

港灣報導



季刊 第77期

要 目

- ❖ 高雄過港隧道振動檢測
- ❖ 淺談海嘯及其數值模擬
- ❖ 東引海洋森林建構規劃研究
- ❖ 現代港灣工程與環境之探討
- ❖ 夜間之海疆巨眼
— 護守港灣、海岸和船舶的燈塔

中華民國 96 年 6 月 出版

港灣報導季刊

第 77 期

交通部運輸研究所

中華民國 96 年 6 月

港灣報導第 77 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、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：300 冊

印 刷 者：悅翔數位印刷有限公司

GPN：2007700020

ISSN：1019-2603

目 錄

高雄過港隧道振動檢測……………1

柯永彥 國家地震工程研究中心專案副研究員
陳正興 國立台灣大學土木工程學系教授
何應璋 台安工程技術顧問股份有限公司協理

淺談海嘯及其數值模擬……………10

陳冠宇 國立中山大學海洋物理研究所助理教授

東引海洋森林建構規劃研究……………18

朱達仁 中華大學休閒遊憩規劃與管理學系助理教授
劉仁銘 國立高雄海洋科技大學漁業生產與管理系副教授
張睿昇 育達商業學院休閒管理學系助理教授
郭一羽 國立交通大學土木工程學系教授

現代港灣工程與環境之探討……………28

鍾英鳳 高雄港務局港工處副處長

夜間之海疆巨眼—

護守港灣、海岸和船舶的燈塔……………39

謝晚嫻 交通部台北郵局

高雄過港隧道振動檢測

柯永彥 國家地震工程研究中心專案副研究員
陳正興 國立台灣大學土木工程學系教授
何應璋 台安工程技術顧問股份有限公司協理

一、前言

高雄過港隧道為高雄港區與旗津地區聯絡之重要通道，於民國 73 年通車，往來車輛多為大噸位之貨櫃車，在移動載重長年累月作用下，可能造成隧道結構體及接縫處產生損壞。由於隧道本身位於海水面下，隧道結構以及接縫之品質，與隧道之安全性可謂息息相關，因此，實有必要對過港隧道進行全面性的檢測。

對仍在使用中之設施進行安全性檢測，非破壞性之振動量測試為常用之方法，根據所測得之振動行為特性，可反映出結構體之強度與完整性[1]。藉由比較隧道各段沈埋管與伸縮縫之振動特性差異，便可判別其是否有結構或基礎瑕疵。另外，亦可由伸縮縫兩側振動反應推求其相對位移量，以確認其安全狀態。

本次振動檢測，為交通部高雄港務局委託臺灣營建研究院與中華顧問工程司辦理「高雄港過港隧道檢測及改善工程之調查及規劃設計工作計畫」工作項目之一，目的在於利用一系列現地振動試驗所獲資料，來檢視高雄過港隧道各段沈埋管結構體以及其間伸縮縫之振動特性，藉以判斷其是否已產生異常現象。

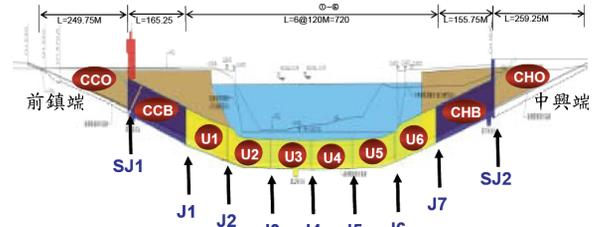


圖 1. 高雄過港隧道沈埋管與伸縮縫配置[2]

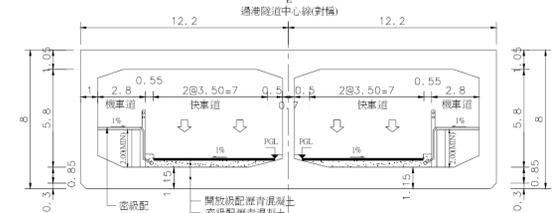


圖 2. 高雄過港隧道斷面示意圖（沈埋管 U2~U5）[3]

二、試驗項目

圖 1 為高雄過港隧道之配置圖，包含沈埋管段(U1~U6)、引道箱涵段(CCB, CHB)及引道開口段(CCO, CHO)；圖 2 為沈埋管斷面示意圖，為雙孔配置，分隔雙向車道，各向車道含快車道二線及機車道一線。本次過港隧道振動檢測試驗，主要針對沈埋管段為之，試驗項目包括環境微動量測及單輛重型車輛通過振動量測，分為兩階段進行。

第一階段之工作，係針對接近隧道中間段之沈埋管 U3，及其鄰近之伸縮縫 J4，進行較密集之振動量測分析，並於試驗後進行各量測點振動反應之頻譜分析，及伸縮縫兩側相對位移之分

析，以了解隧道沈埋管結構體各部分及伸縮縫附近之振動特性，並依據評估之結果擬定第二階段全面性試驗之工作內容。

第二階段之工作係進行隧道全線之振動試驗，藉此比較隧道各沈埋管結構體以及各伸縮縫振動行為之差異，以判別其是否具有異常情況。

三、試驗儀器

此次試驗主要使用之設備簡介如下：

(1) 振動源

- (a) 環境微動：振源係為自然狀態下之散漫振動源。
- (b) 重型卡車通行：由於單輛重型車輛通過隧道的變因（車重、車速、有效振動時間等）較容易控制，因而較適合用於比較隧道各沈埋管之差異性。本試驗中利用採單輛載運空貨櫃之貨櫃車（第一階段）或單輛 40 噸重型吊車（第二階段）行經隧道，以引致有效振動。

(2) 感應器

本次試驗採用 VSE-15A 速度型感應器（如圖 3），操作頻率為 0.1~70Hz，最大容許振動量為 100 kine(cm/s)。

(3) 集錄系統

本次試驗採用 SPC-51 集錄系統（如圖 4），為一 16 頻道之攜帶型集錄系統，可將各感應器之量測資料傳回個人電腦之硬碟內。SPC-51 各個頻道之量測精度可個別調整，故其所連接之感應器所擺設位置可涵蓋之範圍較大。



圖 3. VSE-15A 速度型感應器



圖 4. SPC-51 集錄系統

四、試驗配置

4.1 試驗流程概述

- (1) 首先封閉過港隧道由前鎮端通往中興端之部分，於預定位置佈設感應器。
- (2) 待感應器佈設完成後，封閉由中興端往前鎮端之部分，使隧道呈無車通行之狀態，進行背景振動之量測。
- (3) 在隧道交通管制下，允許單輛重型車輛由中興端往前鎮端之部分高速通過隧道，以引致有效振動並量測之。第一階段試驗採空貨櫃車，最高時速約 70 km/h，第二階段試驗採重型吊車，最高時速約 55 km/h。
- (4) 試驗完成，撤除儀器，解除交通管

制。

4.2 第一階段試驗配置

此階段試驗係針對 U3 沈埋管及其鄰近之伸縮縫 J4，以較高之密度佈設測點，如圖 5 所示。

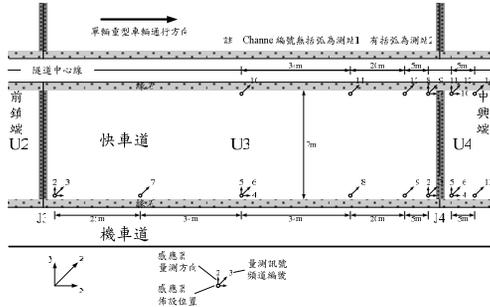


圖 5. 過港隧道第一階段振動檢測試驗配置

4.3 第二階段試驗配置

此階段試驗分別針對 U1~U6 沈埋管，以及 J2、J3、J5、J6 伸縮縫進行檢測，並根據第一階段試驗之結果，針對最具代表性之伸縮縫兩側以及沈埋管中心點等位置，量測其振動反應，如圖 6 及圖 7 所示。

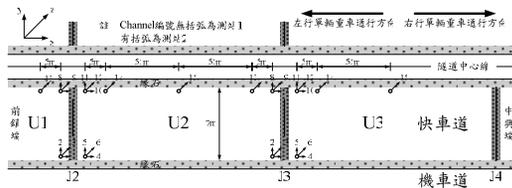


圖 6. 過港隧道第二階段振動檢測試驗配置 (U1~U3, J2, J3)

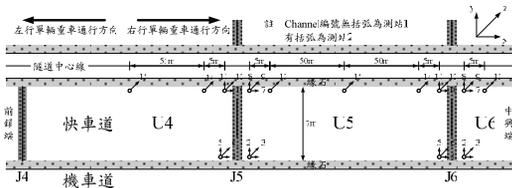


圖 7. 過港隧道第二階段振動檢測試驗配置 (U4~U6, J5, J6)

五、試驗結果

本節將綜合第一階段與第二階段試驗所得結果進行分析，以瞭解隧道結構

體之振動特性及隧道各段之振動行為差異。為了簡化，U1 沈埋管右端將以 U1R 表示，左端以 U1L 表示（左右之方向係根據試驗配置圖而定），依此類推。此外，後文中所述之座標方向定義，如圖 5~圖 7 所示，x 向為水平向且與隧道軸向（車行方向）平行；y 向為水平向且與隧道軸向垂直；z 向則為鉛垂向。

5.1 環境微動

本部分之主要試驗內容，係在交通全面管制而無車通行時，量測隧道在自然環境下之微動，藉以瞭解隧道結構物本身之振動特性。而藉由比較隧道各段沈埋管之振動情形，可檢視其間是否具有明顯之差異。另外，將比較伸縮縫兩側之相對變位之大小，以檢視各伸縮縫間是否具有明顯之差異。

圖 8~圖 10 為 U3R 在環境微動下，長度為 10 秒之振動速度歷時、富氏譜及 1/3 倍頻振動分貝值，用以檢視該段沈埋管之振動特性。由圖可知三方向之主要振動均以 0.5~1.0 Hz 之低頻振動為主，應為環境微動之顯著頻率。但 y 方向及 z 方向另同時含有頻率 2.5~3.0 Hz 之顯著振動，且以 z 方向振動較大，顯示隧道最主要之振動為鉛垂向振動，造成沿車行方向（隧道長軸方向）之彎曲振動模態，其顯著頻率為 2.5~3.0 Hz 左右。x、y、z 三方向環境微動之振動分貝值約可達 33 dB、35 dB 及 45dB 左右，屬相當安靜之環境。其餘各段沈埋管在環境微動下之顯著頻率如表 1 所示，可發現各位置之振動特性均與 U3R 相似，並無振動異常之現象。

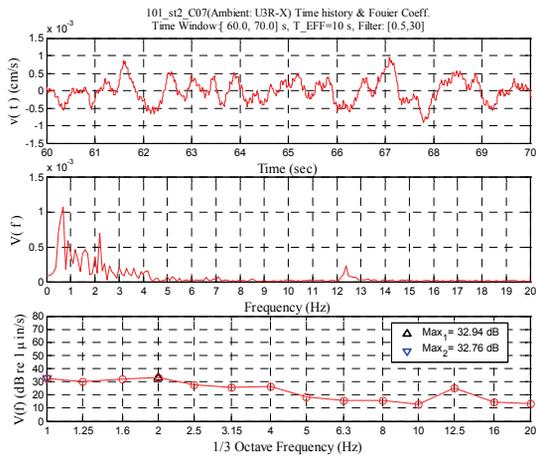


圖 8.環境微動下 U3R 之 x 向振動速度歷時(上)、富氏譜(中)及 1/3 倍頻振動分貝值(下)

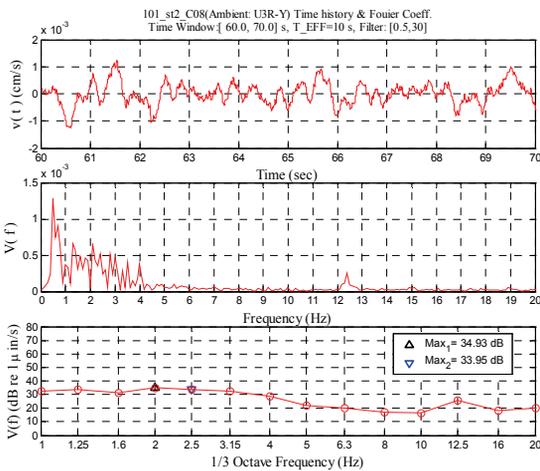


圖 9.環境微動下 U3R 之 y 向振動速度歷時(上)、富氏譜(中)及 1/3 倍頻振動分貝值(下)

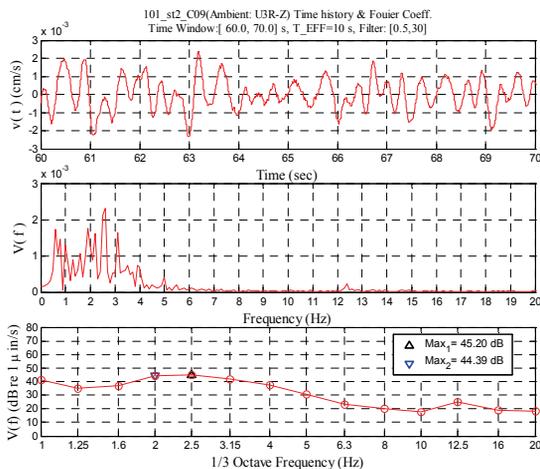


圖 10.環境微動下 U3R 之 z 向振動速度歷時(上)、富氏譜(中)及 1/3 倍頻振動分貝值(下)

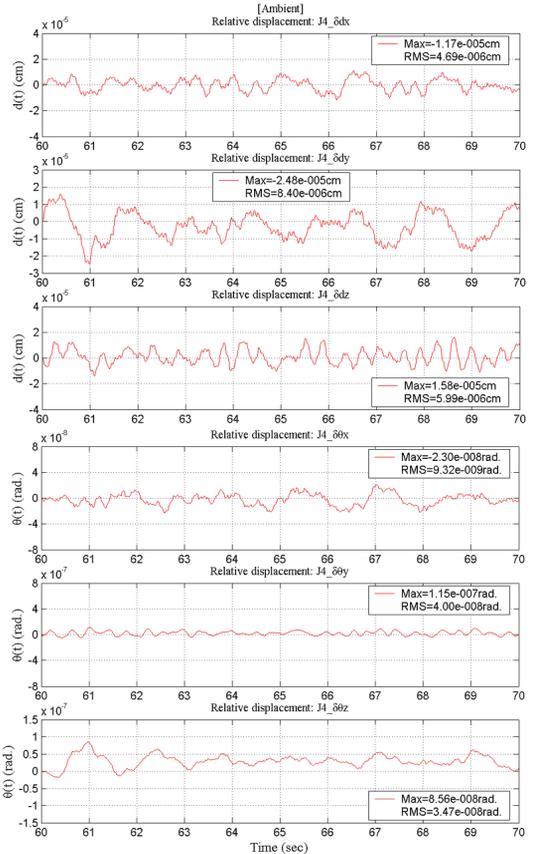


圖 11.環境微動下 J4 伸縮縫兩側之相對變位歷時(由上而下為： δdx 、 δdy 、 δdz 、 $\delta \theta x$ 、 $\delta \theta y$ 、 $\delta \theta z$)

圖 11 為 J4 伸縮縫兩側在環境微動下之相對變位歷時，包含有 x 向相對位移 δdx 、y 向相對位移 δdy 、z 向相對位移 δdz 、繞 x 軸相對轉角 $\delta \theta x$ 、繞 y 軸相對轉角 $\delta \theta y$ 、繞 z 軸相對轉角 $\delta \theta z$ 。其係根據伸縮縫附近之測點所量得之振動速度歷時，對時間積分後得振動位移歷時，再藉以計算相對變位。以圖 6 所示之 J2 伸縮縫為例，將該伸縮縫近隧道中心線端兩側之 ch7 與 ch10 所測得之振動位移歷時相減，可得伸縮縫兩側 x 向振動位移差，並與伸縮縫近機車道端兩側 ch1 與 ch4 之 x 向振動位移差平均後，即為 J2 伸縮縫兩側之 x 向相對位移 δdx ；而 δdy 與 δdz 之計算亦類似。此

表 1. 環境微動下各沈埋管顯著頻率

位置 方向	U1R	U2L	U2R	U3L	U3R	U4L	U4R	U5L	U5R	U6L
x	0.5~1 Hz	0.5~1 Hz	0.5~1.5 Hz	0.5~1 Hz	0.5~1 Hz	0.5~1 Hz 2 Hz	0.5~1.5 Hz	0.5 Hz	—	0.5~1 Hz
y	0.5~1 Hz 2~3.5 Hz	0.5~1 Hz 2~3.5 Hz	0.5~1 Hz 2~3 Hz	0.5~1 Hz 2~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5 Hz 3 Hz	0.5 Hz 3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz
z	0.5 Hz 2~3 Hz	0.5 Hz 2.5~3 Hz	0.5 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5 Hz 2.5~3 Hz	0.5 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3 Hz	0.5~1 Hz 2.5~3.5 Hz

註：— 表示無資料或資料不可靠

表 2. 環境微動下各伸縮縫兩側之相對變位

編號 分量		J2		J3		J4		J5		J6	
		Max	RMS	Max	RMS	Max	RMS	Max	RMS	Max	RMS
δdx	μm	2.35×10^{-1}	9.41×10^{-2}	—	—	1.17×10^{-1}	4.69×10^{-2}	3.05×10^{-1}	1.29×10^{-1}	—	—
δdy		3.97×10^{-1}	1.21×10^{-1}	—	—	2.48×10^{-1}	8.40×10^{-2}	1.34×10^{-1}	4.57×10^{-2}	3.87×10^{-1}	1.43×10^{-1}
δdz		2.94×10^{-1}	9.77×10^{-2}	—	—	1.58×10^{-1}	5.99×10^{-2}	1.51×10^{-1}	4.80×10^{-2}	2.82×10^{-1}	7.07×10^{-2}
$\delta \theta x$	rad.	6.67×10^{-8}	2.19×10^{-8}	—	—	2.30×10^{-8}	9.32×10^{-9}	3.28×10^{-8}	8.25×10^{-9}	7.21×10^{-8}	2.82×10^{-8}
$\delta \theta y$		6.17×10^{-7}	3.31×10^{-7}	—	—	1.15×10^{-7}	4.00×10^{-8}	4.21×10^{-7}	1.52×10^{-7}	5.26×10^{-7}	2.04×10^{-7}
$\delta \theta z$		1.07×10^{-7}	3.69×10^{-8}	—	—	8.56×10^{-8}	3.47×10^{-8}	6.09×10^{-8}	2.06×10^{-8}	1.21×10^{-7}	3.86×10^{-8}

註：1. — 表示無資料或資料不可靠
2. MAX 表最大值，RMS 表方均根

外，將 J2 伸縮縫近隧道中心線端附近之 ch12 與 ch14 所測位移相減，可得該兩點間之鉛垂向位移差，再由兩點間距，便可換算出兩點間線段繞 y 軸之轉角，ch9 與 ch13 亦同，如此一來，將 ch12、ch14 所得轉角與 ch9、ch13 所得者相減，便可得 J2 伸縮縫兩側繞 y 軸之相對轉角 $\delta \theta y$ ；至於 $\delta \theta x$ 與 $\delta \theta z$ ，亦採用類似之計算方式。

其餘各伸縮縫兩側在環境微動下之相對變位最大值與均方根值如表 2 所示。可以看出各伸縮縫 δdx 之最大值約介於 0.12~0.3 μm ； δdy 之最大值約介於 0.13~0.4 μm ； δdz 之最大值約介於 0.15~0.3 μm ； $\delta \theta x$ 之最大值約為 $2 \times 10^{-8} \sim 7 \times 10^{-8}$ rad.； $\delta \theta y$ 之最大值約為 $1 \times 10^{-7} \sim 6 \times 10^{-7}$ rad.； $\delta \theta z$ 之最大值約為 $6 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-7}$ rad.。各伸縮縫之相對振動變位均甚小，且振動特性大致上類似，並無明顯異常之現象。

5.2 單輛重車通行之振動

1. 單輛空貨櫃車通行之振動

此處討論由第一階段試驗中，單輛空貨櫃車通行所引起包含 U3L、U3R、U4L、J4 伸縮縫等部分之振動反應。由於本試驗中車速較快（時速約 70 km/h）及車輛振動特性之影響，故各測點測得之有效反應時間較短，約 1 秒。分析時，將僅擷取有效反應部分之歷時記錄來進行。

圖 12~圖 14 為 U4L 在單輛右行重車（貨櫃車）通行時之振動速度歷時、富氏譜及 1/3 倍頻振動分貝值。由圖可知，x 方向之主要仍以 0.5~1.0 Hz 附近之低頻振動為主，除了反應環境微動之特性外，可能亦為 z 方向振動顯著頻率之一；另外，在 9~11 Hz 附近，可以看到另一個較主要的振動。至於 y 方向及

z 方向，在頻率 0.5~1.0 Hz 附近並無明顯振動含量，在 2~3 Hz 附近則略為明顯，但相對於微動狀態來說則較不顯著；最主要的振動含量出現在在 9~12 Hz 附近，推測此應與貨櫃車通行直接引致之振動，以及其所造成之伸縮縫反應有關。在三個方向中，振動分貝值約可達 46 dB、49 dB 及 58 dB 左右，較微動情況明顯許多，且以 x 向振動最小，y 向次之，z 向振動最大，顯示隧道最主要之振動為鉛垂向振動，造成沿車行方向（隧道長軸方向）之彎曲振動模態。至於 U3L 與 U3R 之顯著頻率，詳如表三所示，大致與 U4L 具有類似的趨勢。

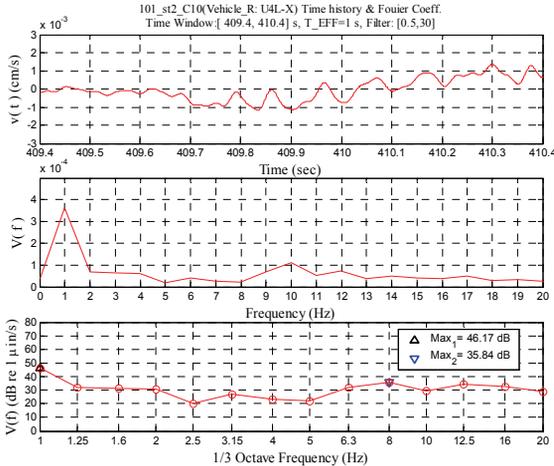


圖 12. 空貨櫃車通行時 U4L 之 x 方向之振動速度歷時（上）、富氏譜（中）及 1/3 倍頻振動分貝值（下）

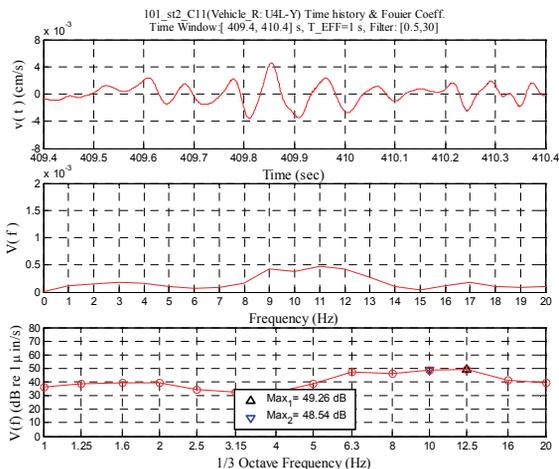


圖 13. 空貨櫃車通行時 U4L 之 y 方向之振動速度歷時（上）、富氏譜（中）及 1/3 倍頻振動分貝值（下）

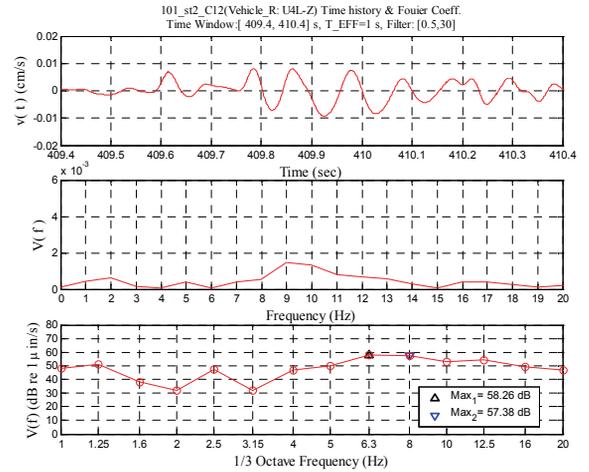


圖 14. 空貨櫃車通行時 U4L 之 z 方向之振動速度歷時（上）、富氏譜（中）及 1/3 倍頻振動分貝值（下）

表 3. 空貨櫃車通行時各沈埋管顯著頻率

位置	U3L	U3R	U4L
方向			
x	0.5~1 Hz 6 Hz 10~11 Hz	1 Hz 10~12 Hz	1 Hz 9~11 Hz
y	3 Hz 9~10 Hz 15~17 Hz	3 Hz 5~6 Hz 10~12 Hz	2~3 Hz 9~12 Hz
z	3 Hz 6 Hz 9~11 Hz	9~10 Hz	2 Hz 9~11 Hz

圖 15 為 J4 伸縮縫兩側在單輛空貨櫃車通行時之相對變位各分量歷時曲線，由圖中可以看出，均較環境微動引致者大，最大值約放大 1.5~7 倍左右，但其值仍然很小（相對位移 < 1μm，相對轉角 < 0.5μrad），應不至於造成伸縮縫之損壞。

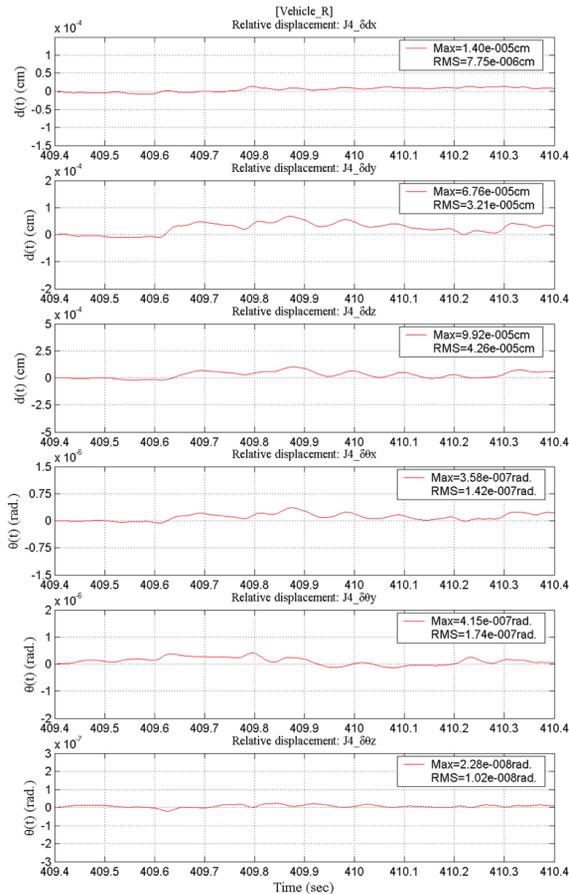


圖 15. 空貨櫃車通行時 J4 伸縮縫兩側之相對變位 (由上而下為： δdx 、 δdy 、 δdz 、 $\delta \theta x$ 、 $\delta \theta y$ 、 $\delta \theta z$)

2. 單輛 40 噸吊車通行之振動

此處討論由第二階段試驗中，單輛吊車通行所引致隧道各部分之振動反應。由於本試驗中車速較慢（時速約 55 km/h）及車輛振動特性之影響，故各測點測得之有效反應時間約 2 秒。分析時，將僅擷取有效反應部分之歷時記錄來進行。

圖 16~圖 18 為 U2L 單輛左行重車通行時，長度 2 秒（40 噸吊車通行）之振動速度歷時、富氏譜及 1/3 倍頻振動分貝值。與右行重車之吊車部分類似，x、y、z 三方向之振動，在 0.5~1.0 Hz 附

近及 3 Hz 附近均較顯著；而在高頻附近應為車輛通行直接引致之振動，主要分佈在 9~10 Hz 附近及 12~13 Hz 附近。三個方向之振動 dB 值，大致上與單輛重車右行時接近，以 x 向振動最小，y 向次之，z 向振動最大，顯示隧道最主要之振動為鉛垂向振動。隧道其餘各段沈埋管之顯著頻率如表 4 所示，大致與 U2L 類似。

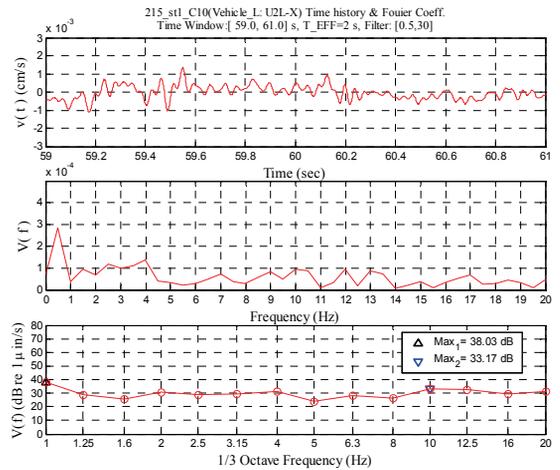


圖 16. 40 噸吊車通行時 U2L 之 x 方向之振動速度歷時 (上)、富氏譜 (中) 及 1/3 倍頻振動分貝值 (下)

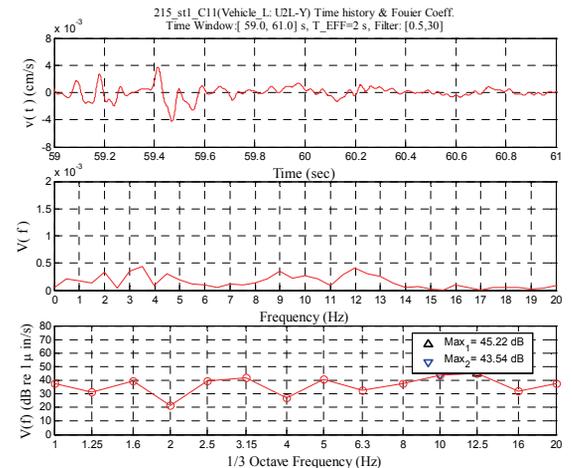


圖 17. 40 噸吊車通行時 U2L 之 y 方向之振動速度歷時 (上)、富氏譜 (中) 及 1/3 倍頻振動分貝值 (下)

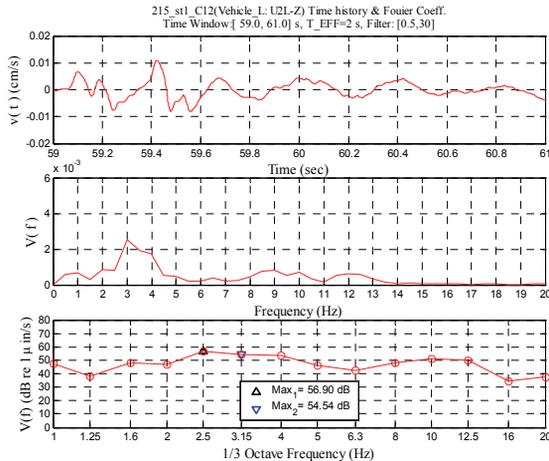


圖 18.40 噸吊車通行時 U2L 之 z 方向之振動速度歷時 (上)、富氏譜 (中) 及 1/3 倍頻振動分貝值 (下)

表 5 為各伸縮縫兩側在單輛左行重車通行時之相對變位最大值與均方

根值，可以看出，各伸縮縫 δdx 之最大值約介於 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$ ； δdy 之最大值約介於 $0.6 \sim 2 \mu\text{m}$ ； δdz 之最大值約介於 $0.4 \sim 2 \mu\text{m}$ ； $\delta \theta x$ 之最大值約為 $1 \times 10^{-7} \sim 8 \times 10^{-7} \text{ rad}$ ； $\delta \theta y$ 之最大值約為 $8 \times 10^{-7} \sim 1.4 \times 10^{-6} \text{ rad}$ ； $\delta \theta z$ 之最大值約為 $4 \times 10^{-8} \sim 2 \times 10^{-7} \text{ rad}$ 。綜合以上，吊車通行引致振動造成的相對變位，均較環境微動引致者大，最高可放大 10 倍以上，亦較空貨櫃車引致者略大，但值仍然很小（相對位移 $< 3 \mu\text{m}$ ，相對轉角 $< 1 \mu\text{rad}$ ），尚不致造成伸縮縫之損壞。若比較各個伸縮縫之間的差異，可發現 J5 伸縮縫具有較小的相對變位，此乃因為其上方目前被鋪面覆蓋，因而具有較大的勁度。

表 4.40 噸吊車通行時各沈埋管顯著頻率

位置 方向	U1R	U2L	U2R	U3L	U3R	U4L	U4R	U5L	U5R	U6L
X	0.5 Hz 2.5-4 Hz 8 Hz 12.5 Hz	0.5 Hz 2.5-4 Hz 9-10 Hz 12-13 Hz	1 Hz 3 Hz 8.5-9 Hz 12.5 Hz	-	-	-	0.5 Hz 2 Hz 3.5 Hz 9-10 Hz	0.5-2 Hz 3.5 Hz 9.5 Hz 12 Hz	-	1 Hz 2.5-3 Hz 9-10 Hz 12-14 Hz
Y	0.5 Hz 2.5 Hz 10 Hz 12-13 Hz	3-3.5 Hz 9-10 Hz 12-13 Hz	1-1.5 Hz 3 Hz 10 Hz 13 Hz	-	-	-	0.5 Hz 3 Hz 10 Hz 12-13 Hz	1 Hz 3-3.5 Hz 10 Hz 12-13 Hz	2.5-3 Hz 9.5-10 Hz 12-13 Hz	0.5-1 Hz 2.5-3 Hz 9-10.5 Hz 13 Hz
Z	1 Hz 2.5-3 Hz 9-10 Hz	1 Hz 3-4 Hz 9-10 Hz 12 Hz	2.5-3 Hz 10 Hz 12-13 Hz	-	-	-	3 Hz 5 Hz 10 Hz	3 Hz 5 Hz 10 Hz	0.5 Hz 2.5-3 Hz 9-10 Hz 13 Hz	1 Hz 2.5-3 Hz 10 Hz

註：- 表示無資料或資料不可靠

表 5.40 噸吊車通行時各伸縮縫兩側之相對變位

分量	編號	J2		J3		J4		J5		J6	
		Max	RMS	Max	RMS	Max	RMS	Max	RMS	Max	RMS
δdx	μm	1.18	6.25×10^{-1}	-	-	-	-	2.16×10^{-1}	9.36×10^{-2}	1.12	5.14×10^{-1}
δdy		2.04	1.02	-	-	-	-	6.27×10^{-1}	3.13×10^{-1}	1.23	6.21×10^{-1}
δdz		2.23	9.88×10^{-1}	-	-	-	-	4.35×10^{-1}	2.20×10^{-1}	1.53	6.08×10^{-1}
$\delta \theta x$	rad.	7.78×10^{-7}	3.51×10^{-7}	-	-	-	-	1.33×10^{-7}	6.58×10^{-8}	5.20×10^{-7}	2.58×10^{-7}
$\delta \theta y$		1.42×10^{-6}	6.28×10^{-7}	-	-	-	-	7.60×10^{-7}	3.69×10^{-7}	1.30×10^{-6}	6.31×10^{-7}
$\delta \theta z$		2.01×10^{-7}	8.42×10^{-8}	-	-	-	-	3.84×10^{-8}	2.14×10^{-8}	1.62×10^{-7}	6.03×10^{-8}

註：1. - 表示無資料或資料不可靠
2. MAX 表最大值，RMS 表方均根

六、結論

由前述之試驗結果，可得以下結論：

1. 綜合微動量測與單輛重車通行引致振動量測之結果，可得隧道結構體之振動顯著頻率包括有：(1)約 0.5~1.0 Hz 附近，尤以 x 方向方向振動最為明顯，應為環境微動之顯著頻率；(2)約 2.5~3.0 Hz 附近，以 y 方向及 z 方向之振動較明顯，且以 z 方向振動最大，顯示隧道最主要之振動為鉛垂向振動，造成沿車行方向（隧道長軸方向）之彎曲振動模態；(3)在單輛重車通行試驗中，會出現與車輛引致振動特性有關之顯著頻率。對空貨櫃車通行試驗而言，約在 9~12 Hz 附近；對吊車通行試驗而言，約在 9~10 Hz 及 12~13 Hz 附近。
2. 不論在環境微動或重車通行之情況下，隧道各段沈埋管之振動特性彼此相似，並無振動異常之現象。
3. 就伸縮縫兩側相對變位而言，環境微動所引致者其值相當小，各伸縮縫間亦無明顯差異；單輛重車通行所引致者則較環境微動所引致者明顯來得大，但值仍然相當小，且除了上覆鋪面之 J5 伸縮縫之相對變位值較小之外，其餘各伸縮縫間並無明顯差異。
4. 本試驗記錄了高雄過港隧道結構體在不同振源作用下之振動特性，可做為未來再度進行安全性檢測時之

參考基準。

七、參考文獻

1. 呂良正，劉醇宇，葉祥海 (2004)，”以微振量測評估鋼筋混凝土建築物之耐震能力”，台大工程學刊，第九十二期，第 29-41 頁。
2. 張嘉峰，劉旭恭，李維峰 (2004)，”高雄過港隧道安全檢測補強設計及監測系統規劃執行工作”，財團法人台灣營建研究院研究成果年報。
3. 財團法人中華顧問工程司 (2005) 高雄港過港隧道安全檢測補強設計及監測系統規劃執行工作安全檢測及評估報告(檢測成果部分)，交通部高雄港務局委託計畫。

淺談海嘯及其數值模擬

陳冠宇 國立中山大學海洋物理研究所助理教授

一、海嘯簡介

海嘯是海底斷層地震、海底火山或海底山崩等作用造成的長週期水波，一般以斷層發生地震造成的情形最常見。2004年造成重大傷亡（將近二十三萬人死亡或失蹤）的南亞海嘯即為地震造成，在此之前有詳細紀錄死傷最多的兩個海嘯：日本三陸大海嘯（1896年6月15日，死亡人數27000人）與葡萄牙里斯本的海嘯（1755年11月1日，喪生於地震、火災、海嘯的人數共八萬人以上）也都是地震造成的海嘯。山崩造成的海嘯較著名者有1958年7月10日美國阿拉斯加Lituya灣，波高達500公尺以上，是有史以來的最大海嘯；海底火山造成的則有1883年印尼喀喇卡多火山爆發引致的海嘯，結果使得爪哇有些地方浪高達35公尺，而死於這次噴火和海嘯的人數則達36,400人。

「海嘯」名稱的由來是因為發生時伴隨巨大的聲音，彷彿大海在長嘯；歷史記載中，不時有「海水暴吼如雷」之類的字眼，可見一般。英文傳統以tidal wave稱之，表示海嘯如潮汐般具有相當長的週期；但後來瞭解海嘯與潮汐無關後，tidal wave已漸漸少見。有人則稱海嘯為seismic sea wave，但此說法只適用於海底地震造成的海嘯，無法代表海底火山或山崩造成的海嘯，因此學者大多沿用日本的說法—Tsunami(日語津波)。日語tsu(津)為海港之意，nami i(波)為波浪，津波意味海港內之巨浪。吳耀祖院士曾提過在他年輕時日本報紙仍使用「海嘯」一詞，而「海嘯

」也確實比「津波」傳神，因此我國在英文方面為了與國際溝通而稱之為tsunami，但中文仍沿用「海嘯」。

海底火山或山崩造成的海嘯十分罕見，因此本文以探討斷層發生地震造成的海嘯為主。地震時，斷層可能左右運動，也可能上下運動；目前一般的看法認為海底地震若是左右運動，對海水影響不大，但海底若是上下運動，可能引起海嘯。根據歷史資料，會產生海嘯的地震至少要6.7級以上，震源深度最多不超過100公里。

通常對海嘯有一普遍的觀念，即海邊水位會先大幅度降低；有些歷史記載海邊水位降低時，很多人因為想要抓擱淺的魚，而被後來的海嘯給吞噬。目前一般海嘯的數值模擬直接以海底隆起/降低的高程差做為水面的初始波，海底抬昇的方向，波峰先到；海底降低的方向，波谷先到。若是位於初始水位抬昇的方向，波峰會先到，海邊水位不會先降低；以此觀之，海邊水位會先大幅度降低的觀念似乎應該修正。

事實上，之所以會有海嘯侵襲時海邊水位會先大幅度降低的觀念，主要原因是許多海嘯都發生在隱沒帶(subduction zone)。如圖1所示，海洋板塊(oceanic crust)比較重，因此會隱沒到大陸板塊(continental crust)底下而形成所謂的隱沒帶。海洋板塊向下隱沒，大陸板塊則被推擠向上；發生地震時，大陸板塊向上推擠，使初始的水位抬昇，但在靠近大陸的方向由於地殼的彈性，海底轉而向下。如前所述，海

底降低的方向，波谷會先到，因此對大陸板塊上的居民，海邊水位會先降低；久而久之，於是形成了海嘯侵襲時海邊水位會先大幅度降低的觀念。

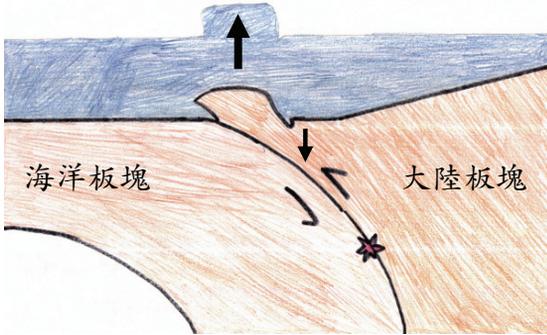


圖 1、隱沒帶發生海嘯示意圖。

海嘯會造成重大災害，而一般的波浪造成的災害小得多，其間的差異主要是週期造成：一般的風浪週期較短，略侵入陸地即往後退。海嘯週期長，溯上陸地後長驅直入，大肆破壞。此外，一般短週期的風浪常只引起海面的擾動，但海嘯波能影響海洋底部。

海嘯週期一般介於數分鐘到一小時，即使在大洋，波長仍比水深大得多，屬於長週期波。根據水波的理論，長波的波速 c 為水深 d 與重力加速度 g 乘積的開根號：

$$c = \sqrt{gd}$$

在水深 4000 公尺的大洋，海嘯波速與噴射客機相當，大約需時一天即可穿越太平洋。即使到了近岸，若看到海嘯再開始逃則往往已來不及了。

海嘯之所以造成重大災害，主要是地形淺化 (shoaling) 所引致。這種淺化效應也存在於一般的波浪。如圖 2 所示，波浪在近岸處由於水深變淺，波長變短，導致波能集中、波高便大；原來在外海不顯著的波，到了近岸變得明顯許多。



圖 2、一般波浪的地形淺化效應。

假設海嘯由寬度 b_1 、深度 d_1 的海灣向岸傳播，波高 H_1 。水波能量與波高平方成正比；因此若不考慮反射，當海嘯傳播至寬度 b_2 、深度 d_2 處，根據能量守恆原理，

$$b_1 \sqrt{gd_1} H_1^2 = b_2 \sqrt{gd_2} H_2^2,$$

因此深度 d_2 處海嘯波高 H_2 應為

$$\sqrt[4]{\frac{d_1}{d_2}} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} H_1$$

此即所謂格林定律 (Green's law)，可作為海嘯波高之近似估計值。

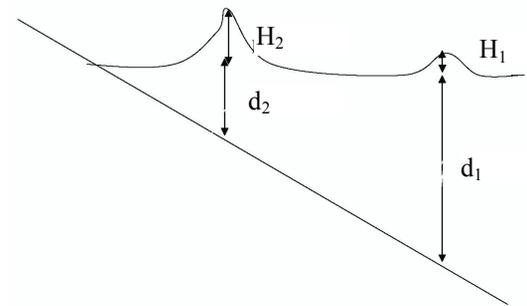


圖 3、寬度不變 ($b_1=b_2$) 下波浪的淺化示意圖。

二、海嘯數值模擬

2.1 海嘯傳播的數值模擬

海嘯模擬基本上與一般波浪模擬類似，可分為二維模式與三維模式。由於海嘯的波長甚長，垂直方向流場的變化不大，一般以二維模式即可完整模擬；根據學者研究 (Cherkesov, Fedosenko

& Cherkosov；參見 Murty) 也證明海水的層化效應對海嘯的影響甚微。因此就海嘯傳播而言，模擬的方式僅限於二維模式。

海嘯在大洋的波長尺度約 100KM，故其模擬可容許使用較粗的網格。到了近海，水深變成 50M 左右，海嘯的波長尺度降為 15KM，其模擬必須使用較細的網格，並考慮底床摩擦的影響，如圖 4 所示。

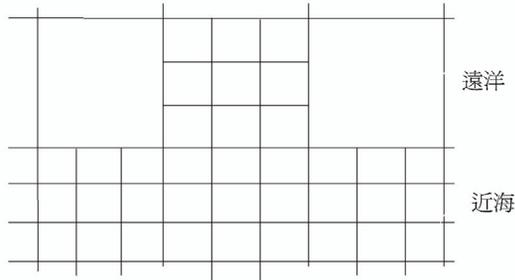


圖 4、到了近海，海嘯的模擬必須使用較細的網格。

依非線性項之有無，模式可分為線性與非線性模式兩種。海嘯在大洋的波高不過一公尺，非線性效應十分有限，可以採用線性模式以簡化計算。但是當海嘯傳到近岸，波長大幅減小，波高變大，此兩種效應使非線性無法忽視，因此必須採用非線性模式方能正確模擬海嘯。

另一種海嘯模式的分類是依地轉效應之有無。低緯度地區不用考慮地轉效應，但在高緯度國家，地轉效應可能對海嘯的傳播產生顯著的影響。一種有趣的一維波動方程式—RMKdV (Rotation Modified Korteweg de-Vries equation，又稱 Ostrovsky equation)，其原始的研究動機即是為了描述俄羅斯高緯度地區海嘯的傳播。

2.2 座標系與海嘯傳播的數值模擬

依所採用的座標系，二維模式可分

為球座標與直角座標兩類。一般海域的海嘯模擬採用直角座標即可，但涉及大洋的海嘯模擬需使用球座標。其理由可參見圖 5：地球是圓形，因此由其表面 X 點向外傳播的波，必沿著以地心為圓心的大圓傳播；這些波在橫越地球的另一邊後，又重新集中於與波源相對的 Z 點。舉例來說，1960 年智利地震引起的海嘯穿過太平洋，此效應將海嘯的能量集中於日本方向；此所以智利海嘯會重創日本之主要原因。

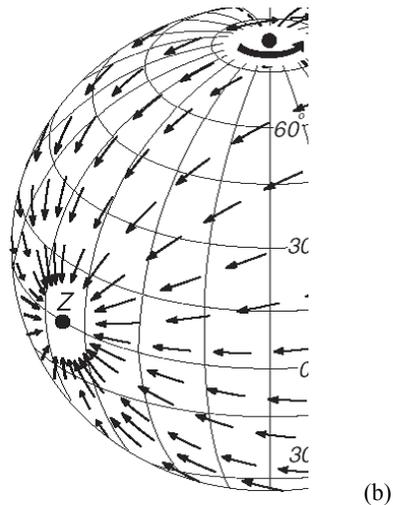
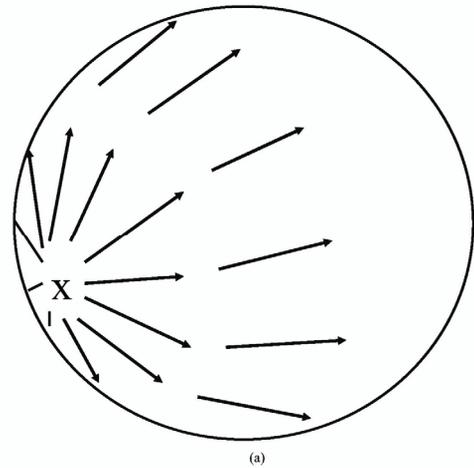


圖 5、(a) 地球表面 X 點向外傳播的波，沿著以地心為圓心的大圓傳播；(b) 在橫越地球的另一邊後，又重新集中於與波源相對的 Z 點。

2.3 海嘯頻散與數值網格

依頻散效應之有無，二維模式可分為具頻散與不具頻散兩種模式。前者可以具非靜水壓頻散（nonhydrostatic dispersion）效應的布氏方程（Boussinesq equation）模式為代表，後者則以不具頻散效應的靜水壓淺水方程（shallow water equation）模式最著名。使用者可依所欲模擬的海嘯有無頻散現象來選擇使用相應的模式。

除選取模式外，相應網格的選取亦需注意。為正確模擬頻散現象，數值模式必須包含不同波長（週期）的波動，因此不同波長的波都要能以此數值模式代表。

然而，在數值模式中，空間經過離散化，以有限多個網格代替連續的流體，每個網格的流速、水位等，皆以一個值代表；因此網格長度若為 h ，該網格所能代表的最短波長為 $2h$ （相鄰網格一正一負，即為最粗糙的波浪表示，如圖 6 所示）。

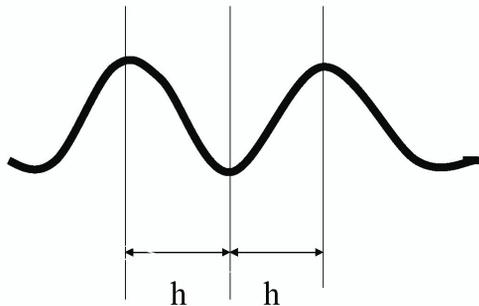


圖 6、相鄰網格一正一負，即為最粗糙的波浪表示。

通常為加快電腦運算， h 的值不宜取太小，因此也就限制了最短波的波長。波長差異有限，所欲模擬的頻散現象自然無法表現，因此若採用的網格長度 h 若相當大，即不用具非靜水壓頻散效應的布氏方程模式，而可採用較易計算的淺水方程，以節省計算時間，且可達

成一樣的精確度。

2.4 海嘯波源的數值模擬

目前一般的看法認為海底地震若是左右運動，對海水影響不大，但海底若是上下運動，可能引起海嘯。由於地震以彈性波的形式在地殼傳播的波速遠比海嘯快，一般直接以海底隆起/降低的高程差做為水面的初始波高，如圖 7 所示。因此不用特別設計，只要沿用海嘯傳播所使用的二維模式即可。此初始條件之後續傳播，即構成有名之 Cauchy-Poisson 問題。

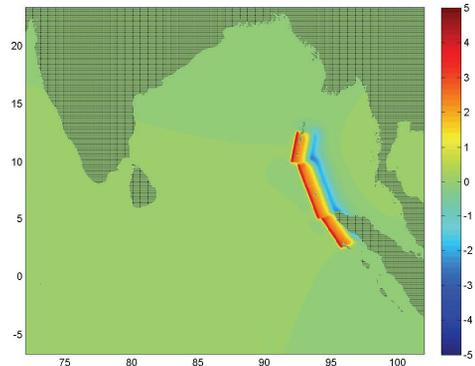


圖 7、南亞海嘯之模擬：以海底隆起/降低的高程差做為水面的初始波高。

然而，也有部分 Jet Propulsion Laboratory (JPL) 的學者認為若是海底地形陡峭，地震引起的水平運動仍有可能如實驗室中的造波機般引發海嘯，如圖 8 所示。此狀況下海嘯的波源區不但必須採用三維模式，此模式還必須容許運動的固體邊界，無法直接利用現有的公用（public domain）程式。

JPL 的學者根據自行發展的波源區三維模式，認為南亞海嘯中地震引起的水平運動提供了海嘯 70% 的能量；其結果已在去年（2006）夏威夷的海洋年會發表，完整的論文則還在審查中。即使筆者認識的數位海嘯專家皆不認同，但此觀念頗為新穎，其後續的影響仍不容忽視。

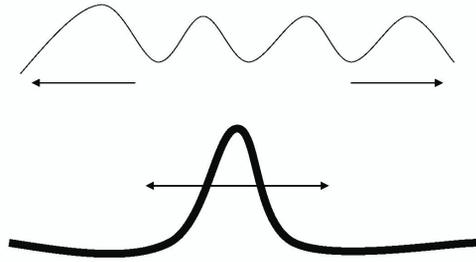


圖 8、地震引起的水平運動如造波機般引發海嘯。

2.5 海嘯溢淹的數值模擬

海嘯溢淹之模擬對海嘯防災十分重要，只要有準確的海底水深與陸上的地形與建物分佈，配合適當的外海海嘯條件，可模擬計算沿岸區域受不同高度的海嘯侵襲時之溢淹範圍。藉由這樣的溢淹數值模型，進一步設計避難路線圖，更是民眾緊急逃生時的主要依歸。

然而，地形與建物資料之處理費時費力，不可能時時更新；其精度也有限制。對不夠精確的地形資料，三維的模擬徒然耗費時間與人力、電腦等資源。再者，沿用海嘯傳播所使用的二維模式進行溢淹模擬已足供海嘯防災之用。相對而言，三維模式提供詳細的流場與局部受力的資料，有助於解釋災害現場觀測到的各種現象，因此三維的模式大多僅用於解釋現場的破壞特性，以協助訂定相關準則之用。

三、邊緣波在海嘯所扮演之角色

斜向入射於海岸的海嘯，常受地形折射的影響而被侷限在海岸附近，形成所謂邊緣波。邊緣波現象對海嘯的波高分佈、傳播時間與破壞方式等方面皆有顯著影響。

邊緣波現象對海嘯波高分佈的影響，可以 1992 年印尼海嘯與 1993 年日本北海道海嘯為例。當時印尼 Flores

島與日本 Okushiri 島上背對波源的村落遭受極大破壞，甚至比面向波源的村落更要嚴重得多。學者研究的結果，證實是由於海嘯在島嶼兩側周邊產生邊緣波，而此兩側的邊緣波在背對波源處疊加產生大波所致。

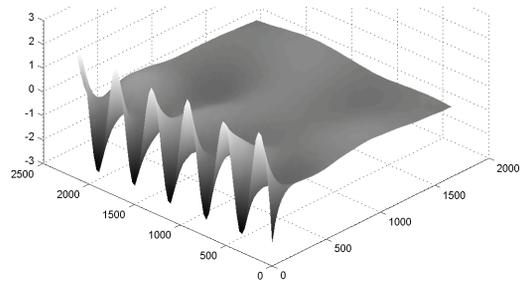


圖 9、邊緣波示意圖。

邊緣波現象對海嘯的傳播時間影響更顯著。由於邊緣波侷限在海岸附近，水深較淺，又受地形折射的影響而反覆在向、離岸方向傳播，因此傳至受災區的時間明顯少於海嘯由波源直接傳達的時間，如圖 10 之示意圖所顯示。例如 1952 年的堪察加海嘯，部分地區最大波高較預估時間延遲兩倍，即為邊緣波所導致。

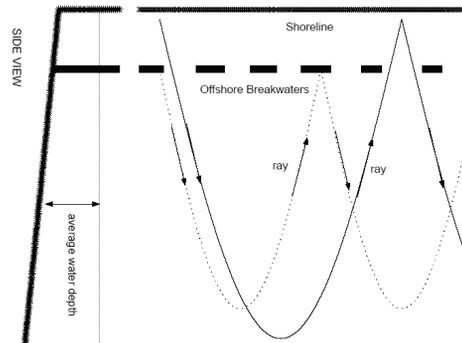


圖 10、邊緣波受地形折射的影響而反覆在向、離岸方向傳播。

邊緣波現象對海嘯的破壞方式與由波源直接傳至受災區的海嘯也有顯著差異。邊緣波沿岸傳播，其流場具顯著的沿岸成分，例如圖 11 所示之花蓮附近的亞重力邊緣波的流場橢圓圖(港

研中心曾相茂先生提供)。由波源直接傳至受災區的海嘯由於地形的折射作用，其流場主要在向、離岸的方向。由於海嘯引致的災害部分是由流速之故，並非完全由水位所導致，因此邊緣波的存在與否會影響濱海建物的損壞程度與破壞型態；若建物只加強面海方向的強度，可能無法抵擋以邊緣波形式侵襲的海嘯。

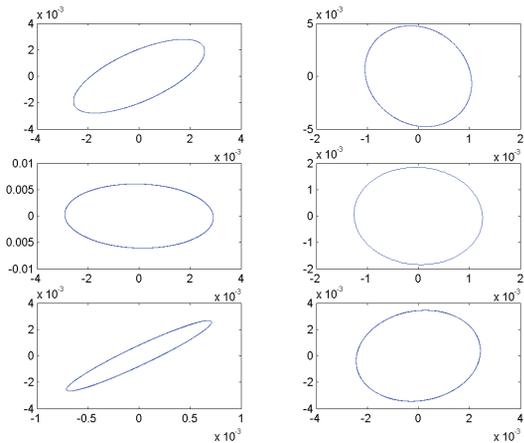


圖 11、花蓮附近的亞重力波（100 sec-200 sec，分成六個波段）的流場橢圓圖，橫軸為東西向、縱軸為南北向之速度；其主要成分為邊緣波，故流場具顯著的沿岸成分。

四、結語

在 2004 年以前，國人對海嘯大多漠不關心。其實，在南亞海嘯之前，世界各地的海嘯災害早已層出不窮；右表即為上個世紀後期較著名的區域性海嘯災害（參見 Tsunami Glossary）。

地震會在三度空間傳遞，地震能量以距離的平方遞減。但是海嘯的能量乃是在二度空間傳遞，能量與距離成反比；因此海嘯的危險範圍遠大於地震。再者，海嘯是一種很長的波；一般波浪越長，能量損失越小，大海嘯即使穿過整個大洋，仍具有一定的破壞力。亦即，只要海嘯發生，整個大洋周遭都可能遭殃

，其影響範圍與對人類之威脅更甚於地震。吾人除留意區域性海嘯災害外，更需注意影響整個海盆的遠域海嘯。

西元年月	日期	海嘯源	估計死亡人數
1975	11 月 29	美國夏威夷	2
1976	8 月 17	菲律賓	8,000 (包括地震傷亡)
1977	8 月 19	印尼	189
1979	7 月 18	印尼	540
1979	9 月 12	新幾內亞	100
1979	12 月 12	哥倫比亞	500
1983	5 月 26	日本海	100
1992	9 月 2	尼加拉瓜	168
1992	12 月 12	印尼 Flores 島	1,000
1993	7 月 12	日本 Okushiri 島	230
1994	6 月 3	印尼爪哇	222
1994	10 月 4	俄羅斯 Shikotan 島	11
1994	11 月 14	菲律賓	74
1995	10 月 9	墨西哥曼薩尼約	1
1996	1 月 1	印尼 Sulawesi	9
1996	2 月 17	印尼 Irian Jaya	110
1996	2 月 23	秘魯	12
1998	7 月 17	巴布亞新幾內亞	2,500

以南亞海嘯為例，除了鄰近震源的印尼亞齊受災最重外，泰國、斯里蘭卡、印度皆損失慘重，甚至在東非的索馬利亞藉由現地踏勘也發現海嘯波高高達 10 米的證據。除南亞海嘯外，世界各地的遠域災害性海嘯也屢見不鮮；下頁表即為歷史上較著名的遠域海嘯災害（參見 Tsunami Glossary）。

數十年來，由於經濟的蓬勃發展，臨海的港口、工業區、核能及火力電廠越來越多。隨之而來對休閒生活的需求，又大幅增加在海岸地區居住或遊憩的人口。因此同樣規模的海嘯，如果在今日發生，所造成的生命、財產之損失將以數倍甚至數十倍增加。1960 年的智利海嘯，在智利海嘯波高估計約 20 米，在夏威夷 Hilo 約 11 米；在日本部分地區達 6 米，就造成夏威夷 61 人死亡，日本更超過百人。大地震也許會僥倖

發生在渺無人煙的荒野，但大海嘯對人類的威脅絕無僥倖可言。

西元年月	日期	海嘯源	估計死亡人數
1835	2月 20	智利	2
1837	11月 7	智利	62
1868	8月 13	智利	25,000(包括地震傷亡)
1877	5月 10	智利	500
1896	6月 15	日本Sanriku	22,000
1906	1月 31	哥倫比亞-厄瓜多	500
1906	8月 17	智利	—
1918	9月 7	俄羅斯Kuril島	47
1922	11月 11	智利	100
1923	2月 3	俄羅斯堪察加半島	2
1933	3月 2	日本Sanriku	3,000
1946	4月 1	美國阿留申	179
1952	11月 4	俄羅斯	—
1957	3月 9	美國阿留申	5
1960	5月 22	智利	2,000
1964	3月 28	美國阿拉斯加	112
1965	2月 4	美國阿留申	—

根據歷史與地方誌記載，高雄、安平與基隆即曾發生區域性大海嘯。而自從台灣發生了921集集大地震後，相關於地震的研究甚受各界重視；2004年南亞海嘯造成的重大傷亡，讓國人在心驚之餘，更進一步的正視地震引致海嘯可能造成的威脅。

海嘯研究無法一蹴可幾，然而大海嘯造成的重大災難卻不容忽視；值此政策致力於建設台灣為邁向21世紀海洋國家的同時，我們更應及早著手進行海嘯模擬與相關系統之研究與規畫，瞭解海嘯在台灣周遭海域發生時的傳播與溢淹特性，據以作為教育民眾防災自救知識的教材，以減少海嘯可能造成的災害。

誌謝

感謝陳繹安、陳巧寧兩位同學協助繪圖。

參考文獻

- 和達清夫 編，津波 高潮 海洋災害，防災科學技術系列 2，東京，共立出版社，1970。
- 宮崎正衛，津波と高潮，海洋物理 III 海洋科學基礎講座 3，增沢讓太郎編，東京，東海大學，1971，1981年第4刷。
- 京都大學防災研究所 編，地震災害論，海洋科防災學講座 2，東京，山海堂，2003。
- 陳冠宇，「假警報恐引來觀潮人」，中國時報時論廣場 2004年12月28日。
- 陳冠宇、簡仲璟、邱永芳(2006) 台灣近岸海象預報模式系統 (TaiCOMS)—海嘯模擬，第二十八屆海洋工程研討會專題論文集-台灣近岸海象預報模式系統 (TaiCOMS)技術報告 99-105
- 陳陽益、陳冠宇(2006)，海嘯模式建置研究，交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告
- S. ASSIER-RZADKIEWICZ, P. HEINRICH, P. C. SABATIER, B. SAVOYE and J. F. BOURILLET, Numerical Modelling of a Landslide-generated Tsunami: The 1979 Nice Event, Pure appl. geophys. 157 (2000) 1707–1727.
- J.-P. BARDET, C. E. SYNOLAKIS, H. L. DAVIES, F. IMAMURA, and E. A. OKAL, Landslide Tsunamis: Recent Findings and Research Directions, Pure appl. geophys. 160 (2003) 1793–1809, DOI 10.1007/s00024-003-2406-0G.
- F. Carrier, The Dynamics of

- Tsunamis, AMS 1970, 1970, p. 157-187.
10. G.-Y. Chen and John P. Boyd, "Analytical and Numerical Studies of Weakly Nonlocal Solitary Waves of the Rotation-Modified Korteweg-deVries Equation", 2001, *Physica D*, V155, 201-222.
 11. Guan-Yu Chen, Chung-Ching Chien, Ching-Ho Su and Hsiang-Mao Tseng (2004), Resonance induced by edge waves in Hua-Lien Harbor, *Journal of Oceanography*, V60, no. 6, p. 1035-1043
 12. Choi B.H., Pelinovsky E., Riabov I., Hong S.J. Distribution functions of tsunami wave heights. *Natural Hazards*, 2002, vol. 25, No. 1, 1 - 21.
 13. Hammack, A., On Tsunamis: their Generation and Propagation in an Ocean of Uniform Depth, *Journal of Fluid Mechanics*, 1973, Vol. 60(4), p. 769-799.
 14. Kiyoshi Horikawa, Coastal Engineering: an introduction to ocean engineering, New York, Wiley, 1978.
 15. D. R. King and P. H. LeBlond, The Lateral Wave at a Depth Discontinuity in the Ocean and its Relevance to Tsunami Propagation, *Journal of Fluid Mechanics*, 1982, Vol. 117, p. 269-282.
 16. INTERNATIONAL TSUNAMI INFORMATION CENTER (ITIC), INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION (of UNESCO), International Co-ordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific(ICG/ITSU), TSUNAMI GLOSSARY, <http://www.shoa.cl/oceano/itic/>
 17. PATRICK J. LYNETT, JOSE C. BORRERO, PHILIP L.-F. LIU and COSTAS E. SYNOLAKIS, Field Survey and Numerical Simulations: A Review of the 1998 Papua New Guinea Tsunami, *Pure appl. geophys.* 160 (2003) 2119–2146, DOI 10.1007/s00024-003-2422-0
 18. T. S. Murty, Seismic Sea Waves--Tsunamis, Fishery Research Board of Canada, 1977.
 19. Nagai, T., Ogawa, H., Nukada, K. and Kudaka, M.(2004), Characteristics of the Observed 2003 Tokachi-Off Earthquake Tsunami Profile, *Coastal Engineering Journal*, Vol.46, No.3, p.315-327.
 20. SATAKE, K. and TANIOKA, Y. (1999), Sources of Tsunami and Tsunamigenic Earthquakes in Subduction Zones, *Pure Appl. Geophys.* 154, 467–483.
 21. Y. Tony Song, Chen Ji, L.-L. Fu, Victor Zlotnicki, C. K. Shum, Yuchan Yi, and Vala Hjorleifsdottir, The 26 December 2004 tsunami source estimated from satellite radar altimetry and seismic waves, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 32, L20601, doi:10.1029/2005GL023683, 2005
 22. Tomita et al., Report on 2004 Tsunami in the India Ocean, PARI, 2005 (in Japanese).
 23. S. S. Voit, Tsunamis, Annual review of fluid mechanics, 1987, Vol. 19, p. 217--236.
 24. Wiegel, Tsunamis along West Coast of Luzon, International Conference of Coastal Engineering, p. 672-694, 1980.
 25. Yeh, H., Liu, P. L.-F., Briggs, M., and Synolakis, C., 1994 Propagation and Amplification of Tsunamis at Coastal Boundaries, *Nature*, 372, 353-355.

東引海洋森林建構規劃研究

朱達仁 中華大學休閒遊憩規劃與管理學系助理教授
劉仁銘 國立高雄海洋科技大學漁業生產與管理系副教授
張睿昇 育達商業學院休閒管理學系助理教授
郭一羽 國立交通大學土木工程學系教授

摘要

近年隨著環境保護意識之提高，促使強調師法自然之生態工法受到廣泛注意與重視。台灣目前在海岸工法發展中，對於海洋森林的研究仍然十分缺乏，以海藻而言，許多褐藻的種類都具有較大的體型，並聚集而形成海中林，是海洋中生產力極高的生態系。因此本研究希望在東引海域瞭解原生海藻的種類與分佈、尋找合適的海藻植生種類、瞭解海藻其生活與棲息特性、選用藻體的培育、海藻礁的結構設計及海洋森林場址等關鑑基礎工作之研析，才能於未來實務發展落實其成效。

一、前言

過去人們為了經濟發展，開發過程中往往忽略了對生態環境之影響，如今一些先進國家都非常注重生態保育觀念，甚至將生態保育的重要性置於經濟開發之上，近年來台灣的生態工法也在這股發展中受到高度重視。由於開發行為或環境生態保育，兩者在技術上雖都有相當多成熟的經驗，但能夠兩者兼具在技術上困難度加大，因此必須在土木、環境、景觀、生態以及人文社經不同的專業領域整合研發（郭一羽等，2001；郭一羽及李麗雪，2005）。

海藻是沿海地區重要的附著生物之一，且其在海中扮演了基礎生產者的

角色，不僅提供草食性動物主要的食物來源，也藉由行光合作用提供氧氣與能量來源，也提供許多其他生物作為棲息、附著或是產卵、躲避敵害的場所。（谷口和也，1998；谷口和也等，2001；黃淑芳，2000；張瑞欣等，2002）。以海藻而言，許多褐藻的種類都具有較大的體型，並聚集而形成海中林，是海洋中生產力極高的生態系。但以褐藻所形成的海中林，主要分佈在全球的溫帶海域，因此過去日本地區，為了改善貧瘠海域或生物相較缺乏的海域，便投以人工藻礁，藉由礁上所形成的海藻林，吸引草食性的無脊椎動物或魚類，以提高該海域的生物多樣性，並形成新的漁場（谷口和也，1998；谷口和也等，2001；Taniguchi & Agatsuma，2001；Agatsuma et al.，2002）。由於海洋森林具高的基礎生產力，甚至其生產力為熱帶雨林的2~5倍，是地球生產力中最大的（谷口和也，1998）。國內海岸工程環境的研究工作已發展了數十年以上，但少有這些相關的研究分析。

由於連江縣政府所提出之施政願景，主題之一為「發展馬祖新漁業」，內容包含：由東引鄉進行人工魚礁選址調查及海洋森林發展可行性之評估，建立該縣第一座漁業資源保護區，提升低生產力海域之漁業資源，淨化海域優質之環境，促進魚礁多元性發展與管理，增進漁業經濟效益。

因此本研究希望在東引海域瞭解原生海藻的種類與分佈、尋找合適的海藻植生種類、瞭解海藻其生活與棲息特性、選用藻體的培育、海藻礁的結構設計及海洋森林場址等關鑑基礎工作之研析，才能於未來實務發展落實其成效。

二、研究內容

2.1 研究位置與期距

本研究為了解馬祖東引鄉北澳海域周邊環境生態特性，2006年11月及2007年2月共進行2次調查，選擇五個調查測點進行環境及生態的調查，如圖1及表1。



圖 1 研究區域位置圖及測點別示意圖

表 1 研究區域 GPS 座標

位置	緯度	經度
D1	26°22.712N	120°29.529E
D2	26°22.520N	120°29.420E
D3	26°22.745N	120°29.354E
D4	26°22.787N	120°29.175E
D5	26°22.404N	120°29.220E

2.2 環境調查及分析方法

為了解各測站的水質環境特徵，調查有物理性項目，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於實驗室再行分析。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，並依環保署（90）公告之「國內海域環境分類」進行水質等級分類，如表2。

而底質調查項目包括銅、鉛、鋅及汞等含量及粒徑分析等五項。所測得之底質粒徑依不同之篩號由4#、8#、16#、30#、50#、100#及200#進行粒徑分析。檢測方式分為現場操作部分與採樣後於實驗室再行分析。

表 2 海域環境分類及海洋環境品質標準（環保署）

監測項目	分類		
	甲類	乙類	丙類
pH	7.5-8.5	7.5-8.5	7.5-8.5
溶氧值(mg/L)	5.0 以上	5.0 以上	2.0 以上
BOD (mg/L)	2.0 以下	3.0 以下	6.0 以下
大腸桿菌群	1000 個以下	—	—
氨氮 (mg/L)	0.3	—	—
總磷 (mg/L)	0.05	—	—
氯化物	0.01	0.01	0.02
鈉類	0.01	0.01	0.01
礦物性油脂	2	2	—

2.3 生物調查及分析方法

1.浮游生物（植物）調查

以租用民間漁船前往調查海域，採樣方式是以採水器在表層採海水，再加入50毫升之中性福馬林固定保存。浮游植物之鑑定及計數是以保存之樣品，先攪拌均勻後，視量取100ml至500ml之水樣，放至沈澱管座上靜置24小時俾便充分沉澱，再以倒立光學顯微鏡(Nikon,model A300)觀察及計數浮游植物之種類數量，並計算歧異度指數。

2.潮間帶及海域大型海藻之調查

本研究結合橫截線（transect）及方框（quadrant）調查法，首先取10m不銹鋼鍊條，以直線方式置於欲採樣之區域或堤岸上，於潮間帶各設置三條平行海岸線之橫截線，分別以50cm×50

cm 方框記錄該截線上之大型海藻物種、數量及覆蓋率。並配合拍照及攝影，進行物種判辨及生物覆蓋面積、數量、密度之計算。此外，為瞭解附著藻之種類及進行培育，將附著基質上之固定面積之附生藻類以鋼刷或刀片完全刮取下來，帶回實驗室進行處理。

3.底棲生物調查

以租用民間漁船前往調查海域，航速以 2 節 (knots)，使用底棲生物採樣器進行拖網約五分鐘，採得之生物以封口袋裝入並以福馬林固定及冰藏於冰箱，帶回實驗室進行種類之鑑定、秤重及計算數量，求取豐度及生物量。潮間帶則俟退潮於岸邊進行拍照及採樣。

4.生物多樣性分析

本研究使用下列之指數來分析漁港附著生物多樣性，分別為優勢度指數 (Dominance Index, C)、Shannon 種歧異度指數 (Shannon diversity, H')、均勻度指數 (Evenness index, J') 及種數的豐富指數 (species richness index, SR) 來進行分析 (Ludwing and Reynolds, 1988)。

三、環境及生物調查結果

3.1 水質環境調查結果

2006 年 11 月及 2007 年 2 月共進行 2 次調查，各水質結果：各測點有不同之水質測量，但無明顯差異。水溫：第一次 17.0-18.0°C 之間；第二次 12.0-14.5 °C 之間。鹽度：第一次 32.7-32.8 psu 之間；第二次 30.6-33.0psu 之間。溶氧量：第一次 7.55-8.18 之間；第二次 7.89-9.89 之間。濁度：第一次 1.02-5.65 之間；第二次 0.70-11.50 之間。酸鹼度 pH：第一次 8.00-8.08 之間；第二次 7.95-8.11 之間。導電度：第一次 42300-43300 之間；第二次 37100-39600 之間。生化需氧量：第一次 1.72-2.87

之間；第二次 2.36-3.50 之間。氨氮：第一次 0.56-1.34 之間；第二次 0.28 - 5.65 之間。正磷酸鹽：第一次 0.34-0.62 之間；第二次 0.48-0.86 之間。硝酸鹽氮：第一次 3.53-6.63 之間；第二次 6.07 -14.88 之間。亞硝酸鹽氮：第一次 0.27 -0.59 之間；第二次 0.16-0.35 之間。總凱氏氮：第一次 0.17-0.42 之間；第二次 0.10-1.52 之間。以溶氧標準，均在 5.0 (mg/L) 以上，屬於乙類以上至甲類標準。以 BOD 標準，第一次調查屬於甲類至乙類標準、第二次調查屬於甲類至丙類標準。

3.2 底質環境調查結果

調查項目包括銅、鉛、鋅及汞等含量及粒徑分析等五項。所測得之底質粒徑依不同之篩號由 4#、8#、16#、30#、50#、100# 及 200# 進行粒徑分析。結果如下表 3：

- (1)銅：第一次調查測量：五個測站底質中所含的銅介於 19.1-20.0 mg/kg 之間；第二次調查測量：銅介於 18.5-26.8 mg/kg 之間。
- (2)鉛：第一次調查測量：底質中所含的鉛介於 16.0-17.4 mg/kg 之間；第二次調查測量：鉛介於 21.3-26.4 mg/kg 之間。
- (3)鋅：第一次調查測量：底質中所含的鋅介於 88.1-89.2 mg/kg 之間；第二次調查測量：鋅介於 95.2-115.0 mg/kg 之間。
- (4)汞：第一次調查測量：底質中所含的汞介於 0.038-0.047 mg/kg 之間；第二次調查測量：汞介於 0.0071-0.078mg/kg 之間。

表 3 馬祖北竿及東引海域底質調查結果表

項 目		銅	鉛	鋅	汞
期 距					
第一次調查 (9511)	D1	20.0	16.4	88.1	0.044
	D2	19.1	16.0	89.2	0.041
	D3	19.1	16.4	89.2	0.044
	D4	20.0	16.9	88.1	0.047
	D5	19.1	17.4	89.2	0.038
第二次調查 (9601)	D1	26.8	21.3	91.6	0.071
	D2	26.0	24.9	109	0.064
	D3	26.0	26.4	112	0.0071
	D4	26.1	26.4	115	0.078
	D5	26.8	21.3	95.2	0.071

註：N. D 表示低於檢測標準值。

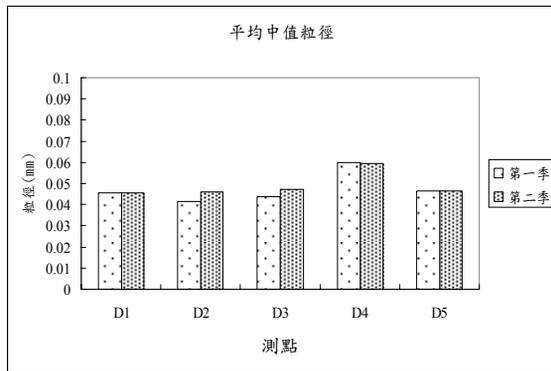


圖 2 馬祖東引北澳海域各測點底質平均中值粒徑

第一次調查測量：五個測站底質平均中值粒徑介於 0.0414 - 0.0598 mm 之間。第二次調查測量：五個測站底質平均中值粒徑介於 0.0454 - 0.0596 mm 之間。

3.3 浮游植物之種類組成

本研究兩次調查結果共記錄到的浮游性植物共計有：CHRYSTOPHYTA (金黃藻門)的 BACILLARIOPHYCEAE (矽藻綱)54 種、Silicoflagellates(矽質邊毛藻綱)2 種；Dinophyta(甲藻門) Dinoflagellates (甲藻綱)2 種；Cyanophyta (藍綠藻門) CYANOPHYCEAE (藍綠藻綱)1 種，共計 3 門 4 綱 59 種藻類。

就所有出現藻種而言，優勢種於本次出現情況十分明顯，以束毛藻 (*Trichodesmium sp.*) 為主要優勢種類，佔總細胞密度之 97.65%，其次分為圓篩海鏈藻 (*Thalassiosira leptopus*)，佔總細胞密度之 1.30%，具槽直鏈藻 (*Paralia sulcata*)，佔總細胞密度之 0.27%。各測點平均種類數介於 14-28 種之間，平均種類的豐度指數 1.11-2.69 之間，平均均勻度指數介於 0.01-0.72 種之間，平均種歧異度指數介於 0.02-2.15 之間。

3.4 浮游動物之種類組成

本研究於 95 年 11 月底進行第一次調查，就各測站出現種類與其個體量整體而言，本次明顯以哲水蚤(Calanoida)為主要優勢種類，佔總個體數 65.77%，其次分為劍水蚤(Cyclopoida)，佔總細胞密度之 23.41%，管水母(Siphonophora)，佔總細胞密度之 2.44%。各測點平均種類數介於 11-17 種之間，平均種類的豐度指數 0.96-1.49 之間，平均均勻度指數介於 0.28-0.45 種之間，平均種歧異度指數介於 0.74-1.23 之間。

96 年 1 月底進行第二次調查，本次仍然以哲水蚤(Calanoida)為主要優勢種類，佔總個體數 63.87%，其次分為劍水蚤(Cyclopoida)，佔總細胞密度之 26.87%，管水母(Siphonophora)，佔總細胞密度之 3.54%。各測點平均種類數介於 10-16 種之間，平均種類的豐度指數 0.90-1.47 之間，平均均勻度指數介於 0.27-0.58 種之間，平均種歧異度指數介於 0.71-1.34 之間。

3.5 底棲生物之種類組成

1. 潮間帶區域

海域岩壁上生物的分布隨潮間帶的高低變化明顯，兩季共記錄到的有 19 種，而沙灘顆粒很粗，幾乎是貝殼

碎片，共記錄到軟體動物(Mollusca)笠螺科的花笠螺(*Cellana toreuma*)，蓮花青螺科的花青螺(*Notoacmea schrenckii*)、花邊青螺(*Collisella heroldi heroldi*)，蝾螺科的珠螺(*Lunella coronata*)、瘤珠螺(*Lunella granulate*)，蜚螺科的高腰蝾螺(*Nerita striata*)、漁舟延螺(*Nerita albicilla*)，鐘螺科的黑鐘螺(*Chlorostoma argyrostoma*)，玉黍螺科的顆粒玉黍螺(*Nodilittorina pyramidalis*)、波紋玉黍螺(*Littoraria undulata*)，骨螺科的蚶岩螺(*Thais clavigera*)、稜結螺(*Cronia margariticola*)，石龍貝科的大駝石龍(*Liolophura japonica*)，殼菜蛤科的綠殼菜蛤(*Perna viridis*)；甲殼動物(Crustacea)的鎧茗荷科的龜爪藤壺(*Mitella mitella*)，笠藤壺科的鱗笠藤壺(*Tetraclita squamosa*)、雙棘藤壺(*Balanus amphitrite*)、泥藤壺(*Balanus uliginosus utinomi*)；腔腸動物(Coelenterata)海葵科的球觸手海葵(*Entacmaea quadricolor*)等。

2. 海洋底棲生物

本研究附近海域兩次調查共記錄到 35 種底棲生物，種類包括軟體動物蝾螺科的瘤珠螺，骨螺科的白千手螺(*Chicoreus cnissodus*)、黑千手螺(*Chicoreus brunneus*)、核果結螺(*Morula funiculus*)、白瘤結螺(*Morula anaxares*)、粗肋結螺(*Ergalatax contractus*)、寶島骨螺(*Murex trapa*)、鐵斑岩螺(*Mancinella aculeata*)，織紋螺科的球織紋螺(*Niotha conoidalis*)、正織紋螺(*Niotha livescens*)、粗肋織紋螺(*Zeuxis exilis*)、峨螺科的象牙鳳螺(*Babylonia areolata*)，波部鳳螺(*Babylonia formosae habei*)、榧螺科的台灣榧螺(*Oliva mustelina*)，魁蛤

科的青鬚魁蛤(*Barbatia virescens*)、蛙螺科的赤蛙螺(*Bufo naria rana*)、棘蛙螺(*Bufo naria perelegans*)，玉螺科的大玉螺(*Polinices didyma*)，鶉螺科的花點鶉螺(*Tonna dolium*)，魁蛤科的球毛蚶(*Potiarca pilula*)；甲殼動物(Crustacea)的梭子蟹科善泳蟬(*Charybdis natator*)、遠海梭子蟹(*Portunus pelagicus*)，蜘蛛蟹科的羊毛絨球蟹(*Doclea ovis*)，方蟹科的字紋弓蟹(*Varuna litterata*)，玉蟹科的遁行長臂蟹(*Randallia eburnea*)，長腳蟹亞科的美麗長眼柄蟹(*Ommatocarcinus pulcher*)，對蝦科的敖氏長臂蝦(*Palaemonidae ortmanni*)；環節動物(Annelida)的錫鱗蟲(Siganidae)、吻沙蠶(*Glycera sp.*)，苔蘚動物(Bryozoa)的紅盤管苔蘚(*Cupuladria guineensis*)、枝苔蘚(*Canda sp.*)，星口動物(Sipunculoidea)的星蟲(*Phascolion sp.*)，棘皮動物(Echinodermata)的海洋芋海膽(*Echinocardium sp.*)、梅氏粗刺海膽(*Echinometra mathaei*)等。

3.6 潮間帶及海域大型海藻之調查結果

東引海域大型海藻的分布狀況，於 96 年 2 月 7 日至 9 日進行潮間帶實地調查。調查地點為中柱島南北兩側、碼頭南邊沿岸及漁港內。經採樣及鑑定結果，共計記錄綠藻、褐藻及紅藻等三大類藻種 13 種，其中綠藻 1 屬 5 種，褐藻 3 屬 4 種，紅藻 4 屬 4 種(如表 4)。

本次潮間帶大型海藻調查結果顯示，東引島南側沿岸較常發現大型褐藻的出現，如半葉馬尾藻、羊西菜等。由於受到季節因素的影響，加上沿岸地質結構大都為表面平滑的花崗岩碎塊，部分一年生的海藻不易附著。相較於天然海岸的海藻附著情況，中柱港旁的漁港內，固定漁船的纜繩上，則佈滿不同於

表 4 東引海域海藻調查地點及其分布狀況

中文名	中柱島 南側	中柱島 北側	碼頭堤 岸南側	漁港 內纜 繩
綠藻				
牡丹菜	++*			+
裂片石蓴				+++
石蓴				++
扁浒苔				++
緣管浒苔				+++
褐藻				
鐵釘菜	+++	+	+++	
幅葉藻				++
羊西菜			+++	
半葉馬尾藻	+++	++	+++	
紅藻				
甘紫菜				+
皮絲藻		++		
翼枝菜			++	
縱胞藻		+++		++

註：*生長在廢棄纜繩上；‘+’：出現的藻體數目 1-3 次，‘++’：出現的藻體數目 4-10 次，‘+++’：出現的藻體數目 10 次以上。

海岸的海藻種類，其中又以綠藻類的石蓴屬 (*Ulva spp.*) 最為常見，甚至可見到甘紫菜 (*Porphyra tenera*) 與幅葉藻 (*Petalonia fascia*) 兩種其餘採樣地點未發現的種類。



圖 3 馬祖東引中柱港南側佈滿馬尾藻之潮間帶由漁港纜繩上所附著的藻種顯示，石蓴、浒苔、幅葉藻及紫菜等種類在

東引沿岸應有一定的族群數量，然而這群在一般潮間帶可大量出現的底棲海藻，可能是由於花崗岩塊表面較為平滑，屬不利於海藻的孢子附著萌芽的底質結構，再加上二月冬季的水溫仍低，因此天然海岸僅發現部分較耐低水溫的海藻有較大的族群量，如半葉馬尾藻、羊西菜等，藻體長度約可 50-60 公分；此外，離岸邊較遠的水面亦可發現體型較大的褐藻，目測估計藻體長度可達 3 公尺以上，由於採集不易，無法鑑定種類，但顯示潮下帶應有可供大型海藻附著的底質環境。

四、海洋森林的建構規劃

4.1 規劃原因

各種海岸工程建設的目的，均為人類生存活動的方便與安全及抵抗浪潮維護陸上設施。但在各種不同工程結構的特性上，有時可兼具改善生態環境的作用。圖 4 為各種海岸工程之防災功能與生態功能的比重示意圖，如海洋森林、海洋牧場設施、魚礁為專為生態效益而設置之結構物。而離岸堤、人工潛礁等，如日本案例中所分析，是可同時兼具兩種功能的結構設施。

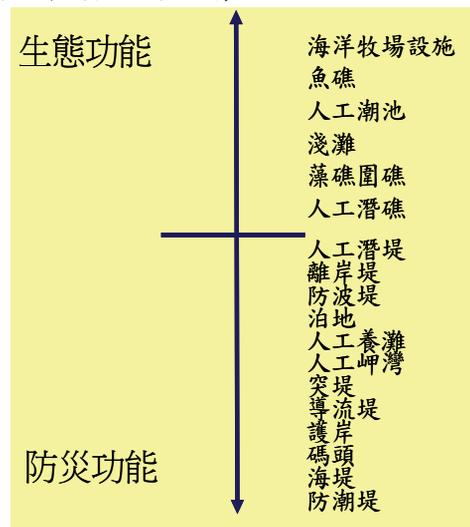


圖 4 結構物之防災與生態機能區分

因此，在達到同樣的使用及防災功能條件下，若稍加以人工手段，我們應盡量採用規畫具有生態功能的結構物。例如設置一些生態礁如魚礁、藻礁、產卵礁等，或次要的改善防波堤、沉箱、潛題等，則可以豐富潮間帶及近岸海洋生態，產生豐富的水產資源，是一舉兩得的作法。

海洋森林的建構規劃在國內可說一項新的規劃研究，規劃元素中以人工藻床或藻礁為主體，依不同的海域特性施以不同的單體藻礁設計或堆疊複體藻礁設計。甚至與過去之人工魚礁相互搭配設計，形成新的社群礁團、或藻床、或海洋森林。因此單體的藻礁是人工藻床的建構規劃最重要的部份。

雖然人工藻礁與人工魚礁十分相似，但魚礁所以能夠吸引魚類主要的理由包括：一、有陰影效果，二、有餌料效果，三、有渦流效果及四、提供躲避場所等功能。而海洋森林（人工藻礁）主要以培育大型海藻，提升基礎生產力。因此單體的藻礁除了部份有水泥結構物之設計外，亦包含培育大型海藻的相關設施、材料在內。人工藻礁與人工魚礁除了提供了廣大的礁體表面積，適於許多附著性生物之棲所，如藻類和海綿、腔腸、軟體、環形等無脊椎動物及海鞘等脊索動物的附著生長，培養了許多魚類賴以維生的『餌料生物』外，最重要的是所投放後的堆疊效應，形成了許多大大小小的孔隙、洞穴，不僅可以提供各種大小魚類的棲所，利於造成不同的空間層次分佈，洄游或底棲性成魚更可以利用它來做標的、覓食、避難、定居與繁殖的場所。而此堆疊效應重點在於社群礁團的佈建設計，即本研究主要目的之一。

歷年來，經由學者的研究調查報告

及漁民的反映顯示，人工魚礁可在短短的一年間，就發揮了良好的聚魚效果。除了吸引暫時性棲息魚類在人工魚礁附近洄游外，同時也增加當地海域的基礎生產力，並將該區的有機分子捕捉並固著於當地，增加次級生產力，因此而獲得專家學者與漁民們一致的肯定。而藻礁以提供藻類附著或由其型態保護所培育之海藻，以提升基礎生產力為主，進而因藻類的生長提供魚類在人工藻礁附近洄游，亦可發揮良好的聚魚效果。在日本過去因重視目標對象一魚類的棲息與躲避場所，忽略了提升基礎生產力的重要性，多年來漁獲量並未大量提昇。而中國大陸因栽種大型昆布，除提供人類食用外，竟意外大大地提昇中國大陸沿岸的漁獲量。

4.2 規劃地點

綜合本研究以上各節的調查結果，本研究建議此次海洋森林（人工藻床）的建構規劃的投拋地點，應選在東引鄉北澳海域，其中心點座標定為： $120^{\circ}29.400' E$ 、 $26^{\circ}22.700' N$ ，水深約25~28 m處以淺。其主要原因是因為：目前馬祖東引鄉周圍海域，唯一可供設置海洋森林、人工藻床或人工魚礁的地點，經由調查結果顯示就是在北澳海域。

另根據上述地形及各項調查結果顯示，此海域中心點及其以北海域，水質屬乙級海域環保標準，海底地形、景觀多為泥沙地，珊瑚礁岩較少，生物相對較貧乏，但動植浮所營造之基礎生產力高。因此在此海域設置海洋森林，應以「保育魚類資源、培育藻場海中林及發展休閒、休憩觀光」為主，而儘可能避免以大量漁獲或使用具破壞性較強的漁具來此作業。

4.3 藻體培育規劃

1. 藻體之選用

由上述調查研究之結果，選擇適合植栽的藻種，目前可能合適之藻種中，由於馬尾藻或體型較大的褐藻大都為多年生的藻種，藻體亦有一定的高度與隱蔽性，建議可選擇將此類的海藻作為建構海藻林之藻種，除可豐富海岸的生態景觀外，亦可提供海洋生物棲息、覓食與躲藏的處所。

2. 選用種類之藻體培育

當選擇適合植栽的藻種後，根據其生殖特性以不同形式之人工繁殖方法，予以在野外或在實驗室進行育苗培養工作。如游動孢子附苗法或不動孢子附苗法等。圖 5 為昆布人工養殖流程：母藻採取、收集孢子、孢子培育、孢子附苗、幼株移植。另圖 6 為大大型海藻培育流程圖。

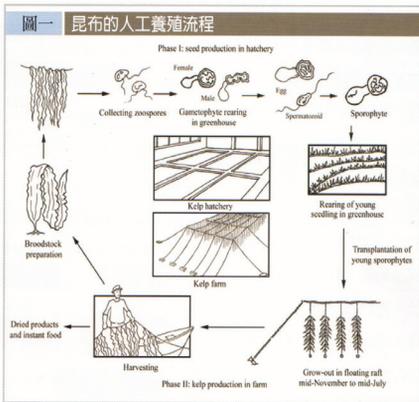


圖 5 昆布的人工養殖流程圖(資料來源為 FAO 網站)

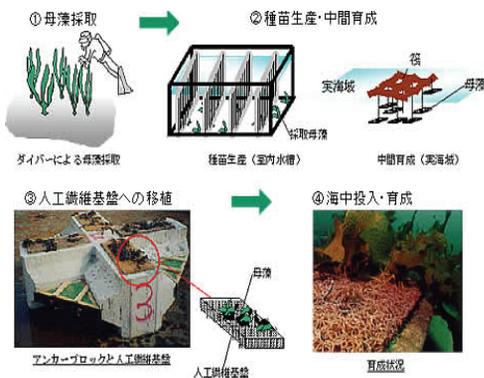


圖 6 大大型海藻培育流程圖(資料來源為松田惠明教授演講資料)

4.4 規劃礁體型式

有關設置的單體礁體型式，如圖 7 所示，本研究就東引鄉北澳海域可投礁體地點附近選定 A、B、C 等 3 點水深分別為-18、-22 及-25m 海底，依該海底海底深度、所採到的底質特性、波浪條件(波高、週期及波長)、潮流流速、兩種假設將被用來投放的礁體(十字型礁及田字型礁)、45 度斜投影面積、鋼筋混凝土單位重量及海水單位重量等參數，分別加以計算在此海域投拋人工礁體時之：1. 拋放落地時之著地衝擊力、2. 礁體之安定度、3. 因潮流產生的力大小及 4. 安全係數等在投拋人工礁體時應注意及是否穩定的一些重要參考值。依據附錄計算結果，本研究規劃建議在此海域所設置之人工藻床或海洋森林方式，以城堡式的設置方式來佈建(如圖 8 所示)。

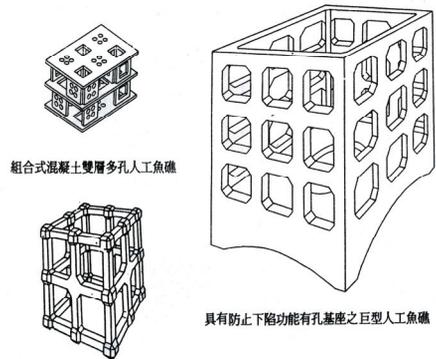


圖 7 東引海域可考慮投放的單體礁體型式種類

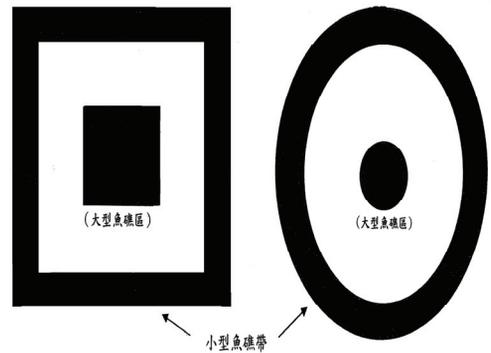


圖 8 城堡式的設置方式示意圖

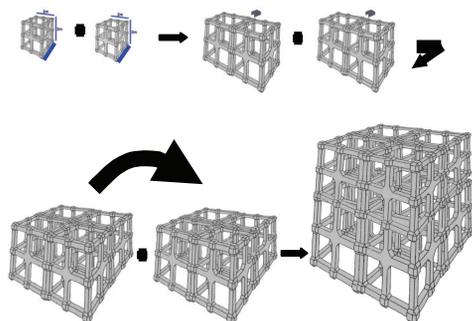


圖 9.8 顆合成的礁體組示意圖

城堡邊緣建議以 $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ 田字型水泥礁體為主要礁體結構，依本次投礁預算及每一顆礁體從製作到拋投之單價等數值，將本次投礁計畫可製作此種礁體的數量平均分配到本研究建議的海域四週邊緣。以下為本次投設魚礁經費之試算與佈置方式：假設本次魚礁總投設經費為新台幣 2,000 萬元，其中包括工程費 500 萬元及礁體製作投設費 1,500 萬元，以一顆 $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ 田字型水泥礁體製作到投設完畢之單價 1.5 萬元來計算，本次單體礁體總共可以投設 1,000 顆 $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ 田字型水泥礁，但由於此海域特殊、可投設魚礁或藻礁面積有限、為防止網具作業纏繞破壞礁體功能及能讓聚集魚群有洄游空間，以達到建構成城堡式人工藻床或海洋森林的目的，本研究建議將製造好的單體經過組合過程組合成 8 顆合成的礁體組(set)，其過程如圖 9 所示；

4.5 群礁之規劃

首先，將兩個 $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ 田字型水泥礁以「 \square 」型鋼鐵固定製作成 $2 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ 合成礁體，再進一步把兩個 $2 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ 合成礁體合併並固定，製作成大型 $4 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ 合成礁體，最後再將大型 $4 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$ 合成礁體以堆疊的方式，製成 $4 \times 4 \times 4 \text{ m}^3$ 合成水泥礁組(set)。

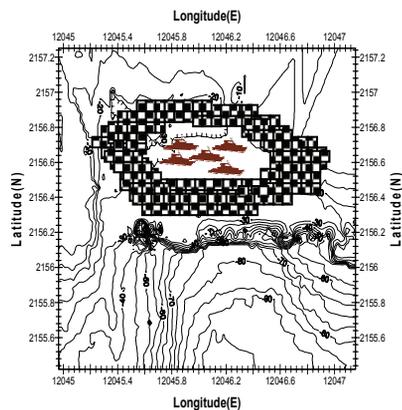


圖 10 海洋森林佈設呈現示意圖

將這些 $4 \times 4 \times 4 \text{ m}^3$ 合成水泥礁組，設置在海域中心點 $120^{\circ}29.400' \text{ E}$ 、 $26^{\circ}22.700' \text{ N}$ ，水深約 25~28 m 處周圍，如圖 10 及圖 11 所示。四周邊緣經緯度左上角為 $120^{\circ}28.900' \text{ E}$ 、 $26^{\circ}22.900' \text{ N}$ ，右上角為 $120^{\circ}29.900' \text{ E}$ 、 $26^{\circ}22.900' \text{ N}$ ，左下角為 $120^{\circ}28.900' \text{ E}$ 、 $26^{\circ}22.500' \text{ N}$ ，右下角為 $120^{\circ}28.900' \text{ E}$ 、 $26^{\circ}22.500' \text{ N}$ ，整個人工藻床或海洋森林佈設呈現 1×0.4 海浬的長方形，四周邊緣合成水泥礁組為陣列式的排列，這樣不僅可保護中心礁群不被網具作業纏繞且陣列式排列可提供魚群有更大洄游、棲息空間，其聚魚效果也更為良好。

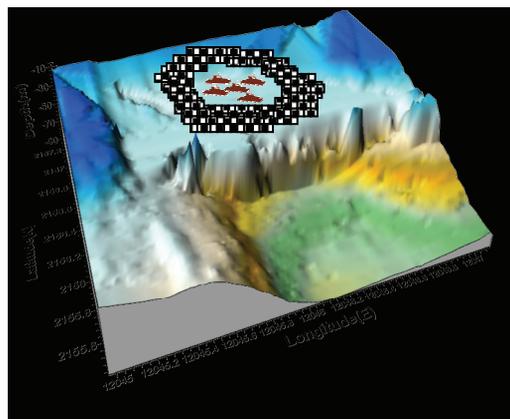


圖 11 海洋森林佈設呈現示意圖

若是日後申請到更多經費，建議在中心點投設體積更大的礁體，如大型的鋼鐵礁、船礁或軍艦礁為礁區中心之主

要礁群，大型礁體的吊放投放規定，可依據大型鋼鐵礁之吊放投放規定設置。依此方式，在此建構新的城堡式人工藻床或海洋森林後，日後建議再選定鄰近適當的海域，如清水澳海域附近投設新的城堡式人工藻床或海洋森林或人工魚礁群，以構成完整的礁體系統漁場 (complex)，如此將對此海域魚類資源之培育達到事半功倍之效。

謝誌

本研究經費受連江縣政府贊助，得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

1. 黃淑芳 (2000), 「臺灣東北角海藻圖錄」, 國立臺灣博物館, 233 頁。
2. 郭一羽等 (2001), 「水域生態工程」, 中華大學水域生態環境研究中心。
3. 郭一羽、李麗雪 (2005), 「海岸景觀與生態設計」, 田園城市文化事業, 第 214-250 頁。
4. 陳育賢 (2001), 「海岸生物(一)- 台灣潮間帶生物 700 種(一)」, 渡假出版社有限公司。
5. 郭一羽、朱達仁 (2004), 「漁港生態工法應用類別之探討」, 第一屆營建管理研討會論文集, P3-155~3-164。
6. 郭一羽、李英周、朱達仁、施君翰、陳盈曲 (2005) 「應用底棲生物整合指標發展海岸生物棲地評估模式」, 港灣報導季刊, 第 72 期, 第 1-12 頁。
7. 張睿昇、郭一羽、朱達仁、施君翰 (2004), 「附著生物在海岸淺灘的生態效果分析研究-以安平漁港為例」, 第二十六屆海洋工程研討會論文集。
8. 張瑞欣、林東廷、林琇美 (2002), 「西南海岸結構物之海藻著生初步調查」, 港灣報導季刊, 第 62 期, 第 38-56 頁。
9. 谷口和也 (1998) 「磯焼けを海中林へ-岩礁生態系の世界」, 裳華房, p196。
10. 谷口和也・山根英人・佐々木國隆・吾妻行雄・荒川久幸 (2001) 「磯焼け域におけるポーラスコンクリート製海藻礁によるアラメ海中林の造成」, 日本水産学会誌, 67(5): 858-865。
11. K. Taniguchi, Y. Agatsuma (2001) "Marine afforestation of the kelp *Eisenia bicyclis* in coralline flats" SUIZANZOSHOKU, 49(2): 133-136.
12. Y. Agatsuma, K. Narita and K. Taniguchi (2002) "Annual life cycle and productivity of the brown alga *Sargassum yezoense* off the coast of Oshika Peninsula", Japan. SUIZANZOSHOKU, 50(1): 25-30.

現代港灣工程與環境之探討

鍾英鳳 高雄港務局港工處副處長

壹、前言

港灣具有促進工商貿易發展及地方經濟繁榮之特性，自古以來常為經濟發展之發源地。港灣帶來經濟之繁榮，同時也帶來海岸侵蝕及淤積、噪音、震動、空氣污染、水質污染、生態破壞與變遷、景觀衝突、親水區域減小...等負面之環境影響。以往這些問題因港灣規模小、貨物量少及居民處於需求階段，對於環境要求不高，很少出現抗爭現象。但隨著經濟發展、生活水準提升、國際貿易興盛，港灣規模及水深也日益擴大與加深、船舶大型化、貨物及船舶數量增加、運輸作業日益頻繁，其對環境之影響也相對的擴大；同時民眾對於環境之自覺性及親水之要求逐漸提高；所以現代港灣工程之開發、營運與環境關係也日益密切及受到重視。

貳、港灣環境問題

現代港灣(harbor)為海陸運輸之樞紐，船舶安全出入碇泊，貨物裝卸轉運，旅客車輛出海及登陸之處所，並兼具物流、生產、生活等功能。因此港灣開發及營運，其對於生活、自然、社會、經濟、文化、生態等環境皆有影響。港灣之開發工作包括工程規劃(計畫擬定、整體規劃及細部規劃)、環境影響評估(環境調查分析與評估、減輕不利影響對策及承諾)、工程設計(初步設計及細部設計)、施工等工作；營運方面則包括貨物裝卸、儲存、加工、包裝、運輸等作業，及船舶進出港、靠離碼頭、設施與設備保養維護(檢測、安全評

估、維修、補強、更新、資料之建置及管理)及港灣安全維護管理等項目。每一項作業及活動對於環境均會造成影響；包括地形地貌及海氣象變遷、環境污染(包括有空氣、噪音震動、水質、毒化學物品及油品污染)、生態改變(棲地、物種、數量等變異)、自然資源及能源的消耗與惡化、社會經濟、文化及景觀等項目之改變。以下就環境影響重要項目說明如下：

一、公共設施：港區及其周邊地區相關之公共設施如給水、排水、電力、電信、通訊、道路、橋樑、污水、消防、油、瓦斯、防洪、廢水及廢棄物處理、緊急應變(包含醫療、緊急避難、指揮中心)等，隨著港區開發及營運，原有設施容量不足將產生排擠原有需求，而需新建或擴建設施以維持各方所需。然設施之興建、擴建及營運，將因施工及營運機械、運輸車輛、災變意外等，產生噪音振動、粉塵、空氣及水質污染及生態環境之衝擊。

二、生態環境：生態包括水陸域動植物、棲息環境等，開發區及鄰近區域之濕地、沙灘、淺水區、珊瑚礁、紅樹林、保安林及動植物之棲息地，動植物種類、數量、歧異度、分佈、優勢種、保育種、珍貴稀有種，將因設施興建、施工期間之噪音、震動、空氣、水質等污染；及營運期間地形、地貌、海氣象條件之改變，空氣、噪音震動、水質、..等污染，而造成動植物棲息地及棲息環境破壞或改變，進

而造成動植物種類、數量、歧異度、分佈、優勢種、保育種、珍貴稀有種之改變。

三、水質、底質影響：港灣之防波堤、碼頭、護岸等結構物會產生邊界、圍堵效應，改變水深及水流方向，造成局部水域水體交換不良、自淨功能降低、加上營運期間之各類污水及污染物流入水域，使水文（波潮流、溫度、鹽度、溶氧量）及水質化學（酸鹼度、營養鹽、總固體懸浮物、透明度、生化需氧量、葉綠素..）等變化，使水質、底質惡化，影響生態環境。水質及底質之污染物常見的有油脂、氰化物、酚、放射性核種、揮發性有機化合物(VOCs)、半揮發性有機化合物(SVOCs)、有機錫化合物(OTs)如丁基錫、苯基錫等及重金屬（包括汞、鉛、鎘、鉻、砷、銅、鋅、硒、鎳..），其來源分別來自外界及港灣本身：

- 1、來自外界部分包括：市區排水（包括工廠、工業放流水、家庭廢污水）、上游河川攜帶排入、鄰近海域（近海的污泥、工業及一般廢棄物海拋）、雨水帶下落塵及溶解氣體、地下水滲入、暴雨逕流等。
- 2、來自港區範圍內包括：港區辦公人員之生活廢水、露儲場或貨櫃場清洗水、倉儲設備（倉庫、油槽、化學槽..）清洗水、貯木池之水、洗車池排放水、船舶（包括壓艙、廢污水、廢油、廢棄物、船漆、漏油）、貨櫃洗艙水、修護廠廢水...等排放、浚挖與棄置土方、漁港及修造船廠產生之廢水等。

四、噪音震動影響：噪音之來源包括施

工期間之打樁、夯壓、浚挖、鑽掘、鑿除、機具、運輸車輛及施工船機等，營運時則有裝卸貨物、運輸車輛（汽車及火車）、船舶等均可能產生噪音、震動。

五、空氣影響：空氣污染來源在施工期間有施工車、船機排放之廢氣、工程拆除、打除與土方工程等產生懸浮質。營運期間則來自船舶、車輛及裝卸機具所排放之廢氣，化學品或石油裝卸時之蒸發及洩漏之氣體，散雜貨（如煤、礦石、砂石、魚粉、飼料、糧食、化肥、水泥等）裝卸產生之粉塵、場地及道路之揚塵等。

六、海岸變遷影響：因港灣之防波堤，海岸興建之海堤、突堤、離岸堤、人工養灘、人工岬灣，及浚挖回填等均會改變波、流之特性而改變沿岸漂沙之動向及來源，使鄰近海岸失去平衡而造成局部地區侵蝕或淤積現象，進而影響結構物之安全與功能，且改變海、陸域生態環境。

七、社會經濟與環境影響：港灣設施之建造、營運、維持等費用來源，營運時貨源、稅、財物平衡、運輸動線、附屬設施及行業等對地區、國家總體經濟及環境保護經費會產生影響，並造成經濟及社會型態之改變；其中影響改變最大者應屬港灣及其鄰近區域。

八、文化之衝擊：文化屬人民之公共財，港灣開發應評估是否影響古蹟或是文化特殊意義之地區；另港灣將使鄰近地區產生不同以往之經濟活動及生活型態，對於原有聚落文化產生衝擊。

九、景觀之衝擊：防波堤、海堤、碼頭、倉庫對於自然景觀、視野及天際線造成改變，加上港埠設施夜間照明、

運輸車輛及裝卸機具之照明對於鄰近社區夜間景觀造成衝擊，甚至影響居民生活形態。

上述九項影響中水質部分應屬對於生態環境影響最大者，而影響水質因素以鄰近市區之雨污水排入影響最大；而港灣本身主要在於浚挖工程、船舶兩項，茲以浚挖工程、船舶對水質、空氣及生態影響分述如下：

一、浚挖工程：浚挖為港灣興建及營運中最重要之項目，其包括航道、迴船池及船席浚挖、新生地填築、浚泥棄置、海洋監測等工作。浚挖及棄置過程中對於港灣及鄰近海域環境造成之影響如下：

(一)物理性之影響：浚挖改變海床地形地貌，使水深產生變化，進而造成波、潮、流、漂沙等之方向及大小改變；使鄰近海岸地形及地貌產生侵蝕及淤積現象。對於水質方面，則將因浚挖及拋泥之動作使沈積物受擾動，而造成海水透光性、PH值、生化需氧量(BOD)、溶氧量(DO)、鹽度(SAL)、濁度(TURB)、懸浮質(SS)、重金屬、氰化物、油脂、氨氮、總有機磷、總有機碳、酚類含量等產生變化。

(二)結構物之影響：浚挖使地形、地貌改變，也使海象條件改變，將造成結構物基本條件如受力大小、方向、...等與原設計不同；使結構物之安全性降低或甚至損毀。

(三)化學之影響：浚挖時可能會有船舶廢油、廢水、廢氣之排放，同時浚挖、拋泥及尾水之排放將擾動底質及海水，使污染物及重金屬等釋出或擴散等。

(四)生態之影響：挖泥、棄土時將可能直接傷害生物、破壞生物棲息地；且會使海水及底質產生物理性、化學性之變異導致生態之轉變。如濬漂、抽砂回填時將改變原先穩定的地貌，殘留鬆散之土方隨著波浪、海流作用使海中懸浮固體、沉積物急速增加，致破壞魚蝦的產卵場，也使珊瑚共生藻行光合作用的效度降低；並透過食物鏈的效應，大幅降低魚種的數量和歧異度，造成漁業資源的損失。

二、船舶影響：船型產生變化，會使港灣規模(碼頭設施、航道、迴船池..)、水深、運量產生變化，且對於船舶碰撞、漏油之風險，及導航、船舶交通管理系統、拖船、引水人等之需求亦會產生變化，一般而言港灣規模越大，對環境之影響也越大。船舶對港灣之污染來自：

(一)生活污水及垃圾：船員生活污水(來自餐廳廚房、浴廁、醫療等清潔洗滌水)，垃圾(來自日常用品、食品、廚餘、工作用品、包裝等固體物質)。

(二)貨物裝卸作業：船舶裝卸載產生懸浮質、垃圾(尤其在大宗散雜貨船)，或油品、化學品等洩漏所產生。

(三)來自意外事故：如發生擱淺、碰撞、傾覆、爆炸、火災等使船體受損、裝載貨物散落、包裝破損，供受液貨作業中發生意外或洩漏、滲漏等，將可能造成船體及空氣污染；且將造成壓艙水、艙底水、洗艙水污染；該等污染水排入海將造成海水污染。尤其是油品及化學品船之意外，將造成

海中總脂量過高、透光率減低，海水缺氧，並且污染海岸、毒害生物等生態浩劫。

(四)船舶操作及維修部分：包括船舶油漆，及艙底污油水、壓艙水、洗艙水排放；隨船舶類型不同而有不同污染型態。在空氣污染方面，船舶使用的抗凝劑、滅火劑、清潔劑等，將產生氯氟碳化合物(CFC)等，對臭氧層產生危害。而對空氣污染最嚴重部分主要來自燃燒所產生之二氧化碳(CO₂)，一氧化碳(CO)，氮氧化物(NO_x)，硫氧化物(SO_x)等造成空氣污染。據英國石油公司負責海運業環境工作之主管表示估計全球7萬艘船隻每年將消耗2.0億噸燃料，輪船的二氧化碳排放量佔全球總排放量4%。(2007高雄港航港新知)。

為降低船舶對環境之影響，國際海事組織 2007-02-02 起草「安全與環境無害化拆船國際公約(草案)」，未來將規範船舶之設計、建造、營運及拆解之過程及對船上有害物質的處理、...予以規範，禁止某些有害材料在船上安裝及使用，增加船方在拆船作業與環境保護方面應承擔之責任；明確拆船場的設計、建造與營運標準..等規範。目前如長榮海運標榜之環保船舶有內置式油艙雙層漏油防護、船舶接岸電系統防止空氣污染、生活及貨艙污水儲藏櫃防止水污染、艙軸空氣式軸封系統以避免漏油、電動式甲機以防範漏油、新型油水分離器有效降低污水含油量、船外板特殊防污漆避免海洋生態污染、低硫燃油系統降低硫化物之排放、環保冷煤維護地球生活環境、大型高溫焚化爐防止空氣污染..等環保設備與措施。

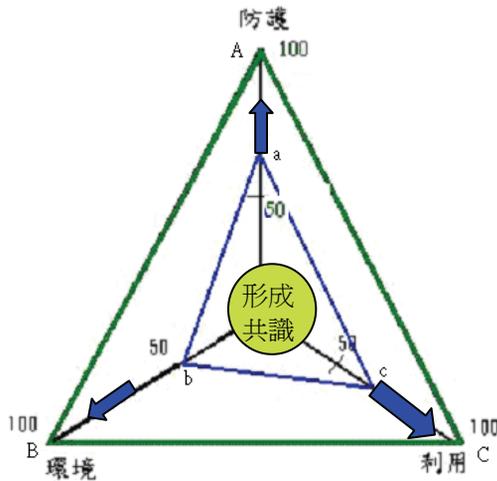
參、工程環保思維

以往工程計畫僅注重經濟、安全，忽視環境保護，計畫中亦無編列相關環保費用；因此對環境造成很大的衝擊。但近年來環境破壞產生生態環境改變，已衝擊到人類永續生存；同時因生活水準提高及環保意識高漲，各項計畫之推動需進行環境影響評估，且常遭受抗爭及質疑。為因應此一趨勢，工程規劃、設計及施工觀念逐漸調整修正為兼顧生態環境以生態為導向之生態工法，並要求工法、技術及日後之營運必須減少及防止對環境之負面衝擊。

一、工程思維之轉變

以日本為例，日本基於民眾對於海岸環境意識高漲，海岸之型態由以往1951-1960年之海岸災害防護，1961-1970海岸地區開發利用，1971-1980海岸環境保護，1981-1990海岸保護與開發整合，1991-2000創造安全與舒適海岸環境及全球環境問題，到2001年迄今已演變為防災、休閒、環境利用和諧共生型海岸(2005, Yoshiaki Kuriyama)。對於海岸之經營管理需經由海岸管理者、當地居民、地方政府、漁民、開發利用者及在學者專家充分提供研究及相關調查資料與知識下，藉由完整且公開透明之資訊，並使相關人員獲得充分資訊與知識等累積後，經由協調溝通找出在防護、環境及利用中其最適合之海岸開發型態。以圖1(引用平成15年日本自然共生型海岸づくり研究會)說明，圖中最外側三角形ABC表示環境、防護、利用三項均可100%滿足之最理想狀態；但實際上卻不可能有此一理想狀態，許多海岸之開發必須藉由各參與者多方之協商後，在兼顧環境、防護、利用需求及重要性產生如三角形abc所示之發展共識，以創造大家都接受

之共生型海岸。基此，港灣之開發已非僅以運輸功能、港埠經營為取向，亦非政府或是港灣開發單位單獨可決定的；必須對環境、人文、經濟、..等衝擊影響多方考量；同時需取得地方政府、管理單位、居民、漁民、事業主等共識，建立符合自然生態、經濟需求及民眾接受之永續港灣。



源至：平成 15 年日本自然共生型海岸づくり研究會
圖 1 海岸防護、環境、利用目標設定關係圖

對於現代工程計畫之環境及生態議題包括補償機制、工程削減機制、植生與綠化、棲息地保留與復育、廢棄物減量、資源再利用、減少使用資源、環境景觀保護及創造、休憩需求之設置，原生物種、原地材料之採用，環境監測等。為符合環境生態之需求，工程規劃設計及施工之理念、作法及經費之支出將同時改變。引用 Shyi-Shyong (Stephen) Jian(2006)美國華盛頓州景郡道路橋樑計畫之統計數據，該等工程之設計費用大約為建造及調查費之 18%~57%；而申請許可前所需花費（包括文書作業、申請費及施工前之監測費）約為設計費之 8%~14%，且為施工及調查費之 3%~5%；該等費用將隨道路經過環境之敏感度而改變。一般

而言，經過之環境越敏感或工程規模越小，其所佔之比例將越高。由上述之數據可知各種計畫之成敗及經費之支出，受環境之影響很大。另因環境之因素加入，對環境生態影響之調查、處理方式探討等須經過管理單位、地方政府、地區民眾、各類學者專家、政府、及開發單位、未來之投資者或使用者等共同討論，以達成基本共識。基於參與者眾，對於需克服之問題也相對會增加。如此，對於計畫申請作業、規劃、設計之工作量將大增，其經費及時間需求也相對提高。但因有周延之規劃、設計及合理之施工計畫，未來施工期間將縮短，並減少施工其間環境之衝擊。另對於營運中所產生對環境不利之因素亦可在控制範圍內，使之經營更加順暢。總之，環境問題對於工程計畫開發及營運將需花費很多時間、人力及經費來解決。

為達到降低工程對大自然之破壞，2002 年行政院公共工程委員會大力推動「生態工法」，2006 年進一步以「生態工程」取代生態工法，主要目的將因推動生態工法而做出許多不必要設施之觀念，進一步改為「為解決問題之生態工程」。所謂生態工法「是以生態為基礎，安全為導向，減少對生態系統造成傷害的永續系統工程」。而生態工程 Volkhard Wetzel(2006)定義為「生態工程尋求的是自然保育與經濟需求之工程建設及維護活動之和諧」。綜上所述，未來港灣工程觀念必須跳脫以往僅以港灣自身利益之角度，而需由多方向及層面來思考。工程計畫之實施必須結合生物、生態及相關工程技術，以達到自然與人類共存、環境與經濟並行發展之目標。參考近年來海岸工程對於生態工法及探討，港灣工程之新思維建議構想如表 1：

表 1、港灣工程新舊思維對照構想表

課題	舊思維	新思維
港灣與人、自然之關係	人定勝天	人與自然和諧、共生，順乎天理，應乎人情。
政策考量	當前性	永續性
港灣規劃	注重經濟，輕忽環境	經濟與環境並重，
工程理念	以安全、防災為目的，講究經濟及效益	安全、防災、生態、景觀並重。以生態工程為基礎，安全、經濟為導向。
維護管理	注重補修，反覆修復	安全檢視評估，管理維護重於修繕。

二、工程規劃

港灣之開發及經營必先有計畫，並按計畫開發營運；計畫必須依據港灣相關法令、經營需要，及國家土地、公共建設與交通政策來擬定。對於港灣規劃、運量、規模、設施布置及改建與維護環境等策略則應建立原則，作為未來港灣之發展之依據。在港灣開發及營運之同時思考降低對環境、生活、生態等衝擊性，並營造永續之環境。因此港灣工程觀念必須考量「安全」、「防災」、「景觀」、「生態」等層面，不可僅以安全及經濟效益為主要觀念，以創造永續經營之港灣環境。

日本港灣計畫對於港灣規劃之原則為：「賦予定位及功能目標、強化及建立策略、港灣設施之發展及利用、港區土地之利用、港灣環境之發展及維護（包括設定廢棄物處理、污染防制能力、環境改善措施三項工作，並決定相對應之設施規模、佈置與型式及廢棄物容量。）、港灣安全之確保及鄰近區域之保護。」由上述內容來看，港灣環境之發展及維護、鄰近區域之保護等兩項與環境有關，其目的在求經濟發展之同時兼顧生態之發展。目前政府大力推動生態工法、生態工程、綠建築、永續建築等，其目的也是要經濟發展與環境保護並重。港灣未來規劃時對於環境部分宜重視下列之事項：

- 1、順乎天理、應乎人情：順乎天理即規劃者首先必須有心於自然生態保護，本著尊重且敬畏大自然之規律與力量，順勢進行各項建設；並儘可能減少破壞、儘量保留重要動植物棲息地。應乎人情即規劃者除以港灣經營者考量外，應瞭解時代潮流、航商客戶之需求、中央及地方政府之意見、居民、漁民、環保及社會各階層之意見。整合各方需求及意見，方可擬訂計畫方案；並於執行及營運期間，隨時接收各方意見之回饋，並作適度之修正。
- 2、景觀與環境之融合：運用空間布置、結構型式、色彩、植栽、綠化來降低港灣開發對鄰近區域之環境及視覺景觀衝突，並創造親水遊憩空間，增加港灣之親水性及人性化。
- 3、環保與文化之融合、經濟與實用並重：港區與周遭環境以緩衝帶來做調和，並將港區設施（如建物、綠帶、圍牆、步道、休憩廣場等）與鄰近市區之風貌配合，以符合生態及經濟之概念。
- 4、資源有效利用：人工設施、設備減量，多利用自然能源，材料及資源應重複使用，減少地球資源之利用及廢棄物量。

- 5、生態多樣性之確保及永續經營之心態-人與生態和諧共生：規劃時必須體認自然生態是人類生存的基礎，也是人類與企業發展之基礎。藉由認識自然生態，來改善自然環境及減少人為破壞環境，以保護環境穩定性，來實現人類及企業永續經營之發展。
- 6、整體效益評估及多方共識：基於規劃方案會影響環境，環境因素也會影響規劃方案，所以規劃及環境評估應整合由一單位主導，避免造成各行其事而不能得到最具經濟效益與環境衝擊最小之計畫案；甚至造成日後執行及營運上之困難。同時對於開發方案及環境調查之結果，應先提供詳盡之資訊給海岸管理單位、地方政府、地區民眾、各類學者專家、政府、及港灣單位、未來之投資者或使用者，並經充分之溝通協調以達成和諧之開發共識。

三、工程設計

實施近生態工法之目的以郭

(2004)所述『近自然工法不僅在追求對「自然的渴望」「美的憧憬」與「回歸自然」等感性的滿足，更要追求「合理性」「效率性」「多樣性」與「經濟性」等理性思考』最為貼切。為達此目的在港灣工程設計時，不僅採用自然之材料，引用以前之方法，而是必須結合目前之學理及科學，將安全、經濟、效率之概念付諸於工程中，同時需將自然型態、生態、景觀、親水、文化與社會經濟及永續經營等各種因素加入。設計前須先有詳細的環境調查以瞭解自然生態，再利用學理及科學進行規劃設計；而且對工程成本、施工管理及後續維護工

作均應加以考量，以下就設計應有之理念敘述如下。

(一)以自然為師：

- 1、瞭解及順應自然，減少與自然抗衡，師法自然中，萬事萬物存在法則：港灣工程建設會破壞自然影響生態，基於與自然和諧共存，建設之同時必須重新營造或改善環境，以減少對自然生態之衝擊。但要設計出符合生態需求或對生態影響最小之工程，設計前需先瞭解自然界現象、生物特性及對環境之需求；並將使用、安全及生態等需求結合評估後進行設施布置、結構型式與材料之選用。如考量海生物之附著性、底棲性、群聚性、生物鏈等，在港灣工程中可依生物之特性以多孔隙、淺灘、粗糙面、緩坡、透水性等方式因應。
 - 2、近自然工法：港灣工程分為在港外及港內，對於港外之鄰近海岸可依張(2001)提出生態性工法之觀念：「生態工法分為創造基礎環境之工法及改善環境之工法，創造基礎環境之工法包括複斷面構造物、淺堤圍礁構造物、縱型藻礁構造物、特殊表面處理之構造物。改善環境之工法包括人工潮池與人工磯場、生產產卵礁、人工魚礁、導水結構物、礫石生物膜」。而港內相關設施基於安全、經濟、效率可發展之空間較小，但亦透過下列方式營造較適合之生物棲地
- (1)碼頭：採用多孔隙設施、粗糙面來營造生物棲息、生長之空間，如採棧橋式碼頭(具有塊石護坡)、多孔隙消波胸牆岸壁碼頭等。

- (2)護岸：可用緩坡、階梯及多孔隙性材料，如砌石護岸與護坡、多孔隙方塊護岸、階梯性護岸等。
- (3)排水結構物：可用讓地下水滲透，使大地涵養水源，同時保留動植物棲息地效能之多孔隙鋪面或泥土面排水渠道，如砌石、多孔隙混凝土面、泥土面、砌石面、邊坡植草溝等。
- (4)貨櫃場、露儲場、道路、停車場：在不妨礙使用功能之前提下，可儘量使用透水鋪面，讓地下水能滲入地面及涵養水，藉以改變地區微氣候，降低當地之氣溫，增加濕度，使氣候適合生物生存及降低能源之使用。

(二)回歸簡單

依義大利經濟學者帕列托發現80/20法則(Pareto Principle)，80%的時間中，僅使用其中20%的功能；而其他80%的功能，卻可能僅提供20%之服務。因此在設計時必須藉由價值工程來探討及降低非必要或使用率不高之設施，讓設施在興建、營運、維護、拆除生命週期中減少資源使用及降低廢棄物量。簡單化，能提升效能且減少日後維護人力、物力及經費；複雜則會造成浪費，而且降低效能。因此設計應朝向簡單化，以最少的營建來滿足需求；而且簡單即是美，美會使心靈悸動，也可形成港灣特殊之風格及識別之意象。

(三)永續經營

為達成永續經營之目的，港灣工程之設計應採用生態工法之理念，設計時需考量如何避免破壞自然環境、降低干擾生態體系、補償生態體系、削減人為設施、少用資源

、資源再利用、減少廢棄物、維護生態之多樣性等課題；並依據環境及工程之特性嘗試利用各種施工法、施工機具、結構技術、施工工期、監測及管理等方式來減少及防止對環境、生態之負面衝擊。又基於地球資源、能源之有限，及確保人類永續生存，必須減少資源之使用，同時資源需有效運用，減少廢棄物量。

1、注重及保護生態，少用資源：

就如內政部建築研究對於綠建築之定義：「綠建築乃是在建築生命週期（指由建材生產到建築物規劃設計、施工、使用、管理、及拆除之一系列過程）中，消耗最少地球資源，使用最少能源及製造最少」。未來之工程計畫應減少資源及能源之使用，並儘可能利用當地的環境特色與相關自然因子〈比如陽光、空氣、水流〉，以降低各種不利於生態環境之因子。

2、廢棄物之處理及減量：

(1)廢建材利用

歐美先進國家對於指定建築物必須使用三至四成再生可回收建材；另外混凝土塊、營建廢棄物在日本及歐美國家亦回收利用，其目的在減少廢棄物之產生。在港灣工程中最常使用之材料為石料、鋼筋、混凝土、瀝青混凝土等；而廢混凝土塊、石料、瀝青混凝土廢料、廢鋼筋為較常見之廢棄物。基於地球資源之有限，目前石料、廢鋼筋屬搶手貨，瀝青混凝土也有再生瀝青混凝土廠可供銷貨；至於混凝土塊可作為背填石、棧橋碼頭之護坡、海堤之堤心、碼頭前趾之護床，或打碎當作道路基底層級配等。

(2) 浚挖土方處理及再利用

浚挖土方為港灣最大資源，不加以利用則成為最大宗之廢棄物。以高雄港為例，高雄港自民國 70 年至 95 年間，航道、船席總浚挖量達 26,031,220 立方公尺，平均年浚挖量達 1,001,200 立方公尺。另德國 Hamburg、Bremen、Wilhelmshaven 等港口，一年疏浚量約 4 千萬~4 千 5 百萬立方公尺之間。其所需費用高雄港以海拋方式處理，每立方公尺約 200 元，平均每年約需 2 億元。而德國採取就近浚填平衡之方式，將沙回填至刷深之處處理；極少部分淤積或是提供作商業用途才會拿至陸上；其一年浚挖經費約 6~8 千萬歐元，折合每立方浚挖費用約 65~85 元之間；二者處理費比約 2.5~3 倍。為營運績效及資源有效利用，浚挖土方應朝多利用，少廢棄之方式處理。而為提高浚挖土方再利用則需減少船席、航道、泊地、迴船池等地區污染，以提高浚挖土可用率。故需於市區排水流入港池前設置攔污柵、攔沙堤、污泥沈澱池、污水處理廠等將污染來源予以限制及減量，以營造有利環境。除此之外對於浚泥再利用簡介如下：

甲、環保袋處理：以地工織物做成環保袋，將浚泥裝入環保袋密封後，依浚泥之特性將環保袋當作廢棄物投至於適當深海域或是視為資源作為結構之一部分，如用於填海造地之圍堤，海岸保護之海堤、突堤、離岸堤、潛堤等作為堤心，或拋放於防波堤、海堤外海側做成雙重堤，用以削減波能及

保護防波堤，或是作為攔沙堤潛堤等使用。

- 乙、填海造地：先於淺水地區擇地興建圍堤，再將浚挖土方填入圍堤內，以減少廢棄土方，同時可創造新土地；麥寮、台中港南填方區、安平港均有此一案例。
- 丙、填築低窪地：港灣興建或維護所產生之土沙可填築於原有廢棄魚塢、窪地、或是因地層下陷低於海平面之沿海低地等，藉以重生可使用之土地。
- 丁、人工養灘：以人力將沙填放於海岸侵蝕地區，藉由沙之消能作用達到海岸保護之目標。目前國外甚多成功案例，國內則在安平港、高雄港旗津海岸均有實蹟。
- 戊、作為營建材料：海沙做為建築材料因有氯離子含量偏高之問題，但做為一般道路或新開發區之回填料均屬可用之材料，因此可依據公共工程及公有建築工程營建剩餘土石方交換利用作業要點規定辦理。
- 己、資源化回收處理：除上述作為填海造地、人工養灘...等外，對於不能直接使用之淤泥等可透過再製變成可用之材料，如經過燒置變成輕骨材等。

(3) 補償機制：

在港灣興建或維護之過程中，會侵佔或破壞淺灘、潮間帶、瀉湖或魚塢、濕地等各種生物之棲息地。在設計時可於鄰近區域營造出一類似之棲地，以保育當地之生態。唯設計前需先瞭解補償之對象及其習性，並藉由工程、生物等技術

，進行位置、形狀、結構型式、材料之選擇，及進行海生物之復育，以達到補償機制。對於陸域生態棲息地之破壞，可藉由設置保育區、營造濕地環境來補償。在水域部分，則常以人工養灘、人工濕地（如潮池）、人工藻場、人工岬灣加養灘、人工魚礁..、等方式。

(四)由心做起，全員參與

對於現實港灣經營利益掛帥及規劃設計者對傳統工法信賴，要進行改變，基本上要從心態改變做起，進而改變整體國家社會之環境及文化，方得盡其功。生態工法意義，包含了心態、觀念以及工程實施方法上的調整、改進，故有人主張生態工程其實是「心態工程」，一種改變人類心態之工程。基於沒有生態，人類即不可能生存，所有產業均將成泡影，港灣也不可能永續經營，因此港灣工程為求永續經營而必需推動生態工程，而其成功第一個關鍵及取決於經營者、規劃設計施工者之心態。唯有從觀念及心態（尊重自然）來改變，充分認知生態環境並進行整體性及長遠性有系統之考量，在以生態原理為基礎，安全、防災為導向的生態系統工程下，對於工程設施生命週期（從規劃、設計、施工到維護與拆除）中應秉持減少對生態之衝擊、因地制宜，就地取材、不需做就不要做，資源再生利用，再生能源之使用，並減少資源消耗之原則下進行規劃設計、施工及營運。

對於生態工程應用於港灣，基於生態工程並無既定的標準模式，其應用須因地制宜、就地取材，考量不同的地理、人文、生態條件，

來進行工法的設計與施工。因此作為一港灣工程設計者，除需要一般工程結構安全設計能力外，尚須具有掌握住民參與、景觀設計、自然生態、綠營建（節能、資源回收再利用）、防災減災、環境影響及工程風險等課題之能力，方符合目前時代之需求。

環保工作並不只有環保單位之問題，必須經營者（各規劃、設計、施工、監造、環保、維護、營運等人員）、航商、貨主、裝卸業及港區相關單位等均有共識及共同信念，將環保觀念融入於日常工作與行為中；同時依據相關法令及善用現代科技與技術來保護生態環境。

肆、結語

在講求競爭力及永續經營時代，企業之成功在於能否認清自我、觀察未來時代之脈動，環境議題將是企業永續經營關鍵。未來企業不僅要讓客戶滿意，更要使客戶信賴與感動；因此未來港灣需講求效率、安全、環保及創新，建立乾淨幽雅之經營環境、清晰之目標願景、強烈之企業形象，來讓客戶感動。而要達成此一目標，必須藉由妥善的規劃設計並納入生態工程之概念。

生態工程並不是什麼深奧之學問，簡單來講，生態工程就是「心態工程」，心中有萬物，自然規劃設計及營運時，就不會單以營利為目標，而會以萬物蒼生為念，摒棄以往人定勝天之觀念，改成順天應人之態度，以尋求港灣及全人類永續經營之目標。

伍、參考資料

1. Volkhard Wetzal, 'Management Of Rivers and Coastal Waters under the Aspect of Ecologically oriented

- Engineering”行政院公共工程委員會-2006 生態工程國際研討會論文集 p3~p19
2. Shyi-Shyong(Stephen) Jian “What Structural Engineers Can Do to Protect The Environment Experience at Washington and Colorado States, USA”行政院公共工程委員會-2006 生態工程國際研討會論文集 p77~p95。
 3. Yyoshiaki Kuriyama (2005)
Coastal Zone Management in Japan
，第 25 屆中日工程技術研討會港埠工程論文集。P51-P57，(2005)。
 4. 日本自然共生型海岸づくりの研究会- 國土交通省河川局沙防部保全課海岸室監修，自然共生型海岸づくりの進め方，第 25 屆中日工程技術研討會 港埠工程論文集附冊。日本平成 15 年 3 月。
 5. 郭金棟，”海岸保護’台北科技叢書，P351。
 6. 張憲國，近岸生態景觀創造策略，土木水利，中國土木工程學會會刊，民國九十年十一月 P46~P52。
 7. 高雄港航港新知簡訊，輪船二氧化碳排放警戒水平比飛機更嚴重，資料來源<http://www.sina.com.cn> 2007-3-04)，P9。

夜間之海疆巨眼——護守港灣、海岸和船舶的燈塔

謝晚嫻 交通部台北郵局

一、燈塔功能

對船員以及獻身港埠事務、海關工作領域等海事從業人員來說，燈塔是其相當熟悉的建物。燈塔不僅是和海運安全息息相關的助航設備，也是鞏固海防、發展經貿與查緝私運、增裕稅收不可或缺的重要設施；它也是漂泊四海、渴待登陸的水手張目瞭望的明燈以及詩藝中人常愛比擬謳歌、吟頌仰止的對象。為了讓夜晚時分，航行於外海的船舶可以發現它的燈光，燈塔自然需位處海岸岬角高點，就塔身的結構而言，燈塔以寬底窄頂的圓錐體為最多，八角錐與四角錐之形體者居次；而且尚需建得十分高聳巍峨和雄偉堅固，俾防海風的強力吹襲剝蝕。然而，燈塔除了造型雄偉、氣勢磅礴外，有些則是鬆以奪眼色澤、別具酷炫美感和鮮豔醒目的外觀，許多燈塔外壁則漆飾以黑白、紅白...等呈現鮮明對比的色彩，俾利於白天時之識別。燈塔所在位置也可以是個著名的景點，不少年代久遠的燈塔還兼是重要的古蹟，例如鵝鑾鼻燈塔即是墾丁國家公園內的名勝之一，而澎湖的西嶼燈塔（又名漁翁島燈塔）則是當地與天后宮、西嶼炮台齊名的重要古蹟。

二、燈塔歷史

人類應用燈塔來指引夜航的船舶，約可推溯至兩千五百餘年前，當時的埃及、利比亞和腓尼基人即在北非沿海一帶建有多座燈塔，以引導航行於地中海的船舶。惟由於長久歷經風浪潮汐的侵蝕、地震海嘯的衝擊與兵燹戰火的摧

殘（戰爭時燈塔常是敵方亟欲破壞的目標），目前俱已不見蹤影。連原聳立於埃及亞歷山卓港、名列世界七大奇觀(7 WONDERS)之一的「菲洛斯燈塔」也未能倖存，該燈塔乃托勒密一世法老王在位時，敕令首屈一指的建築師索士特拉多斯興建者，計動員數萬人力、耗時近廿年方告竣工。塔高將近一百卅公尺（相當于今之五十層樓高），以大理石為主要建材，分為基層、中層和頂層三大區，最頂端還矗立著一尊塑像，極具美感；其頂層有面巨大的金屬盆，晚間內燃木頭、油脂，並藉巨型銅鏡將火光集中反射，使遠達四、五十公里的船隻亦能瞧見。另外，羅馬帝國嘗於國勢鼎盛時期遠征英倫，並在英吉利海峽兩岸的多佛與波隆尼建有燈塔，迄今尚殘留有若干遺跡可尋，足資憑弔緬懷。甚多國家均發行過以其境內燈塔為圖案或專題的郵票，我國郵政總局即曾發行取材於台閩地區燈塔的一系列郵票和用以貼寄平信的常用郵票，頗受國人歡迎，蓋這些燈塔外貌均甚高挺聳拔，鬆彩則各具樸質卻不失典雅秀美之特色。

三、燈塔結構

建造燈塔的材料有鋼筋混凝土、鋼架或銑鐵等材質，塔基和塔頂通常係藉「盤旋梯」以相銜連，頂端為燈室，並可架設風向儀、氣象觀測儀、霧號以及無線電收發台。每當濃霧瀰漫之際霧號即告鳴響，促使週圍的船隻提高警覺；而無線電收發台則可發射電訊，船上的定向員收到電訊後條能研判出目前係位於何處。無疑的，燈室是整座燈塔

最重要的地方，照明光源從古老的火炬進化為煤油燈、電石氣燈與今之白熱電燈，同時利用巨型的反射鏡與三稜鏡，將自光源發散出的燈光凝聚成強烈的光束，劃過漆黑的夜空投射至外海。燈光的照射有多種不同的顯示方式，如每若干秒閃爍幾次或每暗數秒、再亮數秒，交互循環，使海員們得以知悉他所看到的究係何座燈塔。通常，燈塔是放射白光，唯在警示港口附近散布有礁群時則會放出紅色光弧。燈塔的燈光強度大都是以「見距」若干哩（又稱海里，knot或 nautical mile）來表示，小者十餘哩，強者數十哩，每當深夜孤聳於暗幕之中的燈塔正如同昂立於海岸的「巨眼」，無畏風雨、屹立不拔的肩負著導航衛疆的重任。

四、燈塔管理機構

世界各國管理燈塔之機構各有所別--美國、加拿大則分別由其「海岸巡防隊」或「海事漁業處」負責；而在英國卻是由「領港公署」(Trinity House Corporation)主理其事；我國係由隸屬於財政部麾下的關稅總局管理。吾國之所以會由關稅總局掌理燈塔業務，乃是肇源於清同治初期，出任我國海關總稅務司(Inspector General，相當於今之關稅總局局長)兼辦郵政業務的英籍客卿 Robert Hart 有鑒於斯時我國沿海岸邊水道險阻，岩礁密布，每當夕陽西下夜幕低垂時際，祇能靠星月作為光源涉險航行，生死存亡操乎茫茫大海，設若未予興建燈塔勢必難以發展中外貿易、添盈關稅，爰奏請總理衙門在沿海暨江河沿岸等地建造燈塔。旋奉清廷核准，當時的「海關總稅務司署」遂於一八六八年開始籌辦建塔大業。沿傳迄今，凡建於我國沿海及內河所有通航水道岸邊之燈塔和各種助航設施乃均由海關部

門擘劃興建，星羅棋佈於海域岸邊。現行政院則擬合併軍、警兩方之海岸巡防司令部、海上警察局以及關稅總局等部門而改設海岸巡防總署，苟若該方案得順利推演，屆時燈塔的隸屬亦將移歸海岸巡防總署接管。

五、台閩地區燈塔由來

台閩地區所建有的燈塔即多達卅餘座，對海員和其它海事人員們生命之保障和對國家之貢獻，實有厥偉之功。台灣沿岸最早問世之燈塔係建於一七七八年(乾隆四十三年)的澎湖漁翁島燈塔，乃由斯時台灣知府蔣元樞檄令澎湖通判謝維祺所建，初建年代遠早於 Robert Hart 擔任海關總稅務司之時，唯後來則為海關接管並改建。而全台第二座燈塔則是由吾國海關於光緒初年時興建、後有「東亞之光」之譽的鵝鑾鼻燈塔，該座燈塔也是最吸引遊客前往參訪觀覽者，蓋週遭交通便捷、可行車停於燈塔附近，且和墾丁公園相輝映，自有觀者絡繹不絕、近悅遠來之效。

六、燈塔位置

燈塔大都是設於險要的海岸、岬角或孤島，負責看守燈塔的人員可說是各行各業中離塵囂最遠的一群。日麗風和時得望海聽濤、伴鷗觀漁，靜享「落霞與孤鶩齊飛，秋水天長共一色」的美景；天氣轉劣時，但見濁浪排空、怒海奔騰，如陷甯境，隆冬刺骨的寒風更是令人難捱。而且駐守燈塔、尤其是孤離之島嶼地區者，必須間隔一段漫長時日方得返家團聚，平時還得自營炊膳，離群以維生，倘無過人的毅力恐難撐耐閉居塔中的幽寂，無愧乎是征服暗夜，帶給海員們光明和希望的無名英雄。有些極需夜間照明、卻又因地質不堅或位址狹隘致不適於建塔的地方，如堆置有消

波塊(water breaker)之堤岸或遍積淤泥的河口、湖岸，則可因地制宜改建外形較為袖珍的燈桿、燈浮或導燈，以收變通之效。

七、總結

雖然，當前各種定位導航、搜尋探測與機動通訊的現代化設備不斷的推陳出新，船舶艦艇夜航於岸邊的風險較往昔大為減輕，但燈塔照亮周圍海域、指引近海船隻夜航的功能依然如常，重要性也未有任何的稍減。它不但是伴隨海事人員長年存在的助航利器，也將是世人恒久讚頌的「海疆巨眼」。



A.三貂角燈塔



B.鼻頭角燈塔



C.鵝鑾鼻燈塔

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



一國一制

香港回歸後
如何落實「一國一制」

■ 香港回歸後如何落實「一國一制」

■ 香港回歸後如何落實「一國一制」

■ 香港回歸後如何落實「一國一制」

■ 香港回歸後如何落實「一國一制」

■ 香港回歸後如何落實「一國一制」

香港回歸後如何落實「一國一制」