



- ◆ 數值模擬於海堤受震安全性評估之應用
- ✤ 可分佈式光纖光柵位移與壓力感測計之研發
- ◆ 花蓮港港池共振問題對策探討
- ✤ 新書 Ports in China (中國港埠)介紹

中華民國 97 年10月 出版

交通部運輸研究所

港灣報導季刑

第81期

交通部運輸研究所 中華民國97年10月

	港 灣 報 導 第 81 期
刊期頻率:	季刊
出版機關:	交通部運輸研究所
地 址:	10548 台北市敦化北路 240 號
網 址:	www.iot.gov.tw
電 話:	(02)23496789
總編輯:	黄德治
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:	承亞興企業有限公司

GPN: 2007700020

ISSN: 1019-2603

E

一、數值模擬於海堤受震安全性評估之應用......1

- 陳景文 國立成功大學土木工程學系教授
- 陳俊吉 國立成功大學土木工程學系研究生
- 張浼珣 國立成功大學土木工程學系研究生
- 杜英嘉 國立成功大學土木工程學系研究生

二、可兮佈式光纖光柵位移與壓力感測計之研發………9

- 黃安斌 國立交通大學土木工程學系教授
- 何彥德 國立交通大學土木工程研究所博士班研究生
- 李瑞庭 國立交通大學土木工程研究所博士班研究生
- 邱永芳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
- 饒 正 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

- 蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
- 李錦珍 南加州大學土木及環境工程系教授
- 邢秀英 南加州大學土木及環境工程系博士生

四、新書Ports in China (中國港埠)介紹 ······ 43

單誠基 交通部運輸研究所港研中心研究員

數值模擬於海堤受震安全性評估之應用

陳景文	國立成功大學土木工程學系教授
陳俊吉	國立成功大學土木工程學系研究生
張浼珣	國立成功大學土木工程學系研究生
杜英嘉	國立成功大學土木工程學系研究生

一、前言

1999年9月21日凌晨於台灣中部發 生強烈地震。本次地震規模達7.3,為 台灣中部車籠埔斷層錯動所引發之內 陸淺層地震,對河堤及海堤、水庫、 水壩、攔河堰、河道及農田等水利設 施造成相當大之破壞及嚴重的災情。 其中水利設施破壞的形式包括破裂、 扭曲、位移、塌陷、隆起及土石崩落 造成河道阻塞等,此地震中海堤受損 部分皆集中在彰化沿海。其中漢寶海 堤、彰化縣海埔海堤水防道路、潮洋 厝堤防、下溪墘堤防、杉坑堤防及下 海墘堤防等,均因土壤液化而造成堤 防塌陷。由以上實際案例而言,台灣 中西部由台中至嘉義海岸,堤前均有 寬闊海浦灘地,灘坡極其平緩,波浪 作用力不大,因此,無預警、突發性 的地震力對於剛體式海堤結構物的破 壞嚴重程度可能更高於波力作用。本 **文以實際海堤案例,利用傳統穩定性** 分析方式與一系列數值模擬方式,評 估海堤在地震情況下之安全性。其評 估流程詳如圖一所示。



二、洋子厝海堤簡介

2.1 位置與型式

洋子厝海堤位於台灣西岸彰化縣

洋子厝溪出海口處,北接崙尾南段海堤,南接海埔海堤,外海南北兩側為

海埔地之彰濱工業區,海堤東北側為 和美國小地震測站,詳如圖二所示。



圖二 洋仔厝海堤位置圖

洋子厝海堤屬於前緩坡後陡坡 之複合式海堤,其斷面尺寸與配置, 詳如圖三所示。圖中顯示,堤頂高 4.5m,堤頂寬度3m,堤前坡度1:2 (V:H),在頂部以下1.78m(即暴 潮位高程)之下,以塊石保護,其坡 度為1:4。堤內坡度為1:1.5(V: H),頂部以下2.5m則以天然級配料 堆填保護,並做為戧道使用。坡面及 堤頂則以混凝土鋪面與瀝青材料等護 坡工加以保護。



圖三 洋子厝海堤設計斷面與相關尺寸

2.2 區域地質概況

洋子厝海堤所在位置之區域地質 狀況屬於典型之台灣西岸沖積層,簡 化之土層分佈與土壤參數詳如表一所 示。顯示本基地土層,以沉泥質砂層 (SM)為主,沉泥質黏土(CL)及 黏土質沉泥(ML)次之,表層2.7m之 SPT-N值約10,其下為約5.6m厚之緊 密沉泥質砂層,SPT-N值約為20,以 下至20m,則為砂層、沉泥層、黏土 層之互層結構,SPT-N值介於8至20之 間。海灘平均坡度約為千分之一。

表一 簡化之土層分佈與土壤參數

0 m_	$\overline{\nabla}$		 			
1.5 m	1	1.5m	CL	N= 9	e =0.60	Dr = 70%
2.7 m-	2	1.2m	SM	N= 10	e = 0.77	Dr = 70%
	3	<u>5.6m</u>	SM	N= 20	e = 0.60	Dr = 80%
8.3 m ⁻	4	1.3m	 ML	N= 11	e = 0.88	Dr = 55%
2.0.11	5	2.3m	SM	N= 12	e = 0.91	Dr = 55%
11.9 m -		*				
14.1 m -	6	↓ 2.2m	ML	N= 14	e = 0.75	Dr = 55%
	7	2.4m	SM	N=18	e = 0.60	Dr = 60%
16.5 m –		X				
182m -	8	1.3m	CL	N= 8	e = 0.60	Dr = 40%
20.0 m	9	1.8m	ML	N= 20	e = 0.78	Dr = 60%

三、傳統穩定性分析

3.1 驅動力

3.1.1 波力作用

波力為海岸構造物設計時主要考 量外力之一,本研究依據成功大學水 工試驗所[1]於彰化海岸彰濱工業區波 浪調查紀錄所載,採用參數如下:

- (a) 水深21m處深海波之最大波浪高 為5.32m、週期為7.2sec、波長為 80.94m °
- (b) 假設堤前海底坡度小於1/50,海 堤防禦於暴潮位時波浪不會溯 升越堤,取坡堤前波高H=3.56m $(1.78 \text{m} \times 2)$ •
- (C) 堤前水深d=2.72m、堤前護堤塊石 之水深d'=2.22m、海水單位 體積重γw=1.027t/m3。
- (d) 假設當波浪從深海進入淺海時, 週期不變。

利用Minikin (1950)[2]所提出之計 算式,如式(1)所示,計算堤前之淺水 波波長L。

式中,T為堤前碎波之週期,sec。

g為重力加速度,9.81m/s²。

d為堤前海水深度

今將上述週期及水深代入式(1), 求得淺水波波長L約為35.9m。假設 深海波恰在海堤前方波碎,其落下點 恰擊中堤防表面,此時波浪能量大部 分轉變為波壓力,情況最具危險性, 故以破碎波壓力來推求波力,圖四為 Minikin公式推算之海碎波壓力分佈 圖。



海堤承受碎波壓力分佈圖[3] 圖四 3.1.2 上舉力

海堤設計時,假設其座落在透水 性良好之砂層上,海水之水壓力可傳 至基礎部分。分析時,假設狀況堤頂 不發生溢流,則海堤結構靜水面以下 部分除浮力外,尚須考慮上舉力。 3.1.3 土壓力

此複合式海堤斷面於堤後並無回 填土壤故無土壓力之作用,假設堤身 夯填優良級配的砂礫沉泥與黏土混合 物,並設有6m寬之戧道。

3.1.4 堤身自重與抵抗力矩

本研究假設洋仔厝海堤夯填工為 優良級配的砂礫沉泥與黏土混合物, 其夯實度符合施工規範,計算時將海 堤堤身劃分成6個區塊,如圖五所示, 假設堤前坡面護坡可防止海水侵入海 堤內部,堤前拋塊石可減低海水溯升 高度,但為保守考量未計入安全分析 中。



3.1.5 地震力作用

地震所產生之慣性力,將在港灣 或水利結構物上產生動態土壓力與動 態水壓力,且可能引發造成結構物滑 動或翻轉破壞。此地震力大小決定於 結構物之重量與設計地表最大加速度 (Peak Ground Acceleration, PGA), 如下式所示。

設計地震力=(結構物自量+超載 重)×(PGA/g)(2)

本文採用在洋子厝海堤東北方之 和美國小地震測站(如圖二所示), 於集集大地震發生時所量測到的 PGA=0.127g作做為穩定分析之地表最 大加速度。

3.2 阻抗力

海堤穩定分析上之阻抗力來源 主要為海堤自重與基礎底部之水平摩 擦阻力。研究中為便於計算,將海堤 結構體區分為六個區塊,詳如圖五。 為保守起見,並不考量拋置於堤前之 塊石重量與其能降低波浪溯塑高之功 能。

3.3 海堤之穩定分析

海堤之穩定分析,一般由傾倒、 水平滑動、堤坡穩定、滲透、基礎等 項目加以檢討。設計上,海堤必須能 在颱風與地震兩大天然因素作用下,

四、數值分析方法

本文中利用有限元素分析軟體 GeoStudio 2004程式中之SEEP/W、 QUAKE/W、SIGMA/W等三組模組進 行交叉作業分析,藉由SEEP/W模組 依然安全,但同時考量此兩項天然災 害時,高成本亦應納入考量。今針對 颱風與地震條件三種組合下進行穩定 分析,求取海堤在此三種條件下,抵 抗翻倒與滑動之安全係數。安全係數 (FS)定義為:

$$FS = \frac{阻抗力}{驅動力}$$
 ······ (3)

經計算後,各條件下之安全係數 列於表二。表中最小安全係數為短期 載重下之最小安全係數需求,且僅個 別針對條件(1)及條件(2)之要求。

表中顯示,海堤在穩定性分析之 安全係數均屬於安全的,尤其僅考慮 地震時,其安全係數均頗高。然而, 在集集大地震時,在此地區相同型式 之海堤卻因基礎土壤液化,而產生提 身塌陷,因此,本文採用一套完整之 分析軟體GeoStudio 2004 進行一系列 模擬,以探討海堤之破壞模式。

表二 傳統穩定分析之安全係數

	(1)	(2)	(3)	最小安全
分析 條件	僅考慮 颱 風	僅考慮 地 震	兩者同 時考慮	係數 儘條件 (1),(2)
翻倒	2.60	55.99	2.48	1.5
滑動	1.94	3.94	1.17	1.2

模擬海堤基礎層因漲潮所造成的滲流 作用現象,QUAKE/W模組模擬地震 後基礎層的地層應力應變及孔隙水壓 上升狀況,再由SIGMA/W模組利用壓 密原理得到地表沉陷量。

4.1 滲流分析

SEEP/W之穩態模式可用於分析 暴潮時基礎層之滲流作用。此分析案 例為複合式海堤,假設施工品質優良 混凝土舖面能防止漲潮時堤身滲流, 分析時以不透水堤進行模擬,且堤身 建築於透水性地盤上。

4.1.1 分析步驟

模擬滲流分析主要步驟為:

- (1) 建立網格;
- (2) 建立土層參數函數;
- (3) 材料設定;
- (4) 邊界條件及流通斷面設定。
- 4.1.2 分析結果
- (1)圖七為模擬滲流作用之流線方向 與流速向量結果,可知最高流線 發生於沿海堤底面(截水牆)至 下游土水交界面,而最低流線一 般發生於基礎下方透水層與不透 層之交界面。根據分析,其最低 流線深度還不及岩盤不透水層。
- (2) 最高等勢能線通常位於上游土水 交界線。而最低等勢能線則位於 下游土水交界線,如圖八所示。
- (3) 最大流速則位於截水牆底端(堤 趾部),因等勢能線間距最短
 (25.4m~25.2m)、流速向量最大。
- (4) 模擬暴潮時,海堤基礎層之孔隙 水壓力,如圖九所示。





圖七 滲流作用之流線方向與流速向 量



圖八 海堤基礎層滲流等勢能線圖



圖九 模拟海堤基础层暴潮时孔隙水 壓

4.2 液化分析

4.2.1 靜態分析

模擬液化行為時,需建立土層的 靜止初始狀態,模擬步驟簡述如下:

- (1)建立土層:依深度定出各土層相對位置,並取各土層中點及土壤 性質之平均值代表每一土層,使 用參數詳如表一所示。
- (2)分析網格:不須重新建立,可由 SEEP/W模組直接引用,如圖六所 示。
- (3) 設定邊界條件:底端固定,兩側 僅允許垂直位移。
- (4) 輸入各土層飽和單位重。
- (5) 初始孔隙水壓:載入SEEP/W模組 暴潮時土層之靜態孔隙水壓力。
- (6) 土壤應力-應變關係:選用線彈性 模式做靜態分析,並將各土層視 為均質均向。
- (7) 堤身材料參數建立:假設堤身 逐層夯實改良後相對密度大於 80%,柏松比0.25做為設定參數。

4.2.2 動態分析

以上述的靜態分析結果為基礎, 將原靜態分析的邊界條件修正為適 合動態分析,執行QUAKE/W動態分 析,步驟如下:

- (1)初始狀態:讀入靜態分析結果之 各基礎層基本物理性質、應力-應 變及孔隙水壓。
- (2) 地震歷時:讀入和美國小測站於 921集集大地震測得之加速度歷 時並做基準線修正;本次記錄地 震規模為7.3,水平向最大加速度

為0.127g, 垂直向最大加速度為 0.078g, 地震歷時約為90sec。詳 如圖十所示。

- (3) 海堤基礎層:以等線性模式
 (Equivalent linear model)進行動
 態模擬。
- (4)海堤堤身部分:因假設為不透水堤,地震時不會激發超額孔隙水壓流化產生之顧慮;且不會因孔隙水壓改變而引起有效應力變化進而改變土壤之剪力模數。分析時以線彈性模式做動態分析。
- 4.2.3 液化模擬結果

圖十一為QUAKE/W液化模擬結 果,顯示簡化土層之第2層及第4層之 粉土質砂層與第5層之粉土層在此地震 加速度作用下,均已達到土壤液化現 象,屬於高液化潛能土層。同時在堤 趾與堤踵處,亦達到液化情形。



测得之加速度歷時曲線



圖十一 QUAKE/W液化模擬結果 4.3 壓密沉陷分析

待QUAKE/W動態分析完成後, 使用SIGMA/W模組,透過壓密沉陷理 論可得到地表面從受到地震後至完全 壓密完成之沉陷量。

4.3.1 模擬步驟

- SIGMA/W之分析係與時間數列無 關的Uncoupled Consolidation,故 只需要初始和最終的孔隙水壓狀 態,即可完成壓密沉陷分析,且 預設為孔隙水壓將從地表消散。
- (2) 改變邊界條件:壓密沉陷時允許 土層垂直移動,因此將邊界條件 設為僅在水平方向束制。
- (3) 非線性模式(Hyperbolic model)
 模擬:土壤在壓密的過程中,其
 勁度會隨之改變。
- (4) 執行SIGMA/W模式分析。
- 4.3.2 模擬結果與討論
- (1) 沉陷模擬分析結果如圖十二所 示。圖中顯示,堤踵(heel)與 堤趾(toe)處之沉陷量分別約為 0.47m與0.48m,而最大沉陷量發 生於堤身中央底部,約為0.56m。 此差異沉陷量可將圖中之沉陷分 佈圖與圖十二之土壤液化分佈互 相對照得知其關連性。
- (2) 由沉陷分佈圖可知,海堤堤身並 無明顯沉陷,但由於基礎土壤因 液化產生差異沉陷,堤身土壤失 去支撐而使堤頂與堤面護坡下

陷。照片一即為堤防結構於921集 集大地震後,因基礎土壤液化產 生堤面破壞之情形。

- (3)海堤堤身部份因基礎層液化造成 不均匀沉陷與護坡面形成中空薄 層,硬式外坡面在堤腳與填土堤 身差異量最大,將可能造成堤防 破裂。
- (4)由此推論外坡面與堤頂護坡工等 剛性構造,因無法適應堤身或基 礎之沉陷,以致產生裂縫、滑 移、或形成中空薄層,若再經波 浪衝擊,可能加速潰堤,堤前塊 石也可能隨之下陷沉沒。







照片一 堤防堤頂與護坡因基礎土壤 液化,失去支撑而產生塌陷 與裂縫.[4]

五、結論

本文利用洋子厝海堤於921集集大 地震時之受震安全性評估為例,進行 傳統之穩定性分析與一系列的數值模 擬比較,可得到以下幾點結論,供相 關研究參考:

- (1)進行海堤穩定分析時除考量一般 傳統之穩定性分析外,更需進一 步針對海堤基礎土壤之液化與沉 陷進行分析,以得到較合理之安 全性評估。
- (2)利用GeoStudio 2004軟體對水利結構物進行一系列模擬可獲致良好的成果。經由互相串連之模組分析,可得到地震後,滲流造成之孔隙水壓力,土壤液化與沉陷量分佈情形。惟應注意,由於假設

條件與簡化情形,分析結果僅供 初步研究之用。

- (3)本文中假設堤身之施工品質良好,視為不透水海堤,然而現場之夯實施工實不易達到不透水之品質,此時混凝土鋪面護坡的止水性就相對顯得重要了。因此,如何預防混凝土鋪面護坡在地震後不致產生裂縫或塌陷,應是海堤設計的重要課題之一。
- (4)從海堤的地震受災特性來看,海 堤之設計目標並非地震時海堤不 能損害,而是即使損壞,卻能迅 速修復,不致因海水倒灌造成更 嚴重之溢淹災害。

參考文獻

- 國立成功大學台南水工試驗所 (1991),彰化濱海工業區整體 開發規劃調查研究。
- Minikin, R.R., (1950), "Winds waves and maritime structures," Charles Gruffen, London, pp. 38-39.
- 3. 李耿賢(2004),海堤安全性之

探討,中興大學土木工程系碩士 論文,台中。

林呈,孫洪福(2000),見證921
 集集大地震,美商:麥格羅·
 希爾國際股份有限公司台灣分公司。

可分佈式光纖光柵位移與壓力感測計之研發

黃安斌 國立交通大學土木工程學系教授 何彥德 國立交通大學土木工程研究所博士班研究生

李瑞庭 國立交通大學土木工程研究所博士班研究生 邱永芳 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任

饒 正 交通度運輸研究所港灣技術研究中心研究員

一、前言

量測地層位移與水壓的變化 在土木工程的安全監測上是很重要 的, 傳統監測地層移動是使用測傾儀 (Inclinometer), 測傾儀是由Green and Mickkelsen (1988) 在1952年研發 出來的技術,至今已是普遍使用的地 層位移監測工具。其原理是首先在地 層內鑽孔並安裝內有槽溝之傾斜觀測 管(inclinometer casing)。然後將電 子式之測傾儀 (inclinometer probe, IP) 隨槽溝放入傾斜觀測管,並於固 定之間距量測測傾儀與重力方向之偏 斜角來估算此間距內之橫向位移,再 將此橫向位移隨深度累加來計算地層 內橫向位移隨深度之變化。IP使用電 **纜線吊掛及將訊號傳輸到地表,傳統** IP能感測偏斜角之精度約為1:10000 (H:V) (Mickkelsen, 1996) ; 而 現地水壓之量測大多使用傳統開口式 水位計以手動的方法量測,由於封層 不易,在同一鑽孔中通常只能安裝兩 個水位計。近來有用電子式水壓計放 入水位計內以便於自動記錄水位之變 化。但這些電子式感測器,運用在現 地時,容易受潮易損壞、易受電磁波

干擾、易受雷擊破壞且不容易做成多 點式量測的缺點。近年來,有許多研 究單位以開始投入光纖感測技術,且 研發出各種光纖式感測器 (Dong et al., 2005; Kashyap, 1999; Kojima et al., 2003; Liu et al., 2000; Xu et al., 1993; Zhao et al., 2004)。光纖感測技術相 對於傳統電子感測技術的優點包括(1) 體積小一光纖直徑一般為250µm左右 體積甚小; (2)耐久性高一光纖之主要 成份是矽 (silica)為非金屬,可以 長期埋在地下而不易腐蝕或改變其性 質; (3)光纖訊號可長距離 (數十公 里)傳輸而不受電磁波干擾; (4)可以 在同一光纖上做多點分佈式的監測。

作者研發成功光纖光柵一節理式 偏斜儀(fiber Bragg grating segmented deflectometer, FBG-SD),其設計是 與傳統傾斜管匹配,將FBG-SD插入 固定於地層內之傾斜管,以FBG-SD 節理間偏斜角度之改變來估算傾斜管 之變形分佈。FBG-SD已成功的應用 於公路邊坡或地層開挖支撐變形之監 測;分佈式光纖光柵水壓計,其設計 主要將FBG水壓計裝置於PVC管內, 而FBG水壓計本體位於兩側阻絕層之 內並固定於PVC管之中心處,於該 PVC管外圍施作篩孔,使得FBG水壓 計能感測外圍水壓或水位的變化,已 成功應用在台18線五彎仔路段,做為

二、光纖光柵原理說明

光纖光柵的製造係利用高能量同 調雷射對某段光纖曝光,造成此段光 纖的折射率永久改變,形成一系列週 期為Λ的明暗條紋,此稱之為光纖光 柵(Fiber Bragg Grating, FBG)。當 一寬頻光耦合到達此一光纖時,除了 滿足布拉格條件(Bragg condition) 的特定波長會反射外,其餘波長會因 為相位差而相消或繼續前進(李瑞庭, 2005)。

其布拉格反射波長 λ_B 為 $\lambda_B = 2n\Lambda$ ·······(2-1) 其中:

n=光纖纖心的有效折射率

Λ=折射率週期性改變的間距

圖1為光纖光柵反射原理示意圖, 光柵中的週期明暗條紋類似在光纖中 製造一系列反射或濾波的透鏡組合, 當寬頻光束射向這些透鏡組合時,造 成某特定頻率光波被反射,而其他頻 率光波則繼續向前傳導,而這些透鏡 的間距不同,則被反射光波頻率亦不 相同。 監測雨季及颱風季節中,現地水壓隨 深度之變化。

以下內容將闡述作者近年所做相 關研發之成果與實際應用。



圖1 光纖光柵反射原理示意圖 (Kersey, 1992)

2.1 應變與波長飄移關係

如圖2中,當光柵受到外力產生應 變時,則造成光纖光柵原本間距Λ的 改變增加量為ΔΛ,帶入(2-1)式可以得 到

$$\Delta\lambda_B = 2n\Delta\Lambda$$
 ······ (2-2)
根據應變的定義

得到

因此

$$\Delta l = \left(\frac{\Delta \Lambda}{\Lambda}\right) l = \left(\frac{\frac{\Delta \lambda_B}{2n}}{\frac{\lambda_B}{2n}}\right) l \dots (2-4)$$



圖2 光纖光柵感測機制示意圖(簡旭 君,2003)

當外力施加產生應變後,不只是 反射回來的λ_B會改變,光纖的有效折 射率n也會同時改變。因此上式應該被 修正為

$$\varepsilon = \frac{\Delta \lambda_B}{K \lambda_B} \quad \dots \qquad (2-7)$$

其中:K=折射率改變前後之比值 2.2 溫度與波長標移關係

三、光纖光柵節理式偏斜儀

作者所研發出光纖光柵偏斜儀可 量地層位移,將其量測原理、材料測 試、實驗室與現地應用結果分別說明 如下。

3.1 FBG-SD結構與原理

作者所研發出來的FBG-SD是由 兩端剛性鋁片加上中間一節柔性塑膠 材料(PC)所組成,將FBG貼覆在PC 管上,當兩端剛性鋁片相對旋轉時會 造成柔性材料之彎曲,藉由PC上彎 曲之應變量可以決定兩剛性段間之夾 角,其示意與實體如圖3所示。在應變 當光纖光柵受到溫度變化時,波 長飄移量可由下式表示

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = (\xi + \alpha)\Delta T = K_t \times \Delta T \quad \cdots \quad (2-8)$$

其中:

- ξ=光纖的熱光係數(Thermal Optical Coefficient)
- α=光纖的熱膨脹係數(Thermal Expansion Cofficient)

K_t=溫度敏感係數

布拉格波長飄移並非完全線 性,在高溫時溫度變化會使波長 飄移較為顯著,因為在 ξ 在150℃ 約為 6.9×10^{-6} /℃,450℃時則變 為約 9.6×10^{-6} /℃,而熱膨脹係數 $\alpha=0.55 \sim 1.1 \times 10^{-6}$ /℃。然而在室溫條件 下,1℃的溫度變化約使得布拉格波長 飄移約 $1.1 \sim 1.2 \times 10^{-2}$ nm。

感測元件兩端加裝鋁片,可以將兩端 剛性材料所受到的應力傳到中間柔性 材料上,這種設計原理對中間PC會有 應變集中的現象,也就會有將應變放 大的效果,這對於精度的提昇會有很 大的幫助。在應變感測元件兩端加裝 鋁片剛性材料構成節理(Segment), 此節理又分量測節理(Measurement segment)與延伸節理(Extension segment)兩部分。量測節理上裝有 滾輪支架,其大小與形狀與傳統測傾 管及其內部之凹槽相匹配,藉由彈簧 之拉力來保持支架與測傾管凹槽之密 合。延伸節理為一硬體,沒有任何自 由度,其目的為根據量測需要來伸長 或縮短量測節理間之距離。量測節理 内安裝一個軸承,其與監測管方向垂 **首**,其目的在於限制量測節理只能以 横向軸承為中心旋轉而增加結果分析 之可靠度。PC之一端以雙螺絲固定於 量測節理內,在量測節理刻書出一長 方形溝槽,其主要作用是在大幅減少 軸向力所造成的誤差,將一支鋼性桿 件穿過量測節理與PC垂直連接,如此 一來,外力會藉由量測節理傳送到PC 上對FBG造成彎曲應變。FBG-SD組 裝是以量測節理與延伸節理交互連接 而形成,連結完成之偏斜儀隨即放入 測傾管中(圖4)。測傾管因地層滑動 或被監測結構體變形而發生扭曲的時 候,放在傾斜管中的FBG-SD經由光 纖量測PC管彎曲變化量,計算並累積 FBG-SD因地層移動而造成之彎曲角 度,再根據此角度之變化來計算地層 移動量。





(c) FBG-SD實體圖

圖3 FBG-SD(a) 俯視圖(b) 側視圖 (c)實體圖



圖4 FBG-SD連結量測示意圖(Ho et al., 2006)

光纖光柵對於外力與溫度所造成 的應變非常敏感,故如何降低溫度對 感測器的影響是一件非常重要的事。 其方法將2個FBG以180度之方向對貼 於PC棒之兩側,當PC受外力彎曲時, 一邊FBG受拉伸長,一邊FBG受壓縮 短,但所受溫度之影響是相同的,故 其受外力與溫度之應變量分別如公式 (3-1)與(3-2)所示,藉由公式(3-1)與公 式(3-2)之相減可消除溫度之影響,如 公式(3-3)所示。

$\varepsilon_{B1} = \varepsilon_T + \varepsilon_M$	(3-1)
$\boldsymbol{\varepsilon}_{B2} = \boldsymbol{\varepsilon}_T - \boldsymbol{\varepsilon}_M \cdots \cdots$	(3-2)
其中:	
ε _M =FBG-SD彎曲所造成FBG	在PC

棒軸向的應變量
$$\varepsilon_{T}$$
=溫度變化對FBG所造成的應變
量
 $\varepsilon_{B1} - \varepsilon_{B2} = 2\varepsilon_{M}$ 或

$$\varepsilon_{M} = \frac{1}{2} \left(\varepsilon_{B1} - \varepsilon_{B2} \right) \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (3-3)$$

依據上述原理製作出FBG-SD, 並在室溫下對單一根FBG-SD進行標 定,其靈敏度約為每1pm波長漂移量 對應0.002度角度變化量(圖5)。



圖5 單一根FBG-SD標定結果 3.2 FBG-SD室內傾斜管標定與現地深 開挖量測

首先將二組9米長的傾斜管架設在 同一剛性支柱上,用特製鋼架將二組9 米測傾管連接在一起,使得這二組測 傾管在實驗時具有相同之位移量。然 後將8組長度為1米之FBG-SD串接在 一起,放入外側9米之傾斜管內,而後 推動傾斜管,並以傳統測傾儀量測內 側傾斜管的位移量,將其結果與FBG-SD作一比較分析,其實驗結果如圖10 所示



圖10 FBG-SD室內九米傾斜管標定 結果

室內9米傾斜管標定完成後,將 FBG-SD放置於深開挖現場進行連續 壁側向位移量測。此地下結構主要採 用明挖工法,連續壁厚度為1.2米,開 挖深度為8.1米,分為三階段開挖,並 以水平鋼樑支撐連續壁。將11組FBG-SD(圖11)裝設於14米深之傾斜管內 (圖12),並在距離FBG-SD裝設孔 旁約1m處另外裝設一組深度一樣之傾 斜管,使用傳統測傾儀來量測,以作 為對照比較用。圖13為第三階開挖時 FBG-SD讀數與測傾儀讀數結果之比 較值,具有相當之一致性。

圖11 現地組裝完成後之FBG-SD

儀讀數結果

圖12 FBG-SD安裝位置示意圖(Ho et al., 2006)

四、光纖光柵水壓計

本節主要是敘述使用FBG設計之 拉伸式FBG水壓計與漸變/差異FBG水 壓計,其說明如下。

4.1 光纖光柵水壓計

拉伸式光纖光柵壓力感測器是 以圓柱型中空鋼材為外殼,內部含有 一光纖光柵與作為感測元件的金屬薄 片組成,其內部結構與實體如圖14所 示,此感測器的設計原理採用FBG波 長與壓力間之關係來設計。FBG之一 端固定於壓力計下方,此部分視為固 定不動點,而另一端則黏著於一彈性 金屬模上,當壓力計內部壓力改變時 金屬模隨之變形,因此FBG所感受的 應變也隨之變化。在彈性金屬膜的線 彈性範圍內,此設計的FBG波長做等 週期式之變化,因此光纖光柵波峰值 與壓力有一線性關係。但此一設計 無法隔離溫度改變對FBG波峰值之影 響,因此必須加入一呆(dummy)光 纖光柵做為感應溫度變化之用。使用 直徑20mm、厚度0.4mm之不銹鋼薄片 製作拉伸式FBG水壓計,並對其進行 標定,實驗結果顯示其精度約為1pm

波長漂移量對應0.145kPa的壓力變化 (圖15)。然後作者將水壓計放入恆 濕恆溫箱中,對其進行不同溫度與壓 力的標定,並使用呆FBG消除溫度的 影響,其結果顯示拉伸式FBG具有良 好的線性與重複性(圖16)。本研究 計畫將此種水壓計安裝於阿里山五彎 仔監測路段,在100m深鑽孔內置入17 個FBG水壓計,所有FBG水壓計都將 以5m間隔固定在一外徑25mm之PVC 套管內,PVC管接頭向內徑突出,因 此整個PVC管外部沒有突出部分。 FBG水壓計量測部分之PVC管切有槽 溝以便於透水,如圖17所示。FBG水 壓計與有槽溝部分之PVC管外圍以不 織布 (non-woven geotextile) 以及礫 石回填,其餘部分使用白皂土粒做封 層。此一分佈式FBG水壓安裝與傳統 水位計之比較如圖18所示。

0 500 1000 1500 2000 2500 Wavelength shift, pm

圖16 拉伸式FBG水壓計溫度標定圖

圖18 分佈式FBG水壓計與傳統水位 管之比較

4.2 漸變/差異式光纖光柵水壓計

漸變/差異式光纖光柵水壓計 (Chirped/Differential FBG pressure sensor)可在相同結構下,依據不同 FBG黏貼的位置,並配合等週期式光 纖光柵感測器與漸變週期式光纖光柵 感測器的分析方法,做壓力量測。漸 變/差異FBG水壓計是由一個被圓形 薄板分成兩區的剛性構件所構成,如 圖19所示。在感應區,壓力計外部之 孔隙水壓透過濾石並作用至薄板上, 薄板的另一側貼有光纖光柵作為感測 元件。當外力作用於薄板上時,在反 曲點的兩端分別會產生拉應變與壓應 變,而在反曲點上的應變量為零。而 使用直徑30mm、厚度0.3mm之不銹鋼 薄片來製作水壓計,其中漸變式FBG 水壓計是將1個FBG的中心黏貼於反 曲點上,所以一半FBG黏貼於受拉面 上,另一半FBG黏貼於受壓面上(圖 19(b)),然後再依據FBG的分析方法 來量測壓力變化量,其優點是只需 要一根FBG就可以消除溫度的影響。 實驗結果精度約為1pm的波形改變量 對應0.449kPa的壓力變化(圖20)所 示。

在相同水壓計結構下,將2個FBG 分別黏貼靠近於薄板中心與邊緣(圖 19(c)),如此一來可感測到薄板的最 大拉應變與壓應變,然後再依據等週 期式光纖光柵感測器的分析方法與公 式(3-3)消除溫度之影響。將組裝完 成後之水壓計進行標定,其精度約為 1pm的波長瓢移量對應0.161kPa的壓力 變化(圖21),並將其放入恆濕恆溫 箱內進行不同溫度與壓力的標定,其 結果顯示在不同溫度下所標定之相關 系數皆在0.99以上(圖22)。此種水 壓計結構設計,因為能將水與FBG隔 絕在不鏽鋼薄膜的兩邊,具有可阻止 地下水對膠與FBG坡壞與維持良好量 測品質的優點。

上述之拉伸式FBG水壓計與漸變 /差異FBG水壓計皆可以應用於其他 物理量的量測上,如位移與差壓量測 等,僅需利用其他構件將壓力傳遞到 薄板上即可,具有多功之優點。

圖19 漸變/差異FBG水壓計(a)實體圖
 (b)漸變式FBG水壓計構造示意
 圖(c)差異式FBG水壓計構造示
 意圖(Ho et al., 2007)

果 (Ho et al., 2007)

五、結論

量測地層的位移與水壓變化對於 土木工程的安全監測上是很重要的, 傳統的電子式感測器有受潮易損壞、 易受電磁波干擾、易受雷擊破壞與不 容易做成多點式量測的缺點。有鑑於 此,作者使用光纖光柵作為感測元件 來製作光纖感測器,光纖光柵具有體 積小、不受潮溼影響與傳遞資訊不受 電磁波幹擾與可以在同一光纖上做多 點部份分佈式監測等優點。

作者所研發之光纖光柵偏斜儀,

可安裝於傳統傾斜管內,用以量測地 層位移,其量測效果已經在實驗室內 與現地深開挖中得到驗證。而所發 展之光纖光柵水壓計,可用於量測地 層水壓力,也已經通過實驗室測試成 功。上述兩種光纖感測器可藉由相同 的讀取系統串連在一起,並可實施部 份分部式自動化的量測,可適用於深 開挖、邊坡與河堤安全監測上,將有 助於提升監測的品質與效果。

參考文獻

- Green, G..E., and Mickkelsen, P. E., 1988, "Deformation Measurements with Inclinometers", Transportation Research Record 1169, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1-15.
- Kersey, A.D., 1992, "Multiplexed Fiber Optic Sensors," Proceedings, Fiber Optic Sensors, Boston, Massachusetts, Eric Udd, editor, sponsored by SPIE-The International Society for Optical Engineering, pp.200-227
- Xu, M. G., Reekie, L., Chow, Y. T. and Dakin, J. P., 1993, "Optical infiber Grating High pressure sensor", Electron Lett., Vol. 29, pp. 398-399.
- Rao, Y. J., Jackson, D. A., Jones, R., and Shannon, C., 1994,

"Development of prototype fiberoptic-based Fizeau pressure sensors with temperature compensation and signal recovery by coherence reading", Journal of Lightwave Technology, Vol. 12, Issue 9, pp. 1685-1695.

- Mickkelsen, P. E., 1996, "Field Instrumentation," Special Report 247 on Landslides Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., Turner and Schuster editors, pp. 278-316.
- Xu, M. G., Geiger, H., and Dakin, J. P., 1996, "Fiber Grating pressure sensor with enhanced sensitivity using a glass-bubble housing", Electron Lett., Vol. 32, pp. 128-129.

- Kashyap, R., 1999, "Fiber Bragg gratings," Academic Press, San Diego, 458p.
- Liu, Y. Q., Guo, Z. Y., Zhang, Y., Liu, Z. G., and Dong, X. Y., 2000, "Research on the simultaneous measurement of pressure and temperature using one fiber grating ", Chin J Lasers A, Vol. 27, pp. 1002–6.
- Liu, Y., Guo, Z., Zhang, Y., Chiang, K. S. and Dong, X., 2000, "Simultaneous pressure and temperature measurement with polymer-coated fiber Bragg grating", Electron Lett., Vol. 36, pp. 564-566.
- Zhang, Y., Feng, D., Liu, Z., Guo, Z., Dong, X., Chiang, K. S. and Chu, Beatrice C. B., 2001, "Highsensitivity pressure sensor using a shielded polymer-coated fiber grating", Photon. Technol. Lett., Vol. 13, pp. 618-619.
- Kojima, S., Hishida, Y., Fukuchi, K., and Hongo, A., 2003, "Optical fiber sensor using fiber Bragg grating for river management", 16th International Conference on Optical Fiber Sensors, Nara, Japan, pp. 112-115.
- Zhao, Y., Yu, C., and Liao, Y., 2004, "Differential FBG sensor for temperature-compensated high-pressure (or displacement) measurement", Optics & Laser Technology, Vol. 36, pp. 39-42.

- Dong, X., Shum, P., Yang, X., Lim, M. F., and Chan, C. C., 2005," Bandwidth-tunable filter and spacing-tunable comb filter with chirped-fiber Bragg gratings", Optics Communications, Vol. 259, Issue. 2, pp. 645-648.
- Heo, J. S., Chung, J. H., and Lee, J. J., 2005, "Tactile sensor arrays using fiber Bragg grating sensors", Sensors & actuators. Part A, Physical, Vol. 126, Issue. 2, pp. 312-327.
- 15. Ho, Y.T., Huang, A.B., and Lee, J.T. 2006, "Development of a fiber Bragg grating sensored ground movement monitoring system," Journal of Measurement Science and Technology, Institute of Physics Publishing, Vol.16, pp.1733-1740.
- 16. Ho, Y.T., Huang, A.B., and Lee, J.T. 2007, "Development of A Chirped/Differential Optical Fiber Bragg Grating Pressure Sensor," Journal of Measurement Science and Technology, Institute of Physics Publishing, review.
- 17. 簡旭君,「光纖光柵應變管之 研發」,碩士論文,國立交通 大學土木工程研究所,新竹 (2003)。
- 18. 李瑞庭,「光纖光柵讀取系統軟 體之研發」,碩士論文,國立交 通大學土木工程研究所,新竹 (2005)。

花蓮港港池共振問題對策探討

蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

李錦珍 南加州大學土木及環境工程系教授

邢秀英 南加州大學土木及環境工程系博士生

一、緒論

1.1 前言

花蓮港為臺灣之國際商港,位 於台灣東部,面臨太平洋,港池座東 北-西南向。花蓮港於1991年第四期 **擴建工程完成後,港口至港池尾端成** 陝長形,縱深長約4公里,港口寬約 300公尺,港池内部分航道較窄,約 80公尺,整個港池形狀近似漏斗狀。 夏季颱風來襲時,港內經常發生港池 共振現象,不但造成船舶繫泊困難, 人員工作之危險性,更甚者造成船隻 斷續碰撞導致船損或沈船之危險。花 蓮港務局為了安全考量,於颱風來襲 期間,除停止船隻進港外,亦建議船 售出港錨泊,以避免不幸發生。然而 颱風期間,港外波浪巨大,船隻即使 下雙錨仍可能因流錨而發生擱淺事 故。因此,颱風期間船隻無法進港避 風浪,反而須出港錨泊或駛往其他港 口,已經失去港口應提供船隻遮蔽的 基本功能。

花蓮港港池共振問題,長久以來 一直是臺灣執政單位以及管轄機構花 蓮港務局的困擾,同時也引起國內外 專家學者的興趣與關注。1990年起交 通處港灣技術研究所(交通部運輸研 究所港灣技術研究中心前身)即著手 進行一系列的研究,包括波浪觀測、 水深調查、水工模型試驗、數值模擬 計算、理論解析及船舶動態分析等, 積極尋求解決及改善方法。由過去文 獻的現場觀測、模型試驗及數值計算 所提出許多共振機制的研究成果,港 池共振造成的港池不穩靜原因,已獲 得大多數專家學者的認同。但對於發 生港池共振的物理機制,仍有不同的 觀點,更遑論改善方案有更多的看 法。因此,在改善方案未獲肯定有效 前,花蓮港務局無法進行任何具體改 善工程,但對這個棘手問題,仍企望 早日解決。有鑑於此,交通部運輸研 究所(簡稱運研所)2007年依據花蓮 港務局委託「花蓮港港池共振改善計 畫」,由運研所及委辦顧問公司組成 研究團隊,進行花蓮港港池共振問題 改善相關的研究,期能對於共振機制 能更深入探討,並提出可行性改善方 案,以解決或減輕花蓮港港池不穩靜 的情形,擺脫長期以來的困擾。

作者鑑於花蓮港港池共振問題 解決的迫切性,並期望能與國際港 池共振專家共同研討以及吸收國外經 驗。遂於2006年向行政院國家科學委 員會申請「第45屆補助科學與技術人 員國外短期研究」,並經核准在案, 於2007年3月至2008年1月期間,二度 赴美國南加州大學土木及環境工程 系,與在港池共振研究上已具近40年 經驗的李錦珍教授共同研究,赴美進 修期間以及回國後與南加大研究團 隊共同研究的成果,以英文撰寫擬 於德國2008年國際海洋工程研討會

(International Conference on Coastal Engineering, 2008)發表,本文節錄部 分成果,期能分享研究心得,以供後 續施政以及學者專家之參酌。

1.2 文獻回顧

有關港池共振數值推算問題, 在地形變化不劇烈,底床為緩變之 海域或港池,Berkhoff(1972)提出 緩坡方程式(mild-slope equation), 應用有限元素法求解波浪之折繞射 共同效應,Chen和Mei(1974)及 Chen(1986)提出混合有限元素法 (hybrid finite element method),以 有限元素法計算邊界內,而港口邊界 外則以解析解求之。馬等人(2008) 以有限差分法提出RIDE波浪變形模 式對花蓮港池共振進行模擬。Tsay等 人(1989)、林和謝(1985)、歐等 人(1990)及Lee等人(1998)以利 用相似方式求解緩坡方程式,其中 Lee等人(1998)的模式,更利用適 當的邊界條件,能正確模擬波浪傳送 中變形效應如:淺化、繞射、反射、 折射、底床摩擦、邊界吸收及港口分 離損失等。Lee(1969,1971)及Lee 和Raichlen(1972)利用荷姆茲方程 式(Helmholtz equation)的基本解, 使用邊界元素法計算港池共振問題。 此外,蘇等人(1996)利用近岸波場 數值模式-Model WP21探討港內共振 問題。莊和江(2000)及Chen等人 (2004)應用MIKE21-EMS探討花蓮 港港池不穩靜問題及,認為亞重力波 可能支配花蓮港的共振特性。蕭等人 (2000)利用雙互換邊界元素法,指 出港內增設消波設施可改善共振之波 動。李等人(2001)利用緩坡方程式 及邊界元素法指出引起港池共振的 入射波週期。陳等人(2002)及蘇 (2003)從物理性質角度推論花蓮港 池共振應是由緣岸波造成。上述研究 **雖應用不同模式方法,對引起的共振** 週期相近,並可確認長週期波為引起 花蓮港港池共振的主因。

二、花蓮港自然條件特性

2.1 花蓮港船隻避颱與斷纜探討

自1991年花蓮港擴建後,幾乎 每年夏季颱風期間,均會發生港內 停泊船隻或無法作業,必須出港避颱 的情形,勉強靠泊或來不及出港船 隻,常發生斷纜的情形。依據蘇等人 (1996)分析結果,於1990至1994年
間,於颱風期間,船隻必須出港避颱
的情形分佈於各碼頭區(#3、#4、
#5、#6、#8、#10、#11、#14、#15以
及#17~#25),碼頭位置示意如圖1所
示。五年間曾經發生斷纜的碼頭區亦

分佈零散(#3、#4、#6、#8、#10、 $\#11 \times \#15 \times \#17 \times \#19 \times \#20 \times \#23 \sim$ #25), 共22起, 其中以#19及#20碼頭 之斷續次數最多。由避颱及斷續的碼 頭分佈以及發生頻率情形顯示,本港

域在颱風來襲時,港池共振可能發生 於港內任何位置,斷續情形可能隨時 發生,故探討港池共振問題,應作全 面性研究及探討。

圖1 花蓮港碼頭配置圖

2.2 現場觀測波浪特性

依據蘇和陳(1995)、簡和曾 (1999)、李等人(2001)、郭等人 (2002)以及張和林(2003)分析民 國72至87年間颱風侵襲期間,港外以 及港外波浪特性顯示,花蓮港港池共 振為外海入射波浪,具有引起共振的 成份波。而引起港池船售斷續之內港 共振的成份波週期(依據現場實測資 料)大致介於148sec~152sec間,而

外港為介於130sec~150sec間。張及 林(2003)利用最小二乘法發展可辨 識水位訊號之主成份波週期及振幅 的模式,結果顯示花蓮港2004年提姆 (Tim) 颱風的港內港內主要成份波 週期為87.6及152秒,而港外為15、 52、80及130秒。本研究依據提姆颱風 所觀測之#8、#10、#17及#22碼頭波浪 作為模式修正及驗證之參考,並以該 颱風為改善方案之入射波條件。

三、數值模式

共振波場數值模式為基礎,建置花蓮 法作數值模擬計算,有限元素法在處

本計畫以Lee等人(1998)的港池 港港池共振數值模式,並以有限元素

理不規則又複雜之港池問題,元素取 用方便,為便利和有效之數值方法。 模式中以緩坡方程式為控制方程式, 利用不同的邊界條件求解,包括完全 及部分反射邊界、透過邊界、能量損 失(港口分流及底床摩擦)等,模式 可高水深地形所造成之波浪折射、繞 射、反射、邊界吸收以及能量損失現 象,茲將理論基礎及數值方法說明如 下:

3.1 控制方程式

控制方程式為Berkhoff(1972) 所提出之緩坡方程式(Mild Slope Equation, MSE):

$$\nabla \cdot \left(C C_g \nabla \phi \right) + \frac{C_g \omega^2}{C} \phi = 0 \cdots \cdots \cdots (1)$$

其 中 $\phi = \phi(x, y)$ 為 流 速 勢 (velocity potential)的水平變動量, C為波速(wave celerity), C_g 為群波 速(group velocity), ω 角頻率。

- 3.2 邊界條件
- 全反射邊界 (Full reflecting boundary)

 $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad \dots \qquad (2)$

2. 部分吸收邊界(Partial Absorption Boundary)

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -i\alpha \, k \, \phi - \frac{i \, \alpha}{2k} \frac{\partial^2 \phi}{\partial s^2} \quad \dots \dots \quad (3)$$

其中 α 是吸收係數(absorption coefficient)

3. 底床摩擦邊界 (Bottom Friction Boundary)

$$\iint_{A} E_{f} dt dA = \frac{\rho}{g} \exp\left(-2i\omega t\right) \int_{A} \frac{i}{2\omega} f_{\omega} \left(\frac{1}{\cosh kh}\right)^{2} \left(\nabla\phi\right)^{2} dA$$
(4)

其中 f_{ω} 底床摩擦係數(bottom friction coefficient)

 進港損失(Entrance Loss) 波浪通過港口時的二次進港損失 (quadratic entrance headloss)則 應用

$$\Delta H = K_e U \cdots (5)$$

其中 $K_e = \frac{f_e}{2g} |U_0|$, f_e 為無因次進港

損失係數 (dimensionless entrance loss coefficient)。 $|U_0|$ 為進港無能 損之平均速度,U為考慮進港損失 後的新進港速度。

 經過孔隙堤之透過波(Wave Transmission through Porous Breakwater)
 當波浪通過孔隙提,部分波能將 被吸收及透過,透過波速度勢Ø_T假 設正比於入射波速度勢Ø_t

$$\frac{\partial \phi_T}{\partial n} = K_T \frac{\partial \phi_i}{\partial n} = ikK_T \phi_i \quad \dots \quad (6)$$

其中K_T通過防波堤之透過係數。

遠端邊界(Far Field Boundary)
 遠端邊界則應用Sommerfeld
 (1964)輻射條件,表示如下:

$$\lim_{r \to \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \phi_s = 0 \dots (7)$$

其中 $\phi_s = \phi_R - \phi_I \circ \phi_I \circ \phi_R \pi \phi_s \beta \beta \beta \beta$
入射波流速勢、外界流速勢以及
反射波流速勢。

3.4 數值方法

計算時所選用之數值方法有 限元素法 (Finite element method, FEM),以變異原理(variational principle)和形狀函數應用至FEM矩 陣。利用形狀函數、流速勢及其變異 數則可轉換為

岸的∂A邊界,在外海開放邊界則以 Eigen function展開法表示。以上述兩區的解加以計算∂A邊界。次結構技術 (substructure technique)被應用在本 模式,即計算的領域被分為許多小領 域去計算。矩陣方程則由次計算領域 所組成,次領域由其個別的邊界條件 求得其解。整個計算領域的解則由這 些次領域的解所求得。這項技術大大 降低了矩陣的大小,也使計算的效率 提高。

3.5 應用實例

上述模式曾有效應用在美國洛杉 磯長堤港(Long Beach Harbor)(Lee 等人,1998)、韓國(Korea)的浦漢 港(Pohang Harbor)(Kwak等人, 2007)、美國加州新月市(Crescent City)等港池之共振模擬計算。長堤 港採用Lee等人(1998)研究成果裡, 模式計算所建議的改善佈置,實際作 港池改善,佈置後共振現象如研究結 果所預測,已獲得實質改善。茲將長 堤濱港成功案例說明如下:

洛杉磯市位於面臨太平洋之美 國西南岸,因此,時常受到湧浪之影 響,而發生港池共振,進而影響船隻 停泊及裝卸。洛杉磯市西南方有相鄰 的洛杉磯港以及長堤港,兩港合併營 運量為美國第一位,故為美國港灣營 運極重要港口,雖然港外有極長的離 岸防波堤作遮蔽,然長堤港的Pier J港 池,卻仍常發生共振現象,位置如圖2 所示。該改善方案的目的為將造成船 售斷續或危及安全之共振波,設法減 小以及往其他週期平移,結果如圖3。 圖形顯示,港池外構築外廓防波堤, 使港池的特性長度加長,則原本共振 週期120秒左右之波高放大率大幅降 低,並往170秒以上平移,其已超出危

及該港靠泊船隻的週期範圍,甚至在 較小週期之波浪,亦能得到波高減低 的效果,成功解決了該港共振問題, 亦一併使得港池穩靜度增加。

圖2 洛杉磯港及長堤港之港灣佈置示意圖

圖3 長堤港J碼頭區港池共振改善結果圖(Lee等人, 1998)

四、港池共振改善方案研擬

花蓮港港池共振為影響花蓮港船 隻停泊及斷纜的主要因素,而颱風波 浪又為引起花蓮港港池共振的主要原 因。故本研究港池共振改善方案以針 對颱風波浪為主,先依據現場颱風觀 測資料,驗證本研究之數值模式,再 根據修正後之數值模式,以改變不同 的港灣佈置,探討其共振問題改善的 效果。

4.1 模式建立

依據花蓮港現有的港灣佈置以 及水深地形,建置花蓮港波浪數值模 式,為考量波浪與結構物及底床等互 制作用,以及港口南部南濱邊界影響,並考量改善佈置可能對東防波堤 以及北部地區作改變,故本研究的計 算領域北部涵蓋整個港池,南部則達 到花蓮溪口,計算範圍如圖4所示。計 算網域的半徑約4km,計算的網格則 以Lee等人(1998)提出的自動網格生 成法劃分本研究範圍網格,網格於港 內面積較小,而於港外面積較大,網 格節點個數為72,955,網格元素個數 為17,823,計算網格示意如圖5,左圖 為計算全範圍,右圖為內港網格劃分 示意圖。

圖4 花蓮港佈置及模式計算範圍示意圖

圖5 FEM模式計算元素切割示意圖(左:全區。右:內港區)

花蓮港港池共振模式的驗證, 以1994年間堤姆颱風時,現場所量 測得到的水位資料,所計算得到的 週期域上之放大率R分佈圖(蘇等, 1996),作為模式計算驗證之參考。 主要驗證的位置為#8、#10、#17及#22 碼頭附近之港池,碼頭的相關位置圖 如圖1所示,計算比較結果如圖6至圖 9。本模式驗證由週期5sec至200sec, 圖6及圖7顯示實測資料於#8及#10碼頭 附近,在160sec均有明顯的共振尖峰 值,而本研究模式計算結果,在此週 期近亦能表現明顯的共振現象,尤 其以#8碼頭的共振之放大率尖峰值以 及頻寬與實測值較接近。另外本研究 模式在其他週期的計算結果,亦與實 測值相差不大。圖8顯示於#17碼頭附 近之實測值,在102sec附近及145sec 附近有共振現象,但放大率值不大, 本研究模式亦能表現相同趨勢,惟其 發生共振尖峰的週期稍往長週期平 移。圖9顯示#22碼頭附近的實測值, 在140sec附近有共振現象,本研究模 式計算結果具相同之現象,且其共振 頻寬亦相近。

以上結果顯示:本研究所建立之 花蓮港共振模式,均能表現花蓮港不 同港池位置的共振現象,故以本模式 作為港池共振改善之計算模式。

4.2 改善方案研擬

依據文獻的結果以及波浪傳遞的 特性,研擬本研究改善方案,並根據 前一次研擬改善的結果,作為下一次 改善佈置設計之依據。本研究共研擬 十個改善方案,茲將計算研究結果討 論如下:

1. 舊東堤打開200m

改善佈置1以舊東堤打掉200m的 防波堤,此改善目的為試圖讓港池內 的波浪能量,由這個開口傳遞出港 外,若此佈置可行,再進一步設計細 部的外廓防波設施,改善後港池示意

圖7 #10碼頭附近之放大率實測與本 研究模式計算結果比較圖

圖以及各碼頭位置之波高放大率比較 圖如圖10所示,圖中黑色曲線為與實 資料(提姆颱風),紅色曲線為與實 測資料相同的花蓮港現狀佈置條件, 本研究模式計算的結果,綠色曲線則 為改善佈置1,本研究模式的計算結 果。圖形顯示在#8碼頭位置,在改善 佈置1條件,共振週期往較低週期平 移,約發生在100sec~130sec,且波 高放大率比原始佈置大;在較小週期的 波吉萊大率亦均比原始佈置大。在#10 碼頭位置改善佈置1條件下,雖160sec 共振週期的放大率R=5.2比原始佈置 R=3.1增加,但發生共振條件週期往較 高週期(T=190sec)平移,表示本改 善佈置在#10碼頭位置,能獲得改善。 在#17號碼頭位置,在130sec~170sec 週期之波高放大率比原始佈置大,表 示改善效果更差。在#22碼頭附近,在 130sec~170sec週期之波高放大率比 原始佈置小,但在140sec~170sec則 無改善效果。改善佈置1在上述四個碼 頭附近於100sec以下,尤其在50sec以 下週期的波高放大率比原始佈置大, 表示低週期的穩靜效果比原始佈置 差。綜合以上結果,港口外側東防波 堤開口,以抒解港內波浪的能量的構 想並不可行,因開口可能導致更多的 外海波能進入港內,導致許多週期的 波高放大率都無法有效減低。

圖10月 改善佈置1之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

2. 港池分割

改善佈置2為打掉舊東堤200m的 防波堤並將內外港間之航道封閉,此 改善目的為改變池內的特性長度,試 圖破壞原有共振機制並使共振週期改 變,改善佈置2港池佈置示意圖以及 各碼頭位置之波高放大率比較如圖11 所示。圖形顯示在#8碼頭位置,本 改善佈置條件,其160sec的波高放大 率雖比原始佈置略低,但卻在140sec 及180sec附近出現新的共振尖峰,而 且比原始佈置在160sec的共振尖峰值 大。在#10碼頭位置,雖160sec共振 週期的波高放大率R=7.5比原始佈置 R=3.1增加,但發生共振條件週期往較 高週期(T=185sec)平移,表示本改 善佈置在#10碼頭位置,共振週期可平

移至對船隻較小危害之位置。在#17號 碼頭位置,共振尖峰在108sec週期雖 消失,但卻平移至125sec週期,而且 共振的波高放大率尖峰值比原來大一 倍,其情形與#17碼頭相似,共振週期 往長週故人率比原始化了 置大。改善佈置2在上述四個碼頭 置大。改善佈置2在上述四個碼的紛 。改大率比原始佈置大,表示低 的波的穩靜效果比原始佈置差。綜合 上述結果,港口外側東防波堤開口 調的是的外海波能進入港內, 而航道封閉的垂直壁,亦無法消減進

入港内的波浪能量。

圖11 改善佈置2之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

3. 舊東堤打開200m加航道吸能

改善佈置3以舊東堤打掉200m的 防波堤並將內外港航道的堤壁加設吸 波設施,此改善目的為加設吸波設施 若能改善共振問題,再進一步設計消 波堤壁。圖12為改善佈置3 港池佈置 示意圖以及各碼頭位置之波高放大率 比較圖。結果顯示於本改善佈置條件 下,#8碼頭位置其原始佈置的110sec 及160sec附近的共振,平移至130sec 及180sec,尖峰值雖有減弱但是不 多,顯示改善效果有限。在#10碼頭位 置改善佈置3條件下,雖160sec共振週 期的放大率R=4.8比原始佈置R=3.1增 加,但發生共振條件週期往較高週期 (T=182sec) 平移,表示本改善佈置 在#10碼頭位置, 共振週期已平移至對 船隻較小危害之位置。在#17號碼頭 位置,在108sec週期之共振尖峰已消 失,其他週期亦無明顯的共振發生, 顯示已達到改善效果。但在#22碼頭附 近,120sec至160sec的共振强度, 並 無減小,表示在此碼頭附近改善效果

不佳。改善佈置3於#10、#17及#22碼 頭附近,在100sec以下的波高放大率 比原始佈置小,表示低週期的穩靜效 果比原始佈置好。綜合上述結果,於 港池航道加設吸能設施,在#10及#17 碼頭附近,能得到較好的改善效果。

圖12 改善佈置3之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

舊東堤打開200m加航道吸能及碼 頭消波

改善佈置4以改善佈置3的舊東堤 打掉200m的防波堤並將內外港航道 的堤壁加裝吸波設施條件,並於內外 港池碼頭壁加裝消波設施,此改善目 的海嬰吸波及消波設施,此改善目 的海服吸波及消波設施,若能改善 時間題,再進一步設計消波堤壁, 港池佈置示意圖以及各碼頭位置之波 高放大率比較圖如圖13所示。圖中在 #8、#10、#17及#22附近的長波港能 共振現象已消失,且低週期波浪亦能 一併改善,故此改善佈置能達到解決 其影影長週期波浪,較為困難,本研究 提出將#13及#14碼頭形式,變更為棧 橋式碼頭,且必須於碼頭後側陸域的 防風林帶(台肥花蓮分公司所有), 加以浚挖使內部港池與北部外海相 通,惟水深不能太深(避免外海波浪 進入),或作迂迴水道,其目的在使 長週期波浪進入港內後,在#13及#14 號碼頭能盡可能透過,允許少許反射 波回港池,如此達到消減共振強度效 果。

 舊東堤打開200m加航道吸能及東 堤打開400m

改善佈置5以舊東堤打掉200m的 防波堤並將內外港航道的堤壁加裝吸 波設施,並將東堤打開400m,此改 善目的為東堤打開400m,若能改善 共振問題,再進一步設計防波堤。圖 14為改善佈置5港池佈置示意圖以及 各碼頭位置之波高放大率比較圖。結 果顯示在本改善佈置條件下,#8碼頭 位置於原始佈置110sec及160sec附近 的共振,變成120sec至180sec的寬頻 共振,尖峰值雖有減弱但是不多, 顯示改善效果有限。在#10碼頭位置 改善佈置5條件下,雖160sec共振週 期的放大率R=3.9比原始佈置R=3.1增 加,但發生共振條件週期往較高週期 (T=182sec) 平移,表示本改善佈置 在#10碼頭位置, 共振週期可平移至對 船隻較小危害之位置。在#17號碼頭 位置,在108sec週期之共振尖峰已消 失,其他週期亦無明顯的共振發生, 表示可達到改善效果。但在#22碼頭附 近,120sec至160sec的共振强度比原 始佈置大,表示在此碼頭附近改善效 果不佳。

圖13 改善佈置4之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

圖14 改善佈置5之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

6. 碼頭消波A

在外港及內港之碼頭堤壁均加裝 消波設施,堤壁反射係數分為0.5及 0.8,改善佈置6示意如圖15所示。此 改善目的為在加設消波設施下,探討 其共振問題改善的效果。在不同反射 係數堤壁,於各碼頭位置之波高放大 率比較圖如圖所示。圖形顯示在#8、 #10、#17及#22附近的波浪,不論在 100sec以上長波或100以下波浪,其共 振強度都能明顯的減小,而且反射係 數愈小,其改善效果更佳。港池共振 現象已消失,且低週期波浪亦能一併 改善,故此改善佈置能達到共振問題 改善。與改善佈置5相較下,顯示只要 作好堤壁的消波功能即能達到改善共 振的目的,但如上節所提到,要設計 消除長波的碼頭斷面,困難度很高, 目前能想到的構想如上節所提。

7. 碼頭消波B

上節改善佈置6能有效解決花蓮 港共振問題,所以繼續深入探討若消 波的堤壁長度減小條件下,其共振改 善的效果。改善佈置7依然在外港及內 港之碼頭堤壁均加裝消波設施,只是 長度較改善佈置6短,如圖16所示,各 碼頭位置在不同的反射係數堤壁條件 之波高放大率比較如圖16所示。計算 結果顯示在#8、#10、#17及#22附近的 長波港池共振現象雖無法完全消失, 但比原始佈置的共振強度明顯減弱, 其中以#8及#10碼頭位置的改善效果較 佳,而碼頭消波功能較佳的反射係數 0.5條件,其改善共振的效果更佳,故 此改善佈置亦能達到改善港池共振問 題的目的。

圖15 改善佈置6之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

圖16 改善佈置7之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

改善佈置8以舊東堤打掉200m的 防波堤並將內外港航道封閉,且將東 堤打開400m,圖17為改善佈置8港池 佈置示意圖以及各碼頭位置之波高放 大率比較圖。結果顯示在本改善佈置 條件下,#8碼頭位置在160sec附近的 共振強度比原始佈置大,且頻寬亦更 大,其他較小週期,共振強度亦沒改 善。在#10碼頭位置的160sec共振週 期的放大率R=5.6比原始佈置R=3.1增 加,但發生共振條件週期往T=192sec 平移,達到移轉共振週期的效果。#17 號碼頭位置,亦如#10碼頭般,具有使 共振週期往對船隻危害較小的長週期 平移的效果。在#22碼頭附近,120sec 至160sec的共振強度比原始佈置大, 表示在此碼頭附近改善效果不佳。

9. 新建東防波堤

改善佈置9將舊東防波堤以及新 東防波堤均拆除,往外海深水處重建 新東防波堤,此改善目的企圖將港池 面積增加,使形狀作更大的改變,期 能改變共振機制。改善佈置9港池佈 置示意圖以及各碼頭位置之波高放大 率比較圖如圖18所示。圖形顯示內港 的#8及#10碼頭位置的共振週期均往長 週期平移,為平移的量依然不夠。而

在120sec週期以下之波高放大率,則 與原始佈置差不多。在#17號碼頭位 置,100sec週期以上的波高放大率均 比原始佈置小,表示改善效果佳,但 於83sec附近卻出現新的共振尖峰,其 值得進一步探討。在#22碼頭附近 120sec至160sec週期的共振強度與 始佈置相差不大,表示在此碼頭附近 始佈置相差不大,表示在此碼頭附近 始佈置相差不大,表示在此碼頭附近 始佈置相差不大,是無法達到附狀,是無法達到共振改善的效果。 狀是無法達到共振改善的效果。

圖19 改善佈置8之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

圖20 改善佈置9之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

10. 港池內加突堤

改善佈置10在外港池之東防波 堤往港池建築一350m突堤,此改善 目的企圖利用突堤,阻擋進入港內之 波浪,並改變港池特性長度,使港池 共振機制改變,此改善佈置之港池佈 置示意圖以及各碼頭位置之波高放 大率比較圖如圖19所示。圖形顯示內 港#8碼頭位置的158sec週期之共振強 度並無改善,且共振的頻寬往低週 期增加,使本共振週期介於140sec~ 170sec之間,另外在130sec以下週期 之波高放大率值,均比原始佈置小, 表示在較小週期的條件,本佈置能獲 改善。內港#10碼頭位置的160sec週期 之共振強度仍然無改善,且共振的頻 寬較原始佈置增加。另外在130sec以 下較小週期條件之波高放大率值,則 與原始佈置差不多。在#17號碼頭位 置之140sec~170sec週期波高放大率

值,比原始佈置大,表示本改善效果 在此週期條件不佳,但於110sec附近 共振週期其波高放大率值比原始佈置 小,但效果有限。在100sec以下週期 條件,則與原始佈置的波高放大率值 增減互見。在#22碼頭附近,於120sec 至160sec週期與原始佈置同樣出現共 振現象,且於138sec出現極高的波高 放大率值。在100sec以下週期條件 下,本改善佈置與原始佈置之波高放 大率值相近。以上結果顯示本改善佈 置並無法達到共振改善的效果。探究 其原因為:於港內加設突堤,進港之 波浪尤其是長週期波,依然能繞過突 堤堤頭,於港內發生共振現象,此與 之前提到,港灣一旦形成,其特性長 度約已固定,其共振機制亦已決定, 所以港內作局部之改變,並無法達到 共振改善的效果。

圖4-21 改善佈置10之佈置示意圖及港池波高放大率比較圖

五、結論與建議

本研究依據上述分析討論結果, 提出以下結論與建議,以供專家學者 參酌:

- 港灣主體完成後,因港池的特性 長度固定,作局部的形狀改變, 港池共振問題的改善均有限。花 蓮港南部至花蓮溪尚有北濱及南 濱等腹地,若在政府政策及續費 允許下,可朝將港灣再往南擴建 至花蓮溪口附近。惟實施前需作 詳盡的理論、數值及水工試驗分 析,才不致發生東防波堤增建導 致共振問題。
- 碼頭壁若加設消波設施,將長週 期波消減,則能有效降低共振強 度,但實際上,碼頭堤壁作消波 設施無法對100sec以上長波消能。
 本研究提出將#13及#14碼頭形式,變更為棧橋式碼頭,且必須 於碼頭後側陸域的防風林帶(台 肥公司所有),加以浚挖使內部 港池與北部外海相通,惟水深不 能太深(避免外海波浪進入),

或作迂迴水道,其目的在使長週 期波進入港內後,在#13及#14 號碼頭能盡量透過,使反射波回 港池大幅降低,達到消減共振強 度效果。另外亦可於#7及#12碼 頭上進行上述相似的方式,碼頭 變更為棧橋式碼頭,並於碼頭後 方開緩衝池,可改變原有花蓮 港之特性長度,改變共振機制, 使原有共振週期能往更低頻處平 移,避開危害船隻之週期。

 造成花蓮港船隻斷纜原因,可能 為共振發生時停泊船隻長度與波 浪互制作用,產生極大的拉力所 造成,在花蓮港其共振週期約在 120sec至140sec間,故若能將共振 週期往高頻或低頻處平移,或若能將共振 週船隻斷纜。因港池內之水震幾 乎都相等,相同波長波浪一方 交互作用,容易互相疊加而發 生共振。建議可朝改變局部港池 水深,擾亂原有共振機制,作進 一步改善共振之研究。

參考文獻

- Berkhoff, J.C.W. (1972) "Computation of Combined Refraction-Diffraction," Proceedings of the 13th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 705-720.
- Chen, Guan-Yu, Chung-Ching Chien, Ching-Ho Su, Hsiang-Mao Tseng (2004) "Resonance Induced by Edge Waves in Hua-Lien Harbor," Journal of Oceanographyl, Vol.60, pp. 1035-1043.
- Chen, H. S. and C. C. Mei, (1974) "Oscillations and Wave Forces in an Offshore Harbor," Ralph M. Parsons Laboratory, Report No. 190, MIT.
- Chen, H. S., (1986) "Effects of Bottom Friction and Boundary Absorption on Water Wave Scattering," Applied Ocean Research, Vol. 8. pp. 99-104.
- Kwak Moonsu, Wonmu Jeong, Chongkun Pyun, Xiuying Xing, and Jiin-Jen Lee, (2008) "Computer Simulation of Pohang New Harbor for Seiche Reduction," The 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany. (Accepted)
- Lee, J. J., (1969) "Wave-Induced Oscillation in Harbors of Arbitrary Shape," Report, KH-R-20, W. M.

Kerk Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California, Institute of Technology, Berkeley, California.

- Lee, J. J., (1971) "Wave-Induced Oscillation in Harbors of Arbitrary Geometry," Journal of Mechanics, Vol. 45, pp. 375-394.
- Lee, J. J., and Raichlen, F. (1972) "Oscillations in Harbors with Connected Basins," Journal Waterways Ports, Coastal and Ocean Divisions, ASCE, Vol. 98, No. WW3, pp. 311-332.
- Lee, J. J., C. P. Lai and Y.G. Li, (1998) "Application of Computer Modeling for Harbor Resonance Studies of Long Beach and Los Angeles Harbor Basin," Proceedings of 26th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 1196-1209.
- Lee J. J., Xiuying Xing, and Orville T. Magoon, (2008) "Uncovering the Basin Resonance at Crescent City Harbor Region," The 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany. (Accepted)
- Tsai Li-Hung, Xiuying Xing, and Jiin-Jen Lee, (2008) "Improving Harbor Resonance Induced by

Typhoon Waves for Hualien Harbor," The 31st International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany. (Accepted)

- Tsay, T., K., W. Zhu and P. L-F, Liu, (1989) "A finites Element Model for Wave Refraction, Diffration, Reflection and Dissipation" Applied Ocean Research, Vol. 11, pp. 33-38.
- 林明崇、謝宗誠(1985),「波 浪折射-繞射有限-邊界元素解 析」,中華造船工程學刊,第四 期,第131~137頁。
- 14. 歐善惠、林西川、林火旺、蘇青 和(1990),「不等水深多孔岸 壁港池之共振模式」,第12屆海 洋工程研討會,第74~94頁。
- 15. 曾相茂、簡仲璟(1996),「花 蓮港海域海象現場調查與分 析」,交通處港灣技術研究所。
- 16. 蘇青和、蔡丁貴、張金機 (1996),「花蓮港港灣設施改 善計畫之研究」,交通處港灣技 術研究所。
- 17. 簡仲璟、曾相茂(1999),「花 蓮港颱風波浪特性研究」,第21 屆海洋工程研討會,第55~62 頁。
- 18. 莊文傑、江中權(2000),「亞 重力波與花蓮港之共振機制與對 策」,第22屆海洋工程研討會,

第578~585頁。

- 19. 蕭松山、王昭文、方惠民、陳建 興(2000),「雙互換邊界元素 法解析花蓮港港池波動問題」, 第22屆海洋工程研討會,第327~ 334頁。
- 20. 李兆芳、劉正琪、張憲國 (2001),「港池振盪之數值計 算模擬計算」,海洋工程學刊, 第一卷,第一期,第1~22頁。
- 郭一羽、林明儀、曾相茂 (2002),「花蓮港池震盪現象 的探討」,海洋工程學刊,第二 卷,第一期,第55~71頁。
- 22. 陳冠宇(2003),「台灣地區國際港港灣水理數值模式應用研究 (2/4)-港池共振與池形狀相關研究」,交通部運輸研究所。
- 23. 張憲國、林立青(2003),「花 蓮港港池振盪之頻率與振福辨識 之模式」,第25屆海洋工程研討 會,第103~110頁。
- 24. 蘇明陽(2003),「花蓮港港 池振盪入射波種類之探討及建 議」,第25屆海洋工程研討會, 第917~923頁。
- 25. 馬平亞、蔡政翰、莊文傑 (2008),「花蓮海域的長浪變 形與解決花蓮港共振之初步研 究」,港灣報導,第79期,第 26~43頁。

新書Ports in China (中國港埠)介紹

單誠基 交通部運輸研究所港研中心研究員

近日"國際港埠協會"簡稱 "IAPH"寄來一本七月才出版的 "Ports in China",封面如圖1。該 書由"國際港埠協會"與"中國港 口協會"簡稱"CPHA"費時1年共 同完成。"中國港口協會"第六屆 三次理事會公布,2006年中國港口貨

物吞吐量達56億噸,貨櫃裝卸量9300 萬TEU,連續4年雄踞世界首位。近 來,中國港口發展迅速,讓世人刮目 相看,不禁要問如何辦到?這也就是 IAPH要出版此書目的。接下二篇序文 中可找到答案線索。

第一篇序文摘要

IAPH秘書長(Satoshi Inoue)在 序文說到"今天,毫無疑問中國扮演 驅動全球經濟和世界貿易重要角色。 中國港口極度(extremely)快速成長 同樣在國際海運佔有重要一席。當世 界其他港口與中國港口發展緊密貿易 關係,我深信"Ports in China"一書 對港口專業人員而言,會有很大興趣 和價值感,不僅貨物吞吐量和港口發 展,而且制度上架構,讓中國港口優 現驚人的改變和發展。我們對港口管 理非中央集權化和民間企業參與營運 印象深刻。當中國第一次介紹"港口 法"就把港口發展推向巔峰。如此巨 大改變和發展如不加理會,是非常困 難的,如果可能就應有資料豐富以英 文撰寫該類書籍,書名就定為"Ports in China"。這就是IAPH開始共同出 版構想。2007年休士頓年會後不久敲 定。感謝CPHA理事長陸海祜和他得 力副手曹忠喜領導團隊完成這具挑戰 性工作。……"

第二篇序文摘要

CPHA常務副理事長曹忠喜在另 一篇序文中說到"中國有廣大幅員和 綿長的海岸線。在18000公里海岸線 和96百萬平方公里陸上面積中有1400 個港埠散佈其上,就像是珍珠和寶石 鑲在中國地圖上。中國港埠發展和經 濟、社會發展息息相關的。在過去30 年改革開放期間,中國經濟和社會發 展成就吸引世界的目光,世界看到一 個和古代中國全然不同的國家。為活

絡經濟,中國港埠有珍貴地發展機 會。過去幾年中國港埠發生很大的改 變。眾多港口和港口企業名揚世界因 為他們顯著的成就。貨物總吞吐量和 貨櫃裝卸量已連續五年躍居世界第 一。在2006年,上海、深圳已名列世 界貨櫃裝卸量前十大。同時另外四個 港口,青島、寧波、廣州和天津也擠 入前20大。最近,為滿足國內與海外 不斷成長的需求,港口建設也加速進 行。相繼完成不同型式專用碼頭,深 水碼頭和深水航道。港口裝卸量不 斷創新,強化了港口功能和經濟、 社會發展的支柱。由於IAPH委託, CPHA於2007年11月開始忙於"Ports in China"编辑,多虧協會同仁支持 和努力工作,4個月後雛型誕生。該 書由3大部份和2個附錄組成。第一部 份"中國港口瀏覽"有關全國港口情 形、2006年成果和發展趨勢;第二部 份"經營和發展系統"介紹港口管理

體制改革和政府港口發展計書、中國 主要港口;第三部份"中國大陸主要 港口"提供主要港口企業和組織詳 情,他門也都是IAPH和CPHA會員。 此外,附錄1"主要統計資料"、附錄 2"中國港口法"提供中國有關港口管 理和發展基礎立法。這本書主要用意 是讓世界了解中國港口和使中國港口 名聞世界。讓世界知道過去幾年中國 港口的建造和發展經驗。這本書意圖 讓更多人知道中國港口和分享港口成 就的果實。同時我們希望更多人參與 後續發展和建造中國的港口。我們希 望透過這本書,中國港口從國際港口 社會中得到更多的學習和資訊,雖然 中國的港口在建造和發展已有大的進 步。我門仍然有很長的路要走因為有 許多方面要改進和提升,我們有許多 要從海外世界的港口學習。因此,我 們希望和世界其他港口加強相互合作 和溝通,共同進步。……"

結語

- IAPH以世界性組織立場提供全世界最新、最全面中國港口資訊。
 以英文撰寫是讓不懂中文的世人更了解中國港口。
- 中國2004年施行"港口法"加上 經濟快速成長是帶動中國港口營 運起飛的原因。第一章第五條 "國家鼓勵國內外經濟組織和個 人依法投資建設經營港口,保護 投資者合法權益"這是引進國外 港埠公司建造經營碼頭關鍵。
- 3. 該書介紹中國大陸主要港口包括

大連、秦皇島、天津、青島、上 海、寧波、廈門、深圳、廣州、 湛江、南京、南通等。

- 這書編排方式有別"中國港口年 鑑(2008版)"
- "中國港口年鑑"售價人民幣500 元, "Ports in China"售價日幣 15000元。
- 6. IAPH 網址 http://www.iaphworldports. org
- 7. CPHA 網址 http://www.chinaports. org

圖1 該書封面

港灣報導徵稿簡訊

- 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。
- 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。
- 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。
- 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

