

港灣報導



季刊 第79期

要 目

- ❖ 高效率港口服務績效指標淺論
- ❖ 透水混凝土應用於停車場之探討
- ❖ 花蓮港的長波變形與港灣共振解決對策之初步研究
- ❖ 穿越北極海之海運航道能否開通及其衍生之效應

中 華 民 國 97 年 2 月 出 版

港灣報導季刊

第 79 期

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 2 月

港 灣 報 導 第 79 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：承亞興企業有限公司

GPN：2007700020

ISSN：1019-2603

目 錄

一、高效率港口服務績效指標淺論……………1

郭石盾 交通部高雄港務局 前總工程司

陳炳棠 交通部高雄港務局 正工程司

二、透水混凝土應用於停車場之探討…………… 17

李明君 朝陽科技大學營建工程系 副教授

邱垂德 中華大學土木工程系 副教授

顏 聰 朝陽科技大學營建工程系 教授

朱金元 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

陳桂清 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

張道光 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

三、花蓮港的長波變形與港灣共振解決對策之初步研究… 26

馬平亞 美國威廉瑪麗學院維吉尼亞海洋科學研究所 教授

蔡政翰 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系 教授

莊文傑 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

四、穿越北極海之海運航道能否開通及其衍生之效應…… 45

陳文樹 交通部郵政公司 研究員

高效率港口服務績效指標淺論

郭石盾 交通部高雄港務局 前總工程司
陳炳棠 交通部高雄港務局 正工程司

一、緒 論

1.1、簡介：

港口是服務國際、國內貿易，進、出口商務以及整體國家經濟發展的重要設施與機構。港務局、航商與裝卸公司均非常重視有關港口與碼頭的服務品質問題，但基於不同的利益，似乎有不一樣的思維與期待：

- 港務局應對國家的國際貿易順暢與否負起責任，避免國家之投資浪費；
- 航商（包括船公司及運輸業者）期待有高效率、廉價及良好品質的服務；
- 裝卸公司（當碼頭是由裝卸單位合作承攬裝卸）則期待有高利潤的經營條件。

對前述三者的期待與利益而言，如何達成一致的目標，為本文討論之重點。

高效率是港口經營與管理的關鍵課題

1.2、何者為高效率港口（港埠）？

港口與港埠效率由港口作業系統各項措施所展現的服務品質評定；該措施有些是屬有形設施領域，如港埠規劃、港埠設備、基礎設施等；部分則屬組織功能範疇，包括港埠維護策略、人力資源管理等，能有效發揮，

即是高效率。

但港埠（港口）效率必須透過評比，而做任何港埠績效評比，則須建立在標準化指標(Standardized Indicators)的基礎上。

經由績效指標評比服務效率

1.3、績效指標：

➤ 何謂港埠績效？

● 有形設施（設備）績效：

有形績效是指既有港埠設施所展現的產值，可分為以港埠整體的績效，或各種設施個別的績效（如船席、專用碼頭、場地、起重機、通棧、倉庫、勞力…）。

● 財務績效：

財務績效是指提供任何服務設施所展現之貢獻度。

● 品質績效：

品質績效就是指處理及解決問題的能力，在某些港口，品質績效尚包括環境指標。

➤ 什麼是指標？

指標是指評比績效的工具與方法，指標通常用數學方式加以量化，目的就是要達成客觀及計算一致的標準。

1.4、船公司（航商）之觀點：

1.4.1 需求：

a). 縮短船舶在港作業（停留）時間 (Short Time in Port)：

船公司只有當船舶載貨航行時才可賺錢；任何船舶在港作業（停留）時間因將減少每年船舶載貨數量而受到損失。

船公司的目標為使船舶在港作業（停留）時間 / 海上航行時間比值減至最少。

在港作業（停留）時間包含下列不同時段：

- 等待時間（指船舶抵達浮筒領港人員上船到開始操船的時段）；
- 操船時間（指領港人員開始領航到船舶靠岸之時段）；
- 泊靠時間或服務時間（指船舶從帶纜到解纜之時段）。

在服務時間內，船舶裝卸時（稱之工作時間）或不裝卸時（閒置時間），不管任何理由均按時計算。

下列附圖1代表典型船舶在港時間之分布示意：

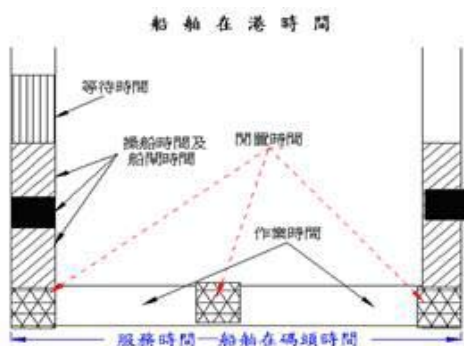


圖1. 船舶在港時間分布圖

b). 提高服務品質(High Quality of Services)：

即使裝卸作業已達高效率，船舶在港作業（停留）時間已趨合理化，船公司尚需檢視有關服務品質，包括：1.對船舶高品質服務，2.對船員高品質服務，3.對旅客及貨物安全保障，4.對危險碼頭安全管理，5.對使用碼頭廠商提供量身訂做的設施，6.提供協調合作的工作環境等。

c). 廉價碇泊費用(Cheap Port Calls)：

對按年租金付費的港埠，船公司已愈來愈多情況要求主要樞紐港調降港埠費用。雖然，港口費(Port dues)及裝卸費(Handling charges)對船公司是敏感的話題，但那僅是整體靠港費用(Over all cost of the call)的一部分；整體而言，船舶在港停留時間所付費用如碇泊費，才是主要費用開銷部分（依據船舶噸位大小，貨櫃輪每天開銷約在1~2.5萬美金之譜）。

1.4.2 績效指標：

一般而言，港口展現的績效，為爭取船公司認同，必須做指標評比。

a). 船舶在港作業（停留）時間指標 (Indicators of Time in Port)：

➤ 船舶等待時間指標(Waiting Time Indicator, WTI)：

此一指標可依個別船席或碼頭計算，或以整個港口計算，甚至可以所服務船舶型式分別計算。通常以平均船舶等待時間比值(Average Waiting Time Ratio, AWTR)及等待等級(WG,

Waiting Grade)做指標。

$$AWTR = \Sigma SWHr / \Sigma sSn$$

$$WG = \Sigma WHr / \Sigma sHr$$

註(參考索引)：SWHr:船舶等待時間
sSn:服務船舶數、sHr:服務時間

依據貨物種類，對一理想港埠的經驗，等待等級(Grade of Waiting, WG)必須低於5~10%。

➤ 碼頭船席使用率(Berth Occupancy Ratio, BOR)：

碼頭船席使用率通常以船舶使用船席時間百分比(%)而定。

$$BOR = \Sigma sHr / PHr \times Bn$$

註：PHr:某一作業時段時數

Bn:船席數

一般而言，碼頭船席使用率必須小於60~75%，但此項使用率將依可使用船席數及船舶抵港的規則性而定。

為簡化起見，如表1所示，為依可使用船席數所設定之最大使用率。

表1. 碼頭使用率與船席數關係

船席數	最大使用率
1	30%
2	50%
3	60%
4	66%
5	70%
6	74%
7	77%
8	78%

來源：UN CTAD-Port management

至於碼頭船席使用率與船舶等待時間是成正比例的，當船席使用率愈高，則可能導致更高的船舶等待時間。

間。

➤ 裝卸產能比率(Handling Productivity Ratio, HPR)：

最普遍及相對採行之裝卸產能比率指標為作業班產值(GO, Gang Output)與船舶產值(Ship Output, SO)：

$$GO = HTn / \Sigma Gn \times sHr$$

$$SO = HTn / \Sigma OSn \times sHr$$

註：HTn:裝卸噸數、Gn:工作班數

OSn:工作船舶數

前二項產值代表在某一作業時間某一碼頭所能裝卸之貨物噸數或貨櫃數，以每台起重機計算(稱之作業班產值)或以每艘貨輪計算(稱之為船舶產值)。另外尚可以閒置時間比值(Idle Time Ratio, ITR)表示當船舶停靠船席時之作業品質及可信賴比值：

$$ITR = \Sigma ITsHr / \Sigma sHr$$

註：ITsHr:某一服務時間內之閒置時間數

➤ 設備可用比值(Equipment Available Ratio, EAR)：

$$EAR = \Sigma EAHr / ESHr$$

註：EAHr:設備可使用時數

ESHr:某一時段提供設備時數

標準比值，對碼頭重型設備而言需高於90%。

➤ 碼頭儲存能量(Storage Capacity, SC)：

係依堆貨面積及容許貨物停留時間(Dwell Time, DT)而定，低能量對快速裝卸作業時將成為阻礙，因為擁塞的結果可能加長在碼頭與場地間之移轉時間。

$$SC = A(m^2) \times 365 / DT \times SF$$

式中面積 (Area, A) = m^2 ,
儲存因子 (Storage Factors, SF) =
 m^2 / 噸；如儲存貨櫃，儲存因子 =
 m^2 / TEU。

b). 服務品質指標(Indicators of Quality of Services, IQS)：

$$IOS = NP / NB$$

$$IOL = \sum LTn / \sum HTn$$

$$IOC = \sum NC / sBn \text{ (or Tons)}$$

$$LI = NL / NB$$

$$RI = NLS(3) / NLH(12)$$

註：NP:竊盜次數 (或偷竊或其他)

NB:貨物提單數、NC:事故件數

LTn:貨損噸數(或價值)、NL:訴訟案件數

NLS(3):三個月內解決之訟爭案件數

NLH(12):在一年內所發生之訟爭案件數

上述安全指標(IOS, Indicator of Security)、貨損指標(IOL, Indicator of Loss)、事故指標(IOC, Indicator of Casualties)、訴訟指標(LI, Litigation Indicator)及可信賴度指標(Reliability Indicator, RI)等指標僅是案例而已，碼頭裝卸公司可依在碼頭所發生之特種問題，提出其所需另種指標。

c). 船舶靠泊費用指標(Indicators for Calls Cost, ICC)：

船公司通常會在每個航次完成後分析所有停靠港口之付費情形，且會對各港碼頭做比較，並核算每計費噸之平均費用(ACPT, Average Costs Per Tonne)。

$$CPT = TCC / HTn$$

註：CPT:每計費噸之費用

TCC:靠泊某一港口之全部費用

所求得各港費用比值是相當重要的，因為它將是船公司決定是否經營各有關港口航線的依據。

1.4.3 小結：對任何船公司而言，經營港口貨運最重要的字眼便是港埠基礎設施、裝卸設備、勞動人力以及服務品質的有效性與便利性提供。

1.5、裝卸公司觀點：

裝卸公司的經營理念是讓顧客賺錢及提供高品質的服務，俾滿足顧客需求，進而吸收更多新顧客。

1.5.1 需求：

裝卸公司主要需求，包括港埠設施有效利用、投資回收及符合使用者需求等。

1.5.2 績效指標：

為了改善服務品質及有利投資者回收，從事績效評比是非做不可的，有關指標主要包括港埠設施利用指標、財務指標及品質指標等下列各項。

a). 港埠設施利用指標(Indicators of Utilization, IOU)：

➤ 船席使用率(Berth Occupancy Ratio, BOR)：

任何一座碼頭均可靠船使用，裝卸公司通常以靠船碼頭長度(公尺數)對可使用碼頭總長(公尺數)計算碼頭船席使用率：

$$BOR = \frac{\sum LU(m) \times OPHr}{\sum LA(m) \times APHr}$$

註：LU:實際靠船長度

OPHr:在某一時段實際靠船時數

LA:可供靠船碼頭長度

APHR:在某一時段可供靠船時數

例如；有一碼頭長300公尺，每週停靠4航次100公尺長之駁運船及一航次250公尺長之貨櫃船，所有船舶停靠時間各為24小時，所以：

$$\text{BOR} = \frac{[4 \times 100(\text{m}) + 1 \times 250(\text{m})] \times 24(\text{hr})}{300(\text{m}) \times 24(\text{hr}) \times 7(\text{day})} = 31\%$$

➤ **設備使用率(Equipment Utilization Ratio, EUR)：**

一般而言，設備使用率是以設備使用時間對標準可用時間求得；標準可用時間是在某一定期間內之總時數減去標準維修時間所得。

例如：有某一貨櫃起重機，在第某週內使用120小時，而每週標準維修時數為15小時，所以：

$$\text{EUR} = \frac{120(\text{hr})}{7 \times 24(\text{hr}) - 15(\text{hr})} = 78\%$$

➤ **勞工使用率(Labor Utilization Ratio, LUR)：**

探討勞工使用率以作業班(Gangs)按4或8小時輪班(Shifts)工作計算。

$$\text{LUR} = \frac{\sum \text{Gn} \times \text{SOP}}{\sum \text{Gn} \times \text{SPP}}$$

註：Gn:作業班數

SOP:某一時段之工作輪值班數

SPP:某一時段付費之工作輪值班數

例如：在某週，有4工作班以3班輪值在Victoria輪工作；2工作班以4班輪值在Feeder輪工作；6工作班以6班輪值在另二艘船工作。假設在碼頭勞工們以18班編組，所有工作班輪值工作不能超過8小時，則：

LUR=

$$\frac{4 \times 3 + 2 \times 4 + 6 \times 6}{18 \times 7(\text{day})} = 44\%$$

在港埠工業，勞工正常使用率為70~75%，此為應付船舶載重的變動以及每天或每週抵港船舶的變化，所以必須配置額外永久工作班，以備尖峰貨運量之所需。

➤ **碼頭土地使用率(Berth-Land Utilization Ratio, BUR)：**

碼頭場地也是港埠發展受限因素之一，裝卸公司必須設法使其達到最大能量利用；因此，專用碼頭政策比多家共同使用碼頭使用來得浪費土地，有關道理是當船公司不使用時，有限空間形成「凍結狀況」。有關土地使用率的計算與碼頭使用率類似，只是將單位從長度改為面積而已。

b). **財務指標(Financial Indicators)：**

裝卸公司等人在計算其財務指標時，大多使用工業界所採行者；通常評估其費用開支多寡，以及裝卸每噸貨物或貨櫃的收入多少？

c). **品質指標：**同1.4.2節績效指標所述。

1.6、利潤平衡考量：

碼頭經營模式，船公司較屬意專用碼頭經營是為避免船舶進港時有等待時間的風險，同時專用碼頭對船公司而言，可視為一種對顧客量身訂做的服務設施；然而，對裝卸公司而言，接受專用碼頭經營，表示限制了碼頭的作業能量，而增加了全面性的

營運成本。

另者，船公司比較重視港埠設施及勞力資源的利用與方便性，而裝卸公司則比較注重各項設施的最大利用比率。事實上，高碼頭船席使用率將導致船舶擁塞，就可能增加船舶在港停留時間，是不符合船公司需求的；對裝卸公司而言，成本幾乎是固定的，因此，碼頭使用率愈高則裝卸每噸貨物或每個貨櫃之成本就降低。

船公司與裝卸公司二者都能接受的成本費用到底應該多少呢？那就是如附圖2所示，二者成本費用曲線交點

所代表者。

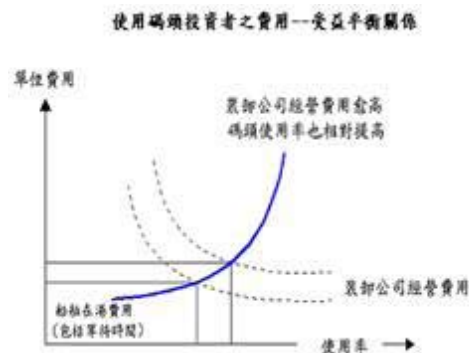


圖2. 船公司與裝卸公司受益平衡曲線示意圖

二、碼頭船席績效指標

當船舶抵港過程中，在港停留時間假如因無足夠船席，將導致船舶的等待時間冗長；然而，如碼頭船席過剩，則導致投資成本浪費。因此，有關港埠產能，服務品質以及設施使用率，是本章談論重點，且事關港埠規劃及商業課題。

2.1、碼頭船席產能指標：

對港埠規劃單位而言，碼頭船席產能指標是相當的重要，因其關係到每一碼頭船席績效的演化改善，進而作為港埠產能決策的訂定。

2.1.1 定義：

碼頭船席產能(Berth Throughout, BT)指標(BT Indicator, BTI)是指某一船席在某一特定時間（一般定義一年）裝卸貨物的總噸量或總件數；有關指標之計算方式依各種貨物形式略分為：

- 一般什貨： $BT = \sum HT_n / YB$
- 貨櫃： $BT = \sum HC_n / YB$
- 駛上駛下貨： $BT = \sum HV_n / YB$
- 散貨： $BT = \sum HT_n / YB$

註：YB:每相關船席（每年）

HT_n:裝卸噸數、HC_n:裝卸貨櫃數

HV_n:裝卸車數或滾裝貨數

2.2、碼頭船席服務指標(Berth Service Indicator, BSI)：

碼頭船席服務指標對船公司及運輸業均屬重要指標，因為船舶在港停留時間由船公司付費，有時也由運輸業付費（尤其對租船的情形必須延遲付費）。

2.2.1 定義：

船舶在港作業（停留）時間，定義為船舶進港到出港時段，在港內所花的全部時間，包括：

- 船舶等待時間(Waiting Time, WT)：

船舶抵港到船舶繫纜完成所延誤的時間稱之；其指標為平均等待時間比率(WTR, Waiting Time Ratio)。

$$WTR = \sum WHr / \sum sSn$$

有關計算方法可以特定碼頭或船席個別評比，或全港一併計算，或依船舶種類求取。

- 船舶靠泊船席時間或服務時間(ST, Service Time)：是指船舶靠泊船席到離開所占用的時間；其指標為平均服務時間比率(STR, Service Time Ratio)。

$$STR = \sum sHr / \sum sSn$$

計算方法可以特定碼頭或船席處理，或全港一併計算，或依船舶種類分別評比。

船舶靠泊船席時間包括裝卸作業時間＋閒置時間。

- 船舶在港作業（停留）時間(Time in Port, PT/Turn-Round Time)：船舶抵港到離開港口某一限制區外所經歷的時間；其指標為平均船舶在港作業（停留）時間比率(Time in Port Ratio, PTR)。

$$PTR = \frac{\sum WHr + sHr}{\sum sSn}$$

- 商業上亦常計算等待等級之比值：

$$WG = \sum SWHr / \sum SsHr$$

註： $\sum SWHr$: 累積船舶等待時間

$\sum SsHr$: 累積船舶服務時間

事實上，船舶等待時間與服務時間的比較，對船公司的可

接受度是很重要訊息；對散裝及一般什貨船而言，可接受的比值約為10%；超過10%則表示為低服務品質之港口。對駛上駛下及貨櫃船而言，船公司則不接受任何等待時間，表示貨櫃船必須隨到隨靠才具競爭力。計算方式可以特定碼頭船席計算，或以全港一併核計，或以船舶種類分別計之。

2.3、碼頭船席使用指標(Berth Occupancy Indicator, BOI)：

碼頭船席使用指標代表船席實際使用強度；計算時，可參考本文有關港埠營運及船舶在港停留時間等基本觀念。

2.3.1 定義：

- 碼頭船席使用率(Berth Occupancy Ratio, BOR)：代表碼頭服務船舶需求程度。

$$BOR = \sum sHr / \sum YHr$$

註： $\sum YHr$: 一年合計時數（或其他時段）

- 碼頭船席作業時間比(Berth Worked-Time Ratio, BWR)：代表船舶有效作業時數；也是代表船席對船舶的服務品質。有關模式是：

$$BWR = \sum OHr / \sum sHr$$

註： OHr : 作業時數（時間）

- 前項比值常與下列每天工作時數，即每天作業（或開放）時數有關，通常以每天作業時間比率(ODR)代表。

$$ODR = OHr / 24$$

例如：作業時間比值為 50% 代表每天港埠作業只有12小時，因此，抵港船舶每天閒置12小

時。

2.4、結論：

碼頭船席相關指標主要關係到抵港船舶的服務；該些指標代表的是評比所在港埠設施之最大作業能量，港埠服務水準；除在港埠激烈競爭中，作為吸引船公司、裝卸公司的重要憑

據，亦可提供港埠規劃單位在規劃新碼頭船席作為預測需求的依據。

但碼頭船席作業在港口中並非獨立於其他作業的作為，船舶在港停留時間，一方面需靠船舶與岸上設備配合，創造港埠裝卸作業的產能，另一方面對碼頭船席的轉移作業也須達到高效率。

三、裝卸作業績效指標

評比港埠績效一般以某一時段可能的產值分析，也就是代表港埠動員有關設備服務船舶及貨物的成效。一般而言，首先需作對服務船舶的效率比值，然後再作裝卸作業的產值效率比值。

3.1、裝卸產能指標：

3.1.1 船舶產能：

由於船公司的需求是儘可能縮短在港停留時間，所以對一港埠最主要的商業考量便是船舶產能。

3.1.1.1 定義：

船舶產能指標(Ship Output Indicators, **SOI**)在評比船舶裝卸貨物的速度，因此，貨物裝卸作業是項很重要的指標。一般而言，有三種船舶產能(**SO**)指標評比方式，即船舶作業時間產能(Tonnes per ship worked hour, **WSO**)，船舶靠泊船席產能(Tonnes per ship at berth, **BSO**)與船舶在港停留時間產能(Tonnes per ship hour in port, **PSO**)：

$$\text{WSO(Tons)} = \Sigma HTn / \Sigma HOHr$$

$$\text{BSO(Tons)} = \Sigma HTn / \Sigma sHr$$

$$\text{PSO(Tons)} = \Sigma HTn / \Sigma SPHr$$

註：**HOHr**:裝卸作業時數（時間）

SPHr:船舶在港時間

以貨櫃裝卸作業而言，前述三個方程式需加修正，全部裝卸噸數總和須改以全部TEU數或貨櫃數總和。

依邏輯考量 WSO > BSO > PSO

當船舶泊靠碼頭或在港停留時間，往往有閒置時間及非作業時間，故上式應可成立。

3.1.2 工作班產能：

船舶產能全賴提供裝卸作業工作班數及工作班效率而定。因此，談及工作班產能，其變化幅度將依所裝卸船舶種類，所提供裝卸設備之能量與效率有關。

3.1.2.1 定義：

工作班產能(Gang Output, **GO**)以每工作班每小時平均產能(**GOR**)比值評定：

$$\text{GOR} = HTn / \Sigma Gn \times OHr$$

如以貨櫃裝卸而論，有關公式應修正為：

$$\text{GOR} = \Sigma \text{HCn} / \Sigma \text{Gn} \times \text{OHR}$$

有關比值可以一天或一個輪班或一小時計算。而不推薦以年為單位，因為要使有關分析準確且避免作假的情況。

對絕大多數情況，工作班產能類似一般起重機或貨櫃起重機產能，因為每工作班使用配合起重機（一般）或貨櫃起重機作業。以貨櫃起重機而論，一般均以每小時作多少循環（櫃次）而計，此項做法對不同的港口容易作比較，因為每個港口其裝卸貨櫃40呎者與20呎者混合比皆不一樣。

評估港埠勞工人力動員能力也是重要一環，對於一艘泊靠船舶可動員多少工作班作業，是對加速裝卸作業努力的重要指標。

$$\text{ANG} = \Sigma \text{Gn} / \text{sSn}$$

上項平均每船作業班數(Average Number of Gangs Per Ship, ANG)比值通常用以計算每種船舶效率。

3.2、港埠投入資源（人力或設備等）之利用比值：

裝卸設備及勞工人力是兩項主要常態港埠投入資源。

3.2.1 設備的利用：

對港埠設備動員程度及能量評估或對使用設備能量的評估，則必須瞭解到有關設備的使用時間問題，如起重設備（起重機）使用率(Rate of Utilization of Cranes, RUC)等。有關平均使用率可以每天、每月或每年計算。

$$\text{RUC} = \text{EUHr} / \text{EAHr}$$

註：EUHr:設備使用時數

EAHr:設備可利用時數

3.2.2 碼頭工人使用率(Rate of Utilization of Workers, RUW)：

$$\text{RUW} = \Sigma \text{OMP}(\text{Pn} \times \text{Hr}) / \Sigma \text{AMP}(\text{Pn} \times \text{Hr})$$

註：OMP(Pn × Hr):實際工作人力

AMP(Pn × Hr):可利用人力（人數×時數）

平均使用率可以每天、每月或每年計算。

四、倉儲作業績效指標

一個港埠的商業策略往往受到港區土地取得及擴建問題的影響；假如港區面積及儲貨設施過大，商業策略可能必須涉及降價吸引貨源課題；相反地，假如港區範圍受限於都市計畫，則無法取得土地加以擴建，則港務局的經營策略唯有加速提貨時間，減少貨物長期儲放棧倉，俾增加即時到貨的儲放。

4.1、指標定義：

平均貨物在倉棧內儲放時間(DT, Dwelling time)以下列式子求取，其指標為平均貨物儲放時間(ADT)。

$$\text{ADT}(\text{day}) = \Sigma \text{Tn} \times \text{DT}(\text{day}) / \Sigma \text{DTn}$$

註：DTn:儲放貨物噸數

上式對露置場及倉棧均適用。很明顯地，當貨物在倉棧內儲放時間減短，即可減少對倉棧空間的需求。

4.2、結論：

在港中貨物儲存經常是有問題的，因為規劃設計的改變，會造成技術方面的改變（船舶及裝卸方法）。貨物在倉棧（露置場）停留時間，決

定了倉棧設計空間的需求，因此績效指標對港埠效率非常需要。且港埠管理必須是持續不斷的監督，才能求取精確的績效指標。

五、服務品質指標

從運輸業者觀點，服務品質是當今首要需求所在。在港口有許多因子決定港埠服務品質，諸如：

- 船舶等待時間；
- 船舶在港作業（停留）時間；
- 裝卸作業產能；
- 貨物倉棧免費寬限時間；
- 船舶在港作業時間。

但其他無形(Non-physical indicators)的指標，則代表港埠其他方面的績效。

5.1、彈性指標：

彈性是用來評估港埠所採行適合於運輸業及船公司需求港埠服務能量的工具或方法。

5.1.1 工作時數：

行政作業與裝卸作業的協同合作是達成港埠有效運轉的主要作為。有關目標是所有港埠服務時間與港埠開放時間同步進行。

有關評比比值是：未協調同步開放時數 / 24小時所得數值。

例如：

表2. 未配合港口開放作業時數統計表

服務項目	港口開放時數	未配合港口開放時數
拖船/領港	6-22	8
裝卸作業	0-24	0
海關通關	8-18	14
出貨/收貨	6-20	10
辦公時間	7-17	14
平均/24小時		11.5

從表2得知，所指港口僅裝卸作業時間一項配合開放時間作業，其他服務則未與開放時間同時作業；因此，平均非協同作業時間評比比值為11.5。

5.1.2 準時率(Punctuality Ratio, PR)：

船公司及運輸業者非常重視港埠能量相對於預測船舶抵港時間的配合問題（尤其是對渡輪及貨櫃船等）。準時率的評估一般是以預期船舶抵達與離港時間百分比表示。

$$PR = \sum DPT / PSn$$

註：DPT:延誤（抵達或離開）時間

PSn:抵港船舶數

5.2、可信賴度指標：

5.2.1 安全性：

港埠提供對船公司及運輸業的安全性是很重要的服務功能。因此，假如能訂定一套有關指標，如安全性指標(IOS, Indicator of Security)作為“零事故目標”策略成功等級的評估方法，那才是最重要的一環。

評比此項指標時間可以年或月計算。同時，前項指標必須能顯示在價值或數量上問題的重要性。

另外，價值（金額）損失指標(Indicator of Loss in Value, IOV)、數量損失指標(Indicator of Loss in Volume, IOL)及事故指標(Indicator of Casualties, IOC)指標通常依據事故或損失發生後作統計，分析時可以貨物種類、包裝種類或港埠特定碼頭（例如汽車碼頭、穀倉等）作個別處理。

上述各項指標之計算方式，請參考p.3, 1.4.2.b節。

5.2.2 商業環境條件：

一個良好的商業環境指標代表港內紛爭事件的件數及價值少以及成功協調解決爭議事故的百分比高。

$$LI = NL / NB$$

$$RA = NSL / NL$$

$$DI = NISD / NL$$

註：NL:訴訟案件數、NB:提貨單件數
NSL:訴訟案決案件數、NISD:延誤一個月（或某段時間）解決的訴訟案件數

上述訴訟指標(Litigation Indicator, LI)、達成協議比例(Rate of Agreement, RA)及延誤指標(Delay Indicator, DI)等代表效率的重要性，也就是代表各方快速解決問題的能力所在。

在某些港口，訴訟指標顯示非常低；但並不代表在港內事件及偷竊案件少而港口是安全的。事實上，達成協議比例假如很低，延誤指標也將相對的低，所代表的涵義是因船公司及運輸業得不到補償，不想花時間及金錢去作無結果之事，所以不決定去談任何紛爭事件所致。

5.2.3 工作可信賴度：

不論船公司或運輸業對“及時性作業”還是很敏感的。當今所有物流鏈所強調的所有物流過程都必須朝減少延誤，減少轉移時間並限制儲存門檻，若此，才算是一流運輸政策。

港口是任何物流鏈的一個單位，任何物流活動的停頓都將影響物流鏈的運作而反映到價格費用並影響產品聲譽。因此，港口的可信賴度是非常重要的。有一項全球性使用的可信賴度指標(RI)是以有效工作天數(AOD)與計畫工作天數(POD)之比值表示。

$$RI = AOD / POD$$

5.3、結論：

由於全球各港口情況各異，也皆有不同的經濟、社會及政治環境背景；因此品質指標都只能展現個別的部分，並且僅能適用不同的情境。

本章所述的各種指標由於很多港口都遭遇相同問題，所以絕大部分港口均能適用。指標的訂定尚可由不同的港口依其個別情況訂定其它適用的指標。

六、港埠能量評估及港埠規劃

港埠績效指標訂定的目的之一是用為診斷當前的經營狀況並依其對各種港埠作業影響作永久性的評估。

第二個目的是提供港埠規劃單位推估有關港埠能量的限制並依貨運量的預估推算何時是新港埠設施需求時間。

最後一個目的就業務推展而言，有關港埠績效的資訊可提供經理人員一個好的參考作為經常性經營改革的依據。

很明顯地，在港埠諸多活動、事務中，彼此是會影響作業績效的：

- 裝卸產值將決定船舶泊港時間長短，進而影響到碼頭船席使用率及船舶等待時間，
- 作業場地的能量以及佈置的完善與否，將影響裝卸作業產值，
- 海關作業的延誤決定了貨物在港的停滯時間，因此當貨物堆滿時，則必須利用其他場地空間儲貨。

所以，顯然在港區內任何一項作業會連帶影響其他作業的成效。改善之道，在於先從各種單項作業著手分析其能量，並與其他作業分開作區隔探討。

不論前項所述如何，必須持續分析者：

- 碼頭船席能量問題，
- 貨物儲存能量問題。

一旦前二項分析完成，才能診斷港內其他有關作業情形。最後，規劃單位就能擬定計畫應付所預測未來15年之作業量。

6.1、碼頭船席能量：

前述裝卸作業績效指標，是評估港埠作業能量的有效方法。

6.1.1 評估方法：

首先，在現有運作組織的情況下，評估現階段之各項產能（或績效）比值。然後，再平均的區隔各項港埠作業事務，並對各種貨物以包裝形式作分項。最後，再利用下列步驟計算相對最大產值：

$$* HTn / Gn \times OHr \times AGn / Sn = HTn / SOHr$$

$$* OTn / SOHr \times OHr / sHr = OTn / sHr$$

$$* AMC = OTn / sHr \times 24(hr) \times 365(day) \times MOR \times Bn$$

註：AGn:平均工作班數

SOHr:船舶工作時數、OTn:作業噸數

AMC:每年最大作業能量

式中碼頭船席最大使用率(MOR)，依可使用船席數和船舶抵港規則訂定。以定期航線服務而言，可以附表1簡化應用。

根據相關經驗，當船舶等待時間/船舶服務時間之比值為10%時，則為最大碼頭船席使用率。

6.2、港埠儲貨能量：

港埠儲運能量與港口所需貨物容許在港停留時間以及所裝卸貨物種類息息相關；

- 貨物在碼頭容許停留時間(Dwell Time, DT)：

一般而言，貨物在露置場或倉棧內佔用的時間決定於儲貨通棧何時堆滿貨物而定。

➤ 儲存貨物種類：

每一種貨物有其特性，有些能堆棧，有些卻不能；有些貨物體積很大，有些則屬大比重者。因此，每一噸貨物所佔面積（平方公尺數）須依貨物種類而定；此一特性稱儲存因子(Stowage Factor, SF)。儲存因子= m³/噸，如儲存貨櫃，儲存因子= m³/TEU。

儲存因子以每一貨物佔有地坪面積計算。根據不同貨物儲存因子，儲放一噸貨物所需地坪面積約從0.5~5m²不等。有關儲放貨物所需地坪面積(Surface area, SA)的計算公式如下：

$$SA = Tn \times SF \times \frac{DT}{365}$$

結果以每年儲貨噸數(VCT)所表示之能量應為：

$$VCT = \frac{SA \times 365}{SF \times DT}$$

前述表示容許貨物在港停留天數(DT)愈多或儲存因子(SF)愈大，則碼頭之貨物儲放能量愈低。

6.3、港埠規劃：

任何港埠規劃必須根據預測貨物成長量依相關發展績效指標分析；而根據各項設施能量的評估可提供港埠規劃人員瞭解何時港口會達到擁塞的

階段；它屬良好的資訊，但無法解決任何擁塞的問題。績效指標是幫解決問題的主要工具。

6.3.1 港口擁塞時間評估：

預測貨物量與設備最大作業量比較結果，就可知道那年會發生碼頭船席或貨物儲存擁塞。

6.3.2 利用績效指標抑制或遲緩碼頭擁塞：

港埠規劃人員於分析所有影響因子後必須作一決定；決定的影響力來自社會、經濟、財務、營運及技術觀點。績效指標則是所有影響分析量化的依據。

碼頭擁塞情形可經由下列各種方案加以制止或延緩：

- 興建新碼頭船席，但必須很大花費，造成財務困難。
- 經由下列各項改善產能：
 - 延長港口作業開放時間，
 - 增購新設備，
 - 改變作業方式，
 - 採行各項鼓勵工人措施，
 - 加速海關通關作業，
 - 限制貨物長時間留滯港區。

以上各項措施可能比新建碼頭船席來得划算。另者，如能從事有關紙上作業模擬，亦可輕而易舉評估任何有關港埠能量的解決方法。

總 結

1. 港埠績效指標曾經是為了改善分析各種港埠作業診斷方法而創立，也是幫助決策者作重大港埠

經營決策的利器。

2. 大部分績效指標與碼頭營運有關（如碼頭船席、裝卸作業、貨物

儲存)，因為該些指標是從事港埠營運經由改變策略、提昇效率的主要重點所在。

3. 如以服務品質而論，可發現績效指標屬全球港口採行的作業準則；不過要決定各種指標執行不是易事，因為涉及碼頭工人及人類的行為所致；因此，必須透過有關指標的統合分析，才能提供規劃人員在規劃任何港埠建設時做最有利的應用考量。
4. 港埠績效指標是港埠營運重要的

決策依據，但所採行正確決策的詮釋與研究則可能屬一種非常微妙的藝術。

5. 本文顯示多種碼頭船席使用率求取模式，係依不同船席數（一座或多座）或不同使用者觀點加以應用，如港務局、船公司及裝卸公司等，但求取結果大同小異。原則上，聯合國UNCTAD - Port management所建議之碼頭使用率與船席關係一表（如附表1）所載內容已足可參考。

KPI 關鍵性能指數索引

- ACPT: Average Costs Per Ton, 每計費噸之平均費用
- ADT: Average Dwelling time, 平均貨物在倉棧內停留時間
- AMC: Annual Max. Capacity, 每年最大作業能量
- ANG: Average Number of Gangs Per Ship, 平均每船作業班數
- AWTR: Average Waiting Time Ratio, 平均船舶等待時間比值
- BOI: Berth Occupancy Indicator, 碼頭船席使用指標
- BOR: Berth Occupancy Ratio, 碼頭船席使用率
- BSI: Berth Service Indicator, 碼頭船席服務指標
- BSO: Tonnes per ship at berth, 船舶靠泊船席產能
- BTI: Berth Throughout Indicator, 碼頭船席產能指標
- BUR: Berth-Land Utilization Ratio, 碼頭土地使用率
- BWR: Berth Worked-Time Ratio, 碼頭船席作業時間比
- CPT: Costs Per Ton, 每計費噸之費用
- DI: Delay Indicator, 延誤指標
- DT: Dwelling time, 貨物在倉棧內停留時間
- EAR: Equipment Available Ratio, 設備可用比值
- EUR: Equipment Utilization Ratio, 設備使用率
- GO: Gang Output, 作業班產值
- GOR: Gang Output Ratio, 每工作班每小時平均產能
- HPR: Handling Productivity Ratio, 裝卸產能比率
- ICC: Indicators for Calls Cost, 船舶靠泊費用指標
- IOC: Indicator of Casualties, 事故指

標

- IOL: Indicator of Loss (in Volume), 貨損（數量）指標
- IOS: Indicator of Security, 安全指標
- IOU: Indicators of Utilization, 港埠設施利用指標
- IOV: Indicator of Loss in Value, （貨損）價值損失指標
- IQS: Indicators of Quality of Services, 服務品質指標
- ITP: Indicators of Time in Port, 船舶在港作業（停留）時間指標
- ITR: Idle Time Ratio, 閒置時間比值
- LI: Litigation Indicator, 訴訟指標
- LUR: Labor Utilization Ratio, 勞工使用率
- PR: Punctuality Ratio, 準時率
- PSO: Tonnes per ship hour in port, 船舶在港停留時間產能
- PT: Time in Port,/Turn-Round Time, 船舶在港作業（停留）時間
- RA: Rate of Agreement, 達成協議比例
- RI: Reliability Indicator, 可靠度指標
- RUC: Rate of Utilization of Cranes, 起重設備（起重機）使用率
- RUW: Rate of Utilization of Workers, 碼頭工人使用率
- SA: Surface Area, 所需地坪面積
- SC: Storage Capacity, 碼頭儲存能量
- SF: Storage Factors, 儲存因子
- SO: Ship Output, 船舶產值
- ST: Service Time, 船舶靠泊船席時間或服務時間
- WG: Waiting Grade, 等待等級
- WSO: Tonnes per ship worked hour,

船舶作業時間產能

- WT: Waiting Time, 船舶等待時間
- WTI: Waiting Time Indicator, 船舶等待時間指標
- ※ 計算式代碼補註
- A: area 面積
- AGn: average gangs 平均工作班數
- AMP: available man power 可利用人力
- Bn: berths 碼頭/船席數
- Cn: containers 貨櫃數
- CPT: charge of per pay ton 每計費噸之費用
- DTn: dwell tons 儲放貨物噸數
- EUHr: equipment used hours 設備使用時數
- EAHr: equipment available hours 設備可利用時數
- ESHr: equipment supplied hours 某一時段提供設備時數
- Gn: gangs 工作班數
- Hr: hours 時數
- HCn: handling containers 裝卸櫃數
- HTn: handling tons 裝卸噸數
- HVn: handling vehicles 裝卸車數
- HOHr: handling operation hours 裝卸作業時數
- ITHr: idle time hours 閒置時間數
- ITsHr: idle time of service hours 某一服務時間內之閒置時間數
- LTn: lost tons 貨損噸數
- LA: available length 可供靠船長度
- LU: used length 碼頭實際靠船長度
- NB: number of bills 貨物提單數
- NC: number of casualties 事故件數
- NL: number of litigations 訴訟件數

- NP: number of pickings 盜竊件數
- OD: operation days 作業（工作）天數
- ODR: operation days ratio 每天作業時間比率
- OHr: operation hours 作業（工作）時數
- OMP: operation man power 實際工作人力
- OSn: operation ships 作業船舶數
- OTn: operation tons 作業噸數
- PHr: hours of a certain period 某一作業時段時數
- Pn: persons 人數
- s: service 服務
- sBn: service berths 服務碼頭數
- sHr: service hours 服務時數
- sSn: service ships 服務船舶數
- Sn: ships 船舶數
- SsHr: statistics service hours 累積船舶服務時間
- SWHr: statistics waiting hours 累積船舶等待時間
- TCC: total calls cost 靠泊港口之全部費用
- Tn: tons 噸數
- WHr: waiting hours 等待時數
- YHr: total hours of one year 一年合計時數

參考資料

1. Bernard Francou, “Efficient Terminal Management: Carriers and Operators Points of View” ; Consultant and Lecturer, Universite de la Mediterranee.
2. UNCTAD Documents:
 - ❖ Manual on uniform system of port statistics and performance indicators 1983.
 - ❖ Port performance indicators 1976.
 - ❖ Monograph on port management – Measuring and Evaluating Port Performance and Productivity 1987.

透水混凝土應用於停車場之探討

李明君 朝陽科技大學營建工程系 副教授

邱垂德 中華大學土木工程系 副教授

顏 聰 朝陽科技大學營建工程系 教授

朱金元 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

陳桂清 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

張道光 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

一、前言

典型透水混凝土主要是由水泥、粗骨材、一點或無細骨材、摻劑與拌合水等所組成零坍度與開放級配拌合料，硬固的透水混凝土內有連接孔隙系統，孔隙大小介於0.08吋至0.32吋（2至8mm）之間，如此將使水份容易穿越其中，美國混凝土協會ACI 522^[1]委員會提供透水混凝土之技術資訊，包括透水混凝土應用、設計方法、材料、性質、配比、製程方法、試驗與檢驗等，其中，經由配比設計實驗來達成透水混凝土重要的物理性質與力學行為，透水混凝土空隙率範圍介於18%至35%之間，典型抗壓強度範圍介於400至4000 psi（2.8至28 MPa）之間，透水混凝土鋪面排水率因骨材尺寸與其壓密度有關，但一般排水率範圍介於2至18 gal./min/ft²（81至730 L/min/m²）之間，即典型透水混凝土透水係數範圍介於0.16至1.22 cm/sec^[1-2]。

透水混凝土之配比，除力學強度之外，一般透水係數為性能的重要

指標，故進行配比設計實驗，應先求出預使用粗骨材之乾搗單位重，從而求出粗骨材中之孔隙率，之後，依據需求強度，填充少於總孔隙體積但不同體積含量的水泥漿體；使用水泥漿體填充孔隙體積的量，從總孔隙體積的30%至70%皆可，依據需求強度而定，當然，隨填充孔隙漿體之增加，其透水能力亦隨之大幅下降。另外，一般水灰比的選取以能充份包裹骨材而不產生垂流現象為原則，良好的水灰比區間可以透過實際拌和求得，通常介於0.25至0.45之間，再依據需求透水係數而定出漿骨比，經由試誤法試拌即可完成配比的設計。有關美國波特蘭水泥協會(PCA)與預拌混凝土協會(NRMCA)出版『水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比材料範圍^[2]。

典型新拌透水混凝土是零坍度，拌合水應嚴加管控，適當的配比混凝土具有黏性可結球形，不會產生垂流現象，表面較平滑，因此，工地加水

行為應嚴格管制與監督。

透水混凝土在目前為止並無成熟的設計方式，美國混凝土協會ACI 522R-06透水混凝土並沒有提供一套配比設計方法，僅說明簡易配比基準原則，如透水混凝土有工作性其水灰比應落在0.25~0.45之間，再使用試

誤與檢驗法求得配比；然而美國波特蘭水泥協會(PCA)與預拌混凝土協會(NRMCA)出版透『水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比的材料範圍，並說明美國混凝土協會ACI 211.3R零坍度混凝土配比設計方法可以作為透水混凝土配比設計程序。

二、建立透水混凝土之製程與試驗標準

2.1 建立透水混凝土之製程

透水混凝土組成材料主要包含有膠結材料、拌和水、骨材、摻劑。透水混凝土配比材料對用水量非常敏感，經常需要修正配比用水量。太多用水會造成泌水或垂流現象，並填塞透水混凝土連接孔隙；太少用水則會

造成材料在拌合機內團簇，並使得卸料速度減緩。太少的水量也會妨礙混凝土獲得適當養護，且可能產生表面裂縫。適當的配比混凝土具有高黏性可結球形，表面較平滑，如圖1所示，因此，工地加水行為應嚴格管制與監督。



圖1透水混凝土不同含水量是否結球行為：(a)太少水，(b)適量水，(c)太多水^[1]

典型透水混凝土主要是由水泥、粗骨材、一點或無細骨材、摻劑與拌合水等所組成零坍度與開放級配拌合料，硬固的透水混凝土內有連接孔隙系統，孔隙大小介於0.08吋至0.32吋（2至8mm）之間，如此將使水份容易穿越其中，美國混凝土協會ACI 522^[1]委員會提供透水混凝土之技術資訊，包括透水混凝土應用、設計方法、材料、性質、配比、製程方法、試驗與檢驗等，其中，經由配比設計實驗來達成透水混凝土重要的物理性質與力學行為，透水混凝土空隙率範圍介於18%至35%之間，典型抗壓強度範圍介於400至4000psi（2.8至28 MPa）之間，透水混凝土鋪面排水率因骨材尺寸與其壓密度有關，但一般排水率範圍介於2至18gal./min/ft²（81至730 L/min/m²）之間，即典型透水混凝土透水係數範圍介於0.16至1.22cm/sec^[1-2]。

透水混凝土之配比，除力學強度之外，一般透水係數為性能的重要指標，故進行配比設計實驗，應先求出預使用粗骨材之乾搗單位重，從而求出粗骨材中之孔隙率，之後，依據需求強度，填充少於總孔隙體積但不同體積含量的水泥漿體；使用水泥漿體填充孔隙體積的量，從總孔隙體積的30%至70%皆可，依據需求強度而定，當然，隨填充孔隙漿體之增加，其透水能力亦隨之大幅下降^[3]。另外，一般水灰比的選取以能充份包裹骨材而不產生垂流現象為原則，良好的水灰比區間可以透過實際拌和求得，通常介於0.25至0.45之間，再依據需求透水係數而定出漿骨比，經由試誤法試拌即可完成配比的設計。有關美國波特蘭水泥協會(PCA)與預拌混凝土協會(NRMCA)出版『水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比材料範圍如表1所示^[2]。

表1典型透水混凝土鋪面配比的材料範圍^[2]

	組成 (lb/yd ³)	組成 (kg/m ³)
膠結料(C)	450~700	270~415
骨材(A)	2000~2500	1190~1480
水灰比 (W/C, 重量)	0.25~0.35	0.25~0.35
骨材水泥比 (A/C, 重量)	4~4.5	4~4.5
細粗骨材比 (F/A, 重量)	0~0.5	0~0.5

典型新拌透水混凝土是零坍度，拌合水應嚴加管控，適當的配比混凝土具有黏性可結球形，不會產生垂流現象，表面較平滑，如圖1所示，因此，工地加水行為應嚴格管制與監督。

透水混凝土在目前為止並無成熟的設計方式，美國混凝土協會ACI 522R-06透水混凝土並沒有提供一套配比設計方法，僅說明簡易配比基準原則，如透水混凝土有工作性其水灰比應落在0.25~0.45之間，再使用試

誤與檢驗法求得配比；然而美國波特蘭水泥協會(PCA)與預拌混凝土協會(NRMCA)出版透『水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比的材料範圍如表1所示，並說明美國混凝土協會ACI 211.3R零坍度混凝土配比設計方法可以作為透水混凝土配比設計程序。

2.2 透水混凝土之施工

透水混凝土施工方式與一般混凝土大同小異，因細料含量稀少工作度較低（接近零坍度），水泥漿包覆骨材表面與空氣接觸量大，極易失去工作性，故施工要領應「迅速」進行施作，由於目前透水混凝土在鋪面工程上已使用甚廣，茲以鋪面工程作為施工主要流程說明，詳如照片1至照片3^[1]。

(1)澆置施工要領

a.運輸時間不宜過長預拌車至現場後需迅速澆置，透水混凝土工作度較低（接近零坍度），不適合泵送方式施工，為避免工作性喪失，可藉由預拌車尾端直接卸料澆置透水混凝土，或藉由輸送帶澆置透水混凝土。

b.若天氣太熱，則預拌車可至工地再加強塑劑拌合。

(2)攤平施工要領

a.預拌車需到達定位後再行下料，避免長距離移動拌合料。

b.在攤平階段，藉由耙子攤平透水混凝土，使完成面整

平，以利壓實後表面美觀及方便使用。

(3)壓實施工要領

a.不得使用高能量振動棒，最初可使用振動刮板進行搗實透水混凝土，再以滾筒採重力壓實方式進行，滾筒最小垂直壓力為10 psi（0.07MPa）。

b.滾筒之寬度應大於施工面寬度，一般3.7m(12ft)道面寬所使用大滾筒之重量約是270kg至320kg（600至700lb）如照片1所示；小區域鋪面可使用較小滾筒之重量大約是90kg至140kg（200至300lb）如照片1所示，縱向滾壓之後，可再進行二次橫向滾筒壓密透水混凝土，以改善鋪面騎乘品質如照片2所示。

c.角落外觀修飾必須在尚有工作度時迅速進行，如照片3以鏟刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀。

d.上述澆置、刮板攤平、滾筒壓密、修飾與工作縫處理應於透水混凝土混合料加水拌合開始計時至一小時內完成，若有使用緩凝劑或天氣濕冷許可條件下，可延長至90分鐘內完成。



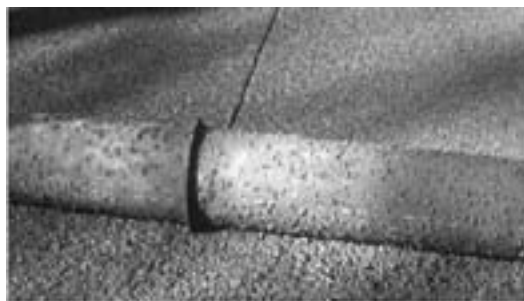
照片1 藉由滾筒壓密透水混凝土^[1]



照片2 藉由小滾筒壓密小區域透水混凝土^[1]

(4)切縫施工要領

透水混凝土伸縮縫可依一般混凝土施工方式事先留置，在施工完成後應於施工鋪面以3至6公尺距離切一道伸縮縫以防止熱脹冷縮，或於壓實完成後在未完成硬化前進行切縫，傳統混凝土鋪面鋸縫工具不能用於透水混凝土，一種特別設計滾筒切縫附有刀鋒，刀鋒約為1/4至1/3版厚，照片3所示為透水混凝土鋪面縱向切縫施作使用滾筒附有刀鋒。



照片3 滾筒附有刀鋒可以縱向切縫透水混凝土鋪面^[1]

(5)養護施工要領

當透水混凝土鋪面鋸縫施作完成後，應迅速進行養護，一般混凝土的養護常使用漫淹方式澆水在表面，透水混凝土之養護因孔隙率關係，水份無法保持在表面，故常以塑膠布覆蓋避免水份散失，初期淋水時水柱不得過強，一般要求透水混凝土鋪面滾壓夯實施作完成後，應於二十分鐘內進行養護，透水混凝土滾壓後使用塑膠布覆蓋養護鋪面，避免泥土、砂、鋸屑與細料污染或堵塞透水混凝土孔隙；一般要求透水混凝土鋪面應全程使用塑膠布覆蓋養護且至少養護7天後，方能對外開放交通。

2.3 建立透水混凝土之試驗標準

2.3.1 透水混凝土施工前檢試驗

有關土壤分析與路基透水性質對透水混凝土計畫影響特別重要，如同一般營建材料驗證透水混凝土鋪面的品質是非常重要的，首先對基層條件的測試，包括足夠的密度、承載值與透水性，方能有效的針對新拌混凝土與硬化混凝土兩者性質進行品質保

證的試驗（試驗項目包含單位重、厚度、透水係數與孔隙率等），有關土壤基層有很多ASTM與AASHTO試驗方法，但並非所有一般混凝土鋪面的試驗可適用於透水混凝土。基本上路基性質的試驗有粒徑大小分析（ASTM D422或CNS 11776）、土壤分類（ASTM D2487或CNS 12387 A3285）與土壤Proctor夯實試驗（ASTM D698或CNS 11777 A3252）等，藉由上述試驗資料可提供設計者必要的資訊，在透水混凝土澆置前，依據ASTM標準試驗有關壓密度程序方法應進行正常施作而不需要修正，此為正常品質管制的一部分。

2.3.2 透水混凝土施工中檢試驗

一般混凝土標準試驗項目包含單位重（密度）、坍度、含氣量、強度、透水率與其他性質等，並非所有的試驗可適用於透水混凝土直到新試驗標準發展完全。典型透水混凝土配比規定為最少水泥（膠結料）用量、骨材體積與級配（或漿骨比）、藥劑及水膠比限制，如表1所示提供一典型透水混凝土配比材料範圍。

有很多ASTM與AASHTO試驗方法可以應用於透水混凝土鋪面，但並非所有一般混凝土的試驗可適用於透水混凝土。

典型透水混凝土其單位重介於

100 lb/ft³與125 lb/ft³（1600 kg/m³與2000 kg/m³）之間，水灰比介於0.25與0.45之間，抗壓強度介於400psi（2.8MPa）與4000psi（28MPa）之間，其水泥（膠結料）與骨材比率以不產生垂流為原則。其施工中可以目視判斷是否垂流產生，並應進行新拌透水混凝土單位重之試驗，每天澆置混凝土至少應進行一次以上單位重之驗證，單位重試驗係依據ASTM C172與C29規範（CNS1174與1163）之規定進行，允收標準為設計單位重之±5 lb/ft³（80 kg/m³）之間。

2.3.3 透水混凝土施工完成後檢試驗

透水混凝土施工完成後檢試驗以鋪面混凝土為例，混凝土澆置至少七天後方能進行抽驗，抽驗數量以每75 m³取一組，鑽心試驗一組至少三個試體，試驗項目包含單位重、厚度與抗壓強度（目前ACI 522R-06並無抗壓強度驗收規定），單位重驗收標準為設計單位重之±5 lb/ft³（80 kg/m³）間，厚度驗收標準為平均厚度不小於設計厚度，且無任一鑽心試體厚度較設計厚度小0.5英吋（13 mm）。其他試驗包含抗彎強度與透水率等，有關透水率目前室內用定水頭試驗法，可計算出透水係數；而本研究發現新發展瀝青混凝土鋪面現地透水試驗也可適用透水混凝土現地試驗。

三、現地透水混凝土鋪面實驗區介紹

本研究現地透水混凝土鋪面實驗區位置在本校操場後面之第二停車場

如照片4所示，此停車場位於本校較偏遠區域，一般會停車於此者為本校進

修部在職學生，於停車場中間選取5.5公尺長×2.4公尺寬×0.3公尺深之停車格共計六格進行試鋪，如圖2所示，透水混凝土鋪面面積為14.4公尺長×5.5公尺寬，施作前先開挖土壤到適當的長寬高，利用鏟子、破碎機手工具、鏟土機及卡車進行開挖鋪面實驗區，並使用模版組立六個5.5公尺長×2.4公尺的停車格，於最底層先鋪上一層厚約5公分碎石級配，再於碎石級配上鋪築透水混凝土，現地透水混凝土試鋪之前，先於長生預拌混凝土廠進行試拌，試拌合格後於預拌混凝土廠內進行試鋪，試拌合格透水混凝土之配比如表2所示。



照片4 朝陽科技大學操場後面之第二停車場



圖2 現地停車格之示意圖

表2 試拌合格透水混凝土之配比

水灰比	0.31
骨材粒徑 (mm)	4.8
粗骨材 (kg/m ³)	1498
水泥 (kg/m ³)	344
水 (kg/m ³)	105
強塑劑 (kg/m ³)	2.3

四、現地透水混凝土鋪面透水結果與討論

現地透水混凝土鋪面之施作包括停車格（編號#1、#2、#3、#4、#5與#6共六個停車格）開挖、現地模版組立、底層鋪設礫石、透水混凝土澆置與刮平、大小滾筒壓密、塑膠布覆蓋養護、現地透水混凝土試體製作等，

當養護齡期達7天與28天時，即進行現地檢測包括現地透水量試驗與目視鋪面透水驗證試驗，來瞭解六個停車格透水成效等，試驗結果與討論如下所述。

日本規範排水性鋪裝技術指針之

現場透水量試驗方法為柔性鋪面透水瀝青混凝土現地透水性能力評估，首次被使用於剛性鋪面透水混凝土現地透水性能力評估與驗證。現地透水量試驗目的是測定現地透水鋪面的透水量，可做為現場品質管制或做為驗收之依據。經本次研究發現，現地透水量試驗確實可用於剛性鋪面透水混凝土現地透水性能力評估與驗證。

現地透水量試驗結果如表3所示，其中，混凝土的齡期已達28天，結果發現停車場#1停車格有一測點現場透水量796.8ml/15sec最低，其他五個停車格（#2至#6）現場透水量數據都很集中與平均接近1000ml/15sec或超過上值，每個停車格（#1至#6）現場透水量測驗點有4點，每個停車格現場透水量變異數不大約為4%，其中，#1停車格變異數較大為12.7%。藉由現地透水量試驗驗證停車場透水平均超過1000ml/15sec，其現地透水量約為日本排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗規範(400ml/15sec)要求之2.5倍。

目視鋪面透水驗證試驗是於現地六個停車格（#1至#6）使用自來水管將水量開到最大，分別目視每個停車格鋪面之自來水是否能完全透入鋪面中，自來水管透水驗證時間為約3分鐘，結果發現六個停車格均可通過目視鋪面透水驗證，另外，現地透水計算鋪面透水率是使用130公升水桶裝滿水，將裝滿水水桶之水倒在停車格鋪面上，目視鋪面透水情形，如照片5所示；結果發現停車格透水面積約6平方公尺，130公升水完全透入鋪面中之時間約6秒，則可以計算出透水率約

216.7 L/m²/min，上述符合典型透水混凝土的透水率介於120 L/m²/min至320 L/m²/min間，停車場現地透水效果不但良好，而且表面無裂縫產生，因此透水混凝土可運用於人行道、停車場與道路工程，它是一種綠環保鋪面材料。



照片5 滿水水桶之水倒在停車格鋪面透水情形

表3 停車場停車格現場透水量試驗結果

車格編號	透水量	車格編號	透水量
#1	796.8	#4	1153.8
	967.7		1176.5
	1071.4		1153.9
	1043.4		1071.4
#1平均值 (變異數)	969.8 (12.7%)	#4平均值 (變異數)	1138.9 (4.0%)
#2	1176.4	#5	1153.9
	1094.9		1071.4
	1121.5		1132.1
	1125.7		1081.1
#2平均值 (變異數)	1129.6 (3.0%)	#5平均值 (變異數)	1109.6 (3.5%)
#3	1147.2	#6	1098.9
	1096.9		1140.7
	967.7		1062.0
	1081.1		1162.0
#3平均值 (變異數)	1073.2 (7.0%)	#6平均值 (變異數)	1115.9 (4.0%)

單位（現場透水量）：ml/15sec

五、結論與建議

1. 日本規範排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗方法為柔性鋪面透水瀝青混凝土現地透水性能力評估，首次發現可用於剛性鋪面透水混凝土現地透水性能力評估與驗證。有關現地施作透水混凝土汽車停車格透水性良好，其現場透水量平均約為1000ml/15sec，均可滿足工地透水試驗規範標準400ml/15sec以上要求。
2. 停車場現地透水混凝土試驗經由目視與現場透水量兩種試驗評估，結果發現透水混凝土現地透水性能力良好，停車場開放車輛交通至今兩個月，並無龜裂或裂紋產生。
3. 新拌透水混凝土施工時，目視判斷是否垂流現象產生與其單位重試驗為透水混凝土現場品質管制首要的關卡。
4. 停車場現地透水混凝土施作評估與驗證，確實可運用於人行道、停車場與低交通量道路工程，應可多加推廣。
5. 未來應針對重交通量或港灣設施等交通工程探討研究，以利多方面推廣應用。

參考文獻

- 【1】ACI Committee 522 (ACI 522R-06)，Pervious Concrete，2006.
- 【2】Portland Cement Association，Pervious Concrete Pavements，2004.
- 【3】邱永芳、朱金元、張道光、黃然、張建智、葉為忠，「透水混凝土應用於交通工程之研究(1/2)」，交通部運輸研究所研究計畫成果報告（計畫主持人黃然教授），MOTC-IOT-95-H1DB007，2006。

花蓮海域的長波變形與解決花蓮港共振之初步研究

馬平亞 美國威廉瑪麗學院維吉尼亞海洋科學研究所 教授

蔡政翰 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系 教授

莊文傑 交通部運輸研究所臺灣技術研究中心 研究員

前言

自1991年起，花蓮港完成第四期擴建工程後，在特定颱風侵襲期間的港灣共振問題，一直困擾著港務局的工務與船務等相關管理單位。16年來，為探討引起港灣共振的相關課題，及為企思謀求可能的改善對策，除了港務局曾陸續委託國內相關學研單位進行專題研究外，國內不少學者專家，更自發性的組成研究團隊與學術論壇（參見國立交通大學張憲國教授所主持「台灣海岸環境系統網路研究室」之<http://ocean.cv.nctu.edu.tw/phpbb/>），以自主方式持續地投注人力與物力，進行相關課題的探討。本文即為最近期自發性研

究的最新成果，全文原係以英文撰寫，並已投稿於國際知名期刊：“海岸工程”(Coastal Engineering)，近期將刊出，原文標題為“Preliminary study on Longwave Transformation and Resonance at Hualien Harbor, Taiwan”，主要的論述重點，在重新檢視花蓮港的長波變形與港灣共振現象，研提可能的改善對策，並進行相關的數值模擬評估。而基於研究成果的有效性，因此，將原全文進行翻譯，籍期能廣泛分享研究心得與經驗，並提供從事後續研究課題與訂定未來對策方向的參考。

摘要

在花蓮港的近岸海域，針對100～170秒週期的自由長波，本文選取向離岸17公里及順沿岸45公里的大計算海域，採用20×20公尺高解析度的空間網格，應用自行研發之RIDE波浪變形模式，藉以探討國內研究已久的花蓮港港灣共振現象，並研提可能的改善對策。面對花蓮港近岸海域100～170

秒週期的自由長波，在模擬計算上，對於大範圍計算海域的選取，實為正確展現花蓮港港灣共振現象所做之必要考量，為此，本文尚設計一具1/10等海灘坡度及平直海岸線的理想化海岸地形，採用與花蓮港實際海岸相同的計算海域範圍及空間網格解析度，同樣應用RIDE波浪變形模式進行計

算，藉以進一步對照比較並詳細說明應用大範圍海岸地形進行實際港灣共振數值模擬計算之正確性與必要性。另外，針對兩種常用港灣共振改善對策的效果，本文首先係以理想化海岸地形進行評估，接著，再以實際海岸地形進行核驗，核驗結果顯示，改善

花蓮港之港灣共振現象，應以設置平行於海岸方向的一系列離岸堤加以因應，至於此一系列離岸堤之最佳配置，如：設置位置、堤長、與堤間距等，則仍有待進一步進行詳細研究以確認。

緒 論

花蓮港位於臺灣東部的中段海岸上，港口位置與現況港域配置，如圖1所示，自1991年完成第四期擴建工程後，每於颱風侵襲下，港域即經常必須面對港灣共振課題，並且會影響到港船舶之靠泊安全及進出港船舶的操航安全(Chien and Tseng, 1999; Hsiao et al., 2003)。圖2所示為在提姆颱風侵襲期間，花蓮港內第8、10、及22號碼頭區，經量測分析所得波浪在160秒週期所顯現高能量的明顯振盪，至於同期間在港外之長週期波動振盪能量大小，原可參考ST2測站之量測結果，惟在港外ST2測站之波動，由於當時係應用浮球式波浪儀進行量測，故在頻率小於0.03赫茲(hz)的低頻波動振盪能量，精確性較不佳，所以，在圖中港外之波動大小並未陳現。

對於引致花蓮港存在港灣共振現象的原因，國內學者專家(Su and Chen, 1995; Juang and Chiang, 2000; Kuo et al., 2002; Cheng and Tsai, 2004; Chen et al., 2004)之不同研究結果皆曾指出，其主要係因花蓮港的特殊位置及港型所造成。只不過往昔的研究並

未完全注意到過去所曾觀測到的港灣共振特性，此即是：160秒週期的波動，在港內第8、10、及22碼頭區約同樣具有甚大的振盪幅度；但是在100秒週期的波動，其振盪幅度在第8、10、及22碼頭區則不相同。

低頻波或亞重力波經常附鎖於短波之波群中。這類附鎖於短波波群中的亞重力波，可應用線性波理論加以估量(Longuet-Higgins and Stewart, 1964)。尤其是當波群行進至接近海岸處因淺化而發生碎波時，這些附鎖的亞重力波將會被釋放出來。Bowers (1975)之研究即曾指出：群波下的水位洩降變化(change of set-down)，因其具有長波的振盪型態，故可引致港灣共振。

僅管如此，由於花蓮港係直接面對廣大的太平洋海域，因此在特定颱風侵襲期間，外海海域仍可能存在非附鎖於短波群的自由亞重力波。當這些自由亞重力波自外海向花蓮港近岸海域傳播行進時，受港域鄰近特殊水深地形及港區幾何形狀與配置的影響所衍生的各種波動變形，因此將值得

特別審慎地加以檢視。惟鑑於以往數值模擬的研究，計算海域普遍僅約有10公里見方的範圍，相對於自由亞重力波的波長（深海160秒波動週期所對應的波長約可達15公里）而言，計算海域範圍實際上偏於狹小，因此，相關的研究結果可能無法充分陳現自由亞重力波傳播行進至花蓮港近岸並進入港內的一些重要波動變形特性與影響，為此，本文乃選用大範圍的計算海域，重新進行自由亞重力波入射花蓮港海岸的數值模擬研究，籍期能完全自然地陳現自由亞重力波在近岸之波動變形特性及其對港灣共振影響。

本文研究重點，不在於研究花蓮港海域亞重力波的來源及成因，而在

於探討當自由亞重力波源已存在，則其在近岸海域的淺化變形效應會對港灣共振所造成的影響。所以本研究的目標包括：(1)單純檢驗自由亞重力波源的變形效應，是否可能造成往昔在港域觀測所得的港灣共振現象；(2)探討可能的港灣共振改善方案，俾提供未來釐訂細部對策及研究方向之參考。配合上述的研究目標並為深入說明既有港域實際數值模擬的結果，本文尚設計了一理想化海岸並進行了一些長波變形與港灣共振改善方案相關的數值模擬，藉以闡釋及釐清在進行實際港域數值模擬中所發現的一些問題。

RIDE波浪變形模式

模擬計算港灣共振的數值模式，概略上可區分為三大類：(1)邊界元素模式，如Lee (1971)；(2)有限元素模式，如Chen and Mei (1974)、Houston (1976)、Woo and Liu (2004)；及(3)有限差分模式。其中，第一類模式，因其必須假設計算海域為等水深，故與第二及第三類模式特性具較大差異，所以在花蓮港的實際應用上，應非是最好的選擇；而第二類模式，雖然其可準確符合複雜的海岸及港型邊界特性，並透過元素尺寸的改變達成模擬計算效果，但本文作者目前尚無該類模式可供實際應用；至於第三類模式，因其可有效滿足大計算範圍且具細網格解析度的要求，故在實際應用

上是可以選用的，本文所應用的RIDE波浪變形模式即屬此類，其係由Maa et al. (2002)所自行研發，該模式可輕易對1000平方公里的計算海域範圍，以20公尺見方的細網格解析度進行近岸海域的波浪變形模擬計算。RIDE波浪變形模式的理論架構，係以延伸型的波浪緩坡方程式(Porter and Staziker, 1995；Chamberlain and Porter, 1995)為基礎，它不僅可用以模擬計算波浪的淺化、折射、繞射、反射、及因底床摩擦所引起的能量消散等效應，且曾成功地用於模擬Unluate and Mei (1973)及Ijima et al. (1981)等學者的港灣共振現象。僅管該模式對於無窮遠處開放海域邊界的波浪條件控制尚未能完全

掌握，不過Maa and Hwung(1997)曾證明，在實際應用時，只要模式計算海域相對於港灣尺寸的範圍夠大，因開放海域邊界的波浪條件控制不佳所產生的模擬計算誤差，是可以忽略的。至於其他有關RIDE模式的詳細討論及應用驗證等細節，可參見Maa et al. (2000; 2002)的相關研究。

針對100~170秒週期的自由長波，本文選取的大計算範圍如圖3所示，其中，向離岸的寬度為17公里，順沿岸的長度達45公里，並採用20 × 20公尺高解析度的空間網格，藉以能準確地的展現港型及港灣之配置。在此一大計算海域範圍內，其海側邊界的水深約達2000米，用以充分考量長波的變形效應與對港灣振盪的影響，至於南、北側開放海域的計算邊界，本文皆應用二階的無反射邊界條件，用以控制折反射，惟因無反射邊界條件只是二階近似，故當波動以甚大的入射角斜向入射時，在開放海域的人為邊界上，仍會有少許的反射波會被邊界反射進入計算海域，並造成波動傳播下遊區不可避免的干擾，為此，在大計算範圍內的花蓮港域，其位置之座落將佈置於遠離邊界8公里處，藉以減少人為邊界反射波之影響。

除此之外，在真實的海岸進行考量波浪反射的數值模擬，最困難的工作當屬海灘反射係數的訂定，因其通常是不易準確估計的。然而衡酌花蓮港南側海岸之特性可發現，該海岸大多具有一短段的海灘，海灘亦佈有小卵石、碎石砂礫、及岸崖，坡度約介在1/20至1/30間。若以全計算海域

之總體海岸特性進行反射係數的估計，假設其平均海灘坡度可以1/10為代表，則在此一陡坡的海灘地形上，面對100~170秒週期的自由長波，海灘反射係數必定甚大，但因無現場資料可供應用，故在本文研究中，考量實際合理性，全海岸的海灘反射係數設定為0.82，而港內碼頭及外廓防波堤，依據其結構型式，設定其反射係數為0.94。在RIDE波浪變形模式的計算應用中，反射係數並不直接設定，而以反射參數 $\alpha = (1 - \gamma) / (1 + \gamma)$ 先行轉換，故而在港內碼頭及外廓防波堤邊界上， $\alpha = 0.03$ ；而全計算海域的海岸邊界上，0.1。

在進行數值模擬計算之前，為入射波週期之決定，重新回顧圖2，由圖可看出，甚多的入射波頻率（週期之倒數）皆可能造成港灣共振，尤其是當入射波的週期大於100秒以上時，港灣共振現象將特別顯著。因此，本文外海的入射自由長波，所擬探討的週期將集中於100~170秒間。至於其對應的波高 H_o ，基於線性理論及碎波的避免，本文在所有的計算案例中，均取任意的一小值，並設定其為0.01公尺。至於入射波向，由於本海域目前尚無深海的相關資訊可供應用，但參考提姆颱風的案例，因外，選定深海的入射波向為東南向。

應用RIDE模式進行波浪變形模擬計算後，所得的結果主要係以波浪速度勢(velocity potentials)來表示，依據相關理論，應用波浪速度勢，遂可直接計算求出各格網點的波高、相位、及波向。僅管如此，因本模式係考量

波浪的反射過程，故而各格網點上，經計算所求得的波向，實際是無意義

的，故而本文以下將僅展現波高及相位角相關之數值模擬計算結果。

現況港域之數值模擬

本文現況海域自由長波的變形計算，深海波浪入射條件總計超過30種，各種計算條件的入射波高均設定為1公分，其中，東南向的入射波，週期分別包括：100秒、102秒、及136至170秒間，每隔2秒一個週期分段；160秒週期並加強東向及東北向的入射波計算。從計算結果可看出，各種不同的波浪入射條件，在花蓮港的南側海岸，皆展現出不同的波高變化型態，並在港內亦分別陳現出不同的港灣共振效應。以160秒週期之東南向入射波浪為例，其波高與相位變化的計算結果可得如圖4所示。圖中，因斜向波浪入射及邊界條件設定之影響，計算海域在大於30公里的模擬結果，波浪會向南繞射，故該海域的計算結果是不準確的；然而在大於8公里且小於30公里的有效計算範圍內，從波浪相位角由至零的空間梯度變化，很明顯地可判定出，計算波浪確實已展現從外海直接入射海岸，並沿海岸由南向北傳播之特性，關於此現象，後文將有更詳細的說明。

圖4中接近港口海域的詳細波高與相位變化的計算結果，如圖5所示。針對波高的分佈變化，首先觀察圖5a可見，在第10、8、與22碼頭區，及在內外港間的狹窄內航道與港口，皆可見波高放大率達10左右的甚大波高，在

第10、8、與22碼頭區的準確放大率，分別為10.1、9.83、與11.8。將此一港內不同碼頭區皆具共振放大特性的計算波高與圖2所示的實測分析結果相對照，可見彼此所顯示的現象是相符合的。另外，針對相位角的分佈變化，觀察圖5b可見，進入港內的波浪，大多係由外海入射，惟其有一部分係來自於沿岸方向。

另一對照的計算例，是設定波浪具100秒週期且從東南向入射，其波高與相位變化的計算結果則可得如圖6所示。針對波高的分佈變化，首先觀察圖6a可見，具有較大波高放大率的港內海域，僅存在於第8碼頭區及內港航道上，在第10、8、與22碼頭區的準確放大率，分別為1.93、10.43、及2.04。將此一港內不同碼頭區的計算波高放大率，再次與圖2所示的實測分析結果相對照，可見彼此所展現的港灣共振現象仍是相符合的。至於相位角的分佈變化，觀察圖6b並與圖5b相對照比較可見，進入港內的波浪方向，相對上顯得較複雜，但仍可陳現波浪從沿岸方向入射之重要影響性。

至於波浪其他不同入射週期之計算結果，具有較大波高放大率的位置，僅會個別存在於第8號碼頭區、第22號碼頭區、內港航道區、或港口入口處，或是前述位置中的兩處。而對

具有相同波浪入射週期之計算結果而言，入射波向的變化影響並不顯著，以同為160秒週期的入射波為例，當其分別從東南、東、或東北方向入射花蓮港海域時，計算波高與相位角的分布型態，實際上並無太大的差異。

對於計算海域範圍大小的影響，若僅應用圖3中虛線所框選向離岸寬度為12.5公里，順沿岸長度為22公里的海域進行同樣入射週期與波向的近岸波浪變形計算，則港口海域的詳細波高變化計算結果，將如圖7所示。與圖5相互對照比較可知，針對東南向的入射波浪，選用較小的計算海域範，

原來在第10與第8碼頭區及在內港航道區的高放大率波高將明顯降減，且僅在港口與第22號碼頭區可見相對較大的波高放大率。從此一明確地結果可充分說明，應用數值計算以正確模擬自由亞重力波在近岸海域的變形，選用足夠大的計算海域範圍是有其必要的。

此外，為能更清楚地判釋圖4所示波高與相位角變化型態所陳現之意義，以下將針對一等海灘坡度的理想化平直海岸，再次應用RIDE模式，重新進行自由亞重力波入射近岸海域所衍生變形的模擬計算。

理想化海岸地形之數值模擬

為提供實際複雜海岸計算波動特性判釋之對照參考，完全依據圖4所示計算海域範圍的大小及相同的空間網格解析度，建構一地形水深單純的理想化海域，並設定其具有平直的海岸線與1/10的等坡度海灘，海岸線上的反射參數 α 設定為0.1，其他的入射波浪條件與邊界條件亦皆遵循圖4的計算設定。另基於斜向波浪入射與南北側開放海域人為邊界條件的應用影響，計算結果將僅陳現 $\chi \leq 30$ 公里的有效計算海域。

針對160秒週期以東南向入射的自由亞重力波，在理想化有效計算海

域內的波浪變形數值模擬結果可得如圖8所示。觀察圖8a的計算波高分佈變化可見，在離岸方向，明顯存在有部分重複駐波的波動型態，波節點連線並平行於海岸線。形成此種特殊波動型態的原因，主要是因入射波浪為長波且海岸線上設定了高反射係數($\gamma=0.82$)所導致。而有關近岸波動傳播行進特性的判釋，理論上應從相位角的空間梯度變化著手，因此，依據圖8b觀察計算相位角的空間分佈變化可見，以東南向斜向入射計算海域的波浪，在近岸海域將變形為順沿海岸，並由南向北傳播行進。

港灣共振改善對策之數值模擬評估

海岸工程實務上，通常採取設置垂直海岸的突堤群及平行海岸的系列離岸堤群等二種硬性工法，籍以達成改變近岸波場的預期目標。在花蓮港近岸海域，為測試不同的近岸波場改變對策對自由亞重力波入射後所衍生波高與波向之變形影響，本文將應用RIDE模式，針對單純的理想化海岸地形，首先測試評估並說明其效果。

在圖8a的理想化計算海域內，佈建3支長度均為400公尺，方向垂直於海岸線的突堤群，採堤間距為2公里，並將其分別設置於 $x=18$ 、20、及22公里處。針對160秒週期的自由亞重力波以東南向入射後，所得有效計算海域內的波高與波向之變形，將與圖8所顯示之模擬計算特性完全一致。僅管本文未將計算結果圖列出，但從本數模擬計算的結果可明顯得知，建置垂直海岸線方向的突堤群，對近岸自由長波波場變形的影響甚微不足道，其效果是可忽略的。

但若在圖8a的理想化計算海域內，任選四個位置，佈建4支平行於海岸線的系列離岸堤群，每支離岸堤長與堤間距均取為1公里，堤之離岸間距均設定為360公尺，每一離岸堤的反射係數，皆比照海岸線，設定 $\gamma=0.82$ 。再次以160秒週期的自由亞重力波自東南向入射後，所得有效計算海域內的波高與波向之變形結果，如圖9所示。對照圖8並觀察圖9可明顯看出，採取系列離岸堤群的對策後，近岸波場的特性與型態，確實有極大的改

變，尤其在離岸堤與岸線間，並顯現有波高放大率甚大的共振現象，原存在於靠近岸線的部分重複駐波之波結點連線，並也已大幅度地向離岸方向推移。可見，適當的佈建平行海岸線方向的系列離岸堤群，確實可有效改變自由長波入射近岸海域後的波場結構，並影響其波動變形特性。

為進一步核驗在真實的花蓮港海岸地形水深上，佈建平行海岸線方向系列離岸堤群的效果，因此，以圖5所示的實際海海岸地形水深為基礎，採用相同的邊界條件設定，並任選三個位置，佈建3支平行於海岸線的系列離岸堤群，各別離岸堤的堤長各約為1公里，堤之離岸間距約為300公尺，其中，北離岸堤的堤身端點座標為(12.65 km, 1.95 km)_(13.52 km, 1.55 km)；中離岸堤的堤身端點座標為(14.3 km, 1.42 km)_(15.1 km, 1.42 km)；而南離岸堤的堤身端點座標為(16.2 km, 2.12 km)_(17.16 km, 2.3 km)。針對週期分別為160秒及100秒的自由亞重力波從東南向入射後，所得有效計算海域內的波高與波向之變形結果，如圖10所示。對照圖5與圖6並觀察圖10可明顯看出，不僅在花蓮港的港口外海域，近岸波場的波動振盪特性與型態有極大的改變，在港口內的港灣海域，原存在嚴重地港灣共振現象與多處碼頭區所陳現甚大的波高放大率，亦皆已大幅度的減小並獲得改善。以160秒週期的自由亞重力波從東南向入射後的港灣共振改善結果為例，參見圖

10a，在第10、8、與22碼頭區的準確放大率，將分別從原來的10.1、9.83、及11.8，大幅減小至1.45、2.99、及7.75；而對於100秒週期的港灣共振改善結果，參見圖10b，在第10、8、與22碼頭區的準確放大率，將分別從原來的1.93、10.43、及2.04，有效地減小至0.29、2.04、及1.85。

近年來，水利署為防治南濱海岸的沖蝕，曾在南濱海岸佈建一系列平行海岸的離岸潛堤，而離岸潛堤的實際佈建位置，可參見圖1，至於其在圖4計算海域地形中的對應位置，則約座落在 x 大於12公里且小於16公里的海岸線附近。透過私下的聯繫與瞭解，港務局相關人員曾指出，花蓮港的港灣共振現象，與以往的嚴重性比較，

似乎有較和緩的改善趨勢。以上的敘述說明，與圖10的計算結果相驗證，可確認採用系列離岸堤對策以改善或解決實際港灣的港灣共振問題是有效的。

目前，尚不清楚在平行海岸外設置系列離岸堤後，有關近岸波場將因而產生極大變化的原因，對於可能造成波場變化的影響因素，諸如：系列離岸堤的最佳建置數目，離岸堤之間隔與長度、堤之離岸間距、以及其他入射波浪週期的反應等，尚皆有待進行後續更多深入的研究以進一步釐清。然而，根據圖10的初步改善構想與計算結果，應可充分提供訂定未來對策方向與從事後續研究課題的重要參考。

討論與結語

一般的認知上，亞重力波的形成係因波群的非線性效應所引致，且其常附鎖於短週期的主要波動中，當短週期的波群傳播至近岸海域並發生碎波時，具有長週期特性的亞重力波因而將被釋放出來。不過，颱風波浪，由於其通常具有各種頻率的大小波動成分，因此，其包括特定的亞重力波成分且以自由波的形式存在並不足為奇(Tsai et al., 2006)。在深海，僅管此種自由亞重力波的波高僅有公分等級，能量甚微小，但當其傳播至近岸海域，其可能因淺化係數大於5的劇烈淺化變形而轉變成甚大的波動，另外，也因其波動週期甚長，故除了較

不會碎波外，尚容易被海岸反射而在岸際形成駐波型態，且當其斜向入射海岸時，波浪行進方向將轉變為順沿海岸線傳播，在此種情況，若計算海域範圍不夠大，則一些重要的近岸波動變形特性將可能因而漏失。

本文所計算展現160秒的自由亞重力波，當其從外海向近岸傳播行進的過程中，將有二種方式會對花蓮港的港灣振盪造成影響：其一為自外海直接入射的自由亞重力波，但其僅會在第22碼頭區造成中度的港灣共振衝擊，此現象的說明可參見圖7的數值模擬結果；其二為間接來自於沿海岸線方向傳播的自由亞重力波，其亦將會

在港內第10、8、22碼頭區及內港航道形成港灣共振，而綜合此二種衝擊方式則可形成強烈的港灣共振現象，見圖6的數值模擬結果。

總體合論，花蓮港的位置恰座落於具有沿岸傳播特性之近岸駐波系統的下遊區，因此，花蓮港在一般情況下，將可比擬為一具波動反射器(reflector)，而當其入射波的頻率恰符合反射器的自然振動頻率時，其將自動轉換成為一具波動共振器(resonator)，此亦即是圖4中，在鄰近海岸線附近之所以陳現為駐波節點連線的原因。此外，圖3中位於大於8公

里且小於15公里處的海岸岬頭地形，亦可能對具沿岸傳播特性之近岸駐波系統的反射造成影響。

面對斜向入射的自由亞重力波在近岸所形成的駐波振盪系統，僅管採用系列沿岸的離岸堤群佈置可明顯地改變近岸駐波振盪系統的特性與型態，並可大幅度地消滅既有的港灣共振現象，但有關系列沿岸離岸堤群的最佳化配置及其對其他各種波動頻率所可能導致港灣共振現象的消滅效果評估等課題，仍有進行後續深入研究的必要。

謝 誌

本文研究之完成，感謝張憲國教授、陳冠宇教授、許泰文教授、徐進華博士、林立青博士對本文應用RIDE模式模擬結果所提供之意見及建議；

同時，也感謝交通部運輸研究所港灣技術研究中心曾相研究員對實測資料之提供。

參考文獻

Bowers, E.C., 1977. Harbour resonance due to set-down beneath wave groups, *Journal of Fluid Mechanics*, 79-1, 71-92.

Chamberlain, P.G. and Porter D., 1995. The modified mild-slope equation, *Journal of Fluid Mechanics*, 291, 393-407.

Chen, G.-Y.; Chien C.-C.; Su C.-H. and Yseng H.-M., 2004. Resonance

induced by edge waves in Hualien Harbor. *Journal of Oceanography*, 60, 1035-1043.

Cheng, C.-C. and Tsai C.-H., 2004. A study of resonance in Hualien Harbour using Boussinesq model. *Proceedings of the 26th Ocean Engineering Conference in Taiwan*, 167-174 (in Chinese).

Chen, H.S. and Mei, C.C., 1974.

- Oscillations and Waves Forces in an Offshore Harbor, Ralph M. Parsons Laboratory, Report No.190, MIT.
- Chien, C.-C. and Tseng S.-M., 1999. The studies of the characteristics of typhoon waves at Hwa-Lian Harbour. Proceedings of the 21th Ocean Engineering Conference in Taiwan, 55-62 (in Chinese).
- Guza, R., Thornton, E. and Holman, R., 1985. Swash on steep and shallow beaches. Proceedings of the 19th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, 708-823.
- Henderson, S.M. and Bowen, A.J., 2003. Simulation of dissipative, shore-oblique infragravity waves. *Journal of Physical Oceanography*, 33, 1722-1732.
- Hsiao, D.-H.; Fang J.-S. and Hsiao C.-H., 2003. A review on harbor oscillation of Hualien Port, Proceedings of the 25th Ocean Engineering Conference in Taiwan, 889-896 (in Chinese).
- Houston, J.R., 1976. Numerical Modeling of Resonant Oscillations in Deep Draft Harbors. Final Report, U.S. Army, Corps of Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MISS.
- Ijima T.; Yoshida A. and Nagata S., 1981. Numerical Analysis of Wave Height Distribution in a Harbor of Arbitrary Geometry. *Memoirs of Faculty of Engineering, Kyushu University*, 54(2), 79-86 (in Japanese).
- Juang, W.-J. and Chiang C.-C., 2000. Resonance induced by infragravity waves in Hualien Harbor and prevention strategy. Proceedings of the 22th Ocean Engineering Conference in Taiwan, 578-585 (in Chinese).
- Kuo, Y.-Y.; Lin M.-Y. and Tseng H.-M., 2002. A study of Harbor resonance in HuaLien Harbor. *Journal of Ocean Engineering, The Taiwan Society of Ocean Engineering*, 2(1), 55-71 (in Chinese).
- Lee, J.J., 1971. Wave-Induced Oscillations in Harbors of Arbitrary Geometry, *Journal of Fluid Mechanics*, 45, 375-394.
- Longuet-Higgins M.S. and R.W. Stewart, 1964, "Radiation Stresses in Water Waves; a Physical Discussion with Applications," *Deep-Sea Research*, 11, 529-562.
- Maa, J.P.-Y. and Hwung H.-H., 1997. A wave transformation model for harbor planning. *Proceedings, Waves '97*, 1:256-270.
- Maa, J. P.-Y.; Hsu T.-W.; Tsai C.-H. and Juang W. J., 2000. Comparison of wave refraction and diffraction models. *Journal of Coastal Research*, 16(4), 1073-1082.
- Maa, J. P.-Y.; Hsu T.-W. and Lee D.-Y., 2002. The RIDE model: an enhanced computer program for wave transformation. *Ocean Engineering*, 29 (11), 1441-1458.

- Porter, D. and Staziker D.J., 1995. Extensions of the mild-slope equation. *Journal of Fluid Mechanics*, 300, 367-382.
- Schaffer H.A. and Jonsson I.G., 1992. Edge wave revisited. *Coastal Engineering*, 16, 349-368.
- Su, C.-H. and Chen M.-T., 1995. Numerical simulation of harbor resonance in Haw-Lien Harbor. *Proceedings of the 17th Ocean Engineering Conference in Taiwan*, 113-129 (in Chinese).
- Tsai, C.-H.; Tzang, S.-Y.; Hsiao S.-S.; Cheng C.-C. and Li, H.-W., 2006. Coastal structure failures and coastal waves on the north coast of Taiwan due to Typhoon Herb. *Journal of Coastal Research*, 22(2), 393-405.
- Unluate, U. and Mei, C.C., 1973. Long wave excitation in harbors - an analytical study. Rep. No 171, Parsons Lab. MIT, Cambridge, MASS.
- Ursell, F., 1952. Edge waves on a sloping beach. *Proceeding of Royal Society, London A*, 214, 79-97.
- Woo, S.B. and Liu, P.L.F., 2004. Finite-Element Model for Modified Boussinesq Equations. II: Applications to Nonlinear Harbor Oscillations, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 130(1), 17-18.

附圖

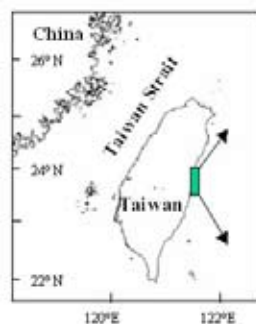


圖1 花蓮港的地理位置及現況港域與鄰近的海岸地形。

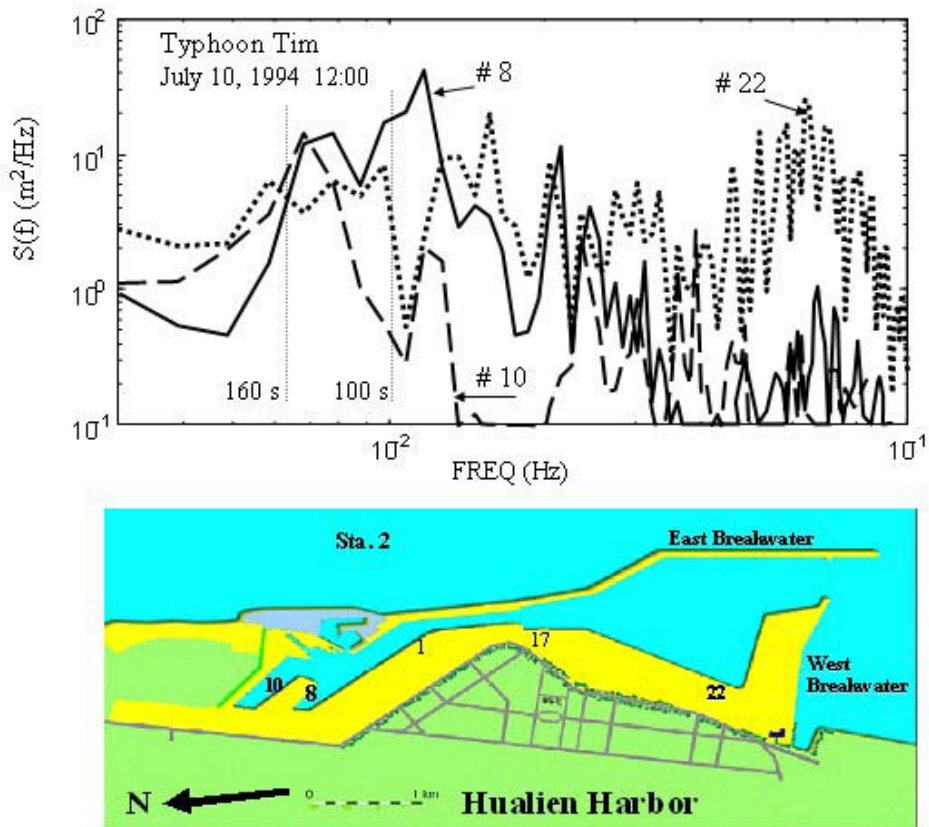


圖2 花蓮港提姆颱風侵襲期間(1994/07/10 12:00)各碼頭區之實測波浪頻譜分析結果（上）與港內配置的各碼頭區位置（下圖）。

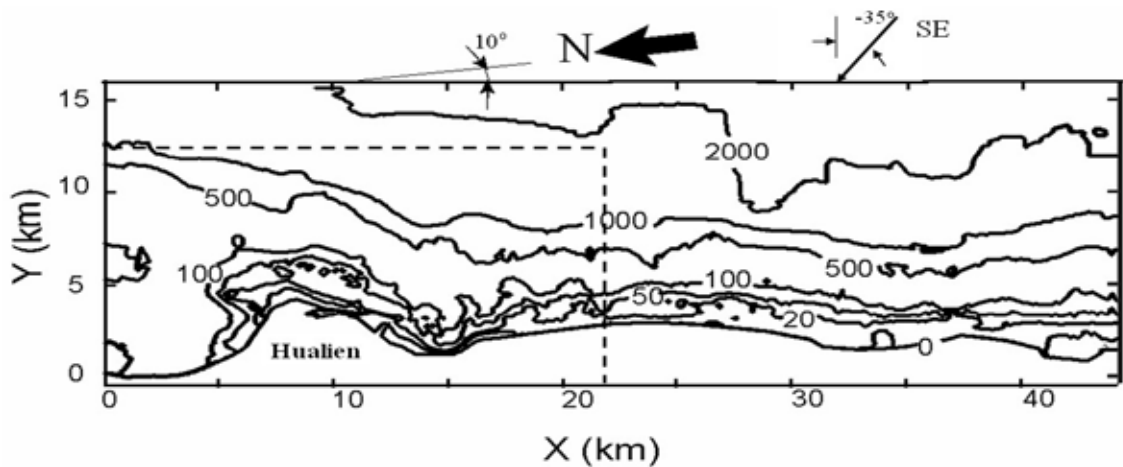


圖3 花蓮港長波變形數值模擬之計算海域範圍與地形水深。水深等值線的單位為公尺，港灣座落於圖中的左下部分，虛線框格為對照比較的小範圍計算海域。

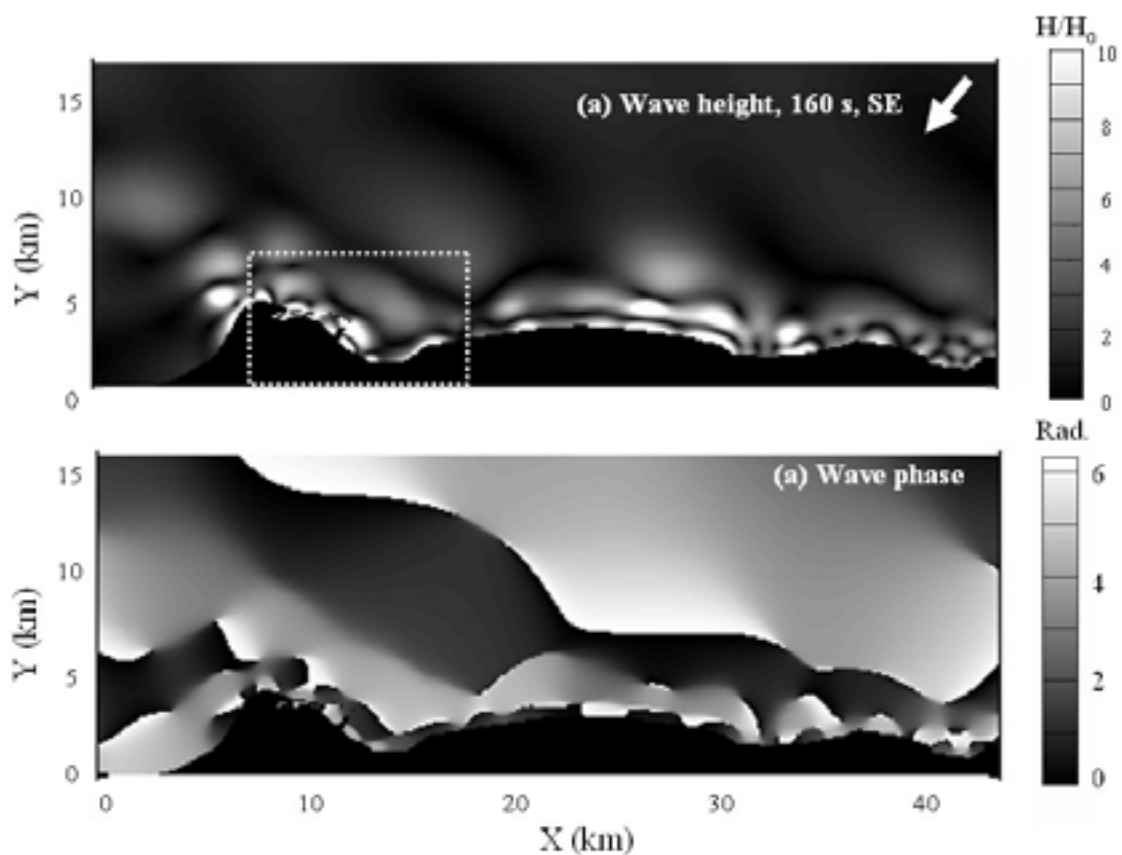


圖4 應用RIDE模式於大範圍計算海域針對160秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之波浪變形結果。其中，深海入射波高為1公分，上圖為波高放大的空間變化分佈，下圖為波動相位角的空間變化分佈。虛線框格範圍為後續細部計算結果的展現海域。

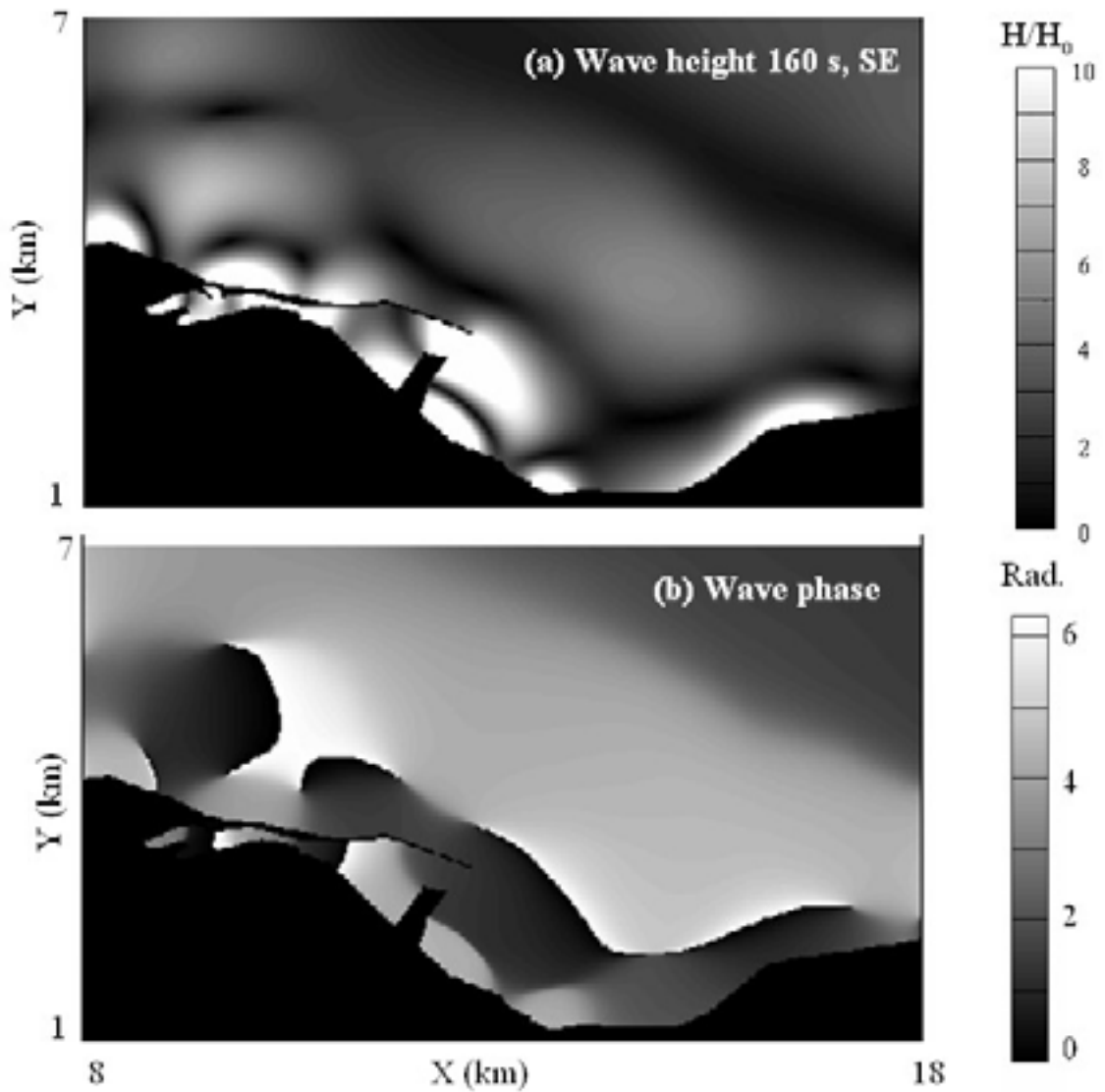


圖5 應用RIDE模式於大範圍計算海域針對160秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之詳細波浪變形結果。其中，深海入射波高為1公分，上圖為波高放大率的空間變化分佈，下圖為波動相位角的空間變化分佈。本圖為圖4中虛線框格範圍之細部計算結果展現。

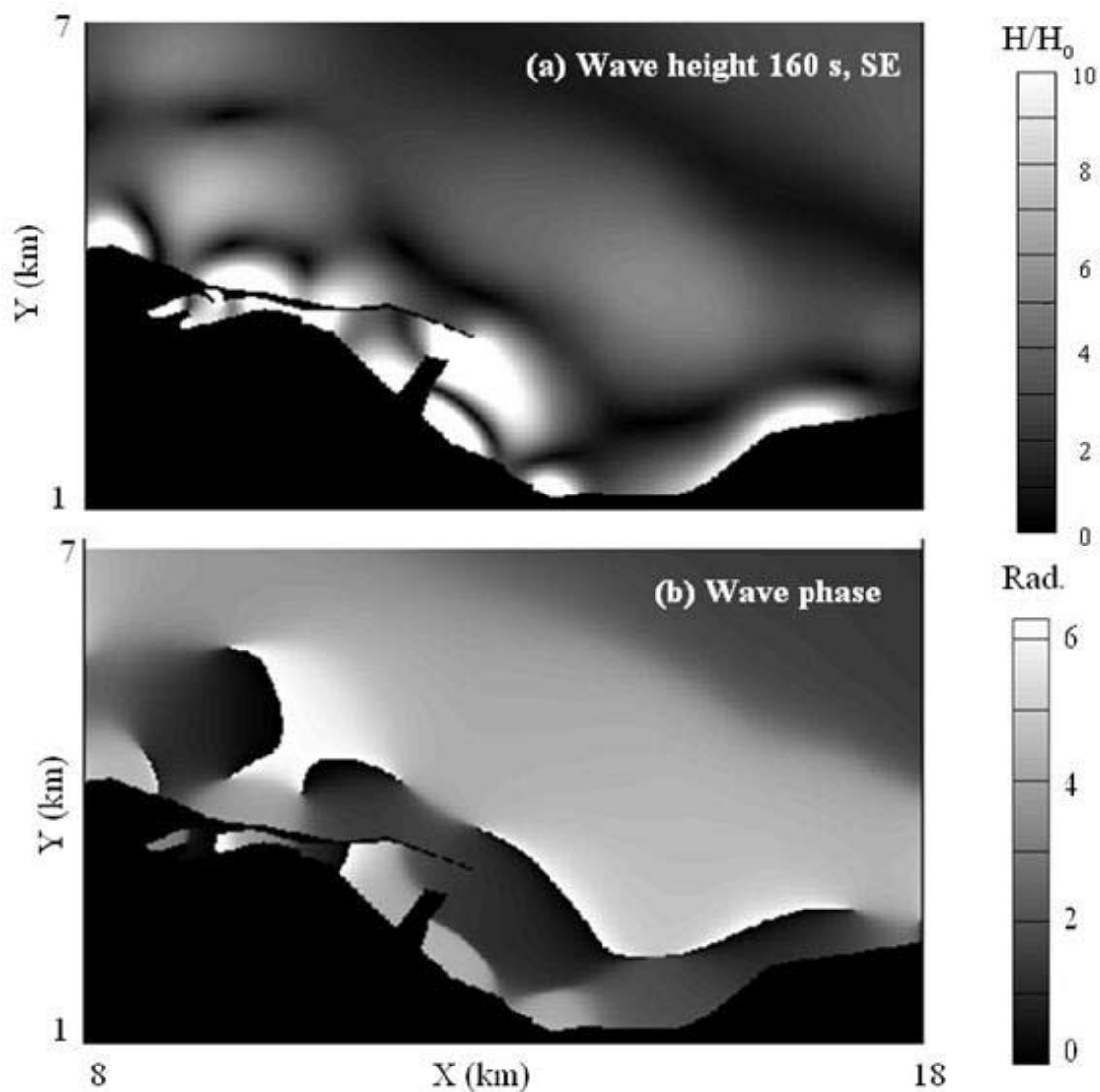


圖6 應用RIDE模式於大範圍計算海域針對100秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之詳細波浪變形結果。其中，深海入射波高為1公分，上圖為波高放大率的空間變化分佈，下圖為波動相位角的空間變化分佈。本圖為圖4中虛線框格範圍海域之細部計算結果展現。

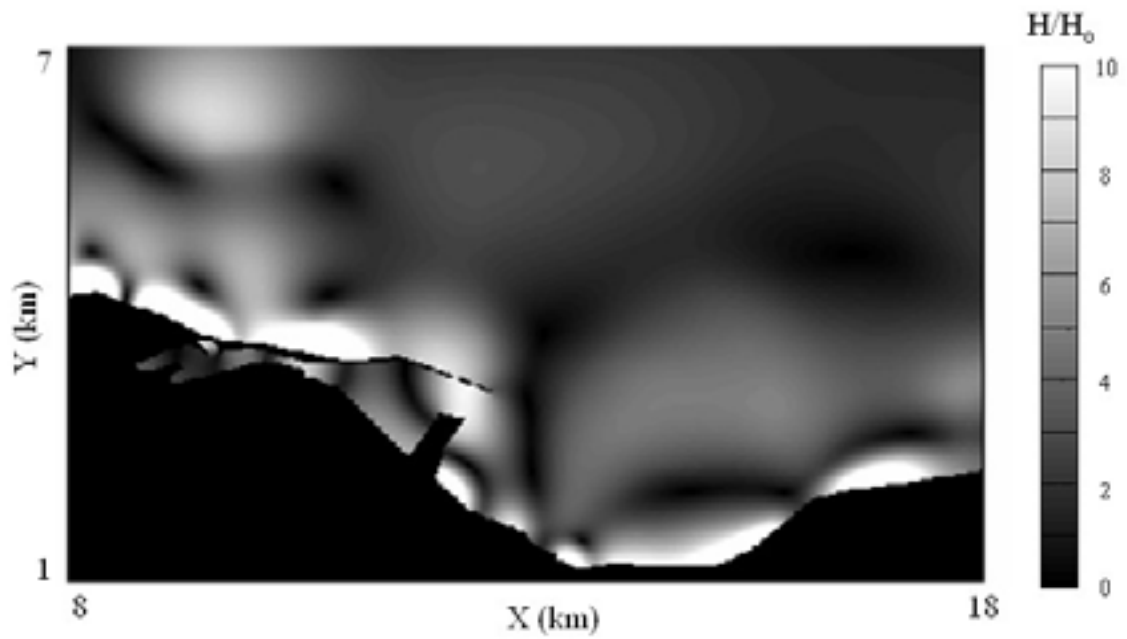


圖7 應用RIDE模式於圖3虛線所框格較小範圍之計算海域針對160秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之詳細波高放大率的空間變化分佈結果。其中，深海入射波高為1公分。

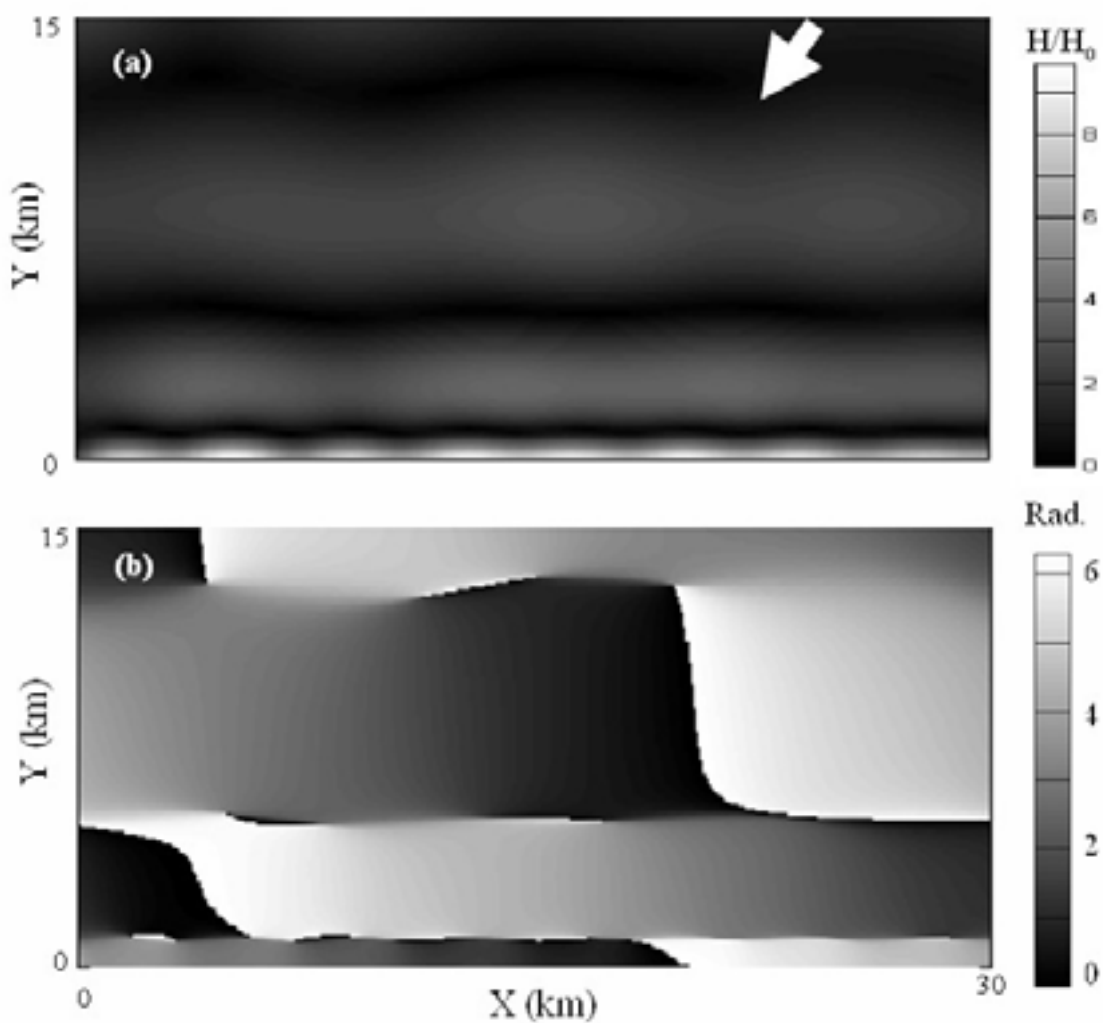


圖8 應用RIDE模式於大範圍的理想化海岸計算海域針對160秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之詳細波浪變形結果。其中，深海入射波高為1公分，上圖為波高放大率的空間變化分佈，下圖為波動相位角的空間變化分佈。

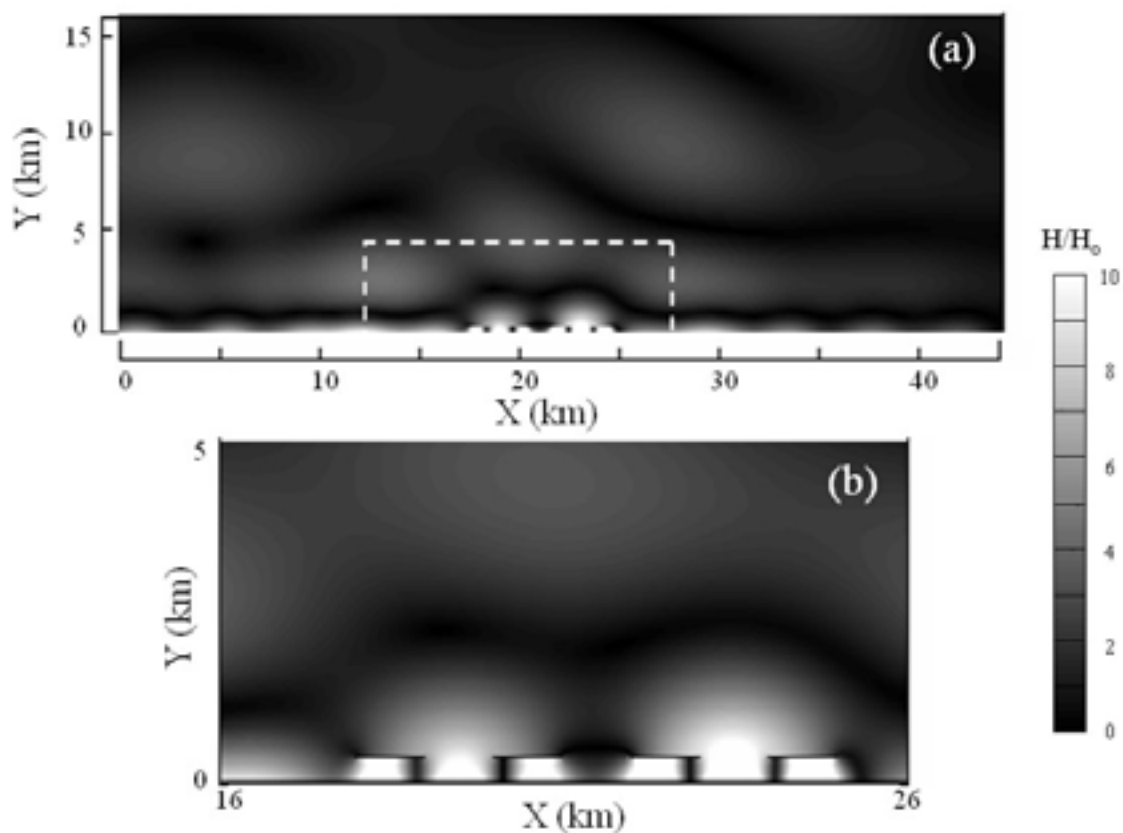


圖9 在理想化海岸的大範圍計算海域內建置4支離岸堤針對160秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之詳細波浪變形結果。其中，深海入射波高為1公分，上圖為波高放大率的空間變化分佈，下圖則為上圖虛線框格區內的詳細波高放大率的空間變化分佈。

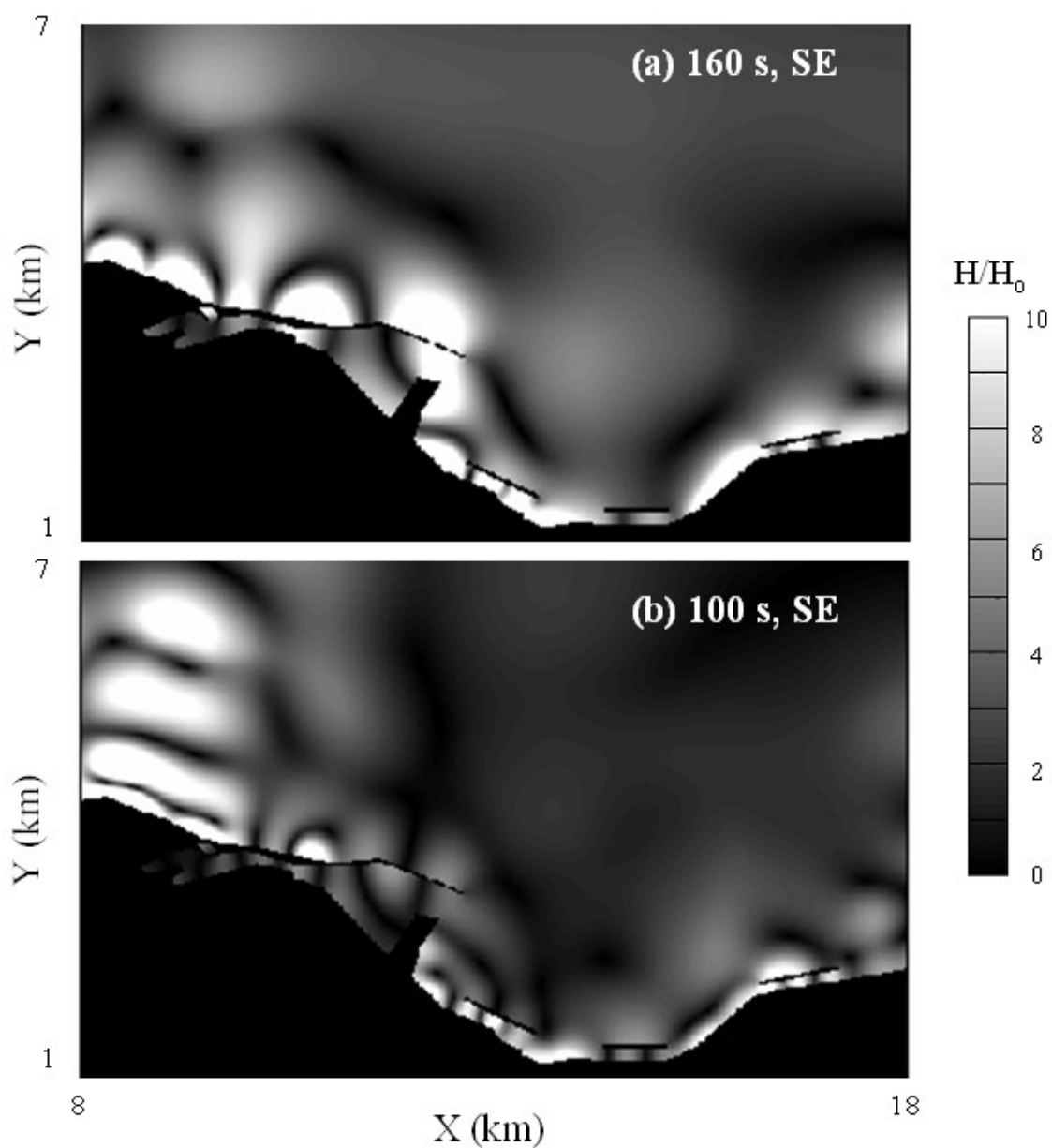


圖10 應用RIDE模式於大範圍計算海域並佈置3支離岸堤分別針對160秒及100秒週期以東南方向入射的亞重力波計算所得之詳細波浪變形結果。其中，深海入射波高為1公分，上圖為160秒週期之波高放大率空間變化分佈，下圖為100秒週期之波高放大率空間變化分佈。

穿越北極海之海運航道能否開通及其衍生之效應

陳文樹 中華郵政公司高級技術員

一、溫室效應北極冰層融化

由於溫室效應、地球暖化帶致的衝擊，經由多國地理、地質專家們組成之「國際極地研究中心」(IARC, The International Arctic Research Center)的調查探勘可以發現到，近10年（1997~2006）來的北極海(the Arctic Ocean)冰層，已有8%因為溫度升高而融化，且還將以更快速的步調持續惡化中。從IARC所顯示的歷年來衛星拍攝圖片即可明瞭，北極海域的冰層在過去20年間變薄近乎四成，另

據長期性的統計資料顯示，在廿世紀末期階段的全球氣均溫，較諸同世紀的初期階段上升了攝氏0.6度。但若人類無法節用能源以降低溫室效應，則當屆臨2100年時，全球氣均溫的上升幅度，將遠多倍於廿世紀者，地球的南北極勢必會有更多的冰層面臨融化之惡運，全球的海平面亦將升高數十公分，許多海島和陸域的沿海地帶恐將遭到淹沒，此乃是人類必將自食惡果的一項浩劫。

二、北極海「公海化」

北極海面積約為12,260,000平方公里，周圍環列有俄羅斯、加拿大、挪威、美國阿拉斯加州與丹麥格陵蘭島等五個國家的疆域或屬地，若非長年被冰層封鎖阻擋，早即已是歐、亞和北美三大洲的交通樞紐。然而，這一在往昔所難預料、今則必須審慎面對的是，極受世人擔憂的溫室效應和高緯度極地區冰層迅速融化的問題，使得原本終年冰封、船舶無法通航的北極海海域內諸條航道，已可望日漸開通，未來倒有可能會成為夾處於歐、亞和北美數洲之間，地理位置極為重要的航行海域；此外，蘊藏於北極海

的漁產和石油、天然氣等豐富自然資源，亦將成為各國紛相覬覦的目標，冰層底下容或蓄存有多達數千億美元的商機。有朝一日，若真的能在該片廣袤的海域開闢出可供商船通行的航路，嗣後全球海運航道必會隨著發生明顯的變化，例如舉世著名的蘇伊士運河、巴拿馬運河暨船舶通航極為頻繁的紅海航道和東南亞航道（又以麻六甲海峽為首要航行區段），重要性俱將遽減，進而牽連到各國設立艦隊以掌控海域安全的戰略部署。惟北大西洋和北太平洋的相關周邊國家，亦不樂見美俄加等強權大國，好似如虎

添翼般的瓜分這片現為國際上飽受關注的海洋，這些周邊國家認為基於地緣關係至少也應握有對北極海的適當

控制權，另有更多的國家則主張應將北極海「公海化」，讓世界各國的船舶皆能獲享自由航行的權利。

三、西北航道試驗性航行

位於北美大陸和北極群島間，東起加拿大巴芬島(The Baffin Island)、西至波弗特海(The Beaufort Sea, 在阿拉斯加和加拿大育空大冰原北方之緣海)，由哈德森海峽(The Hudson Strait)等眾多海峽串組而成，全長1,450公里，主要海峽水深305公尺的「西北航道」(Northwest Passage)，又比北極圈內之另外兩條航道--北極航道與北海航道，備受各國的重視，從海洋的主權觀點而論乃是加拿大所擁有的領海。航運界另亦有對於西北航道提出廣義界定者，乃是指東起格陵蘭、經加拿大北部北極圈內諸群島，再循阿拉斯加北岸往西延伸的航道，為北半球連通大西洋和太平洋之間距離最短的捷徑。過去，西北航道每年有近約九個月的期間，海面上係被巨大的冰層覆蓋，並有近半的航道全年遭到漂浮不定的冰山所阻擋而難以通

行船舶，但長久以來依然仍有海運業界嘗試於夏季冰層較少時期，經由西北航道從事航運，以求降低運輸成本兼可縮短海運時程。1969年8月，一艘重約15萬噸、名為曼哈頓號的輪船，終於克服萬難，於歷經80天的航程後，首度成功完成航行西北航道的商業海運壯舉，也證實了該條西北航道確實有供作商業通航的可行性和優勢條件，但是欲期船隻航行其間畢竟是過於魯莽，一旦撞及冰層，恐將如同鐵達尼號郵輪一般的葬身大海，故數十年來僅能偶而似如冒險般的賈勇試行，未可即將西北航道視為可供通行的正式航道。西北航道若是果真由於地球暖化、冰層消融以致得令船隻暢行無阻，則純就舉世遠洋海運的狹隘立場言之，卻係一個開創北極圈海運航線的嶄新契機。

四、「西北航道」縮短亞歐航程

美國加州海洋研究院海事部主任--杜納曾於2006年8月表示，當前亞歐兩洲的遠洋航線大約為18,000~21,000公里，假使西北航道得以全線暢通，則上述的遠洋海運航程

將可縮短至11,000~14,000公里左右，全部的航程當可比繞道巴拿馬運河減少7,000公里，蘊涵有甚為可觀的經濟效益。英國海事專家--沃德姆斯亦宣稱，若地球暖化仍被各國漠視不理的

話，本條航道的通航可能會於10年內實現，本係嚴重惡化地球環境生態之效應，卻意外的促成了北極海西北航道的開通，使得歐洲和東亞、西北美洲之間的海路，將得縮短約莫三分之一的航程。

倘若係自倫敦前往日本，現行航線大都是航經過地中海、通過蘇伊士運河，再行經印度洋、南海、東海和太平洋而到日本，全長20,300公里並需耗時35天，而取道北極海的新航線則僅長13,000公里，且只消耗費22天

的光景。另外，加拿大東北方瀕臨哈德森灣處原有一座荒涼偏僻、人口數僅千餘人，取名為邱吉爾(Churchill)的小漁村，其已廢棄的海岸港埠設備及用地竟在1997年時，為一位預料當地將可成為未來西北航道重鎮的美籍商人--布洛，以象徵性的7美元低價購下；不過，布洛考量到倘若局勢真能如其事先妙算之變化，則日後將再投注資金裝置營運設施，斯時躍為全球極具重要性的西北航道，可為其帶來每年逾億美元的營業額。

五、「西北航道」冬季冰層封凍

目前的西北航道即使在夏季仍會有冰塊或冰山漂浮其間，這些浮冰視形體大小每日平均是以12~16公里的速度移動，對船舶照樣具有相當的威脅；時序邁入冬季後，西北航道仍會遭到冰層封凍，除了破冰船能航行於部分航段外，一般的船舶根本無法通行。因為西北航道的主要部分係被劃入於加拿大境內，為應對此一頗有可

能形成的新趨勢，加拿大國防部遂宣示將裝設新型雷達來擴增所偵測之範圍，並藉由研發以無人航空器巡弋該航道的周邊領空，強化加拿大在西北航道兩側出入口暨北極圈內領域的主權地位，所有必須行經加國境內西北航道區段的船舶，無論是屬於何家航運公司，皆應獲有加拿大當局的同意方可航行。

六、「西北航道」航道維護

除了有不少國家認為西北航道係各國船舶均有通行權的國際航道以外，另一要項乃是在此一主張之下，如何分攤經費以從事航道的開發和維護，因為縱然爾後西北航道可供商船通航，但航道兩側陸地上仍舊會有巨大的冰塊繼續滑入大海，以致並非就

不會再受到冰層的阻礙；而且，航道上散布有難以盡數的不明暗礁、淺灘和沙洲，惡劣的環境和嚴寒的氣候，屢屢對航行於各處海峽的船隻造成潛在的重大威脅。再者，源自河川或海灣的暖流流動至冰冷的北極海域，所產生的濃霧又屢令船員視線不清，一

旦雷達或相關的引導設施無法全面發揮功能，船舶勢將有撞及冰山的危虞。有鑒於此，在擴大利用西北航道之前，應有國際性的海事組織出面籌措龐大的資金，建設具完整配套的先

進導航、救援防災及檢測勘查用之設施，國際組織同時應協同主要的領海權利主張國，建置一支專屬而精良的海岸警衛隊，確實保障船隻通行於航道上的便利安全。

七、俄羅斯規劃另條「北極航道」

在俄羅斯猶然存在的年代即已詳細規劃、並定期派遣船艦駛於其上的另條「北極航道」，則是起自莫曼斯克(Murmonsk)，輾轉航經西伯利亞外海，最後抵臨阿拉斯加與白令海，因為海象險惡的緣故，多年來每年僅有150~200萬噸的運輸量。事實上，試航演練和藉之宣揚主權國聲威的作用，係大於真正的海運效益。如今，則因北極海冰層急遽溶蝕，海面湧漲、航道加深，遂已漸漸的轉變為幾近全年皆可通航的海上走廊，顯著縮短其航往歐亞或西北美洲等之洲際里程。茲以往來於德國漢堡及日本橫濱的航距為例，穿越本條北極航道的話，得較現前行經蘇伊士運河之行程縮短近約一半，耗費之時間亦相對的減少10天左右，使當年原係難以發揮運輸效益的航線，一躍而為身價扶搖直上的海運新動脈。

北極海海域內愈行暢通的航道，

就國際海運界來說是一「建築於地球環境生態惡化」之上的意外收穫，且亦不乏業者提出將進行投資、劃設漁場從事捕撈，或進行勘查以開採該海域中的海底石油和天然氣（註一）；當然，日後北極航道能否開通以供各國船舶航行，尚須取決於俄羅斯的態度，俄羅斯一直認為該航道的主要區段係位於其領海之內，即使願意開放恐怕也將比照蘇伊士運河或巴拿馬運河般的，對於行駛其間的船隻收取通行費。而北極海的海水溫度上升，卻也讓當地海域內的漁業再度展現新契機，像是阿拉斯加緣海的鮭魚群便再度湧現，白令海的鱈魚、鮭魚、比目魚以及螃蟹之數量也似有增多之趨勢，或許是因為水溫的上升吸引了原本在鄰近海域洄游的魚群變更游動路線，改於該處集群洄游，美俄兩國的漁捕產業亦正密切觀察此等變化。

八、環保生態界人士反對北極海域開放通行船舶

在北極海海域的開放通行船舶上，原即對於極地冰層消融現象並不

樂見或顧慮良深的環保生態界人士，又持有和海運界大相逕庭的看法，他

們擔憂新航路會更進一步的帶來大量和無法排除之人為污染，所有生存於北極圈內的動植物恐皆不免受到波及，而魚蝦類、海豹類、鯨豚類和北極熊的生存尤將面臨最直接的威脅，久居該區域並素以漁撈捕獵為生的愛斯基摩族群，也將連帶受到戕害。從長遠的食物鏈體系來研判，生長於北極冰層下方、為北極圈內魚類喜以覓食的海藻將先因為冰層融解、週遭環境改變而失去生命，繼而損及食藻魚蝦類、肉食魚類乃至於海生性哺乳類動物的生存；而居於食物鏈上層，喜

於堅硬冰層生活棲息的北極熊，更將因為北極海域冰層的次第融解而往低緯岸地移徙，最終則易迫於無法適應以致相繼死亡滅絕。而航行於當地海域的船舶，若是發生沈船、漏油等海難事故，造成的危害必將遠甚於其他的海域，施行救援或從事復建亦困難甚多。上（廿）世紀末美籍船舶--埃索號油輪，在阿拉斯加近海岸處發生的漏油事件，乃殷鑒不遠的警惕，這些嚴重衝擊生態的劫難，當非從海運效益或經濟層面獲享的利益所可挽回補救者。

九、北極海邊緣五國瓜分北極海

基於國際間領海和經濟海域的公海規範及認知，瀕臨北極海的五個國家自然有聲明擁有部分海域之權利，但因有不少的海域係互相重疊，且現今北極海畢竟仍有極大部分的海域係屬於公海，因此各瀕海國家乃按照聯合國海洋法公約的相關規定，引用對其有利的海床測繪結果作為憑證，力圖將海洋水域儘能劃入為其經濟海域（註二）。例如，北歐的丹麥對此便是不遺餘力的積極爭取，由於位處北

極圈內且為舉世最大島的格陵蘭係其屬地，因而丹麥乃耗費巨資，於格陵蘭島四周從事精密準確的海床探測，希望以之為憑據，瓜占大片的北極海域；其他國家倒也不遑多讓，競相進行同樣的探測，以便為搶占北極海域取得強固的利基，這些國家另則又似默契一致的先後向聯合國提出擴大領海的要求，但因舉世各國之間亦未有定見，迄今遂尚未能達成具體結果。

十、美國立場未定存

在美國方面，因為美國國會猶未通過接受聯合國海洋法公約，以致未能具備爭取擴大領海的立論基礎，而對擁占北極海海域的政策似仍未甚

明確，是否會在丹麥等國的刺激下而改弦更張，加入爭奪北極海海域的行列，尚待國際間的縝密留意。但就全球絕大多數的國家而言，則期待地緣

位置極為特殊的北極海，應儘可能的保持為公海，使各國的海運業界能夠均沾其惠；或是祈望整個地球的暖化效應及早趨於停止，讓北極海維持目前的原狀，而無需開闢可穿越其間的新航道，蓋大自然整體環境生態的重要性，終究比海運航行上的快速便利大得甚多了！

註一：挪威政府便已預定斥資88億美元，在其國境之北極圈內城市--亨墨菲斯(Hammerfest)，興建一座大型綜合社區，同時作為前進北極海的基地，並準備大舉開採座落於巴倫支海(The Barents Sea)的天然氣田。美國則對此項開採計畫表示支持，甚至出面協助挪威與俄方談判俄、挪兩國之

間的領海爭議，並冀望挪威苟能開採得到天然氣，能優先售予美國，俾減輕美國對中東國家的仰賴。除了天然氣以外，巴倫支海的石油蘊藏量也極為豐富，因此俄羅斯與挪威兩國投資開採油、氣的業者，已經成為國際石油公司競相爭取的合作對象。

註二：該公約之第76、77兩條即載明，瀕海國家可將其海岸線外200哩（370公里）的範圍劃定為大陸棚延伸區，並可在此範圍內行使以探勘暨開發為目的權利。而對於超過兩百哩的海域，若能證明其海床在地質構造上係該國大陸棚所延伸者，亦具有相同的權利，此即經濟海域的國際公法法源。

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

ISSN 1019-2603



9 771019 260006

GPN 2007700020

定價 100 元