

彰化縣 108 年第 59 屆中小學科學展覽會
作 品 說 明 書

科 別：地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：以「蚵」代「砂」-蚵殼粉代替部分砂石之可行性研究

關 鍵 詞：蚵殼粉、水泥、方塊試體

編 號：國中地科 001

目錄

摘要	1
壹、研究動機	1
貳、研究目的	2
參、研究設備與器材	2
肆、研究過程與方法	4
一、實驗研究流程圖	4
二、研究方法	5
(一)文獻蒐集	5
(二)實驗步驟	6
伍、實驗結果與討論	22
一、探討同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體齡期不同的強度大小.....	22
二、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體強度大小.....	23
三、實驗一及實驗二之抗壓強度分析與討論	25
四、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊之含水量多寡.....	26
五、探討不同比例之蚵殼粉混和水泥製品的比重.....	27
六、探討相同時間之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體吸水量與達飽和的時間.....	27
七、實驗三及實驗五之吸水性分析與討論.....	29
陸、結論.....	29
柒、未來展望.....	30
捌、參考資料.....	30

摘要

牡蠣殼是一種只增不減的「廢棄物」，堆積路旁，散發出陣陣惡臭，而盜取河床上砂石所造成的橋梁倒塌，促使我們想改善這個問題。本研究主要探討蚵殼粉是否能夠代替砂，當作建材。首先，製作 5 乘 5 的方塊試體，分別為蚵殼粉加上水泥的 6 種不同比例，並且施壓，探討各種比例的強度關係。研究發現，以蚵殼粉代替部分砂石的方塊試體抗壓性與吸水性都比純水泥低，**但抗壓性都符合標準**。後來，本組更做了有關試體含水量的測試，雖然添加蚵殼粉的含水量比純水泥低，**但吸水的持久性、重量輕和價格及環保**，都是蚵殼粉被拿來利用的優勢，證明以「蚵」代「砂」的確可以做為綠建築的材料，廣泛運用在生活中。

壹、研究動機

在 921 大地震之前，常常發生橋梁倒塌的事件，每張相片都令人膽顫心驚。追究起原因，發現是盜取砂石作為混凝土材料所造成的。有些不肖人士在河床上採取砂石如圖一，會破壞河道的平衡，因此流水會加速侵蝕上游河床或兩岸的砂石，來填補這個坑洞，如果正好有一座大橋，河床上的橋墩會因此而裸露出來，尤其由礫岩或砂岩構成的河岸，很容易造成倒塌。但砂石卻是建材很重要的一部分，若是沒了，就看不到現在壯麗的建築物了。所以本組希望可以找到一種環保又堅固的建材。

在一次與家人到王功海邊出遊時，看見路邊堆積如山的蚵殼如圖二，本組觀察路邊被車輛碾碎的蚵殼粉，具有類似砂石般粒料隔絕土壤的功能，本組突發奇想，想以**蚵殼粉來與水泥混合**探討其強度等物理性質是否符合需求，希望可以減輕砂石利用對大自然造成的破壞。



圖一 盜取砂石



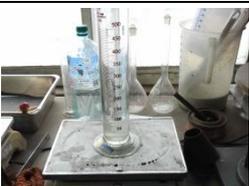
圖二 蚵殼堆積

貳、研究目的

- 一、探討同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體齡期不同的強度大小。
- 二、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體強度大小。
- 三、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體之含水量多寡。
- 四、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製品的比重。
- 五、探討相同時間之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體的吸水量與吸水至飽和的時間。

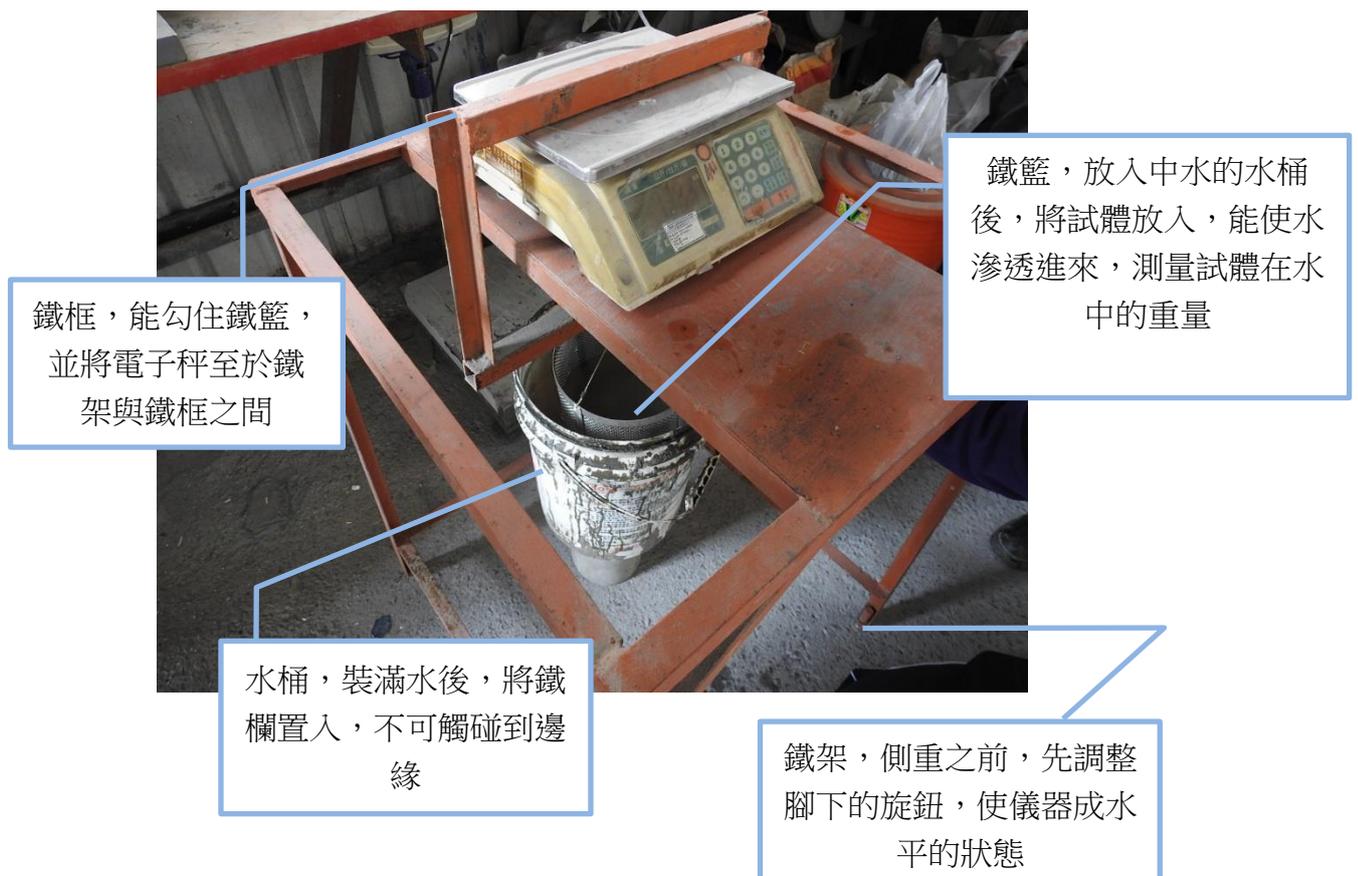
參、研究設備及器材

一、研究材料及實驗設備

				
電子秤(大)	電子秤(小)	水泥	蚵殼粉(<0.1cm)	量筒
				
湯勺	槌子	砂紙	量杯	水桶
				
攪拌機	5 乘 5 試體模	刮刀(一)	刮刀(二)	鐵籃
				
壓克力/橡膠棒	攪拌碗(小)	攪拌碗(大)	鏟子	烘乾機

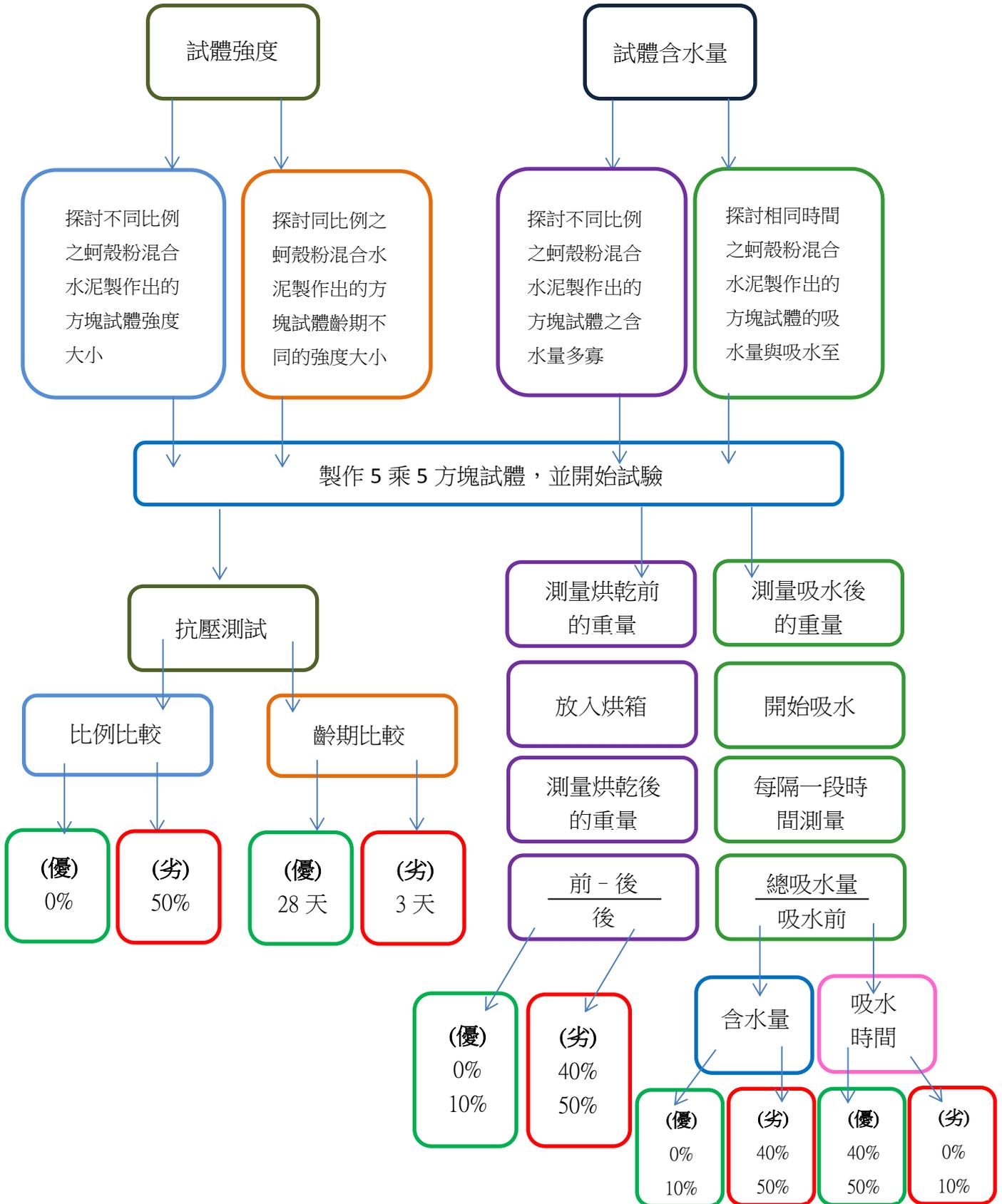
				
碼錶	標示紙	水盆	抹布	比重儀器(鐵架)

二、研究器材說明



肆、研究過程與方法

一、實驗研究流程圖



二、研究方法

(一)文獻蒐集

1. 蚵殼應用

「蚵」就是牡蠣，台灣養蚵產業有三百多年的歷史，目前有 10 多種牡蠣，養殖區域從新竹至屏東，主要產區集中在彰化、雲林、嘉義、台南等縣市，養殖面積、產量是貝類中最多的。根據漁業署的統計資料，牡蠣產量逐年增加，產生的廢棄蚵殼數量龐大。

蚵殼主要是由碳酸鈣、水分及有機質所構成。將蚵殼廢棄物資源化的方式有：作為建材使用，減少水泥用量；生態工法技術應用在護岸、養灘、當作藝術創作材料、添加在家禽的飼料中、增加蛋殼的厚度和硬度、可當植物的肥料、萃取出保養品和保健食品所需的美容成分、淨化水質、製作沙包來防水和鋪路材料。

2. 混凝土與鋼材

「混凝土」是由膠結材料(水泥)、骨料和水按照適當比例配置，再經過一定時間硬化而成的複合材料。混凝土的硬度高、堅固耐用、原料來源廣泛、製作方法簡單、成本低廉、可塑性強、可用於各種自然環境，是世界上使用量最大的人工土木建築材料，廣泛使用於房屋、橋梁、公路、跑道、擋土牆、堤防及核能發電廠等構造物。

「鋼材」被廣泛地應用於建造基礎設施、設備與建築。大部份的現代架構都是用鋼製的支架來支撐。就算是用混凝土的結構，也需要用鋼筋來加固。「鋼」也被用於各種建造用的材料，例如螺栓、釘子及螺絲。其他常見應用還包括造船、輸送管道、採礦、離岸建設、航天、洗衣機及推土機。鋼也是不少現代雕塑家喜用的金屬素材。

3. 混凝土試體模

「混凝土試體」有多種，常見的混凝土內的骨材粒徑應不大於試體模具最小尺寸的四分之一，例如直徑 15cm 高 30cm 的試體，粒徑應不大於 15cm 的四分之一。

同樣的混凝土做成不同形狀的試體時，圖三的梁形試體強度約為圓柱形試體強度的 1/6。圖二中立方塊試體的強度約為圖一圓柱形試體強度的 125%。



圖一 圓柱形式體



圖二 立方塊試體



圖三 梁形式體

(二)實驗步驟

1. 實驗 1：蚵殼粉比例與重量分配前置作業

本組決定製作 6 種不同比例的試體，並決定比較其比例不同所造成的效果。首先要確認試體的水、水泥及蚵殼粉的重量，設定水與水泥成分之比為 0.4，所以水的重量都設定為 260 克，水泥為 640 克，只改變蚵殼粉的重量，如下表 1-1。

表 1-1 蚵殼粉混合配置表

水(g)W	蚵殼粉(g)A	水泥(g)C	混和比例 A/C(%)	W/C	W/(C+A)
260	0	640	0%	0.4	0.40
260	64	640	10%	0.4	0.37
260	128	640	20%	0.4	0.34
260	192	640	30%	0.4	0.31
260	256	640	40%	0.4	0.29
260	320	640	50%	0.4	0.27

2. 實驗 2：探究不同比例的蚵殼粉混合製作出的方塊試體強度大小

本組利用細蚵殼粉來進行本次實驗，需充分與水泥拌和，當製作成試體時才不會有不均勻而造成強度差異的現象，影響實驗結果。

本次實驗使用 5 乘 5 的方塊試體模，每組製作 3 顆試體，以求實驗精準，並相比對差異性，試體製作過程如表 2-1 及圖四。

表 2-1 試體製作步驟

製作試體步驟	試體配比	1. 準備 5 乘 5 的方塊試體模，抹上脫模劑。
		2. 調配水泥與蚵殼粉的混合比例。
		3. 分別為 0%(0 克)、10%(64 克)、20%(128 克)、30%(192 克)、40%(256 克)與 50%(320 克)的蚵殼粉。
		4. 加上固定重量(640 克)的水泥和(260 克)的水。
	製作試體	5. 倒入容器中充分攪拌，直到完全均勻。
		6. 倒入試體模中，用壓克力棒將空氣排出。
		7. 用刮刀使其平整。
		8. 試體齡期，3 天、7 天及 28 天。
		9. 取出試體，抗壓測試並記錄數據。



圖 4-1 水泥與蚵殼粉攪拌



圖 4-2 加水攪拌



圖 4-3 攪拌至完全均勻

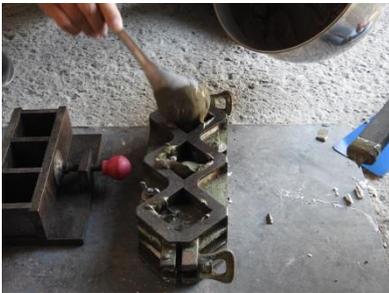


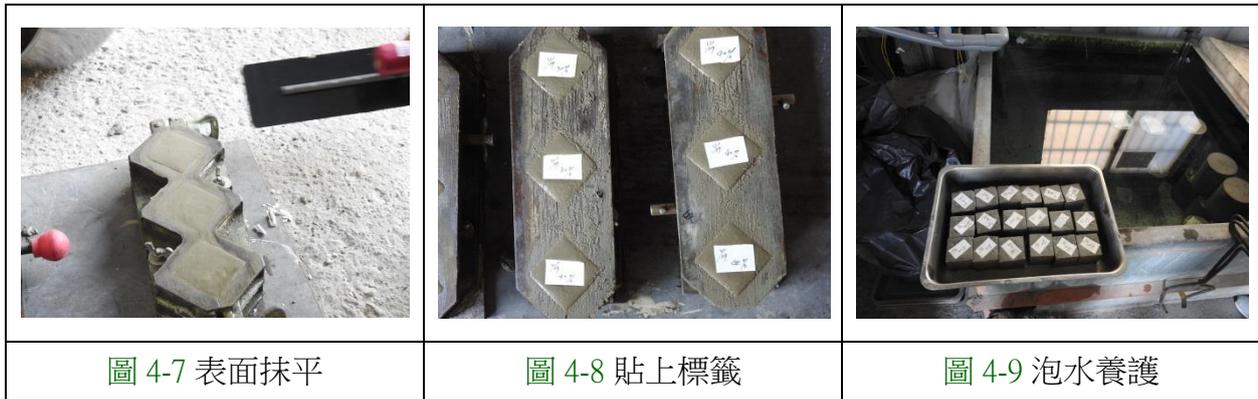
圖 4-4 混合後裝入試體模



圖 4-5 分層搗實



圖 4-6 敲擊填滿及排除氣泡



圖四 試體製作步驟

靜置完成後，分別依 3 天、7 天及 28 天齡期送至實驗室進行抗壓試驗，試驗結果表 2-2、2-3 及 2-4。

表 2-2 齡期 3 天的抗壓強度

混和比例(%)	試體一(kgf/cm ²)	試體二(kgf/cm ²)	試體三(kgf/cm ²)	平均值
0	454	435	435	441.33
10	421	375	412	402.67
20	393	329	372	364.67
30	328	338		333.00
40	301			301.00
50	302		287	294.50

表 2-3 齡期 7 天的抗壓強度

混和比例(%)	試體一(kgf/cm ²)	試體二(kgf/cm ²)	試體三(kgf/cm ²)	平均值
0	621	597	612	610.00
10	460	502	531	497.67
20	401			401.00
30	358	349		353.00
40	335		327	331.00
50	330	329	327	328.67

表 2-4 齡期 28 天的抗壓強度

混和比例(%)	試體一(kgf/cm ²)	試體二(kgf/cm ²)	試體三(kgf/cm ²)	平均值
0	777	774	796	782.33
10	657	667	668	664.00
20	550	518		534.00
30	441	438	445	441.33
40	415		423	419.00
50	426	407		416.50

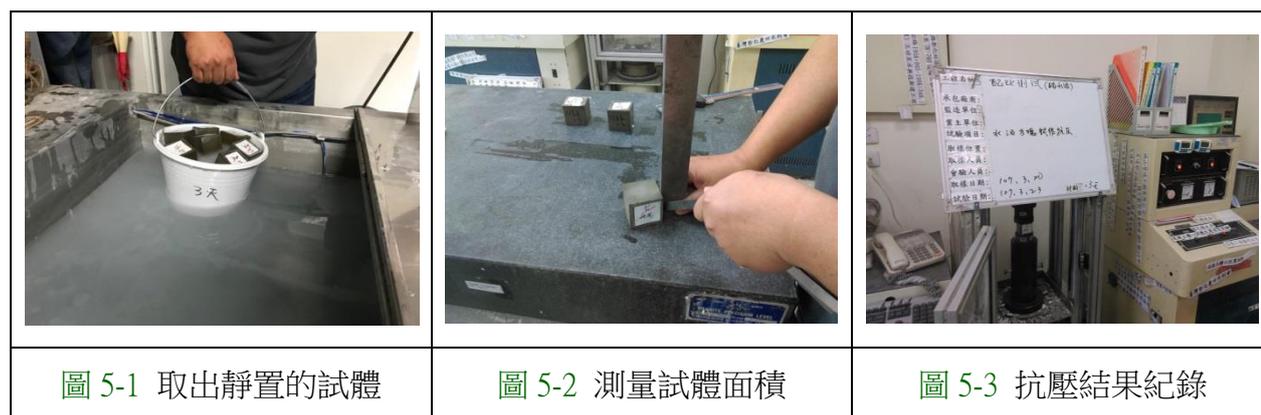
以上 3 表有些數據是空著的，因為在做抗壓測試之前就已發現這些試體上有出現裂縫，因此做出來的數據是不準確的。

3. 實驗 3：探討齡期不同的試體強度大小

這次的實驗分別為 3 天的短期強度、7 天中期強度和 28 天的長期強度，三種不同齡期，並取出不同比例相同天數的平均後，再做比較，步驟如表 3-1 及圖五。

表 3-1 製作試體步驟

製作試體步驟	1.重複實驗 2 的步驟 1-7。
	2.靜置養護 3 天、7 天、28 天。
	3.取出試體，開始測量，步驟如圖五。



圖五 試體測量步驟

分別在 3、7 及 28 天至實驗室進行抗壓測試後，得到 3 天、7 天及 28 天的試體抗壓強度平均值，結果如表 3-2。

表 3-2 齡期 3 天、7 天即 28 天平均抗壓強度

齡期 混和比例(%)	3 天(kgf/cm ²)	7 天(kgf/cm ²)	28 天(kgf/cm ²)
0	441.33	610.00	782.33
10	402.67	497.67	664.00
20	364.67	401.00	534.00
30	333.00	353.50	441.33
40	301.00	331.00	419.00
50	294.50	328.67	416.50

4. 實驗 4 :探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊之含水量多寡

分別檢測烘乾前(面乾內飽和狀態)與使用烘箱烘乾後的試體重量，**兩數據相減後即可得知此種比例的含水量**。此項實驗在製作完試體後，將試體置入養生池中，一段時間完全飽和後，取出，將表面擦乾秤重，放進烘乾箱中，一段時間後取出並且測量試體的重量、計算重量減少量及含水量，步驟如表 4-1 及圖六。

表 4-1 計算試體含水量步驟

計算試體含水量	1. 製作 5 乘 5 的方塊試體，為蚵殼粉含量 0%、10%、20%、30%、40%及 50%。
	2. 將試體於室溫下浸入水中 24 小時， 確保試體表面空隙吸飽水 (不連續的孔隙不會有水進入)。
	3.用毛巾擦乾試體表面。將試體擦乾至飽和的 表面乾燥狀態 。
	4.在試體表面上沒有可見的水膜跡象，測定試體質量。
	5.將試體上都標出 A1、A2、A3、B1、B2 一直到 F3 ，方便記錄與最後的數據比較。



圖六 計算試體含水量步驟

將各組試體進行烘乾前(面乾內飽和狀態)及烘乾後重量試驗，試驗結果如表 4-2 及 4-3，計算其重量差異如表 4-4 及其含水量如表 4-5。

表 4-2 各組試體烘乾前(面乾內飽和狀態)重量表

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)B
0(A)	248.4	248.5	246.3	247.73
10(B)	253.6	253.6	252.9	253.36
20(C)	248.7	245.8	249.4	247.96
30(D)	262.4	262.6	263.0	262.66
40(E)	253.3	252.5	251.5	252.43
50(F)	251.1	256.5	257.3	254.96

表 4-3 各組試體烘乾後重量表

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	218.5	217.4	216.7	217.5
10(B)	224.6	224.1	223.2	224.0
20(C)	223.1	219.7	222.7	221.8
30(D)	235.5	236.9	238.5	237.0
40(E)	230.4	229.4	226.7	228.8
50(F)	229.0	232.4	234.8	232.1

表 4-4 各組試體烘乾前後水分變化量

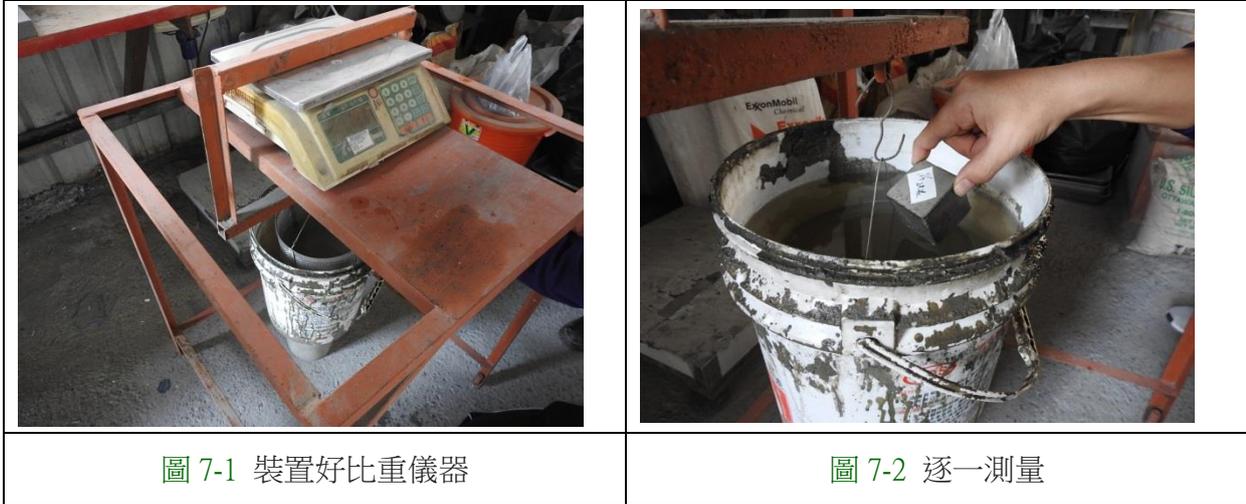
試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	29.9	31.1	29.6	30.2
10(B)	29.0	29.5	29.7	29.4
20(C)	25.6	26.1	26.7	26.1
30(D)	26.9	25.7	24.5	25.7
40(E)	22.9	23.1	24.8	23.6
50(F)	22.1	24.1	22.5	22.9

表 4-5 各組試體含水量

試體含水量 混和比例(%)	試體一(%)	試體二(%)	試體三(%)	平均值(%)
0(A)	13.68	14.30	13.65	14.87
10(B)	13.91	13.16	13.30	13.45
20(C)	11.47	11.87	11.98	11.77
30(D)	11.42	10.84	11.33	11.19
40(E)	9.93	10.06	10.93	10.30
50(F)	9.65	10.37	9.58	9.86

5.實驗 4：探討不同混合比例的試體比重

此試驗的比重需要利用到空氣中烘乾的樣品質量、空氣中面乾內飽和的質量以及水中的質量，實驗步驟如圖七。



圖七 測量容積比重步驟

在實驗 3 中，本組已測得空氣中烘乾的樣品質量與空氣中面乾內飽和的質量，只需再將試體一一放入水中測量質量的儀器當中，如圖八，試驗結果如表 5-1，即可計算出此試體的比重。

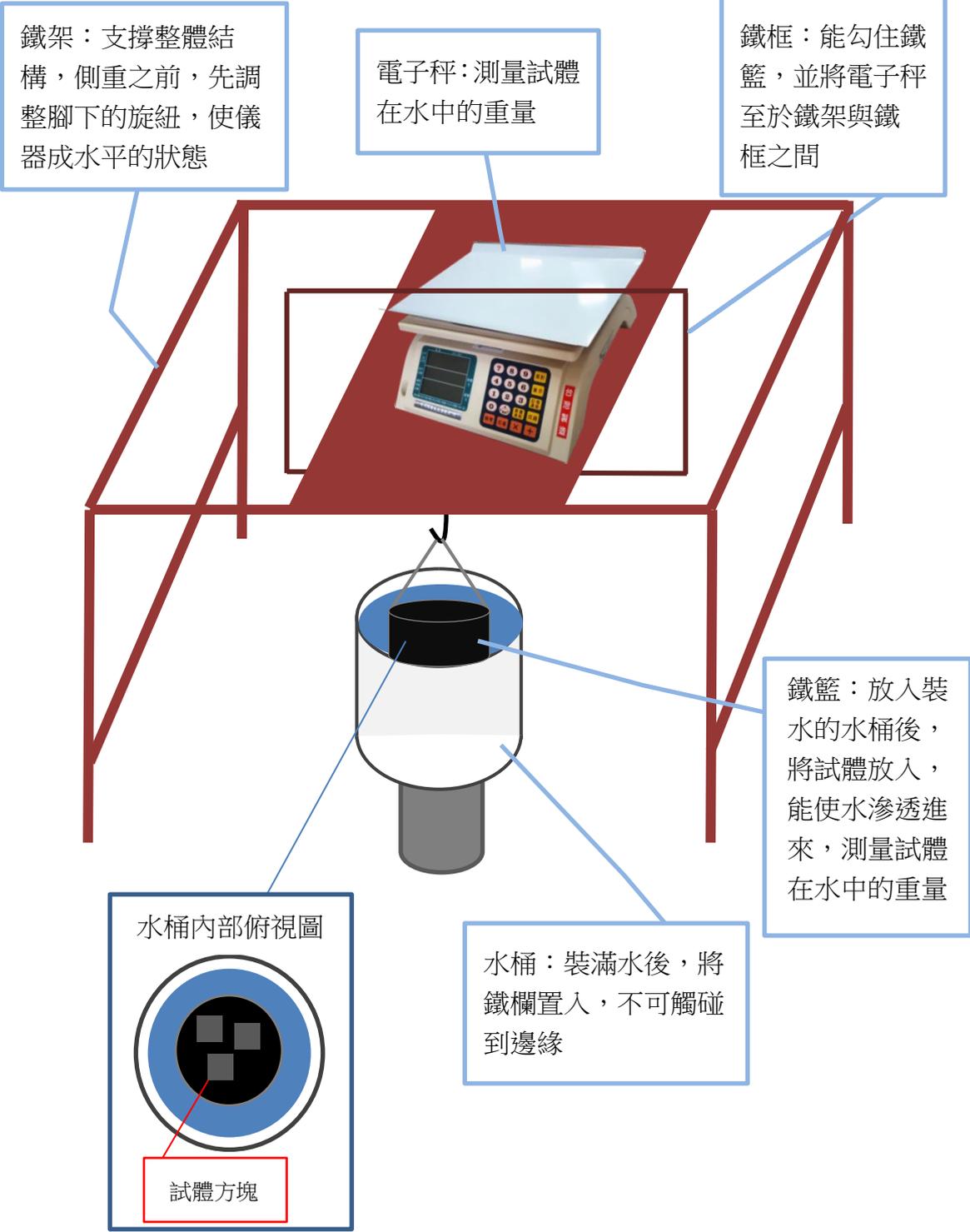


表 5-1 各組試體含水量浸水重量表

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)C
0(A)	128.1	127.9	127.3	127.8
10(B)	128.7	129.3	128.5	128.8
20(C)	125.4	122.9	125.1	124.5
30(D)	130.7	132.1	131.2	131.3
40(E)	125.8	127.8	125.2	126.3
50(F)	125.0	127.6	128.2	126.9

此表為試體放入儀器中所測得的重量，並依據上表 4-2 及 5-1 的 A、B 及 C，在經過公式計算後，即可算出試體的比重，如表 5-2。

$$\text{比重} = B / (B - C)$$

B = 空氣中面乾內飽和樣品的質量 (g)

C = 水中面乾內飽和樣品的質量 (g)

本組需要的數據是方塊面乾內飽和的比重，因此利用上述公式，計算出各試體的比重。

表 5-2 試體比重

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	2.065	2.061	2.070	2.065
10(B)	2.030	2.040	2.033	2.034
20(C)	2.017	2.000	2.006	2.008
30(D)	1.992	2.012	1.995	2.000
40(E)	1.987	2.025	1.991	2.001
50(F)	1.991	1.990	1.993	1.991

6.實驗 5:探討相同時間的吸水量與吸水至飽和的時間關係

本組將做好的試體烘乾後，再進行這次的實驗。將乾燥的試體同時放入水中，並於固定時間測量試體重量，並一一記錄下來。此試驗計算含水量的方法與前一項實驗相同，利用浸水後的重量扣掉乾燥時重量，再除以乾燥的重量，即可比較出此試體的含水量，步驟如表 6-1 及圖八。

表 6-1 吸水性步驟

測試吸水性步驟	1.將試體放入水中。
	2.分別測量吸水前、10 分鐘後、20 分鐘後、30 分鐘後、40 分鐘後、50 分鐘後、60 分鐘後，接下來每隔 30 分鐘測量一次，直到有試體飽和，不再吸水。各組試驗結果如表 5-1~5-11。

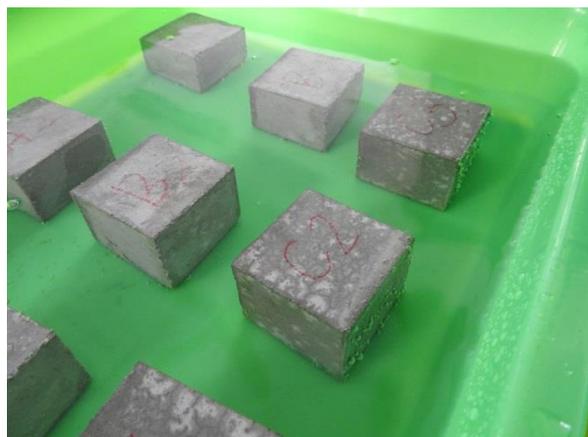


圖 8-1 將試體同時放入水中並開始計時



圖 8-2 固定一段時間，逐一測量試體重量

圖八 測量試體吸水後重量

下表 6-2 到表 6-12 為不同時間的試體重量。

表 6-2 試體吸水前的重量(烘乾重)

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	222.6	221.5	220.4	221.5
10(B)	228.0	227.0	226.4	227.1
20(C)	225.7	222.1	225.5	224.4
30(D)	238.6	239.6	241.1	239.8
40(E)	232.9	231.7	229.4	231.3
50(F)	231.5	235.0	237.1	234.5

表 6-3 試體吸水 10 分鐘後增加重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	16.9	17.8	16.5	17.07
10(B)	18.9	13.9	14.5	15.77
20(C)	8.7	9.2	11.8	9.9
30(D)	7.3	6.6	5.7	6.53
40(E)	4.1	3.9	5.2	4.4
50(F)	3.0	3.9	2.9	3.27

表 6-4 試體吸水 20 分鐘後增加重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	2.5	2.7	2.6	241.2
10(B)	3.0	3.2	3.1	244.0
20(C)	2.7	3.1	2.6	236.3
30(D)	2.4	2.3	2.2	248.6
40(E)	2.9	1.9	2.1	237.5
50(F)	1.4	1.5	1.3	239.2

表 6-5 試體吸水 30 分鐘後增加重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	1.1	1.0	1.0	242.2
10(B)	1.5	1.3	1.7	245.5
20(C)	1.7	1.9	2.5	238.3
30(D)	2.1	2.1	2.1	250.7
40(E)	1.7	1.5	1.5	239.1
50(F)	1.2	1.3	1.2	240.4

表 6-6 試體吸水 40 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	243.9	244.0	241.3	243.1
10(B)	247.2	246.7	246.3	246.7
20(C)	240.0	237.5	241.3	239.6
30(D)	252.2	252.2	252.6	252.3
40(E)	242.0	240.2	239.2	240.5
50(F)	238.2	243.1	243.5	241.6

表 6-7 試體吸水 50 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	244.3	244.3	241.8	243.5
10(B)	247.7	247.2	246.9	247.3
20(C)	240.8	238.3	242.0	240.4
30(D)	253.0	253.2	253.4	253.2
40(E)	242.9	241.2	240.2	241.4
50(F)	239.0	244.0	244.3	242.4

表 6-8 試體吸水 60 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	244.6	244.8	242.2	243.9
10(B)	248.4	247.8	247.6	247.9
20(C)	241.5	239.1	242.7	241.1
30(D)	254.0	254.0	254.1	254.0
40(E)	243.6	241.8	240.9	242.1
50(F)	239.6	244.5	245.0	243.0

表 6-9 試體吸水 90 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	244.9	245.2	242.6	244.2
10(B)	249.0	248.3	248.0	248.4
20(C)	242.3	239.9	243.7	242.0
30(D)	255.6	255.8	255.9	255.8
40(E)	245.6	243.7	243.0	244.1
50(F)	241.3	246.7	246.7	244.9

表 6-10 試體吸水 120 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	245.2	245.5	242.8	244.5
10(B)	249.5	248.8	248.5	248.9
20(C)	243.1	240.7	244.4	242.7
30(D)	256.5	256.6	256.7	256.6
40(E)	246.6	244.7	244.0	245.1
50(F)	242.3	247.7	247.6	245.9

表 6-11 試體吸水 150 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	245.6	245.7	243.3	245.4
10(B)	250.3	249.4	249.0	249.6
20(C)	243.8	241.2	245.0	243.3
30(D)	257.3	257.4	257.7	257.5
40(E)	247.5	245.5	244.9	246.0
50(F)	243.4	248.7	248.6	246.9

表 6-12 試體吸水 180 分鐘後的重量

試體重量 混和比例(%)	試體一(g)	試體二(g)	試體三(g)	平均值(g)
0(A)	246.2	246.3	243.7	244.9
10(B)	250.2	249.2	249.1	249.5
20(C)	244.0	241.6	245.3	243.6
30(D)	257.6	257.9	258.0	257.8
40(E)	248.1	246.1	245.4	246.5
50(F)	243.9	249.3	249.2	247.5

將各組試體增加的水量扣除原重量，再除以原重量即可求出各種不同比率蚵殼粉含量含水量與時間的變化關係，如表 6-13。

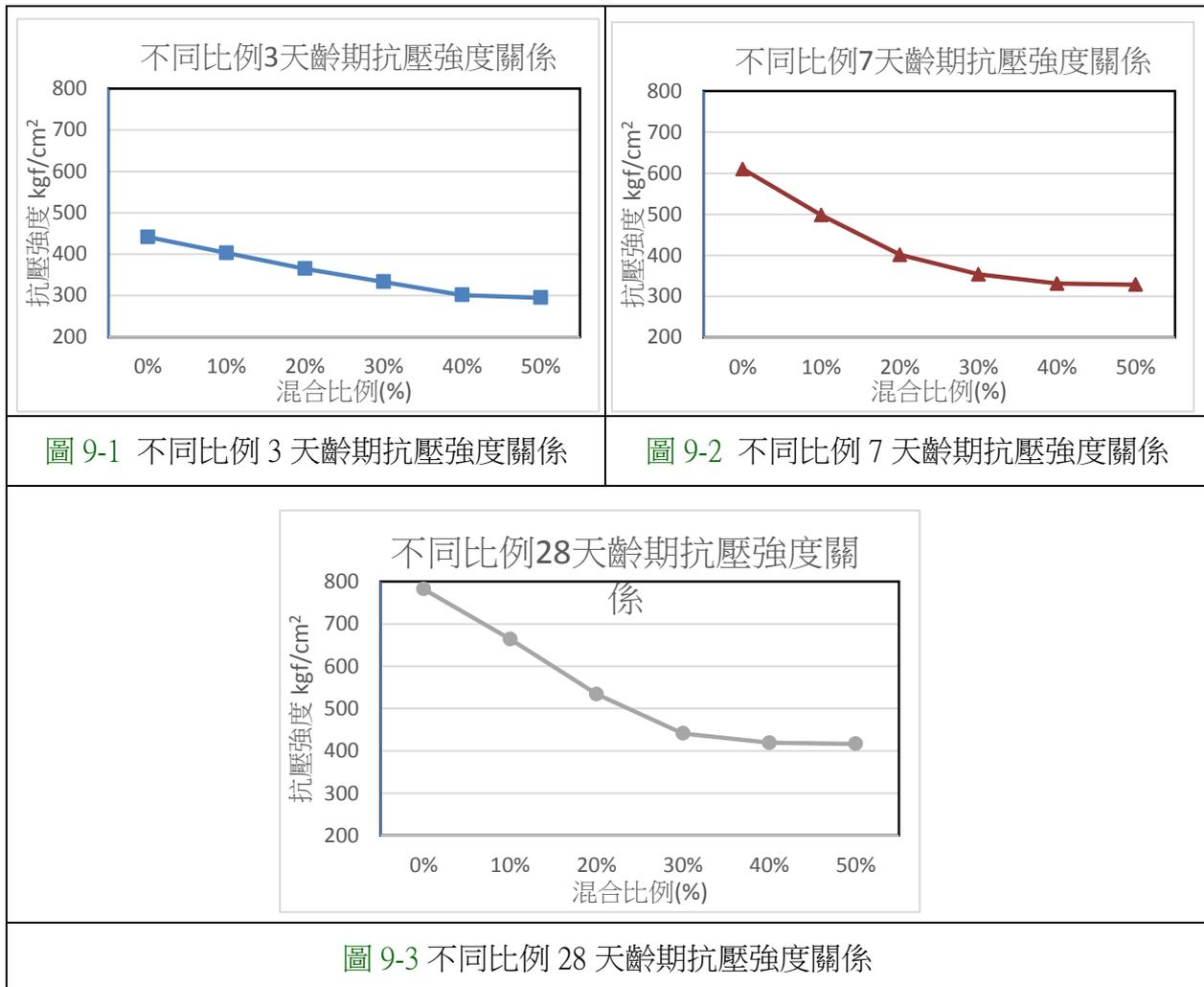
表 6-13 不同比例與不同時間含水量關係

蚶殼粉比例 時間(分)	0%	10%	20%	30%	40%	50%
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
10	7.71%	6.08%	4.02%	2.72%	1.82%	1.39%
20	8.88%	7.44%	5.27%	3.68%	2.67%	1.99%
30	9.35%	8.10%	6.18%	4.56%	3.34%	2.52%
40	9.74%	8.63%	6.76%	5.24%	3.95%	3.01%
50	9.92%	8.86%	7.10%	5.60%	4.37%	3.37%
60	10.10%	9.16%	7.43%	5.95%	4.65%	3.62%
90	10.26%	9.38%	7.81%	6.67%	5.52%	4.42%
120	10.38%	9.60%	8.15%	7.02%	5.95%	4.83%
150	10.61%	9.88%	8.42%	7.38%	6.33%	5.27%
180	10.73%	9.85%	8.55%	7.54%	6.57%	5.51%

伍、研究結果與討論

一、探討同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體齡期不同的強度大小

本組將試體數據製作成折線圖圖九，由折線圖一直呈現下降的趨勢。由此，可以明顯發現沒有添加任何蚵殼粉的耐重強度是最佳的，並得知添加越多蚵殼粉的試體強度逐漸降低。



圖九 不同比例齡期抗壓強度關係

以上 3 個折線圖組合後，發現不管是 3 天、7 天及 28 天齡期的試體，不同比例的試驗結果都差不多，曲線也非常接近，在純水泥的試體中，不同天數的差距較大，到了 50% 就變得非常接近。

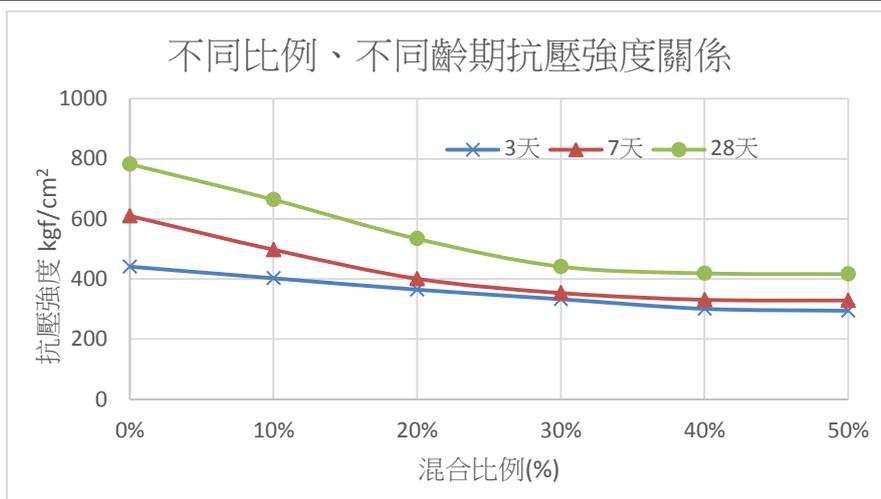


圖 10-1 不同比例、不同齡期抗壓強度關係

圖十 抗壓強度關係

二、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體強度大小

本組將表格數據製作成折線圖，共有以下 6 種，為下圖十一，並歸納出何種比例之蚵殼粉抗壓性較強。

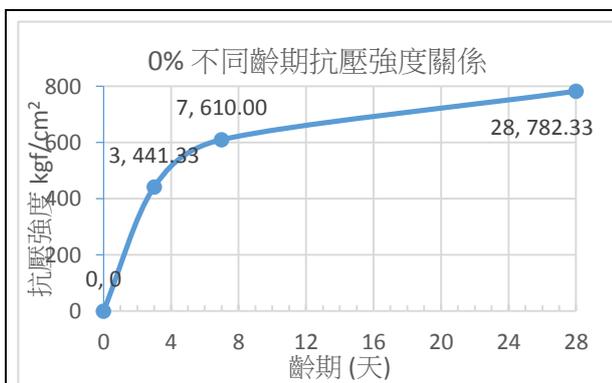


圖 11-1 0%不同齡期抗壓強度關係

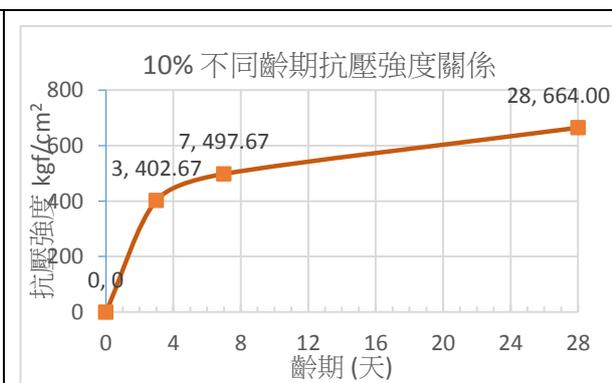


圖 11-2 10%不同齡期抗壓強度關係

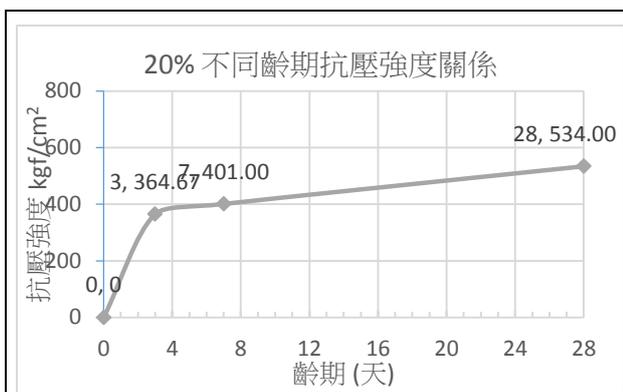


圖 11-3 20%不同齡期抗壓強度關係

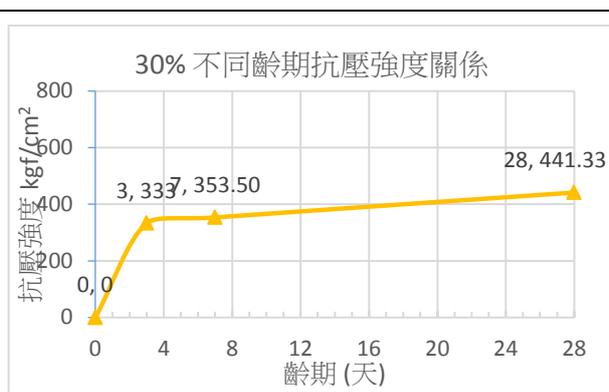


圖 11-4 30%不同齡期抗壓強度關係

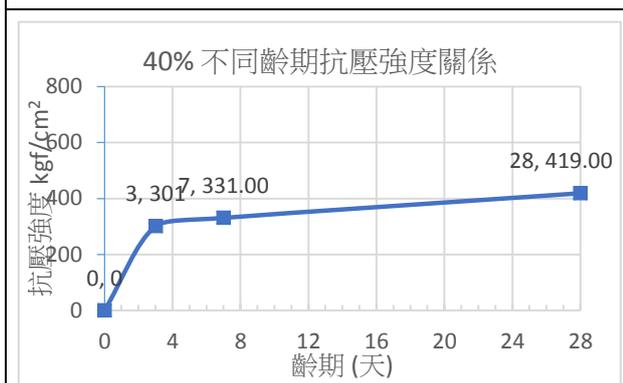


圖 11-5 40%不同齡期抗壓強度關係



圖 11-6 50%不同齡期抗壓強度關係

圖十一 抗壓強度關係圖

由以上圖十一可以得知，不管是何種比例，28 天的試體強度遠遠大於 3 天與 7 天的，而 7 天的又比 3 天的抗壓性大。將以上的圖繪製成同一折線圖如圖十二，即可更清楚的做出比較，可以發現添加不同蚵殼粉其不同齡期的強度變化曲線與純水泥均有一定的關係。亦可以發現，添加蚵殼粉比率達 40%及 50%時，其強度趨近一致。

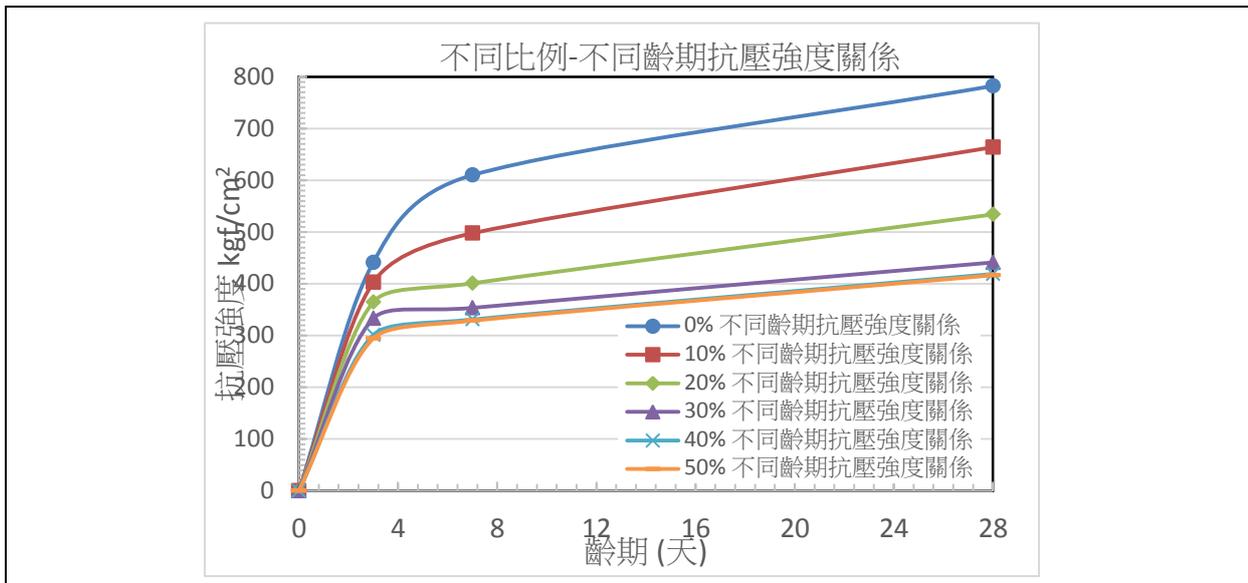


圖 12-1 不同比例-不同齡期抗壓強度關係

圖十二 抗壓強度關係

三、實驗一及實驗二之抗壓強度分析與討論

由以上兩項實驗結果得出，以蚵殼粉取代部分砂石的抗壓強度雖然不比純水泥的效果佳，但根據內政部營建署的「結構混凝土設計規範」中規定之最低結構混凝土規定抗壓強度提高為 245kgf/cm^3 ，而本組的每種試體抗壓強度皆大於規定的標準。因此是一個很好的利用方式，但因為在海邊的蚵殼粉含有過多的氯離子，無法用於有鋼筋的建材，會使鋼筋容易生鏽。可運用於人行道地磚、圍牆等無筋混凝土的使用，再加上如果吸水性佳、時效性長，可以做為很好的環保建材替代品。

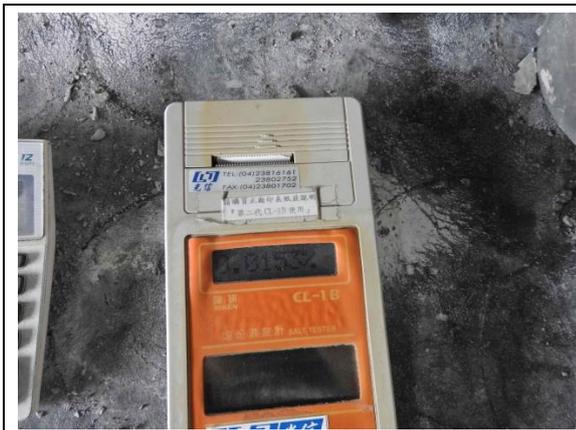


圖 12-1 不同比例-不同齡期抗壓強度關係

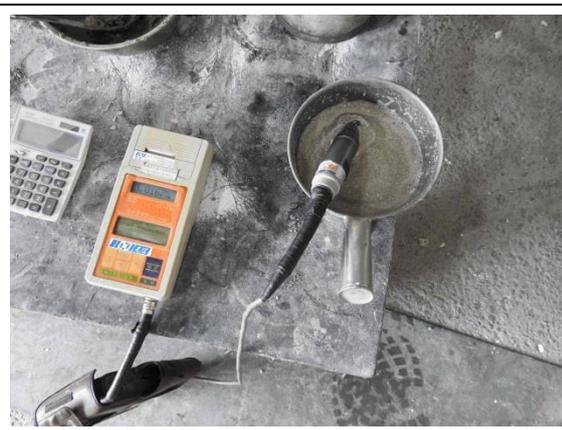


圖 12-1 不同比例-不同齡期抗壓強度關係

圖十二 測試氯離子含量

四、 探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊之含水量多寡

依試驗結果，計算出不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊之含水量，如圖由此結果得知含水量將隨不同比例之蚵殼粉增加而呈現下降的趨勢如圖 13-1，即含水量 $0\% > 10\% > 20\% > 30\% > 40\% > 50\%$ ，結果顯示，蚵殼粉越多，含水量就越少。

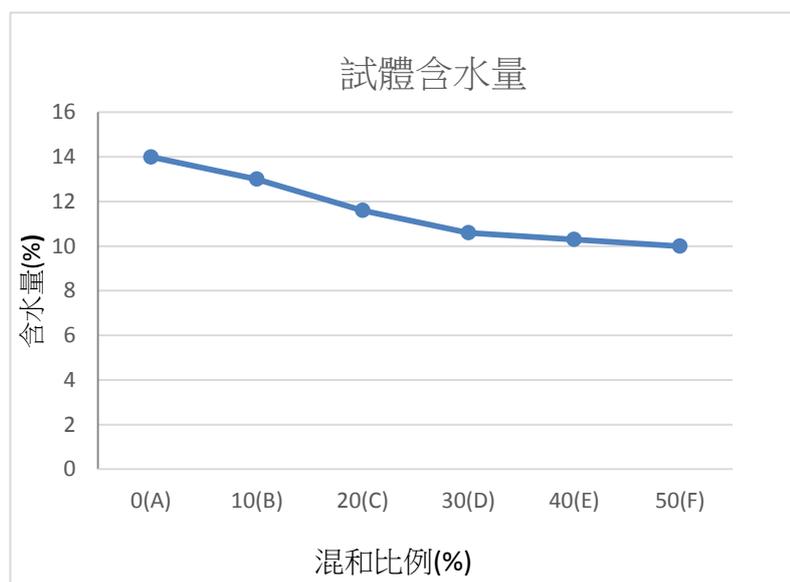
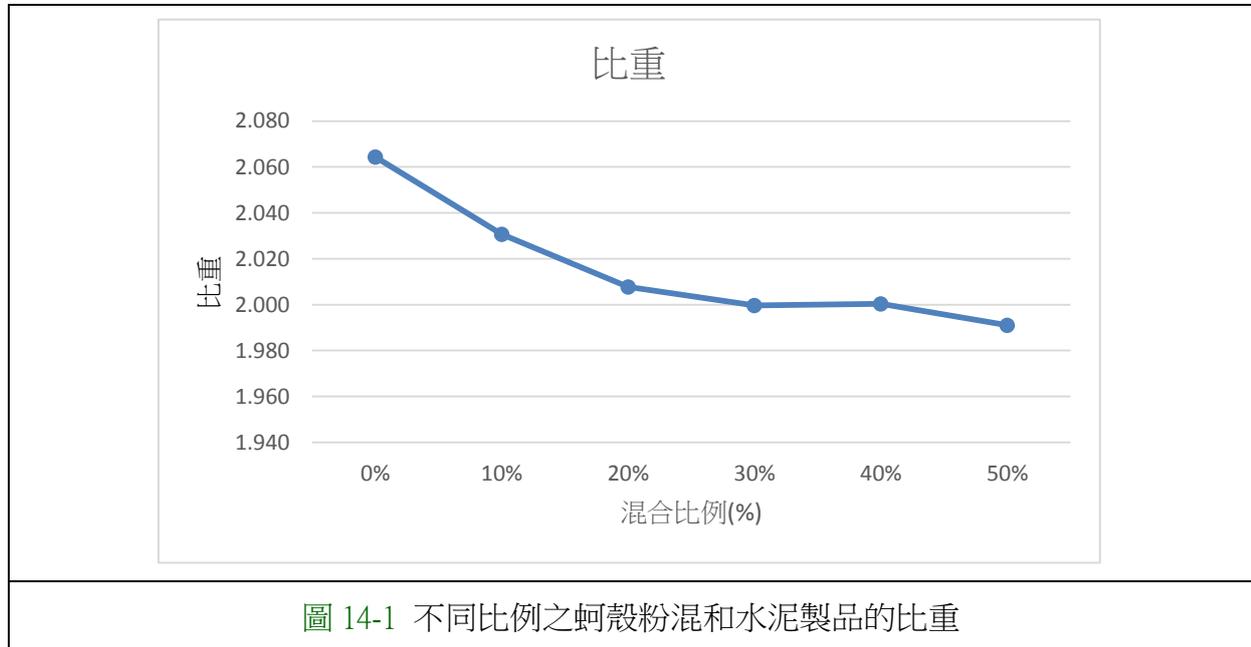


圖 13-1 不同比例試體烘乾前後含水量(%)

圖十三 試體烘乾前後含水量(%)

五、探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製品的比重

我們利用實驗 3 的結果延續，實驗 4 中測量了試體在水中的質量，並計算成各個試體的比重，如圖十四。



圖十四 蚵殼粉混和水泥製品的比重

由圖十四可以發現，比重將隨不同比例之蚵殼粉增加而呈現下降的趨勢，即表示越來越輕；比重大小為 0%>10%>20%>30%=40%>50%，結果顯示，蚵殼粉越多，比重就越小。而重量輕的試體不只可以減少運送的費用，在施工、建築上都是一項優勢。

六、探討相同時間之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體吸水量與達飽和的時間

本組將試體同時放入水中，剛開始每隔 10 分鐘測量一次，6 次之後，發現每段時間的吸水量沒那麼多了，因此改為 30 分鐘測量一次，從 60 分鐘到 180 分，一共測了 4 次，在 180 分鐘時，發現有幾組已經停止吸水，包括純水泥的組和 0% 的 1 組。其試驗結果如圖十五。

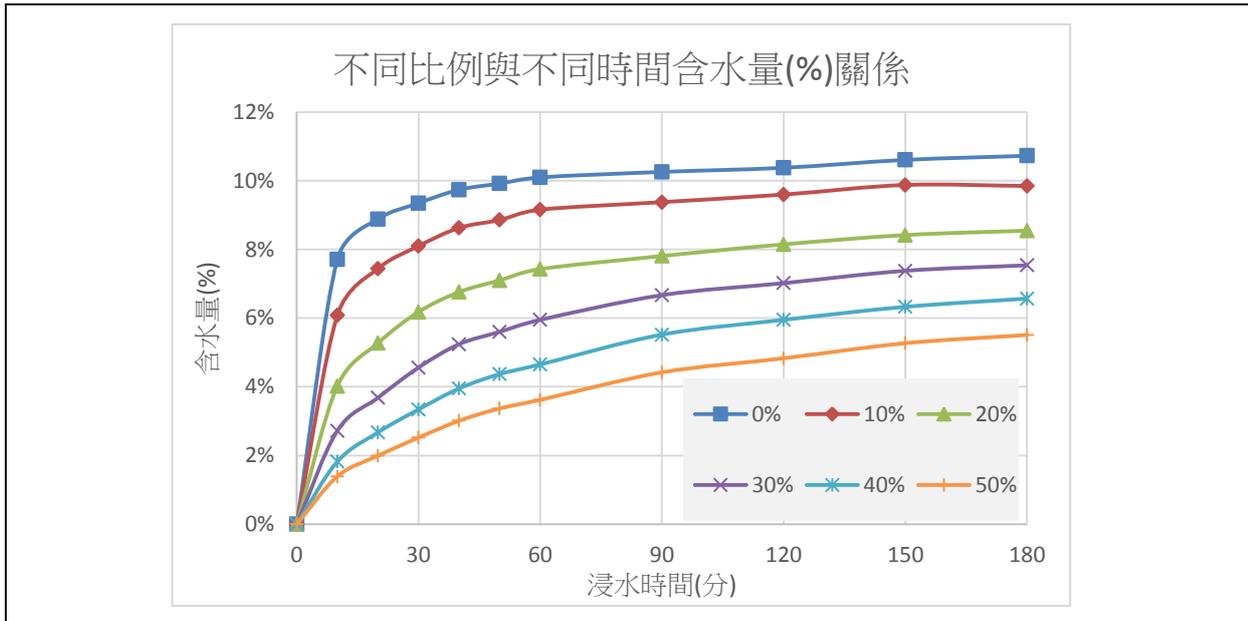


圖 15-1 不同比例與不同時間含水量關係

圖十五 不同時間含水量關係

由圖十五得知，**蚵殼粉含量越少的含水量越大**，50%的含水量最小，六條線的曲線非常相近，都是在剛開始上升最快，時間越久，**上升速率越慢**，代表孔隙都已大致吸滿，水只能緩慢的擠入空隙中。而一直到 180 分鐘時，發現 0%的已經停止吸水，這表示無添加蚵殼粉的吸水效果很快就停止了，這項缺點使 0%的試體較不適合用於綠建築，因為容易有下雨過久而產生積水的現象。

本組發現，**總吸水量為 10%>0%>20%>30%>40%>50%**，而 20%、30%、40%、50%的**吸水是能夠持久的**，這些以蚵殼粉取代水泥的方塊試體不只環保，在吸水及持久性這方面都有很高的標準，很適合用於磚、或容易積水，需有長期吸水效果的地方。

七、實驗三及實驗五之吸水性分析與討論

綜合以上幾項結論，吸水效果、持久性以及重量輕和環保，都是以蚵殼粉代替水泥製程方塊試體的優點，有了這項替代品，運用在綠建築上，減少了砂石的開採，更能夠達到綠建築生態、節能、減廢和健康這 4 大指標中的「減廢」功能，讓廢棄物再利用，並減少原料的開採。

陸、結論

- 一、由實驗一，探討同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體齡期不同的強度大小，發現：**放置天數的抗壓效果:28天>7天>3天**，28天的試體強度遠遠大於3天與7天的，而7天的又比3天的抗壓性大。且添加不同蚵殼粉其不同齡期的強度變化曲線與純水泥均有一定的關係。亦可以發現，添加蚵殼粉比率達40%及50%時，其強度趨近一致。
- 二、由實驗二，探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體強度大小，發現：**抗壓效果:0%>10%>20%>30%>40%>50%**，沒有添加任何蚵殼粉的抗壓強度是最佳的，並得知添加越多蚵殼粉的試體強度逐漸降低，但**皆達到抗壓標準**。
- 三、由實驗三，探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊之含水量多寡，發現：**含水量多寡:0%>10%>20%>30%>40%>50%**，結果顯示，蚵殼粉越多，含水量就越少。
- 四、由實驗四，探討不同比例之蚵殼粉混合水泥製品的比重，發現：**試體比重大小:0%>10%>20%>30%>40%>50%**，結果顯示，蚵殼粉越多，比重就越小。而重量輕的試體不只可以減少運送的費用，在施工、建築上都是一項優勢。
- 五、由實驗五，探討相同時間之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體吸水量與達飽和的時間，發現：**總吸水量:10%>0%>20%>30%>40%>50%**，而20%、30%、40%、50%的吸水是能夠持久的，這些以蚵殼粉取代水泥的方塊試體不只環保，在吸水及持久性這方面都有很高的標準，很適合用於磚、或容易積水，需有長期吸水效果的地方。
- 六、由實驗五，探討相同時間之蚵殼粉混合水泥製作出的方塊試體吸水量與達飽和的時間，發現：**0%的試體吸水時效性短**。

柒、未來展望

山上的步道如果是使用水泥製作，因為重量重不易搬運，而且會破壞生態，又如果換用木頭製作，下雨過後就會變得十分濕滑，可能會影響爬山的人的安全，若能改為蚵殼粉來製作的話，不但重量輕、價格便宜而且穩固，吸水時效也很長，還能間接減少海邊蚵殼的堆積量，達到廢物利用的效果如圖十六。



圖十六 本組想像圖

捌、參考資料

- 一、王咸永等(2018)。蚵殼心、離岸情—探討蚵殼生態人工礁作為離岸堤之可行性研究。中華民國第 58 屆中小學科展國小組地球科學科。國立臺灣科學教育館。
- 二、陳家柔等(2015)。水來「蚵」擋—蚵殼粉製成沙包之可行性研究。中華民國第 55 屆中小學科展國小組生活與應用科學科。國立臺灣科學教育館。
- 三、技師報-結構混凝土規定抗壓強度之最低設計強度修訂(<http://etimes.twce.org.tw/>)。
- 四、施志安(2017)。土木工程概要。鼎文書局。p28-29。
- 五、王派文(2016)。不花一毛錢的小旅行: 超有料博物館。五南圖書出版股份有限公司。p36
- 六、水泥是什麼東西組成及混合其他物質的變化 (<https://www.youtube.com/watch?v=P4G1jHJAzd4>)。