

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

080807

酷庫石的七十二變

學校名稱：新北市土城區安和國民小學

作者：	指導老師：
小六 翁善羚	楊仁理
小六 黃依鈞	謝慧俐
小六 林書瑋	
小六 王寬裕	
小六 鄭偉倫	
小五 李昀軒	

關鍵詞：酷庫石

# 酷庫石的七十二變

## 摘要

我們對酷庫石進行理化特性、建材、基土、淨水和海綿城市的研究，希望為酷庫石找到新願景。

我們發現酷庫石：一、具有密度小、輕質、弱鹼性、吸水性不錯之理化特性。二、運用於建材可有效的隔熱防水，增加透氣和抗壓性，小陶石建材隔熱，透氣和抗壓效果都很好，可疏通水氣防止壁癌產生，也適合作為須高抗壓的橋面使用，是很值得開發的建材。三、作為植物基土因濕度較低，適合厚葉耐旱植物，輕質可回收使用但有機質較少較貧脊，須注重施肥。四、其多孔隙材質可吸附更多雜質和著生大量生物膜，去濁度和氨氮效果非常好，具有良好的淨水效果。五、作為蓄水層打造海綿城市，可增加蓄水量對抗旱災，並蒸發大量水氣有效降低城市溫度。

關鍵詞：酷庫石

## 壹、研究動機

「酷庫石」是大陶石、小陶石、煉石、礫石的統稱，大陶石、小陶石是水庫淤泥燒製的，堅固、質輕、多孔隙；煉石是黏土燒製的質輕、通氣良好；礫石是小石頭，堅固易取得；我們覺得它們很酷加上有的來自水庫，於是將它們命名為「酷庫石」。

酷庫石讓我們遙想當年花果山吸收日月精華的靈石，孕育出機智勇氣七十二變孫悟空！期待這些酷庫石一如花果山靈石，可以創造自己的七十二變！我們依據酷庫石堅固、質輕、多孔隙和通氣性等特徵，探究酷庫石的：一、理化特性。二、建材效益。三、基土效益。四、淨水效益。五、海綿城市效益。期待這些研究可以為酷庫石尋找新願景，並推廣其潛力。

## 貳、研究目的

### 一、研究酷庫石的理化特性

- (一)酷庫石之密度
- (二)酷庫石之酸鹼性
- (三)酷庫石之吸水性

### 二、研究酷庫石之建材效益

- (一)酷庫石建材之隔音效果
- (二)酷庫石建材之隔熱效果
- (三)酷庫石建材之透氣防水效果

(四)酷庫石建材之抗壓效果

### 三、研究酷庫石之基土效益

(一)酷庫石基土之濕度效果

(二)酷庫石基土之植物存活率

(三)酷庫石基土之植物生長效果

### 四、研究酷庫石之淨水效益

(一)酷庫石淨水器之酸鹼值效果

(二)酷庫石淨水器之溶氧效果

(三)酷庫石淨水器之濁度效果

(四)酷庫石淨水器之氨氮效果

### 五、研究酷庫石之海綿城市效益

(一)酷庫石夾層組合之承載效果

(二)酷庫石夾層組合之逕流、滲水、蓄水效果

(三)酷庫石夾層組合之蒸發效果

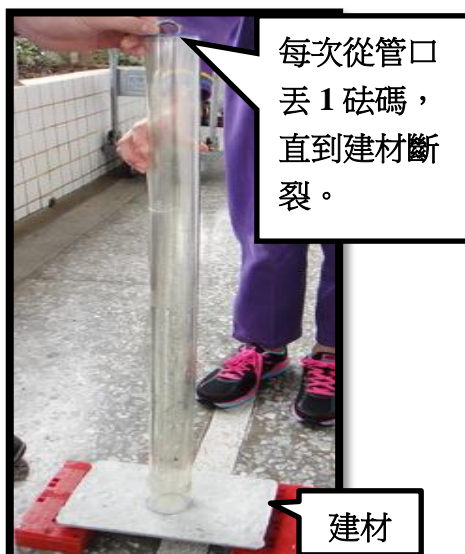
## 參、研究設備及器材

### 一、使用器材

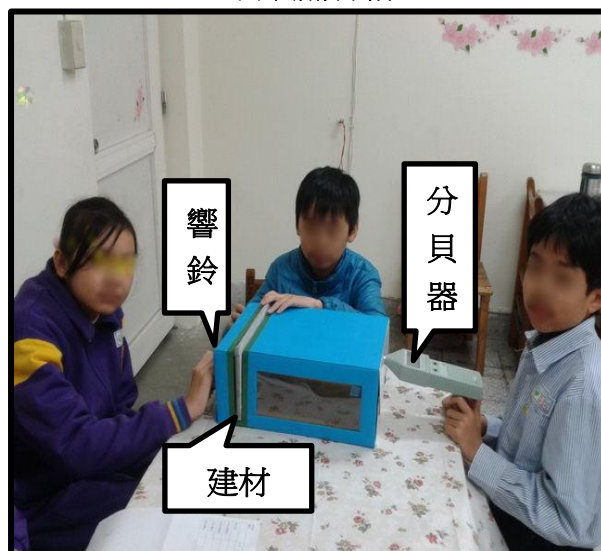
水質酸鹼計、計時器、電子天平、剪刀、30cm 直尺、燒杯、水族箱、濾水器、過手香、溫度計、分貝器、響鈴、酒精燈、溶氧計、濁度計、氨氮檢測劑。

### 二、

自製建材抗壓檢測儀



自製隔音箱



### 三、酷庫石

期待酷庫石一如花果山靈石，也能創造屬於它自己的 72 變

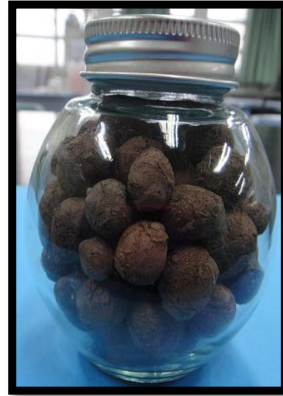
大陶石



小陶石



煉石



礫石



### 肆、研究過程與方法

#### 4-1 研究一：酷庫石之理化特性。

我們先研究酷庫石的理化特性，以便對酷庫石有基本了解。我們分別探究酷庫石的密度、酸鹼性、吸水性。

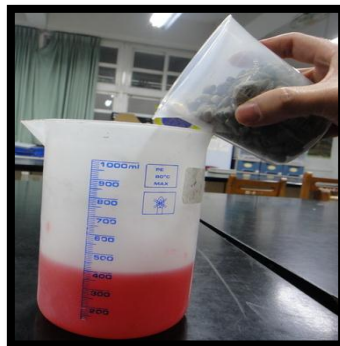
##### 4-1-1 實驗過程：(過程見圖一、二；記錄見附件一)

- (一)各種酷庫石取一杯( $250\text{cm}^3$ )秤重，利用阿基米德方法測量體積計算密度。
- (二)各種酷庫石取一杯( $250\text{cm}^3$ )，置於 1000cc 燒杯中，加入 200cc 水，攪拌後，放置 1 天，測量水份的酸鹼性。
- (三)完成各種酷庫石水份的酸鹼性測量後，以篩網瀝乾測量各種酷庫石的吸水率(吸水量/原重)。

取一杯酷庫石秤重  
( $250\text{cm}^3$ )



酷庫石秤重後倒入裝水 400cc 燒杯



酷庫石體積=  
水的總體積-400cc

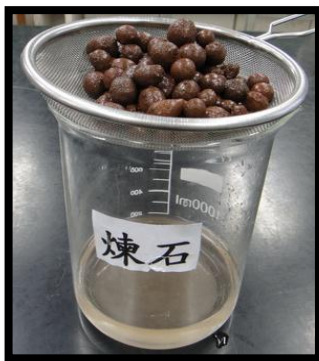


圖一 酷庫石密度實驗

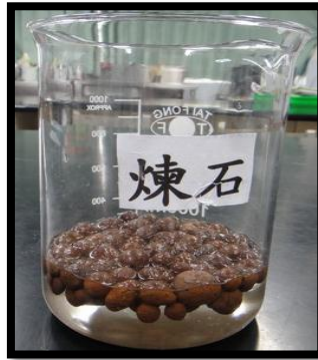
測量酷庫石原重



泡水酷庫石瀝乾秤重



酷庫石泡水一天



測量酷庫石濕重，計算吸水量  
(濕重-原重)



一天後測水中酸鹼值



圖二 酷庫石酸鹼值和吸水性實驗

#### 4-1-2 實驗結果：

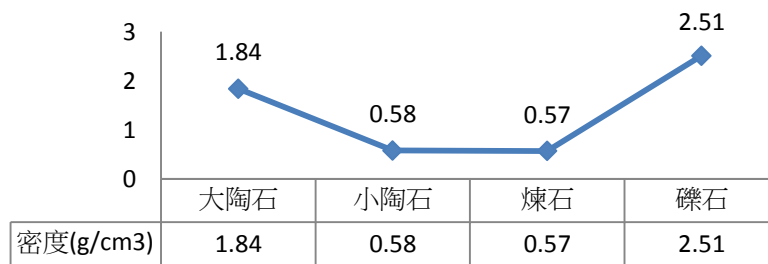


圖4-1-1 酷庫石密度值

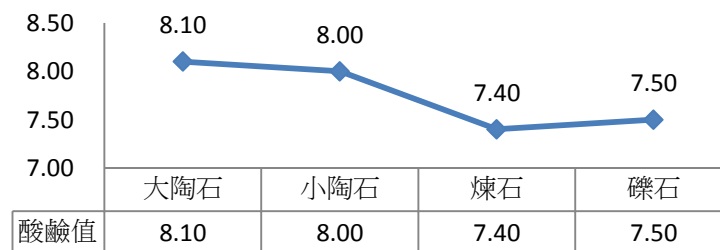


圖4-1-2 酷庫石酸鹼值

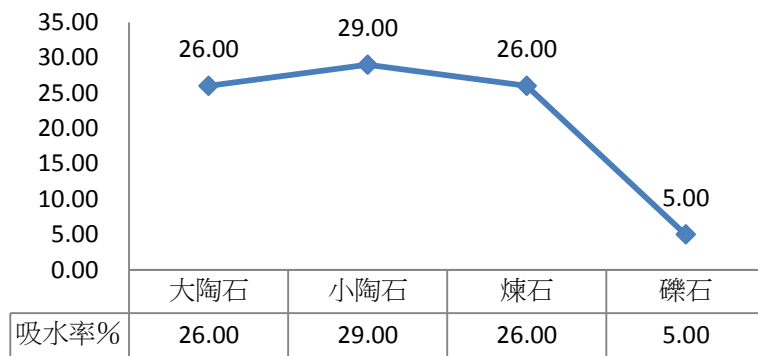


圖4-1-3 酷庫石吸水率

#### 4-1-3 實驗發現：

- 1.由圖 4-1-1 發現密度煉石最小  $0.57\text{g/cm}^3$ ，礫石最大  $2.51\text{g/cm}^3$ 。
- 2.由圖 4-1-2 發現酸鹼性煉石最小 7.4，大陶石最大 8.1，酷庫石皆為弱鹼性。
- 3.由圖 4-1-3 發現吸水性礫石最差，多孔隙材質的小陶石最好，大陶石、煉石次好。

#### 4-2 研究二：酷庫石之建材效益。

- 1.經過理化特性研究，發現酷庫石質輕、多孔隙和弱鹼性，又搜尋得知大小陶石堅固煉石透氣性佳，希望利用這些特性，做出輕質、抗壓、透氣、防潮、不腐蝕鋼筋的建材。
- 2.酷庫石之建材效益，分別探究隔音效果、隔熱效果、透氣效果、防水效果、抗壓效果。

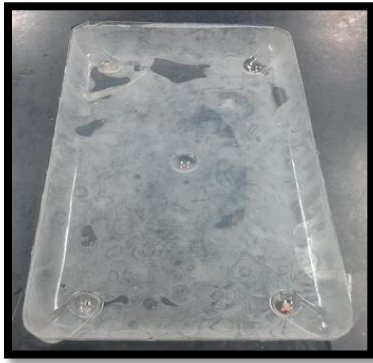
##### 一、酷庫石建材之隔音效果

#### 4-2-1 實驗過程：(過程見圖三、四、五；記錄見附件二)

##### (一)製作酷庫石建材

- 1.準備模型 A-E，A 不放酷庫石，B-E 分別放入  $250\text{cm}^3$  的大陶石、小陶石、煉石、礫石 (見圖三)。

**A** 不放任何酷庫石



**B** 大陶石



**C** 小陶石



**D** 煉石



**E** 礫石



**圖三 製作酷庫石建材**

2.調製好的水泥漿，倒入模型 A-E(見圖三)，製成 F-J 之傳統和酷庫石建材(見圖四)。

**F** 傳統建材(不放酷庫石)



**G** 大陶石建材



**H** 小陶石建材



**I** 煉石建材



**J** 礫石建材



**圖四 酷庫石建材製成品一**

(二)進行酷庫石建材之隔音效果實驗

1.將建材F-J(見圖四)放在隔音箱中進行隔音實驗，觀察並記錄結果，建材F-J皆進行5次實驗，每種建材皆取5次實驗最高分貝值的平均值為實驗數據(見圖五)。



圖五 酷庫石建材隔音效果實驗

4-2-2 實驗結果：

1.酷庫石建材之隔音實驗結果如圖4-2-1

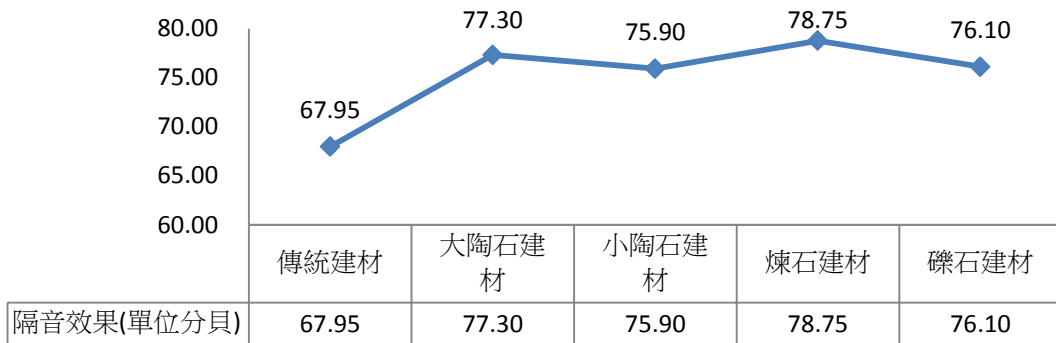


圖4-2-1 酷庫石建材隔音效果 ———— 隔音效果(單位分貝)



#### 4-2-3 實驗發現：

- 1.由圖 4-2-1 隔音效果最好的是傳統建材，最差的是煉石建材。
- 2.酷庫石建材大都是多孔隙材質，隔音效果較不如傳統建材，須加強隔音設備。

#### 二、酷庫石建材之隔熱效果

##### 4-2-4 實驗過程：(見圖六、七)

(一)在酷庫石建材 F-J 中心的前後左右每隔 1 公分滴 3 滴燭油(見圖六)。

酷庫石建材的前後左右各滴上 3 滴大小相同的燭油

表面溫度計



圖六 滴上燭油的酷庫石建材

(二)進行酷庫石建材之隔熱效果實驗

- 1.用同一酒精燒酷庫石建材 F-J，紀錄燭油融化的時間及此時表面溫度，見圖七。

用酒精燃燒酷庫石建材

燭油融化中

測表面溫度



圖七 酷庫石建材隔熱效果實驗

#### 4-2-5 實驗結果：

表 4-2-1 酷庫石建材隔熱效果(單位°C)

	蠟油融掉時 建材表面溫 度	排序	全部蠟油融 掉時間	排序	燃燒 3 分鐘 時建材表面 溫度	排序
F 傳統建材	85	1	6 分 36 秒	2	62	1
G 大陶石建材	73	4	7 分 48 秒	4	47	4
H 小陶石建材	73	4	8 分 55 秒	5	39	5
I 煉石建材	76	3	7 分 43 秒	3	53	3
J 礫石建材	85	1	5 分 54 秒	1	61	2

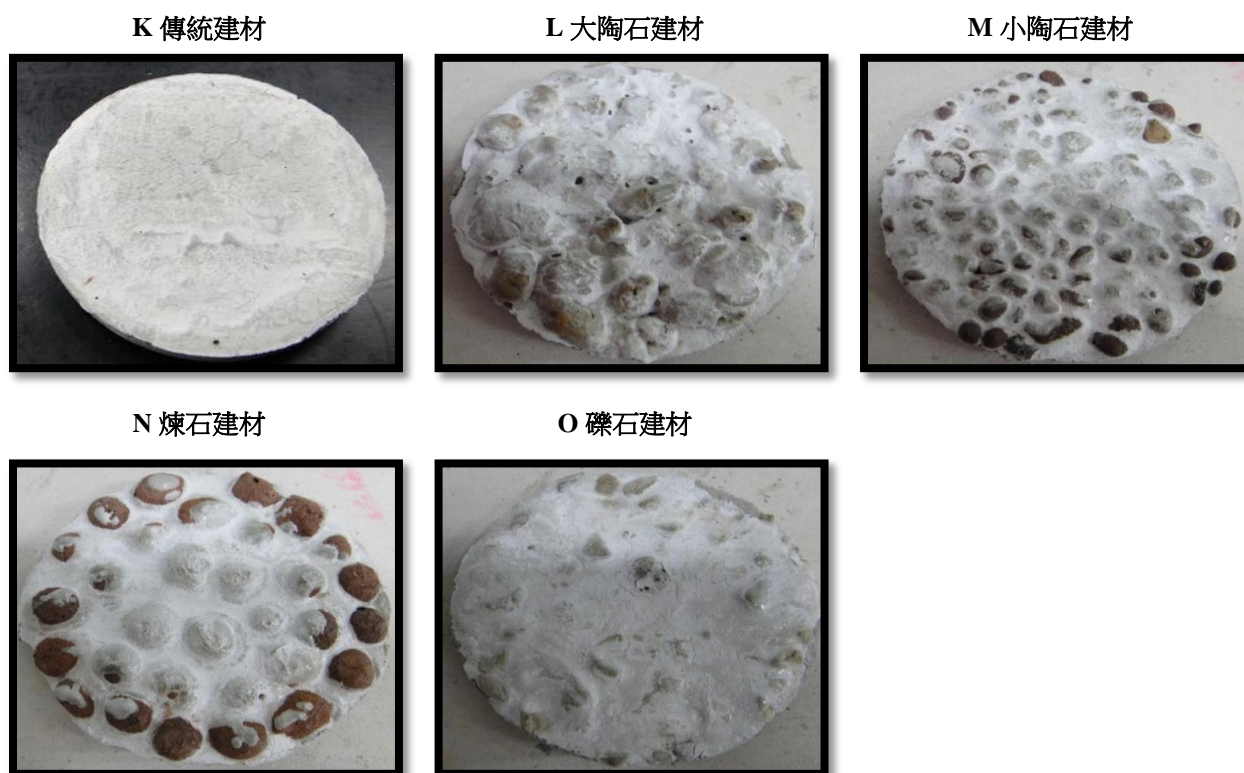
#### 4-2-6 實驗發現：

- 1.由表 4-2-1 發現傳統和礫石建材，吸熱和熱傳導極快，隔熱效果差，大陶石、小陶石、煉石等建材吸熱和熱傳導效率緩慢，隔熱效果佳，以小陶石建材隔熱效果最佳。
- 2.多孔隙材質的大陶石、小陶石、煉石等建材藏有較多空氣，熱傳導和吸熱效率較慢較差，可用於炎熱地區。

#### 三、酷庫石建材之透氣效果

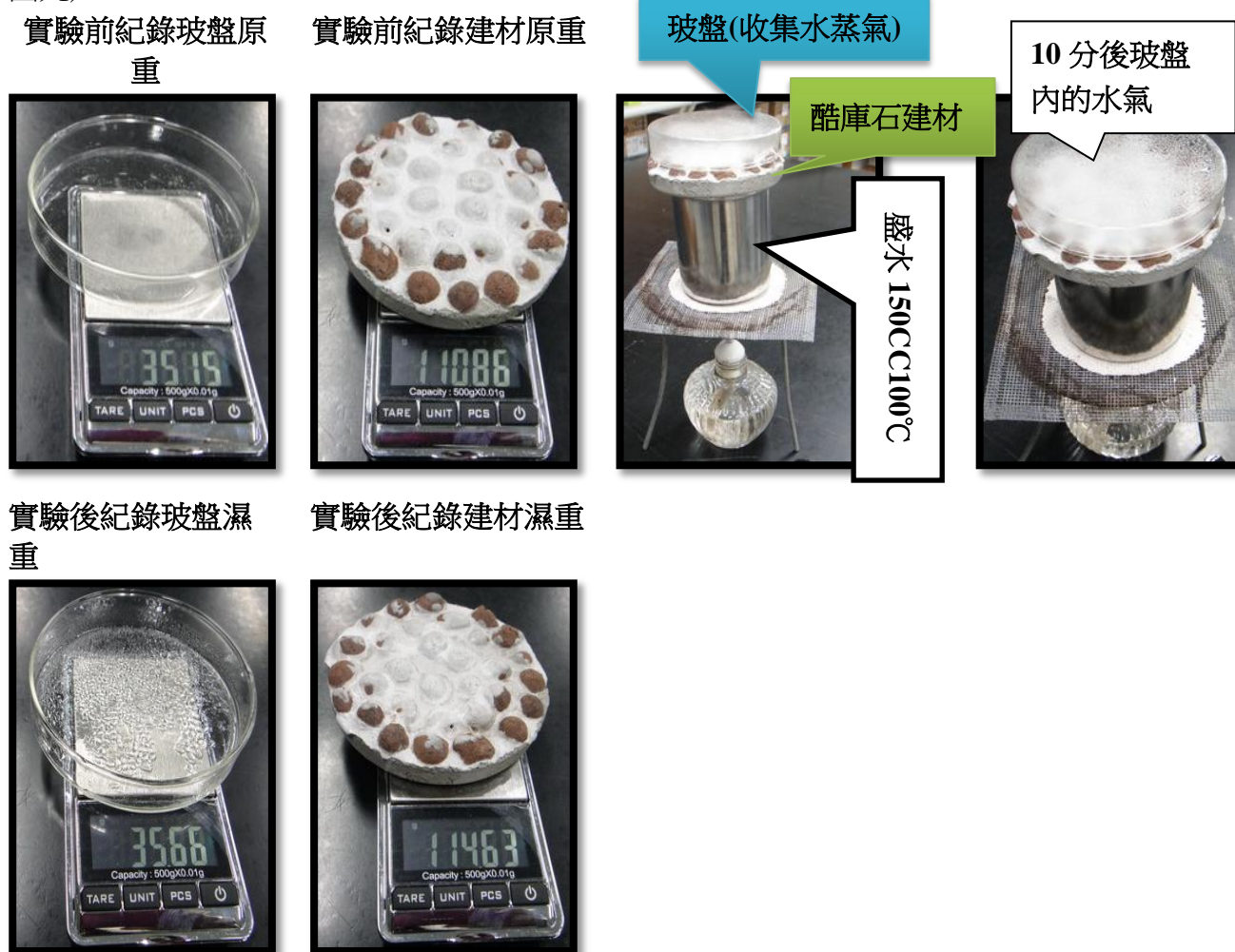
#### 4-2-7實驗發現：(見圖八、九)

(一)製作酷庫石建材 K-O，重複 4-2-1 的製作過程，見圖八。



圖八 酷庫石建材製成品二

(二)將建材 K-O 放於水杯上方,杯內盛有 150CC100°C 的水,並於建材上方覆蓋玻璃盤收集水氣,重複三次(每次間隔 10 天)紀錄燃燒 10 分鐘後玻璃盤收集的平均水氣量及建材 K-O 之吸水量(見圖九)。



圖九 酷庫石建材透氣效果實驗

#### 4-2-8 實驗結果：

酷庫石建材透氣實驗結果見表4-2-2、圖4-2-2、圖4-2-3。

表4-2-2 酷庫石建材透氣防水效果(單位g)

	玻璃原重	玻璃平均濕重	建材平均透氣量	透氣排序	建材平均原重	建材平均濕重	平均吸水量	吸水率 %	防水排序
K 傳統建材	35.18	35.88	0.70	2	147.01	150.86	3.85	2.62	5
L 大陶石建材	35.18	35.79	0.61	4	150.93	153.94	3.01	1.99	2
M 小陶石建材	35.18	35.90	0.74	1	98.77	100.74	1.97	1.99	2
N 煉石建材	35.18	35.81	0.63	3	110.35	113.05	2.71	2.46	4
O 礫石建材	35.18	35.74	0.56	5	134.99	137.50	2.51	1.86	1

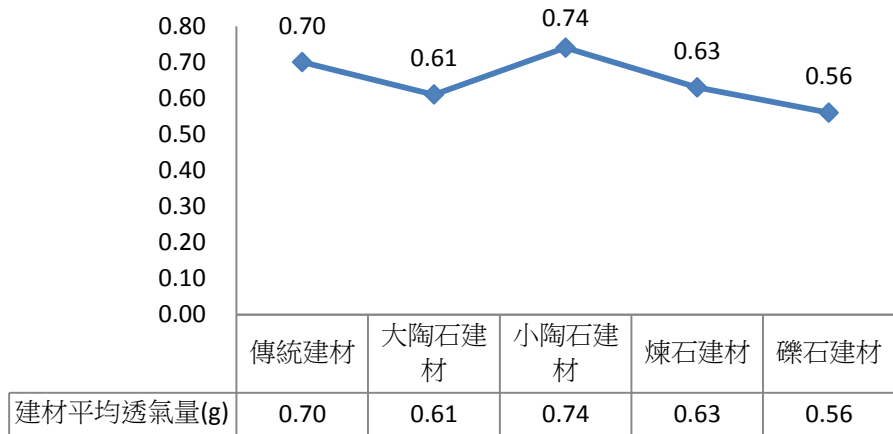


圖4-2-2酷庫石建材透氣效果 ◆ 建材平均透氣量(g)

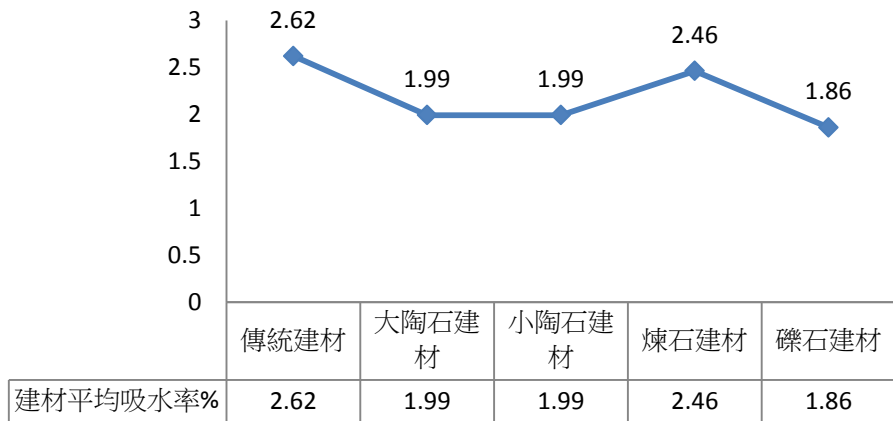


圖4-2-3酷庫石建材吸水效果 ◆ 建材平均吸水率%

#### 4-2-9 實驗發現：

- 1.從表 4-2-2 圖 4-2-2 發現透氣效果最好的是小陶石建材，有助於疏通水氣防止壁癌產生，可用於潮濕地區和水氣多的浴室。
- 2.由表 4-2-2 圖 4-2-3 發現吸水率最大防水效果最差的是傳統建材，吸水率最小防水效果最好的是礫石建材，可用於建築外牆。
- 3.酷庫石建材的防水效果比傳統建材好，做為外牆建材可減少滲水量，做為橋樁建材，可減少吸水量延緩鋼筋腐蝕時間，增長橋樑壽命。

#### 四、酷庫石建材之抗壓效果

##### 4-2-10 實驗過程：(見圖十)

(一)用自製抗壓檢測儀，測量建材的抗壓性。每次從管子上方丟下同一個砝碼，建材斷裂

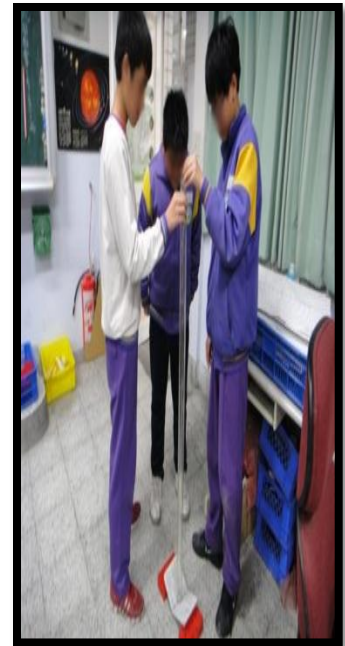
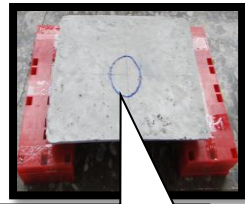
即完成抗壓檢測，可承受越多次撞擊的建材，抗壓性越高，見圖十。

自製建材抗壓檢測儀

抗壓檢測儀管子  
放在固定處

每次丟同一砝碼

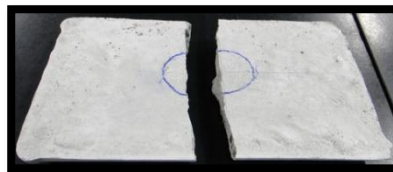
建材斷裂，抗壓檢測完成



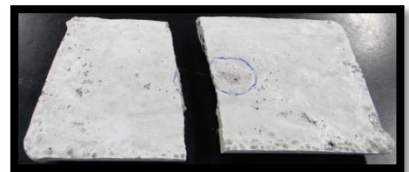
傳統建材斷裂情況



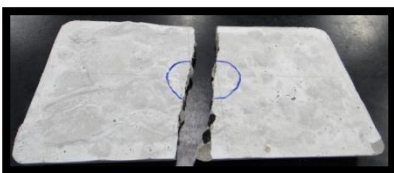
大陶石建材斷裂情況



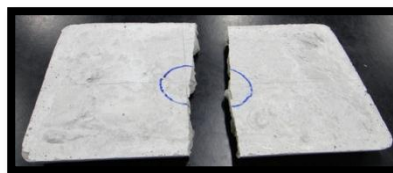
小陶石建材斷裂情況



煉石建材斷裂情



礫石建材斷裂情



圖十 酷庫石建材抗壓效果實驗

4-2-11 實驗結果：

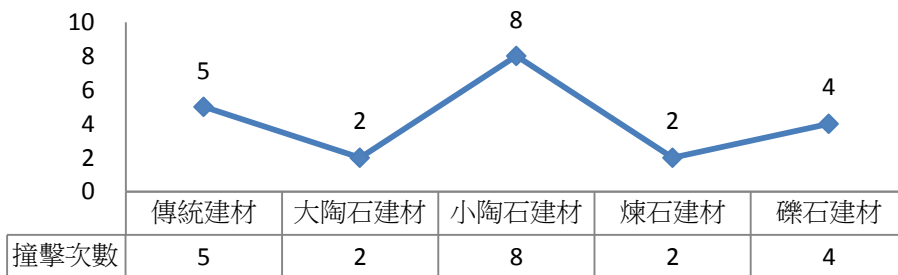


圖4-2-4酷庫石建材抗壓效果

◆撞擊次數

#### 4-2-12 實驗發現：

- 1.從圖4-2-4發現抗壓效果最好的是小陶石，最差的是大陶石和煉石建材。
- 2.小陶石和傳統建材抗壓效果較好，但小陶石建材是傳統建材的 1.6 倍，可做為需高抗壓的橋面建材。

#### 4-3 研究三：酷庫石之基土效益。

- 1.酷庫石質輕、吸水效果好，弱鹼性，混和土壤作為植物基土，應具有搬動容易，吸水性好且酸鹼值適合植物生長的效用。
- 2.酷庫石之基土效益，我們分別探究基土濕度、植物存活率、植物生長效果。

#### 4-3-1實驗過程：(過程見圖十一、十二，紀錄見附件三)

- (一)酷庫石基土：各種酷庫石與土壤依體積 1:1 混和，各施種 20 株 10g 左手香。
- (二)每隔 3 天澆水 200cc，連續 10 天中午施測酷庫石基土濕度。
- (三)計算 8 周後酷庫石基土之植物存活率(8 周存活數量/原始數量)。
- (四)計算 8 周後酷庫石基土之植物成長率(8 周總重量/原始總重量)。

傳統(全土壤)和酷庫石基土  
各種 20 株左手香

8 週後傳統(全土壤)和酷庫石基土左手香生  
長情形



圖十一 酷庫石基土植物生長效果

測四個角落及中央的基土濕度



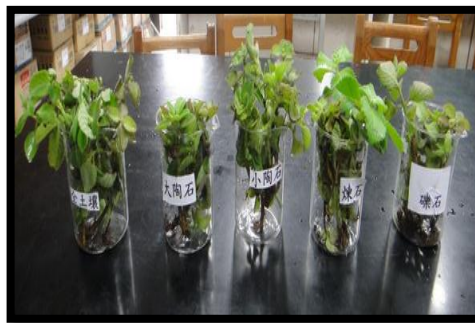
計算植物存活數量



8 週後採收左手香



清洗瀝乾



瀝乾後秤重



圖十二 酷庫石基土濕度、植物存活和生長效果

4-3-2 實驗結果：

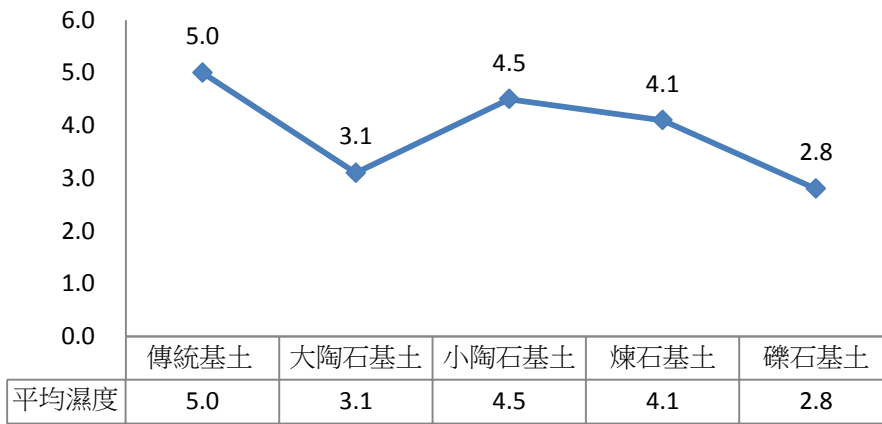


圖4-3-1 酷庫石基土濕度效果

—●— 平均濕度

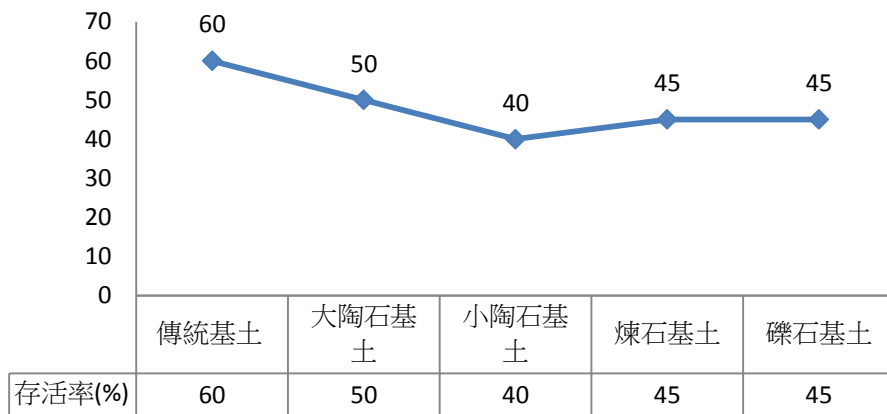


圖4-3-2 酷庫石基土植物存活效果

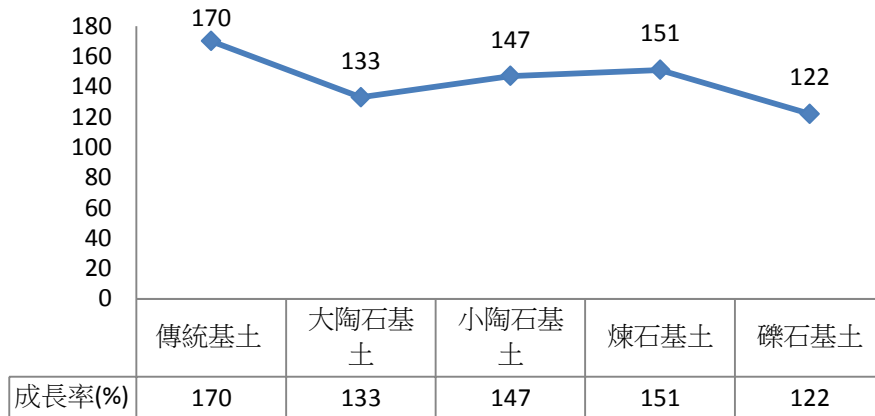


圖4-3-3 酷庫石基土植物成長效果

#### 4-3-3 實驗發現：

- 1.由圖 4-3-1 發現基土濕度，傳統基土最好，礫石基土最差，酷庫石基土可能因隙縫大，無法涵養水分，濕度較低，適合種植耐旱的厚葉植物。
- 2.由圖 4-3-2 發現植物存活率，傳統基土最好，小陶石基土最差，酷庫石基土植物存活率低，可能是酷庫石基土顆粒大固根效果較差有關。
- 3.由圖 4-3-3 發現植物生長率，仍是傳統基土最好，礫石最差，酷庫石基土植物生長率不如傳統土壤，可能是酷庫石燒製過有機質較少較貧脊所致。
- 4.酷庫石擺在土壤上方，不要混在土壤裡，這樣或許可提高植物生長率和存活率，且酷庫石可回收再利用，是具環保優勢的基土材料。

#### 4-4 研究四：酷庫石之淨水效益。

- 1.酷庫石的多孔隙材質可吸附雜質又可著生生物膜，應具有淨水效果，於是我們探究酷庫石淨水後，水中酸鹼值、水中溶氧值、水中濁度值、水中氨氮值。



(一)製作酷庫石淨水器，煉石無法沉於水中，故捨去煉石淨水器，P傳統淨水器不放酷庫石，Q-S酷庫石淨水器放入酷庫石，見圖十三。

**P 傳統淨水器**

**Q 大陶石淨水器**

**R 小陶石淨水器**

**S 礫石淨水器**



**圖十三 酷庫石淨水器**

(二)1.準備 4 個裝 4L 生態池水的水族箱，分別置放傳統和酷庫石淨水器，見圖十四。



**圖十四 酷庫石淨水實驗組**

(三)準備淨水測試儀器，見圖十五。

**溶氧計**

**酸鹼計**

**濁度計**

**氨氮劑**



**圖十五 酷庫石淨水實驗儀器**

(四)每隔四天測淨水後之水中酸鹼值、溶氧值、濁度值、氨氮值。

**4-4-1 實驗過程：(過程見圖十六，記錄見附件四)**

## 酷庫石淨水實驗過程

測水中酸鹼



測水中溶氧



測水中濁度



測水中氨氮



圖十六 酷庫石淨水實驗過程

### 一、酷庫石淨水後水中酸鹼值效果

#### 4-4-2 實驗結果：

每隔四天測一次水中酸鹼值，見圖4-4-1

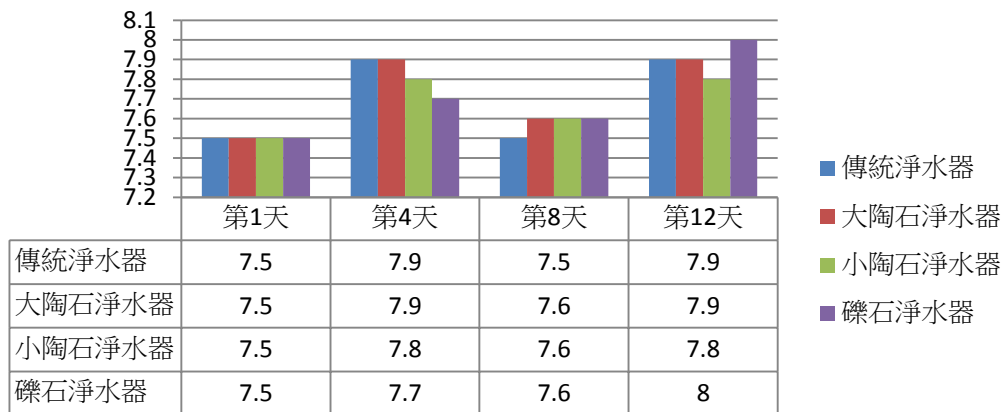


圖4-4-1 酷庫石淨水器水中酸鹼值

#### 4-4-3 實驗發現：

1.經 12 天的淨水處理，從圖 4-4-1 發現傳統和酷庫石淨水器的水中酸鹼值微幅上升但差異不大，最小值小陶石，最大值礫石，都在 7.8~8 間，弱鹼性，都使水質免於酸化危機，不致於影響魚類生存和生態環境。

### 二、酷庫石淨水後水中溶氧值效果

#### 4-4-4 實驗結果：

每四天測一次水中溶氧值(單位ppm)，見圖4-4-2。

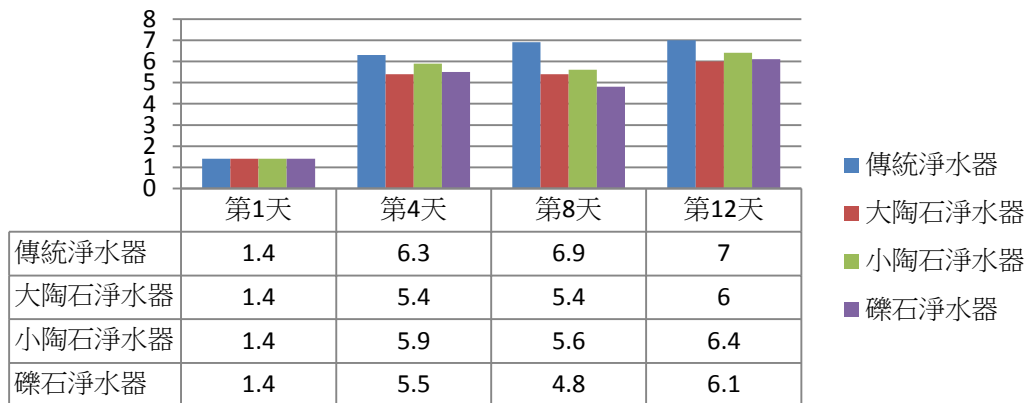


圖4-4-2 酷庫石淨水器水中溶氧值

#### 4-4-5 實驗發現：

1.經12天的淨水處理，從圖4-4-2發現傳統和酷庫石淨水器的水中溶氧量皆由1.4ppm上升至6-7ppm間，提高水中溶氧量效果極佳，傳統淨水器溶氧量7ppm最好，大陶石淨水器溶氧量6ppm最差。

2.酷庫石淨水器的水中溶氧量雖略低於傳統淨水器，但酷庫石淨水器仍然能有效的將水中容量由1.4ppm提升到6ppm左右，提供生物更好的環境。

### 三、酷庫石淨水後水中濁度值效果

#### 4-4-6 實驗結果：

每隔四天測一次水中濁度值(單位FTU)，見圖4-4-3。

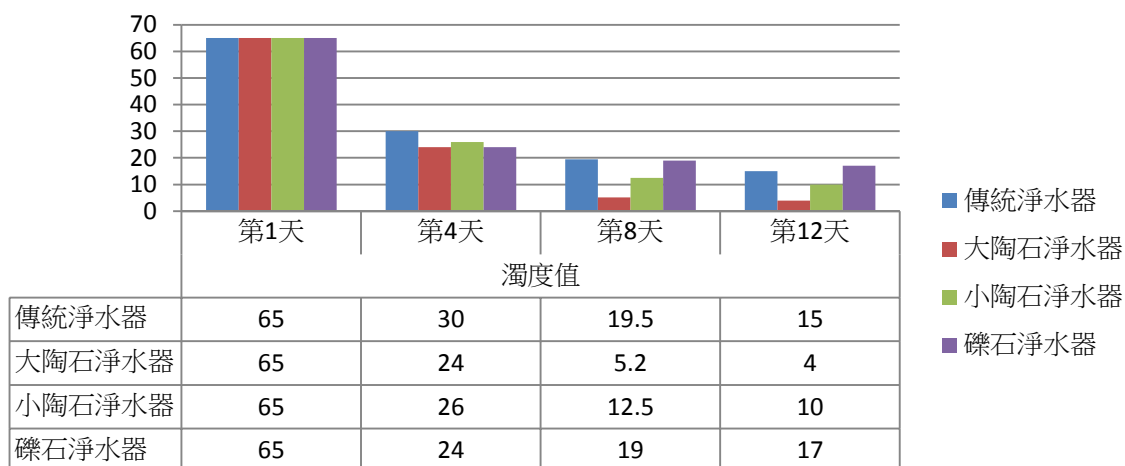


圖4-4-3 酷庫石淨水器水中濁度值

#### 4-4-7實驗發現：

- 1.經12天的淨水處理，由圖4-4-3發現傳統和酷庫石淨水器的水中濁度都由65 FTU下降到17~4FTU間，大陶石淨水器的水中濁度4FTU最小，礫石淨水器的水中濁度17FTU最大。
- 2.多孔隙材質的大陶石和小陶石淨水器的水中濁度較低，這可能是多孔隙材質能吸附更多雜質造成的結果，礫石淨水器的的水中濁度17FTU最高，這可能是礫石孔隙較少無法吸附太多雜質造成的結果。

#### 四、酷庫石淨水後水中氨氮值效果

##### 4-4-8實驗結果：

每四天測一次水中氨氮值(單位ppm)，見圖4-4-4

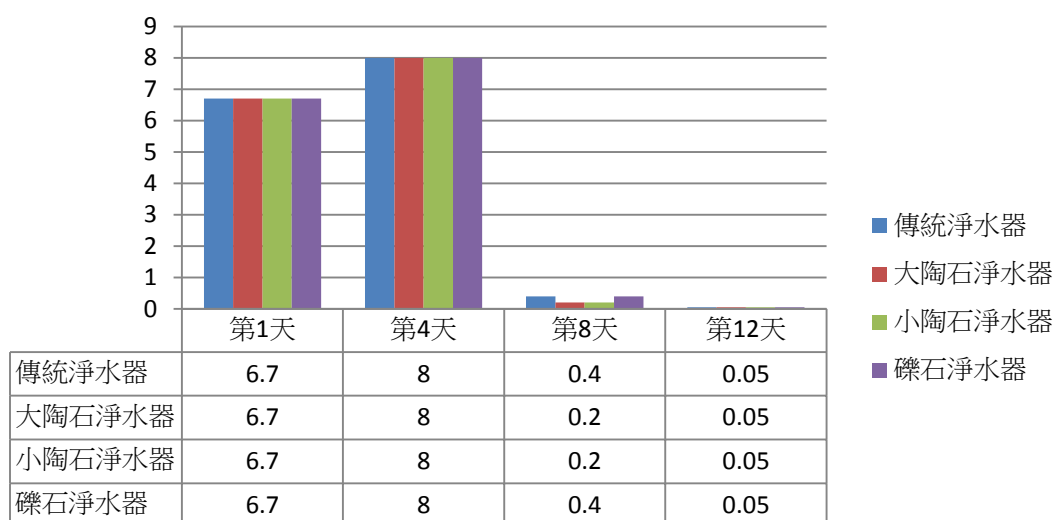


圖4-4-4 酷庫石淨水器水中氨氮值

#### 4-4-9實驗發現：

- 1.由圖4-4-4發現第四天傳統和酷庫石淨水器的水中氨氮由6.7ppm上升至8ppm，這可

能和水中溶氧量上升(見圖4-4-2)浮游生物大量繁殖後，將有機物分解為氨氮造成的結果，到了第八天，隨著傳統和酷庫石淨水器的生物膜著生分解了氨氮，氨氮值由8ppm下降到0.4~0.2ppm，多孔隙材質的大陶石和小陶石淨水器的氨氮降至0.2效果最佳，這可能也是因為多孔隙材質可著生較大量的生物膜所導致的結果。

2.第十二天後，傳統和酷庫石淨水器的水中氨氮含量趨於一致約為0.05ppm，但因氨氮會損害魚的神經系統，導致魚呼吸困難甚至死亡，越快降低水中氨氮量越有利魚類生存，在快速降低水中氨氮含量上，大陶石和小陶石淨水器取得了優勢。

#### 4-5 研究五：酷庫石之海綿城市效益。

1.我們參考 JW 生態工法(陳瑞文，2003)，將酷庫石當作蓄水層放入土壤中間，做成酷庫石夾層組合，雨天時吸收爆增的雨量進入蓄水層避免淹水；熱天時蒸發水氣冷卻都市，實現海綿城市夢想。

2.酷庫石之海綿城市效益我們分別探究承載、逕流、滲水、蓄水、蒸發等效果。

##### 一、酷庫石夾層組合之承載效果

##### 4-5-1 實驗過程(過程見圖十七、十八，記錄見附件五)

###### (一)製作酷庫石夾層組合

1.在土壤中間放入酷庫石當作蓄水層，表底層與酷庫石夾層為 1:1:1 的體積結構，並在酷庫石與表底層間放入不織布，上層不織布避免土壤將酷庫石隙縫填滿，下層不織布阻擋蓄水層的水快速向下滲透變成地下水流入河道。

傳統土壤  
(無蓄水層)

大陶石夾層組合

小陶石夾層組合

煉石夾層組合

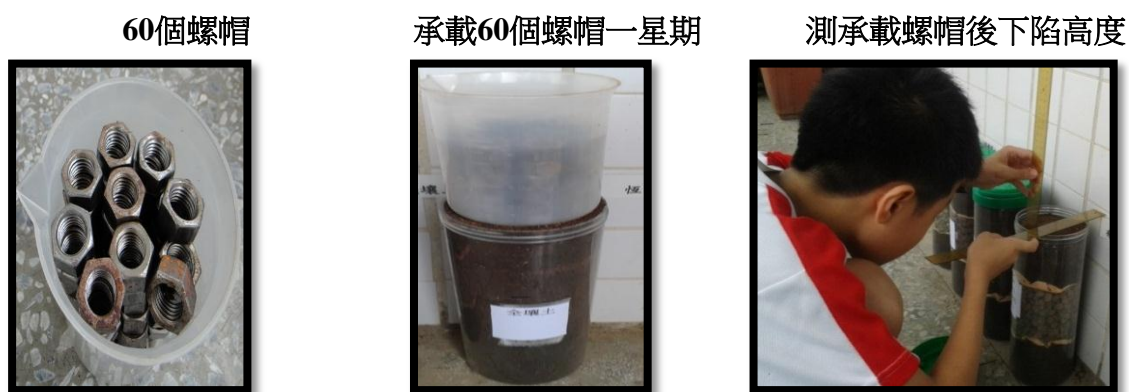
礫石夾層組合



圖十七 酷庫石夾層組合

###### (二)測量酷庫石夾層組合承載效果

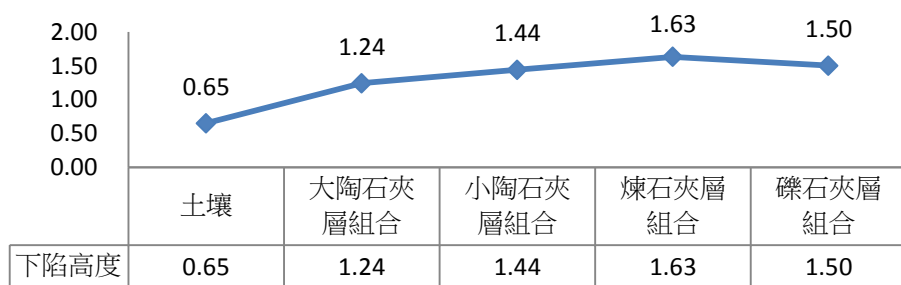
1.在傳統土壤與酷庫石夾層組合上方，壓 60 個螺帽，一星期後測量下陷效果。



圖十八 酷庫石夾層組合承載實驗

#### 4-5-2 實驗結果：

酷庫石夾層組合之承載效果如圖4-5-1



4-5-1 酷庫石夾層組合承載效果

—◆— 下陷高度

#### 4-5-3 實驗發現：

- 1.由圖 4-5-1 發現承載效果傳統土壤最好，煉石夾層組合最差。
- 2.傳統土壤的承載力高，比酷庫石夾層組合更適合做為需要高承載力的馬路或停車場。

## 二、酷庫石夾層組合之逕流、滲水、蓄水效果

名詞解釋：

逕流量：下雨時時無法吸入土壤而從地表逕流出的水量稱為逕流量。逕流量越小的土壤越可避免淹水。

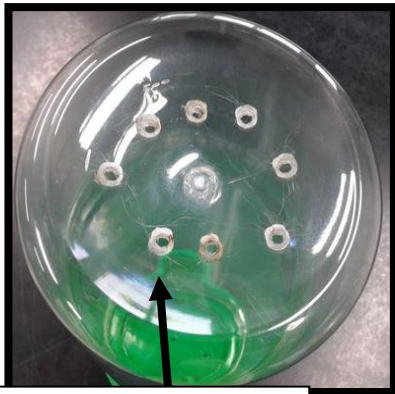
滲水量：下雨後從土壤底下滲出的水量。滲水量會變成地下水流入河道，滲水量大將造成水資源的浪費。

蓄水量：總雨量-逕流量-滲水量。蓄水量大有利於水資源的儲存對抗旱災。

#### 4-5-4實驗過程：(見圖十九)

- 1.進行酷庫石夾層組合逕流、滲水、蓄水實驗(見圖十九，**滲水量需累加陸續滲出水量至不再滲水為止**)

酷庫石夾層組合逕流、滲水、蓄水實驗用具 A：泥土罐。B：水族箱 C：燒杯



A：泥土罐底下鑽 8 個洞



B：水族箱承接逕流量

C：燒杯承接滲水量

酷庫石夾層組合逕流、滲水、蓄水實驗進行中(雨水量為 665cc/分)

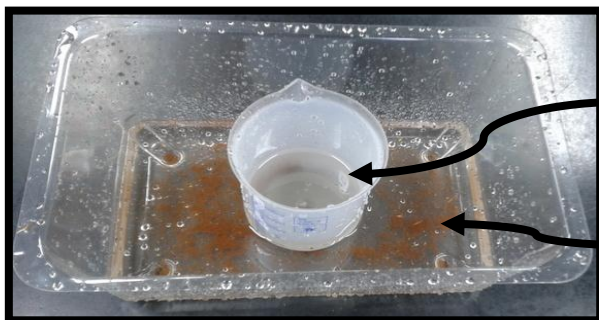


利用水龍頭之固定流量模擬雨水

逕流量將流進  
底下水族箱

底下燒杯用來承接  
滲水量

底下水族箱用來承接  
逕流量



實驗完成之滲水量(需累  
加夾層組合陸續滲出水  
量至不再滲水為止)

實驗完成之逕水量

圖十九 酷庫石夾層組合逕流、滲水、蓄水實驗

#### 4-5-5 實驗結果：

1. 酷庫石夾層組合逕流、滲水、蓄水實驗效果如表 4-5-1。

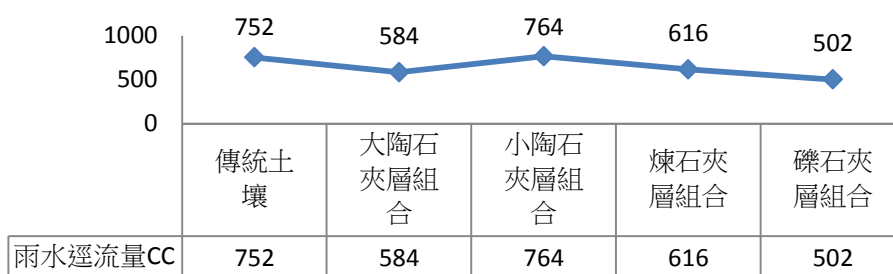
表 4-5-1 酷庫石夾層組合之逕流、滲水、蓄水實驗總表(雨水 665cc/分鐘)

	4 分鐘逕流量	4 分鐘逕流量排序	4 分鐘滲水量	4 分鐘滲水量排序	4 分鐘蓄水量	4 分鐘蓄水量排序
傳統土壤	752	2	806	3	1102	5
大陶石夾層組合	584	4	838	1	1238	4
小陶石夾層組合	764	1	626	5	1270	2
煉石夾層組合	616	3	788	4	1256	3
礫石夾層組合	502	5	824	2	1334	1

#### (一) 酷庫石夾層組合之逕流效果

#### 4-5-6 實驗結果：

1. 酷庫石夾層組合之逕水量結果如圖 4-5-2。



4-5-2 酷庫石夾層組合逕流量效果 ◆ 雨水逕流量CC

#### 4-5-7 實驗發現：

1. 由圖 4-5-2 發現小陶石夾層組合的逕流量最大，最容易淹水，礫石夾層組合逕流量最小，最不會淹水。
2. 由圖 4-5-2 發現，多了蓄水層的酷庫石夾層組合除了小陶石外，都比傳統土壤更能快速吸收洪水進入蓄水層解決淹水問題。

#### (二) 酷庫石夾層組合之滲水效果

#### 4-5-8 實驗結果：

1. 酷庫石夾層組合之滲水結果如圖 4-5-3。

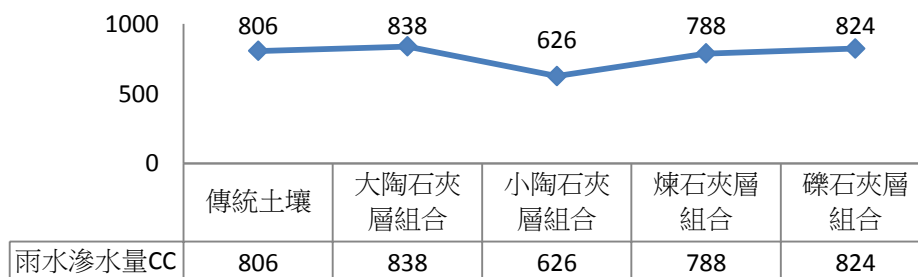


圖4-5-3 酷庫石夾層組合滲水量效果 ◆ 雨水滲水量CC

#### 4-5-9 實驗發現：

1. 由圖 4-5-3 發現土壤滲水量效果，傳統土壤居中，大陶石夾層組合滲水量最大，小陶



石夾層組合滲水量最小。

2.大陶石夾層組合滲水量最大，水資源大量流入河道，最浪費水資源。

3.小陶石夾層組合滲水量最小，可避免水資源流入河道的浪費情形。

### (三)酷庫石夾層組合之蓄水效果

#### 4-5-10 實驗結果：

1.酷庫石夾層組合之蓄水量效果如圖 4-5-4 (雨水 665cc/分鐘)，蓄水量大，可以抗旱。

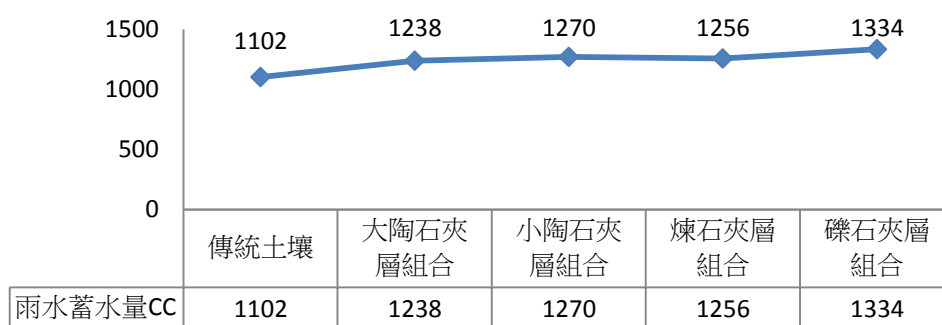


圖4-5-4 酷庫石夾層組合蓄水量效果

#### 4-5-11實驗發現：

1.由圖 4-5-4 發現酷庫石夾層組合之蓄水量皆高於傳統土壤，酷庫石作為蓄水層，確實有效的提高地表下的蓄水量，有利於對抗旱災，又以礫石夾層組合蓄水效果最好最能對抗旱災。

### 三、酷庫石夾層組合之蒸發效果

#### 4-5-12實驗過程：

逕流、滲水、蓄水實驗後，底下不再滲水後，每隔 2 天秤重一次，連續 10 天，減少的重量即為蒸發的水量，蒸發率=10 天蒸發量/夾層組合蒸發前重量。

#### 4-5-13實驗結果：

1.酷庫石夾層組合之蒸發效果如表 4-5-2 圖 4-5-5 (總雨量 2660cc)

表 4-5-2 酷庫石夾層組合之蒸發效果

	蒸發前	2 天後	4 天後	6 天後	8 天後	10 天後	10 天蒸發量	蒸發率
傳統土壤	3024	3018	2996	2987	2977	2973	51	1.69
大陶石夾層組合	3199	3181	3098	3077	3020	3012	187	5.85
小陶石夾層組合	2438	2418	2340	2316	2245	2235	203	8.33
煉石夾層組合	2399	2378	2295	2272	2203	2194	205	8.55
礫石夾層組合	3739	3713	3627	3600	3526	3513	226	6.04

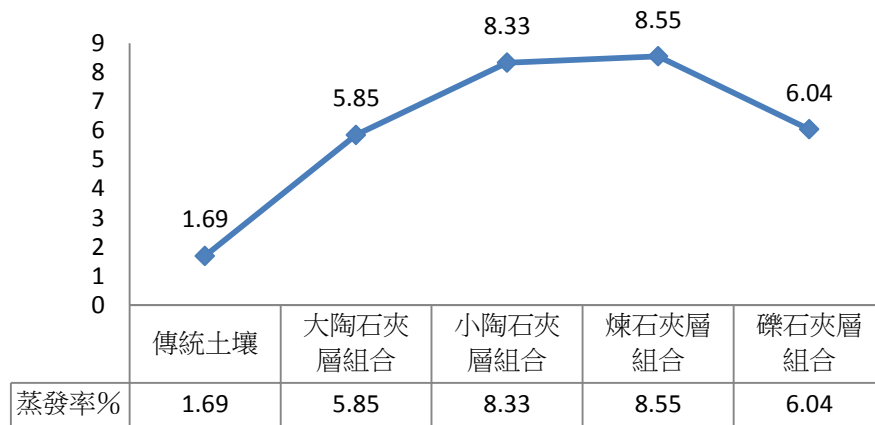


圖4-5-5 酷庫石夾層組合蒸發效果 ◆蒸發率%

#### 4-5-14實驗發現：

- 1.由圖 4-5-5 發現酷庫石夾層組合的水氣蒸發效果皆大於傳統土壤，又以煉石夾層組合蒸發效果最強。
- 2.酷庫石夾層組合水氣蒸發效果是傳統土壤的3.5~5倍，比傳統土壤更能降低城市溫度，煉石夾層組合水氣蒸發量最大，最能降低城市溫度，節約冷氣的消耗。

## 伍、研究結果

本研究結果，我們發現酷庫石在理化特性、基土效益、建材效益、淨水效益、海綿城市效益上各有獨到之處，是很有推廣價值的材料！結果歸納如下：

- 一、理化特性：(一)小陶石和煉石密度很小，是極佳的輕質骨材，作為建材或基土使用，可減輕承載壓力。(二)酷庫石的吸水率除了礫石外都不錯，做為植物基土，可減少水資源的用量。(三)酷庫石的酸鹼值在 7.4~8.1 間，煉石 7.4 最小，大陶石 8.1 最大，皆為弱鹼性，應用上不至於有酸化或鹼化的疑慮。
- 二、建材效益：(一)隔音效果：酷庫石建材因大都為多孔隙材質，隔音效果普遍不如傳統建材，須加強隔音設備、但隔熱、透氣、防水和抗壓卻有不錯的效果。(二)隔熱效果：大陶石、小陶石、煉石三種多孔隙建材，藏有較多空氣隔熱效果很好，可作為炎熱地區的建材，但小陶石建材隔熱效果最佳。(三)透氣效果：小陶石和傳統建材都不錯，有助於疏通水氣防止壁癌產生，可作為潮濕地區或水氣多的浴室建材。但小陶石建材的透氣效果又優於傳統建材。(四)防水效果：酷庫石建材全優於傳統建材，做為外牆建材可減少滲水量，做為橋樑建材，可減少吸水量延緩鋼筋腐蝕時間，增長橋樑壽命，又以礫石建材防水效果最好。(五)抗壓效果：小陶石和傳統建材較好，適合作為須高抗壓的橋面建材，但小陶石建材的抗壓效果最好，是傳統建材的 1.6 倍。(六)我們發現小陶石建材的隔熱，透氣和抗壓效果都很好，可作為炎熱地區或潮濕地區建材，也可作為須高抗壓的

橋面建材，是很值得開發的建材。(七)酷庫石建材除了隔音效果較差，隔熱、透氣、防水和抗壓都有不錯的效果，尤其是防水效果全優於傳統建材，非常適合做為外牆建材。

三、基土效益：(一)酷庫石基土可能因顆粒大細縫大無法涵養水分，濕度較傳統基土低，適合種植耐旱的厚葉植物，又以煉石基土濕度最低。(二)酷庫石基土可能因顆粒大固根效果較差，植物存活率不如傳統基土，小陶石基土的植物存活率只有 40%最差。(三)酷庫石基土可能因燒製過，有機質較少較貧脊，植物生長率也不如傳統基土，栽種植物時須注重施肥，礫石基土的植物生長率只有 122%最差。(四)酷庫石若擺在基土上方，不要混在基土裡面，應可提高植物生長率和存活率，且酷庫石輕質，可回收再使用，具環保性，仍是可考慮的基土。

四、淨水效益(經過 12 天的淨水處理)：(一)酸鹼值效果：酷庫石和傳統淨水器的水中酸鹼值差距極小，都在 7.8~8 之間，弱鹼性，適合水中生物生存，小陶石 7.8 最小，礫石 8 最大。(二)溶氧效果：酷庫石和傳統淨水器的水中溶氧量都由 1.4ppm 上升到 6~7ppm 之間，酷庫石淨水器的水中溶氧量較傳統淨水器低，大陶石淨水器的水中溶氧量 6 最差。(三)濁度效果：酷庫石和傳統淨水器的水中濁度都由 65FTU 下降到 17~4FTU 之間，大陶石淨水器的水中濁度 4 最好，礫石淨水器的水中濁度 17FTU 最差，這可能是大陶石為多孔隙材質可吸附更多雜質，而礫石的孔隙較少無法吸附太多雜質導致的結果。(四)氨氮效果：酷庫石和傳統淨水器的水中氨氮都由 6.7ppm 下降到 0.05ppm，但大陶石和小陶石淨水器去氨氮速度最快，在第 8 天已降到 0.2ppm，因氨氮會損害魚的神經系統，導致魚呼吸困難甚至死亡，越快速降低水中氨氮含量越有利魚類生存，大陶石和小陶石淨水器可以快速去除氨氮，可能也是因為多孔隙材質可以著生更多生物膜因而快速去除氨氮。(五)水庫淤泥燒製的大陶石和小陶石淨水器，其多孔隙材質可吸附更多雜質並著生更多生物膜，因此淨水效果最好。(六)酷庫石淨水器在處理水中酸鹼、溶氧、氨氮和濁度等問題，具有良好效果，又以去氨氮與濁度效果最好。

五、海綿城市效益：(一)承載效果：酷庫石夾層組合的承載效果不如傳統土壤，較不適合作為須高承載的停車場使用，又以煉石承載效果最差。(二)逕流效果：大陶石、煉石和礫石夾層組合逕流量都很小，能快速吸收雨水進入蓄水層解決淹水問題，又以礫石夾層組合逕流量最小，最不會淹水。(三)滲水量效果：傳統土壤居中，大陶石夾層組合滲水量最大最浪費水資源，小陶石夾層組合滲水量最少，最能避免水資源流入河道形成浪費。(四)蓄水效果：酷庫石當做蓄水層，確實發揮蓄水抗旱功效，酷庫石夾層組合的蓄水量全優於傳統土壤，以礫石夾層組合蓄水量最大最能抗旱。(五)蒸發效果：酷庫石夾層組

合的蒸發效果也全優於傳統土壤，有助於降低城市溫度，節約冷氣和電力的消耗，煉石夾層組合蒸發效果最好，最能降低城市溫度。(六)酷庫石當做蓄水層，在逕流、蓄水、滲水和蒸發效果都有很不錯的表現，確實具有打造海綿城市的潛力，尤其在增加蓄水量對抗旱災及蒸發水氣降低城市溫度這兩個面向的表現最好。

## 陸、討 論

根據本研究結果，使用者在建材、基土、淨水、海綿城市等不同面向的需求，可以遵循下列建言：

- 一、小陶石建材的隔熱、透氣、抗壓等功效都很好，既可疏通水氣防止壁癌產生，又可作為炎熱地區和須高抗壓的橋面建材，是很有潛力的建材，礫石建材防水效果最好，最適合作為外牆或橋樑建材。
- 二、酷庫石基土涵養水份效果略差濕度較低，適合種植耐旱的厚葉植物，又酷庫石燒製過較貧脊，栽種植物時須注重施肥，把酷庫石擺在基土上方，不要混在基土裡面，應可增加水份涵養量和植物固根效果，提高植物存活率和生長率。
- 三、大陶石和小陶石淨水器的淨水效果最好，其多孔隙材質可著生大量的生物膜和吸附更多雜質，使的水中氨氮和濁度都大幅下降，也能大幅提升水中溶氧量並使水質維持弱鹼性免於酸化危機，確保水中生物的生存環境。
- 四、礫石夾層組合逕流量最小蓄水量最大，大雨時快速吸收洪水進入蓄水層解決淹水問題，又能增加蓄水量對抗旱災，煉石夾層組合蒸發效果最好，最能降低城市溫度，節約冷氣耗費，礫石和煉石夾層組合最具有打造海綿城市潛力。

## 柒、結 論

酷庫石經過一系列理化特性、建材、基土、淨水和海綿城市的實驗研究，終於為酷庫石找出優質有潛力的願景，我們歸納出下列幾點結論：

- 一、酷庫石建材除了隔音效果較差，在隔熱、透氣、防水和抗壓效果都有很不錯的表現，是值得期待和開發的建材，尤其小陶石建材隔熱、透氣和抗壓效果都很好，是很有潛力的建材。
- 三、酷庫石基土濕度較低，適合種植耐旱厚葉植物；燒製過較貧脊須注重施肥；顆粒大固根效果差，但科展後後換較深的花盆，繼續酷庫石基土左手香實驗(見圖二十)，給予適當的肥料，效果不差，左手香長得枝繁葉茂，可能因施肥及較深的花盆克服了酷庫石貧脊與固根效果差的困境，**因此酷庫石基土若能種植厚葉植物並解決貧脊與固根效果差困境，就能擁有不錯的植物生長效果。**



圖二十 科展後酷庫石基土左手香實驗

四、酷庫石淨水器在處理水中酸鹼、溶氧、氨氮和濁度等問題具有良好的效果，尤其多孔隙材質的大陶石和小陶石可著生大量的生物膜和吸附更多雜質，能使水中氨氮與濁度大幅下降，是非常好的淨水材料，**科展後將酷庫石淨水器安置在水族箱上，繼續孔雀魚養殖與生物膜研究(見圖二十一)，確實有助於降低水中濁度與氨氮濃度利於魚類生存。**



圖二十一 科展後酷庫石淨水器生物膜試驗

五、酷庫石當做蓄水層在逕流、蓄水、滲水和蒸發效果都有很不錯的表現，確實具有打造海綿城市的潛力，尤其在增加蓄水量對抗旱災及蒸發大量水氣降低城市溫度這兩個面向的表現最好。

## 捌、參考資料

第二單元 水生家族(2012)。國小自然與生活科技第三冊。台北：康軒出版股份有限公司。

第三單元 熱的傳播與保溫(2012)。國小自然與生活科技第六冊。台北：康軒出版股份有限公司。

第四單元 山河大地(2012)。國小自然與生活科技第五冊。台南：南一出版股份有限公司。

陳瑞文(2003)。JW 生態工法系列之~會呼吸的大地彩衣。2012年8月4日，取自

<http://www.dingtai.com.tw/products/JW/Visit.htm>

## 【評語】 080807

該作品動機利用水庫淤泥燒製而成的陶瓷材料以用於建材利用，除兼具隔音、隔熱、透氣防水效果外、亦提供廢棄物應用綠色建材使用，達環保工程之益，建議可多了解該材料是否有有害物質釋放疑慮。