

JCRR



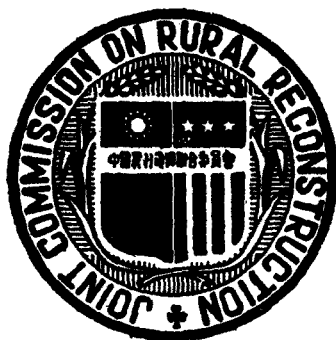
漁船在港內外波浪中之特徵性能與穩定性能之研討

ON THE STUDY OF MANEURABILITY  
AND STABILITY OF FISHING BOATS AT  
HARBOUR AND IN SEAWAY.

# 漁船在港內外波浪之中操縱性能 與穩定性能之研討

漁業專輯第24號

研究計劃執行人員	黃正清
本計劃研究人員	陳錫揚
	黃煌輝
	黃正清



中國農村復興聯合委員會  
民國六十五年十二月

# 序 言

本文旨在以簡明之原理，說明波浪之特性，船在波浪中之運動其可能發生原因對穩度之影響，以及船舶之迴旋特性及方向穩定性。由於船舶在波浪中之運動乃為一極複雜之動力問題，一般之討論均以靜力之觀點來分析船在波浪中之穩定性，則難免有所缺失，自不能作出正確之評斷，至於方向穩定性則常易於被人忽視，若無方向穩定性，船隻即無法控制航向，船在波浪中航行，在某些狀況下即使操舵亦不具方向穩定性，在進出港口時，舵手宜特別注意，否則有發生碰撞及擱淺之危險。

由於船體所受之外力和力矩，例如風力、水動力均與面積成正比而恢復力則與體積成正比，小船之面積／體積比值較大船為大，相對的說亦就是在相當的情況之下，小船較大船受有較大的外力和力矩，因此諸如漁船等小型船隻其發生海難事件的機會遠較大型船舶為大，台灣四週環海，漁船及各種小型船隻甚多，而每一港口潮汐風向等隨季節及港口位置之不同而異。但對此等船隻在實際波浪中運動穩定性之研究及報導均付諸厥如，農復會擬定此計畫以引起有關單位及人士注意，可謂明智之舉。

本文由於解析困難又侷限於題目範圍，故內容尚嫌不夠完善，但望能收拋磚引玉之效，祈盼日後陸續在這方面有更理想的著作，提供各界參考。

本報告之完成由於研究時間短促，匆匆完稿付印，且編者才疏學淺，經驗有限，疏漏之處在所難免，希各界先進多所指示是幸。

# 漁船在港內外波浪中操縱性能與穩定性能之研討

## 目 錄

第一章	波動理論之概述	1
1.1	前言	1
1.2	波浪性質簡述	1
1.3	波浪之定義	2
1.4	波浪之分類	2
1.5	碎波及船在碎波中運動之操作法	4
1.6	季節風浪之概述	7
第二章	船在波浪中之運動解析及其臨界航向與船速	10
2.1	簡介	10
2.2	座標系統及符號意義	10
2.3	一自由度之運動方程式	11
2.4	船與主波向夾一角度行進時之橫搖運動分析	12
2.5	以共振及波浪力作用觀點討論船向與主波向所容許之夾角及臨界船速	16
2.6	各運動量間之相互影響	19
第三章	船隻之迴旋性能及其在波浪中之航向穩定性	27
3.1	簡介	27
3.2	船隻在靜水中的運動支配方程式	27
3.3	操舵作用下對船隻方向穩定性之影響	28
3.4	由迴旋運動所伴生的傾側力矩	29
3.5	船進港後容許之迴轉角度與距離之關係	30
3.6	船在波浪中之航向穩定性	33
3.7	船在波浪中之平擺傾斜	35
第四章	綜合結論	37
	參考文獻	38
附錄：	台灣海域季節風及波浪統計資料	39

# 第一章 波動理論之概述

## 1.1 前言：

小型船舶航行於海面時之穩定問題，與所受之波浪力及力矩有密切關係，而此種波浪力及力矩又因波長，波高，週期及波型等不同因素而異，因之尚未論及船舶穩定之問題前首先必得對於作用外力因素——波浪運動能有較深入的認識以瞭解波浪特性對於航行船體之作用情況，當然小型船舶并非如巨大之油輪能於較大之波浪作用下航行自如，因此本章探討之波浪特性乃側重於季節風浪 ( Seasonal waves ) 下若干統計性質分析之各種波高，週期之特性，對於颱風期間所產生之強大波浪在此并不贅述，并由中央氣象局提供 1972 年至 1976 年高雄測候所五年來波浪之逐時風速風向記錄，藉以分析南部季節風浪之各種特性以爲分析小型船體受波浪外力作用時穩定性研究之依據，當然本章對於船體航行於淺海碎波帶 ( Surf Zone ) 時船體運動之現象及操作時尤需謹慎之情況亦將藉此說明，以作爲航行操作之參考。

## 1.2 波浪性質簡述：

當水遭受諸外力作用時，水分子發生攪亂，水面繼之產生高低運動，并將此運動之外形向四處傳播，且外力除去後仍因表面張力 ( Surface Tension ) 及重力 ( Gravity Force ) 之作用繼續保持運動。此種以水爲媒介體將運動形狀傳遞之現象稱爲水波 ( Water Wave )，因之本文所謂之波浪係指此種性質之水波。由於波浪運動係爲流體中之波動，因之不僅爲研究流體力學之對象，更爲研究海洋工程，船體運動之主要因素。

當然實際之海面乃爲一不規則變化之動亂運動，幾乎無法以數學函數表示其運動狀況，然如加以剖析，此不規則之動亂波動實可認爲由各種不同波高 ( Wave Height )，週期 ( Wave Period ) 及位相 ( Phase ) 之規則波浪重疊而成，可藉統計方法處理尋找出一特性波代表之，此種規則波浪 ( Regular Wave ) 係由古典流體動力學中基於水爲無粘滯性 ( Non - Viscosity )，非壓縮性 ( Incompressible Fluid ) 之均質理想流體假設下推導出之二元運動，此種波浪運動遠由十八世紀之 Laplace 展開迄今已發展出一完整系列且符合實際波形之各種波浪理論——即由深海波浪及由於淺化 ( Shoaling ) 後之淺海波浪適用理論，當然本文未能作深入之理論探討，僅將波浪之定義，分類及各種波浪理論之適用範圍作一般性之介紹，讀者若對於各種波浪理論有興趣時儘可參考流體力學或有關之論文。

### 1.3 波浪之定義：

設有一水面作週期性之起伏運動，而以  $C_w$  之速度向某一正方向（此處之  $x$  軸之正向示之）傳遞時，吾人稱  $C_w$  為波速（Phase Velocity）。此時起伏運動之二相鄰波峯（Wave Crest）或相鄰之波谷（Wave Trough）距離稱之為波長（Wave Length），而波峯至平均水位之距離為振幅  $a$ （Amplitude），波峯至波谷之距離稱之為波高  $H$ （Wave Height），至於某一固定點反覆出現同一之水面變化所需時間即為週期  $T$ （Wave Period）。各種定義名稱如圖 1.1 示之

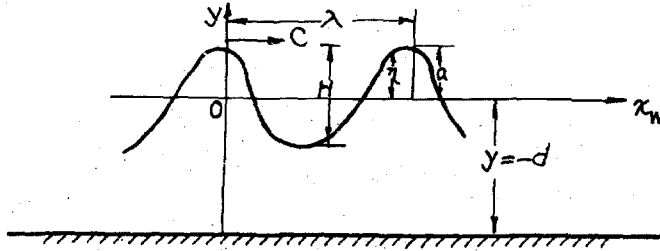


圖 1.1

於波浪進行中某一點位之水位變化量  $\eta$  可以下式表示即：

$$\eta = f(x - c_w t) \quad (1.1)$$

此種波浪稱之為進行波，反之  $\eta = f(x + c_w t)$  表示波浪向  $x$  之負方向進行之波形稱為後退波，假設波浪為正弦進行波表示時則

$$\eta = \frac{H}{2} \sin(kx - \sigma t + \varepsilon) \quad (1.2)$$

上式中之  $\varepsilon$  為位相角（Phase Angular）， $\sigma$  為角速度（Angular Velocity）， $k$  為週波數（Wave Number），由於波速  $C = \sigma/k = L/T$ ，且波長  $\lambda = 2\pi/k$ ，週期  $T = 2\pi/\sigma$ ，將上式之參數代入（1.2）式中則波形又可表示如下式：

$$\eta = \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x_w - c_w t) = a \sin \left( \frac{2\pi}{\lambda} x_w - \omega t \right) \quad (1.3)$$

### 2.3 波浪之分類：

海洋中之波浪由深海傳播至淺海期間，由於海底地形之變化，波浪之減衰等等因素，各種條件下之適用波浪之理論亦有所不同，因之波浪依其理論假設之不同可分為：

(a) 微小振幅波（Small Amplitude Waves）：此係假定波動與波長水深相對比甚為微小，同時流速二次方極微小可以省略，如此則波動方程式可簡化為線性微分方程式，故

微小振幅波又稱為線性型波動理論，或稱為 Airy 波動理論。

(b)有限振幅波 ( Finite Amplitude Waves )：此理論假定波高及流速均為有限量，則  $H/d$  與  $u \frac{\partial u}{\partial x}$  項不可忽略時則此運動方程式為非線性，故又稱為非線性波動理論，而此理論又因各學者基於數學處理方法之不同而分為二種：一為 Gerstner, Gaillard 導證之渦動餘擺波 ( Trochoidal Waves ) 理論，另為 Stokes, Struik 導出之無渦動波，通常稱為 Stokes 波，此外在波動傳至更淺之海岸地區時，由於波形之漸次改變故又另有橢圓函數波 ( Cnoidal Waves ) 及孤立波 ( Solitary Waves ) 之理論，有關之理論假設十分之繁雜，非在此能詳述之。

再者波浪若以水深  $d$  與波長  $\lambda$  相對比  $d/\lambda$  分類時則可分為：

(a)深水波 ( Deep Water Waves )：即  $d/\lambda \geq 1/2$ ，於此之波浪其表面之波動很大，向下則急速減衰，而於底面附近趨於靜止，一般之海洋波浪即為如此，其水分子之運動可以下圖示之：

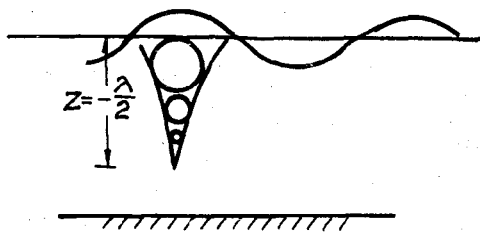


圖 1.2 深水波  $d/\lambda \geq 1/2$

(b)中間性波 ( Intermediate Depth Water Waves )：其相對水深為  $1/2 \geq d/\lambda \geq 1/20$ ，此係介於深水波與淺水波之間，又稱為表面淺水波 ( Surface Shallow Water Waves )，水分子之運動軌跡如下所示：

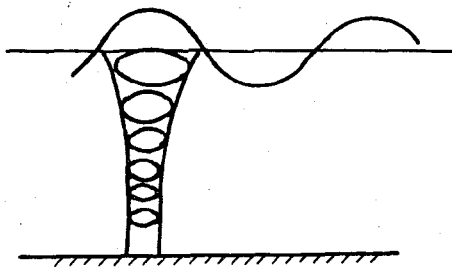


圖 1.3 中間性波  $1/2 \geq d/\lambda \geq 1/20$

(c)淺水波 ( Shallow Water Waves )：係  $d/\lambda \leq 1/20$ ，又稱之為長波 ( Long Waves )，波動自表面至底面近乎相等，一般海岸附近之波浪或潮汐即屬此類。

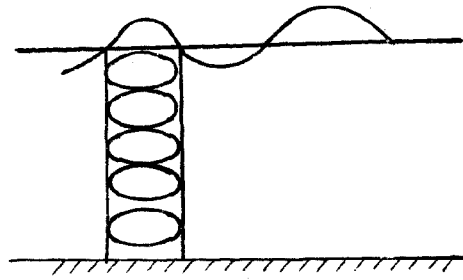


圖1.4 淺水波  $d/\lambda \leq \frac{1}{20}$

綜合言之：即將實際海洋底面水深  $d$ ，波高  $H$ ，波長  $L$  為條件，各種波浪理論適用界限作一分類圖，則吾人可以  $d/\lambda$  及  $H/\lambda$  或  $H/d$  為參數以判斷從事波浪計算之依歸，如圖 1.5 所示。

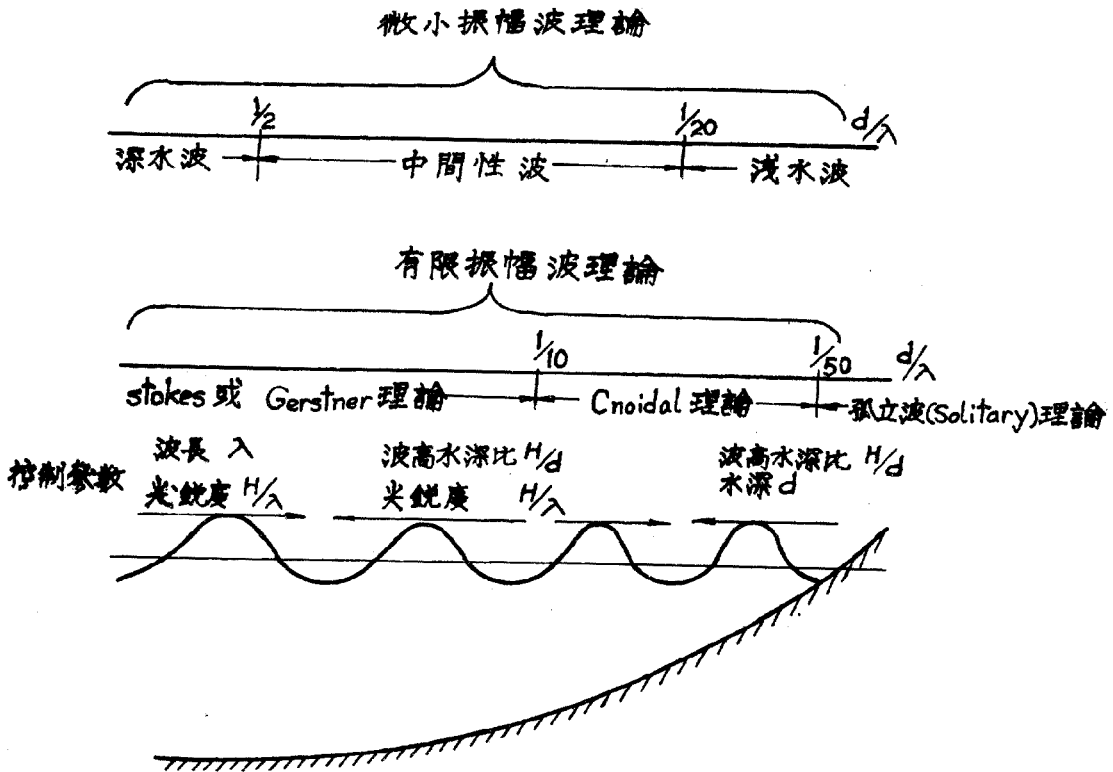


圖 1.5 各種波浪理論適用範圍及重要控制參數

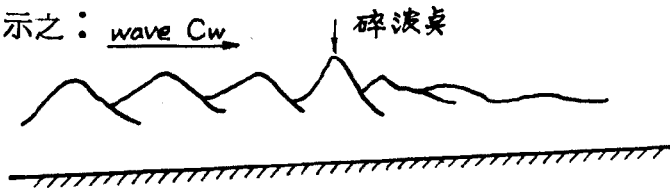
### 3. 碎波 ( Breaking Waves ) 及船在碎波中之運動

船舶行駛於海上時除因船體之自然週期 ( Natural Period ) 與波浪週期產生共振現象 ( Resonance ) 而引起船體極端之搖動甚或破壞之外，對於波浪碎波之受力以及在碎波帶之行駛控制尤應謹慎以免船體遭受損壞或由於穩度不夠而傾覆，因之本節特將碎波現象，

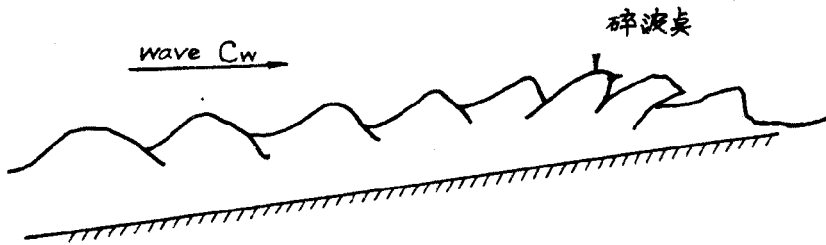


碎波特性以及碎波帶之正確控制船體之行駛作一詳細之解說。

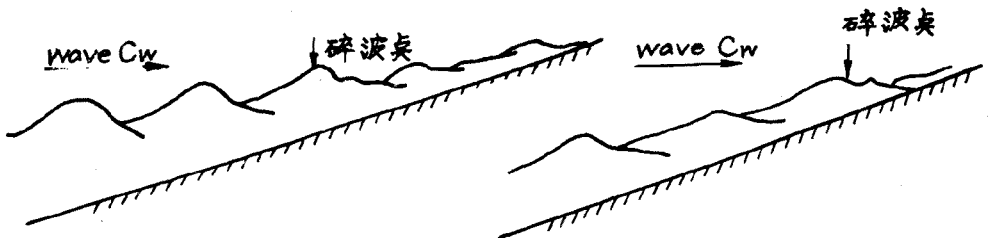
波浪於深海進行接近淺海海岸時由於淺化 (Shoaling) 之影響，波高漸次增大而波長變短，波峯陡峻而波谷平坦，因之波浪能量集中於波峯處，此種現象越近海岸時波形變化愈形顯著而波峯角愈小終因無法保持波峯之安定而崩潰，且由於波峯之昇高水分子流速加快，而水深之減少却使波速減少以致於水分子流速超過波速，波峯向前傾捲入空氣混入水中變為白色之波浪是謂碎波 (Breaking Wave)，波浪開始碎波之處稱為碎波點，該點之水深稱為碎波水深  $d_b$ ，此時之波高稱為碎波波高  $H_b$ ，碎波時約有 60% 之能量逸出對於地形變化，海中結構物，沿岸深沙影響至為深切。碎波由於海底地形之坡度底面迴流流速之強弱以及入射之波形不同可分為三種形式即溢出型 (Spilling Type)，捲入型 (Plunging Type) 及崩潰型 (Collapsing Type)，及洶湧型 (Surging Type) 四種，其碎波形狀可以下圖示之：



溢出型 (Spilling) 通常出現於海底十分平坦之海岸且初期尖銳度  $H/\lambda$  大的波浪溢出型較多



捲入型 (Plunging) 通常出現於海底稍陡之海岸且尖銳度  $H/\lambda$  較小之波浪



崩潰型 (Collapsing) 及洶湧型 (Surging) 出現於海底至為陡峻且波浪尖銳度小之海岸

圖 1.6 碎波型式

若以海底坡度 ( Beach Slope ) 以及波浪尖銳度  $H/\lambda$  為參數以分類四種碎波型式則可得如圖 1.7 所示：

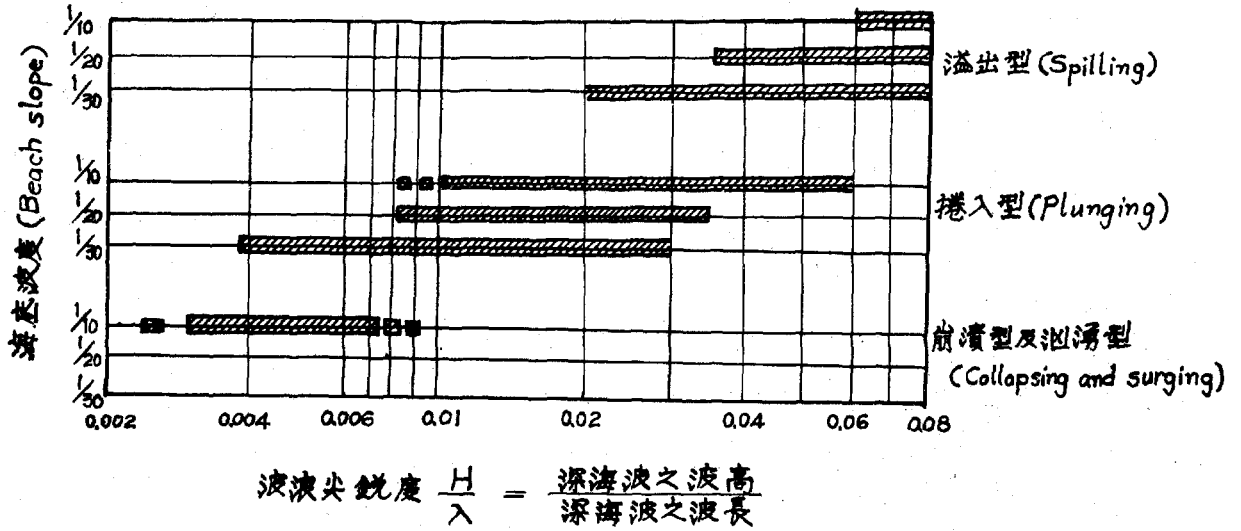
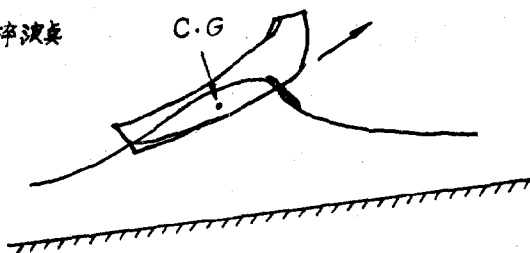


圖 1.7 海底坡度及波浪尖銳度分類下之碎波型式

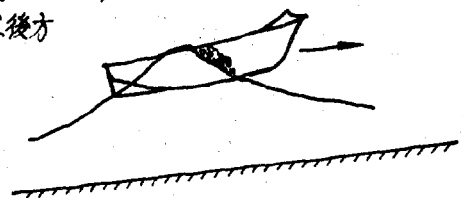
對於碎波現象、特性及各種碎波條件有所了解之後，小型船舶行駛於碎波帶附近時對於船體之控制尤需小心謹慎以避免船體翻覆或碰撞底面之損壞，對於各種型式之漁船 Zimmer, Gurtner 及 Ziener 等人曾論及於碎波帶內船體行駛之安全設計，其一般之結論為：

- (1) 船體之重心位置需處於船尾處。
- (2) 船首處需有一較大之浮力。
- (3) 船體之吃水深度需淺。
- (4) 調轉船體儘可能使之垂直碎波。
- (5) 船體靠岸遇碎波時儘可能保持重心位置於碎波波頂之後，而離岸遇碎波時則需離碎波點有二個碎波間之距離而避免船身騎於碎波點上，有關現象茲以下圖示之：

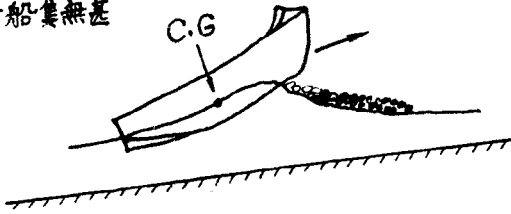
重心應位於碎波與波峯後方



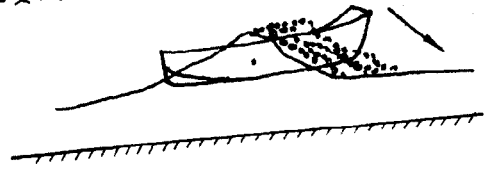
重心位於碎波與波峯後方



碎波對船隻無甚  
影響

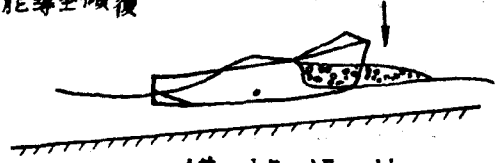
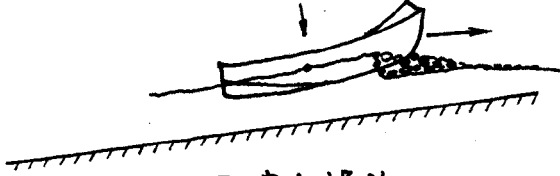


船隻被碎波捲入



C.G.

可能導致傾覆



正確之操作

錯誤操作

圖1.8 船體靠岸遇碎波時之正確與錯誤之操作選擇

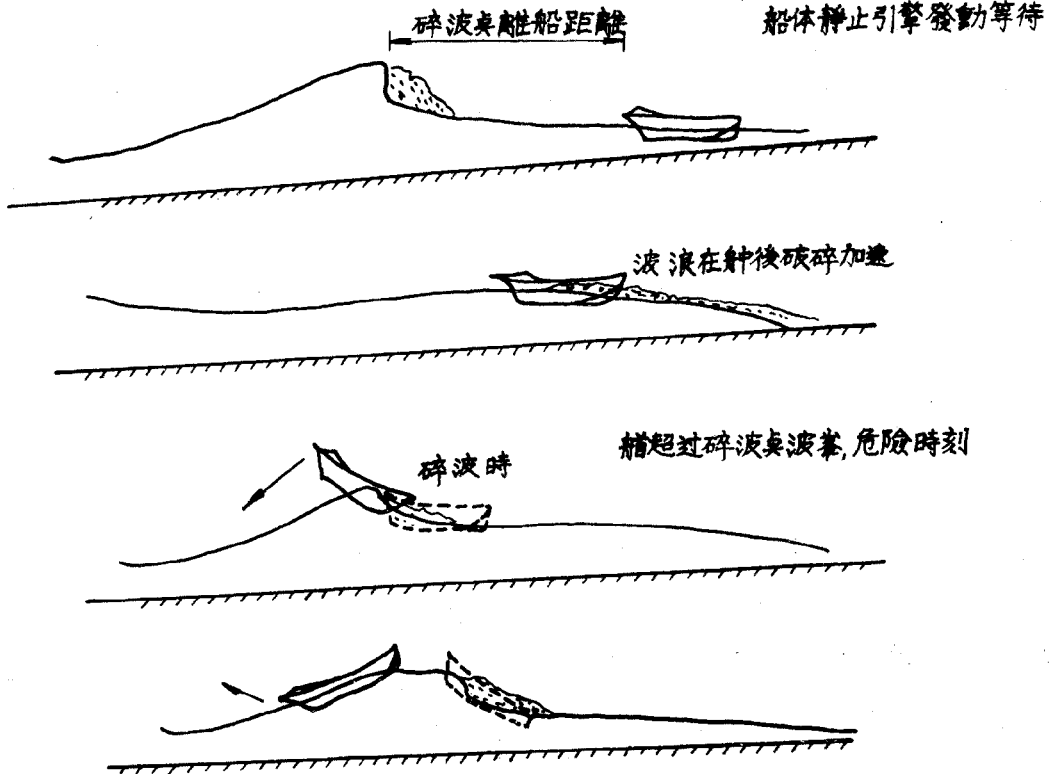


圖1.9 船體離岸遇連續碎波時之操作方法

#### 1.4 季節風浪之概述

風吹海面因能量產生授受而引起波動，而台灣因冬天受東北季風，夏季受東南季風之長時間吹刮因之季節風浪對於船體運動之影響不可謂之不深，尤以小型漁船為甚。通常風速愈大，吹風距離（Fetch）愈長，吹風歷時（Duration）愈久所形成之波高及週期愈大。且

當波浪處於風力作用之下自風力接受能量超過底層摩擦 ( Bottom Friction ) 或地形變化之能量損失時，則此波浪乃屬成長狀態中，然而波浪并非無限制地可自風力接受能量，而於一定風力下接受之能量與損失之能量達到平衡狀態時波浪即不再成長，此謂之飽和成熟波 ( Fully Arisen Waves )。再者當波浪傳播至無風力或微風力帶之後，由於能量無法繼續供應，能量因速度分散或因空氣阻力及粘滯性摩擦逐使波浪漸次減衰，是謂之湧浪 ( Swell )，至於季節風浪對於小型漁船操作運動之影響乃以成熟波為主要之對象。是故本節乃側重討論風浪成長過程至成熟狀態為止。

推算風浪之成長各行各家自有不同之理論背景為依據，諸如 S.M.B. ( Sverdrup - Munk - Bretschneider ) 有義波法 ( Significant Wave Method )，P.N.J. ( Pierson - Neuman - Jame ) 之波譜法 ( Wave Spectrum Method )，Wilson 之移動風域法，Darbysher 法，Inoue 法及井島一湯等方法，其中以 S.M.B. 法用於推算海岸附近之波浪數為準確，且與實測值極為接近，而 P.N.J. 法用於風速較大者嫌大，且週期一般均較 S.M.B. 法推算之結果為短，故本節特別詳盡說明 S.M.B. 法之推算過程。

S.M.B. 法係以有義波高  $H^{1/3}$ ，及週期  $T^{1/3}$  表示推算之結果，當然影響  $H^{1/3}$ ， $T^{1/3}$  之因素乃包括風速  $U$ ，吹風距離  $F$ ，及吹風歷時  $t$ ，如以無因次 ( Non - Dimension ) 表示時則

$$\frac{gH^{1/3}}{U^2} = f_1 \left( \frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U} \right) \quad ( 1.3 )$$

$$\frac{gT^{1/3}}{2\pi U} = f_2 \left( \frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U} \right) \quad ( 1.4 )$$

風速愈強，吹風距離愈長，吹風歷時愈久所形成之風浪愈大，倘風速一定時，吹風距離愈長，歷時愈久其形成之風浪亦愈大如圖 1.10 所示，即風速  $U$  吹過靜止海面時，波浪由深海遠方風域  $F=0$  之  $0$  點起海面各點均有波浪形成且隨著風向之傳播距離增加，波浪愈發達，波高及週期隨之俱增，

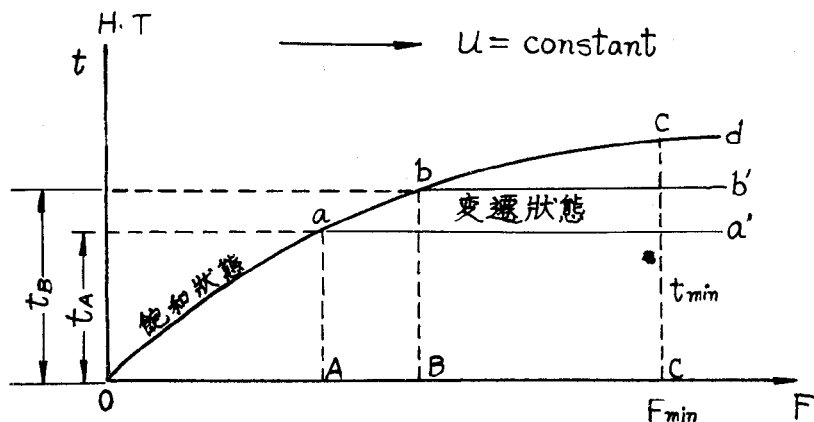


圖 1.10 風浪成長說明圖

設由 0 點出發之波浪傳播至 A 點時所需之時間為  $t_A$ ，此時 A 點之波高均較 0A 區域內任何一點出發傳播至此處之波浪為大，且此波浪通過 A 點之波高亦不可能再大於前者之波浪。換言之即吹風歷時  $t_A$  時之波高分佈如  $oaa'$  曲線之變化，但吹風歷時若為  $t_B$  時則 B 點之波浪尚在成長過程，需於吹風歷時到達  $t_b$  時波浪方達最大，波浪乃沿  $oabb'$  之變化，如此達到  $oabcd$  之變化則吹風歷時至  $t_{min}$  時即表示當  $t > t_{min}$  時波浪已達飽和成熟狀態而不再增大，故  $abcd$ ……曲線變化稱為定常狀態 ( Stationary State )，在此定常狀態風浪之波高，週期為風速與吹風距離之函數而與吹風歷時無關。換言之，即於風速一定時，定常狀態下之吹風距離愈長之波浪愈大，然而并非吹風距離無限長時風浪可無限地增大成長，相同地，當吹風之距離達到某一長度後波浪亦不再增大，即當  $cd$  成水平線時  $oc$  乃為有效之吹風距離  $F_{min}$ ，風域再大亦無補於風浪之成長此時之波浪稱為完全成熟波。由以上之說明可知當  $F < F_{min}$  時則波浪由吹風之距離控制之， $F > F_{min}$  時波浪則由吹風歷時控制，故雖然影響風浪之因素有三，但應由風速及風域決定，或由風速與歷時決定，而由此二者預報之結果中選擇較小之一組行之。Syerdrup - Munk 基於以上之理論推演及實測結果做出風域圖 ( Fetch Graph ) 再經由 Bretschneider 之補充修正始成為近代實用之有義波法，即 S.M.B. 推算法。

對於台灣附近季節風浪之推算，可由中央氣象局之風速風向逐時記錄中算出吹風歷時與記錄風速及吹風距離與風速應用 S.M.B. 之風浪預報曲線圖查出波浪狀態，而選其較小之一組為結果，如此則小型漁船於航海操作時即可由推算結果明瞭某月份之季節風其波向及推算之波高，週期以利航渡之參考。

# 第二章 船在波浪中之運動解析 及其臨界航向與船速

## 2.1 簡介

船在波浪中作一六自由度之運動，在各方向之運動且相互干擾，構成一極複雜之動力問題，一般情況下均無法求得其解，因此欲清楚明瞭船在波浪中之運動特性，必須先假設各方向之運動獨立互不干擾。如此可分別深入瞭解在各方向之特性，例如在各方向的共振頻率，船行進與波浪夾角對穩定性之影響。在各方向之加速度是否超過容忍限度，進而求出防治及解決之道。東港漁船頻頻發生海難事件，生命財產損失無數，因此對深入瞭解船在波浪中之運動特性乃為當務之急。

## 2.2 座標系統及符號意義

a. 在分析時我們取如圖 2.1, 2.2 的座標系統

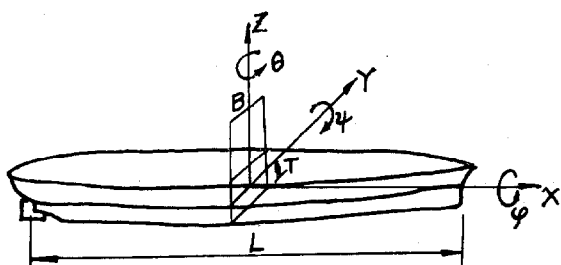


圖 2.1

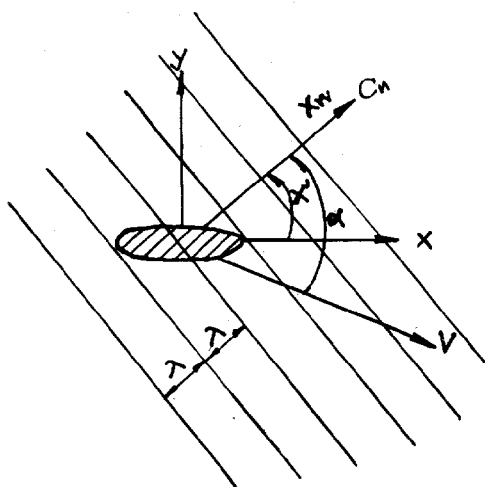


圖 2.2

b. 符號意義：

$x, y, z$ ：在各運動方向之線位移量。

$\varphi, \psi, \theta$ ：分別為橫搖、縱搖、平擺之角位移量。

$L$ ：船長

$B$ ：船寬

$T$ ：吃水

▽：排水體積

$C_b$ ： $\frac{\nabla}{LBT}$  方塊係數

$C_w$ ： $\frac{2}{LB} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} f_w(x) dx$  水面係數

$C_m$ ： $\frac{2}{BT} \int_{-r}^0 f(z) dz$  中剖面係數

$y = f_w(x)$ ，表各水面方程式

$y = f(z)$ ，表中剖面方程式

$\lambda$ ：波長

$C_w$ ：波速

$\alpha$ ：船速與波前進方向夾角

$\omega$ ： $2\pi/\lambda (C_w - u \cos \alpha)$  波之視頻率 ( encounter frequency )

$H$ ：波高

$a$ ：振幅

$\eta$ ：自由液面方程式

$\xi$ ： $\omega^2 B/2g$ ，無因次頻率

$F_r$ ：佛勞數 ( Froude number )

### 2.3 一自由度之運動方程式

船體在波浪中運動，受有惰力、阻尼力、恢復力、激動力，其起伏、縱搖、橫搖等方向之運動情況可模擬如圖 2.3，其運動方程式為

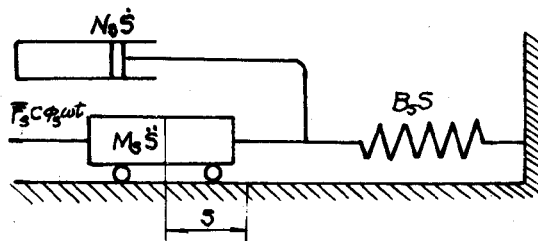


圖 2.3

$$M_s \ddot{S} + N_s \dot{S} + B_s S = \overline{F}_s \cos \omega t \quad (2.1)$$

(2.1) 式中， $M_s \ddot{S}$  惰力

$N_s \dot{S}$  阻壓力

$B_s S$  恢復力

$\bar{F}_s \cos \omega t$  激動力

因  $M_s, N_s, B_s$  均非時間之函數，但為視頻率之函數，則 (2.1) 之解為

$$S = \bar{S} \cos(\omega t + \epsilon_s) \quad (2.2)$$

$$\bar{S} = \frac{B_s}{\sqrt{(B_s - M_s \omega^2)^2 + N_s^2 \omega^2}} \cdot \frac{\bar{F}_s}{B_s} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_s(\omega) = \tan^{-1} \frac{N_s \omega}{M_s \omega^2 - B_s} \quad (2.4)$$

$$k = \frac{\omega}{\omega_s} \quad (2.5)$$

$$\nu = \sqrt{\frac{N_s^2}{B_s M_s}} \quad \text{無因次阻尼係數} \quad (2.6)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{(1 - k^2)^2 + \nu^2 k^2}} \frac{\bar{F}_s}{B_s} \quad (2.7)$$

$$\epsilon_s = \tan^{-1} \frac{\nu k}{k^2 - 1} \quad (2.8)$$

## 2.4 船與主波向夾一角度行進時之橫搖運動分析

### a. 統制方式

$$(I_{\varphi\varphi} + m_{\varphi\varphi}) \ddot{\varphi} + N_{\varphi\varphi} \dot{\varphi} + B_{\varphi\varphi} \varphi = F_{\varphi\varphi} \quad (2.9)$$

$I_{\varphi\varphi}$  : 橫搖之質量慣性矩

$m_{\varphi\varphi}$  : 橫搖之增質量慣性矩

(i)  $m_{\varphi\varphi}$  之決定

$$\text{由狹長體理論} \quad m_{\varphi\varphi} = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} m'_{\varphi\varphi} dx \quad (2.10)$$

$$\text{又 } m_{\varphi\varphi} = C_{\varphi} \frac{\pi}{16} \rho \left(\frac{b}{2}\right)^2 \quad (2.11)$$

$m_{\varphi\varphi}$  : 單位長度剖面之增質量慣性矩

$b$  : 水線半寬

$C_{\varphi}$  : 為頻率,  $B/2T$  及  $C_m$  之函數。



(ii)  $N_{\varphi\varphi}$  之決定

$$N_{\varphi\varphi} = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} N_{\varphi\varphi}' dx \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} N_{\varphi\varphi}' &= \frac{\rho g^2}{\omega^3} \left(\frac{B}{2}\right)^2 \left(\frac{a}{B/2 \bar{\varphi}}\right)^2 \\ &= \frac{\rho g^2}{\omega^2} \left(\frac{B}{2}\right)^2 \bar{A}_{\varphi}^2 \end{aligned} \quad (2.13)$$

$\bar{A}_{\varphi}$  為頻率之函數， $\bar{A}_{\varphi} = d_{\varphi} \cdot \xi_B^2$  (2.14)

$d_{\varphi}$  之值如圖 2.4 所示

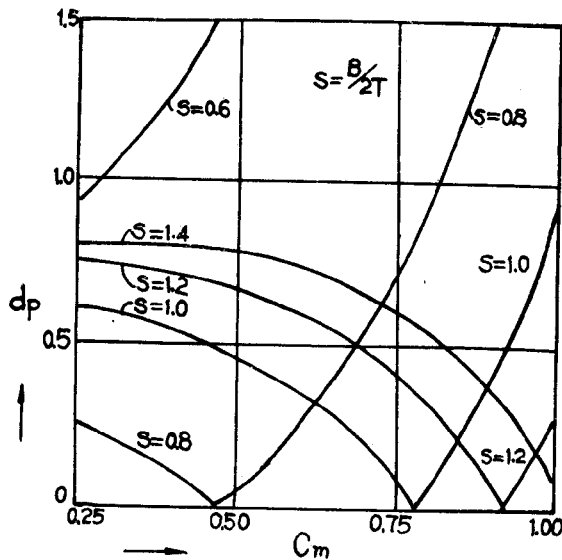


圖 2.4

(iii)  $B_{\varphi\varphi}$  之決定

$$B_{\varphi\varphi} = \rho g \varphi \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{f^3(x) dx}{12} = \rho g \varphi J_z$$

$J_z = \nabla \cdot \overline{BM}$        $\overline{BM}$ : 浮力中心至定傾中心高

$$B_{\varphi\varphi} = \rho g \nabla \cdot \overline{BM} \quad (2.15)$$

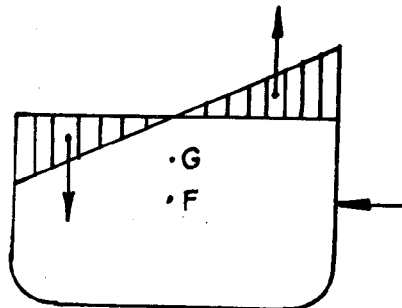


圖 2.5

(iv) 決定波浪力係數  $F_{\varphi\varphi}$

若不考慮波浪與船之干擾作用，則波浪力可分為兩部份

(a) 由波浪使得浮力分佈不同所造成之力矩如圖 2.5 所示之三角形部分

(b) 由於波浪所造成之側向力對  $G$  所生之力矩，如圖 2.5 所示。

今假設一正弦波則其自由液面方程式為

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x_w - \omega t\right) \\ &= a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x_w - \omega t\right) \\ &= a \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x \cos\alpha - y \sin\alpha) - \omega t\right]\end{aligned}\quad (2.16)$$

對每一剖面均考慮其  $y=0$

$$\eta = a \sin\left(2\pi x / \lambda \cos\alpha - \omega t\right) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = -2\pi / \lambda a \sin\alpha \cos\left[\frac{2\pi x}{\lambda \cos\alpha} - \omega t\right] \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial x_w} = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi x_w}{\lambda} - \omega t\right) \quad (2.19)$$

$$\phi = a c_w \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos\left(\frac{2\pi x_w}{\lambda} - \omega t\right) \quad (2.20)$$

$$u = \frac{-\partial \phi}{\partial x_w} = \frac{2\pi a c_w}{\lambda} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \sin\left(\frac{2\pi x_w}{\lambda} - \omega t\right) \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{4\pi^2 a c_w^2}{\lambda^2} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \cos\left(\frac{2\pi x_w}{\lambda} - \omega t\right) \quad (2.22)$$

若不考慮水深之影響

$$u = \frac{2\pi a c_w}{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} \cos\alpha - \omega t\right) \quad (2.23)$$

$$u = \frac{4\pi^2 a c_w^2}{\lambda} \cos\left(\frac{2\pi x \cos\alpha}{\lambda} - \omega t\right) \quad (2.24)$$

$$\begin{aligned}
 \text{則 } F_{\varphi\varphi} &= \rho g \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \frac{\left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) f_w(x) \cdot f_w(x)}{2} \cdot \frac{4}{3} f_w(x) dx - \overline{FG} \rho g T \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} 2 \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) f_w(x) dx \\
 &= 2/3 \rho g \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) f_w^3(x) dx - \overline{FG} 2 \rho g T \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) f_w(x) dx \quad (2.25)
 \end{aligned}$$

(2.19) 代入 (2.25)

$$\begin{aligned}
 F_{\varphi\varphi} &= -2/3 \rho g \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \alpha \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} (x \cos \alpha - y \sin \alpha) - \omega t \right) f_w^3(x) dx \\
 &\quad + \overline{FG} 2 \rho g T \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \alpha \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} (x \cos \alpha - y \sin \alpha) - \omega t \right) f_w(x) dx \\
 &= \left[ -2/3 \rho g \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \alpha \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \cos \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} f_w^3(x) dx + \overline{FG} \cdot 2 \rho g T \right. \\
 &\quad \left. \frac{2\pi a \sin \alpha}{\lambda} \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \cos \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} f_w(x) dx \right] \dot{x} \cos \omega t \quad (2.26)
 \end{aligned}$$

$$\text{令 } F_{\varphi\varphi} = \overline{F}_{\varphi\varphi} \cos(\omega t + \varepsilon) \quad (2.27)$$

比較 (2.26) · (2.27)

$$\begin{aligned}
 \overline{F}_{\varphi\varphi} &= \left[ -2/3 \rho g \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \alpha \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \cos \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} f_w^3(x) dx + \overline{FG} 2 \rho g T \frac{2\pi a \sin \alpha}{\lambda} \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \right. \\
 &\quad \left. \cos \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} f_w(x) dx \right] \quad (2.28)
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon = 0^\circ$$

若考慮波浪粒子與船體相對運動對激動力之影響則 (2.26) 式等號右邊第二項應改寫

為

$$\begin{aligned}
 &\overline{FG} \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \left\{ 2 \rho g T \left( \frac{\partial \eta}{\partial y} f_w(x) \right) + N_{\varphi\varphi}(x) u \sin \alpha + \rho m_{vv} 2\pi h^2 \frac{\partial u}{\partial t} \sin \alpha \right\} dx \\
 &= \overline{FG} \left\{ \left( 2 \rho g T \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} \frac{2\pi a \sin \alpha}{\lambda} \cos \left( \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} \right) f_w(x) dx \right) \cos \omega t \right. \\
 &\quad \left. - \left( \frac{2\pi a c_w}{\lambda} \sin \alpha \int_{-\frac{\lambda}{2}}^{\frac{\lambda}{2}} N(x) \cos \left( \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} \right) dx \right) \sin \omega t + (2\pi h^2 \rho \sin \alpha \right.
 \end{aligned}$$

$$\frac{4\pi^2 a c_w^2}{\lambda} \int_{-L/2}^{L/2} m_{yy}(x) \cos \frac{2\pi x \cos \alpha}{\lambda} dx \cos \omega t \quad (2.29)$$

(2.29) 代入 (2.26)，可知考慮波浪粒子與船體相對運動之影響，其結果為改變激動力之振幅  $F_{\varphi\varphi}$  與相位角  $\varepsilon$ 。

將 (i) (ii) (iii) (iv) 所得之結果代入 (2.7) 式則可求得在任何時刻，船體在波浪中行進之橫搖角度。

$$\text{若令 } \omega_\varphi \text{ 為橫搖自然頻率則 } \omega_\varphi = \sqrt{\frac{B_{\varphi\varphi}}{I_{\varphi\varphi} + m_{\varphi\varphi}}}, T_\varphi = \frac{2\pi}{\omega_\varphi}, T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$k_1 = \frac{\pi^2 N_{\varphi\varphi}}{T_\varphi \cdot B_{\varphi\varphi}}, \text{ 且當 } t=0 \text{ 時 } \varphi = \varphi_0$$

$$\text{則其解為 } \varphi = \frac{\frac{\bar{F}_{\varphi\varphi}}{B_{\varphi\varphi}} \sin \alpha \sin(\omega t - \varepsilon^*)}{\left[ \left(1 - \frac{T_\varphi^2}{T^2}\right)^2 + \frac{4k_1^2 T_\varphi^2}{\pi^2 T^2} \right]^{1/2}} + z e^{-2k_1 t / \tau_\varphi} \sin \left[ \omega_\varphi t \left(1 - \frac{k_1^2}{\pi^2}\right)^{1/2} + \phi_1 \right]$$

(2.30)

## 2.5 以共振及波浪力作用觀點討論船行進與主波向所容許之夾角及臨界船速

(2.30) 之解  $\varphi$ ，在船之橫搖自然週期  $T_\varphi$  與水波之視週期  $T$  相同時將達一最大值，亦即在此時船之橫搖將最為劇烈，亦即所謂的共振情況，此外若波之視週期與起伏，縱搖之自然週期相同，亦將引嚴重之起伏，縱搖運動，產生甲板浸水及拍底現象，因此船在波浪中行進時，應避免視週期與各種自然週期一致。

船在波浪中行進其視週期與波長、船速、波速、船行進方向與波之夾角有關，其關係為

$$T = \frac{\lambda}{C_w - V \cos \alpha}$$

共振時  $T^* = T$

$$\text{即 } T^* = \frac{\lambda}{C_w - V \cos \alpha}, T^* \text{ 為起伏縱搖或橫搖之自然週期。}$$

$T_\varphi, \lambda, C_w, V \cos \alpha$  之關係如圖 2.6 所示，由圖斜線部份我們可看出在某一自然週期和波長、波速下所應避免之船速及行進角度，以及自然週期較短則可能發生共振之機率亦較大。

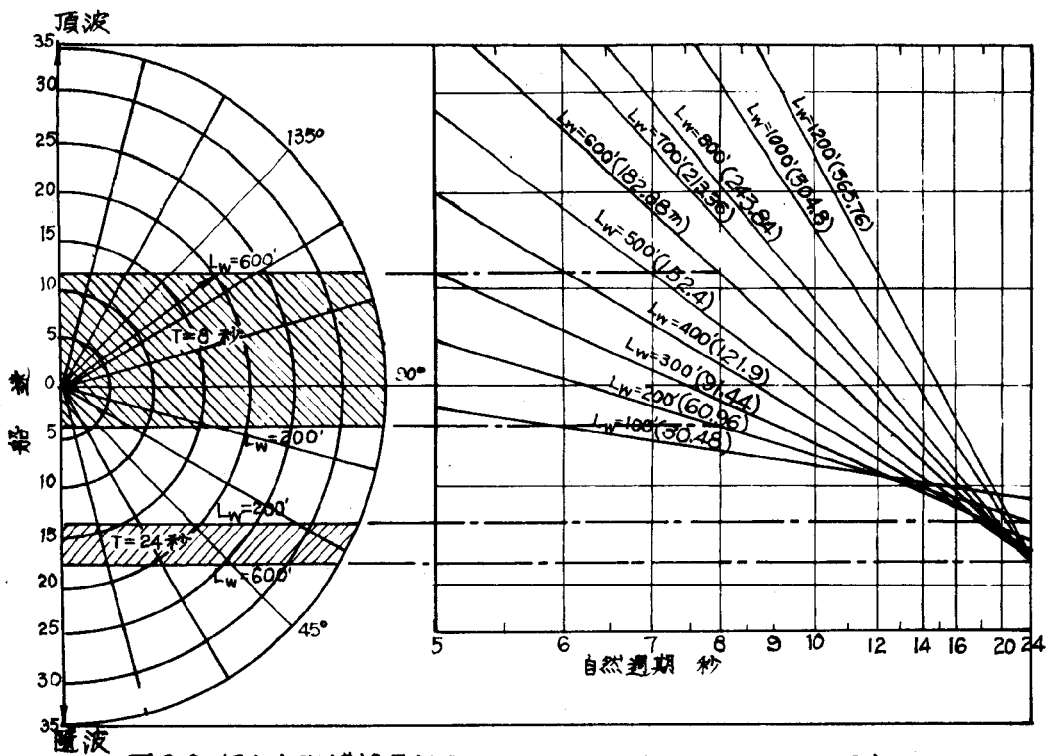


圖 2.6 船之自然橫搖週期為 8 秒及 24 秒，在波長 200 至 600 呎間產生共振之航向與航速區間。

除共振影響外，船在某些波長下遭受甚大之波浪力，因此船宜儘量避免行駛於臨界區。臨界區之定義為 (i) 自然週期與波之視週期相近或相等之區域 (ii) 波浪對船體作用甚大之力或力矩之區域，影響 (i) 之變數為  $\Lambda$ ，即自然週期與視週期的比，影響 (ii) 之變化為  $\lambda/L$ 。

在起伏及縱搖運動中基於 (i) 之考慮，若  $1.25 > \Lambda > 0.75$  (a) 則謂處在臨界範圍，又因  $0.8 > \lambda/L$  時則船隻即受之波浪力甚小故  $\lambda/L$  處於臨界區之範圍為  $\lambda m/L > \lambda/L > 0.8$  (b)  $\lambda m$  為紐曼波譜 (Neumann spectrum) 之波長，在此波長上僅有 5% 之波譜總能量。

波之無因次視週期可表為  $T = \Lambda \frac{\lambda/L}{\sqrt{\frac{\lambda}{2\pi L} \pm Fr}}$  經由此式則 (a)(b) 可改變成對船速航向與波浪

夾角及船隻自然週期之限制。同時考慮 (a)(b) 兩式可決定起伏及縱搖運動之臨界範圍如圖 2.7 所示，對於所有船舶  $\lambda/L = 0.8$ ， $\Lambda = 0.75$  所代表之曲線為臨界區之下界，在此曲線下方為次臨界區 (Subcritical zone)，在此區域船舶不受波浪太大影響，船隻航行時應儘量避免處於臨界區，以免發生意外。由圖 2.7 可看出船隨波 (following sea) 而行較頂波 (head sea) 而行之次臨界區為大，因此在船隨波而行時甚少產生起伏與縱搖運動，臨界區之上界則可由圖 (2.8) 求得。例如在船長 150 m，蒲福 (Beaufort) 風七級則上界在  $\lambda m/L = 2.75$ ， $\Lambda = 1.5$  處。船長增加或風力減少均可減少其臨界區域。故船在波浪中行進

船由臨界區變至超臨界區如此亦將產生有利之結果，但普通船均不可能達到此種情況。因此一般情況下我們希望船隻有較小之縱搖質量慣性矩。

橫搖之臨界區則如圖 2.9 所示，圖中顯示在某一特定速度  $F$  下，臨界視週期為船隻與波浪之夾角  $\alpha$  及波長  $\lambda$  之函數。由上節可知，橫搖之自然週期愈小，則可能產生共振之機率亦愈大，即可能產生共振之  $\alpha$  角度範圍愈大，因此如果情況允許我們將盡量選取較大之橫搖週期。亦就是說盡量使船在超臨界區範圍，此與縱搖，起伏運動不同，因為船速欲達橫搖之超臨界區並無困難。

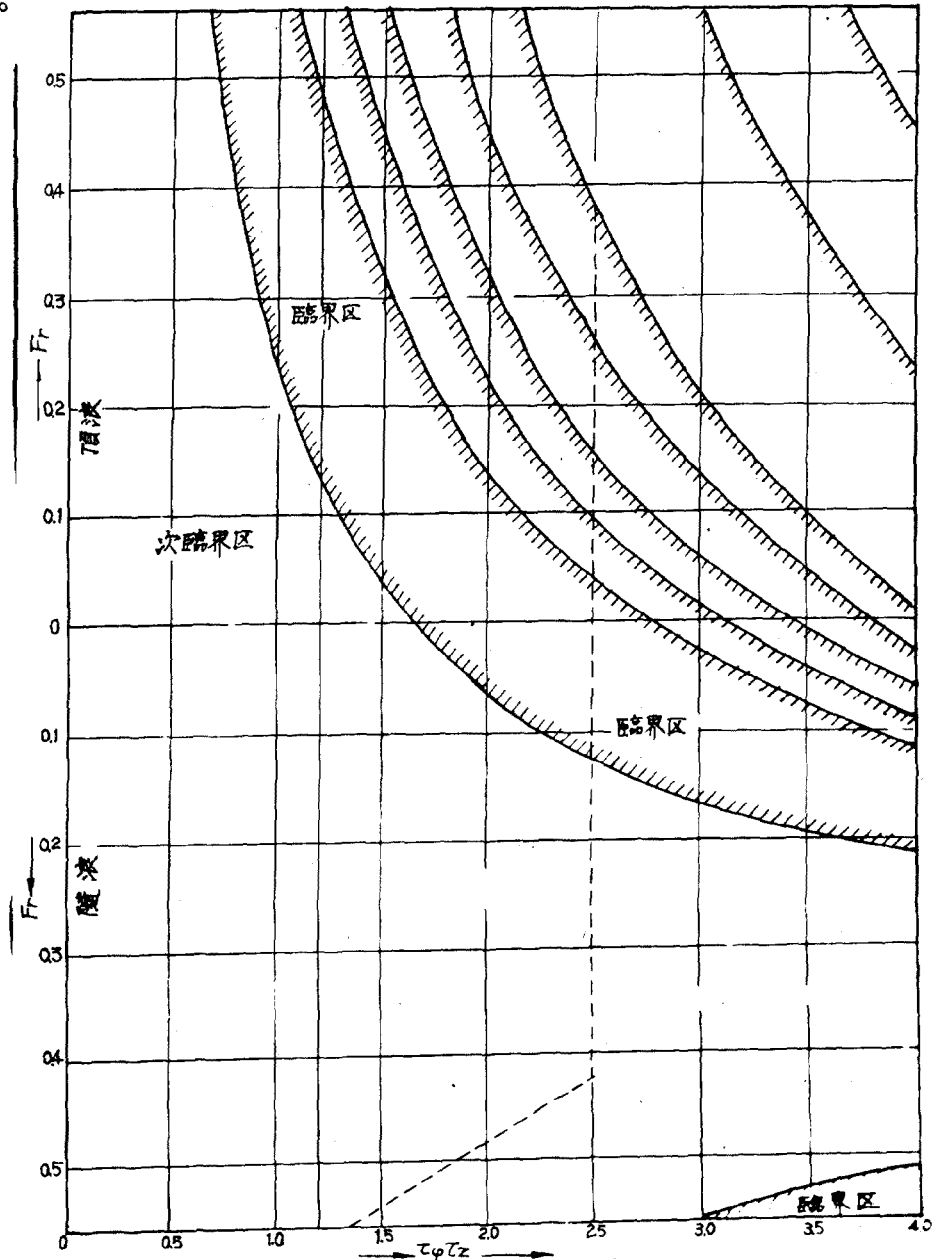


圖 2.7

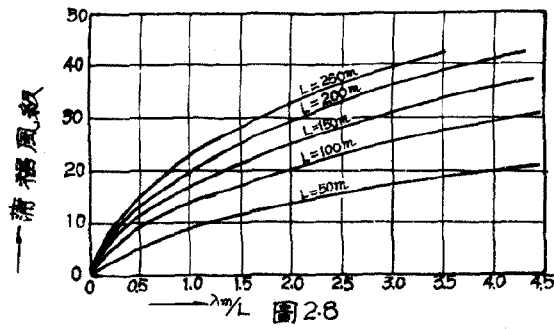


圖 2.8

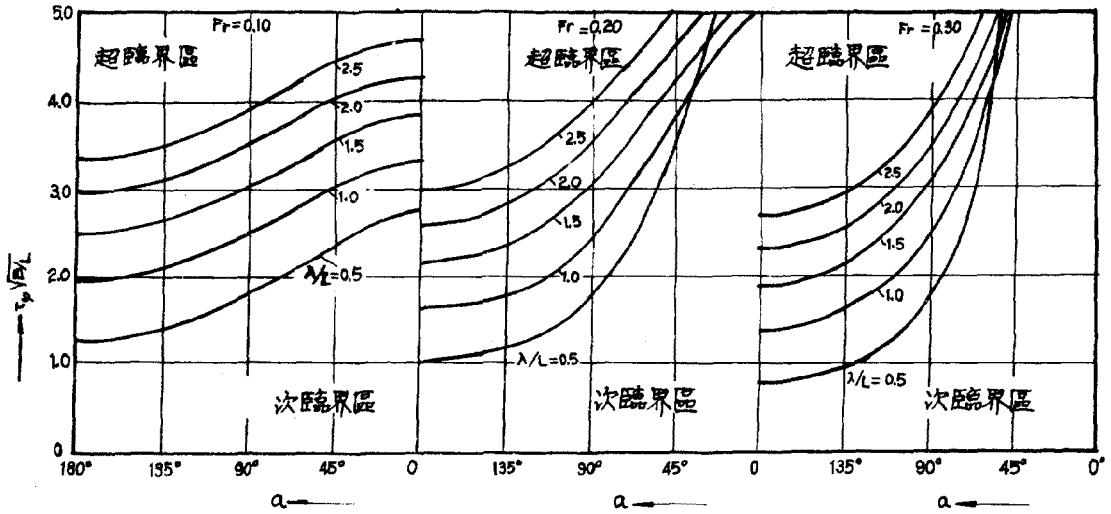


圖 2.9 橫搖之臨界區

## 2.7 各運動量間之相互影響

上節我們假設各方向之運動各自獨立，不互相影響而探討各個方向之運動特性。在大多數情況下均不致產生太大的誤差，然而在某些特定情況下此種影響不能忽略，否則有些現象無法解釋，或者由原獨立方程式所求出之解與事實相去過遠。以下我們將探討由迴轉力矩，淨水壓力及水動力分別所造成之影響。

### 2.7.1 由迴轉力矩所造成之影響

船舶可視為一繞  $x$ ， $y$ ， $z$  軸轉動之迴轉體，則當船受到外力，對一軸產生力矩時，將使船體繞著與該軸正交的另一軸產生一角速度，此乃為在剛體動力學中所討論之進動現象。

假設在圖 1 中之座標通過船之主軸，則經由迴轉力矩所造成之影響，可由以歐烈運動方程來說明。

歐烈運動方程：

$$\rho \nabla \cdot (\ddot{x} + \dot{\phi} \dot{y} - \dot{r} \dot{y}) = F_{xx}$$

$$\rho \nabla \cdot (\ddot{y} + \dot{r} \dot{x} - \dot{\phi} \dot{z}) = F_{yy}$$

$$\rho \nabla \cdot (\ddot{z} + \dot{\phi} \dot{y} - \dot{\phi} \dot{x}) = F_{zz}$$

( 2.21 )

$$I_{\varphi\varphi} \ddot{\varphi} - (I_{\varphi\psi} - I_{rr}) \dot{\psi} \dot{\varphi} = F_{\varphi\varphi}$$

$$I_{\varphi\psi} \cdot \dot{\varphi} - (I_{rr} - I_{\varphi\varphi}) \dot{\varphi} \dot{\psi} = F_{\varphi\psi}$$

$$I_{rr} \cdot \ddot{r} - (I_{\varphi\varphi} - I_{\psi\psi}) \dot{\varphi} \dot{\psi} = F_{rr}$$

上列方程式中， $I_{\varphi\varphi}$ ， $I_{\varphi\psi}$ ， $I_{rr}$  分別代表船體在  $x$  軸， $y$  軸和  $z$  軸之質量慣性矩。方程式右邊則為在各個方向之激勵力。又假設船體在真空中則阻尼力與恢復力可不予考慮，如此考慮的目的可使得迴轉力矩所扮演的角色一目瞭然，又在上列轉動方程式左邊第二項中  $I_{\varphi\psi}$  與  $I_{rr}$  近乎相等而遠較  $I_{\varphi\varphi}$  為大，此項我們在上節中不曾列入討論。

上列方程式中的平擺運動方程式，Suyehiro 用以解釋船在靜止或速度甚低時，船身有與波浪保持平行的怪異趨勢。

由平擺運動方程：

$$I_{rr} \ddot{r} = -I_{\varphi\psi} \dot{\varphi} \dot{\psi} + F_{rr}$$

上式表示平擺運動與縱搖，橫搖運動有關，當假設船身與波浪夾角  $\alpha$  在九十度與零度之間。

則：

$$I_{rr} \ddot{r} = C f_{\varphi\varphi} f_{\psi\psi} \cos(\varepsilon_{\varphi r \varphi} - \varepsilon_{\psi r \psi}) + P_{rr} \quad (2.32)$$

式中  $C$ ：與環動半徑，波長，波高有關而大於零之常數。

$f_{\varphi\varphi}$ ：無因次之橫搖力矩係數

$f_{\psi\psi}$ ：無因次之縱搖力矩係數

$\varepsilon_{\varphi r \varphi}$ ：橫搖角位移與橫搖力矩之相位差

$\varepsilon_{\psi r \psi}$ ：縱搖角位移與縱搖力矩之相位差

$P_{rr}$ ：頻率為  $\omega$  而與時間有關之變數

上式中等號右邊第一項為與時間無關之常數，亦就是說一與時間無關之平擺力矩，此項將經常給船體在  $z$  方向一力矩，使船往某一固定方向旋轉。

	$T > T_{\varphi} > T_{\psi}$	$T = T_{\varphi} > T_{\psi}$	$T_{\varphi} > T > T_{\psi}$	$T_{\varphi} > T_{\psi} = T$	$T_{\varphi} > T_{\psi} > T$
$f_{\varphi\varphi}$	+	+	+	+	+
$f_{\psi\psi}$	+	+	+	+	+
$\varepsilon_{\varphi r \varphi}$	$0^{\circ}$	$-90^{\circ}$	$-140^{\circ}$	$-170^{\circ}$	$-180^{\circ}$
$\varepsilon_{\psi r \psi}$	$0^{\circ}$	$-10^{\circ}$	$-30^{\circ}$	$-90^{\circ}$	$-180^{\circ}$
$\cos(\varepsilon_{\varphi r \varphi} - \varepsilon_{\psi r \psi})$	+	+	-	+	+
$f_{\varphi\varphi} f_{\psi\psi} \cos(\varepsilon_{\varphi r \varphi} - \varepsilon_{\psi r \psi})$	+	+	-	+	+



上表中  $T$  為波之週期， $T_\phi$  與  $T_\psi$  分別代表船之橫搖與縱搖自然週期。在長波中即  $T > T_\phi$ ，或短波中即  $T_\phi > T$  時，有一大於零之平擺力矩作用在船體，使得船身有與波前進方向垂直之趨勢。當  $T_\phi > T > T_\psi$  時， $f_{\phi\phi} f_{\psi\psi} \cos(\epsilon_{\phi\psi} - \epsilon_{\psi\phi})$  呈現負值，即有一負的平擺力矩作用在船體，使得船有與波平行的趨勢。若船與波前進方向不在 90 度與 0 度間，仍然可獲得相同的結果。

在船隻前進時以上所討論的力矩效應仍然存在，在操舵的情況下，此力矩將被抵消，使得船以某一偏航角前進。與我們在船上使用橫搖迴轉穩定裝置時的情況一樣。

### 2.7.2 由水靜力所造成之影響

在大多數前後不對稱的船隻，由於靜水壓力的作用使得縱搖與起伏運動相互影響。若船下沉一距離  $z$ ，則除了一向上力  $b_z$  外尚有一縱搖力矩  $b_{z\phi}$  作用到船體。

$$b_{z\phi} = 2\rho g z \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} x f_w(x) dx = \rho g z C_w L B x_w$$

$x_w$  為水面中心至浮心的水平距離

$$B_{z\phi} = \frac{b_{z\phi}}{z} = \rho g C_w L B x_w$$

同理在前後不對稱的船隻，繞  $y$  軸縱搖一角度  $\psi$ ，則除力矩  $b_{\phi\psi}$  外尚有一在  $z$  方向之力  $b_{\phi z}$  作用在船體。

$$b_{\phi z} = 2\rho g \psi \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} x f_w(x) dx = \rho g \psi C_w L B x_w$$

$$B_{\phi z} = \rho g C_w L B x_w$$

$$B_{z\phi} = B_{\phi z}$$

據以上所論，起伏與縱搖之運動方程式可寫為

$$M_{zz} \ddot{Z} + N_{zz} \dot{Z} + B_{zz} Z + B_{z\phi} \phi = F_{zz} \quad (2.33)$$

$$M_{\phi\phi} \ddot{\phi} + N_{\phi\phi} \dot{\phi} + B_{\phi\phi} \phi + B_{z\phi} Z = F_{\phi\phi}$$

上二式為一兩自由度的振動聯立方程式，若在起伏與縱搖各自獨立的情況其自然振動頻率分別為  $\omega_z$ ， $\omega_\phi$ ，則上述振動聯立方程式為下述方程式之解

$$\omega^4 - \omega^2 (\omega_z^2 + \omega_\phi^2) + \omega_z^2 \omega_\phi^2 (1 - \epsilon) = 0$$

$$\epsilon = \frac{B_{z\phi} \cdot B_{\phi z}}{B_{zz} \cdot B_{\phi\phi}} = x \omega^2 / i y^2$$

$$J_y = i_y^2 C_w LB$$

在一般船中  $\varepsilon$  值在 0 與 0.1 之間，若  $\omega_z = 1 \text{ sec}^{-1}$ ， $\omega_\phi = 1.2 \text{ sec}^{-1}$  則由(33)式所求出之最小頻率將減小，即較  $1 \text{ sec}^{-1}$  為小。其最大頻率將增加即較  $1.2 \text{ sec}^{-1}$  為大。如下圖所示

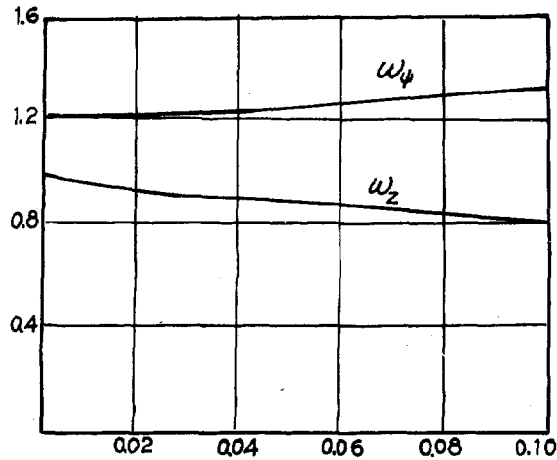


圖 2.10

方程式(33)之解其振幅  $|Z|$ ， $|\phi|$ ，分別為

$$|Z| = \sqrt{\frac{P_1^2 + Q_1^2}{R_1^2 + S_1^2}}, \quad |\phi| = \sqrt{\frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{R_1^2 + S_1^2}}$$

$$P_1' = \omega^2 F_{zz} M_{\phi\phi} - F_{zz} B_{\phi\phi}$$

$$P_1 = F_{zz} B_{z\phi} + \omega F_{\phi\phi} N_{zz}$$

$$Q_1 = -\omega F_{zz} N_{\phi\phi} + B_{\phi z} F_{\phi\phi}$$

$$Q_1' = \omega^2 F_{\phi\phi} M_{zz} - F_{\phi\phi} B_{zz}$$

$$R_1 = -\omega^4 M_{zz} M_{\phi\phi} + \omega^2 (B_{zz} M_{\phi\phi} + N_{zz} N_{\phi\phi} + B_{\phi\phi} M_{zz}) + B_{z\phi} B_{\phi z} - B_{zz} B_{\phi\phi}$$

$$S_1 = \omega^3 (M_{\phi\phi} N_{zz} + M_{zz} N_{\phi\phi}) - \omega (N_{\phi\phi} B_{zz} + N_{zz} B_{\phi\phi})$$

由圖 2.11a，與 2.11b 比較後可看出在考慮起伏與縱搖的相互影響後，在起伏方面理論與實驗值相差較小，有很大的改善，但在縱搖方面卻有相反的較果，因此我們必須進一步考慮，在水動力方面的相互影響。

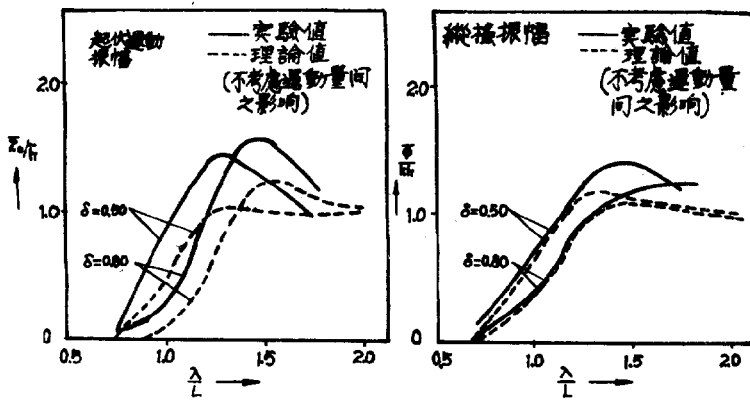


圖 2.11a

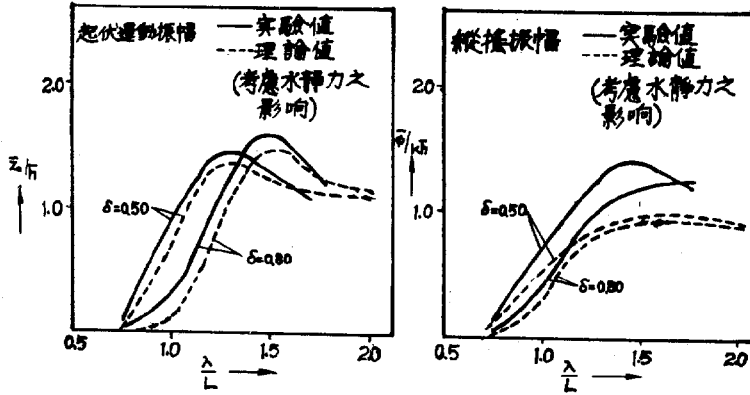


圖 2.11b

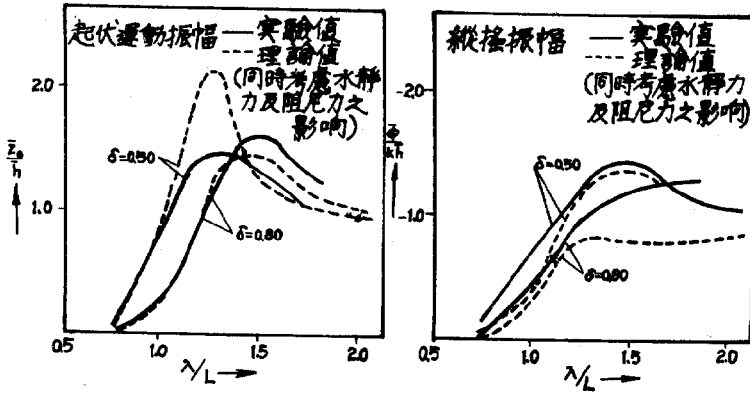


圖 2.11c

### 2.7.3 由水動力所造成之影響

一潛體具有三對稱面，且  $x, y, z$  座標在主軸上，則由 weinblum 其運動方程為：

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} - \dot{r} \frac{\partial T}{\partial y} + \dot{\psi} \frac{\partial T}{\partial z} = F_{xx} \quad (2.34)$$

$F_{yy}, F_{zz}$  可由上式經字母代換求得。

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - Z \frac{\partial T}{\partial y} + \dot{y} \frac{\partial T}{\partial z} - \dot{r} \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} + \dot{\psi} \frac{\partial T}{\partial \dot{r}} = F_{\varphi\varphi} \quad (2.35)$$

$F_{\phi\phi}$  ,  $F_{rr}$  , 可經由字母代換而求得。

上式中  $T = T_0 + T_1$

$$T_0 = \frac{1}{2} m_{xx} \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_{yy} \dot{y}^2 + \frac{1}{2} m_{zz} \dot{z}^2 + \frac{1}{2} m_{\varphi\varphi} \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} m_{\phi\phi} \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} m_{rr} \dot{r}^2 \quad (2.37)$$

$$T_1 = \frac{1}{2} \rho \nabla (\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + \frac{1}{2} I_{\varphi\varphi} \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} I_{\phi\phi} \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} I_{rr} \dot{r}^2 \quad (2.38)$$

(2.37) (2.38) 式代入 (2.35) 式得：

$$(\rho \nabla + m_{xx}) \ddot{x} + (\rho \nabla + m_{zz}) \ddot{z} - (\rho \nabla + m_{yy}) \dot{y} \dot{r} = F_{xx} \quad (2.39)$$

$$(I_{\varphi\varphi} + m_{\varphi\varphi}) \ddot{\phi} + (m_{yy} - m_{xx}) \dot{y} \dot{z} - (I_{\phi\phi} + m_{\phi\phi} - I_{rr} - m_{rr}) \dot{r} \dot{\psi} = F_{\phi\phi}$$

(2.39) 式應用於潛體，即不考慮自由液面之影響。因此阻尼項與水靜力項不予考慮。以下我們將分別討論水動力項對起伏與縱搖以及橫搖與橫移之間的相互影響。

### a. 水動力對起伏與縱搖間之相互影響

統制方程：

$$\begin{aligned} M_{zz} \ddot{Z} + N_{zz} \dot{Z} + B_{zz} Z + M_{\phi_z} \ddot{\phi} + N_{\phi_z} \dot{\phi} + B_{\phi_z} \phi &= F_{zz} \\ M_{\phi\phi} \ddot{\phi} + N_{\phi\phi} \dot{\phi} + B_{\phi\phi} \phi + M_{z\phi} \ddot{Z} + N_{z\phi} \dot{Z} + B_{z\phi} Z &= F_{\phi\phi} \end{aligned} \quad (2.40)$$

式中  $M_{\phi_z}$  ,  $M_{z\phi}$  : 惰力之相互影響係數

$N_{\phi_z}$  ,  $N_{z\phi}$  : 阻尼相互影響係數

$B_{\phi_z}$  ,  $B_{z\phi}$  : 水靜力相互影響係數。

$$\text{令 } M_{\phi_z} = M_{\phi_z^I} + M_{\phi_z^{II}} ; \quad N_{\phi_z} = N_{\phi_z^I} + N_{\phi_z^{II}}$$

$$M_{z\phi} = M_{z\phi^I} + M_{z\phi^{II}} ; \quad N_{z\phi} = N_{z\phi^I} + N_{z\phi^{II}}$$

上式中帶  $I$  之標註表一前後不對稱的船在速度為零時在相關方向之影響係數，帶  $II$  之標註則表示速度之影響。由於對  $M_{\phi_z^{II}}$  與  $M_{z\phi^{II}}$  所知甚少，而  $M_{\phi_z^I}$  ,  $M_{z\phi^I}$  甚小，以下之討論我們將不考慮  $M_{z\phi}$  與  $M_{\phi_z}$ 。

$$\text{由 Grim : } N_{\phi_z^I} = N_{z\phi^I} = - \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} N_{zz} x dx$$

$$\text{Haskind : } N_{\phi_z^{II}} = -N_{z\phi^{II}} \quad (\text{此式經 Havelock 證實僅應用於狹長體 } L/B > 10)$$

$$\text{Havelock : } N_{\phi_z^{II}} = -N_{z\phi^{II}} = \frac{1}{2} (\rho \nabla + m_{xx}) V$$

$$\text{Jacobs : } N_{\phi_z^{II}} = -N_{z\phi^{II}} = m_{xx} V$$

$N$  之選取，衆說紛云，莫衷一是，端視情況而異，經計算方程式 (2.40) 所得之理論值繪出如圖 2.11a, 2.11b, 2.11c 比較後得知各方向運動間之相互影響不可任意忽略，否則將導至很大

的誤差。

b. 水動力對橫搖及橫移的相互影響

一船在水中橫向移動將受到一力，一般而言此力不通過質量中心，因此產生一橫搖力矩，此力矩為流體粒子的速度與加速度作用而產生。反之橫搖運動亦能伴生一橫移力，使得船隻有往側向移動的趨勢。

參考圖 2.12，O 點當船靜止時位於水面上，並假定船繞此點作橫搖運動，則船之橫移距離可定義為 O 點至 O' 點之距離。

$$M_{yy}\ddot{y} + N_{yy}\dot{y} + M_{\varphi y}\ddot{\varphi} + N_{\varphi y}\dot{\varphi} = F_{yy} \quad (2.41)$$

$$M_{\varphi\varphi}\ddot{\varphi} + N_{\varphi\varphi}\dot{\varphi} + B_{\varphi\varphi}\varphi + M_{y\varphi}\ddot{y} + N_{y\varphi}\dot{y} = F_{\varphi\varphi}$$

式中： $M_{\varphi y} = \rho \nabla \cdot \overline{OG} + m_{\varphi y}$

$$M_{y\varphi} = \rho \nabla \cdot \overline{OG} + m_{y\varphi}$$

上式右邊第一項  $\rho \nabla \cdot \overline{OG}$ ，船繞 O 點而非 G 點運動的緣故。 $m_{\varphi y}$ 、 $m_{y\varphi}$  分別為在橫移、橫搖方向上之質量與虛質量慣性矩所引起之影響係數。

Grim 定義

$$m'_{\varphi y} = \frac{m_{\varphi y}}{h'_{\varphi}}$$

$$m'_{y\varphi} = m'_{yy} h'_{y\varphi}$$

$m'_{\varphi y}$ 、 $m'_{y\varphi}$  分別為二維體單位長度之相關係數。

對於一三維體其影響係可以狹長體理論求得

得

$$m_{\varphi y}'' = m_{y\varphi}'' = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} m'_{y\varphi} dx$$

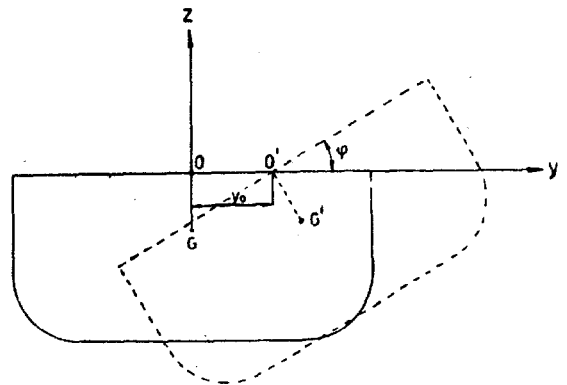


圖 2.12

由以上之討論我們可求出，在有橫移的影響下船體之橫搖中心與 O 點之距離 P

$$P = \frac{\rho \nabla \cdot \overline{OG} + m_{yy} h_y}{\rho \nabla + m_{yy}}$$

P 點與 G 點之距離關係可由 2.13 圖表示，由圖可知在  $C_m$  小時 P 點位於 G 點上方。 $C_m$  大時則反是。在高頻率橫搖時上述迴轉中心的觀念變得無意義，因此時阻尼力扮演一重要角色不復有一固定的旋轉中心存在。

據以上之討論得們可得如下之結論

- (i) 迴轉力矩效果不大，一般情形下可不予考慮，但可解釋船在前進速度為零時之現象。
- (ii) 當船體前後不對稱時，由水靜力所生在起伏，縱搖間之相互影響不可忽略。
- (iii) 水動力項亦影響甚大不可忽略，但許多觀念仍晦暗不明，急待進一步的發展研究。

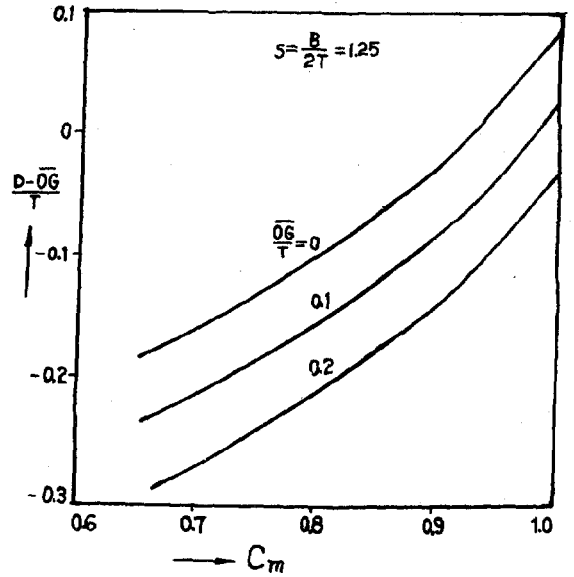


圖 2.13 旋轉轉與質量中心之距離為質量中心位置  $OG$  及中剖面係數  $C_m$  之函數

# 第三章 船隻之迴旋性能

## 及其在波浪中之航向穩定性

### 3.1 簡介

船隻之航向穩定性簡單的說就是船隻保持在原有航道能力之大小。若航隻在某一航向運動受到一擾動力或力矩，此擾動力通常來自風或波浪力，而偏離原有航道。但偏離值隨時間增大而減小終至消失，則謂船隻具有航向穩定性。

航向穩定性有三。即直進穩定性，方向穩定性和位置穩定性，如圖 3.1 所示。

直進穩定性指船隻航行時雖然方向可能改變，但有維持作直線運動能力。方向穩定性指船隻能維持在某一固定方向上航行之能力，位置穩定性則指船隻能同時保有在原方向位置航行的能力。一般水面船隻之方向穩定性乃指直進穩定性而言。航向穩定性往往易於被人所急視。東港漁船在進港時，每每由於無法控制航向擱淺於沙灘上，造成各種不同程度之損失，乃由於駕駛人對波浪之特性及船隻在波浪中之航向穩定性缺乏認識之故。

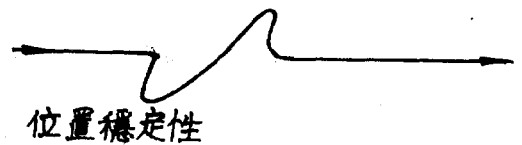
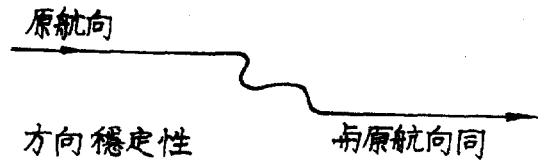
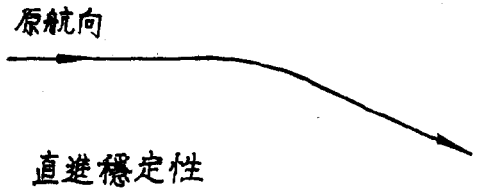


圖3.1

### 一船在靜水中之航向穩定性

爲了能進一步瞭解船在波浪中的穩定性性及其分別與在靜水中穩定性的異同，在此先簡介船隻在靜水中之穩定性而向將之推廣至有波浪力作用之情況。

### 3.2 船隻在靜水中的運動支配方程式

設船以  $U$  之速度作直線運動。  $X, Y, N$  爲分別  $x, y, z$  方向所受之外力和力矩。則其在  $x, y, z$  方向之運動方程式可寫爲：

$$\begin{aligned}
 -X_u (u - u_i) + (m - X_{\dot{u}}) \dot{u} &= X_{\delta} + X_w \\
 -Y_v v + (m - Y_{\dot{v}}) \dot{v} - (Y_r - mu_r) r - (Y_{\dot{r}} - mx_{\dot{c}}) \dot{r} &= Y_{\delta} + Y_w \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

$$-N_v v - (N_v - m x_G) \dot{v} - (N_r - m x_G u_1) r + (I_z - N_r) \dot{r} = N_\delta + N_w$$

(3.1) 式中  $X_u, Y_v, N_v, Y_r, N_r, Y_\delta, N_\delta$  為力和力矩對各運動量之水動力導數，可由實驗或理論求得  $Y_\delta, Y_w, N_\delta, N_w$  則為由舵力或波浪力所造成之水動力導數。

上述二階段微分方程式，若不考慮操舵及波浪力之作用，其解為

$$\begin{aligned} v &= v_2 e^{\sigma_1 t} + u_3 e^{\sigma_2 t} \\ r &= r_2 e^{\sigma_1 t} + r_3 e^{\sigma_2 t} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$\sigma_1, \sigma_2$  為下列方程式之兩根

$$A \sigma^2 + B \sigma + C = 0 \quad (3.3)$$

$$\text{式中：} A = (I_z - N_r)(m - Y_v) - (Y_r - m x_G)(Y_v - m x_G) \quad (3.4)$$

$$B = -(I_z - N_r)Y_\delta - (m - Y_v)(N_r - m x_G u_1) - (Y_r - m u_1)(N_v - m x_G) - (Y_r - m x_G)N_v \quad (3.5)$$

$$C = Y_v(N_r - m x_G u_1) - (Y_r - m u_1)N_v \quad (3.6)$$

$\sigma_1, \sigma_2$  兩根之實數部分若小於零，則擾動量  $v, r$  將隨時間而消失，意即船隻具有方向穩定性。欲使  $\sigma_1, \sigma_2$  兩根之實數部份大於零則必須  $B > 0$  與  $C > 0$  同時成立，一般船之  $B$  值必較零大因此不構成穩定上之問題。因此由  $C$  值之大小可大略看出船隻方向穩定性之高低。總括來說  $\sigma_1, \sigma_2$  兩數的實數部份愈小其穩定性愈高。在分析  $C$  值後可看出增加船後面積將使得  $C$  值增加，意即增加船之穩定性。

### 3.3 操舵作用下船隻方向穩定性之影響。

正確的操舵角度  $\delta$  應與作用時之平擺角度  $\theta$  與平擺角速度  $r$  有關

$$\delta = K_1 \theta + K_2 r \quad (3.7)$$

上式中  $K_1, K_2$  為大於零之常數

(3.7) 式在考慮舵力之作用並代入 (3.1) 式後所得之運動方程為：

$$Y_v v + (Y_v - m) \dot{v} + K_1 Y_\delta \theta + (Y_r - m u_1 + K_2 Y_\delta) r + (Y_r - m x_G) \dot{r} = 0 \quad (3.8)$$

$$N_v v + (N_v - m x_G) \dot{v} + K_1 N_\delta \theta + (N_r - m x_G u_1 + K_2 N_\delta) r + (N_r - I_z) \dot{r} = 0$$

(3.8) 式之解為：

$$\begin{aligned} v &= v_1 e^{\sigma_1 t} + v_2 e^{\sigma_2 t} + v_3 e^{\sigma_3 t} \\ \theta &= \theta_1 e^{\sigma_1 t} + \theta_2 e^{\sigma_2 t} + \theta_3 e^{\sigma_3 t} \end{aligned} \quad (3.9)$$

比較 (3.2) (3.9) 兩式可看出船隻在不操舵情況下僅具直進穩定性，但在操舵情況下可具有方向穩定性。又 (3.6) 式  $C$  值中其  $Y_r - m u_1$  與  $N_r - m x_G u_1$  在此情況中分別為  $Y_r - m u_1 + K_2 Y_\delta$  與  $N_r - m x_G u_1 + K_2 N_\delta$  所取代，由於  $N_\delta > 0$  故  $C$  值將增加，即對船之穩定性



有益。可使得不具方向穩定性的船隻變得穩定，且使水面船隻的方向穩定性變得可能。

但一般操舵均有時間落後此時間落後  $\bar{t}$  視操舵機或舵手的敏感程度而定因此 (3.7) 式應改寫為

$$\delta(t) = k_1 \theta(t - \bar{t}) + k_2 r(t - \bar{t}) \quad (3.10)$$

上式經由泰勒展開得

$$\delta(t) = k_1 [\theta(t) - \bar{t}\dot{\theta}(t)] + k_2 [r(t) - \bar{t}\dot{r}(t)] \text{ 代入 (1) 式}$$

$$Y_v v + (Y_{\dot{v}} - m)\dot{v} + k_1 Y_{\delta} \theta + (Y_r - m u + k_1 Y_{\delta} - k_1 \bar{t} Y_{\dot{\delta}}) r + (Y_{\dot{r}} - m x_G - k_2 \bar{t} Y_{\delta}) \dot{r} = 0 \quad (3.11)$$

$$N_v v + (N_{\dot{v}} - m x_G) \dot{v} + k_1 N_{\delta} \theta + (N_r - m x_G u_1 + k_2 N_{\delta} - k_1 \bar{t} N_{\dot{\delta}}) r + (N_{\dot{r}} - I_z - k_2 \bar{t} N_{\delta}) \dot{r} = 0$$

(3.6) 式中之  $C$  值在此情況下其  $(Y_r - m)$  被  $(Y_r - m + k_2 Y_{\delta} - k_1 \bar{t} Y_{\dot{\delta}})$  所取代  $(N_r - m x_G u_1)$  則被  $(N_r - m x_G u_1 + k_2 N_{\delta} - k_1 \bar{t} N_{\dot{\delta}})$  所取代，因此  $\bar{t}$  之存在便得  $C$  值下降，如果操舵時無法敏感得跟隨而變化並且具一時向後後  $\bar{t}$ ，即  $\delta = \theta(t - \bar{t})$  時船隻之方向穩定性較不操舵時更差。因此舵手的技術與經驗對船之方向穩定性具有決定的影響。

### 3.4 由迴轉運動而伴生的傾側力矩

船在第一階段開始迴旋時  $\dot{v} \neq 0$   $\dot{r} \neq 0$   $r = v = 0$ ，其運動方程為：

$$\begin{aligned} (Y_{\dot{v}} - m)\dot{v} + (Y_{\dot{r}} - m x_G)\dot{r} &= -Y_{\delta} \delta \\ (N_{\dot{r}} - I_z)\dot{r} + (N_{\dot{v}} - m x_G)\dot{v} &= -N_{\delta} \delta \end{aligned} \quad (3.12)$$

參照圖 3.2 船隻在橫向的力量將船產生一順時鐘的傾側力矩。

船開始穩定迴旋時  $\dot{v} = \dot{r} = 0$   $v \neq 0$   $r \neq 0$

則運動方程可寫為：

$$\begin{aligned} Y_v v - (Y - m u) r &= -Y_{\delta} \delta \\ N_v v + (N_r - m x_G u) r &= N_{\delta} \delta \end{aligned} \quad (3.13)$$

此時船所受之橫向力將對船體產生一道時針之傾側力矩，其由開始迴旋至穩定迴旋時傾側角之變化如圖 3.2，3.3 所示

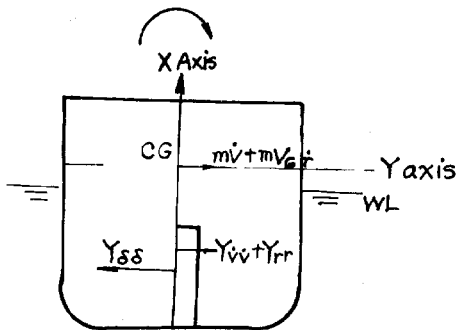


圖 3.2

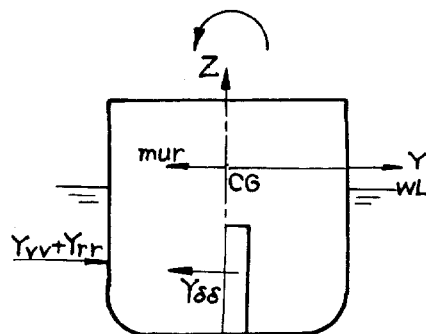


圖 3.3

由以上所述若船打右舵開始迴轉，在第一階段將使得船往右方傾斜，如果舵手經驗不夠把舵打回船中或打出左舵，則3.3圖中之 $Y; \delta$ 將消失使得船往左傾的情形非常嚴重。此時應立刻減低船速，減少舵角，否則船有傾覆危險，如果上述情況再加上波浪力之作用則後果將非常嚴重。由此可看出舵手對船隻安全航行之重要性。東港漁船之翻覆相信有導因於上述的原因。

### 3.5 漁船進港後容許迴轉角度與距離之關係

船作迴轉運動其軌跡如3.4圖所示。

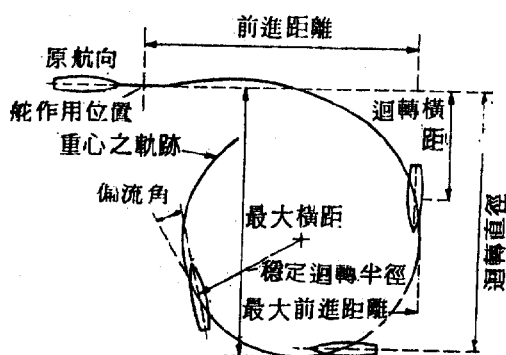


圖3.4 船之迴轉運動

圖中之前進距離 (Advance) 為船體中心線轉  $90^\circ$  時，船中心至舵開始作用時之  $x$  方向距離，而迴轉橫距 (Transfer) 則為  $y$  方向之移動距離，而迴轉直徑 (Tractical diameter) 則為船體中心轉動  $180^\circ$  後與原始前進方向之距離。

旋迴圈直徑之大小，不僅與用舵之角度有關，且依船長，使用目的，用途而異。殊難規定確值。茲將漁船規定迴旋所需時間及迴旋圈大小按其種類列表如下：

漁船種類	船長 (M)	迴旋所需時間(秒) (要小於比率值)		迴旋圈直徑 (以船長之倍數計之)
		由原針路轉向十五度所需時間	由原針路轉向360所需時間	
圍網漁船	$L < 22$	8	80	$< 3.0$
		10	40	$< 3.5$
流刺網漁船、底曳網漁船、鯉釣漁船、鮪釣延繩漁船	$L < 25$	12	100	$< 3.3$
	$25 < L < 50$	15	135	$< 4.5$
	$L > 50$	16	150	$< 5.0$
小型捕鯨魚	$L < 18$	7	70	$< 3.0$
	$L < 18$	8	80	$< 3.5$
大型捕鯨船	$L < 50$	8	120	$< 4.0$
	$L < 50$	10	140	$< 4.5$
其他漁船	$L < 20$	13	100	$< 3.5$
	$20 < L < 30$	15	110	$< 4.0$
	$30 < L < 50$	20	140	$< 5.0$
	$L < 50$	25	170	$< 6.0$

圖 3.5 為一船受潮浪及風之影響下作迴旋測定之實例，船之主要尺寸如下：

$L_{pp} = 92\text{ m}$                        $\Delta = 3700\text{ ton}$   
 $B = 14.5$                                $C_b = 0.592$   
 $D = 7.4$   
 $d_m = 4.5$                               舵面積  $A_d = 1.49$

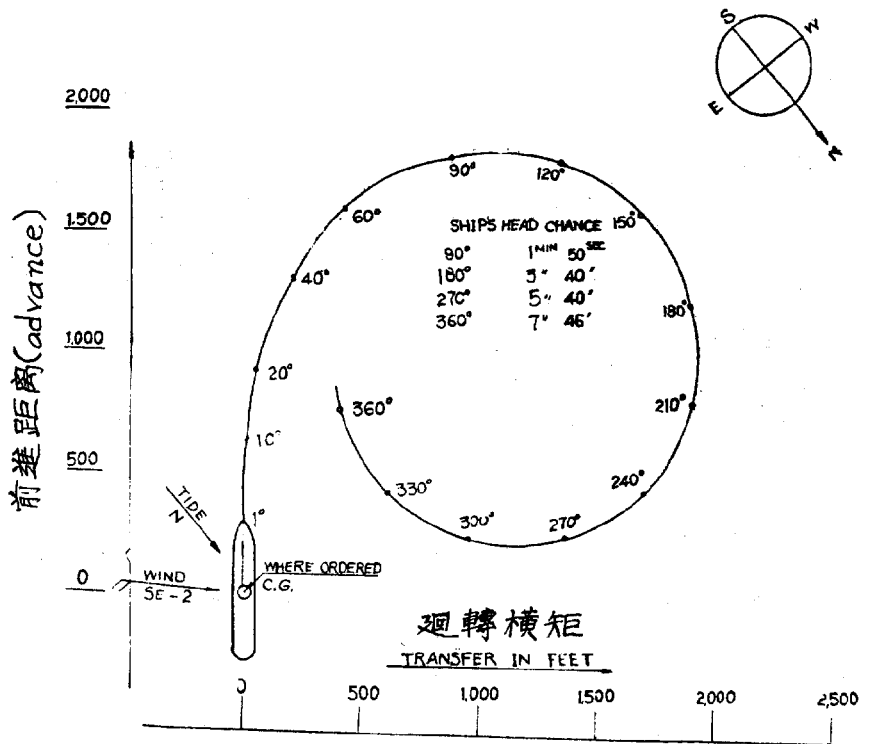
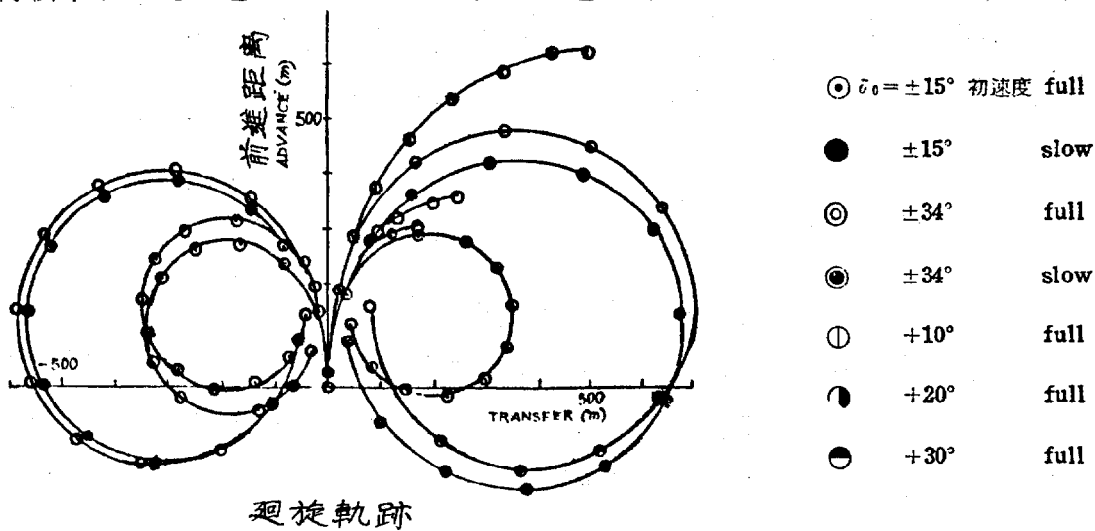


圖 3.5 船作迴旋試驗紀錄圖

試驗時改變舵角與初速則可得如 3.6 圖各種不同之迴旋軌跡，和在各種不同前進距離，迴轉橫矩下而迴轉之角度。由圖可知在較小之舵角與初速之下，迴轉半徑，與前進距離均較



迴旋軌跡

圖 3.6

大，而本節表中所列各種類及船長之漁船其規定之迴旋所需時間及迴旋圈大小，乃為其所在滿舵及全速時之值，而事實上漁船進港後迴旋，其速度較低，因此其迴轉半徑與距離，應較表列者為大。因此港內水域其迴旋場大小之規劃，應能提供較大之船作迴旋為度，其面積大小與船長之關係則如 3.7 圖所示，所需之水面積為橫  $(5 - 7) L$ ，縱  $(4 - 6) L$ 。若港面小，用圖 3.8 之方法亦須有  $3 L$  以上直徑之迴旋面積。

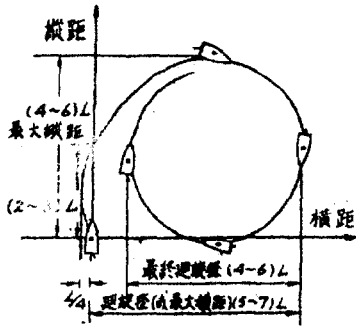


圖 3.7 迴旋面積與船長之關係。

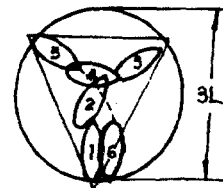


圖 3.8

船舶自進港至靠碼頭所經之路徑，稱為航道 ( fairway , channel ) 。

船舶自港口進港時，必須有 4 倍船長之直線航道，此後應其需要，可以增長，但其曲率半徑，必須在通航最大船舶之船長  $L$  之 4 倍，且其最大交角，不得超過  $30^\circ$ ，如超過  $30^\circ$  時，該處之寬度須加大，如圖 3.9，或加大其曲率半徑，船隻到此須減速。

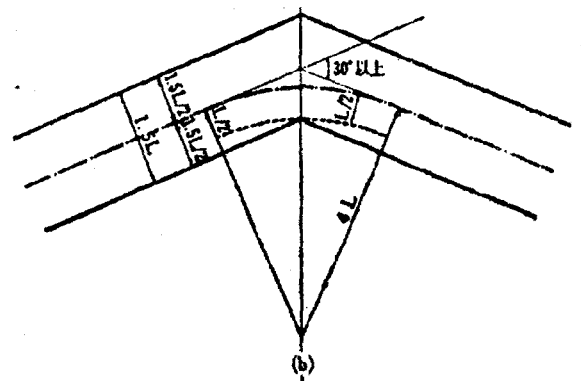
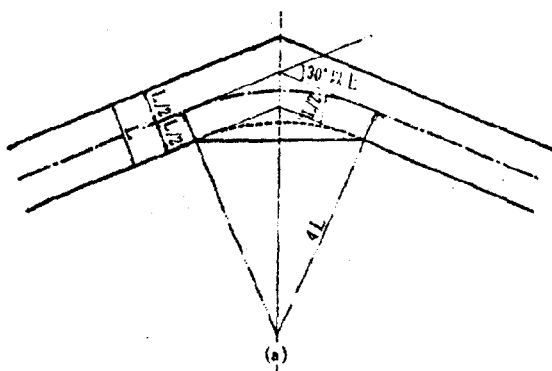


圖 3.9 航道彎曲部

航道之寬度按船舶之性質，港內之波浪，該港之船舶出入量、地形、氣象等狀況而定，複航道為船長之  $1 \sim 1.5$  倍，或為船寬之  $3.6$  倍加  $90 \text{ m}$ ，單航道為船長之  $0.5$  倍以上，或為船寬之  $0.45$  倍加  $90 \text{ m}$ ，航道法線不可與恒風風向平行或垂直，航道水深比照港口水深視波浪之狀況略予減少。

### 3.6 船在波浪中的航向穩定性

船在波浪中斜行前進如圖(2.2)，其運動方程為

$$(I_r - A_0) \dot{r} = A_1 uu + A_2 ur + A_3 u^2 \delta + N_w \quad (\text{平擺}) \quad (3.14)$$

$$(m - B_0) \dot{v} = B_1 uv + (B_2 - m) ur + B_3 u^2 \delta + Y_w \quad (\text{橫移})$$

$$(m - C_0) \dot{u} = C_1 u^2 + (C_2 + m) vr + C_3 u^2 \delta^2 + X_w + X_p$$

上式中  $A_0, A_1, \dots, C_2, C_3$  為在各有關運動方向的水動力導數  $N_w, Y_w, X_w$  為由波浪引起之作用力， $X_p$  為螺槳作用力。

舵角與舵速之控制與平擺角度與角速度有關

$$\delta + t_r \dot{\delta} = a(\theta - \theta_d) + b \quad (3.15)$$

$\theta_d$  為船欲行進方向之平擺角度

$$\text{波之視頻率 } \omega = \frac{2\pi}{L} (C_w - u \cos \alpha) \quad (3.16)$$

a 當  $\omega_e = 0 \quad \alpha \doteq 0 \quad L > l$

在此情況下，船與波浪的關係不隨時間而變，船在  $x$  方向受到很大波浪力的作用，船有橫轉傾覆之趨勢。

若以帶下標  $e$  之記號表船在平衡時之情況則在平衡時： $\theta = \theta_e, v = v_e, u = u_e, \dot{\theta}_e = \ddot{\theta}_e = u_e \dot{v}_e = \dot{\delta}_e = 0$  代入(3.14)式可解出：

$$v_e = \frac{Y_w N_\delta - N_w Y_\delta}{N_w Y_\delta - Y_w N_\delta}$$

$$\alpha_e = \frac{N_w Y_\delta - Y_w N_\delta}{N_w Y_\delta - Y_w N_\delta} \quad (3.17)$$

$$\phi = \phi_e + \delta_e / a$$

現給一在平衡狀況之船在各運動方向一小擾動量  $\bar{u}, \bar{v}$ ，即令  $v = v_e + \bar{v}, u = u_e + \bar{u}$

$$\phi = \phi_e + \bar{\phi}$$

$\bar{v}, \bar{u}, \bar{\theta}$  其解之形勢為  $ke^{i\omega t}$ ，若  $R_e \{i\omega t\} < 0$ ，則表示此船具有方向穩定性。

b 當  $\omega_e > 0$ ，亦可接上述類似的方法分析

經綜合歸納後可得以下諸結論

(I) 在波浪中控制系統與操舵之作用與視頻率有很大的關係，若船以高速隨浪前進即視頻率小 ( $\omega < 2$ )，則操舵對航向穩定甚為重要因在低頻時波力小相對而言亦就是波力增大

，但在相對高視頻下， $(\omega > 2)$ ，即船速低時，操舵效果不張因在高頻時舵力與波浪力惰力之比均小。可由圖 3.10 3.11 看出。

(II) 當船速與波速相同，且平衡平擺角為零時，則船之方向穩定性，只局限於船位於波浪中之一小區域。當船處於波各之位置，操舵可使得穩定區擴大，若船處於波峯位置則不論操舵與否，船隻均不具方向穩定性，此乃因在此情形下船在  $x$  方向受到一甚大之波浪力，控制甚為困難（參閱圖 3.13）此困難情況隨波之斜率增加而增大。

(III) 在 (II) 中船在波各方向穩定性差乃由於  $\frac{\partial N_w}{\partial \theta} > 0$  所引起，又因  $\omega_e = 0$  為在低頻狀況下，因此操舵大有助益，在峯之不穩定性則導因於  $\frac{\partial X_w}{\partial x} > 0$ ，即距大之湧浪力，在此情形下欲使船具方向穩定性，則除裝置縱向推力控制不為功，船在各位置所受之波浪力參看 3.12。

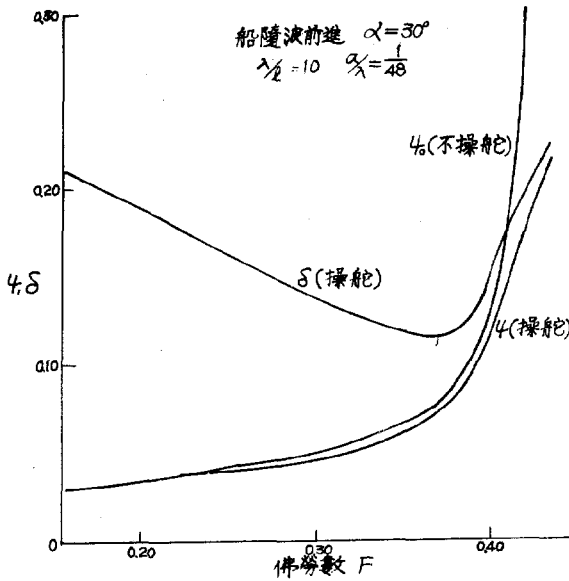


圖 3.10 操舵之影响

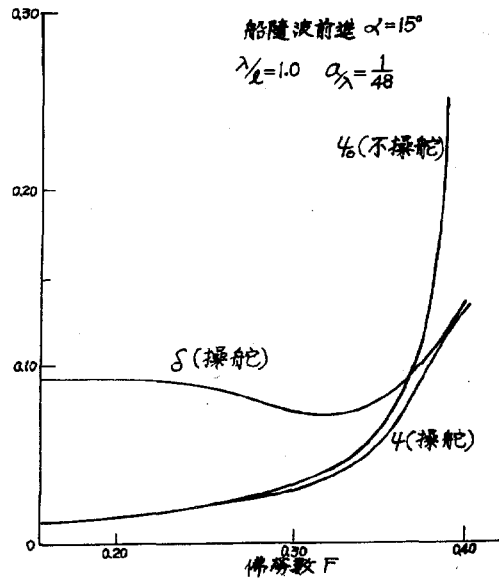


圖 3.11 操舵之影响

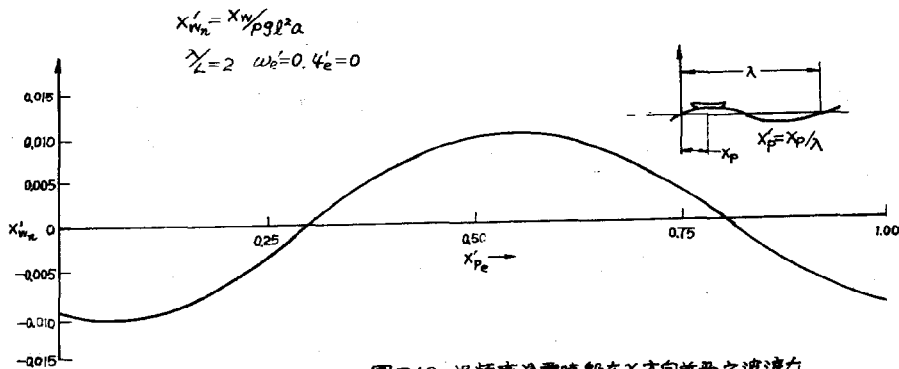
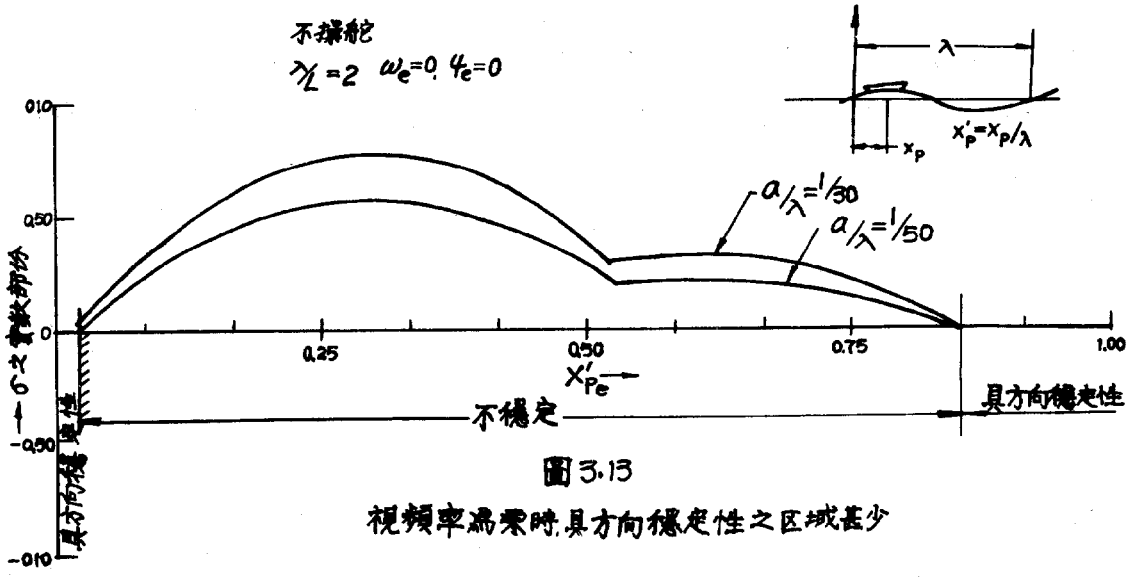


圖 3.12 視頻率為零時船在  $x$  方向所受之波浪力



### 3.7 船在波浪中之平擺傾斜

船在波浪中斜行前進，（參照圖 2.2），則船所受之波浪力，使得船隻在數方向上作振盪運動，今以平擺振盪運動說明如下。

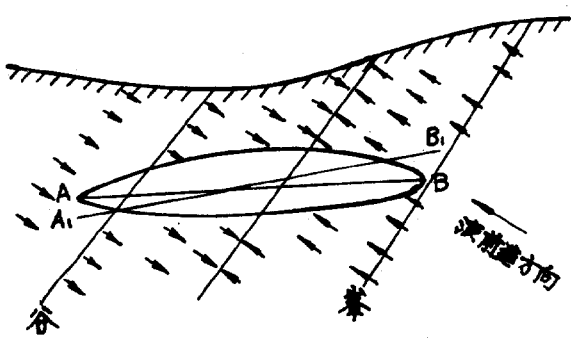


圖 3.14 艦在波峯位置

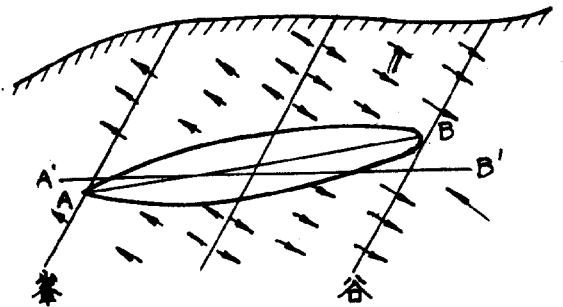


圖 3.15 艦在波谷位置

若船在圖 3.8 之位置，艦位於波峯上，則由於波峯水粒子作向前之運動，而波谷之水粒子作向後之運動，則船隻由於此水動壓力之作用，船中心線  $AB$  將向  $A_1B_1$  偏移，經過半週期後，艦在波谷上如 3.9 圖所示，則此時船體所受到水粒子之動壓力之作用，將使得船往原方向偏轉，因此船在波中斜行，將作一振盪運動，其運動周期與波浪之視週期相同，此運動與船受舵力在迴旋初期之運動類似。當船不依其平衡方向前進，而有一偏移角度時，則由於左右兩邊水壓不同，將使船體產生一傾斜，爾後船作一圓弧運動產生一離心傾斜，此種傾斜吾人稱

作平擺傾斜與橫搖無關，此種傾斜在船與波浪之夾角在  $45^{\circ}$  與  $135^{\circ}$  間，且波浪之視週期與船之自然橫搖週期一致時最為嚴重。平擺傾斜可達  $12^{\circ}$  之鉅，因此在研討船在波浪中之傾覆現象，此因素不可忽視。



## 第四章 綜合結論

由以上三章之說明，讀者當對波浪之特性，船在波浪中之運動情況及其穩定性有蓋括性的瞭解，在此將船在波浪中可能發生傾覆的原因歸納如下，以提醒大家注意。

- (a)、乾舷或扶正力矩不足。
- (b)、船在波長甚大且斜之縱向波峯上，其扶正力臂減小。  
(相對而言船在波峯其扶正力臂較靜水中為小，在波谷則反是)
- (c)、小船位於大橫向波之波峯上，其絕對穩度降低。
- (d)、由於船隻受甚大之外力或力矩。
- (e)、由於橫搖時，貨物等載重物之移動。
- (f)、船之水密度裝置或水密情況不良。
- (g)、液艙等空間裝有未滿之液體。
- (h)、船遇波高甚大且斜之波。
- (i)、船之自然週期與波之視週期吻合，或船隻航行於臨界區。
- (j)、由於迴旋產生的傾側力矩特別是在急速迴旋時。
- (k)、由於 *slam* 產生之衝擊，以小船較為嚴重。
- (l)、暫時將重物掛在樑桿上，此種情形漁船較常發生。
- (m)、由於拖網作業時所生之側拉力。
- (n)、暫時將重物堆於甲板上，一拖網漁船甲板上所堆之魚重可達 30 ~ 40 噸之鉅。
- (o)、漁船之乘員均擠向船之一側同時又遇上風及波浪之作用。
- (p)、舷牆排水口不足，甲板積水無法迅速排去。
- (q)、漁船滿載出港時艏吃水過大，艏乾舷不足。
- (r)、進出港遇碎波時，處理不當。

船舶之方向穩定性除與波浪作用情況有關外，尚與操舵者之技術，灵敏度以及船型等因素有關，欲提高航向穩定性宜增加船長，艏裝力材，增加舵面積，增大艏俯及提高船員船藝，但最重要還在於人為因素，在這方面我們應提高船員素質，利用時間舉辦各種短期訓練班灌輸各方面海難防範的知識，這有賴有關單位協調配合，共同努力方能期其有功。

## 参考文献

1. John P. Comstock; Principles of Naval Architecture.
2. W.P.A. Van Lammeren; Behaviour of Ships in Waves.
3. A.A. Kostyukov; Theory of Ship Waves and Waves Resistance.
4. Ir. W.P.A. Van. Lammeren; Buoyancy and Stability of Ships.
5. Haruzo Eda; Steering Characteristics of Ships in Calm Water and Waves.
6. Haruzo Eda; Directional Stability and Control of Ships in Waves.
7. E.C. Tupper; Basic Ship Theory.
8. Milne-Thomson; Theoretical Hydrodynamics.
9. Harold. E. Saunders; Hydrodynamics in Ship Design.
10. 社団法人日本中小型造船工業會；船舶の運動性および安定性概論。
11. 造船工程學報第三期・黃正清著；船舶操縱性能之測定法及其分析。
12. 日本海難防止協會；海と安全。
13. 農復會特刊新二號；海岸工程設計規劃。
14. 加藤弘；船の安定性能の簡易判定法。
15. Blair Kinsman; "Wind Waves" Their Generation and Propagation.
16. Bretschneider; Over water Wind and Wind Waves.
17. Lamb; Hydrodynamics.
18. 郭金棟博士；“海岸工程”。



行政院農委會圖書室



0014475