

# 古蹟修復技術-灰作材料性質與 修復工法之研究

內政部建築研究所研究報告

MOIS921039

# 古蹟修復技術-灰作材料性質與 修復工法之研究

研究主持人：葉世文

協同主持人：薛 琴

研 究 員：張朝博

研究助理：詹益榮

內政部建築研究所研究報告  
中華民國九十二年十二月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

The Technology of Historic Buildings  
Restoration—A Research for the  
Property of Materials and the Methods of  
Restoration in Lime Work

BY

SHIH-WEN YEH

CHYN SHIUE

CHAO-PO CHANG

I-JUNG CHAN

DECEMBER 30, 2003



## 摘要

關鍵詞：古蹟、修復、石灰、灰作

### 一、研究緣起

灰作材料與工法為水泥未普遍運用前，建築上的最重要的材料與技術之一，而近年來逐漸凋零或失傳，但其在古蹟與歷史建築的運用極廣，基於文資法 46 條之精神--古蹟修復採原材料與傳統技術方法，故本研究最重要的目的在於對灰作材料有較廣泛且深入的基礎研究，以期瞭解灰作材料在各種作法中材料的特性，以及各作法關鍵要領之探討，有助於未來古蹟修復工程中灰作工程施工規範的建立。

### 二、研究方法及過程

在研究方法上，國內外文獻的蒐集，以瞭解傳統灰作的作法、材質、配比等，以供田野調查、實驗分析等相關研究之參考；透過對傳統匠師的訪談，以瞭解各種灰作之組成材質、配比、施工要領及今日灰作面臨的問題；透過石灰原料廠商的訪談，主要是要瞭解石灰的原料來源、生產過程。經由訪談得知之灰作材料與配比，進行試體製作試驗以瞭解材料性質。另外，亦對各類型石灰原料進行化學檢驗分析，以瞭解其組成成分之差異。

### 三、重要發現

本研究的重要發現，以下就材料與工法兩部分條列說明。

#### (一) 材料方面

1. 現有的關仔嶺特白灰易龜裂、塑性差、黏性差，不適宜運用於面層抹灰；貝類灰（砵古石灰、蠣殼灰）塑性佳、性佳、自身體積收縮小（不易龜裂），適合於面層抹灰。
2. 礦物性灰（大理石灰、關仔嶺特白灰）抗壓性能較差。
3. 砵古石灰的運用應注意其本身含砂量較高，砂的添加應適度調整。
4. 關仔嶺枕頭山的石灰石氧化鎂（MgO）含量很高，其性質與貝類灰相近。

## （二）工法方面

1. 石灰使用前應過篩，以除去影響灰作品質的雜質。
2. 石灰使用前確實養灰，以避免施作後部分石灰再度發生水化反應。
3. 傳統的灰作材料配比固然重要，但灰作工程的品質有許多係取決於施工之要領，所以如何落實施工要領極為重要。

## 四、主要建議事項

根據研究的成果發現，提出下列建議。

1. 灰作材料為氣硬性材料，與水泥等水硬性材料之材料行為差異頗大，不能完全直接引用混凝土學的研究方法，應另行調整設計研究方法。
2. 關仔嶺枕頭山的石灰石所生產的石灰品質頗佳，建議政府適量的開放開採，以供古蹟修復工程之使用；而貝類灰的生產，在個案核准下，准許煅燒，免受環保法令之規範。
3. 古蹟工程之灰作修復亟需一套施工規範，以供施作與檢核之參考，建議在相關基礎研究完成後，訂定完整有效的規範。

# **ABSTRACT**

Keywords: Historic Buildings · Restoration · Lime · Lime Work

## **I. Study Background**

Materials of and construction techniques used for lime works are one of the most important in the building industry before cement is widely applied. But in recent years, they have either been diminishing or lost. However, its application on national monuments and historic buildings is extremely extensive. On the basis of the spirit of Article 46 of the Cultural Asset Preservation Law-- original materials and traditional techniques shall be applied for restoration work on national monuments--, this study's most important objective is to conduct more extensive and in-depth fundamental research on lime works' materials. We expect to understand the characteristics of the materials of lime works created under the various techniques and explore the tips to the various techniques to help set the regulations governing lime construction in future restoration work on national monuments.

## **II. Study Methodology and Process**

National and foreign journals are collected to gain understanding on traditional application techniques of lime works, materials and allocation ratio, which in turn are used as the references for field studies, experimental analyses etc. Understanding on the compositions of the various lime works, allocation ratio, construction tips and problems faced by lime works are obtained through interviews with

traditional technicians. On the other hand, interviews with suppliers of lime materials provide insight into the sources of lime materials and the production process. Lime works' materials and allocation ratio gained from the interviews are experimented to gain knowledge of material characteristics. In addition, chemical analyses and examinations are conducted on the various lime materials to gain understanding of the differences of the various compositions.

### **III. Important Findings**

Important findings of this study are explained below in terms of materials and techniques:

#### **( I ) Materials**

1. Currently available Kuan-Zai-Lin Extra White Lime cracks easily, has poor plasticity and viscosity and is not suitable for application on surface. Shell Lime ( Coral Blocks Lime, Oyster Shell Lime ) has high plasticity and low contractibleness ( does not crack easily ) and is suitable for application on surface.
2. Mineral Lime ( Lime-stone Lime 、 Kuan-Zai-Lin Extra White Lime ) has low resistance level.
3. High level sand contents in Coral Blocks Lime shall be noted when applying this type of lime and the quantity of sands added shall be adjusted appropriately.
4. Contents of Magnesium Oxide (MgO) in limestone in Pillow Mountain, Kuan-Zai-Lin are very high and possess similar properties to those of Shell Lime.

#### **( II ) Techniques**

1. Lime shall be sifted prior to use to eliminate impurities that

may affect the quality of the lime work.

2. Lime has to be thoroughly cultivated to avoid recurrence of hydration of part of the lime.
3. The allocation ratio of traditional lime works' materials is important, but the engineering quality is determined by construction tips. Hence, it is of crucial importance to thoroughly implement construction tips.

#### **IV. Main Recommendations**

The following recommendations are made based in the results of the study:

1. Lime-work materials are air-hardening materials, quite different from hydraulic materials such as cement. The approaches of Concrete Study may not be directly applied in this research fully. Adjustments shall be made to design other research approaches.
2. The quality of lime generated in Pillow Mountain, Kuan-Zai-Lin is quite superior. It is recommended that the Government open an appropriate level of mining activities so that extracted products can be used for restoration work on national monuments. On the other hand, it is recommended to allow the production of Shell Lime to be destroyed by fire approved on one-off basis, unrestricted by the provisions of Environmental Conservation Regulations.
3. The restoration on lime works of national monuments requires a set of construction regulations to be used as the references for construction and inspection. It is recommended to set comprehensive regulations upon completion of related fundamental studies.

# 目 錄

## 第一章 緒論

第一節 研究動機與目的 .....	01
第二節 相關文獻與研究回顧.....	01
第三節 灰作工程現況面臨之問題.....	10
第四節 研究課題與內容 .....	12
第五節 研究方法與步驟 .....	13
第六節 行文名詞界定.....	16

## 第二章 灰作材料及其重要性質

第一節 灰作基本材料.....	17
第二節 灰作之添加材料 .....	18
第三節 灰的原料來源.....	22
第四節 灰的煅燒.....	25
第五節 灰的化學反應.....	27
第六節 灰之重要性質 .....	30

## 第三章 灰作材料性質試驗與白灰樣本檢驗分析

第一節 試驗計畫.....	35
第二節 試驗結果分析與討論.....	46
第三節 檢驗計畫.....	51
第四節 檢驗結果分析與討論.....	52

## 第四章 灰作之破壞與修復工法

第一節 灰作破壞或劣化現象及其原因.....	55
第二節 灰作修復工法.....	58
第三節 灰作局部修繕工法 .....	64

第四節 日治時期建築灰作材料與工法之初探.....	67
---------------------------	----

## 第五章 結論

第一節 研究發現.....	69
---------------	----

第二節 建議事項.....	70
---------------	----

第二節 後續研究.....	70
---------------	----

## 參考文獻

## 附錄

附錄一 訪談人員名錄.....	75
-----------------	----

附錄二 抗壓試驗結果記錄.....	77
-------------------	----

## 圖 目 錄

圖 1-1.1	《天工開物》中之煤餅燒石成灰 .....	02
圖 2-2.1	現代海菜粉拌水後的海帶漿 .....	22
圖 2-3.1	花蓮和平鄉結晶石灰岩礦石 .....	22
圖 2-3.2	關仔嶺枕頭山石灰岩礦石 .....	23
圖 2-3.3	澎湖的砗古石（砗仔） .....	25
圖 2-4.1	宜蘭頂興公司新式灰窯 .....	26
圖 2-4.2	關仔嶺枕頭山的傳統灰窯 .....	26
圖 2-4.3	澎湖的灰窯 .....	27
圖 2-4.4	日本的土中窯構造 .....	27
圖 2-5.1	石灰循環圖 .....	29
圖 3-1.1	粗麻絨 .....	36
圖 3-1.2	細麻絨 .....	36
圖 3-1.3	試體製作設備 .....	38
圖 3-1.4	生石灰消化過程—未潑水之生石灰塊 .....	39
圖 3-1.5	生石灰消化過程—潑水後放熱體積膨脹 .....	39
圖 3-1.6	生石灰消化過程—最後分解為粉末 .....	39
圖 3-1.7	未潑水之生石灰塊 .....	39
圖 3-1.8	潑水後消化分解之石灰 .....	39
圖 3-1.9	消化分解後之石灰過粗篩 .....	40
圖 3-1.10	消化分解後之石灰過細篩 .....	40
圖 3-1.11	過篩後之潑灰成品 .....	40
圖 3-1.12	未通過細篩網之雜質 .....	40
圖 3-1.13	白灰過粗篩 .....	41
圖 3-1.14	白灰過細篩 .....	41
圖 3-1.15	過篩完後之白灰 .....	42

圖 3-1.16	白灰加水並以灰耙拌合 .....	42
圖 3-1.17	加入麻絨拌合 .....	42
圖 3-1.18	養護靜置 14 天以上 .....	42
圖 3-1.19	彎曲試驗機 .....	43
圖 3-1.20	除去養灰槽之隔離水 .....	44
圖 3-1.21	除水後之白灰膠泥 .....	44
圖 3-1.22	試體製作工具準備 .....	44
圖 3-1.23	試體灌注 .....	44
圖 3-1.24	試體養護 .....	45
圖 3-1.25	試體拆模 .....	45
圖 3-1.26	試驗前之試體外觀 .....	45
圖 3-1.27	將試體置放於工作台 .....	45
圖 3-1.28	抗壓試驗操作 .....	45
圖 3-1.29	試驗後破壞之試體 .....	45
圖 3-2.1	白灰的黏性 .....	46
圖 3-2.2	砗古石灰（左）、蠣殼灰（右）顏色 .....	47
圖 3-2.3	大理石潑灰（左）、關仔嶺特白灰（右）顏色 .....	47
圖 3-2.4	貝類灰之表面結晶 .....	48
圖 3-2.5	礦石灰之表面結晶 .....	48
圖 3-2.6	砗古石灰粉刷層裂縫試驗 .....	49
圖 3-2.7	蠣殼灰粉刷層裂縫試驗 .....	49
圖 3-2.8	大理石潑灰粉刷層裂縫試驗 .....	49
圖 3-2.9	關仔嶺特白灰粉刷層裂縫試驗 .....	49
圖 4-1.1	外牆灰作因漏水剝落、風化 .....	56
圖 4-1.2	室內牆面灰作裝修層剝落 .....	56
圖 4-1.3	地震造成灰作牆面的破壞（一） .....	56
圖 4-1.4	地震造成灰作牆面的破壞（二） .....	56

圖 4-1.5	牆面不規則的收縮裂縫.....	58
圖 4-1.6	牆面大型的裂縫.....	58
圖 4-2.1	地坪乾鋪大樣.....	60
圖 4-2.2	地坪濕鋪大樣.....	60
圖 4-2.3	地磚鋪設.....	60
圖 4-2.4	地坪磚面勾縫.....	60

## 表 目 錄

表 2-3.1	臺灣地區礦物性石灰石分佈一覽表.....	24
表 2-6.1	CNS381 中有關建築用生石灰分類標準.....	33
表 3-2.1	灰作材料各齡期抗壓強度試驗比較表.....	49
表 3-4.1	各樣本成分檢驗分析結果一覽表.....	52
表 3-4.2	各樣本中重要成分含量比較表.....	52

# 第一章 緒論

## 第一節 研究動機與目的

古蹟修復工程中瑣事最多、份量最雜，應以灰作部份獨佔鰲頭，自基礎、牆身、屋面等皆有其工作份量，灰泥亦因配合材料的比例、種類不同而異，拌合出不同的材料，以因應各種類的需求。

灰作材料與工法為水泥未普遍運用前，為建築上的最重要的材料與技術之一，但因既費工又費時，且受近代水泥之影響及工期之壓力、匠師省事習慣等之影響，近年來逐漸凋零或失傳，但其在古蹟與歷史建築的運用極廣，基於文資法 46 條之精神--古蹟修復採原材料與傳統技術方法，故本研究最重要的目的在於對灰作材料有較廣泛且深入的基礎研究，以期瞭解灰作材料在各種作法中材料的特性，以及各作法關鍵要領之探討，有助於未來古蹟修復工程中灰作工程施工規範的建立。

本研究係延續內政部委託「古蹟基礎科技研究（三）--木料及灰作保存科技研究」中有關灰作部分，作更進一步的延伸後續研究，屬於基礎性質之研究，而本年度為此後續研究的第一年。

## 第二節 相關文獻與研究回顧

### 一、相關古文獻整理分析

據《左傳》所述：成公二年(西元前 635 年)「八月，宋文公卒，始厚葬，用蜃炭。」這裏所說的「蜃炭」，《左傳注疏》裏指明「燒蛤為炭，亦灰之類」。說明用貝殼石煅燒成的石灰，在中國春秋戰國之時已被人們所認識，並利用灰類極易吸收水分的特性，將其用於防潮。石灰用於粉刷牆面，在《周禮考工記》已有記載，謂之「以蜃灰堊牆」。其他在古籍專書中以明宋應星《天工開物》石灰製作和宋李誠《營造法式》

所述及的灰作制度最具代表。

### (一) 《天工開物》

《天工開物》記載從十七世紀以來，中國已有採礦冶煉等技術，並建立唐宋時期的基礎，且愈提昇操作水準，文中對於磚瓦製造、陶瓷冶煉、金屬器具、舟車製造、採礦化工、造紙印刷等均有陳述，各種原材料的產地及加工時的用量與加工過程等亦有記載。在卷中第十一章裡分述之章文為：「宋子曰：五行之內土為萬物之母，子之，貴者豈惟五金哉，金與火相守而流，功用謂莫尚焉矣，石得燔而成，功蓋愈出而愈奇焉，水浸滯而敗，物有隙必攻，所謂不遺絲髮者，調和一物以為外，拒漂海則衝洋，瀾黏甃則固城雉不煩，歷侯遠涉而至寶，得焉，燔石之功殆莫之，與京矣至于礬，現五色之形硫為群石之，將皆變化于烈火，巧極丹鉛，爐火方士縱焦唇舌何嘗，肖像天工之萬一哉」<sup>註1</sup>。



圖 1-2.1 《天工開物》之煤餅燒石成灰

記述中，宋應星曾說過五行（金、木、水、火、土）裡土為萬物之母，土壤裡蘊藏許多寶藏，含有金、銀、鐵、銅、錫等統稱五金，最好的可提鍊為黃金，而礦石經煨火燒成再經水化後即可成為建築體最有用的建築材料：石灰。可作為基礎、築牆及相關建材之黏著等用途，而它之取得均在鄰近地區，所煨燒出來的燔石（生石灰）以青色為上等材，黃色次之，而此種可成灰之石均在土內 2-3 尺深以上挖取，經底層為木材、一層疊石、一層煤炭泥餅之鋪成後煨燒，因火候不均而有優劣之質的生石灰。經風化或水化後成熟石灰再經養灰後調配各種拌合物，加桐油、魚油則成油灰；可與絹做補縫材料；與砂土拌合後之灰材可砌牆；

<sup>註1</sup>（明）宋應星，1995，《天工開物》，浙江，內文卷11。

加上麻絨與紙筋可做噴及牆壁之表面材料；拌沙土外再加適量的糯米、羊桃藤汁等可築堅固之三合土牆。而在臺閩沿海地區因燔石不易取得，則以蠣灰為代用品，由蠣殼經火煨燒後而成之灰，未經煨燒或火候不足者為不合格之材料<sup>註2</sup>。

## （二）《營造法式》

《營造法式》為中國現存時代最早、內容最豐富的建築學著作。北宋紹聖四年(1097)將作少監李誠奉令編修，元符三年(1100)成書，崇寧二年(1103)刊印頒行。本書內容除行政管理上「關防工料」的要求外，側重於建築設計、施工規範，並有圖樣，是瞭解中國古代建築學暨研究古代建築的重要典籍。全書 34 卷，書前另有看樣、目錄各一卷。「看樣」的內容主要是各「作」(工種)制度中若干規定的理論或歷史傳統根據的闡釋。

包括建築物各個部分的設計規範、各種構件的權衡、比例的標準數據、施工方法和工序，用料的規格或配合成分，磚、瓦、琉璃的燒製方法。卷十六至卷二十五為「功限」，詳細列舉各種工程所需的製作和安裝之單位工作量，各工種所需輔助工(供作功)數量，以及舟、車、人力等運輸所需裝卸、架放、牽拽等工額。卷二十六至卷二十八為「料例」，規定使用材料的限量。其中或以材料為準，如列舉當時木料規格，註明適用於何種構件；或以工程項目為準，如粉刷牆面(紅色)，每一方丈乾後厚一分三釐，需用石灰、赤土、土朱各若干斤。卷二十九至卷三十四為圖樣。以上制度、功限、料例、圖樣等部分，均按壕寨(土作)、石作、大木作、小木作、雕作、旋作、鋸作、竹作、瓦作、泥作、彩畫作、磚作、窯作等 13 個工種分別記述。這些工種的內容，一部分同後世的分工相近。本書中雖對灰作並沒有太多的敘述，但在卷十三及二十五均述及泥作用料、工限及作法等。

---

<sup>註2</sup>薛琴，1996，《傳統灰作施工方法》，台北，行政院文化建設委員會。

## 二、國內相關研究成果整理分析

(一) 張清忠，2001，《三合土配比及材料行為之研究》，國立台灣科技大學碩論。

三合土為蠣殼灰、砂、紅土等三種材料依一定比例之混合，再加入適當水量，經攪拌混凝而成之黏結材，本研究之主旨在於探討三合土各主要材料之性質，及相關之配比研究。

### 1. 研究成果

- (1) 三合土添加適量水泥可增加三合土在防止龜裂、抗壓強度、抗張強度上之功能。
- (2) 紅土其良好之保水力及黏著性，可提升三合土材料之延展性、黏結力及防止水分快速蒸發。
- (3) 蠣殼灰可提升三合土韌性、防潮與防蟻性能。
- (4) 蠣殼灰經錘鍊可提升延展性、減少龜裂，與未錘鍊蠣殼灰、石灰相較，
- (5) 錘鍊蠣殼灰 14 天之抗壓強度可達 90 天齡期之 72%。
- (6) 傳統三合土強度係來自於紅土與蠣殼灰之化學反應。
- (7) 傳統三合土之紅土用量需適量，以得到最佳之效力。
- (8) 錘鍊過蠣殼灰與未錘鍊蠣殼灰、石灰相較，錘鍊過蠣殼灰抗壓強度較高，且在最大壓應力時為延展性破壞，其餘則為脆性破壞。優質之粉刷層配比宜以蠣殼灰、砂為主，水泥為輔，以取得互補之功能。
- (9) 對於蠣殼灰的生產製作之說明。
- (10) 歸納出適用於屋頂瓦作、牆面砌磚、粉刷打底及地坪鋪面、

澆置等，不同用途之最合理材料配比。

## 2. 研究評析

- (1) 為國內首度以灰作材料之仿作試體進行各項力學性質之試驗。
- (2) 用「三合土」名稱統稱所有灰作材料，與一般傳統建築的灰作用語不大相同，亦造成解讀與溝通之困難。
- (3) 研究的成果頗為肯定添加適量水泥運用於灰作材料中，此論點運用在古蹟建築修復上，有違反《文花資產保存法施行細則》第 46 條有關古蹟修復原則中，採用原有材料或近似材料、使用傳統之技術及方法等規定之虞。
- (4) 以金門地區的傳統工法作為研究之範圍，其成果是否可代表臺灣地區之作法，宜作進一步的評估。
- (5) 有關匠師訪談關於傳統灰作配比並未進一步作說明。
- (6) 傳統灰作中三合土有夯實的操作步驟，該步驟影響三合土強度頗大，在此研究的試驗中並未加入此步驟。
- (7) 此研究強調灰錘鍊的必要性，但傳統灰作各部位之運用，並非全部使用錘鍊灰。
- (8) 歸納出適用於屋頂瓦作、牆面砌磚、粉刷打底及地坪鋪面、澆置等不同用途之最合理材料配比建議，尚屬理論之性質，應有更進一步的實作試驗，不宜貿然用於古蹟修復工程。

(二) 周志明，2002，《臺灣傳統砌體建築「灰縫」之基礎研究》，

雲林科技大學碩論。

係以砌體建築「灰縫」之為主要研究對象，利用九二一震災後歷史建築調查的機會，以中部地區傳統砌體建築與台南市內之古蹟為研究範

圍，作實地的案例調查與整理，並將所採集到的樣本進行基礎性的物理化學分析，以分析灰縫所含的元素、化合物以及表面膠結的類型，

同時建立基礎性的資料和檢測的方法，以提供未來修復上的參考，如灰縫的酸鹼值、膠結類型和組成成分。最後，將案例調查的部份結果彙整，並分析灰縫受破壞的各項因素，進而建立灰縫的生命週期。

## 1. 研究成果

- (1) 臺灣傳統砌體建築灰縫的形式調查成果
- (2) 臺灣傳統砌體建築灰縫的厚度
- (3) 灰縫的破壞因素調查整理
- (4) 灰縫的物理化學分析
- (5) 灰縫生命週期的提出

## 2. 研究評析

- (1) 為灰縫的初期基礎研究，重點著重在灰縫的成分、形式、破壞現象與因素之研究。
- (2) 國內首度以微觀分析灰作材料，建立灰作微觀分析的方法，但因受限於部分儀器與分析樣本本身的限制，實質的成效不大。

(三) 薛琴，2002，〈灰作材料及試驗〉《古蹟基礎科技研究（三）

--木料及灰作保存科技研究》，內政部委託研究報告。

灰作建築材料屬地方性建材，其於各地材料、作法上亦有相當大的差異，而其運用層面最廣泛、工序最為繁雜、成分複雜且難以控制，故其品質最難控制。然而，長期以來缺少深入之研究，藉由本研究對灰作之材料、各式操作要領及材料試驗，以建立傳統灰作的基礎研究。

### 3. 研究成果

#### (1) 傳統建築灰作操作要領的整理研究

有關此部分操作要領的調查整理研究，為此研究的重要成果，內容如下。

- v 養灰作業要領
- v 基礎與牆基三合土之作法
- v 地坪鋪面與勾縫灰漿之作法
- v 裝飾抹灰之作法
- v 砌壘石磚灰漿之作法
- v 壁面層之灰泥之作法
- v 屋面瓦與脊飾之作法
- v 灰作材料與其他材料結合之關係

#### (2) 傳統匠師的配比

依採訪匠師口述灰作經驗，將訪談匠師所得各項灰作材料及配比如：潑灰、黃土、砂、石灰、水、碎石、糯米漿、海菜漿、黑糖水、鴨蛋白、麻絨等材料，實際拌合成 5 公分立方試體。試體抗壓強度介於 3.44 ~ 23.46 kgf/cm<sup>2</sup>，平均抗壓強度約為 9~10kgf/cm<sup>2</sup>，而其中添加水泥粉之配比試體之抗壓強度普遍偏高。

### 4. 研究評析

- (1) 此研究提供較為完整的各項灰作作法與配比。
- (2) 對於灰作中的各項材料之特性作整理說明。
- (3) 此研究的試驗計畫之試驗內容、控制變數並未十分清楚，實驗

結果之分析不夠明瞭，且缺乏抗壓性質以外的試驗內容。

(四) 王新衡，2003，《臺灣傳統磚砌建築灰縫材料特性之研究》，  
雲林科技大學碩論。

本論文針對臺灣傳統磚砌建築灰縫材料的相關特性進行研究，並期望藉由試驗分析成果提供未來傳統建築修護時之參考。研究初期始於傳統建築實地調查與訪談匠師，記錄磚砌結構灰縫的類型、材質、劣化狀況...等，並以自傳統建築所採集的灰縫試體，與依匠師的配比所製成的仿作灰縫試體，進行相關的材料特性試驗。

試驗的進行可分為：「灰縫成分分析」、「仿作灰縫的材料試驗」、「灰縫耐久性試驗」等三個方向。綜合比較相關研究成果，分析各灰縫材料特性之間的相關性。並從中建構出依灰縫的「色度」分析所含「成分」，進而概估「白灰」與「砂-土」之配比的模式，以利於鑑別傳統灰縫材質的成分與配比。最後，提出傳統磚砌建築灰縫修護流程的建議，並對研究成果之應用性與可行性進行評估，以提供傳統灰縫修護實用性之參考資訊。

## 1. 研究成果

- (1) 傳統灰縫的勘查
- (2) 傳統灰縫的微觀分析
- (3) 傳統磚砌建築灰縫之成分分析
- (4) 灰縫試體之基本材料特性
- (5) 傳統灰縫的劣化與加固補強
- (6) 傳統磚砌建築灰縫成分配比之鑑定
- (7) 傳統磚砌結構灰縫修復計畫

## 2. 研究評析

- (1) 建立較為完整的灰作微觀分析的方法。
- (2) 首度對灰作材料建立耐候性試驗的方法。
- (3) 灰縫作法、材料與配比因地區性差異極大，此研究僅依據一部份匠師訪談的作法與配比作為試驗與研究的對象，並未說明配比如作法選定的標準。
- (4) 灰縫成分分析試驗中，部分試驗因儀器本身的限制，其量測分析出來之結果實質意義不大，如能量散佈光譜儀（EDS）對元素含量測定等。
- (5) 高分子加固材料的灰縫加固方式應用之評比，忽略對材料使用可逆性之評估。
- (6) 此研究提出之傳統磚砌建築灰縫成分配比之鑑定方式，其實質運用可行性與可信度，應作進一步的評估。
- (7) 各項試驗中白灰的使用大多未經過撥灰與養灰的程序，可能會影響試驗的成果數據。

## 三、大陸相關研究成果整理分析

(一) 張海清等，1984，〈古建築灰漿〉，《古建築灰漿古建園林技術》。

在傳統匠師中有「九漿十八灰」之說法，在古建築施工過程裡，灰漿廣泛使用在砌牆、抹飾上，本篇主要為分述古建築常用之灰及漿的配比、製作方式和用途。

(二) 劉大可，1985，〈明、清官式灰背作法〉，《古建築灰漿古建

園林技術》。

本文主要係探討於明、清官式建築中之屋頂作法，灰背作法是解決平台屋頂以及天溝等部位防水問題之措施，並記載傳統灰背操作方式、宮廷灰背作法中的幾種特殊手法，如壓麻作法、錫背作法、油衫紙作法、三麻布作法、鹽鹵鐵作法，而現行之灰背作法則簡化步驟。

(三) 建築安裝技工學校土建教材編寫組，1980，《磚瓦抹灰工工藝學》。

本書為教材，其主要將磚、瓦抹灰工常用材料，配合技術資料，反映施工需要，其中灰主要用在砌築材料之特性、種類、配比、所運用之步驟及注意事項，並將抹灰工程的質量要求和檢查方法明確的列出，包括其數據。

### 第三節 灰作工程現況面臨之問題

灰作工程現今主要運用於古蹟修復工程之中，但在實際運用層面上卻面臨了下列諸多的問題，有待進一步研究找出解決之道。

#### 一、關仔嶺石灰品質下降問題之探討

早期營建工程灰之原料來源，除可來自於沿海的牡蠣養殖區之灰窯<sup>註3</sup>，與各近山地區產地的小規模土窯所生產，其餘最主要的石灰生產係來自於台南縣關仔嶺的枕頭山。枕頭山的石灰石礦業，係因糖業需求而開發，向來古蹟修復工程中，大多以使用關仔嶺石灰為主。

---

<sup>註3</sup> 澎湖地區則來自於硓古石灰窯。

據本研究所得灰作匠師訪談得知<sup>註4</sup>，匠師普遍反應近年來石灰的品質與從前差距甚大，黏度小、硬度小，施作容易失敗。本研究前往古蹟修復工程石灰原料最大供應地關仔嶺進行調查，得知關仔嶺地區因政府禁採當地的石灰石礦，故已無生產源自於關仔嶺枕頭山的石灰，大多引進從東部宜蘭方面的生石灰，再經消化加工後包裝，但仍以關仔嶺特白灰之品牌銷售，所以實際上石灰的原料來源已改變，值得進一步探討，以俾於解決此灰作品質之問題。

## 二、蠣殼灰、硓古石灰的生產逐漸消逝

蠣殼灰、硓古石灰為沿海地區最重要的白灰原料，其於灰作工程中的品質頗獲肯定，但在台灣本島，因環保的規定，已無蠣殼灰窯生產白灰，而澎湖的硓古石灰業者僅一家，亦因環保規定的考量不再繼續生產。現今只有金門尚有數家的灰窯生產蠣殼灰，所以，傳統使用的白灰原料面臨取得不易的困難，亟待解決。

## 三、一般土水匠師已對灰作之技藝不熟捻

灰作的操作程序複雜，使用的部位廣泛，使用配比的種類亦多，但在水泥出現後逐漸消逝，近年來，有經驗的老匠師逐漸凋零，多數的泥水匠師皆無灰作實際操作的經驗，大多為因應古蹟修復工程之需要，由較具經驗的灰作匠師指導學習灰作技藝，但技藝熟捻度不足，造成古蹟修復灰作的品質低落。

## 四、灰作操作程序容易為匠師所簡化

灰作操作程序繁複，費時亦費工，所以有關潑灰、過篩、養灰、錘鍊等重要步驟，往往為匠師所簡化，甚至有些泥水匠師完全不知這些步驟，導致灰作品質不佳。

---

<sup>註4</sup> 古蹟修復匠師蔡松柏訪談（2003/5/1）、古蹟修復匠師顏必亮訪談（2003/8/6）。

## 五、檢查驗收無一定規範基準

因灰作目前尚無規範建立，故檢查驗收無一定基準，往往僅於面層作白灰粉刷，而非原有完整的灰作作法。

## 第四節 研究課題與內容

綜合前述的國內研究成果與國內目前灰作面臨的問題，確立下列數個本次研究的主要課題與內容。

### 一、國內外灰作相關研究的整理研究

國內此類研究甚少，所以需增加對中國大陸、日本、歐美等有關灰作研究資料的蒐集，以俾於對灰作材料的基本性質有更多的瞭解，減少研究方向的偏差。

### 二、各類白灰成分分析與其使用性質之差異比較

國內白灰來源種類眾多，必須藉由成分分析以探討其性質之差異因素。

### 三、生石灰煅燒製造之研究

生石灰煅燒製造方式與過程，影響白灰的品質甚鉅，有必要對國內生石灰煅燒之製造方式與過程作一調查與研究。

### 四、潑灰、養灰之研究

潑灰、養灰為傳統灰作重要的操作程序之一，但近年來往往被簡化

或忽略，因此對於這些程序進行調查與試作之研究。

#### 五、現有古蹟建築灰作材料的採樣分析

就目前進行中的古蹟修復工程，針對其拆除部分之灰作材料，作採樣調查，並加以試驗，以瞭解古蹟建築中原有灰作材料的性質，並藉以與實驗室製作試體之材料性質作比對分析。

#### 六、日治時期近代建築灰作材料與作法初探

前階段的灰作研究著重於傳統建築，本階段之研究擬針對近代建築作一起始初步的研究，已提高古蹟建築灰作研究的完整性。

#### 七、灰作修復工法探討

針對目前古蹟修復工程中灰作破壞類型，嘗試研擬修護補強的工法。

## 第五節 研究方法與步驟

### 一、研究方法

#### (一) 匠師訪談

透過對傳統匠師的訪談，以瞭解各種灰作之組成材質、配比及施工要領，並藉以製作試體試驗其材料特性；另外，亦透過訪談瞭解今日灰作面臨的問題。

## （二）廠商訪談（包含營造廠）

廠商對象分別為石灰原料廠商與古蹟修復工程營造廠商。

石灰原料廠商的訪談，主要是要瞭解石灰的生產與加工過程，還有原料來源，以進一步瞭解石灰原料的類型、品質差異。

古蹟修復工程營造廠商之訪談，係期望瞭解目前修復工程中的灰作工程施作情形與其所面臨的問題。

## （三）文獻與相關研究成果蒐集分析

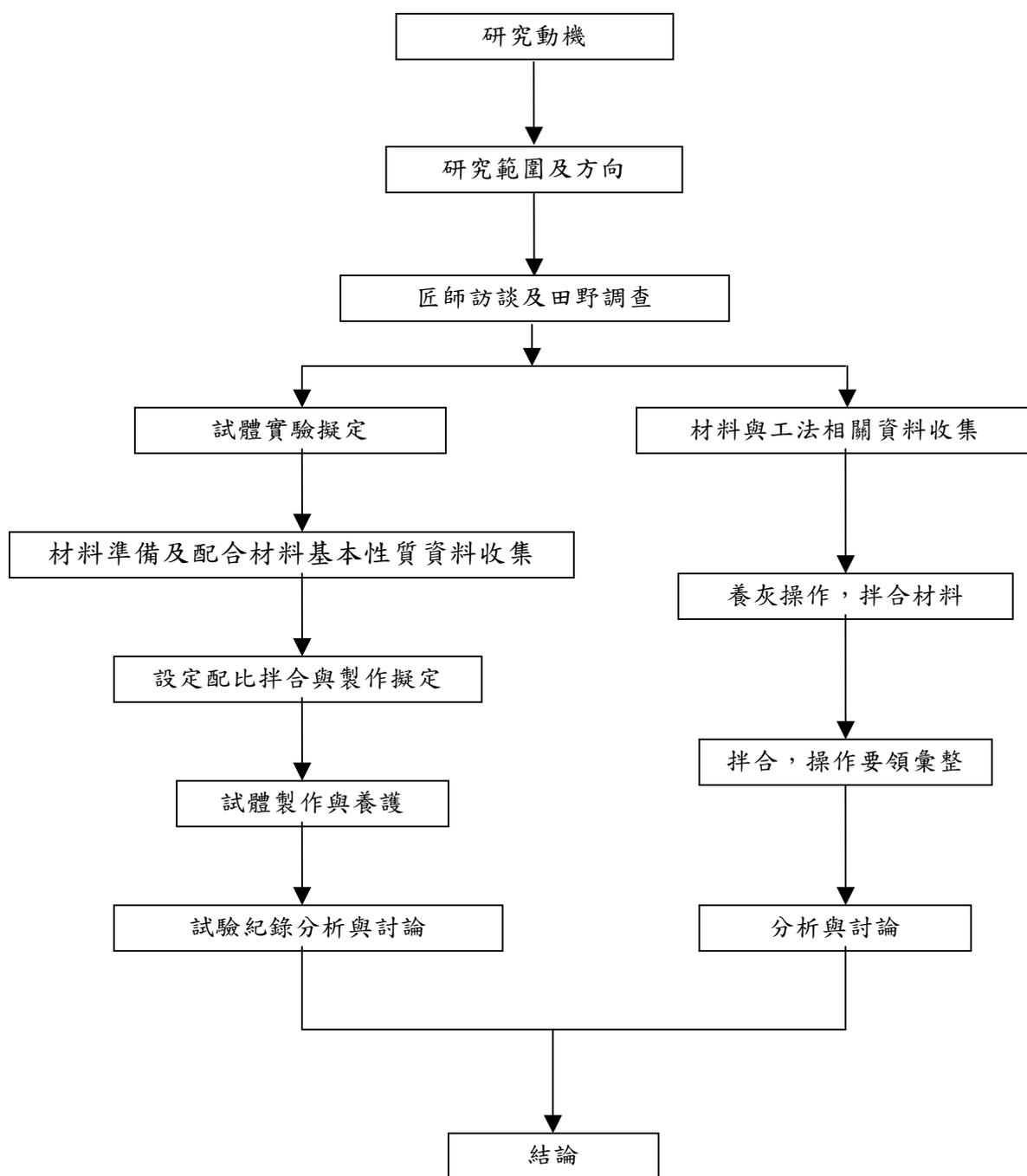
文獻的蒐集，以瞭解傳統灰作的作法、材質、配比等，以供田野調查、實驗分析等相關研究之參考。

相關研究成果整理分析，可確立本研究的方向，其成果可作為本研究發展之基礎，並可藉以參考檢討本研究的方法。

## （四）灰作樣本採樣

因為多數的樣本採取對象大多為古蹟或歷史建築，因此以不破壞建築本體為最高原則，通常是擷取已經破損脫落者，以密封袋裝回檢測分析，並於現場拍攝照片記錄。

## 二、研究步驟



## 第六節 行文名詞界定

灰作的歷史悠久，作法與材料種類繁多，且國內外各地皆有，因此相關的用語名稱頗多，容易造成認知上之混淆，因此以下將就最常運用的名詞作一簡要之定義，並作為本研究行文之界定。

### (一) 白灰 (石灰) (貝灰) (蠣殼灰) (砵古石灰)

為灰作中最重要的材料，係指生石灰，其化學學名為氧化鈣，化學式為  $\text{CaO}$ ，依其原料來源不同可分為岩石灰與貝殼灰兩大類，常見的有石灰、蠣殼灰、砵古石灰等，本研究對各類型來源的灰，皆統稱為灰或白灰。

### (二) 消石灰 (熟石灰) (潑灰)

為氧化鈣經過與水反應作用後，所得的白色粉末，其化學學名為氫氧化鈣，化學式為  $\text{Ca(OH)}_2$ ，一般俗稱為消石灰或熟石灰，在傳統建築上常稱之為潑灰，係因透過潑水於生石灰塊，以製作粉末狀之消石灰，此操作過程稱之為潑灰，故便將此製作成品稱為潑灰。

### (三) 灰泥 (漆喰) (灰膏) (石灰膠泥) (灰漿)

本文所界定的灰泥係指消石灰加水調和成的流體狀材料，有時為了工作性調整之需要，會添加砂，但並未有泥土之添加，一般常稱之為灰泥或灰漿、石灰膠泥，日式用語則為漆喰。

## 第二章 灰作材料及其重要性質

### 第一節 灰作基本材料

灰作基本材料係指各式灰作作法中，所運用的基礎材料，與添加用以改善材料性質的添加材料有所區隔。本研究針對各基本材料在整體組合材料的扮演性質再區分為凝結材、填充材、固結材，其內容分述如下。

#### 一、灰

一種以氧化鈣為主要成分的氣硬性無機膠凝材料。石灰是用石灰石、白雲石、白堊、貝殼等碳酸鈣含量高的原料，經 900~1100°C 煅燒而成。石灰是人類最早應用的膠凝材料。公元前 8 世紀古希臘人已用於建築，中國也在公元前 7 世紀開始使用石灰。至今石灰仍然是用途廣泛的建築材料。石灰有生石灰和熟石灰(即消石灰)，按其氧化鎂含量(以 5% 為限)又可分為鈣質石灰和鎂質石灰。

原始的石灰生產工藝是將石灰石與燃料分層鋪放，引火煅燒一周即得。現代則採用機械化、半機械化立窯以及迴轉窯、沸騰爐等設備進行生產。煅燒時間也相應地縮短，用迴轉窯生產石灰僅需 2~4 小時，比用立窯生產可提高生產效率 5 倍以上。近年來，又出現了橫流式、雙斜坡式及燒油環行立窯和帶預熱器的短迴轉窯等節能效果顯著的工藝和設備，燃料也擴大為煤、焦炭、重油或液化氣等。

#### 二、砂

砂是岩石風化後之產物，分為紅砂與黑砂，或由溪流中岩石遭水化與衝擊後之碎物由不同粒徑的礦物顆粒混合而成，按產地有山砂、溪砂、河砂、海砂等幾種，用途作為細料與攪拌材料配製為砂漿，砂按顆粒之大小分為粗砂、中砂、細砂、粉砂等，平均粒徑大於 0.5mm 者為粗

砂，0.35~0.5mm 者為中砂，0.25~0.35mm 者為細砂，0.25mm 以下者為粉刷或磨粉。一般均使用中砂，因使用粗砂的拌合性不佳不便操作，使用細砂則強度較低，亦因太細施作時整面之結合性較差、龜裂多。

### 三、土

其形成為地球表面的地層，經冰雪風雨等大自然的力量分解後，破碎的礦物質和腐爛的有機質混合而成，土壤最上層為表土、中層為心土、下層為底土。

成份由礦物質、有機質、水份和空氣四種主要成份組成，粘土礦物是由風化過程中新生的礦物所構成，有機質是由動物的排泄物或殘骸所構成亦稱腐植質。暗棕色、黑色膠體混合物土壤中的水份含有各種可溶性鹽類，如鉀、鈉、鎂、鈣、硝酸鹽、磷酸鹽和硫酸鹽<sup>註5</sup>。

土壤因質地不同分為砂土、壤土及粘土三大類。

土壤有酸性、中性及鹼性等不同之化學反應酸鹼度(PH 值)的大小，隨各種土壤而異，通常受母岩的性質及雨量的影響大，酸鹼度可在 3~11 之間，通常在 4~9 之間，母岩為酸性雨量多則為酸性，雨量少則易形成鹼性，台灣北部耕地大多屬酸性及強酸性，南部地區則以微酸性到微鹼性的土壤居多<sup>註6</sup>。

## 第二節 灰作之添加材料

建築工程中能合理的選材將會使工程品質及工效出現理想的效果，在傳統建築及古蹟修護工程對於灰作材料適當的選用將會使操作後的成果臻至理想，單純的石灰很少直接用於建築材料上使用，為使其增加強度、粘結力、預防龜裂、防水等效果，從文獻記載及匠師訪談得知，

---

<sup>註5</sup>張清忠，2002，《三合土配比及材料行為之研究》，碩論，台灣科技大學，P.5-8。

<sup>註6</sup>同註5。

配合材料的材質好壞對於拌合配比的多少，操作技術的正確性均影響灰作材料的品質，本節對粉刷用、砌築用之三合土所需拌合之材料及其特性做研究分析。

石灰的生產較為普遍後，建築用石灰膠泥也變多，一般稱之為「攪灰泥」，即石灰加土及砂的混合砂漿。各產地砂子的粒度與含泥量不同又使用項目不同，故對摻灰泥配合比亦有不同。此外，摻灰泥由於用途不同，骨料也有差別；如砌石用的摻灰泥，為了在灰泥硬結前確保砌築的石塊不會變位，往往摻入小片石，稱之為「細石摻灰泥」<sup>註7</sup>。

從《營造法式》看出：砌築用石灰的料例是以「礦石灰」（即生石灰）來計量的。如卷二十七磚作料例規定：「應安砌所需礦灰以方一尺五寸磚用一十三兩（每增減一寸各加減三兩，其條磚減方磚之半）」。

摻合有機材料的石灰膠泥，諸如桐油石灰、糯米汁石灰、血料石灰、以及傳說中的白度石灰、米醋石灰等。特別是桐油石灰、糯米汁石灰，自古以來即常用於各項建築工程中。

## 一、麻

古代粉刷用的石灰膠泥，為了提高其施工的穩定性和防止龜裂，多有其它纖維物質摻合，最常用的就是「稻草桿」、「稻殼」、「麻絨」及「紙筋」等。「稻草桿」、「稻殼」和「大麻絨」等多用於打底找平的麤泥、中泥之中，做面層則用較細的「小麻絨」或「紙筋」。在《營造法式》卷十三泥作制度中規定：石灰泥「每石灰三十斤，用麻擣二斤」。如按卷二十七料例的規定，每一方丈石灰泥抹面用「石灰六十三斤」，折算需「麻擣」四斤三兩；卷二十七料例中又規定「破灰泥」每一方丈用「石灰二十斤」，白蔑土一擔半（即九十斤，卷十六總功條規定重六十斤為一擔，諸物依此），麥麵一十八斤<sup>註8</sup>；據傳統匠師訪談得知白灰與麻

<sup>註7</sup>清工部，1723，《工程作法則例》。

<sup>註8</sup>李誠，宋哲宗元符三年，1100，《營造法式》，中國書店。

絨之拌合比例為 100：5，拌合時兩者均需依比例調和，麻絨在白灰的拌合下易於分離，白灰亦由麻絨輔助其穩定與附著及防止龜裂。

## 二、色粉

銀朱成分為硫化汞（HgS），以一份水銀二份石亭脂（經加工之硫黃）混合同研，盛入瓦罐密封後間接加熱昇華而得紅色粉末。土朱又名赭石，成份為赤鐵礦（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>），以細質滑膩者為上品<sup>註9</sup>。

黑石脂又名石墨，研之可用。又稱黑煙子。

## 三、桐油

桐油其品種很多，有三年桐、四年桐、罌桐等，質量最佳者為三年桐與四年桐，每年收穫時間在九、十月間。主要成分為不飽和脂肪酸的甘油酯，經過油桐樹種子的冷榨或油提而製得，色呈金黃色粘稠液體，無其他添加物者稱為「生桐油」，在傳統建築木料的保護、油漆彩繪的配料、灰作中的「油灰」等都用到桐油，是古蹟建築修護中不可缺少的材料。某些品級的熔點在 0°C 以下，密度為 0.936~0.940g/cm<sup>3</sup>。

桐油石灰是一種良好的增水性砌築用膠泥。《天工開物》也載有「甃謾則仍用油灰」。「謾」即鋪地，「甃」即「聚磚修井也」，說明桐油石灰具有耐水與防水的性能<sup>註10</sup>。

## 四、糯米漿

在操作中用白灰膏與糯米漿之拌合，由肉眼即可視出硬化的速度，糯米漿又可均勻的與灰作材料拌合，補充灰作材料間之空隙填充與促進

---

<sup>註9</sup> 建築安裝技工學校，1981，《磚瓦抹灰工工藝學》，北京，中國建築工業出版社，P.21-22。

<sup>註10</sup> （明）宋應星，1995，《天工開物》，浙江，內文卷11。

硬化暨增加稠度，糯米漿以糯米加 10 倍之水先行煮爛成粥，在置放未發酵前即須予以拌合，拌合後因其與灰作材料之特性故需隨及操作，糯米成份裡含有支鏈澱粉(amy-lopectin)故在煮爛冷卻後即成粘性狀態<sup>註11</sup>。台灣產的糯米分長、短形兩類，各種粘度取之於含水率多寡，又因整粒米燒煮及碾粉燒煮等而有所區別<sup>註12</sup>。

## 五、海帶漿

灰作材料在操作中及部份使用需求上，均需使用海帶漿，它可填充灰漿之空隙又具緩和硬化速度及潤滑與防水功能，現多以成品之海菜粉拌水成膏代替之，其原因如下：

### (1) 古代之海帶漿

海帶又稱昆布，屬褐藻類，是孢子世代的孢子體，細胞中含有多層染色體具有多層細胞，因其特有組織性，經煮沸多時成稀爛狀，據訪問得知一鍋海菜漿之煮沸時間約 24 小時，且要用慢火及短時間內搗拌，隔天在未凝結前先行去雜質與過篩，待冷卻後方可使用。海帶經過水煮，燉熬過程才有粘性，一般以 16 公斤的水加入 1 公斤的海帶要注意不可置放太久，每日未用完之量必需再加溫否則隔天即發臭而無法使用。

### (2) 現代海菜粉

經水直接搗拌而成但不能立即使用，需經完全淋化成粥狀，一般約為一天以後，如欲短時間使用可加上少許海菜粉，則在 1~2 小時後即可使用。匠師訪談得知現代的海菜粉之粘度遠不如海帶漿之粘度，故在施作時須再加重水泥份量。

---

<sup>註11</sup>曾濟群等人，1984，《少年百科全書第六冊》，幼獅文化事業股份有限公司，P.125~155。

<sup>註12</sup>參考自王新衡，《臺灣傳統磚砌建築灰縫材料特性之研究》，雲林科技大學文化資產維護研究碩士論文，2003。

## 六、鴨蛋白

鴨蛋白之功能與海帶漿相似，內陸地區因海帶較難獲得，常以此代替之。



圖 2-2.1 現代海菜粉拌水後的海帶漿

## 第三節 灰的原料來源

臺灣地區的灰原料來源依地理環境不同可分為兩大類，近山地區主要為礦物性石灰石，近海地區生物性石灰。礦物性石灰石，依據其地質年代的不同與地質作用不同，又可分為結晶石灰岩（又稱變質石灰岩，俗稱大理石）、半結晶石灰岩、中新統石灰岩、上新統珊瑚石灰岩、頭嵙山統珊瑚石灰岩、隆起珊瑚礁；生物性石灰主要來自於沿海地區漁民所養殖的牡蠣，採收完畢後所剩餘的牡蠣殼；而澎湖地區，沿岸淺灘上，常有許多珊瑚礁碎片與介殼類等的混合物，當地俗稱「矜仔」，其主要成分亦為碳酸鈣，亦可供作煅燒白灰的原料。以下就各類型石灰原料的產地分佈與其成分特色作一說明。

### 一、礦物性石灰石<sup>註13</sup>

#### 〈一〉結晶石灰岩（又稱變質石灰岩，俗稱大理石）

臺灣地區大理石礦分佈於東部片岩山地與中央粘板岩山地之



圖 2-3.1 花蓮和平鄉結晶石灰岩礦石

<sup>註13</sup> 本小節主要參考整理自《臺灣省通志》卷四 經濟志礦產篇，1969。

東緣，即北由蘇澳附近，南至知本溪中游。本區石灰岩結晶甚高，呈白色或灰色， $MgO$ ， $SiO_2$ ， $Fe_2O_3$  含量均甚少。

### 〈二〉半結晶石灰岩

此種半結晶石灰岩分佈於前項結晶石灰岩之西側， $MgO$ ， $SiO_2$ ， $Fe_2O_3$  含量均甚少，但因位居中央山脈之中，至今皆尚未開採。

### 〈三〉中新統石灰岩

北部的中新世之石灰岩主要產地為臺北縣中和的鹿寮、桃園縣龜山鄉兔子坑、新竹縣關西鎮赤柯山、帽盆山一帶，其中以關西赤柯山開採產量最多，被利用為台泥、亞泥等公司最為水泥工業之原料。本類石灰岩中  $MgO$  含量較少， $SiO_2$ ， $Fe_2O_3$  含量較多，為有孔蟲化石群與石灰藻所生成。

### 〈四〉上新統珊瑚石灰岩

西南部的上新統之石灰岩，分佈於嘉義縣番路鄉公田、台南縣白河鎮關仔嶺枕頭山、台南縣番社鄉土地公崎、高雄縣內門鄉木柵等地。本類石灰石中，含有豐富的有孔蟲（*Gypsina*）化石，所以又稱為 *Gypsina* 石灰岩，以枕頭山最厚約 100 公尺，此類石灰岩  $MgO$ ， $SiO_2$ ， $Fe_2O_3$  含量均多。其中枕頭山的氧化鎂  $MgO$  含量特高，幾乎為全台之冠。



圖 2-3.2 關仔嶺枕頭山石灰岩礦石

### 〈五〉頭嵛山統珊瑚石灰岩

主要分佈於高雄縣與屏東縣之丘陵地帶中，如高雄縣田寮鄉，燕巢鄉大崗山及小崗山，高雄市左營之半屏山、龜山、壽山，林園鄉大平頂

台地，屏東縣恆春西台地。此等大致為珊瑚石灰岩，有時挾有泥岩之薄層，MgO 含量較少，SiO<sub>2</sub>，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量較多。

表 2-3.1 臺灣地區礦物性石灰岩分佈一覽表

類型	年代	分佈區域	特色
結晶石灰岩	上古生代	中央山脈東坡，由蘇澳附近，南至知本溪中游	結晶甚高，呈白色或灰色，MgO，SiO <sub>2</sub> ，Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量均甚少
半結晶石灰岩	白堊紀與古第三紀	中央山脈高山區	MgO，SiO <sub>2</sub> ，Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量均甚少
中新統石灰岩	第三紀中新世	臺北縣中、桃園縣龜山、新竹縣關西、台東	MgO 含量較少，SiO <sub>2</sub> ，Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量較多
上新統珊瑚石灰岩	第三紀上新世	嘉義縣番路、台南縣白河、台南縣番社、高雄縣內門	MgO，SiO <sub>2</sub> ，Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量均多
頭嵙山統珊瑚石灰岩	下更新世	高雄縣田寮、燕巢、高雄市半屏山、壽山、屏東恆春	MgO 含量較少，SiO <sub>2</sub> ，Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量較多
隆起珊瑚礁	第四紀上更新世	屏東恆春、北部海岸、花蓮、台東、綠島、蘭嶼	多孔隙、有珊瑚紋

## 二、生物性貝殼灰

### 1. 牡蠣殼

牡蠣殼的主要成分與石灰岩相同，皆為碳酸鈣 CaCO<sub>3</sub>，來自於沿海

地區漁民所養殖的牡蠣，採收完畢後所剩餘的牡蠣殼，經過灰窯的煨燒而燒製成石灰。此種石灰生產方式，主要分佈於臺灣西南部與外島之澎湖、金門等。

## 2. 珊瑚礁石灰岩

隆起珊瑚礁地形大規模分佈於恆春半島海岸，零星分佈於北海岸、花蓮等地方，海岸山脈海岸、澎湖、蘭嶼與綠島等海地。珊瑚礁面向海側逐漸降低，一部份與現生之珊瑚礁相連接，此處常有珊瑚骨骼堆積，俗稱為砵古石，係因珊瑚被海浪破碎後打上海濱堆積而成。此類珊瑚礁石常被作為家屋建築之用，並作為燒製石灰的原料，而臺灣地區以澎湖使用最多。



圖 2-3.3 澎湖的砵古石（砵仔）

## 第四節 灰的煨燒

### 一、礦物性岩石灰

有關礦物性石灰的加工燒製，早在明代的《天工開物》便有記載，「凡石灰，經火焚煉為用。……燔灰火料，煤炭居十九，薪炭居十一。先取煤炭泥和做成餅，每煤餅一層，疊石一層，鋪薪其底，灼火燔之，最佳者曰礦灰，最惡者曰窯渣灰。」亦即將煤與泥和作成餅，然後一層煤餅一層灰石相互堆砌，底下鋪柴引火煨燒。此種煨燒石灰的方法與原理在台灣亦可見，早期臺灣地區的石灰煨燒，於適當地方興建小型灰窯，並以此方法原理煨燒石灰。而大規模的石灰生產，在數十年前便改以自動化的生產設備，但其原理大致相同，僅在於灰石與煤炭直接等比

例混入，不作交互層疊。近年來，小規模的灰窯石灰燒製，因銷量與環保等問題，幾乎已在臺灣本島消逝，僅於金門等外島尚有此種古法燒製。

現代大規模的石灰煅燒，以宜蘭頂興公司為例，採循環式的爐體設計。首先將礦石與焦炭分別以輸送帶輸入高架之儲存桶，再將礦石與焦炭依等比例投入窯中，並加入粗鹽。窯體內部分為三部分，由上至下分別為預熱帶、煅燒帶、冷卻帶，產品之移出與原料之添加等速，形成一種循環式的運作模式，從原料至成品約需經 20 小時。

而關仔嶺的傳統大規模石灰生產廠之煅燒法如下。煅燒設備依地形而砌築成圓錐形窯狀，分三層做窯燒動作（同上）。灰窯燒時最怕斷火，因起火時之初期無法穩定；經過長時間與經驗老師傅研究改良成現有之設備，以磚窯專用之大塊磚以圓形疊砌口徑約 2M 高度約 6M，以山坡地形砌築圓錐形之窯爐，第一次起火為最重要之步驟，故第一層於爐只上方鋪木材約 30 公分高第二層起以岩石與煤碳混合堆置約 2 米高，起火後視頂層煤碳著火，再續堆放岩石與煤碳，以此延續放置，當第一層煅燒之岩石完全煅燒半冷卸後，逐塊取出，待陰涼後即為生石灰塊。



圖 2-4.1 宜蘭頂興公司新式灰窯



圖 2-4.2 關仔嶺枕頭山的傳統灰窯

## 二、生物性灰

一般均在沿海且生產牡蠣的鄰近地區生產，先將去蚶後之殼置於曠地上堆積讓雨水或人工澆淋減低含鹽量後，其煨燒法與前述傳統灰窯煨燒法類似，依煨燒環境範圍以乾木材一層，蚶殼一層每層約20公分厚之木材、30公分厚之蚶殼，逐層疊置，一般高度可達2公尺高左右，開始煨燒經鼓風設備助燃，使木材及蚶殼完全燃燒成灰，待陰涼再將燒後之灰過篩所得之粉末即為蚶殼灰，直接進行養灰程序後使用。

日本文化財修復所使用之白灰原料，必須由傳統的土中爐煨燒而成，其他以石油等為燃料的窯燒方式皆不可使用。所謂的土中爐，跟傳統關仔嶺枕頭山的灰窯構造頗為相似，皆利用自然地形興建，並以焦炭與礦石混合煨燒，約需經4日方可得成品。



圖 2-4.3 澎湖的灰窯

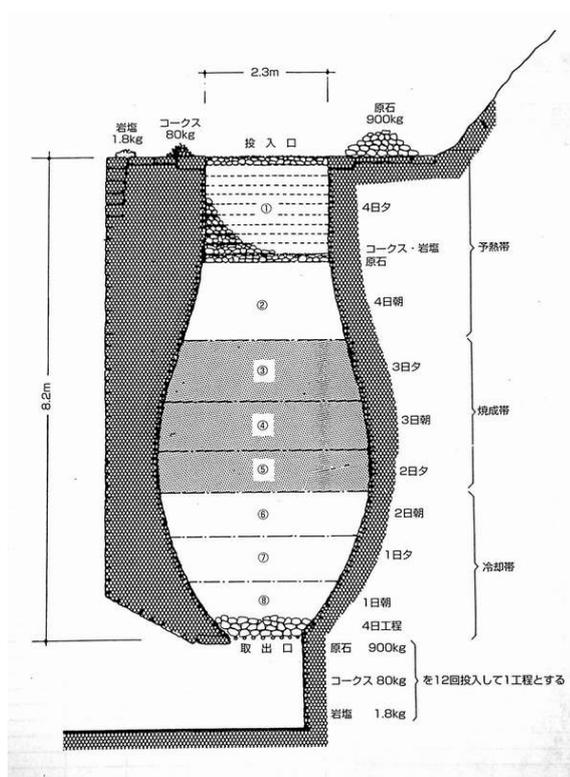


圖 2-4.4 日本的土中窯構造

## 第五節 灰的化學反應

整個灰作材料中最重要原料--灰，從生產到施工完成使用，是一連串的化學反應所組成，有助於對灰的材料性質之認識。下面就各

階段之反應逐一說明。

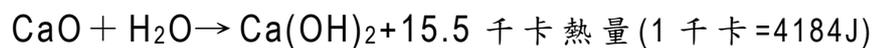
### 一、碳酸鈣煨燒



化學式  $\text{CaCO}_3$ 。白色結晶或粉狀固體；相對密度 2.7~2.93。碳酸鈣加熱到  $825^\circ\text{C}$  左右開始分解生成二氧化碳和氧化鈣，而一般煨燒直立窯煨燒溫度約為 900~1000 度，煨燒後二氧化碳排至大氣中，煨燒成品為塊狀氧化鈣即所謂的生石灰。

### 二、生石灰消化

生石灰具有強烈的吸水性，遇水生成氫氧化鈣  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，並放出大量的熱量，此過程一般稱為「消化」或「熟化」，傳統灰作將其稱之為「潑灰」，所以氫氧化鈣稱之為「消石灰」、「熟石灰」、「潑灰」，其狀態為白色粉末。生石灰的熟化為放熱反應，約為攝氏 104 度之高溫，熟化時體積增大 1.5~2 倍。煨燒良好、氧化鈣含量高的生石灰不但熟化快、放熱量多，體積增大也較多，因此產量較高。

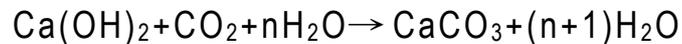


### 三、消石灰碳化（硬化）

石灰漿在空氣中逐漸硬化包括兩個同時進行的過程<sup>註14</sup>：

(1) 石灰膏或漿體在乾燥過程中，由於水分蒸發或被吸收，氫氧化鈣從過飽和溶液中析出，形成氫氧化鈣結晶，這個過程稱為結晶過程。

(2) 從過飽和溶液中析出的氫氧化鈣晶體並不穩定，它要吸收空氣中的二氧化碳，生成不溶解於水的碳酸鈣  $\text{CaCO}_3$  結晶，並放出水分蒸發。這個過程稱為碳化過程。



碳化作用實際上是二氧化碳與水形成碳酸，然後與氫氧化鈣反應形成碳酸鈣。所以這個作用不能在沒水分的狀態下進行，而因為空氣中二氧化碳的濃度不高，石灰的碳化作用只發生在與空氣接觸的表面，當石灰表面碳化生成碳酸鈣薄層後，阻止二氧化碳繼續透入，也影響內部水分的蒸發，所以石灰的碳化過程是十分緩慢的，內部則形成由矽酸、土與水混合而成的硬性化合物，來達到硬化的作用，而1年大約能達到90%的硬化程度<sup>註15</sup>。氫氧化鈣的結晶作用主要在內部發生，所以石灰漿體硬化後，主要為碳酸鈣與氫氧化鈣晶體所組成<sup>註16</sup>。熟石灰在硬化過程中，由於水份大量蒸發而產生較大收縮，會出現乾裂。

就灰的化學反應觀之，其實是一個循環的關係，從最初的碳酸鈣原料，經過煅燒變成氧化鈣，然後在與

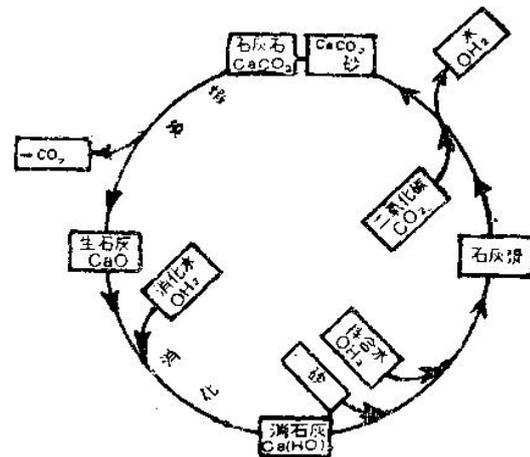


圖 2-5.1 石灰循環圖

<sup>註14</sup>曹文達、曹棟，2000，《建築工程材料》，北京，金盾出版社，P.20。

<sup>註15</sup>財團法人文化財建造物保存技術協會，《工法 左官工事》，2003，P.13。

<sup>註16</sup>李業蘭，1995，《中等專業學校試用教材—建築材料》，中國建築工業出版社，P.26

水反應形成氫氧化鈣，最後吸收空氣中的二氧化碳回復到碳酸鈣的形式。

## 第六節 灰之重要性質

本節所述之灰之重要性質，係根據相關的文獻資料或研究成果整理而得，並非本研究的試驗結論。

### 一、各類灰的共同特性

#### (一) 強度

灰的抗張或抗壓強度皆不大，與水泥的強度相去甚遠，而抗張強度比抗壓強度更弱，單純的灰並不適宜作為結構材。

#### (二) 塑性

灰的塑性與水泥相較為大，水泥的破壞為脆性破壞。

#### (三) 乾縮

所有的灰因水分蒸發後，體積會收縮，容易造成表面龜裂，因此特性故常作為石膏的緩凝劑。

#### (四) 氣硬性

白灰是屬於氣硬性材料，在水中並無法凝結，與水泥的水硬性截然不同。

## 二、加工或養灰的影響

### (一) 錘鍊的影響

因錘鍊可使顆粒變細，可提升工作度，且吸水率較低。

可明顯提升延展性、塑性、抗張強度，體積收縮較少，表面幾乎不龜裂。

### (二) 養灰的影響

- 1.養灰時間長短，關係消化完全與否，若消化不完全，於施工後才產生消化作用，會造成局部的膨脹龜裂。
- 2.工廠消化而得的消石灰，雖不再像生石灰般的活性高，但其多多少少都還有生石灰的成分，需透過較長時間的養灰，以使其完全變為消石灰。

### (三) 過篩的影響

- 3.市售生石灰粉好大多未過篩，雜質甚多，若直接使用對灰作的品質影響甚鉅。
- 4.過篩出來的雜質種類很多，包括煤炭渣、未煅燒完全的礦石、砂、土、未消化完全的生石灰顆粒等等，這些有礙灰作品質的成分，需透過過篩的處理才能除去。

### 三、材料來源不同的影響

- (一) 塑性：蠣殼灰優於石灰。
- (二) 黏性：蠣殼灰優於石灰。
- (三) 硬度：石灰較硬。
- (四) 強度：石灰的抗張、抗壓強度皆優於蠣殼灰，且石灰在三合土中的發展強度較快，但錘鍊蠣殼灰的初期抗張強度大於石灰者

### 四、貝灰特性<sup>註17</sup>

所謂貝灰為日本左官工事的說法，其所指的相當於臺灣地區的蠣殼灰或硃古石灰。收縮率較小、抹於壁面龜裂較小、表面質地較硬，塗上接近純白色，製造當初略呈黃色，經過數年有白色化的現象；而機械化生產的消石灰粉末較細，而貝灰則常有雜質混入，故日式灰作的作法常將此二者調和使用，調和比約為消石灰：貝灰=6~5：4~5。

### 五、鎂質石灰特性

所謂鎂質石灰係指石灰其氧化鎂（MgO）含量超過一定標準即謂之，而此標準各國之定義不盡相同，大多在 15~20%之間，我國 CNS 之規定為氧化鎂（MgO）含量 20%以上，且氧化鈣（CaO）及氧化鎂（MgO）之總量大於 95%以上。

鎂質石灰性質氣硬性、硬化慢、之後易龜裂，較消石灰性質：可塑性大、黏性大，特別適用於面層塗抹。關仔嶺所產石灰其氧化鎂（MgO）

---

<sup>註17</sup>財團法人文化財建造物保存技術協會，2003，《工法 左官工事》，p.17。

含量曾高達 16.53%。據本研所得灰作匠師訪談得知，匠師普遍反應近年來石灰的品質與從前差距甚大，黏度小、硬度小，施作容易失敗。本研究前往古蹟修復工程石灰原料最大供應地關仔嶺進行調查，得知關仔嶺地區已無生產源自於關仔嶺枕頭山的石灰，大多引進從東部宜蘭方面的石灰，再加工包裝以關仔嶺石灰之品牌銷售，所以實際上石灰的原料來源已改變。而本研究初步推測其原因，可能與氧化鎂（MgO）的含量有關<sup>註18</sup>，值得進一步探討，以俾於解決此灰作品質之問題。

表 2-6.1 CNS381 中有關建築用生石灰之分類標準 (單位:%)

項 目	種 類 分 級		鎂 質 石 灰
	鈣 質 石 灰		
	甲 級	乙 級	
氧化鈣 (CaO)	75 以上	65 以上	—
氧化鎂 (MgO)	—	—	20 以上
氧化鈣 (CaO) 及 氧化鎂 (MgO) 之總量	95 以上	85 以上	95 以上
二氧化矽 (SiO <sub>2</sub> )，氧化鋁 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 及氧化鐵 (III) (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 之總量	5 以下	15 以下	5 以下
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	在製造廠取樣檢驗時不得多於 3%。如在其他處所 取樣時不得多於 10%。		

<sup>註18</sup>昔日灰作工程中，有一種白雲石石灰粉粉刷之工法，其中所用的白雲石石灰，即是一種含有 15~20% 左右苦土（主要成分為氧化鎂 (MgO)）的特種石灰，其特色為可塑性佳，無須摻用海菜（劉慶禧，1987）。而關仔嶺枕頭山的石灰岩中氧化鎂 (MgO) 含量與其他地區相較高出許多，所以其石灰之特性類似於白雲石石灰。



## 第三章 灰作材料性質試驗與白灰樣本檢驗分析

### 第一節 試驗計畫

#### 一、試驗目的

本次灰作材料性質之試驗研究目的，重點著重在探討白灰原料來源不同其對應的性質之差異；另外，有關傳統灰作重要的操作項目如潑灰、養灰等，亦透過實際操作，來觀察瞭解其要領與材料特性。

#### 二、試驗材料

##### （一）大理石潑灰

先計算本試驗的用量，向宜蘭縣冬山鄉頂興實業股份有限公司訂購生石灰塊，其礦石來源為花蓮縣和平鄉的結晶石灰石（俗稱大理石），經過該公司的煅燒生產出生石灰塊，該公司係臺灣地區少數尚能購得生石灰原料的廠商；購得之生石灰塊，依傳統的潑灰程序，得到初步的石灰粉末，再過粗細兩種篩網後之石灰粉末，才為本試驗所使用的大理石潑灰。其顏色極白，雜質甚少。

##### （二）關仔嶺特白灰

關仔嶺特白灰為市面上最常見的石灰，屬於消石灰的一種。先計算本試驗的用量，向台南縣白河鎮的珙榮石灰廠訂購，據訪談了解該公司的生石灰原料購自於宜蘭冬山鄉，亦為大理石石灰，而非當地關仔嶺枕頭山之礦石，再由該公司加工生產為消石灰。購得之石灰，亦經過過篩程序後，再進行養灰。其顏色極白，雜質甚少。

### (三) 硃古石灰

硃古石灰為澎湖所獨有的白灰，目前僅有澎湖湖西鄉的許石柳先生有生產，依本試驗所需之用量向許先生訂購，所購得之白灰屬消石灰，其顏色灰白色、呈粉末狀，為已消化過之消石灰，內含雜質頗多，高達 25.32%，雜質主要為未煨燒的矸仔顆粒。經過粗細兩種篩網後所得之白灰，再進行養灰。

### (四) 蠣殼灰

臺灣地區的蠣殼灰現僅金門地區仍有生產，依本試驗所需之用量向金門之蠣殼灰加工廠訂購，其顏色白色、呈粉末狀，為已消化過之消石灰，內含雜質頗多，高達 22.34%，雜質主要為未煨燒的牡蠣殼碎片。經過粗細兩種篩網後所得之白灰，再進行養灰。

### (五) 麻絨

本試驗所使用之麻絨為建材行市售之麻絨，所購得之麻絨有粗細兩種，一種為長度約 3~4 公分之麻絨，另者為 1~2 公分。



圖 3-1.1 粗麻絨



圖 3-1.2 細麻絨

### (六) 砂

本研究所使用砂，購自中壢復山建材行，品質符合 CNS13515 之要求，材料呈黃灰色。

### 三、試驗配比

本次研究實驗的主要重點為不同白灰原料來源性質差異的基礎研究，所以在配比設計上，以變數最少為原則。

#### (一) 純灰

純灰的試驗不添加白灰以外的材料，取用時為養灰槽中沈澱部分的白灰泥，以探討單一白灰的性質差異。

#### (二) 砂灰

以砂與白灰體積比 2:1 的配比混合，白灰為養灰槽中沈澱部分的白灰泥，以探討白灰泥加砂後的性質差異。

#### (三) 麻絨灰

白灰膠泥為提高其施工的穩定性與防止龜裂，通常會添加麻絨等纖維物，此類灰稱為麻絨灰或麻刀灰。依用途不同可再分為大麻絨灰及小麻絨灰。

大麻絨灰：長度約 3~5 公分，與灰的調和比例 100:5，用於面層灰的打底找平。小麻絨灰：長度不大於 1.5 公分，與灰的調和比例 100:3~4，用於面層抹灰。

本研究以白灰與麻絨重量比 100:5 的配比養灰，白灰為過篩後之白灰，以探討麻絨添加的養灰過程與麻絨灰的材料性質。

### 四、試體製作

#### (一) 試體製作設備

##### 1. 塑鋼養灰槽

2. 篩網
3. 灰耙
4. 水桶
5. 拌合桶
6. 虹吸管
7. 攪拌器
8. 磅秤
9. 刮刀
10. WD40



圖 3-1.3 試體製作設備

11. 海綿
12. 塹刀、杓子、漏斗、海綿
13. 壓克力試體模

參照鋼模具之比例大小由 2 公分厚壓克力板設計組合，每組六顆共六十組。

## (二) 試體製作步驟

試體製作依下列步驟執行，茲分述如下：

1. 試體模組裝。
2. 將養灰槽內的水分以虹吸管與海綿吸乾。
3. 再將養灰槽內的白灰泥取出放入水桶中。
4. 以 WD40 噴塗於試體模內部，以作為試體的脫模劑。
5. 以漏斗輔助將灰泥倒入試體模中，最後再以壓克力板刮平。
6. 試體澆置完成後，置於溫濕度穩定的空間中，並避免碰撞。

7. 10 天後拆模。

## 五、試驗項目與方法

### (一) 潑灰試驗

將生石灰塊置入水桶中，使其開吸收水分始與水反應，反應趨緩後，將其移出水中，置放於塑鋼桶中，生石灰塊開始大量放熱、體積膨脹，生石灰塊開始崩裂，最後逐漸變成粉末狀消石灰，靜置 12 小時，使生石灰塊充分分解，最後再通過篩孔 1.0mm 之篩網（相當於 ASTM18 號篩），除去未消化生石灰及其他雜質，即可得粉末狀之消石灰。



圖 3-1.4 生石灰消化過程—未潑水之生石灰塊      圖 3-1.5 生石灰消化過程—潑水後放熱體積膨脹      圖 3-1.6 生石灰消化過程—最後分解為粉末

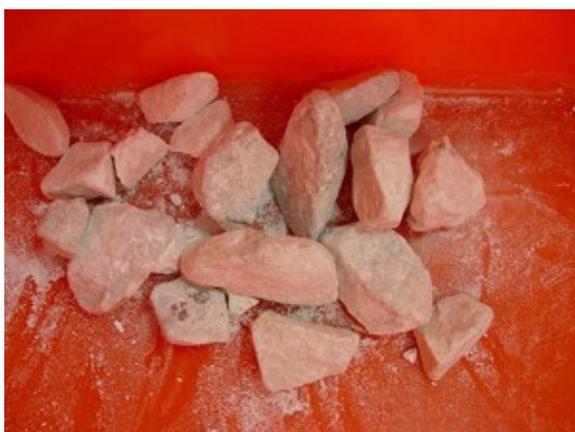


圖 3-1.7 未潑水之生石灰塊



圖 3-1.8 潑水後消化分解之石灰



圖 3-1.9 消化分解後之石灰過粗篩



圖 3-1.10 消化分解後之石灰過細篩



圖 3-1.11 過篩後之潑灰成品

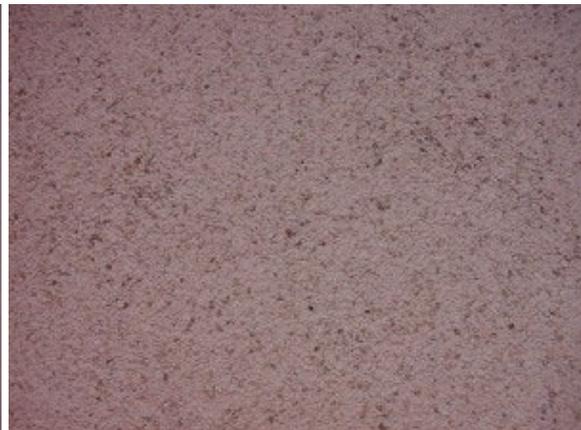


圖 3-1.12 未通過細篩網之雜質

## (二) 白灰原料過篩試驗

所有白灰原料過篩前先行秤重，先過篩孔 1.0mm 之篩網（相當於 ASTM18 號篩），再過 0.85mm 篩網（相當於 ASTM20 號篩），將篩除之雜質秤重，計算其雜質比例，並對雜質檢視分析。

## (三) 養灰試驗

### 1. 未加麻絨者

將過篩後的白灰原料 1/3 先倒入養灰槽，加適量水於養灰槽中，水量以易於推散為原則，接著以灰耙將白灰粉末充分推散，使其變為液態的白灰乳狀，皆下來重複前述流程，直至白灰粉全部置入，操作時應避免白灰粉末堆積於養灰槽

之角落。靜置一段時間後，檢查浮出白灰泥面的水分是否大於 10 公分，以作為阻絕層，避免白灰泥與空氣作用，且可保持白灰泥保持濕潤，最上方再以木板將養灰槽遮蔽，以防止雜物的掉入。定期檢查養灰槽內的水分含量，應確保其水分層高度大於 10 公分，待養灰時間超過 14 天後，方可使用。

## 2. 添加麻絨者

將設計的麻絨配比 100：5（白灰：麻絨）所需的白灰與麻絨分別量秤，將過篩後的白灰原料 1/3 先倒入養灰槽，加適量水於養灰槽中，接著以灰耙將白灰粉末推散，同時並將麻絨拉鬆為小糰丟入養灰槽中，操作灰耙時，應多推動水面使其產生水波，利用水波的力量將麻絨推散，使白灰乳中佈滿麻絨，皆下來重複前述流程，直至白灰粉與麻絨全部置入，操作時應避免白灰粉末堆積於養灰槽之角落，以及麻絨糾結成糰不均勻分佈。皆下來養護的過程與時間，與未加麻絨者相同。



圖 3-1.13 白灰過粗篩



圖 3-1.14 白灰過細篩



圖 3-1.15 過篩完後之白灰



圖 3-1.16 白灰加水並以灰杷拌合



圖 3-1.17 加入麻絨拌合



圖 3-1.18 養護靜置 14 天以上

#### (四) 粉刷層裂縫試驗

將白灰膠泥以慢刀塗抹於 10X10cm 的面磚背面上，厚度約為 0.8 公分，逐日觀察其行為變化。

## (五) 抗壓強度試驗

### 1. 試驗設備

#### (1) 彎曲試驗機

為中原大學土木系材料實驗室所擁有，為國準公司出品之手動油壓彎曲試驗機，最大輸出力為 1000kg。

#### (2) 銼刀

#### (3) 游標尺

#### (4) 水平氣泡儀

#### (5) 毛刷



圖 3-1.19 彎曲試驗機

### 2. 試驗步驟

(1) 將試體取出進行試體編號。

(2) 試體放置於工作台上檢視其外觀並記錄之。

(3) 用銼刀將試體突出部分予以銼平。

(4) 以游標尺測量試體尺寸並記錄之，準確單位至 mm。

(5) 啟動彎曲試驗機電源，放鬆油壓千斤頂之控制螺絲，將機台面下降至適當高度，鎖緊制螺絲。

(6) 以水平氣泡儀調整機台面，使之呈現水平。

(7) 開始手動加壓施力，隨著載重增加持續觀察試體變形與破壞情形。

(8) 當試體達最大破壞時，記錄其最大抗壓載重。

- (9) 拍攝試體破壞形狀照片。
- (10) 記錄試體破壞後尺寸。
- (11) 資料整理。
- (12) 結束作業。



圖 3-1.20 除去養灰槽之隔離水



圖 3-1.21 除水後之白灰膠泥



圖 3-1.22 試體製作工具準備



圖 3-1.23 試體灌注



圖 3-1.24 試體養護



圖 3-1.25 試體拆模



圖 3-1.26 試驗前之試體外觀

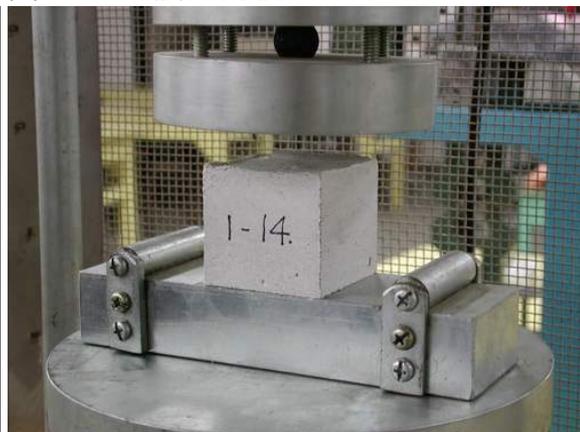


圖 3-1.27 將試體置放於工作台

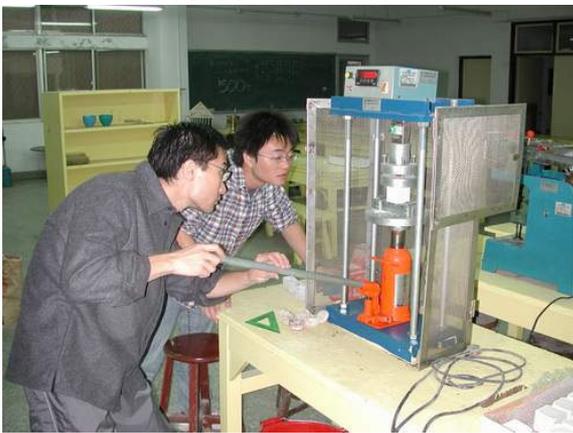


圖 3-1.28 抗壓試驗操作



圖 3-1.29 試驗後破壞之試體

## 第二節 試驗結果分析與討論

### 一、潑灰試驗結果

潑灰試驗而得的白灰，其純度較高，雜質甚少。分析探討其主要原因可能係生石灰塊本身雜質較少，且又經過篩網篩選，所以純度極高。

而潑灰的過程所產生的高溫高熱，頗具危險，對人體或容器皆有影響，應格外小心。

### 二、養灰試驗結果

養灰試驗的過程與結果，可觀察白灰的許多不同的性質，以下整理分析說明。

#### （一）保水能力

係指白灰膠泥含水之能力，含水能力愈高者，其硬化（碳化）的速率則愈慢，其強度成長速度也就愈慢，各試驗材料的保水能力順序如下：

大理石潑灰>關仔嶺特白灰>碯古石灰~蠣殼灰

而以大理石潑灰之保水能力為最大最明顯，可能與其白灰粉末最細有關。

#### （二）泌水性

所謂泌水性係指產生浮水之性能，其順序如下：

關仔嶺特白灰>蠣殼灰>碯古石灰>大理石潑灰

#### （三）黏性

在此所指之黏性係指白灰膠泥附著於其他物體之能力，其大小

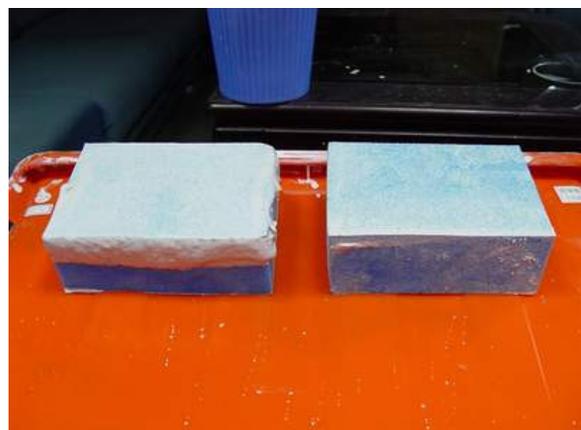


圖 3-2.1 白灰的黏性（左邊為碯古石灰）

順序如下：

硃古石灰>蠟殼灰>大理石潑灰～關仔嶺特白灰

而以硃古石灰為最大最明顯，但此項試驗所取之白灰膠泥並未混雜硃古石灰的養灰沈澱物，若將白灰膠泥與養灰沈澱物一併取出混合試驗，則黏性明顯下降，其原因為硃古石灰的養灰沈澱物主要為細砂之成分，可阻斷硃古石灰之顆粒。

#### (四) 顏色

硃古石灰呈較深的灰白色，與其含細砂量高有關；蠟殼灰呈米白色，可能與其氧化鈣成分較少有關；大理石潑灰呈白色，可能與其氧化鈣成分特高有關；關仔嶺特白灰呈較淺的灰白色。



圖 3-2.2 硃古石灰（左）、蠟殼灰（右）圖 3-2.3 大理石潑灰（左）、關仔嶺特白灰（右）之顏色

#### (五) 靜置沈澱

以硃古石灰最多，蠟殼灰次之，大理石潑灰與關仔嶺特白灰靜置之灰泥均勻分佈不產生沈澱。

#### (六) 表面結晶

石灰於養灰槽中，會於隔絕水的表面形成結晶。

蠟殼灰、硃古石灰等生物性灰，其所形成的結晶層較厚，且含有氣

泡，顏色呈米黃色。

關仔嶺特白灰、大理石潑灰等礦石性灰，其所形成的結晶層較薄，無氣泡，顏色呈白色。

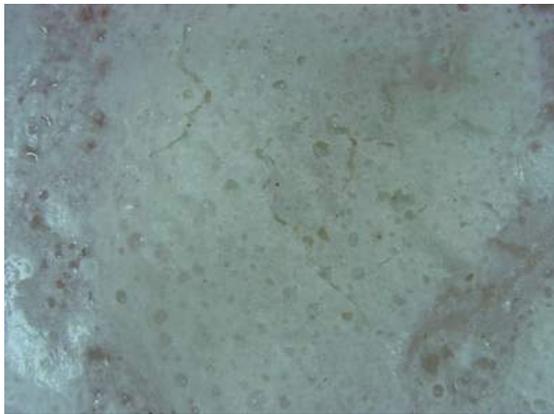


圖 3-2.4 貝類灰之表面結晶



圖 3-2.5 礦石灰之表面結晶

### 三、粉刷層裂縫試驗結果

#### (一) 硃古石灰

形成 2 條大裂縫，裂縫寬度為 0.5mm 與 0.2mm，區分成三個區域，各區域內並無其他裂縫。

#### (二) 蠣殼灰

有 1 條 0.5mm 裂縫橫貫表面，另有數條 0.2mm 的較小裂縫，其他並無裂縫。

#### (三) 大理石潑灰

除四個角隅有寬達 3mm 的裂縫外，並無其他的裂縫。

#### (四) 關仔嶺特白灰

中央部分有約 0.3mm 的環形裂縫與放射狀裂縫，其他區域尚有許多小於 0.1mm 不規則小裂縫。所以得知關仔嶺特白灰最易龜裂。



圖 3-2.6 硓古石灰粉刷層裂縫試驗



圖 3-2.7 蠣殼灰粉刷層裂縫試驗



圖 3-2.8 大理石潑灰粉刷層裂縫試驗



圖 3-2.9 關仔嶺特白灰粉刷層裂縫試驗

#### 四、抗壓強度試驗結果

以下茲就各齡期各試驗材料經抗壓試驗所得之數據，加以整理成表 3-2.1。

表 3-2.1 灰作材料各齡期抗壓強度試驗比較表

試驗材料	最大荷重與抗壓強度	07 天齡期	14 天齡期	21 天齡期	28 天齡期
硓古石灰	最大荷重 (kg)	30.33	65.93	62.23	55.05
	抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	1.21	2.64	2.49	2.20
蠣殼灰	最大荷重 (kg)	8	34.27	32.63	32.37
	抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.32	1.37	1.31	1.29
大理石石灰	最大荷重 (kg)	×	3.8	20.53	43.53
	抗壓強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	×	0.15	0.82	1.74

試驗材料	最大荷重與抗壓強度	07 天齡期	14 天齡期	21 天齡期	28 天齡期
關仔嶺特白灰	最大荷重 (kg)	5	22.7	27.17	24.33
	抗壓強度 (kg /cm <sup>2</sup> )	0.2	0.91	1.09	0.97
加砂硃古石灰	最大荷重 (kg)	30	96.73	80.4	52.87
	抗壓強度 (kg /cm <sup>2</sup> )	1.2	3.87	3.22	2.11
加砂蠣殼灰	最大荷重 (kg)	8	44.37	34.33	41.3
	抗壓強度 (kg /cm <sup>2</sup> )	0.32	1.77	1.37	1.65
加砂大理石潑灰	最大荷重 (kg)	1	7.43	26.63	65.57
	抗壓強度 (kg /cm <sup>2</sup> )	0.04	0.30	1.07	2.62
加砂關仔嶺特白灰	最大荷重 (kg)	1	33.3	34.07	45.73
	抗壓強度 (kg /cm <sup>2</sup> )	0.04	1.33	1.36	1.83

#### (一) 抗壓強度 (不加砂)

7~21 天期間，抗壓強度依大小順序為硃古石灰、蠣殼灰、關仔嶺特白灰、大理石潑灰，除大理石潑灰外，主要成長期為 7-14 天，14-28 天期間強度變化不大，顯示已經步入穩定階段，部分則有些微的強度下降。

大理石潑灰的初期抗壓強度極低，但 14-21 天其間，強度有明顯成長，成長超過 5 倍，而 21-28 天期間，仍持續高度成長，而其 28 天強度已成長至僅次於硃古石灰之強度。

#### (二) 抗壓強度 (加砂，砂與灰比例 1：2)

加砂平均約可提升抗壓強度 22%，但以蠣殼灰加砂抗壓強度提升最少 (5%)。

7~21 天期間，抗壓強度之比較與不加砂相同，依大小順序為硃古石灰、蠣殼灰、關仔嶺特白灰、大理石潑灰，主要成長期亦是與不加砂相同為 7-14 天時期；加砂蠣殼灰、加砂關仔嶺特白灰在 14 天後進入穩定期，但是加砂硃古石灰 14 天後有明顯下降之趨勢。

加砂大理石潑灰的初期抗壓強度極低，但與未加砂者比較，強度成長稍快；14-21 天期間，強度有明顯成長，而 21-28 天期間，仍持續高度成長，而其 28 天強度已成長至僅次於硃古石灰。

綜合探討上述的試驗成果，推論硃古石灰抗壓強度特別高，可能係因其所含  $\text{SiO}_2$ （含砂量）最高有關， $\text{SiO}_2$  除可增加抗壓能力外，且形成較大的顆粒孔隙，可加速石灰碳化成  $\text{CaCO}_3$ 。

大理石潑灰的初期抗壓強度極低，與其保水性能極強有關，但拆模後強度便明顯提升，因可加速水分的蒸散與碳化的作用。

### 第三節 檢驗計畫

#### 一、檢驗目的

據文獻與匠師訪查得知各種不同類型的白灰，其性質差異頗大，但其原因不甚清楚，唯有透過白灰成分分析檢驗，才能推測判斷其性質差異之原因。

#### 二、檢驗樣本

本研究將臺灣地區所能取得的白灰及其原料，前者包括大理石潑灰、關仔嶺特白灰、硃古石灰、蠣殼灰，後者包括大理石礦石、關仔嶺枕頭山石灰岩、硃古石，取得適量的樣本，以作為分析之用。

#### 三、檢驗項目與方法

本研究主要的檢驗項目為各樣本中組成成分及燒失量的檢驗，而組成成分以各金屬氧化物為主，包括  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  等。檢驗的方法，係委託 SGS 台灣檢驗科技股份有限公司檢驗之，其檢驗方法為以 X—射線螢光分析儀（WD--XRF）分析。

#### 第四節 檢驗結果分析與討論

有關各檢驗樣本的成分檢驗分析結果整理於表 3-4.1，並將組成成分中較重要的成分，如 CaO、MgO SiO<sub>2</sub>，依其成分種類按比重大小順序整理排列如表 3-4.2。

表 3-4.1 各樣本成分檢驗分析結果一覽表 (單位%)

	砵古石	大理石	枕頭山 石灰石	砵古石灰	蠣殼灰	大理石灰	關仔嶺 特白灰
CaO	51.29	53.36	34.47	56.51	65.29	75.13	68.09
SiO <sub>2</sub>	0.97	0.2	0.58	4.16	3.38	0.2	1.92
MgO	0.42	1.62	17.9	1.51	0.73	0.67	2.74
SO <sub>3</sub>	0.42	0.0006	0.02	0.34	0.6	0.0008	0.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.0006	0.31	0.75	0.59	0.06	0.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.0006	0.15	0.5	0.22	0.0008	0.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.02	0.12	0.06	0.18	0.03	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.0006	0.01	0.09	0.02	0.0008	0.029
K <sub>2</sub> O	0.005	0.003	0.012	0.08	0.03	0.004	0.007
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0006	0.0006	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008
MnO	0.0006	0.0006	0.02	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008
Na <sub>2</sub> O	0.0006	0.0006	0.0005	0.02	0.007	0.0008	0.0008
Ig-Loss	44.3	44.01	46.55	35.11	28.71	23.59	24.65

表 3-4.2 各樣本中重要成分含量比較表 (單位%)

CaO	大理石灰	關仔嶺 特白灰	蠣殼灰	砵古石灰	大理石	砵古石	枕頭山 石灰岩
	75.13	68.09	65.29	56.51	53.36	51.29	34.47
SiO <sub>2</sub>	砵古石灰	蠣殼灰	關仔嶺特 白灰	砵古石	枕頭山 石灰岩	大理石	大理石灰

	4.16	3.38	1.92	0.97	0.58	0.2	0.2
MgO	枕頭山 石灰岩	關仔嶺 特白灰	大理石	砗古石灰	蠣殼灰	大理石灰	砗古石
	17.9	2.74	1.62	1.51	0.73	0.67	0.42
SO <sub>3</sub>	蠣殼灰	砗古石	關仔嶺 特白灰	砗古石灰	枕頭山 石灰岩	大理石灰	大理石
	0.6	0.42	0.39	0.34	0.02	0.0008	0.0006
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	砗古石灰	關仔嶺 特白灰	蠣殼灰	枕頭山 石灰岩	砗古石	大理石灰	大理石
	0.75	0.67	0.59	0.31	0.18	0.06	0.0006
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	砗古石灰	關仔嶺 特白灰	蠣殼灰	枕頭山 石灰岩	砗古石	大理石	大理石灰
	0.5	0.28	0.22	0.15	0.09	0.0006	0.0008

以下按各項檢驗樣本中各成分比重之差異，探討分析白灰材料性質差異的因素。

#### (一) 氧化鈣 (CaO)

氧化鈣 (CaO) 為白灰中的最主要成分，其檢驗結果氧化鈣 (CaO) 含量比例順序為：

大理石石灰>蠣殼灰>砗古石灰>枕頭山石灰岩

其中，枕頭山石灰岩 CaO 成分含量最低，最不適工業用途，大理石石灰與關仔嶺特白灰的 CaO 成分含量相近，符合本研究所調查關仔嶺特白灰的礦石來源為花蓮和平的大理石。而貝類灰中，蠣殼灰之氧化鈣 (CaO) 含量大於砗古石灰，與本研究發現砗古石灰的雜質較多一致。

#### (二) 氧化鎂 (MgO)

氧化鎂 (MgO) 為白灰中次重要的成分，其比重多寡影響白灰的性質頗多，其檢驗結果氧化鎂 (MgO) 含量比例順序為：

枕頭山石灰岩>>關仔嶺特白灰>砗古石灰>蠣殼灰>大理石石灰

此結果如同文獻所記載，關仔嶺枕頭山石灰岩的氧化鎂（MgO）特別高，遠高於其他檢驗樣本。然而，關仔嶺特白灰的氧化鎂（MgO）非常高，十分異常，與礦石為花蓮和平大理石並不吻合。

### （三）二氧化矽（SiO<sub>2</sub>）

二氧化矽（SiO<sub>2</sub>）主要是代表樣本中砂子的成分，其檢驗結果含量比例順序為：

砗古石灰>蠣殼灰>關仔嶺特白灰>大理石石灰

砗古石>枕頭山石灰岩>大理石

貝類灰的二氧化矽（SiO<sub>2</sub>）較高，尤其是砗古石灰，其砂子顆粒極為明顯，但因顆粒過細，難以篩除，可建議於灰作施作時減少砂的添加。

### （四）氧化硫（SO<sub>3</sub>）

其檢驗結果為大理石石灰特低、蠣殼灰最高，關仔嶺特白灰頗高，與礦石來自於花蓮和平大理石不吻合。

### （五）三氧化二鋁（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）

其檢驗結果為砗古石灰、關仔嶺特白灰、蠣殼灰特別高，可顯示貝類灰的三氧化二鋁（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）較石灰為高，而大理石石灰特低，關仔嶺特白灰頗高，與礦石為來自於花蓮和平之大理石不吻合。

### （六）三氧化二鐵（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）

其檢驗結果為砗古石灰、關仔嶺特白灰、蠣殼灰較高，砗古石灰特高，大理石石灰特低。

## 第四章 灰作之破壞與修復工法

灰作經歷時間歲月的洗禮，加上不當的人為使用，都會有不同程度的劣化或破壞現象，本章將就破壞的現象及其原因作一分析，並藉由文獻與匠師訪談，提出灰作修復工法的初步建議。然而，灰作的修復工法因破損的程度不同，並非皆需要全部拆除重作，本研究建議分為針對局部破損的部分採局部修繕工法，嚴重破損者採整體修復工法，各種修繕與修復工法將於本章中作一說明。

### 第一節 灰作破壞或劣化現象及其原因

古蹟或歷史建築物均有一定的築成時間，建築材料隨歲月的因素自然老化，並在不良環境與不當使用下加速老化與破壞的速度，更由於灰作材料的特性，如在情況因素下未採取適宜性的修復，則由小破壞演變出大問題。本研究將目前古蹟修復灰作材料常見破壞的原因，作一分析與整理。

#### 一、地理環境

台灣地區屬亞熱帶海島型氣候，溫度、濕度皆高，颱風侵襲頻率特別高，加上又處地震帶，所以極易造成灰作的破壞。高濕度的環境，亦造成灰作表面生長苔蘚等污損性破壞；颱風的強風與豪雨，容易造成屋頂灰作的破壞；地震的強大作用力，往往造成灰作牆面的龜裂或剝落、砌體灰縫的破壞，亦會造成屋頂的灰作的龜裂或斷裂。



圖 4-1.1 外牆灰作因漏水剝落、風化



圖 4-1.2 室內牆面灰作裝修層剝落



圖 4-1.3 地震造成灰作牆面的破壞  
(一)



圖 4-1.4 地震造成灰作牆面的破壞  
(二)

## 二、植物生長侵蝕

屋面及外牆體植物的攀生，主因為鳥類將種子啣掉於屋面，在裂縫或瓦縫不平點寄留而發芽生長，多處古蹟均攀附與生長不少樹種，尤以榕樹佔多數，其根蔓延壁體及根莖將屋面及磚縫擠裂加大縫隙，造成該部分灰作嚴重破壞，遇雨時除嚴重的滲水亦會促使樹根成長，造成惡性循環。又由於滲水加上氣流不理想，青苔、霉菌的問題是無法避免的，自然又形成白蟻的生存空間，這些都足以形成灰作的破壞或劣化。

## 三、管理與使用不當

通風不良、疏於整理、漏水未修繕，在潮溼的空間成為霉菌、微生

物生長的空間，最後會造成灰作之破壞。電器類設備的不當添加，未加以妥善的管路規劃與保養，容易直接造成灰作的破壞。廟宇類古蹟為了增加收入，添置可觀的燭類設備，造成燻黑、油漬等對灰作的破壞。

古蹟過去大都為人潮聚會之場所，凡聚落會議、節慶均會使村落人潮湧聚，使用上隨意的釘打、吊掛、張貼、任意的踩踏、攀爬，均是最易造成灰作破壞的原因之一。而歷史暨藝術價值的灰作相關作品，如泥塑、剪粘、交趾陶等，均為不肖之徒偷竊的對象，而偷竊行為中的鏟、拔、敲等操作，在整個佈局上構成嚴重的破壞，加上歲月的風化，凡灰作部份經破壞後呈千瘡百孔的情形。

#### 四、修復灰作品質不佳

古蹟修復工程的灰作品質不佳，造成古蹟修復後不久灰作再產生破壞，包括灰作裝修面亦產生不規則的收縮裂縫或大型的裂縫、裝修面的隆起、屋頂背灰作的龜裂導致漏水等等，這些品質不佳的原因很多，簡列如下：

- (一) 養灰之程序與時間不足導致灰無法完全熟化。
- (二) 為便於縮短作業時間縮短添加過量水泥。
- (三) 接合面未含足水分而導致乾濕不均。
- (四) 無法趕軋光滑平整、未按規定量配比。
- (五) 拌合未均勻造成粘結力不均。
- (六) 施工說明書所定的規範未周全。

最重要的是在修復工程實務未按規定執行，以水泥砂漿取代灰泥材料，執行者與操作者除沒灰作材料拌合理念與操作技藝，駐地監督者又完全沒有本類工法概念，所呈現的修復成果除持續龜裂外，甚而影響結構體的變化。



圖 4-1.5 牆面不規則的收縮裂縫

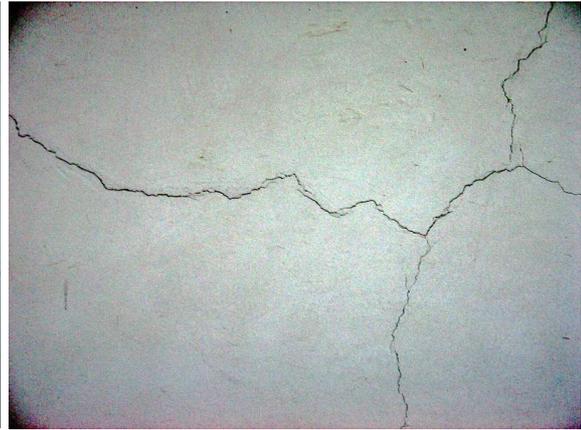


圖 4-1.6 牆面大型的裂縫

## 第二節 灰作修復工法

本節所稱的灰作修復工法係以整體性的灰作整體重作的修復工法為主，有別於下一節的局部修繕工法，以下就各不同施工構造部位分述之。

### 一、基礎之修復

一般在修復中，對基礎開挖重作之機會很少，地面層之建築體因遭天災損壞保留基礎，除了人為破壞之拆除外，通常或因地層下陷，而致基礎斷裂或下陷之情形，進行修復中下陷之填補較輕鬆，而斷裂修補困難度較高，裂縫修補則需視縫之大小及裂向來決定。

裂縫以捶鍊後之潑灰加以灌注，不可一次灌滿而須分段實施，並於每灌乙次需持工具加以壓實，並依階段灌注與壓實至飽和。

斷裂或毀損部分，將斷裂面打鑿梯狀，在原基礎尺寸以厚木板固定之，再以原夯實步數逐一夯實，接觸面不摻太多骨料，而灰料成份加重。接觸面以石灰膏先行刷佈再以新拌三合土填之及夯實。

## 二、地坪灰作之修復

地坪鋪面以三合土、地磚、石材為常用的材料，地磚有尺二磚、尺四磚、條磚、一般磚、清水磚，石材有條石、塊石、石板、卵石等鋪面材料，粘結材料即為灰泥砂漿，室內與外埕鋪法雷同，但使用之灰泥砂漿，卻因鋪設性質有所差異，分為乾鋪或濕鋪，不同鋪設方式在過程上亦有不同之修復方式，尤其在後續工作之勾縫隨之不同修補工法。數量少或抽換則以濕鋪為主，大面積則應按乾鋪工法施行。

### (一) 乾鋪

乾鋪新作的操作要領如下：

1. 以細末生石灰與砂、土乾拌後成三合土，用抹刀與板尺撥平，約5公分厚。
2. 再潑上石灰膏。
3. 鋪設磚、石材。
4. 按既定之順序以木槌敲平。
5. 縫隙待隔日再以潑灰1：砂1之比例灰漿填滿壓實。

當地面材料破損或下陷須做整修時，建議依下列步驟進行：

1. 先將擬修復之材料周邊縫隙先行鑿開。
2. 再移動抽換之舊材料。
3. 並清理乾淨底層原有灰泥砂漿加以清洗乾淨。
4. 並放水讓周邊全濕透。
5. 以捶鍊後之潑灰以1份拌合砂及土3份，攪拌之灰泥其含水率不宜過大或過小。
6. 刮平灰漿時按修補高層高2公分。
7. 再以鋪面材料壓實平穩。
8. 縫隙則以灰漿直接將縫填平清潔。

## (二) 濕鋪

乾鋪新作的操作要領如下：

1. 發灰與砂、土拌合之三合土工作塌度以 15 公分為宜，後用抹刀與板尺撥平，厚度約 4 公分左右。
2. 逐塊鋪設並以木鎚敲平。
3. 因灰泥砂漿在木鎚敲打同時，砂漿會由縫向上浮出，表面清洗乾淨後，隔天施以灰漿直接勾縫。

因濕鋪法之縫漿與底漿成一體，在掘鑿時最好先行鋸線再用尖頭鑿挖取，以免損及鄰近之材料，後修復方式與乾鋪法修復同。地磚之鋪設或修補，填勾縫時效不宜太久，在未填勾縫前不可在上方走動，否則因未填實而使地磚浮動，亦失去灰漿之功能。

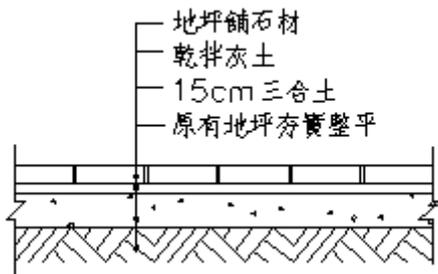


圖 4-2.1 地坪乾鋪大樣

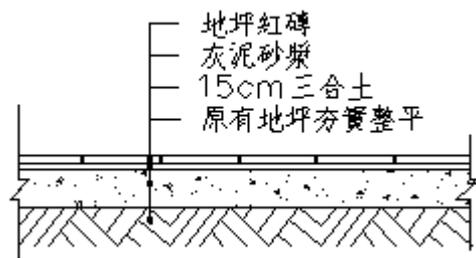


圖 4-2.2 地坪濕鋪大樣



圖 4-2.3 地磚鋪設



圖 4-2.4 地坪磚面勾縫

### 三、砌體灰作之修復

依砌體材料不同，所使用的灰作材料亦不同，如清水磚以潑灰、海帶漿；疊石則相接處以潑灰、海帶漿，縫隙較大處，灰泥砂漿、海帶漿；壁面層則為石灰膏、麻絨、紙筋、海帶漿。而上述所有潑灰均需經過捶鍊。而修復的施工要領條列如下：

1. 養灰後之潑灰 1/2 細末生石灰 1/2 拌合後開始捶鍊至成團(麻糲灰)。
2. 再加海帶漿拌至稠狀。
3. 將上述灰泥抹於清水磚底邊及豎面四周，中央處不抹灰泥。
4. 清水磚使用前一天需淋水讓其飽和，過夜後才可疊砌。
5. 灰泥厚度以清水磚經敲穩後不溢出為標準。

### 四、面層灰作之修復

面層灰的種類與作法頗多，分述如下。

#### (一) 抹灰底層砂漿

以潑灰與砂、土之比例為 (4) : (4+2) 或 (3) : (2.5+2.5) 調配拌合灰泥，再加上、海菜漿、水等。施工操作要領順序如下：

1. 潑灰先行拌合砂後再拌土，每次拌合須達均勻，拌合中加適量的水，悶 8 小時後即可使用。
2. 使用前加入海菜漿後再攪拌。
3. 底層抹砂漿前先行將欲施作部份澆水使其呈濕透狀。
4. 先抹乙層石灰膏厚度約 2-3mm。
5. 再以抹刀將石灰砂漿抹於壁面，以板尺刮平再以木抹刀修飾平整但不光滑。
6. 如因稠度過大骨料過細而表面無法粗糙則需用鬃刷或掃帚

刷出溝痕以利表層灰之粘結。

## (二) 裝飾抹灰之修繕

以麻絨灰、紙筋灰、紅土灰、黑煙子灰為材料。

拌合時，依使用類別拌合各種石灰膏與材料，石灰膏於養灰前先之海菜漿，達到施工稠度；黑煙子灰之拌合亦同如土朱灰。修復土朱灰泥之配比重量比為石灰膏：土朱：橙粉：墨汁：海菜粉約為 42：6：1：0.02：4。拌合色澤依所需程度調整，但需事前做樣板讓其在陽光下乾燥後視其色澤變化再予調整摻合比例。

施工操作流程條列如下：

1. 表層粉飾前亦將底層澆水淋濕。
2. 待八小時後直接將拌合好之石灰膏抹上，力求推實與抹平，厚度為 3-4.5mm。
3. 如因小部份乾燥則隨即用鬃刷沾稠度較大之石灰膏刷之。
4. 待表面以手指壓下無水氣狀開始以小抹灰刀推軋至平整光滑。

施作時，太乾即產生小裂痕，太濕即無法推軋光滑平順。一般均以施工經驗趕軋，氣溫高、風大時動作要快，以免過乾、溫度高、天氣冷時因乾燥較慢須以時間等待表面最後之推軋，以台灣天氣溼度較高在夏天約待 1~2 小時，春秋天約 3~4 小時寒冬即需待 4~5 小時。

## (三) 抹灰線之修繕

材料以石灰膏、石灰砂漿、海帶漿、糯米漿為主。

拌合時，使用之石灰砂漿之白灰均需經捶鍊，再依灰漿比例拌合灰與砂、土，本項拌合分底層、中層、上層三道施作。最底層之灰膏為石灰膏加細末生石灰先行捶鍊後成麻糬灰再拌水與海菜漿成膏狀；底層與中層之灰漿為潑灰加麻筋、土、砂、海菜漿、糯米漿、水，以 3：3：4：0.5：0.5：0.8 之比例，按砂、灰先行拌合再加上土及海菜漿及水，最後放

入糯米漿攪拌，以施作數量多寡拌合所剩料，每間隔 40 分鐘，必要再做翻拌動作。

操作流程與要領如下：

1. 依圖案做模具。
2. 依既定範圍抹遍灰膏，按出線灰施作要領逐一操作。
3. 每道均需待乾燥約七成左右方可做上層填補。
4. 最後再以石灰膏抹面層。

每道均按線角厚度三分之一施作，防止一次抹得過厚而造成鼓起與開裂，並以模具托灰漿往順向推、擠、押，速度平穩只能往前推不能往後拉，推模力道要均勻、平穩緩進，待八至九成乾燥稍噴水後抹出稜角、光滑、整齊之成品。

#### 五、屋面灰作之修復

屋面瓦之灰泥材料係以細末生石灰、土、砂、海菜漿、水，按 4：4：2：0.5：1 之重量比調製。

屋脊打底之灰泥材料係以潑灰加麻絨、土、砂、海菜漿、水，按 3：3：4：0.5：1 之重量比調製。

拌合時，蓋瓦和做脊所用灰漿均相同，但因要有防水效能在攪拌時加些海帶漿，且灰漿本身要求密度較高，故土之配量比砂為多。拌合時灰與砂先行拌合，待均勻後漸放土拌合，同時加入海菜漿拌合後依攪拌稠度情況再加適度的水。如土與灰先行拌合則較不易攪拌，均勻度不佳又費工時。

操作流程與要領如下：

##### (一) 屋面瓦鋪

1. 屋面瓦鋪蓋前需先苫背，一則防水功能，二則保護椽木與望瓦。

2. 一般使用大麻刀灰拌合土，稠度不宜太稀，以抹開為宜，厚度為 1-2 公分。
3. 後於瓦隴間依兩瓦間距置放灰漿，高度約 5~6 公分後鋪瓦。
4. 疊瓦時，瓦片相疊處不得有縫並試水，水需在瓦隴中間流下。
5. 兩側再以小灰匙依疊瓦正確位置，以灰漿在瓦背填滿。
6. 鋪瓦後於筒瓦或板瓦兩側，則用小麻絨灰，如要與瓦之色澤相似則於灰漿中滲入色料。

## （二）屋脊歸帶

屋脊歸帶之疊砌用相同之灰泥砂漿，表面打底亦同。表面層用石灰膏，做法如同牆壁，但因屋脊線角非常多，還須在灰剛乾時施作彩繪，故須按步就班由脊頂至下馬路之護瓦岸。

## 第三節 灰作局部修繕工法

目前古蹟修復工程有關灰作部分，大多採全面的整體修復，但往往將僅有部分破損的原有良好品質的灰作加以拆除重作，然而現今的灰作修復工程施工品質不佳，造成重大的文化資產價值損失，而為吾人所忽略，故本研究建議針對局部破損的部分採局部修繕工法，以下就各部位的局部修繕作法提出建議與說明。

### （一）白灰粉刷層

因灰作材料抗壓性較低，在灰壁任何部份起鬆鼓、脫落、在大氣層濕度高的環境，則漸因表皮剝落而聚集水份並一直擴散，凡遇此情況如擬局部修補，則需審慎處理，其順序及考慮因素為：

1. 確定刮除面，因灰土內摻有麻絨故須先行依範圍作斜切割。
2. 已硬化之灰無法與拌好之灰做結合，故接觸面需事前以水軟

化，即是未來接合面處理的重點與技巧。

3. 已硬化的表面色澤係經過歲月的表徵，接觸的新材料要使其協調並非易事，因此為求表面灰能在飾面整體性與持久性，建議表面灰以格段式施抹。
4. 局部修繕則新補材料先行試作仿古後修補，並於表面層及交接處用鬃刷沾仿古料配合小型工具操作，待表面乾後再施二度刷，趕軋處理至接合點均勻且無裂痕。
5. 所用的配比灰量加多，修補面稍凸再壓軋至平，此刻之時機必須掌控在補料已達九成乾以上。

## （二）砌體

砌體大致分為石材與磚材，石材部份易於處理，其施工要領如下：

1. 先行將原有粘結灰土或灰泥刮除乾淨。
2. 將石材清洗乾淨。
3. 裂縫粘結後依原位置放妥當。
4. 粘結層與縫隙只用灰泥操作，由內向外以勾縫鏟刀、鶴首鏟刀、小花匙斗等工具壓實，每次填補不得超過 10~15 公分。
5. 待乾約八成後方可續二層。

而磚材修復層序較複雜，其施工要領如下：

1. 將擬抽換之磚體抽取或卸下，清除原粘結材。
2. 鄰近周邊之磚材須使其含飽水份，但不得有水滴現象。
3. 以灰泥膏墊底，再將灰泥膏抹於新補磚材，依抽換位置推回，上、下、左、右縫對齊後固定，並配合細長形之鶴首鏟刀將灰泥膏壓實。
4. 隔天再施以勾縫。

### (三) 地坪

三合土底層部分，其施工要領如下：

1. 下陷或掏空、龜裂部分挖除。
2. 挖除後以 1：3 之灰砂先行鋪設以水灌注，並視灰砂流注情況繼續填補。
3. 待飽合後配合地質與土木技師現場勘察與地質試驗，如需再補強則按規訂處理。
4. 如無須特別補強則以三合土配比鋪設與夯實。

地面磚部分，其施工要領如下：

1. 抽換處挖鑿至三合土表面。
2. 以灰泥砂漿填補後鋪磚。

如原地面鋪法底層無三合土又以乾鋪方式，則須挖約 10 公分深，後灌水視其鄰近區有否空洞，再決定修復方式，如正常亦以乾鋪材料復原，新補鋪之灰作材料於灰的配比數量增多。

### (四) 屋面

修復工作屋面項目涵蓋最多，從出簷磚、仰瓦、屋面瓦、屋脊、脊飾、剪粘全包含為屋面工程，屋面之破壞主要都由外力所致，瓦片破損後形成滲水，牽連結構破壞，修復狀況由損壞程度而定全面或局部，經驗不足之匠師無法判斷損壞之落實，修復後達不到效果甚而導致更多損壞點—破損、龜裂、位移。在修復中則按灰泥、灰土、石灰膏等依各施作部份的使用規定按序修復，特別注意仰瓦的流水位暨俯瓦與仰瓦交接處之灰泥操作。

灰作修繕工法在修復上之技術與一般新作操作要之領幾乎相同，但在結合面、線上卻需以細膩的手法加以處理，且操作時又得考慮周邊之穩定，時間掌控不妥或許必須再重來，或許因某部位的乾濕而須等待，

在操作前就需有心理準備與認知，修復中愈急燥之操作則反效果機率愈高，主因灰作材料之硬化不是人為可控制的，它是自然與漸進的硬化過程，操作之理論簡易、單純，但實質操作如無法按正規的程序與工法則呈現的效果就會產生許多瑕疵。

## 第四節 日治時期建築灰作材料與工法之初探

臺灣地區在日本統治時期，引進許多近代洋風建築與日式傳統建築，這些類型的建築也不乏許多灰作工法的運用，其材料、作法與傳統建築的灰作亦有所不同，但臺灣地區對於此種日治時期灰作之材料與工法研究極少，本研究針對此部分作一初步瞭解，建立部分基礎資料，可供未來與傳統灰作作比較。

目前較詳細的日式灰作成果，主要可依據日本的相關文獻研究資料整理而得，但灰作的材料大多為地方性材料，加上其對臺灣地區工匠而言，係屬外來文化與技術之引進，所以在臺灣地區的作法應有所調整，為建立本土化的灰作研究體系，應有更多進一步的研究與調查，關於此部分本研究建議可朝下列方向進行。

### 一、日治時期公文檔案調查分析

日治時期重要的公共建築許多皆有完整的檔案保存，如總督府公文類纂等，其內容包括工程設計施工圖說、施工說明書、工料分析表等，可提供部分灰作工法與材料之內容。

### 二、現場案例調查

藉有古蹟修復工程之進行，調查記錄灰作工法與材料，並加以瞭解灰作破壞的現象與原因，以彌補公文檔案與文獻資料之不足。

### 三、匠師訪談

現存資深匠師有許多曾歷經日治時期末期，可作田野訪談其所認知的日式灰作材料與工法，並與之探討灰作的許多施工特性與品質標準，以掌握文獻資料所未表明部分。

### 四、日本修復現場考察

日本的文化財修復制度，有關匠師與工法的傳承保存極為重視，不僅保有許多固有的修復技術，而且有許多成功的修復經驗，可透過日本修復現場的考察，有助於深入研究臺灣日式建築的灰作作法。

## 第五章 結論

### 第一節 研究發現

由前述各章的研究，在此針對本研究的重要發現，就材料與工法兩部分說明之。

#### 一、材料方面

- (一) 現有的關仔嶺特白灰易龜裂、塑性差、黏性差，不適宜運用於面層抹灰；貝類灰（砗古石灰、蠣殼灰）塑性佳、性佳、自身體積收縮小（不易龜裂），適合於面層抹灰。
- (二) 礦物性灰（大理石灰、關仔嶺特白灰）抗壓性能較差。
- (三) 砗古石灰的運用應注意其本身含砂量較高，砂的添加應適度調整。
- (四) 關仔嶺枕頭山的石灰石氧化鎂（MgO）含量很高，其性質與貝類灰相近。

#### 二、工法方面

- (一) 石灰使用前應過篩，以除去影響灰作品質的雜質。
- (二) 石灰使用前確實養灰，以避免施作後部分石灰再度發生水化反應。
- (三) 傳統的灰作材料配比固然重要，但灰作工程的品質有許多係取決於施工之要領，所以如何落實施工要領極為重要。

## 第二節 建議事項

根據研究的成果發現，提出下列幾項建議。

- 一、灰作材料為氣硬性材料，與水泥等水硬性材料之材料行為差異頗大，不能完全直接引用混凝土學的研究方法，應另行調整設計研究方法。
- 二、關仔嶺枕頭山的石灰石所生產的石灰品質頗佳，建議政府適量的開放開採，以供古蹟修復工程之使用；而貝類灰的生產，在個案核准下，准許煅燒，免受環保法令之規範。
- 三、古蹟工程之灰作修復亟需一套施工規範，以供施作與檢核之參考，建議在相關基礎研究完成後，訂定完整有效的規範。

## 第三節 後續研究

由本研究得知灰作所涉及的内容十分複雜與廣泛，本次的研究僅是灰作基礎研究之一部份，有許多重要的相關課題亟需後續研究之進行，方能俾於我國的古蹟修復工程有關灰作工程品質之提升。相關後續研究課題建議如下：

- 一、灰作材料在蠣殼灰與岩石灰中，在兩者間來自不同材源，是否可以取代暨兩者間之優缺點，以及與相關材料拌合後之變化。
- 二、灰作材料對氣候變化、環境因素所造成的相關變化及耐久性與粘結性。
- 三、科技進步的現代材料對於灰作材料的摻入，如防水、防潮、防腐、防蟲、粘著等性質的藥劑與材料，可否取代與增強灰作材料之效果。

- 四、運用現代科技、方法與理論，如何提升灰作材料之品質與維護。
- 五、氧化鎂的添加替代研究。
- 六、石灰碳化過程之研究。
- 七、灰作材料中添加物之種類、比例數量之研究。
- 八、灰與細粒料等膠結之情形。
- 九、傳統灰作破壞現象及原因之探討。
- 十、目前古蹟修復工程中灰作修復之檢討。
- 十一、傳統建築灰作修復工法之建議與試作。
- 十二、日式建築灰作基礎研究。



## 參 考 文 獻

1. 丁伯齡, 《中國古代建築技術史》, 博遠出版有限公司, 1988。
2. 王新衡, 《臺灣傳統磚砌建築灰縫材料特性之研究》, 雲林科技大學文化資產維護研究碩士論文, 2003。
3. 宋應星, 《天工開物》, 國際文化出版公司, 1995。
4. 李汝和主修, 《臺灣省通志》卷四 經濟志礦產篇, 臺灣省文獻委員會, 1969。
5. 杜仙洲, 《中國古建築修繕技術》, 明文書局, 1984。
6. 周志明, 《臺灣傳統砌體建築「灰縫」之基礎研究》, 雲林科技大學文化資產維護研究所碩士論文, 2002。
7. 林瑞雄, 《施工工具及施作方法之調查研究》, 行政院文化建設委員會, 1992。
8. 建築安裝技工學校, 《磚瓦抹灰工工藝學》, 北京, 中國建築工業出版社, 1981。
9. 財團法人 文化財建造物保存技術協會, 《工法 左官工事》, 財團法人 文化財建造物保存技術協會, 2003。
10. 張清忠, 《三合土配比及材料行為之研究》, 台灣科技大學營建工程系碩士論文, 2002。
11. 曹文達、曹棟, 《建築工程材料》, 北京, 金盾出版社, 2000。
12. 清工部, 《工程作法則例》, 1723。
13. 莊敏信, 《傳統灰作基本操作與應用之研究》, 中原大學建築系碩士論文, 2003。

14. 曾濟群等，《少年百科全書第六冊》，幼獅文化事業股份有限公司，1984。
15. 劉大可，《中國古建築瓦石管法》，中國建築工業出版社，1993。
16. 劉大可，《明清官式灰背作法》，中國建築工業出版社，1985。
17. 劉祥順，《土木工程材料》，中國建築工業出版社，2001。
18. 劉慶禧，《建築施工》，科技圖書股份有限公司，1987。
19. 閻亞寧、薛琴等人，《木料及灰作保存科技》，內政部委託研究報告，2002。
20. 薛琴，《傳統灰作施工方式》，行政院文化建設委員會，1996。
21. 龔佳龍，《抹灰工，初、中、高級工》，中國建築工業出版社，1992。

## 附錄一 訪談人員名錄

訪談對象		時間	地點	訪談內容
姓名	職稱			
莊敏信	古蹟修復匠師培訓 講師	2003/3/6	中原大學	灰作操作要領
		2003/5/25	中原大學	養灰現場示範教學
蔡松柏	古蹟灰作修復匠師	2003/4/22	彰化馬興陳宅修復 現場	灰作面臨問題與施 作要領
		2003/5/2	中原大學	養灰現場示範教學
顏必亮	古蹟灰作修復匠師	2003/8/30	澎湖西嶼	灰作材料性能
		2003/10/6	澎湖西嶼	灰作修復要領
李清海	古蹟灰作修復匠師	2003/11/2	電訪	灰作操作要領
陳清順	古蹟灰作修復匠師	2003/10/25	電訪	灰作操作要領
蘇清良	古蹟灰作修復匠師	2003/8/6	新竹州廳修復現場	灰作材料配比
蘇清發	古蹟灰作修復匠師	2003/8/6	新竹州廳修復現場	日式灰作操作要領
周淑敏	珙榮石灰廠執行人	2003/5/7	台南關仔嶺	關仔嶺地區石灰生 產歷史與現況
黃東燦	豐業工業股份有限 公司執行人	2003/4/25	宜蘭冬山	生石灰煅燒生產過 程
邱創明	頂興實業股份有限 公司	2003/4/25	宜蘭冬山	消石灰生產過程
許石柳	澎湖湖西鄉灰窯負 責人	2003/10/6	澎湖湖西	硓古石灰生產過程



## 附錄二 抗壓試驗結果記錄

### 【編號說明】

□—□□ (前碼—後碼)

前碼為試驗材料代碼，1 代表硃古石灰，2 代表蠣殼灰，3 代表大理石石灰，4 代表關仔嶺特白灰，5 代表加砂硃古石灰 6 代表加砂蠣殼灰，7 代表加砂大理石石灰，8 代表加砂關仔嶺特白灰。

後碼為養護齡期代碼，例如 07 代表 7 天齡期，21 代表 21 天齡期。

### 【試驗記錄】

#### (一) 七天齡期

編號 1-07	硃古石灰			平均
原高度 (cm)	4.7	4.7	4.7	
最大荷重 (kg)	30	31	30	30.33
壓後高度 (cm)	4.1	4.1	4.1	
應變	12.77%	12.77%	12.77%	12.77%
編號 2-07	蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.6	4.7	4.4	
最大荷重 (kg)	8	8	8	8
壓後高度 (cm)	4.4	4.4	4.1	
應變	4.35%	4.26%	6.82%	5.14%
編號 3-07	大理石石灰			平均
原高度 (cm)	×	×	×	×
最大荷重 (kg)	×	×	×	×
壓後高度 (cm)	×	×	×	×
應變	×	×	×	×

編號 4-07	關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4.4	4.3	4.3	
最大荷重 (kg)	6	4	5	5
壓後高度 (cm)	4.1	4.1	3.9	
應變	6.82%	4.65%	9.30%	6.92%
編號 5-07	加砂老古石灰			平均
原高度 (cm)	4.8	4.8	4.8	
最大荷重 (kg)	30	30	30	30
壓後高度 (cm)	4.4	4.5	4.3	
應變	8.33%	6.25%	10.42%	8.33%
編號 6-07	加砂蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.4	4.5	4.5	
最大荷重 (kg)	8	8	8	8
壓後高度 (cm)	4.1	4.1	4.1	
應變	6.82%	8.89%	8.89%	8.20%
編號 7-07	加砂大理石石灰			平均
原高度 (cm)	4.1	4.6	4.5	
最大荷重 (kg)	1	1	1	1
壓後高度 (cm)	3.4	3	3.2	
應變	17.07%	34.78%	28.89%	26.91%
編號 8-07	加砂關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4	4	3.8	
最大荷重 (kg)	1	1	1	1
壓後高度 (cm)	3.5	3.5	3.4	
應變	12.50%	12.50%	10.53%	11.84%

(二) 十四天齡期

編號 1-14	硃古石灰			平均
原高度 (cm)	5	5	4.7	
最大荷重 (kg)	65.8	65.7	66.3	65.93
壓後高度 (cm)	4.7	4.4	4.4	
應變	6.00%	12.00%	6.38%	8.13%
編號 2-14	蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.4	4.4	4.6	
最大荷重 (kg)	34.1	32.8	35.9	34.27
壓後高度 (cm)	3.7	3.7	3.6	
應變	15.91%	15.91%	21.74%	17.85%
編號 3-14	大理石			平均
原高度 (cm)	4.4	4.4	4.4	
最大荷重 (kg)	4	3.4	4	3.8
壓後高度 (cm)	3.7	3.5	3.7	
應變	15.91%	20.45%	15.91%	17.42%
編號 4-14	關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4.6	4.3	4.5	
最大荷重 (kg)	24.1	22.4	21.6	22.7
壓後高度 (cm)	3.5	3.4	3.6	
應變	23.91%	20.93%	20.00%	21.61%
編號 5-14	加砂老古石灰			平均
原高度 (cm)	4.8	4.7	4.7	
最大荷重 (kg)	99.3	104.2	86.7	96.73
壓後高度 (cm)	4.3	4.5	4.3	
應變	2.17%	4.26%	8.51%	4.98%
編號 6-14	加砂蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.6	4.5	4.5	

最大荷重 (kg)	44.2	44.9	44	44.37
壓後高度 (cm)	4	4	4.1	
應變	13.04%	11.11%	2.22%	8.79%
編號 7-14	加砂大理石瀝灰			平均
原高度 (cm)	4.6	4.7	4.7	
最大荷重 (kg)	7.1	7.5	7.7	7.43
壓後高度 (cm)	4	3.5	3.4	
應變	13.04%	25.53%	27.66%	22.08%
編號 8-14	加砂關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4.5	4.5	4.4	
最大荷重 (kg)	33.7	34.7	31.5	33.3
壓後高度 (cm)	3.8	3.8	3.7	
應變	15.56%	15.56%	15.91%	15.68%

(三) 二十一天齡期

編號 1-21	老古石灰			平均
原高度 (cm)	4.9	4.8	4.8	
最大荷重 (kg)	61.9	53.9	70.9	62.23
壓後高度 (cm)	4.4	4.3	4	
	10.20%	10.42%	16.67%	12.43%
編號 2-21	蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.6	4.5	4.6	
最大荷重 (kg)	33.6	33.2	31.1	32.63
壓後高度 (cm)	4.1	3.9	4.1	
	10.87%	13.33%	10.87%	11.69%
編號 3-21	大理石石灰			平均
原高度 (cm)	4.3	4.4	4.3	
最大荷重 (kg)	21.3	21.1	19.2	20.53
壓後高度 (cm)	3.6	3.5	3.5	
	16.28%	20.45%	18.60%	18.44%
編號 4-21	關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4.3	4.4	4.4	
最大荷重 (kg)	26.2	27.9	27.4	27.17
壓後高度 (cm)	3.5	3.8	3.7	
	18.60%	13.64%	15.91%	16.05%
編號 5-21	加砂老古石灰			平均
原高度 (cm)	4.9	5	4.9	
最大荷重 (kg)	80.7	70.5	90	80.4
壓後高度 (cm)	4.6	4.7	4.9	
	6.12%	6%	0%	4.04%
編號 6-21	加砂蠣殼灰			平均

原高度 (cm)	4.7	4.7	4.6	
最大荷重 (kg)	33.4	34.8	34.8	34.33
壓後高度 (cm)	4.3	4.1	4.1	
	8.51%	12.77%	10.87%	10.72%
編號 7-21	加砂大理石瀝灰			平均
原高度 (cm)	4.5	4.4	4.5	
最大荷重 (kg)	29.3	25.9	24.7	26.63
壓後高度 (cm)	4	4	4.2	
	11.11%	9.09%	6.67%	8.96%
編號 8-21	加砂關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4	4.2	4.3	
最大荷重 (kg)	33.7	34.6	33.9	34.07
壓後高度 (cm)	3.8	3.8	3.8	
	5%	9.52%	11.63%	9.00%

(四) 二十八天齡期

編號 1-28	老古石灰			平均
原高度 (cm)	4.8	4.9		
最大荷重 (kg)	51.9	58.2		55.05
壓後高度 (cm)	4.7	4.7		
	2.08%	4.08%	0.00%	2.05%
編號 2-28	蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.5	4.5	4.4	
最大荷重 (kg)	34.9	27.8	34.4	32.37
壓後高度 (cm)	4.2	4.2	4.1	
	6.67%	6.67%	6.82%	6.72%
編號 3-28	蠣殼灰			平均
原高度 (cm)	4.4	4.5	4.3	
最大荷重 (kg)	44.7	34.6	51.3	43.53
壓後高度 (cm)	4.1	3.8	4.2	
	6.82%	15.56%	2.33%	8.24%
編號 4-28	關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4.3	4.4	4.4	
最大荷重 (kg)	21.8	23.8	27.4	24.33
壓後高度 (cm)	4	4.1	4	
	6.98%	6.82%	9.09%	7.63%
編號 5-28	加砂老古石灰			平均
原高度 (cm)	4.2	4.7	4.7	
最大荷重 (kg)	63.9	47.9	46.8	52.87
壓後高度 (cm)	4.7	4.7	4.6	
	11.90%	0%	2.13%	4.68%
編號 6-28	加砂蠣殼灰			平均

原高度 (cm)	4.6	4.5	4.5	
最大荷重 (kg)	32.8	43.9	47.2	41.3
壓後高度 (cm)	4.5	4.3	4.3	
	2.17%	4.44%	4.44%	3.68%
編號 7-28	加砂大理石瀝灰			平均
原高度 (cm)	4.5	4.6	4.4	
最大荷重 (kg)	65.2	58.5	73	65.57
壓後高度 (cm)	4.4	4.3	4.4	
	2.22%	6.52%	0%	2.91%
編號 8-28	加砂關仔嶺特白灰			平均
原高度 (cm)	4.2	4.2	4.4	
最大荷重 (kg)	38.5	44.1	54.6	45.73
壓後高度 (cm)	4	4.1	4.1	
	4.76%	2.38%	6.82%	4.65%

GPN : 1009204563

ISBN : 9570159650

古蹟修復技術—灰作材料性質與修復工法之研究

內政部建築研究所

九十二年度

## 古蹟修復技術-灰作材料性質與修復工法之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 2736-2389

地址：台北市敦化南路二段三三三號十三樓

網址：<http://abri.gov.tw>

出版年月：中華民國九十二年十二月

版(刷)次：第一版

工本費：新台幣二百三十五元整

GPN：1009204563

ISBN：957-01-5965-0