

96-52-7268  
MOTC-IOT-95-H2DB006

# 船舶運動數值模式建立之研究

## (二)



交通部運輸研究所  
中華民國 96 年 4 月

96-52-7268  
MOTC-IOT-95-H2DB006

# 船舶運動數值模式建立之研究

## (二)

著 者：邱永芳、張富東、周宗仁、翁文凱

交通部運輸研究所  
中華民國 96 年 4 月

**96 船舶運動數值模式建立之研究(二)**

交通部運輸研究所

GPN : 1009600968  
定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目資料

船舶運動數值模式建立之研究.二 / 邱永芳等  
著. -- 初版. -- 臺北市 :交通部運研所,  
民96  
面 ; 公分  
參考書目:面  
ISBN 978-986-00-9410-7 (平裝)

1. 船舶工程

444

96007165

船舶運動數值模式建立之研究(二)

著 者：邱永芳、張富東、周宗仁、翁文凱  
出版機關：交通部運輸研究所  
地 址：臺北市敦化北路 240 號  
網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版) > 中心出版品  
電 話：(04)26587176  
出版年月：中華民國 96 年 4 月  
印 刷 者：承亞興企業有限公司  
版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊  
本書同時登載於交通部運輸研究所網站  
定 價：200 元  
展 售 處：  
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880  
國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515  
五南文化廣場：臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN : 1009600968 ISBN : 978-986-00-9410-7 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸  
研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<b>出版品名稱：船舶運動數值模式建立之研究(二)</b>			
國際標準書號 (或叢刊號) 978-986-00-9410-7 (平裝)	政府出版品統一編號 1009600968	運輸研究所出版品編號 96-52-7268	計畫編號 95-H2DB006
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：邱永芳 研究人員：張富東 聯絡電話：04-26587122 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立台灣海洋大學 計畫主持人：周宗仁、翁文凱 研究人員：林騰威、賴建中 地址：基隆市北寧路二號 聯絡電話：02-24622192	研究期間 自 96 年 02 月 至 96 年 12 月	
<b>關鍵詞：船舶操縱、模擬計算</b>			
<p><b>摘要：</b></p> <p>船舶操縱性能模擬計算之應用除可輔助船舶設計外，亦可應用於港灣規劃、海上交通動線規劃、操船模式評估、海事鑑定評估分析等，同時其亦為操船模擬機之主要構成要素，因此各國之學術機構或船舶協會皆紛紛建構操船模擬系統，然而有關船舶操縱性能之項目繁多，影響因素亦甚複雜，如何建立一較完整且可靠之計算模式，均為各國的研究重點。</p> <p>船舶由外海航行至港口附近，乃至於進入港內，其所受外在之自然力，如風力、波浪漂流力、潮流力等將因地形水深及防波堤、碼頭結構存在因素之影響而發生變化，同時船舶航行及其運動亦將受海底底床效應及碼頭固定邊界影響，而船舶間之相互運動亦將影響其運動特性，凡此種種變化皆將使船舶之運動特性更為複雜，而不再像深海時之情況，本研究主要目的在於開發一套船舶操縱性能模擬系統，使其適用性更近似於實際港口或港內運作之情況，本研究之船舶操縱運動數學模式主要依據日本MMG(Mathematical Modeling Group)之研究成果，探討船舶在港口附近以至於港內碼頭岸邊之運動。</p> <p>本研究在操縱模擬計算之基本構架下，討論項目主要可分為三大方面，其一為船舶特性方面，其包含船體流體力微係數、主機特性及舵力，第二項為自然環境之作用力，其包含風力、波浪力、潮流力，第三項為人為環境或自然環境邊界對船舶運動之影響，其包含淺水效應、拖船效應、岸際效應、船舶間之交互作用。</p>			
<b>出版日期</b>	<b>頁數</b>	<b>定價</b>	<b>本出版品取得方式</b>
96 年 4 月	105	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<b>機密等級：</b> 密 機密 極機密 絶對機密 (解密條件： 年 月 日解密， 公布後解密， 附件抽存後解密， 工作完成或會議終了時解密， 另行檢討後辦理解密 ) 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE:</b> Establishment of Numerical Models for Ship Motion ( )			
ISBN (OR ISSN) 978-986-00-9410-7 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009600968	IOT SERIAL NUMBER 96-52-7268	PROJECT NUMBER 95-H2DB006
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Chang Fu-tung PHONE: (04) 26587115 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2006 TO December 2006
RESEARCH AGENCY: National Taiwan Ocean University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Ren Chou, W. K. Weng PROJECT STAFF: T.W. Lin, C.C. Lai ADDRESS: 2, PEI-NING RD., KEELUNG 202, Taiwan, R.O.C. PHONE: (02) 24622192 #6126			
<b>KEY WORDS:</b> <b>SHIP OPERATION, NAVIGATION NUMERICAL COMPUTATION</b>			
<b>ABSTRACT:</b>			
<p>The development of maneuvering simulation is usually employed in ship design. Besides, it can be applied to port planning, harbor transportation, estimation for simulation models, shipwreck etc. Because of the fact that maneuvering simulation models are essential elements to navigation simulator, the development of the models has attracted great attention.</p> <p>Transformation of waves, currents and winds are influenced by the characteristics of the water depth and structures of wharves. It is more difficult to estimate the external forces impacting upon a ship in the surrounding or inner area of the harbor than in the deepwater region. The purpose of this study is to develop a suitable simulation model to predict the motions of ships in the region. Models adopting from Mathematical Modeling Group's results are used to predict the motions of ships in the surrounding and inner harbor regions.</p> <p>Three questions are discussed under the fundamental frame of simulating model. The first question regards hydrodynamic derivatives of hull forces, the effects of propeller, and the main engine. The second question relates to forces due to winds, currents and waves. The third question concerns the effects caused by natural or artificial boundary.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 105	PRICE 200	CLASSIFICATION RESTRICTED SECRET UNCLASSIFIED
CONFIDENTIAL TOP SECRET			
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目 錄

中文摘要 .....	
英文摘要 .....	
目錄 .....	
圖目錄 .....	
表目錄 .....	VII
第一章 研究主旨 .....	1
第二章 工作執行狀況 .....	7
第三章 數學模式 .....	9
第四章 操船模擬結果與展示 .....	35
第五章 模式之驗證.....	45
第六章 波浪漂流力係數.....	65
第七章 結論與建議.....	77
參考文獻 .....	79
附錄一：期中報告審查意見處理情形表.....	83
附錄二：期末報告審查意見處理情形表.....	87
附錄三：簡報資料.....	91

## 圖 目 錄

圖3-1	船體座標系與大地座標系示意圖.....	10
圖3-2	縱移附加質量 ( $m_x$ ) 估算圖.....	16
圖3-3	橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖.....	17
圖3-4	平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖.....	18
圖3-5	肥胖船型船體之橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖.....	19
圖3-6	肥胖船型船體之橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖.....	20
圖3-7	肥胖船型船體之橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖.....	21
圖3-8	肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖.....	22
圖3-9	肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖 .....	23
圖3-10	肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖 .....	24
圖3-11	非線性阻尼力係數 ( $Y'_{\beta \beta }$ ) .....	25
圖3-12	非線性阻尼力係數 ( $Y'_{\beta r }$ ) .....	26
圖3-13	非線性阻尼力係數 ( $Y'_{rr}$ ) .....	26
圖3-14	非線性阻尼力矩係數 ( $N'_{\gamma \gamma }$ ) .....	27
圖3-15	非線性阻尼力矩係數 ( $N'_{\beta\beta\gamma}$ ) .....	28
圖3-16	非線性阻尼力矩係數 ( $N'_{\beta rr}$ ) .....	28
圖3-17	舵力示意圖.....	31
圖4-1	整體操作介面.....	37
圖4-2	檔案資料介面.....	38
圖4-3	啟動參數介面.....	39

圖4-4	本船基本資料介面.....	40
圖4-5	試驗參數介面.....	41
圖4-6	係數選擇介面.....	42
圖4-7	船舶模擬介面及模擬展示.....	43
圖4-8	逆時針迴旋試驗時之操縱模擬展示.....	44
圖4-9	順時針迴旋試驗時之操縱模擬展.....	44
圖5-1	Esso Osaka 油輪左迴旋運動軌跡圖.....	48
圖5-2	Esso Osaka 油輪左迴旋運動航向角時間變化圖.....	49
圖5-3	Esso Osaka 油輪左迴旋運動船速時間變化圖.....	50
圖5-4	Esso Osaka 油輪右迴旋運動軌跡圖.....	51
圖5-5	Esso Osaka 油輪右迴旋運動航向角時間變化圖.....	52
圖5-6	Esso Osaka 油輪右迴旋運動船速時間變化圖.....	53
圖5-7	Esso Osaka 油輪Z20° – 20° 運動回頭角時間變化圖.....	54
圖5-8	Asia Cement No.5油輪左迴旋運動軌跡圖.....	56
圖5-9	Asia Cement No.5油輪左迴旋運動航向角變化圖.....	57
圖5-10	Asia Cement No.5油輪左迴旋運動船速時間變化圖.....	58
圖5-11	Asia Cement No.5油輪右迴旋運動軌跡圖.....	59
圖5-12	Asia Cement No.5油輪右迴旋運動航向角變化圖.....	60
圖5-13	Asia Cement No.5油輪右迴旋運動船速時間變化圖.....	61
圖5-14	Asia Cement No.5油輪Z20° – 20° 運動航向角時間變化圖...	62
圖6-1	規則波入射角30度時，各方向漂移力及力矩係數比較.....	68
圖6-2	規則波入射角60度時，各方向漂移力及力矩係數比較.....	68
圖6-3	規則波入射角0度之X軸漂移力比較與波浪入射角90度之Y軸漂 移力係數比較.....	69

圖6-4 波浪入射角0度之各方向漂流力及力矩係數.....	70
圖6-5 波浪入射角180度之各方向漂流力及力矩係數.....	70
圖6-6 波浪入射角15度之各方向漂流力及力矩係數.....	71
圖6-7 波浪入射角165度之各方向漂流力及力矩係數.....	71
圖6-8 波浪入射角30度之各方向漂流力及力矩係數.....	72
圖6-9 波浪入射角150度之各方向漂流力及力矩係數.....	72
圖6-10 波浪入射角45度之各方向漂流力及力矩係數.....	73
圖6-11 波浪入射角135度之各方向漂流力及力矩係數.....	73
圖6-12 波浪入射角60度之各方向漂流力及力矩係數.....	74
圖6-13 波浪入射角120度之各方向漂流力及力矩係數.....	74
圖6-14 波浪入射角75度之各方向漂流力及力矩係數.....	75
圖6-15 波浪入射角105度之各方向漂流力及力矩係數.....	75
圖6-16 波浪入射角90度之各方向漂流力及力矩係數.....	76

## 表 目 錄

表1.1 多船模擬系統考慮因素.....	6
表5-1 Esso Osaka 本船基本資料.....	47
表5-2 Esso Osaka 油輪左迴旋運動的船速、座標、時間對應表.....	55
表 5-3 Asia Cement No.5 油輪左迴旋運動船速 座標 時間對應表.....	63
表 5-4 Asia Cement No.5 油輪右迴旋運動船速 座標 時間對應表.....	64

# 第一章 研究主旨

## 1.1 計畫背景分析

一個國家經濟力大致可由其海、空運之活絡程度而定，因此一個經濟高度發展之國家必定非常注意其海、空運之發展與安全性，同時並紛紛成立海、空運運輸人員訓練中心，以訓練及儲備其高品質之海空、運之運輸人才。而隨著電子儀器模擬機之發展，我國交通部首次於 1985 年撥款購買「操船模擬機系統」附設於「國立台灣海洋大學」，以作為船長操船進出港口訓練用，近二十年來造就不少傑出的航海人員，而操船模擬機系統亦為海運發展國家必備及爭相研發之模擬工具。

操船模擬系統主要可簡單的區分成兩大部份，其一為船舶航行時其運動之數值模擬，另一部份則為其可視化景觀部份及其附屬之操船相關設備。有關船舶航行運動數值模擬之研究相當多，不管在深海中、近岸區、大波浪作用下、甚至進出港口時之船舶運動特性皆有相當多之研究被發表。而其船舶運動計算之基本理論主要大多以細長體理論或其改良方法為主，船體所受之自然環境外力大致上為潮流力、風力、波浪力，而在船舶之動力上，則參考各船舶之特性，根據引擎渦輪螺旋槳之推進力、舵效與粘性阻力加以計算。在船舶航行運動之數值計算上，則因所用時間縮尺之不同而有所謂快時 ( fast time ) 操船與真時操船 ( real time ) 兩種方式。一般而言，快時操船模擬由於時間縮尺影響，必須考慮船舶各項特性，如舵之反應、螺槳轉速變化及其對各流體力之影響，以及電腦計算之反應速度。另外，在近岸區或港區內時，因船舶存在之環境地理位置所衍生之效應，如水深效應、岸邊效應、干涉效應及拖船效應等。

以往相關研究或目前之船舶航行運動方程式大都著重於主機之模擬上，配合各種船舶之特性進行船舶運動特性之研究，自然環境外力則僅考慮風力與潮流力，對於波浪力之作用則較少考慮，由於目前船舶航行大都僅考慮進出港口時航行之安全，因此各環境因素所衍生之

效應上亦大都僅考慮部分，如水深效應。然而船舶由外海進入淺水區，進而入港口、靠泊，波浪所引起之變形，如淺化、繞射、反射等效應，對於船舶所受外力及運動應有很大之影響，尤其在天候較差、大波浪作用下或船舶噸位較輕時，其影響更劇，有必要加以考慮。

台灣四面環海、並以海立國，海運船舶進出港口門戶之繁忙可想而知，然而至目前為止，船舶進出港口之操船模擬，或購至國外、或無法完整之模擬描述其過程之運動狀況，實有必要發展符合本國需要且完整之船舶運動數值模式。有鑑於此，本研究希望能在目前既有之船舶運動模擬之基礎上，計算船舶由外海進入港口乃至停靠繫纜為止之運動，自然力則除考慮風與潮流力外，波浪則考慮方向波浪所引起之外力，各環境所衍生之效應亦在船舶進港錨泊過程中分別考慮。

另外，至目前為止，操船模擬系統幾乎全為單機操縱模擬，並無法考慮船舶航行時之互動關係，為因應未來海運之需求，本研究將針對多艘船舶進出港時，發展可同時操縱模擬多艘船舶航行之介面與程式軟體，以作為未來多船航行訓練及船舶碰撞時鑑定用，而此亦為本研究與其他操船模擬系統最大差異處之一。

## 1.2 研究範圍與對象

本研究主要以航行於港口附近或港內之船舶為探討對象，數值探討在此區域內航行船舶之運動情形，所使用之船舶操縱理論主要參考日本 MMG 之研究成果。在計算過程中，討論的項目大致可分為船舶之基本特性：如船殼形狀係數、螺槳推進力、舵力、主機特性等；以及外在環境因素所引起的流體力：如潮流力、風力、波浪力等之作用力對船舶運動之影響。另外，並考慮船舶在此區域所可能面臨之問題：如受拖船推、頂靠岸時、港內水深較淺之情況、船舶於碼頭岸邊航行時所引起的橫向吸引力、航行中兩船之交互作用情形。

本計畫主要以「交通部運輸研究所港灣技術研究中心」委託「台大造船及海洋工程研究所」邱逢琛教授之研究(1997,邱、洪)為基礎並加以改進環境外力，同時並以 Visual Basic 對操控介面做視窗化重新

設計，使其在多艘船舶進出港口的船舶管理系統與操船模擬系統上更具方便性、實用性與簡易性，同時整合其他可視化的研究計畫，完成虛擬實境的模擬系統。

### 1.3 研究內容與工作項目

#### (一)研究內容

本計畫之主要目的為完成可操控多艘船舶之操船模擬系統，為達此目的則必須藉助電腦之平行處理，利用多部電腦間之連結以同步計算各艘船舶之航行與運動情況，並處理船舶間之相互影響，同時並需設計多艘船舶模擬系統之操控介面。因此本研究之研究內容大致可分為操縱介面之設計、程式撰寫及船舶操縱運動程式之撰寫兩部份。操縱介面之設計主要以 Microsoft Visual Basic 語言撰寫，而各艘船之模擬主要以船舶操縱運動方程式為主體，以進行船舶進出港口至錨泊過程間之船舶運動數值模擬，主要研究內容可區分為：

##### 1.主機之模擬：

包含主機推進力、螺旋槳之效應、舵力，真實與快時之模擬，停船之模擬。主機特性包含主機正轉及逆轉時，其主機轉速與扭矩間之關係；螺旋槳之效應主要在了解主機轉速與螺槳間之關係，並計算其推力及扭矩；舵力主要可分為升力、阻力、力矩等，受舵之幾何形狀與有效之入流速度與有效之入流攻角而決定。

##### 2.自然環境外力：

包括港口附近風、浪、流等外力之討論與分析，波浪部分則考慮方向不規則波力，並考慮由外海入射至港口附近，因地形水深、防波堤結構物存在等因素所引起之淺化、折繞射與反射情形，同時以線性疊加之方式以計算船舶航行至該位置時所受之波力。流場之計算主要根據潮汐變化以計算港口附近各位置流速大小與流向之變化。風力計算主要以港口附近區域之平均風速作為風力計算之基準。

##### 3.船舶或結構物存在之環境效應：

包含水深效應、干涉效應、岸邊效應、拖船效應、繫纜效應等。一般而言，水深約在船舶吃水深度 4 倍以上時，將可忽略水深對船舶之影響。船舶航行至港口附近時，港口附近或港內水深較外海淺，船舶與海底底床之間隙較小，船體四周之壓力急劇變化，造成船體有下沉的現象，而增加其流體阻力；同時，螺旋附近亦易發生大量渦流，而降低螺旋之效應，其淺水效應所引起之流體阻力將影響船舶前進速度與其運動。若船舶航行於平行之水道中，且船舶平行於水道移動，則船舶之運動易受近岸邊之橫向吸引力及水平轉之力矩所影響。水面上有兩艘或多艘船舶航行時，或船舶航行通過繫泊中之其他船舶的情況下，兩船間側壁之影響類似前述岸壁之影響，易造成船舶水平轉運動之效應，其間之相互作用常隨著船舶前進位置之不同、船舶噸位差距而有所不同，其影響主要由於船舶前進時，船艏所引起之發散波將影響在其附近船舶之運動與受力。另外，船舶前進時，船艏與船尾之水位通常較船體中央為高，此將造成其壓力在長軸方向分佈的差異，而造成對其附近船隻之吸引力或排斥力，而影響船舶航行之安全。拖船效應主要考慮實際大型船舶在靠泊於碼頭時，其操縱性能並不是非常靈活，常需要拖船加以輔助牽引，由於拖船牽引位置大都位於靠泊船隻之船艏或船尾側，因此其拖船作用力主要為橫向力及水平轉之力矩，但伴隨的常有因靠岸用舵所引起的舵效橫向力、水平轉力矩，及靠岸所引發橫向流體力、力矩。

#### 4.操控介面之設計

為達到在能同時操控多艘船舶模擬系統，操控系統在功能上需設計為簡易且符合多元需求，同時亦須易於結合其他軟硬體設備。

#### (二)工作項目

本計畫總執行期程為四年，第一年主要完成工作大致可分下列兩大項：

1. 各操縱介面的建立：以 Microsoft Visual Basic 軟體設計操船模擬執

行時所需之操作介面，藉由介面的設計，可很方便的操作程式所需各項資料及執行步驟，其介面包含「整體操作介面」、「本船資料介面」、「係數選擇介面」、「試驗參數介面」等四個介面。

2. 完成整體程式構架，並完成環境外力如風力、潮流力、波浪力之計算程式與驗證，其中波浪力之計算則以規則波方式進行。

本年度主要之執行工作項目如下：

- (1) 船舶特性模擬：此部分主要包含船舶主機、螺槳、舵效之模擬及程式之撰寫。
- (2) 波浪外力係數之測定：本年度將製作船模，同時於平面水槽中進行水工模型試驗，量測船舶於航行中所受各方向波浪作用外力，同時找出與波浪力相關之參數，將其無因次化後以求得波浪外力係數，試驗部分主要分成規則波進行試驗，以補足以往操船模擬時波力外力項之不足。
- (3) 進行操船模擬之測試，以驗證數值模式之妥適性：整合去年度與本年度之研究成果，以 Crane 於 1979 所發表的 278,000 噸級的砂石兼油輪 OSAKA 號的實船試驗資料做為計算之供試船，進行各項測試，以驗證程式之正確性。

在整個計畫時程的安排下，第三年之執行項目主要考慮有：不規則波作用、方向不規則波作用、淺水效應及多船模擬操控等。而第四年則考慮船舶間相互運動所引起之干涉效應、岸際效應、拖船效應與岸際效應等。整個計畫完成後，其整體考量之因素如表 1.1 所示。

**表 1.1 多船操船模擬系統考慮因素**

考慮項目	各項目所包含之細項
船舶特性模擬	主機、螺槳、舵效、船體所受流體阻力
自然環境外力	風力、潮流力、波浪力(規則與不規則波力)
環境效應	淺水效應、岸壁效應、船舶相互間之干涉效應
人為效應	拖船效應、繫纜效應

## 1.4 預期成果

整個計畫執行完畢後，能較精確的掌握船舶於進出港、甚而泊靠碼頭時所受之自然外力與因環境因素所衍生之各效應，因此能更為精確之模擬單艘或多艘船舶在進出港口與泊靠時之運動情形，若能整合其他可視化影像處理研究，進行港區景觀處理及目前港灣技術研究中心已有之設備，可統合成一操船模擬系統，對於未來台灣各港口船舶進出港，乃至泊靠於碼頭，皆可提供一更準確之模擬，同時可供港灣規劃、進出港船舶管理以及海事鑑定的參考，亦可提供操船訓練用。

本計畫在整體計畫完成後，將提出之兩套軟體包括：

1. 操船模擬系統操作介面軟體：包含介面之操作與環境資料之輸入方式說明與格式。
2. 多本船操船模擬軟體程式：包含操船運動主程式與前述各環境外力之副程式。

本年度執行完畢後，可完成單艘船舶於風、波浪與潮流作用下，船舶進出港口之數值模擬，至此可結合其他影像顯示系統，模擬船舶進出港之情形。

## 第二章 工作執行狀況

### 2.1 本年度執行情形

本研究去年度主要完成多艘船操船模擬系統整體構架操作介面之建立，操作介面之撰寫軟體為 Visual Basic 程式語言，建立操作介面平面可視化與物件導向系統，將多艘船操船模擬程式與操作介面連結，所有有關操船所需船舶特性資料(船舶數、各船舶資料係數、舵、主機、螺槳等)與各環境外力資料(風、波浪、潮流、水深效應、拖船效應等)皆可藉由操作介面輸入及選項，而隨著船舶航行前進改變之外力因素，如風力、波浪力、潮流力等亦可藉由程式讀取之方式輸入。

操作介面可視化與物件導向系統的優點在於操作之簡單方便，同時藉由操作平台各資料輸入選項的建立以及操作者與平台間之互動，使操船模擬系統更為簡易，操作者將不致因所需輸入各項資料之繁瑣而出錯；另外，一般而言，若環境外力因素突然改變，如瞬間之風力、風向或流速與流向的改變，諸如此不可事先預測之因素，在執行操船模擬程式時將必須先於程式中加以設定，否則無法順利模擬，然此種方式則已失卻操船模擬系統在訓練船員與海事鑑定上之價值，本研究所建立之操作介面則可隨機隨時以滑鼠於電腦銀幕上改變外力參數，以求更符合實際操船之需要與狀況。

在多艘船操船模擬系統中，除非各船接近至互相影響之範圍，否則基本上各船應為互相獨立之運動體，然而在港灣規劃、海事鑑定或港域各船舶之監控與管理上，多艘船舶之航行位置與相互間之影響視有必要加以了解的。而操作介面提供此項選擇，本研究所建置之操作介面平台除可提供由一人操縱多艘船，亦可分由多人藉由不同之操作銀幕操作多艘船舶。除此之外，各船舶航行所經過之軌跡亦可經由可視化選項選擇及時顯現或不顯現於介面平台上。

由於操作介面在多本船操船模擬系統中有上述諸多優點及實際需

要，因此本研究去年度首先建立操作平台，同時建構平台上操船時所需各項參數資料及選項。

本研究至目前為止，完成船舶基本特性、主機、舵、螺槳特性之模擬與程式之撰寫，並與操船模擬介面連結，目前已可於介面上實際操作多艘船舶操航。本研究於後續將針對有實測資料之船舶進行操船測試以驗證本程式之正確性。另外，在船舶所受波浪漂流力係數之測定上，由於試驗室目前屋頂正整修中，無法進行試驗，將於後續加緊進行試驗量測工作。

### 第三章 數學模式

本計劃操船運動數學模式主要以「交通部運輸研究所港灣技術研究中心」委託「台大造船及海洋工程研究所」邱逢琛教授之研究為基礎，利用 Visual Basic 程式語言，以物件導向及視窗化重新設計，使其更具方便、實用、簡易，並加以擴展，使其更適用於港口附近及港區內之操船運動。

一般而言，研究船舶運動的計算模式大致可分兩種，其一為船舶運動計算模式，根據牛頓第二運動定律推展出六自由度運動方程式，其六自由度運動分別為三個線性位移，相對於直角座標系統分別為縱移 (surge)、橫移 (sway)、垂直移 (heave) 及三個角旋轉，即縱搖 (pitch)、橫搖 (roll)、平擺 (yaw)。模擬船舶於大海中航行時之運動，座標系統固定於船舶上，船舶航速以固定速度前進，並根據都普勒定律重新計算海洋波浪之週期與波向，在波力的考量上則考慮波強制力 (Exciting force)，即包含入射波強制力 (Froude-Krylov force)、繞射波強制力 (Diffraction force)。另外，並考慮因船舶運動所誘發之 radiation force，理論基礎主要以勢流理論為基礎，同時以定常解進行數值計算，其解法與海洋結構物波力計算大致相同，但由於船舶外型大都為細長型，因此 Korvin-Kroukovsky 及渡邊等學者相繼發展細長型理論 (Ordinary Strip method, OSM)，OSM 法在流體力的計算上有部分簡化，但不失為一實用之方法，其後有多位學者針對 OSM 法加以改進，大致發展出四種新型的 strip method (NSM)。

另一為船舶操縱運動方程式，其主要在於考察船舶操舵的功能與特性，即目前所謂操船模擬系統的理論基礎。船舶操縱運動方程式在座標的應用上，由於實務上的需要，大都採用「大地固定座標」及「船體固定座標」兩個座標系統，如圖 3-1 所示。其基本上依據牛頓第二運動定律，亦可發展出六自由度之操縱運動方程式，由於操縱運動方程式主要功能在於探討船舶操舵迴旋與航行安全性能。另外，由於船舶操縱運動必須隨著船舶所在位置的變動逐時計算，為簡化整個計算量，因此省略對操縱與航行性能影響較小之縱平面上之運動項

(heave、pitch、roll)。而根據以往相關研究指出，在波高較小時，省略上述三個運動方程式所得結果與實測結果差異不大，但大波高時如颱風波作用時則影響較大，目前全世界操船模擬系統所應用之方程式亦大都使用簡化過之方程式，同時在其流體力的考慮上，亦僅考慮入射波強制力，而不考慮船舶與流體間之互制行為。本研究所使用到的數學模式乃以邱(1997)所整理之模式為基礎，同時參考日本MMG(Mathematical Modeling Group)所發展之模式加以擴展。數學模式同樣採用「大地固定座標」及「船體固定座標」兩個系統，並假設：

- (a) 地球自轉與公轉運動對船舶操縱運動影響甚小，可忽略。
- (b) 操船過程中之起伏(heave)及縱搖(pitch)運動甚小，可忽略。
- (c) 船體固定座標軸近似於船體之慣性主軸。

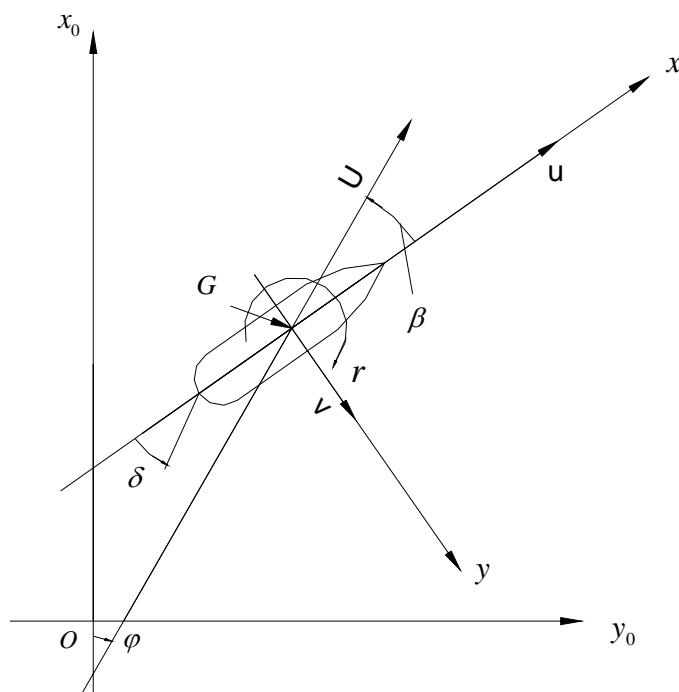


圖 3-1 船體座標系與大地座標系示意圖

### 3.1 船舶操縱方程式

船舶在航行中由於外力之作用，因此誘發船體六自由度之運動，而固定於船體上之座標系統將因船體之旋轉而變動，若設船體在 x、y、z 軸之旋轉角分別為  $\phi$ 、 $\theta$  及  $\psi$ ，則由座標轉換原理其各相對應之旋角速度  $p$ 、 $q$ 、 $r$  分別為

$$\begin{aligned} p &= \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \theta \\ q &= \dot{\psi} \sin \phi \cos \theta + \dot{\theta} \cos \phi \\ r &= \dot{\psi} \cos \phi \cos \theta - \dot{\theta} \sin \phi \end{aligned} \quad (3-1)$$

若假設船體旋轉運動為一微小運動，則(3-1)式可簡化成：

$$\begin{aligned} p &= \dot{\phi} - \dot{\psi} \theta \approx \dot{\phi} \\ q &= \dot{\psi} \phi + \dot{\theta} \approx \dot{\theta} \\ r &= \dot{\psi} - \dot{\theta} \phi \approx \dot{\psi} \end{aligned} \quad (3-2)$$

而根據牛頓第二運動定律，其運動方程式可表示為：

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \frac{d}{dt}(m\vec{U}_G) = m\frac{d}{dt}(\vec{U} + \vec{\Omega} \times \vec{R}_G) \\ \vec{M} &= \vec{M}_G + \vec{R}_G \times \vec{F} = \frac{d}{dt}(\vec{H}_G) + \vec{R}_G \times \vec{F} \end{aligned} \quad (3-3)$$

將其展開後，可得船體運動力與力矩之平衡方程式：

力平衡方程式：

$$\begin{aligned} X &= m[\dot{u} + qw - rv - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - r) + z_G(pr + q)] \\ Y &= m[\dot{v} + ru - pw - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - p) + x_G(pq + r)] \\ Z &= m[\dot{w} + pv - qu - z_G(q^2 + p^2) + x_G(pr - q) + y_G(rq + p)] \end{aligned} \quad (3-4)$$

力矩平衡方程式：

$$\begin{aligned} K &= I_{xxG}\dot{p} + (I_{zzG} - I_{yyG})qr + m[y_G(\dot{w} + pv - qu) - z_G(\dot{v} + ru - pw)] \\ M &= I_{yyG}\dot{q} + (I_{xxG} - I_{zzG})pr + m[z_G(\dot{u} + qw - rv) - x_G(\dot{w} + pv - qu)] \\ N &= I_{zzG}\dot{r} + (I_{yyG} - I_{xxG})pq + m[x_G(\dot{v} + ru - pw) - y_G(\dot{u} + qw - rv)] \end{aligned} \quad (3-5)$$

式(3-3)、(3-4)、(3-5)中各符號之表示如下：

$\vec{R}$ ：船體上任一點相對於座標原點之座標向量 ( $= x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ )

$\vec{R}_G$ ：船體上任一點相對於重心座標之座標向量 ( $= x_G\vec{i} + y_G\vec{j} + z_G\vec{k}$ )

$\vec{\Omega}$  : 對應於座標原點之角速度 ( $\vec{\Omega} = p\vec{i} + q\vec{j} + r\vec{k}$ )

$\vec{U}$  : 對應於座標原點之速度 ( $\vec{U} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$ )

$\vec{F}$  : 作用於船體之力  $\vec{F} = X\vec{i} + Y\vec{j} + Z\vec{k}$

$\vec{M}$  : 作用於船體之力矩  $\vec{M} = K\vec{i} + M\vec{j} + N\vec{k}$

若座標原點設於船體重心上，並僅考慮水平面上之運動，則(3-4)、(3-5)式將簡化成：

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X \\ m(\dot{v} + ur) &= Y \\ I_{ZZG}\ddot{\psi} &= N \end{aligned} \quad (3-6)$$

而邱(1997)則再考慮 Roll 運動，因此操縱運動方程式為：

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr) &= X \\ m(\dot{v} + ur) &= Y \\ I_{ZZG}\ddot{\psi} &= N \\ I_{XX}\ddot{\phi} &= K \end{aligned} \quad (3-7)$$

作用於船舶之各方向外力與力矩分別為

$$\begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_W + X_{WV} + X_E + X_C + X_B + X_F \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_W + Y_{WV} + Y_E + Y_C + Y_B + Y_F \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_W + N_{WV} + N_E + N_C + N_B + N_F \\ K &= K_H + K_P + K_R + K_W + K_{WV} + K_E + K_C + K_B + K_F \end{aligned} \quad (3-8)$$

式(3-7)為分別考慮縱移(surge)、橫移(sway)、平擺(yaw)、及橫搖(roll)四個自由度之船舶操縱運動方程式。式(3-8)之下標 H、P、R、W、WV、E、C、B、F 分別代表船體流體力(Hull)、螺旋桨(Propeller)、舵(Rudder)、風(Wind)、波浪(Wave)、主機(Engine)、潮流(Current)、邊界(Bank)、及其他之力源(Force)如拖船、繫纜力等。

本研究在應用船舶操縱方程式時，同時考慮兩種狀況，因此在程式設計時，可選擇是否對橫搖運動進行解析。而作用於船舶之各項力與力矩則分述如下列各節中。

## 3.2 螺槳力

螺槳力可由下式求得：

$$(I_{prop} + I_{ps})\dot{n} = Q \quad (3-9)$$

式(3-9)則是「螺槳轉動方程式」，其中， $Q$  為作用於推進軸系(含螺槳)之扭矩( $Q = Q_p + Q_E$ )； $I_{prop}$  為螺槳之極慣性矩； $I_{ps}$  為連接主機與螺槳之軸慣性矩。

「螺槳轉動方程式」之 $(I_{prop} + I_{ps})$ 估算公式如下：

$$I_{prop} + I_{ps} = 0.424\rho D_p^5 (1.3 + q) A_E / \left( \frac{\pi}{4} D_p^2 \right) \quad (3-10)$$

其中

$$q = \begin{cases} 2 & (\text{Diesel Engine}) \\ 20 & (\text{Steam Turbine}) \end{cases}$$

$D_p$  為螺槳直徑， $A_E$  為螺葉展開面積(expanded area)。

## 3.3 船體流體力

考慮橫搖運動時，船體流體動力可表示為：

$$X_H = -m_x \dot{u} + m_y v r + \frac{1}{2} L^2 U^2 (X'_{vv} v'^2 + X'_{vr} v' r' + X'_{rr} r'^2 + X'_{vvv} v'^4) + X_0(u) \quad (3-11)$$

$$Y_H = -m_y \dot{v} + m_y u r + \frac{1}{2} L^2 U^2 (Y'_{\beta} \beta' + Y'_{r} r' + Y'_{NL} + Y'_{Roll}) \quad (3-12)$$

$$N_H = -J_{zz} \dot{r} + \frac{1}{2} \rho L^3 U^2 (N'_{\beta} \beta' + N'_{r} r' + N'_{NL} + N'_{Roll}) \quad (3-13)$$

$$K_H = -J_{xx} \ddot{\phi} + N(\dot{\phi}) - mg \cdot \overline{GZ}(\phi) - Y_H Z_H \quad (3-14)$$

式中

$$\beta' = -\tan^{-1}(v/U)$$

$$r' = vL/U$$

$$X' = X / (\frac{1}{2} \rho L^2 U^2)$$

$$Y' = Y / (\frac{1}{2} \rho L^2 U^2)$$

$$N' = N / (\frac{1}{2} \rho L^3 U^2)$$

$$v' = v/U$$

$U$  : 重心移動速度

$m_x$  : 縱移附加質量

$m_y$  : 橫移附加質量

$J_{zz}$  : 平擺附加質量慣性矩

$J_{xx}$  : 橫搖附加質量慣性矩

$X'_{vv}$ 、 $X'_{vr}$ 、 $X'_{rr}$ 、 $X'_{vvvv}$  : 因船舶平面運動所引起之無因次阻力增加係數

$X_0(u)$  : 船舶直進阻力

$Y'_\beta$ 、 $Y'_r$ 、 $N'_\beta$ 、 $N'_r$  : 無因次線性流體阻尼力與力矩係數

$Y'_{NL}$ 、 $N'_{NL}$  : 無因次非線性流體阻尼力與力矩

$Y'_{Roll}$ 、 $N'_{Roll}$  : 無因次橫搖運動所引起的橫移力與平擺力矩

$-N(\phi)$  : 橫搖阻尼力矩

$Z_H$  : 船體流體橫移力作用點與重心  $G$  的垂直距離

其中  $m_y vr$  是因附加質量  $m_y$  引起之  $x$  方向離心力， $m_x ur$  是因附加質量  $m_x$  引起之  $y$  方向離心力。

非線性流體阻尼力及阻尼力矩，以及橫搖對  $y$  方向力及  $z$  方向力矩之影響，根據邱(1997)於文中提到可依 Inoue 等人 (1981) 建議表示如下：

$$Y'_{NL} = Y'_{\beta|\beta|}\beta' |\beta'| + Y'_{\beta|r|}\beta' |r'| + Y'_{rr} r' |r'| \quad (3-15)$$

$$N'_{NL} = N'_{r|r|} r' |r'| + N'_{\beta\beta r} \beta'^2 r' + N'_{\beta rr} \beta' r'^2 \quad (3-16)$$

$$Y'_{Roll} = Y'_{\phi|\phi|} \phi' + Y'_{\beta|\phi|} \beta' |\phi'| + Y'_{r|\phi|} r' |\phi'| \quad (3-17)$$

$$N'_{Roll} = N'_{\phi|\phi|} \phi' + N'_{\beta|\phi|} \beta' |\phi'| + N'_{r|\phi|} r' |\phi'| \quad (3-18)$$

縱移附加質量  $m_x$ 、橫移附加質量  $m_y$ 、及平擺附加質量慣性矩  $J_{zz}$  可藉由 Motora 圖（圖 3-2~3-4）之無因次係數，由船型主要尺寸轉換求得。對船型方塊係數  $C_B$  在 0.8 左右之肥胖船型， $J_{zz}$  及  $m_y$  可依 Mikellis 圖 3-5~圖 3-10 由船型主要尺寸求得。當船體俯仰(trim)時之非線性阻尼力 ( $Y'_{\beta|\beta|}$ 、 $Y'_{\beta|r|}$ 、 $Y'_{rr}$ ) 及阻尼力矩係數 ( $N'_{\gamma|\gamma|}$ 、 $N'_{\beta\beta\gamma}$ 、 $N'_{\beta rr}$ )，可依 Inoue 等人 (1981a) 之方法估算圖求得，如圖 3-11~圖 3-16 所示。

另外，船體固定座標系取為重心 G，水平轉力矩之表示法為

$$N_{HG} = -J_{zzG} \dot{r} + \frac{1}{2} \rho L^3 U^2 (N'_{\beta} \beta' + N'_{r} r' + N'_{NL} + N'_{Roll}) + Y_{HO} \cdot x_{\otimes} \quad (3-19)$$

式中

$J_{zzG}$ ：相對於重心 G 之水平轉附加質量慣性矩

$x_{\otimes}$ ：船舯之 X 座標

$Y_{HO}$ ：流體阻尼力，可表示為

$$Y_{HO} = \frac{1}{2} \rho L^2 U^2 (Y'_{\beta} \beta' + Y'_{r} r' + Y'_{NL}) \quad (3-20)$$

式中，阻尼力係數均為對應船舯求得者。

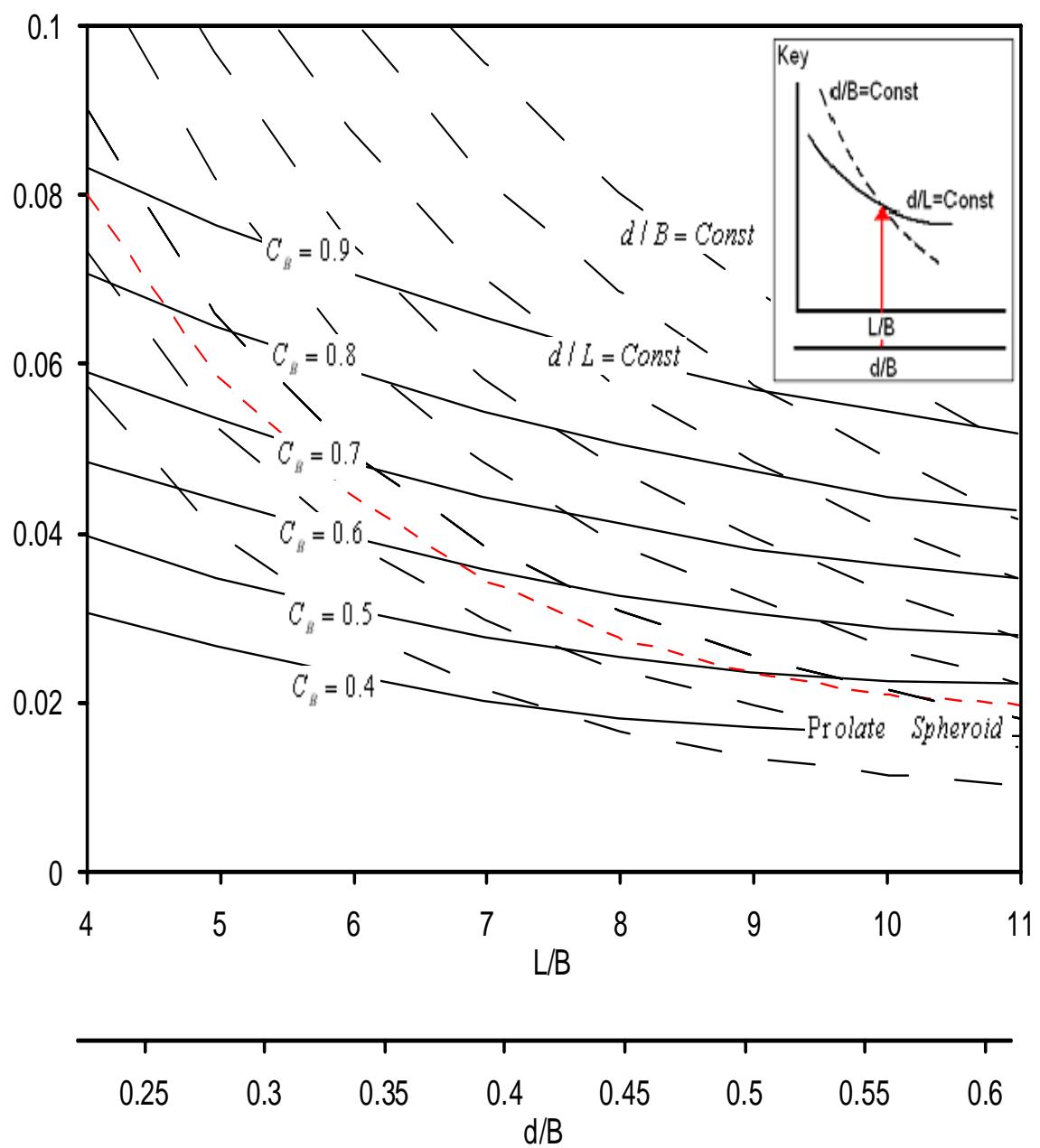


圖 3-2 縱移附加質量 ( $m_x$ ) 估算圖 (Motora, 1959a)

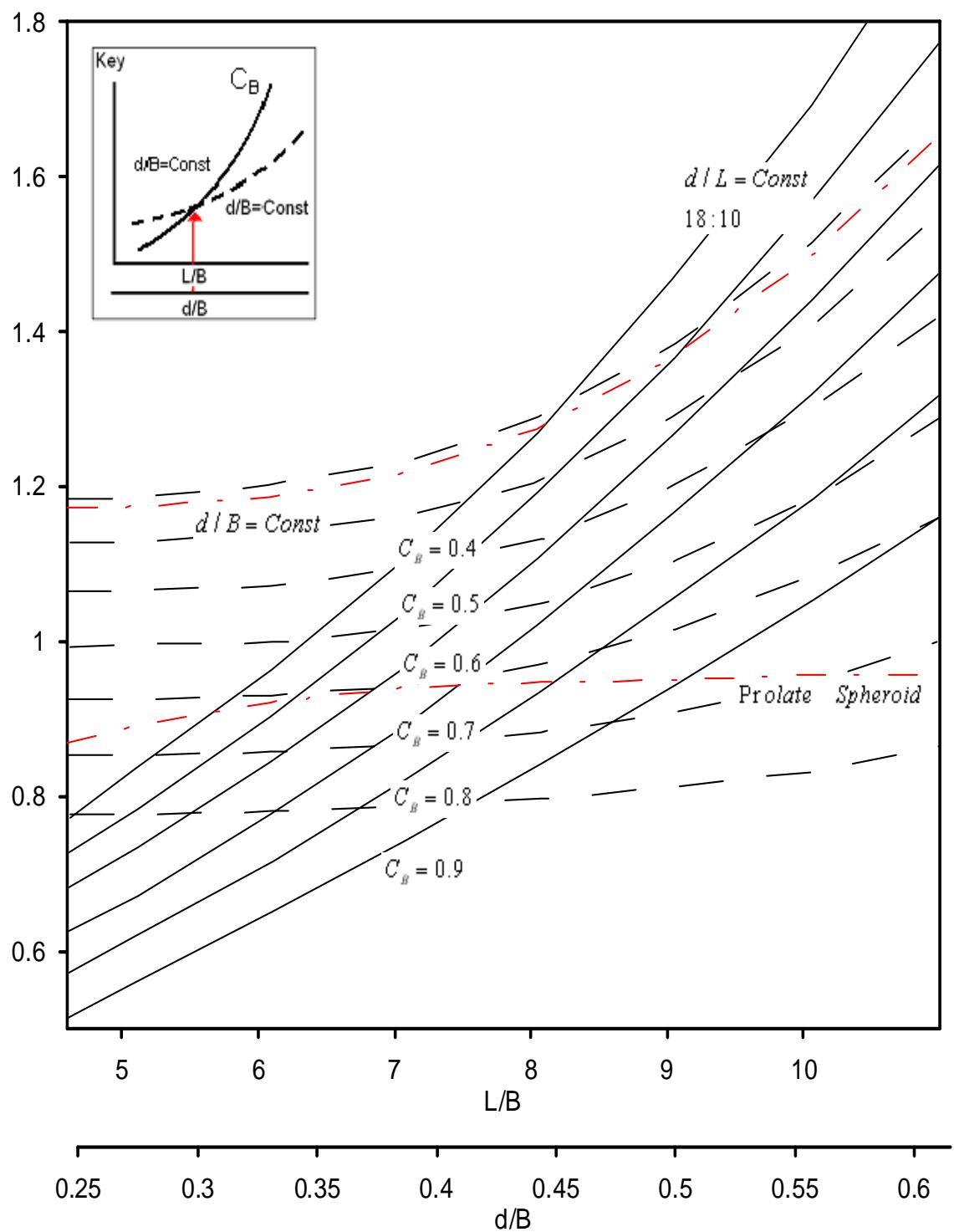


圖 3-3 橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖 (Motora, 1959b)

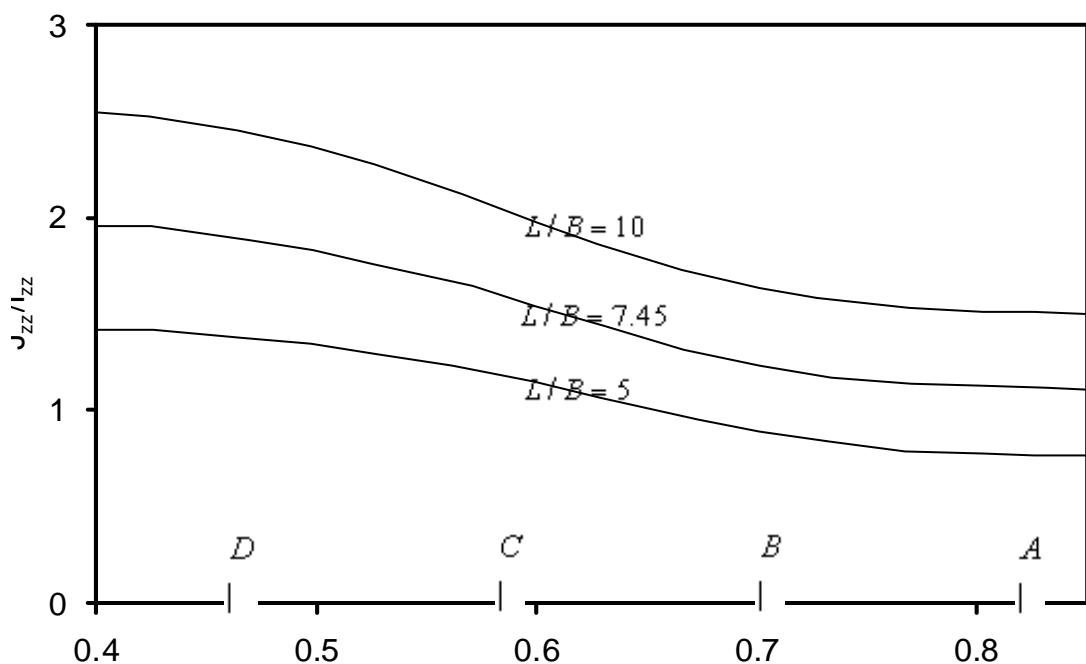


圖 3-4 平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖 (Motora, 1959a)

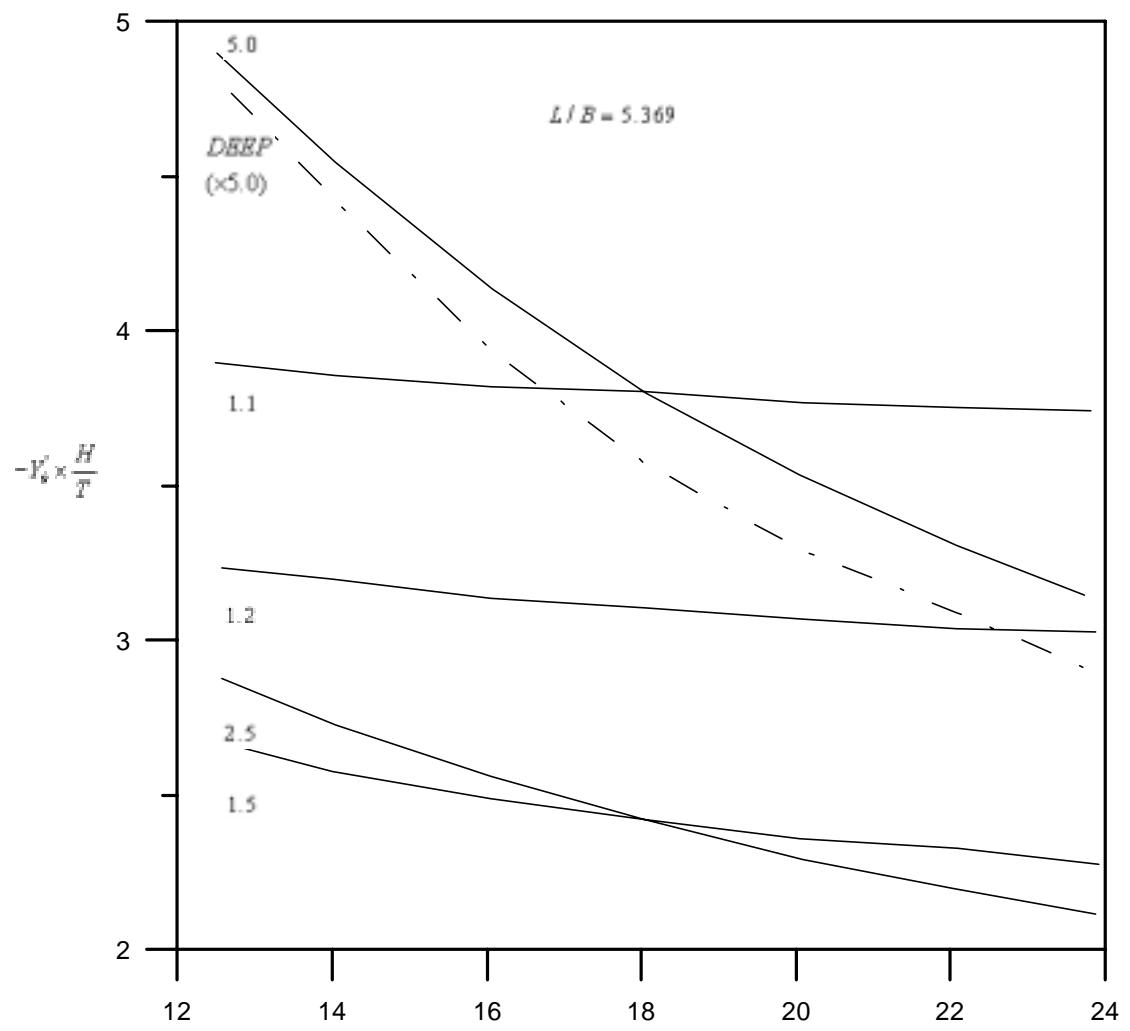


圖 3-5 肥胖船型船體之橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖  
(Mikelis, 1982)

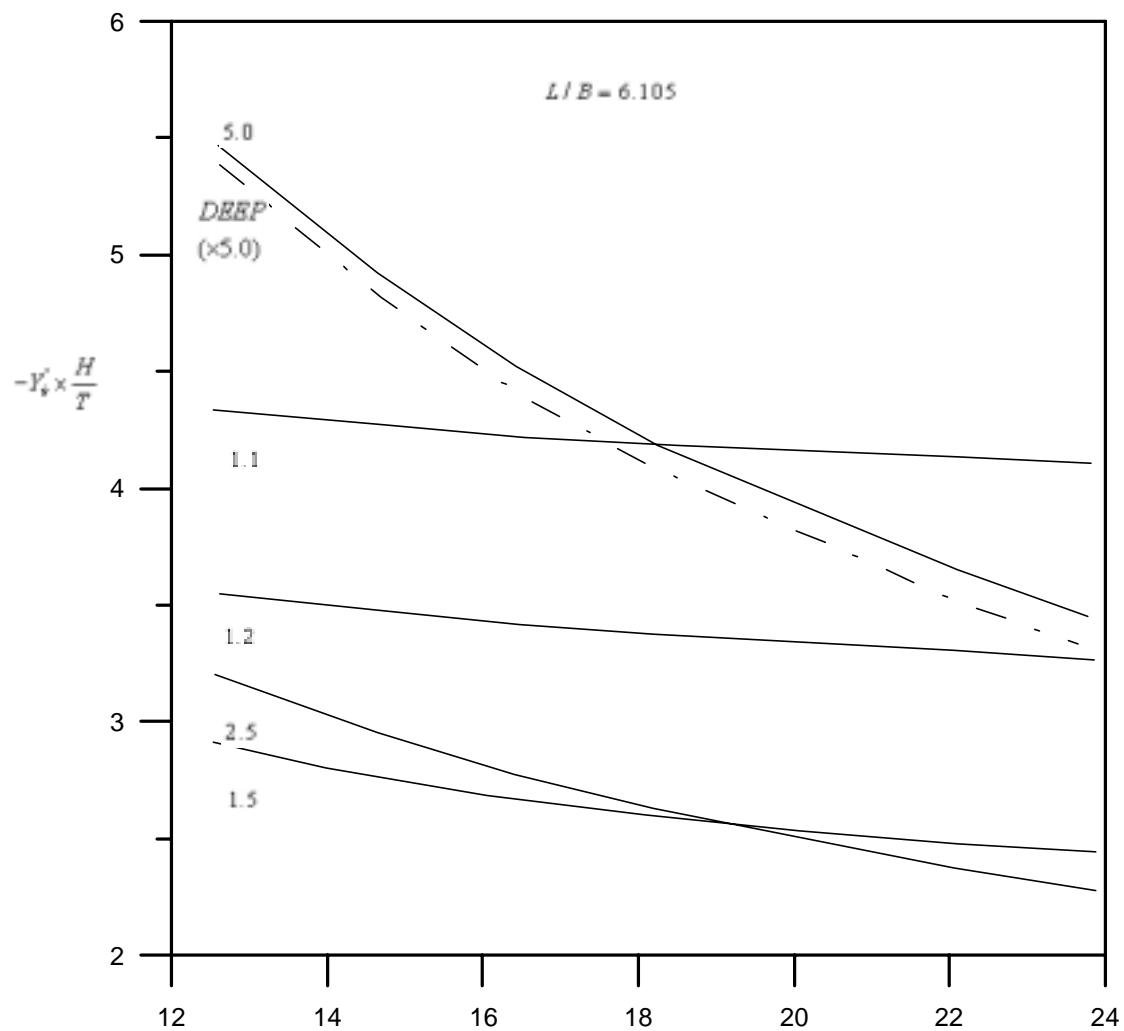


圖 3-6 肥胖船型船體之橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖  
(Mikelis, 1982)

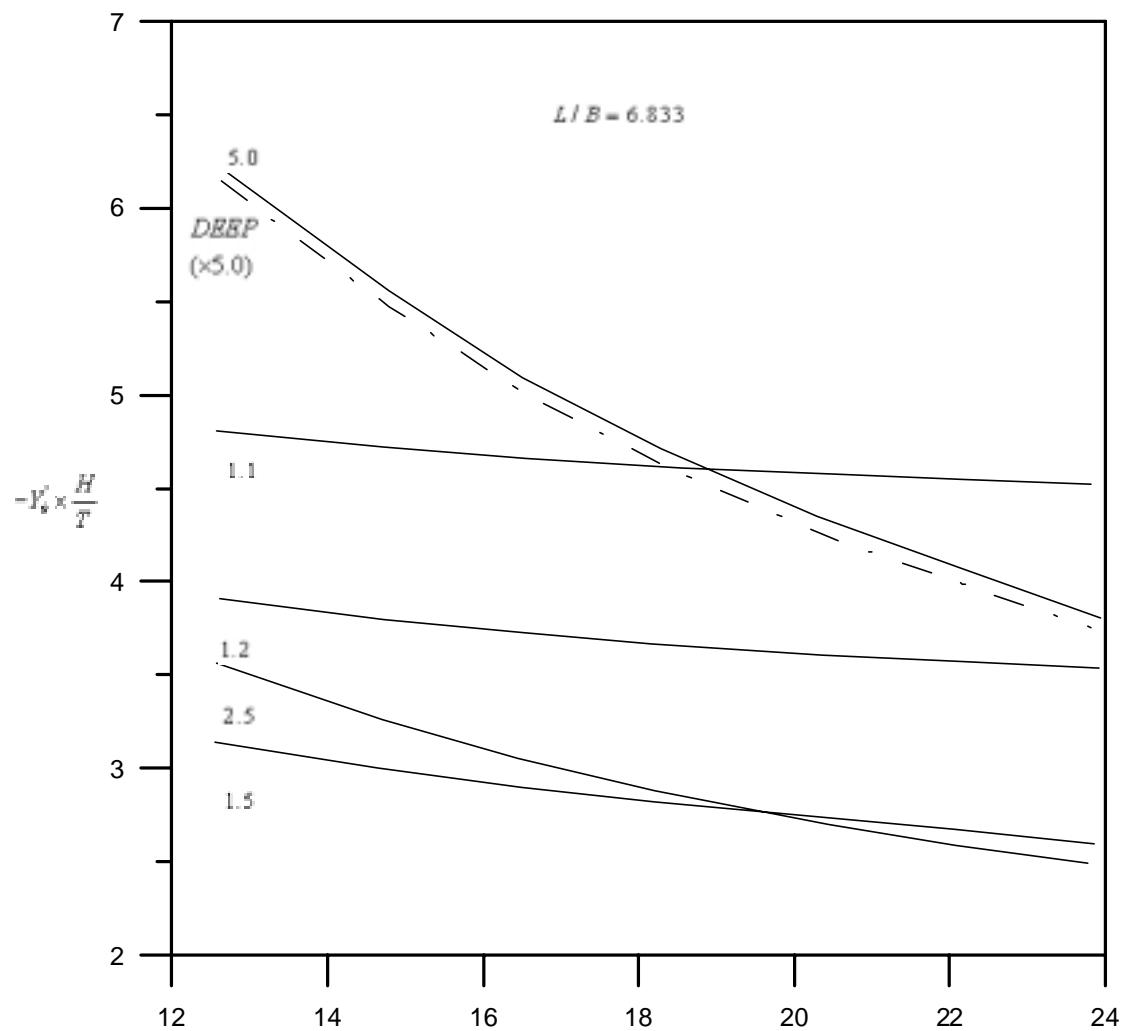


圖 3-7 肥胖船型船體之橫移附加質量 ( $m_y$ ) 估算圖  
(Mikelis, 1982)

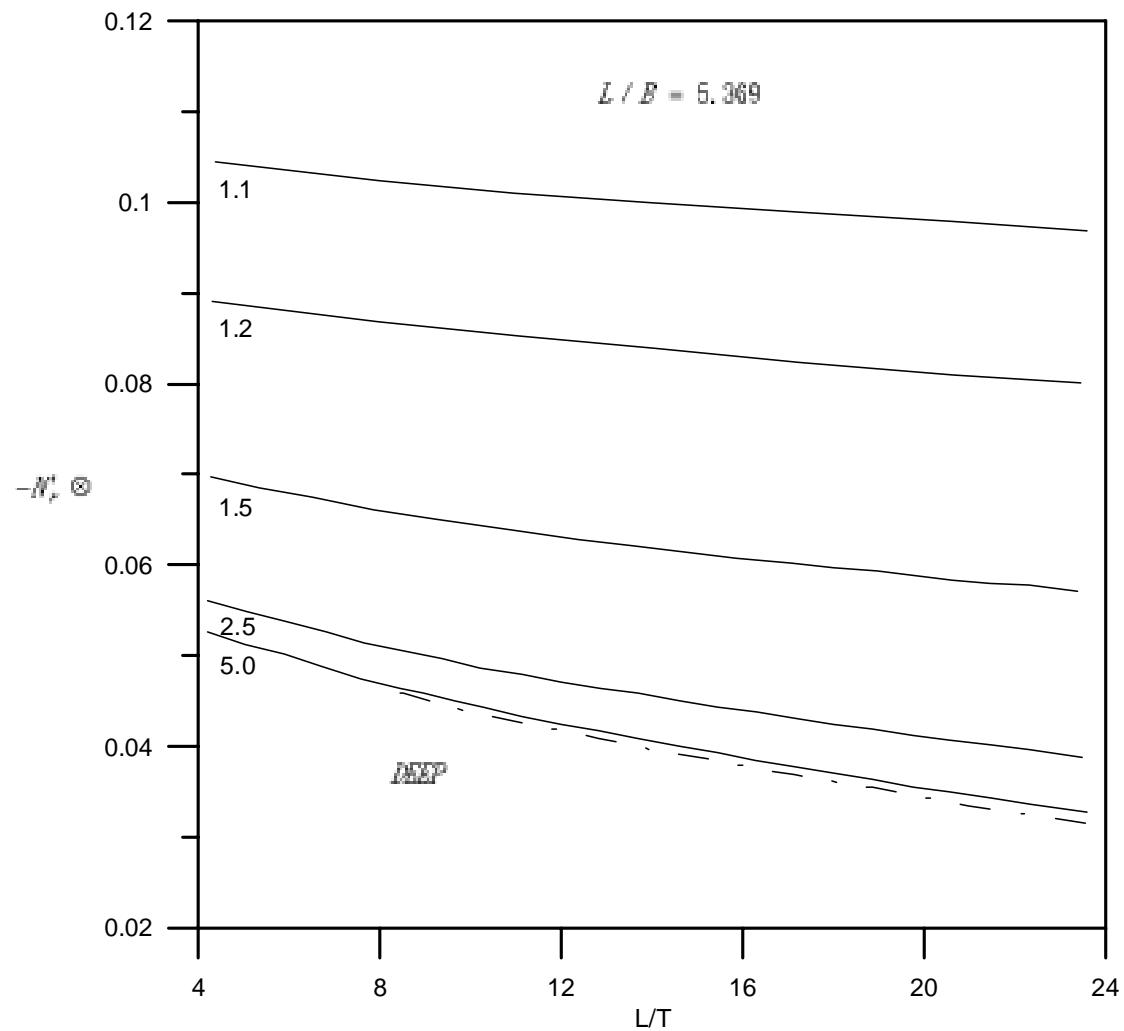


圖 3-8 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖  
(Mikelis, 1982)

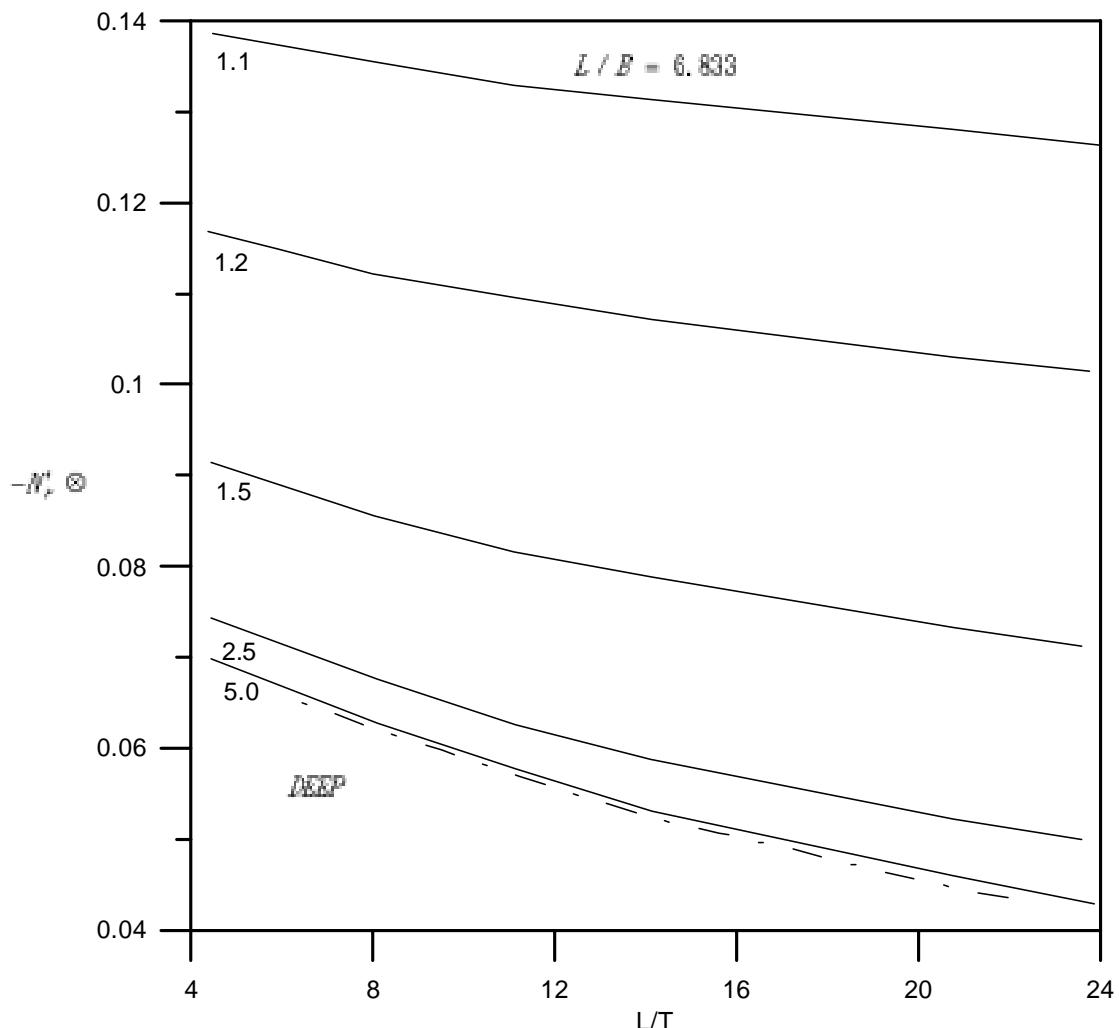


圖 3-9 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖  
(Mikelis, 1982)

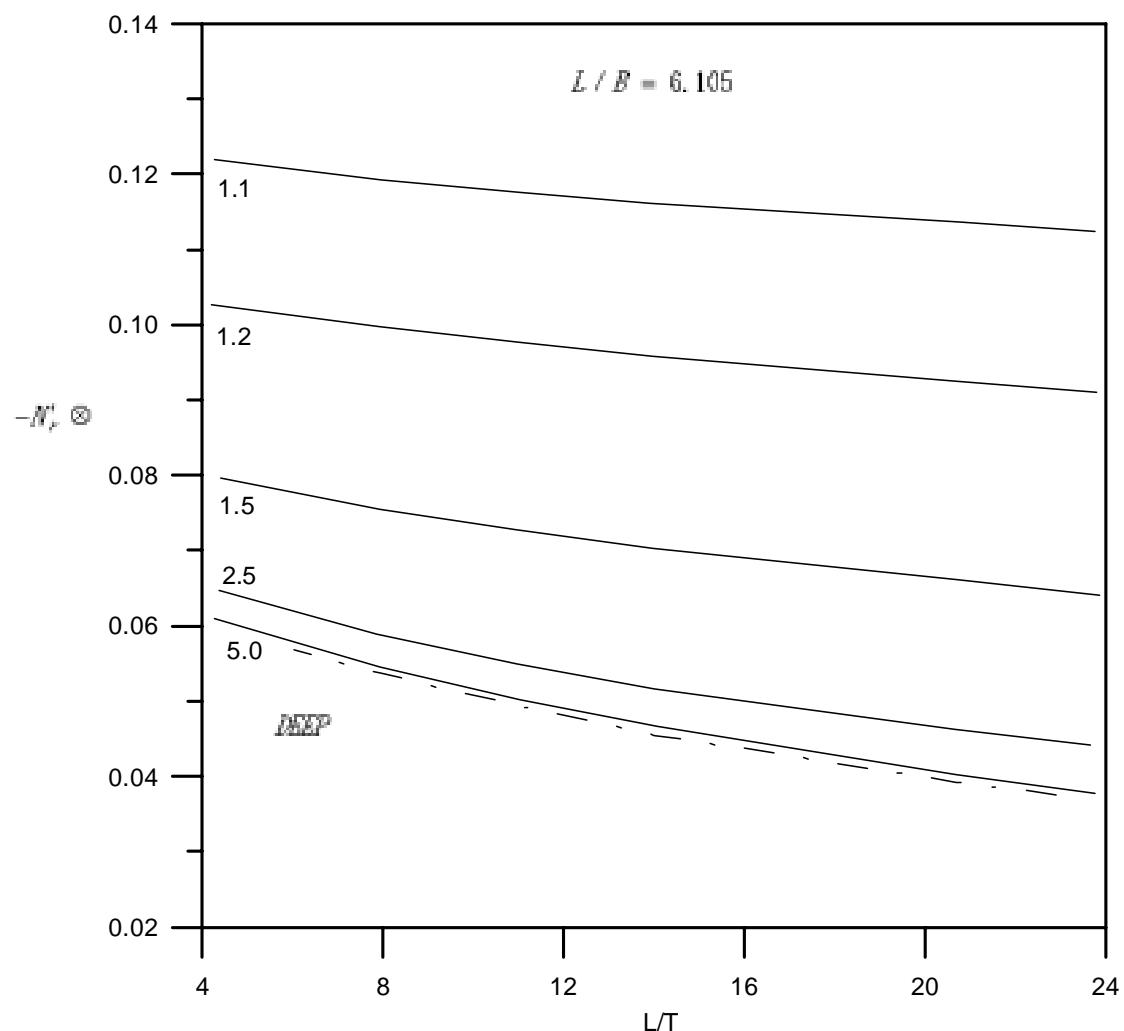


圖 3-10 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 ( $J_{zz}$ ) 估算圖  
(Mikelis, 1982)

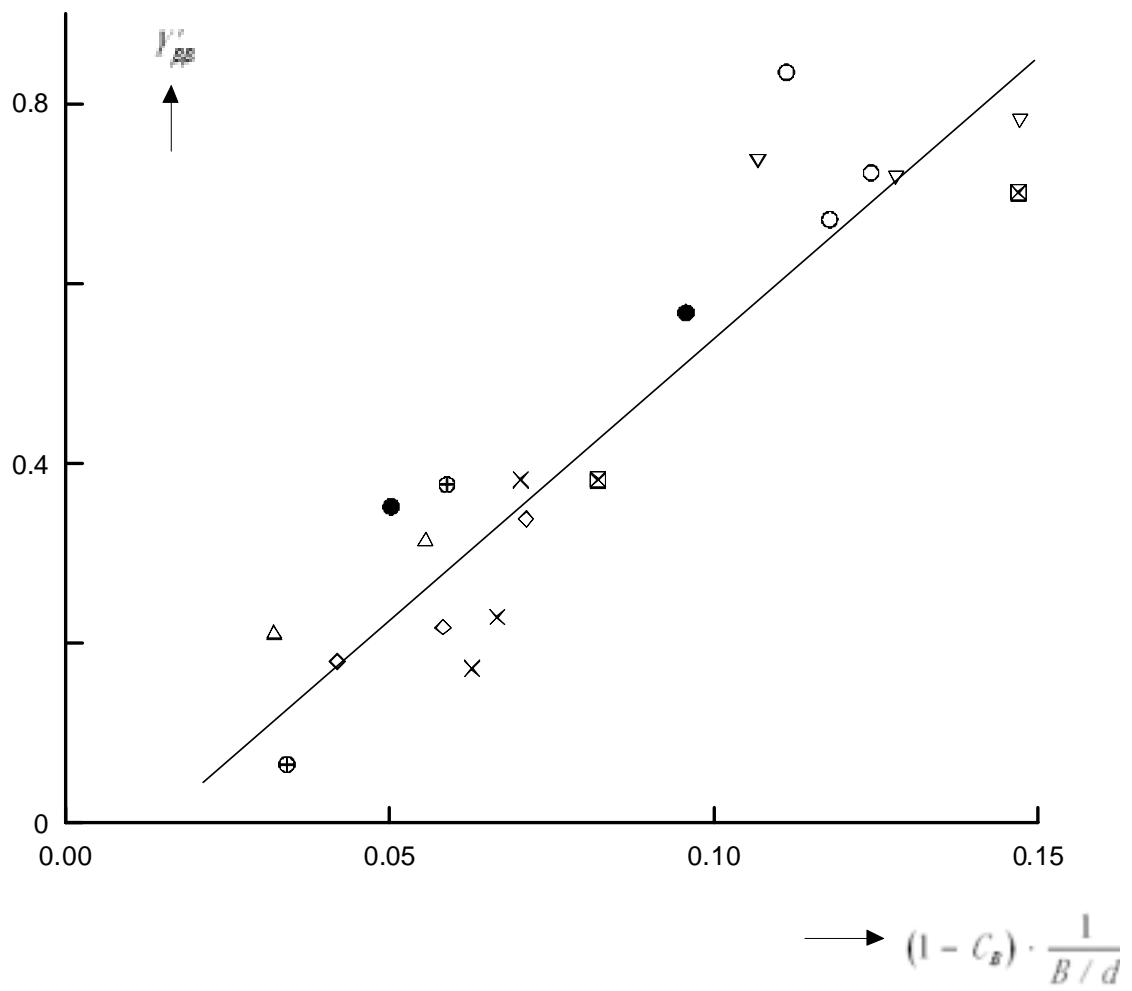
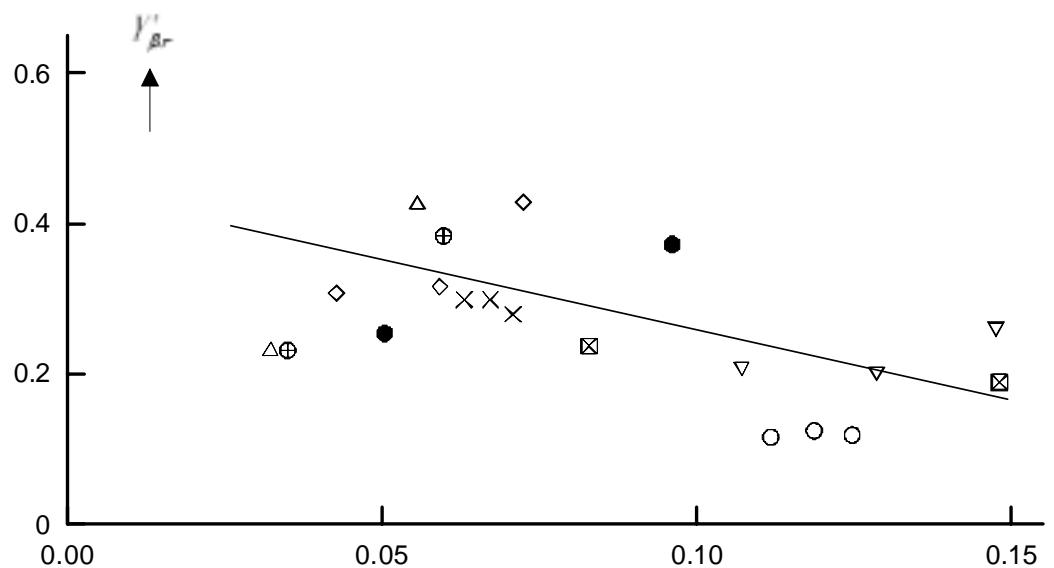
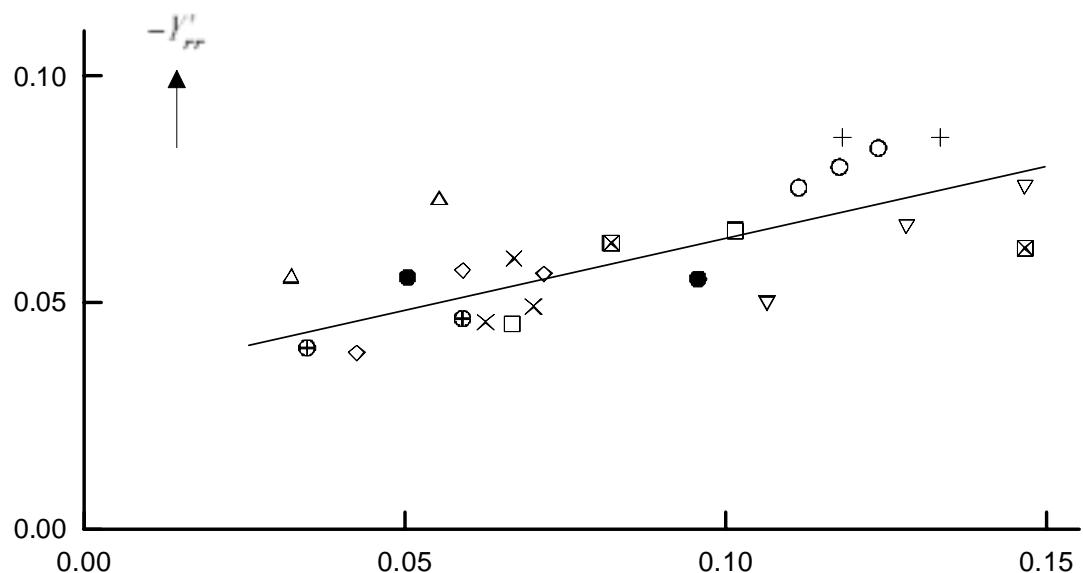


圖 3-11 船體側向力非線性阻尼力係數 ( $Y'_{\beta|\beta|}$ ) (Inoue et al., 1981a)



$$\longrightarrow (1 - C_B) \cdot \frac{1}{B/d}$$

圖 3-12 船體側向力非線性阻尼力係數 ( $Y'_{\beta|r}$ ) (Inoue et al., 1981a)



$$\longrightarrow (1 - C_B) \cdot \frac{1}{B/d}$$

圖 3-13 船體側向力非線性阻尼力係數 ( $Y'_{rr}$ ) (Inoue et al., 1981a)

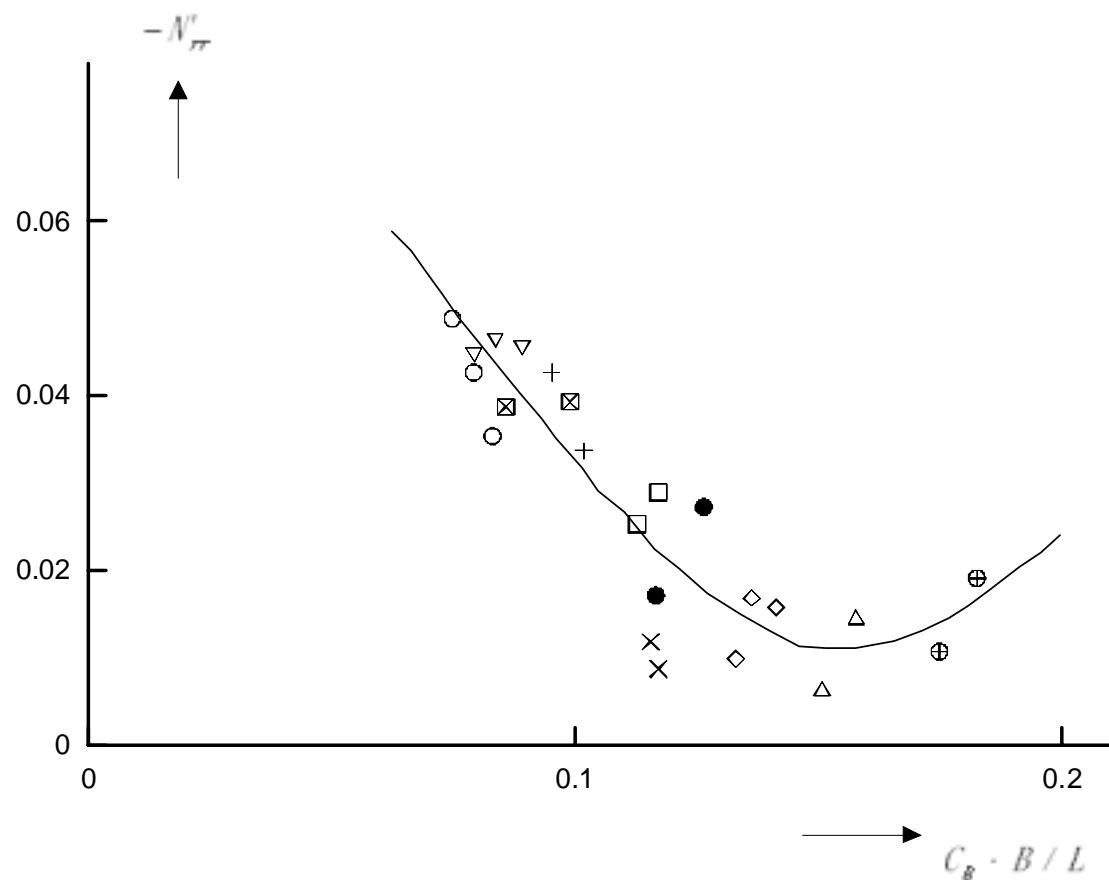


圖 3-14 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ( $N'_{rr}$ ) (Inoue et al., 1981a)

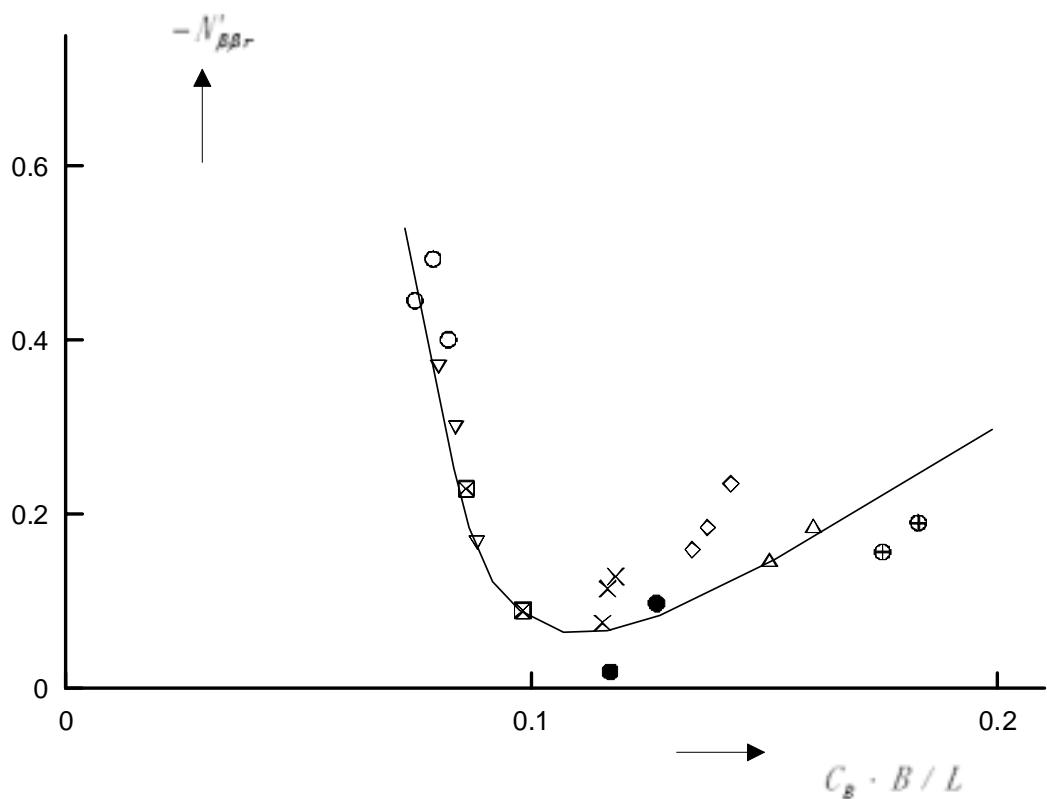


圖 3-15 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ( $N'_{\beta\beta r}$ ) (Inoue et al., 1981a)

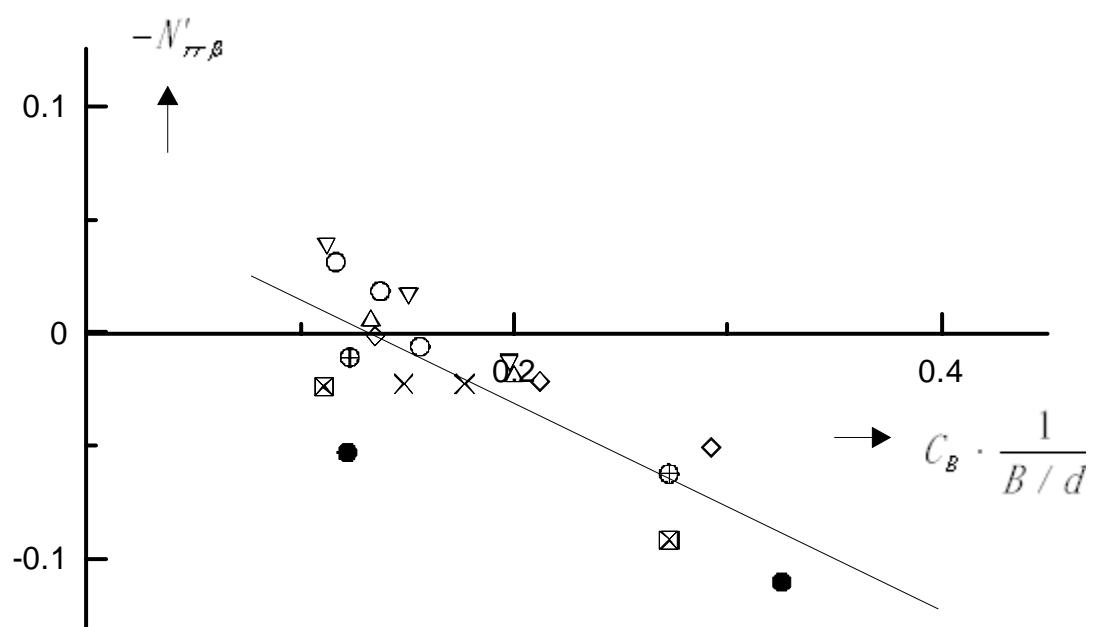


圖 3-16 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ( $N'_{\beta rr}$ ) (Inoue et al., 1981a)

對於  $Y_\phi$ 、 $Y_{\beta|\phi|}$ 、 $Y_{r|\phi|}$ 、 $N_\phi$ 、 $N_{\beta|\phi|}$ 、 $N_{r|\phi|}$  而言實驗數據甚少，可由 Hirano (1980) 對某貨櫃輪船進行試驗結果表示：

$$Y_\phi = Y_{\beta|\phi|} = Y_{r|\phi|} = 0 \quad (3-21)$$

$$N_{\beta|\phi|} = 1.81N_\beta \quad (3-22)$$

$$N_{r|\phi|} = 2.575N_r \quad (3-23)$$

$$N_\phi = -0.17925 \quad (3-24)$$

其中， $\phi$ ：徑度橫搖角。

而  $X_{vv}$ 、 $X_{vvv}$ 、 $X_{vvvv}$  之估算公式可表示為：

$$X_{vv} = 0.4(TB/L^2) - 0.006 \quad (3-25)$$

$$X_{vvv} = 4(TB/L^2) - 0.002 \quad (3-26)$$

$$X_{vvvv} = 0.0003 \quad (3-27)$$

至於  $N(\dot{\phi})$ ，可表示如下：

$$N(\dot{\phi}) = \frac{2\pi(I_{xx} + J_{xx})}{T_R} K \dot{\phi} \quad (3-28)$$

其中

$$T_R : \text{橫搖自然週期} \left( = \frac{1.108}{\sqrt{GM}} \sqrt{\frac{I_{xx}}{m}} \right)$$

$K$ ：橫搖阻尼係數 (0.3)

$\sqrt{GM}$ ：定傾高 (metacentric height)

$X_0(u)$  則可利用統計方法 (Holtrop & Mennen, 1978, 1982) 估算，亦可由直進時螺旋有效跡流係數及推減係數估算法求得。

### 3.4 舵力

操船時舵力大小由舵之幾何形狀與有效入流決定。實際操舵產生舵力時，會在舵前方之主船體上誘導產生另一交叉流 (cross flow)，而

有額外之橫移力與水平轉力矩作用於主船體上。根據 MMG 研究結果顯示，圖 3-17 所示為舵力在各方向之分力與力矩，可表示如下：

$$X_R = -(1 - t_R)F_N \sin \delta \quad (3-29)$$

$$Y_R = -(1 + a_H)F_N \cos \delta \quad (3-30)$$

$$N_R = -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \quad (3-31)$$

$$K_R = -(z_R + a_H z_H)F_N \cos \delta \quad (3-32)$$

其中

$t_R$ ：舵之阻力減少係數

$a_H$ ：舵之額外橫向力與橫向力之比值

$x_R$ ：橫向力作用點的 x 座標

$x_H$ ：額外橫向力作用點的 x 座標

$z_R$ ：橫向力作用點的 z 座標

$z_H$ ：額外橫向力作用點的 z 座標

$\delta$ ：舵角

$F_N$ ：舵的正向作用力 (normal force)

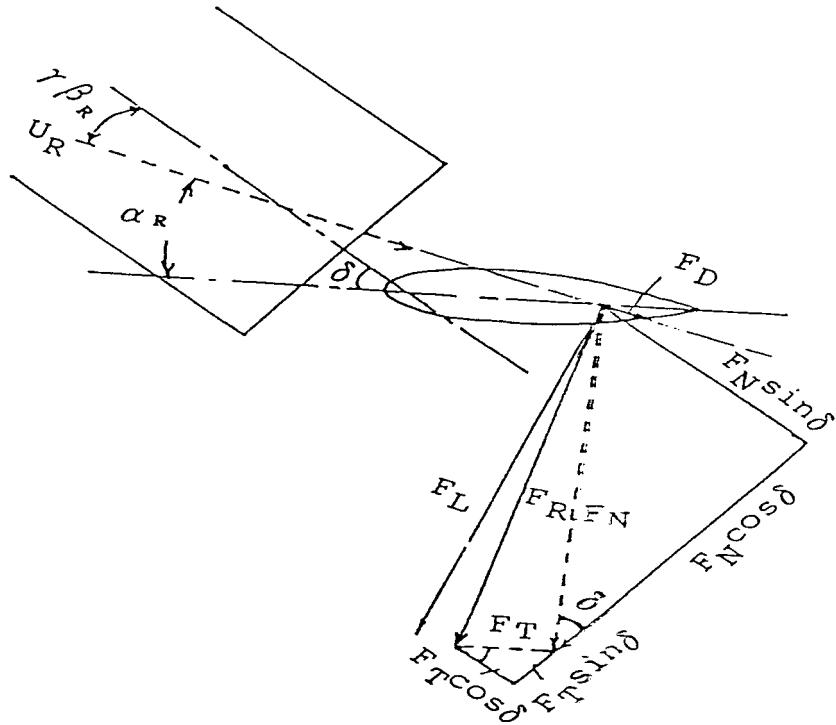


圖 3-17 舵力示意圖(邱, 1997)

其中  $(1-t_R)$  約介於 0.7 與 0.8 之間，模擬計算時可取 0.75。舵的正向作用力  $F_N$  可表示如下：

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 C_N \quad (3-33)$$

其中  $A_R$  為舵面積， $U_R$  為舵的有效入流速度， $C_N$  為舵正向力係數。舵正向力係數  $C_N$  之表示法如下：

$$C_N = \frac{6.13\Lambda}{\Lambda + 2.25} \sin \alpha_R \quad (3-34)$$

$\Lambda$  為舵之幾何展弦比 (geometrical aspect ratio)， $\alpha_R$  為舵的有效入流攻角。

另外，螺槳依船速及轉速狀態可分為四個象限：

第一象限： $n>0, u>0$

第二象限： $n>0, u<0$

第三象限： $n<0, u<0$

第四象限： $n < 0$ ,  $u > 0$

螺槳在四個象限中之推力與扭力可表示為下：

$$X_P = (1 - t_p) \cdot \frac{1}{2} \rho \{ [u(1 - \omega_p)]^2 + (0.7\pi n D_p)^2 \} \times \frac{\pi}{4} D_p^2 C_T \beta_p \quad (3-35)$$

$$Q_P = -2\pi J_{pp} \dot{n} - \frac{1}{2} \rho \{ [u(1 - \omega_p)]^2 + (0.7\pi n D_p)^2 \} \times \frac{\pi}{4} D_p^3 C_Q \beta_p \quad (3-36)$$

其中， $t_p$  為推力減少係數， $\omega_p$  為螺槳有效跡流係數， $J_{pp}$  為螺槳附加極慣性矩 (added polar moment of inertia)， $C_T$ 、 $C_Q$  則依船舶資料內插估算 (Lammeren et al., 1969)。在正常航行狀態下，即第一象限  $n > 0$ ,  $u > 0$ ，螺槳之推力與扭力可表示為下：

$$X_P = (1 - t_p) \rho n^2 D_p^4 K_T J_p \quad (3-37)$$

$$Q_P = -2\pi J_{pp} \dot{n} - \rho n^2 D_p^5 K_C Q J_p \quad (3-38)$$

$J_p$  為螺槳前進比 (advance ratio)， $K_T$ 、 $K_C$  可由迴歸公式估算 (黃等人, 1987)。

### 3.5 波浪力

不規則波之計算可利用規則波疊加之原理加以計算，而規則波中之航行船舶除受一階振盪力作用外，尚受二階穩態漂流力之作用。為簡化起見，暫不考慮振盪力對操縱運動之影響。波浪漂流力之表示法如下：

$$X_{wv} = X_{wv}' \beta_R \cdot \frac{1}{2} \rho g L_{pp} \zeta_a^2 \quad (3-39)$$

$$Y_{wv} = Y_{wv}' \beta_R \cdot \frac{1}{2} \rho g L_{pp} \zeta_a^2 \quad (3-40)$$

$$N_{wv} = N_{wv}' \beta_R \cdot \frac{1}{2} \rho g L_{pp} \zeta_a^2 \quad (3-41)$$

$$K_{wv} = 0 \quad (3-42)$$

式中  $\zeta_a$  為波高， $X_{wv}^.$ 、 $Y_{wv}^.$ 、 $N_{wv}^.$  為波浪漂流力係數，是船速、波長船長比及相對波向角  $\beta_R$  之函數。至目前為止考慮船速效應之波浪漂流力實驗值或理論計算值並不多見，本研究在計算波浪作用力時，目前引用 Hirano(1980) 所發表船舶於靜止時之漂流力試驗結果作為計算之漂流力係數，未來待水工模型驗完成後再修正程式。

### 3.6 潮流力

作用於船舶之潮流力與力矩可表示如下：

$$X_C = X_C^{\cdot} \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_f \bar{V}_R^2 \quad (3-43)$$

$$Y_C = Y_C^{\cdot} \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_s \bar{V}_R^2 \quad (3-44)$$

$$N_C = N_C^{\cdot} \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_s L_{pp} \bar{V}_R^2 \quad (3-45)$$

$$K_C = K_C^{\cdot} \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho (\bar{A}_s^2 / L_{pp}) \bar{V}_R^2 \quad (3-46)$$

其中， $X_C^{\cdot}$ 、 $Y_C^{\cdot}$ 、 $N_C^{\cdot}$ 、 $K_C^{\cdot}$  為潮流力係數，是相對流向角  $\alpha_R$  之函數， $A_f$  及  $A_s$  分別代表水面下船體之正向及側向投影面積。 $\bar{V}_R$  為對潮流的相對船速。

### 3.7 風力

作用於船舶之風力與風力矩可表示為：

$$X_W = X_W^{\cdot} \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_f V_R^2 \quad (3-42)$$

$$Y_W = Y_W^{\cdot} \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_s V_R^2 \quad (3-43)$$

$$N_W = N_W^{\cdot} \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_s L_{pp} V_R^2 \quad (3-44)$$

$$K_W = K_W^{\cdot} \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a (A_s^2 / L_{pp}) V_R^2 \quad (3-45)$$

式中，風力係數  $X'_W$ ， $Y'_W$ ， $N'_W$ ， $K'_W$  為相對風向角  $\gamma_R$  之函數， $\bar{A}_f$  及  $\bar{A}_s$  分別代表水面上船體之正向及側向投影面積。 $\rho_a$  為空氣密度，本研究在計算風力係數時引用 Isherwood(1973) 試驗所得風阻力迴歸公式作為計算風力之參考。

## 第四章 操船模擬結果與展示

### 4.1 操船模擬介面

如前章所述，船舶操縱運動方程式外力繁多，各項外力係數有理論解者艱深難懂、無理論解者亦大都必須藉由試驗結果迴歸而得，一般人要完全了解整個船舶操縱運動的內容並不十分容易，然而此方程式之終極目標主要在於即使不明瞭船舶操縱運動理論的人能運用自如，因此操縱運動方程式搭配虛擬實境，透過虛擬影像重新包裝並呈現另一簡單、易於讓一般人接受與應用的方式，然而船舶航行於大海、進而進港靠泊過程中，所面臨的狀況相當多，每個狀況都必須修正或增加運動方程式的參數並修改程式，對使用及操作此程式的人造成很大之困難及不便，有鑑於此，本研究希望藉由介面的設計，整合操船模擬系統程式，使其呈現另一較為簡潔、易於了解及執行的面貌。

介面設計的好壞攸關未來整個船舶操縱運動程式在執行時的方便性、簡單易了解與操作，同時必須兼顧整個方程式未來可能之擴充性，基於此，整合介面在原設計初始即必須構思整體構架，以及將執行本程式各項所需參數資料整合、分類，而後藉由所建立之各界面連結船舶操縱運動方程式主程式與各副程式，未來在執行程式時，將是以直接於介面面板上操控船舶航行運動的方式進行。本計劃所設計的程式係運用 Microsoft Visual Basic 軟體，該軟體所撰寫之程式最大優點是視窗化，在軟體開發完成後，使用全依滑鼠控制指令操作，極為容易，本程式所開發之軟體僅適用在 Microsoft Windows。

由於介面之設計影響未來船舶操縱運動方程式執行之順暢與方便，因此去年度最主要之工作項目在於本項介面設計上，本研究團隊亦耗費相當大的心力在於參數統合、分類、資料輸入及介面程式撰寫與修改上，經過統合執行船舶操縱運動所需各項資料後，本研究將其以四個介面呈現，各界面功能、目的與所需輸入資料及其各資料說

明、建議，目前可提供選擇之各理論或經驗參數皆呈現於介面上，以利使用者執行程式，此四個介面分別為「整體操作介面」、「參數介面」、「實船試驗介面」、「檔案資料介面」，各界面連結所需資料庫並由整體操縱介面連結船舶操縱運動程式，而呈現操船模擬時船舶於港口附近乃至進港過程之軌跡與用舵、轉速、角速度等各物理量。

本年度在完成船舶操縱運動程式之撰寫，並與各界面連結後，在實際操作後發現有小部分實務的問題，如各操作介面所包含之資料過多，以往在界面資料分類時以性質、功能為分類之導向，本年度則將其以操作需求為導向，因此本研究將前述四個操作介面重新整合，並加入輸出列印功能等項目，使實際操作時更簡易，重新整合後之介面大致分為：

1. 「整體操作介面」：主要指定各艘船舶所需連結之基本特性及輸出檔案名稱、所在海域水深地形檔案名稱等。
2. 「參數介面」：主要功能為設定各艘船之槳、舵等，在具有實船實測資料時應用。其包含有啟動參數介面、各試驗船本船基本資料介面、試驗參數介面、係數選擇介面等子介面。
3. 「實船試驗介面」：在具有實船資料時應用。
4. 「檔案資料介面」：檔案輸出輸入之介面。

各介面之展示及說明如下：

(a)整體操作介面：如圖 4-1 所示，本介面可提供在操船模擬時顯示各項資料，如：

1. 即時顯示各船舶操船之相關位置、座標，模擬時間等。
2. 即時顯示各船之船速、用舵等相關資料。
3. 顯示波浪、潮流等相關資料。
4. 各船操控模擬藉由本介面操控。



圖 4-1 整體操作介面

(b) 檔案資料介面：如圖 4-2 所示，本介面可提供在操船模擬時各項資料，如：

1. 輸入模擬之船數。
2. 各模擬船本船等相關資料之檔案名稱。
3. 地形水深資料檔案名稱。
4. 各船模擬結果輸出資料檔案名稱。



圖 4-2 檔案資料介面

(c) 啟動參數介面：如圖 4-3 所示，主要在於設定設定船舶試驗項目。



圖 4-3 啟動參數介面

(d) 本船基本資料介面：如圖 4-4 所示。輸入各試驗船之船型係數，螺旋槳數目及型式、主機引擎馬力、轉數、舵、吃水、噸位等基本資料。

◎ 本船基本資料

註1 19及20項擇1輸入，另1項輸入0。註2 32-34項可由 Motora Chart 查得。註3 35-37項輸入正確數據，無正確數據時輸入0，程式會自動使用 Isherwood的經驗值。

1 主機回轉延時約60~120秒 pro_time	60	12 LCB(縱向浮心)/Lpp lcb	0.0296	23 螺葉展開面積比 ae_a0	0.682	34 Jzz/Jzz jzz	0.624	45 水線以下流體慣性力作用點與水面距離 hh hh	11
2 螺旋槳延時 rod_time	50	13 LCG(縱向重心)/Lpp lcg	0.0317	24 螺葉直徑 dia	9.1	35 水線上船體正向投影面 up_t	1319	46 船座中心與重心距離 zi 向下為正	9.77
3 engtype 1.柴油 2.蒸汽 engtype	2	14 hb 球體橫斷面積中心 與基線的距離 hb	4.6	25 螺距 pitch	6.507	36 水線上船體側向投影面 up_l	3425	47 螺槳之極慣性矩 mmoiip	750000
4 Lpp 垂槳間長 lpp	325	15 abt 球型體之剖面面積 abt	60	26 螺葉x座標 pro_pos	-160.5	37 水線上船體側向投影面 up_c	179.6	48 螺槳附加質量慣性矩 ammoip	58922
5 b 船寬 b	53	16 主甲板上船樓與甲板室 側向投影面積 assd	15000	27 舵數 rud_no	1	38 水線下船體正向投影面 wd_t	1500	49 vcg 垂直重心高度 vcg	22.79
6 船形方塊係數=CPxCM cb	0.63	17 上甲板面積係數 cu	0.85	28 舵面積 rud_area	119.817	39 水線下船體側向投影面 wd_l	3500	50 Loa 全長 loa	343
7 cp 螺槳流動校正係數 cp	0.63	18 機械槳 dmld	28.3	29 舵幾何展弦比 rud_asp	1.539	40 水線下船體側向投影面 積中心與船體 wd_c	180	51 最大前進回轉數 cw_rpm	70
8 ta 艦垂槳吃水 ta	21.79	19 柴油引擎主機扭矩 qemax	0	30 舵高 rud_ht	1385	41 argox=kxx/(radii of gyro/b argox)	0.1643	52 最大後退回轉數 ccw_rpm	70
9_tf 艦垂槳吃水 tf	21.79	20 蒸氣渦輪 起始馬力 shp	4297	31 舵x座標 rud_pos	-165.5	42 定傾角 gm	4.4	53 最大舵角 delta_rud	35
10 cm 半均弦長 cm	0.996	21 螺槳數目 pro_no	1	32 mx/m 縱附加質量 mx	0.0756	43 cgz1 gz-0 曲線係數 cgz1	-0.00034	54 舵令 (有實船用) rdeg	0
11_cwp 水面係數 cwp	0.63	22 螺葉數目 blade	5	33 my/m 橫附加質量 my	0.944	44 cgz2 gz-0 曲線係數 cgz2	0.0834	55 舵傳送速度(實船用) rdl_1	0

確認

圖 4-4 本船基本資料介面

(e) 試驗參數介面：輸入初始之船速、引擎轉速、最大轉速、數值計算時間間隔等。如圖 4-5 所示。

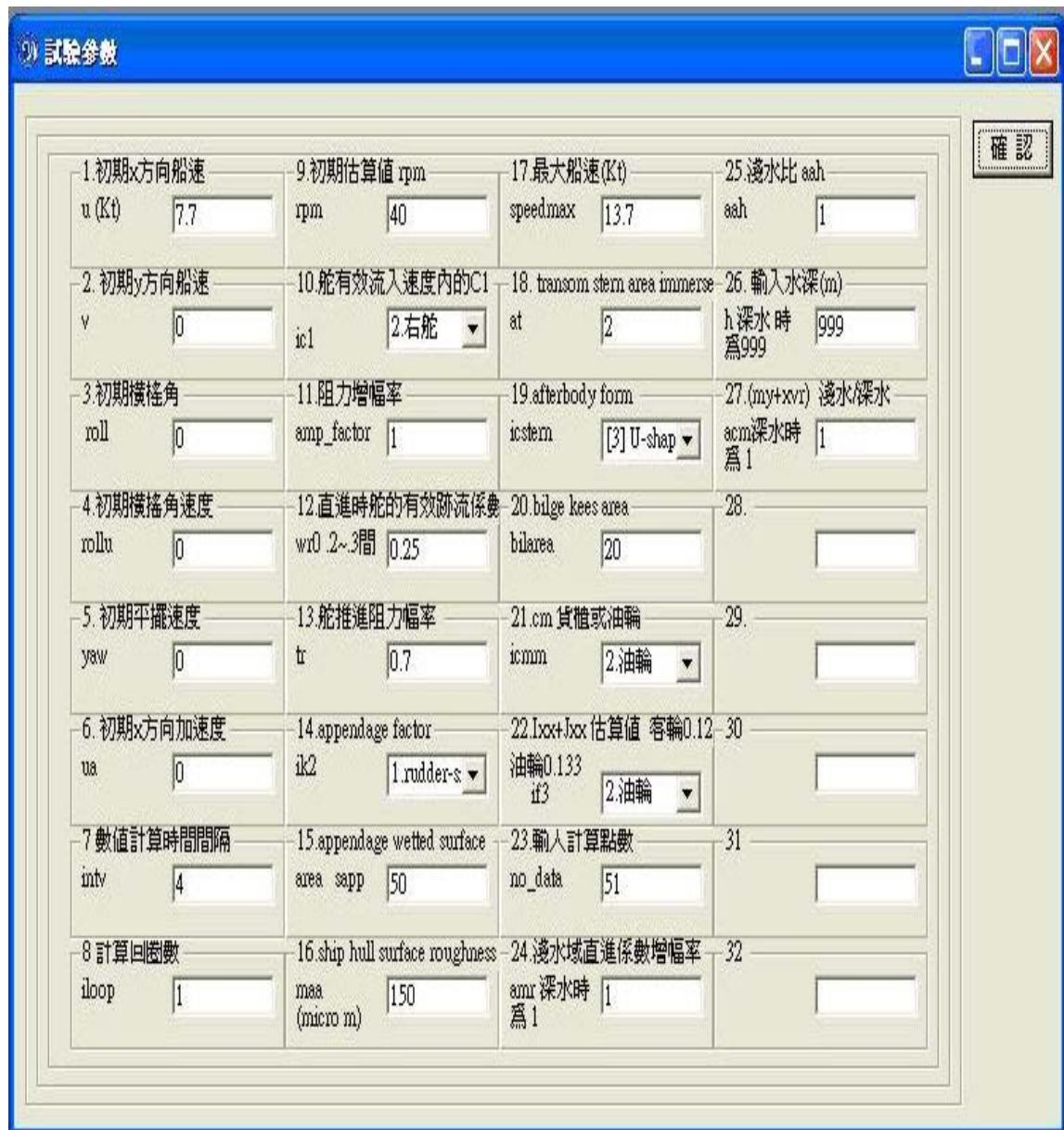


圖 4-5 試驗參數介面

(f)係數選擇介面：選擇流體力、附加質量力、阻尼力之係數及計算方法等。如圖 4-6 所示。



圖 4-6 係數選擇介面

## 4.2 操船模擬展示

本研究以 55,500 之油輪作為操船模擬展示之供試船，圖 4-7 所示為在「操船模擬介面」操作情形，及船舶航行之軌跡，介面上各項資料如船速、舵角、轉速、船舶座標等皆以即時顯示方式呈現，至於航行時各時刻之資料則儲存於\*.ans 檔中，並可輸出資料或圖檔。

而圖 4-8 與 4-9 所示則為該船進行順時與逆迴旋試驗時之操縱模擬展示。



圖 4-7 船舶模擬介面及模擬展示

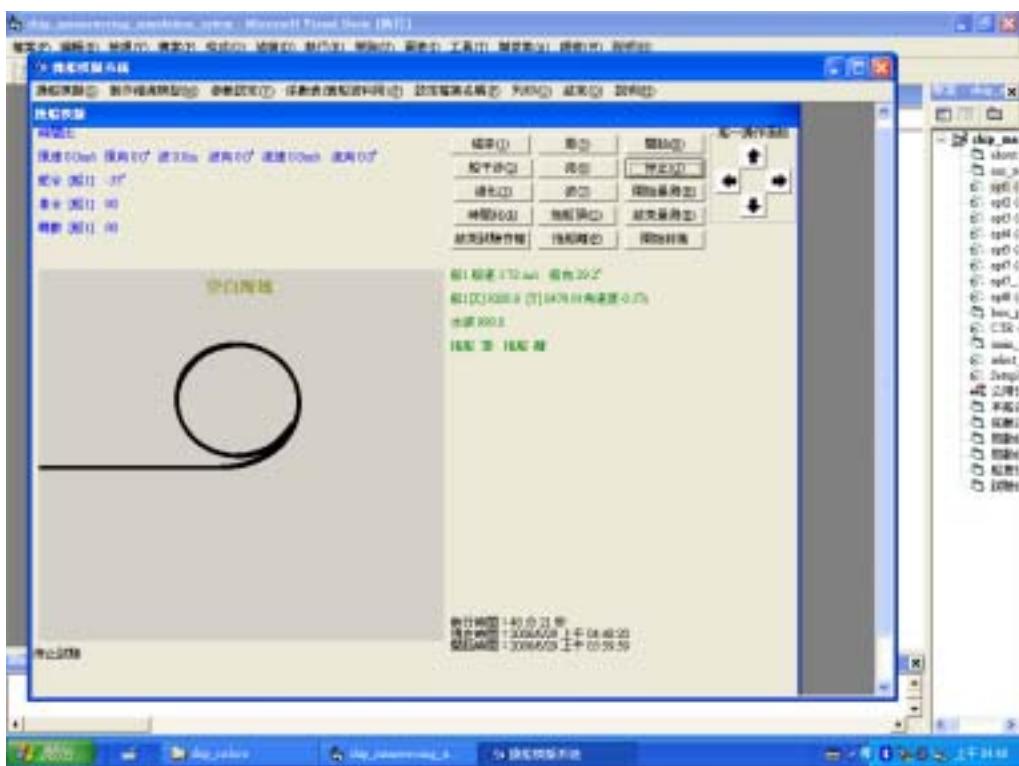


圖 4-8 逆時針迴旋試驗時之操縱模擬展示

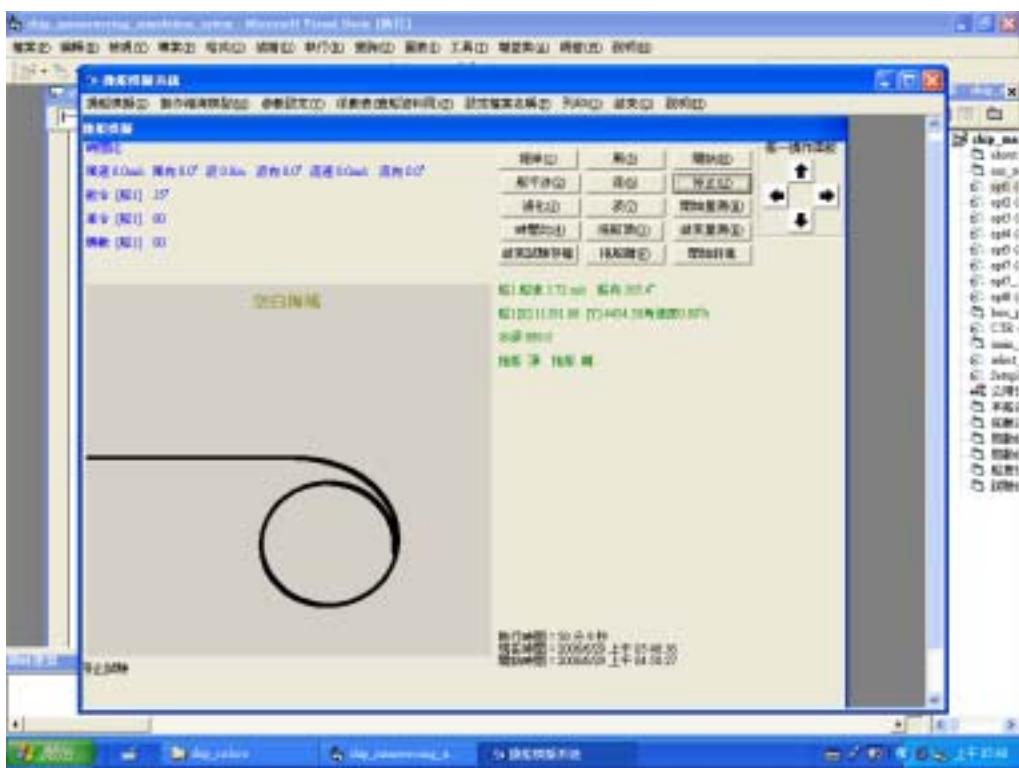


圖 4-9 順時針迴旋試驗時之操縱模擬展示

## 第五章 模式之驗證

一般而言，船舶之操縱性能主要包含有：船舶航向安定性能、迴旋性能及平擺校正能力(yaw checking ability)。而要了解一艘船的操縱性能，最直接有效之方式為進行該船海上試車(full scale trial)，根據國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)操船手冊中傳統上定義船舶操縱性能的試驗項目大致有：迴旋試驗(turning test)、Z型試驗(zig-zag test)及螺旋試驗(spiral test)等三種。

迴旋試驗之主要目的在於測試船舶的迴旋能力。在進行船舶迴旋試驗時，船舶首先以固定船速穩定直線航行，而後打舵至 $35^\circ$ 角或該船在此船速下的最大設計舵角，而後船隨即逐漸迴旋，偏流角亦逐漸加大，最後達到船舶穩定迴旋狀態。迴旋試驗所提供之資料包括前進量(advance)、側移量(transfer)、戰術直徑(tactical diameter)，穩定迴旋船速及平擺角速度等。

Z形試驗大致分成傳統Z形試驗及修正Z型試驗，Z型試驗之主要目的在於了解船舶的平擺校正能力。在進行該項試驗時，船舶首先以固定之船速直線穩定航行，而後以最大舵角速度(rudder rate)打右舵，並固定某一舵角航行。當船舶航向角達一角度時，再以最大操舵角速度打左舵至相反之舵角，直至船舶達相反之航向角(Heading change)為止，如此反覆操舵直至試驗結束。Z形試驗測試之舵角，依美國之慣例及國際試驗水槽會議(ITTC)之建議為 $20^\circ$ 。

螺旋試驗之主要目的在於了解船舶的航向安定性能及迴旋性能，大致分為直接螺旋試驗及反向螺旋試驗兩種。在進行該項試驗時，船舶首先以穩定之速度直線航行，而後以標準之方式連續進行操舵迴旋，當船舶在舵角作用下，其平擺角速度達穩定時則變換舵角。

本研究在進行模式之驗證時，首先以 Crane 於 1979 所發表的 278,000 噸級的砂石兼油輪 OSAKA 號做為供試船，與其實測資料及台大邱逢琛教授所模擬結果進行比較。另外，並以 12 噸級之亞洲水泥號(Asia Cement)進行試驗模擬。其結果分別於下列各節中討論。

## 5.1 OSAKA 號之計算結果與比較

OSAKA 油輪之本船之基本資料如表 5-1 所示。圖 5-1 ~ 5-3 所示分別為左迴旋運動之軌跡、航向角(Heading change)時間變化及船速時間變化圖。而圖 5-4 ~ 5-6 則為在船舶右迴旋時之運動軌跡、航向角(Heading change)時間變化及船速時間變化圖。表 5-2 則為左迴旋運動試驗時之各項資料，同時並與領港卡、邱所模擬之結果相互比較。

由前述左、右迴旋運動測試結果顯示，在起始迴旋時，本模式模擬之船速與邱及實測值之船速大致相同，但達穩定迴旋時，本模式所得結果之船速較快，因此在船舶迴轉至各位置之時間上較實測值為快，同時船舶迴轉之縱距與橫距均較實測值為小，尤其在右迴旋試驗時，本模式之迴旋能力較佳。

圖 5-7 所示則為 OSAKA 油輪進行深水域  $20^\circ - 20^\circ Z$  形試驗之結果，由試驗結果顯示，無論船舶初始迴旋時間、平擺校正時間及第一超射角之模擬值均與實測值或邱所模擬之結果相當接近，僅在試驗後期，模擬之結果較實測結果反應較慢，但基本上就定性反應上則大致一致。

## 5.2 Asia Cement No5 號之計算結果與比較

本研究另以 12 噸級之亞泥五號進行試驗比較，圖 5-8 ~ 5-10 所示分別為左迴旋試驗之運動軌跡、航向角(Heading change)時間變化及船速與時間之變化。而圖 5-11 ~ 5-13 則為右迴旋時之試驗結果。表 5-3 ~ 5-4 則為進行左、右迴旋運動時各項資料，並與領港卡及邱模擬結果之比較。而圖 5-14 則 Asia Cement No5 號為進行深水域  $20^\circ - 20^\circ Z$  形試驗之結果。由表 5-3 ~ 5-4 比較結果顯示，本模式進行迴旋試驗時，無論左迴旋或右迴旋，其縱距及橫距均略小於實測值，此可能進行迴旋時，船速較實測值快的因素。

表 5-1 ESSO OSAKA 本船基本資料

船名 shipname	ESSO OSAKA
船型 shiptype	油槽船
全長 loa	343
垂標間長 lpp	325
船寬 b	53
型深 dmlld	28.3
設計滿載吃水	22.05
方塊係數 cb	0.831
縱向重心 lcg	10.3
平均吃水	12.13
艏垂標吃水 ta	12.13
艉垂標吃水 tf	12.13
水線下船體正向投影面積 und_t	1500
水線下船體側向投影面積 und_l	3500
水線下船體側向投影面積中心至船艏距離 und_c	180
縱移附加質量 Mx	0.0756
橫移附加值量 My	0.944
平擺附加質量慣性矩 Jzz	0.624

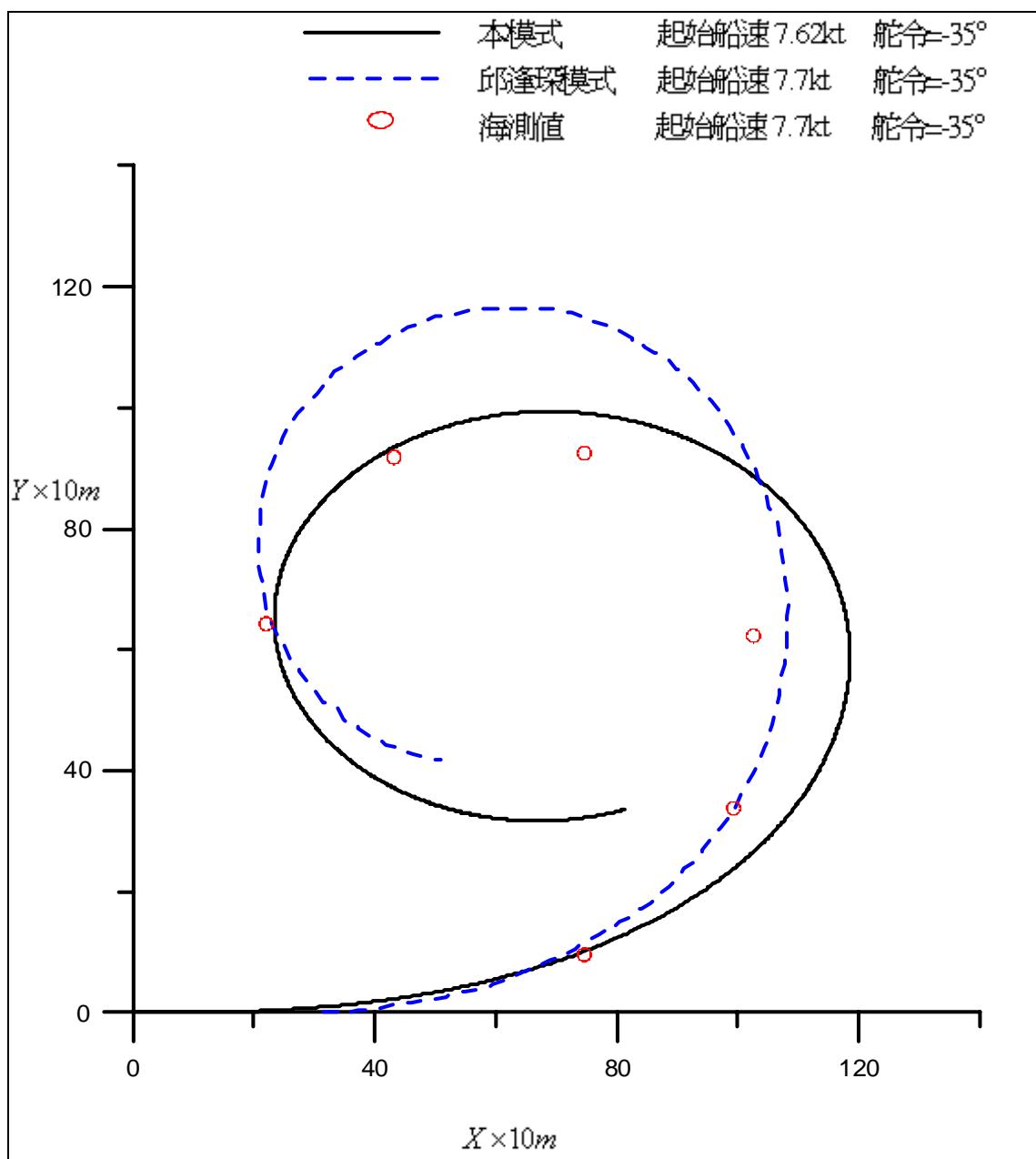


圖 5-1 Esso Osaka 油輪左迴旋運動軌跡圖

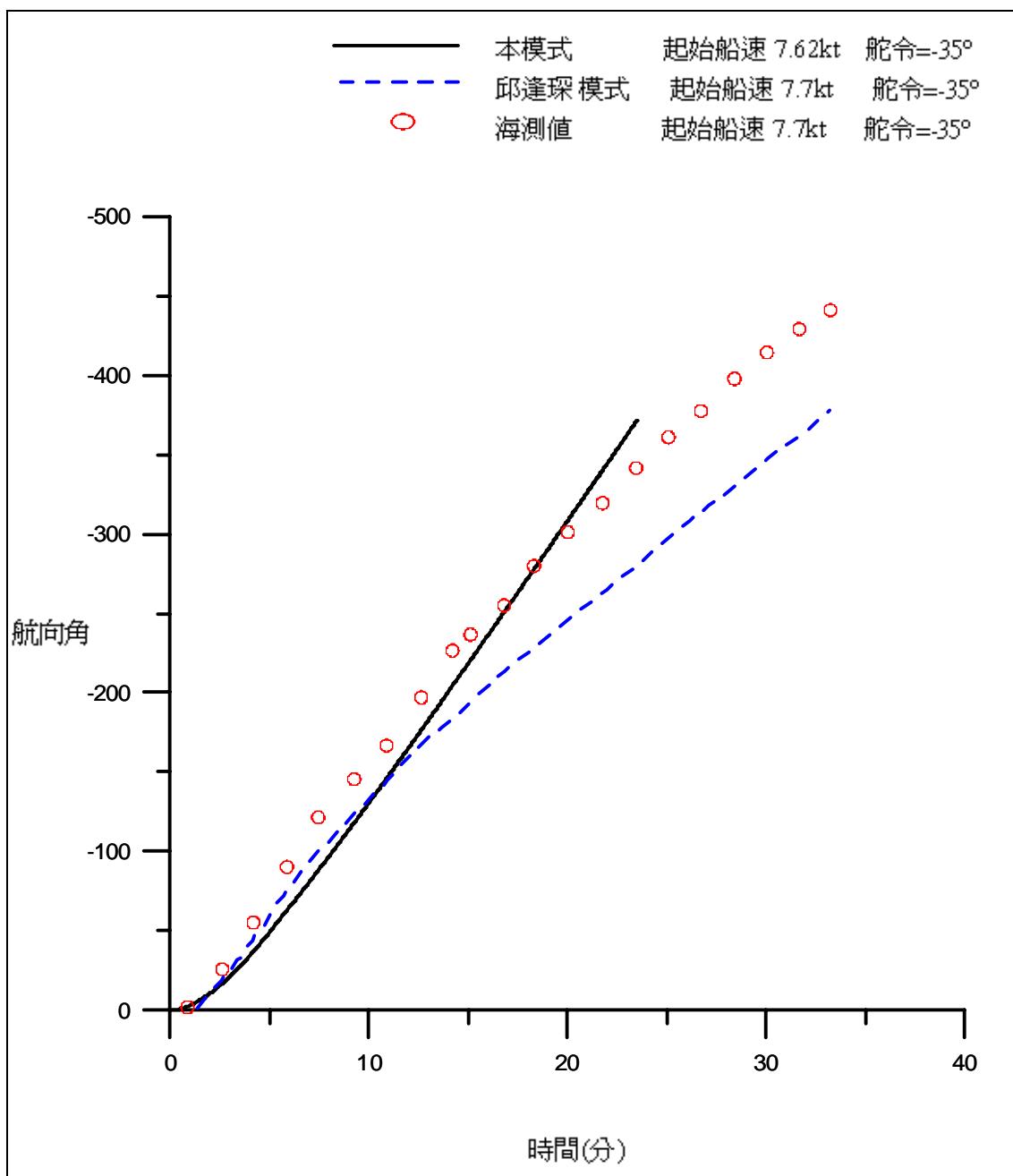


圖 5-2 Esso Osaka 油輪左迴旋運動航向角時間變化圖

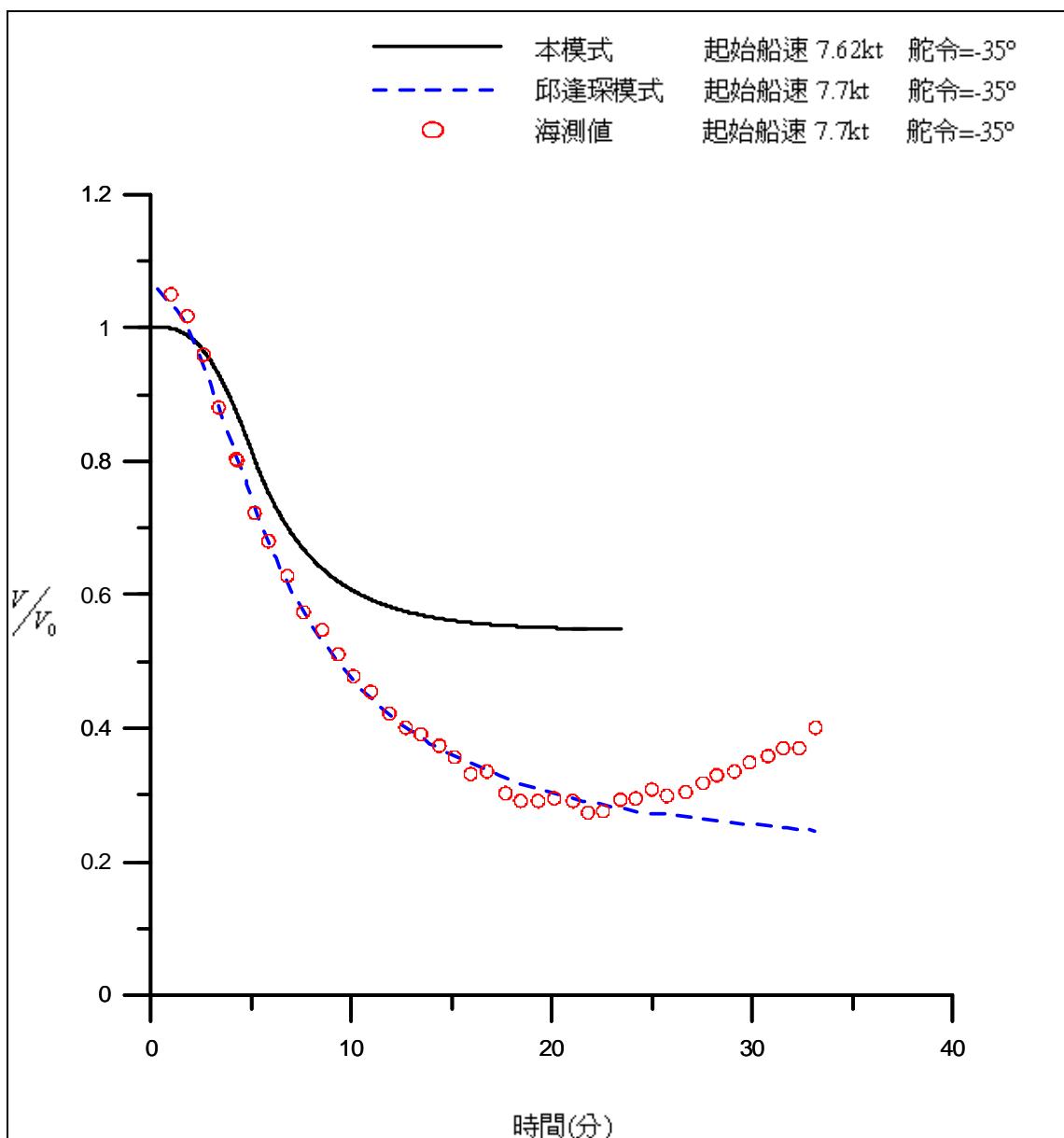


圖 5-3 Esso Osaka 油輪左迴旋運動船速時間變化圖

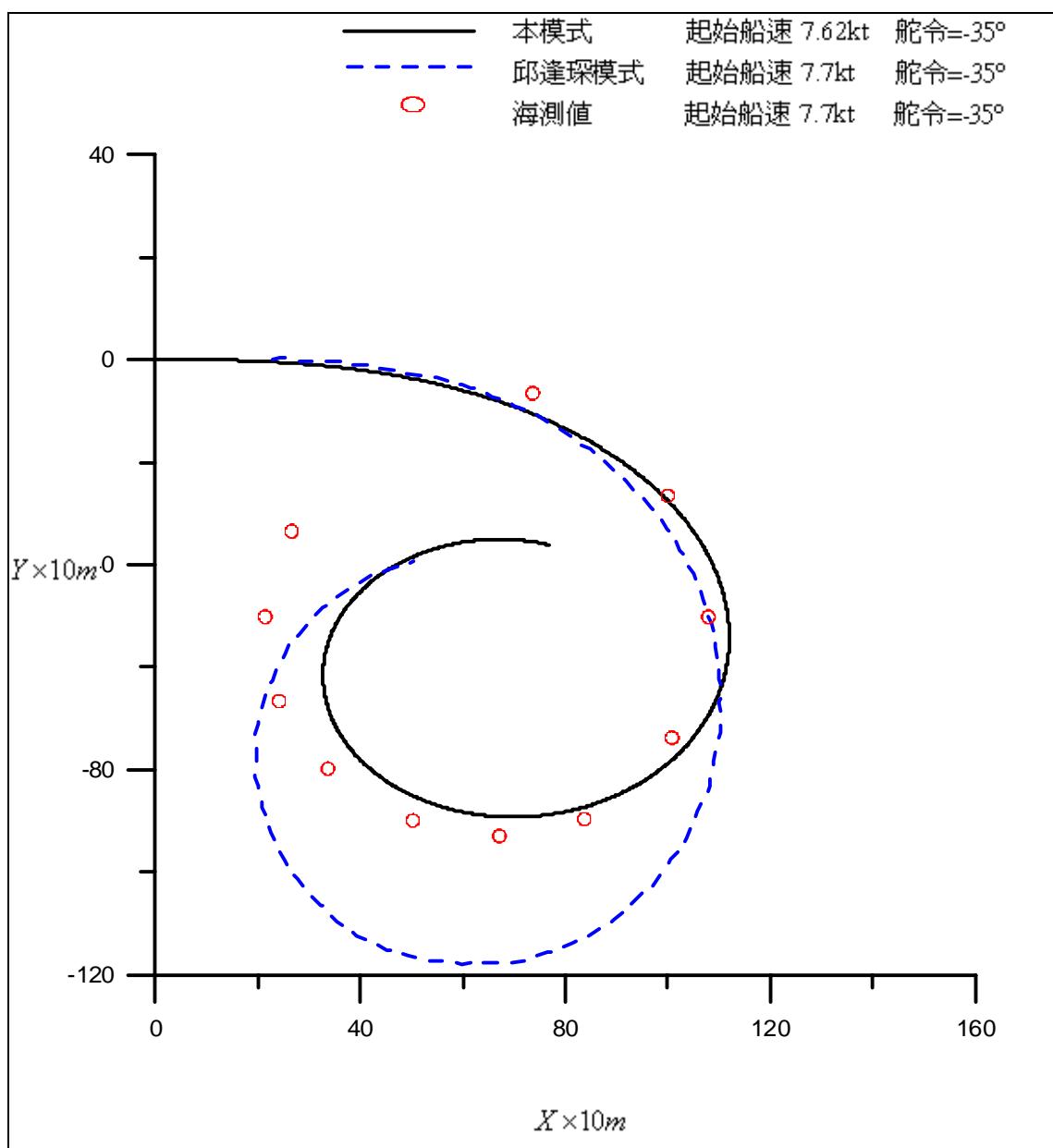


圖 5-4 Esso Osaka 油輪右迴旋運動軌跡圖

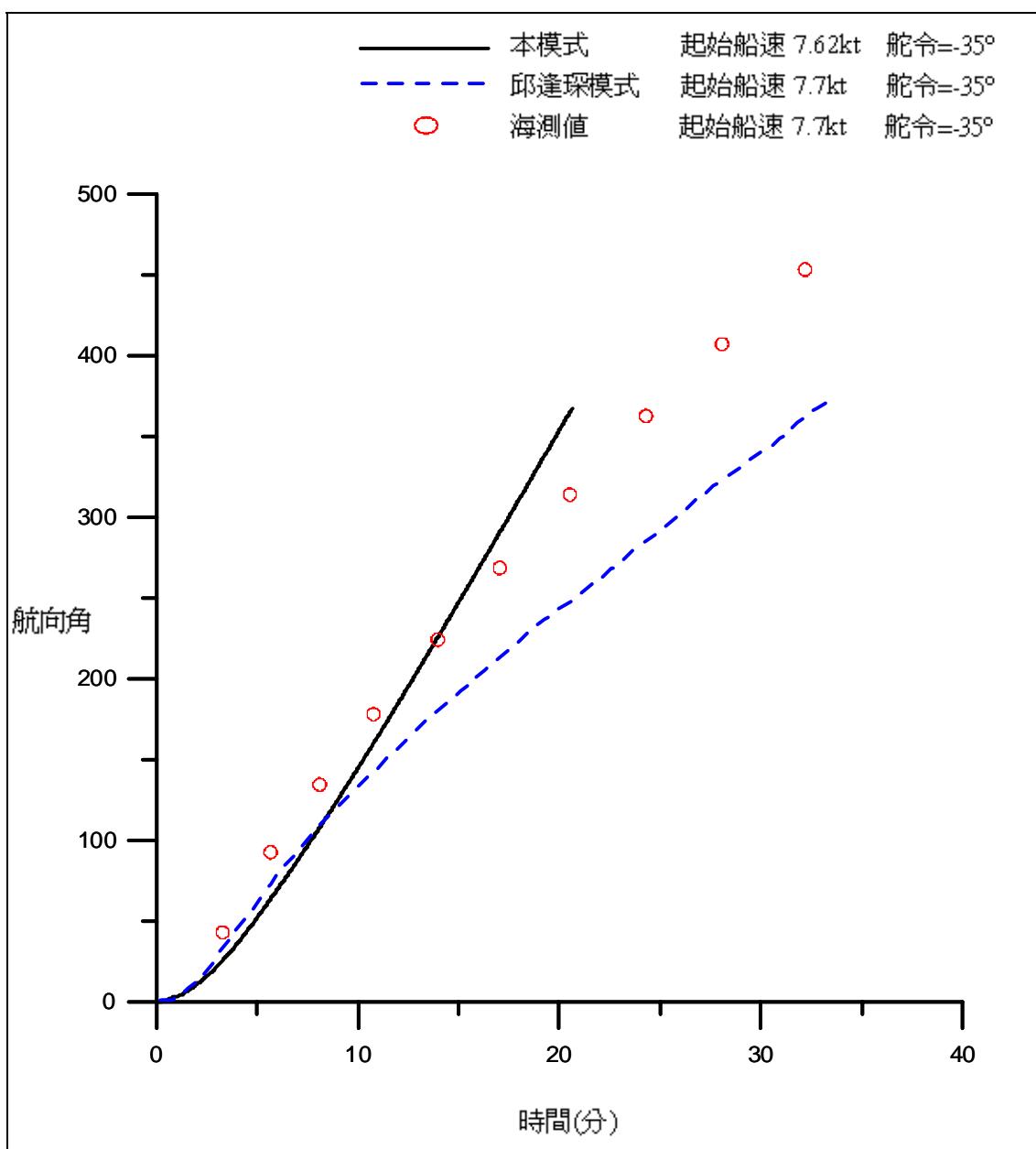


圖 5-5 Esso Osaka 油輪右迴旋運動航向角時間變化圖

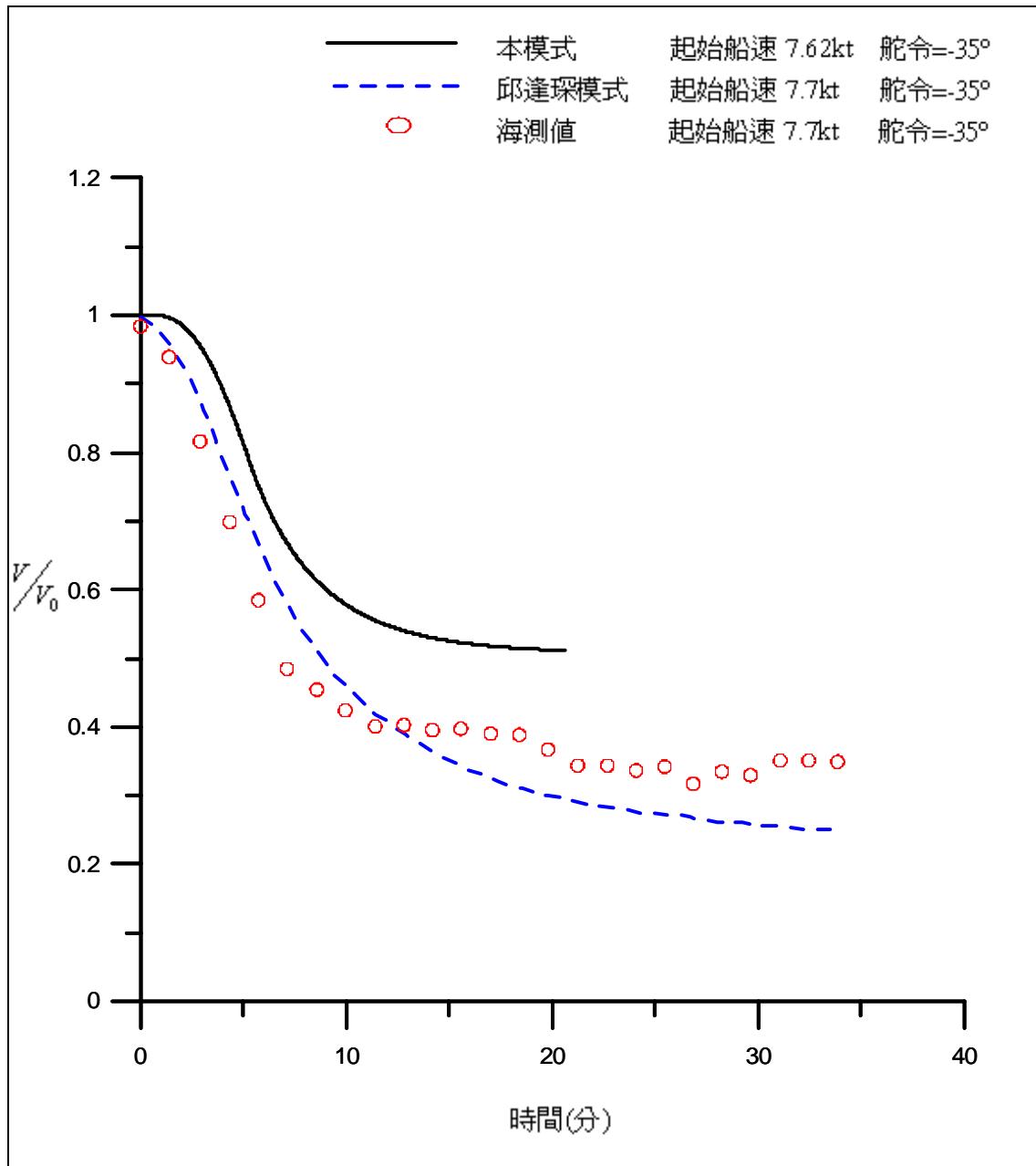


圖 5-6 Esso Osaka 油輪右迴旋運動船速時間變化圖

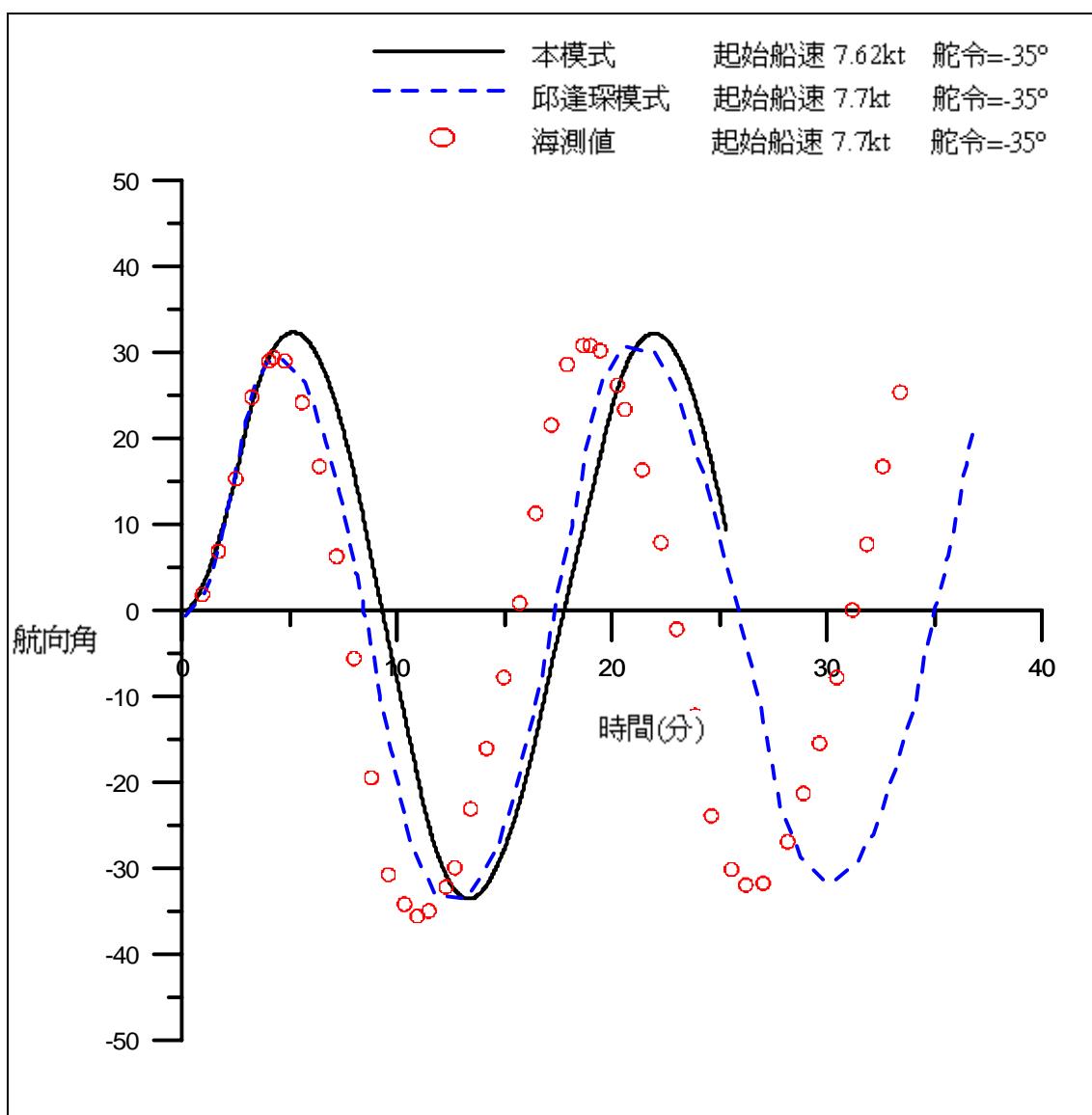


圖 5-7 Esso Osaka 油輪 Z20° – 20° 運動航向角時間變化圖

表 5-2 Esso Osaka 油輪左迴旋運動的船速、座標、時間對應表

	領港卡(註 1)	本模式模擬值	邱逢琛模擬值(註 1)
起始船速	7.7kt	7.62kt	7.7kt
迴轉 90 度時間	5 分 48 秒	7 分 11 秒	6 分 12 秒
迴轉 90 度船速	6.1kt	5.08kt	5.9kt
迴轉 90 度縱距	1006m	945m	1063m
迴轉 90 度橫距	530m	502m	513m
迴轉 180 度時間	11 分 50 秒	11 分 48 秒	13 分 06 秒
迴轉 180 度船速	4.6kt	4.20kt	3.5kt
迴轉 180 度縱距	730m	540m	620m
迴轉 180 度橫距	840m	755m	1130m
迴轉 270 度時間	19 分 18 秒	16 分 06 秒	25 分 18 秒
迴轉 270 度船速	4kt	3.97kt	2.5kt
迴轉 270 度縱距	230m	279m	230m
迴轉 270 度橫距	630m	487m	760m
迴轉 360 度時間	25 分 10 秒	20 分 17 秒	32 分 05 秒
迴轉 360 度船速		3.91kt	
迴轉 360 度縱距		612m	
迴轉 360 度橫距		300m	

註 1: 邱逢琛等(1987), 船舶操縱性能理論預測之研究, 中國造船公司  
七十六年度研究報告

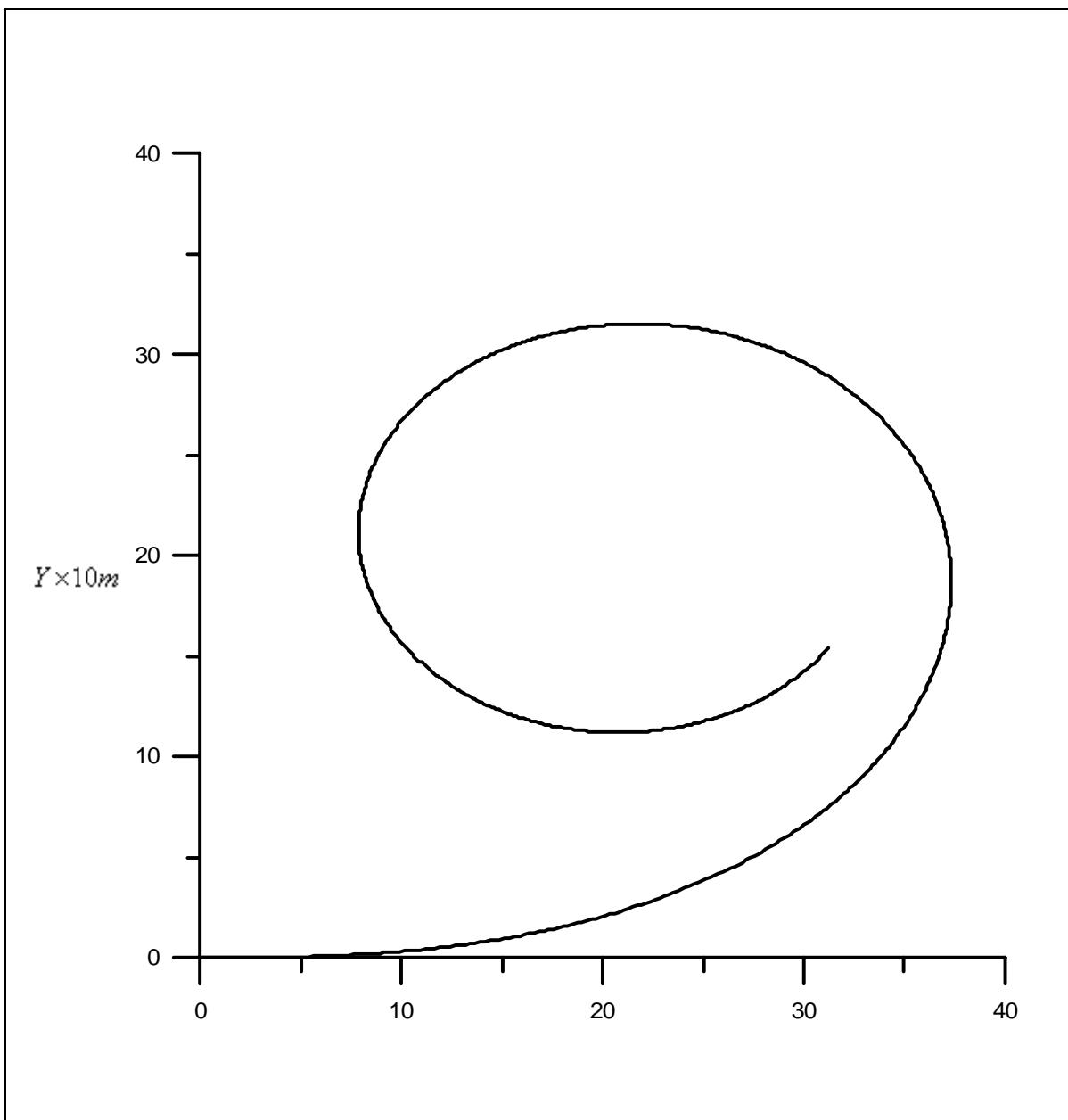


圖 5-8 Asia Cement No.5 油輪左迴旋運動軌跡圖

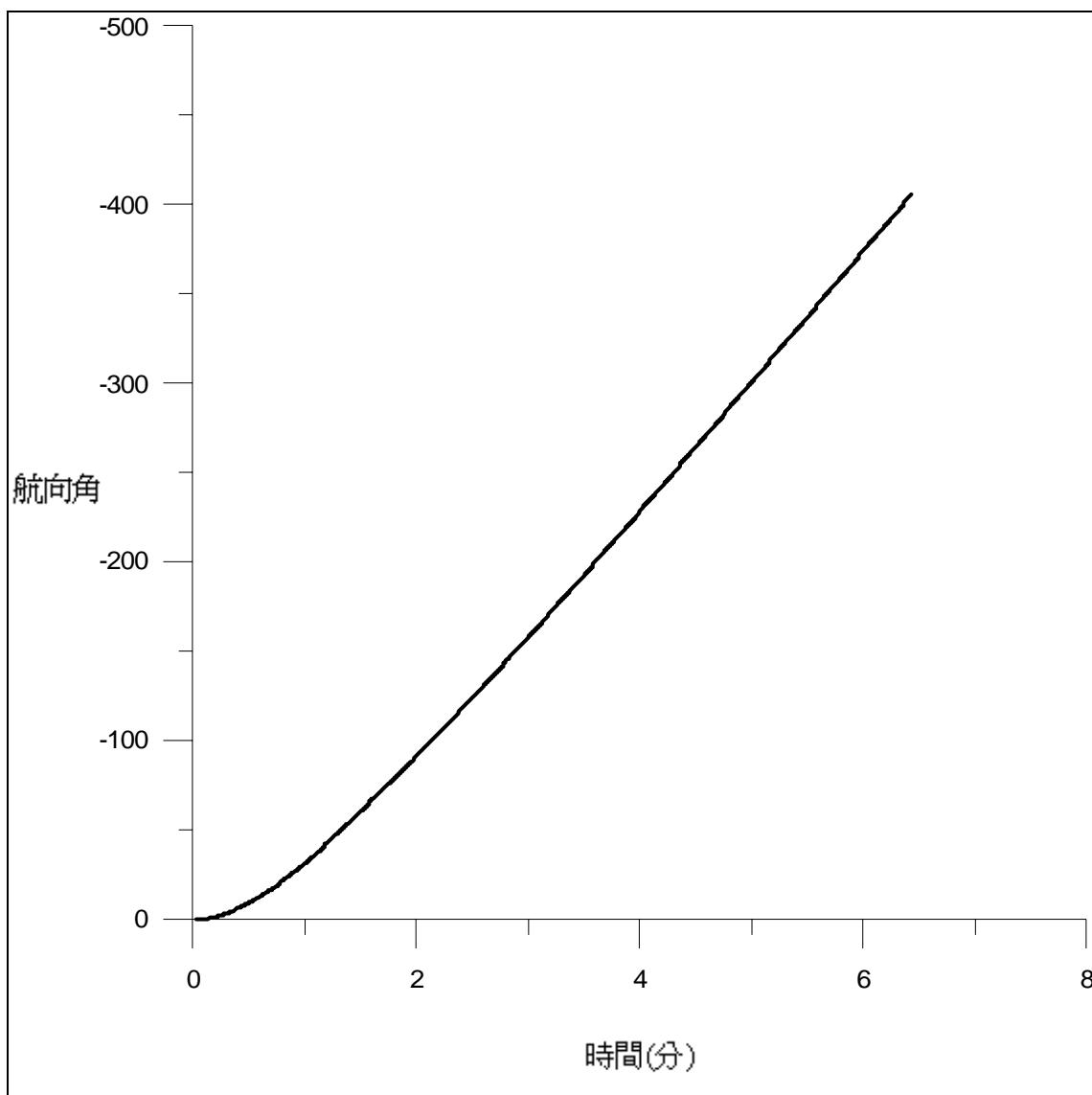


圖 5-9 Asia Cement No.5 油輪左迴旋運動航向角變化圖

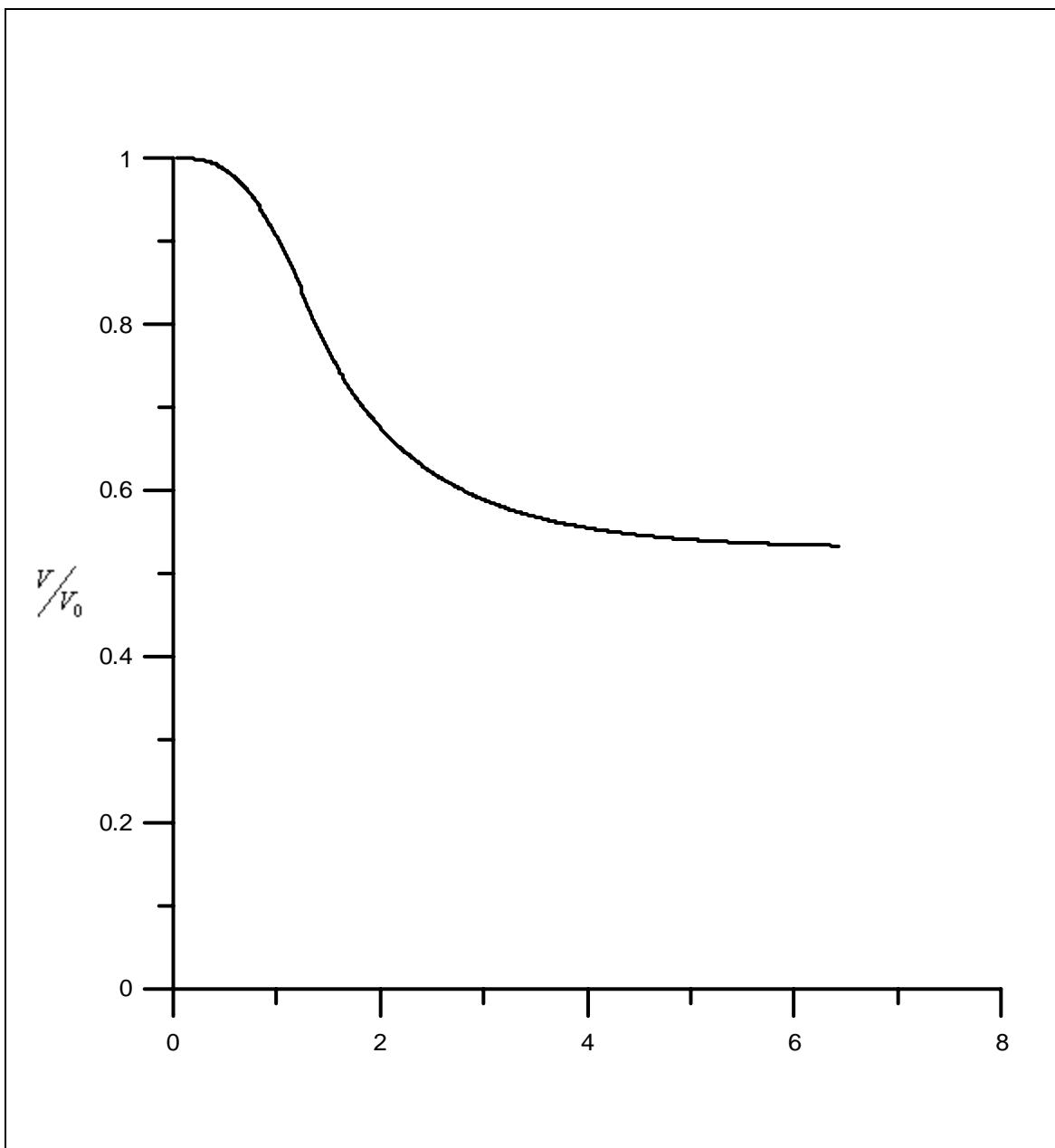


圖 5-10 Asia Cement No.5 油輪左迴旋運動船速時間變化圖

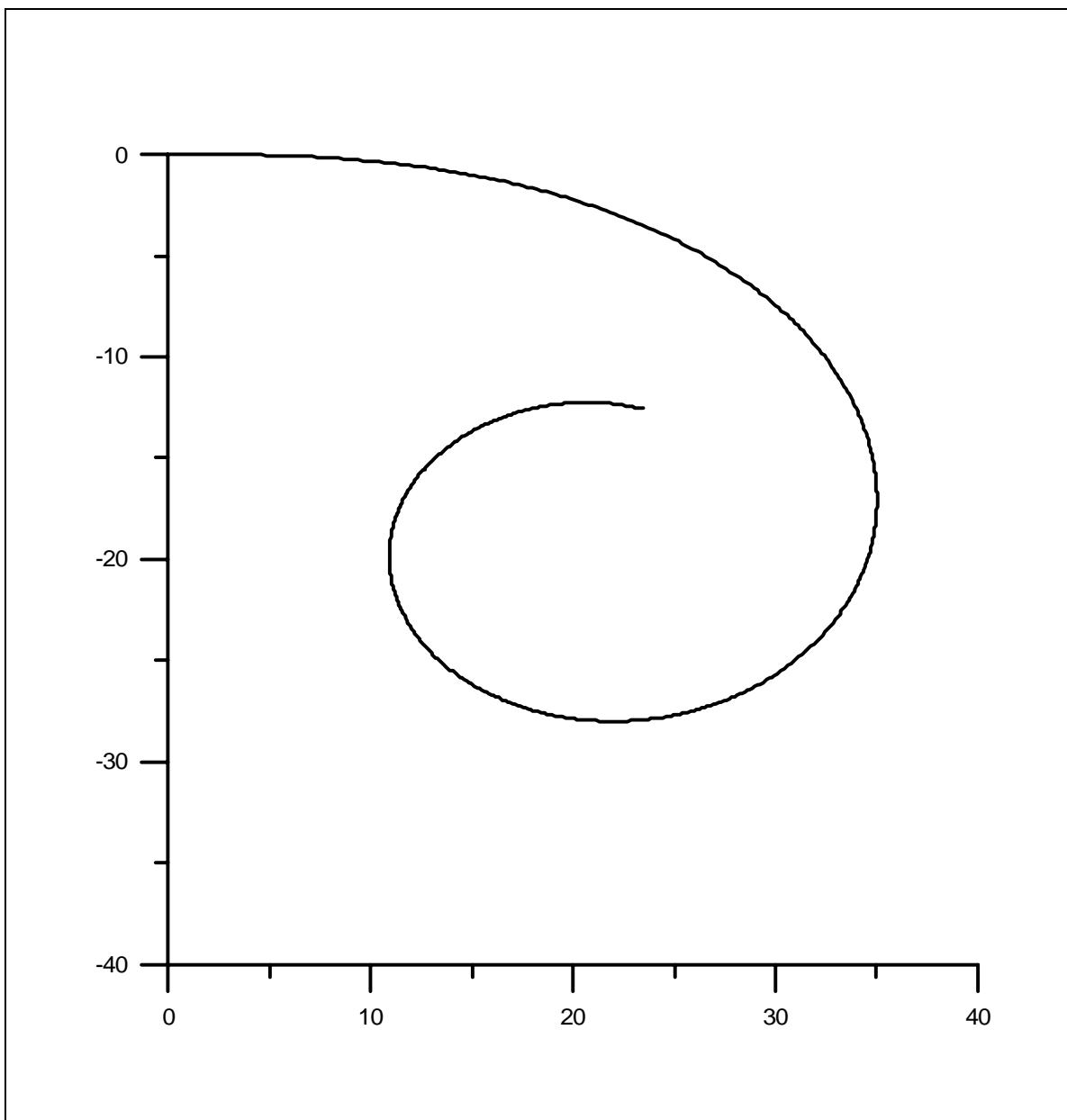


圖 5-11 Asia Cement No.5 油輪右迴旋運動軌跡圖

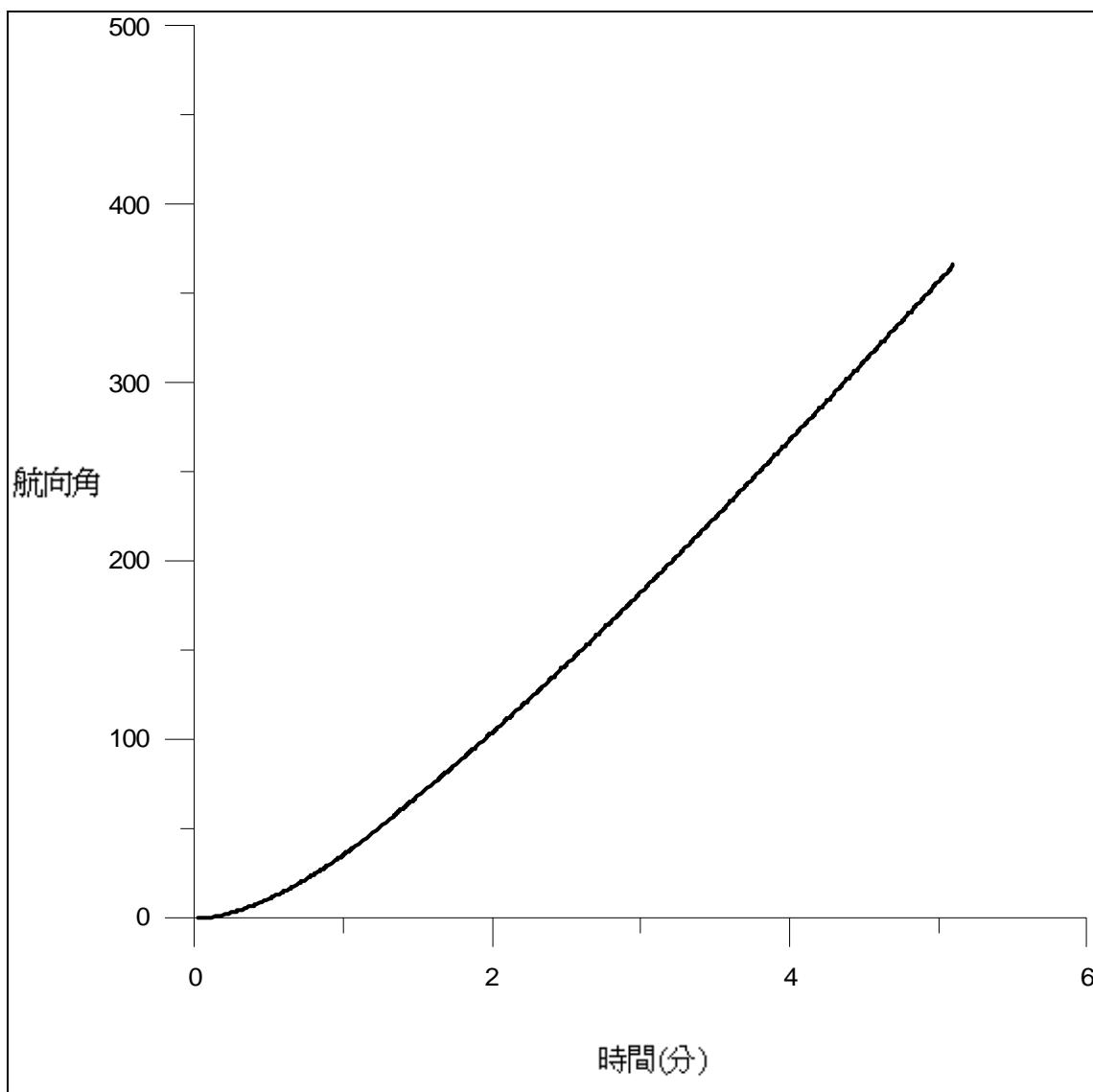


圖 5-12 Asia Cement No.5 油輪右迴旋運動航向角變化圖

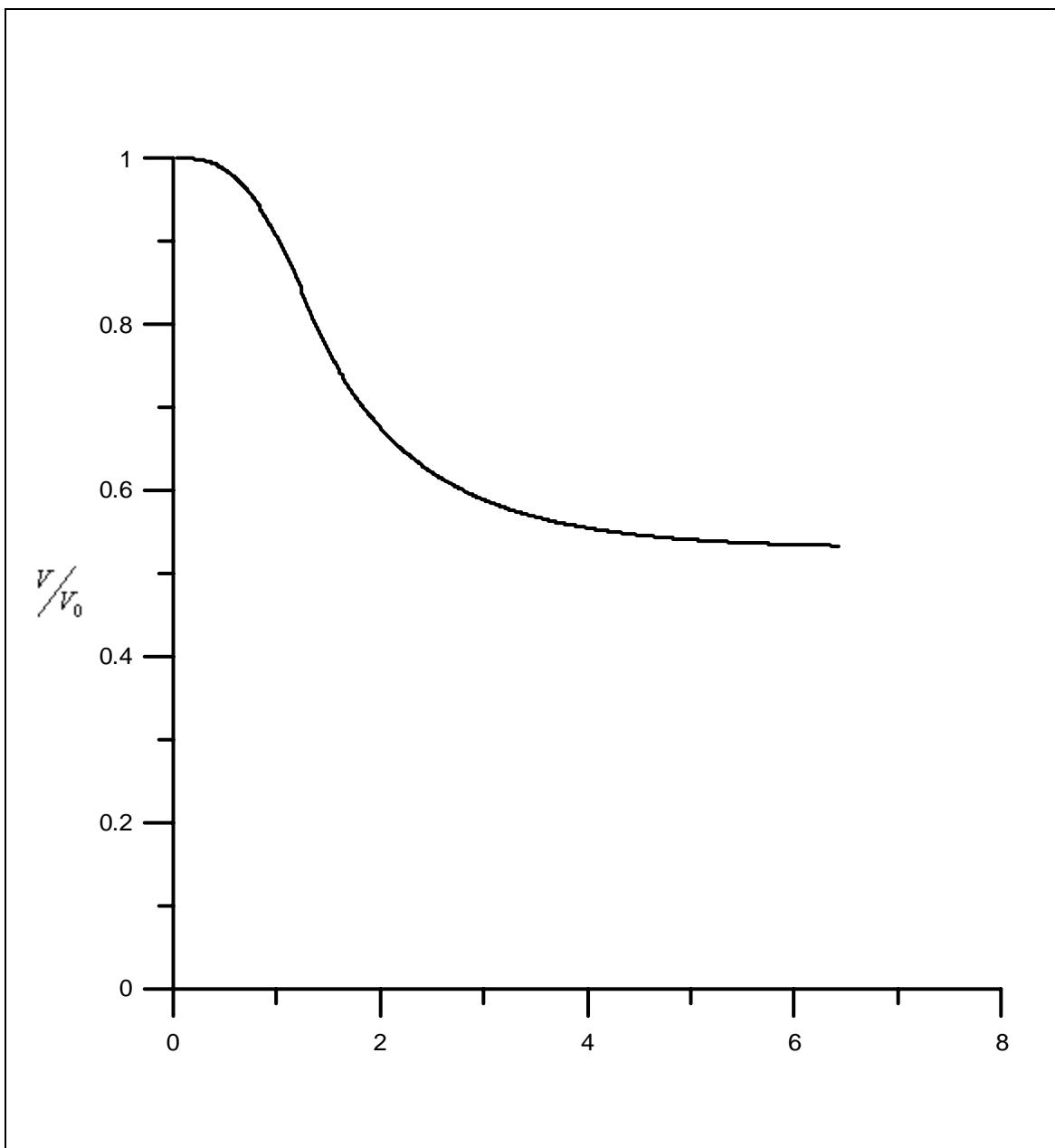


圖 5-13 Asia Cement No.5 油輪右迴旋運動船速時間變化圖

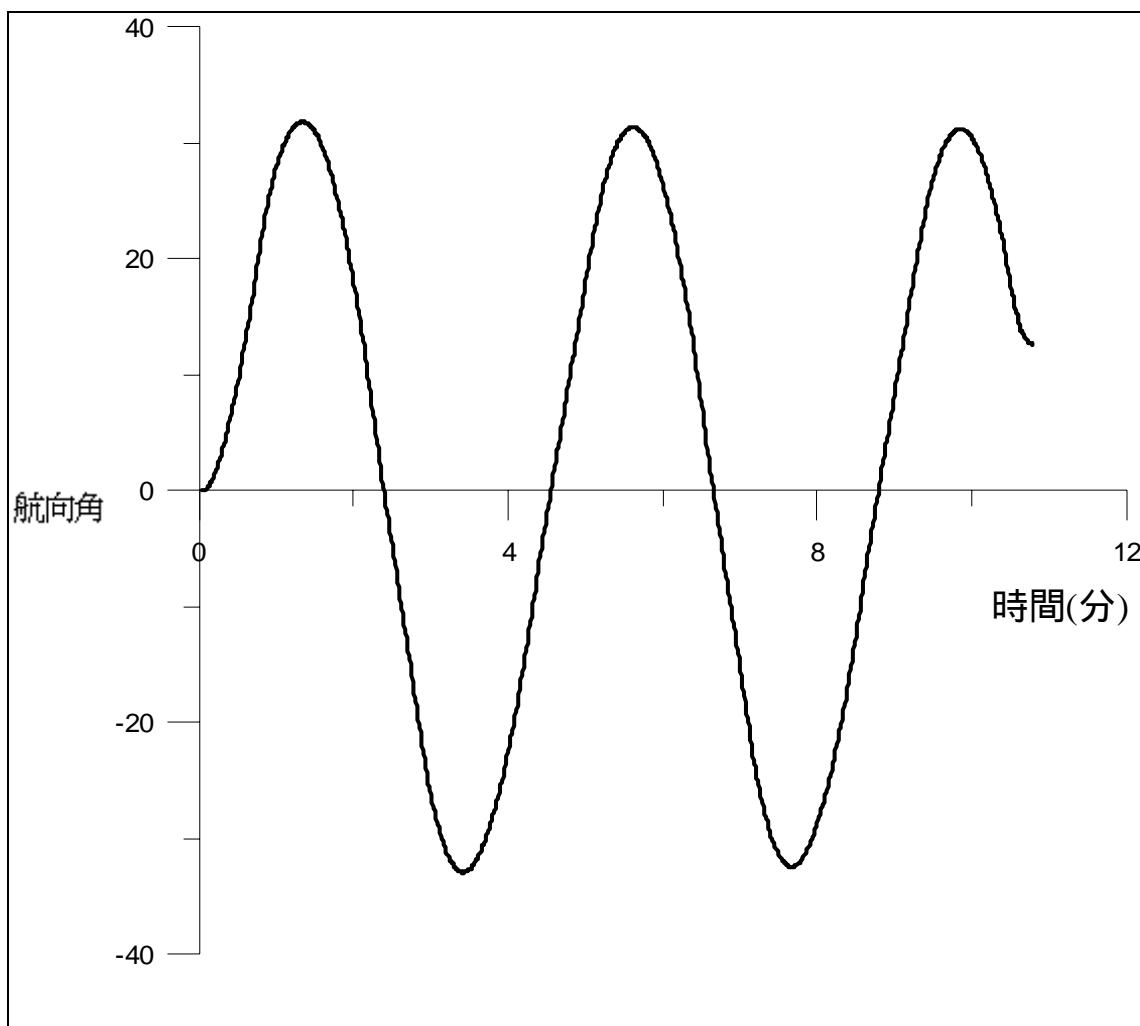


圖 5-14 Asia Cement No.5 油輪 Z20° – 20° 運動航向角時間變化圖

表 5-3 Asia Cement No.5 油輪左迴旋運動船速、座標、時間對應表

	領港卡(註 1)	本模式模擬值	邱逢琛模擬值(註 1)
起始船速	9.2kt	9.7kt	9.6kt
迴轉 90 度時間	1 分 42 秒	1 分 49 秒	1 分 48 秒
迴轉 90 度船速	6.1kt	6.55kt	5.9kt
迴轉 90 度縱距	317m	292m	393m
迴轉 90 度橫距	137m	159m	167m
迴轉 180 度時間	3 分 30 秒	2 分 58 秒	3 分 42 秒
迴轉 180 度船速	4.6kt	5.33kt	3.5kt
迴轉 180 度縱距		166m	
迴轉 180 度橫距	338m	236m	387m
迴轉 270 度時間	5 分 18 秒	4 分 02 秒	6 分
迴轉 270 度船速	4kt	4.93kt	2.5kt
迴轉 270 度縱距		89m	
迴轉 270 度橫距		157m	
迴轉 360 度時間		5 分 02 秒	
迴轉 360 度船速		4.78kt	
迴轉 360 度縱距		187m	
迴轉 360 度橫距		105m	

註 1:邱逢琛等(1998), 進出港操船模擬分析, 中興工程顧問社

**表 5-4 Asia Cement No.5 油輪右迴旋運動船速、座標、時間對應表**

	領港卡(註 1)	本模式模擬值	邱逢琛模擬值(註 1)
起始船速	9.2kt	9.7kt	9.6kt
迴轉 90 度時間	1 分 42 秒	1 分 59 秒	1 分 54 秒
迴轉 90 度船速	6.1kt	6.60kt	6.0kt
迴轉 90 度縱距	317m	311m	401m
迴轉 90 度橫距	137m	173m	177m
迴轉 180 度時間	3 分 30 秒	3 分 19 秒	3 分 48 秒
迴轉 180 度船速	4.6kt	5.58kt	3.6kt
迴轉 180 度縱距		162m	
迴轉 180 度橫距	350m	266m	397m
迴轉 270 度時間	5 分 18 秒	4 分 36 秒	6 分 6 秒
迴轉 270 度船速	4kt	5.30kt	2.5kt
迴轉 270 度縱距		63m	
迴轉 270 度橫距		166m	
迴轉 360 度時間		5 分 48 秒	
迴轉 360 度船速		5.20kt	
迴轉 360 度縱距		188m	
迴轉 360 度橫距		96m	

註 1:邱逢琛等(1998), 進出港操船模擬分析, 中興工程顧問社

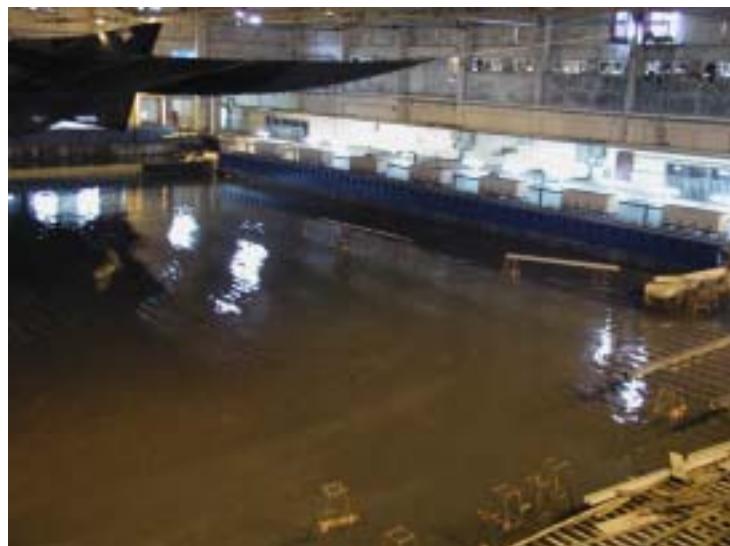
## 第六章 波浪漂流力係數

### 6-1 漂流力係數之測定

波浪漂流力係數的測定於海洋大學海洋工程試驗館之平面水槽中進行，其水槽特性與造波機量測設備儀器分述如下：

#### 1. 平面水槽與造波設備：

試驗之平面水槽長、寬分別為 50 公尺，深度為 1.5 公尺，可造波水深為 80 公分，造波裝置為日本本田工業株式會社所製造之多方向不規則造波機，長 28 公尺，由七組造波機所組成，每組造波機均各有八個可以獨立運作之造波單元，各造波單元之造波板寬度為 50 公分，透過造波程式之控制，本造波系統可產生單方向規則與不規則之長峰波及不規則之短峰波，同時可依據波浪能量在各方向之分佈而造出方向不規則波，以模擬真實之海況，可選擇之波譜則有 *Bretschneider – Mitsuyasu, Pierson – Moskowicz, JONSWAP* 等理論頻譜，以及自訂之頻譜，最大造波波高為 20 公分。試驗水槽與造波機如照片 6-1 所示。



照片 6-1 平面水槽及蛇形造波機

## 2. 量測儀器：

主要包含有六分力計及轉換器與訊號擷取分析系統，六分力計為日本日章電機株式會社所製造，同時量測相互垂直之三個方向之力與力矩，最大量測範圍為力： $2\text{kgw}$ 、力矩： $1\text{kgw}\cdot\text{m}$ 。

本研究將利用上述造波設備與量測儀器進行波浪漂流力係數之測定，試驗之波浪條件則分別以規則波、單方向不規則波及方向不規則波進行試驗。

## 3. 試驗模型船

本試驗所供試驗之模型船，為依實船比例縮小製作之模型船，模型船長寬各約為  $2.1$ 、 $0.3\text{m}$ ，模型船並含有螺旋槳與舵，如照片 6-2 所示。



照片 6-2 實驗模型船體

## 4. 試驗進行

將模型船固定於水槽內之固定架上，在各方向波浪條件造波下量測其各方向之受力與力矩而後計算其各方向受力與力矩係數。試驗之波浪包含規則波及單方向不規則波兩部份，試驗之波浪條件，波浪方

向每隔 15 度進行一個試驗，在規則波時，試驗週期為 0.75 ~ 2.0sec.、試驗波高  $H=1.0 \sim 3.3\text{cm}$ ，而在不規則波試驗時， $T_{1/3} = 0.75 \sim 1.0\text{sec.}$ 、 $H_{1/3} = 1.1 \sim 3.4\text{cm}$ 。本研究根據前述之波浪條件在平面水槽中進行波浪漂流力之量測，在規則波時同時並與 Hirano(1980)所得結果相互比較。

## 6-2 試驗結果

圖 6-1 所示為規則波情況下，入射波角度為 30 度時，船體長軸、橫向及平擺力矩之漂流力與力矩，實線部份為本試驗所量測得之結果，而虛線部份為 Hirano(1980)之結果。圖 6-2 所示則為入射波角度 60 度時，船體長軸、橫向及平擺力矩之漂流力與力矩。圖 6-3 則分別為入射角 0 度時之長軸漂流力與入射角 90 度時之橫軸漂流力。

比較本研究試驗與 Hirano 結果，其結果大致相同，但在較短週期波  $\lambda/L = 0.5$  ( $\lambda$  為入射波波長，而  $L$  為船長) 附近 Hirano 所得之漂流力值有稍大的趨勢。

圖 6-4 ~ 6-16 則為規則波與單方向不規則波各方向漂流力與力矩在各波浪入射角度時，船體各方向所受之漂流力與力矩。其中實線部份為規則波試驗所得之結果，而虛線部份則為不規則波試驗所得結果。

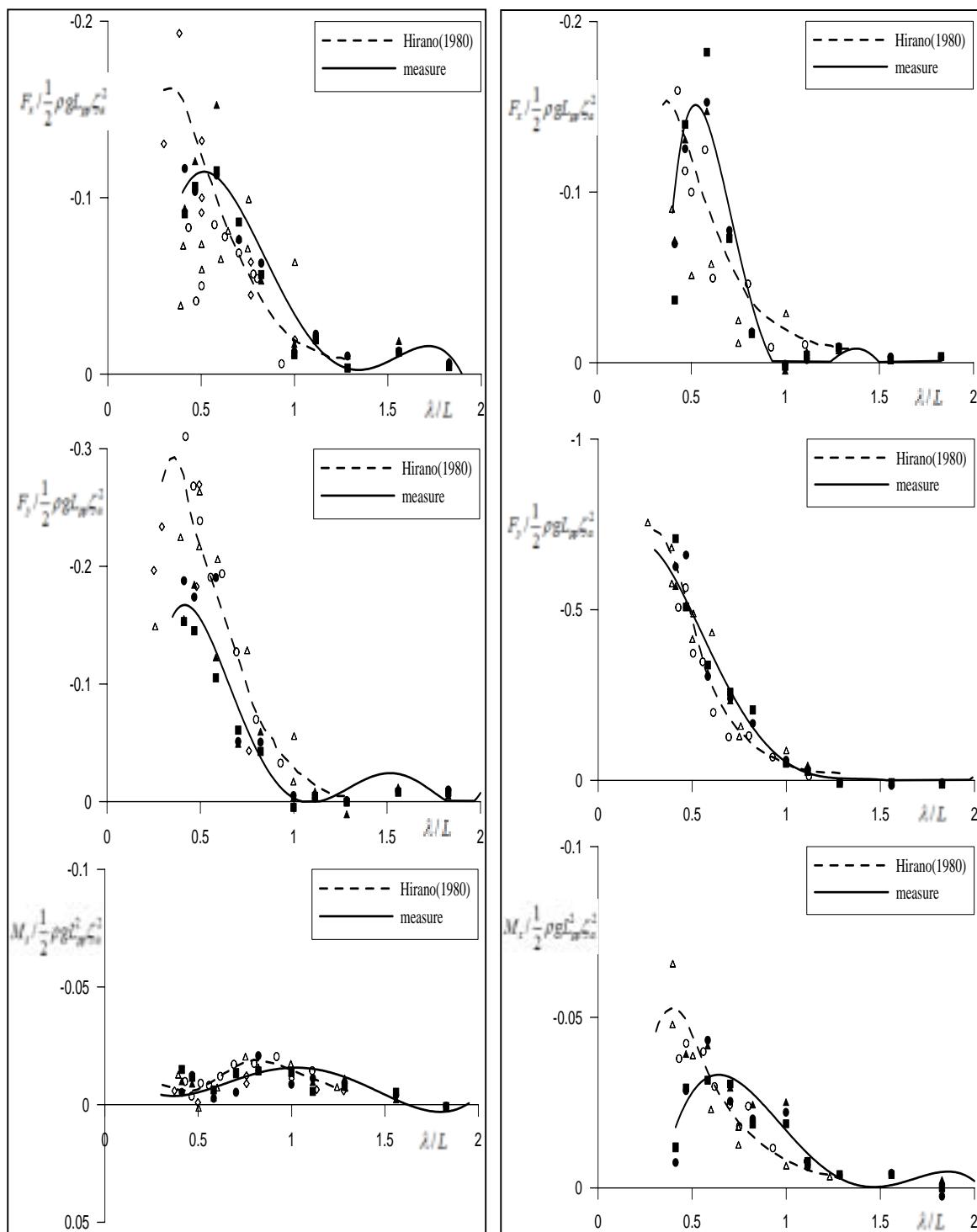


圖 6-1 規則波入射角 30 度時，各方向漂移力及力矩係數比較。

圖 6-2 規則波入射角 60 度時，各方向漂移力及力矩係數比較。

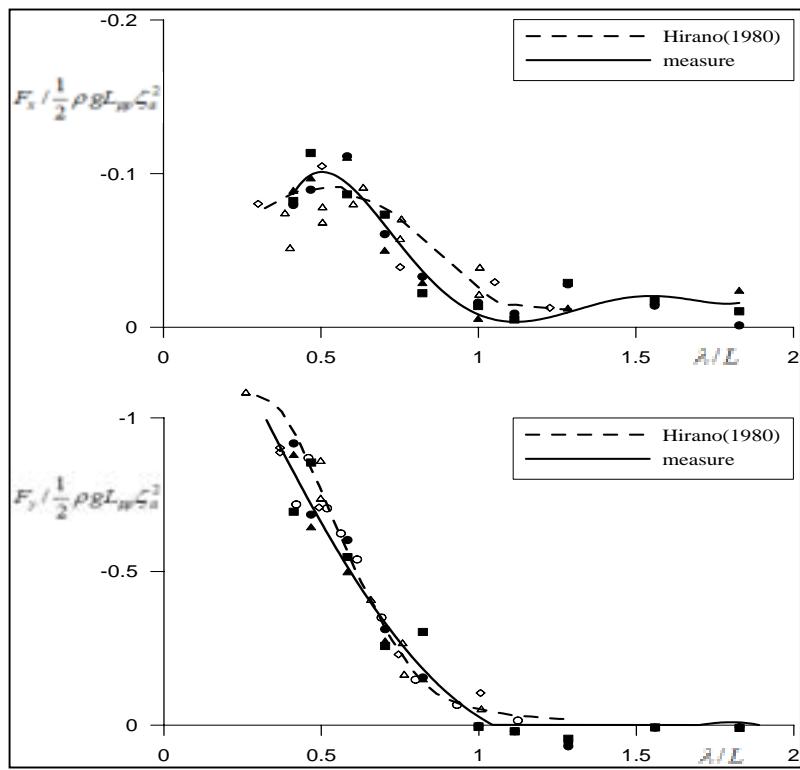


圖 6-3 規則波入射角 0 度之 X 軸漂移力比較  
與波浪入射角 90 度之 Y 軸漂移力係數比較

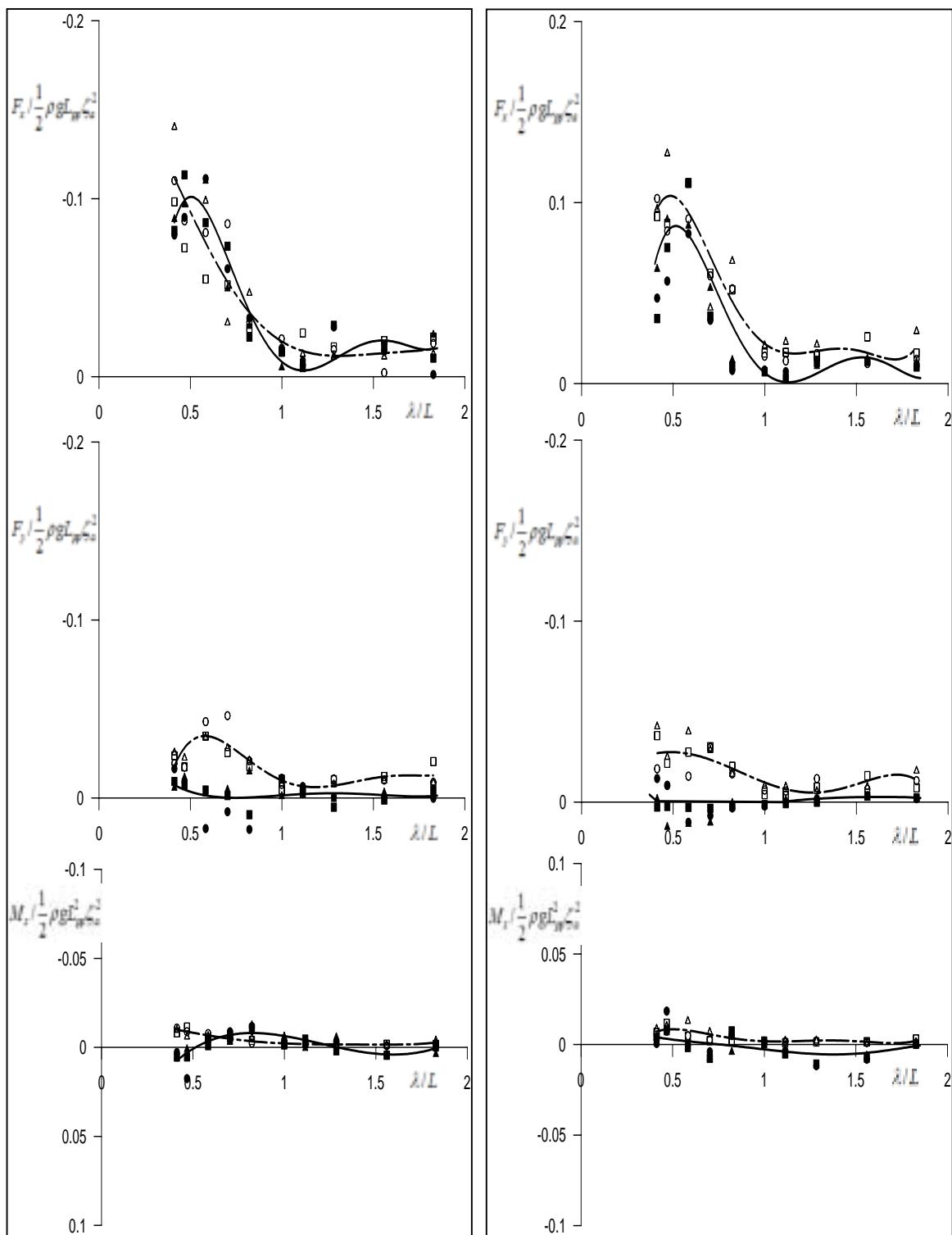


圖 6-4 波浪入射角 0 度之各方向

漂流力及力矩係數

圖 6-5 波浪入射角 180 度之各方向

漂流力及力矩係數

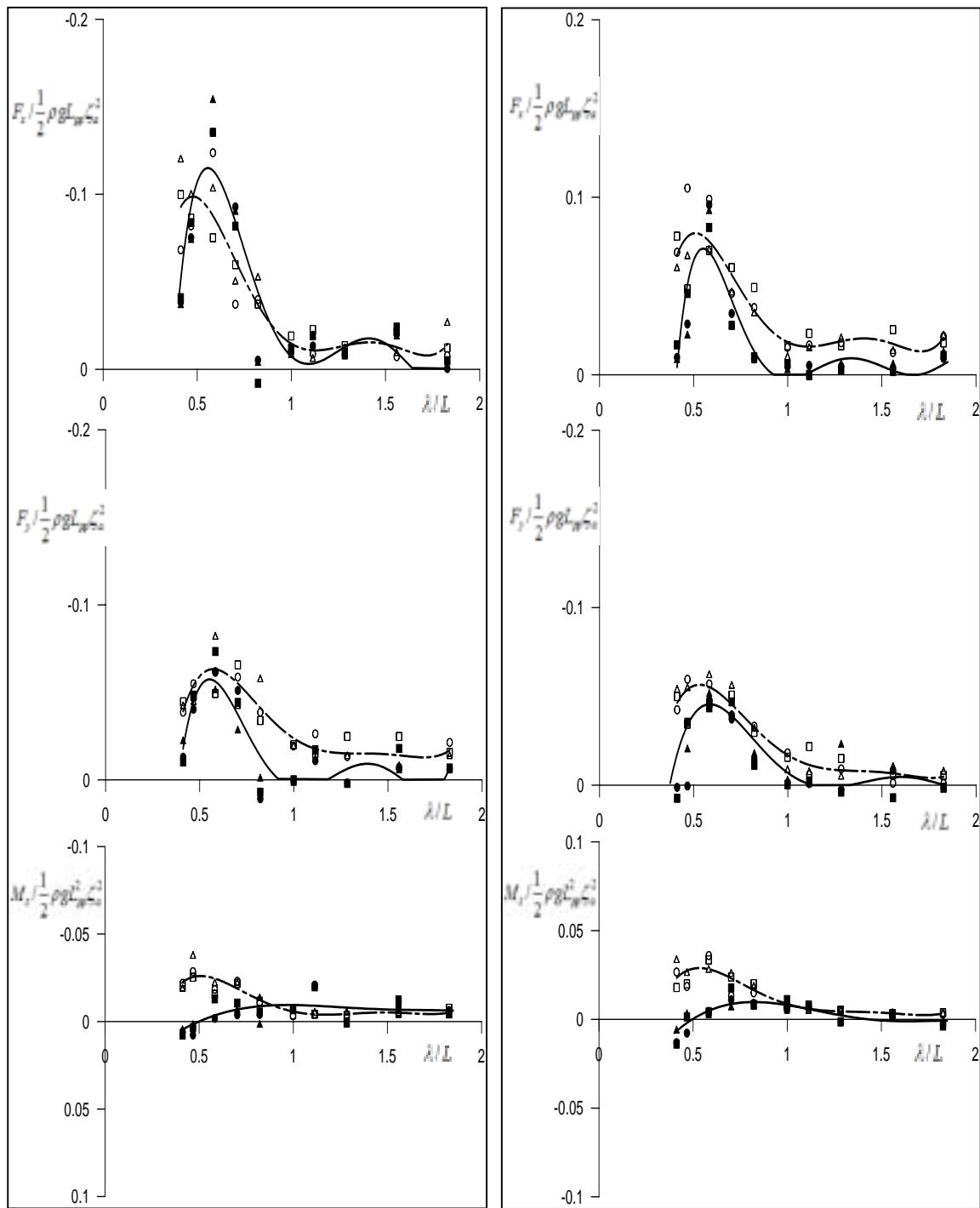


圖 6-6 波浪入射角 15 度之各方向漂流力及力矩係數  
圖 6-7 波浪入射角 165 度之各方向漂流力及力矩係數

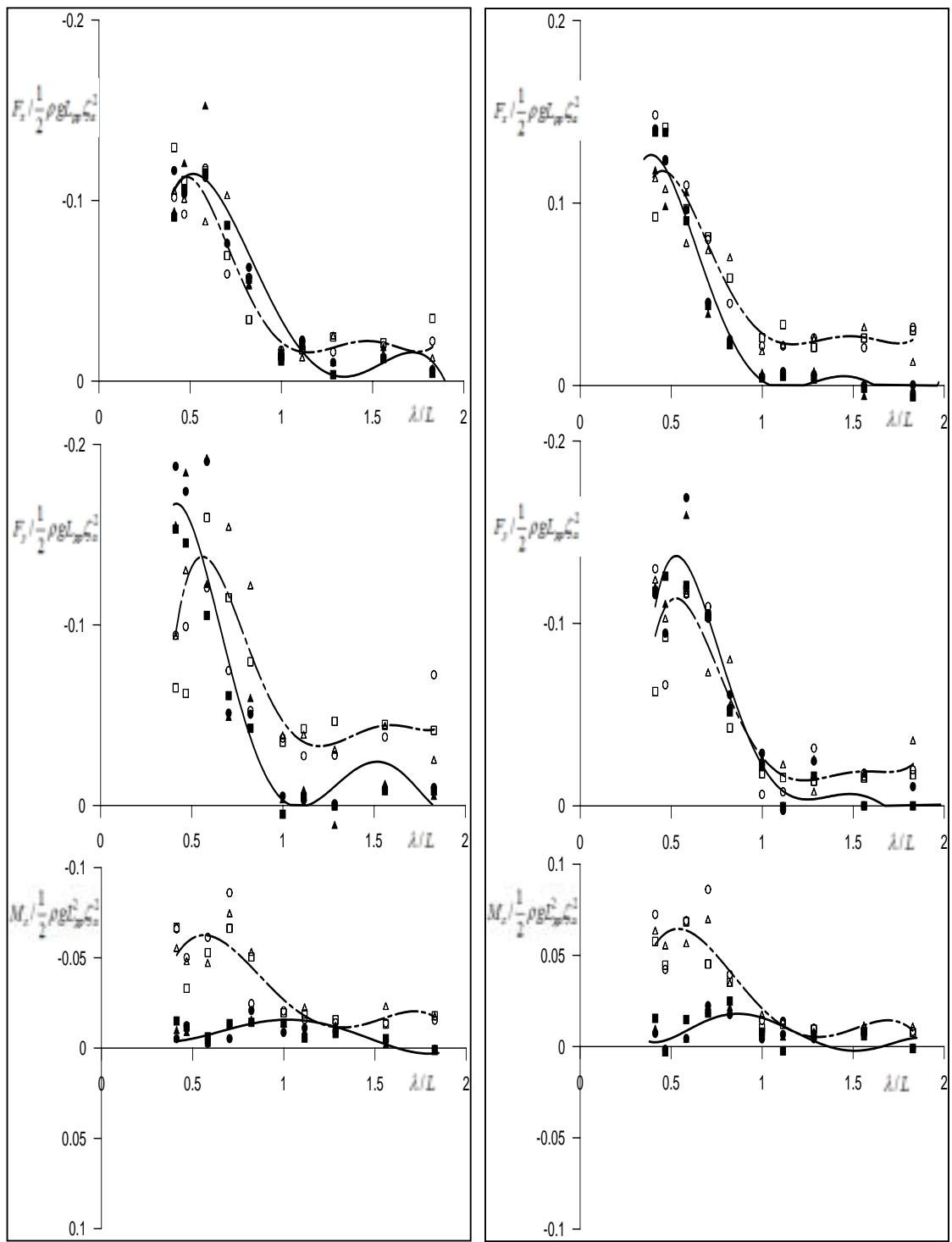


圖 6-8 波浪入射角 30 度之各方向  
漂流力及力矩係數

圖 6-9 波浪入射角 150 度之各方向  
漂流力及力矩係數

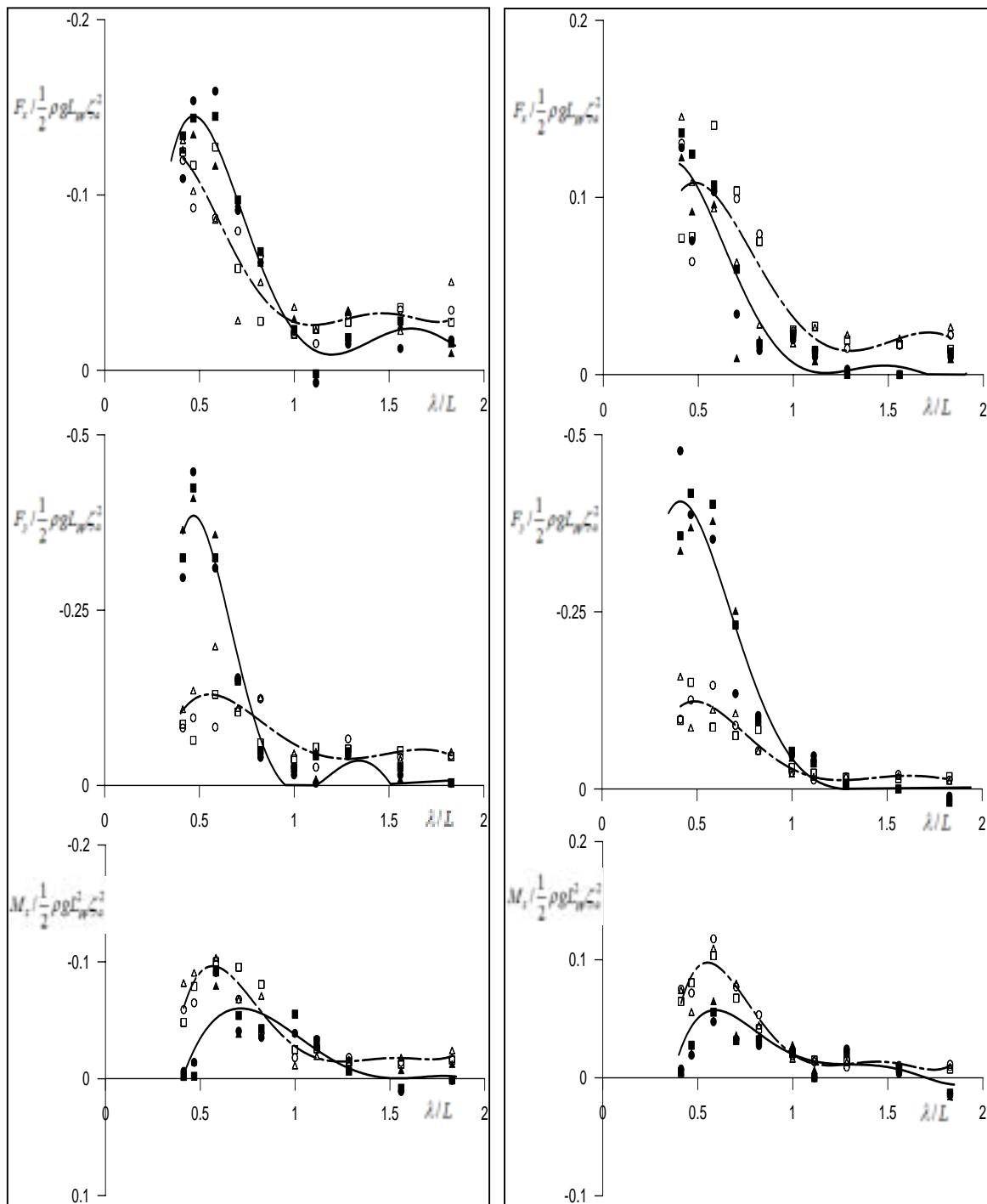


圖 6-10 波浪入射角 45 度之各方向  
漂流力及力矩係數。

漂流力及力矩係數。

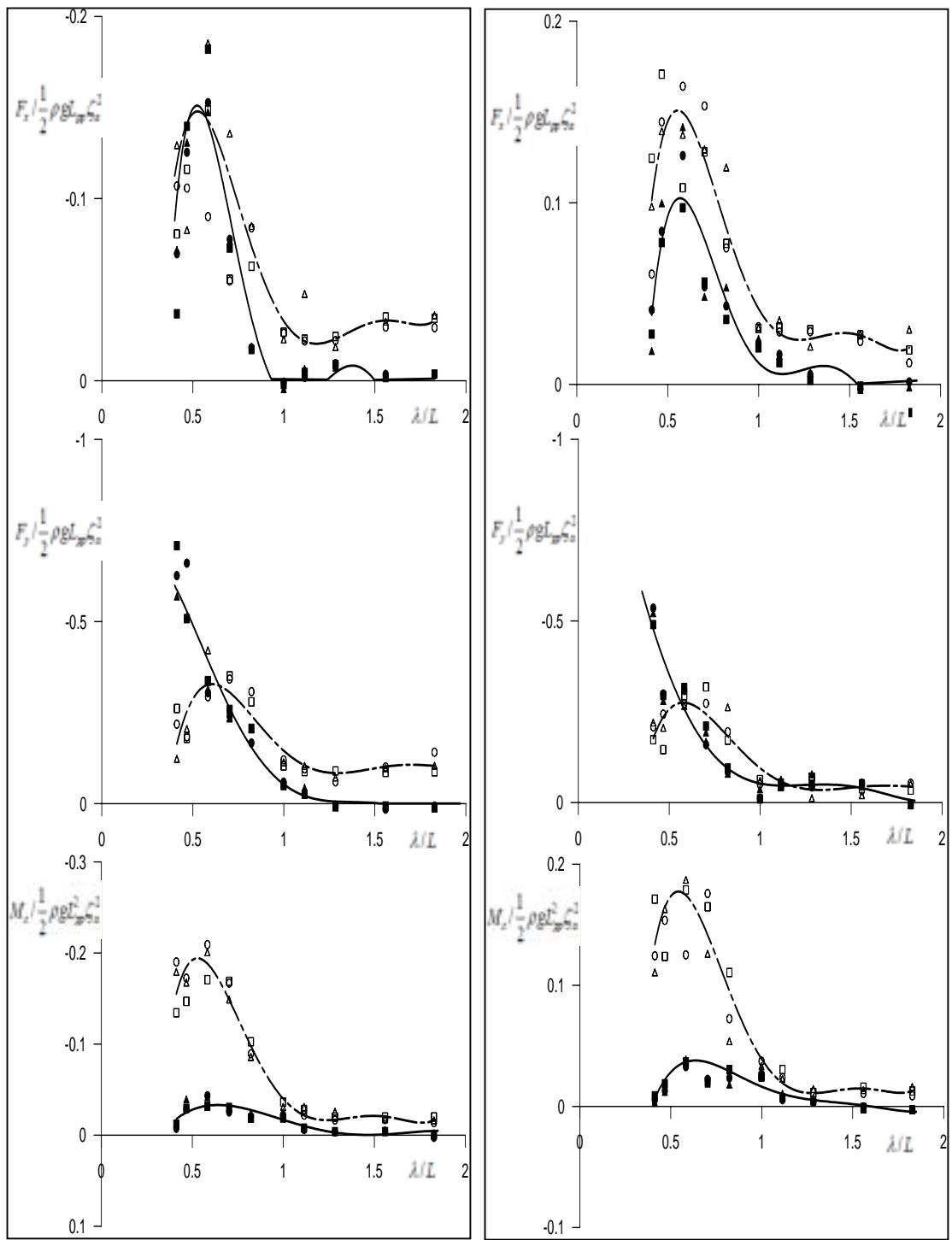


圖 6-12 波浪入射角 60 度之各方向漂流水及力矩係數。  
圖 6-13 波浪入射角 120 度之各方向漂流水及力矩係數。

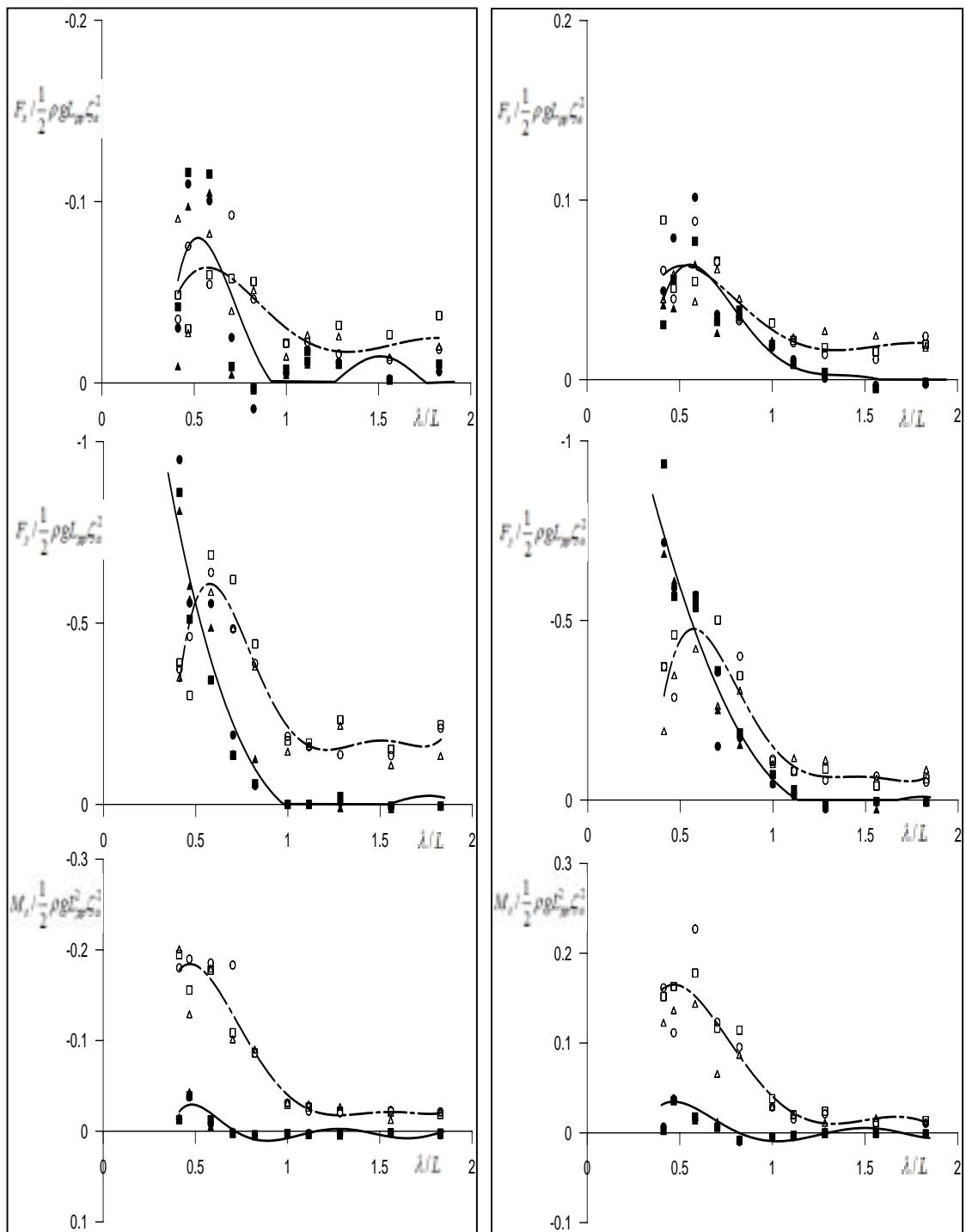


圖 6-14 波浪入射角 75 度之各方向 漂流力及力矩係數。  
圖 6-15 波浪入射角 105 度之各方向 漂流力及力矩係數。

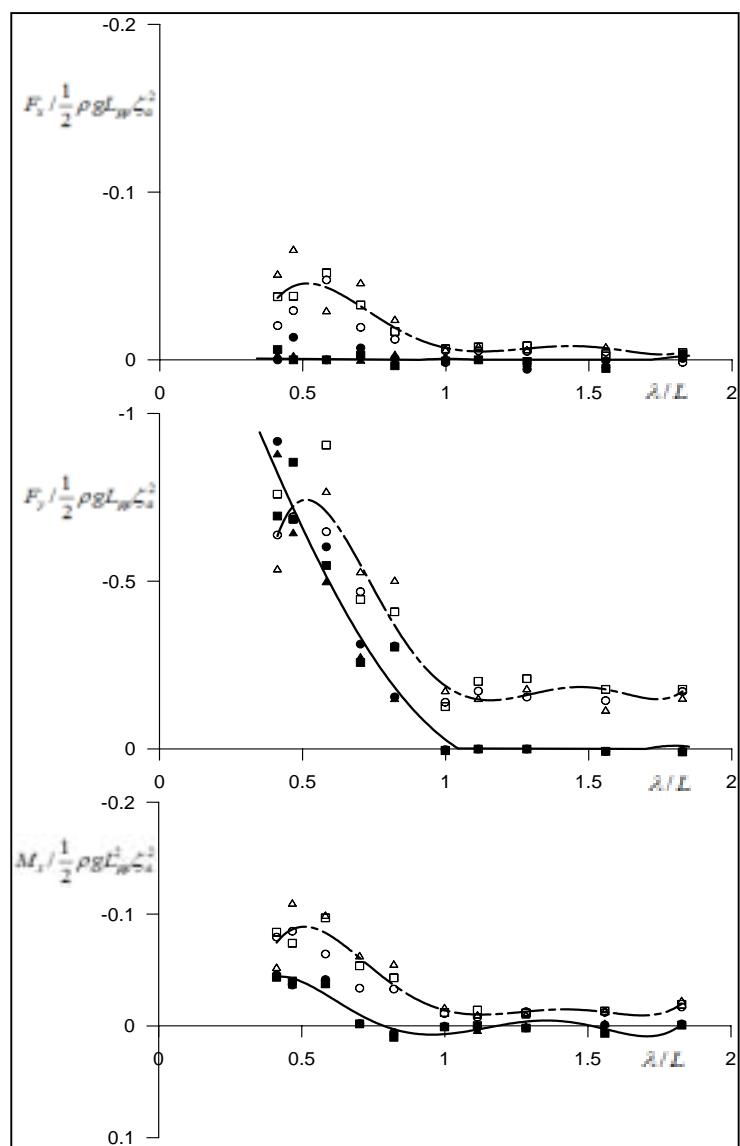


圖 6-16 波浪入射角 90 度之各方向漂流力及力矩係數。

## 第七章 結論與建議

根據前述討論與展示，本研究大致可得下列之結論：

1. 本研究所發展之多船模擬系統操控介面可使操船模擬程式的執行更簡易方便，並藉由即時顯示系統，可更快速的了解船舶航行過程的各項資料，目前系統可容納四艘船舶同時操航。
2. 單船操船模擬程式藉由實測值與前人研究結果，初步顯示本程式之適用性。往後將針對差異較大者繼續修正。
3. 水工試驗結果顯示部分角度之不規則波漂流力係數較規則波漂流力係數有較大之趨勢。此部分將進一步討論其對船體運動之影響。

## 参考文献

1. Crane, C.L." Maneuvering Trials of the 278,000 DWT Esso Osaka in shallow and Deep Waters", T. SNAME, Vol.87, 1979.
2. C.C. Mei "Flow around a thin body moving in shallow water", J. Fluid Mech. Vol.77, Part 4, 1976.
3. E.O. Tuck "Shallow water flows past slender bodies", J. Fluid Mech. Vol.26, Part 1, 1966.
4. Fujino, M., "An Introduction to Ship Manoeuvrability---Safety of Navigation and Prediction of Manoeuvering Performance", Lectures held at National Taiwan University, Taipei, 1986.
5. H. Eda and C.L. Crane, Jr "Steering Characteristics of Ships in Calm Water and Waves", T.SNAME, Vol.73, 1965.
6. H. Eda, R. Falls, D.A. Walden "Ship Maneuvering Safety Studies", TSNAME, Vol.87, 1979.
7. H. Eda "maneuvering performance of high-speed ships with effect of roll motion, Ocean Engineering", Vol.7, No.3, 1981.
8. Hirano, M., "On Calculation Method of Ship Maneuvering Motion at Initial Design Phase," J. of the Society of Naval Architecture of Japan, Vol. 147, pp. 144-153, 1980. (in Japanese)
9. Holtrop, J., and G.G.J. Mennen, "A Statistical Power Prediction Method," International Shipbuilding Progress, Vol.25, No.290, pp.253-256, 1978.
10. Holtrop, J., and G.G.J. Mennen, "An Approximate Power Prediction Method," International Shipbuilding Progress, Vol.29, No.335, pp. 166-170, 1982.
11. Inoue, S., M. Hirano, and K. Kijima, "Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvering," International Shipbuilding Progress, Vol.28, No.321, pp. 112-125, 1981a.
12. Inoue S., M. Hirano, K. Kijima, and J. Takashina, "A Practical Calculation Method of Ship Maneuvering Motion," International Shipbuilding Progress, Vol.28, No.325, pp. 207-222, 1981b.
13. Inoue, S., Hirano, M. and Mukai, K., "The Nonlinear Terms of Lateral Force and Moment Acting on Ship Hull in the Case of Manoeuvering", Trans. West-Japan Soc. Nav. Archit, No. 58, 1979

14. Kose, K., Hirata, H., Hashizume, Y. and Fatagawa, E. "On a Mathematical Model of Manoeuvering Motions of Ships in Low Speeds", Jour. Soc. Nav. Archit. Japan, No. 155, 1984.
15. K.S.M Davidson and L.I. Schiff "Turning and Course Keeping Qualities of ships", T.SNAME, Vol.54, 1946.
16. Lammeren, W.P.A.V., J.D.V. Manen, and M.W.C. Oosterveld, "The Wageningen B-Screw Series," Trans. SNAME, Vol.77, pp. 269-317, 1969.
17. Mikelis, N.E., "Data for the evaluation of the acceleration coefficients for tankers manoeuvring in shallow and deep waters," International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 340, pp. 334-342, 1982.
18. Motora, S., "On the Measurement of Added Mass and Added Moment of Inertia for Ship Motions (Part 2)," J. Soc. Nav. Archit. Japan, Vol. 106, pp. 59-62, 1959a. (in Japanese)
19. Motora, S., "On the Measurement of Added Mass and Added Moment of Inertia for Ship Motions (Part 3)," J. Soc. Nav. Archit. Japan, Vol. 106, pp. 63-68, 1959b. (in Japanese)
20. R.F. Beck, J.N. Newman, E.O. Tuck "Hydrodynamic force on ship in dredged channels", J. ship research, Vol.19, No.3, 1975.
21. R.W. Yeung, W.H. Hwang "Nearfield hydrodynamic interactions of ships in shallow water", J. Hydraulics, Vol.11, No.4, 1977.
22. R.W. Yeung "Interactions of slender ships in shallow water", J. Fluid Mech. Vol.85, 1978.
23. Yoshimura, Y., "Mathematical Model for the Manoeuvering Ship Motion in Shallow Water", Jour. Kansai Soc. Nav. Archit. Japan, No. 200, 1986.
24. 森正彦, 田中稔, 溝口純敏, "船の操縦性能シミュレーションプログラムとその適用例", 石川島播磨技報, 第13卷, 第5号, 571-582頁, 1973。
25. 田中稔, 宮田秀, "船の操縦性能シミュレーションプログラムとその適用例(第2報)", 石川島播磨技報, 第17卷, 第2号, 135-142頁, 1977。
26. "船の操縦性能の推定", 日本造船學會誌, 第668號。
27. "第3回操縦性シンポジウム", 日本造船協會, 1981。
28. "操船論", 岩井聰, 海文堂, 1977。

29. 小川，小山，貴島，”MMG 報告-I 操縦運動の數學モデルについて”，日本造船協會誌，575 號，1977。
30. 浜本剛実，”MMG 報告-II 操縦性數學モデルの理論背景”，日本造船協會誌，577 號，1977。
31. 葛西，湯室，”MMG 報告-III 舵に作用する力と船體・プロペラとの干渉”，日本造船協會誌，578 號，1977。
32. 小瀬，貴島，”MMG 報告-IV 拘束模型試験の方法及び試験装置”，日本造船協會誌，579 號，1977。
33. 小川，長谷川，芳村，”MMG 報告-V 操縦運動數學モデルの実驗的検証と改良”，日本造船協會誌，616 號，1980。
34. 藤井 齊，“船の操縦性における実船・模型の相関に関する一考察”，西部造船協會會報，第 62 號，1981。
35. 小川陽弘，”外力お受ける船の操縦運動の計算(その 2)”，日本造船協會論文集，第 134 號，1973。
36. 湯室彰規，”操縦性指數の縮率影響の一推定法”，日本造船協會論文集，第 137 號，1975。
37. 小山建夫，周正會，元良誠三，小柳雅志郎，”Circular Motion Test(CMT) にによる操縦性試験法について”，日本造船協會論文集，第 138 號，1975。
38. 小山健夫,渡邊高根，渡邊岩夫，”操縦性解析への最小 2 乗法の應用”，日本造船學會論文集，第 134 號，1973。
39. 小瀬邦治，金鐘三，小林弘明，”回頭角速度 Z 試験法とその實船および自航模型船への適用”，關西造船協會誌，第 149 號，1973。
40. 小瀬邦治，芳村康男，”Z 試験の新しい解析法(續報)”，日本造船學會論文集，第 138 號，1975。
41. 金鐘三，小林英一，野本謙作，”操縦性試験の最小自乗法解析”，日本造船學會論文集，第 144 號，1978。
42. 元良誠三，”船體運に對する付加質量および付加慣性モーメントについて——その 1，旋回に對する付加慣性モーメント——”，造船協會論文集，第 105 號，1959。

43. 元良誠三，”船體運動に對する付加質量および付加慣性モーメントについて——その2，前後動　對する付加質量——”，造船協會論文集，第106號，1960。
44. 元良誠三，”船體運動に對する付加質量および付加慣性モーメントについて——その3，左右動に對する付加質量——”，造船協會論文集，第106號，1960。
45. 小瀬邦治，佐伯敏朗，”操縱運動の新しい數學モデルについて”，日本造船學會論文集，第146號，1979。
46. 芳村康男，石井正夫，T. F. Huang，”560,000DWT ULCC の操縱性とその縮率影響の一考察”，關西造船協會誌，第183號，1981。
47. 邱逢琛，曾國正，”淺水域及限制水道中船舶座底量預估法之探討”，NTU-INA, Tech. Rept. No. 249, June , 1987
48. 邱逢琛，”進出港操船模擬分析”，中興工程顧問社，1997。
49. 黃正利、丁肇隆、施純暉，”高速艇及排水型船螺旋槳設計之研究”，NTU-INA Tech. Rept. No.217, Aug., 1987.
50. 洪憲忠，”港灣操船運動模擬計算系統之研究”，交通部運輸研究所，1997。
51. 邱逢琛、曾國正，”船舶操縱性能理論預測之研究”，中國造船公司，1987。
52. 邱逢琛，”進出港操船模擬分析”，中興工程顧問社，1998。

## 附錄一：期中報告審查意見處理情形表

### 交通部運輸研究所合作研究計畫 ☒期中口期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-95-H2DB006 船舶運動數值模式建立之研究 二

執行單位：國立台灣海洋大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
國立成功大學李兆芳教 授： 一、目前計畫成果只有單 船之模擬，全部計畫是 否包括多艘船之操 船，請於報告中敘述清 楚。 二、報告中，第 8 頁和第 9 頁中多出一頁，可以去 除。 三、本計畫進行操船模 擬，考慮各種外力， 成果相當實用。右考 慮之因素中會有所謂 邊界效應，以及船與 船之間之互相影響。 在計畫中說明不明 確。如果尚未考慮則 可在計畫中去除。	遵照辦理  已改進  列入參考改進	已說明  已改進  納入計畫參考
國立中山大學 李忠潘 教授： 一、文最後請加一節結論 與建議，並說明今年度 尚待完成的工作。 二、句子太長，請於適當	已說明	已改進

處加句點。  三、考慮頗為完整，實用性高。	參考改進  感謝肯定	已說明
國立臺灣大學 林銘崇教授：  一、操船模擬計算模式考慮項目甚為完整，尤其納入洩水效應、拖船效應、岸際效應及船舶間之交互作用等，人為環境或自然環境對船舶運動之影響，更能接近港域之實況，使模式更具實用價值。 二、非線性阻尼係數圖之標題宜將不同分項示明。	納入考慮  已修正	納入計畫參考  已改進
國立成功大學 許泰文教授：  一、本研究在操船方面分為船舶特性、自然環境作用力以及人為環境或自然環境邊界對船舶運動的影響，包含淺水效應、拖船效應、岸際效應、工作內容豐富，模擬系統具實用性與簡便性。 二、波浪作用於船體所衍生之效應建議更明確表達或分析。 三、整體操作介面建議能更為明確。	遵照委員意見辦理。  遵照改進  遵照改進	已說明  已說明  正式報告改進

<p>1、波潮流資料。</p> <p>2、船舶所衍波浪及其交互作用情形。</p> <p>3、淺水效應建議能更明確化。</p>		
<p>本所港研中心 洪憲忠 研究員：</p> <p>一、第 1 頁之「近出港」請為「進出港」。</p> <p>二、第 2 頁及其他數頁之「本計劃」請改為「本計畫」。</p> <p>三、第 8 頁之「已驗證本程式之正確性」請改為「以驗證本程式之正確性」。</p> <p>四、第 35 頁之「介面設計地好壞」請改為「介面設計的好壞」。</p> <p>五、建議驗證迴旋試驗圖 4-2 及圖 4-3 轉 90 度之時間、船速、縱距及橫距以及轉 180 度之時間、船速及橫距，以檢核式是否正確。</p>	<p>正式報告修正</p> <p>正式報告修正</p> <p>正式報告修正</p> <p>正式報告修正</p> <p>遵照辦理</p>	<p>已改正</p> <p>已改正</p> <p>已改正</p> <p>已改正</p> <p>已說明</p> <p>已說明</p>

## 附錄二：期末報告審查意見處理情形表

### 交通部運輸研究所合作研究計畫 中期中長期報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-95-H2DB006 船舶運動數值模式建立之研究 二

執行單位：國立台灣海洋大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
國立成功大學李兆芳教授： 一、 簡報內容比較清楚， 期末報告可以稍加編輯讓內容更明瞭。本年 度工作內容可以強調出來。 二、 P3 提及與台大邱教授 之研究為基礎；而在摘要中提及依據 MMG 之研究成果，可以在一致 性上調整內容敘述。 三、 第六章為結論與建議，內容只提及模式驗 證正確性，可以加以修 整。 四、 本研究為實際操作模 型，因此需考慮之參數 相當多，相對的理論基 礎也很多，因此，希望 未來在模擬成功，可以 把各考慮因素之理論 修正並加入模擬，可以 有更先進之模式。這部 份之考慮可以放到建	遵照辦理  已改進  已改進  列入參考改進	已說明  已改進  已改進  納入計畫參考

議之內容。		
國立中山大學 李忠潘 教授： 一、 請稍加說明模式驗證時，邱及本模式與實測值比較的差異原因。 二、 多船操作介面，各船之間的相互作用，考慮了那些，請加說明，並註明完成的時程。 三、 肯定本研究考慮因素之完整及目前完成之成果。	已說明  列入參考改進  感謝肯定	納入計畫參考  已說明
國立臺灣大學 林銘崇 教授： 一、 數值模式考慮之各項效應甚為完整，其初步計算結果大致合理。惟多項效應之展現可再加強。 二、 潮流力以 drag force 為主，慣性力(加速度引致)之效應如何？ 三、 模擬結果顯示船運時間變化與實際預測差異較大，是否影響操船軌跡線之精確度？ 四、 船舶進港時實務上有引水人協助，此項協助工作在數值模式計算上是否有其效應？	數值模式考慮再加強  報告中說明  報告中說明  報告中說明	納入計畫參考  正式報告說明  正式報告說明  正式報告說明

國立成功大學 許泰文 教授： 一、 研究成果能考慮操 船 實 用 性 及 簡 便 性，建議能將本計畫 功能製表說明。 二、 模式測試左迴旋運 動，以 Osaka Esso 油 輪軌跡，以及右迴旋 軌跡和實測值差異 很大，建議能加以詳 細說明。 三、 結論與建議更詳細 或增加工作成果與 模式功能之限制。	.遵照委員意見辦理。  報告中說明  報告中說明	已說明  已說明  正式報告說明
本所港研中心 洪憲忠 研究員： 一、 報告格式，請比照本 所 出 版 品 格 式 修 正。。 二、 報告內，驗證用之本 船 船 名 有 二 種 寫 法 「Esso Osaka」 或 「Osaka Esso」，建議 統 一 為 「 Esso Osaka 」。 三、 圖 5-1 至 圖 5-7 中「邱 逢深模式」之「深」 請改為「琛」。 四、 圖 5-1 至 圖 5-7 中， 「本模式」與「邱逢 琛模式」計算值有些 差異，其原因是模 式、係數有所不同或 程式設計所造成？	正式報告修正  正式報告修正  正式報告修正  正式報告修正	已說明  納入計畫參考  已說明  已說明

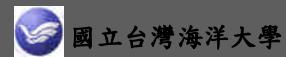
五、 報告內「回頭角」為 日文用語，建議第一 次用到時，加上英文 名稱。	正式報告修正	已說明
六、 P13 , 「 $\vec{U}$ 」：對應於 座標原點之角速度」 之「角」為多餘字。	正式報告修正	已說明
七、 圖 3-2 原圖 3-3 縱座 標說明，圖 3-4~圖 3-7 缺橫座標說明。	正式報告修正	已說明
八、 請問本系統何部份 用 Fortran 程式語言? 何部份用 Microsoft Visual Basic?	正式報說明	已說明

# 船舶運動數值模式建立之研究 (二)

**MOTC-IOT-95-H2DB006**

期末報告

計畫主持人：周宗仁  
協同主持人：翁文凱



## 計畫背景

船舶進出港口至靠泊碼頭所面臨之問題：

1. 近岸區水深變化：

- 波浪折射、淺化
- 潮流流速、流向改變
- 船舶流體阻力增加(淺水效應)

2. 防波堤、地形存在影響：

- 波浪繞射、潮流流速、流向改變

3. 港內航行：兩船間航行時所引起之干涉效應

4. 靠泊時：

- 拖船之推、頂效應；繫覽效應；岸壁前水流效應

**以往相關研究重點：**

**單船模擬：**

**船舶特性模擬：**

主機模擬：包含主機型式、出力與延遲之效應

舵效、螺旋槳推進力與流體阻力

船殼形狀流體阻力

**環境外力：**

風力、潮流力、波浪漂流力(規則波)、淺水效應

**研究目的：**

- 多船模擬
- 改進各項環境外力，使模式更完整
- 簡化操作方式

## 整體計畫研究目標與內容

### 1. 改善船舶運動程式操縱方式

可同時操作與模擬多艘船舶航行進出港區  
操作簡易化

### 2. 建構多船操縱模擬程式

### 3. 建構並檢討各影響外力

船舶特性模擬：參考日本MMG模式及其他相關文獻  
主機模擬、舵效、螺旋槳推進力、船殼形狀流體阻力

環境外力：參考國內外相關文獻並加以整合

風力、潮流力、波浪力(不規則波力)、淺水效應  
、拖船效應、岸壁效應、繫纜效應、干涉效應

### 4. 提供各船運動相關資料與影像處理系統加以整合 成多船操船模擬系統

## 本年度工作項目

1. 船舶特性模擬：  
主機模擬、舵效、螺旋槳推進力之模擬
2. 操船模擬各操作介面與程式之連結
3. 波浪外力係數之測定
4. 進行操船模擬之測試驗證數值模式之妥適性

278,000噸級的砂石兼油輪OSAKA號的實船試驗資料  
做為供試船

## 多船操船模擬操作介面

- 以 Microsoft Visual Basic 軟體設計操作介面  
透過視窗化連結程式並即時呈現模擬結果，執行簡易方便
  - 將操船時所需資料整合成三大介面
1. 整體操作介面
  2. 參數介面  
(啟動參數介面、各試驗船本船基本資料介面、試驗參數  
介面、係數選擇介面)
  3. 實船試驗介面
  4. 檔案資料介面

## 整體操作介面

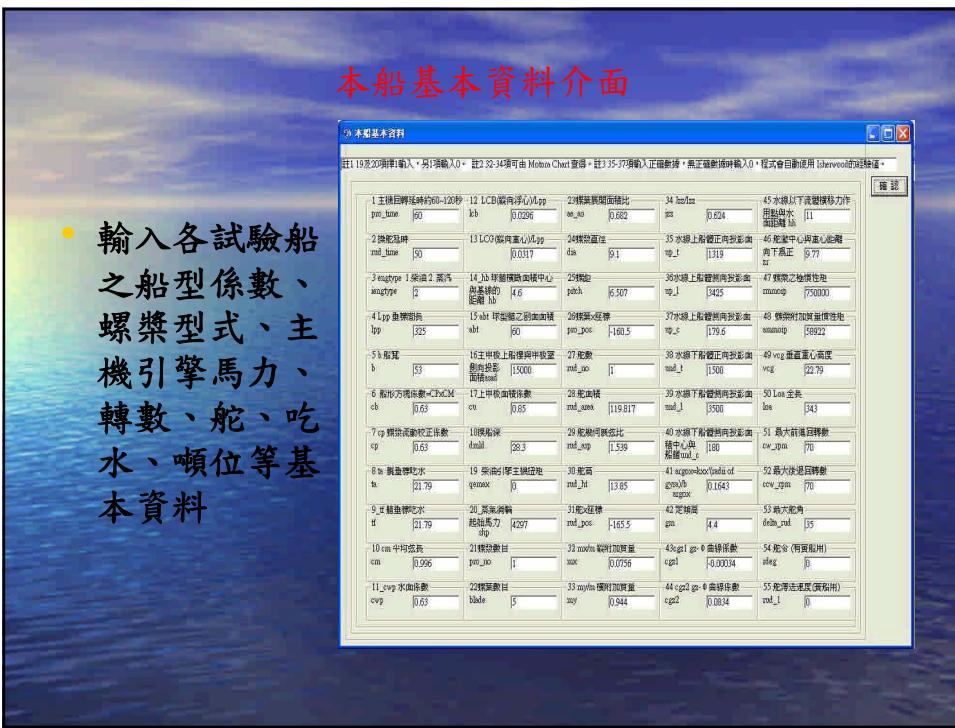
- 即時顯示各船舶操船之相關位置、座標，模擬時間等
- 即時顯示各船之船速、用舵等相關資料
- 顯示波浪、潮流等相關資料
- 各船操控模擬藉由本介面操控



## 檔案資料介面

- 輸入模擬之船數
- 各模擬船本船等相關資料之檔案名稱
- 地形水深資料檔案名稱
- 各船模擬結果輸出資料檔案名稱







## 數學模式

- 船舶操縱運動方程式：(MMG及邱(1997)模式)

$$m(\dot{u} - vr) = X$$

$$m(\dot{v} + ur) = Y$$

$$I_{zz}\ddot{\psi} = N$$

$$I_{xx}\ddot{\phi} = K$$

$$X = X_H + X_P + X_R + X_W + X_{wV} + X_E + X_C + X_B + X_F$$

$$Y = Y_H + Y_P + Y_R + Y_W + Y_{wV} + Y_E + Y_C + Y_B + Y_F$$

$$N = N_H + N_P + N_R + N_W + N_{wV} + N_E + N_C + N_B + N_F$$

$$K = K_H + K_P + K_R + K_W + K_{wV} + K_E + K_C + K_B + K_F$$

## 船體流體力

考慮橫搖運動時，船體流體動力可表示為：

$$X_H = -m_x \dot{u} + m_y v r + \frac{1}{2} L^2 U^2 (X'_{vv} v'^2 + X'_{vr} v' r' + X'_{rr} r'^2 + X'_{vvv} v'^4) + X_0(u)$$

$$Y_H = -m_y \dot{v} + m_y u r + \frac{1}{2} L^2 U^2 (Y'_{\beta} \beta' + Y'_r r' + Y'_{NL} + Y'_{Roll})$$

$$K_H = -J_{xx} \ddot{\phi} + N(\dot{\phi}) - mg \cdot \overline{GZ}(\phi) - Y_H Z_H$$

$$N_H = -J_{zz} \dot{r} + \frac{1}{2} \rho L^3 U^2 (N'_{\beta} \beta' + N'_r r' + N'_{NL} + N'_{Roll})$$

## 螺旋槳力

$$(I_{prop} + I_{ps})\dot{n} = Q$$

$Q$  : 作用於推進軸系(含螺旋槳)之扭矩

$I_{prop}$  : 螺旋槳之極慣性矩

$I_{ps}$  : 連接主機與螺旋槳之軸慣性矩

$$I_{prop} + I_{ps} = 0.424\rho D_p^5 (1.3 + q) A_E / \left( \frac{\pi}{4} D_p^2 \right)$$

$$q = \begin{cases} 2 & (\text{Diesel Engine}) \\ 20 & (\text{Steam Turbine}) \end{cases}$$

$D_p$  為螺旋槳直徑， $A_E$  為螺旋葉展開面積(Expanded Area)。

## 舵力

根據MMG研究結果顯示，舵力在各方向之分力與力矩，可表示如下：

$$X_R = -(1 - t_R) F_N \sin \delta$$

$$Y_R = -(1 + a_H) F_N \cos \delta$$

$$N_R = -(x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta$$

$$K_R = -(z_R + a_H z_H) F_N \cos \delta$$

$F_N$ ：舵的正向作用力(Normal Force)

$\delta$ ：舵角

$t_R$ ：舵之阻力減少係數

### 波浪漂流力：

$$X_{wV} = X_{wV} \cdot \frac{1}{2} \rho g L_{PP} \zeta_a^2$$

$$Y_{wV} = Y_{wV} \cdot \frac{1}{2} \rho g L_{PP} \zeta_a^2$$

$$N_{wV} = N_{wV} \cdot \frac{1}{2} \rho g L_{PP} \zeta_a^2$$

$$K_{wV} = 0$$

$\zeta_a$  為波高， $X_{wV}$ 、 $Y_{wV}$ 、 $N_{wV}$  為試驗所得波浪漂流力係數

### 潮流力

$$X_C = X_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_f V_R^{-2}$$

$$Y_C = Y_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_s V_R^{-2}$$

$$N_C = N_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_s L_{PP} V_R^{-2}$$

$$K_C = K_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho (\bar{A}_s^2 / L_{PP}) V_R^{-2}$$

## 風力

$$X_w = X_w \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_f V_R^2$$

$$Y_w = Y_w \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_s V_R^2$$

$$N_w = N_w \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_s L_{PP} V_R^2$$

$$K_w = K_w \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a (A_s^2 / L_{PP}) V_R^2$$

## 模式之驗證

- 以Crane 於1979所發表的278,000噸級的砂石兼油輪OSAKA號做為供試船，與其實測資料及台大邱逢琛教授所模擬結果進行比較。
- 另並以12噸級之亞洲水泥號(Asia cement)進行試驗模擬。

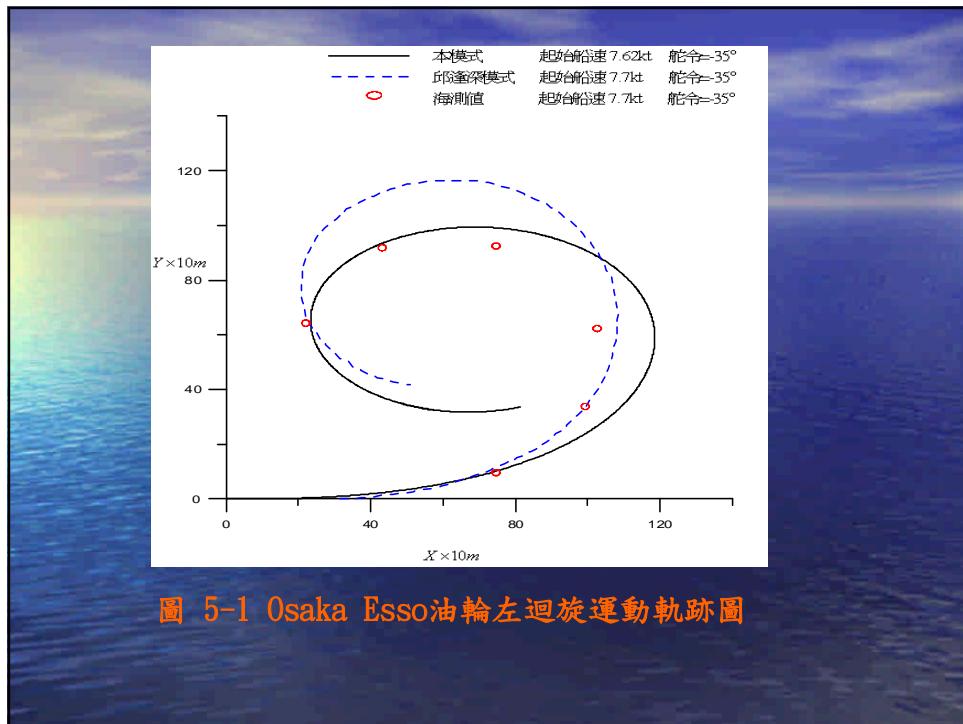


圖 5-1 Osaka Esso油輪左迴旋運動軌跡圖

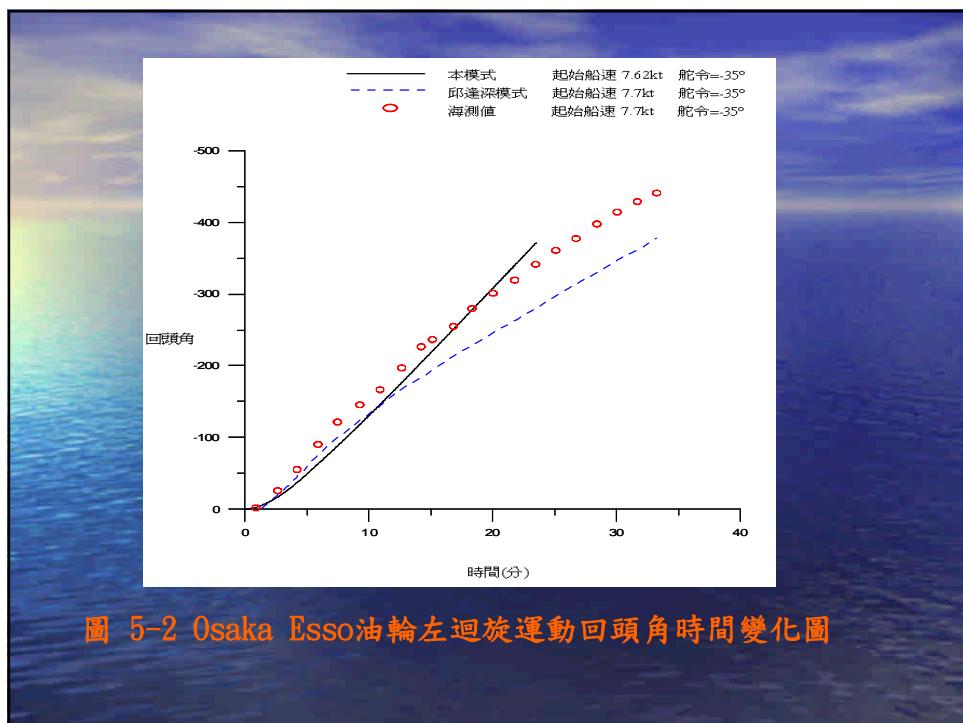


圖 5-2 Osaka Esso油輪左迴旋運動回頭角時間變化圖

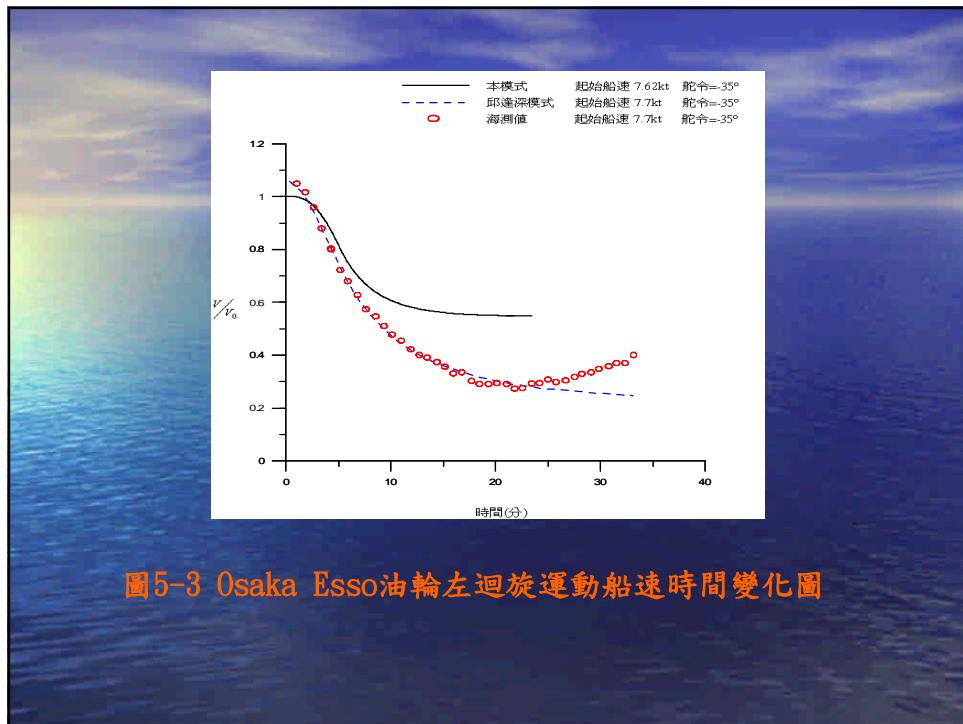


圖 5-3 Osaka Esso 油輪左迴旋運動船速時間變化圖

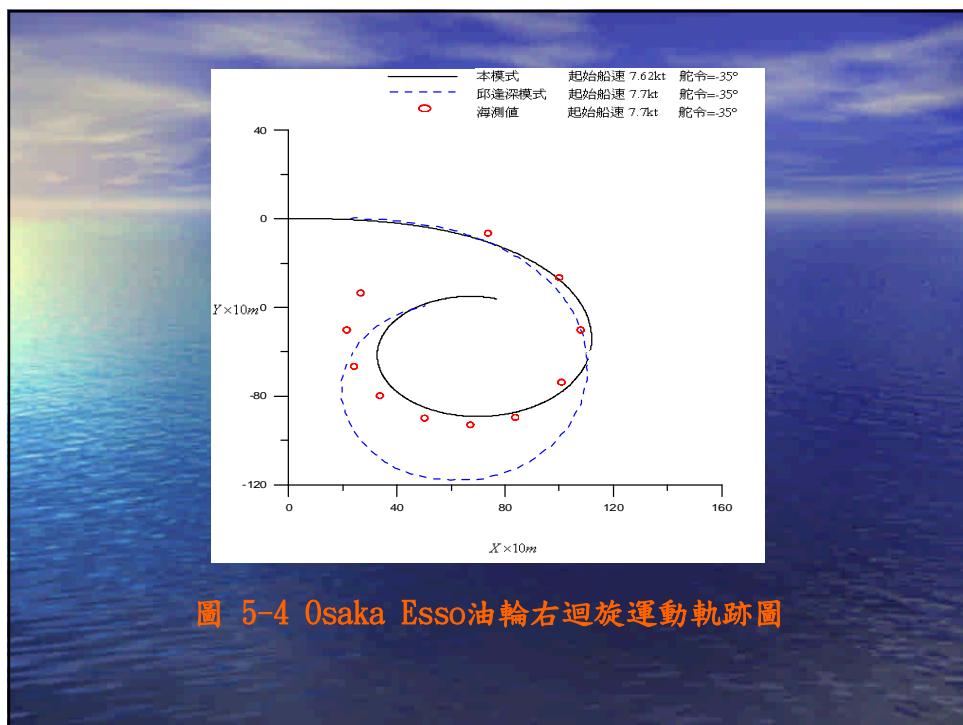


圖 5-4 Osaka Esso 油輪右迴旋運動軌跡圖

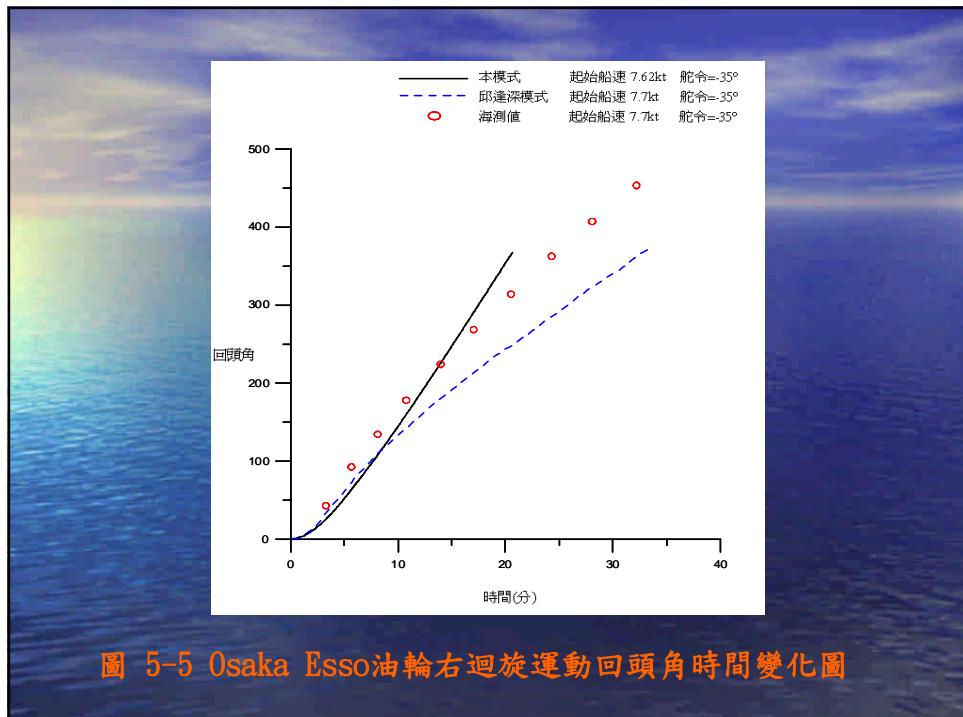


圖 5-5 Osaka Esso 油輪右迴旋運動回頭角時間變化圖

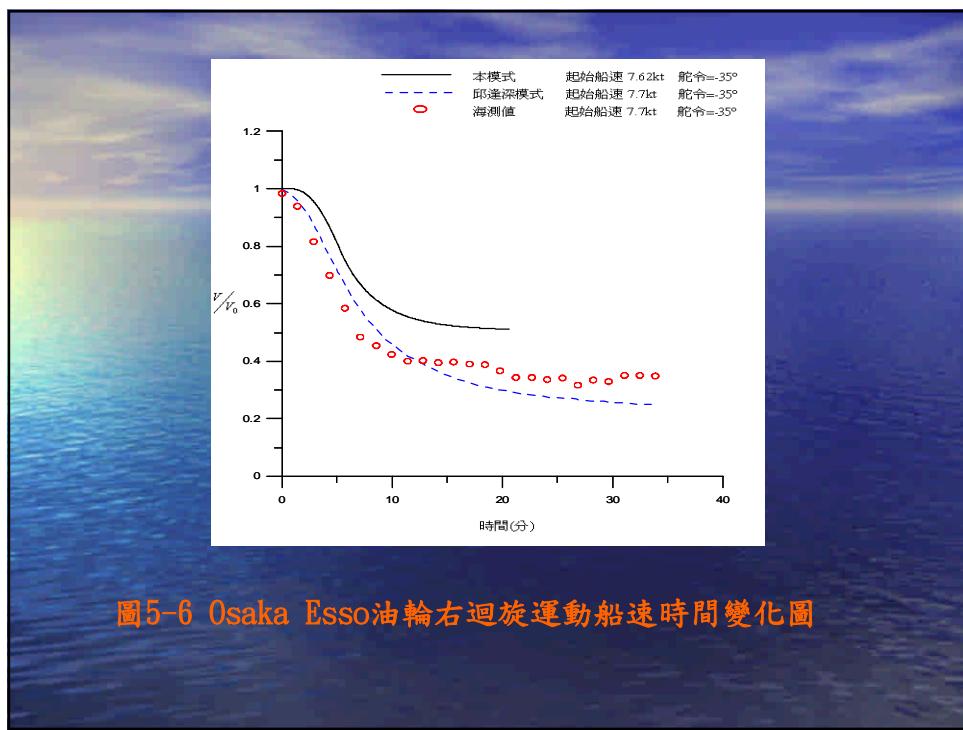


圖 5-6 Osaka Esso 油輪右迴旋運動船速時間變化圖

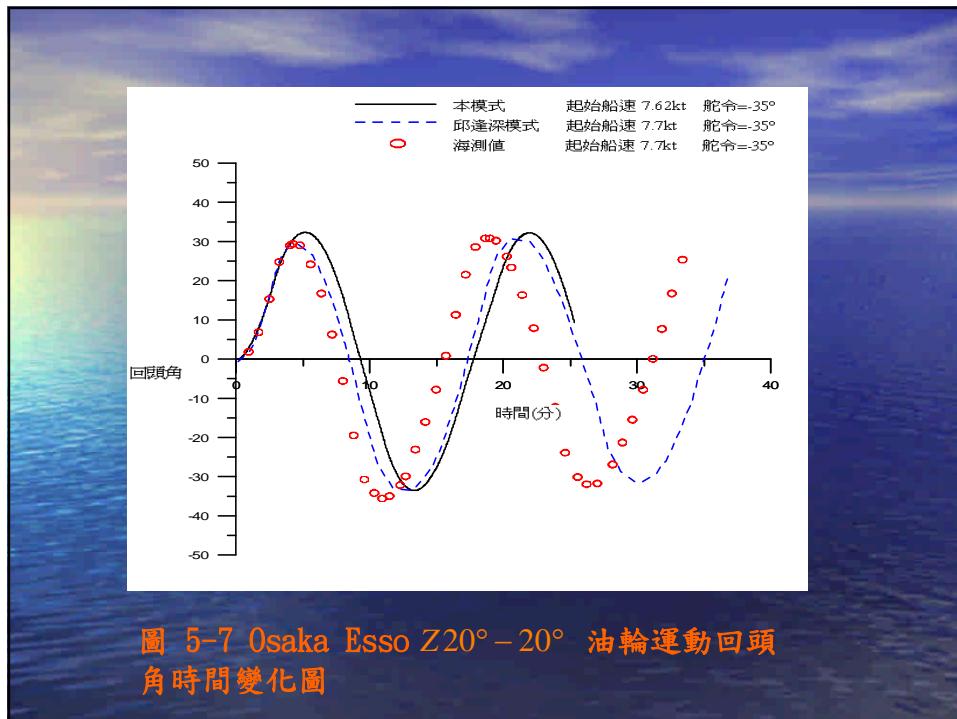


圖 5-7 Osaka Esso Z $20^\circ$ – $20^\circ$  油輪運動回頭角時間變化圖

表 5-2 Osaka Esso油輪左迴旋運動的船速、座標、時間對應表

	領港卡(註1)	本模式模擬值	邱達深模式模擬值(註1)
起始船速	7.7kt	7.62kt	7.7kt
迴轉90度時間	5分48秒	7分11秒	6分12秒
迴轉90度船速	6.1kt	5.08kt	5.9kt
迴轉90度縱距	1006m	945m	1063m
迴轉90度橫距	530m	502m	513m
迴轉180度時間	11分50秒	11分48秒	13分08秒
迴轉180度船速	4.6kt	4.20kt	3.5kt
迴轉180度縱距	730m	540m	620m
迴轉180度橫距	840m	755m	1130m
迴轉270度時間	19分18秒	16分06秒	25分18秒
迴轉270度船速	4kt	3.97kt	2.5kt
迴轉270度縱距	230m	279m	230m
迴轉270度橫距	630m	487m	760m
迴轉360度時間	25分10秒	20分17秒	32分05秒
迴轉360度船速		3.91kt	
迴轉360度縱距		612m	
迴轉360度橫距		300m	

表5-3 Asia Cement No. 5油輪左迴旋運動船速、座標、時間對應表

	領港卡(註1)	本模式模擬值	印達琛模擬值(註1)
起始船速	9.2kt	9.7kt	9.6kt
迴轉90度時間	1分42秒	1分49秒	1分48秒
迴轉90度船速	<b>6.1kt</b>	<b>6.55kt</b>	<b>5.9kt</b>
迴轉90度縱距	317m	292m	393m
迴轉90度橫距	137m	159m	167m
迴轉180度時間	3分30秒	2分58秒	3分42秒
迴轉180度船速	<b>4.6kt</b>	<b>5.39kt</b>	<b>3.5kt</b>
迴轉180度縱距		166m	
迴轉180度橫距	338m	236m	387m
迴轉270度時間	5分18秒	4分02秒	6分
迴轉270度船速	<b>4kt</b>	<b>4.93kt</b>	<b>2.5kt</b>
迴轉270度縱距		89m	
迴轉270度橫距		157m	
迴轉360度時間		5分02秒	
迴轉360度船速		4.78kt	
迴轉360度縱距		187m	
迴轉360度橫距		105m	

表 5-4 Asia Cement No. 5油輪右迴旋運動船速、座標、時間對應表

	領港卡(註1)	本模式模擬值	印達琛模擬值(註1)
起始船速	9.2kt	9.7kt	9.6kt
迴轉90度時間	<b>1分42秒</b>	<b>1分59秒</b>	<b>1分54秒</b>
迴轉90度船速	6.1kt	6.60kt	6.0kt
迴轉90度縱距	317m	311m	401m
迴轉90度橫距	137m	173m	177m
迴轉180度時間	<b>3分30秒</b>	<b>3分19秒</b>	<b>3分43秒</b>
迴轉180度船速	4.6kt	5.58kt	3.6kt
迴轉180度縱距		162m	
迴轉180度橫距	350m	266m	397m
迴轉270度時間	<b>5分18秒</b>	<b>4分36秒</b>	<b>6分0秒</b>
迴轉270度船速	4kt	5.30kt	2.5kt
迴轉270度縱距		63m	
迴轉270度橫距		166m	
迴轉360度時間		5分48秒	
迴轉360度船速		5.20kt	
迴轉360度縱距		188m	
迴轉360度橫距		96m	

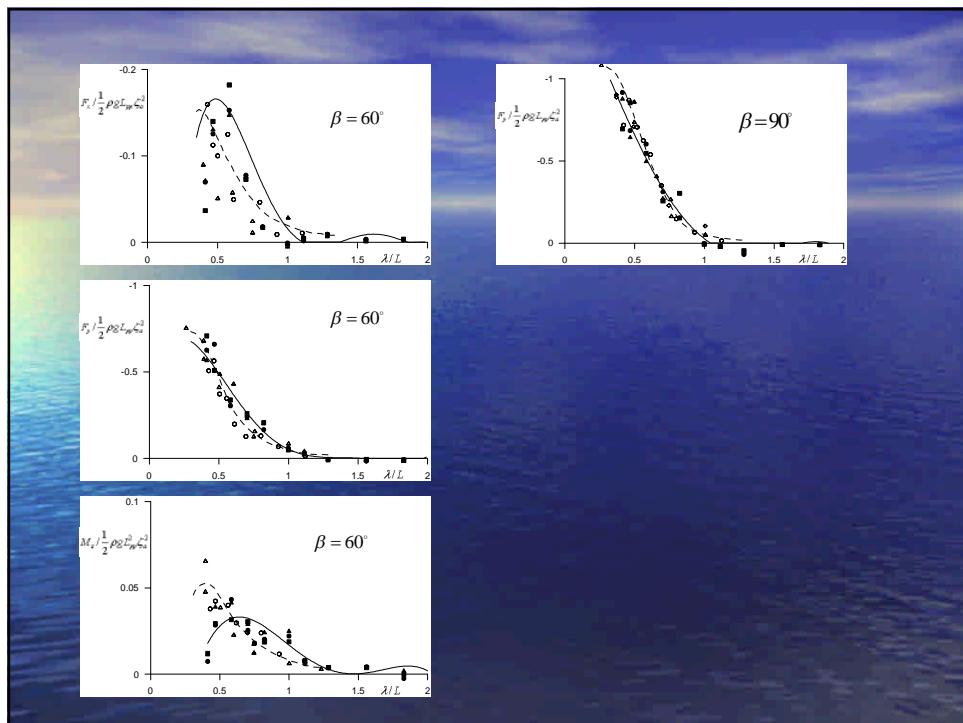
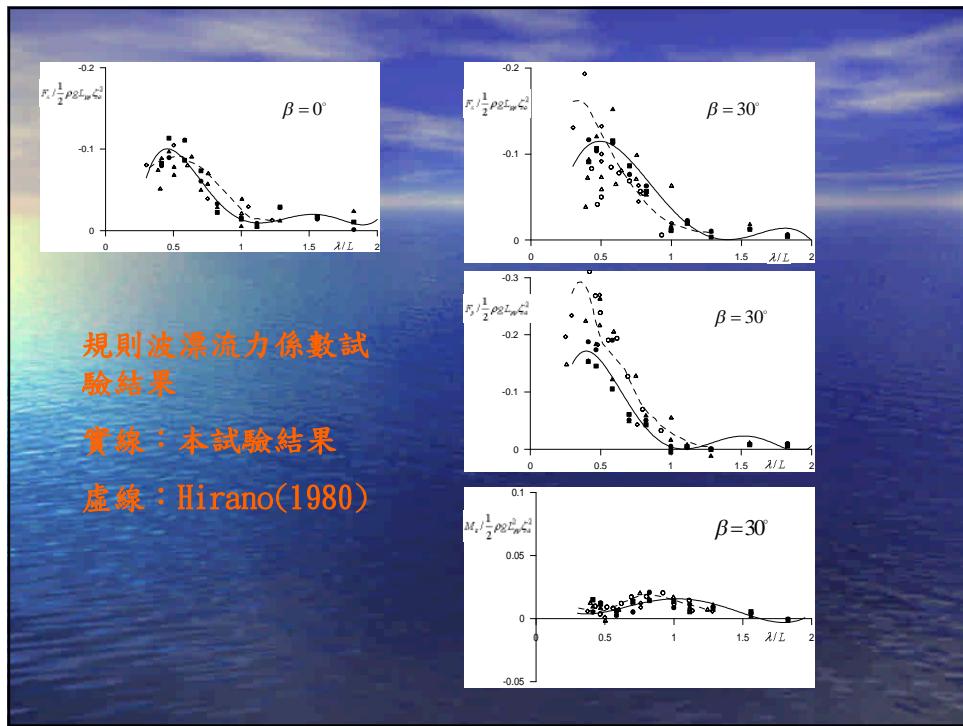
## 波浪漂流力係數之測定

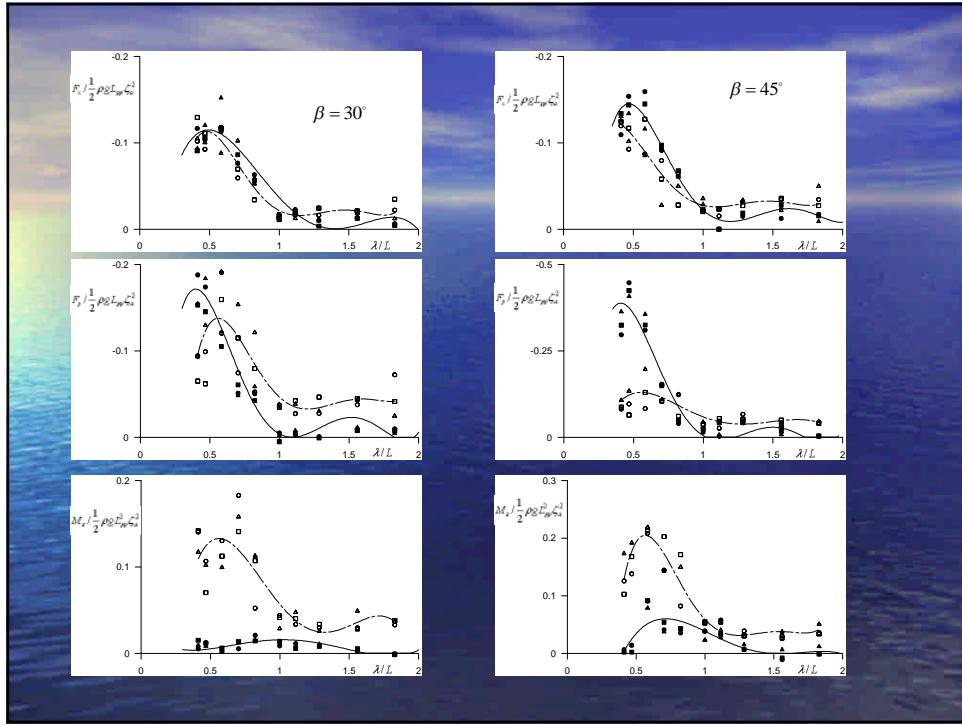
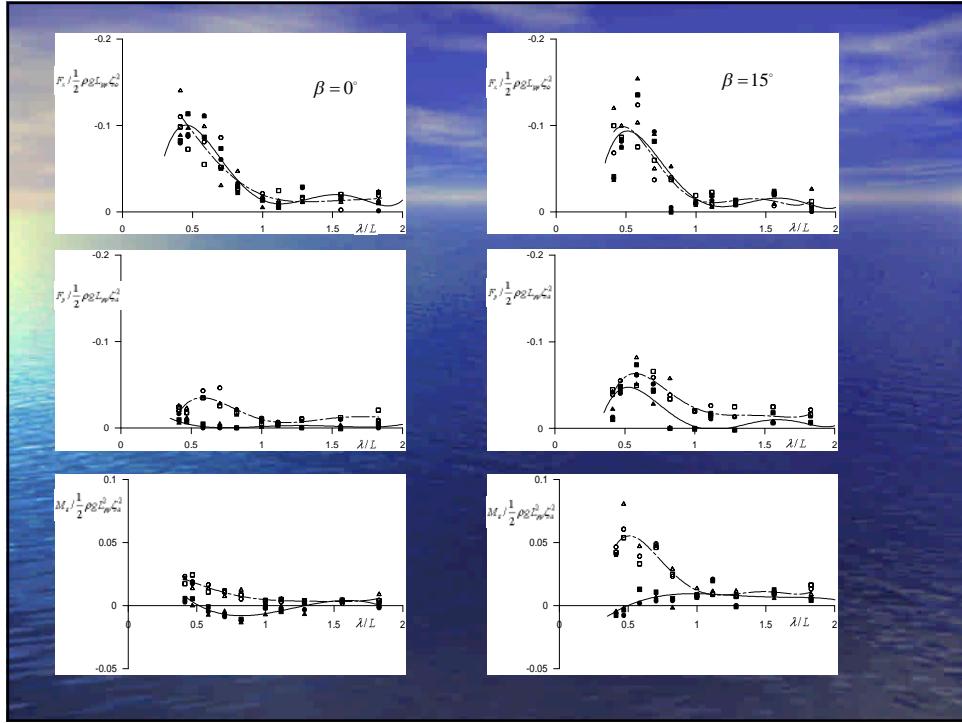


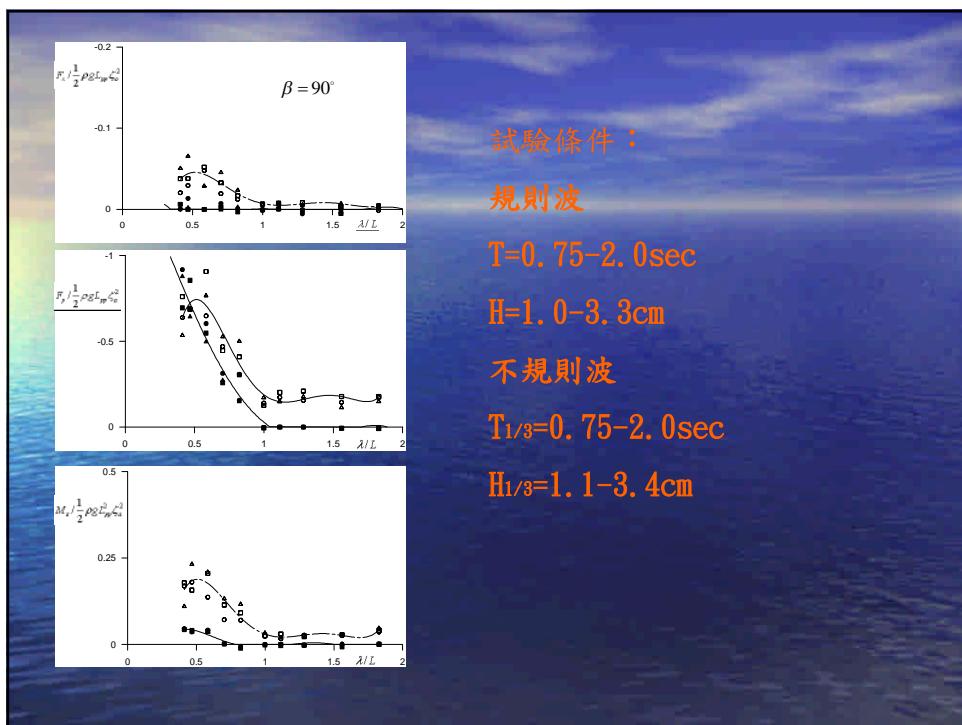
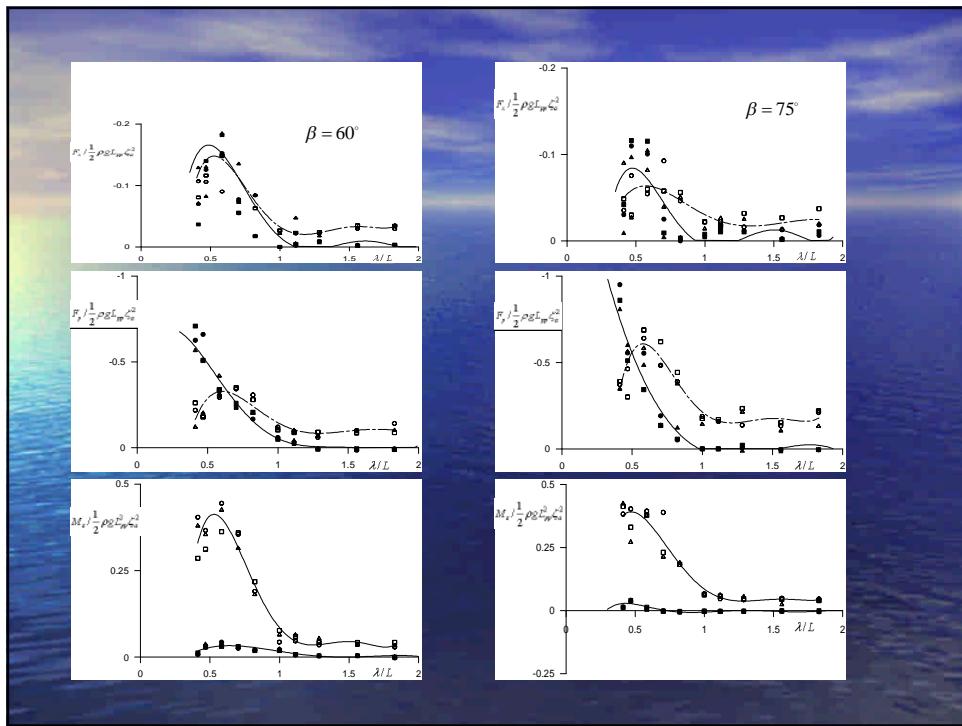
照片一 實驗模型船體



照片二 平面水槽及蛇形造波機







## 結論與建議

- 本研究所發展之多船模擬系統操控介面可使操船模擬程式的執行更簡易方便，並藉由即時顯示系統，可更快速的了解船舶航行過程的各項資料，目前系統可容納四艘船舶同時操航。
- 單船操船模擬程式藉由實測值與前人研究結果，初步顯示本程式之適用性。往後將針對差異較大者繼續修正。
- 水工試驗結果顯示部分角度之不規則波漂流力係數較規則波漂流力係數有較大之趨勢。此部分將進一步討論其對船體運動之影響。

報告完畢  
敬請指教