

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology


Nanhua University

Master Thesis

不同透水鋪面透水率之研究

Infiltration Rate of Different

Permeable Pavement



陳清煥

Ching-Huan Chen

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 108 年 6 月

June 2019

誌謝

本論文得以完成，承蒙恩師 洪耀明博士兩年多年來之悉心教誨、嚴格要求與鼓勵，在研究過程中，給予觀念上的啟發與指導，並提供學生良好的研究環境與豐富的研究資源，在此謹致上最高敬意與謝忱。恩師治學嚴謹思考縝密與開放之研究風格啟迪學生甚多，讓學生受益匪淺，激發學生許多前瞻與創新之思維，恩師的指導與支持讓學生終身感激。再者，感謝本論文口試委員明道大學景觀系退休的楊旻森教授、屏東科技大學水土保持系的唐琦教授，提供寶貴意見及諸多指正，使本文更臻完善，特此致以最深感謝。

在校期間感謝茂誠、浚丞、建丞、美如、威霖、謀顯等同學在課業上的互相砥礪及切磋與國際研究印度生沈侃在試驗上的全力幫助與付出，在此誠心的感謝，族繁不及備載，再次感謝曾經幫助過我的每一位先進。

最後感謝賢妻玲雲的辛勞、鼓勵與包容，在背後的全力支持及無悔的付出，才能使我在如此無虞的環境下，全心投入於研究工作中。僅以本文獻給我所愛的家人。

中文摘要

透水鋪面因為表層設計及底層材料變化，而導致入滲率不同。本研究利用南華大學透水鋪面試驗場進行入滲濾量測試，試驗設備包括 ASTM C1701 規範之單筒試驗及 ASTM D3385 雙筒試驗，試驗鋪面包括碎石、JW 路面(JWR)、JW 停車鋪面(JWP)、植草磚、水泥連鎖磚五種透水鋪面，並以設計水泥連鎖磚底層材料分別為碎石(PICP-G)及碎石混合土壤(PICP-S)之試驗。表面滲透率量測設備比較結果，單筒試驗滲透率較雙筒試驗為大，係因為單筒試驗滲透至地下的水會往外側擴散，造成量測結果過大；鋪面透水性比較結果，由大至小分別為碎石、JWR、JWP、植草磚及水泥連鎖磚；底層材料影響結果，PICP-G 透水性大於 PICP-S，研究結果可作為設計者使用。

關鍵詞：透水鋪面、入滲率、單筒試驗、雙筒試驗

ABSTRACT

Permeable pavement has different water infiltration rate due to surface design and changes in the underlying material. This study used the Nanhua University permeable pavement test site to carry out the infiltration rate test. Test equipment includes the single cylinder test based on American Society for Testing and Materials (ASTM) C1701 and double cylinder test (ASTM D3385). Test pavement includes five kinds of pavements, which are gravel, JW pavement (JWR) and JW parking pavement (JWP), Concrete Grass Pavements (CGP), Permeable interlocking concrete pavement (PICP). PICP also set up two kinds of underlying material, including gravel (PICP-G) and gravel mixed soil (PICP-S), so as to obtain the influence of underlying material on the infiltration rate. Experimental results showed that the permeability of the single-tube test is larger than that of the double-tube test. Water that penetrates into the ground by the single-tube test will spread to the outside, causing the measurement result to be too large. Infiltration rates from big to small are gravel>JWR>

JWP>CGP>PCIP. Bottom material impact results is permeability of PPIC-G is greater than PPIC-S.

Keywords: permeable pavement, infiltration rate, single cylinder test, double cylinder test



目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 本文架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 透水鋪面介紹.....	3
2.1.1 JW 生態工法.....	3
2.1.2 連鎖磚.....	4
2.1.3 植草磚.....	5
2.2 透水鋪面量測方法.....	7
2.2.1 ASTM1701.....	7
2.2.2 ASTM D3385.....	9
2.3 透水鋪面透水性量測.....	9
第三章 研究方法.....	10
3.1 研究場地配置.....	10
3.2 試驗設計.....	17
第四章 結果與討論.....	19
4.1 透水試驗比較.....	19
4.2 試驗結果討論.....	24
第五章 結論與建議.....	27

5.1 結論.....	27
5.2 建議.....	28
參考文獻.....	29



圖目錄

圖 2-1 JW 生態工法儲水示意圖	4
圖 2-2 連鎖磚-1	5
圖 2-3 連鎖磚-2	6
圖 2-4 ASTM1701	8
圖 3-1 試區平面圖	10
圖 3-2 試區剖面圖	11
圖 3-3 JW 生態工法一	12
圖 3-4 JW 生態工法二	13
圖 3-5 植草磚	14
圖 3-6 連鎖磚-3	15
圖 3-7 碎石鋪面	16
圖 3-9 試驗配置	17
圖 3-10 試驗排水示意圖	18

表目錄

表 2-1 前人透水鋪面透水性量測	9
表 4-1 透水試驗結果	19
表 4-2 透水鋪面透水性比較	25
表 4-3 滲透率比較結果	26



第一章 前言

1.1 研究動機

由於全球暖化現象，導至極端氣候頻仍，年總降雨量變化不大，但是降雨日數變少，降雨量變大，容易發生旱澇之氣候，導至夏天不下雨時天氣越熱，下雨時則因集中暴雨造成洪災。從 1992 年里約熱內盧的 Agenda21、1997 年的日本京都協議書到 2002 年的約翰尼斯堡宣言均可以看出全世界各國對暖化議題的重視。而台灣，則受困於熱島效應，也就是無論從早上到日落以後，城市部份的氣溫都比周邊地區異常的高，並容易產生霧氣。異常的溫度上升主要的原因，來自於大樓和柏油的太陽光的蓄熱，城市內部林立的大樓中的空調設備被排出的熱空氣，樹木的減少所產生的城市圓頂效應；由於氣溫高出，所以會出現突然的降雨。近幾年，大樓不斷向高空發展，河流沿岸被覆蓋，都遮擋著風的流動，加劇了城市內部的高溫化。簡言之，目前都市面臨了兩大問題，第一是超過都市排水設計頻率年之暴雨勢必會經常發生，因而導致都市之洪災；其二是因為熱島效應之影響，都市夏天會越來越熱。而透水鋪面或可解決上述問題。

若能於都市建立水源調節機制，於不下雨時釋出水份，調節氣候；於洪水來臨時，能夠吸收水分，涵養水源，應可降低洪水對於都市之衝擊；此外，若能夠增加都市之綠覆率，亦能降低熱島效應之影響。Liu et. al. (2012)認為海綿城市(Sponge City)可讓大雨時，雨水全面進入城市之下，期以滯洪儲水。晴日時大面積水汽蒸發，冷卻都市，期以節能減碳。城市之下，則因為空氣與水流通，生命蓬勃發展，創造

出地下濕地生態系統，稀釋與過濾污染物質，並捕捉汽機車排放二氧化碳，提供生態系統所需之無機碳；因此海綿城市，應可解決都市化效應之相關問題。

1.2 研究目的

透水鋪面為實現海綿城市的第一步，本研究希望能夠透過標準場域設計及試驗，了解各類透水鋪面之透水性，作為爾後設計透水鋪面之參考。

1.3 本文架構

依研究重點將本文分成五章，各章內容簡述如下：

第一章為前言，說明研究背景、動機及研究目的，並概述論文架構。

第二章為文獻回顧，內容包括透水鋪面介紹，透水鋪面量測方法，及透水鋪面透水率。

第三章為研究方法，說明試驗設計、試驗流程及量測方法。

第四章為結果與討論，將試驗結果進行分析，推得各項透水鋪面透水性，進行綜合比較分析。

第五章為結論與建議，主要將上述各章之結果綜合歸納，並提出未來可以繼續研究之方向。

第二章 文獻回顧

2.1 透水鋪面介紹

2.1.1 JW 生態工法

以水文循環觀之，降雨至地表，首先會是被草本或木本植物所截流遮蔽，或入滲至地表，入滲至地下後，土壤會吸附水至飽和而滯洪，或進一步因重力效應往下流；不下雨時，水份則透過植物或地表逸散至大氣中。而因為都市不透水面之影響，阻隔了水文循環，而 JW 生態工法，則是將原有無入滲之不透水地表，透過排水管路導至地下，以降低地表水之蓄積，因此 JW 生態工法能於地表下形成滯洪池。(JW 是發明人陳瑞文先生英文名字的前面字母)

JW 生態工法路面其儲水功能如圖 2-1，為一公尺單元之配置，由上而下分別為 10 至 15 cm 之混凝土鋪面，鋪面透水管間距為 10 cm，透水管入口管直徑為 1 cm，下方分為兩種管徑，分別是 1.2 cm 及 1.5 cm；高度為 H_g 之透水層，包含碎石層及級配層，下方之土層及岩層，其中岩盤無法透水；降雨時透過導水管將地表水導入透水層，水流於透水層可以迅速儲存並流動；水體會再滲入土層，而土層滲水速度則視其顆粒大小而定，黏土層滲水速度慢，砂土層滲水速度較快，可以在暴雨時排出較多水分。

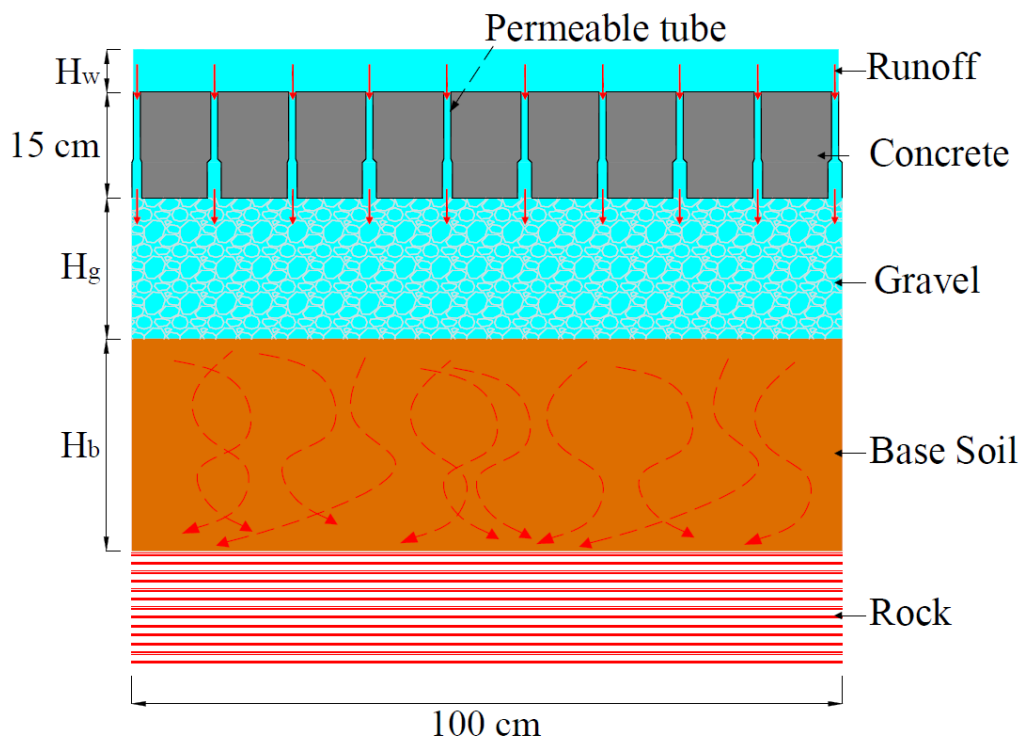


圖 2-1 JW 生態工法儲水示意圖

(資料來源：洪耀明及曾子齊，2015)

2.1.2 連鎖磚

連鎖磚(Permeable interlocking concrete pavers, PICP)，本研究參考台富水泥(<http://www.cemestar.com.tw/front/bin/home.phtml>)，材料係由水泥、骨材及水量之配比拌合後，經底層及表層強力震動後，高壓一體脫模成型。三天後，並經二次表面噴砂加工，呈天然石面。品質要求上，外觀應整齊無缺，抗壓強度：450 kgf/cm² 以上，可適用於停車場、車道、人行道、公園步道等。

本研究採用長 24 cm、寬 12 cm 及高 60 cm 規格如圖 2-2。

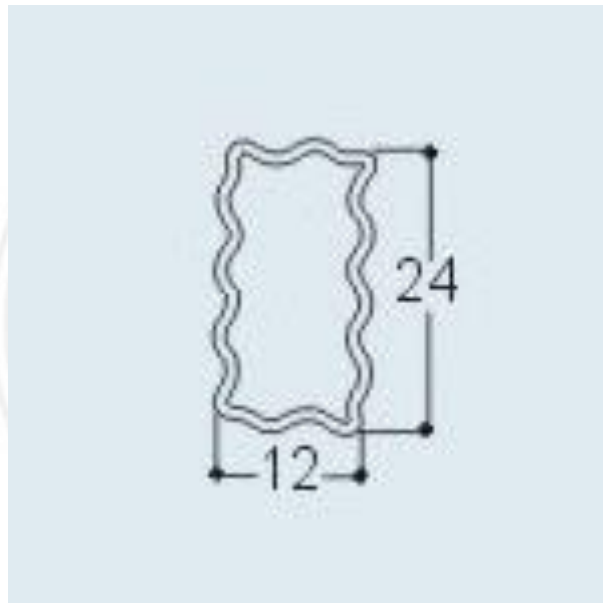


圖 2-2 連鎖磚-1

(資料來源：台富水泥

<http://www.cemestar.com.tw/front/bin/home.phtml>)

2.1.3 植草磚

混凝土網格鋪面(Concrete Grid Pavers, CGP)，台灣常稱為植草磚，也係由水泥、骨材及水量之配比拌合後，經底層及表層強力震動後，高壓一體脫模成型，表面應整齊無缺，不得有裂痕或邊角不完整，破

損等情形。中空式植草磚抗壓強度：2500 psi 以上，適用於停車場、車道、人行道、公園步道、廣場等。尺寸為長 60 cm、寬 40 cm 及高 11 cm，如圖 2-3。

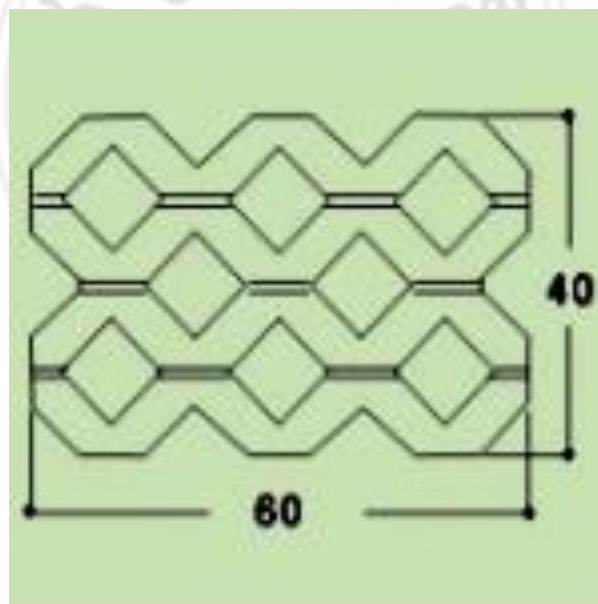


圖 2-3 連鎖磚-2

(資料來源：台富水泥)

<http://www.cemestar.com.tw/front/bin/home.phtml>)

2.2 透水鋪面量測方法

常見透水鋪面量測方法係依據美國量測及材料協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)所制定之相關規範，其中與透水鋪面量測方法為 ASTM1701 及 ASTM D3385，說明如下：

2.2.1 ASTM1701

本規範是透水混凝土的標準滲透試驗。測試包括四個主要部分：安裝滲透環，預濕潤混凝土，測試混凝土及計算結果。說明如下：

(1) 安裝滲透環

首先要清潔表面。滲透環必須滿足一定的尺寸要求，並在內部標記兩條線以正確執行測試。然後將環放置在清潔過的表面上並用黏土固定。

(2) 預濕潤混凝土

一旦固定，用 8 磅水預先潤濕混凝土和滲透環，將水頭保持在環內部的兩個標記之間。一旦水加入到透水混凝土表面，就開始計時。當水不再存在於表面時，記錄預潤濕的經過時間。經過的時間決定了實際測試中使用的水量。

(3) 測試混凝土

在大多數情況下，將需要 40 磅的水為了測試。記錄重量。在 2 分鐘內，將適量的水加入測試環，與預潤濕階段一樣，我們將開始計時水衝擊透水混凝土表面並將水頭保持在滲透環上標記的兩條線之間。同樣，當表面不再存在水時，記錄測試的經過時間。

(3) 計算結果

本研究假設 I 為入滲率(cm/sec)， V 為水體體積(cm^3)， D =直徑(cm)， T 為時間(sec)，入滲率(I)公式可用入滲率 I 乘以入滲面積($\pi D^2/4$)及時間，等於入滲體積 M 如下：

$$I = \frac{KV}{D^2 T}$$

式中， $K=1.273$ 為常數，為本研究計算。相關 ASTM1701 施測過程如圖 2-4 所示。



圖 2-4 ASTM1701

(資料來源：<https://www.chaneyenterprises.com/files/Concrete-Briefs/ASTM%20C1701-ConcreteBrief.pdf>)

2.2.2 ASTM D3385

根據 ASTM International(2009)，雙環入滲儀需要兩個環，內環和外環。目的是在內環中創建一維水流，數據分析得以簡化。如果水在穩態條件下一維流動，並且在下面的土壤中存在單位梯度，則滲透率大約等於飽和水力傳導率。內環被驅動到地面，第二個更大的環圍繞它，以幫助控制通過第一環的水流。透過恆定的水的供應，記錄在給定的時間內從內環滲入土壤的水量，ASTM(2003)規定了 30 和 60 mm 直徑的內圈和外圈。

2.3 透水鋪面透水性量測

本研究收集前人研究，包括 Bean et. al. (2007)、Collins et. al., (2008)及 Lucke et. al., (2014)之研究成果，包括 CGP、PICP 及透水混凝土(Porous Concrete, PC)整理如表 2-1，做為與本研究成果比較之用。

表 2-1 前人透水鋪面透水性量測

Authors	Surface infiltration rates (cm/hour)			
	CGP	PICP type1	PCIP type2	PC
Bean et. al.(2007)	13		53	16
Collins et al.(2008)	92	1158.25	317.75	4661.5
Lucke et al.(2014)			37.3	

第三章 研究方法

3.1 研究場地配置

本研究在南華大學建立了標準透水試驗場，總共 6 個測試單元，如圖 3-1 和 3-2 所示。每個試驗區長 3 m，寬 2 m，高 0.5 m。透水鋪面依設計厚度，依材質約 0.1 m 厚，下鋪 0.4 m 礫石，每個鋪面於正中央設置一監測井，每個單元都有一個 2 m 長，1 m 寬，0.7 m 深的水蓄水。

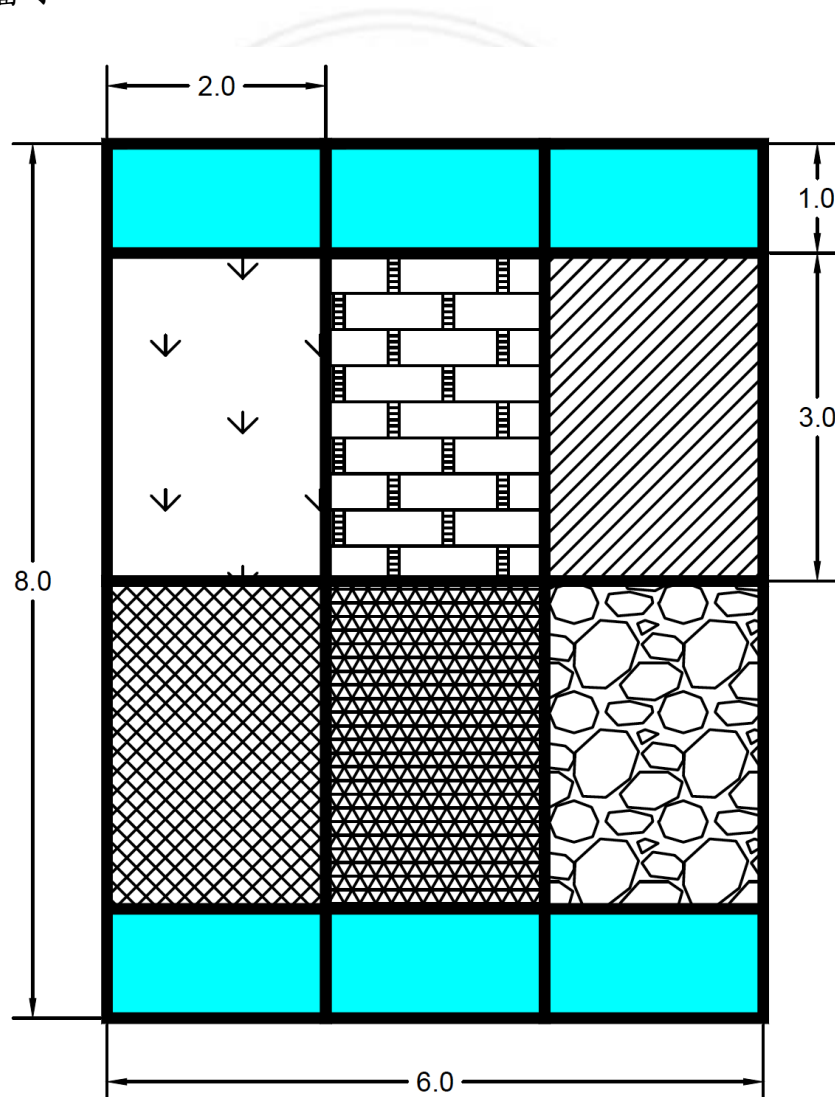


圖 3-1 試區平面圖

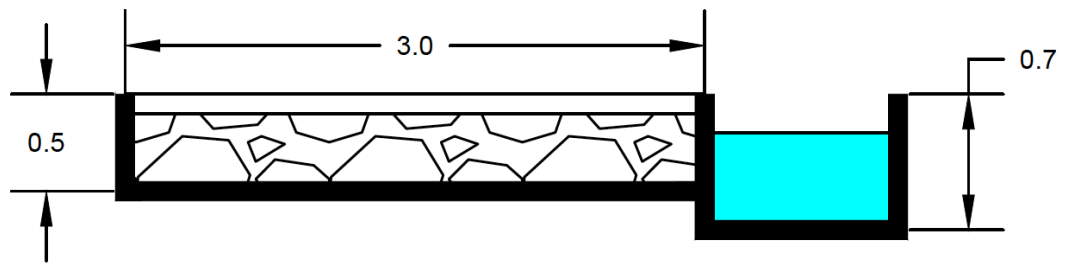


圖 3-2 試區剖面圖

本研究選取五個單元進行試驗，說明如下：

圖 3-3 為 JW 生態工法一，上方為路面，下方分別設置 20 cm 碎石及 20 cm 土壤。

圖 3-4 為 JW 生態工法二，部分區塊不填水泥，改為填土植草，下方設置，下方分別設置 20 cm 碎石及 20 cm 土壤。

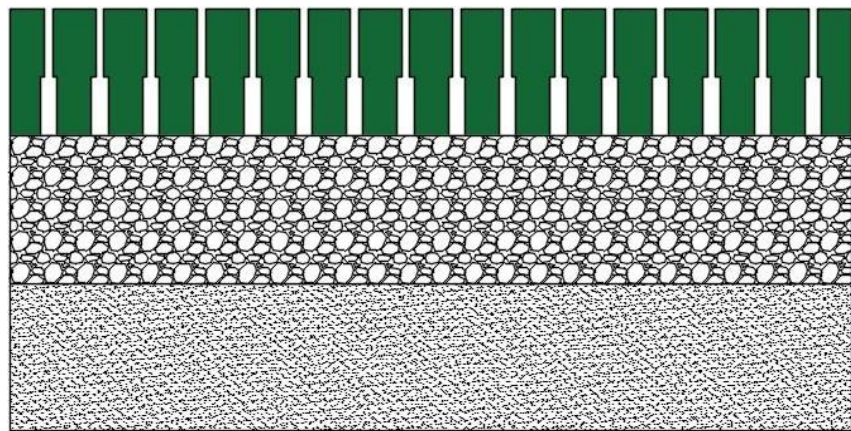
圖 3-5 為植草磚，上方為路面，下方分別設置 20 cm 土壤及 20 cm 碎石。

圖 3-6 連鎖磚一，上方為路面，下方分別設置 20 cm 土壤及 20 cm 碎石，此外為比較下方材料影響，另設置 40 cm 全部為碎石級配材料，為連鎖磚二。

圖 3-7 碎石級，下方全部為碎石，作為對照組。



(a)平面

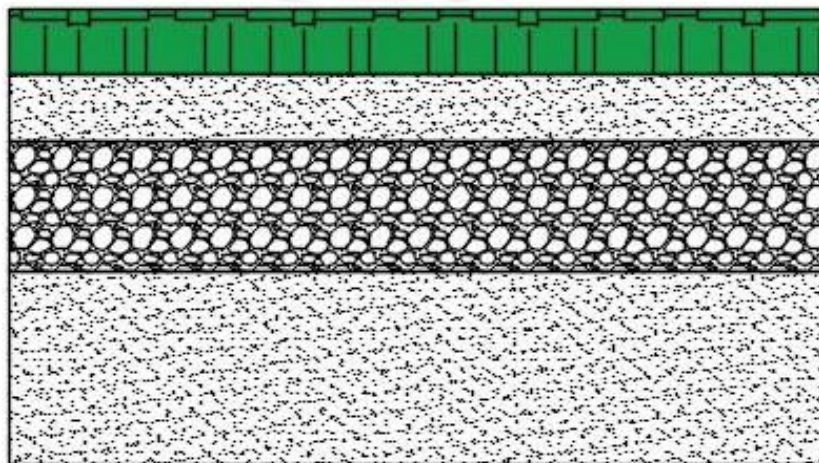


(b)剖面

圖 3-3 JW 生態工法一

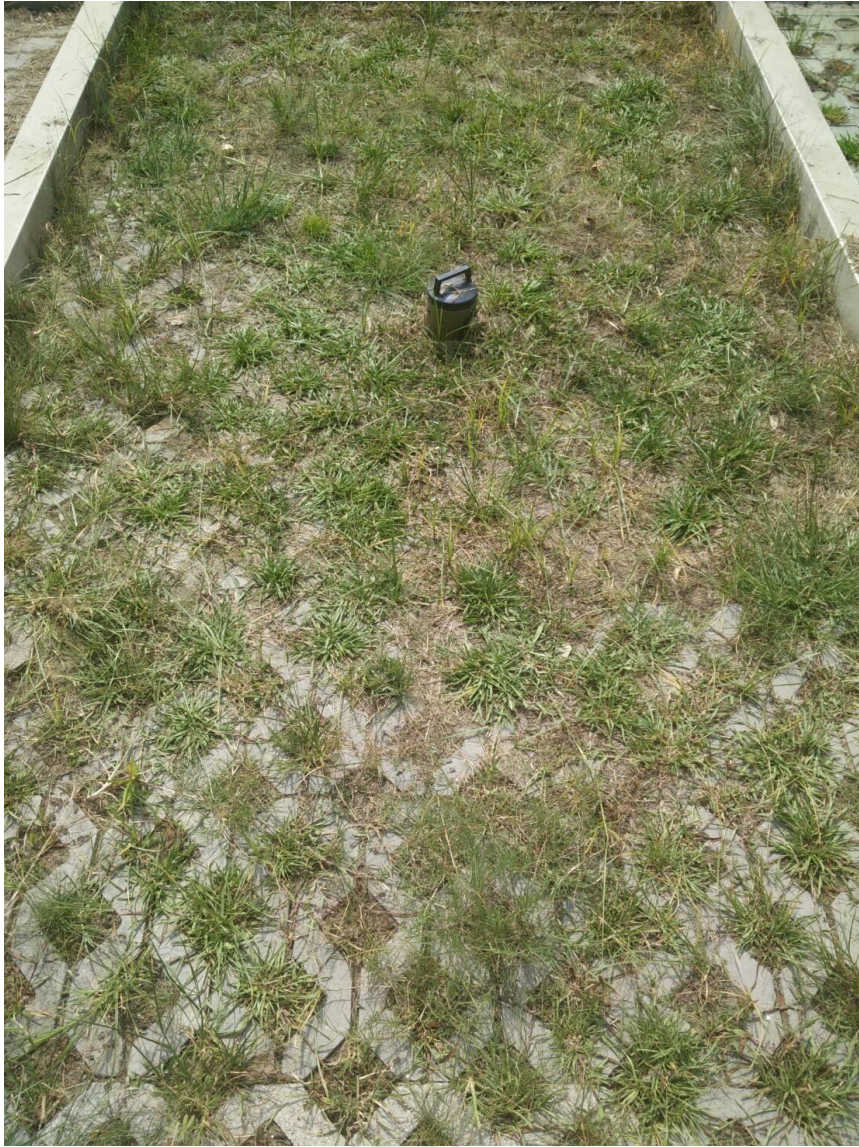


(a)平面

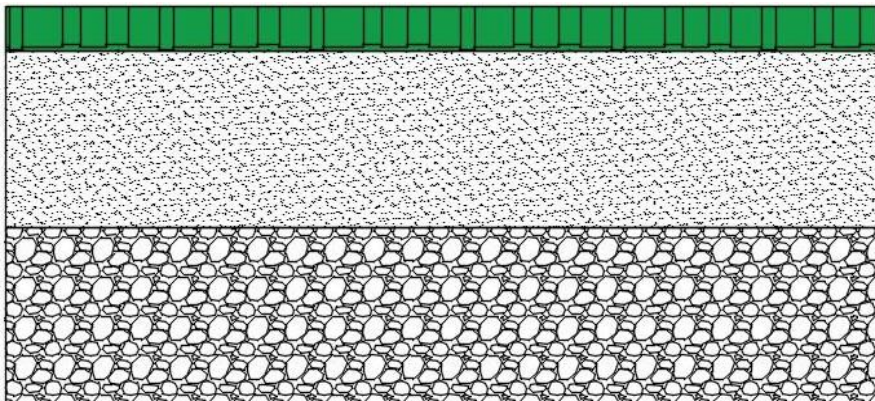


(b)剖面

圖 3-4 JW 生態工法二



(a)平面

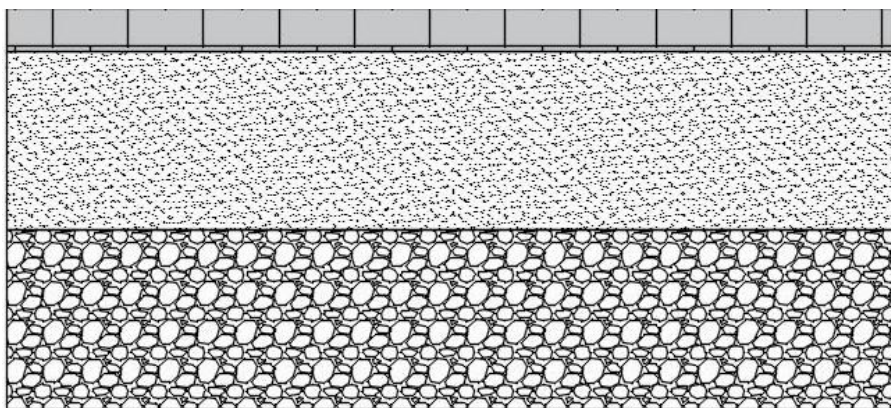


(b)剖面

圖 3-5 植草磚



(a)平面

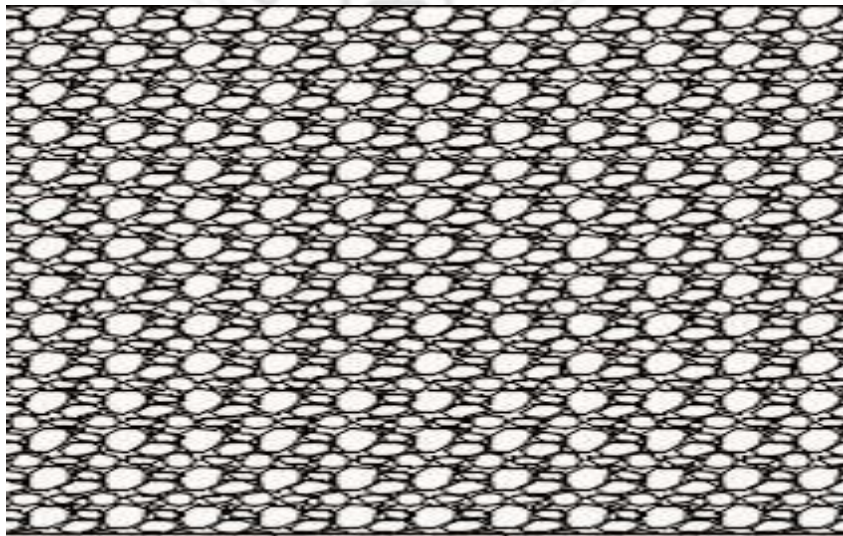


(b)剖面

圖 3-6 連鎖磚-3



(a)平面



(b)剖面

圖 3-7 碎石鋪面

3.2 試驗設計

本研究設計 20 cm 及 40 cm 圓筒，如圖 3-8 分別顯示了單環和雙環。因為外環有助於減少由於環下的路面系統的潛在橫向流動引起的誤差，如圖 3-9 所示。但是，因路面系統的滲透能力非常高，在雙環滲透儀的兩個環中保持供水恆定是很困難的。

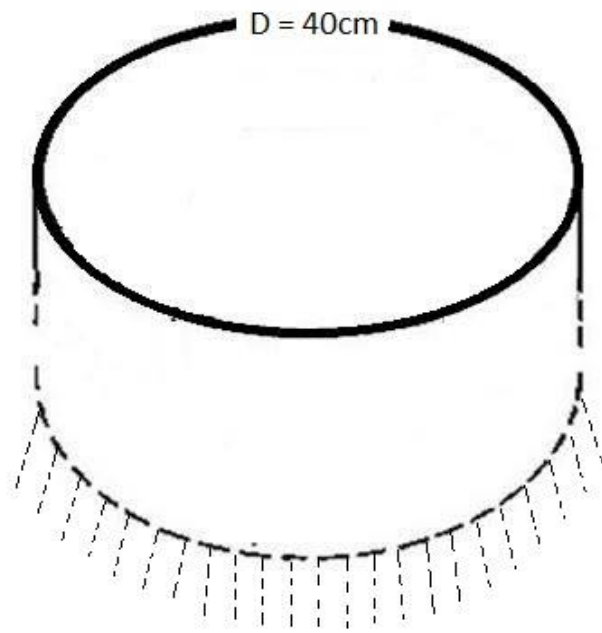


(a)單環配置

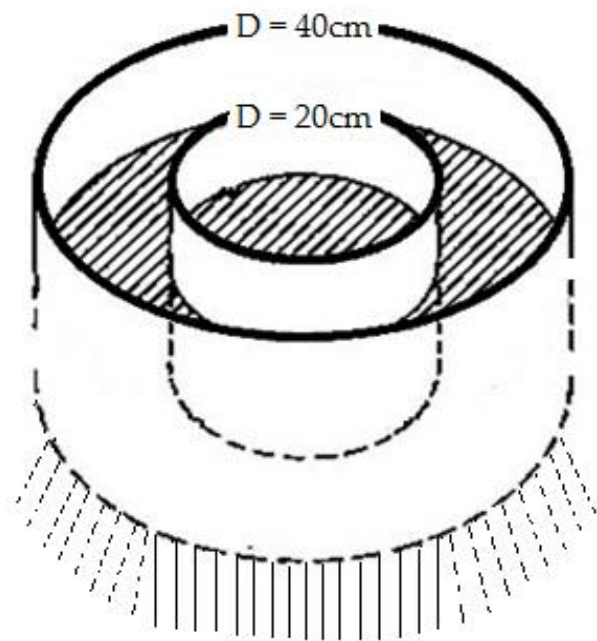


(b)雙環配置

圖 3-9 試驗配置



(a)單環



(b)雙環

圖 3-10 試驗排水示意圖

第四章 結果與討論

4.1 透水試驗比較

將環密封在路面上，並使用恆定水頭供水，然後將水的流量除以環的橫截面積，每鋪面均進行五重複，計算平均滲透率，以計算滲透率結果如下。

表 4-1 透水試驗結果
(a) JW 生態工法一

形式	體積 (cm ³)	面積(cm ²)	滲透時間 (sec)	滲透率 (cm/sec)	平均滲透率 (cm/sec)
單 環	35000	1256.636	69	0.404	0.410
	35000	1256.636	67	0.416	
	35000	1256.636	70	0.398	
	35000	1256.636	66	0.422	
	35000	1256.636	68	0.410	
雙 環	35000	314.159	283	0.394	0.393
	35000	314.159	281	0.396	
	35000	314.159	286	0.390	
	35000	314.159	284	0.392	
	35000	314.159	285	0.391	

(b) JW 生態工法二

形式	體積 (cm ³)	面積(cm ²)	滲透時間 (sec)	滲透率 (cm/sec)	平均滲透率 (cm/sec)
單 環	35000	1256.636	52	0.536	0.557
	35000	1256.636	49	0.568	
	35000	1256.636	51	0.546	
	35000	1256.636	50	0.557	
	35000	1256.636	48	0.580	
雙 環	35000	314.159	263	0.424	0.423
	35000	314.159	261	0.427	
	35000	314.159	266	0.419	
	35000	314.159	264	0.422	
	35000	314.159	262		

(c)植草磚

形式	體積 (cm ³)	面積(cm ²)	滲透時間 (sec)	滲透率 (cm/sec)	平均滲透率 (cm/sec)
單 環	35000	1256.636	70	0.398	0.392
	35000	1256.636	69	0.404	
	35000	1256.636	71	0.392	
	35000	1256.636	73	0.382	
	35000	1256.636	72	0.387	
雙 環	35000	314.159	301	0.370	0.372
	35000	314.159	295	0.378	
	35000	314.159	298	0.374	
	35000	314.159	300	0.371	
	35000	314.159	302	0.369	

(d)連鎖磚一

形式	體積 (cm ³)	面積(cm ²)	滲透時間 (sec)	滲透率 (cm/sec)	平均滲透率 (cm/sec)
單 環	35000	1256.636	96	0.290	0.299
	35000	1256.636	98	0.284	
	35000	1256.636	89	0.313	
	35000	1256.636	91	0.306	
	35000	1256.636	93	0.299	
雙 環	35000	314.159	312	0.357	0.352
	35000	314.159	323	0.345	
	35000	314.159	322	0.346	
	35000	314.159	310	0.359	
	35000	314.159	315	0.354	

(e)連鎖磚二

形式	體積 (cm ³)	面積(cm ²)	滲透時間 (sec)	滲透率 (cm/sec)	平均滲透率 (cm/sec)
單 環	35000	1256.636	78	0.357	0.356
	35000	1256.636	80	0.348	
	35000	1256.636	75	0.371	
	35000	1256.636	77	0.362	
	35000	1256.636	81	0.344	
雙 環	35000	314.159	287	0.388	0.389
	35000	314.159	290	0.384	
	35000	314.159	285	0.391	
	35000	314.159	286	0.390	
	35000	314.159	284	0.392	

(f)碎石級配

形式	體積 (cm ³)	面積(cm ²)	滲透時間 (sec)	滲透率 (cm/sec)	平均滲透率 (cm/sec)
單環	35000	1256.636	24	1.161	1.003
	35000	1256.636	31	0.898	
	35000	1256.636	28	0.995	
	35000	1256.636	30	0.928	
	35000	1256.636	27	1.032	
雙環	35000	314.159	223	0.500	0.490
	35000	314.159	226	0.493	
	35000	314.159	222	0.502	
	35000	314.159	230	0.484	
	35000	314.159	236	0.472	

4.2 試驗結果討論

將各種鋪面試驗結果整理對照如表 4-2，獲得以下比較結果：

(1) 透水率大小

透水性由小至大依次為：連鎖磚一>連鎖磚二>植草磚>JW 生態工法一>JW 生態工法二>碎石級配。碎石級配因為無鋪面，數值最大，但 JW 生態工法二已接近碎石級配。連鎖磚因為縫隙最少，因此透水性最差。

(2) 下方材料滲透性

連鎖磚一下方級配及土壤各半，而連鎖磚二下方均為級配，而滲透率連鎖磚二大於連鎖磚一，顯示下方級配滲透率佳，會提高表面入滲率。

(3) 表面差異性

JW 生態工法一僅提供每 10 cm 有 1 cm 孔洞滲透，而 JW 生態工法二則增加植生網格，增加滲透率。

(4) 單環與雙環

基本上單環因為水往外擴散，因此滲透率大於雙環，但在連鎖磚二呈現相反趨勢，未來應該重複試驗，以確認是否試驗誤差。

表 4-2 透水鋪面透水性比較

鋪面形式	單環 (cm/sec)	相對碎石透水率 (%)	雙環 (cm/sec)	相對碎石透水率 (%)
連鎖磚一(CGP1)	0.299	29.78%	0.352	71.85%
連鎖磚二(CGP2)	0.356	35.55%	0.389	79.36%
植草磚(PICP)	0.392	39.14%	0.372	75.97%
JW 生態工法一	0.410	40.87%	0.393	80.09%
JW 生態工法二	0.557	55.60%	0.423	86.36%
碎石級配	1.003	100.00%	0.490	100.00%

(5) 前人研究比較

與前人研究比較顯示，連鎖磚試驗數據遠大於其他學者，但植草磚則差不多。

表 4-3 滲透率比較結果

作者	表面滲透率 (cm/hour)			
	CGP	PICP type1	PCIP type2	PC
Bean et. al.(2007)	13		53	16
Collins et al.(2008)	92	1158.25	317.75	4661.5
Lucke et al.(2014)			37.3	
本研究	1267.2 1400.4	1339.2		

第五章 結論與建議

本研究經本第三至四章之試驗結果與分析探討後，可以得到下列各項結論及建議：

5.1 結論

將各種鋪面試驗結果整理對照如表 4-2，獲得以下比較結果：

(1) 透水率大小

透水性由小至大依次為：連鎖磚一>連鎖磚二>植草磚>JW 生態工法一>JW 生態工法二>碎石級配。碎石級配因為無鋪面，數值最大，但 JW 生態工法二已接近碎石級配。連鎖磚因為縫隙最少，因此透水性最差。

(2) 下方材料滲透性

連鎖磚一下方級配及土壤各半，而連鎖磚二下方均為級配，而滲透率連鎖磚二大於連鎖磚一，顯示下方級配滲透率佳，會提高表面入滲率。

(3) 表面差異性

JW 生態工法一僅提供每 10 cm 有 1 cm 孔洞滲透，而 JW 生態工法二則增加植生網格，增加滲透率。

(4) 單環與雙環

基本上單環因為水往外擴散，因此滲透率大於雙環，但在連鎖磚二呈現相反趨勢，未來應該重複試驗，以確認是否試驗誤差。

5.2 建議

- (1) 本研究為初步試驗，連鎖磚試驗結果單環與雙環結果差異與預計不符，需重新試驗。
- (2) 試驗結果顯示，連鎖磚試驗數據遠大於其他學者，但植草磚則差不多，未來需進一步確認。
- (3) 未來可建議設置人工降雨設施，模擬實際降雨狀況，以進行較長期驗證。
- (4) 假若經費許可，建立氣象站及晴雨計量器，實地測試，所獲得之資料，應該更實際，更有參考價值。



參考文獻

1. 台富水泥(2019) ,
<http://www.cemestar.com.tw/front/bin/home.phtml> 。
2. 洪耀明、曾子齊(2015), 應用 JW 生態工法於停車鋪面植物生長速率研究, 中華水土保持學會年會研討會論文。
3. ASTM International. (2009). Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. ASTM International.
4. ASTM (2003). D3385-03 Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer.. Annual Book of ASTM Standards 04.08. American Society Testing Materials.
5. Bean, E. Z., Hunt, W. F., & Bidelspach, D. A. (2007). Field survey of permeable pavement surface infiltration rates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(3), 249-255.
6. Collins, K. A., Hunt, W. F., & Hathaway, J. M. (2008). Hydrologic comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(12), 1146-1157.
7. Liu, C. M.; Chen, J. W.; Tsai, J. H.; Lin, W. S.; Yen, M. T.; & Chen, T. H. (2012). Experimental studies of the dilution of vehicle exhaust pollutants by environment-protecting pervious pavement. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(1), 92-102.
8. Lucke, T., Boogaard, F., & van de Ven, F. (2014). Evaluation of a new experimental test procedure to more accurately determine the surface

infiltration rate of permeable pavement systems. *Urban, Planning and Transport Research*, 2(1), 22-35.

