

生態工法規範訂定之探討

Discussion on Guidelines for Ecological Engineering Methods

台灣大學生物環境系統工程學系教授

台灣大學生物環境系統工程學系碩士

張 尊 國

蔡 慧 萍

Tsun-Kuo Chang

Hui-Ping Tsai

摘 要

台灣地區近年大力推行生態工法，其目的在於自然資源保育與生態系統健全之維護。美國已經有許多自然資源與生態保育之規範準則提供給各類型之開發單位遵行，這些是非常好之範例可供國內參考。本研究以馬里蘭州喬治王子郡的環境資源部所發展的低衝擊式開發(Low-Impact Development)與農業部自然資源保育署的保育施作規範(Conservation Practice Standards)為研究材料，整理相關之規範準則，再分析選出國內生態工法案例最常用之施作工法，進行生態工法規範之擬定。本研究共研擬了 19 項生態工法規範，作為一般之原則性規範。雖然生態工法規範與目前國內之生態工法未必等同，但作為開發業主對資源與生態之保育之需求，遵行此準則來規範包商之施作行為，其目的將可以達到保育與開發的平衡，正是生態工法追求之目標。

關鍵詞：生態工法，生態工法規範。

ABSTRACT

The purposes of implementation of ecological engineering methods in Taiwan are to conserve nature resources and to protect the integrity of ecosystems. Serials of conservation practice standards were already established to protect nature resources aimed at many activities in the developing operations in U. S. which provided good examples for us to set up the ecological engineering methods' guideline. In this study, two categories of nature resources conservation were discussed : low impact development and agricultural activities' nature resources conservation, for the purpose to establish standards for developer to follow. Nineteen ecological engineering methods standards were drawn up from those cases studies which were most frequently applied in Taiwan.

In the future, the standards can be served as guidelines used for many developing sites have the similar operations in order to conserve nature resources.

Keywords: Ecological engineering methods, Ecological engineering methods standards.

一、前言

二十世紀工程與生態環境的衝突浮現，於是生態工程在 1962 年正式被定義成一專業領域 (Odum, 1989)。而生態工法泛指在嚴重人為干擾後，能達到協助生態系恢復原貌之目的，所施作的工程方法。在生態工法方面，歐美與國內之經濟、社會及土地利用結構迥異，致使我國現階段較為強調在生態工法上的應用而非生態工程，並較為講求其之多元化目標與成效，而不似國外首重以恢復生態系為導向之單一規劃與應用(林鎮洋等, 2003)。生態工程的應用十分廣泛，國際間許多先進國家在進行開發行為時同時融合生態觀念，目的是為了減少開發行為對環境的破壞與將影響減至最低，諸如都市開發、道路開發與農業行為等。台灣自然資源保育的思潮興起於 1970 年代，1980 年以來政府各單位開始參與物種的保育、研究與教育工作，而獲得許多具體的成效。國際倡導的「生物多樣性」(biodiversity)保育就是人類對各類生物的管理和利用，它包括了野生動物種的保育，生物資源的維護與永續利用，生態系的復育與自然環境的改善。在生物多樣性的世界潮流之下，2001 年行政院通過「生物多樣性推動方案」，2002 年行政院永續會通過「生物多樣性行動計畫」，2003 年行政院科技顧問室亦核定「國家生物多樣性研究推動計畫」。在推動方案中，由公共工程委員會負責主辦公共建設之生態工法。

二、生態工程發展與內涵

1938 年德國 Seifert 首先提出近自然河溪整治的概念；1962 年 H.T. Odum 等提出將自律行為(self-organizing activities)之生態學概念運用於工程中，強調透過人為環境與自然環境間之互動達到互利共生(symbiosis)目的並首度提及

「ecological engineering」一詞；直至 1989 年生態學家 Mitsch 及 Jørgensen 正式探討 Ecological Engineering 的觀念並賦予定義，生態工程可謂正式誕生。生態工程由 1938 年發展至今，經過其後一連串更深入的研究與實際應用，逐漸為生態工程勾勒出更鮮明的輪廓。同時在這期間陸續多位專家學者為其定義，茲將其歸納如表 1 所示(林鎮洋等, 2003)。

Mitsch 於 1996 年提出生態工程的原則如下；另外 Kirk R. Barrett 於 1999 年將傳統工程與生態工程之特性加以比較如表 2 所示。

- (1) 應用自我設計(self-design)；
- (2) 生態系統的建立必須經過嚴峻的生態理論的考驗；
- (3) 對於系統的信賴；
- (4) 保護不可再生資源；
- (5) 保護自然。

台灣地區人口稠密工商業發達，致使自然資源開發利用需求與污染負荷極為沈重，為滿足生活上之需求、安全、便利與舒適，交通道路、防洪、住宅等各項公共工程設施遍佈，開發不斷。累積下來造成對自然環境極大之影響，因而引發生態之破壞與洪水、土石流等災害之加劇。

為了促進環境與生態保育工作全民化，及落實生態保育的工作，我國陸續制定了許多與保育相關之法規，如野生動物保育法、文化資產保存法、環境基本法等。1995 年以來，生態工法的觀念在中央主管機關公共工程委員會的積極推動之下，已在產、官、學界引起廣大的迴響，也讓工程界對於自然資源的保育萌發一種新的思維模式，考量這些公共工程之設施如何與環境生態取得和諧。行政院公共工程委員會於 2002 年議成國內生態工法之統一定義如下：

所謂生態工法便是指「基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採

表 1 生態工程之定義

學者	時間	定義	
H.T. Odum	1962	在人類所操縱的環境中，利用一小部分額外的能量，來控制一個以自然能量為基礎的系統，生態工程所應用的規則雖以自然生態系為出發點，但之後所衍生出的新系統將有別於原者。	
	1971	生態工程便是自然之經營管理，力圖以一獨特之觀點補強傳統工程，或可謂一種與大自然的合夥關係。	
	1983	這種融合生態系的新式工程設計便是一種利用自組行為系統的領域。	
	1989	生態工程是一種設計，運作經濟系統與自然界之間關係的技術，進而促使人類與其環境之間相互調適。	
Uhlamn	1983	生態技術 (Eco-technology)	指基於對生態的深度認知，一種用於管理生態系的技術，其目的在於將執行相關措施的成本，及其對環境造成的損害降至最低。
Staškraba	1984-1985		
Staškraba & Gnauck	1985		
Mitsch & Jørgensn	1989 b	生態工程	對於永續生態系的設計並整合人類社會與自然環境，追求雙方面的共同利益。
		生態工程與生態技術	1. 復育一因為人類污染環境或改變土地使用而被干擾的生態系統； 2. 發展一嶄新並具有人類及生態價值的生態系統。
美國國家科學院 (National Academy of Sciences, NAS)	1993	永續經營的生態系統設計，此一生態系統整合人類社會與其所在之自然環境，並使兩者都能受益。	
日本應用生態工程學會		<p>生態工法亦稱為「應用生態工學」(applied ecological engineering)或「環境共生技術」(environmental symbiosis technology)。對於生態工法之定義如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 應用的相關領域：跨學門的整合如生物學的相關領域及土木工程技術的整合與討論； 2. 應用生態工學研究的對象與範圍：即人造物對環境的影響及人工環境急遽變化對自然環境的影響； 3. 保育對象的時間尺度：如何呼應保育對象的生活史，評估其適應之成效； 4. 研究方法與對策：利用實地調查及研究假設加以驗證。 	

表 2 生態工程和傳統工程之特性比較

分類/特質	傳統工程	生態工程
計畫目標	單一目標	多方面的好處
對生態系的好處	低度相關	高度相關
結構	水泥和鋼，人造的	地景/水棲動植物，自然的
能量來源	石化原料，電力	太陽能，地心引力，植物，動物
材料移除機制與過程	幫浦，風箱，運輸裝置，人為驅動，人為相關的	對流，重力，植物/微生物過程，自然的，自我調節的
氣候和地景環境	相對較不重要	關鍵
生命期限	相對較短	相對較長
成果	受控制的	多變的
耐用程度	往往較低	通常較高
操作和維護成本	高	低
土地需求	低	高

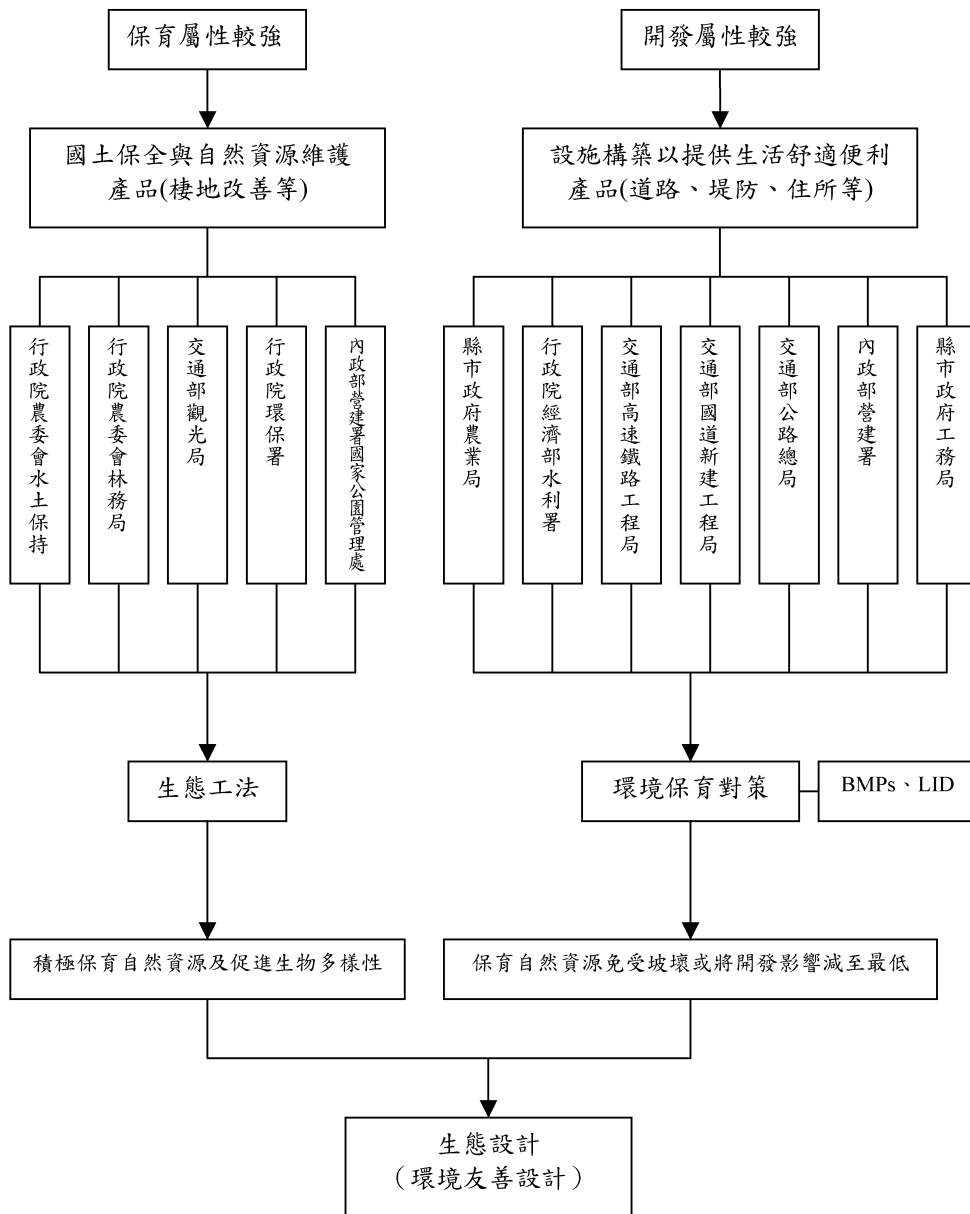


圖 1 不同屬性之目的事業機關對環境與自然資源保護的做法

取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害。」

若依以上定義而言，有些工程如水土保持或是棲地整建，其目的是資源保育或是生態復育，屬保育性質便可以契合上述觀念與定義，進行工程施作。但許多公共工程之如道路設施，其目的為提供便捷之交通；或是堤防設施，其目的為阻

擋洪水；或是住宅開發旨在提供居所，其屬性為開發者，即很難以工程設施來落實上述定義。

「生態工法」應該是一能夠達到自然資源保育與生態平衡的工程方法，所以是屬於手段與方法而不是工程設施本身之目的。若將國內相關單位元以其目的分為開發和保育兩大類別如圖 1 所示，同時推行生態工法時，以開發為事業目的之

單位一定會產生無所適從且無規範可遵循的窘況；而以保育為事業目的單位較能得心應手。這兩大部分之區分在於一為在達成開發目的(住宅、道路等)，同時以具體作為保護自然環境免受破壞或將影響減至最小；一為以積極方法保育自然資源、促進生物多樣性。所以在國外經驗中，並不強求前者(以開發為事業目的之單位)使用生態工法，而是以最佳管理策略(Best Management Practices, BMP)或低衝擊開發(Low Impact Development, LID)的方式達成對自然資源與環境生態之保護。如美國馬里蘭州喬治王子郡的環境資源部所發展的低衝擊式社區開發、加州交通局的營建工地最佳管理策略與美國農業部自然資源保育署的保育施作規範，均以自然資源保育為目的之施工規範，均可提供往後在開發與保育單位施作過程中的原則規範參考。

三、生態工法之規範訂定

生態工法在台灣地區萌芽與發展背景主要是因人口稠密為滿足生活上之需求、便利與舒適，使得農林開發、交通道路、防洪、住宅等各項公共工程設施開發失調。累積下來造成對水土資源與環境極大之影響，因而引發生態之破壞與洪水、土石流等災害之加劇，因此生態工法適用之主要對象是公共工程泛指各類之土木、水利、水保、環工與交通工程。

茲將生態工法提升至生態工程層面而試圖對生態工程下一定義如下：

「系統化地考量設施在其設計、施作及營運的全程生命週期中，對人類安全福祉增進、環境資源保育及生態健全維護，目標功能績效之強化。」

依此定義不論是交通工程、水利防洪工程等其在增進對人類安全福祉之同時，亦須考量對環境資源保育及生態健全維護之強化，而不失其工程設施設立之原來主旨。

反觀近年來企業處理環境問題的方式，已有跳脫傳統工廠製程管末處理的趨勢，而逐漸將焦點轉移至嘗試研發具環境友善(Environmental-friendly)的綠色產品，以盡可能減輕其對環境造

成的衝擊。由於採取環境化設計可將環境的考量有系統的整合至產品與製程設計中，使企業同時達到降低成本、減少危害、提高競爭力，以及促進環境保護的目的，是整合環境及經濟面至產品生命週期的一種設計方法。當企業必須肩負更多的環境責任時，此一設計方式提供了新的觀點，成為可使企業更具競爭力與創新力的有利工具。因此，環境化設計已經使環境保護的落實，從一種觀念變成「技術創新」(鄭義，2003)。

從1990年代起，透過將環境化設計的理念落實在法令規章或國際標準，逐漸使整個產品消費市場產生對綠色產品之要求。例如：歐盟及日本等國家均陸續提出未來將對電子及資訊產品因應環境議題而產生之環保性要求。國際標準組織亦於2002年訂定了ISO 14062「整合環境考量面於產品設計 Guidelines for integrating environmental aspects into product development」，並於2002年2月正式核准「ISO 14062 整合環境考量面於產品設計」之技術報告做為廠商進行環境化設計的指引。此指導綱領提供業界一個將環境考量面納入產品設計與開發之實行架構的參考(鄭義，2003)。

工業界推動之生態設計(Eco Design)「在每一個過程中都考慮到環境，乃整合環境狀況至產品之策略，包含生命週期思考，綜合目的係對自然資源、能量及環境衝擊的最小化與消費者之最大利益」；以及電子及資訊產業推動之環境化設計/環境友善技術(Design for Environment, (DfE))其理念是將環保的訴求納入其產品的研發中而開始的。環境化設計與綠色設計、生態化設計及與永續設計均非常類似，都表示將產品設計當作一項環境事務，且在每個可能的機會將產品之直接與間接之環境衝擊減至最小。如圖2所示地追溯產品或產品系統生命週期所有階段之環境負擔，如此能使設計者在進行產品設計時考慮更寬廣的產品環境含意(鄭義，2003)。

對應於工業界與電子業推動之生態設計與環境化設計，我們可將生態工法視為公共工程或泛指土木工程之生態設計或環境化設計，亦需要類似「ISO 14062 整合環境考量面於產品設計」

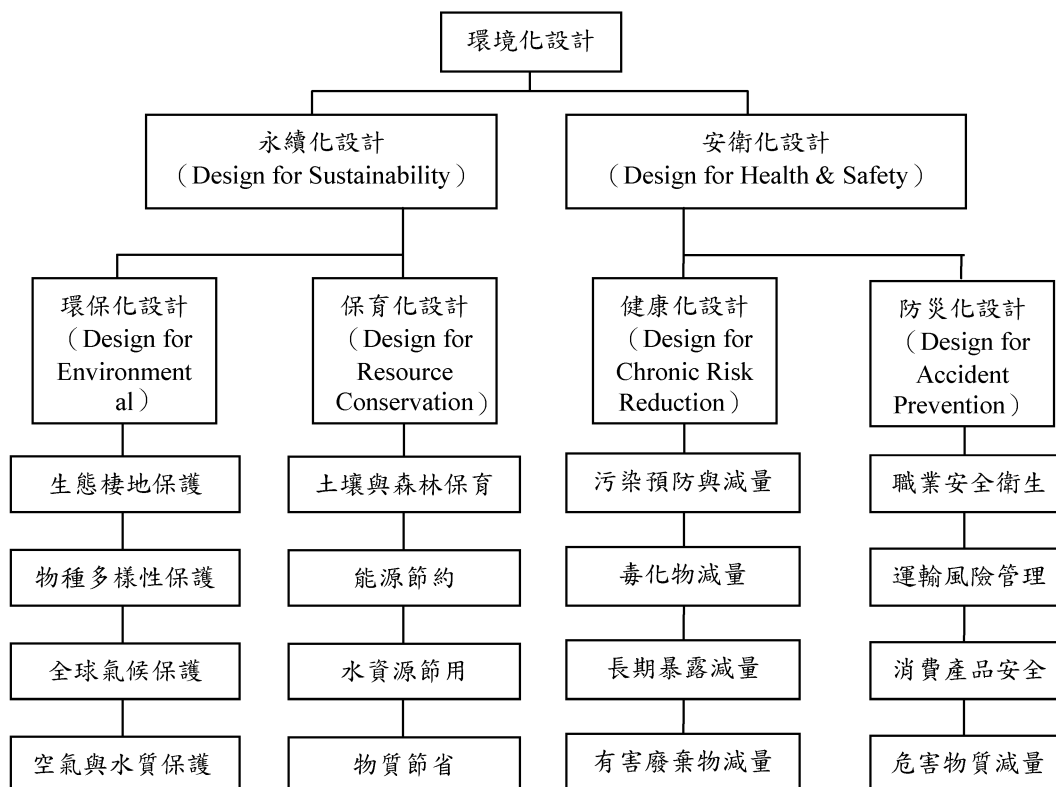


圖 2 工業產品之環境化設計(DfE)所涵蓋的設計原則

之技術報告做為廠商進行生態工法的指引，故本文之主要目標為嘗試訂定生態工法規範以做為不同屬性之工程單位研究進行工程之施作準則參考，以求其最終環境維護之目的。

四、研究範例

(一) 美國農業部自然資源保育署的保育施作規範(NHCP)

美國農業部(United States Department of Agriculture)的自然資源保護署(Natural Resources Conservation Service)是美國自然資源保育的最高指導機關。在技術資源方面提供了許多關於技術資訊、資源、工具、模式與基礎資料。其中在自然保育施作(Conservation Practices)的單元列出了應用在土地上保育技術的指導，並且設立了技術上最低的接受門檻。這些保育施作的規範(conservation practice standards)都詳列於保育施作手冊中(National Handbook of Conservation

Practices，簡稱 NHCP)，目前共有 155 項施作規範，並且根據實際情形不定期的更新。將摘錄部分美國農業部自然資源保育署的保育施作規範列如表 3。

(二) 低衝擊式開發(Low-Impact Development, LID)

1990 年，美國馬里蘭州喬治王子郡的環境資源部(Prince George's County Department of Environmental Resources, PGDER)首先發展以低衝擊式開發(LID)運用於暴雨管理。LID 著重於進行開發行為時，能夠同時維持生態系統和水文功能。LID 整合了綠色空間(green space)、原生地景(native landscaping)、自然水文功能(natural hydrologic functions)以及其他在開發地區可減少逕流量的措施，LID 施作示意如圖 3。

一個成功的 LID 基地個案可在保護自然資源和功能的前提下，同時減少土地開發和基礎建

表 3 美國農業部自然資源保育施作規範(NHCP)-部分摘錄

Conservation Practice (Units) (Code)			
Alley Cropping (Ac.) (311)	小徑種植	Contour Farming (Ac.) (330)	等高耕作
Access Road (Ft.) (560)	連結道路	Contour Orchard and Other Fruit Area (Ac.) (331)	等高果園和其他種植水果的地區
Animal Mortality Facility (No.) (316)	動物死亡處理設施	Cover Crop (Ac.) (340)	覆蓋作物
Anaerobic Digester, Ambient Temperature (No.) (365)	厭氧消化與周圍溫度	Critical Area Planting (Ac.) (342)	關鍵地區植栽
Anaerobic Digester, Controlled Temperature (No.) (366)	厭氧消化與溫度控制	Cross Wind Ridges (Ac.) (589A)	向風脊
Animal Trails and Walkways (Ac.) (575)	動物小徑與通道	Cross Wind Trap Strips (Ac.) (589C)	向風陷阱帶
Anionic Polyacrylamide (PAM) Erosion Control (Ac.) (450)	陰離子聚丙烯胺的侵蝕控制	Dam, Diversion (No.) (348)	低堰，分水堰
Aquaculture Ponds (Ac.) (397)	養殖池塘	Dam (No. and Ac-Ft) (402)	堤，壩
Atmospheric Resource Quality Management (Ac.) (370)	大氣資源品質管理	Deep Tillage (Ac.) (324)	深耕
Bedding (Ac.) (310)	墊草	Dike (Ft.) (356)	堤
Brush Management (Ac.) (314)	灌木管理	Diversion (Ft.) (362)	分水
Channel Stabilization (Ft.) (584)	渠道穩定	Drainage Water Management (Ac.) (554)	排水管理
Channel Bank Vegetation (Ac.) (322)	渠道邊坡植生	Dry Hydrant (Each) (432)	乾旱給水

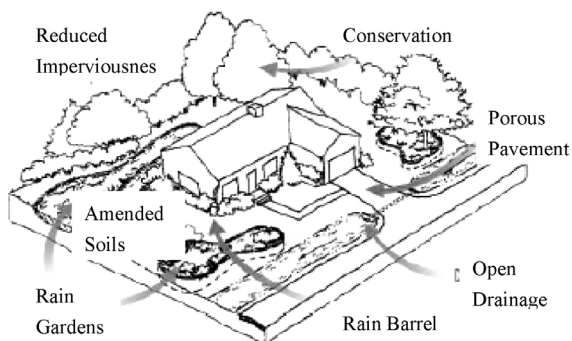


圖 3 LID 施作示意圖

(改繪自 Low Impact Development Center, 2003)

設的經費。在開發過程中，設計者、開發單位和監督單位必須共同合作解決問題，以達成下列概念(Low Impact Development Center, 2003)：

- (1) 保存開放空間並將土地干擾減至最低；
- (2) 保護並以自然系統為設計元素(溼地、溪流

/野生動物廊道、成林)；

- (3) 創新的利用、規劃和設計原本的街道；
- (4) 以 LID 的暴雨管理施作在源頭進行分散與微管理。

美國低衝擊開發中心(Low Impact Development Center)為一非營利組織。此組織主旨為介紹 LID 之觀念、整合 LID 的相關資訊並且提供 LID 的規劃服務。為了提供大眾具體的施作示範，低衝擊開發中心針對 LID 之 3 項常用的施作提出施作規範與規格，分別是生物滯流設施、透水鋪面單元與土壤改善。

五、國內案例分析

以行政院農業委員會與中華民國環境綠化協會於 2003 年 3 月出版的《台灣地區自然生態工法個案圖說彙編》為分析資料。將 34 個案例中的工法設施分類統計，篩選出常用之工法項目

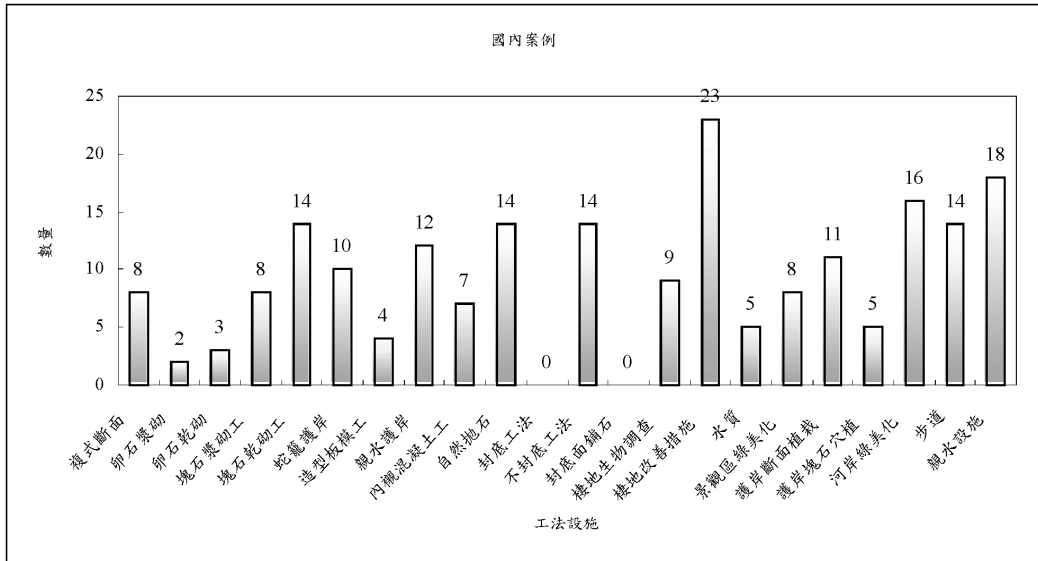


圖 4 工法項目數量統計圖

表 4 生態工法施作規範

常用工法項目		生態工法施作規範(編號)	
分類 A-護岸工程	砌石護岸	護岸(A1)	
	蛇籠護岸		
	親水護岸		
分類 B-整流工程 (固床工/跌水工/淺壩/帶工)	自然拋石	渠道穩定(B1)	沈砂滯洪池(B5)
	不封底工法	逕流管理系統(B2) 低堰、分水堰(B3) 沈砂池(B4)	分水堰(B6) 淺灘管理(B7)
分類 C-生態考量	棲地改善措施	動物小徑與通道(C1) 魚道(C2)	溼地復育(C3) 劣化棲地復育與管理(C4)
分類 D-植生	護岸断面植栽	溝渠植生(D1)	覆蓋層(D4)
	河岸綠美化	喬木/灌木的建立(D2) 護蓋層(D3)	表面粗糙化(D5)
分類 E-其他	步道	柵欄(E1)	
	親水設施	整地(E2)	

如圖 3 所示。挑選出超過 10 個案例所用之工法項目，分別為砌石護岸、蛇籠護岸、親水護岸、自然拋石、不封底工法、棲地改善措施、護岸断面植栽、河岸綠美化、步道與親水設施，依其工法種類將其分為分類 A- 護岸工程、分類 B-整流工程、分類 C-生態考量、分類 D-植生與分類 E-其他五大類，再分別進行細項規範的擬定，目前共列出 19 項生態工法施作規範如表 4 所示。本

文相關之部分規範內容附表於後(附表 1 與附表 2)。

4.2 生態工法施作規範

依據常用工法設施所訂立之生態工法施作規範以護岸工程、整流工程、植生工程、生態考量與其他五大分類分別進行細項的施作規範建立。施作規範格式內容為名稱、編號、定義、範

表 5 生態工法施作規範格式說明

生態工法施作規範	
名稱	規範名稱
定義	規範之定義
範圍	規範之範圍
目的	規範之目的
規範適用的狀況	規範適用的狀況
規範	包括一般規範或其他相關(如水文復育、植生復育等)規範
考量	關於稀有及瀕危物種、棲地多樣性、水質、水量等考量
計畫與規格	說明規範之計畫與規格
操作與維持	說明規範操作方式與維護計畫

表 6 生態工法施作規範與自然資源之關係

工法設施	資源保育 標的	水		土		大氣		生物				地景			屬性			
		水質	水理	防蝕	活力	氣味	微氣候	動物	植物	微生物	多樣性	棲地	廊道	美質	管理	工程	農藝	
護岸工程	護岸	◎	◎	◎				○	○		○	○					☆	☆
整流工程	渠道穩定	○	◎	◎							○						☆	
	沈砂滯洪池	○	◎	◎								○		○			☆	☆
	低堰，分水堰	◎	◎					○									☆	
	分水堰		◎														☆	☆
	沈砂池	◎															☆	
	逕流管理系統	○	◎	○				○	○		○						☆	
植生	淺灘管理	○	○					○	○	○	○	○		○	☆	☆		
	溝渠植生	◎	○	◎	○	◎	○	○	◎		○	○	◎	◎	☆		☆	
	植被建立	○	◎	◎	◎	○	◎	○	◎		◎	○	○	○	☆		☆	
	表面粗糙化			○				○	○	○	○	○		○		☆	☆	
	整地		○	○												☆	☆	
	護蓋層	○		○	○				◎									☆
生態考量	覆蓋層	○	◎	◎		◎	◎			○						☆		☆
	魚道							◎			◎	○	◎		☆	☆		
	濕地復育	◎	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○		○	☆	☆	☆	
	劣化棲地復育與管理	○	○	○				○	○		○			○	☆		☆	
	動物小徑與通道			○				◎			○		◎		☆	☆		
	柵欄	○		○			○	◎	○						☆	☆		

註：○重要 ◎非常重要 ☆類屬

圍、目的、規範適用的狀況、規範(一般規範、相關附加規範等)、考量、計畫與規格及操作與維持的說明如表 5。並將生態工法施作規範與自然資源的關係以表 6 說明之。

六、結果與檢核

本研究研擬之生態工法施作規範為一原則性規範，較適用於開發單位之業主(甲方)列於發

表 7 生態工法檢核表對照 1- (動物通道)

自然資源保育施作規範 (美國農業部自然資源保護署)			生態工法基本圖 (公共工程委員會)			檢核意見	
名稱	動物小徑與通道	編號	C1	名稱	動物通道		編號
定義	提供牲畜或野生生物通過障礙或生態敏感區的運輸設施。		建設功能	避免道路之興建而阻隔生物之通道。		◎	
目的	這項施作可列為保育管理系統的一部份,目標如下: 1. 提供或改善糧食供應、水分或遮蔽; 2. 改善放牧的效率與分佈; 3. 轉移經過生態敏感地或侵蝕地的通行。		生態功能	小型動物(小型哺乳動物、兩棲類與爬蟲類)之生態廊道。		◎	
規範適用的狀況	動物移動被妨礙或受限制的地區,例如地形陡峭處、岩石區、密林或灌木叢、熔岩層、沼澤牧地或是易受漫流影響的牧地。		適用範圍	適用於山區道路動物通道受阻隔之區域或動物遭輾壓情形嚴重之路段。		◎	
規範			設計原則				
一般規範	1. 建造廣泛通用動物移動與操作者工作道路或通道;		1. 底層應鋪設土壤與落葉,最好能與週遭自然環境地表覆蓋一致。		○		
	2. 小徑或通道必須避免增加侵蝕,並提供必要的安全出口;		2. 出入口可設計生物圍籬以引導動物進出。		◎		
	3. 必須保護小徑或通道植生覆蓋之播種與栽植,直到其具備生長良好且經得起放牧與踐踏的能力。		3. 為避免動物誤上路面應設計阻隔設施。		○		
通道適用規範	1. 通道建造必須滿足平常高水位的最低高度需求; 2. 因為建造通道需要挖洞,所以必須避開放牧地和通道的迴路動線; 3. 當必要時,裝置結構時必須避免自然水流流動同時控制海水入侵。						
考量	其他能改善放牧的分佈和強度的施作(如計畫的放牧),則必須和此項施作一起進行。		(空白)			*	
計畫與規格	每一個小徑與通道必須根據本規範和各縣市政府的規範,並依據基地的特性設計。		(空白)			*	
操作與維持	操作需包含對小徑和通道的定時分級或調整以維持設計原貌尺寸。維持必須包括需要修補等幾項大事,如高逕流量、高潮汐或其他對於此項施作在常態操作下會產生負面影響干擾的事件。		注意事項				
			1. 應設置於既有的生態廊道與物種較密集之區位。		◎		
				2. 宜定期查看,避免通道阻塞。			
(空白)			補充建議				
			安排生態監測與設定目標物種,以確認功效。		◎		

註：○相關 ◎非常相關 *無相關內容 ☆額外內容

包文件中,且應明確說明所有的施工內容必須以生態工法施作規範為原則,承包商(乙方)據此根據工程個案的特殊情況和需求,可提出各項工法設計後,再交由甲方依規範審核。

2004 年國內由行政院公共工程委員會所公告之「生態工法基本圖」列有 15 項工法之細部設計,性質較類似於開發單位的承包商(乙方)之施工圖說。茲以美國農業部自然資源保育署的保育施作規範(NHCP)的動物小徑與通道與低衝擊式開發(LID)的生物滯流設施,參照檢核基層公共

工程基本圖第四版中之「生態工法設計原則及方法」和「生態工法基本圖」的動物通道與生物滯流池,如表 7 與表 8 所示。

由表 7 與表 8 之檢驗成果可見,「生態工法基本圖」著重於細項之施工圖說,在動物通道的考量與計畫規格方面並無環境保育之說明(表 7);生物滯流池方面並未對其土壤質地、挖掘方法、結構和是否需要護蓋物、地下排水與配置生物滯洪池時之土壤混合物作詳細說明(表 8)。

表 8 生態工法檢核表對照 2(生物滯流池)

低衝擊開發(LID) (美國馬裏蘭州喬治王子郡環境資源部)		生態工法基本圖 (公共工程委員會)			檢核 意見
名稱	生物滯流設施	名稱	生物滯流池	編號	
描述	生物滯流設施可在降雨進入暴雨排水系統之前,利用小型的景觀池提供暴雨逕流的入滲。生物滯流設施將於此文件中說明,包括所有材料、設備、工作和服務。	建設功能	將雨水引至水池,使固體產生沈澱,部份污染物被分解,而產生淨化作用。		◎
		生態功能	1. 可淨化污水減緩下游河川污染程度,間接保護下游河川水質之功能。 2. 具有補注地下水的功能。 3. 可提供良好的生物庇護所,並可創造草澤溼地環境。		○
		適用範圍	1. 用於大面積流域之逕流污染控制。 2. 需要去除高比例之粒狀污染物及少量之溶解性污染物時。		○
土壤質地	1. 為一植生土壤、護蓋物和砂的混合物(生物滯流土壤混合物, Bioretention Soil Mixture, BSM)。至少在設置此生物滯洪池 45 天前,由承包商對工程師提出建議之適宜土壤; 2. 此特殊的混合物中(包括護蓋物)不可含有石塊、殘株、殘根或其他大於 50 公分的物品。不需要加入其他物質,以免干擾植物生長或是植生與維護的進行。	(空白)			*
植物材料	1. 所有的植物材料都必須依據相關規範; 2. 所有的植物材料必須擁有分枝發展正常、根系壯健的特性; 3. 遮陰和開花樹種必須相稱且平衡; 4. 主枝不可成 V 型,因為 V 型會影響結構強度; 5. 不可有不健康或受傷直徑超過 2.5 公分的樹枝; 6. 遮陰樹必須有單一主幹,並無雜枝干擾水流; 7. 植物材料必須能適應設計暴雨期間水分飽和的土壤。	設計原則	1. 草種以原生匍匐性草類為主(如假儉草),樹種可選用原生灌喬木。 2. 蓄水深度之設計應 ≤ 15 公分。 3. 滯流池之周圍,其坡降應為 3:1。		○
		設計原則	蓄水深度之設計應 ≤ 15 公分。		○
水	植生、建造或照顧植栽時必須避免任何對植物生命有害。	注意事項	效率可能低於大部份逕流處理設施。		◎
石灰岩	石灰岩至少含 85%的碳酸鈣和碳酸鎂。含鎂的石灰岩至少要有 10%碳酸鎂。	(空白)			*
挖掘	如果土壤是黏土(clay soil),必須注意不可在下方施作涵管。底床邊緣的黏土必須優先覆蓋約 0.75 公分的 BSM,再在地表下 1.5 公分進行施作。	(空白)			*
地下排水	1. 盡量使用地下的排水設施。出水口至少需高於排水設施自然水位 1.5 公尺,並且以自然排水管線構築; 2. 必須維護至少 45 公分的管線覆蓋; 3. 當排水出口為坡面或是溝渠,除非工程師有特殊的指示,出水口管線坡度至少需調整 0.5%。	設計原則	滯流池之周圍,其坡降應為 3:1。		○

續表 8 檢核表 2

低衝擊開發(LID)		生態工法基本圖			檢核 意見
名稱	生物滯流設施	名稱	生物滯流池	編號	
結構	在所有集水地區的結構尚未穩定前，不可施作生物滯流設施。生物滯流設施不可作為沈積控制設施之用。在設置生物滯流設施時不可運用任何的重型機具。				○
挖掘	<ol style="list-style-type: none"> 1. 挖掘的尺寸面積、邊坡和深度都必須依照建造計畫進行，並且將挖掘對環境的影響降至最低； 2. 可適時運用低度土地衝擊設施進行挖掘； 3. 不可在生物滯流設施的底部運用任何的重型機具； 4. 挖掘設備必須在完成之後移除； 5. 在放置地下排水設施和 BSM 之前、至少在挖掘深度 0.15 公尺處設置可減緩設施底部衝擊的設備； 6. 底部必須移除所有積水、以免造成土壤結構鬆散。 	(空白)			*
護蓋物	<ol style="list-style-type: none"> 1. 當基地內有植物時、全部的生物滯洪設施必須覆蓋 0.75 公分厚的護蓋層； 2. 片狀硬木樹皮是唯一可接受的覆蓋物。 	(空白)			*
結構					○
地下排水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在建造計畫中必須配置觀察井與清潔口的豎管(0.15 公尺)； 2. 在建造計畫中說明觀察井與清潔口和地下排水的妥善連結； 3. 觀察井與清潔口高於生物滯流設施覆蓋層 0.15 公尺、並且加上螺絲式的蓋子。觀察井與清潔口不可位於地下排水的終點。 	(空白)			*
配置生物滯洪土壤混合物	<ol style="list-style-type: none"> 1. BSM 必須以低度土壤衝擊的設備進行配置與整坡； 2. 不可在 BSM 或生物滯洪設施周圍運用任何的重型機具； 3. BSM 不可鋪設超過生物滯洪設施之外 3 公分之範圍； 4. 需要水時需以噴灑的方式提供； 5. 必須提供適當的沈積物控制設備； 6. 如果 BSM 受到污染、必須馬上移除並更換無污染的材料；且不向管理者收取額外費用； 7. BSM 的最終坡度必須在 24 小時內固定； 8. BSM 的最終高程和建造計畫的高程誤差不可超過 0.5 公分。 	(空白)			*
植物	<ol style="list-style-type: none"> 1. 喬木、灌木和其他植物材料規格必須在建造計畫中詳細說明。 2. 在地景建造、植物建立或維護時、不可在生物滯流設施施作任何殺蟲劑、除草劑和肥料。 	補充建議	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以與景觀設計做綜合規劃。 2. 可提供野生生物生長、棲息及繁衍場所。 		○

註：○相關 ○非常相關 *無相關內容 ☆額外內容

綜合以上所述，「生態工法基本圖」之應用與說明尚有可再加強之空間；生態工法施作規範可作為一檢核工具，應用於業主(甲方)之發包規範。業主必須明訂所有的施工內容需以生態工法施作規範為原則，承包商(乙方)根據工程個案的特殊情況和需求並據此提出之各項工法設計後，再依規範審核。

七、結論與建議

由於近年來政府廣泛推廣生態工法，並且以公共工程為率先典範，規定每項工程必須使用生態工法；但尚未訂立實際施作方面的規範與準則，易令工程單位元陷入無所適從的困境。故本研究提出國內常用之生態工法規範，可提供未來工程進行各單位元擬定規範準則參考。

參考文獻

1. 林鎮洋、邱逸文，*生態工法概論*，明文書局股份有限公司，臺北市，pp. 13-14, 45-47，2003。
2. 林信輝主編，*台灣地區自然生態工法個案圖說彙編*，行政院農業委員會、中華民國環境綠化協會，台中市，2003。
3. 鄭義，”我國推動環境化設計的挑戰與因應對策”，*工業污染防治* 87：92-104，2003。
4. Kirk R. Barrett, “Ecological Engineering in Water Resources: The Benefits of Collaborating with Nature”, *International Water Resources Association*, Vol. 24, No. 3, : 182-188. 1999.
5. Low Impact Development Center, “Builder’s Guide to Low Impact Development”, 2003.
6. Mitsch, W.J., S.E. Jørgensen, *Ecological Engineering: An introduction to Ecotechnology*, Wiley, New York. 1989.
7. Mitsch, W. J., “Ecological Engineering: a new paradigm for engineers and ecologists”, *Engineering Within Ecological Constraints*, Washington, D. C., pp.111-128, 1996.
8. Odum, H. T., “Man in the ecosystem”. In *proceedings Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology*. Bull. Conn. Agr. Station 652. Storrs, CT, pp.55-75, 1962.
9. Odum, H.T., “Ecological engineering and self-organization”. In Mitsch, W.J., S.E. Jørgensen, eds. *Ecological engineering: An introduction to Ecotechnology*, Wiley, New York, pp.79-101, 1989.
10. Prince George’s County, “A Decentralized Stormwater management Approach to a Functional Ecosystem Based Design”, Maryland Department of Environmental Resources Programs and Planning Division, 1999.
11. U.S. NRCS, “National Handbook of Conservation Practices”, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., 2003.
12. William J. Mitsch, “Ecological Engineering--the 7-year itch”, *Ecological Engineering*, Vol. 10 : 119-130, 1998.

收稿日期：民國 93 年 12 月 14 日

修正日期：民國 94 年 3 月 1 日

接受日期：民國 94 年 3 月 7 日

附表 1 生態工法施作規範（魚道）

生態工法施作規範			
名稱	魚道	編號	F5
定義	改善或移除可能限制或妨礙魚類活動或遷移的障礙物。		
目的	在可行和理想之處設置能允許魚類通過障礙物而在上游和下游活動。		
規範適用狀況	本規範適用於所有的河川、溪流和池塘或是湖泊的出水口，所有妨礙魚類通行的障礙物之處。		
規 範			
一般規範	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供魚道的作業，必須要盡可能避免產生對於瀕臨絕種、受威脅的及其棲地，或其他種類的負面影響。參考行政院農業委員會之台灣的稀有及瀕危植物資料庫、保育類野生動物名錄等，考量有可能之影響； 2. 設計一個當魚通過一個魚道結構或者地點時，不會因為額外能量而受苦或者有不適當物理環境的壓力； 3. 魚道將設計為在魚通過一個魚道結構物或者地點時不會被特別延遲，除非像一個障礙物的改善或者撤除，例如一個潮汐柵欄會引起對其他資源不良的影響； 4. 魚道結構和地點必須在最小和最大流量時均能吸引目標魚種前來； 5. 設置地點和全面的魚道設計，或是魚道設施都必須適應集水區像溪流多樣化與河床滓的情況； 6. 設置地點和全面的魚道設計，或是魚道設施都必須適合不同的水生生物種類與有可能的魚齡層； 7. 設置地點和全面的魚道設計，或是魚道設施都必須適合當地條件和溪流的地貌； 8. 魚道結構材料的選擇必須是對魚類和其他水生生物無害的； 9. 在河流的渡口，涵洞下面的高度和涵洞中的流速不應該超過標的魚種在此基地上、下游之間期望的活動能力； 10. 根據生態需求而增設魚道的水壩必須要符合水壩現行法規和工程規範； 11. 所有計畫工作都將依據所有中央，地方法規和規則。 		
考 量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 天生好鬥和不好鬥的種類和兩棲類的以及瀕臨絕種、受威脅的、候選種，稀有種和其他敏感種類必須細心地考慮什麼時候設計和執行魚道設施； 2. 考量在道路交叉處包含自然河床底質的涵洞設計； 3. 在設置魚梯之前考慮撤除柵欄或魚道； 4. 如果移除一個渠道的結構將導致渠道上游的侵蝕或堆積，為了此地地貌條件和魚道需求所設置的河床控制設施就必須加以考量。 5. 考量入侵的或者非本土種類，或許會以雜交、競爭或是有傳播疾病給本土種類或其他水生生物比障礙物更高的潛在性影響； 6. 考量其他水上和陸地的種類，包括瀕臨絕種和受威脅的種類，目前已經在有障礙物的存在的地方建立棲地或者是在上游和下游地區活動且會被直接影響的物種； 7. 考量上游與下游障礙物的數量，並且同時考量魚種重要棲地相連的可能性； 8. 考量河源和尾水的季節性變化程度，並且包含如何可以為魚設計能夠幫助魚類在不同生命階段中適應不同水力衝擊的結構； 9. 考慮防止魚類的流失，特別是幼年期的魚類，可以透過安裝螢幕在灌溉分水設施中監看； 10. 考慮標的魚種在面對較長通道時需要的重要休息處設計； 11. 計畫時需考慮這個施作可能會影響文化資源，所以應該在設置和維護魚類通道結構的計畫之前，優先考量歷史文化資源； 12. 考慮其他水資源管理目標與魚道的平衡； 13. 就程度上來說，魚道應該儘可能設計為將魚類在進入或者離開結構時被掠食的量減到最少； 14. 魚道障礙物的撤除應該考量到對溼地，洪氾區，已存在的基礎建設和社會的衝擊； 15. 當時渠道內的結構由於下游渠道的切口而不可通行，並且有跡象顯示有歷史通道鄰近切口，考慮透過恢復歷史渠道的方式來通過這些障礙物。 		
計畫與規格	這項施作的規格必須預備以適合運用於每一個地點。計畫和規格將與這個施作一致並且將充分地描述施作的細節已達到它的預定目的。		
操作與維護	所有的應用都必須有操作和維護的計畫。這些計畫將在魚道或者結構損壞、功能不佳時提供週期性的檢查及修護。		

附表 2 生態工法施作規範(沈砂池)

生態工法施作規範			
名稱	沈砂池	編號	B4
定義	建造以收集懸浮固體與儲存沈積物為目的的池塘。		
範圍	這項規範應用在設置以攔阻和儲存經由水路運輸的沈積物與懸浮固體為首要目的的池塘。		
目的	為了維持貯水池、溝渠、河道、分水設施、水路和溪流的容量，避免低窪地與開發區出現擾人的沈澱物，攔阻由工地產生的沈積物，並且提供一種池塘用於沈澱和儲存泥、砂、砂礫、石塊、農業廢棄物和其他懸浮物以降低或減少污染。		
規範適用狀況	本規範適用於任何物理情況許可下包括地主欲設置侵蝕控制方法以預防土壤或其他材料沖蝕，或能夠實際解決問題。		
規 範			
一般規範	<ol style="list-style-type: none"> 1. 沈砂池的容量必須和此池的設計生命週期之內期望能攔阻的沈積量或設計的保護量相等。如果沈積物可定期清除，容量可以依比例降低； 2. 壩、洩洪道和排水設施的設計必須符合池塘的規範和坡度穩定結構的規範，其他相關分類的結構也都需要考慮； 3. 臨時性的沈砂池若是排水面積在 2 公頃以下的，以及全部堤岸高 1.5 公尺以下或許可以在情況允許之下要求較少的規範。堤岸最少必須寬 1.2 公尺、邊坡比為 2:1 或更多。出水口必須提供地表上設備、管線、石頭或是其他的設備，能夠適當的阻絕沈積物並且能夠在沒有誤差或重大侵蝕之下承受十年的排放頻率； 4. 排水沈澱池在必要時需設置安全和病媒控制的預防設備。為了大眾的安全，在必要時必須設置柵欄和其他安全的措施，以預防陷入洪水及軟泥中。景觀資源的管理亦須考量。 		
考 量			
水量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對於水資源的平衡，特別是逕流、入滲、蒸發、蒸散、深層入滲和地下水補注的影響； 2. 對下游流量與含水層的影響及可能影響其他的水資源使用； 3. 流量對於環境、社會和經濟的影響； 4. 對下游水位及其相關之植物生長改變的影響。 		
自然資源保育施作規範			
水質	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對於沖蝕、沈積物運移、病原菌和可溶解及逕流中沈積物質之影響； 2. 對於基地及下游水資源景觀美質的影響； 3. 對於保護地表及地下水之初期植生設立的影響； 4. 溼地與相關水棲性野生動物棲地的影響。 		
關於瀕臨絕種動物的考量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 決定設置之前必須考量這項設施對已訂立的稀有或瀕臨絕種動植物或棲地的影響。目的是為了使這些物種受益，或者至少不會對他們產生任何負面的影響。如果在環境評估中指出這項行為會對名單中的物種或是其關鍵的棲地產生負面影響，建議土地的擁有者依據野生動物保護法及相關法令規章採取相關的保育處理來避免負面的影響； 2. 有些物種是以一年週期的型態生存於溪流中，像淡水蝦。其他物種，如鮭魚等，在不同季節都會利用溪流。這些關鍵的時期，如產卵、砂石上的蛋及年輕子代的撫育都會受溪流棲地的直接影響。舉例來說，如果有卵在河床上，就必須避免對於河床的干擾。這些可能包括任何對於河床砂礫沈積有影響的行為，例如溪流任何設施、行走於溪流中甚至是上游有可能造成沈積影響的行為。 		
計畫與規格	計畫和規格在設置沈砂池時必須根據此規範，並且說明如何於實際施作中達成預定目標。		
操作與維持	設計者必須提供操作與維持計畫給地主和此項施作之負責操作者。這項計畫必須有詳細施作與維持此項施作系統功能完全的架構。這也必須包含定期檢查和及時修復或替換損壞設備的計畫。		