

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

第三名

052402

新環保再生無機聚合材之強度探討

學校名稱：國立新化高級工業職業學校

作者： 職三 宜巧錚 職三 方慈均 職二 蔡佩蓉	指導老師： 范雅棻 林依蓁
---	-----------------------------

關鍵詞：再生、抗壓強度、鹼激發

摘要

「水泥」是所有建築物中不可或缺的材料，然而波特蘭水泥的生產過程所產生的二氧化碳數量卻加劇了全球暖化問題...。

在學校我們有一間專業的陶藝教室，在每學期都累積不少素燒坯的瑕疵品，有時要將它去除也諸多不捨，於是啟發了我們想要給予它不同的利用價值。當材料課老師提及無機聚合的概念時，隨即引發了我們實驗研究的動機，我們決定運用學校陶藝教室學生窯燒失敗的素燒坯體取代水泥，藉由**鹼激發製作成再生無機聚合物**，並與水泥漿體進行抗壓強度試驗，且探討密度與素燒粉的關係，**期望減少廢棄物以達到循環經濟之成效**。

壹、研究動機

「2013年上映的《看見台灣》是台灣第一部高空紀錄片，用空拍鳥瞰的視角帶領民眾重新認識台灣。」在電影中，不僅看到台灣的美景，也看到因開發而造成的破壞。在花蓮一帶，看到為了製造水泥，將完整的山挖掘成斷頭山，但真的需要用到這麼多水泥嗎？我們有沒有其他材料能替代水泥呢？

發想一、在尋找是否有替代水泥的材料時，看到學長姐做科展**再次抓住棉臍的WALL**的內容，運用到了學校陶藝教室學生窯燒失敗的素燒坯體，感覺非常有趣，也覺得這方面的材料可以有更多的發展，於是我們這次科展的出發點選用了學長姐科展中的材料—素燒坯材，**尋找淘汰素燒坯材的新用途**。

發想二、在高二上材料課的時候，老師說：「熟料加石膏的研磨過程中，加入卜作嵐材料，如爐石，就可以變成混合水泥中的高爐水泥。」心想，如果把水泥換成素燒粉，**變成再生無機聚合物**，抗壓強度會不會有一樣的效果，甚至比純水泥漿體好呢？

發想三、在尋找水化作用的替代方法時，從資料文獻**微結構及厚度對發泡無機聚合物工程性質之影響**中，**發現**高嶺土加鹼活化液製作成**無機聚合材料**，並在常溫下就能製造而成，我們認為這種方法可以應用在這次的科展，將論文中的高嶺土材料取代成廢棄素燒坯材，以不同比例的爐石粉與固定鹼活化液濃度，做出再生無機聚合物試體，並探討是否能運用在結構上。

本次科展將廢棄物再利用，減少因水泥製造而產生的二氧化碳，賦予廢棄素燒坯材新生命，進而促進循環經濟。

貳、 研究目的

- (一) **循環經濟**：將廢棄材再次利用，減少廢棄物產量。
- (二) **取代水泥**：利用無機聚合，將素燒粉與爐石粉依比例調配，取代水泥。
- (三) **強度與水泥漿相近**：檢視再生無機聚合物試體之抗壓強度有沒有與水泥相近，甚至大於。
- (四) **觀察密度與輕質材料關係**：不同配比的再生無機聚合物試體，素燒坯材含量越高與密度之趨勢。

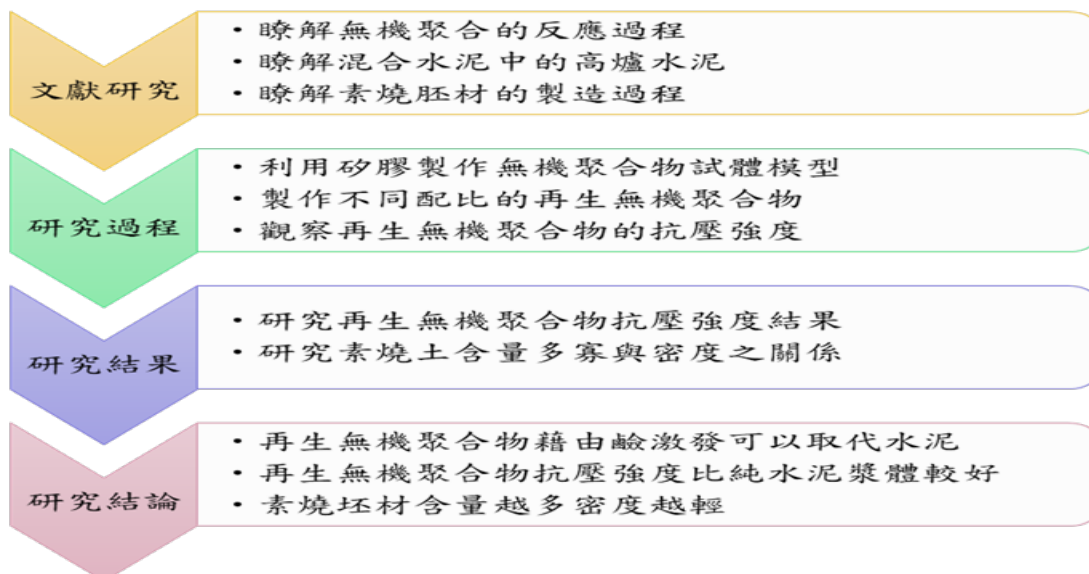







圖 2-1 研究流程圖

參、研究設備與器材

一、使用設備

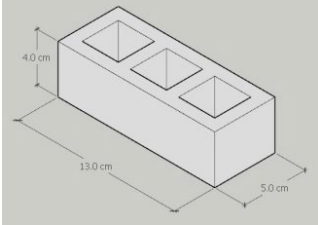
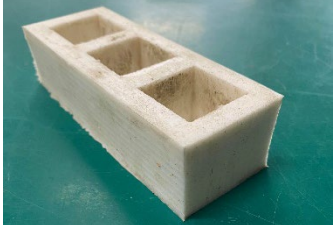
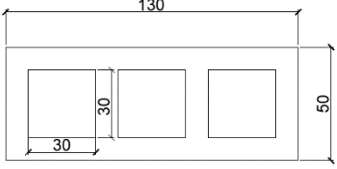

表 3-1 實驗時所使用設備

設備名稱	圖片	說明
1.標準篩	 圖 3-1	使再生粉料粒徑一致，使用標準篩 # 100、底盤
2.搖篩機	 圖 3-2	將再生粉料過#100 篩
3.電子秤	 圖 3-3	秤水泥與再生粉料和鹼活化液重量
4.萬能試驗機	 圖 3-4	進行抗壓強度試驗
5.攪拌器	 圖 3-5	攪拌鹼活化液、再生粉料

6.鐵鎚	 圖 3-6	粗略敲碎再生粉料
7.研磨機	 圖 3-7	將再生粉料研磨細緻

二、模具規格

表 3-2 設計抗壓模具

名稱	尺寸	設計圖	實際照片
3D 示意圖	長：13cm 寬：5cm 高：4cm	 圖 3-8	 圖 3-9
2D 示意圖	長：13cm 寬：5cm	 圖 3-10	 圖 3-11

三、模型尺寸

表 3-3 矽膠模具 (單位:cm)

名稱	長×寬	數量	厚度
矽膠模具	13×5	6	5

肆、研究過程與方法

一、研究方法

(一)文獻研究法：從書籍、雜誌和網路上搜尋資料，以及詢問老師相關知識進行研究設計。

(二)實驗研究法：對照組和實驗組作比較分析，對照組為水泥漿抗壓試體，實驗組為再生無機聚合抗壓試體，編號說明：A 代表對照組，B 代表實驗組，為再生無機聚合配比，設計比例為素燒胚：爐石粉，共有九組。

二、文獻探討

(一)抗壓強度

材料抵抗以同一軸線施加壓力的能力，當壓力超越抗壓強度時，材料會出現脆斷、塑性變形等不可逆的形變。

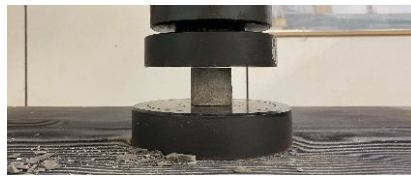


圖 4-1 抗壓試驗

(二)素燒坯材

陶土在製作完成後第一次窯燒後製成，而第一次窯燒溫度達 800~900°C，比水泥的煅燒溫度(1450°C)低。



圖 4-2 素燒坯

(三) 爐石

煉鋼廠在煉製生鐵的時候，產生的副產品，經急速冷水冷卻，成分與水泥相近，水化熱低，耐化學藥品性。



圖 4-3 爐石粉

(四) 鹼激發

利用卜作嵐材料的活性原料，經鹼活化液激發後生成以鈣（Ca）與矽（Si）為主之 C-S-H 膠體，此 C-S-H 膠體為相互連結的網狀結構體，組成的結構是一種長條狀的粒子。粒子間每隔約半微米就會分岔，而且岔開的角度非常大，粒子會在交結點互相生長，進而形成了連續的三維空間網。



圖 4-4 鹼活化液原料

(五) 水膠比

用水量加液態摻料重量與水泥加卜作嵐材料重量的比值。

$$\text{公式：水膠比} = \frac{\text{水} + \text{液態摻料重量}}{\text{水泥} + \text{卜作嵐材料重量}}$$

三、實驗組和對照組材料介紹

表 4-1 試驗組別 (單位:cm)

試驗組別	試體名稱	長×寬×高	數量
對照組	水泥漿	3×3×3	18
實驗組	素燒坯：爐石粉(1：9)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(2：8)	3×3×3	18

素燒坯：爐石粉(3：7)	3×3×3	18
素燒坯：爐石粉(4：6)	3×3×3	18
素燒坯：爐石粉(5：5)	3×3×3	18
素燒坯：爐石粉(6：4)	3×3×3	18
素燒坯：爐石粉(7：3)	3×3×3	18
素燒坯：爐石粉(8：2)	3×3×3	18
素燒坯：爐石粉(9：1)	3×3×3	18

表 4-2 驗組和對照組材料介紹

材料名稱	圖片	說明及用途
1.素燒坯：爐石粉 (1：9)	 圖 4-1	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
素燒坯：爐石粉 (2：8)	 圖 4-2	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
3.素燒坯：爐石粉 (3：7)	 圖 4-3	3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
4.素燒坯：爐石粉 (4：6)	 4-4	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
5.素燒坯：爐石粉 (5：5)	 圖 4-5	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗

	6.素燒坯：爐石粉 (6 : 4)	 圖 4-6	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
	7.素燒坯：爐石粉 (7 : 3)	 圖 4-7	3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
	8.素燒坯：爐石粉 (8 : 2)	 4-8	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
	9.素燒坯：爐石粉 (9 : 1)	 圖 4-9	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗
對照組	10.水泥漿試體	 圖 4-10	進行 3 天、7 天和 28 天抗壓強度試驗

四、實驗製作過程

表 4-3 矽膠模製作過程

矽膠模製作流程	圖片	說明
1.刨平整木	 圖 4-11	將木頭刨至 3×3×3 的正方體

2.量測尺寸	 <p>圖 4-12</p>	量測模具尺寸
3.將刨好的木頭固定於模板	 <p>圖 4-13</p>	確定木頭位置且固定於模板上
4.模板組合	 <p>圖 4-14</p>	模板組合成矩形並使用膠帶固定
5.配比	 <p>圖 4-15</p>	調配矽膠及固化劑之配比
6.攪拌	 <p>圖 4-16</p>	將固化劑及矽膠將體攪拌均勻
7.抹油	 <p>圖 4-17</p>	利用棉花棒將方塊表面塗抹潤滑油，使矽膠成品方便取下
8.灌模		將調配好的漿體灌入模板內

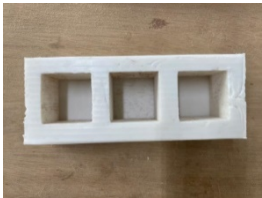


	圖 4-18	
9.脫模	 <p>圖 4-19</p>	將矽膠模取下

表 4-4 菟集素燒坯粉過程

菟集素燒坯粉流程	圖片	說明
1.再生素燒胚粉粗略敲碎	 <p>圖 4-20</p>	利用鐵鎚將素燒胚敲碎
2.研磨機將再生素燒胚粉研磨細緻	 <p>圖 4-21</p>	利用研磨機將素燒胚研磨細緻
3.過篩	 <p>圖 4-22</p>	將粉碎後的素燒胚過 #100 篩

4.素燒胚粉	 <p style="text-align: center;">圖 4-23</p>	再生粉料，進行無機聚合試驗
--------	---	---------------

五、調配鹼活化液配比

依照鹼當量 18%，鹼模數 0.75，水膠比 0.6 的配比，將水：100.8 克，氫氧化鈉：13.8 克，矽酸鈉：65.4 克進行調配。

表 4-5 調配鹼活化液材料及過程









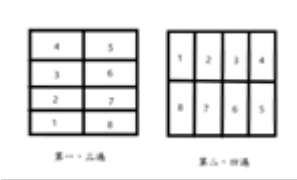



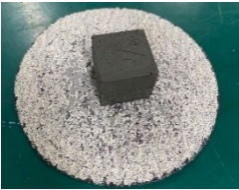

調配鹼活化液材料及過程	圖片	說明
1.氫氧化鈉	 <p style="text-align: center;">圖 4-24</p>	與再生粉料進行鹼激發
2.矽酸鈉	 <p style="text-align: center;">圖 4-25</p>	與再生粉料進行鹼激發
3.調配鹼活化液	 <p style="text-align: center;">圖 4-26</p>	鹼當量=18% 鹼模數=0.75 水膠比=0.6

表 4-6 再生無機聚合物所需材料介紹

材料名稱	圖片	說明及用途
1. 爐石粉	 <p>圖 4-27</p>	再生粉料(1)，進行無機聚合試驗
2. 素燒胚粉	 <p>圖 4-28</p>	再生粉料(2)，進行無機聚合試驗
3. 氫氧化鈉	 <p>圖 4-29</p>	與再生粉料進行鹼激發
4. 矽酸鈉	 <p>圖 4-30</p>	與再生粉料進行鹼激發
5. 矽膠模	 <p>圖 4-31</p>	製作水泥漿試體之模具

表 4-實驗製作過程

實驗製作流程	圖片	說明
1.秤重	 <p>圖 4-32</p>	將素燒胚粉和爐石粉依配比秤重
2.加入鹼活化液	 <p>圖 4-33</p>	鹼當量=18% 鹼模數=0.75 水膠比=0.6
3.拌試體	 <p>圖 4-34</p>	利用攪拌器拌勻鹼活化液和再生粉料
4.灌模	 <p>圖 4-35</p>	將試體灌入模具中
5.搗實試體	 <p>圖 4-36</p>	依照 CNS1010 規範，分兩層舂搗，每層舂搗 32 下。 
6.等待成形	 <p>圖 4-37</p>	放進密封袋等待 1 天脫模

7.拆模	 <p>圖 4-38</p>	等待一天後，將模具拆除
8.養護	 <p>圖 4-39</p>	防止試體出現裂縫
9.抗壓試驗前接觸面整平	 <p>圖 4-40</p>	將做好的模型兩對邊磨平整
10.進行抗壓試驗	 <p>圖 4-41</p>	把試體放入試驗機中進行 3 天、7 天和 28 天抗壓試驗

伍、 研究結果

一、 實驗結果分析

(一) 抗壓強度試驗：以不同配比的素燒坯與爐石製成的再生無機聚合物和水泥漿進行抗壓強度試驗。使用萬能試驗機，以齡期 3 天、7 天、28 天進行抗壓強度試驗，利用 EXCEL 繪製成折線圖和直條圖分析比較。

(a) 3 天的抗壓強度比較，如圖 5-1 素燒:爐石(1:9)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度多 561kgf/cm²、圖 5-2 素燒:爐石(2:8)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度多 559kgf/cm²、圖 5-3 素燒:爐石(3:7)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗

壓強度多 513kgf/cm²、圖 5-4 素燒:爐石(4:6)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度多 457kgf/cm²、圖 5-5 素燒:爐石(5:5)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度多 388kgf/cm²、圖 5-6 素燒:爐石(6:4)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度多 353kgf/cm²。圖 5-7 素燒:爐石(7:3)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度多 105kgf/cm²、圖 5-8 素燒:爐石(8:2)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度少 38kgf/cm²、圖 5-9 素燒:爐石(9:1)3 天抗壓強度比較，比水泥漿 3 天抗壓強度少 85kgf/cm²、圖 5-10 水泥漿體 3 天抗壓強度為 120kgf/cm²。

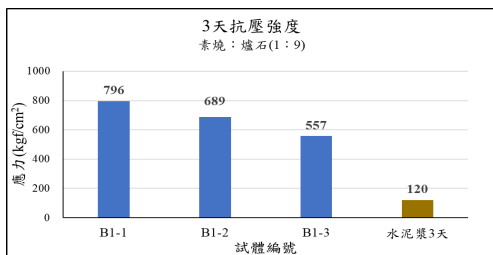


圖 5-1 素燒：爐石(1:9)3 天抗壓強度比較圖

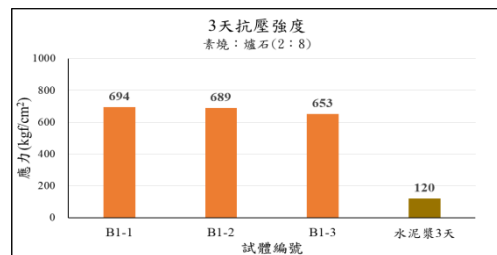


圖 5-2 素燒:爐石(2:8)3 天抗壓強度比較圖

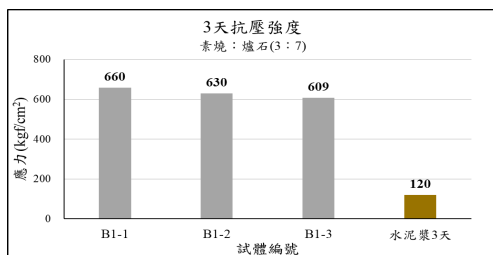


圖 5-3 素燒:爐石(3:7)3 天抗壓強度比較圖

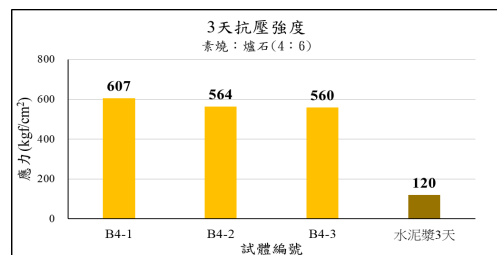


圖 5-4 素燒:爐石(4:6)3 天抗壓強度比較圖

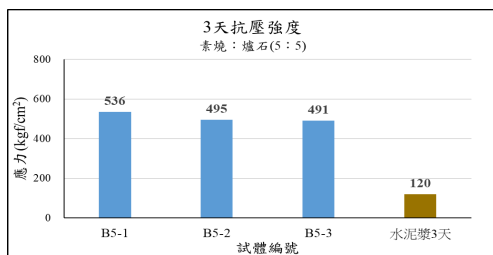


圖 5-5 素燒:爐石(5:5)3 天抗壓強度比較圖

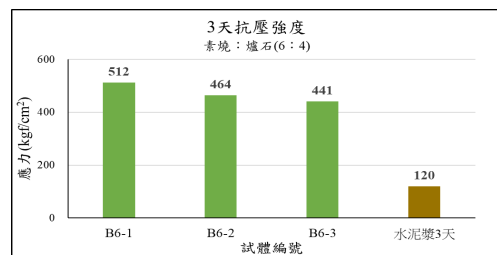


圖 5-6 素燒:爐石(6:4)3 天抗壓強度比較圖

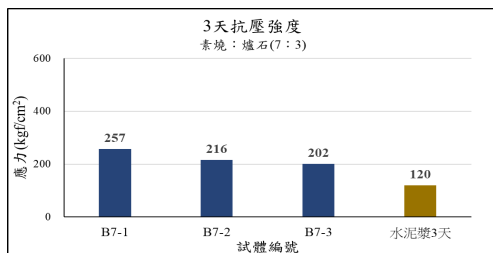


圖 5-7 素燒:爐石(7:3)3 天抗壓強度比較圖

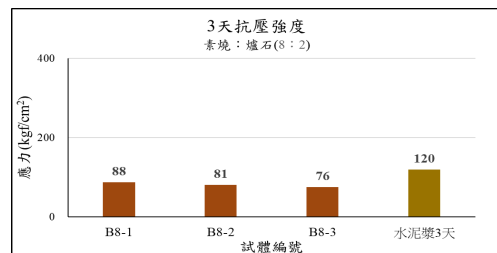


圖 5-8 素燒:爐石(8:2)3 天抗壓強度比較圖

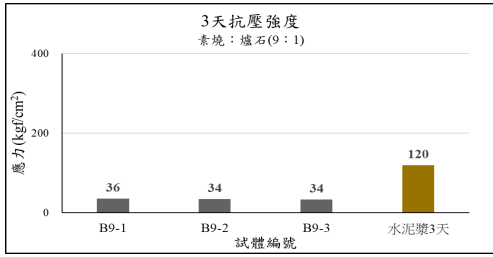


圖 5-9 素燒:爐石(9:1)3 天抗壓強度圖

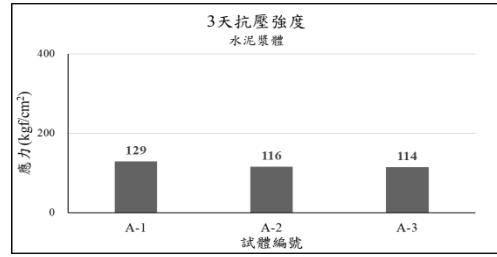


圖 5-10 水泥漿體 3 天抗壓強度圖

表 5-1 3 天抗壓強度比較 (單位: kgf/cm²)

編號名稱	3 天抗壓強度平均	與水泥漿 3 天抗壓強度比較
素燒坯: 爐石粉(1:9)	681	+561
素燒坯: 爐石粉(2:8)	679	+559
素燒坯: 爐石粉(3:7)	633	+513
素燒坯: 爐石粉(4:6)	577	+457
素燒坯: 爐石粉(5:5)	508	+388
素燒坯: 爐石粉(6:4)	473	+353
素燒坯: 爐石粉(7:3)	225	+105
素燒坯: 爐石粉(8:2)	82	-38
素燒坯: 爐石粉(9:1)	35	-85

(b)7 天的抗壓強度比較，如圖 5-11 素燒:爐石(1:9)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 471kgf/cm²、圖 5-12 素燒:爐石(2:8)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 451 kgf/cm²、圖 5-13 素燒:爐石(3:7)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 404kgf/cm²、圖 5-14 素燒:爐石(4:6)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 380kgf/cm²、圖 5-15 素燒:爐石(5:5)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 344kgf/cm²、圖 5-16 素燒:爐石(6:4)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 263kgf/cm²、圖 5-17 素燒:爐石(7:3)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度多 65kgf/cm²、圖 5-18 素燒:爐石(8:2)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度少 98kgf/cm²、圖 5-19 素燒:爐石(9:1)7 天抗壓強度比較，比水泥漿 7 天抗壓強度少 178kgf/cm²、圖 5-20 水泥漿 7 天抗壓強度為 228kgf/cm²。

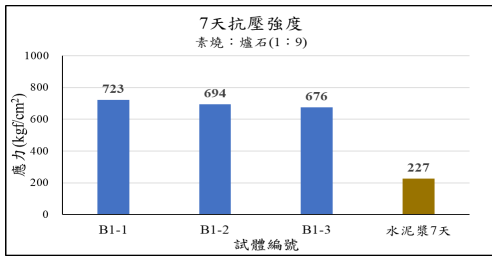


圖 5-11 素燒:爐石(1:9)7 天抗壓強度比較圖

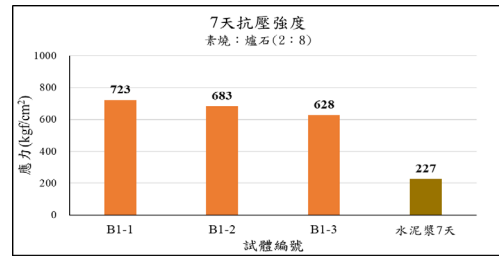
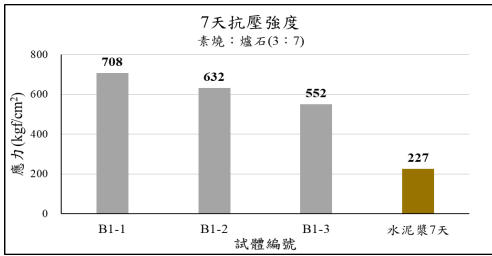


圖 5-12 素燒:爐石(2:8)7 天抗壓強度比較圖



圖素 5-13 燒:爐石(3:7)7 天抗壓強度比較圖

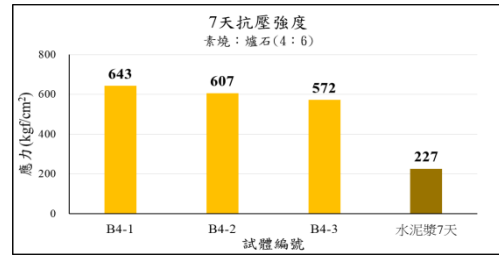


圖 5-14 素燒:爐石(4:6)7 天抗壓強度比較圖

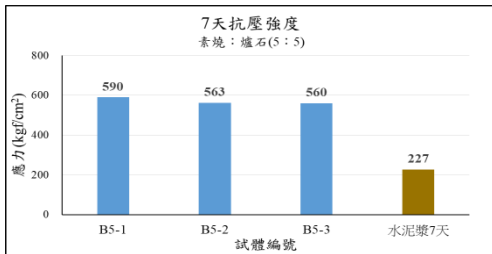


圖 5-15 素燒:爐石(5:5)7 天抗壓強度比較圖

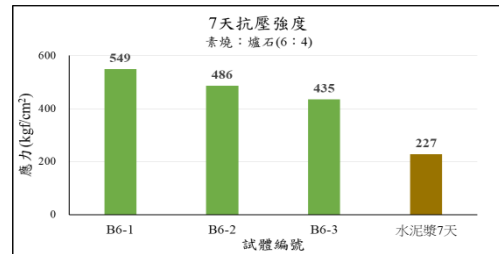


圖 5-16 素燒:爐石(6:4)7 天抗壓強度比較圖

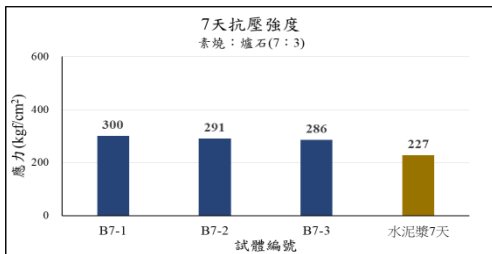


圖 5-17 素燒:爐石(7:3)7 天抗壓強度比較圖

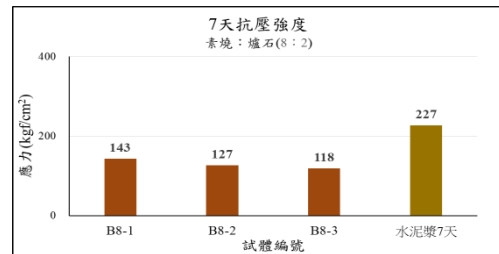


圖 5-18 素燒:爐石(8:2)7 天抗壓強度比較圖

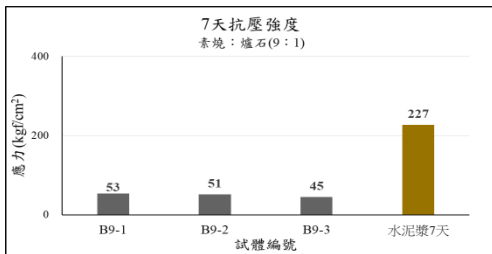


圖 5-19 素燒:爐石(9:1)7 天抗壓強度比較圖

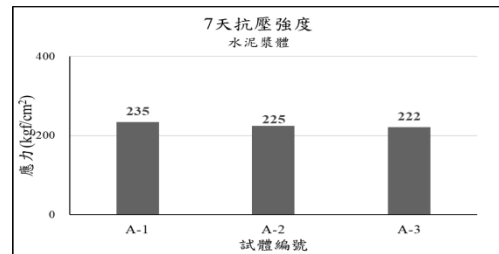


圖 5-20 水泥漿體 7 天抗壓強度圖

表 5-2 9 天抗壓強度比較 (單位: kgf/cm²)

編號名稱	7 天抗壓強度平均	與水泥漿 7 天抗壓強度比較
素燒坯：爐石粉(1:9)	698	+471
素燒坯：爐石粉(2:8)	678	+451

素燒坯：爐石粉(3：7)	631	+404
素燒坯：爐石粉(4：6)	607	+380
素燒坯：爐石粉(5：5)	571	+344
素燒坯：爐石粉(6：4)	490	+263
素燒坯：爐石粉(7：3)	292	+65
素燒坯：爐石粉(8：2)	129	-98
素燒坯：爐石粉(9：1)	50	-178

(c) 28 天的抗壓強度比較，圖 5-21 素燒:爐石(1:9)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度多 436kgf/cm²、圖 5-22 素燒:爐石(2:8)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度多 406kgf/cm²、圖 5-23 素燒:爐石(3:7)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度多 322kgf/cm²、圖 5-24 素燒:爐石(4:6)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度多 311kgf/cm²、圖 5-25 素燒:爐石(5:5)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度多 236kgf/cm²、圖 5-26 素燒:爐石(6:4)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度多 186kgf/cm²、圖 5-27 素燒:爐石(7:3)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度少 19kgf/cm²、圖 5-28 素燒:爐石(8:2)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度少 168kgf/cm²、圖 5-29 素燒:爐石(9:1)28 天抗壓強度比較，比水泥漿 28 天抗壓強度少 284kgf/cm²、圖 5-30 水泥漿 28 天抗壓強度為 368kgf/cm²。

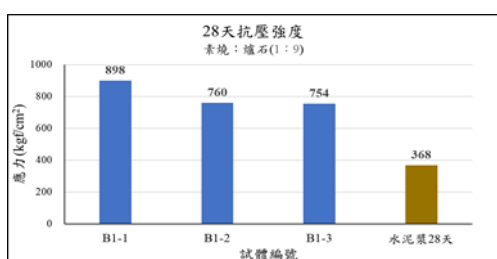


圖 5-21 素燒：爐石(1:9)28 天抗壓強度比較圖

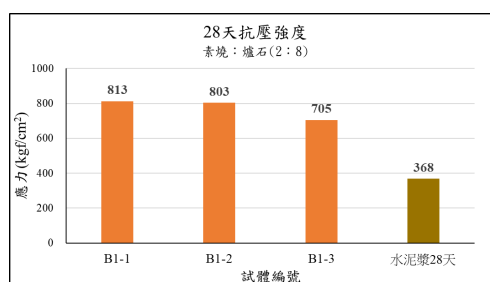


圖 5-22 素燒:爐石(2:8) 28 天抗壓強度比較圖

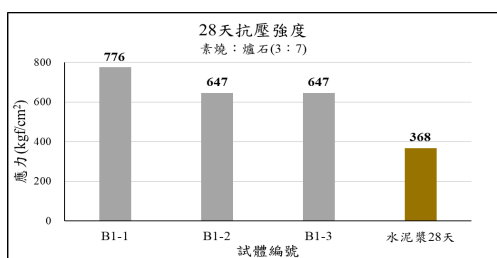


圖 5-23 素燒:爐石(3:7) 28 天抗壓強度比較圖

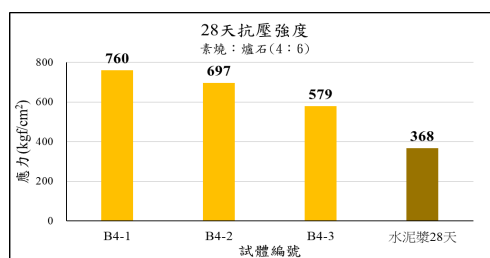


圖 5-24 素燒:爐石(4:6) 28 天抗壓強度比較圖

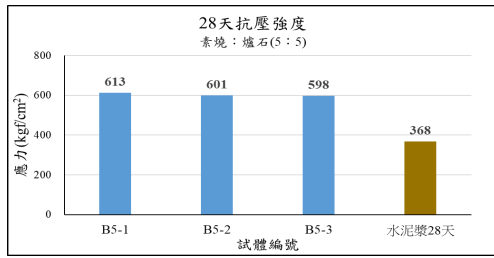


圖 5-25 素燒:爐石(5:5) 28 天抗壓強度比較圖

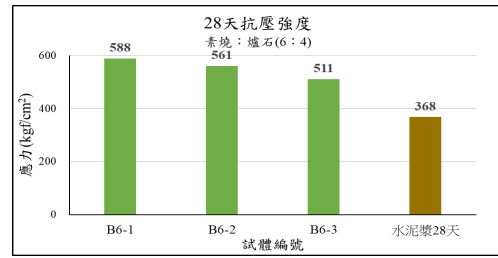


圖 5-26 素燒:爐石(6:4) 28 天抗壓強度比較圖

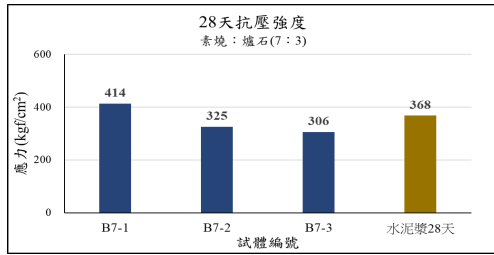


圖 5-27 素燒:爐石(7:3) 28 天抗壓強度比較圖

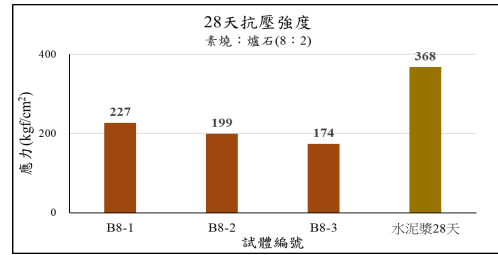


圖 5-28 素燒:爐石(8:2) 28 天抗壓強度比較圖

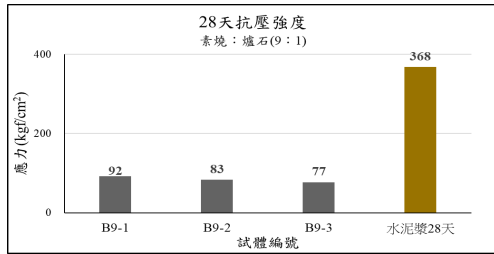


圖 5-29 素燒:爐石(9:1) 28 天抗壓強度比較圖

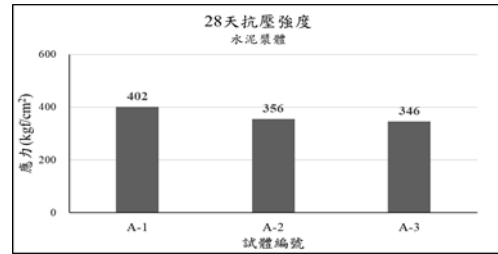


圖 5-30 水泥漿體 28 天抗壓強度圖

表 5-3 28 天抗壓強度比較 (單位:kgf/cm²)

編號名稱	28 天抗壓強度平均	與水泥漿 28 天抗壓強度比較
素燒坯：爐石粉(1:9)	804	+436
素燒坯：爐石粉(2:8)	774	+406
素燒坯：爐石粉(3:7)	690	+322
素燒坯：爐石粉(4:6)	679	+311
素燒坯：爐石粉(5:5)	604	+236
素燒坯：爐石粉(6:4)	554	+186
素燒坯：爐石粉(7:3)	349	-19
素燒坯：爐石粉(8:2)	200	-168

素燒坯：爐石粉(9：1)	84	-284
--------------	----	------

表 5-4 各配比密度比較

編號名稱	重量(g)	體積(cm ³)	密度(g/cm ³)
素燒坯：爐石粉(1：9)	49.80	26.541	1.876
素燒坯：爐石粉(2：8)	49.65	26.470	1.876
素燒坯：爐石粉(3：7)	49.30	26.439	1.865
素燒坯：爐石粉(4：6)	49.05	26.335	1.863
素燒坯：爐石粉(5：5)	48.80	26.363	1.851
素燒坯：爐石粉(6：4)	48.60	26.552	1.830
素燒坯：爐石粉(7：3)	48.40	27.065	1.788
素燒坯：爐石粉(8：2)	48.35	27.210	1.777
素燒坯：爐石粉(9：1)	48.30	27.174	1.771

陸、 討論

一、**抗壓強度試驗**：從圖 6-1 可知在 3 天的平均強度，素燒坯:爐石配比為 1:9~7:3 的抗壓強度皆大於水泥漿之抗壓強度 120kgf/cm²，最高還可達 681kgf/cm²。從圖 6-2 可知在 7 天的平均強度，素燒坯:爐石配比為 1:9~7:3 的抗壓強度皆大於水泥漿之抗壓強度 227kgf/cm²，最高還可達 698kgf/cm²。從圖 6-3 可知在 28 天的平均強度，素燒坯:爐石配比為 1:9~6:4 的抗壓強度皆大於水泥漿之抗壓強度 368kgf/cm²，最高還可達 804 kgf/cm²。由圖 6-1、6-2、6-3，可以看出大部分的無機聚合材抗壓強度都比水泥好，其中素燒粉含量較多的是 6:4 的配比，由此推斷，再生無機聚合物可以取代水泥，並且大部分抗壓強度皆大於水泥漿強度。

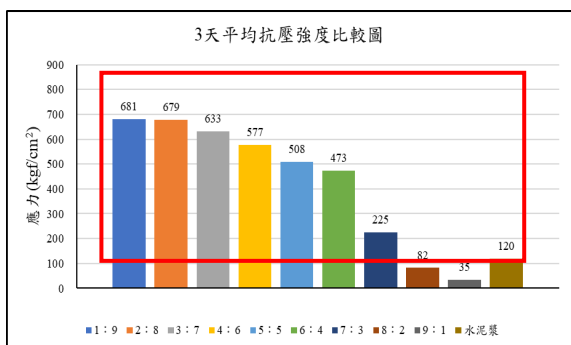


圖 6-1 3 天平均抗壓強度比較圖

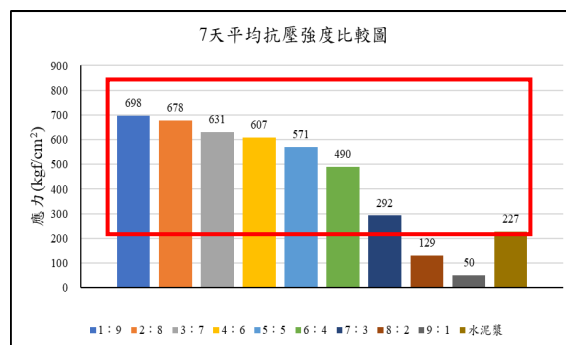


圖 6-2 7 天平均抗壓強度比較圖

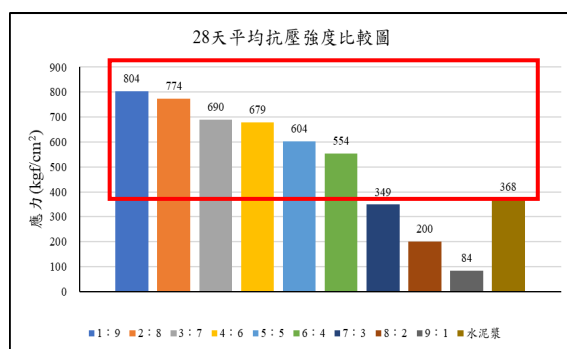


圖 6-3 28 天平均抗壓強度比較圖

二、密度試驗：從圖 6-4 可觀察到，素燒坯：爐石配比为 1:9 密度為 1.876g/cm³，素燒坯：爐石配比为 9:1 密度為 1.771g/cm³，兩者密度相差 0.105g/cm³，密度趨勢因素燒坯含量越多而密度越來越小，由此可驗證素燒坯粉為輕質材料。

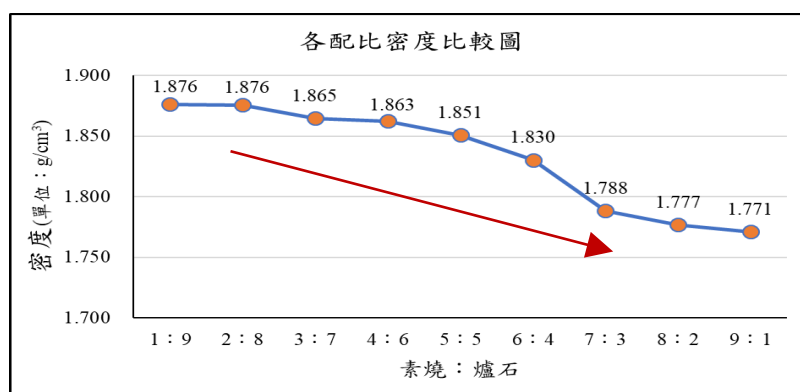


圖 6-4 各配比密度比較圖

柒、結論

新環保再生無機聚合材之強度探討的科展設計與研究，主要目的為廢棄物再生運用，達到循環經濟的助益，實驗的結果令人興奮，讓我們了解材料更多的可能性，本研究結果整理如下。

(一)促進循環經濟：本實驗的設計與研究主要目的，是為了幫助將學校陶藝教室因為製成失敗的素燒坯材再次利用，進而達到廢棄物減量的目的，進而促進循環經濟與減少廢棄材料對環境的負擔。

(二)取代水泥：水泥製造過程中所產生過多廢棄物與造成環境污染，將廢棄素材素燒粉與爐石粉轉化成再生粉料，藉以取代水泥，並依比例調配固定鹼活化液，利用無機聚合原理，製成再生無機聚合物，藉此降低因水泥的製程所排放出的二氧化碳廢棄，進而達到減廢、減碳、降低空氣污染目的。

(三)強度與水泥漿相近：由圖 7-1 可知，素燒坯:爐石配比為 1:9~6:4 其抗壓試驗結果大部分抗壓強度不僅達到水泥漿抗壓強度，甚至超越，有達到預期目的，建議使用於結構上。素燒坯:爐石配比為 8:2 和 9:1 其抗壓試驗結果小於水泥漿試體抗壓強度，建議使用於非結構上，由於近年室內壁面塗裝流行工業風取向，我們研究試體顏色上也別於水泥色系，可在非結構上的塗裝增加不同美感與風格。

(四)觀察密度與輕質材料關係：由實驗結果可以得知，素燒坯含量越多其密度越小，建議使用於輕質結構上。

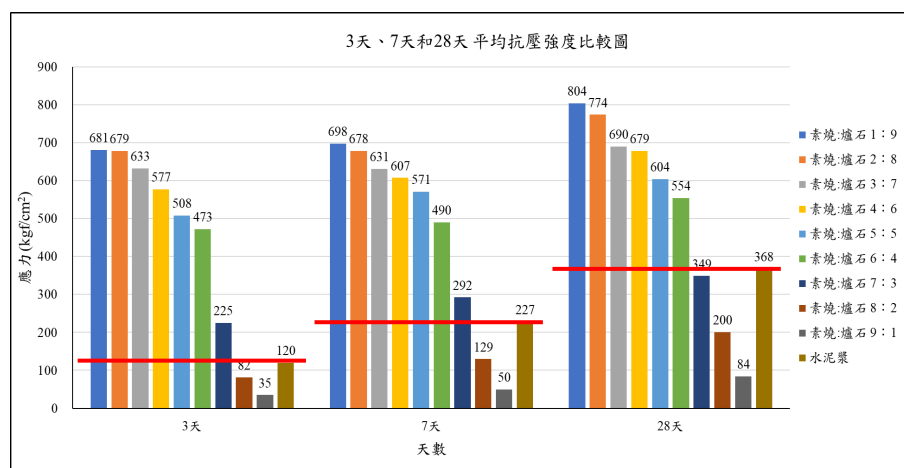


圖 7-1 3 天、7 天和 28 天平均抗壓強度比較圖

捌、參考資料

- 1.陳志賢，含矽質廢棄物之無機聚合物，2009 年 6 月
- 2.程道腴，陶瓷學，第十章，財團法人徐氏基金會
- 3.陳耀如、洪國珍、劉叔松，「工程材料」(第二章、第三章、第五章、第九章)·旭營文化事業有限公司
- 4.林瑋倫，鹼激發矽石基膠體工程性質之研究，2009 年
- 5.蔡得時、李尚成，「材料試驗」(第二章)，矩陣出版股份有限公司
- 6.鄭大偉，「無機聚合材料 (Geopolymer) 與鹼激發材料 (AAM) 有何不同？」，土木水利，47 卷 2 期(2020 年 4 月)，頁 10-12
- 7.https://www.chc.com.tw/product_1.html
- 8.<https://reurl.cc/e9XEvx>
- 9.<https://www.itsfun.com.tw/C-S-H/wiki-5056931-7980231>
- 10.<https://www.chc.com.tw/fp.html>

【評語】 052402

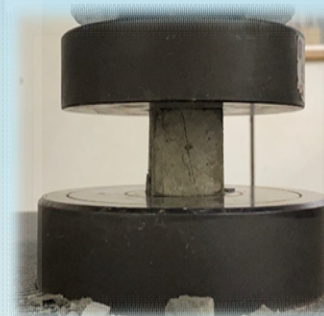
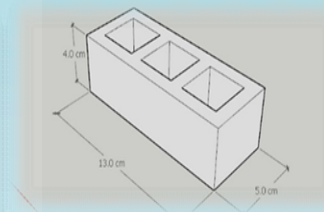
本作品利用學校陶藝教室窯燒失敗的廢棄素燒坯，取代高嶺土作為鹼激發原料，同時，將其與爐石粉混合，配合使用含氫氧化鈉與矽酸鈉之鹼激發劑，製成九種不同混合比例之無機聚合物，藉由一系列不同齡期抗壓強度與密度之試驗結果與分析，發現最佳素燒坯與爐石粉比例為 6：4，以及素燒坯密度較輕，驗證其能取代高耗能與高二氧化碳排放量之水泥，期望減少廢棄物以達到循環經濟之目的。其中，學生自行製作矽膠正方體模具，提升學生儀器製作能力值得鼓勵。三次抗壓強度試驗結果應加以統計，並呈現平均值與標準差。另外，可針對素燒坯之化學成分與卜作嵐活性進行試驗，以驗證其作為鹼激發原料之適當性，另外，可將所製成無機聚合物試體進行氧化物或晶相分析，以驗證無機聚合物之微結構與反應機制，以及其與抗壓強度及密度之關係。

作品簡報

〔新環保再生無機聚合材
之強度探討〕

組別：工程學科(二)

科別：建築科



前言

- ◆ 「水泥」是所有建築物中不可或缺的材料，然而波特蘭水泥的生產過程所產生的二氧化碳數量卻加劇了全球暖化問題…。
- ◆ 在學校我們有一間專業的陶藝教室，在每學期都累積不少素燒坏的瑕疵品，有時要將它去除也諸多不捨，於是啟發了我們想要給予它不同的利用價值。
- ◆ 當材料課老師提及無機聚合的概念時，隨即引發了我們實驗研究的動機，我們決定運用學校陶藝教室學生窯燒失敗的素燒坏體取代水泥，藉由鹼激發製作成再生無機聚合物，並與水泥漿體進行抗壓強度試驗，且探討密度與素燒粉的關係，期望減少廢棄物以達到循環經濟之成效。

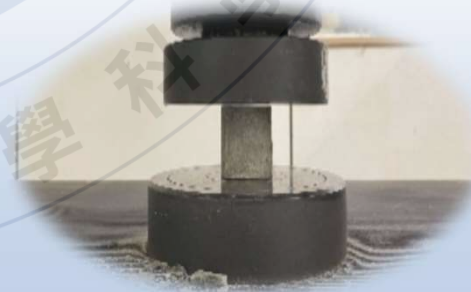
1. 研究動機

- ◆ 動機一：《看見台灣》是台灣第一部高空紀錄片，在電影中，不僅看到台灣的美景，也看到因開發而造成的破壞。



1. 研究動機

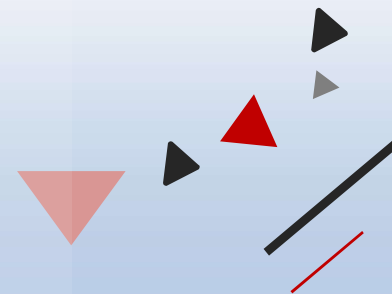
- ◆ 在花蓮一帶，看到為了製造水泥，將完整的山挖掘成斷頭山，但真的需要用到這麼多水泥嗎？我們有沒有其他材料能替代水泥呢？
- ◆ 動機二：在學校有一間專業的陶藝教室，然而因素燒品龜裂，在每學期累積不少素燒坯的瑕疵品，於是啟發了我們想要給予它不同的利用價值。
- ◆ 動機三：我們決定運用學校陶藝教室學生窯燒失敗的素燒坯體取代水泥，藉由鹼激發製作成再生無機聚合物，並與水泥漿體進行抗壓強度試驗，且探討密度與素燒粉的關係，期望減少廢棄物以達到循環經濟之成效。



2. 研究目的



- (一) 循環經濟：將廢棄材再次利用，減少廢棄物產量。
- (二) 取代水泥：利用無機聚合，將素燒粉與爐石粉依比例調配，取代水泥。
- (三) 抗壓強度比較：檢視再生無機聚合物試體之抗壓強度有沒有與水泥相近，甚至大於。
- (四) 密度與輕質材料關係：以不同配比的再生無機聚合物試體，素燒坯材含量越高其密度越高之趨勢。



3. 研究方法

- ◆ **文獻研究法**：從書籍、雜誌和網路上搜尋資料，以及詢問老師相關知識進行研究設計。從資料文獻中發現**無機聚合材料**，在常溫下就能製造而成，我們認為這種方法可以應用在這次的實驗。
- ◆ **實驗研究法**：運用廢棄素燒坯材，以不同比例的爐石粉與固定鹼活化液濃度，做出**再生無機聚合物試體**，並探討**是否能運用在結構物上**對照組和實驗組作比較分析。對照組為水泥漿抗壓試體，實驗組為再生無機聚合抗壓試體，試驗編號說明：**A**代表對照組，**B**代表實驗組，為再生無機聚合配比，設計比例為素燒胚：爐石粉，共有九組。



試驗組別 (單位:cm)			
試驗組別	試體名稱	長×寬×高	數量
對照組	水泥漿	3×3×3	18
實驗組	素燒坯：爐石粉(1：9)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(2：8)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(3：7)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(4：6)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(5：5)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(6：4)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(7：3)	3×3×3	18
	素燒坯：爐石粉(8：2)	3×3×3	18



3. 研究方法

- ◆ 製作再生無機聚合物的主要材料有：
 - (1) 再生粉料：爐石粉、素燒坯粉。
 - (2) 鹼活化液：氫氧化鈉、矽酸鈉。
- ◆ 再生粉料部分：爐石採用煉鋼廠水淬爐石粉。素燒坯粉則使用學校陶藝課程，因窯燒破損的素燒坯材，為了統一粒徑尺寸用#100號篩過篩，作為製作無機聚合物的主要原料。
- ◆ 鹼液活化設計配比：鹼當量：18%，鹼模數0.75，水膠比：0.6。



爐石粉



素燒胚粉



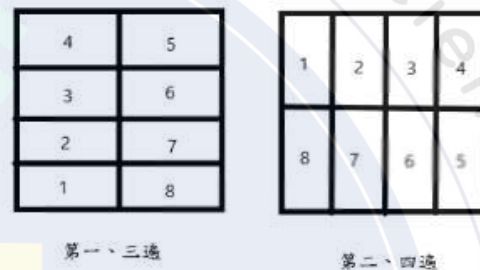
左：氫氧化鈉
右：矽酸鈉



#100號篩

3. 研究方法

- ◆ 將調配好的鹼液與特定配比的爐石粉和素燒胚粉進行鹼激發。拌合試體時，分次倒入鹼液攪拌均勻。灌模時，依照CNS1010規範，分兩層倒入試體，每層春實32下，並將試體裡面的氣泡震出，確保沒有空氣殘留，並放進密封袋靜置一天後拆模，再放入養護槽養護。

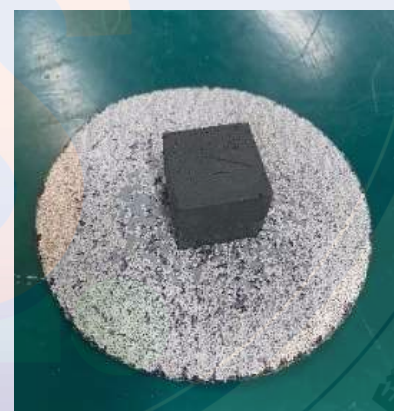


CNS1010 規範



養護槽

- ◆ 進行抗壓試驗前，要先將試體進行整平，將兩對邊利用砂紙磨平整，就可以把試體放入萬能試驗機中進行抗壓試驗。



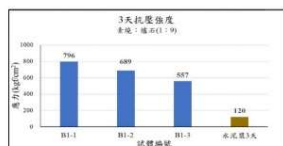
整平示意圖



萬能試驗機

4. 試驗結果

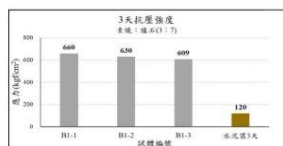
3 天



(1:9)



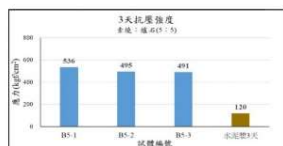
(2:8)



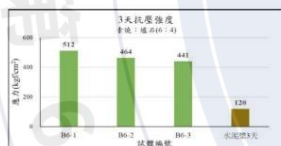
(3:7)



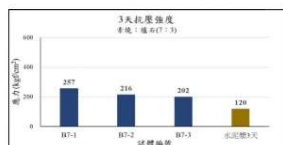
(4:6)



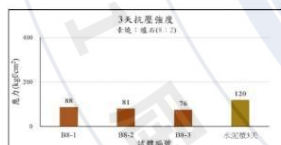
(5:5)



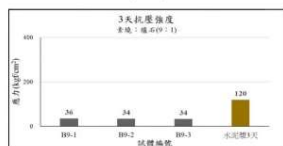
(6:4)



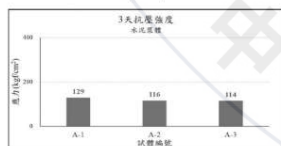
(7:3)



(8:2)

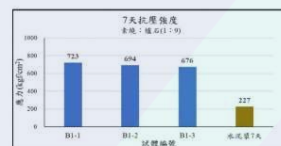


(9:1)



水泥漿體

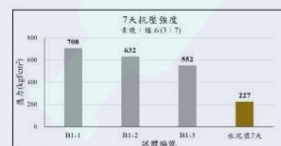
7 天



(1:9)



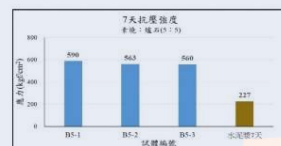
(2:8)



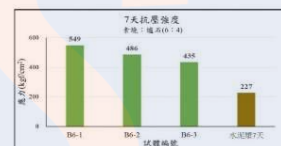
(3:7)



(4:6)



(5:5)



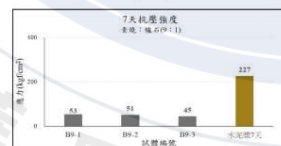
(6:4)



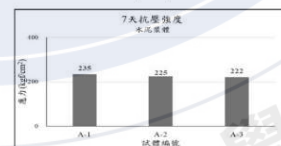
(7:3)



(8:2)

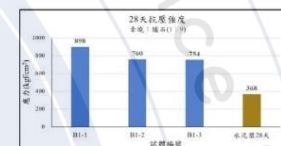


(9:1)

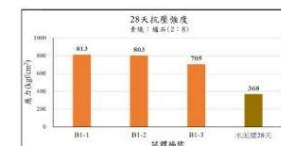


水泥漿體

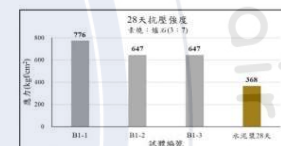
28 天



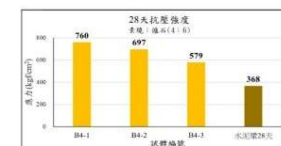
(1:9)



(2:8)



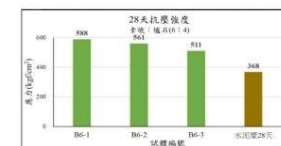
(3:7)



(4:6)



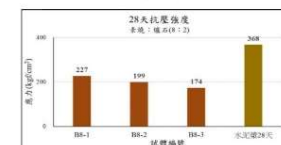
(5:5)



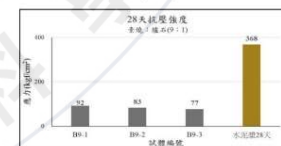
(6:4)



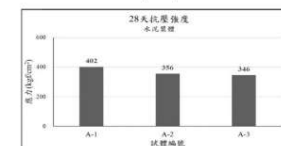
(7:3)



(8:2)

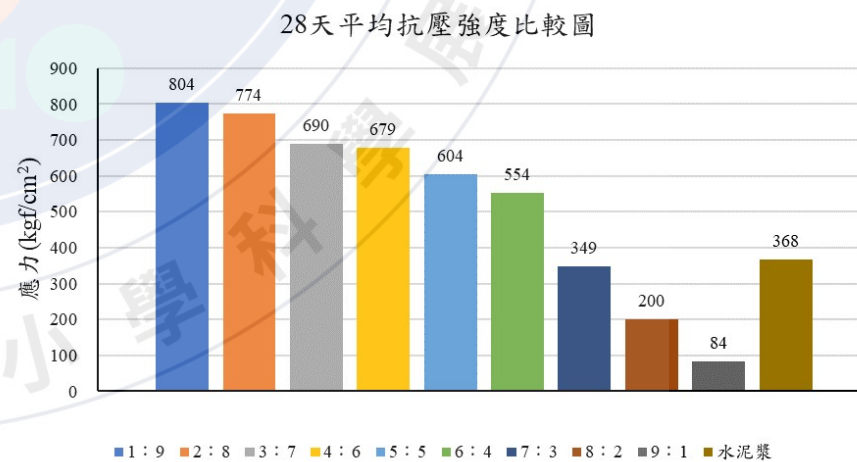
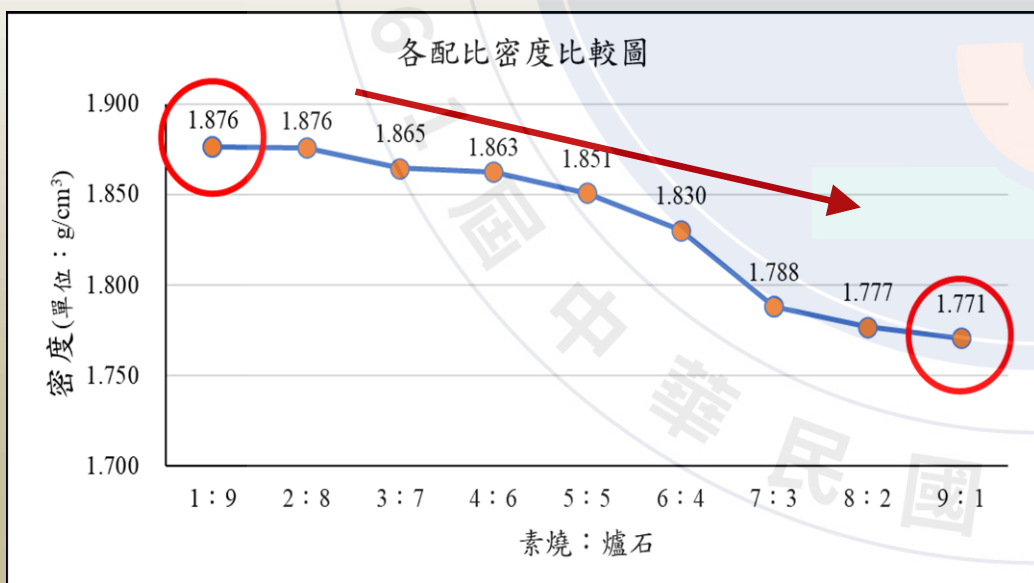
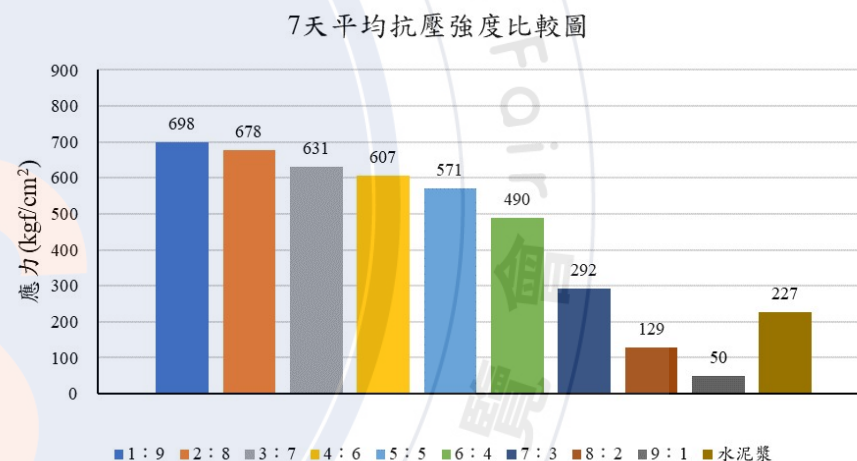
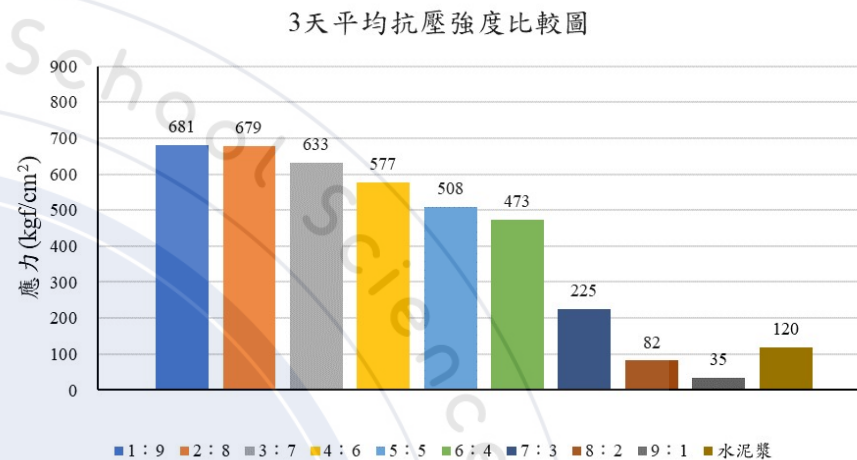
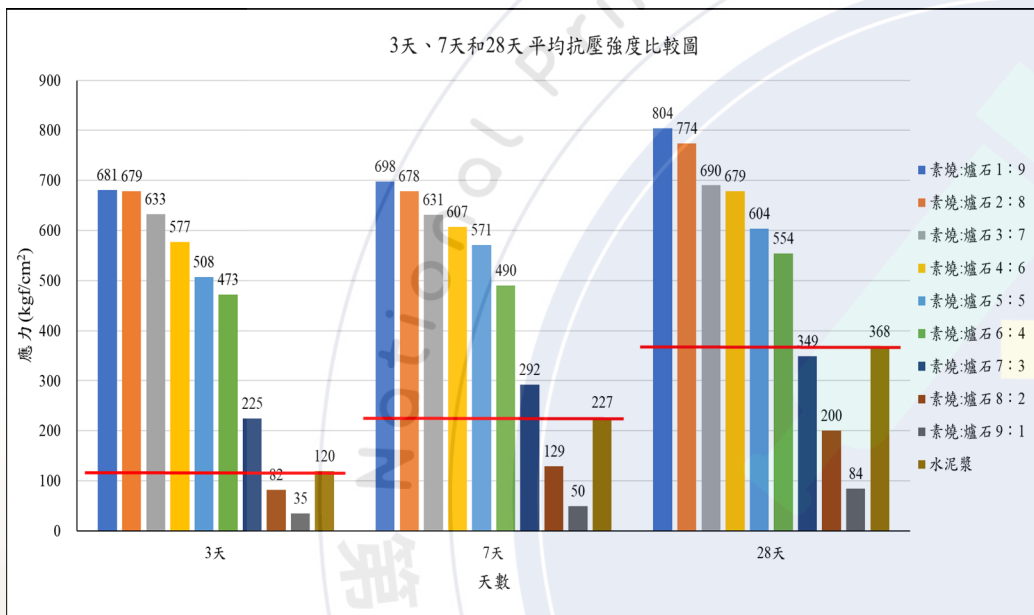


(9:1)



水泥漿體

4. 試驗結果



5. 試驗結果解釋

(一) 抗壓強度試驗

- ◆ 3天的圖表當中，可以看到素燒：爐石配比中，1:9 ~ 7:3的抗壓強度都是比水泥的120kgf/cm²高，最高可達到681kgf/cm²。
- ◆ 7天的圖表當中，可以看到素燒：爐石配比中，1:9 ~ 7:3的抗壓強度都是比水泥的227kgf/cm²高，最高可達到698kgf/cm²。
- ◆ 28天的圖表當中，則是素燒：爐石配比中，1:9 ~ 6:4的抗壓強度都是比水泥368kgf/cm²高，最高可達到804kgf/cm²。
- ◆ 將三個齡期的圖放在一起比較，可以看出大部分的無機聚合材抗壓強度都比水泥好，其中素燒粉含量較多的配比是6:4(素燒：爐石)。

(二) 密度試驗

- ◆ 素燒坯:爐石配比为1:9密度為1.876g/cm³，而9:1密度為1.771g/cm³，兩者密度相差0.105g/cm³，密度趨勢因素燒坯含量越多而逐漸下降。

6. 結論

(一) 促進循環經濟

本研究將燒製失敗的素燒坯材再次利用，並減少廢棄物產量，進而達到促進循環經濟的目的。

(二) 取代水泥

將素燒粉與爐石粉，利用無機聚合原理，製成再生無機聚合物，達到替代水泥的目的。

(三) 強度皆大於水泥

從實驗成果可得知，本研究的試體在抗壓強度上，大部分是高於水泥。

(四) 素燒粉為輕質材

由實驗結果觀察到，素燒粉含量越多其密度越小，建議使用於輕質結構上。

7. 參考資料

- ◆ 陳志賢，含矽質廢棄物之無機聚合物，2009年6月。
- ◆ 蔡得時、李尚成，「材料試驗」(第二章)，矩陣出版股份有限公司

