

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 土木科

第三名

最佳(鄉土)教材獎

091202

廢棄磚材應用於高性能混凝土之分析

學校名稱：國立彰化師範大學附屬高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 吳翊綺	張盛進
職二 林煜挺	王秀芳

關鍵詞： 抗壓強度、比重、廢棄建材

壹、摘要

營建廢棄物的資源化再利用，兼具環保及天然資源保育，實乃今日必須且克不容緩的重要課題。因此本研究探討以九二一大地震損毀建築物所拆除之廢棄物，經分類、破碎處理後，嘗試取代粗細粒料，拌製高性能混凝土(High Performance Concrete 簡稱 HPC)，以尋求營建廢棄物中之大宗拆除物(混凝塊、碎磚…等)應用在混凝土工程上之策略，並據以探討廢棄磚材再生利用模式及拌製高性能混凝土(HPC)之性能(廖惇治，2001)。

本研究主要是將再生磚材利用於高性能混凝土(HPC)之中，透過取代細粒料及粗粒料之方式，將廢棄紅磚以高性能混凝土(HPC)之製作程序作成抗壓試體。首先將學校現有廢棄紅磚敲碎，以 3/4" 篩、4 號篩及 100 號篩區分粗、細粒料，量測紅磚粗、細骨材之比重(Specific Gravity)、吸水率(Absorption)、細度模數(Fineness modulus 簡稱 FM)等基本物理數值，再將試驗數據以高性能混凝土緻密配比方式，作最大單位重試驗(Unit Weight)，並計算出其配比。以此配比製作 5cmx5cmx5cm 的水泥砂漿抗壓試體以及水泥紅磚砂漿抗壓試體，並製作 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的混凝土抗壓試體及紅磚混凝土抗壓試體。經由抗壓試驗得到抗壓強度，並以 7 天、28 天及 56 天的材齡為基礎，將試驗數據加以整理與分析。由此得知，再生粒料中磚類含量多寡影響再生混凝土的力學性質有限，磚類可應用於再生粒料中。

貳、研究動機

自從高爾拍了“不願面對的真相(An Inconvenient Truth)”後，全球便開始重視環保議題，我們希望延續這一個課題，回收再利用被視為廢棄物的建材，達到永續經營的效果。

建材課老師曾經提過，近年來河床上的砂石因市場之需求而被過度開發，部分建材仰賴進口，導致骨材價格倍數成長，造成建築成本之增加。而近年來，老舊房子翻新常能發現河床邊有廢棄紅磚傾倒，如能將老舊紅磚屋所遺留下來的廢棄紅磚取代現有的骨材，用於結構或非結構部位，相信對河床過度開發以及建材成本過高等議題，將有所改善。

前幾年的九二一地震所留下來的廢棄物至今也還沒處理完，經知名專家說，要再利用廢棄物中的粗細粒料須再經過五道程序，其成本已經高過砂石之價錢；而大多的廢棄屋多為紅磚屋，若能將這些廢棄紅磚加以利用，對廢棄物的處理也可以進一步改善。

為了使紅磚混凝土材料的抗壓能力增強，於相關文獻參考後，決定採用高性能混凝土(HPC)之方式，透過添加強塑劑(SP)及卜作嵐材料(飛灰 Fly Ash)，並以取代細骨材及粗、細粒料之方式作為本研究之研究因子，將廢棄紅磚作成抗壓試體，分析 7 天、28 天及 56 天材齡之之抗壓強度與單位重(Unit Weight)之關係。

參、研究目的

本研究主要是利用紅磚取代混凝土中的粗、細骨材，並添加卜作嵐材料及強塑劑(SP)，透過高性能混凝土之配比設計與方法製作混凝土，於測得混凝土之坍度後，將其製作成立方體試體(5cm×5cm×5cm)及圓柱試體(ϕ 10cm×20cm)，再分別進行養護齡其 7 天、28 天及 56 天之抗壓試驗。並將所測得之抗壓數據、單位重(Unit Weight)、坍度等資料，作為分析時之參考依據。

肆、研究設備及器材

(1)電子秤：



圖 4-1 電子秤

(2)烘乾機：



圖 4-2 烘乾機

(3)電腦伺服抗壓機：



圖 4-3 電腦伺服抗壓機

(4)混凝土攪拌機:



圖 4-4 混凝土攪拌機

(5) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 圓柱試體模:



圖 4-5 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 圓柱試體模

(6) $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 正方體試體模:



圖 4-6 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 正方體試體模

(7) 比重試驗鐵絲網:



圖 4-7 比重試驗鐵絲網

伍、研究流程及方法

一、研究流程

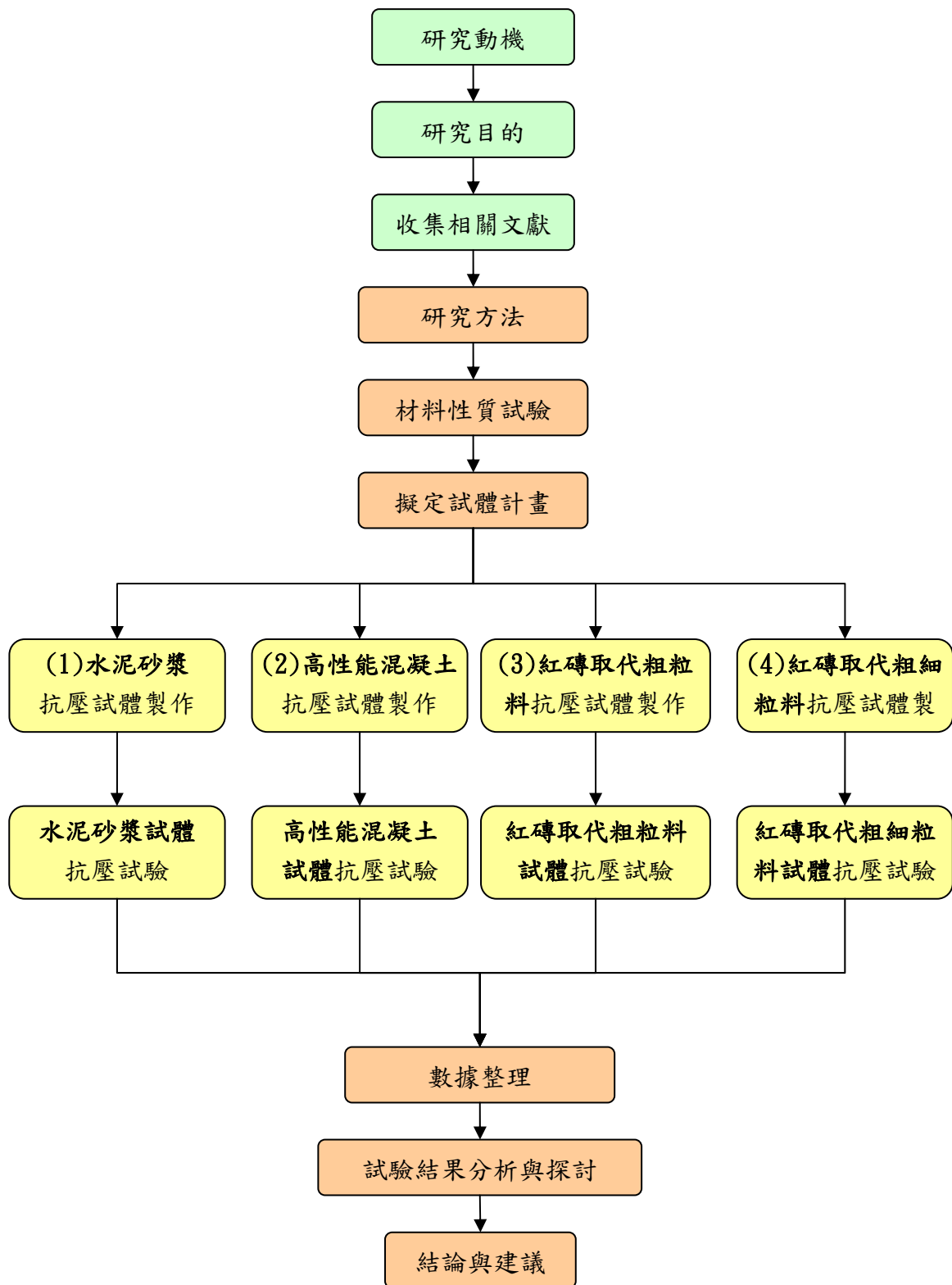


圖 5-1 研究流程

二、配比

(一)水泥砂漿

表 5-1 水泥砂漿配比

名 稱	數 量
1. 試 體	6 個
2. 水 泥	500 公克
3. 砂	1375 公克
4. 水	242 公克

(二)紅磚混凝土

表 5-2 紅磚混凝土配比

單位:kg

材 料	kg/m ³	數 量 (9 顆)
1. 紅磚粗骨材	1359	23.106
2. 紅磚細骨材	452.48	7.69
3. 飛灰	36	0.612
4. 水泥	169.95	2.889
5. 水	46.6	0.79
6. 強塑劑	1.7	0.0288

(三)紅磚砂加一般粗骨材混凝土

表 5-3 紅磚砂加一般粗骨材混凝土配比

單位:kg

材 料	kg/m ³	數 量 (9 顆)
1. 粗骨材	1359	23.106
2. 紅磚細骨材	452.48	7.69
3. 飛灰	36	0.612
4. 水泥	169.95	2.889
5. 水	46.6	0.79
6. 強塑劑	1.7	0.0288

(四)一般混凝土

表 5-4 一般混凝土配比

單位:kg

材 料	kg/m ³	數 量 (9 顆)
1. 粗骨材	1359	23.106
2. 細骨材	452.48	7.69
3. 飛灰	36	0.612
4. 水泥	169.95	2.889
5. 水	46.6	0.79
6. 強塑劑	1.7	0.0288

三、試驗流程

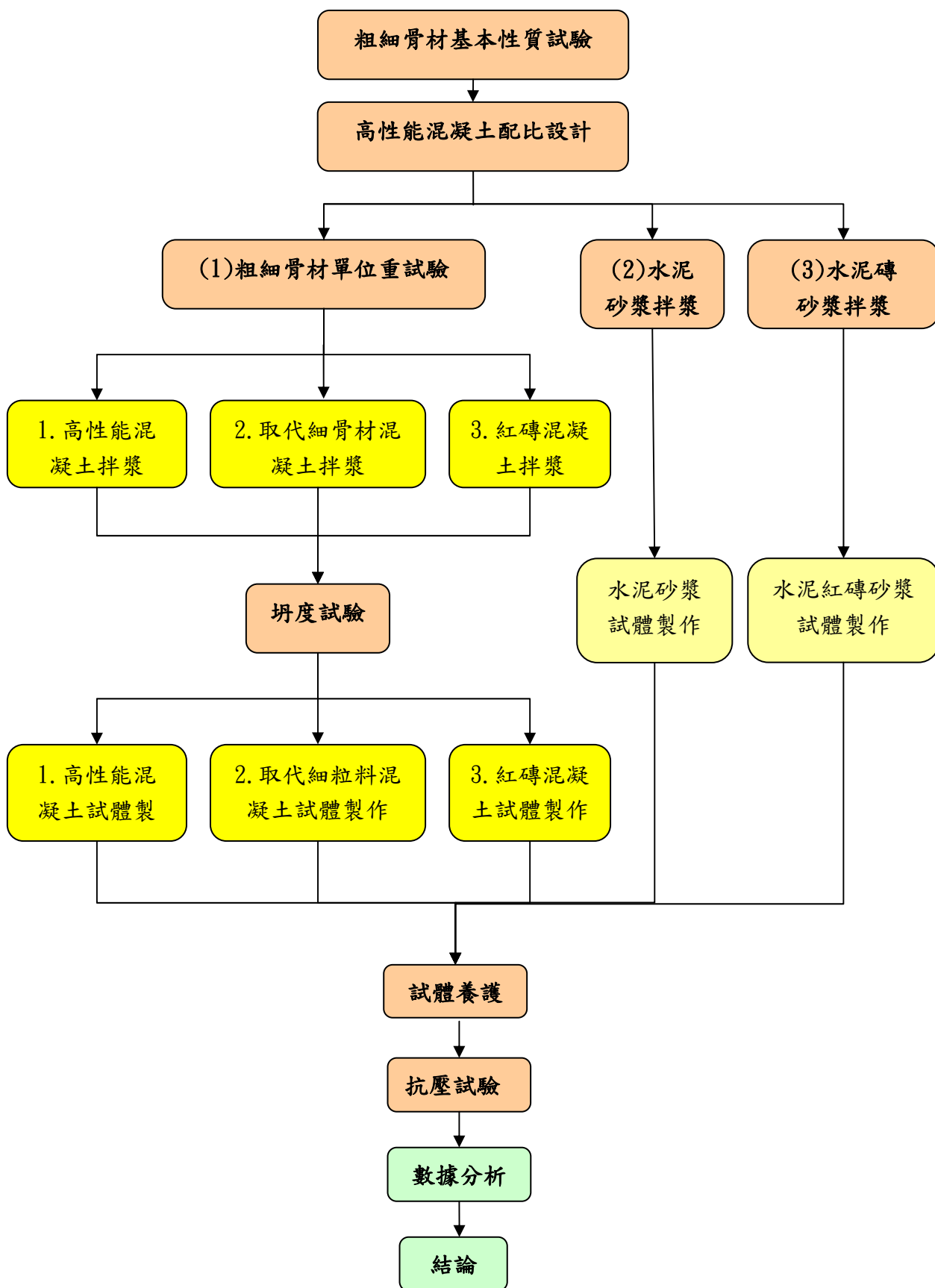


圖 5-2 試驗流程

四、試驗過程

(一)粗骨材比重試驗

● 試驗流程：

(1)飽和紅磚粗粒料：如圖 5-3 所示。

(2)將粗粒料置於鐵絲網內：如圖 5-4 所示。



圖 5-3 將紅磚粗粒料泡水達飽和



圖 5-4 將粗粒料置於鐵絲網內

(3)將該鐵網置入水中：如圖 5-5、5-6 所示。



圖 5-5 將該鐵網置於裝水之容器內



圖 5-6 將該鐵網置於裝水之容器內

(二)細骨材最大單位重試驗流程

● 試驗流程：

- (1) 紅磚細粒料烘乾
- (2) 紅磚細粒料添加不同比例之飛灰，如圖 5-7、5-8 所示。



圖 5-7 量秤所需紅磚細粒料



圖 5-8 量秤所需飛灰

- (3) 將紅磚細粒料與飛灰均勻拌合，如圖 5-9 所示。
- (4) 將拌合後之試料置入單位重量桶中並分二層各搗實 25 下，如圖 5-10 所示。



圖 5-9 將紅磚細粒料與飛灰均勻拌合



圖 5-10 將紅磚細粒料拌飛灰填入單位重量桶

- (5) 量秤單位重量桶加紅磚細粒料拌飛灰之重量，並反覆試驗 3 次，取其平均值，如圖 5-11 所示。



圖 5-11 將裝滿紅磚細粒料拌飛灰的單位重量桶置於電子秤上量取數據

- (6) 增加飛灰比例，重複步驟(2)~(5)，直至單位重下降。
- (7) 繪製紅磚細粒料添加不同比例飛灰之最大單位重曲線圖。

(三)紅磚混凝土粗骨材單位重試驗流程

● 試驗流程：

- (1) 紅磚粗粒料烘乾，如圖 5-12、5-13 所示。



圖 5-12 取出已烘乾的紅磚粗粒料



圖 5-13 集中已烘乾的紅磚粗粒料

(2) 秤取紅磚粗粒料並添加不同比例之最大單位重之紅磚細粒料，如圖 5-14 所示。

(3) 均勻拌合，如圖 5-15 所示。



圖 5-14 將置於電子秤上量取數據



圖 5-15 將粗粒料與細粒料均勻拌合

(4) 將拌合均勻之最大細粒料單位重於紅磚粗粒料置入單位重量桶中並分層各搗實 25 下。

(5) 量秤單位重量桶加紅磚粗細粒料拌飛灰之重量，並反覆試驗 3 次，取其平均值。

(6) 增加最大單位重之細粒料拌飛灰之比例，重複步驟(2)~(5)，直至單位重下降。

(7) 繪製紅磚粗粒料添加不同比例最大單位重之細粒料拌飛灰之最大單位重曲線圖。

(四)紅磚高性能混凝土圓柱試體製作流程

● 試體材料之準備：

- (1) 秤取水泥
- (2) 秤取飽和粗細粒料，如圖 5-16 所示。
- (3) 秤取飛灰，如圖 5-17 所示。
- (4) 秤取強塑劑、拌合水量。
- (5)

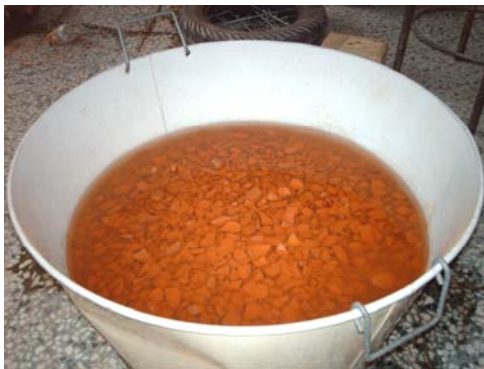


圖 5-16 紅磚粗粒料泡水



圖 5-17 秤取所需飛灰量

● 製做試體：

(1)混凝土拌合：

1. 將粗細粒料拌均勻，並加入 1/3 之拌合水，如圖 5-18 所示。
2. 將飛灰倒入攪拌機中拌均勻，如圖 5-19 所示。



圖 5-18 將粗細粒料拌勻



圖 5-19 將飛灰倒入攪拌機中拌勻

3. 將水泥倒入攪拌機中拌勻，如圖 5-20 所示。

4. 加入 2/3 拌合水與 SP 拌合之溶液，如圖 5-21 所示。



圖 5-20 將水泥倒入攪拌機中拌勻



圖 5-21 加入總水量的 2/3 拌合強塑劑之溶液

(2) 坍度試驗。

(3) 灌漿。

(4) 拆模，如圖 5-22、5-23 所示。



圖 5-22 拆開圓形試體模



圖 5-23 清理圓形試體模並上油以防氧化

(5) 進行養護：將試體置入飽和石灰水溶液中養護，如圖 5-24、5-25 所示。

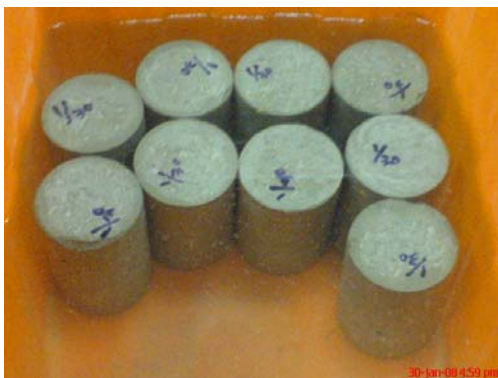


圖 5-24 將試體置入飽和石灰水溶液中養護



圖 5-25 將試體置入飽和石灰水溶液中養護

(五)紅磚高性能混凝土圓柱試體抗壓試驗流程

● 試驗流程：

(1)以石膏蓋平，如圖 5-26 所示。

(2)以 200 頓抗壓機進行抗壓試驗，如圖 5-27 所示。



圖 5-26 將石膏塗抹在試體上並蓋平



圖 5-27 置試體於抗壓機進行抗壓試驗

(3)抗壓後試體破裂情形，如圖 5-28、5-29 所示。



圖 5-28 試體抗壓後破裂情形



圖 5-29 試體抗壓後破裂情形

(4)讀取抗壓試驗數據，進行分析。

(六)紅磚水泥砂漿方形試體製作流程

● 製做試體：

1. 秤取試驗所需之紅磚細粒料、水泥、水、飛灰。
2. 拌合紅磚水泥砂漿，如圖 5-30 所示。



圖 5-30 拌合紅磚水泥砂漿

3. 灌漿：填入砂漿並分層搗實各 25 下，如圖 5-31、5-32 所示。

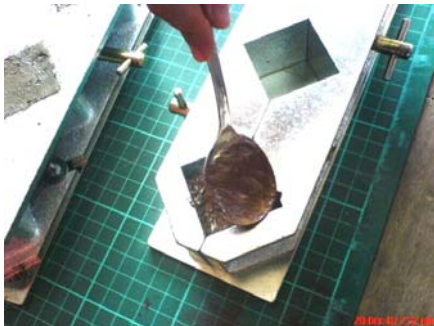


圖 5-31 填入砂漿



圖 5-32 搗實 25 下

4. 拆模。
5. 進行養護。

(七)紅磚水泥砂漿試體行抗壓試驗流程

● 試驗流程：

1. 石膏蓋平：將蓋平石膏置於試體上並蓋平，如圖 5-33 所示。



圖 5-33 將蓋平石膏置於試體上並蓋平

2. 進行抗壓：更換抗壓承座，將水泥砂漿方形試體置入抗壓機中進行抗壓試驗，如圖 5-34、5-35 所示。



圖 5-34 方形試體置入抗壓機中進行抗壓 圖 5-35 方形試體置入抗壓機中進行抗壓

3. 抗壓後試體破裂情形：抗壓後試體破裂情形，如圖 5-36、5-37、5-38、5-39 所示。



圖 5-36 抗壓後試體破裂情形(一)



圖 5-37 抗壓後試體破裂情形(二)



圖 5-38 抗壓後試體破裂情形(三)



圖 5-39 抗壓後試體破裂情形(四)

4. 讀取試驗數據，進行分析。

(八)坍度試驗流程

● 試驗流程：

1. 潤濕坍度模。
2. 將拌合完成之高性能混凝土分三層搗實，每層搗實 25 次，如圖 5-40 所示



圖 5-40 各層搗棒搗實 25 次

(3)垂直提起坍度模。

(4)量取數據：進行坍度、流度之數據量取，如圖 5-41、5-42、5-43 所示。



圖 5-41 流度量取



圖 5-42 坍度量取



圖 5-43 量取數據

陸、研究結果

一、由表 6-1 中得知，當飛灰加於細骨材的比例越大，單位重也會隨之增加。當飛灰排開細骨材體積時，單位重下降。根據高性能混凝土的緻密配比，必須採用了最大單位重，本試驗取用 15% 之飛灰為試驗依據。

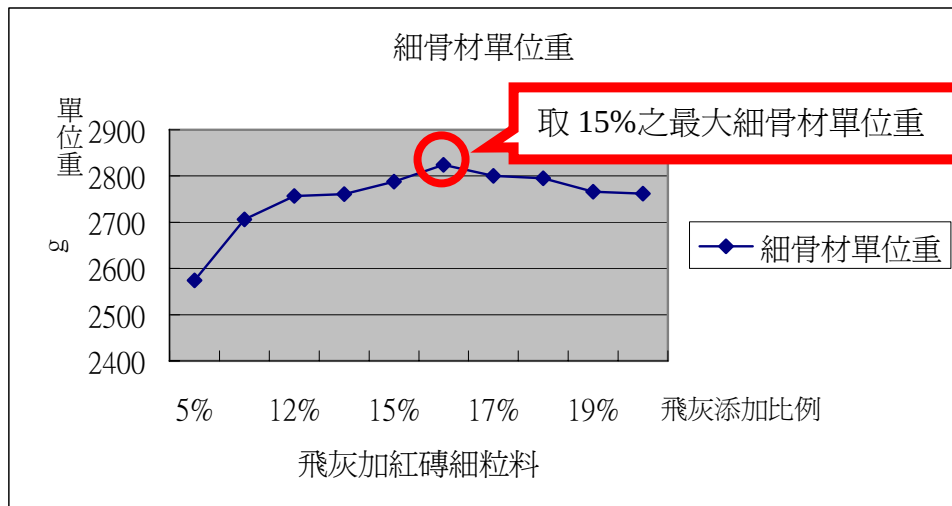


圖 6-1 細骨材單位重分析

二、由圖 6-2 得知，當飛灰加細骨材於粗骨材的比例越大，而單位重也會隨之增加，細骨材與飛灰排開粗骨材體積時，有最大單位重。根據高性能混凝土的緻密配比，必須採用了最大單位重，此取用 32.5% 為依據。

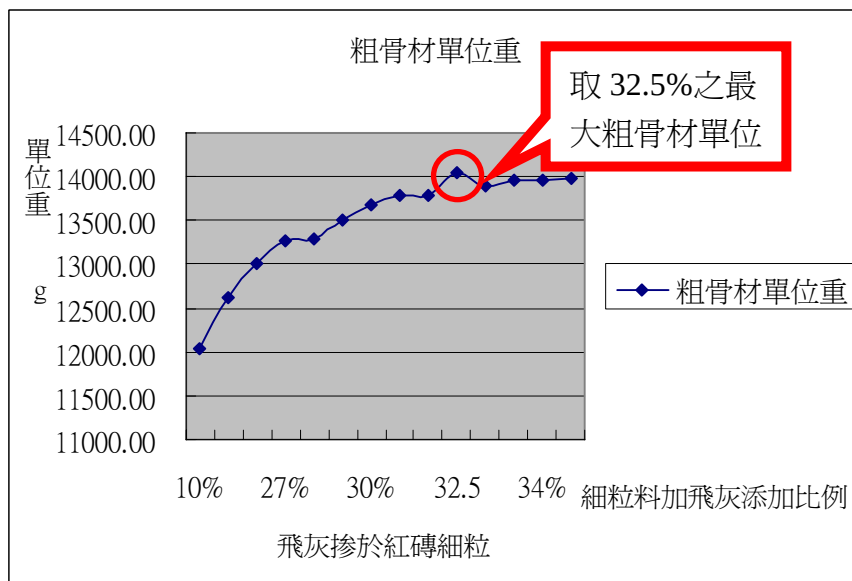


圖 6-2 粗骨材單位重分析

三、由圖 6-3 得知，紅磚砂之比重較一般砂的比重小。

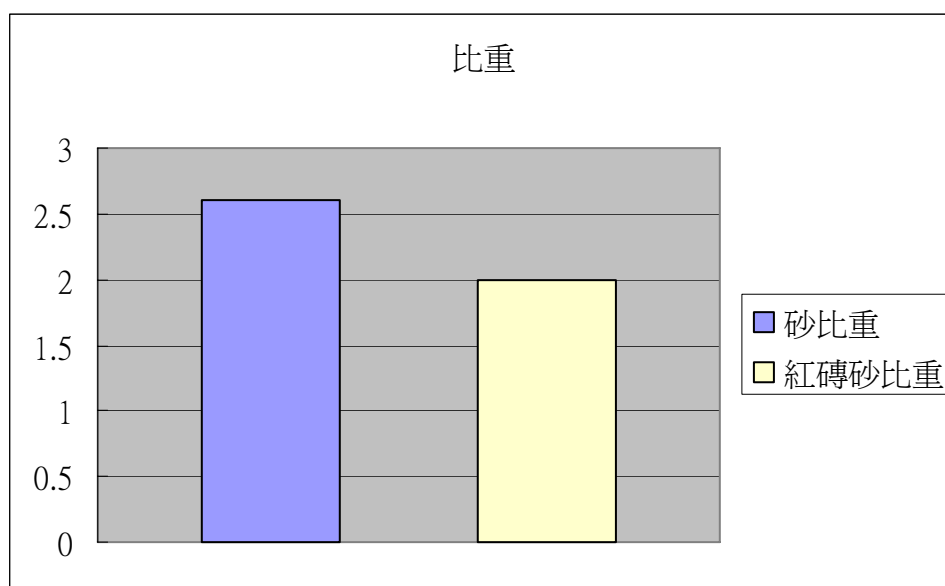


圖 6-3 砂與紅磚砂試體比重分析

四、由圖 6-4 得知，添加飛灰的水泥砂漿試體，在抗壓強度試驗中，紅磚添加飛灰可讓早期強度有增加的趨勢，並且超過一般的水泥飛灰砂漿。

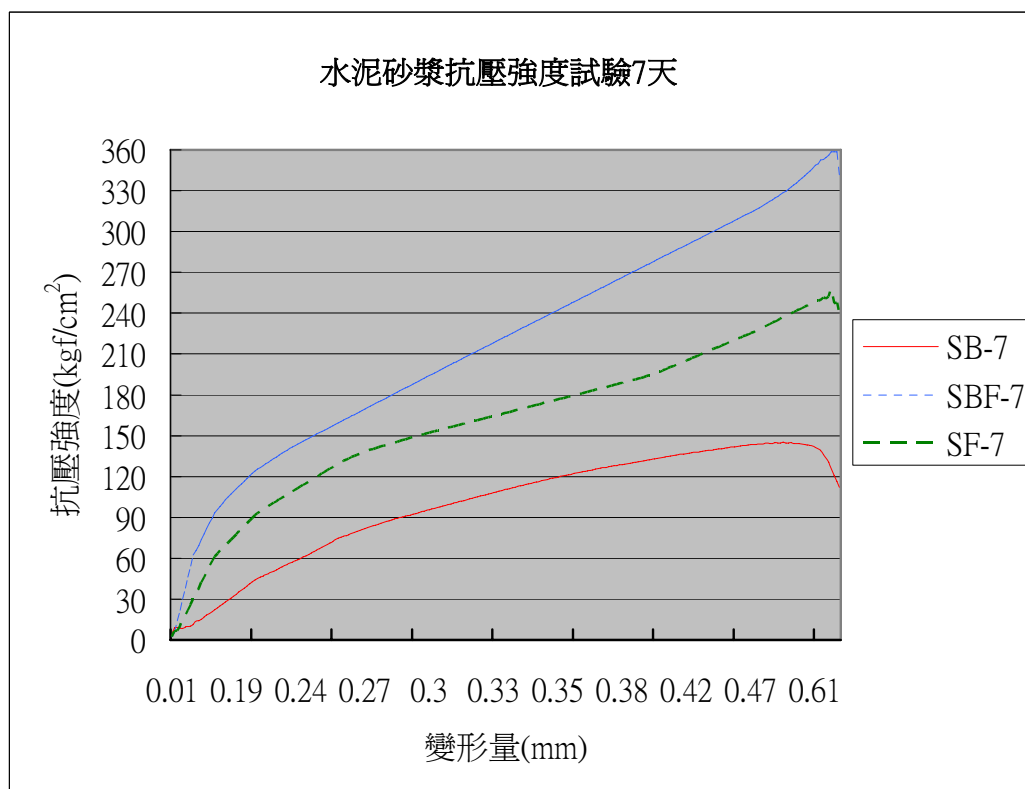


圖 6-4 水泥砂漿抗壓試驗曲線圖（7 天）

五、由水泥砂漿抗壓試驗報告表(表 6-1)及水泥砂漿抗壓強度 (7 天)比較圖(圖 6-5)得知發現，其抗壓強度依序為：SBF-7(水泥紅磚砂漿+飛灰抗壓試體)> SF-7(水泥砂漿+飛灰抗壓試體)> SB-7(水泥紅磚砂漿抗壓試體)。

表 6-1 水泥砂漿抗壓試驗報告表(7 天)

單位:kgf/cm²

試體名稱	力量最大值(取平均值)
SB-7(水泥紅磚砂漿抗壓試體)	147.81 (最小)
SBF-7(水泥紅磚砂漿+飛灰抗壓試體)	367.83 (最大)
SF-7(水泥砂漿+飛灰抗壓試體)	256.72 (次之)

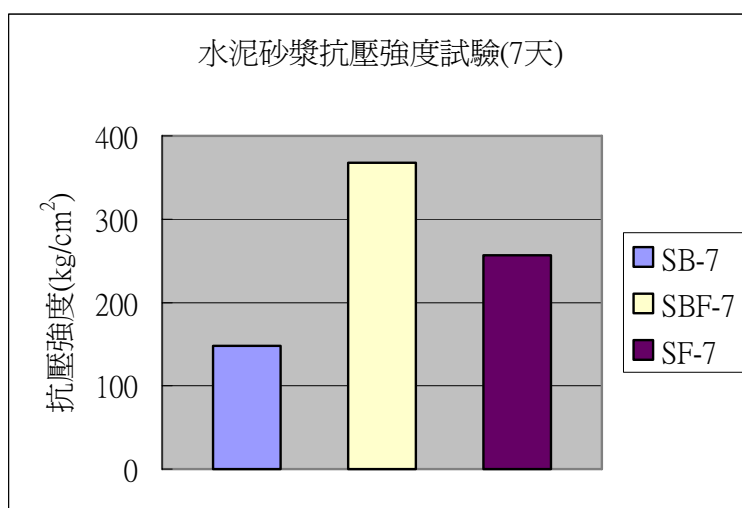


圖 6-5 水泥砂漿抗壓強度比較(7 天)

六、由水泥砂漿抗壓試驗報告表(表 6-2)、水泥砂漿抗壓試驗曲線圖 (28 天)(圖 6-6)及水泥砂漿抗壓強度比較 (28 天)(圖 6-7)得知，在 28 天時之試體，隨時間增加，SB-28(水泥紅磚砂漿抗壓試體)之強度有明顯增強之趨勢。由此可知，在沒有添加飛灰的情況下，紅磚水泥砂漿的抗壓強度高於水泥砂漿的抗壓強度，為其 1.8 倍。

表 6-2 水泥砂漿抗壓強度試驗(28 天)

單位: kgf/cm²

名稱	力量最大值(平均值)
S-28(水泥砂漿抗壓試體)	211.04
SB-28(水泥紅磚砂漿抗壓試體)	385.61

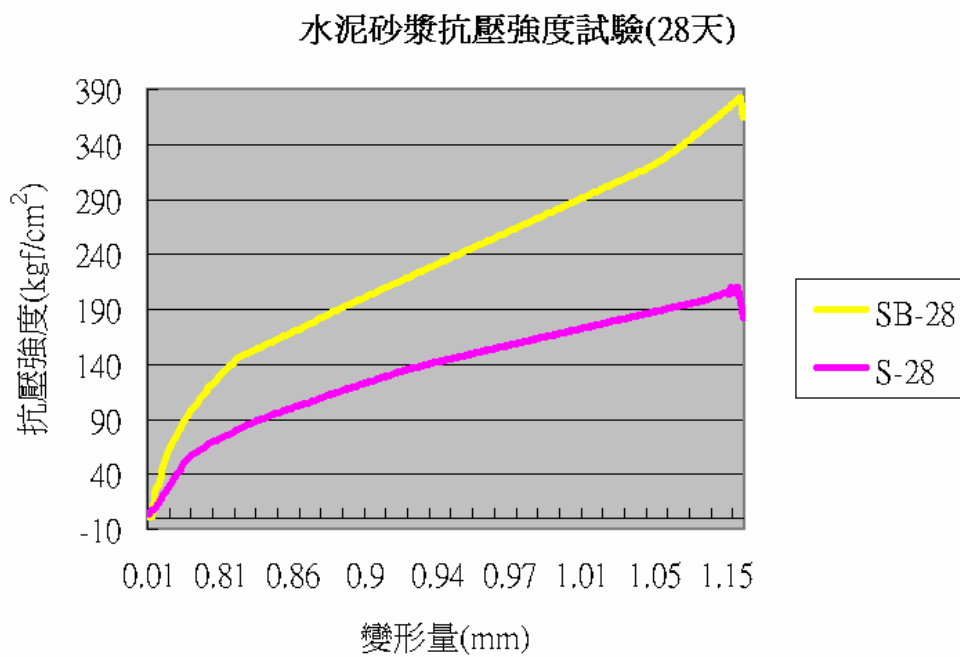


圖 6-6 水泥砂漿抗壓試驗曲線圖 (28 天)

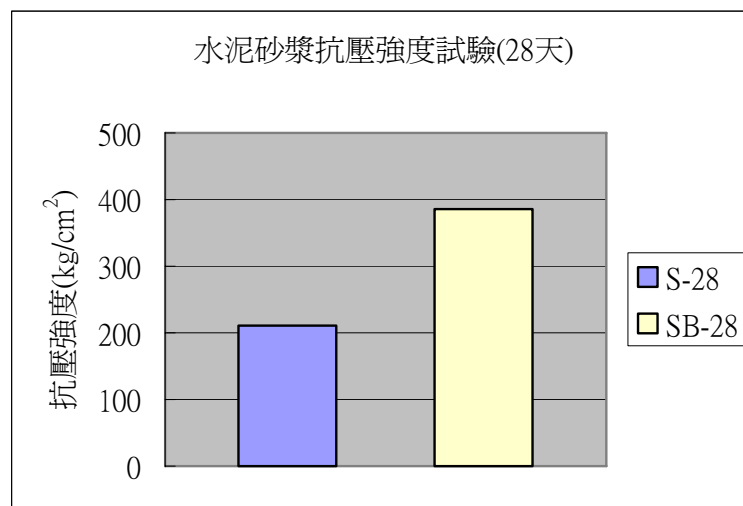


圖 6-7 水泥砂漿抗壓強度比較 (28 天)

七、由混凝土抗壓試驗圖 (7 天) (圖 6-8)、混凝土抗壓強度試驗(7 天)(表 6-3)及混凝土抗壓強度比較 (7 天) (圖 6-9)得知，抗壓後的強度，RA0-7(一般混凝土抗壓試體)的強度 > RAB-7(紅磚取代粗細骨材混凝土抗壓試體) > RSB-7(紅磚取代細骨材混凝土抗壓試體)的強度。

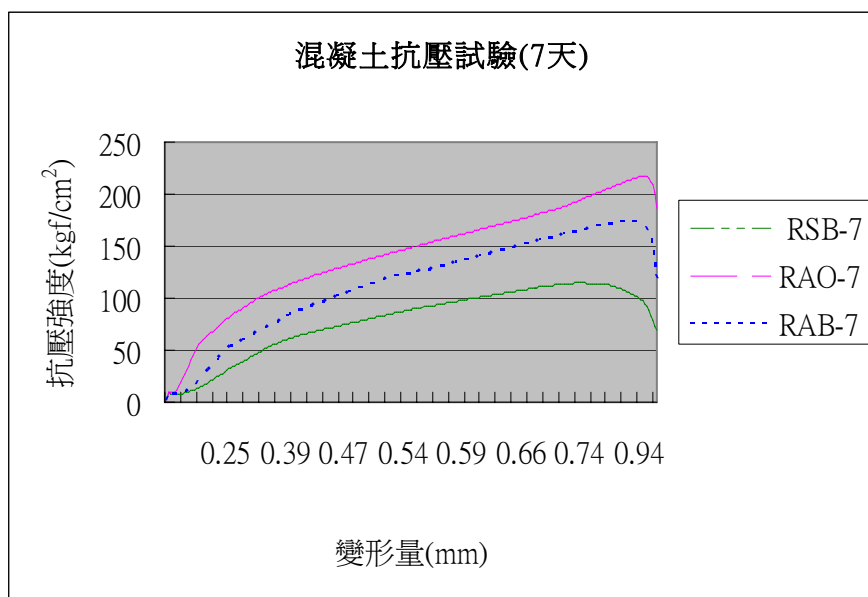


圖 6-8 混凝土抗壓試驗圖（7 天）

表 6-3 混凝土抗壓強度試驗(7 天)

單位: kgf/cm²

名稱	力量最大值(平均值)
RSB-7(紅磚取代細骨材混凝土抗壓試體)	107.65 (最小)
RAB-7(紅磚取代粗細骨材混凝土抗壓試體)	173.20 (次之)
RAO-7(一般混凝土抗壓試體)	228.05 (最大)

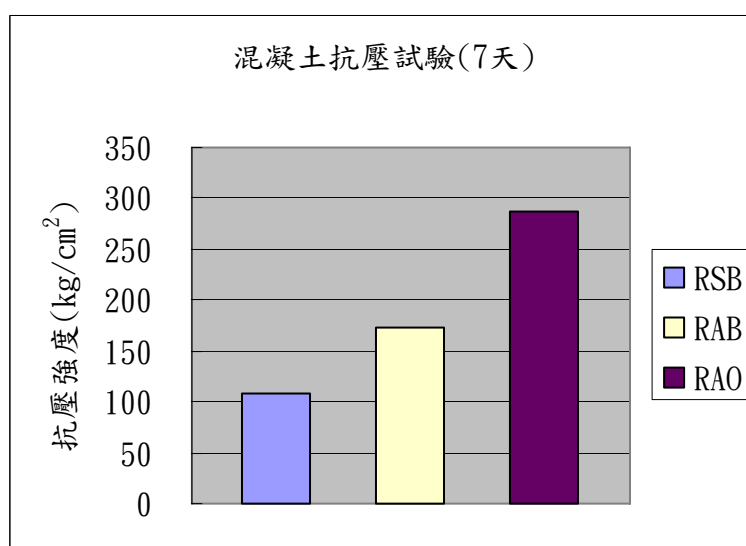


圖 6-9 混凝土抗壓強度比較（7 天）

八、由混凝土抗壓試驗圖（28 天）（圖 6-9）、混凝土抗壓強度試驗(28 天)(表 6-4)及混凝土抗壓強度比較（28 天）（圖 6-10)得知，抗壓後的強度，RA0-28(一般混凝土抗壓試體)的強度>RAB-28(紅磚取代粗細骨材混凝土抗壓試體)>RSB-28(紅磚取代細骨材混凝土抗壓試體)的強度。

表 6-4 混凝土抗壓強度試驗（28 天）

單位：kgf/cm²

名稱	力量最大值（平均值）
RSB-28（紅磚取代細粒料混凝土抗壓試體）	205.45（最小）
RAB-28（紅磚取代粗細粒料混凝土抗壓試體）	265.20（次之）
RA0-28（一般混凝土抗壓試體）	302.35（最大）

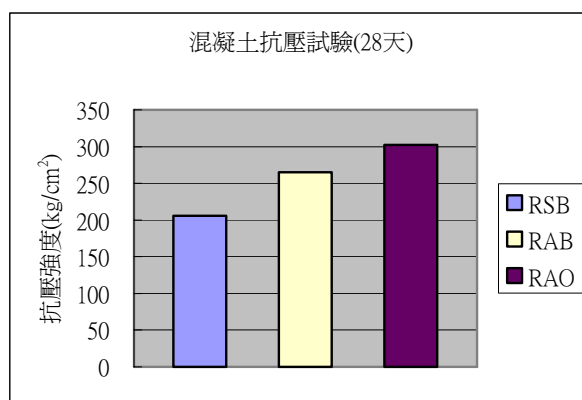


圖 6-10 混凝土抗壓強度比較（28 天）

九、由混凝土抗壓試驗圖（56 天）（圖 6-11）、混凝土抗壓強度試驗(56 天)(表 6-5)及混凝土抗壓強度比較（56 天）（圖 6-12)得知，抗壓後的強度，RA0-56(一般混凝土抗壓試體)的強度>RAB-56(紅磚取代粗細骨材混凝土抗壓試體)>RSB-56(紅磚取代細骨材混凝土抗壓試體)的強度。

表 6-5 混凝土抗壓強度試驗（56 天）

單位：kgf/cm²

名稱	力量最大值（平均值）
RSB-56（紅磚取代粗粒料混凝土抗壓試體）	223.73（最小）
RAB-56（紅磚取代粗細粒料混凝土抗壓試體）	281.16（次之）
RA0-56（一般混凝土抗壓試體）	338.40（最大）

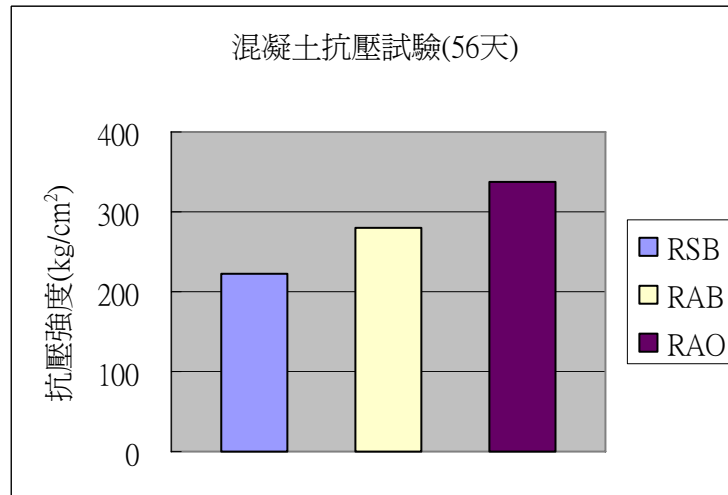


圖 6-11 混凝土抗壓強度比較 (56 天)

十、混凝土坍度試驗

表 6-6 混凝土坍度流度試驗表

單位:cm

名 稱	坍 度	流 度
RAB(紅磚取代粗細骨材混凝土抗壓試體)	22.5	44.0
RSB(紅磚取代細骨材混凝土抗壓試體)	23.0	46.0
RAO(一般混凝土抗壓試體)	23.4	46.5

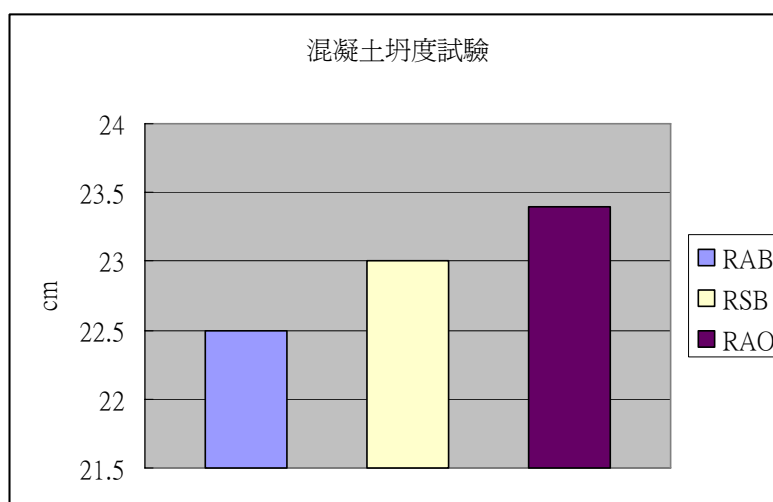


圖 6-12 混凝土坍度試驗比較

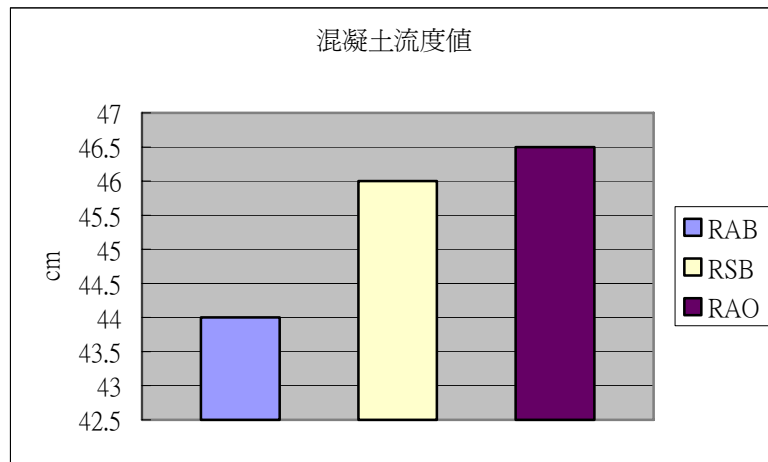


圖 6-13 混凝土流度試驗結果

柒、綜合討論

- 一、由此試驗數據得知，當紅磚細粒料取代細粒料時，其水泥砂漿試體之抗壓強度高於一般之水泥砂漿試體，可知水泥與紅磚砂之黏結強度優於水泥與砂之黏結強度。
- 二、初次拌合高性能混凝土(High Performance Concrete)，使用 0.5%之強塑劑(SP)，其坍度即符合需求；但在拌合紅磚取代粗細骨材之高性能混凝土時，其坍度變得不佳。使用各種方法想要增加坍度，直到添加 1%之強塑劑(SP)之後，坍度才符合設計需求。探究其原因，應該是由於磚材多為片狀顆粒，有較多之菱角，摩擦力及表面積較一般石材大，造成坍度不佳，而無法達到預期之目標。就在增加強塑劑(SP)用量之後，即可有效改善坍度不佳之問題。

捌、結論

一、水泥砂漿抗壓強度試驗(7 天)之比較結果為：

$$\text{SBF-7} > \text{SF-7} > \text{SB-7}$$

就 7 天之抗壓強度而言，SBF-7 為 SB-7 的 2.5 倍；SF-7 為 SB-7 的 1.7 倍。

二、水泥砂漿抗壓強度試驗(28 天)之比較結果為：

$$\text{SBF-28} > \text{SF-28} > \text{SB-28}$$

就 28 天之抗壓強度而言，SBF-28 為 SB-28 的 2.8 倍；SF-28 為 SB-28 的 1.8 倍。

三、混凝土抗壓試驗(7 天)之比較結果為：

$$\text{RAO-7} > \text{RAB-7} > \text{RSB-7}$$

就 7 天之抗壓強度而言，RAO 為 RAB 的 1.8 倍；RAB 為 RSB 的 1.5 倍。

四、混凝土抗壓試驗(28 天)之比較：

$$\text{RAO-28} > \text{RAB-28} > \text{RSB-28}$$

就 28 天之抗壓強度而言，RAO 為 RAB 的 1.1 倍；RAB 為 RSB 的 1.2 倍。

五、混凝土抗壓試驗(56 天)之比較：

$$\text{RAO-56} > \text{RAB-56} > \text{RSB-56}$$

就 56 天之抗壓強度而言，RAO 為 RAB 的 1.2 倍；RAB 為 RSB 的 1.2 倍。

六、紅磚取代粗細粒料之試體，紅磚已經發揮骨材之最大效用。

由本試驗得知紅磚取代粗細粒料之試體時，所得之抗壓強度亦與紅磚抗壓數據相仿，一般而言，抗壓試體停止抗壓是因為砂漿面破損，而紅磚取代粗細粒料之試體則是由粒料的損壞，由此可見紅磚取代粗細粒料之試體時，紅磚已經可以發揮骨材之最大效用。

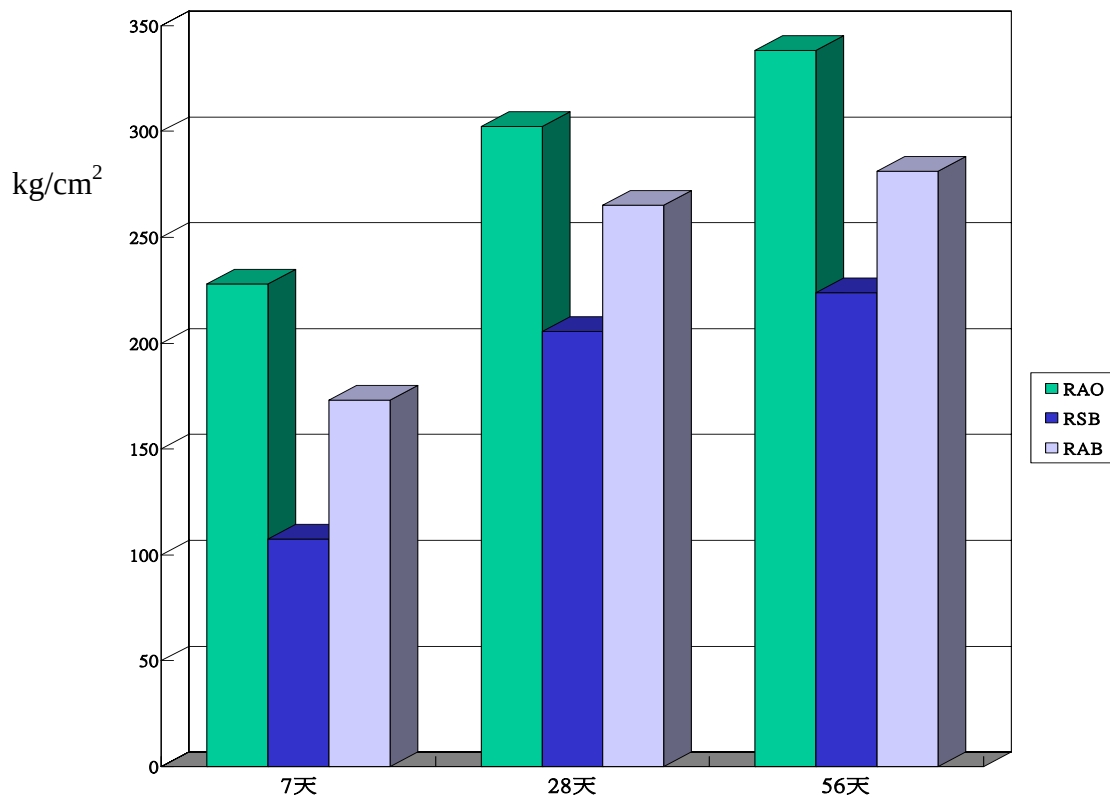


圖 8-1 RAO、RSB、RAB 試體之抗壓強度試驗比較圖(7 天、28 天、56 天)

玖、參考資料及其他

- 一、蔡得時、李尚成(2007)「材料試驗」，
- 二、洪國珍、陳耀如、劉叔松(2007)「建築材料 I」，旭營文化事業有限公司。
- 三、洪國珍、陳耀如、劉叔松(2007)「建築材料 II」，旭營文化事業有限公司。
- 四、黃兆龍(1997)「飛灰混凝土發展與應用趨勢」，如何使用飛灰提升混凝土品質研討會論文集，台灣營建研究院，第 27-64 頁。
- 五、黃兆龍「強塑劑(Superplasticizers)在混凝土之應用與發展」，《營建世界》第二十八期
- 六、蘇南、曾郁文、柴西文「中國土木水利學會」，《結構研討會》第五屆
- 七、廖惇治(2001)「磚類建材應用於再生混凝土之研究」，《國立中興大學碩士論文》第 89 屆
- 八、房性中(2005)「水泥混凝土使用摻料之問題探討」，《現代營建》第 314 期

【評語】 091202

優點：1.廢棄磚材的再利用，節省建材又環保。

2.抗壓強度達到一般水準，可利用價值頗高，數據統計分析也很好。

缺點：1.磚材等級不同，硬度及吸水性差異大，品質不易控制。

2.附在磚材上的水泥砂漿硬塊不易去除，造成回收成本太高。

建議：1.混合水泥砂漿硬塊打碎再深入試驗，以降低成本。

2.試體切面紋路質感頗佳，若推廣為地面或人行道鋪磚，必可提高附加價值。