

第一章、導論

第一節、計畫緣起與目的

一、汽車文明對人造與自然環境的影響

汽車的大量增加與道路的大規模建設對人造與自然環境的影響可說非常嚴重。二十世紀八十年代中葉之後，台灣進入汽車化的社會，隨著汽車持有率的增加，道路建設也迅速展開。目前汽車已是台灣社會經濟活動、日常生活中不可或缺的交通工具。大規模的道路建設與使用對自然環境則產生直接或間接的影響，同時隨著時間的推移，錯綜龐雜的路網系統建構也逐漸地危害到區域與城鄉環境的生態平衡。因為道路建設穿越野生動物圈，動物向水源、覓食場所與繁殖場所的移動就會發生困難，動物橫越道路也容易發生意外事故。另外，道路建設還會造成風場風向、溫度溼度的異常變化，甚至可能引起局部地區乾燥、水脈割斷、地下水位下降等。無止盡的公路建設也正一步步地蠶食和損害森林與自然環境。大量汽車行駛過程中排放的氮氧化合物（NO_x）、塵埃顆粒物所造成的大氣污染與噪音、振動等公害則在都市化地區相當嚴重。尤其是汽機車大量使用石化燃料的後果是硫化物取代粉墨成為大氣污染的主要污染物，經由大氣水文循環產生的空氣與水質污染公害最後還會傷害到人體的健康，甚至造成嚴重的社會問題。

二、市區道路應用生態工程的必要性

傳統的城鄉規劃體制中往往大多只考慮到土地使用開發與交通運輸的機能，道路設計與工程建設的終極目的則在提供安全、經濟與有效的道路系統，至於市區道路規劃、設計、施工與營運維管階段，長期以來則始終忽略其與都市整體運作與全球氣候變遷的交互關連性，也不在乎道路工程建設背後所付出的社會環境成本與長期影響。以國家永續發展的願景與政策目標來看，同時因應全球各國永續城鄉發展與生態城市建設之發展潮流與趨勢，市區道路是都市系統的血脈，舉凡都市中的快速道路、主要道路、次要道路與服務道路等皆與民眾生活息息相關，市區道路工程興建的同時，應該要積極思考應用生態工程增進道路沿線環境保全，才能維持在地環境和地球維生系統的永續健康。

三、我國推動生態工程相關研究之概況

目前我國政府辦理各項公共建設工程均致力於生態工程之推廣應用。行政院公共工程委員會雖然已經陸續完成生態工程之相關研究，惟均偏向於山坡地與集水區整治工程（行政院公共工程委員會，2005）、河海整治工程及公路系統水土保持工程（行政院公共工程委員會，2005；亞新工程顧問股份有限公司，2005/2004），對市區道路應用生態工程之相關研究較少，且偏重市區道路設計規範與多元化設施功能（財團法人新環境基金會，2001；中華民國景觀學會，2006；財團法人中華顧問工程司，2003），目前雖然已經有許多道路工程規劃與設計的規範準則與設計手冊，但是市區道路實際應用生態工程於道路保水排水、植生生態、省能及資源再利用、社會環境成本等方面仍然欠缺完善的實施機制與配套；其實，市區道路的環境狀況與空間使用性質有其特殊性，而且和城市設計介面的關係日益倍受注意（Savvides, A. 2004；Hebbert, M. 2005）：

- （一）Michel de Certeau（1984）就說：社會生活的關鍵就在街道這個層次，在此我們可以觀察到大量人類的日常生活習慣。
- （二）市區街道車流頻繁，路邊人行和停車功能不可缺少。市區道路沿線兩邊住商土地利用活動密集，違規使用佔用頻繁。
- （三）市區道路的街道傢俱、公用設備與交通標誌佈設密集。
- （四）市區道路路容與景觀綠化現場養護不易，養護維管經費拮据。
- （五）市區道路環境直接影響社會公眾對城市景觀的觀感。
- （六）市區道路占都市計畫用地（約 10%）與公共設施用地（約 50%）之比例甚高。
- （七）市區道路路權範圍內相關介面甚多，倍受社區住民和地方政治因素干擾。

基於內政部營建署為市區道路之主管機關，所以擬針對市區道路設計與建設運用生態工程有關之作業項目（譬如：基地保水、植生生態、太陽熱輻射、營建資源回收再利用、工料與養護管理成本、增進人員生態素養與工程倫理、採購實務守則、應用規範等），參考營建署年度辦理之生活圈道路工程系統建設計畫為實務範例，期能發展作為日後辦理市區道路工程計畫應用生態工程之實務參考守則，並促使我國市區道路工程發展能朝向人本與永續交通運輸建設之願景目標。



▲圖 1- 1 市區道路環境與空間使用情況照片

(資料來源：蔡厚男，2006，綠色道路—生態道路之規劃理念與設計模式，市區道路景觀與人行環境改善觀摩與講習研討會)

總之，本計畫任務目標為：

(一) 落實應用生態工程進行市區道路新建與景觀改善工程，有效提升市區道路環境生態品質與充實多元的設施服務機能，提升都市環境生態效能，落實永續城鄉發展與生態城市建設的理想。

(二) 協助營建署推動以生態永續為主的道路工程建設。

第二節、工作範圍與內容

依據委託研究投標須知，服務項目應包含下列：

- 一、蒐集與研析國內、外市區道路應用生態工程之相關案例、實務作法及技術。
- 二、探討國內目前市區道路應用生態工程可能遭遇之困境與對策。

三、由基地保水、植生生態、太陽熱輻射、營建資源回收再利用、供料與養護管理成本等面向，依據不同市區道路斷面環境狀況與使用特性，於調查、規劃、設計等作業階段，提供道路建設與環境生態維護之配合方式、具體辦理內容與生態工程技術使用考量重點，以及設計模式與參考案例並評估各類型市區道路改善計畫編擬的參考基準。

四、依據研究內容重點，選擇營建署辦理之道路工程計畫作為實務範例，分析市區道路的使用特性和常見課題，歸納應用生態工程改善市區道路環境的方案模式類型。

五、協助內政部營建署辦理相關道路工程建設推動生態工程包括：

- (一) 協助營建署辦理之相關設計審查作業，並視需求參與計畫工址的現地勘察作業。
- (二) 配合舉辦市區道路工程計畫應用生態工程之實務研討座談。
- (三) 縣市政府提報市區道路工程計畫應用生態工程之實務資料收集、彙整及分析。

六、配合作業單位的行政需求，不定期召開工作討論會議。

七、配合與協助內政部營建署辦理相關成果發表會，與研擬推廣生態工程應用於道路工程講習會之教材。

八、本計畫案如遇外界需進一步瞭解或需適時配合政令宣導時，應協助擬具計畫計畫說帖，並協助營建署對外說明。

第三節、計畫預期成果與目標

- 一、本計畫將搜集及參考國內、外市區道路生態工程相關之案例、實務作法與技術，並將針對有關市區道路生態工程之生態調查內容，各階段辦理原則及檢核表之查核項目進行彙整，進一步提出市區道路工程可行性評估、規劃及設計階段之參考準則，期能供為各單位落實市區道路生態工程之參考依據。
- 二、協助營建署推動與審查年度辦理之生活圈道路工程設計和道路系統建設計畫。
- 三、未來將依指定之地點及數量，寄送本委託研究計畫之成果報告（含光碟），供各單位參考使用

第二章、我國市區道路建設的發展、課題與使用特性

第一節、臺灣市區道路建設的發展、課題與使用特性

一、台灣市街道路建設簡史

台灣早期的道路與市鎮開發均屬自然形成與發展，其發展過程與型式皆毫無規劃。直至光緒五年三月台北知府陳星聚公告台北城內建屋規定，寬一丈八尺，深二十四丈，此後「丈八店面」成為一間店舖之標準寬度（揚金樞，1985）。這樣的制度造成在此時期所建築之街屋都是此規格，使得往後沿線土地分割呈現特殊的街屋型態，至今仍可在部分道路看到其蛛絲馬跡。

日據時期，日本殖民政府受近代城市規劃理念的影響，對街道空間的產生十分重視，在都市規劃、街道設計、工程施作、私人營建、經營管理等各階段都有嚴格控制。依地方發展的規模來定出道路幅員的大小後，透過「街路取締規則」來嚴格控制街道兩側的店招、路燈、雨遮、電線桿等設施；透過「家屋建築規則」來強制設置騎樓並控制私人營建基地與街道的相對高差；最後透過保甲組織和嚴格的警察制度來執行接到空間的管理，包括街道清潔、街道活動、街上舉止等都有訂定管制規則（鄧寧，1996）。在這個時期，殖民者嚴格控制著產生街道空間的各項機制，使得街道景觀整齊乾淨。

光復後，國民政府對於城鄉的控制無法像日本殖民政府般嚴密，對街道的各種管制逐漸鬆弛，加上農業經濟持續發展，農村人口尚未大幅外流，都市也仍未湧入大量人口，使得街道、騎樓、店家以及市招設施等得以在空間上保持原有的秩序（曾旭正，1998）。1970年代起因為經濟快速發展，人口快速且大量的進入各大都市中，市區道路不斷拓寬，沿線建築快速翻新，但政府對於新建街屋沒有完整嚴密的約束制度，店家住宅的騎樓、店招、營建基地與街道的相對高差等都各自為政，以致出現今日的街道景觀。此種亂像於司馬遼太郎所著的「台灣紀行」中，亦有特別提到台灣高低不齊的騎樓空間，走來提心吊膽，須時時注意腳下落差。

近代的台灣因為經濟開發與快速的成長，經過長時間發展的街道一夕間被拆除並急速換裝，但新裝不但無法延續舊有特色風格，反倒對街道景觀造成劇烈的負面衝擊。所幸起初政府未編列大筆預算進行道路沿線土地徵收，因為 1988 年 9 月都市計畫公共設施保留地的 15 年徵收期限即將屆滿，因此政府編列了大量的預算進行土地徵收，直至 1991 年底共編列了 5100 餘億元，自 2002 年起政府又編列了 2200 餘億元的工程經費，在全省各地大規模的進行道路拓寬工程。賴宗裕於 2006 年 2 月 23 日中國時報社論中表示：

全台灣截至 2004 年底，汽機車總數為 19,183,136 輛，近十年的成長率高達 45.31%，事實上大量的興建道路是趕不上汽機車的成長，從 1993 年汽車密度為公路面積每一平方公里 110.2 輛，成長到 2003 年的公路面積每一平方公里 169.5 輛，擁擠程度成長了 53.8%，換句話說，車道的成長大幅落後汽車的成長，讓人總是感覺到都市很擁擠，原因在於過去為了滿足用車者的需求，不斷地擴建車道、增加到路面積，也間接引發更大一波的用車者需求，在多的車道也沒有辦法滿足要快速馳騁的用車者，使得交通更加混亂與不安全。

上述戰後的快速都市開發與缺乏管理制度，造成了台灣街道空間存在著一些共通的問題，包括建築騎樓、店招、營建基地與街道路面的相對高差等皆各自為政，街道景觀雜亂且造成行人諸多不便；店家普遍佔用騎樓與路面，造成實際可用道路面積減小，人車混雜爭道，暗藏危機；攤販佔用路面，不僅影響交通且排擠正規商店，減低街道商業的多樣性；缺乏停車規劃，汽車和機車停車空間混亂，嚴重影響行人空間；街道空間缺乏適當的公共空間供作停留休憩或戶外聚集之用。

二、二十一世紀永續生態城市之理想街區為何？

工業資本主義的城市逐漸步入解組和轉型，後工業資本主義的城市將會尋求清潔能源與節能、善待環境、珍惜有限寶貴的自然資源之創新發展模式。除非資本主義發生全面性的崩潰，「自然」將逐漸融入資本主義的發展體制，我們質問的是：「後工業資本主義的永續生態城市之理想街區為何？新的街道規劃建設思維和實踐之道為何？」如果不拋棄陳舊的思維，我們將無法發現創新的理念和建立美麗新家園的遠景。

▲表 2-1 台灣戰後道路建設思維的演進

人類文明演進的時代脈絡	城市化和工業化的初期階段	城市化和工業化的成熟階段	後工業城市區域和資訊時代
道路規劃建設思維	建構道路形式和功能的標準化	考慮都市景觀構成與道路綠美化	重視永續城市和道路建設之生態影響的評估和管理
歷史年代 (各階段堆疊交錯在一起)	60-80 年代中葉	70-90 年代中葉	90 年代中葉迄今
道路環境特徵	道路廊道直接又粗暴地切割城市空間社會紋理	城市建設重視形式功能與視覺景觀的秩序	有機整體的系統生態管理 自然與文化的多樣性
道路環境倫理	人定勝天	工程與自然僵固無奈的妥協	大地之愛與尊重自然

▲表 2-2 台灣都市綠化和道路樹種之演變

日據時代與國民政府遷台初期	城市化和工業化都市發展階段	後工業城市區域和資訊時代
考量經濟效用，以用材樹種和果樹為主	考慮都市景觀的幾何秩序，以觀賞花木與優型樹種為主	考慮都市生態的複雜性與多樣性，以鄉土原生樹種為主
路樹植材選用經濟造林與作物生產的樹種	都市綠地常用綠蔭生長快速、容易養護之外來引進或馴化栽培樹種、與四季草花綠美化	考量區域地理生態分區，尋找最佳複合生態綠化方案，形塑有鄉土地景特色之道路綠網系統

第二節、臺灣市區道路景觀養護與環境保全

一、市區道路使用現況檢討與診斷:道路環境危機與保全

(一) 市區道路穿越城鄉環境與自然生物圈，蠶食損害自然環境，改變水文生態路徑，減少綠覆面積，汽車排放大量氮氧化合物、塵埃微粒，造成空氣污染，影響人類健康。



▲圖 2-1 高雄市區道路
(本研究拍攝)

(二) 建構道路綠網系統，運用生態工程增進道路沿線環境之保全，才能維持道路環境和地球維生系統的永續健康。

(三) 市區道路與城市空間、建築等介面影響城市環境與生活品質甚鉅，亟需跨交通、工程、景觀、生態與空間專業的整合視野，才能孕育有情趣、曼妙、和快活的城市街坊生活願景

二、市區道路環境與空間使用的課題

(一) 市區道路沿線兩邊的土地利用活動密集，市區車流頻繁，違規停車使用佔用頻繁，路邊人行和裝卸貨物停車空間嚴重缺少。



▲圖 2-2 市區道路的分隔綠帶
(資料來源：蔡厚男，2006，綠色道路—生態道路之規劃理念與設計模式，市區道路景觀與人行環境改善觀摩與講習研討會)

(二) 車行取向的市區道路規劃設計，忽略人行道和街區生活空間的重要性。

(三) 道路斷面類型需要配合社會價值觀與城市生活型態轉變檢討，街道家俱、公用設備與交通標誌密集凌亂，缺乏整合有序的規劃設計。

(四) 市區路容與景觀綠化現場養護不易，應該建立委外維管技術規範和充實經費人力。

(五) 缺乏林蔭綠網鑲入的市區道路環境，直接影響公眾對城市景觀雜亂的觀感。

(六) 市區道路占都市計畫公共設施之比例甚高，而且街道路幅太大，不但浪費太多資金和土地，同時增加人車衝突的危

機及環境衝擊。

(七) 市區道路路權範圍內相關介面甚多，經常受到社區居民和地方政治因素干擾。

三、兩難僵局：道路工程和環境保全的常見爭議

(一) 傳統上，工程師和環境或生態科學家缺少平台和機會對話，但是工程建設所涉及諸多科技、法律、社會與生態健康等層面的環境影響課題。

(二) 工程師的訓練養成重視如何借助科技途徑尋求問題解決的方案，惟其問題解決方案與對策之成效或效益如何卻甚少被探討。

(三) 隨著人類開發行為對全球生態環境之衝擊程度日益加鉅，工程環境之生態限制，愈來愈成為是決定科技與生態系統服務之間能否取得平衡的關鍵考量因素。

(四) 生態系統服務是否已遭受干擾甚至劇變（各種社會環境問題的徵象），確實是社會公眾知覺與認知的問題。

(五) 面對當代社會的生態危機，如何建構一系列可被管理的共同演變過程（Managed co-evolution）來連結自然系統（Natural Systems）與人類福祉（Human Well-being）之間的關係，可說是人類社會為降低自然生態限制內工程技術風險的可行途徑之一。

(六) 道路建設依據不同工程生命週期階段之特性，考量生態永續及應用生態工程之諸多觀念與操作準則，建構一系列可被監控、可共同參與分享經驗的共同運作演變的過程，也算是反思性的現代化（Reflexive Modernization）面對全球性風險的危機，透過體制的開放與彈性，降低現代工程技術之不確定性風險，提昇工程建設增進社會福祉之例證。



▲圖 2-3 城市道路景觀

(資料來源：蔡厚男，2006，綠色道路—生態道路之規劃理念與設計模式，市區道路景觀與人行環境改善觀摩與講習研討會)

四、市區道路權責體制現狀的檢討

這些市區道路使用現況檢討、問題診斷與僵局現象背後，其實隱含市區道路權責體制的現狀在設計概念、專業養護的人力、預算、權責與教育宣導上有如下課題需要釐清：

(一) 市區道路景觀自然美與機械美之爭論

市區道路景觀美的最高指導原則是借景自然、因地制宜，不可直接套用規則化的設計模式。

(二) 生態綠化與人工美化之混淆

園藝商業利益經常主導道路綠化思維，生態綠化與園景美化的觀念混淆視聽。其實，多數路段的道路綠化只需維持良好的路樹管理與路肩草坪自然平整即可。

(三) 市區道路景觀與植栽養護之專業化不足

年度作業計畫不夠完善、工作內容專業化不足，應廣納專業諮詢顧問，訂定外包養護工作合約作業細項要求。

(四) 基層組織人力量能不足、預算財源有限：

市區道路景觀養護工作長期不受重視、內容龐雜繁瑣又危險，目前缺乏足夠的預算財源支持，基層專責業務人力量能不足，長期而言必須逐步建立市區道路景觀年度養護作業計畫與規範、技術標準與單價預算基準等，以建立成熟的市區道路景觀養護體制條件。

- (五) 欠缺積極主動精神，查報違規問題和釐清市區路景觀維管養護的權責：
市區道路景觀維管養護界面繁多，直接承受地方政治壓力；應該主動積極透過與相單位的聯合會報反映違規問題列入議事紀錄，事故或問題出現時會有助釐清權責所在。
- (六) 教育宣導及社區互動不足：
市區道路環境整潔和自然美觀需要社會全民長期的支持與合作，但是道路建設養護單位長期來只重視工程硬體的建設任務，卻輕忽與民互動溝通的績效行銷。
- (七) 企業認養方案的錯誤示範：
企業認養方案淪為戶外商業廣告，侵害市區道路地景的公共性與環境生態效益，甚至造成視覺景觀污染，錯誤示範不足取法。

五、根據台灣市區道路現象問題的綜合檢討，提出維護管理整體建議如下：

- (一) 各地道路景觀發展定位不一，建議可以因地制宜考量優先次序、分級維管養護。
- (二) 建立委外合約工事預算的單價基準。包含直接工程費的材料、勞務，間接工程費的搬運、準備、假設預防工事、技術管理等費用單價；但需參酌營建物價波動定期通盤檢討。
- (三) 建立路樹與林地管理規程、綠化工程驗苗及撫育作業之標準。路樹管理包含疏剪整枝、病蟲害防治、支柱、倒木復原、除草與施肥澆灌等作業；林地管理包含疏伐、間伐、切除、打枝、補植、施肥、除草與病蟲害防治等作業。
- (四) 訂定市區道路綠化苗木植材採購的標準規格，以確保市區道路綠化與路樹的品質。
- (五) 各工程處應該建立道路景觀的中長程與年度實施計畫，並且將市區道路景觀實施計畫年度工作重點、實施績效與投資規模整編納入道路建設統計年報，作為推進中長程市區道路景觀計劃的參考基礎。

- (六) 統一建立標準化之道路景觀設計維管作業流程 (standard operational procedure) 與相關準則規範、技術標準及實施方式。
- (七) 選定特定路線分段分年參加金路獎優良市區道路景觀路段評比考核。藉由考核方式可以具體呈現道路景觀養護事業連續年度工作重點、實施績效與投資規模的改進情形和實施成效。
- (八) 保留路樹和綠地栽植空間。路肩保留路樹和草坪綠地可以增進道路景觀之美，不宜全部以水泥側封固化或堆置營建廢棄土石。
- (九) 中央應該訂定路權範圍內管線地役權的法源，以利重要景觀道路路段協調管線地下化或外移。
- (十) 增進基層人員的環境素養，提供進修機會學習認識地域性的自然環境條件及植物生態特質，善用鄉土與原生植物。
- (十一) 結合最小人為干擾 (例行養護工作) 及不確定性自然干擾 (颱風梅雨季) 的交錯作用，催化道路邊坡景觀生態的演進與穩定，確保道路水土保持。
- (十二) 道路景觀之美最終應該回歸土地之愛，自然之美。

第三節、市區道路的功能分類與相關設計標準

目前臺灣地區之道路主要可分成「市區道路」與「公路系統」兩大類，其中市區道路的中央主管機關為內政部營建署，而公路系統的主管機關則為交通部公路總局，且各有其不同的法制與行政體系：

1. 市區道路：

依據市區道路條例第二條，市區道路的範圍包含 2 直轄市（台北市及高雄市）、5 省轄市（基隆市、新竹市、台中市、嘉義市、台南市）及全國 446 個都市計畫區內所有道路均屬之。

2. 公路系統：

依據公路法，公路之範圍則為國道、省道、縣道、鄉道及專用公路等。其中在人行設施之設置上，市區道路由於行人旅次高，通常會於其道路兩側佈設人行道設施；但公路系統視其公路等級或行經區段，故並不一定會佈設人行道設施。

市區道路的功能以交通功能為主，但因其屬於公共空間之一，所以其道路空間之使用上，具備提供公共休閒及綠化植栽之功能，並且提供放置其它公共設施之功能。因此，道路的使用特性可分為交通功能及道路空間使用兩方面來作討論。

一、交通功能分類

道路功能分類之目的，主要係在區分道路系統成不同層次的次系統，並賦予各次系統不同任務，以期發揮道路系統最高效能。根據現行市區道路分級與相關規範（內政部營建署：市區道路及附屬工程設計標準：公共工程篇），市區道路依其功能分為快速道路、主要道路、次要道路及服務道路等四類，並建立市區道路路網系統。

（一）快速道路（Expressway）：

指供穿越都市之通過性交通及都市內通過性交通之主要幹線道路。其交通功能屬於主要道路之一種，且優於主要道路。包括：

1. 以匝道或立體交叉方式與其他市區道路銜接。但經該管主管機關許可者，得與主要道路或次要道路採平面相交，並設置號誌實施管制。
2. 雙向車道間應以實體分隔，各方向應為二車道以上。
3. 不得與鐵路或軌道運輸設施平面交叉。
4. 快速道路二側鄰接平行道路時，應採實體分隔或立體分離。

(二) 主要道路 (Arterial) :

指都市內各區域間或連接鄰近市(鄉、鎮)間之主要幹線道路。供交通繁忙地區與外圍重要鄉鎮市連絡之道路，並兼供穿越城市交通使用，或聯絡市區內各分區之間的幹線道路。包括：

1. 聯絡縣市之間，及大型港口、機場、與重要城市中心之主要道路。
2. 院轄市內聯絡各區之主要道路。
3. 縣(省轄市)內貫穿三個以上鄉鎮之道路。
4. 都市計畫區對外聯絡之主要道路。

相關設計標準如下：

(1) 同一主要道路之路型配置應一致。但通過特殊路段區間時，得視情況為必要之調整。

(2) 採中央分隔或快慢分隔，各方向應為二車道以上。

(3) 依實際需求留設人行道及公共設施帶空間。

(4) 依運輸特性、道路實質條件等需要，設置公車專用道、機車道、人行道或腳踏車道。

(5) 與其他主要道路或次要道路平面交叉，應設置號誌實施管制；與服務道路平面交叉時，不得穿越中央分隔或快慢分隔設施。但經該管主管機關許可者，得採平面交叉路口，並設置號誌實施管制。

(三) 次要道路 (Collector Street) :

指都市內各區域間或連接鄰近市(鄉、鎮)之間的聯絡主要道路與服務道路之次要幹線道路。提供與鄰近社區或鄉鎮或村里聚落間之聯絡道路，具聯絡主要道路與服務道路之功能。包括：

1. 與主要道路連接之都市區內聯絡道路。
2. 與主要道路連接之縣(省轄市)內聯絡道路。
3. 與主要道路連接之縣轄市、鄉、鎮、分區內聯絡道路。

其相關設計標準如下：

(1) 各方向至少為一快車道及一慢車道。

(2) 依實際需求留設人行道及公共設施帶空間。

(3) 依運輸特性、道路實質條件等需要，設置機車道或腳踏車道。

(四) 服務道路 (Local street)：

指提供都市內社區人車出入或至次要道路之聯絡道路。提供各社區或鄰里單元至次要道路之通道。包括：

1. 集散道路：

供鄰里或社區之地區性活動使用，以集散道路來連接次要道路與巷道之間者。

2. 巷道：

在鄰里或社區之中，供道路兩旁建築物人車直接出入之道路。

其相關設計標準如下：

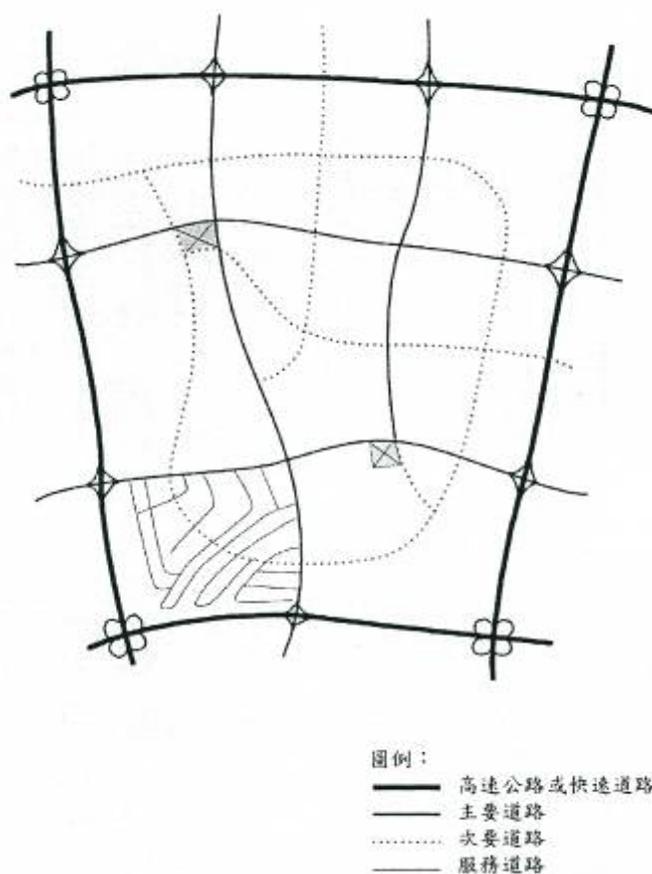
- (1) 雙向通行道路寬度十二公尺以上者，應留設人行道空間。但設有騎樓者，得視實際需要留設。
- (2) 依都市發展、運輸特性及道路實際需要，設置行人徒步區或交通寧靜區。
- (3) 市中心區及密集住宅區之服務道路，配合行車需要規劃為單行道。

▲表 2-3 依道路功能分類、地形分區訂定之市區道路設計速率

道路功能分類 設計速度 km/hr 地形分區	快速道路	主要道路	次要道路	服務道路
平原區	60~100	50~80	40~70	15~50
丘陵區	60~80	50~70	40~60	15~40
山嶺區	50~60	40~50	30~40	10~30

資料來源：內政部營建署，市區道路交通島設計手冊，2003。

依道路交通功能分類之方式，一個都市計畫區或都市可以擁有不同功能分類之道路層級(圖 2-4)。一般而言，人行道寬度需求並不一定與道路車流量成正比，例如：部份快速道路規劃，其通過性交通需求量較大，相對於鄰近土地使用人口集中量較小，在人行道使用率低的情況下建議採較小寬度；而社區內服務性道路則相對可提供較佳的人行空間品質，提高使用者步行意願，可因此加強社區意願，故對社區發展而言，人行道是極重要的空間元素。



▲圖 2-4 市區道路交通功能分類圖

(資料來源：內政部營建署，2003，市區道路交通島設計手冊。)

(五) 其他類型之市區道路

1. 防汛道路

防汛道路在平時非洪泛期供一般車輛行駛藉以疏散地區性的交通擁塞，河堤內的其餘空間通常設有河床綠地、廣場、運動場及停車場，提供附近民眾休憩與生活需求。每當需要排洪或是洪泛期，河堤內之河道空間則作為排水之用。

2. 引道、匝道、系統交流道 (Interchange)

在絕對限制出入之道路上，所有交叉口均採立體交叉，或設置進出匝道方式匯入或分出。此類空間為不同層級或不同型態之道路間的連結樞紐，亦可能是多數道路立體交叉之節點。

3. 人行陸橋（Skywalk）與人行地下道

在交通繁忙不適於設置行人穿越道或是受到堤防、河川阻隔之處，為了滿足行人安全的穿越性交通需求，則設置人行陸橋或地下道。

4. 立體交叉道路

（1）採用道路立體交叉之原則

下列各種情形可考慮採用立體交叉：

- A. 在絕對限制出入之道路上，所有交叉口均採立體交叉，或設置進出匝道方式匯入或分出。
- B. 道路之平面交叉無法滿足交通需求，而形成瓶頸現象時，得採用立體交叉以緩和之。
- C. 具有嚴重危險或事故頻繁之平面交叉口，得改採立體交叉。
- D. 兩相交叉道路因地形特殊，或有相當大的高差，可考慮改為立體交叉。

（2）立體交叉之型式

- A. 市區道路立體交叉應依交通功能設計及成本，可採地下型式或高架方式辦理，並應減少對景觀與環境的影響。
- B. 道路與軌道運輸系統交叉型式（內政部營建署：市區道路工程規劃及設計規範之研究）依表 2-5 之規定設置。但對於輕軌運輸系統（輕軌電車）之設置，則可另行考慮。

▲表 2-4 道路與軌道運輸交叉型式

道路分類	道路與軌道系統交叉型式
快速道路、主要道路	立體交叉
次要道路、集散道路	以立體交叉為原則

資料來源：內政部營建署，2001，市區道路工程規劃及設計規範之研究。

C. 道路與軌道運輸系統平面交叉型式規範

- I. 平交道之交角不得小於 45 度。未設置警報器或遮斷器之平交道，其交角不得

小於 60 度。

- II. 距平交道 30 公尺以內，縱坡度宜不大於 2.5%。趨近平交道路段停車視距以內，上、下坡不得大於 4%。
- III. 平交道處道路線形宜平直，距平交道 30 公尺以內，避免設超高及變化線形，應具安全設備。並依交通部與內政部合編公佈之「道路交通標誌、標線、號誌設置規則」辦理。

二、道路空間分類（見表 2-5）

▲表 2-5 市區各級道路空間分類特性表

道路空間分類設計特性	快速道路	主要道路	次要道路	服務道路	
				集散道路	巷道
1.進出管制	全部或部分	部分或無	部分或無	無	無
2.行駛車輛	各種汽車	各種車輛	各種車輛	各種車輛	各種車輛
3.車道數（單向）	2 以上	2 以上	1 以上	1 以上	—
4.中央分隔帶	有	有或無	有或無	無	無
5.車道（快慢）分隔帶	—	有或無	有或無	無	無
6.機車道	無	有或無	有或無	有或無	無
7.路肩（註 1）	有	有或無	有或無	有或無	無
8.路邊停車（註 2）	無	有或無	有或無	有或無	有或無
9.公車專用道	有或無	有或無	有或無	無	無
10.公車停靠站（註 2）	無	有或無	有或無	無	無
11.人行道	無	有或無	有或無	有或無	有或無
12.腳踏車道	無	有或無	有或無	有或無	有或無
13.行人穿越設施	立體	平面或立體	平面或立體	平面或立體	—
14.公共設施帶	有或無	有	有	有	有或無
註： 1.市區道路若無混合車道時可視實際需要加以適度調整，設置時外側路肩宜大於 1 公尺。 2.有關路邊停車或設置公車停靠站之方式，可依實際道路設計之需求決定。若道路路權空間充裕，可考量在不影響車流運轉之條件下，設置路邊停車格位。 資料來源：內政部營建署，民國 94 年，市區道路及附屬工程設計規範（草案）。					

第三章、市區道路生態工程的目標、方法及內容

第一節、市區道路應用生態工程之目標

強調地球發展與環境生態共生共存的「永續發展 (sustainable development)」理念逐漸被世界各國所接受，並逐漸建制化予以落實，成為全球性環保工作的趨勢與重點。永續發展的真諦是「促進當代的發展，但不得損害後代子孫生存發展的權利」，公共建設朝向「綠營建」的定義即是：為確保生態永續，促進公共建設與環境相調和，減緩人為施作對自然環境的衝擊，於工程規劃、設計、施工與營運養護階段採行必要手段所完成之營建工程。公共建設推廣應用「生態工程」依行政院公共工程委員會之定義為：生態工程係指人類基於對生態系統的深切認知，為落實生物多樣性保育及永續發展，採取以生態為基礎、安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程設計。

道路建設與民眾的生活息息相關，其銜接鐵路、空運及海運等其他系統而構成國家完整之運輸網絡，在國家社會及經濟發展上肩負著不可抹滅的重要角色。據研究統計，2002 年台灣地區道路總長約為 37,299 公里，其中都市道路總長約為 16,483 公里，公路系統總長約為 20,816 公里。然而過往道路建設多強調以發展民生經濟為主要考量，在規劃、設計、施工、養護及拆除等生命週期各階段，諸如路線選定、道路構造型式的設計、工法及材料選用等經常忽略對自然環境的衝擊，例如道路坡度及線型設計上未達到土方平衡，而常有大挖大填的情形發生；道路鋪面大量使用瀝青混凝土及水泥混凝土等不透水性材料，改變原有的水滲透模式進而影響大地的水涵養能力；施工過程產生大量營建廢棄物及污染；道路路基、基底層、面層等施工材料消耗大量天然土石資源等。

在既有規劃體制中，多著重都市發展與交通運輸機能考量；自公部門原有之公路分類以及各級地方政府之市區道路分類綜觀之，似仍以行車效能、服務水準以及安全考量為路網建構之必要條件。根據統計分析，全台灣都市計畫土地中公共設施用地即有 33% 以上為市區道路用地，若再加上快速道路、鐵路、捷運乃至未來可能闢建之輕軌等這些路網的串連，將成為現代都市生活空間場域中不可或缺的動脈。是以，本研究即以應用生態工程為研究核心，以「市區道路」為出發點，自其特有界定應兼具的生態、景觀、運輸、安全、文化等機能，加入「生態

工程」之觀念推行，並且轉化成可執行可操作之規劃設計準則方法或規範，才能落實到市區道路工程建設在生態與運輸機能方面質與量上之標準。

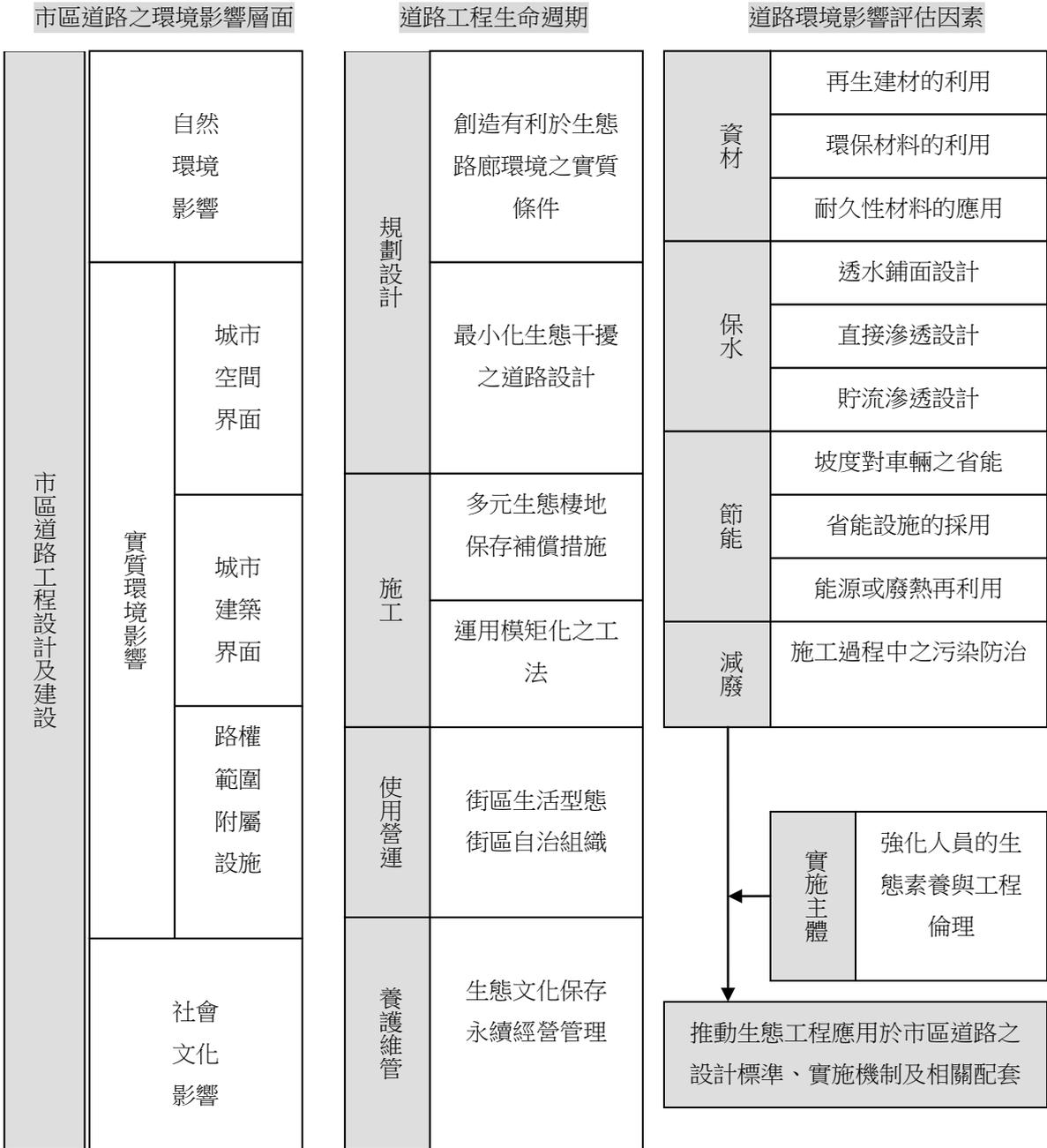
第二節、市區道路應用生態工程之架構、方法與內容

為達永續生態之道路環境生態永續與保育的目標，建構兼具生態、文化、景觀與休閒遊憩之多元化角色與功能，以提升城鄉生態效益，市區道路應用生態工程需要考量於此架構，及其環境影響與評估因素，研訂相關之實施機制與對策方法內容概述如下（表 3-1，圖 3-1）：

▲表 3-1 道路建設環境影響層面與因素

層面	評估因素	評估因素內容說明
資材	再生資材的利用	設計時應採資源回收再利用之材料做為優先考量
	環保材料的利用	設計時應考量在地適宜性對環境負荷較小之資源化產品為優先考量
	降低輻射熱之表面資材的應用	採用淺色或吸熱性低、不易發熱聚熱的鋪面材料
模矩化	營建資材之模矩化及其應用	模矩化資材運用比率愈高，愈符合生態性
保水	透水鋪面設計	瀝青路面應以透水鋪面設計為優先，降低地表之逕流
	直接滲透設計	儘量減少不透水鋪面面積或採取地下滲透排水管、滲透陰井等直接滲透設計，以增加路廊之保水能力
	貯流滲透設計	採取地面貯流滲透設計或地下礫石滲透設計，增加路廊之保水能力
節能	坡度對車輛之省能考量	道路設計實應採取平緩（小於 3%）之坡面
	省能設施的採用	採用省能設施，避免不必要之能源耗費
	自然能源或廢熱之再利用	採用自然能源如風力及焚化廠之廢熱進行能源之再利用
減廢	施工過程中之污染防治	施工過程所產生之各類廢棄物（廢水、粉塵等）應採取防治或回收利用措施

（本研究整理）



▲圖 3-1 市區道路工程建設之環境影響與評估關聯因素架構
(本研究整理)

一、基地保水：道路工程與暴雨管理

道路建設不論是公路、道路、鐵路皆以線形狀態切割土地與水文環境，使環境與生物多樣性受到衝擊，而建設後所帶來污染，更是難以恢復的影響。為了減輕開發對於水資源與水文生態的影響，遂發展成所謂的「低衝擊發展 (low impact development, 簡稱 LID)」的概念，其目標為水環境資源、水質，以及水文流域與自然環境發展的保育。流域與降雨、蒸發、地下水滲透及表面水流皆相互關係著，當降水落至地面而滲入地下，就可能被植被吸收或是被蒸發至大氣中；但是當我們在環境中建設道路、停車場、建築以及覆蓋其他無法滲透表面，同時造成森林砍伐，使雨水無法充分補注地下水，產生嚴重的影響，如表面逕流及暴雨增加，為此我們僅是不斷大興土木建設排水管線，擴大排水系統。因此低衝擊發展即基於自然保全的前提下，進行水及暴雨逕流管理。然而低衝擊發展不僅是集中暴雨逕流，並透過暴雨滲透設施、處理方法，保留住暴雨的機能，低衝擊發展設計為應用自然植被及小尺度的處理系統，處理暴雨及逕流，可說是從源頭處理的方法，第一時間內即控制不滲透表面之暴雨發生。

有效的低衝擊發展包含結構及非結構之管理技術，其中廣為人知的應用方法為「最佳管理作業 (Best Management Practices, 簡稱 BMP)」，最佳管理作業視為水循環管理策略，應用方法：(1) 源頭控制措施 (source control measures)，減少污染源影響；(2) 集水區水文改善 (hydrologic modification)，減少集水區活動與逕流污染；(3) 傳輸控制措施 (delivery control measures)，減少並稀釋水體中污染；(4) 汙染處理 (treatment)，污染物進入水體前即移除。廣義來說 BMP 泛指任何能改善水質水量，以經濟考量提升生態系統正面效益的方式，對於水文及水生生態系應用工程技術，保育水質資源。

道路建設對於水質及水量之影響，包括沉積物產出、施工過程產生的污染、不滲透鋪面增加、和景觀破壞，導致河川渠道水質不穩定、水域侵蝕和棲地退化、以及有害污染物質影響人類健康；此外公路涵管橫越河流，也會妨害水域生物的移動。綜合道路建設對於水環境的影響有三方面：(1) 水文—引發高氾濫尖峰、逕流量、氾濫流動、低蒸散量、低地下水補注；(2) 水質—大量廢水排放、沈澱及侵蝕過程增加、暴雨逕流污染；(3) 水棲生境—棲地遺失、毒物、生物多樣性影響等。由水體污染來源 (圖 3-2) 分析道路建設造成的水體污染，是歸屬於非點源污染，主要特性為散佈、間歇性發生，污染來源為逕流沖刷地表使污染物流

入水體。綜合世界各國對 BMP 技術在道路環境保護的應用包括：入滲設施（infiltration facilities）、植物緩衝帶（vegetative buffer strips）、濕地（wetlands）、草溝（grassed waterway）、植生過濾帶（vegetative filter strip）、攔砂池（sand filters）、透水性鋪面（porous pavement）、生物滯留池（bio-retention cells）、窪地（swales）等。



▲圖 3-2 水體污染來源

（資料來源：改繪自台北科技大學水環境研究中心網站 <http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/>）

我國環保署自 1994 年著手非點源污染控制的相關研究，目前已完成施工活動、遊憩區、工業區、社區及農業區等非點源污染防治最佳管理作業手冊，其調控方法包括硬體設施（即結構性 Structural，如入滲、滯留設施）及管理措施（即非結構性 Non-structural，如肥料使用管制、土地使用規劃）。至於現階段國內道路建設應用 BMP 結構性設施包含有植物緩衝帶、入滲設施、透水性鋪面、滯留池應用，茲說明如下：

（一）植物緩衝帶（vegetative buffer strips）

設計引導雨水及逕流進入一凹槽內，在暴雨情況下槽內水滿出而溢流過緩衝帶，達到除污原理為吸附、沈降、入滲，藉由植物生長、阻滯、過濾作用，有效達到污染去除（如圖 3-4 的植物緩衝帶）。常見設施有植草帶，於坡面上沿等高線適當間距栽植草帶（圖 3-3），利用草類（草種以百喜草、戀風草等易於管理草類）防止土壤沖蝕，其相關規定由水土保持手冊技術規範制定。



▲圖 3-3 沿著等高線設置的植草帶
（資料來源：Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements）



▲圖 3-4 停車場旁的植物緩衝帶
（資料來源：Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements）

(二) 滲透設施 (infiltration facilities)

入滲設施藉由地下滲出達到雨水調節，減少地表逕流、補注地下水，過濾水中沈澱物的方法，常見應用方法如下：

1. 入滲池或入滲乾溝 (圖 3-5)

與乾燥型滯留設施相同設計，以入滲原理利用現地調節雨水，補注地下水，達防洪、減少污染設計。乾燥水池底覆蓋原生草類，選擇位置需為高滲透性土壤，地下水位低區域。

2. 入滲渠道 (圖 3-6)

在路基下方，設計管道渠道，回填入粗粒骨材，雨水降落至地面收集後，引導滲入地下，補注地下水。由於為管狀設計，能有效提高入滲率，滯留暴雨初期污染物，過濾再排放至地下水中。

3. 覆草窪地 (圖 3-7)

與乾燥式滯留設施相似 (常作為滯留設施出口渠道)，以渠道或是低地之坡度變化 (一般為 1:6 設計)，作為污水處理過程之前處理。

4. 攔砂池

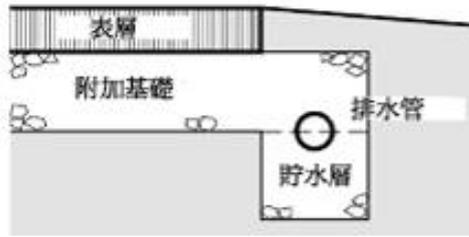
為施工階段中，對於工程廢水及暴雨逕流處理，以污染物化學需氧量、生化需氧量等有機物作為水質監測指標。利用兩個水槽型式，其中一槽作為固體沈砂，另一槽為過濾作用，排水及逕流進入攔砂池集中後，流至鋪設砂層過濾槽中處理，再排放至水體中。

5. 替代滲透表層—多孔性鋪面 (圖 3-8、圖 3-9、圖 3-10)

處理降於鋪面上的雨水及逕流，雨水及逕流滲入鋪面收集於地表下貯存池。行政公共工程委員會制定透水性鋪面型式包括多孔隙瀝青混凝土鋪面、無細粒料混凝土、連鎖磚及礫石鋪面等，能讓雨水通透之人工鋪築鋪面。



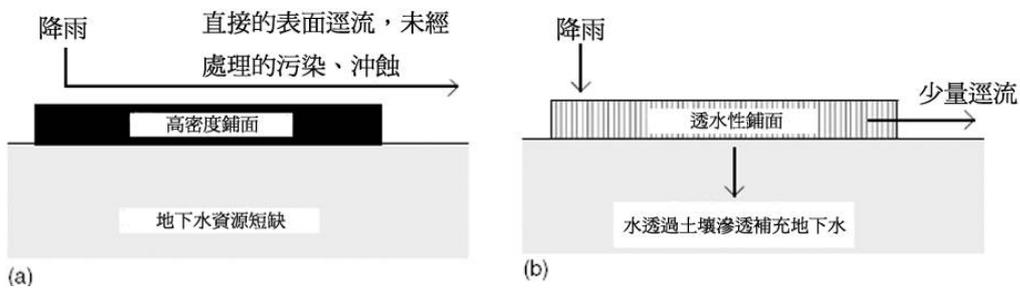
▲圖 3-5 入滲乾溝
入滲乾溝集合暴雨逕流並自然入滲至地下水層
(資料來源：譯自 Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements)



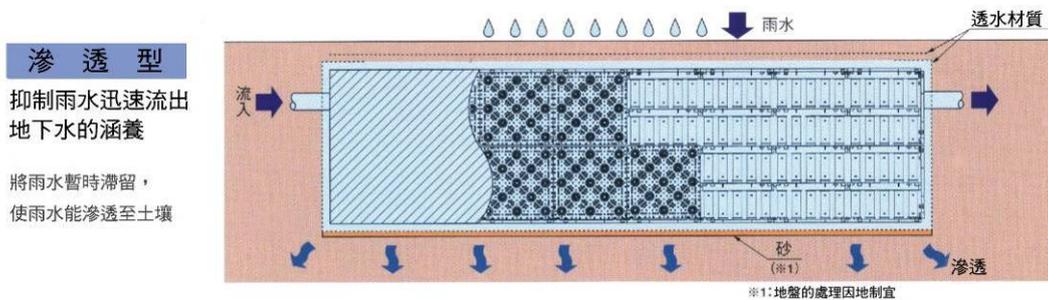
▲圖 3-6 入滲渠道示意圖
(資料來源：譯自 Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements)



▲圖 3-7 位於路旁的覆蓋草窪地
(資料來源：譯自 Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements)



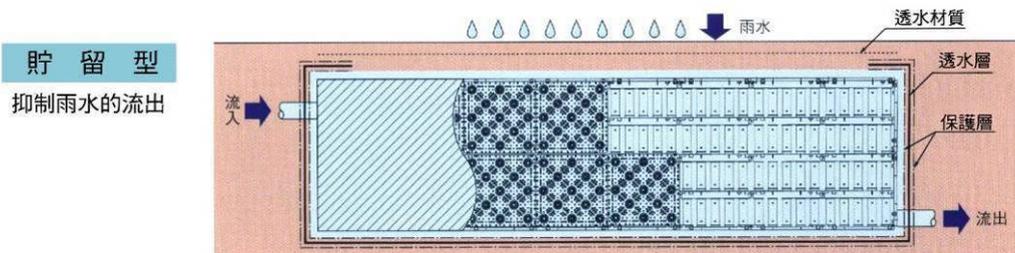
▲圖 3-8 高密度鋪面 (a) 與透水性鋪面 (b) 表面逕流量與地下水文示意圖
(資料來源：譯自 Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements)



滲透型
抑制雨水迅速流出地下水的涵養
將雨水暫時滯留，使雨水能滲透至土壤

▲圖 3-9 滲透型鋪面

(資料來源：タキロン，2005，雨水貯留・浸透施設カタログ，大阪：タキロン)



貯留型
抑制雨水的流出

▲圖 3-10 貯流型鋪面

(資料來源：タキロン，2005，雨水貯留・浸透施設カタログ，大阪：タキロン)

(三) 滯留／貯留池 (retention/detention cell)

滯留／貯留池常用於洪水控制和水質衝擊的排水系統中主要單元。滯留為沒有明確出口通路之雨水貯存設施。而停留設施藉控制貯存，提供暫時之貯存（盧及邱，2000），指由街道、車道、屋頂和停車場收集雨水，作為滯洪下陷草地設計，一般設計分為兩類（圖 3-11）：

1. 乾燥型

平常不蓄水，在暴雨情況下滯留雨水逕流，提供最初沖刷逕流處理，促進暴雨滲透以提供較佳水質，利用植被運輸系統設計，以土壤作為過濾基礎覆蓋於陰溝上，使雨水透過溼地底層而除污（滯留時間短，污染物無足夠時間沈降，因此除污率低），經常應用於住宅區。



【乾燥型濕地】



【潮濕型濕地】

▲圖 3-11 溼地應用類型

（資料來源：Georgia Stormwater Management Manual, pp.2）

2. 潮濕型

保持潮濕狀態，處理暴雨逕流尖峰停留，逐漸將貯存水量釋出，因此顆粒性污染能有充足時間沈澱，溶解性污染能夠分解，在高地下水水位或是排水不良地區用來涵養水分設計，主要扮演著線性淺濕地系統。以上主要除污機制是透過暫時性沈積作用，去除污染，利用水生植物攝取營養鹽類、重金屬、有機物等達到除污作用。

3. 生物滯留池

生物滯留或稱為雨水庭園，指對於水質和水量控制，使用植物、微生物和土壤化學、生物作業，將污染物由暴雨中去除。生物滯留為處理暴雨逕流之設計過程，以自然及陸域植被群落、微生物及土壤生態基礎，利用化學、生物等實質方

法，提供重要機能：(1) 水量（洪氾）控制；(2) 透過對逕流之污染物質及營養物之移除，改良水質。生物維持細胞過程：沉積作用、吸附、過濾、揮發、離子交換、分解、植被矯正（phytoremediation）、生物矯正（bioremediation）和存儲容量（storage capacity）。系統簡單地創造環境美化，設計並配置以促進暴雨流量的生物、物理和化學上設計系統，促進暴雨滲濾，幫助恢復區域自然水文。圖 3-12 顯示應用於公路之生物滯留系統。



▲圖 3-12 公路逕流處理案例及排水圖說

（資料來源：Pennsylvania Stormwater Management Manual, pp.8）

生物滯留池包括六個基本組分：

- (1) 以緩衝草帶來減少逕流量及作為微粒物質過濾
- (2) 砂質底層提供種植土壤通風及排水，並有助土壤物質污染流
- (3) 水池區作為多餘逕流貯藏，以促進微粒物質沈澱與蒸發
- (4) 有機層能作為有機物質分解，提供生物生長中（如微生物），減少石化污染，亦作為污染過濾及防止土壤侵蝕。
- (5) 栽植層為提供暴雨及養分貯藏區域，大部分種植土壤包含黏土，能吸附碳氫化合物、重金屬、營養物質污染。
- (6) 植被種植機能為透過蒸散及營養循環去除多餘水及污染物質。

（四）濕地生態池（wet pond system）

生態池系統設計為雨水污染控制上廣泛應用方法，由於貯存容量限制考量，因此一般用於小規模區域範圍上，排水量大區域（大於 0.5 公頃）無法應用。最常見為使用建構池塘和沼澤處理暴雨，加以適當設計和維護管理，能提高景觀美學價值，減輕對生態系統負面影響。

應用於道路建設上之成功暴雨滯洪池案例，以德國巴伐利亞省高速公路交流

道旁設置之自然雨水滯留池為例，圖 3-13 為德國公路交流道空間設計暴雨滯洪池，並利用蘆葦對道路排水之淨化處理，實際發揮污染去除能力，附加創造並提供野生生物棲地，人類亦可進行生物觀察和自然研究。



▲圖 3-13 德國公路中濕地建構案例
(資料來源：韓選棠，1998，第 53 頁)

(五) 透水性鋪面 (porous pavement)

路面設計應首重透水性考量，以透水性材質鋪設。針對環境敏感度高之地區，預鑄高架式道路之施作，對於快速道路亦能有效達到環境保全。針對環境敏感度高之地區，預鑄高架式道路之施作，對於快速道路亦能有效達到環境保全。為求強化市區道路之生態效益，在鋪面材料方面，建議選擇具透水性之材質，如：透水磚、透水瀝青，玻璃瀝青...等。以下茲介紹各鋪面之特性。

1. 透水磚鋪面

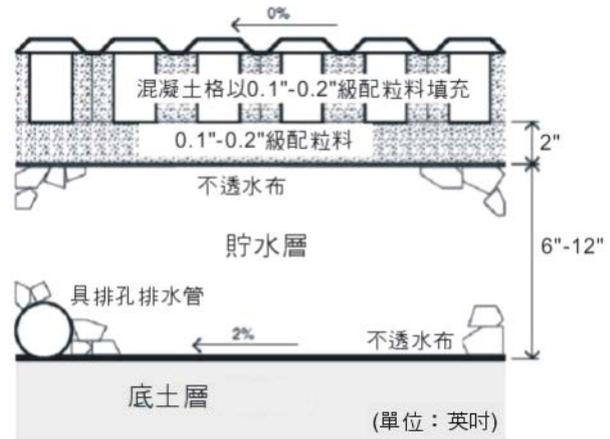
依鋪設方式分為傳統與改良式透水磚鋪面 (表 3-2)。傳統透水磚鋪面以乾砌方式拼成，其透水性能主要由表面材的乾砌間細來達成 (圖 3-14)。而改良式透水磚鋪面搭配 PVC 管加強排水性能，並搭配點焊鋼絲網來強化鋪面承載強度 (圖 3-15)。以下茲整理改良式透水鋪面之特點如下：

- (1) 排水性能較傳統式透水磚鋪面好 (PVC 管)。
- (2) 耐壓強度較傳統式透水磚鋪面強 (點焊鋼絲網)。

▲表 3-2 傳統與改良式透水磚鋪面特點比較表		
	傳統透水鋪面	改良式透水鋪面
鋪層方式	以乾砌方式，避免使用不透水之混凝土。	使用鋼筋混凝土
排水方式	利用表面鋪材的乾砌間隙來達到排水效果。	搭配 PVC 管加強排水。
鋪面強度	因使用乾砌方式，大雨過後易流失墊沙層而使路面塌陷積水。	因使用鋼筋混凝土，故較傳統式透水磚鋪面穩固、耐久。



▲圖 3-14 透水磚—基隆河暖江橋段



▲圖 3-15 改良式透水磚鋪面示意圖

(資料來源：Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements)

2. 透水瀝青鋪面

透水瀝青為具有 15-20% 空隙率及 60% 之礦物骨材的熱拌透水性瀝青 (圖 3-16)。

其特點整理如下：

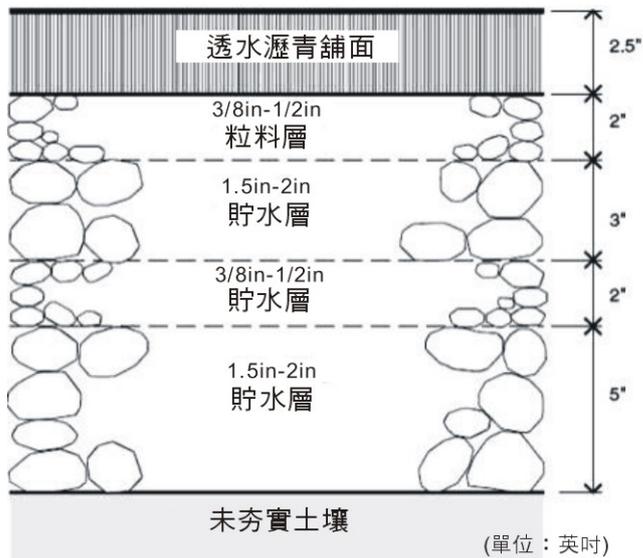
- (1) 具有良好透水性能。
- (2) 可防滑、防噴濺及炫光。
- (3) 可降低車輛行駛間所造成的噪音量。
- (4) 高抗張及抗壓強度，能降低路面變形的風險。
- (5) 人工容易鋪築、效果佳。
- (6) 較傳統非透水瀝青堅固，亦可降低成本。

3. 玻璃瀝青鋪面

玻璃瀝青為一環保材料，由廢玻璃小顆粒所製成 (圖 3-17)。其特點整理如下：

- (1) 硬度較河川砂石高，可增加瀝青路面摩擦係數以促進行車安全。
- (2) 玻璃表面具多稜角之特性，可有效取代砂石。

- (3) 透水性佳且耐熱耐久，適用於車道鋪面。
- (4) 具反光效果亦可促進行車安全。
- (5) 廢玻璃為環保標章之產品可有 10% 的優惠補助，能有效節省資源及經費



▲圖 3-16 透水瀝青斷面示意圖

(圖 3-16、3-17 資料來源：Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements)



▲圖 3-17 使用玻璃瀝青混合材料

路面玻璃瀝青混合材料鋪好的路面更具有反光、止滑及排水功能。

二、道路排水系統與生物廊道

茲介紹排水系統、涵管/動物通道之特性。

(一) 道路排水系統的設計與布置

一般排水系統蓋區分為直接滲透、間接滲透來探討。茲介紹各種工法之特點如下。

1. 直接滲透

(1) 被覆地

即在裸露土地上全以地被、樹皮、木屑、礫石覆蓋之地面。其特點整理如下：

- A. 具備多孔隙及保水之特性。
- B. 可防止灰塵與蒸發。

(2) 草溝

即利用洩水地形來設計開放式自然雨水排水路（圖 3-18）。其特點整理如下：

- A. 為最佳的生態排水工法
- B. 容易產生塵土飛揚、土壤流失之疑慮。

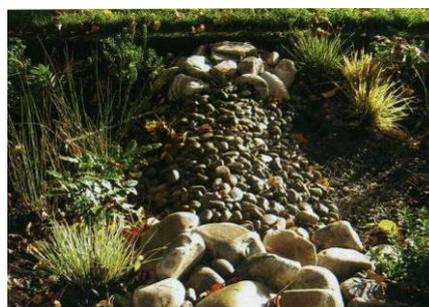
(3) 砌石溝

在視覺上較為自然，且透水性佳，與自然環境融合佳（圖 3-19）。其特點整理如下：

- A. 透水性佳，可創造多孔隙之生物棲息環境。
- B. 利於周邊植被生長，並可於兩側種植地被綠化之，適用於鄉野區及風景區。



▲圖 3- 18 美國休士頓車道旁的排水草溝
（資料來源：Landscape architecture
2005/7, p.60）

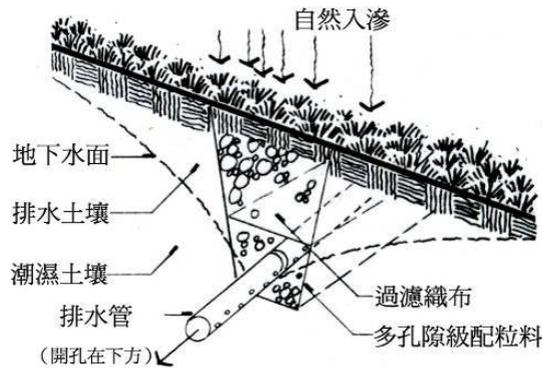


▲圖 3- 19 美國波特蘭綠色街道計畫中的砌石排水溝設計

(4) 滲透排水管

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、尼龍紗管而至最近的不織布透水管等（圖 3-20）。其特點整理如下：

- A. 為水平式的排水設施。
- B. 利用毛細現象將土壤中的水引導入管內。
- C. 外層材料不僅有足夠的抗壓強度，亦可避免泥沙滲入造入淤積。



▲圖 3-20 滲透排水管斷面示意圖

（中華民國景觀學會，2006，市區道路生態綠廊道整體建構計畫）

(5) 滲透陰井

原理類似滲透排水管。其特點整理如下：

- A. 為垂直式的輔助入滲設施。
- B. 可容納排水過程中產升的污泥雜物。
- C. 可搭配滲透排水管運用於各種場合。
- D. 需在底部或是連接管部設置可拆網罩，以利清理而維持滲透功能。

(6) 滲透側溝

材料需以多孔隙的透水混凝土為主，或是將混凝土涵管設計為具有穿孔的形式，以利雨水入滲。其特點如下：

- A. 可單獨使用於大面積的排水區域邊緣。
- B. 搭配滲透排水管與滲透陰井成為完整之滲透排水系統。
- C. 需定期清理而維持滲透功能。

2. 間接滲透

(1) 地面貯集滲透

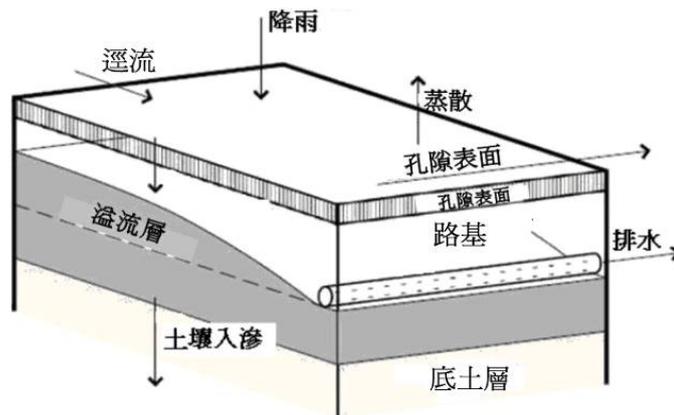
即讓雨水暫時貯存於水池、低地，然後慢慢以自然滲透方式入滲土壤，並為兼

具防洪功能之生態透水設計（圖 3-21）。

（2）地下礫石貯集滲透

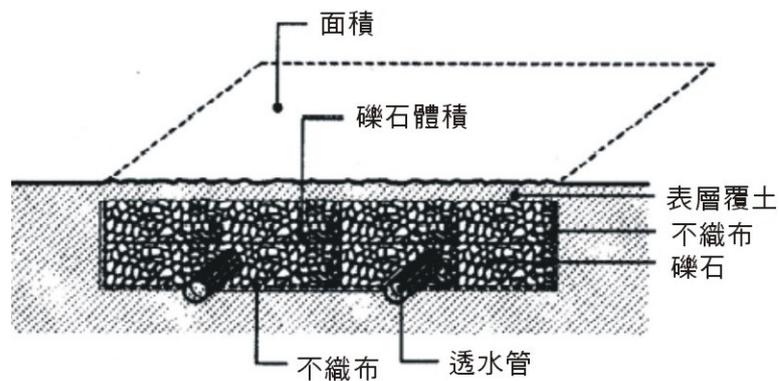
即在裸露土地之下方填入礫石材料，讓雨水暫留於礫石孔隙中，然後慢慢以自然滲透方式入滲土壤（圖 3-22）。其特點整理如下：

- A. 因礫石孔隙較一般沙土、壤土與粉土大，因此能貯集較大的水量。
- B. 可搭配垂直涵管或水泥格框適當分隔礫石，以防止崩塌。



▲圖 3-21 地面貯集滲透水池斷面示意圖

（資料來源：Ferguson, Bruce K. 2005. Porous Pavements）



▲圖 3-22 地下礫石貯集滲透示意圖

（中華民國景觀學會，2006，市區道路生態綠廊道整體建構計畫）

(二) 水渠管(箱)涵與動物廊道

涵管可於大雨來臨時作為排水道之用，亦可供作野生動物遷徙的通道(圖 3-23，圖 3-24)。其管溝形式概可區分如下：水泥涵管、箱型地下道、曲面涵管。水泥涵管原作為排水之通道；箱型地下道原為道路與水路、小道相交處的通道設施，其共通特點為搭配植栽以誘導方式作為道路側野生動物之移動路徑(圖 3-25、圖 3-26、圖 3-27、圖 3-28、圖 3-29)。



▲圖 3-23 路肩側封工法剖面圖



▲圖 3-24 路肩側封工法示意圖

路肩側封工法應考慮相鄰介面資源特性。農田水利圳路或是水潭等應用生態工程，利用自然資源材料堆砌，營造具生態的多孔隙空間，以利動、植物、水生及兩棲類等生物，得以棲息、覓食。(圖 3-23：本研究繪製)



▲圖 3- 25 涵洞設置示意圖
(本研究繪製)



▲圖 3- 26 涵管動物通道圖
動物可藉由地下排水涵管形成穿越路徑 (資料來源：財團法人日本生態系協會，1994)



▲圖 3- 27 道路邊界溝渠 ▲圖 3- 28 小型動物及兩棲類動物移動管涵之設置概念圖
動物脫離斜坡

(資料來源：蔡厚男、邱銘源、呂慧穎，2004，道路建設與生態工程)



設置誘導網，引導動物經由廊道通過馬路



廊道出入口（上邊坡）

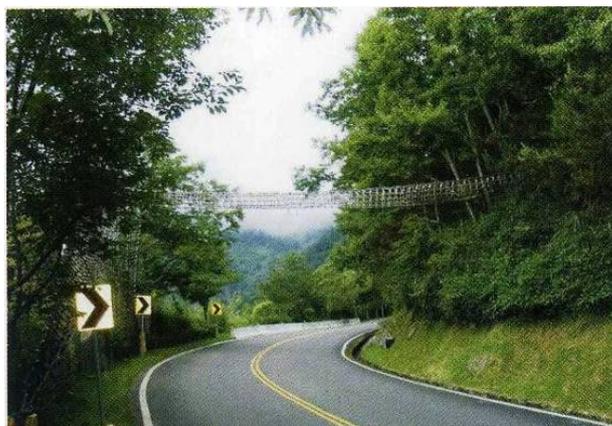


通過廊道之動物－鼬獾



通過廊道之動物－白鼻心（保育類動物）

▲圖 3- 29 陽明山動物通道
（資料來源：生態工程博覽會，2006）



▲圖3- 30猴道

南投縣中橫水里玉山線塔塔加遊客中心附近，有一條專門給猴子過獼猴天橋。（資料來源：余炳盛、王玉瑞、曹永德，2007，台灣的橋樑）

三、植被生態

(一) 植栽生態綠廊

市區道路工程的綠帶設計，不應為一標準寬度，應視腹地情況及道路寬幅、設計速限進行調整，快速道路兩側應保留 3 公尺以上之綠帶，於植栽配置及選種上，以鄉土植栽、適地植栽、原生植栽中抗污染性高植栽為優先選取原則（表 3-3），並以多樣性組合、複層栽植方式進行道路之綠帶設計（如圖 3-31、圖 3-32）。

植栽設計要力求植物用水需求和當地氣候條件之間關係的最適化。一般而言，應該使用鄉土原生植物，使澆灌所需之能量和用水量極小化（如附錄一之國外耐旱型景觀條例示範）

為當地之生態考量，兩側植栽、植群應以原生樹種為佳，並運用當地特色植栽形塑地區性（特色）路段，考慮其引導性及遮蔭性，但須注意避免遮擋住行車及景觀視線；與人行步道間可用綠籬型植栽作為區隔；雀鳥類經常穿越路段兩側密植比車量高之喬木，以令鳥類能順著飛行模式維持於高處。



▲圖 3-31 中央分隔島綠籬剖面圖



▲圖 3-32 中央分隔島綠籬示意圖

考量中央分隔島植栽綠帶所具有的分隔來往車輛、遮蔽對方來車炫光與道路景觀視覺綠美化等使用機能，應配合各級道路之速限規定與相關路工設施物，且可利用複層植栽方式，增加高度以更有效地提升視覺景觀效果、防止行人穿越與遮蔽炫光。（圖 3-31、3-32：本研究繪製）

▲表 3-3 道路適用綠化植物種選取

類型	選擇條件	建議樹種
觀賞植物	觀賞植物其特性為可提供觀花、觀葉、觀果、樹皮美觀、樹姿優美或具香味之樹種	流蘇、桃葉珊瑚、台灣欒樹、臺灣海棗等
綠籬植物	綠籬植物應具備以下條件：下層枝幹茂密之常綠樹種，長年保持優美樹姿、萌生力強、耐修剪、容易繁殖	月橘等
綠蔭植物	選擇條件為枝葉茂密、枝下高、大型葉片之樹種	樟樹、瓊崖海棠等
耐風植物	深根性、枝幹強韌、枝葉茂密	茄苳、樟樹等
定沙防塵植物	適應潮濕土壤、抗風強	瓊崖海棠等
防火植物	枝葉著火性小、引火時間長、枝幹足以阻隔熱氣	樟樹、豬腳楠、青剛櫟等
誘鳥植物	適應當地環境、配合周圍生態環境、配合地形環境、提供食果、花或樹皮之樹種	雀榕、樟樹、茄苳等
誘蝶植物	依蝴蝶類型選定、可供食葉或花蜜之樹種、配合當地生態環境	食草植物-雀榕等 蜜源植物-瓊崖海棠、月橘等
耐空氣污染植物	污染源為二氧化碳者	樟樹、月橘等
	污染源為氟化物者	樟樹、月橘等
	工廠防污綠化植物	重楊木、台灣黃揚、杜紅花、野牡丹等

(本研究整理)

(二) 改善都市道路植栽之地下部生長環境

都市中栽植的行道樹，除了具有淨化空氣、調節氣候、防風防塵、提供遮蔭及防噪音等，改善環境上的功能外；尚具有動線引導、阻隔遮光及區域指標等的及交通安全上的作用。此外，行道樹在都市空間的規劃上，更可柔化建築物與柏油路面的生硬視覺景觀，創造視覺上的美感；並可將行道樹與四周綠地合而為一，提供民眾從事休閒活動的場所，以達調節身心、陶冶性情的效果。Sara (1988) 敘述：1985 年美國林業協會 (American Forestry Association) 所作都市林木價值估測結果顯示，一株 50 年生的都市林木，每年平均可提供之價值 (美金) 包括，空氣調節 (冷氣效果) 75 美元、空氣污染防治 75 美元，再加上其他功能，每年每株林木的總值為 273 美元 (1985 年貨幣價值)；若以年利率 5% 複利計算，50 年間，該單株林木共值 57151 美元。由於都市林木中與人類活動接觸最頻繁的，即為生長在道路兩側的行道樹，故行道樹可謂是都市中的重要資產 (黃蕙萱, 1998)。

目前行道樹在都市中生長仍面臨不少限制因子，而使得植株生長狀況不佳。都市中限制行道樹生長的因子，在地上部枝葉方面：最常遭受到的問題是人為的傷害，像是樹皮遭剝毀、枝幹受到不當砍傷與修剪，或是樹體遭受車輛的撞擊而損毀 (Bradshaw et al., 1995)。在地下部根系方面：面臨的問題有植穴太小，根系生長空間不夠，以及土壤貧瘠與土壤壓實的問題，導致行道樹根系常會處於缺水、缺氧、缺肥的逆境之中，根系的生長及發育受抑制，使得根系無法開展且吸收力下降 (Randrup, 1997)。地下部環境是對植株的影響最為直接且重要的行道樹生長影響因子，故要改善行道樹的生長情況，針對植穴的改良是首要之道。除此之外，影響都市行道樹存活的另一重要因子為移植後的養護。而在眾多的移植養護工作中，最直接影響植株存活的項目即為水分供應 (Harris and Gilman, 1993)。但在都市中行道樹植穴的水分供應是最費工的，又由於喬木類植物本身量體較大，所以對環境逆境的反應並不明顯，當目測萎凋症狀出現時，再進行補救措施，對行道樹移植後得以存活生長是相當重要的 (Sivyer et al., 1997)。



▲圖 3- 33 植栽區域帶狀化平面圖



▲圖 3- 34 植栽區域帶狀化種植實景

考量人行道植栽槽化空間，對於植栽生長與綠覆率的助益不大，利用植栽區域的帶狀化，以有效提升綠覆率、行道樹生長勢與道路景觀的視覺序列性整合。(圖 3-33：本研究繪製)

樹木的根系對植株的生育影響很大，由於根部組織需要空氣，所以大部分樹種的根系多分佈在土表下 60 公分以上處，分佈面積與樹冠投影面積大致相同 (Heliwell, 1986)。即使種植技術優秀，如果沒有足夠的生長空間讓植株的根系去發展，一樣無法使植株有良好的生長勢。由於過大的植穴造成都市空間的浪費，而過小的植穴又無法滿足植株生長的需求，因此，植穴有效大小的估算變得很重要。Goldstein 等人提出以樹冠投影或是樹枝展開的尺寸進行估算，每平方公尺的樹冠需要 0.3 立方公尺的根部生長土壤，所以若植穴以方形且深度為 1 公尺計算，則其植穴的邊長應達樹冠直徑的一半。此外，Lindsey 和 Bassusk (1992) 以水分供應的觀點來估算植穴體積，指出若以最長早期為 20 天計算，每平方公尺的樹冠需要 0.24 立方公尺的土量，隨乾早期減短此比例可略減少。

(三) 植栽地下部生育環境條件

1. 改良都市土壤重點

另外由於都市土壤的孔隙多因壓實而小於 25%，使得土壤的總密度增加 (Arnold, 1993)。Patterson (1976) 指出理想的總體密度是每立方公分 1.3~1.6 公克。因為樹木根系生長須要空氣、水份及可穿透的土壤，所以當土壤總體密度超過建議範圍時會影響根系生長。在水分方面，由於土壤含水量中的毛細水以毛細作用存在土壤孔隙中，是植物生長所需水分主要來源；重力水是因重力作用流經土壤孔隙的水分，只在降雨或灌溉之後短時間內對植物的根系有益，若沒有經由深土的滲透或是地下排水系統移除，則會填滿土壤孔隙而淹溺植物 (Clark and Kjelgran, 1990)。

都市土壤特性與一般優良土壤有著極明顯的不同。在都市及附近交區的土壤介質，具有非耕作的人工表層達 50 公分以上，其土壤表層經過翻攪、破壞、填充他物或是受到污染 (Bockheim, 1974)。Craul 和 Klein (1980) 針對街道兩側的土壤進行調查，其表面有 6-32 公分的表土層，都市土壤在空間上、不同地點的多樣性與垂直變化相似，在都市中常可發現同一街道、同一側不同植穴中其土壤性質就有明顯不同 (Berrang et al., 1985; Glickstein, 1983)。而土壤結構的發育是土壤形成過程中重要的一環，特別是在表土層 (A horizon) 將一些微小的土壤粒子經由團聚作用形成大的土壤，團粒使得土壤中大的孔隙增加 (Hillel, 1980)，但在都會區中的土壤或許因為人為破壞了土壤結構而通常缺乏完整的土壤發育過程及適當的管理維護。例如將土壤從一處移至另一處導致破壞原有結構、表層缺乏有機質而使得有機質的循環中斷而土壤微生物數量及活性受限、缺乏完整的季節交換變化 (乾濕交替及凍暖季輪替) 幫助土壤聚合、土表過濕時受到人為活動接觸而導致土壤壓實、土表裸露而無法抵禦造成土壤壓實的外來力量、壓實土壤的有效含水量降低使得乾濕轉換不易。大部分都市土壤的土表會明顯形成硬盤，大部分發生在土表 2 公分處，視外力增大而增厚 (Ruark et al, 1983)，其最主要的影響是阻斷土壤的水滲透進土層中，進而影響土中的含水量。都市土壤常因表土硬化、土壤壓實及覆蓋不透氣的鋪面而限制了土層內的氣體通透及水分移動；加上建物道路等設施的阻斷，土壤中的氣體與水分水平方向的移動亦受阻，像是在街道旁或植栽槽內的土壤本身就受到區隔，使得水分與空氣無法水平的自由移動。如果沒有人工排水設施而垂直方向的移動就只有從土表的滲透而來，但都市土壤表層又常有硬盤化及壓實的情況，所以空氣和水分要經由表層進入到根系附近就有其困難存在。

造成都市中樹木存活率低的主要原因是不良的根生長環境 (Craul, 1985)。而都市植穴的特點為：有限的長根空間、壓實的土壤、通氣受限、排水不佳、表土硬盤化及土壤組成多變 (Craul, 1985)。這些特性都導因於土壤壓實，所以土壤壓實的程度會限制大部分木本植物的根系生長 (Nobel, 1991)。壓實的土壤會限制長根面積，使根系穿透力降低或停止，導致根的分枝增加，但直徑卻變細 (Materechera et al., 1991)，降低樹木的存活率 (Foil and Ralston, 1967)，所以找出木本植物所能忍受的土壤壓實程度最為重要。一般是以土壤的總體密度 (假比重, bulk density) 來界定土壤的壓實程度。但根系所能忍受的壓實程度又因樹種及土質不同而異。

2. 受鹽分影響之鹽土或鹽鹼土之改良

植物吸收土壤中的水分時，也同時吸收其中的鹽分，鹽是植物賴以維生的礦物質之一。鹽中的氯離子，參與光合作用過程、氣孔的開閉運動以及植物的滲透調節。缺氯的植株，葉片會變小，並導致壞死。而鹽中的鈉離子參與植物氣孔的開閉運動，也影響植物的滲透調節。但過多的鈉離子則會抑制酵素活性，並使植物的代謝失常。所以土壤中的含鹽量過高，會破壞植物根部的滲透調節功能，造成脫水現象而乾死。

當土壤中的含鹽量超過土壤重量的 0.6% 時，即為鹽土。在台灣有些都市濱海地區的土壤由於受到鹽霧與東北季風的影響，道路土壤固化嚴重，導致植栽生育環境條件極差，不利植物的良好栽植培育。而鹽土的改善，除了各類水利工程與植物栽種方式的研發與控制，選擇適合鹽鹼土生長的植物，亦是良好的生物措施之一。如種植大麥、棉花、西瓜、向日葵、蕃茄、牧草等以及田菁等綠肥作物，後兩者皆可直接耕翻入土中作肥料以改善土質。至於選擇回填土壤方式應檢測項目包含土壤酸鹼度（pH 值）、電導度（EC）、有機質、磷酐、氧化鉀、氧化鈣、氧化鎂等項目。

3. 土壤酸鹼度（pH 值）調整及土壤結構與物理性質改良

(1) 土壤改良最佳時機：植物移植階段

(2) 調整土壤酸鹼度之添加物：

A. 酸性土壤改良：石灰、煤渣灰等

B. 鹼性土壤改良：石膏、洗鹽、淡鹼等

(3) 改良土壤物理性質：

A. 添加腐植質：

腐植質是純植物性材料經腐熟的物質，其孔質輕、孔隙度高、游離鹽基濃度低，最適合用於現今的劣化土壤改良（質地較粗大者，非腐植土），工程用量大可就地取材，使用本地農業廢棄物製造的副產品；如甘蔗產地，可利用甘蔗渣腐熟使用。土壤添加腐植質可大量產生孔隙度，改善粘質土壤排水及通氣性，亦可改善砂質土壤的團粒性，改善其保水、保肥力；更可增加土壤有益微生物的活性及數量，使土壤活化。以腐植質改良之土壤增加之通氣性及保水力等功能，更可有利的植物種植初期（維護期間）之水管理，提高成活率，而減少維護成本。

B. 客砂：拌入粗砂，使土壤中含黏粒的百分率降低。

四、減低生態視覺衝擊

為了在市區道路建設過程中降低對自然景觀的影響，應該在施工前提出以下檢討：

(一) 調查路權範圍內之植生現況：

施工前針對開挖部分之範圍作現有植生現況的調查，以利掌握植群社會之分佈；並將調查結果納入施工說明中作為施工中保護及移植之依據。

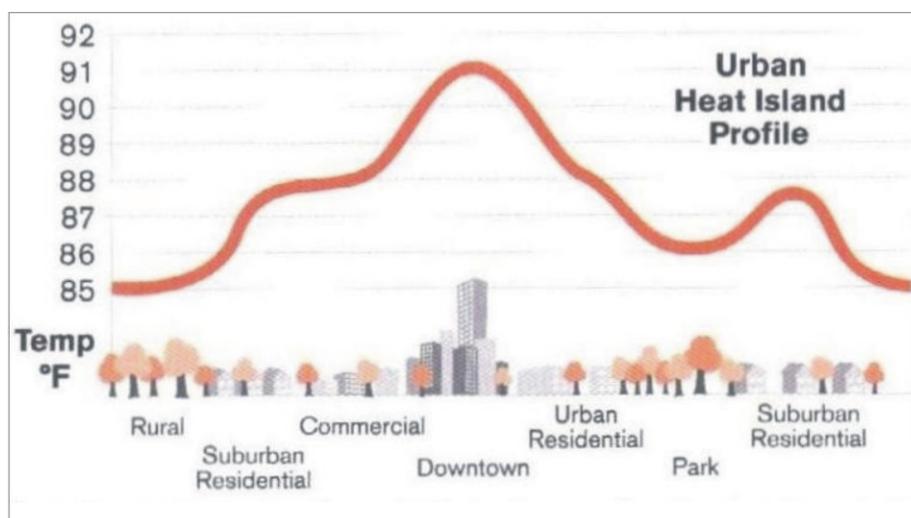
(二) 道路構造形式的檢討：

為對地表做最少之干擾，相關邊坡面之斜率調整為 1：0.8（一般規範為 1：1.5）。

五、降低都市熱島效應

科學家認為都市熱島效應正在促使都市地區氣溫上升。都市熱島效應可以使部分鄰近郊區和農村區氣溫上升。煙霧的形成會使夏日氣溫上升量增加。

近年來密集發生記錄中最熱的年度。科學家還沒同意全球暖化，但同意都市熱島（urban heat island,UHI）效應正在促使都市地區的氣溫上升。Lawrence Berkeley 國家實驗室（LBNL）估計熱島效應可以使至少 8% 鄰近郊區（suburban）和農村區（rural areas）的氣溫升高。洛杉磯的空氣品質研究指出,煙霧的形成會使夏日的上升氣溫增加 3%。（參考圖 3-35）



▲圖 3- 35 都市熱島分布圖

(Landscape Architecture, 2007/02, pp.56)

1. 熱島效應成因：

(1) 深色的屋頂材料、鋪面和缺少植物覆蓋是主要成因。

環境保護局的減低熱島機構（Heat Island Reduction Initiative, HIRI）定義都市熱島效應（UHI effect）為「一個可量測的周圍空氣溫度增加，主要原因是建築物、道路與其他吸熱公共設施的植物被取代。」深色的屋頂材料是一個眾所周知的原因,但是都市熱島（UHI）也是由都市地區的鋪面和缺少植物覆蓋以遮陰鋪面和建築物並冷卻空氣所造成的。鋪面和屋頂材料常有很低的反射性或反照率（albedo,一個表面反射太陽輻射能力的量測),所以它們因為吸收許多太陽輻射而被加熱,然後輻射熱提高了環境周遭的空氣溫度。

(2) 都市熱空氣導致臭氧和煙霧增加。

城市中的熱空氣可以導致增加地表臭氧層的形成,是煙霧的主要成分。煙霧係由空氣污染物形成,例如容易揮發的有機化合物與跟陽光混合而加熱的一氧化氮。這個反應的速率增加,溫度會增加超過 70 度。地表臭氧層上升,是一項空氣污染指標,超過一小時一百萬分之 120 可以將一個都市地區推進"未到達 (nonattainment)"國家周遭空氣品質標準(由 Clean Air Act 所建立)。當一個都市地區被歸類為"未到達區域"時,它會被處罰撤回聯邦運輸基金,工業須通過較高指標的空氣污染物逸散補償率。

2. 熱島效益的影響

(1) 有害人體健康。

高濃度的臭氧與煙霧可以導致氣喘和其他呼吸的疾病,小孩和老人有異常高的風險得病。此外,都市熱島效應(UHI effect)加強並延長熱波,增加輕度中暑(heat exhaustion)和中暑(heat stroke)的風險。

(2) 都市熱島效應的直接衝擊是能源使用的增加,間接使得全球暖化。

都市熱島效應(UHI effect)的一個直接的環境與經濟衝擊是調節都市地區建築物中比較熱的空氣所增加的能源使用。都市熱島不會直接導致全球暖化,但是燃燒煤燃料以製造電力冷卻建築物則會。EPA 估計美國每年花了四千一百萬美元在空氣調節的項目上,而大城市的空氣調節量每增加華氏 1 度就增加 1.5-2%。目前電力需求在 3%到 8%之間的所有地方都是一個直接的都市熱島效應(UHI effect)支出。都市熱島效應(UHI effect)的一個好處是冬天的熱力需求將輕微減低;但是許多研究者同意:在美國大部分的城市裡,夏日的負面衝擊遠比冬天的增益更重要。

3. 降低熱島的對策

市區道路應運用吸熱性低,不易發熱,以及不易聚熱之鋪面材料、淺色鋪面來減緩人造物蓄積熱量的效應。或是透過與永續建築立面的中水管線整合,設計噴霧系統以降低市區道路太陽輻射熱。並且保留與種植大喬木,透過樹蔭的遮蔭效果降低鋪面的吸熱速率。樹木種植於東西側可以阻擋夏季的日照,避免密植於夏季風向處而阻擋降溫風吹入。

對策 1：減少太陽輻射熱

(1) 利用都市景觀設計加強或緩和都市熱島效應。

都市景觀的設計可以對加強或緩和都市熱島效應有極大的衝擊。一般都市區土地覆蓋的組成為鋪面（道路、停車、人行道）、屋頂和植物覆蓋，以鋪面佔最多。LBNI 對四個都市區（Chicago, Salt Lake City, Houston 與加州的 Sacramento）的研究估計鋪面（道路、停車、人行道）構成土地覆蓋的 29-45%，而屋頂組成 20-25%。植物覆蓋組成只有 20-37%。

(2) 反射性材料可以減輕鋪面促成都市熱島效應。

反射性材料也許是我們所知可以減輕鋪面促成都市熱島效應（UHI effect）的最佳方法，多樣化對策可以一起應用，重要的是記住並非所有對策都會適合每個情境和地點。EPA 減低熱島機構（HIRI）的 Eva Wong 宣稱「（材料的）太陽反射比是唯一要考慮的因子。遮蔭鋪面可以幫助降低鋪面溫度，城市中增加的植物普遍幫助冷卻表面與空氣。」

對策 2：使用高反照率（high-albedo）的鋪面材料

(1) 鋪面材料的表面反射比增加，能減少太陽熱的吸收和再輻射。顏色越明亮，反照越多

鋪面材料增加的表面反射比也許是最明確的熱島降低（HIR）對策，減低吸收與太陽熱的再輻射。太陽反射比或反照率，係指一個材料反射陽光中可見、紅外與紫外波長的能力。0.0 的反照率指的是太陽輻射的絕對吸收，1.0 的值代表絕對反射。一般而言，反照率與顏色有關，比較明亮的顏色反照比較多。參考圖 3-36。

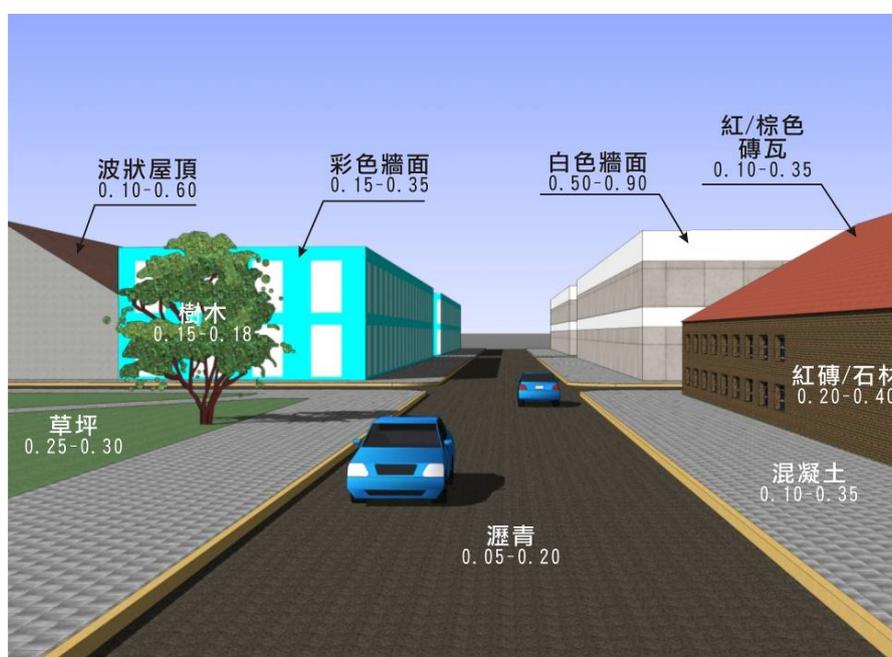
(2) 透水鋪面或合成的鋪面結構可以將熱貯藏減到最小。

透水鋪面或合成的鋪面結構也可以將熱的貯藏減到最小。Jay Golden，都市氣候與能源絕佳聰明創新的國家中心領導者，補充道「太陽反射比是一種熱力學的助成因素。你必需基於材料的功能和都市形態學與氣象學的每日衝擊，檢查所有熱散播的層面包括熱貯藏容量、熱傳導性等等。」

(3) LEED-NC 2.2 版：

新瀝青的 SRI 值為 0，指所有太陽輻射都吸收；新的白色 Portland 水泥混凝土的 SRI 值為 86。其他鋪面類型一般範圍介於這兩個值之間。新的灰色混凝土的 SRI 值為 35。一個不同的案例至少要有 50%的鋪面區域 SRI 值為 29 才能取得 LEED 的認可。這個評比系統只用於新的與風化的瀝青和混凝土。將會有對其他材料定義 SRI 值標準的結果。

太陽反射比指標（SRI）結合反照率和放射力（emittance，一個材料釋放所吸收熱量的能力）成為一個單一的值，以分數（0.0 至 1.0）或百分比表現。根據美國綠色建築物會議在能源和環境設計的領導階層（LEED, Leadership in Energy and Environmental Design）所做的評比系統,新結構 2.2 版的 LEED（LEED-NC 2.2），新瀝青的 SRI 值為 0，意思是所有太陽輻射都被吸收，而新的白色 Portland 水泥混凝土的 SRI 值為 86。其他鋪面類型一般範圍介於這兩個值之間，新的灰色混凝土的 SRI 值為 35。LEED 的認證是一個不同的案例至少要有 50%的鋪面區域 SRI 值為 29。這個指引只涵蓋新的與風化的瀝青和混凝土。ASTM Standard E1980 定義出對於所有材料測量 SRI 值的計算方法。此外,Golden 在 Arizona 州的團隊正在進行定義出許多種鋪面的 SRI 值的 ASTM Standard,預定明年春天交出成果。



▲圖 3-36 各種表面的反照率
(本研究繪製)

(4) 鋪面風化會降低 SRI 值。如果使用明亮的粒料例如石灰石，會使 SRI 值增加。

鋪面風化會大大地改變 SRI 值。例如，白色混凝土的 SRI 值可隨時間由 86 降至 45，雖然週期性的清潔可維持比較高的反射比值，但灰塵與沾污會將表面變暗。一些年後，黑色瀝青會氧化而且顏色變淺，(拌水泥用的) 粒料會因為交通而磨損黑色帶狀體的表衣。如果使用明亮的粒料例如石灰石，那麼這些聯合會使 SRI 值增加到 60 或者甚至更高。

(5) 追求淺色鋪面以降低都市熱島效應，可能不會兼顧理想的美學或功能效果。

當以比較淺的鋪面顏色為降低都市熱島效應的訴求時，可能不會在美學或功能方面很有魅力。但瀝青鋪面的外表對於財產擁有者是重要的，他們也許想要覆蓋瀝青以維持比較深的色調，可以形成清楚的帶狀與維護良好的景象。白色混凝土與高反照率的表面會導致刺眼的強光，也許會讓行人覺得不舒服，甚至暫時限制其能見度。深色的鋪面對於寒冷氣候的融冰和融雪很有用。如果使用淺色鋪面，也必須用到對生態有毒的防結冰化學物。如果配備直接以鋪面為目標，雖然可能降低基地的照明需求，減少能源的使用，但是白色混凝土也會導致增加輕度污染。

(6) 正在研發創新材料緩和都市熱島效應

Goden 的團隊正在研究一些創新，例如奈米表面的外層用來改變一個表面的光學特性，精工的原料，與其他緩和都市熱島效應的技術。

對策三：讓柏油路 (blacktop) 變涼

1. 調整鋪面的組成

鋪面的厚度與傳導性是設計重點。因為鋪面加熱與冷卻因素複雜，正有研究計畫在進行中。

鋪面的厚度與傳導性將會影響它對都市熱島效應的貢獻。比較薄的鋪面會在白天比較快熱，但是夜晚比較快涼。從表面比較快將熱傳導到比較冷的底部的鋪面，可以保留比較少的熱量。Wong 強調加熱與冷卻因素相當複雜，並且是 Arizona 州的 SMART 計畫持續進行中的研究。這個計畫已經在實驗一種在混凝土底層上有上膠瀝青表面層 (用回收輪胎所做) 的合成鋪面。研究者發現它的夜間溫度比鄰近的混凝土鋪面低。其他好處包括降低輪胎鋪面的噪音與利用回收材料。

2.增加綠覆（蔽）空間

綠色植物往往能柔和市區道路粗糙僵硬的線條，如果把多一點都市空間讓給樹木與其他植物，便能提供棲息地給鳥類或其他野生生物，這種做法也能滿足城市居民與自然連結的需要。此外，綠色植物的生態效應是多方面的，包括調節微氣候、改善生態環境、及美化景觀。植物葉面的蒸發作用能調節氣溫和濕度，吸收太陽輻射熱，對改善城市微氣候有正面作用。在改善生態環境上，綠色植物在進行光合作用時能吸收二氧化碳、釋放氧氣，以維持碳氧平衡，減緩溫室效應；綠色植物也能吸收有毒有害氣體、阻擋過濾和吸附灰塵，並具殺菌及減低噪音的功能。

六、營建資源回收再利用

臺灣地區近年來由於社會經濟活動快速發展而邁向現代化國家，一般建築工程及交通經建等重大公共工程日益增加，其施工產出剩餘土石方數量相當龐大，為維護環境衛生與公共安全，確有必要妥善處理，故而訂定「推動營建剩餘土石方處理方案」。(內政部 96 年 3 月 15 日台內營字第 0960035196 號函頒修正)本方案所指營建工程剩餘土石方之種類，包括建築工程、公共工程及其他民間工程所產生之剩餘泥、土、砂、石、磚、瓦、混凝土塊等，經暫屯、堆置可供回收、分類、加工、轉運、處理、再生利用者，屬有用之土壤砂石資源。目前台灣地區經政府機關核准已設置營運中土資場有 133 處，面積 522 公頃，總容量 11,800 萬立方公尺，剩餘可收容處理量達 6,000 萬立方公尺，另政府目前輔導審查之土資場，功能多以暫存轉運為主，逐步減少掩埋型之棄土場比例。並積極從事相關業務法制化工作，以健全土石方交換機制及提供業務行政單位法源依據。

今後為提高營建資源之使用率，道路施工宜儘量採用可回收再利用之材料。現已有若干成功案例，例如路面刨除之廢料如瀝青混凝土具高可回收性者，可經適當處理再生，不僅節省了部分砂石和瀝青的用量，又可減少棄料及環境污染等社會成本，回收後最佳再生材料為熱拌再生瀝青混凝土。

道路養護所選用材料應儘量以飛灰、爐石、廢輪胎及道路鋪面刨除料等再生營建材料為主，以減少對天然原生粒料之需求、增加工程選擇性、有效利用既有資源之多重功效。另外，目前各界也開始重視綠色瀝青的概念和研發 PVC 排水管的替代產品，思考使用替代環保材料的可能性，減低傳統石化營建資材所造成的污染。

(一) 綠色瀝青策略

傳統的瀝青鋪面或瀝青混凝土是基地與道路工程最常用的材料，至今幾乎 90% 的新建道路也都使用瀝青，它具有便宜且不需要開模程序、持久耐磨的特性。然而瀝青黏著劑在萃取、提煉甚至是製造及鋪設的過程中，所排放的廢氣污染產生一些問題，為人類健康帶來了風險，許多研究都提出了警告。在過程中排放的有害空氣污染物 (hazardous air pollution, HAPs) 對環境也是一大威脅。值得注意的是，多年來瀝青工業一直致力於降低這些空氣污染，熱拌瀝青混凝土 (Hot Mix Asphalt, HMA) 工廠已從美國環保署的頭號空污名單中移除。另外，

熱拌瀝青混凝土的耗能問題也值得關切。在加熱瀝青黏著劑與級配粒料，以及在運送、澆置等過程中都需要保持熱度，因此相當耗能。在永續營建科技的前提下，為達到綠色瀝青的願景有幾點建議。

1. 採用省能環保的溫拌瀝青混凝土 (Warm Mix Asphalt)

透過瀝青的乳化、泡沫化過程、加入能增加瀝青在低溫工作效能的添加物，這些都能減低瀝青熱拌時 50~100 度的溫度，達到所謂的「溫拌瀝青」。有研究指出，若能將熱拌瀝青的溫度從華氏 300 度降溫到 200 度，預估應能節省一半的燃料、減少溫室氣體及其他有害氣體的排放，重要的是成品鋪面的品質並不會因此受到影響。雖然這個方法在北美還是試驗階段，不過在歐洲已開始推行，研究者期待北美地區能夠因應能源節約而加快腳步採用這項新科技。

2. 減少使用瀝青膠著劑

減少有害空氣污染氣體排放的方法之一就是少用瀝青膠著劑。澆置瀝青在級配粒料底層而不是直接在坡度上。當一樣膠著劑的量用在瀝青鋪面層時，鋪面厚度將會隨著級配粒料的結構穩定度減低。一般來說，加厚級配粒料層的可以使瀝青層變薄。(圖 3-37)。



噴灑瀝青膠著劑後的 A.C 路面



熱拌再生瀝青混凝土鋪設現況

▲圖 3- 37 瀝青膠著劑施工過程圖

3. 瀝青混凝土的表面顏色會影響熱吸收以及鋪面的光反射率

以往瀝青鋪面都是黑色或是暗灰色，這些都是使地面溫度越來越高的原因之一。建議可透過採用染色料或面層處理 (Microsurfacing)、白色罩面 (White Topping)、碎石封層 (Chip Seal)、拌和細粒料等淺色瀝青應用策略，以降低熱吸收以及提高光反射率。(圖 3-38)。



▲圖 3- 38 停車場使用的淺色瀝青

4. 避免使用填縫料 (sealer)

礦物填縫料可延長鋪面壽命，通常停車場維修每三年就會填縫一次，但填縫料含有揮發性的有機氣體 (Volatile Organic Compound, VOCs) 與多環芳香族碳氫化合物 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)，其具有極強效的密封性，不容易被水溶解，但也正因此容易長期遺留於土壤環境、污染地下水、以及其他有機生物體內，同時也會危害路面流過的逕流水質。(圖 3-39)。



▲圖 3- 39 道路填縫料施工

(資料來源：<http://www.charngwei.com.tw>)

5. 使用可回收利用的營建材料，降低瀝青的環境衝擊

瀝青本身就是主要回收之物，美國環保署估計舊瀝青中約 80% 可達到回收，主要可再用於新鋪面及底層的處理。這可以減低新能源與物料資源的開發，也節省工程成本。但還是有些地方應要注意，有些再生瀝青或是其他回收材料如玻璃級配粒料等，對道路鋪面的結構及耐久性方面或許會有些瑕疵，甚至出現重金屬或是有毒物 (美國各類瀝青混凝土鋪面特性檢索，詳表 3-4)。美國每一年約

有 30 億個輪胎回收，而變成橡膠化瀝青混凝土（rubberized asphalt concrete，RAC），根據研究顯示，RAC 這種材料的鋪面的壽命比傳統的瀝青面還要長上 3 倍、具有較高的抗濕滑性與摩擦力、避免路面的反射性裂縫與鋪面變形等優點。（圖 3-40）。



▲圖 3-40 再生瀝青使用

（資料來源：http://www.freotech.com.hk/cpsj/index.asp?type2_id=2）

6. 最終的綠色柏油策略、最低的鋪面面積

最基本也最重要的綠色柏油策略，就是把停車場以及街道寬度減至最低。以學校為例，許多景觀建築師發現許多校園裡的停車場即使在最巔峰的時間也不是全滿的，因此應該在從事空間設計時應該要以整體的環境作為考量，而非一味的劃設停車位。況且減低這些鋪面空間其實也節省了路面鋪面的開支。減低路面或車道的寬度將可讓出更多空間給綠色植栽，停車格的面積變小（例如：從 3×6 公尺縮至 2.7×5.4 公尺，還是非常寬敞）還可以用來設置收集地表徑流的渠道，以作徑流管理。

對傳統的土木工程師而言，工程計畫對環境造成的衝擊並非他們十分在意的問題，景觀建築師也許很難影響土木工程師們使用瀝青的習慣，甚至是瀝青的規格與材料，但是卻可以藉由基本設計來縮小街道與停車場規模，改良道路鋪面設計，間接達到「綠色柏油」的理想。

▲表 3-4 美國各類瀝青混凝土鋪面特性的檢索參考表

(資料來源：Calkins, M. 2006. Greening the Blacktop: Strategies for improving the environmental and health performance of asphalt paving, Landscape Architecture 96, pp.144)

封層、厚度和生命週期的種類	用途與限制	環境議題	外觀與美感
鋪面表面；預防保養、小裂縫 (minor cracks) 、不當行為、抗滑性			
石漿封層 (Cape Seal) 3/8~3/4 英吋 (約 1~2 公分) 7~15 年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在碎石封層 (Chip Seal) 施作完成後再加上一層稀漿封層 (Slurry Seal) 或微表面處理 (Microsurfacing) 以填補細石封層空隙的一種表面處理工法 2. 可以施用在新的或是既有 HAPC 上，或施用在中低交通流量的級配粒料底層道路 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 如果石漿封層應用於只有級配粒料底層 (aggregate base) 的道路，則避免使用之 2. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能 3. 淺色可增加鋪面的反射率 	微表面處理 (Microsurfacing) 可以上色，並且含有聚合物可以使鋪面變的更加彈性而降低老化
碎石封層 (Chip Seal) 1/4~3/8 英吋 (約 0.5~1 公分) 3~8 年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 單一尺寸碎石級配與黏著層，可以施用在新的或是既有 HAPC 上，又或施用在低中交通流量的級配粒料底層 (aggregate base) 道路 2. 不適用於重載交通道路或大於 8% 坡度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 如果碎石封層應用於只有級配粒料底層 (aggregate base) 的道路，則避免使用之 2. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能 3. 淺色將增加鋪面的反射率 4. 如果揮發性有機氣體值很高，則避免油溶瀝青 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 級配粒料的顏色決定了表面的顏色，除非碎石以瀝青黏著劑預先封層 (precoated) 2. 噴霧封層 Fog Seal 可改進碎石與道路表面的鍵結，不過也因此產生了黑色的表面
多層碎石封層 (Multiple Chip Seal) 1~1/2 英吋 (約 1.2~2.5 公分) 4~8 年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 兩倍或三倍碎石封層。用兩到三層、充分壓縮級配粒料厚度及尺寸的碎石層 2. 不適用於重載交通道路或大於 8% 坡度 3. 可用於熱處理、油溶處理、乳化處理 (hot, cutback, emulsified application) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 如果碎石封層應用於只有級配粒料底層 (aggregate base) 的道路，則避免使用之 2. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能。 3. 淺色將增加鋪面的反射率 4. 如果揮發性有機氣體值很高，則避免油溶瀝青 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 級配粒料的顏色決定了表面的顏色，除非碎石以瀝青黏著劑預先封層 (precoated) 2. 噴霧封層 Fog Seal 可改進碎石與道路表面的鍵結，不過也因此產生了黑色的表面

封層、厚度和生命週期的種類	用途與限制	環境議題	外觀與美感
微表面處理 (Microsurfacing) 1/8~3/8 英吋 (約 0.3~1 公分) 3~8 年	增強的稀漿封層 (Slurry Seal), 由多聚合物改質乳化瀝青、碎化細緻級配粒料、礦質濾器、添加物或水製成	1. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能 2. 淺色將增加鋪面的反射率	1. 可以使用非常乾淨的黏著劑而成無色的料粒級配, 或是和有顏色的級配粒料一起使用 2. 平坦的表面有利於腳踏車與遊憩步道
開放級配摩擦層 (Open Graded Friction Course, OGFC) 1/8~3/8 英吋 (約 0.3~1 公分) 3~8 年	1. 高空隙的熱拌瀝青凝固物, 是鋪面表面層 2. 包含小細砂或塵土並有15-25%的空氣孔隙 3. 允許水滲透通過此層並由排水渠道或是構造物排出	1. OGFC 只在表面層有孔隙, 黏著層並不透水 2. 熱拌瀝青黏著劑將耗能、產生熱度及排放物與廢氣	1. 摩擦力良好, 減少水的濺散、輪胎產生水滑現象 2. 較不受路面變形影響 3. 因為孔隙內含水所以凝固比較快
超薄混凝土層 (Ultra-Thin White Topping, UTW) 2~4 英吋 (約 5~10 公分) 生命週期未知	1. 在瀝青鋪面上的高能量薄覆蓋層, 纖維強化混凝土	1. 混凝土的淡色可增加鋪面的反射率 2. 混凝土的表面可持續比其他使用較少的資源的瀝青為底的表面還長 3. 混凝土具體的能量相當高	1. 輪胎噪音較大、低維護、幾乎 0 的損壞率
Otta Seal 1/2~3/4 英吋 (1.2~2 公分) 單一: 4~8 年; 雙層: 8~15 年	1. 分級的級配粒料放在熱拌瀝青混凝土、油溶瀝青或是乳化瀝青等相對較厚的黏著層上, 然後用機器滾動壓實 2. 可以在雙層的 Otta 上施用兩種處理	1. 當地有些不符合高品質鋪面材料標準的級配粒料可用於此, 以節省運輸成本 2. 淡色的級配料粒將會增加鋪面的反射率 3. 灰塵在施作過程中會是一個問題	1. 只適用於低交通量 2. 顏色由級配粒料來決定

封層、厚度和生命週期的種類	用途與限制	環境議題	外觀與美感
砂封層 (Sand seal) 1/8~3/8 英吋 (約 0.3~1 公分) 單一：4~8 年； 雙層：8~15 年	1. 噴上瀝青黏著劑，砂就會參入其中。可以施用在新的或是既有 HACP 上，又或施用在低中交通流量的級配粒料底層道路 3. 不適用於重載交通道路或大於 8% 坡度	1. 如果碎石封層應用於只有級配粒料底層 (aggregate base) 的道路，則避免使用之 2. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能。 3. 淺色將增加鋪面的反射率 4. 矽土灰塵將是工程施做過程中一項健康的隱憂 5. 如果揮發性有機氣體值很高，則避免油溶瀝青	1. 通常是暗色，瀝青黏著劑顏色決定了成品顏色 2. 國家裡有些地區不適用於此
稀漿封層 (Slurry Seal) 1/8~3/8 英吋 (約 0.3~1 公分) 3~8 年	1. 使用混用乳化瀝青、密度分級碎化細緻級配料粒、礦質濾器與水的冷拌薄表面處理	1. 輕質黏著劑的使用會增加鋪面表面的反射率 2. 冷拌可以減少能源耗費與廢氣排放	1. 可以使用非常乾淨的黏著劑而成無色的料粒級配，或是和有顏色的級配粒料一起使用 2. 鏟雪工具的使用可能會傷害表面。 3. 有平坦的質感，不過有較低的摩擦力
超薄摩擦層 (Ultra Thin Friction Course) 3/8~3/4 英吋 (約 1~2 公分) 10~12 年	空隙分級 (gap graded) 與粗糙級配粒料 HACP 的薄層，與既有鋪面結合	1. 熱拌施作將產生熱、排放廢氣 2. 可以延長既有鋪面的使用期，節省資源 3. 因暗色吸熱，導致溫室效應	用來更新鋪面及修復微小裂縫

封層、厚度和生命週期的種類	用途與限制	環境議題	外觀與美感
預防保養與顏色修復			
Scrub Seal 最小厚度 2~6 年	1. 這種瀝青表面處理方法是噴灑乳化瀝青到既有的鋪面上，並用長柄刷將之推入路面裂縫，再鋪設細緻級配粒料到裂縫裡	1. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能 2. 淺色可增加鋪面的反射率 3. 以較少的材料，延長鋪面的使用期 4. 因暗色吸熱，導致溫室效應	1. 鏟雪工具的使用可能會傷害表面
噴霧封層 (Fog Seal) 最小厚度 1~3 年	1. 乳化瀝青加水稀釋使用 2. 很常用的一種維護處理	1. 乳化處理指的是冷卻、少煙、少耗能 2. 淺色可增加鋪面的反射率 3. 以較少的材料，延長鋪面的使用期 4. 因暗色吸熱，導致溫室效應	1. 有時因此降低摩擦力 2. 噴霧封層是黑色的，除非加入其他染色料才能改變顏色

(二) PVC (聚氯乙烯化合物) 排水管的替代產品

目前環境保護組織、綠建築組織和乙烯樹脂工業貿易協會等，都曾激烈地辯論 PVC (聚氯乙烯化合物) 排水管的危險性與污染。越來越多研究顯示 PVC 管生命週期的許多階段對人體健康和環境衛生有害。

1. 結合 PVC 的營建材料

若聚氯乙烯化合物產品會造成環境公害，那麼目前有哪些替代產品可以取代 PVC？如表 3-5 所示。

▲表 3-5 目前常用的 PVC 製營建材料

結合 PVC 的景觀產品	<ul style="list-style-type: none">• 景觀營建材料：灌溉管、草坪邊緣柔軟的乙烯樹脂滴灌管、花園軟管、涼亭、欄杆表層、表層裝飾、柵欄、棚架、人造草皮• 道路營建材料：供給水電系統輸送管的金屬網狀柵欄塗料、排水管、透水不織布、不透水布、路障基部、膠合劑• 建築營建材料：屋頂洩水口接頭、窗框、大門、招牌、黏接媒介物、接線盒、水池遮蓋物、烤架遮蓋物，照明設備、家具、框架和室內裝飾品
---------------------	---

2. PVC 生產對環境的衝擊

PVC 的污染問題，是在製造第一個階段就開始。PVC 製品與大多數其他塑膠製品不同，其成分按重量比有 57% 的氯以及氯氣體，如果吸入會有劇烈的危險，在 EPA 目錄中被列為極危險物品。PVC 的生產過程中也會產生危險的副產物。在聚氯乙烯生命週期中的許多階段，有時也會形成具有危險性的有機氯副產物並且釋放在環境當中。

當氯與乙烯相結合時，形成油性的液體，將會成為致癌物並且滲入地下水。研究顯示氯乙稀單體將會導致 PVC 生產工人，產生肝癌、血癌和腦癌的病變。透過國家毒理學計畫，說明運輸氯乙稀的行為已經宣佈「極端危險」，因為建築工人使用液體氯乙稀黏合 PVC 管接頭(如圖 3-41PVC 排水管的替代產品裝設)，並且美國哥倫比亞特區早在 2005 年緊急立法禁止卡車或者火車運輸氯乙稀。



▲圖 3- 41 PVC 排水管的替代產品裝設

建築工人安裝 HDPE 排水管，為一種牢固、低毒害的 PVC 替代用品，但是接合點需要特別的焊接設備。(資料來源：Landscape Architecture, 2006/10, pp.94)

因此，目前出現許多以多用途樹脂製成的替代產品，作為替換 PVC 產品的新選擇。如表 3-6 所示。

▲表 3- 6 PVC 產品的替代選擇產品

產品	PVC 的替代產物	備註
加壓灌溉管	高密度聚乙烯	高密度聚乙烯保險絲焊接生產更堅固的管，但是需要特別的設備。
無加壓灌溉管	聚乙烯，高密度聚乙烯	高密度聚乙烯保險絲焊接生產更堅固的管，但是需要特別的設備。
灌溉、連接器	聚乙烯，高密度聚乙烯	可廣泛利用。
灌溉、滴水管線及浸水軟管	高密度聚乙烯	可廣泛利用。
強力水管	高密度聚乙烯	高密度聚乙烯保險絲焊接生產更堅固的管，但是需要特別的設備。增長的市場。
廢棄水管	高密度聚乙烯、混凝土、玻璃化陶土	大多數規範需要 PVC。
柵欄 / 表層裝飾/欄杆	高密度聚乙烯、聚乙烯、合成木材	整體而論，適宜可替代性的材料是難以發現的。大多數可替代的材料不會來自於聚合物，像是 PVC 產品，但是一些可以用來施作的木頭。相較之下 PVC 仍然最便宜。
上塗料的金屬柵欄	聚酯表層	聚酯更耐用。
招牌	各式種類	對於複合材料內容來說，仔細參考製造商的印刷品。
邊緣	高密度聚乙烯、鋼、鋁	選擇豐富。

(三) 控制性低強度材料 (CLSM)

依美國混凝土協會 (ACI) 的定義，控制性低強度材料 (controlled low strength materials, 以下簡稱 CLSM) 為一種具備自我充填，用為替代優良級配的新興材料，其定義相當廣泛，舉凡可流動性的回填料、低收縮性的可控制式低密度回填料、可流動性漿體、可塑性之泥土水泥質材料、泥土水泥質泥漿、K-Krete 等，皆可為廣義之 CLSM。CLSM 兼具自充填特性，施作過程毋需任何額外夯實設備便可自動填充於管線周遭，加上水泥質材料的凝結特性足以滿足鋪面基底層承載力之



▲圖 3-42 CLSM 的澆注狀況

(資料來源：<http://w3.cpami.gov.tw/design5/index3.htm>)

需求，著眼於充填 (fill) 的性能，希望能透過 CLSM 材料良好的充填特性，完成回填施工。此材料於國內開發與應用，亦將會是一解決回填工程問題的最佳方法。國內現場棄土使用於 CLSM 材料的生產回填於工程的應用上，首見於中華電信公司台九線雙流-丹路新建幹配管工程上。該工程於現場挖掘產生的棄土，隨即運送至一事前規劃的空地，而後進行簡易棄土粒料的篩選、拌合然後回填，實是一兼具環保與功能需求的最佳示範 (CLSM 的澆注狀況如圖 3-42)。

齡期 1 天之砂土 CLSM 試體，其平均滲透性 (k) 約為 4.97×10^{-7} cm/sec，而黏土 CLSM 則約為 1.66×10^{-8} cm/sec，均較一般夯實土壤之代表值為低，顯示 CLSM 於滲透性方面均屬於不透水 (impervious) 材料，因此以其作為污染潛能場址之回填，例如加油站地下儲油槽，可具體發揮圍阻污染源擴大分佈之功效，但若以其作為一般結構回填料時則應注意排水方式之配合，例如使用煙囪式排水層 (chimney drain)，方可有效排除地下水。由於現行規範對於結構或管溝之回填一般均要求使用透水性較高之回填料，故此處所得配比之滲透性顯然不合標準，必須加以改善。本研究使用輸氣劑以增加 CLSM 中孔隙含量之方式增加其滲透性。添加輸氣劑可明顯提高砂土 CLSM 之滲透性至 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sec。滲透性隨著輸氣劑含量之增加而增加，惟其增量有其極限，於劑灰比 (輸氣劑與水泥之重量比，A/C) 為 5% 時 k 值達最大值 1.35×10^{-4} cm/sec。

傳統填方工程費用內包括碎石級配；而在場拌回填工程單價上則將拌合之機電費用加諸其中；預拌方式則比照預拌混凝土之流程計價。由於 CLSM 以現地取材方式進行拌合，因此材料僅需考量水泥費用。由圖可知，土壤 CLSM 具有最低之成本，且若依據一般回填土之強度需求（400kPa），水泥用量降低，則其相對節省成本最高可達 72%，符合經濟性之要求，並且未來若能在拌製程序方面執行標準化改進則仍有大幅降低成本之空間。

七、工料與養護管理成本

（一）工料成本

工料單價分析為每一付款項目單價之依據，係將每一工程計價付款之項目，依照施工規範之要求，合理考量施工效率、機具使用之時間、材料使用之數量，然後將參考單價併入估算，分別求出每一單項之單價，即形成工料單價分析。其中工料分析的內容應包含運輸成本及材料製造過程中所消耗的能源成本，目前京都議定書中已訂定各國所能產生的最大二氧化碳量，道路工程等需運用大量建材的工程應該將所製造的廢氣列為負擔成本之一。

（二）工料來源

一般將工料概分為材料類與勞務類，工料的選擇上皆以距離較近、交通可及性較佳者為優先，因路程影響施工效率，進而影響成本。若工料能符合品管要求，則採用當地工料更是上策，既可降低成本，有可化阻力為助力。

（三）工程生命週期成本

道路規劃設計需事先考慮未來維修養護管理作業需求，並考量生命週期成本問題。生命週期分析（Life Cycle Analysis, LCA）是一種很好的方法，它計算產品從搖籃到墳墓各階段的輸出（水、廢棄物、輻射等），再轉換成對環境的衝擊及危害情形，可以用重量、體積、能量等單位為基準，常用的有 SimaPro、Eco Indicator 等軟體。優點是以精確、量化的方式列出環境衝擊，並且提供設計過程一種回饋資訊，提醒設計師加強改善環境衝擊大的階段。

（四）道路養護管理成本

依據市區道路的作業需求系統分為「道路養護管理系統」與「道路養護決策支援系統」。「道路養護管理系統」以協助道路養護單位進行例行性的道路養護作業及計畫性道路養護中對道路表面破壞資料的收集，各縣市政府道路養護單位的作業狀態目前皆處於被動的例行性養護作業，透過系統不但能建立起養護的制度，收集日常養護的資訊作為養護經費的編列依據，同時透過訓練作業培養工程師正確的養護管理觀念及資料收集、分析、運用的程序，以提升工程師道路養護的服務能力。

「道路養護決策支援系統」則是收集市區道路鋪面狀況進行分析、評審及排序等程序，以 PCI 值作為鋪面養護優先排序評估標準。道路機關所管轄的路網龐大且綿密，並且路網有逐年擴張之趨勢，每年養護預算均難滿足整體道路網需求，管理者如何將路網之鋪面養護管理化簡馭繁，並將每年最需要養護作業路段選出，使有限年度養護預算發揮效用。年度計畫養護路段之產生，勢必有評估及選擇之標準，給予工程師對所管轄路段作選擇，作為養護作業實施順序、養護策略擬定與預算分配之依據。路面養護管理系統（PPMS）內容包括：

1. 道路設施及鋪面基本資料之建立子系統等兩功能。
2. 鋪面狀況調查子系統：基本資料調查，表面破壞調查，撓度調查，平坦度調查，抗滑值調查，交通資料調查等五個功能。
3. 鋪面現況分析子系統：表面破壞分析，撓度分析，平坦（糙）度分析，抗滑值分析，交通資料分析等五個功能。
4. 鋪面服務績效評審子系統：表面破壞評審，撓度評審，平坦（糙）度評審，抗滑值評審，交通資料評審等五個功能。
5. 養護策略與方案規劃子系統：路段養護策略及方案，養護優先排序，養護經費預估等三個功能。
6. 道路環境子系統：氣象水文資料，路基及路床特性資料等兩功能。

八、增進人員生態素養與工程倫理

（一）教育研習訓練

應宣導生態保育和環境保護之重要性，或設置警告標誌以保護動物不受車輛衝撞。施工中的環境保護對策，必須包含工程施工中之生態保育事務或對工程人員進行教育訓練之規定。以鳥類為例，為了保護當地市區特有珍貴的鳥類資源，交通部應舉行道路建造前訓練講習，使工程師，營建商，和承包商學會如何辨認，及確認所欲保護的鳥類可能的習性與築巢地點，在施工期間盡可能考慮避免及移除人為的生態干擾。

（二）建立生態工程的標準作業流程

應建立一套標準作業流程，能使工程與生態人員之間具有良好的協調溝通模式，既以瞭解彼此的工作內容，並加以協調，以利設計施工的進行。

九、改良道路照明設施

道路照明之設計應考量經濟和實用性，可採動態感應的照明方式，不同情況下應分別計算和調整照度範圍。目前市區道路路燈受電箱與燈桿分離狀況普遍，道路照明設施外觀及設置位置經常影響人行及市容觀瞻而備受市民詬病(電箱管線用景觀隱藏遮蔽手法處置如圖 3-43)。台北市已經著手研提路燈受電箱與燈桿共桿工程改善設計方案申請相關計畫經費補助執行。

此外，道路照明可能會影響棲息環境對燈光敏感之物種，如螢火蟲或趨光性昆蟲等。因此，道路照明設計應在不影響基本行車安全規範考量下，就燈具位置、密度、照度範圍及其他遮光設施加以調整，俾免干擾周遭生態環境。另外，以收斂性路燈或低誘蟲性燈源，能夠減輕對光敏感生物之傷害。



電箱管線改善前



電箱管線改善後

▲圖 3-43 電箱管線用景觀隱藏遮蔽手法處置

利用天然資材的原有表面材質，以木質格柵方式圍繞電箱管線，以形塑出自然且融入環境的景觀設施，提升整體景觀美質。(本研究拍攝)

(一) 路燈受電箱與燈桿共桿工程方案設計

1. 背景簡介

以台北市區道路為例，路燈電源受電箱係依經濟部頒訂之「屋內線路裝置規則」、「台電公司營業規則」及台電公司 67 年 3 月 9 日北市區維檢字第 67031712 號函等規定，作為路燈電源受電與台電公司供電間之責任分界點。但因外觀及設置位置影響人行及市容觀瞻而常遭市民詬病，台北市政府公園路燈管理處自 87

年初循減量原則將舊有設施整併減量、運用簡易規劃與設計，研擬路燈電源受電箱與燈桿結合共桿方案，以改善市容觀瞻及人行道的優質環境。

台北市區道路有路燈電源受電箱原來採用之黃色落地式玻璃纖維強化塑膠（Fiberglass Reinforced Plastics, 簡稱 FRP，如圖 3-44），內置台電供電線路及本處保護設施。在施工、供電及維護上極具安全性，因外觀及設置位置影響人行及市容觀瞻而常招市民詬病，於 87 年研擬改善方案，研究如何加速使路燈電源受電箱與路燈桿共桿，將現有公共設施整併減量，計畫分期分年實施執行，以改善市容景觀及提昇都市優質生活環境。最先於 89 年推動「全國首創之路燈電源受電箱與路燈桿共桿計畫」，由於受電箱數量龐大（10,083 座），每年受限經費不足，僅能改善極少設施，成效始終無法彰顯。



▲圖 3-44 改善前 FRP(玻璃纖維強化塑膠)路燈電源受電箱
(資料來源：台北市政府工務局公園路燈管理處，2006)

2. 改善工程方案範圍及規模

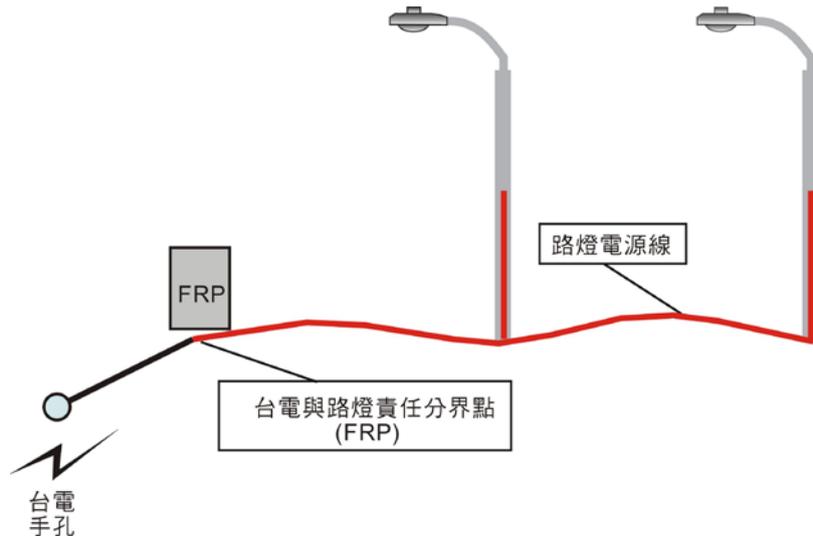
臺北市的 FRP 路燈電源受電箱均設置於全市 12 行政區之街道、巷弄、人行道、分隔道上及公共開放空間上。經調查全市原有 FRP 製受電箱 10,083 座，已完成共桿 3,054 座，尚餘 7,029 座，因數量龐大，計畫分年分期辦理，積極改善（改善前後現況如圖 3-45、圖 3-46，圖 3-47、圖 3-48 為受電箱與路燈相關示意圖）。



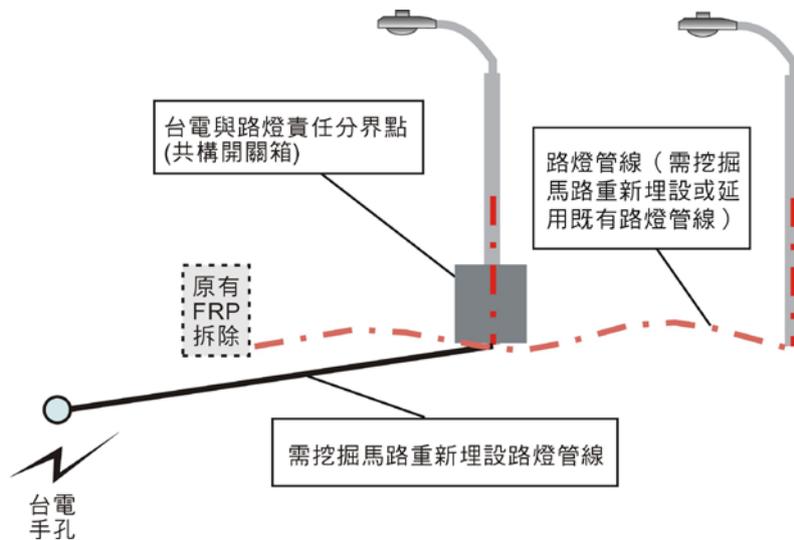
▲圖 3-45 改善前之 FRP 路燈電源受電箱現況



▲圖 3-46 改善後與路燈受電箱與燈桿共桿（方形基座箱）之現況



▲圖 3-47 FRP 路燈電源受電箱與路燈示意圖



▲圖 3-48 將既有 FRP 路燈電源受電箱與鄰近之路燈共構示意圖

3. 用地權屬及分佈

依據「市區道路條例」路燈為道路附屬工程，故都市計畫道路用地於市區道路開闢、修築時，應同時將列入修築計畫一併辦理。經調查本市現有路燈電源受電箱之土地權屬本市工務局新建工程處權管；目前 8 公尺以下道路，由本府各區公所負責養護維管。

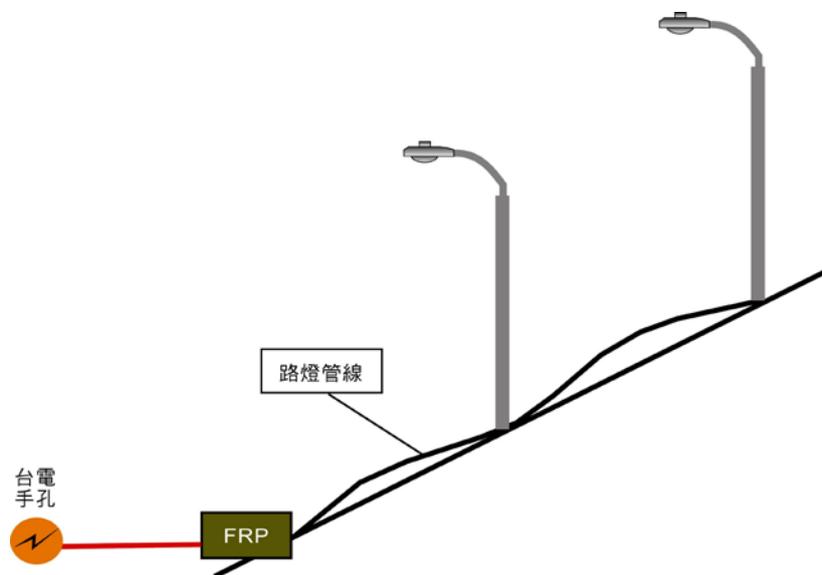
4. 先期計畫實施概況（如表 3-7）

▲表 3-7 先期計畫實施概況

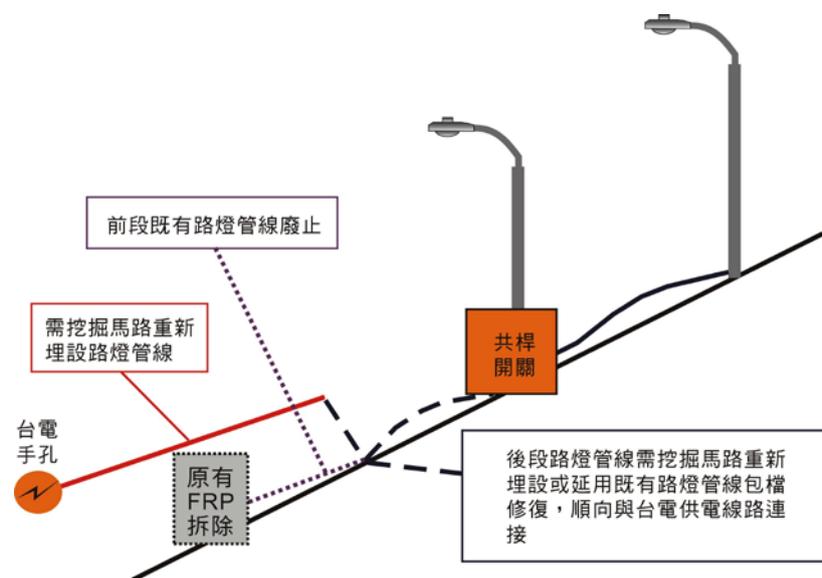
計畫施行流程	日期	內容
先期規劃	87 年 1-3 月	台北市政府工務局公園路燈工程管理處、台電公司各區營業處共提意見，彙整後研擬規劃設計作業
初步設計	87 年 4-6 月	1. 電源受電箱設計需考量：具安全性、外型觀瞻、易於辨識、易於施工、供電、易於維護管理 2. 此外並以道路幅寬 7 公尺為準，內部配電裝設 2 迴路，分成兩種規格： 3. 7 公尺（含）以下之共構燈桿擬採用高度 7 公尺之圓柱型基座箱。 4. 7 公尺（含）以上之共構燈桿擬採用長、寬、高為 4.06*3.3*7 公尺之方型基座箱
製作模型試體	87 年 7 月	完成細部設計
	87 年 8 月	於 8 月份完成模型試體之製作，8 月 7 日第 2 次召開「研商電源受電箱與燈桿共架方案」會議
實體試做	87 年 9 月-88 年 1 月	試作實體 2 只，並擇 2 處地點實地辦理裝設，88 年 1 月底前完成
執行成果	89 年-95 年 4 月	89 年起推動路燈受電箱與燈桿共桿計畫，迄 95 年 4 月底，完成共桿改善計 3,054 座
目前計畫	95 年 12 月	經調查全市原有 FRP 製受電箱 10,083 座，尚餘 7,029 座，計畫分年分期辦理改善，並完成台電公司電源供電定位及養工處挖路事宜會勘
執行 96 年臺北市市區道路景觀與人行環境改善綱要計畫一路燈受電箱與燈桿共桿工程	96 年度	1. 預計 96 年度計畫改善 500 座，所需經費約 2600 萬元（含電線補助費及道路挖掘修復費，其中 600 萬元由臺北市工務局公園路燈工程管理處自籌勻支、餘 2000 萬元向中央申請補助） 2. 預計 3 月底完成設計發包作業，11 月完工

5. 工程細部設計構想與工法（路燈受電箱相關施作工法如圖 3-49、圖 3-50）

將全市現有路燈受電箱對人行、交通影響較鉅大之場所優先列入設計改善計畫範圍；先期應該完成與台電公司做好電源供電定位及養工處挖路事宜會勘。



▲圖 3-49 FRP 路燈電源受電箱與路燈管線施作工法圖



▲圖 3-50 將既有 FRP 路燈電源受電箱與鄰近之路燈共構施作工法圖

6. 路燈養護管理

根據統計資料，迄 95 年 4 月底台北市已裝設路燈數為 136,393 盞，路燈電源受電箱 10083 座，由路燈工程隊編列預算負責管理維修、部分工務、業務辦理，擔負業務督導、工程規劃、維護材料管制等工作，設置東、西、南、北四個分隊，並劃分 36 個責任工作區，執行管理及維護任務。

（二）禮讚光明，尊重黑暗（Celebrate Light, Respect Darkness）

1. 尊重黑暗，並且限制或者消除照明（lighting）的需求

雖然黑夜具有一定的危險，但是黑夜也提供神秘，而且事實上黑夜對於大部分物種來說，是其生態上所必需的。大部分動植物藉由黑暗與光照的模式來調節其季節性或每日的韻律。過多的照明，特別是在戶外，會破壞這些模式，導致對某些物種的嚴重傷害，其中包含人類（human）。建議減少沙灘附近的燈光數、放低並遮蓋光線、用動作偵測照明而非整晚的安全照明、換成黃光譜電燈泡像是低壓鈉（low-pressure sodium）或黃色塗佈的「驅蚊燈泡」（bug lites）。有些群眾希望保留夜晚天空的可見度，所以限制天空中非必需的「光線污染（light pollution）」雖然不是永續性的核心，但對人們的生活品質會發生作用而且似乎是一個值得追求的目標。

2. 照明固定物設計（design of lighting fixtures）的效率（efficiency）

老舊的照明設施會浪費其所消耗的能源中高達 90% 的比例。過去十年來，由於照明科技的進步，如果全面應用新發明的高效率電燈泡，幾乎可以消除所有的能源浪費。有些新燈泡設計應用於現有的裝置，而其他情況若要節省運作能源則要完全取代老舊的裝置。

IES（Illuminating Engineering Society）建議的最適照度水準中，有一項特色，即需要照度物體的淺色表面可截斷最大至三分之二的需光輸出量，也比其周圍環境容易照亮物體。例如淺色表面的階梯需要 200 lux（20 呎燭光）的照明水準；深色表面的相同階梯則需要 500 lux（50 呎燭光）。一個深色表面的地標，在明亮的環境裡需要 500 lux；一個對抗深色背景的明亮地標只需要 50 lux（5 呎燭光）。所以照度（illumination）水準與能源使用的比率是潛在的能源節省指標。

作為廣告用的光線有許多型式，但是全都不能作為永續性的選擇。一旦有了 IES 所定的標準，增加多餘照明以擔保安全的目標就不必要了。在區域照明上，適當的目標比安全性照明的極端明亮更重要，最佳的設計是揭露可疑的行為而非顯示每個細部。事實上，過度的明亮光線會使「好人」看不見，所以「壞人」會消失在陰暗處。以遏制效果來說，以動作觸發的明亮光線比恆常明亮光線有效率。

物體表面照明水準的設立，不只要考慮燈具的選擇，也要考慮燈具至物體表面間的距離與角度，並考慮任何其他光源的重疊量。謹慎利用廠商的產品說明書，包括顯示光線分佈的光度測量圖表，能夠從最小能源中獲得最大有效照明。而好的設計能防止光線散出到非預期的方向。

3. 利用控制器（**controllers**）與定時器（**timers**）避免浪費光照

景觀照明可以「智慧型」開關控制，例如定時器與感應器（**sensors**）。這些裝置能在照明開關打開時，藉由限制時間量以達到節省能源的目的。如果能夠謹慎使用這些裝置，將對照明效率很有貢獻。

動作感應器常用於安全照明，並且幾乎能控制各種類型的光線。由於光線只在偵測到訪客或闖入者時打開，所以這種裝置節省大量的能源。同時也減低恆常極度明亮光線的打擾和光線污染。需要注意的是，偵測器不需要設置於光線固定器上，而獨立擺放的偵測器需要多一些纜線，但卻往往造成很大的功效與有彈性的調節。

4. 低電壓（**low-voltage**）照明提供應用之彈性

低電壓燈具能最快得到每瓦（**watt**）較高的光線輸出量。此外，低電壓燈具還提供兩項優點，間接影響到其效率：大小與安全性。一個照明固定器包括燈泡（**lamp**）、反射器（**reflector**）和底座系統（**mounting system**）。新型態的燈具，特別是低電壓系統者，其光源很小，而且玻璃燈泡裡面包含燈泡和反射器。把反射器放在燈泡裡可以設計出更小更簡單的底座系統。這樣更容易瞄準目標、更容易設置、更容易隱藏在需要光線的精確地點。

在永續性角度上，小型化（**miniaturization**）有以下幾項優點。一、明顯減少需求製造燈泡或裝置的材料量；看到光線，而非看到燈具。二、安全；12 伏特的能量對人體無害，纜線也不需做安全性的包裝保護。三、由於光線的精確與彈性，景觀照明的承包商因此改變他們的做法，使達到預期效果的最佳方式為田野試驗：即不同光線擺放的嘗試錯誤法（**trial-and-error placement**），結果遠遠優於只畫出一張平面圖。四、低電壓系統仰賴一個轉換器，以轉換家用電流為 12 伏特。而轉換器的大小必須仔細吻合總照明負荷；纜線長度也必須妥善規劃。否則纜線末端的伏特落差足以損害燈具性能與壽命。

5.光纖 (fiber-optic) 照明

光纖景觀照明有其環境效益。其中邊射型 (side-emitting) 是最常應用在景觀中的光纖類型，主要用於劃定步道邊緣線或其他以色彩燈光為特色者。端射型 (end-emitting) 纖維較多用於像是聚光燈或要在鑽穿任何材料時製造值得注意的光閃爍點。光纖甚至比低電壓燈具安全，因為所有電力都在光源。纖維本身沒有電流，只有光。低電壓照明在永續性觀點上的精確照明優點，也能應用在光纖。設計師與藝術家喜愛的光纖特徵是其迅速改變顏色的魔術能力。光纖系統可藉由畫出步道輪廓而提供人類的安全性。光纖是關於永續設計與建造選擇中的優良範例。

6.利用太陽能景觀照明 (solar landscape lighting)

在照明上，太陽能照明固定器強調低電壓照明的特徵：在設計期間，彈性、經濟、與整個系統綜合評估的需求。太陽光發電 (photovoltaic, PV) 的主要優點是提供動力給距離效用格點很遙遠的基地。利用太陽能發電可以大幅降低轉換器、纜線、管溝的財政與環境支出。對於真正遙遠的基地，可以有立即的經費節省；對於其他基地，PV 設備的高頭期支出可藉由近似於零的運作費而得到補償。而太陽光發電模板 (PV panel) 可以設置於任何有適當陽光之處，並且通常能夠直接裝設在欲供電的設備上；在其他情況，短距離分佈的纜線從模版走到能源利用點。

太陽能發電系統比一般發電機有絕對的安靜、無污染性，而且有很長的生命週期，通常會超過 20 年；唯一的規律維修需求是定期清潔模板與檢查貯藏電池。唯一的環境爭議是用於製造玻璃組成份的能源是危險的毒性化學物：電池中的鎘與鎳。但是能夠藉由製造時的安全防護、電池的適當回收而將這些難題化到最小。

在太陽能發電應用於街道照明設計的考量上，係要結合高效率的燈具、一個普通的桿座、一個或多個 2x4 的 PV 模板與一套電池系統。絕緣電池可增加電池的壽命。PV 模板通常是作為一個光電池，當停止接收陽光時自動啟動燈具。控制器可防止高低電壓、電壓逆流與其他內建問題。而模板的許多模式美學可以利用改善，例如轉動模板角度至最大太陽曝曬角可增加結構的風載量，成為一場影響性能與外觀的設計交易。太陽能發電的成功通常需要事先的保育規劃、有創造力的設計，並且重新教育建造團隊的成員和使用者。

7. 燈具性能評估 (performance evaluation)

景觀照明的資訊決策需要一些棘手的比較。在決定一個特定環境中要選用哪一種照明最合適並且永續的關鍵是動力利用與效率－但是效率的比較很少只是一對一的比較方式。今天，不同的照明模式以不同的電壓運作，有不同的服務壽命，並以大幅變化的效率生產光線。除了過去常用耗電功率做比較之外，也可比較同樣輸出光線的情況下，其能源節省的比例、所發散的熱能等。燈具與固定物的財務支出也變化很寬。而一般景觀燈具的使用壽命從 600 小時變化至大於 4000 小時。而固定器使用壽命變化範圍更寬。

由於牽涉到許多變數，所以照明評估是壽期成本 (life-cycle costing) 的優秀候選。壽期成本使照明複合物的能源輸入、效率、耐久性之結合能更容易得到。

第三節、推動道路應用生態工程常見的困境與障礙

依據相關調查研究指出，推動生態設計策略與應用生態工程常見的困境和障礙歸納如表 3-8：

▲表 3-8 推動道路應用生態工程常見的困境與障礙

生態設計與策略	推動落實常見的典型障礙
基地保護與復育	
沈積與沖蝕控制	<ul style="list-style-type: none"> • 承包商忽略我們提供的圖說 • 營造成本提高
基地矯正/復育	<ul style="list-style-type: none"> • 業主對增加的難度或經費之認知 • 取決於業主的接受程度和了解
契約期間的基地保護	<ul style="list-style-type: none"> • 承包商及小包商通常會疏忽 • 困於對開發者和營造專業強調這些方法 • 承包商鮮少確認施作方式是否妥當
基地干擾的減少	<ul style="list-style-type: none"> • 法規（code）抵觸需求；反對 • 對業主而言，減少基地干擾等同於經濟潛力的損失
生態材料和產品	
生命週期分析	<ul style="list-style-type: none"> • 缺乏相關知識和時間做研究 • 許多業主不願分擔支出，或者不願花費額外的努力
無毒的材料	<ul style="list-style-type: none"> • 我們需要好的科學技術證明許多材料的風險和毒性
回收/廢物利用的材料	<ul style="list-style-type: none"> • 這些材料提供指有限的特性且有時很昂貴 • 材料的外觀、價格和美觀性無法與那些新材料做比較
令人滿意的回收材	<ul style="list-style-type: none"> • 回收材料通常比較昂貴，當政府或私人業主資金緊湊時無法使用 • 有些生態性產品的廠商成立與倒閉速度過快，使得尋找替代產品相當困難 • 生態性材料的價格與美觀性有限，可選擇性較少。業主看不到補償，即使我們解釋以後 • 這些材料被承包商以說服業主可以減少花費而以其他材料取代 • 生態性材料的價格無法與其他產品競爭，並且通常被認為難以施工或使用壽命短。
低耗能的資材	<ul style="list-style-type: none"> • 需要評估能資消耗的標準化方式...比較蘋果和橘子且決定哪個是低耗能是非常困難的 • 現在是開始研究的時候？
在地性材料 有保證的材料	<ul style="list-style-type: none"> • 材料並非永遠能夠在地提供 • 業主通常不情願支付額外的支出

低度水資源運用和廢水管理	
原生/低需水性植物	<ul style="list-style-type: none"> • 特定植物的取得有困難 • 客戶和大眾對這類植物的美感存在疑慮
高效灌溉系統	<ul style="list-style-type: none"> • 灌溉領域的專家未能支持 • 客戶認為後續維護工作應該逐漸增加的既有認知 • 滴灌系統不適用於公園
水資源回收	<ul style="list-style-type: none"> • 對某些客戶而言，雨水回收是一種激進的觀念，因此設計過程中需要融入雨水回收概念的教育 • 雨水回收系統複雜，且需要來自機械工程領域的合作 • 雨水回收的成本高 • 在某些乾旱地區的雨水回收是不合法的
在地廢水處理	<ul style="list-style-type: none"> • 由於處理成本和技術的匱乏，而造成客戶的抵制 • 當地法規不允許 • 客戶考量到長期的維護工作而不支持 • 與土木工程師合作時，很難讓他們退讓涉及到基地廢水處理的標準工程施作方式 • 沒有充足的資源能協助進行設計
暴雨管理	
暴雨滲透技術	<ul style="list-style-type: none"> • 各級政府不了解使用綠色暴雨管理策略的優點，只想要水泥排水溝和滯留槽 • 土木工程師顧慮滲透系統的後續維護工作 • 在某些地方的不透水土壤需要其他的策略配合 • 工程師與景觀建築師之間缺乏機會充分溝通
減少鋪面面積	<ul style="list-style-type: none"> • 每個人都想要鋪面 • 未提供開發者獎勵措施來降低鋪面面積 • 停車管理法規設有最低停車格數量
提供透水性鋪面	<ul style="list-style-type: none"> • 壓縮了開發預算的高初期工程成本，無法負擔其使用 • 維護和長期使用的考量 • 沒有足夠的數據支持長期的使用 • 與當地法規牴觸 • 缺乏對客戶和政府單位的教育
非點源污染的移除	<ul style="list-style-type: none"> • 缺乏對客戶和政府單位的教育 • 缺乏已被證實的技術 • 鮮少提供客戶使用上的獎勵辦法

降低熱島效應	
綠蔽遮蔭	<ul style="list-style-type: none"> • 客戶不要求綠化遮蔭 • 增加綠化與植材成本 • 停車格中可提供樹島的機會有限
高反射率鋪面	<ul style="list-style-type: none"> • 材料的選擇範圍有限 • 在鄉村或北方地區不受到重視，高反射率鋪面不像深色鋪面能夠融雪
	<ul style="list-style-type: none"> • 高反射率鋪面造成炫光，並且傷害眼睛 • 建築法規中沒有強制要求，客戶亦不視其為己任
綠色屋頂	<ul style="list-style-type: none"> • 客戶因營建成本考量而不支持 • 沒有足夠的知識技術或成功案例 • 保險公司擔心屋頂的保水能力 • 在乾旱環境中，綠色屋頂難以維持

(本研究整理)

第四章、市區道路工程計畫應用生態工程之作業守則

依據工程經濟的觀點，每個工程均具有一定的生命週期。因此，道路工程應用生態工程之作業守則，必須配合道路工程生命週期各階段環境影響層面的考量因素加以建置，茲依序說明其一般作業守則及內容如下（表 4-1、表 4-2）：

▲表 4-1 道路工程生命週期各階段環境影響之考量項目與對應準則檢索表

生命週期階段	考量項目	對應準則	
可行性研究	環境資源調查分析、道路選線的評估	一、環境現況的調查（第 82 頁）	準則一、二
		二、道路選線的評估與環境友善替代方案（第 85 頁）	準則三、四
規劃	自然生態環境、水資源保護區、地形、地質、排水、透水、動物棲地、動物移動路徑、植物群落、特殊自然與人文景觀	三、道路構造形式的選擇（路堤、路塹、橋樑與隧道）（第 87 頁）	準則五、六
		一、道路構造形式及細部修正的檢討（第 89 頁）	準則七、八
設計	道路構造形式的選擇、動物移動路徑的考量、路權阻隔設施、道路照明對週邊環境的影響、棲地的遷移與營造、表土的再利用、排水廊道的生態功能、邊坡形式的選擇、生態綠化、綠化、保水、環境共生、節能、CO2 減量、自然環境保護、景觀提升、生活環境保護、交通安全維護、排水、維修、共同管道、附屬設施、資源回收再生利用	二、動物移動路徑的考量（第 91 頁）	準則九~十二
		三、路權阻隔設施（第 96 頁）	準則十三~十六
		四、道路照明對週邊環境的影響與對策（第 97 頁）	準則十七、十八
		五、棲地的遷移與營造（第 98 頁）	準則十九~二十三
		六、表土的再利用（第 101 頁）	準則二十四、二十五
		七、排水廊道的生態功能（第 102 頁）	準則二十六、二十七
		八、邊坡形式的選擇與生態綠化（第 104 頁）	準則二十八~三十

生命週期階段	考量項目	對應準則	生命週期階段
施工	道路建設的作業內容與環境干擾、工程施工計畫的環境考量、施工道路的選擇與環境復育、施工中之排水改道與水污染防治、噪音防治、施工粉塵污染防治、施工中之其他注意事項、噪音、水、震動、廢棄物、取棄土	一、道路建設的作業內容與環境干擾（第 106 頁）	準則三十一
		二、工程施工計畫的環境考量（第 108 頁）	準則三十二、三十三
		三、施工道路的選擇與環境復育（第 112 頁）	準則三十四～三十六
		四、施工中之排水改道及水污染防治（第 114 頁）	準則三十七～三十九
		五、噪音防治（第 116 頁）	準則四十～四十一
		六、施工粉塵污染防治（第 117 頁）	準則四十二、四十三
		七、施工中之其他注意事項（第 118 頁）	準則四十四～四十六
維護管理	整體生態考量的維護管理計畫、使用階段的環境監測計畫	一、整體生態考量的管理維護計畫（第 121 頁）	準則四十七～五十
		二、使用階段的環境監測計畫（第 122 頁）	準則五十一

但是國內市區道路路線選定與工程環境調查分析(即可行性研究階段)，在都市計畫擬定階段皆已經確定，現行市區道路工程單位都是直接承接道路工程規劃設計和施工的任務，興闢後直接交給地方政府使用維護管理，因此可行性研究和維護管理兩個生命週期階段相關的一般作業準則及內容，將視實際情況與道路工程環境條件因變參考。

▲表 4-2 市區道路應用生態工程之階段作業範圍項目與對策

	道路建設的推動流程	生態工程的應用	相關對策的提出
可行性研究及工程規劃階段	<ul style="list-style-type: none"> ■ 道路建設計畫的提出 ■ 可行性評估 ■ 規劃階段（路廊研選） ■ 環境影響評估（EIS）送審 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 路線研究範圍之空間調查與分析 ■ 各替選方案的環境影響評估及最適方案的研選 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 計畫範圍生態環境調查 ■ 路廊迴避（MEFA）、減輕對策（Mitigation）、棲地補償（compensation） ■ 綠覆棲地的營造 ■ 路廊線形及構造形式的檢討
工程設計階段	<ul style="list-style-type: none"> ■ 初步設計階段（定線公告） ■ 細部設計階段 ■ 補送環境影響差異分析報告 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 應用生態工程相關環境及目標對象的調查 ■ 納入環評承諾並研擬相關環境衝擊減輕對策 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 道路構造形式（橋樑、隧道、路工）及細部修正的檢討 ■ 施工計畫的檢討（工法、施工道路、施工機具、環境保護對策） ■ 路面透水鋪面的使用 ■ 動物移動路徑的確保 ■ 路權阻隔設施及替代路徑的檢討 ■ 邊溝動物脫出保護設計的檢討 ■ 道路照明對周邊重要植生之影響檢討 ■ 棲地復育的檢討與評估 ■ 表土種源庫的保存與再利用 ■ 原有排水廊道及水資源的保護與復原 ■ 原生植物的利用與移植 ■ 邊坡形式與生態綠化的檢討
工程施工階段	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乙方施工計畫研提 ■ 工程動員施工 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研擬施工中環境管理對策 ■ 具體的施工管理及配套罰責 ■ 施工中環境監測計畫研提 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 確認工程進行對環境之干擾 ■ 研提最少干擾之施工計畫 ■ 施工道路的選擇與環境復育 ■ 施工中排水改道與水污染防治 ■ 施工噪音防治對策 ■ 施工粉塵污染防治 ■ 施工中之其他環境保護事項（林木砍伐、周邊環境干擾、野生動物干擾）
營運維管階段	<ul style="list-style-type: none"> ■ 工程移交 ■ 營運維管 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研擬維管階段之環境管理對策 ■ 持續的環境監測計畫 ■ 檢討相關設施之成效 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 整體生態考量的維管計畫 ■ 營運階段的環境監測計畫 ■ 綠資材的應用 ■ 最小維管成本的對策 ■ 生態保育、復育對策的宣導

（本研究整理）

第一節、可行性研究及工程規劃階段

本階段是決定路廊與環境係衝擊亦或共生之關鍵期程，相關之空間背景資料及生態調查結果，都應反映於本階段之決策，同時環境保護相關專長背景之專業，如環工、生態、景觀等專長人員，應於本階段納入現勘及決策機制，以利後續作業之推動，本階段作業之重點在於：

1. 確認道路建設與區域環境可能的衝突。
2. 選擇復育之對象，並提升生態多樣性。
3. 確立後續工程推動，各階段之環境復育目標及對策。

其餘相關之作業準則茲分述如下：

一、環境現況的調查

準則一：【路廊可行性評估階段，應先將各路廊替代方案採文獻調查法，將目前與道路建設相關之法令、保護區範圍、環境背景資料、生態調查文獻等，列表整理，並將重點標繪於五萬分之一或兩萬五千分之一之基本地形圖上，俾利後續路廊研選決策評估。】

準則二：【規劃階段，應針對路廊經過之重要棲地及保護區範圍，作進一步之現地調查，建立長期監測站，並於基本地形圖上標繪環境概況及建設作業內容，可能造成的環境干擾與衝擊，俾利後續生態工程對策的研擬。】

【說明】 可行性研究，應先就各可能替代方案之路廊，納入文獻收集之調查範圍，初步了解路廊之潛力與限制，規劃階段路廊初步定案後，應進行較精確之現地調查；本項調查之重點在於：確認路廊周邊重要物種之類型、族群數量、棲地位置、分佈的範圍與界線、食物鏈上之生態地位（Niche）及共生之物種、環境及生活史的掌握，以了解道路建設的環境衝擊，評估其影響的程度；相關結果並應繪製成環境敏感區位圖，俾利後續對策研提參酌，調查之詳細內容如下：
（一）調查對象：

路廊範圍之動植物資源分佈現況，植物部分應依據環保署 91.3.28 公告之「植物生態評估技術規範」辦理，其主要內容包括：與植物生態有關之環境現況說明、植物生態背景調查及植物生態影響評估等三部份（環保署，2002），其調查方法

詳表 4-3。動物部分則包括哺乳類、鳥類、兩棲類、爬蟲類、昆蟲及魚貝類之調查，其調查方法詳表 4-4。調查時應將其相關之環境背景資料一併紀錄，本部分應委由相關專長、背景之學者專家進行長期之調查及監測。

(二) 調查範圍：

基本上以路權 (ROW) 中心線左右各兩百五十公尺，至五百公尺為調查範圍，但應將周邊重要或大型棲地，及行動圈較廣之大型哺乳動物的行動範圍納入調查。

(三) 基本圖比例：1/5,000~1/25,000

(四) 調查時間及次數：

原則上計畫開始至營運階段，應持續作長期之環境監測與生態調查，每年至少依季節之變化作每季 2-4 次之實地調查，重點應著重於生殖期之觀測與調查。

▲表 4-3 植物群落之調查方法

	調查方法	內容摘要
植相調查	選擇性樣區調查法 (select sample plots)	紀錄樣區內植物之胸高直徑 (DBH)、數量及種類並計算其密度、相對密度、相對優勢度等，俾取得重要值 (IVI)，判斷區內之植生潛在植被及演替趨勢。
植生調查	直線穿越法 (line transect)	以現有產業道路或小徑為穿越線紀錄兩邊各一定距離之物種，俾了解可能出現之植生種類。

▲表 4-4 主要之動物生態調查方法

動物的種類		調查方法	內容摘要
哺乳類	中大型哺乳類	痕跡法	實際至棲地紀錄出現物種之足跡、排遺、食痕、巢穴或實體，並記錄其行為模式，俾掌握其生活圈及行動圈之範圍，適用於中大型之哺乳類。
	小型哺乳類	捕獲法	利用小型陷阱於夜間佈設翌日回收的方式來記錄捕獲之小型哺乳類，藉由樣區之佈設及捕獲之數量推算其族群數量及可能活動範圍。
鳥類		穿越線紀錄法	以現有既存之林道或登山步道穿越的方式，紀錄所發現之鳥種及數量，俾推算其族群大小並記錄其活動時間，為較簡易之調查方法。
		定點紀錄法	於鳥類之重要棲地設測站定點觀測並記錄鳥種、數量、食餌及環境資料，為較精確之調查方法。
兩棲類及爬蟲類		出現種確認法	調查區域範圍內出現之個體或卵塊俾推算其族群數量。

昆蟲類	任意採集法	利用掃網在草叢中來回掃動或於樹下敲打，採集落入網中之昆蟲，並記錄其種類及數量。
	光源食餌採集法	利用誘蟲燈投射於白布，或以食餌誘集昆蟲紀錄出現之物種及數量
魚貝類	直接採集法	利用撒網或定置網的方式，紀錄出現之物種及數量

(資料來源：日本道路環境研究所，1997)

		
蛙類之族群調查應掌握目標物種生命週期之生長曲線	環境調查的工具：定點紀錄器材、圖鑑及相關測量工具	小型哺乳動可用捕獲法或排遺確認其族群活動

▲圖 4-1 動物生態調查方法案例

二、道路選線的評估與環境友善替代方案

準則三：【路廊評估之決策除土木專業外應採跨學門之整合，本階段應將環境保護相關專長背景之專業，如環工、生態、景觀等人員納入現勘、計畫審議及決策機制】

準則四：【路廊研選之策略應依迴避、衝擊減輕及棲地補償等三個原則逐一過濾評估，選擇對環境最友善之方案】

【說明】 規劃階段透過週邊生態環境的現勘與調查，對於生態敏感區及保護區之影響範圍及衝擊預測，已有初步之掌握；故在路廊研選作業上應採取迴避、衝擊減輕及棲地補償等三個原則（詳圖 4-2）來逐一過濾評估，選擇對環境最友善之方案（Most Environment Friendly Alternative, MEFA）；同時在相關路廊評估的研選過程，應採跨專業整合機制之決策模式，納入環境保護專業之分工，俾能整體考量，其檢討之原則詳表 4-5。



▲圖 4-2 路廊研選之三原則

▲表 4- 5 規劃階段路廊環境友善方案之檢討

保護對象的位置	採行對策	檢討項目
位於計劃路廊上	<ul style="list-style-type: none"> ■ 迴避 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 路線左右位移微調 ■ 線形縱坡曲線檢討 ■ 道路構造形式的檢討（改採橋樑或隧道通過環境敏感區） ■ 地表最小開挖幅度的檢討 ■ 地工構造物的檢討 ■ 植生移植可行性評估
緊鄰計劃路廊	<ul style="list-style-type: none"> ■ 迴避 ■ 衝擊減輕 ■ 補償替代 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地表最小開挖幅度的檢討 ■ 地工構造物的檢討（如擋土牆、邊坡保護工等） ■ 其他可能減輕衝擊之對策研提
位於計劃路廊週邊	<ul style="list-style-type: none"> ■ 影響預測評估 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 其他可能減輕衝擊之對策研提 ■ 路權侵入阻隔設施及動物生活圈移動路徑切割的補償與替代評估

（資料來源：日本道路環境研究所，1997）

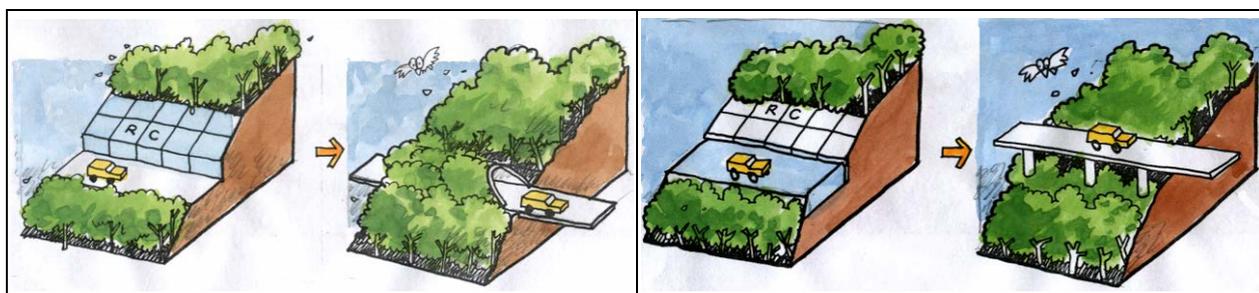
三、道路構造形式的選擇（路堤、路塹、橋樑與隧道）

準則五：【路廊確定後，應檢討道路構造形式的佈設；原則上應採行對地表最小干擾之構造形式。】

準則六：【路廊非必要，應避免大規模的土方挖填作業，如無法避免亦應檢討區域內，最短運距之挖填平衡，及最小開挖面積。】

【說明】 計劃路廊初步定案後，其後規設之重點在於：道路構造形式的選擇，若從對生態環境衝擊最小之觀點而論：隧道應為道路最佳之構造形式，但其單位造價過高，且施工期程因地質因素之變異致較難掌握，非必要均較少採行，另路堤及路塹係最經濟，且養護經費最低之道路構造形式，但其對地貌之改變及相關集水路的衝擊，若處理不當易造成工程災害，且路堤和路塹容易造成生態阻隔，形成生態孤島效應，故為對環境較不友善之選項。反之，高橋墩之橋樑能夠順應地形起伏，調整墩柱高度，輕巧的架設於地表，對環境之衝擊僅止於落墩之基樁及施工道路的佈設，雖單價高於路堤但若能提高橋樑總長度及預鑄節塊之比例，單位造價應仍有調降之空間。

如因工程經費及相關因素考量，部分路段必須採行路堤或路塹形式時，應採行最少地貌干擾之方案，避免大規模之土方開挖作業衝擊生態環境（詳圖 4-3）。並應研擬阻隔替代機制，降低路堤高度，同時設置邊坡緩衝林帶。土方開挖之範圍及規模亦應審慎評估，最好能於短運距內（20 公里內）自行挖填平衡，以免多餘土方及運距造成二次污染。



地貌最小干擾的道路構造形式評估：左圖坡面開挖改為隧道；右圖路塹開挖改高架。

▲圖 4-3 道路構造形式最小地貌干擾評估案例

第二節、工程設計階段

本階段業已完成路廊之檢討，故其發展重點在於：現有路廊因應局部環境特質的細部設計及定線公告，並應用生態工程的手法納入環評承諾，並研擬相關環境衝擊的減輕對策；其推動之重點如下：

1. 應依據對策檢討區，進行第二階段之現場調查，俾取得更詳實之資料，作為因應對策發展的依據。
2. 除對策檢討區外，針對路廊經過之其他自然環境，以採行對地表最小干擾之工法及道路構造形式為原則。
3. 路權範圍及棲地補償之區域，設計時應以多層次的濃縮式生態原則設計，以利於生態演替及物種多樣性指標的提昇。

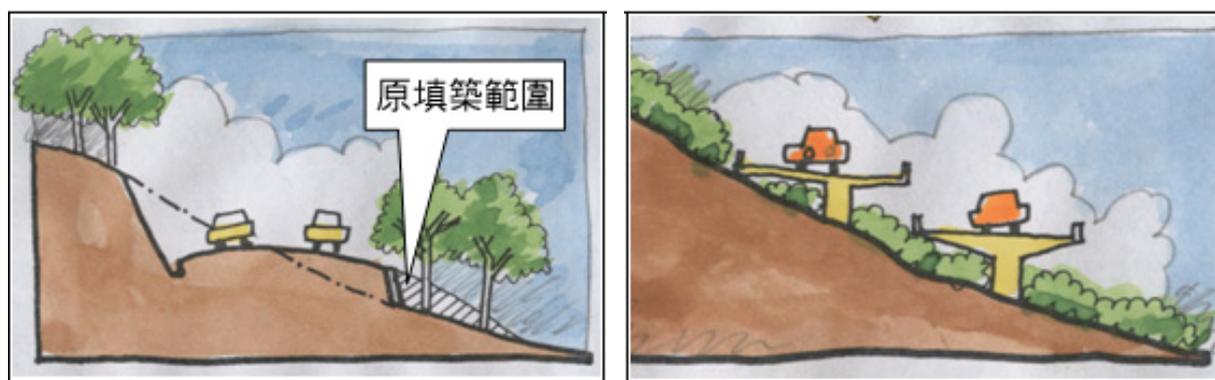
本階段之工程設計內容，如與規劃階段送審之環評差異過大時，應再行補送「環境影響差異分析報告書」；本節僅就應用生態工程之衝擊的減輕對策，如：道路構造形式的細部設計檢討、動物移動路徑的確保、路權阻隔設施、替代路徑的檢討、邊溝動物脫離保護設計、道路生態照明、棲地的設置與補償、表土の利用、邊坡形式的檢討及原生植物的保護等手法分述如後。

一、道路構造形式及細部修正的檢討

準則七：【路堤填築之高度及規模，應依據現地條件，如植生現況、排水、棲地阻隔等因子審慎評估，可利用相關之地工構造物或雙向分離之方式設計，以採對地貌最小干擾之方案為原則。】

準則八：【細設階段，應就道路構造形式，依據環境之現況作局部之檢討，評估時應納入工法、機具、施工道路及環境保護對策的整體評估。】

【說明】 路堤填築之高度及規模，應依據現地條件如植生、排水、棲地阻隔等因子審慎評估，儘可能降低路堤高度及邊坡斜率；除考量土方平衡外，應積極採行對地貌最小干擾之方案為原則，故細部設計時應再進行現地踏勘，針對現地環境調查，相關重要植生之保護及施工中之注意事項，加以標示並納入發包文件中加以規範；同時亦可利用相關之地工構造物或車道雙向分離之方式設計（詳圖 4-4），以減少對環境之干擾。



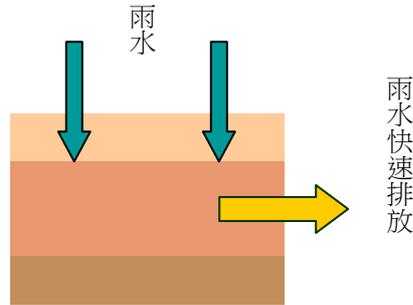
以擋土牆減少路堤填築土方數量減少地貌干擾。

雙階式棧橋，減少地貌開挖。

▲圖 4-4 道路構造形式的細部檢討

細設階段應審慎評估日後可能採行之工法、機具及施工道路闢建對環境之干擾，並應利用相關之生態調查資料，掌握目標物種之生活史，調配可行之施工期程及計畫，其中尤以施工道路的闢建更應審慎評估；並於相關發包文件中對於闢建的方式、開發範圍及相關的環境保護配套原則，分別加以規範，俾免造成環境衝擊；其對應之丈量付款方式，亦應儘量採逐項給付之工項（pay item），避免乙式計價以釐清責任，落實環境保護承諾。

除道路構造形式的評估外，針對噪音環境敏感區亦可針對道路表面的鋪面形式加以檢討，國外採行多年之排水性鋪面工法（Permeable Pavement）原係美國環保署針對路側植生基質透水性材料所開發之對策，其不但可加速路面驟雨時之排水，其孔隙設計亦可降低 3-6db 的噪音質（詳圖 4-5）



▲圖 4-5 排水性鋪面排水機制示意
（資料來源：國道新建工程局，2000）

目前國內道透水鋪面黏層、透層及封層材料品質與施工規範之研發極為缺乏，有待學術界進一步研發。

二、動物移動路徑的考量

準則九：【道路建設因採路堤或路塹等構造形式阻隔原有動物移動路時，應設替代路徑加以補償，並應長期監測評估成效。】

準則十：【動物移動路徑應評估道路周邊之目標物種，依據其習性、生活圈範圍、誘導設施、棲地環境特質及可能環境干擾之排除等，提供其可行之替代移動路徑。】

準則十一：【應檢討路權範圍兩側之植生高度，並因應鳥類及昆蟲之飛行習性，避免造成道路橫越之衝突。】

準則十二：【河道整治施工，應避免迴游性魚類及水生生物之落差阻隔，應調查其生態習性，設置魚道替代迴游路徑。】

【說明】 道路建設造成棲地的切割與阻隔，一直是環境衝擊的主要議題，其中尤以路堤或路塹等構造形式之阻隔衝擊最大，故規劃設計階段應調查周邊之目標物種，依據其習性、生活圈範圍、誘導設施、棲地環境特質及可能環境干擾之排除等，提供具體可行之替代移動路徑，並應長期監測評估成效。動物移動路徑之替代補償，應依目標物種之大小及類型，分別加以考量（詳圖 4-6）；一般依其位於道路本體之位置，可分為穿越類型（under pass）如：涵洞、箱涵、管涵、魚道及跨越類型（over pass）：如橋樑、假隧道及其他手法，如植生誘導等，其設計重點茲分述如下：



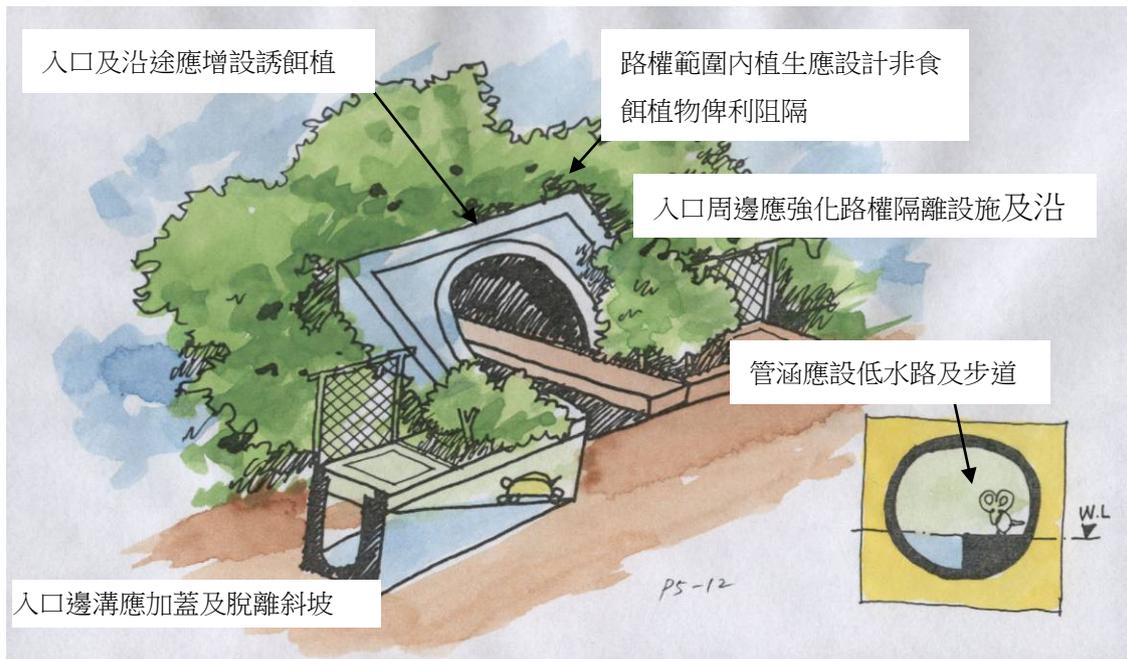
▲圖 4-6 德國動物移動路徑各種涵洞尺度設計圖

(一) 橋樑下方之水陸交接地帶，係動物覓食飲水等生活圈之主要路徑，對於因施工干擾之水岸植生，應積極復育並應避免形成區塊空隙，以免干擾原移動路徑。

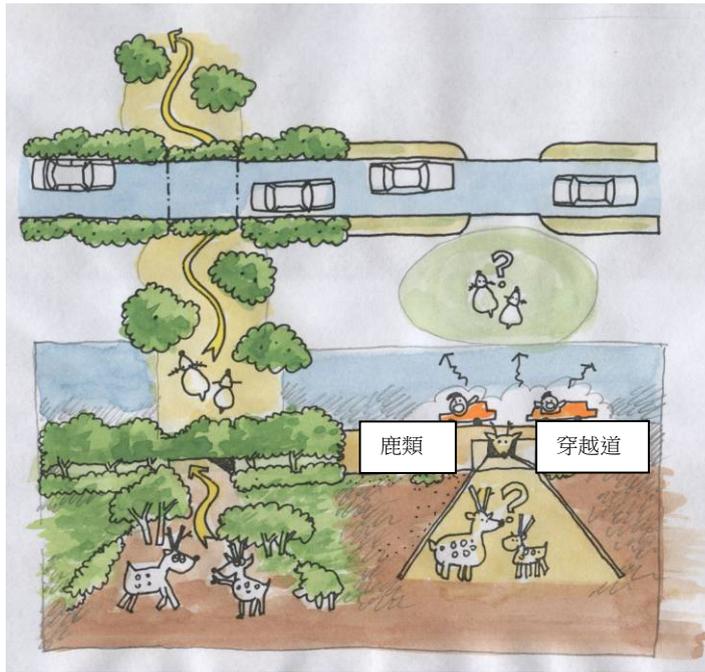
(二) 路堤兩側替代動物移動路徑與原路徑之銜接處應以植栽或其他誘導設施補強，以增加其隱密性，防止外力之干擾。另路堤替代路徑之涵洞、箱涵及管涵周邊，應加強侵入阻隔設施，俾免動物誤入。其鋪面材料亦要模擬原路徑，以自然資材如土壤、石塊及落葉枯枝鋪設。

(三) 涵洞、箱涵及管涵之入口處周邊，應以植生加以掩蔽(詳圖 4-8)，沿途亦應補植誘導食源植物，以提高效能。

小型動物及兩棲類動物之替代管涵，出入口之邊溝應加蓋，且應增設脫離斜坡，以利誤入自力脫離；管涵內部依目標物種之考量應設置低水路及步行廊道(詳圖 4-7)，其管涵之斷面與長度之關係詳表 4-6。



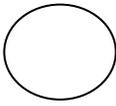
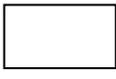
▲圖 4-7 小型動物及兩棲類動物移動管涵之設置概念圖



▲圖4-8 動物移動路徑誘導植生及隱蔽物之量

利用誘導植生將道路構造物不良干擾加以遮蔽，並強化路權阻隔俾防誤入，圖右替代移動路徑，出現道路本體等人工構造物，致成效較差。

▲表 4-6 管涵之斷面與長度對應關係一覽表

管涵斷面形式	管涵之長度與斷面對應關係	
	管涵之長度（公尺）	斷面內徑（公分）
	20	100
	21-30	120
	31-50	140
混凝土管	50 以上	150
		
	20 以下	寬 100 高 75
混凝土箱涵	20 以上	寬 200 高 175

（日本道路環境研究所，1997）

（一）林木中、下層飛行之鳥類及大型昆蟲於其主要棲地附近，應考量其習性及食餌植物佈設方式，並應針對中大型鳥種之飛行高度加以調查，俾免因低空橫越道路造成傷亡（詳圖 4-9）；為降低鳥類與交通動線的衝突可於主要飛越路線，利用植生高度誘導其穿越，並輔以路權阻隔設施加以阻隔。（詳圖 4-10）



路側犧牲的盤古蟾蜍

橫越道路發生車禍的蛇類

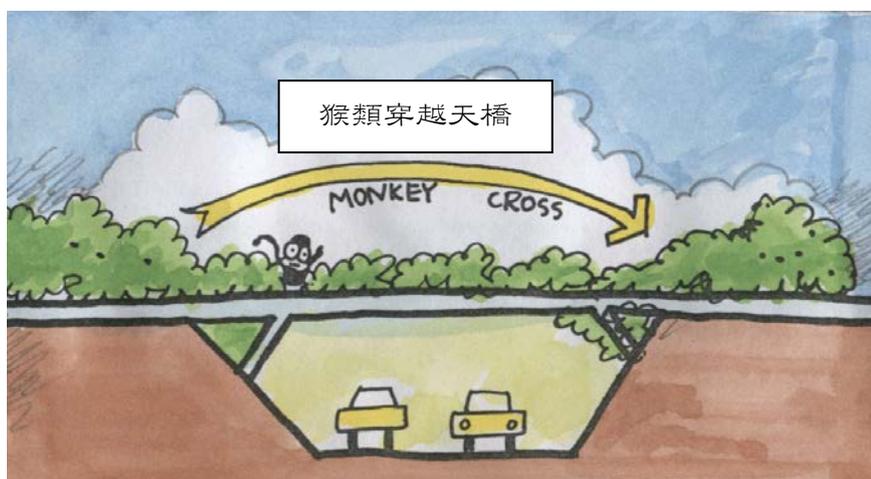
與車輛衝突的斑鳩

▲圖 4-9 動物與道路路網的衝突



▲圖 4- 10 鳥類飛行路線之干擾衝突考量

(二) 若考量目標物種移動路徑之相關高程銜接，亦可採跨越橋或假隧道頂端跨越之方式設置，設計時亦應考量目標物種之習性，設置誘導植生，並考慮設置防護網俾免跌落道路。玉山國家公園在塔塔加鞍部路段，亦針對台灣獼猴設置跨越繩橋，經監測發現已能為獼猴群利用已達預期設置目標，陽明山國家公園亦考慮於主要動物穿越廊道設置穿越涵洞；以減輕動物之傷亡。(詳圖 4-11)



日本九州橫斷自動車道之獼猴跨越橋

▲圖 4- 11 跨越型動物替代道路案例

三、路權阻隔設施

準則十三：【應針對目標物種及特定地形，調整路權柵欄之高度、網目孔徑及接地部分之孔隙，俾免動物闖入。】

準則十四：【應於動物經常出沒路段設置警告標誌，俾提醒用路人注意，避免造成傷亡。】

準則十五：【路權阻隔設施，除金屬護網外亦可依目標物種之特性利用超音波、反光金屬版及照明設施等，達到嚇阻之目的。】

準則十六：【路權阻隔設施亦應考量設置單向之出口，俾利誤入道路之動物脫出。】

【說明】 野生動物侵入路權範圍內，對交通安全之影響及生態之衝擊，一直是道路管理機關營運階段之重要課題；公路殺手（Road killer）的相關研究亦是國外生態道路研究的焦點（Forman，1997）；依據日本道路公團，在北海道橫斷自動車道之長期監測發現：從 1988 年至 1992 年止，已拾獲之動物遺體紀錄之案例高達 3,153 件，包括鳥類、家畜及野生動物。

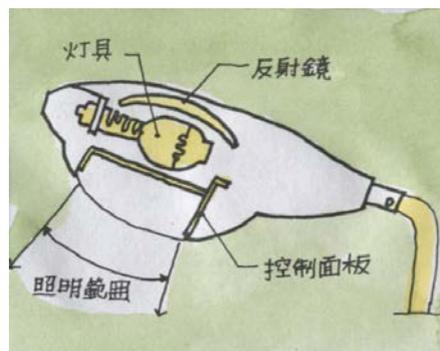
四、道路照明對週邊環境的影響與對策

準則十七：【路廊經過重要動植物之棲地時，應審慎評估道路照明對周邊生態環境之影響。】

準則十八：【路廊經過重要棲地時，燈光之設計應在不影響基本行車安全規範之考慮下，就燈具位置、密度及照度範圍、演色性及其他遮光設施加以調整，俾免干擾周邊生態環境】。

【說明】道路燈具的照度、波長、光色及光源等對植物生理如花期、成長抑制等之影響，及昆蟲向光性干擾（撲火效應）、夜行性動物行為及繁殖之干擾等，已多有研究證實；故生態道路之設計應針對路廊周邊之土地使用現況加以評估，以免干擾周邊生態環境（詳圖 4-12）；其相關之對策如下：

- （一）道路經過環境敏感區時，應依據目標物種之可能光源干擾，在滿足基本行車安全之照度需求下，調整燈具之位置、高度、密度及演色性以降低干擾。
- （二）燈具之位置亦可調整於中央分隔帶，或降低高度與路側護欄共構，以減輕對路權周邊之影響。
- （三）燈具本體之照度範圍，亦可以遮光板加以調整，另路權側亦可採遮光壁等遮蔽設施，避免光源漫射干擾。



燈具遮光板及光色的調整設置

▲圖 4-12 道路生態照明之對策

五、棲地的遷移與營造

準則十九：【動物棲地的遷移及營造替代，應針對目標物種生活史及棲地環境之地形、日照條件、植生種類、水資源條件等事先加以掌握與了解，俾利銜接與適應。】

準則二十：【遷移後之棲地條件應優於原棲地，且其面積應大於原面積之兩倍，並應考量生活圈及行動圈之距離及與其他棲地之串聯，俾免形成生態孤島。】

準則二十一：【棲地之遷移應避免於繁殖季或幼年期進行，俾免干擾族群之繁衍與數量】。

準則二十二：【新營造棲地，周邊應與道路邊界或其他干擾源隔離，另棲地營造宜採濃縮式生態之原則，以提高初期之環境適應與生態多樣性】。

準則二十三：【棲地之遷移後應進行長期之監測，俾針對預期目標提出修正改善對策】。

【說明】 動物棲地及族群的遷移與營造替代最重要的課題，在於對目標物種生活史及棲地環境的掌握，一般而言在繁殖季節若棲地環境的改變，將嚴重影響該族群的繁衍及數量，必要時亦應針對特定物種，進行施工前後兩階段的遷移，惟遷移的次數越多對族群的影響亦相對增加；且原棲地植物是否亦應一併移植，涉及更多不同生態資料的取得，應審慎評估。例如有些保育類锹形蟲的幼蟲係在秋天的落葉中結蛹，施工中若對其生活史無法掌握，將路權範圍作清除掘除的動作，勢必造成無法挽救的下場；故生態道路理念的推動，首重對路權範圍內相關棲地條件的調查與掌握。其餘對棲地之遷移與營造之注意事項，說明如下：

- (一) 動物棲地的遷移及營造替代，應針對目標物種生活史及棲地環境之地形、日照條件、植生種類、水資源條件及食物鏈等，事先加以掌握與了解，俾利銜接與適應。(詳圖 4-13)



▲圖 4-13 兩棲類替代棲地設置之注意事項

- (二) 遷移後之棲地條件應優於原棲地，且其面積應大於原面積之兩倍，並應考量生活圈及行動圈之距離及與其他棲地之串聯俾免形成生態孤島。
- (三) 棲地之遷移應避免於繁殖季或幼年期進行，如情況緊急亦應連同卵塊及幼體一起遷移，俾免干擾族群之繁衍。
- (四) 新營造棲地周邊應與道路邊界或其他干擾源隔離，另營造時宜採濃縮式生態之原則如：水道的復育、林冠的覆蓋、枯木、石塊等多孔質空間的營造、沙地的鋪設及落葉的堆積等，以提高初期之環境適應與生態多樣性。
- (五) 棲地之遷移後應進行長期之監測，以了解物種之演替現況及與環境之適應情形，以針對預期目標提出修正改善對策。(詳圖 4-14)



蛙類生態池復育完工後



蛙類生態池復育完工後三個月

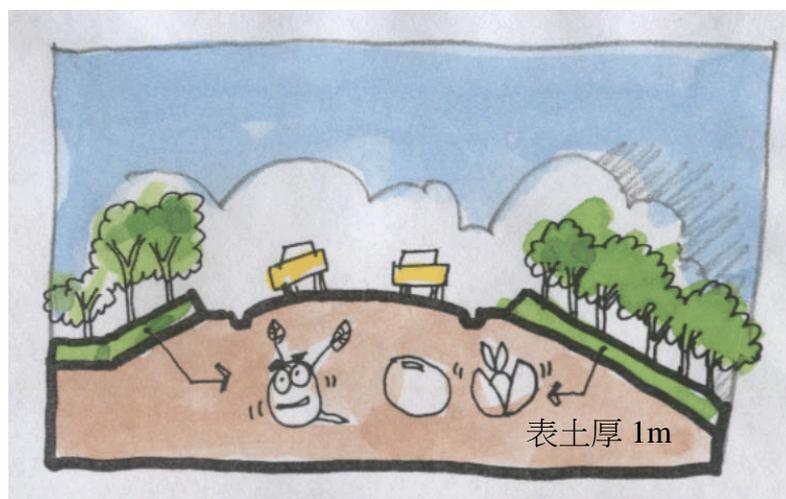
▲圖 4- 14 五峰山蛙類棲地復育監測案例

六、表土的再利用

準則二十四：【道路施工前應將遷移之林地表土，加以保存並妥善堆放，俾利完工後覆土使用；以加速植生演替】。

準則二十五：【表土之取土位置及厚度，需經現地土壤取樣標本後方可決定，各取樣區域之土壤，應分別堆置避免混用】。

【說明】 原生林區之表土係植群物種的土地銀行；經長年的生態作用，表土富含豐富之腐植質及種源庫；為減輕對植群的干擾加速植群社會的演化；施工前應調查開挖路權範圍之表土，俟路面完工後再回覆鋪植於附近邊坡；覆土厚度為 1 公尺（如圖 4-15）。表土之取土厚度需經實地調查及土壤取樣後方可決定，故依個案而異；一般而言約為 30 公分；在日本日光宇都宮道路施行之相關案例觀測結果發現：使用原生表土之區域，較其他區域植生生育狀況為佳（春田章博，2001），可縮短人工干擾之次生林回復為原始林相的演化時程。其對植栽生育基盤的保存經驗，應可廣泛應用於其他道路建設。



▲圖 4-15 表土保留覆蓋邊坡案例

七、排水廊道的生態功能

準則二十六：【路肩邊溝應採簡易草溝之形式設計，俾利原生草花及蜜源植物之立足】。

準則二十七：【道路排水廊道之設計時，除滿足基本排水功能外，應考量其生態功能。故溝壁應考量以砌石構築，或於溝底堆置消能石塊以營造多孔質空間。】。

【說明】 市區道路之排水廊道，依其功能及位置一般可分為路邊及坡面排水設施、排水箱涵、排水管涵、集水井及灌溉分水箱等；其為達快速彙集路面逕流、坡面水土保持及維管方便之功能，故目前多以混凝土為設計材料，惟卻因此放棄生態之功能；在國外許多生態道路的補償案例中排水路的生態設計，係補償路廊切割聯繫碎裂棲地之主要手段，由於水路在景觀生態學相關理論中具有廊道（Corridor）之功能，且其帶狀或條狀之型態，在道路之整體環境中具有運輸、阻隔及過濾之功能，使環境中之能量與物質產生交換與流動，形成一個循環系統；但國內市區道路相關排水路之設計，僅係基本排水功能的滿足殊為可惜；現有排水路計有以下五類包括路邊溝、中央分隔帶預鑄 U 型溝、排水箱涵、管涵及邊坡跌水工等，在設計時，除滿足基本排水功能外，應考量其生態功能；故溝壁應考量以砌石構築或於溝底堆置消能石塊以營造多孔質空間。（詳圖 4-16）



台大農場排水廊道施工前



台大農場排水廊道施工後



排水溝渠透過斷面計算及評估後也可以扮演生態廊道的角色

▲圖 4- 16 生態功能之排水廊道案例

八、邊坡形式的選擇與生態綠化

準則二十八：【邊坡形式，應以路堤填築及人造土丘為優先考量；路塹邊坡保護工形式以自由形格框及 RC 格框為主，鋼網格框僅適用於坡度小於 1:1.8 之邊坡，至於噴凝土波面保護工非緊急保護，否則應避免採用；穩定後亦應掛網植生】。

準則二十九：【地表表土於施工階段應予保留，並依規範審回填於邊坡，客土厚度至少應不得少於 30 公分，且應與原地表密接，不應以混凝土封底，俾利立足植物生長】。

準則三十：【邊坡植生應採生態綠化之方式進行，樹種之選擇應以附近林地之潛在優勢種為對象，以加速演替之進行，減少人為干擾達到極盛相之原貌，樹種之選擇亦應考量多樣性俾免形成單一群落。】

【說明】 市區道路邊坡型式包括路堤、路塹及半堤半塹等三種型式，均係棲地阻隔之道路構造型式，如何研擬移動補償機制及採行生態綠化的邊坡植生對策，應係主要之思考方向；其相關說明如下：

- (一) 噴凝土邊坡雖適用於陡直之山壁，但由於對景觀及生態環境之衝擊最大，除非作為邊坡工程緊急且臨時性之穩定作用外，建議不予採用。
- (二) 路塹型之邊坡形式，多係考量土方平衡及路面高程之銜接，致開挖現有坡地闢建路廊；對地貌及棲地碎裂干擾之衝擊最大；另由於縮小用地範圍考量；邊坡斜率均十分陡直，且部分型式採封底方式施作，喬木根系立足困難；表面望去雖是覆蓋一層綠意，但其中之生物相卻相對貧脊，且多係先趨植物相，生態機能低落。日後規設時應盡量避免，若無法迴避時，亦應就週邊生態環境整體考量；採用生物相較高之自由形邊坡，並輔以植穴種植原生喬木，配合適當之生態設計，提昇其生態廊道機能。
- (三) 人造土丘之邊坡形式，雖位於路線中段，生物相不若路堤邊坡為高，但其角色卻恰好形成生態跳板之功能，連接被道路切割之雙向生態群落，既可平衡土方，創造不同地形，亦可增加視覺景觀效果，遮避不良視線，其角色及定位值得吾人重視。

(四) 路堤邊坡型式係生物相歧異度最高之型式，但卻也是對區域地景阻隔之類型，但若規設階段能透過縝密之環境調查，設置動物移動路徑之補償機制，並盡量降低路堤填築高度及邊坡斜率。使其形成道路衝擊之緩衝綠帶；將是最具環境共生概念之邊坡型式。

(五) 邊坡植生採生態綠化之方式其演替趨勢較傳統之方法為佳，可快速與周邊植生融合；樹種之選擇應以附近林地之潛在優勢種為對象俾加速演替之進行減少人為干擾達到極盛相之原貌，樹種之選擇亦應考量多樣性俾免形成單一群落。

(六) 運用生態綠化時應先進行周邊環境潛在植被的調查，其內容應包括以下之基本資料（郭城孟，1995）：

1. 植物社會名稱：以樣區內最高層植物取其覆蓋度最大者為優勢種，若有兩種以上優勢植物，其植物社會名稱亦可由兩種以上植物名組成。
2. 調查日期、調查人員
3. 坡向、坡度與位置：坡向為坡面所指的方向，坡度則為坡面與地平線之夾角，位置即登錄樣區所在地形上之位置如山谷、山坡、山頂等
4. 海拔高度：由高度計測得之海拔高度，或由樣區在地形圖上之位置讀出。
5. 土壤描述：生育地的土壤分類如顏色、土質等。
6. 樣區面積：依均質環境的大小可自由調整。
7. 植物種數：樣區內出現的植物種數。
8. 樣區編號及地點：各樣區應逐一編號，地點則以基本圖之圖名為準。
9. 各層植物覆蓋度：應紀錄樣區內各層植物之樹冠高度（M）、胸高直徑（DBH）與覆蓋度（%）；一般可分為第一喬木層（T1），第二喬木層（T2）、灌木層（S）及草本層（H）等四個層次的資料。
10. 株數：紀錄各層每一種木本植物的株數。
11. 備註：記載相關之偶發性資料如：演替中之人工林。
12. 俟彙總各樣區資料後，依其生育地位置推估演替序列表，俾作為潛在植被剖面圖及後續樹種選擇之依據。

第三節、道路生態工程的施工階段

一、道路建設的作業內容與環境干擾

準則三十一：【施工前應清楚了解工址的環境概況及建設作業內容可能造成的環境干擾與衝擊。】

【說明】道路的建設依據地形、路廊的佈設條件及交通運輸的要求，其採行之道路構造物有路工、橋樑、隧道、水土保持、排水設施、建築工程、交通工程及其他附屬設施等；依其施工項目及流程大抵可分為構造物開挖與清除、假設工程及施工道路、基礎及基樁工程、土方工程、橋樑工程及隧道工程等，工程施工前施工計劃的提出，應先清楚了解工址的環境限制及建設作業內容可能造成的環境干擾與衝擊；俾能將道路施工對環境之衝擊降至最低，以下僅就各項作業可能造成之環境衝擊列表（詳表 4-7）並說明如下：

- （一）路權範圍清除時，未能詳實調查植生及生態現況，僅以推土機全面清除造成生態之干擾與破壞。
- （二）施工過程造成懸浮微粒、噪音、震動、污水排放、施工廢棄物及其他之空氣污染。
- （三）構造物開挖，因地表地貌的改變，造成整體生態環境的干擾。
- （四）橋樑基礎圍堰施工，造成河道水域環境的干擾與污染
- （五）橋樑基礎開挖過程，施工道路行經水陸交界之生態環境，造成干擾與破壞
- （六）施工機具打拔過程衍生的污水及凝結劑，造成水資源及土壤污染；另地下水脈的擾動亦有可能引發地下水位下降及砂湧。
- （七）混凝土澆置作業及鋪面工程之瀝青及水泥剩餘廢料，隨意棄置造成環境污染。

▲表 4-7 道路建設作業可能造成之環境污染一覽表

		構造物開 挖及清除	假設工程 施工道路	基礎及基 樁工程	土方工程	橋樑工程	隧道工程
1	噪音	◎	◎	◎	◎	○	◎
2	震動	◎	◎	◎	◎	○	◎
3	空氣污染	◎	◎	○	◎	+	◎
4	廢棄物	◎	◎	○	◎	+	○
5	水污染	◎	○	◎	○	○	○
6	土壤污染	◎	○	○	◎	+	+
7	地貌破壞	◎	◎	◎	◎	+	+
8	棲地干擾	◎	◎	◎	◎	○	○
9	植生破壞	◎	◎	○	◎	○	○

註：「◎」最常發生 「○」常常發生 「+」可能發生

(本研究整理)

二、工程施工計劃的環境考量

準則三十二：【施工計畫的基本要求：謀求對環境最小干擾的施工方法與流程】

準則三十三：【對因施工而改變的自然環境，作盡可能的復原】

【說明】 由於施工機具的進步，近年來工程的規模及時程有愈來愈龐大的趨勢，道路建設的施工短則一兩年，長則十多年的環境干擾（如隧道工程）；若無審慎的施工對策與施工計畫，常造成對環境許多不可逆的破壞，在國內由於長期對施工計畫的漠視，在現階段的招標環境下，規設階段的施工計畫，常常僅為徒具形式的環境描述與抄襲，工程發包之後，承包商所提送之施工計畫亦因標價未盡合理，亦或相關環境保護條款的執行未能落實，故在環境保護相關章節的描述與承諾亦多沿襲舊章，無法針對個案特質提出對策，致造成施工中許多對環境的干擾與破壞；其中尤以施工道路、借棄土區、噪音震動干擾、污水排放及相關假設工程，對生態環境之破壞最令人矚目（詳表 4-8），故施工階段是落實道路生態工程的關鍵期程，規設階段的環境調查與生態保育對策的執行，都必須透過縝密的施工計畫，方能達到工程施工對環境最小干擾的目標，無論施工期程的調配、施工道路的選線、地表的改變與復舊、機具的選擇、施工中的環境監測、廢棄物的處理及污染排放等，都必須針對工址的環境現況調查資料，作配套的因應對策。

▲表 4- 8 施工過程對自然環境之主要影響

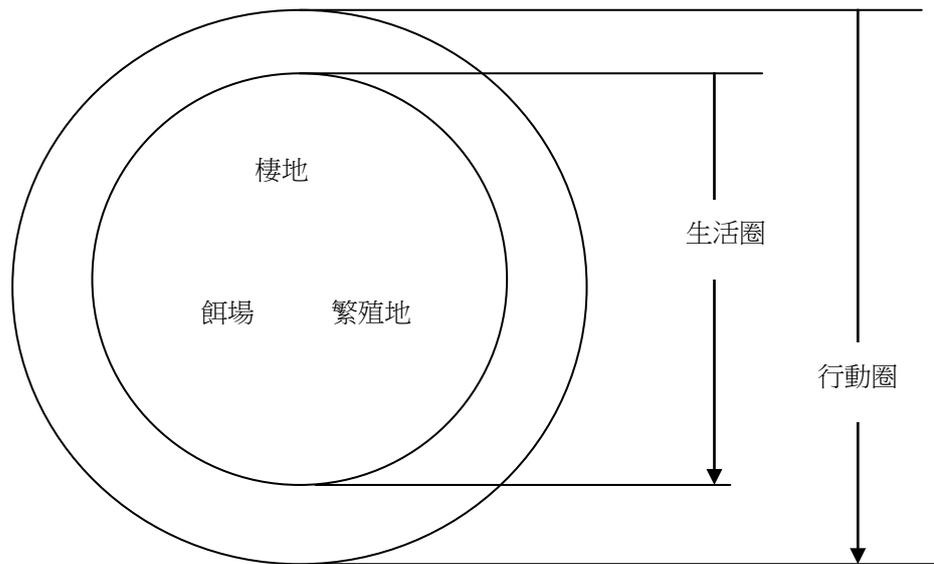
主要影響因素	主要發生原因	對自然環境的影響	受影響之物種或族群
施工道路及假設工程	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地表的破壞 ■ 地面逕流的改變 ■ 低水路水道改變水位下降 ■ 坡面裸露 ■ 圍堰施工 ■ 施工機具的輾壓 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 棲地的破壞與阻隔 ■ 族群密度的變化 ■ 原生植物的群落干擾 ■ 移動路徑、生活圈、行動圈的干擾與放棄 ■ 物種的消失 ■ 水陸交界生態的破壞與改變 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 植物群落 ■ 整體生態環境 ■ 魚類 ■ 兩棲類 ■ 其他的水生生物
借棄土區	<ul style="list-style-type: none"> ■ 地表的破壞 ■ 地面逕流的改變 ■ 堆置土石의沖刷 ■ 坡面裸露 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 棲地的破壞 ■ 移動路徑、生活圈、行動圈的干擾與放棄 ■ 族群密度的變化 ■ 原生植物的群落干擾 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 植物群落 ■ 整體生態環境
工程噪音、粉塵及震動	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施工重機械（如衝擊式基樁、鋼板樁的打拔等）的使用 ■ 鑽炸工法（隧道開鑿、巨石爆破、石質坡面開鑿等） ■ 土方開挖及運送 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 棲地品質的破壞 ■ 生活圈、行動圈的干擾與放棄 ■ 族群密度的變化 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 群居之鳥類 ■ 猛禽類 ■ 中大型哺乳動物 ■ 植物群落 ■ 整體生態環境
排放水污染	<ul style="list-style-type: none"> ■ 原有排水道的改道造成土石沖蝕 ■ 施工廢水未沉澱過濾處理 ■ 廢水處理能量不足形成逕流污染 ■ 暴雨逕流 ■ 施工人員生活廢水 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 周邊水道、河川之水質污染惡化、淤泥及懸浮物增加 ■ 魚類及兩棲類棲地環境的破壞 ■ 河床斷面的淤積與改變 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 魚類 ■ 兩棲類 ■ 其他的水生生物

（本研究整理）

同時施工中的環境保護對策，必須落實於施工規範及特定條款的條文，並應有配套的環境保護費用、罰責及稽查制度俾能落實環境保護的目標。其中環境保護費用，應配合相關對策及要求逐一明列工作項目（pay item）及丈量付款方式，盡量避免以一式計價造成執行困擾。另相關環境的稽查亦應由公正的第三者來進

行定期的督導，俾免工程主管機關，在工程進度壓力與環境保護政策間的尷尬角色。工程進行中對於自然環境及生態因子的變化，亦應隨時監測與掌握，若有突發狀況（如發現新的棲地或造成現有棲地破壞之虞時）應立即停工謀求補救措施，俾免造成更嚴重之破壞。工程營建污染的防治技術大抵可分為低公害施工機具、低污染施工方法、土石及廢棄物的清運及各施工階段的環境管理對策等四類（陳王琨，1996）以下資就運用道路生態工程的施工計畫編寫重點條列如下：

- （一）工程施工中對於生態保育事務，邀聘相關專業人員負責，並納入營建管理體制中，其對於施工中保護的對象、保護對策的內容、實施的方法、面積位置、配合期程及各階段之監測紀錄與問題反映等；盡量詳細紀錄並於施工會議中定期檢討，必要時應邀請相關專長之學者專家共謀對策。
- （二）對於保育對象生活史的掌握，盡量配合於規劃設計階段完成調查，施工計畫則可配合其生活史及棲地位置與環境，調配施工期程進度或提出遷移對策，尤其注意避免於繁殖期施工干擾，俾免造成保育族群物種滅絕。（相關範例解說，詳表 4-9）
- （三）地表的清除掘除作業進行前，先就路權範圍之植生及其賴以維生之生物族群作詳細之調查；以針對稀有的動植物物種提出移植或保護的對策，樹種移植的時間、地點、假植後的養護及施工中的保護等應提出詳細之計畫，俾利遵循。相關清除作業的進行亦應考量路廊週邊生物移動路徑、生活圈及行動圈（詳圖 4-17）等生物棲地生存條件的確保；表土是否具保存價值亦應一併評估。
- （四）清除掘除作業生產之自然資材如石塊、木料、表土或多餘之土方等，需要分類另地儲存，亦可有計畫的佈設於邊坡路權範圍內，營造多孔質棲地，俾利於自然資材之回收與利用。
- （五）借棄土應以最小地表干擾為原則，干擾後的區域、施工道路及假設工程等地表依照原有植相予以植生矯正和復舊。工程進行中之排水改道、污水排放、施工震動、粉塵、空氣污染及其他對生態環境的影響因子，要提出最小干擾的施工方法與對策。



▲圖 4-17 動物的生存空間結構圖
 (資料來源：日本道路環境研究所)

▲表 4-9 日本保育類青蛙生活史與施工工期配合表

棲地	森林		水中						森林			
生活史	成蛙		產卵		蝌蚪				成蛙			
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
工程進行期	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○
程	可施工		不可施工						可施工			

(資料來源：龜山章，1999)

三、施工道路的選擇與環境復育

準則三十四：【施工道路經過生態敏感區時，應採對環境衝擊最小之方案，必要時應跳脫陸上運輸之模式或提高預鑄材料比例，將環境干擾降至最低】

準則三十五：【施工道路之形式及環境保護對策，應反映於工程預算；並避免以一式計價，應逐項條列估驗計價，以利權責清楚】

準則三十六：【施工道路於生態保護區完工後，應加以廢棄並盡速植生復舊俾免外力干擾自然生態】

【說明】 道路建設過程中，施工道路與工址的可及性係扮演著關鍵性之角色，其牽涉工法的選擇、工程進度的調配、機具及人員的動員等，故施工道路的選線可謂工程後勤補給動線的命脈，但亦為沿線噪音、震動、空氣污染及交通事故之問題癥結所在；然國內相關工程規範多著重於道路本體之要求，對於假設性工程之施工道路的選線、設計多未著墨，且僅以一式計價，缺乏詳細工作項目及環境保護設施之要求，致使施工道路橫行；對整體生態環境造成嚴重衝擊，相對於國外成功的生態道路案例，對施工道路之規範要求不下於道路本體，且對生態保護之相對罰責亦有嚇阻之作用；故包商為免造成對生態衝擊，降低工程成本，在經過生態敏感區時多以替代方式取代實質之施工道路，或審慎施築施工道路，俾免造成環境干擾。

以下僅就施工道路的選擇與環境復育之對策分述如後：

- (一) 施工道路經過環境敏感區時，應審慎評估可能造成之環境衝擊，必要時應跳脫陸上運輸之觀念，改採其他替代方案俾保護生態環境。
- (二) 施工計畫提送時應就施工道路動線加以定案，並將相關之環境保護對策及經費反映於工程經費逐一條列估驗，避免一式計價權責不清。
- (三) 施工道路之選線應以對環境最小干擾之方案為優先考量，雖為假設性工程施工時仍應配合環境監測追蹤相關之影響程度，以評估對策之成效。
- (四) 工程完工後施工道路應予廢置並植生復舊，避免外來干擾破壞生態環境。
(詳圖 4-18)



施工中植生的保護設施



工址現有的植生調查與遷移

▲圖 4- 18 施工中之植生保護與遷移

四、施工中之排水改道及水污染防治

準則三十七：【施工中之污水排放，應考量暴雨之逕流量，無論距離遠近，應全部匯集至沉澱設備加以處理，以符合環保排放標準】

準則三十八：【土方之開挖作業應避免於雨季施工，沉砂池及相關排水設施應定期清理，以免影響效能干擾周邊生態環境】

準則三十九：【地貌改變時相關集水區之動態排水規劃應審慎考量安排，坡面開挖後應隨即進行坡面保護及植生】

【說明】 道路建設過程中，路廊之佈設往往因地形地貌之改變，致截斷現有之排水路，且為臨時性裸露地表的水土保持，設置了截水土堤、坡面保護工、沉砂池、臨時導排水路及管涵等設施；作為替代原有之水道功能；相關設施雖具備臨時之水土保持功能，但因未考慮暴雨之逕流量，致工址附近河道仍多有污染情勢發生（如圖 4-19 施工中污水排放對生態環境的衝擊），依據過去經驗施工中之排水路改道及污水排放，面臨之生態環境干擾及對策資分述如下：

- （一）工地洗車台、水泥拌合場及作為土壤凝固之皂土液等，物理性及化學性之污染源，部分由於工址縱深過長無法逐一接管至沉澱池或污水處理設施，致未能符合排放標準造成污染。部分沉澱池設計容量由於未能有效考慮暴雨量，致造成逕流形成污染；本部分之對策可參照國外之相關經驗，將所有放流水加以規劃收集；並以軟管分送至不同層級之沉澱池，如初級以稻草、沙包等自然資材之沉澱池，或污染源較集中之專業沉澱池等，並依據暴雨量之預估，以簡易儲留設施容納暴雨逕流俾免形成污染。
- （二）土方開挖作業應避免於雨季施工，以俾免造成沖蝕破壞。
- （三）暴雨沖刷之污水，應有足夠能量之儲水池加以收集，沉澱後方能排放至河道，避免將地面泥沙帶入河中，造成懸浮固體及濁度升高，污染水源。
- （四）邊坡開挖後，應隨即進行坡面覆蓋保護及植生，俾免水土流失造成污染。
- （五）大幅地形地貌改變時，相關集水區之動態排水規劃，應審慎考量安排，並定期檢討俾免造成土方災害衝擊生態環境。



施工中污水排放造成河川的污染

日本施工團隊對施工中環境保護的
用心

施工中污水排放造成河川水生生物
的衝擊

▲圖 4-19 施工中污水排放對生態環境的衝擊

五、噪音防治

準則四十：【工程施工前，應調查敏感之族群受體數量及棲地範圍；以提出迴避減緩之對策】

準則四十一：【應掌握相關動物之生活史，並避免於夜間及繁殖期施工；生態調查資料應作長期之監測及追蹤，俾檢討對策作為之成效】

【說明】 道路施工過程中以機具運作所產生噪音為主，其中尤以衝擊式基樁及隧道工程之鑽炸作業噪音值對定點之環境衝擊之影響較大，另施工道路之機具進出干擾，形成帶狀之噪音音源；亦為環境干擾之主要原因，工程噪音對生態環境之影響，主要為鳥類及中小型哺乳動物棲地及動物行為之干擾（Evink et al.1996,Canters1997,Forman et.al.1997）；如何減少工程進行之噪音對生態環境之干擾，資分述其對策如下：

- （一）工程進行前，應審慎針對週遭之生態環境；作進一步之調查與分析，以了解敏感族群受體之數量及棲地範圍；俾便提出迴避減緩之對策。
- （二）噪音敏感受體鄰近區域，應研擬施工對策；採用低噪音機具及施工流程，並應避免於夜間施工，以免干擾動物行為作息。
- （三）應掌握相關動物之生活史，並避免於繁殖季節施工，以免影響族群繁衍。相關生態調查資料，應作長期之監測及追蹤，俾檢討對策作為之成效。

六、施工粉塵污染防治

準則四十二：【施工中應針對敏感物種，設置粉塵監測設備及生長勢調查。】

準則四十三：【施工中應隨時灑水避免粉塵瀰漫，影響周邊生態環境】

【說明】道路施工產生之空氣污染，與一般定點式之空氣污染不同，道路建設多為土方開挖，或運送過程中所造成之物性粒狀污染物；其中尤以路側草花及施工道路周邊十公尺範圍之木本植物影響較大，植物葉面的粉塵堆積，經常造成光合作用的失調，致生長勢受到影響，造成植群密度衰減。故施工時針對粉塵污染之防治對策如下：

- (一) 施工範圍應遠離重要之生態保育區。
- (二) 如無法迴避，應針對敏感物種設置高量空氣採樣器（high-volume air sampler），定期監測粉塵量及植生生長勢調查，以隨時反映擬定對策。
- (三) 施工時如遇空氣乾燥及強風時，應以灑水車噴灑工期範圍，以免粉塵污染範圍擴大。
- (四) 工區如位於上風處，且粉塵污染無法以灑水控制時，應設置防風棚避免污染擴大。

七、施工中之其他注意事項

準則四十四：【路廊路權清除掘除前應針對目標樹種及珍貴樹種提出保護對策】

準則四十五：【工程施工時對路廊週邊環境應再次審慎勘查與評估，並提出保護對策】

準則四十六：【工程施工期間對野生動物應謀求最小干擾的對策】

【說明】 工程進行中係對整體生態環境影響及干擾最高峰的期程，故工程進行中對自然環境保護之其他注意事項，茲說明如後：

（一）林木砍伐時的注意事項：

1. 植生復育需時較長，故路權清除作業林木砍伐時，應做最小範圍的砍伐俾免傷及周圍之植生，重要之樹種應事先加以保護或移植。
2. 林道間之施工，原生林木伐盡後形成之廊道，造成對週邊林木風廊效應及陽光入射干擾等，應謀求相關對策（如設置防風林帶等）
3. 大面積林木清除時，對於週邊棲地相關生物移動路徑、生活圈及行動圈等相關生存條件的確保；應加以評估。
4. 林木之砍伐，應避免於週邊生物之繁殖期為之，俾免干擾相關族群的繁衍。

（二）路廊周邊環境的考量

1. 施工範圍應以圍籬或相關路權阻隔設施區隔，俾免施工人員及機具對非工區範圍的干擾。
2. 鄰近施工區域之林木應以麻布袋、麻繩或其他保護材料加以保護，俾免施工中之碰撞；影響其生長勢，必要時應會同專業人員在施工前之適當時程，加以遷移或截枝。
3. 林木根部禁止堆放材料或施工機具，其禁止堆放範圍應不小於樹冠之幅度。
4. 施工範圍周邊之花果、樹木應禁止採伐干擾。
5. 施工中排水路的改道，應審慎調查其水脈；俾免影響周邊水道或溼地生態。

6. 開挖後之地表，應於最短時間內配合生態植生及地表覆蓋，避免形成逕流造成土壤流失；跨專業包商之協調機制及發包時程之控管應予以整合。
7. 施工過程對於危險及易燃物料應有專人管制，施工人員亦應避免火災之發生，以免造成週遭生態之外來干擾。

(三) 野生動物的考量

1. 工程開工前應針對周邊野生動物的移動路徑、生活圈及行動圈加以確保，並了解其出沒週期及時間分布，以審慎釐定施工計畫，將對野生動物之干擾降至最低。
2. 工程進行中應使用低噪音及低震動之施工機具，尤以衝擊式基樁施工期程，應迴避目標物種之繁殖期，工地其他噪音污染如擴音機的使用、老舊機具之噪音等亦應加以管制檢測。
3. 於山區夜間施工時，相關照明燈具的設置位置及數量，應就周邊生態環境加以檢討，並應避免照射林間，以免干擾夜行性生物之活動並造成昆蟲之撲火效應。
4. 於山區或生態保護區周邊施工時，工區內應禁止飼養家畜及相關寵物，俾免逸逃造成周邊生態干擾。
5. 工程施工期間應嚴格約束相關人員，獵捕野生動物及鳥類。
6. 工區之生活廢棄物及殘餚應妥善處理，以免誘導野生動物覓食，擅自闖入工區之野生動物，應交由專案保育人員登錄後野放。

第四節、維護管理階段

本階段的重點在於：延續前述各階段之作業成果，並建立長期之環境監測資料，俾擬定道路建設與環境共生之維管計畫，計畫內容應掌握規設的設計精神，並依實際監測成果評估對策之成效，並隨時提出檢討與修正措施。本階段生態環境保護作業之重點在於：

1. 在確保道路基本功能之前提下，建立與環境共生之最小環境干擾的維管計畫，並應研擬相關指標評估成效。
2. 針對通車營運後之實質環境干擾，建立持續之環境監測計畫，俾評估規設階段之衝擊減輕與補償對策之成效，並研擬修正對策。

其餘相關之作業準則茲分述如下：

一、整體生態考量的管理維護計劃

準則四十七：【建立與環境共生維目標之維護管理計畫，並應研擬相關指標評估成效。】

準則四十八：【對於路權範圍內之植生，應在滿足道路交通安全及生態保護之基本功能前提下，作最小之人為干擾】

準則四十九：【應定期巡查路權阻隔設施及動物替代道路之功能，俾確保其成效】

準則五十：【道路綠資材及相關廢棄物，應建立回收轉用機制俾減輕環境衝擊】

【說明】市區道路所有的環境維管考量應於通車前，依據維管空間的特質，審慎擬定適合本路環境特質之維護管理計畫，並研擬達成目標與評估指標；俾落實道路建設與環境共之之承諾。其餘相關之注意事項分述如下：

- (一) 對於路權範圍內之植生，應在滿足道路交通安全及生態保護之基本功能前提下，作最小之人為干擾，其中尤以路側之邊溝草花及小型灌木，係昆蟲之主要密源，為交通安全之考量，維管干擾之時程及頻率亦應考量植生及共生族群之生活史，避免造成滅絕之衝擊。目前路側 2.5 公尺以下淨空清除之政策，應依據環境特質加以檢討。
- (二) 路側除草時應審慎評估；禁止使用除草劑等化學藥劑干擾俾免造成污染。
- (三) 坡面植生部分應定期檢視，尤其風災等自然災害發生後，對有立即危害之倒匍木，及妨害坡面排水之大型障礙物應立即清除，惟相關之資材可依據地形，在不妨礙坡面安全及排水的條件下，堆置於林下形成多孔質空間，以提昇濃縮式生態之指標。
- (四) 應定期巡查路權阻隔設施及動物替代道路之功能，俾確保其成效，在管理維護中應掌握目標物種、棲地位置、可能衝突期程時間等。
- (五) 道路綠資材及相關廢棄物，應建立回收轉用機制俾減輕環境衝擊，綠資材部分亦可因應回收規模整合成立堆肥發酵場，作為植生之肥料來源。
- (六) 市區道路周邊棲地，或邊坡之簡易維管及環境監測，亦可納入認養制度或民眾參與之機制，俾提高民眾對環境之認同減輕維管成本。

二、使用階段的环境監測計劃

準則五十一：【針對通車營運後之實質環境現況與干擾，建立持續之環境監測計畫，以評估規設階段之衝擊減輕與補償對策之成效，並研擬修正對策。】

【說明】對於相關生態工程對策的施行，市區道路可以視實際情況與道路工程環境條件因變參考進行後續之環境監測；以了解對策之成效與環境因子之變遷，作為修正對策之參考依據（表 4-10）。

▲表 4-10 環境監測計畫的內容

調查期程
<ul style="list-style-type: none">■ 營運通車（環境干擾初期）■ 通車後 3-5 年（生物相開始安定）■ 通車 10 年後（環境干擾初期與安定後之評估比較）
方法與內容
<ul style="list-style-type: none">■ 延續規設階段之調查項目持續進行，必要時增列新增項目
調查項目與用途
<ul style="list-style-type: none">■ 環境干擾後之復原情形■ 道路建設對周邊生態環境之干擾預測實證評估■ 營運階段的環境衝突課題與對策研擬■ 管理維護計畫的檢討

（本研究整理）

第五節、道路生態工程評估檢核表的建立

綜合以上各節道路工程生命週期各階段應用生態工程作業守則及內容重點，茲歸納道路生態工程評估檢核評估表設計參考，詳如表 4-11。

▲表 4-11 道路生態工程應用重點檢核表

推動 期程	環境 目標	道路建設的 推動流程	生態工程 的應用重點	檢核評估項目
可行性研究及 工程規劃階段	環境背景 資料的掌 握及開發 行為如何 減少對環 境的衝擊	<ul style="list-style-type: none"> ■ 道路建設計畫的提出 ■ 可行性評估 ■ 規劃階段（路廊研選） ■ 環境影響評估（EIS）送審 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 路線研究範圍之空間調查與分析 ■ 各替選方案的環境影響評估及最適方案的研選 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 計畫範圍生態環境調查 ■ 路廊迴避（MEFA）、減輕對策（Mitigation）、棲地補償（Compensation） ■ 路廊線形及構造形式的檢討
工程設計階段	如何彌補 因開發造 成之環境 衝擊及干 擾破壞之 自然環境 如何復育	<ul style="list-style-type: none"> ■ 初步設計階段（定線公告） ■ 細部設計階段 ■ 補送環境影響差異分析報告 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 應用生態工程相關環境及目標對象的調查 ■ 納入環評承諾並研擬相關環境衝擊減輕對策 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 道路構造形式（橋樑、隧道、路工）及細部修正的檢討 ■ 施工計畫的檢討（工法、施工道路、施工機具、環境保護對策） ■ 動物移動路徑的確保 ■ 路權阻隔設施及替代路徑的檢討 ■ 邊溝動物脫出保護設計的檢討 ■ 道路照明對周邊重要植生之影響檢討 ■ 棲地補償的檢討與評估 ■ 表土種源庫的保存與再利用 ■ 原有排水廊道及水資源的保護與復原 ■ 原生植物的保護與移植 ■ 邊坡形式與生態綠化的檢討

推動 期程	環境 目標	道路建設的 推動流程	生態工程 的應用重點	檢核評估項目
工程施 工階段	相關之環 境保護對 策如何落 實	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乙方施工計畫研 提 ■ 工程動員施工 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研擬施工中 環境管理對 策 ■ 具體的施工 管理及配套 罰責 ■ 施工中環境 監測計畫研 提 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 確認工程進行對環境之干擾 ■ 研提最少干擾之施工計畫 ■ 施工道路的選擇與環境復育 ■ 施工中排水改道與水污染防治 ■ 施工噪音防治對策 ■ 施工粉塵污染防治 ■ 施工中之其他環境保護事項（林 木砍伐、周邊環境干擾、野生動物 干擾）
營運維 管階段	復育與開 創之自然 景觀如何 與原生環 境融合	<ul style="list-style-type: none"> ■ 工程移交 ■ 營運維管 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 研擬維管階 段之環境管 理對策 ■ 持續的環境 監測計畫 ■ 檢討相關設 施之成效 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 整體生態考量的維管計畫 ■ 營運階段的環境監測計畫 ■ 綠資材的應用 ■ 最小維管成本的對策

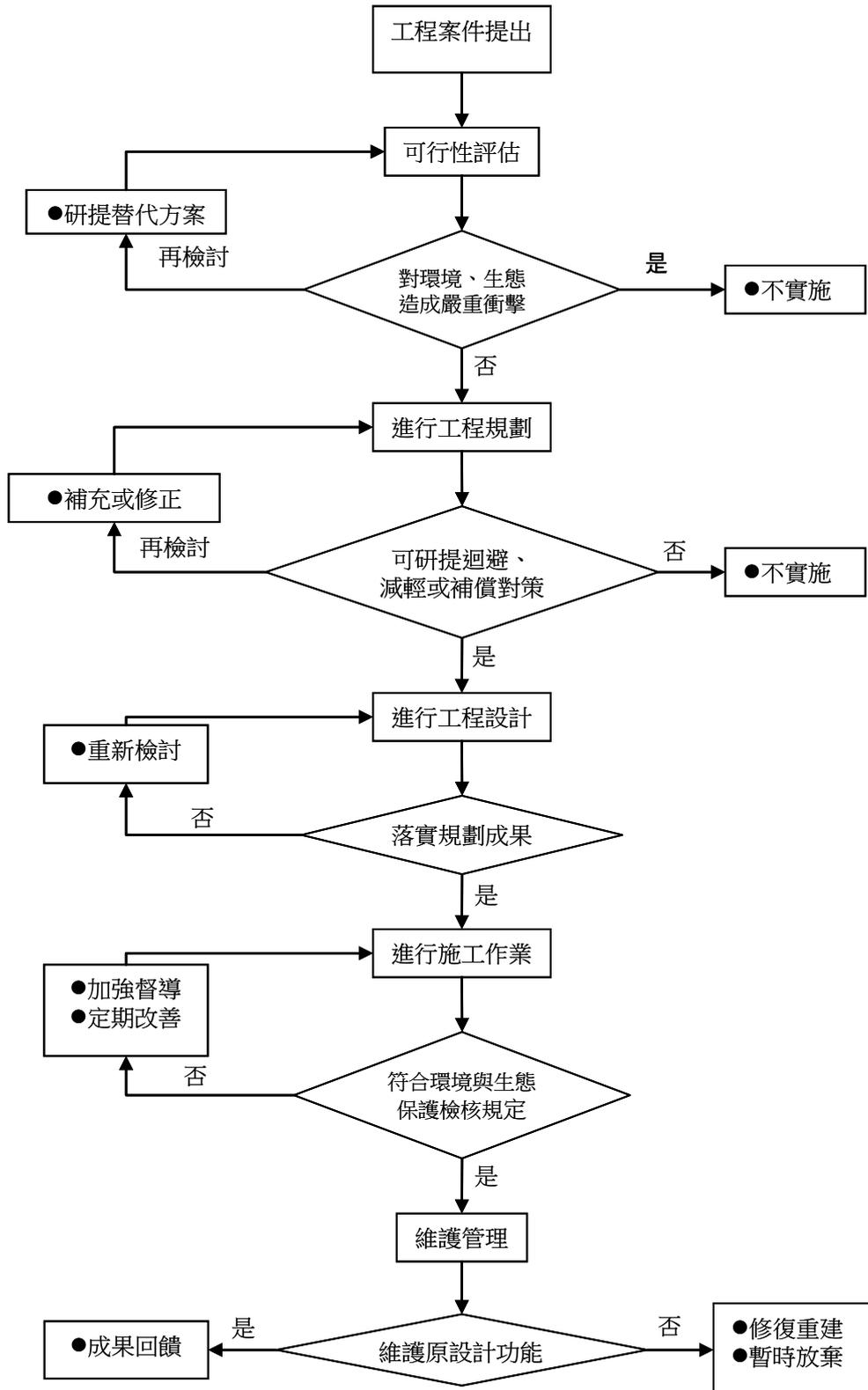
（本研究整理）

檢討現行公共工程檢核評估準則應用情形，公共工程計畫都僅在環境影響評估作業階段始會考量環境與生態，雖然環境影響評估作業過程中，對自然環境因素與生態根據相關規定必須進行調查分析，並提供減輕環境影響的對策，但現行工程計畫檢核評估準則，並未包含生態工程檢核評估之項目與作業辦法，完全依賴工程查核人員的主觀研判，無法限制工程計畫實施造成的負面環境衝擊，僅能在工程經費補助申請和審議過程中，要求工程規劃設計應用生態工程之實施。

為落實國內生態工程理念與工程實務之結合，目前公共工程會也正在推行「生態工程檢核評估機制」試辦作業，有關道路生態工程檢核評估流程及檢核評估內容重點說明概述如下：

一、檢核評估作業流程

現階段各類別之生態工程，各主管機關並未設立檢核評估之機制。參考公共工程委員會完成「建立生態工程案件檢核評估作業之研究」之成果，綜合各主管機關之現行作業程序，生態工程案件檢核評估流程如圖 4-20 所示。



▲圖 4- 20 生態工程案件檢核評估作業流程

二、檢核評估內容重點

（一）可行性評估階段

本階段對生態工程案件的檢核評估重點為評估工程對生態環境的衝擊程度，以決定工程案件實施的可行性。

1. 可實施：符合迴避、減輕或補償原則者。
2. 研提替代方案：不符合迴避、減輕或補償原則，但有替代方案者。
3. 不實施：不符合迴避、減輕或補償原則，且無替代方案者。

（二）規劃階段

本階段的檢核評估重點係規劃環境衝擊之因應對策，包括：

1. 研提迴避、減輕或補償對策。
2. 確定其施作的目標與預期效果。
3. 各類工程於規劃階段必須考量替代方案，評估比較各方案對生態層面、安全層面、經濟層面及社會層面的影響及提供減輕影響之策略。

（三）設計階段

設計階段作業係在落實規劃作業的成果，包括：

1. 達到規劃成果的預期功能。
2. 生物棲息、繁衍、活動及避難空間的提供。
3. 棲地補償的檢討與評估。
4. 減輕對環境的破壞。
5. 完整的施工計畫。

（四）施工階段

施工階段作業係執行設計作業的成果，包括：

1. 對環境干擾最少的施工計畫。

2. 施工環境保護計畫。
3. 施工環境監測計畫。
4. 施工作業考核計畫。

（五）維護管理階段

工程完工移交後，需考量維護管理計畫、最小維護成本對策及維管作業考核計畫，環境監測計畫之實施則需考量工程之重要性及經費。

（六）工程搶修、搶險

工程有搶修或搶險必要時，時間皆甚短促，因此搶修、搶險作業檢核評估之重點如下：

1. 規劃與設計同時進行。
2. 工程破壞的地點與原因。
3. 快速搶修與長期整治工法之配合。
4. 補強或修復方案評估比較。
5. 保護方法與工程材料之選用。

三、檢核評估作業機制

現階段試辦初擬之生態工程案件檢核評估作業機制辦使內容如下：

（一）檢核評估目的

1. 各項工程落實生態工程的理念。
2. 生態工程各作業階段成果檢討，並經修正後供後續作業階段之進行準則。
3. 檢討成果回饋，供往後生態工程案件各作業階段之參考。
4. 檢核評估表經過試辦使用及修正後，可整合於各機關現行之規範及技術手冊中。

（二）檢核評估對象

1. 本檢核評估作業機制適用各類別工程之可行性評估、規劃、設計、施工、維護管理等作業階段及相關搶修、搶險作業。

2. 需辦理環境影響評估之重大工程案件，於辦理環境影響評估時(可行性評估及規劃階段)，進行檢核評估，以預估工程對生態影響之程度，作為計畫實施與否之依據。
3. 需辦理環境影響評估之重大工程案件，經通過環評審查後，於規劃、設計、施工及維護管理階段，配合環評時的承諾事項進行各作業階段之檢核評估。
4. 其他不需辦理環境影響評估之工程案件，工程經費大於查核金額之案件(現階段為大於5000萬元)，需進行各階段之檢核評估；低於查核金額之工程案件得由主管機關依工程安全性與可能造成的災害程度，決定進行各作業階段或部份作業階段之檢核評估。
5. 工程搶修搶險作業之檢核評估包括執行前考量與完工後評估兩個階段。

(三) 檢核評估時機

1. 各類工程之檢核評估需依可行性評估、規劃、設計、施工及維護管理階段分別進行。
2. 施工階段的檢核評估結合現行相關工程查核、工程評鑑執行。
3. 工程搶修搶險檢核評估作業，需配合執行前考量與完工後評估兩階段進行。
4. 凡工程案件不必進行可行性評估時，於規劃階段一併檢核評估可行性評估與規劃考量項目；金額甚小之工程案件或工程案件規劃時間久遠，一般逕行進入設計，應以設計之30%完成時視為規劃階段進行檢核評估。

(四) 檢核評估之執行

1. 各作業階段之成果由執行機關依檢核項目先行自評，經由主辦機關複評後，再由主管機關評估。
2. 需辦理環境影響評估之重大工程案件，經主管機關評估後，仍需經環評委員會通過後始能實施。
3. 超過查核金額之工程案件，經主管機關評估通過後，需送公共工程委員會備查，公共工程委員會得抽查、再評或確認。
4. 各作業階段之成果通過主辦機關複評、主管機關評估、環評委員會審查或公共工程委員會複評之工程案件，但必須於設計階段修正至通過評估為止，始能進行施工作業。

5. 各作業階段的複評及評估作業，得由主辦機關、主管機關自辦或委由專家學者組成評估小組執行。

（五）檢核評估結果

1. 依各作業階段檢核評估表的評估結果，按檢核評估項目達成的比例區分為通過、有條件通過及重新檢討等。
2. 檢核評估為有條件通過之工程案件，將列舉通過之條件於下一階段修正之。
3. 檢核評估為重新檢討之工程案件視為不通過，必須重新進行該階段作業後再檢核評估，至達到有條件通過以上之評估結果。

（六）道路生態工程檢核評估表(1/5~5/5)

道路工程案件各作業階段之檢核評估內容列表說明如下表4-12至表4-16，並檢附各分項考量因子提供檢核評估使用參考。

▲表 4- 12 道路生態工程檢核評估表 (1/5)

工程名稱：						主管機關：					
工程基地區位： <input type="checkbox"/> 保育區						<input type="checkbox"/> 生態敏感區		<input type="checkbox"/> 一般區		GPS：	
評估階段： <input type="checkbox"/> 可行性評估 <input type="checkbox"/> 規劃 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 維護管理			考量階段				檢核		評估		
			可行性評估	規劃階段	設計階段	施工階段	管理階段	應考量	已考量	應考量	已考量
一、路廊及路線考量											
考量項目	1.環境與生態調查	○	○		○						
	2.棲地切割、迴避及縮小之考量	○	○		○						
	3.災害潛勢考量	○	○		○						
	4.棲地(濕地)補償策略	○	○			○					
	5.結構形式考量	○	○								
	6.其他										
說明：					實施率 (b/a%)		小計 (a)	小計 (b)	小計 (a)	小計 (b)	
							%		%		
二、工程設施考量											
考量項目	1.排水工程		○	○	○						
	2.結構工程		○	○	○						
	3.開挖掘除及棄土工程		○	○	○						
	4.隧道工程		○	○	○						
	5.邊坡工程		○	○	○						
	6.路面工程		○	○	○						
	7.植栽工程		○	○	○						
	8.其他										
說明：					實施率 (b/a%)		小計 (a)	小計 (b)	小計 (a)	小計 (b)	
							%		%		
三、環境及生態考量											
考量項目	1.生物廊道		○	○		○					
	2.生物友善環境		○	○		○					
	3.施工中排放水及河溪污染控制		○	○	○						
	4.施工便道及工進考量		○	○	○						
	5.工程噪音、粉塵與振動		○	○	○						
	6.生態與環境監測		○	○	○						
	7.符合環評要求 (適用需環評計畫)	○	○	○	○	○					
	8.其他										
說明：					實施率 (b/a%)		小計 (a)	小計 (b)	小計 (a)	小計 (b)	
							%		%		

▲表 4- 14 道路生態工程檢核評估表 (3/5)

各分項考量因子：一、路廊及路線考量

考量項目	考量因子
1.環境與生態調查	(1) <input type="checkbox"/> 地形、地質及地景(2) <input type="checkbox"/> 氣象水文(3) <input type="checkbox"/> 環境生態敏感區位 (4) <input type="checkbox"/> 生態資訊與調查
2.棲地切割、迴避及縮小之考量	(1) <input type="checkbox"/> 生物棲地與移動路徑(2) <input type="checkbox"/> 生物特性 (3) <input type="checkbox"/> 河溪區域、河川走向(4) <input type="checkbox"/> 地表地下水文衝擊 (5) <input type="checkbox"/> 棲地(濕地)補償計畫(6) <input type="checkbox"/> 施工動線與棲地迴避
3.潛在災害考量	(1) <input type="checkbox"/> 潛在地質災害區域(2) <input type="checkbox"/> 河溪區域
4.生態補償策略	(1) <input type="checkbox"/> 當地原生物種之補償移植計畫(2) <input type="checkbox"/> 遷移季節與物種考量 (3) <input type="checkbox"/> 環境特性確認(4) <input type="checkbox"/> 長期監測計畫
5.結構形式考量	(1) <input type="checkbox"/> 地形地貌改變最小化(2) <input type="checkbox"/> 最小挖填方 (3) <input type="checkbox"/> 結構形式最小生態干擾原則 (4) <input type="checkbox"/> 跨河構造物及河堤構造生態環境創造

二、工程設施考量

考量項目	考量因子
1.排水工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 下游環境影響(2) <input type="checkbox"/> 生態功能考量(3) <input type="checkbox"/> 多孔隙空間 (4) <input type="checkbox"/> 水質改善措施(5) <input type="checkbox"/> 小動物通道
2. 結構工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 結構與施工法避免對生態環境造成影響
3.開挖掘除棄土工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 臨時棄土場位置及棄土動線(2) <input type="checkbox"/> 表土保留計畫 (3) <input type="checkbox"/> 開挖對生態之影響(4) <input type="checkbox"/> 臨時棄土場水土保持計畫 (5) <input type="checkbox"/> 水質污染控制(6) <input type="checkbox"/> 施工便道復舊植生計畫 (7) <input type="checkbox"/> 自然資材再利用
4.隧道工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 湧水及地下水文環境改變 (2) <input type="checkbox"/> 施工排水 (3) <input type="checkbox"/> 洞口位置與形式 (4) <input type="checkbox"/> 橫坑豎井位置生態考量 (5) <input type="checkbox"/> 鑽炸法爆破噪音對生態影響 (6) <input type="checkbox"/> 出碴棄土動線環境考量
5.邊坡擋土工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 潛在災害破壞模式確認 (2) <input type="checkbox"/> 安全效益與生態效益綜合評估 (3) <input type="checkbox"/> 表土與土石方再利用 (4) <input type="checkbox"/> 最小挖填方 (5) <input type="checkbox"/> 邊坡及擋土工法考量 (6) <input type="checkbox"/> 動物移動路徑考量 (7) <input type="checkbox"/> 植生設計及物種考量 (8) <input type="checkbox"/> 生態環境塑造
6.路面工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 透排水鋪面、高性能鋪面 (2) <input type="checkbox"/> 回收與再生材料
7.植生工程考量	(1) <input type="checkbox"/> 原生物種 (2) <input type="checkbox"/> 複層植被及物種多樣性 (3) <input type="checkbox"/> 植生物種適地性 (4) <input type="checkbox"/> 植生尚未生長前之沖刷評估與防沖蝕設計 (5) <input type="checkbox"/> 優勢物種調查與選擇(6) <input type="checkbox"/> 種子庫/育苗來源計畫 (7) <input type="checkbox"/> 移植季節、環境考量

▲表 4- 15 道路生態工程檢核評估表 (4/5)

各分項考量因子：三、環境及生態考量

考量項目	考量因子
1.生物廊道	(1) <input type="checkbox"/> 目標物種特性(2) <input type="checkbox"/> 誘導環境設計與誘導效果確認 (3) <input type="checkbox"/> 鄰近道路road kill 或侵入路權紀錄(4) <input type="checkbox"/> 長期監測計畫
2.生物友善環境	(1) <input type="checkbox"/> 阻隔入侵路權設施(2) <input type="checkbox"/> 路堤路塹坡度與高度 (3) <input type="checkbox"/> 照明亮度、高度、波長、範圍調整與佈設位置 (4) <input type="checkbox"/> 隔音設計與形式(5) <input type="checkbox"/> 警告標誌與速限設計 (6) <input type="checkbox"/> 脫困設施設計與功能確定(7) <input type="checkbox"/> 長期監測計畫
3.施工中排放水及河溪污染控制	(1) <input type="checkbox"/> 隧道湧水之排水控制(2) <input type="checkbox"/> 工區廢水符合排放標準 (3) <input type="checkbox"/> 臨時排水及滯洪設施(4) <input type="checkbox"/> 施工中暴雨逕流排除 (5) <input type="checkbox"/> 圍堰施工或河溪臨時改道污染控制
4.施工便道及工進考量	(1) <input type="checkbox"/> 開挖及邊坡施工雨季應變措施 (2) <input type="checkbox"/> 施工中便道之環境保護對策 (3) <input type="checkbox"/> 路權外施工便道砍伐控制，復育植生(4) <input type="checkbox"/> 非路上運輸模式
5.工程噪音、粉塵與振動	(1) <input type="checkbox"/> 低噪音、低振動施工機具及施工方式 (2) <input type="checkbox"/> 臨時隔音設施(3) <input type="checkbox"/> 施工噪音振動管制 (4) <input type="checkbox"/> 粉塵控制(5) <input type="checkbox"/> 野生動物最小干擾對策
6.生態環境監測	(1) <input type="checkbox"/> 對河溪之影響程度(2) <input type="checkbox"/> 植栽後續生長情形 (3) <input type="checkbox"/> 沿線災害記錄(4) <input type="checkbox"/> 補償棲地生態監測 (5) <input type="checkbox"/> 照明影響監測(6) <input type="checkbox"/> 道路周邊動物活動監測 (7) <input type="checkbox"/> Road Kill 統計
7.符合環評要求	(1) <input type="checkbox"/> 生態保育(2) <input type="checkbox"/> 生態復育

▲表 4-16 道路生態工程檢核評估表 (5/5)

各分項考量因子：四、長期考量

考量項目	考量因子
1.景觀、地區特色	(1) <input type="checkbox"/> 景觀與地區特性之一致性 (2) <input type="checkbox"/> 植生與地區之自然植生相調和 (3) <input type="checkbox"/> 移植造成妨礙之樹木以修飾當地景觀 (4) <input type="checkbox"/> 歷史文化保全及景觀融合 (5) <input type="checkbox"/> 周邊歷史性及傳統地域性之景觀保存 (6) <input type="checkbox"/> 綠帶及行人使用設施之設置
2.文化資產保留	(1) <input type="checkbox"/> 避免對文化資產造成直接與間接之影響，並進行迴避 (2) <input type="checkbox"/> 出土古蹟文化之保存 (3) <input type="checkbox"/> 與地區風土文化相調和 (4) <input type="checkbox"/> 具歷史之古道、街道、登山步道等之線型及現況之保存 (5) <input type="checkbox"/> 具有傳統歷史背景之區域進行迴避 (6) <input type="checkbox"/> 避免對民俗習慶、宗教慶典據點造成衝擊 (7) <input type="checkbox"/> 參納文史工作者之意見
3.地方民眾參與	(1) <input type="checkbox"/> 計畫實施、施工及施工後之管理需考量地方民眾共同參與(2) <input type="checkbox"/> 民眾或環保團體陳情
4.檢討回饋分析	(1) <input type="checkbox"/> 適用生態工程長期安全性檢討 (2) <input type="checkbox"/> 生物廊道使用情形檢討效益分析 (3) <input type="checkbox"/> 阻隔設施檢討效益分析 (4) <input type="checkbox"/> 脫困設施檢討效益分析 (5) <input type="checkbox"/> 照明設施檢討效益分析 (6) <input type="checkbox"/> 棲地補償成效檢討分析
5.維護管理	(1) <input type="checkbox"/> 植栽之施肥澆灌修整及災後清除 (2) <input type="checkbox"/> 補償棲地追蹤維護 (3) <input type="checkbox"/> 相關廢棄物及道路綠資材回收 (4) <input type="checkbox"/> 定期巡察阻隔設施、動物廊道及脫困設施 (5) <input type="checkbox"/> 除草劑、路面油污化學污染防制 (6) <input type="checkbox"/> 路權外上下邊坡水土保持，濫墾濫伐取締

註：檢核評估時請依計畫目標，已考量因子之“”打“✓”；不需考量因子之“”打“×”，不列入實施率計算。

(資料來源：行政院公共工程委員會，2006，建立生態工程案件檢核評估作業之研究，0950413。)