

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

最佳團隊合作獎

052610

人行道透水磚以碎玻璃與環氧樹脂取代水泥系
材料之可行性研究

學校名稱：國立羅東高級工業職業學校

作者： 高二 涂仕豪 高二 劉立夫 高二 曾郁倫	指導老師： 陳庭祥
---	------------------

關鍵詞：透水磚、透水率、孔隙率

摘要

現因都市化影響大多使用不透水鋪面，該鋪面會使降雨無法滲入土壤，積水問題不斷發生。透水磚即是透水性鋪面的一種，其鋪面可達保水、透水之效用，亦可降低都市河川洪患。

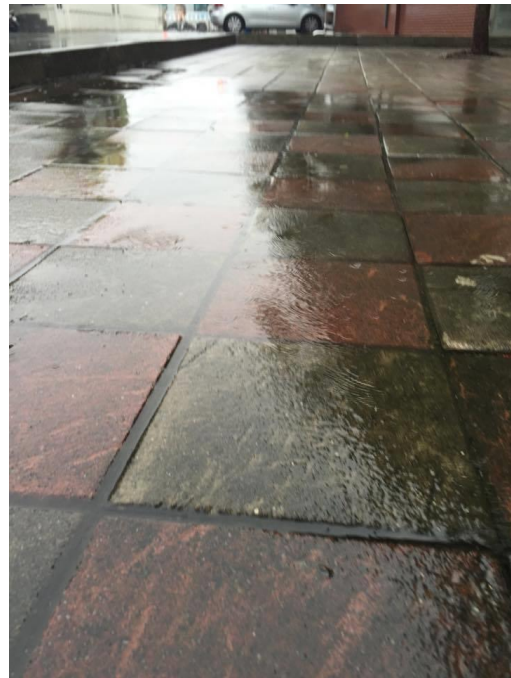
本研究以碎玻璃作為粒料，以環氧樹脂添加玻璃粉作為黏結料，經各項實驗後獲得之透水磚其合理透水係數介 $1.405 \times 10^{-2} \sim 3.021 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ，孔隙率介於 6%~30%，抗壓強度介於 $53.2 \sim 129.6 \text{kgf/cm}^2$ 。在實地測試，在每平方公分一小時可以流過 1700cc，遠大於豪大雨的 500cc，可減少地表逕流量，使災害降低。

本組所研究高透水性之透水磚具美觀且能讓整體環境增加透水率，在暴雨時也不會使人行道積水，同時達到雨水回收及基地保水之功效，也可讓國內外的廢玻璃達到有效的利用。

壹、研究動機

各國家的地區逐漸都市化，地表上硬鋪面越來越多，又以我們所居的台灣為例，台灣時常下雨，硬鋪面的人行道就會積水，颱風來時更是容易積水成災，即使是透水磚也無法及時排除雨水。因此本研究想藉由改善透水磚，除了解決積水的問題，還能達到基地保水的功效。

表 1-1 積水情形表



貳、研究目的

本組希望藉由文獻調查及實驗研究法將透水磚之骨材-石材替換成碎玻璃，並以環氧樹脂添加玻璃粉做為黏結材料，期望透過研究製作出具有以下 3 點特性之透水磚：

- (一) 探討不同玻璃粉百分比設計對於碎玻璃透水磚之孔隙率與透水率影響
- (二) 在環氧樹脂中添加玻璃粉增加碎玻璃透水磚之抗壓強度
- (三) 分析碎玻璃透水磚之可行性

表 2-1 傳統透水磚鋪設現況



參、研究設備及器材



環氧樹脂(主劑)



環氧樹脂(硬化劑)



水桶



牛油和刷子



碎玻璃(4 號)



碎玻璃(8 號)



碎玻璃(16 號)



電子磅秤



5*5 試體模



燒杯



蓋平石膏



定水頭試驗儀



烘箱



抗壓試驗機



搖篩機



木材切割機(小)



木工鋸床 (大)



釘槍



矽利康



捲尺



攪拌機 (小)



攪拌機 (大)



鐵盤



勺子

肆、研究過程或方法

本研究採用實驗研究法進行實驗，以碎玻璃與環氧樹脂中添加玻璃粉加工而成透水磚，分析其抗壓強度、孔隙率、透水率，得出添加玻璃粉最佳百分比。研究架構圖如下。

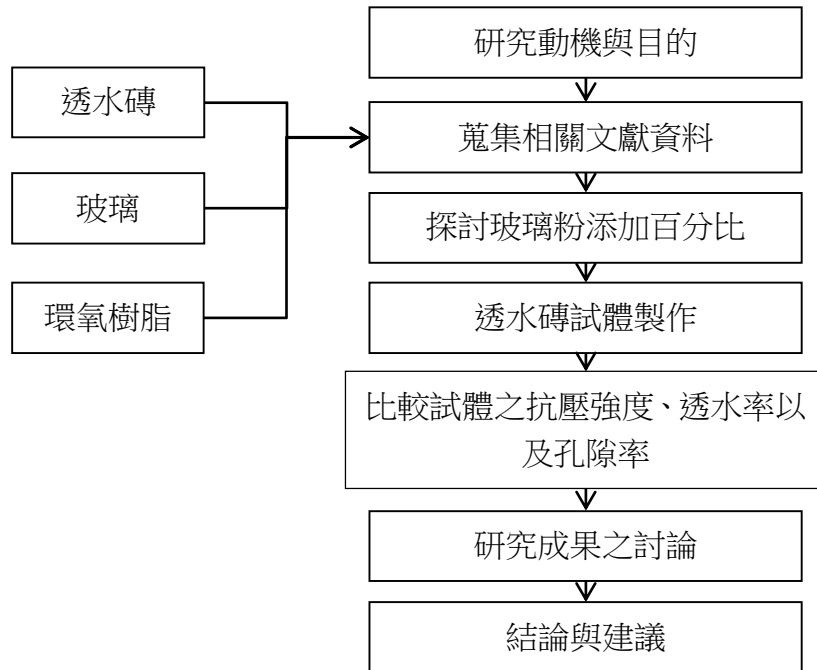


圖 4-1 研究架構圖

一、文獻調查

國內外對於透水磚之相關文獻做一說明，進而分析合適材料，並針對以下三點詳加說明。

(一) 透水磚

1. 透水磚之使用目的

依據波爾瓦多的市政會議指出，因都市化影響將會增加地表逕流量，為解決排水不良所造成的大量積水，必須增建都市暴雨的防洪設施做完改善方式，唯獨建造成本較高，但若採用輔助技術例如透水性鋪面，可以降地 20%~30%的成本費用。

(Balades, 1992)

相關鋪面材料的品質對於步道的性能影響甚鉅，尤其是運用在透水性鋪面，直接受到雨水的侵蝕，因此材料的選擇更為重要，透水性鋪面必須達到透水效能之外，也需符合一般設計規範在住宅區中鋪設透水性鋪面，探討對於地下水層之涵養及雨

水回收再利用之效能，並進行透水鋪面之實測分析以及特性評估；其結果顯示在不考慮成本和水質好壞的情況下，鋪設透水鋪面對於提供家庭廁所洗淨用水有著相當顯著之成效。(Pratt, 1999)

2. 透水磚之組成材料

(1)黏結材料-水泥

黃建達(2003)指出波特蘭水泥為一種水硬性水泥，主要是由矽酸鈣鹽類所組成。加水後產生化學反應而將會有凝結作用與硬固作用，並與骨材膠結一起拌合形成混凝土，這是土木工程界普遍使用的營建材料。水泥的產製是使用石灰質材料與黏土材料並以適當的配比而組成，生料再經過研磨、煨燒、急速冷卻等步驟後變成熟料，加入石膏研磨後形成水泥。

(2)填充材料-骨材

黃建達(2003)指出骨材為透水混凝土之主要架構，主要是提供強度的材料之一，骨材包含普通骨材(礫石、砂、卵石)或特殊骨材(輕質骨材、回收營建材料等)。對於碎石型骨材中針片狀顆粒應盡量減少使用，骨材含泥量不大於1%。為了保證透水磚之透水性能與力學強度，骨材顆粒級配為整體透水性與力學強度變因，粗骨材通常採用單一粒徑骨材或級配顆粒介於 3/4 至 3/8 英寸(19mm 至 9.5mm)之間。

(3)面層與基層

面層通常為耐磨材，如磚材、石材等面材，基層通常為承載層，如：砂石、混凝土等如圖。

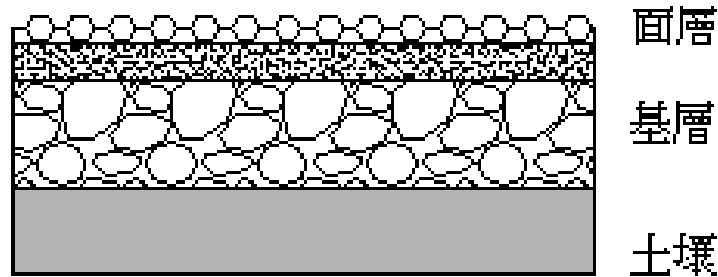


圖 4-2 鋪面架構示意圖

透水磚之載重人行廣場，低強度極高透水性之工程，藉由配比設計與製程控制其特性以達需求，只要做為無須壓密之回填材料或水工結構物，其 200psi (1.4MPa) 至 2000psi (14MPa) 之間，藉由粗骨材表面的一般水泥漿體，使骨材表面接觸互相固結而發揮強度，同時形成多孔隙的結構體，因此具有相當大的透水性。

表 4-1 透水地磚之品質規定 (行政院工程會-透水磚規範)

品質項目	試驗值	試驗方法
透水率 (cm/sec)	1×10^{-2} 以上	CNS 14995
抗壓強度 (kgf/cm ²)	175 以上	CNS 13295
抗彎強度 (kgf)	1200 以上	CNS 13295

(二) 玻璃

朱明瑜 (2009) 指出玻璃的特性與天然砂石相似，其成分主要由二氧化矽、碳酸鈉、鋁、鉛、硼矽、石英等所組成，其主要特性如下：

1. 比重

玻璃比重依組成的成分而不同，通常約在 2.2~6.6 之間。石英玻璃之比重最輕約 2.2，若玻璃內含鉛等重金屬，則其比重達 6.0 以上。

2. 強度

玻璃的強度範圍很廣，一般建築物的窗戶用玻璃之抗壓強度約在 400~13500 kgf/cm²，抗拉強度 150~900 kgf/cm²，抗彎強度 200~1300 kgf/cm²。又由於建築物因所處環境等因素而常受風壓，所以玻璃以抗彎強度較重要。(陳春木，2011)

3. 硬度

玻璃之硬度是指抵抗堅硬物刻劃之能力，因所含的成分及熱處理過程而不同，根據奧國礦物學家莫氏創立的莫式硬度表，將硬度區分為 10 級，一般玻璃的硬度在 5.5~6 之間。

4. 粒形佳

經過二次破碎以及篩選後的廢玻璃，其表面具多菱角的特性，作為鋪面之材料可提高與材料之間的互制效果，增加其內摩擦力。

5. 高硬度

玻璃硬度較河川砂石高且耐磨性佳，除了以玻璃和砂石磨擦，砂石的表面會被玻璃刮傷外；且經測試路面抗滑試驗檢測，其結果證實可增加路面磨擦係數，提高行車安全。（蘇南，2000）

6. 透水性佳

由於玻璃吸水率低，相對透水性較一般砂石高，一般玻璃的滲透係數為 10-1~10-2cm/s，是為良好的排水材料。（陳金獅，2001）

（三）環氧樹脂

環氧樹脂於 1947 年為美國所研發製成，其成分是用丙二酚 A（bisphenol-A）及環氧氯丙烷，在鹼性觸媒中反應而生成。在熱硬性塑膠中，環氧樹脂可用價值高，具絕緣性佳、收縮性低、耐化學性，在室外具有耐候性，其特性如下。

1. 耐藥品性。
2. 用耐磨性、強韌性、機器強度大。
3. 黏結性極佳。
4. 機械加工良好。
5. 硬化後之收縮性甚小。
6. 不添加硬化劑，可長期保存。（陳春木，2011）
7. 環氧樹脂抗壓強度可達 650kgf/cm²（梁硯翔，2009）

(四) 前置研究

本組回顧前一次研究的結論，找到最佳配比為 8 號篩重量比 1：10，孔隙率為 44%，透水率為 $1.11 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ ，抗壓強度達到 61.8kgf/cm^2 ，且孔隙率和透水率皆有優於 CNS488 與行政院公共工程委員會要求之孔隙率需 $\geq 15\%$ 、透水率需 $> 1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ，唯獨抗壓強度不足，於是本研專注於提高抗壓強度，與探討本研究之透水磚應用於人行道可行性，下圖 4-3 與 4-4 為篩號數、重量比與性質之間的關係圖。

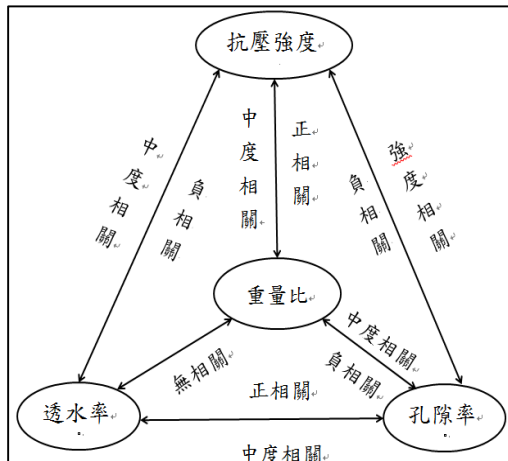


圖 4-3 重量比相關性圖

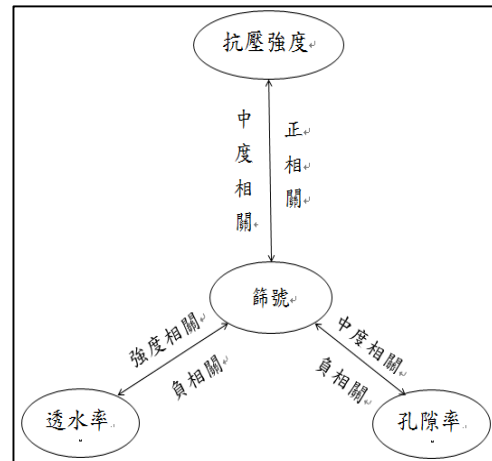


圖 4-4 篩號相關性圖

二、實驗研究

由於前次研究之抗壓強度不足，本次實驗將強化玻璃取代普通玻璃，並且在環氧樹脂中添加玻璃粉，實驗項目包含抗壓強度前測、定水頭試驗以及孔隙率試驗、現地試驗。本研究製作 345 個試體，選擇試體骨材的篩號、環氧樹脂與碎玻璃的重量比，研究最佳透水率、孔隙率與抗壓強度，求得最佳配比。再由統計軟體 SPSS 進行比對，得知透水率、孔隙率與抗壓強度之相互關係，實驗流程如下：

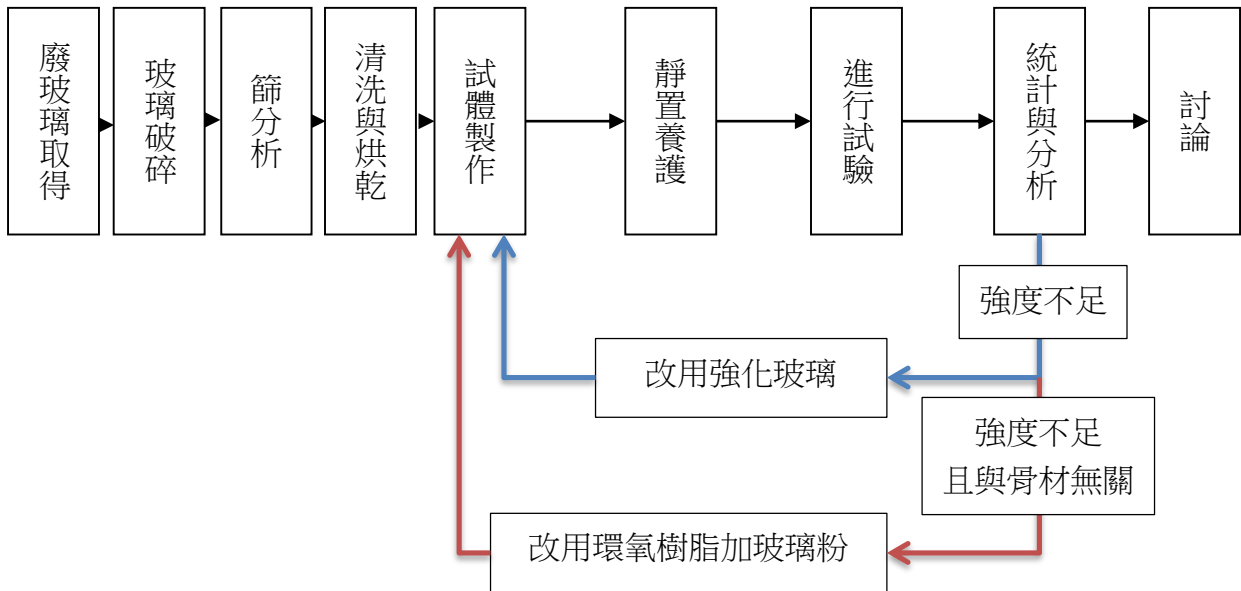


圖 4-5 實驗流程圖

(一) 試體製作

本研究以環氧樹脂添加玻璃粉做為黏結材與碎玻璃骨材混合製作透水磚，應用在人行公共路面，實際流程如以下圖 4-6 所示

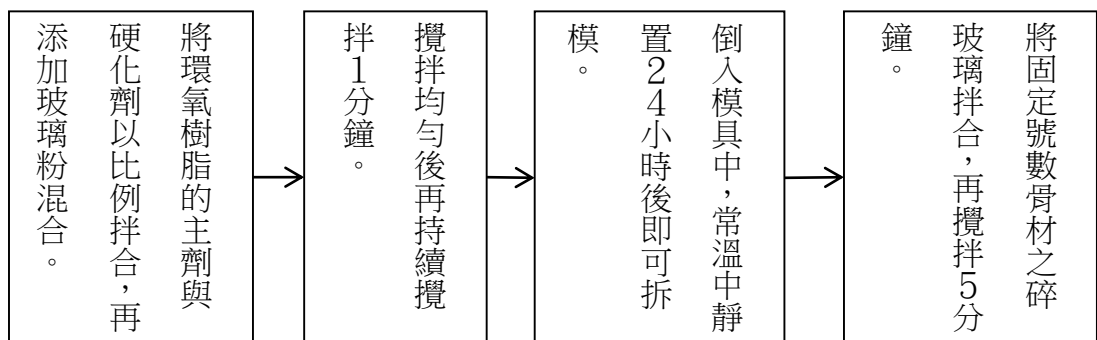


圖 4-6 試體製作流程圖

01. 黏結材料配製

本組採用環氧樹脂做為黏結料，在製作透水磚時材料的比例對抗壓強度有重要的關係，若黏結料太多則有多餘的殘留餘底部使強度將會不均，若太少將會使骨材無法充分黏結使降低其強度，使其結構強度將會降低，且再添加玻璃粉可增加稠度，使黏結料較不易垂流，可均勻分布在粒料中。

2. 試體及實體製作

研究最佳骨材及黏結材料之比例：目的為了避免黏結材料殘留於底部或無法有效黏結骨材，又為了找出最高之透水性，且不失其抗壓性，因此找出其最佳比例。

3. 透水磚實體製作

確認脫模有無損害到實體，以固定製作流程，讓表面減少不必要的損害，使成品有平均之抗壓強度及透水性。

表 4-2 試體製作流程



碎玻璃秤重



環氧樹脂秤重



混合攪拌



裝模



搗實刮平



靜置

(二) 前測

本組探討碎玻璃透水磚抗壓強度不足的可能原因有兩個構面分別為環氧樹脂與玻璃，首先假設抗壓強度不足之原因為玻璃自身之抗壓強度故將廢玻璃由普通鈉鈣玻璃置換成強化玻璃，探討其抗壓強度是否有顯著差異。

1. 將普通玻璃換成強化玻璃之實驗

本組將廢玻璃由普通鈉鈣玻璃換成強化玻璃，製作試體進行試驗，再將本組數據與前一次研究之數據進行獨立樣本 t 檢定分析，入下表 4-3 所示

表 4-3 普通玻璃比強化玻璃之獨立樣本 t 檢定總表

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定
		F 檢定	顯著性(雙尾)
抗壓強度 假設變異數相等	#8 1:8 強化玻璃比普通玻璃	3.380	0.079
	#8 1:10 強化玻璃比普通玻璃	0.844	0.188
	#16 1:8 強化玻璃比普通玻璃	12.820	0.069
	#16 1:10 強化玻璃比普通玻璃	44.412	0.489

由上得知將原本普通玻璃換成強化玻璃，抗壓強度皆無顯著差異，抗壓強度相差不大，因此透水率及孔隙率不加以實驗，而碎玻璃透水磚之抗壓強度不足並非玻璃自身強度不足所造成而是環氧樹脂。

2. 將黏結料中添加玻璃粉並扣除一定比例的環氧樹脂之實驗

表 4-4 普通玻璃比強化玻璃之獨立樣本 t 檢定

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定
		F 檢定	顯著性(雙尾)
抗壓強度 假設變異數相等	#4 1:10 強化玻璃以玻璃粉取代環氧樹脂 30%比普通玻璃	1.914	0.000
	#8 1:10 強化玻璃以玻璃粉取代環氧樹脂 30%比普通玻璃	8.758	0.834
	#16 1:10 強化玻璃以玻璃粉取代環氧樹脂 30%比普通玻璃	39.399	0.806

由上得知將玻璃粉取代部分環氧樹脂，抗壓強度大部分無顯著差異，抗壓強度相差不大，因此透水率及孔隙率不加以實驗，分析出來#4 號篩呈現顯著差異，因為顆粒較大，表面積較少，需要包覆黏結料較少，而#16 號篩表面積比較多，所以環氧樹脂要更多，但是我們用玻璃粉來增加強度減少環氧樹脂，使表面的環氧樹脂量減少，因此強度降低。所以 4 號篩比 8 號篩強度大，8 號篩又比 16 號篩強度大，因

此得知環氧樹脂是強度的重要來源，所以本組以不扣環氧樹脂另外加玻璃粉來進行抗壓強度試驗。

(三) 實驗

由於前側之結果本組將通過 100 號篩停留於 200 號篩之玻璃粉摻入黏結料中，並且不扣除環氧樹脂。與前置研究相比，以 spss 分析，摻入玻璃粉是否能增加抗壓強度，並找出摻入玻璃粉之最佳百分比。

(四) 透水率試驗流程

1. 將試體放入定水頭試驗儀中。
2. 將水龍頭以固定速率將水流入儀器內。
3. 收集其流出總水量。
4. 將數據導入公式中得知其透水率。

透水率公式： $K = QL/Aht$

(K：透水率、Q：收集總水量、L：試體長度、A：試體段面積、h：水頭差、t：時間)

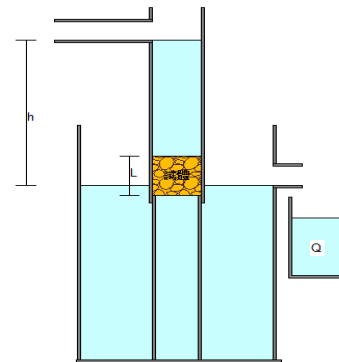


圖 4-7 定水頭示意圖



圖 4-8 定水頭試驗圖

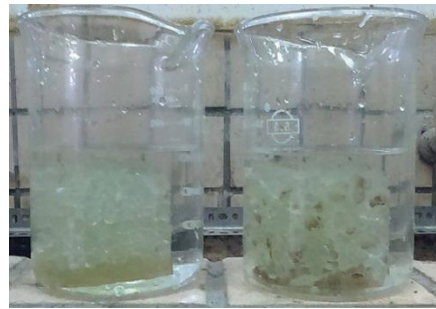


圖 4-9 透水試驗圖

(五) 孔隙率

本組實驗是以 CNS488 作為準則，一塊透水磚孔隙率需 $\geq 15\%$ ，實驗方式是將試體放置在已裝水的燒杯，放置一段時間，測得其液差，可測得其試體之體積，再將其數據代入孔隙率公式，求得孔隙率。

孔隙率實驗流程：

1. 將量杯裡加入 250cc 的水。
2. 將試體放入量杯中。
3. 靜置 20 分鐘。
4. 測得其液差（試體之體積）。
5. 將數據帶入公式中得知其孔隙率。

孔隙率公式： $n = V_v / V$

(n ：孔隙率、 V_v ：孔隙之體積 = 總體積 - 試體體積、 V ：總體積)

(六) 抗壓強度

本組實驗是以 CNS1232 作為準則，實驗方式是將已蓋平試體放置在抗壓試驗機中，在以固定速率加壓，測得其最高抗壓強度。

抗壓強度公式：測得抗壓係數 $\text{kg}/\text{截面積 } \text{cm}^2 = \text{抗壓強度 } (\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 。



圖 4-10 抗壓試體成品



圖 4-11 抗壓試驗機

(七) 現地試驗

本實驗為求得本組透水磚與普通透水磚在實地操作時的透水性差異，在固定在 60cm x 60cm 的方盒裡，倒入 20 公升的水，比較水流過的時間。

1. 測試流程

- (1) 在本組透水磚四周以 60cm x 60cm 的方盒圍住四周，以矽利康固定且填滿縫隙
- (2) 在將水桶中 20 公升的水倒入方盒中如圖 4-12 所示
- (3) 測得其流完時間
- (4) 將數據導入公式中得知其透水率。

透水率公式： $20000\text{C.C.}/(t*3600\text{cm}^2)$



圖 4-12 現地試驗

伍、研究結果

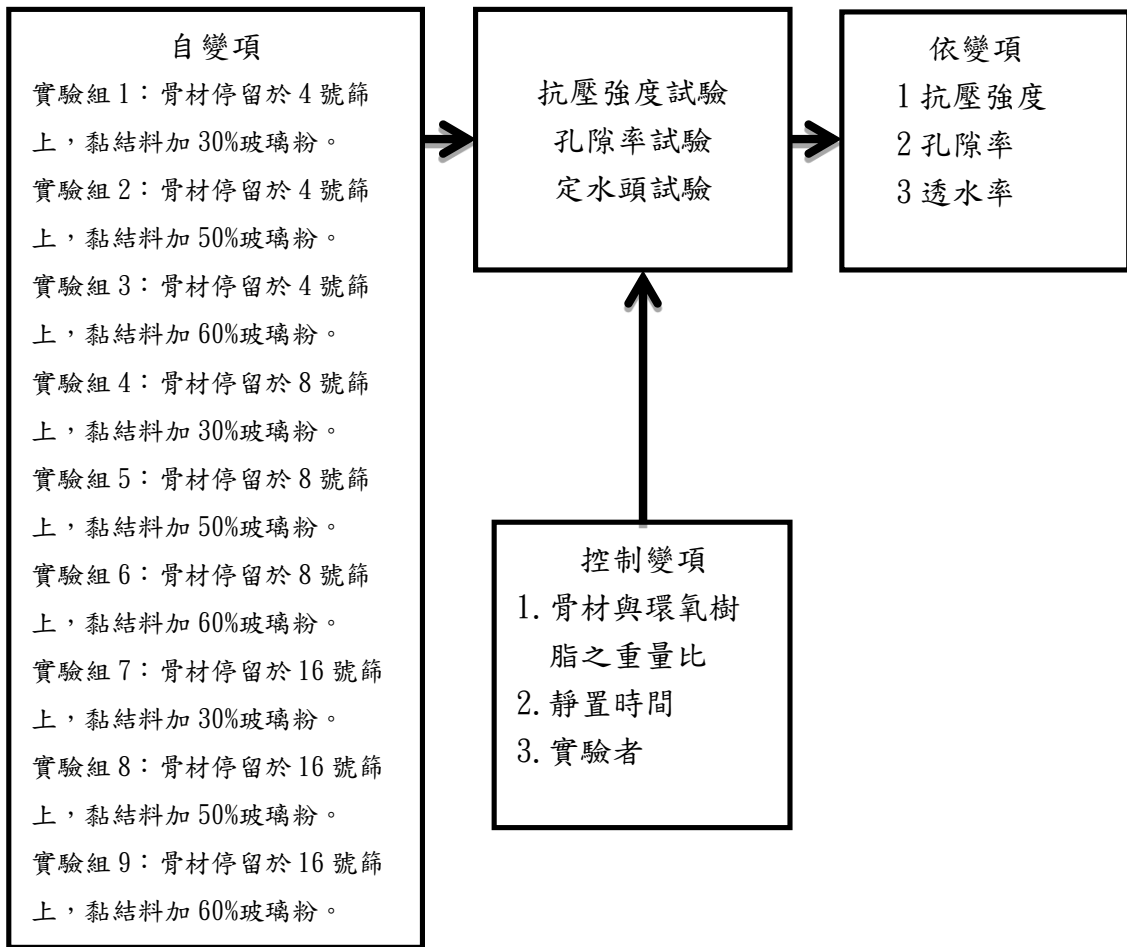


圖 5-1 研究架構圖

一、實驗數據

(一) 抗壓強度

1. 強化玻璃之抗壓強度

表 5-1 敘述性統計量表

篩號	比例	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
#8	1:8	15	41.6	58.4	51.81	3.937142
#8	1:10	15	40	49.6	45.70	2.018759
#16	1:8	15	66	72	84.24	1.864980
#16	1:10	15	61.6	70.8	65.89	2.463297

得知與之前研究相比，強化玻璃與普通玻璃強度相差不多。

2. 將黏結料中將部分環氧樹脂取代玻璃粉之抗壓強度

表 5-2 敘述性統計量表

篩號	玻璃粉之比例	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
#4 1 : 10	30%	15	54	64.8	61.25	3.075680
	50%	15	55.6	64.8	60.90	2.30014
	60%	15	34.8	50	45.33	4.44051
#8 1 : 10	30%	15	47.6	70	60.98	4.10836
	50%	15	55.6	65.2	60.53	3.27812
	60%	15	19.2	28	22.98	2.90573
#16 1 : 10	30%	15	50	58.8	54.29	1.80972
	50%	15	39.2	46	42.48	2.13954
	60%	15	31.6	42	35.86	2.57691

得知與之前研究相比，將部分環氧樹脂取代玻璃粉之抗壓強度與之前普通玻璃強度相差不多。

3. 在環氧樹脂中添加玻璃粉

表 5-3 敘述性統計量表

篩號	玻璃粉之比例	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
#4 1 : 10	30%	15	65.200	78.400	72.5333333	3.35601
	50%	15	70.400	90.400	78.7733333	5.27159
	60%	15	71.6	96	82.56	5.91537
#8 1 : 10	30%	15	54.8	62	59.0133333	3.65813
	50%	15	70	82	76.9066666	2.81769
	60%	15	78	88	84.24	3.49148
#16 1 : 10	30%	15	51.6	59.2	56.2133333	2.29810
	50%	15	66	86	77.0933333	5.31095
	60%	15	76	92.4	84.0506666	4.78983

得知與之前研究相比，從環氧樹脂中另外增加玻璃粉，會使玻璃強度提高。

(二) 在環氧樹脂中添加玻璃粉之透水率及孔隙率

表 5-4 敘述性統計量表

篩號	玻璃粉之比例	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
#4 1 : 10	30%	15	1.889x10 ⁻²	2.031 x10 ⁻²	1.961 x10 ⁻²	0.0272206
	50%	15	2.073 x10 ⁻²	2.231 x10 ⁻²	2.164 x10 ⁻²	0.0224187
	60%	15	2.598 x10 ⁻²	2.730 x10 ⁻²	2.687 x10 ⁻²	0.0211780
#8 1 : 10	30%	15	1.158 x10 ⁻²	1.330 x10 ⁻²	1.249 x10 ⁻²	0.0180481
	50%	15	2.694 x10 ⁻²	2.830 x10 ⁻²	2.741 x10 ⁻²	0.0128304
	60%	15	2.795 x10 ⁻²	3.021 x10 ⁻²	2.918 x10 ⁻²	0.0315909
#16 1 : 10	30%	15	1.405 x10 ⁻²	1.60 x10 ⁻²	1.527 x10 ⁻²	0.0235810
	50%	15	1.487 x10 ⁻²	1.688 x10 ⁻²	1.572 x10 ⁻²	0.0241568
	60%	15	1.724 x10 ⁻²	1.954 x10 ⁻²	1.824x10 ⁻²	0.0283051

表 5-5 敘述性統計量表

篩號	玻璃粉之比例	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
#4 1 : 10	30%	15	17%	22%	19%	0.097381
	50%	15	16%	22%	20%	0.102468
	60%	15	22%	30%	27%	0.231583
#8 1 : 10	30%	15	6%	19%	12%	0.316638
	50%	15	13%	24%	19%	0.283159
	60%	15	19%	30%	24%	0.290684
#16 1 : 10	30%	15	8%	14%	11%	0.121489
	50%	15	13%	20%	16%	0.184068
	60%	15	16%	24%	20%	0.257546

得知在各篩號中的透水率及孔隙率，60% > 50% > 30%，表示添加愈多玻璃粉透水率與孔隙率越大，因為在環氧樹脂中摻入玻璃粉可增加稠度，使黏結料較不易垂流，可均勻分布在粒料中，使孔隙增加，進而增加透水率。

(三) 現地透水性總表

表 5-6 現地透水試驗總表

項次	測得流完秒數	透水率(每平方公分一小時承受 cc 數)	項次	測得流完秒數	透水率(每平方公分一小時承受 cc 數)
1.	11.58	1736	5.	11.71	1709

續下表

接上表

2.	12.07	1658	6.	11.04	1815
3.	12.01	1683	7.	12.19	1643
4.	11.33	1769	8.	12.62	1587

由上得知現地透水性為每平方公分一小時平均可以流過 1700cc，遠優大於豪大雨定義之 500cc，在豪大雨造成積水時，可減少地表逕流量，使災害降低。

(四) 整體數據直方圖

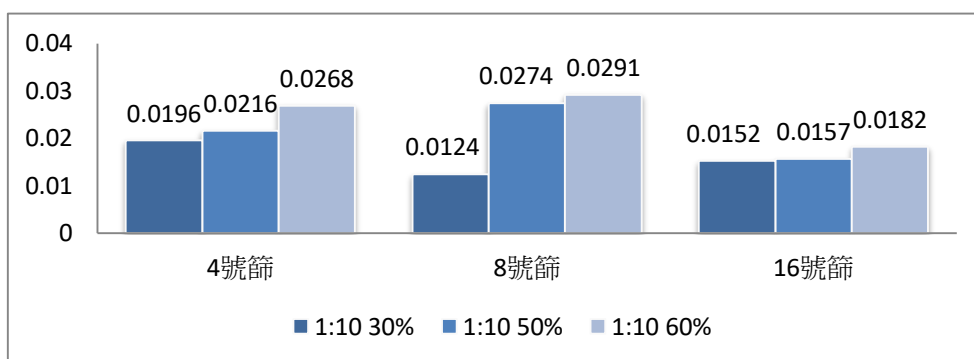


圖 5-1 透水率直方圖

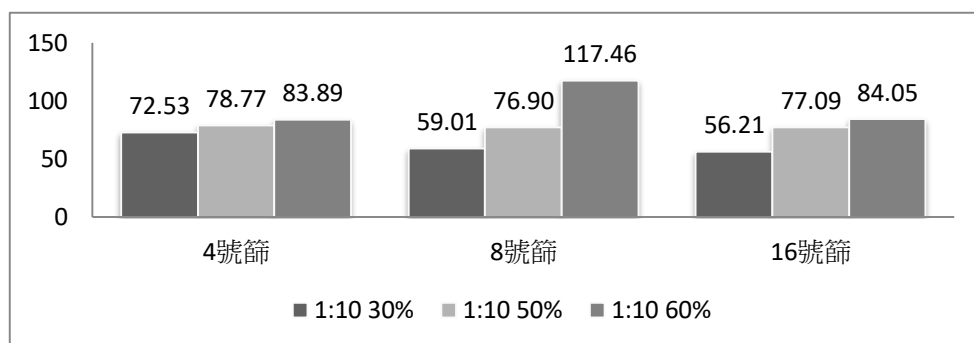


圖 5-2 抗壓強度直方圖

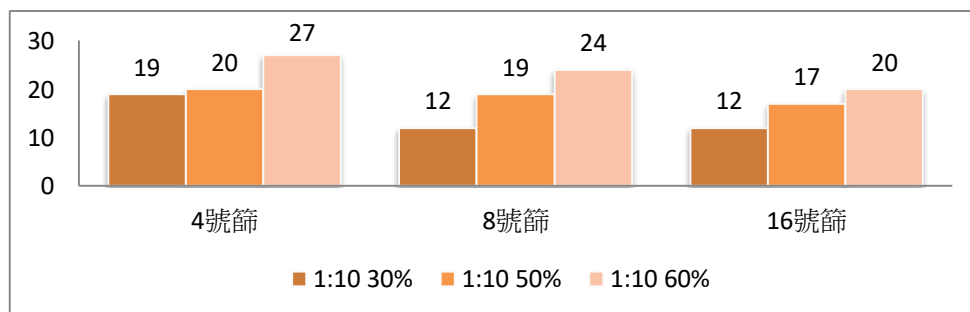


圖 5-3 孔隙率直方圖

從三張圖得知抗壓強度、透水率最高為#8 重量比 1:10 60%玻璃粉為最佳的比例，且透

水率、孔隙率都大於行政院工程委員會之規範，而抗壓強度達到每平方公分可以承受 117 公斤重。

(五) 整體數據

表 5-7 整體數據敘述性統計量表

	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
重量比	135	0.0625	0.1250	0.092700	0.0230666
透水率	135	1.405×10^{-2}	3.021×10^{-2}	2.213×10^{-2}	0.0319603
孔隙率	135	6%	30%	18%	5.5359842
抗壓強度	135	53.2	129.6	91.4	20.868493
有效的 N(完全排除)	135				

由上表可得，本組透水磚在環氧樹脂中添加玻璃粉，使透水率介於 $1.405 \times 10^{-2} \sim 3.021 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ，孔隙率介於 6%~30%，抗壓強度介於 $53.2 \text{kgf/cm}^2 \sim 129.6 \text{kgf/cm}^2$ 得出本組的透水率與孔隙率都優於 CNS 規範，而抗壓強度最高達到每平方公分達到 129 公斤重。

陸、討論

一、在環氧樹脂中添加玻璃粉之抗壓強度

表 6-1 獨立樣本 T 檢定

		變異數相等的 Levene 檢定	平均數相等的 t 檢定
		F 檢定	顯著性(雙尾)
抗壓強度	假設變異數相等	#4 1:10 強化玻璃加入 60%玻璃粉比 普通玻璃	2.401
		#8 1:10 強化玻璃加入 60%玻璃粉比 普通玻璃	0.572
		#16 1:10 強化玻璃加入 60%玻璃粉比 普通玻璃#	3.826

由上得知強化玻璃加入玻璃粉與普通玻璃都呈現顯著差異，表示加入玻璃粉抗壓強度高於普通玻璃。由於將環氧樹脂中摻入玻璃粉可增加稠度，使黏結料較不易垂流，可均勻分布在粒料中，進而提高強度。

二、在環氧樹脂中添加玻璃粉之透水率及孔隙率

得知在透水率及孔隙率之敘述性統計量表中，各篩號中的透水率及孔隙率，60% > 50% > 30%，表示添加愈多玻璃粉透水率與孔隙率越大，因為在環氧樹脂中摻入玻璃粉可增加稠度，使黏結料較不易垂流，可均勻分布在粒料中，使孔隙增加，進而增加透水率。

三、人行道高孔隙玻璃透水磚與一般透水磚之優劣分析



表 6-2 優劣分析表

	優點	缺點
人行道高孔隙玻璃透水磚	透水性好 孔隙率高 回收玻璃再利用 顏色漂亮 夜間反光效果佳 可承受暴雨時的雨量 可達基地保水，雨水回收	抗壓強度不足 價格較高
普通透水磚	價格較便宜 顏色漂亮 強度較高	不能承受暴雨的雨量 異物阻塞縫隙

(一) 單價分析

為了求得本組透水磚之可行性，因此計算本組透水磚之單價並與市面上透水磚比較。

工程項目 人行道高孔隙透水磚 (30cm*30cm*6cm)					
工料名稱	單位	數量	單價	復價	附註
碎玻璃	Kg	5.760			重量比 1 : 10 #8
環氧樹脂	Kg	0.576	141 元	94 元	
技工	工	0.03			
模具	式	0.01			
五金耗損	式	0.02			

名稱：人行道高孔隙透水磚 尺寸：30cm*30cm*6cm 透水率：1.11*10 ⁻¹ cm/sec 抗壓強度：84.24 kef/cm ² 價格：141 元	名稱：普通透水磚 尺寸：30cm*30cm*6cm 透水率：1*10 ⁻² cm/sec 抗壓強度：175 kef/cm ² 價格：40 元
	

柒、結論

本組的碎玻璃使用強化廢玻璃，以現代技術仍無法快速將玻璃分解，處理玻璃的唯一辦法只有重新溶解過濾再使用，又或者直接破碎加入瀝青、地磚、混凝土中。

經本組實驗後，參照透水性、孔隙率、抗壓強度之實驗數據，找到最佳配比為 8 號篩重量比 1：10 且摻入 60% 的玻璃粉(黏結料的 60%)，孔隙率為 24%，透水率為 $2.91 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ，抗壓強度達到 117.5kgf/cm^2 ，且孔隙率和透水率皆有優於 CNS488 與行政院公共工程委員會要求之孔隙率需 $\geq 15\%$ ，透水率需 $> 1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ，唯抗壓強度低於行政院工程會規範中之最低要求： 175kgf/cm^2 ，但與前實驗的 8 號篩重量比 1：10 抗壓強度為 61.8kgf/cm^2 仍高出許多。

一、在環氧樹脂中增加玻璃粉可以增加稠度，使黏結料可均勻分布在粒料上，增加其孔隙及透水，然而玻璃粉增加越多，稠度越大，使得孔隙率及透水性越大。

二、經由 SPSS 分析後，在強化玻璃加入玻璃粉與普通玻璃呈現顯著差異，表示加入玻璃粉抗壓強度就會大幅提高。由於在環氧樹脂中摻入玻璃粉可增加稠度，使黏結料較不易垂流，可均勻分布在粒料中，使其提高強度。

三、在實地測驗中本組透水性為每平方公分一小時平均可以流過 1700cc，遠大於豪大雨定義之 500cc，可減少地表逕流量，使災害降低。而強度試驗以約 100 公斤的同學來試跳，對成品毫無損壞。在價錢方面，本組透水磚的單價為 141 元，而市面上的約為 50~100 元，雖然本組透水磚的單價略高，對環境而言有保水之效能，因此本組透水磚在實用上是可行的。

捌、參考資料及其它

- 一、梁硯翔，(2009)。透水鋪面黏結層材料之研究。
- 二、洪堅仁，陳世杰&李炳楠，(2008)。透水磚間隙與填縫材料影響休閒步道透水能力之試驗研究，鋪面工程，6(4)，15-32。
- 三、林政翰，(2014)。探討以 UP 樹脂做為黏著材料應用於透水鋪面之可行性研究。中山大學海洋環境及工程學系研究所學位論文，1-94。
- 四、單明陽，(2007)。透水鋪面建構綠色校園之研究。
- 五、倩菱，(2012)。產業污泥骨材的最適化燒結配比與裂縫修補研究。中央大學環境工程研究所碩士在職專班學位論文，1-166。
- 六、黃建達，(2003)。不同透水鋪面性能試驗研究與成效評估。
- 七、蕭志銘，朱柏彥，朱明瑜&林建良，(2009)。添加廢玻璃砂於排水瀝青混凝土成效之影響。鋪面工程，7(2)。
- 八、楊雅雲(2004)。輕質骨材抗壓磚之透水性研究。成功大學土木工程學系學位論文，1-87。
- 九、吳明助，(2008)。推動綠建築證書與標章提升策略之探討。中央大學土木工程學系碩士在職專班學位論文，1-201。
- 十、方奕傑，(2012)。綠建材設計技術規範計算之簡化研究— 以學校建築為例。成功大學建築學系碩士在職專班學位論文，1-118。

附錄一



圖 1 連鎖透水磚



圖 2 透水磚 1



圖 3 透水磚 2



圖 4 透水磚 3



圖 5 透水磚 4



圖 6 裁切木板



圖 7 透水磚成品



圖 8 製作透水磚



圖 9 透水磚模板



圖 10 環氧樹脂混和



圖 11 環氧樹脂攪拌



圖 12 環氧樹脂



圖 13 環氧樹脂與碎玻璃混和



圖 14 環氧樹脂與碎玻璃混和



圖 15 碎玻璃透水磚-現場實測 1



圖 16 碎玻璃透水磚-現場實測 2



圖 17 積水處

【評語】 052610

1. 研究團隊以環氧樹脂混合碎玻璃製作人行道透水磚，進行透水試驗、孔隙率與抗壓強度測試，並與 CNS 國家標準比較。研究主題具實用性，實驗設計項目也符合 CNS 國家標準對人行道透水磚要求。
2. 團隊所設計環氧樹脂混合碎玻璃之人行道透水磚的最大特點在高透水性與孔隙率，但在抗壓強度需求上略不足。團隊雖嘗試以加入玻璃粉提高強度，但仍不足以達到 CNS 要求，建議可以思考除玻璃類材質以外的替代品。
3. 依鋪面安全性要求，除抗壓強度外，建議可以增加抗彎強度測試。在材料耐久性則可增加耐磨性能測試。
4. 在未來實際應用時，環氧樹脂與碎玻璃之組合是否會因高溫曝曬而容易產生變形，可能在推廣實務應用時需額外測試。