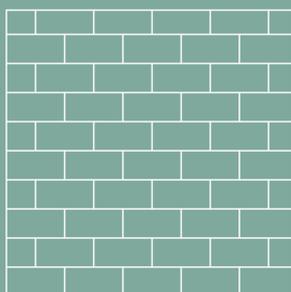


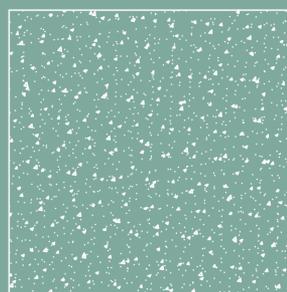
透水鋪面 PERMEABLE PAVEMENTS



透水混凝土磚

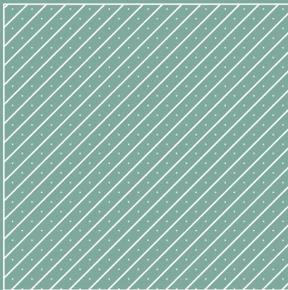


透水混凝土鋪面

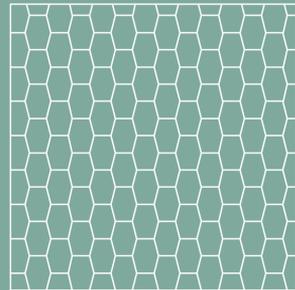




多孔隙瀝青鋪面



非連續拼接或鏤空鋪面



設施說明

透水鋪面 (permeable pavement) 係將透水性良好之材料或高孔隙率之級配應用於面層與底層，使雨水直接通過多孔性人工鋪面滲入路基土壤，利用滲透和表面蒸發處理地表逕流，讓水可還原於地下，減少施作排水設施，並減輕排水系統的負擔。依材質與施工方式之不同可分為：透水混凝土磚 (permeable concrete blocks)、透水混凝土鋪面 (permeable concrete pavement) 及多孔滲瀝青鋪面 (porous asphalt pavement) 等 3 種。另有利用鋪面與鋪面間間隙透水之非連續拼接或鏤空鋪面，例如俗稱植草磚之混凝土格框鋪面 (concrete grid pavements)。分別說明如下：

透水鋪面類型：

- (1) 透水混凝土磚
- (2) 透水混凝土鋪面
- (3) 管式透水鋪面
- (4) 多孔滲瀝青鋪面
- (5) 非連續拼接或鏤空鋪面

透水混凝土磚

為使用水泥、粒料、摻和物、化學添加劑及其他無機物質添加物等原料製作之透水性地磚，水流可進入高透水材質空間及鋪面接縫，再向下入滲進入碎石鋪層以進行貯水。

透水混凝土鋪面

透水混凝土又稱無細骨材混凝土，為 1 種骨材粒徑分佈在狹窄級配範圍內，並且含 (無) 微量細骨材加上不足量膠結漿體構成的多孔滲複合材料，其中骨材可以是碎石、人造輕骨材、再生骨材或其它強度較高的建築廢棄物等。透水混凝土藉由粗粒料表面的水泥砂漿體，使粒料表面接觸互相固結而發揮強度，同時形成多孔滲的結構體，提供透水功能，有時會在透水混凝土上方另外鋪設其他透水性材料，增加耐損性及美觀。

管式透水鋪面

以鑽孔或導管架構與混凝土或其他材料結合，而形成有導水孔洞之鋪面結構體，鋪面上之雨水可經導水孔洞流至路基，而藉此提供透水功能。

多孔隙瀝青鋪面

具高孔隙率之排水性材料，又名開放級配瀝青混合料（因為除去傳統密級配瀝青混合料中之中等粒料骨材），其空隙率約 20% 左右，能使降於鋪面上的水由大量的孔隙迅速滲透至路基，避免在鋪面上形成水膜，減少行車打滑與水沫飛濺的現象，甚至可降低噪音。

非連續拼接或鏤空鋪面

為目前最常見之鋪面磚，常見之植草磚即屬此類，但易與透水混凝土磚混淆。非連續性拼裝塊狀鋪面通常多為不透水，其鋪面之間隙填入細砂，鋪面下採用透水性底層（如無細骨材混凝土、砂土層），鏤空鋪面則直接提供植被生長的環境及水流入滲，可供人車行走而不至造成植物壞死。



透水混凝土鋪面



非連續拼接鋪面



管式透水鋪面

資料來源：編輯團隊攝影

透水鋪面適用性：

- ▲ 都市高密度開發地區
- ▲ 停車場及低交通量的道路
- ▲ 荷重條件較溫和的行人步道、自行車道、廣場或公園等開放空間

適用性

透水性鋪面之強度較一般道路或排水性路面低，故適合用於荷重條件較溫和（低、小、輕）的行人步道、自行車道、廣場或公園等開放空間；在適當維護下，亦可設置於停車場及低交通量的道路。臺灣由於人行道寬度較不足，透水鋪面即為適宜的 LID 設施。

透水混凝土鋪面之抗壓強度較傳統混凝土路面低，載重力受限，雖可用於車流輛及載重略大之區域，但表面磨損速度會較傳統混凝土路面快；多孔隙瀝青在美國已應用於高速公路多年，常被納入綠色城市基礎建設及 LID 計畫，臺灣的國道 6 號及五楊高架道路亦有採用；透水混凝土磚一般適用於人行步道、公園或廣場等區域。

設計原則

完整之設計結構由上往下依序為：鋪面層、襯墊層、級配基層、級配底基層（在要求較佳水質狀況下，可用過濾貯水層取代）、土工織布、排水管等。

各層設計原則說明如下：

鋪面層 (surface course)

- 功能** | 鋪面層即為表面層，其功能為透水與抗壓。
- 材料規定** | 透水混凝土磚、透水混凝土鋪面、多孔隙瀝青鋪面、管式透水鋪面及非連續拼接或鏤空鋪面等設施，其材料、透水性及抗壓強度等，應分別符合公共工程委員會施工規範第 02795 章、第 02798 章、第 03378 章及其 CNS 相關規定。
- 設計厚度** | 鋪面層設計厚度需因地制宜，如人行道、廣場或公園等區域之荷重較低，通常採用 6~8 cm 的鋪面厚度，而停車場等車輛行駛區之荷重相對較高，其鋪面設計厚度則採用 8~15 cm。
- 設計注意事項**
- A、內政部營建署之「市區道路人行道設計手冊」中建議，欲維持人行道鋪面的平整及耐用，一般僅考慮人行之區域，其鋪面材料之抗壓強度應達 350 kgf/cm^2 (5,000psi) 以上即可；若人行道上有機車行駛、停放之區域，則建議鋪面材料抗壓強度應達 500 kgf/cm^2 (7,000psi) 以上。
 - B、如果有車輛負荷需求，沿著區域邊界需裁切之單一鋪面磚不應小於原本的 $1/3$ 。
 - C、透水性鋪面若有 5~10 cm 之路緣，可防止水流擴散，提升入滲效益。
 - D、為使透水鋪面具有一定之保水滲透能力，橫斷坡度應介於 1.5~2%，縱坡度應小於 8%。
 - E、透水鋪面之滲透係數 k 值應大於 10^{-2} cm/sec ，而孔隙率應大於 15%。

透水鋪面結構：

- ▲ 鋪面層：6~15 cm
- ▲ 排水管：直徑 5~15 cm
- ▲ 襯墊層：3~5 cm
- ▲ 土工織布
- ▲ 級配基層：15~45 cm
- ▲ 級配底基層或過濾貯水層：15~25 cm

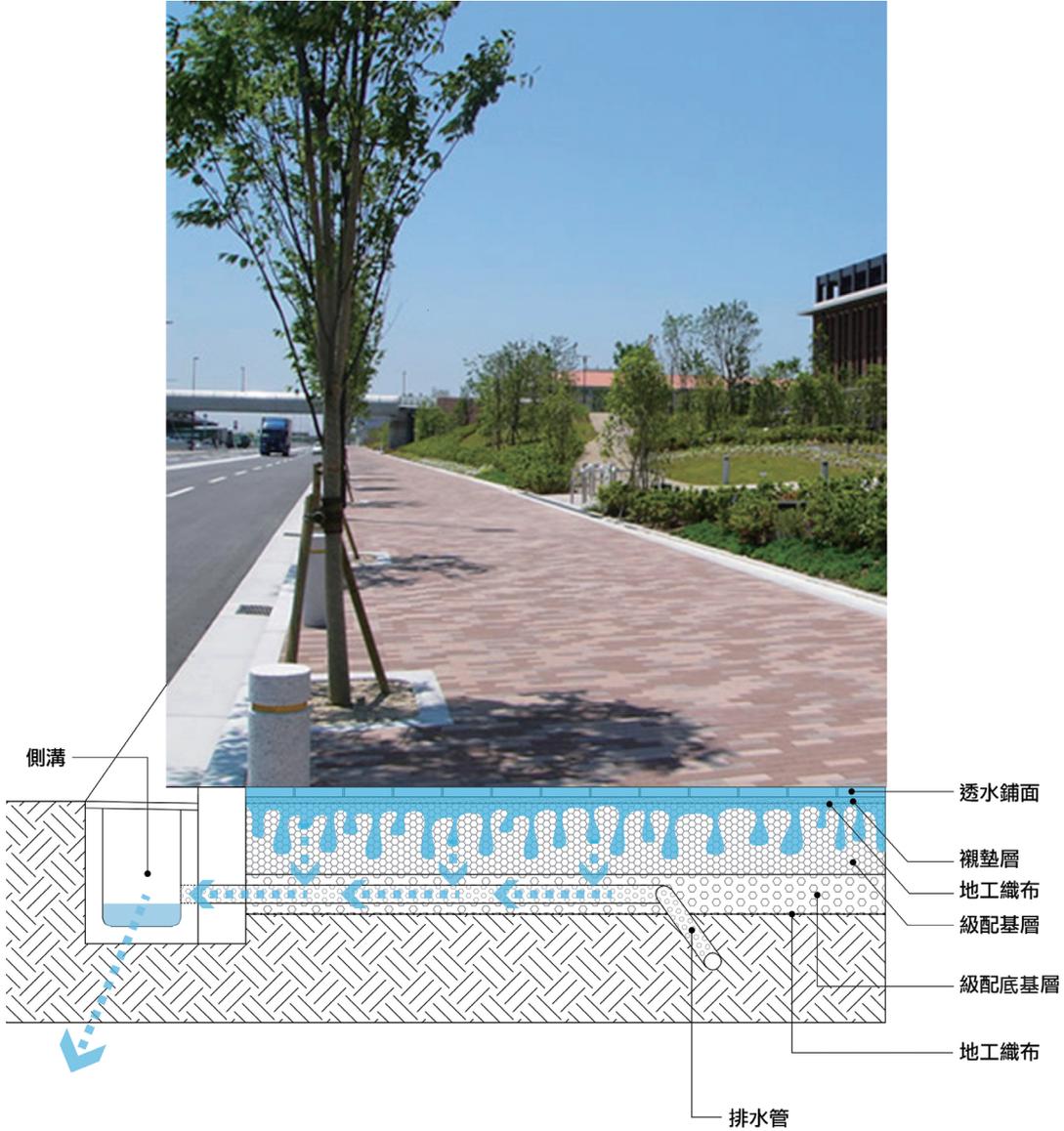
襯墊層 (bedding course)

功能	襯墊層之主要功能為維持上方鋪面層之平整度，並有過濾功能，若鋪面層為多孔隙瀝青或透水混凝土，可視需求及工法選擇是否設置。
材料選用	須為質地堅硬、潔淨且乾燥之砂，粒徑 1~2 mm 細砂或 2~4 mm 粗砂 (清碎石)，且不含黏土、植物或其他雜質。亦可採美國材料試驗協會 (ASTM) 粗骨材標準尺寸表所規範之 8 號骨材級配 (粒徑大小約相當於 5 mm)。
設計厚度	襯墊層厚度一般約介於 3~5 cm，建議不大於 5 cm 為宜。
設計注意事項	材料應採經過水洗，潔淨乾燥，且質地堅硬之粒料。

級配基層 (base course)

功能	位於襯墊層的下層，為主要貯水區，其高入滲率特性亦提供級配基層與底基層間的水流傳遞。
材料選用	本層材料採粗骨材級配，建議可採 ASTM 規範 57 或 67 號骨材級配，或 80% 採用 ASTM 規範 57 號骨材級配，並加入 20% 之回收建材。
設計厚度	級配基層設計厚度應同時滿足逕流貯存量及結構承載要求，設計厚度越大其保水量與承載能力較高，但仍需因地制宜。美國科羅拉多州丹佛地區「都市暴雨管理技術手冊 (USDQM, 2011)」及奧勒岡州波特蘭地區「都市暴雨管理技術手冊 (SWMM, 2014)」均建議級配基層厚度應為 15 cm 以上。因此層為主要貯水區，考量臺灣降雨量大且保水需求較高，故建議設計厚度應介於 15~45 cm 之間。
設計注意事項	A、級配基層採用粒料應為乾淨的水洗石，避免表面附著之泥土經雨水沖刷後造成孔隙堵塞及水質污染。 B、為加強級配基層承載支撐及穩定性，可添加瀝青穩定劑，但為保持足夠孔隙率，瀝青使用量不宜過高，約佔骨材重量之 2.0~2.5%，並建議採 AC-20 等級之瀝青

膠泥或更高級別。因加入穩定劑會降低級配基層的貯水空間，設計時應多加考慮。



ASTM 規範粗骨材標準尺寸表

Size No.	Nominal Size Square Openings	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"
		100mm	90mm	75mm	63mm	50mm	37.5mm	25mm
1	3 1/2" to 1 1/2"	100	90~100	-	25~60	-	0~15	-
2	2 1/2" to 1 1/2"	-	-	100	90~100	35~70	0~15	-
24	2 1/2" to 3/4"	-	-	100	90~100	-	25~60	-
3	2" to 1"	-	-	-	100	90~100	35~70	0~15
357	2" to No. 4	-	-	-	100	95~100	-	35~70
4	1 1/2" to 3/4"	-	-	-	-	100	90~100	20~55
467	1 1/2" to No. 4	-	-	-	-	100	95~100	-
5	1" to 1/2"	-	-	-	-	-	100	90~100
56	1" to 3/8"	-	-	-	-	-	100	90~100
57	1" to No. 4	-	-	-	-	-	100	95~100
6	3/4" to 3/8"	-	-	-	-	-	-	100
67	3/4" to No. 4	-	-	-	-	-	-	100
68	3/4" to No. 8	-	-	-	-	-	-	-
7	1/2" to No. 4	-	-	-	-	-	-	-
78	1/2" to No. 8	-	-	-	-	-	-	-
8	3/8" to No. 8	-	-	-	-	-	-	-
89	3/8" to No. 16	-	-	-	-	-	-	-
9	No. 4 to No. 16	-	-	-	-	-	-	-
10	No. 4 to 0	-	-	-	-	-	-	-

3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No.50	No.100
19mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	0.3mm	0.15mm
0~5	-	-	-	-	-	-	-
0~5	-	-	-	-	-	-	-
0~10	0~5	-	-	-	-	-	-
-	0~5	-	-	-	-	-	-
-	10~30	-	0~5	-	-	-	-
0~15	-	0~5	-	-	-	-	-
35~70	-	10~30	0~5	-	-	-	-
20~55	0~10	0~5	-	-	-	-	-
40~85	10~40	0~15	0~5	-	-	-	-
-	25~60	-	0~10	0~5	-	-	-
90~100	20~55	0~15	0~5	-	-	-	-
90~100	-	20~55	0~10	0~5	-	-	-
90~100	-	30~65	5~25	0~10	0~5	-	-
100	90~100	40~70	0~15	0~5	-	-	-
100	90~100	40~75	5~25	0~10	0~5	-	-
-	100	85~100	10~30	0~10	0~5	-	-
-	100	90~100	20~55	5~30	0~10	0~5	-
-	-	100	85~100	10~40	0~10	0~5	-
-	-	100	85~100	-	-	-	10~30

級配底基層 (subbase course)

- 功能** | 位於級配基層的下層，功能與級配基層相同。
- 材料選用** | 本層亦採粗骨材級配，粒徑較級配基層貯水區大，建議可採 ASTM 規範 2 號骨材級配。
- 設計厚度** | 與級配基層相同，級配底基層設計厚度應同時滿足逕流貯存量及結構承載要求，設計厚度越大其保水量與承載能力相對較高。因級配底基層亦為主要貯水區，考量臺灣降雨量大，保水需求較高，建議級配底基層設計厚度為 15~25 cm。若應用於人行道或自行車道，不一定需進行此區的設計，但須增加級配基層厚度。
- 設計注意事項** | A、同級配基層前兩點設計注意事項。
B、級配底基層的底部應為平面，俾使逕流能均勻地滲透過整個表面。如果系統底部滲透能力不佳，則底部應以 1~5% 的斜度向排水管傾斜。

過濾貯水層 (filter gravel course)

- 功能** | 若對水質處理有較高的需求，可以過濾貯水層取代級配底基層，置於級配基層的下層，主要可過濾自鋪面表層流至底層所夾帶的雜質，具有控制滲透速率與過濾水質功能。
- 材料選用** | 建議採公共工程委員會第 02726 章之級配粒料底層施工規範規範中，第三類型底層級配粒料之 B 型級配。過濾貯水層之貯水能力不如級配底基層，故欲提高貯水能力，可替換為級配底基層。
- 設計厚度** | 參考美國科羅拉多州丹佛地區「都市暴雨管理技術手冊 (USDCM, 2011)」，建議過濾貯水層設計厚度採 15 cm。
- 設計注意事項** | 粒料應為乾淨的水洗石，避免表面附著之泥土經雨水沖刷後造成孔隙堵塞及水質污染。

排水管 (underdrain)

功能 | 排水管為多孔設計的管渠，因級配底基層下方為路基，而一般路基土壤之入滲速度遠低於上方之鋪面層、級配層等之入滲速度，故於級配底基層設置排水管，以確保可在一定時間內將級配基層貯水區及級配底基層貯水區的貯留水量導引至排水系統，以維持設施之入滲及貯水能力，避免設施排水過慢，難以在降雨場次較為密集時發揮貯留功能。

材料規定 | 需為多孔排水管。

設計尺寸 | 本手冊參考美國科羅拉多州丹佛地區都市暴雨管理技術手冊 (USDCM, 2011) 之建議，多孔排水管設計尺寸採 5~15 cm，原則約每 5 m 設置 1 條多孔排水管。

設計注意事項

- A、排水管開孔應小於級配底基層之粒徑，防止骨材流失或排水管堵塞。
- B、排水管安裝坡度最少應有 0.5%。
- C、排水管應每隔 75~90 m 設置 15 cm 的硬質無孔觀測管或連接維修通道，以提供清理出口及作為觀測井之用。

土工織布 (geotextile)

功能 | 主要功能包括排除水份、過濾、加勁及防止土料流失、預防級配不均勻沉陷與分離兩種不同的土層。當較細顆粒土壤覆蓋在較粗顆粒料層上時，可防止空隙因土壤顆粒下移所造成的堵塞；而當較粗顆粒料層 (例：石質儲水槽) 覆蓋在較細粒的原生土壤上時，土工織布則可防止粗顆粒料下移進入底層土壤所造成的滑塌，使各土層保持其穩定性，達穩固設施之目的。透水鋪面之土工織布設置於襯墊層與級配基層間，以及級配底基層或過濾層與路基間。

材料 規定

地工織布應符合公共工程委員會第 02342 章地工織物之規定。

設計 注意 事項

因織造薄膜和非織造熱融織布易造成堵塞，故不宜採用，應採用非織造針刺或單絲織造地工織布。

整體設計注意事項

邊緣固定設施

透水鋪面為求設施穩定，鋪塊排列應緊密，以防止負載所產生的旋轉及因此造成接口擴張，或鋪面在邊緣發生瓦解，故需有邊緣固定設施，除提供鋪面合適的邊緣支撐外，並需能承受溫度變化與車輛交通的衝擊。邊緣固定設施的材質包括有金屬、塑膠細條及混凝土，其中以混凝土材質最佳，如鑄式混凝土路緣。



透水鋪面的金屬邊緣



透水鋪面停車格周邊的混凝土路緣

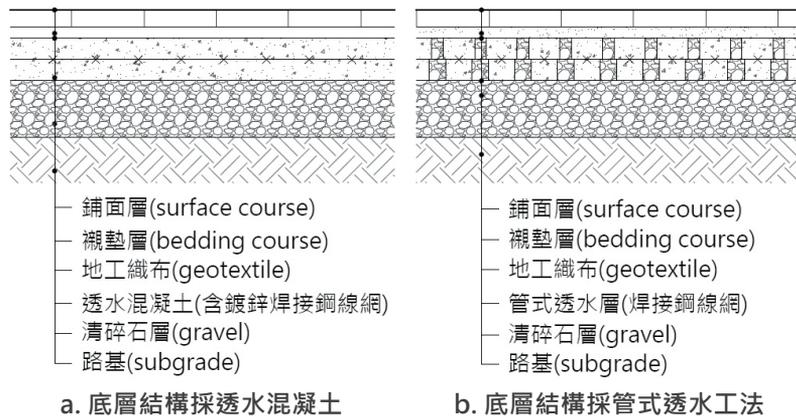
資料來源: Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide (2010)

特殊地區適用之鋪面設計

近年來臺灣積極引進透水性鋪面，其中又以混凝土透水磚與植草磚最為普遍，惟就實行成效而言，透水磚常因級配層夯實作業不良及平整度施作缺失、粒料因雨水長年沖刷流失、普遍未鋪設地工織布等原因，造成不均勻沈陷，導致透水磚磚體下陷與斷裂，危害行人步行安全；此外，若人行道下方因管線埋設導致所需覆土深度不足、汽機車高壓行駛頻繁之人行區域（如車庫出入口及人行道機車）

或夯實度不易控制之區域，採級配層作為透水性鋪面之底層恐較不適用。

考量此種特殊地區需兼顧透水與設施完整性，應以剛性透水鋪面工法施作，鋪面下方結構可採用材料自身透水或管式透水方式設計，取代原有級配基層，以改善不均勻沉陷與級配層夯實不良等種種問題。而貯水功能則由下方級配底基層之清碎石孔隙提供，並視設計需求及環境條件允許下調整厚度。



施工注意事項

路基

透水鋪面路基之施工方式，應符合公共工程委員會施工規範第 02336 章「路基整理」及第 02794 章「透水性鋪面之一般要求」之施工規定，且需保持適當密度與透水機能。

級配層

級配基層及級配底基層之施工方式，均應分別符合公共工程委員會施工規範第 02726 章「級配粒料底層」及第 02722 章「級配粒料基層」及第 02794 章「透水性鋪面之一般要求」之施工規定。惟應以 10 噸鋼輪振動壓路機至少進行 4 次夯實（前 2 次採振動式壓實，後 2 次靜態壓實）。設備操作員應避免急加速、急剎車及在壓實層上面的急轉彎，以使基底表面不受擾亂。

地工織布

施工方式應符合公共工程委員會施工規範第 02342 章「地工織物」之施工規定。

襯墊層

- A、需設置水平基準線後再整平夯實，整平後不得踐踏，且襯墊層鋪設前應先檢視級配層是否凹凸不平，如未平整密實，需重新滾壓。
- B、防止機器設備及人員進入鋪設中的襯墊層，以維持襯墊層表面的均勻。

鋪面層

各類型鋪面層之施工方式，應符合公共工程委員會施工規範第 02794 章「透水性鋪面之一般要求」之施工規定。

基本設計圖

人行道透水鋪面

表面以透水磚鋪設，主要結構組成由下而上為路基、地工織布、級配底基層、級配基層、地工織布、襯墊層及透水磚，透水排水管則安裝於級配底基層內，並與排水系統相連。

級配底基層厚度建議為 15~25 cm，級配基層厚度為 15~45 cm，因為兩者的厚度會反映於承載力及貯水能力，故建議級配底基層及級配基層之厚度分別為 25 cm 及 45 cm 為佳，且最少都不應低於 15 cm；襯墊層厚度建議為 5 cm；透水磚厚度則建議為 6~8 cm，以提供足夠之承載力。



人行道透水鋪面

資料來源：www.phillywatersheds.org

停車場透水鋪面

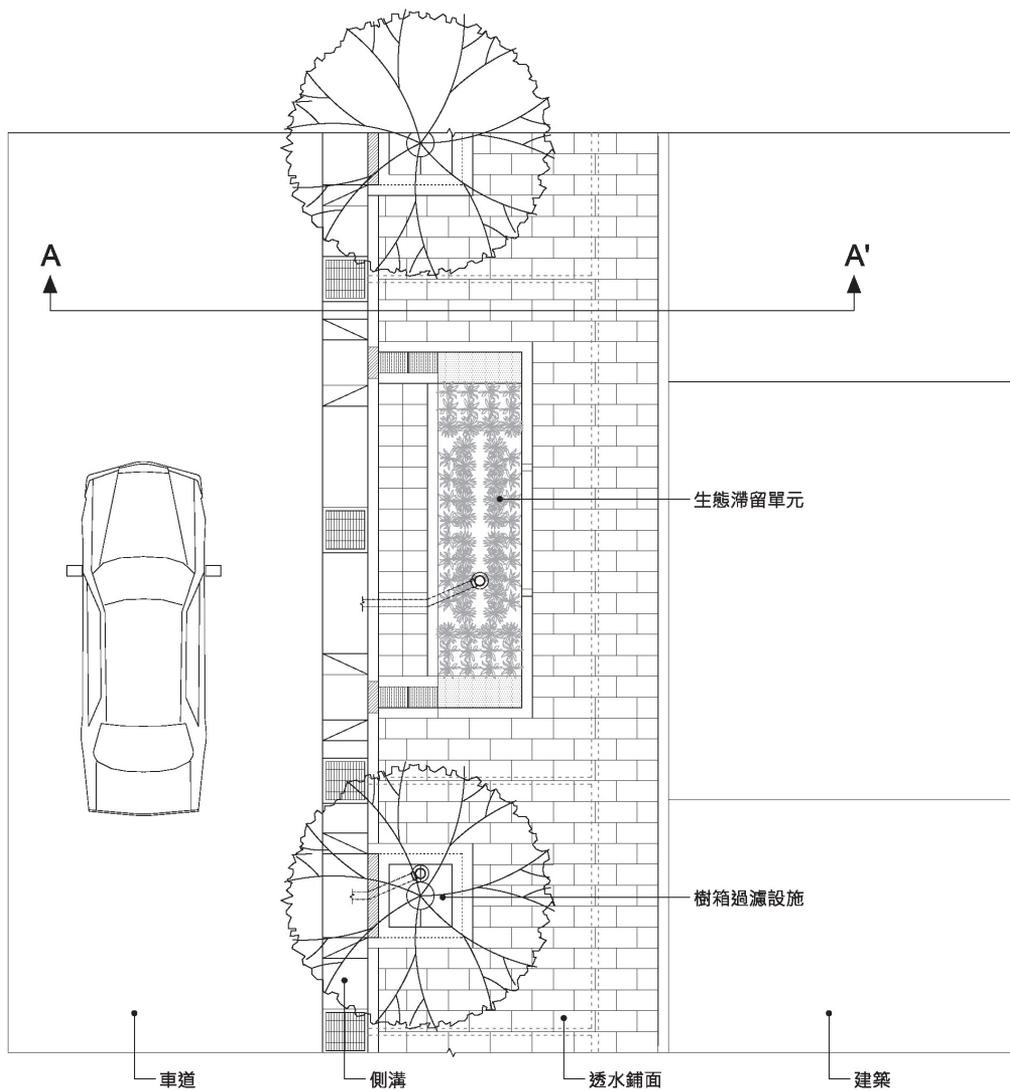
分為停車格及車道，前者由下而上主要結構組成為路基、地工織布、級配底基層、級配基層、地工織布、襯墊層及植草磚（或透水瀝青）；後者之組成結構與前者相似，但因車行較頻繁，最上層改用耐損度較高的多孔瀝青。

停車場需要更高之承載力，故級配底基層需 15~30 cm，級配基層需 15~60 cm，因為兩者的厚度會反映於承載力及貯水能力，建議級配底基層以 30 cm、級配基層以 60 cm 為佳，最少都不應低於 15 cm；襯墊層建議為 5 cm，植草磚（空隙回填沃土及植草）則建議至少為 10 cm，以提供足夠承載力。

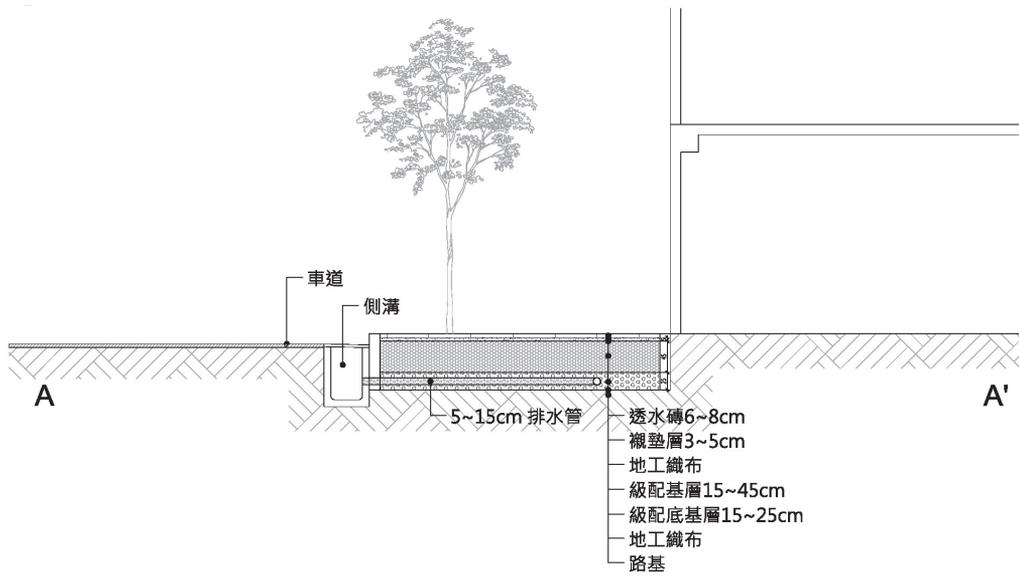
停車格邊緣設計連續路緣石，並於路緣石外側之級配基層上鋪設約 15 cm 厚之礫石，當產生瞬間暴雨而透水鋪面滲透不及時，積水便可從路緣石溢流進外側礫石區，快速下滲進基層及底基層貯留，防止逕流漫溢。



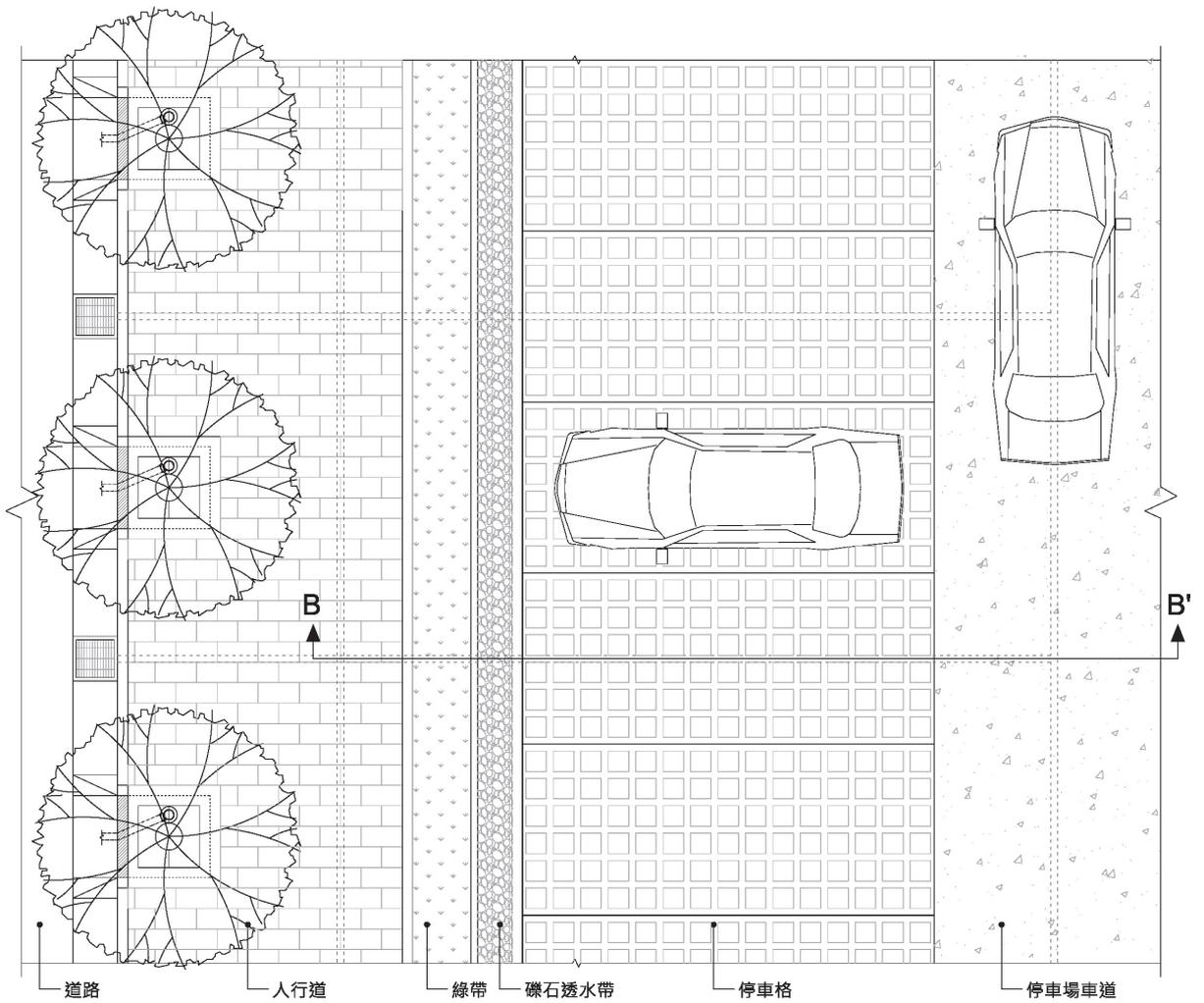
停車場透水鋪面



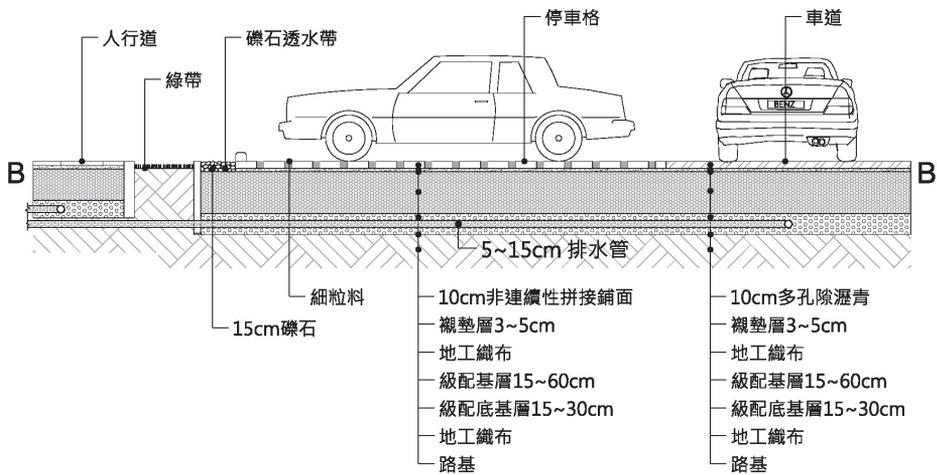
透水鋪面 (人行道) A-A' 平面配置圖



透水鋪面 (人行道) A-A' 剖面圖



透水鋪面 (停車場) 平面配置圖



透水鋪面 (停車場) B-B' 剖面圖

建置成本分析

透水混凝土磚、透水混凝土鋪面、多孔隙瀝青鋪面及非連續拼接或鏤空鋪面等之成本分析如下表所示。各型式約 2,000~3,000 元 /m² 左右，視結構深度、材質及類型會有所變化。

透水混凝土磚

工料名稱	單位	數量	單價	複價
挖方及回填夯實	m ³	2	790	553
級配粒料底層·碎石級配	m ³	0.7	550	550
HDPE 透水管 (φ 10cm)	m	1	40	80
土工織布 (TH=2mm)	m ²	2	950	47
襯墊砂	m ³	0.05	1,397	1,397
透水磚鋪面 (TH=10cm)	m ²	1	2,800	336
技術工	工	0.12	22	22
零星工料及損耗	式	1	790	553
總價 (元 /m ²)				3,065

註 1：成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。

註 2：建議單價參考 107 至 109 年資料。

透水混凝土鋪面

工料名稱	單位	數量	單價	複價
挖方及回填夯實	m ³	2	40	80
級配粒料底層·碎石級配	m ³	0.7	790	553
HDPE 透水管 (φ 10cm)	m	1	550	550
土工織布 (TH=2mm)	m ²	2	40	80
襯墊砂	m ³	0.05	950	47
模板組立	m ²	0.2	330	66
透水混凝土 (TH=10cm)	m ³	0.1	7,150	715
鍍鋅扁鐵分割條施工	m ²	1	308	308
技術工	工	0.12	2,800	336
零星工料及損耗	式	1	22	22
總價 (元 /m ²)				2,757

註 1：成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。

註 2：建議單價參考 107 至 109 年資料。

多孔滲瀝青鋪面

工料名稱	單位	數量	單價	複價
挖方及回填夯實	m^3	790	40	80
級配粒料底層·碎石級配	m^3	550	790	553
HDPE 透水管 (ϕ 10cm)	m	40	550	550
土工織布 (TH=2mm)	m^2	950	40	80
襯墊砂	m^3	545	950	47
透水瀝青混凝土面層 (TH=10cm)	m^2	2,800	545	545
技術工	工	22	2,800	336
零星工料及損耗	式	790	22	22
總價 (元 / m^2)				2,213

註 1：成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。

註 2：建議單價參考 107 至 109 年資料。

非連續拼接或鏤空鋪面

工料名稱	單位	數量	單價	複價
挖方及回填夯實	m^3	2	40	80
級配粒料底層·碎石級配	m^3	0.7	790	553
HDPE 透水管 (ϕ 10cm)	m	1	550	550
土工織布 (TH=2mm)	m^2	2	40	80
襯墊砂	m^3	0.05	950	47
非連接型鋪面 (TH=10cm)	m^2	1	1,100	1,100
技術工	工	0.12	2,800	336
零星工料及損耗	式	1	22	22
總價 (元 / m^2)				2,768

註 1：成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。

註 2：建議單價參考 107 至 109 年資料。

使用年限

透水性鋪面在適當安裝和維護下，其使用壽命約可達 15~20 年。

維護項目、週期與成本

維護項目

在完工及開放使用後，透水性鋪面的效用隨時間遞減，其空隙率及排水能力會隨車輛碾壓及灰塵石屑堵塞而降低，適時實行養護作業，可使鋪面維持一定服務水準並延長使用壽命。

本手冊參考公共工程會施工規範第 02794 章「透水性鋪面之一般要求」之管理與維護基準、內政部營建署民國 98 年 11 月之「透水性鋪面養護工法參考手冊」及國外相關技術手冊，就透水鋪面損壞後之修補工法及一般維護方式，分別說明如下：

透水混凝土磚及非連續拼接鋪面修補工法

A、維修區域之劃分

透水磚鋪面維修前，需先針對維修區域進行劃分，包括預計挖除區域及挖除延伸區域。為避免挖除時影響其餘支撐良好之透水磚區域，挖除時需向外延伸 2~3 個磚塊長度之區域，以保護其餘區域之襯墊層及級配基底層。

B、首塊透水磚移除

劃分確定維修區域後，即可將首塊透水磚移除。移除方法：先利用小螺絲起子或刮刀清除第 1 塊需移除透水磚之接縫砂 (joint sand) 後，即可利用大螺絲起子將首塊透水磚移除。

C、其餘透水磚移除

首塊透水磚移除後，其餘透水磚因喪失旁邊之支撐能力，將可輕易移除。為快速移除透水磚，可利用振動方式降低相鄰透水磚的互鎖 (interlock) 效應。若為大範圍透水磚鋪面移除，亦有專用之移除機械可供使用。

D、襯墊層及級配基底層材料之移除

透水磚移除完畢後，下一層即為襯墊層，需先將襯墊層的砂耙鬆才可移除，移除的砂可再使用，惟應注意砂中若有混合其餘材料，則不可再使用，移除的砂再使用時，應先將其完全耙鬆方可再使用。挖除襯墊層時，應注意挖除範圍需距離良好透水鋪面最少 15~30 cm，以確保其餘透水鋪面之襯墊層保持不被擾動且穩定之狀態。若級配基底層材料需進行移除，可利用挖土機或是人工方式進行挖除，其挖除範圍亦如同襯墊層之範圍，須距良好透水磚鋪面最少 15~30 cm。

E、級配基底層材料回填

級配基底層可依據組成結構設計原則中，級配基底層所要求之級配材料進行填補。

F、襯墊層回填

襯墊層回填時，材料應為乾淨、未混合其餘材料的砂，回填時先以木板對鋪設的砂進行抹平，其回填高度應略高於原先襯墊層，抹平過後即可進行夯實。

G、透水磚填補與接縫砂回填

襯墊層回填後，即可進行透水磚填補。依原來透水磚之排列方式逐一填補。填補完成後，在接縫處回填接縫砂 (joint sand)，確定其接縫亦保持原始設計間距相同，且利用夯實機進行震動夯實，確保透水磚及接縫砂可牢固於襯墊層，並與相接之透水磚產生互鎖效應。透水磚鋪設完成後，需確保其平整度。

透水混凝土修補工法

當透水混凝土鋪面裂縫已達重級裂縫以上時，或鋪面損壞甚鉅，無法維持鋪面之正常功能時應即翻修，宜採用部分鋪面局部打除重作工法改善。本工法是將部分鋪面移除後，在現場澆置透水混凝土予以更新。其施工順序如下：

- A、鋸割鋪面與路肩之接縫或鋪面之縱向接縫及橫向接縫。
- B、移除原有損壞之鋪面與不良之底層材料，惟挖除路基之級配基底層時應注意不可擾動鄰近土壤。如用機械開挖時，距開挖線處應改由人工開挖。
- C、重新夯壓基層及底層，角隅或邊緣處應以夯壓機或搗固機等壓實，必要時需增加鋪面厚度。
- D、澆置透水混凝土時與原有路邊結構物之縱向縫隙間應加以隔離。

多孔隙瀝青修補工法

可採刨除加鋪方式修補，此修補工法可保持路面高度不變，由於下層為級配基層，刨除面下方之粗粒料容易鬆散，可能對設施耐久性產生不良影響，故刨除加鋪前需先針對級配層重新夯實較為妥適。

一般維護工法

透水鋪面主要維護保養多著重於鋪面的孔隙阻塞，一般多利用真空吸塵器或高壓水柱沖洗並清刷路面，避免灰塵阻塞或泥沙淤積造成透水率降低。

維護週期

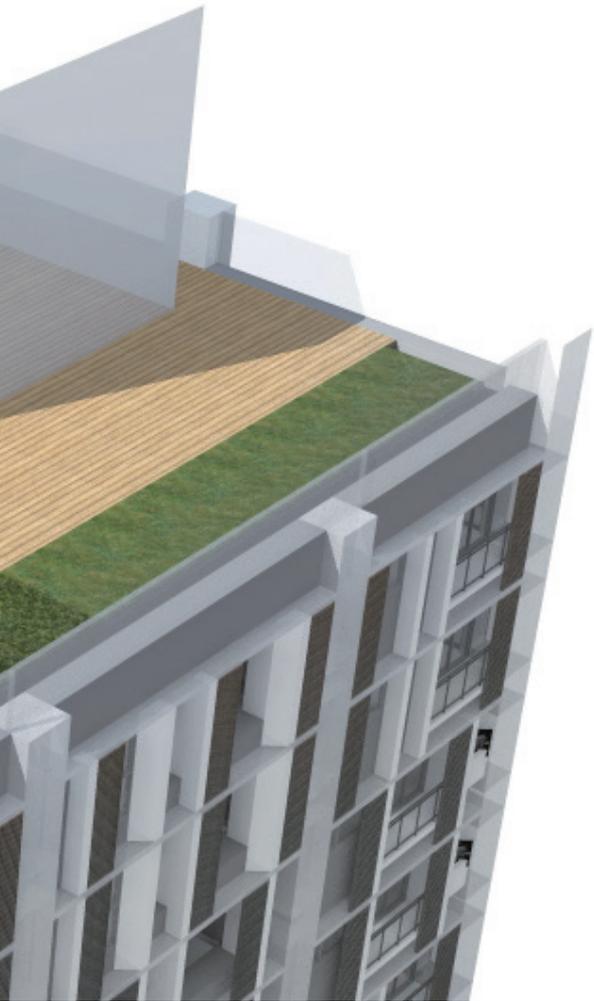
- (1) 鋪面完工後前4個月，每月檢視1次，往後每年檢視3~5次。
- (2) 大雨後檢視表面是否積水，若鋪面嚴重阻塞，需清理或翻修。
- (3) 鋪面應於每年雨季來臨前檢測透水性，透水性降低至一定程度，應立即清洗。
- (4) 每年視鋪面阻塞狀況清理3~5次。較佳維護時機分別為早春(4月)、夏季(7~8月)及秋季落葉後(11月)，並使用真空高效吸塵，而透水混凝土及多孔隙瀝青則可配合高壓水柱沖洗。
- (5) 排水管出口應不定期檢查，且每年至少1次。

維護成本

高壓水柱沖洗之成本：30元/m²。

綠屋頂 GREEN ROOF





設施說明

綠屋頂 (green roof) 為安裝於平面或傾斜平坦的屋頂上，以薄層土壤設計之植被，其效益有：改善淨化水質、利用生長介質及貯水區貯存雨水並透過植物蒸散排去 (多餘雨水透過暗渠或溢流口經由建物排水系統排除)、增進能源效率、建物隔熱、延長屋頂結構壽命、降低都市熱島效應、景觀營造和生物多樣性等，而效益成果取決於植物選擇、土壤成份和深度、屋頂的方向和坡度、天氣模式和維護計畫等因素。

綠屋頂一般分為粗放型 (extensive)、半精養型 (semi-intensive) 及精養型 (intensive) 等 3 種類型。型態的選擇取決於載重能力、預算、設計目標和雨水貯留量的需求，另外氣候、植物類型的選擇、土層的厚度需要、可行性及其他設計考量亦是影響因素。國內近年綠屋頂之發展已逐漸興起，相關案例如照片所示。



粗放型綠屋頂



精養型綠屋頂

茲就各類型綠屋頂分別說明如下：

粗放型綠屋頂

粗放型綠屋頂多屬輕量系統，其植被主要為草本植物和開花草本植物，一般種植低蔓生或景天科植物，多數不需頻繁的維護及配置灌溉系統，通常不會被設計成提供公眾觀賞的型態，屬低維護需求且有效率的暴雨管理系統。

精養型綠屋頂

精養型綠屋頂植被主要由草本植物到小型喬木，其需專業的維護管理及配置先進的灌溉系統，精養型綠屋頂極具生態多樣性，且提供更好的隔熱效能及雨水貯留能力。精養型綠屋頂通常被設計作為公園與休憩區域，但相較於粗放型綠屋頂，需要投入更多的資金與維護。

半精養型綠屋頂

半精養型綠屋頂為前兩者之組合，其植被主要為小型草本植物和小灌木，需定期維護及不定時灌溉，半精養型綠屋頂比粗放型綠屋頂能貯留更多的雨水，並提供更豐富且多樣性的生態，故雖維護管理需求較高，但半精養型綠屋頂可視為一座花園。

綠屋頂類型：

粗 放 型：生長介質層較薄，多種植草本及地被植物

精 養 型：生長介質層較厚，植栽包含草本植物到小型喬木，較具觀賞價值

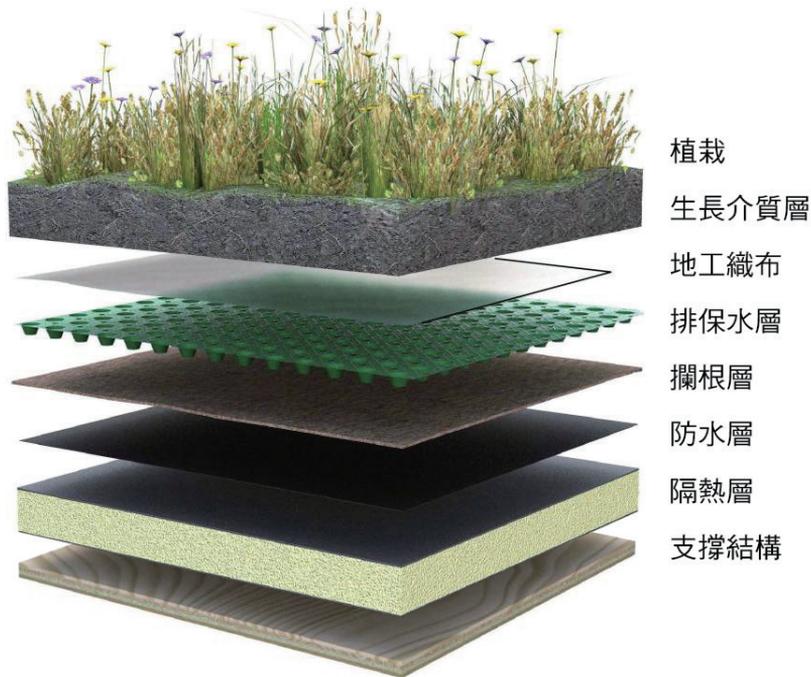
半精養型：粗放型及精養型之組合

適用性

綠屋頂適用於新蓋建築或既有建築改建，甚至可於坡度 0~40 度的斜屋頂上建造，因不需額外的土地，且能提供水平衡與生物環境的效益，因此對於透水面積不足、過度密集發展的都市區是理想適合的微處理型設施選擇。

設計原則

完整之綠屋頂設計結構由上往下依序為：植栽層、生長介質層、土工織布、排保水層、攔根層、防水層及支撐結構等。經參考相關技術設計手冊及規範，各層之設計原則說明如下：



綠屋頂組成結構剖面示意圖

資料來源：impressivemagazine.com

基本組成結構：

- ▲ 植栽
- ▲ 生長介質層
- ▲ 土工織布
- ▲ 排保水層
- ▲ 攔根層
- ▲ 防水層
- ▲ 支撐結構

植栽層 (vegetation / plant)

功能 | 景觀美化、逕流處理及增加生物多樣性。

植栽
選擇

A、精養型綠屋頂

植栽選擇以低矮灌木(如: 柃木屬、赤楠屬、黃楊屬、福建茶、楓港柿、柃子屬、偃柏)、草坪、地被植物等為主，具多樣性且限制少，並可遵循生物多樣性原則。在屋頂結構載重許可下可適量種植小喬木，嚴格控制大喬木。



福建茶 *Ehretia microphylla* Lam. 偃柏 *Juniperus procumbens* (Endl.)

B、粗放型綠屋頂

植栽以能適應嚴苛生長環境且不需太厚的生長底層之種類為優先，因為具有耐候性、淺根結構與水平生長習性，像是地被植物、多肉植物、部分開花性草本植物、球根、苔蘚植物、野花與其他多年生植物等，其中以長生草屬、景天科、匍匐百里香、蔥、草夾竹桃屬和菊科為常用植物。



匍匐百里香 (唇形花科) 石板菜 (景天科佛甲草屬)

一般粗放型綠屋頂之植栽選擇要點 (張育森, 綠屋頂的環境效益與相關技術探討, 101) 如下 :

- (A) 遵循植物多樣性和共生性原則：以複層結構為主，盡可能多樣性，由灌木、草花、草坪、地被植物組成，以提高綠化效益。
- (B) 生長特性和觀賞價值相對穩定：較不會因生長環境變化，造成生長勢減弱或落葉、枯萎等不良現象。
- (C) 高度矮、風阻小：以低矮灌木、草坪、地被植物和攀緣植物等為主。
- (D) 植株淺根：為適應薄介質，植株應淺根且有較發達的橫向或鬚根系，不宜選用根系穿刺性較強的植物，以防止植物根系穿透建築防水層。
- (E) 耐極端氣候及抗逆性強：耐熱、耐曬、耐寒、耐高熱風、耐較大的晝夜溫差。抗旱、抗溼、抗空氣污染、抗病蟲害且滯塵能力強。
- (F) 易移植、耐修剪或生長緩慢：植株耐移植可提高成活率，且生長勢強者經過修剪仍能恢復原本翠綠；而生長慢者則可維持長時間觀賞價值。
- (G) 低維護管理：管理粗放，養護管理費用低。
- (H) 具備強再生能力與自播性：缺株或季節適應生長後，可自動蔓延補滿。
- (I) 盡量選擇適應的原生種以及外來馴化種，並應利用植物色彩、花、果豐富景觀，美化環境。
- (J) 挑選植栽應無疾病、蟲害、缺陷或損傷，並具結構良好的強壯纖維根系統，且應為苗圃所種，處於休眠期，非經球狀處理、粗麻布或容器種植。

(K) 植栽種類建議如下：

草坪：低矮、具匍匐蔓延性與耐旱性的草種，亦可作為大面積的綠屋頂植物材料。如有地下莖的韓國草、百慕達草（狗牙根）或地上走莖的假儉草、兩耳草等耐旱性較強之種類。

地被植物：翠玲瓏、團花蓼、斑葉到手香、短葉虎尾蘭、銀紋沿階草、蔓花生、小蚌蘭、矮筋骨草、斑葉絡石等。

多肉植物：以松葉景天、垂盆草、圓葉景天等適應性較佳，斑葉佛甲草、萬年草等種類次之。



銀紋沿階草（百合科沿階草屬） 斑葉到手香（唇形花科刺蕊草屬）

設計 注意 事項

A、植栽種類應考量根系的尺寸與深度，以確保植物能使深度較淺的生長介質穩定，其可隨生長介質厚度而增加：

- (A) 5~8 cm 可種植苔蘚、景天科和某些草。
- (B) 8~12 cm 可種植更多樣的景天屬植物及草類，還有部分多年生草本植物。
- (C) 15~20 cm 可種植相應寬度的品種。
- (D) 超過 20 cm 可開始種植一般地面上的植物。

B、選擇植栽素材時，應諮詢植物學家或地景建築師。

生長介質層 (growth media)

功能 | 提供植物生長。

材料選用 | 生長介質不同於一般土壤，其因基盤系統的結構組成容積、厚度、蓄存水量、屋頂使用目標及預期維管頻次及經濟性而異。因生長介質層為綠屋頂主結構層，對整體重量影響最大，故為避免屋頂結構承載過大，應採輕質土較佳。

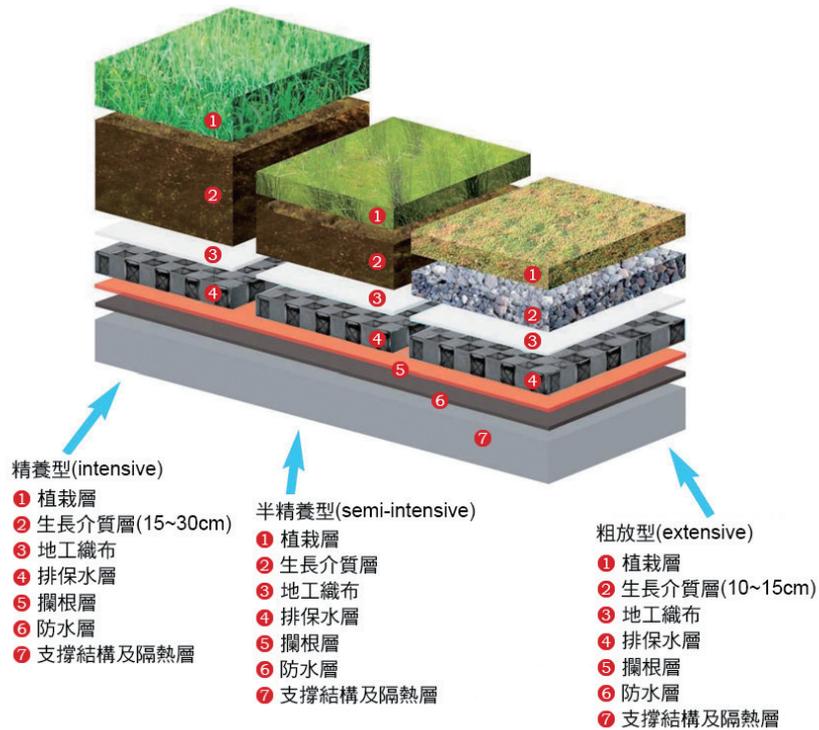
A、綠屋頂建議選用的生長介質特性包括以下 4 點：

- (A) 輕質：通常新建建物在設計階段就已將屋頂綠化的重量考量在內，但既有建物的屋頂結構承載力較低，故對生長介質重量有嚴格的要求，應盡量採輕質土。因自然土壤容重一般在 1.0 g/cm^3 以上，較不適用於屋頂綠化，而生長介質之輕質土於風乾和飽和狀態下容重分別在 0.5 g/cm^3 及 0.8 g/cm^3 左右。
- (B) 薄層：降低生長介質層厚度雖可減輕屋頂承重，然會降低水分、養分供應能力、溫度調節能力、根系生長空間不足、植栽支撐力不足等植栽生長必需的介質條件。
- (C) 穩定：綠屋頂完成後，其使用年限必須有 10~20 年，且植栽生長之後難以全面更換介質，因此生長介質必需具長期的穩定性。故需減少因有機質分解所造成生長介質層厚度降低；注重其通氣性和保水性；避免結構破壞，導致養分釋放和酸鹼度環境發生劇烈變化，不利於植栽生長。
- (D) 環保：選擇不會造成公害及環境污染的材料是綠屋頂的基本要求，利用工、農業廢棄物進行資源化再利用成為生長介質是最佳方式。

B、綠屋頂生長介質為達到比重在 0.8 g/cm^3 以下之輕質化的要求，通常會添加珍珠石、蛭石、泥炭苔、椰纖、炭化稻殼、發泡煉石或多孔性植生陶石等材料。

設計
厚度

綠屋頂生長介質層之厚度應符合植栽生長要求。不同綠化植物需要之生長介質厚度參考值如下：草皮 8~15 cm、草花約 15~20 cm、灌木 20~40 cm、小喬木 40~100 cm，依樹種而略有不同。為利於植栽生長，建議生長介質層最小厚度為 10 cm；主要還是以生態或景觀需求樹種決定覆土厚度。



綠屋頂生長介質層厚度示意圖

資料來源：www.arsystems.co.uk

設計 注意 事項

- A、生長介質層宜有 30~50% 以上之保水率。
- B、應避免有機含量過多。
- C、排水後孔隙佔體積之 15~20%。

土工織布 (geotextile)

功能

主要為防止生長介質層之輕質土被沖洗進下層之排保水層中，亦可稱為過濾墊。

材料 選擇

一般採用聚苯乙烯或聚丙烯纖維不織布。

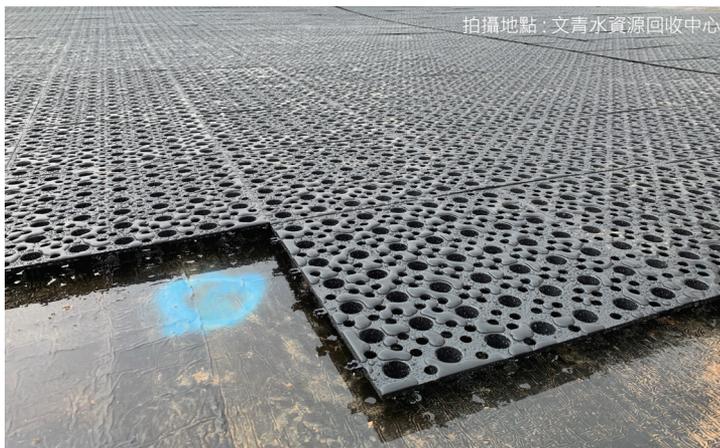
設計 注意 事項

- A、土工織布必須隔離生長介質層底部和側面。
- B、依據植栽種類與生長介質層厚度，一般土工織布約 5~10 年會被根系穿透，則需考量置換。

排保水層 (drainage layer)

功能

當生長介質層的水份飽和，多餘水份會貯集於排保水層，當飽和後則水份會釋出。此層一般以硬質的杯狀塑料排保水板來代替，平時可蓄積水份避免植物過度乾旱，降雨過多時水份則沿特殊設計溝槽排出，兼顧保水與排水，並可增加生長介質底部的曝氣量，有時亦具有攔根效果，可保護防水層。



排保水層 (Drainage layer)

材料
選用

包括各種顆粒狀介質（如：碎石、泡沫板、塑膠）或金屬的模距化單元（如：排保水板）。此層應根據屋頂排水溝情況設計，可選用單凸型、模組式、組合式等形式的排保水板或直徑大於 0.4~1.6 cm 的陶石。

設計
厚度

排水層設計厚度取決於屋頂結構的承重負載力及暴雨洪水保留需求。一般排保水板厚度約 4~5 cm；若採用碎石，則厚度宜鋪設 5 cm 以上。

設計
注意
事項

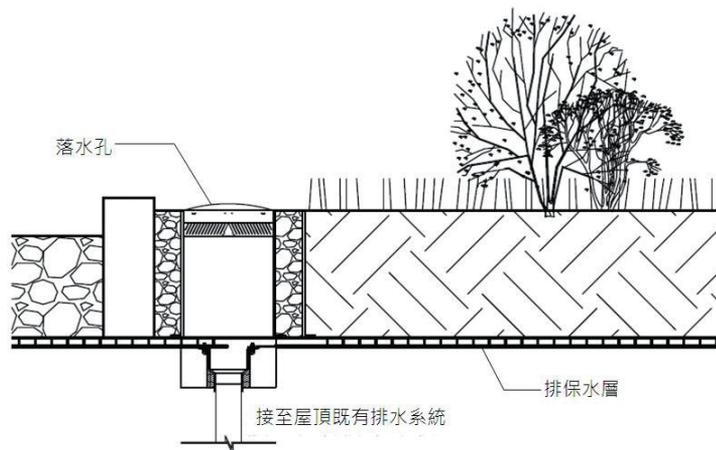
- A、屋頂綠化排水系統必須與原屋頂排水系統連接，不得改變原屋頂排水系統。
- B、屋頂綠化應預留地面排水管線，設置落水頭，並保留檢修管道。落水頭排水口必須保持沒有碎屑或植物，並利用不銹鋼板分離生長介質及覆蓋屋頂排水孔的礫石。鋼板穿有小孔，提供生長介質排水。設計示意圖如下圖所示。



綠屋頂落水口

沖孔鋼板

資料來源：Urban Storm Drainage Criteria Manual



綠屋頂排水口與保排水層銜接設計示意圖

攔根層 (root barrier)

功能 | 位於防水層上方，為防止植物根系穿透防水層導致屋頂漏水及破壞屋頂結構，通常與防水層一起施作，做為防水層之保護。

材料選用 | 包括合成橡膠、聚氯乙烯 (Polyvinylchloride, PVC)、厚瀝青或攔根塗料等。



攔根層 (Root barrier)

資料來源：www.deeproot.com

防水層 (waterproofing membrane)

功能 | 為防止雨水滲入建築物內部，保護建物及屋頂結構。

材料選用 | 防水層材料包括不透水的水泥、熱或冷塗的液態薄膜、特殊設計的單一膠合片狀薄膜、熱塑性的片層膜等，亦可採複層設置；如果防水材料包含瀝青或有機物，其上層需要附加防根阻板 (攔根層)，以避免根部損壞屋頂。材料一般分類如下：

A、單層

(A) 三元乙丙橡膠 (ethylene propylene diene monomer, EPDM)。

(B) 熱塑性聚烯烴類 (thermoplastic poly olefin, TPO) 或聚氯乙烯 (PVC)。

B、多層

(A) 苯乙烯—丁二烯—苯乙烯 (styrene-butadiene-styrene, SBS) 橡膠。

(B) 雜排聚丙烯 (attactic polypropylene, APP)。

C、各種化學組成物的液體或噴塗膜，如樹脂、聚氨酯、三元乙丙橡膠、丁基改性瀝青...等。



防水層 (Waterproofing membrane)

資料來源：www.understandconstruction.com

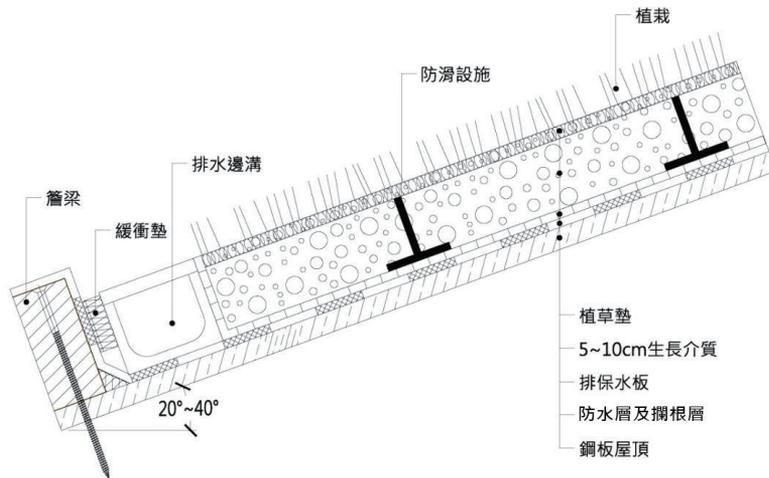
支撐結構 (structural support)

支撐結構即為屋頂結構，屋頂結構的承載負重力必須足夠，方能支撐整個綠屋頂的飽和土壤及植物的重量，加上人員活動的活荷重。就屋頂結構而言，應注意之要點如下：

- A、可利用梁柱或牆壁支撐最大負荷的地方。
- B、綠屋頂之重量一旦超過 80 kg/m^2 ，應需要結構工程師的專業諮詢。
- C、粗放型綠屋頂一般為厚度約為 $8\sim 15 \text{ cm}$ ，其重量不超過約每平方公尺約 165 kg/m^2 。
- D、精養型綠屋頂之屋頂結構承載能力應 $\geq 450 \text{ kg/m}^2$ (營業性屋頂花園 $\geq 600 \text{ kg/m}^2$)；而粗放型屋綠屋頂之屋面承載能力應 $\geq 300 \text{ kg/m}^2$ 。
- E、各類型植栽每平方公尺平均承載參考值如下：草皮約 20 kg 、草花約 40 kg 、灌木約 60 kg 、小喬木 (高度 3 m) 約 50 kg/株 ，依樹種而有差異。

整體設計注意事項

- (1) 隔熱層非必要結構，可依設計需求設置。
- (2) 綠屋頂係被設計來截留直接落至屋頂表面的降雨，而非被設計來接收從其他源區導來的逕流。
- (3) 若屋頂開放給大眾使用，亦應注意邊緣安全性。
- (4) 如果植栽不是以護牆為界，通常會使用角型鉛裝置或空心磚在過濾層及排保水層上方做為邊界，配合土壤深度提供對土壤傾倒的抵抗力。
- (5) 綠屋頂可在高達 40 度斜率的屋頂上安裝，5~20 度最合適，可利用重力排水。屋頂坡度大於 10 度的工程須進行邊坡穩定性分析，大於 20 度則需要結構增強系統和其他組件以保持生長介質和排水設施固定，如下圖所示。另外可能需要額外的侵蝕控制措施，以使排水層穩定。惟坡度越大，保水能力會受重力影響而下降。



斜屋頂綠化結構示意圖

- (6) 屋頂坡度較為平坦者 (小於 2%)，排水路應較深，避免積水。
- (7) 排保水層和生長介質的空隙空間提供主要貯水體積，可依此計算逕流削減量。

- (8) 精養型綠屋頂可依據生長介質設置滴灌或噴灌系統，如果灌溉系統使用暗管，應有清潔口以方便檢查維護，避免阻塞。表面灌溉系統會促進粗放型綠屋頂中土壤乾燥層的雜草生長及根部發育，同時提升植物對灌溉的依賴性，因此地下式灌溉是較好的選擇。

施工注意事項

國內目前並無綠屋頂相關施工規範，經參考國外相關技術手冊及國內現有綠屋頂施工情形，相關注意事項如下：

- (1) 綠屋頂施工工法可大略區分為兩種：

A、排保水板型（連續式）：其直接在屋頂上建置，提供適合植物的生長環境。一般利用具有凹槽可貯雨水的塑膠排保水板，平鋪在已做防水之屋頂表面，板上鋪 1~2 層不織布，其上再填入生長介質並種植栽，操作區四周可以木板或空心磚圍邊防介質流出並定型。此類型因可鋪設範圍較廣，適用於種植多種植物或排列圖形、色彩豐富之綠屋頂。

B、盆鉢模組型（組合式）：為擁有獨立單元之模組，模組中包括排水層、生長介質、植栽等綠屋頂獨立結構，一般以四方形塑膠盆鉢為主體，其底部 2~3 cm 具有可貯水空間，上層則為介質與植栽，此類型優點為方便移動，但較難造型，且相對深度較淺 5~20 cm。

- (2) 排保水層必須與排水系統連通，保證排水暢通。排保水板間應緊密搭接。採用陶石作排水層時應平整，厚度一致。
- (3) 攔根層在生長介質層下，排保水層之上，搭接縫的有效寬度應達 10~20 cm，並向建築側牆面延伸至介質表層下方 5 cm 處。
- (4) 防水層施工注意事項

A、屋頂與女兒牆之間交界處，應以水泥塗抹成圓弧狀。落水頭水管接縫處必須塗抹完善。花台及屋面設施之立面防水層應高出生長介質層 15 cm。

- B、不同材質防水層重疊銜接時，其重疊鋪設寬度應超過 30 cm。
 - C、嚴禁在雨天施工。
 - D、綠屋頂防水層完工後，必須進行閉水檢測實驗。其以 2.5 cm 水深做閉水測試，閉水時間必須大於 48 小時，確定防水層能提供水密性。
- (5) 種植高於 2 m 的喬、灌木需採取防風固定技術，主要包括地上支撐法和地下固定法。



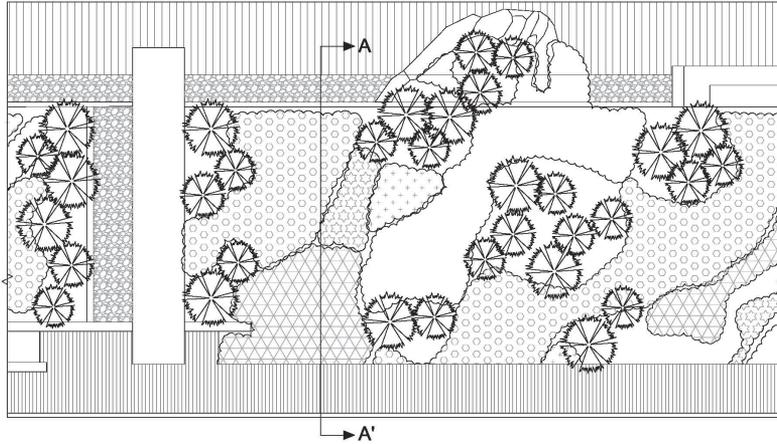
拍攝地點：崇實區民活動中心

基本設計圖

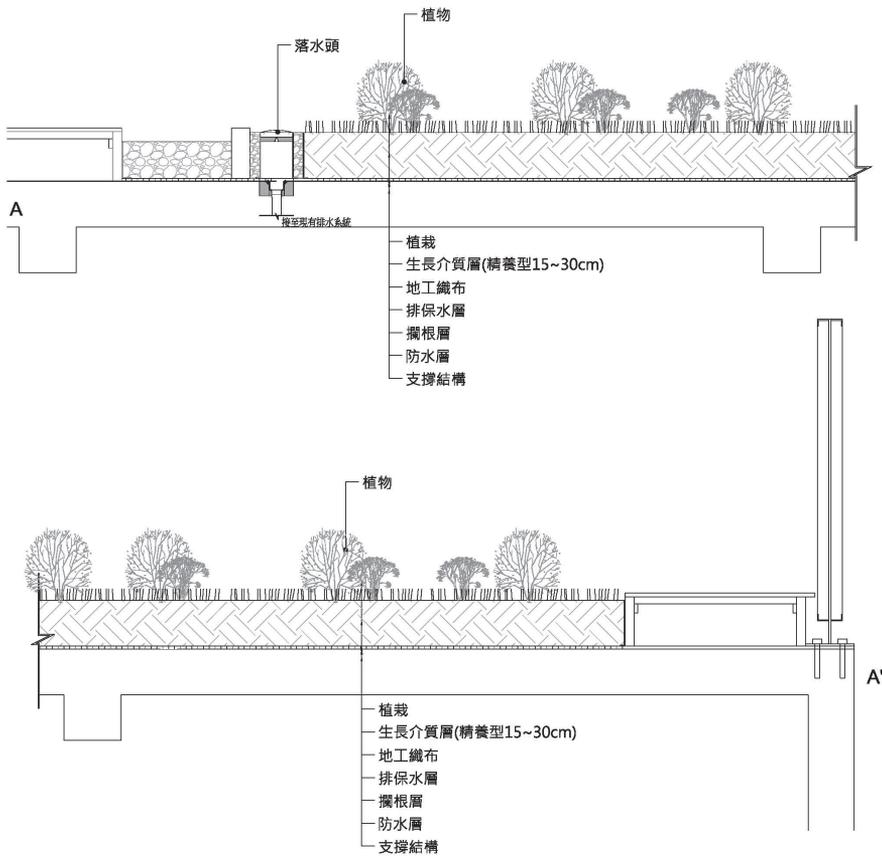
精養型綠屋頂基本設計如右圖所示。

使用年限

以歐美國家的經驗而言，維護管理良好之的綠屋頂，其使用壽命可達 15~20 年。



綠屋頂平面配置圖



綠屋頂 A-A' 剖面圖

建置成本分析

綠屋頂成本分析如下表所示。每平方公尺綠屋頂約 3,000~9,000 元左右，視採用類型、植栽種類及材料有所變化。

粗放型綠屋頂

工料名稱	單位	數量	單價	複價
防水毯	m^2	1	1,100	1,100
斷根毯	m^2	1	660	660
排保水板	m^2	1	550	550
土工織布 (TH=2mm)	m^2	1	40	40
輕質土 (TH=10cm)	m^3	0.1	7,700	770
植栽 (地被)	m^2	1	110	110
技術工	工	0.25	1,650	412
零星工料及損耗	式	1	11	11
總價 (元 / m^2)				3,653

註 1：植栽成本可能依設計有所不同。
註 2：建議單價參考 107 至 109 年資料。

精養型綠屋頂

工料名稱	單位	數量	單價	複價
防水毯	m^2	1	1,100	1,100
斷根毯	m^2	1	660	660
排水板	m^2	1	550	550
土工織布 (TH=2mm)	m^2	1	40	40
輕質土 (TH=50cm)	m^3	0.5	7,700	3,850
植栽 (地被)	m^2	1	110	110
植栽 (草花)	m^2	0.6	990	594
植栽 (灌木)	株	5	141	705
滴灌系統	m^2	1	715	715
技術工	工	0.25	1,650	412
零星工料及損耗	式	1	11	11
總價 (元 / m^2)				8,747

註 1：植栽成本可能依設計有所不同。
註 2：建議單價參考 107 至 109 年資料。

維護項目、週期與成本

維護項目與週期

灌溉

- A、綠屋頂完成第一年，如果沒有足夠的降雨時，需要定期灌溉，之後在非乾旱時期可依據狀況減少灌溉量。
- B、粗放型綠屋頂只有在維持植物生存所需時才進行灌溉。當必須進行灌溉時（例如在栽種初期和乾旱時期），應讓生長介質完全飽和。
- C、應根據氣候條件進行灌溉。夏季一般要在清晨或傍晚澆水，冬季一般在中午澆水。

植被管理

- A、嚴格控制植栽高度、疏密度，保持適宜根冠比及水分養分平衡，保證屋頂綠化的安全性。
- B、綠屋頂完成後，前兩年的除草特別重要，應盡速清除雜草，至少每季 1 次；而後每年進行除草 1 次。項目包括：
 - (1) 清除喬木與灌木的自生植物幼苗，避免屋頂載重增加以及木本植物根系損害防水層。
 - (2) 植物殘骸應定期清除，保持排水系統暢通。
- C、定期清除入侵的植物，以避免種植的品種被排除。除草和檢查週期應與重要園藝週期一致。
- D、盡量手動除草而不使用除草劑。
- E、生長基質層應保持 90% 以上的植被覆蓋率。
- F、定期修剪與分枝，確保整體生長空間的密度。
- G、定期檢查植物健康狀況即進行病蟲害維護。

施肥

- A、施加於生長介質層的肥料，每平方公尺不應高於 5 克的營養物。
- B、粗放型栽種完成後之施肥量不宜過高，可使用封裝的有機容器緩慢釋放肥料，避免水體營養素負荷過高。
- C、精養型通常比粗放型更需要施肥，應依照製造商及安裝人員的建議。
- D、精養型每年兩次定期施肥，粗放型則為每年一次。
- E、每年一次施肥時，確認生長過程中所需之可溶性含氮量。

設施檢查維護

- A、粗放型每年至少檢查 2 次全部組件，精養型每年至少 4 次。檢查時間應安排與維護操作及重要園藝週期重合（例如在雜草播種期前）。檢查項目包括：
 - (1) 定期檢查屋頂排水系統的通暢情況，及時清理枯枝落葉，防止排水口堵塞。
 - (2) 接面、牆壁及屋頂是否因損壞造成滲漏。
 - (3) 過強的降雨會破壞生長介質層的穩固，須定期對新設的生長介質層進行補強。
- B、樹木固定措施和周邊護欄應經常檢查，防止脫落。
- C、建議使用電子滲漏偵測。安裝後的起初幾個月內，應特別留意滲漏偵測。
- D、每季檢查生長介質是否有必要更換，除非有特殊情況，應使用原設計。替換或調整生長介質時須注意滿足負載限制、排水要求及利於植物生長之需求。
- E、該設施所有者或維護承包商應保持維護紀錄。

維護成本

- (1) 前 2 年應至少每季修剪及清除雜草 1 次，而後應每年進行 1 次，每次 5,000~6,000 元。
- (2) 每 5~8 年更換滴灌系統馬達，每次 10,000 元。



資料來源：greenbuildingelements.com · www.irishfencing.com

生態滯留單元 BIORETENTION CELL





設施說明

生態滯留單元 (bioretention cell) ，為具美化景觀功能的現地暴雨逕流處理系統，使用經過設計的混和土壤及適合當地氣候的植物所完成的造景淺窪地，能夠接收小區域的雨水逕流，並且透過滲透、貯留、過濾以延遲雨水逕流，通常在區域中分散及小規模設置，具整體景觀美化效果。

生態滯留單元和雨水花園 (rain garden) 經常互用，有些地區將生態滯留單元定義為需要施作水質處理和流量控制的工程設施，包括：設計的混合土壤、下水道和控制結構，而雨水花園則僅是簡單的翻修，土壤結構之限制較少，且通常沒有銜接下水道或其他控制結構。但現今國際間因 LID 觀念之普及，雨水花園在定義上已是泛指具觀賞性且以自然形式設計的生態滯留單元，對於土壤結構及是否有管路與排水系統銜接是依環境需求而定。

生態滯留單元之設計相當多元，依據設置之位置會呈現不同之型式，包含：停車場中景觀安全島、分隔設施、公共道路用地景觀設施、道路中央分隔島或圓環、建築物透水區景觀設施、加長型樹坑、路緣擴展設施等，如右表所示。

類型：形式依施作地點 (如：道路及停車場分隔島、公共或建物景觀設施、人行道或路緣樹坑) 而異。

適用性

生態滯留單元一般以小規模方式設置於高度都市化區域內，被設計為建築物旁邊或街景內的雨水管理改造設施，施作區域包含如前述之公共道路用地、停車場、私人庭院、公共開放空間 (如公園或廣場) 、人行道及中央分隔島等。通常不建議將生態滯留單元設置於有廣大透水區域的低密度建成區。

適用區域：公共道路用地、停車場、私人庭院、公共開放空間 (如公園或廣場) 、人行道及中央分隔島等。



停車場中景觀安全島及分隔設施

停車場之景觀安全島及分隔設施設置生態滯留單元，可以同時提高停車場的美感和處理地表逕流，其可藉由整地將雨水逕流呈片狀導引流向景觀安全島及分隔設施，並透過無路緣的邊緣或路緣切口集水。（來源：CWP）



公共道路用地景觀設施

公共道路用地的景觀設計可以施作生態滯留單元以處理路面逕流，其可直接接收來自道路的片狀水流，或者透過草渠或管涵傳輸，惟適用於交通流量較小之街道，以臺灣都市發展現況來說較不適用。（來源：Seattle Public Utilities）



中央分隔島或道路圓環

道路的坡面可設計成朝向中心的中央分隔島或圓形安全島傾斜，前者需使用路緣切口集水，後者除緣切口集水外，亦可使用無路緣的邊緣集水。（來源：CWP）



建築物透水區景觀設施

建築物周圍透水區的景觀設施，可利用生態滯留單元成為多功能滯蓄洪空間，將屋頂、人行道和建築物周圍等其他不透水區域之雨水逕流收集至此處理及短期蓄存。（來源：CWP）



加長型樹坑

一般設置在人行道區域，就國內目前道路型態而言最為適用，道路雨水逕流可透過路緣切口或排水溝導引至加長型樹坑。若栽種大型喬木，則需要較大的土壤量體。（拍攝地點：林口新市鎮）



路緣擴展設施

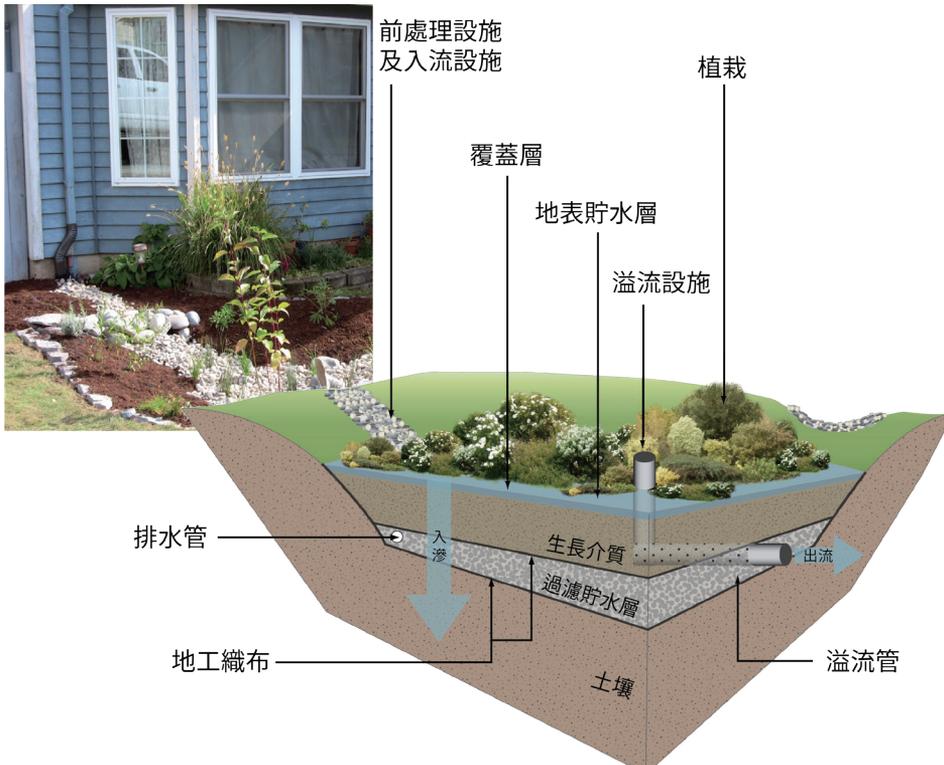
與加長型樹坑類似，安裝於公共道路用地內，惟路緣擴展設施之目的通常是為降低車速和路邊停車控制，其將混凝土之處改為低窪生態滯留單元。（來源：ASLA）

設計原則

典型的生態滯留單元主要結構包括：入流設施、前處理設施、地表貯水區、溢流設施、生長介質、過濾貯水層、排水管、覆蓋層及植栽，分別說明如下：

基本組成結構

- ▲ 植栽
- ▲ 生長介質層
- ▲ 過濾層
- ▲ 排保水層
- ▲ 攔根層
- ▲ 防水層
- ▲ 支撐結構



生態滯留單元設計圖

資料來源：www.dceservices.org

入流設施 (inflow facilities)

功能 | 蒐集雨水逕流

型式 | 生態滯留單元有 3 種主要入流方式：

A、無路緣式：逕流以分散的低流速片流方式進入生態滯留單元。適用於無路緣需求之空間，如公共道路用地景觀設施或建築物透水區景觀設施。



無路緣式入流設施

資料來源：olympiawa.gov

B、路緣切口式：利用路緣設置切口作為逕流入入口，適用類型包含停車場中景觀安全島及分隔設施、道路中央分隔島或圓環、人行道及路緣擴展設施等。路緣切口處應裝置消能及防蝕鋪墊，可採粒徑較小之卵石，一般切緣寬度約為 30~45 cm，流入口應低於緣坡 5~8 cm。



路緣切口式入流設施

資料來源：編輯團隊攝影

型式

- C、排水溝渠式：通常於生態滯留單元未緊鄰集水區域時使用，如人行道常用之加長型樹坑。由於排水溝渠寬度較窄易堵塞，因此維護管理時應特別注意，而溝渠出入口應有防沖蝕及消能設施。



排水溝渠式入流設施

資料來源：drystonegarden.com · Green Girl Land Development Solutions LLC

設計 注意 事項

- A、設計方式取決於地形、水體進入生態滯留單元之流速，以及鄰近土地利用型態和場地限制。
- B、進入生態滯留單元的流速應小於 30 cm/sec，以減少沖蝕可能性。

前處理設施 (pre-treatment facilities)

功能

設置於入流設施出口處，主要為減少生態滯留單元中的沉積物及減緩表土沖刷。

型式

生態滯留單元之前處理設施有 2 種主要型式：

- A、集水池式：適用於入流含砂量較高地區，可供水流消能及泥砂先行沉澱。
- B、開放式：採底部鋪設 5~10 cm 卵石供水流消能之用。



集水池式前處理設施



開放式前處理設施

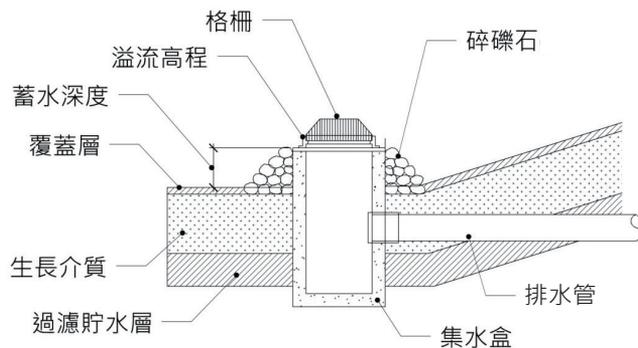
資料來源：www.vwrrc.vt.edu · njaes.rutgers.edu

地表貯水區 (water storage zone)

- 功能** | 提供地表雨水貯存及沉澱。
- 設計尺寸** | 最大貯水深度建議不超過 30 cm。
- A、貯水區深度設計應考慮滲透能力、排乾速率及栽種物種之耐濕條件。
 - B、生態滯留單元之蓄水排乾時間應不超過 8~12 小時。
 - C、土壤必須周期性乾燥化以維持充足的含氧量，提供植物健康生存環境，並進行生物分解及汙染沉澱。

溢流設施 (overflow facilities)

- 功能** | 溢流設施之功能為排除多餘之水量而不使逕流漫溢。
- 型式** | 一般有垂直豎管與溢流堰 2 種型式：
- A、設置於生態滯留單元內之垂直豎管，溢流之水量會經由排水暗渠進入道路排水系統。
 - B、於生態滯留單元臨道路側溝側設計溢流堰式路緣切口，水量經由該處溢流後，進入側溝。
- 設計注意事項**
- A、溢流設施結構設計必須能有效排除設計流量。
 - B、溢流高程應至少有 15 cm。



溢流設施結構示意圖

生長介質 (growth media)

功能 生態滯留單元的土壤介質為植物之生長基底，並需兼顧滲透速率及水質處理。生長介質除需維持足夠滲透率，以有效排除地表貯水區之蓄水量，亦應避免入滲率過高，無法兼顧污染物去除能力，且水分及養分若流失過快，將不利植栽生長。

選用材料 生長介質之組成有許多方式，可滿足上述要求者均可，建議如下：

A、60~70% 的粗砂及 30~40% 的沃土（泥礫土、壤土、蛭石及有機物組成）。

B、粗砂級配可參考下表 或符合 ASTM C-33 之級配。

粗砂級配參考表

篩號	通過百分比 (%)
19.0 mm (3/4")	100
4.75 mm (No. 4)	60 ~ 100
300 μm (No. 50)	10 ~ 30
150 μm (No. 100)	0 ~ 10
75 μm (No. 200)	0 ~ 3

設計厚度 若僅種植灌木類，生長介質層厚度建議 45~60 cm；若要種植喬木類，生長介質層厚度約 90~120 cm。

設計注意事項 A、生長介質之成分組成，應含有 4~8% 的有機物。

B、生長介質的滲透率初始值不宜大於 30 cm/hr，終端滲透率則不宜低於 2.5 cm/hr。

過濾貯水層 (filter gravel course)

功能 可過濾雜質並防止排水管堵塞。

設計厚度 建議 15~30 cm。

- 選用材料**
- A、建議可採公共工程委員會第 02726 章之級配粒料底層施工規範規範中，第三類型底層級配粒料之 B 型級配或採用第 98 頁之「粗砂級配參考表」。
 - B、若欲提高過濾層貯水能力，則可採粒徑約 50 mm 之碎石。
- 設計注意事項**
- 粒料應為乾淨的水洗石，避免表面附著之泥土經雨水沖刷後造成孔隙堵塞及水質污染。

土工織布 (geotextile)

- 功能**
- 主要功能包括排除水份、過濾、加勁及防止土料流失、預防級配不均勻沉陷與分離兩種不同的土層。當較細顆粒土壤覆蓋在較粗顆粒粒料層上時，可防止空隙因土壤顆粒下移所造成的堵塞；而當較粗顆粒粒料層覆蓋在較細粒的原生土壤上時，則可防止粗顆粒粒料下移進入底層土壤所造成的滑塌，使各土層保持其穩定性，達穩固設施之目的。生態滯留單元之地工織布設置於生長介質與過濾貯水層間，以及過濾貯水層與路基間。
- 材料規定**
- 土工織布應符合公共工程委員會第 02342 章地工織物之規定。
- 設計注意事項**
- 因織造薄膜和非織造熱融地工織布易造成堵塞，故不宜採用，應採用非織造針刺或單絲織造地工織布。

排水管 (underdrain)

- 功能**
- 因級配底基層下方為路基，而一般路基土壤之入滲速度遠低於上方之鋪面層、級配層等之入滲速度，故設置排水管於級配底基層，確保在一定時間內可有效將級配基層與級配底基層雙貯水區的貯留水量導引至排水系統，以維持級配層之入滲及貯水能力，避免貯留水量僅能藉路基入滲及蒸發散排除，難以在降雨場次較密集時發揮貯留功能。

材料 規定

需為多孔排水管。

設計 尺寸

本手冊參考美國科羅拉多州丹佛地區都市暴雨管理技術手冊 (USDCM, 2011) 之建議，多孔排水管設計尺寸採 5~15 cm。

設計 注意 事項

- A、排水管開孔應小於級配底基層之粒徑，防止骨材流失或排水管堵塞。
- B、排水管安裝坡度最少應有 0.5%。
- C、排水管每隔 75~90 m 設置 15 cm 的硬質無孔觀測管或連接維修通道，以提供清理出口，以及作為觀測井以監測降水率。

覆蓋層 (mulch layer)

功能

又稱為護根層，可減少雜草生長（特別是在植栽建立期間）、調節土壤溫度和水分或減少表面沖蝕。生態滯留單元不一定需有覆蓋層。

選用 材料

- A、植栽用切碎或破裂的硬木屑、雜草種子或其他非樹幹或分枝的木頭和樹皮的材料。
- B、礫石。

設計 注意 事項

- A、植栽用碎木屑主要鋪設於蓄水高度以上的側坡區域邊緣。
- B、在流速較高的生態滯留單元內，覆蓋物可採用礫石，兼顧消能與保護底層。一般採 2.5~4 cm 的圓礫石。
- C、覆蓋層厚度最多 5~7.5 cm。太厚會抑制土壤和大氣之間適當的氧氣和二氧化碳循環。
- D、覆蓋物不應選用草屑或純樹皮，草屑分解是氮的來源，因此不推薦將覆蓋物用於生態滯留區；樹皮基本上是無菌的，會抑制植栽建立，若使用樹皮則必須混用其他材料。

植栽 (vegetation / plant)

功能 | 美化景觀及水質淨化。

植栽選擇 | 本手冊生態滯留單元之植栽種類以小型喬木、灌木及草本植物為主，說明如下：

- A、土壤水分條件：因設施內的土壤水分狀況會從飽和（單元底部）到相對乾燥（單元邊緣），或是降雨貯水與陽光曝曬交替，故植物需選擇能適應乾濕交替的物種，如翠蘆荊、射干等。
- B、植物根系：篩選植物的大小和抗風性時，應考慮周圍建物狀況，若臨近有地下設施，應挑選植物根系深度不會破壞地下設施者。開縫或穿孔管應距離樹根超過 1.5 m 以上（當空間允許時）。
- C、污染物負荷：能涵容初期地表逕流之污染物。
- D、種植生長旺盛及快速的品種。
- E、採複合型植栽以防止因單一品種而失敗及兼顧生態多樣性。
- F、小型植栽開始的灌溉需水量及移植時受到的衝擊均較少，較快適應現場，移植成功率大於大型植栽，且較便宜。
- G、大型喬木容易破壞設施結構，不建議採用。
- H、可參考「應用於綠建築設計之臺灣原生植物圖鑑」（內政部建築研究所）

設計注意事項

- A、佈置及選擇植物時，應以最大尺寸考量與鄰近地區的距離。
- B、應考量設施的基礎結構需能夠目視檢查及方便操作。
- C、灌木應考慮成熟時的大小和位置，防止過度的遮蔭，確保生態滯留區底部植物的生長不受影響。
- D、木本植物會集中或限制水流，使根部周圍受到侵蝕而壞死，不應直接設置於入流設施之流路上。

整體設計注意事項

- (1) 集水面積：生態滯留單元通常應用於小區域（2 公頃以下）。
- (2) 邊坡斜率：邊坡斜率（V：H）建議不大於 1：3。
- (3) 底部寬度：最小為 0.3 m，以不小於 0.6 m 為宜。
- (4) 設計坡度：生態滯留單元適用於緩坡（5% 以下），但仍需足夠的坡度以確保雨水之收集。當其受現況地形限制，設計坡度大於 5%，則需考量配合設置小型攔水消能設施，以降低流速和防止沖蝕。一般可採用石塊堆砌。
- (5) 密集的地被可提高土壤結構性，在大雨事件時增加土壤介質層結構穩定性，抑制雜草生長及提升美觀，建議在沒有高度重金屬污染的地方使用地被覆蓋。
- (6) 應至少有 30 cm 的肩緣介於路緣及生態滯留單元設施邊緣間，以平齊路緣。



小型攔水消能設施 - 混凝土結構 / 石塊堆砌

資料來源：SvR Design Company

施工注意事項

- (1) 若生態滯留單元的植栽工作延遲（例如：生長介質在夏季鋪設，植物直到秋季才進行栽種），應立即放置覆蓋物，防止雜草生長。
- (2) 生態滯留單元設施用以平齊路緣之肩緣，其夯實率應到達普羅克特試驗 90% 的標準。
- (3) 運送植物時，所有的植物都應被標記，以資識別。