

科技部補助產學合作研究計畫成果精簡報告

以透水鋪面系統現地改善優養化埤塘水體技術之開發研究

計畫類別：技術及知識應用型

計畫編號：MOST 104-2622-E-041-002-CC3

執行期間：104年06月01日至105年05月31日

執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境工程與科學系(含碩士班)

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：林瑩峰

處理方式：

1. 公開資訊：立即公開
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中 華 民 國 105 年 09 月 24 日

中文摘要：臺灣位處亞熱帶與熱帶區域，日照充足，大部分的湖泊、水庫、埤塘、水池只要有極微量的氮、磷營養物質介入水體內，即可能誘發衍生藻類，進而開啟一連串水質惡化問題，本研究探討不同面層之透水性鋪面，以優養化水體進行試驗，以找出最佳負荷水量、最大負荷量、透水鋪面優養化水體削減能力及推估透水鋪面削減能力經驗公式，針對各項目進行實驗。以不同面層、基層及底層，進行優養化水體試驗，其最佳負荷水量實驗結果排序，由高至低為草地、碎石級配、連鎖磚，整體結果以連鎖磚面層A1出流量 $60.16 \pm 5.21 \text{ L/day}$ 為最差，碎石級配面層以B2出流量 $266.88 \pm 5.69 \text{ L/day}$ ，及植草皮面層以C2出流量 $295.04 \pm 6.41 \text{ L/day}$ 為最佳；最大負荷量結果有機物COD去除速率為 $164.93 \sim 2137.49 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、BOD5去除速率為 $19.97 \sim 379.35 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、總磷TP去除速率為 $4.64 \sim 179.97 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、總氮TN去除速率為 $27.26 \sim 571.12 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、葉綠素Chl-a去除速率為 $215.62 \sim 4650.05 \mu\text{g/m}^2/\text{day}$ 。透水性鋪面優養化水體削減能力使用單一參數TP ($\mu\text{g/L}$)，TP去除率可達50%，或使用單一參數Chl-a ($\mu\text{g/L}$)，皆達到貧養狀態。多元迴歸法係將COD、BOD5、TP、NH₄-N、TN(去除率%)與壓密土、建築水泥塊及碎石級配HRT-水力停留時間(day)建立相關經驗式，可估算出單層配置及混合層配置之初估削減能力，經非點源污染降雨逕流及模擬生活污水試驗結果驗證，COD、BOD5、TP、NH₄-N、TN之經驗公式模式之應用性較高。透水鋪面接與景觀結合，在公園、埤塘邊設置透水鋪面，透水鋪面具有基地保水及污染削減能力，而基底層以不同材料設計之構造，污染物削減能力有所不同，預估削減經驗公式可作為日後透水鋪面工程之參考。

中文關鍵詞：透水鋪面系統、優養化、現地處理、多元回歸

英文摘要：Taiwan is located in subtropical and tropical regions which is abundant in sunshine. Most of the lakes, reservoirs, ponds, and pools, as long as there is even very small amount of nitrogen and phosphorus nutrients in any body of water, growth of algae derivative can be induced. This opens a series of deteriorating water quality problems. This study investigated on various surface layers of permeable paving for cleaning eutrophic water bodies. Experiments were done in order to find the best water loading, the maximum load, the reduction of water eutrophication capability and the empirical formula for prediction of permeable paving efficiency. Different surfaces, grass-roots and the bottoms were tested. The best water load obtained in descending order were from the grass, gravel grading, and brick chain. The chain brick layer, A1, resulted to a flow rate of $60.16 \pm 5.21 \text{ L/day}$ which the worst, the graded gravel surface layer, B2, had a flow rate of $266.88 \pm 5.69 \text{ L/day}$, while the best grass leather layer, C2, with a flow rate of $295.04 \pm 6.41 \text{ L/day}$ had the highest. Maximum loading resulted to organic COD removal

rate of 164.93~2137.49mg/m²/day, TP removal rate of 4.64~179.97mg/m²/day, TN removal rate of 27.26~571.12mg/m²/day. For the ability of permeable paving to reduce eutrophication, TP(μ g/L) removal rate reached up to 50%, and for Chl-a(μ g/L) removal, all reached the oligotrophic state. For the regression analysis method, the removal percentage of COD, BOD₅, TP, NH₄-N, and TN, soil compaction, construction of cement blocks, and gravel grading HRT (day) were considered for the establishment of the empirical formula. Empirical formulas for single configuration and mixed layer configuration capacity reductions were verified from tests on non-point sources of pollution, rain runoff and simulated domestic sewage. It showed that COD, BOD₅, TP, NH₄-N, TN removal rates had great effect on the empirical formula. Permeable paving can be used for landscaping in the parks, and set up on the edge of ponds. At the same time, it has the capability for water conservation and pollution reduction. For various base layers having different material structure and design, the pollution reduction ability is different. Therefore, the empirical formulas produced from this study be used as a reference for future projects involving permeable paving.

英文關鍵詞： permeable paving systems, eutrophication, ground treatment, multiple regression analysis

科技部補助產學合作研究計畫成果精簡(進度)報告

計畫名稱：以透水鋪面系統現地改善優養化埤塘水體技術之開發研究

計畫類別：☐ 先導型 ☐ 開發型 ☒ 技術及知識應用型

計畫編號：MOST 104-2622-E-041-002-CC3

執行期間：104 年 10 月 1 日至 105 年 5 月 31 日

執行單位：嘉南藥理大學環境工程與科學系

計畫主持人：荊樹人

共同主持人：林瑩峯

計畫參與人員：傅鵬倉、黃博駿、施凱鐘

處理方式：

1. 立即公開

(依規定，精簡報告係可供科技部立即公開之資料，並以 4 至 10 頁為原則，如有圖片或照片請以附加檔案上傳，如因涉及專利、技術移轉案或其他智慧財產權、影響公序良俗或政治社會安定等，而不宜對外公開者，請勿將其列入精簡報告)

2. 本研究是否有嚴重損及公共利益之發現：☒ 否 ☐ 是

3. 本報告是否建議提供政府單位參考 ☒ 否 ☐ 是

中華民國 105 年 5 月 31 日

研究摘要(500 字以內)：

臺灣位處亞熱帶與熱帶區域，日照充足，大部分的湖泊、水庫、埤塘、水池只要有極微量的氮、磷營養物質介入水體內，即可能誘發衍生藻類，進而開啟一連串水質惡化問題，本研究探討不同面層之透水性鋪面，以優養化水體進行試驗，以找出最佳負荷水量、最大負荷量、透水鋪面優養化水體削減能力及推估透水鋪面削減能力經驗公式，針對各項目進行實驗。以不同面層、基層及底層，進行優養化水體試驗，其最佳負荷水量實驗結果排序，由高至低為草地、碎石級配、連鎖磚，整體結果以連鎖磚面層 A1 出流量 $60.16 \pm 5.21 \text{ L/day}$ 為最差，碎石級配面層以 B2 出流量 $266.88 \pm 5.69 \text{ L/day}$ ，及植草皮面層以 C2 出流量 $295.04 \pm 6.41 \text{ L/day}$ 為最佳；最大負荷量結果有機物 COD 去除速率為 $164.93 \sim 2137.49 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、 BOD_5 去除速率為 $19.97 \sim 379.35 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、總磷 TP 去除速率為 $4.64 \sim 179.97 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、總氮 TN 去除速率為 $27.26 \sim 571.12 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、葉綠素 Chl-a 去除速率為 $215.62 \sim 4650.05 \mu\text{g/m}^2/\text{day}$ 。透水性鋪面優養化水體削減能力使用單一參數 TP ($\mu\text{g/L}$)，TP 去除率可達 50%，或使用單一參數 Chl-a ($\mu\text{g/L}$)，皆達到貧養狀態。多元迴歸法係將 COD、 BOD_5 、TP、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TN(去除率%)與壓密土、建築水泥塊及碎石級配 HRT-水力停留時間(day)建立相關經驗式，可估算出單層配置及混合層配置之初估削減能力，經非點源污染降雨逕流及模擬生活污水試驗結果驗證，COD、 BOD_5 、TP、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TN 之經驗公式模式之應用性較高。透水鋪面接與景觀結合，在公園、埤塘邊設置透水鋪面，透水鋪面具有基地保水及污染削減能力，而基底層以不同材料設計之構造，污染物削減能力有所不同，預估削減經驗公式可作為日後透水鋪面工程之參考。

精簡報告本文：

一、前言

臺灣位處亞熱帶與熱帶區域，日照充足，大部分的湖泊、水庫、埤塘、水池只要有極微量的氮、磷營養物質介入水體內，即可能誘發衍生藻類，進而開啟一連串水質惡化問題，雖然以長遠的時間觀之，湖泊、水庫等水體優養化為熱帶與亞熱帶地區天然湖泊、埤塘必經的宿命，但人為的污染介入，加快了水體優養化的進程，並且也降低了水體可利用範圍，減損了水資源的可利用行，因此對於水資源匱乏的臺灣，有必要以人為的控

制、改善程序，降低湖泊、水庫、埤塘的水體優養化。尤其公共場域的小型水體，例如普遍存在於公園、校園裡的景觀水池、小水塘，或者為農漁牧之小型灌溉埤塘、養殖池、養鴨塘等，這些小型水體因難以控制氮磷營養鹽的輸入，導致水體持續被輸入營養鹽而逐漸優養化，最後演變為水體惡化、發臭等問題，不但影響水體景觀、公共衛生，影響了水體的可應用範圍與水體可提供的生態功能。改善湖泊、水庫等大型水體優養化最有效的方法，為減少或削減誘發優養化物質進入水體的可能途徑與數量，以及湖泊、水庫底部沉積之底泥釋出營養鹽，降低氮磷營養物質進入水體後刺激誘發生長藻類的機會，如可再透過生態體系良好(水中生物多樣性)的湖泊、水庫自身的水體自淨作用、營養物攝取與競爭，以及良好的水體流動、打破湖泊水庫的分層，即可抑制造成優養化藻類的孳生，減少水體優養化的機率。

二、實驗設備與方法

2.1 實驗設備

透水鋪面系統均為水泥槽體，內徑長寬高分別為 1.2m、0.8m、0.9m，總容積為 0.864 m³，外徑長寬高為 142cm、102 cm、102 cm，槽體底部厚 15 cm、四面牆厚 11 cm。槽體側邊設置 8 個設有開關閥之取水口，並於同一側裝置雙層玻璃做為觀察各層高度分布之觀測窗口，證明測孔回收之水樣的淨化能力。所設置之透水鋪面系統，各個透水鋪面系統內之表層、底層與基層，皆為不同材料以不同高度做的設計，共使用 3 種面層做為材料，第 1~3 號透水試驗槽為模擬連鎖磚型的透水鋪面，4~5 號透水試驗槽為模擬以碎石級配為鋪面的透水鋪面，6~7 號為模擬以草地為鋪面的透水鋪面，但是試驗槽基層與底層則按照研究需要而設置，各試驗槽體簡介如下：

1 號試驗槽(圖 1 連鎖磚型)：為模擬傳統透水鋪面的施工方法，基層與底層採用傳統施工法，槽體底層為 54 公分的壓密土壤，基層為 20 公分的碎石級配，表層為連鎖磚。

2 號試驗槽(圖 2 連鎖磚型)：試驗槽的最底部基層為 20 公分的壓密土壤，之後再鋪上 34 公分的礫石，礫石層上方在鋪上兩層不織布，鋪上 20 公分的碎石級配，表層為連鎖磚。

3 號試驗槽(圖 3 連鎖磚型)：試驗槽的基層最底部為 20 公分的壓密土壤，再鋪上 34 公分的廢棄建築水泥塊，在鋪上兩層不織布，不織布上方為 20 公分的碎石級配，表層為連鎖磚。

4 號試驗槽(圖 4 級配型)：試驗槽主要模擬一般泥土地鋪上碎石級配的透水狀態，底層為 65 公分的壓密土壤以模擬及世之大地狀態，表層為 15 公分的碎石級配。

5 號試驗槽(圖 5 級配型)：試驗槽為碎石級配(15 公分)底下再鋪上一層粒徑較大的建築水泥塊層(45 公分)，但是在碎石層與建築水泥塊中間鋪設兩層不織布，以防止碎石與建築水泥塊混合，底層為壓密之土壤(20 公分)模擬大地狀態。

6 號試驗槽(圖 6 草地型)：表面種植草皮，底層為壓密之土壤，為模擬鋪面草地之大地狀態。

7 號試驗槽(圖 7 草地型)：最底層為壓密之土壤(20 公分)，隨後鋪上約 40 公分的建築水泥塊，之後為可供草皮生長之土壤與草地層，表層與建築石塊之間鋪設兩層不織布，以防止草皮與土壤與建築水泥塊混合。

2.2 透水性鋪面削減能力實驗方法

由景觀生態池中既有的沉水泵，將生態池水抽到一座 $0.5\sim 1.5\text{ m}^3$ 的儲水槽，儲水槽高度大約為 $2\sim 3\text{ m}$ ，儲水槽之後再連接一個以浮球控制之液位控制槽，該控制水槽的高度約為 $1.5\sim 1.7\text{ m}$ ，液位控制槽可將水頭水位控制為固定水頭高度，避免水槽液位變化導致水頭高度改變，液位控制槽之後再分配 PVC 管線分別連接 7 個 PVC 控制水閥於 7 組透水鋪面系統上，由控制水閥可以調整入流量，以控制透水鋪面系統之負荷量(如圖 8)。每個透水鋪面系統的操作負荷量初期擬參考土壤過濾系統的負荷量，控制每個透水鋪面系統的負荷水量為 $28\text{ L/m}^2/\text{day}$ 、 $75\text{ L/m}^2/\text{day}$ 、 $220\text{ L/m}^2/\text{day}$ 、 $350\text{ L/m}^2/\text{day}$ 共四個試程進行實驗。使用水力停留時間參數證明透水性鋪面對水質污染具有改善效果，並利用多元回歸推估透水性鋪面配置削減能力之經驗公式，加以驗證經驗公式應用性。

三、結果與討論

透水性鋪面具有涵養水份之功能，同時又具有削減污染物之能力，本實優養化水體進行試驗，分別進行四個不同負荷之試，第一試程($28.8 \text{ L/m}^2/\text{day}$)、第二試程($75 \text{ L/m}^2/\text{day}$)、第三試程($220 \text{ L/m}^2/\text{day}$)及第四試程($350 \text{ L/m}^2/\text{day}$)，對於槽體 A1、A2、A3、B1、B2、C1、C2 內部濾料配置之體積與順序皆不相同，比較之基準以各單一濾層之水力停留時間做為區分，再搭配個單一濾層去除率進行探討。

1.透水性鋪面優養化水體單一濾層削減實驗

(1)懸浮固體(Suspended Solids, SS)

由圖 9 顯示，懸浮固體 SS 多以物理性過濾方式去除，在建築水泥塊層削減能力為 63.6~82.8%，碎石鋪面為 66.73~67.78%，壓密土為 26.50~86.36%，實驗中發現壓密土層在測孔採集水樣時，壓密土層材料相較其他材料更容易被水體帶出，使檢測水質時，數筆數據 SS 濃度偏高之現象出現，因實驗槽體因素受限而產生，導致削減能力系降，由結果觀察 SS 污染物於壓密土去除能力較好，建築水泥塊與碎石級配去除能力相當。

(2)化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)

由圖 10 顯示，建築水泥塊層水力停留時間介於 6.4~32 day，去除率最佳為 63.15 %、最差為 44.17 %，碎石級配水力停留時間介於 31.1~37.1 day，去除率最佳為 80.4 %、最差為 47.2 %，壓密土水力停留時間介於 0.74~28.27 day，去除率最佳為 91.76 %、最差為 49 %，影響 COD 濃度之因子為水體中的有機物含量，利用滲透經過不同濾層來達到去除有機物之目的，在不同濾料可發現水力停留時間越長去除率相對提高，由結果觀察以削減能力表現由壓密土>碎石級配>建築水泥塊，但以去除速率表現由壓密土>建築水泥塊>碎石級配。

(3)生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)

由圖 11 由顯示，建築水泥塊層水力停留時間介於 1.4~32 day，去除率最佳為 85 %、最差為 59 %，碎石級配水力停留時間介於 31.1~37.1 day，去除率最佳為 79.5 %、最差

為 35.3 %，壓密土水力停留時間介於 0.74~28.27 day，去除率最佳為 80 %、最差為 39.2 %，建築水泥塊、碎石級配及壓密土削減能力均可達 80 %，但因條件(HRT)不同而產生不同差異，建築水泥塊層操作 2~5 day(HRT)即達到去除 60 % 污染物濃度，壓密土操作 1~5 day(HRT)即達穩定到去除 80 % 污染物濃度，碎石級配就需較長操作時間，削減能力才顯現，結果顯示壓密土、建築水泥塊及碎石級配均對 BOD₅ 具良好先減能力。

(4)總磷(Total Phosphorus，TP)

由圖 12 由顯示，建築水泥塊層水力停留時間介於 1.4~32 day，去除率最佳為 50.7 %、最差為 45.2 %、操做最佳 HRT 為 1.4~3 day，碎石級配水力停留時間介於 31.1~37.1 day，去除率最佳為 56.14 %、最差為 19.65 %、操做最佳 HRT 為 36 day，壓密土水力停留時間介於 0.74~28.27 day，去除率最佳為 56.95 %、最差為 31.1 %、操做最佳 HRT 為 1.66~7.7 day，總磷去除方視為偷過水體在率層中移動、滲透作用，進而過率及吸附作用與去除方視為偷過水體在率層中移動、滲透作用，進而過率及吸附作用與降低污染物濃度，壓密土與建築水泥塊 TP 去除率曲線成較趨緩成長，壓密土、建築水泥塊及碎石級配隨著水力停留時間拉長去除率也相對提高。

(5)氨氮(Ammonia nitrogen，NH₄-N)

由圖 13 顯示，建築水泥塊層水力停留時間介於 2.8~32 day，去除率最佳為 81.03%、最差為 61.8 %，碎石級配水力停留時間介於 31.1~37.1 day，去除率最佳為 60 %、最差為 47.7 %，壓密土水力停留時間介於 1.66~28.27 day，去除率最佳為 100 %、最差為 25.6 %，壓密土操做在 HRT 為 5 day 時，就幾乎完全去除，在這之後的壓密土去除率就為 0 %，壓密土、建築水泥塊及碎石級配隨著水力停留時間拉長去除率也相對提高。

(6)總氮(Total nitrogen，TN)

由圖 14 由顯示，建築水泥塊層水力停留時間介於 1.4~32 day，去除率最佳為 58.1 %、最差為 35.8 %，碎石級配水力停留時間介於 31.1~37.1 day，去除率最佳為 27.6 %、最差為 21.4 %，壓密土水力停留時間介於 0.74~28.27 day，去除率最佳為 70.7 %、最差為 19.7 %，碎石級配削減能力較差，壓密土、建築水泥塊隨著水力停留時間拉長去除率也相對提高。

(7)葉綠素 a(Chlorophy-a , Chl-a)

葉綠素 a 以藻類形態存在，透水性鋪面具有過濾效果，優養化水體進入透水性鋪面面層時，沒有陽光的照射，相較缺少單一項元素，在經過不同濾層過濾後，出流水 Chl-a 濃度在分析上以低於偵測極限。

2.推估設計透水鋪面削減能力經驗公式

各分層配置材料為壓密土、建築水泥塊、碎石級配，削減能力之經驗公式，去除率(%)與單一濾層濾料個別之體積(m^3)、高度(cm)及 HRT 水力停留時間(day)進行回歸，表 1 以 COD 此參數為例，與建築水泥塊、碎石級配、壓密土三項參數進行回歸結果顯示，去除率(%)與水力停留時間(HRT)迴歸得到的相關性最佳($R=0.779$ ， $R^2=0.607$)。

(1)多元回歸法

因此本研究以水力停留時間(HRT)為基準，分別進行單一濾層 COD、 BOD_5 、TP、 NH_4-N 、TN 及 Chl-a 分析，由於 SS 及 Chl-a 兩項參數為物理性去除，較無法使用多元回歸進行推估，優養化水質結果進行多元迴歸法將 COD、 BOD_5 、TP、 NH_4-N 、TN 去除率與壓密土、建築水泥塊及碎石級配 HRT(day)建立相關經驗公式。

$$COD(\%) = (1.759 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (0.502 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.411 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 46.176 \quad (1)$$

$$BOD_5(\%) = (1.362 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (1.187 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.163 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 53.063 \quad (2)$$

$$TP(\%) = (0.527 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (0.453 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.226 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 39.419 \quad (3)$$

$$NH_4N(\%) = (-2.235 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (1.119 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.636 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 63.392 \quad (4)$$

$$TN(\%) = (1.53 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (0.717 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (-0.087 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 35.087 \quad (5)$$

(2)經驗公式驗證

為進一步比較公式預測的精確性的優劣，以平均絕對誤差 MAPE 當作指標，由非點源污染降雨逕流實驗，主要由前人之研究(林誌鵬，2015)利用不同鋪面設計對基地滲水及非點源污染削減效益分析之結果，來進行公式驗證。驗證單濾層及混和型濾層來做

估算，COD、BOD₅、TP、NH₄-N、TN 之平均絕對誤差值(MAPE)預測能力依序為 19.41、31.56、12.06、443.69、22.21，COD 及 TP 數值介於 10~20 之間代表優良，BOD₅ 及 TN 介於 20~50 之間代表可接受，唯獨 NH₄-N > 50 代表不正確，NH₄-N 估計值與實際值誤差較大，其原因可能為進流水濃度較低，與背景值濃度相對接近，而造成之誤差。本實驗也配置模擬生活污水初試驗，透過透水性鋪面設施 220 L/m²/day 負荷進行試驗，來驗證經驗公式之預測能力，COD、BOD₅、TP、NH₄-N、TP 之平均絕對誤差值(MAPE)預測能力依序為 7.21、13.31、21.76、8.11、20.66，COD 及 NH₄-N 數值 < 10 為極佳，TP、BOD₅ 及 TP 數值介於 20~50 之間為代表可接受。實際值去除率與推估模式預測去除率分析如圖 15~圖 19，經驗公式模式之應用性頗高，此公式適合來預估非點源污染降雨逕流及生活污水之結果。

四、結論

COD、BOD₅、TP、NH₄-N、TN 污染物削減能力會受到水力停留時間之影響，由結果可以觀察到，水力停留時間拉長，削減能力明顯提升，水入滲置濾層時，停留時間越長去除效果較佳。優養化水質結果進行多元迴歸法將 COD、BOD₅、TP、NH₄-N、TN(去除率%)與壓密土、建築水泥塊及碎石級配 HRT(day)建立相關經驗式，可以估算出單層配置及混合層配置之初估削減能力，經非點源污染降雨逕流及模擬生活污水試驗結果驗證，COD、BOD₅、TP、NH₄-N、TN 之經驗公式模式之應用性較高。

六、參考文獻

1. 林誌鵬，不同鋪面設計對基地滲水及非點源污染削減效益分析，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系，碩士論文(2015)。
2. 邱秀文，以多元迴歸分析模式建立台灣都會區及非都會區垃圾發熱量經驗公式之研究，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系，碩士論文(2006)。

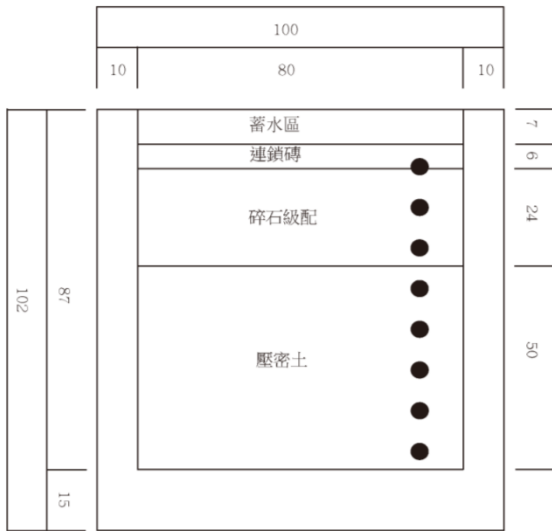


圖 1 連鎖磚透水鋪面系統側視剖面圖(A1組，傳統工法)

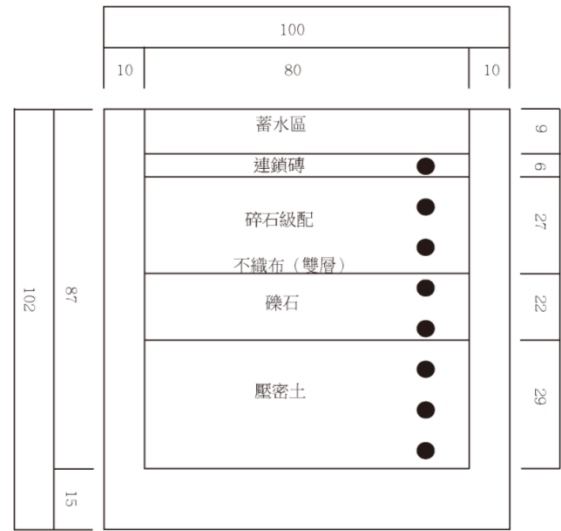


圖 2 連鎖磚透水鋪面系統側視剖面圖(A2組，改良式工法 1：原碎石級配層底部再增加大顆粒之礫石層)

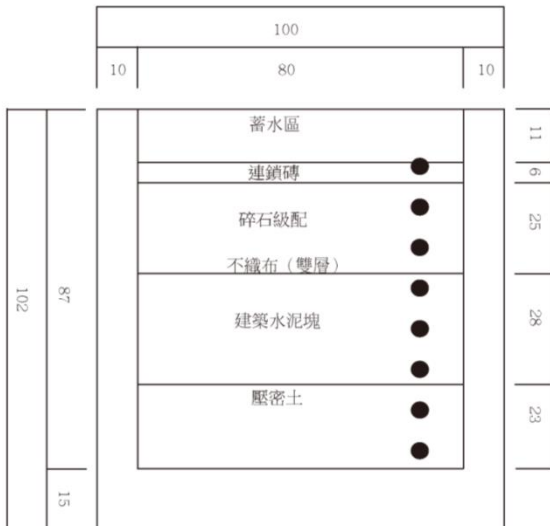


圖 3 連鎖磚透水鋪面系統側視剖面圖(A3組，改良式工法 2：原碎石級配底部再增加回收建築水泥塊層)

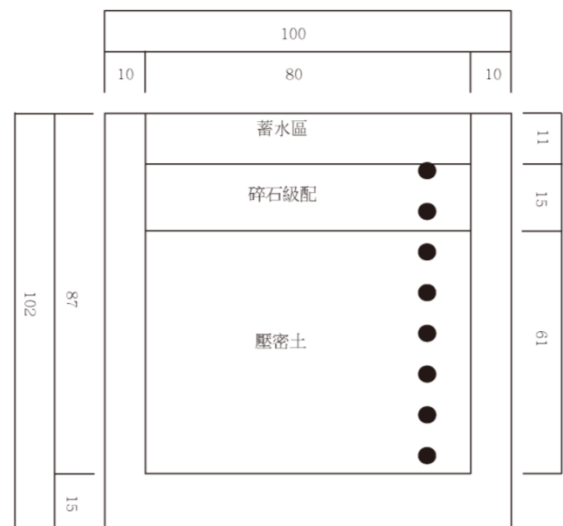


圖 4 碎石級配鋪面系統側視剖面圖(B1組，傳統工法)

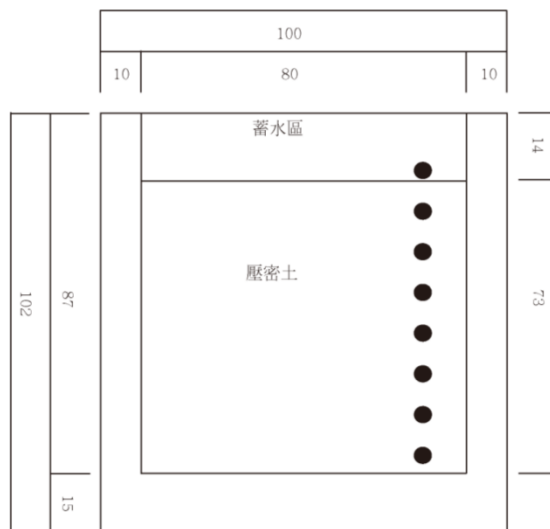
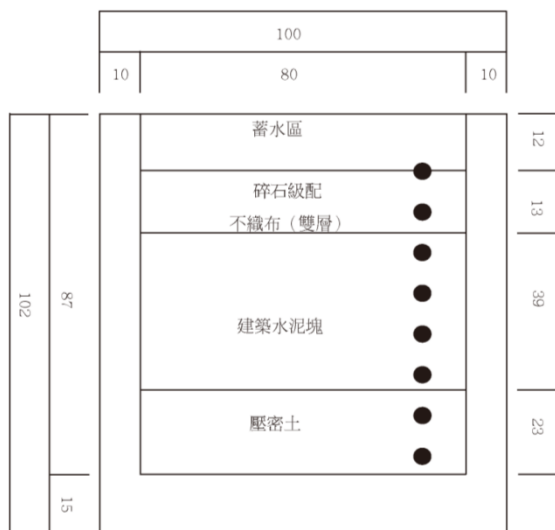


圖 5 碎石級配鋪面系統側視剖面圖(B2 組，改良工法：碎石級配層底部增加回收之建築水泥塊層)

圖 6 植草鋪面系統側視剖面圖(C1 組，傳統工法)

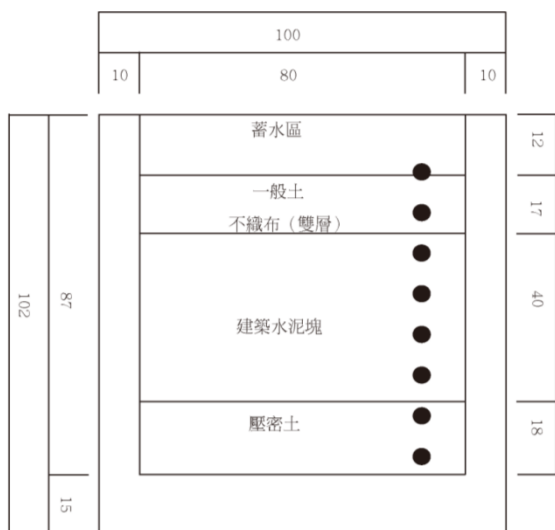


圖 7 植草鋪面系統側視剖面圖(C2 組，改良工法：中間增加回收之建築水泥塊層)

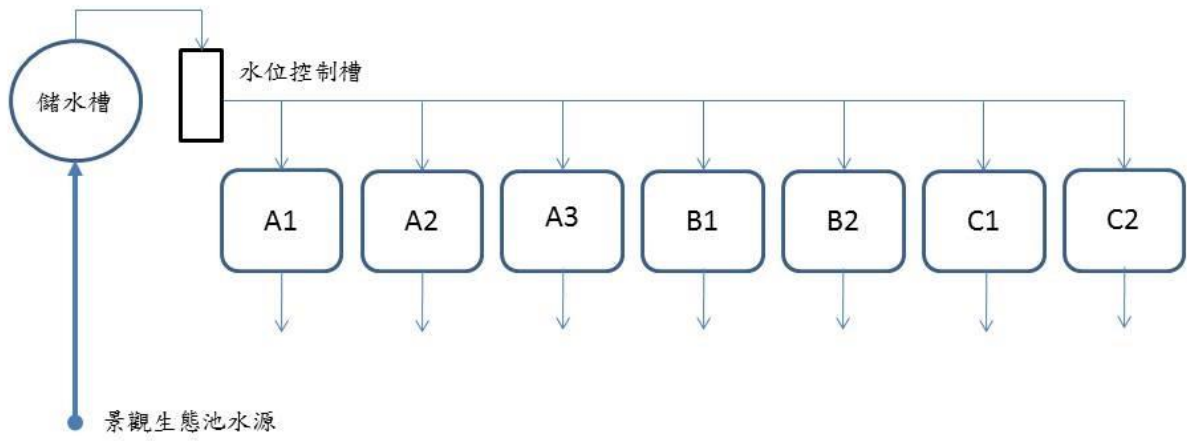


圖 8 本研究計畫透水鋪面系統單元配置示意圖

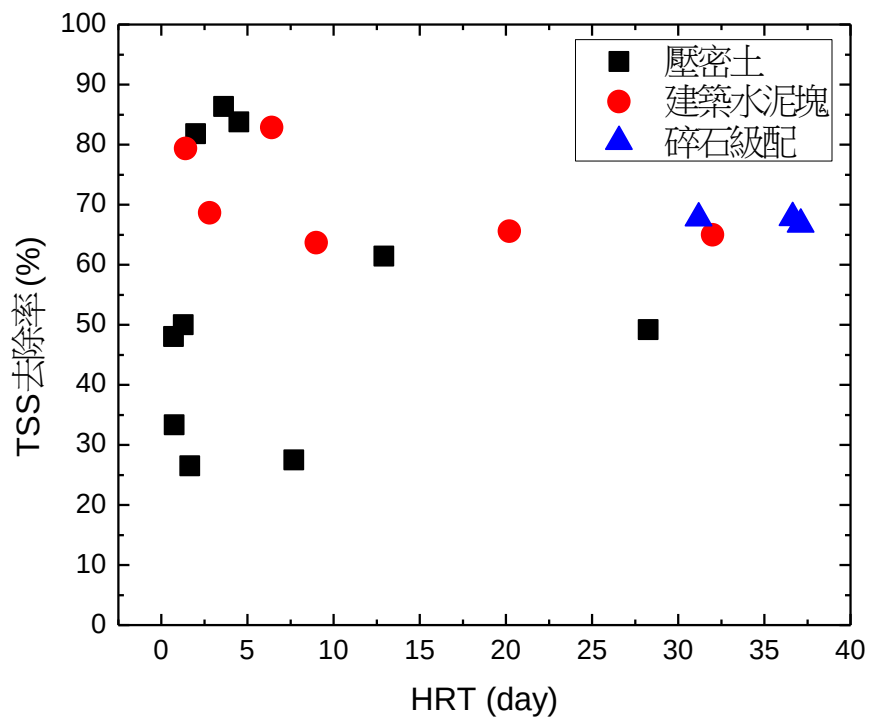


圖 1 三種不同濾料層中 SS 與 HRT 關係圖

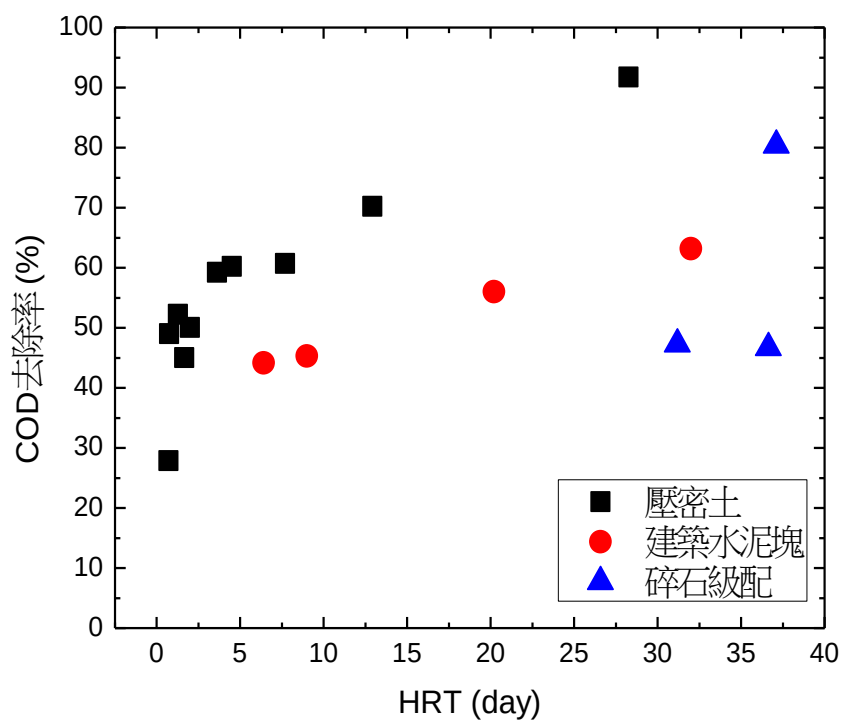


圖 2 三種不同濾料層中 COD 與 HRT 關係圖

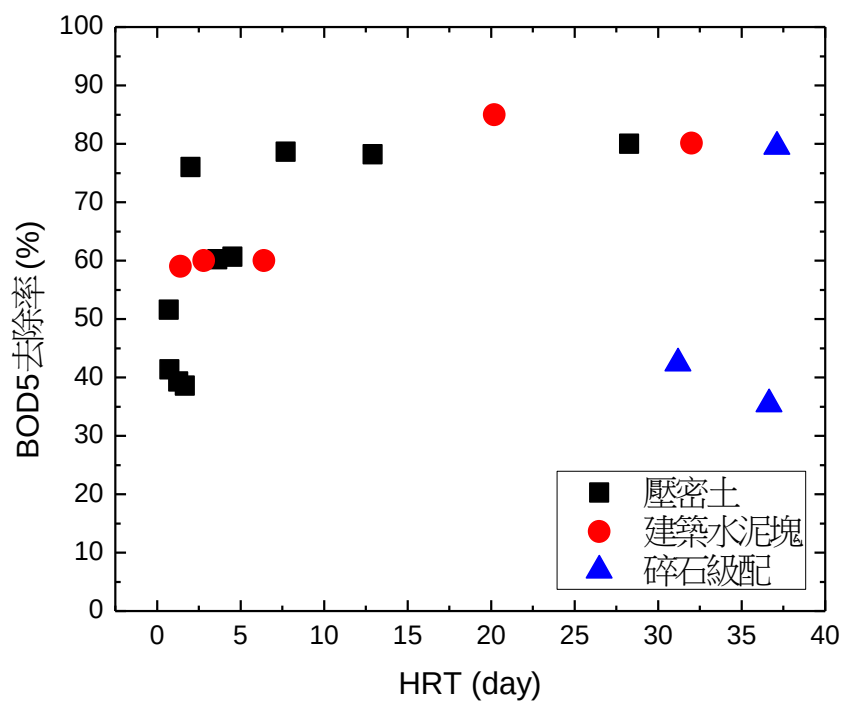


圖 3 三種不同濾料層中 BOD₅ 與 HRT 關係圖

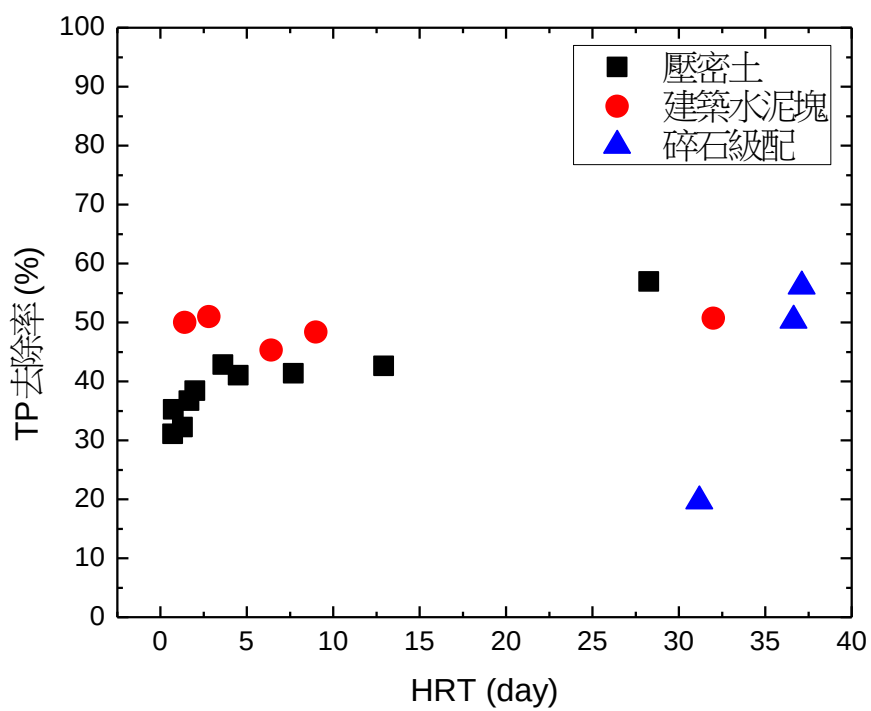


圖 4 三種不同濾料層中 TP 與 HRT 關係圖

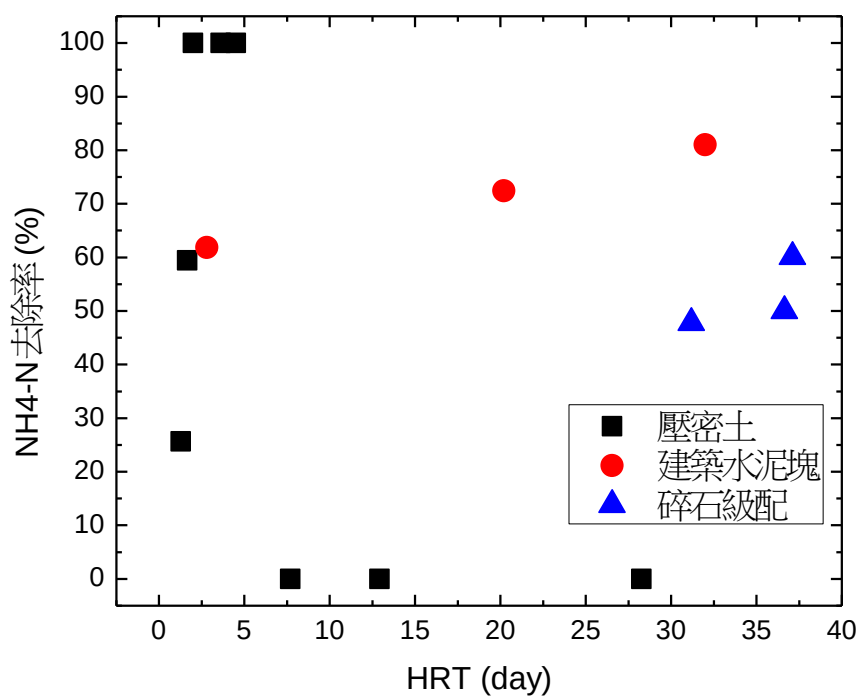


圖 5 三種不同濾料層中 NH₄-N 與 HRT 關係圖

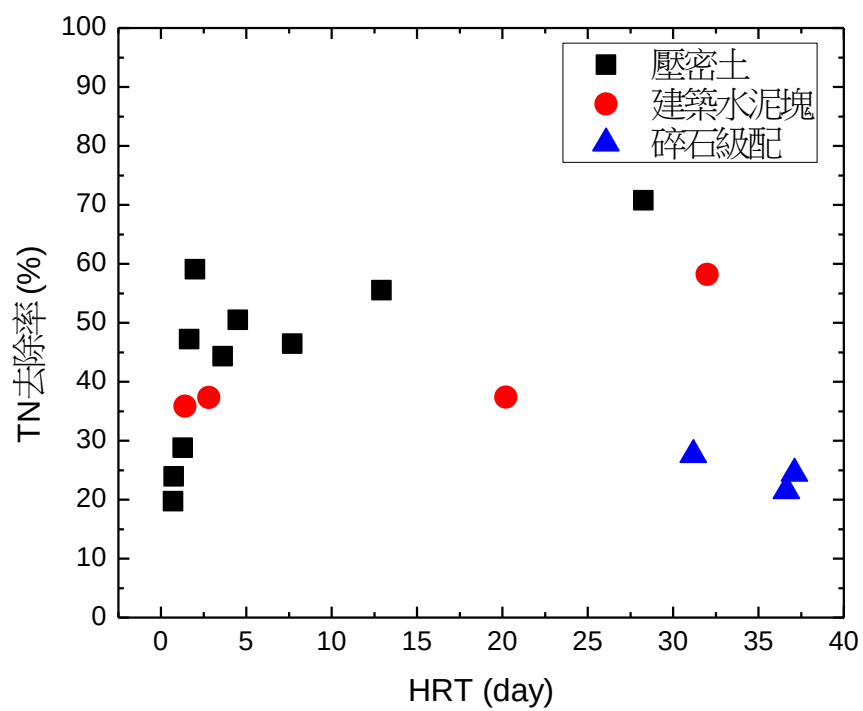


圖 6 三種不同濾料層中 TN 與 HRT 關係圖

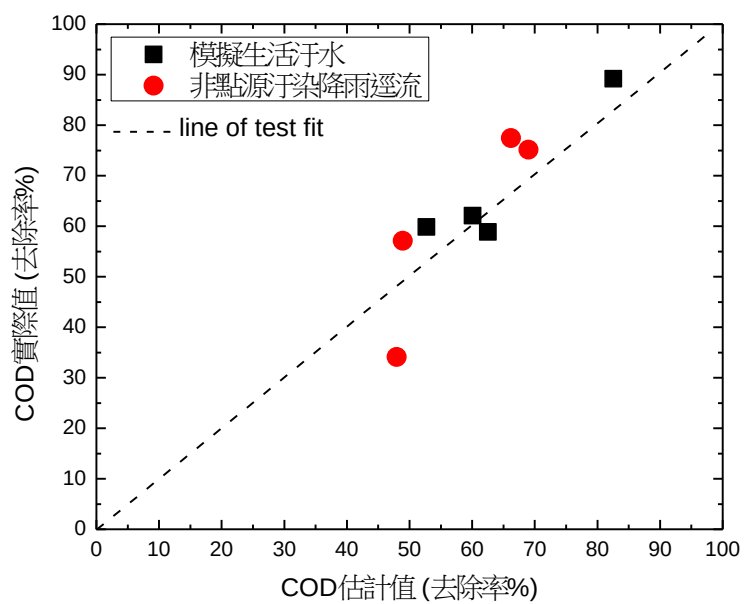


圖 7 本研究經驗公式模擬值與 COD 實際值去除率分析圖

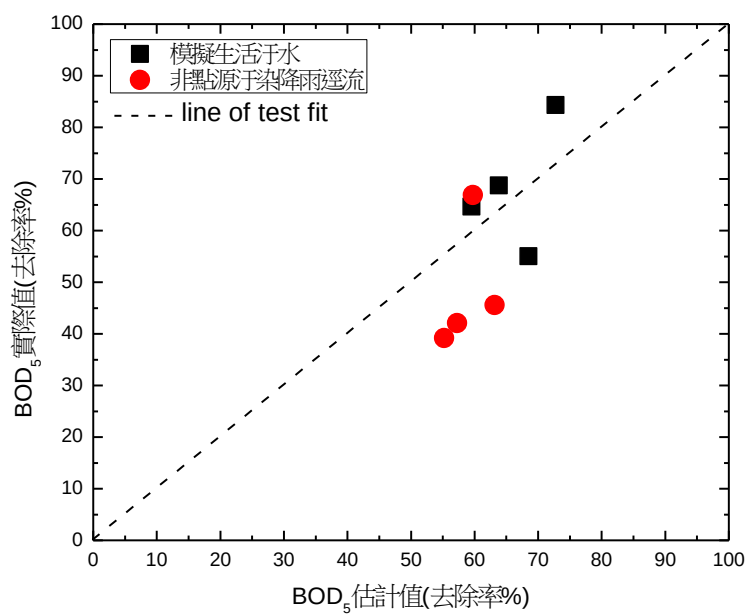


圖 8 本研究經驗公式模擬值與 BOD₅ 實際值去除率分析圖

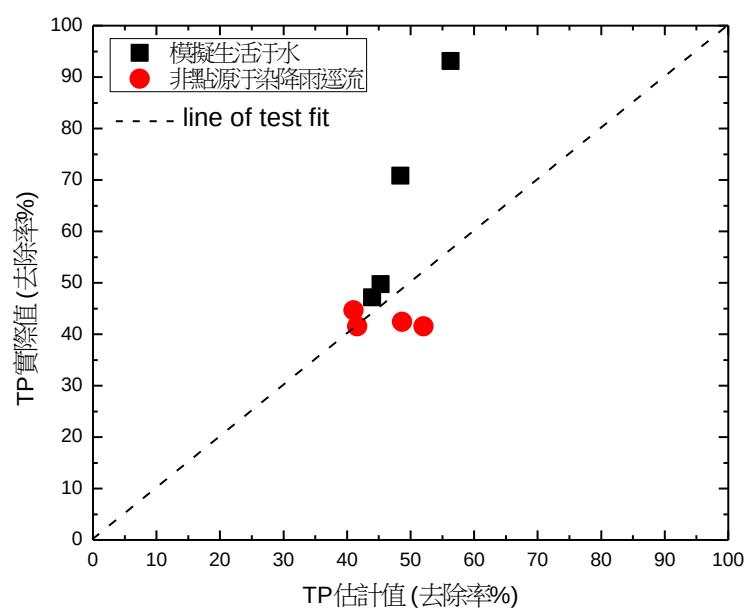


圖 9 本研究經驗公式模擬值與 TP 實際值去除率分析圖

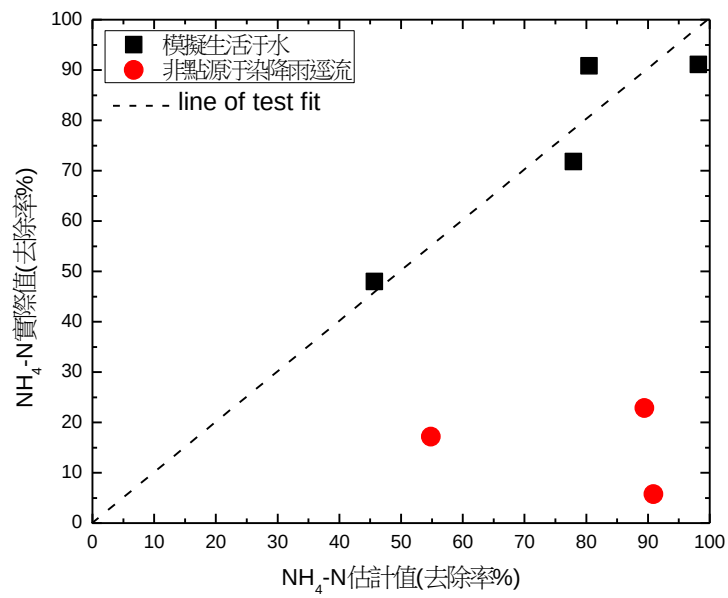


圖 10 本研究經驗公式模擬值與 $\text{NH}_4\text{-N}$ 實際值去除率分析圖

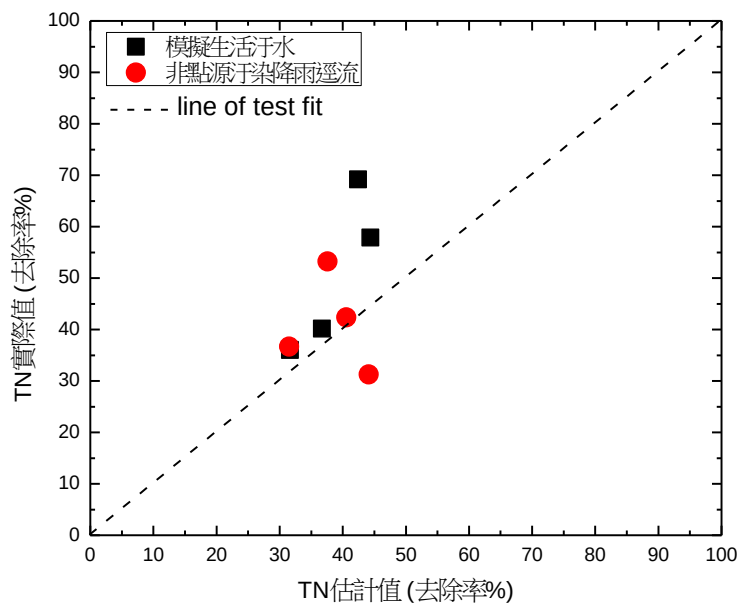


圖 11 本研究經驗公式模擬值與 TN 實際值去除率分析圖

表 1 透水鋪面系統中各濾料層污染物去除率與不同參數之相關性-以 COD 為例

參數	A 土(HRT)	B 建(HRT)	C 碎(HRT)	D (常數)	R	R ²
COD*	1.759	0.502	0.411	46.176	0.779	0.607
參數	A 土(m ³)	B 建(m ³)	C 碎(m ³)	D (常數)	R	R ²
COD*	89.482	23.183	124.373	47.618	0.491	0.241
參數	A 土(cm)	B 建(cm)	C 碎(cm)	D (常數)	R	R ²
COD*	0.243	0.115	0.441	47.545	0.288	0.083
** : COD去除率(%)。						

人才培育成果說明：

本產學合作計畫執行期間，培育了 1 位本校環境工程與科學系碩士班研究生，以「以透水鋪面系統現地改善優養化水體技術之研究」為口試題目，完全碩士班學位論文，並於執行期間，共有 3~5 大學部專題生共同參與計畫工作項目，完成基礎水質分析的訓練。

技術研發成果說明：

本研究利用透水鋪面系統改善優養化水體為目標，試驗各種透水鋪面的最佳水力負荷量：連鎖磚面層 A1 出流量 60.16 ± 5.21 L/day 為最差，碎石級配面層以 B2 出流量 266.88 ± 5.69 L/day，及植草皮面層以 C2 出流量 295.04 ± 6.41 L/day 為最佳；並且也獲得透水鋪面改善優養化水體中，透水鋪面系統最大負污染荷量 COD 去除速率為 $164.93 \sim 2137.49 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、BOD₅ 去除速率為 $19.97 \sim 379.35 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、總磷 TP 去除速率為 $4.64 \sim 179.97 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、總氮 TN 去除速率為 $27.26 \sim 571.12 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、葉綠素 Chl-a 去除速率為 $215.62 \sim 4650.05 \mu\text{g/m}^2/\text{day}$ 。另外也發展出透水鋪面系統改善優養化水體之經驗式：

$$COD(\%) = (1.759 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (0.502 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.411 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 46.176$$

$$BOD_5(\%) = (1.362 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (1.187 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.163 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 53.063$$

$$TP(\%) = (0.527 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (0.453 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.226 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 39.419$$

$$NH_4N(\%) = (-2.235 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (1.119 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (0.636 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 63.392$$

$$TN(\%) = (1.53 \times HRT_{\text{壓密土}}) + (0.717 \times HRT_{\text{建築水泥塊}}) + (-0.087 \times HRT_{\text{碎石級配}}) + 35.087$$

技術特點說明：

本產學合作研究計畫發展之關鍵技術：透水鋪面系統改善優養化水體之技術，結合景觀、設計規劃，可應用於公共領域的池塘、小型湖泊，以及私領域的魚塭系統、養殖塘的優養化水體改善，可供工程顧問公司、景觀設計公司，以及規劃設計公司規劃水塘時加入之技術，另外，本技術僅需 1 次動力即可完成水體的循環，可節省能源與人力。

可利用之產業及可開發之產品：

本研究發展之關鍵技術可供以下產業利用：

- 工程顧問業
- 景觀設計業
- 規劃設計業
- 水產養殖業
- 環保產業
- 永續校園

推廣及運用的價值：

本研究發展之關鍵技術除了可實際應用於類似之規畫設計標案，未來與本計畫主持

人所屬之研究團隊，透過其他技術的移轉或合作，還可跨入景觀規劃、生態處理與永續校園等領域，所提升之產值將需未來產業而定，但預期可以達到 100-200 萬元之產值。

計畫查核點自評表（請逐年填列）

一、本表為本計畫重要審查資訊，本表之期程可視產學合作計畫執行情況予以設定。（例如按月別、季別、半年別等均可）。

重要工作項目	查核內容概述				廠商參與情形概述			
	第一季	第二季	第三季	第四季	第一季	第二季	第三季	第四季
A不同透水鋪面系統優養化水的負荷能力	第二季(期中)與第四季(期末)將評估面積負荷與水質處理效益之關係。							
A1透水鋪面系統水質背景值與污染物殘留試驗	完成2次背景水樣監測工作	完成2次背景水樣監測工作	完成2次背景水樣監測工作	完成2次背景水樣監測工作				
A2不同面積負荷試驗	完成8次水樣監測工作	完成8次水樣監測工作	完成8次水樣監測工作	完成8次水樣監測工作				
B不同季節或溫度影響-溫度記錄	雖然有進行氣溫與水溫之監測工作，但水力負荷試程與季節性無法搭配，仍無法評估溫度對透水鋪面的影響。							
B1溫度與水質記錄	完成8次水溫與氣溫監測工作	完成8次水溫與氣溫監測工作	完成8次水溫與氣溫監測工作	完成8次水溫與氣溫監測工作				
C優養化水的處理與浮游性植物的關係	本項工作無法評估，出流水不含浮游植物							
C1浮游性植物採樣與監測	完成1次	-	-	-				
C2浮游性植物種類與數量與水質評估	監測一次後發現，出流水不含浮游植物，無法評估	-	-	-				
D處理優養化水時面臨的維護管理問題	第四季(期末)將評估水質與管理維護、景觀之關係。				協助提供透水鋪面系統設計與規劃之準則供記錄操作維護之參考。			
D1操作維護記錄	完成1次操作維護記錄工作	完成2次操作維護記錄工作	完成2次操作維護記錄工作	完成2次操作維護記錄工作	協助觀察透水鋪面系統操作狀況與並與實際狀況比較	協助觀察透水鋪面系統操作狀況與並與實際狀況比較	協助觀察透水鋪面系統操作狀況與並與實際狀況比較	協助觀察透水鋪面系統操作狀況與並與實際狀況比較

重要工作項目	查核內容概述				廠商參與情形概述			
	第一季	第二季	第三季	第四季	第一季	第二季	第三季	第四季
D2 編寫透水鋪面系統管理維護手冊				訂出最佳不同透鋪面的最佳力負荷與磚鋪系統之維護頻率。				協助提供透水鋪面的設計規劃準則與建議
E 透水鋪面系統與景觀結合可行性分析					由合作廠商評估與建議透水鋪面系統之設計準則，並融入水質設計參數。			
E1 水質分析數據、規劃設計建議評估	-	-	提供處理效益與水質供合作產商	提供處理效益與水質供合作產商	協助評估	協助評估	實驗應用為改良式透水鋪面系統	實驗應用為改良式透水鋪面系統
F 數據彙整與撰寫報告				收集資料並完成報告				協助完成報告

二、本產學合作計畫預估後續發展情形概述：

合作廠商已將本計畫之研究成果之技術應用於台南延平郡王祠池塘之優養化水體改善，並以配合景觀之方式改善技術應用方法，將原為垂直流的透水鋪面改為垂直與水平式的透水鋪面系統。另外，由於本研究已發展出可供立即實際應用的透水鋪面系統汙染物去除率經驗式，配合本計畫主持人所參與之生態工程技術研發中心研發技術需求，正式列為生態中心之研發技術之一，未來將以生態中心為技術應用與發展平台，只要未來承攬之公私部門計畫或合作企業廠商有技術需求，即可實際應用。

本產學合作計畫研發成果及績效達成情形自評表

成果項目		本產學合作計畫 <u>預估</u> 研究成果及績效指標 (作為本計畫後續管考之參據)	計畫達成情形
技術移轉		預計技轉授權 <u>1</u> 項	完成技轉授權 <u>1</u> 項
專利	國內	預估 <u>0</u> 件	提出申請 <u>0</u> 件，獲得 <u>0</u> 件
	國外	預估 <u>0</u> 件	提出申請 <u>0</u> 件，獲得 <u>0</u> 件
人才培育		博士 <u>0</u> 人，畢業任職於業界 <u>0</u> 人	博士 <u>0</u> 人，畢業任職於業界人
		碩士 <u>2</u> 人，畢業任職於業界 <u>2</u> 人	碩士 <u>1</u> 人，畢業任職於業界人
		其他 <u>1</u> 人，畢業任職於業界 <u>1</u> 人	其他 <u>1</u> 人，畢業任職於業界 <u>1</u> 人
論文著作	國內	期刊論文 <u>1</u> 件	發表期刊論文 <u>0</u> 件
		研討會論文 <u>1</u> 件	發表研討會論文 <u>2</u> 件
		SCI論文 <u>0</u> 件	發表SCI論文 <u>0</u> 件
		專書 <u>0</u> 件	完成專書 <u>0</u> 件
		技術報告 <u>1</u> 件	完成技術報告 <u>1</u> 件
	國外	期刊論文 <u>1</u> 件	發表期刊論文 <u>0</u> 件
		學術論文 <u>0</u> 件	發表學術論文 <u>0</u> 件
		研討會論文 <u>1</u> 件	發表研討會論文 <u>0</u> 件
		SCI/ SSCI論文 <u>0</u> 件	發表SCI/ SSCI論文 <u>0</u> 件
		專書 <u>0</u> 件	完成專書 <u>0</u> 件
		技術報告 <u>0</u> 件	完成技術報告 <u>0</u> 件
其他協助產業發展之具體績效		新公司或衍生公司 <u>0</u> 家	設立新公司或衍生公司(名稱): _____ _____
計畫產出成果簡述：請以文字敘述計畫非量化產出之技術應用具體效益。 (限600字以內)		協助產學合作公司將本研究發展之關鍵技術應用於公共工程之設計標案中。	

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2015/07/31

科技部補助計畫	計畫名稱：以透水鋪面系統現地改善優養化埤塘水體技術之開發研究		
	計畫主持人：荊樹人		
	計畫編號：104-2622-E-041-002-CC3		學門領域：環境工程
研發成果名稱	(中文) 以透水鋪面系統現地改善優養化埤塘水體技術之開發研究		
	(英文) Technical Study of Onsite Permeable Pavements to Improve nearby Water Quality of Eutrophicated Ponds		
成果歸屬機構	嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學	發明人 (創作人)	荊樹人, 林瑩峯
技術說明	(中文) 台灣位處亞熱帶與熱帶區域，埤塘、水池容易受到微量氮、磷營養鹽的介入，導致埤塘水體逐漸優養化，進而造成水質惡化並且影響埤塘水體的用途，甚至影響水質景觀與生態，尤其台灣有諸多公共區域的池塘，均有池水優養化，而必需不斷換水以維持水質，十分浪費水資源。透過降低水中的氮磷營養物質，以及抑制水體中懸浮性藻類的生長，可有效改善水體優養化與水質，目前已有多項生態處理技術可以達成此目標，然而這些技術需額外設置處理單元，無法池塘周邊設施景觀融入。國外有諸多文獻報導，透水鋪面系統可視為現地處理的生物處理單元，並可有效的削減公園、停車場或公共廣場的暴雨逕流污染，降低排水溝渠在暴雨時期的負荷，為節省能源且可永續操作的現地處理設施。		
	(英文) Therefore, operation for such ponds in public area in Taiwan is kept replacing the water so as to keep the quality. This kind of operation causes large amount of water consumption unnecessarily. The basic solution for such problem is removing nutrients from the waterbody, so that the algal growth then can be controlled and maintained the water quality at acceptable level. More importantly is that the water resource can be significantly reserved. Several international documents indicate that the permeable pavement can be treated as an onsite biological treatment unit. These units can be used for removing non-point pollution sources from parking lots, parks, and public activity areas in order to reduce the pollutant loadings to the sewage or receiving water systems during storm periods. Furthermore, the operation cost is also very low.		
產業別	漁業, 營造業, 顧問服務業, 設計業, 環保服務		
技術/產品應用範圍	漁牧業、工程顧問業、景觀設計、環保科技、營造類		
技術移轉可行性及預期效益	本關鍵技術應用範圍除了規劃設計業，其他尚包含環保產業、工程顧問產業，以及工程規劃設計產業，本計畫合作產商所獲得之關鍵技術除了可實際應用於類似之規畫設計標案，未來與計畫申請者所屬之研究團隊，透過其他技術的移轉或合作，還可跨入景觀規劃、生態處理與永續校園等領域。		

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

104年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：荊樹人				計畫編號：104-2622-E-041-002-CC3				
計畫名稱：以透水鋪面系統現地改善優養化埤塘水體技術之開發研究								
成果項目				量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇			
		研討會論文		2				
		專書		0	本			
		專書論文		0	章			
		技術報告		1	篇			
		其他		0	篇			
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件		
				已獲得	0			
			新型/設計專利		0			
		商標權		0				
		營業秘密		0				
		積體電路電路布局權		0				
		著作權		0				
		品種權		0				
		其他		1	關鍵技術			
	技術移轉	件數		1	件			
		收入		7	千元			
國外	學術性論文	期刊論文		0	篇			
		研討會論文		0				
		專書		0	本			
		專書論文		0	章			
		技術報告		0	篇			
		其他		0	篇			
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件		
				已獲得	0			
			新型/設計專利		0			
		商標權		0				
		營業秘密		0				
		積體電路電路布局權		0				
		著作權		0				
		品種權		0				
		其他		0				

	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	2	人次	
		碩士生	2		完成碩士學位論文1位
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)			1. 合作廠商/初期技轉廠商，將研究所發展之關鍵技術，結合景觀並改良應用於台南市延平郡王祠池塘水質優養化改善。 2. 列為計畫主持人參與之生態中心的關鍵技術之一。		

本產學合作計畫研發成果及績效達成情形自評表

成果項目		本產學合作計畫預估研究成果及績效指標 （作為本計畫後續管考之參據）	計畫達成情形
技術移轉		預計技轉授權 1 項	完成技轉授權 1 項
專利	國內	預估 1 件	提出申請 0 件，獲得 0 件
	國外	預估 1 件	提出申請 0 件，獲得 0 件
人才培育		博士 1 人，畢業任職於業界 1 人	博士 0 人，畢業任職於業界 0 人
		碩士 1 人，畢業任職於業界 1 人	碩士 1 人，畢業任職於業界 1 人
		其他 1 人，畢業任職於業界 1 人	其他 1 人，畢業任職於業界 1 人
論文著作	國內	期刊論文 1 件	發表期刊論文 0 件
		研討會論文 1 件	發表研討會論文 2 件
		SCI論文 1 件	發表SCI論文 0 件
		專書 1 件	完成專書 0 件
		技術報告 1 件	完成技術報告 1 件
	國外	期刊論文 1 件	發表期刊論文 0 件
		學術論文 1 件	發表學術論文 0 件
		研討會論文 1 件	發表研討會論文 0 件
		SCI/SSCI論文 1 件	發表SCI/SSCI論文 0 件
		專書 1 件	完成專書 0 件
		技術報告 1 件	完成技術報告 0 件
其他協助產業發展之具體績效		新公司或衍生公司 1 家	設立新公司或衍生公司(名稱)：
計畫產出成果簡述： 請以文字敘述計畫非量化產出之技術應用具體效益。 （限600字以內）		協助合作廠商將技術應用於台南延平郡王祠水池，改善水池優養化現象。	