

國立成功大學建築研究所

碩士論文

# 台灣傳統屋面灰漿基本性質之研究

A Study on Fundamental Characters of the Traditional Roof Mortar in Taiwan



研究生：馮佳福

指導教授：徐明福 黃 斌

中華民國九十二年六月

國立成功大學  
碩士論文

台灣傳統屋面灰漿基本性質之研究

研究生：馮佳福

本論文業經審查及口試合格特此證明  
論文考試委員

黃斌

邱上嘉

指導教授：徐明福 黃斌 徐明福

系(所)主管：江哲銘 江哲銘

中華民國 九十二年 六月 二十一日

# 台灣傳統屋面灰漿基本性質之研究

國立成功大學建築學系研究所碩士論文

研究生：馮佳福

指導教授：徐明福 黃 斌

2003 年 6 月

## 摘要

本論文之目的乃是期望以材料觀點，探討台灣傳統建築之屋面灰漿性質，並對當代傳統屋面修復之灰漿使用提出探討。研究方法是透過實驗，獲知傳統屋面灰漿之基本性質，以進行上述議題之討論。

首先整理傳統屋面之作法、構造特質、當代修復以及灰漿的使用與膠結穩定。據此擬定實驗計劃，以不同量之石灰、黃土與河砂兩種細骨材，分別加入水泥、糖漿、稻殼與麻絨等摻料，製備三十種灰漿，進行重量性質、色彩、抗壓與抗彎強度、黏著抗拉與抗剪強度等實驗項目。

實驗結果顯示，若以河砂為細骨材，將比黃土的吸水率小、比重大。砂漿中，石灰增加使吸水率、明度、強度增加，但黏著性降低。水泥、糖漿增加，使強度與黏著性都增加，降低吸水率。土漿中，石灰增加使吸水率、明度、強度、黏著性都增加。土漿強度極高，加入石灰強度降低。麻絨和稻殼皆使黏著性提高，色彩偏黃，麻絨使多數灰漿強度提高，稻殼則相反。

因此，傳統營建中的屋面灰漿，已達成屋面的基本構造特質，包括外部形貌、構造機能與結構穩定等。而在當代營建體系的影響下，屋面修復之常用灰漿，過度地強調材料強度，而忽視傳統屋面應有之構造特質與傳統材料之特性。

關鍵詞：傳統建築、屋面、灰漿、古蹟修復

Title of Thesis:

**A Study on Fundamental Characters of the Traditional Roof Mortar in Taiwan**

Author: Feng Chia-Fu

Supervisor: Professor Hsu Min-fu, Professor Huang Bin

Degree Conferred: Master of Architecture

Department of Architecture, National Cheng-Kung University

Tainan, Taiwan, R.O.C.

July 2003

**Abstract**

The purpose of this paper is to study the fundamental characters of traditional roof mortar in Taiwan in the point of material, and also making a discussion over the repair of traditional roof. By experiment, the fundamental characters of specimens were acquired.

The construction of traditional roof and its repair, material uses were investigated in the beginning of this thesis. We produced 30 types of mortar to apply to the test, includes the characters of gravity, color, compressive and flexural strength, pulling and shearing adhesive strength.

The study result that, if sand(SW-SM) were used as the fine aggregate, the water absorptivity was smaller but the specific gravity was larger than the clayed soil(CL). Using sand as the fine aggregate, lime enhanced the water absorptivity, brightness, strength but the adhesion decreased. Cement and syrup enhanced strength and the adhesion, but the water absorptivity. If using the clayed soil, lime enhanced the water absorptivity, brightness, strength and the adhesion. Mortar of clayed soil without cementing material behaved the high strength, but it decreased after containing lime. Hemp fiber and rice husk enhanced the adhesion and color of yellow. Hemp fiber enhanced strength of most of the specimens, but contrary to the rice husk.

The prescription of traditional roof mortar had achieved the constructional objectives, such as the external form, function and the stability. The mortar for repairing roofs paid too much attention on strength, and ignored the characters of the material and the nature of traditional construction.

〈 Keyword 〉 : 1.Traditional Architecture, 2.Roof, 3.Mortar, 4.Heritage Retrofit.

## 謝 誌

感謝我的指導老師徐明福教授和黃斌教授，對於論文與日常的指導與關懷。

感謝邱上嘉老師在口試時對論文寫作與研究上的指導。

課堂上或走廊上，傅朝卿老師總是帶來新的視野，孫全文老師自始堅持的嚴謹態度，方玲子老師引領大家進入古典世界，感謝你們的所有關照。

感謝逸仁、信安、美芳、秉聲、明志、阿杰、佩蓉諸位學長學姊，你們的真心關懷和博學多才，讓這個地方隨處可以感受得到知識與氣質。也感謝正傑學長對實驗設備的幫助，以及逸杰學長的夜晚談話讓我決定多作點設計。

一個個讓我目送離開的八個研究所同學，依序是：永遠穩當的小隊長、共事多次的好搭檔校長、點我設計的信宇、沒有什麼事不知道的秀美、大二就坐我旁邊的秀澧、不斷提供驚奇的藍寶、保養品和飲料愛好者佩諭、迷戀桌球和唱歌的周伯伯。這些人構成我美好研究所生活的多數部分。

還有我好好的學弟妹們，硃岑、惠玉、俐伶、銘宏還有其他人，每次看到研究室裡有你們，就有一股離不開的歸屬感。

田野調查，除了從他們之中獲得渴求的專業訊息，出門在外，還吃了其中幾個好幾餐。首先感激匠司陳義雄先生和王進安先生的每一次談話，以及在艋舺龍山寺時的張俊宏先生、林晃男先生，在鹿港龍山寺時的莊雪琪學姊、黃榮吉先生，在西華堂時的方俊益先生，在慶安宮時的蔡先生，在保安宮時的彭清雲先生和永遠的學姊 KF。因為有你們，讓我初次跨入這陌生的領域，包括踏進工地爬上屋頂，都能把無知和疑懼減到最低。

當實驗即將進行，機器卻出問題而尋遍全校替代設備時，我必須要感謝那些提供急難救助的人，他們是機械系林金生先生，材料系張天益學長，土木系陳景文老師，造船系林忠宏老師，特別是土木系楊燐偉先生和漁船中心黃偉輝學長，你們的意見也總是關鍵。

有些一起渡過這段日子的人必須要提。在實驗室的首位同伴小毛、實驗如火如荼進行期間找來的好室友崇義和祐偉，以及因為在台南待的一樣久所以變成論文夥伴的怡芳。還有我水利系的同學們，我的台南生涯，背景上都是你們的影子。

來到台南、讀建築所、待了八年，都是生命裡不可思議的部分。而不管發生什麼，永遠都在那裡的，是給了我所有溫暖與包容的家人。爸媽兄姊和乃盈，能有你們，是我最幸運的事。

## 目 錄

目錄	i
圖目錄	iii
表目錄	vi
<b>第一章 緒論</b>	
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	2
1-3 研究範疇	3
1-4 研究方法與論文架構	4
<b>第二章 傳統建築屋頂與灰漿之基本認識</b>	
2-1 屋頂的作法	7
2-1-1 屋頂的基本作法	7
2-1-2 工獻中的屋頂作法	15
2-1-3 屋頂的構造特質	21
2-2 屋頂的修復	23
2-2-1 傳統的屋頂修復	23
2-2-2 當代古蹟的屋頂修復	26
2-3 屋頂的材料	31
2-3-1 屋頂材料的製造與成分	31
2-3-2 屋頂材料的受力與穩定	37
<b>第三章 實驗計畫</b>	
3-1 前言	43
3-2 實驗項目與對象	43
3-2-1 實驗項目	43
3-2-2 實驗對象	45
3-3 相關實驗回顧	50
3-4 實驗規劃	54
3-4-1 實驗方法與原理	54
3-4-2 實驗設備	59
3-4-3 試體準備	60
3-5 實驗流程	64
3-5-1 物理性質試驗	64
3-5-2 化學性質試驗	65
3-6 預備實驗	67

第四章 實驗結果分析

4-1 分析方法 .....	69
4-1-1 實驗結果分析之內容架構 .....	69
4-1-2 實驗結果之群組區分 .....	69
4-2 物理實驗結果分析 .....	70
4-2-1 重量性質分析 .....	70
4-2-2 色彩分析 .....	78
4-3 力学實驗結果分析 .....	83
4-3-1 試體之破壞模式 .....	83
4-3-2 灰漿強度分析 .....	87
4-3-3 灰漿黏著強度分析 .....	94
4-4 傳統屋瓦灰漿基本性質之探討 .....	101
4-4-1 就基本性質項目探討屋瓦灰漿性質 .....	101
4-4-2 就灰漿材料之使用探討屋瓦灰漿性質 .....	105
4-5 實驗討論 .....	108

第五章 結論與建議

5-1 結論 .....	110
5-1-1 實驗結果整理 .....	110
5-1-2 以材料觀點探討傳統屋瓦灰漿性質與修復 .....	110
5-2 後續研究建議 .....	111

參考書目 .....	113
------------	-----

附錄

附錄一 實驗數據彙整 .....	116
附錄二 試體破壞狀況與數據彙整 .....	118
附錄三 各項重量性質之定義與推算 .....	133
附錄四 兩種細骨材的粒徑分析 .....	134
附錄五 田野調查之主要傳統建築案例基本資料 .....	135
附錄六 傳統建築案例之瓦片重量性質 .....	137

## 圖目錄

## 第一章 緒論

圖 1-4.1 研究方法與對象之關係圖

圖 1-4.2 研究流程與論文架構

## 第二章 傳統建築屋頂與灰漿之基本認識

圖 2-1.1 屋面基本構造

圖 2-1.2 屋面基層之各種作法 (照片)

圖 2-1.3 屋面下凹曲線之形塑

圖 2-1.4 屋面灰漿使用示意圖

圖 2-1.5 屋面結合層之各種作法 (照片)

圖 2-1.6 瓦片之排列 (照片)

圖 2-1.7 仰合瓦與筒板瓦之構造

圖 2-1.8 瓦隴之組合方式 (照片)

圖 2-1.9 與屋脊相接處的瓦隴作法 (照片)

圖 2-1.10 瓦隴檐端的處理 (照片)

圖 2-1.10 台灣傳統屋面之結構倫理示意圖

圖 2-1.12 三個營建目標之間的關係

圖 2-2.1 常見屋面的破壞一 (照片)

圖 2-2.2 常見屋面的破壞二 (照片)

圖 2-2.3 常見屋面的破壞三 (照片)

圖 2-2.4 屋面的修復 (照片)

圖 2-2.5 屋面的拆卸 (照片)

圖 2-2.6 吊脊法 (照片)

圖 2-2.7 結合層的修復 (照片)

圖 2-2.8 水泥石灰砂漿之拌合 (照片)

圖 2-2.9 屋面之補強作法 (照片)

圖 2-2.10 艋舺龍山寺的多層暗厝作法 (照片)

圖 2-3.1 屋面材料之組成

圖 2-3.2 背面帶爪溝的琉璃瓦 (照片)

圖 2-3.3 右為軸向略帶彎曲之板瓦 (照片)

圖 2-3.4 瑞隆磚瓦場的板瓦成型 (照片)

圖 2-3.5 灰漿的組成

圖 2-3.6 細骨材的級配優良與否決定灰漿的強度

圖 2-3.7 艋舺龍山寺之養灰場 (照片)

圖 2-3.8 廢糖蜜之儲存槽 (照片)

圖 2-3.9 屋面材料、屋面構造與營建目標之間的關係。

圖 2-3.10 石灰材料化學反應過程

圖 2-3.11 水泥漿體的膠結過程

### 第三章 實驗計畫

圖 3-2.1 灰漿基本性質實驗項目之分類

圖 3-2.2 本實驗選用之灰漿材料

圖 3-3.1 陳明生等，砂漿強度試體、紅磚與砂漿介面摩擦試體與實驗方法

圖 3-3.2 陳國顯等，介面強度實驗試體以及介面剪力強度實驗方法

圖 3-4.1 試體的吸水情形

圖 3-4.2 試體組成三相圖

圖 3-4.3 L\*a\*b\*色度圖

圖 3-4.4 灰漿抗壓試體

圖 3-4.5 灰漿抗彎試體

圖 3-4.6 黏著強度試體

圖 3-4.7 黏著抗拉強度實驗示意圖

圖 3-4.8 黏著抗剪強度實驗示意圖

圖 3-4.9 實驗設備 (照片)

圖 3-4.10 實驗用石灰與水泥 (照片)

圖 3-4.11 實驗用麻絨與稻殼 (照片)

圖 3-5.1 實驗進程示意圖

圖 3-5.2 灰漿強度試體開放面之色彩量測位置

圖 3-5.3 灰漿抗壓強度實驗 (照片)

圖 3-5.4 灰漿抗彎強度實驗 (照片)

圖 3-5.5 灰漿黏著強度實驗 (照片)

圖 3-6.1 灰漿用水量之實驗

### 第四章 實驗結果分析

圖 4-2.1 不同灰砂比的灰漿各種物理性質折線圖

圖 4-2.2 不同水泥量的水泥石灰砂漿物理性質折線圖

圖 4-2.3 不同糖漿量的糖石灰砂漿物理性質折線圖

圖 4-2.4 不同纖維摻料的灰漿物理性質折線圖

圖 4-2.5 不同灰砂比之各類灰漿色彩差異 (照片)

圖 4-2.6 各種灰漿不同灰砂比的色差趨勢折線圖

圖 4-2.7 不同水泥或糖漿量之各類灰漿色彩差異 (照片)

圖 4-2.8 水泥石灰砂漿不同水泥量、糖漿量的色差趨勢折線圖

圖 4-2.9 石灰砂漿有無稻殼之色差

圖 4-2.10 各種纖維灰漿的色差比較圖

- 圖 4-3.1 石灰砂漿受壓破壞(照片)
- 圖 4-3.2 正方體的受力破壞
- 圖 4-3.3 麻絨試體受壓破壞(照片)
- 圖 4-3.4 石灰砂漿斷面推測圖
- 圖 4-3.5 灰漿抗彎試體之破壞(照片)
- 圖 4-3.6 黏著試體破壞位置示意
- 圖 4-3.7 A02、A10 灰漿黏著試體破壞(照片)
- 圖 4-3.8 不同細骨材的兩種灰漿於各種砂灰比的抗壓強度趨勢圖
- 圖 4-3.9 不同細骨材的兩種灰漿於各種砂灰比的抗彎強度趨勢圖
- 圖 4-3.10 各種灰漿的灰砂比與其抗壓強度關係圖
- 圖 4-3.11 各種灰漿的灰砂比與其抗彎強度關係圖
- 圖 4-3.12 水泥石灰砂漿的水泥量與其抗壓強度關係圖
- 圖 4-3.13 水泥石灰砂漿的水泥量與其抗彎強度關係圖
- 圖 4-3.14 糖石灰砂漿的糖漿量與其抗壓強度關係圖
- 圖 4-3.15 糖石灰砂漿的糖漿量與其抗彎強度關係圖
- 圖 4-3.16 各種纖維灰漿的抗壓強度比較圖
- 圖 4-3.17 各種纖維灰漿的抗彎強度比較圖
- 圖 4-3.18 不同細骨材與介面抗拉強度之比較
- 圖 4-3.19 不同細骨材與介面抗剪強度之比較
- 圖 4-3.20 各種灰漿的灰砂比與其黏著抗拉強度關係圖
- 圖 4-3.21 各種灰漿的灰砂比與其黏著抗拉強度關係圖
- 圖 4-3.22 水泥石灰砂漿的水泥量與其介面抗拉強度關係圖
- 圖 4-3.23 水泥石灰砂漿的水泥量與其介面抗剪強度關係圖
- 圖 4-3.24 糖石灰砂漿的糖漿量與其介面抗拉強度關係圖
- 圖 4-3.25 糖石灰砂漿的糖漿量與其介面抗剪強度關係圖
- 圖 4-3.22 各種纖維灰漿的介面抗拉強度比較圖
- 圖 4-3.23 各種纖維灰漿的介面抗剪強度比較圖
- 圖 4-4.1 整列瓦隴受垂直屋面之風力吹襲之受力圖
- 圖 4-4.2 抽換瓦片之受力圖

## 表目錄

### 第二章 傳統建築屋瓦與灰漿之基本認識

- 表 2-1.1 《營造法式》筒瓦分等
- 表 2-1.2 《營造法式》板瓦分等
- 表 2-1.3 《營造法式》屋面基層一瓦下補襯作法
- 表 2-1.4 《營造法式》中的各種「膠泥」
- 表 2-3.1 波特蘭水泥熟料礦物之特性

### 第三章 實驗計畫

- 表 3-2.1 灰漿配比總表
- 表 3-2.2 灰漿編碼與命名方法簡表
- 表 3-2.3 各種灰漿用語
- 表 3-4.1 重量性質之各項數據計算說明
- 表 3-4.2 色差等級與評語
- 表 3-4.3 細骨材的物理性質表(Das, 1998: 90)
- 表 3-5.1 各種重量性質之量測方法
- 表 3-6.1 預備實驗灰漿製備
- 表 3-6.2 預備實驗結果

### 第四章 實驗結果分析

- 表 4-1.1 灰漿類型與群組分布表
- 表 4-3.1 沾黏狀況紀錄方法
- 表 4-3.2 灰漿抗壓強度
- 表 4-3.3 灰漿抗彎強度
- 表 4-3.4 灰漿黏著抗拉強度
- 表 4-3.5 灰漿黏著抗剪強度
- 表 4-4.1 三種灰漿對瓦片黏著力試算
- 表 4-4.2 各項基本性質概要
- 表 4-4.3 三種灰漿重量性質試算

## 第一章 緒論

### 1-1 研究動機

本論文基於傳統建築研究中專業者的責任，以及相關之技術性研究的缺乏作為出發點，期望對傳統屋面之營建與修復提出建言。

#### 一、文化資產保存與專業者的角色

文化資產的議題，因為台灣近幾年重大天然災害對其所造成的破壞，以及對長久以來經濟發展優先之概念的反省，在今日已經成為一個受到普遍討論的公共議題。同時，各部門也開始對文化資產一事投注許多的心力，包括民間社團對社區內文化資產的關心、政府相關部門的設立與機能強化，以及學術單位長期的觀念推廣與調查研究。凡此種種，文化資產之概念已然紮根於台灣社會。

文化資產的中心議題在於保存。

文化資產乃一綜合性議題，包括都市發展、文化政策、法律、財務、科技、調查研究等面向，都同時指向了「保存」一事，而事實上，保存原本就是文化資產概念的出發點。而文化資產保存之決策與方法，便需透過這些面向獲得。

文化資產被視為社會整體共同擁有，一般而言，由公部門負責整合事項，也就是文化資產的政策擬定與執行，過程中包括了專業意見的參與和社會輿論的凝聚，並提供專業者與輿論對話的機制，最後達成共識，決定文化資產的處理方式，包括權利義務的行使與歸屬等。在這樣的體制之下，專業者的主要任務在於提供各個層面的諮詢，包括收集背景資料、引介並推展觀念與議題、提供保存決策模式、並建議保存的實務方法。專業者作為公眾的諮詢對象，理應從事各種相關於文化資產的研究，方能為公眾提供最完整、多樣與合理的專業意見。

#### 二、傳統建築修復的技術性研究

文化資產之中與民眾息息相關，尤其常涉及重大私人財產的部分，便是傳統建築。台灣的傳統建築被視為建築文化資產，起源於民國七十年代以來的古蹟保存運動，此後建築文化資產的觀念從無到有。傳統建築作為文化資產的一部份，建築專業者在這方面的任務，便是為傳統建築之保存與修復提出學理與方法。

建築學界過去關於傳統建築之研究偏重於理論層次，內容以歷史地理之調查、文化研究、建築形式與傳統營建的調查整理為主，如此的研究導向奠定了傳統建築成為文化資產的理論依據，並建立了大量而且可靠的傳統建築資料，建構出一套保存修復論述。

前述的研究導向為傳統建築的保存與修復提供觀念與方向，但似乎無法直接應用在修復之工程實務上，尤其現今傳統建築在修復工作上，實務界的觀念與作法屢屢遭受質疑。針對此一現象，近年來的技術性研究，實為保存修復的一個新進展，期以過去的理論論述為基礎，透過科學實驗與分析，採納工程實務經驗，提供可資應用的技術性知識，有利於對傳統建築修復的深入思考並做出較佳決策。

## 1-2 研究目的

十多年來，台灣的古蹟修復不曾間斷，尤以公部門投入大量財力物力，數以百計的古蹟現場經歷了當代營建體系的洗禮，進行一場場的古蹟修復工程。

古蹟修復工程中，為了拆解主要結構體的大木構造以便修復，幾乎都要將屋面全部拆卸。另則是屋面作為重要的機能構件，稍有破損則屋面的翻修勢不可免，並常在重新施作屋面時覆以全新材料。這樣的修復過程常引人爭議，尤其屋面材料「棄舊換新」的做法，和文化資產的保存觀念是明顯抵觸的。

保存的實際修復作法，直接影響古蹟與歷史建築的外部形貌與構造機能，尤其屋面是傳統建築的視覺重心，其材料使用的合理性，更是當前古蹟修復最常見的問題。「遵循古法」是否就可恢復其原形貌與構造機能，若否，則怎樣的作法與材料才是合理的？其中以屋面灰漿配比最為複雜，因為不論傳統營建或當代古蹟修復，匠師經驗都是最重要甚至唯一的技術依據，決定灰漿之配比與屋面之整體作法。

例如古蹟修復工程中屋面灰漿最常見的現代材料便是水泥。水泥的性質和石灰、黃土灰漿有明顯的差異，則使用水泥的合理性基礎為何？解決這些問題的第一件事，便是了解各種材料的基本性質。若能代匠師經驗以科學的描述，甚至定之以量，轉換而為「通俗」之物，使眾人探討相關議題時有一共同基礎，此共同基礎符合一般建築材料性質研究之規格與項目，乃本論文所謂之技術性研究所追求者。

因此，本論文的研究目的，乃是期望透過實驗，探討傳統建築屋面灰漿材料的基本性質，為傳統建築之修復提供技術性知識。傳統建築的屋面之技術性研究有兩個層次：(1)屋面材料與施工。(2)屋面的整體性能。基於以往相關研究之缺乏，本論文以前一層次，即以屋面灰漿為研究對象，進行基本性質實驗，期望能為相關之研究或台灣傳統建築之營建、修復提出建言。

綜論本論文之目的，乃希望以材料觀點之灰漿基本性質，探討下列兩個議題：

- 一、傳統營建中屋面灰漿性質之探討。
- 二、當代屋面修復之灰漿使用的合理性。

### 1-3 研究範疇

本論文探討之「傳統建築屋面灰漿基本性質」是指特定地區之某種建築物，其使用於特定部位之建築材料基本性質。以下分別對此研究對象加以說明，並為部分名詞用語做一定義釐清，以便後續的探討。文中關於傳統營建專有名詞的釋義，以中國傳統制式做法為主，並列舉台灣用語。台灣用語若無指明則為台灣常用之閩南語稱呼法，名詞釋意以外文章內容則以習慣用語為之，以利說明。

#### 一、台灣傳統建築

「台灣傳統建築」可依時間分為原住民族、荷西時期、清領與日據四類。若以對「傳統」的定義為基礎，可分為兩類，包括台灣之原住民族與大陸閩粵地區移民台灣者，在台灣「為各自的傳統社會文化構築具獨特性的容身場所」(徐明福 1993: 31)。

本論文之傳統建築是指台灣地區清領時期之建築，或大陸閩粵地區移民台灣者所構築之建築物，以及他們的遺存。不論分類如何，皆指 17 世紀以來從中國大陸遷往台灣之移民，依其原居地之建築形式與構法，在台灣所興建的建築，以民居與官制建築為大宗。故而此一「台灣傳統建築」乃是中國傳統建築之源流續存於台灣地區者(林義傑 1998: 20)，故又稱為漢人傳統建築、閩客厝屋等，亦為本論文所指稱的「台灣傳統建築」或「傳統建築」。

這類的建築與原鄉大陸之外觀近似，其基本形式之單體建築，平面長方形，以牆與木構為主要結構體，上方做成斜屋頂，並蓋瓦遮蔽。多座單體建築組合成院落，提供居住等機能使用。建築的大小尺度、組合的座數、細部作法、建材、裝飾物之繁複等，因人口、屋主財力與地方狀況而有所不同，但維持大致固定的形式並遵守禮制之規範。

本論文討論之傳統建築，以公部門列管之指定古蹟或歷史建築為主，但實驗與論述之取材範圍不限於此。

#### 二、屋面灰漿

「傳統建築屋面」指「屋頂天溝、屋脊與出檐之間的斜向面狀構造」，是一多層構造，包括基層、結合層、面層<sup>1</sup>，本論文「傳統建築屋面灰漿」即指結合層所使用的圬工墁料，又稱為「座灰」或「背背」，古籍如《營造法式》中列瓦作或灰作之中。

傳統建築用於此處之灰漿和其他部位的灰漿之差異需視施工之需要，一般以當地容易取得的天然土壤為基本材料，或加入石灰為膠結材料，另可能加入糖漿、稻殼等，當代的古蹟修復工程常摻入水泥與麻絨等材料，這些摻料都是本論文的研究對象，以上統稱為「屋面灰漿材料」。

因此，我們可以詳細定義台灣傳統建築「屋面灰漿」為台灣傳統建築「屋頂天溝、

<sup>1</sup> 傳統屋面構造之區分詳述於 2-1 節。

屋脊與出檐之間的斜向面狀構造的結合層所使用之「巧工墁料」。

### 三、基本性質

「屋面灰漿」之「基本性質」乃是該巧工墁料之常見工程性質，如比重、吸水、強度、黏結性等，以該構造工程需要之性質為探討項目。實驗以當代材料模擬傳統建築之屋面灰漿材料，製成單元試體進行，以有限度墁料試體的「基本性質」，對巧工構造整體性能試加探討。

## 1-4 研究方法與論述架構

### 一、研究方法

本論文之研究方法乃以傳統建築之田野調查為基礎，對傳統建築屋面灰漿之材料與作法作一認識，並以新拌灰漿模擬傳統灰漿進行實驗，獲知各種灰漿之基本性質，最後以此基本性質探討傳統屋面灰漿之使用以及修復，其關係可以圖 1-4.1 表示。

#### (一)田野調查與文獻研究

對象為台灣各地進行之古蹟修復工程、傳統建築匠司，及各地傳統建築之觀察，部分並採取試體。長期觀察之對象主要有台北保安宮、鹿港龍山寺、艋舺龍山寺、善化慶安宮、台南西華堂於 2000 年到 2003 年之間進行之古蹟修復工程及相關匠司，並以台南王進安先生與桃園陳義雄先生為長期徵詢之泥水匠司<sup>2</sup>。

與田野調查同時的是對古籍記載做法與材料之研究，對台灣傳統建築材料作一基本之描述，並參考當代土木工程材料之性質、使用與實驗方法，作為實驗規劃之基礎知識。

#### (二)實驗分析

實驗規劃出各種配比之灰漿材料，並進行實驗，以實驗結果探討各種灰漿之基本性質。

#### (三)灰漿基本性質之探討

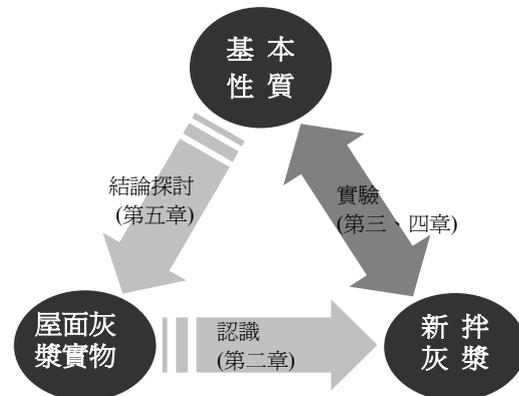


圖 1-4.1 研究方法與對象之關係圖

<sup>2</sup> 相關資料見附錄五。

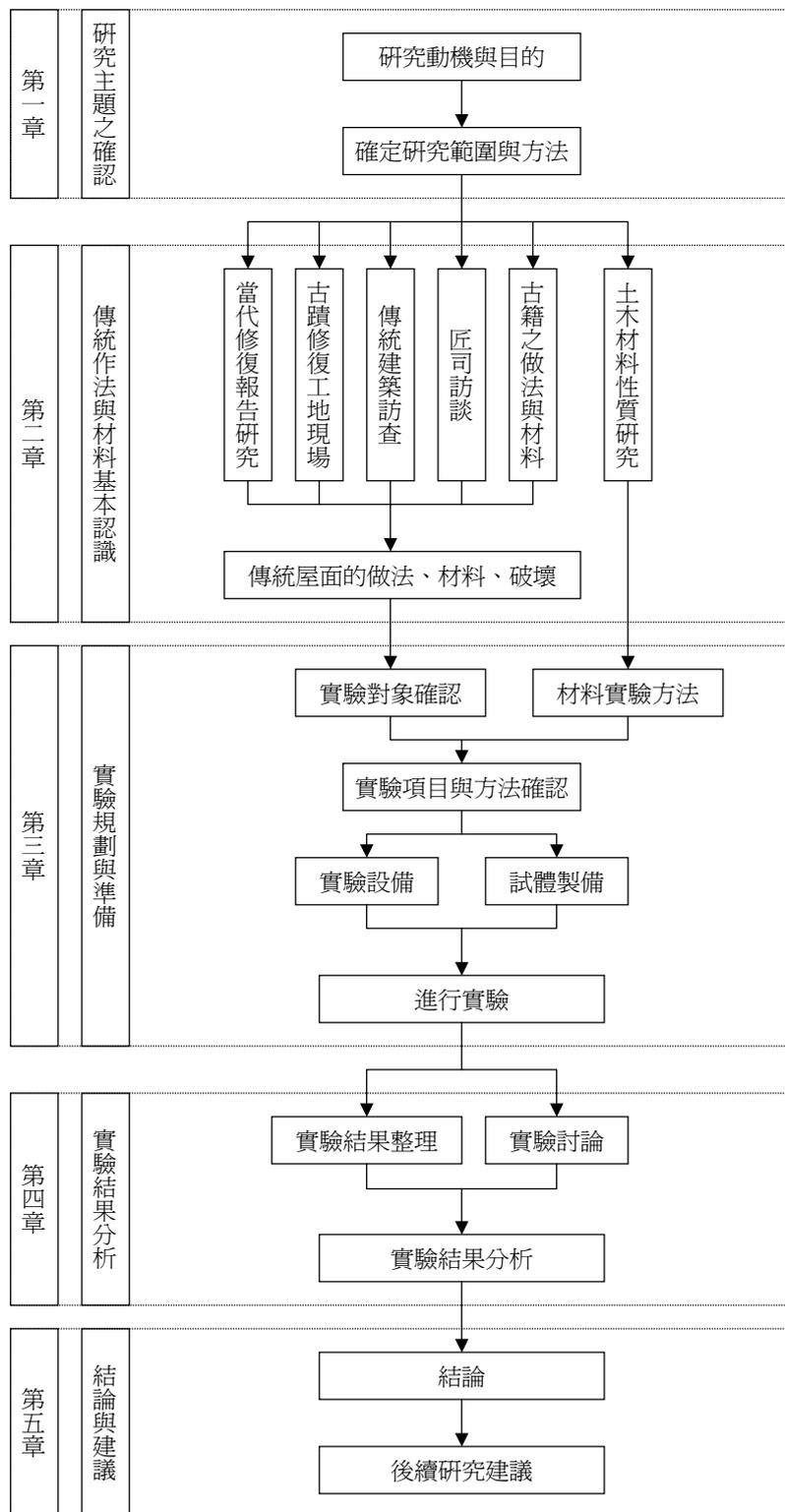


圖 1-4.2 研究流程與論文架構

以新拌灰漿的基本性質為基礎，探討傳統營建使用灰漿之基本性質，以相關之修復探討。

## 二、論文架構

本論文以對傳統建築的多方觀察，尤其是對傳統建築屋面構造的本質、作法、材料以及其破壞作一討論，構成第一、二章的主要內容，過程中並對當但建築材料研究的實驗與成果加以研究，並選擇作為實驗對象的屋面材料，確認實驗的內容，構成第三章的實驗規劃。最後以第四章將實驗的結果試加整理與分析，並將此結果綜合第一、二章之基本認識以及後續的建議，於第五章說明。圖 1-4.2 為研究流程與論文架構圖。

## 第二章 傳統屋頂與灰漿之基本認識

屋面是以灰漿和磚瓦構成之圬工構造，若欲對灰漿作一基本認識，實難將其單獨提出進行描述，而需以整個屋面通盤探討。因此，本章首節說明其屋面的營建作法，包括古籍與文獻中記載之作法，並就屋面之構造特質作一整理，以作為後續討論屋面灰漿基本性質之基礎。其次以屋面的修復，尤其是當代古蹟的屋面修復作一說明，末節討論屋面之材料，重點在於結構穩定之觀點與灰漿之膠結硬化原理。

### 2-1 屋頂的作法

#### 2-1-1 屋頂的基本作法

傳統建築主要結構體為木構架與承重牆，以下先將屋頂構造作一釐清。若稱柱子以上的木構部分為「屋架」，則屋架上施作瓦片與灰漿之圬工構造可稱為「屋頂」，二者共同形構屋頂形貌。屋頂又可分為「屋面」、「屋脊」與「裝飾物」三個部份。其中，屋脊作法可簡可繁，裝飾物可有可無，因此以屋面為屋頂之主要部分。

「屋面」通常為一斜向的面狀構造，隨屋架之型態，即數排「楹」所形成的斜面型態而鋪設。屋面為一多層圬工構造，可以歸納分為基層、結合層、面層三層構造(徐明福 2001: 6)，見圖 2-1.1，其施作過程為：

1. 於桷木鋪上「望磚」，台灣稱為「養仔」，即為基層。
2. 基層上鋪上灰漿、土壤或壘砌磚石，台灣稱為「座灰」，即結合層。
3. 結合層上鋪設瓦片，即面層。

就匠司之分工，屋頂的營建以泥水匠司為主(徐明福 2001: 10)。其工作內容涵蓋屋面與屋脊的壘砌，並需負責屋頂的裝飾，如泥塑、剪黏、浮雕等工作，並需與大木匠司討論。

首先說明與屋面圬工構造關係密切的屋架木構造。屋架各排「楹」的間距通常在數尺以上，因此需於楹上作另一構造方可施作圬工材料，此構造即「椽子」，常見為斷面長方之木條或竹材，台灣稱為「桷仔」。桷仔通常為間隔排列，亦有鋪滿楹上者，澎湖稱為「密桷」(張宇彤 1991: 217)。也可說是屋架為一空洞的框架，即一線狀組合系統，而屋面為一面狀物，桷仔為二者之過渡。

一般形式較簡單屋面作法，經常以瓦片直接鋪覆於桷上，亦即只有面層，而不用結合層與基層(圖 2-1.2h)，也有僅以簡單的土壤鋪覆作為結合層。至於寺廟、官署、官紳宅邸等較採用高級之作法，便以具有膠結材料之灰漿作為結合層，並且在結合層中壘壘

磚瓦土石，以形塑屋面成下凹曲面。

以下分別說明台灣傳統建築三層屋面構造的常見作法。

### 一、基層

基層乃是在桷木上鋪設一層平面磚，稱為「望磚」，台灣稱為「養仔」，亦可見用木板者，即「望板」。若用於寺廟官宅大宅，望板與桷仔呈「上下兩層」之木構(徐明福 2001: 7)，如鹿港龍山寺正殿上層屋面，而艋舺龍山寺正殿則兼有望磚與望板。形式較簡單者，如農宅亦有用以板瓦者(林會承 1995: 93)。

就構造觀點，基層的設置是爲了結合層之圻工墁料的施作，因此基層「養仔」鋪設之最主要要求，爲完全覆蓋桷木間之空隙，使結合層之材料不至掉落或滲下。另一項要求爲瓦片排列之整齊程度。因爲桷木既有空隙，養仔磚便可以從建築內部望見，若排列不均或有破裂，便無法達到視覺美觀上的要求。另外如密桷與望板作法則以完全蓋實爲目的。

桷木至屋檐處已伸出檐桁成爲一根根的懸臂，以一垂直向薄板釘在桷木突出端作爲桷仔的收頭，具有遮蓋與固定的功用，稱爲「封檐板(風檐板)」(圖 2-1.1)。封檐板長度橫貫整個建築面寬，與桷仔相交處釘一木條，其斷面大者約與桷木相同，小者僅一寸見方，直接防止養仔沿桷木斜面滑落(圖 2-1.2a)。亦有於屋坡中段橫向釘設木條防止養仔滑落，並便於施工，如鹿港龍山寺與善化慶安宮(圖 2-1.2b)。

養仔瓦多爲長方形，部分傳統建築之養仔磚乃向磚瓦場訂製特別尺寸，亦有以方磚現場裁切使用。覆蓋的程度可以滿鋪(圖 2-1.2c,d)，或是不將整支桷木覆蓋)，而以蓋住桷間距再加寬一些即可(圖 2-1.2e,f)，加寬的程度應考量後續施工不會因爲不慎移動而使養仔磚掉落。

基層養仔瓦的寬度要配合桷木之間距爲之，此間距則視桷木之寬度與使用量，需經匠司討論以及建築禁忌之吉凶而定(林邦輝 1981: 73)。與屋面基層相關的建築禁忌上，有「天、地、人、富、貴、貧」之禁忌，桷木依序計算，總數遇「人」或「貧」爲不吉。一般而言，客家以三的倍數爲不吉，「人」「貧」都需避開，而閩南匠司以六的倍數爲不吉，僅需避開「貧」字(徐明福 2001: 13)。事實上，匠司的算法各異，有許多變通之算法，以應工程之實際需求，如「寄桷」之作法(邱上嘉 1990: 173)。桷仔的數目考量上述禁忌之後，大木匠司需邀泥水匠司共商細部作法(圖 2-1.2g)，以便其後基層養仔磚之鋪

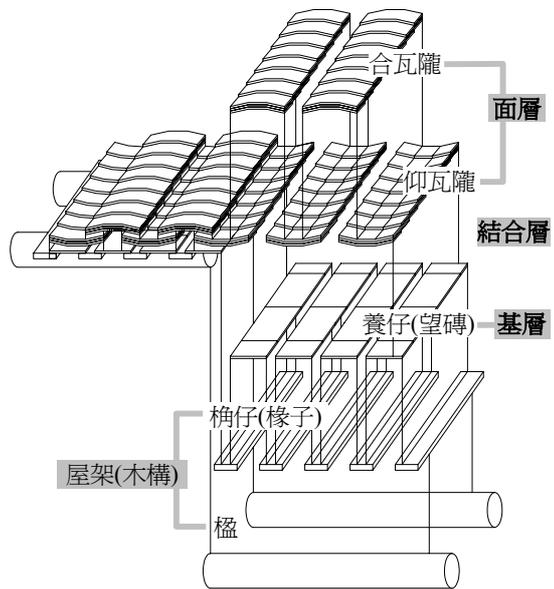
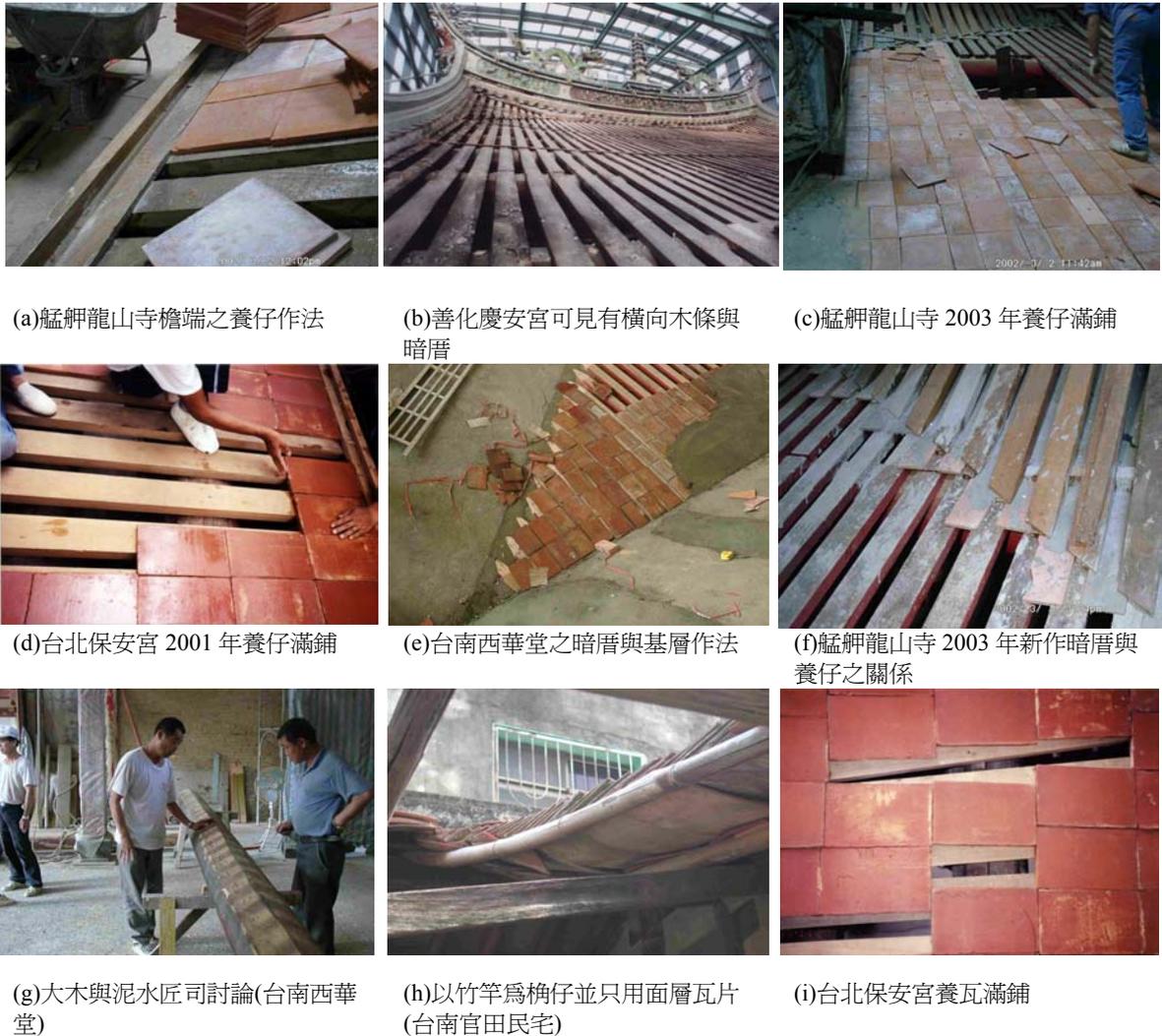


圖 2-1.1 屋面基本構造

設。

另外，不論有無暗厝作法，基層養仔瓦都需全面鋪設，因為台灣傳統建築常為無天花的徹上露明做法，最下層的桷木間縫必須蓋滿瓦片。但若有多層暗厝桷木，如艋舺龍山寺，則只需最上層鋪基層養仔瓦，中間的桷木層則不必。

圖 2-1.2 屋面基層之各種作法



## 二、結合層

結合層通常為一層圬工墁料，亦有疊砌磚瓦者，稱為「座灰」(林會承 1995: 93)，如圖 2-1.5a。本論文稱其墁料部分為「灰漿」。

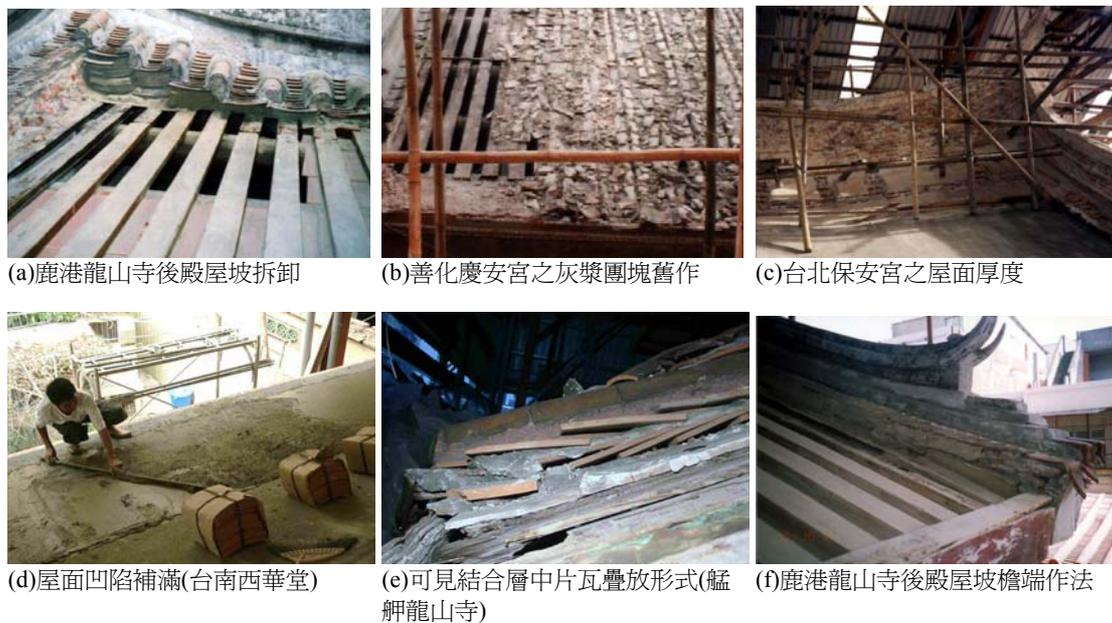
灰漿以其黏著性將下方的養仔和上方的瓦片分別固定，而且黏著瓦片的結合層灰漿和面層瓦片是同時施作的。匠司於工地現場拌製灰漿，把灰漿鋪於基層構造上，然後放上瓦片略為施壓，即完成結合層與面層瓦隴之施作。

灰漿的拌合是泥水師傅的重要技術，決定灰漿的摻料和配比後，並依拌合過程的灰漿濃稠度以及外觀色彩等，略加調整配比。整個灰漿拌合過程以經驗為主要依循準則，



灰漿用於黏結瓦片的用量，筒瓦中需填滿灰漿，至於仰瓦下有可以作滿漿，即將基層養仔瓦以上、面層仰瓦隴之下的空間以灰漿等材料填滿，如鹿港龍山寺。亦可視灰漿之性質，僅以足夠量的灰漿黏結瓦片，如圖 2-1.4 所示，一般先抹上一長條灰漿帶，然後將板瓦一塊塊鋪上形成瓦隴。亦有砂漿團塊的做法，即將適量灰漿「點」在基層養仔瓦上，點的位置為瓦底兩側，常見於琉璃板瓦的施工(圖 2-1.5b)。

圖 2-1.5 屋面結合層之各種作法



就傳統建築之外部型態而言，屋面天溝或屋脊之兩側的屋面斜向相反，若有兩斜向相同屋架相接，需以結合層之巧工材料作成平順的曲線屋面，因此傳統建築屋面無轉折，而為直線或平順曲線，故無西歐「馬薩頂<sup>4</sup>」之雙斜屋面(陳太農 2001: 54)。

### 三、面層

面層即鋪設於結合層灰漿上的瓦片，這層瓦片為屋面之最外、最上一層，亦為建築物外觀可見的部分。就構造觀點，面層的目的是要形成一完整的覆蓋面。

面層的瓦片主要有兩種，一為「板瓦」，略成單向之彎曲，台灣常稱「薄(布)仔瓦」較厚者稱「底瓦」<sup>5</sup>，二為「筒瓦」，為一空心半圓筒形之瓦，台灣常稱「筒仔瓦」、「管仔瓦」或「瓦筒」等。

#### (一)瓦片的排列方式—瓦隴

板瓦沿中軸線方向從檐端向上排列至屋脊處，瓦的彎曲軸和建築中軸平行，各瓦需相疊以上瓦壓下瓦，如此形成的一系列板瓦稱為「瓦隴」，台灣稱「槽」，組合多排瓦隴便可覆蓋屋頂。素燒之板瓦可以兩面放置，彎曲凹面向上放置稱為「仰瓦」，向下稱「合瓦」，台灣常稱「笑瓦」與「叩瓦」(邱上嘉 1990: 176)，因此瓦隴亦分仰瓦隴與合瓦隴，

<sup>4</sup> 馬薩頂為 16 世紀起流行於法國之屋頂式樣，屋面顯著彎折成兩段屋坡，日據時期引入台灣。

<sup>5</sup> 《營造法原》中稱仰瓦隴為底瓦。

台灣稱笑槽與叩槽。另外筒瓦隴之排列一如板瓦，但上下瓦相接而不相疊。瓦片的選用上，有時板瓦的橫向亦稍有彎曲，匠司多用於合瓦隴，以利瓦片間的密合。

瓦隴上下板瓦的相疊，若為素燒瓦，一般以露出下方板瓦前方軸向長度的三分之一至四分之一，並無固定說法<sup>6</sup>，匠司表示其目的為增加同一位置的板瓦層數，例如露出下瓦三分之一長度，表示任一位置皆有三層瓦片的覆蓋，以確保其強度與防護之機能。事實上，應施工的狀況常非定數，也經常為了瓦隴的整齊美觀甚至瓦片品質不佳時便需加以調整(圖 2-1.6a)。又如圖 2-1.6b，鹿港龍山寺拜殿仰瓦之相疊，以面對院落側較密，龜背側較疏，顯示其考量了屋面位置。至於琉璃瓦因為其有較佳的強度和防護能力，因此相疊較短。

瓦隴的各瓦片亦有橫向錯置之作法(圖 2-1.6c)，如艋舺龍山寺。即板瓦中軸都不對齊瓦隴中軸，若下瓦偏左則上瓦即偏右之交錯放置。原因可能為單純地加強屋面的防護力與強度，另外瓦隴的排列致使瓦隴間距過大亦為原因。

圖 2-1.6 瓦片之排列



(a) 瓦隴的排列(台南西華堂) (b) 右側為龜背內瓦疊較疏 (c) 瓦片之交錯疊放(艋舺龍山寺)

## (二)瓦隴之組合方式—屋面形式

面層瓦隴之以連續多排仰瓦隴為基礎，變化出數種瓦隴排列方式，以完整形成一覆蓋面，可分成以下幾種屋面形式(林會承 1995: 93)。

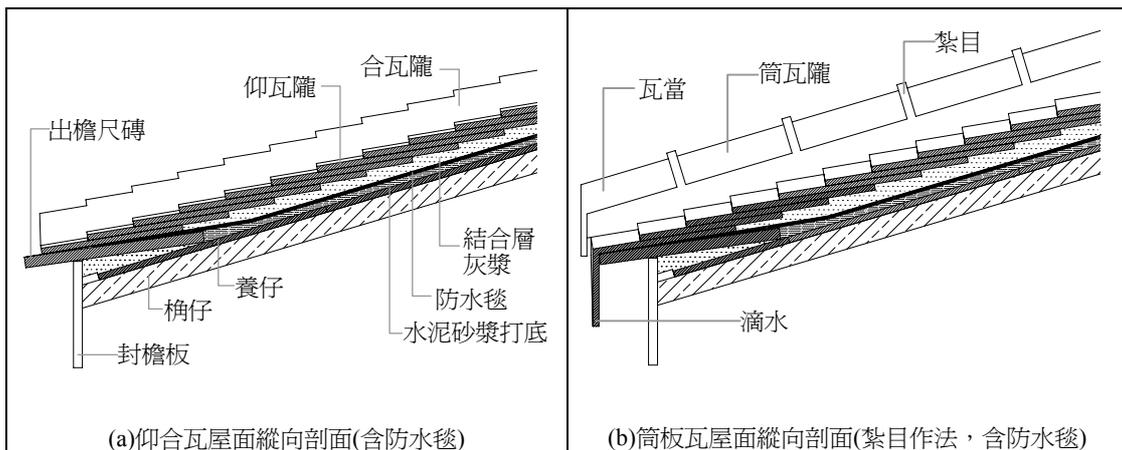


圖 2-1.7 仰合瓦與筒板瓦之構造

1. 仰合瓦 連續多排仰瓦隴，但瓦隴間縫覆上合瓦隴。合瓦隴側可填以灰漿以為

<sup>6</sup> 如文獻林邦輝 1981: 27 指出需重疊十分之七以上；《營造法式》用琉璃瓦以「上壓四分，下留六分為原則；潘谷西《中國建築史》有「蓋七露三」之說法。

固定，以素燒紅瓦為主。此為台灣民宅最常見的瓦隴組合方式。

2. 筒板瓦 連續多排仰瓦隴，但瓦隴間縫覆上筒瓦隴。筒瓦中需填滿灰漿，有時需在仰瓦隴間縫之上覆蓋一片細長瓦片，稱為「防水瓦」(林邦輝 1981: 27)，然後再覆上筒瓦隴。另外亦有更講究之「紮目」或稱「節目」作法，即筒瓦周圍間縫以灰漿補齊，或是作成突起狀，此一灰漿亦有染色者，通常以「土朱」染成暗紅色之灰漿(圖 2-1.7、2-1.3)。筒板瓦常用於高級建築，所用板瓦因較厚且位於筒瓦隴之下，故不稱「薄(布)仔瓦」而稱「底瓦」。板瓦亦常以琉璃瓦代替，琉璃瓦件具有的方向性，與其只用於高級建築有互為因果的關係。

3. 仰瓦灰梗 連續多排仰瓦隴，隴間縫以土或灰漿補上如筒瓦隴狀。為最簡單的屋面瓦隴組合，但較少見。

圖 2-1.8 瓦隴之組合方式



(a)防水瓦的施放(艋舺龍山寺)

(b)筒瓦中填滿灰漿(艋舺龍山寺)

(c)紮目之施作(艋舺龍山寺)

### (三)脊端的處理與瓦隴數量及位置的決定

施作的程序上，一系列瓦隴最先施作的瓦片實為屋脊端的幾塊瓦，然後再從屋簷處由下往上鋪瓦與之相接，原因是屋脊與脊飾疊砌在屋面之上，卻又需在鋪瓦前施作，避免踏破剛鋪好的屋瓦，因此需預鋪一小段瓦隴。此預鋪之脊端瓦隴，亦為匠司依屋脊之狀況決定瓦隴之位置與數量之時機。

脊端瓦隴的預鋪，先在預設的仰瓦隴位置之屋脊端試鋪瓦片，通常每隴只鋪 3~5 塊板瓦即可，最下方的瓦片需撐起下緣，通常用碎磚瓦等廢料為之，確保瓦片的位置正確。再覆上合瓦隴，每隴亦以 3~5 塊即可。之後便在兩坡預鋪的短瓦隴上施作屋脊，待屋脊與裝飾物完工後，方才開始由檐端向上鋪瓦，鋪瓦前亦需於預設之瓦隴位置試放瓦片確認之。

至於瓦隴之數量需考慮建築禁忌，匠司認為最重要的是「歸中笑」，即陽宅中軸線上必為仰瓦隴。兩側與垂脊相接亦為仰瓦隴，因此通常仰瓦隴數為奇數，而「七俯八笑」之建築禁忌亦為相同理由(邱上嘉 1990: 176)。其次瓦隴的數量和間距需適當安排，並無定制，避免間距過大，影響防水的機能以及構造之穩定。通常屋面都有足夠之寬度，因此瓦隴多一少一時差距並不大，但必要時，可調整垂脊的位置容納瓦隴寬度，或是以前述交錯瓦片的方式解決。

台灣常見歇山或硬山頂，其垂脊和鄰接之仰瓦隴實為共構之關係(圖 2-1.9a,b)，仰瓦

隴側被包藏於垂脊之中，二者同時施工，為首先完成的瓦隴。

圖 2-1.9 與屋脊相接處的瓦隴作法



(a) 垂脊和鄰接之仰瓦隴(善化慶安宮)

(b) 垂脊和鄰接之仰瓦隴(台南西華堂)

(c) 脊端瓦隴的預鋪(台南西華堂)

#### (四) 檐端的處理

當正脊、垂脊，以及相鄰的瓦隴、裝飾物施作完成，就開始從檐端鋪瓦。首先需在封檐板上施作一排平面方磚，方磚前端突出封檐板約數吋，稱檐口尺磚(圖 2-1.6)。仰瓦隴從檐口尺磚上開始鋪設，高級作法之仰瓦隴最下端之瓦件為「滴水」，或稱「瑞簾」，突出屋簷口尺磚用以束水。若不用滴水，首塊仰瓦直接置於檐口尺磚之上，前緣不突出檐口尺磚，通常不需以灰漿封口。合瓦隴在檐端通常會墊以碎磚瓦廢料再封灰漿(圖 2-1.10)。若為筒瓦隴，則以圓形瓦件封住檐端，稱為「瓦當」或稱「瑞珠」，瓦當有時與筒瓦合製成單一構件，通常有浮雕文案，如台南祀典武廟則雕以廟名。

圖 2-1.10 瓦隴檐端的處理



(a) 無封檐板的作法(台南官田民宅)

(b) 瓦壘檐端封以灰漿(台南西華堂)

(c) 試水路(台南西華堂)

#### (五) 無結合層與基層的面層屋瓦做法

面層是屋面最重要的部分，許多形式簡單的民宅常在桷木上直接施放板瓦，可知底層與結合層是可以被替代或不使用的。

此時桷木的寬度就必須十分講究，常為隔間施放仰瓦隴，兩仰瓦隴間再蓋上合瓦隴，有時在合瓦隴與仰瓦隴之間施以少量灰漿，如新埔劉氏宗祠之右廂，台南一帶常見全無灰漿者，僅以瓦片的表面摩擦力和重力維持瓦隴的穩定，可以從檐端或屋簷下見其瓦片之排列(圖 2-1.2h)。合瓦隴下有時會另鋪一層瓦片，一如望磚。因此這類型的瓦隴數總合與桷木的之數是相同的。

## 2-1-2 文獻中的屋瓦作法

本小節對各古籍與研究報告上關於屋面之作法、屋面灰漿之拌合、瓦片之製作等作一說明。

## 一、關於屋面作法與材料之文獻

## (一) 宋《營造法式》

宋代李誠於 1103 年編著的《營造法式》三十六卷，是官方建築工程之規範，除了大木作制度中有木構之「舉折」作法以形塑屋面之下凹曲線外，關於屋面作法與材料者，包括：

卷第十三 瓦作制度、灰作制度

卷第十五 磚作制度、(窯)作制度

卷第二十五 諸作功限二—瓦作、泥作、塼作、窯作

卷第二十六 諸作料例一—瓦作

卷第二十七 諸作料例二—泥作、塼作、窯作

卷第二十八 諸作用釘料例、諸作用膠料例

《法式》將所有屋頂用的黏土製品都列在「瓦」的相關作法中，包括筒瓦、甃瓦、壘脊之瓦、鴟獸之瓦等。書中筒瓦寫作「甬瓦」瓦，板瓦作「甃」瓦。另有「膠泥」，可解釋為「具黏性的泥土」<sup>7</sup>。《夢溪筆談》卷十八提及畢昇製作活字板「用膠泥刻字...火燒令堅。」《法式》書中又以「細膠土不夾砂者」製作瓦胚，可見膠泥或膠土應為富含黏土質之材料，可用以燒製陶器。另，若單稱「泥」時應亦指「膠泥」，若單稱「灰」則指「石灰」，為以生物為原料所製造，另有「純石灰」又名「礦灰」應指原料純度較高的礦石製品，可以八斤取代一般石灰之十斤使用，顯然當時已知礦物石灰純度較佳。北宋朝廷位於華北，因此以當地常見的小麥作為纖維材料來源，另外「麻搗」即指「麻搗」或「麻刀」，為碎麻和石灰拌合之物，需摻入所有的灰泥之中。

1. 卷第十三瓦作制度「結瓦」節，講述鋪設瓦隴的方法。屋面瓦之排列有筒瓦與甃瓦兩個等級，即指筒板瓦與仰合瓦兩種作法，仰合瓦作法在《法式》中又稱「散甃瓦」。

其中，筒板瓦作法用於「殿閣廳堂亭榭等」，將筒瓦裁修，稱為「解橋」，並「攢窠」，即確認尺寸。筒瓦之下「鋪仰甃瓦，上壓四分下留六分，散板仰合瓦並準此。」筒瓦隴的間距為筒瓦寬度，由下向上施放筒瓦，並需試鋪使瓦件密合再施灰漿，之後壘脊。

仰合瓦作法用於「廳堂及常行屋舍等」，兩合瓦隴之間距為合瓦寬之半，「自上而至下勻拽隴行」，仰瓦小頭向下，合瓦小頭向上。瓦當稱為「華頭筒瓦」，以「蔥臺釘」固定。六椽以上的陡屋坡可以「著蓋腰釘」固定筒瓦。

2. 卷第十三瓦作制度「用瓦」節中，規定瓦的尺寸須依房屋等第使用，以及基層和

<sup>7</sup> 教育部國語推行委員會編錄之網路版國語辭典，民國八十七年四月版，「膠泥」條。

結合層之材料與作法<sup>8</sup>，整理如表 2-2.1~2。仰合瓦之檐頭合瓦用「垂尖華頭板瓦」。

所謂「瓦下補襯」材料即指基層材料，鋪於椽上，以柴棧最佳，次為版棧。亦可以竹筴、葦箔、荻箔為替代材料，用法如下表 2-1.3。至於結合層有兩層，作法為先鋪滿「膠泥」，其後瓦鋪到處再抹一層純石灰，亦可只用其中一層。

所有的瓦都要先浸水再使用。在作「灰點節縫」時亦需浸水。瓦下若只用「泥」或「破灰泥」及「澆灰」者，瓦就不用浸水。

表 2-1.1 《營造法式》筒瓦分等

筒板瓦	殿閣廳堂等		散屋	小亭榭之類		
	五間以上	三間以下		柱心相去方一丈以上	柱心相去方一丈	柱心相去方九尺以下
筒瓦	一	二	三	四	五	六
長	1.4	1.2	0.9	0.8	0.6	0.4
廣	0.65	0.5	0.35	0.35	0.25	0.23

表 2-1.2 《營造法式》板瓦分等

筒板瓦	殿閣廳堂等		---	散屋	小亭榭之類		
	五間以上	三間以下			柱心相去方一丈以上者	柱心相去方一丈	柱心相去方九尺以下
散板瓦(仰合瓦?)	---	廳堂等五間以上	廳堂三間以下 門樓 廊屋六椽以上	廊屋四椽 散屋	---	---	---
板瓦	一	二	二 A*	三	四	五	六
長	1.6	1.4	1.3	1.2	1.0	0.85	0.6
廣	1.0	0.8	0.7	0.65	0.6	0.55	0.45

\*卷十五窯作制度所獨有。

表 2-1.3 《營造法式》屋面基層一瓦下補襯作法

瓦下補襯材料	殿閣		廳堂		廊屋	散屋
	七間以上	五間以下	五間以上	三間以下		
兩種	竹筴	一重	一重	一重	一重	柴棧
	葦箔	五重	四重	三重	二重	二重
一種	葦箔	七重	六重	五重	四重	三重

3. 卷第十三瓦作制度「用泥」節中，說明以牆面打底方法。「泥」亦稱「坭」、「墁」、「塗」或「泥」，為以石灰為基本膠結材料之圬工灰漿。依序用粗泥、中泥、細泥、石灰泥抹平，到一定的乾燥程度時，要「收壓」五遍使有光澤，整個打底的厚度應約為 1 分 3 厘，如果用破灰泥則省略中泥。

其次說明各種石灰泥的拌合方法，包括紅灰、青灰、黃灰、破灰四種，其中提及數種材料包括：石灰、土朱、赤土、軟石炭、麤墨、膠、黃土、白蔑土、碎麥殼(麩)。接著說明麤泥、細泥、石灰泥之拌合法與使用法，麤細泥之差異在於麥桿(麥)之量多寡。各石灰泥皆須加入麻搗拌合。另說明石灰原料若為「礦石灰」時之用法，又據卷 25 記

<sup>8</sup> 王天《古代大木作靜力初探》中，1 宋斤=16 宋兩，1 公斤=1.538~1.666 宋斤。1 宋尺=10 宋吋；1 公尺=3.125 宋尺(1 宋尺=0.32 公尺；一宋吋=3.2 公分)。方 1 丈=10.24 平方公尺。

載，卷 13 中鋪瓦的純石灰乃指礦石灰。各配方整理如表 2-1.4。

4. 卷第十五窯作制度中，「瓦」一節說明瓦胚以「細膠土不夾砂者」為原料。「琉璃瓦等」之節說明釉藥之製作與使用。「青棍瓦」之節應指使筒瓦凸面或甌瓦凹面光滑之瓦片作法。「燒變次序」說明窯製磚瓦之日程。「壘造窯」之節說明磚瓦窯的建造方法。

表 2-1.4 《營造法式》中的各種「膠泥」

膠泥種類	材料	石灰	摻料一	摻料二	作法	麻搗	每平方丈用量***
紅灰	紅灰	15 斤	土朱 5 斤	赤土 11 斤 8 兩	---	2 斤麻搗/30 斤石灰及摻料	2 倍
	紅灰(非殿閣者)	17 斤	土朱 3 斤				
青灰	青灰	10 斤	10 斤	---	---	2 斤麻搗/30 斤石灰及摻料	3.225 倍
	青灰(如無軟石炭)	10 斤	麤墨 1 斤 墨煤 11 兩	---	---	2 斤麻搗/30 斤石灰	
黃灰		3 斤	黃土 1 斤	---	---	2 斤麻搗/30 斤石灰及摻料	15.75 倍
破灰		1 斤	白蔑土 4 斤 8 兩	麥殼 0.9 斤	收壓兩遍，令泥面光澤	可能不加	20 倍
細泥一重(作灰襯用)	(無)		90 斤(3 擔)(一重)	麥殼 15 斤*	麥殼城壁增一倍，麤泥同	---	1 倍
麤泥一重	(無)		210 斤(7 擔)(一重)	麥桿 8 斤	麥桿搭絡及中泥作襯減半**。	---	1 倍
白石灰		---	---	---	---	---	石灰 63 斤

註：每 8 斤(礦石灰)可以充 10 斤(石灰)之用

\*卷 13 作麥殼，卷 27 作麥桿，但同為 15 斤，既為細泥，麥殼應為正確者。

\*\*施之城壁及散屋內外，先用麤泥，次用細泥，收壓兩遍

\*\*\*每平方丈用量為左側各欄用量倍數。

5. 卷第二十六諸作料例一「瓦作」一節，講述各磚瓦所用之純石灰重量。純石灰指礦灰，用量筒瓦與甌瓦與點節筒瓦以第二等為準，依其等第增減，並再次提及壓四分收長六分之法。每一平方丈用土四十擔(120 斤)、碎麥殼二十斤、麥桿十斤，若為仰合瓦則不用麥桿，若用純石灰結瓦則二者都不用。純石灰中每三十斤用麻搗一斤。

6. 卷第二十七諸作料例二「泥作」一節，說明每平方丈的灰漿膠泥用量，詳見表 2-1.4。各種灰漿乾硬後之厚度應為 1 分 3 厘，若用礦灰則減五分之一。

7. 卷第二十八諸作用膠料例，磚瓦部份說明墨煤之用量。

## (二)清《工部工程作法》與《清式營造算例與則例》

清雍正十二年(1734 年)刊行的工部《工程做法則例》，作為官方建築之規範，梁思成據該書於 1934 年出版《清式營造算例與則例》。二書記載之相關作法與當代研究中國華北地區傳統建築類似，因此可參見下小節之說明。

《則例》第四章之「屋頂」一節中說明，大式瓦作為筒板瓦，多用琉璃瓦，多用於大式木作上，小式瓦作主要為仰合瓦，只用青瓦，梁氏提及青瓦易吸水使重量差異極大的問題。

兩種瓦片的用法大致相同，「將微彎之板瓦凹面向上」，上瓦壓下瓦之十分之七「擺成一道溝」，稱爲一「隴」。大式以筒瓦，小式以板瓦蓋住兩隴間縫。檐端收頭，筒瓦爲溝頭或「瓦當」，仰瓦大式爲「滴水」，小式爲「花邊瓦」。琉璃瓦的尺寸分爲八等，長 1.35~0.9 尺，寬 1.1~0.6 尺。

《算例》爲材料用量之計算方法，包括第五章之「正身蓋頂」、第六章之「蓋頂」節、第十一章之「房座」節，皆有關於苦背、墊囊與瓦的排列之說明。

### (三)《營造法原》

《營造法原》爲姚承祖原著，由張至剛增編，於 1937 年完成初稿，爲近代江南地區建築作法之整理，以「殿庭」爲高級作法，其次爲「廳堂」，舉架曰「提棧」，歇山山牆側的滴水瓦當稱爲「排山」，並較重視仰瓦隴之厚度，石灰常用黏性不佳但價廉的消石灰。其中第十二、十三章相關於屋面之作法與材料，擇要簡述如下。

第十二章「屋面瓦作與築脊」，基本上亦以筒板瓦與仰合瓦兩種，僅名稱不同。作法上較特別者有：合瓦隴亦有檐口之收頭瓦、瓦亦分大小頭、仰瓦隴之間以木條或稻草固定之。

板瓦的排列有「仰置相疊連接成溝者，稱底瓦」，即仰瓦隴，合瓦隴則稱「蓋瓦」，殿庭用弓面八寸左右之大瓦，「考究者，其蓋瓦即用筒瓦」。與北方瓦片相同，都有大小頭之分，且蓋瓦大頭向下，底瓦大頭向上。檐口收頭瓦皆有花紋，底瓦置「滴水」瓦，蓋瓦置「花邊」以封護瓦端空隙，筒瓦有圓片之「溝頭」瓦。蓋瓦一列爲「楞」，兩楞距離稱「豁」，椽條亦以豁爲間距，殿庭楞間之蓋瓦下置「人字木」作爲分隔與固定之用，亦可用「柴龍」，爲稻草紮成之長束。

第十三章「磚瓦灰砂紙筋應用之例」。磚瓦之性質分大小窯，大窯又分南北窯，以北窯品質較佳，其磚紋均勻、空隙吸水少、重量較重。石灰「經風化而成粉末者，稱爲細灰」，應即消石灰產品，「性脫而不粘」，因價廉而常用。成塊之灰稱「大灰」，應同於北方之「塊灰」有較多生石灰含量。

望磚之大小，殿庭用長八寸一分，闊五寸三分，厚八分，亦可用八寸半見方，厚九分之方磚，每方屋面用 220、123 塊。廳堂用望磚，長七寸五分，闊四寸六、七分，厚五分，另有較小尺寸者。

瓦分「小南瓦」與「斜溝瓦」。小南瓦，長六寸，闊六寸六分，十張重八斤。斜溝瓦尺寸甚多，長九寸以上用作底瓦。書中有瓦片排列與用量之對照表，瓦的縱間距稱爲「出頭」，蓋瓦 1~3 寸，底瓦 1.6~3.6 寸，屋面每方用瓦數 1710~673 塊，水平投影面積每方用 2660~900 塊。表下又說明蓋瓦用南窯，底瓦用北窯，又考量瓦片尺寸，雖底瓦之縱間距大於蓋瓦 0.6 寸，但任一位置之瓦片層數仍以底瓦爲多，顯見對底瓦之要求優於蓋瓦之概念。

灰漿可分幾種。「石灰漿」即以石灰浸水成石灰膏，書中用灰多指此石灰漿。「灰砂」爲以石灰與砂加水拌合成之膠泥，用於砌牆。「紙筋」爲石灰漿五斤、紙腳一斤之比拌

合成之灰漿，為減少用料，可加入細灰四挽。紙腳是一種粗草紙，含稻草纖維甚多，故亦可以稻草五斤代替，但仍以紙腳為佳。殿庭屋面窩瓦每十方、厚一尺，石灰漿 200 擔，加太湖砂 200 挽，其中一擔為 100 斤(《法式》一擔 30 斤)，挽應指挽車，即工地用之推車。每一丈筒瓦隴用灰為 50 斤，並用輕煤 2 斤染成黑色，若整個屋面一平方丈用 20 斤輕煤刷黑。另有加桐油之「油灰」做法。

#### (四)《天工開物》

《天工開物》為明代宋應星所著，共三卷，為我國第一部專門研究農工技術的書，所記製造源流及方法，多與今日科學原理相符合<sup>9</sup>。

書中提及燒窯以及磚瓦之作法等建築材料的做法。關於石灰之性質，經燒煉後「入水永劫不壞」，燒成生石灰後，「置於風中，久自吹化成粉，急用者以水沃之，亦自解散」即為消化的過程。「用以砌牆石，則篩去石塊」等用途，但並未指明屋頂用灰。

「凡溫、臺、閩、廣海濱，石不堪灰者，則天生蠣蟻以代之。」蠣灰原料來自海濱的牡蠣殼。可知以牡蠣等生物製成石灰，古已有之。書中尚記載琉璃瓦等磚瓦的詳細製作方法。

## 二、關於傳統建築屋面與灰漿的研究

近代以來關於傳統建築之科學研究即多，許多為古蹟保存與修護而作，各著作之間互為參考，因此僅舉部分說明。

杜仙洲《中國古建築修繕技術》「瓦作」說明各種屋頂的屋面做法。琉璃瓦作多為預製安裝，配件多樣形式繁複分為八等，所謂「不怕丟，就怕忘」。瓦片以露出全部釉彩，或瓦長或寬之半為限度，先鋪瓦再調脊，素燒之布瓦則先調脊再鋪瓦。

屋面在望板或望磚上首先需苫背，有保溫與防水之功效。講究者會先鋪油杉紙再作苫背。苫背為一層護板灰，為潑灰和麻刀以重量比 20 比 1 配成。再鋪上鉛板，即「錫背」。再以 2 到 4 層大麻刀灰與麻布交錯鋪設，然後以「搭麻辮」的方法，將麻繩跨過正脊鑲入灰背中，並在屋坡中腰部鋪設凸面向上之板瓦，以減輕屋架負荷，稱為「墊囊」。最上為 2~3 公分厚之麻刀灰，灰面上打出淺窩，可防瓦片下滑，之後需「札肩」然後「晾背」待苫背乾燥，避免水分殘留。

接著為確認瓦隴位置然後鋪瓦。底瓦相疊需視筒瓦長度，以兩塊筒瓦長等於五塊板瓦為度，即「二筒五」，至密不過「一筒三」。琉璃板瓦間不施灰，以利空氣流通，但布瓦則需填灰。

關於灰漿之作法即多<sup>10</sup>，杜書中提及二十七種灰漿，整理分類如下。

基本的灰漿有幾種，以生石灰塊(生灰塊、白灰)加水潑灑成粉狀成為「潑灰」，應指粉狀之消石灰。若以生灰塊加水成稀粥，過篩發漲則為「煮漿灰(灰膏)」，應即石灰漿。

<sup>9</sup> 教育部國語推行委員會編錄之網路版國語辭典，民國八十七年四月版，「天工開物」條。

<sup>10</sup> 如俗語「九漿十八灰」，三合土的石灰與土「按四六摻合」或「三七灰土」(薛琴 1996: 64)。

纖維灰漿方面，若加入重量比 100:3~5 不等的麻刀於潑漿灰或潑灰，則有「大麻刀灰」、「麻刀灰」、「小麻刀灰」。草紙煮爛加入煮漿灰則為「紙筋灰」，「護板灰」則為潑灰加麻刀(20:1 重量比)，用於屋面苫背，類似麻刀灰。潑漿灰加煮漿灰再加麻刀(100:3)為「夾隴灰」，用於蓋瓦。打底用的「裹隴灰」用潑漿灰加麻刀(100:5)，抹面用「裹隴灰」以煮漿灰摻顏色加麻刀(100:3-5 重量比)，皆用於瓦作。若不加麻刀的煮漿灰(灰膏)或潑灰稱為「素灰」，用於瓦溝勾縫。「花灰」為水分少的素灰，青漿與潑灰可不調勻，用於混砌水磚或瓦隴不明顯處。

以青灰為底的灰漿包括有將青灰加水調成漿狀即為「青漿」，「潑漿灰」則以潑灰過篩以青漿潑灑，另有青白灰比為七比三的「老漿灰」。

加色的灰漿稱為「色灰」，色料有青漿、土朱(紅土粉)、煙子、霞土粉等。「油灰」為面粉加細白粉和煙子等，用於防水層，以及用於石砌縫的「麻刀油灰」。另有用於打底的「葡萄灰」。「白灰漿」為潑灰或生石灰塊加水調成漿狀，「桃花灰」成分相同，用於砌築。「月白灰」則以潑灰或青灰加水調成漿狀，為室外用灰。「煙子漿」：把黑煙子用融化的膠水拌成膏狀，用於灰縫。「紅漿」把紅土用融化的膠水拌成膏狀，用於粉刷。取磚粉加水成「磚面水」。「磚藥」則為磚面加白灰膏(4:1)，或(3:7)加青灰，用於砌磚修飾。

另有「江米漿」，為生灰加工米(糯米)(6:4)，煮至江米濫透。「摻灰泥」為泥七份，潑灰三份，砌築打底用。

許多中國建築史專著中都提及了屋面之做法，如潘谷西《中國建築史》將清式建築的屋面瓦鋪法，分為筒板瓦與仰合瓦兩種。仰合瓦先在望磚上鋪黃土六石灰四之墊層，瓦相疊「蓋七露三」，仰瓦間縫小於瓦寬之半，檐口不用瓦當則以灰漿封住等方法。筒板瓦較複雜，需先上護板灰，再抹苫背，苫背以黃土、石灰、麥殼等拌合而成，然後再鋪瓦。鋪瓦從中軸線開始，向兩側鋪設。

劉致平《中國建築類型與結構中》中，指出屋面可以瓦、草、灰泥、氈布、木板數皮為材料，其中以瓦和草最常見。書中談及中國西南之屋面因氣候溼熱而有不用座灰之做法，僅在椽間鋪仰板瓦，然後就鋪筒瓦，因此筒瓦和椽數相當，瓦當同時可以遮住椽頭。北方仰合瓦屋頂之瓦片相疊可「壓七露三」或「壓六露四」，合瓦隴側抹灰。亦有只有仰瓦而無合瓦或筒瓦之屋面，但所用灰泥要有良好黏性，瓦片排列亦需整齊。另有仰瓦灰梗、棋盤心屋頂等。

《中國建築史論文選輯》中的〈我國古代建築屋面防水措施〉提及，中國北方寒冷地區的屋面常為保溫、防止水凝結、防水一併考慮，如《法式》中的結合層柴棧極為保溫、防水凝結與墊平之功用，加入麥桿和麥殼、麻刀等，可以防止乾裂亦可保溫。清代建築施工需將灰漿水分拍打出漿才繼續施作，即為避免龜裂。

北方建築一般的施工法為在望板上抹護板灰，為一種麻刀灰，厚鋪數層黏土石灰混合漿，較考究者再鋪一層青灰，其上再以石灰鋪瓦。鋪瓦的灰泥要較乾，黏著力要大，並施力重壓。《法式》中的青灰是一種良好的防水材料，軟石炭為拌合材料之一，軟石

炭為一種類似瀝青的礦物材料，加上石灰與麻刀拌成青漿。

瓦片接縫的滲漏亦有補救辦法，例如《鄴中記》的北齊起鄴城中的建築皆以胡桃油抹於屋面，另則為將瓦片浸入白礬水亦有助於防水。《法式》中以墨煤刷瓦，以及青搨瓦的做法皆有防水之效，而琉璃瓦當然是最好的防水材料。元《農書》用一種乾後堅硬的油灰取代屋瓦，是用磚屑、白善泥、桐油枯、石灰、煇炭、糯米膠等製成。

### 2-1-3 屋面的構造特質

前節對於屋面作法的了解，本章再從構造上之「結構倫理」以及營建目標等觀點，探討屋面構造之各種特質與意涵。

#### 一、屋面的構造意涵

首先對台灣傳統建築屋面構造作一整理：為一「巧工」構造，分為基層、結合層與面層，主要使用的材料為磚瓦與灰漿，層層疊砌而為一面狀、多層的「巧工」構造。屋面在基本構造形式上，在時間或空間上都具有其不易變動的特性，而使用的材料則有較大的地方性。

屋面通常為斜向的面狀構造，單體建築通常至少有兩坡屋面。屋脊為屋面相接處的收頭，裝飾物又稱脊飾，如泥塑剪黏等。屋面以屋脊、天溝與出檐為邊緣，因此，本論文對於屋面的定義是「天溝、屋脊與出檐之間的斜向面狀構造」。

傳統建築以「屋架」支撐「屋頂」，屋頂又分為「屋面」、「屋脊」與「裝飾物」，形成{屋架—屋頂[屋面(基層—結合層—面層)—屋脊—裝飾物]}之關係，可以下圖表示。



圖 2-1.11 台灣傳統屋面之結構倫理示意圖

其中，屋脊作法可簡可繁，裝飾物可有可無。「屋面」三層構造之間的關係為：在桷木之上置「養仔」為基層，養仔上為具有黏著性的灰漿或土壤與磚石之混合物，是為結合層，再以結合層材料之黏著性鋪設瓦片成隴，即面層，但形式簡單的民宅，結合層灰漿和基層養仔是可省略不用的。

因此，若以上述之結構倫理觀點討論屋面的構造意涵，則可以說傳統建築的整個構造是以鋪設屋面為最後目的。

#### 二、屋面的營建目標

就一座建築物的營建而言，每個部位都有其特定的構造機能，並且需維持結構上的穩定，在外部形貌則需達成社會文化之要求。本論文稱之為營建目標，以下探討屋面如何達成這三個營建目標。

### (一)外部形貌

傳統建築在視覺觀感上占最重要地位的經常是屋頂<sup>11</sup>，因此常以屋頂形式作為傳統建築之分類<sup>12</sup>。屋頂上，裝飾物與屋脊之作法可繁可簡，屋面實為傳統建築視覺經驗中的最基本元素。人經由視覺感知建築物的外觀以及其象徵意義，於是在傳統的要求之下，建築的外部形貌在營建過程中是被控制的。因此，屋面的營建目標之一便是要達成某一「外部形貌」。

屋面的外部形貌有可分為幾個部份，包括色彩、材料的排列式樣(pattern)、以及屋面的型態。其中色彩決定於材料的製造與性質，依產地而不同，例如台灣即以紅色黏土瓦為最常見的屋面瓦片。其他如瓦片排列的幾何樣式則和匠司的審美觀與施工品質有關，另外，屋坡斜率大，屋面在視覺上便占建築整體較高的比例，至於屋面下凹的程度以匠司垂繩決定。

### (二)構造機能

以建築之保護作用而言(徐明福 1993: 8)，屋頂的營建是為阻擋來自於風雨等氣候，以及動植物等外部的侵襲，這也是屋頂最明顯、最重要的構造機能。如座灰的功能為固定其上之瓦片、防漏與增加屋頂風力以防風之浮力(林會承 1995: 93)，而瓦片的阻擋功能更無須多言。換言之，木構支撐屋面構造，而屋面保護木構不受風雨侵襲，二者實有「脣齒相依」的相應關係。

再從結構倫理的觀點，以及傳統建築的底層與結合層可以不用的情況看，面層實為屋面之最重要部分，其主要機能即抵擋風雨。反應在傳統建築的修復上，便以更換瓦片為最重要的工作，當代古蹟修復工程經常可見壁體稍見水漬便以全面翻修蓋上全新屋面作為解決方法。而結合層與基層，應也有重要的功能，例如當代古蹟修復常用灰漿團塊工法，以延長水滲透的路徑，墊高的結合層座灰本身即有相同的功能，尤其當代修復更將結合層內多加的防水層，視為最重要的防水機能構件。因此較佳的修復工法，應以整個屋頂共同擔當保護的機能。

### (三)結構穩定

就屋面結構之穩定而言，結合層才是關鍵的部分。結合層灰漿具有足夠的黏著性，以穩固基層與面層的磚瓦是很重要的，若無法穩固則構造機能 and 外部形貌都為空言。屋

<sup>11</sup> 「影響建築本身風格的諸要素…最重要的是建築材料和屋頂的形式。」(王瑞珠 1993: 179)

<sup>12</sup> 1934年，梁思成將中國傳統建築依屋頂形式區分為四種主要形式：(一)廡殿、(二)硬山、(三)懸山、(四)歇山。1998年林義傑指出中國「南方建築發展的多樣可能」，以及台灣傳統建築的「續存」觀念，對台灣早期廟宇初現的屋頂形式進行整理：(一)正式原型，包括重簷歇山、歇山與硬山，(二)衍型，包括三川頂、段簷升箭口、假四垂與排樓面。

面既為一巧工構造，其結構強度必然無法提供自己所需，必然要依附在木構屋架上，亦即屋面的結構穩定端賴木構架的穩定，而木構架的主要負載則來自於屋面之重量。因此，屋面的三個營建目標中，以結構穩定具有具有決定性的影響。

綜合以上，三個屋面的營建目標中，以達成屋面的構造機能為最受關注者，因為其攸關建築整體的安全，但前提是屋面構造可以達成結構上的穩定，至於外部形貌所要求的社會文化意涵便成最後才要求之事，如圖可見這三者的關係。

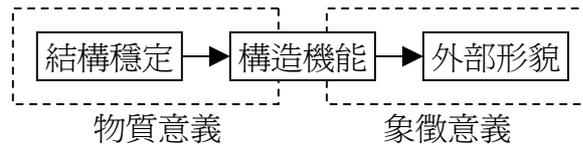


圖 2-1.12 三個營建目標之間的關係

## 2-2 屋頂的修復

### 2-2-1 傳統的屋頂修復

首先略述傳統屋面破壞的原因以及常見的破壞狀況，其後說明台灣過去對於屋面破壞之解決方法，亦即傳統的屋面修復方法。

#### 一、常見的屋頂破壞

前述木構與屋面之「唇齒相依」的關係，若粗略區分屋面常見的破壞原因有：(1)支撐屋面之結構體破壞，這是傳統屋面最常見的破壞原因。(2)屋面構造強度不足，主要視屋面灰漿乾縮與黏著狀況。(3)外物撞擊，常見脊飾倒落造破壞。(4)物理環境，以雨水使屋面重量瞬間增加，以及酸雨的侵蝕較值得探討。(5)植物生長，屋面灰漿常用天然土壤為材料，植物甚至深入屋面構造造成破壞。(6)人類活動，如屋面整修時的踩踏，以及廟宇煙塵等(圖 2-2.1)。

圖 2-2.1 常見屋面的破壞一



(a)屋面的破壞(台南市和平街民宅)

(b)脊飾斷落(民雄廣濟宮)(財團法人成大研究發展基金會 2001: 50)

(c)屋面植物生長(台南官田民宅)

圖 2-2.2 常見屋面的破壞二



(a)擱楹作法(台南市西華堂)

(b)牆體與屋面脫開(鹿港龍山寺)

(c)磚疊澀出檐破壞(鹿港龍山寺後殿)

就屋面的破壞部位，以屋簷和垂脊處最常見。「擱楹」作法使桁楹易因外力而與壁體分離，此時屋面構造便受橫向拉力而損傷，其破壞位置難以預估，因此若加蓋瓦隴常需加鋪多隴。出檐處除了常見瓦隴下滑破壞，桷仔在此為出挑之懸臂，其自然彎曲極易造成屋面構造之斷裂破壞，磚疊澀出檐處的屋面破壞則較少見。靠近正脊處之屋面，因正脊與脊飾下壓，當木構自然彎曲，便發生破壞，裝飾物倒落亦容易使此部位的屋面破壞。

圖 2-2.3 常見屋面的破壞三



(a)望板的破損(艋舺龍山寺)

(b)屋脊倒落屋面修補(台南市和平街民宅)

(c)灰漿之乾裂(台南市西華堂)



(d)養瓦下之滲漏污漬(安平民宅)



(e)瓦當破壞(艋舺龍山寺)

屋面最常見的破壞形式便是屋面瓦片的脫離(圖 2-2.3e)，除因外力撞擊外，主要為木構自然下彎或風化老化改變灰漿之黏著性，以屋簷處的筒瓦隴最易因自重下滑。屋面日日常隨木構自然變形而下陷，如桷木下彎便容易使整片屋面呈現波浪狀起伏。而屋面上陷幾乎都伴隨瓦片的脫落，結合層灰漿亦必然有多處斷裂。更甚者是屋面的整個斷落，最常發生在屋簷的位置，表示建築物已受到嚴重摧殘，建築物最基本的保護作用已

消失。

屋內的牆面和養瓦常見白華與滲漏污漬(圖 2-2.3d)，而防止滲漏是爲了維護屋面的重要機能，是屋面最重要也是最難解決的一種破壞。滲漏造成的污漬不必然位於破壞位置，因此處理滲水的「抓漏」工作十分困難。屋面拆卸時亦可見日構之腐朽。一般的觀念中，傳統建築屋面一但有滲漏，就必須全面換新，以確保不再漏水。正脊與垂脊處的桷木上緣經常可見腐朽，可知屋面之破壞常造成此二處之滲漏。

另外，屋面外觀決定於瓦片的顏色與質感，尤其屋面若有退色對整座建築物的視覺觀感有重大影響。通常顏色與質感的改變來自於物理環境的長期影響，如光熱風雨。例如屋面拆下的舊瓦片表面明顯較爲粗糙灰暗，座灰中的相同尺寸的瓦片則較光滑泛紅，可見表面的風化是重要原因。另如灰漿乾裂亦維常見之問題(圖 2-2.3c)。

## 二、傳統的屋面修復方法

屋面的傳統修復十分單純，以更換或增鋪面層瓦片爲重點。

形式簡單傳統屋面常不用灰漿，屋面的修復即是更換破裂的瓦片，然後整理好瓦片之排列即可，有時以竹竿掃帚即可在室內爲之，甚者，則外加磚瓦或重物於屋面上，避免瓦片被吹落。至於使用灰漿之建築，許多灰漿並未添加接結材料，即使有，傳統灰漿的膠結材料亦以石灰爲主，經驗說明石灰對於灰漿黏著性的增加有限，因此，取下破裂瓦片再鋪上新的瓦片並非難事，而且因爲瓦片相疊而受到波及的相鄰瓦片亦不多。

至於修復的過程因爲需要踩踏屋面瓦片，故常以袋裝稻殼鋪墊，然後踩踏而上。傳統屋面作法中有一種即在瓦隴施作時，便於各瓦隴固定的橫向位置排設磚塊或加鋪瓦片(圖 2-2.4b)，若日後需要局部整修屋面，即可供人員踩踏。一般經驗，若爲筒板瓦屋面，筒瓦壘因爲填滿灰漿，而且施筒板瓦者多爲高級建築，用料與施作品質較佳，故踩踏筒瓦較不易造成瓦片之破壞，但事實上若用水泥砂漿等高強度材料則不限(圖 2-2.4a)。

圖 2-2.4 屋面的修復



(a)以水泥沙漿鋪瓦可隨即踩踏  
(艋舺龍山寺)

(b)屋瓦上的磚塊疊置(台南官田  
民宅)

(c)筒板瓦的瓦隴加蓋(鹿港龍山  
寺)

加蓋面層瓦片，爲傳統建築屋面修復的另一方式(圖 2-2.4c)。不論筒板瓦或仰合瓦都是呈現仰瓦隴凹下，筒瓦或合瓦隴凸起的型態，因此一般以增加一列仰瓦隴在兩合瓦隴之間爲主，筒瓦隴之間加鋪瓦隴的做法較少見，位置以靠近垂脊的瓦隴，或是屋面靠近正脊處較爲常見。有時可見加蓋兩層以上的情況。

## 2-2-2 當代古蹟的屋頂修復

當代的古蹟修復工程中，屋面的修復幾乎都是將整個屋面拆卸再重鋪，全部翻修的原因有二，一為古蹟修復工程的最重要部分，通常是作為主要結構體的大木構造，而為了拆解木構，幾乎免不了要將屋面全部翻修。二為木構或是建築其他部位的漏水潮濕，幾乎都被認為是屋面破損所造成，加上古蹟修復被視為對建築物多年一次的大修，因此，屋面的翻修勢不可免，幾乎成為大部分古蹟修復工程的第一個工作進程，並在翻修完木構架之後覆以全新屋面。這種「棄舊換新」的做法，和文化資產的保存觀念是有落差的。其中以傳統建築屋面的防水機制，從面層轉為由結合層負擔此任務，同時屋面材料被為消耗材，都是需要被關注之事。

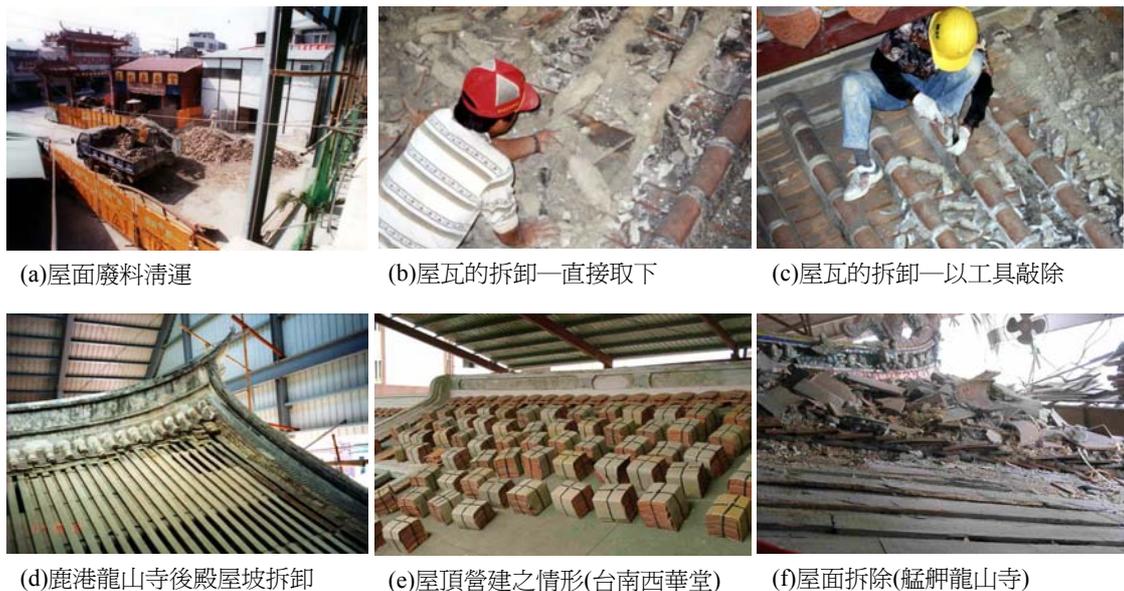
當代古蹟修復的過程，在鋪回屋面時，通常會使用當代工法與材料，甚至改變構造方法。另外當代營建體系之影響，許多古蹟修復之匠司並非出身傳統建築匠司之門，裝飾物的施作便不在他們的工作範圍之內。

當代古蹟的屋面修復，經常可見一個基本概念，首先是修古蹟必須達成屋面的主要機能目標—防水，因此屋面材料被視為消耗材，並以新瓦片覆蓋屋面。其次是要讓型態如同「舊貌」，但是因為經常使用新瓦片，因此外部形貌在色彩一項便經常顯的突兀。至於材料的使用常是強度越高越好，忽略材料使用的基本合理性，這三個營建目標之順序與我們前節所述者是相反的。

### 一、拆卸舊屋頂

古蹟修復時拆卸屋面與木構架，而獨不動屋脊的做法是常見的，最常見的方法為「吊脊法」。一般做法是將屋脊下方接近屋面的部位貫穿數個洞，每個洞都以鐵件穿過，各鐵件兩頭各以鋼索或鐵桿固定，引鋼索或鐵桿向上吊起屋脊，然後開始拆卸屋面。

圖 2-2.5 屋面的拆卸



當代古蹟修復時屋面的拆卸幾無方法可言，屋面材料既為消耗材無須再使

用，在過程中便毫無保護措施。因此屋面的拆卸便如一般工程，用力捶擊屋面瓦片致使整個屋面構造破碎，再將此破碎「廢料」運下屋頂堆置然後拋棄。尤其大型傳統建築物的屋面拆卸，其屋面灰漿性質較佳更需用力敲除，只見屋面陣陣飛煙塵土，數日之後便只剩木構空殼(圖 2-2.5)。即使施工規範要求保留瓦片，但完整可用的舊瓦片通常少於總數甚多。

## 二、施作新屋頂

### (一)基層

木構完成修復後，開始屋面的施作。暗厝於養仔瓦前施作，需注意桷仔相接處避免影響養仔的排列，艋舺龍山寺便新作了多層暗厝。

### (二)結合層

當代古蹟修復的結合層作法更形複雜，一般以置入當代防水材料為重點，確保屋面的防水性能。

防水材料多以瀝青等複合材料為主的防水層為之。民國 70 年代之前進行的艋舺龍山寺和鹿港龍山寺之屋面修復，直接在面層養仔瓦上鋪設瀝青或防水紙，然後再疊砌圬工材料。近年來多改用防水毯，如台南西華堂與艋舺龍山寺之新作屋面，便以寬約一公尺餘的長條防水毯施作，細砂面朝上便於施工人員之踩踏時，並使圬工材料易於附著，另一面的瀝青等複合材料，可加熱融化使防水毯之間黏合。防水毯需以融化之瀝青固定在硬質底層上，常見作法是在養仔瓦上先鋪一層厚約 1 公分之薄灰漿，一如清式營造之護板灰(杜仙洲 1984: 165)<sup>13</sup>。此灰漿不影響建築外觀因此摻入水泥使其強度較高。考量柔軟的防水毯與堅硬的灰漿緊密相連之乾縮，因此西華堂與台北保安宮更加入了麻絨等纖維材料。

前述例中，防水毯上鋪設屋面的方式一如傳統營造方式，需注意的是當代古蹟修復經常以水泥砂漿或水泥石灰砂漿黏結面層瓦片，和修復前使用的材料大不相同。事實上，屋面的重量極大，尤其大型建築的屋面用料甚多，若有超出材料承受力之疑慮，有時會使用結構加強的做法，如艋舺龍山寺便以不鏽鋼索與角鐵作為加強穩定裝置(圖 2-1.5c)。

### (三)面層

面層做法則無特殊者，但經常使用新瓦，若有舊瓦片之使用，如台南西華堂便以集中用於同一屋面為原則，同時因為對於舊瓦防水性的不信任，這面舊瓦構成的屋面位在不易察覺的偏廳末間後坡等位置。

若作吊脊，則需填滿足量的圬工材料於脊下，然後放開繩索並填補鐵件貫穿的部位，整個過程小心而緩慢以避免破壞。

<sup>13</sup> 該書提及「近來出現以瀝青油氈代替護板灰之做法」，實則將油毛氈直接施作於望磚之上以取代護板灰。

### 三、當代古蹟修復關於屋面的幾個問題

以下試舉當代傳統建築屋面修復時的幾個重要問題加以討論，這些問題大多出自結合層。

#### (一)吊脊法破壞屋面構造的完整性

圖 2-2.6 吊脊法



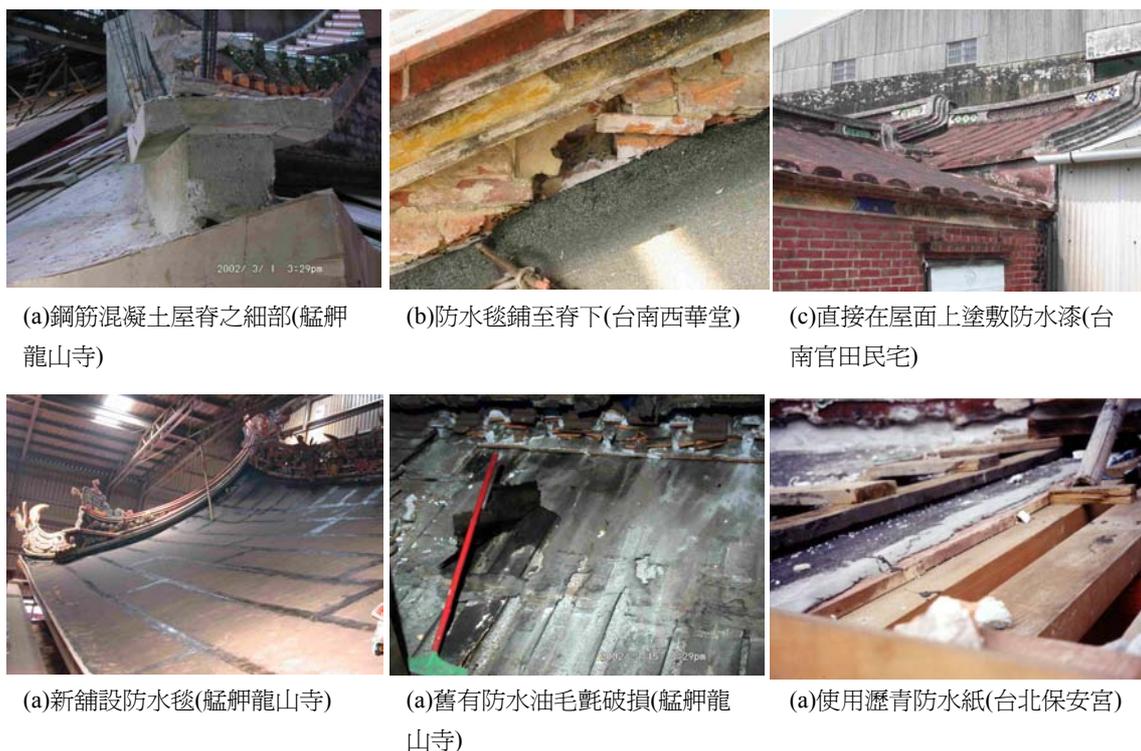
目的通常爲了維持建築的原有形態，並爲了保留屋脊上的裝飾物。此法應始於彰化孔廟之修復工程，至今台南天壇前殿的修復亦用此法，見圖 2-2.6。吊脊法最大的問題在於仍然無法維持屋脊原貌，原因除了工程進行必然的碰撞之外，剛性較大的圬工構造在搖晃的鋼索垂吊下經常發生裂痕甚至斷裂甚至倒落屋面。

吊脊法需對於屋面的完整性有負面的影響。正脊和屋面爲共構的圬工構體，將共構體之在下方支撐者拆除，又要完整保留被支撐物，在技術上本難達成，尤其平時正脊重量直接壓在屋面上，工程進行實卻分開各以據良好延展性的鋼索和容易自然下彎的木構楹桁支撐，即使再良好的回填技術，對於相對剛性較高的圬工構體而言，必然產生重力破壞。

#### (二)當代防水材料的使用已改變屋面的構造與性質

傳統建築屋面以面層瓦片擔負的重要的保護作用任務，我們從 2-2 的討論可以看出。但是，當代傳統屋面之修復經常使用當代常用的防水材料，如油毛氈、防水毯等(圖 2-2.7)，目的無非是要趁這大修的機會，將屋面的防水功能提升到最高的地步。在當代古蹟修復中，相關單位期望一勞永逸的心態是經常可見的。

圖 2-2.7 結合層的修復



(a)鋼筋混凝土屋脊之細部(艋舺龍山寺)

(b)防水毯鋪至脊下(台南西華堂)

(c)直接在屋面上塗敷防水漆(台南官田民宅)

(a)新鋪設防水毯(艋舺龍山寺)

(a)舊有防水油毛氈破損(艋舺龍山寺)

(a)使用瀝青防水紙(台北保安宮)

就合理性問題而言，暫不論「使用新材料」之議題，而就「材料使用的方式」而言，屋面為一巧工構造，無足夠的結構強度支撐自重，木構架的若有任何微小變位，屋面便容易破壞，而屋面的組成構件性質差異也會造成不同的結果。如塗覆的瀝青容易在屋面中脆裂，相對之下防水毯的柔韌度大，屋架位移時可能會對屋面其他巧工砌體的拉扯而破壞，因此任何物件可能因此都需格外小心。

另外，當代防水材料一般施用於結合層，不影響修復後之外部樣貌，而且某種程度上已取代面層瓦片，成為最重要的防水部件。並且從施用位置和功能看，似乎表示結合層對建築物的保護作用，已至少和面層有相同的地位了。又基於屋面防水層的柔韌性以及其下一公分厚的水泥砂漿的使用，屋面構造的結構行為也必然有相當的改變。總之，因為防水層的使用，傳統建築屋面的構造型態與功能性質已經改變。

### (三)水泥的使用

台灣於日治時期已出現鋼筋混凝土建築，匠司認為水泥使用於傳統建築最早亦從日治時期開始，但是推論當時水泥與細骨材之品質應無現在優良，另外，民國 50 年代以來鋼筋混凝土建築大量出現，造成傳統建築人才的流失，許多傳統建築的作法已然失傳。因此當代屋面修復常見巧工墾料添加水泥，甚至直接使用水泥砂漿，主要為來源應仿自鋼筋混凝土建築之作法，而非傳統建築之承傳。



圖 2-2.8 水泥石灰砂漿之拌合(台南西華堂)

水泥的使用主要是取代石灰作為主要膠結材料。一般經驗中，水泥有較佳的黏著力和強度，但傳統材料的使用必然有其優點，例如相較於水泥灰漿的「剛性」、或言「脆性」，石灰灰漿的性質較具「韌性」。因此水泥的使用應極小心，其超大強度所造成的不可逆、材料性質差異，當被關注。有時匠司使用的水泥量是以灰漿色彩決定，尤其仰合瓦屋面的灰漿則通用於瓦側收邊與瓦底黏結，因此匠司使用時便有顧忌，拌合時以灰漿之明暗程度決定水泥用量(圖 2-2.8)。可見在當代營建體系的影響下，古蹟修復進行時對於傳統材料的不信任<sup>14</sup>。

#### (四)結構補強構件

在傳統建築修復中的結構補強是常見的，尤其許多當代古蹟修復積極運用當代材料於結構補強，例如結構體中植鐵件、以複合材料修補，以至於前述水泥的使用，目的都是相同的。

圖 2-2.9 屋面之補強作法



(a) C 型鋼補強

(b) 艋舺龍山寺屋面之加強鐵件與灰漿團塊

屋面為圬工構體，本無結構補強之重要性，需要結構補強的應該是木構部分，例如鹿港龍山寺以 C 形鋼取代部分桷材(圖 2-2.9a)，避免屋面之下垂破壞。就屋面本身的補強則較少見，有一種是在屋坡桷木上固定位置釘上橫向的木條，避免養仔瓦的重量全部落在檐處，如鹿港龍山寺正殿上層屋面與善化慶安宮(圖 2-1.2b)，古籍中只有以瓦釘固定瓦壘，因此此種做法可能受到日本建築「掛瓦條」的影響。艋舺龍山寺從脊端向下牽引細鋼索，適當位置固定一鐵件，待灰漿鋪上，便與灰漿合一，一如鋼筋混凝土之構造原理，然再鋪上瓦片(圖 2-2.9b)。

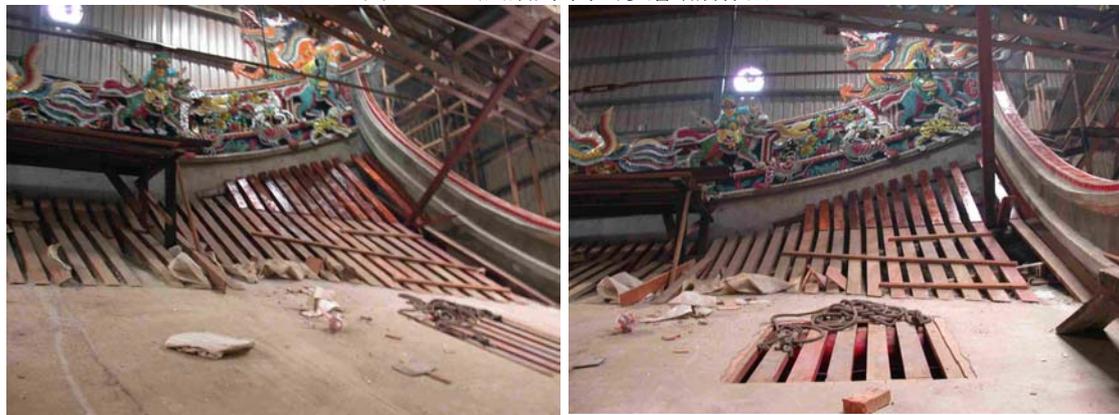
就屋面三層構造之特性而言，只有結合層是連續的構造，加入補強構件於此層中，油其用於屋面斜率較大的建築上都屬合理，但顯然未考量整體構造之合理性，僅為治標之方法。

#### (五)結合層的灰漿用量

<sup>14</sup> B.M. Feilden 提及關於不使用水泥於傳統建築之幾個原因，包括違反修復材料不可逆之原則、材料性質差異太大、強度大破壞原材料構體、水泥乾裂使水分進入、孔隙少易使周圍構體受潮，傳熱性不同有冷標效應、色彩審美之差異。

結合層中大量疊砌巧工材料是爲了形塑屋頂形貌，但若使用過多重量過重，屋架可能無法承受，艋舺龍山寺便因此採用了多層暗厝之作法，並配合防水毯之使用。可見屋面的形塑在修復後已由木構架擔負，而非透過壘疊磚瓦土石達成，其營建之觀念已然改變。

圖 2-2.10 艋舺龍山寺的多層暗厝作法



新埔劉氏宗祠與鹿港龍山寺的結合層都是滿鋪灰土的，其他案例中可見仰瓦攏底下是滿鋪的。《法式》中「以膠泥徧泥」、「用石灰隨抹施瓦」說明先滿鋪一層灰漿，而黏結瓦片用的純石灰則視需要鋪抹。當代古蹟修復的數個案例中用於黏著瓦片的灰漿，經常不滿鋪，如慶安宮、艋舺龍山寺在灰漿中添加水泥，強度與黏著性大增，便可採用灰漿團塊的方法(圖 2-2.9b)，並可使瓦攏與下方構造保持一定距離，呈中空的「通氣」狀況，可延長孔隙通道減少滲水。部分匠司即強調屋面構造內需「通氣」以利防水，甚至屋脊處亦需騰空。防水瓦的功用亦同，因其可以防止筒瓦中灰漿掉落(圖 2-1.3)，據此推論其功能有二，減輕屋面重量與延長滲水之路徑，即所謂防水的功能。

另外，若養仔不滿鋪，可能使灰漿直接接觸桷木，木材易受侵潤而至腐朽，常見古蹟屋面拆卸完後，桷木向上一面嚴重腐朽，而向下一面卻完整無缺的情形。另外紮目處經常可見破壞，有可能與其積留水分與乾縮有關有關。

## 2-3 屋瓦的材料

### 2-3-1 屋瓦材料的製造與成分

屋面爲一巧工構造，主要包括磚瓦與墘料兩種構成材料。墘料又稱灰漿，其配比變化相當大，隨匠司與工程現地狀況而有不同。摻料的種類繁多，本論文將細骨材以及石灰以外的灰漿材料都視爲摻料。摻料會均勻混合在灰漿中，甚至參與化學反應者，稱爲「混合摻料」，其他則以纖維爲主，故以「纖維摻料」稱之(圖 2-3.1)。本小節分別說明這些組成材料的製造與特質，另外並說明當代修復常用的材料。

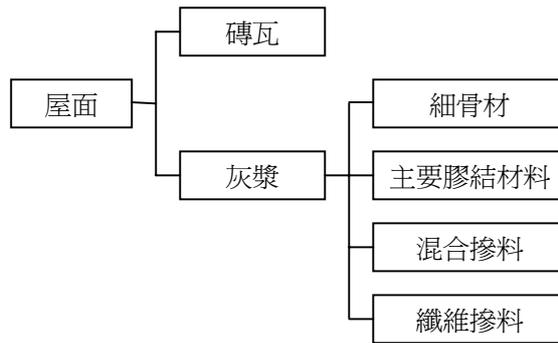


圖 2-3.1 屋面材料之組成

## 一、磚瓦

台灣傳統建築屋面巧工構造之磚瓦，包括方磚、養仔磚、板瓦、筒瓦以及相關構件等，一般都是素燒的瓦片，即黏土和頁岩為主要原料所燒製而成的黏土製品，或稱陶土製品(王纓茂 1969: 85)，可製成多種不同的形狀。不同於磚塊用於結構牆體的疊砌，瓦片通常不作為結構材，用於建築之外表，具有保護的作用，性質接近於面磚。素燒瓦的吸水性很好，有時會在單面上釉，稱為琉璃瓦(圖 2-3.2)，瓦底常帶有爪鉤，用於較重要的建築，其吸滲水性甚低。



圖 2-3.2 背面帶爪溝的琉璃瓦



圖 2-3.3 右為軸向略帶彎曲之板瓦

不論板瓦或筒瓦都有一單向之彎曲，利於水流以及瓦片之排列與固定，至於彎曲的程度，各有不同，華中一帶幾乎為半圓形，台灣與閩粵多為 20 餘公分寬，中央凹入 1~2 公分之略為彎曲之瓦片。有時板瓦的軸向亦稍有彎曲(圖 2-3.3)，匠司多用於合瓦隴，以利瓦片間的密合。

品質檢定上需要注意其形狀與構造之完整。部份規範如 CNS462「黏土瓦」要求無釉瓦吸水率低於 10%、抗折荷重大於 140 公斤重、並具有一定之抗凍性與抗衝擊性。另如透水性，以 15 公分高玻璃管注水以油灰黏在瓦面上，1 小時之後背面方有濕點的方法試驗之。

傳統磚瓦以不連續窯燒製，在台灣較具規模的僅存台南六甲瑞隆磚瓦場以及高雄九曲堂三和磚瓦場，其他多使用現代化的連續窯燒製相近材料，尤其大型古蹟廟宇都以這類工廠製造的琉璃瓦鋪設屋面。以下簡述磚瓦窯以及其生產過程，並以瑞隆磚瓦場為例。

### (一)磚瓦窯的形式

窯的型態依火焰的運用有升焰式窯、橫焰式窯、倒焰式窯三種。若依窯的性能可分為以下數類(閻亞寧 1989: 29-42)：

1.間歇性窯，又稱為不連續窯，有半圓形的圓窯、馬蹄窯、倒焰式的蒙頂窯為、方窯、文化窯。瑞隆與六合磚瓦場即倒焰式之文化窯。

2.半連續窯，又稱登窯、目字窯，多個窯室相連，較少用於燒磚瓦。

3.連續窯。日治時期台灣燒磚最常見者即郝夫曼窯，又名八卦窯，將長條窯室首尾相連使火力連續，；現在隧道窯 目前最常見

## (二)磚瓦的燒製程序

1.取得原料—以富含水矽酸鋁的沃黏土為最佳，因此山邊田野採得的天然土壤便十分合用。

2.製作胚體—首先以機器篩選土壤原料，並以抽磚機擠出成形胚體，其後晾胚乾燥，此時磚瓦的形狀便已成形，例如板瓦即以瓦斗槌作出突起弧面，將瓦胚疊壓其上，便使整疊瓦胚成略彎曲之形狀(圖 2-3.4)。

3.入窯—將胚體置入窯內坑腿上。一落落的胚體稱為「垛身」，下方磚塊稱為「坑腿」，腿坑間可流通空氣。

4.燒製—先於窯口用木材燒溫火預熱三天，目的在排出水分，其後再以稻殼攻燒，溫度約在攝氏 930-1050 度之間，溫度過低則強度、耐久性欠佳且吸水率低，過高容易變形。攻燒過程之後半部需決定以良好空氣量繼續烘燒的氧化燒法，可製成橘紅色之瓦片，或是捻烟飲窯的還原燒法，使表面有石墨薄膜依附，成為灰色的青瓦。

燒窯過程中可以透過「火眼」檢視窯內火況。另外，傳統上，點火帶有儀式意味，有時由窯的負責人擔任。

圖 2-3.4 瑞隆磚瓦場的板瓦成型



(a)瓦片擠出成型

(b)瓦片擠出成型模具

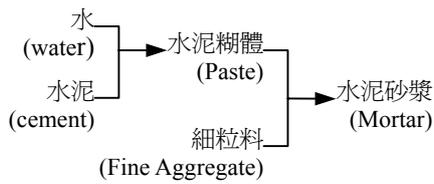
(c)瓦片彎曲成型

## 二、灰漿

傳統建築泛稱含有膠結材料的圬工墁料為「三合土」，例如以石灰、砂、黏土拌成者，實指含有膠結材料的圬工材料，並非以三種為限。台灣傳統營建以「土」泛稱所有的圬工材料，「灰土」一般指以富含黏土質的天然土壤混合石灰者(圖 2-3.5b)，「灰砂」指河砂與石灰拌合之墁料。圖 2-3.5a 表示水泥砂漿的組成。

匠司對於屋面灰漿的看法幾乎一致的認為只要可以黏住瓦片即可，並無特別之拌合用料，大多數為水泥、麻絨等，傳統建築可見屋面灰漿有稻殼摻入。

圖 2-3.5 灰漿的組成



(a)水泥砂漿的組成(吳卓夫 葉基棟 1991: 下冊 2)



(b)鹿港龍山寺之灰土

灰漿用於固定砌塊，以細骨材和膠結材料加水拌合成漿體，具有良好的塑性與黏著性，待其乾硬便可固著砌塊，亦可用於塑形。傳統建築營造所用的灰漿，經常在不同部位，或應不同的需要，在石灰砂漿中加入特殊摻料，其目的包括改變強度、改變乾黏、減少乾裂、減少乾縮、改變乾硬時間、改變重量、經濟性考量、改變塑性、改變顏色等。一般而言，石灰灰漿有保水性佳、強度低、乾硬慢，耐水性差之特點。

「就地取材」是傳統匠師決定灰漿配方之重要原則，摻料之使用也不例外，經常需視當地可採用的材料之狀況，決定摻料之種類與用量。但是地方性也代表了不確定性，亦即，即使以化學分析方法，也很難確知過去匠師到底使用了何種摻料，但是我們仍可藉相關的中國建築研究以及古籍中的記載，獲知可能的摻料種類與用量。

傳統灰漿以石灰為主要膠結材料，一般以「田土」作為骨材，另外加入許多摻料，試分為兩類，一為混合材料，一般可均勻混合或溶解於灰漿之中，經常用以改變灰漿的本質。二為纖維材料，通常是用來改變灰漿的物性，例如乾縮乾裂。以下分項說明。

(一)細骨材

不論屋面灰漿是否含有膠結材料，傳統營造通常以當地山邊田野適合之天然土壤作為結合層之灰漿，此類「田土」通常是黏土與砂的混合物，其成分各地不同，採用與否則由匠師視其性質而定，因此含大量黏土質的黃褐色土壤常作為屋面灰漿之細骨材。當代古蹟修復所用的灰漿細骨材，則常用當代建築工程所用之黑褐色細砂。這類細砂多採自河川下游河床中，又稱為「河砂」，當代工程所用的細砂，多為砂石場依比例混合各地河砂而成的「合砂」。

天然土壤和河砂兩種細骨材，雖然都是性質穩定的矽鋁礦物顆粒，但仍有相當的不同，一般天然土壤大多富含黏性土壤，有較多可作用的矽鋁質礦物，即所謂「普蜀蘭(pozzolan)」物質，而河砂亦為矽鋁礦物之圓球形顆粒，但其結晶完整而堅固，因此較為穩定，極少參與墘料中的化學膠結反應(王訓濤 1977: 38)，但若粒徑分布合宜(圖 2-3.6)，即級配良好，有可有效增益圬工墘料之性質(雲南工業大學 1995: 67)。



圖 2-3.6 細骨材的級配優良與否決定灰漿的強度(雲南工業大學 1995: 67)

(二)主要膠結材料—石灰

傳統灰漿的主要膠結材料是石灰，若以膠結原理可分為氣硬性與水硬性石灰，建築用石灰一般指氣硬性石灰，以下簡稱石灰。

石灰又分為生石灰、熟石灰等，前者以氧化物為主，如氧化鈣與氧化鎂，後者以氫氧化物為主，如氫氧化鈣與氫氧化鎂，二者為同一製作過程不同時期的產物(圖 2-3.10)，先產出生石灰，後有熟石灰。台灣當代常用熟石灰為古蹟修復材料，以下以製作過程以及相關的化學變化說明此一石灰之化學性質以及其使用與儲存。

### 1. 石灰原料

石灰可用碳酸鈣( $\text{CaCO}_3$ )含量高的物質燒製而成，例如牡蠣殼便可用以燒製石灰，稱為「蠣灰」，因蠣灰帶有較多黏土，因此具部分水硬性，沿海地區常見。當代石灰多為石灰石礦物(limestone)燒製而成，成分較單純。

### 2. 石灰製作與化學反應

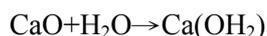
「生石灰(quick lime)」又稱「塊灰」，是由富含碳酸鈣的石灰石礦物經攝氏 800~1000 度高溫煅燒而成，一般為黃色或白色，多孔鬆軟，多呈硬塊。主要成分是氧化鈣( $\text{CaO}$ )，其次為氧化鎂( $\text{MgO}$ )，化學反應式如下，為一吸熱過程，體積膨脹。



生石灰磨成細粉即成生石灰粉，強度大、不膨脹、快乾，硬化速度比石灰漿快 30~50 倍，強度高 1.5~2 倍，其熟化產生大量熱量利於冬季施作(上海市建築材料行業協會 1993: 23)。

石灰的品質很大的程度上決定於煅燒過程，煅燒不良會形成過火石灰或欠火石灰。欠火石灰指碳酸鈣未完全變成氧化鈣，無法熟化；過火石灰熟化極慢，影響工程品質。熟化後體積增加至 1.5 到 3.5 倍，因此石灰漿使用前需先過篩，以去除未熟化之過火或欠火石灰。

「熟石灰」又稱「消石灰(slaked lime)」、「水化石灰(hydrated lime)」。將生石灰淋適量水，氧化鈣與氧化鎂等物質經過化學變化成為氫氧化鈣( $\text{Ca(OH)}_2$ )與氫氧化鎂( $\text{Mg(OH)}_2$ )等物質，外觀如粉末，即成熟石灰，此一過程稱為「熟化作用」或稱「消化作用」、「氣化作用」。熟化作用為一放熱過程，反應過程中會釋放高溫，因此中國北方寒冷地區有用生石灰作為建築材料者，反應式如下。



### 3. 石灰的儲存

若將生石灰任意置於空氣中，亦會吸收空氣中的水分變成粉末狀的熟石灰，然後繼續吸收空氣中的二氧化碳生成碳酸鈣，亦即還原成石灰石狀態而失去膠結性而無法使用。因此生石灰粉末越多，表示吸收水分，品質越差，同時也顯示熟石灰不易保存。

因此消石灰於使用時，會將生石灰加上較多的水，使其熟化成漿狀材料稱為「石灰漿(lime putty)」或「石灰膏」。若需儲存，則於石灰漿上保持一層水與空氣隔絕，則可長期保存不變質，台灣傳統建築營造稱為「養灰」，亦有稱為「陳伏」者，一般儲存於「灰池」中(圖 2-3.7)。養灰可以進一步去除未熟化之過火或欠火石灰，以免使用後繼續熟化膨脹。養灰的時間說法不一，從兩週到 6 個月甚至以上都有。



圖 2-3.7 艋舺龍山寺之養灰場

### (三)混合摻料

混合摻料指均勻混入灰漿材料的摻料，有時改變顏色，有時參與反應改變灰漿性質。糯米加入灰漿有稱為「麻糬土」者，並不用於一般構造，多用於缺損的修補。當代建築工程常用的海菜粉，目的在使灰漿緩凝，亦常用在屋面灰漿之中，目的之一即在於一邊施作一邊調整瓦隴整齊度。以下說明水泥以及糖漿之性質。

#### 1.水泥

水泥用於傳統建築應始至日治時期，但現在最常見的，便是古蹟修復在當代營造方法的影響下，大量使用水泥作為加強灰漿各種性質的材料，有時是加入石灰砂漿成為水泥石灰砂漿，有的便直接用水泥沙漿。

水泥的種類繁多，最常用者為「第一型波特蘭水泥(normal Portland cement)」，簡稱水泥，外觀為暗灰色粉狀物。水泥的原料需包含石灰質原料和黏土質原料兩種，比例約四比一，前者主要為包括(CaCO<sub>3</sub>)二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)等，後者為黏土、矽砂與富含燐土、氧化鐵者。以適當比例混和煅燒，並加入石膏粉製成。

水泥之主要組成化合物有二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)占 60~66%、氧化鋁(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)占 20~26%、氧化鐵(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)占 4~9%、氧化鈣(CaO)占 2~3.5%等。其中氧化鈣(CaO)為鹽基，另三者為酸基，在煅燒時結合成礦物，因此水泥之組成化合物實際上是以礦物型態存在，主要有四種：矽酸三鈣(3CaO · SiO<sub>2</sub>=C<sub>3</sub>S)、矽酸二鈣(2CaO · SiO<sub>2</sub>=C<sub>2</sub>S)、鋁酸三鈣(3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=C<sub>3</sub>A)、鋁鐵酸四鈣(4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=C<sub>4</sub>AF)，各會使水泥具有不同特性，因此若控制水泥中不同礦物的比例，便可製成不同特性的水泥(王纓茂 1969: 101-106)。其膠結原理於下小節說明。

水泥含有生石灰(CaO)，極易吸收空氣中的二氧化碳而水化，因此儲存時需注意隨時密封。

#### 2.糖漿

傳統灰漿使用黑糖以增加灰漿強度與黏著性。黑糖又稱紅糖，為黑褐色粉狀物質。傳統製糖技術不佳，只能將原料製成黑褐色粉狀之糖，即「黑糖」或稱「紅糖」，隨技

術進步，可再精煉成可成黃色結晶之糖粒，今日稱為「二號白砂糖」<sup>15</sup>，再進一步則煉製成白色結晶細粒，即今日之「特級砂糖」，並有黑褐色膏狀之副產品，稱為「廢糖蜜」(圖 2-3.8)。今日的黑糖粉即以黃色結晶之二號白砂與此廢糖蜜混和製成，實際上廢糖蜜和黑糖粉的氣味是極相似的。

此類灰漿的做法為黑糖粉不加水，直接加熱煮至膏狀，此糖膏一但冷卻即行硬化，因此需於工地現場製作，並立即加入灰漿拌和使用。當代古蹟修復目前未見大量使用糖漿摻料於屋面灰漿者，可見少數案例用於牆體磚縫，並且常以廢糖蜜作為糖漿之替代品。



圖 2-3.8 廢糖蜜之儲存槽

糖漿的膠結原理是其中含有的糖酚參與作用，加強圬工灰漿的強度與黏著性。儲存上亦須注意，廢糖蜜會因時間長久而發出酸味，但仍可使用。

#### (四)纖維摻料

為了經濟性之需求以及增進某些灰漿性質，通常會在灰漿中加入纖維材料，台灣最主要的糧食作物為水稻，因此稻米之外殼便成最常見的添加材料。當代古蹟修復常用的麻絨，則有容易腐爛與取材來源的問題。基本上二者加入灰漿都可說是一種複合纖維材料(FRP)，而加入稻殼者應可視為輕質混凝土之一種。除麻絨與稻殼之外，也常使用稻草。

### 三、其他

基本上，屋面灰將並非結構材，因此匠師對其要求只要可黏著瓦片即可，因此除了以上之摻料之外，其他都是非主要的灰漿，例如染色用的「土朱」加入灰漿用於紮目、修補用的「麻薯土」以糯米敲打成的麻薯加入灰漿而成，另外海菜粉是為了減緩凝固時間。

關於防水面材有以下幾種：「油毛紙(Asphalt Felt)」以有機纖維為材料作成油毛紙，浸入瀝青待乾即成。「油毛氈(Asphalt Roofing)」為油毛紙兩面蓋吹氣柏油待乾即成，防水與延展性較佳。「砂面防水毯」即油毛氈乾前施以一層細砂即成，沙礫目的在保護柏油不受破壞。其中柏油(Asphalt)又稱瀝青，為石油提煉之副產品。施作時需注意接合之長度需在 10 公分以上(蔡守智 1988: 126)。

#### 2-3-2 屋面材料的受矚與穩定

前述各項各種屋面材料結合之後必須達成屋面的營建目標，本小節主要探討這些材料結合的方法，即灰漿的膠結硬化原理。

<sup>15</sup> 台灣糖業公司之產品名稱。

## 一、屋頂與灰漿的受力與破壞機制

屋面破壞是指外力增加或構造本身變異，使原有之力平衡改變，造成屋面構造發生位移、開裂或材料性質變化之行爲。首先以力平衡的觀點說明屋面的破壞機制，再論屋面材料的受力情形。

### (一) 屋面整體

以屋面整體爲受力體，屋面直接且同時受到數個來源的力之作用，可以分爲靜載重(dead load)與活載重(live load)(吳卓夫 葉基棟 1991: 上冊 40)，本文稱爲固定受力非固定的作用力。

1. 固定受力(dead load)指長期持續的作用於屋面構造者，包括：

- (1) 自重
- (2) 屋架支撐力：相應於屋面自重的反作用力。
- (3) 屋脊與裝飾物

2. 非固定的作用力(live load)可能使屋面直接受力，或是間接壓迫固定受力如屋架之支撐力，致使受力不均而破壞。

(1) 物理環境作用：風壓、降雨撞擊、地震搖憾等，除了直接施力，亦會造成材料的長期衰變。

- (2) 外物撞擊
- (3) 植物從內部撐裂

另外，構造本身的衰變主要指長期慢性的作用，包括灰漿材料的持續乾硬、氣候環境造成的材料變化，一但作用到一定的程度，便使其無法承受原有力量，材料破壞達到另一個力平衡。

### (二) 屋面材料

不論屋面整體的破壞如何，都可以視之爲屋面構成材料破壞的整體表現。本小節探討屋面破壞時，屋面構成材料的受力與破壞狀況。屋面構成材料的受力破壞方式有以下數種：

- (1) 正向拉壓力破壞
- (2) 彎折破壞
- (3) 黏著面破壞

當屋面受力不平衡，單元材料的受力便可以以上幾種情況加以分析，例如同樣的斷

裂情況，其破壞時的受力情形便可能是正向力、彎折力之合力作用。

一般而言，正向拉壓力破壞多來自外物的撞擊，機會較少，較常見的屋面的斷裂、下陷破壞，其構成材料的受力應以彎折為主，瓦片的脫離則應以介面的黏著改變為主。介面黏著力的破壞強度常用「庫倫 摩爾破壞定律」加以討論。此定律指出在垂直應力的適當範圍內，材料之摩爾(破壞)包絡線近似一直線，而與庫倫強度線一致，亦即介面垂直應力與剪應力會呈一正比關係(陳國顯 1984: 18)。

實際上，我們無法以觀察破壞情況的方式，推測其詳細的破壞機制與破壞時的受力情形，而且大部份的破壞都一定是多種型態的力之合力作用，因此對於屋面破壞的分析，一如其他的建築材料實驗，經常需以實際構體的破壞實驗，來模擬真實情況，以預測破壞行為，而這類研究的基礎便是以構成材料的基本性質為出發點。

巧工構造的原理是以大量的單元材料組成一個大量體，因此，就材料觀點，屋面的三個營建目標，必須由屋面所用的各種磚瓦與灰漿材料來達成。屋面材料、屋面構造與營建目標之間的關係，如圖 2-3.9 所示。三個營建目標的達成都需使用灰漿，因此我們可以說屋面灰漿是傳統建築最重要的屋面材料。

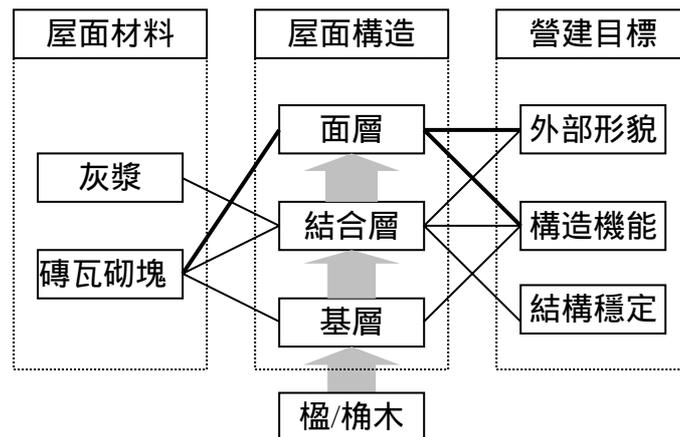


圖 2-3.9 屋面材料、屋面構造與營建目標之間的關係。其中粗線表示無灰漿之屋面，灰色箭號表示結構倫理關係。

## 二、灰漿的膠結硬化

本小節討論傳統建築灰漿的膠結原理與硬化之機制。除了前段說明灰漿是傳統建築最重要的屋面材料，此外，瓦片是工廠製作，屬建築工藝之討論範圍，而灰漿由匠司在工地現場拌合，與傳統建築作法較為相關，因此其膠結硬化的原理與機制是需要背了解的。

灰漿的硬化機制，基本上是以灰漿膠結材料將骨材加以黏結而成。整個硬化過程主要是灰漿膠結之化學反應，細骨材需視內含矽鋁礦物(普蜀蘭物質)之狀況決定其是否參與硬化之化學反應。首先說明灰漿材料的膠結原理，次說明加入矽骨材之灰漿硬化機制。

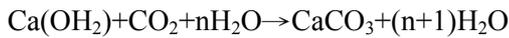
(一)膠結材料的膠結硬化

1.石灰漿的膠結原理

石灰漿中富含氫氧化鈣(Ca(OH<sub>2</sub>))，因此其硬化主要為氫氧化鈣的硬化，包括同時進行的二種硬化過程(雲南工業大學 1995: 25)：

(1)結晶：石灰漿的水分散失，氫氧化鈣形成結晶，為物理變化過程。

(2)碳化：氫氧化鈣和空氣中的二氧化碳合成碳酸鈣結晶，為化學變化過程，反應式如下：



兩種硬化過程只能在空氣中緩緩完成，石灰漿表面以碳化為主，內部以結晶為主。碳化過程實際上為二氧化碳和水先形成碳酸，然後再與氫氧化鈣形成碳酸鈣，因此碳化過程中必須有水的存在。表面形成碳化物之後，內部水分無法脫出，使內部的結晶過程減緩，此為石灰砂漿乾硬極慢的主因。

硬化的石灰漿會因水分而使強度降低，甚至氫氧化鈣結晶溶解流出而崩解，因此不宜在潮濕環境使用石灰砂漿或石灰製品，石灰的整個製造與硬化過程如圖 2-3.10 所示。

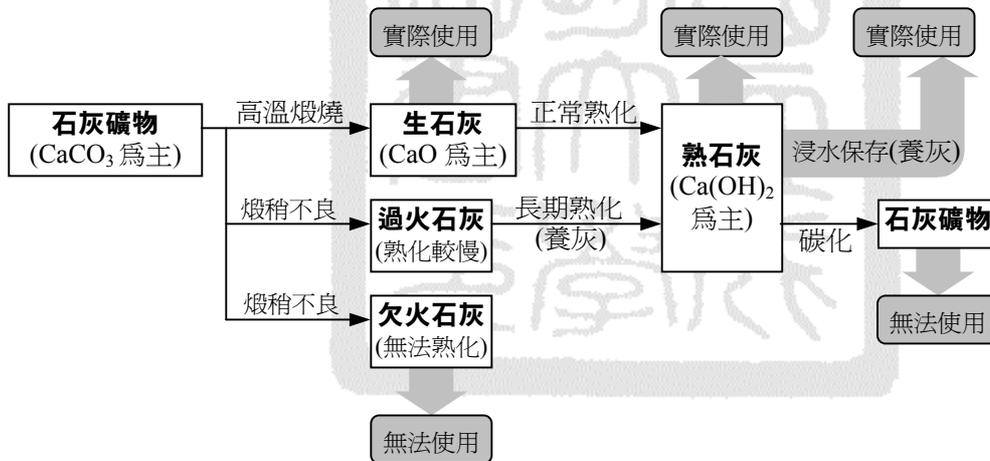


圖 2-3.10 石灰材料化學反應過程

2. 水泥漿的膠結硬化

前述水泥中的二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)、氧化鋁(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、氧化鐵(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、氧化鈣(CaO)等化合物事實上是以礦物型態存在，主要有 C<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S、C<sub>3</sub>A、C<sub>4</sub>AF 四種，其特性各有不同，可以其水化熱、水化速度與強度、與收縮等性質，作不同成分的配合，製成不同特性的水泥。一般波特蘭水泥礦物性質如下表。

其中 C<sub>2</sub>S 與 C<sub>3</sub>S 同為波特蘭水泥的主要成分，共占 70~80%，而 C<sub>3</sub>A 雖各項性質趨向負面，但為維持水泥之完全煅燒，必須維持固定的量。

表 2-3.1 波特蘭水泥熟料礦物之特性(參考雲南工業大學 1995: 44)

礦物名稱	化學式	代號	含量 (%)	主要特性				
				水化	水化熱	強度	收縮	抗酸蝕*
矽酸三鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}$	$\text{C}_3\text{S}$	37~60	快, 久	大	早/長期皆高	中	中
矽酸二鈣	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	15~37	最慢	小	長期強度高	中	最佳
鋁酸三鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	7~15	最快	最大	弱	大	差
鋁鐵酸四鈣	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	10~18	慢	中	中	小	次佳

\*指抗硫酸鹽侵蝕之能力

水泥加水即為水泥漿，其硬化的過程十分複雜，基本上是一水化過程，最後生成水化矽酸鈣(膠體)約佔 50%、氫氧化鈣(晶體)約佔 25%，另有水化鐵酸鈣(膠體)、水化鋁酸鈣(晶體)、水化硫鋁酸鈣(晶體)等。以水化矽酸鈣的硬化為水泥漿強度的主要來源，其膠結過程如圖 2-3.11 所示，首先，(b)礦物顆粒表面開始水化形成不易溶於水的膠狀薄膜，之後薄膜碰觸使水泥漿流動性減少，此時稱為初凝(c)。其後薄膜破裂，礦物內部繼續水化，最後大量水化物緊密結合形成網狀結構，此時稱為終凝(d)。最後礦物顆粒完全被水化物包圍，水泥漿即完成硬化。

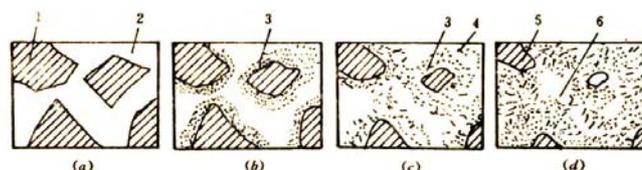


圖 2-3.11 水泥漿體的膠結過程(雲南工業大學 1995: 46)

水泥的硬化過程中，水泥細度大，即顆粒細時，水化快、凝結硬化也快。溫度高時，水化、凝即硬化都快，溫度低於攝氏 0 度時停止水化，同時，水化作用在乾燥狀態下是無法進行的。水泥漿的硬化時間，在第 28 天之後即趨緩，並以第 3~7 天最快(雲南工業大學 1995: 44)。

膠結過程為化學變化，理論上需要水泥重量 35~37%的水，但實際用水量需視狀況而定。事實上，以水泥為主要膠結材料的圬工壩料或混凝土，其用水量是強度大小的最重要變因，一般以「水灰比」表示用水量，並發展出以「水灰比理論」，主要內容在說明如何使水泥漿填滿骨材間的空隙，基本上用水量和混凝土的強度成反比(吳卓夫 葉基棟 1991: 下冊 22)。

## (二)灰漿的膠結硬化

灰漿指膠結材料加入細骨材拌成之物，膠結漿體在骨材間隙中，在初期具有潤滑作用，之後為膠結硬化之作用。因此亦可說灰漿之硬化過程，主要是膠結材料的硬化過程。

一般而言，若細骨材富含可作用之矽鋁礦物(普蜀蘭物質)，細骨材才會參與硬化之化學反應，但如當代使用之河砂，其為堅實穩定之矽鋁礦物，幾乎無化學反應之發生，但細骨材的使用可減少水泥的用量，若顆粒比例良好，可以大幅提升灰漿之強度，實為經濟與灰漿性質考量之填充材。以下以石灰漿為例說明(王訓濤 1977: 38)。

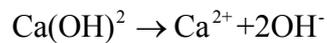
## 1. 離子交換與密簇(Flocculation)作用

實則為膠結材料「黏結」細骨材顆粒的物理作用。

石灰漿中的石灰解離出鈣離子( $\text{Ca}^{2+}$ )，取代黏土顆粒表面的複水層(double layer water)中的低價離子，如鈉、鉀、氫離子等，原黏土表面的負電，因為鈣離子的附著，便限制了複水層的發展，土壤顆粒之間排斥力減小引力增加，形成密簇構造，土粒的強度因此提升。

## 2. 膠結作用(普蜀蘭作用)

石灰漿中的石灰解離出鈣離子和土壤中的矽鋁礦物化合生成矽鈣膠體(CSH)與鋁鈣膠體(CAH)，將土黏結起來。其中矽鋁礦物亦稱為「普蜀蘭(pozzolan)」物質，主要指氧化矽( $\text{SiO}_2$ )與氧化鋁( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )。其反應如下：



水泥砂漿中常加入飛灰(fly ash)作為普蜀蘭物質，加強其膠結，另外稻殼灰、火山灰都是良好的普蜀蘭物質。

## 第三章 實驗計畫

### 3-1 前言

傳統建築的屋面構造，以瓦片與灰漿為基本構成材料，瓦片的各種性質在燒製時便已決定，而灰漿則為現場拌合，材料與作法多樣，其配比常以匠司之經驗為主要準則，也常因地方性的材料而使灰漿呈現不同的基本性質。

因此，本章乃透過實驗，探討傳統建築屋面常用灰漿的基本性質。首先依前章之調查研究，拌製多種不同配比之灰漿，然後進行實驗。實驗分為物理性質與力學性質兩類，其下再分為重量性質、色彩、灰漿強度、灰漿黏著強度等實驗項目，依序進行。

因此本實驗的目的，即以多種灰漿進行多種試驗項目，獲知其主要的物理與力學性質，並對傳統屋面灰漿作一基本的描述。

### 3-2 實驗項目與對象

實驗項目的選取，乃是依前節屋面的構造作法、營建目標以及屋面破壞等探討為準則。進行實驗的基本性質包括有重量性質、顏色、灰漿強度、灰漿黏著強度，並分為物理性質與力學性質兩大類。

實驗對象為傳統建築屋面常用灰漿，綜合前章之田野調查以及文獻研究，採用多種細骨材及摻料，並以不同重量拌合比製作三十種灰漿，用以模擬傳統屋面營建可能的灰漿配比，以及當代古蹟修復所常用者，進行基本性質實驗。

#### 3-2-1 實驗項目

前章探討傳統屋面的三項營建目標包括構造機能、結構穩定、外部形貌，作為屋面構造重要部分的結合層灰漿，其性質要如何方能達成此三項目標？是為探討屋面灰漿性質的主要議題，亦是實驗項目的選取依據。

基於相關研究之闕如，儘管依據前述之三個議題，實際需要進行的實驗項目仍屬繁多，考量人力物力之限制，本論文選取的實驗項目，以可供此三個議題之初步探討，以及相關建築材料實驗之比較為原則，即所謂屋面灰漿的「基本性質」，而不擴及建築材料品質檢測之所有項目。擬定的實驗項目如下圖所示，並分別敘述。

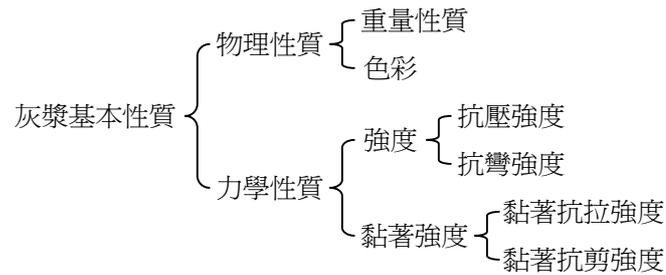


圖 3-2.1 灰漿基本性質實驗項目之分類

## 一、物理性質實驗

物理性質實驗包括兩大項，一為的重量性質，二為色彩。

### (一)重量性質

重量性質指屋面灰漿在各種狀態下的重量，並可據此推算屋面的重量改變。包括烘乾重、氣乾重、面乾內飽和重量等，以及視孔隙度和吸水率等相關性質。

### (二)色彩

屋面灰漿的外部形貌中，型態與施工作法有關、質感隨材料老化而有不同，而色彩一項則和灰漿的性質有關，因此僅選取色彩為實驗項目。

## 二、力學性質實驗

力學性質實驗包括兩大項，一為灰漿強度，二為灰漿黏著強度。

### (一)灰漿強度

包括灰漿之抗壓強度與抗彎強度，為灰漿本身單位面積可承受的最大外力。「抗壓強度」為建築圬工墁料強度品質之主要參考依據。另外，基於屋面破壞之型態多為下方支撐支木構破壞，致使屋面彎折破損，因此另作「抗彎強度」實驗。

### (二)灰漿黏著強度

灰漿的「黏著性」，本論文以灰漿與瓦片介面的單位面積黏著力大小表示，稱為「黏著強度」。黏著強度涉及前述三項議題之「結構穩定」項，此又為另二項議題的基礎。實驗中，黏著強度分為灰漿與瓦片之介面垂直向的拉拔力以及平行向的剪力兩種，即灰漿的「黏著抗拉強度」與「黏著抗剪強度」，有時為便於文字說明，簡稱為「拉拔強度」與「剪力強度」。

### 3-2-2 實驗對象

本論文的實驗對象為傳統屋面灰漿，而灰漿的性質大部分取決「灰漿材料」之配比，即灰漿構成材料之種類及拌合比例。

傳統建築之灰漿以石灰為主要膠結材料，本實驗亦以石灰灰漿作為基礎灰漿，並依據前章之探討，考量當代修復工程所常用，以及匠司訪談、文獻記載所獲知者，製備三十種不同材料與重量拌合比的灰漿。以下說明此三十種灰漿之配比，包括所用的灰漿材料以及其配比。

#### 一、灰漿材料

如前章所述，一般圬工墁料之構成材料除了水之外，可分為膠結材料、細骨材、摻料三種，其中膠結材料為石灰，本論文並將摻料再細分為混合摻料與纖維摻料(圖 3-2.2)。

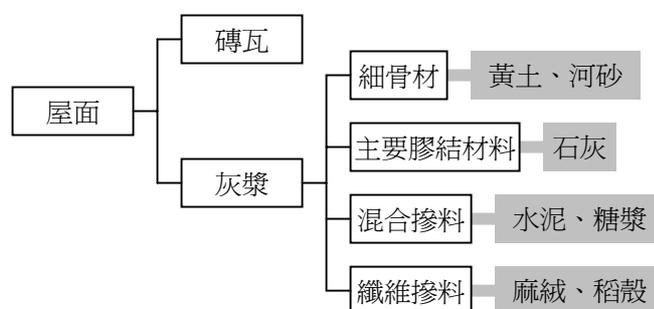


圖 3-2.2 本實驗選用之灰漿材料

#### (一)石灰

傳統建築灰漿以石灰為主要膠結材料，因此本實驗採用的灰漿亦以石灰為主要膠結材料，並以不同石灰用量，即不同「灰砂比」，探討其對灰漿性能之影響，並尋求其用量造成之差異。

#### (二)細骨材

本實驗採用黃土與河砂兩種細骨材，探討不同細骨材對灰漿性質的影響。

傳統屋面灰漿之細骨材多為黏土與砂的混合物，而當代建築工程則多用以河砂為細骨材的水泥砂漿，本實驗兩者皆採用，比較灰漿之不同細骨材以及不同灰砂比的差異。實際取材以現場施工常用材料為原則。兩種細骨材分別採用牆面粉刷打底用的黃色細土，簡稱「黃土」，及當代建築工程常見之黑褐色河砂，簡稱「河砂」。

#### (三)混合摻料

本實驗採用水泥與糖漿兩種混合摻料，探討混合摻料對灰漿性質之影響，並探討不同用量時的性質差異。

當代古蹟修復常以水泥石灰砂漿取代石灰砂漿，亦即以水泥取代石灰作為膠結材料，本實驗採用一般工程最常用的波特蘭第一型水泥。糖漿較少用於屋頂灰漿，唯研究亦顯示，一般認為過去亦有可能用於屋頂灰漿，此外為尋求實驗結果之對照，故採用糖漿進行實驗。

#### (四)纖維摻料

本實驗採用稻殼與麻絨兩種纖維材料，了解纖維摻料的使用對增益了灰漿何種性質。並以一般古蹟修復工程常用者為主。

## 二、灰漿配比

本實驗將製備三十種灰漿，以「一比二灰漿」為基礎灰漿，改變部分灰漿材料以及拌合重量比，包括不同的細骨材用量、石灰用量、混合摻料用量與植物纖維的使用量，製成不同灰漿。首先依細骨材種類分為 A、B 兩大類，再細述各種灰漿的配合比。

### (一) A 類灰漿

以河砂為細骨材，稱為「砂漿」，共有 22 種。再分為石灰砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿、纖維砂漿四種。

#### 1. 石灰砂漿

以石灰與河砂為組成材料，依不同灰砂比配製成 3 種灰漿。包括 A10 灰漿(一比一石灰砂漿)、A20 灰漿(一比二石灰砂漿)、A30 灰漿(一比三石灰砂漿)。

#### 2. 水泥石灰砂漿

共有 9 種。包括以河砂、石灰、水泥為組成材料，製成之 7 種水泥石灰砂漿，以及以河砂與水泥為組成材料，製成 2 種水泥砂漿。

先以 A10 灰漿(一比一石灰砂漿)為基準，加入重量比為石灰之 0.5 的水泥，製成 A12 灰漿(0.50 一比一水泥石灰砂漿)。

次以 A20 灰漿(一比二石灰砂漿)為基準，各加入三種水泥摻量，重量分別為石灰之 0.25、0.50、1.00，製成 A21 灰漿(0.25 一比二水泥石灰砂漿)、A22 灰漿(0.50 一比二水泥石灰砂漿)、A23 灰漿(1.00 一比二水泥石灰砂漿)。

再以 A30 灰漿(一比三石灰砂漿)為基準，各加入三種水泥摻量，重量分別為石灰之 0.25、0.50、1.00，製成 A31 灰漿(0.25 一比三水泥石灰砂漿)、A32 灰漿(0.50 一比三水泥石灰砂漿)、A33 灰漿(1.00 一比三水泥石灰砂漿)。

另製作兩種不加石灰之水泥砂漿試體，以為對照，分別為 A02 灰漿(一比二水泥砂漿)、A03 灰漿(一比三水泥砂漿)。

#### 3. 糖石灰砂漿

以河砂、石灰與糖漿為組成材料，製成 5 種糖石灰砂漿。

先以 A10 灰漿(一比一石灰砂漿)為基準，加入重量比為石灰之 0.02 的糖漿，製成 A15 灰漿(0.02 一比一糖石灰砂漿)。

次以 A20 灰漿(一比二石灰砂漿)為基準，各加入三種糖漿摻量，重量分別為石灰之 0.01、0.02、0.04，製成 A24 灰漿(0.01 一比二糖石灰砂漿)、A25 灰漿(0.02 一比二糖石灰砂漿)、A26 灰漿(0.04 一比二糖石灰砂漿)。

再以 A30 灰漿(一比三石灰砂漿)為基準，加入重量比為石灰之 0.02 的糖漿，製成 A35 灰漿(0.02 一比三糖石灰砂漿)。

#### 4. 纖維砂漿

共有 5 種。取前述之數種灰漿，分別加入麻絨或稻殼兩種纖維材料製成。

首先取 A20 灰漿(一比二石灰砂漿)與 A02 灰漿(一比二水泥砂漿)，加入麻絨與稻殼兩种植物纖維，加入量皆為重量比為石灰的 0.025，製成 A201 灰漿(一比二石灰砂漿加麻絨)、A021 灰漿(一比二水泥砂漿加麻絨)、A202 灰漿(一比二石灰砂漿加稻殼)、A022 灰漿(一比二水泥砂漿加稻殼)。

另外取 A22 灰漿(0.50 一比二水泥石灰砂漿)，加入麻絨，加入量為重量比為石灰的 0.025，製成 A221 灰漿(0.50 一比二水泥石灰砂漿加麻絨)。

#### (二) B 類灰漿

以黃土為細骨材，稱為「土漿」，共有 8 種。分成土漿、石灰土漿與纖維土漿等類。

##### 1. 土漿

只以黃土為組成材料，製成 B00 灰漿，作實驗結果之對照。

##### 2. 石灰土漿

以石灰與黃土為組成材料，依不同灰砂比配製成 3 種灰漿。包括 B10 灰漿(一比一石灰土漿)、B20 灰漿(一比二石灰土漿)、B30 灰漿(一比三石灰土漿)。

##### 3. 纖維土漿

取前述四種灰漿加入麻絨或稻殼，製成 4 種灰漿。先取 B20 灰漿(一比二石灰土漿)之配比，加入麻絨與稻殼兩種纖維，重量皆為石灰之 0.025，製成 B201 灰漿(一比二石灰土漿加麻絨)、B202 灰漿(一比二石灰土漿加稻殼)兩種灰漿。

再另將土漿，加入相同於 B201、B202 之體積比的兩种植物纖維，製成 B001 灰漿(土漿加麻絨)、B002 灰漿(土漿加稻殼)兩種灰漿。

以上共 30 種灰漿，其重量配合比詳列如下表。

表 3-2.1 灰漿配比總表

灰漿編碼	灰漿命名	用料重量比			
		石灰	細骨材	混合摻料	纖維摻料
A02	一比二水泥砂漿	(無)	砂 2	水泥 1.00	(無)
A03	一比三水泥砂漿	(無)	砂 3	水泥 1.00	(無)
A10	一比一石灰砂漿	1	砂 1	(無)	(無)
A20	一比二石灰砂漿	1	砂 2	(無)	(無)
A30	一比三石灰砂漿	1	砂 3	(無)	(無)
A12	0.50 一比一水泥石灰砂漿	1	砂 1	水泥 0.50	(無)
A21	0.25 一比二水泥石灰砂漿	1	砂 2	水泥 0.25	(無)
A22	0.50 一比二水泥石灰砂漿	1	砂 2	水泥 0.50	(無)
A23	1.00 一比二水泥石灰砂漿	1	砂 2	水泥 1.00	(無)
A31	0.25 一比三水泥石灰砂漿	1	砂 3	水泥 0.25	(無)
A32	0.50 一比三水泥石灰砂漿	1	砂 3	水泥 0.50	(無)
A33	1.00 一比三水泥石灰砂漿	1	砂 3	水泥 1.00	(無)
A15	0.02 一比一糖石灰砂漿	1	砂 1	糖漿 0.02	(無)
A24	0.01 一比二糖石灰砂漿	1	砂 2	糖漿 0.01	(無)
A25	0.02 一比二糖石灰砂漿	1	砂 2	糖漿 0.02	(無)
A26	0.04 一比二糖石灰砂漿	1	砂 2	糖漿 0.04	(無)
A35	0.02 一比三糖石灰砂漿	1	砂 3	糖漿 0.02	(無)
A021	一比二水泥砂漿加麻絨	(無)	砂 2	水泥 1.00	麻絨
A022	一比二水泥砂漿加稻殼	(無)	砂 2	水泥 1.00	稻殼
A201	一比二石灰砂漿加麻絨	1	砂 2	(無)	麻絨
A202	一比二石灰砂漿加稻殼	1	砂 2	(無)	稻殼
A221	一比二水泥石灰砂漿加麻絨	1	砂 2	水泥 0.5	麻絨
B00	土漿	(無)	土 1	(無)	(無)
B10	一比一石灰土漿	1	土 1	(無)	(無)
B20	一比二石灰土漿	1	土 2	(無)	(無)
B30	一比三石灰土漿	1	土 3	(無)	(無)
B001	土漿加麻絨	(無)	土 1	(無)	麻絨
B002	土漿加稻殼	(無)	土 1	(無)	稻殼
B201	一比二石灰土漿加麻絨	1	土 2	(無)	麻絨
B202	一比二石灰土漿加稻殼	1	土 2	(無)	稻殼

說明：1. 「細骨材」欄，「砂」指河砂，「土」指黃土。

2. 纖維重量固定為石灰的 0.025。

### 三、試體的各種名稱排語

前述實驗用灰漿的 30 種配比，各有其命名與編碼，以下對屋面灰漿材料之各種用語及命名方法作一說明(表 3-2.2)。

#### (一)編碼的形式

Axyz 或 Bxyz

其中 A/Bxy 為基本形式，z 視灰漿種類時有時無，例如：A201、A35、B10、B002 等。

## (二)命名的形式

混合摻料用量—灰砂比—混合摻料種類—主要膠結材料—細骨材—纖維摻料

其中「細骨材」項為基本形式。例如：一比二石灰砂漿加麻絨、一比三糖石灰砂漿、一比一石灰土漿、土漿加稻殼。

## (三)編碼與命名方法

◎細骨材—細骨材為河砂者稱為「砂漿」，編碼為 A；若為黃土者則稱「土漿」，編碼為 B。

◎主要膠結材料—主要膠結材料為石灰者稱為「石灰灰漿」，應細骨材之不同分為「石灰砂漿」與「石灰土漿」。若主要膠結材料為水泥則為「水泥灰漿」，本實驗之水泥搭配的細骨材只有河砂，即「水泥砂漿」，如一般工程之稱法。

表 3-2.2 灰漿編碼與命名方法簡表

灰漿編碼	灰漿命名	說明
A/B	細骨材	A=石灰砂漿(SW-SM, well graded sand with silt) B=石灰土漿(CL, lean clay with sand)
x	灰砂比/膠結材料	x=0(A：水泥砂漿，此類灰漿 y=水泥/細骨材。 x=0(B：無石灰之純土漿) x=1—一比一(石灰灰漿，石灰/細骨材=1) x=2—一比二(石灰灰漿，石灰/細骨材=0.5) x=3—一比三(石灰灰漿，石灰/細骨材=0.33)
y	混合摻料種類/混合摻料用量	y=0(無混合摻料) y=1=水泥(水泥/石灰=0.25) y=2=水泥(水泥/石灰=0.50；若 x=0 時 y=水泥/細骨材) y=3=水泥(水泥/石灰=1.00；若 x=0 時 y=水泥/細骨材) y=4=糖漿(糖漿/石灰=0.01) y=5=糖漿(糖漿/石灰=0.02) y=6=糖漿(糖漿/石灰=0.04)
z	纖維摻料	z=1=麻絨 z=2=稻殼

◎灰砂比—主要膠結材料與細骨材的比例，一般稱為「灰砂比」，並以「一比一」、「一比二」、「一比三」表示。灰砂比編碼以 x 表示：灰砂比為 1 時，以「一比一」命名，編碼中的 x=1；灰砂比為 0.5 時，以「一比二」命名，編碼中的 x=2，以此類推。灰漿中無石灰，而以水泥為主要膠結材料時，編碼 x=0，此時灰砂比為水泥與細骨材之

比例，編碼以  $y$  表示。如灰砂比 0.5 時，以「一比二」命名， $x=0$ ， $y=2$ 。

◎混合摻料—本實驗之混合摻料種類有二，一為水泥，一為糖漿，編碼中以  $y$  表示之。混合摻料用量各三。水泥用量為石灰重量之 0.25、0.5、1 倍時，命名以 0.25、0.5、1.0， $y=1、2、3$ 。糖漿用量為石灰重量之 0.01、0.02、0.04 倍時，命名以 0.01、0.02、0.04， $y=4、5、6$ 。未使用混合摻料時， $y=0$ 。

◎纖維材料—本實驗之纖維摻料種類有二，一為麻絨，一為稻殼，編碼中以  $z$  表示之。纖維摻料為麻絨時， $z=1$ ；若為稻殼， $z=2$ ；若無纖維摻料，則不書寫  $z$ 。

#### (四)各種灰漿用語

本論文在說明時使用許多相關的灰漿用語，各個用語指涉的灰漿各有不同，以下表說明之。表中左邊可以包括右邊之用語。表中，纖維石灰砂漿、纖維石灰土漿與纖維土漿合稱纖維灰漿。

表 3-2.3 各種灰漿用語

	膠結材(石灰)	細骨材	摻料
圬工材料 (灰漿)	石灰漿	石灰砂漿	石灰砂漿
			水泥石灰砂漿
			糖石灰砂漿
			纖維石灰砂漿(纖維灰漿)
			石灰土漿
	土漿	土漿	土漿
			纖維土漿(纖維灰漿)

### 3-3 相關實驗回顧

本論文的研究對象為傳統屋頂灰漿，過去並無以此為對象之相關實驗，常見以石灰為研究對象者，多為大地工程之「穩定添加劑」，較少針對建築工程的圬工墁料，僅有磚牆灰縫砂漿之研究。磚牆做為房屋重要的結構體，其灰縫的性質自然較容易成為研究的對象。紅磚與傳統建築之屋瓦同為素燒之陶土製品，有相同的製作過程，因此前述關於磚牆灰縫之研究方法，便成為本實驗重要的參考對象。

各種文獻中，重量性質與灰漿強度等項目，為建築材料之基本性質檢測項目，可以從多套規範中獲得相似而完善的實驗方法，已為一成熟常見的實驗項目。至於灰漿的黏著性一項，則為較少見，僅見於少數磚牆灰縫之研究，規範中可見者亦多為黏著劑之黏

結性實驗。因此，以下便以具有此類實驗項目的研究為主要回顧之對象，而因實驗對象的不同，因此關注的焦點置於實驗方法上，對於其實驗結果則不多作敘述。

一、1994，陳明生、許茂雄、蔡崇傳，〈紅磚、砂漿與其介面之基本力學性質研究〉，成功大學碩士論文

此為成功大學建築研究所為了解台灣本土磚牆的耐震破壞行為所進行之系列研究之一，透過實驗獲取磚牆材料的基本耐震行為，供後續研究使用。其研究目的為了解紅磚、砂漿以及二者介面之破壞準則。

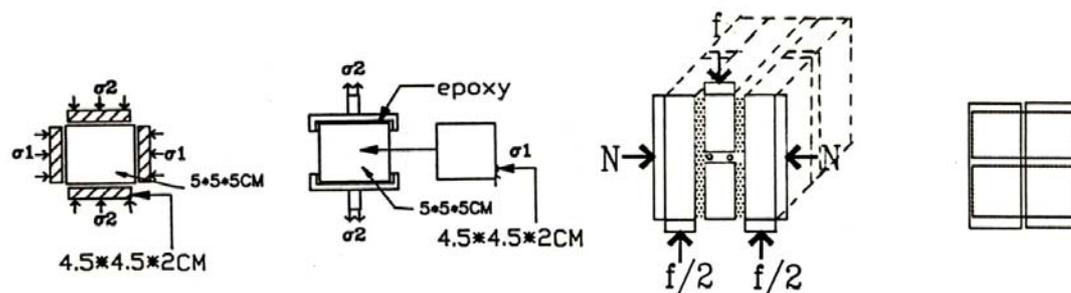


圖 3-3.1 陳明生等，砂漿強度試體、紅磚與砂漿介面摩擦試體與實驗方法(陳明生等 1994: 86, 90)

試體以大氣養護為之，實驗分為紅磚、砂漿、介面三個部分，其中砂漿作雙軸應力實驗，介面則作介面摩擦強度實驗、介面摩擦強度批裂實驗。最後並根據實驗結果，回歸出一經驗公式。

關於砂漿強度的實驗方法是以牆體中灰縫受壓情況作為實驗設計的考量，如圖所示，雙軸實驗即指在兩個方向施以不同比例與方向的力量，模擬磚牆面內之受力實況，另兩面為開放面則為磚牆面外之方向。前述主要探討水平灰縫的情況，因此另外以介面摩擦強度批裂實驗探討豎縫的受力情形。

介面摩擦強度實驗則以如圖 3-3.1 之六塊磚組合試體進行實驗，這樣的試體設計是假設牆體為一無限延伸之面狀物，此試體為牆體的基本單元，以此基本單元代表整面牆體的狀況，因此並不著重討論介面的微觀破壞機制，僅需了解施力狀況即可，故此研究稱之為工程性質、介面摩擦強度。但此研究亦指出，實際上試體的破壞都在介面位置，此乃因為組成材料的強度都很高，因此這樣的實驗設計是合乎其需求的。

二、1984，陳清泉、高健章、蔡益超、陳國顯，〈紅磚與磚牆力學特性之試驗研究〉，行政院國家科學委員會

此為 1984 年國科會與台灣大學地震工程中心進行之實驗，以台灣生產之紅磚與一般磚牆施工所用之水泥砂漿材料，並配合常用磚牆疊砌方法，進行一系列完整的實驗，期了解磚與磚牆的物理與力學特性。

實驗對象為磚與砂漿，探討二者之物理、機械性質試驗，以及二者之介面黏結特性，包括拉力與剪力強度，進一步作磚牆之抗壓實驗，探討磚牆不同載重方向下的破壞行

為與強度。對於砂漿的基本特性實驗有砂漿之流動度、抗壓強度、抗拉強度、保水率等。對於介面黏結強度則作拉力與剪力強度實驗，其試體形狀與實驗設備如圖所示

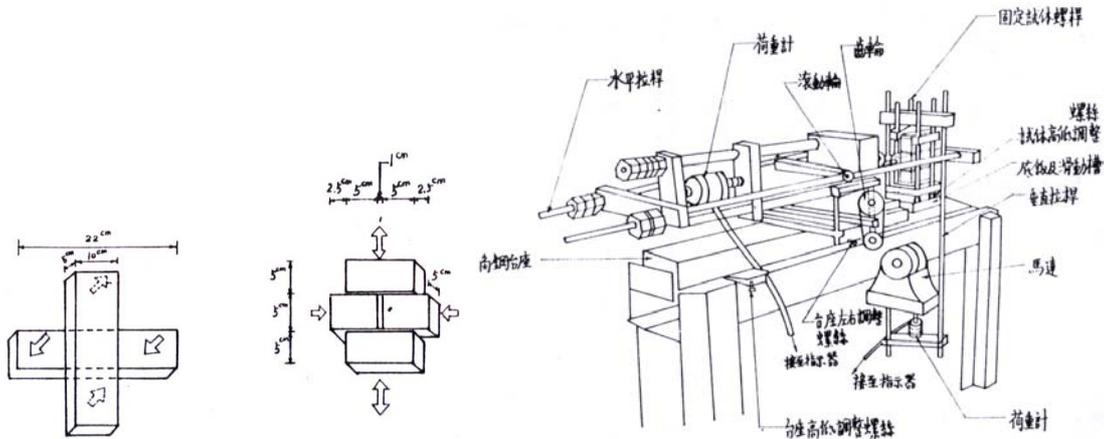


圖 3-3.2 陳國顯等，介面強度實驗試體以及介面剪力強度實驗方法(陳國顯等 1984: 66, 68)

除了與前述陳明生之實驗方法相似的介面剪力實驗，還參考 ASTM E149-76 的交叉磚(cross-brick)試驗法進行拉力實驗。這樣的拉力試驗之前提是上下兩塊底材的強度需高於黏結材甚多，且須為兩個平面，優點是試體製作簡便，灰漿位置容易控制，但缺點則為試體體積大，尤其灰漿強度不足時，容易在移動試體或製入夾具時，試體即行破壞。

### 三、2002，王惠吉等，〈磚材受震破壞行為之研究〉，行政院國家科學委員會

台灣科技大學以前述陳清泉等人之介面抗拉實驗方法進行實驗，其結果與與前述陳清泉、陳明生兩份文獻之實驗結果相當，並據此研擬一套關於傳統灰縫材料之基本性質之實驗方法。

### 四、2002，邱上嘉等，〈傳統磚砌建築灰縫劣化與破壞之研究〉，行政院國家科學委員會

國立雲林科技大學對於各種用於灰縫之傳統灰漿材料作一整理，採集各處歷史建築之灰縫，用電子顯微鏡以微觀的方式觀察其結晶狀態，並試以回彈儀等儀器用於灰縫強度的初步檢測。

- 五、1993，林揚，〈外牆預鑄混凝土版磚黏著劑黏著強度之研究〉，成功大學碩士論文；
- 1998，陳盈宏，〈ALC 板外牆磚黏著劑黏著強度之研究〉，成功大學碩士論文；
- 2000，郭勇鑫，〈建築物牆面石材濕式工法黏著劑黏著強度之研究〉，成功大學碩士論文

成功大學建築研究所歷年來對於各種建築材料的黏著性作了多項相關研究，以建築材料的抗拉拔能力做為研究對象，主要有各種板材、石材與面磚之黏著抗拉強度，並且都使用日本山本扛重機株式會社製造之「建研式接著力試驗器」做為主要實驗器材。

「建研式接著力試驗器」主要用於工程現場之黏著劑拉拔力檢測，尤其是當代以水泥砂漿或混凝土之建材為主，實驗對象都有一定的強度，引用 CNS 或 JIS 之相關規範，首先在建材表面切割出一個合適的區域為待測體，再將此區域塗上高強度的接著劑，常

以一般稱為 AB 膠的速乾環氧樹脂為之，然後將夾具牢固的黏在待測體上並接上夾具，以油壓機施以正向拉力，並測得最大施力。

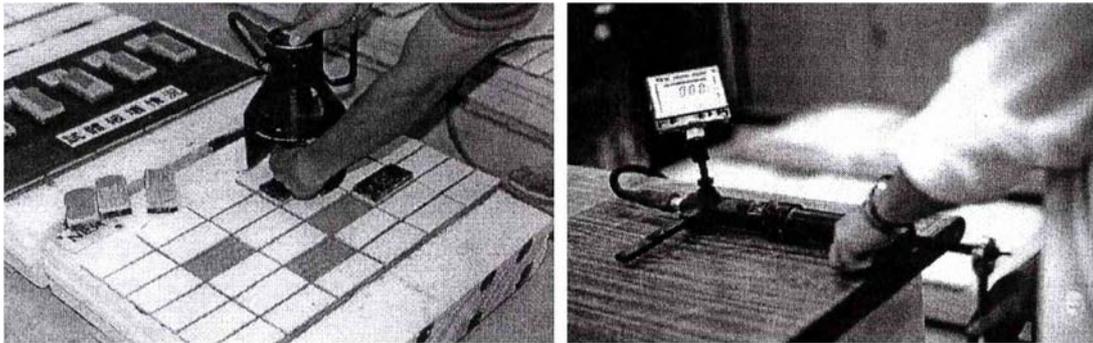


圖 3-3.3 建研式接著力試驗器之使用。(陳盈宏 1998: 3-26)

三項實驗都以水泥砂漿等主要黏結材，甚至在砂漿中加入強化水泥砂漿性質的摻料，因此其強度皆在一定水準之上，若試體有必須之搬移，或夾具固定時對於試體的過分擾動，對實驗結果並不會有明顯影響，因此適合於使用此型「建研式接著力試驗器」，使用結果亦稱理想。

#### 六、1977，王訓濤，《土壤添加石灰及稻殼灰穩定處理後之工程特性研究》，成功大學碩士論文

關於以添加摻料的方式改善土壤以及路基等工程性質之研究，歷年來有相當多的成果，這篇論文是較早期的系列研究成果之一，稍早另有陳景文與李德河等對相同研究對象進行力學強度之實驗。實驗結果顯示土壤加入石灰與稻殼灰都具有顯著的作用，包括剪力強度與抗壓強度的增加，以及比重減輕、滲透性增加等效果。

其試體的石灰與土樣配比，約有一比七與一比五兩種，與傳統建築灰漿之石灰用量有相當大的差異，當代古蹟修復用之石灰砂漿經常比照水泥砂漿之一比二至一比四之灰砂比，乃因大地工程研究中石灰是作為一種特殊摻料，而非主要膠結材料，因此實驗結果或有相當差異亦不為奇。

#### 七、2001，〈國立文化資產中心建築工程施工程劃書外牆磁漆製作報告〉，國立文化資產中心

這份材料檢測報告中，有一「洗石子打底粉刷材料試驗」，試驗中試作了幾種水泥石灰砂漿，並以麻絨與玻璃纖維摻入，進行抗壓強度實驗以及現場拉拔實驗。水泥石灰與砂的比例以 1:2:4 為基礎作成四種灰漿，首先製作成五公分邊長的正立方抗壓試體，作 7 天與 28 天的抗壓強度實驗，拉拔實驗亦同。

1:2:4 的水泥石灰砂漿事實上即為本實驗的 A22 灰漿(0.5 一比二水泥石灰砂漿)，加入麻絨的試體即 A221 灰漿。

### 3-4 實驗規劃

#### 3-4-1 實驗方法與原理

灰漿在經過特定時間與環境的養護後，進行下列各項實驗。

##### 一、重量性質實驗

重量性質實驗是以試體在烘乾、吸水、氣乾等狀況下的重量，探討試體的孔隙、吸水性以及各種比重。

各種重量之量測參考 CNS619「耐火磚視孔隙度、吸水率及比重試驗法」，量測烘乾重( $W_0$ )、氣乾重( $W_1$ )、水中重( $W_2$ )、面乾內飽和(SSD)重( $W_3$ )，並計算其視孔隙度( $P_0$ )、體比重( $D_b$ )、吸水率( $A_w$ )，見圖 3-4.1。其中水飽和與烘乾的時間參考 ASTM C140-75「Sampling and Testing Concrete Masonry Unit」，烘乾時間與浸水時間都以 24 小時為準。氣乾重之環境設定以台南地區之氣溫與溼度為準。

此試驗法各項數值之計算，乃是假設試體內部材質分為「土粒」與「孔隙」兩個部分，參考圖 3-4.2 之三相圖。其中，土粒不吸水且有重量，而孔隙佔有體積但無重量，可供水分進出及留存，因此試體烘乾重量即土粒重，面乾內飽和重等於孔隙吸飽水重加土粒重。其他各項數據的物理意義之推演說明見附錄三。

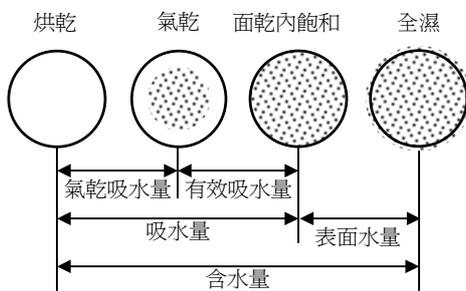


圖 3-4.1 試體的吸水情形(王纓茂 1969: 139)

試體 { 土粒—吸水、占體積、有重量  
 孔隙—不吸水、占體積、無重量

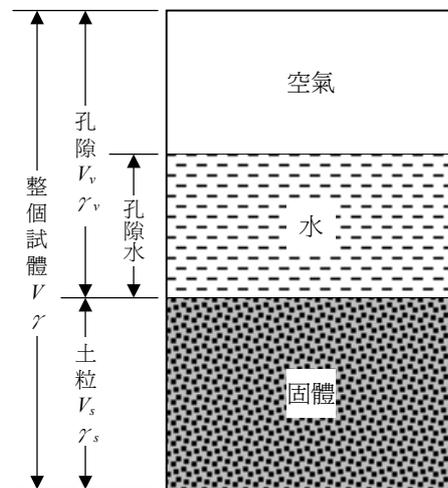


圖 3-4.2 試體組成三相圖( $V$  為體積,  $\gamma$  為比重)(參考 Das, 1998: 39)

這樣的假設並無助於微觀分析，但足可說明建築材料的工程性質。為應用於屋面各種重量性質的推算，我們另外計算面乾內飽和比重( $G_w$ )、氣乾吸水率( $A_w'$ )、氣乾比重( $G_w'$ )。各項重量性質之各項數據計算說明如下表 3-4.1。

其中，視孔隙度指的是試體孔隙部分的體積比，吸水率則是充滿孔隙的水的重量比，因此各種灰漿的兩種數值的各種關係是相當的，但視孔隙度僅可說明材料品質，吸

水率則與建築材料的重量改變有關，影響結構設計的靜載重(dead load)。體比重為土粒重除以試體體積。得知灰漿之吸水率以及體比重之後，我可以計算灰漿在孔隙充滿水時的比重，便於應用，稱為「面乾內飽和比重」，簡稱 SSD 比重。另外，建築構造在一般狀態下幾乎不可能達到絕乾狀態，而孔隙飽和吸水的狀態亦不常見，二者均為極端狀態，氣溫狀態下的重量性質，需以氣乾吸水率與氣乾體比重計算。氣乾體比重是一般常溫狀下，灰漿呈現的常態比重。

表 3-4.1 重量性質之各項數據計算說明

名稱	代號	計算方式	說明
視孔隙度	$P_0$	$A_w' = \frac{W_1 - W_0}{W_0}$	孔隙體積與試體總體積之比。
體比重	$D_b$	$D_b = \frac{W_0}{W_3 - W_2}$	絕乾時的試體比重。
吸水率	$A_w$	$A_w = \frac{W_3 - W_0}{W_0}$	試體浸水 24 小時的孔隙水重與試體乾重之比。
SSD 體比重	$G_w$	$G_w = D_b \times (1 + A_w)$	試體浸水 24 小時的體比重。
氣乾吸水率	$A_w'$	$A_w' = \frac{W_1 - W_0}{W_0}$	氣乾時的孔隙水重與試體乾重之比。
氣乾體比重	$G_w'$	$G_w' = D_b \times (1 + A_w')$	氣乾時的體比重

實驗中氣乾重的量測，是以室溫狀況在試體烘烤或浸水之後，靜置通風處七天以上，當溼度於  $78.75 \pm 5\%$  時，量取最少三次數值之平均<sup>16</sup>。

## 二、色彩之量測方法

灰漿之色彩量測，以經過大氣養護 28 天之灰漿試體表面為實驗對象，而顏色以肉眼辨識不易，因此本實驗以照相及  $L^*a^*b^*$  色差法為之。其中相片分析為輔助方法，避免不同實驗環境下肉眼感知力之差異，但仍需注意照相時之光線等技術問題，確保每張照片在相同環境設定下攝製。CIE  $L^*a^*b^*$  表色系以數字定義色彩，為色彩分析提供較客觀與明確的分析基礎，是本實驗的主要色彩分析方法。

CIE  $L^*a^*b^*$  表色系為國際照明委員會(Commission International del' Eclairage)在 1976 年所推薦的色彩表示方法。 $L^*a^*b^*$  之數值可以色差計量測出  $L^*$ 、 $a^*b^*$  兩組三個數字，可用以表示顏色的明度、色相、彩度等三個屬性。

$L^*$  表示「明度」，明度指顏色的深淺， $L^*$  數值越大，即明度越高，顏色越淺， $L^*=100$  時表示白色； $L^*$  數值越小，即明度越低，顏色越深， $L^*=0$  時表示黑色。 $a^*b^*$  表示「色相」與「彩度」，合稱「色度」。其中色相為紅澄黃綠藍靛紫等色質，彩度為顏色的鮮豔度，彩度越高，顏色越鮮豔度，彩度越低，顏色越不鮮豔。 $a^*b^*$  有兩個數字，各帶有正負號， $+a^*$  表示紅色(R)， $-a^*$  表示綠色(G)， $+b^*$  表示黃色(Y)， $-b^*$  表示藍色(B)。 $a^*$  與  $b^*$

<sup>16</sup> 取自中央氣象局網站之氣象資料，民國 90 年台南各月平均相對溼度在 72~83% 之間，平均為 78.75%。

不論其帶正號或負號，數字越大，表示色度越高。

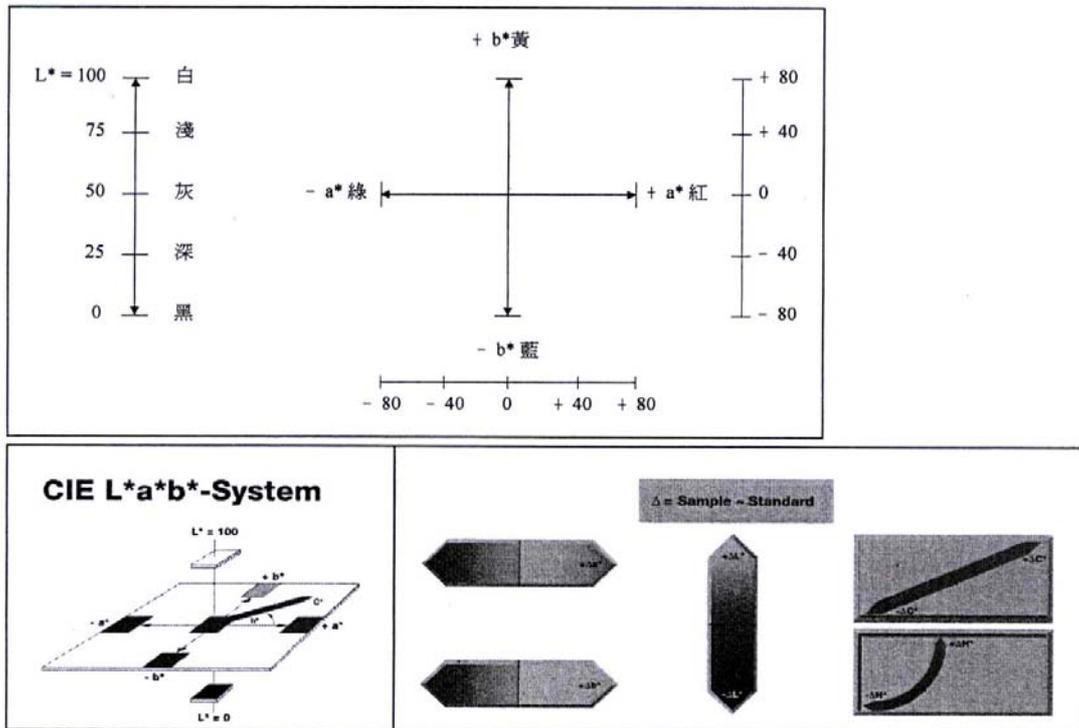


圖 3-4.3 L\*a\*b\*色度圖(孫臆勛 2002: 4-29)

L\*a\*b\*表色系可以 L\*a\*b\*色度圖表示。如圖 3-4.3，L\*a\*b\*色度圖為一三維座標，垂直軸(z 軸)表示 L\*值，L\*值最大為 100 表示白色，50 表示灰色，最小為 0 表示黑色，水平兩軸各為 \*a 與 \*b 兩個數字。例如，色差計測出某試體表面的 L\*a\*b\*值為 L\*=25，a\*=20，b\*=-60，則 L\*=25 表示此試體表面帶有深灰色，a\*=20 表示試體表面帶有黃色，b\*=-60 表示試體表面帶有藍色(孫臆勛 2002: 4-28)。

以上為 L\*a\*b\*絕對值表示法，其將色彩加以量化成爲數字，但是一般而言，色彩可以肉眼分辨，故此一絕對值的用處並不多。但是不同顏色間的色彩差異則因環境因素以及每個人的感知能力不同而有所差異，因此 CIE 提供另一量化方式用於比色，表示兩個顏色間的差異程度，稱爲 L\*a\*b\*相對值表示法，乃是將 L\*、a\*、b\*以公式化爲單一數值：

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

$\Delta E^*_{ab}$ 的數值越大，表示色差越大，可分爲六級，如表 3-4.2。

### 三、灰漿強度實驗

建築材料的品質檢測之最重要者，是其自身抵抗外力之能力，即「強度」。傳統建築屋頂灰漿雖非結構材料，但其強度的大小仍是對其品質要求的重要性質。而我們選取

抗壓強度和抗彎強度兩項，用以描述灰漿強度。

表 3-4.2 色差等級與評語

等級	色差評語		$\Delta E^*ab$ 的值
第一級色差	Trace	極微色差	0~0.5
第二級色差	Slight	極小色差	0.5~1.5
第三級色差	Noticeable	可感色差	1.5~3.0
第四級色差	Appreciable	明顯色差	3.0~6.0
第五級色差	Much	頗大色差	6.0~12.0
第六級色差	Very Much	極大色差	12 以上

#### (一)抗壓強度

材料的各種強度中，抗壓強度是最基本的項目，可以作為各種灰漿性質比較之基礎，並可供未來對屋面構造作較微觀的破壞或結構分析時之用。

本實驗採用 CNS1010「水硬性水泥壩料抗壓強度檢驗法」做為實驗依據。其中，本實驗試體以石灰砂漿為主，拌合水量以流動性  $110\% \pm 5$  為準，製成兩英吋邊長的正立方體，做無圍束之單軸壓縮實驗，即抗壓實驗。

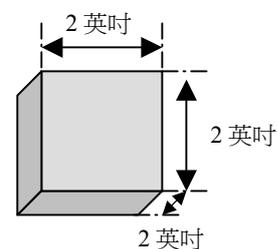


圖 3-4.4 灰漿抗壓試體

#### (二)抗彎強度

屋面構造為非結構材，無法承受自身重量，木構架若發生破壞便易導致屋面破損沉降，而屋面構造則以斷裂的方式破壞。從最直觀的角度，屋瓦是不連續的，可以隨處截斷位移，因此主要的受力者是灰漿部分，尤其灰漿是一整體剛性的物件，呈一薄殼狀，因此屋面灰漿受到自重與外力發生彎折破壞，是其最容易預見的破壞形式，因此抗彎強度成為討論屋面強度時的一個重要參考數據，對於破壞或結構的微觀分析亦有相當助益。

本實驗採用 CNS13585「鋁質水泥壩料抗壓及抗彎強度試驗法」作為實驗依據，水灰比如抗壓實驗，作彎折撓曲實驗，即抗彎實驗。

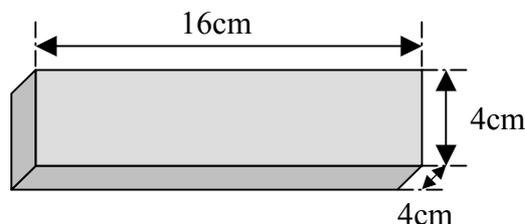


圖 3-4.5 灰漿抗彎試體

### 四、灰漿黏著強度試驗

屋頂木構完整無缺時，傳統建築屋面的破壞形式最常見的是屋瓦的脫離以及位移，因此不同配比與材料的灰漿，對於瓦片的黏著能力成爲一重要項目。

所謂黏著能力是指硬化之灰漿與瓦片之間界面的結合力，可以分爲平行於界面的抗剪強度，與垂直於界面的抗拉強度兩種。

### (一)黏著抗拉強度

參考 CNS12611「陶質壁磚用黏著劑」，製成如圖中之試體，即以兩片瓦片中夾灰漿，瓦片在單軸之兩側突出，提供實驗時之施力位置，進行黏著抗拉實驗。

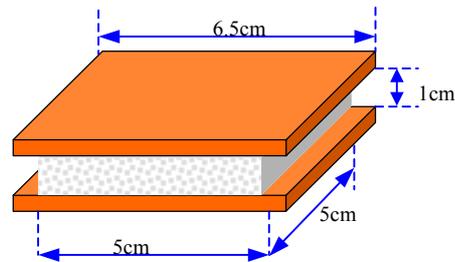


圖 3-4.6 黏著強度試體

### (二)黏著抗剪強度

實驗方法參考前述實驗方法回顧之實驗方法，將試體的灰漿與瓦片部分，都視爲剛體，作爲實驗施力位置。

黏著實驗試體需以灰漿與瓦片製成，其黏著力受到施作時的影響甚大，因此兩種實驗將以同一種試體做爲實驗對象，同一項實驗以五個相同試體進行試驗，以確保數據之可靠性。此試體如圖與照片所示，爲兩片瓦片中間夾一層灰漿，灰漿與一片瓦片的黏著形狀爲 5 公分之正方形，面積爲 25 平方公分。雖黏著面因爲瓦片形狀而有單向的彎曲，但因試體面積不大，我們忽略此一彎曲面可能帶來的效應，並以投影面積五公分見方的區域做爲強度計算的基準。此試體兩種強度的實驗方法與夾具如圖所示。

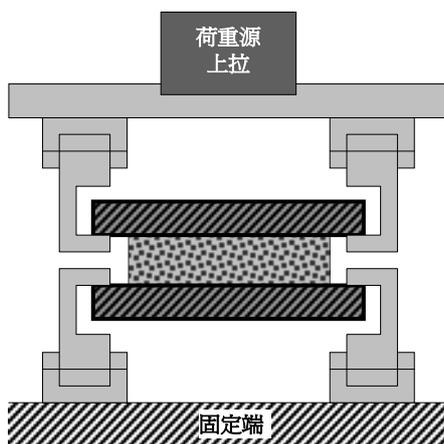


圖 3-4.7 黏著抗拉強度實驗示意圖

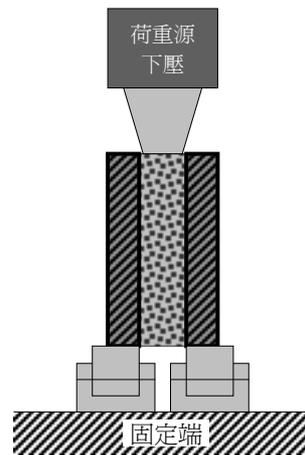


圖 3-4.8 黏著抗剪強度實驗示意圖

黏著抗剪強度實驗幾無規範可循，許多相關規範並無法適用於強度不高的石灰灰漿，其實驗方法通常在過程中即已破壞試體。因此本實驗參考 CNS455、JIS A 1612 等關於接著劑之試驗法，將試體作成夾心餅乾之形狀，即以三塊體對向互推之方式，獲得三塊體之兩個介面之平均強度。而又由於灰漿之強度不足，必須夾於瓦片中，以避免介面未破壞而突出之灰漿部分先行挫屈破壞。因此本夾具之使用需十分小心，時時確保試

體之直立狀態以及施力面之良好接觸。

黏著抗拉強度實驗之夾具不用 CNS 規範之方法，乃是因為石灰砂漿強度極弱，無法以該規範之方法固定試體，幾經測試，灰漿與瓦片多數於膠合過程中即行破壞，故而用這此特殊夾具，以確保荷重源之施力方向可以垂直於瓦片和灰漿之介面，並使不平整的瓦片可以為夾具抓鉤作最佳之契合。

### 3-4-2 實驗設備

#### 一、灰漿製備與試體製作

灰漿製備需使用各種塹刀、各種杓子、各種燒杯容器、電子秤、機械拌合器(CNS13585)、流動度台(CNS1012)等。試體製作需使用電鋸、鋸台、抗壓強度實驗試體模具(CNS1010)、抗彎強度實驗試體模具(CNS13585)、黏著強度實驗試體模具組、黏著試體固定器、搗棒、刮刀等。

#### 二、實驗進行

物理性質實驗需使用烘箱、水槽、電子秤、溫溼度計、色差計等。力學性質實驗需使用可作單軸壓縮與拉伸之萬能試驗機、抗壓強度實驗夾具(CNS1010)、抗彎強度實驗夾具(CNS13585)、黏著抗拉強度實驗夾具、黏著抗剪強度實驗夾具等。

圖 3-4.9 實驗設備



(a) 3 公斤電子秤



(b) 流動度台



(c) 灰漿拌合機



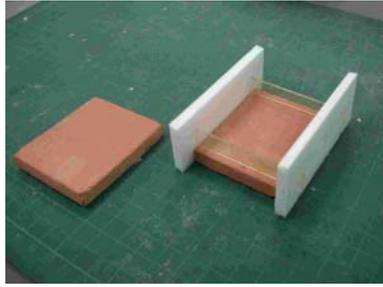
(d) 強度試體用油



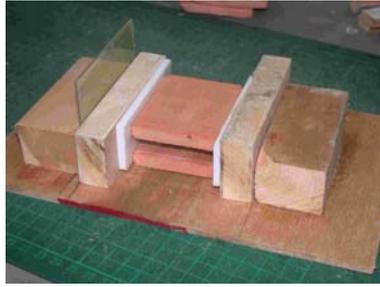
(e) 灰漿抗彎試體模具



(f) 灰漿抗壓試體模具



(g) 黏著試體模具固定於瓦片



(h) 黏著試體模具固定器



(i) 各種灰漿儲放箱



(j) 萬能試驗機(成大材料系)



(k) 萬能試驗機(成大漁船中心)



(l) 烘箱

### 3-4-3 試體準備

#### 一、原料之來源與存放

##### (一)石灰

採用台南縣白河鎮和興石灰工廠出產之十公斤裝消石灰，約於實驗使用前一至三個月出產。實驗初期即將石灰分裝成小包，密封儲存，使每小包內的石灰接觸空氣之量相當，使石灰品質均一。

圖 3-4.10 實驗用石灰與水泥



(a) 實驗用石灰原包裝



(b) 實驗用石灰與水泥



(c) 分裝完成之石灰

##### (二)細骨材

本實驗採用兩種細骨材，一為河砂，一為黃土。

台灣生產之河砂若以顏色區分，一般以黑色河砂顆粒較大，品質較佳，如高屏溪流

域出產者，另一種顏色偏黃，顆料較小，品質較差，一般出產於中北部河川。建築工程常用的河砂，通常砂石場會將前述兩種砂混合處理再出售，又稱為「合砂」。本實驗即採用此類經過混合之河砂。黃土之使用乃在模擬傳統就地取材之屋面灰漿材料，其質地較細且均勻，性質和田野山邊採回之材料有所不同，但此種材料之使用方能合乎實驗之各項控制條件。

二者於使用前，需經過充分拌合，且兩種細骨材比鄰儲放並加蓋，確保兩者處在相同的環境之下。其粒徑分析如表 3-4.3，並請參照附錄四。

表 3-4.3 細骨材的物理性質表(參考 Das, 1998: 90)

細骨材	含水量(%)	比重	液性 限度 (%)	塑性 指數 (%)	塑性 限度 (%)	粒徑分布				統一土壤分類	土壤描述
						植物 纖維	砂	沉泥	黏土		
A(河砂)	0.6	2.73	---	NP	---	0	93	7	0	SW-SM	棕灰色中細砂
B(黃土)	2.2	2.67	37.7	18.4	19.3	0	26	43	31	CL	棕色黏土質沉泥夾風化岩礫

### (三)混合摻料

包括兩種，一為水泥，一為糖漿。水泥使用環球牌波特蘭第一型水泥。本實驗採用之糖漿為台灣糖業公司精煉蔗糖過程中的副產品，一般稱為廢糖蜜，可與砂糖合製成粉狀之食用紅糖。此廢糖蜜呈深黑褐色，黏稠膏狀液體，嗅如紅糖，加入灰漿即使乾硬亦可辨別此一氣味。

### (四)纖維摻料

麻絨為一般古蹟修復工程常用者，以麻袋抽絲而成，用塑膠袋包裝，內容差異甚大，平均每包約 300 公克，有 5~6 團麻絨，纖維長度約 1 公分左右。稻殼採用台南西華堂使用於牆體粉刷者，其來源為一般碾米場，長度約 0.8 公分左右。

### (五)瓦片

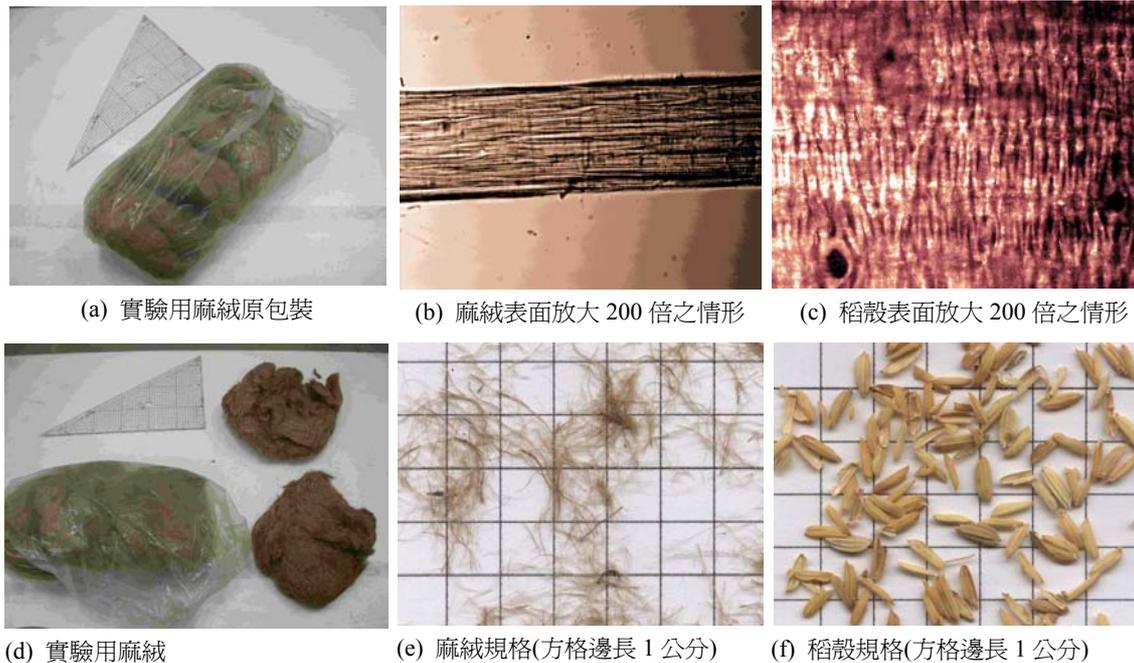
本實驗使用的新製瓦片，為台南縣六甲鄉瑞隆磚瓦場生產之素燒紅色瓦片，即一般用於傳統建築屋面之板瓦。該批素燒紅色板瓦於實驗前數月出窯，存放於露天堆置場。瓦片的選取需注意其彎度與表面狀況，據瑞隆磚瓦場之建議，盡量取用窯中同一疊中下層的瓦片，確保每塊瓦片的形狀與品質均一。

## 二、試體製作

本實驗之試體有兩類，一為灰漿強度試體，主要為灰漿塊體，分為抗壓強度灰漿試體以及抗彎強度灰漿試體，並兼作為灰漿色彩與重量性質實驗之試體，另一類為黏著強度試體，為灰漿與瓦片夾製而成。以下分別說明。

### (一)灰漿之製備

圖 3-4.11 實驗用 麻絨與稻殼



## 1. 用水量

水泥砂漿中，用水量即水灰比為控制灰漿強度的重要因素，但本實驗以石灰為主要膠結材料，石灰為氣硬性材料，拌合水量對膠結之化學反應影響應不如水泥之重要性，但對於灰漿之乾縮龜裂，以及內部結晶情形，仍有重大影響，因此實驗中以 CNS1010 規範「其他水泥」之用水量為流動度為  $110\% \pm 5$  做為依據。

流動性需以 CNS1012「水硬性水泥試驗用之流動性」之規範進行，但應本實驗之能力，需以不斷測試拌合完成之灰漿的流動性，添加拌合用水，直至符合預測之流動度。

## 2. 拌合方法

依設定之配比秤取各項材料，依以下順序加入拌合。

1. 水。
2. 主要膠結材料，麻絨可於此時加入拌合確保麻絨可均布於灰漿體中。
3. 其他摻料加入，包括糖漿、水泥、稻殼等。
4. 細骨材最後加入。

各材料加入拌合之時間需參考 CNS13585 之規定，並確保膠結材料可以完全散開而不結塊，尤其麻絨極不容易散開，其散佈狀態對於灰漿性質有重大影響。

## (二)灰漿強度試體之製作

抗壓強度試體與抗彎強度試體分別依據 CNS1010 以及 CNS13585。

前述之灰漿拌合完成後，將灰漿填入模具之中，需仔細執行規範之步驟，有幾項需別注意：

1. 首先以空氣孔洞的控制最為重要，需以固定之動作控制各試體孔洞之發生程度。
2. 灰漿之乾縮亦需加以控制，一般石灰砂將會脫離模壁，因此油料的塗抹必須謹慎小心。同時需注意模具相交處的滲水。
3. 灰漿上表面為與模壁接觸之面，為色彩分析實驗中色差計量測之位置，需特別加以整平。

因為灰漿乾應之時間很難掌握，因此石灰砂漿類的試體約三天開模，而石灰土將的乾硬時間極長，須於模型中置放較長時間。

### (三) 灰漿黏著強度試體之製作

#### 1. 瓦片之製備

實驗用瓦為 5×6.5cm 之彎曲瓦片，其中平直邊為 5 公分，彎曲邊取直線寬度 6.5 公分，每塊完整瓦片約可裁成 10~16 小片。

裁切完成後以濕布與清水洗淨瓦片表面，並以金屬毛刷輕刷瓦片表面，以確保每片瓦片之表面質地均一。濕瓦片靜置於通風處至少七天方可用於試體之製作。因傳統技法燒置之瓦片品質不易掌控，因此實驗過程中需不斷剔除表面狀況差、破損等不適用之瓦片。

#### 2. 黏著強度試體之製作

每種黏著強度試體需製作 10 個，用於抗拉與抗剪實驗各半。首先需製作試體製作時所需之固定器，與壓克力等小模具。黏著強度試體之製作流程如下：

(1) 將一塊瓦片凹面向上，與模具至於固定器上，填入灰漿並搗實。瓦片皆無須沾濕瓦片，以下皆同。

(2) 將另一瓦片凸面抹上灰漿，向下壓入模具中。下壓施力需輕緩均一，模具兩側會擠出多餘灰漿，下壓直至頂住壓克力上緣，或無法繼續下壓為準。

(3) 將試體移開固定器，靜置一側，待灰漿稍乾後脫模，並修整試體邊緣之多餘灰漿。

### 四、試體的儲存與養護

消石灰為氣硬性膠結材料，因此本實驗灰漿以大氣養護為主，即以台南地區之地域環境為養護方法。維持相對溼度在 70% 以上，實驗時溫度亦需紀錄，並確保儲放處通風良好，光照適宜。

養護時間為 28 天，規範中為 28 天±8 小時需進行實驗。

灰漿強度試體連模置放，需確保為水平面，紀錄時間與溫濕度。拆模後，將試體移至儲存櫃置放。本實驗所謂氣乾狀態是指室溫室壓狀態下，相對溼度 70%以上，空氣流通良好之處。

### 3-5 實驗流程

本實驗的流程，可以分為試體製作與實驗進行兩個階段，如圖 3-5.1。

首先為 30 種灰漿之製備，並將其製成爲三種試體，包括灰漿抗壓強度試體、灰漿抗彎強度試體、灰漿黏著強度試體。各試體經過 28 天的大氣養護之後開始進行實驗。10 個黏著強度試體分別進行黏著抗拉實驗與黏著抗剪實驗。而灰漿抗彎與抗剪強度試體先以色差計進行色彩量測與灰漿尺寸之量測，其後分別進行灰漿之抗壓與抗彎實驗。抗彎實驗完成之後，將其試體裁切成重量性質實驗之試體，隨後進行重量性質實驗。

以下就各項實驗之基本環境設定、儀器設定、量測方法與步驟以及注意事項加以說明。

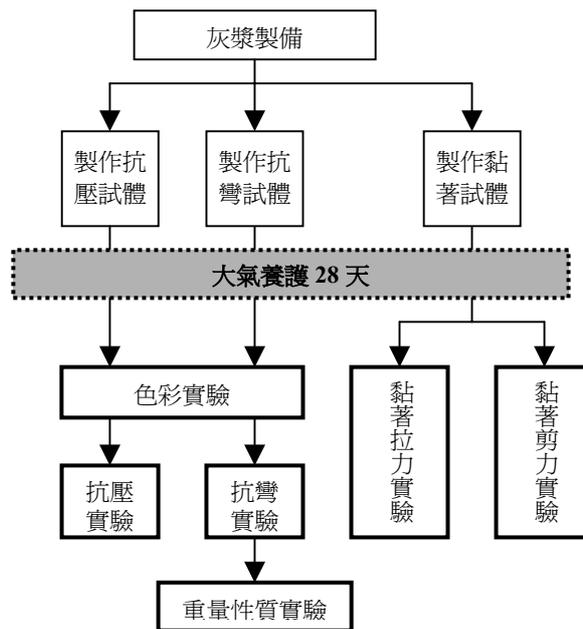


圖 3-5.1 實驗流程示意圖

#### 3-5-1 物理性質試驗

##### 一、重量

將抗彎試驗結束之試體，裁成正方體，成爲重量性質實驗之試體。每種灰漿試體最少需有 3 個，依 CNS619 所示之試驗法，作重量性質實驗。

表 3-5.1 各種重量性質之量測方法

名稱	代號	說明
氣乾重	$W_1$	室溫，溼度 70%以上，7 天。
烘乾重	$W_0$	攝氏 110 度烘烤 24 小時。
水中重	$W_2$	室溫水中浸泡 6 小時。
SSD 重	$W_3$	面乾內飽和重，室溫水中浸泡 6 小時。

首先需將材切完的試體置放 7 日以上，確保其膠結性質之穩定，之後方可量取氣乾重量  $W_1$ 。量測時之環境以台南 90 年平溼度。之後依序量測各種狀態之重量，包括烘乾重( $W_0$ )、水中重( $W_2$ )、面乾內飽和(SSD)重( $W_3$ )。每次量測需間隔 7 天，如下表之說明。

## 二、顏色

色彩分析以灰漿強度試體做為實驗對象，以色差計量取其  $L^*a^*b^*$  色彩值。灰漿抗壓強度以及灰漿抗彎強度試體經過 28 天之養護之後，首先以色差計進行灰漿色彩之量測。量測位置為灰漿塊未接觸模具之開放面，抗壓強度試體量測位置為開放面之中心處，抗彎強度試體量測位置為長軸兩端向內 4 公分處各一點，見圖。兩種試體共可測得 9 個  $L^*a^*b^*$  值。灰漿試體之開放面經過 28 天之養護，或有不平整之處，因此量測時以色差計之量測槍可以平穩放置為準。

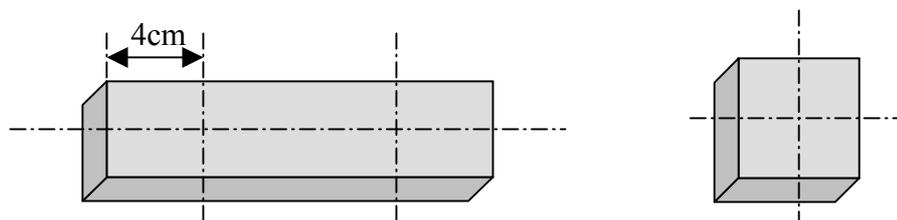


圖 3-5.2 灰漿強度試體開放面之色彩量測位置

### 3-5-2 j 學性質試驗

#### 一、灰漿抗壓強度

參照 CNS1010 進行實驗，而灰漿抗壓強度實驗之荷重源，據 CNS1232 之規範，採等速度之下壓方式，速度為 1.3mm/min。荷重源下壓停止於至最大荷重之 70%時。需注意若灰漿有不平整者，則需以石膏蓋平再進行實驗。其次為斷面尺寸須於實驗前加以量測，尤其以黃土為細骨材者有極大的收縮，若以試體製作時之斷面大小計算強度，必然造成極大誤差。

圖 3-5.3 灰漿抗壓強度實驗



(a) 養護完成之抗壓灰漿試體

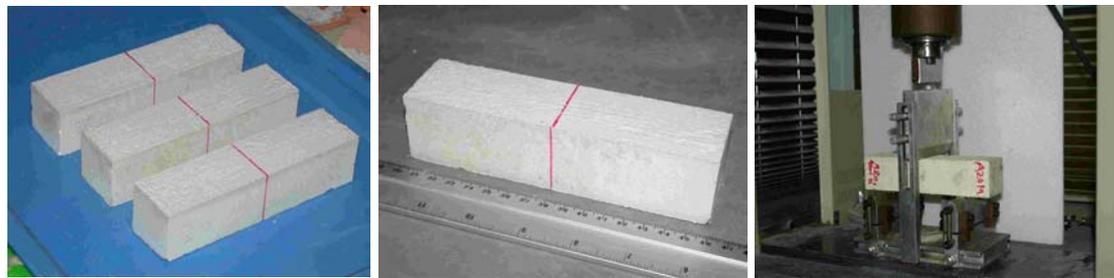
(b) 抗壓灰漿試體尺寸

(c) 灰漿抗壓實驗

## 二、灰漿抗彎強度

參照 CNS181111 進行實驗，下壓方式為 1.3mm/min。荷重源下壓停止於最大荷重發生之後 3mm 之衝程。斷面尺寸須於實驗前加以量測。

圖 3-5.4 灰漿抗彎強度實驗



(a) 養護完成之抗彎灰漿試體

(b) 抗彎灰漿試體尺寸

© 灰漿抗彎實驗

## 三、灰漿黏著抗拉強度實驗

荷重源採等速度之下壓方式，因實驗設備之限制，速度定為 1.0mm/min。試體兩側溝中之多餘灰漿需再次加以清理，避免干擾夾具之抓鉤。試體以瓦片之凹面向上，將夾具抓鉤將其緩緩固定，如圖，過程中應避免施力過大，在實驗前即破壞其強度，並注意抓鉤是否與瓦片契合，以及試體是否擺正。

圖 3-5.5 灰漿黏著強度實驗



(a) 黏著強度試體

(b) 黏著抗拉強度實驗

© 黏著抗剪強度實驗

## 四、灰漿黏著抗剪強度實驗

荷重源之設定如抗拉實驗，採 1.0mm/min 等速度下壓。直立試體需清理上下兩側之多餘灰漿，盡量使瓦片與灰漿之介面呈垂直。試體以瓦片之凹面向上，需注意抓鉤是否

與瓦片契合，以及試體是否擺正。

### 3-6 預備實驗

本論文的實驗項目除了灰漿黏著強度之外，皆為常見且已發展成熟的實驗方法，因此預備實驗以探討灰漿黏著強度實驗為主。

#### 一、灰漿的用水量

一般談論水泥砂漿之強度時，砂漿中的用水量是重要的控制因素，一般以「水灰比」

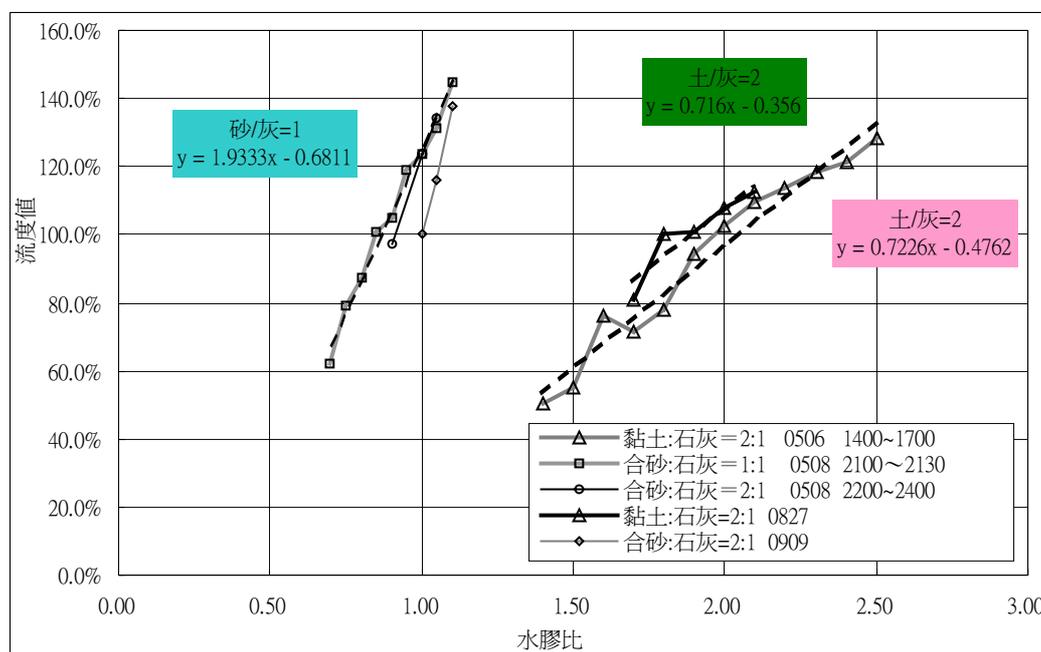


圖 3-6.1 灰漿用水量之實驗

作為用水量之參考。本論文雖以氣硬性的石灰為主要膠結材料，但實驗方法多方參考水泥砂漿，且為控制實驗變因，必須對灰漿之用水量作一規範。規範的方法為，灰漿加水之後的流動性，下圖即為灰漿加水量的實驗，其中以水膠比表示水與石灰之重量比。若試將資料回歸為線性式，一比二石灰土漿的流度值(y)與水膠比約呈  $y=0.7x+0.4$  之關係；一比一石灰砂漿呈  $y=1.9x-0.7$  之關係。

從此關係可以看出其用水量和流度，在固定範圍內約略呈現正比的關係，且以黃土為細骨材需要較多的用水量。過程中發現，用水量需緩慢增加，避免塑性過度提昇，造成流動度過大而製備失敗。

#### 二、灰漿之製備

我們製作 A20'、A22'、A25'、B20'等四種灰漿，代表石灰砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿、石灰土漿。其配比與實驗結果如下表：

表 3-6.1 預備實驗灰漿製備

種類	編號	命名	石灰	細骨材	混合摻料
石灰砂漿	A20'	一比二石灰砂漿	1	砂 2	(無)
水泥石灰砂漿	A22'	0.5 一比二水泥石灰砂漿	1	砂 2	水泥 0.5
糖石灰砂漿	A25'	0.02 一比二糖石灰砂漿	1	砂 2	糖漿 0.02
石灰土漿	B20'	一比二石灰土漿	1	土 2	(無)

表 3-6.2 預備實驗結果

灰漿 編號	抗壓強度				抗彎強度				黏著抗拉強度				黏著抗剪強度			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
A20'	5.12	5.21	4.88	5.07	3.77	3.89	3.93	3.86	0.175	0.189	0.221	0.195	1.201	0.926	1.043	1.057
A22'	30.01	28.62	32.55	30.39	10.58	10.21	9.11	9.97	1.100	1.212	0.851	1.054	1.901	2.923	3.546	2.790
A25'	10.01	9.27	10.92	10.07	5.21	4.89	6.12	5.41	0.635	0.799	0.902	0.779	2.044	2.963	1.593	2.200
B20'	10.89	11.52	10.95	11.12	3.21	2.71	3.04	2.99	0.135	0.156	0.192	0.161	0.125	0.201	0.221	0.182

### 三、預備實驗結果檢討

1. 灰漿的乾硬過程十分緩慢，因此多組模具同時進行是必須的。而且過程中伴隨乾裂及收縮，尤其是 B20' 石灰土漿十分嚴重，製作多次方可用於抗壓實驗。而黏著試體中的灰漿因為瓦片瞬間吸收不少水分，致使難以控制的乾裂則視為實驗設定，並仔細觀察紀錄。
2. 各數據以黏著強度的差異性最大，或與實驗夾具之設計有關，但觀之過去之實驗結果亦有如此現象，因此考慮以更多試體進行實驗，CNS 以及過去研究皆以五個試體為之。
3. 試體的破壞狀況之動態過程，為觀察試體性質之絕佳機會，正式實驗應準備照相設備，詳實紀錄破壞之程序，並與其破壞強度一同探討。
4. A22' 試驗強度與過去實驗之結果有若干差距，研判為養護方法不同所導致。

## 第四章 實驗結果分析

### 4-1 分析方法

本章進行實驗結果之分析探討。實驗數據之數量龐大項目繁多，故以文字及圖表擇要詳細探討。

#### 4-1-1 實驗結果分析之內容架構

本章內容架構，先依實驗項目分為物理實驗與力學實驗二節，其下各分為二小節：重量性質與色彩、灰漿強度與黏著強度。力學實驗並包括對試體破壞狀況之描述。

各小節中，以灰漿組成材料之種類與用量再細分，以四種變因分別討論，包括不同細骨材與摻料、不同灰砂比、不同混合摻料用量、不同纖維摻料。前二者為定性的分析，後二者作定量的分析。章末再以綜合分析討論。

#### 4-1-2 實驗結果之群組區分

為便於分析時之文字說明，我們將實驗結果加以分類，將 30 種灰漿的實驗結果分為四個群組。部分的灰漿實驗結果重複出現在不同的群組中，這些灰漿通常為基礎灰漿，作為數據比較之對照組。

群組甲：以細骨材為變因。包括 A20、B20。

群組乙：以灰砂比為變因。包括 A10、A20、A30；A21、A31；A12、A22、A32；A23、A33；A15、A25、A35；A02、A03；B00、B10、B20、B30 七組灰漿。

群組丙：以混合摻料為變因。包括 A20、A21、A22、A23、A02；A30、A31、A32、A33、A03；A20、A24、A25、A26 三組。

群組丁：以纖維材料為變因。包括 A20、A201、A202；A22、A221；A02、A021、A022；B20、B201、B202；B00、B001、B002 五組灰漿。

我們可以將 30 種灰漿的單項實驗數據填入表 4-1.1，其後便可從數據之位置得知該灰漿的配比為何，並且可以看出前述群組區分之關係。從表中有意義的配比排列可以快速讀出數據之大小與趨勢，有利實驗結果的分析。

表 4-1.1 灰漿類型與群組分布表

細骨材	混合摻料		灰砂比			纖維種類		
	種類	用量	無石灰	一比一	一比二	一比三	加麻絨	加稻殼
河砂 (A 類灰漿)	水泥	0		A10	A20	A30	A201	A202
		0.25			A21	A31		
		0.5		A12	A22	A32	A221	
		1.0			A23	A33		
	(無)	(水泥砂漿)			A02	A03	A021	A022
	糖漿	0.01			A24			
		0.02		A15	A25	A35		
		0.04			A26			
	黃土 (B 類灰漿)	(無)		B10	B20	B30	B201	B202
			B00			B001	B002	

## 4-2 物理實驗結果分析

傳統建築屋面灰漿的物理性質實驗分為重量性質與色彩兩個部分，以下分別就實驗結果探討之。實驗數據請參照附錄一。

### 4-2-1 重量性質分析

#### 一、不同細骨材與灰漿種類

首先探討不同的細骨材種類—河砂與黃土，對灰漿各種重量性質的影響，並進一步探討不同灰漿種類之影響。以群組甲與群組乙說明，實驗結果繪如圖 4-2.1。

#### 實驗結果說明

石灰砂漿的視孔隙度、吸水率和氣乾吸水率皆低於石灰土漿，而各種比重則都高於石灰土漿。

灰砂比一比二時，細骨材從河砂換成黃土之各項性質的改變比例為，視孔隙度+17.1%、吸水率、+51.0%，氣乾吸水率+90.0%；體比重-22.3%，面乾內飽和比重-14.3%，氣乾比重-21.1%。

就不同灰漿種類而言，整體呈現出的視孔隙度、吸水率，從高到低依次為：石灰土漿、石灰砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿、水泥砂漿。各種比重則呈相反的排列。

特殊狀況出現在氣乾吸水率時。各種灰漿的氣乾吸水率均勻排列，由高到低依序為 1.0 水泥石灰砂漿、水泥砂漿、0.5 水泥石灰砂漿、石灰土漿、0.25 水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿、石灰砂漿。其中例外為一比三時的石灰土漿是氣乾吸水率最高的灰漿。

圖 4-2.1 中多數圖呈現多條折線集中分布的情形，我們稱之為中間群，中間群上下各為石灰土漿與水泥砂漿，中間群則包括石灰砂漿、三種水泥石灰砂漿以及糖石灰砂漿。

(1)中間群的各種灰漿在相同灰砂比下的差異都不大，因此出現數條折線集中的情形，其中視孔隙度最大差值約為 4%，體比重約為 0.2，吸水率約為 10%。中間群裡，視孔隙度、吸水率最高者為石灰砂漿，接著是三種水泥石灰砂漿，糖石灰砂漿最低，各種比重則呈相反之大小順序。

(2)石灰土漿是各類灰漿視孔隙度、吸水率最高者，各種比重相應為最低，約 32~33%、36~41%、0.81~0.89。

(3)水泥砂漿的視孔隙度、吸水率最低，各種比重則為最高者，約 19%、12%、1.53~1.57。若以一比二石灰砂漿代表中間群，水泥砂漿與其之差值為：視孔隙度-30.7%、吸水率低-51.0%、體比重+40.2%。

另外，氣乾吸水率呈現特殊的情況。各種灰砂比的灰漿呈現均勻排列的情形，而無中間群之分布。由高到低依序為最高的 1.0 水泥石灰砂漿，一比二時為 3.86%，以下依次為水泥砂漿、0.5 水泥石灰砂漿、石灰土漿、0.25 水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿，石灰砂漿最低，一比二為 0.92%。其中例外為一比三時的石灰土漿是氣乾吸水率最高的灰漿。

## 二、不同灰砂比

這裡探討不同灰砂比對灰漿重量性質的影響。另探討不同種類灰漿之重量性質。以群組乙之實驗結果加以比較說明，繪圖 4-2.1。

### 實驗結果說明

除了水泥砂漿之外，各類灰漿的灰砂比提高，其視孔隙度、吸水率都隨之增加，而三種比重則相應降低。增減率以石灰砂漿(中間群)明顯較高，增減率的趨勢基本上都呈持平。我們仍以中間群與石灰土漿、水泥砂漿三部份加以討論。

其中特別的情況集中出現在氣乾吸水率一項，無法以中間群的觀點討論，多數灰漿隨灰砂比增加，皆為提高，即使水泥砂漿亦不例外，而石灰土漿則呈大幅降低之情形。

1.中間群的灰漿灰砂比提高，視孔隙度、二種吸水率提高，各種比重則相應降低。重量性質隨灰砂比的改變率，中間群明顯較石灰土漿以及水泥砂漿高。而中間群各種灰漿的各重量性質改變趨勢多接近持平：石灰砂漿提高趨勢略呈漸劇，糖石灰砂漿和水泥石灰砂漿略呈漸緩，氣乾吸水率較特殊，水泥石灰砂漿漸劇，而石灰砂漿卻漸緩。

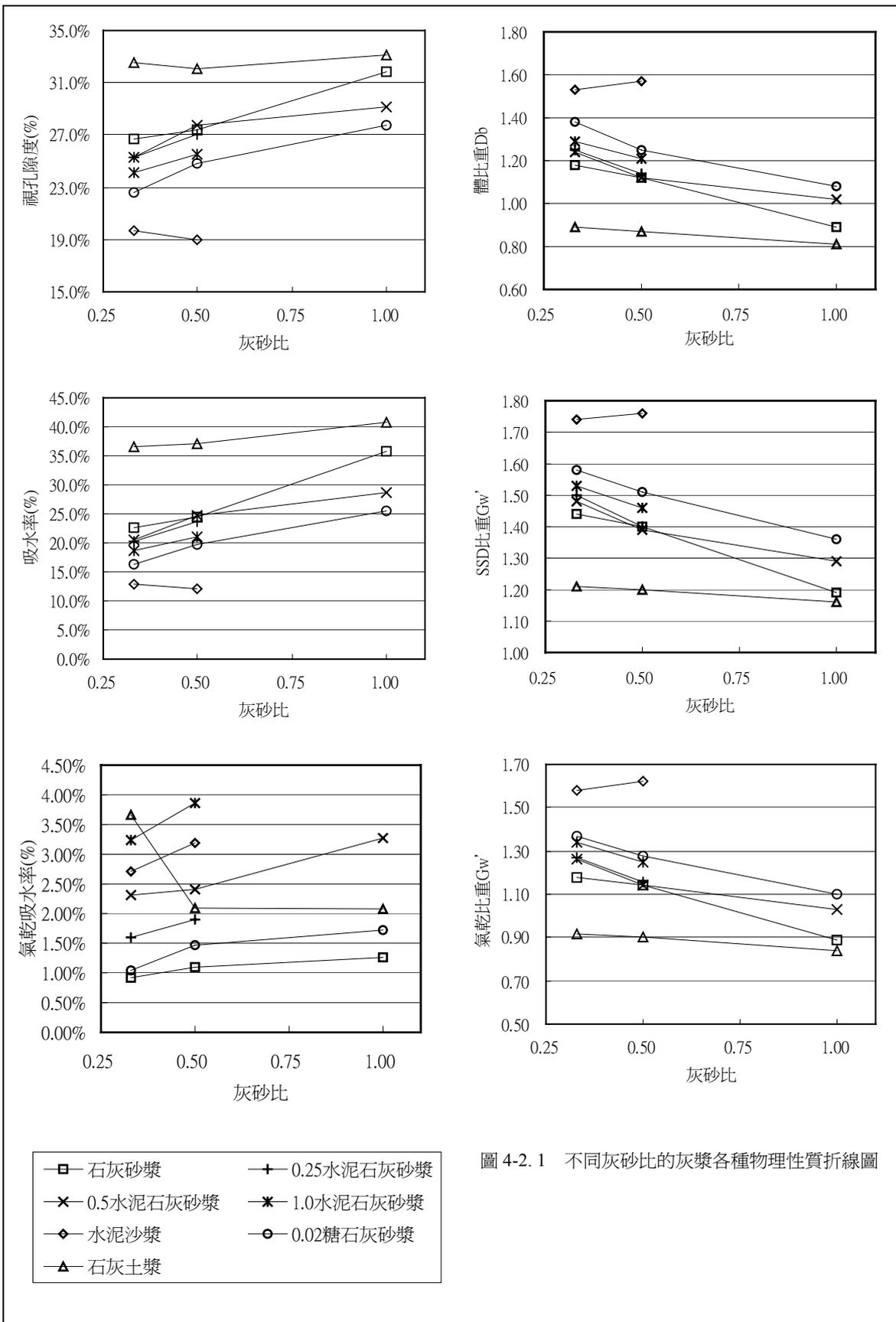


圖 4-2.1 不同灰砂比的灰漿各種物理性質折線圖

從一比三到一比一都以石灰砂漿的視孔隙度、吸水率、體比重的改變最多，各為+19.1%、+57.7%、-24.6%。各項重量性質的改變趨勢持平，因此可試算從一比三到一比一的平均變化率，視孔隙度約+19%、吸水率約+52%、體比重約-22%、SSD 比重約-15%、氣乾比重約-21%。

2.石灰土漿的灰砂比提高，視孔隙度並不明顯增加，但吸水率略提高，氣乾吸水率呈現大幅的降低，各種比重略降低。吸水率之增加趨勢是漸劇的，氣乾吸水率呈現的下降趨勢特殊，一比三時高達 3.66%，一比一卻降到 2.35%，其他重量性質呈現持平之趨勢。

從一比三到一比一都以石灰土漿的視孔隙度、吸水率、體比重的改變最多，各為+1.5%、+10.9%、-9.0%。

3.水泥砂漿的灰砂比提高，視孔隙度、吸水率略為降低，各種比重略提高，氣乾吸水率提高較為特別。

### 三、不同混合摻料

這裡探討不同的混合摻料種類，水泥與糖漿，對灰漿重量性質的影響。另探討混合摻料的用量的影響。以群組丙之實驗結果加以比較說明，繪圖 4-2.2、4-2.3。

#### 實驗結果說明

石灰砂漿中，水泥量、糖漿量的提高，造成了視孔隙度、吸水率降低，各種比重增加，但氣乾吸水率增加。

變化趨勢上，隨水泥量的增加，水泥石灰砂漿的變化率趨勢都呈持平；而糖石灰砂漿則隨糖漿量的增加，其改變趨勢呈現漸緩的狀況。

一比二水泥石灰砂漿中，水泥與石灰用量比從 0：1(純為石灰砂漿)增加到 1：1(1.0 水泥石灰砂漿)，再至 1：0(純為水泥砂漿)，三數值間之變化率為：視孔隙度-6.9%、-25.5%，吸水率-14.3%、-42.9%，體比重+8.0%、+29.8%。

一比三水泥石灰砂漿中，同樣三數值間之變化率為：視孔隙度-9.7%、-18.3%，吸水率-18.1%、-30.6%，體比重+9.3%、+18.6%。

一比二糖石灰砂漿中，糖漿與石灰用量比從 0：1(純為石灰砂漿)增加到 0.04：1(0.04 糖石灰砂漿)時，變化率為：視孔隙度-13.1%，吸水率-22.9%，體比重+12.5%。

至於氣乾吸水率較特別，隨水泥量、糖漿量增加，而有提昇。水泥石灰砂漿折線圖呈現幾乎為直線上升的正比關係，糖漿量之例外處在 0.02 到 0.04 之間呈現略降。

### 四、不同纖維摻料

這裡探討不同的纖維摻料種類，麻絨與稻殼，對灰漿重量性質的影響。以群組丁之

實驗結果加以比較說明，繪圖 4-2.4。

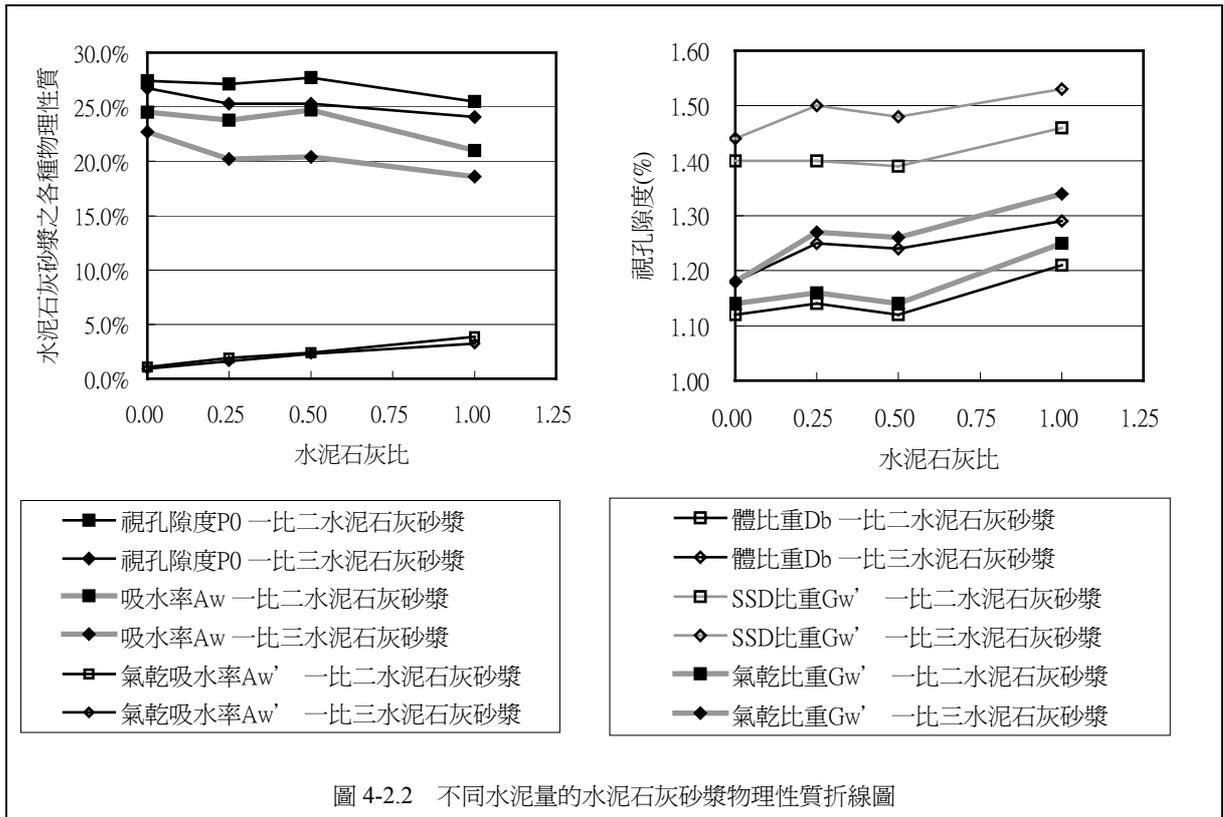


圖 4-2.2 不同水泥量的水泥石灰砂漿物理性質折線圖

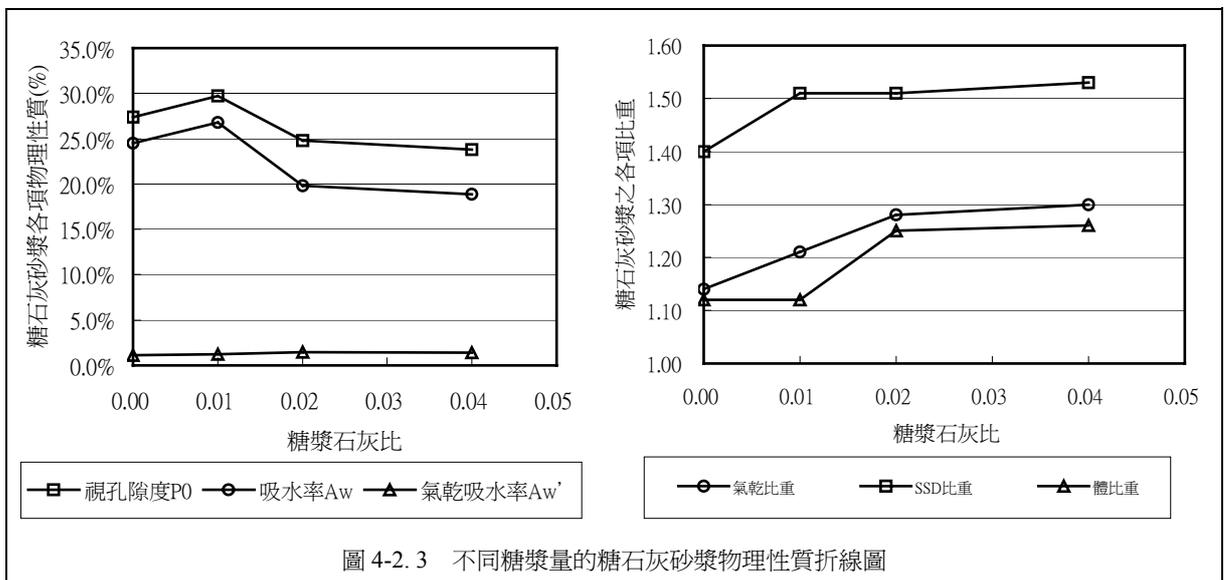


圖 4-2.3 不同糖漿量的糖石灰砂漿物理性質折線圖

### 實驗結果說明

石灰砂漿、石灰土漿、水泥砂漿加入麻絨與稻殼之後，其視孔隙度、兩種吸水率都漸增加，相對的各種比重則下降。其中麻絨對水泥砂漿的效果較佳，稻殼則對石灰土漿的效果較佳。

加入麻絨後，石灰砂漿、石灰土漿、水泥砂漿各項重量性質的變化率，視孔隙度+0.7%、+0.6%、+13.2%，吸水率+3.7%、+1.1%、+28.3%，體比重-2.7%、-1.1%、-10.8%。

加入稻殼後，石灰砂漿、石灰土漿、水泥砂漿各項重量性質的變化率，視孔隙度+0.4%、+3.4%、+1.1%，吸水率+3.7%、+10.0%、+5.0%，體比重-3.6%、-5.7%、-2.5%。

水泥石灰砂漿加入麻絨則有減少孔隙與吸水的效果。至於土漿的氣乾吸水率則與其他灰漿相反，加入兩種纖維都會增加。

## II、重量性質的綜合分析

本實驗用以分析的六項重量性質，理論上，灰漿試體體積不變時有以下的關聯性：視孔隙度大者，表示吸水部分多，具有重量的土粒部分少，於是吸水率較大，體比重與面乾內飽和比重則相對較小，至於氣乾吸水率和氣乾比重則需視狀況而定。而實際的實驗結果亦顯示這樣的關聯性。

### ◎重量性質實驗結果的整體趨勢

各種灰漿的視孔隙度、吸水率，從高到低依次為：石灰土漿、石灰砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿、水泥砂漿。各種比重則呈相反的排列。而當黃土為細骨材、石灰使用量多、水泥用量多、糖漿用量多以及使用纖維材料時，孔隙率會較大。

實驗結果顯示，灰漿中的石灰量增加，其孔隙與吸水率也增加，同時使各種重量減輕，而當灰漿加入水泥或糖漿增加時，則呈相反的變化。

#### (一)細骨材

若細骨材從河砂換成黃土，則視孔隙度會增大。這樣的差異反映在外部型態的改變上，亦即乾縮和龜裂的程度，土漿比砂漿大，石灰砂漿又比水泥砂漿大。

#### (二)灰砂比的影響—以中間群說明

中間群的集中分布情形，顯示灰漿的重量性質在低灰砂比時，與細骨材種類較相關；並推測在高灰砂比時，和主要膠結材料較為相關。石灰土漿可能因為表面膠結程度低，因此雖內部顆粒緊實，但仍比河砂為細骨材時的孔隙大，吸水多，氣乾吸水多，各種比重較輕。

低灰砂比時，石灰土漿和中間群、水泥砂漿，各以黃土與河砂為細骨材，其各項重量性質分成兩群，顯示此時細骨材決定了大部分的重量性質，石灰砂漿中加入糖漿或水泥的改變並不明顯。

高灰砂比時，中間群各重量性質與石灰土漿差異不大，但可推測和水泥砂漿的數值相差較遠，因水泥有良好的膠結性能，因此在此時主要膠結材料才是決定重量性質的主要因素。

此外，從重量性質的變化趨勢看中間群各類灰漿：灰砂比增加時，糖石灰砂漿和

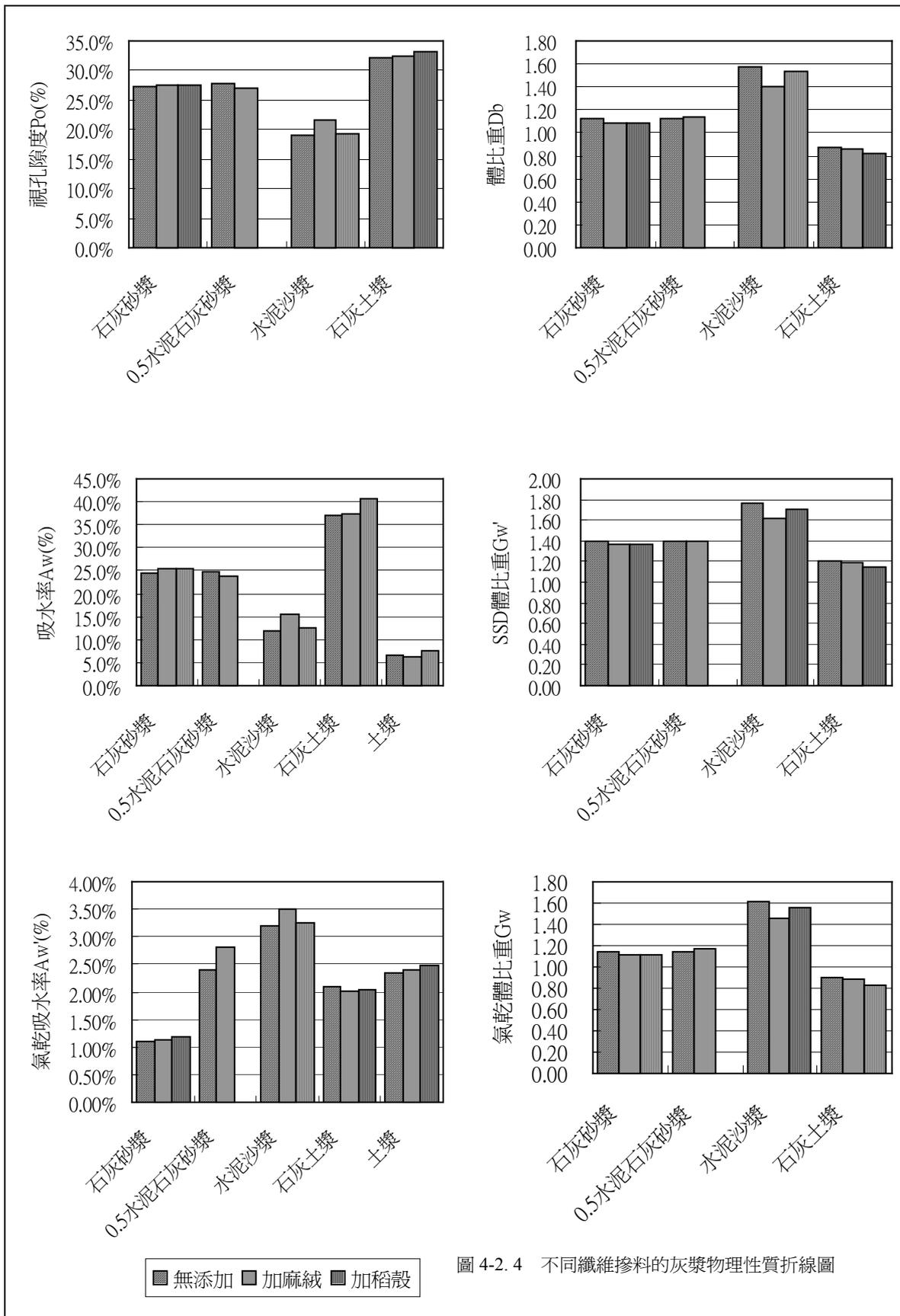


圖 4-2.4 不同纖維摻料的灰漿物理性質折線圖

水泥石灰砂漿的變化趨勢漸緩，而石灰砂漿為漸劇的，顯示石灰砂漿加入糖漿或水泥後，灰砂比的影響就減小了。

### (三)混合摻料—水泥與糖漿

石灰砂漿中的水泥量增加，各項重量性質變化雖呈持平的趨勢，但若水泥量超越石灰量則改變劇烈，可見其傾向水泥砂漿的特性。而在相同水泥量之下，石灰量增加，吸水率的提高趨勢亦趨漸緩，顯然水泥的增加可使灰漿吸水率變少或使吸水率的增加趨緩，並越來越接近水泥砂漿的性質。顯示水泥改變重量性質之能力較強，若作為膠結材料，相對於石灰，水泥是較強勢的膠結材料。

糖石灰砂漿的變化率趨勢呈漸緩，即糖漿量在 0.02 以後呈現非正比的情況，可見糖漿量並不會無限的改變灰漿的重量性質。可知同樣分類為混合摻料，但是糖漿無法作為膠結材料，這和水泥可以取代石灰作為膠結材料的情況是大不相同的。

0.02 的糖漿量與 0.5 的水泥量，二者代表匠師常用之標準量。從中間群的分析看來，相同灰砂比之下二者重量性質相差不遠。而隨灰砂比增加，其重量性質變化率相似，變化率之趨勢亦類同，顯示有一定的替代性。

### (四)纖維摻料

加入麻絨與稻殼，若其不參加化學反應，理論上應該會增加灰漿之孔隙率、吸水率，以及降低各種比重。實驗結果與此吻合，尤其稻殼對於石灰土漿比重之減少有較大功效，但對石灰砂漿較無效果，可知傳統灰漿常用稻殼的原因之一，但是也同時增加了孔隙與可能的吸水量。

水泥砂漿則以麻絨的效果較好，可能原因為水泥的膠結能力強，無纖維其孔隙與吸水皆較其他灰漿為低。加入稻殼會取代水泥砂漿之內部體積，成為一種輕質砂漿，但是因水泥砂漿膠結能力佳，因此水分仍不容易進入稻殼形成的孔隙中，因此其重量性質改變較小，而麻絨的長纖維則提供體積與通道，讓水分進入灰漿塊體，而有較大的孔隙預吸水率。

### (五)各種重量性質的意義

孔隙度、吸水率、體比重為絕乾與吸飽水等非自然的極端狀況下之的性質，可以據此推算 SSD 比重，而建築工程也關注自然狀態下的情況，即氣乾比重。

一般而言，建築構造達到吸飽水的飽和狀態之機率，顯然高於達到絕乾的狀態。實驗結果顯示了相同情形。而氣乾體比重僅略低於體比重，也應較為皆近於灰漿實際重量。氣乾吸水率便可以反映常溫自然狀態下的灰漿吸水量，但基本上最高值為 1.0 水泥石灰砂漿的 3.86%，對於構造安全的影響不大。

無論如何，結構設計上，建築體自身的固定載重(dead load)應設定在 SSD 比重與絕

乾時的體比重之間。

實驗結果顯示，此一重量性質較為特殊。當灰漿中的石灰用量增加，氣乾體比重降低；水泥或糖漿用量增加，其氣乾體比重增高；若細骨材從河砂換成黃土，則氣乾體比重會降低。

值得討論的是，其各種灰漿的數據大小排序和飽和時的吸水率完全不同，例如其並無中間群，以 1.0 水泥石灰砂漿的氣乾吸水率為最大，甚至高於水泥砂漿。約略可以找出的關係是：石灰砂漿加入的水泥增多使吸水率降低，但此一極端狀況下數據的差異不大，但氣乾吸水率則提昇，且其差異是明顯可見的。

前述氣乾吸水率是非受迫的自然狀態下的性質，因此其表現自然與其他重量性質有所差異。本實驗之一般的自然狀態，是指溫溼度為台南地區 2001 年年均溫與年均相對溼度，在台南地區的實驗環境。

#### 4-2-2 色彩分析

本實驗 30 種灰漿試體，於抗壓與抗彎試體進行力學實驗之前，對其開放面分別量測  $L^*a^*b^*$  顏色值，取所測得 9 組數值之平均值，見附錄一。

本小節除了以  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  個別說明各種灰漿之色彩特質外，並計算相關灰漿的色差值，分別以四種變因探討灰漿色彩的差異。

##### 一、不同細骨材與灰漿種類

這裡探討不同的細骨材種類，河砂與黃土，對灰漿色彩的影響。以群組甲之色彩實驗結果計算之色差值加以比較說明，繪圖 4-2.5。

##### 實驗結果說明

兩種灰漿僅細骨材不同，石灰砂漿  $L^*=83\sim87$ ， $b^*=5\sim8$ ，呈灰白色；石灰土漿  $L^*=74\sim80$ ， $b^*=11\sim15$ ，呈土黃色。

色差值在 8.2~11.34 之間，以灰砂比低者色差值較大，可能因為石灰量少細骨材多，致使灰漿以細骨材顏色為主要呈現之色彩。

##### 二、不同灰砂比

這裡探討不同灰砂比對灰漿色彩的影響。以群組乙各類灰漿之色彩實驗結果計算之色差值加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-2.5~6。

##### 實驗結果說明

多數灰漿的明度都隨灰砂比的提高而增加，可見石灰對於灰漿色彩明度提昇之重要

性。其中以石灰土漿最為明顯，尤其是石灰從無到有的過程，色差值高達 17，而  $b^*$  值變小代表黃色隨時灰用量變多而漸淺。水泥砂漿是唯一隨灰砂比的提高明度降低的，顯示水泥用量增加會讓其色彩顯得黯淡。

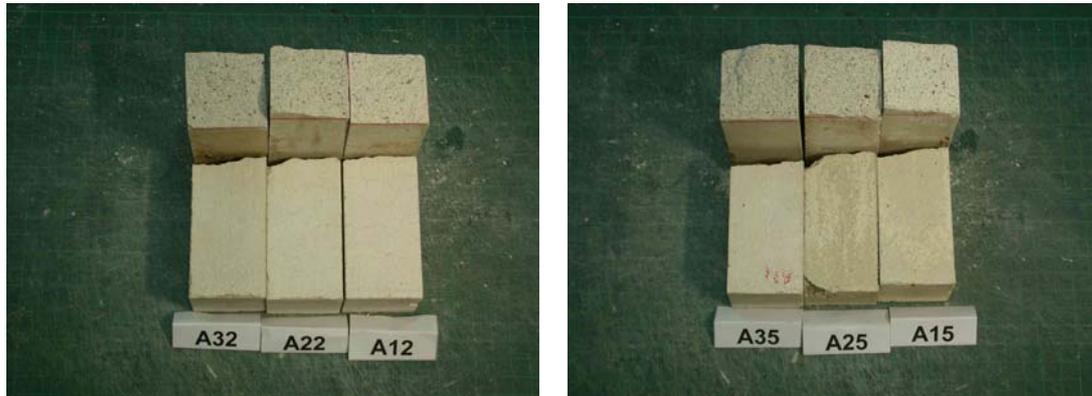
各種灰漿的色差值變化趨勢皆為漸緩，亦即石灰的用量增加對色彩的影響是有限的，若要讓顏色更淺舊要加更多的石灰。隨灰砂比提高，水泥砂漿和石灰砂漿的色差值大幅提高，但兼有水泥與石灰二者的水泥石灰砂漿的色差值較小。

圖 4-2.5 不同灰砂比之各類灰漿色彩差異



(a) 不同灰砂比之石灰砂漿

(b) 不同灰砂比之石灰土漿



(c) 不同灰砂比之水泥石灰砂漿

(d) 不同灰砂比之糖石灰砂漿

### 三、不同混合摻料

這裡探討不同的混合摻料種類，水泥與糖漿，對灰漿色彩的影響。另探討混合摻料的用量對灰漿色彩的影響。以群組丙各類水泥石灰砂漿砂漿與糖石灰砂漿之色彩實驗結果計算之色差值加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-2.7~8。

#### 實驗結果說明

三種灰漿的明度皆隨水泥與糖漿的用量增加而降低。糖石灰砂漿的  $b^*$  值隨糖漿用量增加而顯著變大，明度也大幅增加，其黃色來自糖漿顏色，尤其 A26 灰漿的糖漿量為石灰量的 0.04 倍，即已出現黃色由下而上的漸層狀，似為糖漿之沉澱，而色差計量測處為

灰漿上表面，可見下表面的  $b^*$  值應會更大。

隨著水泥量或是糖漿量的增加，色彩的差異性也變大，其色差值的增加趨勢持平。

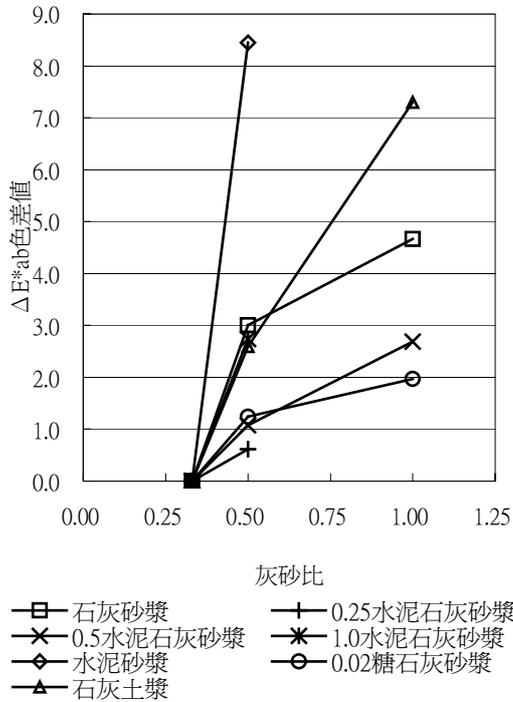


圖 4-2.6a 各種灰漿不同灰砂比的色差趨勢折線圖 (以一比三灰漿為比較基礎)

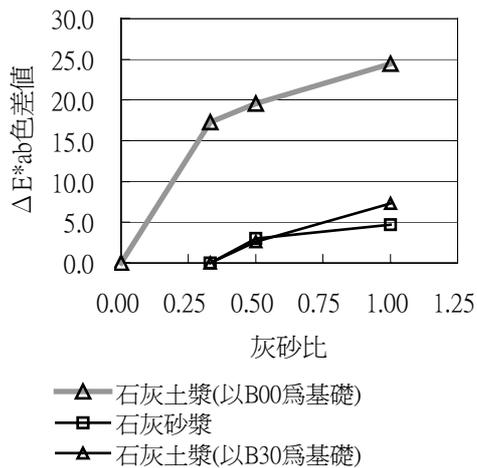


圖 4-2.6b 石灰土漿不同灰砂比的色差趨勢折線圖 (以土漿為比較基礎)



(a) 不同糖漿量之石灰砂漿



(b) 不同水泥量之一比二石灰砂漿



(c) 不同水泥量之一比三石灰砂漿

圖 4-2.7 不同水泥或糖漿量之各類灰漿色彩差異

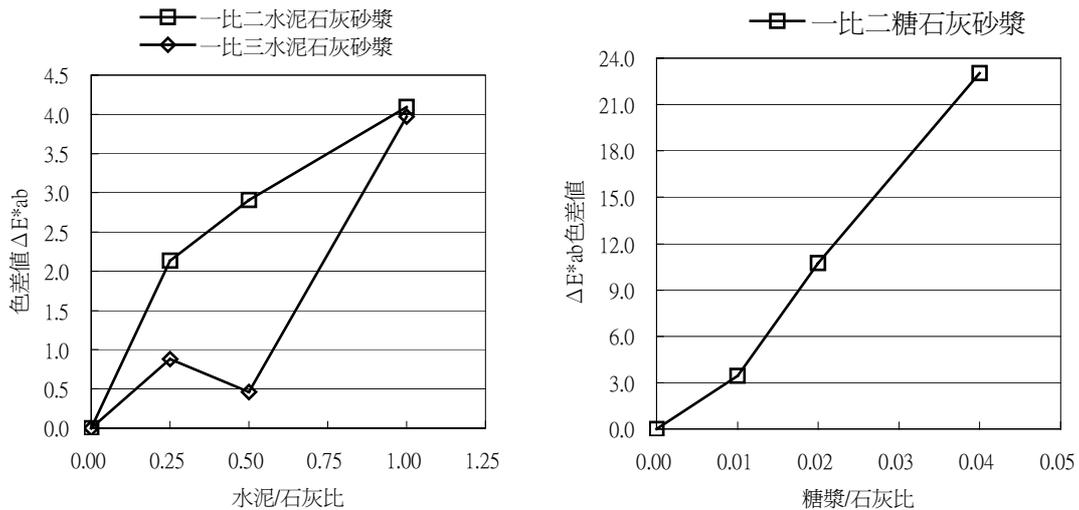


圖 4-2.8 水泥石灰砂漿不同水泥量、糖漿量的色差趨勢折線圖(以石灰砂漿為比較基礎)

#### 四、不同纖維摻料

這裡探討不同纖維摻料對灰漿色彩的影響。以群組丁之色彩實驗結果計算之色差值加以比較說明，見圖 4-2.9~10。

##### 實驗結果說明

整體色差值的比較，麻絨對水泥砂漿的顏色改變最大，對石灰土將的顏色改變較小。

但若以明度比較。加入兩種纖維於灰漿之中，會使明度降低，以稻殼降低較多，麻絨較少，原因應為稻殼的表面積大，因此雖然其原材料的顏色較淺，但是對灰漿顏色的改變影響較大。

#### 五、色彩性質的綜合分析

檢視整體的  $L^*a^*b^*$  值，可以發現幾種材料對灰漿測色彩有直接而明顯的改變。石灰量增加可使明度  $L^*$  增加，實因石灰本身即為淺灰白色。水泥與河砂原為暗灰色之材料，增加則使明度降低。糖漿呈深棕色，因此其使用對於  $b^*$  值的改變就相當明顯，黃土亦有相同性質。

一般而言，河砂、黃土、稻殼、麻絨在灰漿的硬化過程中，並不參與化學反應，因此硬化前後的色彩是不變的。而水泥、石灰、糖漿等會發生化學變化的灰漿材料，在化學變化前後亦無色彩的改變。因此，色彩實驗中，各灰漿色彩會隨其材料的種類與用量而改變，甚至可以推論其為一正比關係，並直接反應在  $L^*a^*b^*$  值的變化上，甚至可以



圖 4-2.9 石灰砂漿有無稻殼之色差

用很肉眼直觀猜測灰漿之材料。

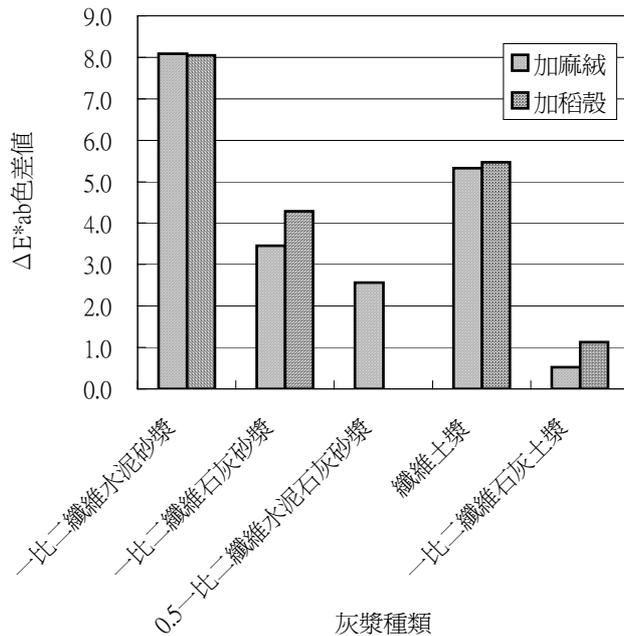


圖 4-2.10 各種纖維灰漿的色差比較圖(以未加纖維之灰漿為比較基礎)

不論是不同的灰砂比，或是不同糖漿、水泥之用量，都可以發現其色差之變化趨勢是漸緩的，亦即任何材料用量的改變，相對於色差值雖呈現正相關，但非正比關係，其原因在於橫軸的數值。前述灰漿色彩的改變和材料種類與用量可能成正比關係，但此一正比關係應以各材料占灰漿之整體比例多少而言，而非以灰砂比，或是水泥、糖漿與石灰之比值。

進一步討論，從土漿和石灰土漿的色彩差異甚大，可知有無化學膠結反應之灰漿之色差是極大的，因此當我們尋求灰漿色彩與材料使用之關係時，仍需以微觀觀點討論，即以膠結硬化後灰漿中實際存在的物質討論之，不能用原材料如灰砂比等數值作為探討基礎。

若就實用觀點，色彩的變化應可作為現地灰漿材料之檢測，對於古蹟或歷史建築之灰漿作灰漿配比之檢定，相關研究<sup>1</sup>已顯示其部分的實用性，而本研究之結果或可作進一步之探討。

<sup>1</sup> 王新衡著《臺灣傳統磚砌建築灰縫材料特性之研究》(國立雲林科技大學碩士論文)即作相關之探討。

## 4-3 實驗結果分析

### 4-3-1 試體之破壞模式

#### 一、灰漿抗壓試體的破壞模式

抗壓實驗試體的破壞模式，可以大約分為兩類，一為非麻絨的灰漿試體，另為麻絨灰漿試體，不同處在於中後段的破壞模式。以下分別說明其破壞過程，並試加分析。

##### (一)非麻絨的灰漿試體

1. 首先出現垂直向裂痕，以兩側邊緣處較多。
2. 接著垂直裂痕變多變大，並使試體四面之一至兩面呈面狀或錐狀脫開。水泥量大的灰漿傾向錐狀脫開，純石灰砂漿則幾乎以片狀倒落。
3. 部分試體出現橫向裂痕，有些是內部物質向外推擠的結果，有些則似因表面灰漿膠結不均(A10a)。
4. 表面以及部分碎削脫落之後，試體露出的內部多呈梯形錐狀，石灰試體的內部有乾粉狀之物質，但水泥灰漿試體則無此狀況。



圖 4-3.1 石灰砂漿(A12)受壓破壞

##### (二)麻絨灰漿試體

1. 首先出現垂直裂痕，以兩側邊緣處較多，一如無纖維試體。
2. 接著垂直裂痕變多變大，並使試體四面之一至兩面呈面狀或錐狀脫開。水泥量大的灰漿傾向錐狀脫開，純石灰砂漿則以片狀脫開，因麻絨之拉扯而不倒落。
3. 部分試體靠近上下受壓處出現尚稱整齊橫向裂痕。
4. 經過最大荷載之後繼續受壓，試體並不會因此而碎裂，荷載在一段下降之後漸漸上升，並遠高過之前的最大荷載，且試體並未因此而明顯的進一步碎裂。

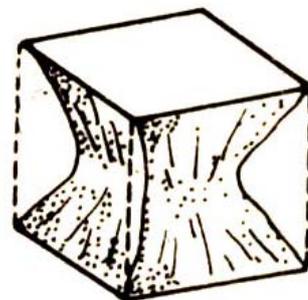


圖 4-3.2 正方體的受力破壞  
(雲南工業大學 1995: 89)



圖 4-3.3 麻絨試體受壓破壞

##### (三) 抗壓試體的破壞模式分析

### 1. 硬化石灰砂漿塊並非質地均勻物體

理論上，質地均勻的正立方體受壓破壞，應以直向裂痕為主，一如本實驗之水泥砂漿試體，但石灰砂漿試體的破壞狀況除此之外，四面尚呈片狀崩開，內部物質十分脆弱，稍加擠壓即呈粉狀及小塊狀，以手觸之甚至有潮濕感，其脆弱程度應非經過抗壓實驗而造成之物質變化。

從這樣的破壞模式可以說明，以石灰為主要膠結材料的灰漿只在表面行化學作用，強度較其內部高出甚多，但從內部以手略加壓碎後仍有塊狀物質之狀況看來，內部的灰漿材料之間應有另一種硬化之機制，據過去之研究為灰漿材料分子之間結晶而成。

而其略有潮濕感則說明，灰漿塊表面膠結硬化之後，內部未參與結晶的水分可能因此無法排出，而 28 天的養護時間內又無法進一步與碳酸鹽化合成碳酸氫鈣等物質。

檢視數週後的抗壓破壞試體，發現內部小塊狀表面的粉狀減少甚多，且此小塊較不易壓碎，可以推測粉狀物質應為石灰之殘留，接觸空氣後才開始膠結硬化。

以上皆可說明石灰砂漿硬化後並非一質地均勻之物體。

### 2. 抗壓強度之來源

儀器所量得之最大值通常在破壞過程的第一階段，即出現垂直向裂痕之時。若將灰漿斷面分成兩個部分，如圖所示，外圍為化學膠結物質，內部為較軟弱之非化學膠結硬化物質。

當垂直斷面之力量出現時，外圍的強度需達一定值，方可提供圍束作用予內部較軟弱物質，因此可以推測，雖內部物質雖有較大斷面，但外圍部分仍提供了較大的抗壓強度，一旦外圍破壞，其儀器測知的抗壓強度即行降低。

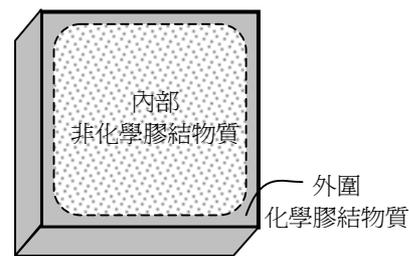


圖 4-3.4 石灰砂漿斷面推測圖

### 3. 麻絨灰漿之複合纖維材料效應

麻絨纖維試體之破壞有不同表現。纖維灰漿亦以石灰為主要膠結材料，因此其硬化亦分為內外兩部分，但因纖維之拉扯，並無面狀之崩落，外圍面狀脫落部分和內部表面呈粉狀的塊體之間，有明顯的麻絨纖維相連。

灰漿之受力體在最大荷載前為灰漿塊整體，並以外圍部分為主。最大荷載後繼續下壓，初期的受力體為內部非化學硬化部分與麻絨之混合體，若無纖維牽扯，荷載理應持續下降，但不久即回升並高過之前的最大荷載，推測為纖維緊結內部的灰漿，微觀的圍束效應發生所造成，圍束物外之物質會行脫落，這點可以從觀察試體發現最後受壓的部分呈現麻絨團塊的外觀獲得證明。

橫向裂橫部分，其他灰漿的橫向裂橫或因表面膠結不均勻，裂紋亦不整齊。麻絨灰

漿的橫向裂痕，似乎是因爲上表面拉扯四周表面，因此產生明顯而整齊的橫向裂紋。

## 二、灰漿抗彎試體的破壞模式

抗彎試體的破壞模式較爲單純，達到最大荷載時，水泥砂漿會出現清脆的斷裂聲，石灰砂漿多數亦有斷裂聲，但相較之下較小且不清脆，石灰土漿試體則無斷裂聲。

水泥砂漿在出現斷裂聲之後即應聲斷落，其他試體在出現斷裂聲後不會隨即斷落，稻殼灰漿需要較久的斷落時間，麻絨灰漿在停止荷載時亦不段落。

斷裂面的狀況多不整齊，少有接近直線者，一般以稻殼灰漿的斷裂面較不整齊，且多數的斷裂面只有一個，B10、A32 除外。絕大多數的斷裂面上緣都在荷載線位置，下緣都在荷載垂直線兩側 1 公分內(A32 除外)。

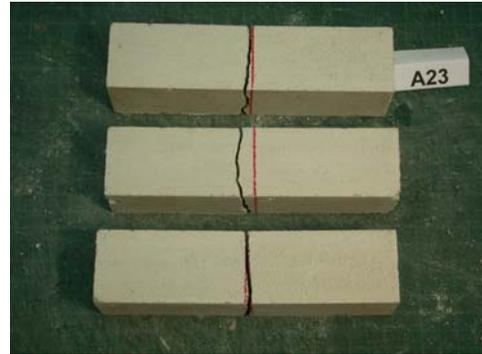


圖 4-3.5 灰漿抗彎試體之破壞

## 三、灰漿黏著試體的破壞模式

灰漿黏著強度試體的破壞狀況較爲複雜，許多數據因無法代表實驗目的而被剔除。

黏著抗拉試體的破壞狀況紀錄方法，參考 CNS12611 之規定，依破壞位置與灰漿沾黏的狀況爲之，說明如下。

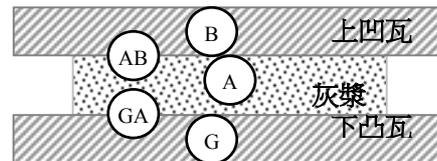


圖 4-3.6 黏著試體破壞位置示意

### 1. 破壞位置

本實驗之灰漿黏著試體以凹面瓦向上進行抗拉實驗，因此定下方凸面瓦爲 CNS12611 中的下方墊底材，位置代號 G；以灰漿爲接著劑，位置代號 A；上方凹面瓦爲壁磚，位置代號 B；上下介面位置代號各爲 GA 與 AB。如圖所示。

需說明的是，部分灰漿會在兩片瓦片中乾裂，形成數小塊灰漿，但兩側仍與瓦片相連，因而在實驗時小灰漿塊各與不同瓦片脫離。這種分別脫離的狀況，破壞位置紀錄爲灰漿塊與瓦片接著量較小者。

黏著抗拉試體雖無上下之分，但以相同代號紀錄。

### 2. 沾黏狀況

黏著試體的灰漿兩側介面應有相同強度，實際實驗結果顯示，多數試體的灰漿塊會在受力脫離後固著於其中一塊瓦片上，而另一塊瓦片可能會有少量沾黏。因此紀錄的方式爲即以目測說明此一少量沾黏的介面的灰漿量，依程度分爲點

狀、面狀、塊狀以及乾裂。

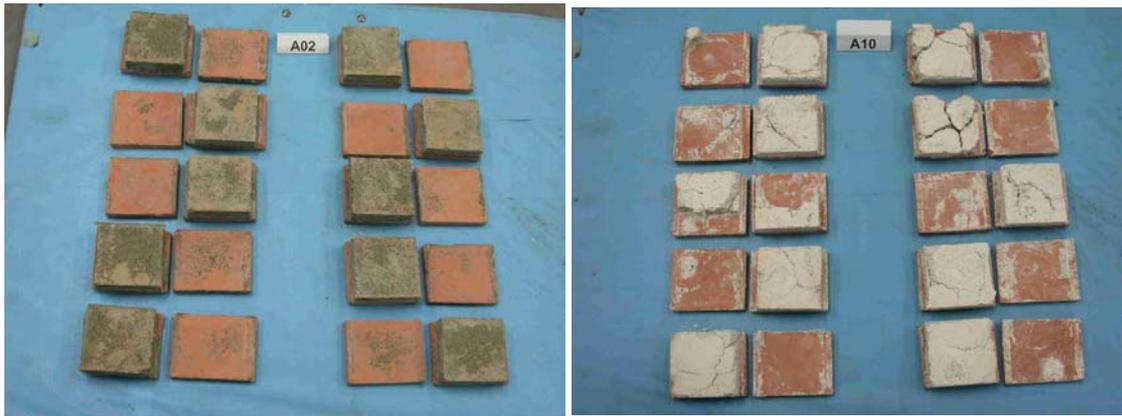


圖 4-3.7 A02、A10 灰漿黏著試體破壞，左半為抗拉實驗，右半為抗剪實驗。

其中「乾裂」乃指前述於瓦片間乾裂的試體，造成的分別脫離，灰漿黏著量較小的瓦片上，黏著有灰漿的面積占緣接著面積的比例，以 10% 的倍數紀錄之。

各灰漿黏著實驗的全部破壞紀錄參見附錄，以下依灰漿種類，對破壞狀況略作分析。

#### (一) 水泥灰漿類試體

水泥灰漿自身的強度極大，因此破壞位置都在介面上，沾黏皆極少，僅有點狀之殘削沾黏於破壞介面上，不論抗拉或抗剪實驗都會有開裂之聲響，其他種類灰漿很少有發出聲響者。

沾黏狀況紀錄	說明
點狀	點狀殘削散布
面狀	殘削集中成一區塊狀
塊狀	殘削稍有突起者
乾裂(%)	灰漿分別脫離時，以黏著之灰漿面積比例紀錄為 10%、20%、30%、40%、50%。

表 4-3.1 沾黏狀況紀錄方法

#### (二) 水泥石灰砂漿試體

灰漿中有石灰與水泥時，破壞位置多位於介面上，顯見此類灰漿的抗拉強度仍大於介面黏著強度，沾黏部位多在內部，黏著區域週邊通常都無沾黏，此狀況應與灰漿之膠結有關，內側灰漿因為無法行化學變化而硬化，因此灰漿強度較週邊弱，也較容易沾黏。

若為純石灰砂漿，石灰用量的增加讓沾黏的情況變少，尤其一比三石灰砂漿時，有兩個試體斷裂於灰漿處，可見石灰用量的增加對灰漿抗拉強度的增加程度較大，對灰漿黏著強度的增加相對較小。水泥石灰砂漿亦看出此種傾向。

隨著水泥用量的增加，沾黏狀況變少，可見其以傾向水泥砂漿的性質，但石灰的增加卻讓沾黏增加，顯示水泥用量的增加對灰漿抗拉強度的增加程度較大，對灰漿黏著強

度的增加相對較小。其中 A33 試體的灰漿甚至出現紅灰，其原因仍待探討。

灰漿在瓦片間的乾裂極普遍，幾乎所有此類灰漿都會乾裂，裂痕的寬度不大亦不規則，因此也通常不會造成抗拉實驗時的分別脫離。裂痕有一個特色，即內部裂痕較寬，裂痕發展至四周處即縮小成微小縫隙，亦有部分灰漿之乾裂呈環狀。以上又在說明了石灰灰漿內外的硬化機制是不同的。

### (三)糖石灰砂漿試體

糖石灰砂漿的破壞狀況較複雜，沾黏甚多，許多試體的破壞位置難以辨認，幾乎可視為灰漿處的破壞。糖漿對於沾黏的程度則並不會有顯著增加。

尤其石灰用量減少，沾黏的情況漸多，因此可知其灰漿抗拉強度與黏著抗拉強度的差異，隨著石灰用量的增加，而漸漸變小，黏著力的增加趨勢低於灰漿抗拉強度的增加。

### (四)石灰土漿

純土漿無黏著力，其原因應與本實驗所用之黃土材料性質有關。

石灰土漿的乾裂十分嚴重，此情形已在灰漿強度試體製作時便已發現，而呈現在黏著實驗中，瓦片間的灰漿塊乾裂呈明顯的數個區塊，黏著抗拉實驗之破壞狀況即成明顯的分別脫離狀況，裂縫明顯大於石灰砂漿，亦較規則。

### (五)纖維灰漿

纖維灰漿的沾黏精長可以看到纖維，即麻絨與稻殼沾黏在瓦片上，即使抗剪試體亦有相似狀況。

瓦片間的灰漿乾裂明顯小於無纖維灰漿，即使稻殼灰漿亦然，因此即使未直接提昇灰漿之黏著強度，但卻減少乾縮增加了有效黏著面積，對於整體的黏著力是有幫助的。整體而言，因為試體荷載方式不同，抗剪實驗的沾黏較少，抗拉實驗的沾黏較多。

黏著抗拉強度實驗的上下破壞面之比幾乎一樣，因此可說傳統建築板瓦的彎曲程度，對於灰漿的抗拉拔能力並無明顯影響。但是抗剪力強度則有差異，灰漿對於瓦片的凸面較有抓力，破壞率約為 40.7%。若歸咎於試體之差異性，則可能在試體製作時有所誤差，造成其置於夾具上時凹面為垂直面者較多，因此凹面即成破壞面。

## 4-3-2 灰漿強度分析

灰漿強度分為抗壓強度與抗彎強度兩種，實驗數據整理如表 4-3.2、4-3.3。

### 一、不同細骨材與灰漿種類

這裡探討不同的細骨材種類，河砂與黃土，對灰漿強度的影響。以群組甲各類石灰

砂漿與石灰土漿之灰漿強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.8~9。

表 4-3.2 灰漿抗壓強度(kg/cm<sup>3</sup>)

細骨材	混合摻料		灰砂比			纖維種類		
	種類	用量	無石灰	一比一	一比二	一比三	加麻絨	加稻殼
河砂 (A 類灰漿)	水泥	0		5.32	4.98	4.80	8.26	5.13
		0.25		---	15.90	13.46		
		0.5		35.58	29.03	25.71	42.05	
		1.0		---	110.23	105.60		
	(無)	水泥砂漿		---	275.02	174.41	220.09	200.23
	糖漿	0.01			---	8.61	---	
		0.02			12.80	10.48	9.65	
0.04				---	16.47	---		
黃土 (B 類灰漿)	(無)			11.93	11.14	9.87	13.18	8.21
			26.82	---	---	---	31.72	22.34

表 4-3.3 灰漿抗彎強度(kg/cm<sup>3</sup>)

細骨材	混合摻料		灰砂比			纖維種類		
	種類	用量	無石灰	一比一	一比二	一比三	加麻絨	加稻殼
河砂 (A 類灰漿)	水泥	0		4.75	3.75	2.49	2.82	1.75
		0.25			6.39	5.81		
		0.5		13.29	9.19	6.88	11.57	
		1.0			36.86	28.38		
	(無)	水泥砂漿			53.13	42.10	48.46	44.48
	糖漿	0.01			4.12			
		0.02			6.08	5.88	5.24	
0.04					6.28			
黃土 (B 類灰漿)	(無)			3.60	2.83	2.04	4.01	1.71
			8.54				8.57	6.56

**實驗結果說明**

在抗壓強度項目中，各種灰砂比的石灰土漿為石灰砂漿 2.06~2.24 倍，明顯較強，抗彎強度則相反，僅為其 0.75~0.82 倍。無任何石灰的純土漿強度甚大，抗壓與抗彎強度皆為其他灰漿的兩倍以上。

就不同摻料種類的灰漿而言，抗壓強度從高到低依次為：水泥砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿，抗壓強度以石灰土漿最低，抗彎強度則以石灰砂漿最低。

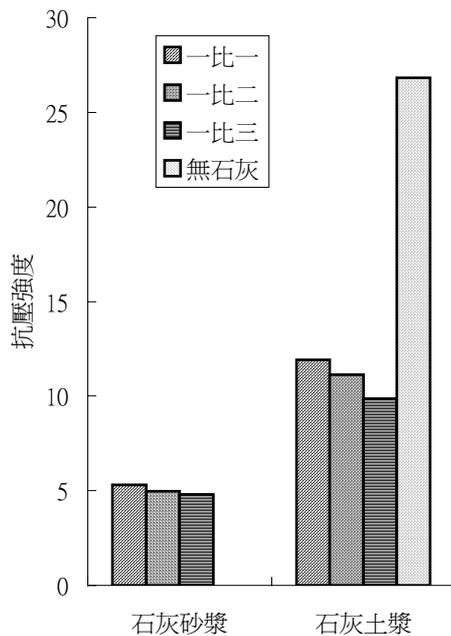


圖 4-3.8 不同細骨材的兩種灰漿於各種砂灰比的抗壓強度趨勢圖

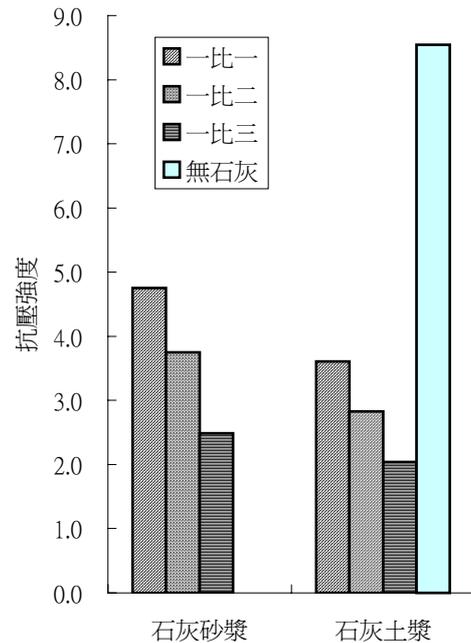


圖 4-3.9 不同細骨材的兩種灰漿於各種砂灰比的抗彎強度趨勢圖

## 二、不同灰砂比

這裡探討不同灰砂比對灰漿強度的影響。以群組乙多組不同灰砂比之灰漿的灰漿強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.10~11。

### 實驗結果說明

各類灰漿的灰砂比提高，灰漿強度皆增加。且各種灰漿的強度大小次序，不因灰砂比改變而有大幅異動。

水泥石灰砂漿中灰砂比增加對抗彎強度有較佳的增強效果，石灰土漿中對抗彎強度有較佳的效果。但是糖石灰砂漿對兩種強度都等值得提昇，不至改變原始石灰砂漿的性質。

灰砂比從一比三升到一比一，灰漿的抗壓與抗彎強度，石灰砂漿上升為 1.1 倍、1.9 倍，0.5 水泥石灰砂漿上升為 1.4 倍、1.9 倍，0.02 糖石灰砂漿上升為 1.3 倍、1.2 倍，石灰土漿上升為 1.4 倍、1.9 倍。而水泥砂漿僅從一比三增加到一比二，抗壓與抗彎強度便上升為 1.2 倍、1.8 倍。

整體而言，隨灰砂比的增加，灰漿強度的增加趨勢都呈現漸緩的趨勢，折線圖的後半段明顯較前半段平緩，以抗彎強度較明顯。各類灰漿之間，水泥砂漿的增加趨勢最為劇烈，其次為 1.0 水泥石灰砂漿，顯示水泥的膠結性能遠比石灰來的強，並對石灰砂漿強度性質影響深遠。

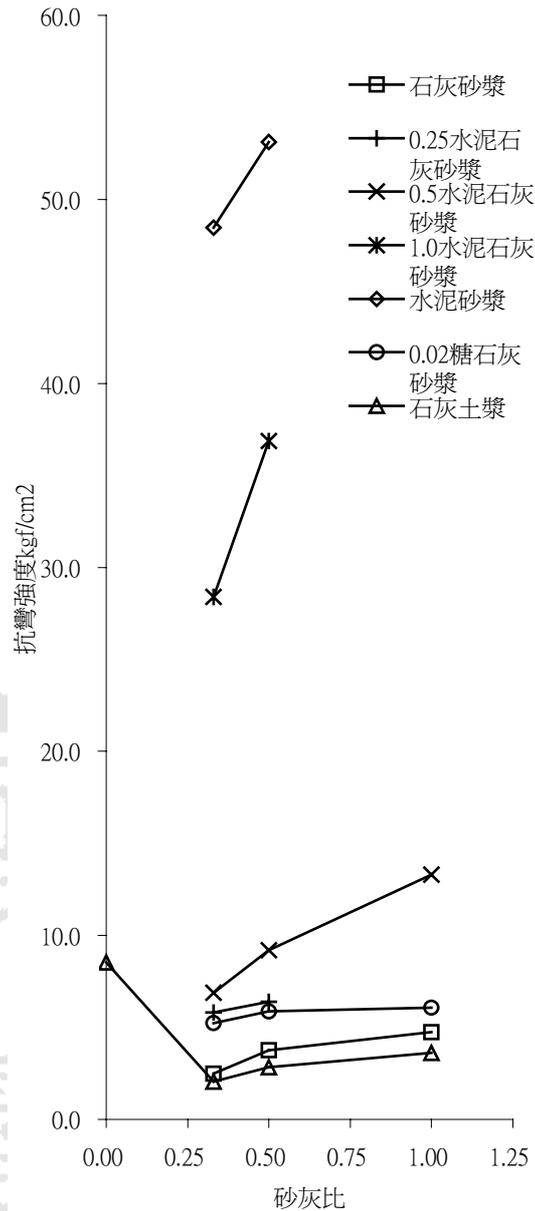
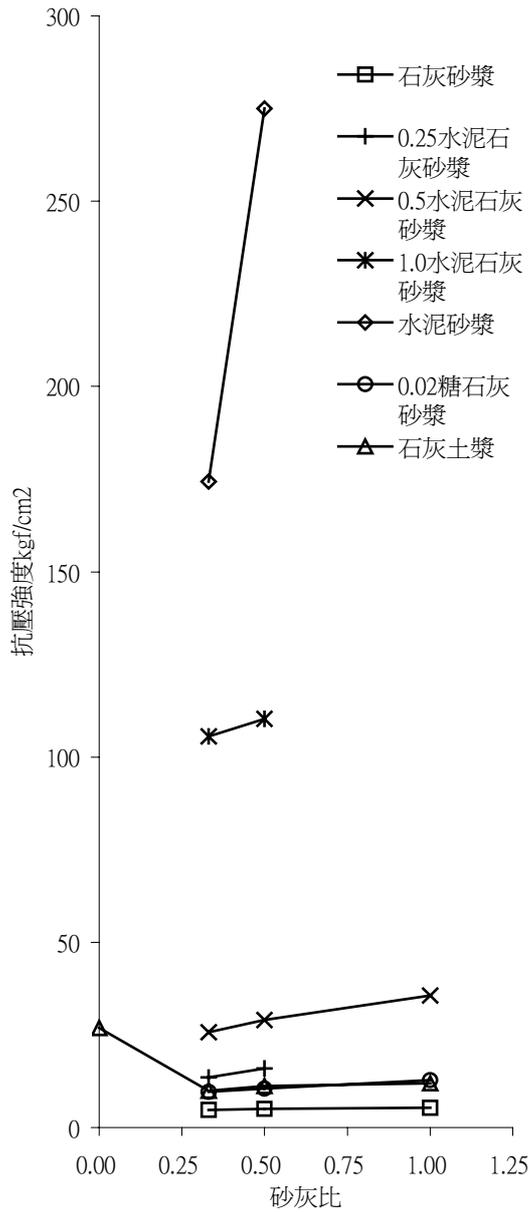


圖 4-3.10 各種灰漿的灰砂比與其抗壓強度關係圖

圖 4-3.11 各種灰漿的灰砂比與其抗彎強度關係圖

### 三、不同混合摻料

這裡探討不同的混合摻料種類，水泥與糖漿，對灰漿黏著性的影響。另探討混合摻料的用量對灰漿強度的影響。以群組丙之實驗結果加以比較說明，繪圖 4-3.12~15。

#### 實驗結果說明

1. 若以 A25 與 A22 比較，即糖漿為石灰量之 0.02，與水泥為石灰用量之 0.5 兩種灰漿，二者抗壓與抗彎強度相差 36.1%、64.0%。

2. 從灰砂比之折線圖中可以看出，各種灰漿強度，可以混合摻料的有無與種類區分：水泥砂漿最強，其次為 1.0 水泥石灰砂漿、0.5 水泥石灰砂漿、0.25 水泥石灰砂漿、

糖石灰砂漿，石灰砂漿與石灰土漿則居末。

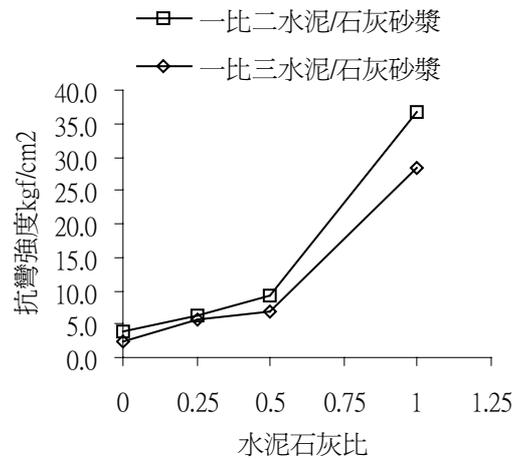
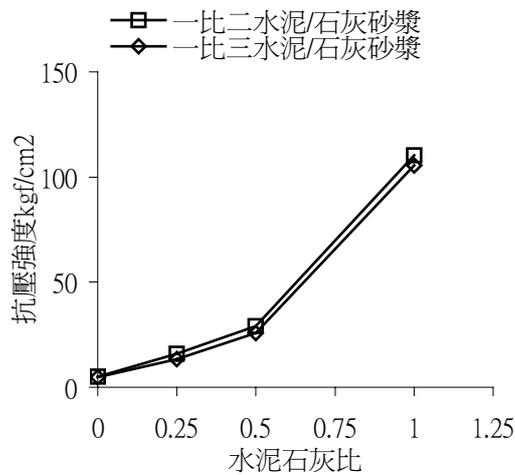


圖 4-3.12 水泥石灰砂漿的水泥量與其抗壓強度關係圖 圖 4-3.13 水泥石灰砂漿的水泥量與其抗彎強度關係圖

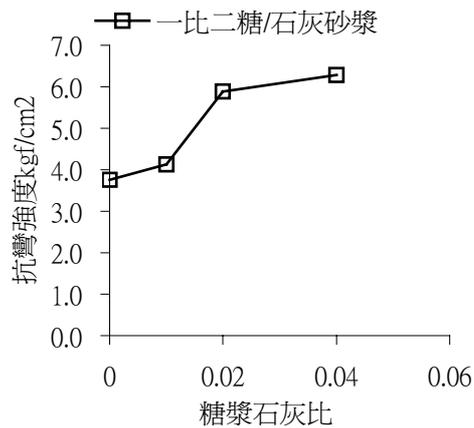
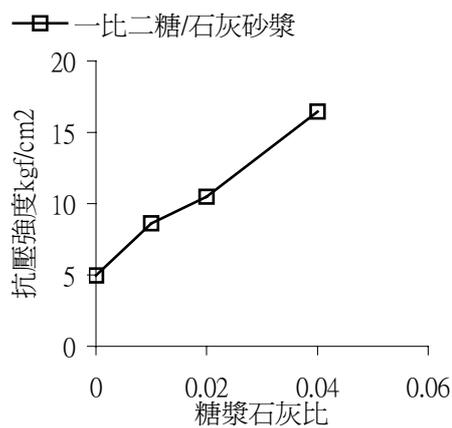


圖 4-3.14 糖石灰砂漿的糖漿量與其抗壓強度關係圖 圖 4-3.15 糖石灰砂漿的糖漿量與其抗彎強度關係圖

3. 灰漿中的水泥或糖漿用量越多，其抗壓與抗彎強度皆都顯著提昇。二者對抗壓強度的提昇都較抗彎強度來的大。水泥的增加對一比二或一比三石灰砂漿有相似的強度提昇作用，可亦從兩折線相當接近看出。

一比二灰漿中，水泥與石灰用量相當時，抗壓與抗彎強度為無水泥之純石灰砂漿的 22.1 倍、9.8 倍。

一比三灰漿中，水泥與石灰用量相當時，抗壓與抗彎強度為無水泥之純石灰砂漿的 22.0 倍、11.4 倍。

一比二灰漿中，糖漿量為石灰的 0.04 倍時，抗壓與抗彎強度為無糖漿的純石灰砂漿的 3.3 倍、1.7 倍。

4. 強度趨勢上，隨水泥用量之增加，石灰砂漿灰漿強度增加趨勢都是漸劇的。糖石灰砂漿的強度隨著糖漿的加入及用量漸增，以一持平不變的趨勢增加。

#### 四、纖維灰漿的強度分析

這裡探討不同的纖維材料，麻絨與稻殼，對灰漿強度的影響。

以群組丁多組不同纖維材料灰漿的灰漿強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.12~13。

##### 實驗結果說明

概觀之，灰漿強度，加入麻絨除水泥砂漿外增加，加入稻殼則全數降低。

##### 1. 麻絨灰漿

前述麻絨多使其抗壓、抗壓強度增加，但水泥砂漿的狀況卻不同，不論抗彎抗壓強度都下滑，而為原來的 85%和 80%。

0.5 一比二水泥石灰砂漿加入麻絨後即有較佳的強度加強效果，抗壓與抗彎強度各提昇了 1.45 與 1.29 倍。其中又以一比二石灰砂漿加入麻絨後的強度增加效果最佳，抗壓強度為原來的 1.66 倍，但抗彎強度卻減少為 0.76 倍。

石灰土漿與無石灰的土漿則呈現類似的強度改變，其抗壓強度同樣增加了 18%，石灰土漿的抗彎強度增加較多為 35%，麻絨土漿的抗彎強度無明顯增加。

##### 2. 稻殼灰漿

灰漿加入稻殼之後，多數強度變弱，一比二石灰砂漿的抗壓強度為唯一增加者，但僅增加 3%，抗彎強度則降至不足一半。至於水泥砂漿、石灰土漿和土漿的強度減少皆稱一致。

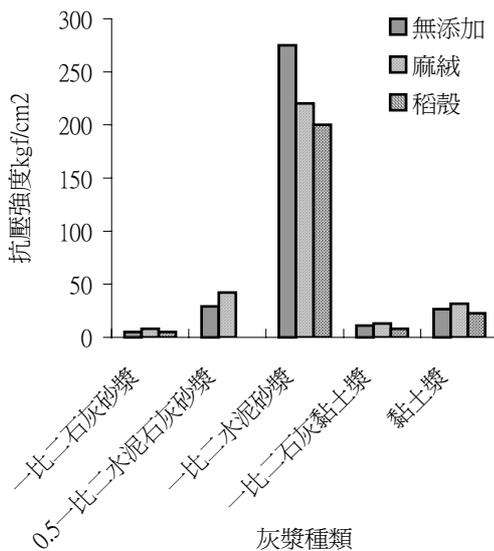


圖 4-3.16 各種纖維灰漿的抗壓強度比較圖

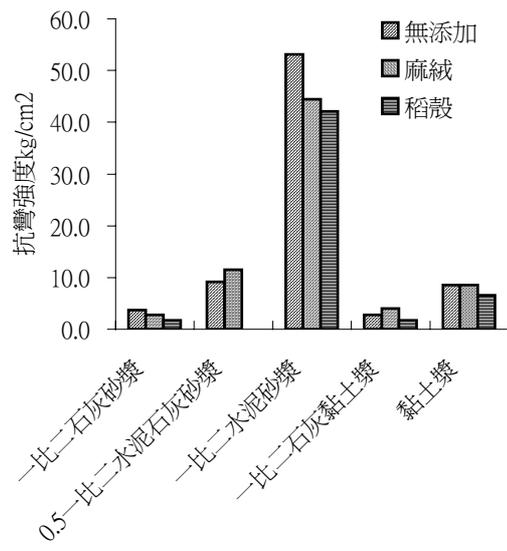


圖 4-3.17 各種纖維灰漿的抗彎強度比較圖

## Ⅱ、灰漿強度的綜合分析

### (一)石灰降低土漿強度

土漿的灰漿強度甚大，顯示石灰似乎降低了原乾土塊的強度，試從微觀的膠結原理探討其原因。

如前章之說明，一般石灰灰漿的硬化分為表面的化學膠結硬化，以及內部的結晶硬化兩種。因為本實驗採用的實驗用細骨材，質地均勻，粒徑細小，乾硬厚形成一結實、孔隙極少的土塊，塊體表面比以河砂為細骨材的砂漿更為密實，若土塊中含有的鈣、鎂化合物等氣硬性的膠結物質，則必然只有離表面極淺的的部位可行化學作用而硬化，其膠結硬化的體積相較於以河砂為細骨材的石灰砂漿必然較小，內部為軟弱的結晶硬化，因此，承受大部分外力的表面部分相對較小。而若內部全為密實的土粒，則其強度顯然會高於混有石灰成分者。

### (二)灰砂比

灰漿中的主要膠結材料—石灰的增加，有助灰漿強度的整體提昇。顯然石灰砂漿中，灰砂比增加對抗彎強度有較佳的增強效果，但水泥砂漿中的灰砂比增加，卻是對其抗壓強度的增加效果較佳。若以「脆性」說明此一柔軟度性質，可說水泥砂漿的脆性較石灰砂漿高，這特性亦可從抗壓強度與抗彎強度的比值約略看出<sup>2</sup>，石灰砂漿為 5.2~7.3，0.5 水泥石灰砂漿為 10.4~15.2，水泥砂漿為 13.4~19.0。而相對於水泥石灰砂漿，灰砂比增加並未增加其糖石灰砂漿的脆性，使灰漿保有部分的「柔性」。

### (三)混合摻料—水泥與糖漿

從水泥用量增加，但灰漿強度增加趨勢漸劇的情況看，其性質會越來越接近水泥砂漿，因此若以水泥砂漿加石灰角度看，其強度是因為內有石灰致使強度不佳，顯示了水泥的膠結性能遠比石灰來的強。

糖漿量增加雖讓灰漿強度以穩定趨勢上升，似乎可以預測更多的糖漿即可達到任何的強度，但事實上，本實驗摻用的糖漿最大量為 0.04(A26 灰漿)，已經幾乎難以成形，若需以更多糖漿量作實驗，勢必另以一套實驗規劃為之。

一般用量下，抗壓與抗彎強度顯示水泥石灰砂漿與糖石灰砂漿的性質有一定差距，亦即從灰漿強度的觀點看，兩者的替代性不高。

---

<sup>2</sup> 「脆性」是指「指材料受力破壞前，無明顯的塑性變形而突然破壞的性質。」「脆性材料受衝擊力和震動荷載的能力很差，抗壓強度遠大於抗拉強度」(雲南工業大學等 1995: 12)本論文雖未進行灰漿抗拉強度實驗，但抗彎強度所代表的抗彎矩力，實則為彎斷面某部分之抗拉力之表現，因此，以抗壓強度和抗彎強度之比值，亦可說明材料之「脆性」。另外，「韌性」是指「在衝擊、震動荷載作用下，材料能吸收較大的能量，同時產生較大的形變，而不致破壞的性質。」(雲南工業大學等 1995: 12)

再討論其「脆性」。1.0 一比二水泥石灰砂漿(A23)中的水泥量與石灰量相同時，其抗壓、抗彎強度分別為無水泥之一比二石灰砂漿(A20)的 22.1 倍、10.3 倍，抗壓與抗彎強度的比值從 5.2 變為 11.3 倍，相同狀況下的 1.0 一比三水泥石灰砂漿(A33)則為無水泥的一比三水泥石灰砂漿(A30)的 22.0 倍、11.3 倍，強度比值從 7.3 變為 14.2 倍，顯示水泥的加入增加了灰漿的脆性。

#### (四)纖維灰漿

灰漿加入麻絨，除水泥砂漿外，強度皆增加，其原因應為麻絨的纖維細長構體，使麻絨灰將實為複合纖維材料之性質，直接提供外力彎矩所需額外的強度，在抗壓強度上，麻絨纖維提供一內聚力，亦即包圍或抓住硬化灰漿的內部顆粒，減緩灰漿塊體之崩裂，此一內聚力顯示在實驗過程中最為顯著。

抗壓實驗中，當麻絨灰漿試體破壞後，試驗機之荷重源繼續下壓，可見到因為麻絨纖維之故，除塊體不易散落之外，下壓至一定位置試體週邊完全崩列後，因為纖維的抓力甚強，竟然形成一絨狀團塊，讓抗壓強度值再度升高，並高於前次之最大值，停機取出試體時大部分碎塊仍相連，顯示其緊抓材料之特性。

至於稻殼之加入，幾乎使所有灰漿強度變弱，觀察抗彎試體之破壞情形，處其破壞多沿稻殼處斷裂，顯然此一佔有極大體積的纖維材料，減少了灰漿塊體的有效受力面積，致使其抗壓、抗彎強度全面下滑。

前述麻絨多使其抗壓、抗壓強度增加，但水泥砂漿的狀況卻不同，不論抗彎抗壓強度都下滑，而為原來的 85%和 80%，原因應為水泥材料自身即為強度極佳的材料，不適當的外加材料只會降低其強度。

### 4-3-3 灰漿黏著強度分析

灰漿黏著強度分為抗拉強度與抗剪強度兩種，實驗數據整理如下表。

表 4-3.4 灰漿黏著抗拉強度(kg/cm<sup>2</sup>)

細骨材	混合摻料		灰砂比			纖維種類		
	種類	用量	無石灰	一比一	一比二	一比三	加麻絨	加稻殼
河砂 (A 類灰漿)	水泥	0		0.047	0.216	0.387	0.580	0.499
		0.25		---	0.336	0.893	---	---
		0.5		0.785	0.834	0.953	1.075	---
		1.0		---	1.034	1.098	---	---
	(無)	水泥砂漿		---	2.225	1.712	2.576	2.015
	糖漿	0.01		---	0.723	---	---	---
		0.02		0.611	0.896	1.789	---	---
0.04			---	1.101	---	---	---	
黃土 (B 類灰漿)	(無)		0.183	0.147	0.151	0.246	0.290	
			<0.004	---	---	---	<0.004	<0.004

表 4-3.5 灰漿黏著抗剪強度(kg/cm<sup>2</sup>)

細骨材	混合摻料		灰砂比				纖維種類	
	種類	用量	無石灰	一比一	一比二	一比三	加麻絨	加稻殼
河砂 (A 類灰漿)	水泥	0		0.327	1.034	1.265	2.369	1.744
		0.25		---	1.312	3.203		
		0.5		2.781	3.083	4.930	7.835	
		1.0		---	8.516	9.102		
	(無)	水泥砂漿			22.307	17.480	25.400	17.913
	糖漿	0.01		---	2.016	---		
		0.02		1.322	2.048	2.772		
0.04			---	2.155	---			
黃土 (B 類灰漿)	(無)		0.255	0.228	0.220	0.568	0.522	
			<0.005	---	---	---	<0.005	<0.005

### 一、不同細骨材與灰漿種類

這裡探討不同的細骨材種類，河砂與黃土，對灰漿黏著性的影響。以群組甲各類石灰砂漿與石灰土漿之黏著強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.18~19。

#### 實驗結果說明

1.除了灰砂比一比一時，石灰土漿的介面抗拉強度高於石灰砂漿，其他狀況下石灰土漿的兩種黏著強度都小於石灰砂漿。

2.灰砂比越高，石灰砂漿對石灰土漿之黏著強度比值越低。如一比三的石灰砂漿的抗剪強度為石灰土漿的 5.8，一比一時降到 1.3 倍。

實驗結果顯示，一般而言，河砂與黃土兩種不同細骨材，以河砂較有利於灰漿黏著強度。但實際上，從不同灰砂比的數據比對中發現，膠結材料的用量才是灰漿能不能固結瓦片的主要因素，細骨材種類並不重要。

就不同摻料種類的灰漿而言，黏著強度的強度大小排列紛亂，從高到低依次約為：水泥砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿，石灰土漿與石灰砂漿的黏著強度最低。

### 二、不同灰砂比

這裡探討不同的灰砂比對灰漿黏著性的影響。以群組乙多組不同灰砂比之灰漿的黏著強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.20~21。

#### 實驗結果說明

隨灰砂比增加，可依黏著強度的變化分為兩類灰漿。各種灰漿的黏著強度大小次序，亦不因灰砂比改變而大幅異動，但糖石灰砂漿為例外。

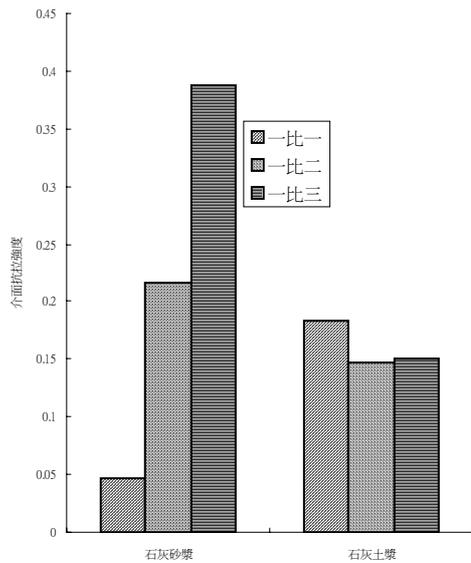


圖 4-3.18 不同細骨材與介面抗拉強度之比較

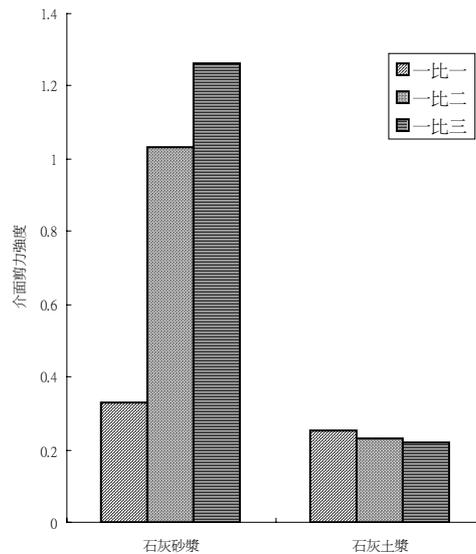


圖 4-3.19 不同細骨材與介面抗剪強度之比較

1. 第一類為糖石灰砂漿與水泥石灰砂漿，灰砂比增加，黏著強度下降。

灰砂比從一比三升到一比一，灰漿的抗拉與抗剪強度，石灰砂漿下降為 12.1%、25.8%，0.5 水泥石灰砂漿下降為 82.4%、56.4%，0.02 糖石灰砂漿下降為 34.2%、47.7%。而第一類灰漿的灰砂比增加，黏著強度下降的趨勢是漸緩的。

2. 第二類為水泥砂漿與石灰土漿，灰砂比增加，黏著強度上升。

一比一較一比三灰漿的抗拉與抗剪強度比較，石灰土漿為 121.2%、125.9%。第二類的石灰土漿，石灰從無到有的黏著強度增加很大，但之後隨石灰的增加，強度的增加趨勢稍緩，但仍略呈漸劇之趨勢。

石灰砂漿、各類水泥石灰砂漿到水泥砂漿，隨水灰比增加的黏著強度增加趨勢之比較，可以看出折線的斜率是漸平的。

### 三、不同混合摻料

這裡探討不同的混合摻料種類，水泥與糖漿，對灰漿黏著性的影響。另探討混合摻料的用量對灰漿黏著性的影響。以群組丙之黏著強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.17~20。

#### 實驗結果說明

1. 若以 A25 與 A22 比較，即糖漿為石灰量之 0.02，與水泥為石灰用量之 0.5 兩種灰漿，二者抗拉強度相差 7% 左右，而抗剪強度 A25 為 A22 的 1.5 倍，顯示一般用量下，水泥石灰砂漿與糖石灰砂漿的性質相差不遠。

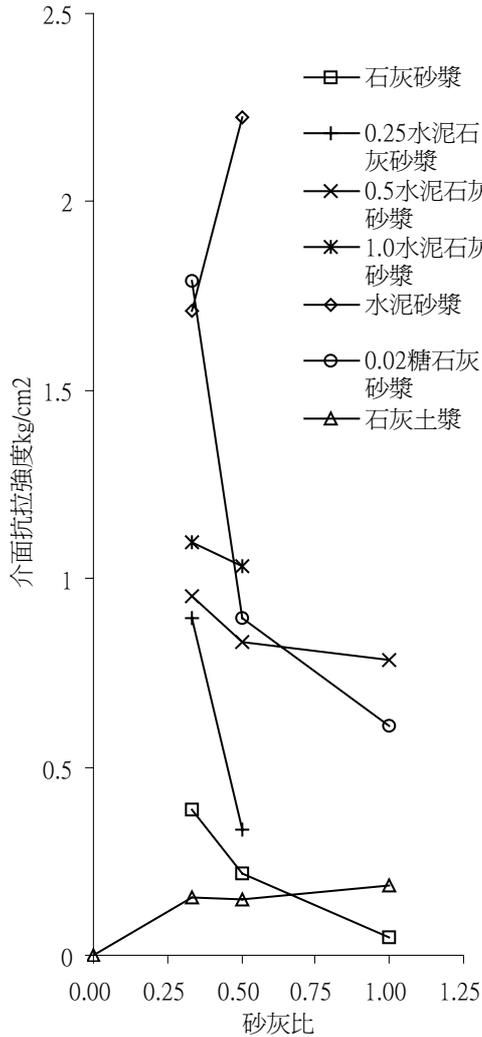


圖 4-3.20 各種灰漿的灰砂比與其黏著抗拉強度關係圖

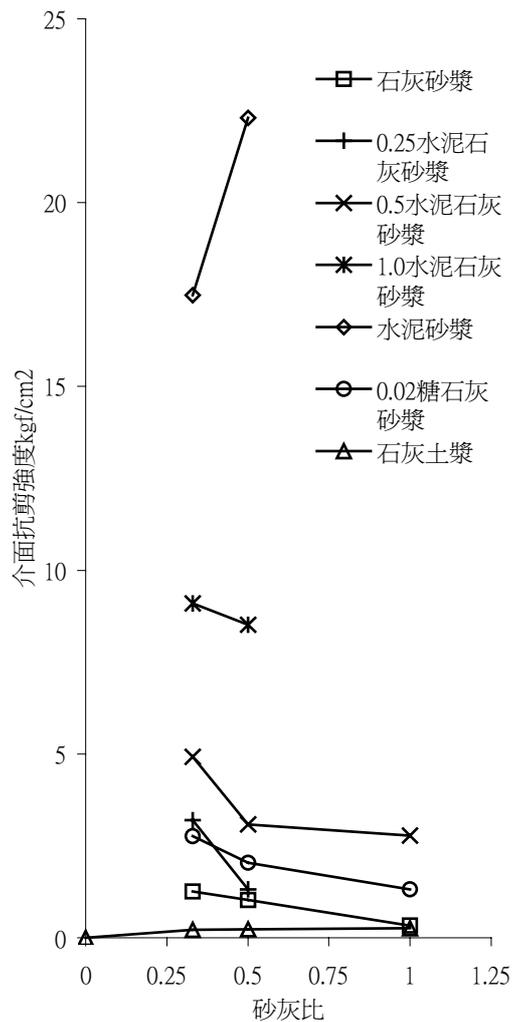


圖 4-3.21 各種灰漿的灰砂比與其黏著抗剪強度關係圖

- 從灰砂比之折線圖中可以看出，各種黏著強度，可以混合摻料的有無與種類區分：水泥砂漿最強，其次為 1.0 水泥石灰砂漿、0.5 水泥石灰砂漿、0.25 水泥石灰砂漿，石灰砂漿與石灰土漿則居末。其中糖石灰砂漿在不同灰砂比時的黏著強度差異甚大，無法比較。
- 隨水泥或糖漿用量增加，各種灰漿的黏著強度都有增加。其中水泥量增加且對抗剪強度有較佳的增益，而糖漿量增加對抗拉強度有較佳的增益。

一比二灰漿中，水泥與石灰用量相當時，拉拔與剪力強度為無水泥之純石灰砂漿的 4.8 倍、8.2 倍。

一比三灰漿中，水泥與石灰用量相當時，拉拔與剪力強度為無水泥之純石灰砂漿的 2.8 倍、7.2 倍。

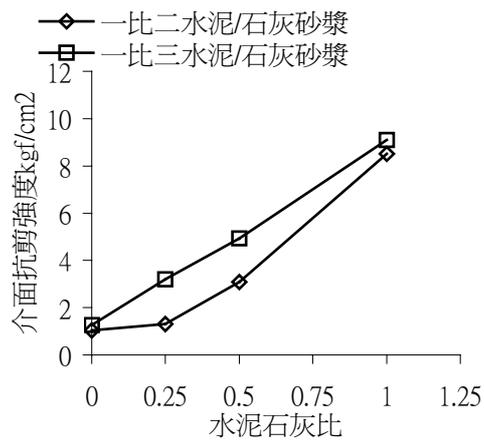
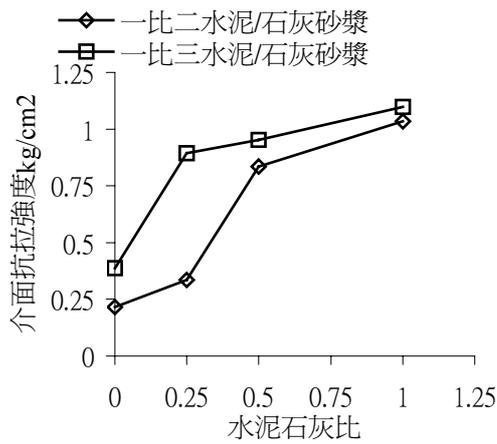


圖 4-3.22 水泥石灰砂漿的水泥量與其介面抗拉強度關係圖 圖 4-3.23 水泥石灰砂漿的水泥量與其介面抗剪強度關係圖

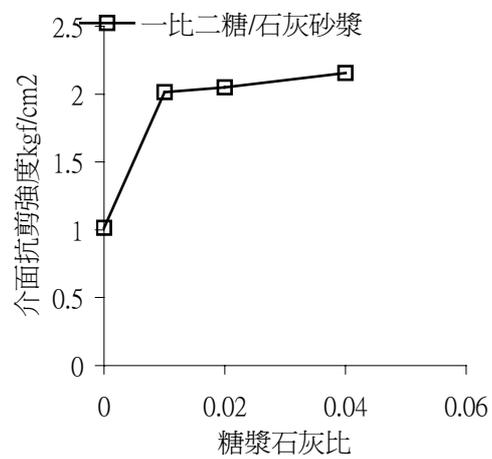
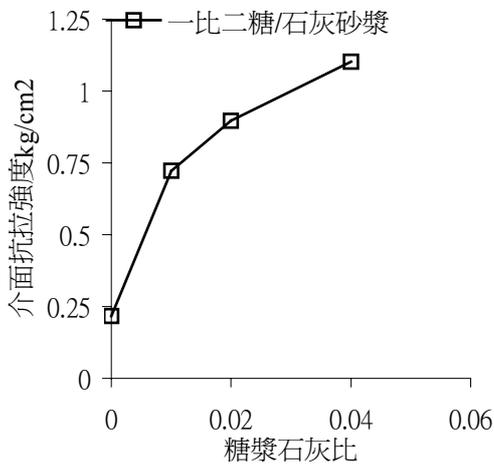


圖 4-3.24 糖石灰砂漿的糖漿量與其介面抗拉強度關係圖 圖 4-3.25 糖石灰砂漿的糖漿量與其介面抗剪強度關係圖

一比二灰漿中，糖漿量為石灰的 0.04 倍時，拉拔與剪力強度為無糖漿的純石灰砂漿的 5.1 倍、2.1 倍。

4. 隨水泥與糖漿用量的增加，黏著抗拉強度增加的趨勢是漸緩的，但抗剪強度的增加趨勢持平。

灰漿的水泥量達到石灰量的 0.25 或 0.5 以上，黏著抗拉強度的增加趨勢即趨緩，但抗剪強度增加的趨勢基本上持平。

灰漿的糖漿量達到石灰量的 0.01 後，黏著抗拉強度的增加趨勢即趨緩。抗剪強度方面，糖漿從有到無的抗剪強度增量很大，而之後糖漿量漸增，抗剪強度的增加量卻有限，即趨勢持平，折線圖中呈一緩升的斜直線。

#### 四、不同纖維材料

這裡探討不同的纖維材料，麻絨與稻殼，對灰漿黏著性的影響。

以群組丁多組不同纖維材料灰漿的黏著強度實驗結果加以比較說明。實驗結果數據整理如圖 4-3.22~25。

#### 實驗結果說明

概觀之，灰漿黏著強度，加入麻絨使全數增加，加入稻殼則除水泥砂漿外亦增加。

麻絨對石灰砂漿的黏著強度增加最大，抗拉與抗剪分別增加為 2.69 倍、2.29 倍，其次為石灰土將、水泥石灰砂漿，以石灰砂漿增加效應最小。

稻殼對石灰土漿的黏著強度增加最大，抗拉與抗剪分別增加為 1.97 倍、2.29 倍，其次為石灰砂漿，水泥砂漿則減少為 0.91 倍、0.8 倍。

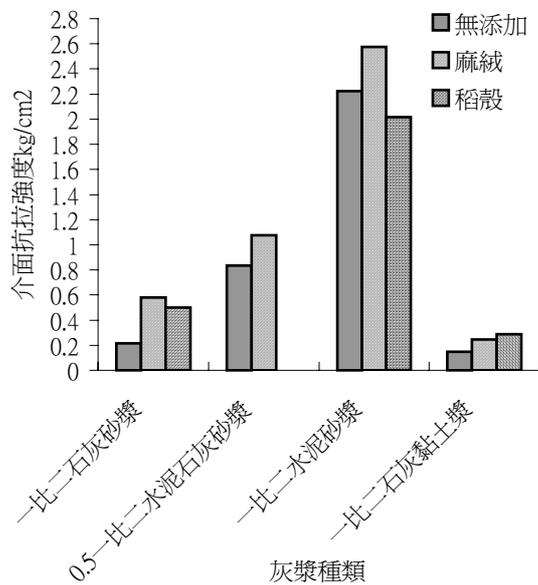


圖 4-3.22 各種纖維灰漿的介面抗拉強度比較圖

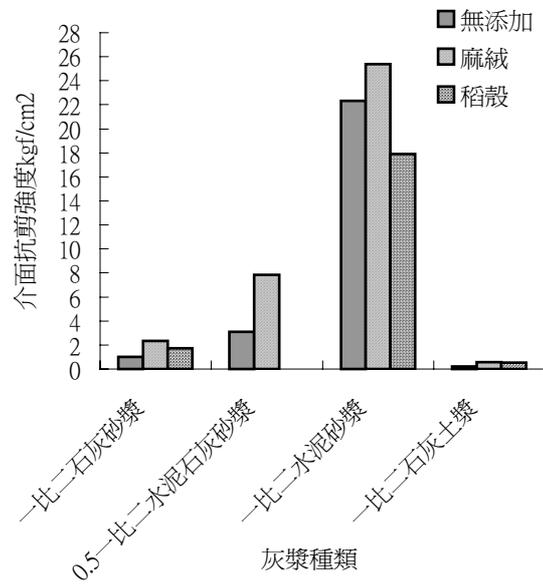


圖 4-3.23 各種纖維灰漿的介面抗剪強度比較圖

## II、灰漿黏著強度的綜合分析

### (一)細骨材

實驗結果顯示，一般而言，河砂與黃土兩種不同細骨材，以河砂較有利於灰漿黏著強度。但實際上，從不同灰砂比的數據比對中發現，膠結材料的用量才是灰漿能不能固結瓦片的主要因素，細骨材種類並不重要。

### (二)灰砂比與灰漿種類—紛亂的黏著強度排列

就不同摻料種類的灰漿而言，黏著強度的強度大小排列紛亂，但整體而言，糖石灰砂漿的黏著強度改變是最大的，會因灰砂比的降低，使黏著強度凌駕於其他種類的灰漿

之上，例如一比三糖石灰砂漿的強度甚至大於一比三水泥砂漿。事實上則其破壞位置在灰漿部分，顯示灰漿的黏著力必然大於此數。

### (三)水泥與糖漿的影響

從水泥與糖漿用量增加，但黏著抗拉強度增加趨勢漸緩的情況看，兩種混合摻料的用量增加，並不會無限制的增加灰漿的黏著性，尤以糖石灰砂漿較顯著。

即使水泥、糖漿用量的增加，分別對抗剪、抗拉強度有較佳增益，但事實上綜合黏著知抗剪與抗拉兩種強度可知，水泥對於灰漿黏著強度的提昇，仍是遠勝於糖漿的。

從 A25 為 A22 的黏著強度相差不遠可知，一般用量的糖漿與水泥有某種替代性。

### (四)纖維灰漿

纖維之強化灰漿黏著性能，若假設纖維本身無黏著性，則僅僅是減少了灰漿和瓦片的黏著面積，整個介面的有效黏著部分比無纖維時少，所以應該會降低黏著強度。但事實則否，而且從破壞試體的瓦片表面發現纖維沾附的情形看來，這樣的假設是不完整的。

因此，我們另從兩方面推測，一為纖維改變了灰漿的性質，另為灰漿中的纖維亦具有黏著性。

前節關於麻絨對灰漿強度的提昇，以及稻殼對灰漿強度的減損，皆以其緊抓硬化灰漿內部顆粒之物理作用探討。但若說明灰漿的表面狀況，則需進一步探討其是否有助於灰漿的膠結。

觀察強度提昇的試體，多數為石灰砂漿，無石灰的水泥砂漿無此現象，對於黏著性的提昇也以水泥砂漿的 1.15 倍左右最低，而以石灰砂漿 2.69 倍最高，因此推測麻絨除了前述應有助於石灰的膠結。又從養灰過程對麻絨纖維並未造成重大改變的情形看來，纖維改變灰漿的黏結性，亦應是一物理作用，亦即是「幫助」膠結材料硬化，而非參與化學反應。

其「幫助」的方法，與增加石灰膠結所需的空氣有關。從石灰砂漿試體因為加入纖維而略為提昇視孔隙率的情況推測，纖維為長條狀物，有可能空氣分子會沿纖維表面分布，甚至空氣分子移動而平衡各處所需空氣。

至於纖維的黏結性為一顯而易見的狀況，破壞試體的瓦片上，布滿麻絨與稻殼，兩種纖維並不一定在瓦灰分離時隨灰漿脫離，而是沾附在瓦片上。若前段關於纖維「幫助」灰漿膠結硬化之說法成立，這樣的纖維沾黏，其實是纖維附近的灰漿因為化學變化完全，因此處於瓦片與纖維間極薄之灰漿層將兩者相連，而形成狀似纖維黏附在瓦片上之狀況。

不過若觀察試體的破壞情形，因為原灰漿乾裂較多，加入纖維後乾縮與龜裂變少，因此，有效接著面積的增加亦應為原因之一。

## 4-4 傳統灰漿基本性質之探討

### 4-4-1 就基本性質項目探討灰漿性質

#### 一、實驗結果整理

##### (一)灰漿的重量性質

##### 1. 重量性質歸納

各種灰漿的視孔隙度、吸水率，從高到低依次為：石灰土漿、石灰砂漿、水泥石灰砂漿、糖石灰砂漿、水泥砂漿。各種比重則呈相反的排列。

灰漿加入麻絨與稻殼、以黃土取代河砂為細骨材、以及石灰、水泥、糖漿用量增加時，孔隙率會增加、兩種吸水率多數增加，各種比重則下降。

低灰砂比時，灰漿的重量性質與細骨材種類較相關；並推測在高灰砂比時，和主要膠結材料較為相關。其中，糖漿和水泥使灰砂比的影響減小。

2. 細骨材種類與乾裂。以黃土代替河砂，或以石灰代水泥，孔隙都會增加，可反應出乾縮和龜裂機會增加。
3. 水泥與糖漿的影響。石灰砂漿中，水泥增加，各項重量性質變化雖呈持平的趨勢，但若水泥量超越石灰量則呈劇烈改變，可見其傾向水泥砂漿的特性。若石灰增加，吸水率的提高趨勢亦趨漸緩，顯然其越來越接近水泥砂漿的性質。水泥改變重量性質之能力較石灰強，相對於石灰，水泥是較強勢的膠結材料。

糖漿用量增加，灰漿重量性質變化趨勢是漸緩的，可見糖漿量並不會無限的改變灰漿的重量性質。可知同為混合摻料，但是糖漿無法作為膠結材料，這和水泥可以取代石灰作為膠結材料的情況是大不相同的。

0.02 的糖漿量與 0.5 的水泥量代表匠師常用之標準量。從中間群的分析看來，二者重量性質相差不遠，而隨灰砂比增加，其重量性質變化率相似，變化率之趨勢亦類同，顯示有一定的替代性。

4. 纖維摻料的影響。麻絨與稻殼不參加化學反應，但使孔隙、吸水增加，比重降低，尤其稻殼對於石灰土漿比重之減少有較大功效，可知傳統灰漿常用稻殼的原因之一。但纖維對石灰砂漿較無效果，而且還增加了孔隙與吸水量。

水泥砂漿可能因麻絨纖維提供吸水管道，因而孔隙大、比重低。稻殼使灰漿成為輕質灰漿，但無法提供通水管道，因此水分不易進入，重量性質的改變較小。

5. 氣乾比重的意義。結構設計考量構造體自身的固定載重(dead load)時，需同時注意極

端與自然狀態下的重力性質。實驗中各項重量性質多為非自然的極端性質，如吸飽水或烘乾，而氣乾吸水率的特異數據趨勢顯示氣乾時的重量性質是需要注意的。

## (二)灰漿的色彩

1. 石灰增加可使明度  $L^*$  增加，水泥與河砂則使降低，而糖漿與黃土對於  $b^*$  值的改變相當明顯，皆因材料原有色彩之故，並應可以此鑑定已硬化灰漿之配比。
2. 各灰漿的色彩會隨其材料的種類與用量而改變，色差值雖呈現正相關，但非正比關係。當我們尋求灰漿色彩與材料使用之關係時，需以膠結硬化後灰漿中實際存在的物質討論之，不能用原材料如灰砂比等數值作為探討基礎。

## (三)試體的破壞

### 1. 強度試體的破壞模式分析

- (1) 石灰灰漿的不均勻硬化。從抗壓試體破壞的情形可以觀察出，以石灰為主要膠結材料的灰漿塊，並非質地均勻物體，而是外表化學膠結硬化，內部則以結晶硬化。進而推論抗壓與抗彎強度的主要來源應為外部化學膠結硬化的部分。
- (2) 纖維改變破壞模式。灰將加入麻絨，成為複合纖維材料，加入稻殼則成為輕質灰漿，對於破壞模式的改變遠較其他摻料為大，主要在於有利破壞時間的延遲。

### 2. 介面黏著試體

- (1) 沾黏與破壞位置。沾黏部位多在內部，應與硬化機制因部位不同而導致的強度差異有關。整體而言，因為試體荷載方式不同，抗剪實驗的沾黏較少，抗拉實驗的沾黏較多。

水泥增加使沾黏變少，多呈介面破壞，顯示水泥增加對灰漿抗拉強度的增加程度較大，但石灰呈相反情形。糖漿的使用讓破壞狀況較複雜，沾黏甚多，但糖漿用量對沾黏的程度則無顯著影響。純土漿無黏著力，其原因與本實驗所用之黃土材料性質有關。

- (2) 乾縮與龜裂。石灰灰漿在瓦片間的乾裂極普遍，內部較四周裂痕較寬，說明石灰灰漿內外的硬化機制是不同的。石灰土漿的乾裂十分嚴重，裂縫明顯大於石灰砂漿，亦較規則。纖維的使用有助減少灰漿的乾裂，增加了有效黏著面積，有助整體黏著力。
- (3) 瓦片彎曲的效應。從黏著實驗的破壞面比例可知，板瓦的彎曲程度對灰漿的抗拉能力並無明顯影響。但是抗剪力強度則有差異，凸面的黏著力較強，應歸咎於試體之差異性。

## (四)灰漿強度

1. 石灰、水泥、糖漿有助強度提昇。

2. 土漿加入石灰後，強度大幅降低。石灰降低了原乾土塊的強度，試從微觀的不均勻膠結探討，因為本實驗用的黃土均勻細小，形成結實、孔隙極少的土塊，加入石灰則只有表面極淺的部位可行化學膠結硬化，內部為軟弱的結晶硬化。若內部全為密實的土粒，則其強度顯然會高於混有石灰成分者。
3. 灰漿的「脆性」。石灰增加對抗彎強度有較佳的增強效果，但水泥增加卻是對其抗壓強度的增加效果較佳，我們以「脆性」說明此一柔軟度性質—水泥砂漿的脆性較石灰砂漿高。「脆性」亦可從抗壓/抗彎強度比值約略看出，石灰砂漿為 5.2~7.3，0.5 水泥石灰砂漿為 10.4~15.2，水泥砂漿為 13.4~19.0。
4. 纖維灰漿實為複合材料。麻絨使灰漿強度增加，稻殼則降低。加入纖維後，灰膠成為不均質的物體，實應以複合纖維材料之性質討論之。但複合材料的強度理論等特性並無定論，只能以特定材料的狀況與經驗模式討論之。

例如麻絨纖維抓住硬化灰漿的內部顆粒，提供一圍束力，減緩崩裂。而稻殼減少了灰漿塊體的有效受力面積，幾乎使所有灰漿強度變弱。

#### (五)灰漿黏著強度

1. 河砂較黃土有利於灰漿黏著強度。
2. 各種黏著強度由高到低：水泥砂漿最強，其次為 1.0 水泥石灰砂漿、0.5 水泥石灰砂漿、0.25 水泥石灰砂漿，石灰砂漿與石灰土漿則居末。其中糖石灰砂漿較為特異，隨灰砂比降低，其黏著強度大幅增加，一比三的強度甚至大於一比三水泥砂漿。且其破壞位置在灰漿部分，顯示灰漿的黏著力必然大於此數。
3. 從不同灰砂比的數據比對中發現，膠結材料的用量才是灰漿能不能固結瓦片的主要因素。亦即石灰增加，會使石灰砂漿黏著強度下降，即使含糖與水泥亦然，但卻使水泥砂漿與石灰土漿的黏著強度上升。
4. 水泥或糖漿用量增加，各種灰漿的黏著強度都有增加，但不會無限制的增加灰漿的黏著性，尤以糖石灰砂漿較顯著。其中水泥量增加且對抗剪強度有較佳的增益，而糖漿量增加對抗拉強度有較佳的增益。但綜合兩種強度可知，水泥對於灰漿黏著強度的提昇，仍是遠勝於糖漿的。
5. 0.5 水泥石灰砂漿與 0.02 糖石灰砂漿的黏著性質相差不大，顯示從黏著強度的觀點看，二者有某種替代性。
6. 麻絨與稻殼使多數灰漿黏著強度增加，稻殼水泥砂漿例外二者分別對石灰砂漿與石灰土漿有較大的效益。纖維強化灰漿黏著性能之原因可能有二：一為因為乾裂減少，有效接著面積增加。二為纖維提高空氣進入灰漿內部的機會，使灰漿化學膠結的部分變多。

#### 二、從各種基本性質項目探討傳統土磚灰漿之性質

以下以外形貌之色彩、屋面灰漿乾濕重量改變與結構穩定等項目試加探討。

#### (一) 屋面灰漿的重量

實驗結果中可知，使用石灰土漿作為灰漿，比重較石灰砂漿小許多，這應是傳統屋面使用富含黏土質的土壤製作「灰土」原因之一。屋面灰漿之重量性質，主要在於灰漿孔隙的控制，灰漿孔隙則決定於膠結材料。

灰漿的重量性質最重要的一部份，便是降雨後屋面材料吸飽水分時的重量增量，這對結構穩定有一定的影響。實驗中，所有灰漿都會吸水，石灰土漿的吸水率為 40%，可見傳統屋面灰漿的吸水重量相當大，而屋面作為傳統建築主要支撐之物，尤其具有相當厚度結合層之屋面，更不可忽視灰漿吸水之重要性。

建築體中水分的移動必須受到控制，屋面結合層灰漿上有面層瓦片下有基層望磚，直接暴露於空氣之部分不多，因此，水分之進出多數需透過磚瓦。又，多數水分進入屋面是在降雨時，液態水受壓直接流入磚瓦與灰漿孔隙，但水分離開磚瓦灰漿則需視溫溼度等環境因素，以蒸散之方式為之。傳統作法結合層的瓦片排列以下瓦壓上瓦的方式為之，除結構穩定之因素，瓦片本身以及其間隙，有利於水分向上方面層排出，減少因重力向下之水分破壞木構。

#### (二) 屋面灰漿的色彩

屋面予人的外在觀感，色彩具有很大部分的影響力，而屋面的色彩乃是由灰漿與瓦片所共同構成，並可以色彩推測已膠結硬化灰漿之配比。

實驗結果顯示，各種灰漿材料的原始色彩直接影響灰漿的顏色：白色的石灰讓灰漿顏色變亮變淺，灰色的水泥則讓灰漿變暗，糖漿明顯地讓灰漿呈現土黃色。另就灰漿色彩的均勻程度而言，實驗中的糖漿甚至因沉澱而出現漸層的色彩，顯示此灰漿已為過飽和的糖漿溶液，這與中國北方之「花灰」作法，即故意不將灰漿慢料調勻，使之呈現深淺紋路的作法並不相同。另外，麻絨與稻殼對於灰漿色彩的影響不大，尤其其性質穩定不易有色彩上的變化，因此對於灰漿色彩的恆定而言，應具有一定的效果。

#### (三) 屋面灰漿的強度

就前節屋面構造特性與屋面構造穩定之探討中，可知屋面灰漿的強度實非重要之性質要求項目。但可就相關之灰漿脆性加以探討。相對於容易自然彎曲的木構造，屋面自然需有一定的「柔軟度」來配合，亦即屋面之磚瓦需要有低脆性的灰漿作為巧工慢料。實驗結果可知「灰土」類的各項灰漿的脆性都較低，與木構造有相對較良好的配合度。

#### (四) 屋面灰漿的黏著性

木構無破壞時，屋面構造自身的穩定，需仰賴灰漿之黏結性。首先以簡單之瓦片受力情形討論灰漿的黏著力。

表 4-4.1 三種灰漿對瓦片黏著力試算

灰漿種類	黏結抗拉強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	3 公尺長瓦隴黏 著拉力之和 (kgf)	黏結抗剪強度 (kgf /cm <sup>2</sup> )	單瓦黏著剪力 (kgf)	說明
一比二石灰土漿(B20)	0.147	367.5	0.228	15.8	灰土
一比二石灰砂漿(A20)	0.216	540.0	1.034	71.8	灰砂
一比二水泥砂漿(A02)	2.225	5562.5	22.307	1548.1	

※以 25 公分見方之瓦片、合瓦隴、瓦間距為三分之一瓦長，瓦下灰漿黏著面積僅佔露出部分之三分之一等條件，列表計算其黏著拉力與剪力。(單瓦黏著面積為 69.4cm<sup>2</sup>，3 公尺長瓦隴之黏著面積合為 2500cm<sup>2</sup>。)

考量垂直瓦片的施力，以長度為 3 公尺之整列瓦隴受垂直屋面之風力吹襲為例，如圖 4-4.1。據營建法規參考(吳卓夫 葉基棟 1991 上冊: 44)之風力計算，台灣多數平原地區，屋面水平角大於 30 度的建築物，迎風之該瓦隴受垂直屋面之風壓力最大為 225 公斤重，因此即使為負壓拉拔，此風力亦小於灰漿之黏著力，故無法撼動瓦片，此數尚未計入瓦片自重。

考量平行瓦片的施力，以抽換瓦片為例，如圖 4-4.2。傳統的「灰土」只需以 15.8 公斤重之力即可抽換，即使瓦底滿鋪意只需 23 公斤重之力，但若以水泥砂漿鋪瓦，則需 1548.1 公斤之力方可達成，此一施力大小已足以擾動周圍瓦片，因此無法進行單一瓦片的抽換。

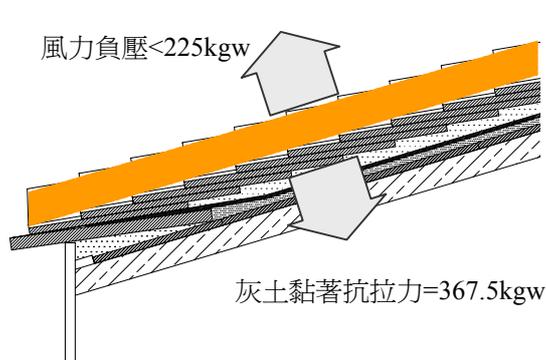


圖 4-4.1 整列瓦隴受垂直屋面之風力吹襲之受力圖

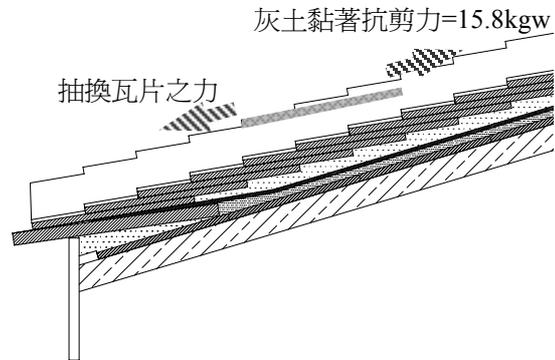


圖 4-4.2 抽換瓦片之受力圖

因此，傳統建築使用「灰土」為灰漿屋面灰漿，其黏著力已足夠應付一般的風力，亦有利於瓦片之抽換，若加入稻殼等纖維摻料，依實驗結果顯示，更可降低重量，加強黏著力，儘管強度降低，但屋面的結構穩定需視下方木構之穩定，因此灰漿的強度並不重要。事實上，抗彎強度最強的水泥砂漿，亦無法阻止屋架破壞時的自重下壓，一樣會導致屋面構造之斷裂。另外考量灰漿材料之「脆性」，據實驗結果亦可知石灰土漿的柔軟度最佳。因此，傳統建築使用天然土壤和石灰拌合成的「灰土」作為屋面灰漿實有其意義。

#### 4-4-2 就灰漿材料之使用探討土庫灰漿性質

##### 一、實驗結果整理

此處就灰漿材料使用之觀點，探討對於灰漿性質之影響如何。首先說明本實驗採用的灰漿材料有：

- ◎細骨材：河砂、黃土。
- ◎主要膠結材料：石灰。
- ◎混合摻料：糖漿、水泥。
- ◎纖維摻料：麻絨、稻殼。

各種材料對於灰漿基本性質的影響，可分為以下幾點，並參照表 4-4.3。

- (一)使用黃土作為細骨材時，灰漿的吸水率較河砂大、比重較小，又，抗壓強度較大、而抗彎強度較小，顯示其河砂灰漿性質較脆，各項性質差異均極為顯著。僅黏著性多數以河砂較佳，需視灰砂比而定。
- (二)石灰用量增加時，灰漿的吸水、強度變大，顏色變淺，但黏著強度需視細骨材種類而定，若為河砂則黏著強度會略降低，若在純黏土塊(土漿)中加入石灰反而會使強度大量減少。
- (三)水泥或糖漿用量增加時，灰漿的吸水減少，強度與黏著性變大。水泥使顏色變暗，糖漿使顏色偏黃且不均勻，其用量與灰漿性質關係顯著。
- (四)纖維材料的不確定性因素較多，因此呈現較紛亂的性質表現。基本上，麻絨和稻殼兩種纖維都使灰漿吸水率變大，顏色稍偏黃，黏著性多數變大，比重多數降低。灰漿強度方面，稻殼基本上使強度變弱，麻絨因纖維之圍束效應使強度增加。

表 4-4.2 各項基本性質概要 (↗表示增加，↘表示降低)

灰漿種類	摻料變因	基本性質				說明：
		色彩	吸水*	強度**	黏著***	
砂漿	石灰↗	L*↗	↗	↗	↘	*「吸水」指吸水率，重量性質中的吸水率與視孔隙度在各種實驗變因之下都有相同的趨勢，體比重的趨勢則與之相反。 **「強度」指灰漿的抗壓強度以及抗彎強度，二者在各種實驗變因之下都有相同之趨勢。 ***「黏著」指灰漿的黏著抗拉強度以及黏著抗剪強度，二者在各種實驗變因之下都有相同之趨勢。
	水泥↗	L*↘	↘	↗	↗	
	糖漿↗	b*↗	↘	↗	↗	
土漿	石灰↗	L*↗	↗	↗	↗	
	加入石灰	L*↗	---	↘	↗	
纖維灰漿	加入麻絨	b*↗	↗	↗ (水泥砂漿↓)	↗	
	加入稻殼	b*↗	↗	↘ (石灰砂漿↗)	↗ (水泥砂漿↘)	

##### 二、從灰漿材料之使用探討土庫之修復

在當代營建體系的影響之下，當代古蹟屋面修復經常使用非傳統的材料，例如水泥便是最常用以取代石灰的膠結材料，以下便以灰漿基本性質之材料觀點，探討新材料使用的合理性。

### (一)細骨材

當代古蹟修復多用河砂取代天然土壤作為細骨材，本論文的實驗結果如表 4-4.2 發現，其吸水率小、但比重變大。另外，河砂灰漿強度性質較脆，再從孔隙率以及施工經驗看，黃土灰漿的乾裂較大。整體而言似乎以黃土為細骨材為較佳選擇。

就材料觀點，良好的細骨材意指有良好級配，但傳統建築取材山邊田野的天然土壤作法，或是當代建築工程所用大顆粒河砂，都很難用在當代的古蹟修復上，因此未來如何應古蹟修復之需要，獲得合理級配的細骨材，實為一重要工作。

表 4-4.2 三種灰漿重量性質試算

灰漿種類	體比重	氣乾比重	吸水率	吸水比重	說明
一比二石灰土漿(B20)	0.87	0.90	37.0%	1.20	灰土
一比二石灰砂漿(A20)	1.12	1.14	24.5%	1.40	灰砂
一比二水泥砂漿(A02)	1.57	1.62	12.0%	1.76	

### (二)水泥、糖漿與石灰

古蹟修復進行時，消石灰因為黏著度不加，而常以強度大與黏著性佳的水泥取代作為膠結材料。而本論文實驗結果顯示，相較於石灰砂漿和石灰土漿，水泥砂漿除了具有超大強度和極佳的黏著性表現之外，甚低的吸水率使其雨後重量增加不致過多亦為優點，但重量加重、顏色灰暗。

前章說明色彩經常是古蹟修復屋面灰漿水泥用量的決定因素，此就材料性質而言實為本末倒置。就重量性質言，如表 4-4.2 之試算，儘管水泥砂漿的吸水率甚低，但其重量(體比重)原即相當高，因此吸飽水(吸水 24 小時)的比重仍遠勝另兩者。

就力學性質言，前文已討論黏著性對於屋面結構穩定和屋瓦抽換的關係，而灰漿強度對屋面構造之穩定無益，實無須關注。而水泥砂漿「脆性」較高，一但木構破壞結合層灰漿即行脆裂難以彌補，若為灰砂或灰土，其斷裂隨木構變位而隨時調整，若無膠結材料的天然土壤則裂縫更容易隨時被填補。因此本論文認為水泥必須被合理的使用，尤其要考慮其剛性與色彩，並注意 Feildon 提出的幾項原則<sup>3</sup>。例如良好比例的水泥石灰砂漿即可為未來研究之目標，兼可解決石灰黏著性低，以及水泥脆性過大之缺點。

考量其他的替代或輔助膠結材料，本論文以糖漿為例。糖漿並不常用於屋面，而用於砌體之磚縫，實驗結果顯示糖漿對於灰漿的強度與黏結性亦有相當的作用，亦發現糖漿用量是石灰的 0.04 時已經過量。若以有助灰漿膠結之混合材料比較水泥與糖漿，據本

<sup>3</sup> B. M. Feildon 指出水泥之使用需注意：水泥的不可逆，強度與原材料差異過大，對鄰近材料有危害，孔隙低但易藏水，收縮裂縫的影響，較易產生白華，形成傳熱冷橋，以及灰暗色彩對審美的影響。

論文之調查，0.02 的糖漿量與 0.5 的水泥量代表匠師常用之標準量，二者重量性質、黏著性質相差不大，具有某種替代性。但強度則以水泥的增益大了許多，另就色彩的觀點，二者則有差異極大的表現。

### (三)纖維材料之使用

實驗結果顯示麻絨的對灰漿強度增益許多，《法式》中每種灰漿都加麻絲即可知其效果良好。稻殼亦是重要的摻料，前文既已說明無須顧慮灰漿之強度，因此稻殼雖使灰漿強度稍減，但再重量上有一定減輕。另外，二者對於灰漿黏著性都有很大程度的增益。纖維材料的缺點是使用不易，如何使纖維材料均勻散佈灰漿之中，是一重要關鍵。另外，麻絨強度實驗重出現的圍束效應，亦可使屋面在破壞後，可以減緩屋面的崩落速度。

## 4-5 實驗討論

關於實驗過程之各項可能影響實驗結果的事項加以探討。

### 一、模具影響石灰灰漿之硬化情形

灰漿的膠結原理一節中已說明其石灰灰漿硬化時，內部為結晶硬化，外部為碳化之硬化，這種情況可以從實驗結果之分析中看出其確實存在，這種不均勻硬化的情況，我們歸因於石灰乃是氣硬性材料，其硬化會隨實際施作時的規模大小與有效接觸空氣之部分，使兩種形式的硬化之比例不同。

因此，本實驗之強度實驗採用水泥砂漿之試體製作方法，若試體以石灰為主要膠結材料，則只能代表相同規模與形狀試體的抗壓與抗彎強度，無法確實表現相同材料不同尺度的狀況。例如，水泥砂漿的抗壓強度可以直接應用在鋼筋混凝土的結構計算上，但是石灰砂漿若要應用在結構計算上，則需另作修正。

同樣受到模具規模與形狀限制的狀況發生在纖維灰漿，尤其麻絨的延伸受到模具阻礙，致使荷重源之施力末期受到纖維圍束作用的強大阻抗，猜測若模具尺度放大，則類似的灰漿圍束作用將會減小，因此實驗數據亦無法表現不同尺度的纖維灰漿。

這樣的模具造成的實驗限制條件，除了影響強度，因為石灰灰漿膠結極慢，因此也影響開模時間，而模具為單面開放，因此與另五個可能有極為不同的膠結情形，這些都是需要關注的問題。

### 二、黏著試體的膠結情形與破壞位置難以認定

本實驗特別設計的黏著實驗試體，目的是為了解決灰漿強度差異過大，以及應付強度極低的灰漿所設計，試體在製作時亦花費極多時間。此外，兩瓦片間的灰膠結情形極

難控制，經常碎裂成多塊，雖實驗結果仍可看出某些相應關係，但就實際試體的破壞情形看，可能需要更多的試體個數以及更精確的試體製作技術，以解決這一灰漿之乾裂問題。

黏著拉力實驗中，因為灰漿強度與黏著力之界線難分，經常出現部分破壞在黏著面處，部分是瓦灰漿拉力破壞，使得灰漿的破壞紀錄倍加困難，在實驗結果分析時，也不容易解釋其確實原因。

### 三、細骨材「黃土」的問題

傳統灰漿細骨材為黏土與砂的混合物，本實驗以「黃土」模擬之，對此黃土詳細的描述是「棕色黏土質沉泥夾風化岩礫」，砂質顆粒只占 26%(實驗用河砂有 93%的砂質顆粒)。後來的實驗說明這樣的細骨材若未加石灰(B00)，在硬化後有良好強度表現，但黏著實驗試體兩塊瓦片中的黃土漿乾縮極大，致使卻無法製作有效試體。實驗過程中曾嚐試混合兩種實驗細骨材，但仍有相同情形，推測實驗用黃土乃是精製過的材料，顆粒看似極細，粒徑分析甚至用沉澱法，結果證明有 74%是沉泥或黏土，推論其顆粒表面普蜀蘭效應強烈，凝聚力大雖讓強度變大，但也使之有較大的乾縮。同樣在重量性質實驗中，黃土塊(B00)一浸入水中即行溶解，因此以置入飽和蒸氣室 7 日作為吸水重，但不計入實驗數據之比較分析。

因此，「灰土」與「灰砂」試體相較之下，以河砂作為細骨材的「灰砂」試體顯然較為貼近實際之灰漿。以黃土為洗骨材的各類「灰土」試體則和現實有較大差異，尤其是無石灰的 B00 試體。

### 四、灰砂比之意義

本實驗之灰砂比，實指「石灰與細骨材的比例」，目的是要知道石灰的使用量對各種基本性質之影響。但是同樣是膠結材料的水泥用量增加時，卻無法顯示在灰砂比的改變上。

就材料分類的定義上，傳統灰漿的膠結材料是石灰，在傳統營建觀念裡，可以讓灰漿膠結硬化。因此，若我們視石灰為「傳統材料」，則相對之下水泥實為當代所添加，為了加強灰漿膠結硬化之物質，在傳統營建觀念裡並不強調其所具備的膠結能力。所以，本論文為了讓這樣的營建觀念能清楚地被區分，稱石灰為「主要膠結材料」，而水泥是「混合摻料」。

儘管在後來的實驗結果分析過程中，仍以水泥具備強大的膠結能力之觀點作各項說明，但實驗圖表中的灰砂比是不包括水泥用量的。

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

#### 5-1-1 實驗結果整理

本論文以 30 種新拌灰漿，模擬傳統屋面灰漿，並進行基本性質實驗，以其實驗結果探討實際的屋面營建。就實用觀點整理實驗結果如下。

- 一、細骨材之使用，若與黃土相比，河砂的吸水率小、比重大、脆性大。
- 二、以河砂為細骨材
  - (一) 石灰的增加，雖使強度增加，但黏著性降低，吸水率增加，明度增加。
  - (二) 水泥、糖漿增加，使強度與黏著性都增加，但可降低吸水率，水泥使明度降低，糖漿使偏黃。
- 三、以黃土為細骨材
  - (一) 隨石灰的增加，強度與黏著性皆提高，吸水率也增加，明度增加。
  - (二) 土漿強度極高，但無黏著性，加入石灰強度降低，但有黏結性，使色彩偏黃。
- 四、使用纖維
  - (一) 麻絨使強度提高(水泥砂漿除外)，黏著性提高，色彩偏黃。
  - (二) 稻殼使強度降低(石灰砂漿除外)，黏著性提高(水泥砂漿除外)，色彩偏黃。

#### 5-1-2 以材料觀點探討傳統屋頂灰漿性質與修復

本論文以材料觀點，即實驗結果所代表的屋面灰漿基本性質，試論傳統營建中屋面灰漿之性質與當代修復使用材料之合理性等議題，提出以下幾點。

- 一、灰漿材料的原始色彩直接影響灰漿的顏色。

石灰使灰漿色彩偏白，水泥使偏灰，糖漿與黃土使呈土黃色。就實用性而言，以灰漿色彩分析灰漿配比之研究，實為傳統建築構造材料檢測重要方法之一。

- 二、傳統屋頂使用「灰土」作為灰漿實有其意義。

「灰土」(石灰土漿)的吸水高達 40%，不論乾濕皆是最輕之灰漿。「灰土」類灰漿脆性低，與木構造有相對較好的配合度。且其黏著力已可抵抗多數之風力負壓，亦有利於瓦片之抽換，顯示已提供了合理的黏著性來達成結構之穩定。

### 三、屋面灰漿的脆性較其強度重要

當代營造對屋面構造的簡化思考，因此多用強度甚大的水泥最為膠結材料，實則無此必要，反而油強度簡略說明的脆性才需被關注。

### 四、纖維之實用性甚高

麻絨的對灰漿強度和黏著性增益許多，稻殼雖使灰漿強度稍減但對黏著性亦有增益，且重量減輕，拌合時需注意使其均布在灰漿之中。另外，麻絨應可減緩屋面的崩落速度。

### 五、水泥、糖漿與石灰之替代性

雖有重量過重、顏色灰暗，但水泥具有良好黏著性和極低的孔隙與吸水，應為良好的石灰替代材料，但必須被合理的使用，考慮其剛性與色彩。而 0.02 的糖漿量與 0.5 的水泥量，二者重量性質、黏著性相差不大，具有某種替代性。

### 六、從理解屋面的構造特質進而追求材料使用的合理性

綜合以上所述，觀察當代古蹟修復使用河砂、水泥、鐵件等各種補強材料，都是對屋面構造強度的過分要求，顯然受到當代營建材料使用觀念之影響，亦顯見當代修復對傳統建築構造的不熟悉以及對傳統材料不信任。

## 5-2 後續研究建議

### 一、傳統建築材料實驗方法

傳統建築材料之研究遇到的第一個問題，便是對於材料的地方性，此一地方性漿材料的性質複雜化，影響了研究對象及實驗方法之決定。當代常用建築材料在科學研究的導引之下，可以獲得經濟性以及技術性之最佳用法，但是傳統營建並無此一機制，在就地取材與傳統工法影響下的材料使用方法，要將之納入科學研究之體系中，必然有其困難性。因此，對於傳統灰漿材料的實驗原理與實際方法，必然在研究過程中耗費最多的時間精力，此實為傳統建築材料實驗在初期研究之困難處。

本論文從傳統屋面之作法研究開始尋找常用的屋面灰漿材料，接著便在實驗方法的探求上遇到極大問題，首先是石灰的接節原理與水泥不盡相同，但所有實驗規範的實驗標的物都是水泥系的材料，容或有與本論文相同的實驗對象，但是驗目的與項目都不是用於營建，例如大地工程之材料種類繁多，但均非用於房屋之營建。接著是預定的實驗試體強度難以預估，因此實驗試體與夾具需重新設計製作，造成實驗試體的製作便花費許多精力時間。實驗設備之準備過程亦有相同問題，基本上本實驗僅需簡單的荷重量測設備即可，如萬能壓縮試驗機，但因為實驗試體數量多，且強度差異過大，又難以預估，

因此尋求適合之實驗設備成爲實驗進行前耗時最多之事。

對於從事建築材料性質之研究者，本論文建議以單一的實驗方法，對多種實驗對象進行研究。單一的實驗方法有助於實驗方法合理性之深入推求，多種的實驗對象，更是因應傳統建築材料的地方性而產生之多樣化材料。透過這樣的模式，累積經驗知識，期望能在未來能夠爲傳統建築之研究，建立系統化、標準化的研究方法與實驗規範。

## 二、未來的屋頂與灰漿相關研究

傳統建築技術性研究之起點，必然從傳統建築之作法開始。本論文在初期研究階段亦以傳統建築之訪查爲目標，而一般匠司並無法完全了解，傳統建築灰漿之配製本爲經驗之事，何來所謂配比與實驗？亦常以重建師徒制度爲傳統建築技術之途徑。本論文在第一章便已說明多樣化的研究面向將有助於傳統建築研究之完整性，但從這裡或可理解另一件事，即傳統建築之營建實有一大部分來自於匠司之經驗與創意，例如匠司經常表示屋面灰漿其事並無大變化，但實際施工時，卻需應現場狀況調整灰漿配比，雖只是微小的調整，但顯然對灰漿性質有相當之影響。

基於此，本實驗簡化了灰漿材料之種類，但增加其配合之比例。不論如何，實際的實驗結果顯示，傳統屋面灰漿的基本性質的確可以合乎建築構造之各項營建目標，但是實際上的傳統建築之屋面破壞未曾一日稍減，可見必然有其他的因素主導屋面之破壞。

這些因素主要應有兩種，一個是屋面營建時的作法，二則爲屋面構造材料的老化。這兩者亦應是未來屋面研究的重點，同時，本論文關於屋面灰漿材料基本性質，也必須在未來作進一步的研究，以作爲這兩個研究議題之基礎。

## 參考書目

- 上海市建築材料行業協會  
1993,《實用建材手冊》,上海科學技術出版社出版
- 中國土木工程學會出版委員會  
1996,《混凝土及圬工》,臺北:科技
- 日本建築學會  
1994,《建築材料實驗教材》,臺北:詹氏
- 王天  
1992,《古代大木作靜力初探》,北京:文物
- 王訓濤  
1977,《中國土木工程學會會刊第四卷》〈土壤添加石灰及稻殼灰穩定處理後之工程特性研究〉,中國土木工程學會
- 王惠君  
2002,《台灣古蹟及歷史建築防震技術之研究》〈磚材受震破壞行為之研究〉,行政院國家科學委員會
- 王瑞珠  
1993,《國外歷史環境的保護和規劃》,臺北:淑馨
- 王纓茂  
1969,《土木工程材料學》,台南:大明
- 江錦財  
1992,《金門傳統民宅營建計劃之研究》,國立成功大學碩士論文
- 吳卓夫 葉基棟  
1991,《營造法與施工》(上、下冊),臺北:興樞
- 宋佩瑄 黃馨  
1989,《土木工程材料學》,大中國出版社
- 李允鈺  
1990,《華夏意匠》p.221-223,臺北:明文
- 李乾朗  
1992,《艋舺龍山寺研究調查》,台北市政府
- 李誠  
1974,《營造法式》臺北:聯經
- 杜仙洲  
1984,《中國古建築修繕技術》,臺北:丹青
- 沈茂松  
1990,《實用土壤力學試驗》,臺北:文笙
- 周耀鑾 黃依典  
1984,《土木工程材料學》,臺北:科教
- 明文書局  
1982,《中國建築史論文選輯》〈我國古代建築屋面防水措施〉,臺北:明文
- 林邦輝  
1981,《台灣傳統閩南式廟宇營建與施工之研究》,國立成功大學碩士論文
- 林揚  
1993,《外牆預鑄混凝土版面磚預貼黏著強度之研究》,國立成功大學碩士論文

林會承

1995,《台灣傳統建築手冊》,台北:藝術家

林義傑

1998,《台灣傳統廟宇屋頂形構之分析——一種形式研究方法論的初探》,國立成功大學碩士論文

祁英濤

1986,《中國古代建築的保護與維修》,北京:文物

邱上嘉

2002,《台灣古蹟及歷史建築防震技術之研究》〈傳統磚砌建築灰縫裂化與破壞之研究〉,行政院  
國家科學委員會

1990,《台灣一般傳統木構造民宅營造技術的多樣化研究——以嘉南平原地區匠師訪談為例》,東海  
大學碩士論文

姚承祖 張至剛

1987,《營造法原》,台北:明文

孫臆勛

2002,《灰塵與雨水作用造成建築物外牆污染之研究——以表面粗度與角度因子探討之》p.4-28~30,國立  
成功大學碩士論文

徐明福

1993,《台灣傳統民宅及其地方性史料之研究》,台北:胡氏

2001,《古蹟與歷史建築屋頂修復研習會文集》〈台灣閩客傳統建築屋頂的類型與作法〉,國立文化資產保  
存研究中心

徐裕健

1980,《台灣傳統建築營建尺寸規制之研究》,國立成功大學碩士論文  
財團法人成大研究發展基金會

2001,《歷史建築震損及維護方式之研究(二)砌體構造》,行政院文化建設委員會

張宇彤

1991,《澎湖地方傳統民宅營造法探微》,私立東海大學建築研究所碩士論文

國立成功大學建築學系

1996,《台南市三級古蹟西華堂調查研究及修護計畫》,台南市政府

培通 王堯雄(Patton, William J.)

1977,《營造材料學》,臺北:科技

張宗圻

1972,《建築材料》,臺北:大聖

張俊宏

2002,〈艋舺龍山寺明國丁丑年修護實務紀實簡報〉,艋舺龍山寺

梁思成 何仲伊

1996,《新訂清式營造則例及算例》,台北:明文

梁思成

1984,《營造法式註釋》,台北:明文

郭勇鑫

2000,《建築物牆面石材濕式工法黏著強度之研究》,國立成功大學碩士論文

陳太農

2001,《古蹟與歷史建築屋頂修復研習會文集》〈西式馬薩頂之構造與施作〉,國立文化資產保存研究中心

陳明生

- 1994,《紅磚、砂漿與其介面之基本力學性質研究》,國立成功大學碩士論文  
陳盈宏
- 1998,《ALC 板外牆面磚黏著強度之研究》,國立成功大學碩士論文  
陳意如
- 1990,《清工部《工程做法》與梁氏《清式營造算例及則例》中大木做法之比較研究》,國立成功大學碩士論文  
陳國顯 陳清泉 高健章 蔡益超
- 1984,《紅磚與磚牆力學特性之試驗研究》,行政院國家科學委員會  
雲南工業大學等
- 1995,《建築材料》,重慶:重慶大學  
黃兆龍
- 1984,《混凝土材料品質控制試驗》,臺北:詹氏  
裘熾昌 柳恒傳 黃祖驥
- 1994,《常用建築材料手冊》,中國建築工業出版社  
廖武治
- 2002,《大龍峒保安宮古蹟保存經驗》,台北:財團法人台北保安宮  
趙國華
- 1983,《土力與基礎》,臺北:科技  
漢光建築師事務所
- 1994,《鹿港龍山寺修復工程記錄與研究工作報告書》,彰化縣政府  
劉致平
- 1984,《中國建築類型與結構》p.126-142,台北:尙林  
潘谷西
- 1994,《中國建築史》p.390-391,臺北:六合  
蔡守智
- 1988,《建材特性與營建》p126-143,台北:詹氏  
閻亞寧
- 1989,《古蹟磚石構材製作與應用之調查研究》,行政院文化建設委員會  
薛琴
- 1996,《第六次古蹟修護技術研討會專輯》〈傳統灰作施工方法〉,行政院文化建設委員會  
羅哲文
- 1994,《中國古代建築》,台北:南天  
Feilden, Bernard M.
- 1994, “Conservation of Historic Buildings” , Oxford: Butterworth Architecture  
Das, Braja M.
- 1998 “Principles of Geotechnical Engineering” Boston: PWS  
Warren, John
- 1999, “Conservation of earth structures” , Boston: Oxford

## 附錄

## 附錄一 實驗數據彙整

灰漿 編號	色彩			重量性質			灰漿強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		灰漿黏著強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	L*	a*	b*	視孔隙度	體比重	吸水率	抗彎 強度	抗壓 強度	黏著抗拉 強度	黏著抗剪 強度
A02	72.57	-8.82	+7.11	19.00%	1.57	12.00%	53.13	275.02	2.222	16.978
A021	71.76	-0.87	+8.41	21.50%	1.40	15.40%	48.46	201.16	1.982	26.457
A022	70.62	-1.04	+7.91	19.20%	1.53	12.60%	44.48	219.08	2.895	17.945
A03	74.66	-0.64	+7.55	19.70%	1.53	12.90%	42.10	174.41	2.042	17.485
A10	87.53	-0.15	+6.64	31.80%	0.89	35.80%	4.75	5.32	0.033	0.354
A12	85.83	-0.14	+8.20	29.10%	1.02	28.70%	13.29	35.58	1.025	4.063
A15	77.91	-0.49	+12.88	27.70%	1.08	25.60%	6.08	10.48	0.658	1.658
A20	85.00	-0.48	+5.96	27.40%	1.12	24.50%	3.75	4.98	0.135	1.067
A201	82.60	-0.63	+8.44	27.60%	1.09	25.40%	2.82	8.26	0.548	2.607
A202	82.30	-0.65	+9.29	27.50%	1.08	25.40%	1.75	5.13	0.484	1.804
A21	84.24	-0.22	+7.94	27.10%	1.14	23.80%	6.39	13.46	0.336	1.423
A22	84.30	-0.26	+8.77	27.70%	1.12	24.70%	9.19	25.71	0.786	5.162
A221	82.13	-0.22	+10.15	26.90%	1.14	23.70%	11.57	42.05	0.834	6.065
A23	82.01	-0.18	+8.74	25.50%	1.21	21.00%	36.86	110.23	0.101	0.521
A24	83.34	-0.60	+8.96	29.70%	1.12	26.80%	4.12	8.61	0.662	1.965
A25	77.00	-0.61	+13.11	24.80%	1.25	19.80%	5.88	9.65	0.946	2.280
A26	65.41	+0.64	+18.02	23.80%	1.26	18.90%	6.28	16.47	1.046	1.936
A30	83.19	-0.31	+8.36	26.70%	1.18	22.70%	2.49	4.80	0.381	1.252
A31	83.71	-0.33	+7.65	25.30%	1.25	20.20%	5.81	15.90	0.760	4.053
A32	83.23	-0.39	+8.81	25.30%	1.24	20.40%	6.88	29.03	0.628	3.337
A33	79.40	-0.37	+9.54	24.10%	1.29	18.60%	28.38	105.60	0.234	1.826
A35	76.01	-0.45	+12.38	22.60%	1.38	16.40%	5.24	12.80	1.789	2.965
B00	58.28	+0.83	+20.69	n/a*	n/a*	6.60%*	8.54	26.82	<0.004*	<0.004*
B001	53.01	+1.68	+20.93	n/a*	n/a*	6.40%*	8.57	31.72	<0.004*	<0.004*
B002	52.91	+1.73	+20.13	n/a*	n/a*	7.60%*	6.56	22.34	<0.004*	<0.004*
B10	80.93	-0.32	+11.49	33.10%	0.81	40.70%	3.60	9.87	0.069	0.260
B20	76.38	-0.10	+13.32	32.10%	0.87	37.00%	2.83	11.93	0.147	0.168
B201	76.86	-0.29	+13.39	32.30%	0.86	37.40%	4.01	13.18	0.252	0.657
B202	76.01	-0.24	+14.38	33.20%	0.82	40.70%	1.71	8.21	0.294	0.566
B30	74.69	-0.06	+15.29	32.60%	0.89	36.70%	2.04	11.14	0.058	0.243

\*無石灰之 B00 土漿溶於水，故吸水重改以飽和溼氣室中 7 日之重量計算。黏著強度亦因乾縮無法量測。

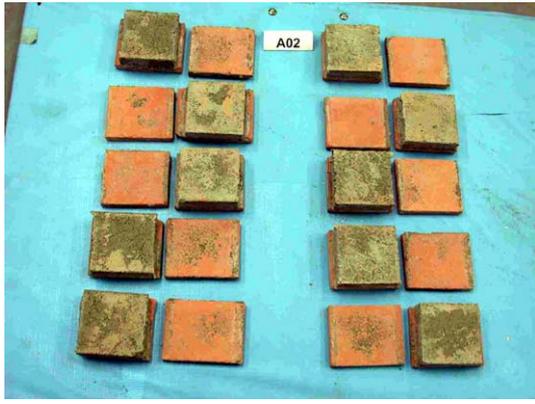
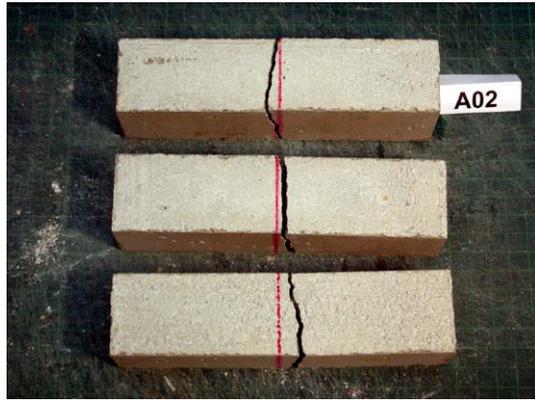
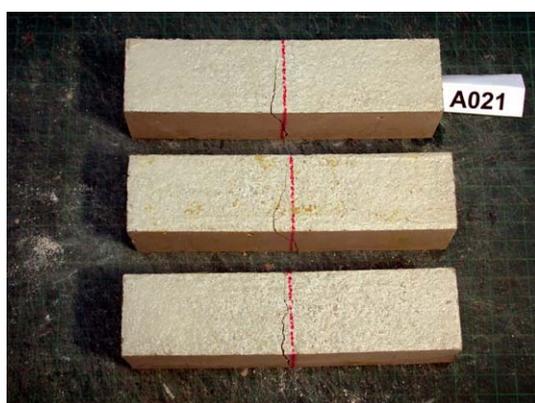
附錄一 實驗數據彙整(續)

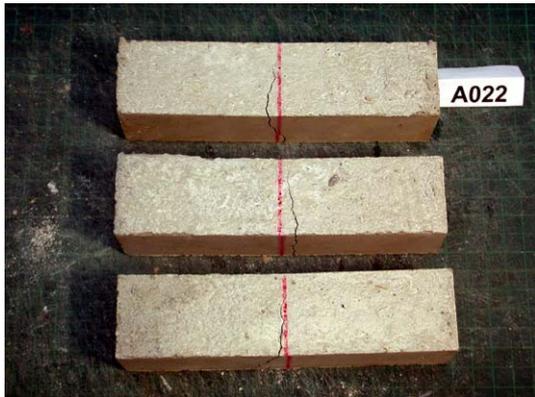
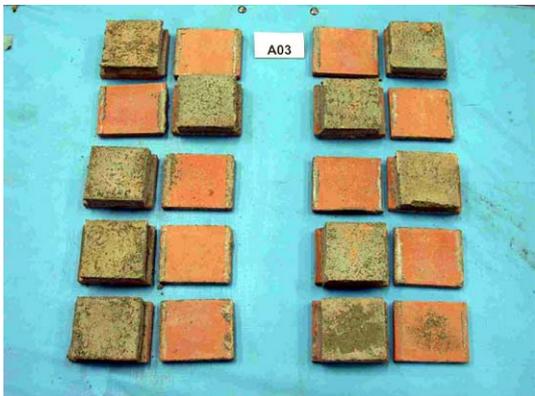
灰漿 編號	重量性質(續)			氣乾單位重 (kgw/cm3)**	灰漿拌合用水量	
	SSD 比重	氣乾 吸水率	氣乾 比重		水/石灰	流動性
A02	1.76	3.19%	1.62	2041.1	0.58	106%
A021	1.62	3.50%	1.46	1975.9	0.67	(99%)*
A022	1.70	3.25%	1.56	1863.6	0.60	(95%)*
A03	1.74	2.71%	1.58	1951.3	0.80	112%
A10	1.19	1.26%	0.89	1232.0	1.00	115%
A12	1.29	3.27%	1.03	1457.9	1.05	115%
A15	1.36	1.72%	1.10	1464.7	0.70	112%
A20	1.40	1.10%	1.14	1524.0	1.00	108%
A201	1.37	1.14%	1.11	1476.3	1.05	(—)*
A202	1.37	1.18%	1.11	1456.4	1.05	(102%)*
A21	1.40	1.90%	1.16	1551.1	1.05	114%
A22	1.39	2.41%	1.14	1596.7	1.00	115%
A221	1.40	2.82%	1.17	1555.0	1.10	(—)*
A23	1.46	3.86%	1.25	1693.4	1.20	111%
A24	1.51	1.22%	1.21	1553.2	1.00	114%
A25	1.51	1.47%	1.28	1627.0	0.80	115%
A26	1.53	1.41%	1.30	1627.7	1.70	106%
A30	1.44	0.92%	1.18	1655.6	1.30	110%
A31	1.50	1.60%	1.27	1659.7	1.10	110%
A32	1.48	2.31%	1.26	1660.1	1.20	110%
A33	1.53	3.24%	1.34	1763.1	1.30	108%
A35	1.58	1.04%	1.37	1729.0	1.00	114%
B00	(non)	2.35%	(non)	1838.3	0.40	106%
B001	(non)	2.39%	(non)	1831.6	0.45	(—)*
B002	(non)	2.47%	(non)	1818.8	0.45	(—)*
B10	1.16	2.08%	0.84	1158.7	1.40	105%
B20	1.20	2.09%	0.90	1219.5	2.15	111%
B201	1.19	2.01%	0.89	1228.6	2.10	(—)*
B202	1.14	2.04%	0.83	1181.3	2.10	(99%)*
B30	1.21	3.66%	0.92	1277.3	2.40	98%

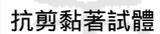
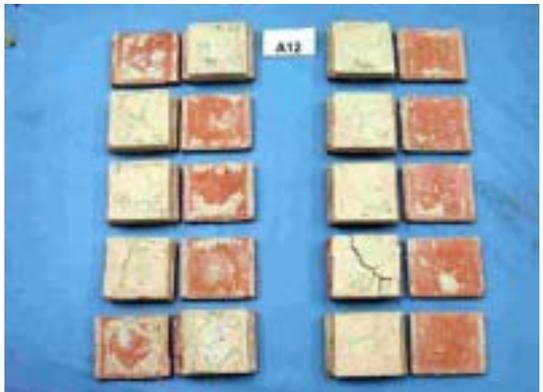
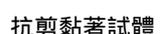
\*纖維灰漿不作流動性試驗。流動性以 105~115%為合格。

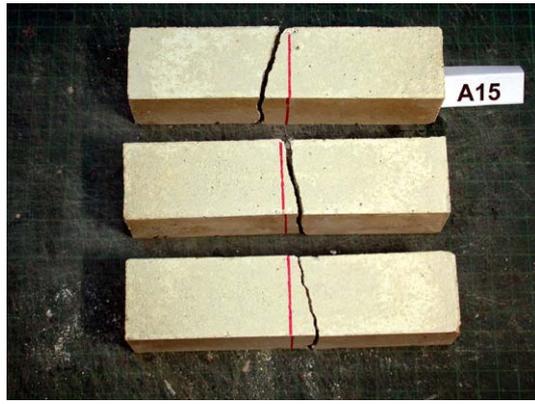
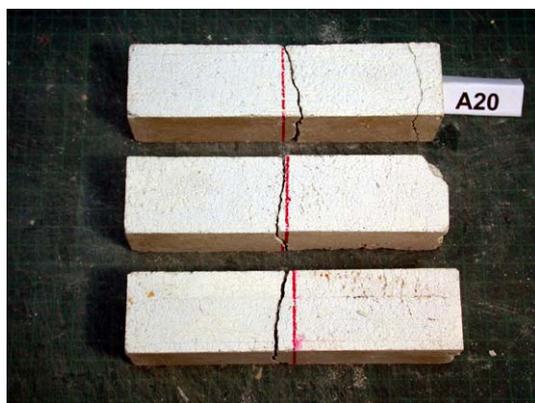
\*\*氣乾單位重為灰漿強度實驗前對兩種共 6 個試體量測尺寸與重量計算而得。

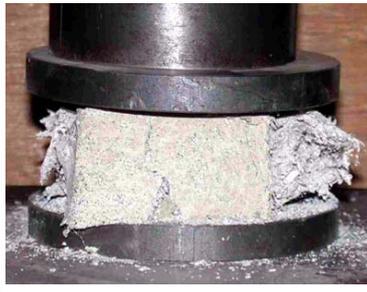
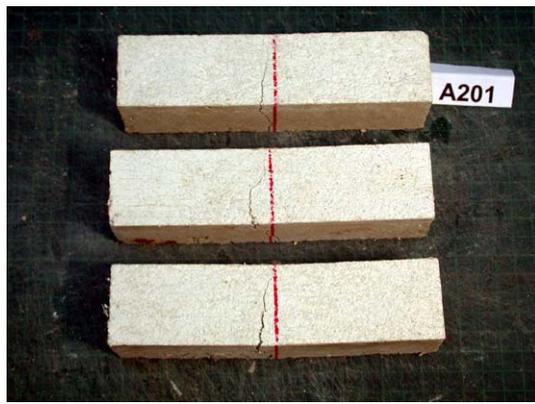
附錄二 試體破壞狀況與數據彙整

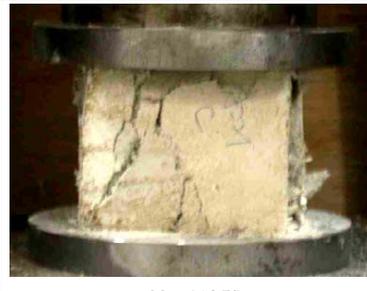
<p><b>A02 (一比二水泥砂漿)</b></p> <p>配比：(無石灰)，河砂 2，水泥 1，(無纖維)，水 0.58。流動度= 106%。</p> <p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 72.57， -8.82， +7.11</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 19.00%， 1.57， 12.00%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 53.13， 275.02 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 2.222， 16.978 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 1 無 4 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 2 無 3 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 2041.1 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>	
<p><b>A021 (一比二水泥砂漿加麻絨)</b></p> <p>配比：石灰(無石灰)，河砂 2，水泥 1，麻絨 0.025，水 0.67。流動度= (99%)*。</p> <p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 71.76， -0.87， +8.41</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 21.50%， 1.40， 15.40%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 48.46， 201.16 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 1.982， 26.457 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 3 無 2 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 4 無 0 點 0 面 1 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1975.9 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>	

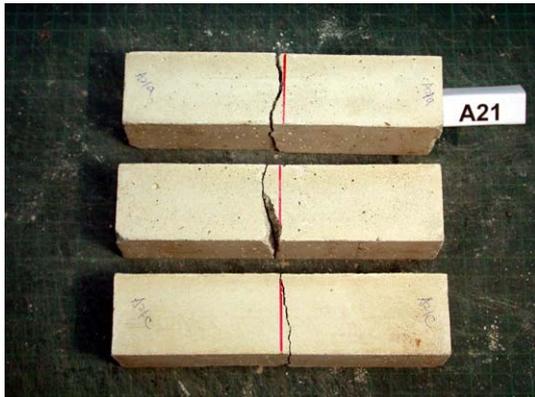
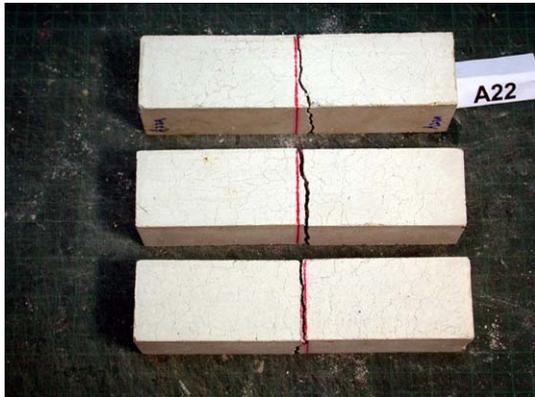
<p><b>A022 (一比二水泥砂漿加稻殼)</b></p> <p>配比：石灰(無石灰)，河砂 2，水泥 1，稻殼 0.025，水 0.60。流動度= (95%)*。</p>	
<p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 70.62, -1.04, +7.91</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 19.20%，1.53，12.60%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 44.48，219.08 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 2.895，17.945 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 1 無 4 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 3 無 2 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1863.6 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>
 <p>抗彎試體</p>	
<p><b>A03 (一比三水泥砂漿)</b></p> <p>配比：(無石灰)，河砂 3，水泥 1，(無纖維)，水 0.80。流動度= 112%。</p>	
<p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 74.66, -0.64, +7.55</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 19.70%，1.53，12.90%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 42.10，174.41 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 2.042，17.485 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 4 無 1 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 4 無 1 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1951.3 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>
 <p>抗彎試體</p>	

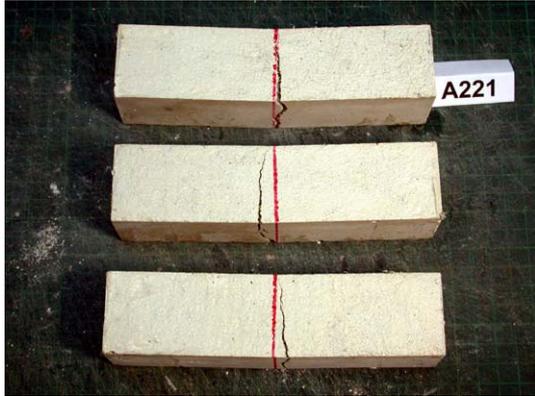
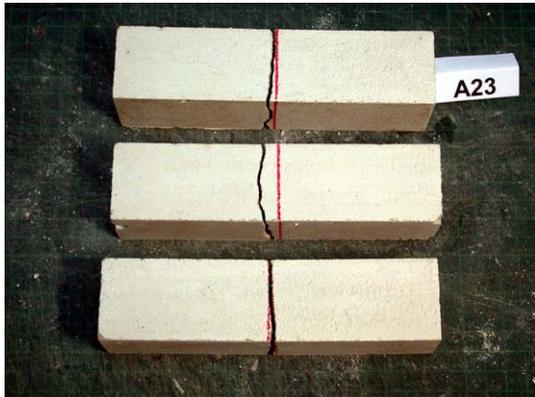
<p><b>A10 (一比一石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 1，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 1.00。流動度= 115%。</p> <p><b>基本性質</b></p> <p><math>L^*a^*b^*</math>= 87.53，-0.15，+6.64</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 31.80%，0.89，35.80%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 4.75，5.32 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.033，0.354 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 1 無 0 點 1 面 1 塊 10%，40%</p> <p>                  (剪) 1 無 0 點 2 面 1 塊 10%</p> <p>氣乾單位重= 1232.0 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>
<p><b>A12 (0.50 一比一水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 1，水泥 0.5，(無纖維)，水 1.05。流動度= 115%。</p> <p><b>基本性質</b></p> <p><math>L^*a^*b^*</math>= 85.83，-0.14，+8.20</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 29.10%，1.02，28.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 13.29，35.58 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 1.025，4.063 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 1 點 4 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 1 無 4 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1457.9 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

<p><b>A15 (0.02 一比一糖石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 1，糖漿 02，(無纖維)，水 0.70。流動度= 112%。</p>	
<p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 77.91， -0.49， +12.88</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 27.70%， 1.08， 25.60%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 6.08， 10.48 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.658， 1.658 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 3 點 2 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 2 點 2 面 0 塊 20%</p> <p>氣乾單位重= 1464.7 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>
	 <p>抗彎試體</p>
<p><b>A20 (一比二石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 1.00。流動度= 108%。</p>	
<p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 85.00， -0.48， +5.96</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 27.40%， 1.12， 24.50%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 3.75， 4.98 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.135， 1.067 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 2 無 2 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 1 點 4 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1524.0 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>
	 <p>抗彎試體</p>

<p><b>A201 (一比二石灰砂漿加麻絨)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，(無水泥/糖漿)，麻絨 0.025，水 1.05。流動度= (-)*。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L*a*b^* = 82.60, -0.63, +8.44</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 27.60%，1.09，25.40%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 2.82，8.26 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.548，2.607 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 2 面 3 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 0 點 4 面 1 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1476.3 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

<p><b>A202 (一比二石灰砂漿加稻殼)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，(無水泥/糖漿)，稻殼 0.025，水 1.05。流動度= (102%)*。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L*a*b^* = 82.30, -0.65, +9.29</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 27.50%，1.08，25.40%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 1.75，5.13 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.484，1.804 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 1 面 4 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 2 點 2 面 1 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1456.4 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

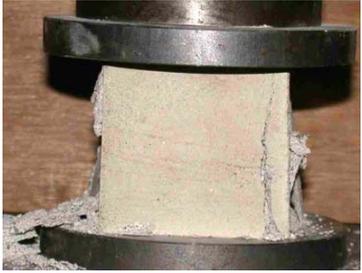
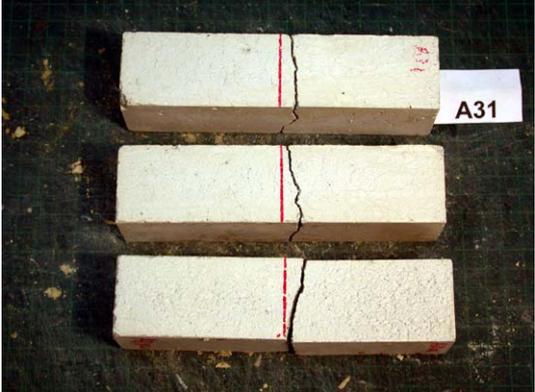
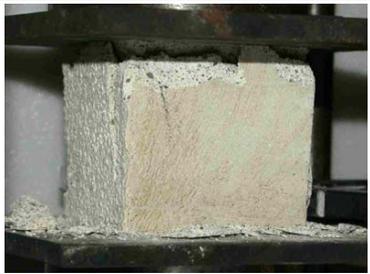
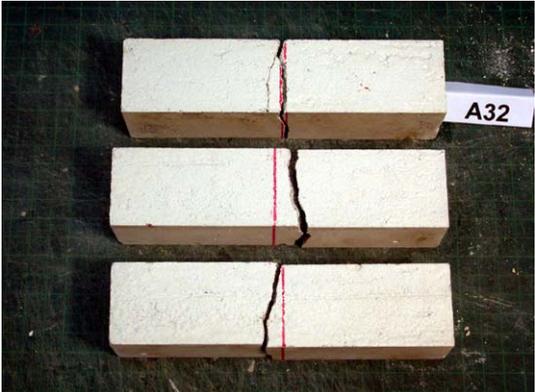
<p><b>A21 (0.25 一比二水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，水泥 0.25，(無纖維)，水 1.05。流動度= 114%。</p> <p>基本性質</p> <p><math>L*a*b^* = 84.24, -0.22, +7.94</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 27.10%，1.14，23.80%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 6.39，13.46 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.336，1.423 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 3 點 2 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 4 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1551.1 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>	
 <p>抗彎試體</p>		
<p><b>A22 (0.50 一比二水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，水泥 0.5，(無纖維)，水 1.00。流動度= 115%。</p> <p>基本性質</p> <p><math>L*a*b^* = 84.30, -0.26, +8.77</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 27.70%，1.12，24.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 9.19，25.71 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.786，5.162 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 1 點 4 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 4 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1596.7 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>	
 <p>抗彎試體</p>		

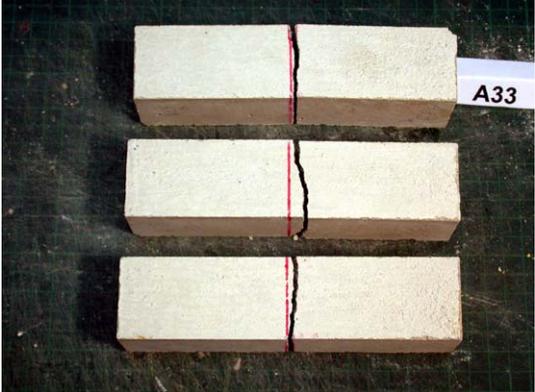
<p><b>A221 (一比二水泥石灰砂漿加麻絨)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，水泥 0.5，麻絨 0.025，水 1.10。流動度= (-)*。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L*a*b^* = 82.13, -0.22, +10.15</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 26.90%，1.14，23.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 11.57，42.05 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.834，6.065 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 2 點 3 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 3 點 2 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1555.0 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>
<p><b>A23 (1.00 一比二水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，水泥 1，(無纖維)，水 1.20。流動度= 111%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L*a*b^* = 82.01, -0.18, +8.74</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 25.50%，1.21，21.00%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 36.86，110.23 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.101，0.521 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 4 無 1 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 3 無 2 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1693.4 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

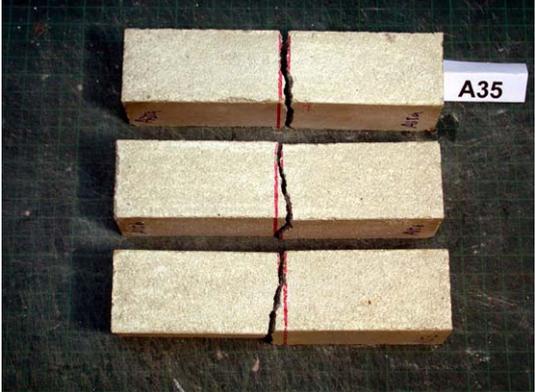
<p><b>A24 (0.01 一比二糖石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，糖漿 01，(無纖維)，水 1.00。流動度= 114%。</p> <p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 83.34, -0.60, +8.96</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 29.70%，1.12，26.80%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 4.12，8.61 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.662，1.965 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 0 面 4 塊 40%</p> <p>                  (剪) 0 無 0 點 1 面 4 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1553.2 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>	
<p><b>A25 (0.02 一比二糖石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，糖漿 02，(無纖維)，水 0.80。流動度= 115%。</p> <p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 77.00, -0.61, +13.11</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 24.80%，1.25，19.80%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 5.88，9.65 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.946，2.280 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 1 點 1 面 3 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 2 點 3 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1627.0 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>	

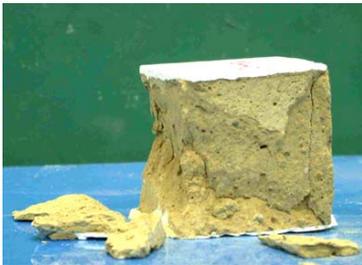
<p><b>A26 (0.04 一比二糖石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 2，糖漿 04，(無纖維)，水 1.70。流動度= 106%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 65.41, +0.64, +18.02</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 23.80%，1.26，18.90%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 6.28，16.47 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 1.046，1.936 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 1 無 1 點 0 面 3 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 3 點 1 面 1 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1627.7 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

<p><b>A30 (一比三石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 3，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 1.30。流動度= 110%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 83.19, -0.31, +8.36</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 26.70%，1.18，22.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 2.49，4.80 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.381，1.252 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 3 無 0 點 0 面 2 塊 0%</p> <p>                  (剪) 1 無 0 點 3 面 1 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1655.6 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

<p><b>A31 (0.25 一比三水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 3，水泥 0.25，(無纖維)，水 1.10。流動度= 110%。</p> <p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 83.71, -0.33, +7.65</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 25.30%，1.25，20.20%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 5.81，15.90 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.760，4.053 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 3 點 2 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 4 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1659.7 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>
<p><b>A32 (0.50 一比三水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 3，水泥 0.5，(無纖維)，水 1.20。流動度= 110%。</p> <p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 83.23, -0.39, +8.81</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 25.30%，1.24，20.40%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 6.88，29.03 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.628，3.337 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 1 點 3 面 1 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 3 點 1 面 1 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1660.1 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>		 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

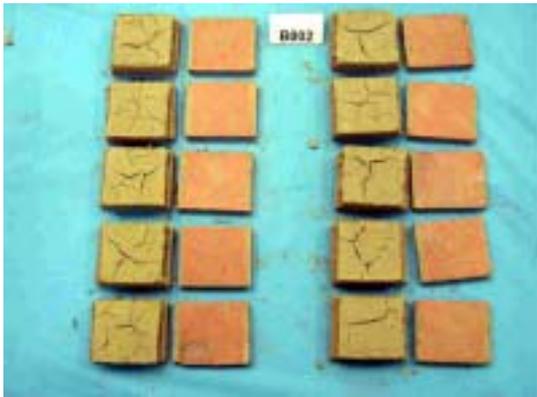
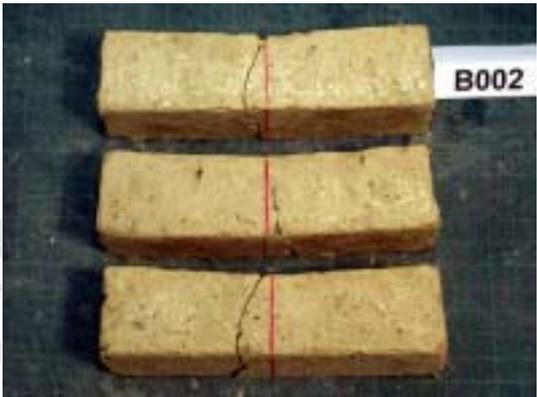
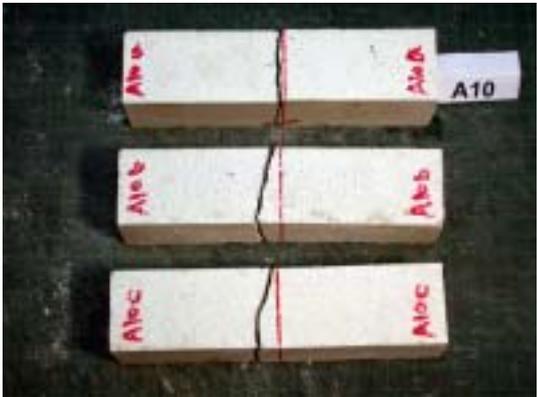
<p><b>A33 (1.00 一比三水泥石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 3，水泥 1，(無纖維)，水 1.30。流動度= 108%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 79.40, -0.37, +9.54</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 24.10%，1.29，18.60%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 28.38，105.60 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.234，1.826 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 2 無 3 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 3 無 2 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1763.1 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>
 <p>抗彎試體</p>	

<p><b>A35 (0.02 一比三糖石灰砂漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，河砂 3，糖漿 02，(無纖維)，水 1.00。流動度= 114%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 76.01, -0.45, +12.38</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 22.60%，1.38，16.40%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 5.24，12.80 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 1.789，2.965 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 0 面 2 塊 20%，30%，40%</p> <p>                  (剪) 0 無 1 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1729.0 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗剪黏著試體</p>
 <p>抗彎試體</p>	

<p><b>B00 (土漿)</b></p> <p>配比：石灰(無石灰)，黃土 1，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 0.40。流動度= 106%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 58.28, +0.83, +20.69</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= <math>n/a^*</math>，<math>n/a^*</math>，6.60%*</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 8.54，26.82 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= &lt;0.004*，&lt;0.004* (kgf/cm<sup>2</sup>) (試體無法成型)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 0 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1838.3 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
<p>(試體無法成型)</p> <p>抗拉黏著試體                  抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

B001

<p><b>B001 (土漿加麻絨)</b></p> <p>配比：(無石灰)，黃土 1，(無水泥/糖漿)，麻絨 0.025，水 0.45。流動度= (—)*。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 53.01, +1.68, +20.93</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= <math>n/a^*</math>，<math>n/a^*</math>，6.40%*</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 8.57，31.72 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= &lt;0.004*，&lt;0.004* (試體無法成型)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 0 無 0 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1831.6 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體                  抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

<p><b>B002 (土漿加稻殼)</b></p> <p>配比：(無石灰)，黃土 1，(無水泥/糖漿)，稻殼 0.025，水 0.45。流動度= ( )*。</p>	
<p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 52.91, +1.73, +20.13</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= n/a*, n/a*, 7.60%*</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 6.56, 22.34 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= &lt;0.004*, &lt;0.004* (kgf/cm<sup>2</sup>) (試體無法成型)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>(剪) 0 無 0 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1818.8 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>
 <p>抗剪黏著試體</p>	
<p>B10</p>	
<p><b>B10 (一比一石灰土漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，黃土 1，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 1.40。流動度= 105%。</p>	
<p><b>基本性質</b></p> <p>L*a*b*= 80.93, -0.32, +11.49</p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 33.10%, 0.81, 40.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 3.60, 9.87 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.069, 0.260 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 2 無 1 點 0 面 0 塊 20%, 30%</p> <p>(剪) 2 無 2 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1158.7 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>
 <p>抗剪黏著試體</p>	

B20

<p><b>B20 (一比二石灰土漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，黃土 2，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 2.15。流動度= 111%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 76.38, -0.10, +13.32</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 32.10%，0.87，37.00%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 2.83，11.93 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.147，0.168 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 0 點 0 面 3 塊 30%，40%</p> <p>                  (剪) 0 無 0 點 0 面 4 塊 10%</p> <p>氣乾單位重= 1219.5 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

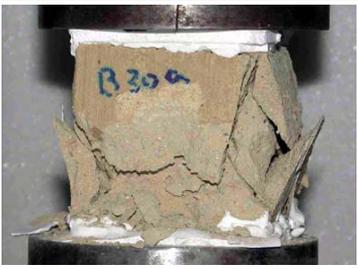
B201

<p><b>B201 (一比二石灰土漿加麻絨)</b></p> <p>配比：石灰 1，黃土 2，(無水泥/糖漿)，麻絨 0.025，水 2.10。流動度= (—)*。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 76.86, -0.29, +13.39</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 32.30%，0.86，37.40%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 4.01，13.18 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.252，0.657 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 2 無 2 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>                  (剪) 4 無 1 點 0 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1228.6 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體      抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

B202

<p><b>B202 (一比二石灰土漿加稻殼)</b></p> <p>配比：石灰 1，黃土 2，(無水泥/糖漿)，稻殼 0.025，水 2.10。流動度= (99%)*。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 76.01, -0.24, +14.38</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 33.20%，0.82，40.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 1.71，8.21 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.294，0.566 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 0 無 3 點 0 面 0 塊 40%</p> <p>                  (剪) 1 無 3 點 1 面 0 塊 0%</p> <p>氣乾單位重= 1181.3 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體                  抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

B30

<p><b>B30 (一比三石灰土漿)</b></p> <p>配比：石灰 1，黃土 3，(無水泥/糖漿)，(無纖維)，水 2.40。流動度= 98%。</p>	
<p>基本性質</p> <p><math>L^*a^*b^* = 74.69, -0.06, +15.29</math></p> <p>視孔隙度，體比重，吸水率= 32.60%，0.89，36.70%</p> <p>強度(抗壓，抗彎)= 2.04，11.14 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著強度(抗拉，抗剪)= 0.058，0.243 (kgf/cm<sup>2</sup>)</p> <p>黏著狀況：(拉) 2 無 0 點 0 面 0 塊 20%，30%，40%</p> <p>                  (剪) 0 無 1 點 0 面 0 塊 40%</p> <p>氣乾單位重= 1277.3 (kgw/cm<sup>3</sup>)</p>	 <p>抗壓試體</p>
 <p>抗拉黏著試體                  抗剪黏著試體</p>	 <p>抗彎試體</p>

### 附錄三 各項重量性質之定義與推算

對本實驗試體之定義：假設試體為均勻的土粒以及孔隙之組合，其土粒不吸水，而水份可充分填滿孔隙之中。整個試體、土粒與孔隙體積各為  $V$ 、 $V_s$ 、 $V_v$ ，三者比重各為  $\gamma$ 、 $\gamma_s$ 、 $\gamma_v$ 。試體烘乾後重量為  $W_0$ ，水中重  $W_2$ ，面乾內飽和重  $W_3$ 。

(1) 試體水中重量  $W_2$  之推算，設  $W_g$  為秤刻度， $W_c$  為水與容器重：

$$\text{懸在水中的試體：} W_0 = W_2 + B \rightarrow W_2 = W_0 - B \dots\dots(\text{式 1})$$

$$\text{內懸試體的裝水容器：} W_g = B + W_c \rightarrow B = W_g - W_c \dots\dots(\text{式 2})$$

$$(\text{式 2}) \text{代入} (\text{式 1}) \text{得水中重：} W_2 = W_0 - W_g + W_c \dots\dots(\text{式 3})$$

(2) CNS619 中各性質之推算：

$$W_3 - W_0 = W_{\text{孔隙水}} = V_v \times 1 \rightarrow W_3 = V_v + W_0 \dots\dots(\text{式 4})$$

$$\text{浮力等於土粒排開同體積水重，即 } B = V_s \times 1 = V_s \dots\dots(\text{式 5})$$

$$(\text{式 5}) \text{代入} (\text{式 1}) \text{，得 } W_2 = W_0 - B = W_0 - V_s \dots\dots(\text{式 6})$$

(2-1) CNS619 體比重之推算：

$$D_b = W_0 / (W_3 - W_2) \quad \text{代入} (\text{式 4 及 6})$$

$$= W_0 / [(V_v + W_0) - (W_0 - V_s)]$$

$$= W_0 / (V_s + V_v)$$

$$= W_0 / V$$

即，體比重為烘乾試體(土粒)之單位體積重量。

(2-2) CNS619 視比重之推算：

$$D_a = W_0 / (W_0 - W_2) \quad \text{代入} (\text{式 6})$$

$$= W_0 / [W_0 - (W_0 - V_s)]$$

$$= W_0 / V_s$$

即，視比重為土粒之比重。

(2-3) CNS619 視孔隙率之推算：

$$P_0 = (W_3 - W_0) / (W_3 - W_2) \quad \text{代入} (\text{式 4 及 6})$$

$$= V_v / [(V_v + W_0) - (W_0 - V_s)]$$

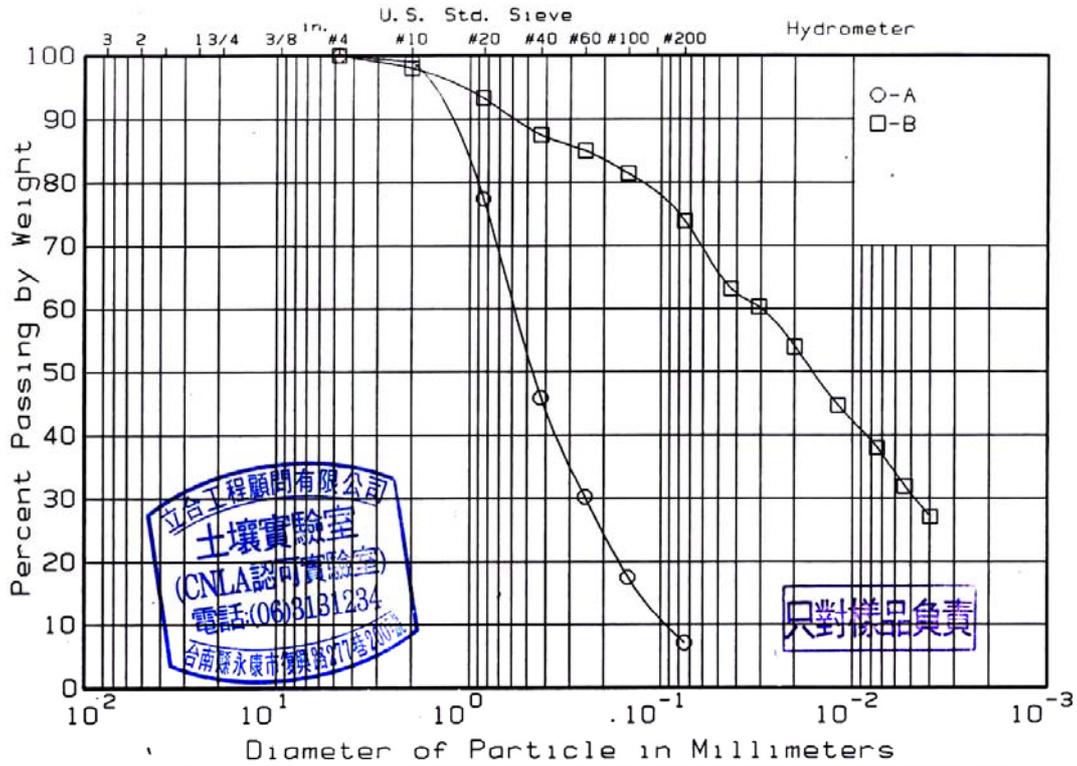
$$= V_v / (V_s + V_v)$$

$$= V_v / V$$

即，視孔隙率為孔隙體積與試體總體積之比。

附錄四 兩種細骨材的粒徑分析

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST REPORT



GRAVEL		SAND			FINES	
COARSE	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE	SILT	CLAY

Test No.	D85	D60	D50	D30	D15	D10	Cu	Cc	LL	PI	Gravel %	Sand %
A	1.15	0.58	0.47	0.25	0.13	0.091	6.4	1.2	NV	NP	0.0	92.9
B	0.25	0.030	0.016	0.0048	NA	NA	NA	NA	37.7	18.4	0.0	26.1

Test No.	USCS (ASTM D2487-85) Soil Classification	AASHTO	% Fines Clay    Silt
A	SW-SM well-graded sand with silt	A-1-b(0)	7.1
B	CL lean clay with sand	A-6(12)	30.7    43.2

## 附錄Ⅰ 日野謙吉之主要傳統建築案例基本資料

### 1. 台北保安宮

位於台北市大龍峒地區，創立於清道光十年(1830年)，日治大正六年(1917年)重修奠定今日三進格局，全寺為正殿居中的回字形布局。民國八十四年開始進行修復。

本論文之調查主要為 2001 年年中的正殿屋面之重新施作。

正殿為重檐歇山建築，屋面為筒板瓦形式，修復時使用吊脊法，將整面屋坡拆除以新材料重建屋面。屋面中新設的防水材料，乃是於養瓦上鋪設一層水泥砂漿再施以防水膠塗料以及纖維布(廖武治 2002:58)。屋面曲線極大，屋脊甚至以類似牆基之磚砌基腳施於屋面之上。

### 2. 鹿港龍山寺

創立於明永曆七年(1653年)，為開台最早佛寺，主祀觀音菩薩，乾隆四十七年(1782年)遷於現址，民國七十二年(1983年)被指定為國家一級古蹟(該寺管委會提供資料)。全寺為正殿居中的回字形布局，中軸上依序為山門、五門、正殿、後殿，正殿前有拜殿。

本論文之調查主要為 2001 年後半的後殿、正殿合拜殿之屋面拆卸，時值 921 及後續震災之後，正殿右山牆與屋面楹桁嚴重脫離，後殿後坡檐牆與屋面破壞(見圖 2-2.2)。

後殿為硬山單檐之建築，屋面為民國六十四年開始進行之修復工程所施作，後檐牆為磚疊澀出檐，震災導致屋面一並崩落。正殿為重檐歇山建築，屋面為筒板瓦形式，上層屋坡於民國六十四年未予修復，下層與拜殿都為當時期所修建。本寺屋面的曲線不大，未作暗厝，僅以多層瓦隴之疊砌，正殿上坡用望板，灰漿可見為石灰之摻雜。構造上特別之處，為拜殿與正殿下坡以一平行中軸線之屋頂相連，稱為「龜背」，此處木構腐朽嚴重，屋瓦排列較鬆，並有多處補修。

### 3. 艋舺龍山寺

位於台北市萬華區，創建於清乾隆三年(1738年)，為正殿居中的回字形布局，包括山門、正殿、後殿三進。1955年重建正殿，之後便無重要整修(李乾朗 1992: 43)，但此次翻修之屋面可見防水紙等似瀝青材料之破裂，顯示日後應有過翻修。

本論文調查主要為 2002 年之屋面拆卸與重建，泥水匠司為陳義雄先生。陳匠司 1945 年生，桃園人，其父為傳統建築匠司陳專友，父師承洪坤福。

正殿為歇山重檐之建築，屋面曲線極大，堆疊大量磚瓦塑形，因受 921 震災之影響，重修時以鋼筋混凝土澆製屋脊，然後養瓦滿鋪用防水毯，以多處多層的暗厝形塑屋面曲線，屋面為筒板瓦形式。

### 4. 善化慶安宮

創建於清康熙二十四年(1685年)於現址，同治元年(1862年)嘉南大地震後重建並改名慶安宮，民國三十六年正殿重建，民國八十六年被指定為國家三級古蹟(該寺管委會提供資料)。

本論文之調查為 2002 年山門、拜殿、大殿之屋面拆卸。

慶安宮之山門、拜殿、大殿三座建築實則相連，山門為三川脊，拜殿為四方攢尖頂，大殿為硬山屋頂，山門與大殿皆作暗厝，用琉璃瓦，拜殿則為塑燒仰合瓦。

5. 台南西華堂

位於台南市中區，為齋教金幢派之齋堂，創立於乾隆十五年(1750 年)，民國二十七年(1938 年)奠定今日格局，1999 年修復前之形貌為民國六十年左右形成。以三合院及傳統民宅為基本建築格局與形式。

本論文之調查為 2001 年開始修復之各屋面拆卸，匠司為王進安先生。王匠司為台南人，未師承著名傳統匠司門下，具有多年整建傳統民宅與古蹟屋面修復之經驗。

此次西華堂乃全面翻修，使用吊脊法並鋪設防水毯，多數屋面瓦片用素燒新瓦作原樣之仰合瓦形式。以水泥石灰砂漿鋪瓦，其灰漿之拌製與使用見附表。

附表 1 西華堂 2002 屋面修復灰漿配比 (單位：公斤)

資料性質	現場用量						配比計算(以石灰為 1)				
	石灰	砂	水泥	白水泥	水泥合	水	石灰	砂	水泥合	水	水膠比
施測時間											
2002/4/6，實測	13.30	42.00	2.80	3.80	6.60	n/a	1.00	3.16	0.50	n/a	n/a
2002/4/10，實測	11.98	39.83	1.02	4.66	5.68	17.33	1.00	3.32	0.47	1.45	0.98
2002/4/11，實測	11.69	40.62	1.04	5.12	6.16	18.23	1.00	3.47	0.53	1.56	1.02
實測值	平均重量比						1.00	3.32	0.50	1.50	1.00
	平均體積比*						1.00	1.66	0.21	0.96	0.79
匠師口述值	體積比						1.00	4.00	1.00	---	---

\*cns13513 建議比重，石灰 640，砂 1280，水泥 505。本量測白水泥比重比照水泥。

用料說明：(1) 2002/4/6，石灰用約 1 又 1/3 包，砂用一畝 5 公斤共八畝加 2 公斤，水泥用一小杓 1.8 公斤共 1 小杓再加 1000 克，白水泥用一小杓 1.5 公斤共 2 小杓再加 800 克。

(2) 2002/4/10，石灰用 1 包又加(10-8.016)，砂用一畝(6010-320)公斤共 7 畝，水泥用一大杓共 1018 克，白水泥用 2 又約 1/2 小杓共 4660 克，水用一大杓 2166 克共八大杓。

(3) 2002/4/11 用料說明，石灰用 1 包又加(10-8.306)，砂用二畝(10978-824)公斤共 8 畝，水泥用平小杓(1274-230)克，白水泥用 2 又約 1/2 小杓(平小杓(2038+2022+2082)/3=2047)，水用一大杓 2279 克共八大杓。

附表 2 西華堂 2002 屋面修復瓦隴灰漿用量 (單位：公斤)

灰漿施作位置	第六笑槽	第五扣槽	第七笑槽	第六扣槽	第八笑槽	第七扣槽	第九笑槽	第九扣槽	第十一笑槽	第十扣槽	平均用量*	用量誤差
笑槽瓦底用量	9663		7662		8288		10836		10118		9305.2	11.6%
扣槽瓦側收邊用量		5660		7846		6878		6216		6000	6520.0	10.3%

\*笑/扣槽用量比為 70.1%。

## 附錄六 傳統建築案例之瓦片重量性質

論文進行過程中，取回各傳統建築案例拆卸之瓦片，其各項重量性質表如下。

傳統建築案例之瓦片重量性質表

試體來源 / 重量性質	視孔隙度 $P_0$	體比重 $D_b$	吸水率 $A_w$	SSD 比重 $G_w'$	氣乾吸水 率 $A_w'$	氣乾比重 $G_w'$
台南西華堂板瓦(厚)	25.8%	1.20	21.7%	1.46	2.4%	1.22
台南西華堂板瓦(中)	22.7%	1.38	16.5%	1.61	0.9%	1.39
台南西華堂板瓦(薄)	25.3%	1.39	18.2%	1.64	0.6%	1.40
台南西華堂養瓦(厚)	25.7%	1.18	21.8%	1.43	1.4%	1.19
台南西華堂養瓦(中)	21.8%	1.43	15.2%	1.65	0.6%	1.44
台南西華堂養瓦(薄)	20.5%	1.49	13.8%	1.69	0.6%	1.50
台南西華堂新覆板瓦	24.0%	1.37	17.5%	1.61	0.3%	1.37
善化慶安宮釉面板瓦	19.1%	1.45	14.4%	1.66	0.5%	1.46
善化慶安宮素面板瓦	20.2%	1.46	13.8%	1.66	0.2%	1.46
善化慶安宮養瓦(長)	9.2%	1.98	4.7%	2.07	0.2%	1.99
善化慶安宮養瓦(短)	22.0%	1.50	14.9%	1.72	0.4%	1.51
艋舺龍山寺屋面瓦	30.1%	1.59	18.8%	1.89	0.5%	1.60
艋舺龍山寺座灰內用瓦	25.0%	1.34	18.7%	1.59	0.6%	1.35
艋舺龍山寺釉面筒瓦	24.3%	1.37	17.8%	1.61	0.6%	1.37
艋舺龍山寺養瓦	23.0%	1.37	16.8%	1.60	1.6%	1.39
新埔劉氏宗祠笑瓦(長)	23.8%	1.34	17.7%	1.58	0.1%	1.35
新埔劉氏宗祠笑瓦(短)	24.9%	1.30	19.2%	1.55	2.0%	1.33
瑞隆磚瓦場新製板瓦	21.1%	1.56	13.5%	1.77	3.5%	1.62
艋舺龍山寺新覆板瓦(釉面)	9.2%	1.86	4.9%	1.95	0.05%	1.86
艋舺龍山寺新覆筒瓦(釉面)	9.0%	1.86	4.9%	1.95	0.05%	1.86
艋舺龍山寺新覆養瓦	16.6%	1.69	9.8%	1.86	0.12%	1.69

※以上各項數值皆為最少三件試體之平均值。

**【著作權聲明】**

本論文同意全部影印

---

**【作者簡歷】**

游佳福 1975年4月20日出生 1987年台北縣中山國小畢業 1990年台北師範高級中學畢業 1993年台北師範成功高中畢業 1999年國立成功大學水利暨海洋工程學系畢業 2003年國立成功大學建築研究所歷史與理論組畢業 email: warmfeng@yahoo.com