

97-22-7309

MOTC-IOT-96-H2DB006

船舶運動數值模式建立之研究 (三)



交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

97-22-7309
MOTC-IOT-96-H2DB006

船舶運動數值模式建立之研究 (三)

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 97 年 3 月

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. 三 / 邱永芳等
著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，
民97.03

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-3828-3(平裝)

1. 船舶工程

444

97006287

船舶運動數值模式建立之研究(三)

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 (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國 97 年 3 月

印刷者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 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

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1009700774

ISBN：978-986-01-3828-3 (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

出版品名稱：船舶運動數值模式建立之研究(三)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-01-3828-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1009700774	運輸研究所出版品編號 97-22-7309	計畫編號 96-H2DB006
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：張富東、蔡金吉 蓋美瑛、陳進冰 聯絡電話：04-26587120 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 研究人員：翁文凱 地址：基隆市北寧路2號 聯絡電話：02-24622192-6126or6138		研究期間 自 96 年 3 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：淺水效應；船舶運動；船舶進倒俾四個象限			
摘要： 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。 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 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。 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、繫纜效應。而以往之操船模擬系統大都僅著重於船舶特性之研究，對於自然環境之作用力較為忽略或將其簡單化，至於第三項之環境對船舶運動影響效應則更少考慮；本研究主要目的在於建立一較為完整之操船模擬系統，期能真實準確反應船舶進出港時之運動反應外，同時並拓展其適用範圍。 本年度主要在於船舶於淺水中航行之計算，並考慮船舶於進退過程中在各項象限中之運動情形，並與虛擬實境系統進行結合操作。本年度執行結果並與前人相關研究及實測值相互比對，結果相當吻合，顯示本研究模式之正確性，應可應用於實際模擬中。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
97 年 3 月	110	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。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （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**

TITLE: Ship maneuverability and motion simulation (III)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-3828-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700774	IOT SERIAL NUMBER 97-22-7309	PROJECT NUMBER 96-H2DB006
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-Fang PROJECT STAFF: Chang Fu-Tung, Chai Jin-Ji, Gai Mei-Ying, Chen Jin-Bing PHONE: (04) 26587120 FAX: (04) 26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2007 TO December 2007
RESEARCH AGENCY: National Taiwan Ocean University PRINCIPAL INVESTIGATOR: C-R Chou PROJECT STAFF: W-K Weng ADDRESS: No. 2, Peining Road, Keelung City, Taiwan, R.O.C PHONE: 02-24622192-6126 or 6138			
KEY WORDS: effects of shallow water, motion simulation, effects of propeller			
ABSTRACT: The development of maneuvering simulation is usually employed in ship design. In addition, it can also be applied to port planning, harbor transportation, estimation for simulated models, and shipwrecks. Owing to the fact that the maneuvering simulation model is an essential element to the navigation simulator, the ship design committee and academia pay attention to the estimation of the model. Transformation of waves, currents and winds causes more difficulty in estimating the external forces acting upon a ship in the area around or in the harbor than in the deepwater region. The purpose of this research is to develop a suitable simulation model to predict ship motions in that region. Model theory follows Mathematical Modeling Group's results, and will be employed to predict ship motions around or in harbor region. Three items will be discussed under the fundamental frame of the simulation model. The first item contains hydrodynamic derivatives of hull forces, which are the effects of propeller and the main engine. The second item includes forces due to winds, currents and waves. And the third item is the effects caused by natural or artificial boundaries. In the past, the maneuvering simulation system usually only focuses on the study of ship characteristics and the natural environmental forces will be ignored or simplified. As for the third item, impact on ship movement is considered even less. The purpose of this research is to develop a suitable simulation model to predict actual ship motions, and at the same time, expand its scope of application. In this year, we focus on the effects of the ship when it is sailed in the shallow water region. In addition, ship motion is also considered when the ship moves forward or backward. Finally, the validity of the method is adequately verified by results in real ship tests.			
DATE OF PUBLICATION March 2008	NUMBER OF PAGES 110	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	IX
第一章 研究主旨.....	1
1.1 計畫背景分析.....	1
1.2 研究範圍與對象.....	2
1.3 研究內容與工作項目.....	4
1.4 未來成果.....	7
第二章 工作執行狀況.....	9
2.1 以往之研究成果.....	9
2.2 本年度執行情形.....	23
第三章 數學模式.....	25
3.1 船舶操縱方程式.....	27
3.2 螺槳力.....	29
3.3 船體流體力.....	29
3.4 舵力.....	41
3.5 波浪漂流力.....	43

3.6 潮流力.....	54
3.7 風力.....	54
3.8 淺水效應.....	55
第四章 淺水效應計算例與討論.....	59
4.1 淺水效應之驗證與討論.....	59
4.2 淺水效應係數之迴歸.....	67
第五章 四個象限中之螺槳推力與轉矩.....	69
第六章 結論與建議.....	73
參考文獻.....	75
附錄一：期中報告審查意見處理情形表.....	79
附錄二：期末報告審查意見處理情形表.....	81
附錄三：簡報資料.....	85

圖 目 錄

圖 2.1 整體操作介面.....	11
圖 2.2 檔案資料介面.....	12
圖 2.3 啟動參數介面.....	13
圖 2.4 本船基本資料介面.....	14
圖 2.5 試驗參數介面.....	15
圖 2.6 係數選擇介面.....	16
圖 2.7 Esso Osaka 油輪左迴旋運動軌跡圖.....	17
圖 2.8 Esso Osaka 油輪左迴旋運動航向角時間變化圖.....	18
圖 2.9 Esso Osaka 油輪左迴旋運動船速時間變化圖.....	18
圖 2.10 Esso Osaka 油輪右迴旋運動軌跡圖.....	19
圖 2.11 Esso Osaka 油輪右迴旋運動航向角時間變化圖.....	19
圖 2.12 Esso Osaka 油輪右迴旋運動船速時間變化圖.....	20
圖 2.13 Esso Osaka 油輪 $Z20^{\circ}-20^{\circ}$ 運動航向角時間變化圖.....	20
圖 3.1 船體座標系與大地座標系示意圖.....	26
圖 3.2 縱移附加質量 (m_x) 估算圖 (Matora,1959a)	32
圖 3.3 橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Matora,1959b)	33
圖 3.4 平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖 (Matora,1959a)	34
圖 3.5 肥胖船型船體之橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Mikelis,1982) ..	34
圖 3.6 肥胖船型船體之橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Mikelis,1982) ..	35

圖 3.7 肥胖船型船體之橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Mikelis,1982)	35
圖 3.8 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖.....	36
圖 3.9 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖.....	36
圖 3.10 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖.....	37
圖 3.11 船體側向力非線性阻尼力係數 ($Y'_{\beta \beta }$)	37
圖 3.12 船體側向力非線性阻尼力係數 ($Y'_{\beta r }$)	38
圖 3.13 船體側向力非線性阻尼力係數 (Y'_{rr})	38
圖 3.14 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ($N'_{\gamma \gamma }$)	39
圖 3.15 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ($N'_{\beta\beta\gamma}$)	39
圖 3.16 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ($N'_{\beta rr}$)	40
圖 3.17 舵力示意圖.....	42
圖 3.18 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.....	45
圖 3.19 規則波入射角 30 度時，各方向漂流力與力矩係數比較.....	46
圖 3.20 規則波入射角 60 度時，各方向漂流力與力矩係數比較.....	46
圖 3.21 入射角 0 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	47
圖 3.22 入射角 180 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	47
圖 3.23 入射角 15 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	48
圖 3.24 入射角 165 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	48
圖 3.25 入射角 30 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	49

圖 3.26 入射角 150 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	49
圖 3.27 入射角 45 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	50
圖 3.28 入射角 135 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	50
圖 3.29 入射角 60 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	51
圖 3.30 入射角 120 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	51
圖 3.31 入射角 75 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	52
圖 3.32 入射角 105 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	52
圖 3.33 入射角 90 度時之各方向漂流力與力矩係數.....	53
圖 4.1 $H/d=\infty$ Esso Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖.....	60
圖 4.2 $H/d=4.2$ Esso Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖.....	60
圖 4.3 $H/d=1.5$ Esso Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖.....	61
圖 4.4 $H/d=1.2$ Esso Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖.....	61
圖 4.5 Esso Osaka 油輪左迴旋試驗淺水效應比較圖.....	62
圖 4.6 Esso Osaka 油輪右迴旋試驗淺水效應比較圖.....	60
圖 4.7 $H/d=1.2$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖.....	65
圖 4.8 $H/d=1.5$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖.....	65
圖 4.9 $H/d=4.2$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖.....	66
圖 4.10 $H/d=\infty$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖.....	66
圖 4.11 $\alpha_H/\alpha_{H\infty}$ 與 d/H 之關係.....	67
圖 4.12 附加質量 m_x/m 與 d/H 的關係圖.....	68

圖 4.13 $(x_H / L_{pp}) / (x_H / L_{pp})_\infty$ 與 d/H 的關係圖.....	68
圖 5.1 螺漿推力係數 K'_p 與 J' 之關係曲線圖.....	72
圖 5.2 螺漿轉矩係數 K'_m 與 J' 之關係曲線圖.....	72

表 目 錄

表 1.1 多船操船模擬系統考慮因素表.....	6
表 2.1 Esso Osaka 油輪左迴旋運動的船速、座標、時間對應表.....	21
表 2.2 Asia Cement No.5 油輪左迴旋運動船速、座標、時間對應表...	22
表 2.3 Asia Cement No.5 油輪右迴旋運動船速、座標、時間對應表...	23
表 4.1 Osaka 油輪左迴旋試驗淺水效應比較表.....	63
表 4.2 Osaka 油輪右迴旋試驗淺水效應比較表.....	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。

由於本研究之最終目的在於發展一套完整之數值操船模擬程式，並結合影像呈現之軟、硬體而成操船模擬系統，以提供船員操航及訓練用，進而作為海事船難、碰撞等之鑑定與佐證。為達此目的，整個操船模擬系統需經較有公信力之鑑定公司加以認證及分級，基本上，此項有關船員訓練之事項由國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)負責頒布與修訂各項法規，然而其僅訂定通則，同時並不進行認證與分級工作，因此操船模擬系統之認證與分級工作則大都由各國船舶協會或驗船協會進行，如 American Bureau of Shipping(ABS)、Lloyd's Register of Shipping(LR)、Nippon Kaiji Kyokai(NK)、Det Norske Veritas(DNV)、Germanischer Lloyd(GL)、Korean Register of Shipping(KR)等，目前據吾人所知有將其認證與分級工作標準化者為挪威 DNV，國立臺灣海洋大學操船模擬中心亦由此家公司進行認證與分級，本研究將其認證之項目摘錄說明如下。

DNV 將操船模擬系統分成四級，即 A 級(full mission)、B 級(multi-task)、C 級(limited task)及 X 級(special task)。每五年需重新認證，其認證工作主要分成四大項，包含駕駛台操作模擬器(Bridge operation simulator)、機械操作模擬器(Machinery operation simulator)、無線電通信操作模擬器(Radio operation simulator)、貨物傳輸模擬器(Cargo handling simulator)。與本研究較相關者為駕駛台操作模擬器之認證主要為駕駛台操作模擬器，其認證工作大致分為模擬設備(包含推進操作器、最少一個螺槳推進器、繫纜操作、系統通信系統、雷達系統、航向燈、救生艇燈、救火系統等)、行為之真實性(船體運動之自由度；A 級：六自由度(2002.02.01 頒布)、B 級：三自由度以上、風、潮流、波浪(A、B、C 級)、淺水效應、岸壁效應、兩船相互作用之影響(A 級)、最少五種船型(A、B 級)、雷達設備需能反映天氣、船舶前進效應、海岸線與浮標、回音等、ARPA 需有相當效應、

引擎回聲等)，以及虛擬環境(包含十艘以上各有其航線之其他船：同樣需以數學模式計算其在風浪流作用下之運動，同時並顯現其船頭與船尾之波浪，外視範圍至少需水平 240 度，垂直 120 度，另外亦有規範水與聲音等)。

根據 DNV 之分類標準而言，必須配合相當多的硬體設備，本研究之研究範圍在其行為之真實性項目中，此工作不僅需配合船舶運動程式軟體，亦須虛擬實境搭配加以呈現其船舶真實之動態。

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，螺旋槳附近亦易發生大量渦流，而降低螺旋槳之效應，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，總體最終目標為配合虛擬實境軟體及部分操船模擬軟體設備完成部分操船模擬系統，因此就本計畫之主要工作項目大致可分為「操船各操縱介面的建立」、「船舶操縱運動模擬程式構架」與「操縱介面及虛擬實境之連結」三大項目：

1. 各操縱介面的建立：主要功能在於連結船舶運動程式軟體，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，同時可操控多艘船舶進出港或航行，在介面的建立上，本計畫選用 Microsoft Visual Basic 軟體設計多船操船模擬執行時所需之操作介面，綜合整理船舶操縱運動程式所需之資料，歸納出所需介面包含「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. 船舶操縱運動模擬程式構架：主要包含船舶特性模擬、環境影響外力及因船舶或結構物存在之環境效應三大項目之程式撰寫與模擬。
3. 操縱介面及虛擬實境之連結：連結操縱介面與虛擬實境及操船模擬硬體設備。

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
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

本年度主要執行工作項目如下：

1. 與虛擬實際相結合，使整個操船模擬系統可以開始運作，並修正軟

硬體間之差異。

2. 船體運動模式中加入淺水效應，並撰寫程式與驗證工作。
3. 修正船體運動中船速、螺槳在各象限中之影響，並撰寫程式與驗證工作。以往船舶在深水區域航行時，船舶之行進方向大都以直進或迴轉為主，此時螺槳永遠為正轉、船速永遠為正，但航行至港內或靠泊時，其航行速度減緩、螺槳有時需逆轉以達降低前進速度或船舶後退中需以螺槳輔助前進之動力等，將引發不同之流體力效應，此有待進一步在理論與程式中呈現與改善。

1.4 未來成果

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. 多艘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。

本計畫執行完畢後，可完成多艘船舶於風、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 以往之研究成果

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。

由於操作介面在多艘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四艘船舶操航。今將以往之研究成果簡述如下：

1、 操船模擬介面(第一年度)

為顧及未來多艘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，本計畫針對操船模擬程式執行時所需各項參數資料加以整合、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。

各界面資料之整合原先以性質、功能為分類之導向，經實際操作後則以操作需求為導向，同時操作所需料統合成四個操作介面，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。

各介面及其子介面之展示及說明如下：

(a)整體操作介面：如圖 2.1 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 2.1 整體操作介面

(b)檔案資料介面：如圖 2.2 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. 各試驗船模擬結果輸出資料檔案名稱。

操船檔案設定			
起動參數 SET 檔：			瀏覽 設定
本船資料 SHP 檔,指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
選擇子 SEL 檔,指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
選擇參數 COE 檔,指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
螺旋 CTQ 檔,指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
螺旋 KTQ 檔,指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
實船資料存在時必須指定檔名			
參數 PRA 檔,指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
執行模擬時必須指定相關檔名			
海域名稱 FIG 檔			瀏覽 設定
總量測檔名稱 ANS 檔：			瀏覽 設定
操船存 RES 檔指定第	1	船屬檔檔名：	瀏覽 設定
外在條件名稱 DAT 檔：			瀏覽 設定
繪圖 BMP 檔			瀏覽 設定
			關閉

圖 2.2 檔案資料介面

(c)啟動參數介面：如圖 2.3 所示，主要在於設定設定船舶試驗項目。

項目編號	項目名稱	輸入值
1	研究計劃名稱 project_name	測試
2	海域名稱 port_name	測試
3	第1艘船名 shipname_1	Osaka Esso
4	第1艘船型 shiptype_1	油輪
5	第2艘船名 shipname_2	海洋2號
6	第2艘船型 shiptype_2	油輪
7	第3艘船名 shipname_3	海洋3號
8	第3艘船型 shiptype_3	油輪
9	第4艘船名 shipname_4	海洋4號
10	第4艘船型 shiptype_4	油輪
11	委託單位 Sponsor	交通部港灣技術研究中心
12	試驗者 namee	海洋大學
13	試驗日期 datee	民國95年8月26日
14	存檔間隔 isave	1
15	輸入試驗船數 nship	1
16	時間比 tscale	1
17	顯示銀幕尺寸設定 xmin	25
18	顯示銀幕尺寸設定 ymin	17
19	顯示銀幕尺寸設定 xmax	450
20	顯示銀幕尺寸設定 ymax	342
21	顯示銀幕尺寸設定 mscale_map	100
22	顯示銀幕尺寸設定 kgein	0.11765
23	是否為新試驗 inew	1 (是)
24	是否顯示船軌跡 itrace	1 (是)
25	是否繪船形 shape	1 (是)
26	波浪種類 iwv	1 (規則波)
27	模擬項目 test_no	1 (自由航行)
28	顯示軌跡間隔 ishow	1
29	繪圖間隔 iplot	120
30	輸入本船資料數目 n_dataa	55
31	輸入計算選擇子數目 n_sel	13
32	輸入試驗參數數目 n_coe	27

圖 2.3 啟動參數介面

(d)本船基本資料介面：如圖 2.4 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_ae 0.682	34 Jzz/lzz jzz 0.624	45 水線以下流體橫移力作用點與水面距離 hh 11
2 操舵延時 rud_time 50	13 LCG(縱向重心)/Lpp 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 舵壁中心與重心距離向下為正 zr 9.77
3 engtype 1.柴油 2.蒸汽 engtype 2	14 hb 球艙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 螺葉之極慣性矩 mmoiop 750000
4 Lpp 垂標間長 lpp 325	15 abt 球型艙之剖面面積 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 螺葉附加質量慣性矩 ammoiop 58922
5 b 船寬 b 53	16 主甲板上船樓與甲板室側向投影面積asad 15000	27 舵數 rud_no 1	38 水線下船體正向投影面 und_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 und_l 3500	50 Loa 全長 loa 343
7 cp 螺葉流動校正係數 cp 0.63	18 模船深 dmld 28.3	29 舵展何展茲比 rud_asp 1.539	40 水線下船體側向投影面積中心與船艙und_c 180	51 最大前進回轉數 cw_rpm 70
8 ta 艏垂標吃水 ta 21.79	19 柴油引擎主機扭矩 qemax 0	30 舵高 rud_ht 13.85	41 argox=kcx/radius of gyra/b argox 0.1643	52 最大後退回轉數 ccw_rpm 70
9 tf 艏垂標吃水 tf 21.79	20 蒸汽渦輪 起始馬力 shp 4297	31 舵x座標 rud_pos -165.5	42 定傾高 gm 4.4	53 最大舵角 delta_rud 35
10 cm 平均弦長 cm 0.996	21 螺葉數目 pro_no 1	32 mx/m 縱附加質量 mx 0.0756	43 cgz1 gz-φ 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-φ 曲線係數 cgz2 0.0834	55 舵傳送速度(實船用) rud_1 0

確認

圖 2.4 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 2.5 所示。

編號	參數名稱	單位/說明	輸入值
1	初期x方向船速	u (Kt)	7.7
2	初期y方向船速	v	0
3	初期橫搖角	roll	0
4	初期橫搖角速度	rollu	0
5	初期平擺速度	yaw	0
6	初期x方向加速度	ua	0
7	數值計算時間間隔	intv	4
8	計算回圈數	iloop	1
9	初期估算值 rpm	rpm	40
10	舵有效流入速度內的C1	ic1	2.右舵
11	阻力增幅率	amp_factor	1
12	直進時舵的有效跡流係數	wr0 2~3間	0.25
13	舵推進阻力幅率	tr	0.7
14	appendage factor	ik2	1.rudder-s
15	appendage wetted surface	area sapp	50
16	ship hull surface roughness	maa (micro m)	150
17	最大船速(Kt)	speedmax	13.7
18	transom stern area immerse	at	2
19	afterbody form	icstern	[3] U-shap
20	bilge kees area	bilarea	20
21	cm 貨櫃或油輪	icmm	2.油輪
22	lxx+lxz 估算值 客輪0.12 油輪0.133	if3	2.油輪
23	輸入計算點數	no_data	51
24	淺水域直進係數增幅率	amr 深水時為1	1
25	淺水比 aah	aah	1
26	輸入水深(m)	h 深水時為999	999
27	(my+xxr) 淺水/深水	acm 深水時為1	1
28			
29			
30			
31			
32			

確認

圖 2.5 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 2.6 所示。

Section	Parameter	Value	Description
1	附加質量係數 (iadd)	2.	說明 共有三種[1] Motora求mx,my,jzz(對重心)[2] Mikelis估算my,jzz(對船艙)[3] Clarke經驗公式估算my,jzz(對船艙)
2	阻尼係數 (idamp)	1.	說明 共有四種線性阻尼[1]Wanger[2]Norbin [3]Inoue [4]Clarke
3	螺旋曲線 (icurve)	2	說明 共有兩套螺旋曲線: [1] CT,CQ [2] KT,KQ
4	CT_CQ 曲線 (ictcq)	1.	說明 有沒有 CT_CQ 曲線 [1] 沒有 [2] 有
5	KT_KQ 曲線(2階) (iktkq)	1.	說明 有沒有 KT_KQ 曲線(2階) [1] 沒有 [2] 有
6	螺旋種類 (ipro_type)	1.	說明 預測 B-series 及 MAU-series 螺旋的性能 [1] B-series [2] MAU-series
7	推算方法 (ihol)	1.	說明 共有三種預估方法[1] Holtrop 1978 [2] Holtrop 1982(推進係數為 1)[3] Holtrop 1982
8	船型種類 (iship)	6.	說明 1.客輪及渡輪2.貨輪主機在船艙滿載3.貨輪主機在船艙壓艙4.貨輪主機在船艙5.貨輪主機在船艙壓艙6.油輪及散裝輪駕駛臺在船艙7.油輪及散裝輪駕駛臺在船艙壓艙8.油輪及散裝輪駕駛臺在船艙滿載9.油輪及散裝輪駕駛臺在船艙壓艙10.拖網船11.拖船12.貨櫃13.LNGC
9	螺旋種類 (iscrew)	1.	說明 1.單漿 2.單漿開艙3.雙漿
10	階次 (norder)	3.	說明 阻力-速度曲線(resistance-velocity)的階數(2階或3階)
11	舵漿船體流體力 (idata)	1.	說明 有沒有實船資料 1. 沒有 2. 有
12	feed back (ifeed)	1.	說明 主機為蒸汽渦輪時可利用feed back保持一定轉速 1要 2.不要

圖 2.6 係數選擇介面

2、船舶操縱運動模擬(第二年度)

本研究在進行單船操船模擬時所引用之船舶操縱運動數學模式乃以日本 MMG(Mathematical Modeling Group)所發展之模式為基礎，同時參考邱(1997)所整理之模式加以發展，至目前為止，整個理論基礎與程式設計大致完成下列幾項工作：

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. 環境外力之模擬：包含風、浪及潮流等外力之設計與連結。
3. 進行操船模擬之測試與驗證數值模式之妥適性：以 Crane 於 1979 所發表的 278,000 噸級的砂石兼油輪 OSAKA 號的實船試驗資料及 12 噸級之亞洲水泥號(Asia Cement)做為計算之供試船，進行各項測試，並以實測資料及邱所得結果進行比對，以驗證程式之妥適性。

圖 2.7~圖 2.13 及表 2.1 分別為 OSAKA 號之測試結果。而表 2.2、表 2.3 則為亞洲水泥號測試比對結果。

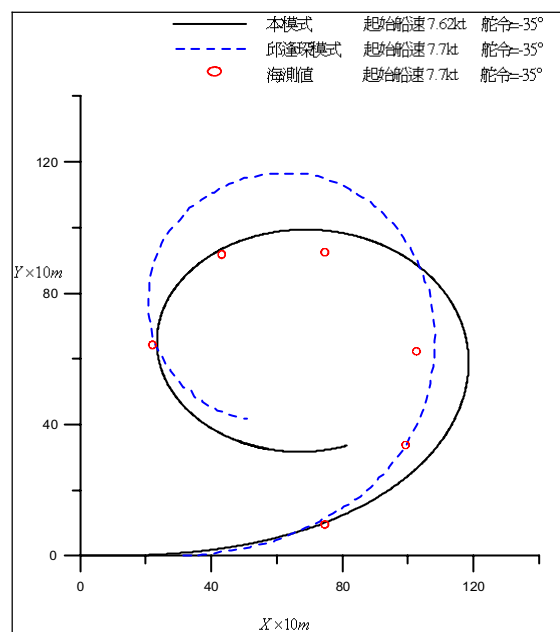


圖 2.7 Esso Osaka 油輪左迴旋運動軌跡圖

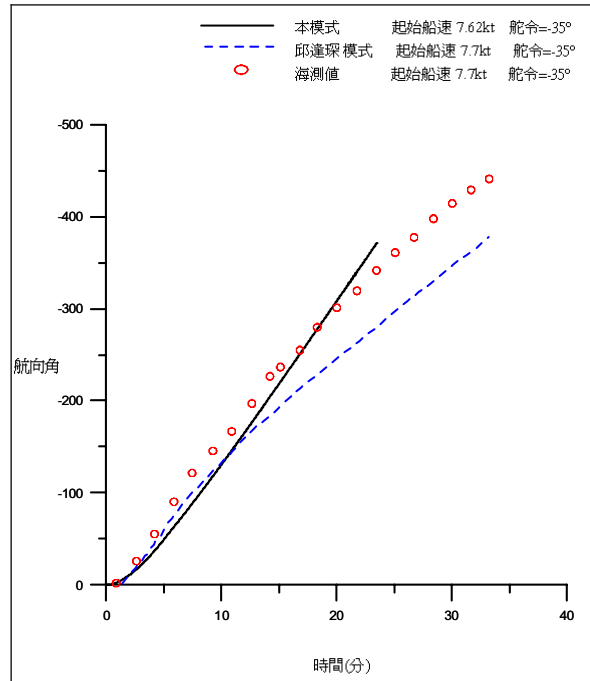


圖 2.8 Esso Osaka 油輪左迴旋運動航向角時間變化圖

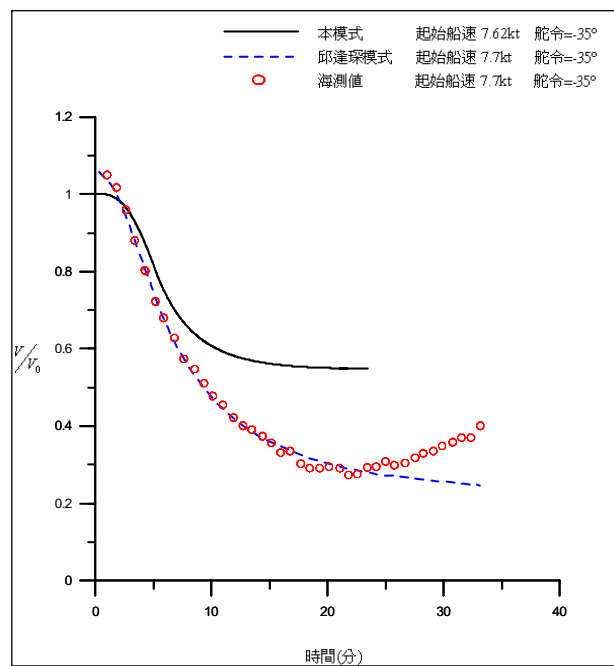


圖 2.9 Esso Osaka 油輪左迴旋運動船速時間變化圖

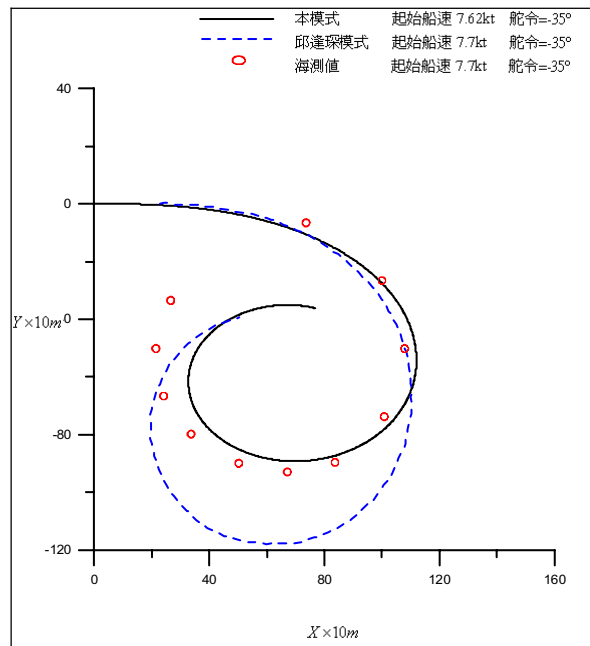


圖 2.10 Esso Osaka 油輪右迴旋運動軌跡圖

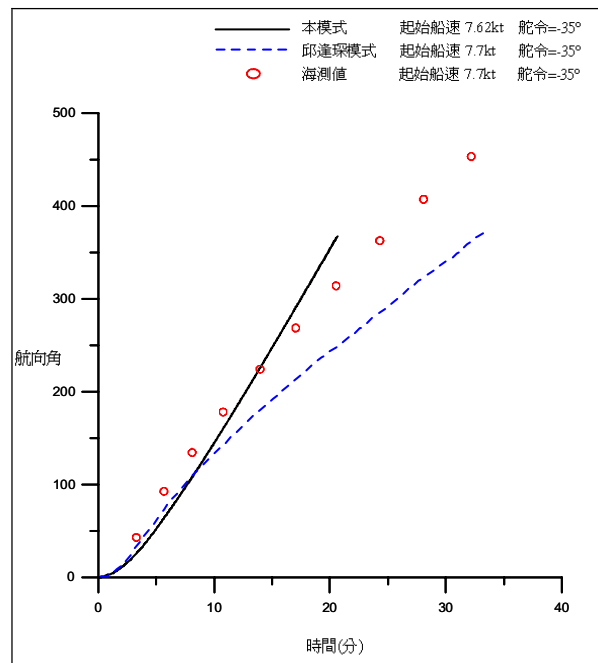


圖 2.11 Esso Osaka 油輪右迴旋運動航向角時間變化圖

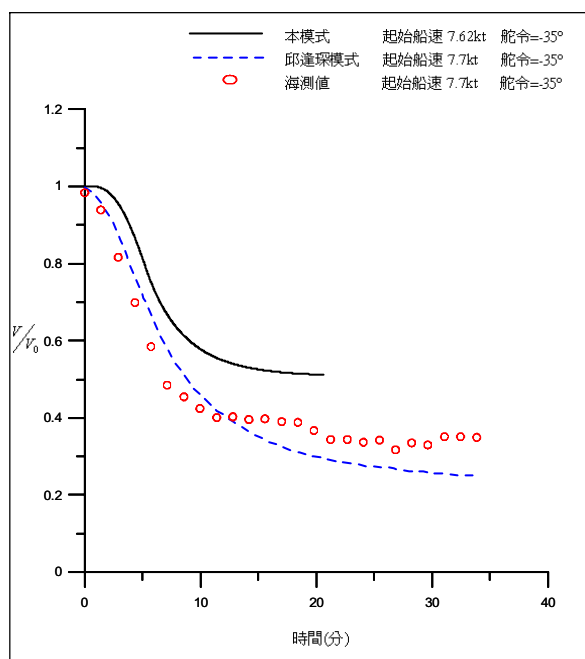


圖 2.12 Esso Osaka 油輪右迴旋運動船速時間變化圖

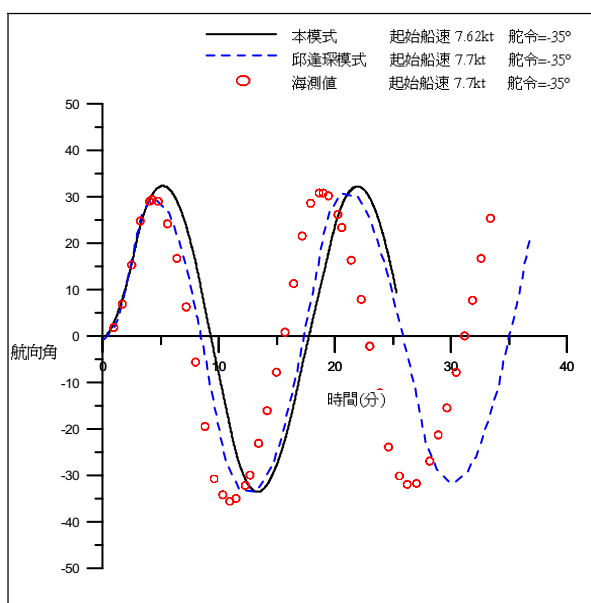


圖 2.13 Esso Osaka 油輪 $Z20^{\circ}-20^{\circ}$ 運動航向角時間變化圖

表 2.1 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

表 2.2 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 2.3 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

2.2 本年度執行情形

至目前為止，本計畫大致完成於船舶操縱運動程式中加入淺水因素所引起之效應，同時以 Esso Osaka 油輪、亞洲水泥號及一艘 5.5 噸

級之油輪進行討論淺水效應對船舶航行所引起之影響。同時，並以 Esso Osaka 油輪於淺水中之實測結果及台大邱逢琛教授計算所得結果進行比較，以作為後續程式檢討改進用。另外，並將水深效應之各實測係數值加以迴歸，將其所得之迴歸方程式併入操控介面中，以提供後續在計算船舶航行淺水區不同水深時計算用。

第三章 數學模式

本研究操船運動數學模式主要 MMG 之理論模式以為基礎，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)、起伏(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。

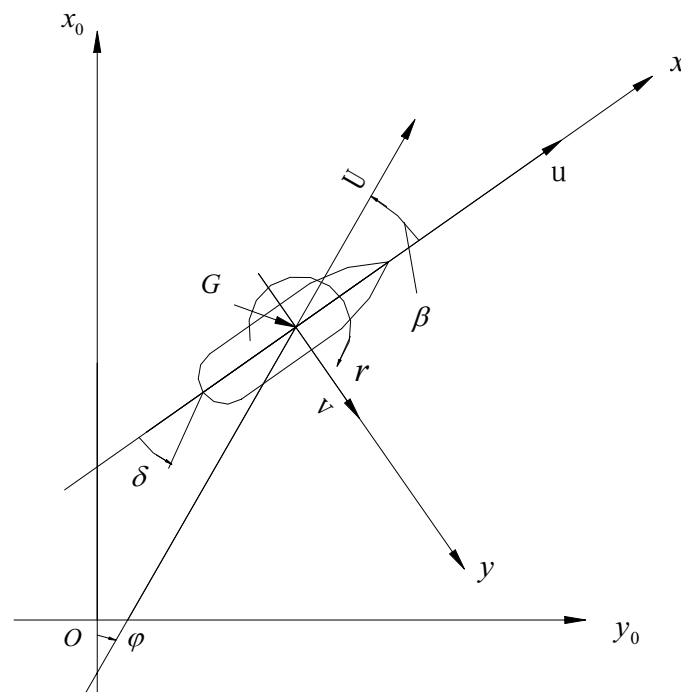


圖 3.1 船體座標系與大地座標系示意圖

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 ϕ 、 θ 及 ψ ，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：

$$\begin{aligned} p &= \dot{\phi} - \dot{\psi} \theta \cong \dot{\phi} \\ q &= \dot{\psi} \phi + \dot{\theta} \cong \dot{\theta} \\ r &= \dot{\psi} - \dot{\theta} \phi \cong \dot{\psi} \end{aligned} \quad (3.2)$$

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：

$$\begin{aligned} X &= m[\dot{u} + qw - rv - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] \\ Y &= m[\dot{v} + ru - pw - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(pq + \dot{r})] \\ Z &= m[\dot{w} + pv - qu - z_G(q^2 + p^2) + x_G(pr - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p})] \end{aligned} \quad (3.4)$$

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)、螺旋槳 (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：

$$X_H = -m_x \dot{u} + m_y v r + \frac{1}{2} L^2 U^2 (X'_{vv} v'^2 + X'_{vr} v' r' + X'_{rr} r'^2 + X'_{vvvv} v'^4) + X_0(u) \quad (3.11)$$

$$Y_H = -m_y \dot{v} + m_x u r + \frac{1}{2} L^2 U^2 (Y'_\beta \beta' + Y'_r r' + Y'_{NL} + Y'_{Roll}) \quad (3.12)$$

$$N_H = -J_{zz} \dot{r} + \frac{1}{2} \rho L^3 U^2 (N'_\beta \beta' + N'_r r' + N'_{NL} + N'_{Roll}) \quad (3.13)$$

$$K_H = -J_{xx} \ddot{\phi} + N(\dot{\phi}) - mg \cdot \overline{GZ}(\phi) - Y_H Z_H \quad (3.14)$$

式中

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

$$r' = vL/U$$

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

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

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

$$v' = v/U \quad \circ$$

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'_β 、 Y'_r 、 N'_β 、 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

$-N(\dot{\phi})$ ：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：

$$Y'_{NL} = Y'_{\beta|\beta|}\beta'|\beta'| + Y'_{\beta|r|}\beta'|\dot{r}'| + Y'_{rr}r'|\dot{r}'| \quad (3.15)$$

$$N'_{NL} = N'_{r|\dot{r}|}r'|\dot{r}'| + N'_{\beta\beta r}\beta'^2\dot{r}' + N'_{\beta rr}\beta'\dot{r}'^2 \quad (3.16)$$

$$Y'_{Roll} = Y'_{\phi}\phi' + Y'_{\beta|\phi|}\beta'|\phi'| + Y'_{r|\phi|}r'|\phi'| \quad (3.17)$$

$$N'_{Roll} = N'_{\phi}\phi' + N'_{\beta|\phi|}\beta'|\phi'| + N'_{r|\phi|}r'|\phi'| \quad (3.18)$$

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 Mikelis 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 ($N'_{r|\dot{r}|}$ 、 $N'_{\beta\beta r}$ 、 $N'_{\beta rr}$)，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

$x_{\otimes}$ ：船舫之 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舫求得者。

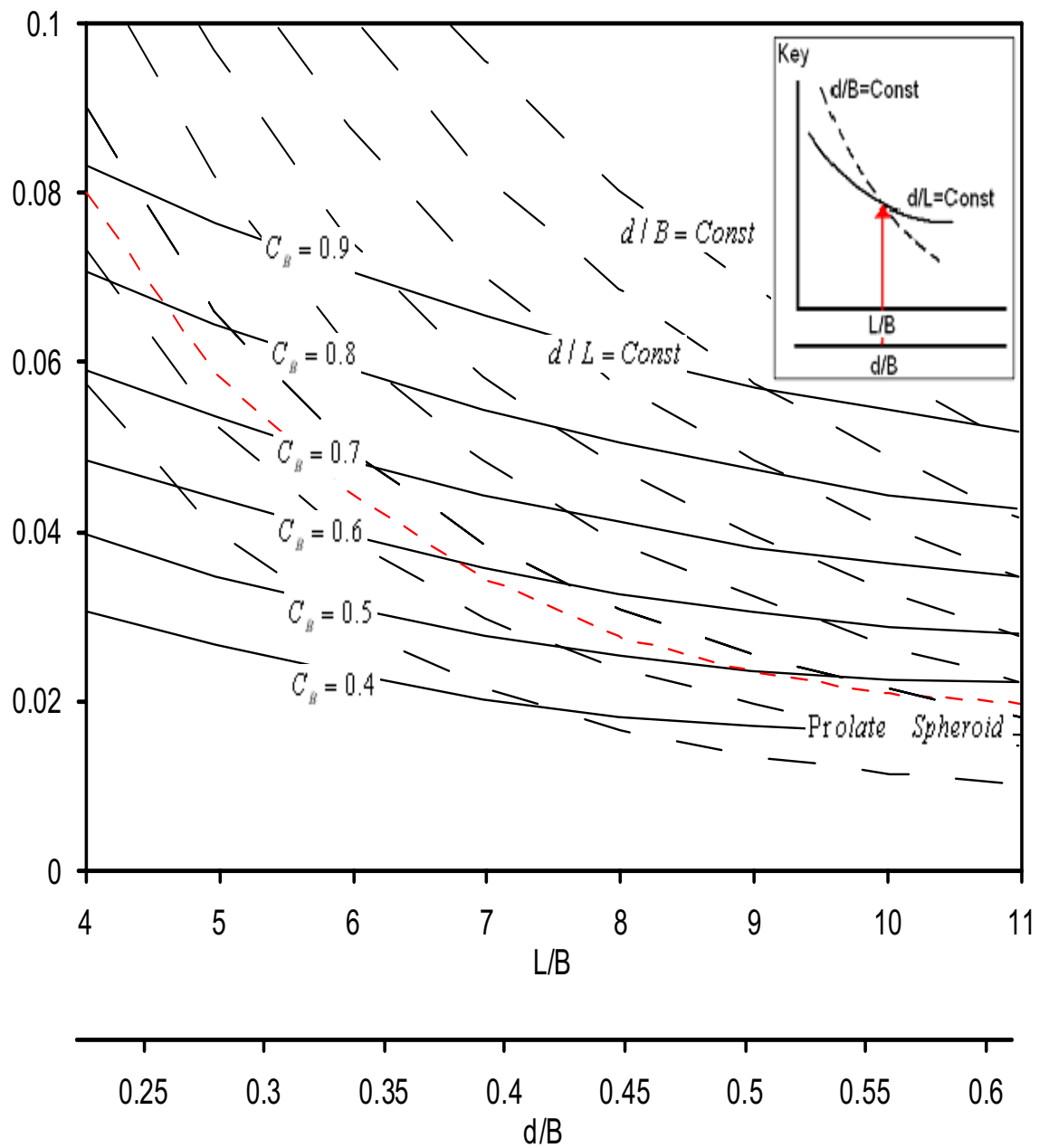


圖 3.2 縱移附加質量 (m_x) 估算圖 (Matora,1959a)

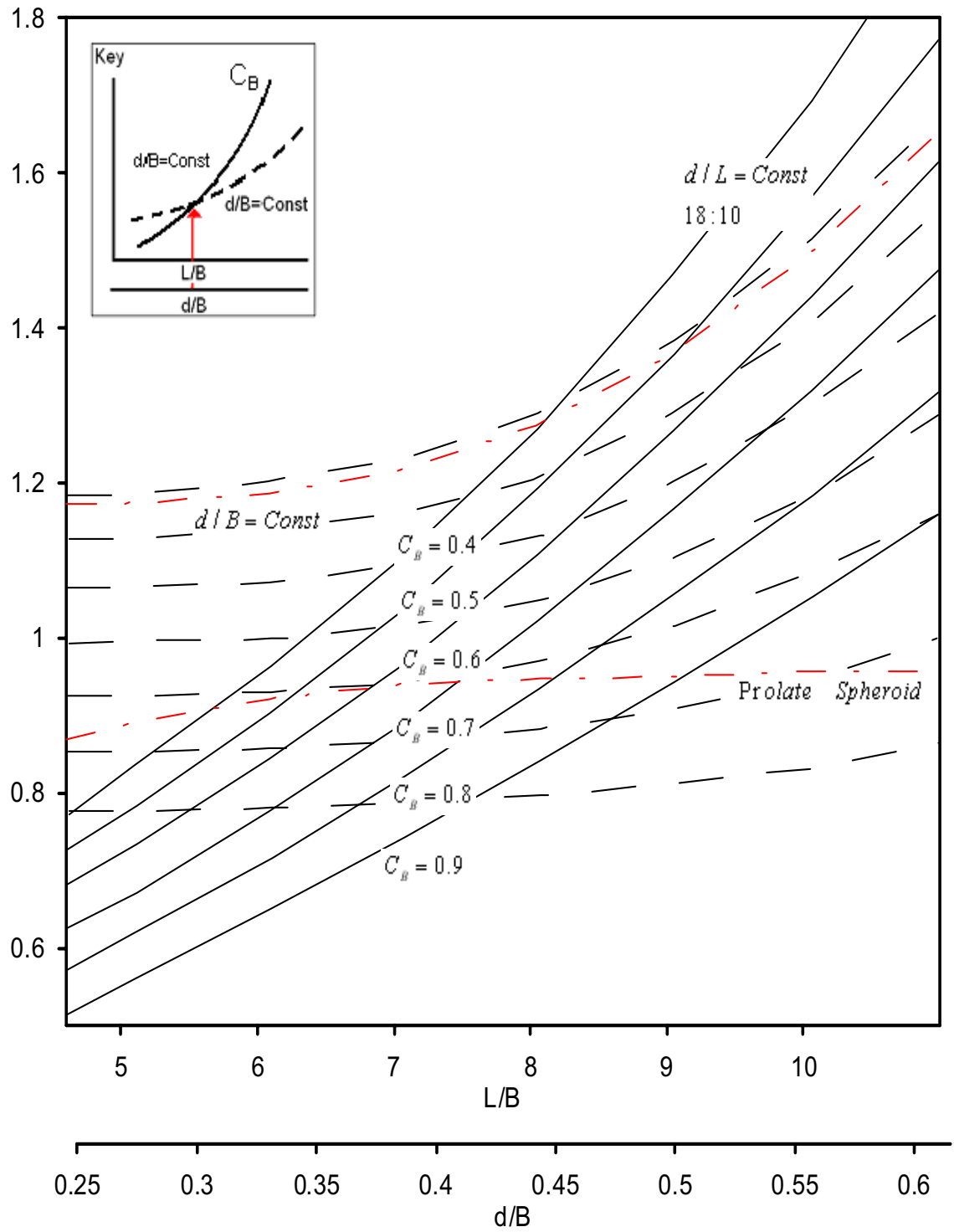


圖 3.3 橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Matora,1959b)

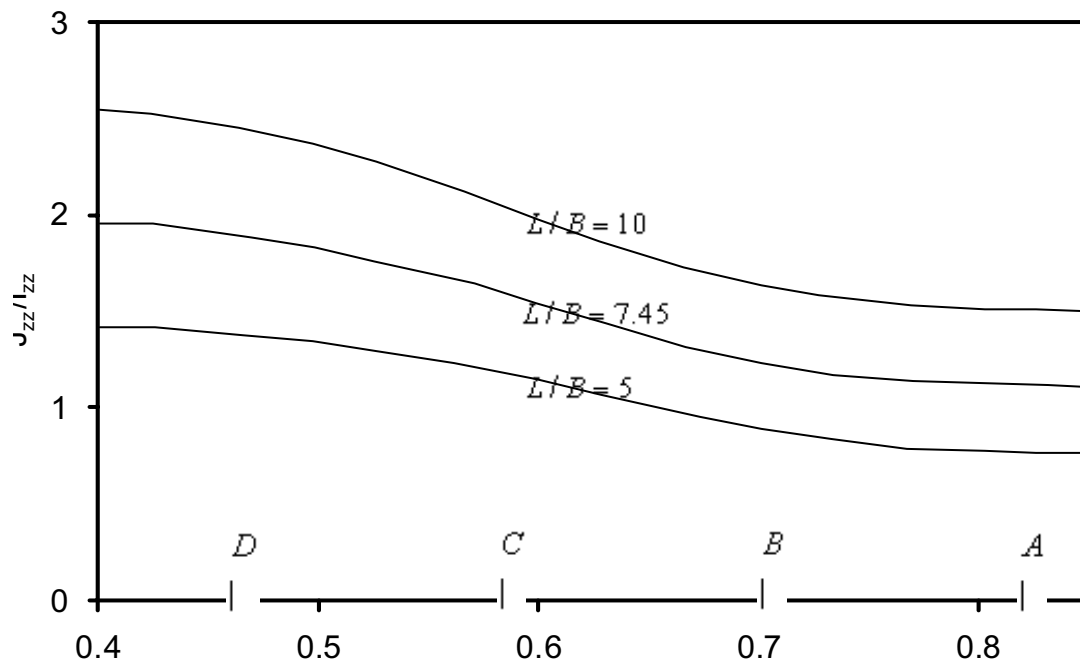


圖 3.4 平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖 (Matora,1959a)

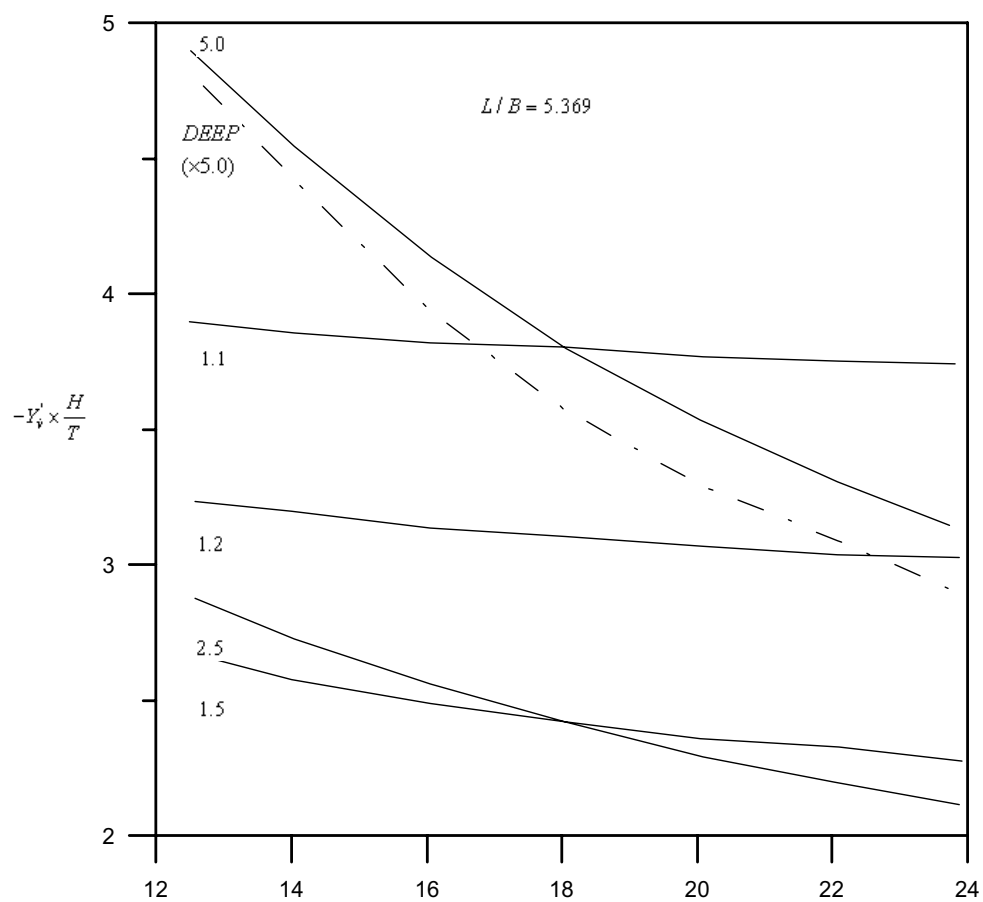


圖 3.5 肥胖船型船體之橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Mikelis,1982)

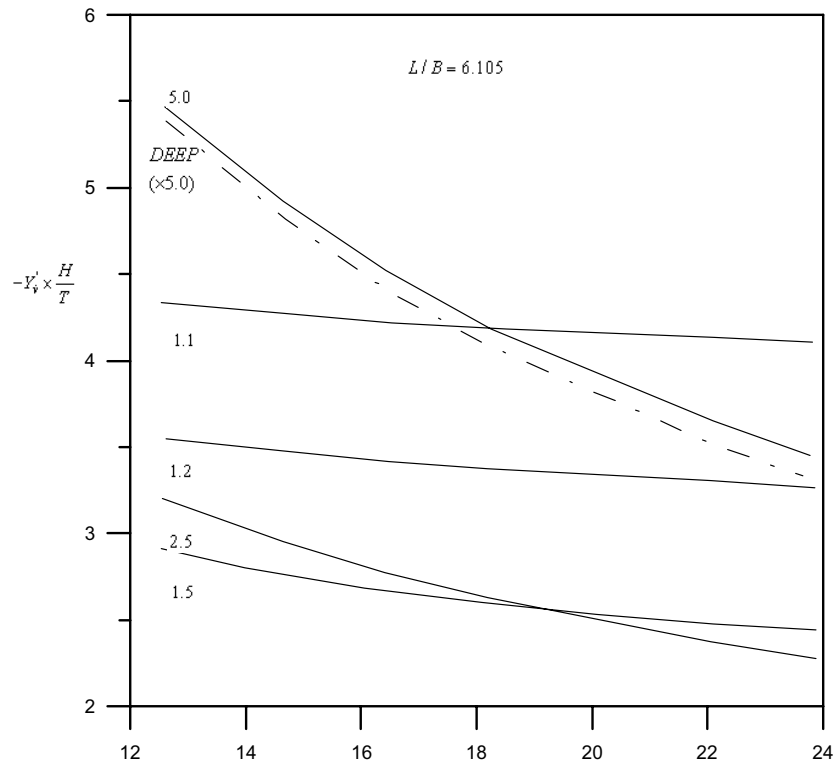


圖 3.6 肥胖船型船體之橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Mikelis,1982)

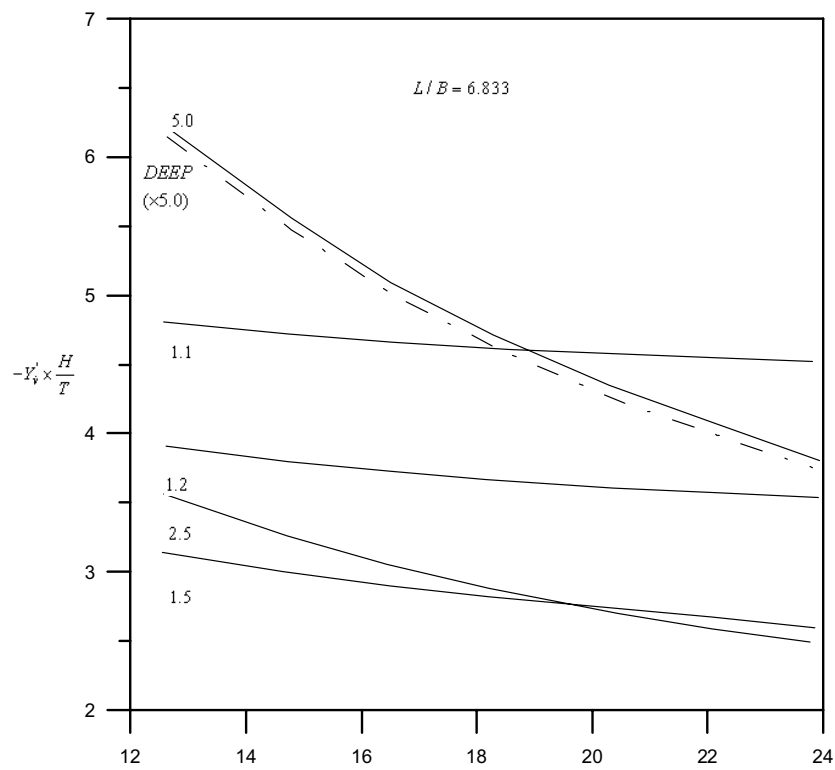


圖 3.7 肥胖船型船體之橫移附加質量 (m_y) 估算圖 (Mikelis,1982)

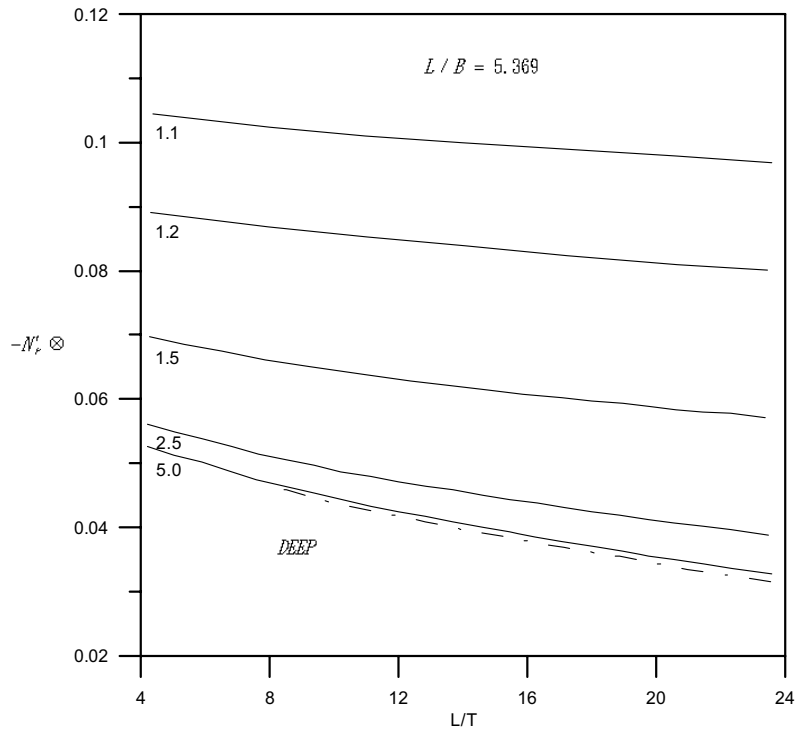


圖 3.8 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖
(Mikelis,1982)

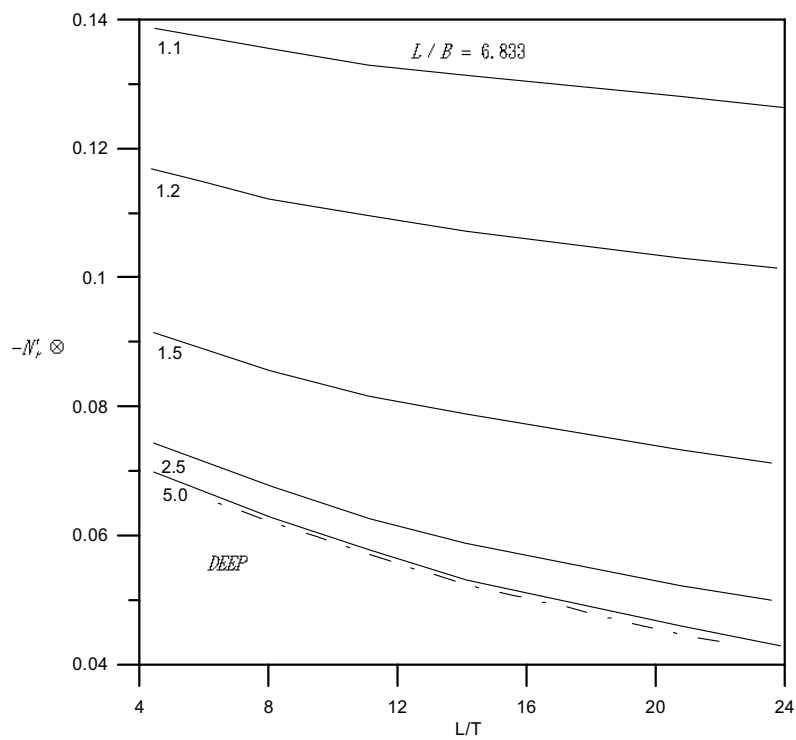


圖 3.9 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖
(Mikelis,1982)

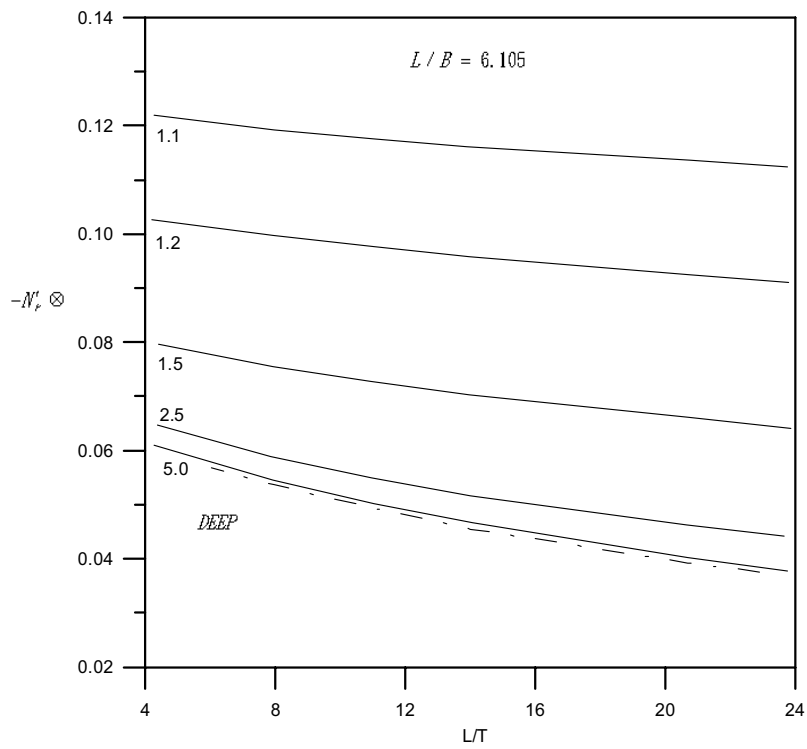


圖 3.10 肥胖船型船體之平擺附加質量慣性矩 (J_{zz}) 估算圖
(Mikelis,1982)

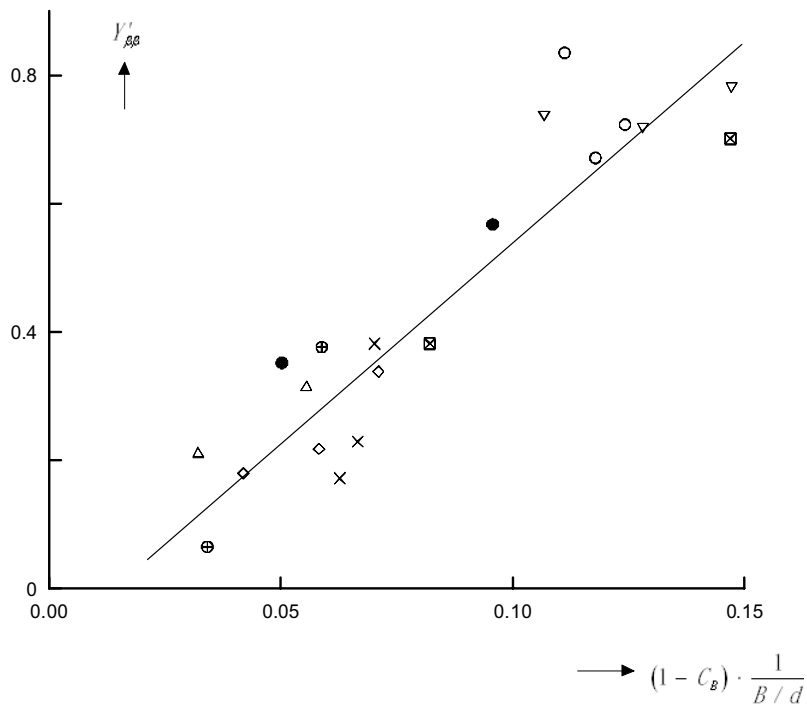


圖 3.11 船體側向力非線性阻尼力係數 ($Y'_{\beta|\beta|}$) (Inoue et al.,1981a)

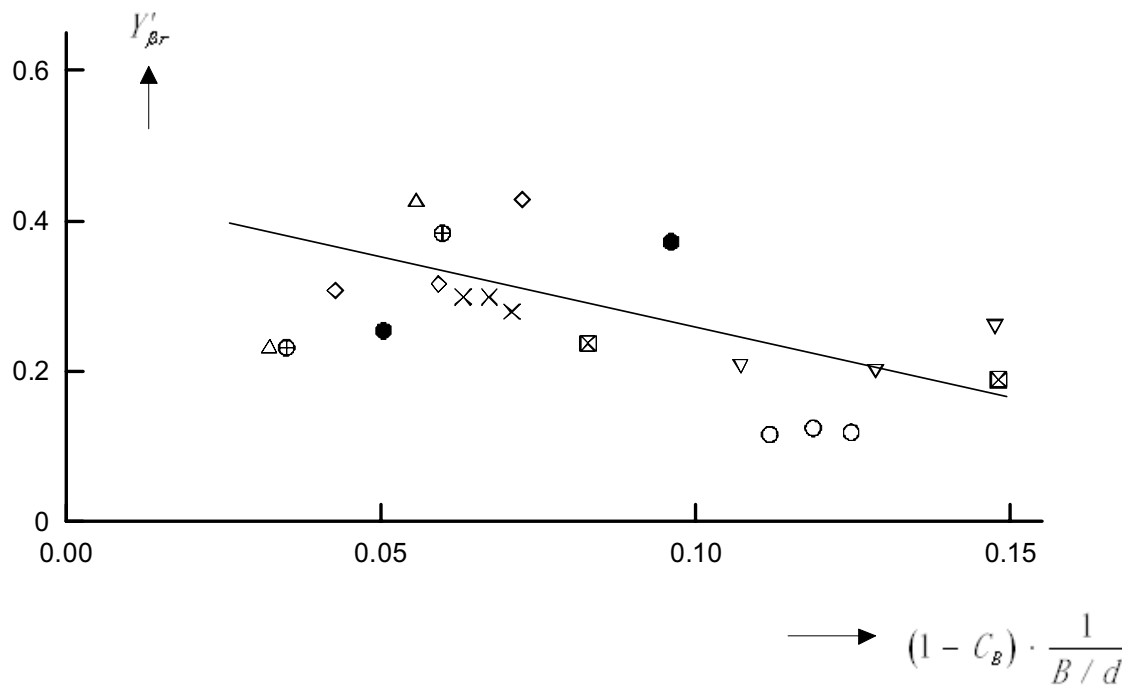


圖 3.12 船體側向力非線性阻尼力係數 ($Y'_{\beta r}$) (Inoue et al.,1981a)

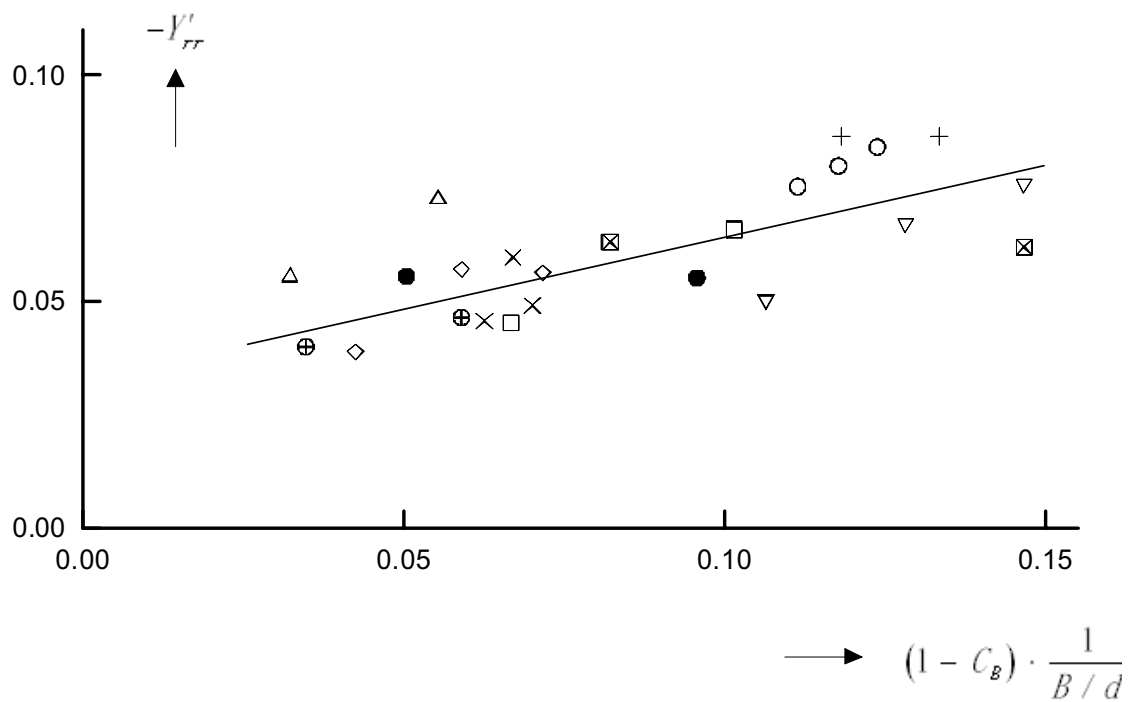


圖 3.13 船體側向力非線性阻尼力係數 (Y'_{rr}) (Inoue et al.,1981a)

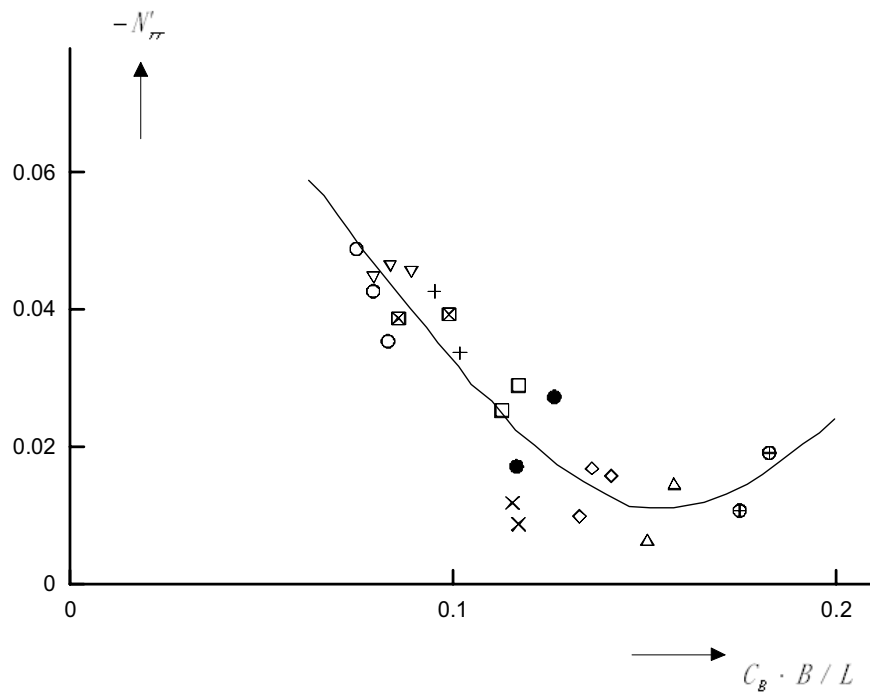


圖 3.14 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ($N'_{r|r|}$) (Inoue et al.,1981a)

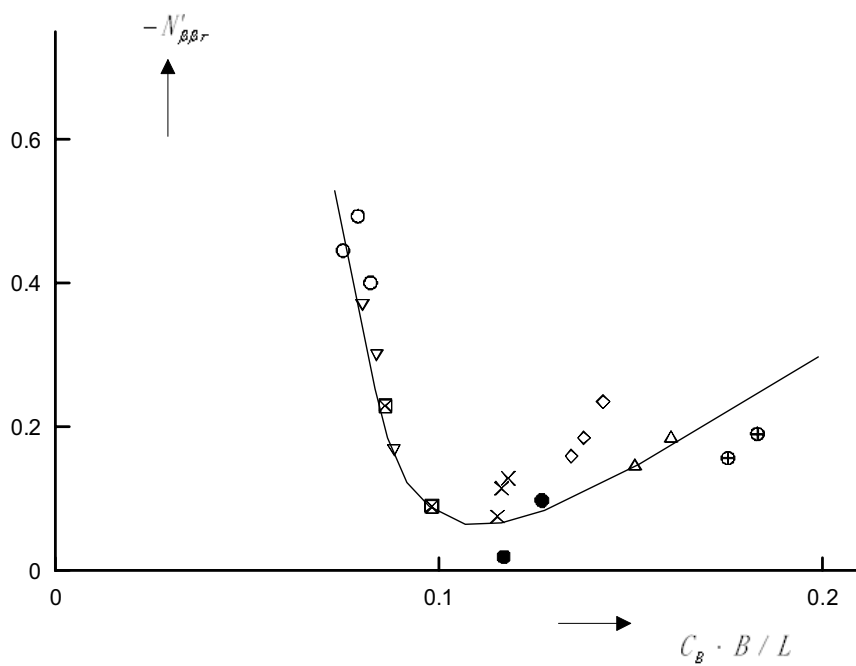


圖 3.15 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ($N'_{\beta\beta r}$) (Inoue et al.,1981a)

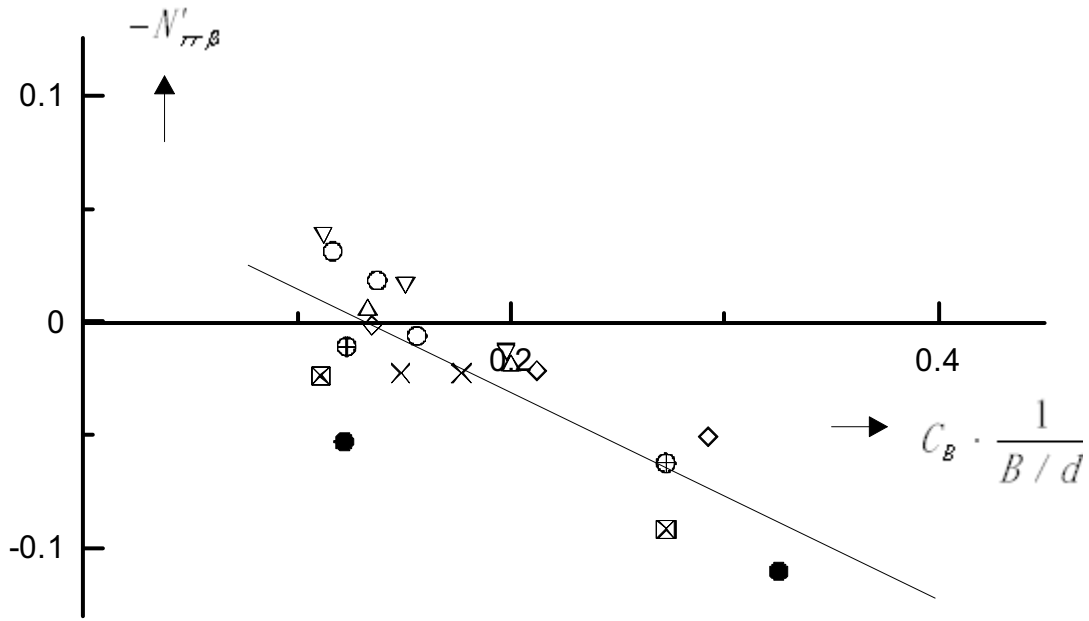


圖 3.16 船體平擺非線性阻尼力矩係數 ($N'_{\beta rr}$) (Inoue et al., 1981a)

對於 Y'_ϕ 、 $Y'_{\beta|\phi|}$ 、 $Y'_{r|\phi|}$ 、 N'_ϕ 、 $N'_{\beta|\phi|}$ 、 $N'_{r|\phi|}$ 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， ϕ ：徑度橫搖角。

而 X'_{vv} 、 X'_{vvv} 、 X'_{vvvv} 之估算公式可表示為：

$$X'_{vv} = 0.4(TB/L^2) - 0.006 \quad (3.25)$$

$$X'_{vvv} = 4(TB/L^2) - 0.002 \quad (3.26)$$

$$X'_{rr} = 0.0003 \quad (3.27)$$

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

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

$$K : \text{橫搖阻尼係數} (\simeq 0.3)$$

$$\overline{GM} : \text{定傾高(metacentric height)}$$

$X_0(u)$ 則可利用統計方法 (Holtrop & Mennen, 1978, 1982) 估算，亦可由直進時螺槳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

δ ：舵角

F_N ：舵的正向作用力(normal force)

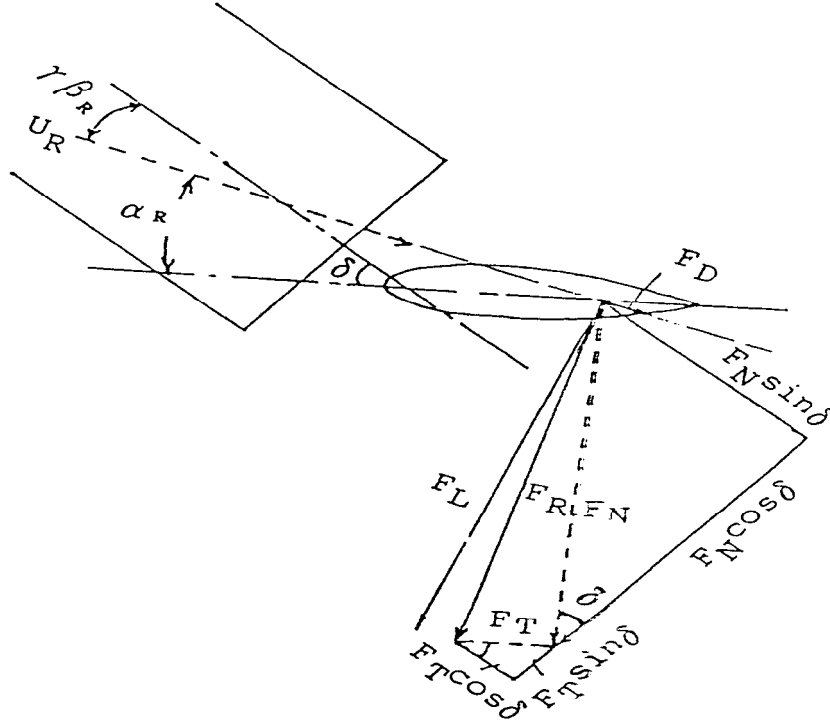


圖 3.17 舵力示意圖(邱，1997)

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：

$$C_N = \frac{6.13\Lambda}{\Lambda + 2.25} \sin \alpha_R \quad (3.34)$$

Λ 為舵之幾何展弦比(geometrical aspect ratio)， α_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， ω_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：

$$X_p = (1-t_p) \rho n^2 D_p^4 K_T J_p \quad (3.37)$$

$$Q_p = -2\pi J_{pp} \dot{n} - \rho n^2 D_p^5 K_Q J_p \quad (3.38)$$

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

3.5 波浪漂流力

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 ζ_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 β_R 之函數。

本計畫於平面水槽中，針對如照片 3.1 所示之模型船以水工模型試驗方式量測規則波與單方向不規則波作用下之波浪漂流力係數，並與 Hirano(1980)試驗之結果相互比較，結果發現在規則波作用下，其漂流力係數大致相同，不規則波作用時則稍有差異，規則波漂流力係數試驗結果如圖 3.18～圖 3.20 所示，而圖 3.21～圖 3.33 則為單方向不規則波試驗結果，其中虛線為不規則波試驗所得結果，而實線則為規則波試驗所得結果。



照片 3.1 實驗模型船體

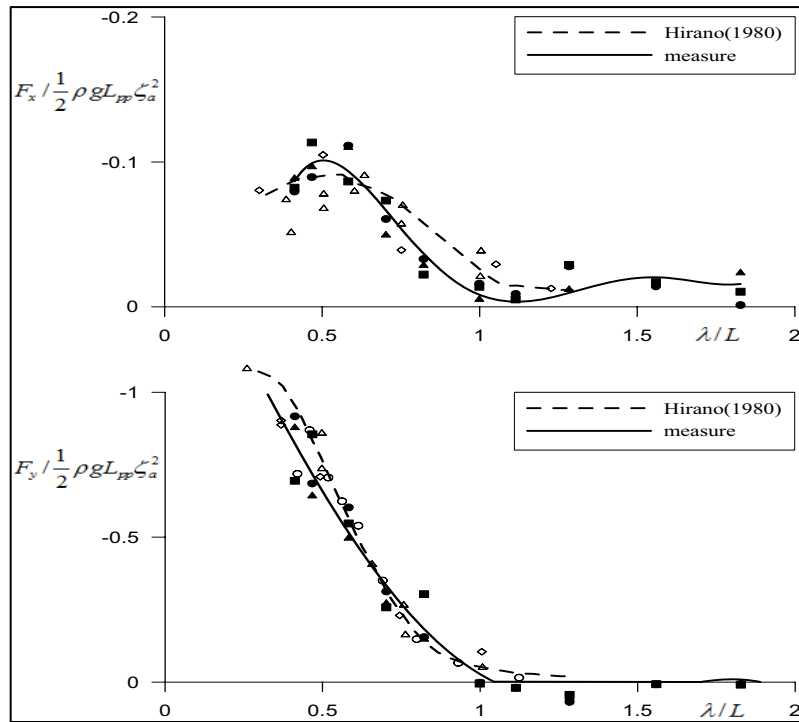


圖 3.18 規則波入射角 0 度之 X 軸漂移力比較
與波浪入射角 90 度之 Y 軸漂移力係數比較

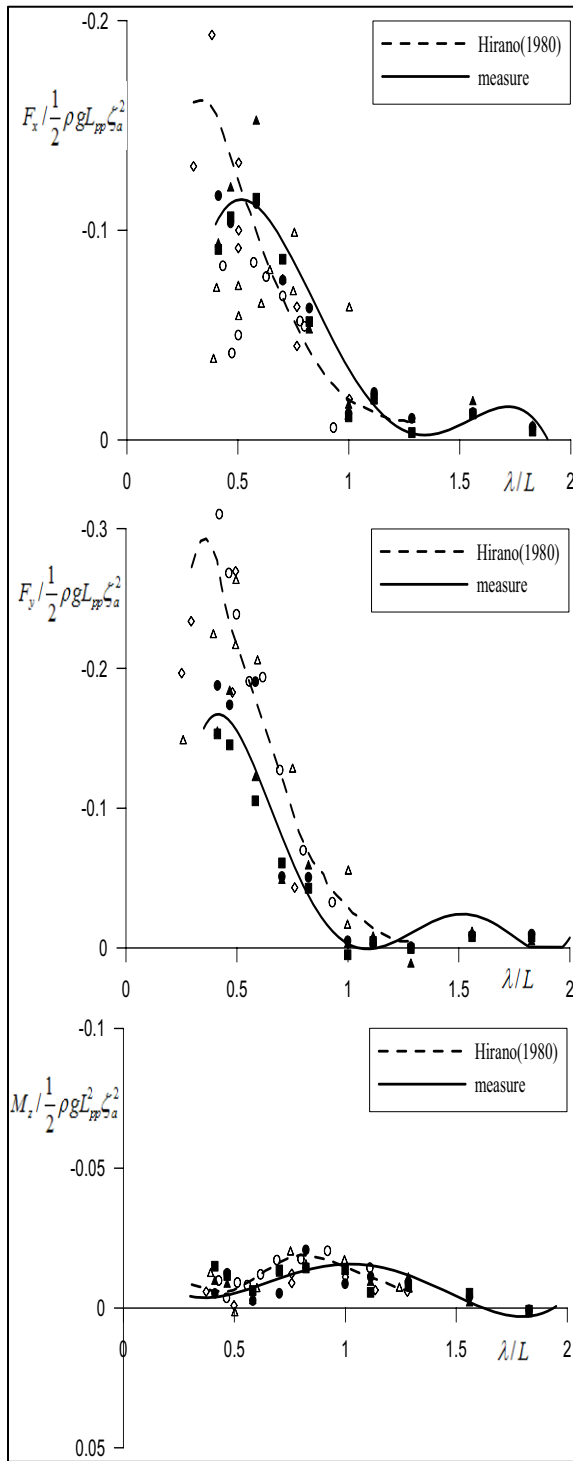


圖 3.19 規則波入射角 30 度時，
各方向漂移力及力矩係數比較。

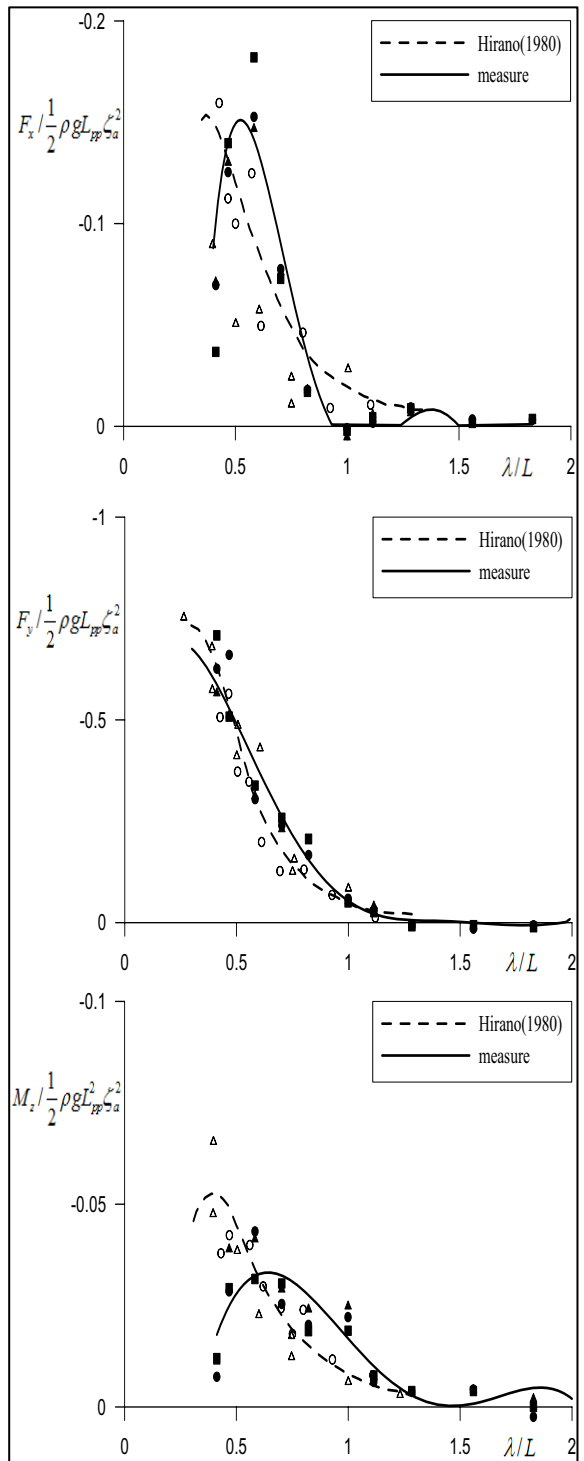


圖 3.20 規則波入射角 60 度時，
各方向漂移力及力矩係數比較。

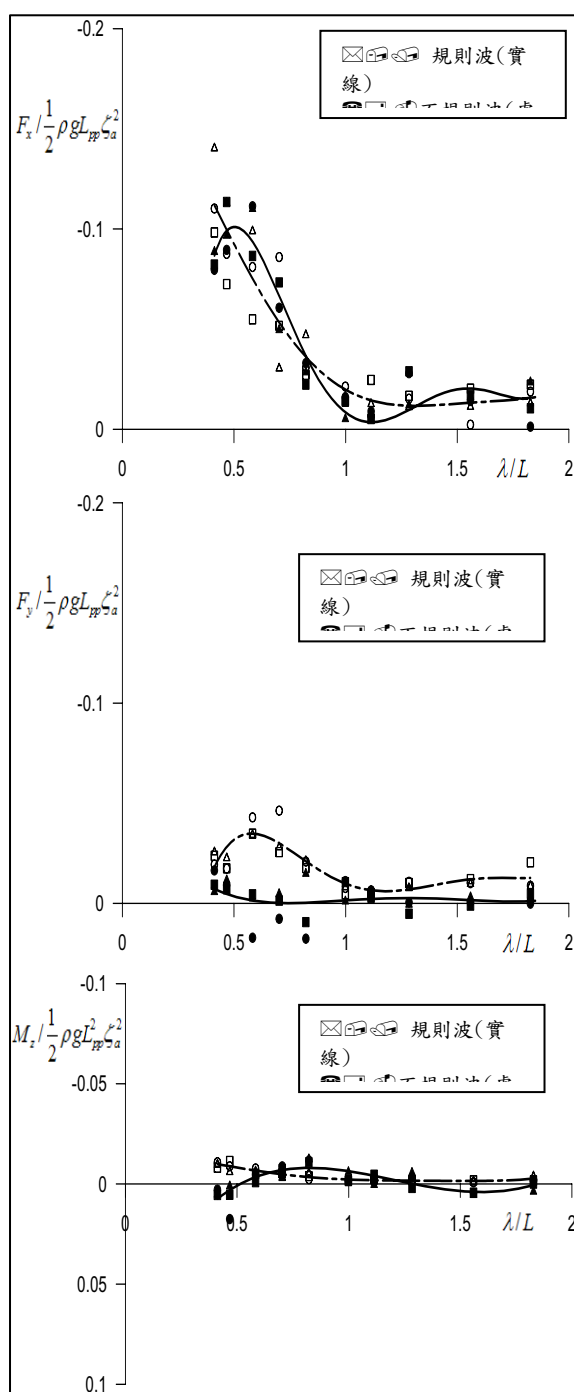


圖 3.21 波浪入射角 0 度之各方向

漂流力及力矩係數

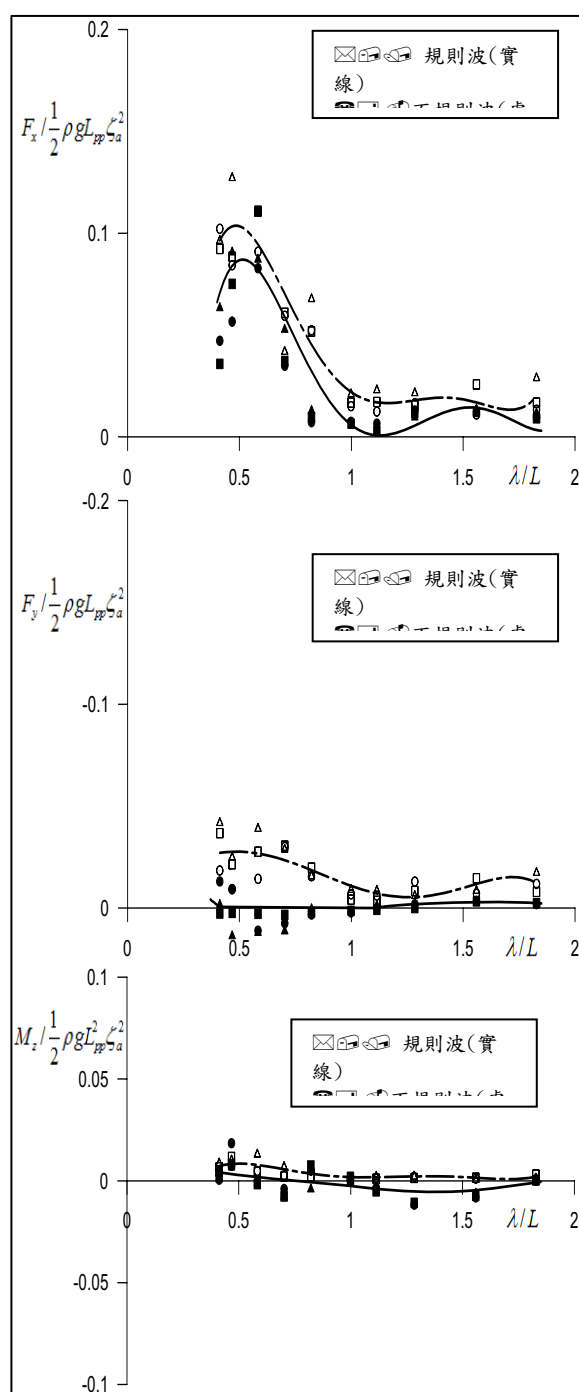


圖 3.22 波浪入射角 180 度之各方向

漂流力及力矩係數

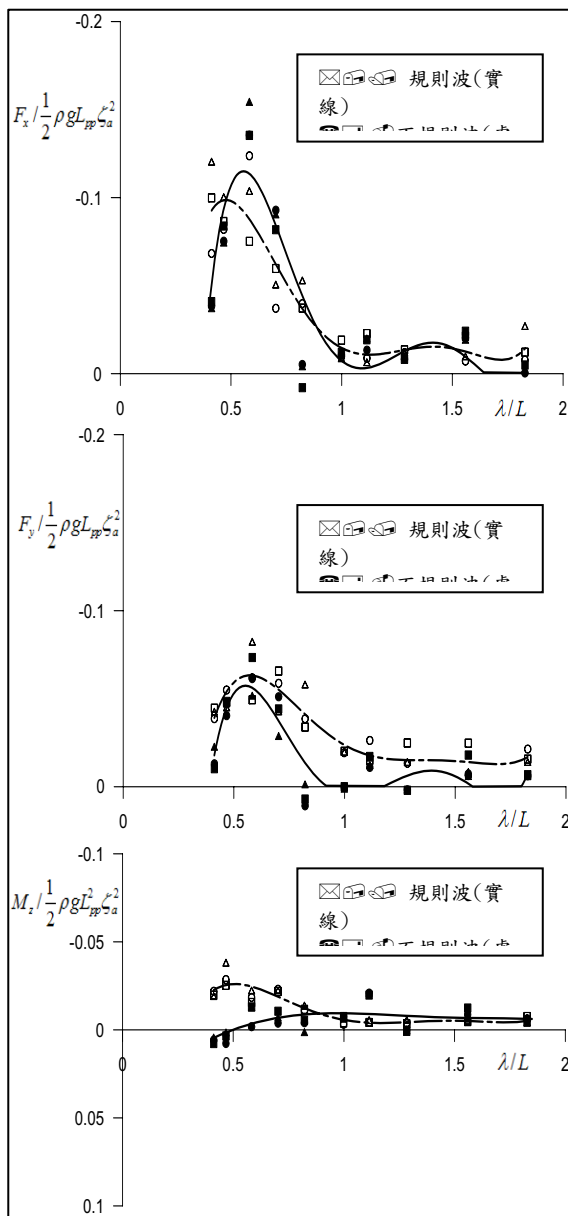


圖 3.23 波浪入射角 15 度之各方向

漂流力及力矩係數

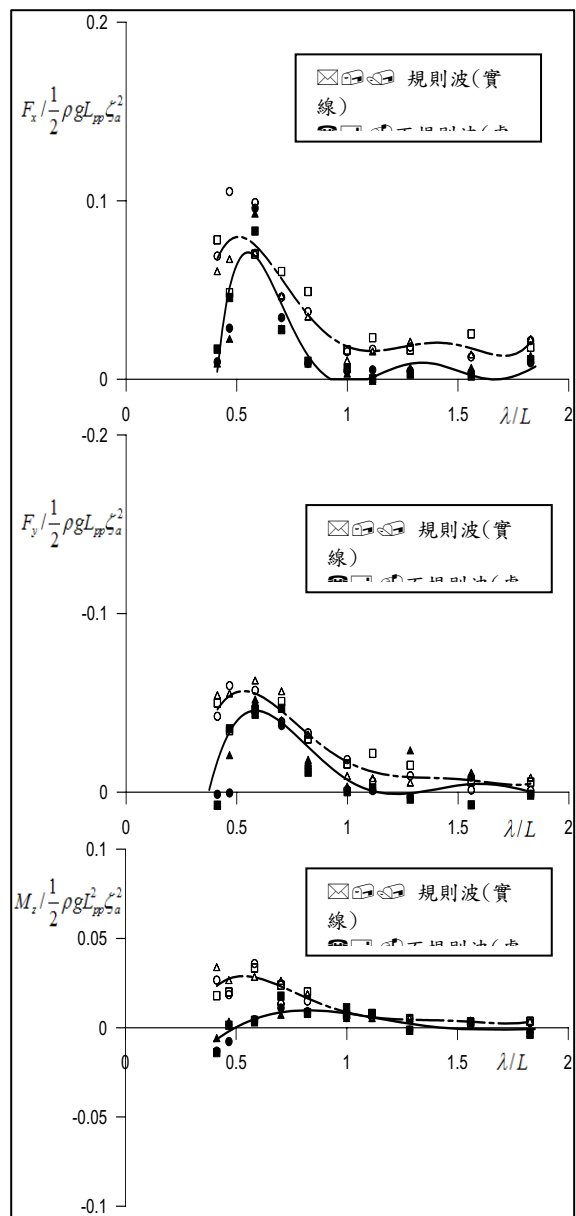


圖 3.24 波浪入射角 165 度之各方向

漂流力及力矩係數

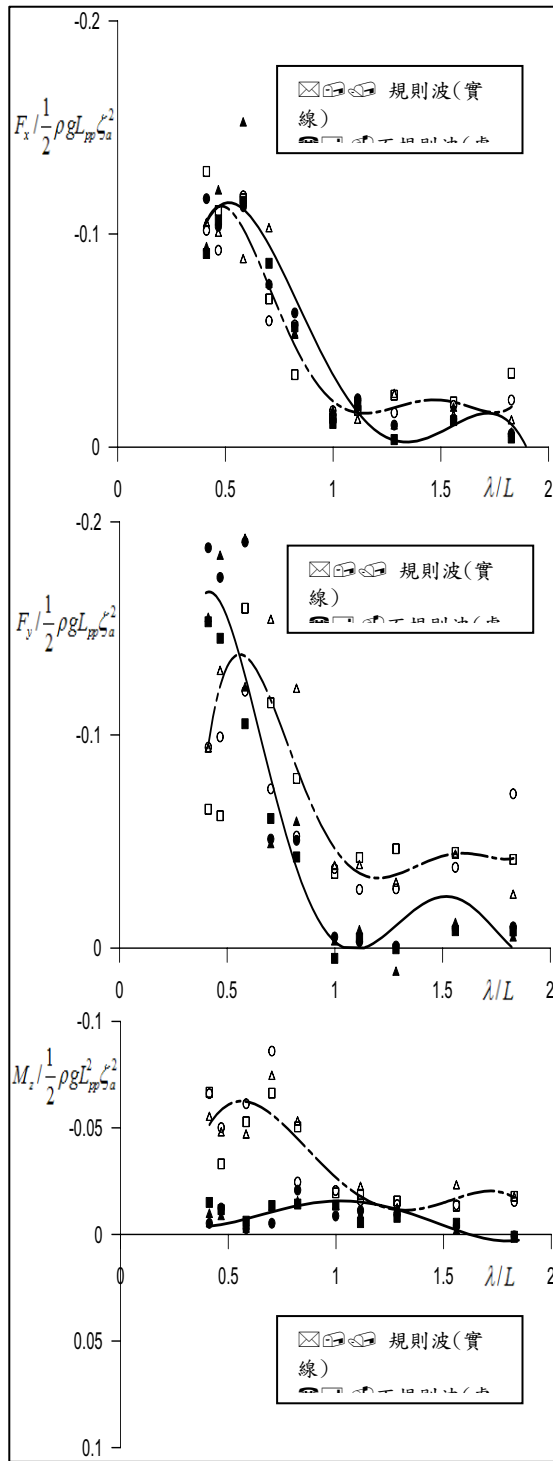


圖 3.25 波浪入射角 30 度之各方向 漂流力及力矩係數

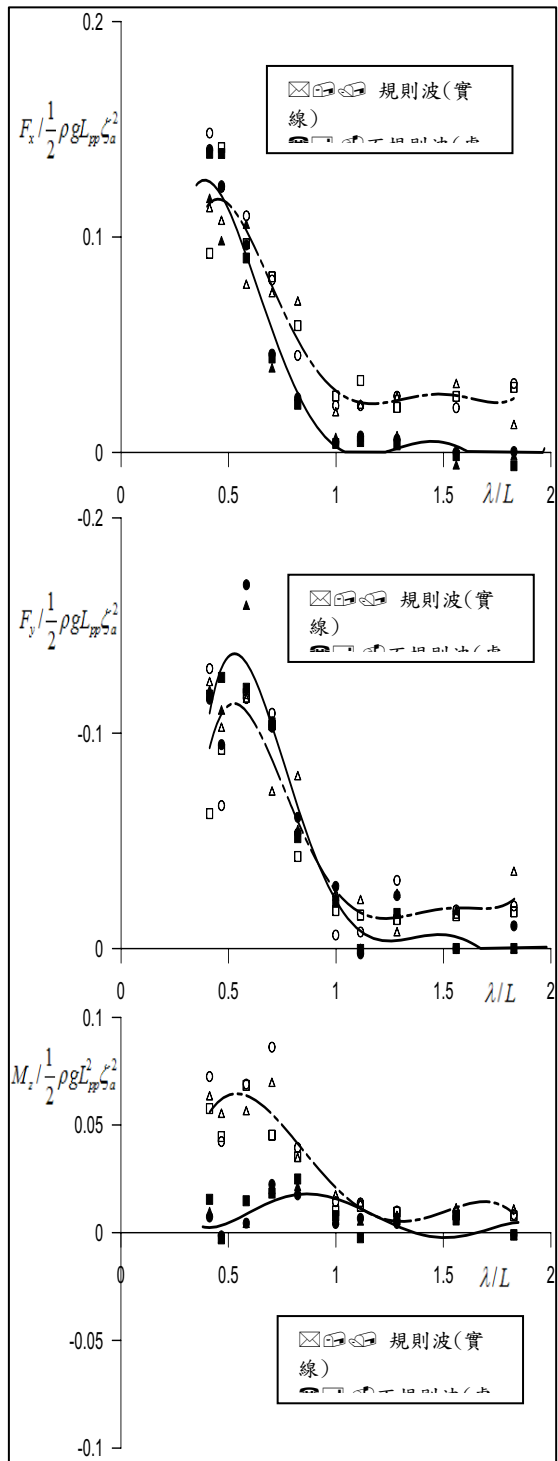


圖 3.26 波浪入射角 150 度之各方向 漂流力及力矩係數

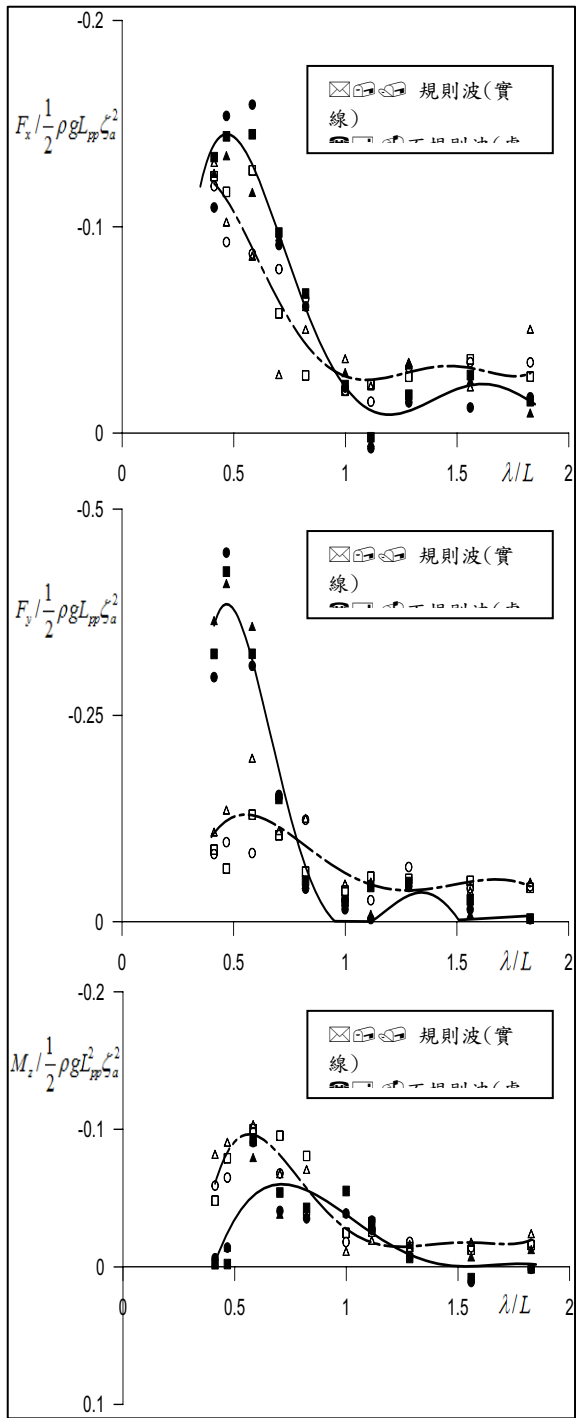


圖 3.27 波浪入射角 45 度之各方向 漂流力及力矩係數。

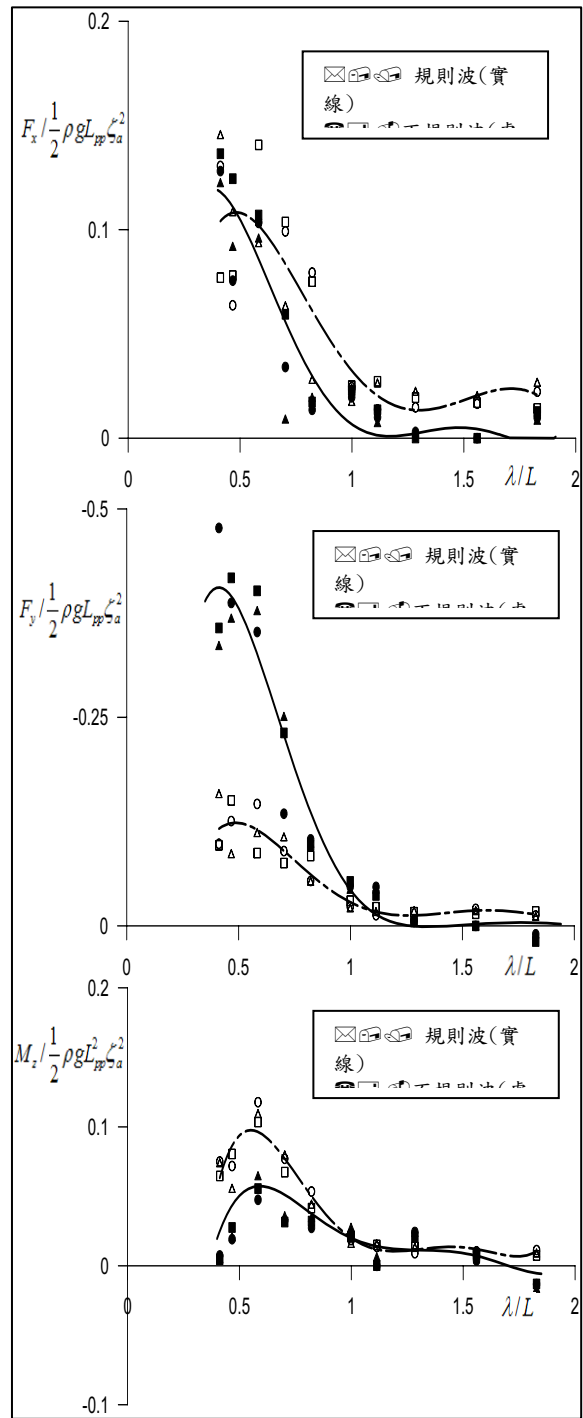


圖 3.28 波浪入射角 135 度之各方向 漂流力及力矩係數。

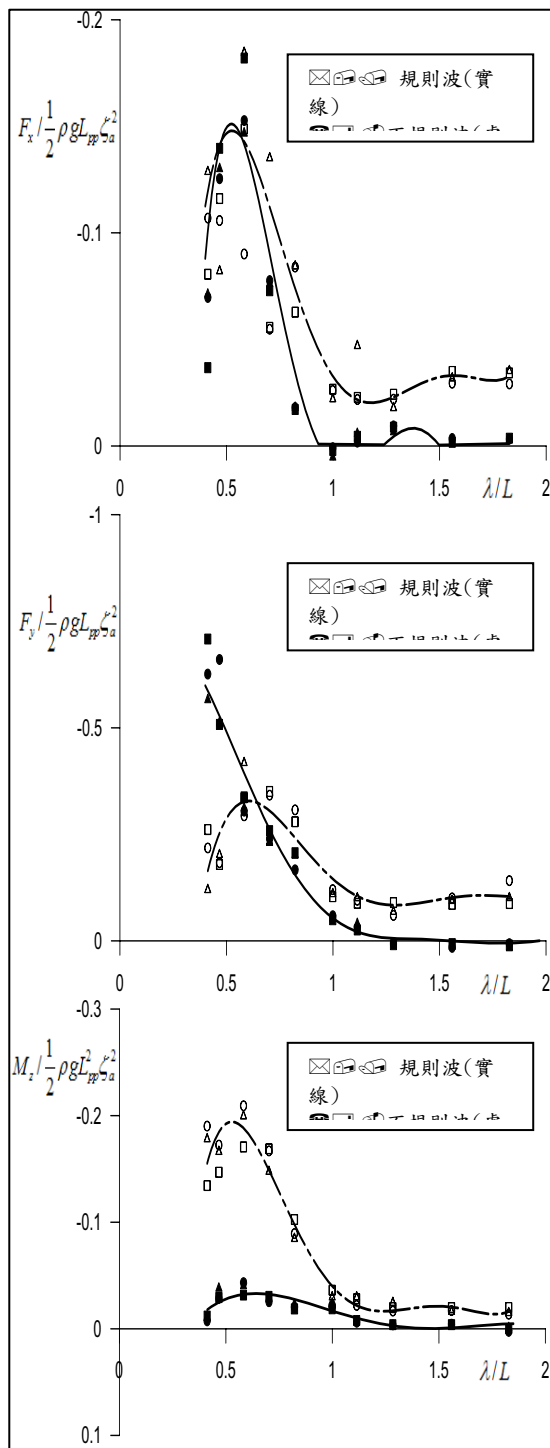
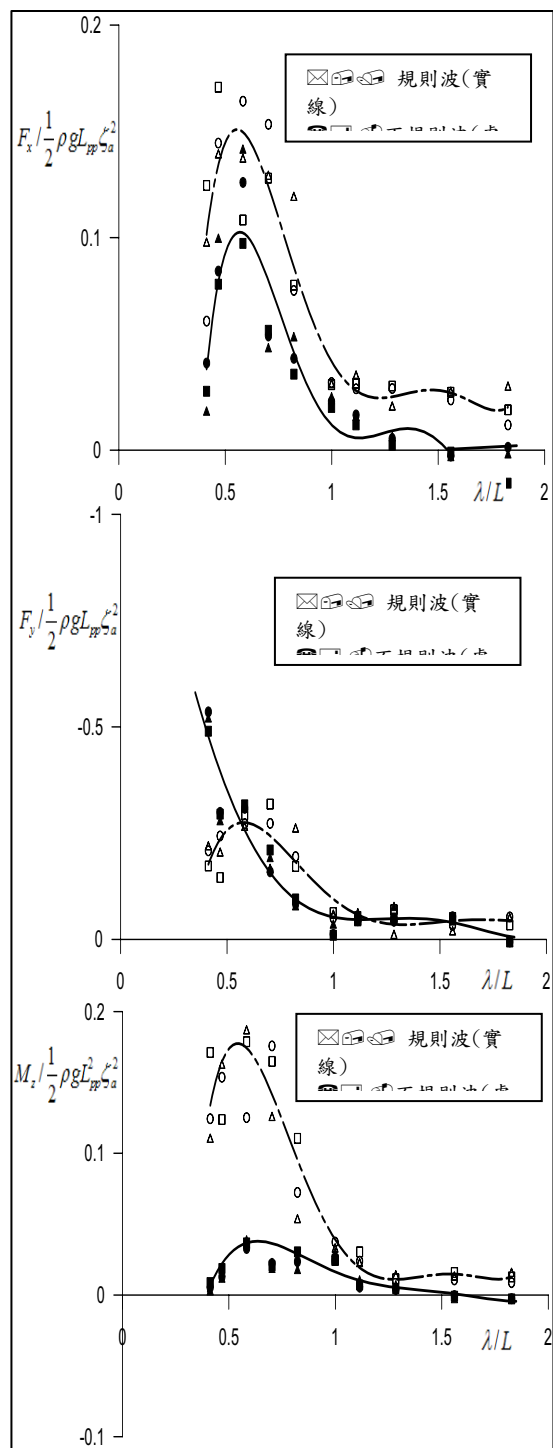


圖 3.29 波浪入射角 60 度之各方向 圖 3.30 波浪入射角 120 度之各方向
漂流力及力矩係數。



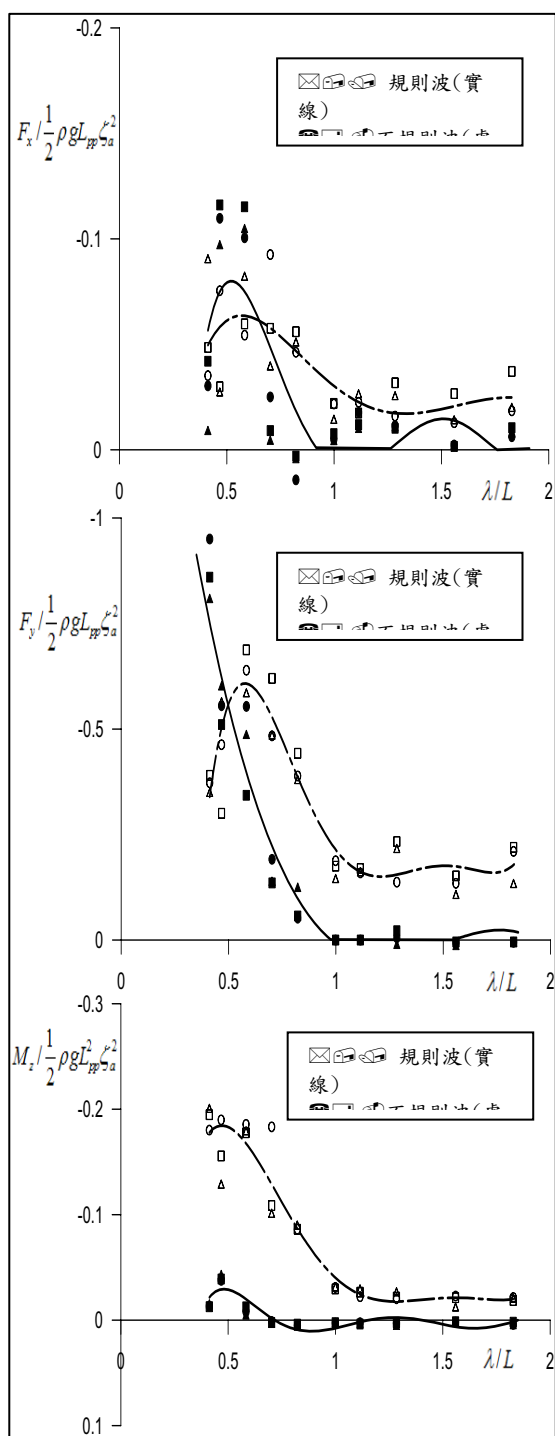


圖 3.31 波浪入射角 75 度之各方向

漂流力及力矩係數。

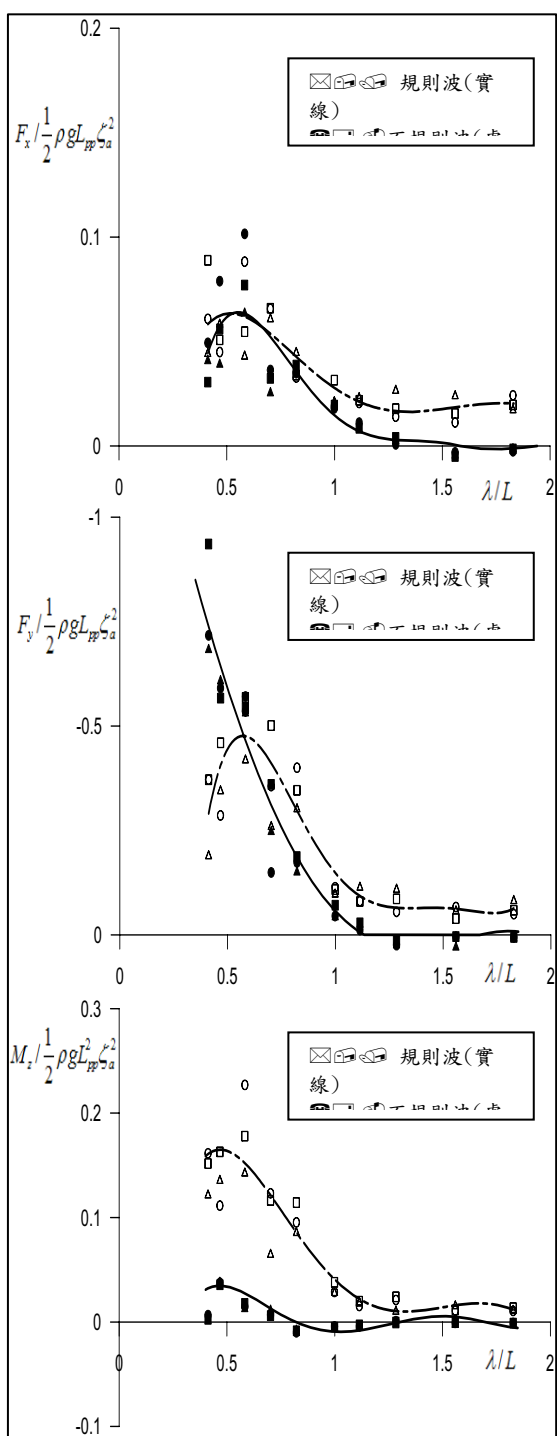


圖 3.32 波浪入射角 105 度之各方向

漂流力及力矩係數。

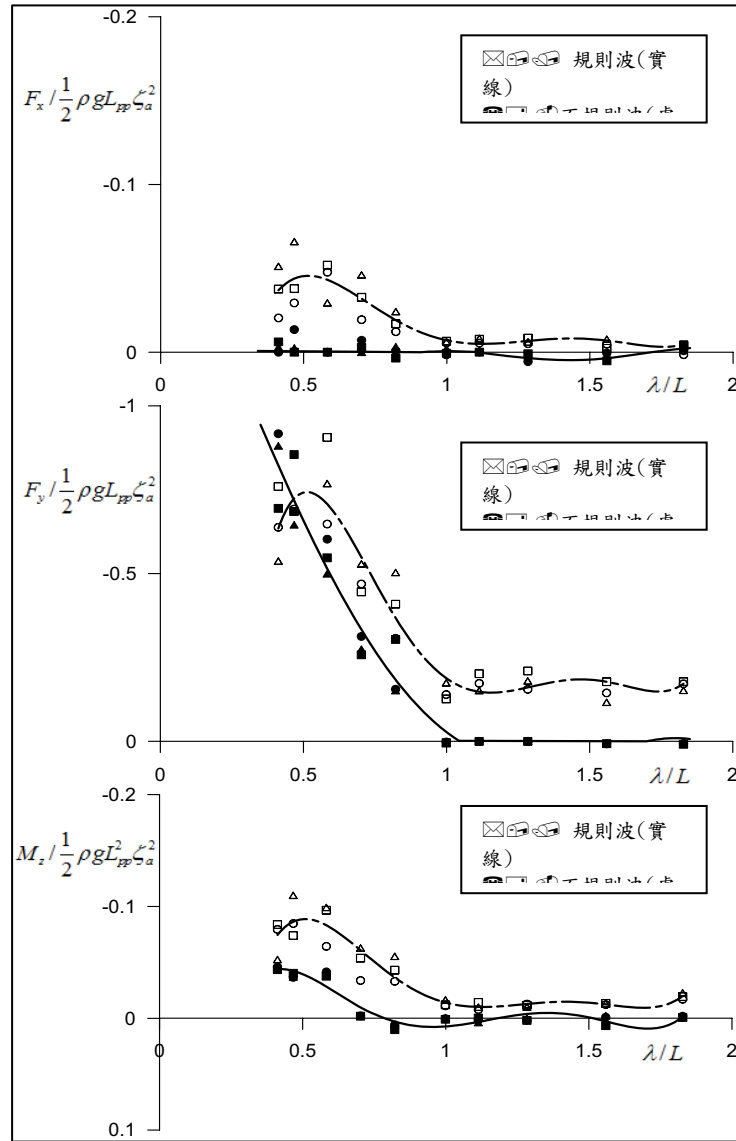


圖 3.33 波浪入射角 90 度之各方向漂流力及力矩係數。

3.6 潮流力

作用於船舶之潮流力與力矩可表示如下：

$$X_C = X'_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_f \bar{V}_R^2 \quad (3.43)$$

$$Y_C = Y'_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_s \bar{V}_R^2 \quad (3.44)$$

$$N_C = N'_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho \bar{A}_s L_{PP} \bar{V}_R^2 \quad (3.45)$$

$$K_C = K'_C \alpha_R \cdot \frac{1}{2} \rho (\bar{A}_s^2 / L_{PP}) \bar{V}_R^2 \quad (3.46)$$

其中， X'_C 、 Y'_C 、 N'_C 、 K'_C 為潮流力係數，是相對流向角 α_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：

$$X_W = X'_W \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_f V_R^2 \quad (3.42)$$

$$Y_W = Y'_W \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_s V_R^2 \quad (3.43)$$

$$N_W = N'_W \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a A_s L_{PP} V_R^2 \quad (3.44)$$

$$K_W = K'_W \gamma_R \cdot \frac{1}{2} \rho_a (A_s^2 / L_{PP}) V_R^2 \quad (3.45)$$

式中，風力係數 X'_W, Y'_W, N'_W, K'_W 為相對風向角 γ_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。 ρ_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。

3.8 淺水效應

一般而言，船舶航行至淺水區域時，由於水深影響，流體黏性力增大，其流體力係數與船舶運動之關係不復如深水區域，同時船舶之航速減緩，在此情形下，船體運動之記憶效應顯著的重要，要解析船體之運動必須以高次型非線性運動方程式加以求解，日本學者花崗曾針對淺水效應利用水深線性關係推導出

$$k = \frac{r'_h}{r'_\infty} = k_\delta \frac{N'_r Y'_\beta - N'_r Y_{\beta}^{*'} + (m' + m'_x) N'_\beta}{k_F (N'_r Y'_\beta - N'_r Y_{\beta}^{*'}) + (m' + m'_x) N'_\beta} \quad (3.46)$$

上式中 k_δ 為舵的淺水影響係數，而 k_F 則為船體的淺水影響係數。上式並未考慮螺槳後渦流、尾跡流、船體與舵間相互之干涉等效應，根據模型試驗結果，上式在定性上大致吻合，但在定量則有較大之偏差。

船舶在淺水域中航行，基本上必須以高階非線性運動方程式求解，Berlekom 及 Goddard 等曾以 2 階流體力係數求解，而 Eda 則曾以 3 階運動方程式求解。雖然 MMG 模式為一線性運動方程式，並無法滿足船舶在淺水域之運動狀態，但根據 Yoshimura 研究結果顯示，MMG 模式在考慮選用適當能反映淺水效應之流體力係數後，亦可適用於淺水區域之操縱模擬，而高品純志更針對 Tanker、LNG、PCC、Container 等四種船型進行淺水域之拘束模型試驗，其提供適用於淺水域之各流體力係數估算法，本研究將引用其所提供之估算法進行淺水域模擬。

船舶在淺水域中，除作用於船體之流體力受影響外，螺槳與舵亦將因水深改變而影響其出力與舵效，本研究分別討論如下：

(A) 淺水效應之流體力

此流體力係數包含縱移阻力係數、附加質量與附加慣性矩、線性與非線性流體阻尼力等四項，分別敘述如下：

(1)縱移阻力

在船前進速度為 u 時，

$$R_T = C_T \left(\frac{1}{2} \rho S u^2 \right) \quad (3.47)$$

其中 R_T 為全阻力、 S 為浸水表面積、 C_T 為全阻力係數，其估算如下

$$C_T = (1 + K)C_F + C_W \quad (3.48)$$

其中 K 為形狀影響係數、 C_F 為平板阻力係數、 C_W 為興波阻力係數。一般而言，船舶在港內航行船速大都不大，當福勞德數 $F_n < 0.1$ 時，興波阻力影響相當小，可以忽略不計，船體前進之阻力主要由形狀影響係數所控制，此係數可根據模型試驗結果求得。

(2) 附加質量與附加慣性矩

根據高品純志試驗結果顯示，縱移附加質量係數，在水深與船舶吃水深比 h/d 為 ∞ 、2.0、1.5、1.2 時，各船型之縱移附加質量係數 m_x/m 約為 0.07、0.13、0.16、0.2，而其他係數均可以試驗結果之趨勢圖估算得之。

(3)線性流體阻尼係數

一般在估算線性流體阻尼係數時，表示如下：

$$Y'_\beta = \frac{\pi}{2} k + 1.4 C_B \left(\frac{B}{L} \right) \quad (3.49)$$

$$Y'_r = \frac{\pi}{4} k \quad (3.50)$$

$$N'_\beta = k \quad (3.51)$$

$$N'_r = -0.35k \quad (3.52)$$

其中 k 為兩倍吃水深與船長比，即 $2d/L$ ，而高品純志則以實驗方式將其修正為下式，使其能適用於淺水區域。

$$k_e = \frac{k}{\frac{d}{2h} k + \left[\frac{\pi d}{2h} \cot\left(\frac{\pi d}{2h}\right) \right]^2} \quad (3.53)$$

其中 λ 為實驗常數，根據其實驗結果，(3.49)、(3.50)、(3.51)、(3.52)各式中所對應之常數 λ 分別為 2.3、0.4、1.7、0.7。

(4)非線性流體力阻尼係數

根據高品之實驗推算結果，淺水域之非線性阻尼係數與深水域之非線性阻尼係數有下列之關係：

$$\frac{Y'_{\beta|\beta|}}{Y'_{\beta|\beta|}(\infty)} = 1 + 14\left(\frac{d}{h}\right)^{3.5} \quad (3.54)$$

$$\frac{Y'_{r|r|}}{Y'_{r|r|}(\infty)} = 1 + 3\left(\frac{d}{h}\right)^{2.5} \quad (3.55)$$

$$\frac{Y'_{\beta|r|}}{Y'_{\beta|r|}(\infty)} = 1 + 3\left(\frac{d}{h}\right)^{2.5} \quad (3.56)$$

$$\frac{N'_{r|r|}}{N'_{r|r|}(\infty)} = 1 + 5\left(\frac{d}{h}\right)^{3.5} \quad (3.57)$$

$$\frac{N'_{\beta\beta r}}{N'_{\beta\beta r}(\infty)} = 1 + 6\left(\frac{d}{h}\right)^{2.5} \quad (3.58)$$

其中有分母有 ∞ 符號者表在深水域之非線性流體阻尼力。

(B)淺水域中之舵效與螺槳力

船舶在在淺水域中航行對螺槳與舵之影響最大者主要在於螺槳與舵之有效跡流係數，此兩係數經試驗結果與深水域有效跡流係數間之關係大致如下：

$$\omega_{PO} = \omega_{PO}(\infty) + 0.35\left(\frac{d}{h}\right)^2 \quad (3.59)$$

$$\omega_{RO} = \omega_{RO}(\infty) + 0.35\left(\frac{d}{h}\right)^2 \quad (3.60)$$

其中 $\omega_{PO}(\infty)$ 、 $\omega_{RO}(\infty)$ 分別為深水域螺槳與舵之有效跡流係數，至於螺槳之推力減少係數及舵的額外增加橫向力則可由其實驗結果估算而得。

第四章 淺水效應計算例與討論

4.1 淺水效應之驗證與討論

本計畫在探討淺水效應對船舶操航之影響時，首先以 Osaka 油輪作為供試船，計算其在水深吃水比 H/d 分別為 4.2、1.5、1.2 時左迴旋試驗結果，同時並與實測值及台大邱逢琛教授所計算結果相互比較。

圖 4.1 所示為 Osaka 油輪在舵令 35° 左迴旋在水深吃水比 H/d 為 4.2 時的航行軌跡，紅色空心點為實測值，藍色虛線為邱所模擬結果，而黑色實線部份則為本研究所計算之結果，由圖中顯示，本研究所所得之結果，其迴旋縱距及橫距均較邱教授所模擬結果較小，由於本研究所應用之理論公式大致與與邱教授所使用之理論大致相同，雖在數值差分上使用方式稍有不同，但影響應不大，會有如此差異，推測可能在於舵與螺槳係數的使用，由於其係數主要為推估內插而得，本研究為應用程式計算方便，將推估係數曲線每隔一小段以多項式方程式表示，在程式中自動選擇計算其係數，而此係數稍有差異將影響船舶的迴轉性能，致使其迴轉性能及延遲時間有所差異，此在圖 4.2 $Z10^\circ-10^\circ$ 運動航向角時間變化圖亦大致可發現此現象。

圖 4.3～圖 4.6 分別為 Osaka 油輪在舵令 35° 左迴旋在水深吃水比 H/d 為 1.5、1.2 時的航行軌跡及 $Z10^\circ-10^\circ$ 運動航向角時間變化圖，整體而言，本研究所模擬的迴轉航行軌跡與實測結果大致接近，但在 $Z10^\circ-10^\circ$ 運動航向角與時間之關係上則稍有差異。

表 4.1 及表 4.2 所示為在不同淺水區左、右迴轉時各時刻船速與距離。

圖 4.7～圖 4.10 為其在各水深與吃水比條件下進行 $Z 20^\circ-20^\circ$ 試驗航向角之情形。

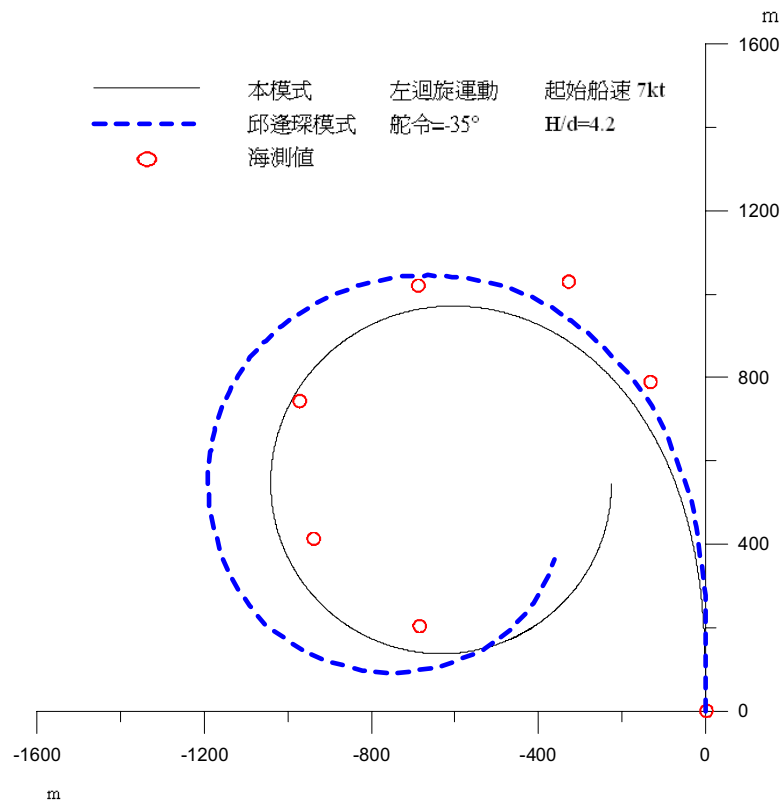


圖 4.1 $H/d=4.2$ ，Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖

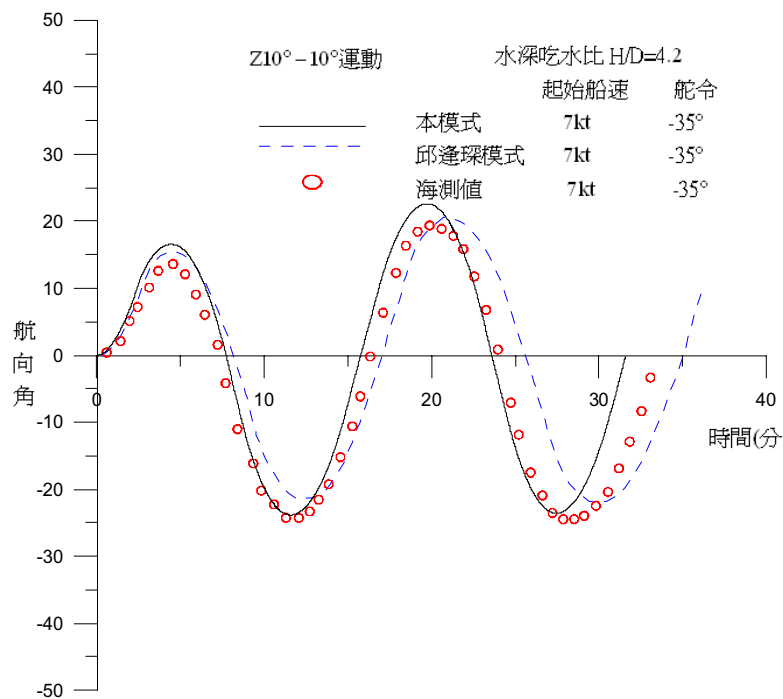


圖 4.2 $H/d=4.2$ ，Osaka 油輪 $Z10^{\circ}-10^{\circ}$ 運動航向角時間變化圖

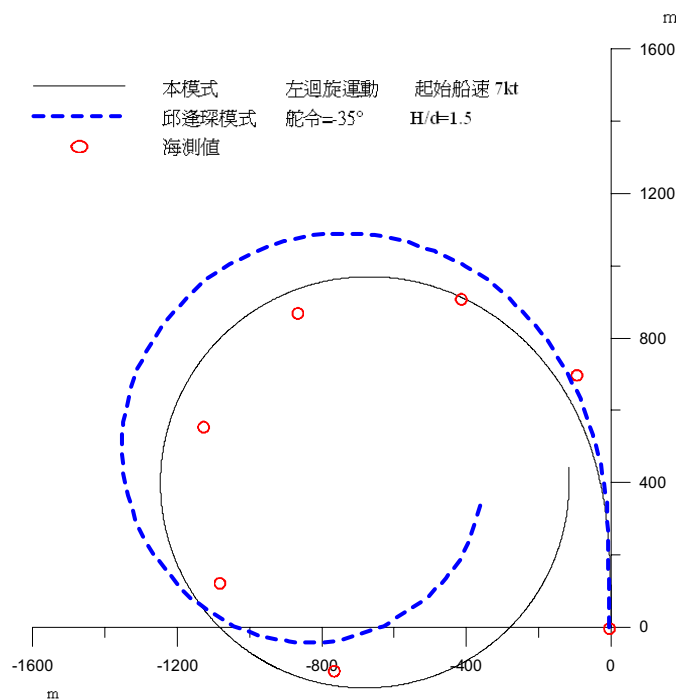


圖 4.3 $H/d=1.5$ ，Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖

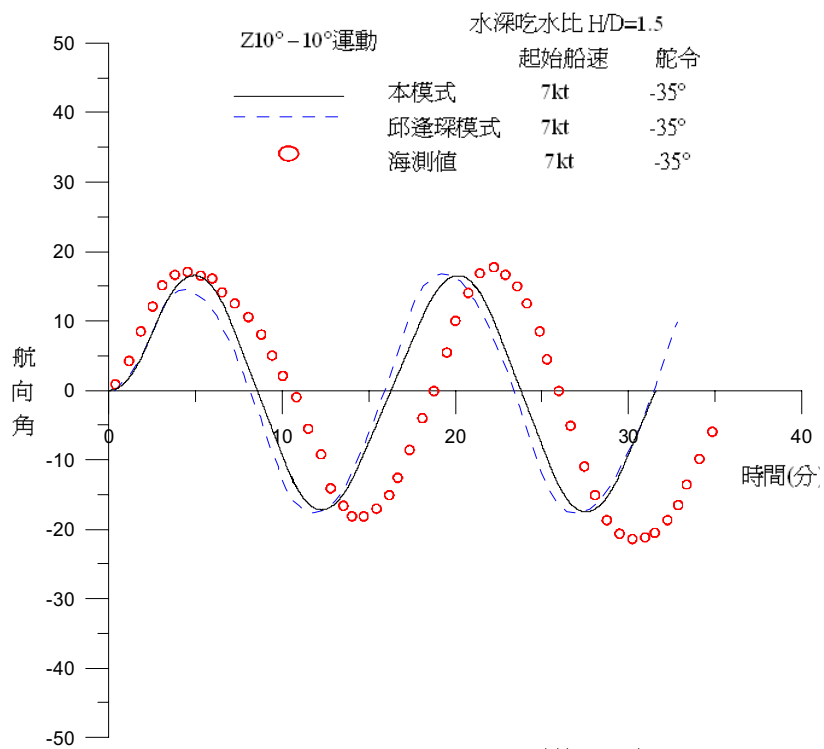


圖 4.4 $H/d=1.5$ ，Osaka 油輪 $Z10^{\circ}$ - 10° 運動航向角時間變化圖

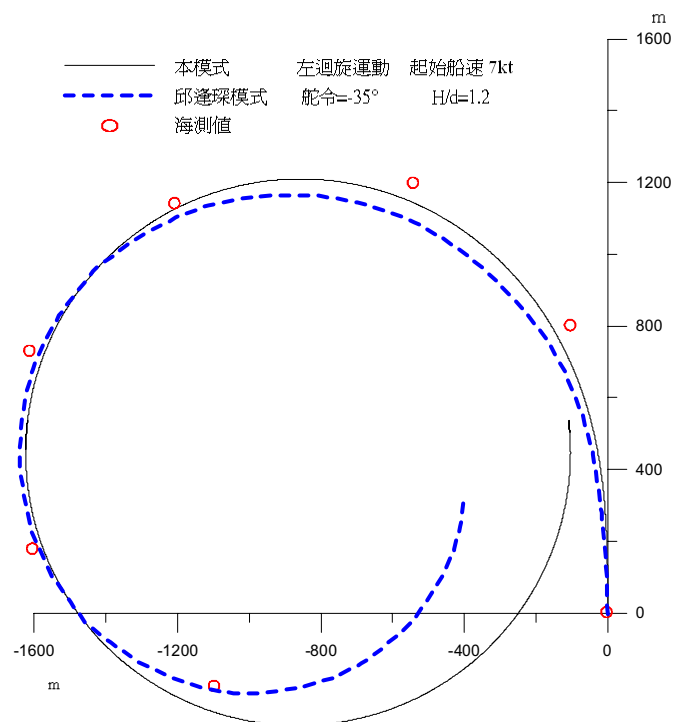


圖 4.5 $H/d=1.2$ ，Osaka 油輪左迴旋試驗結果比較圖

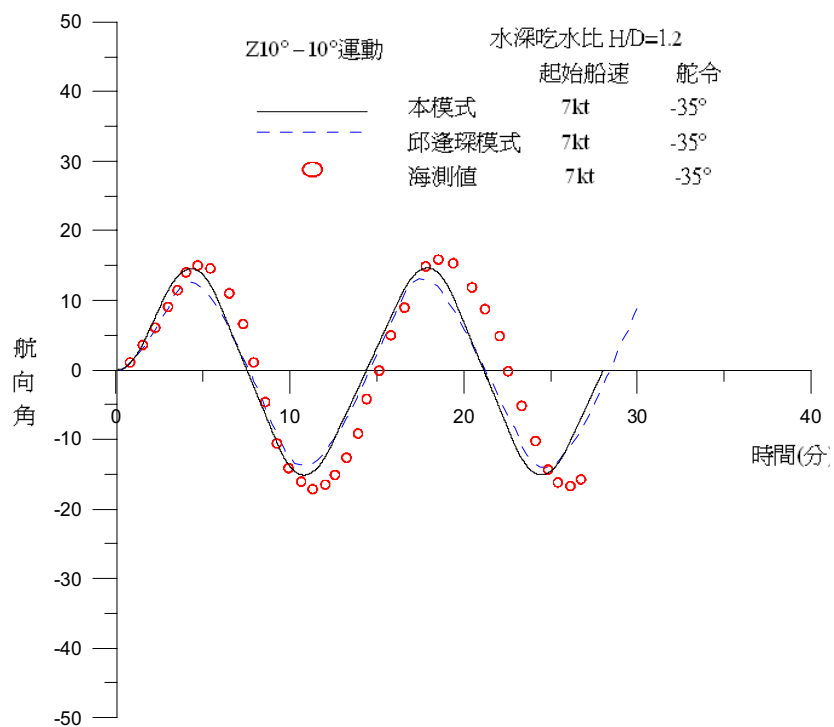


圖 4.6 $H/d=1.2$ ，Osaka 油輪 $Z10^{\circ}-10^{\circ}$ 運動航向角時間變化圖

表 4.1 Osaka 油輪左迴旋試驗淺水效應比較表

	深 海	H/d=4.2	H/d=1.5	H/d=1.2
起始船速	7kt	7kt	7kt	7kt
迴轉 90 度時間	7 分 37 秒	8 分 13 秒	10 分 32 秒	13 分 25 秒
迴轉 90 度船速	4.57kt	4.54kt	4.44kt	4.30kt
迴轉 90 度縱距	915m	982m	1269m	1577m
迴轉 90 度橫距	493m	529m	620m	806m
迴轉 180 度時間	12 分 42 秒	13 分 46 秒	18 分 01 秒	23 分 17 秒
迴轉 180 度船速	3.80kt	3.83kt	3.93kt	3.94kt
迴轉 180 度縱距	513m	543m	709m	849m
迴轉 180 度橫距	746m	806m	1027m	1293m
迴轉 270 度時間	17 分 26 秒	18 分 58 秒	25 分 15 秒	32 分 50 秒
迴轉 270 度船速	3.59kt	3.66kt	3.82kt	3.88kt
迴轉 270 度縱距	252m	250m	238m	210m
迴轉 270 度橫距	480m	510m	630m	772m
迴轉 360 度時間	22 分 02 秒	24 分 03 秒	32 分 25 秒	42 分 19 秒
迴轉 360 度船速	3.53kt	3.61kt	3.79kt	3.87kt
迴轉 360 度縱距	582m	623m	743m	881m
迴轉 360 度橫距	295m	299m	279m	290m

表 4.2 Osaka 油輪右迴旋試驗淺水效應比較表

	深 海	H/d=4.2	H/d=1.5	H/d=1.2
起始船速	7kt	7kt	7kt	7kt
迴轉 90 度時間	8 分 10 秒	8 分 55 秒	11 分 31 秒	14 分 57 秒
迴轉 90 度船速	4.63kt	4.56kt	4.56kt	4.50kt
迴轉 90 度縱距	973m	1049m	1370m	1721m
迴轉 90 度橫距	5370m	581m	694m	882m
迴轉 180 度時間	13 分 58 秒	15 分 22 秒	20 分 07 秒	26 分 27 秒
迴轉 180 度船速	3.98kt	3.99kt	4.17kt	4.25kt
迴轉 180 度縱距	501m	530m	697m	822m
迴轉 180 度橫距	836m	912m	1183m	1545m
迴轉 270 度時間	19 分 29 秒	21 分 34 秒	28 分 33 秒	37 分 50 秒
迴轉 270 度船速	3.84kt	3.88kt	4.10kt	4.22kt
迴轉 270 度縱距	171m	154m	105m	6.15m
迴轉 270 度橫距	510m	545m	691m	874m
迴轉 360 度時間	24 分 55 秒	27 分 40 秒	36 分 56 秒	49 分 06 秒
迴轉 360 度船速	3.80kt	3.85kt	4.09kt	4.22kt
迴轉 360 度縱距	585m	621m	739m	861m
迴轉 360 度橫距	267m	266m	245m	245m

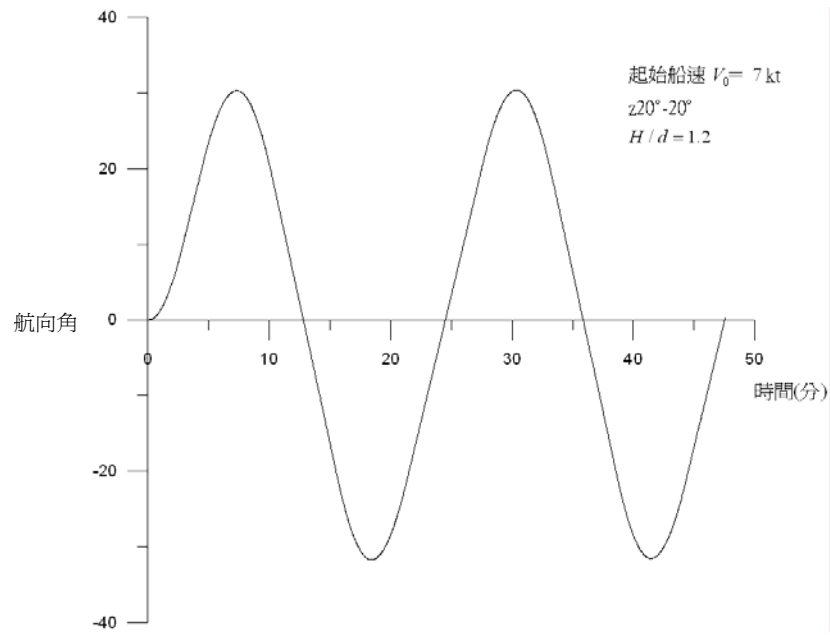


圖 4.7 $H/d=1.2$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖

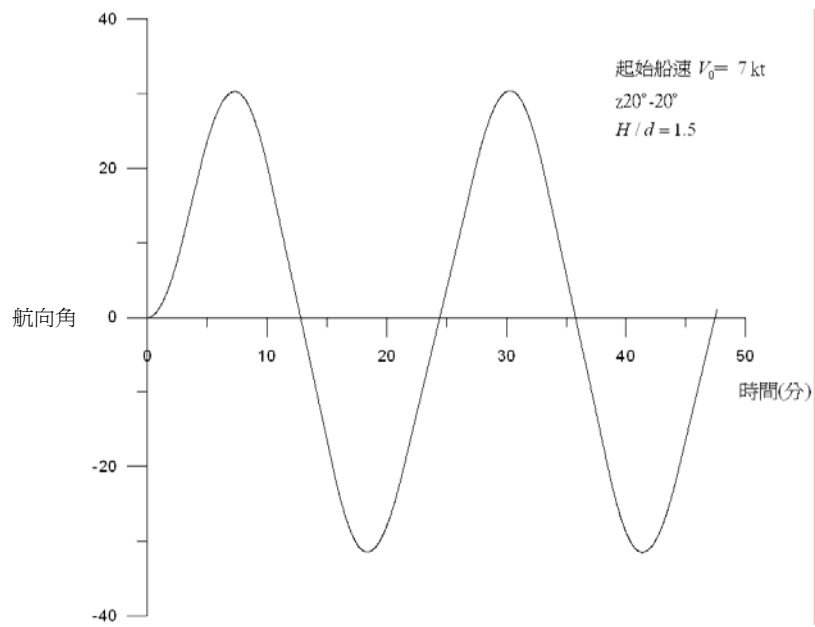


圖 4.8 $H/d=1.5$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖

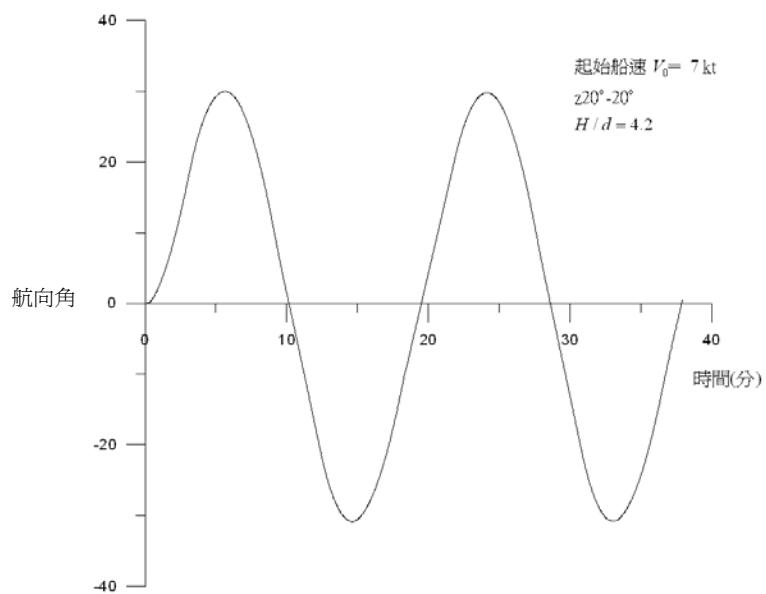


圖 4.9 $H/d=4.2$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖

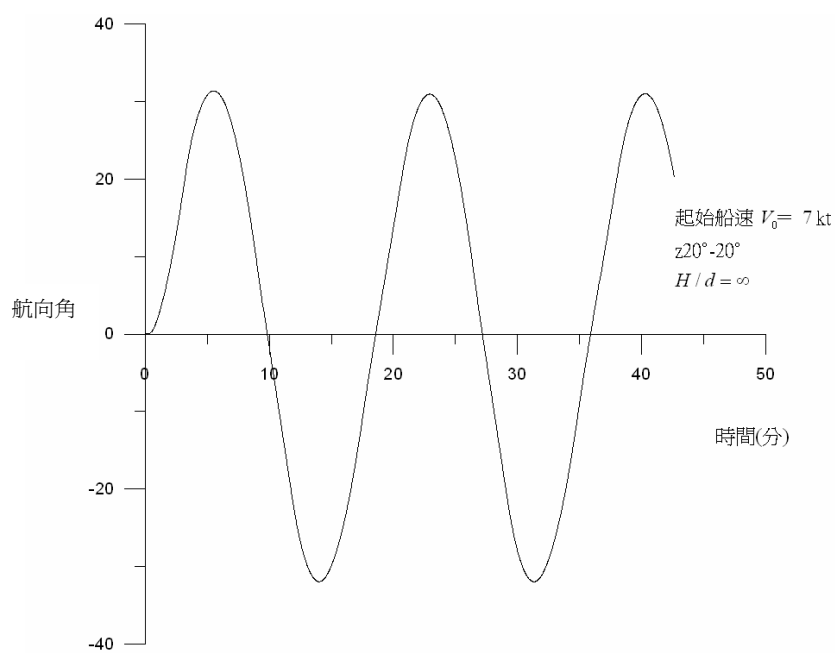


圖 4.10 $H/d=\infty$, Osaka 油輪 $z20^\circ - 20^\circ$ 試驗航向角時間變化圖

4.2 淺水效應係數之迴歸

在淺水域中，由於船體、螺槳與舵三者相互間之影響更為顯著，但在此水域中之相關流體力係數並不是很完整，而實測資料亦相當少，大體上僅能針對某特定船舶於淺水域中進行試驗，量測相關係數後，再進行相關之模擬。本計畫在整理此部分資料時，以 Osaka 油輪於淺水域及深水區四個水深中實測之資料作為基本資料，並將其迴歸求其方程式，以作為船舶航行至淺水域各種水深條件下計算之參考。圖 4.11~4.13 所示為各相關流體力係數之迴歸方程式。

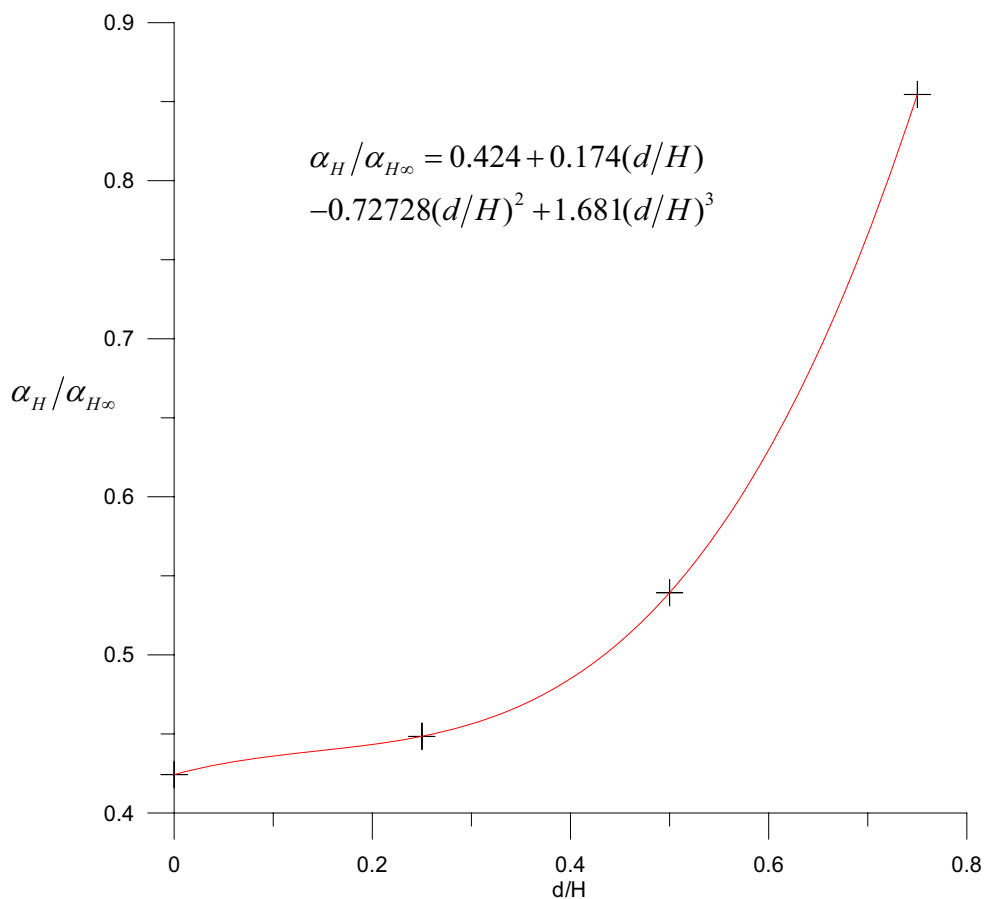


圖 4.11 $\alpha_H / \alpha_{H\infty}$ 與 d/H 之關係

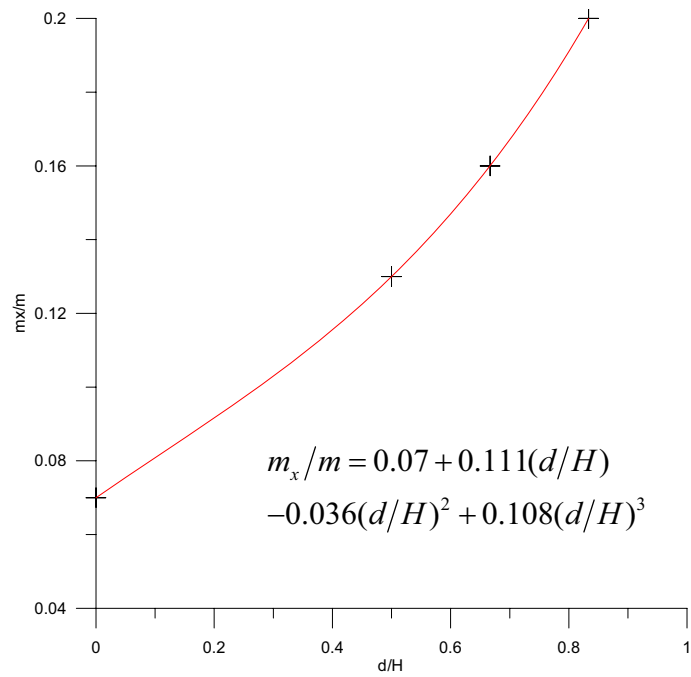


圖 4.12 附加質量 m_x/m 與 d/H 的關係圖

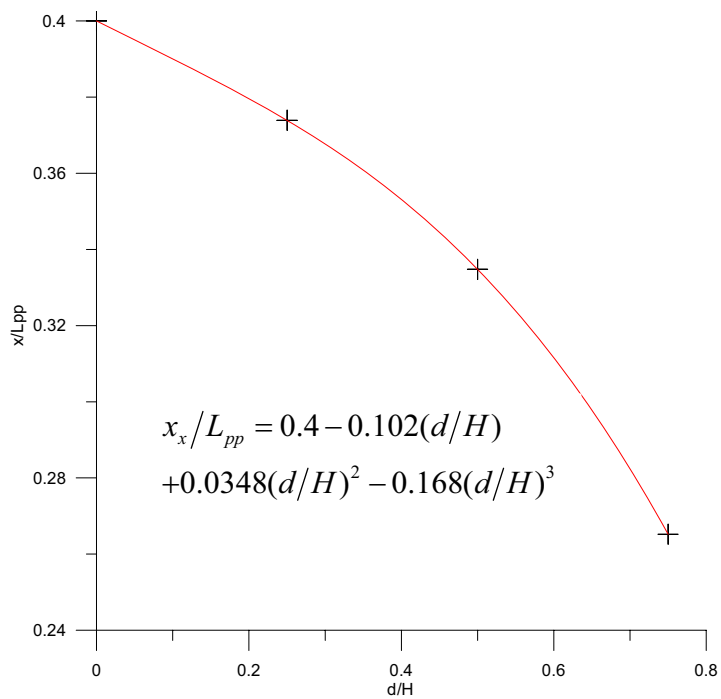


圖 4.13 $(x_H/L_{pp})/(x_H/L_{pp})_\infty$ 與 d/H 的關係圖

第五章 四個象限中之螺槳推力與轉矩

在模擬螺槳與舵在其他象限所造成之推力轉矩時，本研究參考李殿璞(1998)之結果，李針對 Troost-B 系列螺槳試驗所得的迴歸資料，繪製成如圖 5.1 的螺槳推力係數 K'_p 與 J' 之關係曲線圖及圖 5.2 的螺槳轉矩係數 K'_m 與 J' 之關係曲線圖，圖中的黑色實線為其原始迴歸資料。由於圖 5.1、圖 5.2 須針對各條件逐一進行查圖比對後輸入其係數，再進行計算，在實際應用上並非十分方便，本研究在撰寫程式時，將圖 5.1 及圖 5.2 之 $K'_m - J'$ 、 $K'_p - J'$ 關係曲線 J' 軸上每隔 0.1 即分割成一小線段曲線，並以多項式方程式求此小線段曲線之迴歸方程式，將其編寫入程式中，在實際應用計算時，以條件控制的方式自行計算其各象限之 K'_p 及 K'_m 值，進而求其螺槳推力與轉矩，圖中彩色實線為本研究針對各各不同的螺距比 H_p/D_p 數值迴歸所得曲線。螺槳推力及螺槳轉矩可分別依下式計算。

螺槳推力

$$P = K'_p \rho D_p^2 V_p^2 / J'^2 \quad (5.1)$$

而螺槳轉矩則為

$$M = K'_m \rho D_p^3 V_p^2 / J'^2 \quad (5.2)$$

其中

$$J_{pp} = \frac{V_p}{D_p n}$$

$$J' = V_p / \sqrt{V_p^2 + n^2 D_p^2} = J / \sqrt{1 + J_{pp}^2}$$

$$V_p = V(1 - \omega_p)$$

V : 船速

V_p : 螺漿有效軸向入流

ω_p : 螺漿有效跡流係數

n : 螺漿轉速

H_p : 螺漿漿盤盤面的平均螺矩

D_p : 螺漿直徑

而螺漿推力與力矩特性曲線如下所示：

螺漿推力特性曲線 K'_p 為

$$K'_p = \frac{P}{\rho D_p^2 (V_p^2 + n^2 D_p^2)} = \frac{K_p}{(1 + J_{pp}^2)} = K_p (1 - J'^2) \quad (5.3)$$

而螺漿轉矩特性曲線 K'_m 為

$$K'_m = \frac{M}{\rho D_p^3 (V_p^2 + n^2 D_p^2)} = \frac{K_m}{(1 + J_{pp}^2)} = K_m (1 - J'^2) \quad (5.4)$$

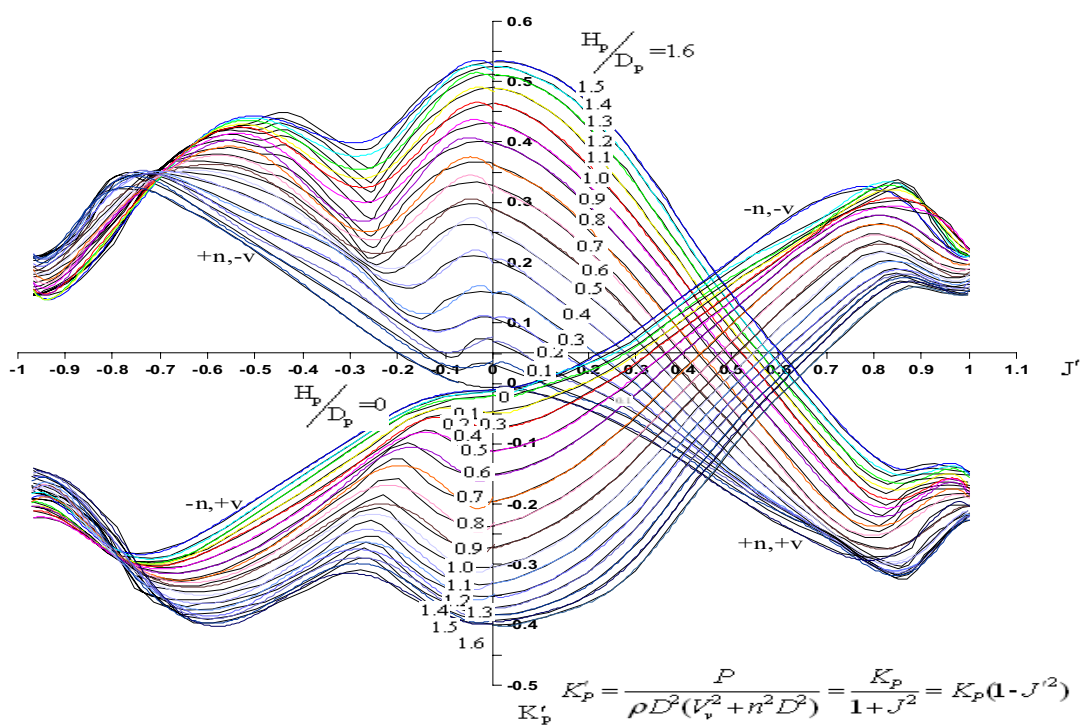


圖 5.1 螺槳推力係數 K'_p 與 J' 之關係曲線圖

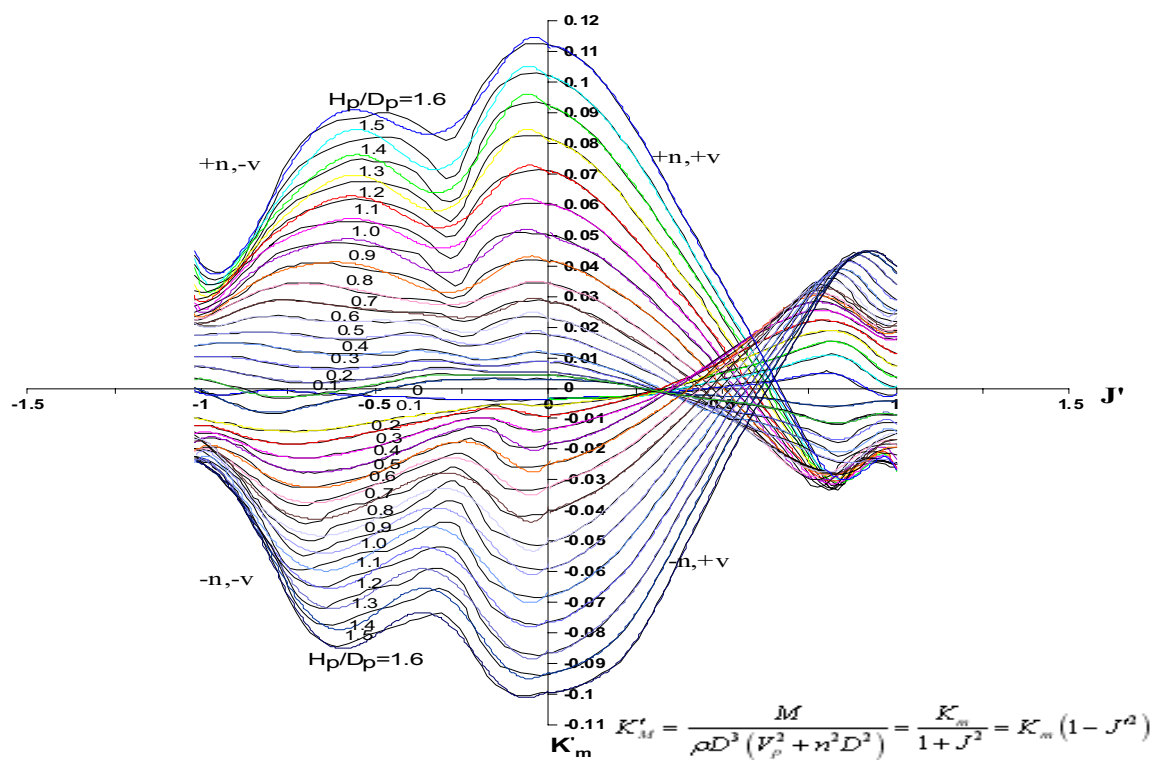


圖 5.2 螺槳轉矩係數 K'_m 與 J' 之關係曲線

第六章 結論與建議

本研究以 MMG 為船舶操縱的理論基礎，以 Fortran 程式編譯軟體撰寫程式，同時並以 Visual Basic 程式語言撰寫多船模擬系統之操控介面，透過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，而經由與前人研究成果及實測值比對驗證結果顯示，本研究所發展之程式與介面應是妥適且合於實際應用的，本年度除在淺水效應中驗證其適用性，並考慮船舶航行時，舵與螺講於不同象限的問題。

在實際應用上，船舶操縱系統須各操航港口之相關資料，如風場、流場、波浪資料以及各實際操航海域港口附近等之海底地形水深資料，本模式建立有兩種擷取此資料之方式，即資料檔讀取與即時輸入兩種方式，即時輸入格式較為簡單方便，但其功能限制於突發狀況或訓練人員用，實務操航時仍須以資料檔輸入方式較為方便，建議未來在各項資料之格式能有統一之格式，方便程式之執行。

參考文獻

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 Manoeuvring 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. Inoue, S., Hirano, M. and Mukai, K., “The Nonlinear Terms of Lateral Force and Moment Acting on Ship Hull in the Case of Manoeuvring”, Trans. West-Japan Soc. Nav. Archit, No. 58, 1979.
9. Kose, K., Hirata, H., Hashizume, Y. and Fatagawa, E. “On a Mathematical Model of Manoeuvring Motions of Ships in Low Speeds”, Jour. Soc. Nav. Archit. Japan, No. 155, 1984.
10. K.S.M Davidson and L.I. Schiff “Turning and Course Keeping Qualities of ships”, T.SNAME, Vol.54, 1946.
11. R.F. Beck, J.N. Newman, E.O. Tuck “Hydrodynamic force on ship in dredged channels”, J. ship research, Vol.19, No.3, 1975.
12. R.W. Yeung, W.H. Hwang “Nearfield hydrodynamic interactions of ships in shallow water”, J. Hydronautics, Vol.11, No.4, 1977.

13. R.W. Yeung “Interactions of slender ships in shallow water”, J. Fluid Mech. Vol.85, 1978.
14. Yoshimura, Y., “Mathematical Model for the Manoeuvring Ship Motion in Shallow Water”, Jour. Kansai Soc. Nav. Archit. Japan, No. 200, 1986.
15. 森正彦，田中捻，溝口純敏，“船の操縦性能シミュレーションプログラ
スとその適用例”，石川島播磨技報，第 13 卷，第 5 號，571-582 頁，
1973。
16. 田中捻，宮田秀，“船の操縦性能シミュレーションプログラ
スとその適用例(第 2 報)”，石川島播磨技報，第 17 卷，第 2 號，135-142 頁，1977。
17. “船の操縦性能の推定”，日本造船學會誌，第 668 號。
18. “第 3 回操縦性シンポジウム”，日本造船協會，1981。
19. “操船論”，岩井聰，海文堂，1977。
20. 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。
21. 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。
22. 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。
23. 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。
24. 小川，長谷川，芳村，“MMG 報告-V 操縦運動數學モデルの実験的檢
証と改良”，日本造船協會誌，616 號，1980。
25. 藤井 齊，“船の操縦性における実船・模型の相關に関する一考察”，
西部造船協會會報，第 62 號，1981。
26. 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。

27. 湯室彰規，“操縦性指数の縮率影響の一推定法”，日本造船協會論文集，第 137 號，1975。
28. 小山建夫，周正會，元良誠三，小柳雅志郎，“Circular Motion Test(CMT) 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。
29. 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。
30. 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。
31. 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。
32. 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。
33. 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。
34. 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。
35. 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。
36. 小瀬邦治，佐伯敏朗，“操縦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。
37. 芳村康男，石井正夫，T. F. Huang，“560,000 DWT ULCC の操縦性とその縮率影響の一考察”，關西造船協會誌，第 183 號，1981。

38. 高品純志，“淺水域における操縦運動”，博士論文，1991.
39. 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.
40. 邱逢琛等，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，1987。
41. 邱逢琛等，進出港操船模擬分析，中興工程顧問社，1998。
42. 李殿璞，船舶運動與建模，哈爾濱工程大學出版社，1998 年。

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☐期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：船舶運動數值模式建立之研究(三)

執行單位：國立台灣海洋大學

委員	審查意見	處理情形	承辦單位 審查意見
國立台灣大學邱逢琛教授	一、報告架構尚稱完整，內容也還充實。	1. 感謝肯定。	符合規範要求
	二、對於模擬計算結果之討論宜加強。	2. 遵照辦理，將於期末報告中詳加討論。	期末追蹤考核
	三、迴旋圈偏向呈橢圓圓形與實測現象有異，宜進一步確認。	3. 目前正實行檢討，是將於期末檢附結果。	期末追蹤考核
	四、專有名詞方面宜統一，如 P. 26 用垂直移(heave)、P. 27 用起伏(heave)。	4. 遵照辦理。	已改進
建國科技大學莊甲子教授	一、報告整體內容充實，初步結果正確，可予肯定。	1. 感謝肯定。	符合規範要求
	二、模式計算結果比較差異性原因宜加討論，並作準確度之評定，以利後續模式計算之應用。	2. 將於期末報告中增加討論。	期末追蹤考核
	三、文中部份引用前人研究結果（如花崗）於參考文獻中有所遺漏。	3. 補於參考文獻中。	已改進
	四、前兩年成果進度建議加分年簡述。	4. 遵照辦理。	期末追蹤考核
	五、計算結果與前人研究結果之不同，原因理由宜加說明評斷。	5. 遵照辦理。	期末追蹤考核
本所港研中心洪憲	一、建議圖 3-21~圖 3-33 比照圖 3-19 右上圖示加入說明。	1. 遵照辦理。	已改進
	二、建議將 P. 22、P. 23。下方參考報名列入參考文獻。	2. 遵照辦理。	已改進

忠 研究 員	三、建議協助另一計畫「多船操縱模擬系統」更正與船舶運動模式之要求不一致的架構內容(如圖 2-5 有初期船速，但另一計畫卻無)。	3. 遵照辦理，將與另一計畫主持人協商。	已改進
	四、整體內容較去年充實不少。	4. 感謝肯定。	符合規範要求

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

☐期中☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：船舶運動數值模式建立之研究(三)

執行單位：國立台灣海洋大學

委員	審查意見	處理情形	承辦單位 審查意見
國立台灣大學 邱逢琛 教授	一、本計畫對於操船模擬結果之比較驗證已相當完整。	感謝肯定。	符合規範要求
	二、本計畫成果預期之能夠擴充建構其他應用系統，譬如結合其他界面或與虛擬實境系統結合。	目前港研中心正建立虛擬實境硬體部分，完成後將與其系統進行結合。	符合規範要求
	三、成果值得肯定。	謝謝。感謝肯定。	符合規範要求
建國科技大學 莊甲子 教授	一、中英文摘要內容不盡相同，敬請補正。	已於報告中補正。	已改進
	二、報告中缺第一章內容(p1~9)。	報告裝訂遺漏部分將加強改正。	已改進
	三、在年度研究為第三年，建議在 ” 以往之研究成果 ” (第2章第1節，p.10) 中簡略增(補)述前年度之研究成果較具一貫性。	已於報告中將前二年之研究成果詳盡敘述。	
	四、圖 2.7~圖 2.13 之比對結果所代表之意義及正確性等建議略加補述 (p.18)。	圖 2.7~圖 2.13 之比對結果僅為代表本數值模式之妥適性及正確性，並無其他意義。	已改進
	五、圖 3.5~圖 3.7 橫軸座標符號未標 (p.35)。	已於報告中修正。	已改進
	六、圖 3.18~圖 3.33 所得比較結果代表之意義建議略加補述 (p.45)。	已於報告中增加說明。	已改進

	七、圖 4.15~圖 4.17 文字敘述 (p. 66) 應為圖 4.11~圖 4.13 之誤。另各圖中實測數據皆僅三個似乎略少。	已於報告中修正。實測數據須根據實船試驗結果而定，然實船試驗結果之數據相當少，本計畫以現有公布之實測數據進行迴歸。	已改進
	八、結論中 (p. 72) 建議增述本年度研究所獲之重大成果。	已於報告中增補。	已改進
國立成功大學 方銘川教授	一、本報告所使用之數學模式仍以台大邱逢琛教授之模式為基礎，而事實上邱教授之模式亦以 MMG 模式為基礎，而報告中提及參考 MMG 模式加以擴展 (p. 27)，不知差異為何？(事實上 p. 18 則與 p. 27 敘述相反 i. e. 以 MMG 模式為基礎，參考台大邱逢琛之模式加以擴展)。	數學模式之主構架主要以 MMG 為基礎，本計畫在進行時除參考 MMG 文獻外，亦參考邱教授之文獻，兩者在主構架上是一致的，但在部分力的係數增加上，是不同的，如舵效與螺槳在不同象限時的係數等。	已補充說明
	二、本文所提及 Zig-Zag 試驗，應將舵角反應繪入才可知道 overshoot angle，而且圖 2-13，4-2，4-4，4-6 中之舵令以及起始船速均有問題，作者恐怕不知道 $Z20^{\circ}-20^{\circ}$ 或 $Z10^{\circ}-10^{\circ}$ 之意義。	本計畫再進行 Z-Z 試驗時，其試驗結果除與邱教授所模擬結果比對外，以與實測值進行比對，結果顯示其差異並不大。	已補充說明

	三、報告中列了許多漂流力之實驗比較結果，圖 3-18~圖 3-33 對本教學模式有何幫助？是否有船速效應均未敘明，在程式中如何應用亦應加以說明。事實上船型不同其波浪力與漂流力亦不同，只列了單一船舶且無船速之漂流力實驗的這許多結果似乎沒多大意義。	本計畫以單一船體進行漂流力試驗，同時與前人研究（MMG 模式）進行比對，發現在規則波時之漂流力係數大致相同，但不規則波部分稍有差異，如方教授所言，船型不同漂流力係數亦有所不同，因此本計畫漂流力係數仍引用 MMG 模式之漂流力係數。	已補充說明
	四、以目前計畫之執行結果而言，要達到 DNV 認證與分級，絕對是不可能的事，而多船操船系統考慮之因素如 p. 7 所示，尚有一大段距離要走，如波浪力，岸壁效應，船舶之間干擾，拖船效應，繫纜效應等，依目前進度，似乎不太可能。	要達到 DNV 認證與分級之事項有多種，除軟體外，虛擬實境軟體系統與硬體之搭配亦相當重要，而非僅操船軟體部分，本計畫列出其為遠期努力目標，朝此方向努力。	已補充說明
	五、建議應儘速與另一計畫（李教授）完成整合，看看是否可達到 real time 之操船。	目前正進行中。	已整合完成
國立中山大學 薛憲文教授	一、本計畫為四年計畫之第三年，目前除了介面開發及模式比對驗證之工作已有具體成果，值得肯定。	感謝肯定。	符合規範要求
	二、部分內容之文字鍵入有誤例如：p. 72” 食物” 等請自行修正。	已於報告中修正。	已修正

	三、報告中對於本計畫四年之研究內容已加以描述，但未見第四年之規劃內容，建議加入以增加報告之可讀性。	將與中心討論後再決定。	已補充說明
	四、在 p. 8 中說明本年度主要執行工作項目 1. 中與虛擬實境”境”相結合，但未見報告中詳加敘述，建議加入說明。	虛擬實境屬本年度另一計畫，在其計畫完成後，將進行結合。	已補充說明
本所港研中心 邱永芳 主任	一、與原規劃內容相符。	謝謝。	符合規範要求
	二、應與 3D 船模影像配合整合處理。	遵照辦理。	已照辦
本所運安組 洪憲忠 研究員	一、報告請依本所出版品格式辦理。	遵照辦理。	已照辦
	二、圖 3-2 及圖 3-3 縱軸請補上標示。	已於報告中修正。	已修正
	三、本計畫於本年度是否與另一計畫「多船操船模擬系統研究（三）」整合測試。	將於其計畫完成後進行整合測試。	已整合完成

船舶運動數值模式建立之研究 (三)

計畫主持人：周宗仁
協同主持人：翁文凱



國立台灣海洋大學

計畫背景

■海運、空運發展為經濟力之指標

■操船模擬系統之建立(1985年)

專供船員訓練

軟體:船舶運動數學模式

硬體:可視化景觀部份及艙橋內相關設備

■船舶進出港口至靠泊碼頭所面臨之問題：

1. 水深變化、防波堤存在影響：波浪、水流、淺水效應
2. 港內航行：兩艘船平行航行時所引起之干涉效應
3. 靠泊時：拖船效應；繫覽效應；岸壁前水流效應

以往相關研究重點：

船舶操縱運動方程式為主，建構影響之各項外力，
以計算船舶航行前進時之運動

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、螺槳推進力與流體阻力
船殼形狀流體阻力

環境外力：風、潮流、波浪、淺水效應

操船模擬系統之認證及分級

- 有關船員訓練之事項由國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)負責頒布與修訂各項法規
- 認證與分級由各國船舶協會進行
American Bureau of Shipping (ABS)、Lloyd's Register of Shipping (LR)、Nippon Kaiji Kyokai (NK)、Det Norske Veritas (DNV)、Germanischer Lloyd (GL)、Korean Register of Shipping (KR)等
- 認證與分級工作標準化者為挪威DNV

- DNV分成四級，A、B、C及X級。五年重新認證。
- 認證工作主要分成四大項：
 - 駕駛台操作模擬(與本研究相關)
 - 機械操作模擬
 - 無線電通信操作模擬
 - 貨物輸送模擬
- 模擬設備(推進操作器、螺槳推進器、繫纜操作、系統通信系統、雷達系統、航向燈、救生艇燈、救火系統等)
- 行為之真實性(船體運動；三自由度以上(A、B)。風、潮流(隨時間變動)、波浪(A、B、C)。淺水效應、岸壁效應、兩船相互作用之影響(A)。最少五種船型(A、B)、雷達設備需能反映天氣、船舶前進效應、海岸線與浮標、回音等、ARPA需有相當效應、引擎回聲等)
- 虛擬環境(十艘以上各有其航線之其他船，同時並顯現其船頭與船尾之波浪，外視範圍至少需水平240度，垂直120度，另外亦有規範水與聲音等)。

整體研究目標與以往研究成果

研究目標：船舶航行進出港過程行為之真實性

以往研究成果：

1. 建立船舶運動程式操縱與連結介面
2. 建構船舶操縱運動方程式與各影響外力各副程式連結
 - 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、螺槳推進力、船殼形狀流體阻力
 - 環境外力：
 - 風力、潮流力、波浪力、(淺水效應
 - 、拖船效應、岸壁效應、多艘船間之干涉效應)
3. 模式正確性之驗證
 - 278,000噸級的砂石兼油輪OSAKA號、亞洲水泥號

本年度工作項目

在既有之研究基礎與所建立模式下：

1. 修正船體運動中船速、螺槳在各象限中之影響，並撰寫程式與驗證工作
2. 船舶之淺水效應
3. 協助連結虛擬影像處理系統

數學模式

船舶操縱運動方程式：(MMG模式)

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

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

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

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

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

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

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

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

船舶航行時，依其狀況(如船舶停止或倒俾等)船速與轉速可分為四種狀況，分別為

第一象限	$n > 0, u > 0$	$0^\circ \leq \beta_p \leq 90^\circ$
第二象限	$n > 0, u < 0$	$90^\circ \leq \beta_p \leq 180^\circ$
第三象限	$n < 0, u < 0$	$180^\circ \leq \beta_p \leq 270^\circ$
第四象限	$n < 0, u > 0$	$270^\circ \leq \beta_p \leq 360^\circ$

$\beta_p = \tan^{-1}(\frac{V_p}{0.7n\pi D_p})$: 螺槳0.7R處之入射水動力角

第一象限為螺槳正轉且船速為正之情況(一般航行時使用)

二、三、四象限使用於停船倒俾或突發狀況時

正常航行時，螺槳之推力與扭矩為

$$X_p = (1 - t_p) \rho n^2 D_p^4 K_T(J_p)$$

$$Q_p = -2\pi J_{pp} \dot{n} - \rho n^2 D_p^5 K_Q(J_p)$$

K_T, K_Q 螺槳試驗所得之曲線資料，依螺槳種類而不同

四個象限之螺槳之推力與扭矩為

$$X_p = (1 - t_p) \left[\frac{1}{2} \rho \{ [u(1 - \omega_p)]^2 + (0.7n\pi D_p)^2 \} \right] \frac{\pi}{4} D_p^2 C_T(\beta_p)$$

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

其中 $\omega_p = \omega_{po} \exp(-4\beta_p^2)$, ω_{po} 為螺槳的有效跡流係數

J_{pp} 螺槳附加極慣性矩, t_p 為螺槳推力減少係數

淺水效應

淺水區域時，由於水深影響，流體黏性力增大，深水區之流體力係數與船舶運動之關係不再適用，須以高次非線性運動方程式加以求解船體之運動。(MMG模式為線性運動方程式)

花崗針對淺水效應利用水深線性關係推導出

$$k = \frac{r'_h}{r'_\infty} = k_\delta \frac{N'_r Y'_\beta - N'_r Y^*_{\beta} + (m' + m'_x) N'_\beta}{k_F (N'_r Y'_\beta - N'_r Y^*_{\beta}) + (m' + m'_x) N'_\beta}$$

k_δ 舵的淺水影響係數，而則 k_F 為船體的淺水影響係數
未考慮螺槳後渦流、尾跡流、船體與舵間相互之干涉等效應

- Yoshimura研究結果顯示，MMG模式在考慮選用適當能反映淺水效應之流體力係數後，亦可適用於淺水區域之操縱模擬
- 高品純志更針對Tanker、LNG、PCC、Container等四種船型進行淺水域之拘束模型試驗，提供適用於淺水域之各流體力係數估算法
- 船舶在淺水域中之影響
 - 1.作用於船體之流體力
 - 2.螺槳出力
 - 3.舵效因水深而改變

(A)淺水效應之流體力

包含縱移阻力係數、附加質量與附加慣性矩、線性與非線性流體阻尼力等四項：

■ 縱移阻力

在船前進速度為 u 時，全阻力 R_T

$$R_T = C_T \left(\frac{1}{2} \rho S u^2 \right) \quad C_T = (1+K)C_F + C_W$$

S 為浸水表面積、 C_T 為全阻力係數、 K 形狀影響係數、 C_F 為平板阻力係數、 C_W 為興波阻力係數。船舶在港內航行船速大都不大，當福勞德數 <0.1 時，興波阻力影響相當小，可以忽略不計，船體前進之阻力主要由形狀影響係數所控制，此係數可根據模型試驗結果求得。

■ 附加質量與附加慣性矩

根據高品純志試驗結果顯示，縱移附加質量係數，在水深與船舶吃水深比為、2.0、1.5、1.2時，各船型之縱移附加質量係數約為0.07、0.13、0.16、0.2，而其他係數均可以試驗結果之趨勢圖估算得之。

■ 線性流體阻尼係數

一般在估算線性流體阻尼係數時，表示如下：

$$Y'_\beta = \frac{\pi}{2}k + 1.4C_B\left(\frac{B}{L}\right)$$

$$Y'_r = \frac{\pi}{4}k$$

$$N'_\beta = k$$

$$N'_r = -0.35k$$

$$k_e = \frac{k}{\frac{d}{2h}k + \left[\frac{\pi d}{2h}\cot\left(\frac{\pi d}{2h}\right)\right]^\lambda} \quad (\text{修正式})$$

$$k = \frac{2d}{L} \quad \text{兩倍吃水深與船長比}$$

λ 為實驗常數，上四式所對應之 λ 分別為 2.3、0.4、1.7、0.7。

■ 非線性流體力阻尼係數

根據高品之實驗推算結果，淺水域之非線性阻尼係數與深水域之非線性阻尼係數有下列之關係：

$$\frac{Y'_{\beta|\beta}}{Y'_{\beta|\beta}(\infty)} = 1 + 14\left(\frac{d}{h}\right)^{3.5}$$

$$\frac{N'_{r|r}}{N'_{r|r}(\infty)} = 1 + 5\left(\frac{d}{h}\right)^{3.5}$$

$$\frac{Y'_{r|r}}{Y'_{r|r}(\infty)} = 1 + 3\left(\frac{d}{h}\right)^{2.5}$$

$$\frac{N'_{\beta\beta r}}{N'_{\beta\beta r}(\infty)} = 1 + 6\left(\frac{d}{h}\right)^{2.5}$$

$$\frac{Y'_{\beta|r}}{Y'_{\beta|r}(\infty)} = 1 + 3\left(\frac{d}{h}\right)^{2.5}$$

(B)淺水域中之舵效與螺槳力

船舶在淺水域中航行對螺槳與舵之影響最大者主要在於螺槳與舵之有效跡流係數，此兩係數經試驗結果與深水域有效跡流係數間之關係大致如下：

$$\omega_{PO} = \omega_{PO}(\infty) + 0.35\left(\frac{d}{h}\right)^2$$

$$\omega_{RO} = \omega_{RO}(\infty) + 0.35\left(\frac{d}{h}\right)^2$$

螺槳之推力減少係數及舵的額外增加橫向力則可由其實驗結果估算而得。

進行步驟

本研究本年度之進行步驟將分述如下：

- 數值計算上，針對船舶螺槳力之各象限理論撰寫程式。並將其合併於操船程式之主構架中。
- 針對淺水域中各流體力係數及舵效與螺槳力撰寫程式，並利用水深與船舶吃水深比判別此效應是否啟動。
- 連結虛擬影像處理系統，已完成完整之操船模擬系統。

本年度執行預期成果

本計劃本年度執行之預期之具體成果分述如下：

- 操船模擬程式完成淺水效應，以提供船舶於港內或淺水區航行時模擬用。
- 船舶完成主機各象限之模擬，提供船舶在前進或後退各條件下之航行。
- 連結虛擬實際模擬系統，使本系統更為完整、實用。

報告完畢
敬請指教