

生態工程應用於台灣本島海岸之影響因子分析

許啓舜¹ 彭元興¹ 陳信泰² 陳宜清¹

¹大葉大學環境工程學系

²大葉大學休閒事業管理學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

摘要

台灣四周環海對海洋的依存度相當高，然而在經濟發展背後，生態環境不斷遭受破壞，本研究針對海岸生態工程從規劃到施工過程中所必須考量的影響因子，這些因子包括安全度、棲地穩定度、生態復育度、景觀度及經濟度等五項主影響因子，再分別列出每一項主影響因子之次影響因子，透過問卷調查方式，從領域專家與學者意見中發現，其中具有一致性的包括對工程的安全要求，以及在工程中兼顧景觀的執行困難度，另外本研究也發現，專家與學者在包括工程的耐久性，以及材質自然化的執行上有明顯的差異，此外在工程本身的成本考量上，專家傾向透過設計與管理降低成本，而學者則比較期待工程本身所營造出來的使用與非使用價值。

關鍵詞：生態工程，永續發展，生態友善度，生態效益

Influencing Factors Analysis of Ecological Engineering Applied to the Coast of Taiwan

CHI-SHUN HSU¹, YUAN-SHING PERNG¹, HSIN-TAI CHEN² and YI-CHING CHEN¹

¹Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

²Department of Leisure and Recreation Management, Da-Yeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Taiwan is surrounded by a body of water, and its dependence on the ocean is relatively high. However, the environment has faced destruction because of economic development. This study focuses on the impact factors of coastal ecological engineering from the planning phase to the construction process. These factors included safety, habitat stability, ecological restoration, landscape degree and the economy. The secondary impact factors for each primary factor were considered. This study obtained the opinions of experts and scholars in the field of coastal ecological engineering through a questionnaire survey. Based on the results, the requirements for project safety and executive difficulty on the landscapes were consistent. However, there were significant differences including the durability of the project and the naturalized materials. From the perspective of cost, experts prefer to reduce costs through design and management, although scholars look forward to the use of non-use values create form project itself.

Key Words: ecological engineering, sustainable development, degree of eco-friendliness,
Eco-efficiency

一、前言

地球上約有百分之七十的面積被海洋所覆蓋，海洋可以說是地球上最大的自然資源與生物基因庫，與人類生存系統和生物循環系統有著環環相扣的緊密關係，然而隨著資本主義的興起，海洋資源被當成獲利的工具而毫無節制的使用，在社會主義國家亦被當成提供勞動目的的因素而被久藏於資源的背後。而當海洋被濫用的邊際成本不再是負或零的時候，也就是說當我們在使用海洋資源的時候必需支付相當的代價，此時海洋即不再具備自由財的性質。

海洋在過去的數個世紀的經濟發展過程中，一直被定位為生產目的，亦即著重在海洋魚類捕撈所帶來的經濟價值，其價值評估只著眼於有形的經濟價值（intangible economic value），也就是對海洋資源的直接使用價值（direct use value）。然而隨著經濟的發展，海洋資源出現稀少性，其稀少的原因除海洋漁業過度捕撈之外，也肇因於人類對海洋依存度增加，海洋不再單純的只提供實質的生產形式

價值，其效益也由直接使用效益提升到間接使用效益（indirect use efficiency，這種變化的原因係因為海洋價值與功能的多元化，綜觀各專家學者的看法，海洋至少具有下列幾種價值：

- （一） 漁業產出價值：包含漁業捕撈及副產品、材料等價值。
- （二） 國土保安價值：包含戰略、國家安全功能等價值。
- （三） 環境保育價值：包含調節氣候、固氮減碳、降低環境衝擊等價值。
- （四） 生物多樣性價值：包含提供有機質育床、生物棲息地及多樣性生物基因庫等價值。
- （五） 旅遊休憩價值：包含提供體驗活動、休閒空間及文化創投等價值。

世界企業永續發展委員會（WBCSD）於 1992 地球高峰會（Earth Summit）在里約熱內盧（Rio de Janeiro）召開大會前即提出「生態效益（Eco-efficiency）」概念，這種將經濟與環境的進步與發展做關聯性結合的概念，隨著環境問題的突顯，已經被企業界廣泛的接受，其目的在於將資源做更有效率的利用，且同時兼顧較低的环境污染影響。世界企業永續發展委員會所定義的生態效益指標有七點[14,26,27];

Lovins, 2008)：

- （一） 減少商品和服務的原料密集度（reduction in the material intensity of goods or services）
- （二） 減少商品和服務的能源密集度（reduction in the energy intensity of goods or services）
- （三） 減少有毒物的擴散（reduced dispersion of toxic materials）
- （四） 提高原料的可回收性（improved recyclability）
- （五） 使可更新的資源達到最大限度的永續經營（maximum use of renewable resources）
- （六） 延長產品的耐久性（greater durability of products）
- （七） 增加商品和服務的服務強度（increased service intensity of goods and services）

Robert Costanza et al.[23] 的調查報告中公佈了全球海洋在 1994 年對人類的生態服務價值的評估結果，Robert Costanza 等人將生態系統分類為氣體調節（Gas regulation）、氣候調解（climate regulation）、干擾調節（disturbance regulation）、水調節（water regulation）、水源供給（water supply）、侵蝕控制（erosion control）、土壤形成（soil formation）、養分循環（nutrient cycling）、廢棄物處理（waste treatment）、授粉（pollination）、生物控制（biological control）、棲地（habitat）、食物產量（food production）、原材料（raw materials）、遺傳資源（genetic resources）、休閒（recreation）和文化形態（cultural）等 17 項，其價值約為 33 兆美元，相當於當年度全球 GNP 的 1.8 倍，換算成單位面積，每公頃（ha）海洋平均提供每人每年的生態服務價值大約為 631 美元。若相較於整個生態系統，海洋所提供的服務價值佔整個生態服務價值的 63%，可以說是相當重要的自然資源。

然而即使眾多的研究報告都顯示海洋生態的價值性相當高[21]，但是多數的企業甚至國家卻都不願意把海洋視為可以永續經營的獲利型資產，即使在生態保育概念抬頭，環境具有收益性概念成為全球性的共識之後，世界各國投注在海洋生態保育上的資金，仍然只佔 GNP 的一小部份。探究其原因，最大的癥結點乃在於海洋生態的價值除了不易評估外，其需長期投資及長回收期間的特性，也往往讓有意願的

投資者在獲利評估後卻步。

二、文獻探討

(一) 生態工程在台灣本島海岸實施之必要性

1. 台灣本島海岸現況分析

(1) 海岸的類型

營建署永續海岸整體發展方案(核定本)[5]將人工海岸定義為：已施設人工設施，如堤防、港口、消波塊、海埔地、排水道等，在這個定義之下，統計 2008 年台灣本島各縣市海岸線資料，總計海岸線全長 1,318.778 公里，而其中自然海岸線長度 587.805 公里，佔海岸線總長度的 44.57%，人工海岸線長度 730.973 公里，佔海岸線總長度的 55.43%，以縣市來說，屏東縣自然海岸佔海岸長度的比例最高為 74.80%，最低的則為縣市合併前的高雄縣 4.95%[7]。

(2) 海岸開發現狀分析

(A) 土地資源分配

台灣土地面積 3 萬 6 千平方公里，其中山坡地及高山佔 73.6%，可用耕地約為 1 萬平方公里，民國 60 年代以後隨著經濟的發展，不斷的將耕地開發為工商業使用，使得可用耕地逐年減少，其間雖然經過政府積極開發河川新生地及海埔新生地，但仍然抵不過工商業開發的速度，依經濟部水利署的統計，目前可耕地面積約只剩下 0.87 萬平方公里，佔國土面積的 24.2%[6]。

(B) 海岸地區開發用途

政府在民國 50 年代即開始規劃開發海埔地，在既有土地不敷使用，及取得成本不斷上揚的壓力之下，近岸土地的開發不斷加速，其規模也不斷擴大，一直到民國 80 年代「彰化濱海工業區」及「雲林麥寮離島工業區」開發而達到高峰，直到民國 83 年「環境影響評估法」公佈之後，才使得因環境評估程序的層層把關而放慢腳步。

目前近岸海埔地的開發用途，大致可分為各型漁港、工商業港埠、綜合遊憩港區、濱海工業區、發電廠、污水及工業廢棄物處理廠等，這些開發案的確為土地利用飽和的地區爭取到相對便宜的用地，但也因此造成目前台灣海岸線不斷人工化，抽砂造陸的結果造成鄰近地區海岸線侵蝕後退，原先在西部海岸線的溼地生態逐漸消失，原有的親水空間也被一道道的海堤阻隔。

(C) 海岸開發衍伸的問題

海岸的開發雖然為人類爭取了較多的活動空間，但是這

些開發活動同樣也帶來了許多的問題，這些問題可能包括規劃不當或是施工不良等人為因素：

(a) 漁港的過度與不當開發

台灣本島各縣市海岸線資料，總計海岸線全長約 1,319 公里，而截至民國 98 年 4 月止，經行政院農業委員會公告指定之漁港共 139 處，也就是說台灣地區平均每 9.5 公里海岸即有一座漁港之設置，而從漁業生產量的統計數據來看，漁獲量從民國 88 年的 1364 千噸遞減至 98 年的 1089 千噸，減少幅度約 20%。另外從漁船筏的統計資料也顯示，漁船數量從民國 88 年的 27000 艘遞減到 98 年的 24173 艘，減少幅度約 10.5%，若從漁業從業人數來看，民國 98 年台灣地區從事漁業人口，含專業及兼業合計約 34.5 萬人，卻只佔台灣人口比例的 1.5%，民國 98 年台灣地區國民生產毛額 GNP 約 12 兆 5 千億元，漁業生產總產值約 860 億元，只佔 0.7%。相對於民國 88 年以來漁獲量及漁船筏數量的遞減，從漁港數量的統計資料來看，民國 82 年至 97 年之間台灣地區漁港數量約維持在 230 處左右，期間並無明顯變化，可見政府在對於漁港的規劃與開發並沒有周延的長程計畫，過度與不當的開發不僅造成財政的浪費，也改變了海岸生態的平衡機制[8]。

(b) 濱海工業區阻斷沿岸流與生物遷徙廊道

根據內政部營建署營建業務綜合計畫組公告的資料顯示，從民國 84 年至 97 年海埔地的開發案有 10 個，其開發資料整理如表 1：

這些海埔地的開發通常必須搭配許多的工程設施，例如堤防、防波堤等，不只是在工程進行中對原有生態的擾動，即使工程完工之後仍然繼續影響沿岸生態系統的均衡，這些影響包括生物的移動、棲地的破壞等，都將造成日後無可彌補或必須花費更多的補償才能將其復原。

(c) 近岸地區養殖漁業的威脅

遠洋及近海漁業一直是台灣漁業發展的最主要項目，然而隨著全球漁業資源的萎縮以及生態保育觀念的抬頭，迫使漁業發展的方向轉為養殖，近海養殖所造成的沿海地區地層下陷問題，一直是個揮之不去的夢魘，地層下陷的結果，不只造成沿海地區屢屢因為海水倒灌飽受淹水之苦，更嚴重的是地層下陷的結果使得近岸地區土壤加速鹽化，改變了近岸

表 1. 歷年海埔地開發計畫

| 開發案名稱 | 開發面積/單位：公頃 |
|------------------------------------|---|
| 淡海新市鎮特定區計畫綜合示範社區開發工程築堤造地工程（1995） | 海埔地填築面積，約 38.6 公頃（包括海堤及填土工程） |
| 興達火力發電廠岸邊築堤填灰場中期工程（1995） | 開發總面積：海域 32 公頃 |
| 南星計畫中程計畫（1995） | 開發總面積：陸域 50 公頃、海域 136 公頃、合計 186 公頃 |
| 林口發電廠第二期灰塘工程（2001） | 開發總面積：海域約 21 公頃 |
| 大台北地區工程剩餘土石方填海計畫（2002） | 申請面積：全區均為海域約 380 公頃 |
| 新竹市客雅污水處理廠暨用地填築海埔地開發計畫工程（2002） | 開發面積：17.2 公頃，其中陸域 1.2 公頃，海域 16 公頃 |
| 高雄縣永安鄉海岸地區海埔新生地開發計畫（2003） | 開發面積：分為南、北二填築區，合計約 239.71 公頃，其中陸域面積約 203.84 公頃，水域面積約 35.87 公頃 |
| 苗栗縣通霄南區海埔地造地開發計畫（2004） | 申請面積：填海造地未登地 118.43 公頃，已登錄國有地約 49.56 公頃，合計約 166 公頃 |
| 高雄中區污水處理廠提昇二級處理海埔地開發計畫工程（2005） | 申請面積：開發區現況為海灘及水域。約 26.4928 公頃 |
| 大潭濱海特定工業區（第 2 期）開發計畫暨可行性規劃報告（2008） | 申請面積：陸域面積約 23.33 公頃，海域面積約 20.71 公頃，合計約 44.04 公頃 |

整理自內政部營建署資料[6]

地區的生態模式，近年來政府雖然投入大量經費在進行防治的工作，也將淡水養殖轉為海水的箱網養殖型態，但受到成本及技術因素的影響，成果仍然相當有限。

(d) 發電廠及廢棄物處理區的開發

台灣地區因應經濟發展需要，不斷開發新的發電設施，然受限於氣候及地理位置因素，水利及風力等再生能源開發一直受到限制，使得規模不易擴大，因此火力發電一直是台灣主要的電力來源，民國 68 年第一座核能發電廠開始商業運轉發電後，台灣的能源政策逐漸轉型。但是不管是火力或核能發電，都需要大量的用水來降溫，因此廠址的選擇大都在近岸地區，特別是核能發電廠利用大量海水降溫，常造成沿岸生物的浩劫，墾丁海域受到核三廠排放溫水而白化即是常被保育團體批評的話題。

除了發電廠的設置之外，政府近年來也積極投入都市地區下水道幹管的埋設，而截流汙水的處理場則大都選擇近岸地區，處理後的水再透過海洋放流管（marine discharge pipes）放流到大海，這些經過處理後的事業廢、汙水雖然

大都合乎放流水法令標準，但難免有人為疏忽等事件的發生，其次出水管口對生物棲地擾動仍然會造成不可預知的影響。

2. 永續發展所規劃生態遠景

永續發展（Sustainable development）的概念來自於人類面臨生存環境受到威脅，也就是當人類從環境中取得資源的機會成本不斷增加時，如何兼顧需求的滿足與環境資源的耗損，便成了 80 年代以後的重要議題，1987 年世界環境與發展委員會（World Commission on Environment and Development），在《我們共同的未來》（Our Common Future）中對永續發展提出定義：「既能滿足當代的需求，又不損害後代子孫需求滿足的能力（development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs）」。

永續發展的重要精神在於追求社會、經濟與環境三面向的均衡發展，而 Ranganathan et al.[24] 亦在其「永續的徵兆 - 企業環境和社會績效的衡量（Signs of sustainability:

measuring corporate environmental and social performance)」一書中，描述社會績效 (Social performance) - 環境績效 (Environmental performance) - 經濟績效 (Economic performance) 三者之間的關聯性如圖 1

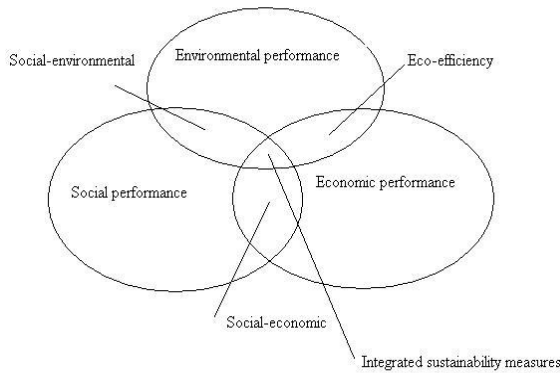


圖 1 永續性量測之關聯 (參考 Ranganathan, 1999)

(1)「21 世紀議程」－永續發展策略綱領 (2000 年)

經過民國六十到八十年代的經濟發展之後，台灣積極走入國際社會，面對各種環境議題逐漸受到重視，台灣自然也不能置身事外，政府於 87 年完成『21 世紀議程－中華民國永續發展策略綱領』初稿，經過多次專家、學者座談建議，並參酌各種全國性重要會議結論，於 89 年修訂完稿，循「永續的資源」、「永續的社會」、「永續的經濟」三大面，提出「永續的生態」、「適意的環境」、「安全的社會」與「開放的經濟」等四大永續發展願景及十大基本原則，其中有關海洋資源部分，對於棲地破壞採取管制措施，而在生物多樣性部分，則著重在遺傳多樣性、物種多樣性和生態多樣性三方面，運用不同空間尺度上的研究與保育，來確保生物多樣性永續利用，至於在環境管理部分，則將合自然保育、污染預防、環境承載能力及綠色消費等環境管理策略加以有效整合，以達到資源、社會和經濟的永續性[3]。

(2)「永續海岸整體發展計畫」(2007 年)

我國對於海岸地區保護真正開始，是從 1984 年行政院核定實施「台灣沿海地區自然環境保護計畫」之後，2005 年行政院核定的「國土復育策略方案暨行動計畫」，將人工海岸線定義為在海岸地區構築人工設施者，如堤防、港口、消波塊、海埔地、排水道者，而扣除人工海岸部分者則屬自然海岸。

在「永續海岸整體發展計畫」中，將自然海岸線零損失定為短期發展策略，具體策略有不再新建或擴建漁港，最接

近海岸第一條公路向海之陸域地區，不再建設國道及省道，中央亦不補助建設縣道、鄉道等地方道路經費，一般性海堤原則不再新建，已興建但無保護標的且景觀不良者，經檢討無安全顧慮並取得各界共識後予以拆除，在海埔地開發方面，不得位於國家公園區、依法劃(指)定公告之保育區、保護區或保留區、臺灣沿海地區自然環境保護計畫核定公告之自然保護區等 5 公里外之範圍或一般保護區內，至於長期發展策略，則以永續海岸為目標而提出十點行動方針，包括保護重要海岸、復育劣化生態資源及整建改善海岸景觀等 [5]。

(3)聯合國海洋法公約(United Nations Convention on the Law of the Sea)

1994 年正式生效的聯合國海洋法公約，其中第二部分確定了各國不超過 12 海浬的領海寬度，與所屬非無害通過之權利與義務，此外第五部分也定義了不超過 200 海浬專屬經濟區的範圍，確立以勘探、開發、養護和管理等目的的主權權利，和海洋環境保護、保全等義務，這其中更對高度迴游魚種、海洋哺乳動物、溯河產卵種群、降河產卵魚種等的養護與捕撈提出規範。

(二)海洋生態價值

海洋對於人類生存空間所具備的輔助價值一直以來都是被肯定的，但是其價值卻因為無法被有效評估，以致缺乏令人信服的數據，綜觀其原因包括目前對海洋生態保護的研究都是屬於區域性的，不是全面的保護所有的棲地和種群 [12]。

(三)生態工程在台灣本島海岸實施類型

1. 生態工程(法)的意義

生態工法 (Ecotechnology) 又稱近自然工法，是人類歷經將環境與資源視為經濟發展墊腳石之後的反思，針對生物多樣性保育，及永續發展的人與環境和諧共生的新價值觀，透過新的工程思維營造與自然相近的環境生態。1938 年德國 Seifert 首先提出近自然河溪整治的概念 (Naturnäherer Wasserbau)，1962 年 Odum 首次提出生態工程 (ecological engineering) [20] 這個名稱，1989 年 Mitsch 和 Jørgensen 從生態系的基礎提出生態工程觀念。Odum[22] 和 Mitsch[18] 從生態系統的觀點提出自我設計 (self-design) 的生態工程概念，兩人基本上都認為當生態系統發生改變時，系統本身即會產生一種自我調適的功能，這種功能就是「自我設計」的基礎，Mitsch and Jørgensen[19] 認為自我設計可能是生態

工程最基礎的概念，且將自我設計定義為自我組織（self-organization）在生態系統設計上的應用。

Odum[20]將生態工程定義為：「人類所施加跟自然資源不甚相關的能量，但卻會導致事件的結果與過程產生重大的影響」。在 Odum 之後陸續有學者對生態工程提出看法，有的則將生態工程定義為對人類社會及自然環境雙贏的設計[15,16]，也有定義為整合人類社會與自然環境共同受益的永續生態系統設計[17,18]。Mitsch and Jørgensen[19]則從生態工程應包含創造與復原對人類和自然都有價值的永續生態系統的論點，提出生態工程的兩項目標（1）復原長期以來被人類活動所干擾的生態系統，（2）發展新的對人類和生態有價值的永續生態系統。Bulleri[11]也認為將人工結構物引進近岸地區造成生態改變的議題已經開始受到重視。

2. 生態工程的規劃原則

在經濟發展的過程中，工程的效益與成本考量一直以來都凌駕於生態價值之上，但是隨著人類生存不斷的受到過去行為所造成後果的威脅之下，我們必須真切的反思，將工程與生態整合成一個領域的時機已經成熟，兩者不該再被對立的分開，生態學也不應該被放在工程課程之下[19]。Jørgensen & Nielsen[13]在探討生態工程在農業上的應用時，引伸 Mitsch and Jørgensen[15] and Straskraba[25]的理論基礎，提出了 12 個已經被應用，但卻也常被忽視或刻意避開的生態工程原則。此外海岸結構物的設置經常會改變近岸水流的方向因此在從事海岸工程設計實應加以考慮[10]。

Bergen et al.[9]提出五個在生態工程設計上應考量的原則：

- (1) 設計應符合生態學原理 (design consistent with ecological principles)
- (2) 設計應符合當地的特殊環境 (design for site-specific Context)
- (3) 設計時應保有較寬廣的設計功能需求 (maintain the independence of design functional requirements)
- (4) 設計時應注重能量和資訊的效率 (design for efficiency in energy and information)
- (5) 體認設計的價值與目的 (acknowledge the values and purposes that motivate design)

郭金棟[2]認為近自然工法不僅是在追求對「自然的渴望」、「美的憧憬」與「回歸自然」等感性的滿足，更是要追求「合理性」、「效率性」、「多樣性」與「經濟性」等理性的

思考，他從海岸生態工程的經驗提出 4 項規劃設計理念：

- (1) 尊重自然預留空間-人與自然之和諧
- (2) 生態多樣性之確保-人與生態之共生
- (3) 景觀環境之融合-共享自然景觀
- (4) 親水休閒環境之創造-促進人與人之和諧

郭金棟教授認為，如果為了施作海岸保護設施而不得已佔用或破壞海岸土地時，應當對環境採取補償措施加以彌補，而緩和措施則應依（1）迴避（2）縮小（3）代替（4）修復（5）補償等優先順序處理。

3. 海岸生態工程的應用型態

(1) 台南縣七股護沙生態工程

經濟部水利署根據長期觀察資料，30 年來，七股潟湖離島的網仔寮汕平均每年退縮 30 公尺，潟湖的面積也從 1600 公頃減縮至 1100 公頃。2006 年台南縣七股漁民與縣府為保護寶貴的自然溼地，決定積極採取護沙行動。

(A) 工程期間：2007~2008

(B) 工程概述：

七股潟湖離島的網仔寮汕，長期以來受到東北季風的影響，2007 年當地居民與志工，依不同季節分為「秋末冬初編置攔沙竹架」，在七股潟湖南端的頂頭額汕，以竹枝定沙的方式為七股潟湖建立保護屏障，將沙沈降在竹枝搭成的竹籬南北方，形成一處處的沙丘，之後於春天植生並進行全年監測，此外台南縣水利局也配合以海事固袋工程法、沙腸袋、竹樁等方法維護七股海岸。

(2) 花蓮縣七星潭海岸

七星潭海岸受到季風的影響，經年浪潮不斷的沖刷，使得原本的海岸線不斷往後退縮，歷經 2003 年 9 月杜鵑颱風之後的修復，在 2004 年 12 月的南瑪督颱風再度造成部分損壞。

(A) 工程期間：2007~2008

(B) 工程概述：

前坡採塊石拋填，以 40 公分以上塊石，坡度比 1：4，厚度除了基腳 1.5 公尺外，餘採 1 公尺設計，後坡則採土坡設計，坡度 1：3，並於其上鋪植假儉草。

(3) 台南安平港人工養灘

安平港因應進港船舶噸位增加及碼頭營運需求，進行港內航道及迴船水域疏浚作業，設計施工單位將疏浚的土方除了作為港埠用地回填，以及施工中沉箱充填外，也將部份剩餘土方作為海岸養灘之料源，進行海岸整治工程。

(A) 工程期間：2002~2004

(B) 工程概述：

安平港海岸整治工程，於商港北防波堤及漁港南防波堤，各建造一座長約 350m 及 300m 的馬刺型突堤，做為穩定沙灘之岬頭，然後在兩岬頭之間進行人工養灘，總養灘所需沙量約 150 萬方。工程之後，漂沙受到南北突堤遮蔽影響，在堤後養灘區沉積使得淤積現象更為明顯，但兩突堤之間的近岸區域，則受到波浪侵襲反而產生侵蝕現象，馬刺型突堤的構築，使得原先平直的海岸自然調整為灣月型，改變海岸各區段之侵淤結果，除近岸中間偏北區域尚呈些微侵蝕之外，整體海岸則有穩定且略為淤積的現象[1,4]。

三、研究方法

(一) 施測對象

本研究採專家問卷方式，從相關領域之學界與工程界選出 30 位專家學者作為施測對象，工程界中包含國內從事海岸工程計劃與施工經驗豐富之中興工程、台灣世曦工程、環興科技等，而學者則包含國內各大學中設有海洋工程或生態、土木等相關科系之研究人員，包括海洋大學、中山大學、交通大學及成功大學等。

(二) 問卷內容與施測方法

問卷內容之設計方式，係將主影響因子與次影響因子，針對影響強度分別給於 1~5 分，其中 5 分代表影響強度最大，而在執行難易度上亦給於 1~5 分，其中 5 分代表執行難度最高。問卷填答方式則以郵寄方式由被選定的專家學者填答之後回收，再以 SPSS 統計軟體進行敘述性統計與 t 分配統計，經第一次問卷施測之後進行分析，然後再將其中偏離程度較大之專家學者問卷結果，個別通知原填答者詢問其是否進行修正，總計回收之有效問卷高達 29 份。至於問卷內容之設計則參考郭金棟[2]所著之海岸保護，針對海岸工程對生態之友善度提出評估項目如下：

(三) 敘述性統計分析

本研究利用 SPSS 軟體對資料進行相關分析，茲將分析結果分述如下：

1. 主影響因子

針對生態友善度，本研究提出五項主影響因子，再將每一項影響因子依影響程度及執行難易度分別給予 1 到 5 的數字，5 代表影響程度最大及執行難易度最高，其定義如下：

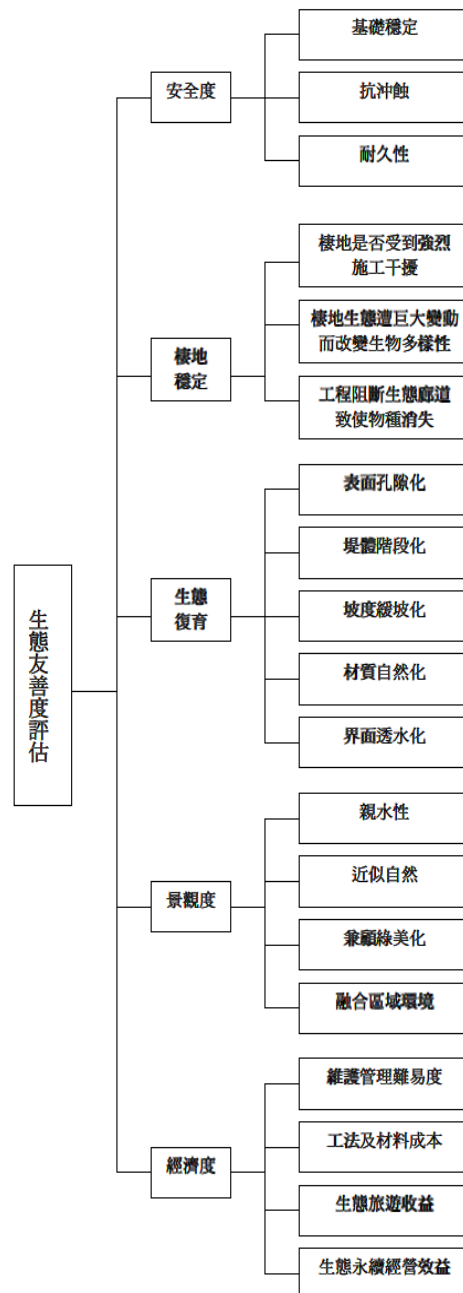


圖 2：生態友善度影響因子架構

- (1) 安全度：工法以及工程的安全性、能有效保障鄰近居民生命財產安全。
- (2) 棲地穩定度：減低工程進行當中及工程進行後對棲地造成干擾，影響生物多樣性。
- (3) 生態復育度：透過工法的設計，能儘速復原工程的干擾，甚至讓生態環境更豐盛。
- (4) 景觀度：避免人工化影響視覺景觀及民眾親水性，整合區域整體環境規劃。
- (5) 經濟度：降低工程及後續維護成本，創造遊憩休閒

空間，提升生態經濟價值。

2. 次影響因子

在每一項主影響因子之下，分別提出數項次影響因子，其分項與定義如下：

(1) 安全度

- (A) 基礎穩定：基礎安定能抵抗發生頻率為五十年一次之暴潮，及地層下陷之破壞。
- (B) 抗沖蝕：工程本身能對抗近岸流、沿岸流等造成之沖刷破壞。
- (C) 耐久性：在安全無虞的情況下，使用年限至少五十年以上。

(2) 棲地穩定度

- (A) 棲地是否受到強烈施工干擾：減低施工過程所造成的擾動及汙染導致棲地發生短期干擾。
- (B) 棲地生態遭巨大變動而改變生物多樣性：避免工程設計不當改變生物棲地原有的生態平衡，造成物種之間數量變化。
- (C) 工程阻斷生態廊道致使物種消失：避免工程設施阻斷生物遷移的路徑，導致生物習性改變而消滅。

(3) 生態復育度

- (A) 表面孔隙化：結構物表面設計能讓附著性生物棲息，形成優良的藻場。
- (B) 堤體階段化：結構物採階段複合設計以降低高度，減少對生態的衝擊。
- (C) 坡度緩坡化：以緩坡式設計減少溯升波對結構物本身之衝擊。
- (D) 材質自然化：材料儘量採用自然材質或自施工當地取得，避免造成環境改變過大。
- (E) 界面透水化：具良好透水性，可涵養水源及淨化水質。

(4) 景觀度

- (A) 親水性：營造親水空間，使人有貼近自然的機會。
- (B) 近似自然：工程以不改變自然環境為設計主軸，維持原有景觀狀態。
- (C) 兼顧綠美化：透過綠美化設計，減少對原有景觀的衝擊，甚至創造更優越景觀空間。
- (D) 融合區域環境：結合鄰近區域之景觀風貌，創造工程本身以外之附加價值。

(5) 經濟度

(A) 維護管理難易度：降低工程後續的維護及管理難易程度及所需費用。

(B) 工法及材料成本：降低工法及使用材料成本。

(C) 生態旅遊收益：提升作為生態旅遊空間所能創造的實際收益。

(D) 生態永續經營效益：提升環境管理所產生的使用及非使用價值。

3. 統計分析結果

(1) 主影響因子

| 影響因子 | 影響強度 | 執行難易度 |
|-------|------|-------|
| 安全度 | 3.9 | 3.2 |
| 棲地穩定度 | 3.4 | 2.4 |
| 生態復育度 | 3.4 | 2.7 |
| 景觀度 | 3.4 | 3.6 |
| 經濟度 | 3.4 | 3.1 |

(2) 次影響因子-安全度

| 影響因子 | 影響強度 | 執行難易度 |
|------|------|-------|
| 基礎穩定 | 3.7 | 3.1 |
| 抗沖蝕 | 3.6 | 3.1 |
| 耐久性 | 3.5 | 3.2 |

(3) 次影響因子-棲地穩定度

| 影響因子 | 影響強度 | 執行難易度 |
|-------------------|------|-------|
| 棲地是否受到強烈施工干擾 | 3.6 | 2.6 |
| 棲地生態遭巨大變動而改變生物多樣性 | 3.7 | 2.6 |
| 工程阻斷生態廊道致使物種消失 | 3.9 | 2.8 |

(4) 次影響因子-生態復育度

| 影響因子 | 影響強度 | 執行難易度 |
|-------|------|-------|
| 表面孔隙化 | 3.9 | 3.5 |
| 堤體階段化 | 3.1 | 3.2 |
| 坡度緩坡化 | 3.7 | 3.2 |
| 材質自然化 | 3.5 | 2.9 |
| 界面透水化 | 3.7 | 3.2 |

(5) 次影響因子-景觀度

| 影響因子 | 影響強度 | 執行難易度 |
|--------|------|-------|
| 親水性 | 4.0 | 3.6 |
| 近似自然 | 3.9 | 2.9 |
| 兼顧綠美化 | 3.7 | 3.6 |
| 融合區域環境 | 3.6 | 3.4 |

(6) 次影響因子-經濟度

| 影響因子 | 影響強度 | 執行難易度 |
|----------|------|-------|
| 維護管理難易度 | 3.6 | 2.7 |
| 工法及材料成本 | 3.4 | 2.8 |
| 生態旅遊效益 | 3.2 | 2.7 |
| 生態永續經營效益 | 3.5 | 3.0 |

(四) t 檢定分析

專家與學者的看法，對於各個主影響因子與次影響因子在影響強度與執行難易度的看法差異性，在 95% 的信心水準之下，t 檢定的結果達到顯著的包括有

| 項目名稱 | 顯著性 |
|-------------------|------|
| 耐久性_執行難易度 | 0.04 |
| 棲地是否受到強烈施工干擾_影響強度 | 0.03 |
| 堤體階段化_影響強度 | 0.02 |
| 材質自然化_執行難易度 | 0.04 |
| 兼顧綠美化_影響強度 | 0.03 |
| 生態旅遊效益_影響強度 | 0.02 |

四、結果與討論

根據敘述性統計及 t 分配分析，本研究獲致下列的結果

(一) 安全度仍是整個生態工程的重點

在主影響因素的分析中，五項影響因子在影響強度均達到 3.4 以上，其中「安全度」更高達 3.9，經 t 檢定的結果，專家與學者的看法並無明顯差異，表示在生態工程的設計上，安全考量仍然被視為最優先考量的因素，但即使如此，從其他四項因子的影響強度皆比中間值高出許多來看，對於工程對生態是否造成影響也逐漸的受到相當大的重視，這現象已經比數十年前以工程安全及經濟發展因素而放任生態被犧牲的情況大大改善。

然而即使「安全度」受到最大的重視，但若從執行難易度來看，「景觀度」還大於「安全度」，這結果顯示在海岸工

程設計上，要達到兼顧生態環境，不論專家或學者都認為相當困難。在「安全度」的次影響因子中，專家與學者明顯有不同看法，且達到顯著的項目是「耐久性」的執行難易度，工程專家認為海岸生態工程要達到耐久是相當困難的，探究其原因應該是生態工程的作法，是儘量不用人工構造物，在兼顧美觀與不破壞原棲地生態的條件下，使用的材料大都為天然材質且取材自當地環境，在工程本身無法有效防潮禦浪，而在工程的安全性計算亦無法精確掌握，因此被工程專家認為執行的困難度相當高，這一點也可以從「生態復育度」中的「材質自然化」執行難易度，專家與學者明顯不同看的出來。

(二)「維持棲地穩定」在工程執行上被認為是不困難的

在海岸生態工程的施工過程中，兼顧維持生物棲地的穩定，不論工程專家或學者都認為並不難達到，但如果從次影響因子的重要性加以分析，卻發現在施工過程中是否會對生物棲地造成干擾，工程專家與學者持不同的看法，學者認為影響很嚴重，而工程專家雖然也認同工程施作會對生物棲地造成干擾，但影響的強度卻不如改變生物多樣性，與使物種消失來的重要，探究其原因應該是工程專家認為工程技術的成熟，可以透過工程設計與施工管理來有效減少施工中對環境的干擾，但對於無法以工程方法有效計算的生物多樣性維持，則不抱太大的信心。

(三) 相較於其他主影響因子，「景觀度」在影響強度與執行難易度結果較一致

「景觀度」的影響強度雖然不像對「安全度」的要求那麼高，對比較其執行難易度的分析結果，可以發現不論專家或學者對於生態工程的景觀要求相當高，但同時卻也認為在實際的工程執行上卻是相當困難，探究其原因，生態工程的要求以接近自然為目標，這點可以從生態工法又名「近自然工法」得知，但是若要工程接近自然，其設計上所考量的因素必然不是單純的工程結構力學所能涵蓋，包括所使用的材料取得，以及原始生態資料的取得等皆是相當困難的，加上台灣地區處在颱風與地震帶，每年因為颱風所帶來的暴潮以及地震對基礎結構的破壞，都是工程專家與學者無法確切掌握的外在因素，因此即使是對生態維護多加維護的學者，也同樣認為在執行上是相當難以達到的。

(四)「表面孔隙化」對生態復育的影響強度與執行難易度皆最大

「生態復育度」中每一個影響因子的影響強度，不論專

家或學者均認為相當重要，至於執行難易度除「材質自然化」接近中間值之外，其餘項目也都被認為是在執行上有一定的困難度，這其中在「表面孔隙化」，不論是在影響強度或執行難易度皆最高，探究其原因應該是根據多項研究證實，海岸工程量體表面的孔隙程度，是影響近海浮游生物與浮游植物附著生長的重要因素，如國外有人工礁球的海岸工程結構設計概念，而且經證實是利生物棲息繁殖的，但另一方面工程結構物本身孔隙化程度，勢必影響工程結構設計的精確程度，且孔隙率如何精準設計，其與生物棲息量的增加是否有一定的正向線性關係，目前尚沒有確切的研究定論，因此被認為在執行上有一定的困難度。

(五) 在「兼顧綠美化」及「生態旅遊效益」影響強度，學者與專家明顯看法不同

雖然工程專家也認為「兼顧綠美化」及「生態旅遊效益」都是重要的，但相對於學者對此兩項影響因子的重視程度，則有顯著不同，從此點可以看出，學者對於海岸生態工程的看法偏向對於生態環境的營造，而比較不重視工程本身的營造成本，反而期望透過對生態環境的營造與管理產生使用與非使用價值，透過生態旅遊的綠色概念，產生實質的經濟效益。

五、結論與建議

本文以生態工程中的海岸工程做為研究主軸，最主要原因是台灣四周環海，在地理景觀上有相當豐富的資源可供利用，若能有效的結合工程方法，營造休憩觀光價值，不僅能轉變台灣產業發展型態，也能達到永續發展的目標。從研究的結果可歸納如下結論

- (一) 生態工程的疑慮仍然圍繞在工程本身是否達到安全的要求上。
- (二) 生態工程的設計在景觀的要求上，至少應該做到滿足「親水性」以及「接近自然」等人類需求。
- (三) 從「生態復育度」來看，工程結構體的設計與材質的使用，在執行難易度上都相當高，可見得目前所使用的生態工程材料必須要再加以改進或尋找更多的替代品。
- (四) 專家與學者在諸多的看法上產生差異，這種情形對生態工程的推動必然產生不利的影響。

針對本研究的結果，從生態工程永續發展的觀點，提出如下的建議：

- (一) 海岸生態工程受到氣候因素影響頗大，為讓民眾對生態工程的推動不再有安全疑慮，應該建立完整的海象資料觀測與記錄，而目前的資料觀測站數量不足是一大隱憂。
- (二) 目前台灣地區現有的海岸生態工程資料有限，本研究中所提出的工程案例也僅是小規模的工程施作，這些小型工程本身雖然略具成效，但若真正的達到生態工程所想要達到的目標，其實還有相當大的距離尚待努力。因此政府應該結合鄰近國家的施作經驗，進行有計畫的生態工程營造，將台灣海岸回復過去的自然景觀。

參考文獻

1. 交通部高雄港務局（民 78），安平港鄰近海岸整治規劃、設計及漁光橋設計服務—人工養灘方式專題研究。
2. 郭金棟（民 93），海岸保護，頁 351-355，科技圖書，臺灣。
3. 行政院國家永續發展委員會（民 93），臺灣 21 世紀議程—國家永續發展願景與策略綱領。
4. 陳建中、吳南靖、朱志誠（民 95），安平港人工養灘前後之地形變化探討，中華技術，70，50-57。
5. 內政部營建署（民 96），永續海岸整體發展方案（核定本）。
6. 內政部營建署綜合計畫組（101 年 4 月 2 日），歷年海埔地開發計畫，101 年 5 月 16 日，取自 http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=10177&Itemid=53
7. 內政部營建署綜合計畫組（101 年 5 月 9 日），自然海岸及人工海岸線長度，101 年 5 月 16 日，取自 http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=14251&Itemid=53
8. 行政院農業委員會漁業署（民 101），中華民國台閩地區漁業統計年報 100 年，國家網路書店。
9. Bergen, S. D., S. M. Bolton and J.L. Fridley (2001) Design principles for ecological engineering. *Ecological Engineering*, 18, 201-210.
10. Bertasi, F., M. A. Colangelo, M. Abbiati and V. U. Ceccherelli (2007) Effects of an artificial protection structure on the sandy shore macrofaunal community: the special case of Lido di Dante (Northern Adriatic Sea).

- Hydrobiologia*, 586, 277–290.
11. Bulleri, F. (2006) Is it time for urban ecology to include the marine realm? *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 658–659.
 12. Frascchetti, S., P. D. Ambrosio, F. Micheli, F. Pizzolante, S. Bussotti and A. Terlizzi (2009) Design of marine protected areas in a human-dominated seascape. *Marine Ecology Progress*, 375, 13–24.
 13. Jørgensen, S. E. and S. N. Nielsen (1996) Application of ecological engineering principles in agriculture. *Ecological Engineering*, 7 (4), 373–381.
 14. Lovins, L. H. (2008) *Rethinking production*, In: State of the World 2008.
 15. Mitsch, W. J. and S. E. Jorgensen (1989) *Introduction to Ecological Engineering*, In: Mitsch, W. J., Jorgensen, S. E. (Eds), *Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology*, 3–12. John Wiley & Sons, New York.
 16. Mitsch, W. J. (1993) Ecological Engineering—A Cooperative Role with the Planetary Life Support Systems, In: *Environmental Science & Technology*, 27, 438–445
 17. Mitsch, W. J. (1996) Ecological Engineering: a new paradigm for engineers and ecologists, In: P. C. Schulze (Editor), *Engineering within Ecological Constraints*. National Academy Press, Washington, D.C., 114–132
 18. Mitsch, W. J. (1998) Ecological engineering, the seven year itch, *Ecological Engineering*, 10, 119–138
 19. Mitsch, W. J. and S. E. Jørgensen (2003) Ecological engineering: A field whose time has come, *Ecological Engineering*, 20 (5), 363–377
 20. Odum, H. T. (1962) *Man and Ecosystem: Proceedings*, Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology. Bulletin Connecticut Agric. Station
 21. Odum, H. T., W. L. Slier, R. J. Beyers and N. Armstrong (1963) Experiments with Engineering of Marine Ecosystems, in: *Publication of the Institute of Marine Science of the University of Texas*, 9, 374–403
 22. Odum, H. T. (1989) *Ecological Engineering and Self-Organization*, 79–101. In: Mitsch, W. J., Jørgensen, S. E. (Editors), *Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology*. John Wiley & Sons, New York.
 23. Costanza R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limberg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton and M. Van Den Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 253–260.
 24. Ranganathan, J. (1999) *Signs of sustainability: measuring corporate environmental and social performance*, 475–495. In: Bennett, M. and James, P. (Eds), *Sustainable Measures: Evaluation and Reporting of Environmental and Social Performance*, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield.
 25. Straskraba, M. (1993) Ecotechnology as a new means for environmental management In: *Ecological Engineering*, 2 (4), 311–332.
 26. WBCSD (2000), Eco-Efficiency: Creating more value with less impact.
 27. WBCSD (2000), Measuring Eco-Efficiency: A guide to reporting company performance.

收件：101.04.16 修正：101.06.14 接受：101.08.17