

港灣報導季刊

第 72 期

交通部運輸研究所

中華民國九十四年十月

港 灣 報 導 第 七 十 二 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市 105 敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw

電 話：(02)23496789

總 編 輯：黃德治

編輯委員：邱永芳、李豐博、張金機、林昭坤、朱金元、何良勝、簡仲璟、
蘇青和、單誠基、馬維倫

出版年月：每年二、六、十月

創刊年月：中華民國七十七年二月一日

定 價：100 元

本次出刊：520 冊

GPN：2007700020

ISSN：1019-2603

目 錄

應用底棲生物整合指標發展海岸生物棲地評估模式·····	1
郭一羽 國立交通大學土木工程系教授	
李英周 國立臺灣大學漁業科學研究所副教授	
朱達仁 中華大學休閒遊憩規劃管理系助理教授	
施君翰 國立臺灣大學漁業科學研究所研究生	
陳盈曲 中華大學土木工程研究所碩士	
海嘯發生與傳播特性之研究·····	13
邱永芳 港研中心主任(整理)	
王慶福 港研中心研究員(翻譯)	
富田孝史 日本港灣空港技術研究所主任海嘯研究官 (原作者，已獲同意翻譯成中文)	
浮船塢上滑動模板施作沉箱之探討·····	23
黃國民 臺中港務局港埠工程處工程員	
新世代貨櫃碼頭經營規劃與設計·····	35
張雅富 私立長榮大學經營管理研究所	
郭珮玲 國立高雄海洋科技大學航管系	
葉乃姝 國立高雄海洋科技大學航管系	
認知海洋湧昇流和善用海洋深層水·····	41
陳文樹 中華郵政公司高級技術員	

應用底棲生物整合指標發展海岸生物 棲地評估模式

郭一羽 國立交通大學土木工程系教授

李英周 國立臺灣大學漁業科學研究所副教授

朱達仁 中華大學休閒遊憩規劃管理系助理教授

施君翰 國立臺灣大學漁業科學研究所研究生

陳盈曲 中華大學土木工程研究所碩士

摘 要

消波塊為目前台灣保護海岸的最重要設施之一，在保護環境生態的要求下，消波塊的生態效果是值得研究的課題。同時，海岸生態環境評估一直是複雜困難的工作。因此，本研究以目前國外正發展之底棲生物整合指標法（Benthic Index of Biotic Integrity）介紹並探討其應用之可行性，另外，介紹如何透過棲地環境條件的調查資料，將物理性、生物性等生物環境因子套入棲地品質評價程序（Habitat Evaluation Procedure）以建立海岸生物棲地模式。本文以新竹漁港附近的消波塊為案例嘗試建立附著生物 HEP 模式，此作為分析消波塊生態效果之參考依據。

一、前言

台灣的海岸海況嚴苛，築堤保護海岸常需要利用消波塊，所以談到海

岸結構物生態工程目標時，探討消波塊的生態效果是首要之務（郭，2002）。近年生態工法的理念提倡生態復育，其意義是強調自然環境復原與生態復育的觀念，也就是在開發時，要求盡量減少環境被破壞，並希望能透過生態工法的手段來復原或減輕目前惡化的狀態。因此事先需要知道當地的生態環境狀態，調查及評估是有必要的。而如果要對現有海岸或防波堤前置放消波塊的生態效果有充分瞭解，則需要進行環境評估或生態品質分析。

然而以往這些海岸防護工程大都以拋置消波塊或築堤等海岸結構物為主，但對於長年累月下海岸結構物上所附著的生物種類、數量及其與這些結構物間的關係，以及結構物設置的過程對海岸生物的影響，仍未有很多相關的研究，僅見於新竹海岸針對底棲生物及附著生物研究（郭等，2002；

葉，2003；郭等，2003；張等，2004；郭及陳，2004），安平淺灘針對施工前期之調查（郭等，2004；張等，2004），台灣西海岸漁港之附著生物（張等，2002）等。而這些研究尚未對整體生態環境有較完整的綜合評估分析。

二、生態指標與生態模式

1. 生物多樣性指數

生物多樣性指數可代表一個群聚（Community）內物種的豐富程度，常被用來比較不同地點不同時間群聚中生物分佈的情形，也可了解環境之變遷對生物時空分佈的影響。指數之數值受生物相中種類多少（豐度）及均衡性（均勻度）之影響，通常環境受污染，生物種類減少或出現優勢種時，指數值會變小。而生物的多樣性通常以生物群聚的歧異度（Species diversity）變化來了解，而歧異度是以生物種類組成的結構關係，可用來表示自然集合群聚的變化情形。“生物多樣性”中的“多樣性”，與生態學上“歧異度”的概念有著密切的關係。歧異度值常用來比較群聚多樣性程度。一般而言，歧異度越高則物種越具多樣性或各物種之分布數量越平均，若族群之組成由單一或是少數之優勢種類構成，則具較低之歧異度指標值。歧異度指數的定義如下（Shannon, 1949）

$$H' = -\sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{n} \right) \times \log_e \left(\frac{n_i}{n} \right)$$

S = 群聚樣本中魚種數

n = 群聚樣本中個體數

n_i = 群聚樣本中第 i 之個體數

2. 底棲生物整合指標法

國內、外海岸環境評估的工作已發展了數十年以上，尤其在國外，過去多探討多樣性、優勢種、敏感性污染種、耐受性污染種的出現（Van Dolah et al., 1999），而最近則發展了以底棲生物群聚為基礎的評估技術及應用指標（Engle et al., 1994；Engle and Summers, 1999；Weisberg et al., 1997；Van Dolah et al., 1999）。其中以 Weisberg et al.（1997）將 James Karr（1981）使用在溪流的棲地評估之分析矩陣，發展出海岸及河口之「底棲生物整合指標法」（Benthic Index of Biotic Integrity, B-IBI）。

本法提供不同的海岸河口類型，所需之矩陣及生物特性表。本方法藉由調查生物群聚的現況來綜合給分，最後累加積分並分列等級來做生態品質評估（Weisberg et al., 1997）。同時已經有一些被應用在港灣海域底棲生物棲地評估上成功的案例（如 Weisberg et al., 1997；Van Dolah et al., 1999；Llanos et al., 2002；Alden, et al., 2002；Christman, et al., 2003），國內亦有嘗試使用之案例（郭及朱，2004；郭等，2004；張等，2004；張及朱，2004）。

Llanos et al.（2002）在 Chesapeake Bay 的應用中，以棲地環境而選擇不同的評估項目及內容，其中可將棲地

區分為七大類，區分的標準依鹽度及淤泥黏土 (<62 μ) 重量之含量(%), 類型包含河口型系統(Tidal freshwater, TF)、狹鹽性系統(Oligohaline, OH)、低鹽砂環境系統(Low mesohaline, LM)、高鹽砂環境系統(High mesohaline sand, HM)、高鹽泥環境系統(High mesohaline mud, HM)、多鹽沙環境系統(Polyhaline sand, PO)、多鹽泥環境系統(Polyhaline mud, PO)等(如表1)。而在選擇棲地類型後，依不同的類型選擇不同的矩陣及配分標準來進行生物環境評估，如表2所示。

另外，在應用矩陣前必須參考生物的特性資料表。而附著生物種類包含許多類門，因此，在建構生物特性表污染敏感性、食性等，必須參考相關資料。但國內、外相關研究資料相

當缺乏，尤其以污染敏感性的資料更加闕如。另外，許多種類屬於台灣特有種，國外相關研究所建構的生物特性表，也無法完全參考使用。因此，本研究初步僅能將相關研究的報告、文章內及部分質性的生態文獻中的種類污染敏感性、食性資料，嘗試建構如表3，提供作為BIBI計算所需的生物特性資料之參考。

3. HEP 棲地模式

HEP 棲地評價程式適用來選定合適野生動物棲地的方法，同時給予質與量的界定。其後日本一些海岸生態工程的研究，將此HEP法加一步推廣應用，如新保裕美等(2000)曾以二枚貝為探討對象，來評估日本橫濱之人工海岸及天然干潟之棲息環境是否適宜。吉安勇介等(2001)曾以附著生物為調查對象，來評估塊石放置於海岸對生物之影響是否能成為良好之棲地。在國內也有研究運用於新竹漁港(郭&陳盈曲, 2004)及台南安平漁港的海岸生物環境的評估上(陳俊杰, 2005)。

HEP 評價的步驟是首先進行事前現地調查資料之收集，而事先資料之收集包括：調查區域之確定、相關現地資料之收集、評價物種之選定。接者建立HSI之模式，HSI模式係透過專家或現地調查，瞭解某物種對棲息地的需求性，來決定最適當的棲息地狀況，以用來估算物種目前的棲息地狀況與物種的最適棲息地狀況之間的比值，作為評價對象種目前棲地適

表1 B-IBI 棲地類型選擇參考表 (Llanos et al., 2002)

棲地類型	底部鹽分(ppb)	淤泥黏土(<62 μ)重量之含量(%)
河口	0 - 0.5	N/A
狹鹽性	$\geq 0.5 - 5.0$	N/A
低鹽砂環境系統	$\geq 5.0 - 12.0$	N/A
高鹽砂環境系統	$\geq 12.0 - 18.0$	0 - 40
高鹽砂環境系統(泥)	$\geq 12.0 - 18.0$	>40
多鹽性(沙)	≥ 18.0	0 - 40
多鹽性(泥)	≥ 18.0	>40

表2 多鹽沙環境系統(PO)棲地環境評分標準 (Llanos et al., 2002)

項目	5	3	1
Shannon-Wiener 種類多樣性指數(H')	≥ 3.5	2.7-3.5	<2.7
單位面積之總種類豐富度(#/m ²)	$\geq 3000-5000$	1500-3000 or $\geq 5000-8000$	<1500 or ≥ 8000
單位面積之總種類生物量(g/m ²)	$\geq 5-20$	1-5 or $\geq 20-50$	<1 or ≥ 50
單位面積之污染敏感性種類(易受影響的)之豐富百分比(%)	≤ 5	5-15	>15
單位面積之污染指標種類之生物量百分比(%)	≥ 50	25-50	<25
單位面積之深溝沉積物中消費者之豐富百分比(%)	≥ 25	10-25	<10

當性的程度，用 0（完全不適當）至 1 HSI 的概念以下式表示。
（最適合）之間來表達的評價價值。

表 3 生物特性表

門 / 科	學名	中文名	污染敏 感性	食性
脊索動物門				
海鞘（Styelidae）	<i>Sea-squirt SPA.</i>	海鞘的一種	M	—
	<i>Sea-squirt SPB.</i>	海鞘的一種	M	—
軟體動物門				
骨螺（Muricidae）	<i>Thais clavigera</i>	蚵岩螺	H	肉
笠螺（Patellidae）	<i>Cellana toreuma</i>	花笠螺	M	藻類
	<i>Cellana grata</i>	斗笠螺	M	藻類
青螺（Acmaeidae）	<i>Nipponacmea schrenckii</i>	花青螺	M	藻類
	<i>Patelloida straita</i>	射線青螺	M	藻類
玉黍螺（Littorinidae）	<i>Granulilittorina exigua</i>	細粒玉黍螺	L	藻類
	<i>Granulilittorina millegrana</i>	台灣玉黍螺	L	藻類
	<i>Littoraria undulata</i>	波紋玉黍螺	L	藻類
	<i>Nodilittorina pyramidalis</i>	顆粒玉黍螺	L	藻類
蜆螺（Neritidae）	<i>Nerita albicilla</i>	漁舟蜆螺	M	藻類
	<i>Nerita undata</i>	粗紋蜆螺	M	藻類
殼菜蛤（Mytilidae）	<i>Perna viridis</i>	綠殼菜蛤	H	雜
	<i>Mytilus edulis</i>	紫貽貝	H	雜
牡蠣（Ostreidae）	<i>Saccostrea mordax</i>	黑齒牡蠣	H	雜
	<i>Crassostrea gigas</i>	長牡蠣	H	肉
腔腸動物門				
海葵（Sea anemone）	<i>Actinian SPA.</i>	海葵的一種	M	雜
節肢動物門				
藤壺（Rock barnacle）	<i>Balanus amphitrite</i>	紋藤壺	H	雜
	<i>Chthamalus pilsbryi</i>	皮氏小藤壺	H	雜
	<i>Tetraclita squamosa</i>	鱗笠藤壺	M	雜
螃蟹（Stalk-eyed）	<i>Metopograpsus messor</i>	平分大額蟹	M	雜
	<i>Gatice depressus De Haan</i>	平背蜞	M	雜
海蟑螂（Ligiidae）	<i>Ligia exotica</i>	海蟑螂	H	雜
紅藻植物門				
紅藻（Rhodophyta）	<i>Pterocladia capillacea</i>	異枝菜	M	—
	<i>Gelidium amansii</i>	安曼石花菜	M	—
	<i>Centroceras clavulatum</i>	縱胞藻	M	—
	<i>Sarcodia montagneana</i>	海木耳	M	—
	<i>Abnfeltiopsis flabelliformis</i>	扇形叉枝藻	M	—
	<i>Grateloupia filicina</i>	蜈蚣藻	M	—
	<i>Cbondrus ocellatus</i>	叉角藻	M	—
綠藻植物門				
綠藻（Chlorophyat）	<i>Enteromorpha prolifera</i>	浒苔	M	—
	<i>Ulva conglobata</i>	牡丹菜	M	—
	<i>Valoniopsis pachynema</i>	指枝藻	M	—

$$HSI = \frac{\text{研究區的棲地狀態}}{\text{適當的棲地狀態}}$$

HSI 介於 0~1.0 間。選定生種棲地之主要生存環境要因，如水質、水位、流速等。各環境要因的適宜度指數 SI (Suitability Index) 指數模式建立，需經由現地調查資料來建立，SI 的概念以下式表示。這個值一樣介於 0.0 到 1.0 之間（1 為最適合，0 為最差）。

$$SI = \frac{\text{研究棲地之主要環境因子狀態}}{\text{適當棲地之主要環境因子狀態}}$$

SI 介於 0~1.0 間。結合各環境要因之評價指標 SI，建立 HSI，其基本建立方法有算數平均法、幾何平均法、限定要因法、加算要因法等。

HSI (Habitat Suitability Index) 模式修正將所建立之 HSI 模式利用棲地實際狀況（實測數據）試行演算，若不合理性時，則須再回頭重新建立模式。

亦即是將各測站的 HSI 與棲地平均生物種數進行相關性迴歸分析，如相關係數值相當接近 1 值時，則代表所建立的模式相當好，相反的如果相關係數值不高，則需進行模式檢討修正。

三、新竹漁港 BIBI 之 HEP 模式的建立

1. 研究位置與期距

本研究的研究範圍以新竹漁港為

主，依照漁港及附近海岸之特性可分為兩種類型：北邊港口兩側之防波堤及南邊海岸之護岸工程。本研究選定八個觀測點藉以採樣及觀測結構物上之生物附著分布及生態特性。新竹漁港各測站位置如圖 1 所示。

2. 水質調查及分析方法

為了解各測站的水質環境特徵對生物的影響，水質環境調查物理性項目，包含水溫、氣溫、鹽度、溶氧、pH、電導度、濁度、懸浮固體 (SS) 等。檢測方式分為現場操作部分與採樣後將樣品固定再於實驗室分析二種。現場監測使用電導度計、溫度計、pH 計、電極溶氧計等直接置入水中測定及紀錄資料。

3. 生物調查方法

勘查各測站消波塊上之附著生物分布情形，其中包含從上潮帶至低潮帶上的藻類、貝類、蟹類及螺類等生物之種類調查，並估計各種類數量或覆蓋面積以推算其豐度。調查之進行係參考潮汐表，選在大退潮時前往各測站，選定數個消波塊，觀察其結構

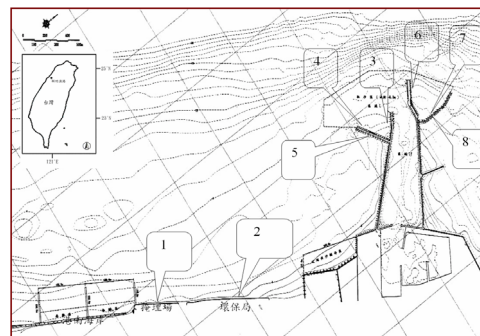


圖 1 新竹漁港海域調查示意圖（修改自葉，2002）

物上之附著生物分布情形。觀測時由高潮位向低潮位方向，逐一記錄各生物種類的數量、出現位置及附著之基質，並於消波塊上中下各部位隨機選取 10cm×10cm 之方框大小採集數份樣本，經過刮取、裝袋及冷藏，將採樣之標本攜回實驗室鑑別其種類，鑑定時乃依據各類圖鑑及有關報告予以鑑定（邵等，1996；賴，1999；黃，2000；陳，2001）。另由現場拍照之記錄，輔以瞭解結構物附著生物之分佈及估算覆蓋面積。

4. 新竹漁港附著生物 BIBI 值

本研究以底棲生物整合性指標法（B-IBI）（Weisberg et al., 1997; Alden et al., 2002; Llanos et al., 2002）來進行生態評估。由於新竹附近海域鹽度平均在 32（ppt）以上，屬於多鹽開放海域砂質底質環境系統，因此 B-IBI 評估棲地分級，選擇多鹽砂環境系統（PM sand），其中包含 Shannon-Wiener 種類歧異度指數（H'）、單位面積之總種類豐富（Abundance）（#/m²）、單位面積之總種類生物量（Biomass）（g/m²）、單位面積之污染指標種類之生物量百分比（Biomass of pollution-indicative taxa）（%）、單位面積之污染敏感性種類之豐富百分比（Abundance of pollution-sensitive taxa）（%）、單位面積之深溝沈積物中消費者之豐富百分比（Abundance of deep-deposit feeders）（%）等六個評價項目。而由於附著生物中包含附著藻類，因此，本研究參考張（2004）研

究報告加入單位面積之藻類種類豐富量（Abundance of Algae taxa）（%）的評價項目。

在 B-IBI 的計算過程中使用的 5、3、1 三等級的計量方法係參考 Weisberg et al.（1997）所發展出來的計算方法，以其各個評價數值，較好的給予 5 點評值，普通的給予 3 點評值，差的給予 1 點評值，予以標準化評估，綜合各評分項目得分數，總分越低的表示棲地的評價等級也降級的越嚴重。因此本研究蒐集宜蘭烏石漁港、新竹漁港、台南安平漁港、高雄興達漁港等漁港附著生物調查資料（如表 4），以日本運輸省在 1981 年關西國際空港的環境影響評估案及吉安勇介（2001）所建議選取影響因子區間值參考點前、中、後段 25%作為參考代表值，進行統計區分。操作方法乃將所有數據繪製頻佈圖，將各筆數據散佈點作等級區分，以前（< 25%），中（扣除屬於前段 < 25% 及後段 > 25%），後（> 25%），建構多鹽砂評估項目矩陣及所須參考之合理前、中、後段值區間，以建置配分之標準。其中，由於有部分矩陣如單位面積之總種類豐富（Abundance），會受到部分總數量繁多之高度污染或季節性種類的干擾，因此，本研究參考（Alden et al., 2002）的做法會出現造成干擾之物種測站，另外訂定合理前、中、後段值區間，以排除總種類豐富（Abundance）高，但不代表生態效益好的問題。所建構之多鹽砂評

估項目矩陣及配分標準如表 5 所示。

表 4 發展新竹漁港附著生物 B-IBI 矩陣及配分標準區間之相關漁港資料

資料來源	調查期距	取樣方法	樣本數	參考文獻
新竹漁港	2002.6~2003.5	0.5m×0.5m	12(Month)	葉，2003
新竹漁港	2003.4~2003.9	0.5m×0.5m	9(Month)	郭等，2004
新竹漁港	2004.9~2005.6	0.5m×0.5m	4 (Season)	張，2005
烏石漁港	2004.9~2005.6	0.5m×0.5m	4 (Season)	張，2005
興達漁港	2004.9~2005.6	0.5m×0.5m	4 (Season)	張，2005
安平漁港	2003.7~2004.5	0.5m×0.5m	4 (Season)	張等，2004
安平漁港	2004.9~2005.4	0.5m×0.5m	4 (Season)	朱，2004

表 5 多鹽砂環境評估項目及評分標準（修正自 Llanso et al.，2002）

項目	5	3	1
Shannon-Wiener 種類多樣性指數 (H')	≥1.5	1-1.5	<1.0
單位面積之總種類豐富 (#/m ²)	≥10000or ≥6000	3000-10000or 3000-6000	<3000
單位面積之總種類生物量(g/m ²)	≥14	9-14	<9
單位面積之污染指標種類之生物量百分比(%)	≥100 or ≥67	67-100or 38-67	<67or <38
單位面積之污染敏感種類(易受影響的)之豐富百分比(%)	≥150	120-150or 100-150	<120or <100
單位面積之海藻沉積物中消費者之豐富百分比(%)	≥230	150-230	<150
單位面積之藻類種類生物量(%)	≥23	1-23	<1

本研究在新竹漁港八個測點每個測點依水位區分上、中、下層，附著生物 B-IBI 評價結果上層的 BIBI 值（落在 1.0~1.2 之間），明顯較中層的 BIBI 值（落在 2.1~3.29 之間）及下層的 BIBI 值（落在 2.1~3.29 之間）結果較差，此與陳盈曲（2005）研究指出消波塊上層生態效果較差的結果大致相符。而在平均各測點上、中、下層 BIBI 最大值後發現，值落在 1.0~3.29 之間，其中，ST4、ST6、ST7 在十二個月間生物棲地評價相較於其它測點來的好，其中又以 ST6 評價結果最佳。但若以分層進一步分析，結

果發現，在上層的 BIBI 值評價中，ST5、ST6、ST7 在十二個月間生物棲地評價相較於其它測點來的好，其中又以 ST6 最佳。而在中層的 BIBI 值評價中，ST6、ST7 在十二個月間生物棲地評價相較於其它測點來的好，其中又以 ST6 最佳。最後在下層的 BIBI 值評價中，ST4、ST6、ST7 在十二個月間生物棲地評價相較於其它測點來的好，其中又以 ST6 最佳。綜合言之，新竹漁港八個測點以 ST6 的評價較佳，可供作為最佳 BIBI 值之參考點。

5. B-IBI 套入 HEP 之模式建立

(1) SI 模式建立

本研究依據八個測站每月所測量的調查資料，確認各測站各次所調查的生物物種數，在 SI 模式圖中建立各環境因子與生物物種數間之座標點，共有 96 筆數據，在 96 筆數據中所出現之最 B-IBI 值的那一筆的數據作為最佳值，出現最小 B-IBI 值的那一筆數據作為最小值。最大 B-IBI 值是 3.29，分別出現在測站六、七的 6 月，以此設 SI = 1，求導 SI 值。而陳盈曲（2005）利用 H' 及最大物種數，確認最大物種數是 23 種，分別出現在測站四、六、七的 6、7、8 月。再之，將環境影響因子之包絡線圖將依此 96 筆調查數據來建立。

(a) 水質因子

依上述環境因子與物種數之關係中，在水質方面，主要選取各站之鹽度、pH 值、DO、導電度為環境影響

因子。圖 2 為鹽分濃度之 SI (SIs) 包絡線圖。物種大多出現集中在鹽分濃度約 2.87%~3.5% 範圍內，鹽分濃度在 2.87% 以下隨濃度變小，物種數逐漸減少。而陳盈曲 (2005) 研究結果則指出物種大多出現集中在鹽分濃度約 2.87%~3.45% 範圍內，鹽分濃度在 2.87% 以下隨濃度變小，物種數逐漸減少。研究結果兩者大致相同，另依吉安勇介 (2001)、橋中秀典等 (2003) 得知附著生物在鹽度 3.74% 以上會逐漸減少。因此，可推論當棲地降級的時候，生物的物種物也相對減少。圖 3 為 pH 之 SI (SIp) 包絡線圖，BIBI 高值多出現在 pH 值 7.65~8.3 範圍，在 pH 在 4.9 以下及 8.3 以上顯示 BIBI 值逐漸降低。陳盈曲 (2005) 研究結果則指出而物種大多出現最多物種數 28 在 pH 值 7.97~8.3 範圍，在 pH 在 7.97 以下及 8.3 以上顯示物種數逐漸減少。研究結果兩者有所差異。圖 4 為 DO 之 SI (SId) 包絡線圖，BIBI 高值出現在 DO 值 4.8mg/l 以上，DO 值在 4.8mg/l 以下顯示 BIBI 值逐漸降低，依海域海洋環境品質標準 DO 為 5.0mg/l 以上為甲級海水，可得知 DO 小於 5.0mg/l 之海水水質比較不好，而物種生存也會受影響。陳盈曲 (2005) 研究結果則指出物種出現在 DO 值 5.76mg/l 以上，DO 值在 5.76mg/l 以下顯示物種數逐漸減少，兩者研究結果有所差異。圖 5 為電導度之 SIe 包絡線圖，物種集中出現在電導度 57.8~69.5 ms/cm，電導度為

57.5 ms/cm 以下顯示 BIBI 值逐漸降低。陳盈曲 (2005) 研究結果則指出物種集中出現在電導度 59.8~68.8 ms/cm，電導度為 58.8 ms/cm 以下物種逐漸減少，兩者大致相同，因此，可以推論電導度在 57.5 ms/cm 以下，棲地降級的時候，生物的物種物也相對減少。

(b) 海底坡度因子

在海底坡度方面，圖 6 為坡度因子之 SI (SIg) 包絡線圖，在坡度 2.3%~2.5% 範圍，出現 BIBI 高值，而在坡度在 2.3% 附近時顯示 BIBI 值逐漸降低。陳盈曲 (2005) 研究結果則指出在坡度 1.8%~2.5% 範圍，出現物種類多，而在坡度在 1.0% 附近時物種

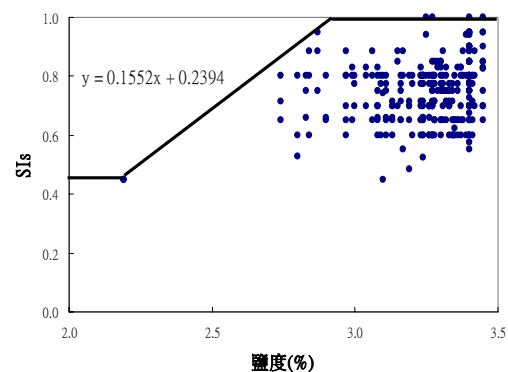


圖 2 鹽度 SI 指數包絡線圖

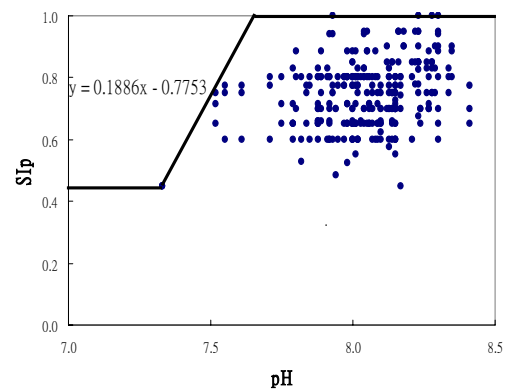


圖 3 pH 之 SI 指數包絡線圖

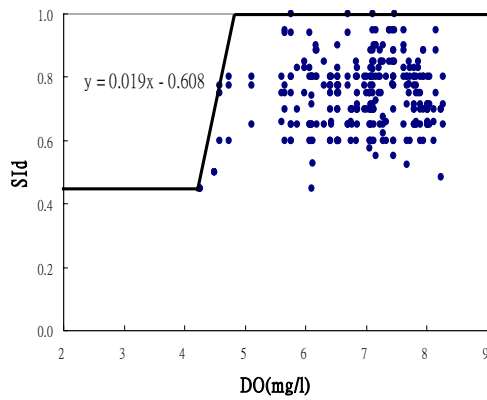


圖 4 DO 之 SI 指數包絡線圖

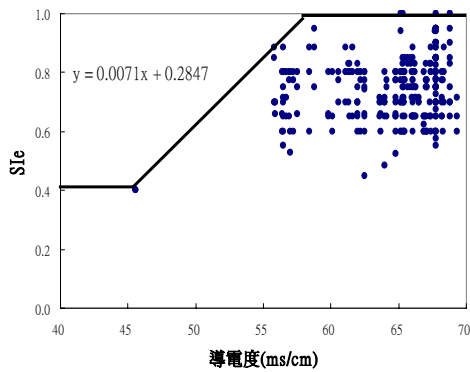


圖 5 導電度 SI 指數包絡線圖

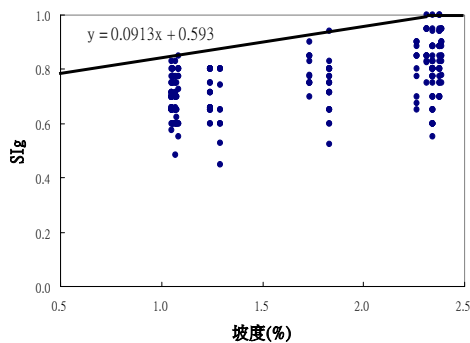


圖 6 坡度因子 SI 指數包絡線圖

數明顯減少，兩者之間有所差異。

(c) 浸水因子

在浸水時間方面，從 2003 年 4 月至 2003 年 5 月之浸水時間調查資料中，調查出在浸水時間 18 小時 BIBI

值出現最大值，圖 7 為浸水時間因子之 SI (SI_w) 包絡線圖，在浸水時間 18 小時以下，顯示 BIBI 顯示棲地有降級的趨勢。陳盈曲 (2005) 研究結果則指出。在浸水時間 12.49 小時以下顯示物種數逐漸減少。因此，雖說兩者的研究所推論出來的時間由於受到考量因子數的影響而有所差異，但仍然可以推論浸水時間的長短的確會對生物的種類數及棲息環境造成影響。郭&李 (2005) 亦曾指出水分濕潤程度愈高，生態效果愈佳。

(2) HSI 模式建立

棲地適合度 (HSI) 是依各生物影響因子之適合度的總合來判斷。為了對不同棲地有同樣的標準來比較，HSI 值應該定義在 0~1 之間。即各 SI 之合成必須滿足 $HSI \leq 1$ 。依吉安勇介 (2001) 的建議選取水質影響因子區間值下限 25% 處作為其測站代表值，而坡度因子單純的以灘前平均坡度作為代表，浸水時間因子選擇堤腳至滿潮位之中間位置之浸水時間作為代表值。各測站之環境因子代表值，

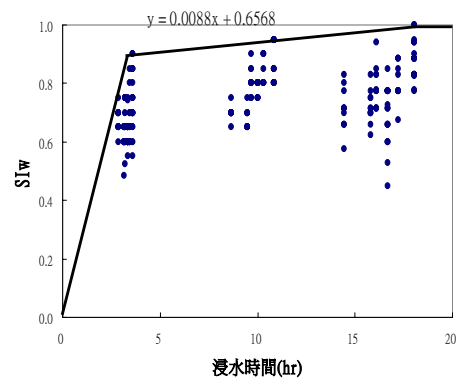


圖 7 浸水時間因子 SI 指數包絡線圖

如表 6 所示。HSI 值之計算方法主要由前面所提之各測站環境影響因子 SI 指數包絡線圖來推得之各測站之 SI 值。參考田中章（2002）之限定要因及幾何平均法，建立 SI 與 HSI 之相關如下式

$$HSI = \min(SI_s, SI_p, SI_d, SI_e) * SI_w * SI_g$$

式中的組合是否能夠充分反應實際棲地狀況，必需再以現地資料來驗證。八個測站的各因子 SI 值和 HSI 值如表 7 所示。各測站確認最多物種數與 HSI 值之關係，如圖 8 所示，其

表 6 各測站之環境因子代表值

站別	鹽度‰	酸鹼度	溶氧 mg/l	電導度 ms/cm	浸水時間 hr	坡度 %
ST1-1	3.16	7.92	6.61	59.70	3.17	1.07
ST1-2	3.16	7.92	6.61	59.70	9.50	1.07
ST1-3	3.16	7.92	6.61	59.70	15.83	1.07
ST2-1	3.17	8.01	6.40	59.13	2.89	1.05
ST2-2	3.17	8.01	6.40	59.13	8.67	1.05
ST2-3	3.17	8.01	6.40	59.13	14.45	1.05
ST3-1	3.28	7.55	5.29	59.85	3.33	1.07
ST3-2	3.28	7.55	5.29	59.85	10.00	1.07
ST3-3	3.28	7.55	5.29	59.85	16.67	1.07
ST4-1	3.20	8.00	6.57	59.58	3.22	1.78
ST4-2	3.20	8.00	6.57	59.58	9.67	1.78
ST4-3	3.20	8.00	6.57	59.58	16.12	1.78
ST5-1	3.17	7.98	6.57	59.75	3.44	2.30
ST5-2	3.17	7.98	6.57	59.75	10.33	2.30
ST5-3	3.17	7.98	6.57	59.75	17.22	2.30
ST6-1	3.01	7.93	6.36	58.95	3.61	2.38
ST6-2	3.01	7.93	6.36	58.95	10.83	2.38
ST6-3	3.01	7.93	6.36	58.95	18.05	2.38
ST7-1	2.99	8.00	6.22	59.58	3.61	2.33
ST7-2	2.99	8.00	6.22	59.58	10.83	2.33
ST7-3	2.99	8.00	6.22	59.58	18.05	2.33
ST8-1	2.48	7.68	5.25	50.93	3.33	1.27
ST8-2	2.48	7.68	5.25	50.93	10.00	1.27
ST8-3	2.48	7.68	5.25	50.93	16.67	1.27

註：測站後面之 (-1)、(-2)、(-3) 分別代表高潮帶、中潮帶、低潮帶

表 7 各測站 HSI 之結果

站別	SI _s	SI _p	SI _d	SI _e	SI _w	SI _g	HSI	某站別十二月份中B-IBI出現最大值
ST1-上	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	0.88	0.77	3.33
ST1-中	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.88	0.84	3.80
ST1-下	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.88	0.85	4.14
ST2-上	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	0.85	0.70	3.75
ST2-中	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.85	0.80	3.75
ST2-下	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.85	0.82	4.14
ST3-上	1.00	0.85	1.00	1.00	0.89	0.90	0.68	3.25
ST3-中	1.00	0.85	1.00	1.00	0.96	0.90	0.73	4.00
ST3-下	1.00	0.85	1.00	1.00	0.98	0.90	0.75	4.25
ST4-上	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.92	0.83	3.75
ST4-中	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.92	0.87	4.25
ST4-下	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.92	0.90	4.71
ST5-上	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.90	4.25
ST5-中	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.96	4.50
ST5-下	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.98	4.43
ST6-上	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	1.00	0.91	4.50
ST6-中	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.96	5.00
ST6-下	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.98	4.71
ST7-上	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	1.00	0.91	4.25
ST7-中	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.96	4.75
ST7-下	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.98	5.00
ST8-上	0.65	1.00	1.00	0.65	0.91	0.91	0.54	3.71
ST8-中	0.65	1.00	1.00	0.65	0.95	0.91	0.56	4.00
ST8-下	0.65	1.00	1.00	0.65	0.98	0.91	0.58	3.57

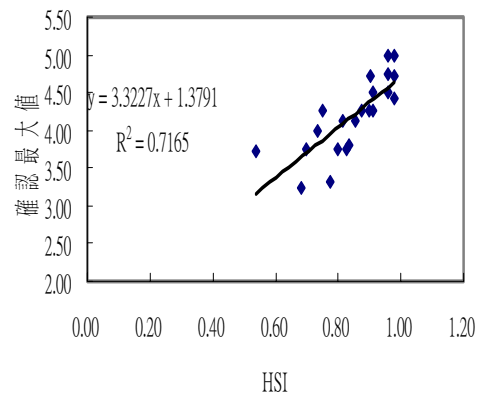


圖 8 HSI 與 BIBI 確認最大値之關係

分析結果之相關係數為 0.71，相關性相當高。而由圖中顯示測站 1、2、3、8 之 HSI 值較低，表示較不適合附著生物生長，而測站 4、5、6、7 之 HSI 值較高，表示較適合附著生物生長。而陳盈曲（2005）對物種歧異度 H' 與 HIS 相關性研究結果指出其相關係

數為 0.90，與本研究結果有所差異，明顯的套用 H'所得到的相關較 BIBI 來的高，但 BIBI 可綜合的考量各階層的生物因子，其相關係數也相當高，應可達到較客觀的評價。

四、討論

陳盈曲（2005）指出利用新竹漁港週邊消波塊上的附著生物的調查結果，建立各種環境因子之適合度指數（SI）圖。此 SI 模式可提供棲地營造時選擇生物最適當的條件，如何種的水質、多久浸水時間、什麼樣的堤前海底坡度等。雖有些環境因子是可以預知的，如溶氧量當然越高越好，浸水時間當然越久越好，但在定量上可能還是需有如 SI 這種模式才能做定量的評估。HSI 為結合各環境影響因子之綜合性的棲地適合度指標，能對棲地之全面性的合適度作定量的評估。這對棲地的選擇、比較、環境評估或營造都是有用的。因此，在本研究嘗試套用 BIBI 值進行棲地適合度評估後，分析結果呈現與陳盈曲（2005）的研究結果有異同之處，在水質因子的鹽度與導電度及浸水因子的浸水時間部份，大致相符，亦即種類高低與生物棲息地的評價呈現高度相關。但也有部份差異之處，例如水質因子的 DO、pH 及海底坡度因子等。探究其原因，推測可能與 BIBI 值屬於較多生物階層的綜合評估，而各階層的生物對於 DO、pH 及海底坡度因子所評估出來的生物適合棲地

值，也許有不同的需求，導致，選用不同指標兩者之間的差異。因此，在未來還需增加相關研究，讓 BIBI 與 HEP 模式能更佳臻善。

五、結語

1. 利用 BIBI 生態指標進行 HEP 模式評估，與利用歧異度指標進行評估得到一致的結果，故 BIBI 生態指標應用於消波塊上的附著生物有其可信度。
2. BIBI 生態指標比歧異度指標對生態環境有較廣泛的意義，但可惜對棲地環境條件的直接相關性較弱。
3. BIBI 生態指標之棲地適合度(HIS)模式的建立，對生態環境棲地營造有直接的功用。
4. BIBI 生態指標的生物耐污染特性仍有待後續研究，才能提高此指標的可靠性。

參考文獻

1. 日本運輸省，「關西國際空港的環境影響評價案」，第 430-448 頁（1981）。
2. 吉安勇介、橋中秀典、井上雅夫、島田広昭、端谷研治，「HEP による人工磯の付着動物に関する生息適性評価」，海岸工程論文集，第 48 卷，第 1316-1320 頁(2001)。
3. 郭一羽等，「水域生態工程」，中華大學水域生態環境研究中心（2001）。
4. 郭一羽、陳盈曲，「海岸結構物附

- 著生物 HEP 棲地模式研究」, 第一屆生態工程學術研討會論文集, 第 271-288 頁 (2004)。
5. 陳盈曲, 「海岸結構物附著生物 HEP 棲地模式研究-以新竹漁港為例」, 中華大學土木工程研究所碩士論文, 第 20-28 頁 (2005)。
 6. 陳俊杰, 「海岸結構物附著生物 HEP 棲地模式研究-以安平漁港為例」, 國立交通大學土木工程研究所碩士論文, 第 16-22 頁 (2005)。
 7. 郭一羽、李麗雪, 「海岸景觀與生態設計」, 田園城市文化事業, 第 214-250 頁 (2005)。
 8. Alden, R.W. III, D.M. Dauer, J.A. Ranasinghe, L.C. Scott, and R.J. Llansó. (2002). Statistical verification of the Chesapeake Bay Benthic Index of Biotic Integrity. *Environmetrics* 13:473-498
 9. Weisberg, S. B., J. A. Ranasinghe, D. M. Dauer, L. C. Schaffner, R. J. Diaz, and J. B. Frithsen., "An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay", *Estuaries* 20:149-158, (1997).
 10. Van Dolah, R.F., J.L. Hyland, A.F. Holland, J.S. Rosen, and T.R. Snoots., "A benthic index of biological integrity for assessing habitat quality in estuaries of the southeastern USA", *Mar. Environm. Res.* 48: 269-283 (1999).
 11. Llanso, R. J., L. C. Scott, and F. S. Kelley., "Chesapeake Bay Water Quality Monitoring Program: Long-Term Benthic Monitoring and Assessment Component, Level 1 Comprehensive Report", July 1984-December 2001 (Volume 1), Technical report prepared by Versar, Inc. for the Maryland Department of Natural Resources, Annapolis, MD, 101 pp (2002).

海嘯發生與傳播特性之研究

邱永芳 港研中心主任 (整理)

王慶福 港研中心研究員 (翻譯)

**富田孝史 日本港灣空港技術研究所主任海嘯研究官
(原作者, 已獲同意翻譯成中文)**

一、前言

2004 年 12 月 26 日上午 7:58(印尼時間),蘇門答臘島北部之西方外海發生了芮氏規模 9.0 之地震。此地震規模為有史以來之第四大地震,而此地震也產生了大海嘯,海嘯傳播到整個印度洋以及非洲東海岸,並且造成死亡及失蹤人數高達 30 萬人以上之歷史上最大規模的海嘯災害,特別是在距震源地很近的印尼,連同地震的損害,總計造成了 22 萬人死亡及失蹤者,造成很大的損害,而在距震源地 1600 公里遠的斯里蘭卡,也有 4 萬人死亡的犧牲者。

此次的海嘯,可說將目前為止所可能想到的海嘯損害型式,幾乎全多發生了,具體來說包含以下各種損害型式:

- (1) 造成很大範圍的沿岸低窪地區之淹水。
- (2) 木造及磚造之建築物嚴重損壞,只殘存了一部份之混凝土造建

物。

- (3) 沿岸之道路、橋樑、鐵路、港灣、機場均受災。
- (4) 海岸與鄰近沿岸之陸地被侵蝕,使得地形產生很大之變化。
- (5) 船舶、油庫、貨櫃等的漂流造成災情擴大。
- (6) 港灣及海岸的設施發揮了減輕海嘯的功能。
- (7) 由地震發生至海嘯到達為止,即使有些地區有足夠避難時間,還是很多人犧牲。
- (8) 沿岸居民和外來觀光客皆無倖免,死亡人數高達 30 萬人以上。

就海嘯所產生的災損來說,其他還有隨著海嘯所產生的火災,但本次的海嘯並未聽到有火災發生。回顧過去,1964 年的堪察加半島地震所引起的海嘯;1993 年北海道西南外海地震所引起的海嘯,都發生了火災。因此,為了使將來海嘯災害能減到最低,對於面對海洋的國家與地區就需要採取必要的防患海嘯對策。

到目前為止，海嘯對日本所造成之大災害是不斷地在重複發生。統計從 1900 年以後到 2004 年為止的 100 年間，因地震而引起超過 5m 以上的海嘯有 11 次，平均是每 10 年就會有 1 次。特別是位處於東海到九州的太平洋沿岸常受大海嘯的侵襲，如 1605 年的常慶地震，1707 年的寶永地震，1854 年的安政東海地震，1944 年的東南海地震，1946 年的南海地震等所產生之海嘯，大致以 100 年至 150 年的週期反覆發生，並造成很大的災害。

預測今後 30 年間（以 2004 年起算）地震發生之機率是，東南海地震約 60%，南海地震約為 50%，因此日本的內閣府中央防災會議針對東海地震，東南海地震以及南海地震，設置了專門調查委員會，對於其可能產生的災損預測以及對策加以檢討。同時，對於海嘯經常侵襲的三陸沿岸地區，如 1896 年的明治三陸海嘯（當時的死者及失蹤者有 22000 人），1933 年的昭和 三陸海嘯造成了很大的損害，預測今後 30 年內發生的機率高達 90%；而最近在日本海側，持續發生大規模的海嘯災損，如 1983 年的日本海中部地震（海嘯所導致死者 100 人），1993 年北海道西南外海地震（死亡失蹤者有 230 人）。

不僅是近海地區地震產生的海嘯，即使是相隔很遠的外海，因地震所產生的海嘯，亦會帶來災損，如

1966 年之智利地震所產生的海嘯，由北海道一直延伸到琉球的太平洋側，如此廣範圍受到災損。

在日本，為了減輕海嘯所致之災害，採取了各種的對策；而為減輕人員的傷亡，最基本而且有效的對策為避難，同時如果可能的話經由土地利用計畫的變更，由沿岸地區往高地搬遷也是有效的對策，但是，由於對於已在進行開發或利用之地區，要搬離並非如此簡單，所以為了有助於其避難以及減少財產之損失，因此，以結構物作硬體方面之對策也持續進行中，特別是在日本不僅有海嘯，因颱風所產生的暴潮以及巨浪所致之災損也是不斷的在發生，因此，在海岸地區就會有各種的保護設施，特別是最近為支援避難的資訊發佈，可顯示地區危險性的防災地圖之製作等軟體方面的對策也全力發展中。

二、海嘯發生機制

海嘯最主要是因海底發生地震而產生，由於地震使海底底床產生錯動變位，造成海水面的垂直位移，產生長周期波動向四周傳播，就成了海嘯；除了地震以外，另外還有因火山爆發，或因地震造成沿岸之山崖崩塌或海底地滑動、隕石落下等均可能造成海嘯。由於與地震所導致海底面之錯動相比，海水之運動速度很慢，海水之壓縮性也很小，因此海水面之變

位與海底面之變位是一致的，因此其平面規模可達數十公里以上，而此海面之垂直位移，在重力的作用下，水位能轉換成向四周擴散之能量，而以波動的方式向四處傳播。

(一)地震造成的海嘯

1.板塊邊界

地震造成海嘯的機制，可用板塊理論來說明：

- (1) 在日本周圍如圖 1 所示，有四個板塊在此碰撞，海洋板塊（太平洋板塊與菲律賓板塊）潛入到大陸板塊（歐亞板塊與北美板塊）下方。
- (2) 在海洋板塊潛入到大陸板塊之時，板塊之間擠壓產生變形，大陸板塊累積變形之能量。（圖 2(a),(b)）
- (3) 當大陸板塊累積之變形能量，達

到其變形之臨界狀況，超過其所能負荷時，板塊與板塊交接處之岩石產生破裂，產生彈性反跳或破壞，釋放累積之能量，使大陸板塊反彈回至原來之位置。（圖 2(c)）

- (4) 此時海底面產生變位，而這就發生了使海面產生上下變位的海嘯。（圖 2(d)）
- (5) 造成的海嘯以重力波傳到四面八方。（圖 2(e)）

2. 斷層模式

岩盤變位以斷層模式加以表示可區分為（如圖 3 所示），海洋型地震發生較多的逆斷層模式、正斷層模式以及內陸型地震發生較多的右移斷層模式與左移斷層模式，由於海嘯的大小受海底面之上下位移大小所左右，因此，逆斷層與正斷層之地震應特別注

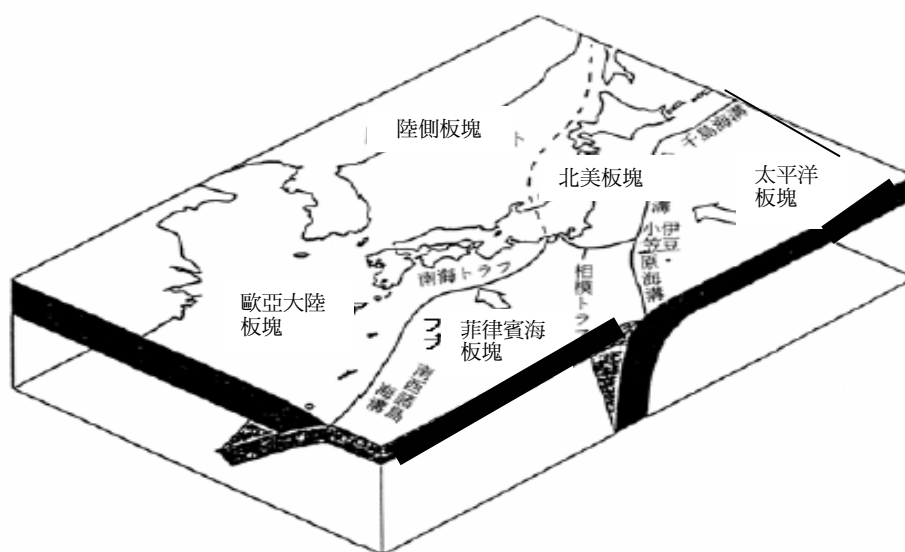


圖 1 日本四周之板塊分佈圖

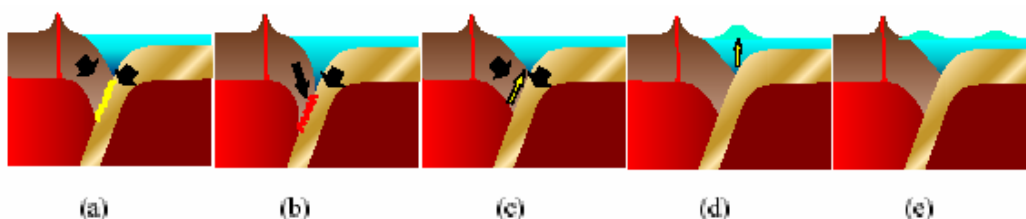


圖 2 板塊界面處因地震而引起的海嘯發生示意圖

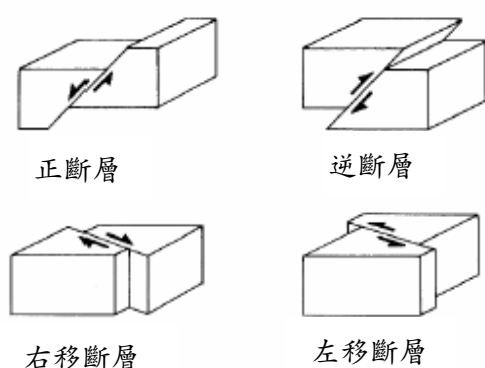


圖 3 斷層型式

意海嘯發生，而右移斷層和左移斷層較不易發生海嘯。

這些斷層之發生位置與規模如圖 4 所示，係以 9 個斷層參數加以模式化，圖中(N, E, d)為表示震源位置的參數，而當斷層面如圖所示，在眼前這邊往下傾斜放置時，將左上之端點定為斷層面基準點，並以其緯度、經度以及深度來表示，(θ 亦或 ϕ , δ)為顯示斷層面方向之參數， θ 為斷層面之移動方向，由北往東回轉所量測之角度， δ 為斷層面之傾斜度， ϕ 為斷層面之傾斜方向，(U, λ) 亦或 (U_s, U_d) 為表示移動方式之參數， U 為其合向量， λ 為由移動方向往逆時針方

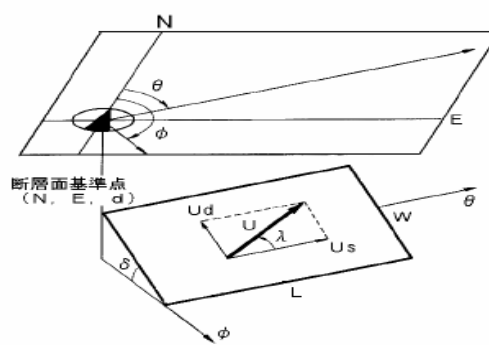


圖 4 斷層參數

向所量測之上層與下層之夾角角度， U_s 以及 U_d 為各個 λ 之移動方向成分（以左移為正）與傾斜方向成分（以逆斷層成分為正），(L, W) 為顯示斷層面大小之參數， L 為移動方向之長度， W 為斷層之寬度，當 $\lambda = 90^\circ$ 時，此為純粹的逆斷層， $\lambda = -90^\circ$ 時，此為正斷層， $\lambda = 0^\circ$ 時，此為純粹的左移斷層， $\lambda = 180^\circ$ 時，此為右移斷層。

(二)緩慢地震

通常在沿岸發生大地震之時，需要注意海嘯之發生，但是 1896 年之明治三陸地震時，該地震雖無造成陸地上很大的搖晃，但是其所產生之海嘯卻很大（有 38.2m 之溯上高紀錄），造成 22,000 人死亡之大災害，像這樣

的地震稱為海嘯地震或緩慢地震。通常地震為幾秒間之瞬間所發生，而緩慢地震卻是緩慢移動，其特徵為很舒暢的搖晃。因此，若是在海邊感覺到緩慢搖動之地震的話，要特別留意海嘯之發生。

(三)火山爆發所引起之海嘯

例如 1883 年印尼的喀喇卡多亞火山爆發所產生的海嘯非常有名，海嘯高度在爪哇島有 35m 高，此海嘯造成 36,000 人以上死亡。在日本有 1952 年的明神礁爆發所產生的海嘯，其到達日本沿岸之海嘯規模，在八丈島有 30cm 之潮位記錄，雖然並不算高，但卻造成前往明神礁調查之海洋觀測船第五海洋丸遇難，造成 31 人死亡。明神礁在那前後也又爆發了幾次，產生了 10cm 到數十公里的海嘯，(明神礁位於東京沿著伊豆小笠原，往南約 420 公里處)

(四)海床滑動所發生的海嘯

以 1998 年巴布亞新幾內亞的地震海嘯為例，相對於地震規模可說是很大的海嘯。一般均認為此係因地震以及地震所引起海床滑動等之共同作用而引起的海嘯，造成死亡人數超過 2,200 名，在海岸也引起約 15m 高的海嘯。此外在侵襲日本的海嘯當中，1994 年發生在北海道東方外海地震引起海嘯之原因，一般認為係與地震同時發生在鄂霍次克海之海床滑動所致，此時最大的海嘯高度，在北海道

根室市花咲為 3.4m。

(五)山崖崩塌所引起的海嘯

可以用在日本為大家所知的島原崩塌造成肥後災害的 1792 年之雲先普賢岳業眉山之崩塌為例，在島原有超過 20m 的海嘯，而在對岸的熊本則有 23.4m 的海嘯。

三、海嘯強度與地震之關係

因地震所引起海嘯之大小，受地震強度與震源深度所影響，羽鳥將 1664~2002 年期間琉球本島與台灣東部發生海嘯之地震與海嘯強度關係以圖 5 來表示。圖中之點線為羽鳥依據北海道與九州間的海嘯資料，所求得之經驗式。另外將琉球本島與台灣東部間與北海道與九州間二者關係相比，可知琉球本島與台灣東部間海嘯之強度大部份皆較北海道與九州間之強度低 1 到 2 等級。

(一)地震強度的影響

海嘯強度大小以 m 表示與地震強度大小以 M 表示，而其間的關係，渡邊以 1927~1996 年為止 70 年間在日本近海發生之地震。所引起海嘯統計資料計 123 個樣本，加以迴歸解析求得，關係式如下所示：

$$m = 3.2M - 22.6 \quad (1)$$

海嘯強度大小如表 1 所示，顯示受災程度與海嘯的高度有密切相關，通常地震強度達 6.5 以上時要特別注意海嘯的發生。

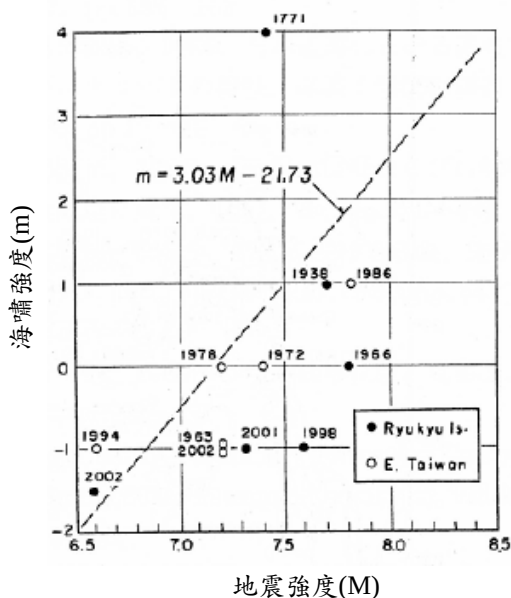


圖 4 斷層參數

表 1 海嘯強度與損害程度之關係比較表（今村，飯田）

海嘯強度(m)	海嘯的高度	損害程度
-1	50cm 以下	無
0	1m 左右	小災害
1	2m 左右	海邊及舟船之損害
2	4-6m 左右	內陸部分稍微損害與人的損失
3	10-20m 左右	400km 以上的海岸線有明顯損害
4	30m 左右	500km 以上的海岸線有明顯損害

依據式(1)可知，當地震強度增大 0.3 的話，海嘯規模會增大 1，而地震規模 M 與地震能量 E （單位為焦爾(J)：將 1 kg 舉起 1m 尺 要 9.8J）有以下之關係：

$$\log 10E = 4.8 + 1.5M \quad (2)$$

地震規模增加 1 的話能量即成為

32 倍（ M 增加 0.2 能量增加 2 倍）

(二)震源深度

即使地震強度很大，但如震源深度超過 60m 以上的話，會發生大海嘯的可能性就會變的很小，即發生海嘯之地震應屬淺層地震。

四、海嘯的傳播特性

(一)海嘯的方向性

隨著海床之移動變位，鄰近海域之水面會產生急速水位變化，而與周圍的海域水位不同，產生水位差，而此水位能量即依重力作用向四周低能區域傳遞，即形成重力作用下之重力波向四周行進。此重力波即為海嘯，發生海嘯區域即稱海嘯波源區。

如果海嘯波源區域之形狀為圓形的話，海嘯會向各方位等能傳播。但是，大多數海嘯波源區域為橢圓形，對橢圓形的波源區域來說，短軸方向的海嘯能量坡降較大，長軸方向能量坡降較小，亦即短軸方向之海嘯比長軸方向之海嘯水位變化較大，因此海嘯即依短軸方向移動，此稱為海嘯的方向性。蘇門答臘外海地震形成南北 1000km，東西 200km 的細長波源區域，因此與位於波源北方的孟加拉國相比，位於東方的印尼與泰國，西方的斯里蘭卡與印度皆承受較強的海嘯能量。由於日本海岸所發生的地震，平行沿岸的居多，這也是大海嘯較常襲擊日本的原因之一。

(二)海嘯以長浪傳播

由非常廣闊的海床面之變位到海水面為止，整個被擾動到的水體，受一次快速變位作用，形成波長非常長之海嘯，海底面也因流體之連續作用產生很大的流，亦即海嘯是以長波來傳播。在深海的海嘯波長達 10 公里以上，相對於僅有數公尺之水位變化，其波形很難查覺，反而是因風所產生的波動其波形較明顯易見。

長浪(海嘯)具有以下之特徵：

- (1) 垂直方向之水體幾乎不動，即垂直方向流速非常小。
- (2) 水平方向之流速幾乎不隨水深改變而變，亦即在靠近海底的水體也以水平方向運動。
- (3) 壓力幾乎是成靜水壓分佈。
- (4) 海嘯的傳播速度以水深為主要決定因素。
- (5) 能量傳遞損耗較少，波能會長距離傳遞。
- (6) 以目前波浪消能技術，對長周期之長波尚難以結構物來消滅其波能。

(三)海嘯的波形

到達沿岸的並非只是一個波峰與波谷的單一波而已，在海嘯往沿岸傳播的過程中，由於沿岸的反射、島嶼與岬灣的繞射、陸地與大陸棚端間發生的邊緣波、港灣所產生的共振以及在大洋中長距離傳播時產生的波浪分散性等之影響，使其成為具有多個波峰與波谷的複雜波形。

(四)海嘯的變形

1. 淺化效應

海嘯由外海傳播至沿岸的過程中，受到結構物或地形之影響形成波浪變形，使得在外海中並不明顯的海嘯在到達沿岸時變得非常明顯，有時會有由海底開始形成超過 10m 之水牆湧上來，再者，沿岸 200~300m 左右，由於受到局部地形之影響，有時亦會達到 20~30m，例如 2004 年印度洋海嘯，在印尼西海岸之 V 字型的斜面上，海嘯溯上到由海面算起 32m 之高度。

海嘯之增大特性可以用 Green 定理加以簡單推算，在海嘯傳播的路徑上，某一寬度的海嘯能量輸送，假定其不會因底面摩擦等產生能量減衰，均保持一定的話，則

$$EC_g B = \text{常數} \quad (3)$$

在此 E 為能量， C_g 為群波速度亦為能量輸送速度， B 為寬度

依據波浪理論，一個波浪所具有的能量為

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (4)$$

在此 H 為波高， g 為重力加速度， ρ 為海水密度

輸送能量的速度 C_g 在長波時與波浪的進行速度相等。

$$C_g = C = \sqrt{gh} \quad (5)$$

在此 C 為波速， h 為水深

將式(4)及(5)代入式(3)中加以整理，可得以下之式

$$Hh^{1/4}B^{1/2} = \text{常數}(\text{constant}) \quad (6)$$

由此式可知，在水深 h 變淺的沿岸，與寬度 B 變窄的灣內部，波高 H 會變大，特別是在 V 字型灣的內部，由於水深變淺同時寬度變窄，海嘯會明顯變大。

2. 折射

隨著折射，波高也有可能會增大，波浪的行進速度如式(5)所示，水深越淺會越慢，具有此種特性之波浪，當其與沿岸成斜角入射時，即使是一個波浪，其在水深較深時速度較快，較淺之處其行進速度較慢，因此會產生波浪行進方向的改變（如圖 6 所示），此即為波浪的折射。由於在岬角之處，波浪會產生折射而集中於岬角處，即在岬角處海嘯會集中而變大。1993 年實際發生於北海道西南外海之地震海嘯，傳遞至位於奧西島南部青苗地區之岬灣時，當時即湧上超過 11m 之海嘯。

3. 共振

海嘯的週期（時間尺度）與具有固定振動週期之港灣相近時，將產生共振而使海嘯增大，引起共振之港灣尺寸與海嘯週期之關係如下：

$$T = \frac{4Lb}{(2m+1)\sqrt{gh}} \quad (7)$$

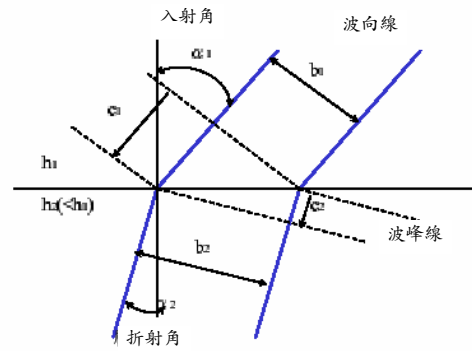


圖 6 波浪折射

上式中 L 、 b 、 m 分別為港灣長度、港灣寬度、mode（共振型式）

4. 孤立波分裂

在平淺的海岸上，波長較長的海嘯有可能會產生波長較短的波浪稱為孤立波分裂(Soliton Fission)，而此所產生的波浪在侵襲海岸的過程中，會使得海嘯的波高增大，成為很大的海嘯。

五、結論

海嘯的發生原因很多，但主要還是以海底底床的正逆向斷層位移為主。因地震引起的海嘯不僅在海嘯波源區域損害慘重外，更因海嘯不易消能的長波譜遞方式，往往造成遠域外的傷亡。2004 年南亞史上最大規模的災害除了在震源附近印尼 22 萬人以上以上的死亡和失蹤，同時遠在 1,600 公里外的斯里蘭卡亦有 4 萬人以上以上的犧牲。除人員傷亡外，公共設施的破壞和海岸地形的變遷皆會令人有難以想像的破壞現況，對於尚難預測地震的發生之現今科技，更難對海嘯的發生

做預防，幸好，海嘯發生後對距離稍遠之其他海域尚有短暫時間可做因應以為防災，因此對海嘯的發生機制與傳播方式更應進一步研究，做為防災之奠石。

綜合本文所述海嘯主要特性說明如下：

- (1) 海嘯主要由板塊運動，尤其正向斷層和逆向斷層時較易發生在淺層地震，震源深度超過 60 公尺以上較不會發生大海嘯。
- (2) 通常地震規模達 6.5 級上時，需特別注意海嘯的發生，地震規模增加 1 時，其能量增加 32 倍。
- (3) 海嘯以重力波方式向各方位前進，大多數海嘯波源區為橢圓形，波能向短軸方向移動，即短軸為海嘯移動的方向。
- (4) 海嘯受地形效應和結構物之影響而產生淺化效應，折射、共振和孤立波分裂等波形變化而增加其海嘯高度。

六、參考文獻

1. 佐藤良輔編(1989)：日本の地震断層パラメター・ハンドブック，鹿島出版会，390p.
2. 渡辺偉夫(1998)：日本被害津波総覧，第2版，東京大学出版，239p.
3. 藤間功司ら(1999)：1998年パプアニューギニア地震津波の波源に関する考察、海岸工学論文集、第46巻、pp.381-385.
4. 松山昌史ら(1999)：1998年パプアニューギニア・シッサノ津波の数値解析、海岸工学論文集、第46巻、pp.386-390。
5. 平石哲也ら(2000)：地震断層と海底地滑りを考慮した1998年パプアニューギニア地震津波の日本沿岸への適用、海岸工学論文集、第47巻、pp.341-345。
6. 橋 和正・今村文彦(2000)：複合型津波発生メカニズムの解明—1998年パプアニューギニア津波を例として—、海岸工学論文集、第47巻、pp.346-350。
7. 羽鳥徳太郎(2003)：沖繩本島～台湾東部における津波の波源域、津波工学研究報告，第20号，pp.53-60。
8. 首藤伸夫(1986)：津波と防災、土木学会論文集、第369号/II-5、pp.1-11。
9. 岩瀬浩之，見上敏文，後藤智明：非線形分散波理論を用いた実用的な津波計算モデル，土木学会論文集，No.600/II-44，1998，pp.119-124。
10. 岩瀬浩之，藤間浩司，見上敏文，柴木秀之，後藤智明：波数分散効果を考慮した日本海中部地震津波の遡上計算，海岸工学論文集，第49巻，2002，pp.266-270。
11. 後藤智明(1984)：アーセル数が高い場合の非線形分散波の方程式，土木学会論文集，No.351/II-2，pp.193-201。

12. 岩崎敏夫(1979)：ソリトン分裂－分散波動論－，1979 年(第 15 回)水工学に関する夏期研修会講義集，B-5。
13. Mansinha, L. , Smylie, D.E. : The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, 1971 , pp. 1433- 1440.
14. 岩崎敏夫，真野 明：オイラー座標系による二次元津波遡上の数値計算，第 26 回海岸工学講演会論文集，1979，pp.70-74。
15. 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，1998，pp.356-360。
16. 気象庁編(2004)：気象業務はいま 2004，活かそう情報，防ごう災害，政府刊行物，125p。
17. 富田孝史，柿沼太郎(2005)：海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用，港湾空港技術研究所報告，第 44 巻，第 2 号，pp.83-98。

浮船塢上滑動模板施作沉箱之探討

黃國民 臺中港務局港埠工程處工程員

摘要

鑑於國內近幾年來石料成本大幅提高及取得不易，各港口之闢建或擴建填築新生地等，其外廓堤型式除考慮原有圍堤防浪之目的外，如何有效降低工程成本，已成為重要考量因素之一。近年港灣工程設計者對於海床水深較深且受波力較大之處，其堤身結構皆已改採沉箱混合堤之型式設計，以期能達到減小堤身斷面降低施工成本之目的。本文感慨於目前坊間對於構成外廓沉箱混合堤之主要結構物-沉箱，於浮船塢（floating dock）上以滑動模板施作，皆僅止於概略性描述其施工方法、步驟，並依循簡陋的施工規範施工，如何能提昇工程技術水準，並能達到品質之要求呢？本文謹以提出微薄淺見，對於施工中所可能面臨幾個主要課題，加以探討，以提供給相關設計及施工單位，作為日後類似沉箱製造工程之設計及施工參考。

一、前言

本文主要是藉由「台中港南填方區(I)圍堤工程第二標」沉箱工程之施作，以施工監造者身分之實際監造及

紀錄，探討工程進行期間施工所須面臨幾項課題，及探討施工方法上有否須再注意及改進之事項。

1.1 沉箱製作工法之選擇

本工程於施工預算編擬前，因考量臺中港之地理環境及有限施工場地，已無法再像早期建港之初，以廣大沙灘地（當時本港尚未完全開發建設）提供作為沉箱製作施工場地，而且也考慮沙灘上製作沉箱，完成後之沉箱下水作業，才是整個沙灘上製作沉箱計畫成敗之最大關鍵，由於沙灘上沉箱下水並非絕對安全之施工法，稍有不慎，極易造成沉箱受傷或甚至破損，勢將增加建造成本與影響施工進度。

雖然以工作船渠來製作沉箱，也是不錯的沉箱製作方法，但因本港並無現成之工作船渠，可供作為沉箱製作場地，在工期緊迫壓力下，為能確實掌控工期，獲得良好工進，最後爰依前本港北防波堤延伸工程(第二期)於浮船塢上製作沉箱之案例，建請設計單位考量以浮船塢上製作沉箱之方式，作為設計施工規範基準。

以浮船塢配合滑動模板來製作沉箱，有以下幾個優點：

1. 與沙灘上製作沉箱相較，可大大減少沉箱製作所需要施工場地面積。
2. 可利用現有碼頭邊泊靠浮船塢，或是興建一座可容納浮船塢長度之鋼版樁臨時碼頭，場地取得較為容易。(臨時)碼頭面上可供混凝土泵浦車、混凝土拌合車及吊車等施工作業，後線場地則可規劃為鋼筋加工場、物料模具堆置場及倉庫等用地，浮船塢上之塔式吊車並能提供協助吊放鋼筋、模板等，減少作業空間之需求。
3. 在浮船塢上進行沉箱之底版製作，滑動模板混凝土澆置，或是沉箱須拖出浮船塢另行加高，皆能於浮船塢上或浮船塢附近進行沉箱製作，施工機具調度及工程材料之準備方便迅速，使得作業效率相行提高。
4. 浮船塢底板平整，施工精度高，沉箱脫離迅速，若再配合滑動模板製作沉箱，可以有效縮短工期，沉箱下水配合浮船塢下沉自動浮起，安全性較高。

其缺點為首先須能租借到適合本工程沉箱製作尺寸之大型浮船塢，滑動模板之施工機具設備（包含模板主體、提昇系統及工作平臺等），設備種類繁雜，屬於較具專業技術的一環，國內擁有此項技術之營造廠不多，須等待廠商施工空檔，否則不容易尋得。

1.2 本工程所設計之沉箱型式與數量：

本工程沉箱結構體，以沉箱外部尺寸區分，有 17M×24.8M 及 18M×

24.8M 兩種長型式，底版厚 0.6M，沈箱內部共分為 20 個隔艙，外牆壁厚為 50 cm，艙內隔牆為 24 cm，沈箱結構體高度為 12.5~15.5 M，每座重量約 3,200 噸至 3,800 噸，沈箱製作數量總計 66 座，為本港建港工程史上單一標案製作沉箱數量最多之工程。

1.3 本工程所使用之浮船塢介紹

本工程承包商為加速沉箱製造，特地由日本購進可同時提供兩座沉箱製作之浮船台（47M×32M），其型式及配置如下圖：

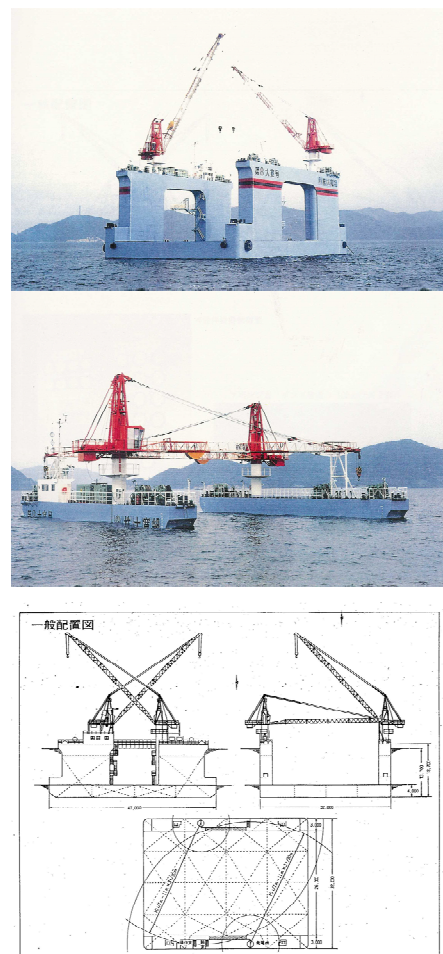


圖 1 浮船塢外觀及配置圖

為使浮船塢能配合兩座沉箱同時製作，承商再將浮船塢兩翼開口部分，底版予以各加長 4 公尺，並分別牢固支撐於船體，使整座浮船塢底版總面積增加為 55M×32M，足以應付兩座沉箱同時施作之空間需求。

二、沉箱製作流程及滑動模板施工概述

2.1 沈箱製作施工流程圖

本工程沉箱製作之施工流程圖如下（以最高 15.5M 沉箱為例）：

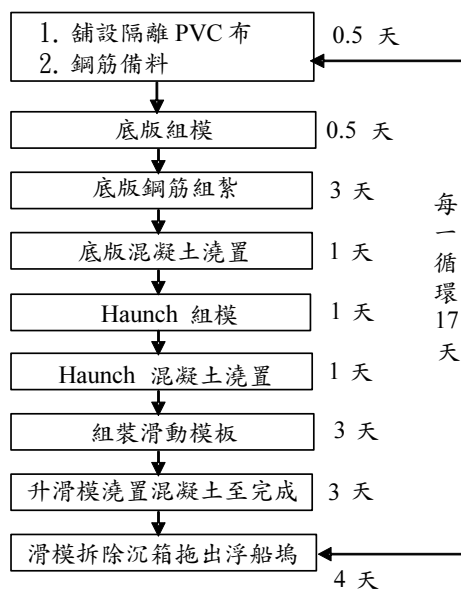


圖 2 沉箱製作流程圖

2.2 施工場地配置如圖 3：

2.3 施工機具設備

本工程為兩座沉箱同時於浮船塢上製作，所以須使用 2 套沉箱底版固定模，2 套底版拖肩（Haunch）模板及 2 套油壓控制滑動鋼模，其所須使用之施工機具設備，詳述如下表：

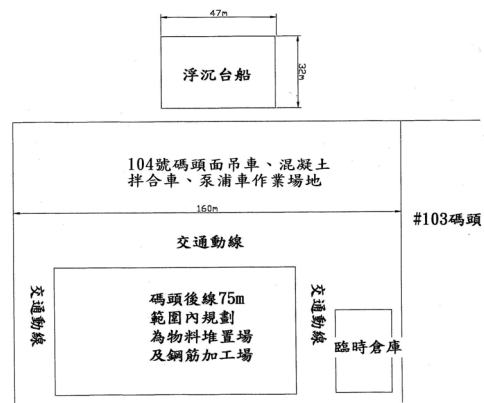


圖 3 施工場地配置圖

表 1 滑動模板施工機具設備一覽表

序號	項目	單位	數量
※	油壓滑動模板（以單一循環 2 座沈箱同時製作之所需設備為例）		
1	模板主體		
A	軛架	組	200
B	圍樑	M	860
C	鋼模 H=1000mm×750mm	M	860
2	提升系統		
A	油壓機組 5\$（含其油壓配件配管）	組	200
B	油壓泵 20HP	組	1
C	昇高桿每節 3m 依高度組成一組	組	200
3	工作平臺		
A	上層工作臺	m ²	844
B	中層工作臺	m ²	1,010
C	懸吊架工作平臺	組	8
4	補助設備		
A	小搬運吊卡車	台	1
B	混凝土壓送車（CONCRETEPUMP）	台	2
C	混凝土拌合車	台	6~8
D	高壓泵浦	台	2
E	拆模、鋼筋、物件起重設備（90T）	台	1
F	無線電對講機	組	3
G	照明設備（500W & 1,000W）	W	600
H	電力控制系統	組	2
I	電焊設備	組	6
J	振動機	台	20

2.4 垂直滑動模板概述

SLIPFORM 或稱垂直滑動模板是大家所熟知具效率且機械化、安全性高模板系統之一，在施工上不但能保證品質，且能因施工之迅速使工程期限縮短。在施工的過程中，它結合了模板組立、鋼筋組紮及混凝土澆置的持續性與連接性。故於施工中接縫少、水密性及氣密性均佳、抗震力強、施工迅速、安全、準確，更可以提昇結構體之強度與美觀。但在施工前需有週詳施工計畫、熟練之技術人員，才能確保工程之進展及品質。

1. 適用範圍

垂直滑動模板施工法可適用於巨高直立牆混凝土結構，尤其應用於 15M 以上之 RC 直立構造物，越能顯現其經濟效益，如聳立煙囪、平直的高樓或者港灣工程所用之沉箱等；但對於構造物表面起伏多變或不規則時，則較不適用此法。

2. 施工特性：

- (1) 混凝土連續澆注一次完成，無施工接縫，結構物之水密性及氣密性良好。
- (2) 不必鷹架支撐等假設工程設備，模板組立可一次完成。
- (3) 混凝土品質易於控制，可得高品質強度之混凝土。
- (4) 混凝土面表面修飾於模板滑動上昇後即可施工，工作性佳，若有搗實不足產生蜂窩，亦可以馬上進行修補工作。
- (5) 安全措施較傳統式鷹架作業可

靠，輸送系統可經特殊設計裝在滑動模板之平臺上。

- (6) 模板組立時，是將外模及內模同時直立牆底端組立，連為一體，昇高時內、外模同時提昇，不需要再每段重新拆模組立，可縮短工期。
- (7) 加載於模板之載重較小，可獲得高精度之施工效率。

2.5 沉箱製作之主要施工步驟說明：

1. 沉箱底板製作：

依設計圖說之尺寸規格將大樣，以細鐵片條點焊標示於浮沈船甲板上，再鋪設透明 PVC 布，以便於混凝土與浮船塢甲板隔離，再依循施工圖完成沉箱底版鋼筋組紮，組裝側模完成底版混凝土澆置後，再組裝托肩（Haunch）模板依次成型（側模及托肩模板以系統模板方式設計組裝）完成混凝土澆注。

2. 滑動模板之組裝：

於沉箱底版 RC 澆注完成後，將大樣重新標示於托肩上，依順序吊裝預組成型之滑動鋼模（包含內模及外模），並校正位置，組立油壓系統、照明系統，鋪設工作平臺、準備埋設物件，鋼筋加工完成及堆積，並完成滑模混凝土澆注前之所有工作。

3. 滑動模板施工說明：

本工程滑模系統主要分為二大部分：一為兩側之鋼模、圍樑、軛架及工作平臺等，其材料皆為鋼製。二為滑模中央控制油壓系統，負責模板之滑動。鋼模 H=1,000 mm 上下有圍樑

固定，圍樑在固定於甚為堅固之軛架，軛架再配置軛架樑連接並裝置油壓機組，升模時油壓機即沿爬昇桿爬昇，以爬昇桿支撐所有設備、人員、機具、材料帶動模板徐徐上昇，其各部分說明如下：

(1) 模板系統：

模板採用鋼板及角鐵併製成 STEEL PANEL 每片 PANEL 寬 75 cm 厚 3 mm 模板高 100 cm，每片模板為防止垂直及水平之變形，除互相結合外，再以特殊聯結器與圍樑相連結，組合前並塗模板油。為維持整套模板之勁度，圍樑構架除了穩定性之外，應具備塑造不同型式的特性，故圍樑採用足夠勁度之 H 型鋼組合之，使其形成一完整之模板系統，足以抵抗因混凝土澆置及最大速率滑昇所造成之負荷，使混凝土面光滑平整。

(2) 軛架系統：

鋼模及圍樑連結後，直接固定於

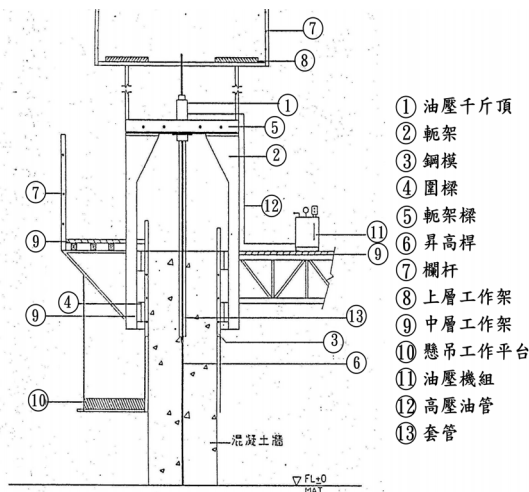


圖 4 滑動模板設備圖



圖 5 Haunch 模板及滑動模板箱型內模



圖 6 軛架系統組立

堅固的軛架上，再由成對之軛架樑，連結內外兩片軛架並固定之，軛架樑與滑動模板頂端之空間為 55cm，作為鋼筋組紮穿過之作業空間。隨著模板系統之爬昇，配合混凝土澆置及鋼筋組紮，連續循環作業，至滑模完成為止。

(3) 工作平臺：

上層工作平臺採全方位密閉鋪設，外部四週並設置 H=1,300 MM 之安全欄杆。其主要用途為混凝土輸送澆築，垂直鋼筋之續接組紮及爬昇桿之續接等作業。

中層工作平臺也採內外全方位密閉鋪設，外部四週也設置 H=1,300 MM 之安全欄杆。其主要用途為混凝土

土之搗實、鋼筋之組紮、預埋鐵件、預留開口埋設、昇模油壓系統之維修、檢測、壁厚尺寸調整及水平、垂直控制、指揮、調度等作業。

下層粉刷架採懸吊式固定於軌架底部連結一體，底部密閉鋪設架，外部四週並設置安全欄杆，其主要用途為混凝土牆面之修飾養護，預埋鐵件之清出、檢測開口預埋、模板系統等作業。

以上三層工作平臺須設安全爬梯及出入開口護欄並加蓋滑動蓋版，以利人員之上下。

(4) 油壓系統：

油壓機組係由油壓泵浦，配合電動動力及相關的壓力閥及換向閥等所組合，每分鐘輸送之油量約為 10L，工作壓力則可由 0 kg/cm^2 自由調整至 150 kg/cm^2 每一升程節距之時間，電源之切平，均可由按鈕開關控制其出



圖 7 工作平臺圖示

力或回油。壓力洩漏損失等之控制，則由壓力控制器來執行控制。油壓千斤頂其作用係在爬昇推動所有經由軌架單位元所支撐之全部負荷，千斤頂之主要部分由 2 組珠夾組及一個液壓缸所組成，每次移動的節距為 25 mm，視需要而定每只千斤頂提升高度可自由調整為 0~25 mm，每進行 20 cm 則由水平控制器，調整模板水平一次，以維持整套模板之水平及垂直，此油壓千斤頂除支撐著軌架樑引導荷重外，滑模中也可變換支撐點以利各種狀況及障礙之排除。

(5) 爬昇桿：

所有模板包含設備、人員、材料之重量均以此桿支撐提升，其採取用 $\phi 25 \text{ mm}$ 平滑之中碳鋼棒，為了方便使用，長度規格為 3M，每節兩端為 5/8" ϕ 陰陽螺紋接續，為求各相鄰接頭錯開對接，於結構底部基版上分別以 1M、2M、3M 三種長度之中碳鋼棒，依階梯式之排列將鋼棒之接頭錯開對接，接續方式如下圖：

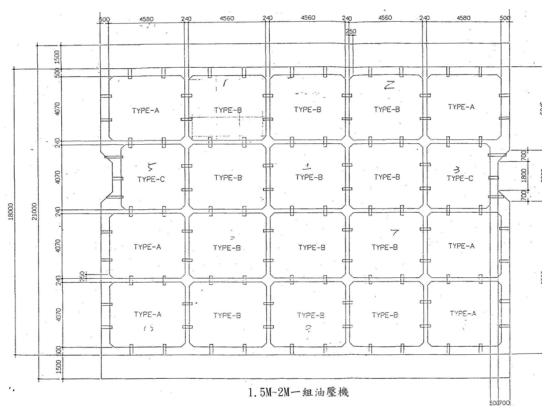


圖 8 沉箱 2480×1800 油壓機配置圖

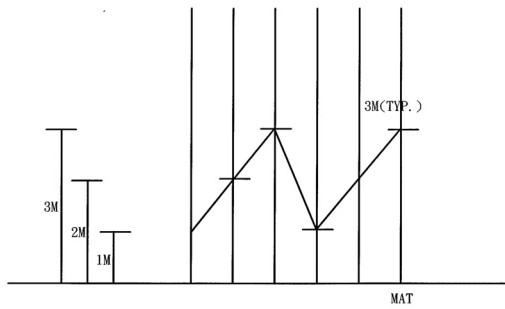


圖 9 中碳鋼接續示意圖

基於穩定性之因素，中碳鋼並由中空鋼套管包覆，中空鋼套管並固定於油壓千斤頂之下方，套管可使未凝固混凝土內的爬昇桿不致折斷彎曲，而達到安全之彈性範圍。

4. 鋼筋加工、排列組紮及吊運：

鋼筋於滑模前依工程設計圖說事先規劃組紮之次序及長度、規格型號作成鋼筋加工紀錄表，並將之捆綁成束，依 RC 結構最上端所需之材料，由下而上堆積於堆置場之吊升位置，吊放量須配合滑模速率調配，並適量地儲存在滑動模板工作臺上，並隨時藉由 90T 吊車，補充足夠之鋼筋量，以利滑模之連續性。滑模期間橫向鋼筋組紮前，以預先製作好之設計間距標尺，於每一面隔牆及外牆選擇一處，以噴漆事先噴記標線於垂直鋼筋上，以利組紮及檢查。鋼筋間距及保護層之控制則以鋼筋固定間隔器來控制，如圖 10、11。

5. 混凝土澆置及搗實：

混凝土由預拌混凝土車運載至現場並由泵浦車輸送澆置，滑模開始澆置前，底版與應於事先清洗乾淨，並將振動機等所需之工具定位，牆底接



圖 10 外牆直立鋼筋組紮固定間隔器



圖 11 內牆直立鋼筋組紮固定間隔器

觸面灑水溼潤，並灑上水泥粉末，增加新舊混凝土間的接合效果。本工程規定工地現場須設專用拌合廠供應所需混凝土，須隨時配合滑模時混凝土需求，使混凝土供應不致間斷，並於連續拌合時，隨時因應現場情況，配比、坍度能立即作必要之修正，以確保混凝土品質。混凝土以 PUMP CAR 直接輸送至模板內，每層澆築厚度 15 cm~30 cm，每一層須連續澆置完成

才停止，且須與滑動模板之上升速度相互配合，嚴格執行分層均勻澆築，並以工作臺預先設置振動機，小心振動，以獲得混凝土最大之密度。

6. 滑動模板之升高：

混凝土澆注已達凝固且由模板露出之混凝土，其初期材齡強度如能承擔上部澆置混凝土之自重而保持原形不變時，則模板滑動可繼續升高，其速度約為 15 cm~25 cm/hr，須視當時混凝土凝固、天候因素及施工狀況而作適時調整。惟其升高之速度不得大於混凝土之凝結速度，或每小時 50 cm，而油壓千斤頂每一循環之升高約為 25 mm 可依實際狀況而連續上升。

7. 表面修飾：

混凝土凝固露出模板底部，已為平整之牆面，其牆身表面再由熟練之粉刷工在下層懸吊架臺上用刮刀，保麗龍及毛刷輕輕鏟刷，目視其初凝情況，至產生光滑平整無疵的混凝土面為止。

8. 滑模期間預埋件須依設計圖說位置埋設施作，在此不再贅述。

三、施工中可能面臨之幾項課題

對於沉箱製作流程及方法稍作了解後，關於浮船塢上滑動模板沉箱製作施工，基於以上所介紹，提出幾點較為施工上被忽略的課題：

3.1 滑模作業之水平校正及垂直度控制

本工程模板系統滑昇之水平及垂直控制，是以滑模作業中每升高 20

cm，由繫於各爬昇桿之制動器來自動調整水平。俟全部油壓系統達到同步水平後再繼續上升。至於結構體高度之控制則以 $\phi 25$ mm 之 L=3M 中碳鋼，於滑模前預接並刻上尺度無誤後，由中空鋼套管包覆，並固定於油壓千斤頂之下方，隨滑模作業之爬昇，逐支以陰陽螺紋接頭連結，並埋設於混凝土結構內。

試想單純由制動器及中碳鋼，就足以達到水平校正及垂直度之控制嗎？以沉箱四角高度一致，就能保證沉箱垂直度準確嗎？答案應該不是。但由於存在於施工者以往之施工習慣使然，或者是施工技術的未臻成熟，於浮船塢上施作沉箱（或沉箱拖出浮船塢另行加高），因浮船塢（或加高沉箱）會隨著海面波浪起伏或稍微側傾，其水平及垂直度的控制，並無法如陸地上之檢測方式，得到良好控制。但因施工規範對此項檢測並未多加琢磨，也沒有施工準則，鮮少有營造廠商會去理會這樣的一個課題，畢竟有誰會拿石頭砸自己的腳呢？但殊不知若一不小心，就有可能因模板滑模水平度控制不好，造成角隅混凝土跟著模板舉起，產生大裂縫（施工中也曾發生這樣的問題，還好發現的早，經過慢慢調校，最後修正回來；當時可明顯看出模板水平度已產生側傾現象），重者發生模板卡住無法向上滑昇，實非大家所樂見。再則僅以控制水平及高度情形下，就可保證製作出來的沉箱是方方正正的，不會有像

平行立方體，或則沿垂直方向產生不規則扭曲現象的立方體嗎？

試想以營造者之頭腦，要想出如何因應這樣的課題應不難（尤其是垂直度的控制），留待以後碰到類似沉箱製作之工程人員，再想方法予以克服。

3.2 鋼筋組紮受軛架及昇高系統之影響

沉箱壁以滑動模板施工，鋼筋組紮時所面臨第一個問題，即牆直立鋼筋遇到軛架及昇高系統，該如何處置？如圖 8 所示本工程每一座沉箱總共有 100 處昇高系統，每處影響鋼筋組紮之寬度約 40 公分，本工程沉箱不論外牆或隔牆直立筋設計間距為 20 公分，遇到昇高系統必須間隔開，無法等間距組紮，該如何處置？有人提出“應錯開並酌增鋼筋”之論點；就所學提出以下個人之淺見，目前行政院工程會施工剛要規範“第 03210 章鋼筋”篇，在“許可差”項雖訂有鋼筋排置之許可差，但於最後都會提到「為避免與其他鋼筋、導管或埋設物之互相干擾，鋼筋在必要時可予移動，若鋼筋移動位置超過其直徑或上述許可差時，則鋼筋之變更排置應報請工程司認可。」即只要工程司認可，就允許變更排置。但工程司的依據為何？查鋼筋混凝土 ACI 規範對於“鋼筋間距”之規定，我們可以假定沉箱牆垂直向兩邊皆有隔牆（可視為樑）支撐，屬於單向版之結構，則平行於隔牆之鋼筋視為“溫度筋”，單向版溫度筋鋼筋最大間距規定為「不得大

於牆厚或版厚之 5 倍，亦不得超過 45 cm。」即最大允許間距為 45 cm。因此沉箱牆垂直筋在遇到昇高系統時（影響距離約 40 公分），我們可將垂直筋儘量向昇高系統兩側排列，使兩側鋼筋之間距小於 45 cm，並在鋼筋數量不變的情形下，縮短昇高系統兩側附近之鋼筋間距，重置排列即可符合規範之要求。

在此再補充一點可能是一般監造工程人員常易犯的錯誤觀念，鋼筋組紮時遇到鋼筋與鋼筋、導管或埋設物等之互相干擾，而必須移置鋼筋，造成鋼筋間距過大之情形，此時大部分監造工程人員第一個反應為“請酌補鋼筋”；或者自認為某處組紮好之鋼筋可能受力較大不夠安全，而胡亂要求現場鋼筋工這裡補一支那裡補一支的。這種觀念應該改正過來，以“鋼筋混凝土“英文名為” Reinforced concrete”，是“補強混凝土”的意思，其中混凝土才是主角鋼筋僅是配角，鋼筋是提供補強混凝土抗拉（或抗彎）強度的不足，更且 ACI 規範還有一個最大鋼筋量的限制，其主要用意是為防止因鋼筋量過多，使得斷面在設計彎矩（ M_n ）下，產生無預警的壓縮破壞，並提供構造物適當韌性，此錯誤的觀念必須予以導正才對。

再談軛架及昇高系統對鋼筋組紮之影響，坊間相關資料皆介紹，有關軛架樑至中層工作平臺（詳圖 4），此部分空間高度約在 40~60 cm 之間，本工程約為 55 cm。但實際觀察鋼筋

工在組紮鋼筋穿過軛架樑作業時，那彎身下腰、汗流浹背，而讓人不忍的背影，每每觸動我心；工程人員未好好構思，造成工人如此費盡辛勞，就僅為賺那微薄的工錢，況且還必須配合滑模時間，儘速完成組紮，而只要水平筋組紮間距一拉開，又要被我這個監造者所指正。所以個人認為此部分仍有改進空間。應可再經詳細結構計算後，酌予將軛架長度及強度提高，使軛架樑能加高到距工作平臺100~120 cm 空間，讓鋼筋工有充分組紮時間，監造者也較能掌控施工品質。

而由於軛架樑提高，連帶的使得橫向主筋之組紮更行容易，尤其以本工程沉箱外牆最長的彎鉤設計長度為2.5M（不含彎曲半徑），而軛架至外牆邊緣大概僅約1.5~2M 距離，彎鉤之組紮誠屬不易，每每須費很大的工夫才能使垂直角之鋼筋彎鉤，穿插進入軛架樑下以進行組紮，所以建議應該提高軛架樑高度。

3.3 鋼筋堆儲空間之侷限

雖然沉箱以滑動模板施工，可以減省搭設鷹架費用，並且省去傳統固定模板拆模組模之時間，有效縮短工期。但因沉箱滑模期間，配合混凝土澆置，須要隨時補充大量的隔牆鋼筋及外牆內層鋼筋以進行組紮，鋼筋皆先由吊車吊放至上層平台上臨時儲存，再由補充人員隨時補充鋼筋給中層平台鋼筋工組紮；由於數量龐大，且長度大部分超出隔艙寬度許多，堆

積於上層平台上，往往影響到隔牆直立鋼筋之搭接組紮及爬昇桿銜接，如何有效分配鋼筋儲存位置，儘量將影響鋼筋組紮的程度減至最小，在施工前於施工計畫提出時就應好好規劃，分配區塊，免得雜亂無章，而致影響工程品質。

個人在此提出小小見議，有否可能再擴增上層平臺面積，也就是在沉箱外牆範圍外，再增設1~2M 寬的上層平臺（當然須經結構計算安全無虞），並將增補之鋼筋儘量儲存於此，以減少對直立筋搭接組紮及爬昇桿銜接之衝擊。

3.4 人力配置問題

於浮船塢上同時施作兩座沉箱，並同時昇模混凝土澆置至設計頂高，一個循環施工工期約14~17 天（視沉箱高度而定），而其中模板工工作天數比較固定，但鋼筋組紮之人力工期，僅底版鋼筋綁紮3 天，升滑模澆置混凝土至完成製作2~3 天，且兩個工期是間隔而非連續的；若以鋼筋工的角度來講，一個月2 個循環，合計工作天數約僅有10~12 天，且做3 天休息4 天的，根本掙不到多少錢；因此只能看著鋼筋工一批換過一批，再好的價錢都留不住，實因工人須要出工才有錢賺，一個月作不到半個月的時間，如何養家糊口，工人素質當然是每況愈下。

以我監造者的立場，很不願意見到這樣的情形，但因牽涉營造廠商與協力廠商間利益關係，又不方便介

入，只是個人覺得這樣的人力配置，非常不經濟，應有再改進的空間。我們重新檢視本工程所規劃之沉箱製作流程，2 座沉箱從底版製作到完成設計頂高，皆在浮船塢上施作，流程及方法固定，想再提高鋼筋工出工工時恐怕還有點困難；而回想原編擬預算之初，當時原構想以兩座浮船塢來製作沉箱，如此可分別錯開沉箱滑模混凝土澆置時間，是乎可以交替填補空檔，較能合於經濟效益，並且達到適切之人力配置，對工程品質將有所提昇。

3.5 滑模期間混凝土澆置容易疏忽之缺失

1. 滑模前：滑動模板組立完成，一切設備就緒，開始出料澆置混凝土，因模內空模高度約 1M，混凝土澆置以分 3 次澆置為宜，一循環混凝土澆置厚度約 30 公分，這樣三個循環完成後，最底層混凝土已臨界初凝時間，可儘早開始昇模，否則分 2 次，甚至 1 次完成 1M 高混凝土澆置，經驗告訴我們，現場人員可有得等待了，而且容易產生蜂窩、裂縫，甚至失敗之情形。
2. 昇模期間：最怕混凝土壓送車送料或拌合車卸料時加水（最常為人垢病的壞習慣），不但影響混凝土品質，且容易造成浮水過多，尤其滑動模板為鐵模，浮水宣洩不掉，大部分會找模板接縫處洩水，造成水路並把水泥漿帶走，影響混凝土品質及昇模後之表面粉刷。

3. 昇模至完成設計頂高：前曾提及滑模期間須有效控制水平及垂直度問題，除應全程進行檢測外，亦須經常觀察剛昇模後之四個角隅有無裂縫產生，這也是施工監造之重點。經常檢視牆四周表面（尤其四個角隅），隨時注意有否裂縫產生，否則水泥工隨後進行水泥沙漿表面粉刷，裂縫即被蓋過而變得很難加以辨別；若因疏忽留下來之裂縫深度深及鋼筋，恐將影響沉箱之使用年限，所以須特別留意。

四、結論

隨著工業的快速發展，及因工業發展所衍生造成人口過度密集，並由於人們在物質生活水準的提高，漸漸意識到生活品質亦須相對提昇；再因環保意識的覺醒，使得一些高污染、高危險之產業，不得不離開原來社區另覓土地設廠。但因內陸土地價格昂貴，且取得不易，政府為維持國家整體的經濟成長，漸漸地已轉向外海爭地，以圍堤填土造陸，設立工業區，使廠商能以較低廉價格取得土地設廠，帶動產業昇級。由於越向外海爭地，外廓堤防之設置水深漸漸加深，受波浪的衝擊力變大，在考量須有效降低施工成本下，目前皆改採沉箱混合堤型式來設計居多，所以沉箱製作工程相關技術，將是未來海事工程不可或缺的一環；謹因有幸參與本工程沉箱製作之監造，以實際監造心得，發表個人淺見，希望能對未來海事工

程技術成長，貢獻綿薄心力，並期提供作為後進從事相關建造工程之參考。最後謹因個人才疏學淺，經驗不豐，懇切期盼各位智士先進不吝指正。

五、參考文獻

1. 宇泰工程顧問有限公司：“台中港港池泊渠浚渫及圍堤造地規劃第二期報告書”，pp.12-29～12-67，1997。
2. 大棟營造股份有限公司：“台中港南填方區（I）圍堤工程第二標-施工計畫書”肆、工程施工計畫之四、沉箱製作、暫存、拖放、定位、封頂，2001。
3. 湯麟武：“港灣及海域工程”中國土木水利工程學會，pp.564～576，1994。
4. 汪燮之：“土木工程施工學”國立編譯館主編，上冊 pp.377～387，下冊 pp.322～381。
5. 蘇棋福：“港灣設計準則及實例”（下冊），pp.5-65～5-148，1980。
6. 鐘英鳳、林原養、陳介、陳謙武：“重力式沉箱製作與拖放施工法”第 23 屆海洋工程研討會論文集，pp.555～568，2001。
7. 行政院公共工程委員會：“公共工程施工綱要規範第 02395 章港灣用沉箱篇及第 03210 章鋼筋篇”。
8. ACI 規範，單向版設計。

新世代貨櫃碼頭經營規劃與設計

張雅富 私立長榮大學經營管理研究所

郭珮玲 國立高雄海洋科技大學航管系

葉乃姝 國立高雄海洋科技大學航管系

摘要

CSX 世界碼頭公司曾經成功發展一系列高作業量的貨櫃碼頭，結合了下一代的碼頭處理程序、作業及規劃系統，以及貨櫃作業設施及訓練技術等。它最近在南韓釜山港新的碼頭發展計畫，顯示新一代的作業系統相當成功，本文綜合相關資料試介紹其相關的發展內容及趨勢。

關鍵詞：貨櫃碼頭、貨櫃場、港口

一、前言

從 60 年代開始，貨櫃運具已相當成熟的使用在海運運輸中。而最近的變化趨勢是貨櫃船舶朝向大型化發展，因為當航商在計算全球航運總成本時，為要求能有更低的作業成本，便會採取將航線集中與彎靠在世界上少數的樞紐港（Hub），使數以千計的貨櫃開始使用新的超大型貨櫃船（Mega Container ship）來運送（一般指為載運量為 5,600TEU 以上）。

因此，今日港口最重要的面臨問題是：港口的運輸系統是否已準備好

迎接”超大型貨櫃船時代”的來臨？超大型貨櫃船靠港後能否在短時間內將大量貨櫃卸下、裝船及運進、運出貨櫃中心。如果在未來的五到十年，國際貿易預期能會持續成長，港口所面臨的問題將不是下一代的新型貨櫃船何時會開始建造，而會是港口要如何讓它在貨櫃中心能順利作業。

二、貨櫃碼頭作業趨勢

今日海運貨櫃運輸的軸幅（Hub and Spoke）模式，必須結合鐵、公路及集貨船（Feeder-Ship）的運輸方式將各地的貨櫃運往樞紐港集中運送，然後再運往其他樞紐港再分散運往其他目的地。因為更大型的貨櫃船發展趨勢，意味著港口與航運策略將有改變。大型化貨櫃船要享受規模經濟的好處，就要在單一港口裝載更多的貨櫃，這需要更多的集貨船航線來支撐一個樞紐港發展。而由於貨櫃船型的增大將需要一個大型貨櫃中心作業系統，使託運人和航商在某些貨櫃碼頭作業限制情形下（例如短時間內的大量貨櫃同時進出作業），使貨櫃能在轉

運港口快速進出。

過去港口可視為海上與內陸運輸交會點，隨著貨櫃運輸之發展，已有了轉變。Ashar (1999) 就從近年航運發展歸納出一大演進及三項變化：港口及船舶規模會逐漸大型化；另外是船邊卸碼頭作業（海運貨櫃發明）、複合運輸（船邊直卸鐵路平台車）興起、船與船的直接轉運（軸輻式集貨船航

線），使航運作業產生改變並在航線安排上引進航空業樞紐港（Hub）的作業觀念。

但貨櫃船舶因受限於世界航道的水深、海峽寬度及單一船舶失事的風險負擔等因素，噸位並不會無限制的成長（Hayes, 2002），可從表一即可獲得港口貨櫃中心未來可能容納超大型貨櫃船的作業規格資料。

表一、不同貨櫃船型規格表

船型	長度	船寬	吃水	甲板儲位	艙內儲位	總計	載重噸
Korrigan	289m	32.2m	13.02m	1,016TEU	1,944TEU	2,960TEU	48,800t
Samsung 5500	277m	40m	14m	3,160TEU	2,602TEU	5,762TEU	67,500t
P&O NL S'ton	300m	42.8m	14m	3,284TEU	3,389TEU	6,673TEU	88,669t
Maersk K	318m	42.8m	14.5m	3,792TEU	3,256TEU	7,048TEU	82,100t
Maersk S	347m	42.8m	14.5m	4,200TEU	3,760TEU	7,960TEU	104,700t
Samsung 8800	347m	45.6m	14.5m	3,924TEU	4,944TEU	8,826TEU	105,900t
BRS 115	362m	56m	16m	5,628TEU	5,984TEU	11,612TEU	145,000t
BRS 140	405m	56m	16m	6,684TEU	7,568TEU	14,252TEU	180,000t
Malacca-Max	400m	60m	21m	-	-	18,154TEU	243,000t

資料來源：整理自 Hayes, 2002.

三、CSX 碼頭作業系統內容

對 CSX 貨櫃碼頭公司而言，近來該公司的貨櫃碼頭發展規畫是考慮以下之準則：

（一）規劃程序

在南韓釜山新港的貨櫃碼頭發展計畫中，CSX 碼頭公司訂定了以下的準則：

1. 尖峰營運條件：

- 每天停靠 6,000TEU 船舶作業

- 碼頭開口每小時 700 移動櫃量
- 每天貨櫃場 15,000TEU 作業
- 每天收受處理三列 518 公尺的火車列車作業
- 在作業期間有四百名員工往返工作站
- 預防維修而不會有使用的停工期

2. 運用資源：

- 2,000 公尺長的貨櫃船席
- 18 座超巴拿馬型標準規格起重機

- 47 部可雙邊操作 RMG
- 2 部 RMG 專為平板火車貨櫃作業
- 15 線無人自動的可調撥開口車道
- 碼頭作業規劃資訊系統

（二）挑戰

在作業過程主要挑戰之一所指的是在貨櫃存放場貯存方式和物流的作業速度的選擇，使貨櫃運輸能有效率的處理包括貨櫃存放場及碼頭設備。透過以下這些幫助，內部系統資料分析、模擬模型、實際操作經驗，將可得到的改善結論，這些船席若能有效利用，每年可處理二百萬以上的貨櫃量。

貨櫃停留南韓的時間，因為增強了場站的作業，設備和陸地區域已能有效的配合需求。大部份碼頭在經營管理碼頭作業規劃，主要著重環繞在船舶作業起重機的生產力，而其次問題著重在貨櫃場站機具數量配置，尚需要綜合其他因素，例如：人力調派。

在一個高密度堆疊的貨櫃碼頭設計，這些項目要是分派儲位以實現經營者想達到的最高水準生產力，對岸式起重機確實持續作業在碼頭所有區域，增進碼頭作業量水準。這些作業效率與方式是需要一個即時的作業監控系統和程序，以達成一個在貨櫃碼頭產業新效率標準。

（三）倉儲區域

高密度倉儲區是發展必要條件，它是在作業範圍內發展獨一無二的

RMG（軌道式門型起重機）設計和堆疊過程的設計。RMG 的規格需要貨櫃能應付雙邊的貨櫃堆疊，新規格的 RMG 功能為多方面的，速度像升降、傳遞、跨軌信號桿的能力，都被設計可容納雙邊的作業。這種 RMG 作業可配合一個程序複雜的運輸流量規劃。

（四）運輸流量／管控

運輸作業是遍及各倉儲區域和碼頭，是所有貨櫃交付、裝卸運輸的一個代表性作業，其中包括在碼頭內運輸和外面卡車進入碼頭作業時能否一樣的順暢。運輸流量設計包含複雜的開口（Gate）、貨櫃場（CY）、船舶作業的運輸流量，而電腦模擬方式可以提高貨櫃流暢進出開口、貨櫃場和平板鐵道火車區域的動線，以免貨櫃堆疊影響到船舶作業。

運輸設計納入許多高速車道，除此之外透過快速通行的車道來預防流量的瓶頸。碼頭規劃者和作業監督者，時常地透過監控碼頭作業的執行標準和比較即時服務水準的差異，以確實進行碼頭作業管理。

（五）開口系統

無人控制的開口門禁系統提供卡車司機一個預先規劃的區域和一個明確的場所，讓卡車在卸貨櫃及卡車司機能預知道安排裝櫃的時程，而這個開口結合了光學字元辨識系統（OCR）之工業技術，可說是一個通訊站；使一串數字訊息能顯示在每一個預定的卡車車道。

當卡車業者對於他們裝卸或貨物到達通知，有立即的指示時，可透過 ECO (Exception Control Office) 固定資料連結到閘口，讓管理人員有能力去負責處理所有的系統運作，而這也使能維持或應付例外的運輸量進出於此閘口區域。

這個設計可創造出當貨物進貨櫃場的瞬間，引導貨櫃運輸按其種類排成一列。當海關要求抽驗審查要求，設計出來的電子資料接收界面，可在海關辦公室所有碼頭工作時間內可進行處理。

對於這些進、出口貨櫃如果海關要求審查者，碼頭作業者在船舶抵達前就要紀錄貨櫃號碼。將這些指派好的貨櫃要直接地進到特別規劃的碼頭區域，而那些區域設計有 X 光掃描實行貨櫃的檢查；在這之後，或回到海關倉庫，以進行額外的抽驗。

(六) 人力配置

場地的規劃設計的一部份除了碼頭建築物地點之外，就是工作人員的位置，當他們抵達碼頭時需要接近他們工作的區域；舉例來說，維修區被設計在離工作場所十分鐘路程的範圍，為在有工具和零件的倉庫內。在相同區域也必須要可容納大概 75 碼的快速停靠空間給在使用的拖車頭。讓這些卡車送達且回程要在 15 分鐘或少於移動時間。類似的效率是需要的在員工操作場站機具時，快速正確的操作起重機。這樣程序在工作上移交要確保操作上的持續和最小的效率

損失，不因工作的中斷而降低。

(七) 船舶／起重機作業

船舶作業是規劃能提供碼頭起重機生產率水準，能讓委託人停留船席的時間縮到最短。為達到船席間距能超越今日標準效率的表現，CSX 公司規劃並設計岸邊起重機能讓一艘船有五個或更多起重機同時作業的可能，這樣設計程度也包括二艘船舶在同一時間以正確數量的岸式起重機工作。這種作業方式包括下列三種技術：循環作業、雙吊櫃、多重吊櫃方式。

這些程序和運輸流量為了要讓岸邊起重機能負荷，CSX 貨櫃碼頭公司說明下一代港埠起重機將發展標準規格訂有 140 英呎。這樣規格的起重機可充份負荷超過八個運輸車道。規劃過程也包含工作區域在航道和場地間不中斷移動的半自動化雙層貨櫃運輸載具。船舶運輸將能連續不斷通過車道而沒有跨越過自己或其他船舶的運輸車道。將只透過其他運輸個別區隔開來和其他通過碼頭和進入堆疊區域。這樣船舶作業將不會阻礙其他船舶的運輸作業。

(八) 碼頭自動化系統

儲存區和貨櫃場所的規劃是依碼頭自動化系統所控制，而對碼頭經營者而言資訊系統是基本的工具，且可整合最近規劃技術和作業來支援經營者。通訊區域最好的實行也包括在內，這個高速終端系統透過單一化工作和電信交流支援處理自動化和標準化，增進資料精確並提供即時最近的

報告和建議。這樣作業提升能力以提供所需水準更高的服務和減少顧客視察碼頭。一方面透過更提升的效率減少簡化經營費用，不論在場站、閘口、鐵道、船舶的作業和增加了碼頭的產量而沒有使用額外的資源。

這個作業系統如圖一所示，是藉由電子資料交換 (EDI)、傳真、網際網路 (Internet)、電話、光學字元辨識器 (OCR)、人工操作等接收與處理資訊，來自這個資訊可作為碼頭管理者訂定服務水準的標準。

透過資訊及標準的訂定，系統創造工作流程配合所有碼頭機能，這些作業介面會相互影響在貨物流量上。同時也提供了即時界面和最近的大量內外部系統使用的安排貨物後方勤務和相關費用。碼頭操作者和監督人將透過系統來監控貨物的輸出和貨物外觀，當有外力影響機械或人員的工作時，能隨時的做最小的修正援助需要

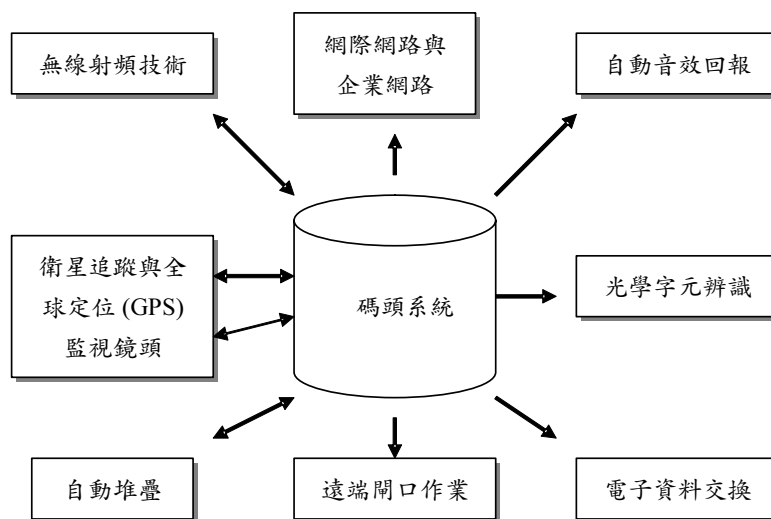
的操作人員。

歷史資料的收集和貯存在資料庫是持續更新，透過操作系統以提供最新的碼頭服務水準。除此之外，歷史資料還用來模擬碼頭作業是否有更好的效益標準以和當前的作業計畫做比較，這樣允許規劃者能預測作業所能達到最大的效率和所需最小資源。

四、結語

隨著大型貨櫃船的建造，貨櫃中心的作業機具與碼頭配置方式將會有所不同，可知自動化閘口 (檢查站)、新的岸邊橋式起重機排程、電腦化場地資訊管理系統、更高的貨櫃堆疊機具等，將對未來超大型貨櫃中心的設施規劃、貨櫃運送路徑及資訊流動的觀念造成影響。

現有作業技術、系統設備使用在今日大型又多種運具的碼頭，其管



圖一、碼頭管理所使用不同的系統

理、作業規劃方式等、在這些現有碼頭經營尚不足夠去應付未來的作業量和能量的需求，所以仍必須持續去進行規劃設計下一個世代碼頭的作業規劃、系統及機具設計。

參考資料

1. 于汝民主編，1999，集裝箱碼頭經營管理，人民交通出版社，北京。
2. 曾文瑞、梁容禎、林雅娟等，2002，”船舶大型化後對貨櫃港埠衝擊之因應措施”，中華民國海運月刊，第197期，頁2-16，5月。
3. Ashar, Asaf., 1999, “The Fourth Revolution”, *Containerisation International*, pp.57-61.
4. Hayes, John., 2002, “Does Size Matter? Bigger Ships, Bigger Ports....How Big Will They Get, and What are the Limitations?”, *Ports and Harbors*, pp.24-29, January-February.
5. Heuvel, Gerard van den., 2003, “Operations planning and design for new generation container terminals”, *Port Technology International*, pp. 91-95, Spring.

認知海洋湧昇流和善用海洋深層水

陳文樹 中華郵政公司高級技術員

一、概述海洋湧昇流的產生原因

海洋湧昇流（upwelling）是由較深處的海水往上流動至海面的低溫海流，大都分布於太平洋及大西洋兩大洋東岸，以及北印度洋西岸，會將深海的養分和沈積物帶往海洋表面而形成重要的漁場。其之形成，主要是由於風力吹動洋面產生水流而造成的自然現象，以太平洋的赤道帶為例，當每年春夏之交盛行的貿易東風在洋面上吹拂時，溫熱海水即會向西流動，並堆積於大洋西邊，堆疊的溫熱海水會因重力而自然下沉成為下沉流，繼之於深層海域向東回流促成赤道潛流，填補大洋東端所流往西端的海水，赤道潛流又促使大洋東面下方較冷的海水往上升起，此即構成湧昇流。以往受限於觀測儀器設備，因而研究海域潮流的學者專家，大都僅能在接近岸邊地區的海域觀測湧昇流，近幾年來則因利用觀測衛星拍攝的空照圖，故得觀察到相當遼闊範圍的海面區域，以致在遠洋上也可觀測湧昇流的現象（註一）。

另由於下沉海流和湧昇海流的作用，使得太平洋在赤道帶上層的海水會有東端較冷而西端較熱的情形，至

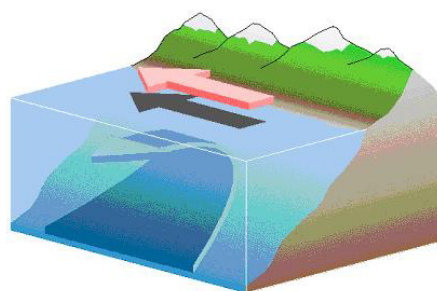


圖 1 紅色箭頭為強烈吹襲秘魯和厄瓜多爾的東南風，使海水往西北方向流動而形成南太平洋的湧昇流。

於海平面的高度則有西高東低的差別。海洋表面下之混合層，因對流明顯故海水溫度和鹽分含量得以充分混合；而混合層之下與深海之間，有一溫度變化極為快速的躍溫層，若海洋下層有冷水向上湧昇時，則混合層與躍溫層俱會變得較為淺薄，且因湧昇流主要是發生於東太平洋，故太平洋的躍溫層深度是由西向東逐漸變淺，海面溫度之變低亦然。當達到平衡狀態，海面落差形成的壓力梯度則和信風造成的應力維持於平衡的狀態。

而在水文領域上頗為學者熟悉的艾克曼海流，則會在海岸邊引致水位的上升或降低，同時引起湧昇流或下沉流。蓋上層海域之海流會直接、間接的因為風拂而受到影響，當強風吹

拂海面之際，先引起上層海水的流動，再帶動下層的海水，但由於摩擦之損耗以致流速愈往下層會愈減緩，故由風力引起的直接水流常僅限於上方數十公尺深度內的水層。若是風吹情形持續進行，海水隨之不停流動，則水流會因感受到科氏力（Coriolis force）而致其流動方向呈北半球向右、南半球向左之偏轉，此一由於大風、水面之摩擦力以及科氏力交互作用而產生的海流即是艾克曼海流（Ekman flow）。

艾克曼海流之表面流速大約是風速的 3%，而因受到科氏力之作用，故水流與風向在不考量其它因素的單純狀況下係呈 45 度的夾角，在北半球吹起南風時，海域表面的水流係朝東北方向流動，深度遞增時不僅流速會隨之減慢，流向亦將隨著深度增加呈順時針方向的旋轉，此又被稱為艾克曼螺旋（Ekman spiral）。艾克曼洋流會在岸邊引起水位的堆積或下降而造成下沈流或上昇流，例如中緯度的西風，將海水依艾克曼效應向南傳送，而低緯度的東風卻將海水依艾克曼效應向北傳送，造成水位於中、低緯度處堆積，堆積的海水形成中間高壓、四週低壓的壓力分布狀態，繼而造成下沈流。水位的堆積或下降同時又會引致水平方向的壓力梯度（horizontal pressure gradient），再導致整片水層的運動。壓力差產生的水流則由於科氏力形成之水流偏轉現象，造成流向的平行等壓線。此一因壓力梯度及科氏力

相互作用產生之海流，於海洋或大氣科學上名之為地衡流（geostrophic current），大洋中有近約 80% 的海流均可視為地衡流，黑潮即為其一（註二）。



圖 2 世界三大洋間的湧昇流和海洋深層水之主要存在區

台灣海峽在冬季時所盛行的東北風，即會引起西北方向之艾克曼旋流，使得水位在大陸沿岸堆積，夏季反之。而台灣鄰近海域，則有若干處由海洋洋流形成的湧昇流，如澎湖鄰近之海域屢於每年的夏季，因吹拂西南季風而帶動水流，兼以來自南海的洋流沿循中國大陸海岸而流動，遂在澎湖諸島至台灣本島之間的海域形成外圈為 27°C、內部水溫則為 26°C 以下之湧昇流。而在冬季時，當中國大陸沿岸冷流與溫暖的黑潮支流相匯合，其溫度為 21-22°C 之海水復被推移至澎湖與台灣西南沿海岸以南的海域，潮境愈南愈窄並於海岸一帶呈略與海岸線平行之狀態，且形成約 3-5°C 之溫度鋒面，使烏魚群之洄游受此潮境域之阻隔，而向台灣西南沿岸聚集。此外，台灣秋季時東北海域則會有由黑潮前緣造成的另一湧昇流漁場，乃

因海水垂直方向之低層輻合與高層輻散相互作用的結果，導致養分及浮游生物聚集於湧昇流四周，再引來以鯖魚為主的魚群。在潮流型態屬於上層環流的黑潮，係自海面上逐漸向水下形成溫暖的海流，可達數十至數百公尺之深，因為此一深層環流是沿著數千公尺深的海溝緩慢的流動，以致結構十分穩定，可涵蓋自混合層至躍溫層的深度，並朝向一定的方位流動，已有極長的年代了。

近十餘年來，備受氣象界重視的「聖嬰現象」(El Nino)，和海洋湧昇流亦有密切的關聯，乃因赤道太平洋上方的東風，每間隔數年便會減弱，部分地區還會轉為和風向恰好相反的西風，接之則有東太平洋之湧昇流變弱、水溫上昇，西太平洋卻是下沈流減弱、水溫降低，該變化持續約莫一年，此即是科學界所稱的聖嬰現象。不過，猶如物極必反之道理者然，自然界在某一效應之後常會再伴生具不同現象的另種反效應，繼聖嬰現象之後東吹的貿易信風有時會變得極端的強勁，使得東太平洋的湧昇流愈為強大，水溫愈為低冷，西太平洋則反之，此係近年來新滋生的「反聖嬰現象(另稱女嬰現象，La Nina)」，像是發生於上(廿)世紀末期、1997-1998年間的聖嬰現象，係被認為是上世紀威力最強大者，而當它逐漸消弭時學界卻又經由衛星觀測設備，在赤道太平洋上發現到面積比美國加州還廣袤的低溫海水區，彷彿是和聖嬰現象恰好相悖

的女嬰現象意欲思動反制一般。

湧昇流通常會含有極多的海底沉積物、礦物質，以及由死去的動植物遺體分解的大量有機養分，爰可利於浮游生物的生長，連帶的有聚集魚群和水生物的效應。然而，對人類而言，這種富含大量有機物質的湧昇流之水質，並不適合直接作為飲用水或用之於食品加工，而部分層區的湧昇流海水更因陽光難以照射至該深度之範圍以行使光合作用，乃未能蘊涵氧氣，而且易在厭氧細菌的作用下產生硫化氫、亞硝酸鹽等具有毒性之物質。惟仍有若干業者，係開採乾淨無菌、深度在 200~2,000 公尺之間的深層海水，來作為飲用水，將於後續章節另述。

二、極潔淨又富含營養鹽，可供加工利用的海洋深層水

全地球上所有的蓄水當中，存於河川、湖泊的淡水僅佔約百分之三，其餘俱是含有鹽分的海水，而在海水當中蘊藏在海面以下兩百公尺至兩千公尺之間的深層海水又佔約九成，接近於洋面的海水在冬天時水溫會顯著下降，並和下層的海水混合，但在部分地區如太平洋溫帶區，表層水和深層水則不會充分混合。深層海水具有低於攝氏一度以下、經年甚為穩定的低冷溫度，且由於陽光未能穿透，乃使浮游生物處於休眠狀態而停止增殖或近乎完全未有浮游生物的生存，另一方面民眾生活和工商產業的排水，

經過污水處理之後再排放至外海，亦不致於滲污到深層水，故其水質清澈潔淨，並無病原菌，但卻含有豐沛的礦物質、營養鹽及微量元素，故得被處理成為飲用之礦泉水或作為食品加工、醫藥衛生、漁產種苗養殖以及美容養身…等用途的用水。然而，海洋深層水雖若似取之無盡的資源，但因為海洋深層水具有調節全球海水溫度以及維持海洋生態平衡的重要功能，故若欲投資開發取用海洋深層水，仍應預先進行審慎的調查研究，確定在不會造成環境生態的損害之下方可從事。

美國是全球最早開發海洋深層水產業的國家，上（廿）世紀的八〇年代初期，夏威夷地區率先利用深層海水，從事深海魚類與藻類的養殖。日本則在數年後於高知縣開始發展海洋深層水的產業，初際日人在海洋深層水的開發利用上，係從進行海水脫鹽、製造飲料水開始的，再漸漸擴大為利用深層水的高純度特性來製成食品、化妝水，利用海洋深層水製成人造溫泉，治療皮膚炎，以及利用海洋深層水探索深海魚類、蝦類、貝類、蟹類的生長奧秘。在短時間內，其產值即大幅成長並朝多方位擴展，像是用之於釀造啤酒、栽育生冷蔬菜，以及養殖有機魚類、藥用藻類與營養價值頗高的深海魚，相關的產值在 2002 年已高達 6000 億日幣。

成本過高卻是不利於開發海洋深層水的關鍵因素，蓋每抽取一噸的海

洋深層水，成本約為 3000~5000 日元，不過仍不乏有日本專家樂觀的認為，只要將一般用水和專門飲用水分別各以管道供應，海洋深層水就可進入每個普通家庭，蓋日本全國平均每人每天要消耗 400 立方公升的水量，而其中作為飲料的用水卻只有三立方公升，簡直不到全部用量的百分之一。復以日本為例，最早係在 1986 年於從高知縣瀨戶內海的室戶市，設立「海洋深層水研究所」從事深層水之採水及研究，並在三年後、即 1989 年便順利的利用取水管取得深層水，現則更已擴增研究據點至富山、沖繩、靜岡以及日本境外的夏威夷等地。

韓國海洋水產部則於今年（2005 年）初表示，將利用韓國東海低溫和富含養分的深層水來生產高級紫菜。為求海洋深層水能帶來更高的獲益，韓國海洋研究院和慶尚大學更進一步的在江原道之東海岸一帶，採集特有品種的紫菜進行實驗性養殖。其結果顯示，在表層水和深層水的混合水或是逕於深層水中，這些特有品種的紫菜，成長速度得為在表層水中的 2.5~3.0 倍，迄目前為止，紫菜的生產期間係在每年 11 月下旬至翌年 3 月下旬，但若利用海洋深層水以生產紫菜、海帶，亦得於夏季獲致美味的海藻產品。

我國於 2001 年，由經濟部水利署與國立成功大學合作設立之水利產業知識化中心，即曾輔助民間團體參與開發深層水的產業，海域環境合宜、污染較少的台灣東部便被預定為海洋

深層水產業的開發地區。經濟部已擬定於台東知本海域汲取深層水的計畫，以每天取得 4000 噸之深層水為目標，台東縣政府則擬以 BOT 的方式邀集民間業者共同參與開發。農委會水產試驗所並已著手進行以海洋深層水養殖龍鬚菜、再將之製成化妝品的實驗。原本，漁民僅是以龍鬚菜為飼料來餵養九孔，售價極為低廉，現改用作為化粧品原料的製程若告成功，不啻可使其身價倏即提高成千上萬倍。並可再於其中添加富含深海有機藻類的天然植物精華，及海洋深層水中的十數種礦物質，以維持肌膚清爽並延長保濕時間。



圖 3 位於日本高知縣室戶市的海洋深層水研究所和其取水點

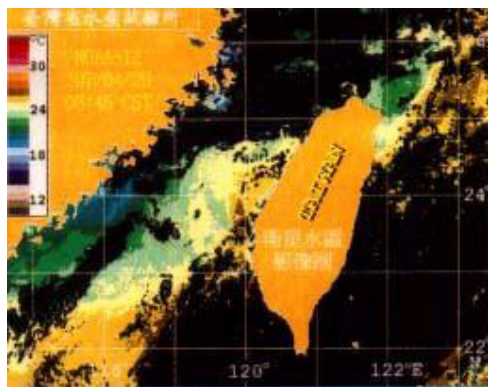


圖 4 NOAA-12 號衛星掃描之台灣週邊表層水溫分布影像

海洋深層水是幾乎未含有雜質、

極為潔淨的海水，例如以之曬製出的食鹽係呈純白之色，而以一般表層水曬取的海鹽，色澤卻是偏近黃色。另之特點則是由於光線極微，幾致一般的植物性浮游生物無法於深層水間進行光合作用，因而浮游生物所常會攝取的氮、磷、矽…等營養鹽，可被保留下來，而且深層水亦含有鎂、鈣等甚多種類的礦物質，遂使其無機營養鹽可較表層水的含量高出數倍乃至數十倍。此一富含無機營養鹽的海水若流動至淺層海域，則可成為植物性浮游生物的養分而使之大量增長繁衍，從而再聚集大量的魚群和其它的水生物，形成穩定存在的漁場，祇要未予破壞，當可供人類永續用。

註一：我國水產試驗所早在 1989 年即引進有高解析度之 HRPT(High Resolution Picture Transmission) 衛星漁場探測系統。其遙測之海洋表面海況值，經由確認於海洋表層至水深 50m 之間，水溫差異值可控制在 0.5℃ 以內，不僅得作為台灣海岸地區建立完整的沿近岸漁業資源發展及保育規劃之重要依據，而且亦得藉由遙測對聖嬰 (EL Nino) 洋流從事長期而全面性之監測。

註二：黑潮 (Kuroshio, 其英語名稱是由日語轉成者) 係源於菲律賓東岸的北赤道海流，沿菲國東岸北流至位於台、菲間的呂宋海峽和台灣東部，於台灣東岸

的流幅寬約百餘公里，最大流速將近 100cm/s。通常，在夏季時黑潮會往東海流去而南海海流則經呂宋海峽注入黑潮，冬季時黑潮卻流向南海或產生分流而朝北流至南台灣海峽，即呈現夏季遠離台灣但冬季臨近台灣的季節性變化。春夏期間流往東海的黑潮，於台灣東北海域陸棚邊緣形成一逆時針流動，並產生一長期湧昇流區，

造成漁場。在海域深度的影響上，黑潮可深達約莫 1000 公尺，水溫往往高於陸棚一帶的水溫，亦較鹹。黑潮於台灣東南海域常產生雙主軸現象 (double peaks)，即當黑潮北流至台灣東部外海時會受海脊阻擋而分成二支，一支東轉沿著琉球島弧北流，一支直接越過海脊沿著台灣東岸北流，並沿著東海大陸斜坡北流至日本。

更正啟示

港灣報導第 71 期 p.11~p.15 之文章『台灣颱風災害資料庫建立與分析』一文，由於作者要求，除原刊所列作者外，另應增列作者如下所示：

國立中興大學水土保持學系教授	游繁結
國家災害防救科技中心副研究員	陳建元
國家災害防救科技中心助理研究員	陳聯光
國家災害防救科技中心助理研究員	林聖琪
國家災害防救科技中心博士後研究員	薛朝光
國家災害防救科技中心佐理研究員	林又青
國家災害防救科技中心佐理研究員	曾駿杰

港灣報導編輯小組啟

港研中心花絮



21 世紀港埠及物流發展研討會



參與來賓



「親子日」相見歡



趣味搶答

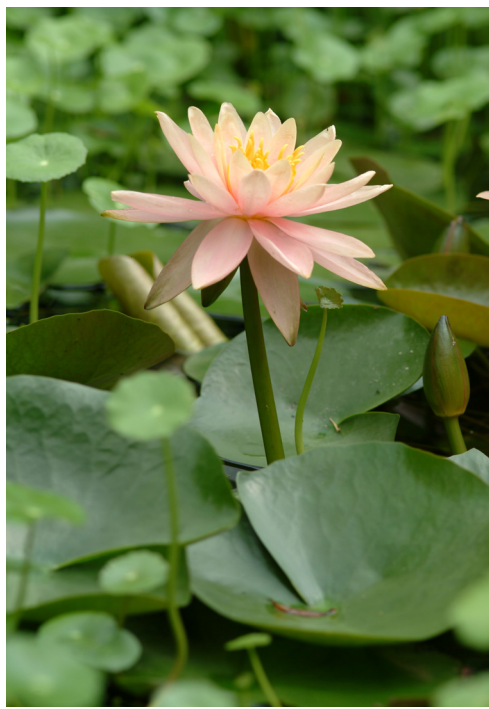


聚精會神比包粽



“包”準第一名

中心員工藝之窗



花之四境

攝影：劉清松

港灣報導徵稿簡訊

1. 本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
2. 投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
3. 來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1)以紙本或是數位方式出版。
 - (2)進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3)再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4)為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
4. 作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
5. 稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000 字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
6. 本刊每年刊行三期，分別於二月、六月、十月出版。如蒙惠稿請於每期出版前三十日寄交本刊。
7. 聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
傳真電話：(04)2656-4415
E-mail：elisa@mail.ihmt.gov.tw
8. 歡迎賜稿，來稿請寄：
台中縣 435 梧棲鎮中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」 收