獻，不做討論或比較。 4. 已編列經費。

<p>蘇教授南</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.配合永續發展之生態需求,建議可用廢棄竹材,並在適當處寫明,以免遭誤解。 2.當竹材比例為 20%、30%、40%時,其製品(板材)之比重是否能達 0.6~1.2,請與孔隙率等因素予以評估。 3.竹材處理成細長條為 2~6cm,但其厚度亦宜分類,以利將來試驗結果之分析。 4.竹材添加量對混凝土工作性之影響建議納入本計畫評估。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 竹材為 3-4 年生植物,本計畫採用之竹材為竹林更新之竹子,補充說明如 P9。 3. 本計畫完成之輕質竹材板比重設定為 0.6-1.2,而竹材含量採其與水泥之比例,此比例將視板材比重調整。 4. 本計畫製作板材之竹材為經碎化機處理,其尺寸以篩分析試驗結果為分析依據。 5. 竹材添加量對板材製作之工作性影響將納入其末分析討論中。
<p>王總幹事榮吉</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.建議調查國內竹材的種植面積產量,推估每年最大最多的產量值,以做未來經濟發展的可行性評估。亦可評估其推廣是否有地區性限制,或限定某種建築物用途的適用範圍。 2.可針對竹材水泥板之耐候性、耐久性或使用年限訂定檢測基準、材料規範等。 3.建議能作竹材水泥板之實物測試報告。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.說明如 P5。 2.3 本年度預定完成之輕質竹材板為室內輕隔間牆用,主要為竹材板之試驗。耐候性或使用年限,與實物測試未列於契約書規範中,因此本年度暫緩實施。但此性能對未來板材之應用推廣有其重要性,可列為後續研究項目。
<p>江建築師星仁</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.P1 明細表,看不出來有研究費。 2.P10 流程圖,有隔熱性試驗與耐燃性試驗,但 P15 期程圖,未列耐燃性試驗。 3.P14 聘僱人員詹穎雯兼任聘僱期間 95.1.1~95.12.31 已不符實際。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究費列於人事費中。 2. 已補正,如 P19。 3. 已修正,如 P15。
<p>葉祥海委員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.竹材之應用、纖維之產製及是否有先期處理,需有進一步的研究,以明確瞭解其應用之穩定性與耐久性。 2.如能開發成功,應請詳列各項產製標準作業程序之紀錄,以利後來技術轉移推廣。如竹纖維之準備、拌合作業與配比,板材之製成方法、品質檢驗等作業步驟與標準要求。 3.建議與有興趣之廠商合作,以利未來產業發展,並能於產製時,通知本 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 竹材之先期處理已納入研究內容,如 P9 所示。 2. 板材之產製標準作業程序與品質檢驗等作業步驟與標準要求,將完整於期末報告中提出。 3. 合作廠商已在洽詢中,若其可配合,將安排相關人員參訪。

	所人員參訪研習。	
陳組長瑞鈴	1.竹材有緩凝效果,再添加飛灰與爐石是否也與緩凝同效,是否應加速凝劑?	1. 添加飛灰與爐石為減少水泥之使用,緩凝問題可以高溫蒸氣養護克服。
蔡助理研究員宜中	1.本研究案根據原 95 年合約之需求說明,第二年須完成標準化尺寸之輕質竹材水泥板,此項目服務建議書並未納入,建請補正。	1. 已補正,如 P20。
決議	1.與會學者、專家及機關團體代表等之意見,請委託單位儘量納入服務建議書,以求完善;並製表逐條回應,且將各條修正頁數註明於回應表,俾利後續檢核修正後之服務建議書。 2.本案因為跨年度連續性研究計畫,俟修正後之服務建議書簽奉核准後,修正後之服務建議書將列為契約之一部份,再請委託單位儘速依相關規定與本所辦理合約續約事宜。	遵照辦理。

二、期末審查會評審意見執行現況

961121

	評審意見	執行現況
沈教授得縣	<ol style="list-style-type: none"> 1. 期末報告資料豐富，內容詳實，值得肯定。 2. 輕質竹材水泥板使用之竹材料源要穩定，並考慮若大量種植竹子，其對生態環境及水土保持上之影響應作探討。 3. 輕質竹材水泥板欲應用於營建工程除竹材之料源穩定外，竹材品質（性能）之穩定最重要，因此竹材或竹絲穩定性包括強度、體積穩定性及耐久性應加強探討；另經濟可行性評估亦很重要。 4. 本研究計畫針對產品製造及技術移轉方面，應再考慮研擬產品產製標準作業流程，施工規範及品質管制之檢驗基準。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 如 pp.2。 3. 補充如 pp.116。 4. 補充如 pp.118。
邱昌平顧問	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究採用蔴竹切片粉碎製成之竹絲，以水泥、水、爐石、發泡劑、有機鈦等以一定成分或製法製成“竹絲水泥板”，已完成一些必要之預備試驗及成品之物理性質、力學性質、施工性等研究，成果良好。另切片長度之不同可能會是一個重要變數。 2. P.68 抗彎試驗建議加入圖示，以顯示抗彎強度 σ (單位 kgf/cm^2) $=3PL / (2WB^2)$ 之由來。 3. 第五章第六節之品管，建議各材料成分之選材、包裝、儲放、工廠設備、人員及製造皆須品管，且以上各項還會影響成本。 4. 隔間常用矽酸鈣板，且常再油漆，不知竹絲水泥板之塗裝性能與成 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 經竹絲水泥砂漿之工作性測試，本文採用竹絲長度為 4cm 作為水泥板之材料，以獲得較佳之工作性。 2. 補充如 pp.51。 3. 補充如 pp.115-118。 4. 竹絲水泥板之塗裝性與一般水泥板相同。

	<p>本如何。</p> <p>5. 彎曲破壞試驗亦宜有圖示，且盡量與抗彎試驗對照。</p>	<p>5. 補充如 pp.70。</p>
高教授健章	<p>1. 試驗認真，研究方法正確，所得配比與性能測試真實，所得結果大致滿足預期。</p> <p>2. 建議加列一個比較表，將竹材水泥板之各項性能與相近似之木絲水泥板作較詳細之比較，並作探討。</p> <p>3. 價格探討為進一步後續研究之依據，應有所探討。</p>	<p>2. 補充如 pp.115。</p> <p>3. 補充如 pp.116。</p>
謝教授尚賢	<p>1. 目前報告之第二章(蒐集之資料與文獻分析)的寫作邏輯不清楚，建議應先以一段前言說明資料蒐集與文獻分析之邏輯及與本研究之相關性。</p> <p>2. 本研究目前對輕質竹材水泥板之物理性質分析探討上已達預定目標，但在應用之經濟性評估上較弱且待加強。建議可試著回答下列問題：(1)目前竹絲水泥板在各項成本分析上與其他產品之比較(應量化)有何優弱勢？在何種情況或成本條件下，才具競爭力。(2)在應用性上(例如外觀結構之變化及附加功能上)目前竹絲水泥板之競爭優弱勢為何，在何種條件下才具競爭力。</p> <p>3. 結論之最後一點，應再多加說明，為何竹絲含量 8%，以及添加 10% 發泡劑可獲得最佳之性能(例如：10%竹絲含量是否更好)。</p>	<p>1. 第二章以重新改寫。</p> <p>2. 補充如 pp.115-116。</p> <p>3. 已修正。</p>
郭教授榮欽	<p>1. 將竹材運用在營建工程之課題相當值得鼓勵，二次大戰末期，日本因鋼鐵奇缺，許多公共工程有採用竹</p>	

	<p>片，外塗石灰麻筋的建材來做結構，尤其是「牆」，取竹材韌性高，抗拉力強的優點。</p> <p>2.第五頁圖 1-1 之流程圖，分歧符號(輕質竹材水泥板試拌)的條件是什麼？</p> <p>3.本研究題目為「...於營建工程應用之研究」，但整篇論文似乎大多著重在試體製作及物理性質試驗，尚未達到「營建工程應用」的地步。若照本研究訴求聚焦在應用可行性之先期探討，則製作過程與品質控制的難易、成本概算的比較也應同時論及。然而本研究最後結論僅簡單建議對附加功能作進一步研發，仍未試圖和營建任何構件(例如隔間牆或搗擺或天花板材等)做較實務性的應用探討。</p>	<p>2.指預備試驗之竹絲前處理方式、拌製難易度、發泡劑添加量與水泥板製作方式。</p> <p>3. 補充如 pp.116-118。</p>
<p>王總幹事榮吉</p>	<p>1. 此項研究成果，是否適於國內營建材料之應用，且其性能基準是否具檢測規範之目的，請研究團隊能詳盡評估。</p> <p>2. 國內產業界是否有意願參與研究、投資，也請一併列入考量。</p>	<p>補充說明如 pp.116。</p>
<p>會議結論</p>	<p>1. 綜合討論建議事項，請研究團隊參採辦理或妥予回應，納入最後之成果報告，並利用後續時程充實研究內容；另有關成果報告格式，請研究團隊特別注意，務必依規定製作。</p> <p>2. 本次期末簡報審查原則通過，並請檢核委辦研究計畫之合約需求，儘速完成期末成果報告書，辦理結案。</p>	<p>遵照辦理。</p>

參考文獻

1. <http://www.abri.gov.tw/>，內政部建築研究所網頁。
2. 營建法令建築管理篇建築物室內裝修管理辦法，內政部營建署
www.cpami.gov.tw/about/
3. 臺北市住宅室內裝修問與答裝修材料篇，臺北市建築管理處
www.dba.tcg.gov.tw
4. <http://www.forest.gov.tw>，林務局全球資訊網。
5. 行政院農業委員會林務局 (2003) 臺灣地區林業統計。行政院農業委員會林務局，台北。
6. Forest Products Laboratory Wood Handbook : Wood as an Engineering Material, US Forest service, USDA, Agriculture Handbook No. 72, USA, 1974.
7. <http://www.yts1993.com.tw>
8. CNS 3802 纖維水泥板，2006。
9. http://www.efcl.com.tw/product/wall_3/wall_3.pdf，2003，永逢福瑞斯纖維水泥板介紹。
10. 周永祥等，1996，石膏板市場調查台電公司自行設石膏板廠之可行性研究，工研院能資所報告。
11. 黨江濤、鄭志銀，2006，單向連續竹纖維增強聚合物的拉伸性能，力學季刊 27(4)：719-725。
12. 陳載永、薛秀輝，1985，水泥膠合竹材粒片板與竹筋補強之研究，林產工業 4(2)：2-16。
13. Zhang M, Kawai S. Sasaki H. 1994. Production and properties of composite

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

- fiberboard. Wood Research 81 : 31-33.
14. Jain J D,Sanyal S N.1993.A note on sandwich constructions from forest based materials. Journal of the Indian Academy of Wood Science.24(1) : 25-30.
 15. 陳清齊、楊奉儒，2000，廢耐火材再資源化產製水泥纖維板技術開發與可行性評估計畫期末報告，工研院環安中心。
 16. 陳清齊，2004，再生資源水泥纖維板之研究。國立台北科技大學材料及資源工程研究所碩士論文。
 17. Schwarz, H.-G. und M. H. Simatupang. 1984. Eignung des Buchenholzes Zur Herstellung Zementgebundener Holzwerkstoffe Holz als Roh – und werkstoff 42 : 265-270 。
 18. 蔡金木，1984，孟宗竹製造粒片水泥板之適宜性，中華林學季刊 17(2) : 99-107 。
 19. 鄒哲宗、夏滄琪、顧文君、陳玉秀，1996，礦渣水泥木絲板微細構造之觀察，台灣林業科學 11(1) : 67-75 。
 20. 陳准前，植物纖維水泥複合板的性能及應用，牆材革新與建築性能，No.1, pp. 32-36，1996 。
 21. 詹祖光，竹纖維-經濟牆板初探，林產工業，第 27 卷第 2 期，2000，pp.22-24。
 22. 姚武、李宗津，竹板-纖維增強水泥基複合材料的力學性能探討，房材與應用，第 1 期，2000，pp.10-13 。
 23. R. MacVicar, L.M. Matuana, J.J. Balatineez, “Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites”, Cement and concrete Composites, Vol.21, 1999 , pp. 189-196.
 24. 郭斌，天然植物纖維增強水泥複合物綜述，江蘇建材，第 3 期，2005，pp.49-52 。

25. 朱建根，輕質纖維增強水泥板的生產與應用，新型建築材料，第 6 期，1995，pp.21-22。
26. 王松永，2006，森林、木材利用與綠建築，木質建築 10：100-134。
27. <http://ivy3.epa.gov.tw/rghm/GBM.HTM>，2007，再生綠建築資訊服務網。
28. 顏聰，稻殼水泥板之研究，科學發展月刊，第六卷，第十期。
29. 顏聰，稻殼水泥板之工業化研究，科學發展月刊，第八卷，第三期。
30. 李雙躍、陳運遂、李進春，2006，竹片分絲機設計與應用，農業機械學報 37(7)：204-205。
31. 林志威，孟宗竹廢料製造竹粒片水泥板之研究，國立台灣大學森林研究所碩士論文，1984。
32. <http://www.mfl-fc.at/MFLEquipment/MFLEquipment.htm>，Equipment and engineering for fiber cement industry, MASCHINENFABRIK LIEZEN FASERZEMENTANLAGEN Ges.m.b.H
33. <http://www.diytrade.com/>，2005，南京威旺國際貿易有限公司。
34. CNS 6532，1993，建築物室內裝修材料之耐燃性試驗法。
35. http://www.efcl.com.tw/product/wall_2/wall_2.htm，永逢建材。
36. <http://www.sureseen.com.tw/>，樹欣企業。
37. 陳載永、黃速汝，1993，省產材用於木材粒片水泥板製造之研究-(II)省產材木材粒片水泥板之理學及力學性質，中興大學實驗林研究報告 15(1)：43-54。
38. 蔡金木、蔡佩珺，1986，杉木及柳杉粒片抽出物去除處理對木粒片水泥板性質之影響，中華林學季刊 19(2)：65-75。
39. 中興大學實驗林研究報告(Bull. Expt. Forest of NCHU)，1994，琉球松線蟲病害木材之利用研究 16(1)：41~56。
40. 陳載永、黃貴春，1990，速生樹種木材製造建築用粒片板之適用性(III-2)

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

相思樹、楓香及台灣杉製造木材粒片水泥板，林產工業 9(1)：91-104。

41. 陳載永，1989，速生樹種木材製造建築用粒片板之研究(II-2)柳杉、台灣泡桐及木柚桐製造木材粒片水泥板，中興大學實驗林森林系所研究報告 10：(89-101)。

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

出版機關： 內政部建築研究所

電話： (02)89127890

地址： 台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址： <http://www.abri.gov.tw>

編者： 劉玉雯

出版年月： 96 年 12 月

版(刷)次： 初版

工本費：

ISBN： 978-986-01-2869-7

輕質竹材水泥板於營建工程應用之研究(第二年)

內政部建築研究所委託研究報告