

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高職組 土木科

第一名

最佳團隊合作獎

091202

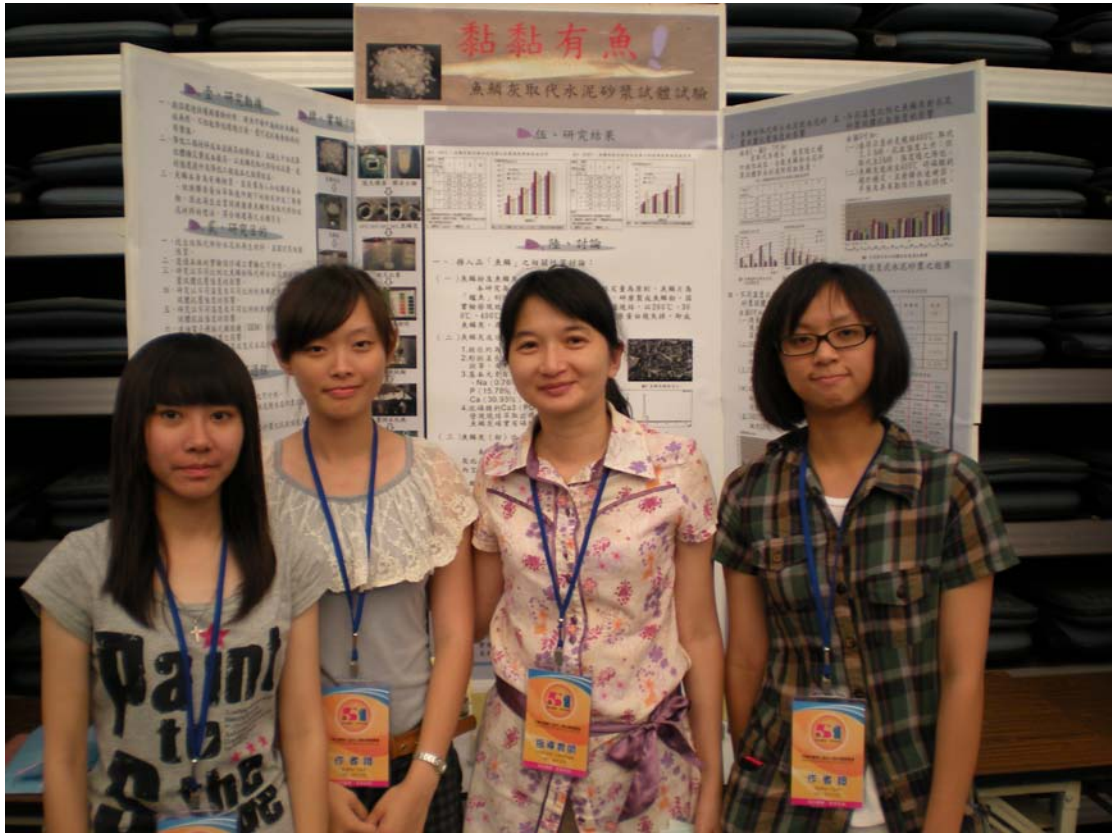
黏黏有魚！魚鱗灰取代水泥砂漿試體試驗

學校名稱：國立岡山高級農業工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 吳亮儀	邱 玫
職二 林育亘	
職二 何思頤	

關鍵詞：魚鱗灰、水泥砂漿、抗壓（拉）強度

## 得獎感言



從校內初選到分區初賽，最後進入全國科展，這一連串的挑战對我們來說意義非凡。經過一年多的日子，我們遇到種種難題，靠著組員們的互相扶持及老師的指導，我們選擇了努力不放棄，克服所有難關。因此得到一個令人雀躍的新發現！

在科展的研究過程中，我們做了很多實驗，由最初的研究動機到實驗發現效果不如預期，不斷從挫敗中找尋新的可能，也學習到了團隊合作的重要性。我們由實驗數據中努力找尋原因，終於能夠充滿自信的展現我們的研究成果。

最後，感謝評審們的肯定及指導老師孜孜不倦的教導。科展的閉幕不代表學習的結束，而是另一個階段的開始。本次科展帶給我們的不只是專業上的學習，更富含著深遠的意義，那就是”不斷嘗試，努力不懈”。

## 摘 要

「黏黏有”魚”！魚鱗灰取代水泥砂漿試體試驗」是將魚鱗灰取代部分水泥測其對抗壓強度和抗拉強度之影響，進而瞭解魚鱗灰是否可以取代部分水泥，將其廢物利用，並達到綠建築永續之主旨。同時降低建築工程材料成本並提高經濟效益。前期試驗用未燒結之魚鱗粉，但抗壓強度表現不佳，分析後發現魚鱗內含膠原蛋白對水泥強度並無預期之幫助，因此將其燒結成魚鱗灰，成分為無機磷酸鈣鹽類，實驗結果顯示磷酸鈣對其抗壓強度及抗拉強度都有較佳之幫助。若能結合研發中心萃取膠原蛋白後，高純度之魚鱗灰利用於生醫，而回收廢棄之低純度魚鱗灰作為土木建築材料之利用，相信魚鱗灰水泥將為工程材料史上一項創新材料，並賦與魚鱗回收再利用的新價值。

## 壹、研究動機

由高一工程材料第二章水泥及第三章混凝土課程中得知：混凝土為土木建築工程廣泛使用材料之一，主要為水、水泥、粗細骨材組合而成，其中又以水泥單位體積所花費成本最高，為了兼顧成本及強度控制，添加燃煤廢料之飛灰水泥、煉鋼副產品製成之高爐水泥相應而生，均展現廢棄物再利用之價值。本研究動



圖 1 魚市場之現況<sup>註1</sup>

機就是以此為出發，希望由日常生活之廢料中，找尋適當之取代材料，作為實驗研究方向。

我們就讀的學校旁有魚市場，每回經過時，地上總是有遍地的魚鱗及空氣中久久無法散去的魚腥味（如圖 1 所示），讓路過的人都不禁皺起眉頭。在四面環海的台灣，以捕魚或養殖漁業維生的人不計其數，台灣每人平均一年吃進三十五公斤的魚<sup>註2</sup>，因而魚鱗成為最大的垃圾製造者。魚鱗本身為有機物質，並富有高經濟效益、廣為人知的膠原蛋白，但將膠原蛋白萃取後所剩下的粉末卻成了廢棄物，也是大量垃圾的來源之一，因此萌生出何不嘗試將廢棄魚鱗作為取代部份水泥材料的想法。

希望藉由本次實驗，找到適合摻入水泥砂漿中，可增加其強度及經濟效益的再生材料取代部分水泥，在目前積極提倡生態工法以及綠色建築的營建環境中，達到廢物利用和回收再生的構想，以符合綠建築之永續宗旨。

---

<sup>註1</sup> 圖片來源：<http://www.google.com.tw/imgres?imgurl>

<sup>註2</sup> 數據資料來源：時報周刊 <http://magazine.sina.com/bg/chinatimesweekly/1576/2008-05-06/ba52445.html>

（作者：陳苑好小姐）

## 貳、研究目的

時報周刊統計資料顯示<sup>註2</sup>，台灣漁產採捕量或消費量均超高標準（相對食魚量：台灣 35kg／每人每年），此外行政院農委會水產試驗所研究出萃取魚鱗片中百分之五十的膠原蛋白，作為食用及面膜等高經濟效益之商業用途，但萃取膠原蛋白後所剩之魚鱗灰，卻又成為廢棄物而丟棄。如今美容藥妝公司陸續推廣「魚鱗－膠原蛋白」產品；為解決相關垃圾污染的環保問題，可結合各研發中心魚鱗灰之回收計畫，透過本研究尋求再利用之價值及可行性，非但能兼顧環境保護，且能降低工程材料成本。

本研究以中國國家標準 Chinese National Standard（**CNS**）或美國材料試驗學會 American Society for Testing and Materials（**ASTM**）規範建立客觀定量的實驗方法與試驗器材，欲達到之目的如下：

- 一、找出欲取代部份水泥的再生材料，並探討其相關性質。
- 二、透過本組的實驗設計確立實驗之可行性。
- 三、研究以不同比例之魚鱗粉<sup>註3</sup>取代部分水泥對水泥砂漿試體抗壓強度的影響。
- 四、研究以不同溫度及不同比例的魚鱗灰<sup>註4</sup>對水泥砂漿試體抗壓、抗拉強度的影響。
- 五、透過電子掃描式顯微鏡（**SEM**）及能量分散光譜儀（**EDS**）觀察魚鱗灰的顆粒大小與其成份分析對水泥砂漿之影響。
- 六、簡易評估討論本研究魚鱗灰改良式水泥砂漿之經濟效益、應用價值。

倘若研究的初步成果，能使試體在抗壓強度、抗拉強度表現及材料成本中取得一平衡，而魚鱗灰的中性酸鹼值特性，顛覆了傳統波特蘭水泥鹼度過高而導致生物相容性差的缺點，增加建築物與植物共生的可能性，在目前提倡生態工法以及綠色建築的營建環境中，相當具有獨特性與競爭性。




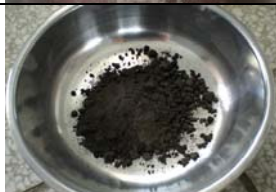




---

註3 魚鱗粉：本研究將魚鱗直接磨成粉末，未經燒結所稱之。

註4 魚鱗灰：本研究將魚鱗磨成粉末後，經不同溫度燒結成灰所稱之。

## 參、研究設備及器材

表 1 本研究相關設備儀器彙整資料

名稱	圖片	用途	備註
水泥		水泥砂漿原料之一，凝結試驗物體	廠牌：東南牌 種類：I 型卜特蘭水泥 總使用重量：27.016kg
煤油		利用阿基米得原理測試魚鱗粉、魚鱗灰及細砂的比重	數量：1 個
魚鱗粉		欲取代部分水泥之材料	總使用重量：0.652kg
魚鱗灰		欲取代部分水泥之材料	200℃、300℃、400℃、500℃ 各使用重量：0.528kg
細砂		水泥砂漿成份之一	總使用重量：75.485kg
石灰		調配水泥試體的養護液（飽和石灰水）	
標準篩		篩析細骨材	抗壓細骨材：過 # 30 篩，停 # 100 篩 抗拉細骨材：過 # 16 篩，停 # 30 篩
李氏比重瓶		測定魚鱗粉、魚鱗灰及細砂之比重	數量：2 個



續上表 1

名稱	圖片	用途	備註
廣用試紙		用來檢測魚鱗灰的酸鹼性質	數量：1 盒
抗壓試體模		作為灌製抗壓強度試體的標準模具	尺寸：5cm×5cm×5cm 數量：12 個
抗拉試體模		作為灌製抗拉強度試體的標準模具（8 字模）	數量：4 個
電子秤		量測所有試驗物的重量	承載最大最小值： Max：3000g Min：0.01
恆溫水槽		有效維持恆溫（℃）、恆濕環境，比重測試時維持環境穩定性	數量：1 個 溫度控制：23℃
游標尺		量測流度值	數量：1 個
電子溫度計		量測水化作用時之溫度變化	數量：2 個
吉爾摩式針		測試水泥砂漿之凝結時間	數量：1 個

續上表 1

名稱	圖片	用途	備註
氣透儀		試驗水泥之細度	數量：1 個
拌和器		拌和水泥砂漿	數量：1 個
流度台		測試水泥砂漿之流度	數量：1 個
烘箱		將砂烘乾	數量：1 個
高溫爐		燒結魚鱗灰	數量：1 個 溫度：200℃、300℃、 400℃、500℃
電子式抗壓強度試驗機		測試試體的抗壓強度	最大承壓荷重：30 千噸 精度：1 %
改良型電子式抗拉強度試驗機		測試試體的抗拉強度	
電子掃描顯微鏡及能量分散光譜儀		檢測魚鱗灰成分內之元素的檢測及顆粒粒徑大小	左圖：電子掃描顯微鏡 (SEM) 右圖：能量分散光譜儀 (EDS)



## 肆、研究過程或方法

### 一、研究流程圖

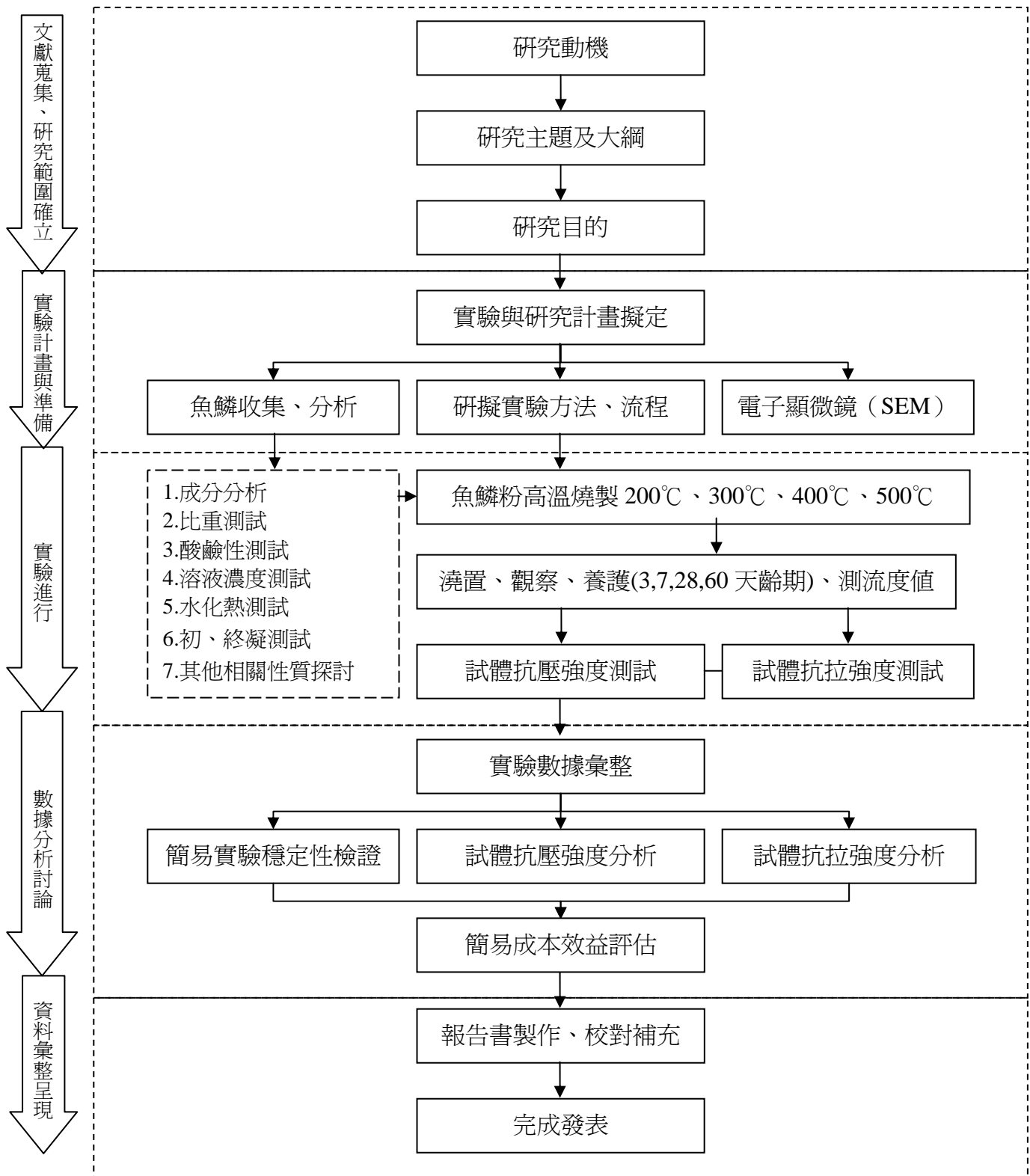


圖 2 研究流程圖

## 二、研究方法

除透過文獻回顧、資料蒐集與團體討論進行研究外，主要實驗設計如下：

### （一）魚鱗收集：

為使定性定量為實驗原則，確保實驗之精確度，本次研究所使用的魚鱗，統一從高雄市前鎮區漁市場的某魚販販售之鱸魚，所刮除下之廢棄鱗片，一次取得實驗足量，經由自然風乾並均勻拌和後封存，作為本研究之摻料備用。

### （二）研磨製成魚鱗粉：

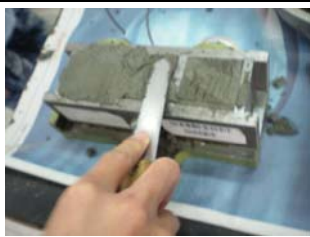

將風乾後之魚鱗片利用研磨機磨製成魚鱗粉，作為本研究之最初實驗之摻料備用。

### （三）燒結不同溫度之魚鱗灰：

實驗後發現魚鱗粉抗壓效果不彰，無法達到預期之成效，於是利用高溫爐將原本的魚鱗粉燒結成 200℃、300℃、400℃、500℃ 不同溫度之魚鱗灰，亦將燒失魚鱗片中含 50% 的膠原蛋白，以達到預期之效果。

### （四）水泥砂漿試體配比設定及製作：（如圖 3 所示）

1. 製作一組水泥砂漿之標準配比 1：2.75，水灰比依標準流動度值為 0.58，作為本次實驗之對照組，之後將魚鱗粉依不同比例取代等量之水泥及依不同比例添加魚鱗粉為實驗組，完成水泥砂漿之配比設定。
2. 將魚鱗粉燒結至 200℃、300℃、400℃、500℃ 等四種不同溫度，再依各溫度之魚鱗灰依不同比例取代等量之水泥為實驗組，完成水泥砂漿之配比設定。

		
圖 3 製作抗壓試體	圖 4 試體齡期之養護	圖 5 廣用試紙

(五) 簡易試體養護：

先將儲水桶內裝入足以將所有試體沒入水中的量，再將石灰粉倒入桶內，均勻攪拌使其液體達至飽和狀態，作為試體的養護液（如圖 4 所示）。

(六) 試體抗壓、抗拉強度測試：

依各不同齡期養護後，將試體陸續放進「電子抗壓機」、「改良式電子式抗拉機」內進行抗壓強度之實驗。同時記錄下實驗數據，計算出每一試體的抗壓強度。

(七) 魚鱗灰酸鹼值測試：

實驗前，本組應用簡單化學酸鹼試驗原理，利用廣用試紙(如圖 5 所示)比色方式，檢測魚鱗灰水溶液之酸鹼性。

(八) 魚鱗灰（粉）初終凝試驗：

利用吉爾摩氏針測定魚鱗灰之初凝及終凝時間，作為將來混凝土施工控制之參考。

(九) 測定魚鱗灰（粉）比重：

利用李氏比重瓶計算魚鱗粉（灰）比重之大小，作為將來混凝土配合設計之依據。

(十) 魚鱗灰（粉）水化熱之量測：

以電子溫度計測定不同配比設計之魚鱗粉水泥砂漿，並紀錄水化作用產生的最高溫度，以求得水化熱影響凝結時間。

(十二) 觀測魚鱗灰顆粒大小及成份分析：

以電子掃描式顯微鏡（SEM）觀測魚鱗灰顆粒粒徑大小及能量分散光譜儀（EDS）作元素分析（如圖 6 所示），以作為強度分析之依據。



圖 6 電子掃描式顯微鏡及  
能量分散光譜儀

### 三、實驗細項說明

#### (一) 實驗假設

- 1、本研究之實驗設計具有一定之可行性。
- 2、實驗材料一次備料完成、封存。
- 3、以魚鱗粉取代部分水泥對水泥砂漿之抗壓強度具有影響。
- 4、以魚鱗灰取代部分水泥對水泥砂漿之抗壓、抗拉強度具有影響。

#### (二) 實驗設計

##### 1、對照組：

試體	水泥：砂：水	
純水泥	配比	1：2.75：0.58
說明（1）純水泥試體材料配比比照 CNS 試驗規範做設定 （2）水灰比為 0.58 高水灰比，乃因使用砂之吸水率及魚鱗粉需水量影響 （3）齡期為 3 天、7 天、28 天、60 天		

##### 2、實驗組（I）抗壓強度部份：(未燒結過之魚鱗粉)

試體		水泥：魚鱗粉：砂：水	
取代 (%)	2.5	配比	0.975：0.025：2.75：0.58
	5		0.950：0.050：2.75：0.58
	10		0.900：0.100：2.75：0.58
	15		0.850：0.150：2.75：0.58
說明（1）取代率:指魚鱗粉取代部份水泥的比例，取代率= $\frac{\text{魚鱗粉}}{\text{水泥} + \text{魚鱗粉}}$			
（2）齡期為 3 天、7 天、28 天、60 天			

### 3、實驗組（Ⅱ）抗壓強度部份：(燒結不同溫度後之魚鱗灰)

溫度 (°C)	取代 (%)	配比	取代 (%)	配比	取代 (%)	配比
		水泥：魚鱗灰：砂：水		水泥：魚鱗灰：砂：水		水泥：魚鱗灰：砂：水
200	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
300	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
400	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
500	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
<p>說明（1）取代率:指魚鱗粉取代部份水泥的比例，取代率=<math>\frac{\text{魚鱗粉}}{\text{水泥} + \text{魚鱗粉}}</math></p> <p>（2）齡期為 3 天、7 天、28 天、60 天</p>						

### 4、實驗組（Ⅲ）抗拉強度部份：(燒結不同溫度後之魚鱗灰)

溫度 (°C)	取代 (%)	配比	取代 (%)	配比	取代 (%)	配比
		水泥：魚鱗灰：砂：水		水泥：魚鱗灰：砂：水		水泥：魚鱗灰：砂：水
200	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
300	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
400	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
500	1	0.990:0.010:2.75:0.58	2.5	0.975:0.025:2.75:0.58	5	0.950:0.050:2.75:0.58
<p>說明（1）取代率:指魚鱗粉取代部份水泥的比例，取代率=<math>\frac{\text{魚鱗粉}}{\text{水泥} + \text{魚鱗粉}}</math></p> <p>（2）齡期為 3 天、7 天、28 天、60 天</p>						

#### 四、實驗步驟

本研究之實驗均依據中華民國國家標準 CNS 規範及美國材料試驗 ASTM 規範或材料實驗室之習用方法。

##### （一）篩析：

利用標準篩將所有試驗所需之細骨材，分別篩析至各拌合桶內（如圖 7 所示）。

##### （二）秤取原料：




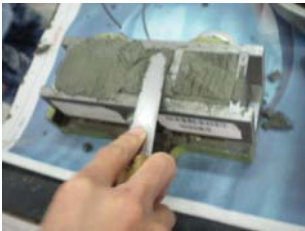


取一定配比的砂、水泥、水、魚鱗灰（粉）秤重，來完成配比的工作（如圖 8 所示）。

##### （三）拌和：

將各個配比設計的水、砂、水泥及魚鱗灰（粉），倒至拌合桶內，用電動拌和機均勻拌合（如圖 9 所示）。

##### （四）測試流度值：

利用電動流度台測試各不同配比設計水泥砂漿之流度，以判定其工作性。

		
圖 7 篩砂	圖 8 秤取原料	圖 9 拌合示意
		
圖 10 搗實刮平試體	圖 11 養護	圖 12 抗壓試驗



(五) 灌漿、搗實：

拌合完成之不同配比設計之水泥砂漿，放進抗壓試體模具內，分三層搗實共 32 下，將漿體刮平至與模子頂相齊完成（如圖 10 所示），靜置等待 24 小時後拆模。

(六) 養護（調製飽和石灰水）：

耐鹼水盆內裝滿水，加入石灰粉使其溶解，直到飽和狀態，將拆模後之試體放入飽和石灰水中養護（如圖 11 所示）。

(七) 抗壓、抗拉強度試驗：

養護至實驗齡期後，以混凝土電子抗壓試驗機、改良式電子抗拉試驗機，測試試體的抗壓強度，並記錄下實驗數據，計算出每一試體的抗壓強度（如圖 12 所示）。

(八) 電子掃描式顯微鏡（SEM）及能量分散光譜儀（EDS）檢測：

SEM 觀測魚鱗灰之形狀及顆粒大小；EDS 檢測其成份之元素（如圖 14 所示）。

(九) 膠原分離：

魚鱗粉的抗壓強度不如預期效果，因此將膠原分離取用沉積於底部之灰燼（如圖 15 所示），此灰燼於本研究中稱之為魚鱗灰，作為本實驗最終之主要實驗材料。

		
圖 13 抗拉試驗	圖 14 電子掃描式顯微鏡	圖 15 膠原分離

## 伍、研究結果

### 一、抗壓實驗研究數據

表 2 魚鱗粉取代部份水泥量之抗壓強度與強度成長率

未燒結過魚鱗粉	齡期(天)	3	7	28	60
	取代量(%)				
0		143.6	188.8	307.1	359.0
		100	100	100	100
1		150.6	191.9	317.1	145.6
		104	101	103	40
2.5		103.0	157.8	235.5	48.8
		71	83	76	13
5		69.5	110.8	166.4	90.2
		48	58	54	25
10		38.3	61.4	82.4	86.0
		28	32	26	23
15		22.2	46.1	75.2	62.0
		15	24	24	17

附註：  
 1. 抗壓強度結果取於三個試體平均強度。  
 2. 上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。  
 3. 上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

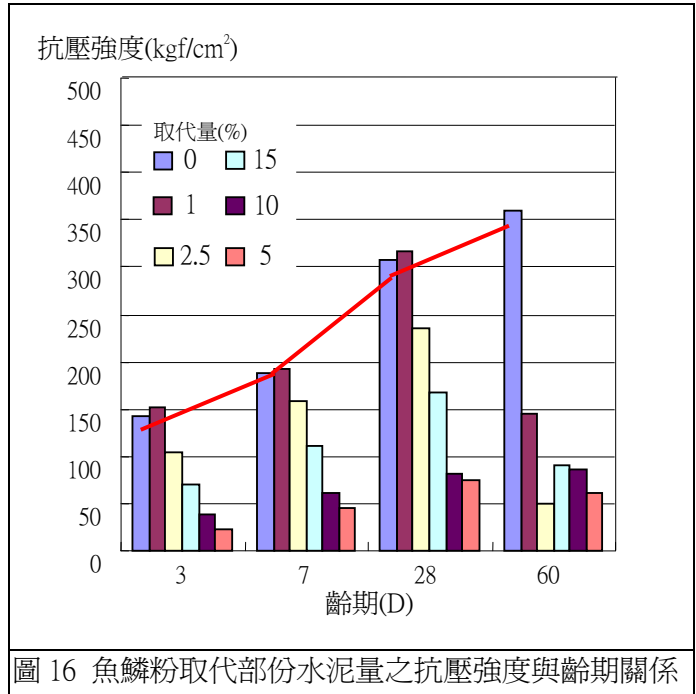


圖 16 魚鱗粉取代部份水泥量之抗壓強度與齡期關係

表 3 200℃ — 魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與強度成長率

燒結溫度	齡期(D)	3	7	28	60
	取代量(%)				
200℃	0	115.3	189.0	317	387
		100	100	100	100
	1	115.1	268.6	402.7	410.5
		100	142	127	106
	2.5	119.0	189.4	313.9	367.2
		103	100	99	94
	5	118.0	184.3	309.4	344.5
		102	97	97	89

附註：  
 1. 抗壓強度結果取於三個試體平均強度。  
 2. 上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。  
 3. 上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

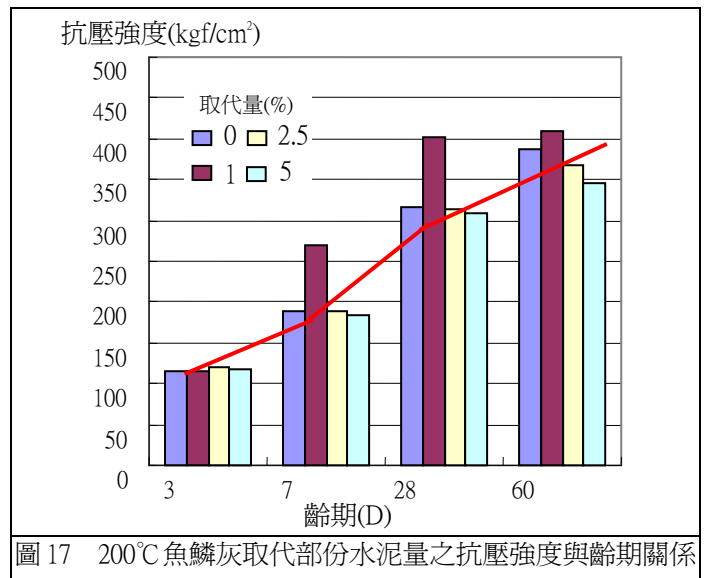


圖 17 200℃ 魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與齡期關係

表 4 300℃－魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與強度成長率

燒結溫度	齡期(D) 取代量(%)	3	7	28	60
300℃	0	115.3	189.0	317	387
		100	100	100	100
	1	121.2	197.6	338.1	393.2
		105	104	106	101
	2.5	113.6	190.7	336.5	394.3
		98	101	106	101
	5	121.8	199.0	339.8	357.4
		105	105	107	92

附註：  
 1.抗壓強度結果取於三個試體平均強度。  
 2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。  
 3.上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

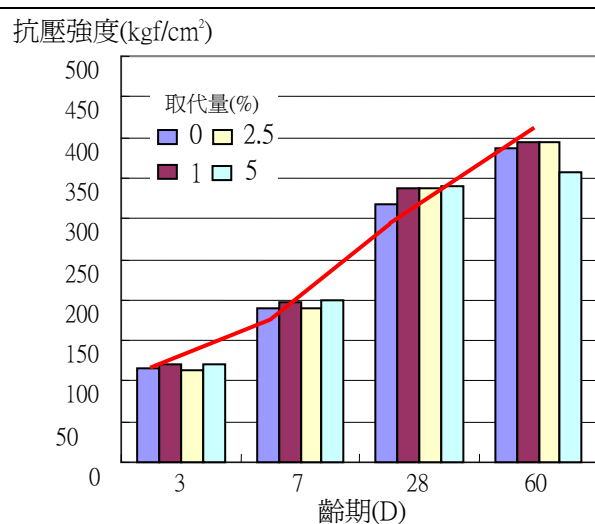


圖 18 300℃魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與齡期關係

表 5 400℃－魚鱗灰取代部分水泥量之抗壓強度與強度成長率

燒結溫度	齡期(D) 取代量(%)	3	7	28	60
400℃	0	115.3	189.0	317	387
		100	100	100	100
	1	188.4	270.0	429.8	431.9
		163	142	135	111
	2.5	171.1	260.8	407.2	419.5
		148	137	128	108
	5	150.5	247.9	382.0	386.6
		130	131	120	99

附註：  
 1.抗壓強度結果取於三個試體平均強度。  
 2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。  
 3.上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

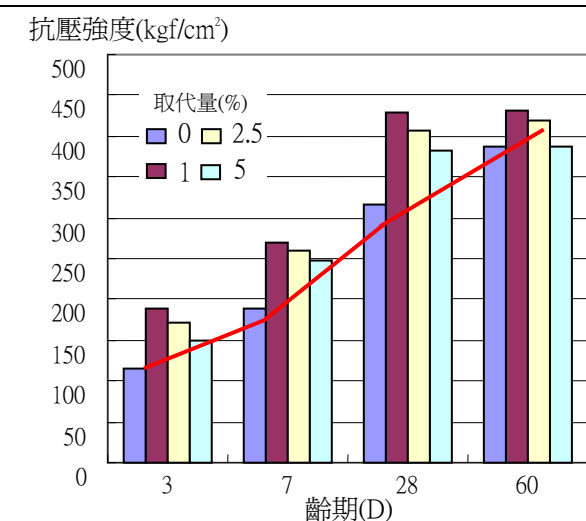


圖 19 400℃魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與齡期關係

表 6 500℃－魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與強度成長率

燒結溫度	齡期(D) 取代量(%)	3	7	28	60
500℃	0	115.3	189.0	317	387
		100	100	100	100
	1	125.7	218.6	377.6	409.1
		109	115	119	105
	2.5	117.1	211.3	407.2	424.2
		101	111	128	109
	5	125.6	199.2	343.1	346.7
		108	105	108	89

附註：  
 1.抗壓強度結果取於三個試體平均強度。  
 2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。  
 3.上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

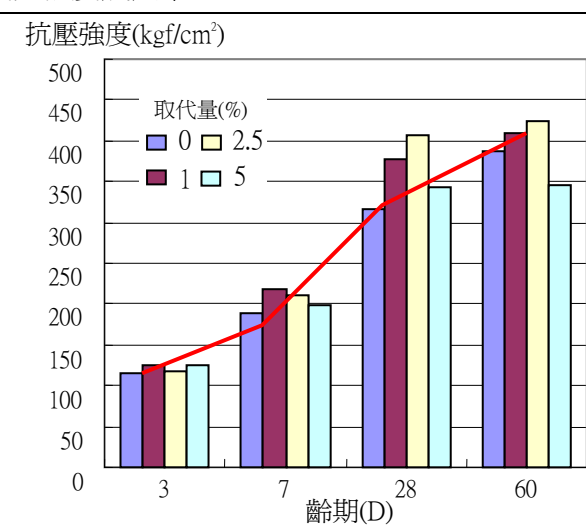


圖 20 500℃魚鱗灰取代部份水泥量之抗壓強度與齡期關係

## 二、抗拉實驗研究數據

表 7 200℃－魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與強度成長率

燒結溫度	齡期 (D) 取代量 (%)	3	7	28	60
200 ℃	0	15.44	29.96	37.96	47.70
		100	100	100	100
	1	23.55	41.74	37.69	50.29
		152	139	99	105
	2.5	21.97	25.82	39.84	49.79
		142	86	105	104
	5	13.87	25.03	34.81	57.55
		89	83	91	120

附註：

1.抗拉強度結果取於三個試體平均強度。

2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。

3.上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

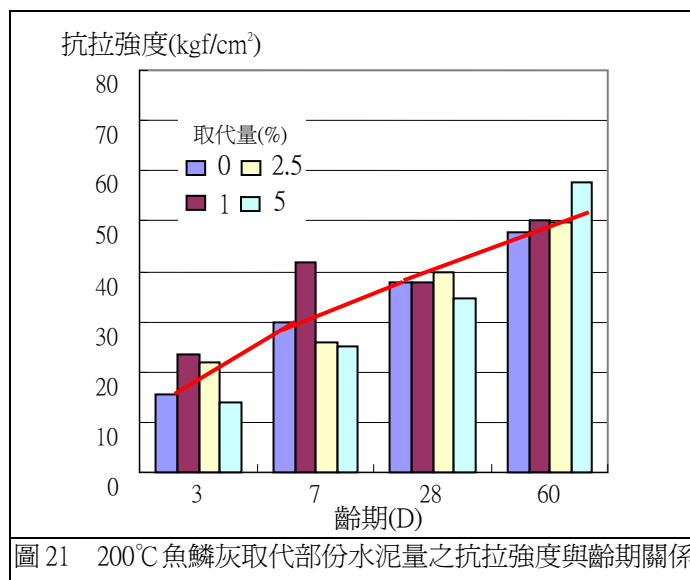


圖 21 200℃ 魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與齡期關係

表 8 300℃－魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與強度成長率

燒結溫度	齡期 (D)	3	7	28	60
	取代量 (%)				
300 ℃	0	15.44	29.96	37.96	47.70
		100	100	100	100
	1	18.76	33.98	31.63	44.95
		121	113	83	94
	2.5	19.12	32.19	37.78	45.65
		123	107	99	95
	5	17.91	34.72	39.40	20.88
		115	115	103	43

附註：

1.抗拉強度結果取於三個試體平均強度。

2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。

3.上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

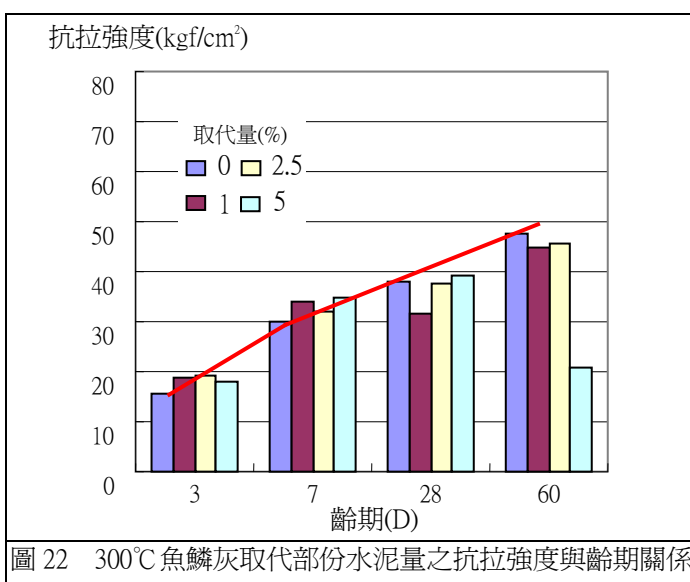


圖 22 300℃ 魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與齡期關係

表 9 400℃－魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與強度成長率

燒結溫度	齡期(D)	3	7	28	60
	取代量(%)				
400℃	0	15.44	29.96	37.96	47.70
		100	100	100	100
	1	19.94	33.89	41.60	69.94
		129	113	109	146
	2.5	36.44	33.82	47.79	59.92
		236	112	126	125
	5	22.98	21.65	31.47	51.74
		148	72	83	108

附註：

1.抗拉強度結果取於三個試體平均強度。

2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。

3.上欄單位：kgf/cm<sup>2</sup>、下欄單位：%

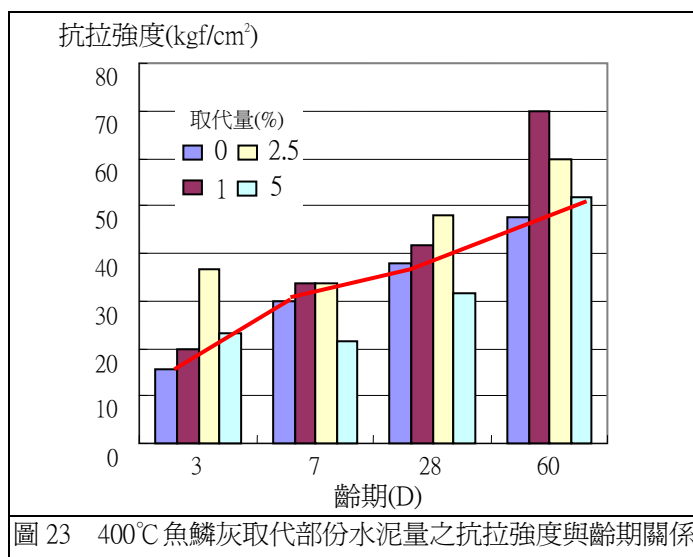


圖 23 400℃ 魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與齡期關係

表 10 500℃－魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與強度成長率

燒結溫度	齡期 (D)	3	7	28	60
	取代量 (%)				
500 ℃	0	15.44	29.96	37.96	47.70
		100	100	100	100
	1	14.72	35.90	35.52	42.83
		95	119	93	89
	2.5	13.82	31.42	37.78	48.85
		89	104	99	102
	5	10.17	17.64	30.76	44.68
		65	58	81	93
附註：					
1.抗拉強度結果取於三個試體平均強度。					
2.上欄為單一強度平均值；下欄為與 0%(純水泥砂漿)比較強度成長率。					
3.上欄單位：kgf/cm <sup>2</sup> 、下欄單位：%					

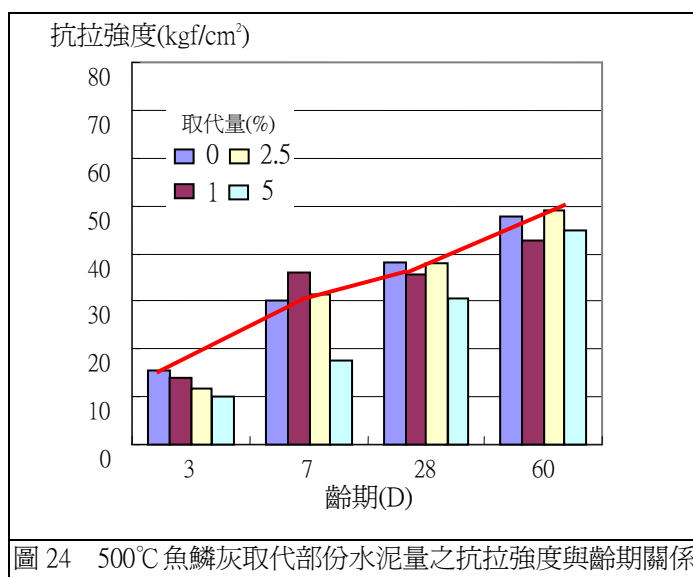


圖 24 500℃ 魚鱗灰取代部份水泥量之抗拉強度與齡期關係

### 三、各溫度魚鱗灰不同齡期抗壓強度之比較

抗壓強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

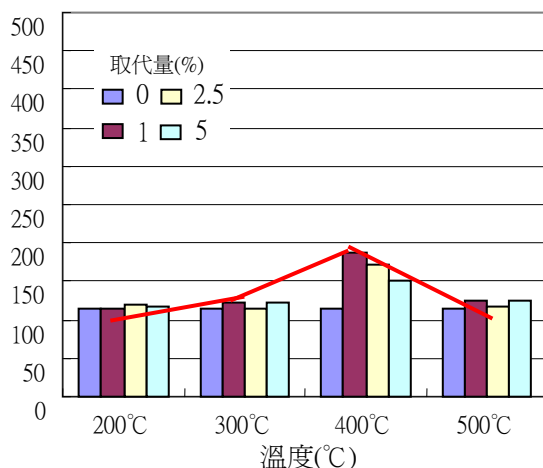


圖 25 各溫度魚鱗灰三天齡期之抗壓強度

抗壓強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

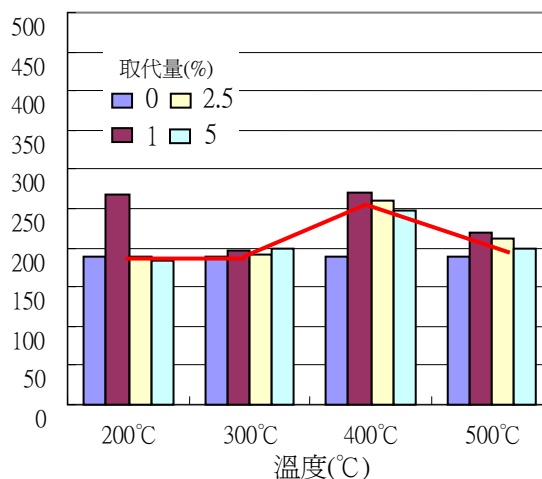


圖 26 各溫度魚鱗灰七天齡期之抗壓強度

抗壓強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

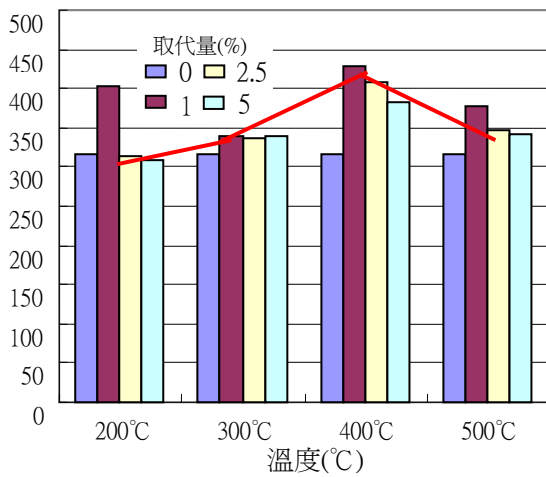


圖 27 各溫度魚鱗灰二十八天齡期之抗壓強度

抗壓強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

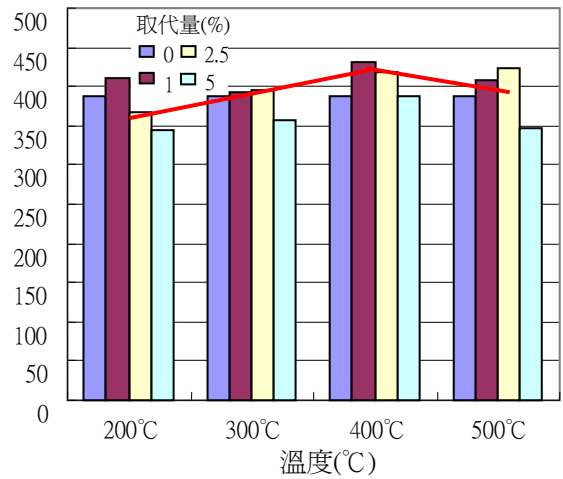


圖 28 各溫度魚鱗灰六十天齡期之抗壓強度

抗拉強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

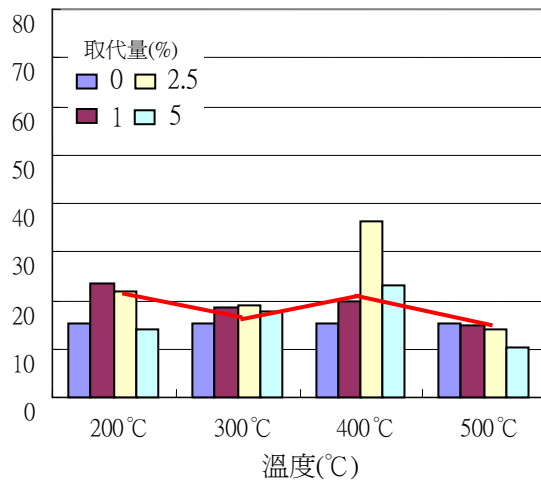


圖 29 各溫度魚鱗灰三天齡期之抗拉強度

抗拉強度(kg/cm<sup>2</sup>)

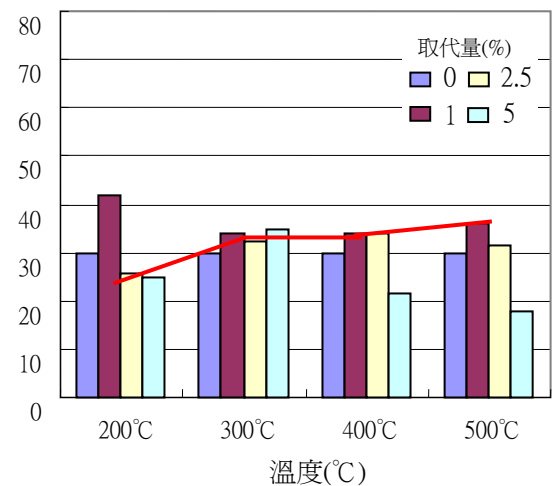


圖 30 各溫度魚鱗灰七天齡期之抗拉強度

抗拉強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

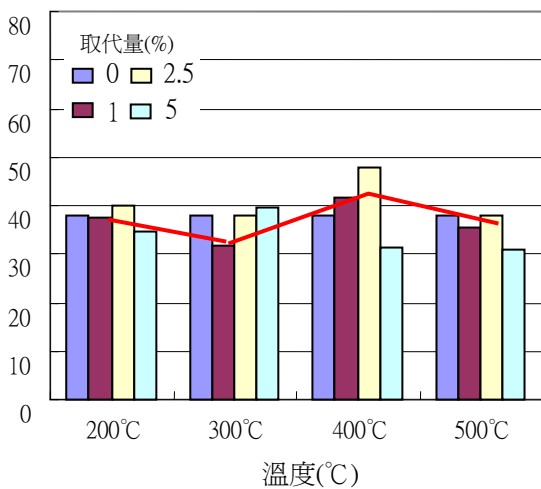


圖 31 各溫度魚鱗灰二十八天齡期之抗拉強度

抗拉強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

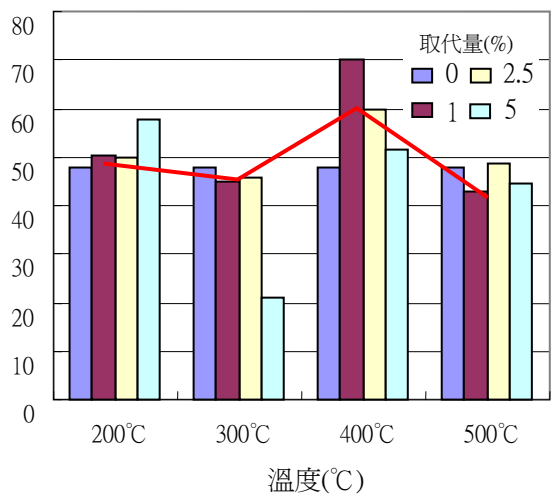


圖 32 各溫度魚鱗灰六十天齡期之抗拉強度



## 陸、討論

本研究針對摻品討論其本身物性及化性外，分別 1.以未燒結過之魚鱗粉取代部份水泥、2.以溫度 200℃、300℃、400℃ 及 500℃ 燒結後之魚鱗粉分別取代部分水泥進行實驗討論；取代比率分別不超過百分之十五、百分之五的範圍內，測試各試體不同齡期抗壓強度及抗拉強度的表現。

### 一、摻入品「魚鱗」之相關性質討論：

#### （一）魚鱗粉及魚鱗灰的原料與製程

本研究為求實驗之穩定性，以取定性定量為原則，因此魚鱗片原料來自於高雄市前鎮區漁港固定魚販取得，魚鱗片為「鱸魚」刮除之廢棄物（如圖 33（a）所示），將其回收風乾後，研磨製成魚鱗粉（如圖 33（b）所示），因實驗後發現效果不彰，於是改將魚鱗粉放進高溫爐（如圖 33（c）所示）燒結，以 200℃、300℃、400℃ 及 500℃ 等四種不同溫度，將膠原蛋白燒失掉，即成魚鱗灰（如圖 33（d）所示），為本研究最終之主要實驗材料。

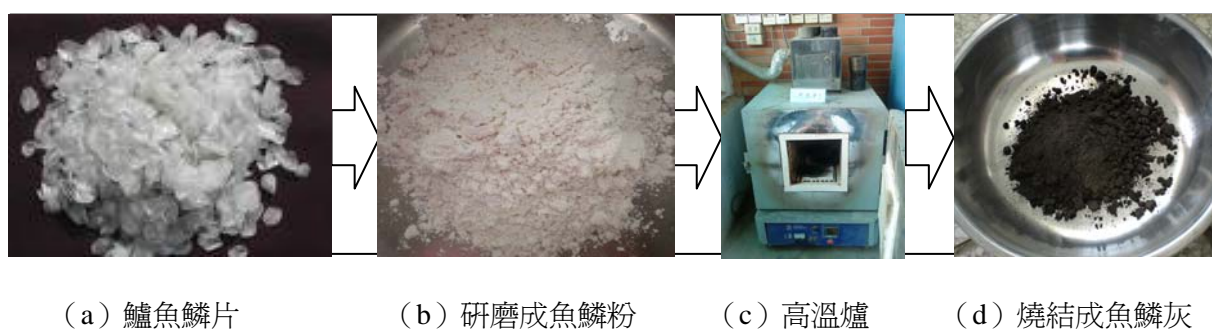


圖 33 魚鱗灰（粉）簡易製造流程圖

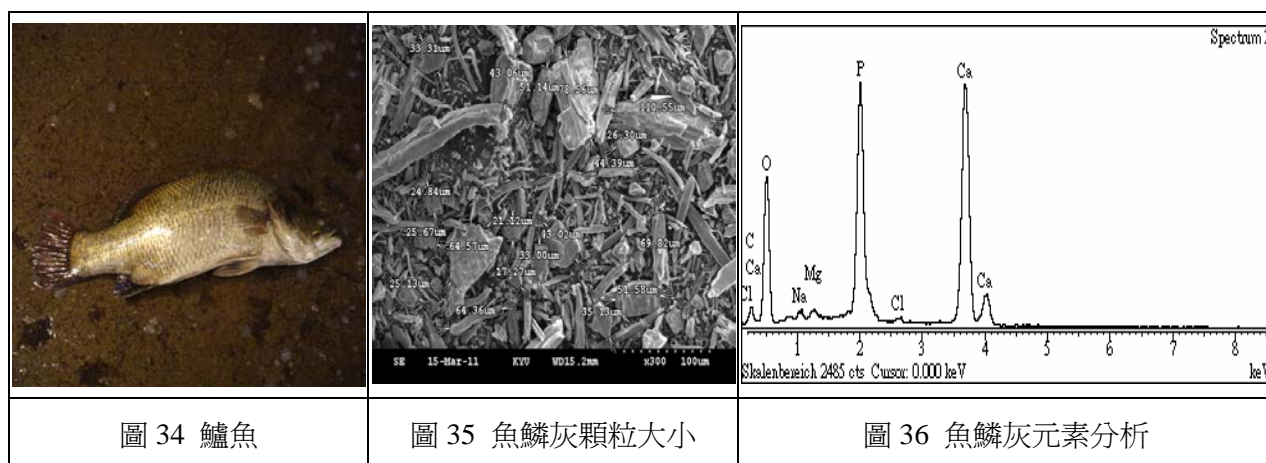
#### （二）魚鱗種類與應用

本研究取鱸魚（Perch）之鱗片為主要實驗原料，鱸魚（如圖 34 所示）體側扁，鱗片直徑約為二公分、厚度約為零點一公分左右。在全世界溫帶沿海地區均有出產。

將魚鱗萃取膠原蛋白後的廢棄物，即為本研究所稱之魚鱗灰，為實驗之主要取代水泥量材料，目前並無文獻及研究資料係針對魚鱗灰對水泥砂漿之影響作研究，倘若本研究結果為可行，將賦予魚鱗另一種類之高價值性。

### (三) 魚鱗灰成分檢測

利用電子掃描式顯微鏡(SEM)觀測 400°C 的魚鱗粉粒徑約為  $17.27\ \mu\text{m}$ ~ $110.55\ \mu\text{m}$  間，形狀呈長條狀、三角狀、圓形及不規則狀等（如圖 35 所示），有利於填補空隙增加強度之功能。能量分散光譜儀(EDS)檢視其成分（如圖 36 所示），透過量化結果，魚鱗灰的基本元素有：C（5.39%）、O（46.29%）、Na（0.76%）、Mg（0.45%）、P（15.78%）、Cl（0.40%）、Ca（30.93%）等。由於成分中含有組合成磷酸鈣之元素，依磷酸鈣  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  化學式分析後，發現燒結萃取出膠原蛋白後，所剩之魚鱗灰確實有磷酸鈣的成份，將有助於後續研究討論。



### (四) 魚鱗灰（粉）比重測試

利用測定水泥比重的原理進行實驗，實驗數據如下表 11，未燒結之魚鱗粉比重較燒結後之魚鱗灰輕，尤以 400°C 魚鱗灰比重值約 3.56 大於其它溫度的比重值，亦較新鮮水泥 3.15 為大，一般而言，比重較大相對強度亦較高。

表 11 魚鱗灰（粉）比重實驗數據

項目	魚鱗粉之比重 (未燒結)	魚鱗灰之比重（不同溫度之燒結）			
		200℃	300℃	400℃	500℃
比重	1.586	1.618	2.290	3.556	3.535
計算式	魚鱗灰（粉）比重 = $\frac{W}{a - a}$				

#### （五）魚鱗灰 PH 酸鹼值測試

初步選用 400℃ 魚鱗灰作為摻品後，利用 PH 酸鹼計試驗(如圖 37 所示)，飽和魚鱗灰溶液 PH 值為 6.5，呈現中性酸鹼值反應（中性值為 6.5~7.0），著實顛覆了普通波特蘭水泥鹼度過高而導致生物相容性差的缺點，大大地提高了建築物與植物共生的可能性。



圖 37 400℃ 魚鱗灰酸鹼性實驗

#### （六）魚鱗粉水化熱測試

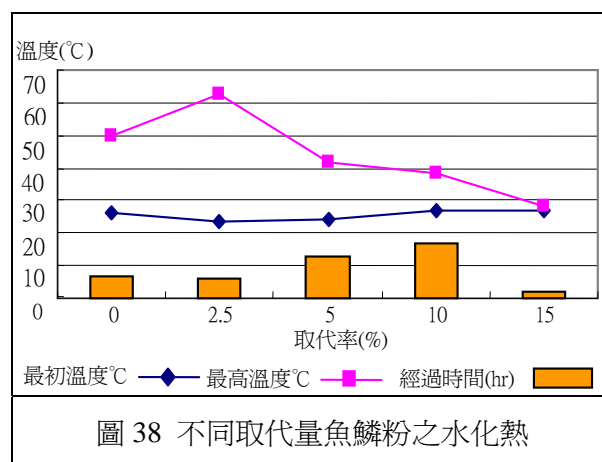
將各個不同取代量的魚鱗粉水泥，將電子溫度計插入保溫杯中，開始測試其溫度。如表 12 及圖 38 所示，除魚鱗粉取代量 2.5% 的最高溫度 62.6℃ 大於純水泥 49.7℃，經過時間 5.76 小時小於純水泥 7.06 小時，顯示出取代量 2.5% 比純水泥較早達到強度。

但隨著取代量的增加，水化溫度逐漸減弱，水化時間亦高於純水泥及魚鱗粉取代量 2.5% 的二至三倍，表示取代的配比越高凝結時間相對越長，高取代量魚鱗粉具有減

緩凝結之作用。

表 12 不同取代量魚鱗粉之水化熱

取代% 項目	0	2.5	5	10	15
最初溫度(°C)	26.5	23.8	24.4	27.0	27.0
最高溫度(°C)	49.7	62.6	42.0	38.7	28.0
經過時間(hr)	7.06	5.76	12.83	16.5	17.8



#### (七) 魚鱗灰凝結時間測試

如表 13 及圖 39 所示，未燒結之魚鱗粉隨著取代量的增加，水化速度逐漸緩慢，初終凝凝結時間相對延長。而表 14 及圖 40 顯示出，400°C 魚鱗灰取代部分水泥量 1% 及 2.5% 的初終凝時間皆比純水泥短，則有加速水化之作用。由此得知，未經燒結之魚鱗粉及燒結過之 400°C 魚鱗灰隨著取代水泥量的增加，凝結時間亦相對延長，有減緩水化的作用。

表 13 未燒結魚鱗粉取代部分水泥之凝結時間

未 燒 結 魚 鱗 粉	初終凝 取代率(%)	初凝(hr)	終凝(hr)
	0	2.63	4.01
	2	2.3	5.3
	5	4.58	4.43
	10	6.86	6.41
	15	11.1	7.58

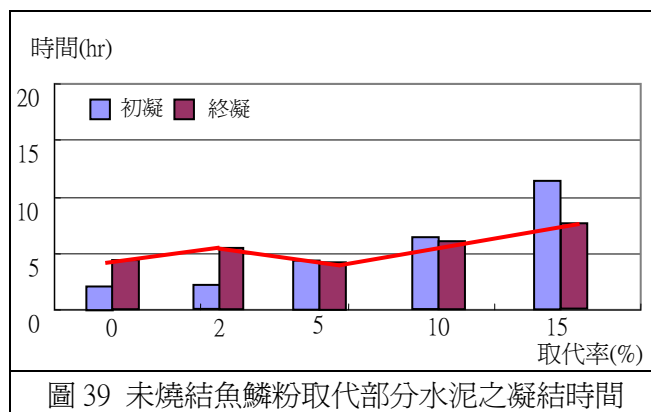
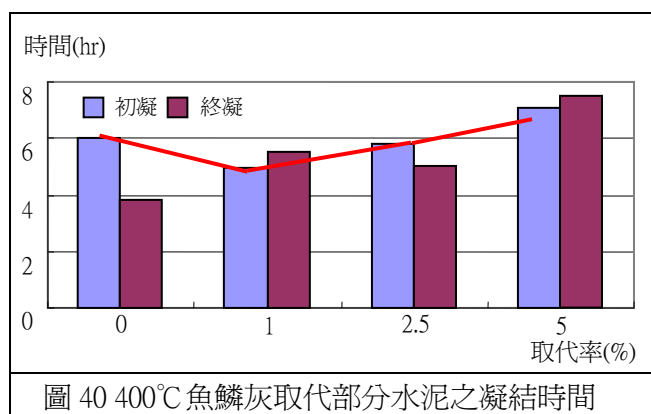


表 14 400℃魚鱗灰取代部分水泥之凝結時間

燒 結 後 魚 鱗 灰	初終凝 取代率(%)	初凝(hr)	終凝(hr)
	0	6.03	3.81
	1	4.93	5.5
	2.5	5.83	5
	5	7.06	7.5



#### (八) 魚鱗灰流度值測試

水泥砂漿中含水量之多寡，即為流度，流度影響其混凝土之工作性。由表 15、16 得知，燒結後的魚鱗灰除了取代水泥量 1% 流度值大於純水泥，其他隨著取代水泥量的增加，流度值相對減低，但仍舊比未燒結過的魚鱗粉來的高。

表 15 未燒結魚鱗粉取代水泥之流度值

未 燒 結 魚 鱗 粉	流度值 取代量(%)	d1	d2	流度 值	比較 值
	0	188	184	86	100
	2.5	168	175	71.5	83
	5	161	158	59.5	69
	10	145	148	46.5	54
	15	120	117	18.5	21

附註:比較值為純水泥與魚鱗粉取代水泥之比值

表 16 400℃魚鱗灰取代水泥之流度值

400 ℃ 魚 鱗 灰	流度值 取代量(%)	d1	d2	流度 值	比較 值
	0	188	184	86	100
	1	198	181	89.5	104
	2.5	178	175	76.5	89
	5	178	172	75	87

附註:比較值為純水泥與取代水泥之比值

## 二、實驗設計之可行性討論

- (一) 本研究最初以魚鱗中富含 50% 的膠原蛋白為發想，利用膠原蛋白的膠結性希望對水泥砂漿試體強度能有所幫助，實驗中 0% 純水泥砂漿為對照組，不同取代部分水泥量於水泥中為實驗組，各實驗組皆依據 CNS 標準規範之水泥砂漿配比設計。由於實驗結果不如預期（如圖 41 所示），因此變更其實驗方法，期待能有幫助水泥砂漿強度及廢棄物再利用的綠建築概念。
- (二) 本研究實驗結果皆具有一定之穩定性與一致性，整體數據波動皆未超過 5%。故據此結果建立重複實驗之效度，後續研究即以燒結成 200℃、300℃、400℃、500℃ 不同溫度、不同取代部分水泥量 1%、2.5%、5% 及不同齡期為實驗設計之實驗組，以取代 0% 純水泥砂漿為對照組，進行不同溫度魚鱗灰替代率之各項試驗，並以純水泥組作為對照組進行比較、討論與分析。

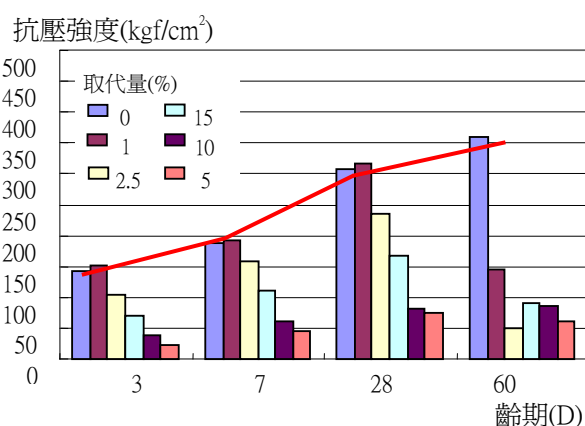


圖 41 魚鱗粉取代部分水泥之抗壓強度

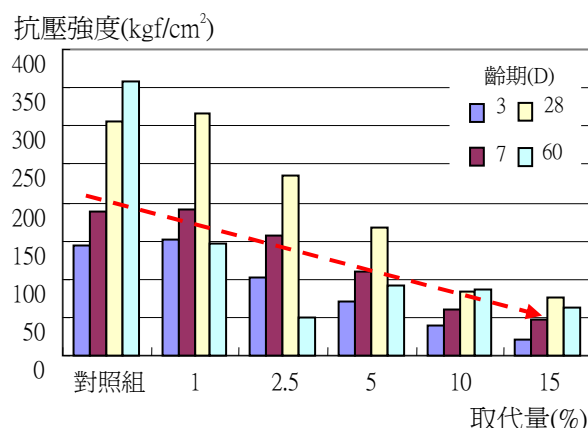


圖 42 不同取代率魚鱗粉試體之抗壓強度

## 三、魚鱗粉取代部分水泥對水泥砂漿試體抗壓強度的影響

以取代 0% 純水泥砂漿組為基底，研究以魚鱗粉取代部分水泥量，取代率由 0~15 % 分別進行各組試體。結果顯示（如圖 42 所示），無論何種取代率，各組試體的抗壓強度相較於 0% 純水泥砂漿組實驗，強度明顯降低許多；而且隨著取代率提高，抗壓強度逐漸降低，在不同齡期都遠低於 0% 純水泥砂漿強度許多。由表 2 比較強度成長率中顯示，以不同取代率之齡期來看，齡期七天強度較高於三天、二十八天及六十天的強度，但綜觀來看，當取代率增大時，強度隨之趨於線性減低，全數魚鱗粉水泥砂漿試體都未



能達到對照組強度，且對照組強度與不同取代率的試體強度差異日益增大。推測其原因可能是魚鱗粉不能完全取代水泥角色，提供主要的膠結反應。

綜觀上述實驗數據顯示，魚鱗粉水泥試體不能取代或添加於水泥砂漿內，膠原蛋白並不能幫助水泥水化作用提升強度，反而明顯降低強度，因此研判膠原並不是本研究的主成份。經過小組討論決定利用高溫燒失其膠原成份，作為實驗之摻料。

#### 四、不同溫度比例之魚鱗灰對水泥砂漿試體抗壓強度的影響

由圖 43 可顯示出，以對照組為基底，固定水泥與砂之配比為 1:2.75，水灰比為 0.58，其總重量在不變下，隨著溫度的不同，所燒失的物質成份多寡也有所不同，因此有不同的強度表現。200°C 除了取代 1% 強度高於對照組 30% 外，其它不同取代量強度相近於對照組之強度，推測其原因可能是魚鱗粉燒結時，膠原燒失不完全所導致，造成抗壓強度不佳。300°C 所有試體強度略高於對照組，但強度浮動值約為 7% 之間，無較明顯之強度上升。

而燒結 400°C 之魚鱗灰取代率皆大幅高於對照組強度，其中又以 1% 取代量強度最為耀眼，浮動值已高達約為 50% 左右，所有試體強度皆高於對照組，但隨著齡期的增加強度由高逐漸趨近於對照組，尤以 60 天齡期最為明顯，因此研判可能是燒結後的磷酸鈣遇水成氫氧磷酸鈣發揮早強效果，28 天後則強度逐漸回穩趨近於 0% 純水泥砂漿試體，燒結

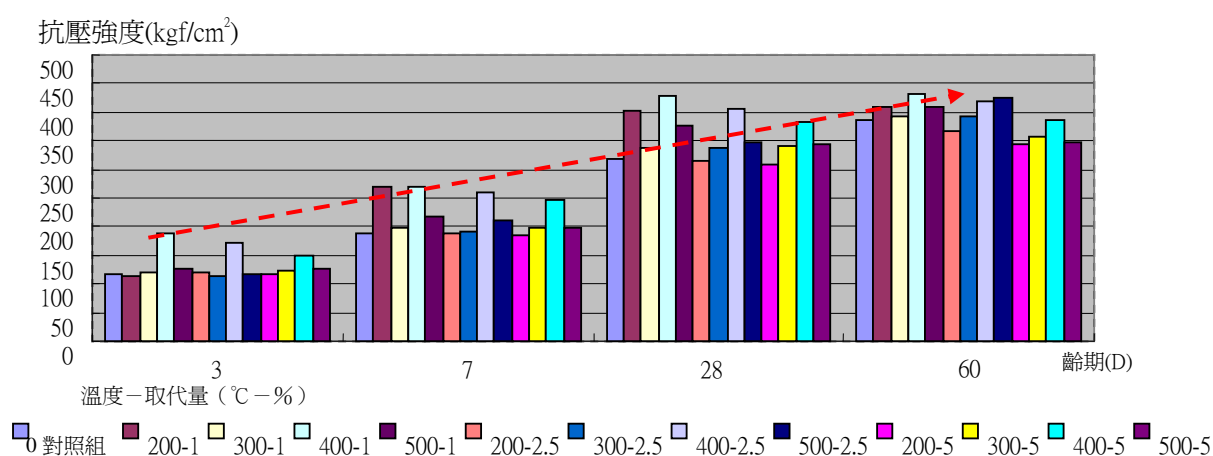


圖 43 不同取代率之試體抗壓強度比較圖

500℃之魚鱗灰，其強度相較於 400℃則有小幅度的下降，但仍較高於對照組強度浮動值約為 28%之間。推測其原因可能是磷酸鈣  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  在空氣中穩定，微溶於水，易溶於稀鹽酸和硝酸。因此加高溫度後與其他元素相結合成他種成份，因而有些許降低其強度的影響。

#### 五、不同溫度比例之魚鱗灰對水泥砂漿試體抗拉強度的影響

由圖 44 中可知，400℃取代量 2.5%其抗拉強度遠高於對照組強度約 25%，400℃取代量 1%其次，較佳於其他溫度對水泥砂漿試體為顯著。但整體觀察，其他溫度在抗拉部分趨近於對照組的強度，值得注意的是在不同溫度但取代量 2.5%時，抗拉強度趨勢線上揚；但取代至 5%時，強度隨之趨於線性減低。而由此更加印證了魚鱗灰燒結於 400℃時，磷酸鈣趨於穩定，且發揮快速硬固、早強及具有韌性行為的特性。隨著齡期的增加抗拉強度與抗壓強度表現大致相同，28 天後之抗拉強度逐漸回穩趨近於 0%純水泥砂漿試體，因此研判應為氫氧磷酸鈣發揮早強效果，因而造成早期強度高而晚期強度回穩於對照組之抗拉強度。

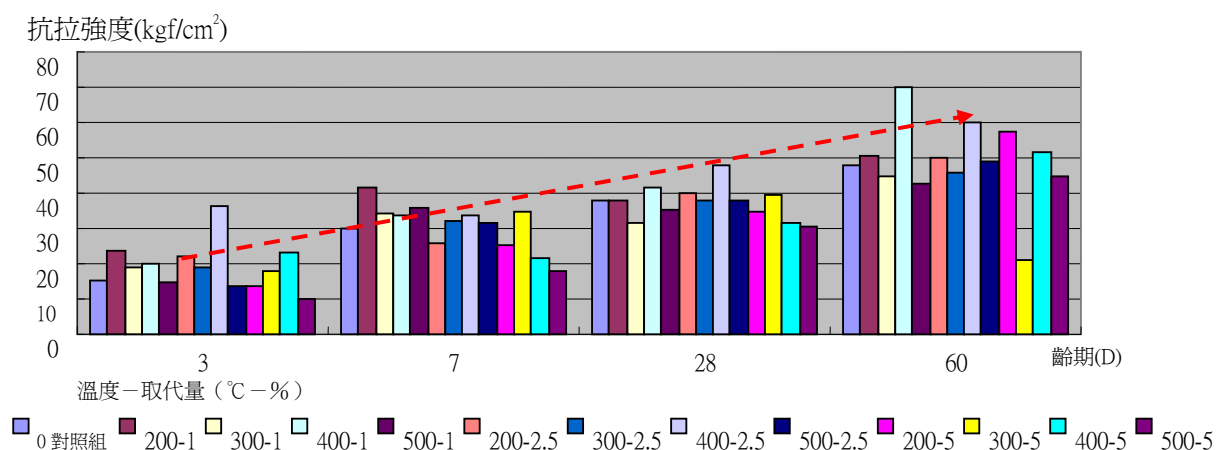


圖 44 不同取代率之試體抗拉強度比較圖

經過小組討論後發現，實驗中發現燒結後 400℃的魚鱗灰強度效果最佳，因此利用能量分散光譜儀(EDS)檢視 400℃魚鱗粉內成分。透過量化結果發現含有鈣 Ca、磷 P、氧 O 之元素，於是從實驗數據顯示出的早期強度高、凝結時間短等特性作判斷，假設燒結後的魚鱗灰含有磷酸鈣成份，因此以簡單化學式計算分析，發現燒失膠原蛋白後，所剩

之魚鱗灰確實有磷酸鈣  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$  的成份，並且  $400^\circ\text{C}$  的磷酸鈣成份是最穩定之狀態。

一般人視為廢棄物的魚鱗片，內含 50% 的美容聖品膠原蛋白，萃取後純度高的磷酸鈣可用生醫方面骨水泥之用，純度較低的磷酸鈣水泥則可用於一般營建工程之中，以其高的生物相容性以及可循環利用的優點，達到廢物利用和回收再生的構想，以符合綠建築之永續宗旨。

## 六、魚鱗灰改良式水泥砂漿之經濟效益討論

由上述討論得知：不同溫度取代率之魚鱗灰對水泥砂漿強度具有不同的影響，在經濟評估分析上，我們以取代  $400^\circ\text{C}$  之模組進行後續成本計算，但因回收方式及交通運輸的不同，變因影響於成本上，因此除去其他變因而只單就材料應用上，簡易呈現魚鱗灰改良式水泥砂漿的經濟效益。

### （一）各材料之市場價格

	水泥	砂
市場價格	一包 (50kg) $\div$ 150 元	一方 ( $1\text{m}^3$ ) $\div$ 800 元
換算	$\Rightarrow$ 一公噸 = 3000 元	$\Rightarrow$ 一公噸 = 600 元
	$\Rightarrow$ 一公斤 = 3 元	$\Rightarrow$ 一公斤 = 0.6 元
備註：市場價格乃是電訪數家南部營造施工廠商所得		

### （二）改良式水泥之經濟效益討論：以一公噸水泥砂漿為例

依本研究不同取代率之實驗模組配比，以各材料之市場單價計算一公噸改良式水泥砂漿之總價，如表 17、18 所示，其中本研究將魚鱗灰視為廢棄物再利用，假設其成本為零。

以純水泥為取代 0%（A 試體），分別計算各試體的成本效益及強度效益：

$$\text{成本效益} = \frac{A\text{試體總價} - X_i\text{試體總價}}{A\text{試體總價}} \times 100\% \quad , \text{其中 } X_i \text{ 爲 } 1\%、2.5\%、5\%$$

$$\text{強度效益} = \frac{X_i\text{試體抗壓強度} - A\text{試體抗壓強度}}{A\text{試體抗壓強度}} \times 100\% \quad , \text{其中 } X_i \text{ 爲 } 1\%、2.5\%、5\%$$

400℃魚鱗灰取代率 5%的情形下，早期強度效益提升近 31%，晚期強度與純水泥略相同，但抗拉強度略低於 0%純水泥砂漿，整體材料成本可微幅降低 3.2%；而 400℃取代 2.5%雖整體材料成本降低為 1.61%，僅為 5%的二分之一，但早期強度效益提升近 48%，晚期強度仍高於純水泥 8.4%，且抗拉強度較高於 0%純水泥砂漿，經由本組討論後以 400℃取代率 2.5%為最佳之材料配比，同時兼顧材料性質及工程成本的雙重考量！

表 17 不同取代率之每公噸水泥砂漿成本列表

取代率(%)	各材料成本		總價格(元)	效益(%)
	水泥(元)	砂(元)		
0%	750	412.5	1162.5	—
1%	742.5	412.5	1155	0.65%
2.5%	731.25	412.5	1143.75	1.61%
5%	712.5	412.5	1125	3.23%

表 18 不同魚鱗灰取代率之成本效益與強度效益

項目	0%	1%	2.5%	5%
經濟效益	—	0.65%	1.61%	3.23%
項目	0%	1%	2.5%	5%
早期強度效益(3 天)	—	63.4%	48.4%	30.53%
強度效益(7 天)	—	42.86%	37.99%	31.16%
強度效益(28 天)	—	35.58%	28.45%	20.50%
晚期強度效益(60 天)	—	11.6%	8.4%	-0.1%

## 柒、結論

一、透過實驗我們獲得以下幾點結論：

- (一) 魚鱗灰成分：C (5.39%)、O (46.29%)、Na (0.76%)、Mg (0.45%)、P (15.78%)、Cl (0.40%)、Ca (30.93%) 等。
- (二) 飽和魚鱗灰溶液為 PH 值中性，提高了建築物與植物共生的可能性。
- (三) 未經燒結的魚鱗粉取代部份水泥，皆顯著降低水泥砂漿試體各齡期的抗壓強度，且隨著替代率提高，抗壓強度逐漸降低。隨著齡期增長，與對照組相比，強度減低率擴增。
- (五) 經燒結後 400°C 之魚鱗粉取代量 2.5%，對水泥砂漿抗壓強度及抗拉強度均有正向提升的效果。由以早期強度最高可提升近 63%。推測應是成份中的磷酸鈣遇到水成為氫氧磷酸鈣，而幫助水泥初期水化反應，有效提供早期強度。但所有經過燒結之試體，無論取代率為多寡，強度大致皆高於 0% 純水泥砂漿的對照組。
- (六) 燒結後 200°C、300°C、500°C 之魚鱗灰抗壓及抗拉早期強度均高於 0% 純水泥砂漿的對照組，最高可提升約 21%；60 天強度略為浮動與 0% 純水泥砂漿差距不大。
- (七) 改良式水泥砂漿在經濟評估的分析上，取代量愈高則經濟效益愈佳，但在材料性質及工程成本的雙重考量下，以 400°C 取代量 2.5% 之魚鱗灰建議使用之。

二、本研究為求實驗之穩定性，以取定性定量為原則，因此魚鱗片原料來自於高雄市前鎮區

- (一) 漁港固定魚販取得，將其回收風乾、研磨製成魚鱗粉後，放進高溫爐燒結成魚鱗灰，為本研究最終之主要實驗材料。
- (二) 可與藥妝公司研發中心及生醫研發中心配合回收計畫，便於此材料再利用之取得。

本實驗由於 400°C 魚鱗灰水泥強度高於普通波特蘭水泥，且具有早強、中性酸鹼值等特性，顛覆了傳統水泥鹼度過高而導致生物相容性差的缺點，提高了建築物與植物共生的可能性。就二十一世紀建築新價值觀－綠建築的角度來看，魚鱗灰可減少水泥使用量、增加韌性強度、環境保護、資源再生利用及節約工程成本，是為非常具有經濟又環保的價值性本土材料。

## 捌、參考資料及其他

中華民國國家標準 C N S 水泥砂漿試體規範

美國材料試驗學會 ASTM 水泥砂漿試驗

蔡得時。材料試驗。台北市：矩陣出版股份有限公司

劉叔松。建築材料 I。台北市：旭營文化事業

吳卓夫、葉基棟原著 吳卓夫、黃立昌增訂（民 80）。營造法與施工（下冊）。茂榮圖書公司

中國土木水利工程學會（民 94）。混凝土工程施工規範與解說。科技圖書股份有限公司

中國土木水利工程學會／混凝土編輯委員會（民 90）。混凝土工程施工須知。科技圖書公司

杜清遠（89）。施工估價。正文出局有限公司

許桂銘（民 90）。減縮處理對水泥砂漿性能影響之探討。民 99 年 10 月 24 日，取自：  
<http://www.kyu.edu.tw/kyitpage/paper/Documents/e/pdf/90-109.pdf>

統偉貿易股份有限公司（民 83）。科狀水泥材料。民 99 年 12 月 24 日，取自：  
<http://www.tondalee.com.tw/link4.htm>

台灣食魚量及魚獲量（無日期）。民 100 年 4 月 07 日，取自：  
<http://e-info.org.tw/column/kuroshio/2002/ku02082301.htm>

商業週刊第 984 期。魚鱗萃取膠原蛋白。民 100 年 4 月 07 日，取自：  
<http://tw.myblog.yahoo.com/biopesticides-hsieh/article?mid=635&sc=1>

魚鱗性質（民 97）。民 100 年 1 月 12 日，取自：  
羊城地鐵報



## 【評語】 091202

1. 利用日常生活中廢棄物—魚鱗，經過處理後成為取代部分水泥之再生材料，研究主旨符合廢物利用與節能減碳之永續精神。
2. 研究方法正確合理，實驗設計嚴謹並輔以科學性完整分析數據。
3. 整體團隊合作無間且對所研究問題有充分了解，成員表達能力生動清晰。
4. 未來可嘗試探討提高魚鱗灰取代比例以提高其經濟效益。
5. 若能針對不同燒結溫度魚鱗灰對水泥強度影響進一步探討並提供科學佐證，對後續實務推廣應用將更有吸引力。