

綠建築截蓄保水設施對生態校園輔助效益之研究 —以明道大學為例

林文賜¹ 張鑫崴²

1.明道大學綠環境設計學系教授

2.明道大學綠環境設計學系國科會專題生

摘 要

基地保水指標為綠建築法規最具象徵指標之一，藉由促進基地的透水設計並廣設貯留滲透水池的手法，可促進大地的水循環能力、改善生態環境、降低公共排水設施容量，以及減少都市洪水之發生。本計畫分析明道大學校園基地規劃前後之各項設施配置變化，並配合基地之開發前後文獻蒐集及現地調查，輔以綠建築之基地保水指標評估基地內各項地表逕流節水設施之配置效益，計算結果顯示研究地區之基地保水指標值大於0.7以上，符合綠建築相關規範規定。

關鍵詞：綠建築、基地保水指標、截蓄保水設施

壹、前言

以往校園空間規劃，如建築物周邊廣場、停車場、人行步道及環校道路等，常採用不透水鋪面施作，造成大地喪失良好的吸水、滲透、保水能力，減弱滋養植物的能立即喪失生物棲息空間，也無法發揮大地自然調節氣候的功能，甚至引發居住環境日漸高溫化的「熱島效應」。以往的防洪觀念，係將基地內的雨水儘速往鄰地排出或引流至排水系統，造成集流時間縮短及洪峰流量增大的效應，亦造成公共排水設施極大的負擔，形成低窪地區每到大雨即淹水的窘境。

綠建築依生態、節能、減廢、健康等四大主軸，並細分為九項指標來評估「綠建築標章」，包括生物多樣性、綠化量、基地保水、日常節能、CO₂減量、廢棄物減量、室內環境、水資源及污水垃圾改善等指標，其中又以基地保水指標最具象徵，保水指標是藉由促進基地的透水設計並廣設貯留滲透水池的手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫化現象、降低公共排水設施容量、減少都市洪水之發生。

基地保水指標為綠建築法規最具象徵指標之一，藉由促進基地的透水設計並廣設貯留滲透水池的手法，可促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫化現象、降低公共排水設施容量、減少都市洪水之發生。近年已有甚多相關研究，探討基地保水指標在國中小校園規劃、都市鄰里公園、大型公共設施等應用。傅奕靜(2000)利用綠建築之基地保水指標，結合水利的觀點，探討基地保水指標對滯洪池容積的影響，並提出一套設計滯洪池的流程，期能對大型公共工程開發之單位提供一套示範準則作為參考。王希智(2001)以綠建築中綠化及基地保水評估指標，應用於國民中小學校園評估，做為校園規劃之實質改善依據，以及提供該項評估指標更多調查數據資訊，以作為日後該項指標調整、修正之參考，藉以健全綠建築評估制度之發展。陳富強(2003)利用 921 地震重建之 18 所國民中小學調查所得之資料，採用「敘述統計」與「回歸分析」兩種方法進行深入分析，以瞭解綠建築指標執行狀況與重建校園環境品質。洪銀龍(2003)以台北市為研究範圍，進行都市鄰里公園基地保水現況之調查與

評估。黃群祥(2005)結合基地保水指標與合理化公式，探討中興大學校園每逢颱風期間之淹水問題。

常用地表逕流之截蓄保水設施主要為滯洪池、水塘或濕地及透水鋪面等截水設施，以降低洪峰流量。本計畫擬以非監督類神經網路模式分析明道大學校園基地規劃前後之各項設施配置變化，並配合基地之開發前後文獻蒐集及現地調查，輔以綠建築之基地保水指標評估基地內各項地表逕流截蓄保水設施之配置效益，提供基地保水指標之量化依據，做為校園空間建設規劃之依據，並作為公共建設成效評估及理念推廣之參考。

貳、研究材料與方法

一、研究地區

本研究之範圍為明道大學如圖 1，其位於彰化縣埤頭鄉園圃農場附近，深具優美之自然生態景觀，在校園規劃與配置上，以生態保育觀點出發，著重低密度建築、高比例綠地空間、防災滯洪池規劃及營造極佳生物棲地。近年來校園之生態綠美化、螢火蟲棲地營造及蠡澤湖週邊設施改善等不遺餘力。基於永續校園發展的念與構想，將綠建築之截蓄保水設施融入生態校園之規劃中。

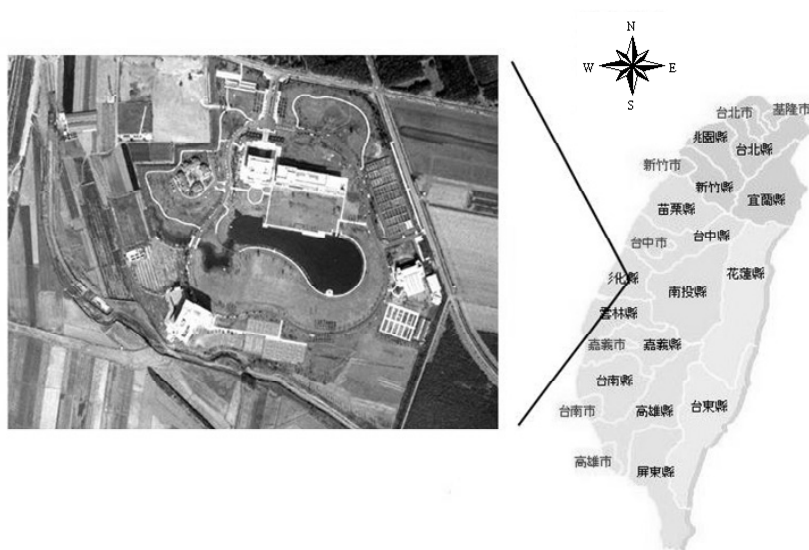


圖 1 研究地區

二、研究方法

(一)保水設施調查

利用 GIS (Geographic Information Systems)的基本功能製作出明道大學各種保水設施之圖層，用圖層套疊將各個圖層以一覽明瞭的方式套疊，如圖 2。

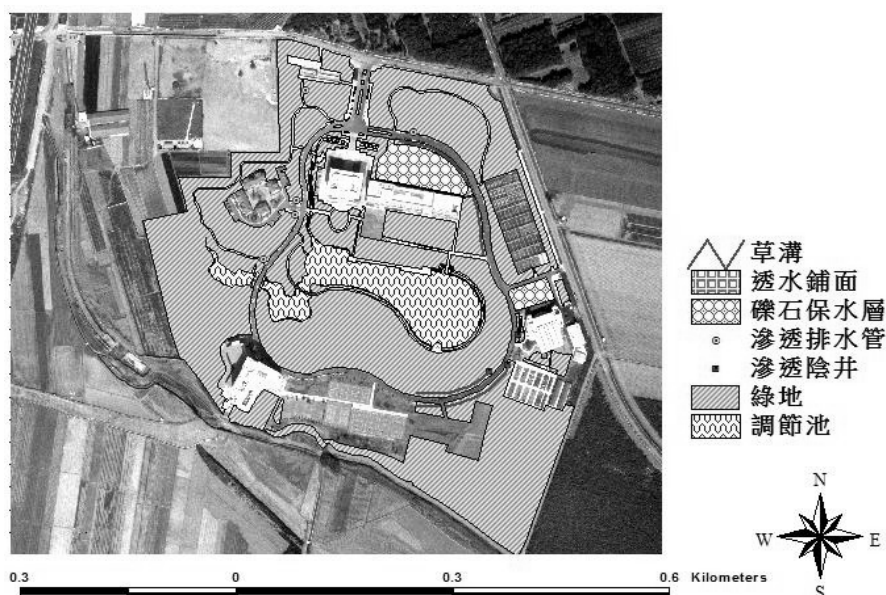


圖 2 明道大學保水設施示意圖

(二)保水量計算

在綠建築規劃概念中，加強基地保水性能的手法，大致可分為四大類（林憲德，2005）：

1. 基地保水之規劃設計增加土壤地面－可增加雨水的直接入滲效果，通常土壤地面用來作為種植植栽的綠地，屬於最自然、最環保的保水設計。
2. 增加透水鋪面－一般良好透水鋪面的透水性能相當於裸露土地，可以增加透水鋪面積。
3. 貯留滲透設計－就是讓雨水暫時貯存於水池、低地，再慢慢以自然滲透方式滲入大地土壤之內的方法，是一種兼具防洪功能的生態透

水設計。

4. 花園雨水截留設計—指設置於建築物屋頂、陽台及有地下室地面等人工地盤上的花園植栽槽，採用截留雨水的設計，已達到部份保水的功能。

上述基地保水目的，主要著眼於以往建築基地環境開發常採用不透水鋪面計，造成大地喪失良好的吸水、滲透、保水能力，減弱滋養植物及蒸發水分潛熱的能力，無法發揮大地自然調節氣候的功能，甚至引發居住環境日漸高溫化的「都市熱島效應」。

基地保水設施指標之計算，係參酌內政部建築研究所在 2005 年更新版之「綠建築解說與評估手冊」針對基地保水性能的指標與基準。該項評估以基地保水指標(λ)為計算標準，其意涵為開發前自然土地之保水量與開發後之土地保水量之相對比值，計算公式如下式。 λ 值越大，代表保水性能越佳，反之則越差。 $\lambda=1.0$ 時，代表土地開發行為完全無損於原來自然裸露土地的保水功能，但是所有開發均多少會損及土壤保水性， λ 通常會小於 1.0。由於 λ 是一個相對比值，因此對於不同滲透能力土壤的保水設計，才会有較相近的難易度，才能取得較公平客觀的評估結果。如計算法所示，最後計算的基地保水指標 λ 必須大於基準 λ_c 才符合綠建築的要求。

$$\lambda = \frac{\text{開發基地保水量 } Q'}{\text{原土地保水量 } Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \cdot K \cdot t} \geq \lambda_c$$

式中，

λ ：基地保水指標(無單位)

λ_c ：基地保水指標基準。學校校園整體評估採 0.5，但其他建築基以及學長局部基地分割評估時，採 $\lambda_c=0.8 \times (1-r)$

Q' ：各類截蓄保水設施之保水總量(m^3)、亦即 $\sum_{i=1}^n Q_i$

Q_i ：各類截蓄保水設施之保水量(m^3)，其計算方式如表 1。

Q_0 ：原土保水量(m^3)

A_0 ：基地總面積(m^2)。已申請建造一宗基地範圍為原則。若為單一宗基地內局部新建執造，可以全宗基地綜合檢討或依基地內合理分割範圍單獨檢討。所謂合理分割，即以建築物周圍道路或設施邊界，或與他棟建築物之中線區分為準，基地劃分需以方整為原則。

r ：法定建蔽率，學校局部基地分割評估時， r 為實際建蔽率，無單位，但 $r > 0.85$ 時，另 $r = 0.85$

$\bar{k}$ ：基地土壤滲透係數基準值(m/s)，以表層 2m 以內土壤認定之。應先依建築技術規則建築構造篇第六十四條的規定作鑽探調查，將鑽探結果中表層 2m 以內的土壤之「統一土壤分類」代入表 2 已取得 k 值為；未符合本條規定而無須做鑽探調查者，則可由經驗判斷其表土可能之土質，並代入表 3 已取得 k 值為 $\bar{k}$ 。但 $k < 10^{-7} m/s$ 時，則另 $\bar{k} = 10^{-7} m/s$ ；亦即基準值不得小於 $10^{-7} m/s$ 。

t ：最大降雨延時，取 158400s(44hr)，表 1 為各類截蓄保水設計保水量計算及參數說明保水設施之圖層。

表 1 各類截蓄保水設計保水量計算及參數說明

截蓄保水設施之保水量 Q_i (m^3)	保水量 Q_i 計算式	參數說明
綠地、植生覆蓋地、草溝 Q_1	$Q_1 = A_1 \times k \times t$	A_1 ：綠地、植生覆蓋地、草溝等之面積(m^2) K ：滲透系數(m/s)
透水鋪面保水量 Q_2	$Q_2 = A_2 \times k \times t + 0.15 \times h \times A_2$	A_2 ：透水鋪面面積(m^2) h ：透水鋪面積底厚度(m) k ：連鎖磚滲透系數約 $1.6 \times 10^{-4}(m/s)$
人工地盤貯留設施保水量 Q_3	$Q_3 = 0.05 \times V_3$	V_3 ：人工地盤土壤體積
濕地、滯洪池、調節池等設施保水量 Q_4	$Q_4 = A_4 \times k \times t + V_4$	A_4 ：截蓄設施可透水投影面積(m^2) V_4 ：高低水位差之有效蓄水體積(m^3)
礫石層保水量 Q_5	$Q_5 = A_5 \times k \times t + 0.2 \times V_5$	A_5 ：礫石層地表面積(m^2) V_5 ：礫石層體積(m^3)
滲透排水管保水量 Q_6	$Q_6 = 2.0 \times k \times L \times t + 0.069 \times L$	L ：滲透排水管總長度(m)
滲透陰井保水量 Q_7	$Q_7 = 3.0 \times k \times n \times t + 0.015 \times n$	N ：滲透陰井個數
滲透側溝保水量 Q_8	$Q_8 = 2.0 \times k \times L \times t + 0.057 \times L$	L ：滲透側溝總長度(m)
其他截蓄保水設施 Q_n	$Q_n = \text{使用者自訂}$	設計者自行計算

原土地保水量	$Q_0 = A_0 \times \bar{k} \times t$	$\bar{k}$ ：基地土壤滲透系數基準值 (m/s)，已表層 2m 以內土壤 認定之
--------	-------------------------------------	--

(三)自我組織圖類神經網路

Kohonen 在 1973 年提出自我組織映射網路或稱為自我組織特徵映射網路(Self-Organizing Map, SOM) (Kohonen, 1997)，其為一種非監督是學習(Unsupervised learning)之類神經網路，可從輸入資料中發掘資料本身之特徵與關連性，並且將學習結果與輸出層來展現，當網路學習完畢後，輸出層之神經元相鄰近者則具有相似的功能，也就是具有相似之連結加權值，最後輸出層之神經元會依照輸入向量之特徵，以有意義之拓撲結構展現，亦即映射網路本身會形成一特定之組織結構，此種映射網路可稱為自組織圖(圖 3)。

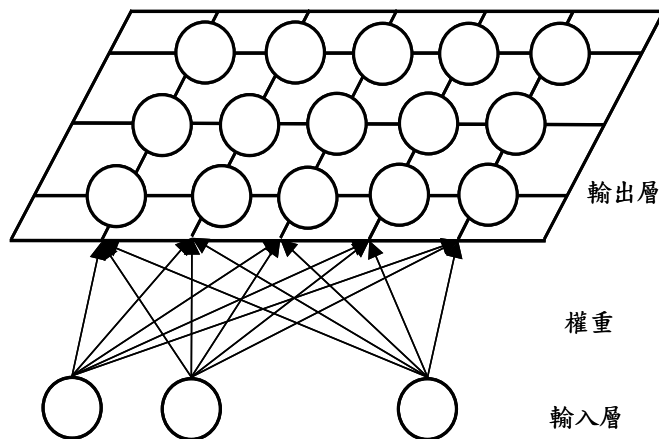


圖 3 SOM 網路架構

SOM 網路架構系由輸入層及輸出層所組成，在輸入層中的每一個神經元代表著輸入資料的屬性，並每一個神經元皆互相獨立且擁有互相獨立的權值。而對於輸出層而言，為二維格子網狀之拓撲架構，並且輸出層神經

元與輸入層神經元有相互連接的網路關係，其方式也是以權值向量來表示。而映射網路的輸出層會依據輸入資料的特性以有意義的拓撲結構展現，所顯示的拓撲結構可以反映出輸入資料的分佈，通常網路拓撲可以由任意形狀及任意維度的網路拓撲所組成，而常用之網路拓撲模式，以二維矩形形式居多，其可以反映資料的分佈狀況，及藉由圖形顯現資料的分類情形。

自我組織映設網路演算法乃藉由特徵映射將高維度之輸入資料映射至低維度的特徵空間上。換言之，此種非線性投影之方式是透過權值向量的學習，而使得輸出神經元能保有資料間之鄰近關係，並以二維或低維之拓撲網路表示其資料分佈。SOM 演算法為一個疊代過程，

其學習之步驟說明如下：

Step1：以隨機方式給定初始權重值 $\theta_j(0)$ ，並設定學習循環次數 $t=0$ 。

Step2：將輸入向量資料 x 傳給 SOM 網路，計算在第 t 次學習輸入向量資料與權重值間之 Euclidean 距離 (d_j)，公式如下：

$$d_j = \|x_i - \theta_j(t)\|$$

Step3：找出最佳匹配單元 (Best Matching Unit, BMU)。

$$u_c = \min\{d_j\}$$

Step4：更新神經元之權重值。

$$\theta_j(t+1) = \theta_j(t) + \eta(t)h_{cj}(t)[x(t) - \theta_j(t)]$$

式中之 $\eta(t)$ 為學習速率， $h_{cj}(t)$ 為鄰近函數，在本研究中係採用高斯函數，其公式如下：

$$h_{cj}(t) = \exp\left(-\frac{\|r_j - r_c\|}{2\sigma^2(t)}\right)$$

式中之 $\sigma(t)$ 為鄰近半徑，而 $\|r_j - r_c\|$ 為拓樸距離。

Step5: 反覆學習直到網路收斂為止。

參、結果與討論

一、現地調查成果之保水指標評估

調查明道大學校內的截蓄保水設施，其位置分布如圖 4，基地內所含保水設施有綠地(A1~A26)，其總面積為 155936.47 m²，草溝(A27~A31)，其總長度為 446.78 m，透水鋪面(B1~B3)，其總面積為 387.58 m²，濕地(C1~C2)，其總面積為 3964.34 m²，滯洪池(C3)，其總面積為 16327.10 m²，調節池(C4~C7)，其總面積為 721.47 m²，礫石層保水(D1~D3)，其總面積為 8121.8 m²，滲透排水管(E1~E2)，其總長度為 38.89 m，滲透陰井(F1~F5)，其總共 5 個，計算出各個截蓄保水設施的保水量如表 2，基地開發前為綠地，面積為 289200.00 m²，保水量為 458092.80 m³，綠地保水量為 247003.37 m³，草溝保水量為 707.70 m³，透水鋪面保水量 985.77 m³，濕地保水量為 12226.03 m³，滯洪池保水量為 58516.33 m³，調節池保水量為 1359.25 m³，礫石層保水保水量為 12897.42 m³，滲透排水管保水量為 125.89 m³，滲透陰井保水量為 23.84 m³，基地為學校校園，其基地保水機準值 λ_c 在學校校園評估中取 0.50，本區土壤分布為砂土為不良級配沙，土壤滲透係數 $K=10^{-5}$ ，經過表 2 分析結果明道大學之基地保水指標 λ 為 0.73，而法定保水指標 λ_c 為 0.50，亦符合規定。

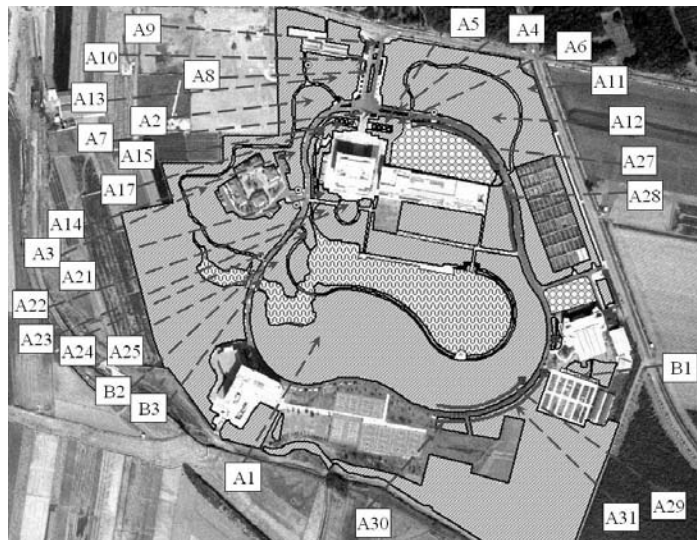


圖 4A 保水設施位置分佈(A 及 B 類)

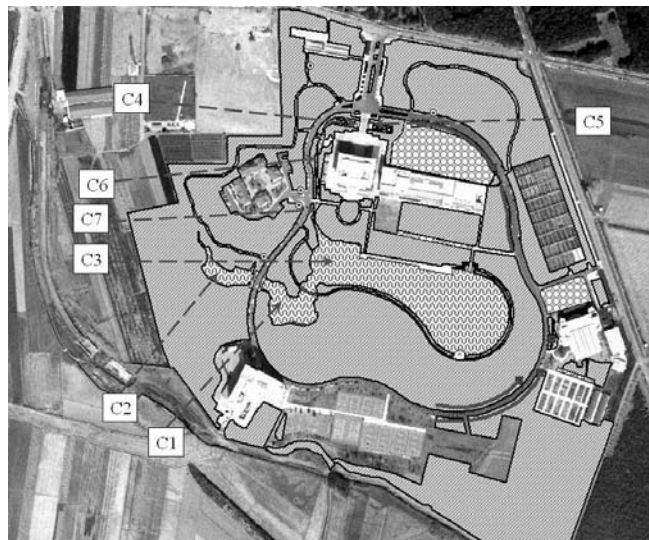


圖 4B 保水設施位置分佈(C 類)

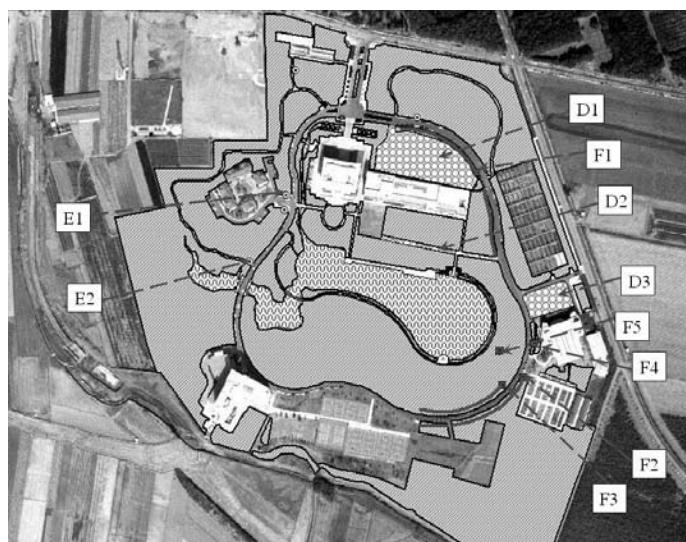


圖 4C 保水設施位置分佈(D、E 及 F 類)

表 2 明道大學截蓄保水設施列表

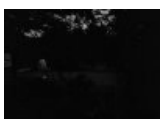
編號	設施名稱	保水設施類型	面積 m^2 / 長度 m	保水量 m^3	照片
A1	草地	綠地	32393.89	51311.92	
A2	草地	綠地	1162.30	1841.08	
A3	草地	綠地	13736.53	21758.66	

綠建築截蓄保水設施對生態校園輔助效益之研究-以明道大學為例

A4	草地	綠地	89.26	141.39	
A5	草地	綠地	74.17	117.49	
A6	草地	綠地	1162.30	1814.08	
A7	草地*2	綠地	35.38	56.04	
A8	草地	綠地	125.80	199.27	
A9	學校正門警衛室	綠地	41.97	66.48	
A10	學校正門旁	綠地	40.57	64.26	
A11	草地	綠地	1255.03	1987.97	
A12	學校正門左方	綠地	8952.74	14181.14	

A13	學校正門停車場外	綠地	2723.21	4313.56	
A14	草地	綠地	1776.87	2814.56	
A15	朱熹橋旁	綠地	65.34	103.50	
A16	白如橋旁	綠地	324.42	513.88	
A17	柏齡大樓外側	綠地	386.36	611.99	
A18	蠡澤湖外側	綠地	394.61	625.06	
A19	草地	綠地	8777.54	13903.62	
A20	草地	綠地	29188.56	46234.68	
A21	承正圖書館外	綠地	655.95	1039.02	

綠建築截蓄保水設施對生態校園輔助效益之研究-以明道大學為例

A22	承正圖書館外	綠地	2073.39	3284.25	
A23	承正圖書館外	綠地	569.66	902.34	
A24	蠡澤湖外側	綠地	506.83	802.82	
A25	草地	綠地	1597.23	2530.01	
A26	思亮橋旁	綠地	29188.56	46234.68	
A27	學校萊爾富外	草溝	112.97	178.94	
A28	學校萊爾富外	草溝	80.82	128.02	
A29	籃球場外道	草溝	109.66	173.70	
A30	籃球場內道	草溝	33.22	52.62	

A31	籃球場內道	草溝	110.11	174.41	
B1	寒梅老師停車場	透水鋪面	229.33	583.28	
B2	思亮橋右側	透水鋪面	89.28	227.07	
B3	思亮橋左側	透水鋪面	68.97	175.42	
C1	蠡澤湖旁	濕地	2504.39	7723.54	
C2	螢火蟲復育濕地	濕地	1459.95	4502.49	
C3	蠡澤湖	滯洪池	16327.10	58516.33	
C4	朱熹橋旁的調節池	調節池	310.96	585.85	
C5	朱熹橋旁的調節池	調節池	199.10	375.10	

綠建築截蓄保水設施對生態校園輔助效益之研究-以明道大學為例

C6	白如橋旁的調節池	調節池	120.30	226.65	
C7	白如橋旁的調節池	調節池	91.11	171.65	
D1	開悟大樓外停車場	礫石層保水	5866.65	9316.24	
D2	承正圖書館走道	礫石層保水	439.99	698.70	
D3	寒梅大樓停車場	礫石層保水	1815.16	2882.47	
E1	鐸韻雅竹外走道	滲透排水管	—	61.47	
E3	鐸韻雅竹左側草皮	滲透排水管	—	64.42	
F1	開悟停車場外	滲透陰井	—	4.77	
F2	寒梅大樓外	滲透陰井	—	4.77	

F3	寒梅大樓斜方	滲透陰井	—	4.77	
F4	寒梅大樓外	滲透陰井	—	4.77	
F5	蠡澤湖旁、寒梅大樓	滲透陰井	—	4.77	

二、SOM 模式分析成果之保水指標評估

將研究地區 92 年及 98 年之 SPOT 5 衛星影像資料，以 SOM 模式分類為透水鋪面、水體、不透水鋪面如圖 5，綠色為透水鋪面、藍色為水體及紅色不透水鋪面，各年度之分類面積：92 年之透水鋪面面積為 167400.00m²、水體面積為 22800.00m²、不透水鋪面面積為 99000.00 m²；98 年之透水鋪面面積為 161100.00 m²、水體面積為 22700.00 m²、不透水鋪面面積為 105400.00 m²。而保水量之計算：92 年的透水鋪面保水量為 265161.60 m³、水體的保水量為 81715.20 m³；98 年之透水鋪面保水量為 255182.40 m³，水體的保水量為 81356.80 m³。以基地保水指標進行分析，92 年之基地保水指標 λ 為 0.76，98 年之基地保水指標 λ 為 0.73，相較於法定保水指標 λ_c 為 0.50，明道大學之校園規劃與開發皆符合法規之規定。而 98 年之保水指標較 92 年少 0.03，其主要原因校區在 96 年興建承正圖書館，面積為 1311.30 m²。評估結果顯示，明道大學之校園係以符合綠建築之基地保水指標之概念進行空間配置，不僅可促進大地之水循環能力、改善生態環境、降低公共排水設施容量，以及減少都市洪水之發生。

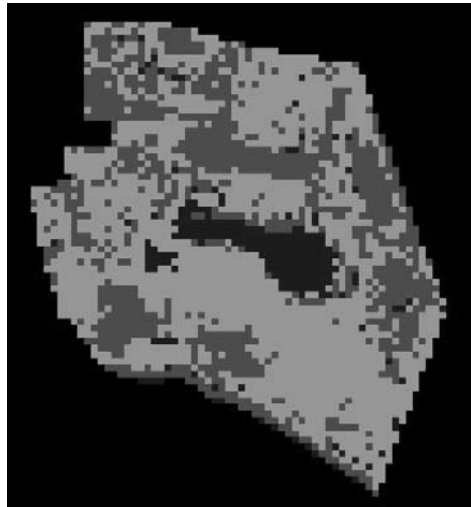


圖 5 92 年之 SOM 分類成果



圖 6 98 年之 SOM 分類成果

肆、結論

基地保水指標為綠建築法規最具象徵指標之一，藉由促進基地的透水

及保水設計，促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候及減少都市洪水之發生。本研究評估顯示，明道大學之校園規劃與配置，不論是以現地調查或類神經網路分析，基地保水指標值皆大於 0.7 以上，符合綠建築相關規範規定。基地保水指標不僅可作為校園空間建設規劃之量化依據，並可作為公共建設成效評估及理念推廣之參考。

伍、參考文獻

1. 王希智，2001，「綠建築」中「綠化」及「基地保水」評估指標與國民中小學校園之應用－以新竹市為例，逢甲大學建築與都市計劃所碩士論文。
2. 林憲德，2005，綠建建築解說與評估手冊（2005 年更新版），內政部建築研究所。
3. 洪銀龍，2003，都市鄰里公園基地保水現況調查評估之研究－以台北市為例，中國文化大學建築及都市計畫研究所碩士論文。
4. 陳富強，2003，綠建築評估指標與南投縣 921 重建之國民小學之應用，逢甲大學建築與都市計畫所碩士論文。
5. 黃群祥，2005，綠建築中基地保水指標應用於校園規劃之探討－以中興大學為例，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
6. 傅奕靜，2000，應用基地保水指標於大型公共建設滯洪池容量推估之研究－以台南科學園區為例，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
7. Kohonen, T., 1997. Self-organizing Maps, Springer, Berlin.

Runoff retention facilities evaluation using water resources conservation index for green architecture – A case study at Ming Dao University

Abstract

In green architecture regulation, water resources conservation index is a critical evaluating index. By the design of runoff retention facilities, it can promote the water cycle for the developed land, improved the eco-environmental system and reduce the occurrence of urban flooding. The objectives of this study are to evaluate the benefits of runoff retention facilities at Ming Dao University and calculate the water resources conservation index by airborne images and on-site survey. The analyzed results indicated that the values of water resources conservation index in studied site are greater than 0.7. Obviously, the development of Ming Dao University conformed to the regulation of green architecture.

Keywords : Green architecture, Water resources conservation index, Runoff retention facilities