



回收環保塑膠應用於低衝擊開發與最佳管理作業的工程應用討論

邱德維／良澤塑膠有限公司、築綠生態有限公司 專案經理

近年來全球不論開發中國家、已開發國家，為提升國家經濟成長，全球均有嚴重的都市化現象，也因此大量的混凝土運用在建築物、道路、土木、水利等構造物中，造成過去原有能透水、截流、如海綿般大地被不透水面取代，造成是的水文循環狀態改變 (Burian & Pomeroy^[1])，又因氣候變遷造成的極端氣候，常出現超過既有排水系統所設計能承受的暴雨強度，以至於內撈事件頻傳，因此透過低衝擊開發技術以遲滯、滲透、暫存等種種設計方式，能分擔部分的暴雨所產生之逕流，減輕排水系統的壓力，多樣式的低衝擊開發設計方式皆可參考內政部營建署出版的「水環境低衝擊開發設施操作手冊」(內政部營建署^[2])，而低衝擊開發相關的產品也相繼而生，其中，本章特別介紹結合回收塑膠(聚丙烯 polypropylene，縮寫：PP 或聚乙烯 polyethylene，縮寫：PE，又稱為環保塑膠)衍生的低衝擊開發等工法。

透水鋪面 (Pervious Paving)

目前市面上已有相當多透水鋪面材料，包含透水磚、透水混凝土、透水瀝青、植草磚等，都廣泛應用在台灣各個工程場域上，透水鋪面透水機制大致分為兩類，第一類透過鋪面高空隙率，讓水透過空隙入滲至路基，第二類則是鋪面本身無透水的功能，而是透過鋪面與鋪面間的空隙，讓水入滲至路基。

透水鋪面的優點有以下幾點：(1) 能將地表逕流水滲透於土壤，降低洪峰流量，(2) 減緩熱島效應，(3) 有效移除非點源污染的總懸浮固體 (Total Suspended Solid) 但並無明顯能去除氨氮、重金屬等非點源污染物，而在美國某些州的規範標準要能達到總懸浮固體 80% 的去除率 (Massachusetts Department of Environmental Protection^[3])，(4) 透過入滲補充地下水，(5) 透過植草磚面能綠美化廣場地區。在工程應用上的缺點則有以下幾點，(1) 為較需經常性的維護，

(2) 多數透過多孔性的特性產生透水的效果，也常會因孔隙有堵塞而需定期維護，(3) 因透水造成底層掏刷而造成不均勻沉陷甚至面層破裂，(4) 因多孔性質強度較一般硬鋪面弱，常出現面層破損或斷裂之問題。而透水鋪面適合應用的地點多為軸次當量較低車行道路面及人行道路路面，而其設計不僅須考量到現地地質條件、水文條件、使用條件下所需符合的強度設計、性能設計以及保水滲透量之設計，詳細之設計可參考內政部營建署委託社團法人中華鋪面工程學會所出版的「市區道路透水性鋪面使用手冊」(內政部營建署^[4])，在台灣工程應用上仍有許多透水鋪面的設計因並未確實考量以上種種之條件，產生鋪面破損嚴重、保水量不足甚至從路面與側溝介面處湧出等狀況為改善透水鋪面常見的問題。

由於透水鋪面的普及，也針對上述透水鋪面的種種問題進而改善，並出現了多樣式的工法，其中一種

就是使用回收環保塑膠成形的設計工法。此工法常見的如一體成形的植草地坪、管式透水鋪面等如下圖 1、圖 2 所示，上述的此種工法特點為以下：(1) 不同以往常見透水鋪面，直接由現場澆置混凝土而成，其強度能達到硬鋪面之強度 ($210 \text{ kgf/m}^2 \sim 350 \text{ kgf/m}^2$)，因此其承载力較一般透水鋪面來的佳，(2) 因成形方式為現場澆置一體成形如同連續基礎，不會因透水特性導致底層掏刷或土砂流失而產生嚴重的不均勻呈現，因此較傳統的透水鋪面的使用壽命長及維修成本低，(3) 不同模具成形的鋪面各有其更優良之特性，如管式透水鋪面則有極佳的透水性，能快速將面層的逕流導入底層或保水層，甚至也能有極佳的降低熱島效應之效果；或一體成形的植草地坪不同於一般植草地坪，能提供連續且完整的植草空間，有效的提高植草的存活率及更佳的美化景觀，(4) 使用的成形模具多為回收的環保塑膠且可再重覆多次使用，對於地球環境更為友善環保。



圖 1 一體成形的植草地坪



圖 2 管式透水鋪面應用於停車場

雨水貯集、滯洪、滲透設施 (Stormwater Retention & Detention Facility)

於民國 102 年開始內政部營建署於建築技術規範明訂，基地開發面積超過 300 平方公尺則需設置雨水貯集滯洪設施，並於民國 102 年至今，從中央到地方、從基地面積 300 平方公尺到大至開發面積超過 2 公頃，訂定了多個不同因應土地開發而需設置雨水貯留滯洪設施或保水設施等規範，更於今年五月二十九日直接修法水利法，明立「逕流分擔、出流管制」專章，明確表明因應氣候變遷，在都市發展、重大建設接需擬定「逕流分擔、出流管制」之計畫，目的就是要發展出韌性、永續的海綿城市，上述所提的相關規範細則及比較可參考「執行中之排水計畫（書）法規及格式說明」（凌邦輝^[5]）及「土地開發排水計畫書實務檢討與精進研究」（王順加^[6]），在此就不多加敘述。

因此台灣工程應用上，有許多乾、溼式滯洪池的設計應用、地下式混凝土結構的滯洪設施或直接使用建築物的筏式基礎作為雨水貯集滯洪設施，一般地上的乾式或溼式的滯洪池設施，設計所需的滯洪量大，但考量安全問題深度又不宜太深，因此所需腹地廣大，對於土地開發成本效益而言較差，且後期維護管理需投入人力及經費以免蚊蟲滋生或有安全疑慮之問題；而地下室混凝土雨水貯集、滯洪設施，不僅大量使用混凝土，更增加許多碳排放，與現今環保意識抬頭，有較大的衝突，且地下式混凝土雨水貯集、滯洪設施較不易設計成滲透型以補助地下水，但有時因現地條件下，仍需以混凝土方式為最後設計應用。

因應工程應用所需，許多環保塑膠材質之材料也相繼應用於工程上，一般常見的包含地上式的雨水桶（如圖3）、地下式的雨水桶（如圖4）及塑膠蓄水貯集框架（又稱雨水積磚，如圖5），其中，地上式的雨水桶有以下幾點特性：(1) 管配件搭配容易、容易做串聯、並聯相關應用，(2) 工廠加工，現地組裝，因此工期短，(3) 因是地上型雨水桶，需一定的腹地空間，(4) 雨水桶之容量較為有限，無法貯留大量雨水，(5) 無法直接應用於回收地表逕流水，(6) 較容易影響至整體景觀設計，因上述之特性，地上型雨水桶較常應用於屋頂的雨水回收系統中或配合泵浦來貯集雨水，後端應用多為補助澆灌用水等。

地下式的雨水桶的特點如：(1) 管配件搭配容易、容易做串聯、並聯相關應用，(2) 預鑄式雨水桶，現地組裝、工期快，(3) 雨水桶強度有限，埋設深度有限，(4) 雨水桶容量較為有限，腹地需求較大，(5) 埋設地下較不影響地表景觀設計，因此其應用較多為小量的雨水貯留設計，常見應用在橋梁下方，收集橋梁路面的水，以減少逕流水。



圖3 地上式雨水回收桶（嘉義縣環保局提供）



圖4 地下式雨水回收桶

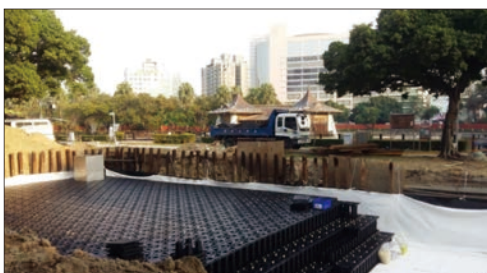


圖5 塑膠蓄水貯集框架
（圖來自良澤塑膠股份有限公司）

塑膠蓄水貯集框架近年來較多應用於不同類型式計案場，其特性 (1) 結構性強，(2) 埋設深度較深，(3) 重複組裝特性，(4) 孔隙率高（90%~96%），(5) 可設計貯留型、滲透型或混合型，(6) 單一元件組裝，可配合現地形狀配置，因此設計雨水貯留滲透設施應用區域較廣，從公園、廣場、停車場、遊憩場、學校、道路等，設計雨水貯留滯洪量也從1立方公尺至上萬立方公尺皆有，且因組合特性，容易配合現地條件做形狀上的調整，也是在近幾年來越來越廣泛應用在各個不同工程應用中，歐美地區將塑膠蓄水貯集框架（國外稱三明治結構、國內稱薄層集水）應用於人行道、腳踏車道下方的空間，利用此材料的特性，不僅因90%高空隙率，可於高密度都市區建造人行道下方的大型滯洪空間（如圖6、圖7），更減少碎石級配的使用量，減少了山區、河川土砂開挖，有時更將人行道下方滯留的水用於臨路旁路樹或綠帶澆灌用水，以提高城市對洪澇乾旱的韌性及適應力。此材料之應用、試驗及規範皆可參考下水道協會於106年6月所出版的「雨水貯留滲透設施（塑膠製品）技術手冊_第三版」（台灣下水道協會^[7]）。



圖6 塑膠蓄水貯集框架（三明治結構）應用
（圖來自 Permavioid 官方網頁）



圖7 薄層集水應用
（圖來自築綠生態有限公司）

植生滯留槽 (Bioretention)

美國於 1987 年提出最佳管理作業 (Best Management Practices)，目的在於汙水管制和處理，原先用於工業廢水及汙水下水道管制，爾後才發展至暴雨產生的非點源汙染及溼地管理，此觀念也被涵蓋應用在低衝擊開發 (Low Impact Development) 內，其中植生滯留槽及樹穴的概念，(1) 能達到少量減少地表逕流量，(2) 能有效的去除氮氮、總磷、TSS、BOD、COD 等非點源汙染，(3) 能將雨水入滲補充地下水，(4) 能美化街景，此些工程設計被廣泛應用於歐美等地。

於台灣地區，近年也有下凹式的植生滯留槽的設計，但仍不普遍應用，可能原因如下：(1) 台灣水文環境與歐美地區大不相同，「一雨成撈、不雨成旱」常是台灣降水的寫照，植生滯留槽能滯留的逕流量有限，且很難降低洪峰流量，因此效益較歐美地區小，(2) 下凹式設計因有明顯高低差，容易造成行動不便地者、年長者或或行人不慎跌倒，造成行進安全疑慮，(3) 為維護植生滯留槽之美觀，需較大量的維護管理機制，(4) 台灣地狹人稠，都市地區並不容易有適合之處設置。

於台灣工程應用上，使用塑膠材料也被開發應用為模組化的植生滯留槽，其一是應用於台灣河川上游集水區處，許多茶園、果園的出留口處，設置模組化之植生滯留槽，透過植生滯留槽能有效處理氮氮、總磷、TSS、BOD、COD 等特性，將初期夾帶農藥或磷肥的地表逕流水等非點源汙染，進行水質處理後再排放，將下游的水庫、河川優養化程度降低 (何嘉俊^[8])。另一則是將植生滯留槽地下化、模組化，並應用於都市地區，而此回收環保塑膠材料之應用又稱為「樹穴結構模組」(Soil Structure Module)，此設計是將植生滯留槽的概

念轉成為地下化概念如圖 8，其中，樹穴結構模組內會回填植生用的土壤或雨水過濾用的介質土壤，回填處預留雨水滯留層，以達到雨水滯留滲透，另外，此設計在處理非點源汙染中的氮氮、總磷、TSS、BOD、COD 之效能亦有相當優良的表現 (Cheung *et al.*^[9])。

樹穴設施 (Tree Box)

歐美地區在樹穴的工程應用上，有三種不同方式，第一類為常見的混凝土樹穴 (如圖 9)，此工程應用能提供非點源汙染的處理及少量的逕流水滯留，但能提供行道樹根系生長空間有限，因此已較少再有此工程應用。

第二類為樹穴結構模組 (Soil Construction module) 應用於在樹穴與人行道空間設計 (如圖 10、圖 11)，此設計有效利用雨水來強化樹木健康狀況，並在此過程中提供許多雨水逕流的解決方案，如第四節所述能減少地表逕流、處理路面上非點源汙染，更用於處理 (1) 減少都市區行道樹浮根的問題，浮根問題常因樹穴鄰近土壤被夯實至 95% 以上或用混凝土圍住，使得根系無適合的生長空間，因此根系鑽入底層與面層之間生長，導致鋪面被根系破壞，此應用將鬆土回填至樹穴結構模組內，讓根系有合適的發展空間也減少浮根問題，(2) 因行道樹有適當地生長空間，因此可以減少人行道上的樹穴面積，讓行人空間更大及景觀更一致，(3) 也讓樹木能更易茁壯，於 North Carolina State University 研究中也明顯的表示此應用對樹木生長有良好的表現 (NCSU^[10])，(4) 更能有效降低都市熱島效應。

第三類為使用塑膠蓄水貯集框架 (Soil Structure Module) 在樹穴的應用 (如圖 12)，設計目的：(1) 要將鋪面的集中荷重轉成均布荷重減輕應力對樹根的損

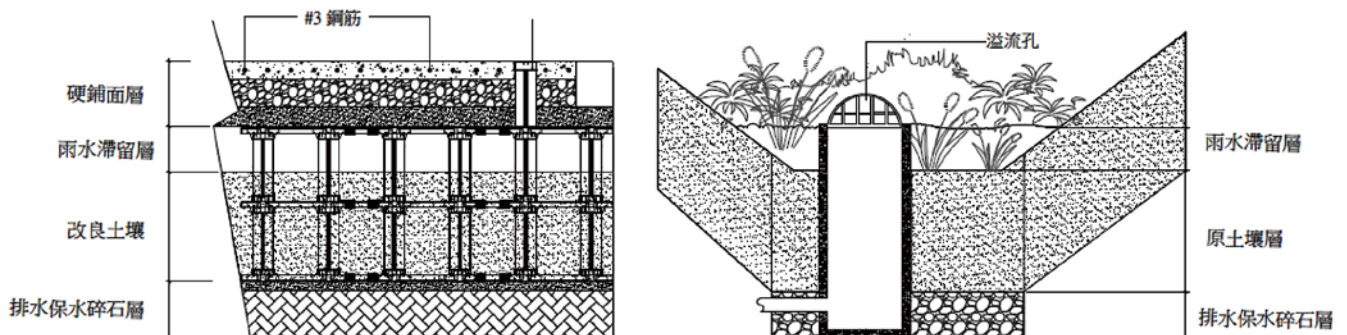


圖 8 傳統植生過濾槽與地下植生過濾槽比較圖 (圖來自築綠生態有限公司)



圖 9 混凝土樹穴



圖 10 樹穴結構模組 (來自 Silva Cell 官方網站)

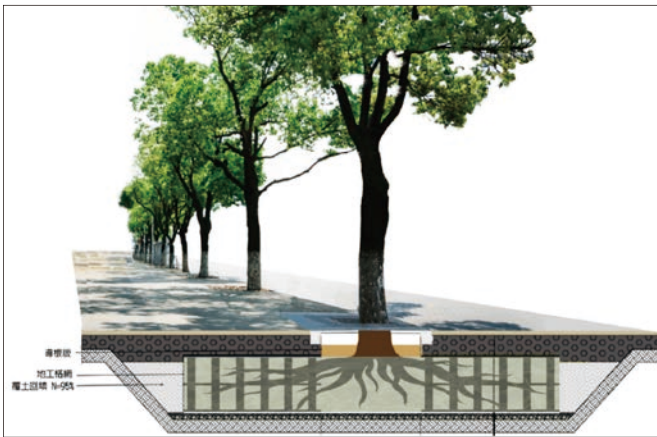


圖 11 樹穴結構模組
(來自築綠生態有限公司)



圖 12 塑膠蓄水貯集框架 (薄層集水)
(來自 Permavoid 官方網站)

害，(2) 營造空氣層讓空氣與水能更好的交換，讓植物根系生長更好，(3) 營造出阻根層，不讓根系破壞鋪面等優勢。

總結

台灣近年在水環境議題上不論在規範、工程應用上都不斷在提升和精進，工程應用中也因應水環境議題提供出最佳的解決方案，回收環保塑膠材料的應用也在工程應用上提出許多附加不同價值的解決方案，包含透水鋪面的應用、雨水貯集、滯洪、滲透設施的應用或是處理非點源污染上植生滯留槽、樹穴等，但在百花齊放的工程應用設計，如何真正合適的應用於不同工程環境，仍需產、官、學共心合作，提出更完整的評估規範和從業人員能力提升，才能幫助台灣水環境遇到的種種問題更完善的處理，這樣的經驗和技術累積成台灣科技，更能推廣至全球，讓台灣在全球水環境議題上能發光發熱。

參考文獻

1. Burian, S.J., and Pomeroy, C.A. (2010), "Urban Impacts on the Water Cycle and Potential Green Infrastructure Implications", *Urban Ecosystem Ecology*, 55, pp. 277-296.
2. 內政部營建署 (2015), 「水環境低衝擊開發設施操作手冊」。
3. Massachusetts Department of Environmental Protection, "Massachusetts Stormwater Handbook".
4. 內政部營建署 (2015), 「市區道路透水性鋪面使用手冊」。
5. 凌邦暉 (2017), 「執行中之排水計畫 (書) 法規及格是說明」, 學術天地, 排水計畫專題, 第 1-24 頁。
6. 王順加 (2017), 「土地開發排水計畫書實務檢討與精進研究」, 學術天地, 排水計畫專題, 第 25-37 頁。
7. 台灣下水道協會 (2018), 「雨水貯留滲透設施 (塑膠製品) 技術手冊 第三版」。
8. 何嘉俊、張峰毓 (2016), 「以植生滯留槽控制農業非點源污染」。
9. Cheung, P., and R. Anderton (2017), "The Queensway Sustainable Sidewalk Pilot Project", *Proceedings of the 6th Annual TRIECA Conference*. 22 March 2017.
10. NCSU (2017), "Soils Beneath Suspended Pavements: An Opportunity for Stormwater Control and Treatment" Presented by Jonathan L., pp. P.E. 