

出國報告（出國類別：實習）

新電力設施海域生態補償機制

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：謝瑋師(一般工程師)

派赴國家：日本

出國期間：100年10月26日至11月1日

報告日期：100年12月30日

QP-08-00 F04

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：新電力設施海域生態補償機制

頁數 23 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

謝瑋師/台灣電力公司/環境保護處/一般工程師/02-23667208

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.10.26~100.11.1 出國地區：日本

報告日期：100.12.30

分類號/目

關鍵詞：生態補償、適應性管理、自然再生

內容摘要：(二百至三百字)

臨海不同地區之不同海岸設施將對生態環境造成不同之影響，且水質、波浪大小等海域條件亦會影響海域生物之生長環境，台灣西部、北部及東部海岸，依目前生態水質環境，均適合藻類附著生長於現有海岸保護結構物上，日本與台灣地理環境、地質條件等有諸多類似之處，在海域生態復育上亦有相當之努力，利用"海邊的自然再生"理念與"適應性管理"概念進行生物復育，日本境內目前已有許多成功案例，如位於東京都近郊的葛西臨海公園(Tokyo Sea Life Park)，規劃於海濱及陸域等進行整體自然生態系保存，且以自然的回復力使其再生，並輔以人為設計使其自然育成和回復，即為一規劃海濱自然保全、育成及回復的事例。本文電子檔已傳至出國報告資訊 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 次

壹、 出國目的	1
貳、 實習過程	2
參、 實習心得	2
一、 環境影響評估生態補償機制	2
二、 日本海岸管理方式	4
三、 日本自然復育案例分析	7
四、 台灣現有處境	12
五、 小結	16
肆、 建議事項	19
附錄一	21

壹、 出國目的

行政院環境保護署(以下簡稱環保署)自民國 83 年頒布「環境影響評估法」以來，陸續公告 11 個技術規範，針對空氣品質、噪音、海洋環境、動植物生態、健康風險等相關領域進行評估，以求減低開發計畫之環境影響衝擊。而隨著國內環保意識及永續發展理念逐漸發展，國人也日益注重自然環境的完整及初始性，提倡回歸自然、順應自然。

環保署於 100 年 7 月 12 日公告修正之「動物生態評估技術規範」，明定動物生態影響評估應依開發行為對生物的干擾與對棲息地的影響等予以考量，並視開發行為可能產生之化學性污染及物理、生物與棲息地變化、外來種之侵入等衝擊進行評估，並考量開發行為對於環境之影響，擬定減輕對策和生態補償措施，首次新增了生態補償相關規定，導入生態補償概念，考慮開發行為對環境所造成之破壞，並給予適當的補償。這次國內首次在相關法規中，提出生態補償理念，說明了生態補償乃是不得已的環評作業，生態環境之不可取代性，開發單位宜加以考慮，並進行必要之生態補償措施研擬。

其後，環保署並積極推動環境影響評估生態補償機制，自本(100)年度起陸續召開生態補償相關說明會、彙集各界意見研擬草案，並預計於 101 年完成技術規範之修訂，102 年正式實施上路。屆時，開發單位必須就開發計畫影響之生態環境，進行生態補償。

本公司核能、火力及風力發電等新電力設施使用部分海域面積，重件碼頭建設、港灣工程及溫排水等相關設施亦可能對海域生態產生影響，故本公司之開發計畫於環評審查及施工許可申請時，常被要求對影響區域進行生態友善措施及生態補償，為使本公司之發電工程順利審查通過早日施工，故實有必要前往日本學習，以協助推動電力設施開發計畫。

貳、 實習過程

一、100年10月26日

內容：往程

地點：台北→東京

二、100年10月27日

內容：新電力設施海域生態補償機制

地點：獨立行政法人海洋研究開發機構

三、100年10月28日

內容：新電力設施海域生態補償機制

地點：獨立行政法人海洋研究開發機構

四、100年10月29日至30日

內容：整理資料、參觀葛西臨海公園

地點：東京

五、100年10月31日

內容：新電力設施海域生態補償機制

地點：獨立行政法人土木研究中心

六、100年11月1日

內容：返程

地點：東京→台北

參、 實習心得

一、 環境影響評估生態補償機制

環保署於100年7月12日公告修正「動物生態評估技術規範」，於動物生態影響評估相關規定提及「需考量開發行為對於環境之影響，擬定減輕對策和生態補償措施」，若評估結果認為生態族群過於稀少或結構失衡，

極可能因開發行為而危及當地族群生存時，應考慮執行生態補償，如就地開闢保護區、遷移及復育之可能，或是選擇避免開發。

而一個對環境友善的開發案，在無法避免或減輕生態影響時，除了有良好的減輕衝擊對策之外，更應積極進行生態補償措施（如同質性棲息地補償、生態系復原、新生），考慮開發行為對環境所造成之破壞，給予適當的補償。由於許多的生態系統建立過程和內容需要非常長的時間方可形成，一旦破壞，幾乎是不可逆轉的，而其影響也不見得立即可見。當開發不可避免破壞生態時，生態補償是必需的環境友善措施。一般生態補償應遵守以下四點原則：考慮營造同質性棲息地、位置最好位於開發區域內、面積應至少與被破壞掉者相等或更大、營造時間要比開發時間更早。

(一) 營造同質性棲息地

所謂同質性棲地營造，就是將原本受影響之區域之環境條件複製而另尋地創造一處新環境，卻仍保有著與原先生物棲息條件相同的地區，以利原本該區之受影響生物能遷移到此區域進行覓食及繁殖等生物活動。

(二) 位置位於開發區域內

新創造之棲地，除了須營造同質環境之外，地理位置應位於開發區域內(或是開發區域附近)，以利生物遷徙或是使原開發區域內之生態系能予以利用，達成保育補償。

(三) 面積應大於被破壞掉者或相等於被破壞掉者

面積應大於受開發計畫破壞生態環境的區域還來得大，使開發計畫影響生物環境之衝擊降至最低，使得開發計畫兼顧經濟開發和環境保育，並產生出生物多樣性補償。

(四) 營造時間早於開發時間

棲地營造之時間應提早於開發計畫施工於該處之時程，因棲地環境需長時間累積營造，無法短期完成，故須於開發計畫動工前提早啟動棲地營造，使該處環境形成與受破壞地區相似環境，使受影響之物種順利搬遷。

環保署於100年中的「動物生態評估技術規範」中提及此觀念後，經過幾個月的專家學者交換意見及累積共識，於100年10月召開數場「環境影響評估制度台灣實施生態補償機制草案」說明會，邀集各級政府機關、顧問公司及重大開發案件之開發單位說明未來生態補償機制之導入理念及發展時程，預計將於101年底前完成制定技術規範，並於102年正式上路。

全球生態系統可大致分為陸域生態系與海域生態系，目前國內欲制定之生態補償技術規範多著重於陸域生態系統之規範，對於海域系統甚少著墨。台灣為四面環海之島國，沿海地區皆有諸多建設及海岸結構物，本公司電力設施如核能、火力電廠因電廠特性，需設置於海邊；風力發電亦因近年極力推動再生能源建設，風場條件佳之區域亦位於海邊，未來離岸風力之建設亦位處海上，對海域生態影響實為未來環評審查之一大重點項目。本次出國就此議題前往日本學習。

二、 日本海岸管理方式

(一) 適應性管理

北美和澳大利亞，在森林、河流和沿海生態系統的管理，皆以長期持續的自然環境為首要努力目標，致力發展生物多樣性。日本與台灣地理環境、地質條件等有諸多類似之處，近年來日本發展出一套「順應的管理の考え方」，意為「適應性管理概念」(圖1)，其方法為從目前現狀至規劃設計階段、施工綜合管理，皆以”全面規劃”為考量。而由自然再生的目標來看，適應性管理可定義為：由當地歷史延續性的變化、地區性的特色及考

慮經濟決策下所建置的管理系統。

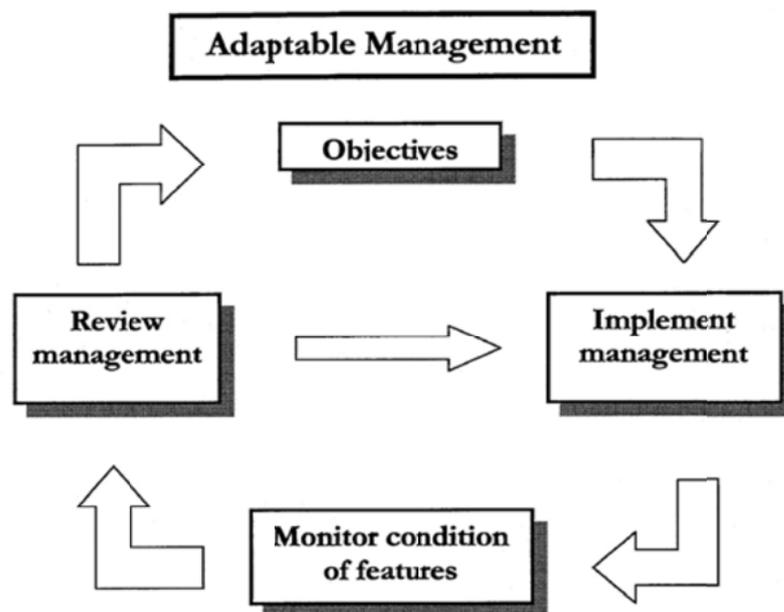


圖1 適應性管理概念圖

圖2為港灣環境實施順應性管理理念架構圖，說明第一階段為「綜合目標設定」，決策者和利益相關者對於當前的問題和自然再生的政策取得共識，目的在於澄清所想實現的及全面設定目標的步驟；第二階段為「個別目標設定」，也就是具體的政策行動計畫項目，為了實現整體目標，在本階段分項實施階段目標，發展相關的策略和行動計畫；第三階段為「配置管理技術、監測和審查」，也就是“經由管理達成目標的成功標準”，在本階段將對已實施的項目展開監測，以作為定期檢討的基礎，而如果監測結果未達到目標值，將考慮改善管理技術，除此之外，在某些特殊情況下亦可能對策略進行全盤性的檢討。

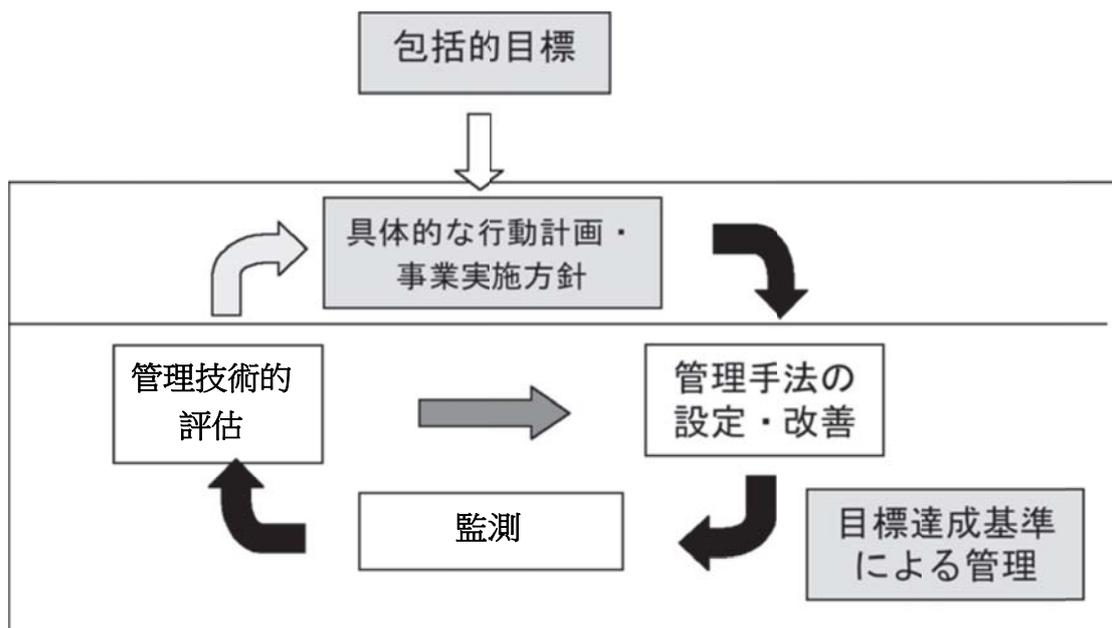


圖2 港灣環境實施順應性管理理念架構圖

在經濟發展與生態保育兩種理念的衝突下，應用人工濕地以取得開發與保育平衡的作法，日漸受到重視，而所謂的生態補償型人工濕地 (Mitigation Wetlands)，乃是以彌補自然功能為目的之人工濕地，在彌補自然濕地損失外，對於生態復育具有高度之價值，可說是較為自然、經濟和有效的資源與環境永續管理的方式之一。以下便介紹日本相關之復育及補償案例。

(二) 海邊自然再生

由於自然環境的變化具不確定性，將隨著時空因素而變化，因此必須設定不干擾自然恢復的目標來進行各相關計畫，期望能在工程結束後恢復到之前的狀態，若是以此為目標的話，則必須對自然環境進行養護、改造或是加強，包括改進所有可能的方向，使其在自然再生下恢復生態。2002年制定促進自然再生的綜合措施，旨在確保生物多樣性的實現以及致力自然環境和諧，由當地居民、政府機關、環保團體和學者專家共同參與，在不影響自然生態和其他自然再生的目標下，長期觀察、監控該環境。

所謂的自然再生，不僅是物理條件下的自然環境再生，與當地民眾和自然環境間的互動也有關聯，應了解當地民眾的需求、認同理念來進行空間的設計規劃。日本在近年來已就「海邊自然再生」理念實施相關事例(詳附錄一)，已有良好成效。

海邊的自然再生包括生物的保全、再生(蟹類、魚類、珊瑚、海藻類與海草類、海龜、海岸植生の維持)與環境的自然再生(珊瑚礁、藻場)。

表1 自然再生包括的行為

區分	用語	説明
創造	Reclamation	人手により水域を平均水面以上の陸域にかえること(改変)
	Creation	人手によって湿地でない場所を湿地にすること(創出)
再生	Restoration	一度失われた自然を以前の状態に近づける(狭義の再生:復元)
	Remediation	汚染された湿地における汚染物質の浄化(改善)
	Rehabilitation	損害を受け、制限されている生態系の機能を人手により回復(修復)
保全	Conservation	目的とする生態系の健全性を保つために最低限の管理を行う(保全)
	Protection	遷移のコントロールなどをして、現状を維持する(防御)
	Preservation	自然の成り行きに任せ、一切、人的な管理を行わない(保存)

三、日本自然復育案例分析

(一) 葛西臨海公園

獨立行政法人本次實習安排前往參觀日本東京灣「葛西臨海公園」，葛西臨海公園位於東京都荒川口，被稱為能接觸海的「都市綠洲」，也是日本生態補償型人工濕地的代表。此一東京都立公園面積佔地約76.3萬平方公尺，其建立之初之四大設計主題為：「綠的海岸」、「市民的海岸」、「快樂的海岸」、「期待的海岸」，相關設施包括水道、濕地、植物景觀、人工海濱（規劃由碎浪來增加海域溶氧量，也可增加潮間海埔地的面積，使底棲生物繁衍增加）和沙洲地區等，以及著名的「葛西臨海水族園」，該水族園擁有世界屬一屬二的大水槽並展示大洋巨型魚類，希望能透過這些飼育與研究，對海洋生物「物種的保存」有所幫助。但最具特殊之處，則是該水族園的廢水並未直接排放入海，而是經過處理後，成為公園內野鳥園濕地的用水，其嚴謹的離岸堤工法和以留設濕地彌補自然的觀念，亦值得我國海岸開發之參考。



圖3 日本東京都葛西臨海公園地理位置及現況圖

日本於1970年代經濟開始快速成長，東京都之都市建設亦急速發展，葛西地區原本是一片天然潟湖，當時名為「葛西沖土地區劃整理事業」的事業標的開始於當地進行填海造陸工程，幸而當時刻意保留，才有今日的環境提供東京都民休憩和生態物種棲息共存的水際環境，自1976年至1992年間之地形地貌變遷如空拍圖組示於圖4。



圖4 葛西臨海公園1976年至1992年間地形地貌變遷空拍圖

1990年初亦於葛西濕地外建造了2片沙洲(人工渚)，使其能夠提供人和鳥類共存但互不侵犯的環境，西側的人工渚與濕地公園間設置跨海橋讓人可以步行到達沙洲於海灘戲水，而東側的人工渚則未設置聯絡橋，且盡量維持適合鳥類棲息地濕地環境；在濕地公園部分，亦採用同樣的概念，公園西側為鋪設有透水鋪面、適合人類活動的環境，東側則為水、草、樹木所構築而成的濕地環境，特意設計營造出淡水、半鹹水以及海水等3個鹽度不同三個棲地環境，吸引不同種類的鳥類棲息。根據葛西臨海公園的調查，園中主要的棲息生物至少有50種(圖5)，且有包含黑面琵鷺等候鳥出現的紀錄。

根據園內介紹，葛西臨海公園的執行理念為：

1. 規劃海濱自然的保全、育成及回復：致力於海、濱、陸、草原、森林、生物等的自然生態整體性保存，且利用自然的回復力能使其再生，以積極的行動促進自然育成和回復。
2. 以調和人類活動與自然環境共存為目標：讓園區內的人類活動與自然環境保持一定平衡的空間結構，使人類活動成為自然環境保持中的一環。
3. 建造具海濱特色的休閒活動場所：在內陸所享受不到的海濱遊樂、休閒、環境教育及河海交界處的自然觀察等，創造出葛西臨海公園獨特

的休閒空間。

4. 興建預防水患的構造設施：加建防潮堤，讓地形、植被也具備預防水患的功能。
5. 提高避難空地有效性的空間構造：由大廣場、防火樹林帶、淡水域、多種避難道路與海域補給避難措施等多樣性設備的設置，以進行高安全性之避難據點的建造。
6. 葛西臨海公園一體化，並相互補足功能的公園：使潮間帶、海面和人工海岸等海域與海埔新生地，成為一體化的濱邊公園為目標，規劃內容包括海域與自然保全區域、陸地回復森林狀態、海陸交界區與自然生態的復育等，以供應陸岸、海洋與文化活動等海邊休閒各種機能。



圖5 葛西臨海公園主要棲息生物種類

(二) 海邊自然再生案例

日本於1990年代初即開始實施自然再生港灣事業，主要係針對港灣設施

實施附加藻場、人工干潟(潮間帶、灘地)等機能，並進行相關研究與手冊之編撰，供國內生態型海岸保護工之參考。

珊瑚礁生態系是生物多樣性最高的海洋生態區，提供許多種類海洋生物食物的來源，構築成一相當豐富的生態系，也是許多海洋生物生長的棲所，孕育了許多生物資源，並為人類及其他生物所利用。海域珊瑚礁生態系主要存在於熱帶及亞熱帶區域，礁區可從10米到數公里不等，目前亦在人工構造物的周邊發現有礁群聚集，故可知港灣邊的基礎設施與珊瑚礁已存在共存現象，對珊瑚礁的保護發揮成效。

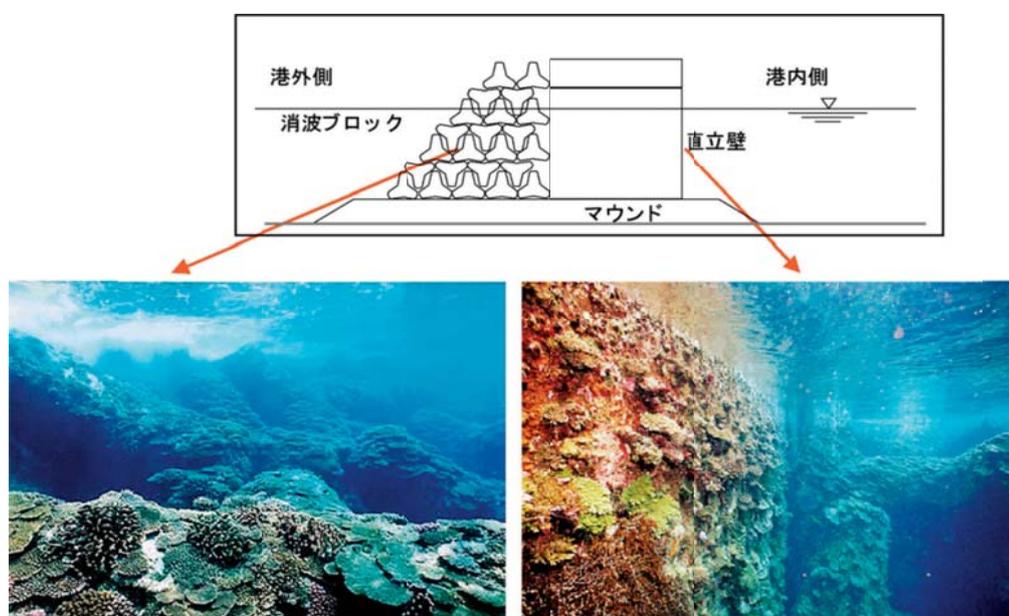


圖 6 那霸港人造結構物上的珊瑚分布情形

環境的自然再生需考慮適合生物棲息地基質的創造，以營造滿足有機體與生物適合生長及繁衍的環境條件。生物基質的物理條件須考慮：

1. 地形條件- 海岸地形、水深、海底坡度等；
2. 海象條件- 波浪、潮位、潮流、海流力等；

3. 氣象條件- 風、降雨量等；
4. 底質、地盤條件- 粒徑、比重、含水量、泥沙含量、土質等；
5. 周邊河川流入條件- 流量、流速、水位、懸浮物質、河口地形等。

適合而生物棲息的環境條件須考慮：

1. 水質條件- 水溫、鹽分、溶解度、pH、懸浮物質、有機物、營養鹽、抑制生長物質的濃度負荷；
2. 底質、地盤條件- 粒徑、比重含水量、泥沙含量、pH、氧化還原電位、硬度、土質、基礎深度、方位等；
3. 氣象海象條件- 、波浪、潮位、潮流、洋流力、風、降雨量、日照(濁度、透明度、水下照明)；
4. 生物條件- 生物的生活史、連續性，漁獲量；
5. 周圍生態系統的棲息條件- 營養鹽供應(由下自上)、捕魚業者(由上自下)、生物競爭、阻礙、損傷及新加入生物源。

根據上述環境條件，訂定實現有關環境條件與生物狀況的分項指標來進行管理，一般而言，物理的環境條件主要項目可在10年內達成，生物狀況為20年。

四、 台灣現有處境

聯合國環境與發展委員會(United Nation Conference on Environment and Development, UNCED)研擬的「二十一世紀議程(Agenda21)」中載明，海洋環境為永續發展最珍貴資產，其中又以海岸地區生產力最高、生態環境最為敏感。而海岸地區的豐富資源卻使人類過度依存及開發，導致海域生態資源遭受嚴重破壞、生態棲地收到嚴重威脅，此類海岸環境甚為敏感且不具復原性，一旦遭受破壞將難以恢復。

台灣目前存在的海域生態環境問題舉例如後。

(一)港灣建設工程

台灣多年來以經濟優先為導向，在防災及經濟發展的需求下，四十年來積極建設海岸工程及港灣工程，海岸過度開發及全球氣候異常，且隨著環保意識高漲與海洋問題日益重視，目前的海岸港灣呈現諸多問題，如海岸的侵蝕淤積、海水污染與生態破壞等。早期以海岸港灣安全為主要考量，傳統海岸保護工法如海堤、離岸堤、潛堤等大多以防禦潮浪之防災功能為主，近年來環保意識高漲，海岸保護工程除滿足防災功能外，逐漸朝向兼具生態等多功能目標，尤其以往之港灣建設往往造成藻場、漁場及濕地等海洋環境之破壞，對於自然環境與生態較為忽略，近年來海岸保護漸由「線」之防護改為「面」之防護方式，亦即利用海岸保護方式交互使用之整合性海岸保護工法，藉由柔性工法創造海灘，發揮自然吸收並抑制波浪能之功效，避免破壞與侵蝕海灘，同時兼顧海岸景觀維護。於海中興建構造物，需考量的要素有：

1. 結構與材料是否能夠提供生物棲息之空間與屏障；
2. 避免動物往返通道之阻隔；
3. 確保食物來源無虞；
4. 避免全面栽植單一植物，應依據未受干擾之區塊組成，「模擬」其植物社會結構；
5. 進一步深入評估現階段生態組成所反映出之訊息。

而海岸結構物如消波塊等，具有類似岩礁之功能，適於做為海洋生物著生之基質，常見海藻、貝類等海洋生物附著於其表面，成為魚貝類棲息、隱蔽及產卵場所，形成豐富生態系，故傳統的消波塊若經特殊設計與處理等改良，使能更符合對象生物之生態特性，必會較天然岩礁具有更加之生態維護效果，如凹凸處理、鋪設纖維網、塗抹藥

劑或使用輕量多孔質混凝土等。

未來國內海岸工程建設將朝向採用生態理念設計之海岸保護工法，以改善、創造原有海岸保護工法之生態基能為發展方向，使其發揮基本海岸保護功能外，能提供適合海洋生物著生、棲息及繁殖之空間，達到保護海岸與海域生態之目的。

(二) 電廠溫排水

電廠將通過冷凝器之溫水排放至海洋，藉由溫排水與海水之攪混作用來稀釋溫度，若溫度無法迅速擴散，則將影響附近海域之生態環境。依據水污染防治法規，放流水直接排放於海洋者，其排放口溫度不可超過42°C，且距排放口500公尺處之表面水溫升不得高於4°C，但對生活在這500公尺內外的海洋生物仍可能會帶來若干影響及衝擊，包括改變了在此一海域海洋生物的成長、發育、分布，或是其群聚的組成與結構，甚至影響到附近的漁業資源及漁民收益。

若是進一步分析海洋生物習性，可發現溫排水對出水口附近固著性、無法逃避之底棲生物的群聚組成影響較大，對會主動游離或逃避的魚類影響較少，而無游泳能力的卵或仔稚魚也有可能因水溫超過其致死溫度而死亡。此外，溫排水對海洋生態的衝擊大小，亦會隨著出水口結構設計為潛式或表面排放而有所不同，與出水口的布設、季節、潮流、發電量及跳機次數等皆有關連。

因此，開發單位在新建計畫設計初期，應調查所在處海域之海洋水質特性，結合工程布設，以迴避、減輕、補償三原則循序漸進，搭配長期連續監測魚類及底棲生物生態之變化，建立台灣附近海域生態之長期基礎背景資料，以釐清施工前、施工期間及施工後之運轉期等之差異，預估並驗證環境之影響，規劃有效防制措施，將不良影響減至最低。此外，為避免受到環保團體及漁民的關注質疑對附近的漁業資源及漁民

的收益影響，進而引發抗爭或要求賠償等，在興建海域附近相關建設(如興建堤防或在海底埋設管線)均須作好漁業補償，或投放人工魚礁、魚苗放流等敦親睦鄰的工作。

(三) 中華白海豚議題

因國光石化案而聲名大噪的中華白海豚，於2002年在台灣首次發現其蹤跡，目前已被世界保育聯盟列作極危的種群，其族群的棲地範圍位於從苗栗縣北界至台南縣北部將軍港的台灣海峽，離岸約6公里、水深32公尺以內為族群活動範圍。受台灣西部沿岸過度開發影響，目前族群數量僅餘約100隻，游動軌跡大多呈現南北走向的移動。且生活於台灣西岸的中華白海豚族群受台灣海峽棲地為狹長水域之限制，與生活於其他地區(如香港及珠江口水域)不同，很難成為一大型族群，故此類小型族群的保育工作必須採用預防性原則(*precautious principle*)，以減低任何潛在的衝擊所造成的影響，否則將會使原本脆弱的族群進入無法回復的境地。

影響台灣西海岸中華白海豚族群生存的潛在威脅，包括自然環境已有的衝擊源與人為造成的衝擊源：前者包括海岸環境的自然變遷，全球氣候變遷所帶來的衝擊與其它自然災害事件；後者則包括人為捕撈與開發海洋資源、填土破壞海洋棲地、海上活動噪音、海上與陸上的污染排放、河口與流域環境的破壞等。美國環保署與陸軍工兵署在1990年的協議備忘錄中提出了補償程序原則，即實施生態補償需考慮之三大原則：迴避(*Avoidance*)、減輕(*Mitigation*)、補償(*Compensation*)，強調當開發行為可能破壞生物棲地時，必須先設法迴避，若無法迴避，則須設法讓衝擊最小化，最後才實施生態補償制度。故像中華白海豚這類離岸不遠的海中族群，開發單位在進行開發計畫布設時，應先避開其活動之範圍，此等便是實施迴避原則；其次，若是有部分影響到中華白海豚之活動，則必須進行減輕措施，如於水底裝設海豚避險聲

響系統、設立與學習使用人工洄游水道、改變食性與行為生態的能力等，使白海豚能應用族群的行為生態來避開、調整或是產生預警效應，此為採取減輕措施；最後，才是實施生態補償措施，進行異地補償、購買額度或是繳納補償代金等。

五、 小結

(一) 土木研究中心(PWRC)簡介

本次安排前往東京都內的獨立行政法人土木研究中心(Public Works Research Center, PWRC)實習。東京都台東區之財團法人土木研究中心 PWRC 是 1979 年經建設大臣許可成立以土木相關的調查、試驗及研究的促進為努力職志的單位，同時並推動其成果的普及以及國際技術交流合作，期望能使國土建設事業更向上發展。成立目的為積極推動土木工程相關的共同研究、技術開發以及調查試驗等之委託執行，並將最新的研究成果做成土木技術資料定期發行成刊。1991 年，該中心於茨城縣筑波研究學園都市成立技術研究所，實行研究活動與實驗工作。1993 年並成立「土木工學國際研究交流助成金」協助日本的研究者赴海外進行研究活動，也同時支援外國研究者赴日本的研究活動。並在 2001 年設立「建設技術審查證明協議會」對土木系材料、製品、技術等領域實施審查、認證事業。土木研究中心設有河川海岸研究部、なぎさ総合研究室、材料結構研究部、道路研究部、地盤施工研究部、環境保全部等，研究領域與土木工程技術相關緊密結合。

本次參訪之土木研究中心なぎさ総合研究室，係以積極提供河海岸濱各式各樣問題解決對策而成立的研究單位。具體而言，是指海岸、湖沼、包含河口之河川下游以及波浪相關、河口干瀉等場所。該研究室目前之工作內容包括 1.共識的形成；2.以住民為對象將複雜的工程技術用簡單明瞭的方式說明；3.為提升現場技術相關工作者的教育系統的開發以及相關知識的普及；4.海岸新技術的開發與普及；5.維持日本可以持續和外國競爭的技術水準；6.土木工程相關現場技術支援。又該研究室偕同河川海岸研究部之事業包含水理模型實驗、海岸診斷、推動

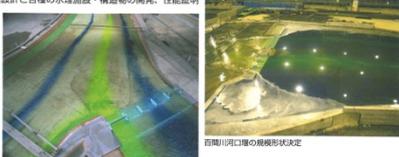
海岸保全対策整備計畫、粗粒徑養灘、解析工具的開發以及護岸消波塊的水理特性試驗及建設技術審查證(圖 7)。

研究部の事業案内 河川・海岸研究部

河川部門では、水理模型実験を用いた河川・海岸施設の水理設計、各種の水理施設・水理構造物の検討、性能証明、建設技術審査証明を支援します。
2003年に発足した「なぎさ総合研究室」では、国内外問わず多くの海岸の保全対策や整備計画を支援しています。国内では九十九里海岸、鹿島灘海岸、西海岸、霞ヶ浦、海外ではバリ島、ツバルなど海岸侵食海岸や海岸の砂浜再生といった多くの成功事例があります。

●水理模型実験

河川、海岸施設の水理設計と各種の水理施設・構造物の開発、性能証明を支援します。



砂浜再生した海岸
百間川河口部の地形形状決定

●海岸診断

こんな状態になる前に適切な処方策が必要です。



消失した砂浜
消失した遊歩道

海水浴場に出現した砂利、砂鉄が浮き出した砂浜、種々な危険信号を発生します。なぎさ総合研究室では、海岸研究の第一人者と海岸の専門集団が現地調査によってカルテ（現地レポート）と処方策（対策案）を提案します。

●海岸保全対策・整備計画の立案

海岸の診断結果に基づいた適切な海岸保全対策や計画家の立案に加えて、地域住民との合意形成も支援します。



再生した海岸
岸づくり会議による合意形成支援

◆主な実績例
 ◎砂浜再生した海岸
 ◎百間川分流域水理検討業務
 ◎霞ヶ浦沿岸整備計画検討業務
 ◎鹿島灘海岸保全対策検討業務

●粗粒材養浜

砂浜を再生する新しい技術として鳥島灘で成功した粗粒材養浜などの例を提案します。



再生した海岸
粗粒材投入 砂浜戻る

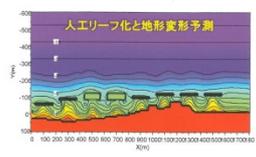
朝日新聞(平成22年8月27日)

●解析ツール

具体的な対策には土木研究センターの開発したモデルを用います。

- ・海浜域都市の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル
- ・Bagnold概念に基づく海浜変形予測モデル
- ・Bagnold概念に基づく粗粒径海岸の変形予測モデル

予測モデルの精度向上のためには水理模型実験も併用したハイブリッドの解析を行います。



人工リリーフ化と地形変形予測

クレスト型人工リリーフの性能評価

●護岸ブロック水理特性値試験・建設技術審査証明

護岸・根固めブロックの安全性評価のための水理特性値を評価します。これまでの成果は、「実業者のための護岸・根固めブロックの選定の手引き（案）」にまとめられています。



護岸ブロック水理特性値試験
新型護岸後の審査証明

◆主な実績例
 ◎根固めブロック水理特性値試験
 ◎護生海岸クレスト型人工リリーフ構築業務
 ◎重要課題解決型研究等の推進、先端技術を用いた、動的土砂管理と沿岸防災

圖7 PWRC河川海岸部暨なぎさ総合研究室主要事業内容

(二) 生態補償機制

生態補償機制源起於美國於1972年制訂Clean Water Act時，就已納入了濕地開發利用的管理制度，這也是目前世界各國制定生態補償機制的主要參考來源。依據該法案規定，美國陸軍工兵署被授與濕地開發的審核發照許可過程，但環境保護署則保留最終的准駁權。然而在真正運作時，聯邦與州各有所司，任何地主土地開發行為除了必須符合所有法令的規定，取得開發許可外，同時也應取得認證(certification)。根據規定，地主要取得這些許可之前，應當避免對濕地造成不利的影響，如果衝擊無法避免，則需盡量減低對濕地的影響。

過去美國的作法，是以濕地「零淨損失（Zero Net Loss）」的概念，創造替代濕地取代被填埋開發的濕地，因此通常選用同一地區或其他地區的濕地來替換，但較佳的情形為選取同一流域或生態系的濕地，來取代被開發的地點，這些被選

取的濕地較能符合原有濕地的功能。然而這些代替作法雖然能維持濕地的零淨損失，但可能逐漸形成零散濕地，無法達到原有濕地的功能，有鑒於此，目前發展出較新的作法也就是所謂的「補償性銀行（mitigation bank）」的設置，以購買信用（credits）方式，集結鉅資後創造出更完整大面積的濕地。這套制度主要在追求濕地面積與功能的零損失，但制度的效果也激發了人工濕地的發展，創造出新的人工濕地，來取代因開發而造成無可避免的濕地破壞情形。然而補償性人工濕地是在非濕地地區開發之濕地，目的是用來創造或取代因為濕地開發利用而消失或惡化的自然棲息地。

而反觀日本，主要是提倡「適應性管理概念」與「海邊自然再生」為主，利用目標設定、積極管理及監測評估進行驗證，並結合歷史特性、環境特性與當地社經人文，建立出一套生態補償機制，因此，日本的這一套理念或許可提供給台灣另一種思維。

台灣實施生態補償之觀念尚處於起步階段，綜觀歐美所謂生態補償制度，原意為針對工程建設或道路開發，導致生態系統或棲地破壞，而用復育、改善或創造棲地等方式彌補，藉此維持整體生態環境品質不致失衡。綜觀目前世界各國之生態補償制度，多注重於陸域生態，海域生態因幅員廣大，且深入瞭解有限、相關資料蒐集不齊而較易被忽視。台灣為一四面環海之國家，陸地可使用面積不多的情況下，許多資源皆仰賴海洋，許多建設皆依附海岸，因此在未來，海域生態補償之制度實施已成為必然之趨勢。

肆、 建議事項

- 一、 未來環保署一旦正式制定生態補償技術規範後，所有經環評審查之開發案件如涉及生態敏感區位，將須執行生態補償機制，以減輕對環境之衝擊，縱使目前環保署舉辦之說明會內容偏重於陸域生態，但很可能在未來一併納入海域範圍之生態補償。台灣為一四面環海之島國，海上作業頻繁且海洋建設工程不在少數，本公司之核能、火力電廠因使用部分海域面積，未來許多已開發電廠可能遭遇機組更新擴建工程須辦理環評，於環評審查階段將被要求依規範提出海域生態補償，因此，若未來海域生態補償機制為迎合環保呼聲而一併納入，建議在法規制定時，即早積極參與環保署修法過程，與學者專家及環保署高層溝通何為可行之方案，何為不可行之策略，使其縮短環評審查過程。
- 二、 再者，海洋為風力發電之優良風場，配合政府規劃離岸風力建設，未來勢必面臨離岸風場之開發，然而國內目前尚未有大型離岸開發工程先例，亦缺乏對海域環境影響之調查及監測技術，相關審查項目及執行方向仍不明確，故環保團體勢必對離岸風場開發造成之環境生態衝擊抱持高度質疑，而屆時必得增加調查分析工作，亦影響開發時程，建議本公司相關單位持續蒐集國外離岸風場開發之海域環境研究資料，並進行個案調查分析，做為未來風場開發之參考。
- 三、 本公司多年來積極在電廠附近海域進行海域生態培育及復育，包括 88 年起於電廠附近海域 21 處礁區投放約 34 萬立方公尺之電桿漁礁，有效提供海域之基礎生產力；91 至 99 年間與漁業署合作放流魚苗，每年於火力及核能電廠附近海域放流魚苗約 100 萬尾，總計 9 年來放流高經濟魚苗共 928 萬尾，在在都顯示本公司在海域生態復育上之努力，亦是生態補償案例及成果。因此，未來如需進行海域生態補償工作，建議可將本公司歷年來執行成效詳加分析，呈現本公司

生態上之努力。

- 四、 生態環境議題已是開發計畫能否通過環評順利執行之關鍵，建議開發計畫於規劃階段除考慮技術、經濟及一般環保法規之可行性外，應將生態環境議題納入可行性研究，盡早規劃因應措施，以節省環評審查時間。
- 五、 台灣地理環境限制了許多補償機制的發展(棲地獨特性、生態研究之基礎資料不足)，故未來也會產生保育銀行(Conservation banking)的制度，產生 Credit 認證，依據物種或棲地價值而定，開發單位透過購買額度參與棲地保育。或是，向開發單位課徵保育費用並要求繳納補償代金，以作為日後進行異地生態補償之用。而財務補償其實都是最後不得已的方式，故建議本公司在進行開發計畫可行性規劃時，不應抱持繳錢了事的心態，應先行規劃避開生態敏感區，若是開發計畫無法避開敏感區位，應在可承諾的範圍內規劃環境友善措施、生態保育復育及生態補償措施，如高鐵成功復育水雉保護區及高工局闢建生態廊道等案例成效，尋找開發區位當地生態特色、當地特有種及了解地方需求，做出可呈現本公司在生態上用心之規劃。
- 六、 日本在海域方面之保育制度，採取適應性管理概念，分階段進行綜合評定、個別目標設定及管理技術、監測與評估制度，採取海邊自然再生理念來實施海域復育，其實就是在計畫設立初期，顧慮當地民眾需求、顧慮社會大眾觀感及顧慮開發方之執行成效來擬訂管理計畫，故未來本公司在制定海域生態保護措施時，可採取日本所建立之方式，並作管控點查核，以確保設定之策略能達成目標，同時評估是否能類似葛西臨海公園建立不同區塊，開放民眾參觀，達成環境生態教育目的，並使社會大眾對本公司產生正面的觀感。

附録一

附録一

港湾や海域の自然再生事業における包括的目標の設定例

地域	事業名 (事業期間)	計画策定の背景	包括的目標	具体的な行動計画・事業 実施方針
北海道	釧路港島防波堤 (平成9年度～)	釧路港西港区がエコポートに指定され、島防波堤がエコポートモデル事業に認定され、水生生物との協調型防波堤を整備することとなった。	海藻類の生態に配慮した水深を確保することによる海藻類の増加、及び魚介類の産卵礁としての機能や稚仔魚*類の保護礁としての機能	主な施策 ①防波堤背後における大規模な盛土 ②盛土上での藻場造成
関東	葛西海浜公園 (昭和55～平成元年)	「三枚洲」の保全に関する陳情が市民活動団体等から提出されたことを受け、東京都が「海上公園構想」を策定した。	水域の自然環境の保全及び回復を図るとともに、水に親しむ場所として都民の利用に供する。	主な施策 ①2つの干潟（東なぎさ、西なぎさ）の造成 東なぎさ：人の立ち入りを制限し、生物復元のための干潟 西なぎさ：レクリエーション利用のための砂浜
	横浜市金沢区海の公園 (昭和53～54年度)	古くから金沢八景の名で知られ、潮干狩りの名所でもあった金沢地先の埋立計画において、横浜市が埋立地の造成とともに、市民への水際線開放と憩いの場を提供するために、海の公園を建設するに至った。	①魚や貝が生息し、潮干狩りもできる広々とした砂浜をつくること ②水と緑に囲まれた自然味ある空間をつくること ③水際と海を利用したレクリエーションの場とすること ④多様なレクリエーション活動にこたえられる場とすること ⑤金沢の歴史や特徴を活かし、横浜のシンボルとなるような公園を建設すること	主な施策 ①人工干潟の造成
	大森ふるさとの浜辺整備事業 (平成12～16年度)	東京港港湾計画において計画決定され、その後地元の反対により棚上げされていた緑地等の整備について、地元住民、自然保護団体、専門家等との合意形成に基づき整備・計画方針が策定され、着工されるに至った。	区民と海とのふれあいを育む拠点を創出する。	主な施策 ①緑地 ②人工海浜・人工干潟 ③人工磯 ④魚釣り護岸 ⑤覆砂

出典：国土交通省各地方整備局、北海道開発庁及び沖縄総合事務局による資料

* 稚仔魚：孵化後から成魚としての種の特徴を備えるようになるまでの時期の魚類。腹に栄養分をつけている状態が仔魚、これがとれると稚魚。

港湾や海域の自然再生事業における包括的目標の設定例

地域	事業名 (事業期間)	計画策定の背景	包括的目標	具体的な行動計画・事業実施方針
関東	羽田沖浅場造成 (昭和63～平成12年)	航空輸送需要の増加に対応して沖合への拡張が決まった羽田空港において、埋立の代替となる浅場造成が行われることとなった。	比較的水深の浅い場所(浅場)を形成することによって、積極的に水生生物が生息しやすい環境を整える。	主な施策 ①浅場造成
中部	三河湾シーブルー事業 (平成10～16年度)	中山水道航路の浚渫に伴い発生する良質な砂が、様々な環境問題をかかえている三河湾の環境改善に有効に活用できると考えられ、その活用による環境創造事業を推進することとなった。	浚渫土砂を活用した三河湾の環境改善・創造プランの基本的方向性として次のように設定。 ①汚濁負荷の削減 ②自然浄化機能の強化 ③水産振興への貢献	主な施策 ①覆砂 ②干潟・浅場造成
	御前崎港環境協調型防波堤 (平成8～15年度)	港湾構造物に海藻類をより効率的に着生させて藻場の形成を図るため、御前崎港防波堤(西)及びその前面域を対象として、防波堤を利用した藻場造成技術の開発を行うこととなった。	藻場を造成することにより、魚介類の増集効果を高め、周辺海域の海域環境を保全する。	主な施策 ①海藻の移植 ②食害対策工の設置
近畿	大阪港阪南2区人工干潟造成 (平成14～16年)	阪南港港湾計画改訂に基づき整備された人工干潟において、市民が親しめる干潟を都市臨海部に再生しえることを実証するため、干潟の安定性や生物の定着に関する実験を行うこととなった。	大阪湾における魚類、鳥類等の生態系ネットワークを形成するための干潟の形成	主な施策 ①干潟の安定性に関する実験(基盤の沈下のモニタリング、覆砂材料の変化、地形の安定化工法による効果、ミニ泥干潟の造成) ②生物の定着に関する実験(定着生物のモニタリング、ヨシ原の造成、アマモ場の造成、ミニ泥干潟への生物定着)
中国	尾道糸崎港干潟整備 (昭和63～平成元年度)	土砂処分と干潟整備という2つの要請を同時に満たす事業手法として、3地区で干潟整備方式による土砂処分事業を実施することとなった。	アサリの増養殖場	主な施策 ①干潟の造成
	広島港五日市地区干潟整備 (昭和62～平成2年)	埋立て事業の実施に伴い大部分が消失する干潟の代替として同程度の規模の人工干潟を造成することとなった。	鳥類の採餌・休息場の創出(ミチゲーション)	主な施策 ①干潟の造成 *沈下による干潟面積の減少に伴う鳥類の減少を踏まえ、平成13年度より二期造成(改良)工事に着手。

出典：国土交通省各地方整備局、北海道開発庁及び沖縄総合事務局による資料

港湾や海域の自然再生事業における包括的目標の設定例

地域	事業名 (事業期間)	計画策定の背景	包括的目標	具体的な行動計画・ 事業実施方針
中国	竹原港沖辺地区エコ・コースト事業 (平成12～16年度)	高潮対策が必要であるとともに、干潟にカプトガニ、ハクセンシオマネキ等の希少生物が生息する竹原港沖辺地区において、生態系等の自然環境に配慮した海岸整備をエコ・コースト事業として実施することとなった。	カプトガニの産卵場（高潮帯）やハクセンシオマネキ、スナガニの生息場（高潮帯～中潮帯）を形成するとともに、干潟における多種多様な生物の生息場の形成を図る。	主な施策 ①護岸改良 ②養浜
九州	中津港海岸（大新田地区）局部改良事業 (平成11～16年度)	高潮による侵食対策が必要とされているが、カプトガニ等の希少生物の重要な生息場所が存在する大新田地区海岸において、自然環境に配慮した海岸整備を実施することが必要となった。	自然環境に配慮した海岸整備を行う。	主な施策 ①護岸改良
沖縄	中城湾港泡瀬地区公有水面埋立事業 (平成10年度～)	中城湾港泡瀬地区では、埋立計画区域及びその周辺に干潟や藻場が分布しており、環境保全への取り組みを行うこととなった。	①海辺の整備にあたっては、海～海浜～海浜植生といった海域から陸域への自然な連続性を持たせ、部分的には自然海浜に類似した整備を行う。 ②水路部は、淡水の流入が期待でき、ヒルギ類（マングローブ）の植栽や、人々が容易に干潟へ降り、水に触れることができる親水空間を創造する。 ③環境教育の場・人と自然とのふれあい活動の場を整備し、野鳥園の整備や、マングローブ湿地域があり、かつトカゲハゼの生息地も存在することから、干潟生物とのふれあいの場の整備を行う。	主な施策 ①自然海岸に類似した海浜の整備 ②親水護岸の採用 ③自然の学習・観察施設の整備 ④トカゲハゼ生息の配慮 ⑤クビレミドロ生育の配慮 ⑥干潟域の保全 ⑦藻場の保全
	港湾整備におけるサンゴ着生・育成（那覇港：昭和51年度～平良港：昭和61年度～石垣港：平成5年度～）	港湾整備の計画区域及びその周辺にサンゴ礁が分布する沖縄海域において、サンゴ礁生態系を保全・再生・利用することによって港湾整備とサンゴ礁の共生を図るための技術開発を推進することとなった。	港湾整備とサンゴ礁の共生を図る。	主な施策 ①法線計画上の配慮 ②着生基質の形成技術の開発 ③サンゴの直接的導入技術の開発 ④環境の改善技術の開発

出典：国土交通省各地方整備局、北海道開発庁及び沖縄総合事務局による資料