

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 土木科

第三名

091201

磚製綠能－以水庫淤泥及回收資源為例

學校名稱：國立瑞芳高級工業職業學校

作者： 職二 游桂熒 職二 趙 芹 職二 黃建堂	指導老師： 李銘哲 翁明郎
---	-----------------------------

關鍵詞：綠能、水庫淤泥、回收資源

摘要

台灣水庫淤積問題相當嚴重，總淤積量約蓄水容量的 17.44%，高達 479,000,000 m^3 ，並持續淤積。而當清除水庫淤泥時延伸出的淤泥棄置問題及**工程棄土問題**，我們擬定一種加勁磚，以淤泥或**工程棄土**為主要填充材，添加第一型水泥為黏結材，加入適當水量可製成景觀磚，但因土體強度不足，而透過天然植物及環保回收料作為加勁材，藉此強化其抵抗外力之能力，達到減少淤泥或**工程棄土問題**兼具資源再生之功效。

研究目的為探討使用淤泥或工程棄土，添加兩大類加勁材(天然、環保類)，研究加勁材對土體之抗壓、抗拉及抗折強度提升率之影響因素。經實驗模擬後，發現水泥添加量(**W/C=2.0↓**)與養護齡期(**7 天↑**)為強度提升率之主要因素，而土體之握裹力以纖細加勁材具有最佳強度提升率。

壹、研究動機

近年來每當台灣北部受到颱風與豪雨過後，桃園地區的居民們就會飽受缺水之苦，查詢原因，竟然是石門水庫由於淤泥量過多，濁度過高無法正常供水。我們便加以仔細去搜尋相關全台水庫淤泥引發之相關問題：

- 一、全台一年的砂石需求量 5000 萬立方米。
- 二、全台一年約有 1400 萬公噸營建剩餘土，1460 萬立方公尺水庫清除之淤泥。
- 三、台灣地區水庫約有 109 座，大部份都有嚴重的淤積問題其總淤積量約達蓄水容量的 17.44%，高達 479,000,000 m^3 ，而且每年持續淤積 16,000,000 m^3 之多。
- 四、石門水庫花 6 億清淤泥成效不彰，導致水庫 13% 都是淤泥，能夠儲水的壽命從 220 年大幅減少到只剩 150 年，如圖 1-1。
- 五、台灣的垃圾量，大約以每年 8.1% 成長，目前每日可達 2 萬公噸，平均每人每天產生 1 公斤，因此垃圾戰爭時有所聞。從辦公室丟棄的影印紙、傳真用紙數量也大增，每年要消耗 300 萬噸的紙，平均每人每年消耗 161 公斤，如圖 1-2。
- 六、石門水庫因大量泄洪，漂流物及泥砂堵塞取水口，造成台北縣南區、桃園縣北區合計約 92 萬戶無水可用。



圖 1-1 石門水庫中游段阿姆坪附近機械清運

出處：

<http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=19506&ctNode=5281&comefrom>



圖 1-2 全台最大內湖垃圾山

出處：

http://www.tvbs.com.tw/news/news_list.asp?no=yehmin20070428120301

台灣水庫中有如此多的淤泥，如何將淤泥變成可用的材料呢？我們科展成員們開始思索各種可行性，最後朝向研製一種能夠有效去化淤泥或工程棄土與善用環保資源回收料提升強度的加勁磚，其主要用途設定於花圃矮牆的構築材料，但淤泥本身遇水軟化且強度不高，經老師提醒及建議，如能添加隨手可得的環保材料作為加勁材，一方面能減少環保資源浪費，並藉此提高強度，另一方面又能夠將水庫淤泥或工程棄土找到另一個有效加以利用的途徑。因此我們便開始尋找一系列有關以資源回收材料為加勁材之研究工作。

貳、研究目的

目前台灣地區水庫約有 109 座，部份有嚴重的淤積問題，其總淤積量約達蓄水容量的 17.44%，高達 479,000,000 m^3 ，而且每年持續淤積 16,000,000 m^3 。爲了減少水庫的淤泥量，我們以淤泥作爲磚的填充材，使它有了另一有效去化的出路，但土體本身的強度不高，所以另外加入水泥及加勁材提升其強度

本研究目的在於以淤泥爲主要填充材，添加適當的第一型普通水泥爲黏結材，經過調配適當水量則可研製成景觀磚，但因淤泥土體顆粒含泥量過高而無法有效提升整體強度，故應用周遭隨手可得的資源回收料(寶特瓶、利樂杯、吸管、塑膠掃把、棕櫚樹纖維、酒瓶椰子樹葉、大王椰子樹葉、榕樹氣根等)作爲加勁材，藉此探討加勁材與強度之關係。

現階段景觀造園之主要材料仍以混凝土磚及紅磚爲主，若使用本研究所研製景觀磚，則可減少水庫淤泥所造成的淤泥棄置問題，若能使淤泥有效利用，必然可以節省政府管理水庫之成本，因爲淤泥變成有用的材料，業者必然爭相挖取淤泥加以利用。

景觀磚之研究要點：

- 一、探討各式加勁材對於強度提升之適用性。
- 二、找出不同加勁材對景觀磚強度之影響因素(加勁材之規格、紋路、材質、排列方式、放置數量、養護齡期、水泥添加量)。
- 三、增添景觀磚之本身造型顏色多變性，應用於簡易的居家景觀造園，如右圖 2-1~2-2。
- 四、探討景觀磚代替紅磚之可行性
- 五、去化淤泥之實用性



圖 2-1 祈導人類和平花園(混凝土圓柱試體噴漆)
出處：<http://www.yuhing.edu.tw/campus.htm>



圖 2-2 劉漢棠紀念花園(紅磚砌築)

出處：
http://www.choijun.edu.hk/schweb/activity/speical/LHTG/LHT_garden.htm

參、研究設備及器材

以下將本研究所使用的材料、儀器及工具設備整理如下：

一、使用材料

項次	名稱	數量			
1	普通水泥(Type I)	1 包			
2	淤泥	6 公斤	普通水泥(Type I)	淤泥	色劑
3	灰色黏土	4 公斤			
4	黃色黏土	4 公斤			
5	水	適量			
6	色劑	適量			
7	加勁材	適量			

二、使用儀器：

項次	名稱	數量			
1	烘箱	1 台			
2	比重計	1 組			
3	無圍壓縮試驗儀	1 台			
4	維卡針試驗儀	3 台			
5	精密電子秤 Max.6200g e=1g 精度=0.1g	1 台			
6	液限試驗儀	1 台			
7	標準夯實模具及比重瓶	5 組			
8	抗拉試驗儀	1 台			
9	萬能試驗儀	1 台			

三、使用工具：

項次	名稱	數量
1	8字模	25個
2	取樣篩網	2個
3	杓子	3支
4	方體模	25個
5	游標卡尺	2支
6	圓柱試體模	50個
7	防水絕緣膠帶	2個
8	刮刀	3支
9	小鐵鏟	3支
10	刮尺	3支
11	鋼捲尺	1支
12	搗棒	3個
13	頂土器	2個
14	ASTM 標準篩網	2組
15	鐵鎚	3支
16	刷子	3支
17	拌刀	3支
18	小鋼盆	20個
19	麵包刀	1支



肆、研究過程或方法

本專題研究之試驗流程主要分為三大架構，如下表所示：

階段 要項	第一階段：專題研究之前期作業				
1	尋找相關研究議題與收集相關資料：利用網際網路及圖書館查閱。				
2	擬定專題研究目的與規劃專題研究架構：解決水庫淤泥或棄土問題，並有效利用資源回收料提升景觀磚之加勁效果。				
3	針對專題採集土樣進行土壤基本物理性質試驗：比重、阿太堡限度、粒徑分析試驗。				
階段 要項	第二階段：研究目標之力學試驗測定				
1	蒐集生活周遭之加勁材添加於土壤與水泥中，以條狀天然植物根莖葉作為加勁材之力學探討	天然加勁材選定	 <p style="text-align: center;">棕櫚樹葉 大王椰子樹葉 雜草根莖 合成塑膠纖維</p>		
		拌合及養護	 <p style="text-align: center;">土樣準備 拌合 澆置 水中養護</p>		
		抗壓及抗拉	 <p style="text-align: center;">抗拉試驗 抗壓試驗</p>		
2	蒐集生活周遭之加勁材添加於土壤與水泥中，以條狀環保資源回收料作為加勁材之力學探討	環保加勁材選定	 <p style="text-align: center;">保特瓶 利樂杯 吸管 合成塑膠纖維</p>		
		拌合及養護	 <p style="text-align: center;">土樣準備 拌合 澆置 水中養護</p>		
		抗壓及抗拉	 <p style="text-align: center;">抗拉試驗 抗壓試驗</p>		
3	以不同加勁材樣式對景觀磚的抗壓、抗拉、抗折強度影響。	天然類與環保類加勁材選定	 <p style="text-align: center;">天然類加勁材 環保類加勁材</p>		
		土樣準備及製模			

		拌合 澆置 養護	
		抗拉 抗壓 抗折	 抗拉試驗 抗壓試驗 抗折試驗
4	為達到景觀磚之景觀造圍多樣性，本專題研究進行調製顏料配比，到達適當的色彩，澆置於模型，拆模後材切試體，使其為磚的縮小比例，之後，運用砌磚技術，將這些小色磚砌成花盆狀。	顏料配 比設計	 調配顏料 拌合 調製完成 紅(水:色劑=100:12)、藍(100:3.5)、黃(100:9.5)、綠(1:3.5)、黑(100:100) 澆置 砌製(花圃色磚)
階段 要項	第三階段：試驗結果之分析探討		
1	探討各式不同加勁材對於景觀磚強度提升之適用性。		
2	找出各式不同加勁材對景觀磚強度發展之影響因素。		
3	評估景觀磚研製與應用之可行性。		

一、土壤物理及力學性質試驗

(一)土壤粒徑分析：本試驗以 # 200 篩號區分為兩種方式進行分析土樣粒徑大小，分別為 > # 200 篩網利用篩分析水洗法，以及 < # 200 篩網利用比重計分析，此試驗參考 ASTM D452-85 並參考(沈茂松，實用土壤力學試驗)。

1. 篩分析水洗法(> # 200 篩網)：由本校現有之篩網 # 4、# 16、# 8、# 30、# 50、# 100、# 200，應用水洗法加以篩分析(ASTM D421)，而更細之土壤顆粒，用比重計分析之。

■試驗目的：本方法係用標準篩來測定土壤顆粒大小分佈情形。

■試驗步驟：(1)以篩號 # 4、# 8、# 16、# 30、# 50、# 100、# 200，底盤各別秤重。
(2)取約 500 克的土壤，倒入篩中，進行水洗法。
(3)將篩網烘乾，烘乾後秤重，計算出留篩土重。
(4)做出粒徑分布曲線圖，可看出粒徑分佈的情形。

■計算結果：
$$\frac{\text{單一篩重停留土重}}{\text{全部乾土重}} \times 100\%$$

表 4-1 篩網與粒徑大小對照表

篩號數	#4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
粒徑 mm	4.75	2.38	1.19	0.5	0.298	0.149	0.075



2. 比重計分析(< # 200 篩網)：(試驗參考 ASTM D422-63)

由比重計分析土壤顆粒粒徑大小與含量。

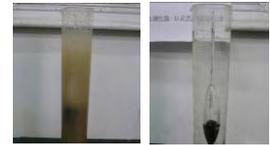
■試驗目的：分析小於 # 200 號篩下的土樣粒徑大小分佈情形。

■試驗原理：應用土壤顆粒在水中沈澱時會因顆粒大小不同有不同的沈澱速率，再依據斯篤克 (stoke) 水中自由落體速度公式求得土壤顆粒粒徑

■試驗流程：(1)調製 1000 cc 土壤與水之混和液 (細顆粒土壤含量 50 克)

(2)均勻攪動混和液後放入比重計，量取不同時間之不同的混和液比重 (因混和液沈澱)

(3)運用公式計算土壤顆粒粒徑大小與含量。



(二)阿太堡限度試驗：(此試驗參考 ASTM D4318)

1. 液性限度試驗

■試驗目的：土壤由塑性狀態變化到液體狀態時之含水量，本試驗方法即是決定此時之含水量。

■試驗步驟：(1)將土壤放入容器內約 120 克，加入約 5cc 的蒸餾水，充分調和，逐步加水使調成糊狀。

(2)用刮刀將半均勻之糊狀土壤置於液限儀上之銅碗內，用刮刀將試樣自中間兩旁推擠整平，次數愈少愈好，使中間厚度約與刮槽刀相同。

(3)以每兩秒轉之速度轉動曲柄，直到缺口約有 1.27 公分長，合攏時，停止轉動，紀錄銅碗打擊次數。

(4)將該土樣取出約 10g，裝入容器內秤重後烘乾，其減少之重量即為水重。

(5)銅碗內剩餘的土壤刮回容器中，再加水調和均勻，重複上述動作，測定第 2 次含水量增加後，槽口合攏時，所需之打擊數。

(6)上述試驗至少做 3 次，即每次試驗都增加其含水量，到槽口合攏時之敲打次數，至少有一次在 25-35，或 20-30，或 15-25 之中。任何一次測驗打擊數超過 36 次即為過乾，或低於 15 即為過濕均不得採用。

(7)將各次試驗經過秤重，在放入烘箱烘乾，測得含水量。

(8)做流動曲線圖，由圖中可以查得打擊次數 25 次時之含水量。

■計算結果：含水量 = $\frac{\text{土壤中所含水重}}{\text{乾土重}} \times 100\%$

2. 塑性限度試驗

■試驗目的：土壤之塑性限度，乃決定土壤具有塑性狀態之最少含水量。

■試驗步驟：試樣捏橢圓形至於桌面，用手掌施以適當之壓力搓成均勻圓條，速率約每分鐘 80 到 90 次，當圓條直徑約 3mm 時，如圓條尚未破裂，需重來捏橢圓形重複上述動作，直到直徑約 3mm 時剛好破裂，即可視為塑性限度。

■計算結果：塑性限度 = $\frac{\text{土壤中所含水重}}{\text{乾土重}} \times 100\%$



(三)土壤比重測定試驗：(此試驗參考 ASTM D854)

■試驗目的：本方法係用比重瓶試驗小於 #4 篩土壤之比重。

■試驗步驟：1.先秤比重瓶重，再將比重瓶加滿水，秤重。

2.將水倒掉後，再加入土壤約 25 克重，秤重，在加滿水。

3.排除試樣內空氣，用開水煮沸約 10 分鐘以上，並時常轉動排除空氣，煮後冷卻至室溫，秤重。



■計算結果：計算結果： $G_s = \frac{r_s}{r_{w40C}}$ ； $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$

二、景觀磚強度試驗

(一) 景觀磚抗壓強度試驗 (此試驗參考 ASTM C 109 ， CNS 1011)

■試驗目的：本方法係用測定加勁磚之抗壓強度

■試驗步驟：1.將試體於水中取出，並拭乾表面並修飾

2.置試體於抗壓試驗機中央，注意試體與儀器接觸之上下兩面不得使用墊板。

3.加負荷於試體上在 20~80 秒內加至 3000 磅(13.3KN)負荷增加率於試體上。

4.記錄其最大荷重質。

■計算結果：

$$S_c = \frac{P}{A} (\text{Kg/cm}^2)$$

P=最大荷重(Kg)

A=面積(cm^2)



(二) 景觀磚抗拉強度試驗 (此試驗參考 ASTM C 109)

■試驗目的：本方法係用測定加勁磚之抗拉強度

■試驗步驟：1.將試體於水中取出，並拭乾表面並修飾。

2.將試體置入試驗機之夾頭內，以每分鐘 $2.67 \pm 0.11\text{KN}$ (600 ± 2.5 磅)之負荷連續增加至試體破裂為止。

3.測量破壞時所需之力。

■計算結果：

$$S_T = \frac{P}{A} (\text{Kg/cm}^2)$$

P=作用力(Kg)

A=破壞處之斷面積(cm^2)



(三) 景觀磚抗折強度試驗（此試驗參考 CNS 總號 12764 類號 R3168）

■試驗目的：本方法係用測定加勁磚之抗折強度

■試驗步驟：1.將試體於水中取出，靜置 5 小時至氣乾狀態

2.測定其試體之長、寬、高、與重量。

3.將試體三點抗折試驗之受力面刮平，使其平整。

4.放入二圓柱於萬能抗壓試驗中之等距支承軸上如下圖。

5.載重施加速率均等，對加壓中心載重，求得最大載重。

■計算結果：試樣之抗折強度（ kg/cm^2 ），依下式計算。

$$T = \frac{3WL}{2bd^2}$$

W=最大載重（kgf）

L=試體支點間之跨距（cm）

b=試樣寬度（cm）

d=試樣厚度（cm）



伍、研究結果

本專題是為了解決水庫淤泥或工程棄土問題，並有效利用生活周遭之天然與環保之資源回收料作為加勁材，藉此探討景觀磚之強度提升發展趨勢。本專題主要以土壤為填充料，並添加第一型普通水泥為黏結材，加入適當水量製成具有可塑性的景觀磚，因此我們進行一系列的抗壓、抗拉、抗折等實驗來驗證其可行性。

為能有效獲得研究結果，採用之控制變因-加勁材種類(天然類：大王椰子樹葉、酒瓶椰子樹葉、榕樹氣根、棕櫚樹纖維及芒草葉梢；環保類：硬質保特瓶、中質保特瓶、軟質利樂杯、輕質吸管、細質合成纖維及薄質塑膠袋等)、加勁材層數(單層、雙層)、加勁材寬度(0.5 cm、1.0 cm、2.0 cm)、水泥添加量(W/C=1.5、1.0、0.75、0.6)，以下就幾點要項的試驗階段結果分析如下：

一、土壤基本物理性質及力學性質試驗

本專題所採用之主要土壤樣本是採集桃園縣石門水庫淤泥以及台北縣汐止一帶之黃色與灰色黏土，透過老師所指導土壤基本物理性質試驗，其中包括比重(G_s)、阿太堡限度與顆粒粒徑分析等試驗，經實驗結果透過土壤統一分類法得知本專題所採集之土樣分屬有機沈泥黏土(OL)、泥質或黏土質細砂(ML-CL)，及沈泥黏土(CL)；其比重為 2.61~2.75；阿太堡限度之液性限度為 26.0~28.7%，塑性限度為 17.0~23.5%。經由粒徑分析結果顯示通過 # 200 篩網百分率分別為 58.4~98.4%，藉此得知土樣的比重與液塑限之大小有隨著含泥量之增加而增加。相關基本物理性質試驗彙整如表 5-1。

為能夠充分瞭解水庫淤泥的原本模樣，透過老師跟正在施工的工務單位的幫忙，帶領我們採集淤泥土樣，現場實景如圖 5-1 及 5-2；至於黃色與灰色黏土的土樣則是汐止一帶的營建工地所採集到的。

表 5-1 本專題採集土樣之基本物理性質

土樣	統一分類法	比重	液性限度 LL(%)	塑性限度 PL(%)	通過 # 200 篩網百分率 (低於 0.074mm 的含泥量)	最佳含水量	最大乾密度
汐止某工程 黃色棄土	OL 有機沈泥黏土	2.61	26.0	17.0	58.4 %	15.0	1.74 g/cm ³
汐止某工程 灰色棄土	ML-CL 泥質或 黏土質細砂	2.68	24.0	17.0	72.4 %	14.1	1.66 g/cm ³
石門水庫 灰色淤泥	CL 沈泥質黏土	2.75	28.7	23.5	98.4 %	-	-



圖 5-1 桃園石門水庫工程棄土及水庫淤泥堆置場



圖 5-2 前往現場採集太空包中水庫淤泥之情形

從土壤基本物理性質相關實驗中，黏土與淤泥最大之差異性在於含泥量的比率，也就是小於 0.074mm 土樣粒徑所佔有的百分比，由於水庫淤泥的含泥量高達 93% 之多，經由我們將淤泥添加水泥之後，發現比一般黏土添加同樣水泥量下，需要加入更多水量，才可以達到流動狀態。

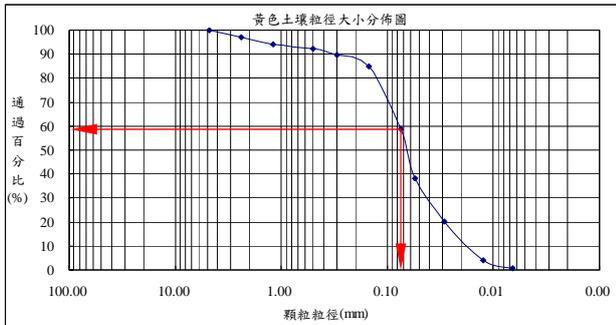


圖 5-3 黃色黏土之粒徑分析結果

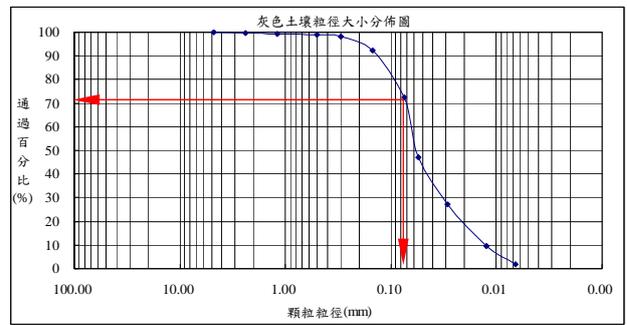


圖 5-4 灰色黏土之粒徑分析結果

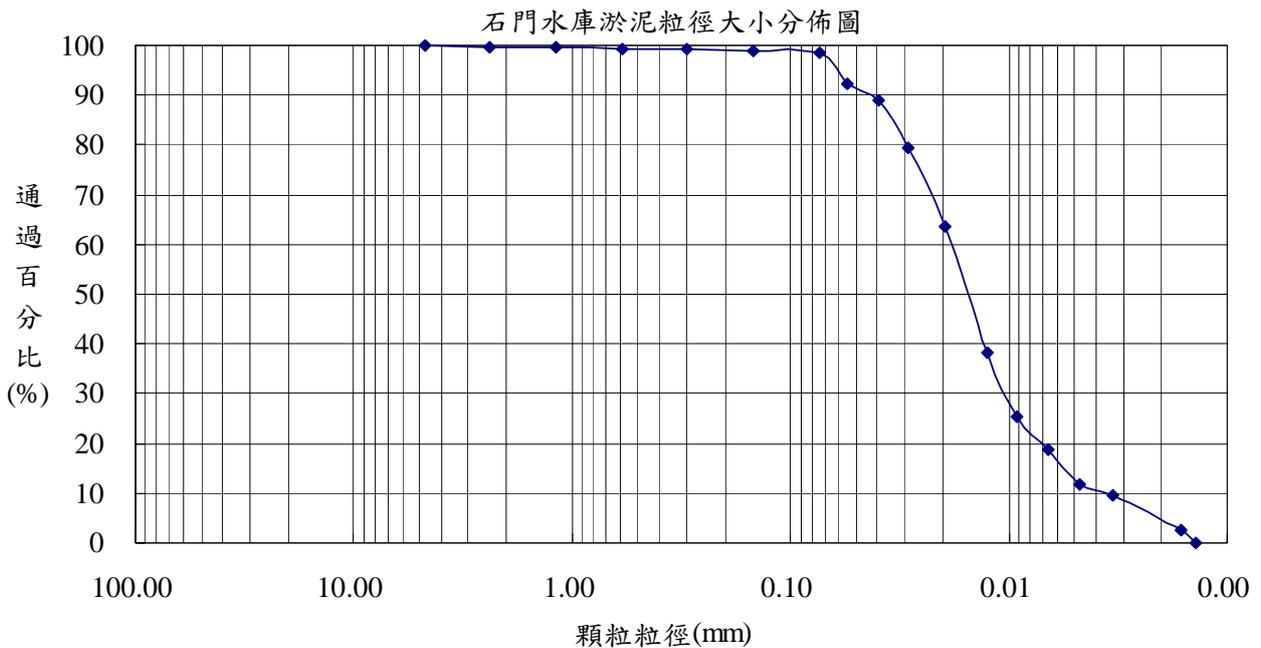


圖 5-5 水庫淤泥之粒徑分析結果

二、添加不同天然植物根莖葉(條狀)之加勁材的力學特性分析

本系列試驗之土樣為黃色黏土，水灰比為 2.0，水固比為 0.4 之配比設計，先將添加的加勁材切成長度約為 4cm 之樣式，其中方體與 8 字模皆採 4cm 長度，澆置拆模後養護齡期分別為 1 天、3 天、7 天浸泡在養護池中，並進行一系列抗壓與抗拉試驗，並將試驗結果彙整如下所示，如表 5-2。

表 5-2 添加不同天然類之條狀加勁材的試驗數據結果

實驗類別	說明	齡期(天)	養護方式	添加之加勁材規格						方塊試體抗壓強度 (kg/cm ²)	8 字模抗拉強度 (kg/cm ²)	方塊試體抗壓強度提升率 (%)	8 字模抗拉強度提升率 (%)	
				長度 (cm)	寬度 (cm)	直徑 (cm)	厚度 (cm)	排列照片	單一重量 (g)					添加總重 (g)
對照組	無添加加勁材	1.0	養護池	-	-	-	-		-	-	7.75	2.46	0.0	0.0
		3.0		-	-	-	-		-	-	14.09	3.09	0.0	0.0
		7.0		-	-	-	-		-	-	15.83	4.48	0.0	0.0
實驗組	芒草葉鞘	1.0	養護池	3.825	-	0.047	-		0.010	13.0	8.05	3.24	3.9	31.8
		3.0									14.65	3.95	4.0	28.0
		7.0									19.12	5.22	20.8	16.6
	棕櫚樹葉	1.0	養護池	3.868	1.145	-	0.04		0.126	13.0	6.01	2.19	-22.5	-10.9
		3.0									12.28	2.84	-12.8	-8.0
		7.0									14.75	4.42	-6.8	-1.3
	雜草根系	1.0	養護池	4.381	-	0.145	-		0.019	13.0	7.59	2.21	-2.1	-10.1
		3.0									13.84	3.12	-1.8	1.2
		7.0									16.14	5.31	2.0	18.7

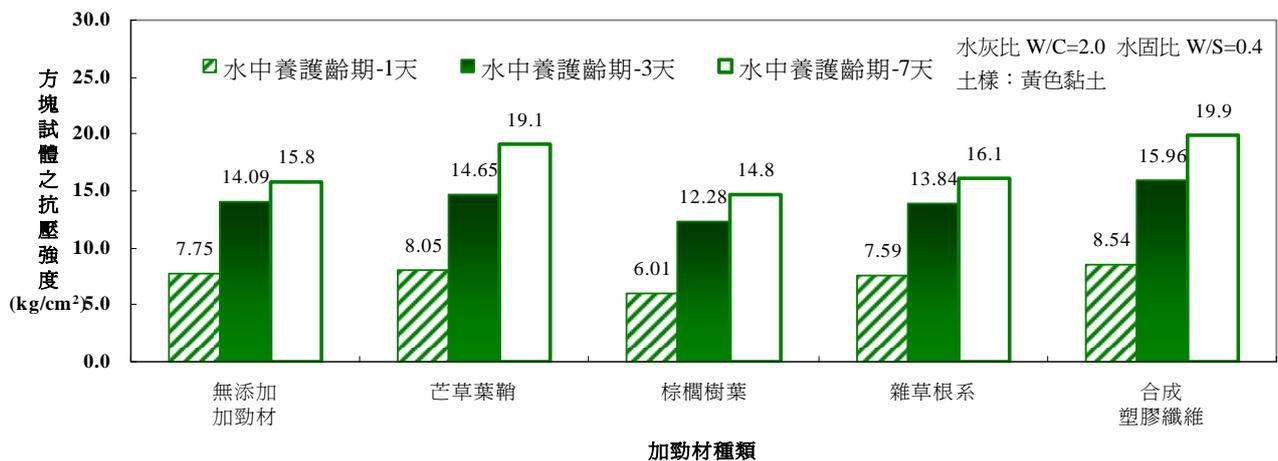


圖 5-8 添加不同天然類加勁材對(方塊試體)抗壓強度與齡期之關係圖

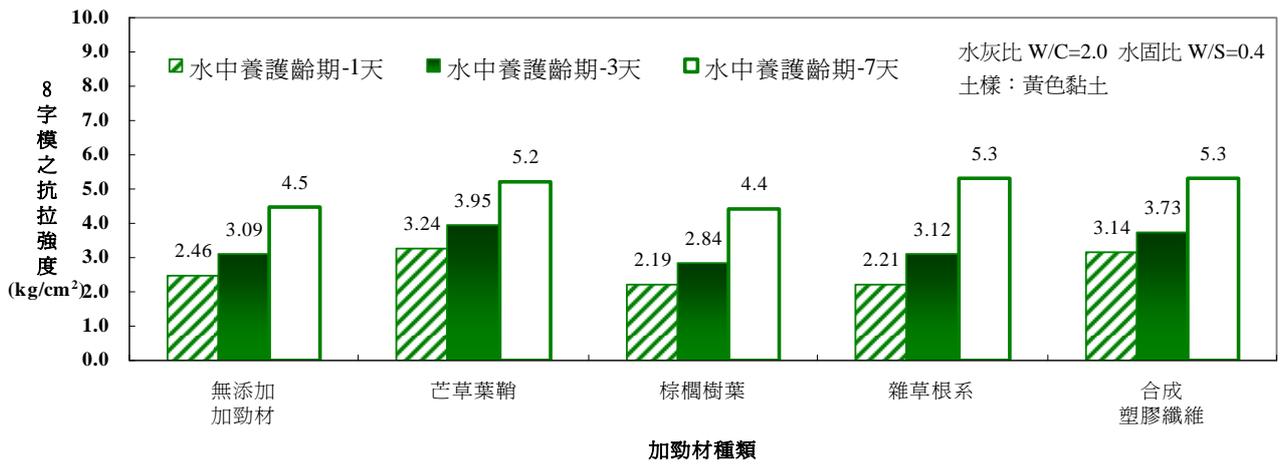


圖 5-9 添加不同天然類加勁材對(8字模)抗拉強度與齡期之關係圖

由表 5-2 及圖 5-8~5-9 天然類組成的加勁材試驗結果，其抗壓及抗拉強度皆隨齡期增加而增加，且天然類加勁材之直徑越細，則強度有愈高發展趨勢。

三、添加不同環保資源回收料(條狀)之加勁材的力學特性分析

本系列試驗之土樣為灰色黏土，水灰比為 2.0，水固比為 0.4 之配比設計，先將添加的加勁材切成長度約為 4cm 和 6 cm 之樣式，其中方體模以 4cm 採十字形排放、8 字模以 6cm 採一字形排放，澆置拆模後養護齡期分別為 1 天、3 天、7 天浸泡在養護池中，並進行一系列抗壓與抗拉試驗，並將試驗結果彙整如下所示，如表 5-3。

表 5-3 添加不同環保類之條狀加勁材的試驗數據結果

實驗類別	說明	齡期(天)	養護方式	添加之加勁材規格				方塊試體抗壓強度(kg/cm ²)	8字模抗拉強度(kg/cm ²)	方塊試體抗壓強度提升率(%)	8字模抗拉強度提升率(%)
				長度(cm)	寬度(cm)	方塊試體排列照片	8字模排列照片				
對照組	無添加加勁材	1.0	養護池	-	-	-	-	9.56	3.71	0.0	0.0
		3.0						17.57	4.76	0.0	0.0
		7.0						19.36	5.79	0.0	0.0
實驗組	硬質寶特瓶	1.0	養護池	4.0	1.0			9.21	2.44	-3.7	-34.4
		3.0						16.83	3.92	-4.2	-17.6
		7.0						18.81	5.26	-2.8	-9.2
	軟質利樂杯	1.0	養護池	4.0	1.0			9.65	3.79	0.9	2.1
		3.0						16.64	4.65	-5.3	-2.4
		7.0						18.03	5.56	-6.9	-3.9
	輕質吸管	1.0	養護池	4.0	1.0			8.33	3.01	-12.9	-19.0
		3.0						15.57	3.96	-11.4	-16.8
		7.0						19.07	5.87	-1.5	1.3
	薄質塑膠袋	1.0	養護池	4.0	1.0			8.58	2.86	-10.3	-23.1
		3.0						17.33	3.94	-1.4	-17.3
		7.0						17.80	5.98	-8.1	3.3

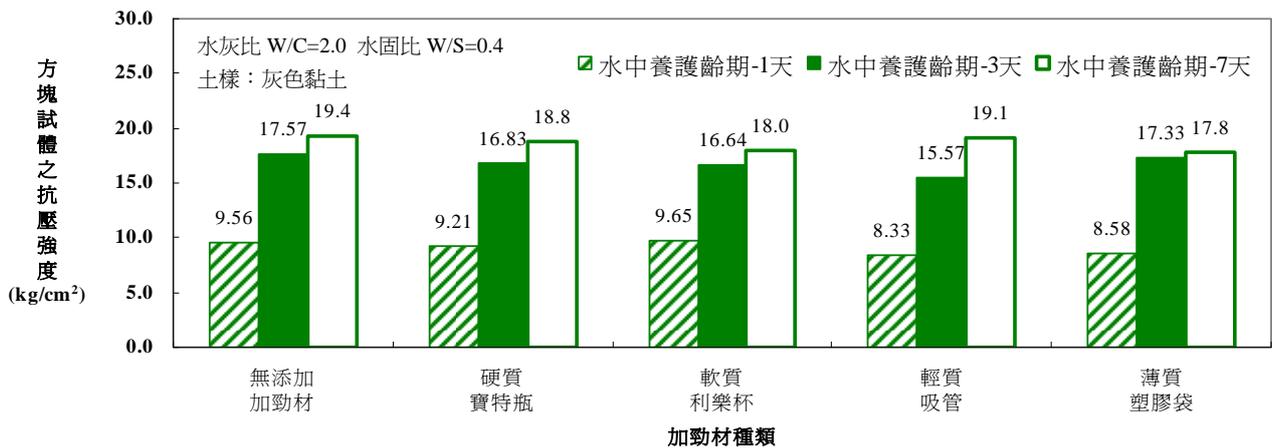


圖 5-10 添加不同環保類加勁材對(方塊試體)抗壓強度與齡期之關係圖

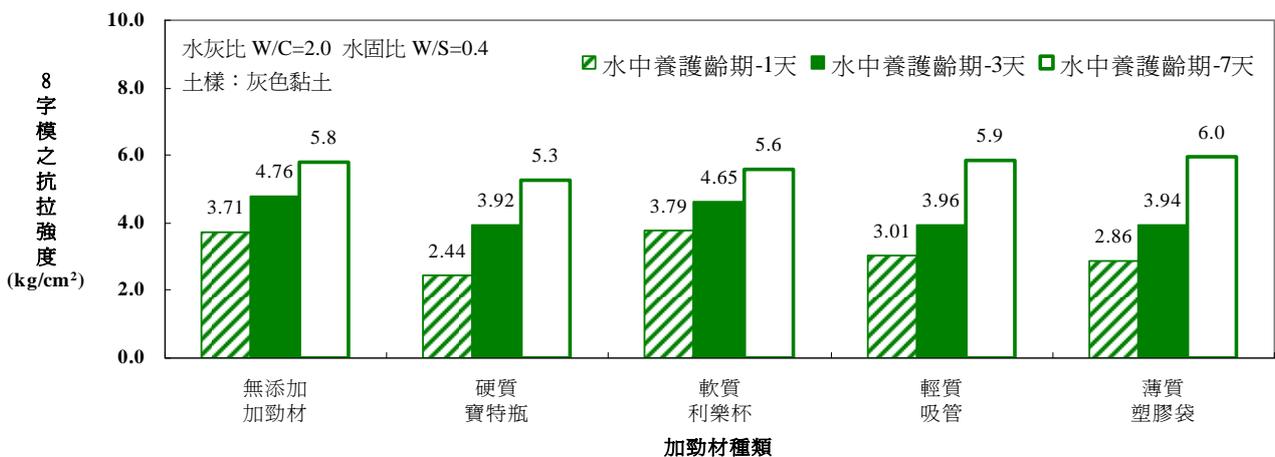


圖 5-11 添加不同環保類加勁材對(8字模)抗拉強度與齡期之關係圖

由表 5-3 及圖 5-10~5-11 環保類組成的加勁材試驗結果，其抗壓及抗拉強度皆隨齡期增加而增加，但抗壓及抗拉強度並未有明顯之強度提升效果。

四、添加不同水泥量下，探討加勁材對土泥漿的握裹力影響性--以環保加勁材為例

此外本專題實驗之控制變因除了兩大類之加勁材之外，透過第一階段之實驗結果發現加勁材是否能夠提升強度之另一關鍵則在於土泥漿體中的水泥量添加多寡，因此參考一般混凝土的配比設計原理及實驗過程拌合簡易性，採以水灰比($W/C = \frac{\text{水重}}{\text{水泥重}}$)與水固比

($W/S = \frac{\text{水重}}{\text{水泥重} + \text{土壤重}}$)為控制參數，藉此探究出不同水泥添加量，對於加勁材與土泥漿體

間的握裹力影響，分別設計 $W/C=1.5$ 、 1.0 、 0.75 、 0.65 的土泥漿配比，而加勁材皆採用條狀利樂杯作為加勁材，藉此探討握裹能力與水泥添加量的影響，本實驗共計為 5 組進行抗壓、抗折及抗拉試驗測定，相關試驗數據彙整如下表 5-4~5-5。

表 5-4 為以同一類環保加勁材，即利用約 1cm 寬，軸向與橫向的長度分別為 15cm 與 7cm 成棋盤式交叉排列的條狀利樂杯作為加勁材，透過同一水固比(即土壤重+水泥重=定值=4800g)與水重(定值=2400g)之比值，不同之水泥添加量(水泥重=1600g、2400g、3200g、4000g)，進行各項力學試驗，並將實驗結果彙整如下：

表 5-4 添加不同水泥量之各項力學試驗數據結果

實驗類別	說明	W/C	W/S	重量比			體積比			抗壓強度 (kg/cm ²)	抗折強度 (kg/cm ²)	抗拉強度 (kg/cm ²)	抗壓強度提升率 (%)	抗折強度提升率 (%)	抗拉強度提升率 (%)
		$\frac{\text{水重}}{\text{水泥重}}$	$\frac{\text{水重}}{\text{水泥重} + \text{土壤重}}$	水	水泥	土樣	水	水泥	土樣						
對照組	無加勁材	1.50	0.5	33.3%	22.2%	44.4%	58.9%	12.5%	28.6%	16.53	5.10	4.40	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	1.50	0.5	33.3%	22.2%	44.4%	58.9%	12.5%	28.6%	17.29	8.86	5.76	4.6	73.7	30.9
對照組	無加勁材	1.00	0.5	33.3%	33.3%	33.3%	59.5%	18.9%	21.6%	38.46	12.30	7.36	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	1.00	0.5	33.3%	33.3%	33.3%	59.5%	18.9%	21.6%	41.51	18.17	10.40	7.9	47.7	41.3
對照組	無加勁材	0.75	0.5	33.3%	44.4%	22.2%	60.0%	25.4%	14.6%	74.21	18.40	10.08	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	0.75	0.5	33.3%	44.4%	22.2%	60.0%	25.4%	14.6%	91.25	19.53	13.64	23.0	6.1	35.3
對照組	無加勁材	0.60	0.5	33.3%	55.6%	11.1%	60.6%	32.1%	7.3%	117.38	28.20	14.64	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	0.60	0.5	33.3%	55.6%	11.1%	60.6%	32.1%	7.3%	109.17	33.79	17.28	-7.0	19.8	18.0

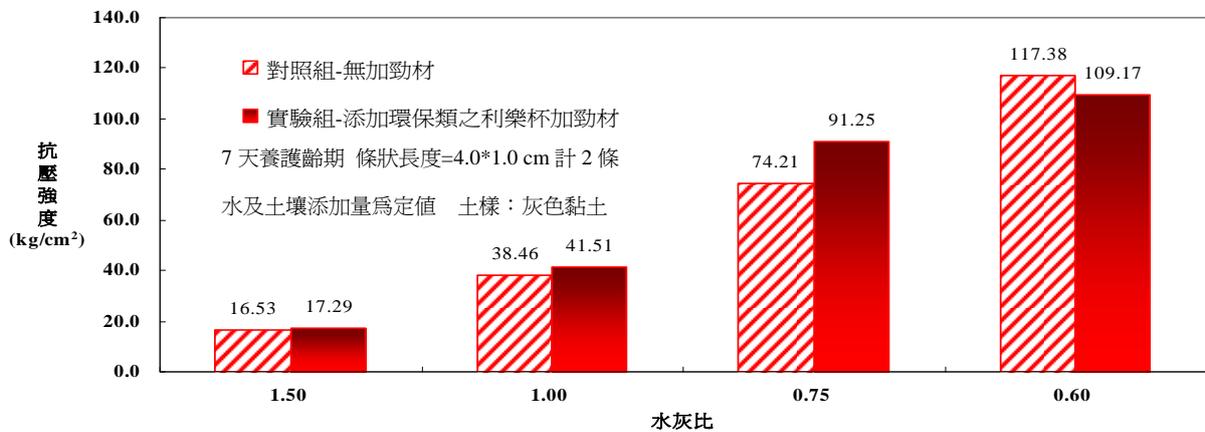


圖 5-12 添加不同水泥量下，環保類加勁材(條狀)與抗壓強度之關係圖

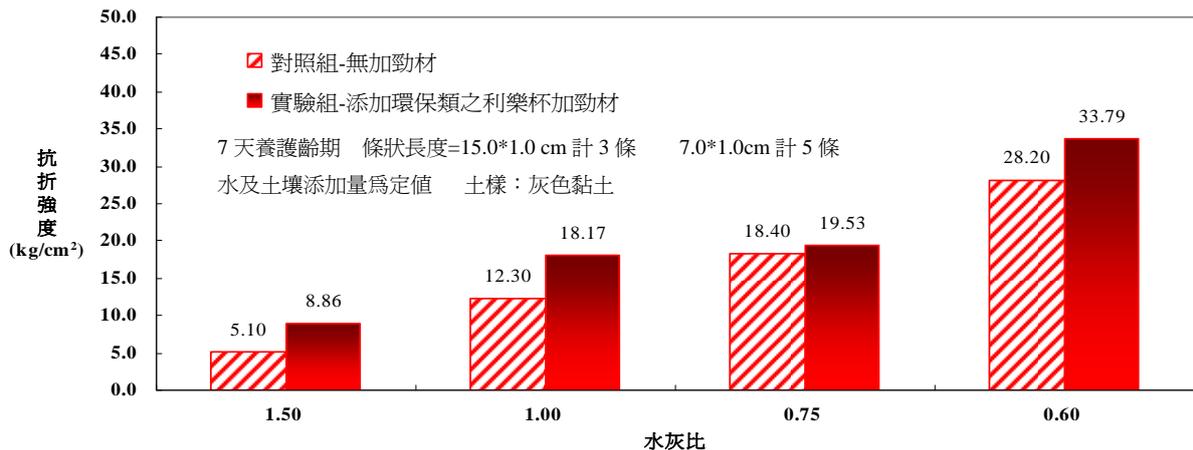


圖 5-13 添加不同水泥量下，環保類加勁材(條狀)與抗折強度之關係圖

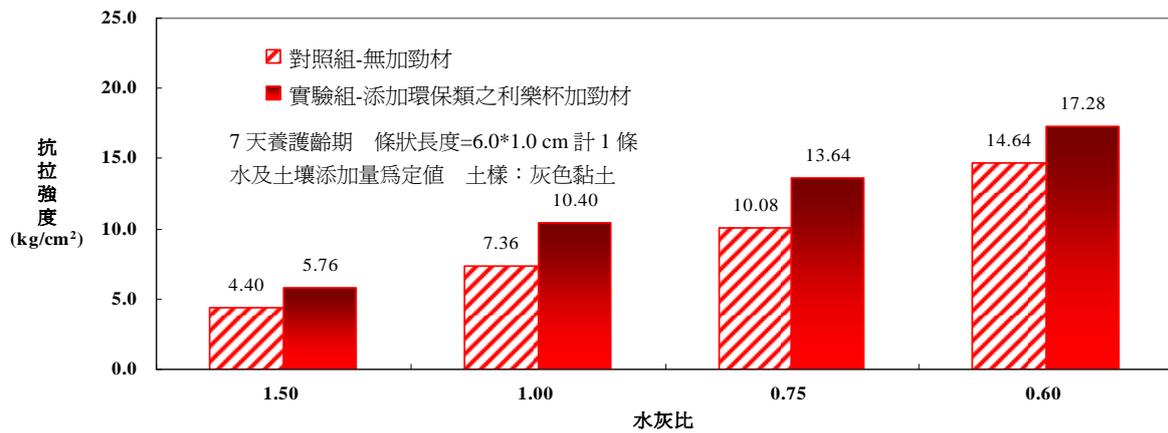


圖 5-14 添加不同水泥量下，環保類加勁材(條狀)與抗拉強度之關係圖

由表 5-4 及圖 5-12~5-14 環保類組成的加勁材進行試驗結果，其抗折與抗拉強度皆隨添加水泥量增加而增加，即水灰比由 1.5 減低至 0.6 強度具提升效果。但抗壓強度水灰比降至 0.6 時，則強度與對照組比較未必產生增加趨勢。

五、添加不同水泥量對於不同寬度加勁材下，探討加勁材與土泥漿之握裹能力影響

表 5-5 為以同一類環保加勁材，即利用不同寬度之條狀利樂杯作為加勁材，寬度分別為 2.0cm、1.0cm、0.5cm，以軸向與橫向的長度分別為 15cm 與 7cm 成棋盤式交叉排列的條狀利樂杯作為加勁材，並透過同一水固比(即土壤重+水泥重=定值=4800g)與水重(定值=2400g)之比值，不同之水泥添加量(水泥重=1600g、2400g、3200g、4000g)，進行抗拉試驗，並將實驗結果彙整如表 5-5、圖 5-15~17。

表 5-5 添加不同水泥量對於不同寬度之條狀加勁材的抗拉試驗數據結果

實驗類別	說明	W/C	W/S	重量比			體積比			抗拉強度 (kg/cm ²)	抗拉強度 (kg/cm ²)	抗拉強度 (kg/cm ²)	抗拉強度提升率 (%)	抗拉強度提升率 (%)	抗拉強度提升率 (%)
		$\frac{\text{水重}}{\text{水泥重}}$	$\frac{\text{水重}}{\text{水泥重} + \text{土壤重}}$	水	水泥	土樣	水	水泥	土樣	6*0.5cm	6*1.0cm	6*2.0cm	6*0.5cm	6*1.0cm	6*2.0cm
對照組	無加勁材	1.50	0.5	33.3%	22.2%	44.4%	58.5%	12.4%	29.1%	4.400	4.400	4.400	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	1.50	0.5	33.3%	22.2%	44.4%	58.5%	12.4%	29.1%	5.920	5.760	5.600	34.5	30.9	27.3
對照組	無加勁材	1.00	0.5	33.3%	33.3%	33.3%	59.2%	18.8%	22.1%	7.360	7.360	7.360	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	1.00	0.5	33.3%	33.3%	33.3%	59.2%	18.8%	22.1%	10.600	9.720	10.880	44.0	32.1	47.8
對照組	無加勁材	0.75	0.5	33.3%	44.4%	22.2%	59.8%	25.3%	14.9%	10.080	10.080	10.080	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	0.75	0.5	33.3%	44.4%	22.2%	59.8%	25.3%	14.9%	14.200	11.400	15.280	40.9	13.1	51.6
對照組	無加勁材	0.60	0.5	33.3%	55.6%	11.1%	60.5%	32.0%	7.3%	14.640	14.640	14.640	0.0	0.0	0.0
實驗組	利樂杯	0.60	0.5	33.3%	55.6%	11.1%	60.5%	32.0%	7.3%	20.080	15.280	16.520	37.2	4.4	12.8

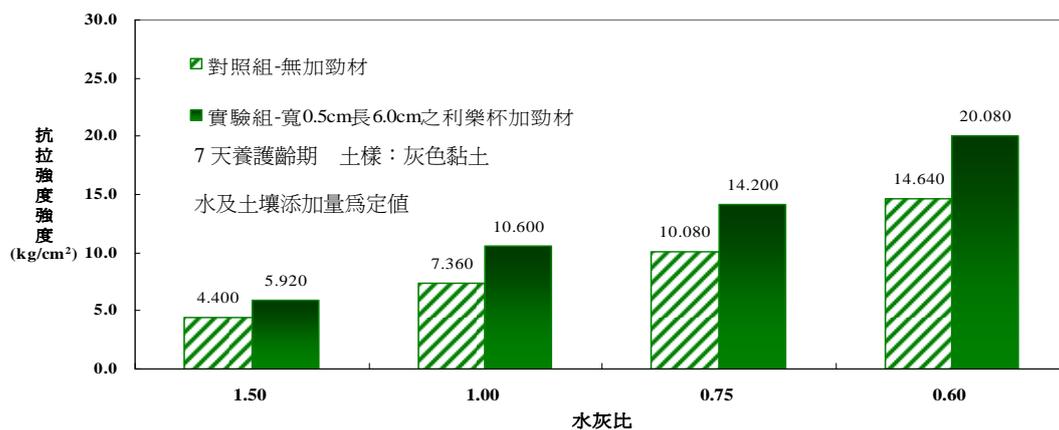


圖 5-15 添加不同水泥量下，環保類加勁材(0.5*6.0cm)對抗拉強度之關係圖

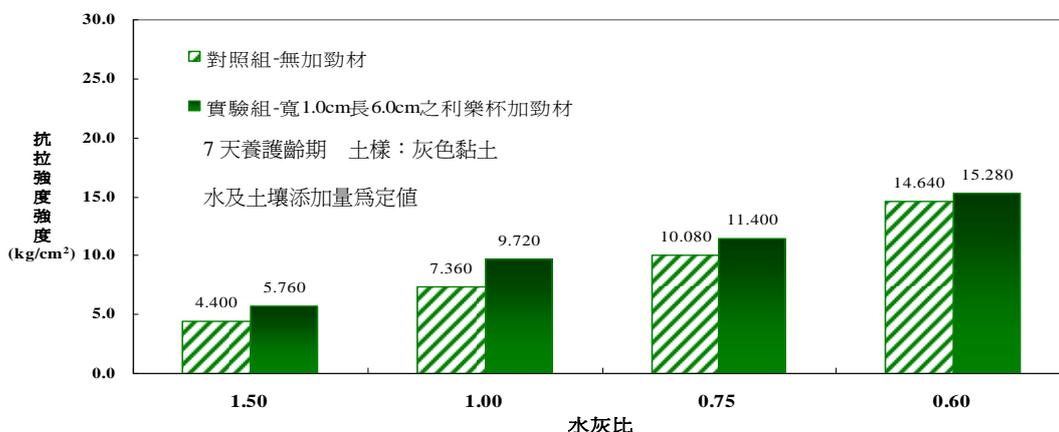


圖 5-16 添加不同水泥量下，環保類加勁材(1.0*6.0cm)對抗拉強度之關係圖

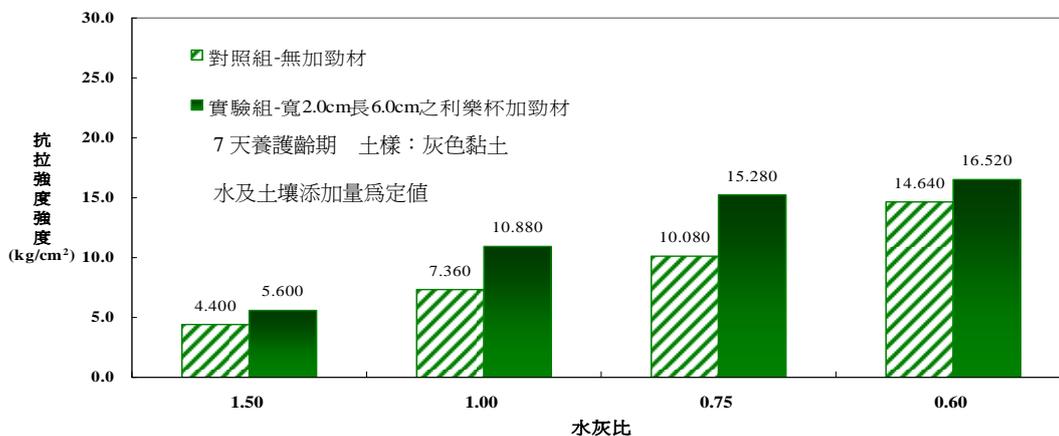


圖 5-17 添加不同水泥量下，環保類加勁材(2.0*6.0cm)對抗拉強度之關係圖

由表 5-5 及圖 5-15~5-17 環保類組成的不同寬度加勁材進行試驗結果，其抗拉強度皆隨添加水泥量增加而增加，即水灰比由 1.5 減低至 0.6 強度皆具提升效果。但加勁材寬度越大時，則抗拉強度與對照組比較未必產生正比增加趨勢。

六、添加不同條狀之天然類加勁材下，探討景觀磚之抗折強度影響

本系列試驗之土樣為石門水庫灰色淤泥，水灰比為 2.0，水固比為 0.5 之配比設計，本階段試體之抗折試驗採用標準紅磚尺寸(長=23cm、寬=11cm、高=6cm)，加勁材則採條狀方式排放，澆置拆模後養護齡期為 7 天浸泡在養護池中，進行一系列抗折試驗，並將試驗結果彙整如下所示，如表 5-6。

表 5-6 添加不同天然類加勁材的抗折試驗數據結果

實驗類別	說明	齡期(天)	加勁材層數	添加之加勁材規格				抗折強度(kg/cm ²)	抗折強度提升率(%)	
				軸向排列		橫向排列				實際照片
				長度(cm)	寬度(cm)	長度(cm)	寬度(cm)			
對照組	無加勁材	7.0	-	-	-	-	5.60	0.0		
實驗組	大王椰子樹葉	7.0	單層	19.2	4.73	9.6	4.1	5.10	-8.9	
	酒瓶椰子樹葉	7.0	單層	20.5	2.00	12.6	2.1	6.60	17.9	
	榕樹氣根	7.0	單層	21.0	φ=0.175	-	-	7.00	25.0	
	棕櫚樹纖維	7.0	單層	13.5	-	7.5	-	7.30	30.4	
	芒草葉梢	7.0	單層	15.4	φ=0.031	-	-	9.50	69.6	

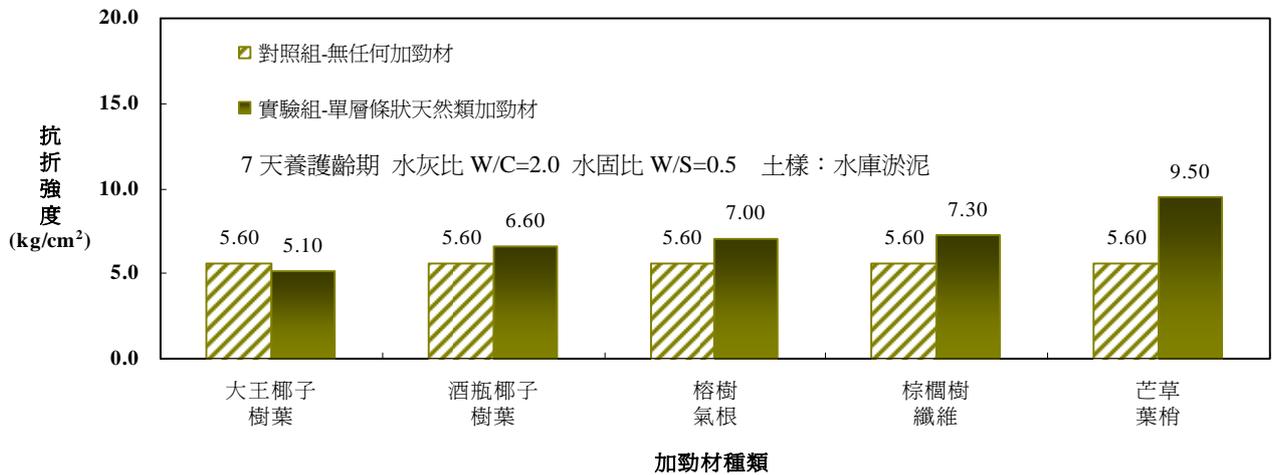


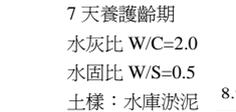
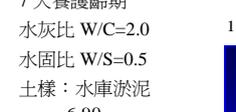
圖 5-18 添加不同的天然類加勁材與加勁磚的抗折強度之關係圖

由表 5-6 及圖 5-18 天然類組成的加勁材之試驗結果，其抗折強度皆與對照組有提升趨勢，其中以芒草葉梢及棕櫚樹纖維為最高，但大王椰子之加勁材卻反而呈現抗折強度不增反降現象。

七、添加不同層數之環保類加勁材下，探討加勁磚之抗折強度影響

本系列試驗之土樣為石門水庫灰色淤泥，水灰比為 2.0，水固比為 0.5 之配比設計，本階段試體之抗折試驗採用標準紅磚尺寸(長=23cm、寬=11cm、高=6cm)，加勁材則採條狀方式排放，澆置拆模後養護齡期為 7 天浸泡在養護池中，進行一系列抗折試驗，並將試驗結果彙整如下所示，如表 5-7。

表 5-7 不同層數之環保類加勁材對於抗折強度試驗數據結果

實驗類別	說明	齡期(天)	加勁材層數	添加之加勁材規格				實際照片	抗折強度(kg/cm ²)	抗折強度提升率(%)
				軸向排列		橫向排列				
				長度(cm)	寬度(cm)	長度(cm)	寬度(cm)			
對照組	無加勁材	7.0	-	-	-	-	-	5.60	0.0	
實驗組	硬質寶特瓶	7.0	單層	15.7	1.4	8.5	1.2		6.60	17.9
		7.0	雙層	15.7	1.4	8.5	1.2		9.90	76.8
	中質寶特瓶	7.0	單層	15.7	1.4	8.5	1.2		6.80	21.4
		7.0	雙層	15.7	1.4	8.5	1.2		8.50	51.8
	軟質利樂杯	7.0	單層	15.3	1.1	7.1	1.2		6.40	14.3
		7.0	雙層	15.3	1.1	7.1	1.2		6.80	21.4
	輕質吸管	7.0	單層	22.3	0.9	10.3	0.9		6.70	19.6
		7.0	雙層	22.3	0.9	10.3	0.9		6.90	23.2
	細質合成纖維	7.0	單層	18.5	-	8.5	-		8.90	58.9
		7.0	雙層	18.5	-	8.5	-		11.70	108.9

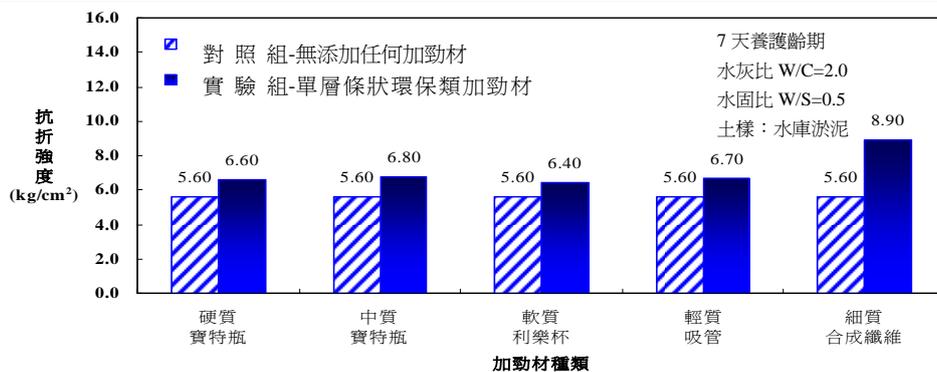


圖 5-19 添加不同的單層環保類加勁材與加勁磚的抗折強度之關係圖

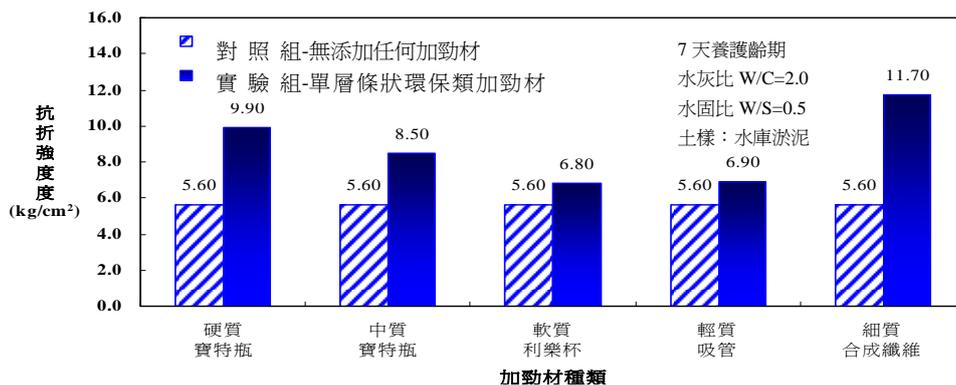


圖 5-20 添加不同的雙層環保類類加勁材與加勁磚的抗折強度之關係圖

由表 5-7 及圖 5-19~20 環保類組成雙層的加勁材之試驗結果，實驗組抗折強度皆與對照組有提升趨勢，其中以細質合成纖維之加勁材為最高。

八、添加不同的雙層環保類與市購類之加勁材下，探討加勁磚之抗折強度影響

本系列試驗之土樣為石門水庫灰色淤泥，水灰比為 2.0，水固比為 0.5 之配比設計，本階段試體之抗折試驗採用標準紅磚尺寸(長=23cm、寬=11cm、高=6cm)，加勁材則採條狀方式排放，澆置拆模後養護齡期為 7 天浸泡在養護池中，進行一系列抗折試驗，並將試驗結果彙整如下所示，如表 5-8。

表 5-8 添加不同的雙層環保類與市購類之加勁材對於抗折強度試驗數據結果

實驗類別	說明	齡期(天)	加勁材層數	添加之加勁材規格				實際照片	抗折強度(kg/cm ²)	抗折強度提升率(%)
				軸向排列		橫向排列				
				長度(cm)	寬度(cm)	長度(cm)	寬度(cm)			
對照組	無加勁材	7.0	-	-	-	-	-		5.60	0.0
實驗組	硬質寶特瓶	7.0	雙層	15.7	1.4	8.5	1.2		9.90	76.8
	軟質利樂杯	7.0	雙層	15.7	1.4	8.5	1.2		8.50	51.8
	輕質吸管	7.0	雙層	22.3	0.9	10.3	0.9		6.90	23.2
	細質合成纖維	7.0	雙層	18.5	-	8.5	-		11.70	108.9
	鐵絲網	7.0	雙層	18.0	6.3	18.0	6.3		14.60	160.7
	白色塑膠細網	7.0	雙層	17.9	6.6	17.9	6.5		8.50	51.8
	黑色塑膠格網	7.0	雙層	18.1	8.2	18.1	7.8		6.10	8.9

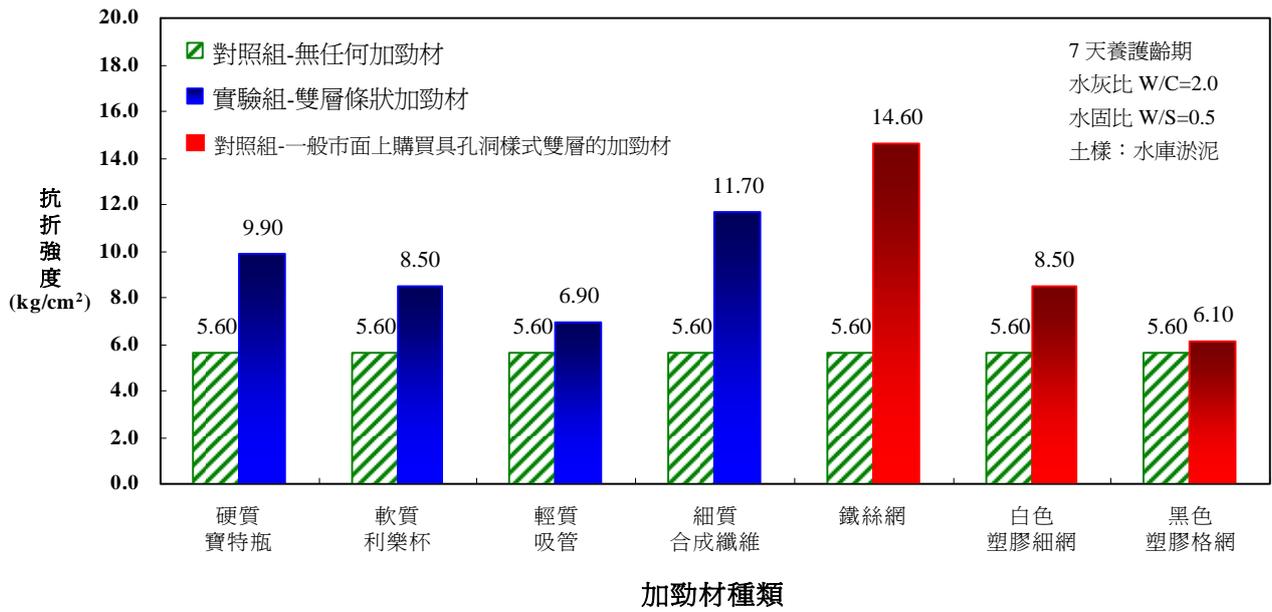


圖 5-21 添加不同的雙層環保類與市購類之加勁材與加勁磚的抗折強度之關係圖

由表 5-8 及圖 5-121 環保類組成雙層與一般在市面上購買到的具孔洞樣式的加勁材之試驗結果，實驗組抗折強度皆與對照組有提升趨勢，其中以細質合成纖維與鐵絲網之加勁材為最高。

陸、討論

綜合前述之研究結果，我們就各階段之研究方式與過程的控制變因，所導致之應變結果提出下列幾點分析探討：

一、土壤基本物理性質試驗

本專題共採集三種皆屬黏土質土壤(Clay Soil)，其相關的基本物理性質(如比重、塑性限度、液性限度等)大致相近，唯水庫淤泥的粒徑分析結果，含泥量高達 97%，而造成土樣遇到水軟化，表面潤滑，無法具有任何強度或自立性，完全乾燥狀態時，則堅硬很難挖掘，導致工程應用上較少使用。因此本專題透過添加水泥系黏結料與適當水量使它成爲一具有強度的景觀造圍的側牆構材，此硬化性質類似水泥砂漿，但強度未能如其相等，但可有效應用於結構安全性要求較低之景觀工程上。

二、添加不同植物根莖葉(條狀)之加勁材的力學特性分析

由圖 6-1~6-2 之結果顯示，天然類加勁材對於強度提升率須在達 7 天養護齡期之後，才有明顯的發展趨勢，即表示 1 天與 3 天之水化反應尚未完全，土漿體無法提供與加勁材間界面足夠的握裹能力，可使加勁效應發揮。

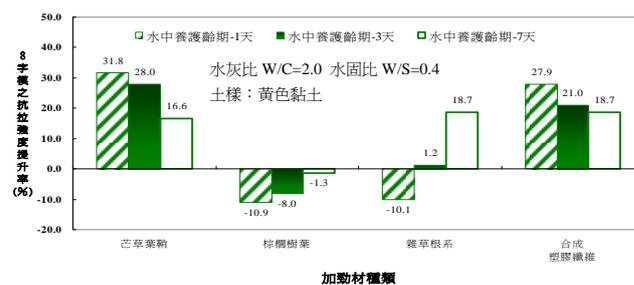
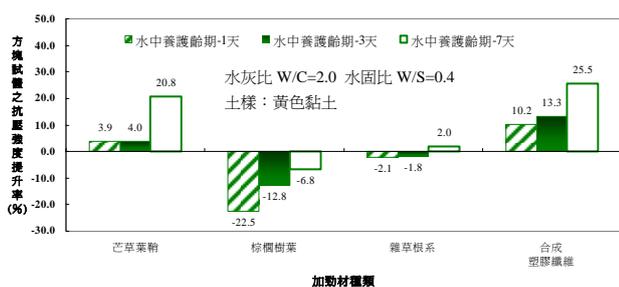


圖 6-1 天然類加勁材對(方體模)抗壓強度提升率與齡期之關係圖 圖 6-2 天然類加勁材對(8 字模)抗拉強度提升率與齡期之關係圖

三、添加不同環保資源回收料(條狀)之加勁材的力學特性分析

由圖 6-3~6-4 之結果，環保類加勁材對於強度提升率亦須在達 7 天養護齡期之後，才有正向的發展趨勢，但大部分未能有效發揮效果原因，經由我們探討結果，由於該系列之試體養護方式爲浸泡在水中，進行試驗時僅僅將試體擦拭表面乾的程度，即試體實驗時呈面乾內飽和之含水狀態(平均爲含水量 \div 28~30%)，即進行抗壓與抗拉試驗，導致實驗組的強度發展未如預期的發展趨勢，也就是漿體固化未完全時，含水量之多寡將影響相關之強度提升效益，加上採條狀面寬、表面光滑之加勁材將產生交界面有受力弱面，而提前受力破壞情形。

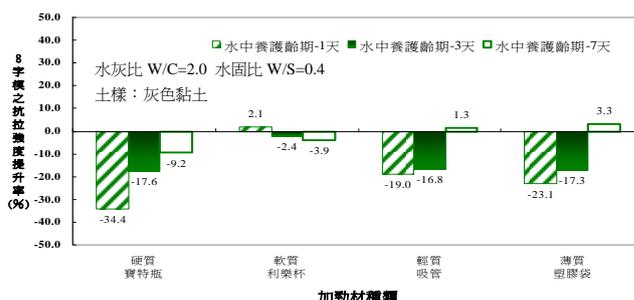


圖 6-3 環保類加勁材對(方體模)抗壓強度提升率與齡期之關係圖 圖 6-4 環保類加勁材對(8 字模)抗拉強度提升率與齡期之關係圖

四、添加不同水泥量下，探討加勁材與土泥漿的握裹力影響性--以環保加勁材為例

由圖 6-5 之結果，以條狀環保類加勁材添加於土漿體進行抗壓試驗中得知：當水灰比=0.75 時，強度提升率為最高；由抗折試驗中得知：當水灰比=1.50 時，加勁效果最佳；由抗拉試驗中得知：當水灰比=1.00 時，則抗拉強度提升率最大。我們觀察此系列的強度趨勢發展，推估水泥漿強度與加勁材界面之握裹力有絕對關係。

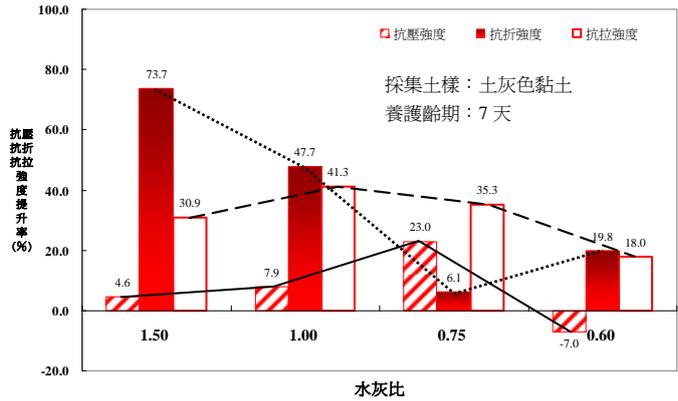


圖 6-5 添加不同水泥量下，環保類加勁材對各項強度提升率之關係圖

我們認為當水灰比很低時，即代表水泥漿體本身強度很高，此時加勁材所提供強度畢竟有限；但當水灰比很高時，則為加勁磚本身強度需要加勁材提供額外的輔助，以抵抗外力破壞，因此當水灰比=1.5 時之抗折強度提升率高達 73.7%。但抗壓強度之加勁效果探需考量水泥漿強度與加勁材與界面的握裹力。

表 6-1 添加不同水泥量之配比設計與換算各材料所佔之重量比與體積比一覽表

項次	說明	W/C	W/S	固體重 設定值 (g)	重量			重量比			體積比		
		$\frac{\text{水重}}{\text{水泥重}}$	$\frac{\text{水重}}{\text{水泥重} + \text{土壤重}}$		水 (g)	水泥 (g)	土樣 (g)	水	水泥	土樣	水 (比重=1.00)	水泥 (比重=3.150)	土樣 (比重=2.75)
1	前期 配比	2.00	0.5	4800	2400	1200	3600	33%	17%	50%	58.2%	9.2%	32.6%
2	本系列 配比	1.50	0.5	4800	2400	1600	3200	33%	22%	44%	58.5%	12.4%	29.1%
3		1.00	0.5	4800	2400	2400	2400	33%	33%	33%	59.2%	18.8%	22.1%
4		0.75	0.5	4800	2400	3200	1600	33%	44%	22%	59.8%	25.3%	14.9%
5		0.60	0.5	4800	2400	4000	800	33%	56%	11%	60.5%	32.0%	7.5%

五、添加不同水泥量對於不同寬度加勁材下，探討加勁材與土泥漿之握裹力影響

由圖 6-6，加勁材在此水灰比=1.5 ~0.6 間皆有強度提升之正面效應，且加勁材越細之提升率越高。探究其原因，推估水泥漿與加勁材之間握裹力大小，在於加勁材與水泥漿之接觸面比表面積呈正比趨勢，即單位重量的接觸面積越大，則產生之握裹力越高，由前期之合成塑膠纖維亦可得證此趨勢。

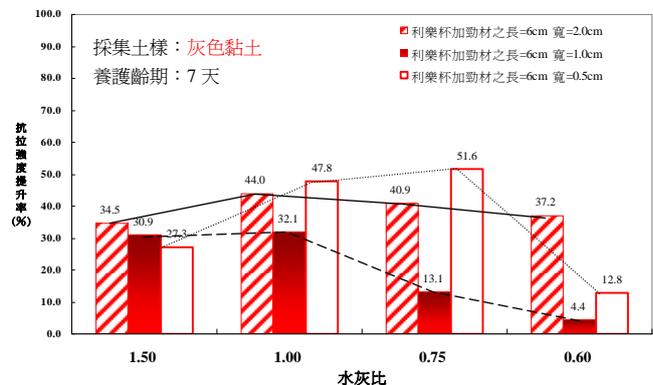


圖 6-6 添加不同寬度下，環保類加勁材對抗拉強度提升率之關係圖

此外另可發現寬度 1.0cm 的條狀環保加勁材於 8 字模進行抗拉試驗是具有隨水灰比提高而升高加勁效應的趨勢，表示握裹力與其漿體界面的保護層也具有直接關係。

六、添加不同條狀之天然類加勁材下，探討加勁磚之抗折強度影響

由圖 6-7，我們發現天然類條狀加勁材對於抗折強度提升具有正面效應，但大王椰子樹葉反降強度探究其原因，當添加之加勁材葉面過大時，將導致此材料在漿體內形成一弱面，受外力作用時則提前產生破壞。而芒草葉梢之加勁效果最佳原因，主要為此加勁材與水泥漿握裹效果較佳，材料的直徑為 0.047cm 且為數眾多。

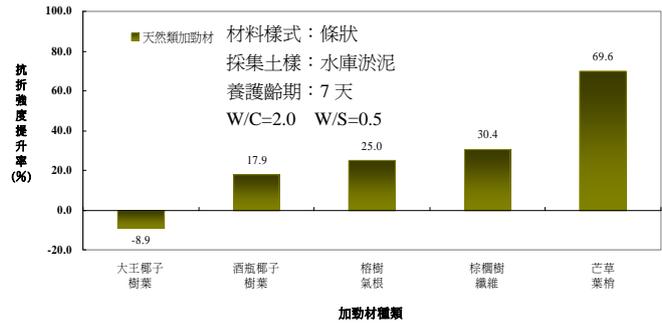


圖 6-7 添加不同的天然類加勁材對抗折強度提升率之關係圖

七、添加不同層數之環保類加勁材下，探討加勁磚之抗折強度影響

由圖 6-8 得知，雙層之加勁材皆較單層之加勁材提升率為高，即加勁材與漿體之接觸比表面積越大，則產生之握裹力越高，強度提升越高。

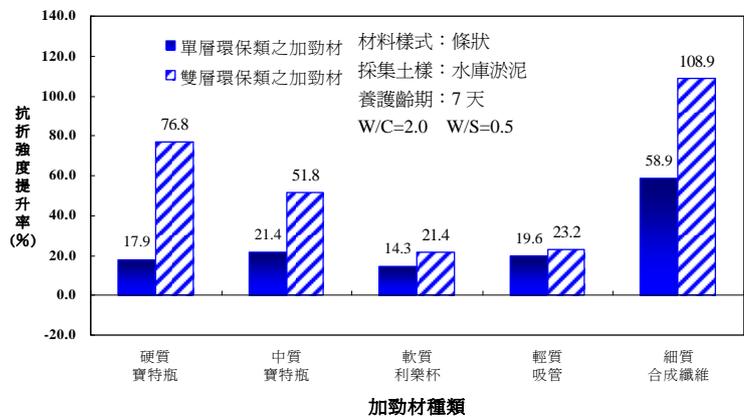


圖 6-8 添加不同層數之環保類加勁材對抗折強度提升率之關係圖

八、添加不同的雙層環保類與一般市購類之加勁材下，探討加勁磚之抗折強度影響。

由圖 6-9，各雙層加勁材皆具有強度提升效益，其中細質合成塑膠纖維為最佳，原因我們推估加勁材與水泥漿之接觸面比表面積多，促使對加勁具有正比發展趨勢，此外加勁材本身材質也有相對應之關係，當漿體握裹力相等時，則需考量材料本身的抗拉強度與界面摩擦力的因素，而鐵絲網便具有此特性。因此強度提升率可高達 160.7%之多。

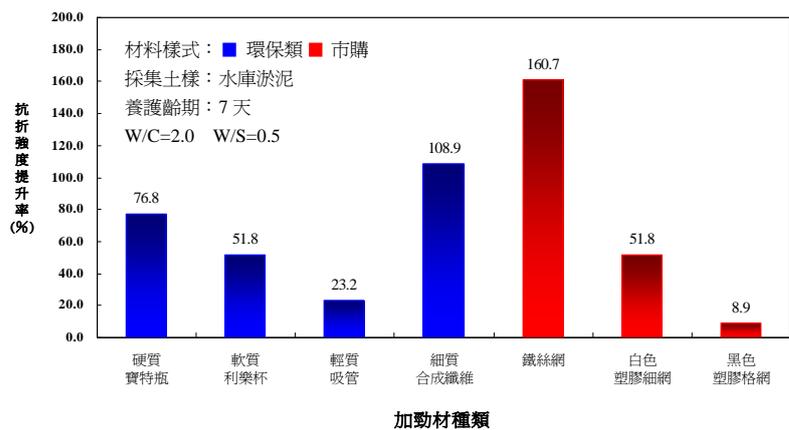


圖 6-9 添加不同的雙層環保類與一般市面購買之加勁材對抗折強度之關係圖

柒、結論

本研究係透過一系列抗壓、抗拉及抗折實驗方式，以水泥作為黏結材，並將水庫淤泥或工程棄土與適當水量去調配出達到具施工性、符合景觀造園之安全性的景觀磚，透過添加各式各樣天然類與環保類之資源回收料作為提升強度的加勁材，藉此發展出一種更優質的景觀磚。以下就本研究歸納出下列幾點結論：

一、採集土樣之物理特性

經由土壤粒徑分析，我們發現水庫淤泥含泥量高達97%之多，汐止一代的工程棄土亦屬黏土類之灰色或黃色土壤，水庫淤泥在同一流動性之前提下添加較多之水量。

二、景觀磚之力學特性

(一) 添加天然類加勁材之強度發展趨勢比較

天然類之加勁材，如椰子葉無加勁效果，反而會讓強度降低，探討其原因為椰子葉之加勁材可能會造成弱面且握裹力較差；細長的植物的根莖葉或纖維較具提升正面的強度成效。



(二) 添加環保類加勁材之強度發展趨勢比較

在所有的回收塑膠加勁材中以合成纖維的強度提升效果最佳亦最穩定，故若將回收的塑膠加勁材，均加以處理成細長狀，必然能大大提升加勁成效。

(三) 強度提升握裹力影響因素

綜合上述結果可以證明加勁材以細長狀之材料最佳，其原因應當是單位重量具有較大的接觸面積提供較佳的握裹力，且因排列方向呈現散佈狀態較廣，能夠抵抗不同方向之外力。

(四) 強度提升之握裹力影響因素

綜觀加勁材的強度提升率的圖表中，抗折與抗拉強度隨水灰比增加而有增加的趨勢，原因為水灰比高(W/C=1.0~1.5)時，對照組抗折與抗拉強度甚低，故用加勁材能有效提升抗折與抗拉強度，而當水灰比低(W/C=0.75~0.6)時，對照組本身漿體之抗折與抗拉强度高，故用加勁材提升抗折與抗拉強度提升率貢獻度較少，因此我們推估水泥體積比達到32.0%時，試體內水化反應產生硬化結果已不需此加勁材來提供抗壓強度輔助。此外硬質其加勁效果較為佳，推估可能原因是彈性係數大，故可縮小變形量，而較為纖細的加勁材則是比表面積大可提升握裹力，強化加勁成效。

三、景觀磚之實際應用考量

在實際應用上必須考量該材料之研製成本(現有紅磚=2.5~5.5/塊)與應用範圍(花圃矮牆)，為定義景觀磚之強度值，用於花圃矮牆上須考量人為的正向壓力及土壤的側向壓力。我們將正向壓力設為200kg，接觸面為66 cm²，安全係數為3的情況下，求得花圃矮牆的工程需求強度只需要9.09 kg/cm²，而我們的磚強度運用在花圃矮牆是綽綽有餘的。經

此強度設定值，便可透過配比設計之重量比，估算出一塊景觀磚約需水泥0.8kg，若以1包水泥50公斤，市價140元，則一塊景觀磚之水泥成本2.56元。如下表所示，現今紅磚一塊約為2.5~5.5，若本專題研製之景觀磚可將其他成本降至=1.34元則取代現代紅磚應用在花圃矮牆之工程上是具有相當可行性，且現今環保意識盛行，只要成本不超出紅磚太多，一樣擁有取代紅磚地位的可行性。

表7-1 花圃用磚、紅磚及景觀磚之工程需求強度對照表

種類 強度	花圃用磚 工程需求	現行使用 紅磚	本研究 景觀磚
抗壓	9.09 kg/cm ² (= $\frac{200kg}{66cm^2} * 3$)	70 kg/cm ²	19.9 kg/cm ²
抗拉	約 0.91 kg/cm ² (= $\frac{1}{10}$ 抗壓強度)	7 kg/cm ² (= $\frac{1}{10}$ 抗壓強度)	5.3 kg/cm ²
抗折	約 8.09 kg/cm ² (= $\frac{2}{10}$ 抗壓強度)	約 14 kg/cm ² (= $\frac{2}{10}$ 抗壓強度)	17.7 kg/cm ²

表 7-2 景觀磚與紅磚之經濟性、施工性、安全性及環保性對照一覽表

項次	項目	一塊景觀磚	一塊市售紅磚
1	成本	水泥 1.16元 加勁材 人工 運銷 淤泥 (經濟性) 若小於 2.50-1.16 =1.34元 則具有市場競爭性	約 2.5~5.5元 
			
2	單塊重量 (施工性)	1778.4g (較輕) 	2933.5g (較重) 
3	抗壓強度 (安全性)	19.9 kg/cm ² > 9.09 kg/cm ² (工程需求)	70 kg/cm ² > 9.09 kg/cm ² (工程需求)
4	淤泥去化問題 (環保性)	佳	無

四、整體效益

傳統紅磚於景觀造圍之工程需求上屬大材小用，且製程繁雜外，所產出的二氧化碳量極高，在全球節能省碳的共識下，本研究具有新的綠色節能思維與綠色節能的價值。透過水庫淤泥或工程棄土以及資源回收材料之有效應用於景觀造圍之工程上，不但解決水庫淤泥之去化問題，亦可處理廢土困境，而且此磚重量輕，若使用我們的景觀磚，一方面在強度上並不浪費，另一方面還可以創造廢棄資源的再生利用，在造型、顏色上做自己喜歡的變化，達到客製化需求，並達成經濟、美觀與環保的綠能目標。

捌、參考資料及其他

- 一、陳耀如、洪國珍、劉叔松，工程材料 I，初版，台北市，旭營，民 90。
- 二、陳兩達、張簡宏裕、陳加宜，工程概論 I，二版，新北市，台科大，民 100。
- 三、陳宏州，工程力學，一套 平裝，台北市，矩陣，民 98。
- 四、蔡攀鰲，土木材料試驗，四版，台北市，三民書局，民 82。
- 五、沈茂松，實用土壤力學試驗，增訂第八版，台北市，文笙書局，民 90。
- 六、黃兆龍，混凝土材料品質控制試驗，二版，台北市，詹氏書局，民 93。
- 七、CNS 中國國家標準 總號：11739 類號：R3142 絕熱耐火磚抗折強度試驗方法。

【評語】 091201

1. 研究團隊以水庫淤泥及工程回收棄土附以不同加勁材質以研發綠能景觀磚，研究動機具綠能與資源回收特色。
2. 透過力學試驗來評析研發材質特性在研究方法上相當完整。
3. 所研發之綠能景觀磚若僅在取代傳統磚材，以目前成果實難評定其替代效率與實務應用誘因。
4. 水庫淤泥與工程棄土在土壤組成或力學特性上本就差異很大，應有不同應用與開發，方符合綠能與資源回收所需。
5. 所分析與比較之變因眾多，應強調綠能景觀磚研發重點與可取代既有建材之特色。