

第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

過去人類毫無節制的開發建設，造成地球氣候高溫化，甚至引發異常氣候、氣候巨災、生態破壞，而威脅到人類生存。有鑑於此，繼 1992 年 6 月"地球高峰會議"後，1993 年 2 月聯合國成立「永續發展委員會」(United Nations Commission on Sustainable Development, UNCED)，這些都顯示「永續發展」的問題已成為當前人類最重要的課題，今後人類所有的政經社會科技政策，莫不奉此為最高指導原則。「永續發展」的浪潮在建築都市政策方面，亦有如排山倒海而來。1996 年 6 月在伊斯坦堡召開的「居所會議 (Habitat Agenda)」，與會各國針對當今的都市危機研商對策。在同年七月的 APEC 永續發展會議中，我國對外承諾推動「居所會議」的決議目標，因而在行政院內成立「永續發展委員會」，誓言善盡國際環保職責。在此目標下，我國政府特別將「綠色建築」列為推動都市建築永續發展方面的施政重點，而本研究的「基地保水性能」就是「綠色建築」中最重要的一環。

圖 1 基地保水有助於緩和都市氣候

都市氣候高溫化是現代都市最嚴重的環保問題之一，它引發建築都市耗能上昇與生態環境退化。造成都市氣候高溫化的原因有許多，例如人口集中、建築物高蓄熱化、建築物通風不良、節能設計不當、大量人工排熱都是其因，其中尤以人工環境的「不透水化設計」是一大主因。目前，許多大型社區開發或山坡地開發在基地建設上常採用不透水鋪面，而且沒有良好的吸水、滲透設施，導致水土保持效果下降，無法有效調節地區微氣候，使大地的保水能力急遽下降，更增加了公共下水道的負擔，也增加都市洪水發生率。假如「基地保水性能」下降，還會引發氣候乾燥化，土壤內的濕潤環境下降，減少生物、微生物的存活空間，使都市生態環境惡化。有鑑於此，本研究乃針對「基地的保水性能」提出科學評估之道，以期能減緩上述弊害(如圖 1)。

圖 2 綠化規定對屋頂花園及地室應有全盤考慮

我國的建築法規對基地開發有「綠地面積」、「綠覆率」的相關規定，其立意大部份在於景觀綠化的考量，而很少著眼於上述都市氣候的顧慮，是為美中不足之處。例如，現有「綠地面積」、「綠覆率」的相關規定只考慮地面層的綠化效果，對於屋頂花園的綠化功能、透水鋪面的氣候調節功能均未予評估，同時對於人工地盤(地下室)的綠化與自然地面的綠化均給予等量評估，其綠化的評估既不公勻又不周全(見圖 2)。本研究的「基地保水性能」對於綠化地面、屋頂花園、透水鋪面、滲透設施均給予合理的量化評估，可說是把現行單純的綠化評估擴大至都市氣候生態環境的環

保評估，若能參照本研究之內容來修改建築都市綠化的相關法規，更能邁向永續發展之途。

本研究首先針對都市人工環境的基地之透水、保水性能，透過理論與實驗的方法進行解析，完成人工鋪面的滲透性能係數表。本研究同時提出基地保水性能的簡易計算指標，以輔助建築實務界增進基地保水環境之設計，並提出基地保水設計的建議基準，以作為政府立法施政與民間實務的參考。此外，本研究同時提出常用透水鋪面的標準施工圖，以提供建築及都市設計者增強基地保養水設計的能力。若能依照本研究的成果，落實都市建設，不但能緩和日益惡化的都市氣候溫暖化效應，也能增進居住環境的生態空間。

1-2 研究方法與流程

(1) 研擬基地保水指標

由基地的降水過程與大地涵養地下水的機制定義出基地保水的定義與影響因子，接著引用相關土木、水文的理論，研擬出基地保水指標之方程式，並進一步對各變數作一定義與相關之修正與規定。

(2) 透水性能實驗保水性能實驗

1. 土壤與鋪面透水係數實驗

上述指標計算中最重要的未知數，就是土壤與人工鋪面層的滲透係數。為了達成基地保水的量化計算，需提供廣泛的實用數據，而進行人工鋪面層的滲透係數實驗。

。

2 現場鋪面滲透係數實驗印證

進行現場入滲觀測試驗，以求得現場之入滲率並換算出其滲透係數，再與相同條件下實驗室內所測得計算出之值做一比對，以印證實驗室實驗及理論解析的信賴性。

。

(3) 研擬基地保水設計的基準

依據上述基地保水的指標與解析方法，根據所假設的基地條件，分析並訂定出基地保水指標基準的建議值。而後針對國內一些社區建設案例，計算其保水能力，並以不同的保水設計手法來達到指標基準，以分析出保水基準的可行性。以探討在不同基地條件與建築型式的條件之下，採用何者保水手法能最有效達到基地保水的基本要求。

(4) 綜合解析與結論建議

總結就以上的指標訂定、實驗、基準值的建議，提出本文的結論與貢獻。並提出本研究中尚屬不足之處及問題探討，以提供後續發展方向之建議。

(5)提供鋪面保水設計施工圖

為了落實基地保水設計，繼上述實驗提供滲透係數基礎資料外，我們期望能夠提供一些標準的鋪面施工方式，以提供建築及都市設計者增強基地保養水設計的能力

。

第二章 基地保水性能與指標

本節中，將提出基地保水性能的定義，並由基地降雨與大地涵養地下水的機制中，進一步分析出影響基地保水性能因子，以進一步說明探討各種保水手法的原理與常見型式。

2-1 基地保水性能定義

所謂「基地保水性能」就是「基地涵養雨水並減少地表雨水逕流量之能力」。亦即當一個基地保水性能愈佳時，基地涵養雨水的能力愈好，在降雨時就愈能減少地面逕流的量，保水力愈大。

在詳細說明「基地保水性能」之前，首先必須了解降雨與大地涵養地下水的機制。以下先由集水區降水過程加以分析，再檢討出建築基地在人工開發下的降水過程分析。

1. 集水區降水分析

近代水文觀念視集水區為一系統，經過此一系中水文歷程之輸作為降水，而輸出除入滲、截留之外，大部分為逕流。集水區的降水過程可分析如圖 3 所示。

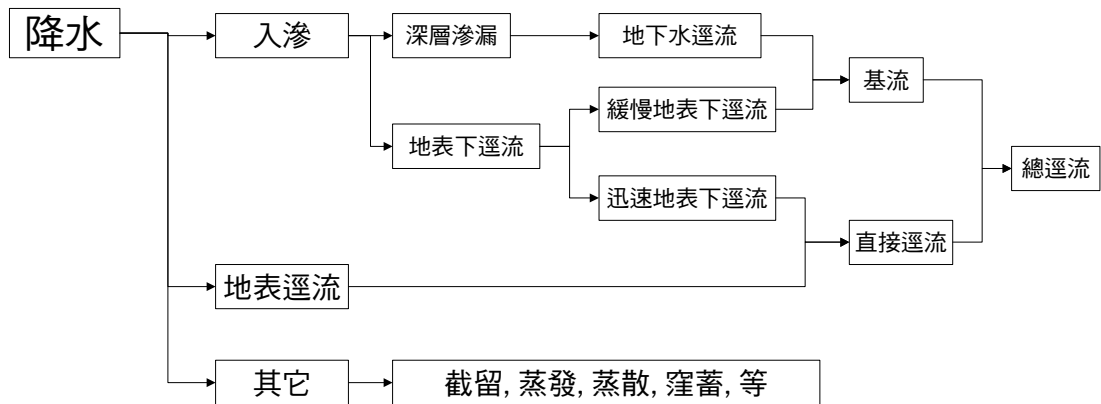


圖 3 降水經由集水區而形成逕流之過程

在集水區中，暴雨初期雨量強度較小，雨水大多蓄在植物枝葉上及地面水坑(窪蓄、截留)。雨水繼續下降時，雨水會經由土壤孔隙而滲入地面下(入滲)。而當降雨超過地表貯蓄量時，雨水開始產生流動(逕流)，便會有地面積水或地層下有水流流動的現象。

一般而言，逕流可分為三部份：其一為地表逕流(surface runoff)，係流經地表，在集中於溪谷、河渠流至流域出口的逕流，地表逕流主要由於較大之降雨所造成者。其二為地表下逕流(subsurface runoff)，此為部分降水入滲地表下土壤內再流出河川，雖流速緩慢，但當中等降雨持續甚久時，地表下之地下逕流可能甚多，為一般河川中基流量河川水之主要來源。第三部分為地下水逕流(ground water runoff)，即入滲之雨水經深層滲漏流入地下水層，形成地下水蓄水量。

因此，若能有效增加入滲、截留的量，就愈能降低地表逕流的量，強化保水的性能，此即為本研究欲達成目的。

2. 建築基地降水分析

本研究討論範圍主要乃著重在建築基地的保水性能分析。由於建築基地涉及人工開發，其降水過程與上述集水區略有不同，根據集水區的降水過程再加上建築基地本身特性，建築基地的降水過程與地下水涵養機制可下圖 4 所示：

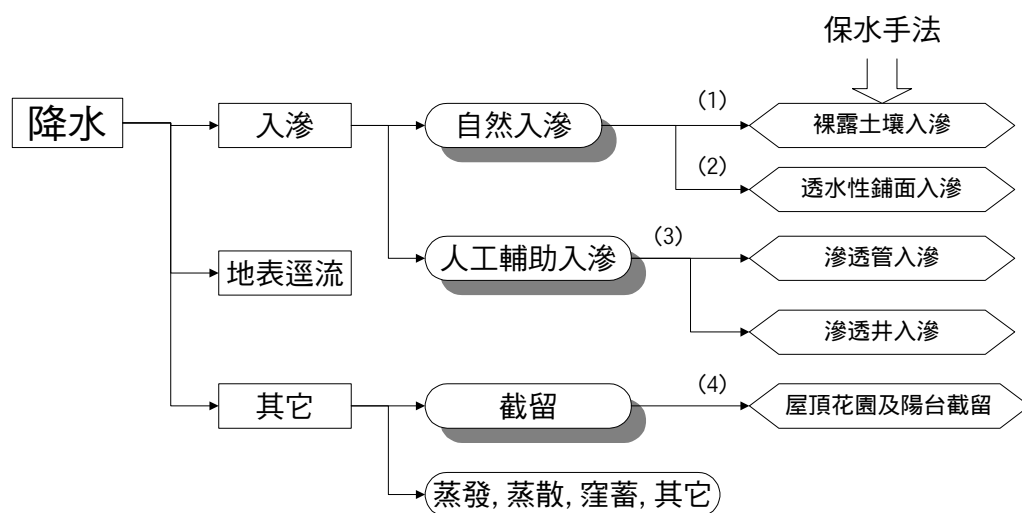


圖 4 基地降水過程分析

如圖 4 所示，在建築基地中，由於人工的開發，在大地降水後，分為入滲、地表逕流、屋頂花園截流、蒸發、蒸散、窪蓄及其他等自然過程。其中蒸發、蒸散、窪蓄等現象與建築設計之關係不大，不在本文之討論範圍。至於「入滲」的因素尚包含了自然入滲與人工輔助入滲兩類。其中「自然入滲」為裸露土壤之自然入滲，以及人工透水性鋪面的入滲。而「人工輔助入滲」則是利用滲透井與滲透管等人工輔助滲水設施來促進大地涵養雨水能力的機制，這是在過分人工化的都市環境中用來彌補土壤滲透的機制。「屋頂花園截流」是人工環境中彌補大地保水能力的機制，但過去一向被忽視。

由降雨至基地外排水的過程來分析建築基地中涵養雨水的保水力的話，可分成 (1) 裸露地入滲、(2) 透水鋪面入滲、(3) 人工輔助入滲、(4) 屋頂花園截留、等四大部份(參見圖 5 所示)。這些都是本研究「基地保水力」所要全面探討的重點。

圖 5 基地保水設計手法圖

因此，基地保水性能的定義為「基地涵養雨水並減少地表雨水逕流量之能力」。而在此條件下，提高基地保水性能可達到以下優點：

1. 增加水土保持，促進生物有機存活空間
2. 調節地區微氣候，緩和都市氣候溫暖化
3. 降低公共下水道負擔，減緩都市洪水發生之概率
4. 維持地下水位，防止地層下陷

2-2 基地保水手法說明

根據 2-1 節所分析，由降雨至基地外排水的過程來分析建築基地中涵養雨水的保水力的話，可分成(1)裸露地入滲、(2)透水鋪面入滲、(3)人工輔助入滲、(4)屋頂花園截留、等四大部份。本節就針對這四大部分說明其型式、手法及應用地點。

2-2-1 裸露地入滲

入滲(infiltration)表示地面上的水由於重力作用，經由土壤孔隙而滲入地面下的過程。由此可知，若土壤含水量高，則土壤孔隙充滿水，故入滲量較小；反之土壤乾燥則較易入滲。而入滲會增加土壤含水量，故在降雨初期，入滲量大，而經過一段時間後，入滲量減少而逐漸達一穩定之最小入滲量。而影響入滲的因子種類繁多，簡言之，可分為降雨特性、土壤特性、土壤環境、地面覆蓋、土壤含水量等。

「裸露地入滲」即為基地土壤上除植被外，沒有人工覆蓋物的情況下，雨水滲入地面下的過程。假使土壤本身的孔隙大、透水性好的話，裸露地能夠提供最佳的入滲效果，且因其完全不需要更動地表狀態，故屬於最為自然、對環保最有幫助的保水型式。

另外，須格外注意的是，假使是在開發後才將原來的裸露土壤還原，下方仍為地下室或不透水層的話，則該地區無法使雨水入滲至地表下，不可以用裸露土壤入滲評估，應以「屋頂花園截留」來評估才屬合理。

2-2-2 透水鋪面入滲

在建築基地的開發之中，經常為了順應人車行走的機能性與視覺的美觀性，需要在裸露的土壤上鋪上一層人工的鋪面層。假使該鋪面屬於透水性鋪面層，則該處的入滲型式即稱之為「透水鋪面入滲」。

鋪面可分為兩部分，一為表層，一為基層。表層通常為耐磨材，如面磚、石材、木材、或其它的面材；而基層通常為承載層，如砂石、級配、混凝土等。而所謂的「透水鋪面層」，就是由表層至基層均有良好的透水性，只要在表層及基層均不採用不透水的材質(如混凝土等)，下方的基層砂石與級配一般乃透水性良好的材料，降水可由表層面材間的縫隙滲入地表下。因此，整體而言有相當良好的透水性能。如圖 6 所示。

圖 6 透水性鋪面斷面例

一般常用的透水鋪面有連鎖磚鋪面、植草磚鋪面、礫石鋪面及其它特殊材質且透水性良好的鋪面。假始鋪面透水性良好的話，與裸露地的入滲相比也能夠提供不差的入滲效果。

在某些高重量承載的路面上，鋪面的基層常因構造需求因素會使用到不透水的材質(如混凝土等)，為使路面免於積水、增加行走的安全性，另有「排水性鋪面」的設計，如圖 7 所示。其原理乃是將鋪面的表層以「排水機能層」替代之，使降水能透過排水機能層疏導至路緣的集水溝，而達到防止地面積水的目的。由於降水經排水性鋪面所疏導至集水溝後，未必能將集水溝內的水入滲至地表下，因此，此部分「排水性鋪面」乃不予以評估，但在路面必須使用不透水材料為基層材料的使用情況下，仍有其貢獻，仍需鼓勵使用。

圖 7 排水性鋪面斷面例

2-2-3 人工輔助入滲

在都市高密度開發地區，往往無法提供足夠的裸露地入滲及透水鋪面入滲，此時，便需要人工設施來幫助降水能儘可能入滲至地表下，此手法即稱為「人工輔助入滲」。就目前較常使用的人工輔助入滲而言，可分為水平式的滲透管與垂直式滲透井兩類，詳細說明如下所述：

1. 滲透管

滲透管係水土保持及地下排水之重要材料之一，其主要功能在於排除入滲之地表雨水，以防止地表積水、邊坡崩塌、及土石流失等坡地災害之發生。

圖 8 滲透管現況圖

滲透管透水的原理在於：將基地內無法由自然入滲排除之降水集中於管內後，然後慢慢往土壤內入滲至地表中，達到其輔助入滲的效果。透水管的材料從早期的陶、瓦管、多孔混凝土管、有孔塑膠管進化為蜂巢管、網式滲透管、尼龍紗管而至最近之不織布透水管等，其中以不會因周圍泥砂而阻塞滲透管入口的不織布材質較佳。如圖 9 所示。

圖 9 不織布透水管之構造圖與埋設斷面圖

在其設計與施工上，需特別注意坡度應依設計配置，確保排水暢通；且濾料則使用碎石級配 < 3cm 或粗砂，方可達到過濾效果。

2.滲透井

滲透井係將地面水輸至地下水層之謂，具有水井補注的功效，可補充地下水天然補注之不足，亦可維持地下水之水位、抑止地層之沉陷。滲透井使用空間經濟，在城市地區為極重要之考慮因子。

滲透井透水的原理在於：將基地內無法由自然入滲排除之降水藉由周圍坡度將其注入於井內後，然後慢慢往土壤內入滲至地表中，達到其輔助入滲的效果。滲透井的類型有重力補注井、壓注式人工補注井、輻射式水平人工補注井等。一般以最簡易的重力補注井使用最為普遍，以建築開發時觀測地下水位之水井變更即可。

圖 10 滲透井斷面圖

2-2-4 屋頂花園截留

一般暴雨來時，屋頂收集的水量會迅速排至排水溝內，造成下水道負荷過大的情況。而設置於屋頂的人工花園，在降雨時可暫時儲存雨量，且可延遲暴雨時雨水排入下水道的時間，減緩都市洪峰現象，以達到保水的功能，此即為「屋頂花園截留」。

屋頂花園截的原理在於：屋頂花園所使用的土壤，一般而言，有極佳的透水性與極大的孔隙率，在降雨時，可依據其透水性及孔隙率有不同效果來涵養水分，以達到保水的功效。如圖 11 所示。

圖 11 屋頂花園截留圖

除屋頂花園之外，其它如陽台花圃、盆栽、花台等，均有截留的效果，也具有暫時涵養水分的功效。另外，假始是在開發後才將原來的裸露土壤還原，下方仍為地下室或不透水層的話(如 2-2-2 節所述)，則該地區因只能暫時涵養水分，且有其最大容量限制，故視為屋頂花園評估。

總結以上四種主要的保水手法，可再扼要整理如下表 1 所述

表 1 保水手法綜合整理表

保水型式	保水實際手法	概略說明
自然入滲型	裸露土壤入滲	原有土壤不做任何處理，使降雨能自然入滲至地面下，完全不更動地表狀況。
	透水鋪面入滲	在原土壤上鋪上透水性良好的鋪面，使降雨能自然入滲至地面下。
輔助人滲型	滲透管輔助入滲	埋於地面下水平滲透管，能將雨水收集至管中，並緩緩入滲至土壤內。對土地改良、水土保持有極大的效果。
	滲透井輔助入滲	深至地下水位以下以垂直滲透井，能將流入之雨水收集至管中，並緩緩入滲至土壤內，並具有直接補助地下水之功效。
截留型	屋頂花園截留	位於屋頂處之人造花園，可將雨水暫時留在土壤的孔隙之中，達到涵養水分的功效。其它如花台盆栽亦有相同的效果

2-3 基地保水指標

2-3-1 指標方程式

接著，本研究必須定義出足以代表「基地保水」的指標，以便量化評估基地保水的能力。由於各基地原裸露土壤的透水特性不同，例如砂土與黏土土壤之透水及保水能力相差甚大，因此各基地之原有保水能力本來就千差萬別，我們不能以一絕對的保水性能來評估所有基地的保水能力，因此在評估時應將該基地開發後與開發前的保水力做一相對比較值才合理。因此本研究定義「基地保水指標」值如下：

$$\lambda = \frac{\text{基地開發後保水力}}{\text{基地未開發保水力}}$$

根據上述(1)裸露地入滲、(2)透水鋪面入滲、(3)人工輔助入滲、(4)屋頂花園截留、等基地保水四大部份來定義研擬「基地保水指標」公式如下：

$$\lambda = \frac{\sum_{\text{開發後}} \text{裸露地入滲量 } Qb + \sum_{\text{開發後}} \text{透水鋪面入滲量 } Qc + \sum_{\text{開發後}} \text{人工輔助入滲量 } Qd + \sum_{\text{開發後}} \text{屋頂花園截留量 } Qe}{\sum_{\text{開發前}} \text{裸露地入滲量 } Qa} \dots\dots\dots(1)$$

$$Qa = K_a \times i \times A \times t \dots\dots\dots(2)$$

$$Qb = K_a \times i \times A_b \times t \dots\dots\dots(3)$$

$$Qc = K_c \times i \times A_c \times t \dots\dots\dots(4)$$

$$Qd = Qd_1 + Qd_2 \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{(滲透管)} \quad Qd_1 = (K_a \times i \times A_{d1} \times t) + V_{d1} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{(滲透井)} \quad Qd_2 = \left(\frac{\pi K_a (h_w^2)}{\ln(h_w / r_w)} \times t \right) + V_{d2} \dots\dots\dots(7)$$

$$Qe = \text{MIN}[K_e \times i \times A_e \times t, V_e \times n \times r] \dots\dots\dots(8)$$

式中各變數意義分述如下：

λ：基地保水指標[-]

Qa：開發前裸露地可入滲之水量[m³]

Q_b : 開發後裸露地可入滲之水量[m³]
 Q_c : 鋪面處可入滲之水量[m³]
 Q_d : 人工輔助入滲之水量[m³]
 Q_{d1} : 滲透管可入滲及截留之水量[m³]
 Q_{d2} : 滲透井可入滲及截留之水量[m³]
 Q_e : 屋頂花園可截留之水量[m³]
 K_a : 裸露土壤滲透係數[cm/s]
 i : 水力坡降, 平坦基地上設為 1
 A : 基地面積[m²]
 t : 最大降雨延時[hr], 以 44hr 計算
 A_b : 開發後裸露土地面積[m²]
 K_c : 人工鋪面全滲透係數[cm/s], 為人工鋪面滲透係數與基地土壤滲透係數的最小值 $K_c = \min(K_p, K_a)$, K_p 為人工鋪面之鋪面層滲透係數[cm/s], K_a 為裸露土壤的滲透係數[cm/s]
 A_c : 鋪面面積[m²]
 A_{d1} : 滲透管有效滲透面積[m²], $A_{d1} = W \times L$, W : 級配層與裸露土壤的斷面交界長度[m], L : 滲透管管長[m]
 V_{d1} : 滲透管體積[m³], $V_{d1} = \pi \times r_c^2 \times L$, r_c : 滲透管半徑[m]
 h_w : 滲透井深度[m], 只計地下水面上之有效深度
 r_w : 滲透井半徑[m]
 V_{d2} : 滲透管體積[m³], $V_{d2} = \pi \times r_w^2 \times h_w$
 K_e : 屋頂花園土壤的滲透係數[cm/s]
 A_e : 屋頂花園面積[m²]
 V_e : 屋頂花園土壤體積[m³],
 n : 屋頂花園土壤有效孔隙率[%], 本研究取 40%
 r : 孔隙有效含水率[%], 本研究取 50%

由本公式可看出「基地保水指標」值乃表示基地開發前後的保水能力的比值, 是為無單位的數值, 其值越大越好。由於土壤的滲透保水與降雨時間有關, 上述各項有關滲水與截留之變數均必須設定一標準降雨時間來計算。此標準降雨時間之分析以台北市 10 年降雨延時之頻率分布圖為依據。如圖 12 所示。

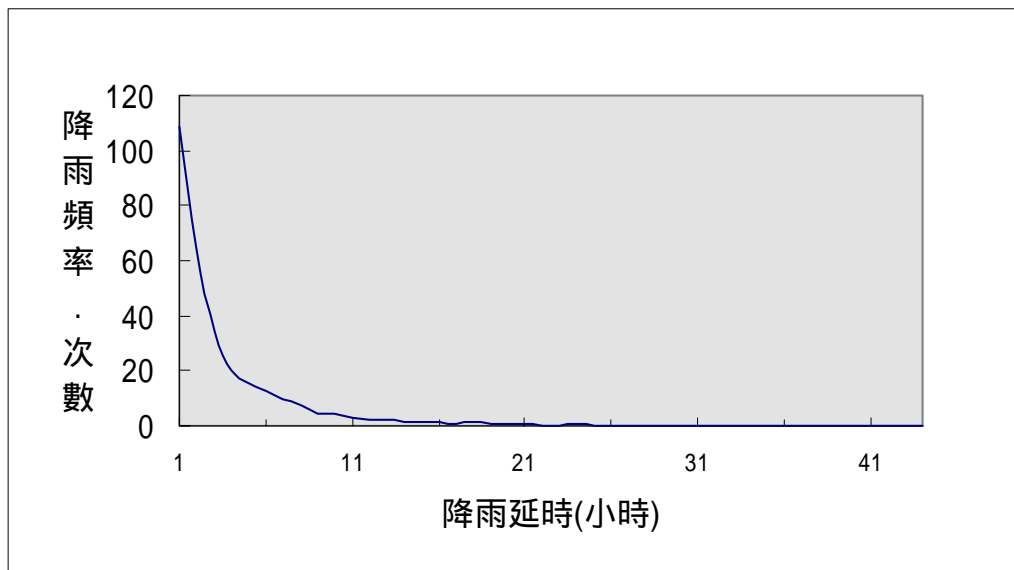


圖 12 台北市 1985~1994 年降雨延時與發生頻率關係圖

本研究一則基於基地保水有減低都市洪峰之功能，亦即需探討在連續暴雨時的降雨狀況與對基地的衝擊；再則計算式中各項因子皆以其「最大容量」為評估依據，故降雨時間的設定上理應以最大降雨連續時間(即最大降雨延時)來評估才合理。本研究於是分析出台北十年來降雨頻率—降雨延時的統計表，會有降雨延時愈大，降雨頻率愈小的趨勢，且最長的降雨延時落在 44hr 處。因此，本研究的標準時間設定台北市最大降雨延時 44 小時為計算標準。亦即上述「基地保水指標」乃表示基地在連續降雨 44 小時條件下的涵養雨水之能力。

2-3-2 公式理論說明

以上為基地保水指標公式之概要說明，讀者只要依計算即可應用無誤。然而上述每一公式各有嚴謹之理論依據，以下則逐一介紹上述公式之來源，供有志於詳細追查理論者可詳加閱讀，若僅求應用方便者，即可省略本節內容，亦可應用無誤。

1. 裸露地入滲

首先介紹公式(2)、(3)之源由。流體藉外力或本身之重力，從固體中穿透之現象稱為滲透作用，而裸露地入滲的過程由於接近飽和狀態，故可視為地表下的滲透作用。根據達西定律(Darcy law)，水流出飽和土壤之流量的方程式可表示如(9)式所示：

$$\frac{Q}{t} = K \times i \times A \dots\dots\dots(9)$$

單位時間滲透量
滲透係數
水力坡降
流經斷面積

式中：

Q ：t 時間之滲流量[cm³]

t ：滲流量為 Q 時之時間[s]

K ：滲透係數[cm/s]

i ：水力坡降，為流經兩點之水頭差與距離之比值，即 $i = \Delta h / L$ ， L ：儀器內試體厚度[cm]，
 h ：水頭差[cm]。

A ：流經斷面面積[cm²]

假設在平坦基地中，雨水若無法入滲則會立則造成逕成而流入排水溝內，且不會造成地面積水的情況下，則 i 值可視為 1。因此，依據(9)達西定律，t 時間內開發前與開發後之裸露地入滲量即為(2)與(3)式所示：

(1)開發前裸露地入滲

$$Qa = K_a \times i \times A \times t \dots\dots\dots(2)$$

式中

Qa ：開發前裸露地可入滲之水量[m³]

K_a ：裸露土壤滲透係數[cm/s]

i ：水力坡降，平坦基地且不積水條件下設為 1

A ：基地面積[m²]

t ：最大降雨延時[hr]，以 44hr 計算

(2)開發後裸露地入滲

$$Qb = K_a \times i \times A_b \times t \dots\dots\dots(3)$$

式中：

Qa ：開發前裸露地可入滲之水量[m³]

K_a ：裸露土壤滲透係數[cm/s]

i ：水力坡降，平坦基地且不積水條件下設為 1

A_b ：開發後裸露土地面積[m²]

t ：最大降雨延時[hr]，以 44hr 計算

2. 透水鋪面入滲

透水鋪面入滲的理論原則上與裸露土壤之入滲相同，而其最大差異乃在於對滲透係數 K 值的定義稍有不同，由於透水鋪面入滲因子包含了透水鋪面層 K_p 與下方土壤的 K_a 值，且透水鋪面又分為表層與基層(其定義如 2-2-2 節所述)，故整體之滲透係數需先行計算評估，才可進行透水鋪面入滲之解析。

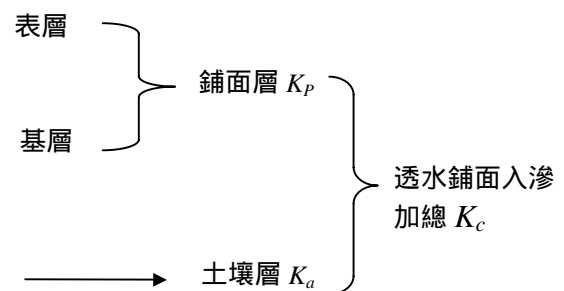


圖 13 透水鋪面入滲應考慮透水鋪面層及下方土壤之 K 值

如上所述，由於各層的滲透係數不同，故必須以疊層土壤(stratified soil)之滲透係數計算之(如圖 14)。其平均值可按下法計算：

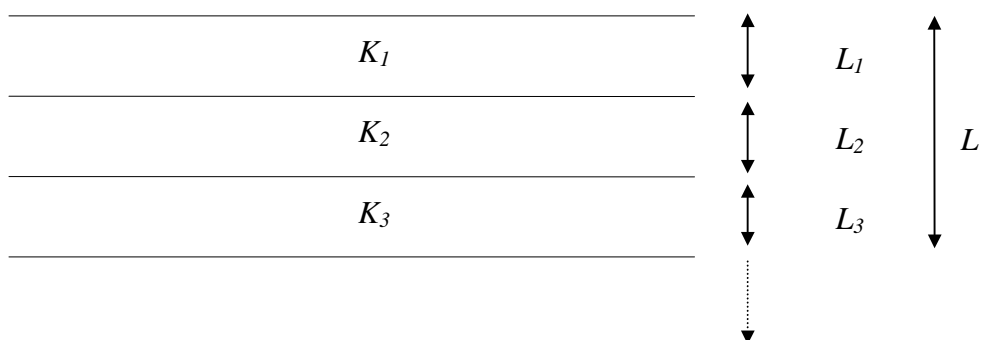


圖 14 疊層土壤之滲透情形

$$K = \frac{L}{\Delta L_1/K_1 + \Delta L_2/K_2 + \Delta L_2/K_2 + \dots}$$

平均滲透係數
總厚度
各層厚度 / 各層滲透係數

故透水鋪面的平均滲透係數應以其「調和平均值」代表之。只要知道各層的滲透係數及厚度，就可求得其未知數 K 值。將透水鋪面之鋪面層滲透係數 K_p 及土壤滲透係數 K_a 代入，可求得鋪面的全滲透係數 K_c 可表示為：

$$K_c = \frac{L}{\Delta L_1/K_p + \Delta L_2/K_a}$$

為了使計算評估便利，故上式必須以一個較為簡單的式子取代之。假設在鋪面中， K_p 遠大於 K_a ，且 L_2 遠大於 L_1 ，故上式可化簡如下：

$$K_c = K_a$$

假始 K_p 遠小於 K_a ，且接近於 0，則上式可簡化如下：

$$K_c = K_p$$

由以上()及()兩式，可知： K_c 值可直接取決於 K_p 與 K_a 值之關係，是以 K_p 、 K_a 中較小值為 K_c 值，亦即

$$K_c = \text{MIN}[K_p, K_a]$$

因此，假使某一鋪面之鋪面層滲透性極佳時(如以砂、級配為基層的透水鋪面)，其整體的滲透係數 K_c 為下方土壤的滲透係數 K_a 值；假使該鋪面之鋪面層滲透性極差時(如以混凝土或不透水材質為基層的不透水鋪面)，其整體的滲透係數 K_c 則為該不透水鋪面之鋪面層滲透係數 K_p 。其評估方式便有極大的區別，透水性鋪面能較不透水鋪面獲得數千萬倍的入滲量。

透水鋪面其入滲量之計算方式則與裸露相同，將以上解析出透水鋪面的 K_c 值代入後，可得 t 時間內透水鋪面的入滲量為：

$$Q_c = K_c \times i \times A_c \times t \dots\dots\dots(4)$$

式中：

K_c :人工鋪面全滲透係數[cm/s],為人工鋪面滲透係數與基地土壤滲透係數的最小值 $K_c = \min(K_p, K_a)$, K_p 為人工鋪面之鋪面層滲透係數[cm/s] , K_a 為裸露土壤的滲透係數[cm/s]

i :水力坡降,平坦基地上設為 1

A_c :鋪面面積[m²]

t :最大降雨延時[hr],以 44hr 計算

3 人工輔助入滲

本研究接著介紹公式(5)理論依據。人工輔助入滲分為滲透管與滲透井兩種。故人工輔助入滲量可將兩者加總以求得如下式所示：

$$Qd = Qd_1 + Qd_2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

兩者之評估方式則大不相同，但約略皆可分為輔助入滲與固定截留量兩部分。其理論與計算分析如下：

1.滲透管

滲透管的輔助入滲量，可分為入滲與固定截留兩部分。亦即除本身管的體積可涵養降水外，並可將雨水慢慢入滲至地表下，達到雙重保水的性能。

若將滲透管面積展開，則可視為增加裸露地入滲的效果(如圖)。

圖 15 滲透管展開來後可視為增加裸露地入滲的效果

因此，滲透管入滲的理論原則上與裸露土壤之入滲相同，計算其展開後之裸露地可入滲之水量即為滲透管可輔助入滲之水量，若再加上前述的固定截留體積(即管內體積)可以下式(6)所示：

$$(滲透管) Qd_1 = (K_a \times i \times A_{dl} \times t) + V_{dl} \dots\dots\dots(6)$$

式中：

K_a ：裸露土壤滲透係數[cm/s]

A_{dl} ：滲透管有效滲透面積[m²]， $A_{dl}=W \times L$ ， W ：級配層與裸露土壤的斷面交界長度[m]， L ：滲透管管長[m]

i ：水力坡降，平坦基地上設為 1

A_c ：鋪面面積[m²]

t ：最大降雨延時[hr]，以 44hr 計算

V_{dl} ：滲透管體積[m³]， $V_{dl}= \pi \times r_c^2 \times L$ ， r_c ：滲透管半徑[m]

2. 滲透井

滲透井的輔助入滲量，亦可分為入滲與固定截留兩部分。即除本身管的體積可涵養降水外，並可將雨水慢慢入滲至地表下，達到雙重保水的性能。

在入滲部分，由於滲透井可視為水井補助的情況，故可以杜布脫(Dupit)之假設仿照抽水井平衡公式演繹而得：

$$Qd_2 = \frac{\pi K (h_w^2 - h_o^2)}{\ln(r_o / r_w)} \times t$$

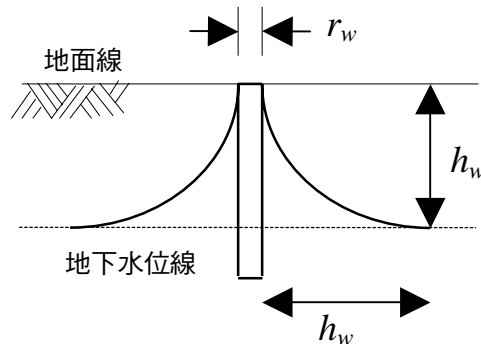


圖 16 滲透井入滲分析圖

根據經驗法則，可假設洩降曲線上某一點其洩降恰等於該點至管中心之距離，且不考慮地水位以下滲透效果。亦即將 $r_o = h_w$ ， $h_o = 0$ 代入得：

$$(滲透井) Qd_2 = \left(\frac{\pi K_a (h_w^2)}{\ln(h_w / r_w)} \times t \right) + V_{d2}$$

.....(7)

其中：

K_a ：裸露土壤滲透係數[cm/s]

h_w ：滲透井深度[m]，只計地下水面上之有效深度

r_w ：滲透井半徑[m]

t ：最大降雨延時[hr]，以 44hr 計算

V_{d2} ：滲透管體積[m³]， $V_{d2} = \pi \times r_w^2 \times h_w$

4 屋頂花園截留

屋頂花園的保水過程可分為兩部分，初期降雨時為入滲狀態，水分慢慢往土壤內入滲，而至整個土壤層之孔隙率飽和後，便只剩固定的最大截留量 Q_{e-max} 。土壤的最大截留量即為其孔隙總體積，可以式(9)表示

$$Q_{e-max} = V_e \times n \times r \dots\dots\dots(9)$$

屋頂花園最大截留量 土壤體積 孔隙率 孔隙有效含水率

本研究中假設屋頂花園採用孔隙率極佳之植栽土，其 n 為 40%、 r 為 50%。根據文獻 2(日本特殊綠化共同研究會，NEO-GREEN SPACE DESIGN – 1, P35)所載，本研究之假設與文獻實際實驗結果相當吻合，因此可引用無誤。

因此，在其截留量的評估上，應取入滲量與固定的截流量兩者中的最小值。由於入滲的情況同裸露地，故屋頂花園截留量可以(8)表示之。

$$Q_e = MIN[K_e \times i \times A_e \times t, V_e \times n \times r] \dots\dots\dots(8)$$

其中：

- K_e ：屋頂花園土壤的滲透係數[cm/s]
- i ：水力坡降，平坦基地上設為 1
- A_e ：屋頂花園面積[m²]
- t ：最大降雨延時[hr]，以 44hr 計算
- V_e ：屋頂花園土壤體積[m³]
- n ：屋頂花園土壤有效孔隙率[%]，本研究取 40%
- r ：孔隙有效含水率[%]，本研究取 50%

第三章 土壤與人工鋪面之透水性能實驗分析

上述基地保水指標方程式(1)中，除了兩項變數群之外，目前均可自由操作計算。這兩項變數群就是基地土壤與人工鋪面的滲透係數 K_a 、 K_c 。為了達成基地保水的量化計算，必須提供這兩項變數群的完整數據。本研究以下即以土壤與人工鋪面的透水實驗，來建立此數據資料，以利基地保水性能之評估。

3-1 滲透係數理論

滲透係數 K 值，在實驗數據之中，可根據達西定理(Darcy Law)，表示如下：

$$K = \frac{QL}{hAt} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中：

K ：滲透係數[cm/s]

Q ： t 時間之滲流量[cm³]

L ：儀器內試體厚度[cm]

h ：有效水頭，即由儀器溢水面至出水口之間的距離[cm]

A ：試體面積[cm²]

t ：滲流量為 Q 時之時間[s]

圖 18 滲透係數實驗原理圖

因此，只要使用滲透儀器求得實驗中的各項未知數，就可得知該土壤或鋪面之滲透係數。以便評估及計算。

3-2 滲透係數實驗設備及方法說明

由於鋪面屬於較大面積之試體，其實驗方式在 CNS 中目前尚無之直接規定，故實驗方式與儀器乃根據 CNS13298 之「土工織物正向透水率實驗法」相關規定進行，以增加實驗的周全性與可信賴度。

「土工織物正向透水率實驗法」乃實驗土工織物之滲透係數之方法，其中採用定水頭實驗，本實驗儀器將參考其原理再做修正，以符合大型鋪面實驗之要要

欲直接測定滲透性係數時，其方式須採用定水頭測定法(constant head permeability test 或變水頭測定法(falling head permeability)裝置其中一種 定水頭測定法在實驗過程中保持水頭差不變(如圖 19 所示)，適用於 $K = 10^2 \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ 之間，而變水頭測定法在實驗過程中允許在實驗過程中有水頭變化(如圖 20 所示)，適用 $K < 10^{-5} \text{cm/s}$ 。

圖 19 定水頭測定法

圖 20 變水頭測定法

由於本實驗所欲測試之試體均為透水性良好至中等，故採用定水頭裝置，儀器裝置設計圖如圖 21，完成後之實體照片如圖 22 所示。

圖 21 鋪面透水係數實驗儀器設計圖

圖 22 鋪面透水係數實驗儀器實體圖

3-3 土壤滲透係數實驗

就土壤的透水性能而言，台灣的地層一般可分為礫石、砂土、粉土與黏土四種。由於礫石層較常見於河床，一般建築基地較為少見。因此以下將就台灣較常見的三種土質，概略分析其滲透係數概略值及透水性評估。如表 2 所示。

表 2 代表性土質的滲透性係數概略值

代表性土質	滲透係數(cm/s)	透水性
砂土層	$10^{-1} \sim 10^{-4}$	佳
粉土層	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	中等
黏土層	10^{-6} 以下	差

資料來源：文獻 9. 中國土木水利工程學會，1996 年 7 月，「土壤力學」p4-81

根據上節所述的理論及實驗方法，本研究以一粉土層為試體，做滲透係數之實驗，結果量測計算出：

$$K_{\text{粉土層}} = 8 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

實驗所測得的結果與表(1)粉土層之滲透係數相同，證明此表可供設計者參考，也印證此實驗的方式與儀器所測得之結果均可信賴。

理論上土壤的滲透係數 K_a 應該有千萬種區別，其滲透係數由 10^{-1} 至 10^{-6} cm/s 相差千萬倍之多，但是在建築應用上不可能一一探測出其精確滲透係數 K_a 再行基地保水評估。為了簡化及可行性的考量，本研究建議土壤的滲透係數 K_a 依上述砂土、粉土與黏土三種標準來分類評估即可。一般土木建築技師對於當地的基地屬於何種土壤均很清楚，對於砂土、粉土、黏土之判斷是輕而易舉之事。況且一般建築基地開發均有地質鑽探報告，均有滲透係數之數據，可直接應用，依此很容易進行基地保水評估。因此本研究提供表(1)之三分類土壤之滲透係數 K_a 資料來進行基地保水指標之評估，足可達到實用之目的。

3-4 人工鋪面滲透係數實驗

除了土壤的滲透係數 K_a 之外，我們尚須求得鋪面層的滲透係數 K_p 值，以建立鋪面的全滲透係數 K_c 數據，才能順利進行上述「基地保水指標」之評估。本研究以下不僅提供了一個標準化的實驗方式並求得各類鋪面層的滲透係數 K_p 值，以供「基地保水指標」計算之依據；更進一步由鋪面的組合與施工中做分析與探討，以歸綸並整理各類機能使用及各類鋪面最佳的施工方式，達到最有效的透水性鋪面設計。

3-4-1 實驗步驟

實驗步驟可分為鋪裝階段與實驗階段，最後再將實驗所得到之數據經達西定理計算以求得鋪面層的滲透係數 K_p 值。分述如下：

1. 鋪裝階段

先將儀器底層鋪上一層不織布，確保週圍接合處不致使細砂滲入。再參考其施工規範，將試體依照現地施工方式置入試體儀器之中。現場實驗狀況如圖 23 所示

圖 23 試體鋪裝圖

2. 實驗階段

.確定鋪裝完成後，將水徐徐灌入，使水頭差在控制範圍內(溢水口至出水口)待其穩定後開始測量單位時間內的出水量(秤重)，計錄其出水量，水頭差試體面積與厚度。完成之後再.改變水頭高度，重新量測不同水頭差之 K_p 值以做參考與校正。現場實驗狀況如圖 24 所示。

圖 24 試體實驗圖

實驗總流程—以鋪設人行連鎖鋪面為例

- 1.底部置入土工織物(不織布)，並確保週圍接合處不致使細砂滲入
- 2.置入規定深度之碎石層、級配層
- 3.使用細砂鋪成 50mm 的襯墊砂層(未施平前不得踐踏)，設置水準標竿，整平
- 4.將連鎖磚切割後鋪設在砂上，縫隙至少 3mm 均勻接合
- 5.使用手動夯實(使其作功與震動機相同)，並檢查是否平坦
- 6.將 0.3mm~1.2mm 之細砂灑在已振動平坦之路面，使細砂充滿縫隙即可
- 7.將水徐徐灌入，使水頭差在控制範圍內(溢水口至出水口)
- 8.待其穩定後開始測量單位時間內的出水量(秤重)
- 9.改變水頭高度，重新量測不同水頭差之 K 值
- 10.將水由底部出水口全數排出，陰乾並清理

3-4-2 單層滲透實驗

單層滲透實驗主要的試體為鋪裝底層使用的「砂石層」以及「面磚層」。本實驗採取使用最頻繁的(1)一般標準級配、(2)襯壁砂，以及鋪面中的(3)連鎖磚單體、(4)植草磚單體，做為單層滲透實驗之試體，以提供設計者做不同條件下的組合計算。單層實驗試體所測得之滲透係數結果如表 3 所示。

表 3 單層試體滲透係數實驗結果

試體編號	試體名稱	試體分類	滲透係數 K_p [cm/s] (實驗值)
1	一般標準級配	砂石層	4.8×10^{-2}
2	細砂(襯壁砂)	砂石層	1.4×10^{-2}
3	連鎖磚單塊實體	面磚層	10 ⁻⁸ 以下
4	植草磚單塊實體	面磚層	10 ⁻⁸ 以下

註：案例 3 與 4 為單塊實體連鎖磚之 K 值，其值為推估約與混凝土的 K 值相同

由表 3 結果可得知，透水鋪面底層所用的砂石層之 K_p 值均優於土壤，而面磚層之 K_p 值雖極低，但由於面磚在組合時會有間隙，因此整體鋪裝後仍有極高的透水性。

3-4-3 複合層滲透實驗

複合層滲透實驗乃是依據不同的使用特性，將面磚層與砂石層做不同型式與厚度的組合，並以和現場相同的施工手法做實驗試體。試體共分為兩大組，第一組試體 1~4 為步道用鋪面層，第二組試體 5~8 為車道用鋪面層，各具有不同厚度之級配層深度；而各組的面磚共有四種的連鎖磚與植草磚。共計 8 種複合層試體的以提供設計者做直接的採用計算。複合層實驗試體所測得之滲透係數結果如表 4 所示。

表 4 複合層試體滲透係數實驗結果

試體編號	試體名稱	面磚型式	級配深度 [cm]	壛砂深度 [cm]	鋪面組合後縫隙率	滲透係數 K_p [cm/s] (實驗值)
1	步道用 大型連鎖磚鋪面	大型連鎖磚 24cm×24cm×6cm	10	6	0.025	1.2×10^{-3}
2	步道用 中型連鎖磚鋪面	中型連鎖磚 24cm×12cm×6cm	10	6	0.0375	3.6×10^{-3}
3	步道用 小型連鎖磚鋪面	小型連鎖磚 12cm×12cm×6cm	10	6	0.05	4.5×10^{-3}
4	步道用 植草磚鋪面	方格植草磚 60cm×40cm×11cm	10	6	0.54	1.2×10^{-2}
5	車道用 大型連鎖磚鋪面	大型連鎖磚 24cm×24cm×6cm	20	6	0.025	1.1×10^{-3}
6	車道用 中型連鎖磚鋪面	中型連鎖磚 24cm×12cm×6cm	20	6	0.0375	3.4×10^{-3}
7	車道用 小型連鎖磚鋪面	小型連鎖磚 12cm×12cm×6cm	20	6	0.05	4.3×10^{-3}
8	車道用 植草磚鋪面	方格植草磚 60cm×40cm×11cm	20	6	0.54	1.0×10^{-2}

註：各組鋪設過程均與現場施工條件相同

由表 4 之滲透係數值，可得知各組試體的透水性能均極佳，且當面磚層組合後縫隙率愈大，其滲透係數愈大。

3-4-4 分析與探討

在表 3 所測試的鋪面層試體之中，其滲透係數 K_p 值都在 10^{-3} cm/s 以上，均屬透水性良好之鋪面，其透水性相當於滲透性能最好的砂土層(見表 1)，顯示一般人工鋪面層之滲透性能遠大於其土壤之滲透性能。因此，裸露地即使鋪上人工鋪面，其綜合而成的鋪面全滲透係數 K_c 均取決於鋪面層下的土壤滲透係數 K_a 值(因為 K_p 值永遠大於 K_a 值)。

因此，設計者只要選擇透水效果較原基地土壤透水效果佳的鋪面時，就可得到和裸露土壤相同的入滲效果，提升基地保水值。其實，只要人工鋪面勿以混凝土(K 值值 $< 10^{-8}$ cm/s)或不易透水的材料為底層，一般的級配與壛砂層的透水性都比基地土壤的透水性佳，皆可輕易確保人工鋪面的透水優於裸露土壤。我們只要確保人工鋪

面層的滲透係數大於其土壤之滲透係數，則人工鋪面的滲透係數即可以土壤之滲透係數來代替計算，亦即將人工鋪面視同裸露土壤來計算可也。但是要注意的是，人工透水鋪面下若為人工不透水地盤(如地下室)，則此鋪面及其土壤層只能視同屋頂花園來評估，亦即必須改以屋頂花園之截留量 Q_e 來計量。

3-5 現場鋪面滲透係數實驗印證

上述實驗乃針對土壤及人工鋪面在實驗室進行分層別類的實驗分析，我們尚未知悉在現實基地真正鋪面與土壤組合後的地面滲透係數性能。有鑑於此，本研究接著進行現場入滲觀測實驗。以下取一組連鎖磚鋪面為試體，求得現場之入滲率 f ，並換算出其滲透係數 K_c 值，再與相同條件下實驗室內所測得計算出之值做一比對，以印證實驗室實驗及理論解析的信賴性。

3-5-1 入滲率理論與解析

由於在現場的入滲實驗中，所量得的數值並非為滲透係數 K_c ，而是為入滲率 f 。故需要再將其解析計算以得到滲透係數 K_c 值，解析過程茲敘述如下：

(1)入滲實驗中，所求得的入滲率 f 定義為：

$$f = \text{單位時間內水位入滲的高度 [cm / s]}$$

故於實驗量測中，若單位時間 t 內所量測注入的水量為 Q ，且儀器面積為 A 時，入滲率 f 可表示如下：

$$f = \frac{Q}{A \times t} \dots\dots\dots(10)$$

(2)假設在入滲穩定時，流經之土壤為飽和土壤，則根據達西定理：

$$K = \frac{Q}{i \times A \times t}$$

在入滲率實驗中，若將水位保持在 1cm，土壤下方任一點的水力坡降 i 值為：

$$i = \frac{\text{損失水頭差}}{\text{流經距離}} = \frac{d+1\text{cm}}{d}$$

當流經距離極大時，則水力坡降可表示為：

$$i = \frac{d+1\text{cm}}{d} \cong 1$$

將 $i=1$ 代入故可求得

$$K = \frac{Q}{i \times A \times t} = \frac{Q}{A \times t} \dots\dots\dots(11)$$

(3)將(10)與(11)式做比較，由於兩式相同，故可得知

$$\text{現場實驗入滲率 } f = \text{實驗室滲透係數 } K_c \dots\dots\dots(12)$$

因此，由(12)式可得知：當入滲實驗時若將水位保持在極小的高度，則所求得的入滲率 f 會幾乎與 K_c 值相等。故可將此 f 值與實驗室內測得之值直接加以比對，以證明實驗室實驗及理論解析的信賴性。

3-5-2 實驗方式與儀器

入滲之觀測大致上有兩種方式：1.入滲計法(Infiltrometer)，2.人工模雨計法(Rainfall simulator)，茲略述如下：

1.入滲計法

入滲計法有兩類，一為單筒式，一為雙筒式，其形式如圖所示。單筒式入滲計為一金屬圓筒，直徑約 20 公分至 1 公尺，其長度視擬測取土壤深度而定，但至少需超過 1 公尺。將已知注入水量除以讓該入滲記錄時間，即為讓該土壤之入滲率。其構造較為簡單，但因水滲入地下若超過筒長深度時即向外滲流，不受筒之約束，因之入滲斷面加大，所求入滲率即生誤差。

圖 25 筒式與雙筒式入滲實驗儀器圖

雙筒式入滲計，分為內外兩筒，且其中心點要一致。實驗時須兩筒同時注水，其深度保持 1 公分。因外筒較易入滲，故須隨時注意內外筒水面齊平。內筒所注入之水量，以觀測時間除之，即得入滲率。雙筒式可免除單筒式之缺點，其準確度較高，惟安裝手續較繁雜。

2.人工模雨計法

模雨計為利用人造之噴水裝置使其類似降雨，打擊土面，所求得之入滲率可更合乎實際情形。惟其設置量較大，不易施行。

礙於場地與裝置，故本本實驗採用入滲計法。為增加其準確性，本研究採用雙筒式入滲計法，圖 26 至圖 27 為至現場儀器裝置、儀器尺寸及及現場儀器照片

圖 26 現場儀器裝置

圖 27 現場儀器照片

實驗地點則位於成大建築系與舊都計系間之空地(建築系露台斜坡旁)做入滲觀測實驗。該處土壤為透水性中等之粉土地質，位置平整且附近供水狀況良好，且不影響學生之活動，適合做現場鋪面入滲觀測實驗。

3-5-3 實驗步驟

實驗步驟可分為鋪裝階段與實驗階段，最後再將實驗所得到之數據經理論解析來換算以求得滲透係數 K_c 值。分述如下：

1. 鋪裝階段

整理該地點之後，於現場貫入滲透觀測實驗之裝置，並依其施工規範，將供步道使用之連鎖磚試體依照現地施工方式置入試體儀器之中，確定其夯實度、平整及填縫良好現地鋪設人工鋪面層，見圖 28

圖 28 試體鋪裝圖

2. 實驗階段

確定鋪裝完成後，將水徐徐灌入內、外筒，且將水深皆保持在鋪面上方 1cm。穩定後量測單位時間內，內筒所需注入的水量，即可得其入滲率[cm/s] 見圖 29

圖 29 試體實驗圖

3-5-4 實驗試體與結果

為了將結果與實驗室內求得的透水係數加以比對，因此選擇與鋪面透水實驗試體 2 完成相同條件的連鎖磚鋪面作為現場實驗之標準試體。另外，由於試驗場所的土壤影響整體的透水性甚巨，故同時將該地的土壤送往實驗室內做透水性試驗，求其 K_c 值。實驗結果如表 5 所述。

表 5 現場入測實驗結果與比對

實驗方式	實驗條件	試體名稱	滲透係數 [cm/s]	
			單層結果 K_p	複合結果 K_c
實驗室實驗	鋪面層	步道用 中型連鎖磚鋪面	3.6×10^{-3}	2×10^{-4}
	土壤層	粉土層	2×10^{-4}	
現場實驗	鋪面層	步道用 中型連鎖磚鋪面	/	1.6×10^{-4}
	土壤層	粉土層		

註一：步道用中型連鎖磚鋪面型式：鋪面型式中型連鎖磚 24cm×12cm×6cm，級配深度 10cm，壛砂深度 6cm

註二：現場實驗所計錄的滲透係數值，乃是將現場測得的入滲率 f 值經過理論解析換算後所得到之值，公式見 3-5-1 節(a)(a')(b)

3-5-5 探討與驗證

由表 4 結果，上述現場實驗所求得的结果與實驗室值加以分析

$$K_{\text{現場實驗測得值}} : 2 \times 10^{-4} [\text{cm/s}] \quad K_{\text{實驗室實驗值}} : 1.6 \times 10^{-4} [\text{cm/s}]$$

可得知現場實驗所求得的结果與實驗室值相當接近，故印證了公式解析可信賴性以及透水性鋪面滲透係數的正確性。事實上，人工透水鋪面之 K_c 值取決於土壤之 K_a 值，上述實驗說明土壤 K_c 值在實驗室與現場之實測結果幾乎一致。

本現場實驗結果指出，實驗室對於土壤及鋪面滲透係數的分類分層分類實驗結果與現場基地的組合地面之滲透係數有一致的結果，印證了本實驗所提供的滲透係數數據確實可靠，同時具有現場實用的價值。

第四章 基地保水性能基準之研議

4-1 「基地保水性能」基準值建議

依據上述基地保水的指標與解析方法，以下將建議一基地保水性能的基準值，以做為確保都市生態氣候之評估參考。考慮「基地保水性能基準」時最重要的因子當然是便是建築物所占面積的因素。建築物所占的面積愈大，意謂著不透水的面積愈大，即使將全面剩餘的面積都做保水性鋪面，其基地保水指標數值依舊無法達到未開發前的基地保水值。因此，在基準值的訂定上，首先必須考慮該處基地建蔽率的因素。假若該處基地的建蔽率為 α ，若將全部的空地都鋪以透水性鋪面，且不考慮其他人工輔助入滲或花圃截留設施，亦即由公式(1)暫時去除第一項以外的因素，則其基地保水指標 λ 可表示為：

$$\lambda = \frac{\sum_{\text{開發後}} \text{透水鋪面入滲量 } Q_c}{\sum_{\text{開發前}} \text{裸露地入滲量 } Q_a}$$
$$= \frac{K_c \times i \times A(1 - \alpha) \times t}{K_a \times i \times A \times t} \dots\dots\dots(13)$$

由於 K_c 是鋪面與原裸露土壤取最小值，可得：

$$K_c = \min(K_p, K_a) = K_a$$

將上式代入並消去上下相同數值可得：

$$\lambda = \frac{K_a \times i \times A(1-\alpha) \times t}{K_a \times i \times A \times t} = (1-\alpha) \dots\dots\dots(14)$$

由結果可知，若將全面空地都做透水性鋪面，其保水指標 的上限值為『1-建蔽率』。然而，實際建築開發的案例之中，會有部分無法做透水性鋪面者，如車道、水溝、入口處等。為使此基準有一緩衝空間，本研究暫定可允許 20%的空地可為不透水鋪面，亦即將「基地保水性能基準」 $\bar{\lambda}$ 訂為：

$$\lambda < \bar{\lambda} = 0.8(1-) \dots\dots\dots(15)$$

舉例而言，一個建蔽率為 60%的社區，其基地保水的基準 $\bar{\lambda}$ 為 0.32，可容許 20%的空地為不透水鋪面；而一個建蔽率為 80%的商業區，其基地保水的基準 $\bar{\lambda}$ 為 0.16，也可容許 20%的空地為不透水鋪面。倘若超過者，則就需要使用其他的保水手法來提高其保水性能了。

4-2 基準值檢討

以下，本研究採用 16 個案例來檢討上述基準值之信賴度。所採用的案例均以基地面積 2000m²，建蔽率 60%為條件。因為建蔽率為 60%，因此其「基地保水性能基準」 $\bar{\lambda}$ 為 0.8 × (1-0.6)=0.32。以下 16 個案例中，將模擬 8 種不同保水手法下，位於粉土層與黏土層的 16 個案例的保水指標值，並觀察是否及格(> 0.32)。計算結果如表 5 所示：

表 6 保水案例模擬計算表

案例	案例 1	案例 2	案例 3	案例 4	案例 5	案例 6	案例 7	案例 8	案例 9	案例 10	案例 11	案例 12	案例 13	案例 14	案例 15	案例 16
設計手法	透水鋪面	透水鋪面	滲透管	滲透管	滲透井	滲透井	屋頂花園	屋頂花園	透水鋪面	透水鋪面	滲透管	滲透管	滲透井	滲透井	屋頂花園	屋頂花園
基地條件	粉土層($K_a = 10^{-4}$ cm/s)								黏土層($K_a = 10^{-6}$ cm/s)							
基地土質條件	粉土層($K_a = 10^{-4}$ cm/s)								黏土層($K_a = 10^{-6}$ cm/s)							
透水鋪面	400m ²	640m ²							400m ²	640m ²						
滲透管			5根	10根							5根	10根				
滲透井					5根	10根							5根	10根		
屋頂花園							600m ²	960m ²							600m ²	960m ²
λ 值	0.2	0.32	0.05	0.09	0.19	0.39	0.19	0.32	0.2	0.32	1.15	2.31	1.3	2.6	28.4	45.4
及格與否	×	○	×	×	×	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○

註 1：基地條件基地面積 2000m² 建蔽率 60%最大降雨延時 44hr

註 2：基地保水設計條件： 透水鋪面： $Kp=10^{-2}$ cm/s

滲透管：周圍斷面長 1.5m，級配 $K=10^{-2}$ cm/s，直徑 0.15m，管長 10m

滲透井：滲透井直徑 0.15m 滲透井長 10m

屋頂花園：土壤厚度 0.5m $K=10^{-3}$ cm/s 孔隙率 30% 孔隙有效含水率 50%

註 3：及格基準 $\bar{\lambda}$ 為 $0.8 \times (1-0.6) = 0.32$

由以上的案例看來，要達到基準 $\bar{\lambda}$ 之要求並非難事並非難事，只要將 80%的空地做透水處理即可，而若是無法在 80%的空地皆做透水鋪面，則可使用其他手法以彌補，但須注意在不同的土壤條件下，相同的保水手法會有不同的效力出現。至於何種條件下該使用何種保水手法，茲整理各類如下：

1. 透水鋪面：

使用透水鋪面作為保水設計手法，作用在不同土壤上的效果均同，如案例 1、9，案例 2、10，其基地保水效果乃與該基地之建蔽率有關，在透水性中等之基地上使用透水鋪面即有立竿見影的效果，且其經濟性較佳。只要在 80%以上的空地上鋪設透水鋪面就可達及格的水準，可符合最基本的保水性能要求。

2.滲透管：

由於滲透管所增加的透水作用，只在增加管壁周圍的裸露土接觸面積，其促進滲透的功能甚為有限。因此，由案例 3、4 可看出，利用滲透管作為保水設計手法，在透水性中等的粉土上效果不佳，即使設置 10 根的滲透管亦無法及格。而在透水性差的黏土層中則有極佳的效果，如案例 11、12。

3.滲透井：

滲透井在增加裸露土接觸面積上與滲透管相同，但是因為垂直水壓增加的原因，其效果應比滲透管略佳。因此由案例 5、6 可看出，利用透水鋪面作為保水設計手法的效果雖比滲透管稍佳，但是整體效果亦不良，需設置 10 根的滲透管才及格。而在透水性差的黏土層中則有極佳的效果，如見案例 13、14。

4.屋頂花園：

屋頂花園保水功能在於其土壤體積及孔隙率，其功能甚為突出，可彌補透水鋪面不足之苦。由案例 7、8 可看出，利用滲透管作為保水設計手法，在透水性中等的粉土上效果甚佳，只要做到 80%屋頂面積的屋頂花園才會及格，而在透水性差的黏土層中，屋頂花園的保水效果相當的好，可大符提高指標值，如案例 9、10。

在基地土壤透水條件與保水手法效力的整體評估上，可整理如下所述：

以上是單項保水手法之性能評估，在實際的保水設計之中，常常須因應不同的基地條件與使用特性，將各類手法交叉使用，以提昇基地保水性能。以下乃是將上述之案例再使用不同的保水設計做交叉組合，來進一步探討欲達到基準要求所需使用基本手法要求。

4-3 案例模擬

本節中將以一個面積、建蔽率相同的基地做保水手法的設計與指標的計算。為進一步討論基地土壤本身的透水力好壞，會對保水設計作何種影響，遂將此基地分別置於不同土壤的透水條件中做計算，以進一步評估在不同基地環境下，採用何種保水手法較為有效。並探討建議基準值是否適當而易於達成。

本案中，基地保水指標基準值為

$$\lambda_{\text{基地保水}} = 0.8 \times (1-60\%) = 0.32$$

以下八個案例中，有四個位於透水性中等之粉土層(1-1~1-4)，另四個位於透水性差之黏土層 (2-1~2-4)。最左欄則為不同的保水手法。由於本案的基準值為 0.32，故在計算上是以 $\lambda = 0.32$ 左右為定值，而反推出在此條件下會有那些保水手法的組合，以了解在不同條件下各保水手法的效力各為如何。

表 7 案例模擬計算表

案例條件	案例 1-1	案例 1-2	案例 1-3	案例 1-4	案例 2-1	案例 2-2	案例 2-3	案例 2-4
保水手法	基地條件：土地面積：2000m ²							
	建蔽率：60%							
	位於透水性中等之一般粉土層， $K_a=10^{-4}$				位於透水性差之黏土層， $K_a=10^{-6}$			
透水鋪面	80%空地採用	60%空地採用	60%空地採用	60%空地採用	80%空地採用	60%空地採用	60%空地採用	60%空地採用
滲透管		15 根 每根 10m				1 根每根 10m		
滲透井			3 根 每根 10m				1 根每根 10m	
屋頂花園				30% 屋頂面積				2%屋頂面積
值	0.32	0.34	0.32	0.32	0.32	0.43	0.46	0.38

由上述案例結果可發現，即使只要將 80%的空地做透水處理即可，而若是無法在 80%的空地皆做透水鋪面，則可使用其他手法加以彌補，都可輕易地達到基準的要求。尤其在透水性差的黏土層中，只要在其它保水手法稍做一些，就可達到極佳的效果。而在透水性中等的粉土層，仍以透水鋪面效果最大。

在基地土壤透水條件與保水手法效力的整體評估上，可再整理如下所述：

(1)土壤的滲透能力優良時(如粉土、砂土層)，以使用透水鋪面效果最佳，屋頂花園次之，再則是滲透井，而滲透管的效果最差。

(2) 土壤的滲透能力優良時，即使單項保水設計手法尚未能及格，當各保水手法交叉使用時，都很容易達到基準值的要求。

(3) 土壤的滲透能力不良時(如黏土層)，各保水手法使用都很容易達到基準值的要求。是故黏土層不必太刻意作保水設施，在粉土層及砂土層才必須慎重考慮保水設計。

第五章 標準施工圖說與結論

5-1 透水鋪面標準施工圖說

最後，上述基地保水性能之研究目的均已達成，為了推廣實務應用，本研究同時提供人工透水鋪面的標準施工圖，如附錄所示。其中之重點與所應注意之事項如下所述：

- 1.本標準施工圖內所有的鋪面其滲透係數皆在 10^{-3} cm/s 以上，透水性都相當良好，且絕大部分都會大於原來土壤的透水性，因此，當按照此施工圖做鋪面設計時，其保水功效可相當於原來裸露地的保水功效，可大符提昇其基地保水指標數值。
- 2.在做透水鋪面設計時，要特別注意到鋪面下方不得有人工地盤或不透水層，如地下室或混凝土層等。如果在設計上有諸如此類的情況，則不得使用透水鋪面的方式計算，而應採用屋頂花園、花園的截流量來評估。另外，透水鋪面橫斷面的坡度以 1.5%~2.0%為佳，更能確保鋪裝面不致在降雨時有積水的現象。
- 3.在高承載的路面中，應如施工圖例中所示，採取較厚的級配層以承重。然而在有些特別的場合，仍不得不使用可耐壓但不透水的材質鋪設。在此類的情況下，可考慮使用所謂「排水型鋪面」，如 2-2-2 節中所簡述。但由於此類排水型鋪面對環保貢獻有限，且排出的水是否會導引至土壤中抑或是排至排水溝中，會導致不同程度的效果，因此，此部分尚未列入評估，是後續發展之重要部分。

4.透水性鋪面在分類上，可依據其適用地點及設計條件加以區分出五類。而附錄中即配合此分類，提供不同地點及設計條件的透水鋪面施工圖以做為參考。其分類如表(8)所述。

表 8 透水鋪面分類表

設計類別		適用場所	設計條件	鋪面斷面概述	
				常用之表層材料	基層性質
步 道	步道 I	步道、廣場、遊步道等	供步行、自行車用	透水性瀝青、連鎖磚與植草磚、天然玉砂粒、透水性橡膠、多孔性混凝土等	10 公分以內的級配(或砂石)層即可
	步道 II	步道、廣場、停車場等	供步行、自行車外，管理用車輛之通行		10~15 公分的級配(或砂石)層
車 道	車道 I	車道、步行車行共用道路、停車場、	大型車量在 55(台/日·單向)以內	透水性瀝青、連鎖磚與植草磚、多孔性混凝土等	15~20 公分的級配(或砂石)層
	車道 II	商店街、遊步道	大型車量在 55(台/日·單向)台以上		需 20 公分以上的級配(或砂石)層
運動設施		體育場、陸上競技場、球場等	經濟性或永久性的使用	混合土、人工土、天然草、人工草、透水性橡膠等	表層下尚需有中層、下層設計

參考資料：文獻 5.鋪裝協會，1997 年 7 月，「透水性鋪裝」，山海堂，P48~49

5-2 結論

若能依上節及附錄之人工透水鋪面圖說來施工，則可提昇實務界對都市氣候生態的設計能力。綜合上述，本研究內容約可再簡要如下：

- (1) 為了減緩都市氣候高溫化、乾燥化效應，減少都市洪峰發生率，增進都市生態環境，本研究首先提出以「基地保水力」來作為人工環境土地涵養雨水的指標。
- (2) 本研究以裸露地、人工鋪面、人工輔助入滲、花圃截留等自然降水過程，提供一「基地保水指標方程式」。它可透過人工鋪面、花圃、滲透管、滲透井設計狀況，科學合理地評估基地保水性能。
- (3) 為了足以進行「基地保水指標方程式」之評估，本研究自製實驗裝置建立其方程式之基本數據，亦即以透水實驗方法建立了土壤及人工鋪面層的滲透係數之資料庫。
- (4) 從透水實驗中發現，只要人工透水鋪面很容易確保其透水性優於裸露土壤。亦即我們只要確保人工鋪面層的滲透係數大於其土壤之滲透係數，則可將人工鋪面視同裸露土壤來計算。
- (5) 本研究更進一步進行現場實際人工地面的滲透實驗，其結果指出，實驗室對於土壤及鋪面滲透係數的分類分層分類實驗結果與現場基地的組合地面之滲透係數有一致的結果，印證了本實驗所提供的滲透係數數據確實可靠，同時具有現場實用的價值。
- (6) 本研究接著提出「基地保水性能」的基準值建議，亦即將「基地保水性能基準」訂為： $\lambda < 0.8(1-\text{建蔽率})$ 。例如建蔽率為 60% 的社區，其基地保水的基準 $\bar{\lambda}$ 為 0.32，可容許 20% 的空地為不透水鋪面；而建蔽率為 80% 的商業區，其基地保水的基準 $\bar{\lambda}$ 為 0.16，也可容許 20% 的空地為不透水鋪面。只要善用人工鋪面、人工輔助入滲、花圃截留之設計，此基準之設計目標被證實不難達成。

(7) 為了幫助設計實務界圓滿達成「基地保水性能」設計，本研究同時提供人工透水鋪面的標準施工圖，這些人工透水鋪面之滲透係數均優於裸露土壤。

由於人力、物力、時間所限，本研究尚有一些未竟之功。例如關於交通承重形人工透水鋪面以及透水管、透水井的設計規範，甚至山坡地基的保水性能評估(本研究偏重平地基地評估)尚值得繼續開發研究。然而依據本研究的成果，今後我國對於都市人工環境的基地之透水、保水性能，已大致得以進行量化解析，並能增強建築及都市設計者在基地保養水設計的能力，以期能緩和日益惡化的都市氣候溫暖化效應。假如能依此推廣都市透水設計，還可減少雨水逕流量，降低公共排水設施容量，減緩都市洪水發生之概率。此外，增加土壤的濕潤環境就可增加生物、微生物的有機存活空間，可使都市的生態環境更加豐富，促進生物多樣化環境。這正是我國促進都市永續發展的目標上，一項十分重要的研究。

參考文獻

1. DAS, 1990年2月, 「principles of geotechnical engineering」, pwskent
2. 日本都市綠化技術開發機構 特殊綠化共同研究會, 1996年10月, 「NEO-GREEN SPACE DESIGN -- 1」, 誠文堂新光社
3. 國松孝男、菅原正孝, 1988年2月, 「都市水環境的創造」, 技報堂
4. 虫明功臣、石崎勝義等, 1989年4月, 「水環境的保全與再生」, 山海堂
5. 日本景觀鋪裝研究會, 1995年3月, 「景觀鋪裝」, 大成出版社
6. 鋪裝協會, 1997年7月, 「透水性鋪裝」, 山海堂
7. 林憲德, 1997年5月, 「綠建築社區的評估體系與指標之研究」, 內政部建研所
8. 黃國傳, 1991年7月, 「地下水補注與問題之探討」, 復文書局
9. 王如意、易任著, 1996年7月, 「應用水文學」, 國立編譯館
10. 李似椿, 1996年6月, 「地下水」, 中國土木水利工程學會
11. 中國土木水利工程學會, 1996年7月, 「土壤力學」, 中國土木水利工程學會
12. 蔡攀鰲著, 1994年10月, 「土壤力學實驗」, 三民書局
13. 鄒日誠著, 1993年11月, 「水文學精要」, 三民書局
14. 亞麥開發股份有限公司, 1993年4月, 「亞麥磚造型錄」
15. 歐龍企股份有限公司, 1991年8月, 「卡納不織布透水管」,

附錄：透水鋪面標準施工圖

第一類：步道 I 透水鋪面

基本資料	編號	1-01			
	類別	步道 I	斷面材料概述		
	適用場所	步道、廣場	鋪面表層材料	透水性瀝青	
	設計條件	供步行、自行車通行	鋪面基層類材料	級配	
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青 10cm 級配層 路床</p>				
附註	圖例出處：文獻 6			修訂日期	1998. 04. 15
				修訂人	林子平

基本資料	編號	1-02			
	類別	步道 I	斷面材料概述		
	適用場所	步道、廣場	鋪面表層材料	天然石砂粒、透水樹脂	
	設計條件	供步行、自行車通行	鋪面基層類材料	級配	
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性熱可塑性樹脂混合天然石砂粒 10cm 級配層 路床</p>				
附註	圖例出處：文獻 5			修訂日期	1998. 04. 15
				修訂人	林子平

基本資料	編號	1-03		
	類別	步道 I	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	供步行、自行車通行	鋪面基層類材料	級配、砂層
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青 10cm 級配層 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	1-04		
	類別	步道 I	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場	鋪面表層材料	天然石砂粒
	設計條件	供步行、自行車通行	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性熱可塑性樹脂混合天然石砂粒 10cm 級配層 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 5		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	1-05		
	類別	步道 I	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場	鋪面表層材料	透水性瀝青、天然石
	設計條件	供步行、自行車通行	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青混合天然石砂粒 10cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 5		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

第二類：步道 II 透水鋪面

基本資料	編號	2-01		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	2-02		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	天然石砂粒、透水樹脂
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性熱可塑性樹脂混合天然石砂粒</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 5		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	2-03		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配、砂層
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	2-04		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	天然石砂粒
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性熱可塑性樹脂混合天然石砂粒</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 5		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	2-05		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	透水性瀝青、天然石
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青混合天然石砂粒</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 5		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	2-06		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	連鎖磚
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">6cm 連鎖磚</p> <p style="text-align: center;">6cm 砂層</p> <p style="text-align: center;">10cm 級配</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 1 4		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	2-07		
	類別	步道 II	斷面材料概述	
	適用場所	步道、廣場、停車場	鋪面表層材料	植草磚
	設計條件	供步行、自行車、管理用車	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">11cm 方格植草磚 6cm 砂層 10cm 級配層 路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 1 4		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

第三類：車道 I 透水鋪面

基本資料	編號	3-01		
	類別	車道 I	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以下	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">10cm 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	3-02		
	類別	車道 I	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以下	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	3-03		
	類別	車道 I	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	透水性瀝青、樹脂
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以下	鋪面基層類材料	級配、砂層
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 透水性熱可塑性樹脂混合物</p> <p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	3-04		
	類別	車道 I	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	樹脂砂漿
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以下	鋪面基層類材料	級配
斷面圖	<p style="text-align: center;">2cm 樹脂砂漿</p> <p style="text-align: center;">5cm 透水性混凝土板</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	3-05		
	類別	車道 I	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	連鎖磚
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以下	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">6cm 連鎖磚</p> <p style="text-align: center;">6cm 砂層</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 1 4		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	3-06		
	類別	車道 I	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	植草磚
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以下	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">11cm 方格植草磚</p> <p style="text-align: center;">6cm 砂層</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 1 4		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

第四類：車道 II 透水鋪面

基本資料	編號	4-01		
	類別	車道II	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以上	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">10cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">10cm 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

基本資料	編號	4-02		
	類別	車道 II	斷面材料概述	
	適用場所	車道、停車場、商店街	鋪面表層材料	透水性瀝青
	設計條件	大型車輛 55(台/日·單向)以上	鋪面基層類材料	級配、砂
斷面圖	<p style="text-align: center;">15cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">10cm 砂層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>			
附註	圖例出處：文獻 6		修訂日期	1998. 04. 15
			修訂人	林子平

第五類：運動設施透水鋪面

基本資料	編號	5-01			
	類別	運動設施	斷面材料概述		
	適用場所	體育場、陸上競技場、球場等	鋪面表層材料	透水性樹脂	
	設計條件	經濟型或永久型之使用	鋪面基層類材料	級配	
斷面圖	<p style="text-align: center;">2cm 透水性樹脂</p> <p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">20cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>				
附註	圖例出處：文獻 6			修訂日期	1998. 04. 15
				修訂人	林子平

基本資料	編號	4-02			
	類別	運動設施	斷面材料概述		
	適用場所	體育場、陸上競技場、球場等	鋪面表層材料	人工草皮	
	設計條件	經濟型或永久型之使用	鋪面基層類材料	級配	
斷面圖	<p style="text-align: center;">5cm 人工草皮</p> <p style="text-align: center;">2cm 透水性樹脂</p> <p style="text-align: center;">5cm 透水性瀝青</p> <p style="text-align: center;">15cm 級配層</p> <p style="text-align: center;">路床</p>				
附註	圖例出處：文獻 6			修訂日期	1998. 04. 15
				修訂人	林子平