



Title	機帆船の安全性に関する研究
Author(s)	田口, 賢士
Citation	大阪大学, 1967, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2405
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

機帆船の安全性に関する研究

昭和42年 2月

田 口 賢 士

昭和44年度
大阪大学
附属図書館

図書館12669

目 次

記 号

第1章	緒 言	
	機帆船の沿革と実状の概観	1
第2章	機帆船の定義	13
第3章	機帆船型について	18
3-1	機帆船型の大別	19
3-2	機帆船の主要寸法	22
3-3	機帆船型の性質	23
第4章	機帆船の現況と造船学的にみた運航 の状態	75
4-1	機帆船の現況	75
4-2	実船の載貨重量と喫水	81
4-3	実船の見かけの深さ	83
第5章	機帆船航路上での波浪調査	93
5-1	計器および計測法	95
5-2	波浪調査	98
5-3	波浪調査の結果	98
5-4	見かけの波の統計量	99
5-5	波浪のパワースペクトラム	103
第6章	海難の実態とその考察	125
6-1	統計に現われた機帆船の海難	126
6-2	重大海難の統計的考察	127

6-3	機帆船海難過程の運動学的解析	135
第7章	機帆船の安全性の向上	160
7-1	機関室前端隔壁の水密化と排水ポンプ の合理的な配置について	160
7-2	開口の閉鎖	162
7-3	喫水の制限と付帯条件	165
7-4	その他の対策	175
第8章	総括	186
結 言		193
資料および文献		194

記 号

- AP 船尾垂線
AR 舵面積
B 船の型幅
BM_T 浮心上横×タセニタ 高さ
C.N. 立方数
C.W. 貨物の実際重量
D 船の型深さ
D₀ 船の見かけの深さ
F (計算式による) 乾玄
F.B. 乾玄
FP 船首垂線
GT 総トン数
GM_L 縦×タセニタ 高さ
GM_T 横×タセニタ 高さ
GZ 復原力
H 波高
H_{1/3} 有義波高 (最高平均波高)
H_{1/10} 最高平均波高
H_m 平均波高
H_{max} 最大波高 (100波中の最大値)
H₅₀₀ 25500

$H_{1,000}$ $Z_{\xi,1000}$

$H_{10,000}$ $Z_{\xi,10000}$

K 旋回力の指数

KB 浮心の基線上の高さ

KG 重心の基線上の高さ

L 船の長さ

L_r raw spectrum

N 横揺抵抗係数 (減減係数)

Q_p 標本自己相関関数

R 弯曲部半径の大きさ

$R(\tau)$ 自己相関関数

$S(\omega)$ エネルギースペクトラム

$S.F.$ 載貨係数 (stowage factor)

T 操縦に対する追従性および進路安定性の指数

T_e 出合周期

T_0 up zero crossing の周期

T_0' zero crossing の周期

\bar{T}_0 T_0 の平均またはその統計的期待値

\bar{T}_0' T_0' の平均またはその統計的期待値

T_{max} 極大値の周期

\bar{T}_{max} T_{max} の平均

T_p 縦揺周期

T_r	横揺周期
U	風速
U_r	smoothed spectrum
V	船の速力
Z	Z操舵試験
a	常数
b	常数、倉口の幅
c	常数
c_0	k_0/L
c_y	k_y/L
c'_y	k'_y/L
d	型喫水
d_m	平均喫水(実船)
d'_m	実船の推定型喫水 ($d'_m = d_m - 0.25^m$)
f	見かけの乾舷 (f' はその推定値)
g	重力加速度
h	舷牆の高さ
	倉口側線と船側との距離
k	常数
k'	常数
k_0	見かけの縦環動半径
k_y	船体の縦環動半径

k_y'	付加質量の縦環動半径
m	ラグ数
m_n	スペクトルモーメント (n は整数)
n	常数
r	船底勾配
C_b	方形係数
C_p	縦柱形係数
C_w	水線面積係数
γ	Euler 常数
δ	舵角
ε	$S(\omega)$ の広がりを示すパラメータ
ε'	同上 (近似値)
η	$\varepsilon/\sqrt{m_0}$
θ	横揺角
θ_f	海水流入角
θ_0	同調横揺角
ξ	極大値 (波浪の)
ξ_N	N 個の極大値の中の最大値の期待値
σ_x	標本 x の分散 ($m_0 = \sigma_x^2$)
τ	ラグ
ω	円周波数
ψ	旋回角速度、実船の旋回角速度

- $\dot{\psi}_m$ 模型船の旋回角速度
- Ω ψ の無次元表示 ($\Omega = \psi / \frac{L}{U}$)
- Ω_m $\dot{\psi}_m$ の無次元表示
- ∇ 排水容積

第 1 章 緒 言

—— 機帆船の沿革と実状の概観

わが国の商船隊は過去にいくつかの混乱と消長を経た後、昭和 37 年に実行された海運各社の集約による外航部門の強化および外航船腹の計画的増強案などによる積極的施策によつて、ようやく海運国としての面目を取りもどしつつある。これに伴つて国内生産地域間の海上輸送をになう、いわゆる内航海運部門にも近代化という変化が強制されつつある。

国内輸送分野における内航海運の分担率は第 1-1 表のごとくなつてゐる。自動車が生産地域付近の輸送の主体であるのに反して、鉄道、海運とくに海運は地域相互間の中遠距離輸送に従事していることがわかる。事実北海道周辺および内海近接地域ではこの傾向が顕著であつて、地域間輸送量の 70~90% は内航海運に依存している。¹⁾ このように国内輸送において重要な役割を果たしている内航海運部門は、最近の輸送貨物量の増大にもかかわらず慢性的不況が常態となつてゐる。その原因として、船腹の過剰による過当競争および低性能船、老朽船への集荷が悪いこと、さらには国鉄の政策的低運賃による海上貨物の不足などが上げられている。しかしこの傾向はよく調べると内航船舶全体のものではなく、500GT 以下

の小型鋼船およびいわゆる機帆船と呼称される木造貨物船の問題であり、特に機帆船の場合は著しい。不安定な内航海運界の問題はすべて機帆船に関連があるといえよう。

内航貨物船の船質構成は第1-2表のごとく、木船はトン数において全体の42%、数においては実に91%に及ぶ占有率を示している。また木船の貨物輸送量は第1-3表にみられるごとく、鋼船のそれに比べて見劣りはするが、500 GT 未満の鋼船の輸送量に匹敵する。しかし木船の平均輸送距離は、小型鋼船の408 km に対し200 km であり、木船は鋼船と違った独自の輸送分野を構成していることを教える。事実経営の面では多数の一杯船主と言われる零細な経営者を擁し、船舶の性能の面では後に述べるごとく少なからざる欠点と矛盾を持ちながら、かつては内航海運の歴史をそれ自身のものであるとして持ちつつ発展し、最近では海上運送における自律的調整作用の機能も果たしつつある役割は無視できない。

しかしさきにつれたごとく内航輸送部門における構造変化の一つとして、既に低能率船に代わるバージラインシステムが登場しており、大きいハッチウエイを武器として容易な荷役と高い稼働率を誇っている。将来はさらにコンテナ輸送方式、パレットシツプ方式の是非が検

討される模様で、在来船をめぐる情勢は急迫している。

したがってこの情勢に対処して、昭和39年度に施行されたいわゆる内航ニ法に基づく各種措置のうち、内航船舶の適正船腹量の算定は、在来船の過当競争を避けるためにも、質的向上を計るためにも適切な措置といわねばならない。この定めによつて機帆船は第7-7図の目標に向つて漸次整理、統合されるわけであるが、昭和43年度末においても控え目にみて大略12,000～13,000隻の船腹を保持することになる。

そもそも複雑な海岸線を持ち、また数多くの島嶼に恵まれた地方での物資交流の用具として船がすぐれており、その大きさ、船型、性能などが航行水域の諸条件に適合するように発展するであろうことは想像に難くない。主な活動水域を内海およびその周辺とする機帆船は、まさにこのような船であり、多様な物資を多少にかかわらず、港あるいは海岸から揚げ降ろしできる便利さを備えている。

明治の末葉にわが国に紹介された焼玉機関は、小型船舶に適した機関として認められ、久しく帆走によつて運航されていた木造貨物船にも補助機関として採用され、ここに現在の機帆船の原形が誕生した。その第一船は、愛媛縣伯方町における日光丸(30GT)と推定され、また

明治41年度版日本船名録には14隻の機関を有する帆船が収録されており³⁾、これから推定すると機帆船出現以来60年にすぎない。この間機帆船は第7-2図のごとく順調に発展し、第2次大戦中に帆船に代わる地位を確保した。

補助機関の採用により潮待ち、天候待ちなどの帆船の欠点が取除かれ運航能率が躍進し、これとともに船型は次第に大型化し(第7-3図)内航海運部門において小型鋼船と競合することになる。しかもその後焼玉機関の進歩、改良により機関への信頼があがるとともに、当初の帆主機従の立場は転倒し、昭和の初期には既にこれを帆船として扱うことに疑義を生ずるまでになった。機帆船問題における錯誤、混乱の萌芽はおそらくこの時期に生じたものと思われる。これを同じように補機併用の帆船として出発しながら、汽船に発展した航洋帆船の歴史と比べるとまことに興味あることである。

現在の機帆船の大体の姿を説明すると、すべて船尾機関船であり、船のこの部分に平均3名、最大6名程度の居住設備を持ち、船尾の外見は天保どもならびに楯田型船尾をもつものが多い。機関室前端から船首樁後端までの一画を一つの貨物倉とし、船長の50~55%がこれに当てられる。内海およびその周辺水域を航行する船の倉

口は、いわゆる総ハッチあるいは狭い中甲板を持ち一見総ハッチに近い形式のものが多く、これに対して沿岸とくに北海道、東北地方周辺には上甲板に木船構造規則に準じた倉口を持つものがある。倉口中心線上には屋棟と称する倉口縦材を一条通し、この屋棟とブルワーク上端あるいはブルワークの上に設けた仮構の囲壁いわゆる差板の上端との間に上苫（または上苫板）と称する板を渡してハッチ全体を閉鎖し、この上をターポリンでおおう。

船倉両端の隔壁は水密ではなく、特に機関室前端隔壁は差板構造もしくは板材のばう打ち構造であり、修理の時に機関を倉内に取り出したり、平時には機関室から直接倉内に交通できるようになっている。

マストは石材運搬船を除けばおおむね前檣だけでありこれに能力1トン程度のデリックブームを持つ、これは荷役以外に伝馬船の揚げ降ろしなどの雑用に供するほか帆走にも使用することがある。荷役装置としては普通これだけであるが、砂、砂利運搬船ではサンドポンプ、グラブを持っている。

速力は主機の能力からおおむね満載時の1ノットどまりであるが、最近では小型鋼船との対抗上ディーゼル機関を採用し8ノットを越えるものもある。また冬期は前檣に展帆して帆走する場合があります、使用経験率は40%程度と

なっている。⁴⁾

最後に天然曲材の不足、工作、強度上の諸点から、船体材料として鋼材を使用する傾向があり、使用箇所はビーム、ウエブフレーム、最上層外板、倉口、キールの保護、ブーム、舵および舵柱、機関台等に及んでいる。特に舵およびその付近の構造の鋼材化は船速の向上を図るため積極的に行なわれており、総数の45%程度が鋼製舵板を用いているものと思われる。

さて上記概説のごとく、機帆船は内航海運に適した機能を備えた船ではあるが、一方本章の初めに述べた経済性における弱点以外に、造船学的にみて少くない欠点もあわせ持っている。その現われの一つが異常な海難発生度数であろう。昭和39年度5GT以上の機帆船海難数は760隻であり、⁵⁾5GT以上保有隻数の5.9%に相当する。また機帆船と類似の船型を持つ小型鋼船の海難も保有隻数の増大とともに増加の一途をたどりつつある。

このような事情にかんがみ最近船舶の安全体制の強化について関心が高まり、内航船舶に対する満載喫水線標示義務船の範囲の拡大、航行水域の規制等について検討が進められつつある。

しかしこの動きにもかかわらず、機帆船の安全性につ

いての検討を受け入れるに足るだけの研究ないし調査は現在まで行なわれていない。

そもそも船舶の安全性を検討するに当っては、同種船の重大海難例を調べる必要がある。機帆船は内海およびその周辺水域を活躍の中心としている関係上、この水域において全海難数の83%が発生している。⁵⁾したがってこの水域における海難例の調査結果をもって、類似環境における同種船の安全性を代表させることは合理的であろう。

本研究の目的は、機帆船の海難資料を中心に、その安全性を検討し、その造船学的海難原因を抽出し、またその対策を研究するものである。

さて気象、海象による海難原因を構成する二つの要素——第一に船体の力学的性質、第二に外因である気象条件——の関係は体系的に調査、吟味されなければならない。それにはまず個々の海難例について、その機構を具体的にかつ多角的に調査、吟味する段階、つまり海難の *case study* があり、次にこの *case study* を基礎に、各種の海難の模様を外因である気象条件の変化に関連して記述し、さらにその危険度を推定することが必要である。

内海周辺という特殊な水域における機帆船の安全に関する研究にも、上記の研究手続は最も望ましいものであ

るが、不幸にして、機帆船の船型に関する諸性質のあいまいさのゆえに、*case study* はほとんど不可能である。したがって本研究では、上記の方法を捨てて、より周辺的研究手段である統計的方法を用いざるを得なかった。また本研究にいう海難は、特に記さない限り、気象、海象による浸水、沈没、転覆に限定することにし、衝突、乗上げ等はこれを除外する。

本章に続く、第2章では、機帆船の定義を造船学的に考察し、種々の考え方を比較するとともに、本研究に即した考え方を定めた。

第3章では、機帆船の船型に関する研究が、従来まったくなされていらない事実にがんがみ、造船地および実船調査の結果として、これに“機帆船型”の仮定を導入し、取扱い資料の範囲を定めた。またこの考えに基づいて、復原性、動揺性、操縦性など、機帆船の波浪中の安全性に関連する因子について、実船および模型船による基礎的研究を行なった。

第4章においては、機帆船の運航状態に関する調査結果を述べ、航海時の喫水、乾玄についての資料および航海上の慣習について考察した。

第5章においては、機帆船海難の外因である、気象、海象の内特に海象について、機帆船航路上で実施した波

浪調査結果を記述し、特に波浪の統計的特性とエネルギー
スペクトラムについて論じた。

第6章においては、海難の一般的傾向を紹介し、また
機帆船の海難過程の中には、相互に共通な、また同時に
機帆船に独特なものがあることを指摘した。さらに192
隻の沈没等重大海難例について、第3～第5章の結果を
引用し、これを統計的に考察、吟味した。最後に前述の
機帆船の海難過程における特色が、その独特な船型に由
来することを、運動学的解析を通じて、明らかにした。

第7章では、機帆船の安全性向上の対策を、前章まで
の結果に基づいて、具体的に提案し、本研究の結論とし
た。すなわち設計上、構造上の改良点について指摘し、
さらに運用上の改良点についても造船学的に意見を述べ
た。また海上における船舶の安全上から、常識的ではあ
るがまた極めて重要な事項である、喫水の制限について
詳しく論じた。

第1-1表 輸送機関別分担率および¹⁾
平均輸送距離(昭和39年度)

区 分	輸送トン数 (%)	輸送トンキロ (%)	平均輸送距離 (km)
国 鉄	7.8	32.0	294.4
私 鉄	2.0	0.5	19.2
自 動 車	83.9	25.6	21.4
内航海運	6.3	41.9	468.4
全輸送機関	100	100	70.0

第1-2表 内航船の船質構成²⁾(昭和38年度)

1. 隻数構成

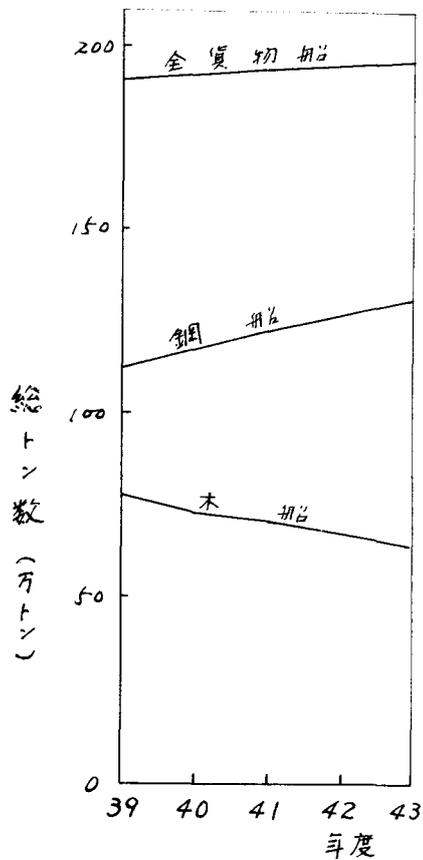
		貨物船	油送船	合 計	比率(%)
鋼 船	大型 (500GT以上)	528	197	725	2.5
	小型 (500GT以下)	1,088	862	1,950	6.7
機帆船		25,550	775	26,325	90.8
				29,000	100

2. GT別構成(単位、千トン)

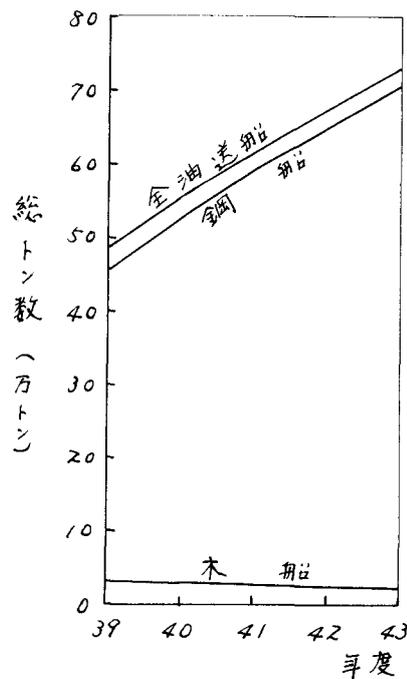
		貨物船	油送船	合 計	比率(%)
鋼 船	大型 (500GT以上)	780	197	977	36.6
	小型 (500GT以下)	355	205	560	21.0
機帆船		1,091	43	1,134	42.4
				2,671	100

第1-3表 内航貨物輸送量 (昭和38年度)²⁾

区 分		輸送トニ数	輸送トニキロ	平均輸送距離
木 船		53,680	12,724,419	199.8
鋼 船	小型 500GT以下	75,981	31,003,537	408.0
	大型 500GT以上	43,559	36,228,374	831.7
	小 計	119,540	67,231,911	562.4
總 合 計		183,220	79,956,330	436.4

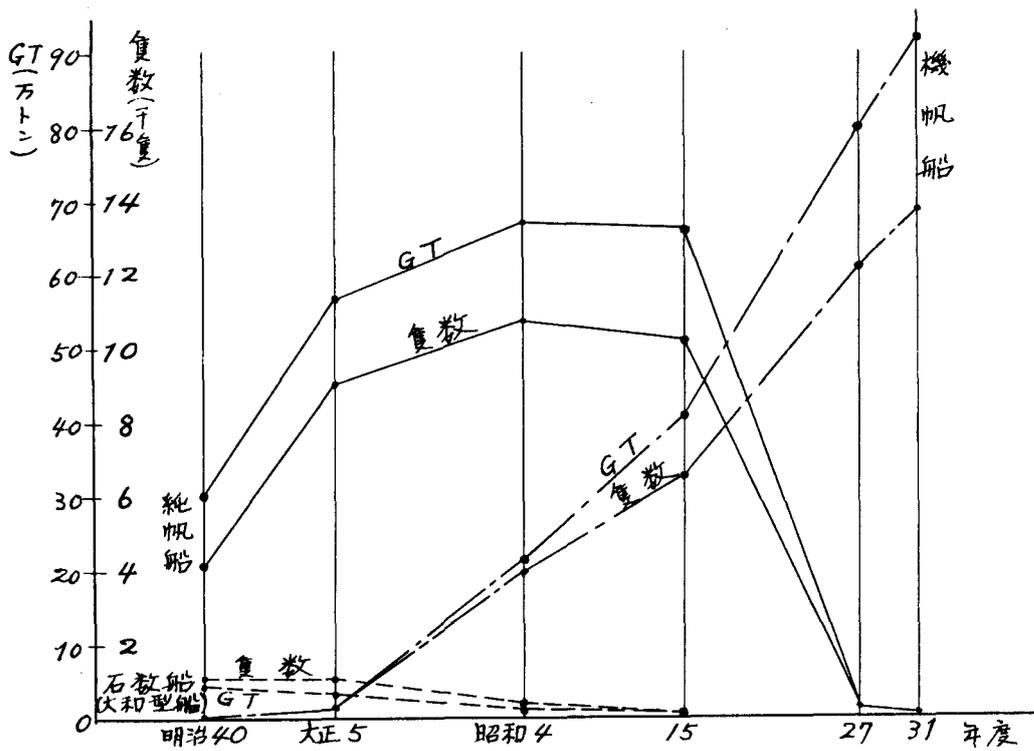


貨物船

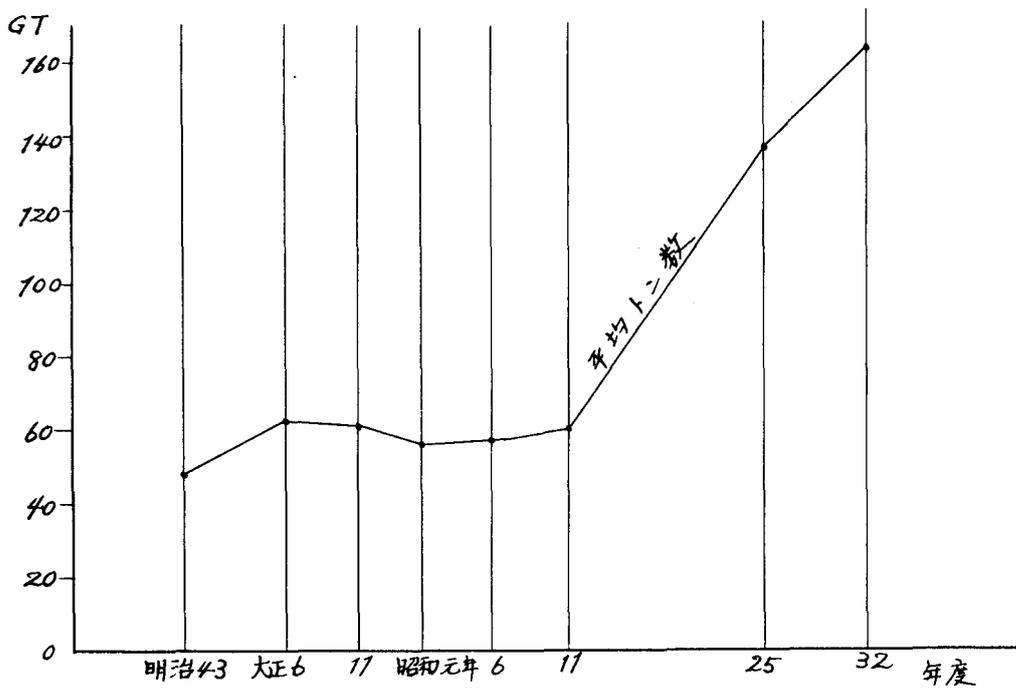


油送船

第1-1図 適正船腹量



第1-2回 純帆船、機帆船および石敷船の推移³⁾
 (20GT以上、漁船を含む)



第1-3回 機帆船平均トニ数の推移

第二章 機帆船の定義

機帆船とは補助機関付帆船（あるいは一説に、発動機付帆船）の略称であることは、すでに前章において述べた。しかしこれはいわば俗称であつて、學術用語でもなくまた法律用語でもない。たしかにわれわれは機帆船と呼ぶとき、ある種の船型、性能を持つ木造船を腦裏に容易に描くことができるが、必ずしもその性格を十分認識しているわけではない。本章では機帆船の法的性格を明らかにするとともに、さらに現実に即した機帆船の定義を求めるところにする。

i 船舶法上の分類

船舶はすべて汽船または帆船のいずれかに区分される。純帆船は最近絶無に等しく、現在帆船として登録されている船のほとんどが機帆船であり、また次章に述べるごとく機帆船の多数は、帆船として登録される。

船舶法における区分および取り扱いの関係条文を引用すれば、

a. 船舶法施行細則

第一条に『主トシテ帆ヲ以テ運航スル装置ヲ有スル船舶ハ機関ヲ有スルモノト雖モ之ヲ帆船ト看做ス』とあり、機帆船は『主トシテ帆ヲ以テ運航』しう

る能力の判定に従って帆船あるいは汽船に分類されることになる。したがって木または鋼等の船質の違いは区分以上本質的なものではない。

船舶の登録等公式の記録はすべてこの分類に従い、特に船舶の海難統計には運輸省海難統計（指定統計21号）がある。なお取扱手続4の測度手数料細付書には『、、、船舶ノ名称、汽船、機関ヲ有スル帆船又ハ機関ヲ有セサル帆船ノ區別、、、』を記載することになっていて、機関を有する帆船は汽船と同じ扱いにしている。

6. 小型船舶の船籍および積量の測度に関する省令20GT未満の船舶の船籍、積量等について定めた表記の政令第2条、第1項に『船舶の種類（推進機関または帆走装置の有無およびその利用の程度を基準として運輸省令で定める汽船および帆船の別）』とあり、さらに省令第2条には具体的に『運輸省令で定める汽船は、推進機関のみにより運航する船舶および主として推進機関により運航する船舶とし、運輸省令で定める帆船は、帆走装置のみにより運航する船舶および主として帆走装置により運航する船舶とする』とあり、a.に比べて明快な説明を与えているが、帆・機併用の船ではなお能力判定の問題が伴う。

なお積量および測度についての取扱手続第一の六に、積量に関する証明書には『...汽船で、補助帆装を有するものにあつては帆装付汽船と記載すること』とあり、機付帆船という表現は用いられていない。また同手続第四の船舶簿の船舶の種類欄には『汽船、帆船の区別を記載し、この場合において汽船で補助帆装を有するものにあつては、汽船(帆装)と記載すること』とあり、機帆船は実質的には汽船として扱うべきことを示している。

2 海上衝突予防法

動力船および帆船の区別がある。しかしこれはその時の運航状態による分類であつて、ここでいう分類とは関係がない。すなわち機走または機帆併用で航走中は、補助機関付帆船といえども動力船となる。次に法を離れて、考へうる機帆船についての定義を列挙すれば

3 最広義に解釈して、帆と機関を併用する船の総称であり、船質は問わない。

さきに述べた船舶法中における汽船、帆船の分類と並立して機帆船の分類を置くとすれば、これが最

も可能な表現であろう。船員法第 19 条による海難報告書にある“機帆船”は上記の考へに基づくものであろう。

4 帆と機関を有する船で漁船以外のものをいい、船質は問わない。

これは海上保安庁における「要救助海難統計」上の分類と相通じるものがある、すなわち同庁によれば『…機械力と帆のいずれでも運航できる漁船以外の動力船をいう』とあり、統計処理上実際的な分類といえる。

5 帆と機関を有し、一般貨物を運ぶ木造貨物船をいう。

これによつてタンカーを分離し、現実の機帆船に近い表現になる。

しかし上記 2 ~ 5 は、機帆船が帆装しているという立場から行なわれた便宜的な定義であり、われわれが通念として持つている機帆船の姿を完全に表現するものではない。本質的な要素はむしろ後章で述べるいわゆる機帆船型であつて、帆機併有ではない。このことを念頭に置

いて、次のように表現する

6 木造貨物船の総称であつて、汽船、帆船の区別は顧慮しない。

このようにすれば、『帆のない機帆船』を含めた一群の船種を造船学的に定義しうることになる。

本研究には機帆船の定義として、6を採用し原則としてタンカーは除外した。

第 3 章 機帆船型について

大部分の機帆船は地方の船匠の手になるものであり、彼等の流儀に従って建造される。設計および建造の手法はただ船主の要望を彼等の経験による勘によつて調和させるものであり、戦時標準木造船の建造によつて幾分近代造船学の影響を被つたにせよ、ひつきよう徒弟制度による技術の域を出るものではない。この点あらかじめ設定された性能を目標に理詰めで建造される一般鋼船の場合と著しく趣を異にする。

船主の要求は一概にはいえないが、船型、積トン、速力が主であり、GT あるいは主要寸法が時に追加される。要求を満たすと思われる大体の主要寸法および寸法比が決まれば線図を引く。しかしこれはもつぱら工作用線図であつて、これについて各種の計算などを行なわないのみならず、船の完成後は破棄されて、残存することは極めてまれである。従来機帆船についての造船学的研究がほとんどなく、またあつても徹底しなかつた原因はこの辺にあるのであろう。

本研究の基礎となる機帆船型についての調査も、上記の致命的な制約のため皮相にならざるをえない。したがつてここでは、できうる限り機帆船の外観的諸元から決まる船型の性質について調査を進め、必要に応じて実船

あるいは模型船による調査を補助的に用いた。

3-1 機帆船型の大別

機帆船の船型は、その用途、大きさ、就航海面、建造地および建造年代によつてまさに千差万別である。この船型の多様性による混乱こそ機帆船の安全性問題における一つの焦点といえる。本節では配置を安全性の立場より注目し、特に倉口付近の配置に重点を置いて船型の分類を行った。

内海周辺における機帆船は次の4船型に大別される。

(第3-1図)

(I) 船首尾樁がないもの。小、中型の船に多く、船首尾にごく短い(1/5以下)部分甲板を有する。

(II) 船首尾樁があるもの。中、大型の船に多く、船樁甲板と玄艙上面とは同じ高さのものと、そうでないものがある。玄艙上に差板を備える船が多い。(写真3-1)

(III) 船首尾樁と全通甲板があるもの。中、大型の船に多く、船樁は首尾連続しており、この部分に倉口を持つ。また中甲板の位置にも倉口を持つものが多く、これは特に大型機帆船の標準型である。

(写真3-2)

(IV) 機帆船としては異常に広い水密甲板を持つ特殊船型のものがある。これには水密甲板上に石材を積載し、倉内を void space としたいわゆるデッキ船とか、同じく上甲板上に砂を積載し倉内に砂採取および排水兼用の強力なポンプを備えた特殊な砂運搬船がある。これらはおおむね小型であり、全体からみれば数も少ない。

[I]~[III]に対して、船体横断面の概形は第3-1図(a)、(b)、(c)に大別できる。[I]と(a)、[II]と(b)、[III]と(c)の組合せがもっともよく見かける配置である。(b)、(c)にみられる上甲板(俗称中甲板)は、船側を固める強度上重要な部材であるが、その幅はきわめて狭く、石炭運搬船では0.8~1.0m、木材運搬船では0.4~0.6mにとどまる。(第3-1図(d)および写真(3-3))またこの部分の倉口には、説明図(b)、(c)のごとく、閉鎖装置はなく、また甲板線に沿って排水口もないから、通常の上甲板としての機能は持っていない。

舷艦上面付近の構造は第3-1図(イ)~(ハ)等がある。

(イ)~(ハ)は(a)、(b)断面に対応し、水返しの部分に差板を備え、軽貨物運搬時に貨物を保護している。(イ)は主として(c)に、ときには(a)に用いられる構造であつて、不完全ながら倉口の形をしており、これには原則として差板は備え

ない。写真(3-2)はこの典型的な例であつて、重量貨物運搬の大型機帆船にみられる船型である。

以上は内海周辺に見られる船型であるが、この他本州沿岸には、暴露甲板に木船構造規則に準拠した倉口を持ち、玄艙に放水口を備えた(差板を併用するものが多い)船型があるが、これを内海周辺で見かけることはきはめてまれである。

さて船型〔I〕、〔II〕、〔III〕における深さの認定は、次の二つの理由によつて複雑なものとなつてゐる。

まず第一に深さの上端点の決定にあたり、連続上甲板がある場合には問題はないが、船体中央部に甲板を持たぬ場合には、部分甲板について『……船首または船尾からはじまる甲板であつて、その甲板を上甲板とみなしたときの船の長さの $\frac{1}{2}$ 以上の長さの甲板(2層以上あるときには高い甲板)を玄端に平行に仮想して』上甲板とする(船舶積量測度要領)。この要領は昭和33年の改正によるものであるが、改正前には2層以上の部分甲板についてその下層のものを採つた事情により、深さの上端の決定にあたり同型船でも、測度要領改正前後で食い違う場合がある。後に述べるように極端に深さの小さい船が存在するのは、このような理由による。

第二に玄艙高さの問題がある。すなわち上甲板以上に

ある外板延長部分は法的には玄艦とみなされるべきものであり、また玄艦は水密な上甲板上にあつてこそよくその機能を果たしうるものである。しかし機帆船にはそのような上甲板は存在しない。しかも上甲板を越えた外板延長部分の高さ h が大きく、 2m 程度のものは珍しくない。これがさきに上げた測度要領の問題とからんで測度要領改正前では、異常に小さい深さとこれに比べて異常に大きい玄艦を持つことが機帆船の常態となつており、機帆船は測度要領上の緩和点を有利に用いていたといえる。この点についても測度要領改正に伴い、高さ 1m を越える玄艦については、上甲板あるいは仮想上甲板線はこれを深さの上端点とみなさず、玄艦上端面（水返しのあるときは水返しの上面）を採ることになった。すなわちこの場合深さは $(D+h)$ となる。したがつてこの点からも測度要領改正前後でも食い違いがあるわけである。船名録等公式の要目表による主要寸法 D については、上記の事情があるから、与えられた D を、鋼船における通常の意味の深さと区別しなければならぬ。本研究では玄艦上面線までの深さを特に見かけ深さ D_0 と呼称することにする。

3-2 機帆船の主要寸法

20 GT 以上、沿海区域の航行資格をもつ多数の船について調査した主要寸法（喫水を除く）と GT の間の関係は、第 3-2 ~ 3-4 図のごとくなる。また図の平均線を式で示せば、次式がえられる。

i) CUBIC NO. と L の関係 (第 3-2 図)

$$L \cdot B \cdot D = 28 \times \left(\frac{L}{10}\right)^3 \quad (3-1)$$

2) GT と CUBIC NO. の関係 (第 3-3 図)

$$GT = 0.27(L \cdot B \cdot D) \quad (3-2)$$

3) GT と L の関係 (第 3-4 図)

$$GT = 7.5 \times \left(\frac{L}{10}\right)^3 \quad (3-3)$$

以上三つの関係によつて、平均的な機帆船の載貨能力を推定できる。

また主要寸法比 L/B 、 L/D は第 3-5 図、第 3-6 図に示す分布になる。これらについては次節以下に説明する。

3-3 機帆船型の性質

この研究は機帆船の安全性を統計的に調査、吟味するものである。この目的のためには、船の諸性質が調査しうる最も実地的な量、たとえば主要寸法、喫水などによつて表現しうることが望ましく、しかもそれらを用いてある対象船について調査した結果が case study (行ないうるものとして) の平均的結果とかけ離れたものであ

つてはならない。本節では上記の論旨に沿い、機帆船型について述べる。

機帆船群は明らかに独立した船型を持つ。これと他の船型とを区別する第一の特徴は主要寸法比 L/B であろう。なくとなれば、主要寸法比 L/D あるいは B/D など D を含むものは、前節で説明したごとく、 D が必ずしも見かけ深さを示す尺度とはならず、船型の特徴を示す数としては適当でないと考えられるからである。事実さきの L/B 、 L/D 分布図を見れば、 L/D がかなり広範囲に分布しているのに対し、 L/B はその大部分が $3.5 \leq L/B < 4.1$ の範囲にはいつてしまう。 L/B のごく小さい部分には舢型の船があり、 L/B の大きい側たとえば $L/B = 5$ 近くでは漁船改造のものとか港内専用の小型のものが目立つ、しかもこれらはいずれもいわゆる“機帆船型”を持つ船とはいえない。以上の理由により、この研究では前節で説明したような外観、配置を有し、しかも $3.5 \leq L/B < 4.1$ の範囲にあるものを“機帆船型”を持つものと約束する。

このように L/B をある範囲に限定し、“機帆船型”を仮定することができても、船型の細部の性質は本章はじめに述べた制約のため、具体的には把握できないうらみがある。このため実船についてある程度の子備知識を貯える必要があった。そこであらかじめ内海沿岸の造船地

において、造船技術について広範な現地調査を実施した
後、^{*}代表的な数隻の実船について各種の計算を行ない、
さらに多数の実船の就航状態について調査した。また実
船では調査できぬ部分については、模型船による横揺実
験、操縦性実験を補助的に実施した。以下にこれらの結
果を順次述べる。

3-3-1 資料についての計算

造船地調査等において図面収集ができた11隻の実船に
ついて必要な計算を行なった。第3-1表にその要目を示
す。

$\frac{1}{2}$ の範囲は2隻を除いてさきに述べた範囲内にあり、
また $\frac{1}{2}$ はかなり広範囲にわたるが、 $\frac{1}{2}$ は大体同じような
値になる。ただし資料船Bは沿岸航行の石材運搬船であ
って、内海航行の船とかなり違う $\frac{1}{2}$ を持っている。これ
らはすべて丸型中央断面を持つが、角形中央断面^{**}を持つ
ものはその数が少ないことから特に考えないことにした。

*脚注 尾鷲(三重)、田辺(和歌山)、吉野川口(徳島)
淡路、家島(兵庫)、高松(香川)、波方、松山
(愛媛)、木江、倉橋島(広島)。

**脚注 和洋折衷型といえる

第3-7図に資料船の線図概略を示す、調査の印象によれば、内海一円に活躍する機帆船が持つ船型は、大体この資料の中に含まれているものと思われる。

さてこれら資料は互いに多少違った形をしているが、特に相違している点は、船底勾配、弯曲部半径の大きさであつて、第3-1表には $2l/B$ 、 $2R/B$ の形で示してある。大まかにいえば、資料群はこの値の大小に従つて、少しずつその性質を異にするようである。

i) 資料船の C_b 、 C_w 、 KB 、 BM_T の値

第3-8 ~ 3-11図に結果を示す、計算は型寸法について行ない、敷構造は船体に含めた。

C_b 、 KB は各船について大差なく、特に機帆船の常用喫水 $d_m/B = 0.4 \sim 0.45$ 付近では実用上その平均を用いてもよい。また C_w 、 BM_T などは、各船の個性が表われてくるが、さきに述べた船底勾配、弯曲部半径の大きさによつて変化しており、これは資料Fを中心とする群と資料Eを中心とする他の一群に別れるようである。

2) 資料船の復原カクロスカーブ

各船の復原カクロスカーブをインテグレーターで求めた(第3-12図)。さらにこの結果を用いて、近似復原力曲線を与えるいわゆる a/b 、 b/d 2係数(今井-渡辺)を定めた。これを第3-2表に示した。

以上によつて機帆船型の持つ大体の性質を資料船について知ることができた。しかし海難の解析に当つては、第6章に説明するごとく、主としてF船の結果を用いた。なおF船については、第6章、第6-9-1図、第6-9-2図にも資料を示した。

3-3-2 模型船による各種テスト

第3-1表の資料船Fは他の資料船に比べて正確な図面が整つており、研究調査上好都合である。しかもF船の $L/B=3.78$ は第3-5図にみられるごとく実在船としては最も多い部分にあたり、この意味では機帆船の平均的な性質を持つものと思われる。

本項ではF船の $1/2$ 模型による横揺れおよび操縦性実験の結果について述べる。なお横揺実験では、機帆船と類似した寸法比を持つ小型鋼船模型についても比較実験を行つた。F船模型について第3-3表、第3-13図に、小型鋼船については第3-4表に寸法等を示す。

1) 横揺実験

機帆船は一般に載貨重量および貨物の種類が一定しない。このため航海時の喫水、トリムおよび船体重心の位置が大幅に変動する。またそれだけでなく次のような横揺抵抗上互いに相克する構造、すなわち

- イ) 一般に幅の広い敷形式の竜骨を持ち、ビルジキールを持つものは少ない、
- ロ) 船底勾配、弯曲部半径はかなり大きく、 C_b は案外大きくないが C_p は大きい、
- ハ) 船首の傾斜は 30° 前後あり、船尾の *skeg* も舵面積も大きい、

等のため、横揺抵抗の推定は困難であり、しかもこのような特殊船型についての研究例はない。以上の理由から模型船によるテストを行ない、いわゆる“ N ”係数を求めた。

試験状態およびその結果を第3-5表に示すとともに、 $\theta = 14^\circ$ における N を $N \pi^2 \cdot g/B$ の形で図示した(第3-14図)。

第3-5表によれば機帆船の横揺抵抗は大きい。たとえばこれをさきの小型鋼船模型における横揺試験の結果(第3-6表、第3-15図)と比較すれば、小型鋼船の横揺抵抗の方が小さいことがわかる。これは機帆船の船尾付近の *dead wood* の横揺抵抗への利きが大きいように思われる。船舶の安全上横揺抵抗の大きいことは都合のよいことであつて、以上の結果をそのまま実船に適用できるとすれば、実船の喫水、重心位置および横揺周期を知ることにより、第4章、第2節の順序によつて、その状態で

の N 係数を推定しよう。

2) 機帆船の操縦性

船舶の操舵あるいは外乱による船体の運動は、旋回角速度についての一階線型微分方程式によつてよい近似をもつて表わすことができる。⁶⁾ この方法によれば、船の操縦運動の特性は、旋回力の指数 K と追路安定性ならびに追従性の指数 T の 2 要素によつて代表される。すなわち操舵による船の旋回運動は

$$T \frac{d\psi}{dt} + \psi = K \delta \quad (3-4)$$

ψ 旋回角速度

δ 舵角

であり、 K 、 T の物理的な意味は、野本によつて

$$K = \frac{\text{舵による旋回モーメントの舵角に対する係数}}{\text{旋回抵抗モーメントの旋回角速度に対する係数}}$$

$$T = \frac{\text{旋回運動における船の慣性モーメント}}{\text{旋回抵抗モーメントの旋回角速度に対する係数}}$$

と説明されている。

この理論を用いて多数の模型船、実船の操縦性試験が解析されてはいるが、機帆船のごとき特殊な船型についての操縦性はほとんど知られていない。

空倉ないしは半載状態における機帆船は大きく船尾にトリムしており、舵面積比 $A_R/L \cdot d$ も大きく、したがって旋回抵抗モーメントも大きくなり、 T は小さくまた K も小さくなり追従が速くかつ進路安定である。

これに反して満載状態では旋回抵抗モーメントが小さくなり、したがって T は大きくなり、ときには進路不安定となる心配がある。

旋回に対する船体の抵抗は、肥えた船ほど小さくまた B/d の大きいほど小さい。肥大度を $C_b/\frac{1}{3}$ で表わせば満載状態での機帆船における値は 0.2 にも達し、現存船の中ではおそらく最大になる。内海のごとく狭水道が多数存在する水域での操船の問題は安全性上特に重要であつて、この意味においても機帆船型による操縦性実験は必要な研究事項である。

実験は大阪大学操縦性実験池において行なつた。模型船の試験状態を第3-7表に示す。

a. 自航模型船によるZ操舵試験

模型船の操縦性指数 K 、 T の無次元表示 $K' (=K \frac{1}{V})$ および $T' (=T \frac{V}{L})$ を実験中の回頭角速度の平均を無次元化した $\Omega_m (= \dot{\psi}_m \frac{1}{V})$ に対して表示すれば第3-16図のごとくなる。

図によれば船首トリムがあれば、等喫水の状態と比べて K' 、 T' はともに増加し、船は不安定化するとともに、舵角 5° 船首トリム $3.93\%L$ における K' 、 T' はともに負になり、したがってこの状態では進路不安定となっている。一般に船はゆるやかな運動ほど進路安定が悪いものであるが、この模型船の場合 $\Omega'_m = 0.16$ ぐらいが安定限界である。これを舵角に換算すれば $7^\circ Z$ ぐらいより微弱な運動、通常の保針運動はこれの中に含まれるのだが、に対してこの船は進路不安定であり、操舵に対する反応は必ずしも正常ではない。

波浪中特に追波中においては、船はしばらく船首トリムの姿勢で航走する期間が現われる。この場合船を回頭させようとする横の力が作用すれば、この状態で船は既に進路安定性が劣化しているから、進路不安定な船ほど原針路から大きく外れて、横波を受けることになり安全上きわめて危険である (*broaching* といわれる)。

b. 自航模型船によるスパイラル操舵試験

舵角を大角度から順次小角度に段階的にもどしつつ、それぞれの舵角と対応する定常旋回角速度の関係を図示すると、進路不安定船では原点まわりに履歴ループがでる。模型船についてのスパイラルテストの結果は第3-17図

のごとくなり、不安定ループの存在が認められた。

以上 a. b. 2 項目の試験結果から、機帆船模型における進路不安定性が確認されたわけであるが、実船の進路安定性については後に述べる。

3-3-3 実船による各種の試験

前項で述べた諸事項に関連して、実船の横揺周期の測定、傾斜試験および少数ではあるが操縦性試験を行なった。以下これについて述べる。

i) 実船の横揺周期の調査および傾斜試験

波浪中の船舶の安全性を考えるに当り、各種の因子があるが、その中で動揺周期は特に重要なものと思われる。

実船の横揺周期の推定には、加藤の近似式があり、普通船型の船舶ならびに漁船の周期の推定によく使われている。しかしおおむね正式な上甲板を持たず、かつ複雑な船型を持つ機帆船の場合、船体実質部の範囲の決定に当り個々の船ごとに特別の考慮が必要であり⁷⁾、あまり実際的な方法とはいえない。このような理由から実船における横揺周期の測定を多数の船について実施した⁸⁾。

船の横揺周期を支配する GM と環動半径は、貨物重量

とその積付によつて変化するが、機帆船のような一層甲板船では、積付は特殊な貨物を除き、倉内敷板の上にならに行なうから、積付の効果は貨物の比容積に支配されると考えてよい。したがつて本章の冒頭に述べたごとく、機帆船が類似の船型を持つものと仮定すれば、船体固有の諸性質は相対的に同じであるから、ある載貨重量（ある喫水）における実測横揺周期は貨物の *stowage factor* $S.F. (m^3/t)$ の関数として表示できるはずである。

第3-18 図は上の論旨に従い、横揺周期の実測値を整理したものであり、横揺周期は横揺数 $T_r\sqrt{B}$ をもつて、載貨重量を示す尺度として dm/B (第4章参照) をもつて表わしている。

この図はセメントの $S.F.=1.0$ 、耐火煉瓦、クリニカー等の $S.F.=0.5$ 、綿糸の $S.F.=4.0$ としてこれらを基準に各 $S.F.$ 間を分割し、破線の曲線で中間の $S.F.$ に対する $T_r\sqrt{B}$ を求めうるようにしたものである。

第3-18 図によれば、機帆船はおおむね軽頭船であり、 $T_r\sqrt{B}$ が9を越えることはほとんどなく、重貨物積載時とか空船に近い状態では往々にして5以下となることもある。

横揺試験にあわせて、少数ではあるが傾斜試験を実施した。測定された傾斜角は1°前後であつた。この際排

水量の推定には、本章はじめに示した C_b の平均値を用いた。第3-19図にこの結果を GM と横揺数の関係で示した。図中にはまた渡辺、井上⁹⁾の与えた曲線を併記したが、さきに述べた C_b の推定の不確かさにもかかわらず、この範囲ではよく両者は一致している。

また第3-18図、第3-19図から $T\sqrt{g/B}$ を消去して、喫水と GM の関係を作れば第3-20図を得る。

以上の関係図によつて、喫水、貨物の $S.F.$ の2因子が与えられれば、類似船型の横揺周期、 GM 等が簡単に推定できることになる。

2) 実船の操縦性試験

機帆船の操縦性試験は、操舵設備系のがたおよびコンパスの大きい自差等設備の不備と、航路上に存在する複雑な潮流および多数の往來船のために、実施がきわめて困難であり、2例について記録を得たにすぎない。以下これについて述べる。

第3-8表の2隻について操縦性試験を実施した。このうちL船についてはスパイラルテストを、M船については2操舵試験を完全に行なうことができた。

第3-21図にL船のスパイラルテストの結果を示した。図によると満載状態ではわずかに履歴ループができてい

る。またM船のZ操舵試験の結果を第3-9表に示した、この表のK、Tから直ちにこの船の進路安定の良否はわからない。しかしこれを文献(70)の進路不安定船の例と比べれば、やや安定性に勝るようである。これは大きな舵面積によることは明らかである。したがって機帆船の操縦性関係ではむしろ人力操舵に伴う諸問題と舵面積との関連の究明も必要と思われる。

3-3-4 縦揺周期の推定

実船の縦揺周期の測定は技術上困難であり、本研究では航海中測定した1例をみるにすぎない。

縦揺周期の近似式には、田宮、Lewisの提案式があるが、ここでは次のようにして縦揺周期を推定した。

T_p を近似的に

$$T_p = 2\pi k_0 / \sqrt{GM_L \cdot g} \quad (3-5)$$

$$k_0^2 = k_y^2 + k_y'^2$$

あるいは

$$C_0^2 = C_y^2 + C_y'^2$$

ただし

k_0, k_y, k_y' ; 見かけの船体の、付加質量の縦環動半径。すなわち各質量の慣性モーメントを船の質量で除いたものの平方根。

$C_0, C_y, C_y'; k_0, k_y, k_y'$ の船の長さに対する比。

とすれば、 k_y (あるいは C_y)、 k_y' (あるいは C_y') が機帆船型について与えられれば、縦揺周期の推定は可能である。

i) k_y の決定

k_y の推定には船体の重量分布が必要であり、従来は鋼船の重量分布形をそのまま木船に用いている¹¹⁾ ようである。しかし機帆船は船体重量さえ全く不明であるから、適当な仮定のもとに船体重量およびその分布を近似しなければならぬ。すなわち

- 1) 機関部重量は機関室前端壁から A.P. まで均一に分布せしめ、またその重量は 621 隻の資料より得た関係、すなわち

$$B.H.P. = 8.5 \left(\frac{L}{70}\right)^3$$

から実在の焼玉機関重量^{*}を推定し、さらに

$$\text{機関部重量} = 1.5 \times (\text{主機重量})$$

とした。

- ロ) 55 隻の空船資料からその平均喫水 $dm/B = 0.225$ を得る。これによつて空船時の船体重量を求め、さらに 1) を用いて船体のみの重量を推定する。これを第 3-22 図の要領によつて、 C_p 曲線の肩の位置 A、B 両点を決定の後、A B 間が均一分布になる

* 脚注 たとえば (12) によつてもよい。

よう b を、また A の後方に居住区構造分として a を与える。最後に 1) で求めた機関部重量を $A.P. \sim A$ に均一に分布せしめる。

ハ) 55 隻の空倉時トリム T の平均 $6\%L$ になるように、 a 、 b を決定する。

ニ) 貨物重量を $A B$ 間 (倉内) に均一に分布^{*}せしめる。資料船 F 、 L 、 E について計算を行なえば、第 3-10 表のごとくなる。

2) k_y' の推定

模型船の k_y ならびにその縦揺周期 T_p の測定から求めた k_y' は第 3-11 表のごとくなる。また元良の与えた結果⁽³⁾ 第 3-23 図を外挿した値を k_y'' として同表に併記した。

機帆船の就航時喫水は $d_m/B = 0.40$ を中心にしており、上記又表の結果から

$$k_y = (0.20 \sim 0.24) L$$

$$k_y' = (0.24 \sim 0.25) L$$

の範囲とみてよい。したがって平均して

$$k_0 = 0.32 L$$

程度となる。

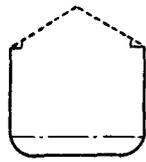
* 脚注 実際には、ばら積貨物は倉内に、 の形あるいわ  の形に積付ける。

したがって

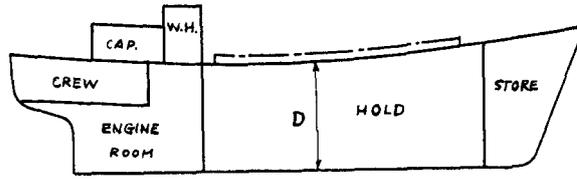
$$\begin{aligned} T_p &= 2\pi \times 0.32 L / \sqrt{GM_L \cdot g} \\ &= 0.64 L / \sqrt{GM_L} \end{aligned} \quad (3-6)$$

となる。上式によつて第6-4表の資料船の一部について、
縦揺周期を推定すると、第3-24図を得る。なお第3-8表
L船の航海中実測値は3.5秒^{*}、目視による100GT型船の
空倉時の周期約4秒を認めており、上式の与える値は妥
当なものと思われる。

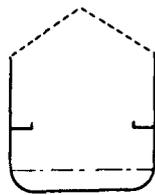
* 脚注 第4-9図、第6-9-2図を用いて GM_L を推定し、
(3-6)式から求めた値は $T_p = 3.4$ 秒となる。



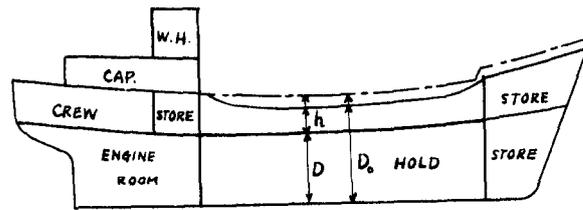
(a)



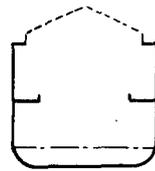
(I)



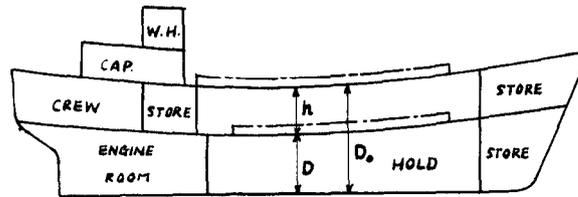
(b)



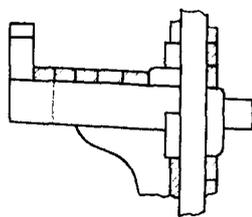
(II)



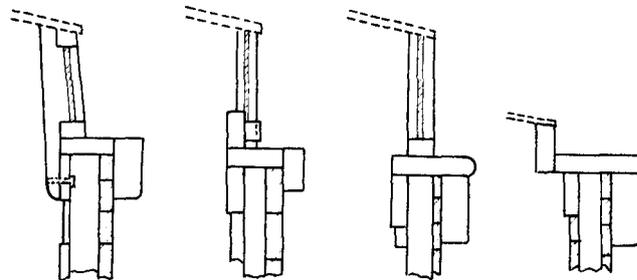
(c)



(III)



(d)



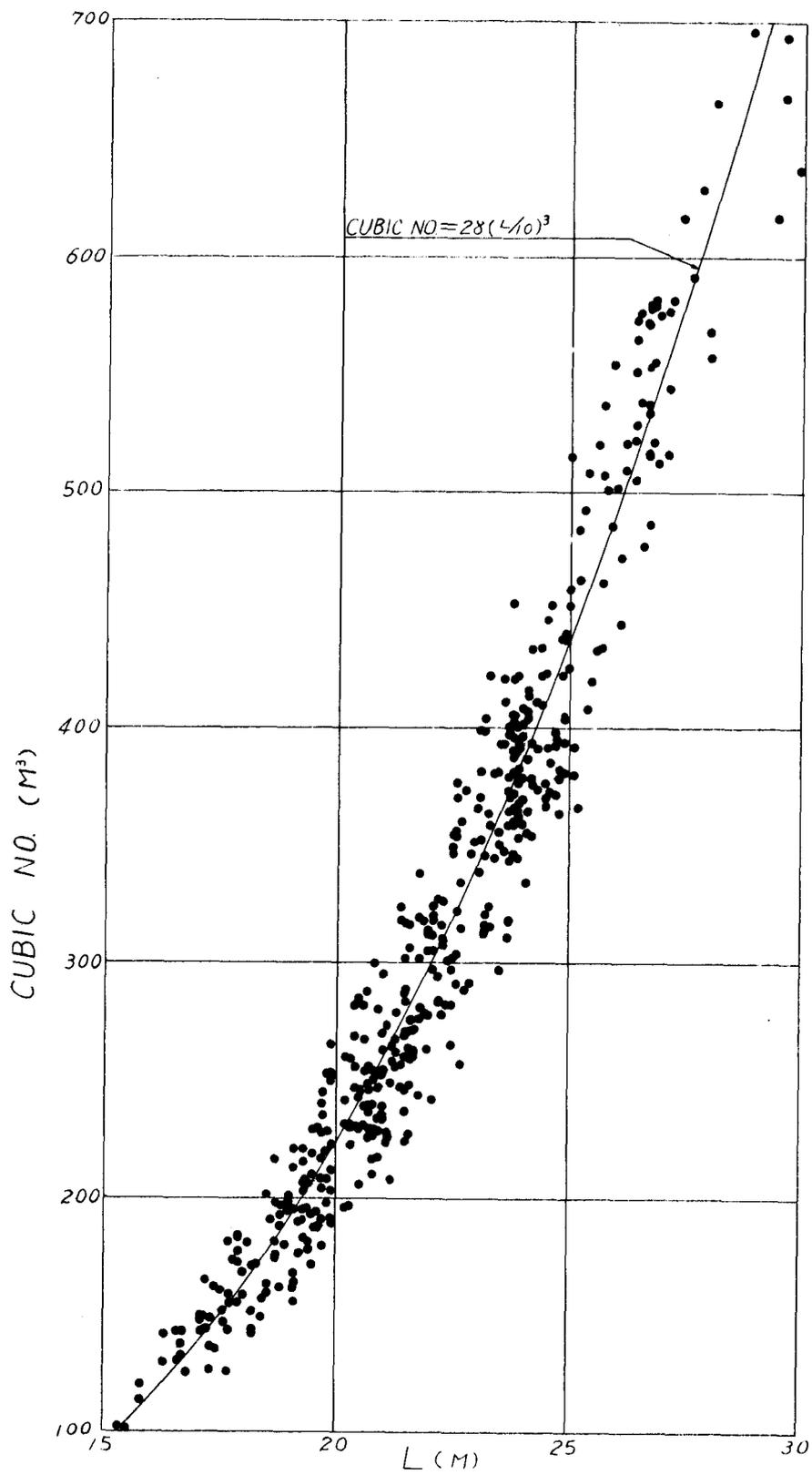
(イ)

(ロ)

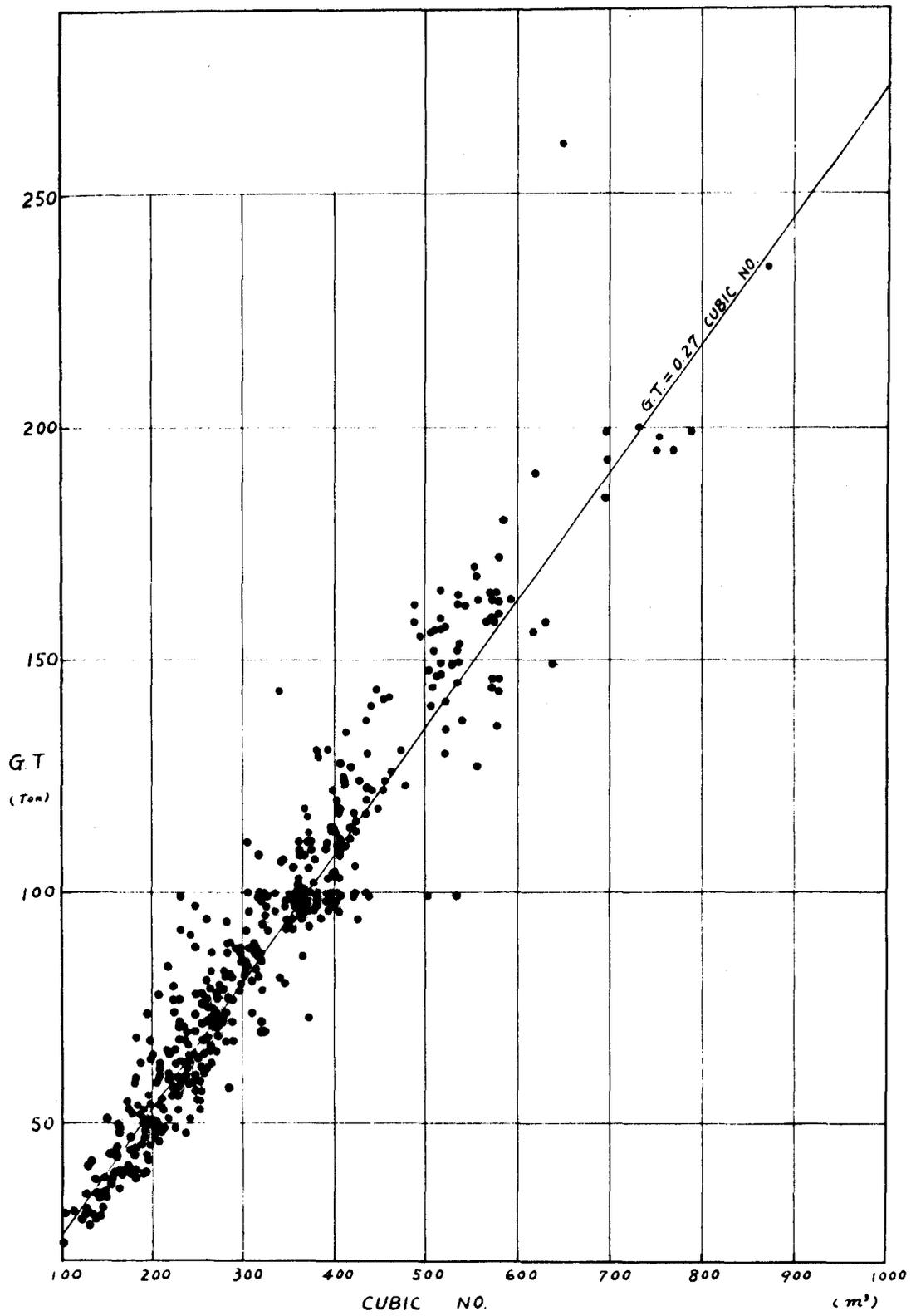
(ハ)

(ニ)

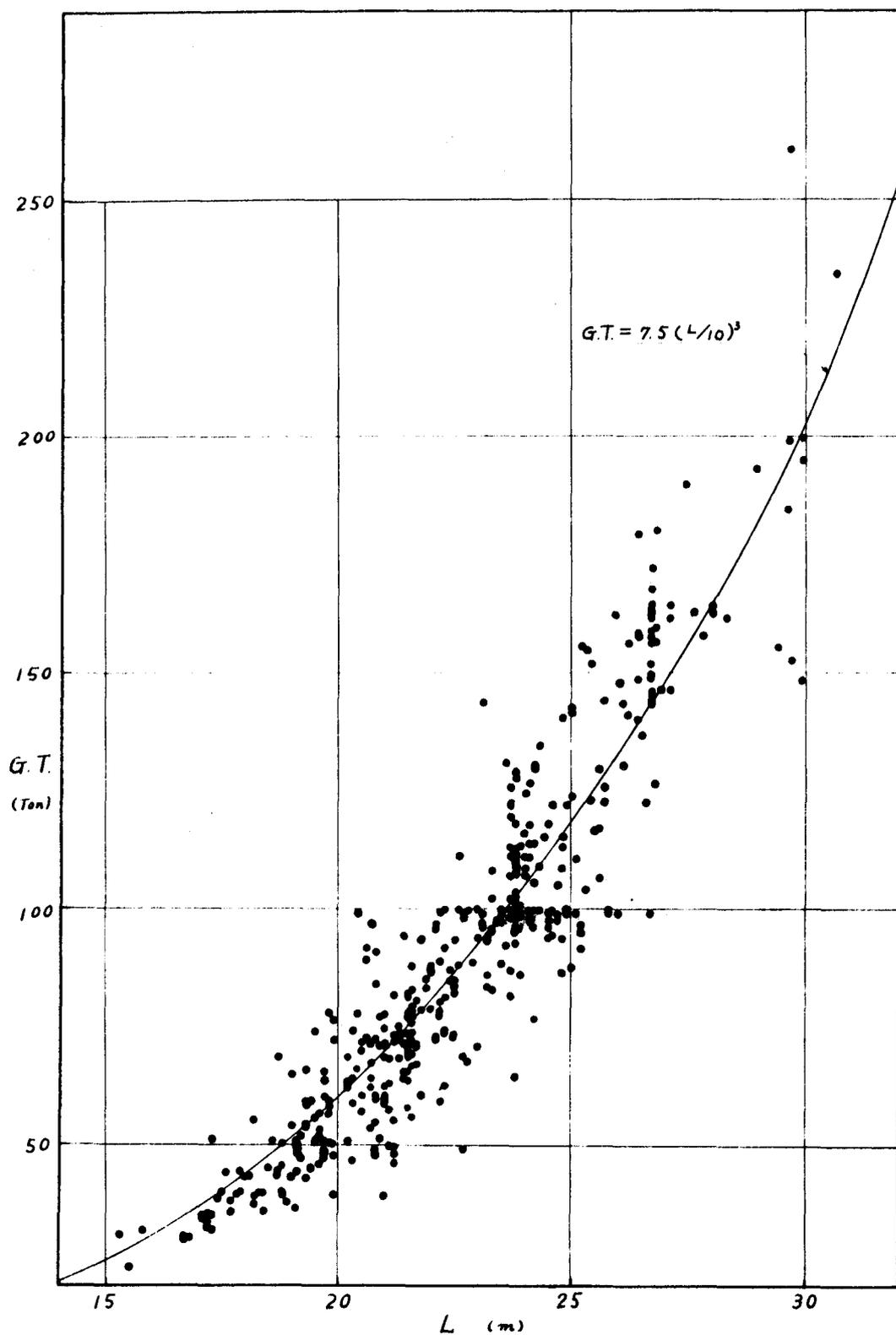
第3-1図 内海機帆船型の大別



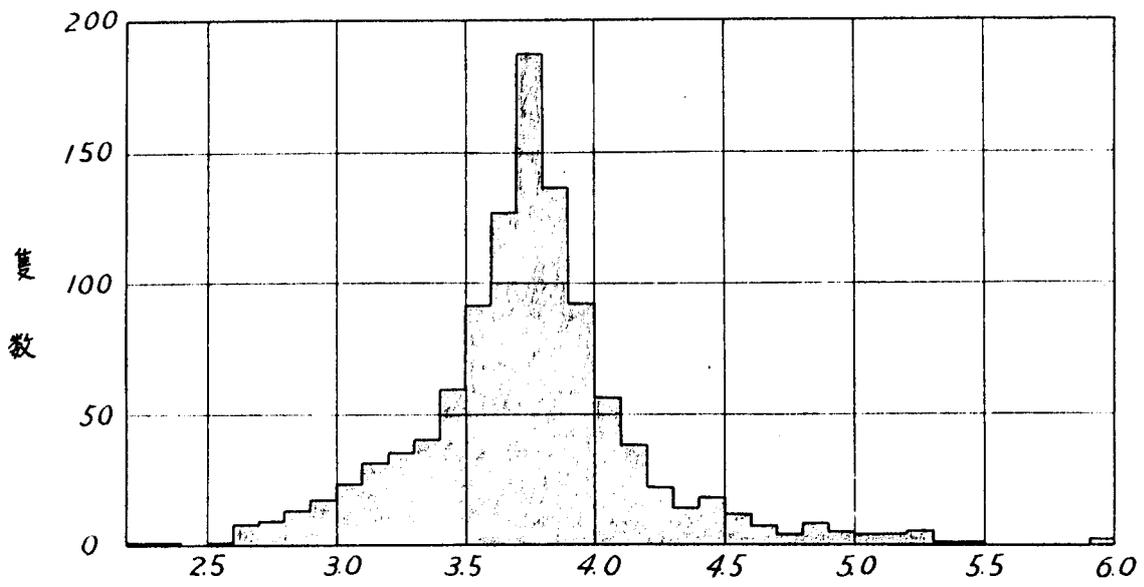
第3-2図 Cubic No. と L の関係



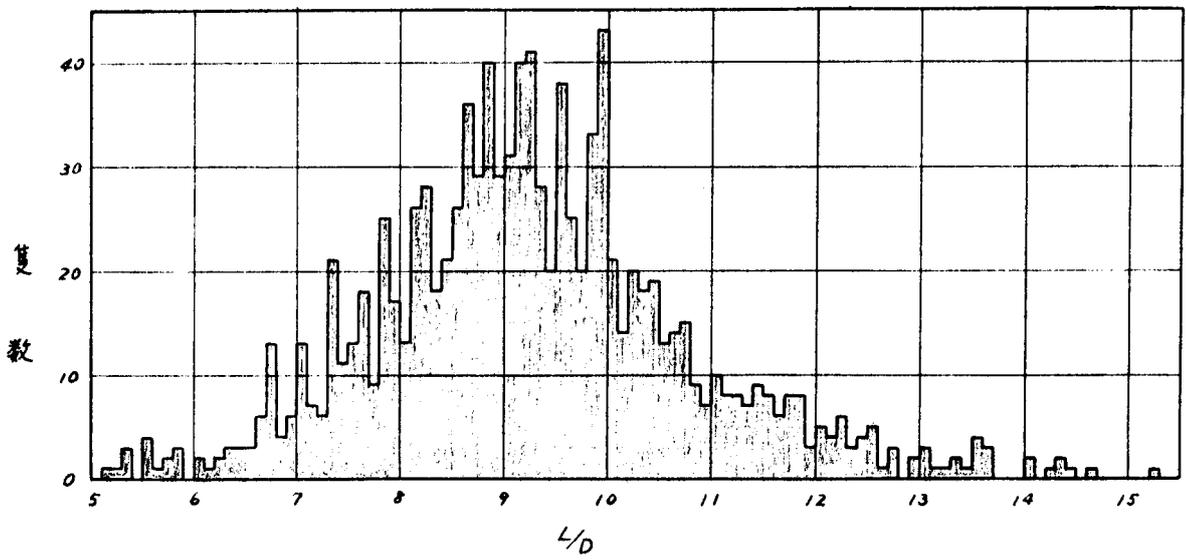
第3-3回 G.T. と Cubic No. の関係



第3-4図 G.T.とLの関係



L/B
 第 3-5 図 L/B の分布 (平均 3.78)



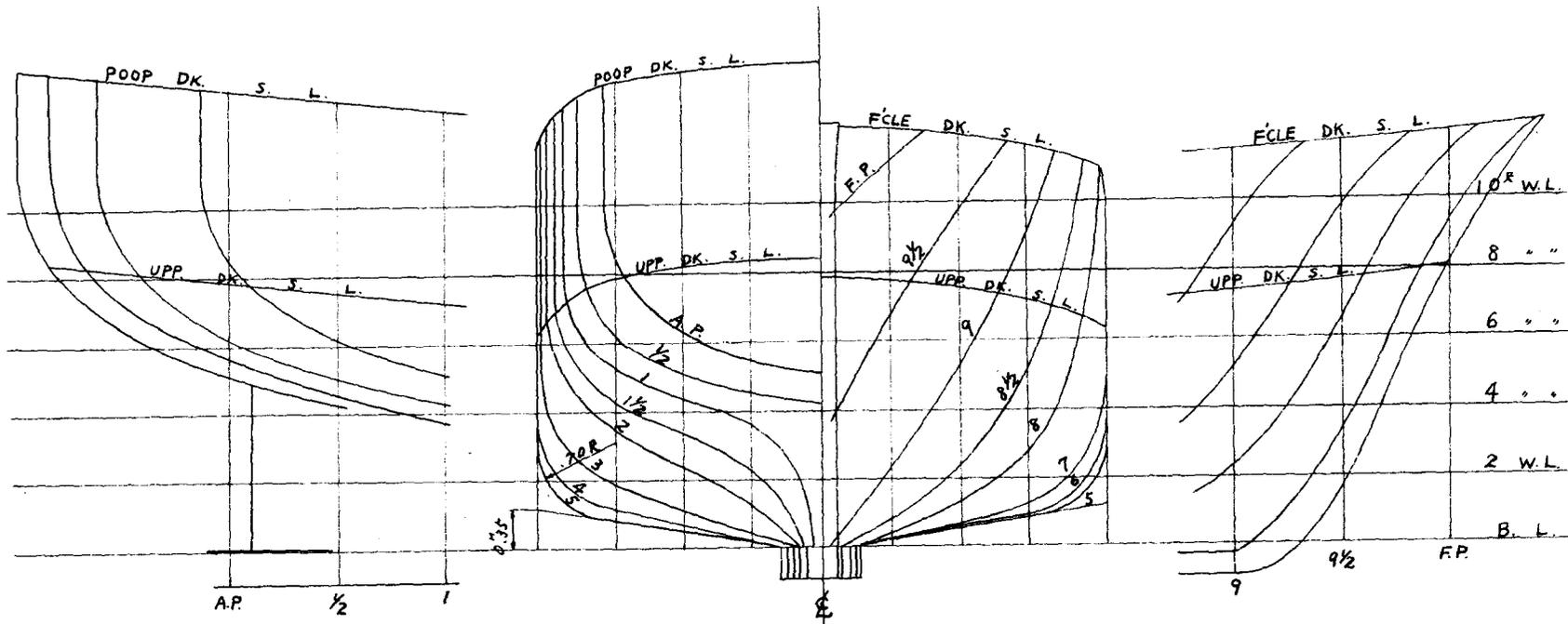
L/D
 第 3-6 図 L/D の分布 (平均 9.28)

第3-1表 資料船一覽表

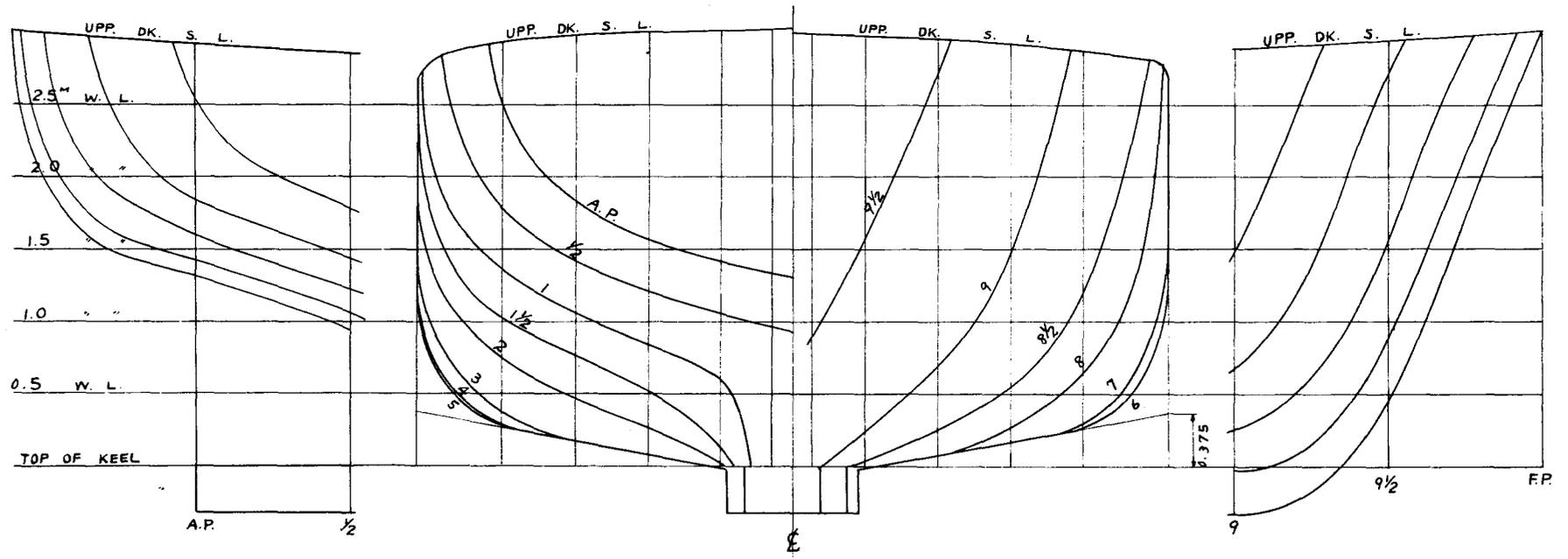
船名	$L \times B \times D$	$\frac{1}{4}D \times \frac{1}{4}B \times \frac{1}{4}D$	D_0	$\frac{1}{4}D_0$	敷寸法 巾 \times 深	$\frac{2r}{B}$	$\frac{2R}{B}$	$\frac{(2r+2R)}{B}$	備考
A	19.00 \times 5.00 \times 1.82	10.44 \times 3.80 \times 2.75	3.00	6.33	0.72 \times 0.28	0.140	0.280	0.420	愛媛
B	20.80 \times 5.00 \times 2.27	9.16 \times 4.16 \times 2.20	2.35	8.86	2.00 \times 0.18	0.222	0.180	0.402	伊勢
C	21.00 \times 5.16 \times 2.65	7.92 \times 4.07 \times 1.95	2.73	7.68	0.90 \times 0.30	0.145	—	—	愛媛
D	22.60 \times 6.05 \times 2.50	9.04 \times 3.72 \times 2.42	3.70	6.11	1.50 \times 0.30	0.132	—	—	徳島
E	23.09 \times 6.36 \times 2.12	10.89 \times 3.63 \times 3.00	3.39	6.81	1.21 \times 0.30	0.101	0.191	0.292	兵庫
F	23.80 \times 6.30 \times 2.45	9.71 \times 3.78 \times 2.57	3.60	6.61	0.66 \times 0.29	0.142	0.254	0.396	海務院型 戦時標準船
G	24.00 \times 6.20 \times 2.50	9.60 \times 3.87 \times 2.48	3.58	6.70	0.66 \times 0.29	0.136	0.339	0.475	香川
H	24.30 \times 6.63 \times 2.42	10.04 \times 3.67 \times 2.74	4.50	5.40	1.21 \times 0.30	0.109	—	—	兵庫
I	24.41 \times 6.82 \times 3.03	8.06 \times 3.58 \times 2.25	4.00	6.10	1.21 \times 0.30	0.092	0.178	0.270	広島
J	26.80 \times 6.75 \times 3.03	8.84 \times 3.97 \times 2.23	4.20	6.38	0.25 \times 0.33	0.154	0.217	0.371	橋本氏著書
K	19.00 \times 4.60 \times 1.95	9.74 \times 4.13 \times 2.35	2.81	6.76	0.30 \times 0.34	—	—	—	広島

A: 船底勾配

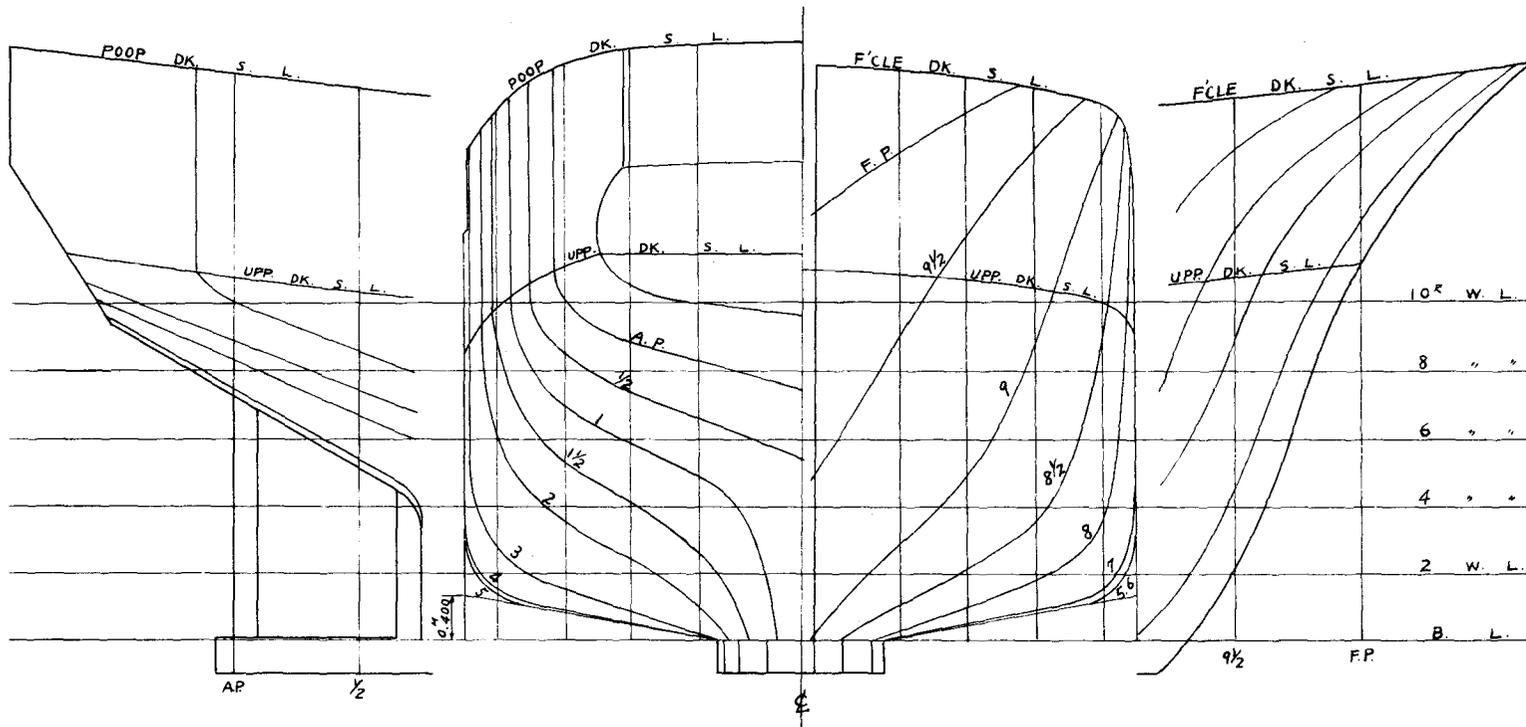
R: 弯曲部半径



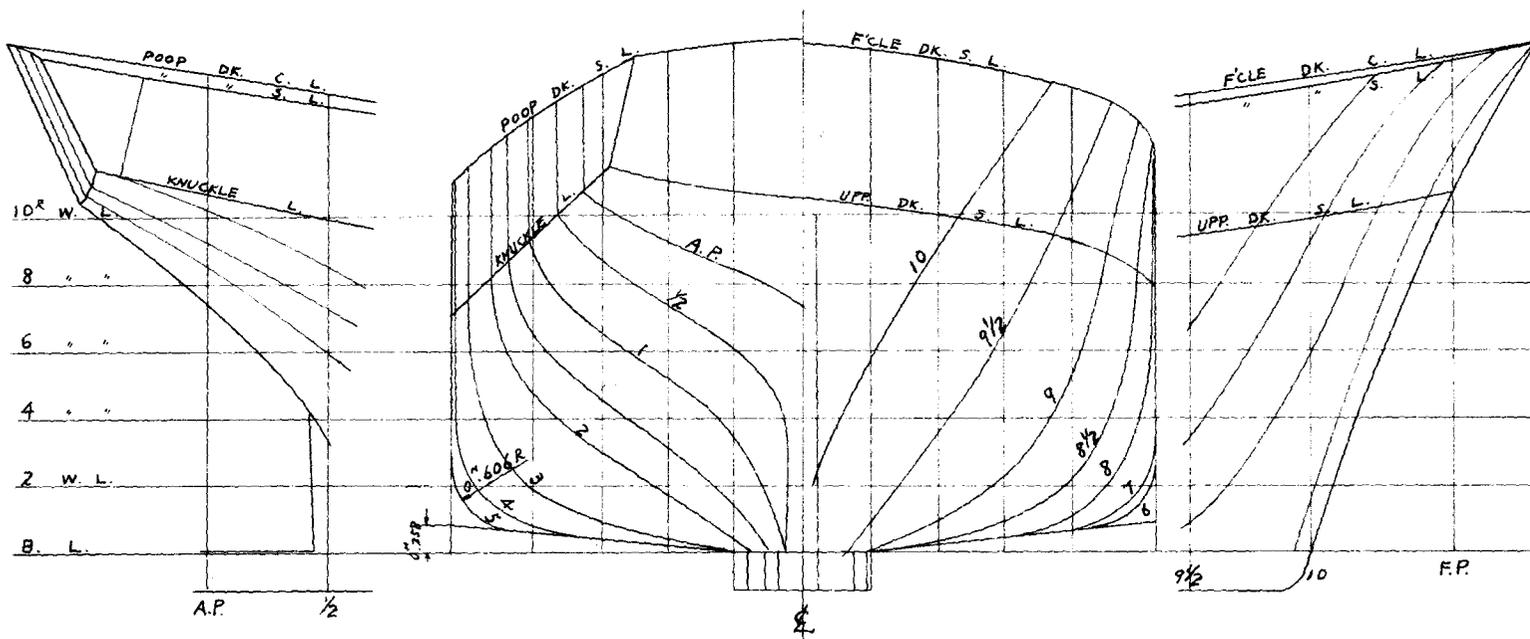
第3-7-1图 资料船 A



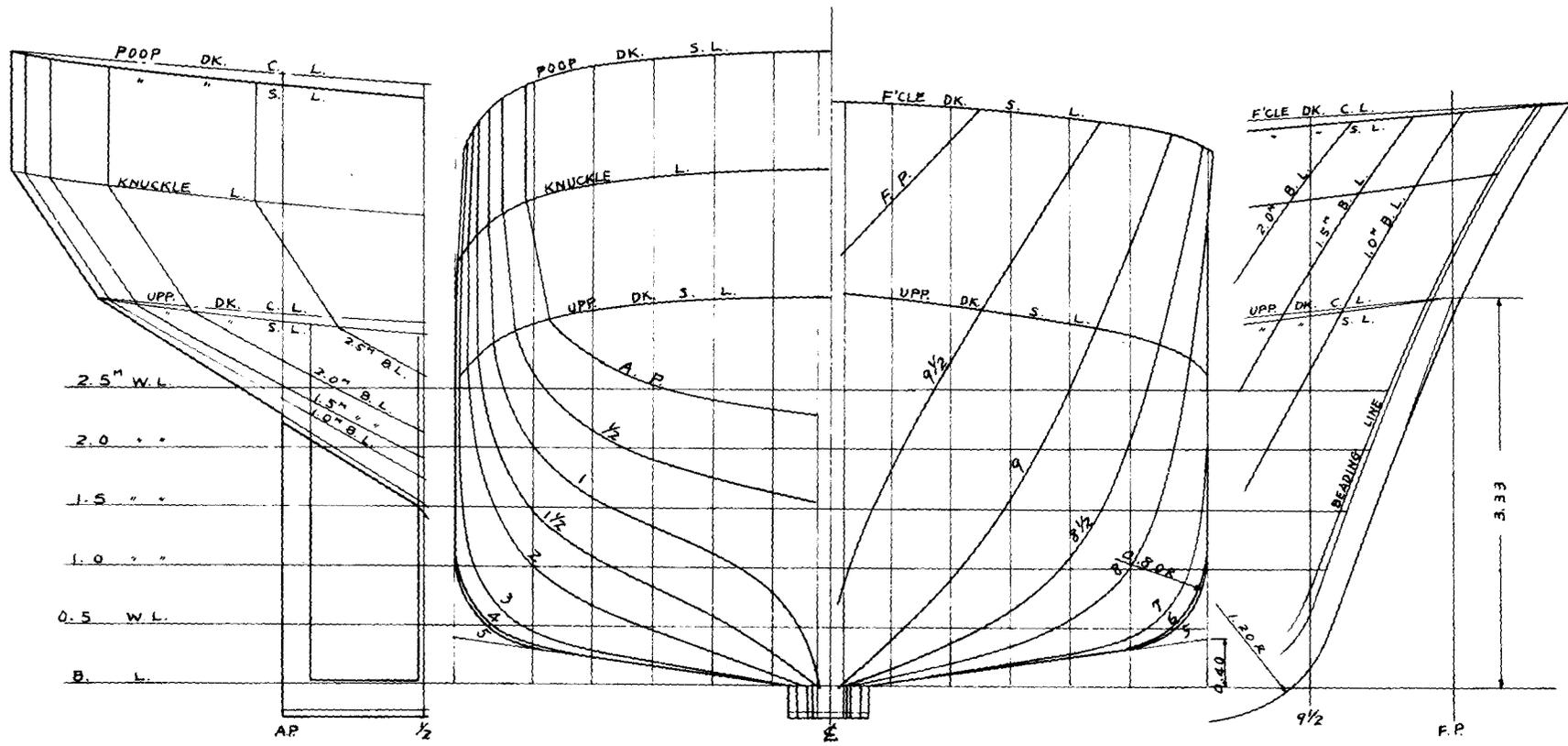
第3-7-3图 资料船 C



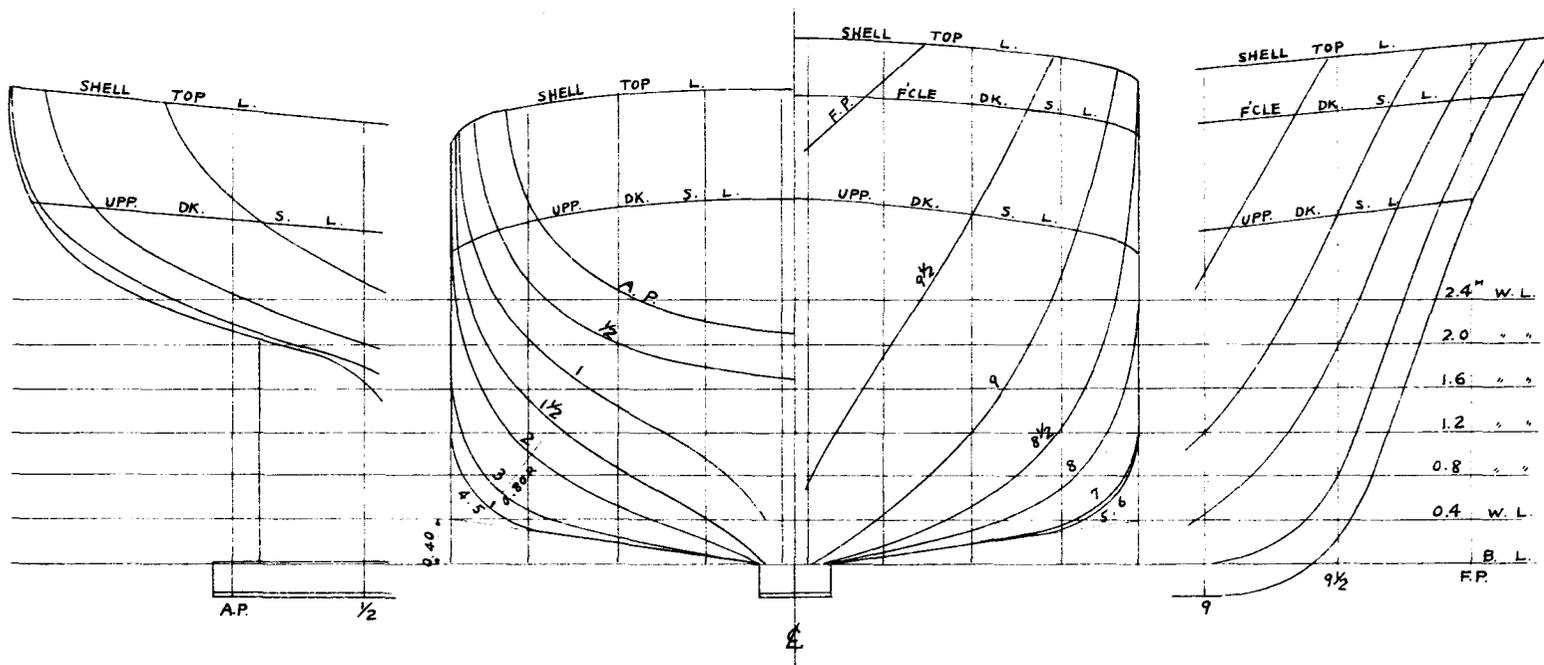
第3-7-4图 资料船 D



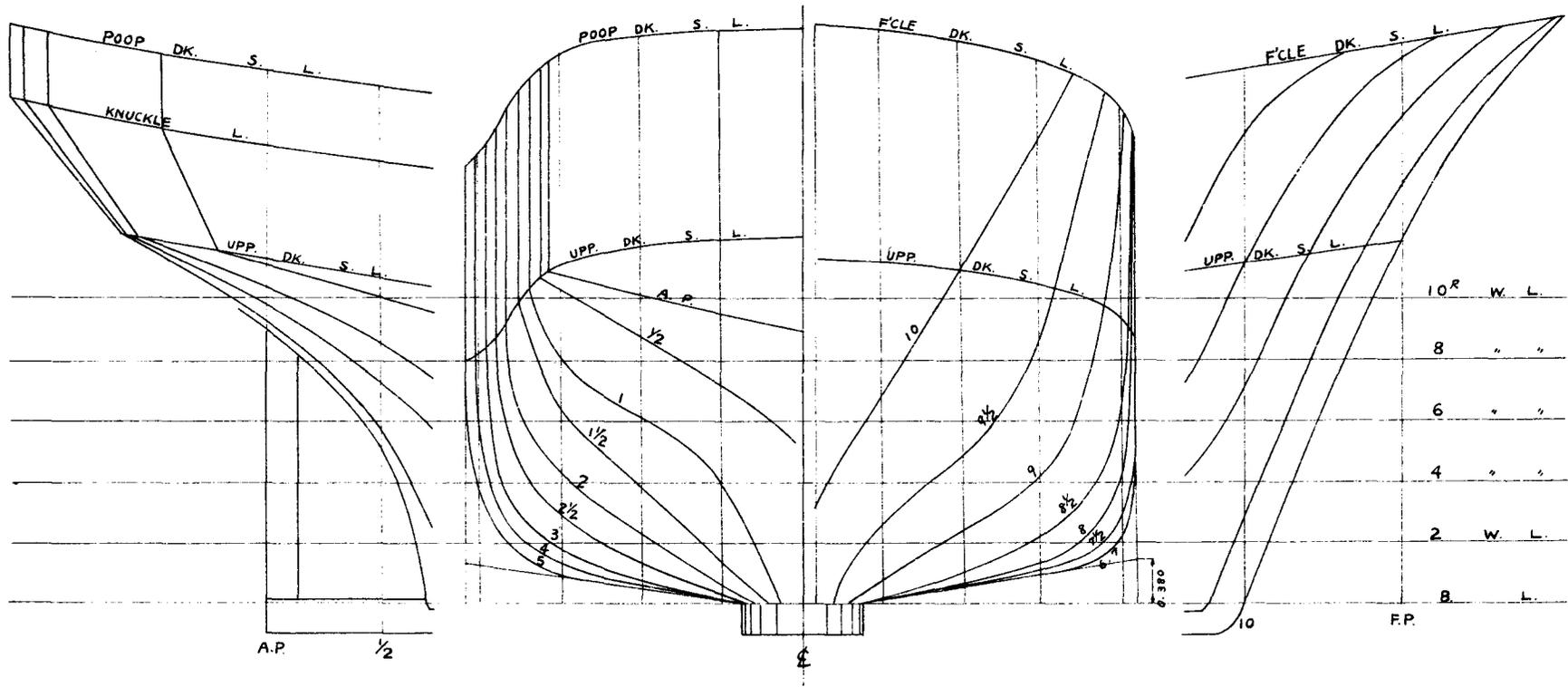
第3-7-5圖 資料船 E



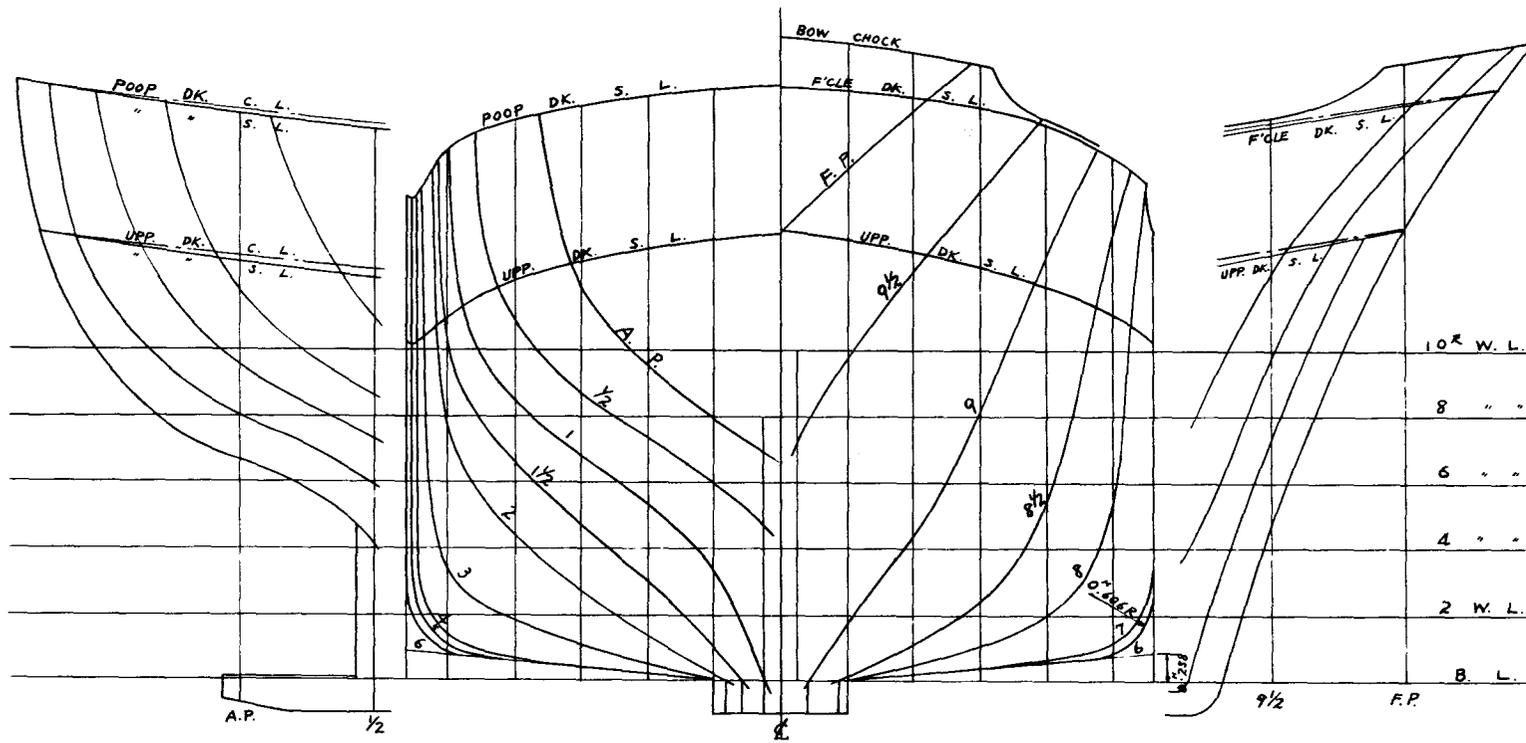
第3-7-6图 资料册 F



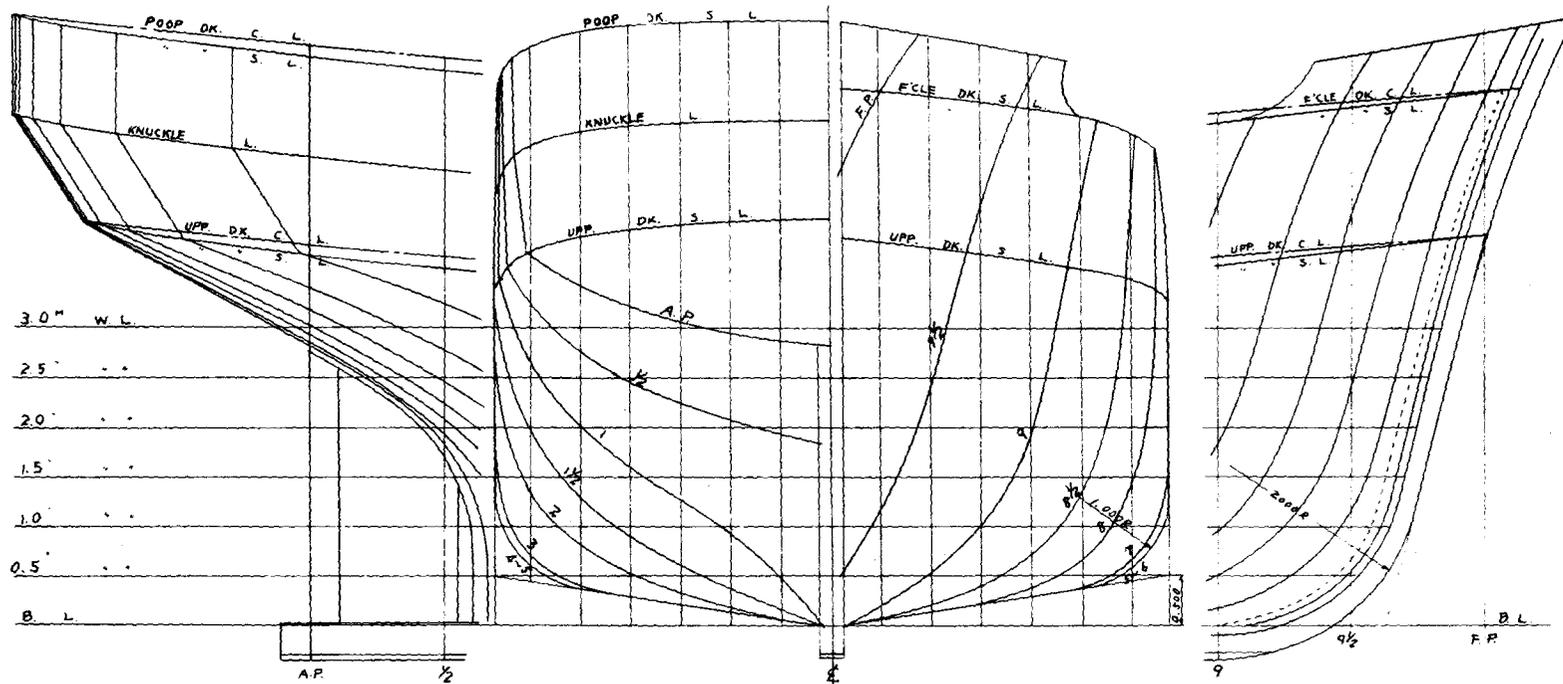
第3-7-7图 资料船 G



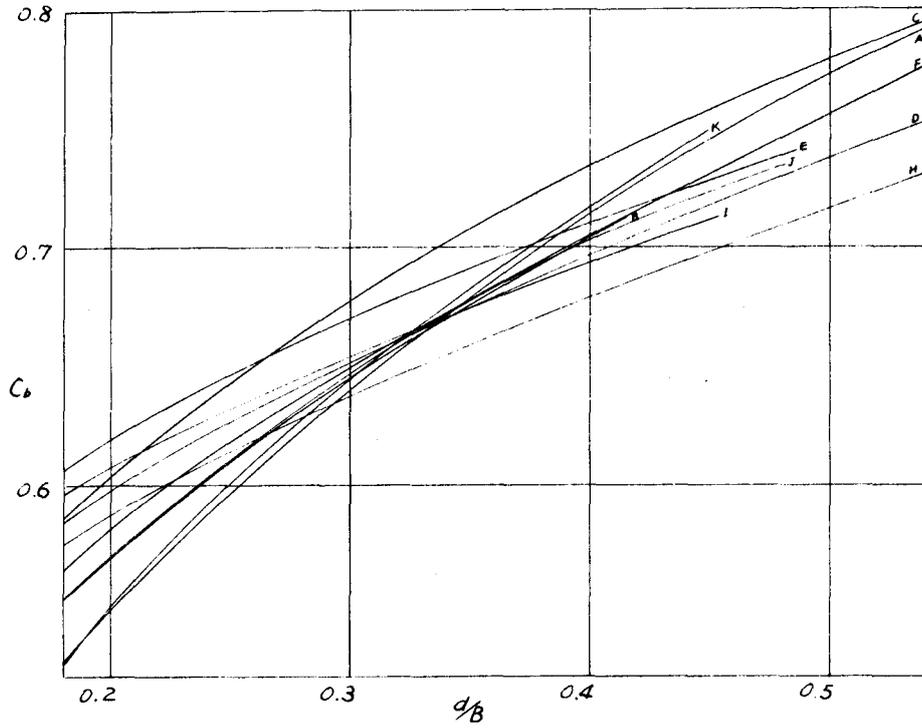
第3-7-8图 资料船 H



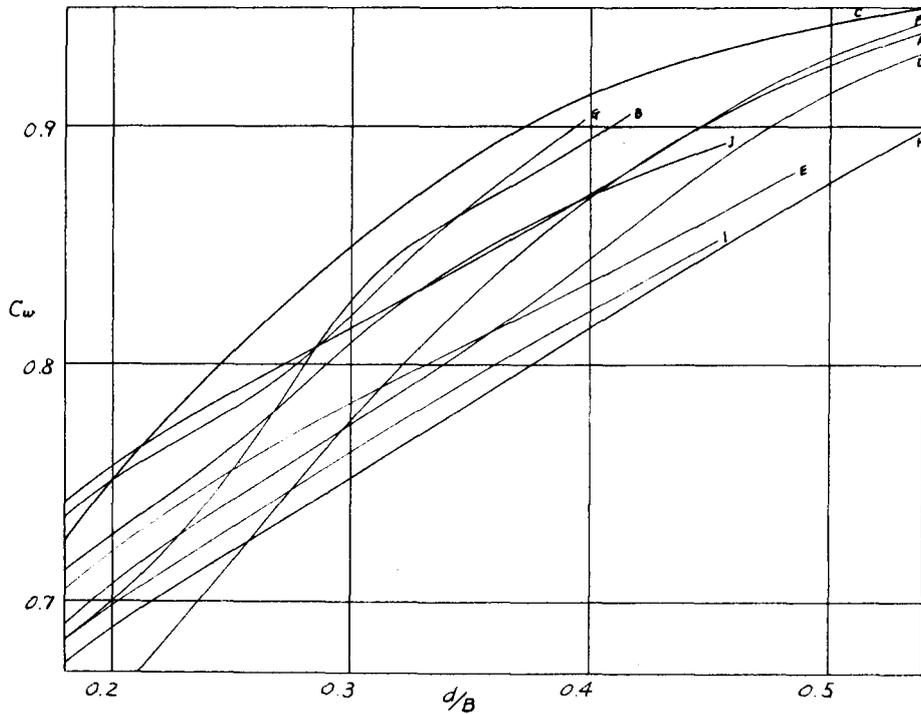
第3-7-9图 资料船 I



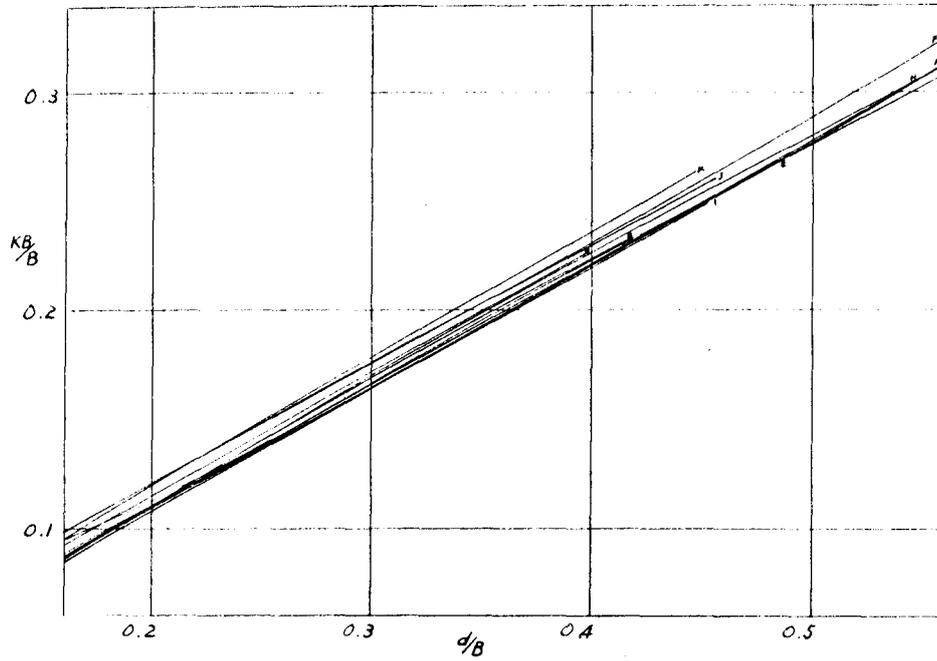
第3-7-102图 资料船 J



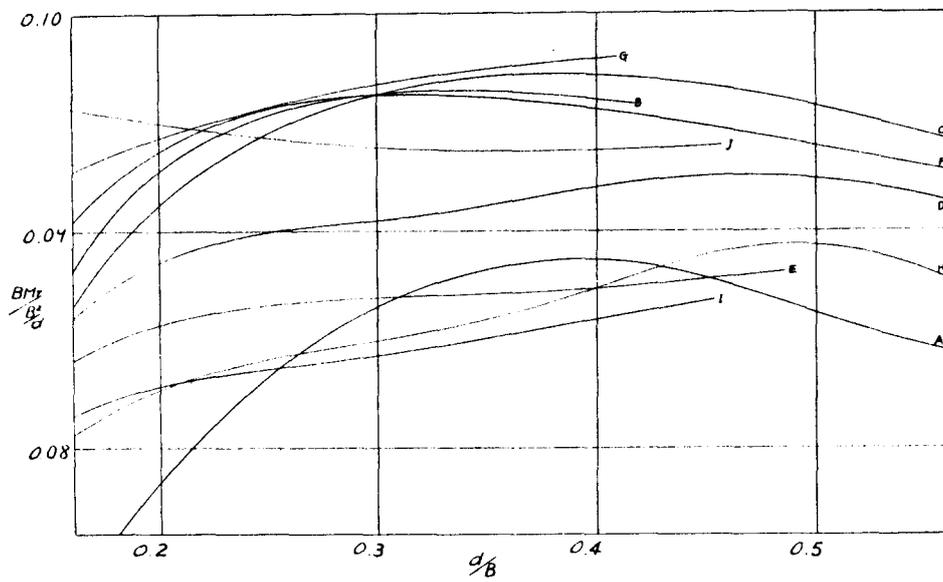
第3-8図 資料船の C_b



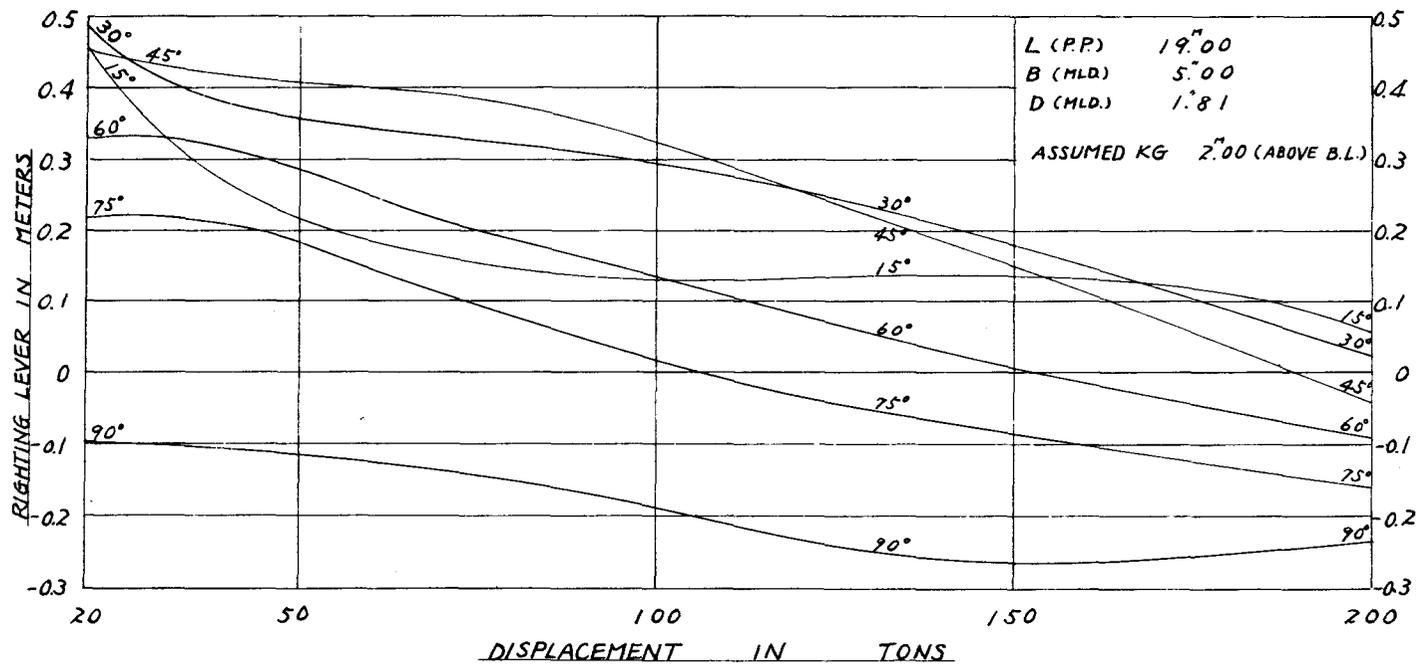
第3-9図 資料船の C_w



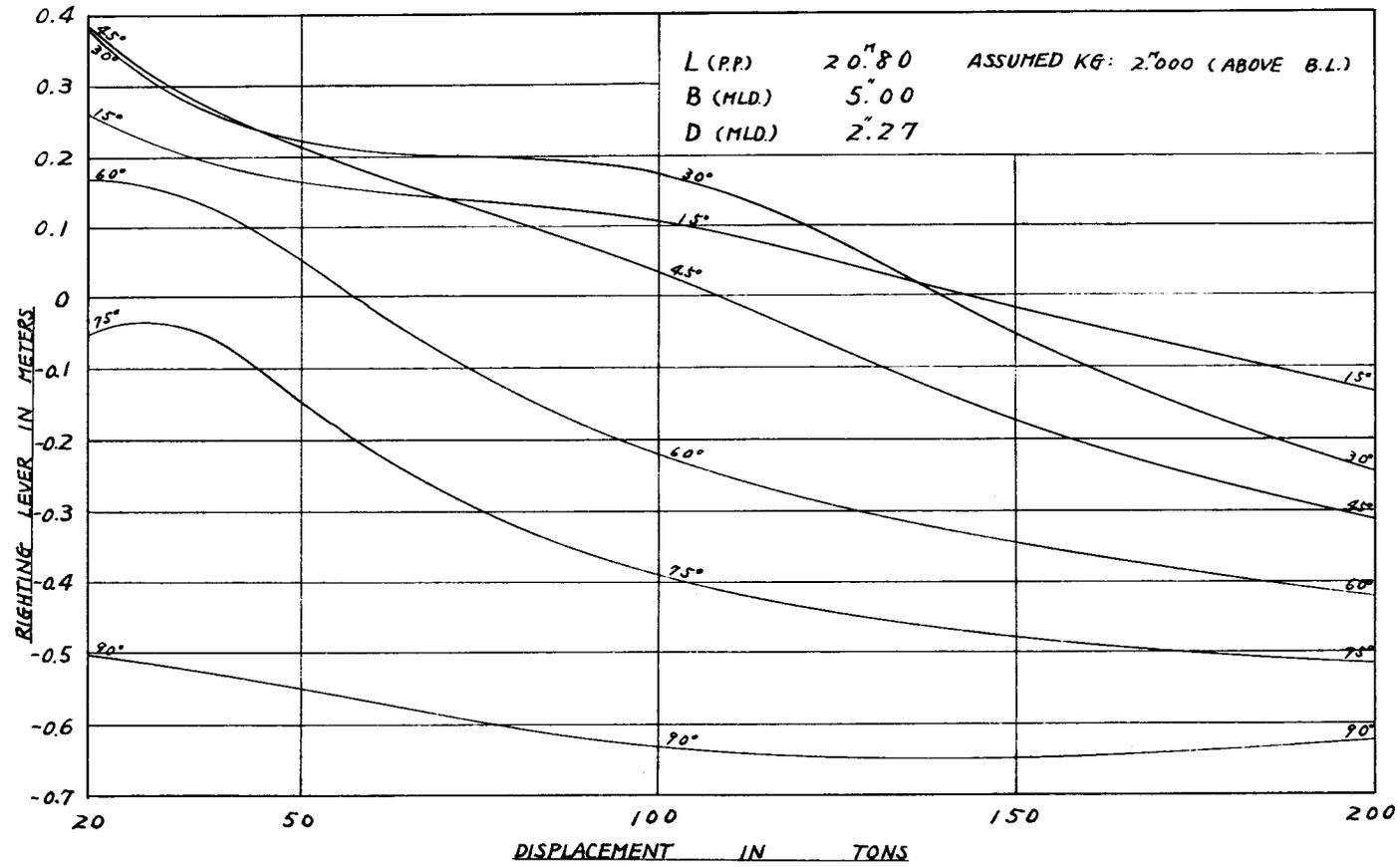
第3-10图 資料船の $\frac{KB}{B}$



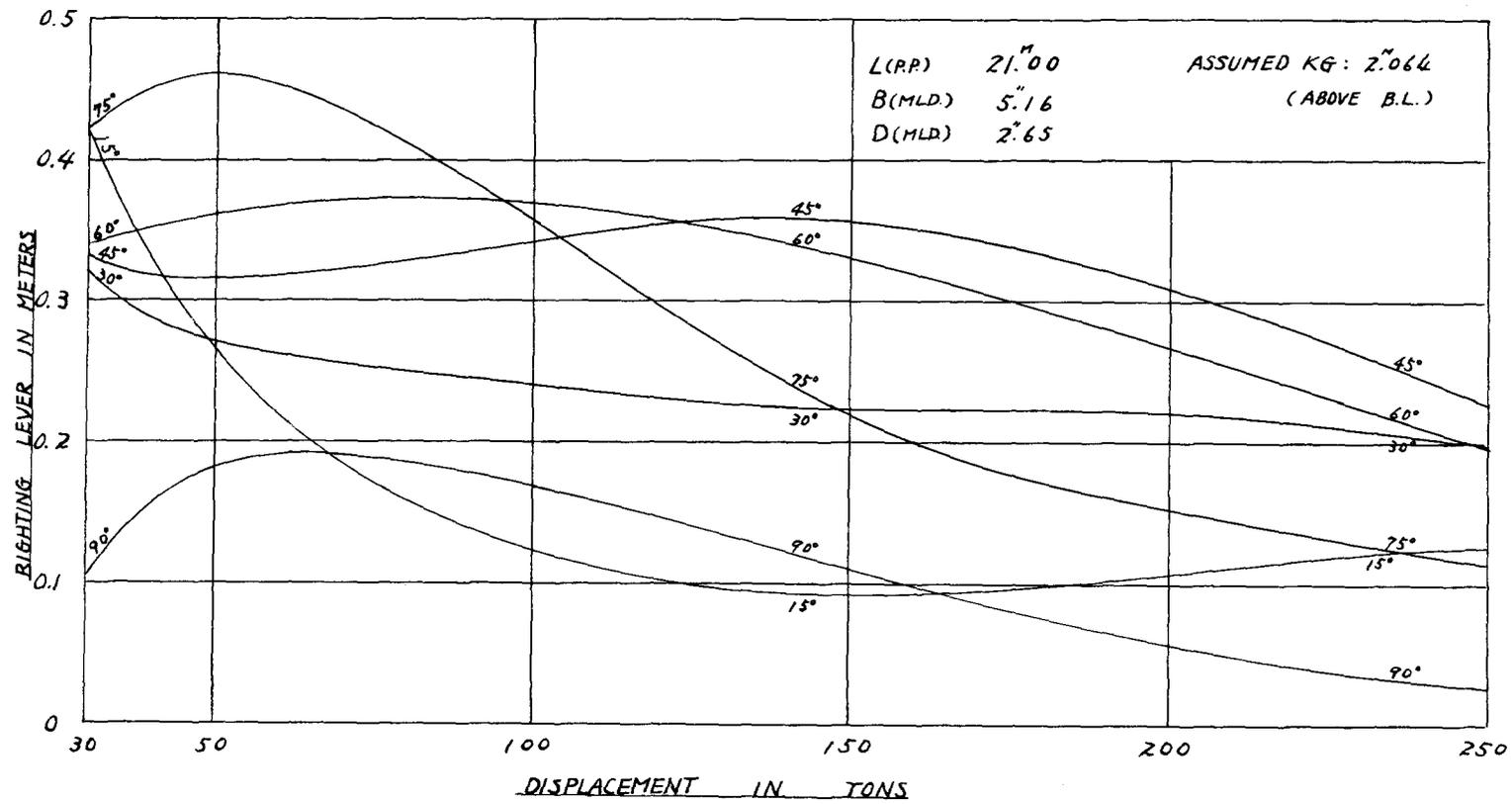
第3-11图 資料船の $\frac{BM_1}{d}$



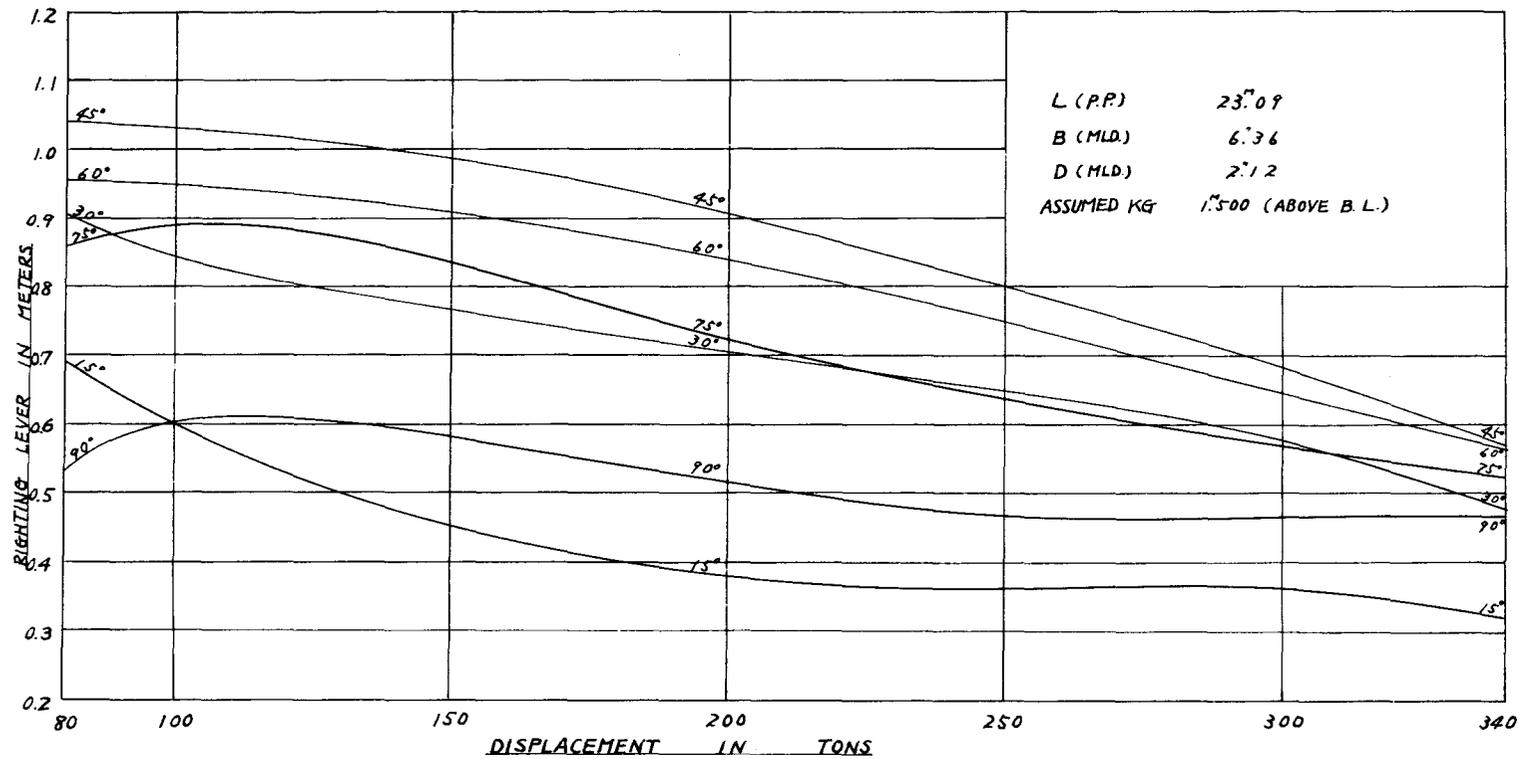
第3-12-1 国資料船 A のクロスカーブ



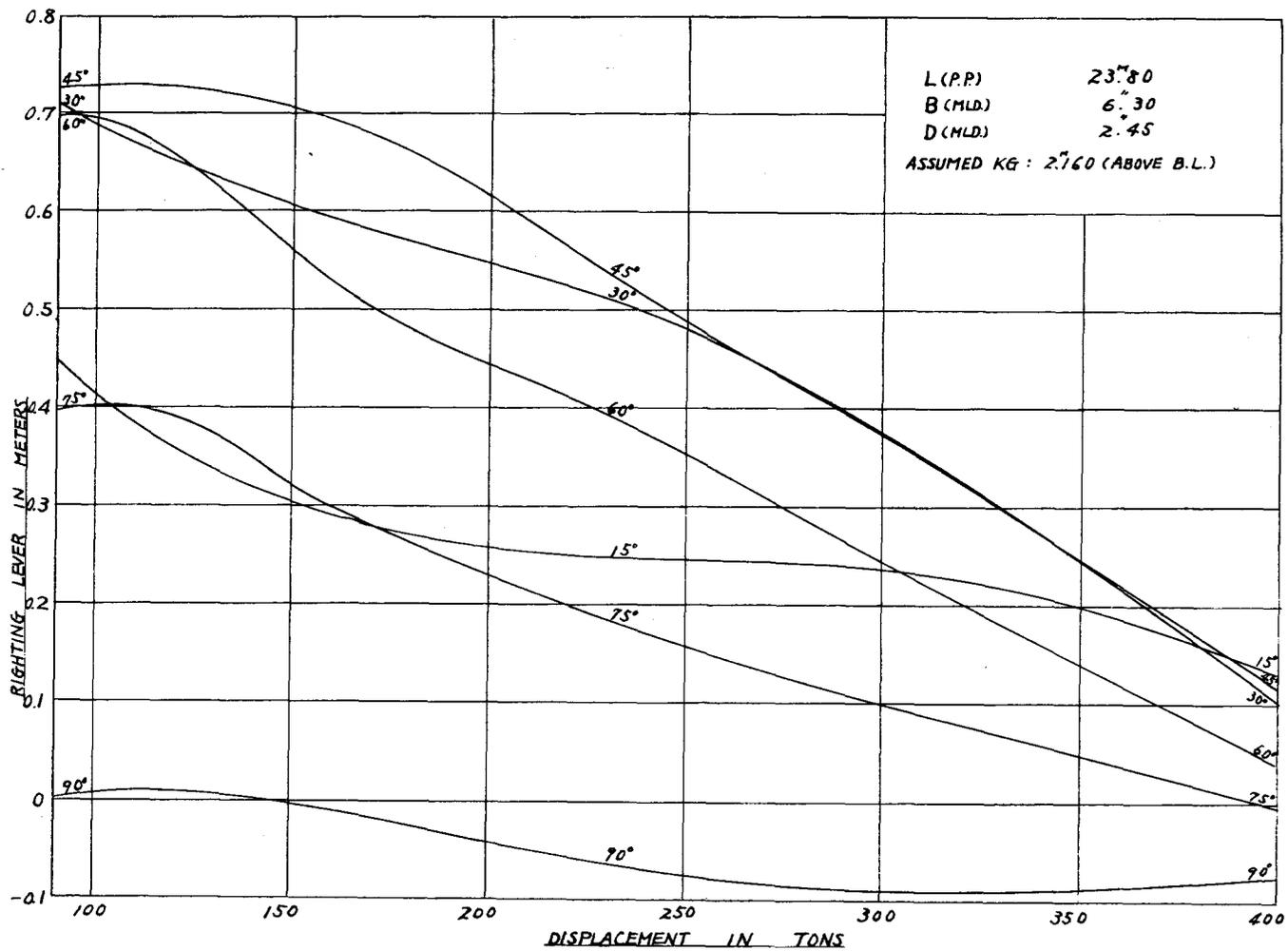
第3-12-2図 資料船 B のフロスカーク



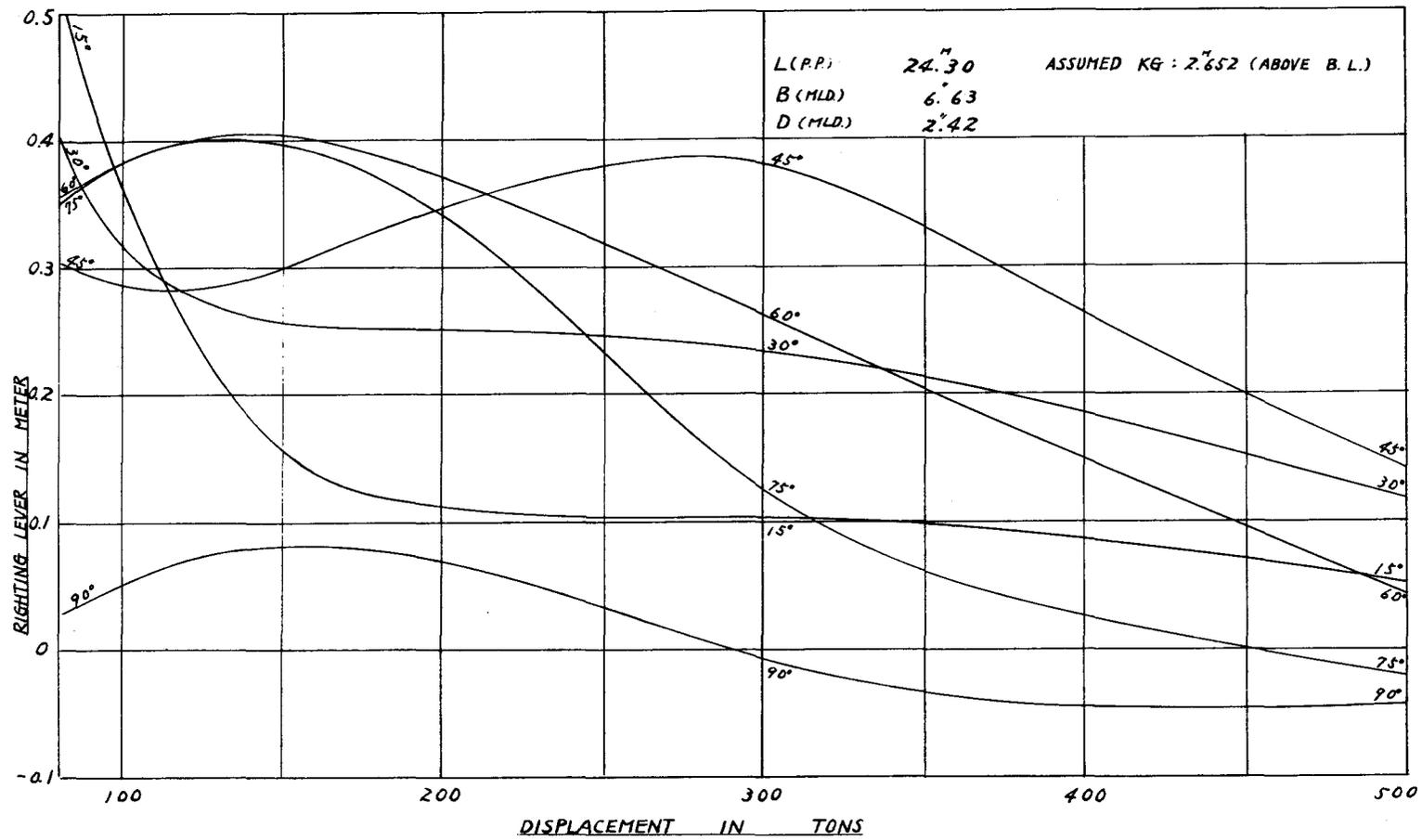
第3-12-3図 資料船 C のフロスカーブ



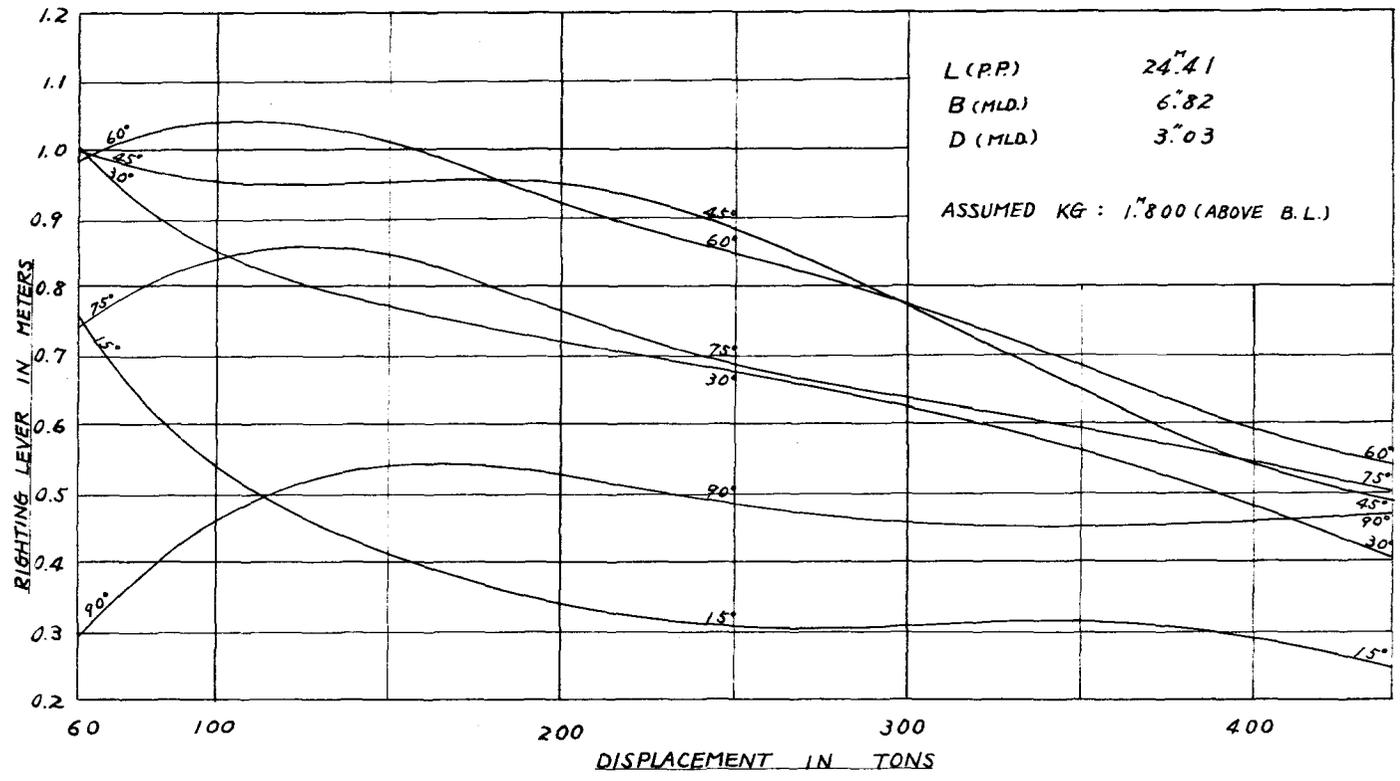
第3-12-4図 資料船Eのクロスカーブ



第3-12-5図 資料船 F の フロスカーブ



第3-12-6図 資料船Hのフラスカーブ



第3-12-712 資料船 I のフロスカーブ

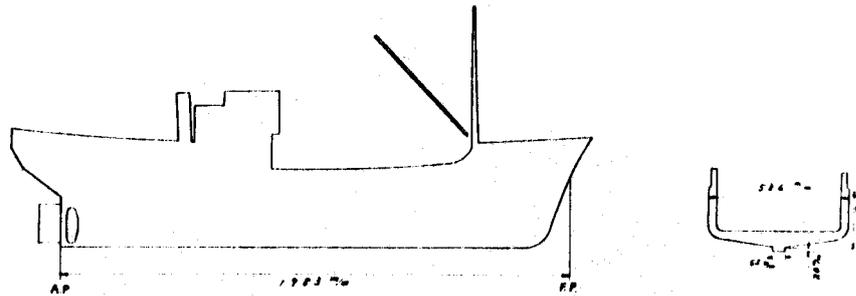
第3-2表 a/B , b/d の値 (平均)

f/d		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
		a/B	F, G, J	0.087	0.142	0.197	0.224
	E, I	0.088	0.136	0.185	0.211	0.248	0.266
b/d		0.083	0.191	0.300	0.408	0.516	0.625

f' : 有効乾舷 (玄舳頂部より測る)

第3-3表 機帆船模型の寸法

$L \times B \times D$	$1.783^m \times 0.536^m \times 0.311^m$
舵面積 A_R	126 cm^2



第3-13図

機帆船模型の概略図

第3-4表 小型鋼船零目 (200ト=積)

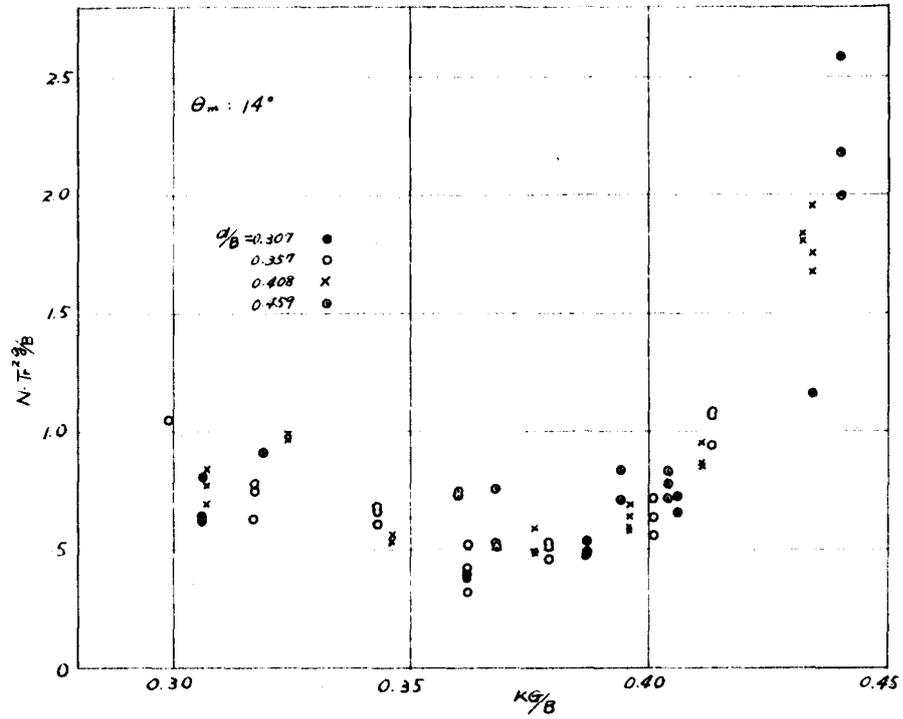
$L \times B \times D \times d$	$24.00^m \times 6.10^m \times 2.60^m \times 2.40^m$
$l/d \times b/B \times B/d \times d/B$	$9.23 \times 3.93 \times 2.44 \times 0.393$
C_b	0.790

第3-5表 機帆船模型のN係数

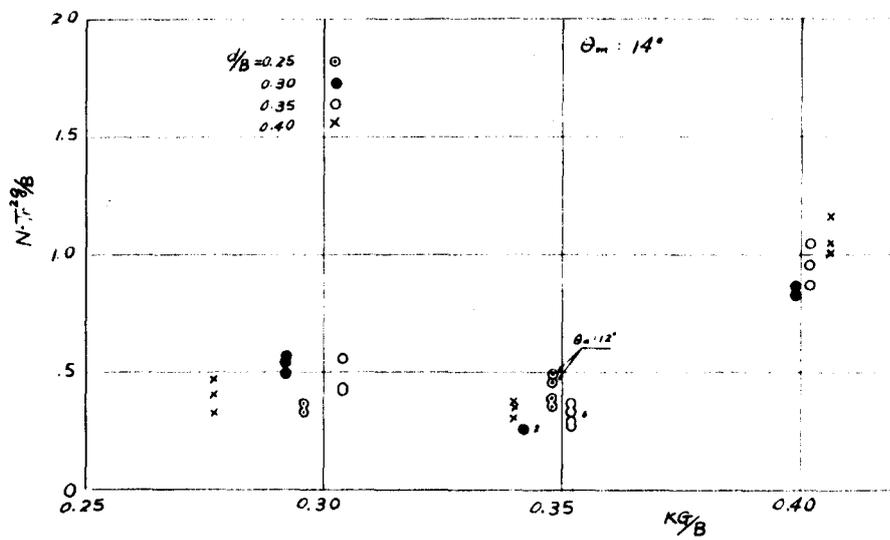
NO	d/B or d/D	KG/B	$T_r\sqrt{g/B}$	N_{18}	N_{14}	N_{10}
1		0.265	4.12	0.0289	0.0345	0.0450
2		"	4.62	0.0303	0.0363	0.0444
3	$d/B = 0.307$	0.354	4.44	0.0190	0.0192	0.0230
4		"	5.31	0.0130	0.0143	0.0165
5		"	5.64	0.0115	0.0124	0.0136
6		0.397	5.98	0.0173	0.0181	0.0185
7		"	7.36	0.0141	0.0132	0.0136
8		0.425	8.56	0.0165	0.0155	0.0156
9		0.293	4.44	0.0403	0.0519	0.0727
10		0.336	4.71	0.0267	0.0292	0.0320
11	$d/B = 0.357$	"	4.71	0.0259	0.0300	0.0373
12		"	5.56		0.0192	0.0295
13		0.405	7.01	0.0169	0.0187	0.0214
14		"	8.13	0.0146	0.0161	0.0175
15		"	8.86	0.0127	0.0134	0.0137
16		0.371	6.50	0.0110	0.0121	0.0146
17		"	5.86	0.0129	0.0145	0.0177
18		0.276	4.53			0.0720
19		0.300	4.88		0.0286	0.0445
20	$d/B = 0.408$	"	4.44	0.0312	0.0380	0.0485
21		0.340	4.96	0.0176	0.0210	0.0268
22		"	5.81	0.0147	0.0163	0.0214
23		0.388	7.19		0.0110	0.0138
24		"	8.35		0.0099	0.0100
25		"	6.96		0.0090	0.0104
26		0.424	11.04		0.0143	0.0165
27		"	10.25		0.0170	0.0184
28	$d/B = 0.459$	0.386	7.89		0.0112	0.0133
29		"	8.46		0.0115	0.0120
30		0.353	6.08		0.0194	0.0295
31		"	7.01		0.0146	0.0215

第3-6表 小型鋼船模型のN係数

NO	d/B	KG/B	T ₁ /B	N ₁₄	N ₁₀
1	0.25	0.296	5.94	^{N₁₂} 0.0104	0.0103
2		"	5.33	0.0118	0.0166
3		0.348	6.54	0.0084	0.0085
4		"	7.11	^{N₁₂} 0.0078	0.0075
5		"	7.27	^{N₁₂} 0.0094	0.0088
6		"	"	6.79	0.0073
7	0.30	0.292	5.01	^{N₁₂} 0.0198	0.0230
8		"	5.98	0.0153	0.0200
9		"	6.14	0.0156	0.0182
10		0.342	7.27	0.0050	0.0040
11		"	6.36	0.0066	0.0063
12		0.399	9.94	0.0084	0.0072
13	"	"	10.99	0.0079	0.0074
14	0.35	0.304	5.25	0.0158	0.0183
15		"	5.86	0.0163	0.0210
16		"	6.18	0.0112	0.0136
17		0.352	7.76	0.0061	0.0065
18		"	7.43	0.0061	0.0060
19		"	6.75	0.0071	0.0080
20		"	6.59	0.0064	0.0070
21		"	7.19	0.0054	0.0062
22		"	7.55	0.0051	0.0056
23		0.402	11.64	0.0071	0.0065
24		"	11.23	0.0084	0.0075
25	"	"	10.26	0.0084	0.0086
26	0.40	0.277	4.69	0.0153	0.0215
27		"	4.57	0.0194	0.0280
28		"	5.09	0.0184	0.0270
29		"	5.53	—	0.0310
30		0.340	6.75	0.0083	0.0090
31		"	6.22	0.0084	0.0095
32		"	7.39	0.0069	0.0065
33		0.408	14.87	0.0054	0.0060
34		"	13.25	0.0059	0.0065
35		"	"	12.60	0.0064



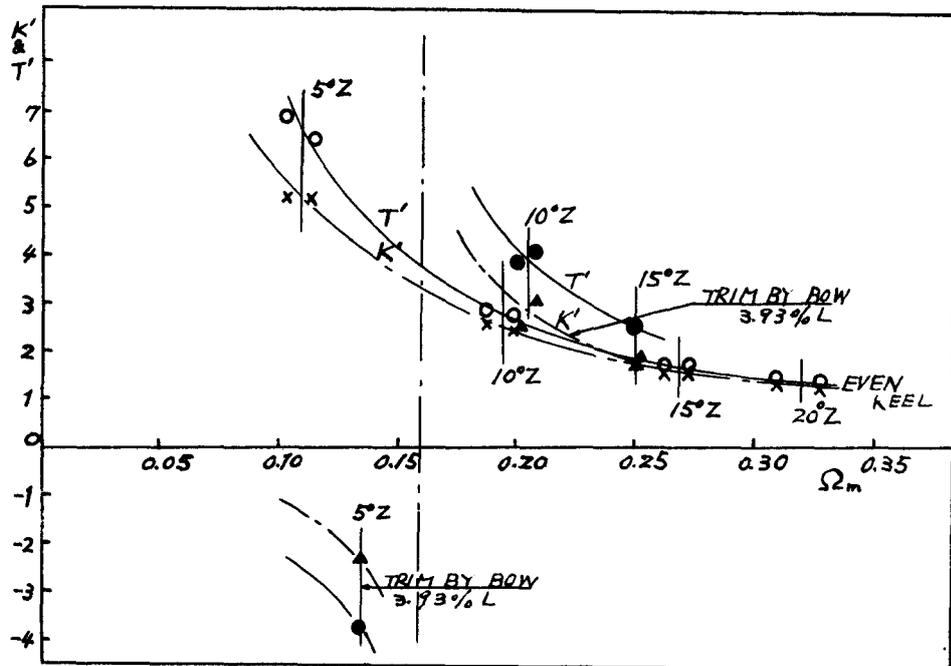
第3-14图 模帆船模型の横揺抵抗係数 ($\theta_m = 14^\circ$)



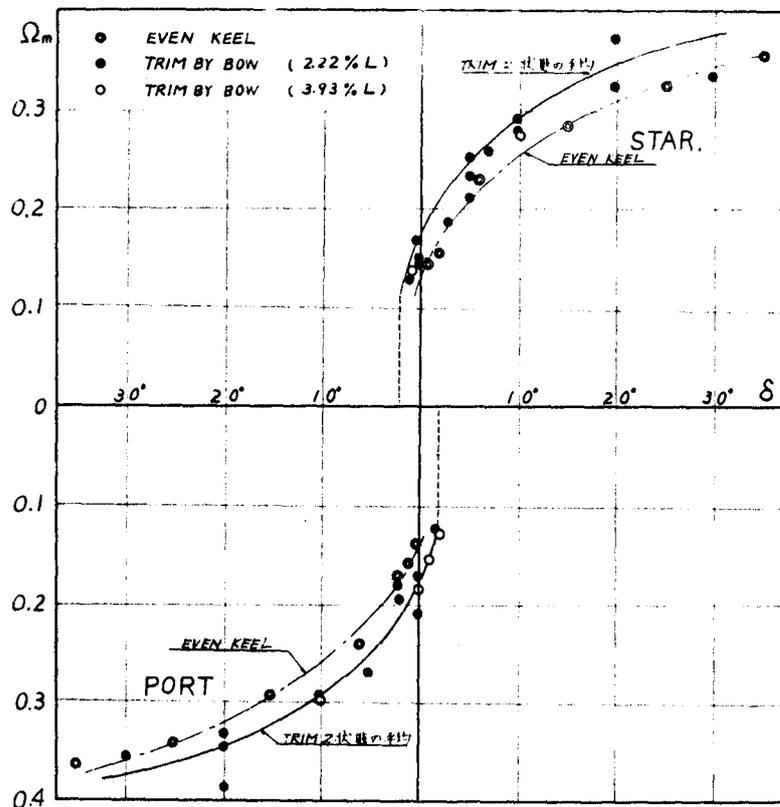
第3-15图 小型鋼船模型の横揺抵抗係数

第3-7表 機帆船模型の操縦性試験状態

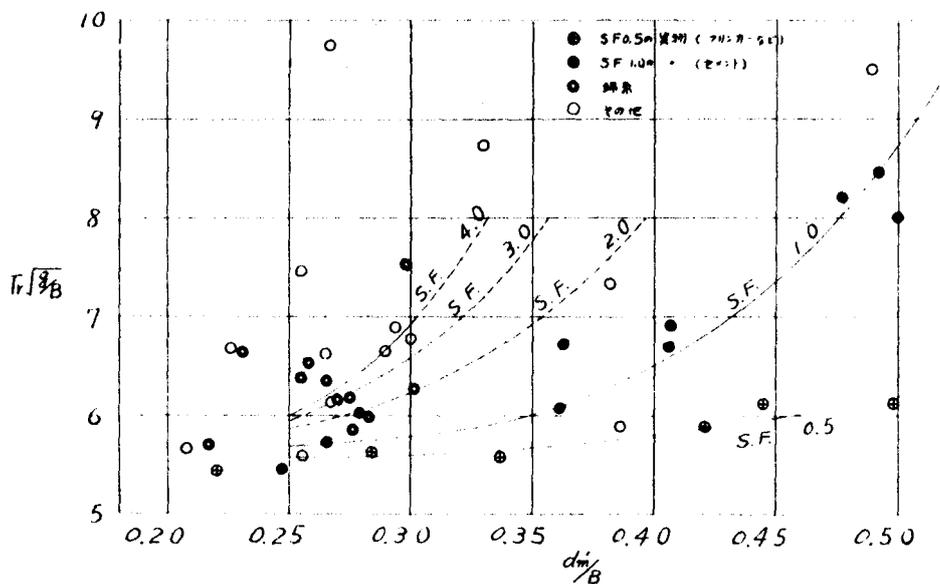
d	261 mm
d/B	0.448
B/d	2.23
$\nabla/L^2d (=C_b/\frac{L}{B})$	0.197
$AR/L \cdot d$	$1/41.5$
V/\sqrt{Lg}	0.181 (平均)
船体の環動半径	26.9 % L
トリム	0% L、 2.22% L、 3.93% L の3状態



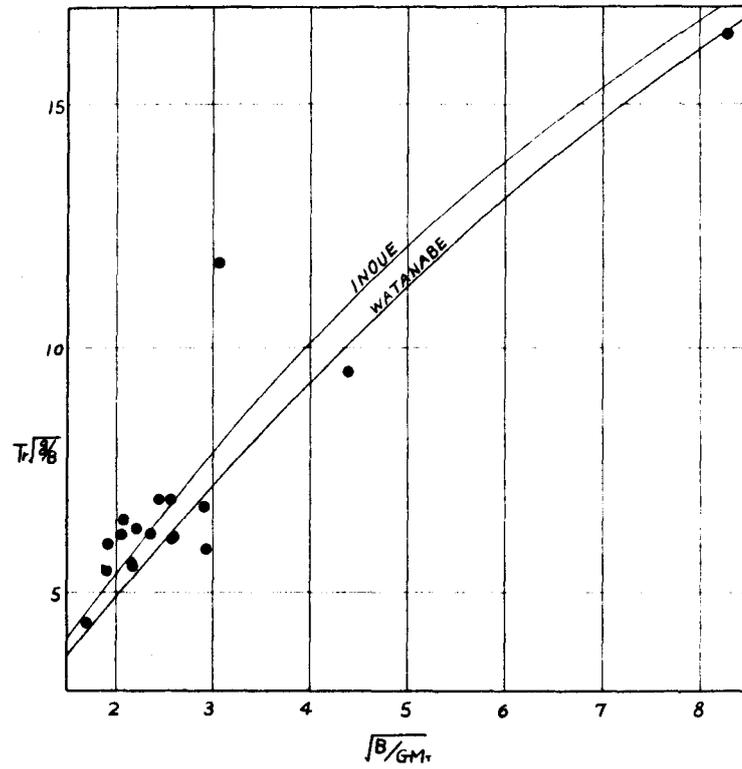
第3-16図 機帆船模型の K' 、 T'



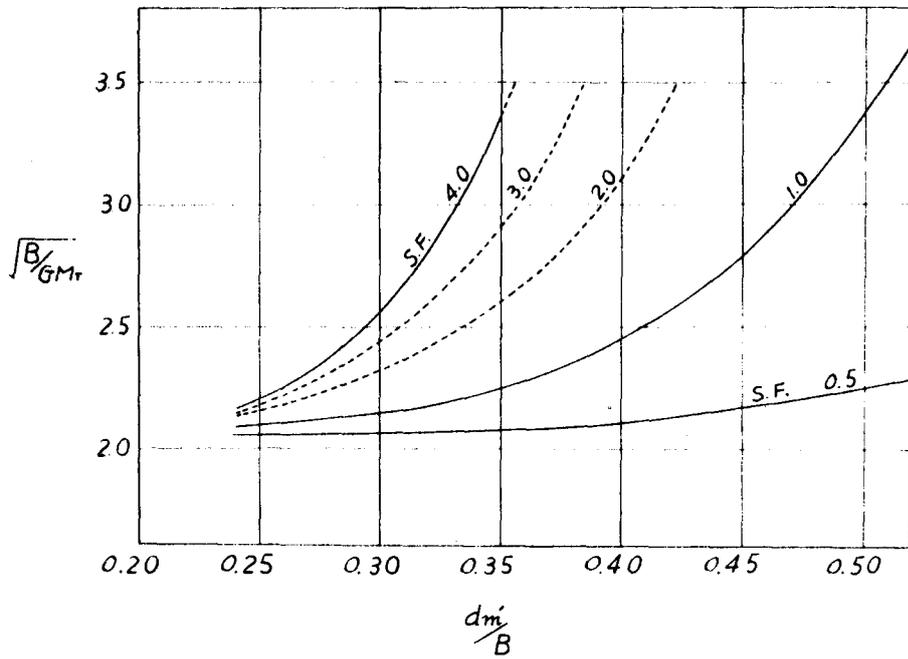
第3-17図 機帆船模型のスパイラルテスト



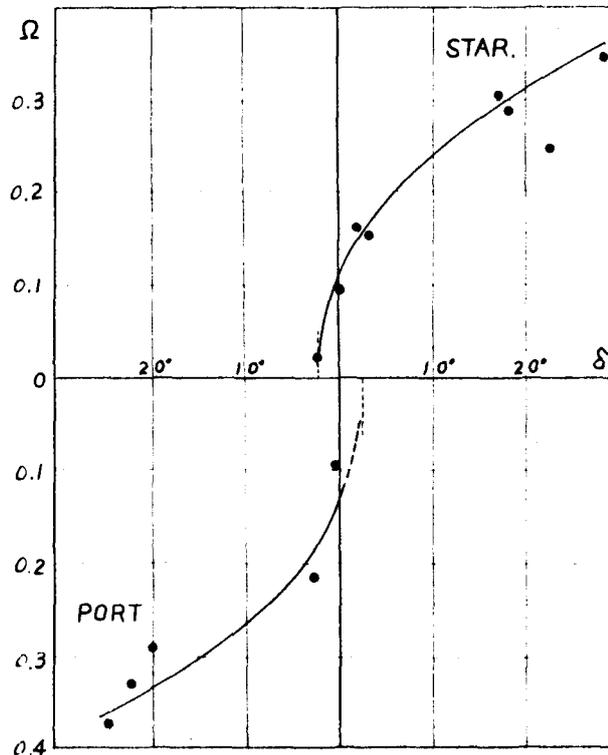
第3-18図 横揺数と喫水の関係



第3-19回 横揺れ周期と GM_T の関係



第3-20回 GM_T と喫水の関係



第3-21回 実船のスライルテスト (L船)

第3-8表 操縦性試験をした実船の要目

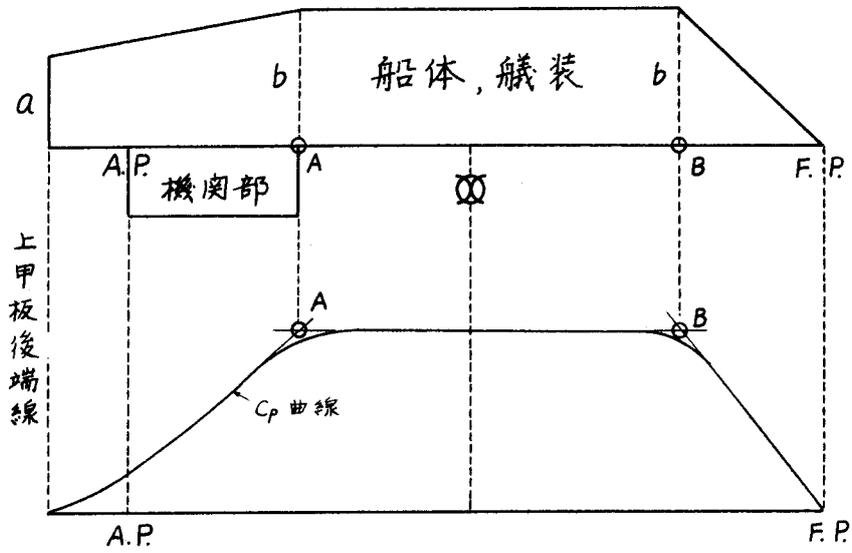
船名	$L^m \times B^m \times D^m \times d_m^m$	$4/B$	C_b^*	C_b/B	d_m/B	$AR/L \cdot d_m$	積荷	実施地
L	21.52 × 5.70 × 2.10 × 2.54	3.77	0.73	0.194	0.446	不明	炭酸カルシウム	徳山港
M	22.05 × 5.78 × 2.52 × 3.20	3.82	0.77	0.202	0.553	1/25.6	鉄精鉱	衣笠倉橋島

* 推定値

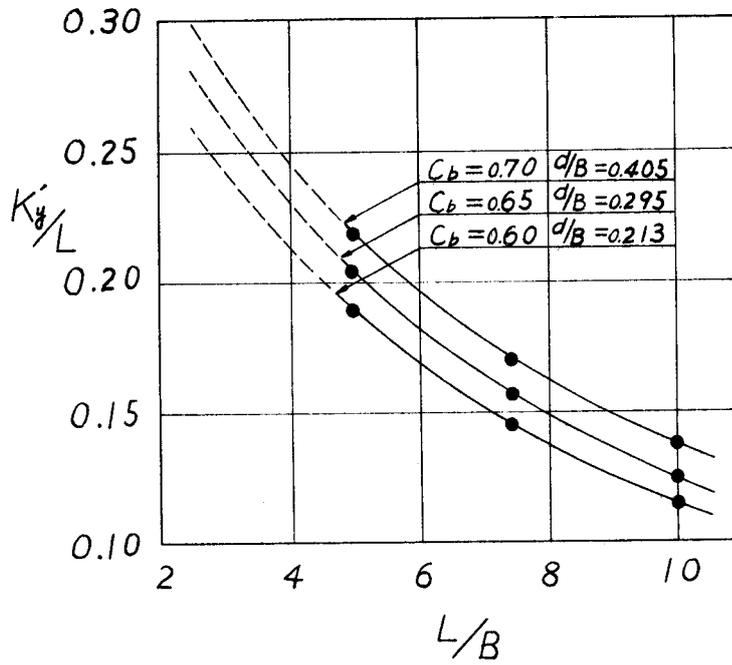
第3-9表 M船の操縦性指数 ($\delta = 15^\circ$)

K	0.17	K'	1.25
T	8.89	T'	1.21

$$V/L = 0.136$$



第3-22図 船体重量分布



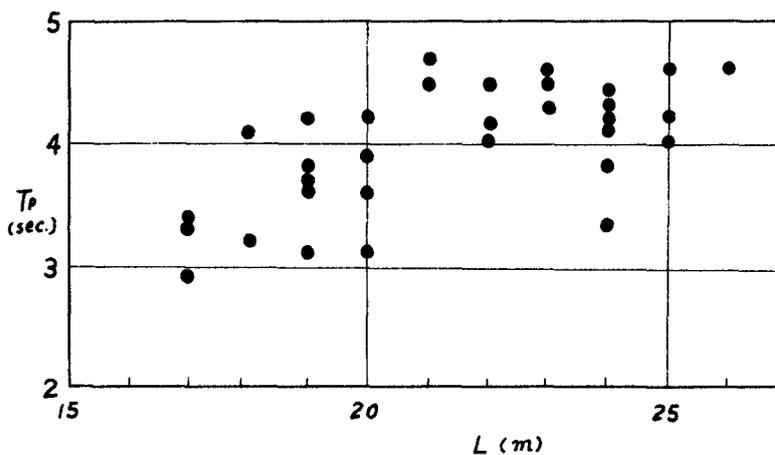
第3-23図 K_y/L と L/B の関係⁽³⁾

第3-10表 k_y/L の値 (%)

	F	L	E
空倉	27.6	24.4	27.8
$d/B=0.30$	25.2	22.7	24.9
$d/B=0.35$	24.6	21.7	24.4
$d/B=0.40$	24.2	20.8	24.0
$d/B=0.45$	23.9	20.4	23.7

第3-11表 k_y/L , k_y'/L , k_y''/L の値 (%)

d/B	T_p	k_y/L	k_y'/L	k_y''/L
0.30	1.00	22.2	28.5	23.0
0.35	—	—	—	23.5
0.40	0.96	21.3	24.8	24.5
0.45	0.97	20.5	24.2	26.0



第3-24図 T_p の推定値

第4章 機帆船の現況と造船学的に

みた運航の状態

船舶の安全性には二側面があるように思われる、その一つは運航技術に関する問題であり、他の一つは造船学的にみた船舶性能であろう。もちろん元来この二つは、全く相互に独立した因子ではない、一般的にいつて通常船舶の運航者は、自船の現在の能力に応じて、もつとも安全かつ経済的な運航をするよう努力するであろう。

しかしこれを機帆船の安全問題について考えると、その安全性つまりは船の信頼度に対する分析は、鋼船のごとく厳密ではなく、むしろさきの両因子は互いに盤根錯節しておつて、問題点の分離は容易ではない。したがつて機帆船の安全性の研究目標は、他船種の安全問題における出発点程度の理解に達することをもつて満足しなくてはならないと極言しても言い過ぎではない。

したがつてこの際運航問題を採り上げないわけには行かないから、研究に必要な運航の実態を第1章と重複しないように簡単に調べることにする。

4-1 機帆船の現況

本節では関係統計を紹介するとともに、1,176隻の実船を対象とした運航状態に関する調査⁴⁾の結果も併記した。

1. 機帆船の船腹、建造量、船令構成 —— 船腹の推移を第4-1図に、GT別船腹構成を第4-1表に示す。船腹はゆるやかに減少の傾向にあるが、なお12,000隻前後があるものと思われる。建造量は第4-2図に示すごとくこれも毎年減少の一途をたどりつつある。これがために老朽船(耐用年数を16年として)の比率は昭和35年度60%であったものが、昭和39年度には70%²⁾と上昇している。さらにこれを資料(4)について図示すると、第4-3図になる。船令10年以下は27%、船令20年以上が46%と老朽化が目立つ。なお第4-3図資料の中には71隻の戦時標準船を含んでおり、一般商船がscrap and build方式による船質改善を行ない、全く戦前の面影を止めないのに対して、対照的な事実である。

2. 専用船化 —— 機帆船は船体構造上、積荷の保身に不安があるため、比較的低級な貨物を運搬している。これを小型鋼船の場合と比較すれば第4-2表となる。両者における取扱い貨物の相違は明らかである。このため機帆船は高級な貨物を求めて過当競争をするとか、無理な運航スケジュールにたよるなど、不安定な経営形態を生み、これが思わぬ海難を起す遠因となっている。これに対する策として船の大型化、高速化とともに専用船化が進

められつつあり、特に専用船化は、小型鋼船自身の急激な専用化^{*}と相まって、機帆船がメーカ直属のいわゆるインダストリアルキャリアとして次第に専用化する傾向がある。さらに特筆すべきことは、これに伴って、船体構造も運ぶべき貨物の性質に合わせて改良されつつあることである。資料(4)についてみれば、1,176隻中専用船684隻(58%)であり、これをGT別に示せば第4-4図となり、大型、小型を問わず一様に専用化の傾向がある。さらに第4-4図の専用船について、積載貨物別に分類すれば第4-3表になる。特に木材、砂、石炭等海水による濡損の心配のない貨物が全体の50%を占める。専用船は復航時空倉になる可能性が大きく、船主経済上問題があると思われるが、船舶の構造上なうびに機能上かうすれば、船の安全性を強化していると思われる。

3. 航行区域および就航海面——機帆船の航行区域は甲板の有無、開口の水密性などによつて第4-4表のごとく区分される。また現存船の69%は沿海区域の資格を有し、残余の31%は平水区域の資格を持つ。沿海区域の資格を持つ船の大部分は内海型の船型を有し、第4-4表にあるごとく西日本周辺の限定された水域での航行を許されている。なお近海区域の資格を持つ機帆船は10隻

* 脚注 昭和38年度専用船数は、昭和32年度の8倍となっている。¹⁾

にみたない(指定統計28号)。一方就航海面から考えれば、九州、四国、近畿、中国の内海周辺地区に81%(船腹統計より計算)が在籍しており、この点でも機帆船は内海の船といつても過言ではない。また出入港船舶実績からすれば、この水域において全機帆船の70%が活動中と思われる(港湾統計)。

資料(4)ではまた第3章および上記第4-4表による航行区域に関連して、中央横断面の形状を調査した。これを第4-5表^{*}に示す。またGT別に図示すれば、第4-5図のごとく角型船は小型の船にやや多いことがわかる。次に中甲板付船について調べると、その総数は395隻(34%)になる。これを全資料のGT別隻数分布図に対して、各トニ数における中甲板付船の占める割合として示せば、第4-6図になる。船型が大型になるにつれ中甲板付船が増加しており、元来強度の不足しがちな木船にあつては、中甲板が積付上の要求からよりもむしろ強度部材として設けられていることを考えれば、これは当然のことといえよう。

4. 汽船、帆船の区分——資料(4)についていえば、
汽船登録 124隻 (10.5%)、帆船登録 1,047隻 (89%)

* 脚注 上甲板のある船は調査資料の中になかった。

不明5隻(0.5%)となり、圧倒的に帆船が多い。この帆船登録の船について帆の使用状況を調べると、第4-7図のごとくなる。帆の使用頻度は季節および航路によつてかなり差があるが、帆船の過半数は全く帆を使用せず、今日機帆船における汽船、帆船の区分が有名無実化していることを端的に物語つてゐる。しかしながら一方帆船の42%は依然として、補助的にではあるが、帆を使用しており、冬季の安定汎の中での機関併用の帆走が現在でもかなり有効なことを教える。また海難報告書によれば、海水打込みによる主機停止後、帆走によつて安全水域に避けた実例もあるから、機関室の支水構造、排水設備の十分でない機帆船にあつては、帆走しうることが少なからず安全に寄与してゐるようである。すなわち風を後、斜後にうけるときのみ一応有効な純帆走ができるにしても、速力はせいぜい2~3ノットにすぎず、機帆船は帆を使うにしても常時機帆併用が必要であり、純帆走は非常用としてのみ考えられる。

いずれにしても船舶安全法設備規程における負担の軽減の目的で帆船の資格を取得する傾向があるから、帆船の法的性格を現実に即して、より明確にすべき時機がきているのではなからうか。

5. 貨物の積載とその限度の目安 —— すでに第3章において説明したごとく、船の建造にあたり、造船所はGTの何倍という目安で載貨重量（以下積トンと略称）を定めている。たとえば橋本によれば、積トンはGTの1.5~1.6倍としており、この程度の積載量で適当な乾舷が与えられるとしている。また木船運送法による登録船腹（曳船、はしけは除く）統計ではGTの1.83倍として積トンを推定している。

資料(4)について調べると、積トンはGTの1.6倍を中心に1~3倍の広範囲に分布している。いずれにしてもかくしてできた船は積トン〇〇と呼称される。建造後船令を重ねるに従い当初の積トンに対して、喫水が深くなって行くにもかかわらず、この積トンはそのまま維持される傾向がある。

運用者が貨物積載の限度をどのようにして決定しているかを見ると、資料(4)によれば第4-6表のごとくなる。機帆船には喫水の制限はないが、さきに述べたように積トンはしたがって満載喫水は一応決まっており、積載限度の目安として喫水を上げたものがもつとも多いのは、ごく自然な事柄である。しかし元来積トンは安全上確かな根拠によつて決まったものでないから、季節または海況に応じて、積トンあるいは喫水を加減する必要がある。

冬期貨物積載量を加減する例は北海道、東北周辺において、乾玄を10~20 cm程度余分に取ることがあるが、内海周辺地区ではこのような配慮は一般にみられない。このことは積載限度の目安として乾玄を上げたものが、喫水のそれの1/10にも満たない事実からも明らかである。

上記の調査では載貨時に喫水を必ず読むもの79.8%、時々読むもの11.2%、読まない5.1%、喫水マーク不明2.0%、無解答1.9%となっている。機帆船海難資料のうち、喫水はその船の載貨重量、乾玄等を推定する上にも重要な要素であつて、その精度はそのまま解析の信頼度を示すことになる。この点上記の数字は、大部分の船が貨物積載時に喫水を読むことを習慣化していることを教えるものであつて、海難調査上まことに好都合なことである。本研究ではこの点に着目し、喫水に重点を置いて後章の海難資料を整理した。

4-2 実船の載貨重量と喫水

前章において機帆船が独立した船型(機帆船型と呼んだ)を持つことを論じ、さらに船の長さ幅比をある範囲に限ることにより、これに類似船型の仮定を導入し、扱ふべき資料のたまかな選別を行なつた。

さて機帆船は一般に過載だと言われ、それがもつぱら

海難を起こす原因だと信じられている。事実、貨物積載時の喫水の大きさは、調査した約3,000隻のおよそ60%が $dm/D > 1$ であった。つまりこの場合、喫水線が型深さの上端点を越える存在することになる。一方、残余の40%は喫水の点からみると、前者に比べて必ずしも過載とはいえないにもかかわらず、しかも海難を起こしているわけである。したがって、この辺の事情を明らかにするためには、載貨状態での船の動的、静的な性質を調べる必要がある。

しかし後述するごとく、安全性問題研究の基礎資料である海難報告一つにしても、元来船型についての研究が十分でないため、海難記録だけからでは海難の状況を把握できない。この不利を克服するためには、第3章(3-1)～(3-3)の各式を喫水と結び付けて、簡単な量で船の状態を表現するののも一つの方法と思われる。

本節では載貨重量と喫水の関係を調査した。第4-8図は貨物の実際重量(記号C.W. トン)と dm の関係を $C.W./C.N.$ と dm/B を用いて表示したものである。もちろん dm/B は元来 dm/D で表示するのが最も適当なのであるが、これは第3章で述べた D に関する不確実さを避けるためである。第4-8図の平均線を、55隻の空倉時平均喫水 $dm/B = 0.23$ を通る直線で近似すると、

$$\frac{d_m'}{B} = 0.23 + 0.46 \frac{C.W.}{C.N.} \quad (4-1)$$

d_m'/D を用いると

$$\frac{d_m'}{D} = 0.56 + 1.15 \frac{C.W.}{C.N.} \quad (4-2)$$

となる。あるいは第3章(3-1)を用いて

$$\frac{d_m'}{B} = 0.23 + 1.58 \frac{C.W.}{L^3} \quad (4-3)$$

となる。これらの関係は資料船FにおけるC.W.と喫水の関係とよく一致しており、⁸⁾海難資料の評価の精度を期待しうることになった。

(4-1) または (4-3) によつて、主要寸法および貨物重量が与えられれば喫水が導かれる。したがつて第3章、第3節の結果と併用して、実船のある載貨状態での動揺周期、横揺抵抗係数が第4-9図の順で求まる。

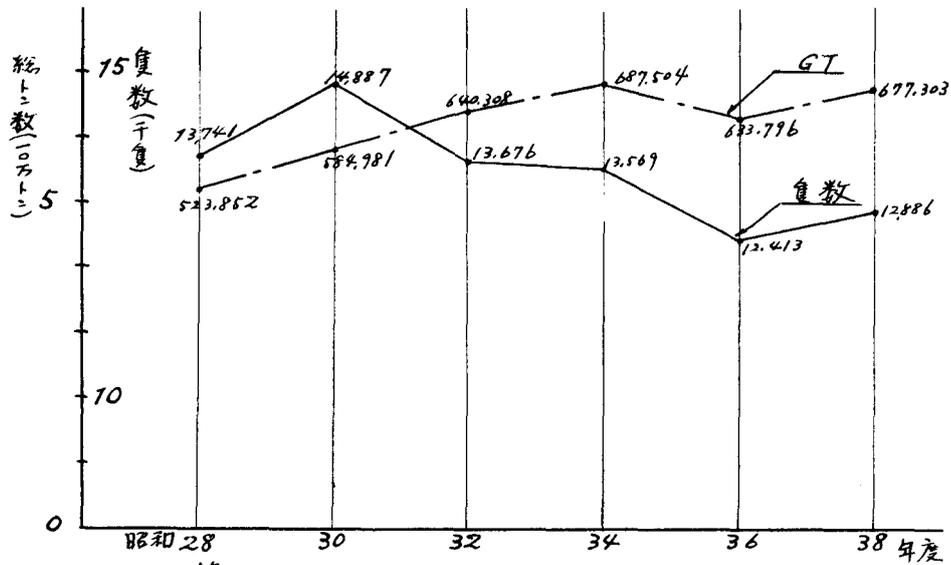
4-3 実船の見かけの深さ D_0 。

前節の関係からある船の貨物重量がわかれば、喫水は推定できても、その乾舷はわからない。見かけ乾舷量の推定には、実船の見かけ型深さ D_0 の調査が必要である。第4-10図は多数の実船についての実測例を整理したものである。この場合 D_0 は船体実質部の上端から測定し、甲板、ハッチコーミングなどは含まない。また図中の二本

の曲線のうち、 D_0 の下限で示した曲線は ΔB の特に小さい船における D_0 と B の関係を示すものとする。これについては第6章において説明する。

以上によつて見かけ乾舷量 f' は、次式によつて与えられる

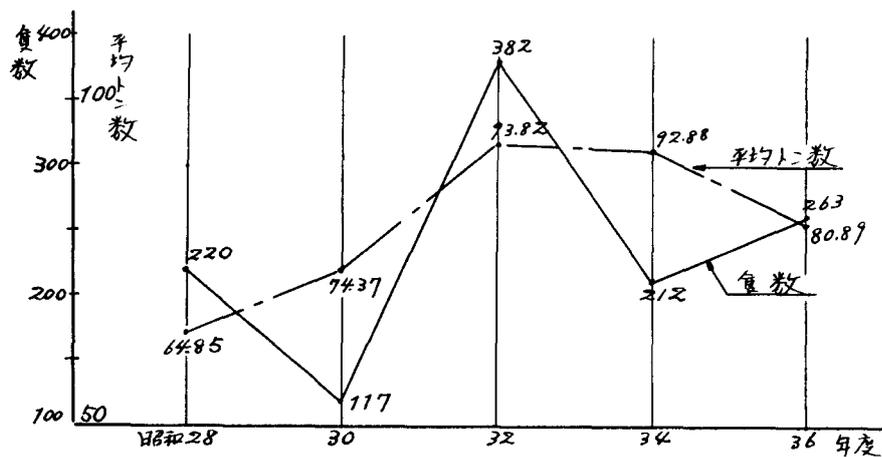
$$f' = D_0 - d_m' \quad (4-4)$$



第4-1図 機帆船保有船腹(5GT以上)
(運輸省統計月報 海事)

第4-1表 機帆船のトニ数別保有船腹
(昭和38年)

	5~20 ^ト	20~100 ^ト	100 ^ト 以上	計
木船	4,271	6,881	7,289	12,441
鋼船	183	797	65	445
計	4,454	7,078	7,354	(72,886)
比率%	34.5	55.0	10.5	100

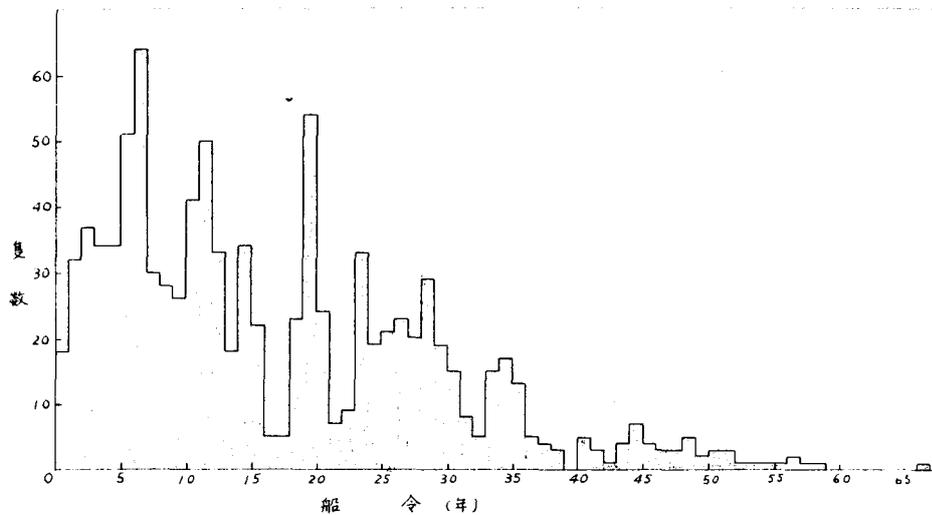


第4-2図 機帆船建造量 (運輸省海事統計月報)

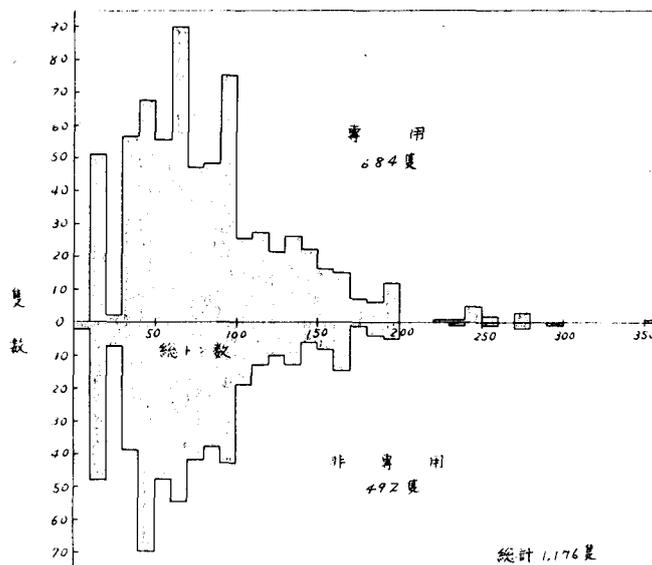
第4-2表 輸送貨物上位15品目(千トン)²⁾
(昭和39年度)

	木 船		小 型 鋼 船	
	ト ン	比率%*	ト ン	比率%*
木 材	4,138	6.5		
石 炭	8,527	13.4	12,865	16.9
コ-クズ等	1,229	1.9	2,182	2.9
金属鉱	1,247	2.0	1,526	2.0
石灰石	2,396	3.8	2,333	3.1
矽砂利石	13,846	21.7	6,447	8.5
非鉄金属	4,929	7.7	1,525	2.0
鉄 鋼	6,682	10.5	16,450	21.7
セメント	4,072	6.4		
セメント等窯業品			531	0.7
重 油	1,296	2.0	14,676	19.3
石油製品			6,688	8.8
化学薬品	2,622	4.1	2,462	3.2
化学肥料	1,375	2.2		
金属くず	1,465	2.3	493	0.6
特殊品	1,370	2.2		
分類できぬもの	2,880	4.5		
食料品			939	1.2
製造工業品			1,327	1.7
輸送機械			2,106	2.8

* 全輸送トンに対する割合



第4-3図 機帆船の船令分布⁴⁾



第4-4図 専用船、非専用船の船令別分布⁴⁾

第4-3表 専用船の貨物⁴⁾

品名	隻数	比率 %	品目	隻数	比率 %
1 木材	748	21.6	7 化学薬品	26	3.8
2 砂礫石	723	18.0	8 石油類	22	3.2
3 石炭	703	15.7	9 鉄鉱石	21	3.1
4 セメント	63	9.2	10 化学肥料	19	2.8
5 鋼材	45	6.6	12 その他	87	12.7
6 石灰石	27	3.9	合計	684	100

第4-4表 機帆船の倉口閉鎖構造に基づく航行区域(船舶検査心得)

1	近海区域以上 $b \leq \frac{1}{2}B$	
2	沿海区域の全部 $\frac{1}{2}B < b \leq \frac{2}{3}B$	
3	沿海区域の一部 $b > \frac{2}{3}B$	
4	沿海区域の全部 $b \leq \frac{2}{3}B$	
5	沿海区域の一部 $b > \frac{2}{3}B$	
6	沿海区域の一部 $b \leq \frac{2}{3}B$	
7	瀬戸内 $b > \frac{2}{3}B$	
8	沿海区域の一部 b の大小を内わなない	
9	瀬戸内	

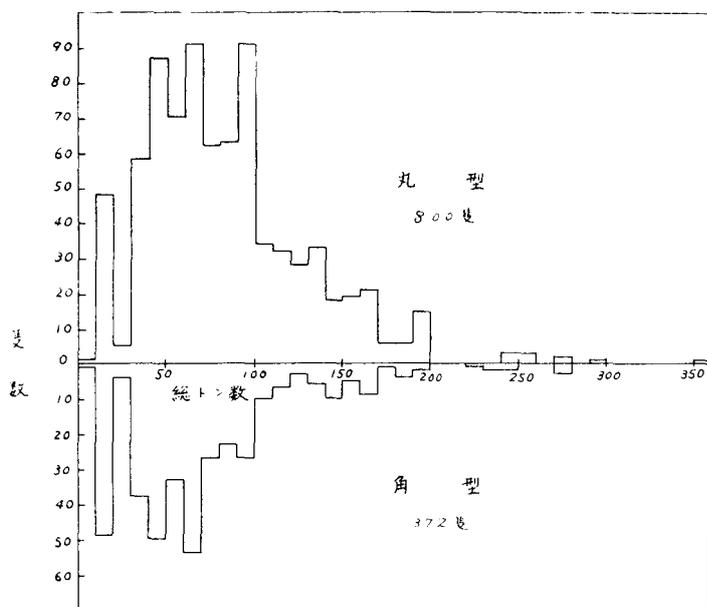
上表において h はフレームの内面からコーミングの外表面までとし、かつ 60cm 以上とすること。

○印は放水口、⊗印はさし板を示す。

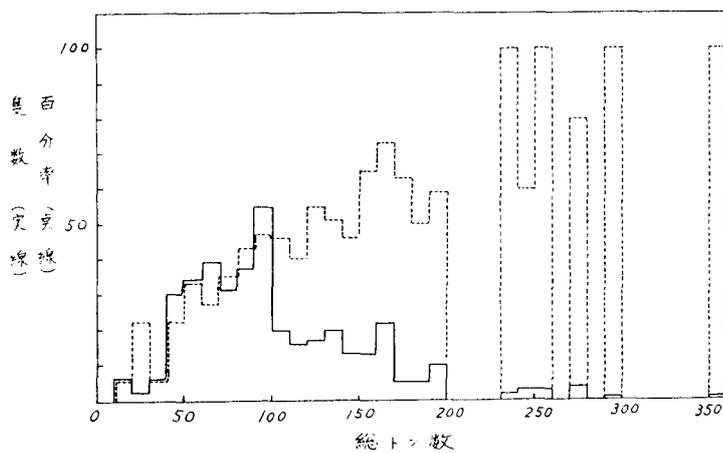
沿海区域の一部とは、表日本は名古屋以西、裏日本は敦賀以西に限られた区域とする。

第4-5表 中央横断面の形状分類⁴⁾

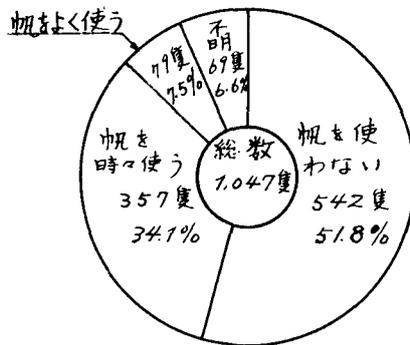
中央横断面の形	集数	比率%
丸型	800	68.0
角型	372	31.6
不明	4	0.4
計	1,176	100



第4-5図 中央横断面形状の総ト数別分布⁴⁾



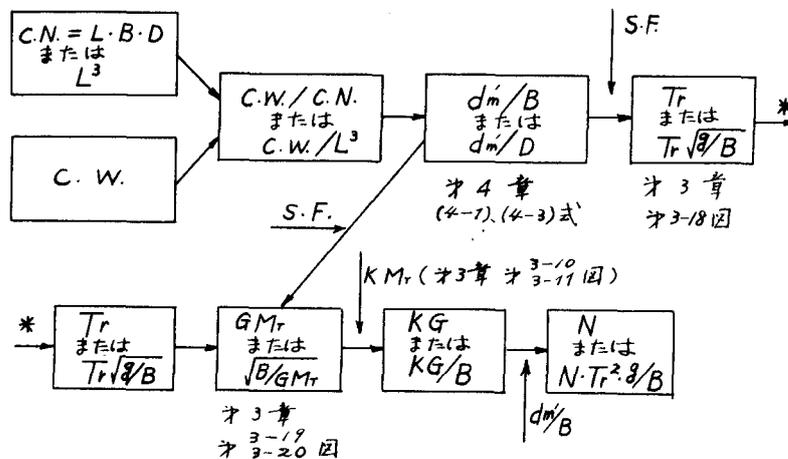
第4-6図 中甲板付船の総ト数別分布⁴⁾



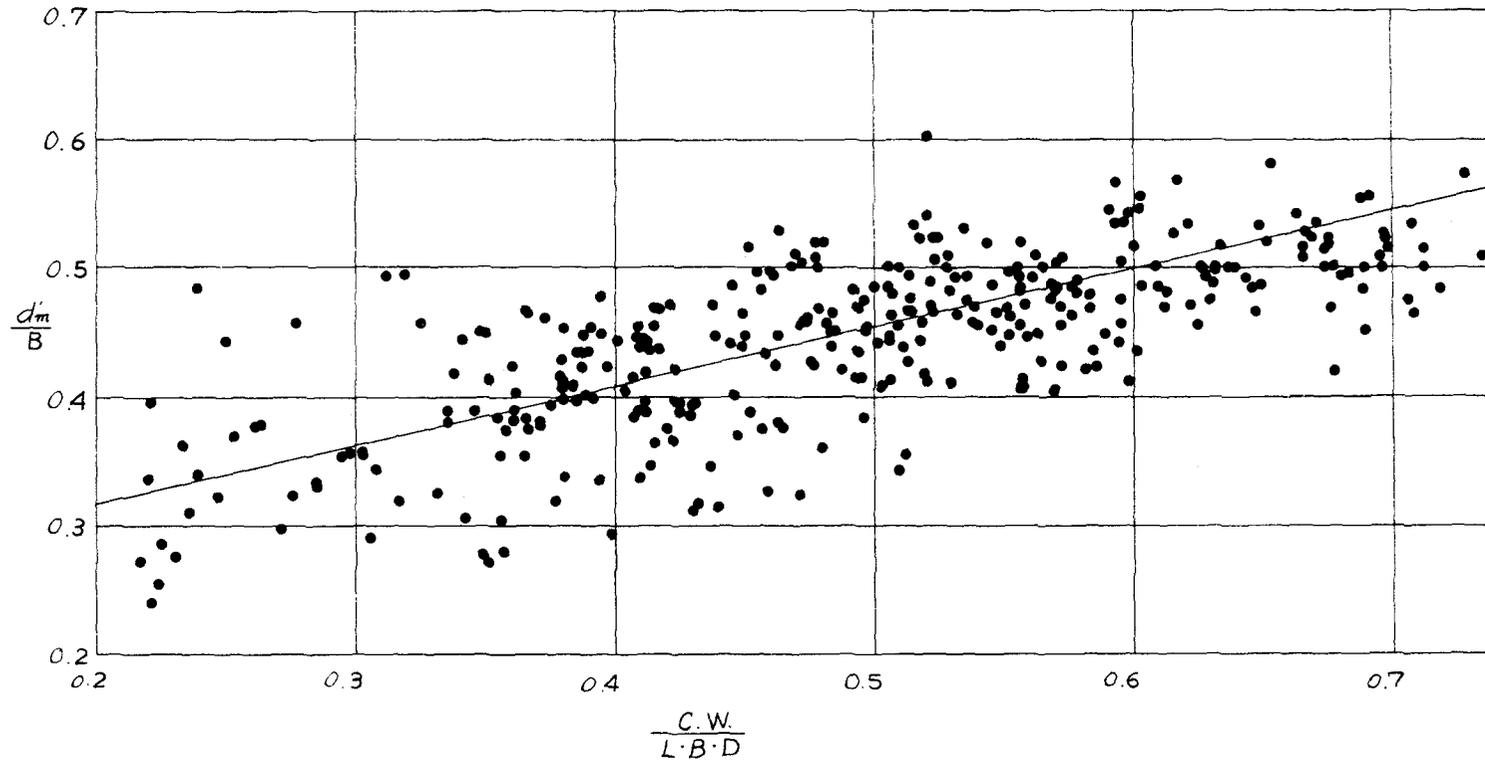
第4-7図 帆の使用状況⁴⁾

第4-6表 貨物積載限度判断の基準⁴⁾

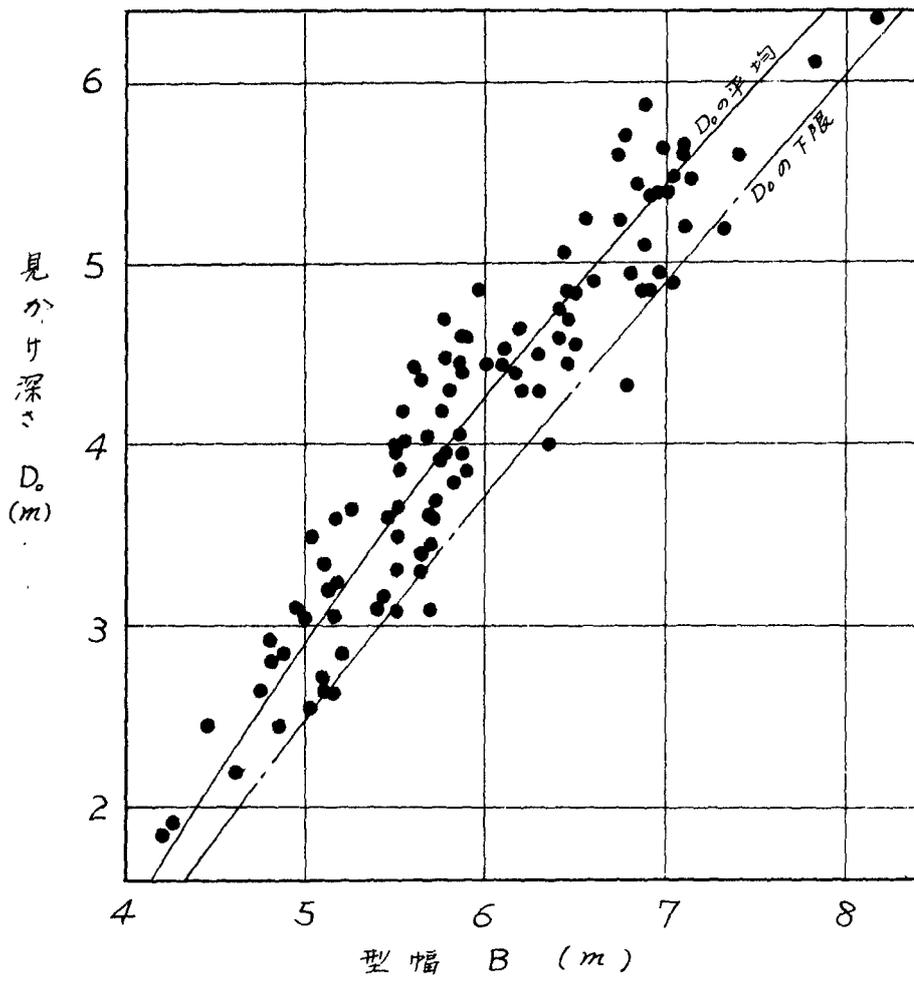
項目	件数	比率%	項目	件数	比率%
1. 喫水	894	49.8	5. 乾 玄	88	4.9
2. 積トン	391	21.8	6. 横揺れの様子	61	3.4
3. ブリッジからの前方の見直し	131	7.3	7. 船の傾斜	58	3.2
4. トリム	125	7.0	8. その他	47	2.6
			計	1,795	100



第4-9図 横揺れ同期およびNの求め方



第4-8図 噴水と貨物の実際重量の関係



第4-10図 見かけ深さと型幅の関係

第5章 機帆船の航路上での波浪調査

機帆船の主要就航海面は内海であるが、全体として内海の波浪は、それが船舶の安全性と深い関係があるにもかかわらず、未知の部分が余りも多い。現在まで、二、三の調査²³⁾が行なわれているが、それは既存の予報式のこの水域への適用の可能性を検討している段階にすぎない。

周辺の地形の影響を受けない、かつ水深が波長に比べて十分大きい大洋の波浪については、各国においてすでに多数の観測、研究が精力的に行なわれており、その統一された成果は太平洋、大西洋等の適用水域を選ぶことなく利用することができ、船舶の安全および運航技術の分野で広く実用に供せられている。

この大洋の波浪研究分野における実り多い成果に比べ、たとえば内海のごとき狭水域の波浪については、研究の例ははなはだ少なく、それを統一する考え方も見出されていない。そうかといつて大洋における結果を狭水域における波浪の説明に用いることは、両者における波浪の発達および減衰状況の相違よりして、明らかに無理である。現在のところ最も確かな方途としては、諸学者の指摘するごとく、特定水域あるいは地点ごとに目的に添った波浪調査を行なうことであろう。

狭水域における波浪についての研究の一つに、J. Darbyshire

による波高および周期に関する半実験式がある。これによつて数十海里程度までの短い吹送距離の波浪の予報ができるようになった意義は大きい。しかしその考への基礎になつてゐるスペクトル分布および実際風速のとり方については批判がないわけでは^{16), 17)}ない。

次章において触れるごとく、機帆船の海難は凡かゝる程度の海況においてすら浸水海難が散見される。その原因の相当部分は船体構造の欠陥に基づくものであることはすでに明白であるが、同時に就航海面における波浪にも原因の一部が歸せられるべきであらう。すなわち内海およびその近接水域は、地理的にもまた地球物理的にも複雑な環境であつて、船舶の航行ないしは安全に影響を及ぼす海象もそれ相応に複雑であらう。したがつて波浪が上記の特徴ある海難の一原因となつてゐることは容易に想像しうることである。

上記の事実にかんがみ、本研究に即した波浪調査を機帆船の航路上海難多発地点において実施した。¹⁹⁾特に内海の機帆船の航路上では、周囲の地形、水深、潮流等は場所ごとに一樣ではなく、海難の模様をより正確に把握するためには、その場所での波浪を相当入念に計測する必要があるからである。

この計測にあたり、特に配慮すべきことは、まず波高

と同時に波周期をも同程度の精度で記録しうることが必要である。次に波高計の設置および揚収が簡単であり、かつ計器は設置後も過酷な自然条件の中で確実に作動し記録する必要がある。このことは本調査のごとく比較的多数の地点で、同じ日に波浪を計測するためには不可欠の条件であつた。以上の条件を満たす計器として谷口により開発された水圧式波高計¹⁸⁾の改良型を採用した。改良部分は、記録カメラ、拡大機構、電気接点の配置等であり、特に記録カメラは宇井(川崎重工)の考案によるものである。上記の改良により、本器は精度、信頼性および取扱いの容易さがともに向上した。

5-1 計器および計測法

計器は「吊り下げ式自記波高計」(以下波高計)と呼称し、第5-1図のごとく円形主ブイに吊り下げている。波高計の比重をある一定値以上に定めて置けば、波高計が波浪による波の上下動に常に追従して動くことを応用して、波高計の上下量に相当する水圧変化から逆にブイの上下量を換算して波高を求める仕組みになっている。

波高計は、圧力検出部と記録部とから成り立っている(第5-2図)。圧力検出部は、ベローズ⑬と主ばね⑰からなり、波高計の上下量による水圧変化に比例して動き、

したがって⑬に固着されているスピンドル⑩も動く。主ばねはリング⑭によつて、あらかじめ圧縮されており、このため波高計は水中に投入された後、ベローズに受ける水圧力がこの圧縮力に打ち勝つまでは作動しない。作動開始後は、ベローズばね系が、水圧力と圧縮力の差、つまり圧力変動に比例して、動きうる状態になり、この動きはスピンドル上端に連なる拡大機構③を介して、カメラのミヤツタ②に導かれる。実際には主ブイ下のロープの長さを、ばねの圧縮力に相当する水深より、さらに観測予定最大波振幅だけ長く調整し、平均水面の記録がフィルム面の中心に来るようにしてある。この水深を調整水深というが、調整水深の大きいほど、観測値の精度が良いことは、波高計の原理から明らかである。

記録部はスリットカメラ⑦であり、カメラにはいる光源⑤からの光をミヤツタ②が水圧変化に応じてさえぎる。一方カメラ内のフィルムはマイクロモータ⑥により、一定の速さで送られるから、フィルム面に波形が記録され、現像すれば、波形の連続記録が得られる。

第5-1表に波高計の要目を掲げる。

観測作業は、波高計の投入、主ブイの投入、補助ブイの投入の順序で波高計を観測点に設置し、観測終了後は補助ブイ、波高計、主ブイの順に船上に揚収する。波高

計は投入と同時に自動的に記録を開始し、揚收格納とともに自動的に作動を停止する。これらは光源およびマイクロモータに接続された電気接点の働きによる。

波浪観測中は、船は原則として、波高計の風下に位置し、船首を風上に向けて停止し、その間に必要な観測および記録を行なう。

観測記録事項は次の10項目である。すなわち

- 1 波浪(波高計による)、
- 2 風速、風向(コーシンベーン風速、風向計による。計蓋の位置は水面上約8m。原則として、観測開始、観測完了時各一分間の平均風速、風向をとる)、
- 3 気温、
- 4 気圧、
- 5 水温、
- 6 潮流(潮汐表による。本調査は潮流の停止時が多い、また調査地点での潮流はその最盛時でも大きな値にならない)、
- 7 船体の最大横揺れ角(参考事項)、
- 8 目視波高または海面状態、
- 9 天候、
- 10 その他参考事項。

5-2 波浪調査

少なくとも数時間、安定した風が吹続し、波浪が充分発達したとき、観測予定海面に出動した。

調査地点は、主として、播磨灘家島群島の南東、機帆船航路上であり、観測船の行動の都合で他の数地点が選ばれた。調査地点は、第5-3図に示す1~15の地点であり、図中の鎖線は機帆船の主要航路である。第5-2表に調査一覧表を、第5-4図に調査当日の天気図を示す。

なお調査は、第五管区海上保安本部の支援により、巡視船“ろっこう”、“みねゆき”の協力を得て行なわれた。

5-3 波浪調査の結果

波浪資料の解析方法は大別して、波浪の見かけの高さ、周期などに注目し、統計的手法によつて海面状態の外見的な姿を記述する方法と、見かけの波が無数の微小な正弦波を Fourier の原理によつて重畳して得られるとして、その成分波の振幅、周期を適当な解析法によつて求め、海面のスペクトルを与える方法とがあるといえる。前者を波浪についての経験的知識とすれば、後者は波浪の構造そのものを説明する物理的知識と言えらるであろう。さらに雑音解析の原理を応用して、この両者の関係を明らかにする研究分野もまた活潑であり、その成果は盛んに

造船学に取り入れられつつある。

波浪の解析に上記のいずれの方法を用いるかは、使用目的により、特に波浪中の船舶の安全性を研究するに当っては、エネルギー・スペクトラムの表示が優れているが、ここでは見かけの波の統計量についても解析した。

5-4 見かけの波の統計量

フィルムに記録された波形は写真 5-1 に示す状態である。この記録をミニコピーダ（富士写真、Q4D）によつて、8.3 倍に拡大の上第 5-5 図の要領によつて、 T_0 、 T_{max} 、 H などを 200 波まで読み取る。

読み取った波圧は主ブイの動特性および見かけの波周期（見かけの波長に対応する）に基づく記録部における水粒子の運動による水圧の補正を行ない、これを真波高に換算する。しかし不規則な波の個々の波長に着目して、上記の修正を施すことは必ずしも当を得ていないが、他に適当な方法がないので現行の慣例に従った。前記の修正のうち水粒子の *orbital motion* によるものが支配的であるから、ここではこれだけを考慮し、かつ個々の波に対して修正の作業を行なうことは非常に煩雑であるから、この解析ではかりに平均周期を修正のベースにとつた。

以上の結果をまとめたものが第 5-3 表である。さきに

述べた便宜的な補正のため、見かけ波周期が平均周期より長い波の波高は実際より幾分低い目に、また見かけ波周期が平均周期より短い波の波高は高い目に評価される。比較的大きい波には、比較的長い見かけ周期が対応するから、第5-3表の平均値 $H_{1/2}$ 、 $H_{1/10}$ などは実際値より1~4%低い目になっているものと思われる。

第5-3表の波高について、 H_{max}/H_m 、 $H_{1/10}/H_m$ 、 $H_{1/2}/H_m$ の値をみると、大洋の波について Seiwel、Putz、Barber¹⁵⁾等が与えた実験的關係にほとんど一致し、Longuet-Higgins²²⁾が波高の分布が統計的に Rayleigh 分布になる場合について与えた關係 $H_{1/2} = 1.598 H_m$ 、 $H_{1/10} = 2.032 H_m$ 、 $H_{max} = 2.452 H_m$ にもまた近い。これは後に第5節に述べるごとく、その値が大体において0.5付近にとどまり、したがって(22)に述べているごとく波高比は Rayleigh 分布に近いものになるのであろう。

見かけ波周期はかなり短く、しかも第5-6図にみるようにある卓越値のまわりの狭い範囲に分布しており、本記録の大部分は発達した状態にあつたといえる。次に \bar{T}_0/U をみると 0.27~0.48 の範囲にあり、これを Pierson が Neumann スペクトラムについて求めた關係 $\bar{T}_0/U = 0.555$ と比べると、波周期がいかに短いか理解できる。波周期が短いことは、見かけの波長もまた短いことになる。こ

れに対して波高は、さほど低くないから、結果この水域の波はけわしく、船の運航上好ましくないことがわかる。調査の経験によれば、この水域の波浪は短時間に発達し、当初波長がある程度伸びると、その後は波長の成長よりも波高の増大に風のエネルギーが消費されているように思える。平均波周期が短く、しかも風速上昇のわりに周期の増加が伴わないのは多分このような現象を裏付けているのであろう。

第5-7図は $H_{1/2}$ 、 \bar{T}_0 、 \bar{T}_{max} を平均風速に対して表示したものであつて、観測地点がそれぞれ吹送距離を異にするにもかかわらずよくまとまっている。かりに近似曲線を引くと、平均周期は

$$\bar{T}_0 = 1.06 U^{1/2} \quad (5-1)$$

有義周期は

$$\bar{T}_{max} = 0.93 U^{1/2} \quad (5-2)$$

をもつて表される。

上式が $U = 15 \text{ m/s}$ 程度の風速に対しても成立するとすれば、波周期は $\bar{T}_0 = 4.1 \text{ 秒}$ 、 $\bar{T}_{max} = 3.6 \text{ 秒}$ 程度であり、この周期に対する相当波長はそれぞれ約 26 m 、 20 m であり内海航行の機帆船と同等の長さであつて、船舶の耐航性からも問題になる規模であらう。

これに対して波高は多くの研究者が U^2 に比例する形で

表現しているが、本調査では図のごとく適合しない。むしろ実測値は有義波高に対して

$$H_{1/3} = 0.02 U^{1.5} \quad (5-3)$$

をもつてよく近似とされている。

(5-3) は $H_{1/3}^2 \propto U^3$ の関係を導くことになり、また $H_{1/3}^2$ は波の平均エネルギー E に比例することを考慮すれば、 $E \propto U^3$ となり Darbyshire の与えた表現となる。

波浪の成長に関係のある因子の一つである吹送距離は、内海のごとく島の多い水域では、どのように定めてよいか判断に苦しむところである。しかもこの調査のごとく風上側陸岸までの距離がせいぜい 20~30 海里にとどまる場合は、風上側にある地形も考慮にいれた有効な吹送距離を導かねばならない。これはむしろ将来の研究課題であるから、ここでは単に Darbyshire¹⁴⁾ の提案した予報式と比較するだけにとどめる。

観測地点において Darbyshire の式

$$H_{1/3} = 0.01313 y U^2 \quad (5-4)$$

$$y = \frac{x^3 + 3x^2 + 65x}{x^3 + 12x^2 + 260x + 80}$$

ただし

$H_{1/3}$: 有義波高 (m)

U : 前 3 時間平均風速 (m/s)

x : 吹送距離 (海里)

が成り立つものと考える。この式は吹送距離が十分長い場合の有義波高を $H_{1/3} = 0.01313 U^2$ として、これに吹送距離に基づく修正係数 γ を乗じて、制限水域での波高を導いたものである。この式に第 5-3 表の $H_{1/3}$ および平均風速を代入して、逆に式を満足させる吹送距離を求めると第 5-4 表のごとくなる。これを第 5-8 図の海図上での吹送距離と比べると、15* を除いて、いずれも計算値の方が大きい。この傾向をそのまま受け入れれば、調査水域での波高は、Darbyshire の値より高いことがわかる。資料 15* はこの地点での最大吹送距離が期待される風向にもかかわらず計算値の方が小さい。これはたまたま風速測定にあたり評価が過大になったためと思われる。事実、観測と同時刻における江崎灯台（淡路島）での風速は WNW 7.3 m/s であつて、上の推定を裏付けている。

船の動揺角を決定する一因子である波の岨度は、この調査の場合第 5-5 表のごとくなる。またもし波高として H_{max} を採るならば、さきの第 5-3 表から H_{max} は $H_{1/3}$ のおよそ 1.5 倍となるから、岨度は最大値 0.06 程度になることが予測される。

5-5 波浪のパワースペクトラム

ある確率過程の一つの標本過程が $x(t)$ であり、かつニ

れについてエルゴード性が満足されれば、十分長い時間記録された標本 $x(t)$ の時間的平均による統計的特性は、元の確率過程の統計的特性と等価である。

さて波浪計から得た波高の連続記録もまた一つの標本過程であり、これについて標本計算を行なえば、波浪の統計的特性を推定することができる。

具体的には、波浪 $x(t)$ (第5-9図) のパワースペクトラム $S(\omega)$ をなんらかの方法で求めて置きさえすれば、これから確率過程の統計的特性を導き出すことができる。
すなわち

i. スペクトラムの広がり ε は

$$\varepsilon = \frac{m_0 m_4 - m_2^2}{m_0 m_4} \quad (5-5)$$

$$\text{ただし } m_n = 2 \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega \quad (5-6)$$

$$m_0 = \sigma_x^2$$

ii. 平均周期は (第5-10図)

極大値から求まる平均周期 \bar{T}_{max}

$$\bar{T}_{max} = 2\pi \left(m_2 / m_4 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-7)$$

0-crossing から求まる平均周期 \bar{T}_0

$$\bar{T}_0 = 2\bar{T}' = 2\pi \left(m_0 / m_2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5-8)$$

3. $x(t)$ の極大値 ξ の分布 $p(\xi)$ は²²⁾ (第5-10図)

$$\frac{\xi}{\sqrt{m_0}} = \frac{\xi}{\sigma_x} = \eta \quad (5-9)$$

とおくと

$$p(\eta) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \left[\varepsilon e^{-\frac{1}{2}\eta^2/\varepsilon^2} + (1-\varepsilon^2)^{\frac{1}{2}} \eta e^{-\frac{1}{2}\eta^2} \int_{-\infty}^{\eta(1-\varepsilon^2)^{\frac{1}{2}}/\varepsilon} e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \right] \quad (5-10)$$

であり、特に $\varepsilon=0$ すなわちスペクトラムの幅がその中心周波数に対して無視できるほど狭いときには、これは Rayleigh 分布であり

$$p(\eta) = \eta e^{-\frac{1}{2}\eta^2} \quad (\eta > 0) \quad (5-11)$$

または

$$p(\xi) = \frac{\xi}{\sigma_x^2} e^{-\frac{\xi^2}{2\sigma_x^2}} \quad (\xi > 0) \quad (5-12)$$

となる。

4. 極大値の各種の期待値

第5-11図の斜線部の面積が $1/n$ になるとき、斜線部の重心の η の値 $\eta^{(1/n)}$ が極大値の $1/n$ 最大期待値に対応する。すなわち

$$\begin{aligned} \eta^{(1/n)} &= \int_{\eta^{(1/n)}}^{\infty} \eta \cdot p(\eta) d\eta / \int_{\eta^{(1/n)}}^{\infty} p(\eta) d\eta \\ &= n \int_{\eta^{(1/n)}}^{\infty} \eta \cdot p(\eta) d\eta \end{aligned} \quad (5-13)$$

$\eta^{(1/n)}$ に対応する ξ の値 $\xi^{(1/n)}$ は

$$\xi^{(n)} = m_0 \eta^{(n)}$$

となり、 n としては普通1、3、10を採る。

5. N 個の極大値の中の最大値は

$$\xi_N = \left[\left\{ \log_e (1 - \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}} N \right\}^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \gamma \left\{ \log_e (1 - \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}} N \right\}^{-\frac{1}{2}} \right] \sqrt{m_0} \quad (5-14)$$

ただし $\gamma = 0.5772$ (Eulerの常数)

等が求まる。

この節では見かけの波の統計量と上記1~5の結果を比較した。

各式の誘導に必要な $S(\omega)$ は、次の手順で求める。すなわち $S(\omega)$ は $x(t)$ の自己相関関数 $R(\tau)$

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} x(t+\tau) x(t) dt \quad (5-15)$$

のフーリエ変換であると定義できるから、

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

ここで $R(\tau)$ は偶関数であるから、

$$S(\omega) = \frac{2}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \cos \omega\tau d\tau \quad (5-16)$$

となり、 $x(t)$ のパワースペクトラムは、その自己相関関数を介して求めることができる。

(5-15)、(5-16)の順でスペクトラムを求める。これに

ついでには既に山内^{20), 21)}の研究があり、著者の論ずるところではない。本節のスペクトラム計算の扱いは、文献(20)、(21)に提出された方法に従った。すなわち波高記録から Δt 秒間隔に読み取った N 個の観測値 x_1, x_2, \dots, x_N から、標本相関関数 Q_p を求め、これから line power L_r を求める。これを raw spectrum という。これを(20)によって示せば、

$$Q_p = \frac{1}{N-p} \left\{ \sum_{i=1}^{N-p} x_{i+p} \cdot x_i - \frac{1}{N-p} \sum_{i=1}^{N-p} x_{i+p} \cdot \sum_{i=1}^{N-p} x_i \right\} \quad (5-17)$$

また、 $\omega = \frac{r}{m} \frac{\pi}{\Delta t}$ における L_r は

$$L_r = \frac{\Delta t}{2\pi} \left[Q_0 + 2 \sum_{p=1}^{m-1} Q_p \cos \frac{p r \pi}{m} + Q_m \cos r \pi \right] \quad (5-18)$$

となる。この raw spectrum には、元素無限に続いているべき記録 $x(t)$ を有限の範囲に限ったため、実際あるべきスペクトラムが変形されて、切れ込みとか負の値が現われたりする。この矛盾を修正するために次式の平滑化を行ない、smoothed spectrum U_r を求める。これが求める $S(\omega)$ に相当する。すなわち

$$\begin{aligned} U_r = & a_0 L_r + a_1 (L_{r-1} + L_{r+1}) \\ & + a_2 (L_{r-2} + L_{r+2}) + a_3 (L_{r-3} + L_{r+3}) \end{aligned} \quad (5-19)$$

この研究では上記(5-17)、(5-18)式の計算に当り、 $\Delta t = 0.38$ 秒
 $N = 500$ 、 $m = 60$ を、また(5-19)式の係数として $a_0 = 0.64$
 $a_1 = 0.24$ 、 $a_2 = 0.06$ 、 $a_3 = 0$ (これらの組を Θ -window
 という)を用いた。

第5-12図、第5-13図、第5-14図にそれぞれ自己相関係
 数 $\rho(\tau)$ (正規化した自己相関関数)、raw spectrum およ
 び smoothed spectrum の計算例を示す。

次に $S(\omega)$ の ω に関する n 次のモーメントについて
 U_n を用いて計算すれば、統計量を推定するための para-
 meter ε を(5-5)式によつて求めることができる。この
 場合 ω についての積分の上限 ω_{max} を適当な値に止め
 ないと、高次モーメントの値が実際以上に大きくなり、
 統計量の推定を誤らせる。ここでは試行の結果、 ω_{max} を
 4.5 rad/sec 付近に止めた。parameter ε は見かけの波浪
 記録からも、次の関係によつて与えられる。見かけの波
 浪記録から求まる ε' とすれば

$$\varepsilon'^2 = 1 - (1 - 2r)^2 \quad (5-20)^{22)}$$

$$\text{ただし } (1 - 2r)^2 = N_0^+ / (N_1 + N_2)$$

N_0^+ ; zero up crossing の数

N_1 ; positive maxima の数

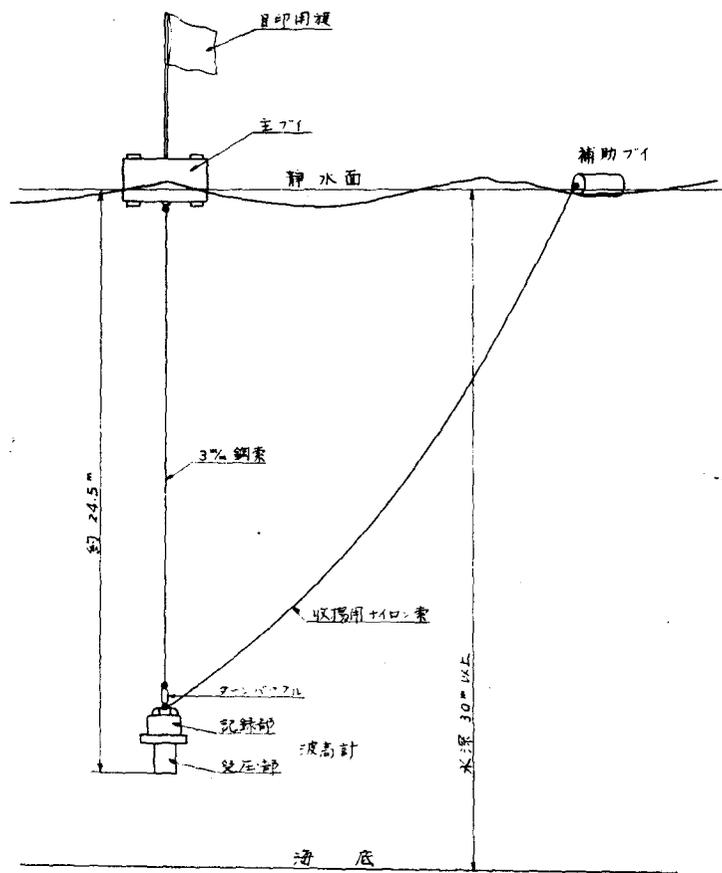
N_2 ; negative maxima の数。

となる。

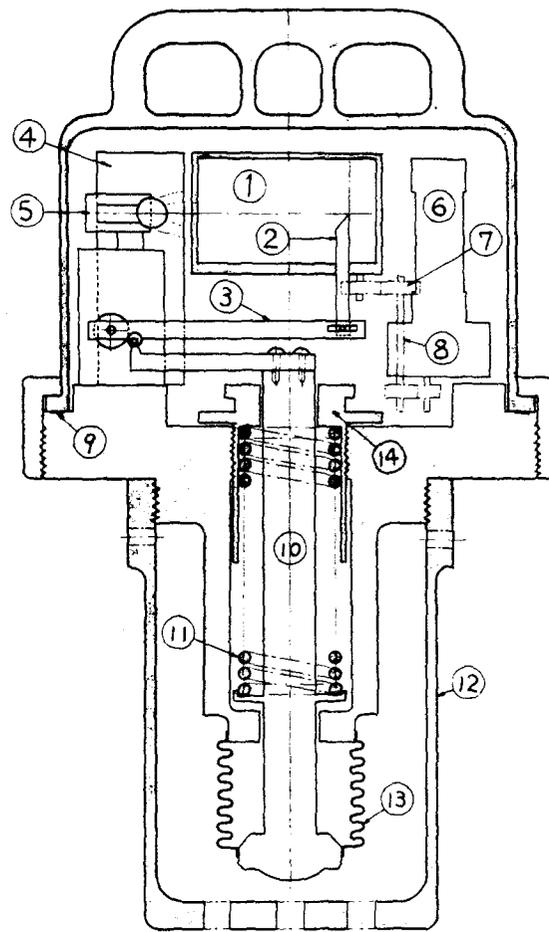
スペクトラムから求まる各種の期待値および ε の値を第5-6表に示した。ただし $\bar{\tau} = 2\bar{\tau}'$ として、また H に対する各種の期待値は極大値の期待値の2倍として与えた。第5-7表には ε' の値を示した。第5-6表と第5-7表を比較すると両者はよく一致し、 ε と ε' もかなり一致しており、 ω_{max} の定め方に問題はあるにしても、上記の結果の妥当性を示している。

最後に十分発達した大洋の波スペクトラムと本章のそれ(16), (23)と比較すると、スペクトラムのピークの位置では(16), (23)によれば $\omega' = 0.81 \sim 0.88 (\omega' = \omega \frac{U}{g})$ に集中するのに対して、本章では $\omega' = 1.4 \sim 1.7$ となる。また大洋では $H \propto U^2$ あるいは $H \propto U^{\frac{5}{2}}$ すなわち波のエネルギーは U^4 あるいは U^5 に比例するのに対して、本章では $H \propto U^{\frac{3}{2}}$ したがって波のエネルギーは U^3 に比例することになる。以上の例証のごとく、両者のスペクトラムの間には、根本的な相違が存在することは明らかである。その原因を求めるとすれば、主として狭水域における吹送距離が波浪の発達に根本的に影響しているためであろう。いずれにしても内海水域における波浪の実態は、潮流による波浪発達の相乗作用等未解決の問題が多く、今後の研究が期待される。

本研究では、本章の結果を用いて、次章以下の海難の解析、考察を行なった。



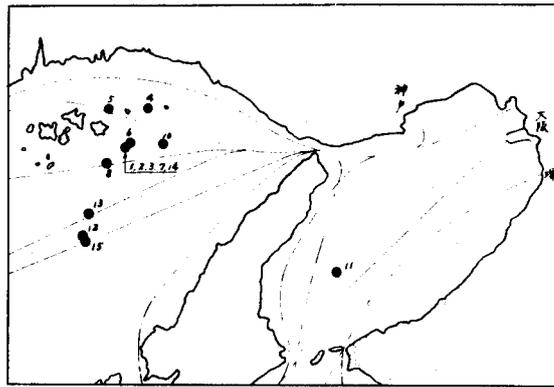
第5-1図 吊下式波高計説明図



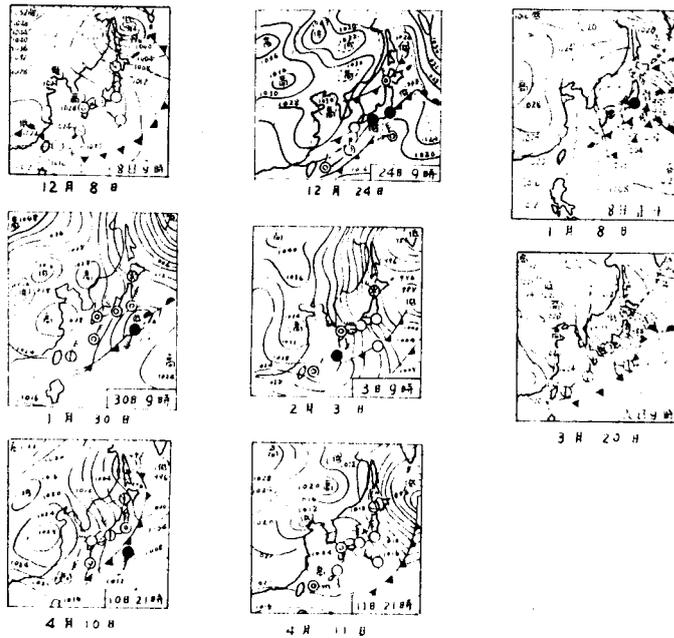
第5-2図 吊下式波高計断面図

第5-1表 波高計要目

波高計重量	15.3 ^{kg}	連続最大観測時間	7時間50分
波高計比重	3.64	フィルム送り速度	1.90 mm/sec
調整水深	20.5 ^m	同一誤差	1時間当り約1秒
観測最大波高	約3 ^m	波高計見出し周期	106秒



第5-3図 波浪調査地図



※5-4図 波浪調査日の天気図

第5-2表 波浪調査一覽表

番号	年月日	海面	気象	時間	記事
1	39-12-8	男鹿島灯台 140° 3マイル	晴 西の風. 7%	12-40 § 13-00	10-30より西の風 が吹き始めた。
*2	39-12-8	男鹿島灯台 125° 4マイル	晴 西の風. 6.5%	13-47 § 14-17	目視波高1.0 ^m 以下。 船体動揺なし。
3	39-12-16	同上	快晴(午前中も) ほとんど無風	13-00 § 13-30	記録無効
4	39-12-20	上島. 鞍掛島 の中間	晴(朝のうち北の微風) ほとんど無風	12-45 § 13-05	波長30 ^m 位のS-W の筋いうなりあり。
5	39-12-20	太島北方 1マイル	晴 西の風. 5%	14-10 § 14-55	目視波高0.5 ^m 位。 吹出後1時間
*6	39-12-24	鞍掛島 南方 3マイル	半晴 西の風. 6.5%	12-25 § 12-55	府大側乗船せず。
7	40-1-8	男鹿島灯台 120° 4マイル	晴(朝のうち弱い北西風) 西の風. 4%	12-40 § 13-00	10-00 強風注意報
*8	40-1-8	男鹿島灯台 160° 4マイル	晴 西の風. 5.5%	13-30 § 14-05	15-00 ごろより 風速よる。
9	40-1-28	No.5 ファイ SES 2.3マイル	快晴 北西の風. 3.5%	11-35 § 12-05	目視波高0.3 ^m 位。
*10	40-1-30	No.9 ファイ 南 2マイル	半晴 北北東. 8.0%	11-23 § 11-53	目視波高1.0 ^m 位。 府大側乗船せず。
*11	40-2-3	佐野灯台 105° 6マイル	半晴 西の風. 12%	10-40 § 11-10	目視波高1.5 ^m 位。 府大側乗船せず。
*12	40-3-20	播磨灘中央 No.3 ファイ	晴 西の風. 11.5%	11-50 § 12-30	目視波高1.5-2.0 ^m 発達した風浪。
*13	40-3-20	松島灯台 135° 6マイル	晴 西の風. 11.5%	12-55 § 13-35	同上
*14	40-3-20	男鹿島灯台 140° 3マイル	晴 西の風. 11.5 ~12.5%	14-52 § 15-45	風向やや北寄り になる。
*15	40-4-11	播磨灘中央 No.3 ファイ	晴 北西の風. 13%	11-10 § 11-50	目視波高2 ^m まで 府大側乗船せず。

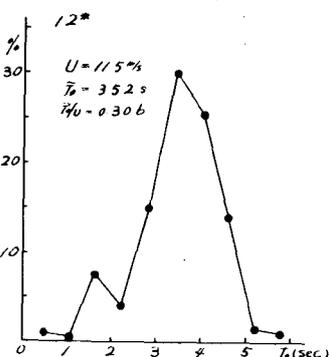
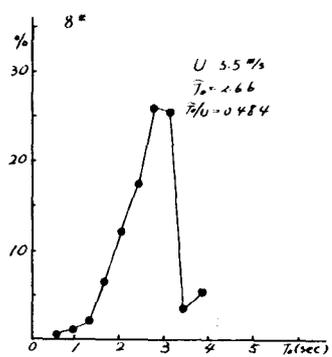
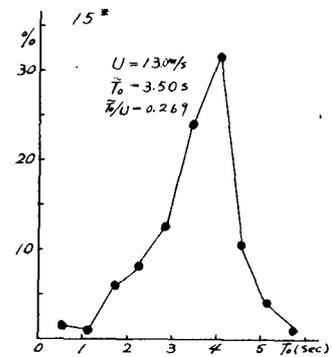
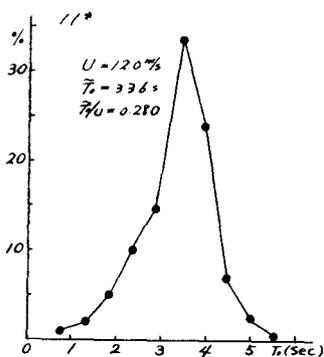
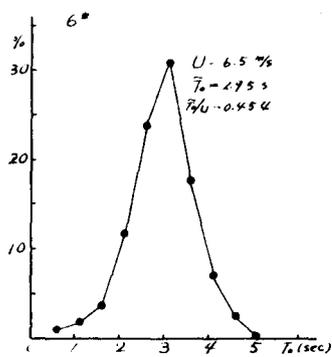
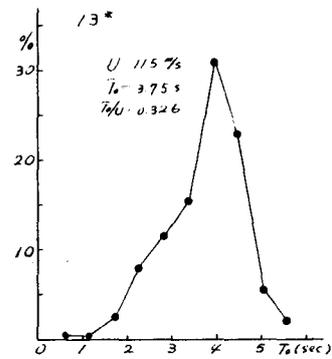
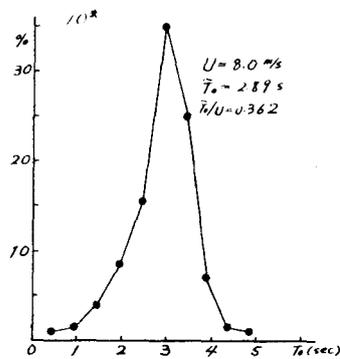
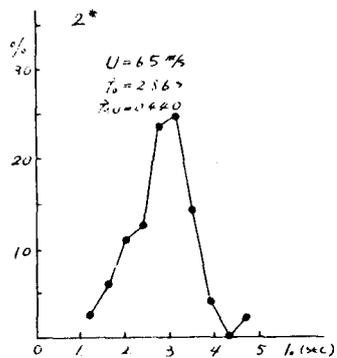
第5-3表 見がけの波の統計量 (1)

番号	年月日	海面	気象	H_{max}	$H_{1/2}$	$H_{1/3}$	H_m	\bar{H}_0	\bar{H}_{max}
2*	39-12-8	男鹿島灯台 125°4 マイル	晴 西の風 6.5%	0.56 ^m	0.46 ^m	0.37 ^m	0.24 ^m	2.86 ^{Sec.}	2.54 ^{Sec.}
				0.62					
6*	39-12-24	鞍掛島 南方 3 マイル	半晴 西の風 6.5%	0.63	0.51	0.39	0.25	2.95	2.66
				0.64					
8*	40-1-8	男鹿島灯台 160°4 マイル	晴 西の風 5.5%	0.54	0.37	0.31	0.19	2.66	2.34
				0.41					
10*	40-1-30	No 9 アイ 船 2 マイル	半晴 北北東の風 8.0%	0.82	0.53	0.43	0.29	2.89	2.49
				0.61					
11*	40-2-3	佐野灯台 105°6 マイル	半晴 西の風 12%	1.18	1.10	0.87	0.52	3.36	2.98
				1.34					
12*	40-3-20	No 3 アイ 播磨灘中央	晴 西の風 11.5%	1.45	1.13	0.86	0.55	3.52	2.91
				1.59					
13*	40-3-20	松島灯台 135°6 マイル	晴 西の風 11.5%	1.44	1.18	0.93	0.59	3.75'	3.30
				1.34					
14*	40-3-20	男鹿島灯台 140°3 マイル	晴 西の風 12.5%	1.56	1.06	0.88	0.51	3.62	2.98
				1.45					
15*	40-4-11	No 3 アイ 播磨灘中央	晴 北西の風 13%	1.27	1.04	0.81	0.50	3.50	3.03
				1.29					

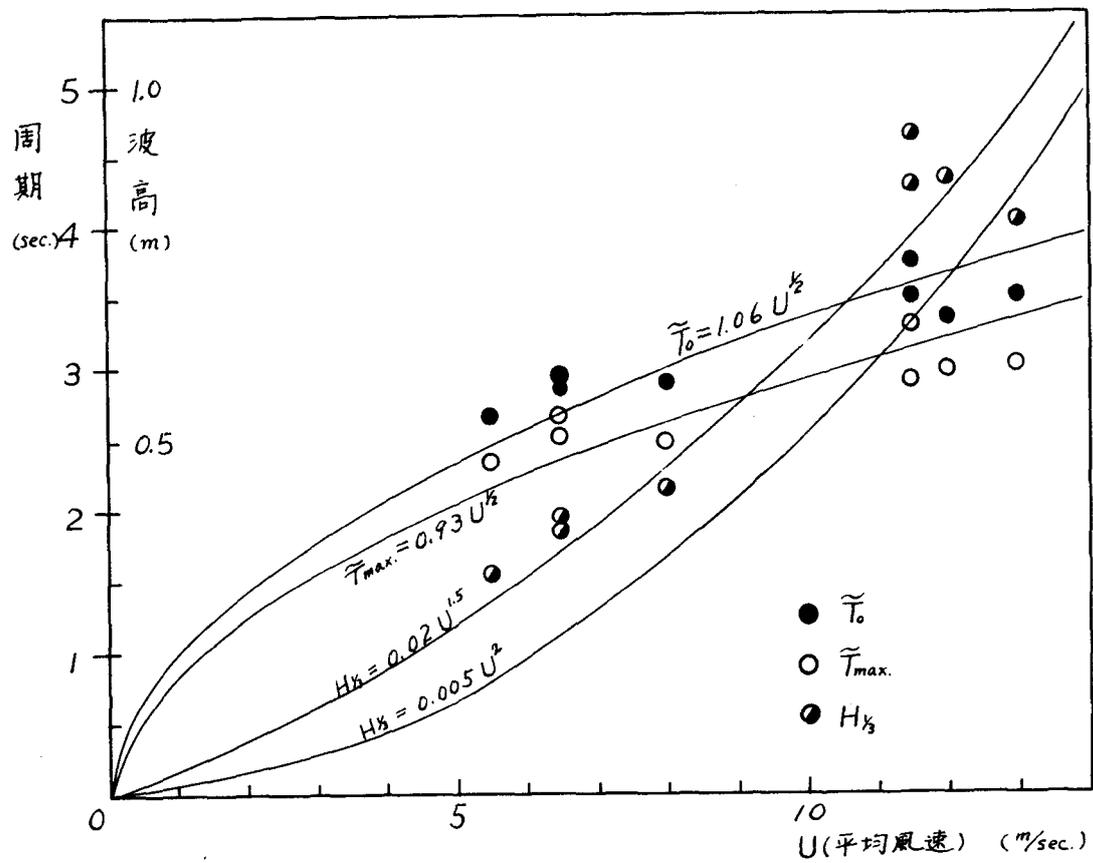
(2)

番号	H_{max}/H_m	$H_{1/2}/H_m$	$H_{1/3}/H_m$	\bar{H}_0/σ
2*	2.34	1.92	1.54	0.440
	2.58			
6*	2.52	2.04	1.56	0.454
	2.56			
8*	2.84	1.94	1.63	0.484
	2.16			
10*	2.83	1.83	1.48	0.361
	2.11			
11*	2.27	2.12	1.67	0.280
	2.58			
12*	2.63	2.05	1.56	0.306
	2.89			
13*	2.44	2.00	1.58	0.326
	2.27			
14*	2.06	2.08	1.73	0.302
	2.84			
15*	2.54	2.08	1.62	0.269
	2.58			

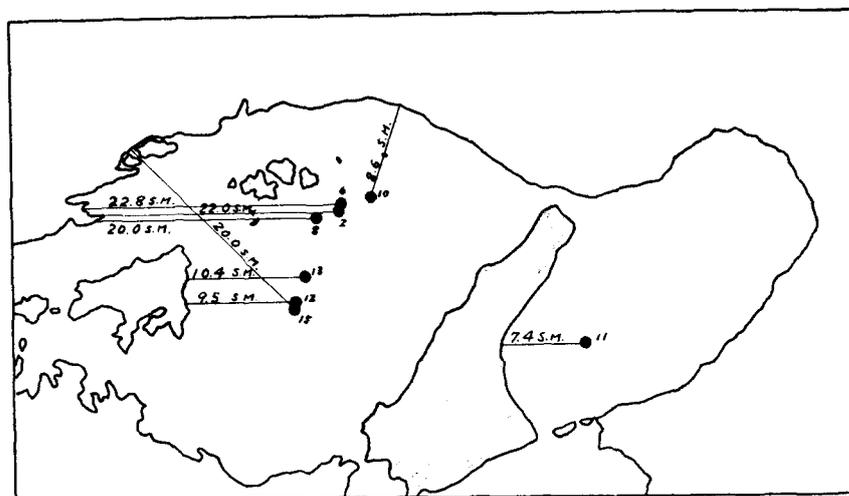
{ 但し、 H_{max} は 100 波中の最高波であり、上欄は 1~100 波中、下欄は 101~200 波中の値を示す。



第 5-6 図 見かけ周期の分布



第 5-7 図 平均風速に対する周期と波高



第 5-8 図 海面上での吹走距離

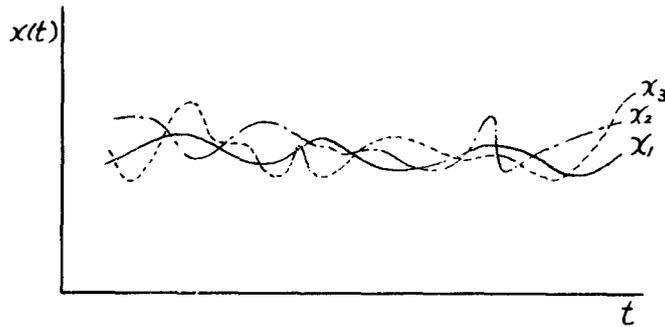
第5-4表 Darbyshire 式から逆算した吹送距離

記録番号	2*	6*	8*	10*	11*	12*	13*	14*	15*
実測波高に相当する吹送距離(海里)	28	31	44	24	13	15	17	14	8 (16)

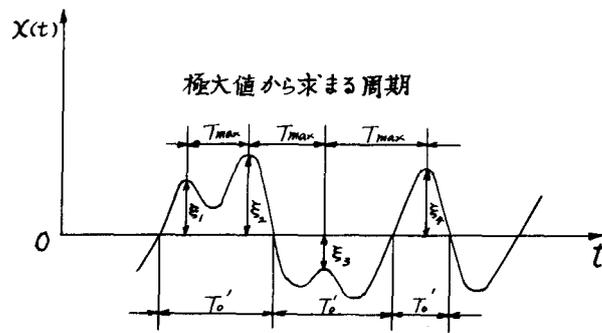
15* () は風速を10mと仮定したときの値

第5-5表 有義波高を持つ波の粗度

記録番号	2*	6*	8*	10*	11*	12*	13*	14*	15*
波長を λ より求めた粗度	0.03	0.029	0.028	0.034	0.049	0.045	0.042	0.043	0.042



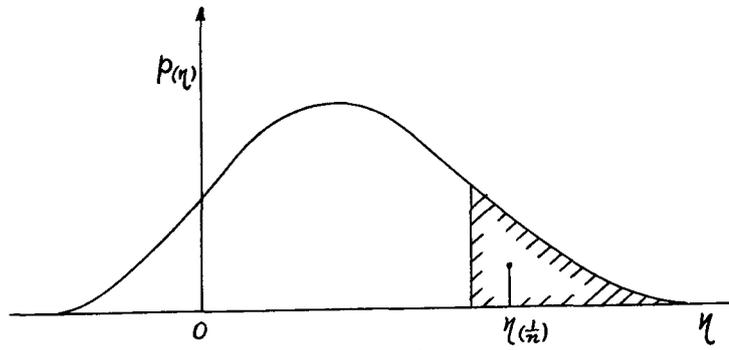
第5-9図 波浪 $x(t)$ の概念図



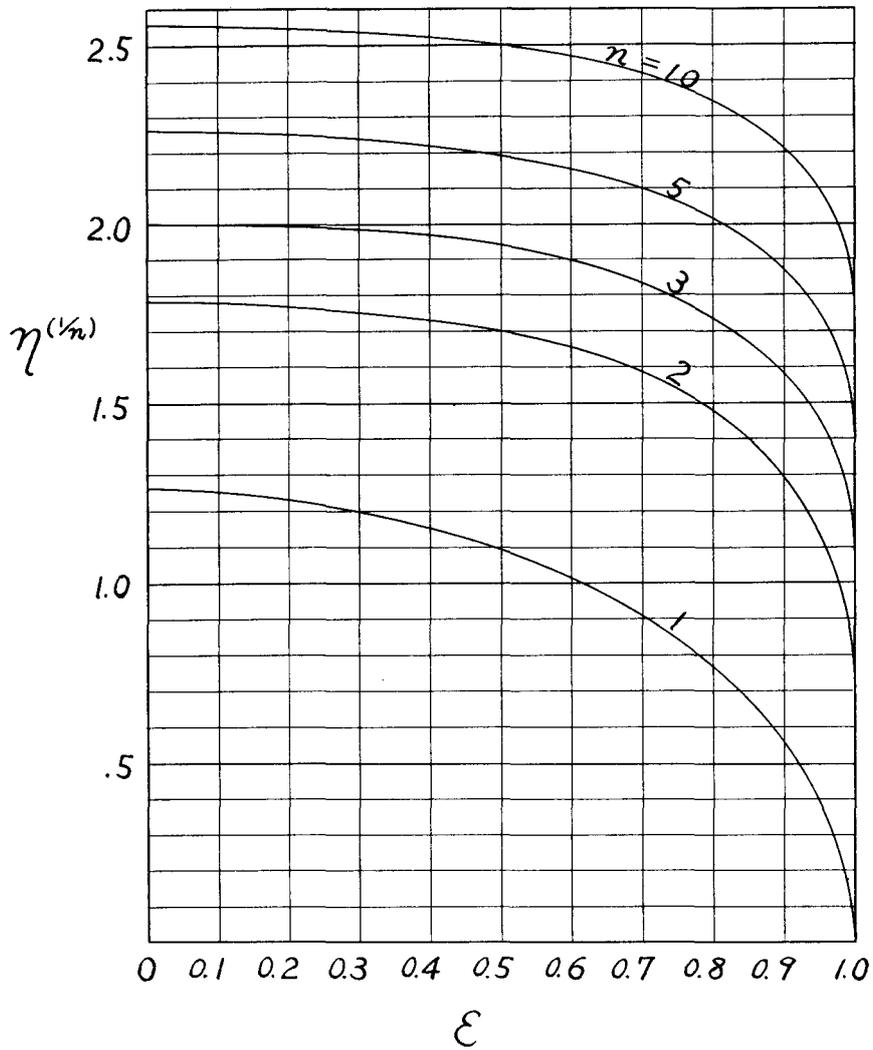
0-CROSS から求まる周期

ξ_1, ξ_2, \dots は極大値 (正負)

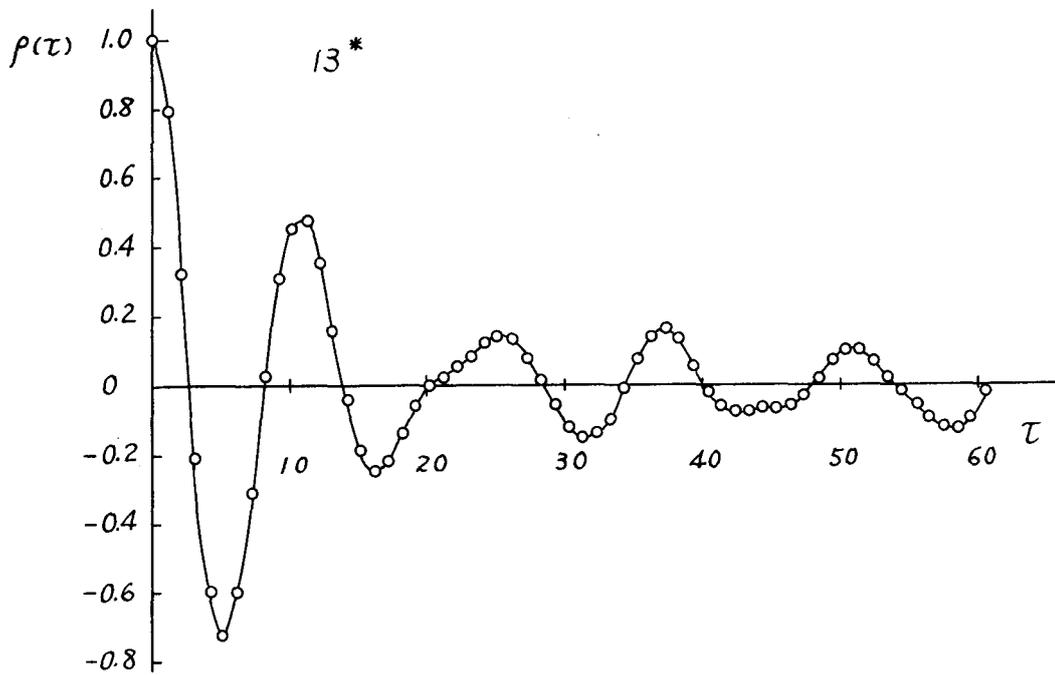
第5-10図 $x(t)$ の極大値、周期



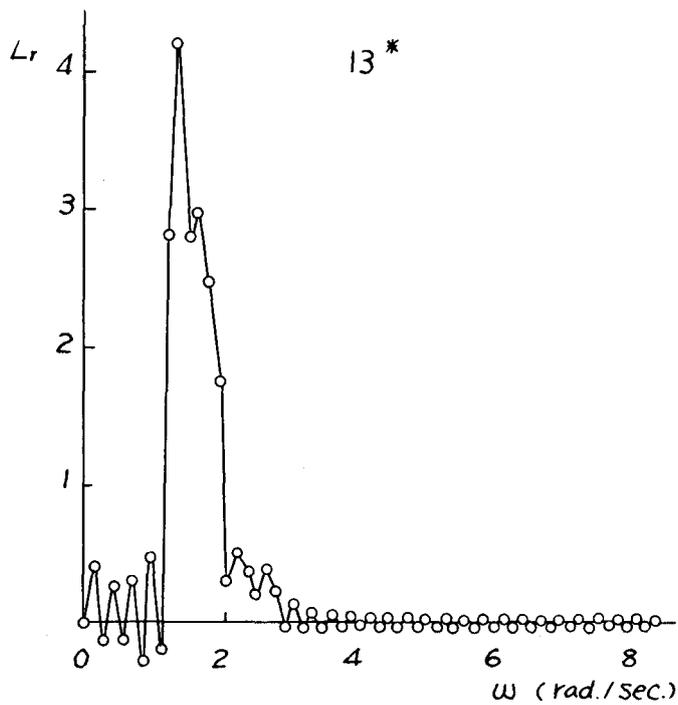
第5-11図 $\eta(1/n)$ の求め方



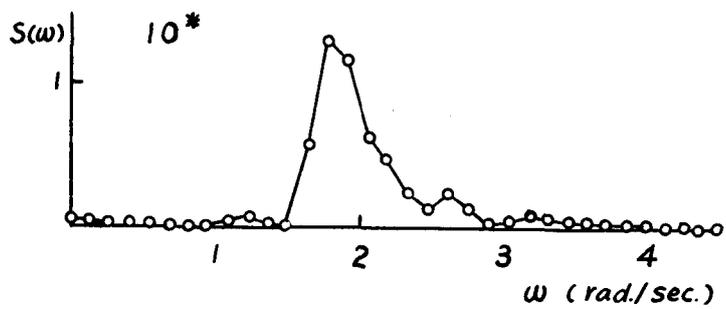
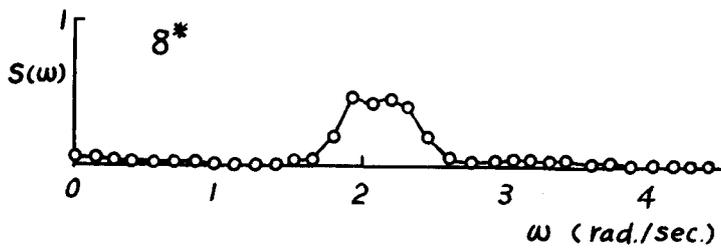
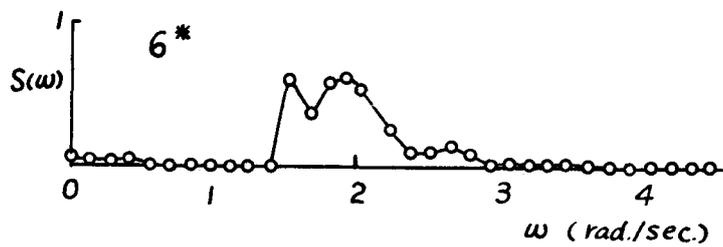
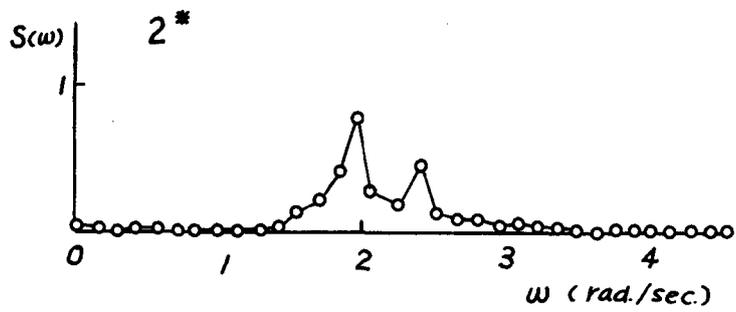
第5-12図 $\eta(1/n)$ と ϵ の関係



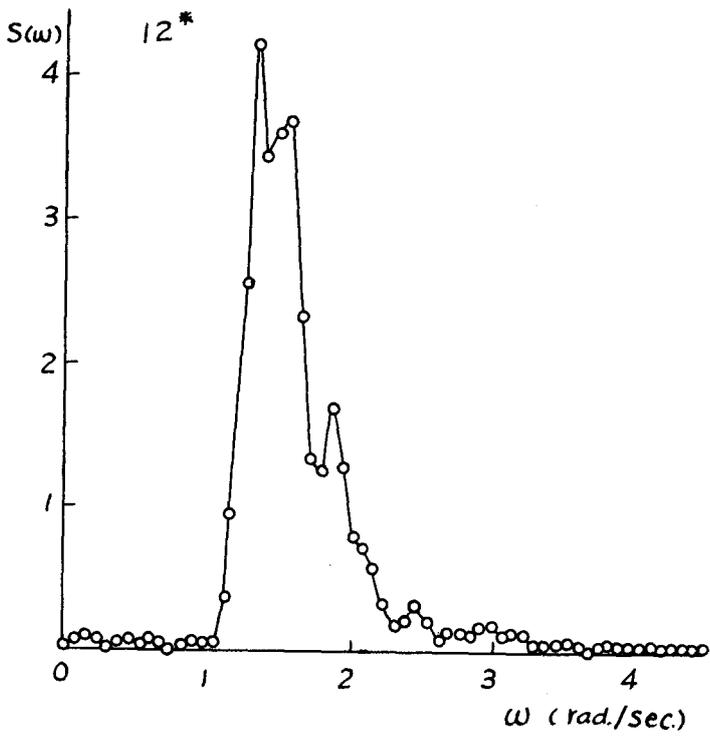
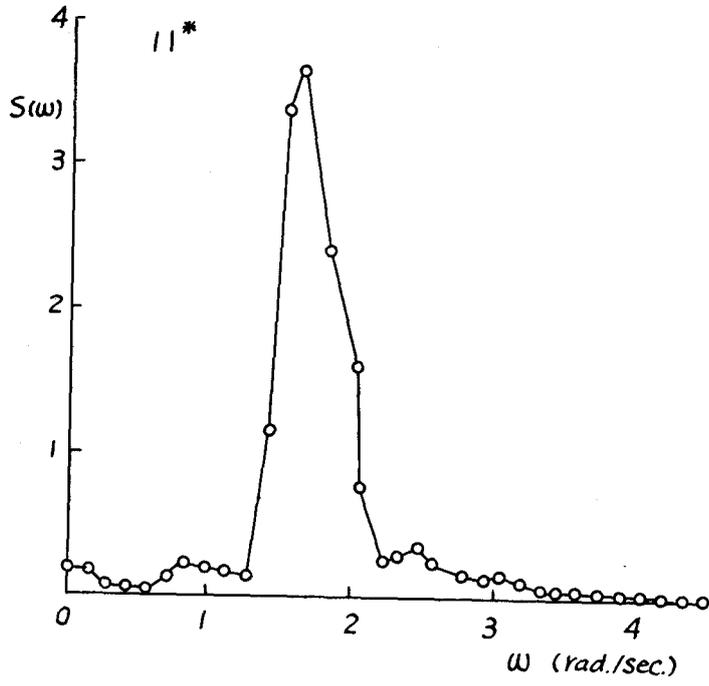
第5-13回 自己相関係数 $\rho(\tau)$ の一例



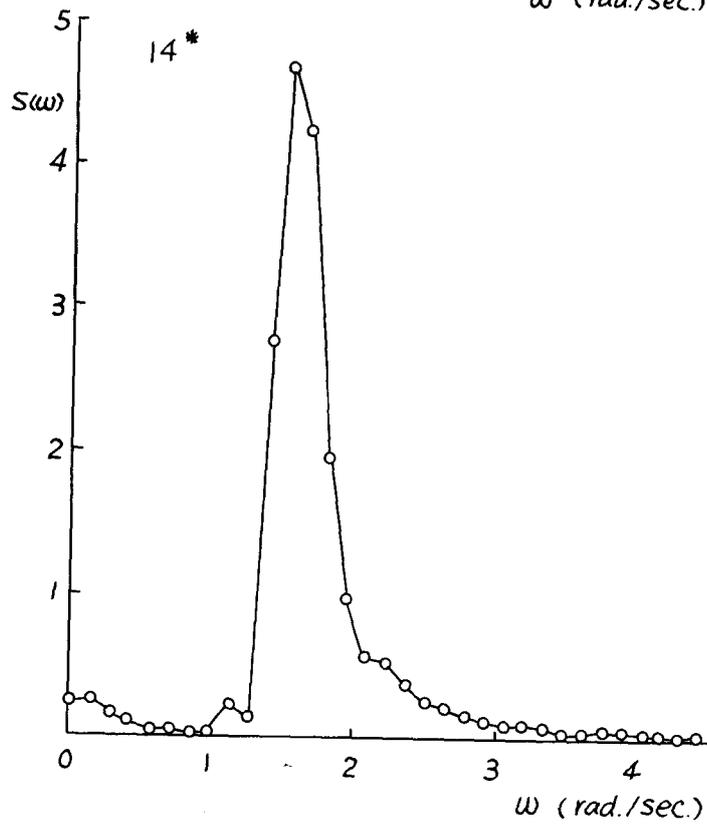
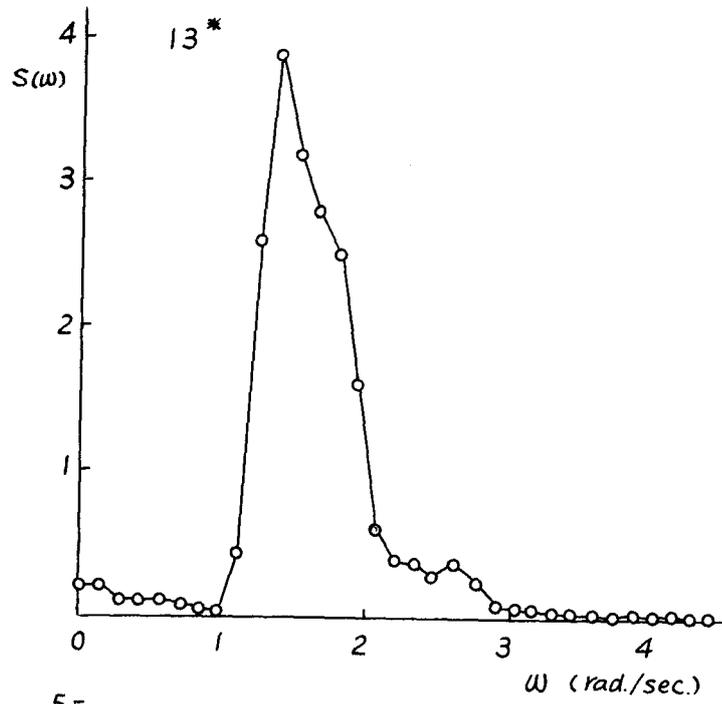
第5-14回 raw spectrum L_r の一例



第5-15-1圖 smoothed spectrum $S(\omega)$



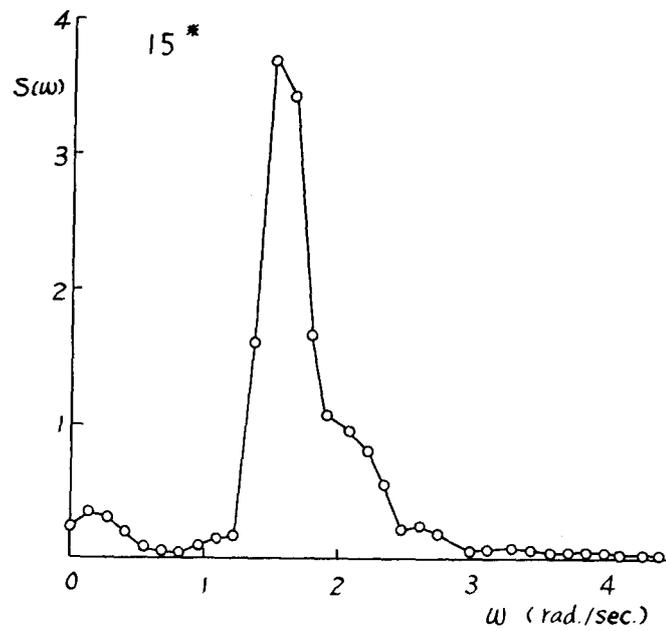
第5-15-2圖 smoothed spectrum $S(\omega)$.



第5-15-3圖 smoothed spectrum $S(\omega)$

第5-7表 見かけの波から求まる ε' の値

	2*	6*	8*	10*	11*	12*	13*	14*	15*
ε'	0.439	0.436	0.478	0.505	0.460	0.561	0.474	0.548	0.501



第5-15-4図 smoothed spectrum $S(\omega)$

第5-6表 スペクトラムから求めた波の特性

	2*	6*	8*	10*	11*	12* -1	12* -2	13*	14*	15*
U (m/s)	6.5	6.5	5.5	8.0	12	11.5	11.5	11.5	11.5 12.5	13
F (n.m)	22	22.8	20	8.6	7.4	9.5	9.5	10.5	20	20
ϵ	0.452	0.484	0.438	0.466	0.513	0.584	0.617	0.535	0.531	0.530
$a_{1/2}$ (m)	0.11	0.11	0.10	0.14	0.24	0.24	0.24	0.27	0.26	0.24
$H_{1/2}$ (m)	0.22	0.22	0.20	0.28	0.48	0.48	0.48	0.54	0.52	0.49
$a_{1/3}$ (m)	0.19	0.20	0.17	0.25	0.45	0.45	0.45	0.48	0.47	0.44
$H_{1/3}$ (m)	0.38	0.39	0.35	0.50	0.89	0.89	0.89	0.97	0.94	0.88
$a_{1/6}$ (m)	0.24	0.26	0.22	0.32	0.56	0.58	0.58	0.63	0.61	0.52
$H_{1/6}$ (m)	0.48	0.51	0.45	0.65	1.12	1.15	1.16	1.25	1.21	1.14
H_{500} (m)	0.71	0.75	0.66	0.98	1.64	1.77	1.73	1.85	1.79	1.68
H_{1000} (m)	0.75	0.78	0.69	1.03	1.73	1.86	1.82	1.95	1.88	1.76
H_{10000} (m)	0.85	0.90	0.79	1.15	1.98	2.13	2.09	2.23	2.16	2.02
\tilde{T}_0 (s)	2.95	3.05	2.78	3.02	3.51	3.65	3.58	3.75	3.71	3.56
\tilde{T}_{max} (s)	2.63	2.67	2.50	2.67	3.01	2.96	2.82	3.17	3.14	3.01

12*-1 は N=500

12*-2 は N=1,000

第6章 海難の実態とその考察

海難とは船舶の運行に伴う事故の総称であり、その原因も多種多様であるが、本章では海難を極めて狭義に解釈して、沈没、浸水、貨物濡損等気象、海象など自然条件によつて生ずる大、小海難のみを取り上げ、これを船舶の構造、性能と関連づけて考察を加えてみることにする。

さて海難資料の一つに、海上保安庁編「要救助海難統計の考察」があり、重大海難発生¹の統計を組織的にとりまとめ、日本における海難の様相を把握するのに好都合である。この資料は個々の海難状況の記載例に乏しく、このためにはむしろ海難審判裁決録が適当であろう、しかしこれとても運用者の立場としての審判が主目的であつて全体的にみて造船学的記述が乏しい。機帆船のごとく船体についての研究資料が少ない船舶の海難研究には、状況記述の詳細な、しかも多数の記録が必要であるから、本研究では上記二資料の他に、船員法第19条による海難報告書から多数の記録を収録した。この資料の長所は重大海難に至らぬ小海難の記載もあり、これについて当時の喫水、載貨、船速、海象などが述べられているからである。

6-1 統計に現われた機帆船の海難

機帆船の海難数は統計の出所によつて差異がある、これを運輸省指定統計21号および資料(5)とについて示せば、昭和37年度においては、

指定統計21号 木船の海難数 2,946

海上保安庁統計 機帆船の海難数 877 (5GT以上)

であり、両者の間にかなり差がある。これは後者が「海難のうち救助されたものおよび発生当時救助を必要としたと認められたもの」との基準による重大海難数であるのに対して、前者は強制屈出によるあらゆる小海難の数も含むからである。

いずれにしても重大海難は年々相当数に達するが、これを海上保安庁統計によつて簡単に説明する。年度別海難発生数は第6-1図のごとく、その数は最近漸減の傾向にあるとはいへ、大体800隻前後の海難がある。また表にはないが、発生地域は内海およびその周辺水域において、総数の約80%が発生し、第4章で述べた機帆船の分布率に近い数となっている。また汽船の海難発生率は昭和35年度5.9%、昭和37年度5.5%、昭和39年度6.0%であるが、この中には機帆船と類似の船型を持つ小型鋼船が多数含まれることに注意する必要がある。

機帆船海難の内容を、昭和39年度資料によつて説明す

ると、総トニ数別の分布は第6-1表であり、これを第4-1表在籍船のトニ数別分布と比較すれば、海難はむしろ大型の船に発生する度合が大きい。これは小型の船は、港内および平水区域の静穏な水域において活動しているからであろう。また船令別の分布は、第6-2表のごとく、耐用年数超過の老朽船の海難がやや多い。海難の種類は第6-2図のごとくなっており、内海水域の複雑な水路事情を反映して、乗上げが最も多くなっている。しかし本研究に関係が深いものは、浸水および転覆である。いまこれを年度別にみると、第6-2図のごとく、浸水海難の方が多し。さらにこれを他船種のものと比較すれば、第6-3表のごとく、明らかに機帆船の海難傾向と他船種の傾向とは違っている。

機帆船の気象、海象による海難の主体は浸水であつて、統計に現れ^わない浸水小海難は枚挙にいとまがない。しかも、これは第7章に述べるごとく、浸水による重大海難との間には海難の発生機構上ならん本質的な差異はない。

6-2 機帆船の重大海難例の統計的考察

本節では船員法第19条による海難資料から昭和28～38年の11ヶ年間にわたり、各海運局において収録した164隻の沈没等重大海難の記録と、別に同期間中の海難審判

裁決録の記録 28 隻、合計 192 隻の重大海難について考察を加えることにする。第 6-4 表は上記資料の海難状況の一覧表である。以下主としてこれについて考察する。

i. 海難発生時の風速

報告における風および波に関する記述は、多分に主観的であり、かつ常に過大であつて、特に重大海難の場合にはこの傾向が強い。

ある海面の波浪は、風が決まれば推定できるから、風の記述が不正確になると、海難についての評価は全く異なつたものになる。海上の風速について、これを陸上のある地点の風速から逆に推定する方法があるが、海陸風の相関が研究されている地点では信頼しうる手段といえる。しかし現在までに内海の数地点について報告をみたにすぎず、²³⁾したがつて内海および周辺水域全体にわたつての風速の正確な推定は困難である。

この研究では、個々の例について海難前後数日間の天気の変化を天気図上で追ひ、記述されている風速が過度に不当か否かを判断し、必要があればこれを修正した。また風向については、航路がほぼ決まつており、風向の判断に間違いが生じにくいこと、内海では地点ごとに特有の卓越風向があることを考慮して、記述の風向をそのまま採用した。これらの結果を第 6-5 表、第 6-6 表およ

が第6-4図に示した。

第6-5表と第6-4図とをあわせて考えると、冬季の季節風およびそれに先行する前線性の風が、強さ、頻度ともに卓越しており、従来研究者²⁴⁾によつて指摘されたことと一致する。

次に第6-6表によれば、海難時風力階級はその85%が7(相当風速13.9~17.1m/s)以下になっている。また小型船は、強風注意報下では航海しないから、風力7はほぼこの船が受けている風速の上限を示していると考えてよい。また同表には、海難が風力3においてすでに発生しており、うねりの存在する外海の場合とはともかく、内海にしては異常なことと言わねばならない。したがつて、これは機帆船の構造、設備上の欠陥を示すものであろう。

2 波浪について

内海の波浪は水域ごとに様相を変え、それぞれの水域において特徴のある波浪を発生している。そのうち特に問題になるのは海峡部における複雑な波と、水深の浅い陸岸近くの高波であり、前者は主として、明石、豊後、関門付近における海難の主原因となっている。この波は海峡入口の収斂波と、潮流と風向が互いに逆になつたとき発生する異常波があり、小型船の航行をはなはだしく困難にする。元来船速の低い機帆船は、潮待ちなどして

海峡を順潮で通過するように航海計画を立てるため、²⁵⁾ 海峡部でたまたま風向が不利になつてもそのまま続航する例が多く、碎波による海難は低性能船では宿命的なものと思われる。また後者は周防灘西部、大阪湾東北部、大阪湾東岸の陸岸付近に起こり、多数の海難の原因となっている。なお大阪湾東北部では収斂波による海難も認められる。第6-5-1~6-5-3 図に海難発生地点を示したが、上記の説明が大體理解できる。

海難報告書における風、波の記録は豊富である、風および波についてはすでに簡単に述べたので、次に波向と船の進路の関係を調べる。内海では波向と風向は一致しており、その他の水域でも海面の規模から考えて両者に大差はないから、船の進行方向を海図上に定めれば、海難発生時(海水打込み開始のとき)の船と波との関係位置がわかる。第6-7表に結果を示した、これによれば、特に横および後方の波による海難が目立つ。同じような結果が資料(4)における「荒天時航海しにくい波の方向」についての調査でも得られている。

3 海難の過程に見られる特徴

第7章において触れたごとく、機帆船は船尾機関、ワコハッチであり、しかも一般に船首楼は低いから、波浪中の耐航性はかなり劣っているとしてよい。しかもこれに

加えて、倉口部の閉鎖も完全ではないから、特徴のある海難過程を伴ってくる。すなわち、たとえば第6-4表の海難の状況を分類すると、第6-8表のごとくなる。海難途中および終末の形式における比率は198隻に対する値であり、特に海難途中の状況では、海水打込み、主機停止が目立つて多い。これは他船種に見られない特徴であり、積載貨物の種類により幾分様相が異なるにしても、海水打込みが進み、機関が停止するまでを海難の第1段階とすれば、機関停止の結果、船体が自由を失ってさらに海水打込みを受け、沈没、水船あるいは漂流の末に坐礁するまでを第2段階とする過程をたどるものが多い。

第6-6-1図は、海水打込み開始時を海難開始の時とし、それ以後主機停止までの時間を×印、沈没までの時間を●印によって表わし、経過時間を海難記録、天気図および海図等から推定して図示したものであり、判明分のみを掲載した。また第6-6-2図はこのうち木材積載船について、第6-6-3図は砂、砂利、鋼材積載船について図示した。

第6-6-1図によると、資料は相互に寸法比、積載貨物が異なるにもかかわらず、主機停止時間の下限線が引けるかのごとく思われ、 $d_m/B > 0.5$ のいわば過載状態では、この値は7時間前後になる。また同図には、沈没までの時

間の極端に短い一群の資料があり、これらは前段に述べた海難の過程を経ずに直ちに沈没している。これらの群について下限線を図のごとく引くと、 $d_m/b > 0.5$ では海難発生後たかだか5~10分後に沈没するに至る。

第6-6-3図はこの事情の一端を説明するものである。砂利運搬船は、第7章に示すごとく、極端な低乾舷と多くの場合ハッチカバーを欠くために、また鋼材運搬船では荷崩れのために、結果的に大量の海水打込みを受けて短時間に沈没したものである。

これに対して第6-6-2図の多数の転覆海難は、大動揺による荷崩れのために、瞬間的に水船となったものである。その他の木材積載船は、持続的な海水打込みを受けて沈没しており、この場合の経過時間は図のごとく長い。このように木材運搬船には2種の海難過程が存在する。

以上のごとく機帆船には、主機停止→沈没形式の比較的経過時間の長い過程と、第6-6-3図を以て代表される経過時間の短い海難過程があることが明らかになったがこれらについては次節以下で論じる。

次に石炭、鉱石、砂利等ばら積貨物に、荷崩れ海難が意外に少なく、一般航洋貨物船の場合と相対し、これも機帆船における一つの特徴といえる。機帆船は大動揺角度による荷崩れによるよりも、どちらかといえば荷崩れ

に至らない持続的横揺れによる海水打込みによつて海難を起すことを教える。

最後に海難当時の貨物は、石炭26%、木材28%、砂、砂利、石材12%、鉱石7%、鋼材9%その他であり、第4-2表と比べた場合、木材運搬船は大きく、砂、砂利、石材運搬船は小さくなつてゐる。これは輸送距離および輸送区間^{*}が貨物によつては相違するからであらう。

4 海難当時の貨物積載量

貨物積載量の尺度としては、 dm/B あるいは $C.W./C.N.$ があり、類似船型では両者は直線関係によつて結ばれてゐる。しかし普通海難資料には、積載量を、木材では石数で、砂、砂利では坪数で表示することが多いから、 $C.W./C.N.$ は尺度として適當でなく、 dm/B を用いる方が都合がよい。

第6-4表資料について、貨物別に dm/B を調べると、第6-9表を得る。 dm/B の範囲は各貨物ともに広範囲にわたりこれは、機帆船の運航状態の複雑さを示すとともに、喫水制限のない船では当然の現象と見えよう。すなわち dm/B の上限は鋼材を除く全貨物ともほとんど0.55付近の値をとり、これは明らかに過載である。また dm/B の下限値は、各貨物間に顕著な差はなく、わづかに重貨物が小さい傾向があり、貨物の比容積の相違による船の特性の変化が海難の發達に関係することを暗示してゐる。

* 脚注 平均輸送距離；木材約300km、砂等約100km
輸送区間；木材は九州周辺から他地区へ、砂等は地区内相互間。

第6-4表資料を含まない、船員法第19条の海難資料^{*}の $\frac{d}{B} \sim \frac{CW}{CN}$ 石炭および石炭に及ばない軽貨物の2例について第6-7-1, 6-7-2図に示した。図において白色柱状グラフは全資料を、斜線部分は軽微な海難^{**}を示しているが、この例によると、両者とも平常の喫水の範囲で万遍なく小海難が発生しており、海難の発生には貨物の積付による、船の特性の変化も重要ではあるが、これは常に一次的な要因とは限らず、むしろあらゆる航海状態で海水打込みを許している船体構造上の欠陥こそ、直接の原因であることを教える。この小海難が時間とともに発達して沈没等の海難に至る段階において、貨物の比容積の相違による船の特性の相違が影響を持つのであろう。

5 海難船の $\frac{L}{B}$

類似船型の目安として採用した主要寸法比 $\frac{L}{B}$ は、海難船では第6-8図のごとくなる。第3-5図の實在船の $\frac{L}{B}$ 分布と比較すると、海難船の $\frac{L}{B}$ の平均は實在船のそれよりやや小さく、また分布形では $\frac{L}{B}$ のより小さい船の海難発生頻度が高く、 $\frac{L}{B}$ は海難においても重要な因子であることが予想される。この点については後に検討を加える。

* 脚注 船の運航に伴うすべての事故についての資料

** 脚注 気象、海象による貨物濡損等のさわめて軽微な海難とする。貨物の種類によつて届出件数に差がある。

6-3 機帆船海難過程の運動学的解析

第3章、第4章においては、類似船型を仮定し、機帆船型について調べた。しかし第6-8図のごとく、海難船はさきに仮定した $3.5 \leq \frac{L}{B} < 4.1$ の範囲外に多いことが判明した。本節ではこの点に留意して、海難の個々の例について、海難の過程を運動学的に解析した。

i 横揺れおよびそれに基づく海水打込み

内海一円における強風持続時間はその90%が3時間を越え²³⁾、この間に波浪は十分発達しているとみてよい。

波浪中の横揺れについては船舶復原性規則があり、本項ではこの規則に準拠して海難船舶の横揺れ角などについて計算した。横揺れ角に関係がある重心位置は実測例がなく、本項では第6-10表の傾斜試験の結果に、 $\frac{1}{B}$ の差を勘案して $\frac{L}{B} = 3.75$ 程度の船に対して軽荷時 $KG/B = 0.30$ を仮定し、載貨状態における重心位置等を推定した。これを第3-1表F船について図示すれば第6-9-1、6-9-2図を得る。図には玄艫高さが 1.7^m および 2^m の場合の乾玄を併記した。機帆船の常用喫水は $d^m/B = 0.4 \sim 0.45$ であるから、乾玄確保のために高い玄艫を必要とし、かつまた $SF > 1.5$ 以上の貨物の場合には、乾玄よりもむしろ重心上昇に対する慎重な配慮が必要なることもわかる。

風と波の中における船の安全は、規則によれば安全示

数 $C > 1$ をもって安全と判定するわけであるが、機帆船の海難資料そのものがすでに不完全であり、これに規則をそのまま適用しても結果にさほどの期待は持てない。また幅の広いこの船では、風圧傾斜モーメントも小さい。²⁷⁾したがって、ここでは考え方を換え、横揺れのために海水打込みが始まる点に注目し、海水打込みの確率をもつて安全性の尺度と考える。すなわち不規則波中における20~50回の横揺れ中の最大横揺れ角の予想値 θ_0 、同100揺れ中1.74 θ_0 、200揺れ中1.22 θ_0 、500揺れ中1.30 θ_0 の値を求め、これを玄艦頂部から海水が流入する傾斜角 θ_f と比較する。

θ_0 の計算に当り、 $4m/B$ および S.F. は第6-4表に、KG、OG は第6-9-1図を修正し、 W 、 N は第4-9図の午順で推定し、波の粗度 δ は第5-5表の説明および J. Darbyshire^{(14), (15)} の値を勘案して 0.06 を仮定した。最後に海難当時の風速は個個に差があるが、一様に限界値として 15 m/s を仮定した。

第6-4表の中で、資料船 F に近い寸法および寸法比を持つ船について、 θ_0 、1.74 θ_0 、1.22 θ_0 、1.30 θ_0 等と θ_f を求め、これを第6-11-1~6-11-5表に示した。 θ_f は第4-10図 $D_0 \sim B$ 曲線の平均線および D_0 の下限線に対する見かけ乾舷 f' から単純に $\theta_f = f'/B$ として求めた。表にはそれぞれ θ_f (平均)、 θ_f (下限) として示している。

θ_f (平均) と θ_0 に関する各種の期待値を比較すると、小型

の船では、 $\theta_f < \theta_0$ となり、横揺れ中に何回か一回かは海水が打込んでいくことになる。これは第7-7図 $\%$ 分布のごとく船が小型になると、 D_0 が小さくなるからであろう。 θ_0 と θ_f (下限)を比較すると、相当数が $\theta_f < \theta_0$ となり、 $\theta_f > \theta_0$ になるのは大型の船でしかもS.F.の小さい場合のみとなる。したがって、次の様な推定が可能である、すなわち

a. 小型の船($L < 20^m$ とする)では乾舷が不足である。

b. 平均的な D_0 に対して、大部分の海難船は十分な乾舷を持っていたと思われるが、しかもなお沈没海難があつたことは、持続的な少量の海水打込みに対処できなかったことを示す。

D_0 の下限に対しては、乾舷は必ずしも十分ではなく、何回かに一回は大きな海水打込みが予想される。(D_0 の小さい船としては砕砂利運搬船がある)。

c. S.F.の大きい貨物の場合、 W が大きく、上記の計算にもかかわらず同調横揺れする可能性はない。

等であり、ごく小型の船とか、 D_0 のことに小さい船を除けば、動揺によつて船が覆没することはなく、むしろ単純な海水打込みを処理することが大切である。この推定は第6-3表および第6-6-3図によつて裏付けることができる。また上記a. b.は $\frac{1}{2}$ が小さくなると強調される。

之 横揺れと縦揺れとの連成

前項C.と逆に、SFの小さい貨物を積載するときは、 $\frac{1}{B}$ が小さいため軽頭船となり、横揺周期と波浪の周期はさわめて接近する。さらに $\frac{1}{B}$ が小さいもう一つの結果として、縦揺周期が相対的に長くなり、場合によってはこの両者も接近する。波浪中での、激しい船体運動を避けるためには、針路変更あるいは速度変更のいずれかを行なうが、船速の劣る機帆船では前者のみが有効な措置となるが、この際両周期の関係が問題になる。

第6-4表の海難船について T_p 、 T_r 、 T_e を求めこれを第6-72表に示した。また T_p のみについては第6-12表以外の計算値とともに、すでに第3-24図に示した。これから次のことがわかる、すなわち

- a. 重貨物積載船では、また特に小型の船では、 T_r と T_p は近い値となり、このような船では波を受ける方向を変えることによつて、動揺の軽減を計ることはできない。
- b. やや大型の船になると、前項の心配はないが、迎波または斜迎波 $T_r > T_e > T_p$ となり、針路の選択が難しい。
- c. $\frac{1}{B} < 3.5$ になると、 T_r は一層小さくなるから、前2項の傾向は強調される。 $\frac{1}{B}$ の小さい側に海

難が多いのは、このような事情による。したがってこの結果とともに、主要寸法比 $1/8$ が海難の因子であることは決定的である。

上記の欠陥に対して、重貨物運搬船の一部に、倉内の敷板を高くするか、あるいは倉内に段を付けて載貨時の重心の低下を防ぐものがある。第6-12表中の()欄は敷板を高くした場合の T の値であり、かなりの効果がみられる。第7章に安全対策の一つとして、専用船について述べる事項は、このような例証に基づく。

第6-70図は規則波中において同調動揺を起さず、船速、コースおよび風速の関係を動揺周期別に示した概念図である。規則波としては、第5章における実測波周期 $T_0 = 7.06 U^{1/2}$ を用いる。たとえば $U = 12$ ノット、 $V = 5$ ノット、 $T_0 = 5$ 秒の場合、 $U = 12$ と $T_0 = 5$ の交点 A の対応点を $V = 5$ を示す半円上に求めこれを A' とする。 $A'O$ が同調波の進行方向であり、船に対する角度は $\angle XOA'$ と与えられる。同調を避けるためには、針路あるいは船速、または双方を変えるわけであり、たとえば $B'(B)$ 、 $C'(C)$ は $A'(A)$ に対して速力のみ1ノット減、増したことになる、 E' 、 F' はそれぞれ1ノットの速力減増と同じ効果を持つコースシフトの量を示す。機帆船の場合は、仮に変速するとすれば、減速のみが可能であり、これは波浪を現在よりもさらに横方

向から受けるように変針することと同等である。

第6-70図中斜線部分は、機帆船の縦揺周期の範囲であり、上記の減速措置はかえって船を縦揺同調域に近づけることになる。また海難記録によると波浪中の船速は、3ノット程度になり、このために当時縦揺れが激しかった場合もありうることである。このような過程を経て、縦揺同調あるいはそれに近い状態に陥ったときは、波浪をより後方から受けるようにすればよいが（途中で必ず横揺同調を起すコースを通るから）心理的にはなかなか実行しにくい操船であろう。

しかしこの追波の状態にも問題がある、それは第3章で述べた、機帆船の進路不安定を原因とする *broaching*²²⁾（または波車）である。つまり満載状態の機帆船は進路安定性が劣り、特に追波航走中にはある期間船首を波に突込んたまま波に押されて進む位相があり、この状態では進路安定性はますます劣化し、その結果横揺れと連成する激しい船首揺れが起こり、大傾斜するに至る。第6-7表における、海難時の風波の方向が、横について後、斜後に多いのはこの様な原因に基づくものであろう。したがって新進路が追波またはこれに近い状態（たとえばD点）では同調動揺を避け得たとしても、波長が大きい場合は *broaching* のため、船は風に立ち、さきの変針も意味がな

くなる許りでなく、横揺れに連成した縦揺れあるいは縦揺れ同調域そのものに再び入る可能性があり、この間に海水打込みが続く。

迎波による同調は主として縦揺れであつて、特に正面からの波浪に対して同調する場合の風速は、航海の限界風速 15 m/s を越える。したがつて迎波はこれをなるべく船首の方向に受けるべきである。また特に軽頭船では斜迎波において動揺が大きくなることは、前段までの説明によつて、おのずから明らかである。

最後に縦揺れはどんな波長でも起るが、船に有害な波長は $7.0 \sim 2.5 L$ である。内海型機帆船は 50 GT に対して $L = 18.5\text{ m}$ 、 100 GT では $L = 23.2\text{ m}$ 、 150 GT では $L = 26.6\text{ m}$ 位となり、これに対して波長は第6-13表のごとく、波周期としてどの値を用いても、船の長さと同程度の波が存在することになり、動揺、強度の双方によつて有害なことがわかる。また第5章で述べたごとく、内海の波浪は風とともに、きわめて短時間に消長するから、同調波の周期、方向に応じて適切な操船を行なうことが、安全性上重要なことを書加える。

3. 復原性

機帆船は幅が広いため、復原力が大きく、安全性の検討に当り、特にこれを考慮する必要はない。²⁷⁾ したがつて

ここでは、 GZ_{max} および GM の値を示してそれを証するに止める。第6-12表の GZ_{max}/B 、 GM/B が海難船の推定値であり、計算に当っては、第6-9-2図を用いた。 GZ_{max}/B はほとんどすべて復原性規則の定める $GZ_{min}/B=0.0215$ を越える。ただNo.733は $GZ_{min}/B < 0.0215$ であつて、これは $dm/B=0.5$ から判断すると、木材としては過載であり、海難原因は明らかである。木材運搬船にみられるこの傾向は、第6-2-2図における多数の(大傾斜)荷崩れ海難の性質を説明するものである。

$1/B$ の小さい船では、 GZ 自身さらに大きくなるから、総体的にみて、機帆船海難の主原因を静復原力の不足と考えるのは困難である。

4. 本節の結論

以上の解析および考察によつて、機帆船海難原因の輪郭を明らかにし得たが、本項ではこれを要約して結論を導くことにする。すなわち

- a. 機帆船には二つの基本的な海難過程がある。その一つは浸水→主機停止→沈没または転覆の形式であり多数の海難はこの形に属する。他の一つは短時間に主機停止を経ないで覆没する形式であり、重量物運搬船および一部の木材運搬船に多い。第1形式は持続的な海水の打込みによ

り、第2形式は乾舷不足による大量の海水打込み、荷崩れにより発生する。

b. 機帆船の $\frac{1}{B}$ の値は耐航性上きわめて不都合であり、この意味において、機帆船海難の主因は、船型に基づく宿命的なものである。すなわち $\frac{1}{B}$ が過小のため、次の不都合が生じる。

(1) GM が過大となり、横揺周期が不当に短い、

(2) 縦揺周期と横揺周期の接近、

これらは、就航海面の波周期との関連において、耐航性をはなはだしくそなう。

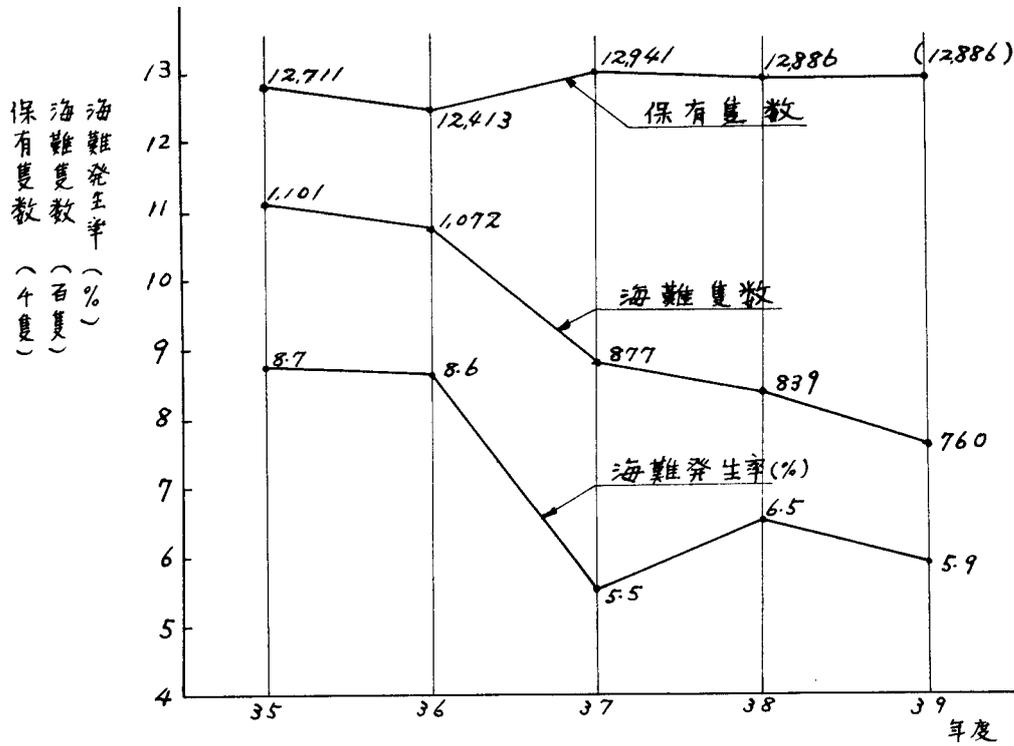
(3) 進路不安定とそれに起因する *broaching*、

追波および斜追波における海難の主因である。また(2)と重畳して波浪中の操船をきわめて困難にする。

c. 復原力、特に静復原力は十分あり、機帆船^の海難は、b.を主因とする船体運動によつて、a.に説明した海難の過程をたどる。

d. 機帆船就航海面の波浪の特性は、機帆船の強度、運動性によつて、きわめて不利である。

等に要約される。第7章では上記の結論に従つて、機帆船の安全対策を提起する。



第6-1図 機帆船の保有隻数と海難数(5GT以上)⁵⁾
(39年交()は推定値)

第6-1表 海難機帆船のGT別分布(昭和39年度)⁵⁾

(1) 全体

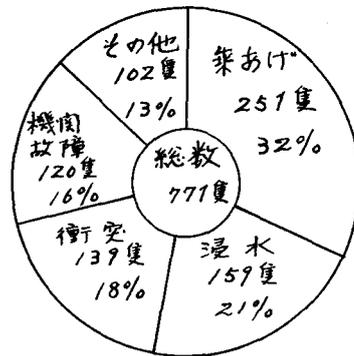
	隻数	比率 %
5GT未満	11	1.4
5~20 ^{GT}	129	16.7
20~100 ^{GT}	482	62.5
100 ^{GT} 以上	149	19.4
合計	771	100

(2) 5GT以上

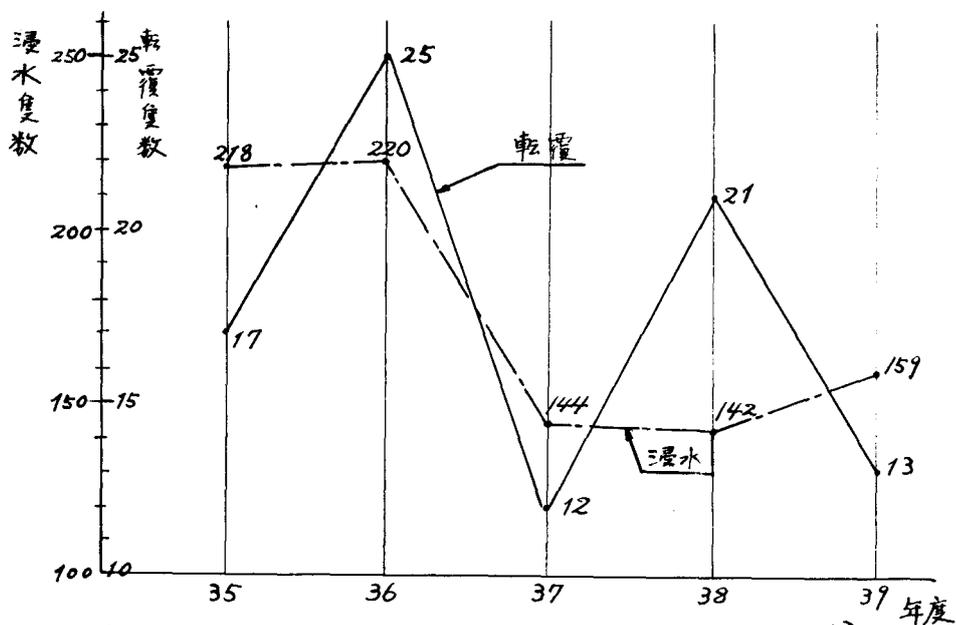
	隻数	比率 %
5~20 ^{GT}	129	17.0
20~100 ^{GT}	482	63.5
100 ^{GT} 以上	149	19.5
合計	760	100

第6-2表 海難機帆船の船令分布⁵⁾

船令	5年未満	5~10年	10~20年	20年以上	不明
海難船%	8.1	15.3	33.1	40.2	3.3
在籍船%	17.3	20.3	25.0	37.4	



第6-2回 機帆船海難の類別 (昭和39年度)⁵⁾



第6-3回 浸水・転覆機帆船の年度別分布⁵⁾

第6-3表 機帆船、漁船、汽船の浸水、⁵⁾ 転覆海難隻数(昭和39年度)

	浸水	転覆	計
機帆船	159	13	172
漁船	86	51	137
汽船	64	21	85
計	309	85	394

第6-5表 風の性質と
その頻度

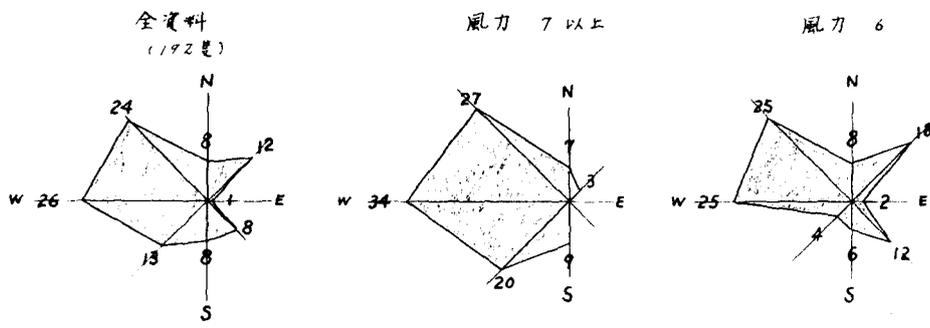
温帯低気圧	—	44%
季節風	—	23%
台風	—	6%
その他	—	27%
		<u>100%</u>

第6-6表 風力の頻度
(%)

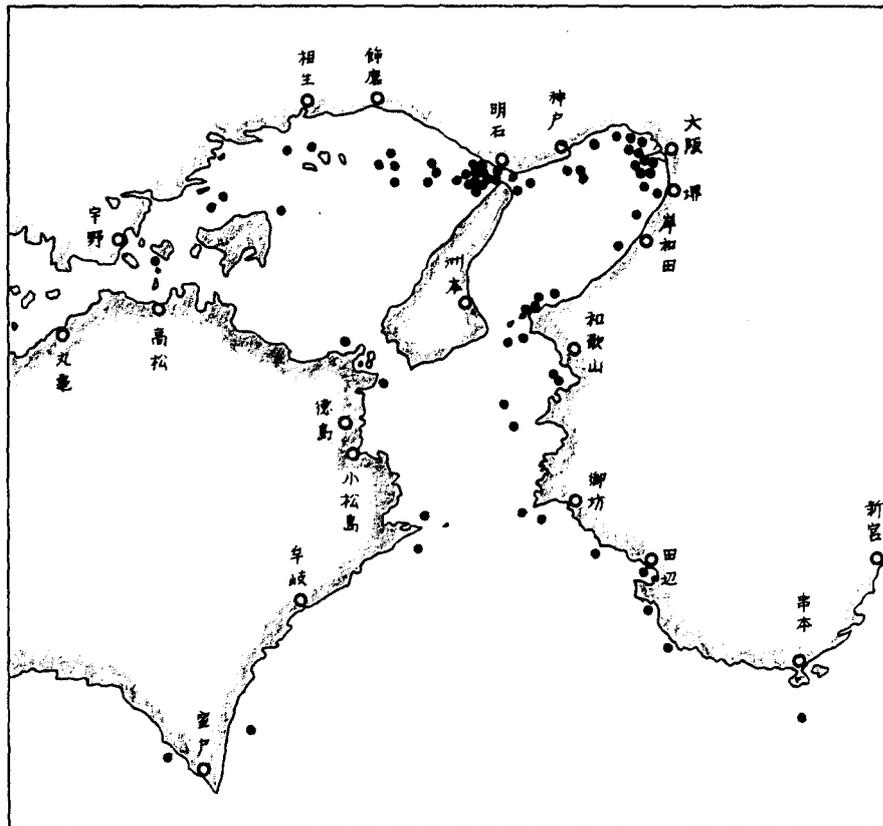
風力 1	—	0
2	—	0
3	—	1
4	—	12
5	—	23
6	—	30
7	—	34
および 7以上		<u>100(%)</u>

第6-7表 船に対する風波の方向
(%)

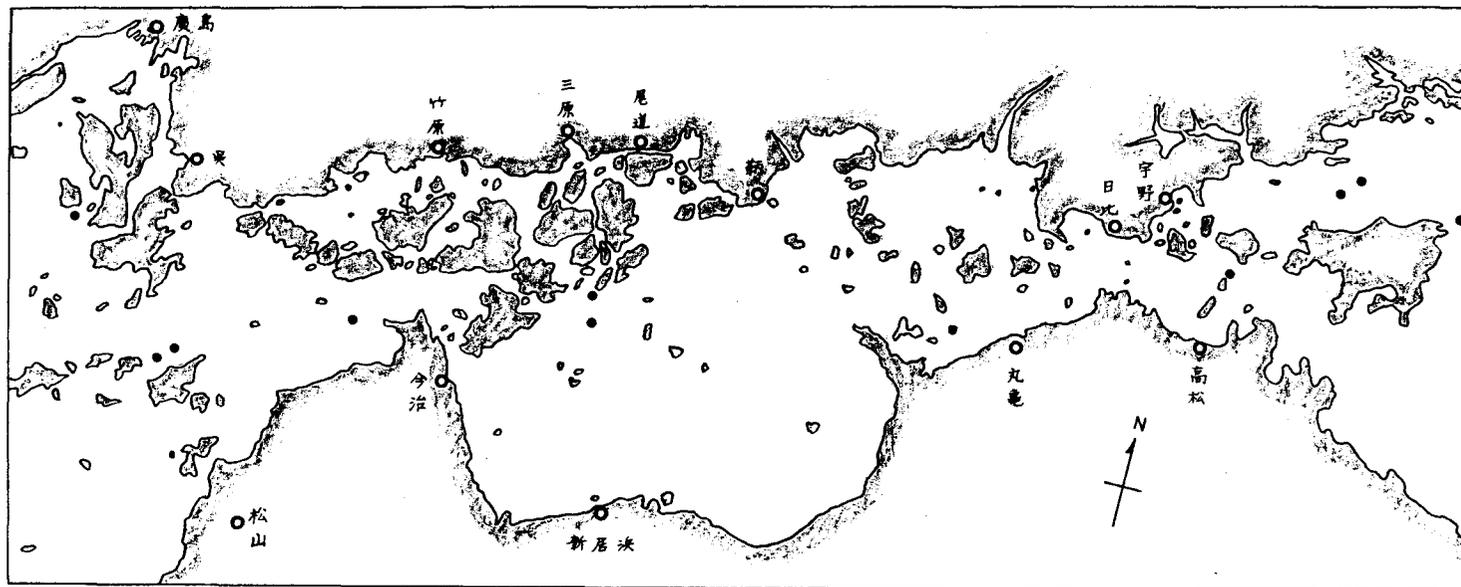
前方	—	4	斜後方	—	26
斜前方	—	15	後方	—	12
横	—	30	不明	—	13



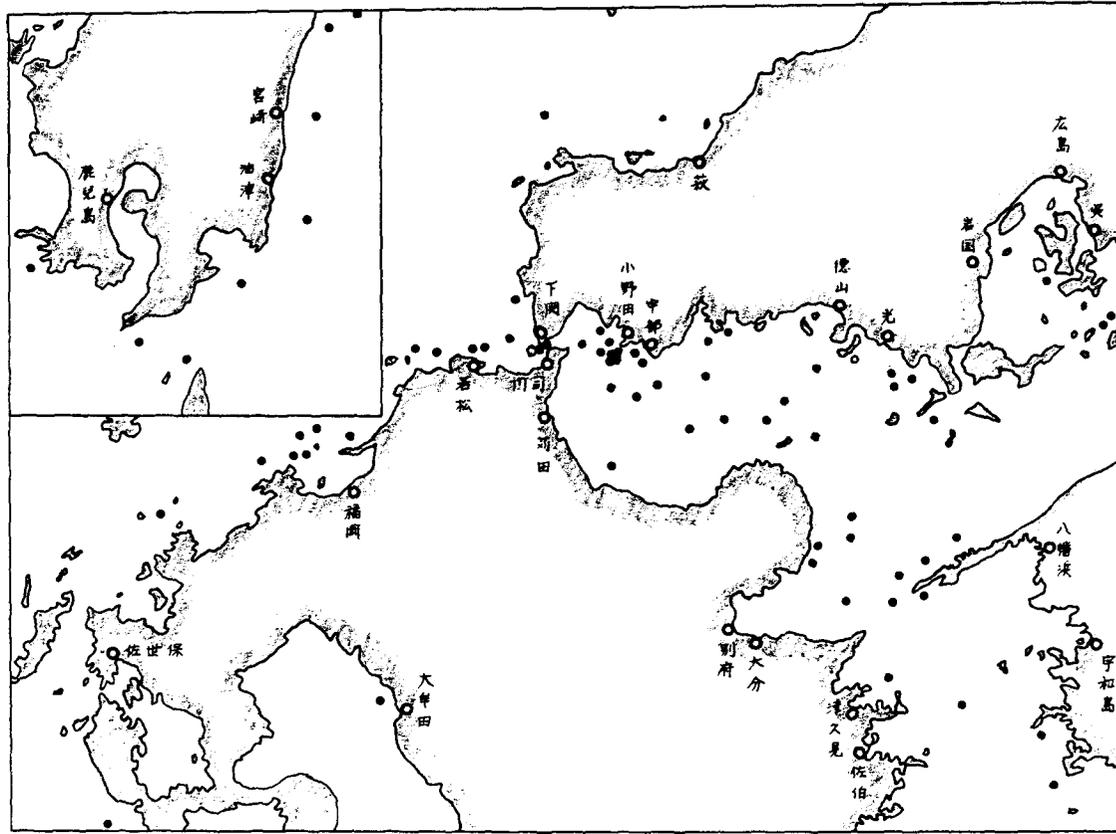
第 6-4 図 風向分布図 (%)



第 6-5-1 図 機帆船の海難分布図 (昭和 28 年 ~ 昭和 38 年)



第6-5-2図 機帆船の海難分布図 (昭和28年~昭和38年)

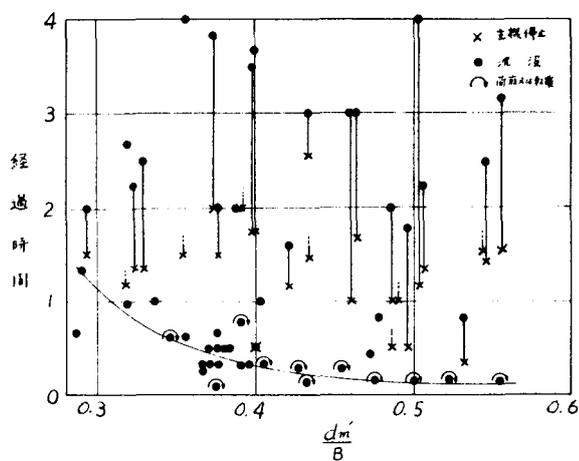


第 6-5-3 図 機帆船の海難分布図 (昭和 28 年 ~ 昭和 38 年)

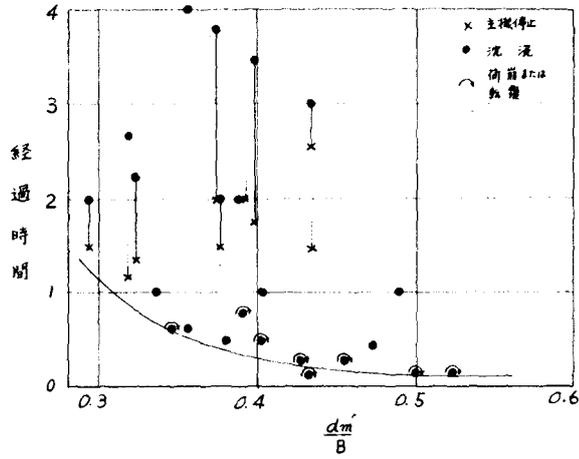
第6-8表 海難の状況 (%)
(第6-4表より)

海難途中の状況		海難の終末の形式	
大動揺	47	坐礁	12
海水打込	68	水船	23
荷崩	8	被救助	13
主機停止	52	沈没	72
船体破損*	25		

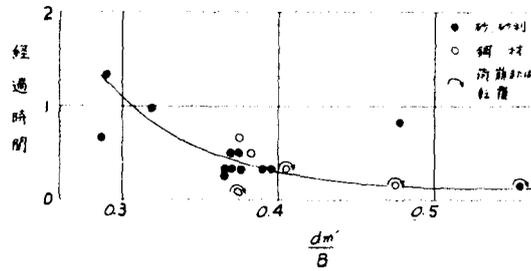
* 船体上部構造の破損を指す



第6-6-1図 沈没までの時間 (全資料)



第6-6-2図 沈没までの時間 (木材)



第6-6-3図 沈没までの時間 (鋼材, 砂, 砂利)

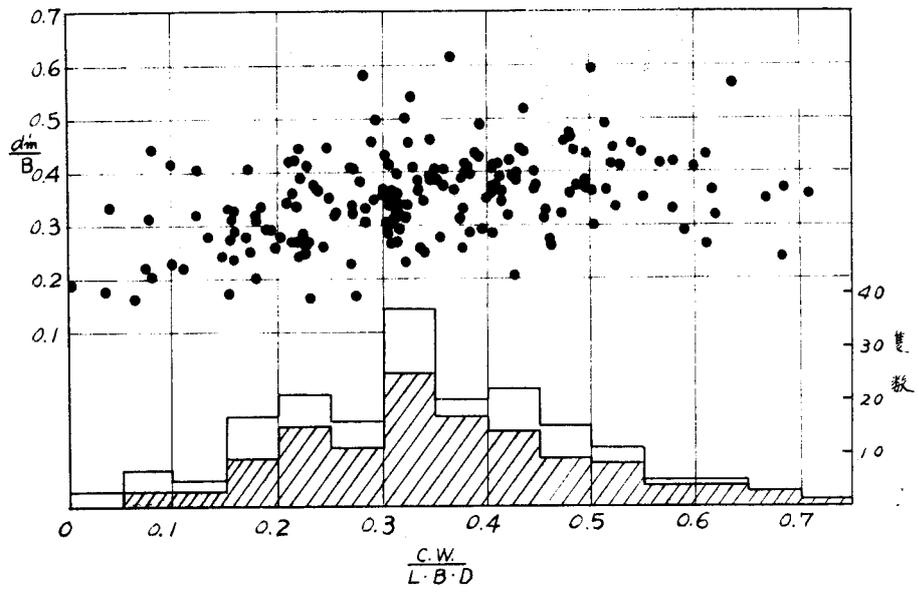
第6-9表 沈没船の d_m/B

積載貨物名	d_m/B の範囲	d_m/B の平均
石 炭	0.34 ~ 0.59	0.46
木 材	0.29 ~ 0.52	0.41
砂, 砂利, 石材	0.29* ~ 0.55	0.40
鉱 石**	0.37 ~ 0.55	0.46
鋼 材	0.29 ~ 0.47***	0.41
そ の 他	0.29 ~ 0.56	0.46

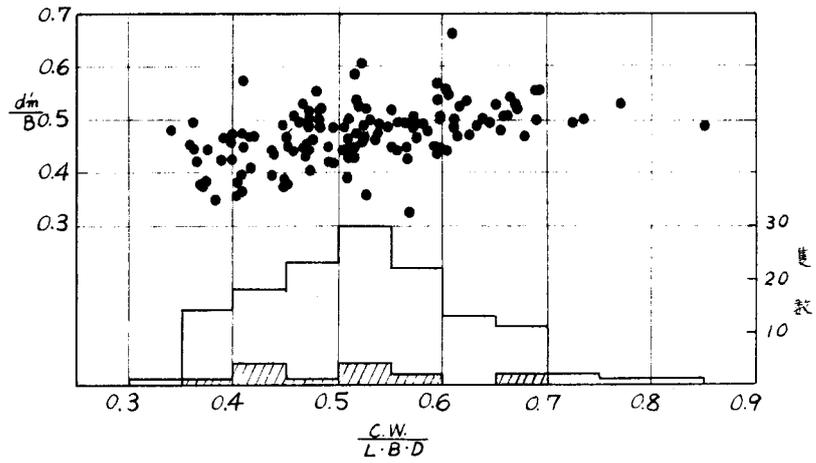
* D_0 の小さい船と思われる

** 石灰石を含む

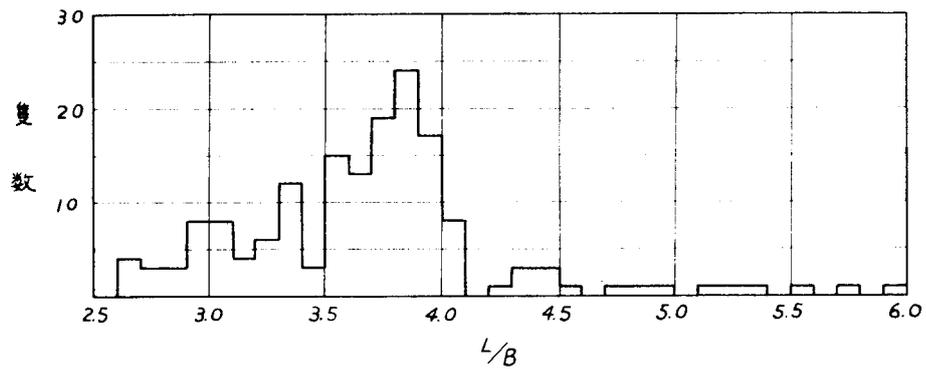
*** 荷主が載貨重量の制限を行なうことが多い



第6-7-1図 喫水と貨物の実際重量の関係(軽貨物)



第6-7-2図 喫水と貨物の実際重量の関係(石炭)

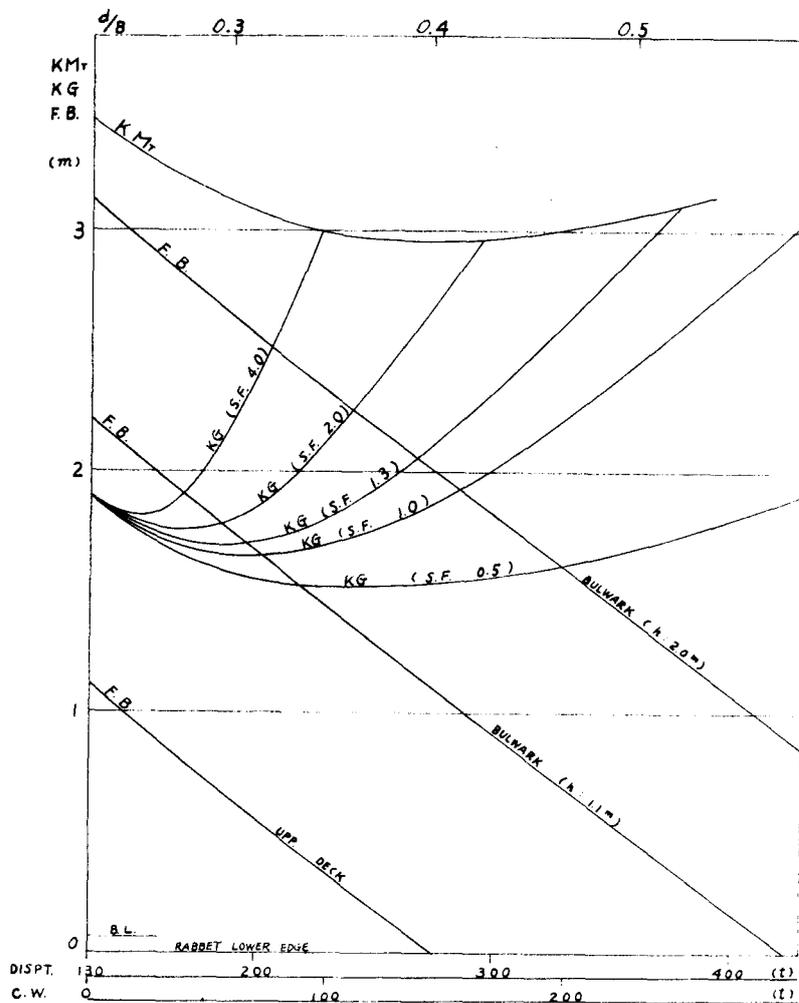


第6-8図 重大海難をうけた機帆船のL/B分布(平均3.71)

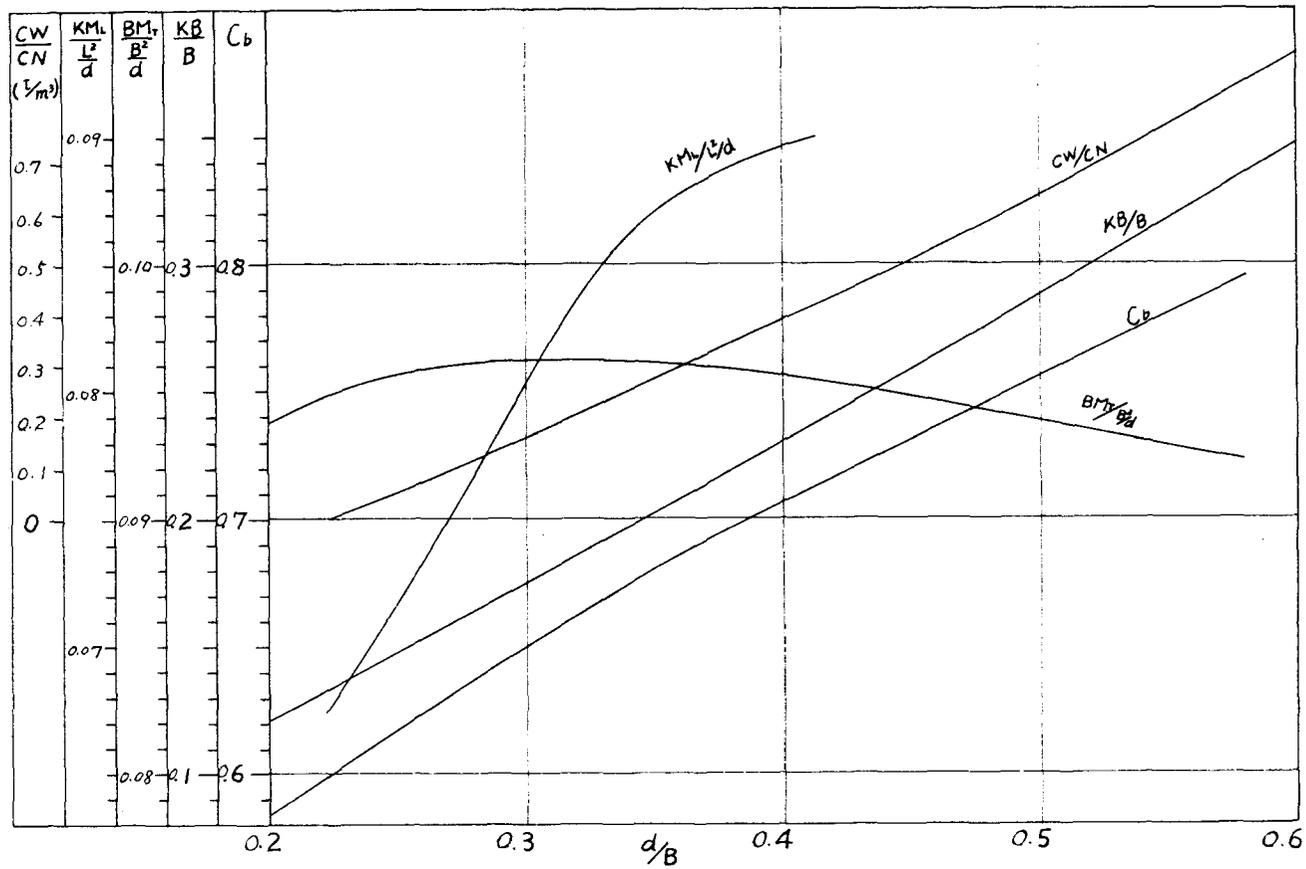
第6-10表 機帆船の重心位置*

$L \times B \times D \times d_m'$	27.78 ^m × 6.67 ^m × 4.56 ^m × 1.42 ^m
$\frac{L}{4} \times \frac{B}{4} \times \frac{D}{4} \times \frac{d_m'}{B}$	4.16 × 6.09 × 1.46 × 0.215
KG/B (軽荷)	0.324
KG/B (満載 出港)	0.360

* 広島縣倉橋島。第3章 写真3-2の船型



第6-9-1図 資料船Fの各状態における性能



第6-9-2図 資料船Fの各状態における性質

第 6-11-1 表

S.F.	1.0				1.3		
ship No	38	37	33	31	15	20	30
cargo	石灰						
L	26.8	26.7	25.8	24.6	21.5	22.8	24.1
B	7.4	7.0	6.7	6.6	5.7	5.9	6.4
D	3.3	3.1	3.0	3.0	2.2	2.7	2.3
d_m	4.03	3.53	3.65	3.45	2.76	2.72	2.74
d_m/B	0.545	0.504	0.545	0.523	0.483	0.461	0.427
$R(T/B)$	16.0	10.0	16.0	12	16.4	11.4	8.6
T_r	13.9	8.5	13.2	9.9	12.5	8.8	7.0
瓦力	4	6	7	5	7	6	4
KG	3.45	2.89	3.12	2.88	2.59	2.51	2.43
KG/B	0.466	0.413	0.466	0.437	0.455	0.425	0.380
$N \cdot R^2$	4.28	0.94	4.28	2.04	3.34	1.00	0.55
N	0.017	0.009	0.017	0.014	0.012	0.008	0.007
δ	0.06						
θ_0	17.7	23.9	17.7	19.3	21.9	26.6	27.9
1.14 θ_0	20.2	27.2	20.2	22.0	25.0	30.3	31.8
1.22 θ_0	21.6	29.2	21.6	23.5	26.7	32.5	34.0
1.30 θ_0	23.0	31.1	23.0	25.1	28.5	34.6	36.3
D_0 (平均)	5.9	5.4	5.1	4.9	3.8	4.1	4.7
D_0 (下限)	5.4	4.9	4.6	4.4	3.3	3.6	4.2
f(平均)	1.87	1.87	1.45	1.45	1.04	1.38	1.96
f(下限)	1.37	1.37	0.95	0.95	0.54	0.88	1.46
θ_f (平均)	28.9	30.6	24.8	25.2	20.9	26.8	35.1
θ_f (下限)	21.2	22.4	16.3	16.5	10.8	17.1	26.1

第 6-11-2 表

1.3		0.5				1.0	
34	11	58	64	68	72	88	97
石灰	石灰	砂砾利	砂砾利	砂砾利	砂砾利	石灰石	石灰石
26.4	20.4	17.1	21.0	21.7	25.9	19.0	26.7
7.2	5.8	4.4	5.7	5.7	6.9	5.1	6.9
2.9	2.6	1.9	2.1	2.4	3.0	2.7	2.8
3.30	2.35	1.65	2.7	2.5	3.15	2.35	3.2
0.458	0.405	0.375	0.474	0.439	0.420	0.461	0.464
10.9	7.1	5.8	6.0	5.9	5.75	8.0	8.1
9.4	5.6	3.9	4.6	4.5	4.8	5.8	6.8
7	4	6	7	3	5	7	7
3.02	2.09	1.14	1.55	1.50	1.80	1.85	2.52
0.420	0.361	0.260	0.271	0.263	0.261	0.362	0.365
0.87	0.50	1.22	1.12	1.19	0.85	0.54	0.53
0.007	0.01	0.036	0.031	0.034	0.026	0.0085	0.0081
0.06							
28.4	23.6	11.1	11.2	10.9	12.2	25.5	25.0
32.4	26.9	12.7	12.8	12.4	13.9	29.1	28.5
34.6	28.8	13.5	13.7	13.3	14.9	31.1	30.5
36.9	30.7	14.4	14.6	14.2	15.9	33.2	32.5
5.6	4.0	2.0	3.8	3.8	5.3	3.0	5.3
5.1	3.5	1.6	3.3	3.3	4.8	2.6	4.8
2.30	1.65	0.35	1.1	1.3	2.15	0.65	2.1
1.80	1.15		0.6	0.8	1.65	0.15	1.6
36.6	32.6	9.1	22.1	26.2	37.3	14.6	34.9
28.6	22.7		12.1	16.1	27.4	3.4	26.6

第 6-11-1 表

S.F.	1.0				1.3		
ship No	38	37	33	31	15	20	30
cargo	石灰						
L	26.8	26.7	25.8	24.6	21.5	22.8	24.1
B	7.4	7.0	6.7	6.6	5.7	5.9	6.4
D	3.3	3.1	3.0	3.0	2.2	2.7	2.3
d'_m	4.03	3.53	3.65	3.45	2.76	2.72	2.74
d'_m/B	0.545	0.504	0.545	0.523	0.483	0.461	0.427
$R(T_r/B)$	16.0	10.0	16.0	12	16.4	11.4	8.6
T_r	13.9	8.5	13.2	9.9	12.5	8.8	7.0
瓜力	4	6	7	5	7	6	4
KG	345	289	312	288	259	251	243
KG/B	0.466	0.413	0.466	0.437	0.455	0.425	0.380
$N \cdot R^2$	4.28	0.94	4.28	2.04	3.34	1.00	0.55
N	0.017	0.009	0.017	0.014	0.012	0.008	0.007
δ	0.06						
θ_0	17.7	23.9	17.7	19.3	21.9	26.6	27.9
1.14 θ_0	20.2	27.2	20.2	22.0	25.0	30.3	31.8
1.22 θ_0	21.6	29.2	21.6	23.5	26.7	32.5	34.0
1.30 θ_0	23.0	31.1	23.0	25.1	28.5	34.6	36.3
D_0 (平均)	5.9	5.4	5.1	4.9	3.8	4.1	4.7
D_0 (下限)	5.4	4.9	4.6	4.4	3.3	3.6	4.2
f' (平均)	1.87	1.87	1.45	1.45	1.04	1.38	1.96
f' (下限)	1.37	1.37	0.95	0.95	0.54	0.88	1.46
θ_1 (平均)	28.9	30.6	24.8	25.2	20.9	26.8	35.1
θ_1 (下限)	21.2	22.4	16.3	16.5	10.8	17.1	26.1

第 6-11-2 表

1.3		0.5				1.0	
34	11	58	64	68	72	88	97
石灰	石灰	砂砾利	砂砾利	砂砾利	砂砾利	石灰石	石灰石
26.4	20.4	17.1	21.0	21.7	25.9	19.0	26.7
7.2	5.8	4.4	5.7	5.7	6.9	5.1	6.9
2.9	2.6	1.9	2.1	2.4	3.0	2.7	2.8
3.30	2.35	1.65	2.7	2.5	3.15	2.35	3.2
0.458	0.405	0.375	0.474	0.439	0.420	0.461	0.464
10.9	7.1	5.8	6.0	5.9	5.75	8.0	8.1
9.4	5.6	3.9	4.6	4.5	4.8	5.8	6.8
7	4	6	7	3	5	7	7
3.02	2.09	1.14	1.55	1.50	1.80	1.85	2.52
0.420	0.361	0.260	0.271	0.263	0.261	0.362	0.365
0.87	0.50	1.22	1.12	1.19	0.85	0.54	0.53
0.007	0.01	0.036	0.031	0.034	0.026	0.0085	0.0081
0.06							
28.4	23.6	11.1	11.2	10.9	12.2	25.5	25.0
32.4	26.9	12.7	12.8	12.4	13.9	29.1	28.5
34.6	28.8	13.5	13.7	13.3	14.9	31.1	30.5
36.9	30.7	14.4	14.6	14.2	15.9	33.2	32.5
5.6	4.0	2.0	3.8	3.8	5.3	3.0	5.3
5.1	3.5	1.6	3.3	3.3	4.8	2.6	4.8
2.30	1.65	0.35	1.1	1.3	2.15	0.65	2.1
1.80	1.15		0.6	0.8	1.65	0.15	1.6
36.6	32.6	9.1	22.1	26.2	37.3	14.6	34.9
28.6	22.7		12.1	16.1	27.4	3.4	26.6

第 6-11-3 表

1.0			0.7	1.5		2.0	
98	101	83	72	152	160	144	130
石灰石	石灰石	石灰石	石材	木材	木材	木材	木材
26.7	27.8	23.8	25.9	24.7	26.7	26.7	20.2
6.9	7.3	6.3	6.9	6.4	6.9	6.9	5.5
2.9	3.1	2.4	3.0	2.5	2.8	2.8	1.7
3.35	3.6	2.85	3.15	2.75	2.98	2.65	1.95
0.486	0.493	0.453	0.457	0.430	0.431	0.408	0.355
8.9	9.3	7.8	6.3	11.2	11.2	17.0	7.80
7.5	8.0	6.3	5.3	9.1	7.4	12.8	5.8
6	6	6	5	6	4	7	4
2.70	2.91	2.22	1.96	2.68	2.90	2.95	2.01
0.391	0.399	0.353	0.284	0.419	0.420	0.454	0.365
0.60	0.68	0.56	1.00	1.12	1.15	3.27	0.53
0.0076	0.0079	0.0092	0.025	0.0089	0.0131	0.0113	0.0083
0.06							
25.2	25.2	23.4	12.8	28.5	23.5	24.1	26.7
28.7	28.7	26.7	14.6	32.5	26.8	27.5	30.4
30.7	30.7	28.5	15.6	34.8	28.7	29.4	32.6
32.8	32.8	30.4	16.6	37.1	30.6	31.3	34.7
5.3	5.7	4.6	5.3	4.7	5.3	5.3	3.6
4.8	5.2	4.1	4.8	4.2	4.8	4.8	3.1
1.95	2.1	1.75	2.15	1.95	2.32	2.65	1.65
1.45	1.6	1.25	1.65	1.45	1.82	2.15	1.15
3.24	3.3	3.18	2.57	3.49	3.86	4.40	3.43
2.41	2.51	2.27	2.74	2.59	3.02	3.57	2.39

第 6-11-4 表

2.0	1.8		0.5				
145	151	146	40	46	48	52	55
木材	木材	木材	钢材	钢材	钢材	钢材	钢材
23.7	24.2	23.8	17.4	21.4	22.2	23.7	26.8
6.3	6.3	6.3	4.6	5.5	5.9	6.1	7.1
2.4	2.2	2.7	1.7	2.4	2.5	2.5	2.8
2.45	2.65	2.6	1.75	2.45	2.55	2.40	3.1
0.389	0.421	0.413	0.381	0.445	0.432	0.393	0.437
10.5	16.0	13.0	5.80	5.92	5.90	5.85	5.90
8.4	12.8	10.4	4.0	4.4	4.6	4.6	5.0
7.4	5	3	4	7	5	7	4
2.65	2.83	2.75	1.20	1.45	1.55	1.59	1.87
0.420	0.450	0.436	0.260	0.264	0.262	0.260	0.263
1.15	2.97	1.98	1.22	1.18	1.20	1.22	1.19
0.0103	0.012	0.012	0.036	0.034	0.034	0.035	0.034
0.06							
25.0	23.1	23.0	11.2	11.7	10.8	10.8	10.9
28.5	26.3	26.2	12.8	13.3	12.3	12.3	12.4
30.5	28.2	28.1	13.7	14.3	13.2	13.2	13.3
32.5	30.0	29.9	14.6	15.2	14.0	14.0	14.2
4.6	4.6	4.6	2.3	3.6	4.1	4.3	5.5
4.1	4.1	4.1	1.9	3.1	3.6	3.8	5.0
2.15	1.95	2.0	0.55	1.15	1.55	1.90	2.40
1.65	1.45	1.5	0.05	0.65	1.05	1.40	1.90
3.91	3.55	3.64	13.7	2.4	30.1	35.7	38.7
30.0	26.4	27.3	1.4	13.6	20.4	28.2	30.6

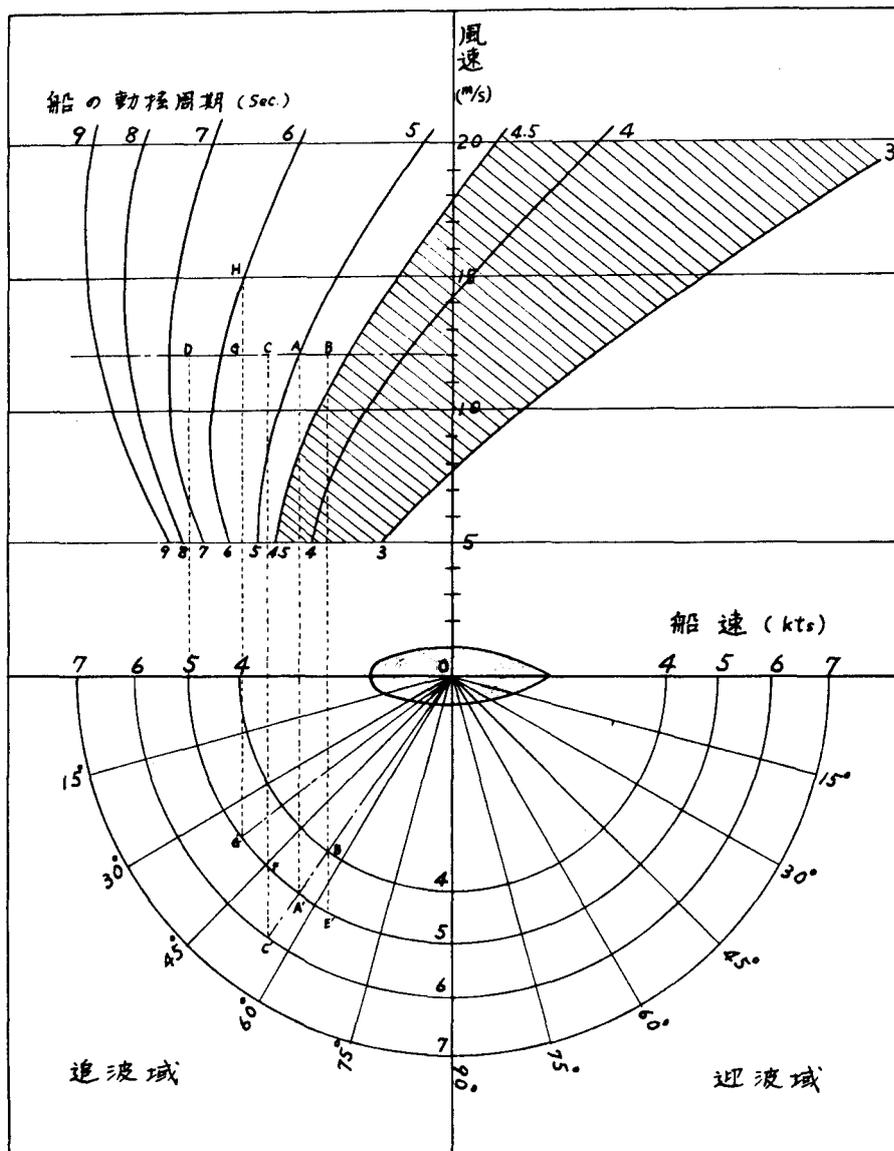
第6-11-5表

0.5	0.5		
49	75	76	84
鋼材	鈦石	鈦石	鈦石
223	19.1	20.3	23.9
6.2	4.9	5.5	6.3
2.5	3.0	2.2	2.8
270	265	270	293
0.435	0.451	0.491	0.464
5.9	4.9	6.0	5.95
4.7	3.5	4.5	4.8
5	6	4	5
1.63	1.30	1.52	1.69
0.263	0.265	0.276	0.268
1.19	1.17	1.07	1.15
0.034	0.048	0.030	0.033
0.06			
10.9	8.5	11.4	14.1
12.4	9.7	13.0	16.1
13.3	10.4	13.9	17.2
14.2	11.1	14.8	18.3
4.4	2.8	3.6	4.5
3.9	2.3	3.1	4.0
1.7	0.15	0.90	1.57
1.2		0.40	1.07
31.4	3.5	18.8	28.6
22.2		8.3	19.5

第6-12表 GZ, GM, T_p, T_r

NO	f/d _m	GZ/B	(GZ/B)	GM/B	(GM/B)	T _p	T _r	(T _r)	T _r /T _p	*	T _e
40	0.35	0.063	0.037	0.227	0.128	3.4	3.8	5.1	1.1	H'	3.3
41	0.26	0.049	0.028	0.227	0.128	3.3	3.8	4.9	1.2	F	7.1
42	0.60	0.106	0.065	0.227	0.128	3.7	4.1	5.3	1.1	T	
48	0.58	0.121	0.050	0.227	0.128	4.1	4.4	7.2	1.1	H'	4.7
88	0.27	0.038		0.119		3.8	5.5		1.5	H'	6.1
83	0.59	0.084		0.128		4.2	5.9		1.4	F	
61	0.37	0.065	0.038	0.227	0.128	3.1	3.8	5.0	1.2	T	
57	0.68	0.146	0.078	0.227	0.128	3.3	4.0	4.5	1.2	T	
59	0.61	0.085	0.049	0.227	0.128	3.4	3.9	4.4	1.1	H'	3.3
143	0.52	0.043		0.073		4.3	7.5		1.8	H'	5.5
147	1.22	0.050		0.190		3.8	4.9		1.3	T'	
148	0.69	0.070		0.105		3.9	6.3		1.6	H'	
131	0.79	0.113		0.160		3.9	5.1		1.3	T	
135	1.03	0.142		0.174		4.0	5.1		1.3	H'	
126	1.00	0.127		0.189		3.6	4.6		1.3	T	
133	0.25	0.013		0.045		4.0	8.6		2.2	H'	
151	0.71	0.090		0.119		4.1	6.1		1.5	H	
144	0.71	0.104		0.128		4.2	6.0		1.4	T	
31	0.43	0.022		0.042		4.6	9.8		2.1	T	
18	0.35	0.024		0.077		4.5	7.3		1.6	F	

* 波の方向 H(迎波) H'(斜前) T(横)
F(退波) F'(斜後)



第6-10図 同調波を求めた図

第6-13表 波長に相当する風速(第5章より)

波 長(m)		10	15	20	25	30	35
風速 (m/s)	$\bar{v} = 1.06U^{\frac{1}{2}}$ から計算	5.7	8.6	11.4	14.3	17.1	20.0
	$\bar{v}_{max} = 0.93U^{\frac{1}{2}}$ から計算	7.4	9.0	14.8	18.5	21.2	25.9

第7章 機帆船の安全性の向上

機帆船の安全性の向上について、前章までの結果を引用しつつ、これを具体的に論ずることとする。

7-1 機関室前端隔壁の水密化と排水ポンプの合理的な配置について

船が海水打込みを認めてから、主機停止あるいは沈没に至るまでの経過時間は、第6-6-1図にみられるごとく、 d_m/B の増加とともに急激に減少する。これは海難が主として持続的な海水打込みによって起こされるからである。したがって上記の経過時間は、動揺回数に関係があると考えてよい。後に述べるように、機帆船が受けるこの持続的海水打込みに対抗する船の予備浮力決定の要素として、大型船のLに対して、Bを取ることを望ましいのは以上の考えに基づくものである。

立場を変えてみれば、経過時間の長短は、海水打込み量とポンプの排水能力との関係で決まると考えてよいであろう。機帆船の排水装置には、主機直結、独立動力ならびに手押しポンプの3種類がある。これらの内、独立動力ポンプ以外は能力が低く、しかも主機直結のものは、主機の停止とともに活動を止めるから、海難時には実質的に、独立動力ポンプのみが排水能力を持つとみてよい。

第7-1表は433隻の実船の排水ポンプの装備状況であり、小型の船に排水を手押しポンプに頼る傾向が、大型の船に独立ポンプに頼る傾向がみられる。独立動力ポンプのみについてみると、第7-2表のごとく、全数の82%は独立動力ポンプを装備しているが、その内約78%はただ1台にすぎない。沈没船の実情調査によると、倉口閉鎖装置が破壊された場合は、独立動力ポンプ3台でも万全とはいえず、大部分の機帆船はビルジポンプの飛躍的増強が必要と思われる。

上記資料中に含まれるF船類似の寸法を持つ船について、主機直結ポンプの能力を独立動力ポンプの $\frac{1}{2}$ とし、手押しポンプのそれを無視して、その平均有効排水管面積を求めると約 40 cm^2 となる。排水管内流速を船舶機関規則に従って 2 m/s と仮定すれば、排水能力は7時間当り 30 m^3 になり、通常のビルジに対しては十分な値となる。主機停止の主原因であるクラッチの浸水状態における打込み海水量は、F船の場合、貨物および内部構造物の容積の補正を行なえば、約 $15\sim 20\text{ m}^3$ である。したがって主機停止までに0.5時間を要した船についてみると、その間の総海水打込み量は $30\sim 35\text{ m}^3$ となり、持続的に海水が打込くたとして最大毎秒 0.01 m^3 程度にすぎない。これは強力な排水ポンプで十分処理できる量である。

機帆船の構造における致命的な弱点の一つは、機関室前端隔壁の非水密構造にあることはいうまでもない。上記の推算もこの欠陥を宿命的なものとして容認して行なったものであるが、海水打込みの割合は大きくないから、これを機関室前端で防水し、主機停止を避けることは技術的にさほどむづかしい事とは思えない。第6-6図における記号×—●間の経過時間がおおむね1時間以上であり、また海難発生地点の距岸距離がせいぜい5マイルであることを銘記すれば、海水打込みがあつても、自走能力を持っている船は、この間に安全な陸岸に接近し得たといえる。たしかに現在の隔壁の形式に、習慣的に執着するあまり、これを水密化することに異論があるが、もしこれを適当な高さまで水密構造にするならば、安全性向上のために、極めて有効な手だてとなるであろう。またこの場合、船倉、機関室2区画に、さきの独立動力ポンプおよび排水管を合理的に配することは、言うまでもない。

ク-2 開口の開鎖

木船の倉口の開鎖装置については、木船構造規則に規定されているが、これは鋼船の開鎖装置とほとんど同じ考え方であつて、上甲板の倉口幅の狭い外洋型の機帆船

に見受けられる。

これに対して、倉口の幅の広い、いわゆる総ハッチ形式の構造については、管海官庁の承認を受けた場合は、航行区域を制限される条件で、閉鎖装置の規定の適用が緩和されている。これはすでに第4-4表に示した通りであるが、このため内海周辺水域における機帆船の倉口閉鎖装置は、積荷の質、種類によつて、いくつかの形式が案出されているが、これを大別すると、次の2形式になる。

a. 差板を用いるもの

玄艙またはコーミング上に適当な間隔で柱(たつ)を立て、この間に取りはずしできる板(差板)をはめ込む。この形式は主として軽量貨物を多量に積載する船、砂、石炭、石あるいは袋物など人カによる荷役を行なう船等に用いられ、最近では鋼製差板も見受ける。倉口の閉鎖は上苫(あるいは上苫板)およびターポリンを使うものと、全く閉鎖しないものがある。前者は倉口の中央で前後部の差板上に、一条の倉口縦材(屋棟)を通し、この上を上苫板とターポリンでおおう。ターポリンの端は小索をもつて、リングに結ぶだけである。後者は砂、砂利、石材運搬船に用いられる。この方法は倉口閉鎖の代表的なものであるが、構造、強度に信頼性が少なく、特に海難の原因となりやすい。

b. ハッチ・ボード^{*}を用いるもの

重量物運搬船、わけても鋼材運搬船は広大な倉口を要するため、強度上この形式が用いられる。すなわち玄端部は第3-1図(=)のごとく固められる。中央に倉口縦材を7条配し、この上にハッチボード(上苫板より厚い)と並べて倉口を閉じ、さらにターポリンでおおう、その端はハッチバツテ、ハッチクリート、くさびで留め、さらに小索で上部を固縛する。この形式は、閉鎖が完全であれば、通常の波浪に対して十分耐える。後に述べる写真7-1はこの形式の一例であり、海難を起すことはないと言われる。しかしながら機帆船の倉口は長大かつ幅広であり、(72)によれば長さはLの49%、幅はBの76%平均となる。海難機帆船の中には、屋棟の破損のために、沈没した例があり、この部分に掛る波浪の衝撃は大きい。したがってa. b.ともに倉口縦材の補強が必要である。倉口閉鎖は理想としては、木船構造規則のそれに近付けるべきであろうが、経済的にもまた船員の問題からも、重量、構造ともに小人数で扱えるものでなければならぬ。本節では前章の結果によって、持続的(少量)海水打込みにはターポリン、統計的に予想される大量の海水打込みに対しては倉口

* 脚注 上苫板による閉鎖と区別するために、この名称を用いる。

継材が対応するものとし、次の改良を提案する。

- i. 倉口閉鎖はb.形式を標準とする。ただし倉口継材を支持する倉口梁を中央に1本配し、これはなるべく鋼製とする。ターポリンの固縛は、バツテニ、クリート、くさびを用いること。
2. a.形式および、b.形式であつても倉口閉鎖の条件がいを満足しない場合には、予備浮力、耐航性の観点から、適切な措置を講ずる。

a.形式の倉口閉鎖はなるべくこれを用いたい。

上記2提案が船の安全上有効であるためには、公平な喫水の制限措置があることを前提とし、2にある「適切な措置」も喫水制限に関する付帯条件とするのが自然であろう。

7-3 喫水の制限と付帯条件

現存機帆船が耐航性上劣っているのは、不完全な倉口閉鎖装置および船内の防、排水設備ならびに構造に欠陥があつて、動揺などによる打込み海水を処理できぬ点にあり、船舶の復原性はこれに比べて問題にならぬことがすでに明らかにされた。

打込み海水によつて船が受ける影響は、構造物の破損と浸水による浮力の減失であつて、機帆船の海難には必ず見られる現象である。

したがって機帆船の耐航性を維持するためには、十分な *height of platform* が大切であり、適当な乾舷を維持する目的で喫水の制限をすることは、船舶の強度上からも好ましいことである。すでに多くの研究によつて現存船の強度は十分なことが指摘されており、乾舷の決定はいわゆる *form freeboard* のみである。

form freeboard 決定の要素である、長さ、肥せき度、深さと長さの比、船構の配置と有効性、玄弧およびキャンバのうち、船構と玄弧およびキャンバは考慮すべきでない。なんとすれば船構に関しては第3章における深さの問題に関連して、船体の一部が形式的に船構として扱われることになつて、その有効性が疑わしい。また玄弧は木船の構造上および強度上必要なものでありこれを省略することは本来できず、キャンバは船体中央部に有効な水密甲板を持たぬので元来存在しないものである。以上の考察によつて機帆船の乾舷決定にあたり考慮すべき事項は長さ、肥せき度、深さと長さの比のみとなる。

form freeboard 決定の手續の背後にあつた思想の一つは予備浮力と思はれるが、内海機帆船の予備浮力がどうあるべきかを決定することはできない。しかし幸いにして機帆船は相互に共通した船型をもち、したがつて相通じる特性をもつと同時に、地理的にはまた限定された水

域において活動するから、これをめぐる気象、海象もまた類似している。したがって機帆船が保持すべき乾玄の量は、その海難記録からある限界線として示し得るものと思われる。

本節では機帆船の実測乾玄資料および沈船の乾玄資料（推定値）を中心に、上記限界線を求めるとともに、乾玄保持のための付帯条件について述べる。なお実測乾玄資料の中には一部運輸省における測定値を含む。

乾玄の実測値および推定値の表示における船型の分類には〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕を用いているが、その内容は次のようなものである。すなわち

〔Ⅰ〕 第3章船型〔Ⅰ〕および船型〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕で船体中央部に甲板（中甲板）を持たぬもの、

〔Ⅱ〕 暴露部に甲板を持ち、かつ倉口には完全な閉鎖装置を有するもの。第3章で沿岸にみられる船型と呼称したものをいう、

〔Ⅲ〕 第3章船型〔Ⅱ〕、〔Ⅲ〕であって、船体中央部に甲板（中甲板）を持つもの、

の3種類とする。

第7-7図は主として運輸省資料を表示したものである。図中(A)は船型〔Ⅰ〕、〔Ⅲ〕における一般貨物積載時の限界線であり、(B)はこれに対して、砂、砂利運搬船の限界線

を示したものである。第7-2図は上の資料に、さらに多数の別の実測値を加えたものであり、[I]に属する資料が限界線(A)、(B)の下側にふえている。第7-1図、第7-2図について簡単に説明すると、

- a. 船型[I]に属する船は小型に多く、かつ乾舷も小さい、
- b. 中甲板を持つ船型[III]においては、中甲板の位置から舷端までの高さ h (第3章参照)が大きいほど乾舷も大きくなっている。また右の大きい船は比較的大型である、
- c. 船型[II]は大型であり、かつ乾舷も小さい、
- d. 船型[I], [III]における砂、砂利運搬船の限界線(B)は一般貨物船の境界線(A)より約40cm低い。

などがわかる。

これに対して第7-3図は沈没船の乾舷の推定値(一部実測値)を第4章、第4-10図の $D_0 \sim B$ 曲線から推定したものであり、第7-1図(A)、(B)、(C)も併記した。沈没船の乾舷の平均(C)($D_0 \sim B$ 曲線の平均線から求めた乾舷の平均線)は意外に高い値を与えており、第7-1、7-2図の実際乾舷と比べてみると過剰が合はない。しかし海難船舶の $\frac{1}{B}$ は全体に小さい方に片寄っており(第6章)、むしろ本研究が仮定している機帆船型から外れる船型を持つ船に多いわけで

あり、このような船の乾舷の推定にあたっては $D_0 \sim B$ 曲線における D_0 の下限線から求めなければならない。直線 (D) は第 4-10 図の D_0 (平均) と D_0 (下限) 間の差をそのまま移して、(C) に対して、あり得べき沈船の乾舷の下限を推定したものである。また第 7-4 図は砂、砂利運搬船の、第 7-5 図は沿岸航行船の乾舷について示した。

第 7-1 ~ 7-5 図を比較すると、次のことがわかる。

- a. 現存船と沈船の乾舷の間には、特に差異は認められず、注意すれば安全に航海しうる船が、周到な荒天準備を欠いていたために、海難を起したかのごとく思われる。しかし、これは別の見方をすれば、現存船のすべてが不十分な乾舷を持つことかも知れない。後者であればその結果は重大である。
- b. 小型の船 (20 m 以下) の沈没船の乾舷は大変小さい。
- c. 砂、砂利運搬船の乾舷は特に小さい。
- d. 低乾舷の船ほど低い風力で沈没する例もあるが、全体としてみれば、風力と乾舷との間に特別の相関はない。これは機帆船の沈没海難過程についての第 6 章の第一の形式についての説明を裏付けるものであり、この形式においては乾舷の大小は単に沈没時間を決める要素にすぎない。

これらを通して感ずることは、機帆船の各種船型に公平に適用しうる限界線を引くことはできない。したがってこの際機帆船型を別の角度から再検討する必要がある。

機帆船の乾舷決定の尺度としては、予備浮力が適していることは前に述べたことであるが、このためには見かけ深さについて調べる必要がある。第76図は L と $\%D$ の関係図であり、 $\%$ は各船型についてばらばらであつて統一されていない。これに対して第77図の L と $\%D$ は各船型ごとによくまとまり、船型[I], [II]すなわち内海周辺地区では $\%D = 4.5 \sim 7$ 、平均して $\%D = 5.5$ のもつと、船型[III]の $\%D = 8 \sim 11$ 、平均して $\%D = 9$ の沿岸型の機帆船の二群に分離される。また両群とも L が大きくなると $\%D$ はわずかに減少の傾向を示すが、縦強度保持上当然のことであろう。このように $\%D$ からみれば船型はただ二つに大別しうることになり、 D の上端点に関係なく船体実質部分についてのみ注目すればよいことになりまことに好都合である。以上を念頭において以下のように乾舷を求めてみる。

A. 沿岸型機帆船の乾舷

次の原則による

1. 船構、舷弧の修正は行なわない、

- ロ. 平甲板船としてウ修正も考えない、
- ハ. 現行木造汽船についての規則による計算値よりも小さくならないこと。ただし規則の適用にあたり、重構船として扱い、肥せき度は第3章の結果から0.74とする、
- ニ. また前述の実際乾舷および沈船の乾舷を参考にしつつ D/L の修正を考える。

船の予備浮力を一定にする条件は、 d/D をある一定値にすることと同等と仮定して、 $d/D = 1/11$ の船と予備浮力が同等になるように他の d/D における乾舷を決めるようにする。

$D/L = 1/11$ において $d/D = k$ であるように乾舷 F_L を考えると

$$\begin{aligned}
 F_L &= (1-k)D \\
 &= (1-k) \frac{L}{11} \quad (m) \quad (7-1)
 \end{aligned}$$

この場合肥せき度は機帆船群についてはほぼ一定であるから、肥せき度の差による波浪中での船体沈下の差異は考えない。上式に対して $D/L = 1/11$ から外れる D についての修正式 F_D は、

$$\begin{aligned}
 F_D &= C(1-k) \left(\frac{D}{L} - \frac{1}{11} \right) L \\
 &= C(1-k) \left(D - \frac{L}{11} \right) \quad (m) \quad (7-2)
 \end{aligned}$$

C : D の増加分に対する修正係数

(7-1)、(7-2)の和が求める乾舷 F_1 となる

$$\begin{aligned}
 F_i &= F_L + F_D \\
 &= (1 - k) \frac{L}{11} + C(1 - k) \left(D - \frac{L}{11} \right) \\
 &= C_1 L + C_2 \left(D - \frac{L}{11} \right) \quad (m) \quad (7-3)
 \end{aligned}$$

B. 内海型機帆船の乾舷

この船型の中には深さの上端点を中甲板の位置あるいは部分甲板の延長部に求めるものと、舷牆の上面線に定めるものがある。乾舷甲板の位置を上記の個々の場合に従って定めることは、測度上の得失と相補う意味からは合理的なのであるが、船舶の安全上好ましくないことがある。したがってここでは両者を同じように扱い、深さとしては D_0 に注目し、 $4/10$ の修正項において無甲板船の欠点を補うことにする。それとともに倉口部の水密性に対する配慮も加えることも必要と思われる。

次の原則による、

- イ. A. に比べて強度は劣るものとする。ただし B. に含まれる船型相互間に強度上の差はないものとする。
- ロ. 倉口部の閉鎖の不完全さに応じて適当に乾舷を付加させる。
- ハ. その他は A. に準ずる。ただし現行規則の適用に

あたつては、輕構船として扱う。

Aと同じように

$$\begin{aligned} F_L' &= (1 - k') D \\ &= (1 - k') \frac{L}{11} \quad (m) \quad (7-4) \end{aligned}$$

$\frac{D}{L} = \frac{1}{11}$ を標準にとることにより、Dのずれによる修正を大きくして無甲板船の欠点を補う。

$$\begin{aligned} F_0' &= C' (1 - k') \left(\frac{D}{L} - \frac{1}{11} \right) L \\ &= C' (1 - k') \left(D - \frac{L}{11} \right) \quad (m) \quad (7-5) \end{aligned}$$

ゆゑに乾玄 F_2 は

$$\begin{aligned} F_2 &= F_L' + F_0' \\ &= (1 - k') \frac{L}{11} + C' (1 - k') \left(D - \frac{L}{11} \right) \\ &= C_1' L + C_2' \left(D - \frac{L}{11} \right) \quad (m) \quad (7-6) \end{aligned}$$

上記(7-1)、(7-4)における k 、 k' (7-2) (7-5)における C 、 C' を決めれば(7-3)、(7-6)によつて乾玄が与えられる。 C および C' は排水容積曲線の形およびDの増加に伴う浮力増加分のうちどれだけを予備浮力に配分するかによつて決まる。機帆船は相互に類似した船型を持ち、またLの範囲もその上限が30m、下限としては20m程度まで喫水制限の対象とすれば十分であるから、 C 、 C' ともは常数と見なされる。実際には現行木船乾玄の規則を参考にして決定することもできるが、ここでは簡単のため $C = C' = 1$ として、実在船、沈船の乾玄を勘案しながら

ら決定した。第7-3表は(7-3)式および現行法の重構船の場合についての計算結果であり、 F_1 を第7-8図に、 F を第7-5図に示した。これによると沿岸型機帆船には、 $k=0.8$ が適当である。次に(7-6)式および現行法の軽構船の場合についての計算値を、第7-4表に示し、 F' はまた第7-4図に示した。内海型機帆船は無甲板(あるいはそれに近い)構造であつて、強度上から k' は相当小さい値に定めるべきであるが、この点はすでにD/L修正の項で考慮しており、むしろ前節で述べた倉口閉鎖の状況に応じて適当量を(7-6)式に加算すべきである。すなわち(7-6)式は前節i. に定める倉口閉鎖のみに適用し、同節ii. に定める閉鎖に対して適当な乾舷量を(6-7)式に付加する。第7-8図 F_2 およびこれに対して仮に(6-7)式に10%の乾舷を付加した例を示した。第7-4図、第7-8図かう内海型機帆船に対しては $k'=0.70$ とし付加量を10%程度とすれば、倉口閉鎖の不完全な典型である、砂、砂利運搬船の沈没例の乾舷の上限を越える値を与える。

以上(7-3)、(7-6)両式の与える乾舷は、実在船の乾舷と照し合はせても、はなはだしく経済性を失ふことはいない。

C. 付帯条件

喫水制限が真に効果を持つためには、次の条件が満たされなければならない、すなわち

条件 i. 倉口閉鎖の条件

第7章、第2節に規定する i. の形式のもの
(写真7-7)を標準とする。

条件之. 防水、排水設備および構造

a. 機関室前端隔壁の水どめ構造

b. 独立動力排水ポンプを少なくとも2台
配し、いずれも機関室に設置する。

である。

7-4 その他の対策

機帆船の船型に基づく欠陥はある程度宿命的なものであり、これを改良することは困難である。ここでは本研究の範囲内で判明した、上記以外の安全対策を列挙する。

i. 専用船の促進——動揺性、復原性およびトリム観点から、貨物の個性に合った船が望ましい。

之汽船登録の促進——現存機帆船が、ただ検査のためのみに帆装する事実と、汽船とすることにより具備されるべき設備が航海の安全のためであることを想起すれば、本論文の主旨より汽船登録を促進すべきであると考える。

第7-1表 排水ポンプ保有状況⁴⁾
(総数433隻)

排水ポンプの種類	L < 20 ^m		20 ^m ≤ L < 30 ^m	
	隻数	比率%	隻数	比率%
(主)	6	4.3	11	3.7
(主)(独)	18	12.9	81	27.6
(主)(独)(手)	77	55.4	164	55.8
(独)	5	3.6	7	2.4
(独)(手)	7	5.0	21	7.1
(手)	2	1.5	0	0
(主)(手)	24	17.3	10	3.4
計	139	100	294	100

記号：(主) 主機直結駆動排水ポンプ
(独) 独立動力排水ポンプ、(手) 手動排水ポンプ

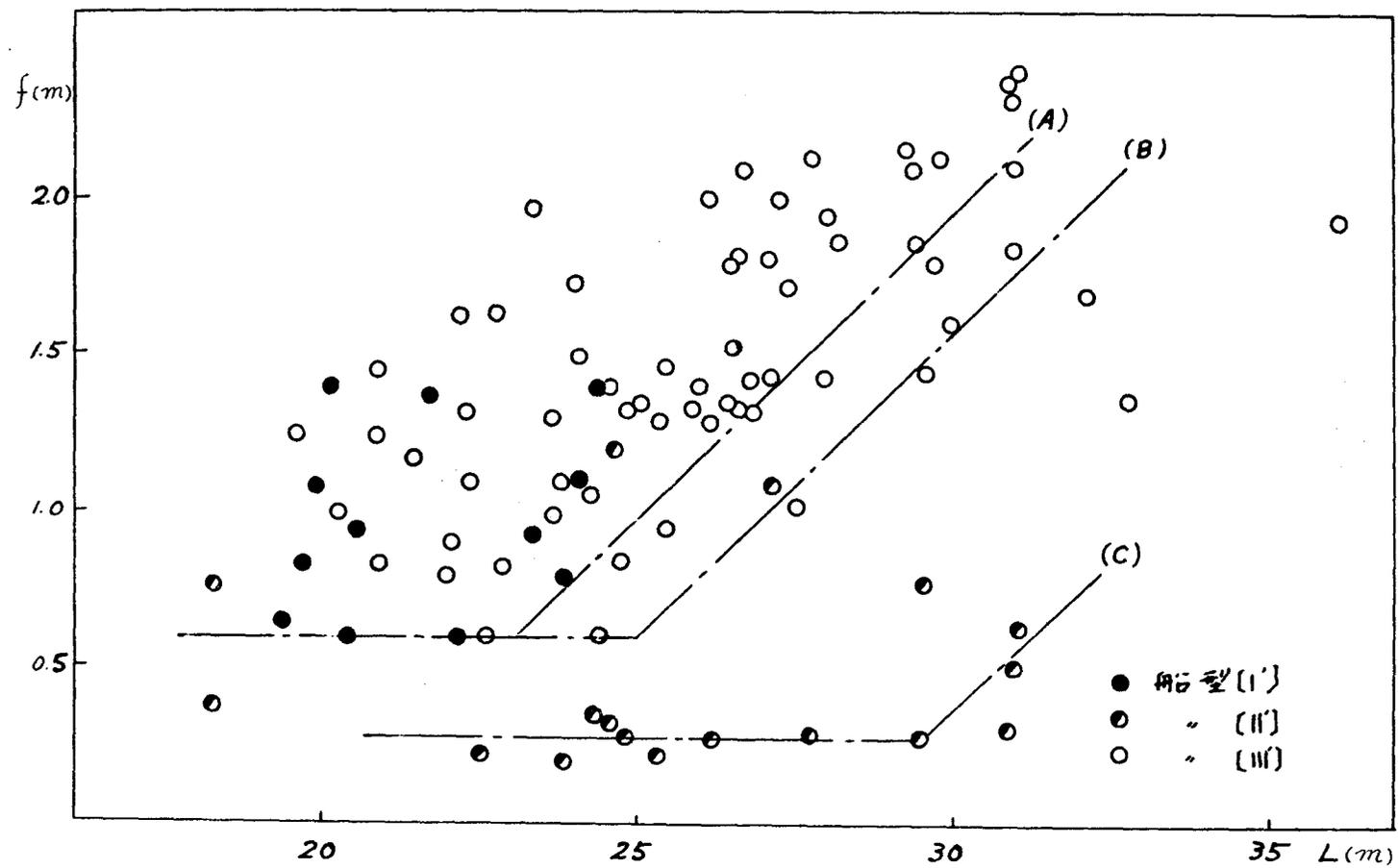
第7-2表 独立動力排水ポンプ装備状況

(1)

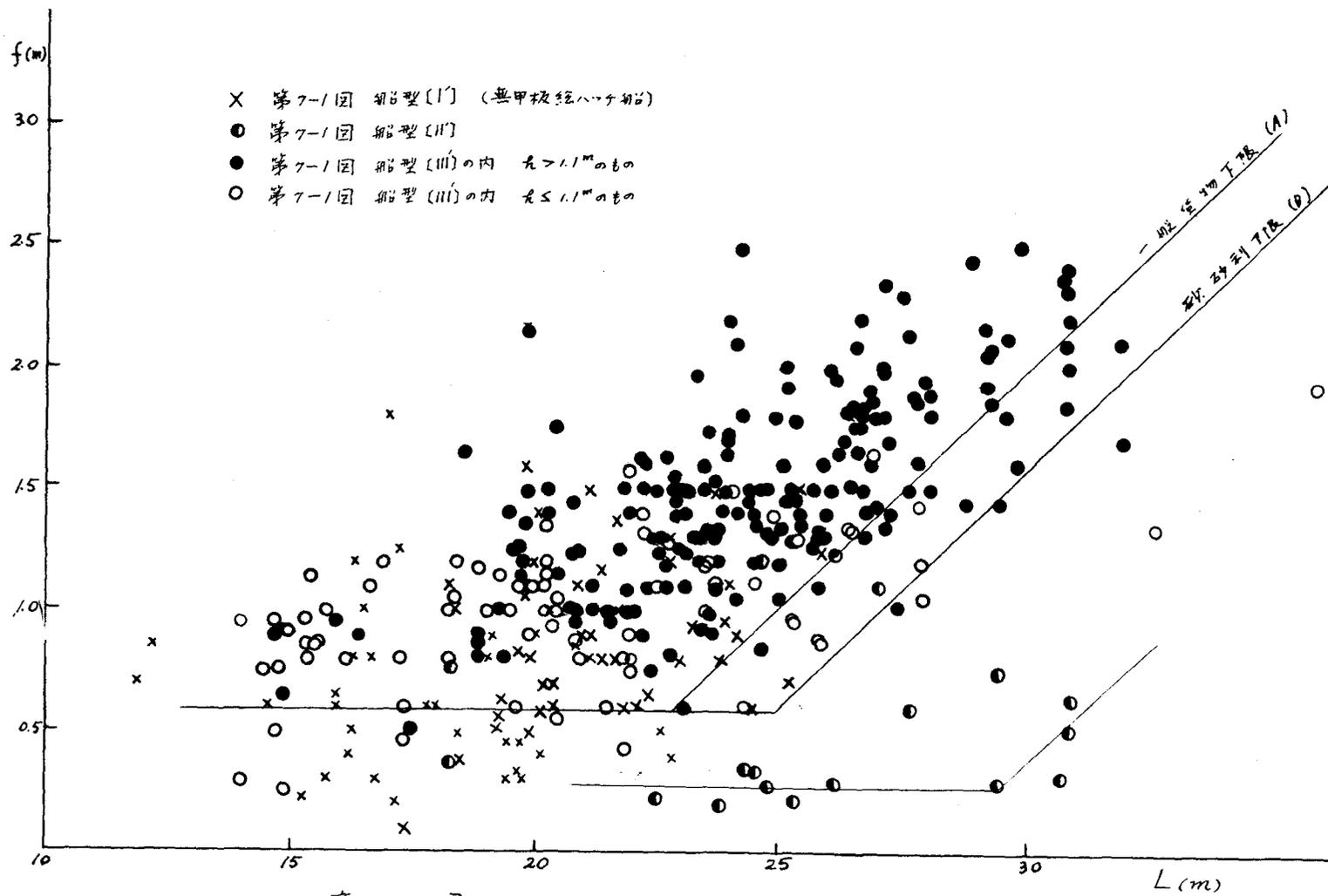
	隻数	比率%
独立動力排水ポンプあり	960	87.6
同上なし	214	18.2
不明	2	0.2
計	1176	100

(2)

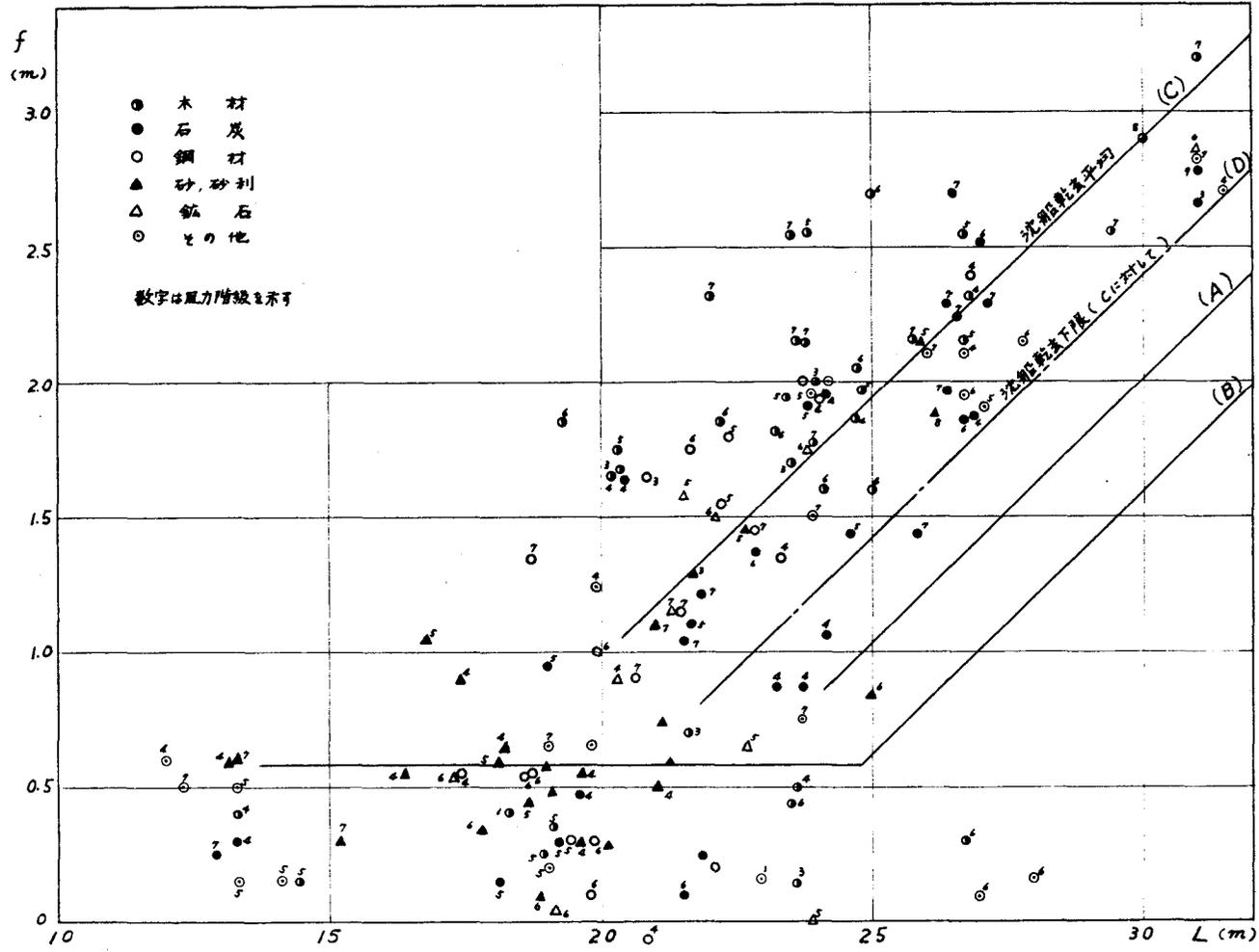
	隻数	比率%
独立動力排水ポンプ1台のもの	747	77.8
2台のもの	207	21.6
3台のもの	6	0.6
計	960	100



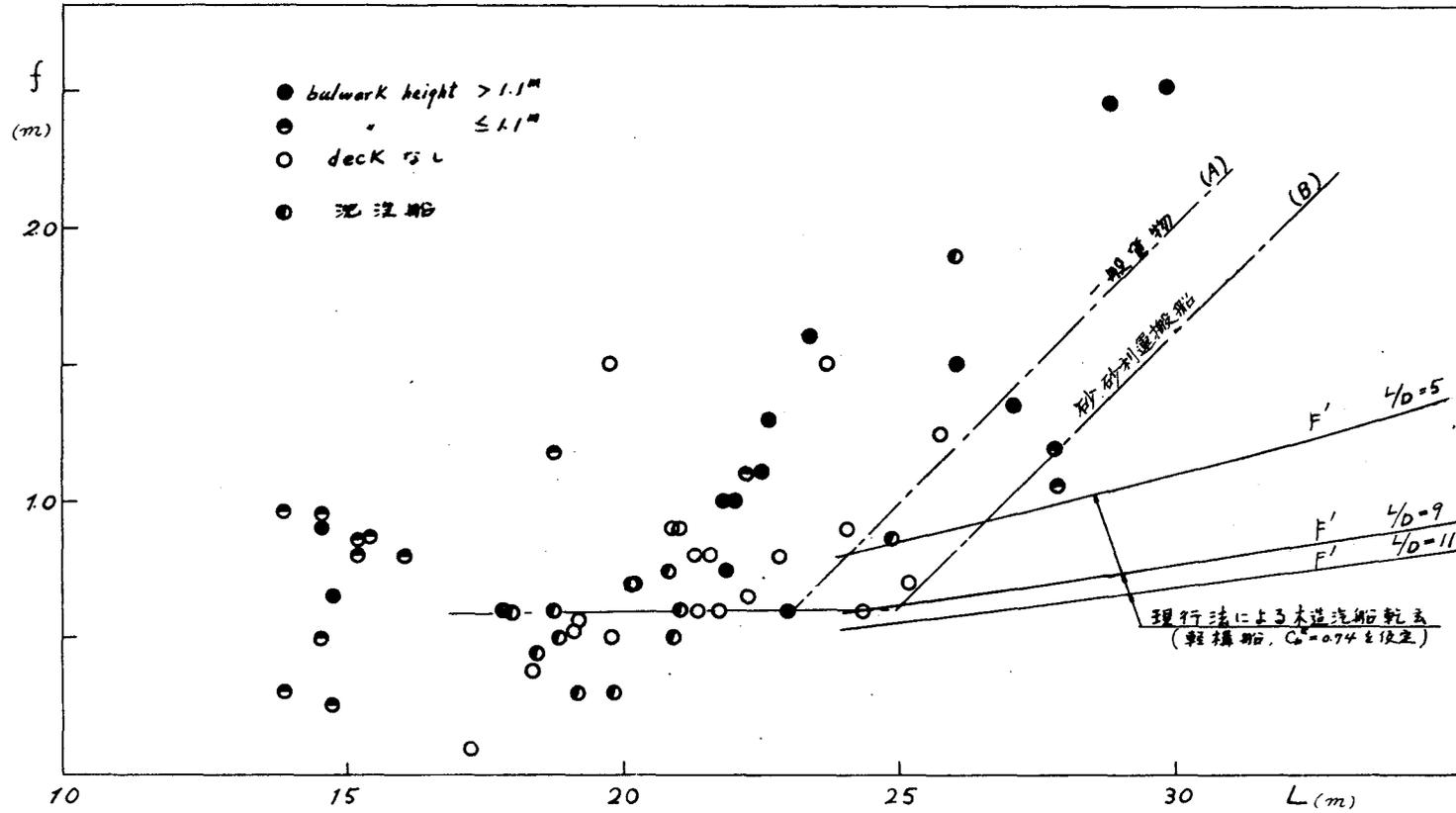
第7-1図 実船の乾玄(1)



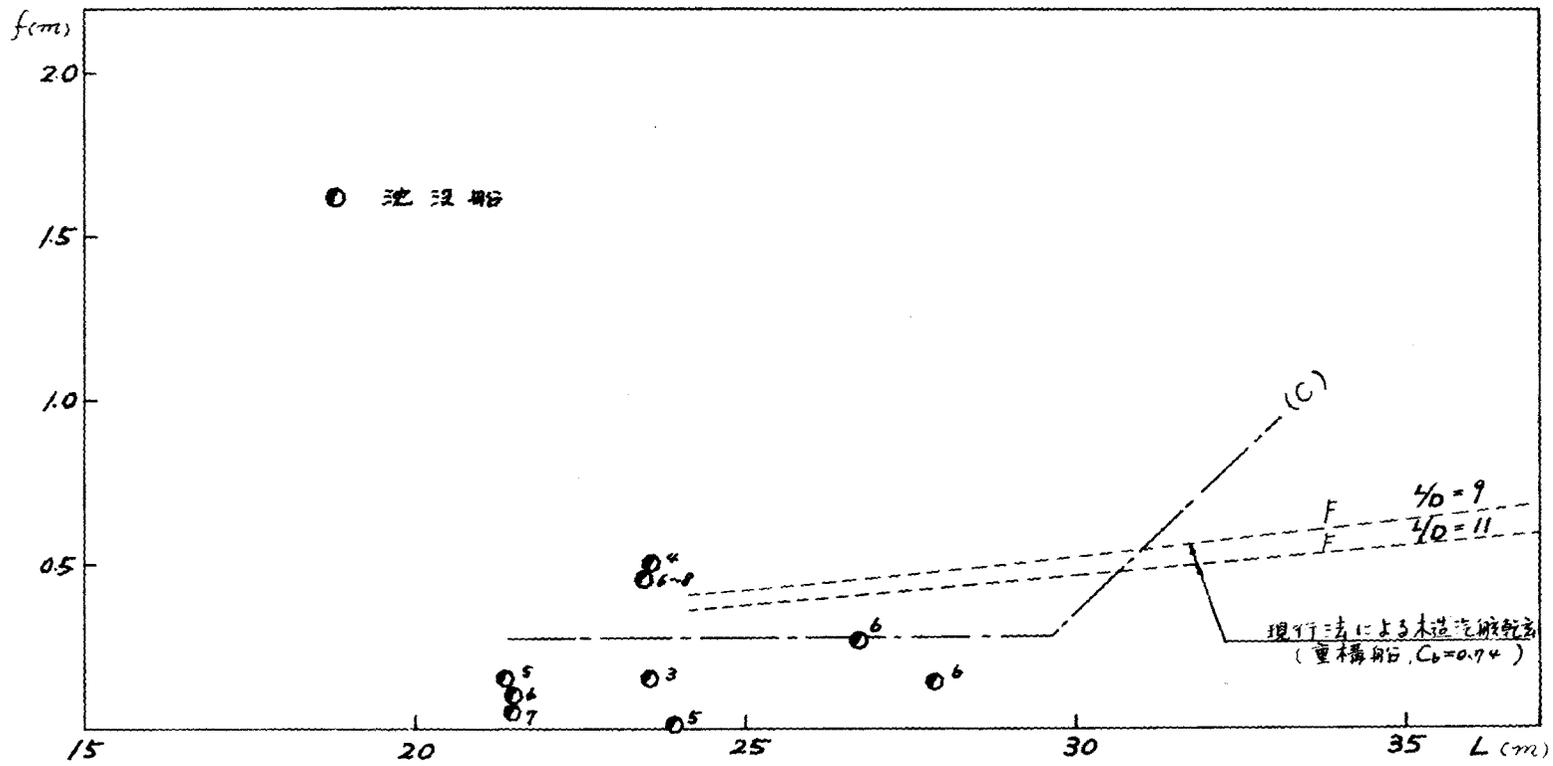
第7-2図 実船の乾舷 (2)



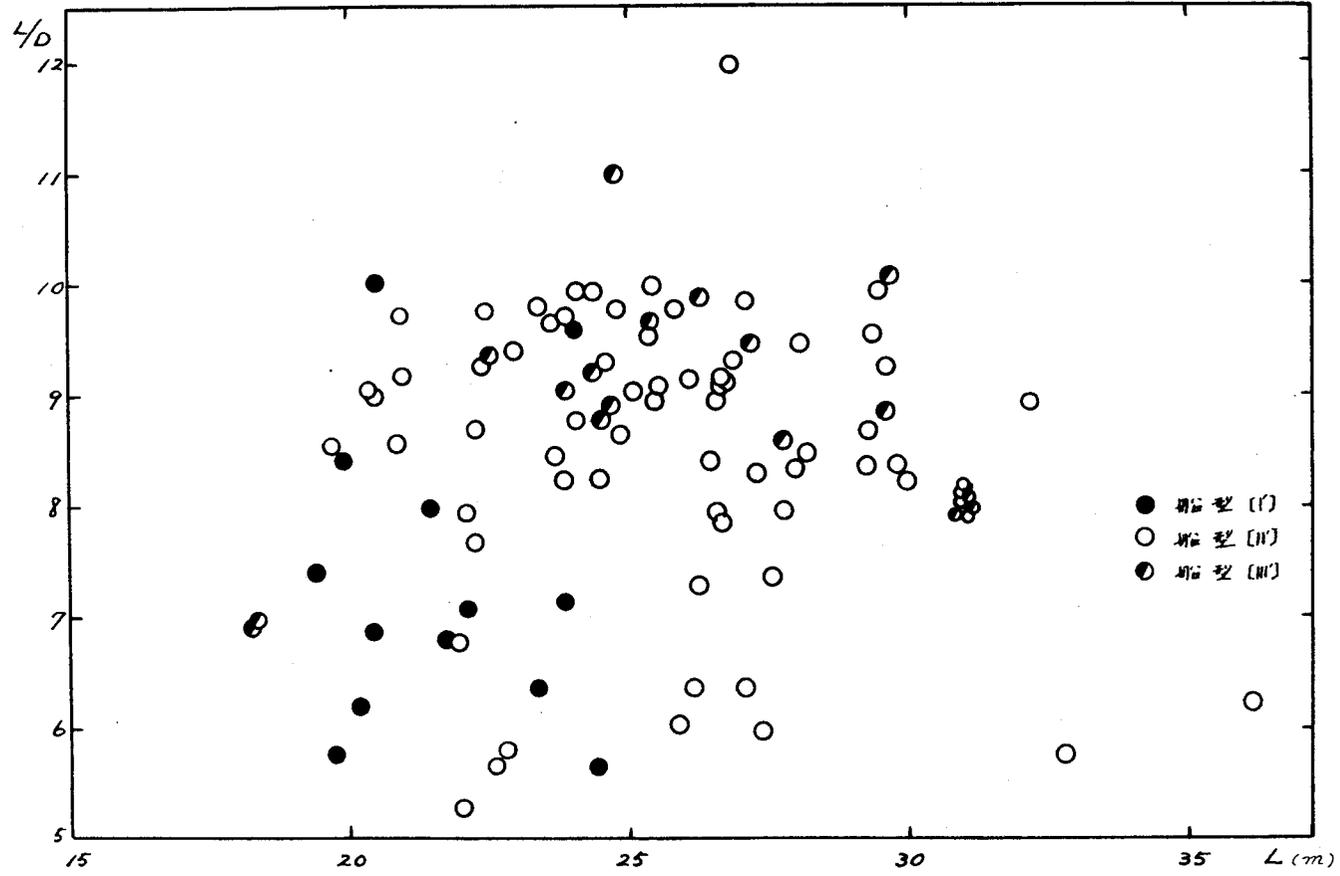
第7-3図 沈船の乾法(推定値)



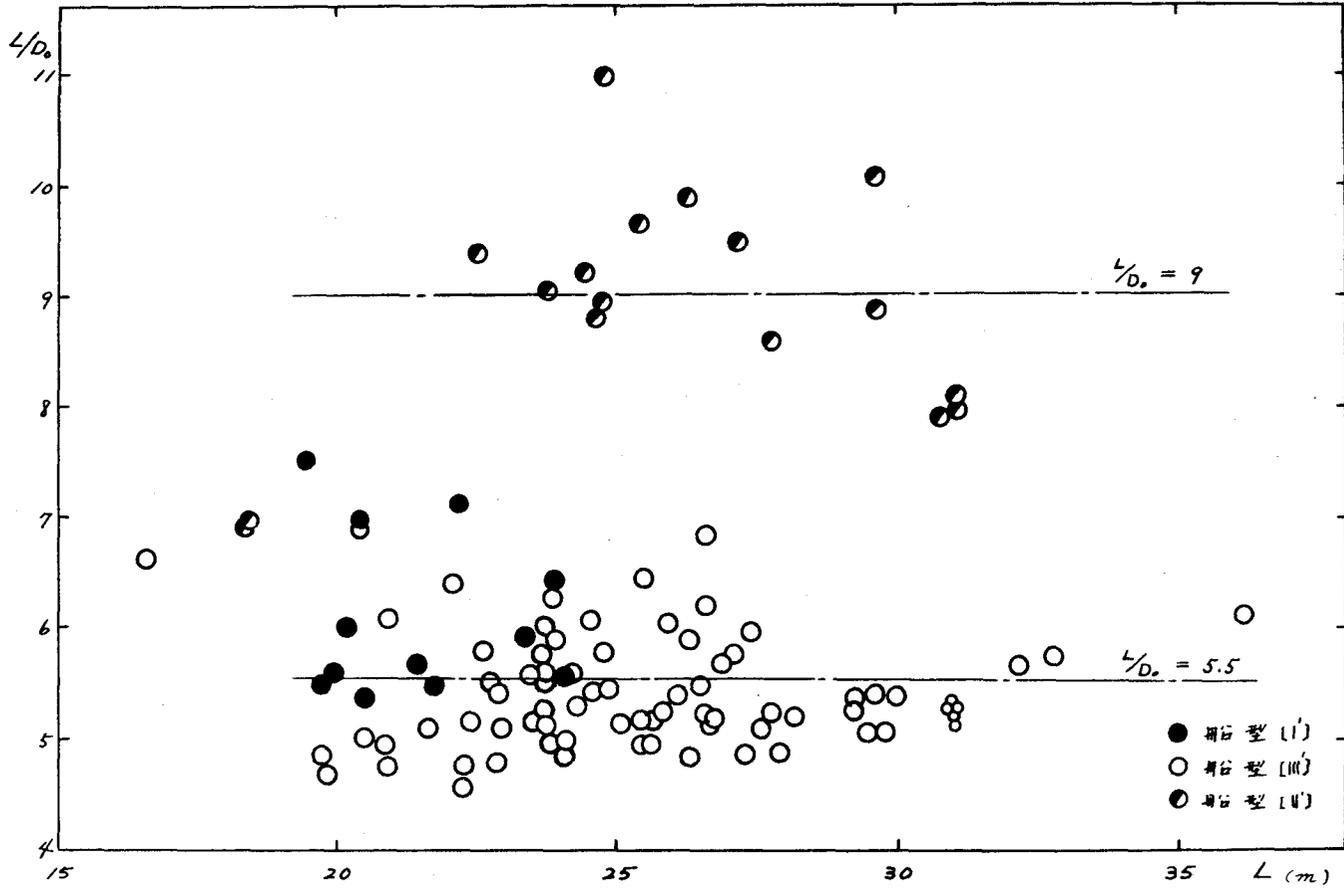
第7-4図 砂、砂利運搬船の乾玄



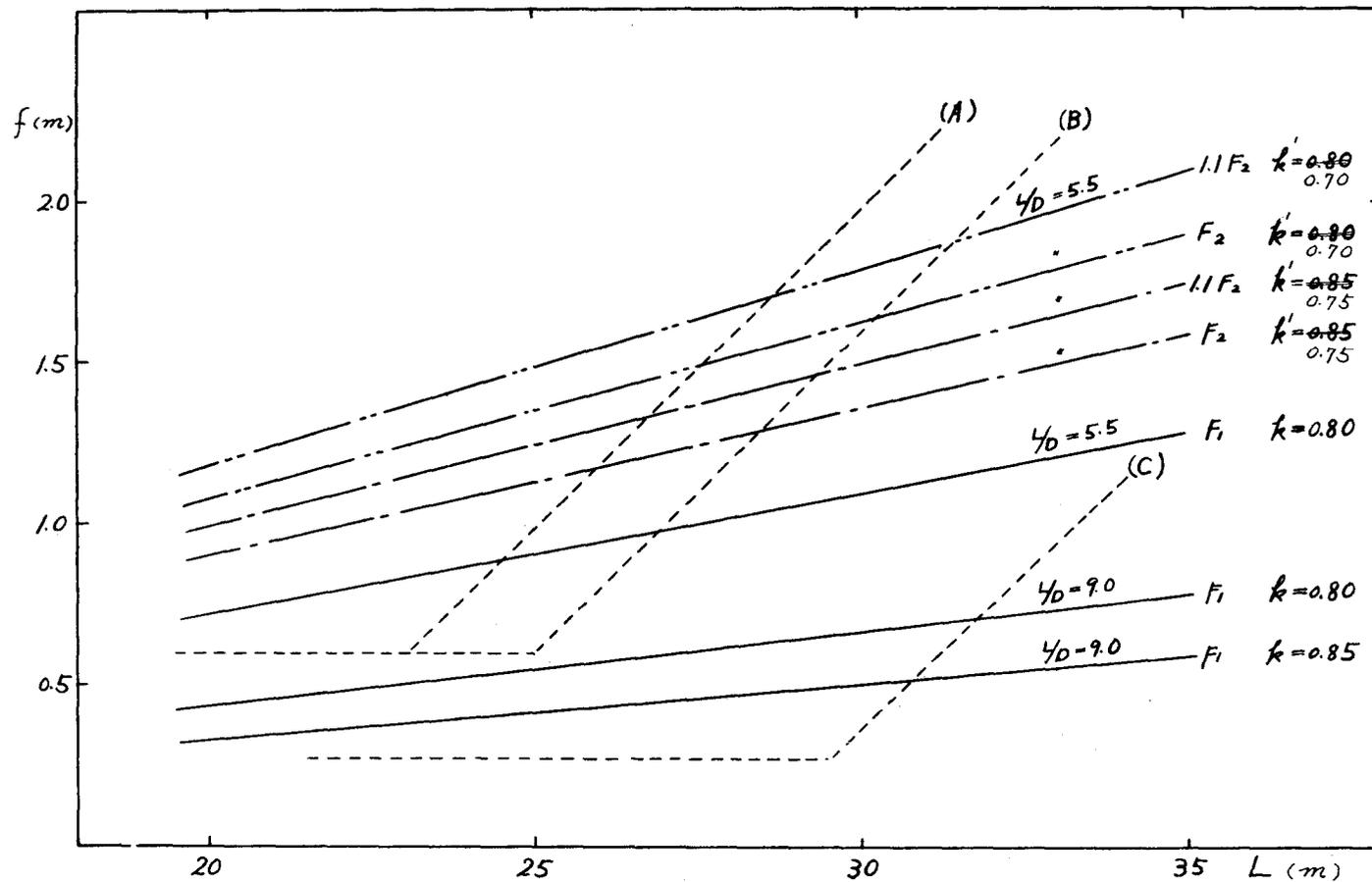
第7-5図 沿岸航行船の乾舷



第7-6図 L/D と L



第7-7图 L/D_0 と L



第7-8回 計算式による乾玄

第 8 章 総 括

多数の海難資料について機帆船海難を統計的に説明するとともに、造船学的にみたその運航実態を調査した。さらに実船および模型船によつてその船型の特性を研究し、海難の要因である就航海面の波浪の状況を調べて、本研究の基礎資料を整え、これらを用いて海難資料を運動学的に解析し、機帆船海難の機構およびその過程を解明した。さらに以上の結論によつて、機帆船の安全性に対する具体的提案を行なつた。いまこれらの結果を総括すると以下のようなになる。

第1章では内航海運に占める機帆船の地位の主要性とその現況を簡単に説明するとともに、安全性についての研究の必要性を説いた。次に機帆船問題研究の障害となつてゐる種々の錯誤の遠因を、船の発展の歴史を紹介しつゝ明らかにした。

第2章では従来の船舶の分類方法を機帆船に適用した場合の不都合さを指摘し、政府統計における機帆船の扱いについて比較した。最後に本研究に即した現実的な機帆船の定義を提出した。

第3章では本研究の基礎となる機帆船型の特徴および性質を統計的にまた実験的に明らかにした。すなわち

- i 造船地および実船調査結果より、主として内海型機帆船を4船型に分類した。これによつて従

来機帆船研究の障害であつた、船型およびこれに付属する構造上の不明確な点を除いた、また以上の結果から、深さの定義について論じた。

2. 船の大きさを表わす尺度、 L 、 GT 、 $L \cdot B \cdot D$ 相互間の関係を (1-1)、(1-2)、(1-3) 式によつて与えた。上式は、正確な船型の資料を全く欠く機帆船の載貨容積の基準として、本研究では用いた。
3. 主要寸法比 L/B 、 L/D とくに L/B について実船における分布を考察し、 L/B の範囲を $3.5 \leq L/B < 4.1$ に限ることにより、“機帆船型”を定義した。この定義の妥当性は、資料船 11 隻についての計算によつて確かめられた。
4. “機帆船型”の特性をさらに調べるため、1 隻の模型船について実験を行ない、次の諸点が明らかになされた。すなわち
 1. 横揺抵抗は大きい。これは同じような寸法比、大きさの小型鋼船模型の実験結果と比べると明らかである。
 2. 満載状態ではやや進路不安定であり、しかも船首トリムになると、進路不安定になる。
5. 実船について多数の横揺周期の実測を行ない、類似船型の考案により、これを喫水と $stowage$ factor 別に整理し、実船の横揺周期および GM_T

推定の糸口を開いた。

6. 2隻の実船について操縦性実験を行なったが、進路不安定と断定するに足る結果は得られない。これは実船の $Ax/L \cdot dm$ が大きいからである。したがって舵面積をこのまま認めるとすれば、操舵設備上の諸問題、操舵速度が問題となる。

7. 縦揺周期を推定する近似式を求めた。

以上によつて機帆船の安全性を論ずるために必要な最小限の基礎資料が整った。

第4章では運航の現状を政府統計によつて考察するとともに、右記なアンケート調査を実施し、造船学的にみた運航上の諸問題を抽出し、これを吟味した。

就航時の喫水および乾舷について多数の実船調査を行ない、前者については(4-1)、(4-2)、(4-3)式、後者については第4-10図の重要な関係を得た。この結果貨物積載量と喫水および乾舷の関係が統計的に明らかになり、第3章の結果とともに、海難当時の船舶の状況を正しく把握できることになった。

第5章では波浪計測の結果をまとめた。内海における代表的水域である播磨灘における波浪の性質は、風速12~13mまでの範囲では、次のようになる

1. この水域の波浪は風とともにきわめて短時間には消長する。

2. 見かけの波は、次の特徴を持つ、すなわち
 - イ. 周期したがつて波長は短く、3時間程度吹続した後でも、機帆船の長さと同等である。
また周期は縦揺固有周期にほとんど一致し、ある積付状態での横揺固有周期に近い値となる。
 - ロ. 波高は風速の量率に比例し、大洋における発達した波との間に表現状差異がある。
 - ハ. 岨度は最大波高に対して0.06程度になる。
3. パワースペクトラムから求めた波高、周期の統計的期待値は、前項の結果とよく一致した。
大洋における十分に発達したパワースペクトラムとの間には差異がある。その原因は内海における波の現状が吹送距離に強く支配されているからであろう。

以上の結果この水域の波浪が機帆船海難の原因として、十分なり得ることが判明した。

第6章では機帆船の海難数、内容およびその特徴を政府統計によつて考察し、機帆船の海難が内海周辺において多発し、その内容は他船種のそれと異なる傾向を持つことを指摘した。またこれが機帆船独特の船型に基づく特性と、さらに構造および設備上の欠陥によることを後段で明らかにした。

次に沈没等重大海難192例について前章までの結果を

を用いてその海難過程の運動学的解析を行なった。この解析によつて機帆船海難の実態が次のように明らかになった。すなわち

i. 機帆船海難の外因である気象、海象のうち、特に問題になるのは内海における波浪であり、その周期は機帆船の固有動搖周期と同程度となり、耐航性上好ましくない。また海難は浅水および潮流のある地点での特殊な波浪によつても、多く引き起こされる。特に後者についてはその発生原因が複雑な海底地形の影響を受けることが強く、今後の究明が待たれる。

ii. 機帆船海難の過程として二つの定形を認めたとすなわち、第一に波浪の打込み、主機停止に続いて沈没する過程であり、大部分の海難船はこの過程をたどる。これは持続的な海水打込みによるものであり、その主因は不完全な倉口閉鎖装置によることが明らかになった。このことは第6-6-1~6-6-3図における沈没経過時間図によつてよく説明された。第二に主機停止がなく、さきわめて短時間に沈没する過程があり、横揺角度の確率的考察の結果から、これが何揺れか一つの大量の海水打込みがあるいは荷崩れによることが明らかになった。

3. 艀が過小であり、そのため耐航性がはなはだしく劣っている。すなわち
- イ. 横揺周期が短い、特に重貨物積載時には問題である。さきに述べたように内海の波浪周期と同程度になることもある。
 - ロ. 縦揺周期が横揺周期に接近する。このため波浪中の操船が困難となり、波浪の打込みが助長される。
 - ハ. 進路安定性が劣るため、追波中の操船が困難となり、いわゆる *broaching* による海難の原因となる。
- ニ. イ～ハの総合的結果として、内海水域での機帆船の耐航性について定性的解析がなされ、統計の示す海難の傾向の特徴が定性的に証明された。
4. 復原力はおおむね十分である。しかしながら波浪中の横揺角の計算例によつて、舷側から海水打込みをすする確率の小さくないことが示され、現存機帆船の乾舷は必ずしも十分でないことが確認された。

第7章では第6章における結論に沿つて、次の安全対策を提案した。すなわち

- i. 打込み海水を有効に排出し、海難を小規模に止めるために、次の改善を提案した
 - イ. 機関室前端壁の水密化、
 - ロ. 排水ポンプの増強とその配置の指定およびこれに伴う管系の合理的な配置。
 2. 開口の開鎖条件を指定し、内海型機帆船の標準開鎖方法として、ハッチボード、ターポリンおよびバツテンを用い、また倉口梁の設置を推した。
- 以上 i. 2 は次に述べる喫水制限の付帯条件とした。
3. 喫水制限を予備浮力の考へに基づいて提案した。すなわち L および $\frac{1}{2}L$ の修正を骨子とした。乾舷案 (7-3), (7-6) 式をそれぞれ沿岸型、内海型機帆船に附して与えた。
 4. その他の対策として、専用船化、汽船登録の促進について述べた。

機帆船の海難原因は、その大部分が船型に基づく宿命的なものとはいへ、以上の諸提案が船の安全性の向上を計る上で有効なことは、本論の所説によつて明らかであろう。

結 言

内航海運の分野において今回重要な役割を果たしつつある機帆船は、誕生以来今日までその安全性に関して、徹底した研究を受けていない。著者は機帆船の安全性の研究が、多数の海難の発生を抑制し、人命財産を被害から守るためにも、またその船質の改良、さうには、機帆船が近代化して鋼製小型船に脱皮するためにも、必要なことを認め、多数の実船あるいは海難船の資料を解析し、その海難過程の特徴と船型との間の不可分の関係を指摘するとともに、実船の乾舷および沈船乾舷の推定値に徴して、安全性確保のための喫水制限案を提示した。本提案およびこれに付帯した装備上の諸条件が、機帆船の安全性の向上に寄与するところは大きいと思われる。

最後に本研究に当たり、叩激励、叩支援を賜わった、大阪大学工学部造船学科の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

また長期にわたる本研究中、始終御指導、御教示を賜わった大阪府立大学岩佐要介、菱田敏男両教授に厚く御礼申し上げます。

資料および文献

- (1) 運輸省 運輸白書 (昭和40年度).
- (2) 運輸省 海運白書 (昭和35~40年度).
- (3) 鈴木 登 「小型船海運組合と機帆船の現状」
日本海事図書出版、昭和32年.
- (4) 田口賢士 「機帆船の運航状態に関する調査」
大阪府立大学、船舶工学科、昭和40年.
(実船1,176隻についての調査報告)
- (5) 海上保安庁 要救助海難統計の考察 (昭和32~40年度).
- (6) 野本謙作 「船の操縦性」
操縦性シンポジウム、造船協会、
昭和39年6月.
- (7) 岩佐英介
田口賢士
池田勝
外山嵩 「内海の機帆船—その運航状態と安全に
ついて(1)」
造船協会論文集、第109号、昭和36年6月.
- (8) 田口賢士
外山嵩 同上(3)
造船協会論文集、第113号、昭和38年6月.
- (9) 関西造船協会 造船設計便覧、P312.
- (10) 村田良雄
多田納又義 「小型鋼船の進路不安定とその対策」
関西造船協会誌、第113号、昭和39年5月.
- (11) 湯地輝雄
竹鼻三雄
渡辺梅太郎 「木船強度の一考察」
造船協会論文集、第100号、昭和32年2月.

- (12) 日本造船工業会 「木造貨物船設計用資料集」
木造貨物船設計用
資料作成委員会 昭和39年3月。
(著者も委員として参画した)
- (13) 元良誠三 「船体運動に対する附加質量および附加
慣性モーメント(その4)」
造船協会論文集、第107号、昭和35年7月。
- (14) J. Darbyshire "The Generation of Waves by Wind"
Pro. of The Roy. Soc. (A), 215, 1953.
- (15) 久保時夫 「スペクトルの概念による大洋の波の予
報」
気象研究ノート、第10巻、第2号、1959.
- (16) G. Neumann & W. J. Pierson "A Comparison of Various Theoretical
Wave Spectrum"
Pro. Symposium on The Behaviour of
Ship in a Seaway vol. 1, 1957.
- (17) National Academy "Ocean Wave Spectra"
of Science
Prentice Hall, 1963.
- (18) 谷口 中 「吊り下げ型波高計について」
西部造船会会報、第16号、昭和33年10月。
- (19) 田口賢士 外山 嵩 「内海における航路付近の波浪について(1)
—主として播磨灘における調査結果—」
造船協会論文集、第120号、昭和41年12月。

- (20) 山内保文 「応答理論と船体運動」
海洋波と船舶、造船協会、昭和36年6月
- (21) 山内保文 「波浪中船の応答特性の統計的解析に關する二、三の考察」
造船協会論文集、第117号、昭和40年6月
- (22) D.E. Cartwright & M.S. Longuet-Higgins "The Statistical Distribution of The Maxima of A Random Function"
Pro. of the Roy. Soc. (A), 237, 1956.
- (23) Willard J. Pierson & Lionel Moskowitz "A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii"
Journal of Geophysical Research
vol. 69, No. 24, 1964.
- (24) 神戸海洋気象台 瀬戸内海の海上気象に關する以下の報告;
神戸海洋気象台彙報 No.166号、昭和36年3月。
同 No.168号、昭和37年2月。
同 No.172号、昭和39年3月。
- (25) 柴田淑次 「海上気象と天気図」
海文堂、昭和36年。
- (26) 松平康雄 吉沢 博 「瀬戸内海の潮汐について」
広島大学水畜産学部研究報告、vol. 2, No. 2, 1959