

輕質骨材混凝土牆板之開發應用  
與經濟效益評估

—輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之研發

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

PG 9403-0008

094301070000G1012

# 輕質骨材混凝土預鑄牆板構件 標準化之研發

受委託者：國立中興大學

研究主持人：顏聰

共同主持人：陳豪吉

研究助理：黃中和

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

**ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT**

**Standardization of Precast Wall  
Using Lightweight Aggregate Concrete**

**BY**

**Tsong Yen**

**How-Ji Chen**

**Chung-Ho Huang**

**December 31, 2005**



## 目次

表次.....	III
圖次.....	V
照片.....	VII
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究方法與進行步驟.....	3
第二章 文獻回顧.....	7
第一節 輕質骨材混凝土之分類與特性.....	7
第二節 各類磚與板之型式與性能.....	10
第三節 隔間牆之分類與性能.....	12
第四節 國內外牆板之隔音規範要求.....	12
第五節 現行牆板之工法.....	13
第三章 輕質骨材混凝土預鑄構件之規格標準化.....	33
第一節 現行砌塊(磚)與牆板之尺度規定.....	33
第二節 建築模矩之考量.....	36
第三節 人工物料搬運工作之安全性探討.....	38
第四節 輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊標準化規格之建議.....	43
第四章 輕質骨材混凝土預鑄構件之檢測標準化.....	53
第一節 輕質骨材混凝土砌塊與組立牆板之檢測項目.....	53
第二節 輕質骨材混凝土砌塊與組立牆板之檢測方法.....	54
第三節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之性能測試.....	60
第四節 已組立牆板及其水泥系接著劑之性能測試結果.....	62

第五節 輕質骨材混凝土砌塊與其他砌塊(磚)性能之比較.....	64
第六節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊性能檢測方法之建議.....	65
第五章 輕質骨材混凝土預鑄構件之隔熱與隔音性能 .....	77
第一節 國內建築物隔熱節能之相關法規 .....	77
第二節 熱傳導係數之量測方法.....	78
第三節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之隔熱性評估 .....	81
第四節 輕質骨材混凝土牆隔音性之測試與評估 .....	82
第六章 輕質骨材混凝土預鑄構件之工法與施工要領 .....	87
第一節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之工法簡介 .....	87
第二節 輕質骨材混凝土預鑄砌塊之施工技術要領 .....	88
第七章 研究發現.....	103
第八章 結論與建議.....	105
第一節 結論.....	105
第二節 建議.....	106
附錄一 期中審查會議紀錄情形 .....	107
附錄二 研究計畫審查會議情形 .....	111
附錄三 發表於「第二屆輕質骨材混凝土研討會暨國科會產學合作成果發表會」之論文 .....	113
參考書目 .....	129

## 表 次

表 2-1 輕質骨材混凝土彈性模數與單位重、抗壓強度之關係[29] .....	16
表 2-2 石棉水泥板種類與符號[33].....	16
表 2-3 波形板之性質[33].....	17
表 2-4 石棉水泥平板之性質[33].....	17
表 2-5 矽酸鈣板種類與符號[33].....	18
表 2-6 矽酸鈣板性質要求[33].....	18
表 2-7 ALC板分類[34] .....	19
表 2-8 ALC板性質要求[34] .....	19
表 2-9 纖維水泥板分類[35].....	20
表 2-10 纖維水泥板性質要求[35].....	20
表 2-11 石膏板分類及符號[36].....	20
表 2-12 石膏板(GB-R) 性質要求[36].....	21
表 2-13 強化石膏板(GB-F) 性質要求[36] .....	21
表 2-14 隔間系統之分類[37].....	22
表 2-15 隔間牆之性能需求與對策[37].....	23
表 2-16 各式隔間系統性能比較表(一)[37] .....	24
表 2-17 各式隔間系統性能比較表(二)[37].....	25
表 2-18 日本建築協會推薦之各類建築物牆板隔音性能基準[39] .....	26
表 2-19 我國現行技術規則防音材料與構造隔音性能測試結果[40] .....	27
表 2-20 各國法規有關外牆隔音性能之基準[40].....	28
表 2-21 各類隔間牆工法之佔有率[37].....	29

表 3-1 空心磚之標準尺寸.....	45
表 3-2 建築模矩之基本數與組合 .....	45
表 3-3 建築模矩數值(單位：MM).....	46
表 3-4 建築用版類之模矩(單位：MM).....	47
表 4-1 水密性試驗風壓規定 .....	66
表 4-2 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之質量與容積比重 .....	66
表 4-3 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之吸水率 .....	67
表 4-4 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之抗壓強度 .....	68
表 4-5 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之抗彎強度 .....	69
表 4-6 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊透水試驗 .....	70
表 4-7 已組立牆板牆板之單位重測試結果 .....	71
表 4-8 已組立牆板牆板之風壓試驗結果 .....	71
表 4-9 各類磚、板之性能比較 .....	72
表 5-1 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數 .....	85



## 圖 次

圖 1-1 研究流程圖.....	6
圖 2-1 細骨材含量對輕質骨材混凝土K值之影響[29].....	30
圖 2-2 水泥用量與輕質骨材混凝土抗壓強度關係[31].....	30
圖 2-3 輕質骨材混凝土抗壓強度與水泥砂漿、骨材強度間的關係[31].....	31
圖 2-4 輕質骨材混凝土的分界強度[32].....	31
圖 2-5 輕質、普通混凝土之強度成長比較圖[31].....	32
圖 3-1 空心磚之形狀.....	48
圖 3-2 混凝土空心磚之形狀.....	48
圖 3-3 裝飾混凝土磚之形狀.....	49
圖 3-4 窯燒花崗岩面磚之形狀.....	49
圖 3-5 耐火磚之形狀.....	50
圖 3-6 不同倍模矩之組合(例一).....	51
圖 3-7 不同倍模矩之組合(例二).....	51
圖 4-1 已組立牆板面內抗剪試驗裝置示意圖.....	73
圖 4-2 透水裝置示意圖.....	73
圖 5-1 熱傳導測儀之各部配線.....	86
圖 6-1 預鑄牆板工法一.....	97
圖 6-2 預鑄牆板工法二.....	98
圖 6-3 砌塊(磚)之疊砌法.....	99
圖 6-4 企口磚工法一.....	100
圖 6-5 企口磚工法二.....	101



## 照 片

照片 4-1 厚度 8.8CM之輕質骨材混凝土預鑄企口磚 .....	74
照片 4-2 厚度 12CM之輕質骨材混凝土預鑄外牆磚 .....	74
照片 4-3 厚度 6CM之輕質骨材混凝土預鑄牆板 .....	75
照片 4-4 厚度 9CM之輕質骨材混凝土預鑄牆板 .....	75
照片 5-1 熱傳導試驗之試體裝置 .....	86



# 摘要

關鍵詞：輕質骨材混凝土、預鑄牆板、標準化

## 一、研究緣起

由於經濟快速發展與土地資源有效利用的需求下，高層化、輕量化的建築物順勢地大量出現。輕質混凝土除了降低建築物自重而可減少材料用量的優點外，更由於輕質混凝土構件的自重較輕，致使其結構體因地震所產生的慣性力亦相對較小，故可降低設計載重，因而節省建造成本。此外，輕質混凝土本身擁有低熱傳導、較佳隔音與耐火性能等優點，若加以利用在建築物外殼或隔間牆板，還可以使建物達到節省能源的功效，這些使用輕質骨材混凝土的優點對於屬亞熱帶氣候且位處地震帶的台灣尤具意義。

## 二、研究方法及過程

本研究計畫旨在輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之研發，主要工作為預鑄輕質混凝土牆板之研發，品質檢測方法與組立工法等之建立，以作為輕質骨材混凝土使用於土木工程之設計及施工的參考準繩，從而促成輕質骨材混凝土預鑄牆板構件之開發應用及營建自動化之目的。

## 三、重要發現

根據熱傳導係數之實測結果與其他磚類之比較可知，輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數均小於  $0.35 \text{ kcal/m.hr.}^{\circ}\text{C}$ ，並具穩定性，更遠低於現行磚類之標準值，擁有極佳之隔熱能力，可用於隔熱需求之隔間牆建材。本研究亦建議了輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之乾式預鑄工法及疊砌築工法，以及條列出預鑄牆板施工技術要領，以期在實際施作上有所助益。

## 四、主要建議事項

### (一)立即可行之建議

主辦機關：國家科學委員會、內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

為開啟國內使用輕質混凝土預鑄構件之契機，政府應積極推動輕質骨材混凝土相關之應用性研究計畫，以促成輕質骨材混凝土之推廣應用及產業化。

### (二)長期性建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：經濟部中央標準局

本研究提出之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目與方法，經過實際測試，並與傳統磚比較，可知其檢測方法具一定的可靠性與適用性，並建議進行國家標準法規之訂定，或是修訂現行國家標準，將輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊等材料測試納入適用範圍，使輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊有統一的標準，以利其推廣與應用。

# ABSTRACT

**Keywords : Lightweight Aggregate Concrete, Precast Wall, Standardization**

## Introduction

Due to the fast development of economy and the requirement of using land resources effectively, lots of higher and lighter buildings appear. Besides the advantage of reducing the weight of buildings to save material, the lighter Lightweight Aggregate Concrete (LWAC) members can also reduce the inertial forces from earthquake. Therefore, LWAC can reduce design loadings and save building cost. In addition, LWAC has the properties of better heat insulation, sound insulation and fire prevention comparing with normal weight concrete. If LWAC is used on the exterior surface or interior wall partition of the building, much energy can be saved. These advantages are quite significant to Taiwan, which is located at semitropical-climate and earthquake-active zone.

## Method and Process

The main topic of this project is to develop the standardization of the precast LWAC walls. The major works include developing precast LWAC walls, establishing testing methods and creating construction methods for the wall fabrication. The research results can not only be the reference for civil and architectural LWAC design or analysis but also lead to the development and application of LWAC walls and to the achievement of automation of construction.

## Important Results

According to the test results of the heat conductivity and the comparison with other types of bricks, the values of heat conductivity of the precast LWAC walls are all smaller than  $0.35 \text{ kcal/m.hr.}^{\circ}\text{C}$ . Since these values are quite similar

to each other and far less than the standard value of the existing bricks, the LWAC walls can be used as the partition walls that the heat insulation function is requested. This project also suggests how to precast the walls and lay bricks. The gist to build precast walls is listed in the project which is helpful for real practice.

## **Suggestions**

### (1) Immediate Suggestions

Main Affiliation : National Science Council、Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior.

Co-Affiliation : Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior.

In order to create the opportunities of using precast light weight aggregate concrete members in construction engineering, the Government should drive the research projects of light weight aggregate concrete actively and promote it to be popular and industrial.

### (2). Long-term Suggestions

Main Affiliation : Public Construction Commission, Executive Yuan.

Co-Affiliation : Bureau of Standards, Metrology and Inspection, M.O.E.A.

The testing items and methods for the fabrication of LWAC walls and blocks offered by the project have been verified reliable and applicable through real tests and comparisons with the test method for traditional bricks. It is suggested that the establishment or revision of the official testing specifications for the LWAC walls or blocks be proceeded so that the LWAC walls and blocks can be applied and popularized easily under the same standards.



# 第一章 緒論

## 第一節 研究緣起與背景

由於經濟快速發展與土地資源有效利用的需求下，高層化、輕量化的建築物順勢地大量出現，如紐約之雙子星大樓，即是採用輕質混凝土建造部分的非承重構件來達到建築物的輕量化，說明了輕質混凝土用於高樓房屋非結構構件的可行性，目前已有許多實際的使用案例[1-3]。輕質混凝土除了降低建築物自重而可減少材料用量的優點外，更由於輕質混凝土構件的自重較輕，致使其結構體因地震所產生的慣性力亦相對較小，故可降低設計載重，因而節省建造成本[3-5]。此外，輕質混凝土本身擁有低熱傳導、較佳隔音與耐火性能等優點，若加以利用在建築物外殼或隔間牆板，還可以使建物達到節省能源的功效，這些使用輕質骨材混凝土的優點對於屬亞熱帶氣候且位處地震帶的台灣尤其意義[6-7]。

其實輕質混凝土做為建築材料已有多年之經驗，尤其在歐洲如挪威、德國、荷蘭等國家，不但將輕質混凝土用於非承重構件更進一步研發將其用於主要承重的結構上，而美國、日本亦使用輕質混凝土具相當比例[8-10]。輕質混凝土在國內雖然發展較晚，但近年來在產、學、研各界的合作研究下，已驗證了水庫淤泥可燒製出性質優良的輕質骨材，並可據以量產性質良好的輕質骨材混凝土[11-15]。此項成果不僅能達到資源回收再利用之環保訴求，尚兼具改善水庫儲水功能及延長其使用壽命之功效。

隨著台灣社會發展，勞力短缺且薪資高漲，需要大量勞力的傳統紅磚牆或混凝土空心磚牆工程面臨了經濟壓力與技術提昇問題。加上工人技術水準良莠不齊，不但使得工程施工品質不易控制，更無法符合營建工程自動化的訴求。且傳統磚牆工程屬濕式施工，總是造成施工環境多砂漿、水泥等污染物，在技術層次低且工作環境條件不佳的狀況下，也造成勞動力逐漸流失。反觀預鑄輕質混凝土牆板符合輕量化、乾式施工、工廠預鑄的

特性，除了可減少大量勞力、提高工作效率外，也使施工環境獲得改善，提高勞動者的意願，合乎營建自動化之需求。再者，若預鑄輕質混凝土牆板能大量推廣應用還可解決部份水庫淤泥去化、能源缺乏及天然骨材濫採等問題，具有廢棄物再利用之資源化的意義，改善混凝土建材不環保的刻板印象，使建築物更具綠建築的要件。

以輕質骨材取代常重骨材所拌製而成的輕質骨材混凝土，因其具備低熱傳導特性，歐美及日本等先進國家常被用來製作輕質圬工磚、輕質樓板、牆板或屋頂，藉以改善建物的隔熱性，故從節約能源的角度考量時，它的性能極具意義。綜觀世界各國的建築節能管理法規與標準，不難發現有些即採用設定建築物外殼的總熱傳送值— $U$  或熱阻抗值— $R$ ，也就是規定建築物的  $U$  值須控制在某基準值之下或  $R$  值須達到某基準值之上。基本上，建築外殼材料之  $U$  值愈小或  $R$  值愈大時，則熱量愈不容易傳透壁體。而土木工程材料中，輕質骨材混凝土即擁有良好的隔熱性[16-18]。

輕質骨材混凝土不但使得構件擁有一定的強度，同時在隔音效果與防火性能上更是有優異的表現，但在國內尚少營建工程採用輕質骨材混凝土作為隔間牆板的材料，主要原因是國內關於輕質骨材混凝土預鑄牆板構件規格的標準化、測試方法、品質需求及施工組立規範等都尚未開發與建立，使得建商在應用上無所依歸；再加上決策者往往都僅考慮建材直接成本多寡來取捨使用之材料，因而阻礙了輕質骨材混凝土預鑄牆板構件應用與推廣。

綜上所述，為把握此千載難逢的機會，以開啟國內使用輕質混凝土預鑄構件之契機，政府正積極推動輕質骨材混凝土相關之應用性研究計畫，以促成輕質骨材混凝土之推廣應用及產業化。

## 第二節 研究目的

擁有多孔隙、低密度及高吸水率之輕質骨材，相較於常重骨材特性有

著很大的差異，因而導致輕質骨材混凝土在配比設計、拌和、輸送、澆置及夯實等作業偏離常重混凝土的觀念[8-10]。對於輕質骨材使用於混凝土中造成其性質變化之影響，國外已有相當多的研究[19-26]，其應用在預鑄輕質骨材混凝土或預力輕質混凝土的設計與量產，已由各研究報告中獲得不少建議。然而，如所周知，人造輕質骨材的性質具有地域性，不同地區所產製之輕質骨材其性質變異性頗大；再者，各國有關輕質混凝土之工程原理雖無差異，但為適應國情之不同，故國內有其必要自訂本土之輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化與自動化之作業程序。

雖然預鑄輕質骨材混凝土牆板所需的材料成本較傳統磚牆為高而為人詬病，但隨著國民生活所得提升，消費者對品質的要求逐漸提高，經濟性考量比重則逐漸降低。此外，預鑄輕質骨材混凝土牆板具備輕量化、乾式施工、工廠預鑄的優點，符合營建自動化與環保的功效，仍值得開發與推廣。

本研究計畫擬建立預鑄輕質混凝土牆板之規格、品質檢測方法與組立工法等之標準化；並嘗試將預鑄輕質骨材混凝土的建築外殼節能效益在長期使用下轉化為可具體評估的金額，使決策者在選擇房屋牆板、樓板或屋頂等建築物組件的材料時，不僅僅以直接成本來作為考量因子。簡言之，本研究計畫之目的旨在輕質骨材混凝土預鑄牆板之開發應用及進行其經濟效益評估，以作為輕質骨材混凝土使用於土木建築工程之設計及施工的參考準繩，從而促成輕質骨材混凝土預鑄牆板構件之開發應用及營建自動化之目的。

### 第三節 研究方法與進行步驟

為完成輕質骨材混凝土牆板之開發應用與經濟效益評估，本研究計畫細分兩分項計畫進行研究，其中分項計畫一乃針對輕質骨材混凝土預鑄牆板構件的標準化進行研發，而建築外殼使用輕質骨材混凝土構材經濟效益評估於分項計畫二中進行探討與評估，以下針對分項計畫一之研究方法與

進行步驟進行說明如下：

(1) 收集國內外相關文獻與有關檢測規定。

本研究首先收集輕質骨材混凝土預鑄牆板構件相關研究成果報告，瞭解輕質骨材混凝土預鑄牆板構件可能存在的問題，接著進行產業概況調查等方法，以建立輕質骨材混凝土預鑄牆板構件的規格、品質檢測方法與組立工法，隨即接續以下的研究方法探討其可行性評估。

(2) 開發輕質骨材混凝土砌塊標準化規格模具尺寸至少各三種。

由於國內對輕質骨材混凝土的知識還不若普通混凝土普遍，而輕質骨材混凝土又需較高的知識與技術層次，為了使輕質骨材混凝土預鑄牆板方便地應用於營建工程，並容易控制其品質，應由政府開發出輕質骨材混凝土預鑄牆板或砌塊的標準化規格，並建立其品質要求規範，作為營建廠商採用的參考。為此，除了透過專家學者理論分析與實驗室的實測驗證之外，更須進行國內相關廠商產製概況的調查，以評估產業的配合意願與產製能力。本研究擬考量市場機制，依輕質骨材製造理論及以往輕質骨材混凝土預鑄牆板開發之成果，研擬至少三種以上輕質骨材混凝土預鑄牆板的標準使用規格，來因應不同需求的房屋建築工程。

(3) 輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊實驗標準及檢測方法研擬。

在初步地建立起符合產業界實用的輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊標準規格後，隨之於實驗室測試其物理與機械力學性能，並由其試驗結果與分析，進行產品之安全性與可行性評估，本計劃預計的檢測項目與方法簡述如后。依據檢測結果與分析，研擬適當之預鑄牆板、砌塊實驗標準及檢測方法。另外，依據牆板黏著劑之測試結果，研擬適用於牆板的黏著劑及其扣接工法之研發。

(4) 針對已開發完成之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊進行隔熱測試。

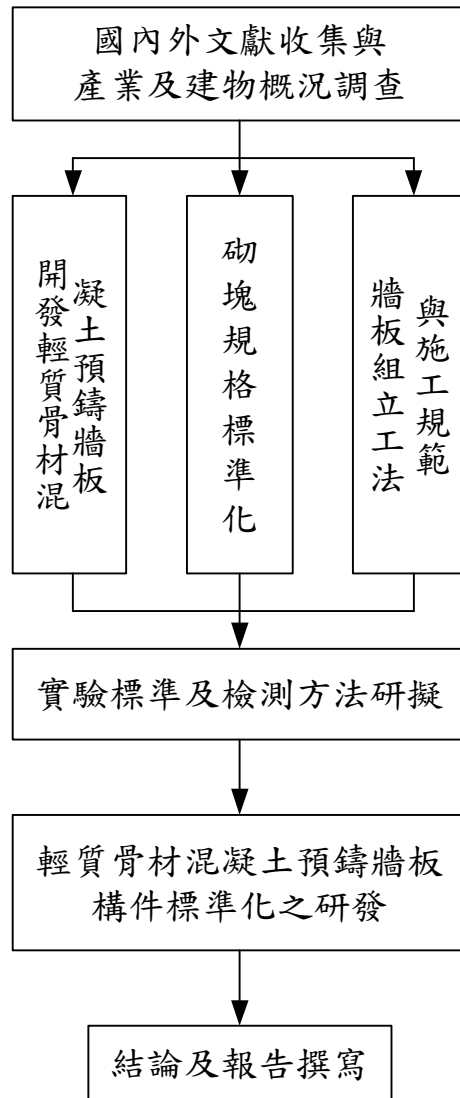
一般而言，由砌塊組成的預鑄牆板隔熱能力與組成之材料(砌塊)相差無幾，故本研究測求砌塊之熱傳導係數來評估預鑄牆板的隔熱能力，同時與相同條件的普通混凝土做分析比較，並提供分項計劃二『建築外殼使用輕質骨材混凝土構材經濟效益評估』研究所需之隔熱數據。研究中，熱傳導係數的測求則依照 CNS 7333 『隔熱材料之導熱係數測定法(平板直接法)』進行之。

(5) 研訂輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊組立應用工法與施工規範。

吸取國外實行工法的優點並考量國內特有之施工民俗習慣，完成輕質骨材混凝土預鑄牆板施工規範與砌塊組立應用工法草案，隨之尋找國內相關廠商進行組立應用工法及施工標準之測試與評估，建立完善且本土化之預鑄牆板、砌塊組立應用工法與施工規範，以供國人參考使用。

根據以上研究方法，研究流程如圖 1-1 所示

圖 1-1 研究流程圖



(資料來源：自行整理)

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 輕質骨材混凝土之分類與特性

#### 1、輕質骨材混凝土的分類

輕質混凝土的分類方式有多種型式，例如德國國家標準(DIN)以密度分類，上限為  $2000\text{kg/m}^3$ ；美國ASTM依用途分類為使用於結構體、預鑄板、隔熱吸音三種；日本JIS以骨材來源分類則有天然、人造及工業副產品三種。所有分類方式事實上都可以用骨材之種類、製造方式來區別，如膨脹黏土、膨脹頁岩或板岩、膨脹爐石輕質骨材混凝土，以及燒結型、冷結型飛灰輕質骨材混凝土等。[27, 28]

#### 2、輕質骨材混凝土的特性

本章節提供有關輕質骨材混凝土的特性，以供為應用於預鑄構件時的參考依據，其相關的性質分述如下：

##### (1) 單位重

輕質骨材混凝土與常重混凝土最大的差異在於單位重的大小，由於輕質骨材的密度較一般砂石輕，因此所拌製的混凝土單位重也較輕。輕質骨材混凝土其氣乾單位重一般均不超過  $2000\text{kg/m}^3$ ，但這種定義並不是強制的標準，譬如ASTM規定的氣乾單位重為  $1850\text{kg/m}^3$  以下。不過，優良的輕質骨材混凝土其單位重應較相同配比之常重混凝土低約 25%~40% 為佳。適合作為結構用途的輕質骨材混凝土，其單位重之要求至少在  $1200\text{kg/m}^3$  以上，常用的輕質骨材混凝土大致在  $1400\text{kg/m}^3\sim 1800\text{kg/m}^3$  之間。

##### (2) 隔熱性能

熱傳遞係由於溫差所引起的能量輸送現象，只要物體中或物體間有溫度差存在，熱傳遞便會發生，基本上熱傳遞的方式可分為熱傳

導、熱對流、熱輻射三種。熱傳導是在緊鄰的固定實體部分做熱的輸送，由微觀的角度看就是能量由一個原子或分子傳遞到下一個的過程；熱對流是因液體及氣體的運動及混合，而把熱由一個地方傳送到另一個地方，熱輻射是以看不見的波來傳送熱，類似光的傳播。

混凝土熱傳遞的方式主要為熱傳導，熱傳導為二個物體之間或一個物體的不同部分之間，由於存在著溫度梯度而引起內能交換的現象，稱之為熱傳導。普通混凝土或紅磚之熱傳導係數  $K$  介於  $1.0 \text{ W/mK} \sim 1.5 \text{ W/mK}$ ，輕質骨材混凝土則因為輕質骨材內部多孔隙的特性，其熱傳導係數可降低至  $0.1 \text{ W/mK} \sim 1.0 \text{ W/mK}$ 。因此採用輕質骨材混凝土做為建築物的外牆，將因其具有較佳的隔熱效果，而大幅降低使用冷氣之能源消耗。輕質骨材混凝土的熱傳導係數主要與輕質骨材種類、天然砂的用量以及混凝土的中空結構相關，天然砂的含量愈少，輕質骨材混凝土的熱傳導係數愈低，如圖 2-1 所示[29]；而空心混凝土若孔隙排列在垂直於熱流方向者愈多，則  $K$  值愈小[30]。

### (3) 抗壓強度

輕質骨材混凝土的抗壓強度與其單位重有密切關係，故 CNS 3691 和 ASTM C330 中對強度性質的規定，都以單位重高低作為分級標準（如表 2-1 所示）。抗壓強度和單位重之比例關係，是衡量輕質骨材混凝土品質優劣的重要依據。在各先進國家，對輕質骨材混凝土均有劃定出一抗壓強度與單位重或水泥用量之關係範圍。台灣地區生產之膨脹頁岩輕質骨材水泥用量與混凝土強度間之關係如圖 2-2 所示[31]。

影響輕質骨材混凝土抗壓強度之因素包括輕質骨材種類、級配、強度、水泥漿量及水灰比等。骨材粒徑愈大對混凝土強度愈不利，故一般建議輕質骨材最大粒徑應在  $25 \text{ mm}$  以下。輕質骨材本身具有的強度亦會影響到其混凝土抗壓強度，其關係可由圖 2-3 說明之。輕質骨材混凝土在強度的發展過程中，因輕質骨材具有一定的顆粒強度，而水泥砂漿的強度則會隨著材齡而增長，當水泥砂漿的強度超越輕質骨材顆粒強度時，混凝土的破壞將由輕質骨材主空，也導致混凝土的強



度受到一定的限制，這也形成輕質骨材混凝土具有分界強度的存在 [32]，如圖 2-4 所示。

若欲提高輕質骨材混凝土的強度，需配比較高強度的水泥砂漿（較低水灰比），然而輕質骨材的彈性模數等於水泥砂漿彈性模數時，混凝土的受力行為將有所改變，即圖 2-4(a)中的第一階段進入第二階段，該分界點所對應的混凝土強度，即稱之為分界強度。進入第二階段後，輕質骨材混凝土的強度提升較為趨緩，亦即提高水泥砂漿的強度，將無法有效提高輕質骨材混凝土的抗壓強度，形成不經濟的配。輕質骨材混凝土的分界強度與輕質骨材的種類有關，輕質骨材的強度愈高，其混凝土的分界強度也愈高。圖 2-4(b)為水灰比 0.4 的常重混凝土、輕質混凝土與水泥砂漿強度的關係，由圖中可知，輕質骨材混凝土約在 35 MPa 時具有轉折點，即為該組配比的分界強度。

輕質骨材混凝土在同等強度下，其水泥砂漿強度將比一般常重混凝土所用之水泥砂漿強度高，意即其需較多之水泥用量或較低之水灰比來拌製混凝土，相對地其強度亦會發生早強現象（如圖 2-5 所示） [31]。

水灰比對輕質骨材混凝土的工作性影響頗大；若在低水灰比時使用全輕質骨材（輕質粗骨材+輕質砂），則混凝土的工作性將受到嚴重影響，解決之道為增加水泥漿量或改用天然砂做為細骨材，而後者的方式較為經濟可行。在相同水灰比下，天然砂輕質骨材混凝土之抗壓強度較高，這點不因輕質骨材種類不同而有所差異。

#### (4) 劈裂抗張及彎曲強度

混凝土之張力強度較難以用直接而令人滿意的辦法來量測，因此，一般都是採劈裂或彎曲破壞之方式，間接測定其張力強度。劈裂強度或抗彎強度均以抗壓強度為變數之函數，不過有的是以 $\sqrt{f'c}$ 為正比關係，如 Andrew & Willian；有的直接以 $f'c^{2/3}$ 為關係式，如 CEB/FIP；但也有直接以 $f'c$ 為關係式者，如柚原治美、Swamy &

Lambert 及王纓茂教授等。

## 第二節 各類磚與板之型式與性能

目前用於結構或非結構的磚與板種類眾多，各類磚或板的性能會依使用材料、製作方式與尺寸大小等不同而有不同的要求，為了建築用磚類的統一性、品質要求與方便使用等，國家標準規範(CNS)已有針對建築用磚板之型式與性能做了規範及限制，本研究收集了現行規範中之磚與板的分類型式與性能，以作為後續研究參考之依據，整理之內容簡述如下：

### 1、石棉水泥板[33]

石棉水泥板為石綿、水泥及其他纖維等混合而成的板材，依板之外觀形狀可分為波形板及石棉水泥平板，其分類型式及符號如表 2-2 所示。其中，波形板可分為小波、中波及大波等三類，石棉水泥平板可分為可撓板、軟質可撓板、平板與軟質板等四種類型，而各分類板又有各種不同厚度的尺規。

在 CNS 規範中，石棉水泥波形板需具不可透水性，並有一級的耐燃性，吸水率不得高於 28%，而最低抗彎破壞載重依大波、中波及小波分別為 150、320 及 400 kgf，其細部的性能要求如表 2-3。針對石棉水泥平板的性能則主要有容積比重、吸水率、吸水長度變化、抗彎破壞載重、透水性及耐燃性等方面的要求，其性能的要求又依照不同板材厚度有不一樣的規定，詳細的性能要求陳列於表 2-4 所示。

### 2、矽酸鈣板[33]

矽酸鈣板可分為第 1 型、第 2 型a以及第 2 型b三種，其種類及符號如以表 2-5 規定。第一型係指建築物外牆或室內承重牆之耐火、隔間裝修用之內、外裝材，第二型a及b產品係指室內非承重牆之耐火隔間裝修用及提供市內梁、柱等構造體耐火保護用材料。第一型其抗彎強度為  $122 \text{ kgf/cm}^2 \sim 178 \text{ kgf/cm}^2$  以上，第二型a其抗彎強度  $102 \text{ kgf/cm}^2 \sim 132 \text{ kgf/cm}^2$  以上，第二

型b其抗彎強度為  $51 \text{ kgf/cm}^2 \sim 81.6 \text{ kgf/cm}^2$  以上，這三者其熱傳導率均在  $0.15 \text{ kcal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{hr} \sim 0.21 \text{ kcal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{hr}$ ，其性能要求如表 2-6 所示。

### 3、高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚(ALC) [34]

高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚，其分類方法依其烘乾容積比重分類，如表 2-7 所示，可分為G2、G4、G6、G8 與G10 等五大類，其性能如表 2-8 所示，其抗壓強度最小平均值分別為 26、51、77、102 與  $128 \text{ kgf/cm}^2$ ，烘乾容積比重最大值分別為 0.50、0.60、0.80、1.00 以及 1.20 等。

### 4、纖維水泥板[35]

纖維水泥板可分為 0.8 板與 1.0 板，又在各細分為普通板與裝飾板，如表 2-9 所示，0.8 板係指容積比重為 0.6 以上而未滿 0.9 者，1.0 板係指容積比重為 0.9 以上而未滿 1.2 者；而普通板是指未施裝飾加工，但混入著色材料而著色者，裝飾板是指以普通板為基板，於其表面施予印刷、塗裝、噴吹等裝飾加工者。0.8 纖維水泥板其容積比重為 0.6 以上未滿 0.9，最大抗彎破壞載重為  $30 \text{ kgf}$ ；1.0 纖維水泥板其容積比重為 0.9 以上未滿 1.2，最大抗彎破壞載重為  $50 \text{ kgf}$ ，其詳細情形如表 2-10 所示。

### 5、石膏板[36]

石膏板依其用途可分為石膏板、防潮石膏板、強化石膏板、粉刷基層石膏板及裝飾石膏板，其分類如表 2-11 所示。石膏板依厚度又可分為 9.0~9.5、12.0~12.5、15.0 三種，厚度 9.0~9.5 之間其彎曲破壞載重為  $36.7 \text{ kgf}$ ，熱阻為  $0.05 \text{ kcal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{hr}$ ，單位面積質量為  $5.7 \sim 8.6 \text{ kg/m}^2$ ，厚度 12.0 mm ~ 12.5 mm 之間其彎曲破壞載重為  $51.0 \text{ kgf}$ ，熱阻為  $0.07 \text{ kcal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{hr}$ ，單位面積質量為  $7.5 \sim 11.3 \text{ kg/m}^2$ ，厚度 15mm 者其彎曲破壞載重為  $66.3 \text{ kgf}$ ，熱阻為  $0.08 \text{ kcal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{hr}$ ，單位面積質量為  $9.0 \sim 13.5 \text{ kg/m}^2$ ，其主要性質如表 2-12 所示。

強化石膏板依厚度可分為 12.0~12.5、15.0、16.0、18.0、21.0、25.0 等 6 種，其單位面積質量為  $7.5 \sim 11.3$ 、 $9.0 \sim 13.5$ 、 $9.6 \sim 14.4$ 、 $10.8 \sim 16.2$ 、 $12.6 \sim 18.9$ 、

15.0~22.5 kg/m<sup>2</sup>，彎曲破壞載重要求分別為 51、66.3、69.4、76.5、86.7 以及 102 kgf，隔熱之熱阻值限度則分別為 0.07、0.08、0.08、0.09、0.1 與 0.11 kcal/m.°C.hr，其詳細資料如表 2-13 所示。

### 第三節 隔間牆之分類與性能

國內因超高層大樓的興建與都市人口的發展，舊有的建築方式已漸漸的被取代，而新的建築方式也因有越來越多的新式建材被開發而被研究出來。新的建材大多走向輕量化、規格化及量產化，又以室內的隔間牆板建材為最多，而隔間牆系統大致可分為空心牆或是實心牆兩大類，再依施工方式與使用材質進行細分，其分類方式如表 2-14 所示[37]。

隔間牆的性能依使用部位與使用要求而所變化，而牆板主要的要求與對策如表 2-15 所列。本研究收集了不同材質的隔間牆性能，如表 2-16 與 2-17 所示，表中依施工方式與材質樣式分類整理出牆板的隔音、隔熱、強度與防火時效等工程性質，以及施工的便利性評估如施工速度、牆面平整性、釘掛性與埋設管線等，另外，也整理出各牆板所需的成本與其重大的缺點[37]。

事實上，各種隔間牆之性能比較，基本須區分構材與實體之性能值，亦即實際施作結果，可能因構法形式、施工精度、填縫處理等而在性能上有所差異，因而本研究歸納整理之牆板性能的比較僅為初步參考，準確的性能仍須進行實際測試而得。

### 第四節 國內外牆板之隔音規範要求

傳統的磚牆或者鋼筋混凝土牆，具有良好的防火性、隔音性，就 1/2B 磚牆或 120mm 厚鋼筋混凝土牆而言，其面密度為 240 kg/m<sup>2</sup>，依據 CNS 8465 建築物隔音等級評估為 D-45。目前我國建築技術規則中尚無隔音性能基準

值之規定，若依據國立成功大學建築研究所於八十年六月提出之推薦標準[38]，評定上述磚牆或鋼筋混凝土牆在集合住宅、連棟住宅與學校分界牆部份，僅達到隔音之第三等級—最低隔音標準；在旅館、宿舍、醫院及辦公室分界牆與隔間牆部份，則可達到隔音之第二等級。但是，在建築物高層化後，輕量化的需求也隨之產生。

根據日本建築基準法有關隔間牆部份規定，使用在住宅隔戶、隔間的新式隔間牆工法，其規定如表 2-18 所示，必須通過建設大臣指定的試驗機關做隔音測試。在 1987 年製定合格的乾式隔間牆，共提出 121 種，其中對隔音效能影響最大的分別為材料、工法、面密度、牆總厚度等。[39]

樓版隔音性能評估方法，國內 CNS 參酌日本的 JIS，採用重量衝擊源和輕量衝擊源兩種作為測試的音源，而歐美與國際標準(ISO)則只有輕量衝擊源。在評估指標方面，我國 CNS 採用的 L 值和歐美採用的 IIC 值相比較，可發現我國樓版隔音性能之評估指標對於低頻與高頻的規定都較歐美嚴格。依現行技術規則防音編第 46 條之材料與構造進行隔音性能測試，主要是依所規定之 10 項構造及材料對隔音性能進行測試，試驗結果如表 2-19 所示。而各國法規有關外牆隔音性能之基準，則如表 2-20 所示。[40]

## 第五節 現行牆板之工法

### 1、工法類型

由於牆板工法趨向多樣化發展，事實上很難予以詳細分類，僅能依乾濕性、施作方式及構材材質等的進行分類[37]，如下所示：

(1) 依濕、乾式可分為傳統濕式、半濕式(或半乾式)及乾式等類型。

乾濕式工法之區分，主要是相對於傳統濕式工法如 RC 牆、磚牆做區分，骨架封板及各種牆板組立稱為乾式工法，而如砌築輕質骨材混凝土砌塊或石膏板塊，其非用水泥砂漿接合，亦稱之為乾式施工。另所謂半濕式工法，則有噴凝牆、流漿牆屬之，亦即牆體灌

注輕質流質材料，面層噴漿粉刷，較偏向濕式施工，另如鋼筋網複合牆，可於現場噴漿，屬半濕式工法，如採工廠預鑄，則為乾式組立施工。上述各類牆板工法之使用率如表 2-21 所示。

- (2) 依施作方式可分為模板灌漿、塊砌(或疊式)、板式組立及輕鋼架組裝等類型組立。

依施作方式區分，RC 牆係模板組立後灌漿施工，而鋼網噴凝牆則有業者稱為免拆模板，另流漿牆亦相當於以面板充作免拆面板。塊砌工法，如紅磚、空心磚、灰磚、等係以磚塊砌築，而目前有石膏或水泥之板塊產品，則為疊式施工。各種牆板之組立，係以整片牆板加以固定，無須骨架支撐，而組合隔間或活動隔間則一般須加支撐材。骨架封板牆可用木架、輕鋼架或鋁合金架，而半濕式之噴凝牆或流漿牆亦多採用輕鋼架及鋁合金架為骨架。

- (3) 依主要構材材質區分可分為石膏複合類、水泥複合類及其他複合類等類型。

依主要材質區分，石膏類有石膏板、石膏複合板、石膏板塊及石膏空心磚，水泥製品則有各種磚、板，多為水泥複合材。其他的材料如三明治板心材可用各種材質，以及 PU 板等。

## 2、工法之應用[37]

台灣地區集合住宅次結構體內牆隔間工法，近兩、三年來呈多樣化發展，採用新式工法、輕質建材者日漸增加，依基泰不動產企研室針對台北地區建築業者相關抽樣調查結果顯示，其採用意願 83 年大約 20% 以下，84 年則增至約 25%。由於尚未進行全面性調查，對於目前應用案例調查，係來自專業廠商業績及建設業者個案資料，以下簡述各種工法主要之應用情形。

國內半濕式鋼架鋼網噴凝牆工法發展已有約四、五年之久，目前此種工法有 90% 以上用於集合住宅，專業廠商含經銷、授權之業者約十餘家，近兩年集合住宅使用案例增加快速，估計已有近 100 個。鋼筋網複合牆工

法，早在十餘年前已有採用案例，但後來使用者不多，至 83 年有業者引進自動化生產之牆板，少量使用於非住宅，近期已有集合住宅開始使用。

輕質骨材混凝土砌塊引進國內後，使用量呈倍數快速成長，目前集合住宅採用案例，估計達兩百個以上，其他類型建築物採用案例亦多，但集合住宅用量仍佔較大部分。輕質骨材混凝土砌塊之經銷商估計有三、四十家。而在 ALC 板方面，目前亦有數家廠商引進，但集合住宅內牆使用比例甚少。

替代紅磚之砌築磚材，除輕質骨材混凝土砌塊外另有石膏板塊由澳洲、新加坡引進，使用案例已休憩建築隔間牆為多，集合住宅之案例較少，其他各種牆板，如石膏複合板、合成水泥板、中空水泥板、中空混凝土板等，使用案例多為商業、休憩、學校、工廠等，集合住宅案例亦不多。

表 2-1 輕質骨材混凝土彈性模數與單位重、抗壓強度之關係[29]

抗壓強度 (MPa)	彈性模數 (GPa)		
	輕質骨材混凝土		常重混凝土
	單位重 1400 kg/m <sup>3</sup>	單位重 1900 kg/m <sup>3</sup>	單位重 2300 kg/m <sup>3</sup>
30	11	19	28
40	12	21	31
50	13	23	34
60	14	25	36

(資料來源：陳豪吉、林建國，「無細輕質骨材混凝土性質之研究」)

表 2-2 石棉水泥板種類與符號[33]

種類		符號	原料	
石棉水泥板	波形板	小波	SC	
		中波	MC	
		大波	LC	
	石棉水泥平板	可撓板	F	水泥 石綿 其他纖維 混合材料
		軟質可撓板	NF	
		平板	S	
		軟質板	N	

(資料來源：中國國家標準 CNS 13777)



表 2-3 波形板之性質[33]

種類	抗彎破壞載重 N{kgf}	吸水率%	透水性	耐燃性
大波	1470{150}以上	28 以下	背面不得 產生水珠	耐燃一級
中波	3140{320}以上			
小波	3920{400}以上			

(資料來源：中國國家標準 CNS 13777)

表 2-4 石棉水泥平板之性質[33]

種類	厚度 (mm)	抗彎破壞載重 N/mm <sup>2</sup> {kgf/cm <sup>2</sup> }	吸水率 (%)	透水性	吸水長度 變化率	耐燃性	容積比重
可撓板	30	33.0{336}以上	22 以下	背面不 得產生 水珠	0.20 以下	耐燃一級	約 1.7
	40	32.5{331}以上					
	50	29.5{301}以上					
	60	29.0{296}以上					
	80	28.0{286}以上					
軟質可撓板	30	33.0{336}以上	26 以下	背面不 得產生 水珠	0.25 以下	耐燃一級	約 1.6
	40	32.5{331}以上					
	50	29.5{301}以上					
	60	29.0{296}以上					
平板	50	18.0{184}以上	28 以下	背面不 得產生 水珠	0.25 以下	耐燃一級	約 1.5
	60	18.5{189}以上					
軟質板	40	14.0{143}以上	33 以下	背面不 得產生 水珠	—	耐燃一級	約 1.3

(資料來源：中國國家標準 CNS 13777)

表 2-5 矽酸鈣板種類與符號[33]

種類		符號	原料	
矽酸鈣板	第 1 型	0.8 矽酸鈣板	0.8K	石灰質原料、矽酸質原料、石棉、其他纖維材料、混合材料
		1.0 矽酸鈣板		
	第 2 型 a	0.8 矽酸鈣板	0.8FK	石灰質原料、矽酸質原料、石棉以外纖維、混合材料
		1.0 矽酸鈣板	1.0FK	
	第 2 型 b	0.8 矽酸鈣板	0.8FF	
		1.0 矽酸鈣板	1.0FF	

(資料來源：中國國家標準 CNS 13777)

表 2-6 矽酸鈣板性質要求[33]

種類	厚度 (mm)	容積比重	最低抗彎強度 $\text{kgf/cm}^2$			吸水長度變化率 (%)	最高熱傳導係數 $\text{kcal/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$			耐燃性						
			第一型	第二型 a	第二型 b		第一型	第二型 a	第二型 b							
0.8 型	50	0.6   0.9	122	—	61.2	0.15 以下	0.15	—	—	耐 燃 一 級						
	60		127	102	51			0.21	0.15		0.15	0.15				
	80															
	90															
	100															
	120															
1.0 型	40	0.9   1.2	189	—	81.6	0.15 以下	0.21			—			—	耐 燃 一 級		
	50		184	143	71.4			0.21	0.21	0.21	0.21					
	60															
	80															
	90		178	132	61.2							0.21	0.21		0.21	0.21
	100															
	100															
120																

(資料來源：中國國家標準 CNS 13777)

表 2-7 ALC 板分類[34]

分類符號	烘乾容積比重
G2	0.41~0.50
G4	0.51~0.60
G6	0.61~0.80
G8	0.81~1.00
G10	1.01~1.20

(資料來源：中國國家標準 CNS 13480)

表 2-8 ALC 板性質要求[34]

種類	抗壓強度(MPa){kgf/cm <sup>2</sup> }		烘乾容積比重最大值
	最小平均值	最小值	
G2	2.5 {26}	2.0 {20}	0.50
G4	5.0 {51}	4.0 {41}	0.60
G6	7.5 {77}	6.0 {61}	0.80
G8	10.0 {102}	8.0 {82}	1.00
G10	12.5 {128}	10.0 {102}	1.20

(資料來源：中國國家標準 CNS 13480)

表 2-9 纖維水泥板分類[35]

種類		符號
0.8纖維水泥板	普通板	0.8PC
	裝飾板	0.8PCD
1.0纖維水泥板	普通板	1.0PC
	裝飾板	1.0PCD

(資料來源：中國國家標準 CNS 3802)

表 2-10 纖維水泥板性質要求[35]

種類	厚度 (mm)	容積比重	抗彎破壞載重 N{kgf}	耐衝擊性	吸水長度 變化率%	耐燃性
0.8板	6	0.6以上未 滿0.9	117.6{12}	不得有龜 裂、剝離、 貫穿孔及開 裂。	0.25 以下	耐燃 二級
	8		196.0{20}			
	10		294.0{30}			
1.0板	6	0.9以上 未滿1.2	245.0{25}			
	8		343.0{35}			
	10		490.0{50}			

(資料來源：中國國家標準 CNS 3802)

表 2-11 石膏板分類及符號[36]

種類	符號	主要用途(參考)	備考
石膏板	GB-R	牆壁及天花底板	石膏板標準製品
防潮石膏板	GB-S	廚房、浴室等多濕場所之牆壁及外牆底板	石膏板四面之專用原紙及心材之石膏施於防水處理者
強化石膏板	GB-F	牆壁及天花底板以及防火及耐火構造等之構成材	GB-R之心材滲入無機纖維等者
粉刷基層石膏板	GB-L	石膏灰泥等塗敷之底板	GB-R之表面施於長方形凹紋者
裝飾石膏板	GB-D	牆壁及天花板面板	GB-R之表面施於裝飾加工者

(資料來源：中國國家標準 CNS 4458)

表 2-12 石膏板(GB-R) 性質要求[36]

厚度(mm)		9.0~9.5	12.0~12.5	15.0
含水率%		3以下		
彎曲破壞載重 N{kgf}	長度方向	360{36.7}以上	500{51.0}以上	650{66.3}以上
	寬度方向	140{14.3}以上	180{18.4}以上	220{22.4}以上
耐燃性		耐燃二級	耐燃一級或二級	耐燃一級
熱阻W/mk{kcal/m.°c.hr}		0.043{0.05}以上	0.060{0.07}以上	0.069{0.08}以上
單位面積質量kg/m <sup>2</sup>		5.7~8.6	7.5~11.3	9.0~13.5

(資料來源：中國國家標準 CNS 4458)

表 2-13 強化石膏板(GB-F) 性質要求[36]

厚度(mm)		12.0~12.5	15.0	16.0	18.0	21.0	25.0
含水率%						3以下	
彎曲破壞載重 N{kgf}	長度方向	500{51}以上	650{66.3}以上	680{69.4}以上	750{76.5}以上	850{86.7}以上	1000{102.0}以上
	寬度方向	180{18.4}以上	220{22.4}以上	230{23.5}以上	270{27.6}以上	320{32.7}以上	380{38.8}以上
耐衝擊性		凹陷之直徑在25mm以下，且不得有貫通背面之龜裂					
耐火焰性		不得因破壞而掉落					
耐燃性		耐燃一級					
熱阻W/mk		0.060以上	0.069以上	0.070以上	0.077以上	0.086以上	0.095以上
質量(kg/m <sup>2</sup> )		7.5~11.3	9.0~13.5	9.6~14.4	10.8~16.2	12.6~18.9	15.0~22.5

(資料來源：中國國家標準 CNS 4458)

表 2-14 隔間系統之分類[37]

空心牆	骨架封板	骨架(場裝)	輕鋼架、木架
		面板	石膏板、木絲纖維水泥板、礦纖板、碳酸鈣板、鑽泥板、金屬板等
	預製夾心板	心材(預製)	蜂巢板、浪形板、紙、鋼片、鋁片等
		面板	石膏板、木絲纖維水泥板、礦纖板、碳酸鈣板、鑽泥板、金屬板等
	中空板塊	板塊	石膏板塊、水泥板塊
中空水泥板	成形板	擠出型水泥板、中空混凝土板	
實心牆	合成石膏板	面材	石膏板
		心材	澆化石膏、輕質粒子
	合成水泥板	面材	木絲纖維水泥板、礦纖板等
		心材	輕質混凝土、發泡橡膠、保麗龍等
	輕質水泥板	成形板	ALC板、水泥板
	輕質水泥磚	磚	ALC磚、灰砂磚
	現場噴漿	骨架	輕鋼架、鋁合金、鋼板網
		心材	輕質混凝土、保麗龍、輕質粒子等
		面層	噴凝土
	鋼筋網噴漿	心材	點焊鋼筋網、保麗龍
面層		噴凝土	

(資料來源：內政部建築研究所，「產業自動化—營建自動化計畫成果報告」)

表 2-15 隔間牆之性能需求與對策[37]

要求條件		主要的對策
阻隔之要求	阻隔人之通過	以牆體達成阻隔要求
	阻隔視線	
	阻隔光線	
	阻隔熱	層構成的綜合效果或依要求程度具備性能調整
	阻隔火	
	阻隔水	
	阻隔溼氣	
	阻隔音	
反射吸收之要求	音之吸收反射	以表面材料及骨架(心材)來對應
	熱之反射	
	吸濕、潑水	
接觸之要求	容易安裝器具	
	防止衝擊音之發生	
	視覺美、質感佳	
耐久之要求	防污染	
	耐磨耗	
	耐水性	以表面裝修層來對應
	耐濕性	
	耐酸性	
	防蟲	以各層材質來對應
	防腐	
防鏽		
傳力之要求	載重	以構造本體來對應
	耐衝擊力	以表面材料及骨架來對應

(資料來源：內政部建築研究所，「產業自動化—營建自動化計畫成果報告」)

表 2-16 各式隔間系統性能比較表(一)[37]

施工方式	模 板	塊 砌			
	RC 牆	磚 牆	輕質磚 (ALC 磚)	中空石膏 板塊牆	輕質骨材 混凝土牆
牆 厚	15cm	12cm	10cm	10cm	10cm
長*寬*高(cm)	整片式	23*11*6	60*40*10	66.6*50*10	60*27*10
單位面積重量	360kg/m <sup>2</sup>	217kg/m <sup>2</sup>	80kg/m <sup>2</sup>	75kg/m <sup>2</sup>	91.8kg/m <sup>2</sup>
容積比重	2400	1808	800	750	918.41
膠接材料	水泥砂漿	水泥砂漿	黏著劑	B/S1000 (石膏粉)	水泥砂漿
壁 體	實 心	實 心	實 心	空 心	實 心
工 法	濕 式	濕 式	乾 式	乾 式	乾 式
隔 音	52dB	40dB	48dB	38dB	
防火時效	2hr	2hr	4hr	4hr	
抗壓強度	210 kg/cm <sup>2</sup>	150 kg/cm <sup>2</sup>	40 kg/cm <sup>2</sup>		185 kg/cm <sup>2</sup>
熱傳導係數 Kcal/m.°C.hr	2.571	1.383	0.136	0.38	0.257
埋設管線	預 埋	事後敲鑿	事後敲鑿	事後切鑿	事後敲鑿
牆面平整性	不易控制	砌磚不易控制	砌磚不易控制	砌磚不易控制	砌磚不易控制
磁磚裝修 (黏著材料)	可 (水泥砂漿)	可 (水泥砂漿)	可 (水泥砂漿)	可 (益膠泥)	可 (水泥砂漿)
施工速度	2 m <sup>2</sup> /人日	2.5 m <sup>2</sup> /人日	5 m <sup>2</sup> /人日	17 m <sup>2</sup> /人日	
用途	集合住宅	集合住宅	集合住宅	辦公大樓	集合住宅
(成本)元/m <sup>2</sup>	1250	950	994	1360	
重大缺點	自重過重	施工費時 費工	釘掛性差 牆面易龜裂	易受潮 抗撞性差	(釘掛性)

(資料來源：內政部建築研究所，「產業自動化—營建自動化計畫成果報告」)



表 2-17 各式隔間系統性能比較表(二)[37]

施工方式	輕鋼架		組立	
	噴凝牆	骨架板牆	鋼筋網複合牆	合成水泥板牆
牆厚	10cm~12cm	10cm	11cm	5cm~10cm
長*寬*高(cm)	整片式	*	180*90*8.5	300*60*5
單位面積重量		38~60 kg/cm <sup>2</sup>	95kg/m <sup>2</sup>	40kg/m <sup>2</sup>
容積比重		380~600	863.6	800
膠接材料	平面點焊 鋼絲網補強	螺絲	鐵絲網加 水泥砂漿	益膠泥
壁體	實心	空心	實心	實心
工法	濕式	乾式	濕式	乾式
隔音		25dB~50dB	45dB	40dB
防火時效		1hr	1hr	2hr
抗壓強度			40.4 kg/cm <sup>2</sup>	60 kg/cm <sup>2</sup>
熱傳導係數 Kcal/m.hr. °C		0.224~0.386	0.047	0.138
埋設管線	一次完成	一次完成	用火溶掉	事後切鑿
牆面平整性	不易控制	佳	佳	佳
磁磚裝修 (黏著材料)	可 (水泥砂漿)	可 (益膠泥)	可 (水泥砂漿)	可 (益膠泥)
施工速度		15 m <sup>2</sup> /人日		25 m <sup>2</sup> /人日
用途	集合住宅	辦公大樓	集合住宅	集合住宅
(成本)元/m <sup>2</sup>		850~1600	770	2000
重大缺點	施工空間大 工地整理不易	抗壓性低不耐撞 無法荷重	系統設計不當 易龜裂	施工技術性 要求高

(資料來源：內政部建築研究所，「產業自動化—營建自動化計畫成果報告」)

表 2-18 日本建築協會推薦之各類建築物牆板隔音性能基準[39]

建築物	用途	使用部位	適用等級			
			特級 (特別樣式)	1 級 (標準)	2 級 (容許)	3 級 (最低限)
集合住宅	臥室	鄰戶分界牆 鄰戶分界樓板	D-55	D-50	D-45	D-40
旅館	客房	客戶分界牆 客戶分界樓板	D-50	D-45	D-40	D-35
辦公室	辦公室	室間隔間牆	D-50	D-45	D-40	D-35
學校	普通教室	室間隔間牆	D-45	D-40	D-35	D-30
醫院	病房	室間隔間牆	D-50	D-45	D-40	D-35

(資料來源：田也正典，「最近的乾式間仕切壁動向」)

表 2-19 我國現行技術規則防音材料與構造隔音性能測試結果[40]

編號	構造名稱	總厚 (cm)	面密度 (kg/m <sup>2</sup> )	隔音等級	測試單位
1	鋼筋混凝土造	10	240	D-45	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
2	重質水泥空心磚	19	250	D-40	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
3	無筋混凝土造	10	240	D-45	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
4	磚造	10	220	D-45	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
5	石造	10	240	D-30	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
6	輕質混凝土	10	120	D-35	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
7	鋼筋混凝土 兩面三分夾	5.8	120	D-30	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
8	鋼筋構造兩面鐵 絲網水泥砂漿粉 刷貼面磚	13	100	D-45	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
9	鋼筋構造兩面鐵 絲網水泥砂漿粉 刷 2cm	13	80	D-45	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室
10	鋼筋構造兩面木 絲水泥板加水泥 砂漿粉刷	13	86.8	D-50	國立成功大學 建築研究所音 響實驗室

(資料來源：江哲銘，「建築物防音材料與防音構造準則之探討」)

表 2-20 各國法規有關外牆隔音性能之基準[40]

國家法規		頻率																	備考
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	
日本建築基準法		-	25	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	50	-	-	-	D-40
美國法規	U.B.C	-	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49	49	49	STC-45
	B.O.C.A	-	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49	49	49	STC-45
	F.H.A	-	19	22	25	28	31	34	35	36	37	38	39	39	39	39	39	39	STC-45
英國法規		36	38	40	41	43	45	46	48	50	52	54	55	56	56	56	56	-	-
西德法規		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	-	STC-52
蘇聯法規		33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	-	STC-52
北歐各國		31	34	37	40	43	46	49	50	51	52	53	54	54	54	54	54	-	STC-50
捷克法規		28	32	36	39	43	44	46	47	48	50	51	52	52	52	52	52	-	-

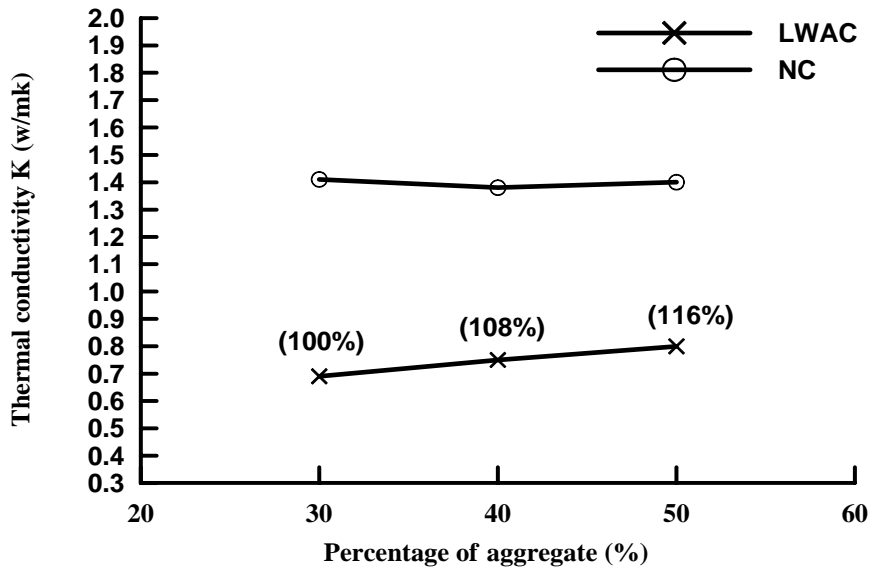
(資料來源：江哲銘，「建築物防音材料與防音構造準則之探討」)

表 2-21 各類隔間牆工法之佔有率[37]

工法分類	工法名稱	建材與構法概要	佔有率概估
全濕式工法	RC 牆	鋼筋混凝土及模板在灌漿構成	大約 40%
	紅磚牆	紅磚砌牆再噴漿構成	大約 40%
半濕式工法	鋼筋網複合牆	鋼筋網、保麗龍片體再噴漿構成	小於 1%
	輕鋼架噴凝牆	輕鋼架、免拆鋼網模及噴漿構成	小於 5%
乾式工法	石膏板牆	輕鋼架與石膏板牆構成	小於 5%
	硬式板牆	輕鋼架與硬式板構成	小於 5%
	輕質磚牆	輕質磚砌磚構成	小於 5%
	水泥板牆	ALC 板或合成水泥板拼接構成	小於 1%

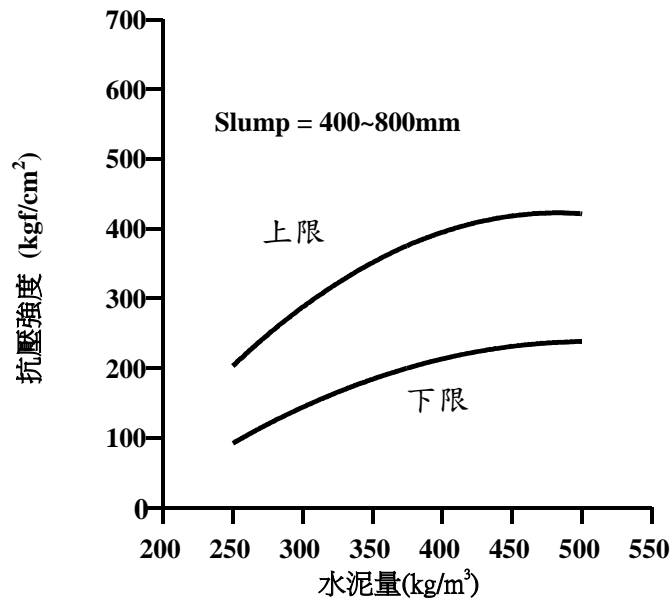
(資料來源：內政部建築研究所，「產業自動化—營建自動化計畫成果報告」)

圖 2-1 細骨材含量對輕質骨材混凝土 k 值之影響[29]



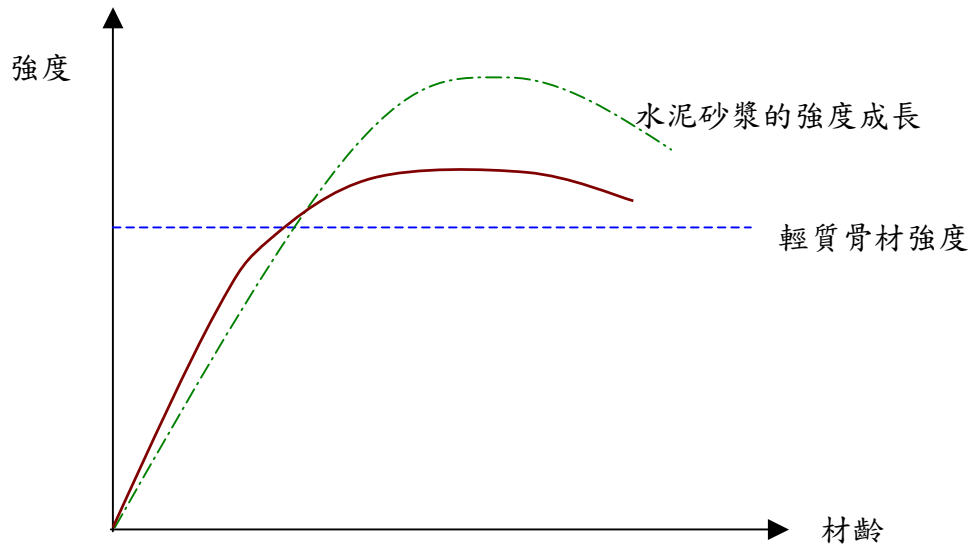
(資料來源：陳豪吉、林建國，「無細輕質骨材混凝土性質之研究」)

圖 2-2 水泥用量與輕質骨材混凝土抗壓強度關係[31]



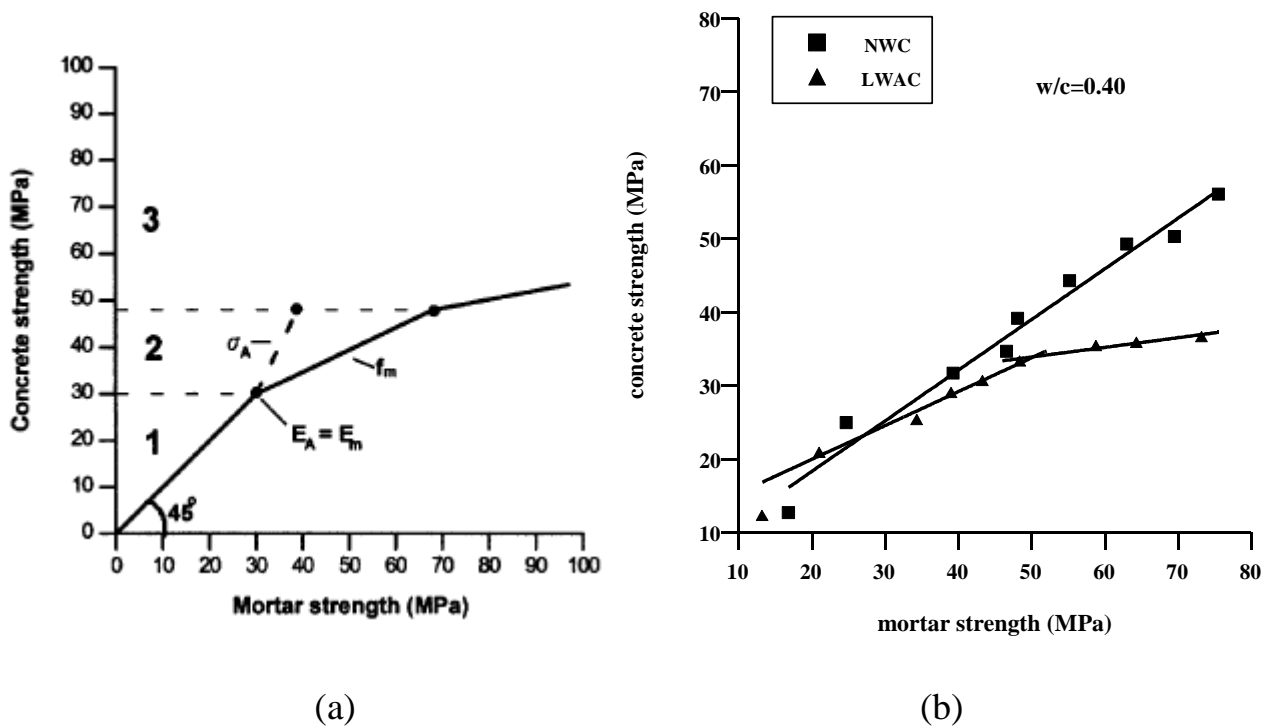
(資料來源：陳豪吉，「輕質骨材混凝土之產製技術」)

圖 2-3 輕質骨材混凝土抗壓強度與水泥砂漿、骨材強度間的關係[31]



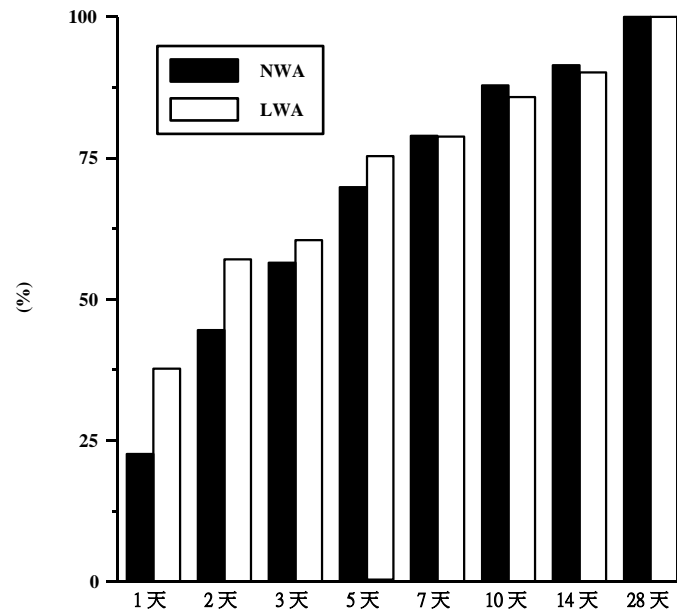
(資料來源：陳豪吉，「輕質骨材混凝土之產製技術」)

圖 2-4 輕質骨材混凝土的分界強度[32]



(資料來源：H.J. Chen, T. Yen, T. P. Lai, and Y. L. Huang, “Determination of the dividing strength and its relation to the concrete strength in lightweight aggregate concrete”)

圖 2-5 輕質、普通混凝土之強度成長比較圖[31]



(資料來源：陳豪吉，「輕質骨材混凝土之產製技術」)



## 第三章 輕質骨材混凝土預鑄構件之規格標準化

本章節針對輕質骨材混凝土砌塊及牆板進行標準化規格的研擬，首先收集現行砌塊(磚)與牆板的規格及現行建築模矩之探討，進而考量牆板之安全性，乃至勞工職業傷害之避免等因素後，提出輕質骨材混凝土砌塊與牆板標準規格的建議。

### 第一節 現行砌塊(磚)與牆板之尺度規定

#### 1、砌塊(磚)之規格

現行用於建築中的砌塊或磚種類眾多，本章節參考中國國家標準 (Chinese National Standards, 簡稱 CNS) 歸納整理出常用建築用磚的尺度與形狀，並簡要說明如下：

##### (1) 建築用普通磚 (以黏土與頁岩燒製之建築用普通磚)

建築用普通磚的形狀為實心之長方體，其長寬高規定分別為 230、110 及 60 mm，而尺度的容許誤差分一級磚與二級磚的不同，其中一級磚的尺度誤差不得高於 1.0%，二級磚的尺度誤差則不高於 1.5%。

##### (2) 空心磚

在國家標準中空心磚分成兩大類，第一類依開孔數量在細分為一孔、二孔、四孔、六孔及八孔型等五型，其標準尺寸之細部規定如表 3-1 所示，第二類則依不同的磚厚度細分八公分、十二公分、十六公分、二十公分及二十四公分等五類，其長與寬均為 240mm，而尺寸的公差則以 3% 為上、下限度。各型別之形狀原則上為長方形，詳細的形狀如圖 3-1 所示。

### (3) 混凝土空心磚

混凝土空心磚依尺度分為基本磚與異形磚，其基本磚的長與寬的規定為 390 mm 與 190 mm，而厚度則有 90、140 及 190 mm 三種不同的尺寸規範，其長寬高的尺寸許可差為 $\pm 2$  mm。異形磚為與基本磚尺度相同的橫筋磚與角磚，其尺度與許可差比較基本磚。基本磚與橫筋磚斷面細部如圖 3-2 所示。

### (4) 裝飾混凝土磚

裝飾混凝土磚如混凝土空心磚一樣分為基本磚與異形磚兩種，而基本磚長度與高度之模具標稱尺度為 300\*100 mm、400\*150 mm、450\*200 mm、600\*250 mm 以及 900\*300 mm 等，而裝飾磚厚度 100mm、120mm、150mm 及 190mm 等規定。而異形磚之尺度則需小於基本磚的尺度要求。該磚的斷面形狀則與混凝土空心磚相似，如圖 3-3 所示。

### (5) 窯燒花崗岩面磚

基本上窯燒花崗岩面磚的尺度無硬性的規定，而常用的尺度依正方形與長方形有所分別，正方形的有 100\*100 mm、140\*140mm、190\*190 mm 以及 290\*290mm 等四種尺寸，而長方形的四種尺寸則為 190\*90 mm、290\*140 mm、440\*290 mm 與 590\*290 mm 等，其厚度為 7~20 mm 者則用於壁磚，而地磚則採用 13~30mm。窯燒花崗岩面磚的形狀也具多樣化，而常用的形狀則如圖 3-4 所示，特定形狀也可由買賣雙方自行協定之。

### (6) 高壓蒸汽養護輕質氣泡混凝土磚

高壓蒸汽養護輕質氣泡混凝土磚之長度乘寬度的尺寸有 400\*200 mm、500\*300 mm 與 600\*400 mm 等三種，其許可差為 $\pm 3$  mm，磚的厚度可採 100 mm 與 150 mm 兩種尺寸，許可差則為 $\pm 2$  mm。

### (7) 耐火磚

依照 CNS 612 『耐火磚之形狀與尺度』之規範，耐火磚分普通形磚、標準橫拱磚與標準縱拱磚三類，其中普通形磚為長方體，長寬高的尺度為 230\*114\*65 mm，標準橫拱磚與標準縱拱磚的斷面為梯形，下底長為 65mm，而上底則有 32、50、59mm 三種不同變化，而兩型磚的不同在於長度與斷面高度，標準橫拱磚的長度為 230mm、斷面高度為 114 mm，而標準縱拱磚則相反，長度為 114mm、斷面高度為 230 mm，三種磚的形狀如圖 3-5 所示。

## 2、隔間牆之規格[37]

隔間牆之規格主要為構材尺寸及牆厚，常見的牆板尺寸簡述如下。

### (1) 半濕式隔間牆

輕鋼架鋼網噴凝牆，牆厚約在 8cm、10cm、12cm，亦可依需要至 20cm。鋼筋網複合牆內牆牆厚約 10cm，外牆則為 12cm 或 16cm。

### (2) 輕質磚隔間牆

ALC 磚之尺寸，以長 60cm 寬 40cm 厚 10cm 及 12.5cm 為標準規格，牆厚 12.5cm 以上者為特殊規格；飛灰水泥磚之尺寸為長 20.2cm 寬 6.3cm 厚 9.4cm；而中空石膏板塊之尺寸為長 66.6cm 寬 50cm 厚 10cm。

### (3) 輕質板隔間牆

各種輕質板中，以擠出成型中空水泥板備有多種規格品，產品尺寸較多樣化。

合成水泥板各廠家規格不同，其長度多為 2.4m、2.7m 或 3m，但寬度與厚度則不同，如：(a)寬度 61cm 或 122cm，厚度 5cm 及 7.5cm。(b)寬度 60cm，厚度 5cm、8cm 及 10cm。(c)寬度 60cm 或 120cm，厚度 5cm 及 7.5cm。(d)寬度 60cm，厚度 6.5 及 8cm。

預鑄水泥板各廠家規格亦不同，其寬度多為 60cm，但長度及厚

度不同，如：(a)長度 2.3m、2.5m、2.85m 及 3.2m，厚度 9.2cm。(b)長度 2.25m、2.5m、2.7m、3m 及 3.25m，厚度 7.5cm、10cm、12cm。

高壓蒸汽養護輕質氣泡混凝土(ALC)板隔間牆用之規格品，寬度 60cm，厚度 10cm，長度 2.5m、2.7m 及 3m，訂製品則厚度自 7.5cm 至 20cm 多種，長度 6cm 以下。石膏複合板之規格，長度 2.7m 及 3m，寬度 90cm，厚度 5cm。

#### (4) 骨架封板隔間牆

骨架封板隔間牆，一般牆厚以 10cm 為多，而基板及面板之單位尺寸則各種產品呈多樣化。

## 第二節 建築模矩之考量

建築磚尺寸之訂定建築空間有很大關係，而建築空間又依建築物的位置、使用用途及建造年代的不同而有不同的考量與配置，使得建築空間設計與尺規沒有一定的選定規則，為了使建築產品之合理化及建築成本之降低，國家標準局（CNS）於民國 80 年 2 月引進『建築模矩』之概念，並建立一系列的規範，俾以達到房屋工業化之目的。本章節則收集整理國家標準局（CNS）施行的建築模矩相關規範，作為輕質骨材混凝土砌塊、預鑄牆板規格標準化訂定的參考。

1、建築模矩詞彙（CNS 4113 A1016）：列舉重要建築模矩詞彙說明如下。

(1) 模矩(Module)：一種尺度之單位，作為尺度配合之增量。

(2) 尺度(Dimension)：實體在某一固定方向之量度，如長、寬、高、厚、直徑等具有向量之意義者。

(3) 尺度配合(Dimensional Co-ordination)：相關尺度之協調，使調整建築組件及其所組成建築之尺度，俾以便利其設計、製造及安裝。

- (4) 模矩配合(Modular Co-ordination)：採用基本模矩或倍模矩達成之配合。
- (5) 基本模矩(Basic Module)：模矩之基本單位，可作為建築物、建材、組件等之尺度。
- (6) 倍模矩(Multimodule)：尺度為基本模矩乘以選定整數倍之模矩。

## 2、建築模矩 (CNS 4113 A1015)：

- (1) 適用範圍：適用於統一配合建築設計、房屋構築及建築產品之相關作業。
- (2) 建築模矩之基本數值及其組成：建築模矩之基本數值及其組成如表 3-2 所示，建議倍數包含有 2 倍、3 倍、5 倍、7 倍與其值指數的倍數。
- (3) 建築模矩數值：依照表 3-2 之規定所決定之建築模矩如表 3-3 所示，可適用 1mm、10mm、100mm、1000mm 及 10000mm 之單位。

## 3、建築物設計模矩 (CNS 3537 A1012)：

- (1) 適用範圍：應用於建築規劃及設計作業上之設計模矩（應用於設計建築物之構架時，稱為結構模矩）。
- (2) 設計模矩：
  - A. 設計模矩以模矩格子線間之空間為單位模矩尺度，並為建築物或其組件模矩尺度之共因數，以減少平面佈置或組件系列模矩尺度之種類及數量。
  - B. 選擇設計模矩可以不同之倍模矩用於建築物橫向與縱向空間、平面上其他尺度、組件(包括附加於建築物者)及某些開口部位等。
  - C. 在同一個案例中，可用一種模矩或用多種倍模矩之組合。
  - D. 在平面圖上之兩向，可使用不同之倍模矩(參見圖 3-6)，如將較大之倍模矩設為較小者之倍數(參見圖 3-7)，可獲更大之便利。

- E. 在不妨礙平面配置機能情況下，宜選用較大之倍模矩。
- F. 對各種不同類型之建築物選擇設計模矩時，應參照其主要房間尺度與建築結構系統之特徵。

### (3) 倍模矩之選用

- A. 水平向：以 3M 之倍數( $n \times 3M$ )為優先。例：3M、6M、9M、12M、15M、30M、60M 等。M 為建築模矩。
- B. 垂直向：以 1M 之倍數為優先。

## 4、建築模矩配合 (CNS 4115 A1018)：

模矩配合為採用基本模矩或倍模矩構成之尺度配合，可使一般組件，特別是可工業化大量生產及安裝者，得到最低之材料消耗及獲取作業尺度之調整，並期達成下列功效與機能。

- (1) 將組件與基準面發生關連，並同時明確地指示出建築組件之位置，使建築設計簡明單純化。
- (2) 選定優先使用尺度使組件尺度之種類減少。
- (3) 使設計圖合理化。
- (4) 使組件之定位、安裝等工地作業簡單化。
- (5) 使設計、製造、出售及施工等各部門容易協調。

## 第三節 人工物料搬運工作之安全性探討

營造業屬於資本及勞力密集的產業，儘管營造技術日較成熟的今天，許多工作仍須仰賴人工來完成，因此勞工在作業上所付出的體力遠大於其他行業，因此在進行輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之同時，需對其產品的重量加以考量，以減輕勞工的負擔，避免使勞工因搬運而受到職業

上的傷害，本章節參考相關之研究與各國法規，進行人工物料搬運工作安全性之探討。

### 1、影響工人搬運物料的因素

影響物料搬運的因素，據研究指出，會影響人工物料搬運的因素，包括個人因素、作業因素、環境因素、工作姿勢等，說明如下：

#### (1) 個人因素：

主要包括了身體(年齡、性別)、生理(含氧量、耐力)、心理(工作滿意度及工作態度)的因素。

#### (2) 作業因素：

包括抬舉的重量、高度、頻率、載具的特性及作業場所。

#### (3) 環境因素：

包括溫度、溼度、噪音、震動及作業面穩定程度。

#### (4) 姿勢因素：

抬舉物料時身體呈現的姿勢及扭轉的角度。

### 2、工作設計指南[41]

由於從業人員會隨著工作負擔的增加，而受到身體的、心理的各種可能壓力，當壓力過大時，即可能帶來從業人員不舒服的症狀，美國職業安全衛生署(National Institute of Occupational Safety and Health，簡稱NIOSH)有鑒於此，便集合了專家學者所常分析的觀點，提出人工抬舉的工作規範，並建議兩界限做為工作設計的指南，一為活動界限 (Action Limit 簡稱AL)，另一為最大容許界限 (Max. Permissible Limit 簡稱MPL)。

根據這兩個界限可將目前抬舉作業分為三部份：

#### (1) 超過MPL狀況：

人體不能接受，應重新設計工作方式及尋找機械設備取代人工物料搬運作業。

(2) 介於 AL 與 MPL 之狀況：

需先建立工作規範及設計，然後加以篩選，訓練施工人員。

(3) 低於 AL：

對人體無傷害危險。

### 3、相關研究成果

(1) 林久翔等人之「人工物料搬運作業分析與評估之實地研究」[42]：

利用問卷、現場訪談、與攝影取得所需資料，問卷內容包括進行人工物料搬運時之作業內容、所採用之輔護具、發生之身體不舒服部位與程度、作業空間與限制條件等，並利用現場作業影片，分析搬運所造成之工作負荷。研究結果發現，從業人員因為搬運作業而引起之下背疼痛比例最高，操作姿勢以站立與自由式搬運較常見，搬運重量常常超過 20kg，抬起高度則以 60~90cm 為主，而連續作業時間超過二小時者亦佔相當之比例。另外，研究中發現關節作用力矩比值與關節屈曲/伸展角度比值與受測人員之主觀身體疼痛感覺有顯著之相關性，可作為人工抬舉作業負荷之參考指標。

(2) 施鴻志於「人因工程在我國勞工職業安全衛生之應用」[43]報告中提及，人工物料搬運工作已被證實是造成慢性下背部酸痛的主要因素之一。在強調自動化生產的今日，還是無法完全避免人工物料搬運。在英國，約有 20% 的工業意外傷害是下背部傷害，其中 50%~60% 即是因物料搬運所造成的。以美國為例，79% 的下背部傷害是因物料搬運而起，有關賠償性工作傷害中，約有三分之一至四分之一係與人工物料搬運有關，這是一個相當值得重視的問題，其一年所造成的醫療費用、工時損失、保險賠償約為二百億美元之譜。在國內，根據調查，從事物料搬運的作業人員約有 59%，曾因物料搬運而受到傷害。

(3) 盧士一在「下背部傷痛生物力學模式的評估研究」[44]報告中論及，抬舉動作時在 L5/S1（第五腰椎與第一薦椎）的椎間盤部位受力最



大，易引起下背部傷痛，因此以生物力學模式制訂抬舉極限值時，便是以此部位所能承受的最大值作為抬舉重量的極限值。該研究中以下背痛門診病人為對象，透過醫院醫師的問診，篩選出與工作相關的下背痛患者，過濾出 38 名從事非頻繁性抬舉工作者，再由研究人員以問卷訪談方式，使用勞工安全衛生研究所 87 年度研發的二維生物力學模式電腦程式與評估圖，計算 38 名下背痛患者 L5/S1 椎間盤受力。研究結果發現下背痛患者抬舉過程 L5/S1 椎間盤之最大受力平均值為 4785 牛頓(488kg)且標準差為 1916 牛頓(195kg)，其中男性與女性之最大受力平均值分別為 5155 牛頓(525kg)與 3878 牛頓(395kg)。在研究數據假設為常態分布下，結果顯示因抬舉不當引起之下背痛，大約 24% 的患者 L5/S1 椎間盤受力之最大受力低於 3400 牛頓(347kg)。

- (4) 李永輝與陳志勇[45]針對國人重複性抬舉作業搬運重量之進行探討，研究中蒐集受試者依心物法，決定三十名有抬舉作業工作經驗的勞工之抬舉能力(Maximum Acceptable Weight of Lifting, MAWL 值)，探討在重複性抬舉時，基於美國所建立的 NIOSH 規範之作業變項效應，對於評估國人抬舉能力的適用性，並提出建議。研究發現抬舉能力隨作業變項的不同而有差異。平均抬舉能力從最佳之 32.1kg(標準差 5.7kg)(地面至桌高，每分鐘一次，窄箱)，下降至 19.9kg(標準差 2.0kg)(桌高至肩高，每分鐘六次，寬箱)。以心物法決定之國人頻率性抬舉能力平均值與美國學者 Snook 的數值相當接近；此一現象意味著在相同作業變項下，東西方受試者的抬舉能力相近。就抬舉變項分析，無論箱子寬窄，當由地面抬舉至桌面高度時，該研究數據及 Snook 的數值均較 NIOSH 之 MPL 大許多；然當由桌面抬舉至肩高度時，該研究及 Snook 的數值均較 NIOSH 之 MPL 小。此結果顯示，NIOSH 規範未將抬舉終止點高度納入計算公式，因此無法反應終止點高度所造成抬舉能力發揮之限制。

#### 4、相關保護法令

(1) 國內之相關法規：

- A. 【勞工安全衛生設施規則】第一百五十五條：雇主對於物料之搬運，應盡量利用機械代替人力，凡四十公斤以上之物品，以人力車輛或工具搬運為原則，運輸路線，應妥善規劃，並作標示。
- B. 【重體力勞動作業勞工保護措施標準】第二條：規範所稱之重體力勞動作業包括有關人工物料搬運作業；第三條：規範雇主應考慮從事重體力勞動作業勞工之體能負擔，給予充分休息，休息時間每小時不得低於二十分鐘。
- C. 【童工女工禁止從事危險性或有害性工作認定標準】第二條：雇主不得使童工從事危險性或有害性工作之認定標準。一、未滿十五歲之勞工認定標準，斷續性工作規定不得超過十二公斤，持續性工作規定不得超過八公斤；二、女工認定標準，斷續性工作規定不得超過三十公斤，持續性工作規定不得超過二十公斤，而妊娠女工認定標準，斷續性工作規定不得超過二十公斤，持續性工作規定不得超過八公斤。

(2) 國外之相關法規：

A. 美國的法規：

美國職業安全衛生研究所 (NIOSH)，於 1981 年制定人工物料搬運在生物力學方面的容忍界限，包括兩個參數：活動界限與最大容許界限，主要是以第五腰椎與第一薦椎間之椎間盤所能承受之壓力大小為基準，於該工作規範中，在理想狀況下，AL 為 40.86 公斤，MPL 為 122.58 公斤。該研究所為做進一步工作規範的修正於 1991 年提出 LI 作為評估指標。

B. 日本的法規：

日本安衛法便覽之「有關處理重物之腰痛預防」搬運重量，滿十八歲以上之男性勞工，如以人力搬運重量在五十五公斤以

下，超過五十五公斤的重物應用兩人以上搬運，且每一位勞工應平均分攤重量。

#### 第四節 輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊標準化規格之建議

##### 1、輕質骨材混凝土預鑄牆板標準化規格

輕質骨材混凝土預鑄牆板尺度可參考 CNS 4348 「建築用板類標準尺度」之標準尺度規定，預鑄牆板之標準尺度以模矩尺度表示，如表 3-4 所示。其模矩高度介於 300mm~4000mm 之間，模矩寬度可變化於 300mm~1600mm 之間，而模矩厚度則建議取 60mm、90mm 與 120mm 等三種尺度，但可依特殊性能需求加以變更。預鑄牆板之在長度方面有較大尺度時，則不利於牆板之彎曲能力，為了補強彎曲強之不足，可考慮置入微量鋼鍵來補強，但仍需對其重量（或單位重）加以控制，使預鑄牆板保有質輕特性，以利於工地現場之搬運及組裝。

##### 2、輕質骨材混凝土砌塊標準化規格

由現有磚的尺度調查中可發現，各類磚依不同材料、用處所製成之磚其尺寸多所不同，甚至在磚的形狀上也有不同的表現。在調查之磚中，可發現其長度皆於 10cm~90cm 間變化，寬度則變化於 9cm~45cm 之間，而厚度則介於 6~20cm 之間。依據國家標準對建築模矩之選定與設計，一般建築物模矩長度與寬度分別以 3 倍與 1 倍基本模矩為原則，假若採用輕質混凝土砌塊作為隔間牆之心材時，可考慮採用 3M 作為砌塊之長度的主要尺寸。

砌塊(磚)的重量會影響施工速度及安全，可考慮藉由限制砌塊的單位重與尺寸，來降低磚的重量以改善工人搬運上的不便，或避免工人因搬運而產生的職業傷害，故應對磚的重量有一定的限度。在考量人工物料搬運工作安全性之相關研究成果，以及國內外之勞工安全法規規定，本研究考慮輕質混凝土單一砌塊之重量，以不超過 30kg 為最大容許限度，以俾於一位勞工或女工進行輕質混凝土砌塊之搬運、組立及堆砌。

依據尺寸調查結果、建築模矩設計、磚重量的限制與輕質骨材混凝土之單位重等因素進行考量，初步將輕質骨材混凝土砌塊的長度定為 60cm 與 75，在高度（寬度）方面，除前述之因素外，另外考量門組件的統一高度 210cm，為方便輕質混凝土砌塊牆嵌入門框之施工便利性，砌塊高度以 210cm 之因數為佳，因此建議輕質混凝土砌塊之高度採 42cm 為標準尺度。而輕質混凝土砌塊之厚度考量砌塊重量滿足 30kg 以下之規定，初步厚度定為 6cm、9cm 以及 12cm 等三種。而尺寸的公差則參考 CNS 對磚類的規定，在長度與寬度則建議為 $\pm 3\text{mm}$ ，厚度的建議公差則為 $\pm 2\text{mm}$  較為適當。

表 3-1 空心磚之標準尺寸

種類	型別	長	寬	厚
第一類	一孔型	210	100	60
	二孔型	130	210	100
	三孔型	200	210	100
	四孔型	270	210	100
	六孔型	320	210	130
第二類	八公分型	240	240	80
	十二公分型	240	240	120
	十六公分型	240	240	160
	二十公分型	240	240	200
	二十四公分型	240	240	240

(資料來源：中國國家標準 CNS 8905)

單位：公釐(mm)

表 3-2 建築模矩之基本數與組合

875	175	35	<b>7</b>	14	28	56	112	(224)	(448)
125	25	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	4	8	16	32	64
375	75	15	<b>3</b>	6	12	24	48	96	192
(1125)	225	45	9	18	36	72	144	288	576
(3375)	675	135	27	54	108	216	432	864	(1728)
1.粗體字表示倍數關係。 2.括弧內之數值作為參考用，不屬於基本數值。									

(資料來源：中國國家標準 CNS 4113)

**表 3-3 建築模矩數值(單位：mm)**

10	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>10000</b>
		1080	
		1120	
	120	<b>1200</b>	
	125	1250	
	135	1350	
	140	<b>1400</b>	
		1440	
15	150	<b>1500</b>	
	160	<b>1600</b>	
	175	1750	
	180	<b>1800</b>	
		1920	
20	<b>200</b>	<b>2000</b>	
	216	2160	
	225	2250	
	240	<b>2400</b>	
25	<b>250</b>	<b>2500</b>	
	270	<b>2700</b>	
	280	<b>2800</b>	
		2880	
30	<b>300</b>	<b>3000</b>	
	320	<b>3200</b>	
35	<b>350</b>	<b>3500</b>	
	360	<b>3600</b>	
	375	3750	
40	<b>400</b>	<b>4000</b>	
		4320	
45	450	<b>4500</b>	
	480	<b>4800</b>	
50	500	<b>5000</b>	
	540	<b>5400</b>	
	560	<b>5600</b>	
		5760	
60	<b>600</b>	<b>6000</b>	
	640	<b>6400</b>	
	675	<b>6750</b>	
70	<b>700</b>	<b>7000</b>	
	720	<b>7200</b>	
75	<b>750</b>	<b>7500</b>	
80	<b>800</b>	<b>8000</b>	
		8640	
	875	<b>8750</b>	
90	<b>900</b>	<b>9000</b>	
	960	<b>9600</b>	
粗體之數值表示 100mm 之倍數。			

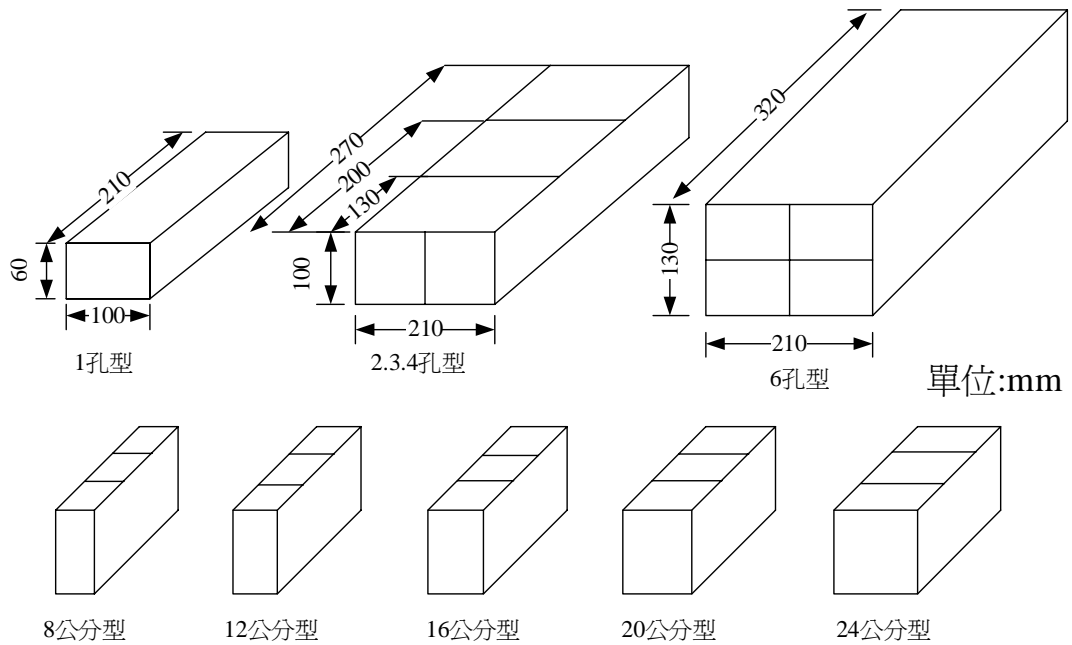
(資料來源：中國國家標準 CNS 4113)

表 3-4 建築用版類之模矩(單位：mm)

模矩 高度 ▼ H	模矩 寬度 ▼ W	300	400	(450)	600	800	(900)	1,000	1,200	1,500
300										
400										
(450)										
600										
800										
(900)										
1,000										
1,200										
1,800										
2,000										
2,250										
2,400										
2,500										
2,700										
3,000										
3,200										
3,600										
4,000										

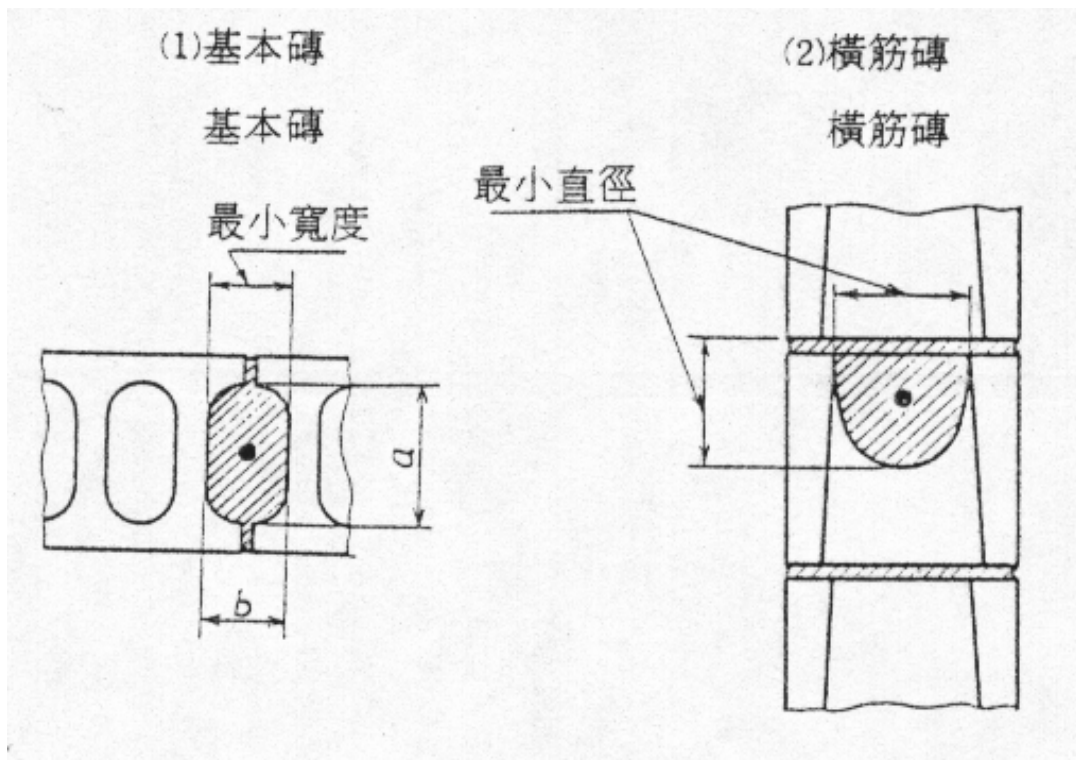
(資料來源：中國國家標準 CNS 4348)

圖 3-1 空心磚之形狀



(資料來源：中國國家標準 CNS 8905)

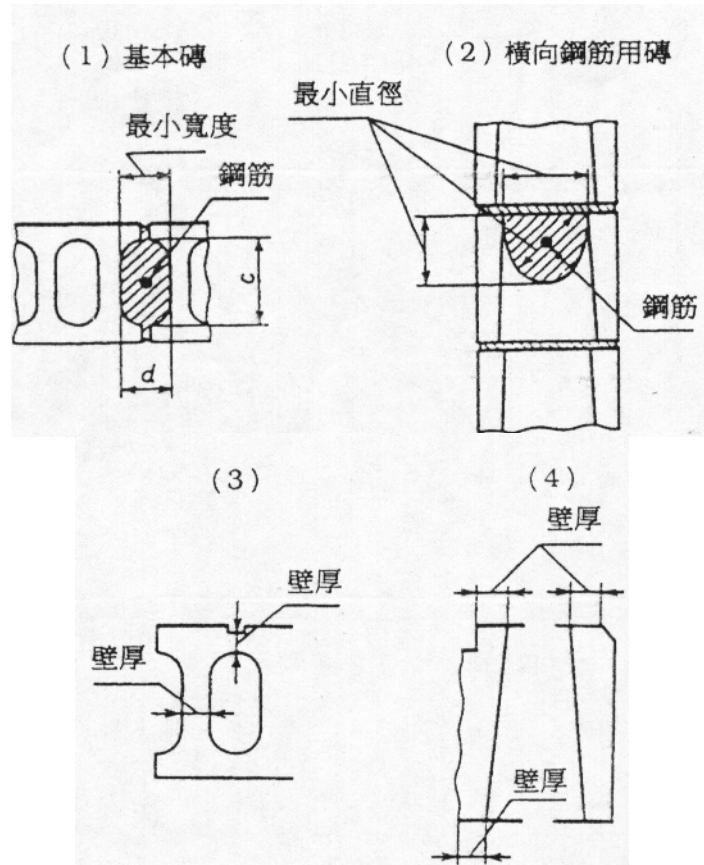
圖 3-2 混凝土空心磚之形狀



(資料來源：中國國家標準 CNS 8905)

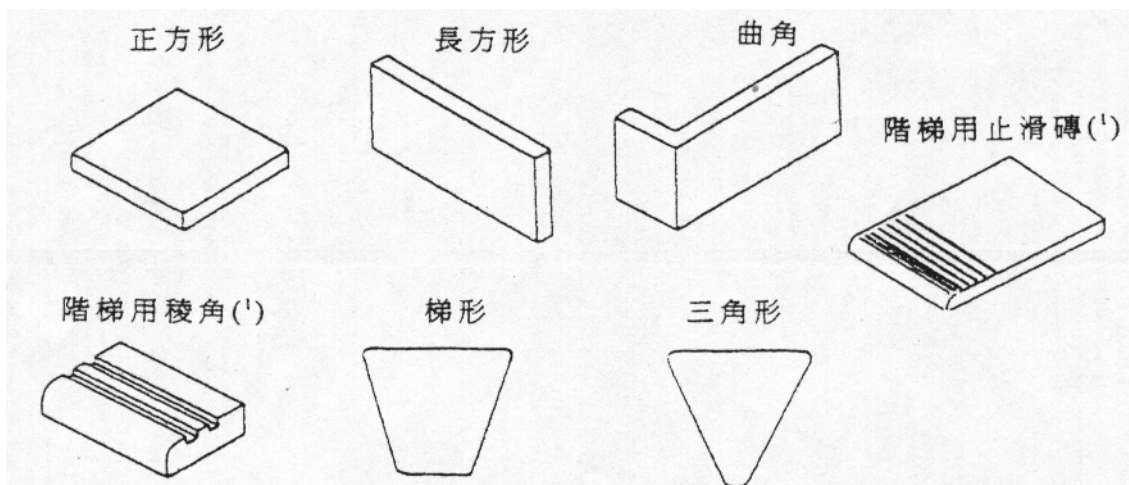


圖 3-3 裝飾混凝土磚之形狀



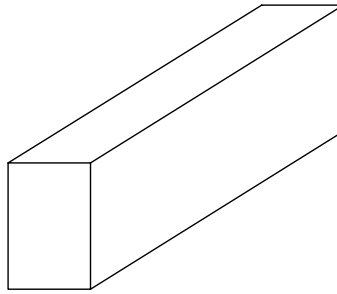
(資料來源：中國國家標準 CNS 12963)

圖 3-4 窯燒花崗岩面磚之形狀

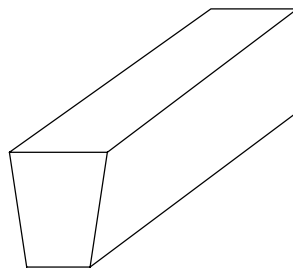


(資料來源：中國國家標準 CNS 12963)

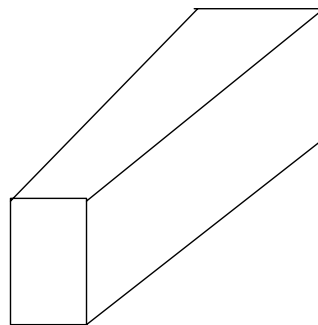
圖 3-5 耐火磚之形狀



(a) 普通型磚



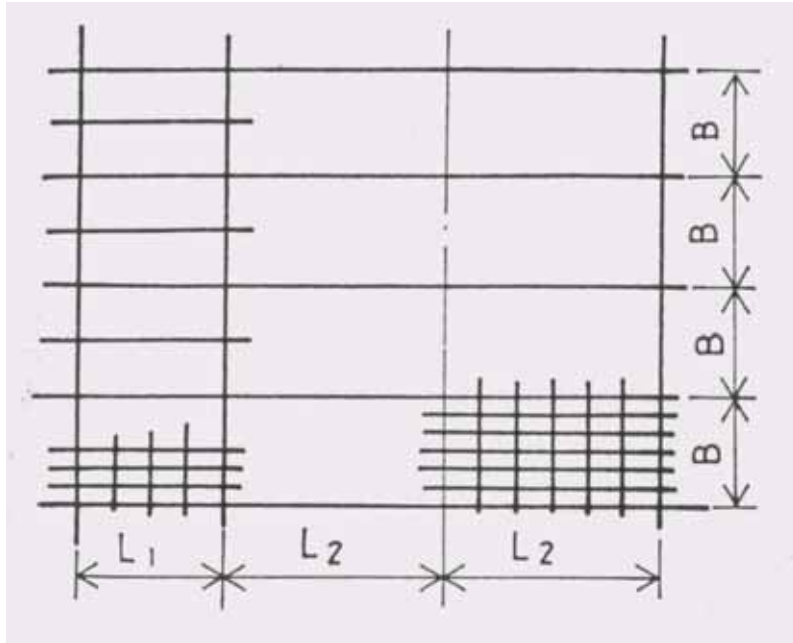
(b) 標準橫拱磚



(c) 標準縱拱磚

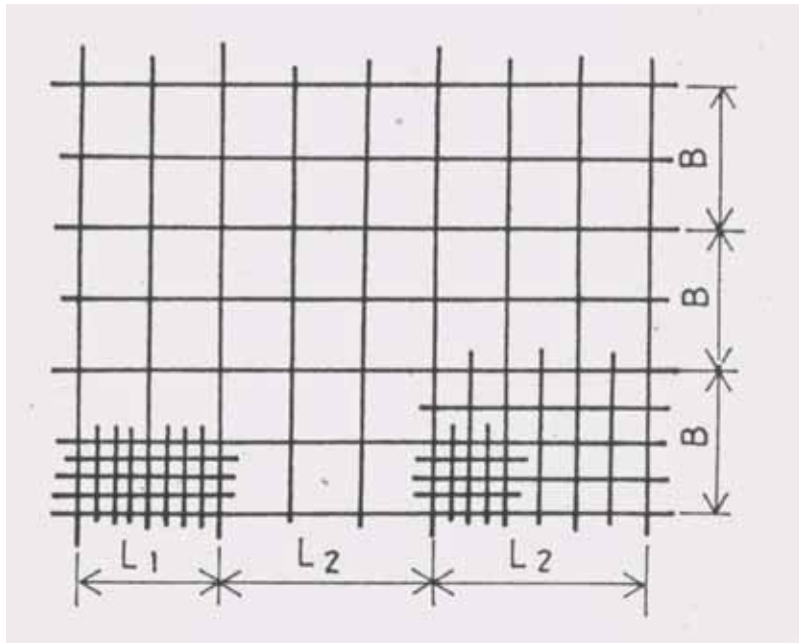
(資料來源：中國國家標準 CNS 612)

圖 3-6 不同倍模矩之組合(例一)



(資料來源：中國國家標準 CNS 3537)

圖 3-7 不同倍模矩之組合(例二)



(資料來源：中國國家標準 CNS 3537)



## 第四章 輕質骨材混凝土預鑄構件之檢測標準化

### 第一節 輕質骨材混凝土砌塊與組立牆板之檢測項目

輕質骨材混凝土砌塊與預鑄牆板主要可用於外牆或隔間牆的構材，期中包括修飾、阻隔、耐久與傳力等之性能要求，本研究說明輕質骨材混凝土單一砌塊、組立牆板及使用接著劑所需之測試項目，而砌塊與牆板重要的隔音與隔熱特性將於次章中說明，依據前述文獻資料之指引，針對輕質骨材混凝土砌塊與組合牆板性能之檢測，本研究初步建議之主要檢測項目如下所示：

#### 1、單一砌塊之性能測試項目：

##### (1) 物理性試驗

- a. 外觀檢驗
- b. 尺度量測
- c. 質量與單位重試驗
- d. 吸水率與含水量測試
- e. 表面吸水試驗

##### (2) 耐久性試驗

- a. 透水試驗
- b. 耐磨試驗

##### (3) 力學試驗

- a. 抗壓試驗
- b. 抗彎試驗

c. 吊掛試驗

d. 衝擊試驗

2、已組立之牆板性能測試項目：

(1) 單位重測試

(2) 抗彎試驗

(3) 風壓試驗

(4) 面內抗剪試驗

(5) 水密性試驗

3、砌塊及牆板之水泥系接著劑性能測試項目：

(1) 拉力試驗

(2) 抗壓試驗

(3) 拉力接著試驗

(4) 耐久性試驗

## 第二節 輕質骨材混凝土砌塊與組立牆板之檢測方法

1、單一砌塊之性能測試方法：

(1) 物理性試驗

a. 外觀檢驗

以目視觀察磚、板之外觀，輕質骨材混凝土磚外觀不得有影響磚的強度與特性之裂紋或缺角，如因製程導致磚體呈現明顯的細孔，在不妨礙產品之使用特性下，得視為正常。磚面邊緣可設計為直角、斜角、凸槽或凹槽。

## b. 尺度量測

以符合 CNS 7548 『金屬直尺』規定之金屬尺或符合 CNS 4175 『游標卡尺』規定之游標卡尺量測輕質骨材混凝土砌塊之長度、寬度、厚度與凹凸槽等，取平均值。量測板材厚度時，需沿試樣中線切開，任取等距三點量測，取其平均值。

## c. 質量與單位重試驗

砌塊或板之質量定義為單位面積的氣乾重量（或稱面密度），即砌塊或板之氣乾重量除以長度與寬度之值，其單位為  $\text{kg}/\text{m}^2$ ；而單位體積之重量即為單位重，單位為  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。試驗上，將輕質磚於常溫之室內達 7 天以上，以鋼尺量測輕質磚之長度、寬度及厚度來計算出體積，隨之以質量計量測輕質磚的氣乾重量，將量測結果代入下列公式即可求得磚之質量與乾燥單位重。

$$\text{質量(面密度)} = \frac{\text{試樣乾重} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{長度} \times \text{寬度}}$$

$$\text{單位重} = \frac{\text{試樣乾重}(kg)}{\text{長度} \times \text{寬度} \times \text{厚度}(m)}$$

## d. 吸水率與含水量測定

試體需用整塊輕質骨材混凝土砌塊，在常溫中放置 7 天以上量測其重量( $m_0$ )(g)，隨之將試體置於室溫  $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$  之清水中浸泡 24 小時後，測定浸於水中之重量( $m_1$ )(g)。將浸於水中的砌塊取出並置於金屬網上瀝水 1 分鐘，以濕布擦拭表面後測定飽和水重量( $m_2$ )(g)，最後將試樣置於  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  之空氣乾燥器中乾燥 24 小時，測定其重量( $m_3$ )(g)，以下公式計算吸水率與含水量。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \times 100$$

$$\text{含水量}(g/\text{cm}^3) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times \text{水之密度}$$

e. 表面吸水試驗

依照 CNS 8081 『建築用組件（嵌板）性能檢驗法』第 6.1 節（表面吸水試驗），測試之。試體需用整塊輕質骨材混凝土砌塊，並置於室內氣乾 7 天以上。將固定體積的水量（水深：2 cm）以試驗框架放置於水平試體表面，並用嵌封材料黏牢試驗框架防止水由縫隙漏出。分別量測試體原重與吸水 1、4、24 及 48 小時後之重量，藉以求得其單位面積的吸水量。其計算是如下：

$$\text{表面吸水量}(g/m^2) = \frac{w_h - w_a}{A}$$

上式中， $w_h$  為吸水  $h$  小時，連同框架之試體重量(g)。

$w_a$  為注水前試體連框架之重量(g)。

$A$  為試驗框架之內面面積( $m^2$ )。

(2) 耐久性試驗

a. 水平靜壓透水試驗：

試體裝置相似於表面吸水試驗，但注入試驗框架之水深為 25cm 之高度，若試體凹凸不平，水高度由試體之最低點算起。注水經過 5、10、30 分鐘及 1、2 及 24 小時時，測定水柱降低量，並觀察試體的狀況，記錄漏水的位置，其他試驗細項則依照 CNS 8081 第 6.3 節規定之。

b. 耐磨性試驗

依照 CNS 13297 『混凝土製品耐磨性試驗法（噴砂法）』測試，計算磨耗體積損失量精確至  $0.1\text{cm}^3/50\text{cm}^3$ ，並計算厚度磨耗平均值精確至 0.1mm。

(3) 力學試驗

a. 軸方向抗壓試驗



將砌塊試體直立於材料試驗機下，並在試體與試驗機中插入加壓傳力板，使試體加壓。壓力係在試體厚度全面徐徐加載，其加載速率，需約於 10 分鐘達到最高載重，隨即記錄最大載重 P，將所得最大載重除以加載面積即為該砌塊之軸方向抗壓強度。

#### b. 抗彎試驗

依 CNS 8081 『建築用組件（嵌板）性能檢驗法』第 6.9 節之規定，採三分點載重試驗之，以位移控制加載試體，其速率為  $5 \times 10^{-2} \text{ mm/sec}$ ，測定最大加載荷重及跨距中央部之最大撓曲度 (mm)。最大抗彎強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) 為測得之最大荷重除以試體寬度及跨度。

#### c. 吊掛試驗

取一長 6 公分，直徑 0.315 公分之水泥鋼釘，垂直釘入砌塊，釘入位置為板面之中心，釘入深度為 3 公分。使釘入鋼釘之牆板直立於水平平台並將其固定，將吊掛懸吊於鋼釘上，以鐵塊加載之，每次加載 10 kgf，並保持載重 20 分鐘，隨之記錄加載之總重，並檢視加載過程中砌塊有無損壞或鋼釘是否彎曲，以評估該砌塊之吊掛能力，應測試三塊不同試體取其最低之載重。

#### d. 衝擊試驗

參考 CNS 9961 『建築用板類衝擊試驗法』進行測定，取氣乾牆板，其支承則依規範要求採用砂上全面支承，球形重錘之重量為 1042 g，直徑為 64 mm，落距定為 1000 mm，將重錘自然落下衝擊牆板試體，隨之觀察試體有無破壞，並記錄之。

## 2、已組立之牆板性能測試方法：

### (1) 單位重測試

以精度為 $\pm 20\text{g}$ 的質量計量測牆板之重量，以及採用捲尺量測板材之尺度後，將牆板之重量除以體積即為所求。

## (2) 抗彎試驗

試驗方法比照砌塊彎矩試驗法，除了測定最大加載荷重及跨距中央部位最大撓曲度(mm)外，尚需記錄其破壞位置及情形。

## (3) 風壓試驗

本試驗主要考慮因風力產生之均佈荷重（風壓力）對輕質骨材混凝土預鑄牆板的影響，風壓力大小的選定則依照建築技術規則第三十三條規則，選定條件為全台灣島內最大風力等級（200 級），建築物高度設定為 150 公尺以下，其規定之風壓力為  $300 \text{ kgf/m}^2$ 。為模擬風壓產生之均佈荷重，擬以水壓替代相同大小之風壓。將試體置於跨度為牆板長度縮短 10 cm 的支承上，加載寬度亦為試體寬度縮短 10 cm 後之長度，加載面積則為跨度乘以加載寬度。將水壓緩緩加載於牆板之上，壓應力每增加  $50 \text{ kgf/m}^2$ （水深增加 5 cm），記錄牆板中央撓度與觀察牆板是否有裂縫或破壞產生，一直到壓應力達  $300 \text{ kgf/m}^2$ （水深達 30 cm），停止加壓並維持水壓 30 分鐘，記錄牆板中央撓度與觀察牆板是否有裂縫或破壞產生，隨之以相同速率進行卸載，並記錄殘餘變形量。

## (4) 面內抗剪試驗

試驗所使用之試體為以接合材料平行黏結三塊輕質砌塊，試驗時先將左右兩塊輕質砌塊固定，並架設兩支位移計以量測左右兩砌塊與中間砌塊的相對變位，試驗安裝如圖 4-1 所示，在載重試驗機與位移計歸零之後，開始對中間的輕質砌塊施加載重，同步記錄加載荷重與相對變位，直至砌塊發生鬆脫則停止加載。將最大加載荷重除以總接合面積，即為該組立牆板之面內剪力強度，若輕質砌塊發生破壞而砌塊間尚未發生鬆脫，則認定面內剪力強度高於砌塊之

抗壓強度。

### (5) 水密性試驗

本試驗方法乃依照CNS 8081 『建築用組件（炭板）性能檢驗法』第 6.4 節之規定進行試驗，在試體上施加能夠保持水密性之期待在大風壓（正壓及負壓）5 分鐘後，在試體全面均勻以每分鐘  $4\text{ l/m}^2$  之水量一面噴霧，一面以表 4-1 所示之平均壓力為中心週期 2 秒鐘之振動壓力，每施加壓 10 分鐘間歇 1 分鐘除壓在順次增加壓力，最大脈動上限壓力應與試驗期待之最大風壓等值。平均壓力超過  $160\text{ kg/m}^2$  時須適當的決定值，此時脈動上限壓力及脈動下限壓力為平均壓力 $\pm 75\text{ kg/m}^2$ 。試驗過程中，試體室內側面之漏水位置，以目視觀察之，並測定開口部位及下框部分積水之水位。

## 3、砌塊及牆板之水泥系接著劑性能測試方法：

### (1) 抗拉強度試驗：

依 CNS 1011 『水硬性水泥墁料抗拉強度試驗法』進行試驗，試體為亞鈴狀，其腰部寬度與厚度需符合規定，且試體若有明顯的缺陷，或其所得之拉力與所有同一樣品製成，同時試驗之試體平均值差別達 15%，均視為不良試體而不計入抗拉強度測定之內，且需重複試驗之。

### (2) 抗壓強度試驗：

依 CNS 1010 『水硬性水泥墁料抗壓強度檢驗法（用 50 mm 或 2 in 立方體試體）』之規定進行測試，其加壓速率必須適當，需於 20 秒至 80 秒之間達到最大的加壓載重，記錄最大載重除以加載面積即可得抗壓強度。

### (3) 拉力接著試驗：

依 CNS 11053 『粗糙水泥飾面噴髹材料檢驗法』之規定進行試體製作與試驗，加力時間需於 30 秒內達到最大拉力。接著強度以下式計算，求取 3 個試體之平均值，修整至小數點以下 1 位數。

$$\text{拉力接著強度}(kgf/cm^2)=\frac{T}{16}$$

式內：T=最大載重(kgf)

#### (4)劣化試驗：

準備兩組相同的試樣，一組置於正常之環境進行養護，另一組則至於溫度 75°C、相對濕度 50%之環境進行試體養護，養護時間達 168 小時時，同時取出兩組試體，進行試體之抗壓及拉力試驗，其試驗方法則依(2)~(4)項的規定測定之。

### 第三節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之性能測試

本研究採用輕質骨材混凝土製成之預鑄牆板與砌塊，依照前章節之檢測項目與方法，進行其性能之測試。測試之輕質骨材混凝土砌塊共有企口磚與外牆磚兩類；中空並擁有凹凸槽設計之輕質骨材混凝土砌塊稱之為輕質企口磚（如照片 4-1 所示），其尺寸為 60×42×8.8cm，而將企口磚表面貼上磁磚之砌塊則稱作外牆磚（如照片 4-2 所示），其厚度則增加為 12cm。輕質骨材混凝土預鑄牆板則採厚度為 6cm 與 9cm 進行測試（如照片 4-3 與 4-4 所示）。依照物理、力學與耐久性等測試結果，綜合分析討論如下：

#### 1、物理特性

輕質骨材混凝土砌塊之單位重與吸水率之結果整理於如表 4-2 及表 4-3。試驗結果顯示，輕質骨材混凝土砌塊之面密度的平均值介於 59 kg/m<sup>2</sup>~112 kg/m<sup>2</sup>之間，單位重則介於 824 kg/m<sup>3</sup>~982 kg/m<sup>3</sup>，其中外牆磚的表面貼有高密度的磁磚且母磚之厚度較大，使得其有最大的面密度，雖然單位重也相較企口磚高出許多，但仍可滿足混凝土空心磚之輕

質磚規範要求  $1700 \text{ kg/m}^3$  以下規定，且具質輕的效益。

輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之 24 小時吸水率介於 14.1%~16.5%，30 分鐘吸水率則介於 7.3%~11.5%，預鑄牆板與砌塊的吸水率可於 30 分鐘完成 80% 左右，但貼有磁磚的外牆磚減緩了輕質磚的吸水速度，其 30 分鐘吸水率僅為 24 小時的 52%，顯示外牆磚不但免除現場的二次施工，亦對輕質磚的防水性有所助益。於水密性測試中，企口磚與外牆磚在平均滲透壓力  $250 \text{ kgf/m}^2$ ，加壓 24 小時的試驗條件下，輕質磚背面均未發生水滲出或漏水之現象(如照片 4-5 所示)，防水性可達  $250 \text{ kgf/m}^2$  以上。

## 2、力學特性

輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之直立抗壓強度與抗彎強度整理於表 4-4 與表 4-5 之中。在抗壓強度方面，企口磚、外牆磚、6cm 與 9cm 預鑄牆板抗壓強度分別為  $34 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $42 \text{ kgf/m}^2$ 、 $58 \text{ kgf/cm}^2$  及  $70 \text{ kgf/cm}^2$ ，其中除了企口磚外，輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊均能滿足 CNS 8905「混凝土空心磚」之輕質磚規範要求  $40 \text{ kgf/cm}^2$  以上規定，顯示企口磚較適用於非結構性構造物，而外牆磚與預鑄牆板尚可適用較低強度要求之結構體。抗彎強度方面，企口磚與外牆磚平均抗彎破壞載重分別為 487 kgf 與 1030 kgf，計算所得之抗彎強度分別為  $11.2 \text{ kgf/cm}^2$  與  $12.8 \text{ kgf/cm}^2$ ，而 6 cm 與 9 cm 預鑄牆板抗彎強度則分別為  $133 \text{ kgf/cm}^2$  與  $149 \text{ kgf/cm}^2$ ，均相較企口磚與外牆磚高出許多，主要原因為預鑄牆板置入的鋼鍵，可有效提升牆板之彎曲強度。

在釘掛能力測試中，直徑 0.315 cm 之水泥鋼釘垂直釘入輕質磚 3 cm 後，對鋼釘施加之載重達 60 kgf 時，輕質骨材混凝土砌塊或鋼釘均無破壞及拔出之情形，顯示輕質骨材混凝土砌塊之吊掛能力乃高於 60 kgf，若用於隔間牆則有足夠之釘掛能力。

## 3、耐久性試驗（透水試驗）

透水試驗結果如表 4-6 所示，8.8 cm 厚度企口磚之表面，施加 25 cm 高之水柱，使產生  $250 \text{ kgf/m}^2$  水壓作用於磚面，歷經 5、10、30 分鐘及 1、

2、24 小時等 6 個測試時間，量得加壓水柱降低深度分別為 0.05、0.075、0.30、0.35、0.425 及 1.2 cm；相同條件下，厚度 12 cm 並加磁磚之外牆磚，在相同的 6 個歷時，水柱降低量分別為 0.325、0.375、0.55、0.55、0.575、0.95 cm，發現輕質骨材混凝土砌塊 24 小時之透水性介於 0.95cm~1.2cm，滿足混凝土空心輕質磚透水性規範 10 cm 以下之規定，且表面貼了磁磚後的外牆磚也可增加表面的緻密性而減緩透水量。

#### 第四節 已組立牆板及其水泥系接著劑之性能測試結果

##### 1、水泥系接著劑之性能測試結果

###### (1) 拉力、抗壓強度與抗彎強度測試結果

三個水泥系接著劑拉力試體所測得之抗拉強度分別為 14.72 kgf/cm<sup>2</sup>、16.58 kgf/cm<sup>2</sup>及 16.82 kgf/cm<sup>2</sup>，平均抗拉強度為 16.04 kgf/cm<sup>2</sup>，變異係數僅有 7%，顯示本研究採用之水泥系接著劑擁有高而穩定的抗拉強度。測得水泥系接著劑之抗壓強度分別為 199.6 kgf/cm<sup>2</sup>、180.4 kgf/cm<sup>2</sup>與 182.0 kgf/cm<sup>2</sup>，平均抗壓強度為 188.8 kgf/cm<sup>2</sup>。水泥系接著劑抗壓強度高於輕質磚許多，顯示牆體於承壓過程，水泥系接著劑可以擔任傳遞壓力的材質。

測得水泥系接著劑之抗彎強度分別為 14.72 kgf/cm<sup>2</sup>、16.58 kgf/cm<sup>2</sup>以及 16.82 kgf/cm<sup>2</sup>，平均抗彎強度為 16.04 kgf/cm<sup>2</sup>。與輕質磚的抗彎強度 11 kgf/cm<sup>2</sup>~12 kgf/cm<sup>2</sup>相近，兩者皆為水泥系材料，具有諧和的變形能力。

###### (2) 拉力接著試驗結果

水泥系接著劑之拉力接著強度分別為 7.46 kgf/cm<sup>2</sup>、6.48 kgf/cm<sup>2</sup>與 4.60 kgf/cm<sup>2</sup>，平均拉力接著強度為 6.18 kgf/cm<sup>2</sup>。其拉力接著強度遠高於 CNS 12600 「牆板及天花板用接著劑」之規範要求 2 kgf/cm<sup>2</sup>，顯示使用之水泥系接著劑具有高的接著能力。

### (3) 劣化試驗結果

正常養護的水泥系接著劑其測得的力學性質，分別為抗拉強度  $16.04 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗壓強度  $188.8 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗彎強度  $16.04 \text{ kgf/cm}^2$ ，拉力接著強度  $6.18 \text{ kgf/cm}^2$ ；而置於溫度  $75^\circ\text{C}$ 、相對濕度 50% 之環境進行 168 小時劣化之水泥系接著劑，其力學性質為抗拉強度  $10.63 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗壓強度  $86.13 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗彎強度  $9.22 \text{ kgf/cm}^2$ ，拉力接著強度  $6.15 \text{ kgf/cm}^2$ 。

將兩組試體比較可發現劣化後之試體在抗拉、抗壓與抗彎強度均有所降低，雖然水泥系接著劑力學性能有所降低，但是劣化後的水泥系接著劑強度性質能高於輕質磚強度，尤其在拉力接著方面，劣化前後的接著強度相差不幾。由此可見，採用之水泥系接著劑經本劣化試驗測試後仍具接著能力。

## 2、已組立牆板之性能測試結果

為了解預鑄牆板與砌塊組立後之牆板系統的工程性質，共採用企口磚牆板系統與輕質預鑄牆板系統兩種牆板系統，進行單位重測定與強度試驗(風壓試驗)，其結果如下：

### (1) 單位重試驗

已組立牆板系統的單位重試驗結果如表 4-7，測試結果顯示，由企口磚或預鑄牆板組立而成之輕質磚牆板系統，由於使用密度較高的水泥系接著劑與鍍鋅配件之故，使牆板系統單位重要比單塊磚略高一些，但所佔之比例相當低，牆板系統單位重介於  $900 \text{ kg/m}^3 \sim 990 \text{ kg/m}^3$  之間，仍有低的單位重，而僅為紅磚牆的 50% 或混凝土牆體 40%，使用於外牆或隔間可充分減輕建築物結構的負荷，在受地震威脅的地區成為非常合適的建材。

### (2) 風壓試驗

風壓試驗結果如表 4-8 所示，輕質企口磚牆板系統與輕質預鑄牆板系統在水壓試驗中，每增加  $50 \text{ kgf/m}^2$  壓應力，其中點撓度平均增加量分別為  $0.05 \text{ mm}$  與  $0.45 \text{ mm}$ ，當最大均佈水壓達到  $330$

kgf/m<sup>2</sup>，其撓曲值增加至 0.28 mm與 2.71 mm，加載過程中兩種牆板系統均無裂縫與破壞產生，顯示輕質磚牆板系統可符合建築技術規則第三十三條規則，建築物高度限定為 150 公尺以下，全台灣島內最大風力等級（200 級），風壓力為 300 kgf/m<sup>2</sup>之規定要求。

## 第五節 輕質骨材混凝土砌塊與其他砌塊(磚)性能之比較

本章中收集了其他類型建築用磚的性能，如表 4-9 所示，並與輕質骨材混凝土砌塊之試驗結果進行比較，以評估輕質骨材混凝土砌塊的適用性。

### 1、單位重方面：

輕質骨材混凝土砌塊的單位重介於 830~980 kg/m<sup>3</sup>之間，平均值為 910 kg/m<sup>3</sup>，為擠出成型水泥複合材中空板塊的單位重 1000 kg/m<sup>3</sup>之 91%，PC板 1300 kg/m<sup>3</sup>之 70%，混凝土空心磚或紅磚之 50%，更是僅為 RC牆板之 35%，僅高於ALC磚(高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚)與石膏板之單位重。比較後可發現輕質骨材混凝土砌塊的單位重較現行磚輕許多，能有效減少結構體的靜載重，減少基礎負擔，並有利於搬運及現場安裝，可以縮短工期，加速作業的省力化，進而降低施工成本。

### 2、抗壓強度方面：

輕質骨材混凝土預鑄牆板與企口磚之抗壓強度分別為 70 kgf/cm<sup>2</sup>與 40 kgf/cm<sup>2</sup>，而裝飾混凝土磚為 80 kgf/cm<sup>2</sup>、砂灰磚為 90 kgf/cm<sup>2</sup>、ALC磚與混凝土空心輕質磚抗壓強度要求同為 40 kgf/cm<sup>2</sup>以上，比較結果可知，輕質骨材混凝土預鑄牆板、裝飾混凝土磚及砂灰磚，有相近的抗壓強度，企口磚則與ALC磚及混凝土空心輕質磚強度相近，顯示輕質骨材混凝土砌塊之抗壓強度已可符合普通空心磚強度之基本要求。

### 3、吸水率方面：

輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之吸水率介於 14%~16%，平均約為 15%左右，低於混凝土空心磚 40%、裝飾混凝土磚 20%、紅磚 19%



與擠出成型水泥複合材中空板 18%，與砂灰磚 15% 相似，但高於 RC 牆與石膏板，比較顯示輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊的吸水率雖然不是最低的，但已可符合現行磚吸水率的要求。又因輕質磚的氣孔結構，在大氣濕度高時會吸收空氣中的水分，濕度低空氣乾燥時可緩緩放出水分可調節室內濕度，增加住的舒適性。

## 第六節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊性能檢測方法之建議

本章節之目標乃研訂「輕質骨材混凝土砌塊與預鑄牆板性能之標準檢測方法」，在完成前述的輕質骨材混凝土砌塊及牆板實際測試，並與其他砌塊(磚)性能比較後，提出下列建議。

- 1、輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之應用，須考量安全性、施工便利、性能需求與成本評估等因素，因而必須針對使用前之產品做實際的測試，或供應商提出相關性能之檢測報告，以符合預期之需求。
- 2、本研究提出輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目與方法，經過實際測試，並與傳統磚比較後可知，檢測方法具一定的可靠性與適用性。
- 3、研究中提供之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目已具完整性，未來在應用上，設計者可依實際需要而挑選合適之測試項目，無須執行所有之試驗項目，以節省時效及避免資源之浪費。
- 4、建議將提供之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊的檢測項目與方法，進行國家標準法規之訂定，或是修訂現行國家標準，將輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊等材料測試納入適用範圍，使輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊有統一的標準，以利其推廣與應用。

表 4-1 水密性試驗風壓規定

平均風壓	5	15	25	40	55	75	100	125	160
脈動上限 壓力	8	23	38	60	83	112	150	187	235
脈動下限 壓力	2	7	12	20	27	38	50	63	85

(資料來源：中國國家標準 CNS 8081)

單位：kg/m<sup>2</sup>

表 4-2 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之質量與容積比重

輕質磚 類別	尺寸			重量 (kg)	面密度 (kg/m <sup>2</sup> )		單位重 (kg/m <sup>3</sup> )	
	長(cm)	寬(cm)	厚(cm)					
企口磚	60	42	8.8	18.42	73.1	(73)*	831	(824)
	60	42	8.8	18.08	71.7		815	
	60	42	8.8	18.34	72.8		827	
外牆磚	60	42	12.0	28.67	113.8	(112)	948	(931)
	60	42	12.0	28.41	112.7		939	
	60	42	12.0	27.34	108.5		904	
6cm 預鑄牆板	20	20	6.0	2.36	58.8	(59)	983	(979)
	20	20	6.0	2.30	58.6		958	
	20	20	6.0	2.39	58.5		996	
9cm 預鑄牆板	20	20	9.0	3.55	88.8	(89)	986	(982)
	20	19	9.0	3.38	87.4		988	
	20	19	9.0	3.34	87.9		977	

\*括弧內數據為平均值。

(資料來源：研究試驗資料)

表 4-3 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之吸水率

輕質磚 類別	尺寸 (cm)	30 分鐘 吸水率(%)		24 小時 吸水率(%)	
企口磚	60×42×8.8	12.92	(12.6)*	14.77	(15.0)
		12.18		14.98	
		12.67		15.15	
外牆磚	60×42×12	6.91	(7.3)	15.43	(14.1)
		7.88		12.83	
		7.06		13.94	
6cm 預鑄牆板	20×20×6	13.72	(12.2)	15.59	(14.6)
		11.72		14.43	
		11.30		13.72	
9cm 預鑄牆板	20×20×9	15.14	(13.7)	18.34	(16.5)
	20×19×9	14.43		17.06	
		11.52		14.23	

\*括弧內數據為平均值。

(資料來源：研究試驗資料)

表 4-4 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之抗壓強度

輕質磚類別	尺寸 (cm)	承壓面積 (cm <sup>2</sup> )	最大載重 (kgf)	抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	平均值 (kgf/cm <sup>2</sup> )
企口磚	20×20.5×8.8	20×8.8	7260	41.3	34
	20×20.5×8.8	20×8.8	5620	29.9	
	20×21×8.8	20×8.8	5210	29.6	
外牆磚	25×20×12	25×12	12090	40.3	42
	25×20×12	25×12	13070	43.6	
6cm 預鑄牆板	20×21×6	20×6	6880	57.3	58
	20×21×6	20×6	6850	57.1	
	20×19×6	20×6	7290	60.8	
9cm 預鑄牆板	20×19×9	20×9	12540	69.7	70
	20×20×9	20×9	11830	65.7	
	20×20×9	20×9	13570	75.4	

(資料來源：研究試驗資料)

表 4-5 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之抗彎強度

輕質磚類別	厚度 (cm)	跨度 (cm)	寬度 (cm)	破壞載重 (kgf)	抗彎強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
企口磚	8.8	50	42	609	14.0
	8.8	50	42	480	11.1
	8.8	50	42	373	8.6
	平 均			487.3	11.2
外牆磚	12	50	42	1026	12.7
	12	50	42	1009	12.5
	12	50	42	1069	13.3
	平 均			1034.7	12.8
6cm 預鑄牆板	6	110	60	1770	135.2
	6	110	60	1758	134.3
	6	110	60	1712	130.8
	平 均			1746.7	133.4
9cm 預鑄牆板	9	115	50	3330	141.8
	9	115	50	3672	156.4
	9	115	50	3510	149.5
	平 均			3504.0	149.2
抗彎強度 = $\frac{3PL}{2bd^2}$					

(資料來源：研究試驗資料)

表 4-6 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊透水試驗

	時間	水柱高度 (cm)				水柱降低量 (cm)
企口磚加水 25 cm	5 分鐘	24.9	24.9	25.0	25.0	0.050
	10 分鐘	24.9	24.8	25.0	25.0	0.075
	30 分鐘	24.6	24.6	24.8	24.8	0.300
	1 小時	24.6	24.6	24.7	24.7	0.350
	2 小時	24.5	24.5	24.7	24.6	0.425
	24 小時	23.7	23.7	23.9	23.9	1.200
外牆磚加水 25 cm	5 分鐘	24.8	24.6	24.7	24.6	0.325
	10 分鐘	24.7	24.6	24.6	24.6	0.375
	30 分鐘	24.5	24.4	24.5	24.4	0.550
	1 小時	24.5	24.4	24.5	24.4	0.550
	2 小時	24.4	24.4	24.5	24.4	0.575
	24 小時	24.2	24.0	24.0	24.0	0.950

(資料來源：研究試驗資料)

表 4-7 已組立牆板牆板之單位重測試結果

牆板系統	牆板描述	尺寸 (cm)	重量 (kg)	單位重 (kg/m <sup>3</sup> )
輕質企口磚牆板系統	以四塊厚 8.8 企口磚組立之牆板	120×84×8.8	80.1	903
輕質預鑄牆板系統	以兩片厚 9cm 預鑄板組立之牆板	225×100×9	200.0	988

(資料來源：研究試驗資料)

表 4-8 已組立牆板牆板之風壓試驗結果

水深 (mm)	水壓 (kgf/m <sup>2</sup> )	企口磚牆板系統 (厚度：88 mm)		預鑄牆板系統 (厚度：90 mm)	
		中央撓度 (mm)	試體 狀況	中央撓度 (mm)	試體 狀況
0	0	0	牆板無裂縫或破壞產生。	0	牆板無裂縫或破壞產生。
50	50	0.05		0.52	
100	100	0.09		1.09	
150	150	0.14		1.59	
200	200	0.19		1.80	
250	250	0.23		2.44	
300	300	0.28		2.71	

(資料來源：研究試驗資料)

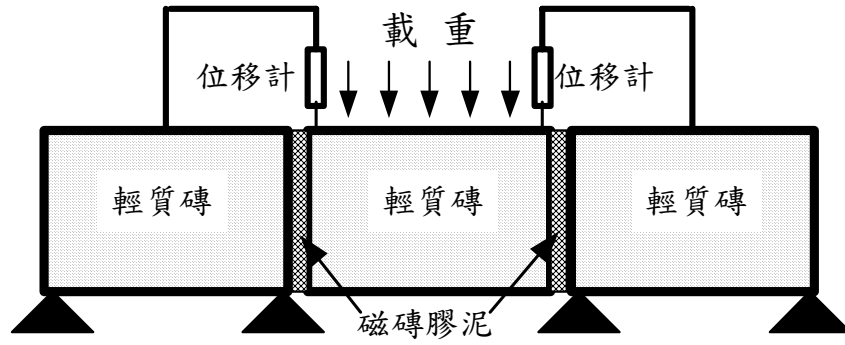
表 4-9 各類磚、板之性能比較

	厚度(cm)	單位重 (kg/m <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	熱傳導係數 (kcal/m.hr.°C)
企口磚	8.8	825	15	35	0.31
外牆磚	12	931	14	40	0.25
預鑄牆板	6、9	980	16.5	70	0.33
ALC 磚	10、15	600	—	40	0.14
擠出成型水泥 複合材中空板	7.5	1000	18	350	—
混凝土空心磚	9、14、19	1700	40	40	—
裝飾混凝土磚	10~19	—	20	80	—
砂灰磚	6~12.5	—	15	90	0.49
石膏板	10	750	3	—	0.38
紅磚	6	1800	19	100	1.38
RC 牆	12 以上	2400	5	210	1.5
PC 板	18 以上	1300	—	290	0.93

(資料來源：研究試驗資料)

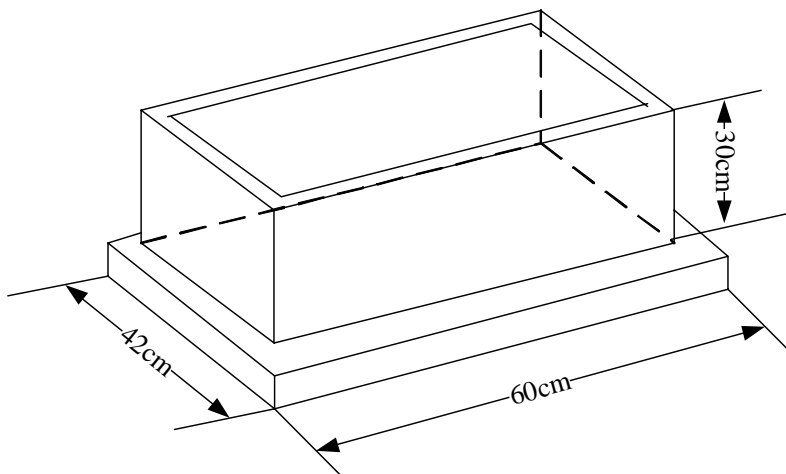


圖 4-1 已組立牆板面內抗剪試驗裝置示意圖



(資料來源：自行設計圖樣)

圖 4-2 透水裝置示意圖



(資料來源：自行設計圖樣)

照片 4-1 厚度 8.8cm 之輕質骨材混凝土預鑄企口磚



(資料來源：自行拍攝)

照片 4-2 厚度 12cm 之輕質骨材混凝土預鑄外牆磚



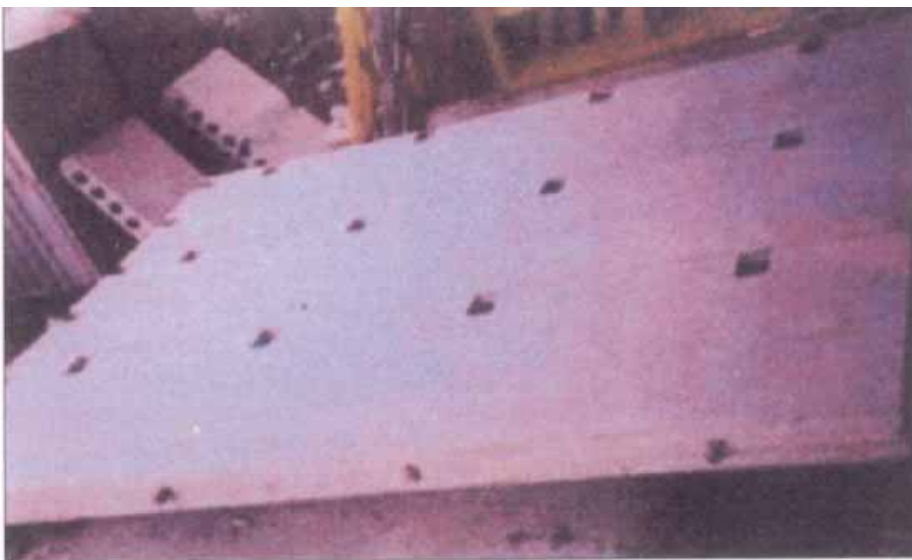
(資料來源：自行拍攝)

照片 4-3 厚度 6cm 之輕質骨材混凝土預鑄牆板



(資料來源：自行拍攝)

照片 4-4 厚度 9cm 之輕質骨材混凝土預鑄牆板



(資料來源：自行拍攝)



## 第五章 輕質骨材混凝土預鑄構件之隔熱與隔音性能

本章將針對預鑄構件隔熱性能進行探討，主要內容包含有建築物隔熱節能之相關法規、預鑄構件熱傳導係數之實測與隔熱性能評估，各研究課題與試驗，安排於本章之各小節進行分析討論。

### 第一節 國內建築物隔熱節能之相關法規

台灣在建築物隔熱節能的研究，始於民國 69 年由內政部委託中華民國建築學會及大專院校如東海、成大等，分別就台灣地區建築物之外殼總傳熱值(OTTV)及屋頂熱傳透率做調查。內政部於民國 75 年 4 月將各委託研究整理為「建築節約能源規則暨解說(草案)」，爾後工業技術研究院能源與礦業研究所受經濟部委託亦針對 OTTV 作更深入研究其耗能及經濟分析等工作，民國 80 年由內政部建築研究所籌備處，開始轉而進行類似日本建築外週之熱負載係數方向研究，而於民國 84 年由內政部營建署出版建築節能法規，即是以建築外殼耗能量(ENVLOAD 值)為基準之節能法規。[46-50]

目前建築技術規則中建築物節能相關之法規包含有，第二章第八節日照、採光、通風；增列節約能源之第四十五條之四、第四十五條之五、第四十五條之六，及第四十五條之七等條文來規範將空調建築類型建築物，其建築外殼耗能量之最高基準值(ENVLOAD)以及其他類型建築之外牆及屋頂平均熱傳透率之最高基準值  $U_{aw}$ 、 $U_{ar}$  等等，並明文規定各建築案件在申請建造執照之時，須通過其最高基準值之計標及審核，始能核發建造執照。[50]

此法規是依辦公類、百貨商場類、旅館類、醫院類、住宿類與其它類等，分別訂立不同指標與基準。而基準又依照建築物之空調模式及節能指標來概分為(1)空調型建築，(2)住宿類建築，以及(3)其他類建築等三個標準。其中，住宿類建築採用簡易表達「遮陽性能」的「等價開窗率  $Req$ 」，

以及代表外殼「隔熱性能」的屋頂與外牆之平均熱傳透率  $U_{ar}$ 、 $U_{aw}$  來規範建築物耗能情形，使設計者有效地調整外殼設計以符合節能上的需求。

建築物之隔熱性能，主要考量於外殼平均熱傳透率的大小，而平均熱傳透率  $U_{ar}$ 、 $U_{aw}$  與 ENVLOAD 值之計算，亦需要輸入建築材料的熱傳導性等參數。因此，建築外殼（如內外牆、屋頂等）所採用之建材隔熱特性，已成為建築物隔熱性能主要之設計因子。本計畫則針對輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊進行隔熱性能之測試與評估，提供實際的熱傳導係數，以利於建築物隔熱節能的計算與分析。

## 第二節 熱傳導係數之量測方法

建材之熱傳導係數可直接評估其隔熱效益的指標，熱傳導係數越高則越不利於建築物之隔熱節能，而熱傳導係數之量測方法眾多，其量測方法的類別與熱傳導係數試驗則簡述於本章節之中。

### 1、熱傳導係數量測方法的類別

#### (1) 依試體加熱形式區分

有間接加熱法和直接加熱法兩大類。不同的加熱方法即具有特有的邊界條件和初始條件；從外部將試體間接加熱而得溫度分佈的方法稱為間接加熱法；對於有電傳導性的固體試體，直接通電加熱的方法稱為直接加熱法。直接加熱法可快速量測高溫域的熱傳導係數。

#### (2) 依導熱過程的巨觀機理區分

有穩態法和非穩態法兩類。穩態法是指待測試體上的溫度分佈達到穩定後進行量測實驗，利用穩態的傳導微分方程分析，直接測得熱傳導係數。此法的特點為實驗公式；實驗時間長；需測量熱流量（直接或間接）和若干點的溫度。非穩態法是指待測試體的溫度在實驗量測時隨時間變化，利用不穩定（或稱為暫態）熱傳導微分方程分析，通常只能測得溫度變化，間接推算熱傳導係數。此法的

特點是實驗公式常不如穩態法簡單且直接；實驗的時間較短；需要量測試體上若干點的溫度隨時間變化情形；一般不需測量熱流量。

(3) 依試體上傳導熱流的流向區分

在圓柱試體按熱流是沿軸向或徑向，就區分為軸向熱流法和徑向熱流法。

(4) 依試體的形狀區分

有平板法、圓柱（圓筒）法、圓球法、同心圓球法、矩形桿狀法等。

(5) 依量測熱流量方式區分

在穩態法中直接量測熱流量者稱為絕對法；若量測通過參考樣品的溫度梯度間接推定熱流量者稱為比較法。

(6) 依熱流與時間的函數關係區分

在非穩態法的類別範圍內，依加熱的過程有週期加熱法、階段狀加熱法（stepwise heating method）、脈衝加熱法（pulse wise heating method）、任意加熱法等。

## 2、熱傳導係數試驗

熱傳導係數試驗是依照 CNS 7332 之規範所施作，其試驗方法與計算敘述如下：

(1) 儀器裝設：

A 將兩面塑膠墊片(SILTICONE SHEAT 0.5m/m THICKNESS)之中心位置貼妥錫箔紙熱量感應器(THERMOCOUPLECTYPE)。

B 設定高溫及低溫熱源循環水箱，利用訊號線接至訊號放大器(M1-010H-2)上。本次試驗高溫熱源(HOT SIDE HEAT SCORE)設定為 80°C，低溫熱源系統(COLD SIDE HEAD SCORE)設定為 50°C。

- C 將溫度控制水箱(CONNECTION OF THERMOCOUPLE)和自動紀錄器(RECORDE)連接。
- D 將熱傳導測儀溫箱中之熱統計(HEAT FLOW METER)與自動紀錄器連接。
- E 熱傳導測儀之各部配線參照圖 5-1。

(2) 試驗步驟：

- A 將欲測試之試體 (200×200×80mm)，置於烘箱 24 小時使達完全烘乾狀態，待其回至室溫，量取熱傳導試片厚度，放入熱傳導儀溫箱中 (如照片 5-1)。
- B 將高溫及低溫熱循環水箱開機 (如圖 5-1)。
- C 開啟訊號放大器。
- D 將訊號放大器之 range 設定為 5mv。
- E 靜待 10 分鐘後調整使 channel 2 和 5 紀錄於 2.0mv 位置。
- F 再經 5 分鐘開啟訊號放大器上之 INPUT 1，INPUT 2 開關，並將 AVE 切於 ON 位置。
- G 待整個系統溫度穩定達平衡溫度時，打開紀錄器，量取測值。
- H 將所測資料，經由電腦分析處理，以求得熱傳導係數，單位為 kcal/m-hr-°C。

(3) 熱傳導係數之推算

根據上述試驗步驟，可自記錄器中得到 4 個數據分別為：

- A 記錄熱傳導試片下緣所感應之熱能，即  $E1mv \dots \theta_1^{\circ}C$  (根據 JIS C1602-1981)
- B 記錄熱傳導試片上緣所感應之熱能，即  $E2mv \dots \theta_2^{\circ}C$  (根據 JIS C1602-1981)。
- C 頂層高溫熱循環系統溫度，即  $E3mv^* \dots E3/K1 = Q_1 (Kcal/m^{2h})$ 。
- D 底層低溫熱循環系統溫度，即  $E4mv^* \dots E4/K2 = Q_2 (Kcal/m^{2h})$ 。
- E 將上述資料帶入式 5-1 中運算，即可推求熱傳導係數



$$k(\text{kcal}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr})$$

$$k = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \times \frac{T}{\theta_1 - \theta_2} \quad (5-1)$$

式中 T 為熱傳導試片的厚度以 m 為單位。

### 第三節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之隔熱性評估

#### 1、輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數試驗結果

本研究共採用企口磚、外牆磚與預鑄牆板進行熱傳導係數之量測，為了因應熱傳導係數測試箱之大小，將輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊裁切為 20x20cm 之大小，而厚度則依原輕質磚的尺寸。

輕質骨材混凝土企口磚與 6cm 預鑄牆板三個試體的平均熱傳導係數分別為 0.3110 kcal/m.hr.°C 與 0.3331 kcal/m.hr.°C，而外牆磚則因切割位置不同，而有不一樣的試驗結果，如表 5-1 所示，當切割之輕質磚，其孔隙部分減少時，熱傳導係數由 0.1189 kcal/m.hr.°C 提高至 0.2504 kcal/m.hr.°C，略微增加輕質磚之導熱率，顯示增加輕質磚孔隙含量則有助於隔熱效益的提升。整體而言，輕質混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數僅為一般混凝土熱傳導係數(1.5 kcal/m.hr.°C)的 8%~22%。由此可知，輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之開孔率越高、熱傳導係數越低，相對地隔熱性就越高，若將輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊取代傳統之混凝土磚牆，可大幅增強牆板的熱阻能力，使建築物擁有良好之隔熱功效。

#### 2、與其他現行磚類熱傳導係數之比較

輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊測得之熱傳導係數約在 0.25 kcal/m.hr.°C ~ 0.33 kcal/m.hr.°C 之間，與其他現行磚類作隔熱性能之比較，砂灰磚其熱傳導係數為 0.488 kcal/m.hr.°C，較厚度 8.8 cm 輕質企口磚高約 1.6 倍，而較厚度 12 cm 加磁磚之外牆磚高約 2 倍；高壓蒸氣

養護輕質氣泡混凝土磚其熱傳導係數為  $0.136 \text{ kcal/m.hr.}^{\circ}\text{C}$ ，為企口磚的 45% 左右，而為外牆磚的 55% 左右；中空石膏板塊其熱傳導係數為  $0.38 \text{ kcal/m.hr.}^{\circ}\text{C}$ ，較企口磚高 1.25 倍，而較外牆磚高約 1.5 倍，比較結果發現輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊其熱傳導係數較現行磚類為低，顯示蜂巢狀結構之輕質磚，內部佈滿氣孔，可有效隔絕熱的傳遞，擁有良好隔熱性能，並降低建築物的能源消耗。

根據熱傳導係數之實測結果與其他磚類之比較可知，輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數均小於  $0.35 \text{ kcal/m.hr.}^{\circ}\text{C}$ ，且具穩定性，並小於現行磚類之標準值，擁有極佳之隔熱能力，可用於隔熱需求之隔間牆建材。

#### 第四節 輕質骨材混凝土牆隔音性之測試與評估

本研究針對輕質骨材混凝土預鑄砌塊組立完成後之牆板，依 CNS 規範進行牆板隔音性能指標的測試與分析。其中測試所需之儀器設備、量測方法、以及隔音等級評估結果等簡述於本章節中。

##### 1、 隔音測試設備與試體安裝

輕質骨材混凝土牆隔音性能乃測試於內政部建築研究所之音響實驗館 R4/R5 雙餘響室。R4 及 R5 試驗室分別為音源室及受音室兩間餘響室，容積分別為  $220\text{m}^3$  及  $250\text{m}^3$ ，主要依據音壓法來測試牆板系統等介面材料之隔音值，其中包括牆、門及窗之隔音等級，可量測之頻寬範圍為  $100\sim 5000\text{Hz}$ 。R4/R5 餘響室建置之音響儀器包含有：

- (1) 1/2" 隨機音場電容式麥克風：10 組(音源室 5 組，接收室 5 組)。
- (2) 麥克風前置放大器與延長線：10 組(音源室、接收室各 5 組)。
- (3) 麥克風夾持器及其安裝三角架：10 組。
- (4) 麥克風校正器、全頻帶音源及其功率放大器：1 組(音源室用)。
- (5) 十訊道資料收集器含訊號產生器：1 組。
- (6) 穿透損失訊號分析處理軟體：1 組。

R4/R5 雙餘響室之開口大小為  $3.0\text{m} \times 4.0\text{m}$ ，開口面積為  $12.0\text{m}^2$ ，試體安

裝乃採用大小 2.2\*5\*0.9m之中空輕質骨材混凝土預鑄砌塊，以現場疊砌方式填滿於隔音用鋼製框架之中，組立完成厚度 9cm、面密度 89kg/m<sup>2</sup>之輕質混凝土單一均質隔音磚牆，並用電動滑槽將含牆體之鋼架推至雙餘響室開口處，用隔音棉填塞鋼架空隙，使R4/R5 分隔成兩個密閉空間，隨後安置音源器與接收麥克風並連接至接收器與電腦，即完成隔音測試之試體安裝。

## 2、 隔音性能指標之測試方法

本研究乃採用 CNS 規範之 D 基準曲線評定輕質骨材混凝土牆之隔音等級，即 D 值越大則隔音性能越高。量測之方法則依照 CNS 8466 「聲音透過損失之實驗室測定法」進行施作，其測定方法與計算如下。

### (1) 平均音壓級之測定

- A. 測定中心頻率：125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000Hz 等 16 個頻率。
- B. 測讀音壓級時，在各個微音器位置之各級輸入音源與未輸入音源指示差，先確定在 10dB 以上，音源輸入時應有充分之時間以便利觀測指示計器之指針振幅，振幅之中心值需讀至 1dB 單位。至於使用記錄器時亦以此為準。
- C. 平均音壓級是將各餘響室各測定得出音壓各測定頻率，依下列公式計算：

$$L = 10 \log \frac{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + \dots + P_n^2}{nP_0^2} \quad (5-2)$$

其中，L：平均音壓級(dB)，P<sub>0</sub>：基準音壓(0.0002 μ bar)

P<sub>1</sub>~P<sub>n</sub>：餘響室內n個微音器各自測得音壓之時效值

- (2) 受音用餘響室之吸音力測定：餘響時間測定原則上依 CNS 9056 「餘響室法吸音率測定法」之規定進行測定，其計算公式如 5-3。

$$A = \frac{55.3}{C} \times V \times \frac{1}{T} \quad (5-3)$$

其中，A：受音室吸音力(m<sup>2</sup>)

T：受音室之餘響時間(sec)，V：受音室之容積(m<sup>3</sup>)

C：空氣中之音速(m/s)；C=331.5+0.61t，(t：空氣溫度℃)

- (3) 聲音透過損失之計算：試樣之聲音透過損失，係測定音源用餘響室與受音用餘響室各自之平均音壓級，並測定受音用餘響室之吸音力，依下列公式 5-4 計算。至於透過損失之計算值只計算至整數位。

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} = D + 10 \log \frac{S}{A} \quad (5-4)$$

其中，TL：傳透損失(dB)，S：試樣面積(m<sup>2</sup>)，A：受音室吸音力(m<sup>2</sup>)。

L<sub>1</sub>：音源室之平均音壓級(dB)，L<sub>2</sub>：受音室之平均音壓級(dB)。

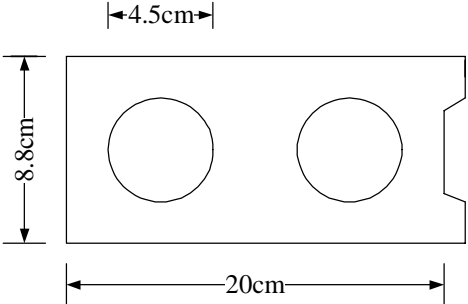
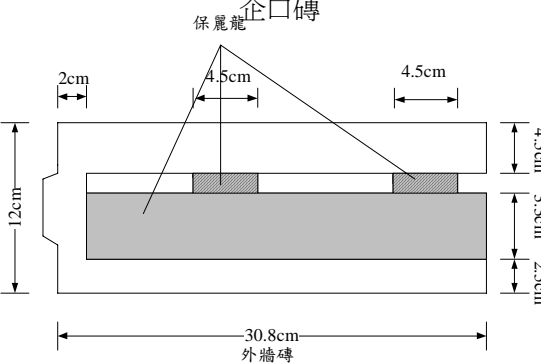
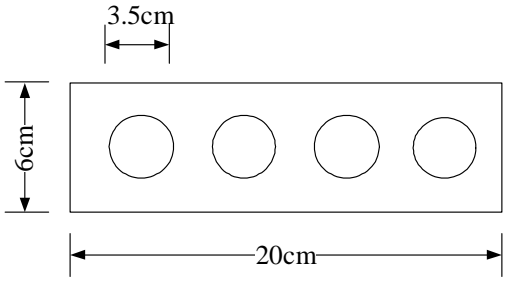
D：兩室間平均音壓級差(dB)，即D=L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub>。

### 3、測試結果與隔音性評估

依上述之試體安裝、測試方法與公式計算，可測得厚度 9cm、面密度 89kg/m<sup>2</sup>輕質骨材混凝土牆各中心頻率的聲音傳透損失，並依照CNS 8465「建築物隔音等級」之分類，該牆板之隔音性為第五號，隔音等級為D-35，若依ASTM評估標準之STC評估曲線系統，該牆板之隔音等級則為STC-38，與生活實感之調查比較，對應之結果為很容易聽到鄰房鋼琴聲等較大的聲音，以及對於鄰房之收音機、電視機與談話聲音偶爾可以聽得到，若參考日本建築學會推薦之建築物牆板隔音性能基準，輕質混凝土隔音等級可符合旅館客房、一般辦公室、學校普通教室與醫院病房最低適用等級之要求。

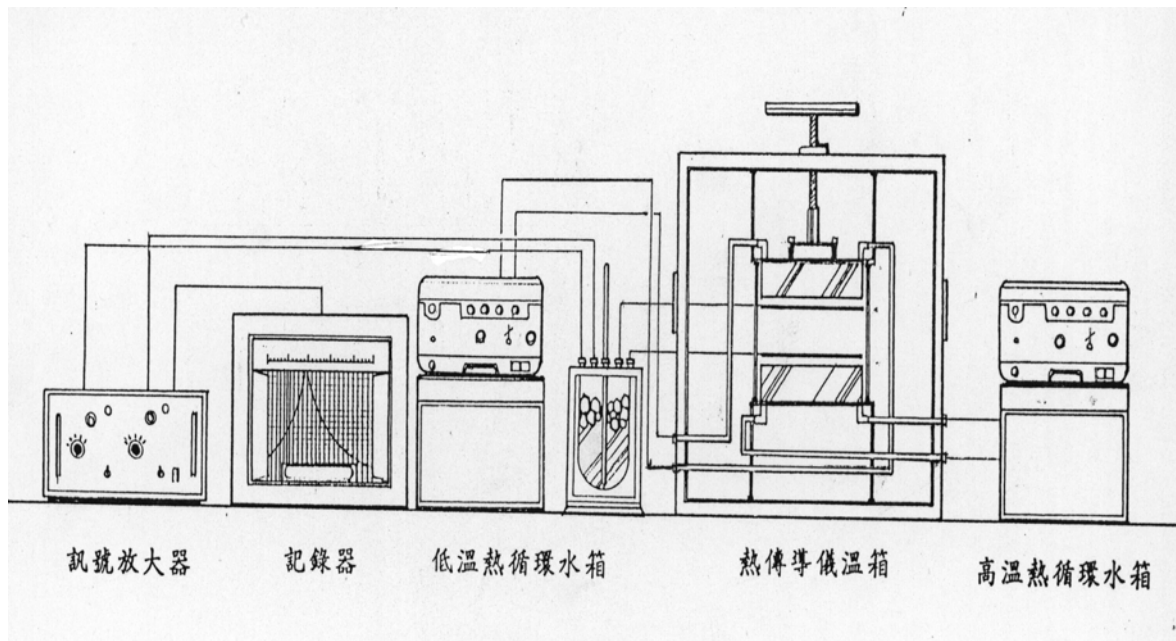
現行技術規則防音編中材料與構造隔音性能對厚度 10cm、面密度 120kg/m<sup>2</sup>輕質混凝土之隔音等級為D-35，厚度 10cm、面密度 240kg/m<sup>2</sup>鋼筋混凝土之隔音等級為D-45，厚度 10cm、面密度 240kg/m<sup>2</sup>石造牆之隔音等級為D-30。由規範防音等級與測試結果比較可知，本研究採用厚度 9cm、面密度 89kg/m<sup>2</sup>之輕質骨材混凝土單一均質牆，隔音等級不但可符合技術規範值，而且有更低的面密度與更薄的牆厚，將更有利於輕質混凝土的施工便利性、耐震性以及空間使用性。若與其他類的建築材料比較，雖然輕質混凝土牆之隔音等級要劣於鋼筋混凝土及紅磚牆，但其面密度僅約為RC牆體的 1/3，有很高的質輕優勢；亦可考慮增加牆板的厚度或採用「中空二重壁工法」等方式來提升輕質混凝土之隔音性能。

表 5-1 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數

輕質磚 類別	剖面圖	熱傳導係數 (kcal/m.hr.°C)	
企口磚		0.3042	(0.3110)
		0.2889	
		0.3401	
外牆磚		0.2220	(0.2504)
	0.2788		
6cm 預鑄牆板		0.3026	(0.3331)
		0.3386	
		0.3481	

(資料來源：自行設計圖樣)

圖 5-1 熱傳導測儀之各部配線



(資料來源：自行設計圖樣)

照片 5-1 熱傳導試驗之試體裝置



(資料來源：自行拍攝)

## 第六章 輕質骨材混凝土預鑄構件之工法與施工要領

### 第一節 輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之工法簡介

#### 1、輕質骨材混凝土預鑄牆板之工法

輕質骨材混凝土預鑄預鑄牆板可採用乾式預鑄工法，係以混凝土預鑄牆板配以鐵片、螺栓等配件來進行牆體之組裝，預鑄牆板之工法如圖 6-1 與圖 6-2 所示。而該工法簡易省時、不污染環境，在搬運及現場安裝時可使用自動機器配合，快速施工，縮短工期，節省工地管理費用，降低工程成本。其適用範圍廣泛，包括大樓外牆、內牆、隔間版及樓版、蓋版等。

#### 2、輕質骨材混凝土砌塊之工法

輕質骨材混凝土砌塊工法主要為單元砌築的施工方式（即磚之疊砌），常用的磚牆基本砌法有五種，如圖 6-3 所示。順砌法（running bond），又稱半砌法，是系列的橫磚砌法，適用於空心牆及半磚的牆結構上；順砌法常需另加金屬繫條以穩定牆身。通用砌法（common bond）是順砌法配合每五或六層鋪砌一層丁磚，用以增加結構強度。法蘭式砌法（Flemish bond）為各層都用丁磚及順磚輪流疊砌，丁磚對正下層的順磚和接縫中央，所砌丁磚可為半長丁磚或半磚的暗丁磚。英式砌法（English bond）是一層順磚一層丁磚輪流疊砌，丁磚對正下層的順磚中央。英式交叉砌法（English cross bond），又稱為荷式砌法（Dutch bond），為每層皆由順磚與丁磚輪流疊砌，但是每兩塊順磚之間鋪入一個丁磚。對於較長的磚，如諾曼磚，則可用三分之一砌法。

輕質骨材混凝土砌塊（企口磚）應用於隔間牆之工法，主要採用順砌法，如圖 6-4 與圖 6-5 所示，圖中包含有磚與磚之間的連接工法，磚與地板、樓版、柱子等結構體間之連接工法、過梁時之施作工法、牆體低層防水工

法、錨固設置等工法。

## 第二節 輕質骨材混凝土預鑄砌塊之施工技術要領

周詳的施工要領是順利推動工程的重要工作，輕質骨材混凝土隔間牆工程的施工要領亦然，而輕質骨材混凝土砌塊之工法又相似於 ALC 磚牆工法，因此本章則參考蔡博維先生之「ALC 磚工程實務須知」[55]、李政憲先生之「複合化工法開發之研究」[56]及姚仁祿先生之「建築物內部隔間牆乾式施工法之推動」[57]等之文獻，進行輕質骨材混凝土隔間牆施工要領之闡明，使相關業者對輕質骨材混凝土砌塊的施作能有一深入的瞭解，以供業界參考。

### 1、放樣階段

#### ■施工要點:

#### (1)地坪隔間牆放樣

依建築設計圖及現場基準線繪製各層平面放樣圖，經甲方工程師核可確認後，於現場利用基準線，依隔間牆施工圖於地坪彈線放樣，經現場工程師查對認可後方可進行砌磚施工。

#### (2)高程放樣

地坪高程會因施工不良或因須考慮洩水坡度而有落差，因此，施工前必須先經主辦工程師校核以決定地坪之基準高程。

#### ■應注意事項:

- (1)放樣時，對於 X、Y 向放樣線是否相互垂直應詳加檢核。
- (2)除結構體採清水模外，因輕隔間牆係於結構體粉刷前施工，故放樣時須預留結構體梁、柱及牆的粉刷厚度(約 1.5~2cm)。
- (3)放樣時須注意隔間牆施工圖與現場尺寸是否符合，尤其須注意：
  - A. 地板之牆線、結節體之牆面與天花板之梁線是否在同一垂直面上。
  - B. 結節體本身是否有嚴重的凹凸或敗模等現象。若誤差情形嚴重時，應於調整原則擬定後，再予以放樣。



## 2、材料搬入階段一吊運、堆置計劃

### ■施工要點：

(1)應先作好進場計劃、吊運計劃及場地堆置計劃。

#### A. 進場卸貨計劃：

- 每次進場時間之確認
- 預計每次進場之數量

輕質骨材混凝土砌塊每次進場之數量須考慮以下諸因素：

- 預計施工之總數量。
- 預定之施工進度。
- 進場數量係以「貨櫃」為單位，每貨櫃之量約 230~250m<sup>2</sup>。
- 工地所能容納之堆置場地。

- 貨櫃車停放位置
- 卸貨區位置及範圍之規劃
- 卸貨機具(堆高機)及其數量

#### B. 堆置計劃：

- 考慮工地現場既有之條件，評估可堆置之區域
- 配合未來吊運位置及吊運方式劃定堆置區
- 根據進場數量劃定貯存範圍

#### C. 吊運計劃：

- 垂直吊運
  - 決定吊運位置及吊運方式
  - 塔式吊車、施工電梯、捲揚機
- 水平搬運
  - 根據各區之施工順序規劃水平搬運動線

(2)材料進場時品質及數量的驗收須確實。

### ■應注意事項：

(1)對準備進場之材料(輕質骨材混凝土砌塊、固定鐵件、黏著劑、披土材…等)，應先查驗其廠牌、規格尺寸，材料等是否與合約相符。

(2)輕質骨材混凝土砌塊之進場，是以貨櫃車或平板拖車拖運至施工現

場，一部車輛可進出之地點為主；因此施工現場應注意儲放地點的配合及周邊環境之交通狀況。

- (3) 輕質骨材混凝土砌塊之吊運視現場環境而定，若場地允許可利用塔吊或大型施工電梯運至各樓層後，再行拆裝；否則，須先於卸貨區拆裝，再利用施工電梯或小型捲揚機吊運。
- (4) 輕質骨材混凝土砌塊及其他材料進場後，應依照場地堆置計劃儲放。磚之儲放地點應儘量設置於室內或乾燥不受雨淋之處，同時應避免任意拆開輕質骨材混凝土砌塊之包裝，以防止磚受潮而影響施工。
- (5) 因輕質骨材混凝土砌塊質脆易破損，所以拆卸貨櫃時必須謹慎並小心堆放管理，以減少輕質骨材混凝土砌塊之損耗，同時亦可提昇爾後施工之品質。

### 3、第一層磚(底層磚)之施工

#### ■施工要點:

- (1) 先攪拌 1：4~1：6 之水泥砂漿或黏著劑，供砌第一層磚使用，並藉以調整第一層砌塊之水平高程及垂直。另將水及輕質磚黏著劑於攪拌桶內攪拌均勻，其濃度須確實依照使用說明書之配比。
- (2) 將地坪用水澆濕，沖洗乾淨，並確認地坪之高低誤差，以決定底層磚之水平高程及垂直位置。
- (3) 依地坪之隔間放樣墨線，於磚牆內面或外面拉水平或垂直基準水線，並依隔間牆之長度決定磚塊數量及切割計劃
- (4) 依隔間牆之墨線位置，將水泥砂漿澆注於地坪，開始砌第一層磚。
- (5) 第一層磚之施工應從每道牆之兩端開始，逐一向中間施工，兩端之磚塊調整完成後，可於上端拉一條基準水線，再繼續鄰磚之施工，以確保各磚間之水平(兩端之輔磚極為重要，將影響整面磚牆之精度)；如有四個角落，則應從四角落之兩邊砌起，逐一向中間施工。
- (6) 砌底層磚時，應配合地坪管線位置，留設溝槽。

#### ■應注意事項

- (1) 砌第一層磚前，應先將地坪用水澆濕並沖洗乾淨。
- (2) 相鄰接之磚牆，每層皆須保持相同之水平，因此，第一層磚之水平高程極為重要。
- (3) 為確保磚牆之精度，每塊磚均需精確校正。如需切割磚塊時，應力求垂直平整，以確保磚塊間之密合度。
- (4) 黏著劑的使用須正確：
  - A. 黏著劑之成分及比例應按廠商規定正確使用，並以攪拌器充分攪拌 (5~10min)。
  - B. 攪拌後之黏著劑會有硬化時間的限制(約 1~4hr，隨黏著劑種類、廠牌、天候而不同)，因此，施工時須推估施工量再行攪拌，且攪拌後須在可使用時間內用畢。
  - C. 每塊磚之側面，應使用與磚厚度同寬之刮勺，將黏著劑均勻塗抹於表面，黏著劑必須滿漿於磚表面，不得有空隙，並使用橡膠槌敲擊側面，使其與鄰接之磚密合。
  - D. 施工時，溢出磚牆之黏著劑或水泥砂漿，應立即刮除，以免乾燥後刮除困難並影響牆面精度。
  - E. 磚塊一旦黏著完成，應避免再易移動、震動或撞擊，而影響黏著劑之密合強度。
  - F. 自樓地板預留之設備管線應避免預留太高，儘量保持在一層磚以下，以增加現場組砌之工作性。

#### 4、第二層磚以上之施工

##### ■ 施工要點:

- (1) 待底部之砂漿乾固後，可繼續第三層磚之施工。砌磚前，應先將下層磚之表面以毛刷清理乾淨，並以磨砂板磨凹凸之處，以免影響上層砌磚之精度。
- (2) 將拌合完成之黏著劑以刮勺均勻地塗佈於下層磚表面，開始砌築上層磚，每塊磚之側面亦應塗佈黏著劑，並使用橡膠槌輕敲側面，使其與鄰接之磚密合；砌每塊磚時，均須以水平尺及橡膠槌校正水平

垂直位置。

- (3) 砌磚採交丁順砌方式施工，上下層磚位應力求工整，上下層磚之側面間距不得小於 15cm。
- (4) 磚牆轉角相接處亦須以交丁方式砌築。
- (5) 磚牆與結構體或門窗框接合時，應以固定鐵件加以固定，其原則詳「與結構體間之固定方式與填縫處理」及「與門窗框間之固定處理」。
- (6) 砌磚完成後，須以砂磨板磨平磚牆表面，使磚牆之表面更加平整。

■應注意事項：

- (1) 俟第一層磚組砌完成後，需待其底層之水泥砂漿乾固，再行第二層施工。
- (2) 建議有日先施作第一層磚，隔日再砌第二層及以上之部份。
- (3) 砌第二層磚前，應先將下層磚之上部表面清理乾淨，若有凹凸不平之處，以粗砂板磨平，以免影響上層砌磚之精度。
- (4) 輕質骨材混凝土砌塊牆與一般磚牆一樣有其最大高度與最大長度之限制，若超過規定，應予以補強。
- (5) 原則上，若磚牆之長度與高度係於規定範圍內，則第二層以上可一次砌至頂，不受第一層施工之限制。
- (6) 採用輕質骨材混凝土砌塊時，為因應層間變位等諸因素所造成的破壞，尤其是運用於中高層以上之建築時，應考慮於結構體與磚牆間留設伸縮縫。

## 5、與門窗框間之固定處理

輕質骨材混凝土砌塊與門窗框之固定方式，除了視框之材料而有所不同外，亦須注意門窗框係採先立式或後立式，兩者在接裝程序與方式上有極大的不同。

■木門(窗)之安裝固定

- (1) 木門(窗)框之安裝一般係採先固定方式。
- (2) 木門門框若採一體式，應選擇背面刨挖寬度 10.5cm，深度 0.5~1cm 凹槽之門框，以增加磚與門框之密合度。

(3) 門框若採線板收邊的方式，則門框的寬度會因施作的順序而有差異：

- A. 先披土再打線板的力式一須考慮披土或裝修材的厚度。
- B. 先釘線板再披土的方式一門框寬度與輕質骨材混凝土砌塊厚度相同。

(4) 木門(窗)之固定方式主要有兩種：

- A. 門框若採先立式則其固定方式係藉由不銹鋼或鍍鋅之 L 型錨件將門窗框固定於磚牆上。
- B. 門框若採後立式則其固定方式係藉由膨脹螺栓將門窗框固定於磚牆上。

#### ■ 塑鋼門及鋁窗之安裝固定

- (1) 塑鋼門及鋁窗之安裝固定原則上係採後固定方式，亦即於砌磚前須先預留門窗位置。
- (2) 安裝時應先將固定鐵件固定於牆面後，再以砂漿填補縫隙，亦可使用 PU 發泡劑灌注於周圍之接縫。

#### ■ 大型門(如子母門等)之安裝固定

- (1) 須採先固定方式。
- (2) 為防止門扇開關回覆力量太大而產生軸裂，安裝時應將門框上下級部份直接固定於結構體上，使受力支撐點直接固定於結構體上，以增加其穩固性。另外，門框四周亦應預留 0.5cm 寬之伸縮縫，最後再以填縫劑填充表面之接合縫。

### 6、與結構體間之固定方式與接縫處理

#### ■ 固定方式

因結構體之變位而造成：

- (1) 結構體或門窗框等與磚牆接縫之龜裂
- (2) 磚與磚間接縫之龜裂
- (3) 磚本身之破損、龜裂

為避免或減低以上所列之問題，必須針對各種產生原因加以處理，伸縮縫(expansion joint)的留設即是最重要的方法之一，其目的在於利用

伸縮縫的留設使磚牆與結構體分離，以避免因結構體之變位而擠壓磚牆，而這些問題在中、高層建築尤其值得注意。

以留設的位置主要可分為側面之垂直伸縮縫(與 RC 牆、柱相接處)以及上端之水平伸縮縫(與 RC 梁或版底相接之處)兩種。

#### (1)側面伸縮縫與其固定方式

側面所留設之伸縮縫主要係為了因應結構體層間變位而產生面內方向的擠壓應力，導致磚牆與結構體間之接縫龜裂，甚至造成磚與磚間之勾縫產生一連串的 L 形裂痕等問題。基本上，側面所留設之縫寬視該建築物之層間變位量而定，但一般為考慮施工方便性。建議可留設約 0.6~1.5cm 的寬度。

另外，為了增加牆身面外力向之強度，必須於磚牆與結構體間設置 L 型鐵件，目前本地業界使用許多似是而非的鐵件，也是導致問題叢生的主因之一。各種來自非地震帶國家的鐵件實際上並不適合於本地，而本地在選用 L 型鐵件時必須注意幾項基本原則：

- A. L 型鐵件轉角之剛度不宜太大，以期能吸收面內力向的擠壓變形。
- B. 鐵件之厚度、寬度及直角兩側之長度不宜太小，才足以承受面外力向的撞擊力。
- C. 鐵件須以鋼釘固定於結構體上，但輕質骨材混凝土砌塊上不宜以長釘固定，建議該側可作成浪板狀或加以開槽，再以黏著劑固定即可，否則，當擠壓應力產生時，極易使應力傳遞至釘子本身，造成釘孔的撕裂應力，而導致輕質骨材混凝土砌塊的破損。
- D. 須採用不銹鋼或鍍鋅鐵件，以防銹蝕或產生銹水。

#### (2)上端之水平伸縮縫

牆身上端所留設之伸縮縫是為因應結構體產生傾角變位以及梁之彎曲沉陷而擠壓牆身，導致磚之破損。一般，建議留設之寬度約為 1~3cm。

### ■伸縮縫之填縫方式

伸縮縫處絕對禁止以砂漿填實，否則即失去彈性伸縮的作用。以下提

出幾種填縫方式以供參考：

- (1) 僅以 PU 棒填充於縫之兩側，但隔音效果差。
- (2) 以 PU 發泡劑填充，隔音效果稍佳，但需注意耐久性問題。
- (3) 內填 PU 發泡劑，兩側再填以 PU 填縫劑，隔音效果佳，但價格高昂，且填縫劑表面不易披土，僅適合貼壁紙。

## 7、與設備管線之配合施工

■ 施工要點及應注意事項：

- (1) 隔間牆放樣完成後，應檢視樓板面或天花板下預留之管線位置是否正確，否則，應於組砌前予以調整。
- (2) 砌磚前管道間、豎管，水平吊管應先配管完成。
- (3) 砌磚牆時應配合地坪所預留之管線位置，留設溝槽，埋入管線之外緣與磚牆表面應至少保持 1.0~1.5cm 之淨距。
- (4) 磚牆組砌完成後，至少應間隔 24 小時，俟黏著劑及砂漿完全乾固後，再進行設備管線之開槽。
- (5) 水門配管時，不可使用傳統紅磚打鑿用之電動挖鑿機或尖銳鑿刀直接打鑿挖溝。為方便施工，建議採用雙刀式裁切機，除可有效控制欲開鑿之寬度與深度外，有些裁切機上亦裝有吸塵裝置，可減低粉塵污染的現象。
- (6) 電源配電箱及消防設施安裝時，因體積太大，必須鑿穿牆面安裝，所以填補時必須考量結構因素加強鋪設鐵絲網於背面補強，並適時考量是否會影響磚牆之結構強度。
- (7) 砌磚與配管完成後，所有管線溝槽及空隙以輕質骨材混凝土砌塊之填補材或 1：4 水泥砂漿填補，填補應力求密實且應較牆面微凹。
- (8) 填補後之管線槽溝，建議應先鋪設纖維網後再行披土，以減少日後不同材料間因熱膨脹係數不同而產生龜裂。
- (9) 雙衛浴格局之隔間牆，由於水電管路過於密集，建議採用雙層牆設計之。

## 8、牆面之修飾處理(披土處理)

輕質骨材混凝土砌塊組砌完成後，再經磨砂整平，便可直接於表面黏貼壁紙或磁磚，若欲粉刷油漆則僅於表面披土即可。然而，因披土材的優劣攸關品質甚巨，絕不可等閒視之。值得業界注意的是。

#### ■ 施工要點及應注意事項

##### (1) 使用前對於該廠牌披土材之性質應充分瞭解

- 可使用時間
- 完全凝固時間
- 與水之混會比例
- 應揮拌時間

##### (2) 施工前對施工要求應詳加確認

- 披土的範圍
- 披土的厚度
- 陽角的處理方式
- 磚之勾縫與缺角應先以填補劑填平
- 牆身須以砂磨板磨平
- 磚牆與結構相接處、管線之槽溝以及其他缺角填補之處均應於表面鋪貼補強纖維網，以減少龜裂的產生。

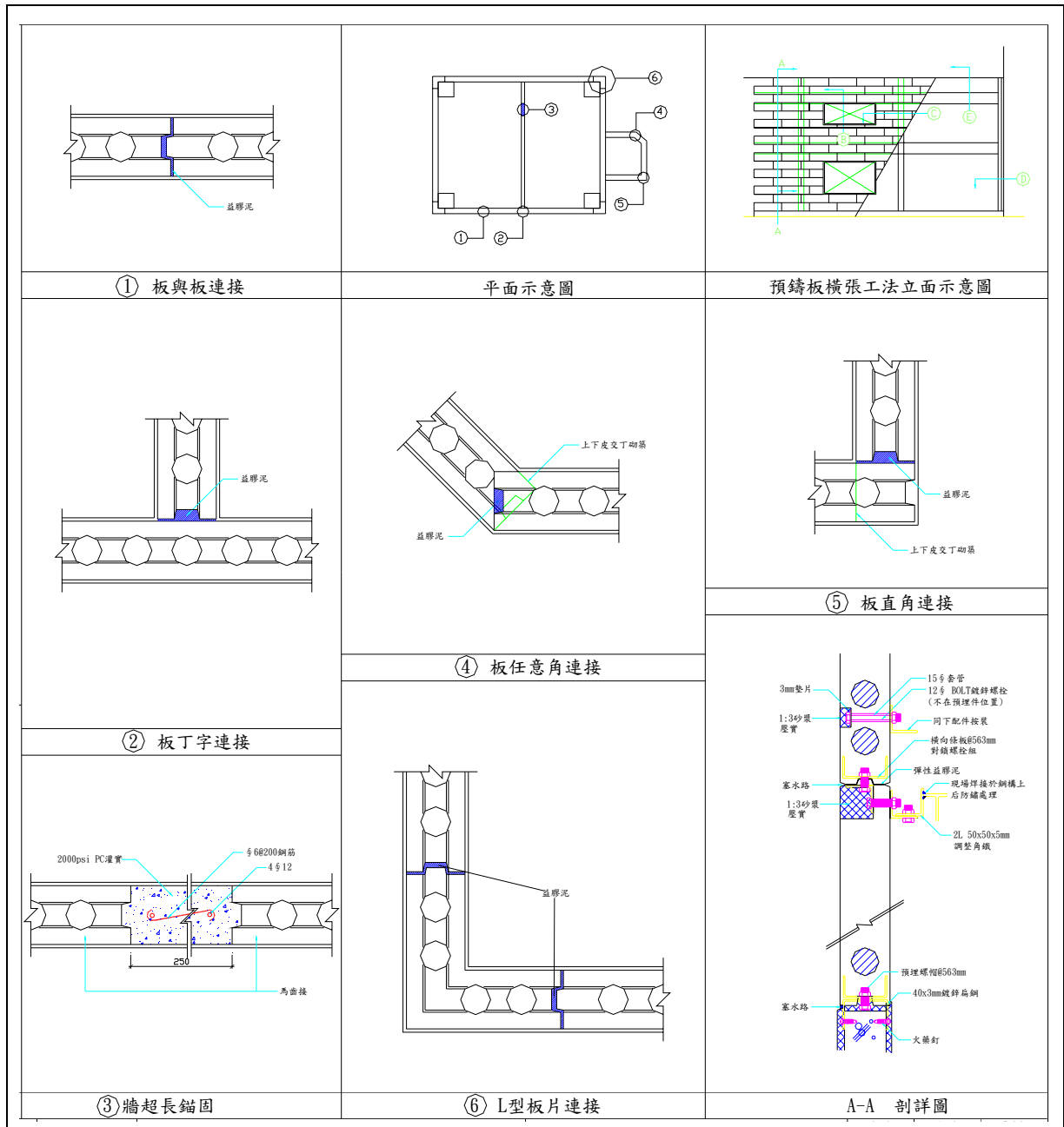
##### (3) 施工品質的認定

- 平整度的要求，不得有鏟刀之抹痕
- 勾縫之凹凸痕
- 批土的厚度
- 是否有龜裂的情形發生

##### (4) 與結構體粉刷之配合

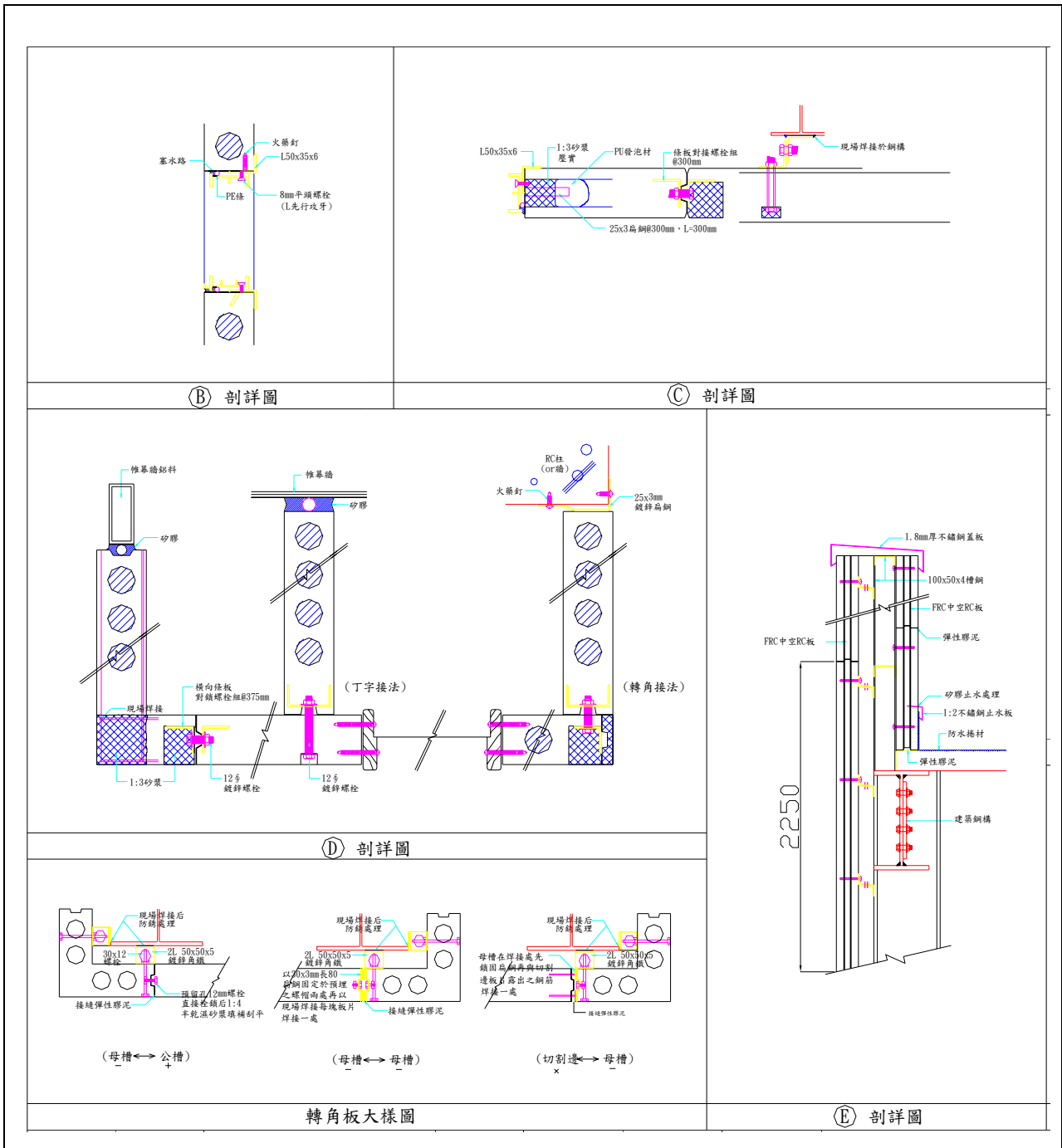


圖 6-1 預鑄牆板工法一



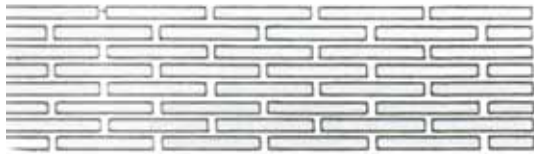
(資料來源：自行整理圖樣說明)

圖 6-2 預鑄牆板工法二

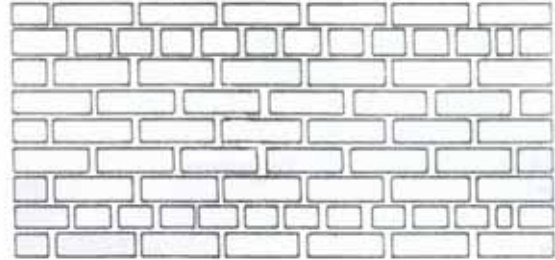


(資料來源：自行整理圖樣說明)

圖 6-3 砌塊（磚）之疊砌法



半砌法或順砌法



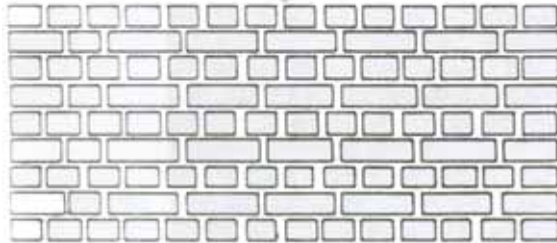
通用砌法



法蘭式砌法



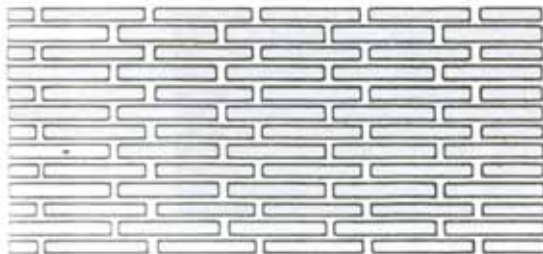
堆砌法



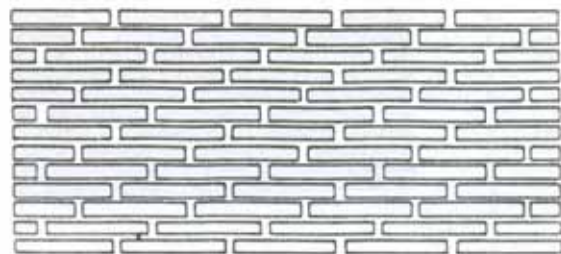
英式砌法



荷式砌法

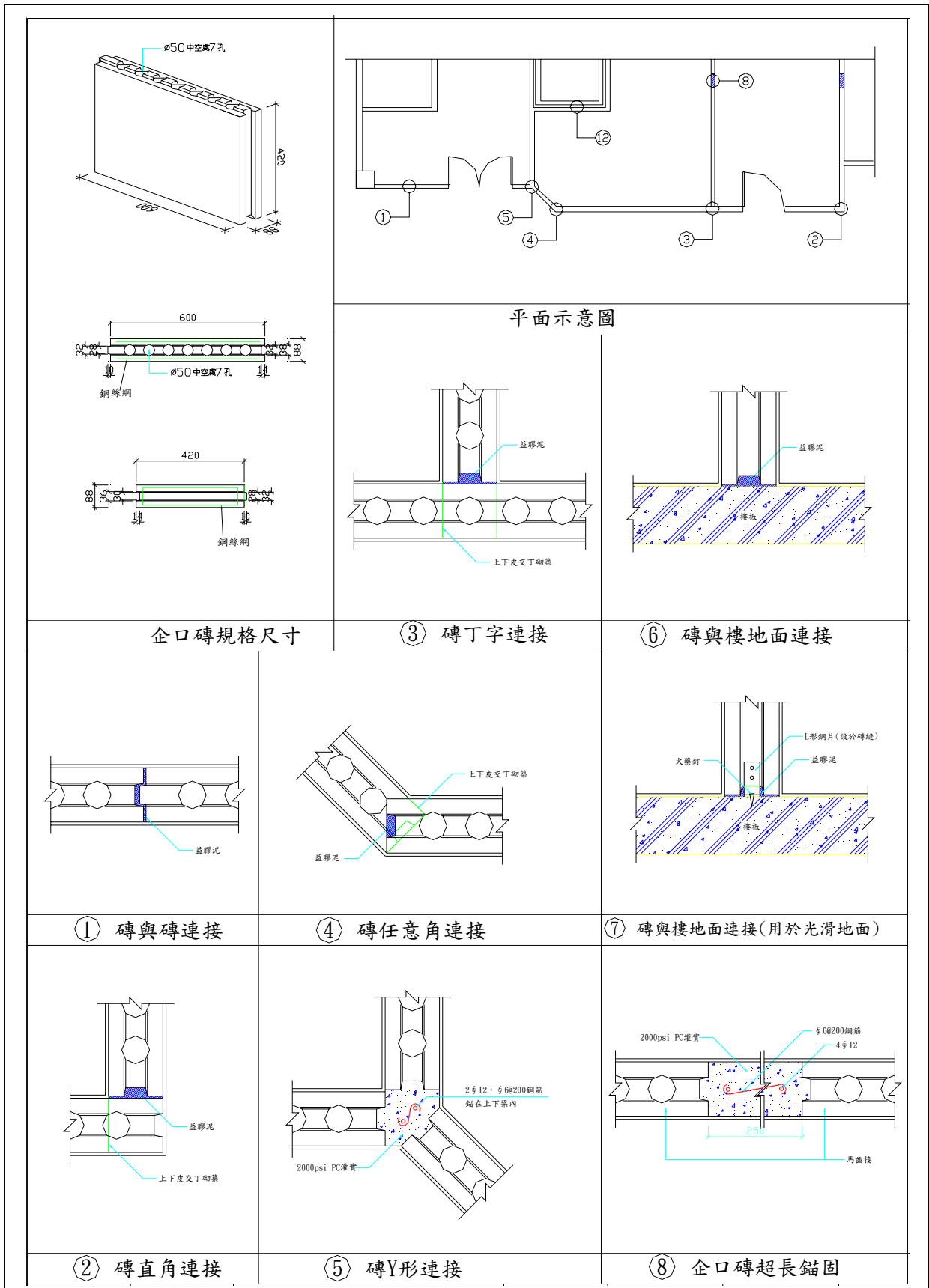


三分之一-三分之一砌法（諾曼磚或羅馬磚）



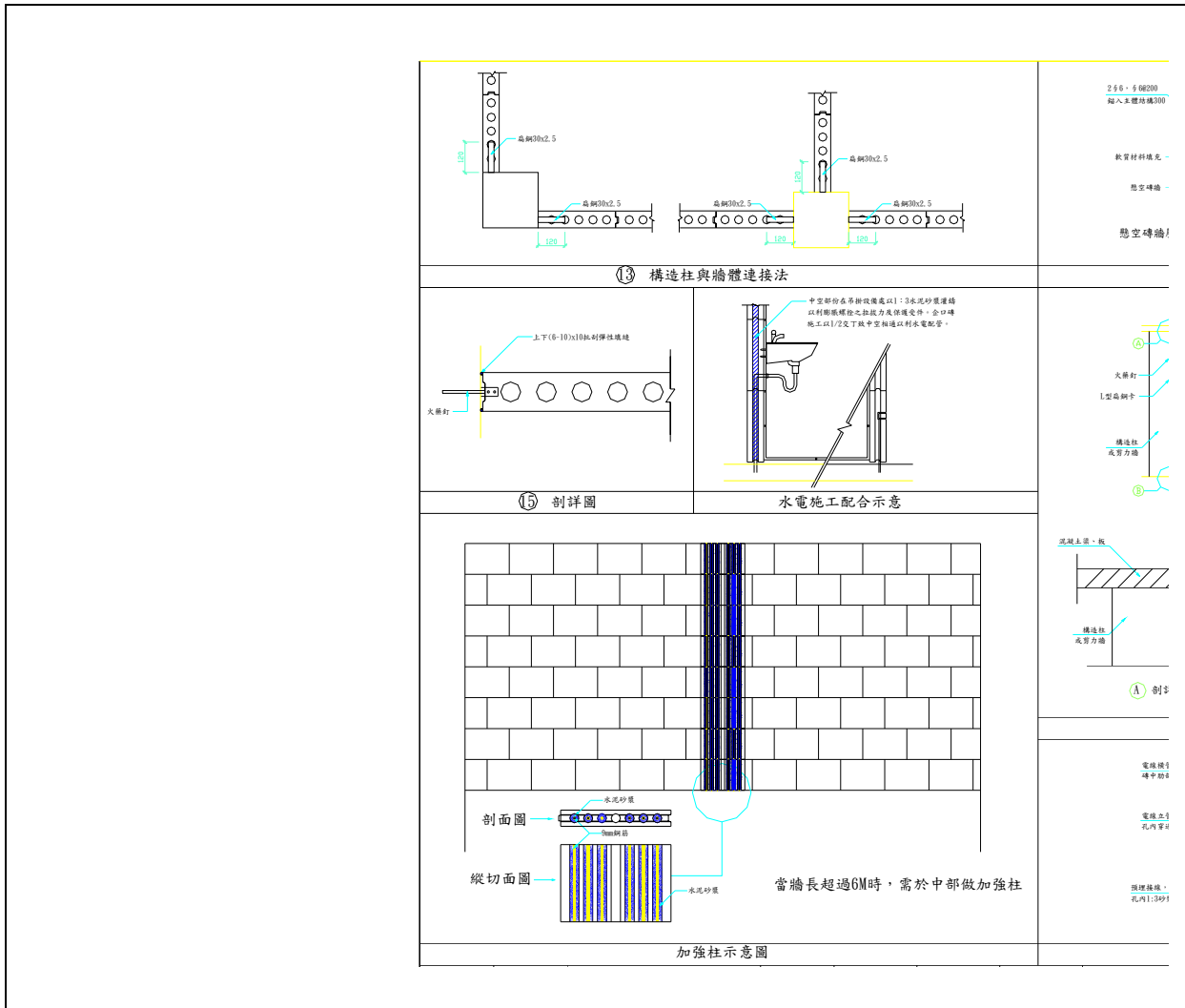
（資料來源：自行整理圖樣說明）

圖 6-4 企口磚工法一



(資料來源：自行整理圖樣說明)

圖 6-5 企口磚工法二



(資料來源：自行整理圖樣說明)



## 第七章 研究發現

本研究計畫旨在輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之研發，主要工作為預鑄輕質混凝土牆板之研發，品質檢測方法與組立工法等之建立，以作為輕質骨材混凝土使用於土木工程之設計及施工的參考準繩，從而促成輕質骨材混凝土預鑄牆板構件之開發應用及營建自動化之目的。

考慮現行磚尺寸、建築模矩設計、磚重量的限制與輕質骨材混凝土之單位重、施工便利性等因素，初步將輕質骨材混凝土砌塊的標準尺規定為60×42cm 與 75×42cm；厚度為6cm、9cm 以及 12cm 等三種。而尺寸的公差則參考 CNS 對磚類的規定，在長度與寬度則建議為±3mm，厚度的建議公差則為±2mm 較為適當。本研究提出之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目與方法，經過實際測試，並與傳統磚比較，可知其檢測方法具一定的可靠性與適用性，並建議進行國家標準法規之訂定，或是修訂現行國家標準，將輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊等材料測試納入適用範圍，使輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊有統一的標準，以利其推廣與應用。

根據熱傳導係數之實測結果與其他磚類之比較可知，輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數均小於 0.35 kcal/m.hr.°C，並具穩定性，更遠低於現行磚類之標準值，擁有極佳之隔熱能力，可用於隔熱需求之隔間牆建材。本研究亦建議了輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之乾式預鑄工法及疊砌築工法，以及條列出預鑄牆板施工技術要領，以期在實際施作上有所助益。





## 第八章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究已完成對輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之研究，並提出結論如下。

1. 由現有的輕質砌塊（磚）的尺度調查中可發現，各類不同材料、用處或製程之輕質磚其尺寸多所不同，甚至在磚的形狀上也有不同的表現，其長度皆於 100mm~900mm 間變化，寬度則變化於 90mm~400mm 之間，而厚度則介於 70~200mm。
2. 形狀上，一般砌塊多為長方體，也有為板片狀或正方體，甚者可由業者自行訂製形狀，雖然具多樣化，但不利於施工的便利性。
3. 預鑄牆板的形狀皆為矩形體，較為固定，但在尺寸上則沒有固定的尺寸，其長度可由 2250mm 變化至 3250mm，而寬度多以 600mm 與 900mm 兩種，厚度則需依預鑄牆板的長度變化，大約都介於 50mm~120mm。
4. 考量人工物料搬運工作安全性之相關研究成果，以及國內外之勞工安全法規規定，輕質混凝土單一砌塊之重量，以不超過 30kg 為最大容許限度。
5. 考慮現行磚尺寸調查結果、建築模矩設計、磚重量的限制與輕質骨材混凝土之單位重、施工便利性等因素，初步將輕質骨材混凝土砌塊的標準尺規定為 60x42cm 與 75x42cm；厚度為 6cm、9cm 以及 12cm 等三種。而尺寸的公差則參考 CNS 對磚類的規定，在長度與寬度則建議為 $\pm 3$ mm，厚度的建議公差則為 $\pm 2$ mm 較為適當。
6. 本研究提出之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目與方法，經過實際測試，並與傳統磚比較，可知其檢測方法具一定的可靠性與適用性。
7. 研究中提供之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目

已具完整性，未來在應用上，設計者可依實際需要而挑選合適之測試項目，無須執行所有建議之試驗項目，以避免資源之浪費及節省時效。

## 第二節 建議

### (一)立即可行之建議

主辦機關：國家科學委員會、內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

為開啟國內使用輕質混凝土預鑄構件之契機，政府應積極推動輕質骨材混凝土相關之應用性研究計畫，以促成輕質骨材混凝土之推廣應用及產業化。

### (二)長期性建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：經濟部中央標準局

本研究提出之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊與其組立牆板的檢測項目與方法，經過實際測試，並與傳統磚比較，可知其檢測方法具一定的可靠性與適用性，並建議進行國家標準法規之訂定，或是修訂現行國家標準，將輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊等材料測試納入適用範圍，使輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊有統一的標準，以利其推廣與應用。

(三)建議將提供之輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊的檢測項目與方法，進行國家標準法規之訂定，或是修訂現行國家標準，將輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊等材料測試納入適用範圍，使輕質骨材混凝土預鑄牆板、砌塊有統一的標準，以利其推廣與應用。

(四)根據熱傳導係數之實測結果與其他磚類之比較可知，輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊之熱傳導係數均小於  $0.35 \text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$ ，並具穩定性，更遠低於現行磚類之標準值，擁有極佳之隔熱能力，可用於隔熱需求之隔間牆建材。

(五)輕質骨材混凝土預鑄牆板與砌塊則建議分別採用乾式預鑄工法及疊砌築工法，而其施工技術要點亦建議於本研究中，以期在實際施作上有所助益。

## 附錄一 期中審查會議紀錄情形

時間：94年8月2日(星期二)下午2時30分正

地點：本所會議室(台北市敦化南路二段333號13樓)

主持人：丁所長育群

審查意見	處理情形
<p><b>沈教授進發：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本項子計畫對於輕質骨材混凝土材料之砌塊、預鑄牆板進行了多種測試，對於性能檢測方法也有充分地研訂。建議增加輕質骨材混凝土預鑄牆板構件發展應用方面之基礎研究。</li> <li>2. 為配合將來輕質骨材混凝土預鑄版之推廣應用，或有申請防火牆認可之必要。若本研究案在經費、時間等方面允許，建議依據其防火性能要求，進行防火性能測試。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員建議，已申請於國科會計畫中。</li> <li>2. 本研究案未含防火性能測試，惟防火性能研究已見於建研所93年報告中。</li> </ol>
<p><b>高教授健章：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因臺灣位處地震帶，以單元砌塊砌築牆體是否有高度上的限制，或需搭配加勁構材以增加牆體穩固，對此應予考慮或說明。</li> <li>2. 以國人的居住習慣而言，對於隱私方面相當重視，故隔戶牆大多不採輕隔間方式製作。基此，在推廣輕質骨材混凝土牆板時，對於住戶之居住心裡亦應有所考量，避免造成使用者排斥。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已說明於施工要領章節中。</li> <li>2. 謝謝委員意見。</li> </ol>
<p><b>黃教授然：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告內容詳實完備，進度亦符合規定。</li> <li>2. 建議本報告中加註適用於輕質牆板(或輕質磚)之輕質混凝土性質，例如粒料重量是否限定於哪一範圍等。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員意見。</li> <li>2. 使用上以非結構性輕質粒料為選擇，輕質混凝土之性質說明於預鑄構件檢測章節及文獻回顧中。</li> </ol>

審查意見	處理情形
<p><b>行政院公共工程委員會：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本報告第 34 頁中，有關參照「中國國家標準」項目建請將總號、類號等項標示，俾利資料之找尋。</li> <li>2. 第四章中所提到檢測之目標測值，宜提出建議數據，俾利各機關參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理。</li> <li>2. 遵照辦理。</li> </ol>
<p><b>經濟部標準檢驗局：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有關輕質骨材方面，本局已訂有 CNS14826「隔熱混凝土輕質粒料」及 CNS14779「輕質粗粒料之顆粒筒壓強度試驗法」二種國家標準，可供研究單位參考採用。</li> <li>2. 本計劃之預期成果包含研訂標準化模矩尺寸，似值得訂為國家標準。若未來確有訂為國家標準之需要時，歡迎提出，本局樂意配合訂立。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員意見。</li> <li>2. 謝謝委員意見。</li> </ol>
<p><b>中華民國土木技師公會全國聯合會：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對於輕質骨材混凝土預鑄板構件標準尺寸化，宜考慮目前工程設計實務尺寸，且考量施工吊裝之可行性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理。</li> </ol>
<p><b>中華民國建築師公會全國聯合會：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 預鑄隔間之困難點多在收頭處。本案預鑄牆板與樓板間之收頭，以及現場切割時造成之粉塵問題應如何處理，建請在報告中提出建議方案。</li> <li>2. 本報告之文獻回顧提及石棉水泥板。據了解，中國國家標準中對於石棉板之規定似有修改情況，請研究單位查明後更新。另本報告所引用之紅磚尺寸，建議採用中國國家標準之紅磚尺寸為宜。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已論述於施工要領章節中。</li> <li>2. 已遵照委員意見辦理。</li> </ol>

審查意見	處理情形
<p>何副所長明錦：</p> <p>1. 由於牆板之用途別不同，對其要求亦有所不同，建議研究單位對於本案試驗方法應依用途別來進行。</p>	<p>1. 本案提出輕質牆版完整全套之試驗方法，惟設計師將依不同用途，其選擇之試驗項目及方法亦不同，已說明於檢測項目章節中。</p>
<p>丁所長育群：</p> <p>1. 對於本案所開發之標準化尺寸，包括母模矩、子模矩、標準模矩，均應先與建築師討論，以符合目前國內業界使用習慣。</p>	<p>1. 已請教於建築師業者，並請提供相當資料經討論後，論述於規格標準化章節中。</p>



## 附錄二 研究計畫審查會議情形

時間：94年11月14日(星期一)下午

地點：國立台北科技大學建築系設計管館8樓國際會議廳

(台北市忠孝東路三段1號)

主持人：葉組長祥海

審查意見	處理情形
<p><b>蔡教授得時：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案係研究輕質骨材混凝土之牆板開發，建議研究單位對輕質骨材混凝土應作一嚴謹定義為宜。</li> <li>2. 本報告似皆以水庫淤泥輕質骨材作為研究對象，是否曾考慮水庫淤泥輕質骨材以目前之生產市場，會不會有料源不穩或供應不敷需求之現象產生？</li> <li>3. 關於子計畫一第四章之檢測方法及性能測試，建請詳細說明，以便參閱者瞭解。</li> <li>4. 本案缺少輕質骨材混凝土之隔熱性能及隔音性能試驗之說明，請補充。</li> <li>5. 建議本案研究成果適度轉化為國家標準（如：模矩），為以利業界依循。</li> <li>6. 本研究案中包括多項性能試驗及材料試驗，建議將該試驗之計算方法製作為案例，提供業界參考。</li> <li>7. 本報告之表、圖中建議補入參考文獻。</li> <li>8. 本案成果豐碩，建議日後辦理說明會或研討會，以為推廣。</li> <li>9. 依本案預期成果所列，需提出國內（外）相關領域研討會議發表論文至少乙篇，請研究單位注意。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已定義於第二章文獻回顧中。</li> <li>2. 本研究內容適用於不同類型輕質骨材。</li> <li>3. 以加強說明於文中。</li> <li>4. 已有隔熱性能試驗，隔音部分亦補充於第五章中。</li> <li>5. 謝謝委員意見。</li> <li>6. 本案並無繁瑣計算過程，試驗資料如何取得已說明於試驗方法中。</li> <li>7. 從參考文獻取得之圖表已加註來源。</li> <li>8. 已於10月28日辦理全國研討會。</li> <li>9. 謝謝。</li> </ol>

<p><b>沈教授進發：</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 混凝土與其他建築材料相較，雖然耐久價廉，卻顯笨重，造成設計施工上諸多困擾。輕質骨材混凝土提供了一個相當好的解決方案。如能與自充填混凝土 (SCC) 併同發展則更具成效。</li><li>2. 本案研究開發完成之預鑄牆板，其各項物理性能良好，其質量約在一般混凝土單位重之一半以下，水密性亦甚佳，值得推動。</li><li>3. 如本案建議將輕質骨材混凝土牆板用於室內隔間，希望能提供其耐火性數據為宜；又現代人注重私密性，其隔音效果顯得相當重要，建議本案加做隔音測試。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 謝謝委員意見。</li><li>2. 謝謝委員意見。</li><li>3. 已補做隔音試驗，結果如第五章所述。</li></ol>
<p><b>張科長振成：</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 請補充英文摘要。</li><li>2. 各類鑄版材除材料機械特性外，應加強其各使用環境下之憂缺點（如：是否於潮濕環境下易發黴等）。</li><li>3. 各引用之圖面，應加註出處之編號。</li><li>4. 子計畫一之第 44 頁所建議之標準化規格，可考量以圖面表示，並宜加繪標準畫圖面，供機關或規劃設計單位參用。</li><li>5. 相關檢測如無 CNS 者，宜推動 CNS 列入標準。</li><li>6. 相關標準化規格是否有調查國內生產情況，並不得違反採購法公平競爭。如有上開疑慮者，不宜納入標準之規格內。</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 遵照辦理。</li><li>2. 謝謝委員意見。</li><li>3. 如有引用參考文獻，則加註出處。</li><li>4. 謝謝委員意見。</li><li>5. 謝謝委員意見。</li><li>6. 謝謝委員意見。</li></ol>



## 附錄三 發表於「第二屆輕質骨材混凝土研討會暨國 科會產學合作成果發表會」之論文

時間：94年10月27~28日

地點：國立中興大學土木環工大樓

主辦單位：中興大學土木工程系

中華輕質骨材協會

內政部建築研究所

國家科學委員會-工程科技推展中心

台灣電力公司

中國土木水利工程學會

## 輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚之工程性質

黃中和<sup>1</sup>、陳豪吉<sup>2</sup>、葉祥海<sup>3</sup>、吳銘裕<sup>4</sup>

<sup>1</sup>國立中興大學 博士

<sup>2</sup>國立中興大學 教授

<sup>3</sup>內政部建築研究所 組長

<sup>4</sup>中華長城工程股份有限公司 總經理

### 摘 要

本文旨在探討輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚的工程性質，並將試驗結果與傳統之牆板建材相比較，從而評估輕質骨材混凝土牆板於房屋建築的適用性。

試驗結果顯示，輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚的面密度介於  $59 \text{ kg/m}^2 \sim 112 \text{ kg/m}^2$  之間，單位重介於  $824 \text{ kg/m}^3 \sim 982 \text{ kg/m}^3$ ，24 小時吸水率約為 15% 左右，熱傳導係數實測值亦小於  $0.33 \text{ kcal/m-hr}^\circ\text{C}$ ，24 小時透水性則變化於  $0.9\text{cm} \sim 1.2\text{cm}$  之間，其物理特性與耐久性均要優於建築用普通磚。在力學性質方面，輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚的直立抗壓強度約  $34 \text{ kgf/cm}^2 \sim 70 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗彎強度則介於  $11 \text{ kgf/cm}^2 \sim 150 \text{ kgf/cm}^2$ ，並具 60 kg 以上的吊掛能力，雖然力學性質較鋼筋混凝土差，但已可符合牆板用磚之基本強度要求。

與現行磚的性能比較，輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚擁有較低的單位重、吸水率與熱傳導係數，建議可應用於房屋建築之隔間牆、帷幕牆、女兒牆、外牆與樓版等次結構體，使建築物更具質輕與隔熱的優點。惟其力學性能尚未達結構構件要求，不建議將其做為建築物的主要受力構件。

關鍵字：輕質骨材混凝土、預鑄牆板、熱傳導係數

## 一、前言

由於經濟快速發展與土地資源有效利用的需求下，高層化、輕量化的建築物順勢地大量出現，如美國紐約之雙子星大樓，即是採用輕質混凝土建造部分的非承重構件來達到建築物的輕量化，說明了輕質混凝土用於高樓房屋非結構構件的可行性[1-3]。輕質混凝土除了因建築物自重降低而可減少材料用量外，更由於輕質混凝土的自重較輕，致使其結構體因地震所產生的慣性力亦相對較小，故可降低設計載重，因而節省建造成本[3-5]。此外，輕質混凝土本身擁有低熱傳導、較佳隔音與耐火性能等優點，若加以利用在建築物外殼或隔間牆板，還可以使建物達到節省能源的功效，這些使用輕質骨材混凝土的優點對於屬亞熱帶氣候且位處地震帶的台灣尤具意義[6-7]。

輕質混凝土做為建築材料已有多年之經驗，尤其在歐洲如挪威、德國、荷蘭等國家，不但將輕質混凝土用於非承重構件更進一步研發將其用於主要承重的結構上，而美國、日本使用輕質混凝土亦具相當比例[8-10]。輕質混凝土在國內雖然發展較晚，但近年來在產、學、研各界的合作研究下，已驗證了水庫淤泥可燒製出性質優良的輕質骨材，並可據以量產性質良好的輕質骨材混凝土[11-15]。此項成果不僅能達到資源回收再利用之環保訴求，尚兼具改善水庫儲水功能及延長其使用壽命之功效。

隨著台灣社會發展，勞力短缺且薪資高漲，需要大量勞力的傳統紅磚牆或混凝土空心磚牆工程面臨了經濟壓力與技術提昇問題。加上工人技術水準良莠不齊，不但使得工程施工品質不易控制，更無法符合營建工程自動化的訴求。且傳統磚牆工程屬濕式施工，總是造成施工環境多砂漿、水泥等污染物，在技術層次低且工作環境條件不佳的狀況下，也造成勞動力逐漸流失。反觀預鑄輕質混凝土牆板符合輕量化、乾式施工、工廠預鑄的特性，除了可減少大量勞力、提高工作效率外，也使施工環境獲得改善，提高勞動者的意願，合乎營建自動化之需求。再者，若預鑄輕質混凝土牆板能大量推廣應用還可解決部份水庫淤泥去化、能源缺乏及天然骨材濫採等問題，具有廢棄物資源化利用之意義，改善混凝土建材不環保的刻板印象，使建築物更具綠建築的要件。

本研究針對中華長城工程股份有限公司所提供之輕質骨材混凝土預鑄磚及預鑄牆板等材料，進行其工程性質之研究，其中包含材料之基本物理性質、力學性質及耐久性等相關的工程性質試驗，並將試驗結果與傳統建材比較優劣，從而探求此新材料的特點，並提出其應用之適用性與可行性的評估與建議。

## 二、輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚之簡介

本研究採用輕質骨材混凝土製成之預鑄牆板與預鑄磚，測試其之工程性質。其中，輕質骨材混凝土預鑄磚共有企口磚與外牆磚兩類；中空並擁有凹凸槽設計之輕質骨材混凝土砌塊稱之為輕質企口磚（如照片 1 所示），其尺寸為 60×42×8.8cm，而將企口磚表面貼上磁磚之砌塊則稱作外牆磚（如照片 2 所示），其厚度則增加為 12cm。輕質骨材混凝土預鑄牆板，除了開有圓形孔外，牆板中亦配以鋼鍵，以彌補其強度之不足，本研究中共則採厚度為 6cm 與 9cm 進行測試，如照片 3、及 4 所示。

## 三、試驗項目與方法

### 1. 物理性試驗：

#### (1). 質量與單位重：

磚之質量定義為單位面積的氣乾重量（或稱面密度），即將磚的氣乾重量除以長度與寬度之值，其單位為 $\text{kg}/\text{m}^2$ ；而單位體積之重量即為單位重。試驗上，將預鑄磚於常溫之室內達 7 天以上，以鋼尺量測預鑄磚之長度、寬度及厚度來計算出體積，隨之以質量計量測預鑄磚的氣乾重量，將量測結果代入(1)式、(2)式即可求得磚之質量與乾燥單位重。

$\text{質量(面密度)} = \frac{\text{試樣乾重} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)}{\text{長度} \times \text{寬度}} \quad (1)$	(1)
$\text{單位重} = \frac{\text{試樣乾重}(kg)}{\text{長度} \times \text{寬度} \times \text{厚度}(m)} \quad (2)$	(2)

#### (2). 吸水率測試

試體需用整塊輕質骨材混凝土砌塊，將試體置於室溫 15°C ~ 25°C 之清水中浸泡 24 小時後，將浸於水中的砌塊取出並置於金屬網上瀝水 1 分鐘，以濕布擦拭表面後測定飽和水重量( $m_1$ )(g)，最後將試樣置於 105±5°C 之空氣乾燥器中乾燥 24 小時，測定其重量( $m_2$ )(g)，以下公式(3)計算磚的吸水率。

$\text{吸水率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (3)$	(3)
---	-----

#### (3). 水密試驗試驗方法：

- A. 將試驗框架放置於水平試體表面，並用嵌封材料黏牢試驗框架防止水由縫隙漏出。
- B. 注入試驗框架25cm的水深高度，若試體凹凸不平，水高度由試體之最低點起算，使試體表面水產生250 kgf/m<sup>2</sup>之滲透壓力。
- C. 保持水壓24小時後，觀察試體有無滲水或漏水情況。

(4). 熱傳導係數試驗：

將試體經過烘乾後，徐徐冷卻至常溫後才能開始進行熱傳導試驗。熱傳導係數試驗是依照 CNS 7332 「隔熱材料之導熱係數測定法（平板比較法）」之規範進行施作。

2. 力學試驗

(1). 軸方向抗壓試驗

將砌塊試體直立於材料試驗機下，並在試體與試驗機中插入加壓傳力板，使試體加壓。壓力係在試體厚度面徐徐加載，其加載速率需於 10 分鐘內達到最高載重，隨即記錄最大載重 P，將所得最大載重除以加載全斷面面積即為該砌塊之軸方向抗壓強度。

(2). 抗彎試驗

將預鑄磚放置於通風良好之室內風乾 7 天以上而呈現氣乾狀態，隨之進行抗彎強度試驗。依CNS 1234 「混凝土抗彎強度試驗法（中心點載重法）」之規定，採中心點載重試驗之，將試體置於承壓座上，並使施壓座在兩支點間之中央處，與試體表面接觸。如試體表面不平未能與施壓座及支點完全接觸時，該試體需蓋平。載重可迅速加載至破壞載重之一半，此後載重之增加率維持 8.79 kgf/cm<sup>2</sup>/min ~ 12.31 kgf/cm<sup>2</sup>/min 之間，紀錄最大彎曲破壞載重，並依照下列公式(4)求得抗彎強度。

$\text{抗彎強度} = \frac{3PL}{2bd^2}$	(4)
-----------------------------------	-----

式中：P=最大彎曲破壞載重(kgf)  
 L=跨度(cm)  
 b=試片寬度(cm)  
 d=試片厚度(cm)

(3). 釘掛能力測試

取一長 6 公分，直徑 0.315 公分之水泥鋼釘，垂直釘入磚塊，釘入位置為板

面之中心，釘入深度為 3 公分。使釘入鋼釘之牆板直立於水平平台並將其固定，將吊掛懸吊於鋼釘上，以鐵塊加載之，每次加載 10 kgf，並保持載重 20 分鐘。隨之記錄加載之總重，並檢視加載過程中砌塊有無損壞或鋼釘是否彎曲，以評估該砌塊之吊掛能力，應測試三塊不同試體取其最低之載重。

### 3. 耐久性試驗（透水試驗）

將試驗框架放置於水平試體表面，並用嵌封材料黏牢試驗框架防止水由縫隙漏出，注入試驗框架 25cm 的水深高度，若試體凹凸不平，水高度由試體之最低點起算。注水經過 5、10、30 分鐘及 1、2 及 24 小時時，測定水柱降低量，並觀察試體的狀況，記錄漏水的位置，其他試驗細項則依照 CNS 8081 第 6.3 節規定之，試驗裝置則如圖 1 所示。

## 四、試驗結果與分析

### 1. 物理特性

輕質骨材混凝土預鑄磚之單位重、吸水率與熱傳導係數等物理性質測試結果整理於如表 1~表 3。試驗結果顯示，輕質骨材混凝土預鑄磚之面密度的平均值介於  $59 \text{ kg/m}^2 \sim 112 \text{ kg/m}^2$  之間，單位重則介於  $824 \text{ kg/m}^3 \sim 982 \text{ kg/m}^3$ ，其中外牆磚的表面貼有高密度的磁磚且母磚之厚度較大，使得其有最大的面密度，雖然單位重也相較企口磚高出許多，但仍可滿足混凝土空心磚之預鑄磚規範要求  $1700 \text{ kg/m}^3$  以下規定，仍具質輕的效益。

輕質骨材混凝土預鑄磚之 24 小時吸水率介於 14.1%~16.5%，30 分鐘吸水率則介於 7.3%~11.5%，預鑄磚的吸水率可於 30 分鐘完成 80% 左右，但貼有磁磚的外牆磚減緩了預鑄磚的吸水速度，其 30 分鐘吸水率僅為 24 小時的 52%，顯示輕質骨材混凝土輕質外牆磚不但免除現場的二次施工，亦對預鑄磚的防水性有所助益。於水密性測試中，輕質骨材混凝土輕質企口磚與外牆磚在平均滲透壓力  $250 \text{ kgf/m}^2$ ，加壓 24 小時的試驗條件下，預鑄磚背面均未發生水滲出或漏水之現象(如照片 2-9 所示)，防水性可達  $250 \text{ kgf/m}^2$  以上。

在熱傳導係數試驗方面，輕質企口磚與 6cm 預鑄牆板三個試體的平均熱傳導係數分別為  $0.3110 \text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$  與  $0.3331 \text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$ ，而外牆磚則因切割位置不同，而有不一樣的試驗結果，如表 2-3 所示，當切割之預鑄磚，其孔隙部分減少時熱傳

導係數由 0.1189 kcal/m.hr.°C 提高至 0.2504 kcal/m.hr.°C，略微增加磚之導熱率，顯示增加預鑄磚孔隙含量則有助於隔熱效益的提升。整體而言，輕質骨材混凝土預鑄磚熱傳導係數僅為一般混凝土熱傳導係數(1.5 kcal/m.hr.°C)的 8%~22%，由此可知。若採用輕質骨材混凝土預鑄磚取代傳統之混凝土磚牆，可大幅增強牆板的熱阻能力，使建築物擁有良好之隔熱功效。

## 2. 力學特性

輕質骨材混凝土預鑄磚之直立抗壓強度與抗彎強度整理於表 4 與表 5 之中。在抗壓強度方面，企口磚、外牆磚、6cm 與 9cm 預鑄牆板抗壓強度分別為 34 kgf/cm<sup>2</sup>、42 kgf/m<sup>2</sup>、58 kgf/cm<sup>2</sup> 及 70 kgf/cm<sup>2</sup>，其中除了企口磚外，輕質骨材混凝土預鑄磚均能滿足 CNS 8905「混凝土空心磚」之預鑄磚規範要求 40 kgf/cm<sup>2</sup> 以上規定，顯示企口磚較適用於非結構性構造物，而外牆磚與預鑄牆板尚可適用較低強度要求之結構體。抗彎強度方面，企口磚與外牆磚平均抗彎破壞載重分別為 487 kgf 與 1030 kgf，計算所得之抗彎強度分別為 11.2 kgf/cm<sup>2</sup> 與 12.8 kgf/cm<sup>2</sup>，而 6 cm 與 9 cm 預鑄牆板抗彎強度則分別為 133 kgf/cm<sup>2</sup> 與 149 kgf/cm<sup>2</sup>，均相較企口磚與外牆磚高出許多，主要原因為預鑄牆板置入的鋼鍵，可有效提升牆板之彎曲強度。

在釘掛能力測試中，直徑 0.315 cm 之水泥鋼釘垂直釘入預鑄磚 3 cm 後，對鋼釘施加之載重達 60 kgf 時，預鑄磚或鋼釘均無破壞及拔出之情形，顯示輕質骨材混凝土預鑄磚之吊掛能力乃高於 60 kgf，若用於隔間牆則有足夠之釘掛能力。

## 3. 耐久性試驗（透水試驗）

透水試驗結果如表 6 所示，厚度 8.8 cm 之企口磚之表面，施加 25 cm 高之水柱，使產生 250kgf/m<sup>2</sup> 水壓作用於磚面，歷經 5、10、30 分鐘及 1、2、24 小時等 6 個測試時間，量得加壓水柱降低深度分別為 0.05、0.075、0.30、0.35、0.425 及 1.2 cm；相同條件下，厚度 12 cm 並加磁磚之外牆磚，在相同的 6 個歷時，水柱降低量分別為 0.325、0.375、0.55、0.55、0.575、0.95 cm，發現輕質骨材混凝土預鑄磚 24 小時之透水性介於 0.95cm~1.2cm，滿足混凝土空心預鑄磚透水性規範 10 cm 以下之規定，且表面貼了磁磚後的外牆磚也可增加表面的緻密性而減緩透水量。

## 五、輕質骨材混凝土預鑄牆板與現行磚性能之比較

本研究收集了其他類型建築用磚的性能，如表 7 所示，並與試驗結果進行比較，以

評估輕質骨材混凝土預鑄牆板的適用性。

1. 單位重方面：

輕質骨材混凝土預鑄牆板的單位重介於  $830\sim 980\text{ kg/m}^3$  之間，平均值為  $910\text{ kg/m}^3$ ，為擠出成型水泥複合材中空板塊的單位重  $1000\text{ kg/m}^3$  之 91%，PC板  $1300\text{ kg/m}^3$  之 70%，混凝土空心磚或紅磚之 50%，更是僅為RC牆板之 35%，僅高於ALC磚(高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚)與石膏板之單位重。比較後可發現輕質骨材混凝土預鑄磚的單位重較現行磚輕許多，能有效減少結構體的靜載重，減少基礎負擔，並有利於搬運及現場安裝，可以縮短工期，加速作業的省力化，進而降低施工成本。

2. 抗壓強度方面：

輕質骨材混凝土輕質預鑄牆板與企口磚之抗壓強度分別為  $70\text{ kgf/cm}^2$  與  $40\text{ kgf/cm}^2$ ，而裝飾混凝土磚為  $80\text{ kgf/cm}^2$ 、砂灰磚為  $90\text{ kgf/cm}^2$ 、ALC磚與混凝土空心預鑄磚抗壓強度要求同為  $40\text{ kgf/cm}^2$  以上，比較結果可知，輕質骨材混凝土輕質預鑄牆板、裝飾混凝土磚及砂灰磚，有相近的抗壓強度，輕質骨材混凝土企口磚則與ALC磚及混凝土空心預鑄磚強度相近，顯示輕質骨材混凝土預鑄磚抗壓強度已可符合普通空心磚強度之基本要求。

3. 吸水率方面：

輕質骨材混凝土預鑄磚之吸水率介於 14%~16%，平均約為 15% 左右，低於混凝土空心磚 40%、裝飾混凝土磚 20%、紅磚 19% 與擠出成型水泥複合材中空板 18%，與砂灰磚 15% 相似，但高於 RC 牆與石膏板，比較顯示輕質骨材混凝土預鑄磚的吸水率雖然不是最低的，但已可符合現行磚吸水率的要求。又因預鑄磚的氣孔結構，在大氣濕度高時會吸收空氣中的水分，濕度低空氣乾燥時可緩緩放出水分可調節室內濕度，增加住的舒適性。

4. 熱傳導係數方面：

輕質骨材混凝土預鑄磚測得之熱傳導係數約在  $0.25\text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$  ~  $0.33\text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$  之間，與其他現行磚類作隔熱性能之比較，砂灰磚其熱傳導係數為  $0.488\text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$ ，較厚度 8.8 cm 輕質企口磚高約 1.6 倍，而較厚度 12 cm 加磁磚之外牆磚高約 2 倍；高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚其熱傳導係數為  $0.136\text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$ ，為企口磚的 45% 左右，而為外牆磚的 55% 左右；中空石膏板塊其熱傳導係數為  $0.38\text{ kcal/m.hr.}^\circ\text{C}$ ，較企口磚高 1.25 倍，而較外牆磚高約 1.5 倍，比較結果發現輕質骨材混凝土預鑄磚其熱傳導係數較現行磚類為低，顯示蜂巢狀結構之預鑄磚，內部佈滿



氣孔，可有效隔絕熱的傳遞，擁有良好隔熱性能，並降低建築物的能源消耗。

## 六、結論

本研究已完成輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚之工程性質試驗，依照試驗結果與分析，提出結論如下。

1. 輕質骨材混凝土預鑄牆板與預鑄磚之單位重介於  $830 \text{ kg/m}^3 \sim 980 \text{ kg/m}^3$ ，吸水率約為 15%，抗壓強度大於  $40 \text{ kgf/cm}^2$ ，抗彎強度介於  $11 \text{ kgf/cm}^2 \sim 150 \text{ kgf/cm}^2$  之間，輕質骨材混凝土預鑄構件之工程性質已可滿足一般牆體之要求。
2. 於水密性與釘掛能力測試可知，輕質骨材混凝土輕質企口磚與外牆磚抗水壓可達  $250 \text{ kgf/m}^2$  以上，吊掛能力也高於  $60 \text{ kgf}$  以上，若用於隔間牆則有足夠之防水性與釘掛能力。在透水試驗中，輕質骨材混凝土預鑄磚透水性介於  $0.95 \text{ cm} \sim 1.2 \text{ cm}$ ，滿足混凝土空心磚之預鑄磚規範其透水  $10 \text{ cm}$  以下規定，顯示輕質骨材混凝土預鑄磚擁有較佳之耐久性。
3. 與現行磚的性能比較，輕質骨材混凝土預鑄磚擁有較低的單位重與吸水率，建議可將其應用於房屋建築之隔間牆、帷幕牆、女兒牆、外牆與樓版等次結構體，能有效減少建築物的靜載重，減少基礎負擔、增加耐震效益，並有利於搬運及現場安裝，可以縮短工期，加速作業的省力化，進而降低施工成本。另外，輕質骨材混凝土預鑄磚優越的熱阻能力，更使建築物擁有良好隔熱性能，並降低能源消耗。
4. 由抗壓試驗可知，輕質骨材混凝土預鑄磚與預鑄牆板之抗壓強度明顯低於混凝土強度，因此並不建議將該材料使用於主要受力的結構構件之中。

## 參考文獻

1. T.A. Holm, "lightweight concrete and aggregates," Standard Technical Publication 196C(1994)
2. Cavaleri, L.; Miraglia, N.; Papia, M. , "Pumice concrete for structural wall panels," Engineering Structures Volume: 25, Issue: 1, pp. 115-125. (2003)
3. G.C. Hoff, Guide for the Use of Low-Density Concrete in Civil Works Projects, ERDC/SL TR-00-3, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.(2002).
4. T.A. Holm and T.W. Bremner, State-of-the-Art Report on High-Strength—

High-Durability Structural Low-Density Concrete for Applications in Severe Marine Environments, ERDC/SL TR-02-13, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.(2000).

5. 顏聰，「輕質混凝土之工程性質及工程特性」，混凝土工程技術研討會，台灣營建研究院，台北(1975)。
6. 顏聰等，「混凝土輕質骨材技術發展及應用」，內政部建研所(1996)。
7. 顏聰，「向水庫採礦，化腐朽為神奇—以水庫淤泥燒製輕質骨材」，輕質骨材與輕質骨材混凝土應用研討會論文集，第 3-4 頁，民國 92 年 4 月 18 日。
8. ACI Committee 211, “Recommended practice for selecting proportions for structural lightweight concrete,” ACI 211, pp. 2-69(1997).
9. R.W. Kluge, “Structural Lightweight Aggregate Concrete,” J., Amer. Concr. Inst.(1956).
10. J.J. Shideler, “Recommended Proctric for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete,” ACI Journal No.55-18(1958).
11. 黃兆龍、洪盟峰、潘誠平、陳宗鵠、黃博全，「淤泥輕質骨材鋼筋混凝土之經濟效益分析」，輕質骨材與輕質骨材混凝土應用研討會論文集，第 27-39 頁，民國 92 年 4 月 18 日。
12. 陳豪吉，「水庫淤泥輕質骨材之產製」，輕質骨材及輕質骨材混凝土應用研討會論文集，台中，台灣，pp. 5-24，2003。
13. 湯兆緯、顏聰，「鋼結構輕質混凝土結構之隔熱節能評估」，輕質骨材與輕質骨材混凝土應用研討會論文集，第 117-135 頁，民國 92 年 4 月 18 日。
14. 顏聰、黃玉麟、湯兆緯，「鋼結構輕質骨材混凝土建築之經濟性評估」，內政部建築研究所專題研究計畫報告，民國 91 年 12 月。
15. 湯兆緯，「輕質骨材混凝土構造之經濟性評估」，水庫淤泥輕質骨材混凝土研討會論文集，第 G1-G33 頁，民國 92 年 6 月 19 日。

表 1、輕質骨材混凝土預鑄構件之質量與容積比重測試結果

輕質磚 類別	尺寸			重量 (kg)	面密度 (kg/m <sup>2</sup> )		單位重 (kg/m <sup>3</sup> )	
	長(cm)	寬(cm)	厚(cm)					
企口磚	60	42	8.8	18.42	73.1	(73)*	831	(824)
	60	42	8.8	18.08	71.7		815	
	60	42	8.8	18.34	72.8		827	
外牆磚	60	42	12.0	28.67	113.8	(112)	948	(931)
	60	42	12.0	28.41	112.7		939	
	60	42	12.0	27.34	108.5		904	
6cm 預鑄牆板	20	20	6.0	2.36	58.8	(59)	983	(979)
	20	20	6.0	2.30	58.6		958	
	20	20	6.0	2.39	58.5		996	
9cm 預鑄牆板	20	20	9.0	3.55	88.8	(89)	986	(982)
	20	19	9.0	3.38	87.4		988	
	20	19	9.0	3.34	87.9		977	

\*括弧內數據為平均值。

表 2、輕質骨材混凝土預鑄構件之吸水率測試結果

輕質磚 類別	尺寸 (cm)	30 分鐘 吸水率(%)		24 小時 吸水率(%)	
企口磚	60x42x8.8	12.92	(12.6)*	14.77	(15.0)
		12.18		14.98	
		12.67		15.15	
外牆磚	60x42x12	6.91	(7.3)	15.43	(14.1)
		7.88		12.83	
		7.06		13.94	
6cm 預鑄牆板	20x20x6	13.72	(12.2)	15.59	(14.6)
		11.72		14.43	
		11.30		13.72	
9cm 預鑄牆板	20x20x9	15.14	(13.7)	18.34	(16.5)
	20x19x9	14.43		17.06	
		11.52		14.23	

\*括弧內數據為平均值。

表 3、輕質骨材混凝土預鑄構件之熱傳導係數

輕質磚類別	剖面圖	熱傳導係數 (kcal/m.hr.°C)	
企口磚		0.3042	(0.3110)
		0.2889	
		0.3401	
外牆磚		0.2220	(0.2504)
		0.2788	
6cm 預鑄牆板		0.3026	(0.3331)
		0.3386	
		0.3581	

表 4、輕質骨材混凝土預鑄構件之抗壓強度試驗結果

輕質磚類別	尺寸 (cm)	承壓面積 (cm <sup>2</sup> )	最大載重 (kgf)	抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	平均值 (kgf/cm <sup>2</sup> )
企口磚	20×20.5×8.8	20×8.8	7260	41.3	34
	20×20.5×8.8	20×8.8	5620	29.9	
	20×21×8.8	20×8.8	5210	29.6	
外牆磚	25×20×12	25×12	12090	40.3	42
	25×20×12	25×12	13070	43.6	
6cm 預鑄牆板	20×21×6	20×6	6880	57.3	58
	20×21×6	20×6	6850	57.1	
	20×19×6	20×6	7290	60.8	
9cm 預鑄牆板	20×19×9	20×9	12540	69.7	70
	20×20×9	20×9	11830	65.7	
	20×20×9	20×9	13570	75.4	

表 5、輕質骨材混凝土預鑄構件之抗彎強度試驗結果

輕質磚類別	厚度(cm)	跨度(cm)	寬度(cm)	破壞載重(kgf)	抗彎強度(kgf/cm <sup>2</sup> )
企口磚	8.8	50	42	609	14.0
	8.8	50	42	480	11.1
	8.8	50	42	373	8.6
	平均			487.3	11.2
外牆磚	12	50	42	1026	12.7
	12	50	42	1009	12.5
	12	50	42	1069	13.3
	平均			1034.7	12.8
6cm 預鑄牆板	6	110	60	1770	135.2
	6	110	60	1758	134.3
	6	110	60	1712	130.8
	平均			1746.7	133.4
9cm 預鑄牆板	9	115	50	3330	141.8
	9	115	50	3672	156.4
	9	115	50	3510	149.5
	平均			3504.0	149.2

表 6、企口磚與外牆磚之透水試驗結果

	時間	水柱高度 (cm)				水柱降低量 (cm)
企口磚 加水 25 cm	5 分鐘	24.9	24.9	25.0	25.0	0.050
	10 分鐘	24.9	24.8	25.0	25.0	0.075
	30 分鐘	24.6	24.6	24.8	24.8	0.300
	1 小時	24.6	24.6	24.7	24.7	0.350
	2 小時	24.5	24.5	24.7	24.6	0.425
	24 小時	23.7	23.7	23.9	23.9	1.200
外牆磚 加水 25 cm	5 分鐘	24.8	24.6	24.7	24.6	0.325
	10 分鐘	24.7	24.6	24.6	24.6	0.375
	30 分鐘	24.5	24.4	24.5	24.4	0.550
	1 小時	24.5	24.4	24.5	24.4	0.550
	2 小時	24.4	24.4	24.5	24.4	0.575
	24 小時	24.2	24.0	24.0	24.0	0.950

表 7、各類磚之性能比較

	厚度(cm)	單位重 (kg/m <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	熱傳導係數 (kcal/m.hr.°C)
企口磚	8.8	825	15	35	0.31
外牆磚	12	931	14	40	0.25
預鑄牆板	6、9	980	16.5	70	0.33
ALC 磚	10、15	600	—	40	0.14
擠出成型水泥複 合材中空板	7.5	1000	18	350	—
混凝土空心磚	9、14、19	1700	40	40	—
裝飾混凝土磚	10~19	—	20	80	—
砂灰磚	6~12.5	—	15	90	0.49
石膏板	10	750	3	—	0.38
紅磚	6	1800	19	100	1.38
RC 牆	12 以上	2400	5	210	1.5
PC 板	18 以上	1300	—	290	0.93

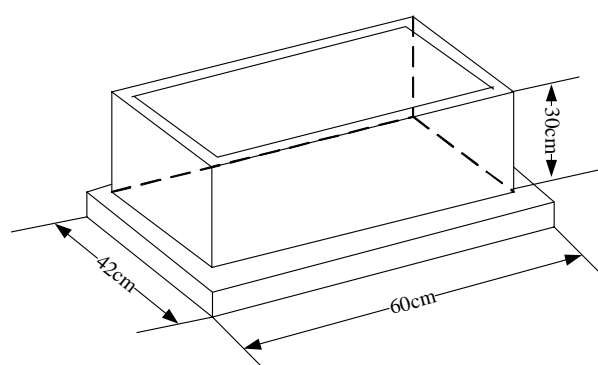


圖 2-1、透水裝置示意圖



照片 1、厚度 8.8cm 之輕質骨材混凝土預鑄企口磚



照片 2、厚度 12cm 之輕質骨材混凝土預鑄外牆磚



照片 3、厚度 6cm 之輕質骨材混凝土預鑄牆板



照片 4、厚度 9cm 之輕質骨材混凝土預鑄牆板



## 參考書目

1. T.A. Holm, "lightweight concrete and aggregates," Standard Technical Publication 196C(1994)
2. Cavaleri, L.; Miraglia, N.; Papia, M. , "Pumice concrete for structural wall panels," Engineering Structures Volume: 25, Issue: 1, pp. 115-125. (2003)
3. G.C. Hoff, Guide for the Use of Low-Density Concrete in Civil Works Projects, ERDC/SL TR-00-3, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.(2002).
4. T.A. Holm and T.W. Bremner, State-of-the-Art Report on High-Strength—High-Durability Structural Low-Density Concrete for Applications in Severe Marine Environments, ERDC/SL TR-02-13, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.(2000).
5. 顏聰, 「輕質混凝土之工程性質及工程特性」, 混凝土工程技術研討會, 台灣營建研究院, 台北(1975)。
6. 顏聰等, 「混凝土輕質骨材技術發展及應用」, 內政部建研所(1996)。
7. 顏聰, 「向水庫採礦, 化腐朽為神奇—以水庫淤泥燒製輕質骨材」, 輕質骨材與輕質骨材混凝土應用研討會論文集, 第 3-4 頁, 民國 92 年 4 月 18 日。
8. ACI Committee 211, "Recommended practice for selecting proportions for structural lightweight concrete," ACI 211, pp. 2-69(1997).
9. R.W. Kluge, "Structural Lightweight Aggregate Concrete," J., Amer. Concr. Inst.(1956).
10. J.J. Shideler, "Recommended Proctric for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete," ACI Journal No.55-18(1958).
11. 黃兆龍、洪盟峰、潘誠平、陳宗鵠、黃博全, 「淤泥輕質骨材鋼筋混凝土之經濟效益分析」, 輕質骨材與輕質骨材混凝土應用研討會論文集, 第 27-39 頁, 民國 92 年 4 月 18 日。
12. 陳豪吉, 「水庫淤泥輕質骨材之產製」, 輕質骨材及輕質骨材混凝土應用研討會論文集, 台中, 台灣, pp. 5-24, 2003。
13. 湯兆緯、顏聰, 「鋼結構輕質混凝土結構之隔熱節能評估」, 輕質骨材與輕質骨材混凝土應用研討會論文集, 第 117-135 頁, 民國 92 年 4 月 18 日。
14. 顏聰、黃玉麟、湯兆緯, 「鋼結構輕質骨材混凝土建築之經濟性評估」, 內政部建築研究所專題研究計畫報告, 民國 91 年 12 月。
15. 湯兆緯, 「輕質骨材混凝土構造之經濟性評估」, 水庫淤泥輕質骨材混凝土研討會論文集, 第 G1-G33 頁, 民國 92 年 6 月 19 日。
16. How-Ji Chen, Yu-Wen Liu and Chao-Wei Tang, "Thermal Insulation of Lightweight Concrete," Journal of Engineering, National Chung Hsing University, Vol. 14, No. 1, pp. 1-7(2003).
17. Thomas, H.R.; Rees, S.W. , "The thermal performance of ground floor slabs—a full scale in-situ experiment," Building and Environment Volume: 34, Issue: 2, pp. 139-164. (1998)
18. Khedari, Joseph; Suttisonk, Borisut; Pratinthong, Naris; Hirunlabh, Jongjit,

- “New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity,” *Cement and Concrete Composites* Volume: 23, Issue: 1, pp. 65-70. (2001)
19. M.H. Zhang, O.E. Gjrv, Mechanical properties of high-strength lightweight concrete, *ACI Mater. J.* 88 (3), pp. 240-247(1991).
  20. J.M. Chi, R. Huang, C.C. Yang, J.J. Chang, “Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of lightweight concrete,” *Cement and Concrete Composites*, Vol. 25, pp. 197-205(2003).
  21. J.A. Rossignolo, M.V.C. Agnesini, J.A. Morais, “Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 363-371(2003).
  22. M.N. Haque and H. Al-Khaiat, “Strength and durability of lightweight concrete in hot marine exposure conditions,” *Mater. Struct.*, Vol. 32, pp.533-8(1999).
  23. ACI 211.2 Selecting proportions for structural lightweight concrete. American Concrete Institute. Manual of Concrete Practice. Farmington Hills, MI.
  24. Wright, H. D.; Gallocher, S. C., “The Behaviour of Composite Walling under Construction and Service Loading,” *Journal of Constructional Steel Research* Volume: 35, Issue: 3, pp. 257-273. (1995)
  25. Kumar, Sunil, “Fly ash–lime–phosphogypsum hollow blocks for walls and partitions,” *Building and Environment* Volume: 38, Issue: 2, pp. 291-295. (2003)
  26. Porta-Gndara, Miguel ngel; Rubio, Eduardo; Fernndez, Jos Luis, “Economic feasibility of passive ambient comfort in Baja California dwellings *Building and Environment* Volume: 37, Issue: 10, pp. 993-1001. (2002)
  27. Short, A. and W. Kinniburgh, “Lightweight Concrete,” Formerly Building Research Establishment, Garston, Watford, U. K.1976.
  28. CEB/FIP, “Lightweight Aggrwgate Concrete,” Longman Inc New York, N. Y .1977.
  29. 陳豪吉、林建國，「無細輕質骨材混凝土性質之研究」，第五屆結構工程研討會，南投，台灣，pp.531-539，2000。
  30. 劉玉雯、陳豪吉、湯兆緯，「輕質骨材混凝土之隔熱性質」，輕質骨材及輕質骨材混凝土應用研討會論文集，嘉義，台灣，pp. 83-98，2003。
  31. 陳豪吉，「輕質骨材混凝土之產製技術」，水庫淤泥輕質骨材混凝土產製及規範研討會論文集，台北，台灣，pp. 51-67，2003。
  32. H.J. Chen, T. Yen, T. P. Lai, and Y. L. Huang, “Determination of the dividing strength and its relation to the concrete strength in lightweight aggregate concrete,” *Cement & Concrete Composites*, Vol.21, pp.29-37, 1999.
  33. 中國國家標準，CNS 13777 A2266，「纖維強化水泥板」，86年12月15日修訂公佈。
  34. 中國國家標準，CNS 13480 A2256，「高壓蒸氣養護輕質氣泡混凝土磚」，84年1月26日公佈。
  35. 中國國家標準，CNS 3802 A2048，「纖維水泥板」，84年10月2日修訂公佈。

36. 中國國家標準，CNS 4458 A2021，「石膏板」，86年2月3日修訂公佈。
37. 內政部建築研究所，「產業自動化—營建自動化計畫成果報告」，集合住宅系統化工法技術性規範分析整理—一次結構體部分—，84年6月。
38. 江哲銘、賴榮平，「建築物防音材料與防音構造準則之研究—建築技術規則防音規則與規範之擬議」，內政部建築研究所籌備處，1991。
39. 田也正典，「最近的乾式間仕切壁動向」，〈建築音響 59〉，pp.35~40，日本，1987。
40. 江哲銘，「建築物防音材料與防音構造準則之探討」，內政部建築研究所籌備處，民國82年。
41. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Back Belt Working Group, "Workplace use of back belt- review and recommendations," NIOSH (Publication No. 94-122), 1994.
42. 林久翔、王順正、陳志勇、葉文裕，「人工物料搬運作業分析與評估：實地研究」，勞工安全衛生研究季刊，第8卷第三期，pp. 285-298，1990。
43. 施鴻志、葉文裕、李正隆、陳志勇「人因工程技術在我國勞工職業安全衛生之應用」，勞工安全衛生研究季刊，第三卷第二期，pp. 85- 87，1995。
44. 盧士一、葉文裕，「下背部傷痛生物力學模式的評估研究」，勞工安全衛生研究季刊，第九卷第四期，2001。
45. 李永輝、陳志勇，「國人重複性抬舉作業搬運重量之探討」勞工安全衛生研究季刊，第五卷第一期，1995。
46. 內政部營建署，「建築節能法規之解說與實例專輯」，民國75年。
47. 工業技術研究院能源與礦業研究所，「台灣能源研究計畫」，經濟部能源委員會，民國76年。
48. 楊冠雄，「建築耗能追蹤考核(II)與空調主機台數控制之節能效益評估」，內政部建築研究所，民國81年。
49. 楊冠雄，「建築物設備使用管理計劃與節能效益調查研究」，內政部建築研究所，民國82年。
50. 內政部營建署，「建築技術規則」，民國90年。
51. 賴榮平，「建築物隔音牆吸音隔音之實務對策」，空間雜誌建築技術增刊4號，民國82年。
52. 莊達明，「輕量隔間牆隔音性能之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，民國81年。
53. 趙以諾，「建築物外牆吸音隔音之實務對策」，空間雜誌建築技術增刊4號，民國82年。
54. 江哲銘，「綠建材性能實驗研究—建築音響館實驗架構及營運規劃之研究」，內政部建築研究所籌備處，民國92年。
55. 蔡博維，「ALC磚工程實務須知」，空間雜誌建築技術增刊7號，民國83年。

56. 李政憲，「高層集合住宅複合化工法開發之研究」，中華民國建築學會，民國 83 年。
57. 姚仁祿，「建築物內部隔間牆乾式施工法之推動」，內政部建築研究所籌備處，民國 81 年。

輕質骨材混凝土牆板之開發應用與經濟效益評估  
—輕質骨材混凝土預鑄牆板構件標準化之研發

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02)2736-2389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

出版年月：94 年 12 月

版（刷）次：初版

工本費：200 元