

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

透水鋪面試驗場域之設計與建置

Construction of Experimental Field

for Permeable Pavement

吳旻芳

Min-Fang Wu

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 109 年 1 月

January 2020

南華大學  
永續綠色科技碩士學位學程  
碩士學位論文

透水鋪面試驗場域之設計與建置

Construction of Experimental Field for Permeable Pavement

研究生：吳曼芳

經考試合格特此證明

口試委員：林裕崴  
林文婷

洪耀明

指導教授：洪耀明

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 109 年 1 月 8 日

## 誌謝

在求學研究期間，首先我要感謝我的碩士論文指導教授 洪耀明博士、高雄都發局長 林裕益博士、南華大學教授 林文賜博士，在專業領域的研究及實驗方法上給予我很多寶貴的知識及指導方向，我的論文才能順利的完成，在這段研究學習過程中讓我受益良多，在此致上萬分謝意。

研究所求學是我生涯規畫考量的中繼站，談及學業與專長的議題，因而萌生再學習知識與專業結合，因此為進修的最大動力。

在學習及研究的過程中，感謝三玄建設公司董事長 李應輝先生及建築工程的所有同仁，在工作上給予我彈性空間，使我能在工作及課業之間都能兼顧，畢業論文才得以順利完成。當然也要感謝在學習課業期間的授課教授及同班同學與學長學姊們，能與不同產業類別及不同工作領域的前輩共同學習，將各人所累積的工作經驗及心得與大家共同分享，這是人生歷程中最寶貴的回憶，在此亦同表謝忱。

最後當然要感謝我賢慧的妻子雪美，乖巧的寶貝子女，他們是最堅強的後盾，尤其是我太太在我工作及課業繁忙之餘，無怨無悔的支持及全心全力照顧家庭，並協助我管理工程事務，使我能在工作及課業上無後顧之憂。

## 中文摘要

都市開發造成地表不透水區域增加並造成洪泛機率提高，可透過透水鋪面增加入滲量減少洪水災害；本研究目的為設計及施作透水鋪面入滲率量測之標準試驗場，並設計入滲率量測方式。

首先先以水收支平衡概念，考量入滲、地下水位、地表逕流之數據收集，確定試驗場需有鋪面、地下土壤或礫石、地下水觀測井、地表逕流收集及排水需求；再考量不同透水鋪面設計，設置八種鋪面，每個鋪面面積為長 350 cm×寬 200 cm，鋪面厚度依鋪面材質介於 5 cm 至 15 cm，鋪面下方設計 40 cm 之碎石級配或土壤來儲蓄入滲水體，每個鋪面外側再建置蓄水池收集地表逕流，每個置蓄水池面積為長 200 cm×寬 100 cm×深度為 55 cm；場域以鋼筋混凝土建置，並設置防水層，依設計尺寸做相等間隔，鋪面中央設置圓管以觀測地下水位，設置可開關之出水口，以達到標準量測透水率為目的。表面以 3% 之坡度，讓地表逕流流至外側之蓄水池，透過量測蓄水池水量，以計算超滲降雨量。最後以單筒試驗，進行標準試驗流程說明，並設置人工降雨設施提供爾後研究之用。

關鍵詞：透水鋪面、超滲降雨、入滲率

# ABSTRACT

Urban development increases the impervious areas and reduces the flooding. Permeable pavement can increase the infiltration rate to reduce the amount of flood caused by heavy rain. This study designed and implemented a standard test field for measuring the permeability of permeable pavements. Standard infiltration Rate measurement method is also developed.

First, based on the concept of water balance, the data collection of infiltration, groundwater level, and surface runoff, were considered. Standard elements of permeable pavement included pavement, underground soil or gravel, groundwater observation wells, surface runoff collection and drainage system. Eight kinds of pavement, where each grid is 350cm long, 200cm width and 50cm depth. Pavement thickness is between 5cm to 15cm depending on the material of the paving, and 45cm to 35cm thickness of gravel or soil is designed to storage the infiltration water. Each pavement is built with a tank to collect surface runoff. Area of each reservoir is 200cm long, 100cm wide and 55cm deep. Reinforced concrete and a waterproof layer is set for the pavement. A round pipe is set in the center of the pavement to observe the groundwater level. A water outlet that can be opened and closed to achieve the standard measurement of water permeability. Surface runoff will flow to the outer reservoir based on 3% slope in the surface. The amount of water in the reservoir is measured to calculate the seepage rainfall. Finally, a single ring test is used to explain the standard test process. Artificial rainfall facilities are also set up for future research.

**Key Words:** permeable pavement, Excess rainfall, infiltration rate

# 目錄

誌謝 .....	I
中文摘要 .....	II
ABSTRACT .....	III
目錄 .....	IV
圖目錄 .....	VI
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 本文組織 .....	3
第二章 文獻回顧 .....	4
2.1 滯洪演算 .....	4
2.2 透水路面 .....	8
2.3 路面植生 .....	12
第三章 研究方法 .....	13

3.1 滯洪基本流程步驟 .....	13
3.2 鋪面試驗規劃 .....	14
3.3 設計原則 .....	16
3.4 實驗規劃與配置 .....	17
3.4.1 單筒實驗 .....	17
3.4.2 人工降雨試驗 .....	19
第四章 結果與討論 .....	20
4.1 試驗場施工 .....	20
4.1.1 試區位置 .....	20
4.1.2 施工過程說明 .....	22
4.2 透水標準試驗 .....	27
第五章 結論與建議 .....	30
5.1 結論 .....	30
5.2 建議 .....	31
參考文獻 .....	32

## 圖目錄

圖 1-1 論文架構 .....	3
圖 2-1 瀝青混凝土透水路面 .....	8
圖 2-2 JW 生態工法路面結構圖 .....	10
圖 2-3 JW 生態工法吸水及呼吸原理 .....	11
圖 3-1 透水鋪面標準試區平面圖 .....	15
圖 3-2 設計橫斷面 .....	16
圖 3-3 平面設計圖 .....	17
圖 3-4 單筒及雙筒試驗 .....	18
圖 3-5 人工降雨配置 .....	19
圖 4-1 透水鋪面建置位置 .....	20
圖 4-2 位置放樣 .....	21
圖 4-3 建置區整地 .....	22
圖 4-4 鋼筋鋪設綁紮與板模組立 .....	23
圖 4-5 場域鋼筋混凝土澆置 .....	24
圖 4-6 場域結構全部刷防水層 .....	25
圖 4-7 表面以水泥砂漿 1:3 粉刷保護防水層 .....	26
圖 4-8 場域透水鋪面完成鋪設 .....	27



# 表目錄

表 4-1 水泥連鎖磚單筒試驗結果 ..... 28



# 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。

台灣則因熱島效應，無論從早上到日落，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；由於氣溫高會出現突然的降雨。

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。

柳中明等(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。

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。

## 1.2 研究目的

臺灣位處亞熱帶地區，一年當中除了梅雨季節外，夏秋也容易伴隨著午後雷陣雨，。

由於時代背景及政策方向變遷，都市開發與建設密度愈高，都市不透水表面也越來愈多，地表逕流及洪水頻率相對增加；推廣施作透水性鋪面，施作於人行步道、停車場、公共廣場與道路，將原有不透水鋪面改為透水性鋪面，可減少因暴雨帶來之洪水量。

因此，本研究目的在設計及施作透水鋪面透水率之標準試驗場地，提供各種不同材質的透水鋪面透水率測試與研究。

### 1.3 本文組織

本文分成五章，各章內容如圖 1-1。

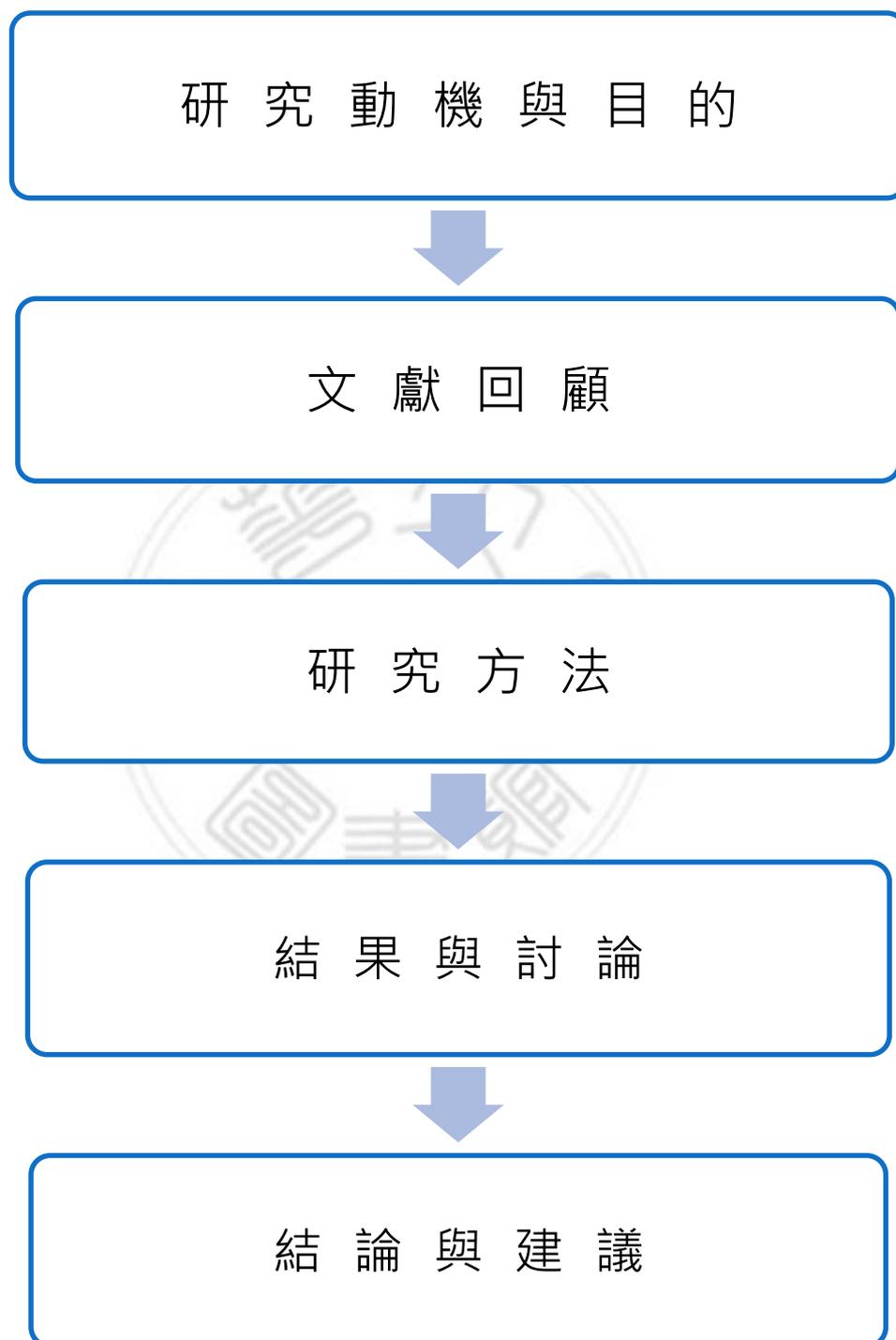


圖 1-1 論文架構

## 第二章 文獻回顧

本研究之相關學理包括下列幾個方面：(1)滯洪演算；(2)透水路面；(3)透水路面植生。分項說明如下：

### 2.1 滯洪演算

關於滯洪之定義，可以從水文循環導入，當降雨至地表，地表水即隨重力效益而移動，若降雨強度超過入滲強度或排水能力時，則會形成地表水之蓄積，稱為窪蓄，當超過一定高程時，則會形成地表逕流(overland flow)，上述過程亦為地表滯洪(Detention)之方式之一，但地表滯洪，除非是蓄積於原有設計之滯洪池或濕地，往往蓄積於人類居住之環境，造成淹水，並不為人們所樂見；而入滲滯地表下的水，一部分為土壤所吸收，一部分則因重力效應，逐步往下移動，形成地表下逕流或地下水流動(groundwater flow)，其過程亦帶有滯洪之效益；總結說來，滯洪體積包括地表加上地下之滯洪。

自 1950 年代起，有關滯洪池之相關研究就陸續推出，這些理論在解析過程中，基於入流歷線、滯洪容積、出流歷線及水理演算之各種假設條件，本研究將滯洪容積演算模式分為數種：

其一是具有考慮最大逕流量或降雨延時等概念，但以簡單幾何形狀去描述滯洪池之入、出流歷線，本研究稱之為概念性模式；其二是以連續方程式為控制方程式，採用數學解析或數值計算方法求得滯洪容積，可稱之為水理演算模式。

Kropf & Geiser (1957)，FAA (Federal Aviation Administration, 1966)，DRCOG (1961) 採用 I-D-F (Intensity-Duration-Frequency) 曲線及合理

化公式去推算滯洪容積，此方法並不需要集流時間之計算，計算時先由合理化公式計算各種降雨延時下總逕流體積以建立逕流體積包絡線，再建立集水區允許最大流出體積與降雨延時之關係線，將兩線相疊就可找出最大滯洪容積。

Lautrich (1956), Annen & Londong (1960), Malpricht (1962), Pecher (1962), Kao (1975), 及 APWA (1974,1981) 將入流歷線視為梯形歷線，再以最大平均出流量為基礎，考量各種降雨延時與集流時間之組合下之最大滯洪容積。

數值計算模式係以連續方程式為控制方程式，採用之入流歷線包括三角形與加瑪 (Gamma) 歷線等以方程式表示之入流歷線，及以實際入流歷線或演算所得之綜合歷線為主，滯洪容積之表示方式則有二參數模擬或三參數模擬，而大部份之學者均以圖表或近似公式求解滯洪容積。

美國水土保持局 (Soil conservation Service, 1986) 技術手冊 TR-55，將美國地區分成四種 24 小時降雨型態，並經由滯洪演算與簡化過程，依降雨型態分成兩種無因次滯洪容積與無因次最大出流量比之關係圖，使用者可以經由計算尖峰入流量、尖峰出流量之比值，換算推得最大滯洪容積。

Akan (1989) 另採用美國水土保持局 (1972) 之標準無因次單位歷線為入流歷線，發展可以適用兩種迴歸週期以上之滯洪池設計方法，並以圖解法說明求算過程。

Akan (1990) 則採用三角形為入流歷線形狀及連續方程式，以時間差分法求解單出流口之滯洪容積，並建立有條件限制之圖解法。

Akan (1994) 認為滯洪設施除了要降低洪峰流量外，洪水排放量之體積控制與降低下游渠道沖刷亦為一併考量之重點，因此提出容許容量的概念，計算滯洪容積時需以 Shoklitsch 公式計算下游河床載之起動流量。

Chen & Hong (1999)建立滯洪池容積簡易計算法。

Chen & Hong (2002)採用攝動解求解滯洪體積。

Hong et. al. (2006)將常見的滯洪容積計算方式進行歸納，推出簡易計算模式，同時滯洪容積可透過數值求解水理演算模式。

Hong (2009)，或圖形來取代複雜的數值解(Hong 2010)，並以實驗進行驗證(Hong 2010)。

現場之資料主要是入流歷線之相關公式與實際滯洪演算與現地出流量之比較。

Curtis & McCuen (1977) 針對 Maryland 地區的 Manor Run 集水區進行洪水來臨時滯洪容積與泥沙運移之比較，經過 LSHS 模式比較後發現，當滯洪池水深加深或洪水體積大時，越小時，當出口孔口直徑越小，洪峰之消滅越大。

Smith & Bedient (1981) 採用 Hec-1 模式去推算位於 South-west Houston 之 Barys Bayou 的開發後流量歷線，並以 STOREME 模式推算 1975 年造成 2 億美金損失的大洪水，估計若完全避免產生下游災害，需建造能容納達一半洪水體積的滯洪池。

James 等 (1987) 認為位於較上游的小滯洪池對於局部地區遲滯洪水有效，但卻無法控制整個集水區的洪水；而位於下游的大滯洪池較能降低整個集水區的洪峰，但無法保護上游一些重要設施，因此滯

洪池之設計準則需視滯洪池之目的而定。

經由河川級序分析與採用美國水土保持局 Type II 曲線推算滯洪容積，他們發現為避免設計錯誤之滯洪池，設計時需同時考慮渠道改善計劃與滯洪容積容積，例如下游渠道經整治使得排洪能力增加後，則上游建造滯洪池之容積可以降低，但渠道整治則會使下游集水區出口之洪峰到達時間提前、洪峰量增加，導致下游需建造更大的滯洪池。

Haktanir & Ozmen (1997)對 Deriner、Berke 及 Kayraktepe 三個狹長水庫，分別以水文模式與水力模式，進行單峰之洪水歷線為入流條件下出流歷線之比較，比較發現不論哪一個水庫，水文模式演算之出流洪峰量均較高，其差值介於 2%~11%。

Li (1999)等亦以 Saint-Venant 方程式建立一維非恆定流(unsteady flow)去討論洞庭湖與楊子江之滯洪效應，同時比較水文模式與水力模式之差別。

## 2.2 透水路面

傳統路面不透水，將雨水以表面排水方式，導入邊溝及下水道，而常見透水路面使雨水通過人工鋪築多孔性鋪面，直接滲入路基，而具有使水還原於地下之性能如圖 2-1 所示。

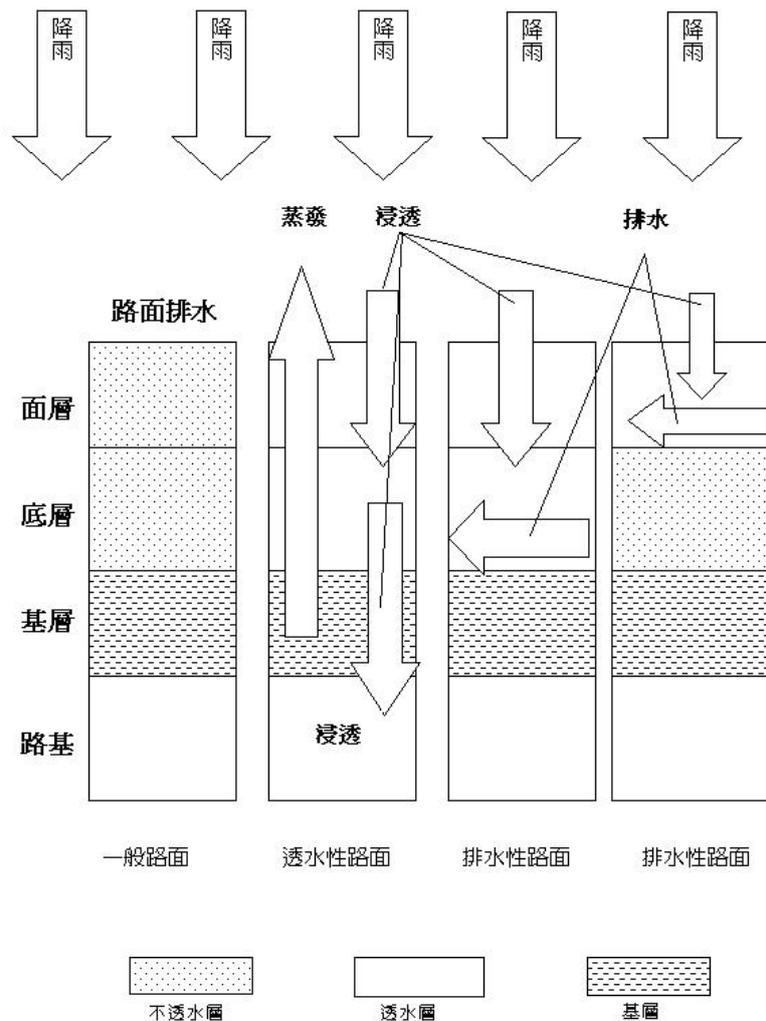


圖 2-1 瀝青混凝土透水路面

(資料來源：廖文水，1997)

根據水環境研究中心網站(2014)分析，將透水路面分為以下三類：

1. 多孔性瀝青混凝土鋪面。
2. 無細骨材混凝土 (No-fines concrete) 鋪面。
3. 塊狀或鏤空鋪面。

1. 多孔性瀝青混凝土鋪面：多孔性瀝青混凝土係具有高孔隙之排水性材料，其發展最早開始於歐洲，1970 年代中期在歐洲地區大量使用，日本則是於 1980 年代開始發展（潘昌林，2000）。多孔性瀝青混凝土主要的原理乃利用級配調整使粗細骨材間的孔隙率提高至 20%左右，以使降於鋪面上的水可由大量的孔隙迅速滲透。多孔性瀝青混凝土為提高瀝青韌性與強度，增加瀝青薄膜的厚度，以確保瀝青混凝土的耐久性，常須添加改質劑、纖維或石灰。
2. 無細骨材混凝土（No-fines concrete）鋪面：無細骨混凝土一般被定義為由均勻級配之粗骨材、微量或無細骨材、且無足量水泥漿之混凝土材料。藉由配比設計與製程控制其特性以達合適強度、高透水性、無析離等工程需求，主要作為無須壓密之回填材料或水工結構物，抗壓強度約在 200psi(1.5Mpa)至 2000psi(14Mpa)之間（鄭瑞濱、潘昌林，2001），藉由粗骨材表面的一般水泥漿體，使之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。其滲透係數隨含砂量而不同，一般均大於  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/sec(潘昌林，2000)，無細骨材混凝土為增加透水性而犧牲強度，因此無法承受太大的載重，一般使用於載重較小的區域，如人行道或行人廣場等。
3. 塊狀或鏤空鋪面：以非連續性拼接塊狀鋪面，在鋪面與鋪面間有很大的間隙可填入砂土，鋪面下採用透水性底層如無細骨材混凝土、砂土層，而鏤空的路面，如植草磚，則直接提供植被生長的環境，使得人車行走上面，而不至於造成植被壞死。

上述三種路面，雖均有透水性以讓水得以下滲，但是透水性或透水率有一定之限制，因此本研究首先採用另一種稱為 JW 生態工法之透水性路面，JW 生態工法為陳瑞文先生之發明，工法說明如圖 2 所示，透水路面原理結構，由上而下分別為混凝土鋪面、透水層(包含碎石層、級配層)及土層；儲水方式則如圖 3，其排水速度較快，因此透水性較佳，本研究將採用此透水路面進行後續之研究。

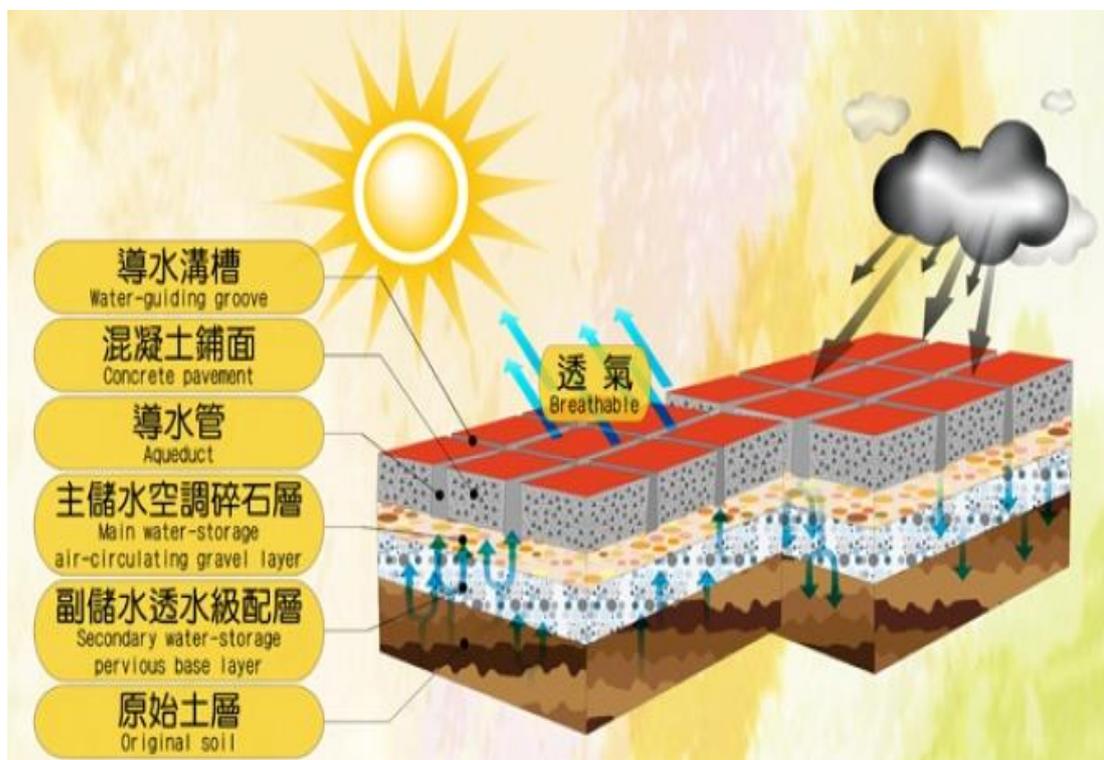


圖 2-2 JW 生態工法路面結構圖

降雨時透過導水管將地表水導入透水層入土層，可有效蓄水，防止路面積水。晴天時透過導水管將地表下之蒸發，鋪面溫度自然會下降，相對氣溫也會跟著降溫，進而自然形成微氣候，調節溫度，讓地面呼吸，其排水速度較快，因此透水性較佳，本研究將採用此透水路面進行後續之研究。

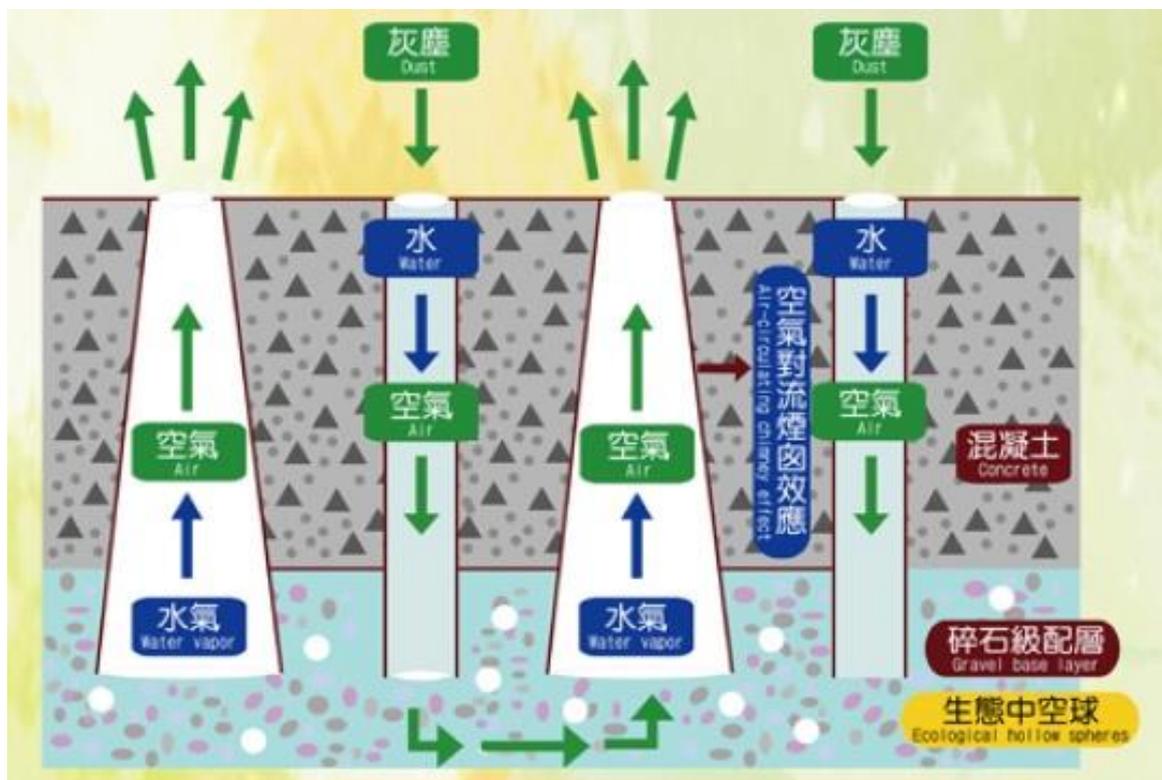


圖 2-3 JW 生態工法吸水及呼吸原理

(資料來源：齊祥公司)

## 2.3 路面植生

游繁結(2012)在土壤沖蝕教材中提到，地表覆蓋之防止沖蝕功能，主要在於防止雨滴之直接打擊土壤、減少地表逕流及降低逕流之沖蝕力、改良土壤物理性及控制蒸發散量等機制。

地表覆蓋層如樹冠之阻截雨量或地面草冠、覆蓋物等吸收部份雨量，均直接使地表之逕流量得以減少，同時地表逕流即使發生，亦會受地面層覆蓋物或敷蓋物等之阻滯，使水流流經之表面因粗糙度大增而降低流速；土壤中之根系可膠結土壤，根系之腐化可形成導水通道，促進滲透，根群可促成土壤團粒化，增大孔隙率，並提高土壤有機質含量，改善土壤物理性質等有助於減少土壤沖蝕之功能。

而植生覆蓋茂密或敷蓋層厚度較大之場所，因有機物之大量供給，除了前述之有機質增加以外，土中之生物活動亦會隨之旺盛，此等微生物或其他如蚯蚓等土中動物之活動，將促使土壤形成較佳之穩定團粒，並因孔隙之增大而具較佳之土壤構造。

降雨後，土壤大致保持在田間含水量時，其土壤水分主要在供土壤表面蒸發與植物根系吸水後行蒸散作用，因之土壤水分在蒸發散作用下將逐漸降低含水量，而使下一場降雨再度吸收、滲透雨水，故土壤含水量愈少當愈容易使雨水滲透與吸收，間接在減少地表逕流之形成。

因此若透水路面停車場能夠給予適當之植生，將可以大大改善土壤沖蝕之外，並具有改善土壤之功能。

## 第三章 研究方法

### 3.1 滯洪基本流程步驟

水文連續方程式可以用來描述滯洪池入流與出流容積變化

$$\frac{ds}{dt} = i - o \quad (3-1a)$$

式中  $i$  為入流； $o$  為出流流量； $s$  為滯洪容積。於透水鋪面中， $i$  為地表降雨深度， $o$  為入滲率，上述公式常用來計算地表水之滯洪池滯洪容積(Chen & Hong 1999)，求解方式包括攝動解(Chen & Hong 2002)、簡化模式(Hong et. al. 2006)、數值解(Hong 2008a)或圖解法(Hong 2008b)，同時可以用試驗驗證其正確性(Hong 2010)，本研究則將其應用於地下蓄水計算。洪水體積可表示為

$$v_f = \int i \times dt \quad (3-1b)$$

假設入流歷線(降雨)為三角形，方程式(3-1b)為

$$v_f = \frac{i_p \times T}{2} \quad (3-1c)$$

式中  $i_p$  為尖峰降雨； $T$  為降雨延時； $v_f$  為洪水體積，而出流口常見包括堰口、孔口及溢流井，表示如下：

$$o = K_1 H^n \quad (3-1d)$$

式中  $K_1$  為特性參數； $H$  為高於地面水深；堰口及溢流井  $n = 1.5$ ；孔口  $n = 0.5$ 。定義最大滲透率為  $o_p$ ，最大儲存容積為  $s_p$ ，無因次尖峰流率  $O_p (=i_p/o_p)$ ，無因次最大儲存容積  $S_p (=s_p/v_f)$ ；假設入流及出流均為三角形，簡化之關係如下：

$$S_p=1-O_p \quad (3-2a)$$

將(3-1c)式帶入(3-2a)式， $s_p$  可表示為

$$s_p = \frac{i_p T(1-O_p)}{2} \quad (3-2b)$$

## 3.2 鋪面試驗規劃

本研究於南華大學設立標準透水鋪面試區，以便進行各式透水鋪面透水率之量測，試區平面配置如圖 3-1，說明如下：

### (1)鋪面規格

每個鋪面寬 2m，長 3.5m，高度為 0.5m，降雨時於鋪面兩旁設置儲水槽，接收地表逕流，而鋪面下方皆填碎石，碎石之孔隙率均事先測定，因為碎石表面吸水量少，可忽略不計，因此透過每個鋪面中間之水深觀測井，觀測水深之後，乘以孔隙率及長寬，便可以推得入滲蓄水量，試驗完成之後，透過下方排水管，便可將水排除。

### (2)鋪面種類

鑒於透水性將影響實際滯洪量估算，且各家學者量測結果不一，因此本研究將常見之水泥連鎖、植草磚；及 JW 生態工法之兩種鋪面，同時加上透水瀝青及透水混凝土，並加上常見之植草鋪面及碎石鋪面，讓各種鋪面在同一基礎之下，進行長期透水性測試；試區中間架設一雨量計及溫濕度計，進行降雨量紀錄。

### (3)鋪面設計試驗

由於透水混凝土之透水性及抗壓強度，會因為配比之不同而異，因此本研究擬將各種不同配比，包括水泥、碎石、強化抗壓強度之膠

結物如海菜粉等，進行配方研究，以找到較合適之膠結物質，並建立透水混凝土透水性與抗壓強度之關係。而 JW 生態工法之開口方式、孔口大小，均會影響其透水率，因此亦將一併進行研究，並於試區中進行測試。

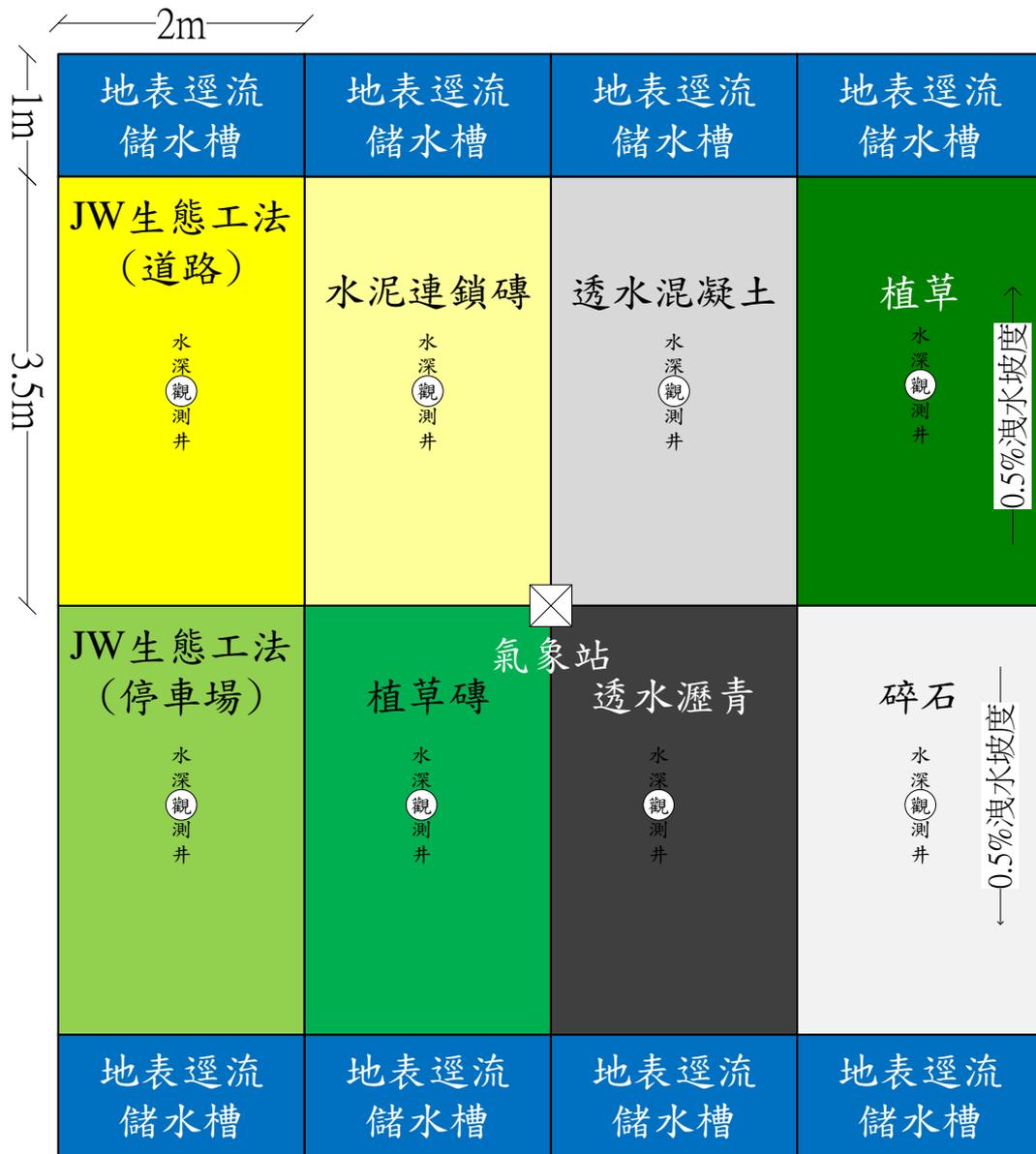


圖 3-1 透水鋪面標準試區平面圖

### 3.3 設計原則

以(3-1a)公式，降雨量等於地表逕流加上入滲量之水收支平衡方程式為依據，設計八種鋪面，每個鋪面面積為長 3.5m×寬 2m，鋪面厚度依鋪面材質介於 5 至 15cm，鋪面下方設計 40cm 之碎石級配與土壤來儲蓄入滲，並於中央設置圓管觀測地下水位，鋪面則以 3%之坡度，讓地表逕流流至外側之蓄水池，設計橫斷面如圖 3-2，以鋼筋組立，設計平面如圖 3-3。

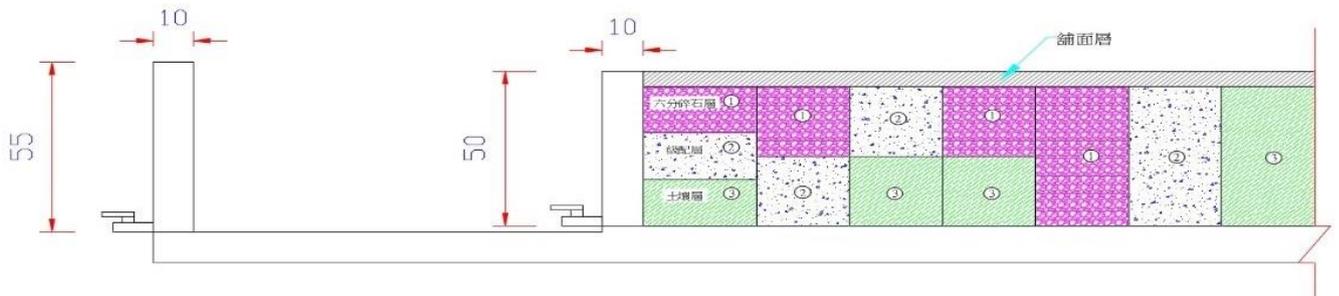


圖 3-2 設計橫斷面

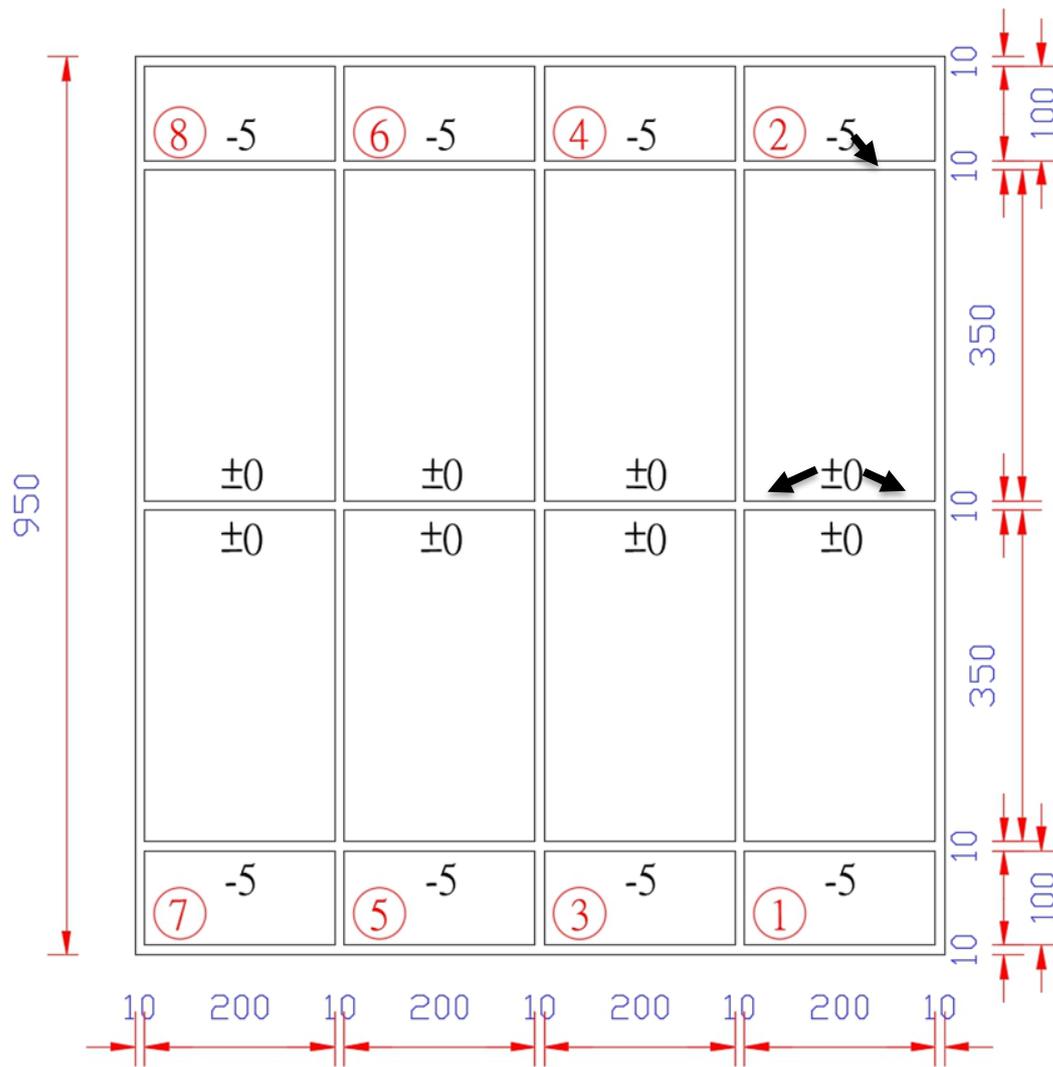


圖 3-3 平面設計圖

### 3.4 實驗規劃與配置

本試驗場可採採用單筒、雙筒，或人工降雨方式進行試驗，說明如下：

#### 3.4.1 單筒實驗

單筒由插入地面的 40 直徑組成，每個筒都可以手動或從儲水容器中提供恆定的水量。

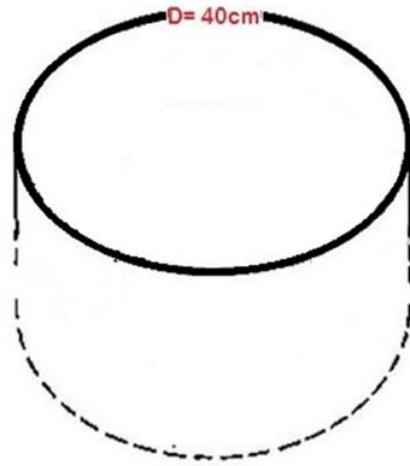
當內筒中的水流量處於穩定狀態時，可以估算土壤骨材的水量傳導率；原理是由於筒內的參數將水輸送到一個已知的表面積，滲透速

率取決於每單位/時間滲入土壤表面積的水量。

雙筒試驗則於單筒內，另外加入直徑 20cm 的小筒，雙筒量測時因為不會擴散，量測數據會較單筒小。



(a)單筒試驗



(b)單筒大小



(c)雙筒試驗

圖 3-4 單筒及雙筒試驗

### 3.4.2 人工降雨試驗

本研究配置人工降雨器，降雨面積等於每一區塊面積，其配置如 3-5 所示。

降雨過程中，可依照(3-1a)式，計算其公式。

同時設置三個記錄器，S1 記錄降雨量為  $I$ 、S2 紀錄入滲量為  $S$ 、S3 則紀錄地表逕流量  $O$ ，再依照(3-1a)式，計算其公式。

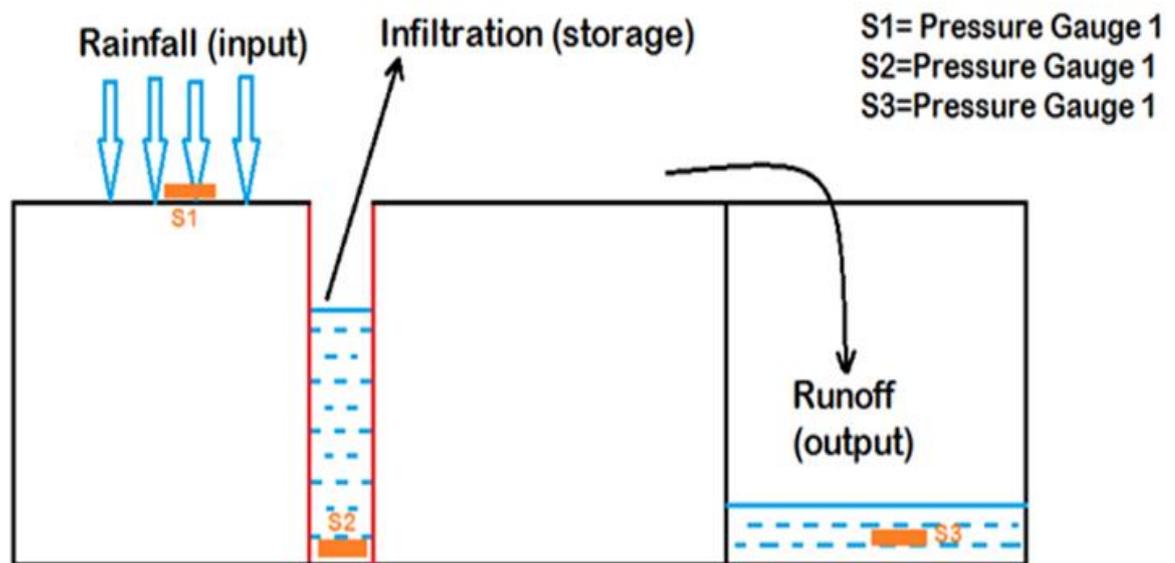


圖 3-5 人工降雨配置

## 第四章 結果與討論

### 4.1 試驗場施工

#### 4.1.1 試區位置

本校南華大學地理位置位於台灣中部嘉義縣大林鎮南華路一段55號，位置位於建置於第一停車場與學慧樓旁如圖 4-1。



(a)位置圖



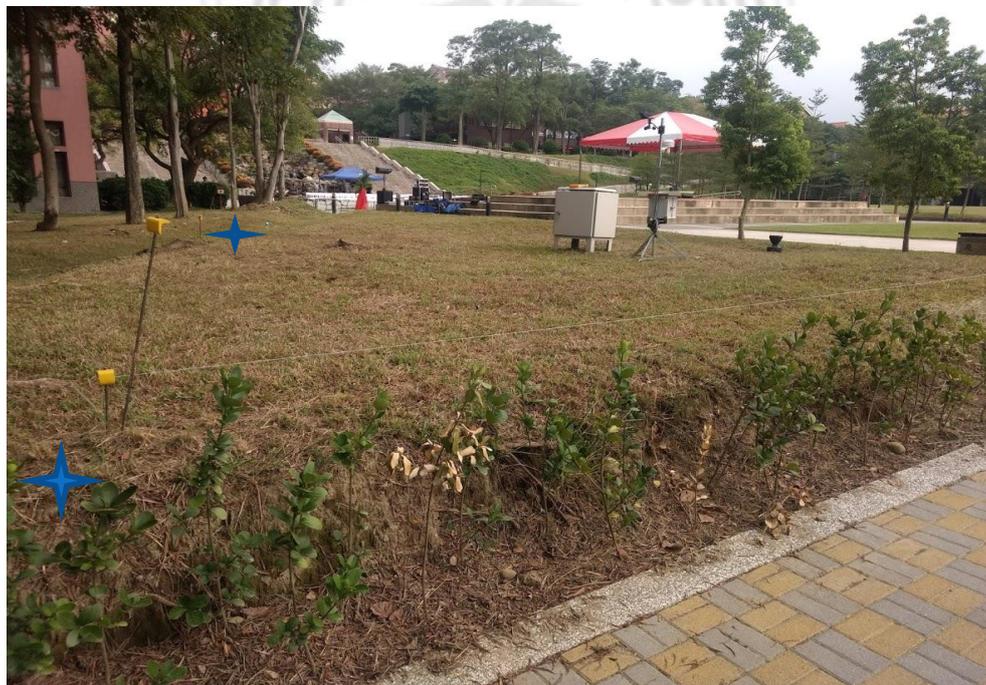
(b)現場圖

圖 4-1 透水鋪面建置位置

建置前依設計圖上所示之圖說測量放樣，並標示出各部分高程及範圍如圖 4-2。



(a)平面放樣



(b)位置標示

圖 4-2 位置放樣

#### 4.1.2 施工過程說明

建置前先將實驗區域範圍之樹木、雜草、樹根、土石及其全部障礙物全部予以清除，並將原有地面整修平整，然後予以夯實如圖 4-3。



圖 4-3 建置區整地

底層鋪設#3 竹節鋼筋@15 cm單層雙向綁紮，土壤處以混凝土塊墊高鋼筋，防止鋼筋接觸到地面因潮濕而產生鋼筋鏽蝕，並隔絕土方直接接觸鋼筋而形成保護層再進行板模組立如圖 4-4。



圖 4-4 鋼筋鋪設綁紮與板模組立

板模依圖說分八個區域獨立組立，測高層標高度，準確澆置  
210 kgf/cm<sup>2</sup> 混凝土如圖 4-5。



(a) 鋼筋混凝土澆置作業



(b) 場域結構完成

圖 4-5 場域鋼筋混凝土澆置

依圖說獨立分隔開八個區域，每種不同鋪面場域坡度為 3%，下方處外側連結建置一座蓄水池，測量水平與高層再標上設計之所需高度與容量刻度；並且在結構體徹底施作防水層如圖 4-6，為防止水流滲入原地表,而產生實驗數據的誤差，另外在鋪面區域內外各連接一支出水閥，當在試驗研究中視情況所需，暫時關閉或打開出水閥。



圖 4-6 場域結構全部刷防水層

以實際水量等於地表逕流加上入滲量之水文連續方程式為依據依圖說分八個區域獨立分隔開，並且在防水面表層先抹上(1:3=水泥：砂漿)粗粉，於一星期後再抹上(1:2=水泥：砂漿)細粉，用來預防與保護防水層與骨材接觸或磨擦受到的損壞如圖 4-7。



圖 4-7 表面以水泥砂漿 1:3 粉刷保護防水層

施工完成後，每一個區域各有兩個試驗池，內池長 3.5m\*寬 2m\*高 0.5m 放置試驗所需要的骨材進行分類、分層鋪設與夯實、再施作試驗所需之鋪面。完成如圖 4-8。



圖 4-8 場域透水鋪面完成鋪設

## 4.2 透水標準試驗

本研究以單筒，進行水泥連鎖磚透水試驗，結果如表 4-1 所示。固定採用 13000 cm<sup>3</sup> 水量，持續進行 13 次，推得入滲量逐步降低，顯示因為下方土壤逐漸飽和之後，入滲率趨於穩定為 0.12~0.13 cm/sec。

本研究採用 Horton's 入滲公式進行擬和，推得公式為

$$f = f_c + (f_o - f_c) \times \exp(-kt)$$

$$f = 0.0123 + 0.0222 \times \exp(-0.00045t)$$

上式中，f 為入滲率，單位為 cm/sec，t 為時間，單位為 sec。

表 4-1 水泥連鎖磚單筒試驗結果

Volume (cm <sup>3</sup> )	Time (sec)	Time lag (sec)	Area (cm <sup>2</sup> )	Velocity (cm/sec)
13000	300	300	1256	0.0345
13000	330	630	1256	0.0314
13000	360	990	1256	0.0288
13000	462	1452	1256	0.0224
13000	480	1932	1256	0.0216
13000	540	2472	1256	0.0192
13000	552	3024	1256	0.0188
13000	564	3588	1256	0.0184
13000	600	4188	1256	0.0173
13000	720	4908	1256	0.0144
13000	750	5658	1256	0.0138
13000	780	6438	1256	0.0133
13000	840	7278	1256	0.0123

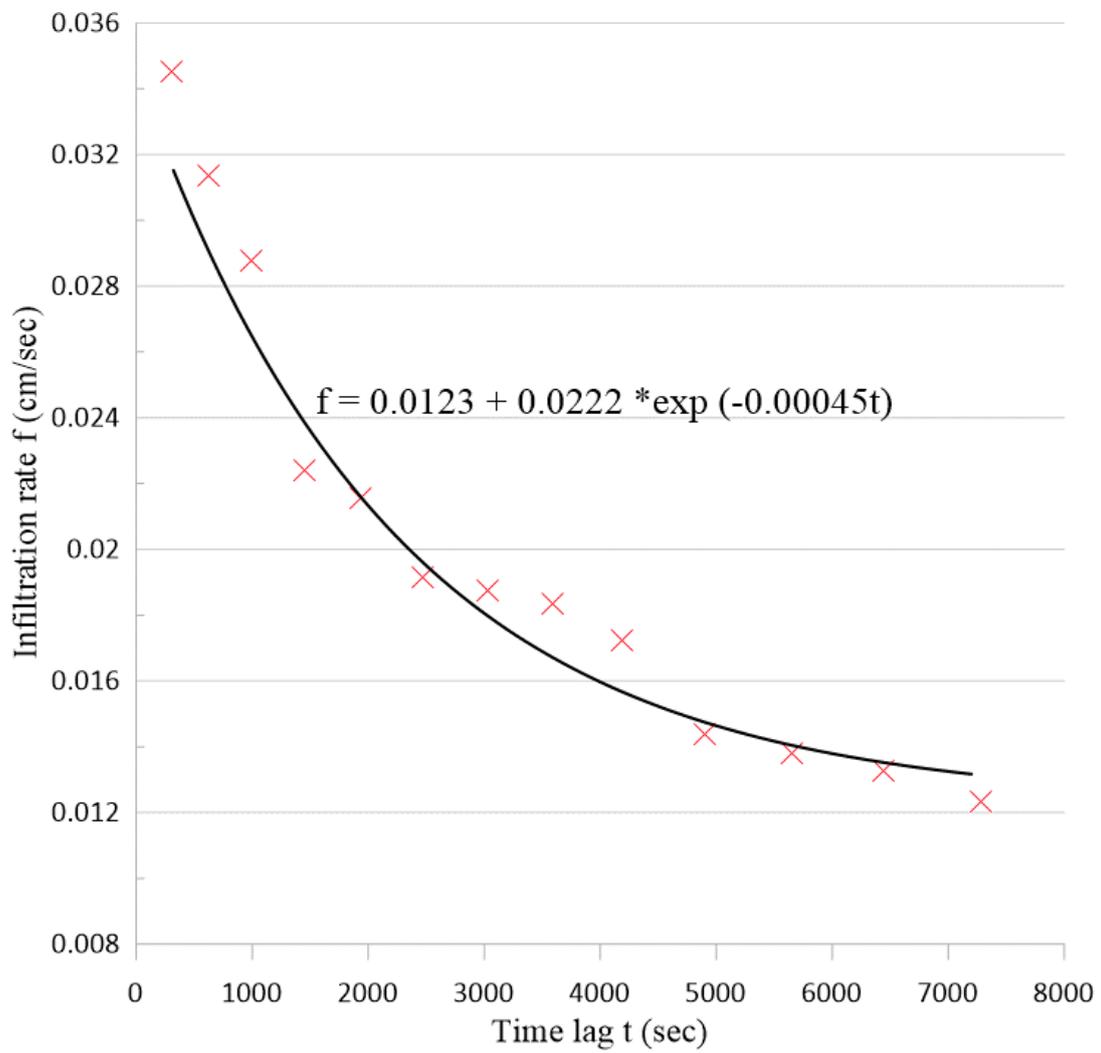


圖 4-9 水泥連鎖磚單筒試驗成果

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究獲得以下成果

1. 以水文連續方程式觀點，設計標準透水鋪面試驗場地，此場地包含 2m 寬及 3.5m 長之鋪面，中間設置塑膠管，可用來進行透水性觀測，地表透過 3% 坡度，排出無法入滲之漫地流至旁邊的儲水槽集水；並透過實際的施工，完成完整透水鋪面。
2. 本研究設置單筒、雙筒及人工降雨試驗，並說明試驗方式，並以單筒試驗進行水泥連鎖磚量測，再以 Horton's 入滲公式進行擬和，推得入滲公式。
3. JW 工法的功能於鋪設完成後的前幾年效果比較好，長年下來的透水效果會變差，因為台灣的地形目前還處於開發過度的狀態，山地面積約佔全部面積的 70% 包括中央山地的高山地區和旁邊的淺山丘陵台地區，因此沙土塵比較多容易造成導管堵塞，造成後續的養護不易，因此本研究將此透水路面進行後續之研究。

## 5.2 建議

1. 未來可對每一個鋪面進行單筒、雙筒，獲得各種鋪面之透水性。
2. 進行人工降雨試驗時，可應用水文連續方程式及水位感測器，推算透水鋪面滲透率。
3. 鋪面透水率與鋪面結構、鋪面下方土壤滲透性有關，可據以進行進一步研究。



## 參考文獻

1. 洪耀明. (2008). 以水文連續方程式建立滯洪容積計算公式
2. 潘昌林, & 丘惠生. (2000). 可滲透式人行鋪面材料 (無細骨材混凝土) 及施工方法研究. 內政部建築研究所.
3. 廖文水. (1997). 第九屆鋪面工程學術研討會論文集 [排水性瀝青混凝土路面], 中華鋪面工程學會, 台北.
4. 陳瑞文. (2008). 結構性空調導水鋪面對陸生圈生態環境之貢獻. 第三屆海峽兩岸土木建築學術研討會, 80-87.
5. 游繁結. (1988). 水源涵養與地形及土壤之關係.
6. ASTM International. Standard Test Method for Surface Infiltration Rate of Permeable Unit Pavement Systems; C1781/C1781M-14a; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2014.
7. Bean, E. Z.; Hunt, W. F.; & Bidelspach, D. A. Field survey of permeable pavement surface infiltration rates, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2007. 133(3), 249-255.
8. Benisi Ghadim, H., Sai Hin, L., Hooi Bu, C., & Jie Chin, R. (2017). Effectiveness of BIOECODS for peak flow attenuation: an appraisal using InfoWorks SD. *Hydrological sciences journal*, 62(3), 421-430.
9. Brattebo, B.; Booth, D. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water. Res.* 2003. 37, 4369-4376.
10. Chen J.-Y.; Hong Y.-M. Approximate solution using a perturbation method for detention pond design, *International Journal of Sediment Research* 2002. 17(3), pp. 256-263.

11. Chen J.-Y.; Hong Y.-M. Calculation of the Detention Volume Method of Detention Pond, *International Journal of Sediment Research* 1999. 14(4), pp. 51~60.
12. Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W.. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Singapore, 1988; pp. 242-264.
13. Collins, K. A.; Hunt, W. F.; & Hathaway, J. M. Hydrologic comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering* 2008. 13(12), 1146-1157.
14. Drake, J.; Bradford, A.; Van Seters, T. Stormwater quality of spring-summer-fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement. *Journal of environmental management* 2014. 139, 69-79.
15. Goswami, B. N.; Venugopal, V.; Sengupta, D.; Madhusoodanan, M. S.; & Xavier, P. K.. Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science* 2006, 314(5804), 1442-1445.
16. Hong Y.-M. ; Yeh N.; Chen J.Y. The Simplified Methods on Evaluating Detention Storage Volume for Small Catchment, *Ecological Engineering* 2006. Vol. 26(4), pp 355-364
17. Hong Y.-M. Experimental Evaluation of Design Methods for In-Site Detention Ponds, *International Journal of Sediment Research* 2010. 25, 52-63.
18. Hong Y.-M. Numerical Simulation and Experimental Verification of Detention Pond Routing with Long Rainfall Duration, *International Journal of Sediment Research* 2008. 23(3), 233-248.
19. Hong Y.-M. The Graphic Estimation Methods of Detention Pond Volume with Short Rainfall Duration, *Journal of Hydro-environment Research* 2008. 2(2), 109-117.

20. Kang, N.; Kim, S.; Kim, Y.; Noh, H.; Hong, S. J.; & Kim, H. S.. Urban Drainage System Improvement for Climate Change Adaptation. *Water* 2016, 8(7), 268.
21. Kropf & Geiser (1957) , FAA (Federal Aviation Administration, 1966) , DRCOG (1961)
22. Lai, S. H., & Mah, D. Y. S. (2012). Field investigation of a dry detention pond with underground detention storage. *Hydrological sciences journal*, 57(6), 1249-1255.
23. Lin G.-F, The Specification for Design for highway drainage. Ministry of Communications: Taiwan, 2009; pp. 85.
24. Liu, C. M.; Chen, J. W.; Tsai, J. H.; Lin, W. S.; Yen, M. T.; & Chen, T. H. Experimental studies of the dilution of vehicle exhaust pollutants by environment-protecting pervious pavement. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2012, 62(1), 92-102.
25. Lucke, T.; Boogaard, F.; van de Ven, F. Evaluation of a new experimental test procedure to more accurately determine the surface infiltration rate of permeable pavement systems. *Urban, Planning and Transport Research* 2014. 2(1), 22-35.
26. Natarajan, P., & Davis, A. P. (2009). Thermal reduction by an underground storm-water detention system. *Journal of Environmental Engineering*, 136(5), 520-526.
27. Rushton, B. Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads. *J. Water. Resour* 2001. P1- ASCE 172, 172-179.
28. Scholz, M.; Grabowiecki, P. Review of permeable pavement systems. *Building and Environment* 2007, 42(11), 3830-3836.
29. U.S. Bureau Of Reclamation. Design of Small Dams, Water Resources Technical Publications, 1965.

30. Valeo, C., & Gupta, R. (2018). Determining Surface Infiltration Rate of Permeable Pavements with Digital Imaging. *Water*, 10(2), 133.
31. Verbist, K., Torfs, S., Cornelis, W. M., Oyarzun, R., Soto, G., & Gabriels, D. (2010). Comparison of single-and double-ring infiltrometer methods on stony soils. *Vadose Zone Journal*, 9(2), 462-475.

