

## 海綿城市之建構試驗-

### 搭配蓄水積木板及滲透導管為增益入滲之手段

潘高田<sup>(1)</sup> 莊嘉銘<sup>(2)</sup> 謝欣穎<sup>(2)</sup> 張侑瑛<sup>(3)</sup> 許少華<sup>(4)</sup>

#### 摘要

本研究利用西屯區私人停車場為實驗場地，先以雙環試驗取得實驗數據，代入 Philip 入滲公式求得原始飽和入滲率後，再運用低衝擊開發(LID, Low Impact Development)概念，於實驗地點向下開挖 150 公分深，埋入滲透導管，並架設蓄水積木板，在地表下創造一立方公尺的貯蓄雨水空間，再恢復實驗地點的透水鋪面。

採用 EPA SWMM 模式(Storm Water Management Model)，模擬不同降雨狀況下，實驗區域架設 LID 資材比例所產生降雨逕流之差異。以兩年重現期距降雨為例，將現況情境以架設蓄水積木板及滲透導管(LID 模組)改造，設定不同的 LID 模組比例，得到總逕流體積削減約 3.3%~39.5%、洪峰流量消減約 1.16%~19.6%。

(**關鍵詞**: 雙環試驗、低衝擊開發(LID)、SWMM、蓄水積木板、滲透導管)

## Experiments on constructing sponge city—increasing infiltration by using water storage board with infiltration pipes

*Gao-Tian Fan<sup>(1)</sup> Jia-Ming Zhuang<sup>(2)</sup> Xin-Ying Xie<sup>(2)</sup>  
Yu-Huan Zhang<sup>(3)</sup> Shao-Hua Hsu<sup>(4)</sup>*

Master Student<sup>(1)</sup>, Research Assistant<sup>(2)</sup>, Professor<sup>(3)</sup>, Department of Water Resources Engineering and  
Conservation, Feng Chia University, Taichung, Taiwan

- 
- (1) 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士生(通訊作者 e-mail:blackman840628@gmail.com)
  - (2) 中興大學水土保持學系碩士生
  - (3) 逢甲大學水利工程與資源保育學系研究助理
  - (4) 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

## ABSTRACT

In this study, a private parking lot in Xitun District was used as the experimental site, and the experimental data of infiltration was obtained by the Double-Ring Infiltration Tests. The original saturated infiltration curve was obtained by applying the Philip infiltration formula. At the experimental site, for the area of one unit parking space, 150cm deep was excavated to bury infiltration pipes vertically beneath the bottom and then set up water storage board on top of the pipes. One cubic meter of rainwater storage space was created under the ground surface. The surface of the experimental area was then recovered to its original form with the water storage board and infiltration pipes embedded inside the land under the original pavement, which is one set-up of low impact development (LID),

The post-installation of the new LID set-up was evaluated by the EPA SWMM model by simulating different rainfall conditions and comparing the differences in storm water runoff between the original and after installation of the LID set-up. For a rainfall event of two year of recurrence period, the total runoff volume is reduced from about 3.3% to 39.5%, and the peak flow is reduced from about 1.16% to 19.6%, with area set up water storage board and infiltration pipes(LID modules), set the ratio of different LID modules.

**(Keywords:** Double-Ring Infiltration Test, Low Impact Development (LID), SWMM, water storage board, infiltration pipes)

## 前 言

台灣位在北迴歸線上，地處熱帶及亞熱帶，四面環海，常受到颱風、豪雨的侵襲。近年來全球氣候變遷導致降雨分布不均，當豐水期來臨時，容易發生洪患，再加上現今社會的經濟及人口快速成長，使得高樓大廈林立，裸露的土壤逐漸減少，被柏油路取而代之，地面不透水層的增加，讓雨水無法直接入滲土壤，而在地面不透水層形成逕流，造成地面逕流量體增加、洪峰流量時間提早及增大(徐硯庭, 2014)，

而且當發生降雨量或洪水量超出原有的設計標準規模，下游排水系統無法快速排出至河溪造成淹水，若想拓寬排水設施，除了需要耗費大量的資金，繁雜的工程還會對環境造成破壞，浪費珍貴的雨水資源。

本研究透過低衝擊開發(Low Impact Development, LID)理念，利用透水性鋪面技術，增加雨水入滲至土層中，進行雨水儲留及補注至地下水含水層，以減緩洪峰流量及地表逕流匯集時間縮短，希望能夠維持或恢復開發前的水文條件及前期開發逕流量(Michael，

2007)，其關鍵因素是如何突破低滲透率之阻隔層，並搭配地表下設計的儲留空間，利用其水頭差以有效增加入滲量，達到恢復自然水文循環之過程，透過補注地下水量，預防地層下陷的發生。

## 研究方法

### 1. 試地概況：

試驗場地是位於台中市西屯區西安里的一處私人停車場，停車場周圍有許多戶住家，屬位於台中市人口密度高的區域；停車格處以植草磚鋪設中央通道以混凝土鋪設，四周高程相對低點，對於匯集地表逕流進行儲留及入滲相當有優勢。如圖 1 所示。



圖 1 實驗場地現況

Figure 1. Status of experimental site

### 2. 雙環試驗設置與試驗步驟：

實驗步驟需先刮除表土上的草叢、石頭等使其平坦，利用油性黏土將內外環底部黏牢於植草磚上。將馬特利歐瓶架設於內外環上，在內外環蓄水至 22 公分；實驗期間，當水補注到環內時做一次紀錄，且注意馬特利歐瓶出水孔是否有異物。當入滲速率維持穩定不在變化至少 30 分鐘以上，則視為達到飽和狀態，停止實驗。

### 3. LID 實驗器材施工流程：

實驗區域為停車場內一處連鎖植草磚停車格，為埋設蓄水積木板及滲透導管，將原有連鎖磚鋪面移除以利開挖，完成連鎖植草磚移除後，本試驗預計創造出 1 立方公尺空間，加上上層覆土高度 50 公分，總共要以機具挖掘深度 150 公分處，再以蓄水積木板疊出 1 立方公尺之蓄水空間，並在蓄水積木板周圍須用不透水布包覆，完成後上層以不織布將積木板覆蓋防止細顆粒淤積，而安置滲透導管則以機具輔助，將滲漏管埋設置土層裡，在蓄水積木板與不透水織布間，以 PVC 管預留空間使地表水得以流入並作為未來設置水位計觀測空間。完成後以機具將土砂回填，回填完成後以級配粒料鋪設於停車場空間。調整地面高程後將連鎖植草磚復原，圖 2 為施工設置示意圖。

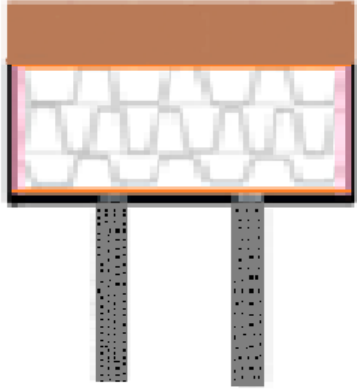


圖 2 LID 器材施工設置示意圖

Figure 2. LID equipment construction illustration

#### 4. 飽和入滲率之推求

##### A. 單位時間飽和入滲率:

入滲率為單位面積之入滲量除以時間，而單位時間入滲率的求法則為實驗所記錄入滲的累積量除此段時間，每次紀錄的量和此段時間間格不一定相同，但其計算結果為單位時間的入滲率。實驗後期，土壤水分已達到飽和狀態時，所計算出來的單位時間之入滲率則為飽和後的值，但是土壤條件或其他因素可能影響單位時間飽和入滲率的值，所以實驗數據取實驗停止前半小時的數值平

均後，作為穩定的單位時間飽和入滲率。

##### B. 飽和入滲率 K 推求(回歸推求):

根據菲利浦(Philip)入滲公式  $F(t) = st^{1/2} + Kt$ ，利用變數轉換將式中的  $t$  值轉換成變數  $x=t^{1/2}$ ，故其公式可以改寫成  $G(x)=[F(t)]=Kx^2+sx$ ，利用 Excel 令其二次式之常數項為零，迴歸出公式  $y(x)=C_1x^2 + C_2x$ 。

##### C. 飽和入滲率計算值推求:

將其  $y(x)=C_1x^2 + C_2x$  式中的  $x$  值轉回  $t$ ，則  $y(t)=C_1t + C_2t^{1/2}$ ，再將此迴歸公式微分後即為入滲率之計算值  $f(t)=y(t)=C_1 + \frac{1}{2}C_2t^{-1/2}$ ，此  $C_1$  即為  $K$ ， $C_2$  即為  $s$ 。

#### 5. EPA SWMM 模式建立

##### A. 概念模式建立:

本研究使用 EPA SWMM 模式模擬台中市西屯區停車場的降雨逕流情況，研究區域面積為 0.04 公頃，分為植草磚停車場面積為 0.017 公頃，及不透水混凝土面積為 0.023 公頃。根據試驗場址狀況設置兩個子集水區，S1 為水泥路面

及停車場植草磚鋪面、S2 為停車場植草  
磚鋪面、C1~C6 為進水口，以及設置 O2  
為出流位置(匯流點)，本研究將現場情  
境模擬設為基準，因試驗場址集水區範  
圍受坡地影響，漫地流將設計由 S1 流往  
S2

集水區後，流向 C6 進水口至 O2 出  
流口(匯流點)，運用 SWMM 模擬可計算雨  
水流動過程之水文量變化。如圖 3 及圖 4  
所示。



圖 3 Google 實驗場址俯視圖

Figure 3. The top view of the experimental site  
as seen using Google Maps

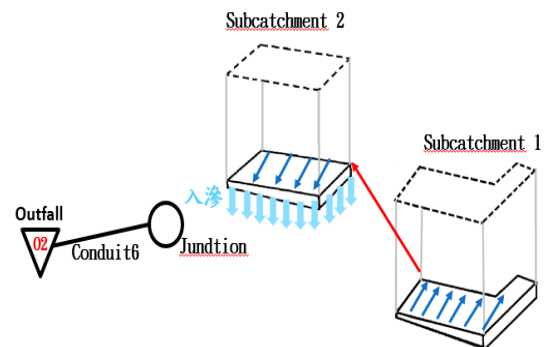


圖 4 實驗場地 SWMM 概念圖

Figure 4. A SWMM concept map of the  
experimental site

子集水區參數依照試驗場址資料設定及  
現地試驗測得之參數：集水區面積、漫地流路  
徑特徵寬度、坡度百分比、不透水面積百分比  
皆以實際測量取得，如表 1、表 2、表 3 所示。

#### B. 設計雨型

因本研究區域無現場實測之降雨資  
料，因此其兩年、三年、五年延時降雨  
之降雨強度公式，係由台中市雨水下水  
道系統檢討規劃報告中採用「台灣地區  
雨量測站降雨強度延時 Horner 公式」分  
析台中雨量站雨量資料，於資料分析後  
進行頻率分析並推求設計雨型，如圖 5  
所示。

表 1 子集水區參數表

Table 1. Table of subcatchment parameter

參數名稱	S1	備註
Suction Head(mm)	14	試驗 Philip 公式轉 Green_Ampt 入滲公式
Conductivity(mm/hr)	78	
Initial Deficit	0.263	現場估計

表 2 集水區參數表

Table 2. Table of catchment parameters

Subcatchment	S2	S1	備註
Rain Gage	RAINGAGE	RAINGAGE	計劃雨型資料
Outlet	C6	S2	
Area	0.017	0.023	實際量測
Width	16.6	21.5	實際量測
%Slope	0.00013	0.00013	實際量測
%Imperv	70	100	混凝土不透水
N-Imperv	0.014	0.015	SWMM 手冊
N-Perv	0.025	0.1	SWMM 手冊
Dstore-Imperv	3	0	現場估計
Dstore-Perv	6	0.05	現場估計
%Zero-Imperv	0	0	現場估計
Subarea Routing	OUTLET	OUTLET	
Percent Routed	100	100	

Infiltration	GREEN_AMPT	GREEN_AMPT	試驗值
--------------	------------	------------	-----

表 3 植草磚 LID 模組參數表

Table 3. Table of Grass-brick LID module parameters

透水性鋪面			備註
Surface Layer 地表層	Berm Height(mm)	5	現場估計
	Vegetative Cover Fraction	0	現場估計
	Surface Roughness(n)	0.15	SWMM 手冊
	Surface Slope	0.00013	現場量測
Pavement Layer 鋪面層	Thickness(mm)	150	鋪面磚厚度
	Viod Ratio	0.15	SWMM 手冊
	Impervious Surface Fraction	0	現場量測
	Permeability(mm/hr)	1115	實驗值
	Clogging Factor	0	SWMM 手冊
Soil Layer 土壤層	Thickness(mm)	350	現場量測
	Porosity	0.5	SWMM 手冊
	Field Capacity	0.2	SWMM 手冊
	Wilting Point	0.1	SWMM 手冊
	Conductivity(mm/hr)	78	現場估計
	Conductivity Slope	10	SWMM 手冊
	Suction Head(mm)	14	現場估計
Storage Layer 存儲層	Thickness(mm)	1000	鑽探資料
	Viod Ratio	0.95	SWMM 手冊
	Seepage Rate(mm/hr)	78	土壤特性
	Clogging Factor	0	SWMM 手冊
Drain 排水層	Flow Coefficient	0	SWMM 手冊
	Flow Exponent	0.5	SWMM 手冊
	Offset Height(mm)	6	SWMM 手冊

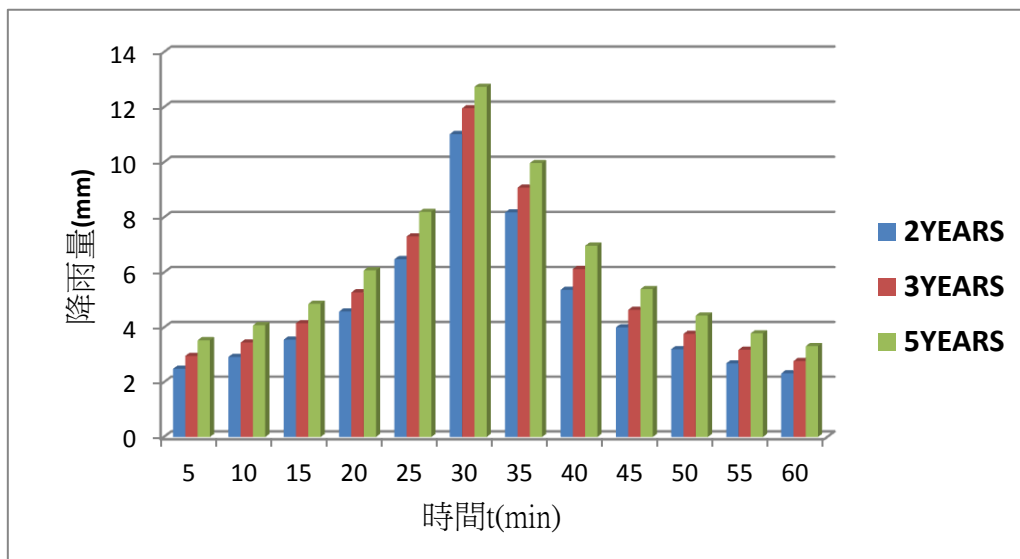


圖 5 台中雨量站各重現期距設計雨型

Figure 5. The designed rain type based on the recurrence of rain at the Taichung Rain Station

$$I_2 = \frac{786.92}{(t_d + 14.5)^{0.5960}} \text{ (式 1)}$$

$$I_3 = \frac{599.57}{(t_d + 10.5)^{0.5140}} \text{ (式 2)}$$

$$I_5 = \frac{479.85}{(t_d + 7.10)^{0.4395}} \text{ (式 3)}$$

## 試驗結果與討論

### 1. 雙環試驗結果分析

本次實驗地點選擇一處私人停車場，利用雙環入滲計測定該處地表入滲特性，經由 Excel 統整雙環實驗入滲率數據後，可得到五次實驗的累積入滲量圖表及迴歸公式。

從五次實驗得知 K 值在 3.8cm/hr~11.1cm/hr 之間。進而去討論得知，K 值會出現這麼大的區間範圍，有可能為大自然本身因素所造成，雨後的土壤使得土壤本身已有水分，而影響實驗時土壤吸收水分的空間。造成最後數據上的差異，因為每次實驗的 K 值不同，故做了五次的雙環入滲實驗來取得平均 K 值。而代入



SWMM 模式的K 值是五次實驗相加平均值為  
7.8cm/hr。

## 2. EPA SWMM 模擬結果

本研究先利用兩年、三年及五年的重  
現期距探討現況情境，由表 4、圖 6 可得  
知，在重現期距 2 年的狀況下，總逕流體  
積為 32.0011 立方公尺，而洪峰流量為

0.0061 每秒立方公尺；在重現期距 3 年的  
狀況下，總逕流體積為 40.2447 立方公尺，  
而洪峰流量為 0.0091 每秒立方公尺；在重  
現期距 5 年的狀況下，總逕流體積為  
50.5144 立方公尺，而洪峰流量為 0.0130  
每秒立方公尺，由此模擬結果可得知，隨  
著重現期距增加，其逕流總量亦會跟著增  
加。

表 4 現況情境在各重現期距下之總逕流體積

Table 4.The total runoff volume in the current situation

重現期距	原始情境	
	總逕流體積(m <sup>3</sup> )	洪峰流量(m <sup>3</sup> /s)
2 年	32.0011	0.0061
3 年	40.2447	0.0091
5 年	50.5144	0.0130

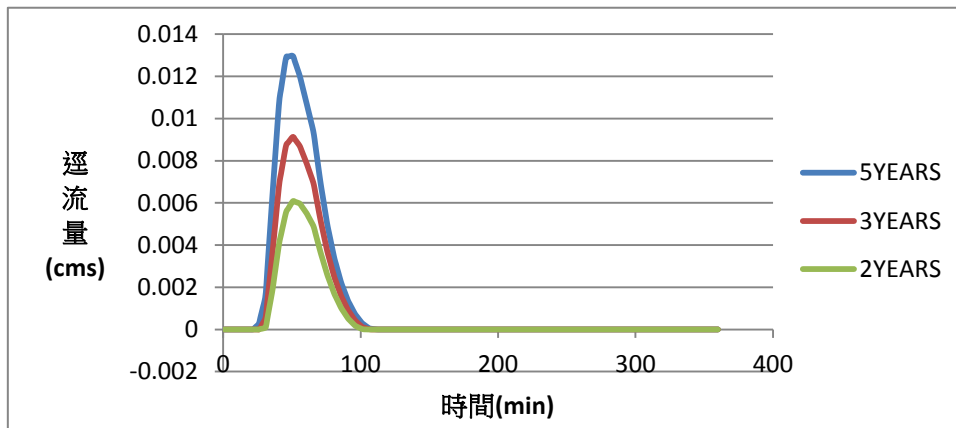


圖 6 現況情境各重現期距設計降雨之模擬逕流歷線

Figure 6. Modelling runoff based on the recurrence of rainfall in current conditions

#### A. 植草磚改造後比較

利用 SWMM 程式中的 LID 模組模擬植草磚改造後，本研究分別在 0.017 公頃的植草磚面積下，分別模擬設置 1.2%植草磚改造、2.9%植草磚改造、5%植草磚改造、15%植草磚改造及 30%植草磚改造之 LID 模組，來探討蓄水積木板在增設多少個的情況下最有效益，如圖 7 所示。增設 1.2%植草磚改造為在現地中設置 2 個蓄水積木板，與原始情境之總逕流體積差異量為 1.0477 立方公尺，削減約 3.3%；增設 2.9%植草磚改造為在現地中設置 5 個蓄水積木板，與原始情境之總逕流體積差異量為

2.2514 立方公尺，削減約 7%；增設 5%植草磚改造為在現地中設置 9 個蓄水積木板，與原始情境之總逕流體積差異量為 3.5505 立方公尺，削減約 11.1%；增設 15%植草磚改造為在現地中設置 25 個蓄水積木板，與原始情境之總逕流體積差異量為 7.5351 立方公尺，削減約 23.5%；增設 30%植草磚改造為在現地中設置 50 個蓄水積木板，與原始情境之總逕流體積差異量為 12.6404 立方公尺，削減約 39.5%。

由此可知，增設越多的蓄水積木板，則可增加越多的入滲量，但是現實生活中，仍須考量成本問題。

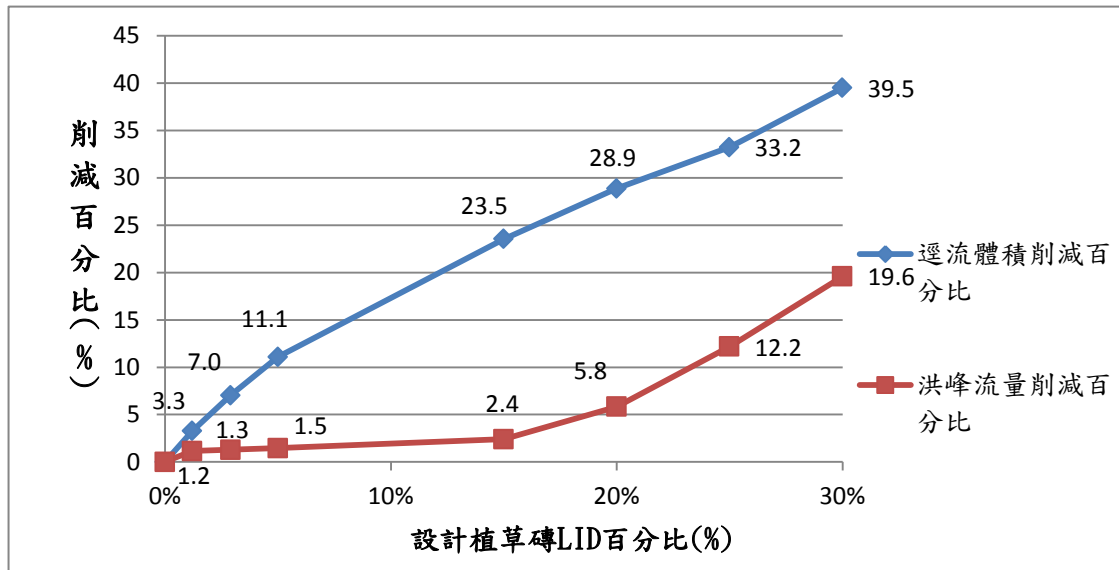


圖 7 設計植草磚 LID 模式模擬削減百分比圖

Figure 7. The percent reduction diagram of the designed grass-brick LID simulation

B. 小結

從圖表中可以發現將植草磚搭配蓄水積木板改造後，總出流體積及洪峰流量有減少的趨勢。但由於搭配 1.2%、2.9%、5%及 15%的植草磚改造(LID 模組)削減量皆不大，然而使用 30%植草磚改造(LID 模組)來觀察蓄水積木板的效用是有效的。由此可知，增設蓄水積木板及滲透導管，能夠將地表逕流量儲入於地表下創造的貯水空間，達到增加入滲量及減緩洪峰流量的效果。由蓄水空間與削減體積比可知，隨著 LID 比例增加蓄水空間，

但逕流體積削減並無隨此增加。

結論與建議

1. 本實驗是由一塊植草磚停車場車格，放置滲透導管及蓄水積木板達到增益入滲效果，而藉由放置蓄水積木板前後的數據比較出蓄水積木板的功效是否如預期所想能夠增加入滲效果。透過雙環實驗及 SWMM 模式得知，此次實驗的前後數據比對後，確切計算出蓄水積木板的效用。目的是希望將這類的器具使用在各個適合放置的區塊，以達到本次實驗的主要條件-以增益入滲為

手段。

#### A. 結論

本實驗在將植草磚停車格以滲透導管及蓄水積木板改造之前，先利用雙環實驗測得該植草磚停車格之飽和入滲率變化曲線，推求出五次實驗約落在 4.2 cm/hr~11.2 cm/hr 之間，平均大約為 7.8 cm/hr。代入 SWMM 模式比較建立植草磚 LID 模組前後差異，假設在兩年重現期距下，現況情境總逕流體積及植草磚進行 1%~30%面積改造後(架設蓄水積木板及滲透導管)的總逕流體積消減約 3.3%~39.5%、洪峰流量消減約 1.16%~19.6%。

由以上結果能得知，若在現況情境增設蓄水積木板搭配滲透導管，能夠減少地表逕流量，增加地下貯水空間，延遲入滲時間，使入滲量增加，而透過長時間的入滲補注地下水儲水量，預防地層下陷的發生，以及減緩洪峰流量，使洪水到達時間延後，達到恢復自然水文循環之過程，及減災的效果。

#### B. 建議

- a. 經由本次實驗得知蓄水積木板及滲透導管之功效後，日後諸如此類之工程希望是將這項實驗器具一併放置到地下，以減緩洪峰到達時間並且如滯洪池之概念達到海綿城市的理念。
- b. 本次研究之實驗求得入滲率是使用雙環的內環面積之飽和入滲率，建議日後可多用幾種方式來求得，更能精確得知該地入滲率。
- c. 建議對本研究改善後的試驗場地，做水位計的試驗，取得實際的入滲實驗數據。

### 參考文獻

1. 林郁汶、許少華、洪碧芳、張倚瑛，"以 SWMM 模式評估植生滯留槽減緩地表逕流之效益," 台灣水利, 第 63 卷, 第三期。
2. 高思、葉克家(2013), 「低衝擊開發於降低都市淹水之效率」, 交通大學土木工程系所學位, 碩士論文。
3. 姜立暉、程小文(2010), 「低衝擊開發模

- 式解決城市雨洪」，中國減災。
4. 許少華、徐筱婷、洪碧芳(2014)，「評估透水性鋪面搭配滲透導管對地表逕流之影響。」，台灣水利，第 62 卷，第四期。
  5. 徐硯庭(2014)，「低衝擊開發運用在高都市化地區的減洪效益-以新北市中永和地區為例」，台灣大學土木工程學研究所，碩士論文。
  6. 張嘉玲(2008)，「低衝擊開發之應用及發展趨勢」，土木水利，第三十五卷，第四期。
  7. 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。
  8. 劉建、佘年(2009)，「利用低衝擊開發技術解決城市發展中帶來的洪澇、面源汙染和乾旱問題」，第十三屆海峽兩岸水利科技交流研討會。
  9. 林鎮洋、鄭光炎、鍾詩明(2002)，「透水性鋪面粉自然」，營建知訊雜誌第 234 期。
  10. 林憲德、林子平，2002，” 都市水循環模型建立及應用之研究” ，第十四屆建築研究成果發表會，中華民國建築學會。
  11. 李光敦(2002)，「水文學」，第五章，五南出版社。
  12. Ayers Emily(2011), “Leature Notes LID101 Why Consider Green Infrastructure?”
  13. Bosely, E.K. (2008), “Hydrologic evaluation of low impact development using a continuous, spatially distributed model.”Master Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
  14. Dietz, Michael E. (2007)，「Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions」，Water, Air, and Soil Pollution.
  15. Guo, James C.Y. (2013)，“Green concept in storm water management”。
  16. Rossman, Lewis A. (2010), “Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.0,”U.S. Environmental Protection Agency.

---

106 年 9 月 15 日收稿

106 年 9 月 20 日修改

106 年 12 月 25 日接受