

本研究は、モーター・ボード競走公益資金による  
(財)日本船舶振興会の補助金を受けて実施したものである

第204研究部会  
中小型碎氷船に関する調査研究  
報告書

平成元年3月

社団法人  
日本造船研究協会

## はしがき

本報告書は、日本船舶振興会昭和62～63年度補助事業として日本造船研究協会第204研究部会において実施した「中小型碎氷船に関する調査研究」の成果をとりまとめたものである。

### 第204研究部会委員会名簿

(敬称略、順不同)

部会長	北川 弘光 (船舶技術研究所)	
委員	佐々木 博通 (海上技術安全局)	佐伯 浩 (北海道大学)
	不島 元節 (海上保安大学校)	池田 英治 (海上保安大学校)
	門井 弘行 (船舶技術研究所)	藤井 嶽 (日本造船技術センタ)
	日笠 则明 (日本海事協会) (津嘉山 朝邦)	上村 貞夫 (日本中型造船工業会)
	赤井 謙一 (日本鋼管)	成田 秀明 (日本鋼管)
	木村 峻久 (石川島播磨重工業)	吉海 研 (石川島播磨重工業)
関係官庁	大島 寛 (海上技術安全局)	福士 久人 (海上技術安全局)
	中島 英典 (海上保安庁) (関 開人)	藤井 俊樹 (海上保安庁)
	陣内 快郎 (海上保安庁)	小林 秀次 (海上保安庁)

( ) 内前任者

### 第204研究部会作業分科会名簿

(敬称略、順不同)

部会長	北川 弘光 (船舶技術研究所)	
	門井 弘行 (船舶技術研究所)	藤井 嶽 (日本造船技術センタ)
	赤井 謙一 (日本鋼管)	成田 秀明 (日本鋼管)
	木村 峻久 (石川島播磨重工業)	吉海 研 (石川島播磨重工業)
関係官庁	大島 寛 (海上技術安全局)	福士 久人 (海上技術安全局)
	中島 英典 (海上保安庁) (関 開人)	藤井 俊樹 (海上保安庁)

( ) 内前任者

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 中小型碎氷船の設計仕様と船型 .....	2
2.1 一 般 .....	2
2.2 軽量型碎氷船 .....	3
2.3 小型碎氷船 .....	8
2.4 中型碎氷船 .....	13
2.4.1 $L/B = 5.59$ .....	13
2.4.2 $L/B = 6.03$ .....	25
3. 中小型碎氷船の水槽試験 .....	35
3.1 模型船の製作 .....	35
3.1.1 模 型 船 .....	35
3.1.2 模型船の塗装 .....	35
3.2 平水中試験 .....	36
3.2.1 試 験 状 態 .....	36
3.2.2 抵 抗 試 験 .....	39
3.2.3 自 航 試 験 .....	39
3.3 波浪中試験 .....	55
3.3.1 試 験 状 態 .....	55
3.3.2 スラスト等 .....	55
3.3.3 船 体 運 動 .....	56
3.3.4 船首相対水位と海水打ち込み .....	56
3.4 氷 中 試 験 .....	64
3.4.1 試 験 状 態 .....	64
3.4.2 平坦氷中の抵抗試験 .....	65
3.4.3 流氷中の抵抗試験 .....	66
3.4.4 平坦氷中の自航試験 .....	66
4. 中小型碎氷船の総合性能の検討 .....	99
5. 結 言 .....	101
付 錄 1. ....	102
付 錄 2. ....	108

## 1. 緒 言

ここ数年、北極域での科学観測の計画が急速に進みつつあり、我が国北方海域についても、その一環としてグローバルな観点からの調査が企画・検討されている。海氷の消長が局所的さらには地球規模での気象に及ぼす影響が認識されており、極域およびその周辺の冰縁海域（マージナル・ゾーン）での気象・海象の調査研究にあたっては、これらの氷海域を航行し得る船舶が必須であることから、これらの船舶の設計・建造法の研究が要請されている。

また一方で、極域に豊富に賦存する天然資源の探査、開発利用のための氷海船舶の開発研究は別としても、周辺海域での様々な海産物の採取利用、これらの高緯度地域における海上輸送量の増大などにより、冰縁海域での就航に適した船舶の開発研究が望まれている。

我が国においても、北海道北東海域は冬期流氷等に覆われて、中小様々な船舶の航行が阻害され、時として人命損失にも及ぶ海難事故を見ることがある。また、沖合の流氷域に加えて、結氷により港湾の機能を失い、冬期における経済活動を停滞させることから、これらの事態に対処し得る船舶の研究開発が必要とされている。

冰縁海域で運航される船舶は、巨大船は希であり、中小型船舶であること、冬期の氷海航行性能のみならず無氷期における平水中及び荒天時の性能が重要であることから、これらの船舶の開発には極域用碎氷型船舶とは別種の技術的課題がある。即ち、船型上では、一般に、碎氷性能と平水・波浪中性能とを同時に最適化することは至難であり、両者の見合いを具体的にどう扱うかが問題となる。

さらに、冰縁海域では、多くの場合、船体着氷が問題となる。船体着氷は中小型船舶にあっては、厳しい現象であり、着氷により復原力を失い転覆に至る危険がある。これらの船舶の船体着氷は、その殆どが飛沫着氷であり、船首部水線上下の船型が、着氷の因となる飛沫発生に対して優れたものであることも必要となる。

従って、冰縁海域を航行する船舶にあっては、極域の大型碎氷船とは本質的に異なる設計条件の下で船型が検討され、設計が行われなければならないが、このような観点から、中小型碎氷船の設計・建造技術が検討された事例は殆どないのが実情である。

本委員会では、冰縁海域で運航される中小型碎氷船の設計・建造技術を確立するための基礎資料を得ることを目的として、2年に亘る調査・研究を行った。

そこで、前年度においては、これらを、設計思想を異にする、中型、小型及び軽量型の3船種に分け、流氷海域の気象、海象調査、港湾条件および運航実態の調査結果を参照して、それぞれについて設計仕様の検討を行った。

本年度においては、前年度の成果を踏まえて、船型、一般配置、機関、諸性能等の検討を行い、線図を作成し、模型船（2隻）及び模型プロペラ（2組）を製作した。これらの模型船について、平水中、規則波中及び氷中の試験を行い、その性能を検討し、さらにこれらの検討結果を基礎として、中小型碎氷船の総合性能の検討を行った。

## 2. 中小型碎氷船の設計仕様と船型

### 2.1 一般

一般に碎氷船の設計検討を行う場合には、設計条件の設定が極めて重要である。設計条件の僅かな差異が船型、構造、一般配置の決定にかなりの影響を与えることがある。

中小型碎氷船を便宜上、総トン数により下記のように区分する。

中型碎氷船	1,000トン程度
小型碎氷船	500トン程度
軽量型碎氷船	130トン程度

#### (1) 気象条件

気温条件等を下記のように定める。

外気温度（冬）	-25℃
外気温度（夏）	35℃
海水温度（冬）	-2℃
海水温度（夏）	30℃
湿度（冬）	70%
湿度（夏）	60%

#### (2) 風、波浪

前年度の調査結果を参考とする。

#### (3) 氷況条件

氷況条件については、氷縁海域を主体に考え、平坦氷及び流水域とする。

##### a) 氷 厚

平坦氷氷厚は下記の通りとする。

	中型碎氷船	小型碎氷船	軽量型碎氷船
構造強度上	1.0 m	1.0 m	0.5 m
限界碎氷力	1.0 m	0.7 m	0.3 m
連続碎氷力	0.6 m	0.45 m	0.1 m

##### b) 氷 丘 脈

氷丘脈遭遇頻度については、特に考慮はしない。ただし、典型的なものの一例について、氷丘脈通過時の問題を検討する。

氷丘脈形状は下記の通りとする。

$$H_s : H_k : B : B_s = 1 : 2 : 5 : 2.5$$

なる寸法比の氷丘を考え、 $H_k$  の値として

	中型碎氷船	小型碎氷船
$H_k (m)$	4.0	3.0

を探るものとする。

ただし、 $H_s$  はセール高さ、 $H_k$  はキール深さ、 $B$  は氷丘幅、 $B_s$  はセール幅である。

### c) 氷 強 度

圧縮強度  $1.5 \text{ kg} / \text{sq. cm}$

曲げ強度  $5 \text{ kg} / \text{sq. cm}$

### (4) 船型条件等

中小型砕氷船について詳細な検討を行うためには、検討対象を特定する必要がある。ただし、対象船舶は、砕氷型船舶として最も代表的なものであり、調査検討の結果が最も広範囲に活用できるものでなければならぬ。

様々な砕氷船が現在就役中ではあるが、その大半は、作業船及び沿岸警備にあたる船舶であり、砕氷船および砕氷船に関する研究もこれらの船舶を中心に発展してきたとも言える。従って、このような観点から、対象船としては、作業船及び沿岸警備を主務とする船舶を念頭におくこととする。

## 2.2 軽量型砕氷船

### 2.2.1 用 途

北海道の冬期、氷に閉ざされる海域で、狭隘かつ水深が浅い港湾海域を対象にして定着氷並びに軽度の流氷群に対処できる小回りの効く船舶として軽量型砕氷船の概念策定を前年度行った。これは、航路啓開等の作業を念頭に高速型・中速型・低速型の三種類について検討したが、無氷域での高性能付与のために必要な軽量化と氷中の砕氷・耐氷のための重量増加という設計上相反する要求が存在するために船型的にも相反する傾向になる。これらの基本性能のどの辺りにその妥協点を見つけるのが最も良く本船の目的に合致するかということが一つの論点であった。

確かに1年の10ヶ月近くという大部分が無氷期となる海域にあっては平水中の推進性能がキーポイントである事も十分に理解できるものの、反面たとえ1~2ヶ月という短い結氷・流氷期間であっても氷中性能が不十分では港湾の通年利用が不可能となり地域の生活に十分役立たせることが出来ないという懸念もあり得る。

従って今年度は、平水中の推進性能は高速を狙わずにむしろ氷中での航行性能に重点を置いた低速型に絞って船型の調査・検討を行った。

尚、本船型の使い方としては沿岸での海難救助にも使用し得る船を想定し、氷中では特に小回りの効く操船性能を優先して考える。砕氷能力の面からは、港内が平坦結氷した時には比較的氷厚が小さい段階では連続砕氷による航路啓開を、そして港湾内外に押し寄せた流氷中では比較的小規模の氷板群が集まつた中で（密度6/10程度）氷板と氷板の間を押し分けて航路啓開に当たることを基本構想とする。

従って小規模の氷板群といえども密接度が大きくこれらが互いに接触再結氷して構成される氷原の中に自ら進んで砕氷作業を行うような形態は想定しない。万一このような氷象中での作業を考える時には船体構造、推進系統の耐氷対策の限界を踏まえたうえでのある程度騙し、騙しの操船・運用も止むなしという考え方である。

### 2.2.2 基本性能

前項で挙げたように、港内等に成長する比較的初期段階の定着氷を連続砕氷できること、さらに小型の利を生かして小回りが効く操船性能とそれに見合った耐氷能力を備える事を先ず考える。さらに着氷の原因となる甲板への飛沫の量を極少に押さえるような凌波性も持合わせるようにする。尚、上記のような設計方針に沿う範囲内で可及的良好な船型とし平水中の推進性能の確保につとめる。

以上のこととを踏まえ、前年度に概念把握を行った低速型船型をベースに基本仕様の見直しを行った。

### 2.2.3 軽量型砕氷船の主要目

#### (1) 主要寸法・航行区域など

全 長	約 3 5 m
水線長	3 3.0 m
型 幅	7.0 m
水線幅(常備吃水にて)	7.0 m
型 深	4.3 m
型吃水(計画・常備)	2.6 4 m
排水量(計画・常備)	約 3 3 3 トン
総トン数	約 1 4 0 トン
航行区域	沿 海

#### (2) 主機関

中速ディーゼル × 2 基  
最大出力 1 1 0 0 PS × 1 0 0 0 ( 5 2 0 ) RPM  
常用出力 9 3 5 PS × 9 4 7 ( 4 9 2 ) RPM

#### (3) プロペラ

CPP ノズル付 3 翼 × 2 基, 直径約 1.3 5 m

#### (4) 舵

2 枚

#### (5) 船 速

1 3.3 ノット

( 常用出力, 計画常備にて )

#### (6) 砕氷力

約 0.2 m 厚平坦氷

( 3 ノットにて連続砕氷 )

#### (7) タンク容積

燃料油	約 4 8 m <sup>3</sup>
清 水	約 1 6 m <sup>3</sup>
バラスト水	約 3 5 m <sup>3</sup>

#### (8) 航続距離( 1 8 kts にて )

約 1,3 0 0 マイル

( 1 2.8 ノットにて )

#### (9) 乗 員

職 員 7 名

科 員 1 0 名

#### (10) その他の機器

バウスラスター 1 台

減搖水槽 1 対

高速作業艇 1 隻

図 2.2.1 にタンク配置, 表 2.2.1 積付の概略を示す。

$LOA$   
 $(ABT)$  m  
 35.00 x 33.00 m  
 $LWL$   
 $(ABT)$  m  
 33.00 x 7.00 m  
 $D$  m  
 4.30 x 2.64 m

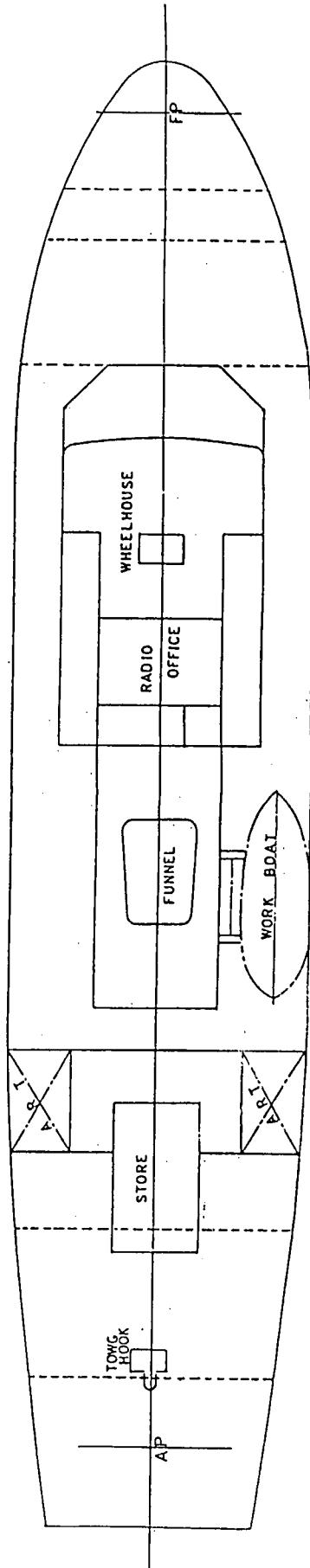
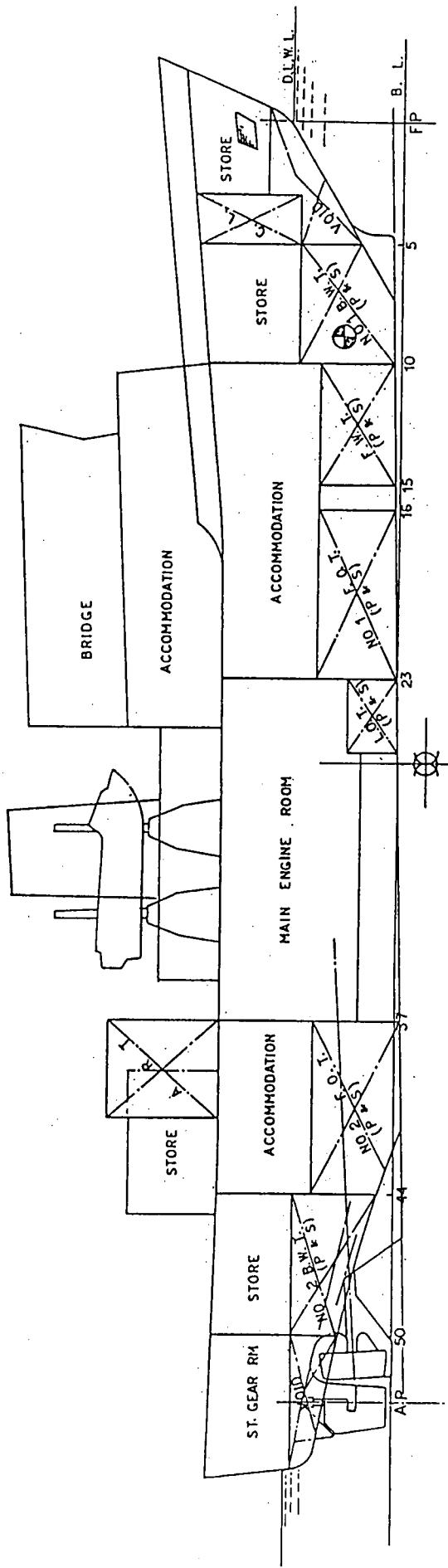


図 2.2.1 軽量型砕水船

表 2.2.1 輕量型碎氷船概略積付計算  
SUMMARY TABLE OF CALCULATION [ 1/1 ]

CONDITION NAME	常備	載		補填		荷		補填軽荷(2)
		CASE 1 JYOB I.JYOTAI(NO ICE)	CASE 2 JYOB I.JYOTAI(ON ICE)(着氷)	CASE 3 MANS A.I.JYOTAI (NO ICE)	CASE 4 MANS A.I.JYOTAI (ON ICE) (着氷)	CASE 5 HOTE NKEIKAJYOT AI(ON ICE)	CASE 6 HOTE NKEIKAJYOT AI(ON ICE) (着氷)	
LIGHT WEIGHT D. W. CONSTANT FRESH WATER	265.0 0.6	265.0 0.6	265.0 0.6	265.0 0.6	265.0 0.6	265.0 0.6	265.0 0.6	265.0 0.6
F. W. T. SUB TOTAL	(67%) 10.7 10.7	(67%) 10.7 10.7	16.0 16.0	16.0 16.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
FUEL OIL %1 F. O. T. %2 F. O. T.	(91%) 2.9.1 (4.3%) 1.0.8	(84%) 2.6.6 (4.3%) 1.3.3	(96%) 3.0.5 (96%) 2.9.4	(96%) 3.0.5 (96%) 2.9.4	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
LUB OIL L. O. T. SUB TOTAL	3.9.9 (65%) 6.3	3.9.9 (65%) 6.3	5.9.9 (96%) 9.4	5.9.9 (96%) 9.4	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0
CARGO A. R. T. ICE ON SIDE ICE ON DECK	10.0 7.4	10.0 8.7	10.0 8.7	10.0 8.7	10.0 8.7	10.0 8.7	10.0 8.7	10.0 8.7
BALLAST WATER %1 B. W. T. %2 B. W. T.	1.0.0 0.0	2.6.1 0.0	2.6.1 0.0	2.6.1 0.0	2.6.1 0.0	2.6.1 0.0	2.6.1 0.0	2.6.1 0.0
SUB TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	13.2	0.0	3.5.9
DISPLACEMENT(MT) DEAD WEIGHT(MT) MG(M) KG(M)	3.3.2.5 6.7.5	3.4.8.6 8.3.6	3.6.0.9 9.5.9	3.7.7.0 1.1.2.0	2.8.8.8 2.3.8	3.0.4.9 3.9.9	2.7.5.6 1.0.6	2.9.1.7 2.6.7
CORR. DRAFT(M) MB(M) MF(M) MTC(MT-M)	2.6.4 0.8.9 1.3.3 4.0.3	2.7.8 0.9.1 1.3.0 4.1.6	2.7.8 0.9.2 1.2.7 4.2.4	2.8.6 0.9.3 1.2.3 4.3.5	2.4.1 0.8.1 1.3.7 3.6.7	0.8.4 0.9.5 1.3.7 3.1.8	0.7.9 1.6.5 1.3.7 3.5.5	0.8.2 1.5.3 1.3.7 3.2.5
TRIM(M) FORE(M) DRAFT AFT(M) MEAN(M)	0.0.0 2.6.4 2.6.4 2.6.4	0.0.0 2.7.2 2.7.2 2.7.2	0.0.0 2.7.3 2.7.8 2.8.6	0.0.4 2.8.4 2.8.8 2.8.6	0.0.8 2.3.1 2.4.9 2.4.0	0.6.8 1.9.7 2.6.5 2.3.1	0.5.6 2.4.2 2.4.0 3.7.0	0.6.5 2.6.1 2.2.6 2.5.8
TKM(M) GM(M) DF/LPP(%) PROPELL. IMM.(%)	3.5.6 0.8.3 0.6.6 8.0.0	3.5.6 0.7.0 0.5.4 8.2.4	3.5.6 0.9.0 0.7.6 8.2.7	3.5.6 0.7.7 0.6.4 8.6.1	3.5.7 0.5.2 0.5.1 1.5.5.7	3.5.7 0.3.9 0.3.8 1.3.0.7	3.5.7 0.4.6 0.4.6 1.3.9.3	3.5.6 0.3.2 0.3.2 1.4.1.4
復原性能乙基準(21.0) 丙 "(GZ <sub>max</sub> ≥ 0.3m)(M) 0.47 丁 " (θ <sub>max</sub> ≥ 30°)(度) 4.2.1	— 1.3 0.3.6 3.9.5	— 0.5.1 4.1.7	— 0.4.1 3.9.1	— 0.7 0.3.9 4.2.8	— 0.7 0.3.0 4.0.4	— 0.7 0.3.7 4.2.9	— 0.2.7 4.0.5	1.1 0.3.4 4.0.0

## 2.2.4 計画上の考察

- (1) 速力性能よりも水中操船性能に重点を置き、設計速力は抵抗推進上無理のない範囲とすることを考え、フルード数 $\approx 0.36$ 付近の last hollow 辺りを狙う。尚、高速作業艇を後部甲板に設備し、高速性が要求される場合に備える。
- (2) 小型かつ浅吃水の船型であるから、到来する流氷群に自ら突入するということは考えない。むしろ、小規模氷板間や、氷板の割れ目の間を縫うようにして航行する形態が主であると考える。砕氷型船首を有する船型とするが、その能力は、港内の厚さ $0.1 \sim 0.2 m$ の定着平坦氷を約3ノットの船速で連続砕氷出来る程度とする。
- (3) 上記(2)の砕氷能力を考慮して船体強度、主機、出力、推進器形式を決定する。また、浅吃水であることから、主・補機の冷却水取水口の配置、大きさに十分注意する必要がある。
- (4) 推進方式は2機2軸とすることにより、プロペラ直径を小さくしてプロペラと氷片の干渉頻度を出来る限り少なくする。プロペラは氷中での小回りの利く操船のために、CPPを採用する。また、プロペラの保護と、ボラードブルを大きくするためにノズルを設ける。CPPはピッチの変更によりプロペラがノズルの中に詰まつた氷片により閉塞されることを防止でき、かつ、前後進を繰り返す際にも停止する必要がないためFPPよりも氷による損傷の可能性は低い。  
尚、プロペラを出来るだけ没水させるために $0.6 m$ のイニシアルトリムを付ける。またプロペラはなるべく船体中心に寄せた配置とする。
- (5) 舵は2枚としプロペラの直後に配置する。これにより氷中で低速航行中でも舵効はかなり向上する。ただし、後進中に2枚舵間に氷片が滞留する懸念もあるので後部船体形状と付加物の相対的関係は充分に検討しておく必要がある。  
更に、操船の一助としてプロペラ式バウスラスターの装備を考える。
- (6) 以上のように、2機2軸2舵、ダクト付可変ピッチプロペラおよびバウスラスターを採用し、さらに旋回性能および救難作業、着氷を考慮に入れた復原性能を確保するために幅広のずんぐり船型（船長／幅比 $\approx 4.7$ ）を採用しているので氷中での小回り操縦性は格段に向上すると考えられる。
- (7) 小型かつ幅広船型のために比較的横揺周期が小さく、従って乗り心地も良くない事が懸念されるので減揺水槽を暴落部のできるだけ上方に設備する。
- (8) 小回りの効く操船を頻繁に行う事から操舵室は出来るだけ全周視界の利く配置とし操船操作を容易に行えるようにワンマンコントロールのためのJoy Stickシステムを採用することが望ましい。
- (9) 類似船の実績から、本船が平坦氷中を船速3ノットで航行するとき、厚さ約 $0.2 m$ の氷を連続的に砕氷出来ると推定した。  
尚、上記の砕氷能力を持たせるためには、船殻の強度を主機の出力に相応したものとする必要がある。

## 2.2.5 船型の検討

Lines計画に当たって念頭に置くことは中型砕氷船のそれと概ね同様であるが、本船型が特に小型で且つ幅広浅吃水である事を踏まえて、以下も合わせて考えておく必要がある。

- (1) 全長／幅 $\approx 4.7$ と小さくずんぐりした船型でフルード数が $0.36$ 以上となるので造波抵抗が極力小さくなるようなCpカーブを選定する。
- (2) 砕氷船首船型については氷上への乗り上げ防止のためアイスフットを取り付けることになるが小型故に中型砕氷船に比べると船体に比べ比較的大きな形状のものを付けることになろう。

- (3) 平坦氷を連續碎氷する観点からは船首の水平に対する角度は、20度前後が良いという報告もあるが本船は小型であるうえに流氷中の氷板間を押し分けて進むという形態から、中型碎氷船と同じく約30度前後で良いと考えられる。
- (4) 計画吃水線の形状は流氷群中での抵抗を減らすために全長を通じ凸形とし平行部は作らない。
- (5) 中央横断面の形状は、小型船である事を考慮して、中型碎氷船に比べ船側・船底の傾斜をさらに大きくしたい。即ち水面下の船側傾斜角を10度位にし耐氷性の強化を計り、船底はやはり10度位のRise of floorを付け氷片の船側への浮上を促進する。
- これによりC(1)も中型船のそれに比べさらに小さくできることになる。
- (6) 充分な耐氷強度を付与するためにプロペラ軸は太めのボシングで支持する型式とし、ダクト、舵等の支持方法についても従来型式にとらわれない独自の設計を行う。
- (7) 船首材前縁に沿って、氷板にクラックを生ぜしめるためのアイスナイフを設ける。アイスナイフは前述のアイスフットと一体化する。

## 2.3 小型碎氷船

### (1) 基本設計方針

本船は、流氷期においても航路を開拓し、人員および物資の輸送、救難船の救助・曳航ができる沿岸警備を行なう船舶を想定し、下記の基本方針にしたがい設計をすすめる。

- a) 常用速力は16ノット以上、可変ピッチプロペラ、2軸2舵推進方式とする。
  - b) 構造はNK鋼船規則にしたがい、船首材、船尾材、喫水線上下の外板、舵、シャフトプラケット等は耐氷のため増寸法する。
  - c) 救難船を曳航するための装置を設けるが、本船の船尾形状をハート型とし救難船の船首を直接連結する方式を採用する。
  - d) 船体動搖の減少をはかるため、フィンスタビライザーおよびビルジキールを装備する。
  - e) 復原性能は着氷状態を含み、一例として「海上保安庁復原性基準」を満足することとした。なお、着氷は1平方メートル当たり50kgとする。
  - f) 最大搭載人員は39名とし、居住性の向上をはかる。
  - g) 流氷域での碎氷を考慮し、船首はシャープエッジ型とし水平と約30度の角度をもたせる。また、船尾には舵の保護のためのアイスシューを設ける。
  - h) 操舵室からの見通しは、極力360度に近づけ、良好な視界を確保する。
- 注) 1. 復原性能検討結果を表2.3.1にしめす。  
 2. 概略一般配置を図2.3.1にしめす。  
 3. 概略線図を図2.3.2にしめす。

### (2) 主要目等

#### a) 船質・航行区域など

船質	鋼
船型	平甲板船
推進方式	2軸ディーゼル

航行区域

近海

b) 速力・航続距離など

速力(常備排水量、常用出力) 約 16.2 ノット(平水中)

航続距離 16.2 ノットにて

約 3,500 海里

c) 主要寸法など

全長 56.00 m

喫水線長 50.00 m

型幅 9.00 m

水線幅 8.80 m

型深さ 4.60 m

型喫水 3.00 m

計画トリム 0

排水量 約 750 トン

総トン数 約 370 トン

d) シヤー・キャンバーなど

シヤー (ORD. 0 にて) 1.80 m

(ORD. 10 にて) 0.60 m

キャンバー(上甲板幅 9.00 m に対して) 0.16 m

e) 甲板間高さ(船体中心線にて)

上甲板一下甲板 2.40 m

上甲板一航海船橋甲板 2.50 m

航海船橋甲板一上部船橋甲板 2.50 m

f) 船体構造様式・肋骨心距など

構造様式 横肋骨方式

肋骨心距(中央部) 600 mm

肋骨心距(前後部) 300 mm

舵 流線型半平衡吊舵 × 2

g) 居住設備および最大搭載人員

設備	最大搭載人員
----	--------

職員	寝台 32	32
----	-------	----

その他	寝台 7	7
-----	------	---

合計	32 + 7	39 名
----	--------	------

h) 水・油等搭載量(船体付きタンク, 100 %)

清水タンク	約 55 m <sup>3</sup>
-------	---------------------

重油タンク	約 120 m <sup>3</sup>
-------	----------------------

潤滑油タンク	約 10 m <sup>3</sup>
--------	---------------------

バラストタンク 約 90 m<sup>3</sup>

i) 砕氷能力

氷厚 0.45 m, 曲げ強度 5 kg/cm<sup>2</sup> の平坦氷を、船速 3 ノット以上の連続航走状態で砕氷できること。  
さらに最大氷厚 0.7 m の氷も砕氷可能とする。

j) 主機関

中速ディーゼル機関 2 基

連続最大出力 1,500 PS (各機関)

常用出力 1,280 PS (各機関)

k) プロペラ

4翼 CPP × 2基

直径 約 1,900 mm

l) ディーゼル発電機

120kVA × 2基

m) その他の装備品

直接連結式曳航装置

バウスラスター

フインスタビライザー (引き込み式)

氷状リモートセンシング装置

ヒーリングタンク

衛星航法装置

ロランC受信機

表 2.3.1 復原性能比較表

COND. NO. CONDITIONS	1 常 備 JOOBI	2 常備(着水) JOOBI CHAKUHYOO	3 滿 載 MANSAI	4 滿載(着水) MANSAI CHAKUHYOO	5 輕 載 KEIKA	6 輕荷(着水) KEIKA CHAKUHYOO	7 補 壇 荷 HOTENKEIKA CHAKUHYOO	8 補 壇 荷(着水) HOTENKEIKA CHAKUHYOO
ITEMS								
FRESH WATER	MT 5.6	5.6	8.4	8.4	0	0	0	0
FUEL OIL	MT 8.9	8.9	13.3	13.3	0	0	0	0
WATER BALLAST	MT 0	0	0	0	0	0	13.0	13.0
OTHERS	MT 7	3.9	1.1	4.3	0	3.2	0	3.2
CONSTANTS	MT 9	9	9	9	0	0	0	0
DEADWEIGHT	MT 16.1	19.3	23.7	26.9	0	3.2	13.0	16.2
DRAFT (CORR.)	M 3.03	3.12	3.24	3.33	2.57	2.67	2.95	3.04
DRAFT AT F. P.	M 2.96	3.04	3.37	3.45	2.10	2.20	2.89	2.97
DRAFT AT A. P.	M 3.09	3.19	3.14	3.23	2.99	3.09	2.99	3.09
DRAFT (MEAN)	M 3.03	3.12	3.25	3.34	2.55	2.64	2.94	3.03
TRIM	M 0.13	0.15	-0.23	-0.22	0.89	0.89	0.10	0.12
M T C	MT-M 10.7	10.9	11.2	11.4	9.6	9.8	10.5	10.8
T P C	MT 3.57	3.60	3.64	3.66	3.41	3.44	3.54	3.57
PROPELLER	% 16.2	16.8	16.6	17.1	15.5	16.0	15.7	16.2
IMMERSION								
T KM	M 4.12	4.10	4.09	4.08	4.27	4.23	4.14	4.12
K G	M 3.08	3.20	2.97	3.09	3.59	3.72	3.27	3.40
G GO	M 0.20	0.18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GO M	M 0.84	0.72	1.12	0.99	0.68	0.51	0.87	0.72
MOMENT TO HEEL 1 DEG.	MT-M 1.2	1.0	1.7	1.6	8	6	1.2	1.0
復原性基準								
乙基準 (21.0)	1.74	1.30	2.62	2.05	0.90	0.55	1.67	1.21
丙基準 ( $GZ_{max} > 0.27m$ )	0.48	0.40	0.61	0.51	0.41	0.31	0.51	0.41
丁基準 ( $\theta_{max} > 30^\circ$ )	35.7	34.5	4.00	37.2	35.0	33.0	36.2	35.0
排水量	ton 801	833	877	909	640	672	770	802

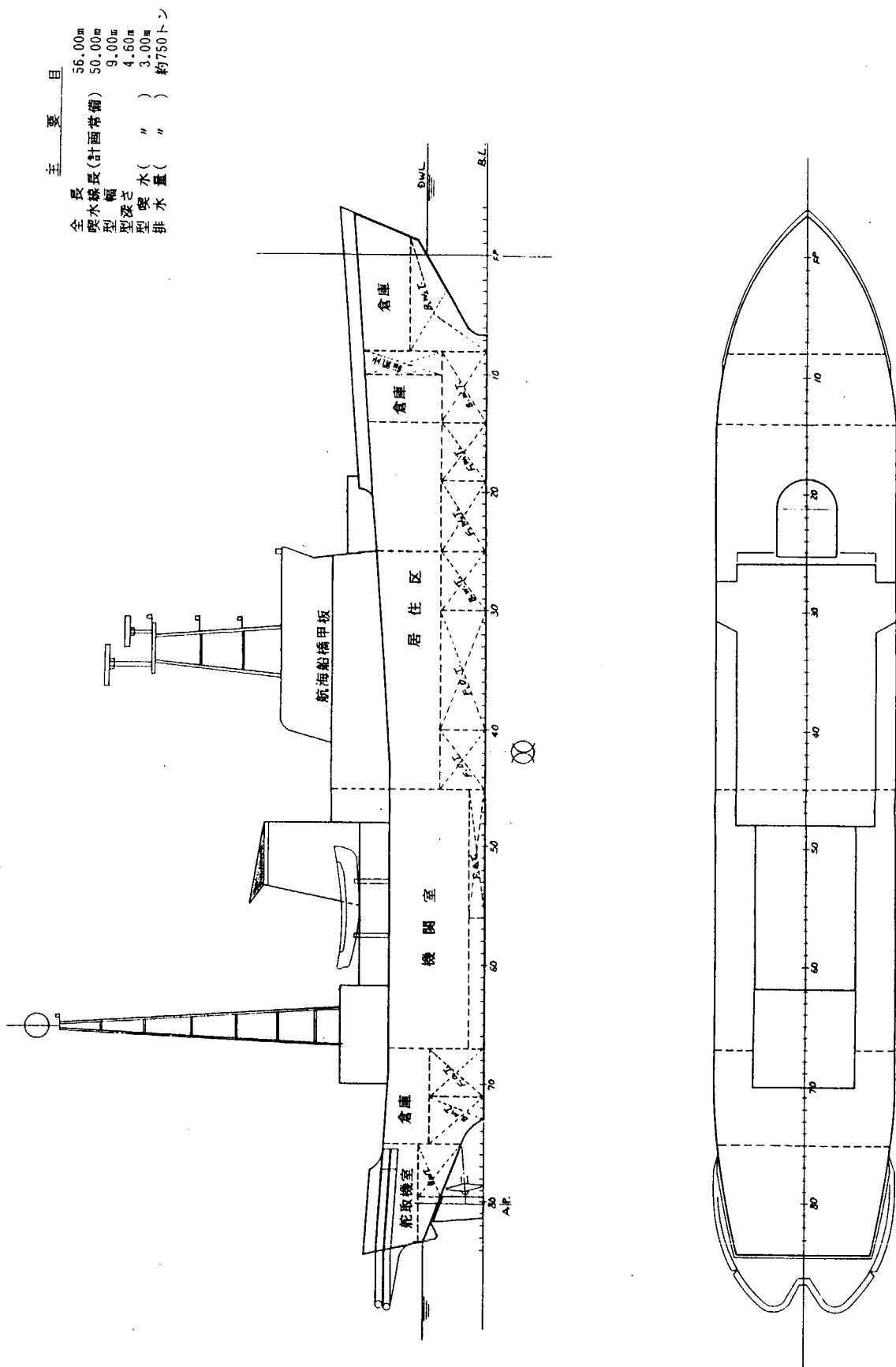


图 2.3.1 小型碎石船概略一般配置

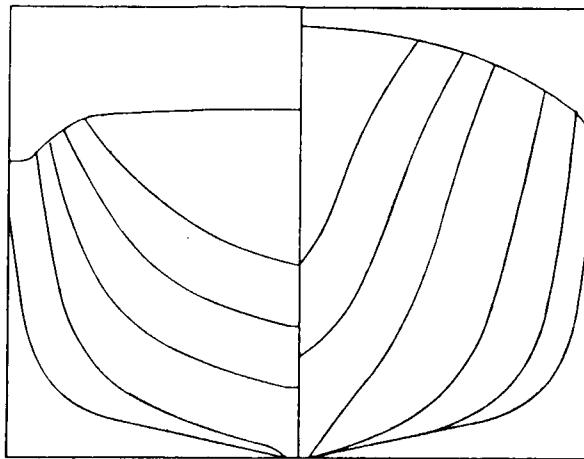


図 2.3.2 小型碎氷船概略線図

## 2.4 中型碎氷船

### 2.4.1 中型碎氷船 ( $L/B = 5.59$ 型)

#### (1) 基本設計方針

本船は、流氷期においても航路を啓開し、人員および物資の輸送、救難船の救助・曳航ができる沿岸警備を行なう船舶を想定し、下記の基本方針にしたがい設計をすすめる。

- a) ヘリコプター 1 機の離発着が可能な飛行甲板を有し、合法な広さを確保する。
  - b) 常用速力は 18 ノット以上、可変ピッチプロペラ、2 軸 2 舵推進方式とする。
  - c) 構造は NK 鋼船規則にしたがい、船首材、船尾材、奥水線上下の外板、舵、シャフトプラケット等は耐氷のため増寸法する。
  - d) 救難船を曳航するための装置を設けるが、本船の船尾形状をハート型とし救難船の船首を直接連結する方式を採用する。
  - e) 船体動揺の減少をはかるため、フィンスタビライザーおよびビルジキールを装備する。
  - f) 復原性能は着氷状態を含み、一例として「海上保安庁復原性基準」を満足することとした。なお、着氷量は 1 平方メートル当たり 50 kg とする。
  - g) 最大搭載人員は 48 名とし、居住性の向上をはかる。
  - h) 流氷域での碎氷を考慮し、船首はシャープエッジ型とし水平と約 25 度の角度をもたせる。また、船尾には舵の保護のためのアイスシューを設ける。
  - i) 操舵室からの見通しは、極力 360 度に近づけ、良好な視界を確保する。
  - j) 総トン数は、1000 トン未満となるようにする。
- （註）1. 復原性能検討結果を表 2.4.1 にしめす。  
 2. 概略一般配置を図 2.4.1 にしめす。  
 3. 概略線図を図 2.4.2 にしめす。

(2) 主要目等

a) 船質・航行区域など

船 質	鋼
船 型	船首ろう付平甲板船
推進方式	2軸ディーゼル推進又は2軸ガスタービン推進
航行区域	遠 洋

b) 速力・航続距離など

速力(常備排水量、常用出力)	約 18.2 ノット(平水中)
航続距離	18.2 ノットにて約 4,400 海里

c) 主要寸法など

全 長	71.00 / 73.50 m*
喫水線長	66.00 m
型 幅	11.80 m
水線幅	11.55 m
型深さ	5.70 m
型喫水(計画常備)	3.80 m
計画トリム	0
排水量(計画常備)	約 1,640 トン
総トン数	約 985 トン

註) \*スタン・ノッチ付き

d) シヤー・キャンバーなど

シヤー (ORD. 0 にて, AT F' CLE DK)	1.00 m
(ORD. 10 にて)	0
キャンバー(上甲板幅 11.8 m に対して)	0.20 m
(船首ろう甲板幅 11.8 m に対して)	0.20 m

e) 甲板間高さ(船体中心線にて)

上甲板一下甲板	2.40 m
上甲板一船首ろう甲板	2.50 m
船首ろう甲板一船橋甲板	2.40 m
船橋甲板一航海船橋甲板	2.40 m
航海船橋甲板一上部船橋甲板	2.40 m

f) 船体構造様式・肋骨心距など

構造様式	横肋骨方式
肋骨心距(中央部)	600 mm
肋骨心距(前後部)	300 mm
舵	流線型半平衡吊舵 × 2

g) 居住設備および最大搭載人員

	設 備	最大搭載人員
職 員	寝台 3 8	3 8
その他	座席 1 0	1 0
合 計	3 8 + 1 0	4 8 名

(注) その他は近海航行の場合

h) 水・油等搭載量(船体付きタンク, 100 %)

清水タンク	約 100 m <sup>3</sup>
*重油タンク	約 320 m <sup>3</sup>
潤滑油タンク	約 20 m <sup>3</sup>
バラストタンク	約 220 m <sup>3</sup>

\*主機関にガスタービンを採用の場合は軽油タンクとなり、搭載量は増える

i) 砕氷能力

氷厚 0.6 m, 曲げ強度 5 kg/cm<sup>2</sup>の平坦氷を、船速 3 ノット以上での連続航走状態で砕氷できること。  
さらに最大氷厚 1.0 m の氷も砕氷可能とする。

j) 主機関

中速ディーゼル機関又はガスタービン機関	2 基
連続最大出力	3,500 PS (各機関)
常用出力	3,000 PS (各機関)

k) プロペラ

4 翼	C P P	× 2 基
直径	約 2,200 mm	

l) ディーゼル発電機

150 KVA	× 3 基
---------	-------

m) その他の装備品

- 直接連結式曳航装置
- バウスラスター
- ヘリコプター発着甲板
- フインスタビライザー(引き込み式)
- 氷状リモートセンシング装置
- ヒーリングタンク

衛星航法装置

ロランC受信機

(3) 直接連結式曳航装置

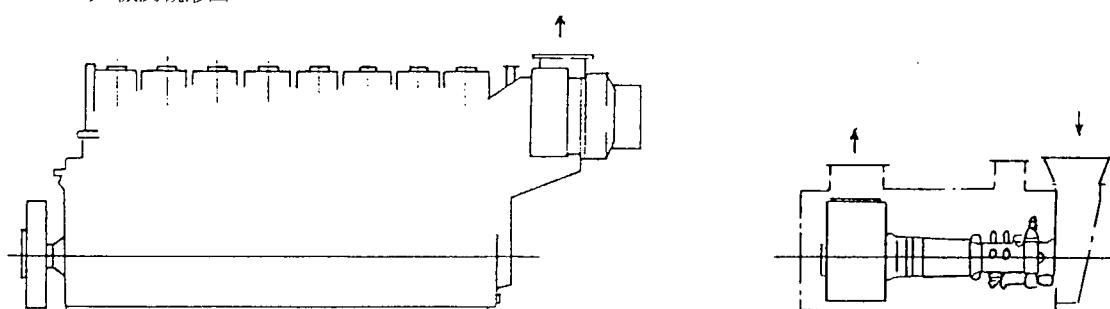
対象船は、小型砕氷船(500トン型)と同様に、船尾をハート型にした直接連結式曳航装置を有するが、漁船を曳航している状態および曳航用金物等の概略配置を図 2.4.3 にしめす。

(4) 主機関型式比較

対象船の主機関として、ディーゼルエンジンおよびガスタービンエンジンの両ケースをとりあげ検討をおこなった結果を以下にしめす。

a) 主機関主要目

	ディーゼルエンジン	ガスタービンエンジン
1) 形 式	立形4サイクル過給ディーゼル機関	舶用パッケージ型、単純開放サイクル、 フリータービン式
2) 機関出力×台数		
連続最大	3500 PS × 2基	4750 PS × 2基 (deratingして用いる)
3) 燃料消費率	155 (10,200 kcal/kg) (g/ps·hr)	230 (10,200 kcal/kg)
4) 燃 料	A重油	軽油
5) 重量 (kg)	51,050	本体 1,140 パッケージ込み 3,500
6) 本体寸法 (m)	7.98 m × 2.46 × 3.5 (長さ × 幅 × 高)	本体 2.7 × 1.4 × 1.4 パッケージ込み 4.0 × 1.6 × 1.6
7) 機関概形図		



( 同一スケールでの比較 )

b) 主機関連補機

	ディーゼルエンジン	ガスタービンエンジン
(1) 潤滑油ポンプ	機付 1台 / 1基	直結 1台 / 1基
冷却清水ポンプ	機付 1台 / 1基	冷却海水ポンプ 直結 1台 / 1基
動弁装置潤滑油ポンプ	機付 1台 / 1基	変節油ポンプ 直結 1台 / 1基
燃料供給ポンプ	機付 1台 / 1基	直結 1台 / 1基
(2) 冷却海水ポンプ	2台	補助冷却海水ポンプ 2台
(3) 予備冷却清水ポンプ	1台	—
(4) 予備潤滑油ポンプ	2台	補助潤滑油ポンプ 2台
(5) 予備燃料油供給ポンプ	1台	1台

(6) 空気圧縮機	2 台	2 台
(7) 空気タンク	2 台	2 台
(8) 主機潤滑油冷却器	2 台	2 台
(9) 主機清水冷却器	2 台	—

c) 機関室概略図（側面図）（図 2.4.4 及び図 2.4.5 参照）

- ガスタービン船の場合、軽量コンパクトな特長を生かし機関室もコンパクトになりその分、ヘリ甲板、上甲板下の容積の効率 up となり有効エリアが広くなる。
- 発電機を機関室船尾に配置することにより居住区画より離れ、居住性がよくなる。ディーゼル船の場合は、機関室長さの関係で発電機の排ガス管の導設を考えると機関管理室の下に配置せざるを得ない。

d) ディーゼルエンジンとガスタービンエンジンの比較

1) ガスタービンエンジンの利点

- 小型軽量で大出力を発揮できる。又、碎氷時の氷かみこみによる異状トルク発生時にもディーゼル船にみられる様な回転低下 etc がない。低速時のトルク大
- 回転機械なので振動が少ない
- 単純なプラントである
- 起動性、増減速性が良く機動性に富む。ラミング時の機動性に富む。
- 換装が容易であり、かつ船内保守も少なくてよい。
- 乗員の削減が可能である。
- 信頼性が高い。

2) ガスタービン船の利点

- 軽量、小型、大出力の利点を最大限に活用し得る。すなわち機関室が非常にコンパクトにまとめ得るので船型、並に排水量とも程度の状態で高出力化、高速化が容易に成し得ると共に、機関室の短縮化による居住区スペースの増大に伴い乗員の居住性向上がはかるられる。
- 起動性、増減速性が良く寒冷時でも暖機を必要とせず緊急出動、短時間に高速発揮が可能である等、船の運用機能上著しい向上が期待出来る。
- 操作に直接必要な補機は直結されハンドル1本で操縦可能。また監視計器も少ない。更に船内で調整。開放点検する個所もほとんど無い等、乗員の削減と労力の軽減をはかることが出来る。
- 関連補機及び配管が少なく構造が簡単で関連装置の故障も少ない。

3) ガスタービンエンジン（船）の問題点

- 燃料消費率が多くかつ比較的高級な燃料を必要とし経済性上の難点がある。
- イニシャルコストが高い。
- 吸排気ダクトが大きくかなりのスペースを必要とする。

表 2.4.1 復原性能比較表

COND. NO. CONDITIONS	常 備 JOOBI	常備(着氷) JOOBI CHAKUHYOO	満 載 MANSAI CHAKUHYOO	満載(着氷) MANSAI CHAKUHYOO	軽 荷 KEIKA CHAKUHYOO	軽荷(着氷) KEIKA CHAKUHYOO	7		8	
							1	2	3	4
ITEMS										
FRESH WATER	MT	70	70	106	0	0	0	0	0	0
FUEL OIL	MT	186	186	268	0	0	0	0	0	0
WATER BALLAST	MT	0	0	0	0	0	0	0	217	217
OTHERS	MT	17	73	26	82	0	56	0	56	56
CONSTANTS	MT	23	23	23	0	0	0	0	0	0
DEADWEIGHT	MT	296	352	423	479	0	56	217	273	273
DRAFT(CORR.)	M	3.84	3.93	4.05	4.14	3.34	3.44	3.71	3.80	3.80
DRAFT AT F. P.	M	3.76	3.80	4.17	4.22	2.77	2.83	3.72	3.76	3.76
DRAFT AT A. P.	M	3.93	4.06	3.93	4.07	3.89	4.03	3.70	3.84	3.84
DRAFT(MEAN)	M	3.84	3.93	4.05	4.14	3.33	3.43	3.71	3.80	3.80
TRIM	M	0.17	0.26	-0.24	-0.15	1.12	1.20	-0.02	0.08	0.08
M T C	MT-M	23.9	24.4	25.1	25.6	20.9	21.5	23.1	23.7	23.7
T P C	MT	6.05	6.11	6.18	6.23	5.73	5.80	5.97	6.03	6.03
PROPELLER	%	178	184	180	185	173	179	168	174	174
IMMERSION										
T KM	M	5.37	5.37	5.37	5.37	5.46	5.43	5.39	5.38	5.38
K G	M	4.11	4.25	3.98	4.12	4.70	4.85	4.45	4.58	4.58
G GO	M	0.23	0.22	0.22	0.22	0.0	0.0	0.06	0.06	0.06
GO M	M	1.03	0.90	1.17	1.03	0.76	0.58	0.88	0.74	0.74
MOMENT TO HEEL 1 DEG.	MT-M	30	27	37	33	18	14	24	21	21
復原性基準										
乙基準( $\theta_{\max} > 21.0^\circ$ )		1.90	1.57	2.29	1.90	0.93	0.65	1.41	1.11	1.11
丙基準( $GZ_{\max} > 0.30m$ )		0.60	0.50	0.66	0.55	0.46	0.36	0.52	0.42	0.42
丁基準( $\theta_{\max} > 30^\circ$ )		4.35	4.09	4.54	4.30	3.60	3.36	4.08	3.92	3.92
排水量		1669	1725	1796	1852	1373	1429	1590	1646	1646

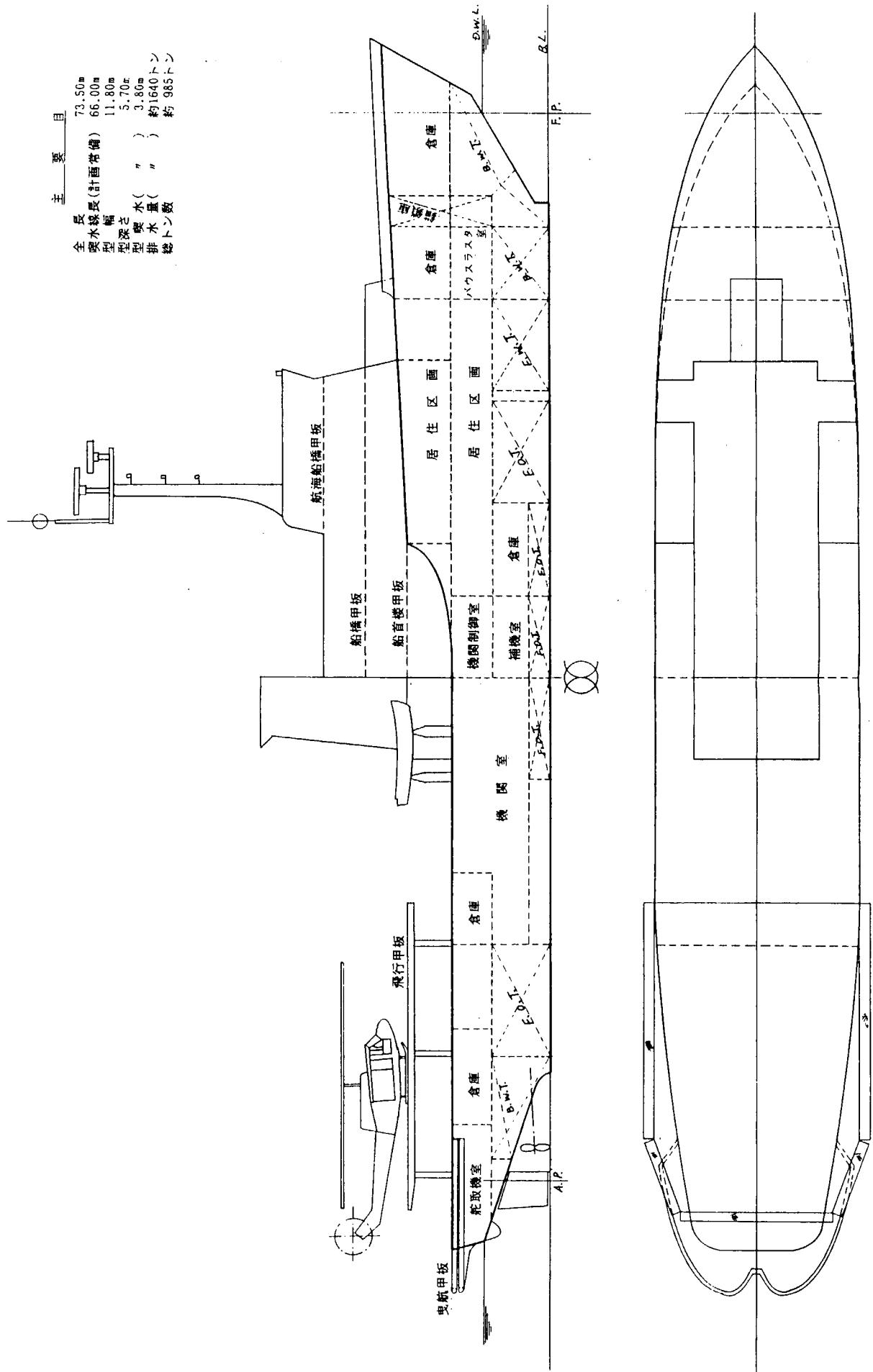


図 2.4.1 中型碎氷船概略一般配置図

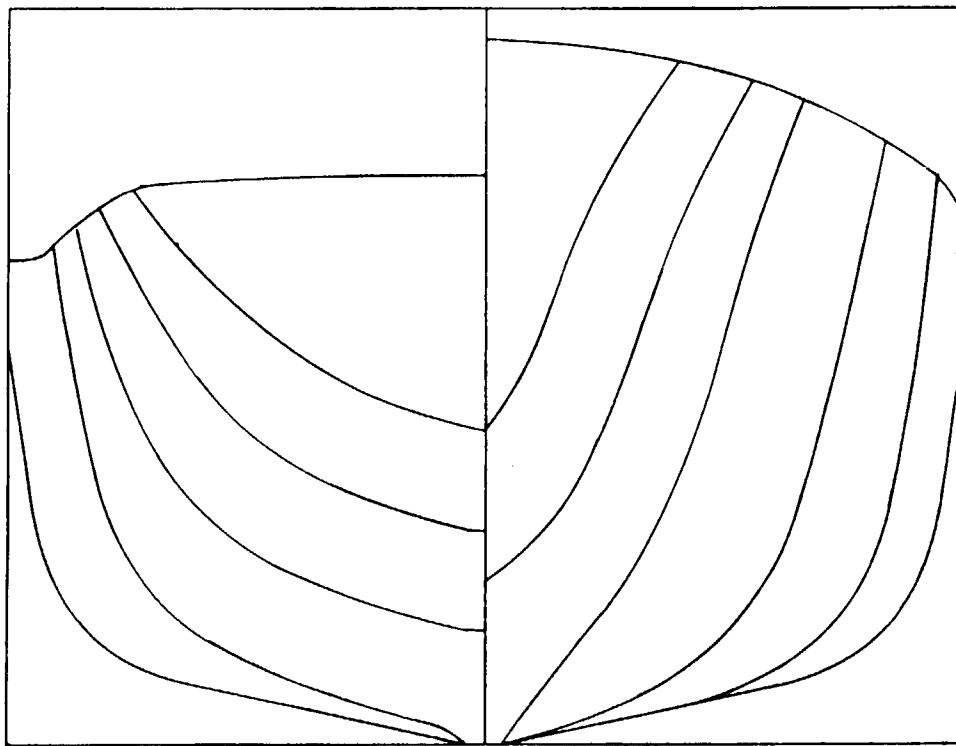


図 2.4.2 中型砕氷船概略線図

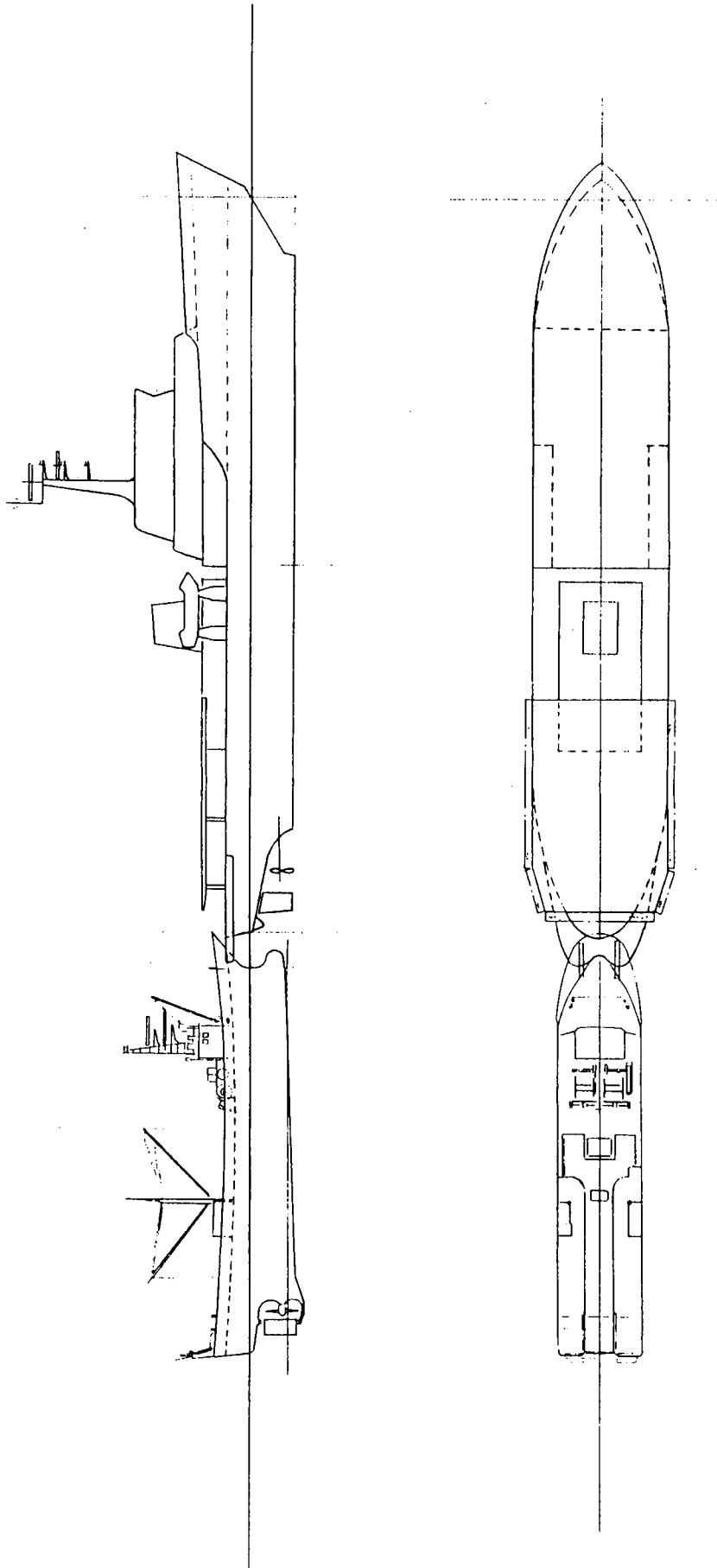


図 2.4.3 (a) 直接連結式曳航装置

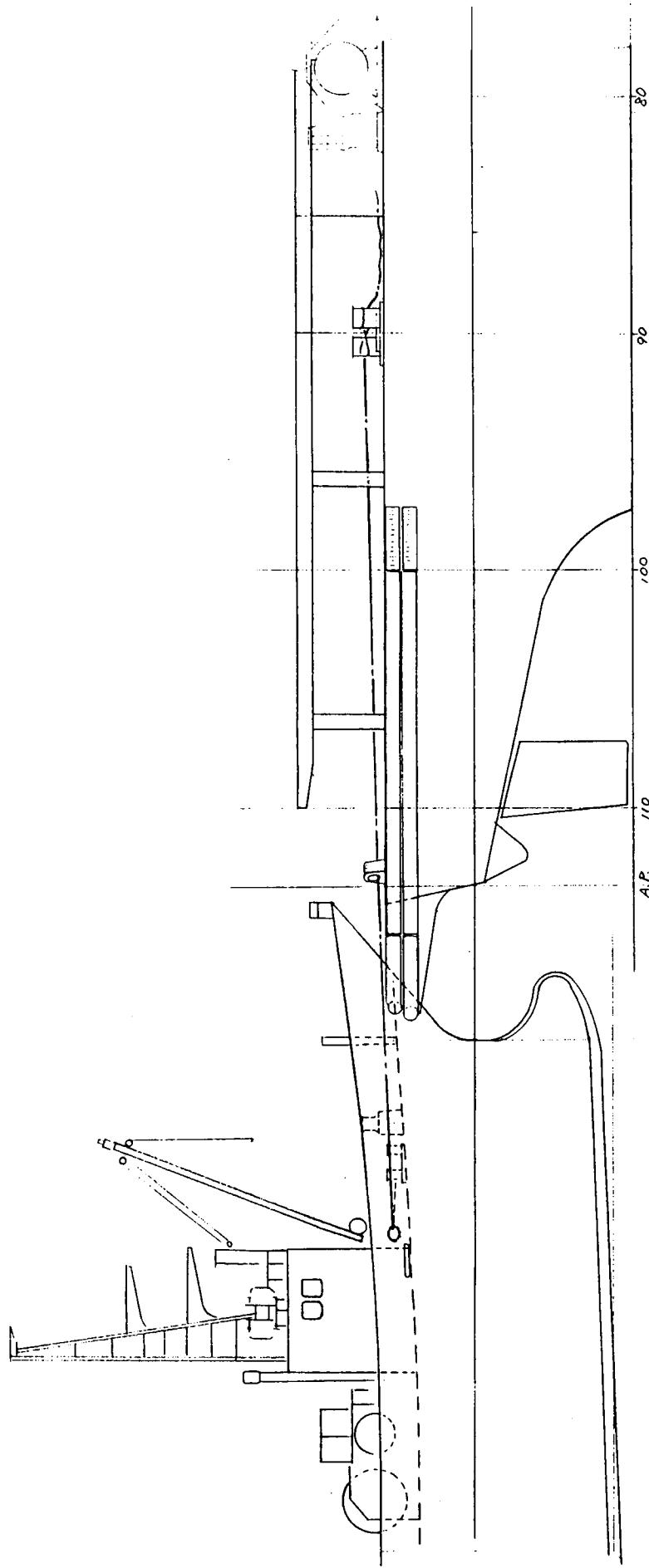


图 2.4.3 (b) 直接連結式曳航装置

番号	名 称	備 考
1	延長甲板	
2	機関	
3	防舷材	
4	曳航用ボルード	
5	曳航用ホースパイプ	
6	連結索	

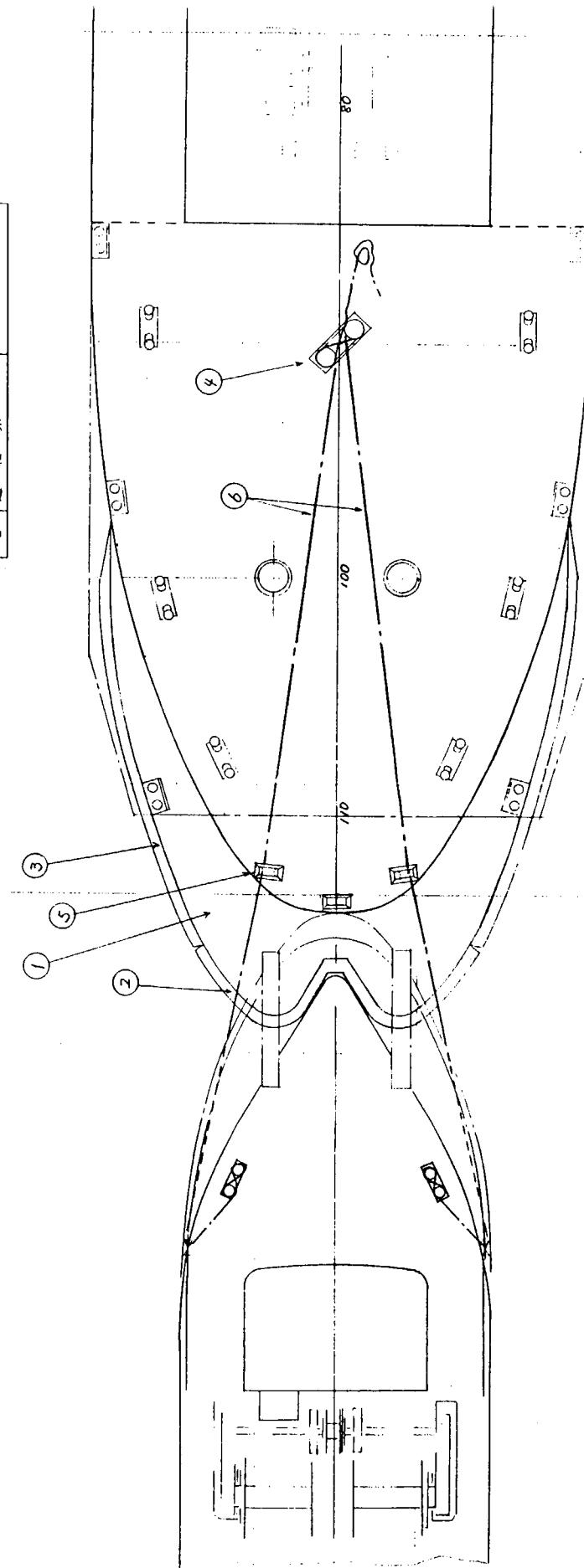


図 2.4.3 (c) 直接連結式曳航装置

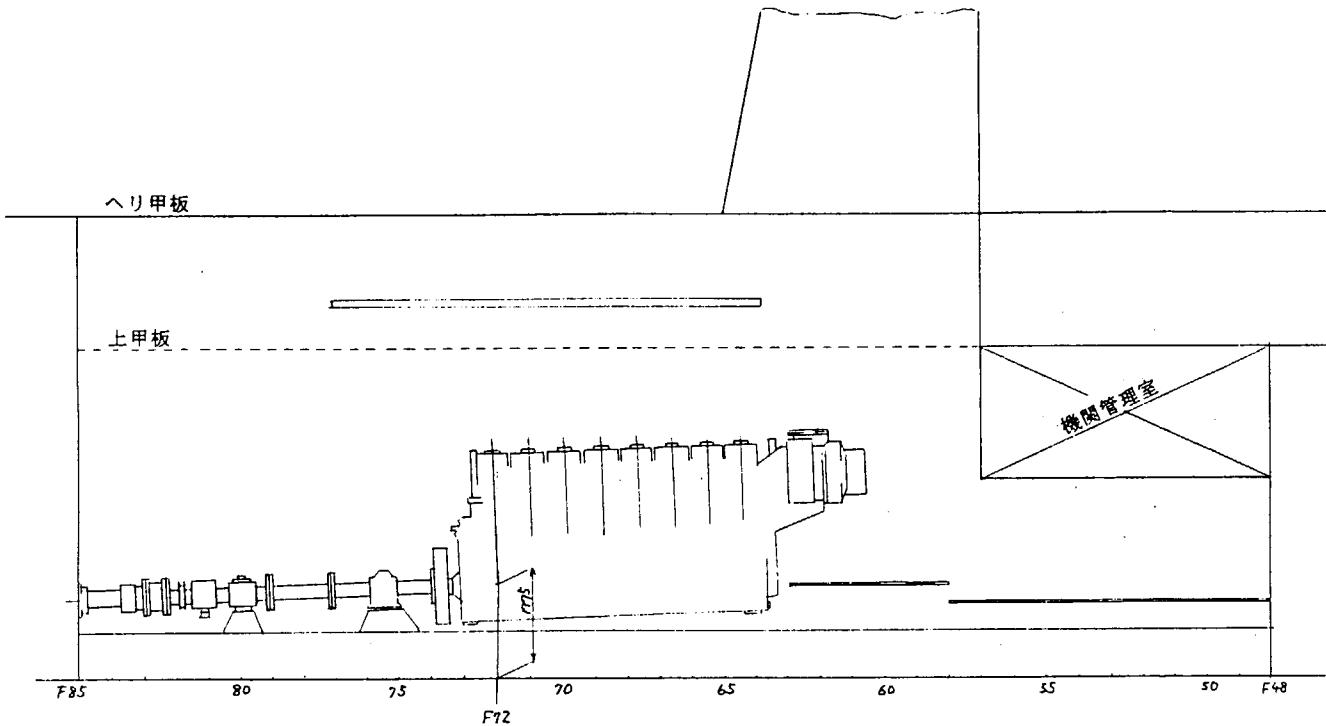


図 2.4.4 ディーゼルエンジンの場合の機関室

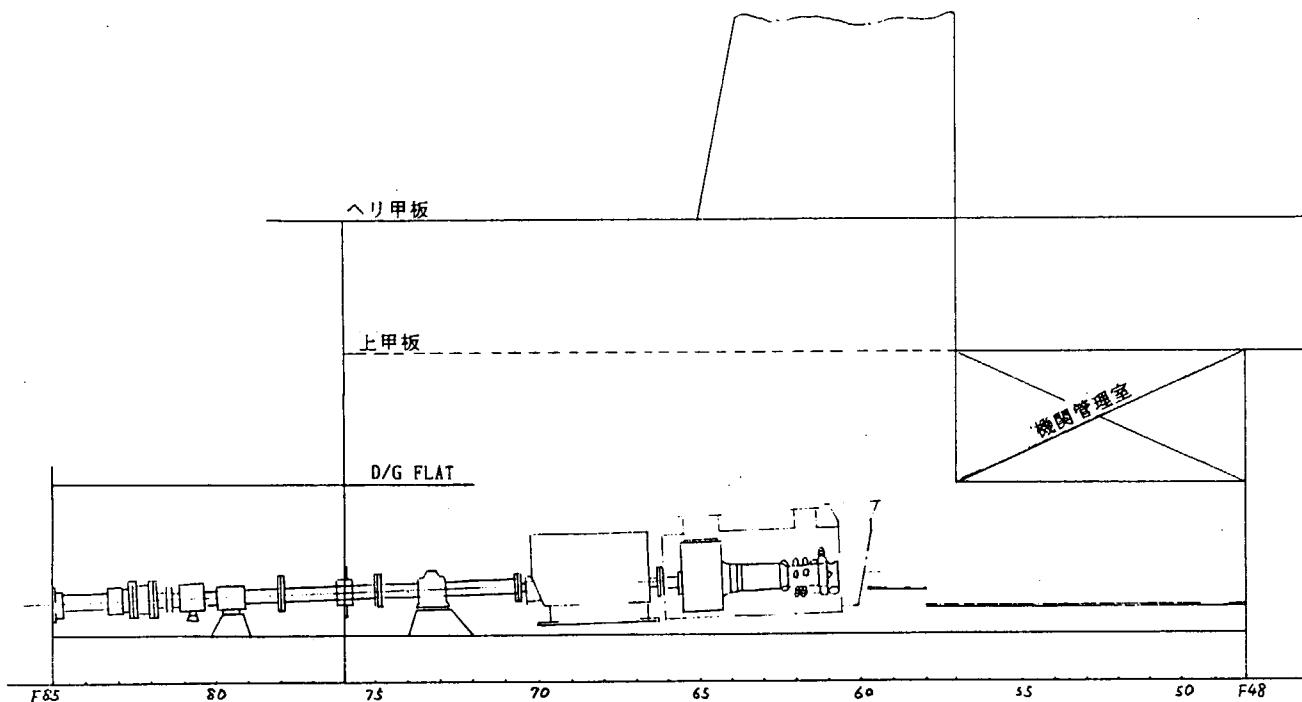


図 2.4.5 ガスタービンエンジンの場合の機関室

## 2.4.2 L/B = 6.03型

### 2.4.2.1 計画概要

前年度において本船型の策定を進めたが基本方針として以下を念頭に置いた。

- (1) 船の大きさとして総トン数1,000トンを目安とする。
- (2) 船型は氷縁海域航行を考えて砕氷型とするも通常海域での推進性能、耐航性能も考慮したものとする。
- (3) 砕氷能力として約0.6m厚さの平盤氷（曲げ強度50T/m<sup>2</sup>）中を船速3ktsにて連続砕氷可能とする。  
又、平水中での常用速力は約18ktsとする。
- (4) 船殻構造として、巡視船“そらや”の実績を踏まえNK・AAクラス耐氷構造をベースとし、更にASPPR, NV砕氷船規則等も考慮に入る。
- (5) 氷海中でのプロペラと氷片の接触に耐え得る推進システムを検討する。  
尚、ミリングは無いものとする。  
又、主機の冷却海水吸込システム及び給気システムについては、氷海航行及び寒冷域での行動を考慮した設備とする。
- (6) 他船曳航中や氷海航行中の操船の一助としてバウスラスターを装備する。
- (7) 氷中膠着状態からの脱出、そして氷中旋回性改善のため、約5度程度の船体横傾斜が可能なヒーリングタンクシステムを設備する。
- (8) ヘリコプター甲板並びに関連設備を設ける。
- (9) ヘリ発着時や荒天中の減搖対策として格納式フィンスタビライザーを設備する。
- (10) 砕氷性能の向上と、氷海での防食効果を高めるために外板に氷海用塗料を施行する。
- (11) 復原性能については、一例として「海上保安庁復原性基準」を満足することとし、氷中乗り上げ時の安全性も保持するものとする。
- (12) 船橋からの視界を極力360°に近づける。

### 2.4.2.2 概略主要目

- |                     |  |
|---------------------|--|
| (1) 国籍／航行区域         | JG／遠洋（第4種船）  |
| (2) 船型              | 長船首樓型 平甲板船<br>砕氷型船首船型、傾斜船型<br>2軸2舵船尾船型（Twin skeg付） |
| (3) 主要寸法            |  |
| 全長                  | 約74.0m   |
| 吃水線長                | 70.0m  |
| 型幅                  | 11.6m  |
| 水線幅                 | 11.3m  |
| 型深                  | 6.2m   |
| 型吃水                 | 3.75m（常備） 3.95m（満載）                                |
| 排水量                 | 約1,600t（常備） 約1,790t（満載）                            |
| 総トン数                | 約1,000トン   |
| (4) 速力（計画常備、計画常用出力） | 約18.0kts   |

(5) 航続距離 ( 18 kts 時 )	約 4,000 NM
(6) 破水能力	
( 計画常用出力, 3 kts 時 )	約 0.6 M 厚平盤氷
( チャージング )	最大氷厚 1.0 m
(7) タンク容積	
燃料油 ( 100 % )	約 265 m <sup>3</sup>
清 水 ( " )	約 140 m <sup>3</sup>
バラスト水 ( " )	約 260 m <sup>3</sup>
ヒーリングタンク ( 100 % 両舷 )	約 65 m <sup>3</sup>
(8) 定 員	
	職 員 38 名
	その他 10 名
	計 48 名
(9) 主機関	
	立形 4 サイクル過給ディーゼル機関 × 2 台
	連続最大 3,500 ps × 380 RPM ( 1 台当り )
	計画常用 3,000 ps × 360 RPM ( " )
(10) プロペラ	
	4 翼 CPP × 2 基
	直径 約 2.3 m, 材質ステンレススチール
(11) ディーゼル発電機	150 KVA × 3 台
(12) 主な装備品	
	ヘリコプター甲板
	曳航ウインチ × 1 台
	バウスラスター × 1 台
	格納式フィンスタビライザー × 1 対
	ヒーリングタンクシステム × 1 対
	氷海用塗料 ( 外板アイスベルト部 )

尚、タンク区画配置、積付状態については前年度の見直し・再検討を行った。これらは図 2.4.6 および表 2.4.2 に示す。

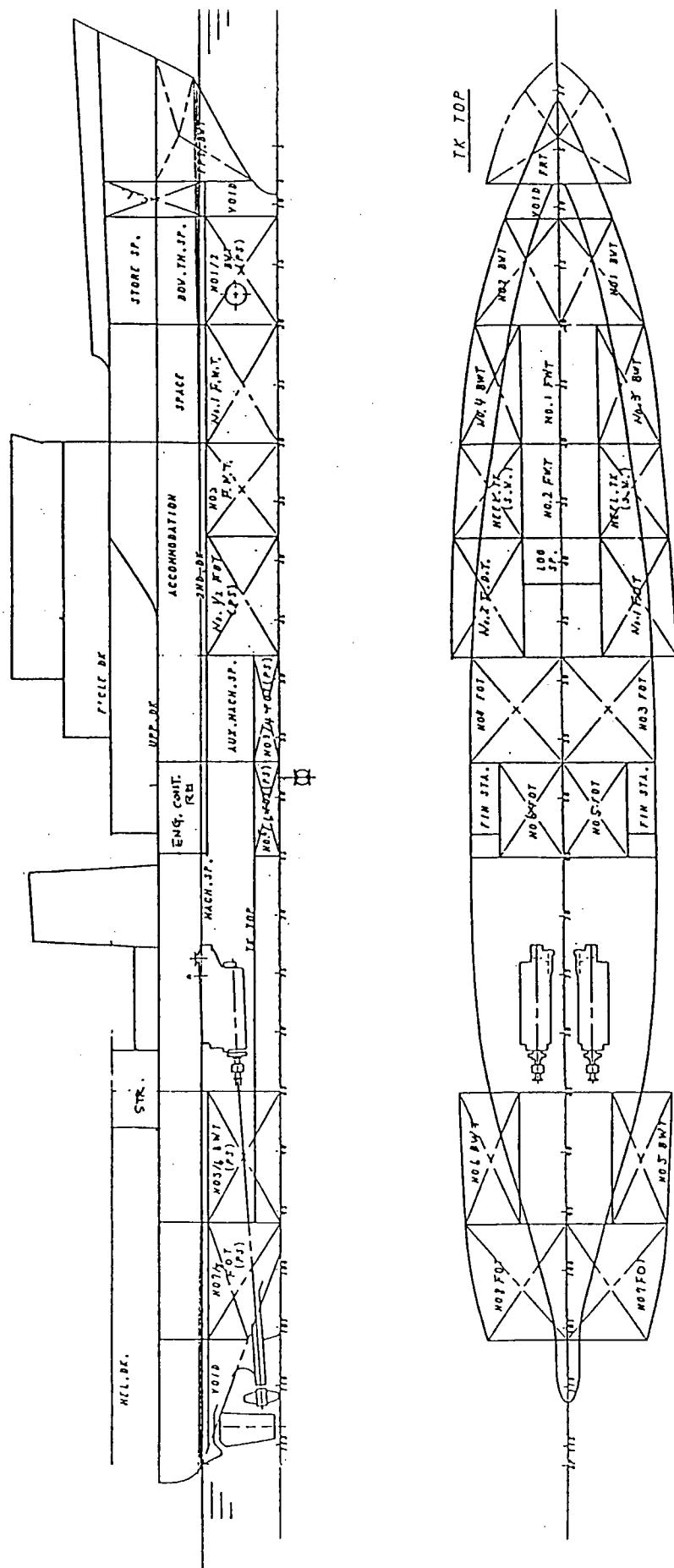


图 2.4.6 中型货船 L / B = 6.03 槓略区面配置图

表 2.4.2 概略積付計算 ( 中型碎氷船 L / B = 6.0 3 型 )

SUMMARY TABLE OF CALCULATION(1/1)

CONDITION NAME	常		備		載		補 填		軽		荷	
	CASE 1 JYOB IJYOTAI(NO ICE)	CASE 2 JYOB IJYOTAI(ON ICE)(着氷)	CASE 3 MANS AIJYOTAI(ON ICE)	CASE 4 MANS AIJYOTAI(ON ICE)(着氷)	CASE 5 HOTE NKEIKAJYOTAI(ON ICE)	CASE 6 HOTE NKEIKAJYOTAI(ON ICE)(着氷)	CASE 7 KEIK AJYOTAI(ON ICE)	CASE 8 KEIK AJYOTAI(ON ICE)(着氷)	CASE 7 KEIK AJYOTAI(NO ICE)	CASE 8 KEIK AJYOTAI(ON ICE)(着氷)		
LIGHT WEIGHT D.W. CONSTANT	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	1 360.0 4.50	
FRESH WATER	(67%) 50.0 (67%) 43.4	(67%) 50.0 (67%) 43.4	75.0 65.0	75.0 65.0								
#1 F. W. T. (C) #2 F. W. T. (C)												
SUB TOTAL	934	934	1 400	1 400	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
FUEL OIL												
#1/2F. O. T. (PS) #3/4F. O. T. (PS) #5/6F. O. T. (PS) #7/8F. O. T. (PS)	(83%) 79.3 (64%) 30.6 (64%) 19.5 (32%) 18.2	(77%) 73.5 (64%) 30.6 (64%) 19.5 (42%) 24.0	(96%) 91.9 (96%) 45.9 (96%) 29.2 (96%) 54.3	(96%) 91.9 (96%) 45.9 (96%) 29.2 (96%) 54.3								
SUB TOTAL	1 476	1 476	2 21.3	2 21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
LUB. OIL L.O.T.	(64%) 16.7 (64%) 16.7	(64%) 16.7 (64%) 16.7	(96%) 25.0 (96%) 25.0	(96%) 25.0 (96%) 25.0								
SUB TOTAL	16.7	16.7	25.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CARGO ICE ON DECK PART ICE ON SIDE SHELL												
ICE ON SIDE SHELL			43.0	43.0								
SUB TOTAL	0.0	24.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
BALLAST WATER												
F. P. T (C) #1/2B. W. T. (PS) #3/4B. W. T. (PS) HEEL. TK. (PS) #5/6B. W. T. (PS)												
SUB TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
DISPLACEMENT (MT) DEAD WEIGHT (MT)	1 662.7 3 027	1 729.7 3 697	1 791.3 4 31.3	1 858.3 4 98.3	1 507.5 1 47.5	1 636.0 276.0	1 405.0 45.0	1 472.0 112.0				
MG KG CORR. DRAFT MB MF MTC TRIM	(M) 0.55 (M) 4.63 (M) 3.74 (M) 0.55 (M) 2.04 (M) 2.823 (M) 0.0	(M) 0.61 (M) 4.80 (M) 3.05 (M) 0.61 (M) 2.06 (M) 2.901 (M) 0.0	(M) 0.53 (M) 4.50 (M) 3.94 (M) 0.66 (M) 2.05 (M) 2.963 (M) 0.0	(M) 0.48 (M) 4.67 (M) 4.04 (M) 0.71 (M) 2.02 (M) 2.95 (M) -0.08	(M) 0.25 (M) 5.05 (M) 3.51 (M) 0.41 (M) 2.02 (M) 2.595 (M) -0.14	(M) 0.91 (M) 5.14 (M) 3.70 (M) 0.53 (M) 2.02 (M) 2.788 (M) -0.09	(M) 1.94 (M) 5.23 (M) 3.34 (M) 0.31 (M) 1.62 (M) 2.428 (M) 0.22	(M) 1.94 (M) 5.23 (M) 3.34 (M) 0.31 (M) 1.62 (M) 2.428 (M) 0.94	(M) 1.94 (M) 5.23 (M) 3.34 (M) 0.31 (M) 1.62 (M) 2.428 (M) 0.83			
DRAFT AFT MEAN	(M) 3.74 (M) 3.74 (M) 3.74	(M) 3.85 (M) 3.85 (M) 3.85	(M) 3.98 (M) 3.90 (M) 3.94	(M) 4.11 (M) 3.97 (M) 4.04	(M) 3.55 (M) 3.46 (M) 3.50	(M) 3.59 (M) 3.01 (M) 3.70	(M) 2.05 (M) 3.79 (M) 3.32	(M) 2.05 (M) 3.79 (M) 3.32	(M) 2.05 (M) 3.79 (M) 3.32			
TKM GM OF/LPP 復原性能乙基準 (21.0) 丙" (GZmax 2.03M) 丁" ( $\theta_{\text{max}} 230^\circ$ )	(M) 5.71 (M) 1.08 (M) 0.88 (%) 5.34 2.07 0.56 3.89	(M) 5.71 (M) 0.91 (M) 0.72 (M) 5.50 1.50 0.44 3.63	(M) 5.71 (M) 1.21 (M) 0.90 (M) 5.69 1.90 0.64 4.09	(M) 5.73 (M) 0.68 (M) 0.68 (M) 5.87 1.72 0.52 3.84	(M) 5.73 (M) 0.58 (M) 0.58 (M) 5.07 2.05 0.46 3.73	(M) 5.75 (M) 0.52 (M) 0.52 (M) 5.13 1.52 0.38 3.51	(M) 5.75 (M) 0.52 (M) 0.52 (M) 4.07 — 0.37 3.61	(M) 5.75 (M) 0.52 (M) 0.52 (M) 4.07 — 0.37 3.61	(M) 5.75 (M) 0.52 (M) 0.52 (M) 4.07 — 0.37 3.61			

※ GM. 自由水影響を考慮したもの。

#### 2.4.2.3 計画上の考察

##### (1) 船型

船型は氷縁海域における氷中航行のために碎氷型とはするが、氷中航行期間が短いことから、開水中の推進性能、耐航性等にも十分な配慮が必要である。

本船の場合、主として流氷中を航行する碎氷船であるため 極海域用の船のように硬い氷は考える必要はない。碎氷能力本位の船型の場合は、水線付近のステムと水平線との角度を約20度にするのが良いとされているが、本船は約30度とし、船首部に volumeを持たせた。トリム性能上からもこのようにすることが好ましい。

碎氷船の船首形状には、V型、スプーン型、WAAS型などがあるが、乱氷域で氷の弱そうな部分を選んで、ここに割れ目を作つて前進するためには船首端の尖ったV字型が適している。また、開水域での行動の点からもV型が適している。

碎氷船の肋骨線形状は一般に凸型であるが、本船では開水中の耐航性能、しぶきの凝着による着氷の低減を考慮し船首乾舷を大きくとると共にこの部分の肋骨線に通常の碎氷船には見られないフレア及びナックルを設けた。

更に、チャージング時に船体が氷盤に乗り上げ過ぎないようにステム下部を ice foot 形状とする。

中小型碎氷船は大氷塊の間を縫うように航行することとなるために究めて勝れた運動性能を保有していかなければならない。流氷中でチャージングを行うときも、船首で目標地点を的確にアタックするために機敏な操船が出来なくてはならない。以上を考慮し、本船は2舵を装備するものとした。

2舵とすると後進時に2枚の舵の間に氷片が集積するおそれがあるが、上述の性能とのトレード・オフとして考えるべきであろう。尚、氷片集積状況を氷海水槽試験により十分に観察し、その結果を船型の設計に活用することが望ましい。

船尾形状は碎氷片の浮上を容易とすること、2軸船の開水域での良好な性能の確保及び十分なチップ・クリアランスを取ること等を考え出来るだけバトック・フロー形状とした。

初期の碎氷船では船体構造と氷圧との関係が不明であったため、氷圧力を緩和する目的で船側傾斜を大きくとって居たが最近ではソ連やカナダの規則にも見られるように8°程度で十分とされている。ライズ・オブ・フロアも“ふじ”や“しらせ”的船型に関しては船速がごく低いときを除いてはあまり効果はないので氷片の浮き上がりを考えてライズ・オブ・フロアの大きさを決める必要性は低い。

船首形状をV型、船尾をバトックフロー型とし、船側傾斜、ライズ・オブ・フロアも必要最小限とすると船体中央部にボリュームを集めることが可能となる。このような船型とすると、C  $\propto$  を大きく取ることが出来るため、開水域での船体横揺れの軽減が図れる。このことは“ふじ”（お椀型  $\propto$  SECTION）と“しらせ”（台形に近い  $\propto$  SECTION）の波浪中における横揺れの大きさの差を考えればその効果は明らかである。

氷片が成るべく当たらないように、プロペラは出来るだけ深く没水させた方が良いので、主軸にはレーキを持たせた。また主軸を氷片との摩擦や損傷から保護するためにポッティングを付けた。

後進時に舵の上方表面を保護するために、アイス・ホーンを船尾に設けた。

##### (2) 碎氷能力

約0.6m厚さの平盤氷（曲げ強度5kg/cm）中を船速3ノットにて連続碎氷可能であることを目標とした。

尚、チャージング碎氷の場合には、1m厚さの平盤氷を碎氷出来ると予想される。

船速については、本船型の用途の一つとして沿岸の警備も想定するという観点から一応 18 ノット付近を目標としている。

#### (3) 船殻構造

NK の Ice class AA 級の耐氷構造を基本とするが、ASPPR, NV 及び RS の碎氷船規則等も参考とする。

氷荷重は碎氷能力から考え ASPPR Class 2 ~ 3 相当のものとする。

氷海船舶は一般にピルジ・キールが無いが、本船の場合、無氷期の航行が時間が比較的長くかつ荒天中でも行動する場合があるため横揺れ防止のためにピルジ・キールを設けることとする。氷海中の航行によりピルジ・キールは曲損することが、当然予想されるが、止むを得ないものとする。

#### (4) 推進システム

碎氷船の推進方式としては、各種の原動機と電気推進装置との組み合わせ及びディーゼル主機関と可変ピッチプロペラとの組み合わせが一般的であるが本船は中型碎氷船であり、スペース的な余裕が無いため、重量も比較的軽く、コンパクトに収まる後者を探り上げた。後者の組み合わせの場合、非常に厳しい氷象中を航行する碎氷船では主機関とプロペラとの間に流体継手を介してアイス・トルクを吸収すると共に、プロペラの低回転時にも高いトルクを発揮出来るようになっているものもあるが、本船型の場合、対象とする氷海域の状況が極地域や北海等のそれに比べかなり緩やかなものであるので“そうや”等の実績も考慮のうえ流体継手等の特殊装置は設備しないことにする。

プロペラの材質としては北欧、ソ連の碎氷船ではステンレスがカナダではニッケル・アルミ・ブロンズが主に使用されている。“そうや”的プロペラの材質はニッケル・アルミブロンズであるが、プロペラと氷との接触に対して優位にあるステンレスが適当と思われる。

設計基準としてはNKのIce class AA をベースに 1 A - Super 並びにカナダルールである ASPPR の class 3 を参考にする。

氷海中を航行する船舶では氷片により冷却海水吸入用のシーチェストが閉塞しがちなので、シーチェストの形状と大きさ、氷片溶解又は除去の方法に十分注意する必要がある。

尚、ボイラの容量は十分なものとし、エアコン／ヒーティングのための熱量が不足しないよう留意する。

#### (5) パウスラスター

型式としてはインペラ型とウォーター・ジェット型のものがある。氷象の厳しい海域で行動する碎氷船では氷片の噛込みの少ないウォーター・ジェット型を採用しているものもあるが、本船はインペラ型で十分と思われる。

#### (6) 氷に乗り上げた時の復原性

White の式により、氷盤に乗り上げたとき、垂直下方から船首に作用する力を求め、衝突時船速 3 ノットと 5 ノットのときの復原性を前年度検討したが、これから常備状態（着氷時）には 5 ノット以下の船速で乗り上げるようにする必要がある。

詳細については以下参照

## 氷に乗り上げたときの復原性

碎氷船が速力  $v_i$  で氷に乗り上げ停止したときに下方から垂直に船首部に作用する力は White により次のように与えられる。

$$F = 6.5177 v_i (\text{WR} \times \Delta)^{0.845}$$

ここで  $F$  : 垂直下方から船首に作用する力 (t)

$v_i$  : 衝突時船速 (m/sec)

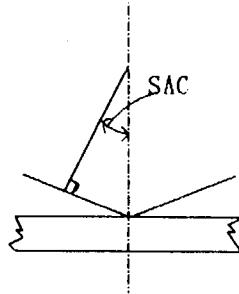
WR : White ratio

$\Delta$  : 排水量 (t)

WRは次式で与えられる。

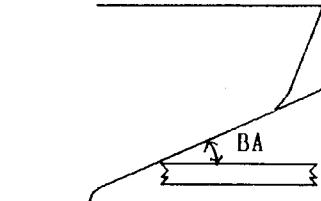
$$\text{WR} = 0.000234 \cdot (10.72 + \frac{B}{d}) \cdot (0.1833 + c_w) \\ \times (1.652 - C_b) \cdot (6.14 - \text{SAC}^2) \cdot (0.725 - f_k) \times (1.718 - \text{BA})$$

SAC : 右図 (ラジアン)



$f_k$  : 動摩擦係数  $0.1 \sim 0.2$

BA : 右図 (ラジアン)



今、SR204 1000トン型船型についてWRを計算すると、(常備状態着氷)

$$\text{WR} = 0.000234 \times (10.72 + \frac{11.6}{3.86}) \times (0.1833 + 0.819) \times (1.652 - 0.564)$$

$$\times (6.14 - 0.7854^2) \times (0.725 - 0.1) \times (1.718 - 0.541)$$

$$= 0.0141 \quad \text{但し, } \text{SAC} = 45^\circ = 0.7854 \text{ ラジアン} \quad \text{ST. } 9\frac{3}{4}$$

$$\text{BA} = 31^\circ = 0.541 \quad " \quad .$$

$$f_k = 0.1 \quad \text{とした。}$$

常備状態(着氷時)で船速3ノット及び5ノットで氷盤に乗り上げるときについて計算する。

(i)  $v_t = 3$  ノット ( $1.5432 \text{ m/s}$ )

$$F = 6.5177 \times 1.5432 (0.0141 \times 1779)^{0.845} = 153 \text{ t}$$

Fの作用点を keel から 1.1 m 高さ,  $\otimes$  から 3.0 m 船首寄りの点とする。  
(KPo)

乗り上げ後排水量  $\triangle' = 1779 - 153 = 1626 \text{ t}$

相当吃水  $d' = 3.61 \text{ m}$

乗り上げ後重心高さ  $KGv = (KG \cdot \triangle - KPo \cdot F) / (\triangle - F)$

$$= (4.76 \times 1779 - 1.1 \times 153) / (1779 - 153)$$

$$= 5.10 \text{ m}$$

$$TKM = 5.70 \text{ m}, GM = 5.70 - 5.10 = 0.60 \text{ m}$$

$$GM = 0.60 - 0.35 = 0.25 \text{ m}$$

$$d_f = 2.67 \text{ m}, Trim = 1.83 \text{ m}$$

$$d_a = 4.50 \text{ m}$$

(ii)  $v_t = 5$  ノット ( $2.5722 \text{ m/s}$ )

$$F = 6.5177 \times 2.5722 (0.0141 \times 1779)^{0.845} = 255 \text{ t}$$

Fの作用点は(i)と同じとする。

乗り上げ後排水量  $\triangle' = 1779 - 255 = 1524 \text{ t}$

相当吃水  $d' = 3.45 \text{ m}$

乗り上げ後重心高さ  $KGv = (4.76 \times 1779 - 1.1 \times 255) / (1779 - 255)$

$$= 5.37 \text{ m}$$

$$TKM = 5.72 \text{ m}, GM = 5.72 - 5.37 = 0.35 \text{ m}$$

$$GM = 0.35 - 0.35 = 0$$

$$d_f = 1.80 \text{ m}$$

$$Trim = 3.23 \text{ m}$$

$$d_a = 5.03 \text{ m}$$

#### 2.4.2.4 船型の検討

##### (1) 船体線図

線図計画に当たっては前項“船型”で述べたような概略発想をベースにするがその基本方針としては「平水中及び波浪中の航行性能を大幅に損なうことなく、所期の碎氷性能を付与する」という観点に立ち以下に列挙する性能諸要素とこれらと密接に関連する船型要素について各々検討し、総合的に Compromise を行って船型を決定した。

###### 1) 平水中推進性能

設計フルード数は 0.354 と高いので造波抵抗を極力低下させる必要がある。このため従来データを造波抵抗理論を用いて評価し、最適  $C_p$  値と最適プリズマチック曲線を求める手法を採用した。船首端部を除き、極力この曲線を採用した。船尾は若干没水部を有するトランサムスターーンを採用した。

## 2) 砕氷性能と水中航行性能

平水中及び波浪中航行に悪影響を及ぼさない範囲で、所期の砕氷性能が得られるように、船首材の傾斜角（30度），肋骨線形状を採用した。

船体前半部の吃水線はやや凸型とし、砕氷力の増加と氷縁抵抗の低減を図った。

船尾は没水型トランサムとし、プロペラ上面を船体が充分カバーできる水線幅をもたせ、かつ後進時に氷片が船尾の下に容易に流入するのを防止することとした。

一般に砕氷船は、船尾形状はクルーザスターのように丸味を持った方が水中旋回を比較的容易にできたり、後進中の砕氷片を船側に容易に押しやることができる等の利点があるが、本研究の場合対象とする氷象が例えば北極海のようには厳しくないので船尾形状については1)に述べたように平水中の推進性能優先にて考えた訳である。ただし、後端幅が余り大きいと後進の際氷片の堆積が懸念されるので、その幅は全幅の30%位としている。

## 3) 推進器の配置等

砕氷中はプロペラは極力氷に接触しないほうが良い。そのためには2個のプロペラをなるべく船体中心線に近づけることが望ましい。

一方無氷域にあっても、プロペラを中心線寄りに設けることが得策であると思われる所以、通常の「2軸ボッシング+センタースケグ」の配置を取り替わりて、Twin Skeg Sternを採用した。

## 4) 動搖性能

通常の砕氷船型は横切面の形状が丸味が付いて横揺れ抵抗が小さく、揺れ易い。

本船ではQ-sectionを角型に近付けると共に肋骨線形状も丸味の少ないV型とし、水線面積係数も大きめとして、「そうや」クラスに比べて揺れにくい船型を採用した。

## 5) 凌波性

「そうや」型の船首はややtumble homeのついた船首であったが、本船では船体寸法が「そうや」型よりも小さく同一海象のもとでは凌波性の不足が考えられる。それ故着氷の主原因となる甲板上への飛沫の飛来を減少させることができるのである。そこで船首回りの形状は可能な限りフレアを付け、かつフレアの途中にナックルを付けている。尚、フレアとナックルとの関係については付録1等を参考にした。

## 6) 操縦性能

2軸2舵で、舵面積比は「そうや」の20%増しとし、かつ、プロペラ直後に舵を置いた。この結果「そうや」に比べて大幅な操縦性能の改善が期待される。

### (2) 副部設計のポイント

#### 1) Twin Skeg

必要最小限の厚さとし、また後端のCut upも大きくとり、wake分布の劣化を防ぐ。

#### 2) Ice Shore (fore foot)

極端な氷板上への乗り上げを防止するため「そうや」並のプロポーションで設置する。

#### 3) Ice Horn (rudder protector)

旧いtextでは舵角±2°程度までについて舵後縁がhornの外縁内に納まるようにとされている。

ここでは「しらせ」の実績ベースに設計し、舵角±10°がとれる様にした。

#### 4) Fin Stabilizer, Bilge Keel

ヘリコプタ2機搭載型巡視船のものに倣って、これらの翼面積を決定した。

但し、Bilge Keelは单板型とする。

本船型の概略線図を図2.4.7に前後部形状を図2.4.8に示す。

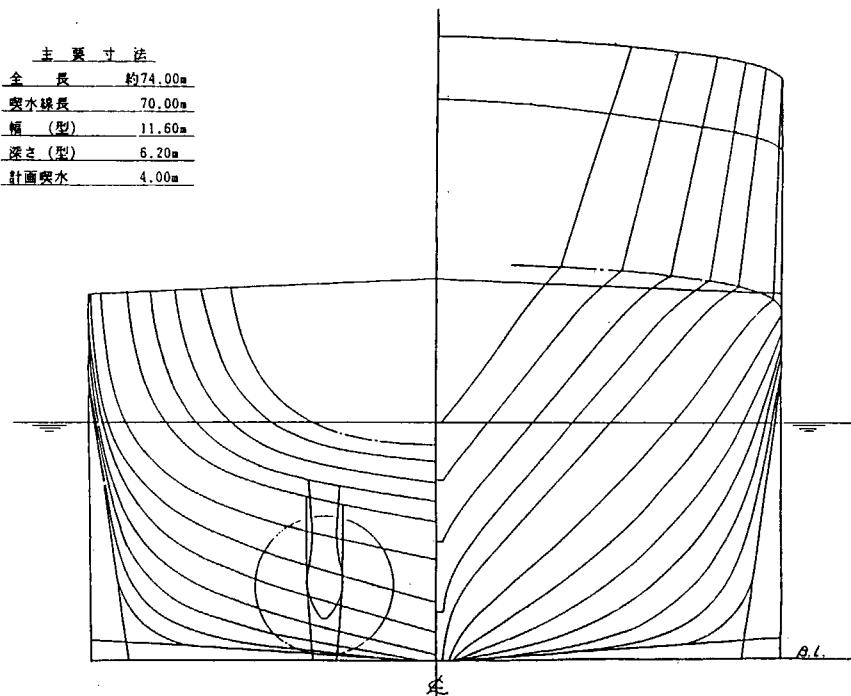


図 2.4.7 中型碎氷船概略線図

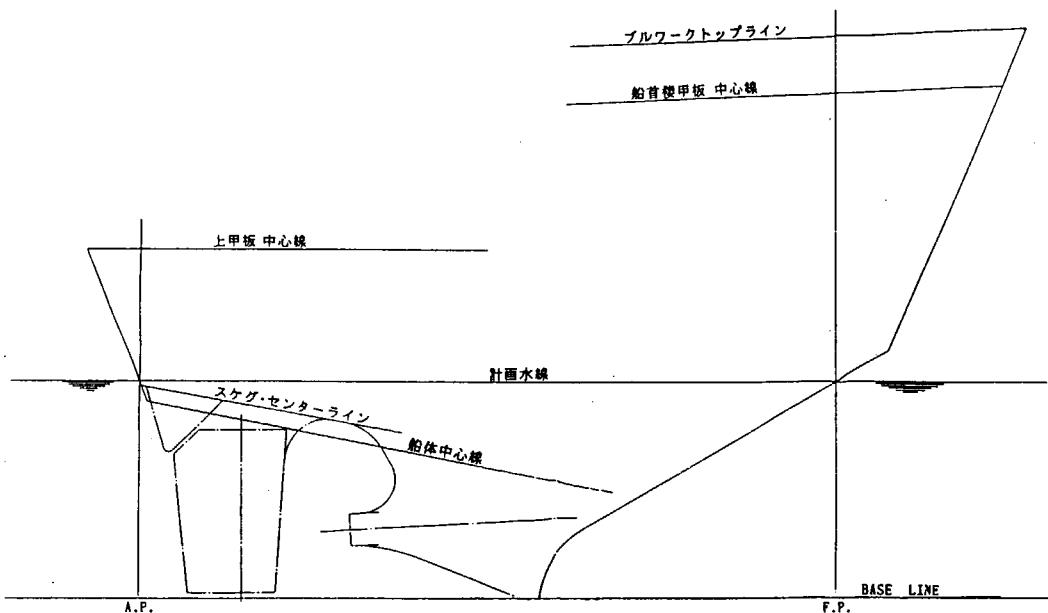


図 2.4.8 中型碎氷船前後部形状図

### 3. 中小型碎氷船の水槽試験

#### 3.1 模型船の製作

##### 3.1.1 模型船

中型碎氷船 ( $L/B = 5.59$  及び  $6.03$ ) の模型船を担当各社において製作した。

模型船は木製とし、長さは5メートルとした。また、波浪中試験を行うため、脱着式船首樓甲板を設けた。

その他の付加物として、 $L/B = 5.59$ 型においては、固定式のビルジキール、ボッシング及び脱着式のフォアフート、アイッシュ、曳航甲板、スターンスカートを設け、各々の付加物の性能、効果を確かめられるようにした。また、 $L/B = 6.03$ 型においては、固定式のビルジキール、フォアフート、アイッシュ、及び脱着式のボッシングを設けた。

模型プロペラは銅合金製またはアルミ合金製とし、担当各社で製作し、プロペラ単独試験を行った上で納入した。

今回は中型碎氷船の模型を製作したが、中型碎氷船と小型碎氷船は設計思想を同じくしており、従ってスケール比を変更することにより同一模型から両船の試験結果を得ることができる。 $L/B = 5.59$ 型について言えば、中型碎氷船としてはスケール比13.2分の1、小型碎氷船としてのそれは10分の1となる。

##### 3.1.2 模型船の塗装

両模型船の船体表面には、氷海用塗料 INSLAC 100 を塗布した。Model No. 504については63年5月25日～27日にNKK津研究所において、また、Model No. 505については63年6月27日～28日にIHI横浜技術研究所において塗装作業を行った。塗装面積は約8m<sup>2</sup>である。

塗料は2液混合型であるため特殊塗料機を用いて塗装した。

本塗料はウレタン樹脂系であり、氷海用として必要な特性の他、一般の塗膜性能、塗装作業性なども十分考慮して設計されており次の特長を有する。

- －衝撃、摩擦に強く、強靭な塗膜になる。
- －氷が着きにくく、着いても取れやすい。
- －低温乾燥性がよく、0℃でも硬化する。
- －超速乾タイプのため、塗装後1時間でハンドリングができる。
- －塗膜は低温でも十分な性能を発揮する。
- －1回の塗装で超厚膜が確保できる。
- －防蝕プライマーの併用により海水没水部に対応できる。

本塗料の塗膜性能を以下に示す。

項目	試験条件	性能
樹脂タイプ		ウレタン樹脂系
硬度	ショアーハード "D" -25°C -60°C	83 85
耐衝撃性	デュポン式 -25°C -20°C -60°C	1.0 < kg·m 0.90 kg·m 0.60 kg·m
接着強度	-20°C -60°C	100 kg/cm <sup>2</sup> 110 kg/cm <sup>2</sup>
接蝕角		81度
氷との	Break away -20°C -60°C	0.110 0.105
摩擦係数	Static -20°C -60°C	0.020 0.015
着水力	-20°C -60°C	0.20 kg/cm <sup>2</sup> 0.40 kg/cm <sup>2</sup>
吸水率	純水浸漬90日 (インピーダンス法)	4.5%
耐海水性	実海水浸漬1年	異常なし
	3%食塩水(40°C)6ヶ月	異常なし

両模型船に対し本塗料を塗布し水槽試験を行ったが、模型船が木製であるために塗膜との適合がよくなく、一部に亀裂の発生がみられた。従って、実船では何ら問題ないとと思われるが、模型船の基本素材がやわらかい場合には、本塗料は海水水槽試験用の塗膜としては適正ではないと言える。

また塗装時においては、塗料が即乾性であるために模型船表面にミストの付着やゆず肌の発生等がみられたが、Model No. 505においては所定の摩擦係数を得るためにサンドペーパー等にて養生を行った。

これらは、塗装作業場の設備、環境等にもよるものであり模型船の塗装としては問題があるが、実船の場合には問題ないとおもわれる。

### 3.2 平水中試験

#### 3.2.1 試験状態

平中の抵抗・自航試験は、船舶技術研究所第2船舶試験水槽において行った。試験状態は、満載状態1状態である。乱流促進としては、通常船型とかなり異なる船首形状のため、2段のstudsを用いた。ただし、これらのstudsは、当然のことながら、氷中の試験実施前に除去し船体表面の補修を行った。

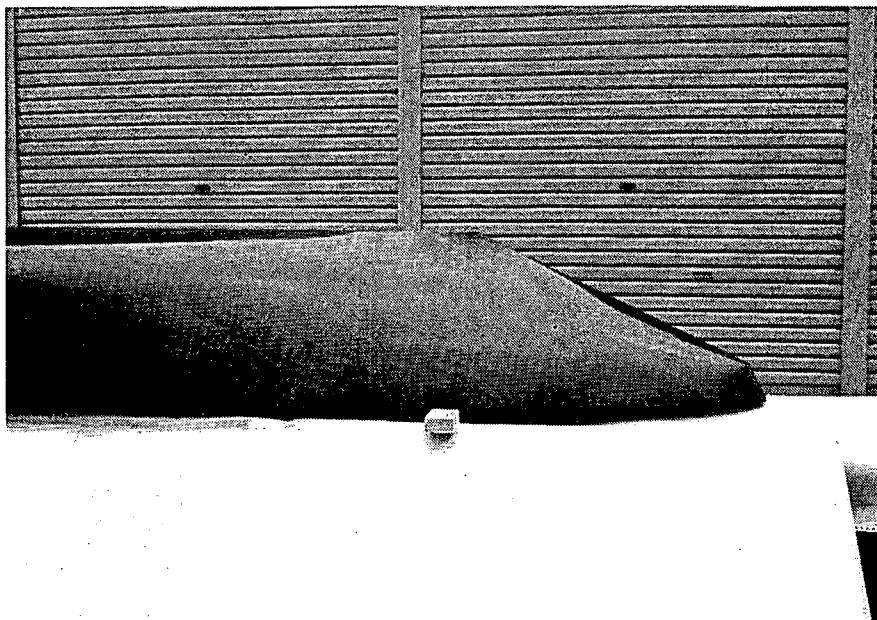


写真 3.1.1 模型船（ $L/B = 5.59$  型）船首部（FOREFOOTなし）

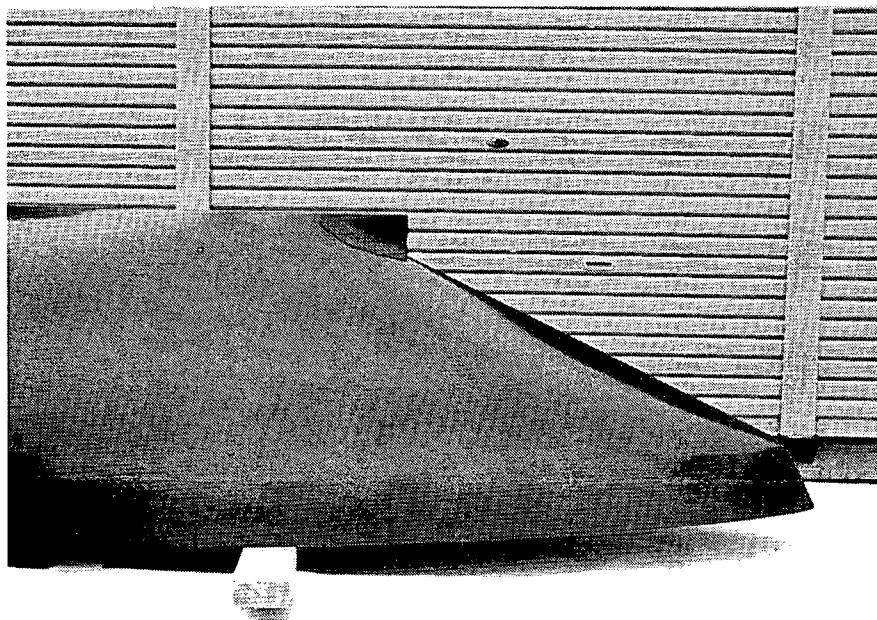


写真 3.1.2 模型船（ $L/B = 5.59$  型）船首部（FOREFOOTあり）

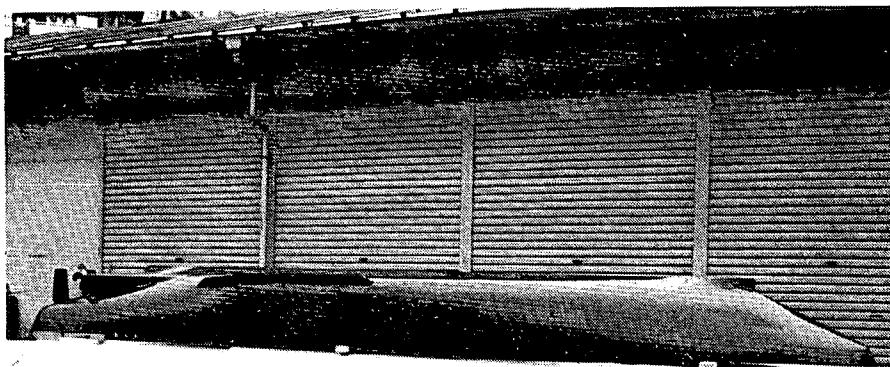


写真 3.1.3 模型船 ( $L/B = 5.59$  型)

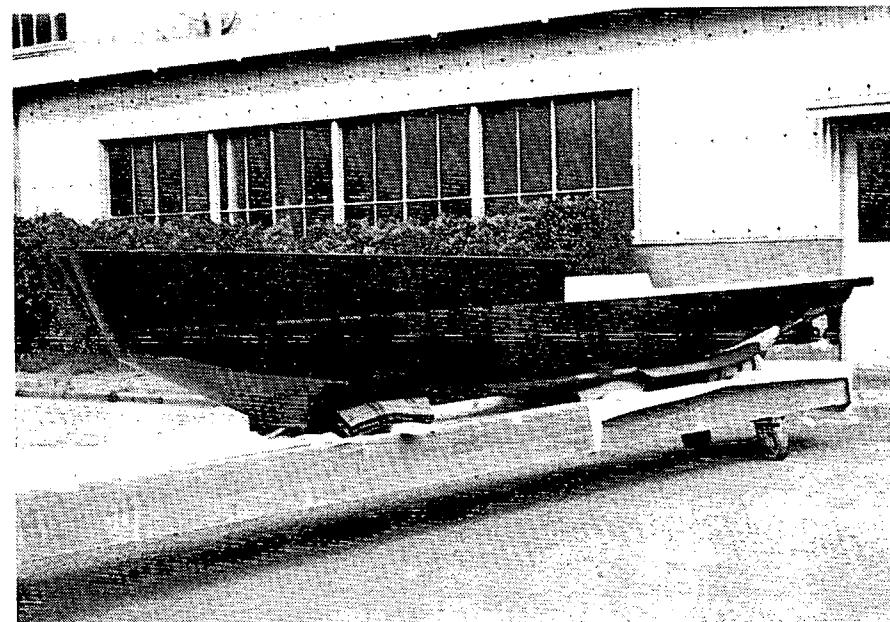


写真 3.1.4 模型船 ( $L/B = 5.59$  型) F'CLE DECKをつけた状態

試験状態を表・3.2.1 及び 3.2.2 に示す。

なお、M. NO. 504 については、SKEG の有無の影響を、また M. NO. 505 については、船首底部の FORE-FOOT を着脱して、その有無の影響も検討した。

### 3.2.2 抵抗試験

M. NO. 504 について、船首尾部沈下量、平均沈下量及びトリムを図・3.2.1 (FULL APPENDAGES) 及び図・3.2.2 (WITHOUT SKEG) に、剩余抵抗係数等を図・3.2.3 及び 3.2.4 に示す。

M. NO. 505 について、船首尾部沈下量、平均沈下量、トリムを図・3.2.5 (WITH FORE-FOOT) 及び図・3.2.6 (WITHOUT FORE-FOOT) に、剩余抵抗係数等を図・3.2.7 及び 3.2.8 に示す。また、各抵抗係数等を表・3.2.3 ~ 3.2.5 に示す。ただし、表中、FN：フルード数、VM：模型船速度、RNM：模型船レイノルズ数、CFOM：模型船の相当平板摩擦抵抗係数、RFM：模型船の摩擦抵抗係数（排水容積ベース）、RW：造波抵抗係数、RR：剩余抵抗係数、RFS：実船の摩擦抵抗係数、RST：実船の全抵抗係数である。

摩擦抵抗算式としては、Schonherr を用いた。

M. NO. 504 について SKEG の有無の影響を見てみると、トリムについてはかなりの影響が見られるが平均沈下量ではなく、従来検討されている通常船型についての結果とほぼ同様である。これを剩余抵抗係数で見ると、SKEG 付きでは、1割以上の抵抗増加となり、船型はかなり異なるが、通常船型での SKEG に関する研究結果から類推すれば、SKEG まわりの船型に多少改良の余地があると考えられる。

FORE-FOOT の有無の影響 (M. NO. 505) は、トリム及び平均沈下量では全く見られないが、抵抗には影響があり、特に中速域で大きい。船型によっては、大きな FORE-FOOT が水中抵抗上有利な場合もあるが、平水中の抵抗に対しては、顕著ではないにしても増加傾向にある。

M. NO. 505 (FORE-FOOT 付き) は、M. NO. 504 (SKEG 付き) に比較して、船尾沈下量及びトリムが多少大きく、特に船尾での有効乾舷が中・高速域で少なくなり、STERN NOTCH の接水・冠水が見られ、波浪中では STERN NOTCH が波にたたかれることになる。氷海中ではかなりの低速航行であること、これが着脱式のものであることから、氷海航行時にのみ使用に限定すれば問題がないようにも考えられるが、実航海では、氷縁海域での航行は避けられず、現状のままで、波浪荷重も考慮しておく必要がある。また、STERN NOTCH の飛沫着氷はかなりの量を想定する必要があり、構造様式によっては、除氷に手を焼くことになる。STERN NOTCH の役割を考えれば、水面上の高さにはおのずから制約があり、船型の選択によっては、ある程度有効乾舷を増すことも可能であり船尾乾舷の設定には慎重な考慮が肝要である。

剩余抵抗係数での比較では、M. NO. 505 (FORE-FOOT 付き) は、全速度域で、M. NO. 504 (SKEG 付き) より大きく、中速域でかなりの差異となる。ただし、FORM FACTOR は、それぞれ、0.27 (M. NO. 504)、0.34 (M. NO. 505) である。

### 3.2.3 自航試験

プロペラ単独性能試験は、M. NO. 504 に装備した模型プロペラ M. P. NO. 297 R & L については、日本鋼管㈱応用技術研究所試験水槽にて、また M. NO. 505 用のプロペラ M. P. NO. 298 R & L については、石川島播磨重工業㈱技術研究所試験水槽にて、それぞれ実施した。

それぞれのプロペラ単独性能試験結果を表・3.2.6 及び 3.2.7、図・3.2.9 ~ 3.2.11 に示す。ただし、M. P. NO. 297 は模型試験では固定ピッチプロペラとして使用してはいるが可変ピッチプロペラであり、ボス比は、M. P. NO. 298 の 0.180 に対して、0.326 と大きくかなりの差異がある。

自航試験結果を表3.2.3～5及び表・3.2.8、3.2.9、自航要素を図・3.2.12～3.2.14、伝達馬力等を図・3.2.15～3.2.17に示す。ただし、表中、 $N'$ ：プロペラ回転係数、 $T'$ ：スラスト係数、 $P'$ ：トルク係数、 $1-WT$ ：伴流係数、ETA-O：プロペラ単独効率、ETA-R：プロペラ効率比、 $1-T$ ：スラスト減少率である。

M.NO.505について、FORE-FOOTの有無の影響は予想通り殆ど見られない。ただし、いずれの模型船においても、軸系は水中試験に合わせて計画・製作されているため、平水中試験には多少適切さを欠いている懸念もあり、特に、M.NO.504では、アイドリングの問題を含め、左右軸の推進効率比の差異の一因であるとも考えられる。

両模型船の比較では、推力減少率には差異はなく、伴流係数ではM.NO.504が、また推進効率比ではM.NO.504が、また推進効率比ではM.NO.505が全般的にやや高い。

馬力等に對しては、FORE-FOOTの影響はごく僅かである。

両模型船の比較では、推進効率にかなりの差異があり、伝達馬力は、 $L/B = 5.59$ のM.NO.505が、 $L/B = 6.03$ のM.NO.504に比して、全速度域で低い。

表 3.2.1 供試模型船要目（試験状態）

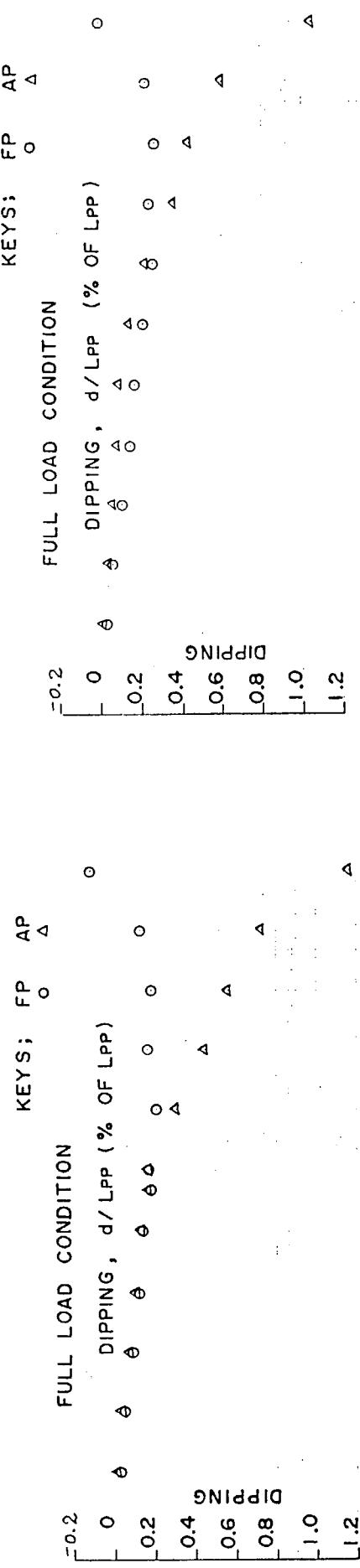
PARTICULARS	M.NO.504	M.NO.505
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS, L <sub>pp</sub> , m	5.000	5.000
LENGTH ON DES.LOAD WATER LINE, L <sub>WL</sub> , m	5.000	5.000
BREADTH, B, m	0.829	0.894
DEPTH, D, m	0.443	0.432
DRAFT, d, m	0.286	0.288
TRIM, t, m	0	0
VOLUME OF DISPLACEMENT, V, m <sup>3</sup>	0.6552	0.6953
VOLUME OF DISPLACEMENT(WITHOUT SKEG), V', m <sup>3</sup>	0.6430	-----
WETTED SURFACE AREA, S, m <sup>2</sup>	5.3602	4.900
LONG.CENTRE OF BUOYANCY, L <sub>CB</sub> , % OF L <sub>pp</sub>	1.049	0.300
LONG.CENTRE OF BUOYANCY(WITHOUT SKEG), L <sub>CB'</sub>	0.429	-----
BLOCK COEFFICIENT, C <sub>B</sub>	0.5627	0.5403
PRISMATIC COEFFICIENT, C <sub>P</sub>	0.6213	0.6521
MIDSHIP SECTION AREA COEFFICIENT, C <sub>M</sub>	0.9057	0.8285
WATER PLANE AREA COEFFICIENT, C <sub>w</sub>	0.8143	0.7774

表 3.2.2 模型プロペラ要目

PARTICULARS	M. P. NO. 297R&L	M. P. NO. 298R&L
DIAMETER, D <sub>p</sub> , mm	164.3	170.0
PITCH, P, mm	133.9	136.0
PITCH RATIO, P/D <sub>p</sub>	0.815	0.800
BOSS RATIO	0.326	0.180
BLADE THICKNESS RATIO	0.089	0.050
EXPANDED AREA RATIO	0.750	0.680
MEAN BLADE WIDTH RATIO	0.544	0.326
RAKE ANGLE, deg.	0	0
NUMBER OF BLADES, z	4	4
BLADE SECTION	MAU	MAU

### DIPPING, MEAN SINKAGE & TRIM CURVES

MODEL SHIP No. 0504



### DIPPING, MEAN SINKAGE & TRIM CURVES

MODEL SHIP No. 0504

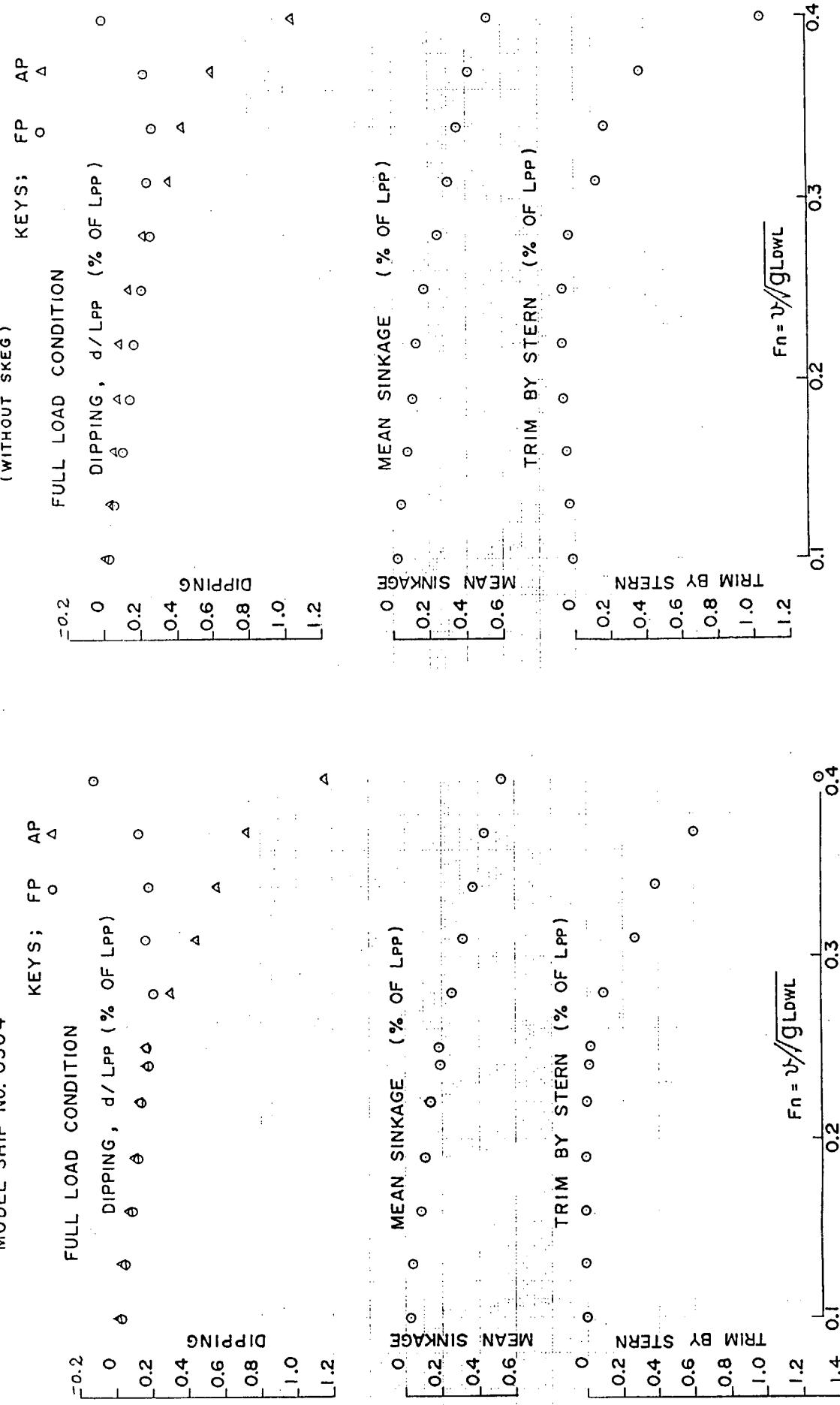


图 3.2.1 平均沉下量等

图 3.2.2 平均沉下量等

RESISTANCE TEST

MODEL SHIP No. 0504

FULL LOAD CONDITION

$$\gamma_R = R_F / \rho_s V_s^{2/3} U^2$$

$$\gamma_{FS} = R_F / \rho_s V_s^{2/3} U_s^2$$

$$\gamma_{FH} = R_F / \rho_h V_h^{2/3} U_h^2$$

$$Fn = U / \sqrt{g L_{DWL}}$$

図 3.2.3 剩余抵抗係数等

RESISTANCE TEST

MODEL SHIP No. 0504  
(WITHOUT SKEG)

FULL LOAD CONDITION

$$\gamma_R = R_F / \rho_s V_s^{2/3} U^2$$

$$\gamma_{FS} = R_F / \rho_s V_s^{2/3} U_s^2$$

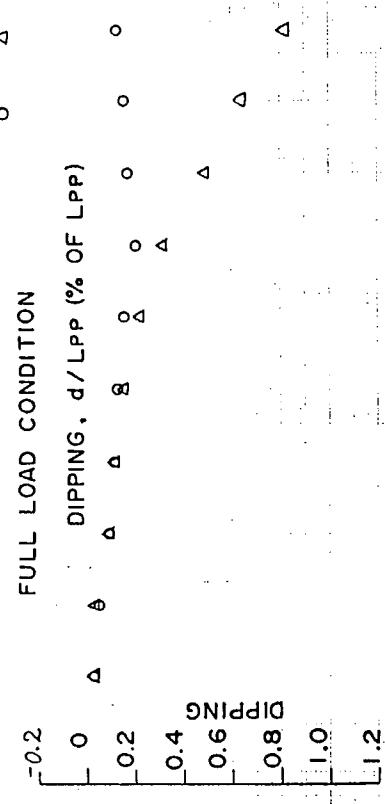
$$\gamma_{FM} = R_F / \rho_m V_m^{2/3} U_m^2$$

$$Fn = U / \sqrt{g L_{DWL}}$$

図 3.2.4 剩余抵抗係数等

### DIPPING, MEAN SINKAGE & TRIM CURVES

MODEL SHIP No. 0505



### DIPPING, MEAN SINKAGE & TRIM CURVES

MODEL SHIP No. 0505  
(WITHOUT FORE FOOT)

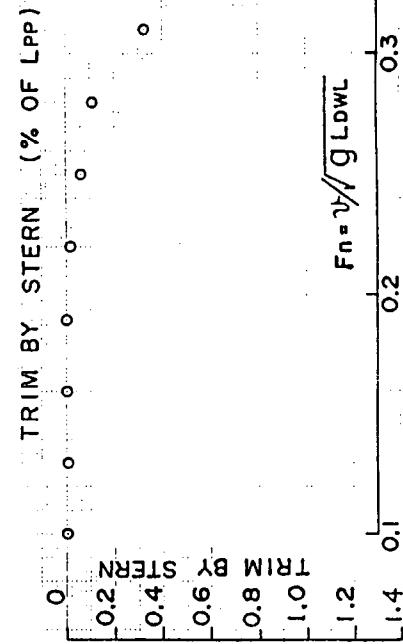
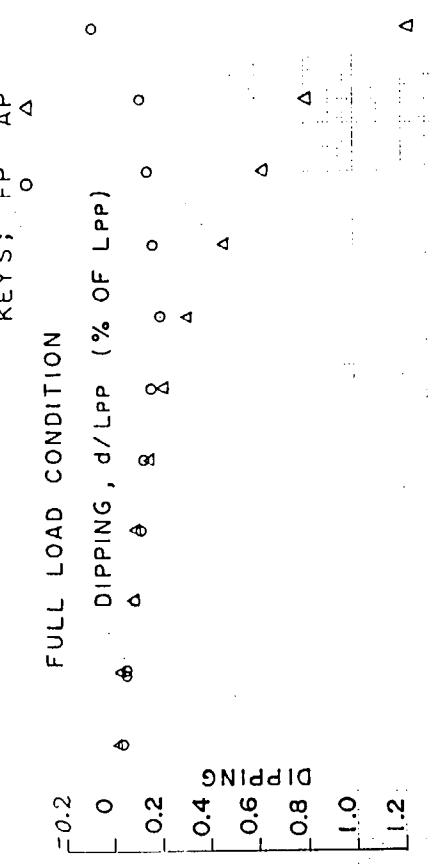


図 3.2.5 平均沈下量等

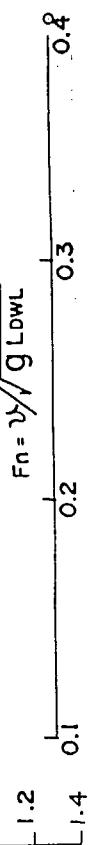


図 3.2.6 平均沈下量等

RESISTANCE TEST

MODEL SHIP No. 0505

RESISTANCE TEST

MODEL SHIP No. 0505  
(WITHOUT FORE FOOT)

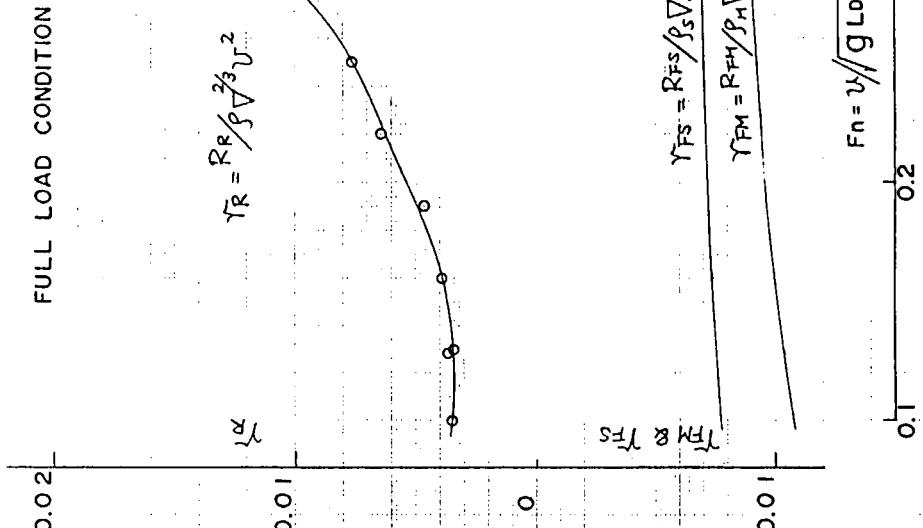
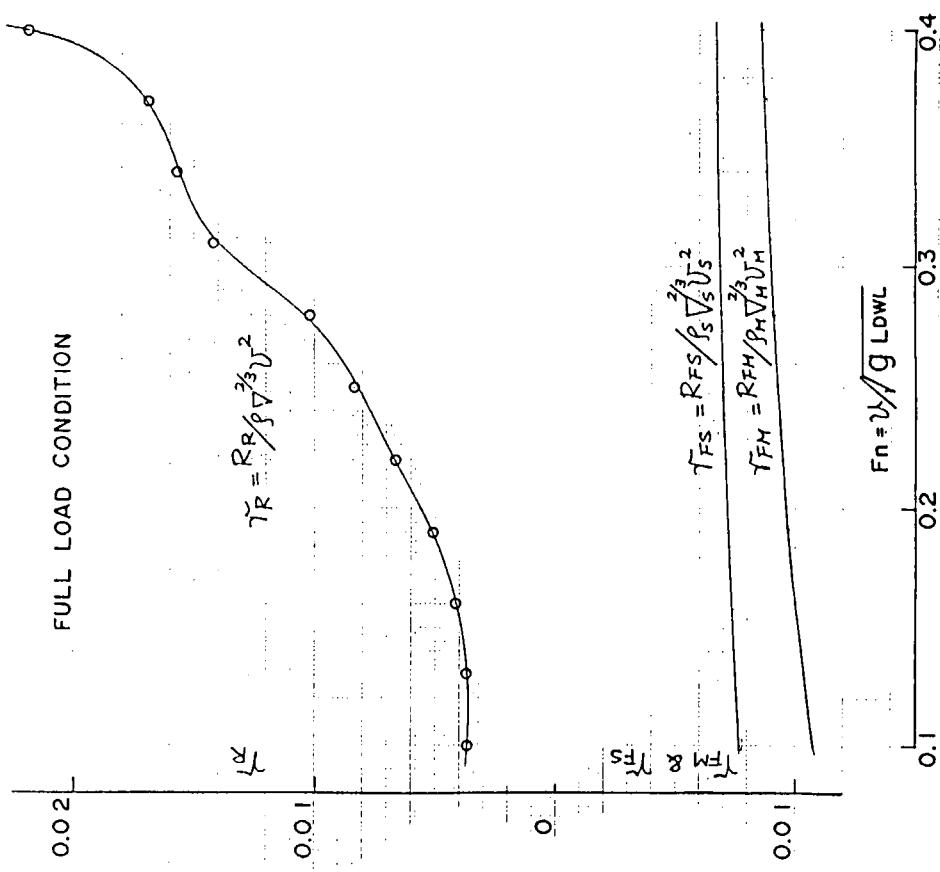


图 3.2.7 剩余抵抗系数等

图 3.2.8 剩余抵抗系数等







表 3.2.6 プロペラ単独試験結果

M. P. NO. 297L  
 WATER TEMP. : 15.0 °C  
 I/D : 200.0 %  
 EXP. DATE : May, 1988  
 TURNING DIRECTION : CLOCKWISE  
 $R_{np} = 0.86 \times 10^6$

ピッチ角 0° (規準ピッチ)

J	KT	10KQ	ETAO	$\sqrt{KT/J^2}$
0.0	0.4338	0.5683	0.0	—
0.0996	0.3896	0.5117	0.1193	6.2669
0.1977	0.3419	0.4650	0.2313	2.9576
0.2970	0.2924	0.4105	0.3367	1.8207
0.4003	0.2410	0.3562	0.4310	1.2264
0.5016	0.1908	0.2998	0.5081	0.8708
0.6018	0.1440	0.2459	0.5609	0.6306
0.7027	0.0999	0.1932	0.5784	0.4498
0.8033	0.0551	0.1317	0.5118	0.2922
0.9062	0.0070	0.0726	0.1381	0.0923

表 3.2.7 プロペラ単独試験結果

OPEN WATER TEST RESULTS

M.P.NO.298L

DATE: JUL.11, 1988 TEMPERATURE: 19.1°C REYNOLDS NUMBER: 3.00 X 10<sup>5</sup>

J	KT	KQ	ETAO
0.00	0.3851	0.04722	0.00
0.05	0.3702	0.04544	0.065
0.10	0.3535	0.04361	0.129
0.15	0.3353	0.04173	0.192
0.20	0.3159	0.03977	0.253
0.25	0.2955	0.03774	0.312
0.30	0.2743	0.03562	0.368
0.35	0.2525	0.03341	0.421
0.40	0.2303	0.03112	0.471
0.45	0.2078	0.02873	0.518
0.50	0.1850	0.02625	0.561
0.55	0.1619	0.02369	0.598
0.60	0.1386	0.02106	0.629
0.65	0.1151	0.01835	0.649
0.70	0.0911	0.01558	0.652
0.75	0.0668	0.01277	0.624
0.80	0.0418	0.00992	0.536
0.85	0.0160	0.00706	0.307
0.90	-0.0108	0.00420	-0.367

## OPEN WATER TEST RESULTS

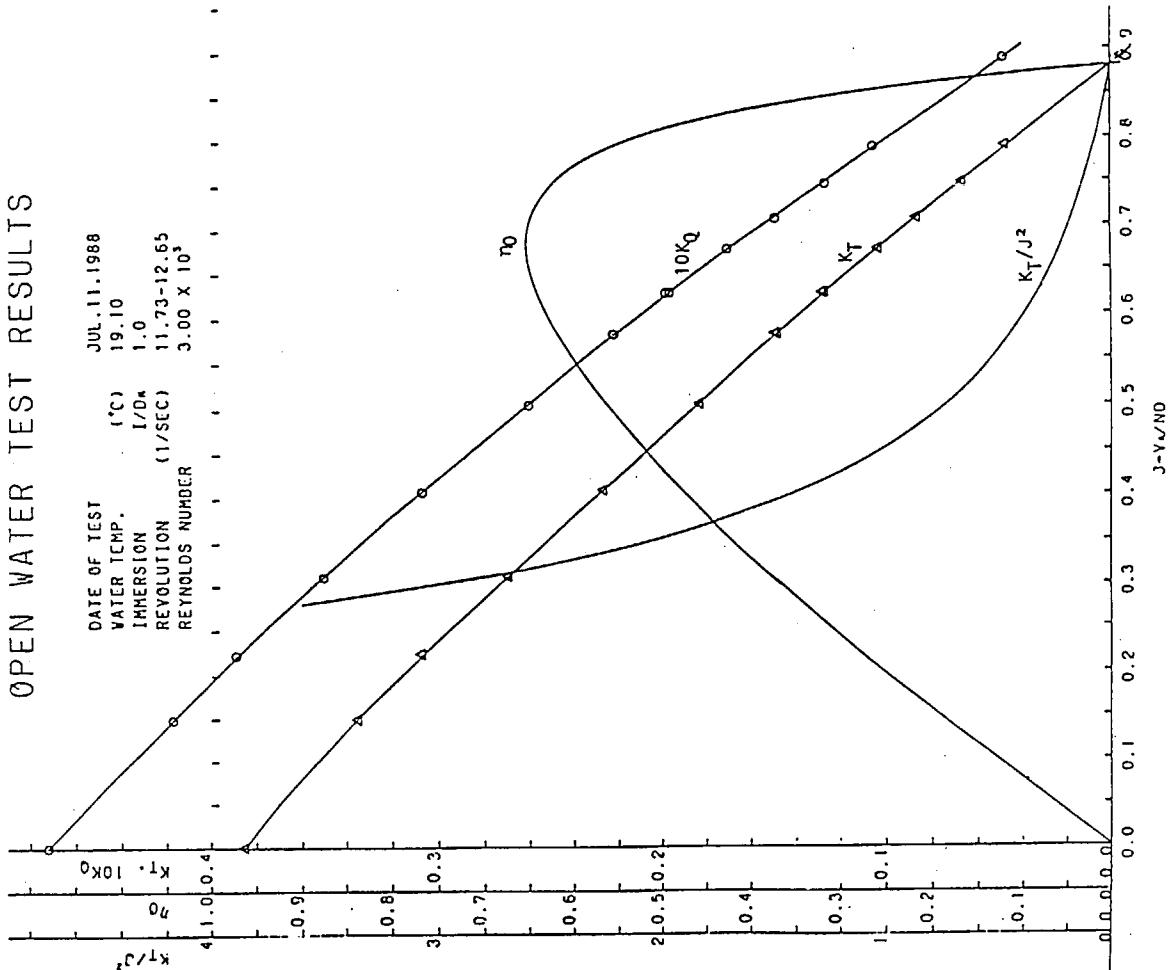


図 3.2.10 ブロペラ単独性能 (M. P. NO. 298 R)

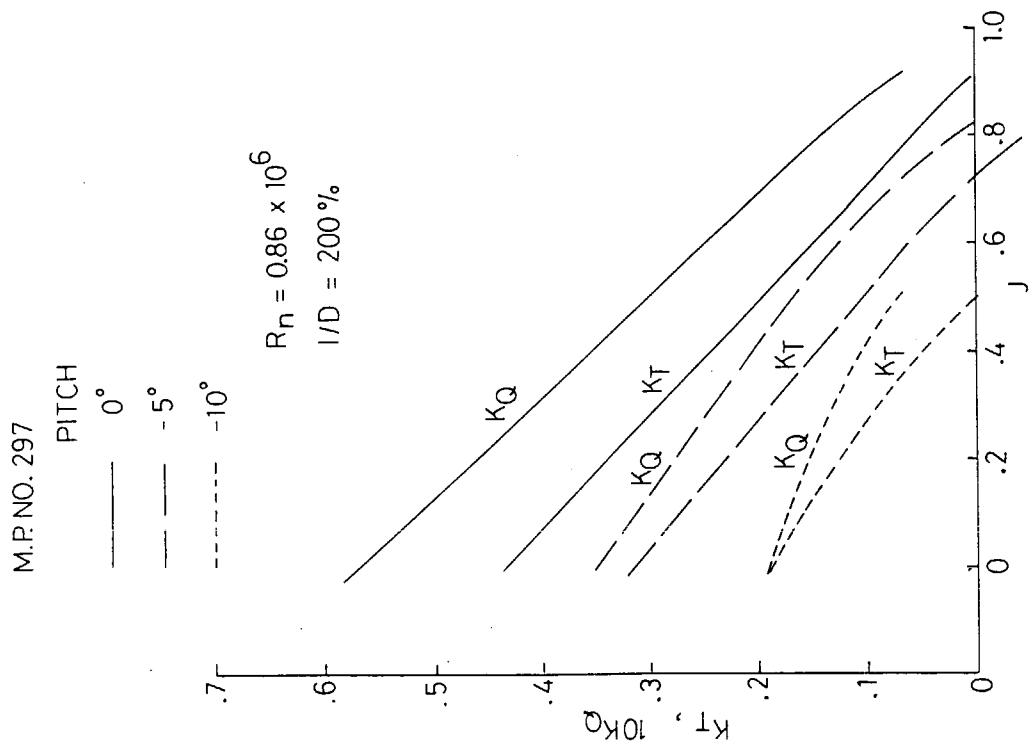


図 3.2.9 ブロペラ単独性能

## OPEN WATER TEST RESULTS

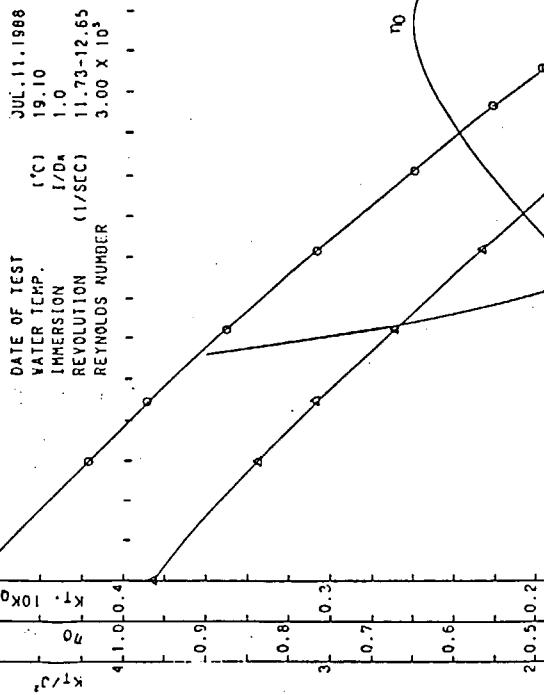


表 3.2.8 自航試験結果

M.S.NO. 0504 * M.P.NO. 299-U		CONDITION FULL		DATE 63-9-29	
T.NO.	VH (m/s)	N (rps)	T (kg)	Q (kg-m)	R (kg)
1	1.540	12.800	2.8054	0.0803 +00.516	2.939
2	2.590	25.520	14.9332	0.41539 +01.217	13.319
3	1.750	14.910	4.0161	0.12271 +00.728	4.117
4	0.910	7.310	0.7721	0.02570 +00.254	0.958
5	1.330	10.820	1.5695	0.05979 +00.461	2.073
6	0.700	5.733	0.4778	0.01615 +00.122	0.588
7	1.120	9.066	1.2618	0.04076 +00.343	1.445
8	1.960	17.190	5.8894	0.16554 +00.829	5.575
9	2.170	20.310	8.6880	0.24956 +01.016	8.137
10	2.380	22.880	11.3467	0.32097 +01.267	10.554
11	2.800	29.100	20.9058	0.56533 +01.535	18.647

表 3.2.9 自航試験結果

M.S.NO. 0505 * M.P.NO. S204M		CONDITION FULL		DATE 63-9-29	
T.NO.	VH (m/s)	N (rps)	T (kg)	Q (kg-m)	R (kg)
1	2.800	28.100	22.2052	0.54953 +01.044	19.064
2	2.590	24.480	15.7020	0.39403 +00.910	13.725
3	1.750	14.550	4.5074	0.11755 +00.437	4.307
4	0.910	7.0000	0.8217	0.02247 +00.205	0.929
5	1.330	10.420	1.9793	0.05314 +00.350	2.088
6	0.700	5.400	0.4839	0.01286 +00.133	0.565
7	1.120	8.650	1.3215	0.03572 +00.256	1.412
8	1.540	12.430	3.0299	0.08058 +00.419	3.050
9	1.960	16.600	6.1724	0.15912 +00.712	5.916
10	2.380	22.080	12.2634	0.30953 +00.975	11.098
11	2.170	19.620	9.4019	0.23917 +00.783	8.688

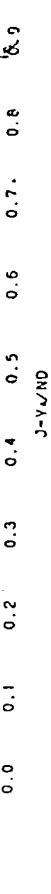


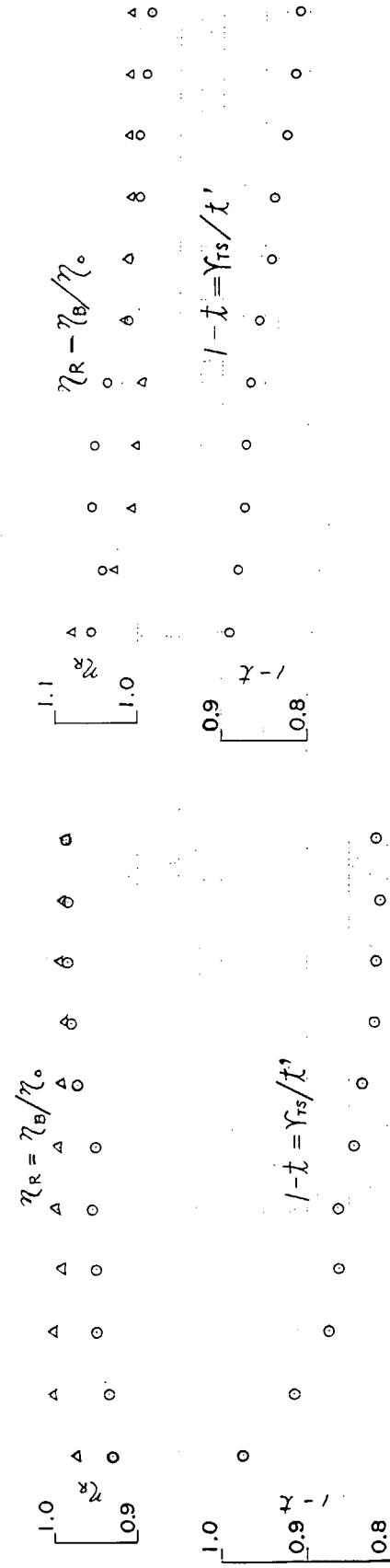
図 3.2.11 ブロペラ単独性能 (M. P. NO. 298L)

SELF PROPULSION FACTORS

M.S.No. 0504 X M.P.No. 0297 (OUTWARD TURNING)

KEYS      ○ STARBOARD  
         △ PORT

FULL LOAD CONDITION



SELF PROPULSION FACTORS

M.S.No. 0505 X M.P.No. 0298 (OUTWARD TURNING)

KEYS      ○ STARBOARD  
         △ PORT

FULL LOAD CONDITION

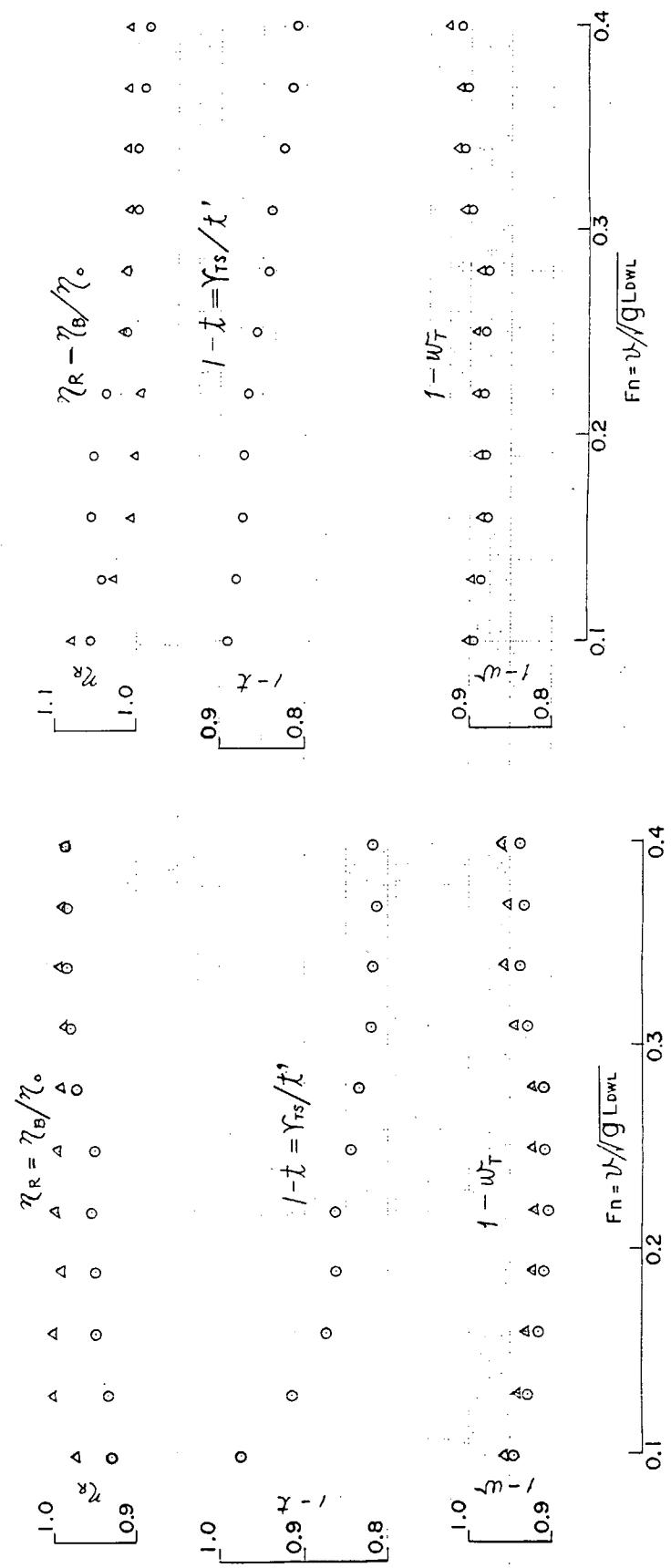


図 3.2.1 2 自航要素

図 3.2.1 3 自航要素

### DHP etc CURVES

M.S. NO. 0504 X M.P. NO. 297<sup>R</sup> (OUTWARD TURNING)

### SELF PROPELLION FACTORS

M.S. NO. 0505 X M.P. NO. 0298 (OUTWARD TURNING)

KEYS      ○ STARBOARD  
             △ PORT

FULL LOAD CONDITION  
(WITHOUT FORE FOOT)

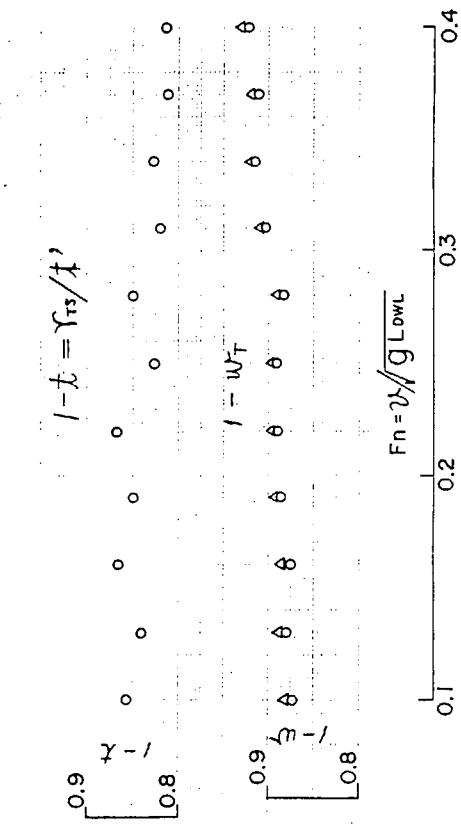
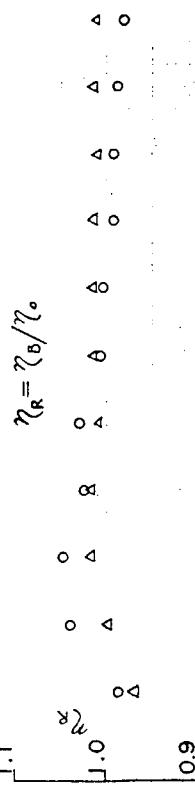


图 3.2.14 自航要素

### DHP etc CURVES

FULL LOAD CONDITION

$\Delta s = 1842 \text{ ton}$   
 $1 - w_s / - w_H = 1.0$   
 $\Delta C_f = 0.0004$

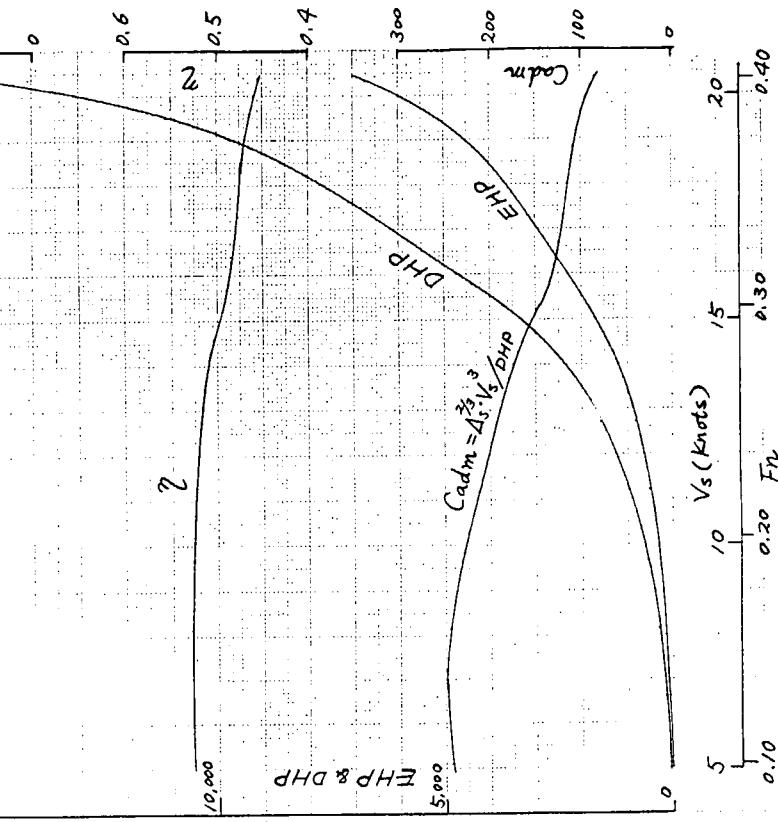
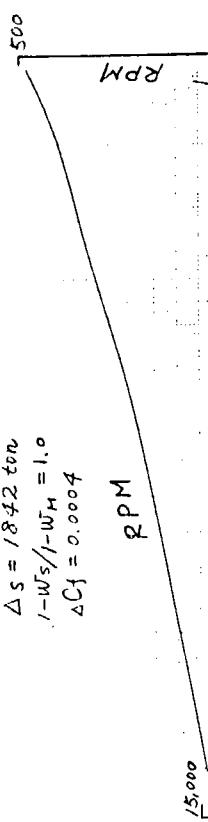


图 3.2.15 伝達馬力等

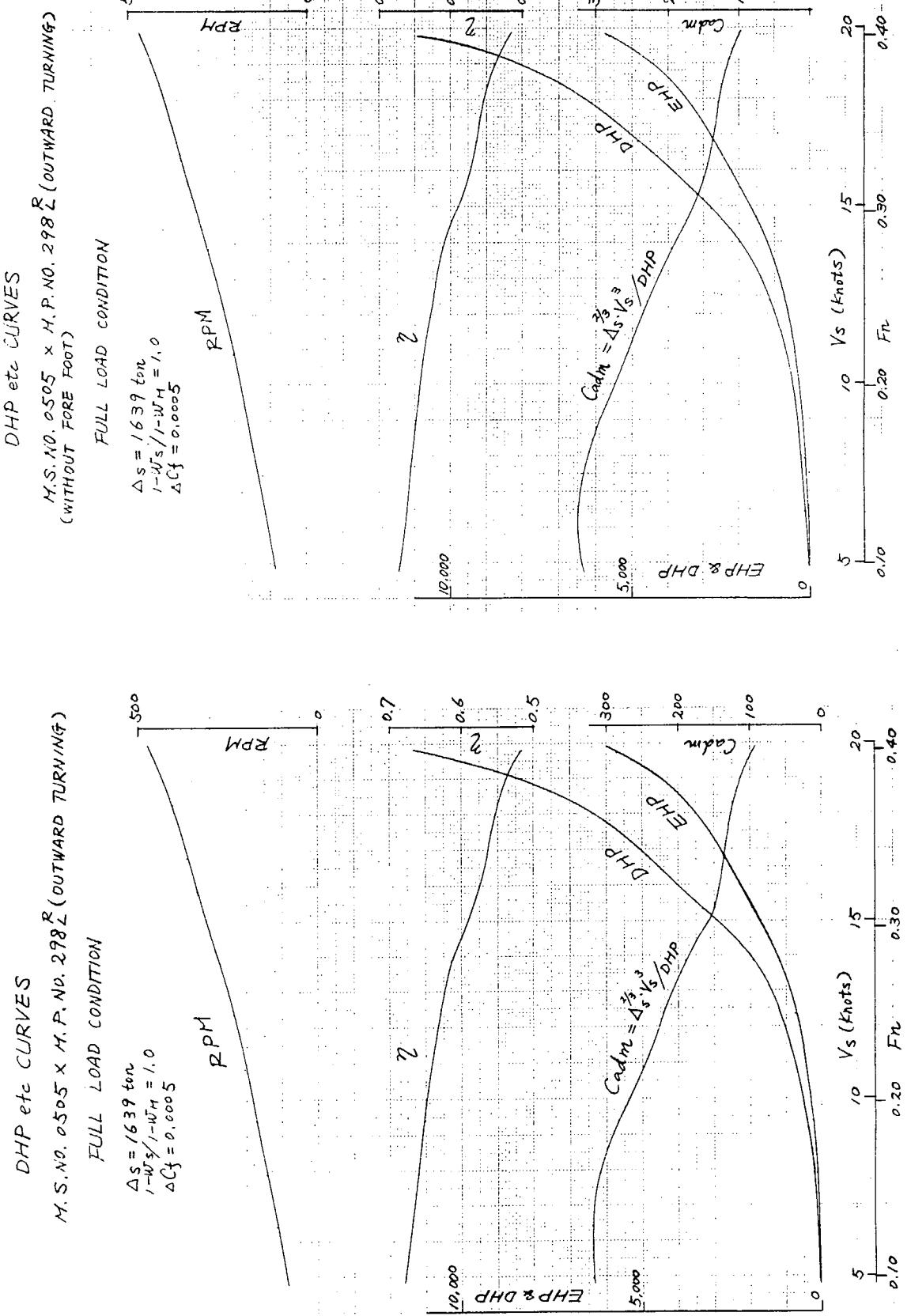


図 3.2.1.6 伝達馬力等

図 3.2.1.7 伝達馬力等

### 3.3 波浪中試験

#### 3.3.1 試験状態

M.NO.505については、FORE-FOOT付きとし、平水中の試験結果から判断して、船尾有効乾舷が不足気味であり、STERN NOTCHを装着した場合には、これが波にたたかれる可能性が高く、STERN NOTCHは装着しない状態とした。

波浪中試験では、船首部相対水位の計測に影響があることから、乱流促進装置を用いない場合も少くないが、本模型船では、その特殊な船首形状の故、影響が殆どないものと推定し、平水中試験同様 STUDS は取り付けた状態で実験した。

試験状態は、満載1状態である。なお、SPRAY状の海水打ち込みでは、高速域で、船首樓・BOW CHOCK等の内部形状が影響を与えることがあり、木製の制約はあるものの、強度上可能な限り、BOW CHOCK, BULWARK等の肉厚を薄く製作した。

模型船の縦慣動半径は、 $0.25L_{pp}$ に設定した。GMあるいは横搖周期の設定はしていないが、過去の実験資料を参照して、異常な値とならないよう重量配置を調整した。

試験は、ガイド装置により、模型船の左右搖、船首搖及び横搖を拘束し、上下搖、縦搖及び前後搖を自由とし、これらをPOTENTIOMETERSにて計測した。

実験は、ガイド装置の前後動許容範囲で、プロペラ回転数を手動で調整し、模型船の自航点で実施した。

波は、正面向波、規則波である。波長 $\lambda$ は、船長 $L_{pp}$ に対する比で、0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50及び2.00を計画したが、造波装置の不調で0.50は実験できなかった。波高 $H_w$ は、15cm一定とした。この波高は、 $L_{pp}/H_w \sim 33$ であり、STRIP法による計算が妥当な結果を与える $L_{pp}/H_w = 40$ よりは高く、波浪衝撃実験で一般的な $L_{pp}/H_w \leq 20$ よりは低い。波の計測は、造波装置より50m離れた水槽中央部で行い、定置式容量型波高計を使用した。

#### 3.3.2 推力等

模型船の自航点で計測したスラスト、トルク、及びプロペラ回転数は、PC98システムで解析し平均値を求めた。

スラスト等の計測結果を図・3.3.1～3.3.6に示す。また、波浪中におけるスラスト増加 $\Delta T = T_w - T_0$  ( $T_w$ :波浪中のスラスト,  $T_0$ :平水中のスラスト) の無次元値  $\Delta \tau = \Delta T_w \cdot L / \rho g B^2 H_w^2$  を図・3.7及び3.3.8に示す。

通常船型と比較すると $\Delta \tau$ は、全般的にかなり様相がことなる。これは、概ね船首形状の特殊性によると思われるが、理論計算により波浪中の抵抗増加を計算しその結果を設計等に利用する際には、一工夫必要であろう。

2船型間の比較では、 $L/B$ の小さなM.NO.505が、 $\lambda/L = 2.00$ の場合を除いて $\Delta \tau$ は小さい。 $\Delta \tau$ は波浪中の航行性能の一端を示す指標であるから、これが小さいことが望ましい。

ただし、より正確には、添字を実船s、模型船mとして

$$(\Delta T_w / H_w^2)_s = (L_s / L_m) (\Delta T_w / H_w^2)_m$$

及び

$$\begin{aligned} \delta T_w &= \int_0^\infty (\Delta T_w / H_w^2)_s \cdot 2 E_w(\omega) d\omega \\ \omega &= (L/\lambda)^{1/2} (2\pi g/L_s)^{1/2} \end{aligned}$$

から、波浪スペクトル $E_w(\omega)$ 中のスラスト増加 $\delta T_w$ をもとめて比較するのが妥当である。ただし、山内等の

研究によれば、オホーツク海の波浪スペクトルは、一般に用いられるITTCあるいはISSCのスペクトルとは相異があり、対象海域のスペクトルの使用が推奨されるのは当然である。これから、風によるスラスト増分 $\Delta Tu$ を

$$\Delta Tu = 0.5 \rho k (U + V)^2$$

より計算し、荒天海域におけるスラスト増加 $\Delta T$

$$\Delta T = \delta T_w + \Delta Tu$$

を以て検討するに越したことはない。ここに、 $\rho$ は空気密度、 $k$ は船の空気抵抗係数、 $U$ は風速、 $V$ は船速である。一般に、 $\Delta Tu$ の影響は無視し得ず、中小型船舶では $\Delta T$ に占める比率もかなりの値となる場合がある。

また、これらの結果から、荒天海域での伝達馬力DHPwは

$$DHPw = (Tw / To) (\eta_{p_0} / \eta_{pw}) \cdot DHPo$$

で概略推定することができる。ただし、平水中のスラスト、推進効率及び伝達馬力をそれぞれ $To$ ,  $\eta_{p_0}$ ,  $DHPo$ , 波浪中の推進効率を $\eta_{pw}$ とし、

$$Tw = To + \Delta T$$

である。

### 3.3.3 船体運動

上下揺振幅及び縦揺振幅の計測結果をそれぞれ波高及び最大波傾斜で無次元化したものを図・3.3.9～3.3.12に示す。

通常船型と比較して、船体運動については、特徴的な傾向は見られず、これは船体運動のように船体に働く体力の積分効果が問題となるものでは当然である。2船型では、総体的傾向は類似するが、M.NO.505の運動はM.NO.504よりやや大きめである。

参考のため、波浪中での、平均沈下量及び平均トリムを図・3.3.13～3.3.16に示す。ただし、船体浮上及び船首上げ方向を正に採っている。2船型間で大きな差異はなく、いずれも船速の増加とともに平均トリム即ち船首浮上量が増加し、これが船首部のSWELL-UPの増大を押さえている。

### 3.3.4 船首相対水位と海水打ち込み

大型船の波浪中模型試験においては、相対水位の計測には一般に、容量型、抵抗型、または誘導抵抗型センサーが用いられるが、センサーそのものの水位変化、水位変動速度の増加による計測誤差の増大などの問題があり、就中、高速航走時や低速でもFILMY SWELL-UPあるいはSPRAYの発生のある場合には、これらのセンサーの使用が難しい。このため本実験では、波浪中で航走する船の船首部を撮影したVIDEO FILMを解析する方法により、船首相対水位SWELL-UPおよびSPRAY、打ち込みの観測、解析を行った。FORECASTLE DECK後端に水位センサーを配置して、打ち込みを量的に把握することも可能であるが、本実験では、MASSIVEな打ち込みはないものと推測したため、このようなセンサーは取り付けていない。

打ち込み等の計測にVIDEO FILMを用いる場合には、まず量的な計測が至難であることなどの欠点もあり、解析に時間を要する。

船首部における最大相対水位を、VIDEO FILM解析により求めた結果を図・3.3.17～3.3.26に示す。

これらは、相対水位の基準面をBOW CHOP TOPに採り、MASSIVE SWELL-UP及びSPRAYに別けてそれぞれの最高値を波高で無次元化した、 $\zeta_{SW/Hw}$ 及び $\zeta_{SP/Hw}$ をフルード数を横軸に図示したものである。ただし、これらの解析では、STATIC SWELL-UPは、それぞれに含ませた値となっている。

船首部の相対水位は、従来平水中の航走時のSTATIC SWELL-UPと波浪中の船体運動に基くDYNAMIC SWELL-UPに別けて考えられているが、碎氷型船首では、このような扱いが難しいようである。また、相対水位は、従来から検討されているMASSIVE SWELL-UPの外、碎波によるBUBBLING SWELL-UP、及びFILMY SWELL-UPまたはSPRAYに別けて考慮する必要がある。

着氷の恐れのない海域では、FILMY SWELL-UPやSPRAYが航行に障害を与えることは希であることから、これらについての研究は極めて乏しい。氷縁海域を航行する中小型船舶では、FILMY SWELL-UP／SPRAYは船の航行の障害となるばかりでなく、船の安全をも脅かすものである。ただし、SPRAY現象については、表面張力や粘性の影響、風の相乗効果などがあり、レイノルズ数及びウーバー数を実船・模型船間で一致させることができない。波浪中の模型試験結果から、単純に実船のSPRAYを定量的に推定することは難しいが、定性的には十分効用のある結論を得ることはできよう。定量的な検討のためには、幾何学的相似模型による実験や大型部分模型による風洞試験などかなりの補足実験が必要となる。

MASSIVE SWELL-UPについては、通常船舶とはかなり傾向が異なり、STRIP法等による計算では、船首部について特別の考慮をしない限り、妥当な結果が得られない懸念がある。

MASSIVE SWELL-UPに対する船速の影響は、STEM ANGLEによってかなり変化するが、STEM ANGLEが小さくなるにつれ、Wagner型の波浪衝撃圧を生じる頻度もその最大値も増加するから、この点についての考慮も必要である。

全速度域で総体的にMASSIVE SWELL-UPは穏やかであり、いずれの船型についても、飛沫打ち込みは別として、本格的な海水打ち込みを発生することはない。ただし、船首部相対水位に対する船の加減速の影響（周期的運動からの変位）はかなりあることが知られており、また不規則波中での船の運動は、推進軸系の動特性によっても影響されるから、規則波中の実験結果のみで断定的な結論を導くのは危険である。

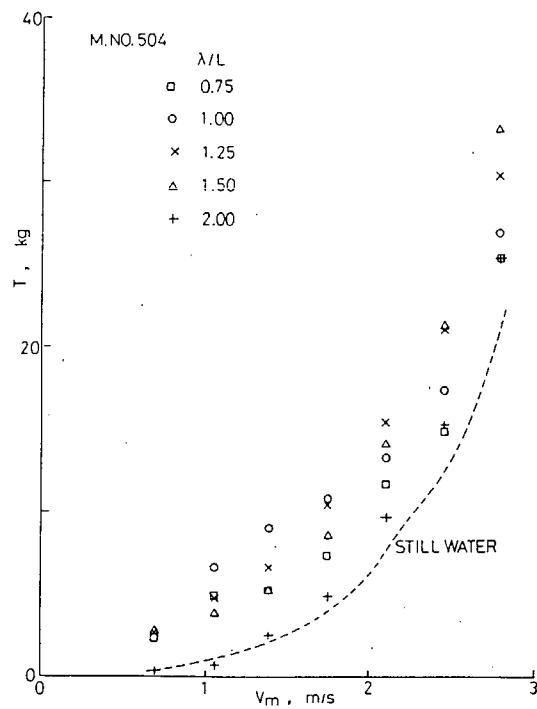


図 3.3.1 波浪中のスラスト

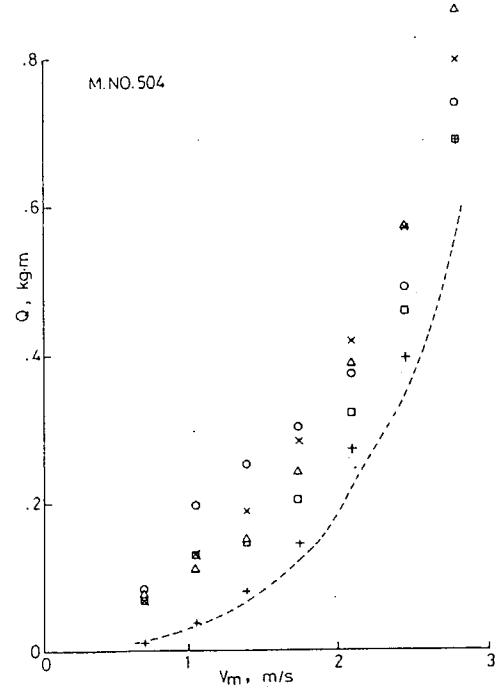


図 3.3.2 波浪中のトルク

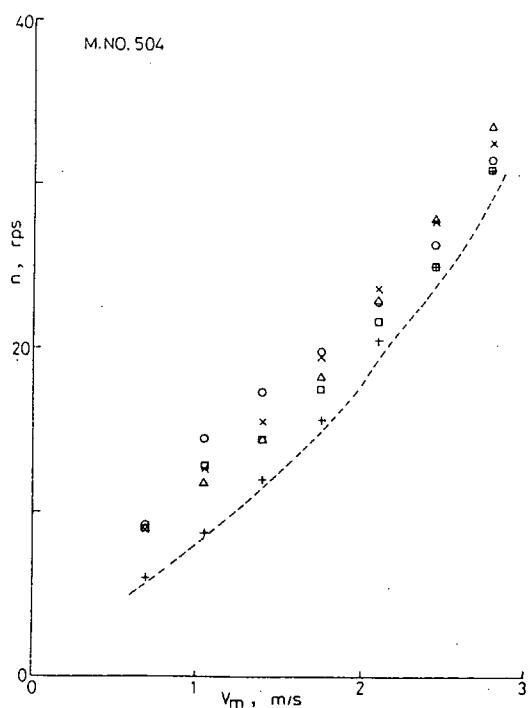


図 3.3.3 波浪中のプロペラ回転数

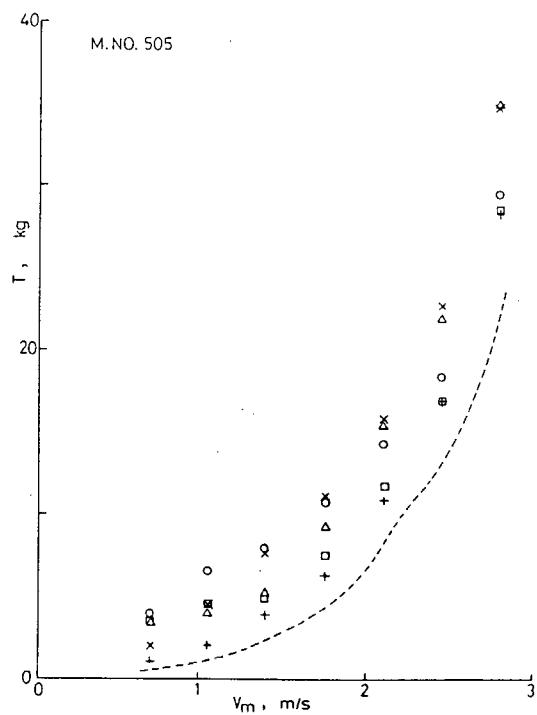


図 3.3.4 波浪中のスラスト

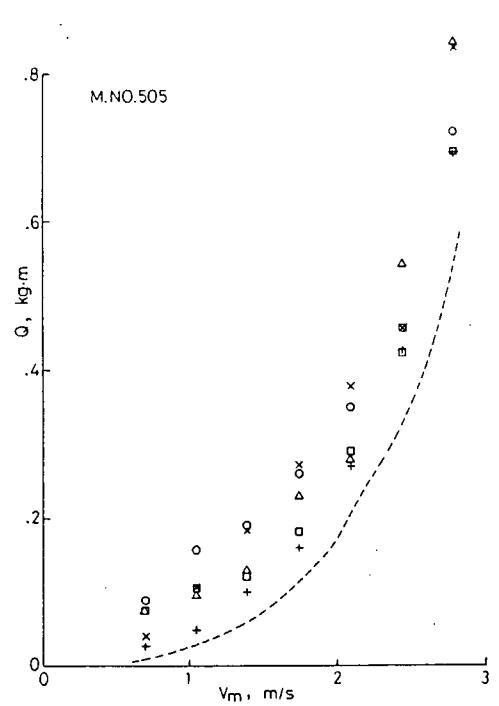


図 3.3.5 波浪中のトルク

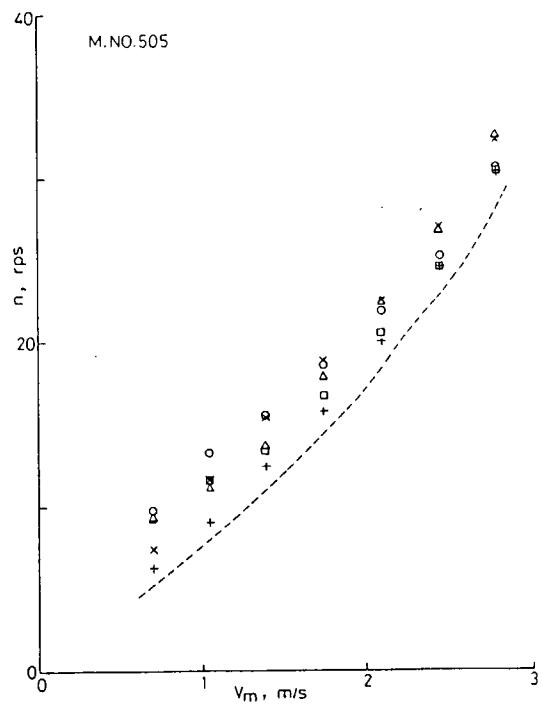


図 3.3.6 波浪中の回転数

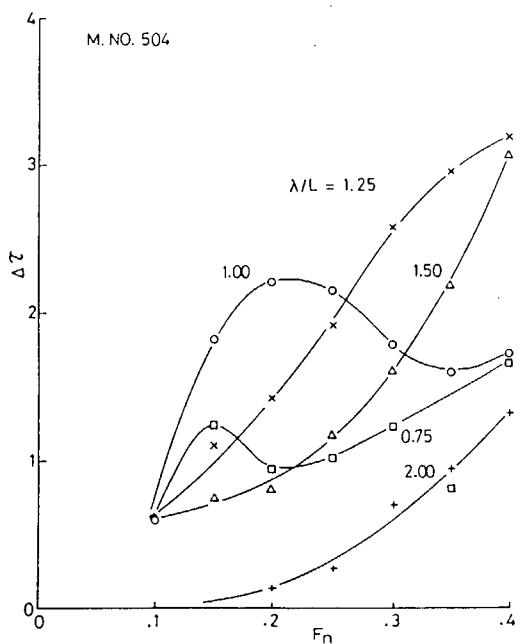


図 3.3.7 スラスト增加係数

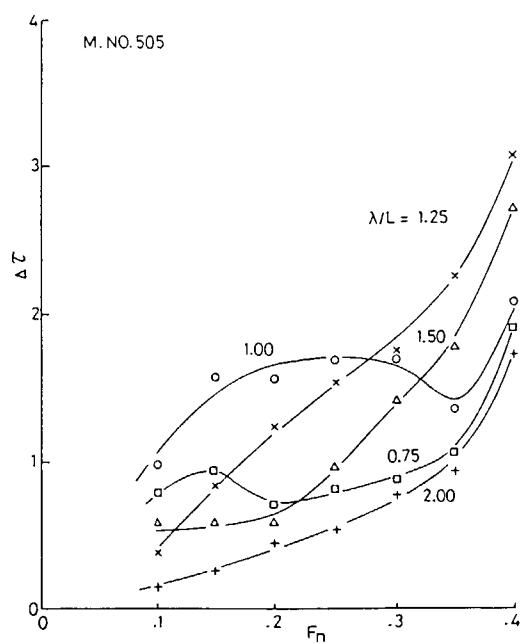


図 3.3.8 スラスト增加係数

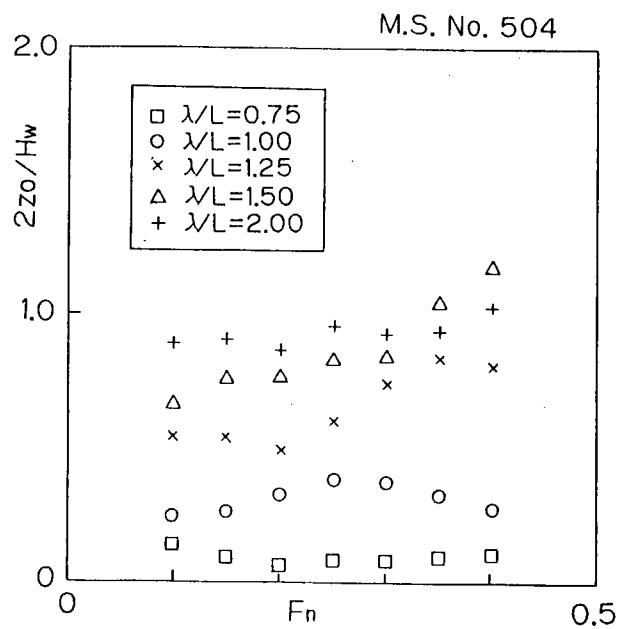


図 3.3.9 上 下 摆 れ

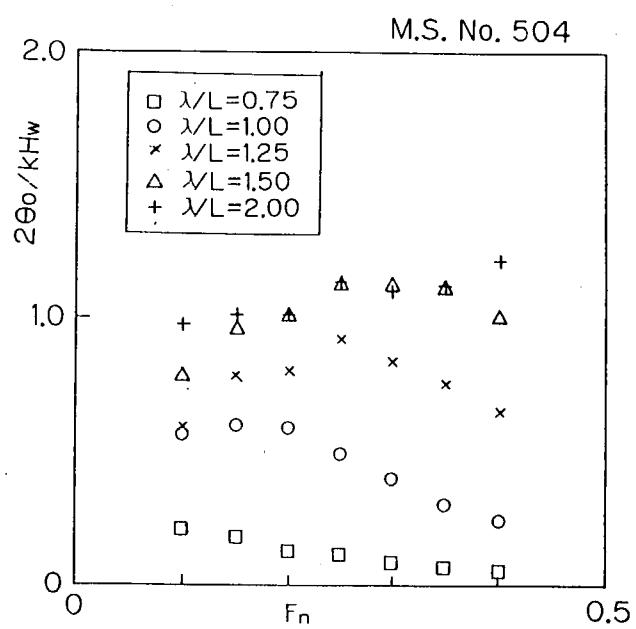


図 3.3.10 縦 摆 れ

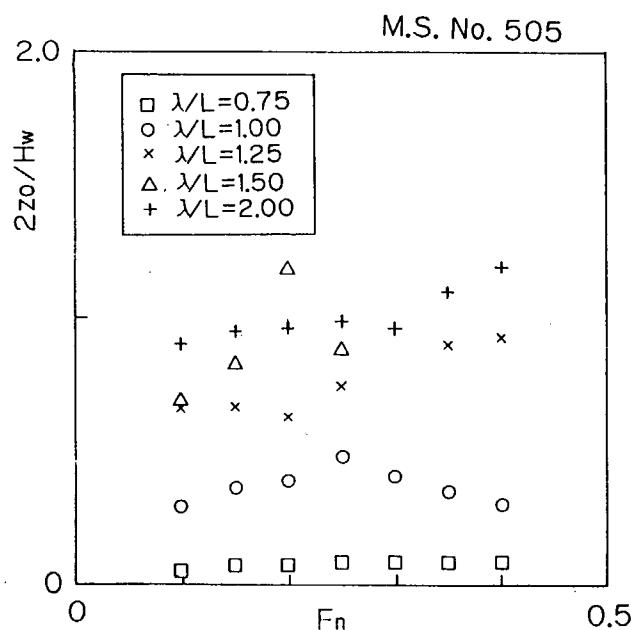


図 3.3.11 上 下 摆 れ

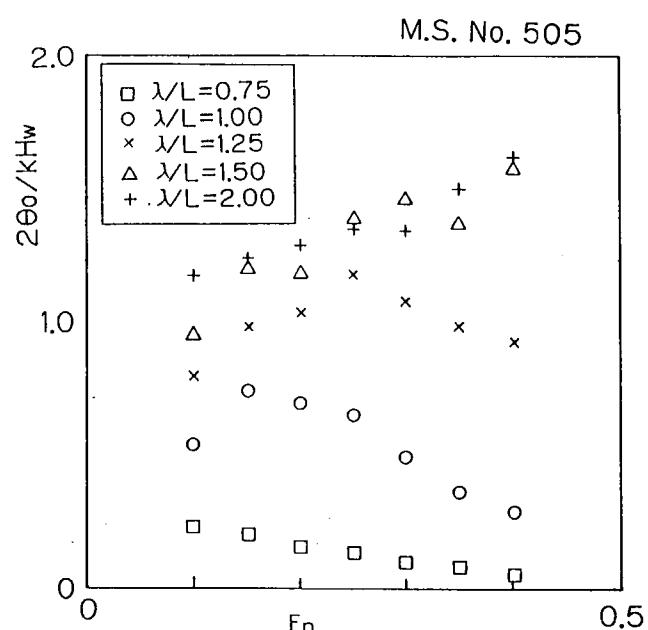


図 3.3.12 縦 摆 れ

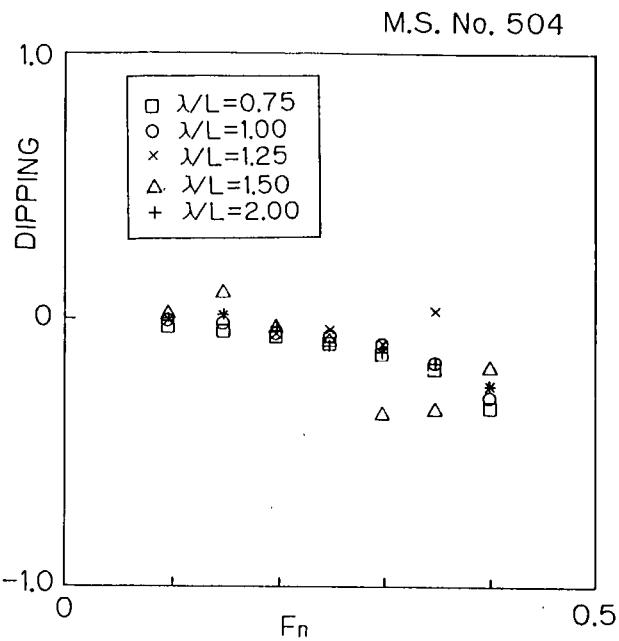


図 3.3.1.3 平均沈下量(波浪中)

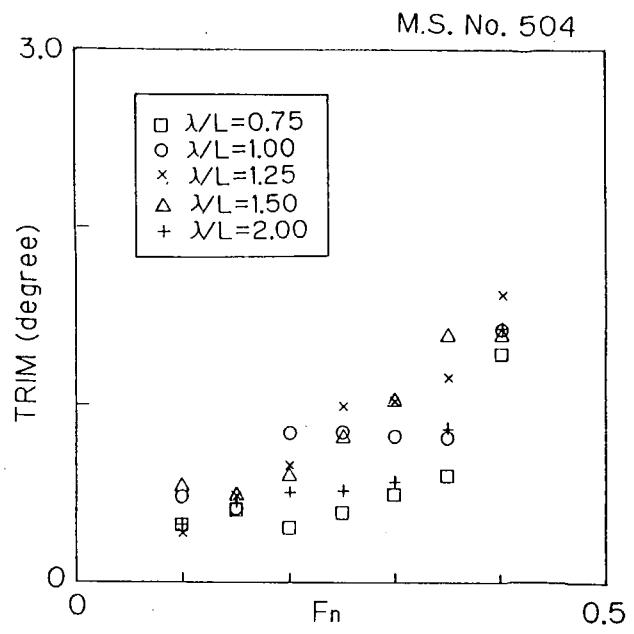


図 3.3.1.4 トリム(波浪中)

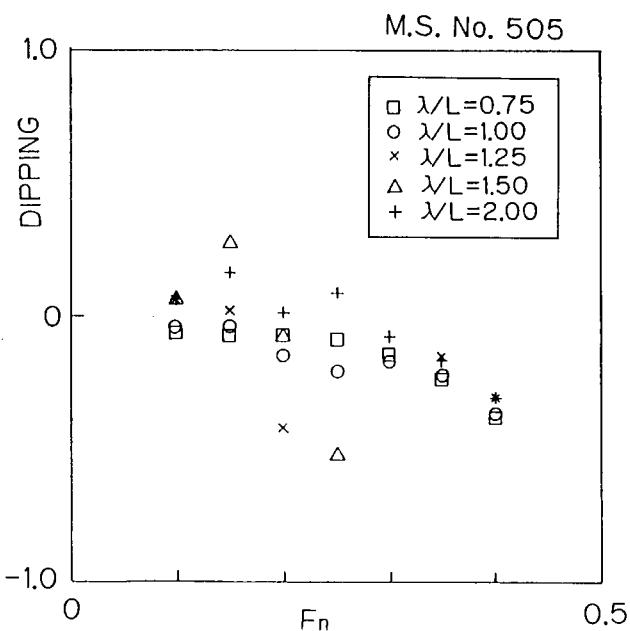


図 3.3.1.5 平均沈下量(波浪中)

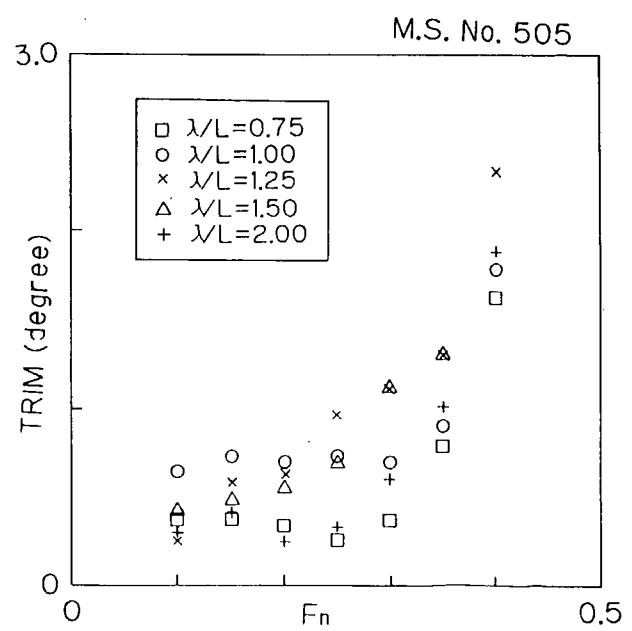


図 3.3.1.6 トリム(波浪中)

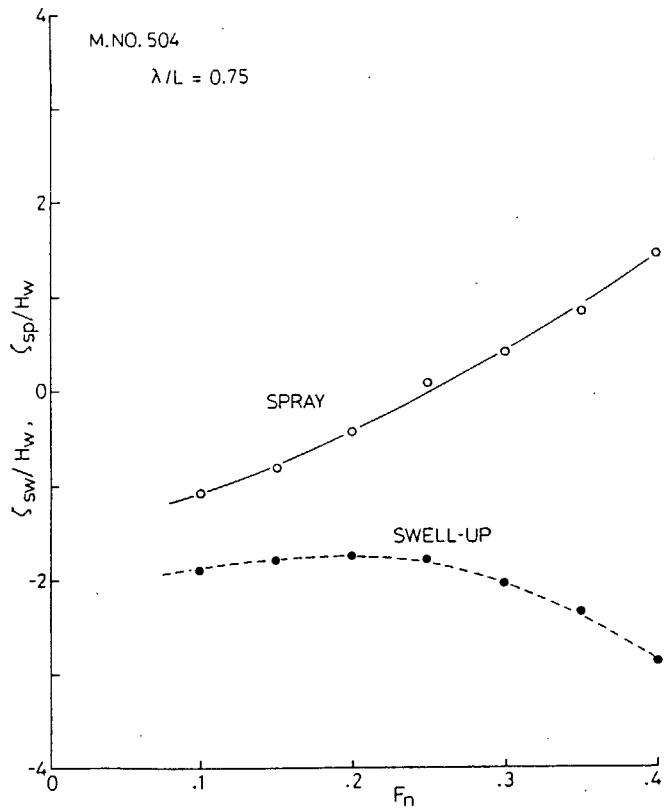


図 3.3.1 7 船首相対水位

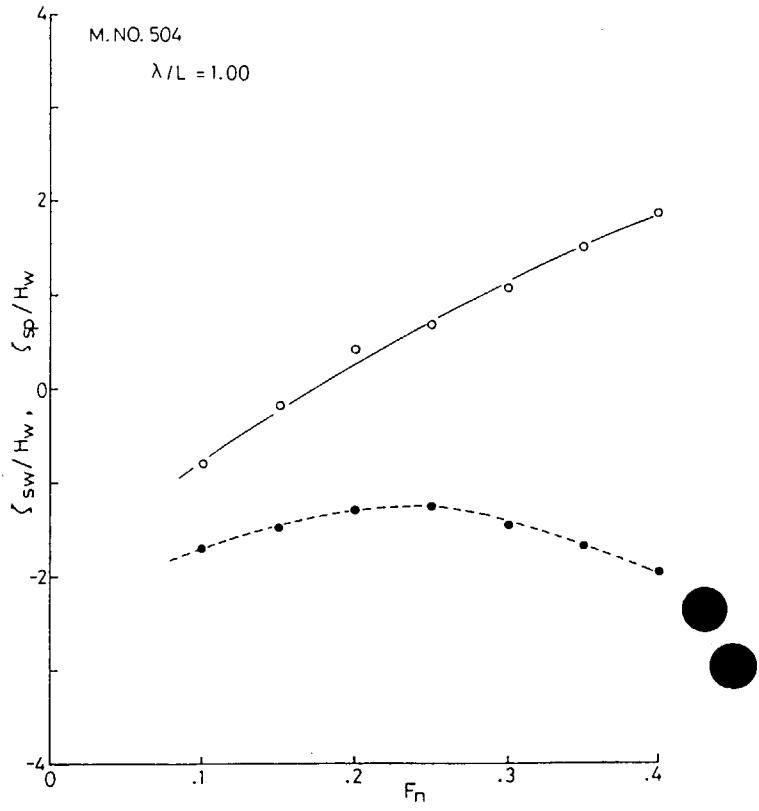


図 3.3.1 8 船首相対水位

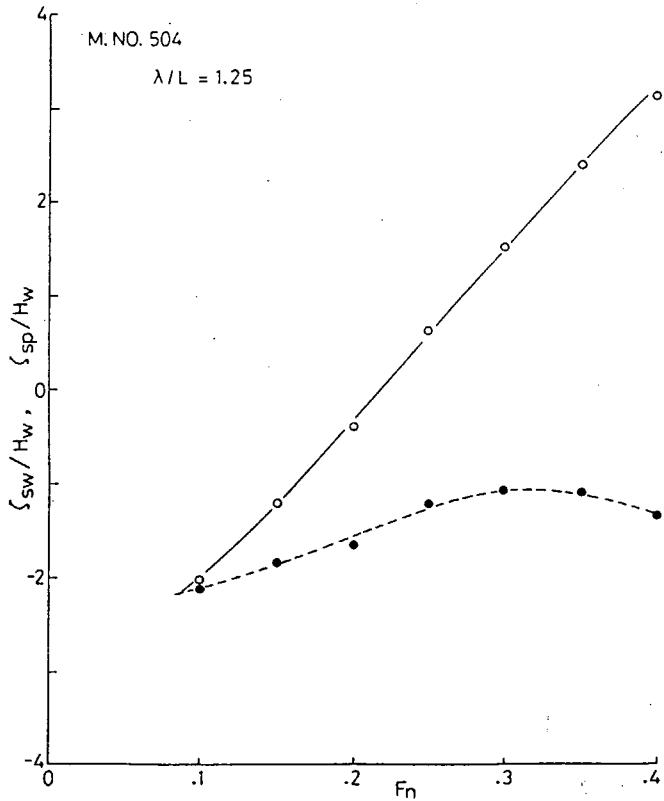


図 3.3.1 9 船首相対水位

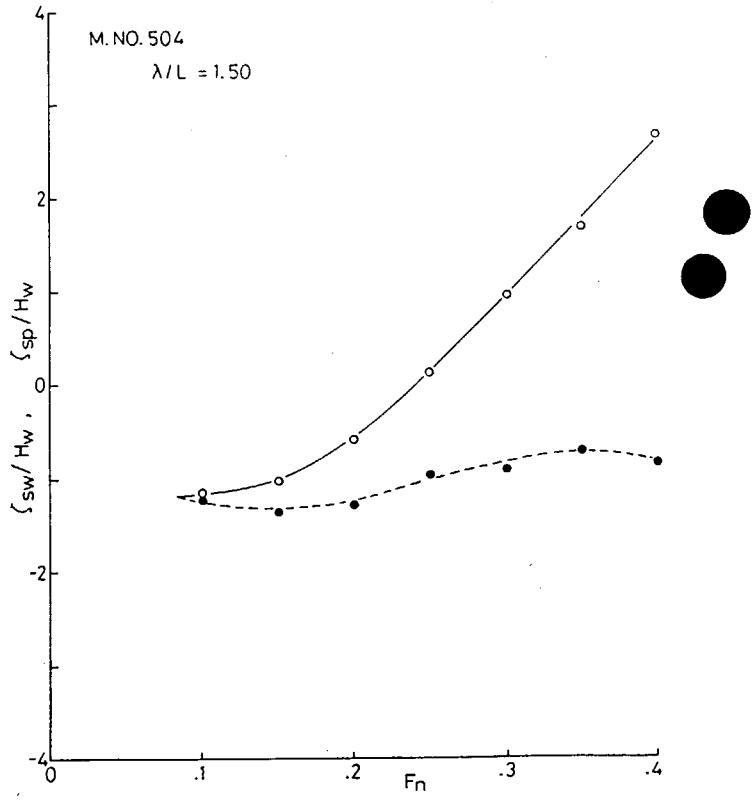


図 3.3.2 0 船首相対水位

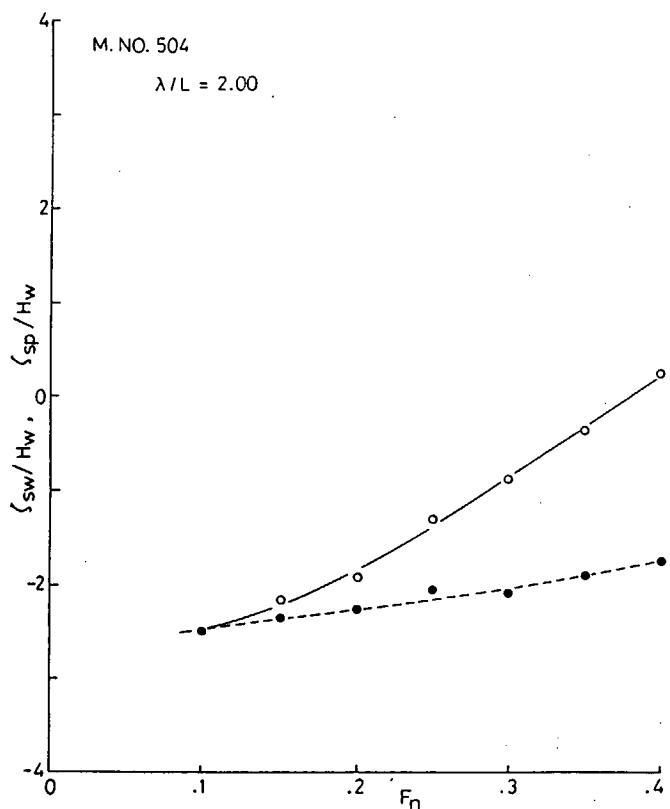


図 3.3.2.1 船首相対水位

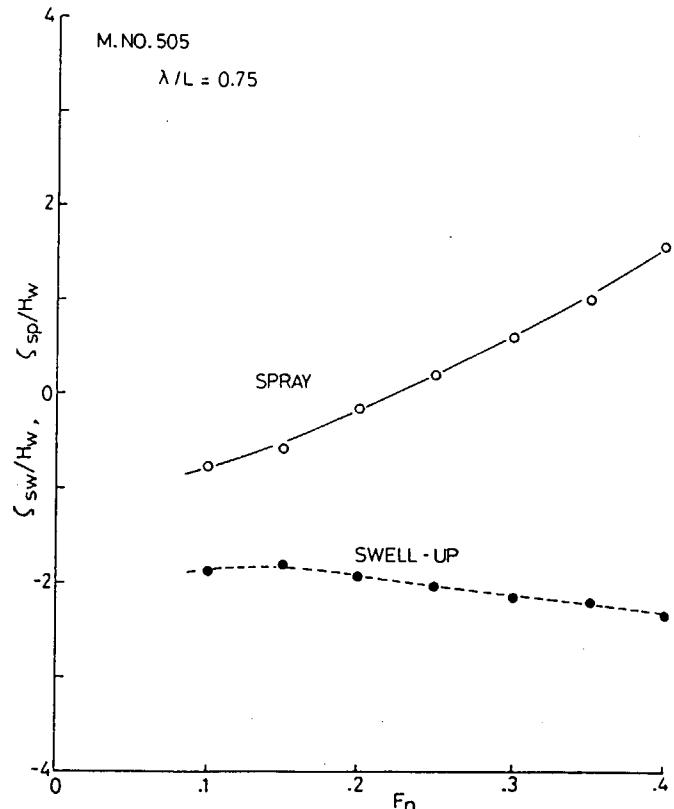


図 3.3.2.2 船首相対水位

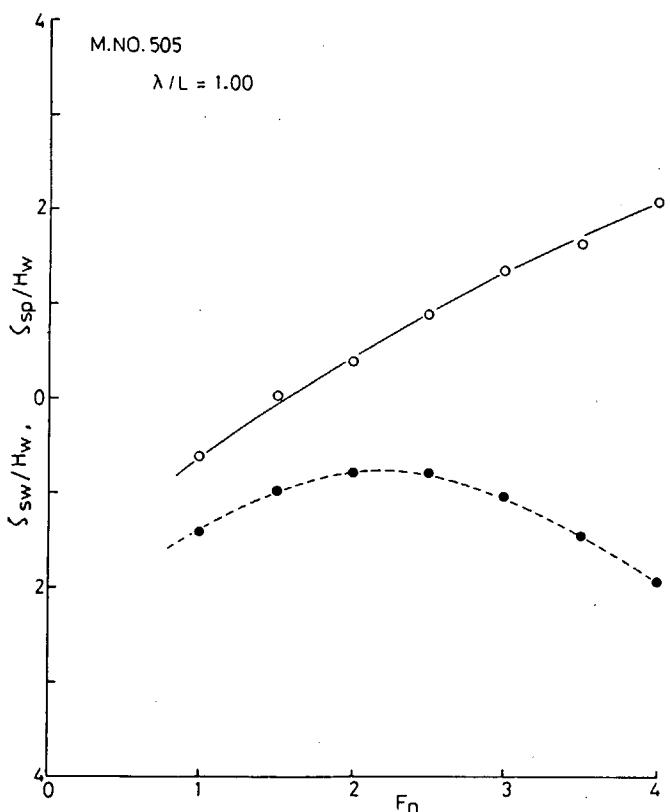


図 3.3.2.3 船首相対水位

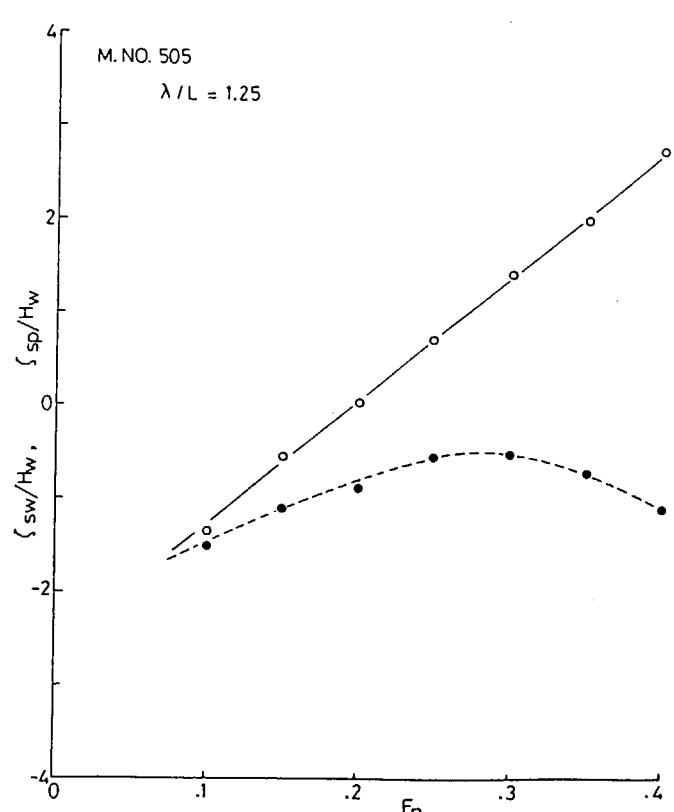


図 3.3.2.4 船首相対水位

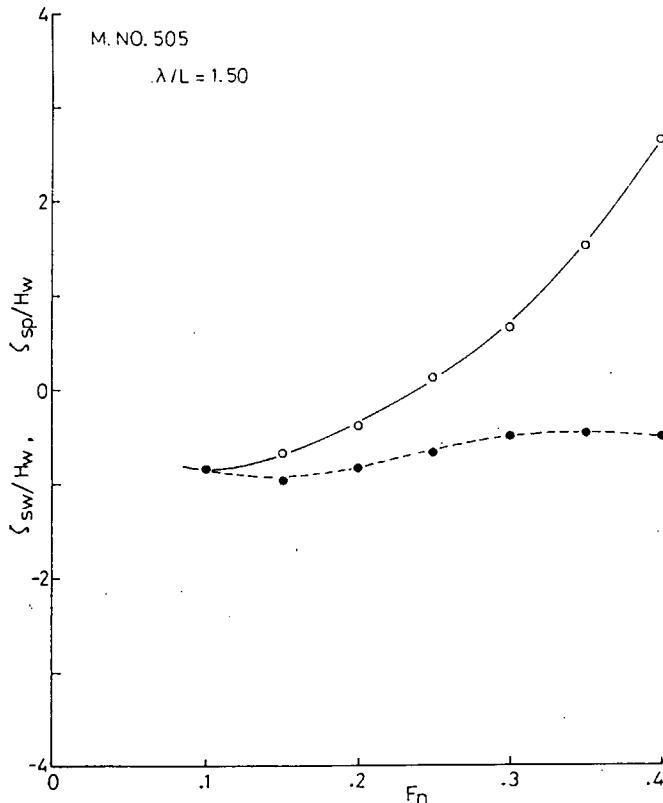


図 3.3.2.5 船首相対水位

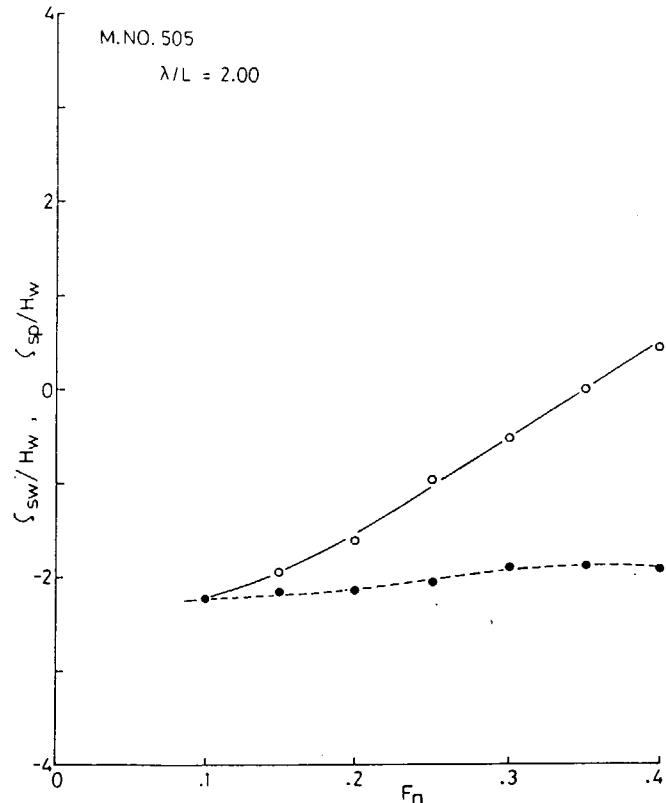


図 3.3.2.6 船首相対水位

### 3.4 水中試験

#### 3.4.1 試験状態

##### (1) 模型船等

試験は満載状態 1 状態, M.NO. 504 については, SKEG 付きとし, M.NO. 505 については FORE FOOT 付きとした。縦慣動半径は,  $0.25 L_{PP}$ , バラスト重錘配置は波浪中試験にほぼ一致させた。

##### (2) 模型氷

模型氷は, カナダ Dr. Timco (NATIONAL RESEARCH COUNCIL) 開発による EGADS/EGAD ICE 系である。EGADS は, 氷の破壊靭性値の面及び低強度時の  $E/\sigma_f$  (弾性率/曲げ強度) の向上の点で優れていると言われ, また 2 層構造を有し表層の強度が下層に卓越している塩水氷や尿素氷に対して表層の強度が弱い特徴があるが, 模型氷の性状が氷水槽の熱的な特性によって微妙に影響されることもあり, その他の氷水槽において十分な検証実験が重ねられるまでは至っていない。特に, 主添加物エチレングリコールに対する界面活性剤や砂糖の相乗効果については異論も多く, 今回の実験に用いた模型氷は, エチレングリコールのみの水溶液から生成したものである。

実験に用いた模型氷の性状については, 付録 2 に述べる。

##### (3) 氷摩擦係数

模型船製作時に氷摩擦測定用の平板を作成した。これは模型船と同一材料, 同一の塗装法で製作し, 平面部分の少ない模型船に代わって氷摩擦を測定するためのものである。使用した氷摩擦平板 (FRICTION PLANK) は, M.NO. 505 相当のもので, M.NO. 504 は, 模型船体表面に微粒の氷海用塗料が再付着し, M.NO. 505

表面とは多少異なる。

プロファイラーで測定した氷摩擦平板の表面凹凸状態を図・3.4.1に示す。参考のために示した機械加工鉄板の表面に比して、局所的には滑面であるが、緩やかな起伏が認められる。このような起伏(undulation)のある滑面の氷摩擦は、氷の表面近傍の硬度によって影響を受けることが考えられるが、十分な研究がないのが実状である。

氷摩擦平板を用いた氷摩擦係数(wet)は、クーロン則を仮定すれば、0.01～0.02であった。ただし、測定結果にはやや疑点もあり、確認の要がある。より正確には、摩擦面に対する法線力をN、接線力をTとする時、クーロン摩擦係数 $k_c$ は、

$$k_c = T/N$$

であるが、氷摩擦に関する多くの実験結果では、 $N_o$ を定数として

$$T = N_o + N$$

であり、接線力・法線力の勾配として定義する摩擦係数kは

$$k = (T - N_o) / N$$

となり、上記の値0.01～0.02より小さな値となる。

### 3.4.2 平坦氷中の抵抗試験

実船相当で、氷厚0.45、0.60及び1.00m、曲げ強度500kPa、航行速度1, 3, 5及び7ktsの状態での抵抗試験を行った。模型船の曳航点は浮心位置に置き、船体運動の内、左右揺、船首揺及び前後揺を拘束して実験を行った。

抵抗試験時の抵抗、横力、上下揺、縦揺、及び横揺の記録例を図・3.4.2～3.4.7に示す。なお、抵抗等力の記録は、フィルター後のものである。

平坦氷中の抵抗試験結果をまとめて、表・3.4.1に示す。ただし、氷中抵抗には、流体抵抗が含まれている。氷中抵抗を図・3.4.8及び3.4.9に示す。氷中性能(抵抗)の比較を行う場合、様々な表現が考えられるが、科学的な吟味を目的とする場合と実務的な設計面での議論を主体とする場合では無次元化を異にすることもある。また、船舶技術研究所における研究によると、従来提案のあった無次元値の妥当性は船型にもより、どのような無次元形式が適当かは難しい問題である。ここでは、模型氷室の問題もあって、無次元化をしない形で図示した。

平坦氷中の抵抗試験において、実験後、開水面に残された碎氷片の寸法分布を図・3.4.10～3.4.17に示す。ただし、碎氷片の形状は様々であり、このため同一面積を有する円盤に置換し、その直径dを求め、船幅Bで無次元化した。碎氷片の寸法分布には当然のことながら碎氷片の大きさにある下限があり、また氷板下に隠れた碎氷片や碎氷の重なりなどが分布に誤差を与える。

碎氷タンカー船型について塩水氷水中で抵抗試験を実施した際の碎氷片分布と比較すると、碎氷片の大きさの上限がかなり高いことが判る。大きな碎氷片は相対的に個数が少なく分布としての態を成さないから、このような分布状態に対しては累積分布の方が判り易いと思われる。大きな碎氷片には、肉眼で見ることが難しい貫通亀裂や未貫通亀裂があることが、碎氷タンカー船型に関する実験で確かめられているが、今回にもこれらの形の亀裂がかなり存在することが、実験時の肉眼観察で認められている。これらの亀裂の存在は、氷板の破壊エネルギー的に考察を行う場合には注意が必要である。

エチレンクリコール氷では、EGADS氷の理想的な場合と相異して、2層構造であるが表層の強度は弱く、碎氷片の運動に伴って大形氷片の氷縁が壊れて、微少碎片が形成される機会が多い。これが、図示のような碎氷

片寸法分布となる一因であろう。

いずれにしても、船首部碎氷によって形成される碎氷片は大きく、いささか異常であり、2船型の水中性能の検討を行うには問題がある。特に、このような氷質の水中では、船首部のENTRANCE ANGLEが小さく、前半部肩部までの膨らみが少ない船型では、影響が大きい。

氷片寸法が大きくなると船首部での碎氷片の没入の様態にも実船とはかなり異なり、氷片は船体に沿って流れなくなる。没入碎氷片に働く力は浮力や流体力の外、後続の碎氷片の推力が大きく、従って、没入した碎氷片の運動が氷板の破壊に影響を与えることになり、没入碎氷片の運動が実船の状況と著しく差異があれば、碎氷抵抗成分に直接的な問題があるだけでなく、このような間接的影響も無視し得なくなる。実船の場合に比較して碎氷片の寸法に顕著な差異があれば、碎氷片の運動に基く抵抗成分には問題があることは当然である。

今回の平坦氷中の抵抗試験により、中小型碎氷船の水中性能の大要を知ることはできるが、2船型についてその水中性能を詳細に検討することは適当でなく、両船型はほぼ同程度の水中性能を有すると見てよいであろう。

### 3.4.3 流氷中の抵抗試験

平坦氷中の抵抗試験終了後、氷水槽内の氷板等をランダムに破碎し流氷域を氷水槽内に形成する。ただし、碎氷片の横転、重なりのため、形式的には密接度1.0であっても、実効的な密接度は9.7程度に低下している。このような流氷域で抵抗試験を実施した。模型船等の状態は平坦氷中の抵抗試験時と同一である。

流氷中の抵抗試験における、抵抗、横力、上下搖、縦搖、及び横搖の記録を図3.4.18～3.4.21に示す。

流氷抵抗の計測結果を表・3.4.2及び図・3.4.22～3.4.23に示す。

碎氷型船舶に関する船舶技術研究所の研究によれば、流氷中の抵抗の様態は密接度及び船速によって変化するが、密接度1.0近傍では、極端なENTRANCE ANGLEを持つ船型を除き、ほぼ船幅に比例する。今回の船型についても同様な結論が得られる。低速域では中高速域と氷片の運動にかなりの差異がある場合があり、氷片と船体との接触の初期条件の差異の影響がかなりの時間残っていることがあり、氷水槽の長さの制約から、十分な計測結果が得られない場合がある。

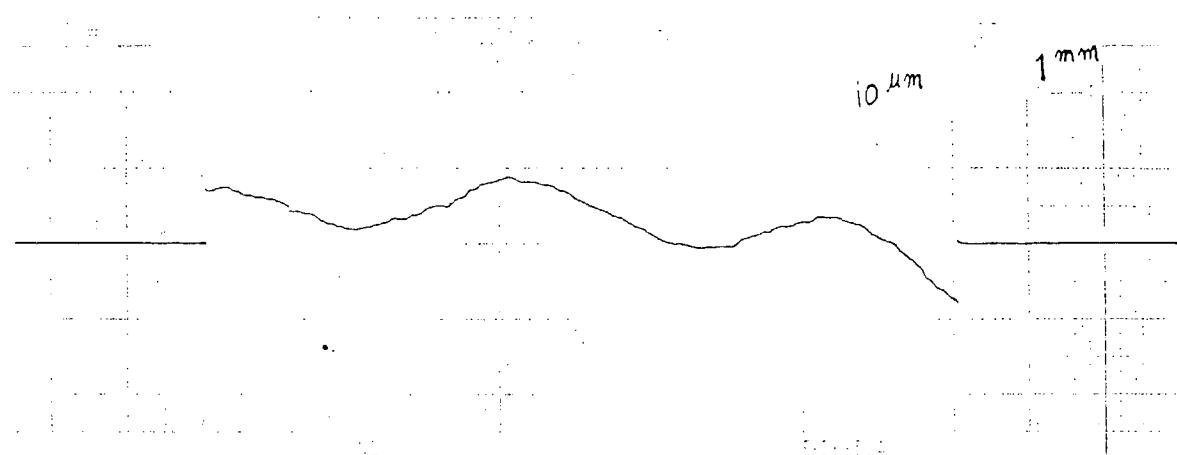
### 3.4.4 平坦氷中の自航試験

参考のため、M.NO.505(FORE FOOT付き)について、平坦氷中の自航試験を実施した。平坦氷中の自航試験により計測したスラスト、トルク及びプロペラ回転数を、流氷中の計測結果とともに図・3.4.24～3.4.26に示す。

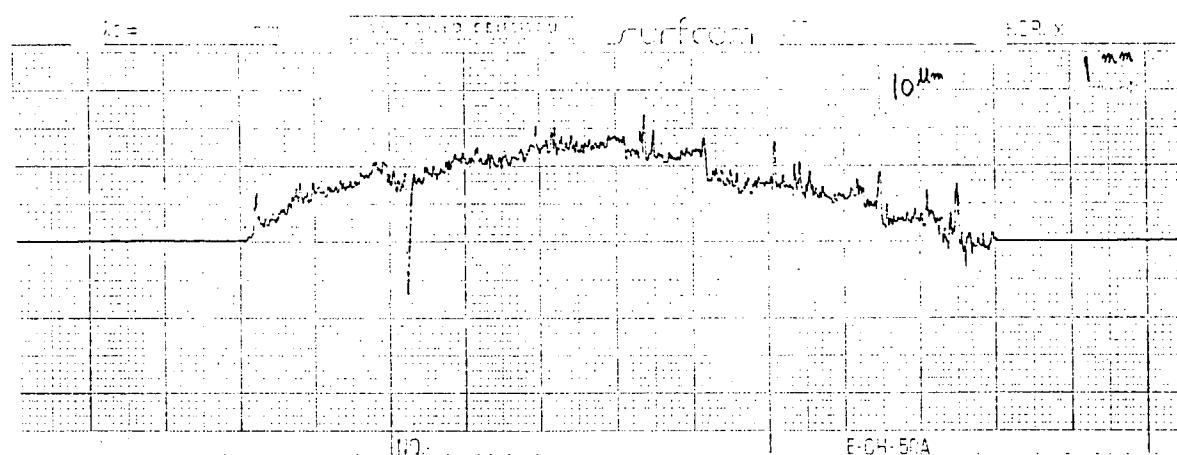
模型船等の状態は、平坦氷中の抵抗試験時と同一であり、船体運動は左右搖及び船首搖を拘束し、上下搖、縦搖、横搖に加えて前後搖が自由である。なお、模型プロペラは、無氷域での模型実験専用のアルミ合金製であるため、氷中の実験ではプロペラ翼前縁の損傷、摩損が想定され、これが引き続いて実施される実験結果に多少影響を与えることが危惧されたが、予想通り、プロペラ翼前縁の損傷はかなりのものであることが、各自航試験終了後の損傷状況の検査で確認されている。

また、平坦氷中の抵抗試験時に観察された碎氷片の大きさから判断して、このような氷質を有する氷中の自航試験には、平坦氷中の自航性能の概要を知る上での参考資料としての価値は認められても、平坦氷中の馬力推定の基本資料とし利用することは難しい。

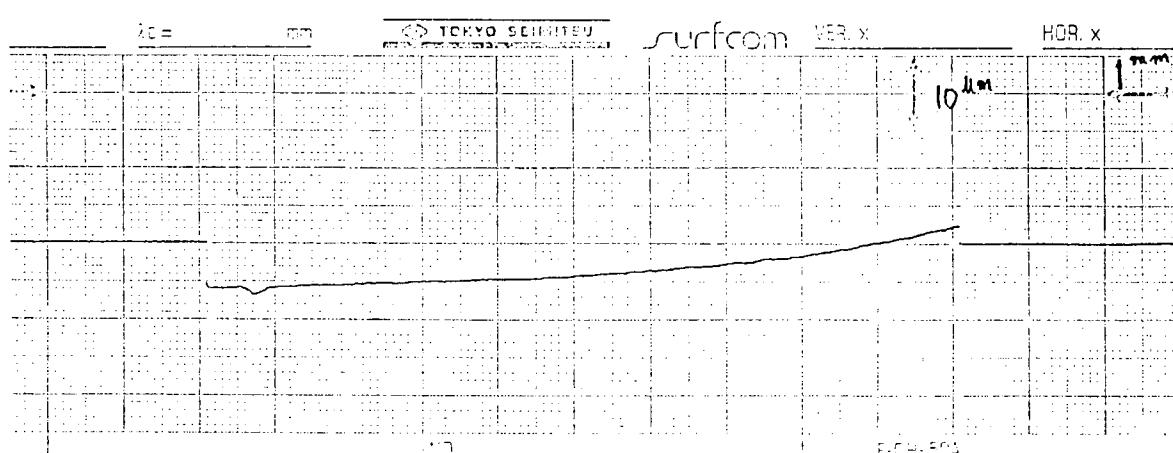
これは、エチレングリコール氷だけの問題ではなく、模型氷一般に共通の問題ではあるが、平坦氷中の馬力推定には、碎氷片とプロペラとの干渉現象に狙いを定めた実験を行う必要がある。碎氷タンカー等の場合にも、PRE-SAWN氷中の過負荷試験などが試みられているが、本船についても、このような実験を行う必要があると思われる。



(a) SR204 摩擦板



(b) スチール板



(c) ガラス板

図 3.4.1 氷摩擦平板の表面粗度形状

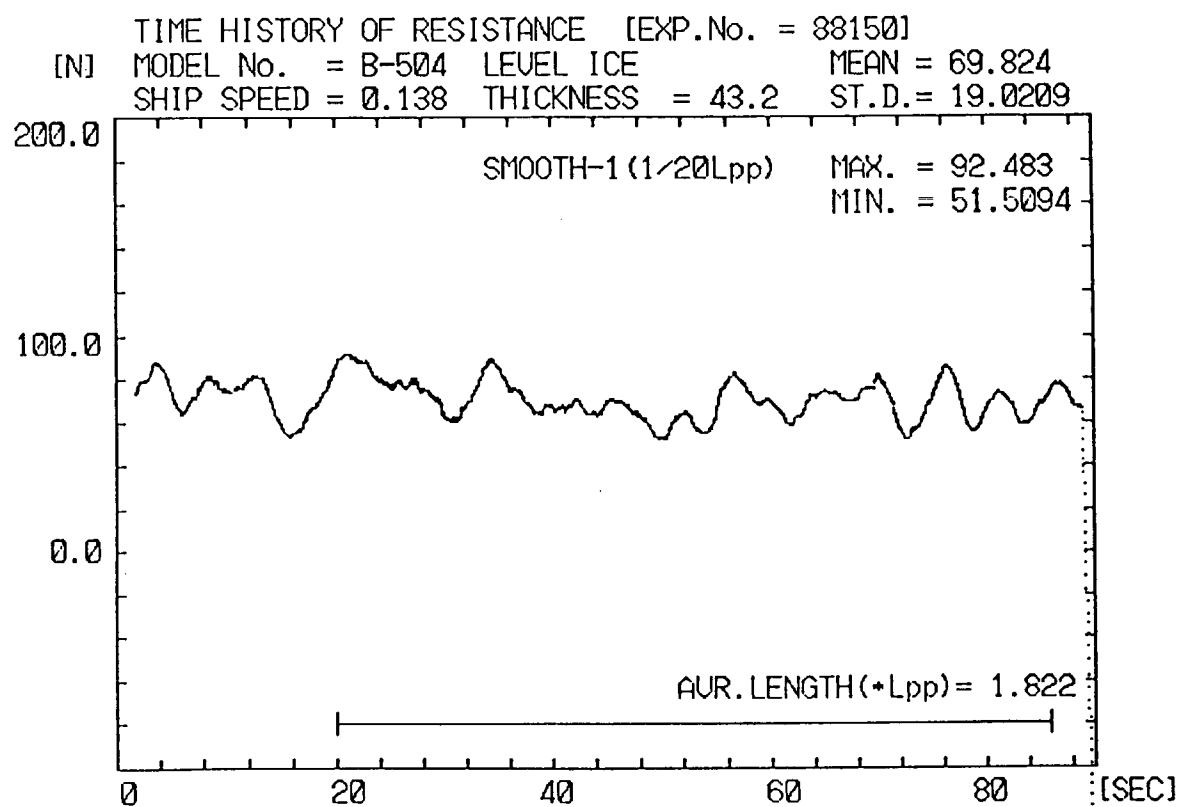


図 3.4.2 a 抵抗記録

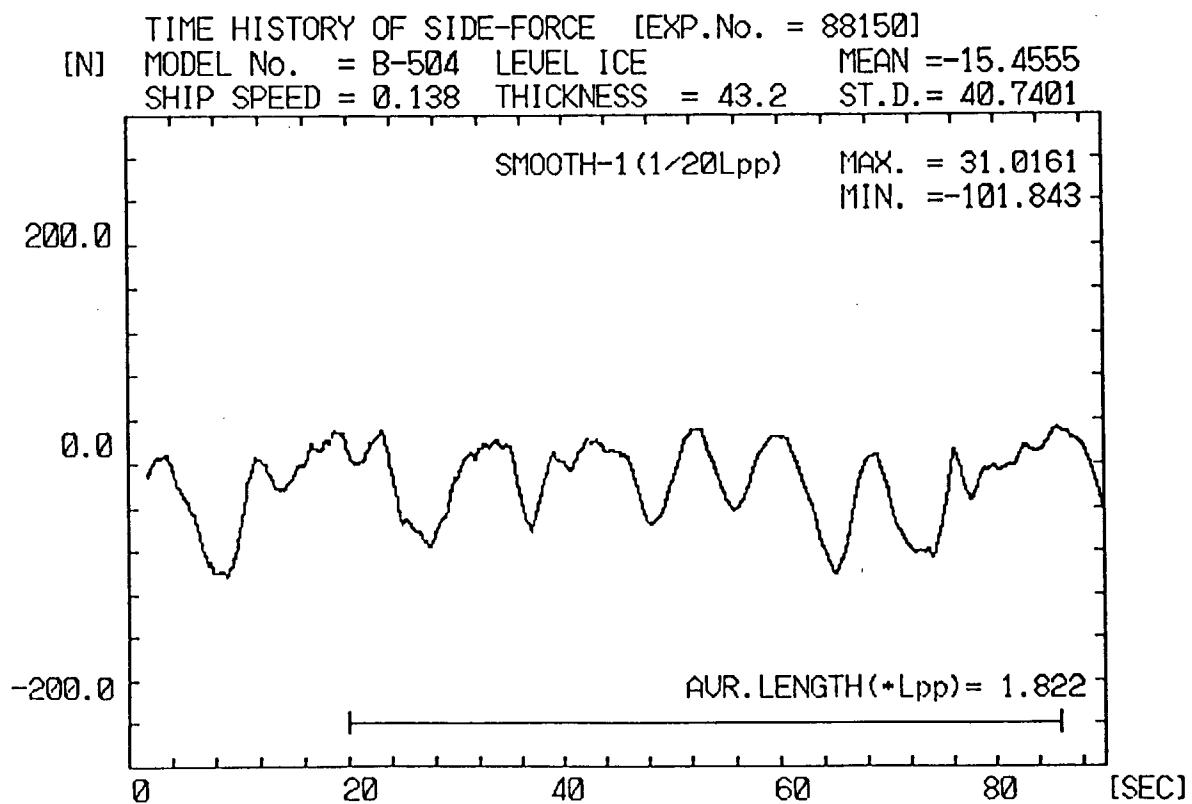


図 3.4.2 b 横力記録

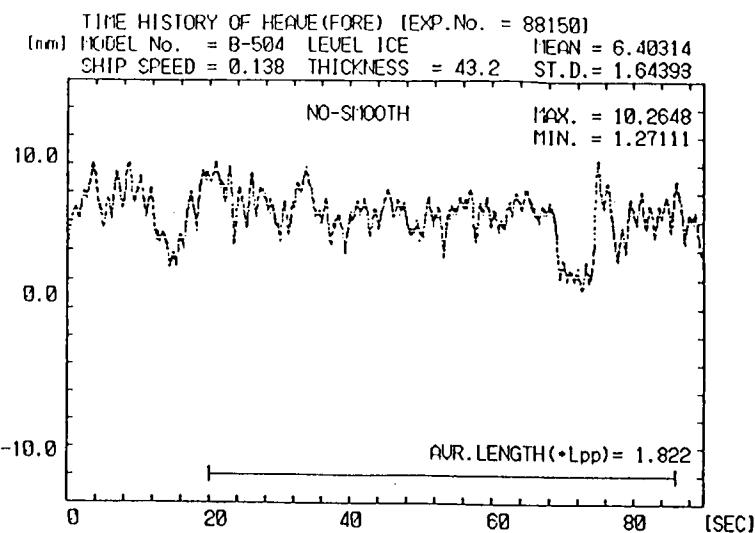


図 3.4.2 c 上下搖記録

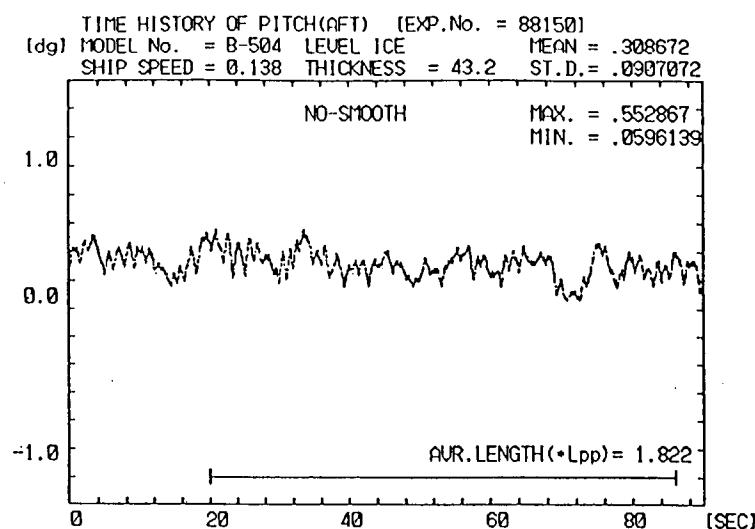


図 3.4.2 d 縦搖記録

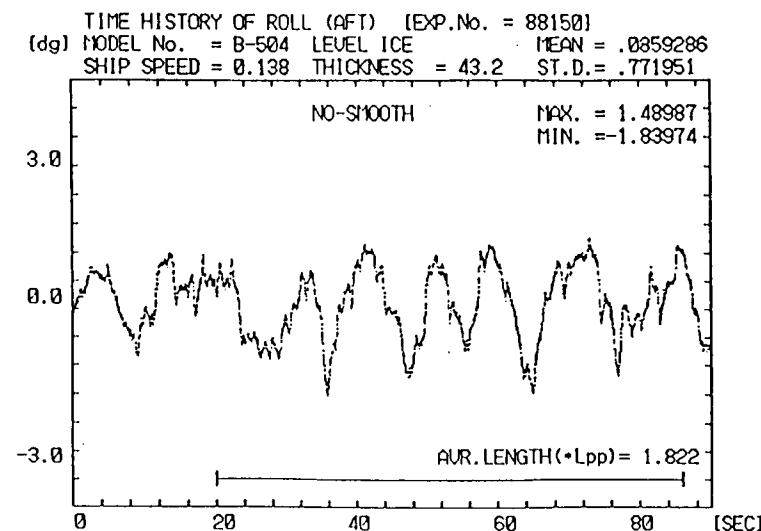


図 3.4.2 e 橫搖記録

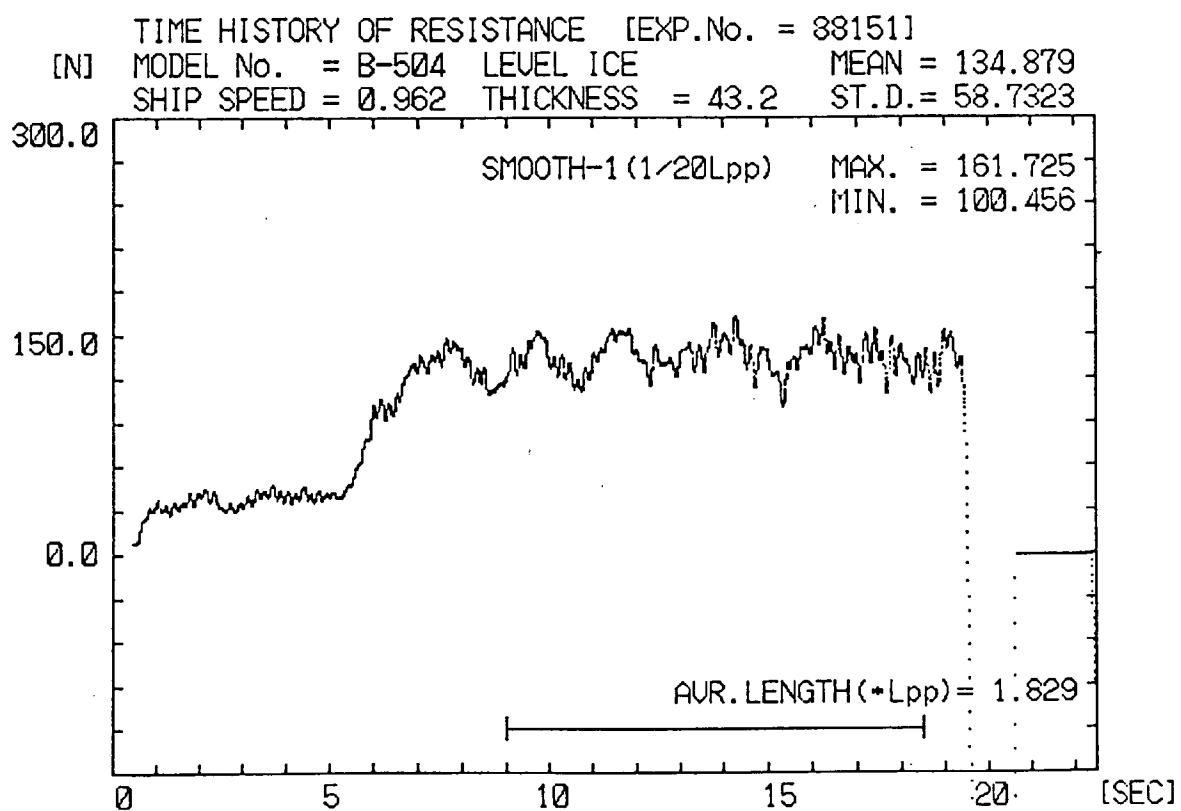


図 3.4.3 a 抵抗記録

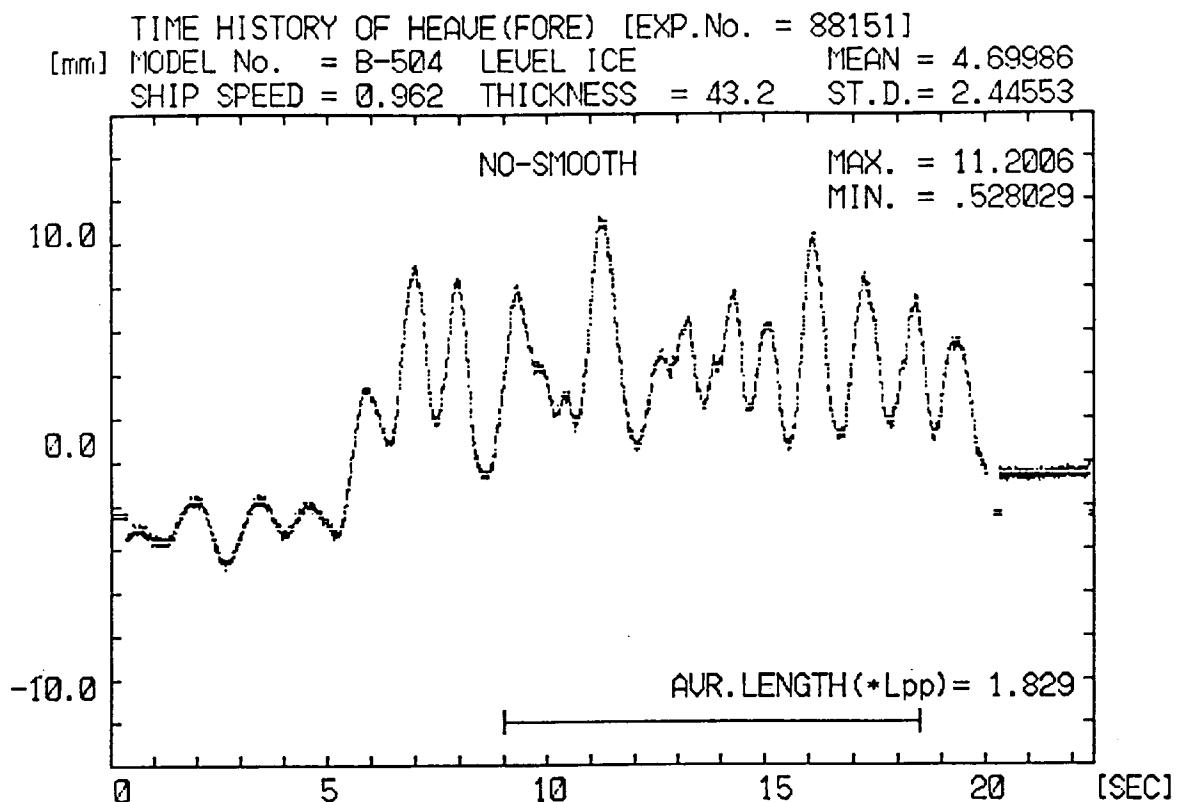


図 3.4.3 b 横力記録

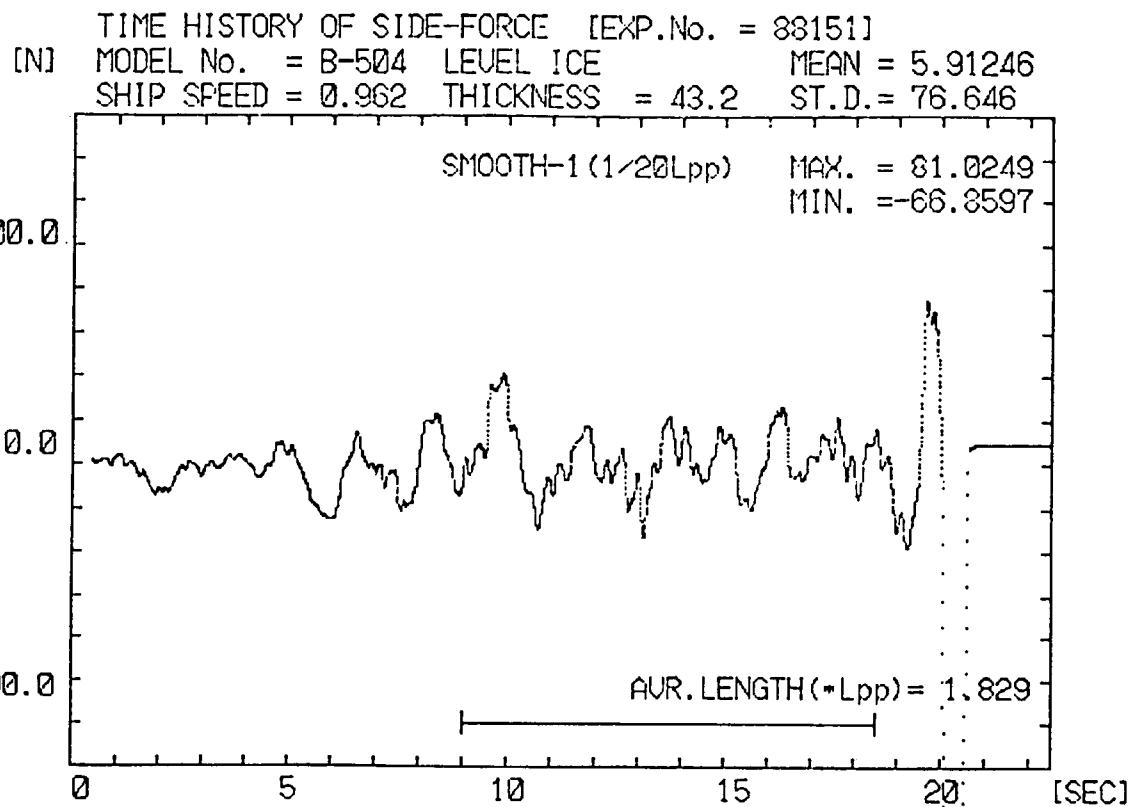


図 3.4.3 c 上下搖記録

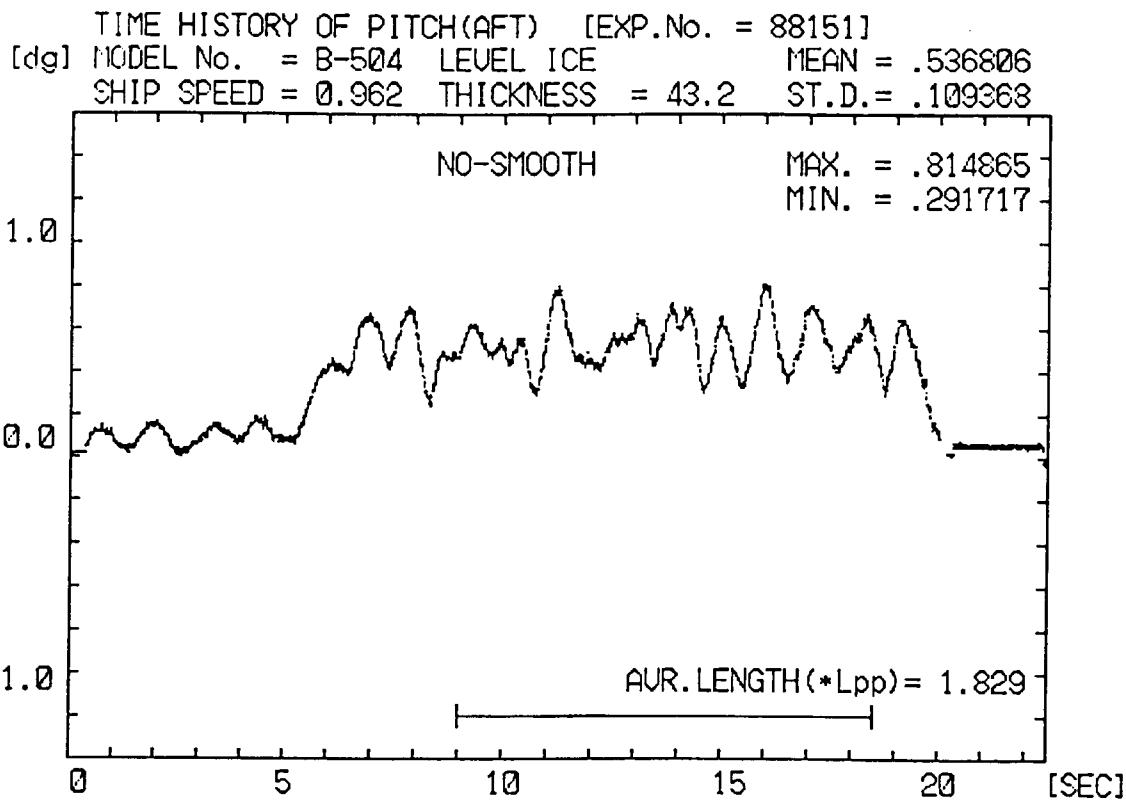


図 3.4.3 d 縦搖記録

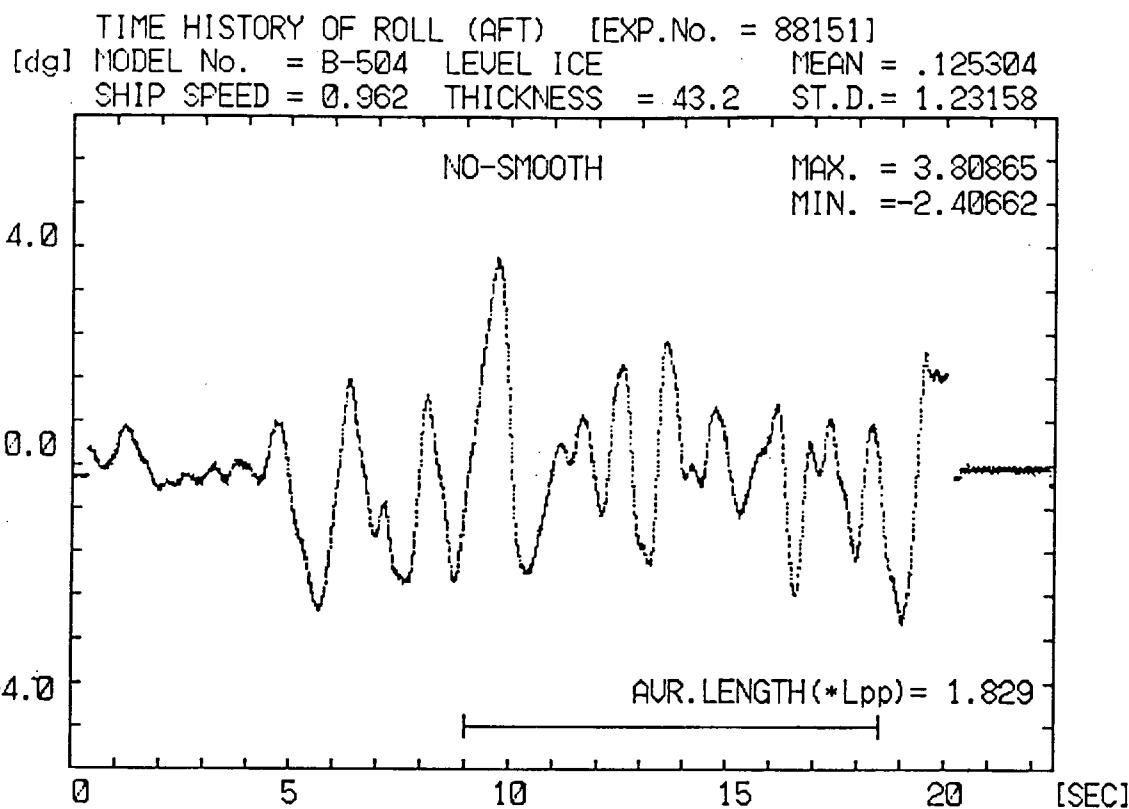


図 3.4.3 e 横搖記録

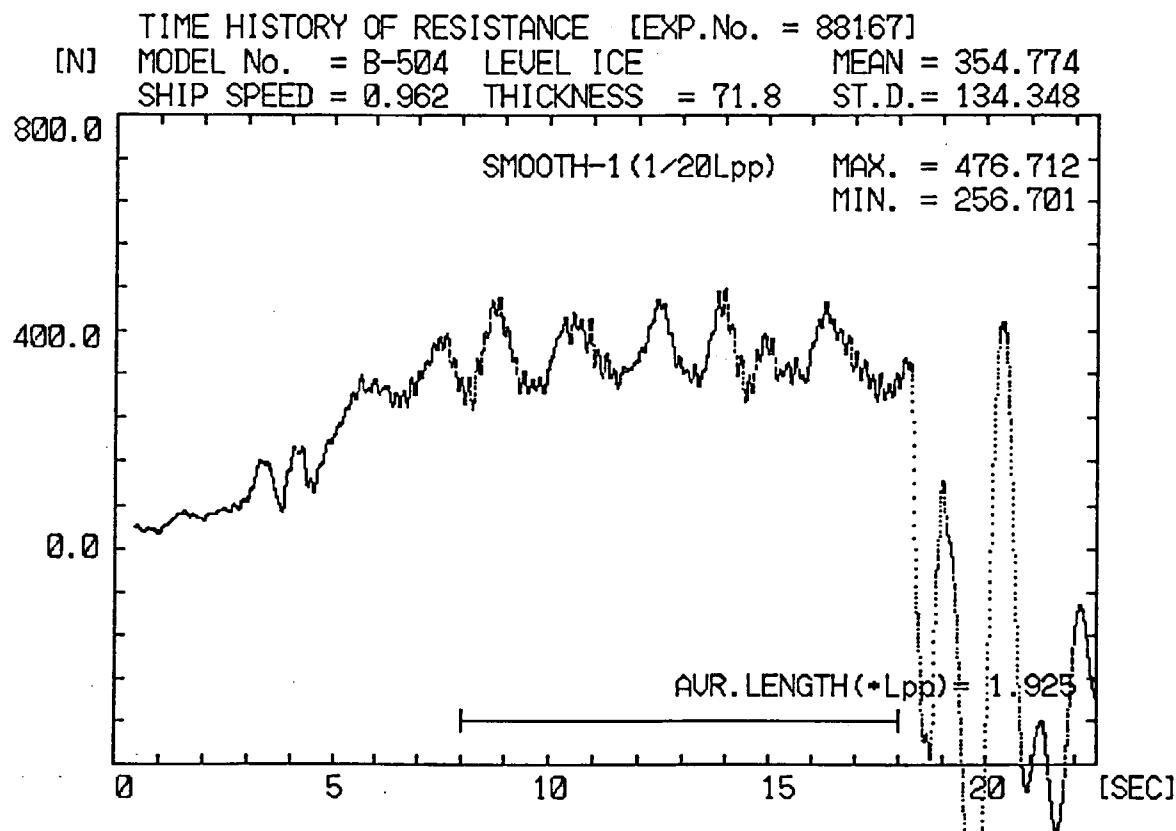


図 3.4.4 a 抵抗記録

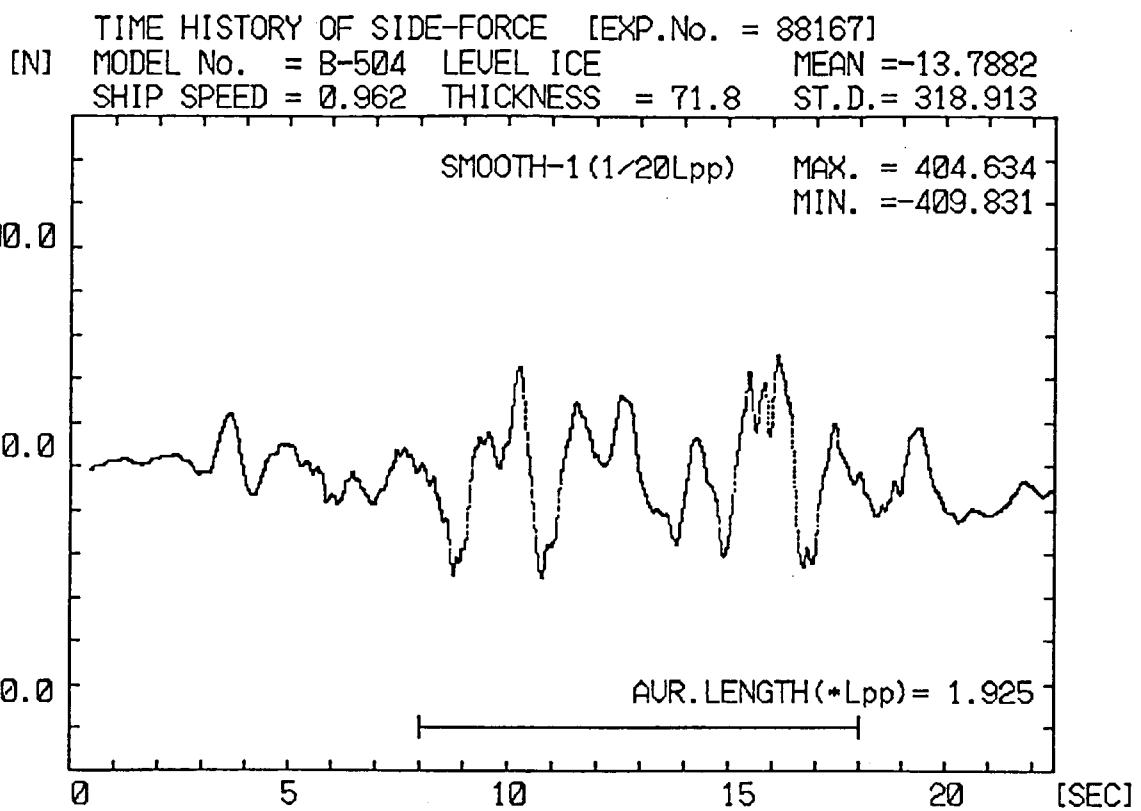


図 3.4.4 b 横力記録

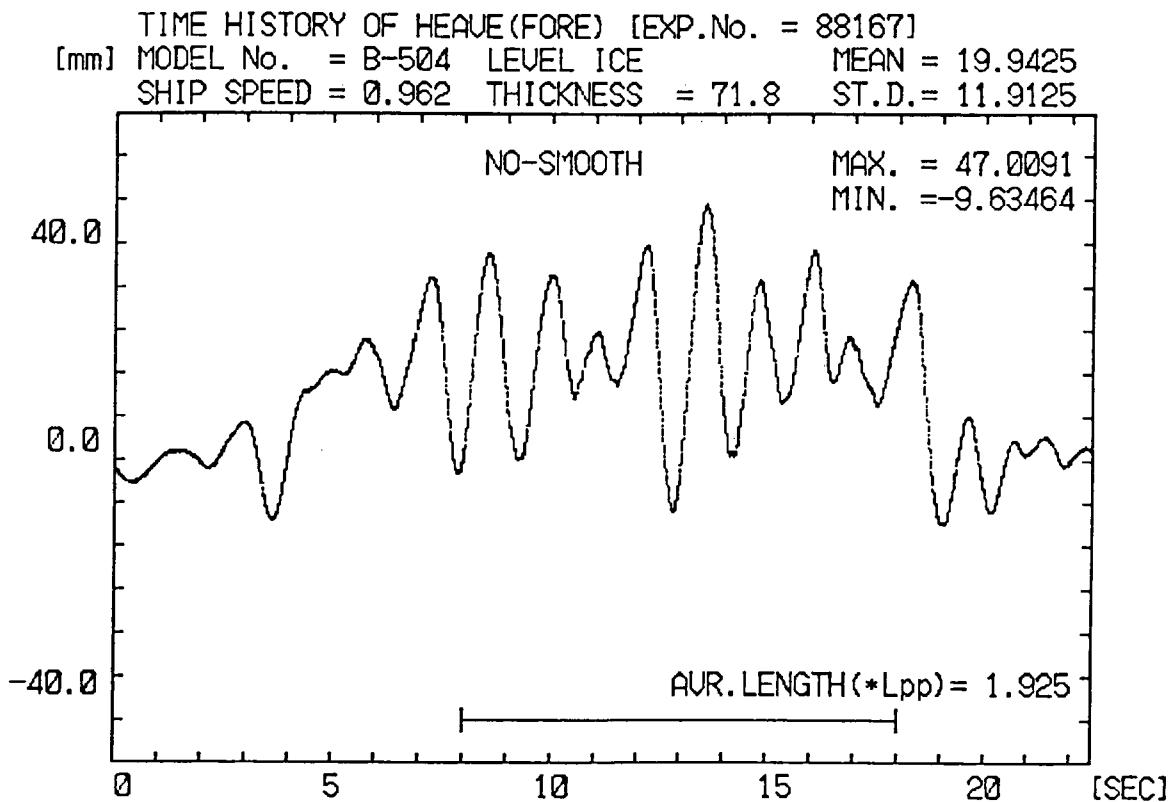


図 3.4.4 c 上下搖記録

TIME HISTORY OF PITCH(AFT) [EXP.No. = 88167]  
 [dg] MODEL No. = B-504 LEVEL ICE MEAN = 1.36322  
 SHIP SPEED = 0.962 THICKNESS = 71.8 ST.D.= .317917

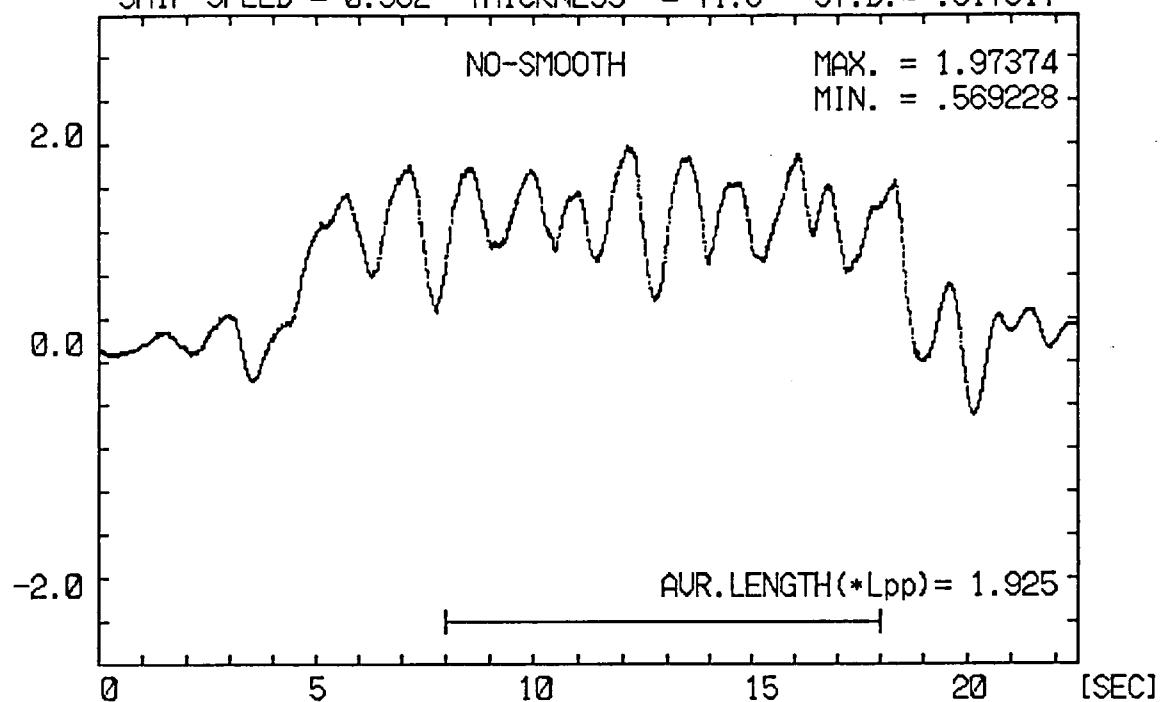


図 3.4.4 d 縦搖記録

TIME HISTORY OF ROLL (AFT) [EXP.No. = 88167]  
 [dg] MODEL No. = B-504 LEVEL ICE MEAN = -.496407  
 SHIP SPEED = 0.962 THICKNESS = 71.8 ST.D.= 2.91387

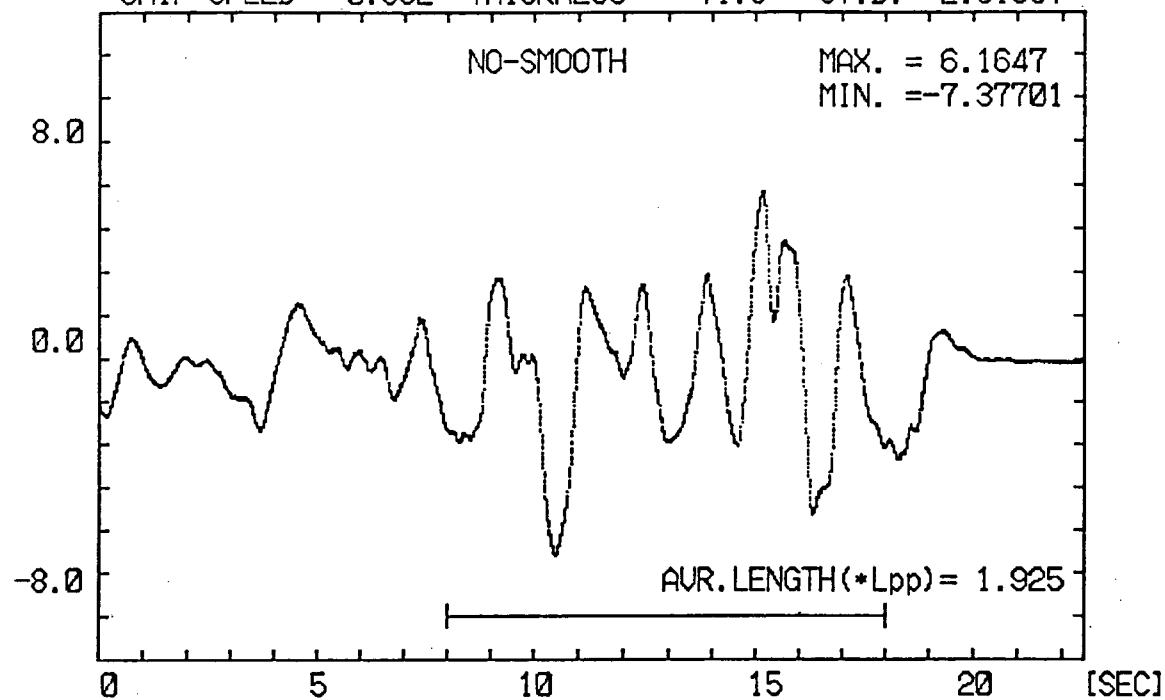


図 3.4.4 e 横搖記録

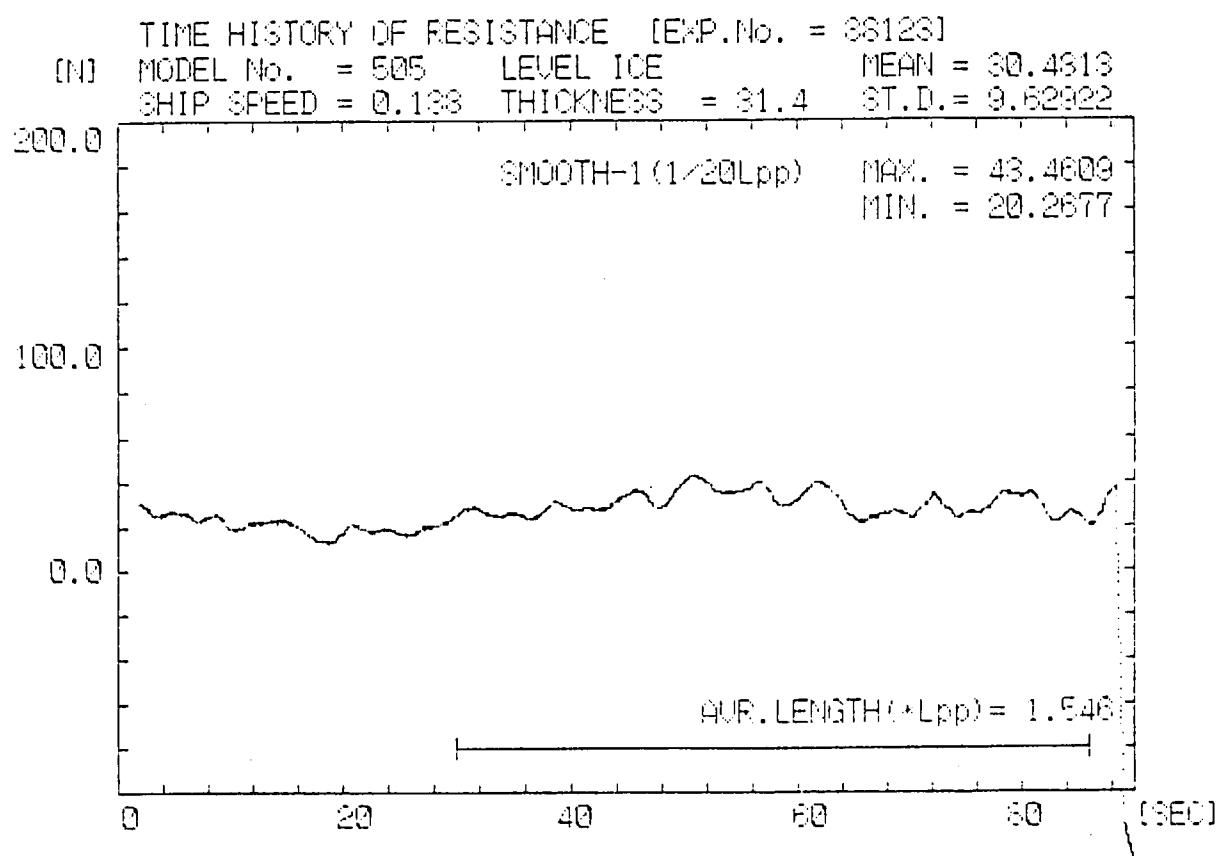


図 3.4.5 a 抵抗記録

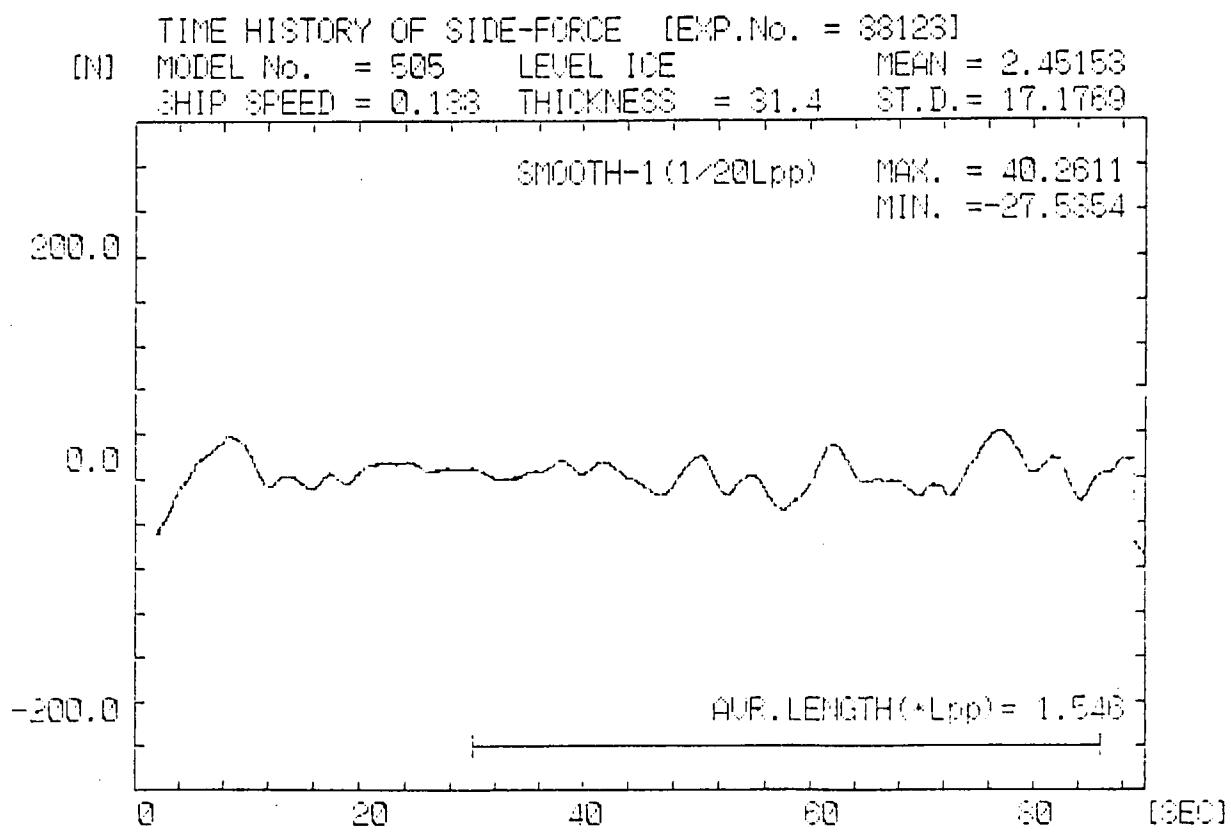


図 3.4.5 b 横力記録

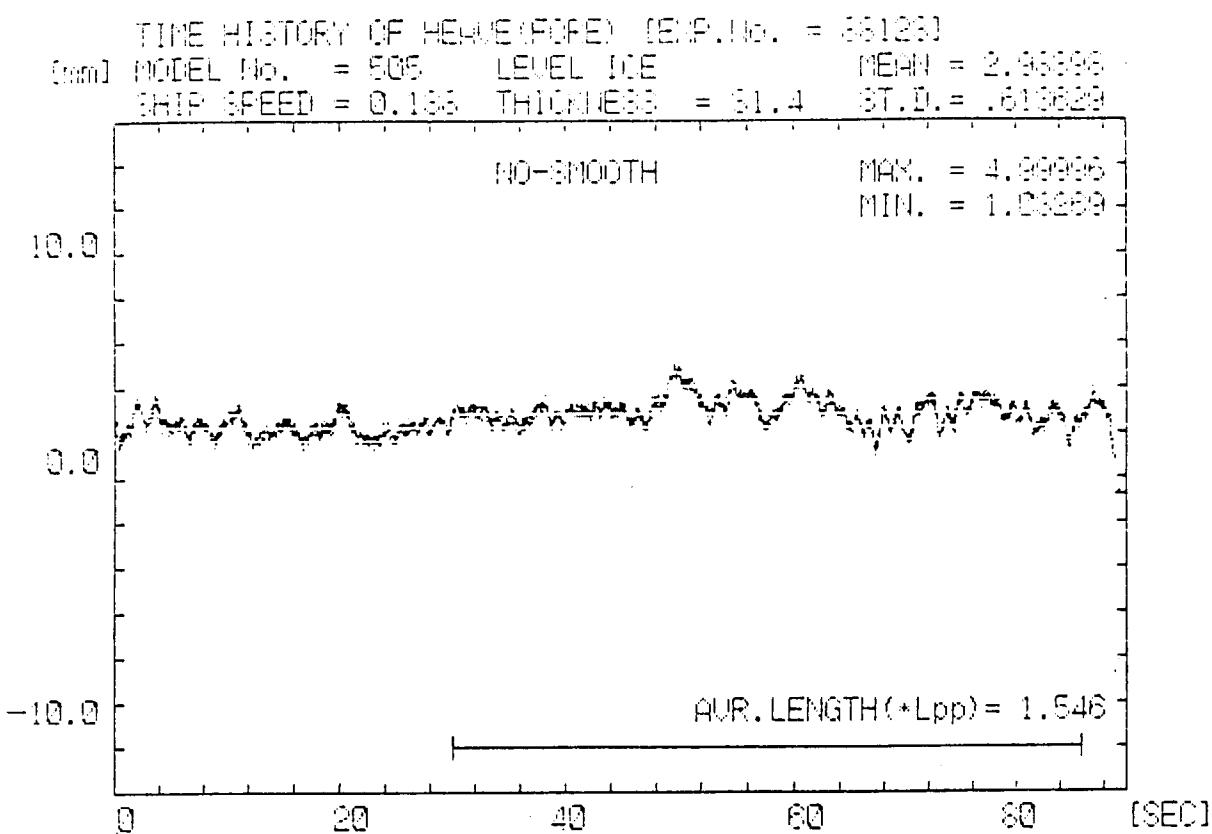


図 3.4.5 c 上下搖記録

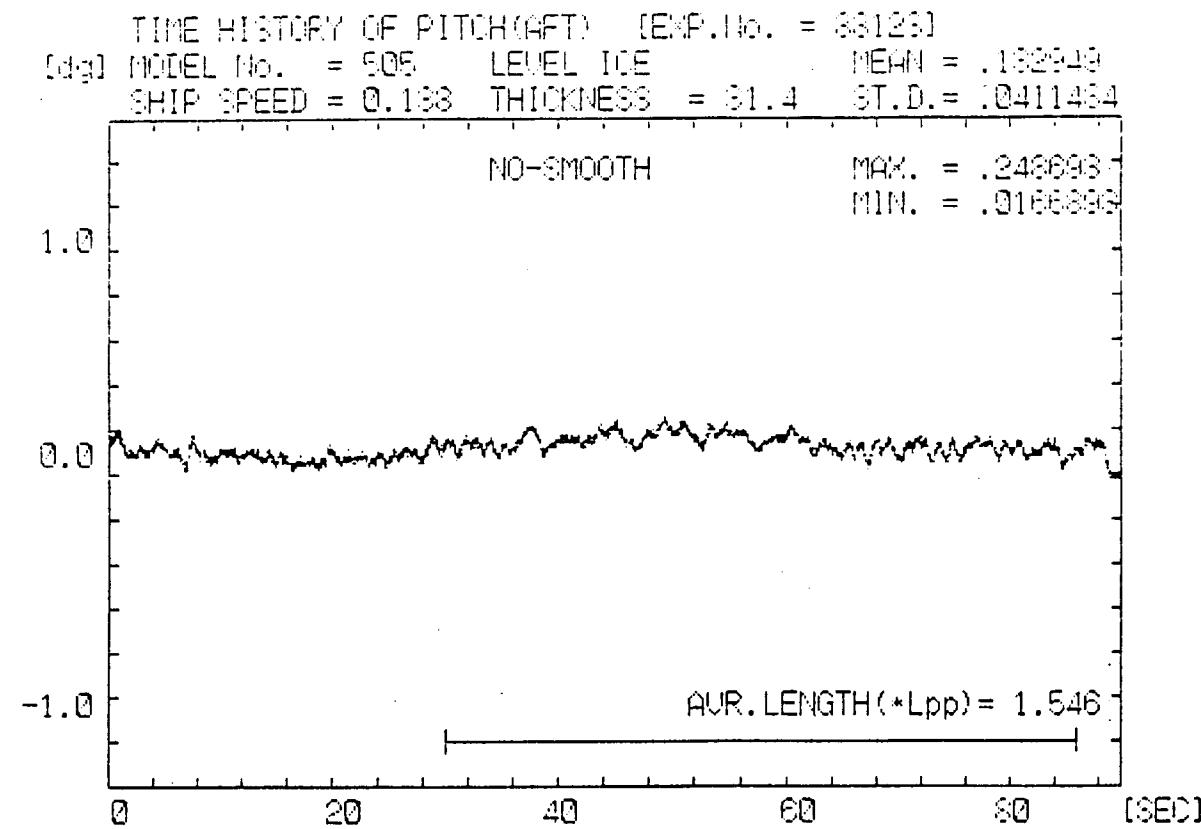


図 3.4.5 d 縦搖記録

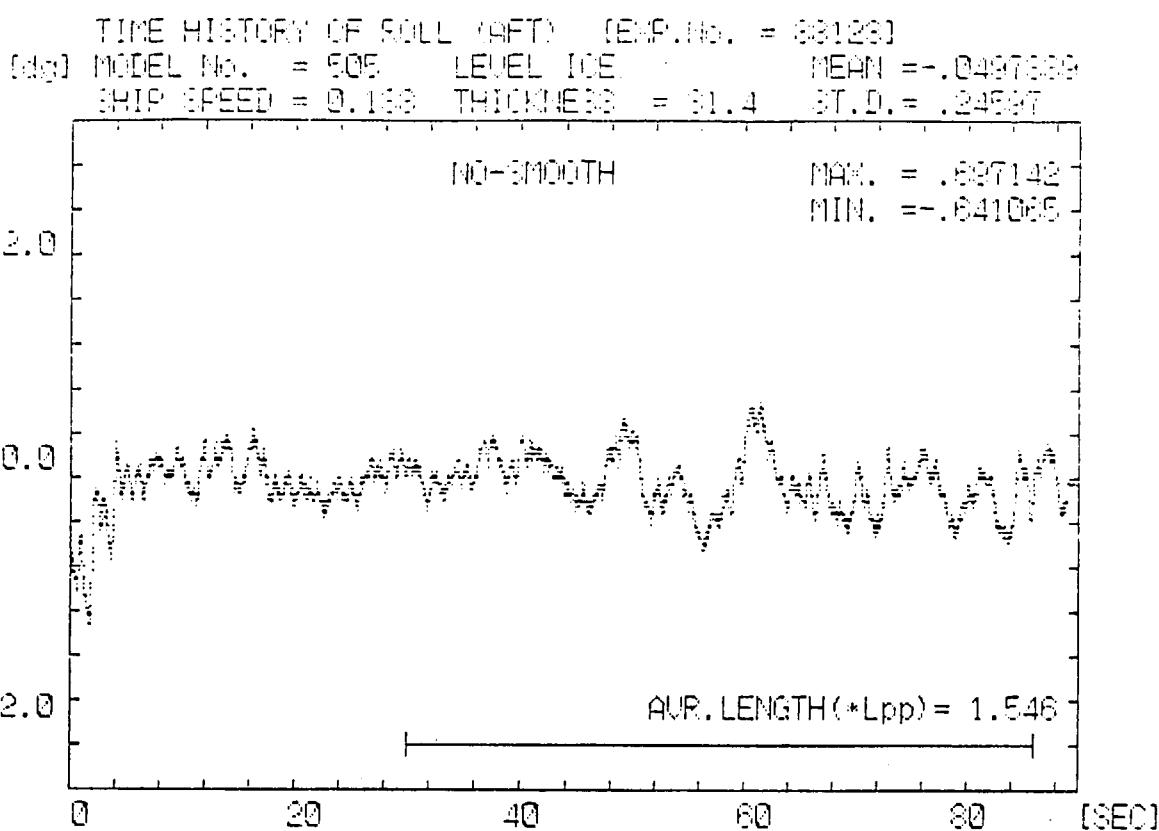


図 3.4.5 e 横搖記録

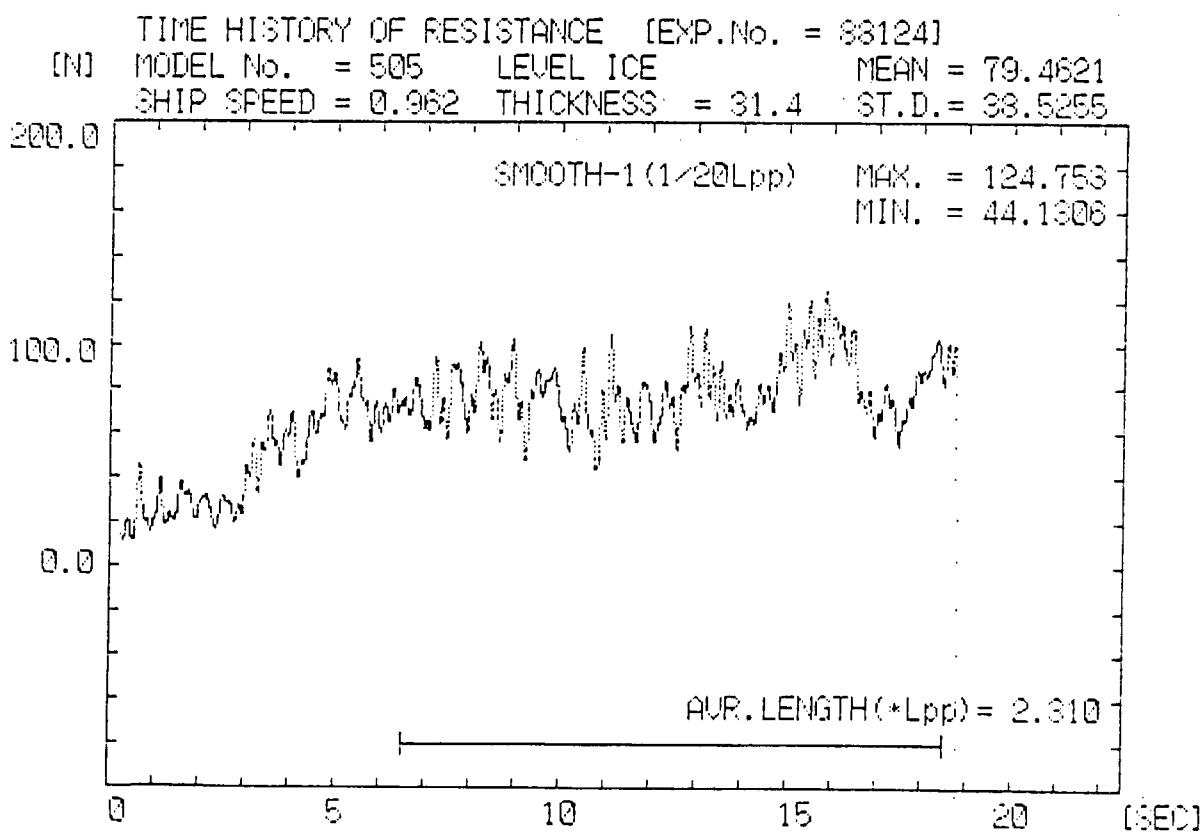


図 3.4.6 a 抵抗記録

TIME HISTORY OF SIDE-FORCE [EXP.No. = 88124]  
 (N) MODEL No. = 505 LEVEL ICE MEAN = -3.63365  
 SHIP SPEED = 0.962 THICKNESS = 31.4 ST.D. = 56.4497

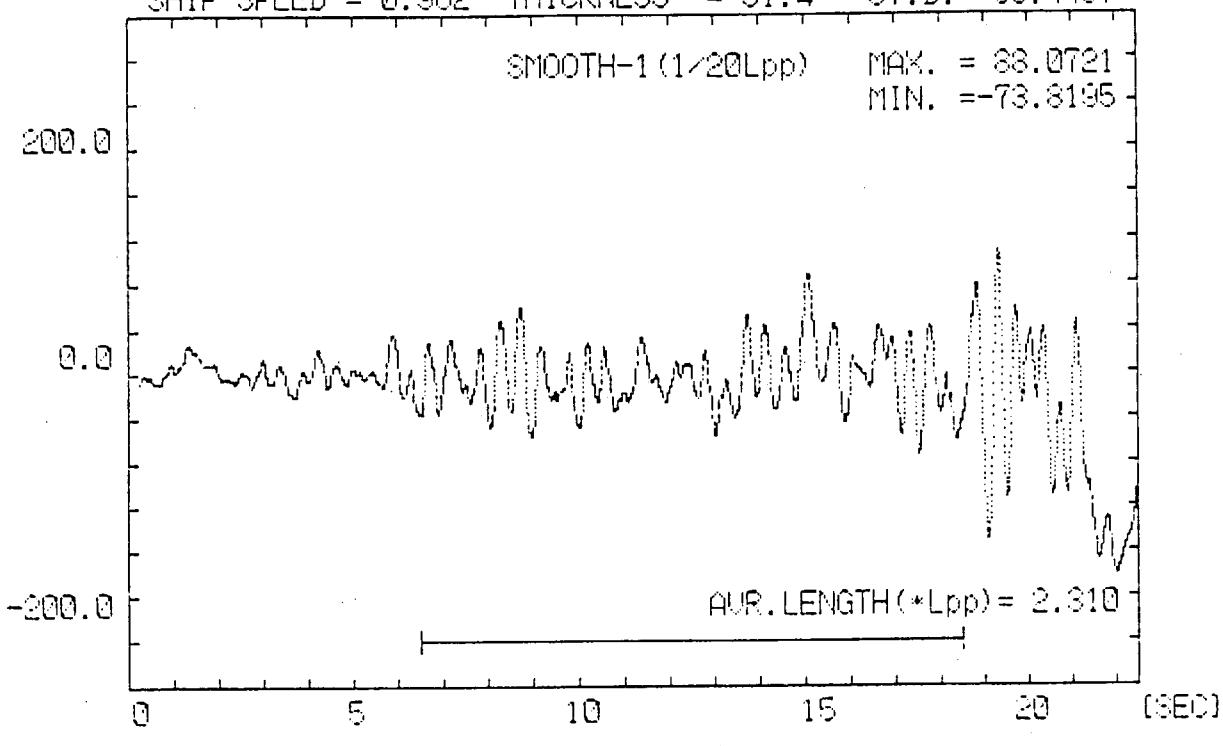


図 3.4.6 b 横力記録

TIME HISTORY OF HEAVE (FORE) [EXP.No. = 88124]  
 (mm) MODEL No. = 505 LEVEL ICE MEAN = -.0523359  
 SHIP SPEED = 0.962 THICKNESS = 31.4 ST.D. = 1.78141

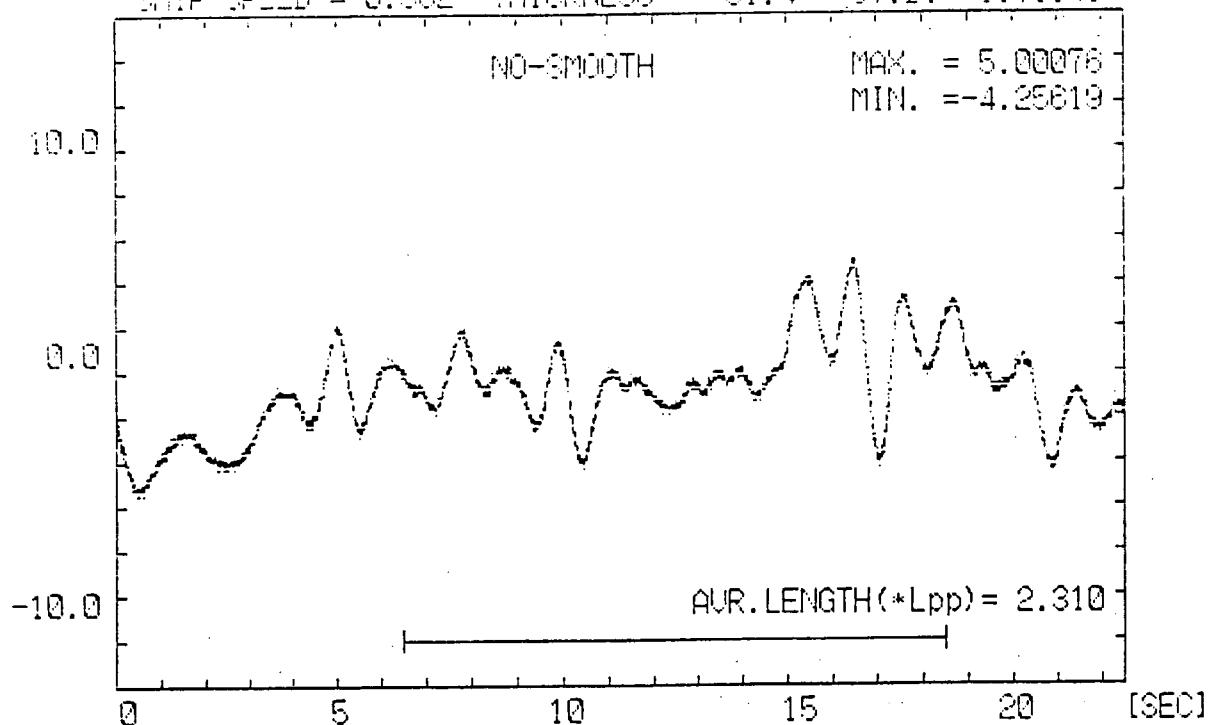


図 3.4.6 c 上下搖記録

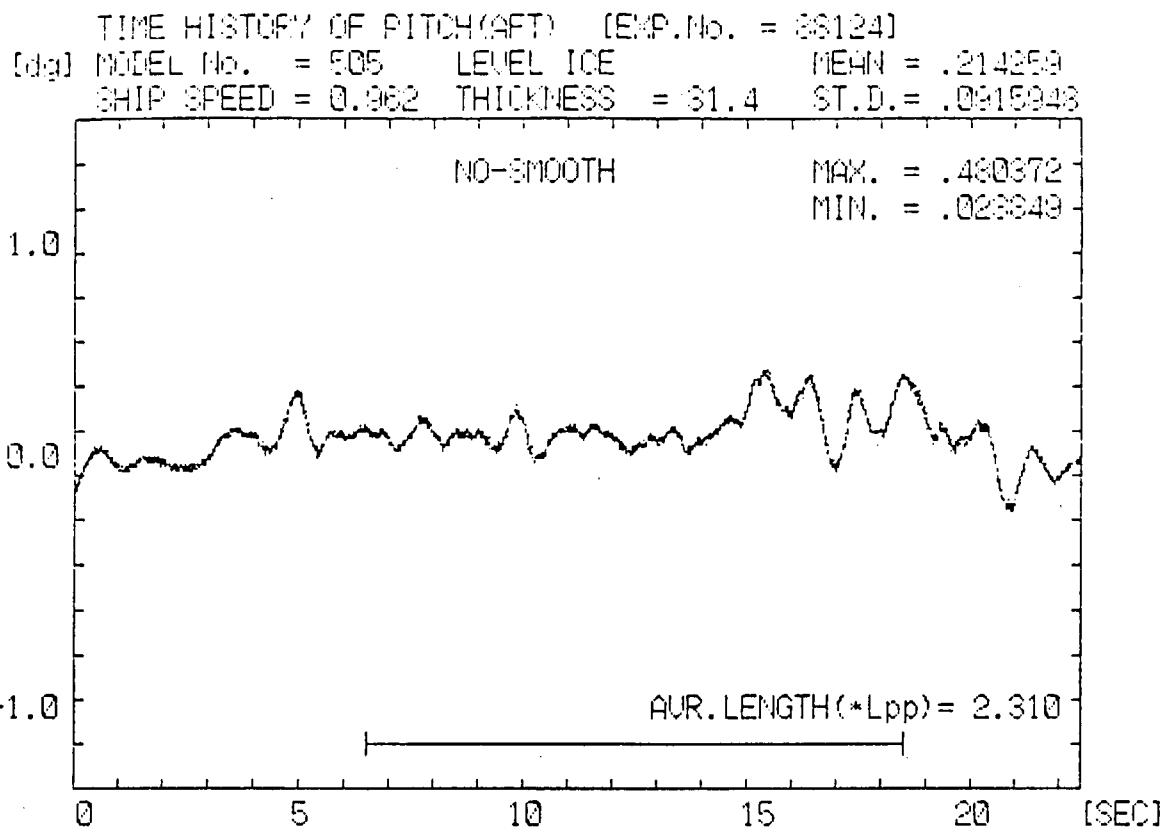


図 3.4.6 d 縦搖記録

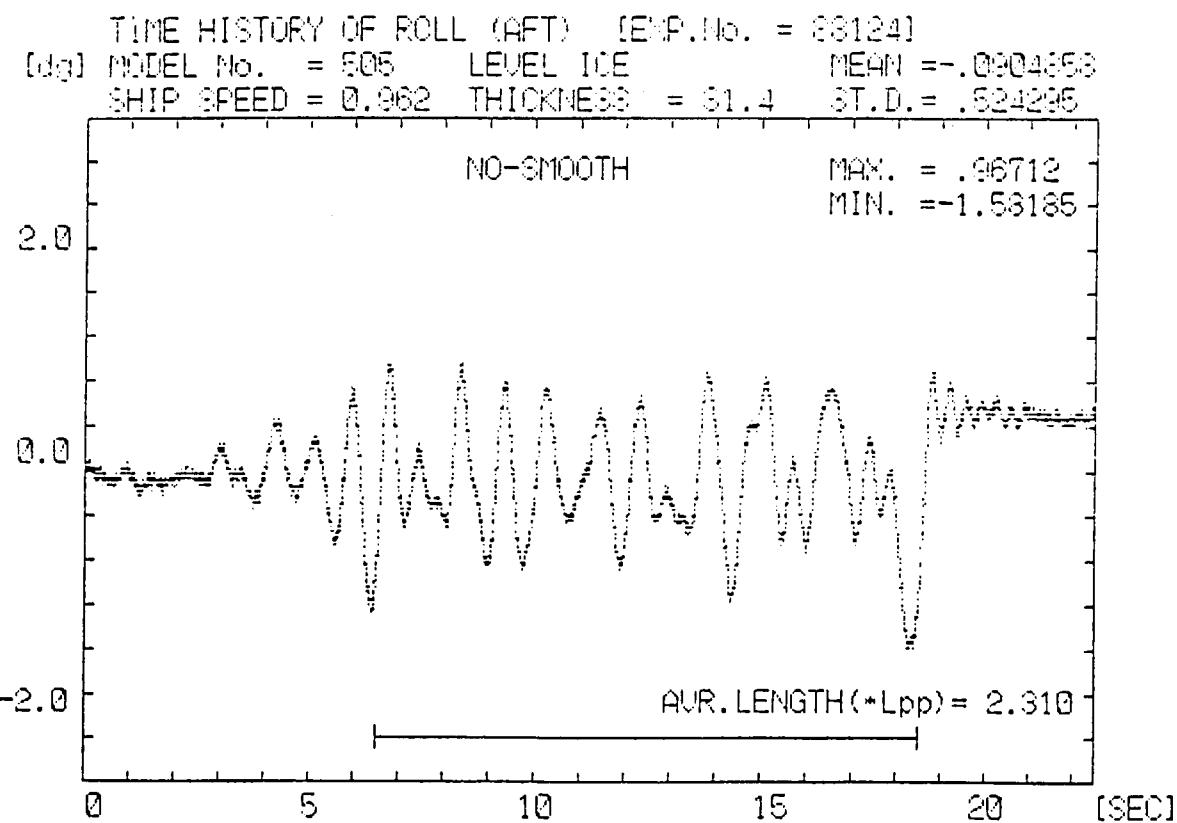


図 3.4.6 e 横搖記録

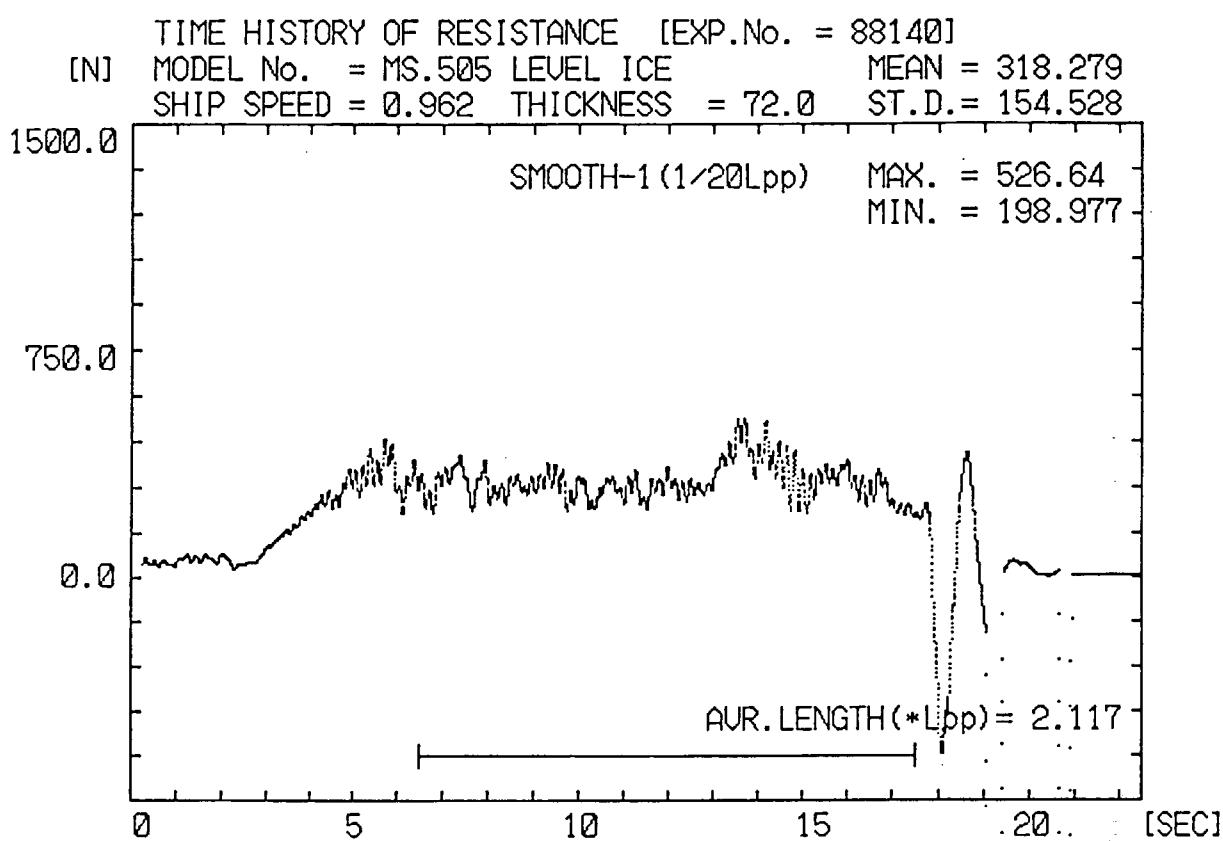


図 3.4.7 a 抵抗記録

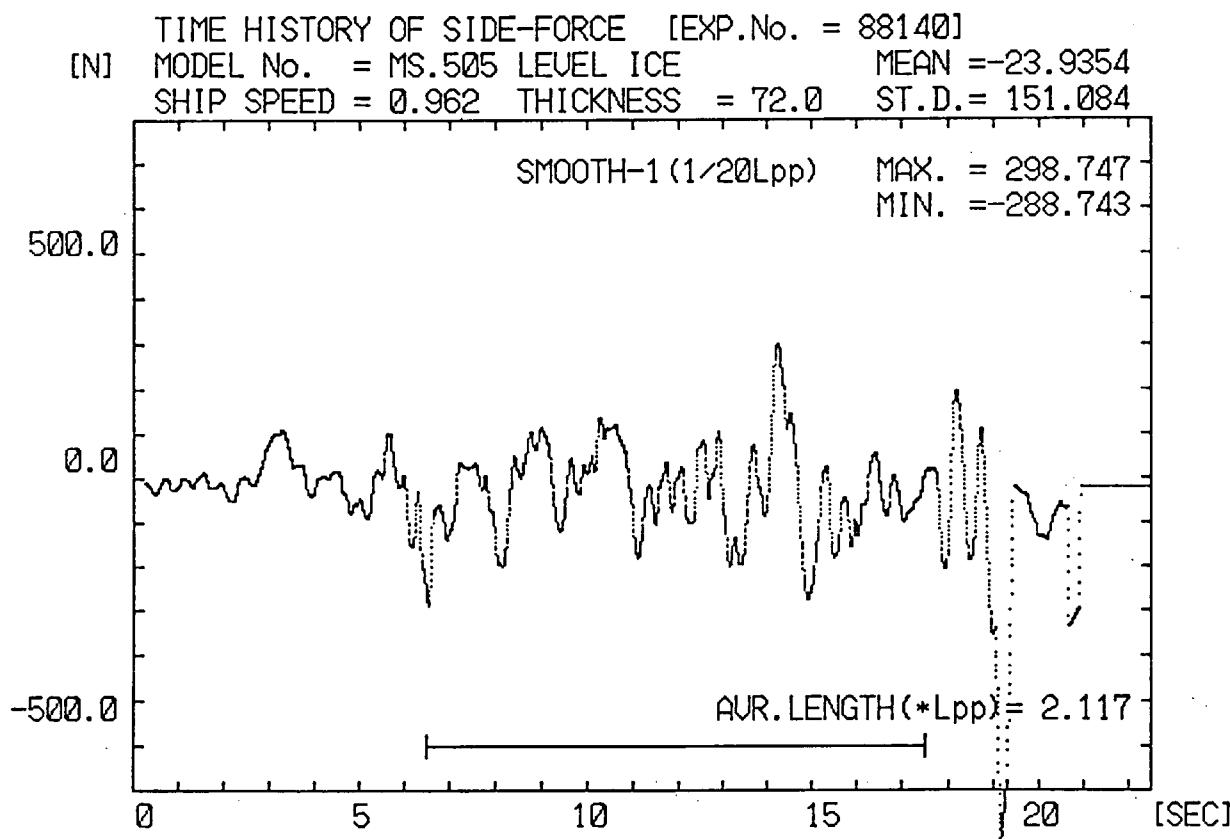


図 3.4.7 b 横力記録

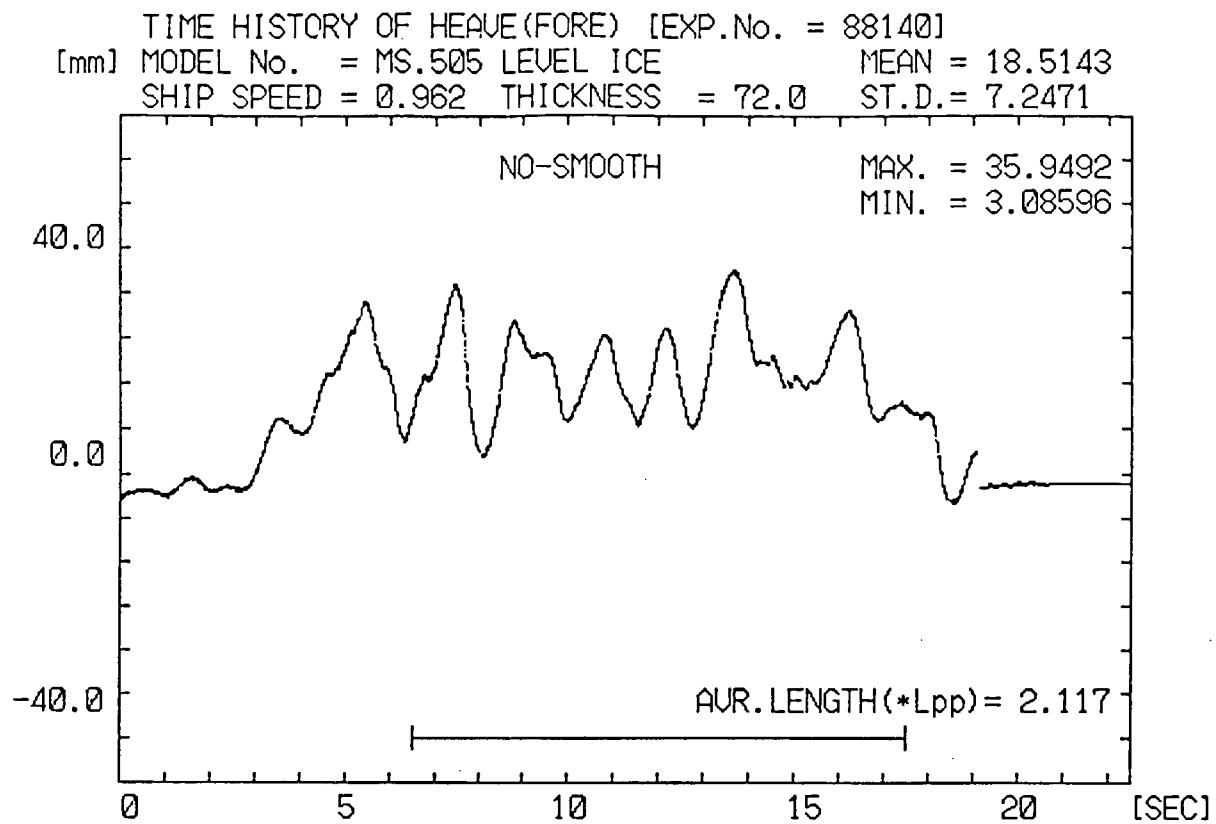


図 3.4.7 c 上下揺記録

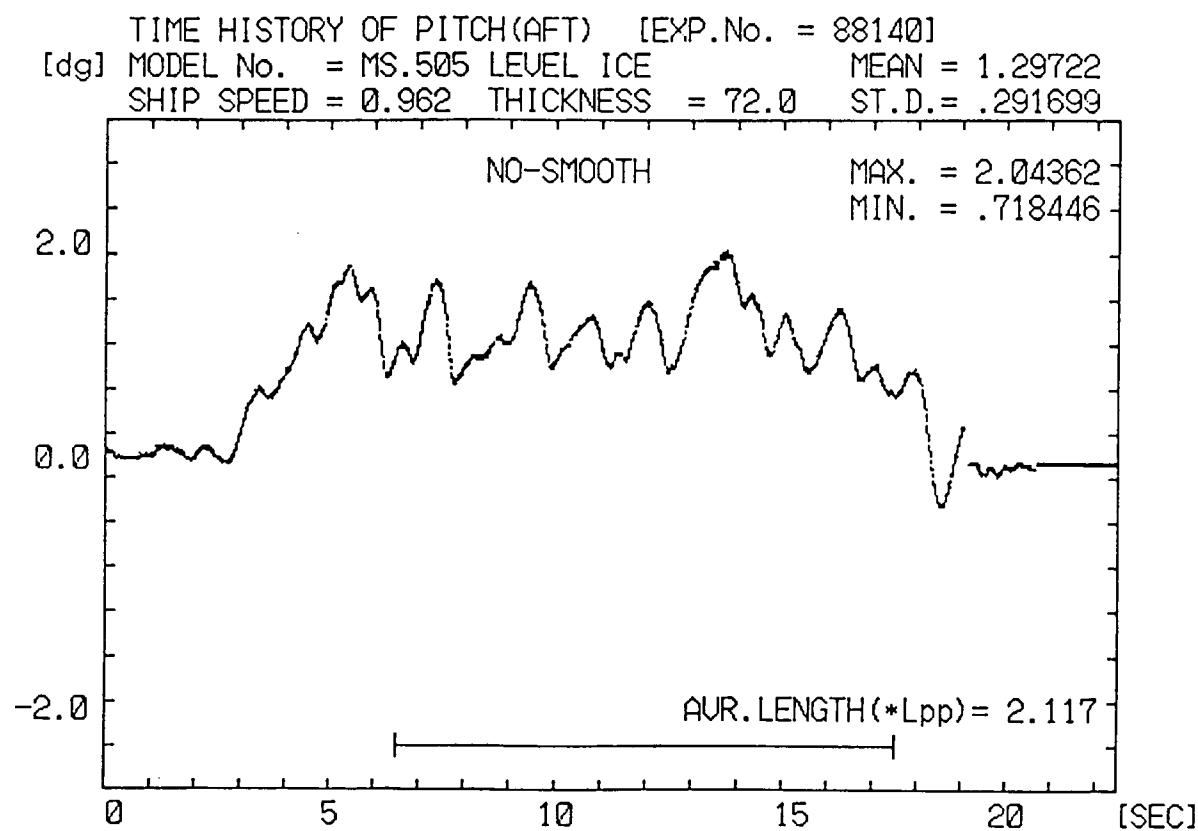


図 3.4.7 d 縦揺記録

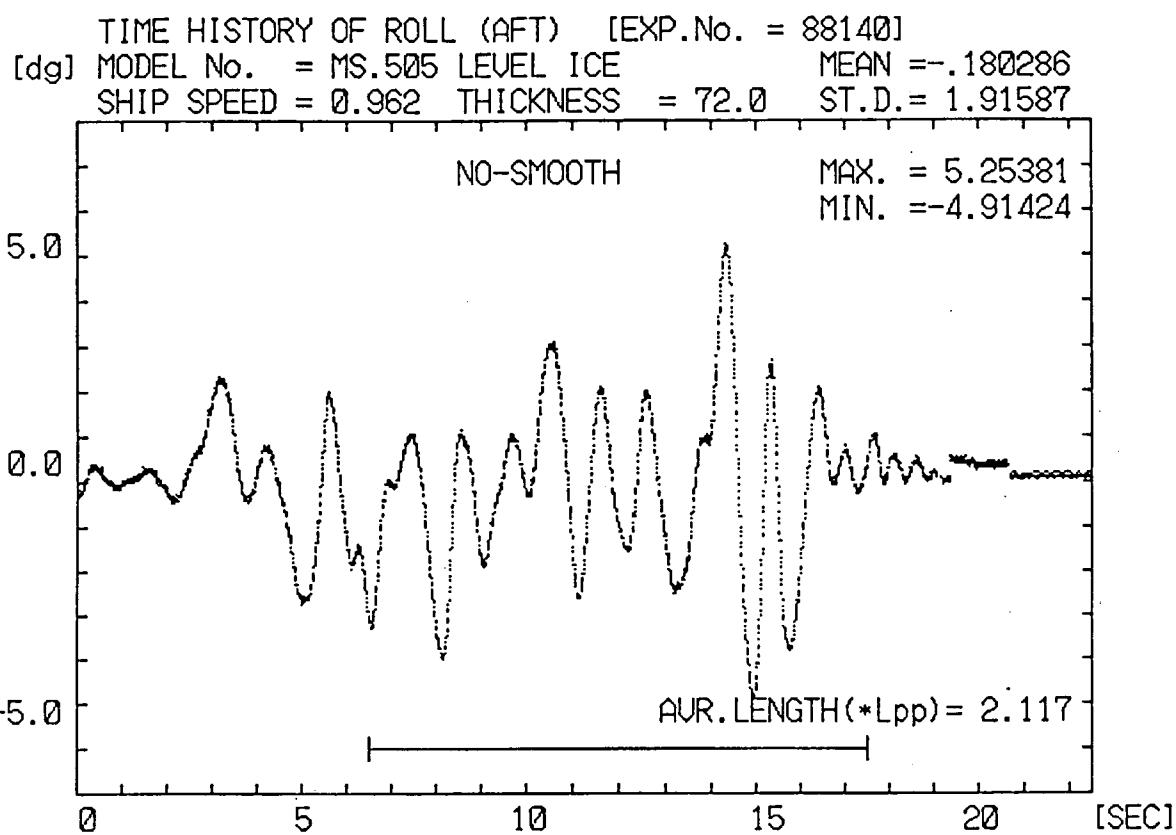


図 3.4.7 e 横搖記録

表 3.4.1 氷中抵抗試験結果(平坦氷中)

Model No. 504 Level Ice 中抵抗値 (単位: N)  
 () 内は氷曲げ強度

船速 (m/s) \ 氷厚 (mm)	32	43	71
0.138	36.3 (51.2)	72.2 (45.1)	217.5 (53.4)
0.412	56.1 (62.0)	99.5 (47.8)	205.0 (64.2)
0.687	66.4 (62.0)	116.1 (47.8)	280.9 (64.2)
0.962	75.2 (51.2)	135.8 (45.1)	361.3 (53.4)

Model No. 505

船速 (m/s) \ 氷厚 (mm)	32	43	71
0.138	32.0 (27.5)	55.2 (41.9)	166.0 (58.5)
0.412	48.8 (33.5)	99.4 (37.8)	191.4 (42.3)
0.687	75.2 (33.5)	116.2 (37.8)	244.4 (42.3)
0.962	79.1 (27.5)	141.8 (41.9)	323.8 (58.5)

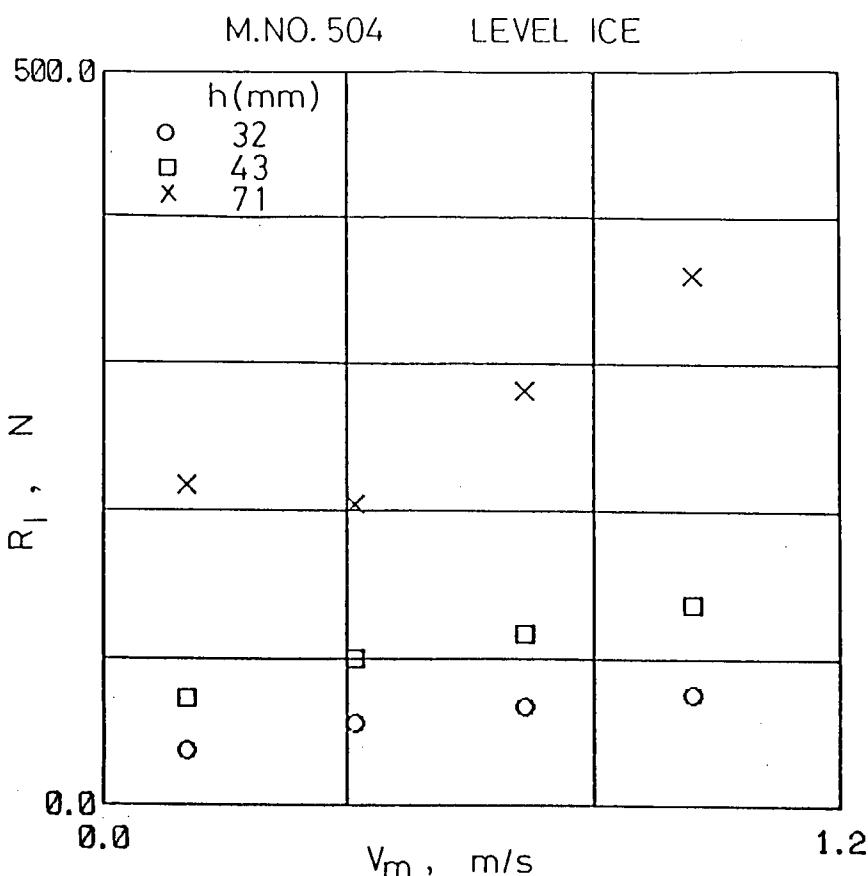


図 3.4.8 水中抵抗(平担氷)

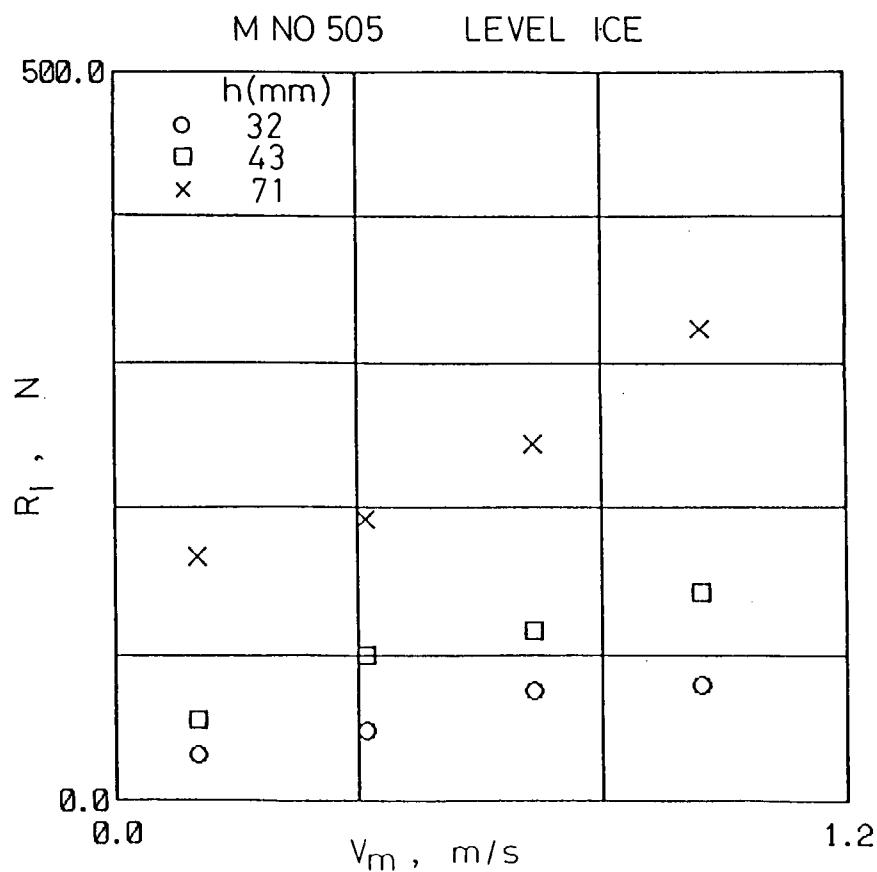


図 3.4.9 水中抵抗(平担氷)

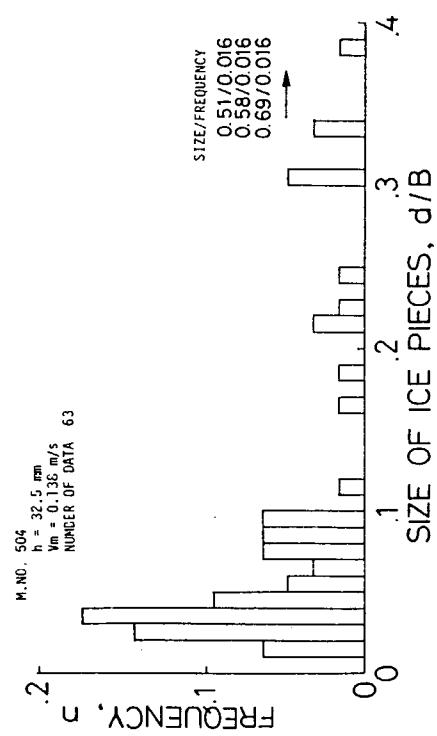


図 3.4.1 0 碎氷片寸法分布

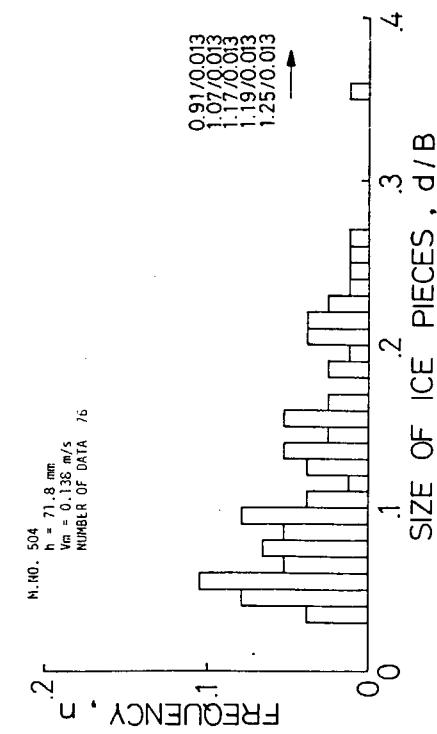


図 3.4.1 2 碎氷片寸法分布

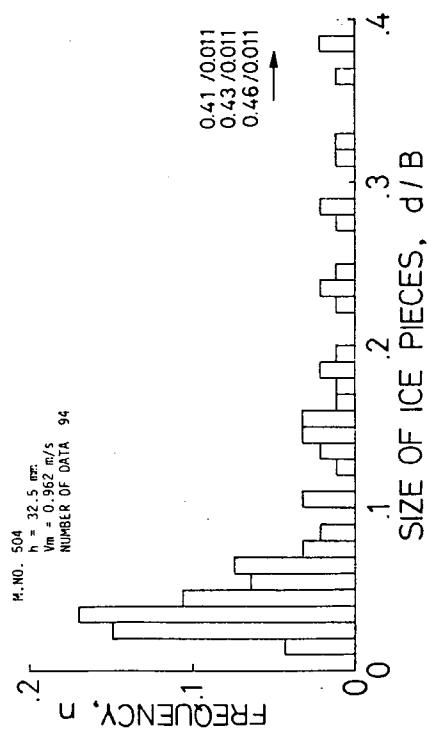


図 3.4.1 1 碎氷片寸法分布

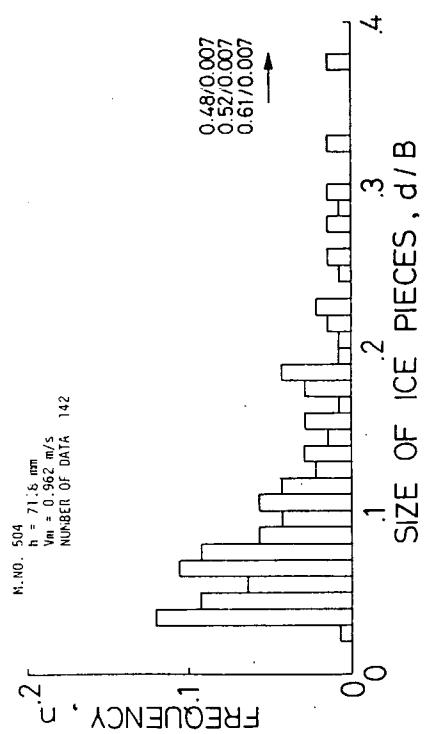


図 3.4.1 3 碎氷片寸法分布

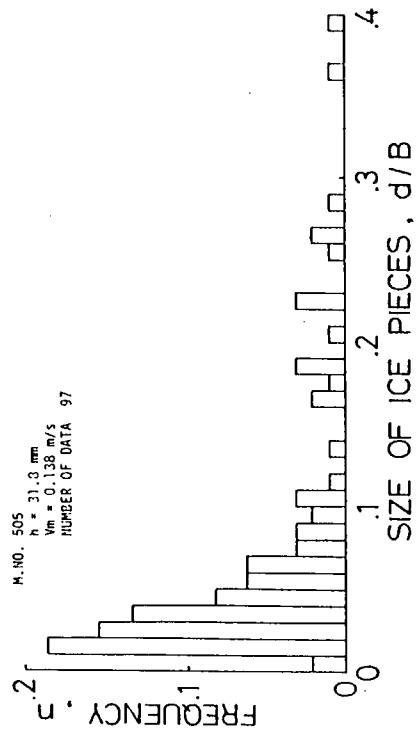


図 3.4.1 4 破氷片寸法分布

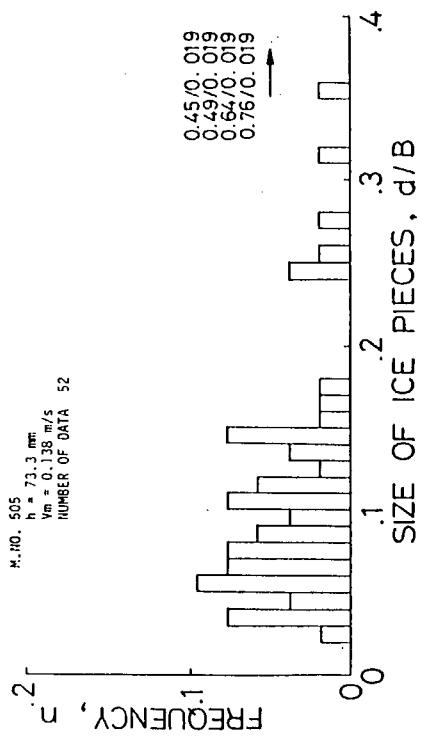


図 3.4.1 6 破氷片寸法分布

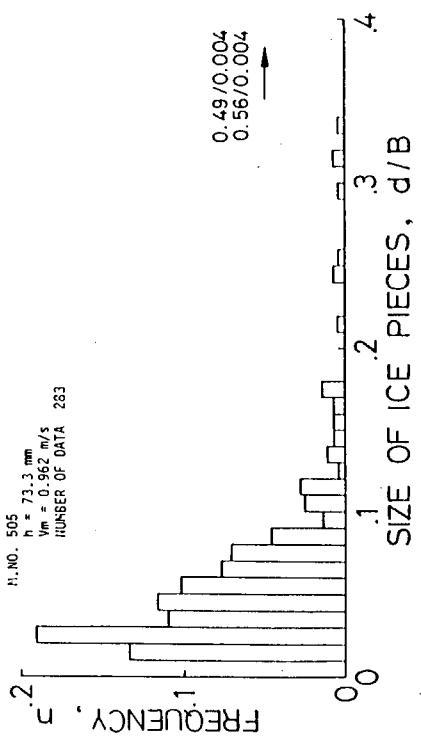


図 3.4.1 5 破氷片寸法分布

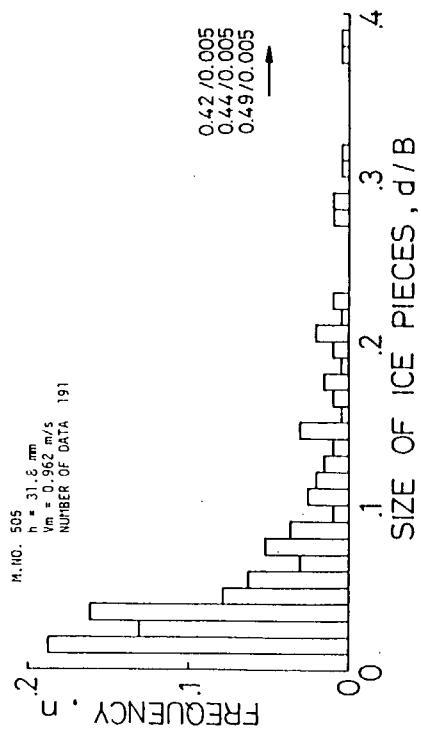


図 3.4.1 7 破氷片寸法分布

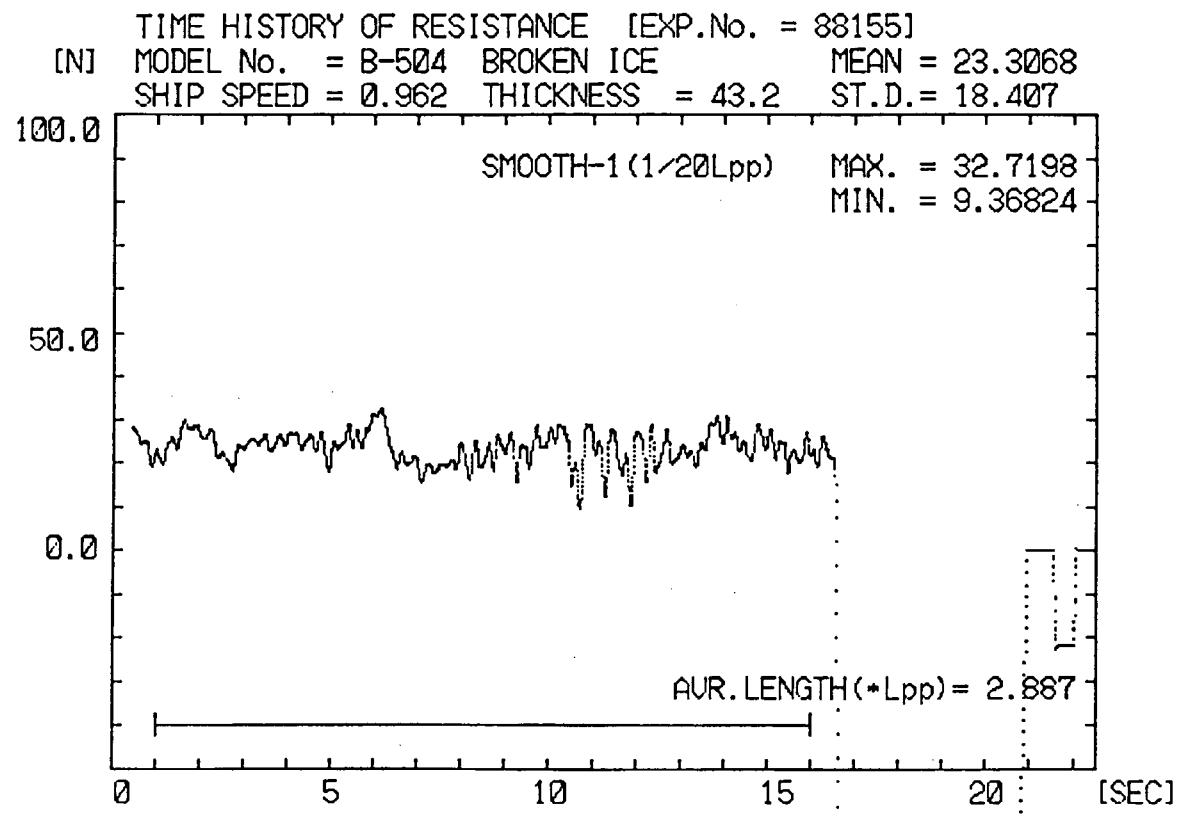


図 3.4.1 8 a 抵抗記録

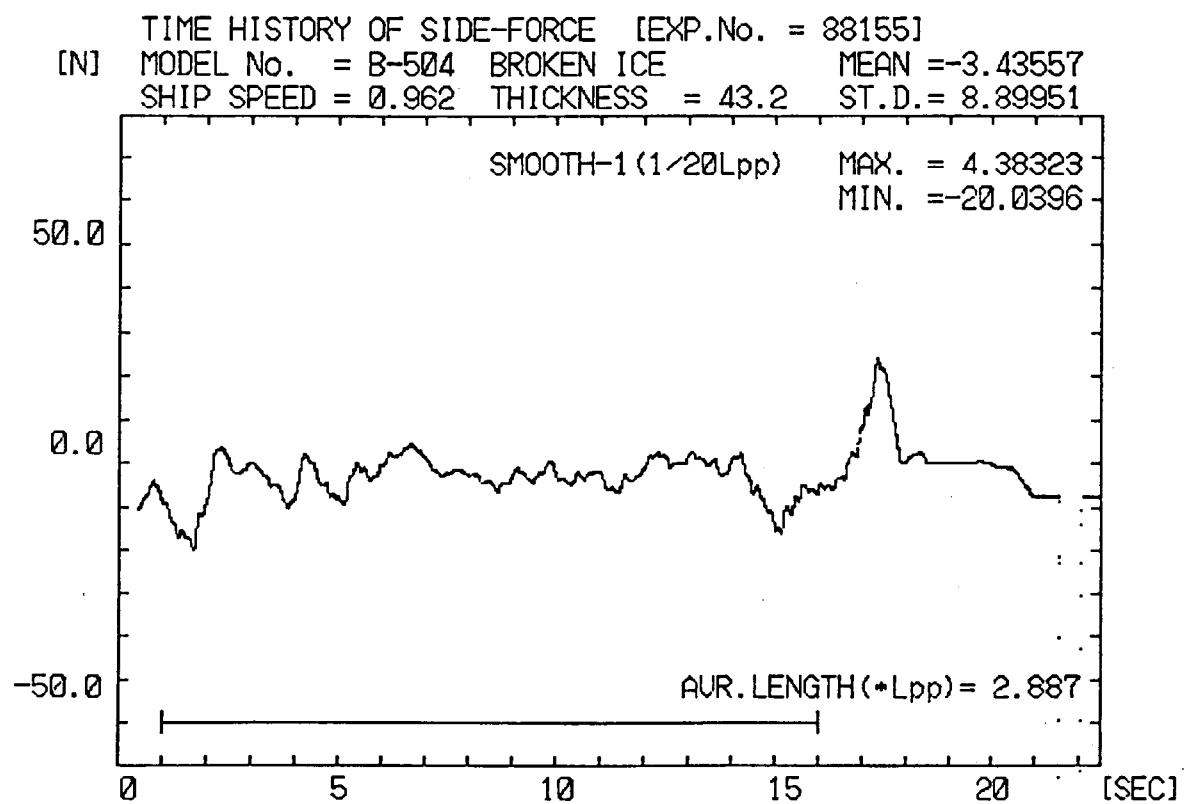


図 3.4.1 8 b 横力記録

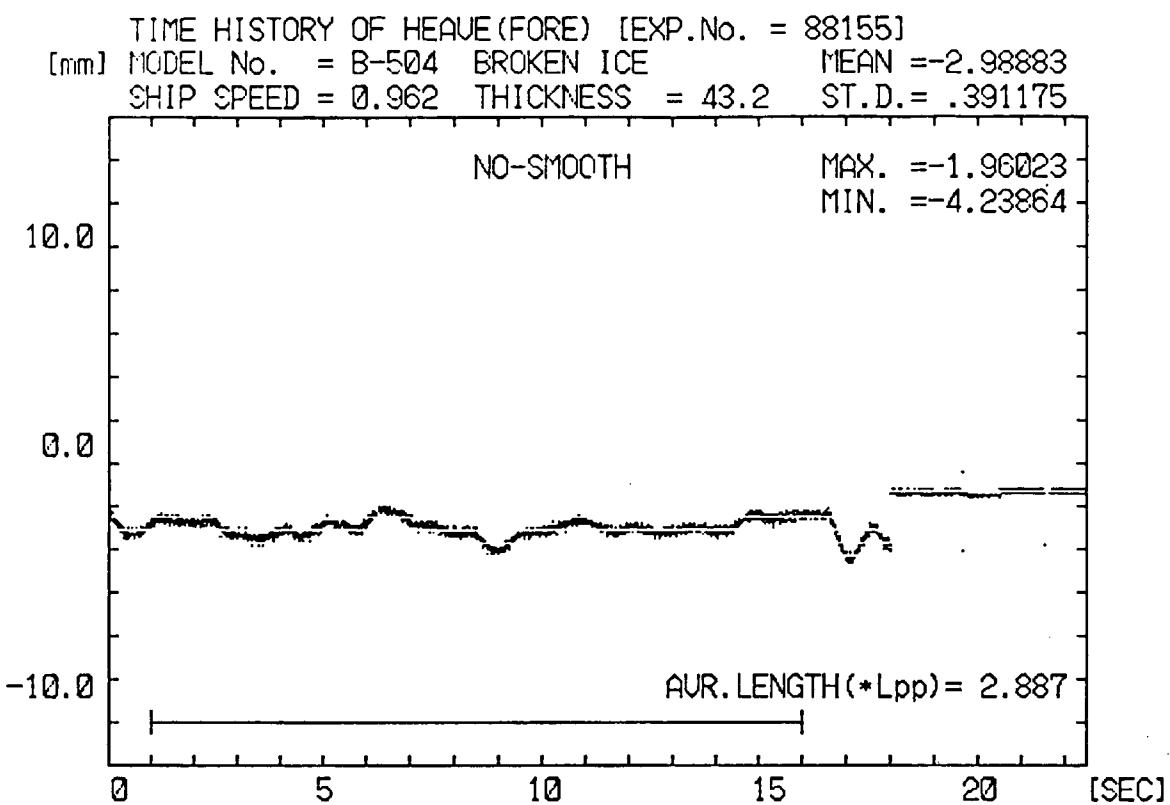


図 3.4.1 8 c 上下搖記録

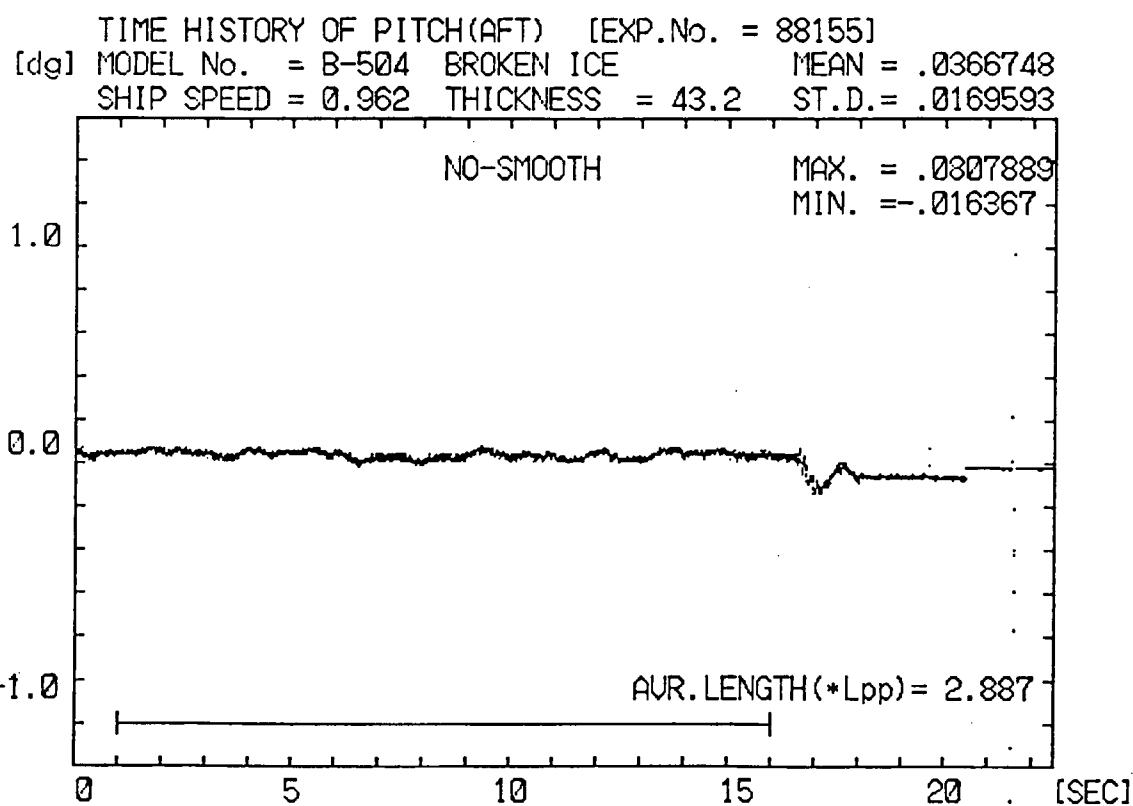


図 3.4.1 8 d 縦搖記録

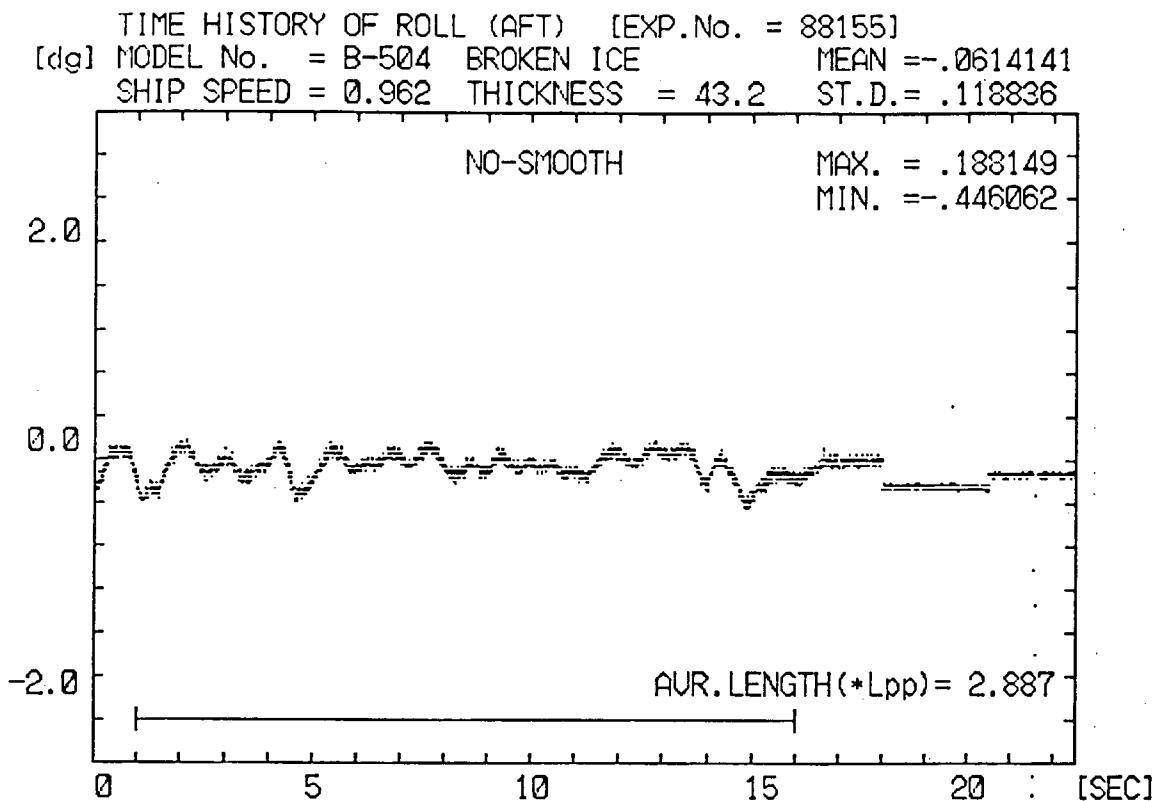


図 3.4.1 8 e 横搖記録

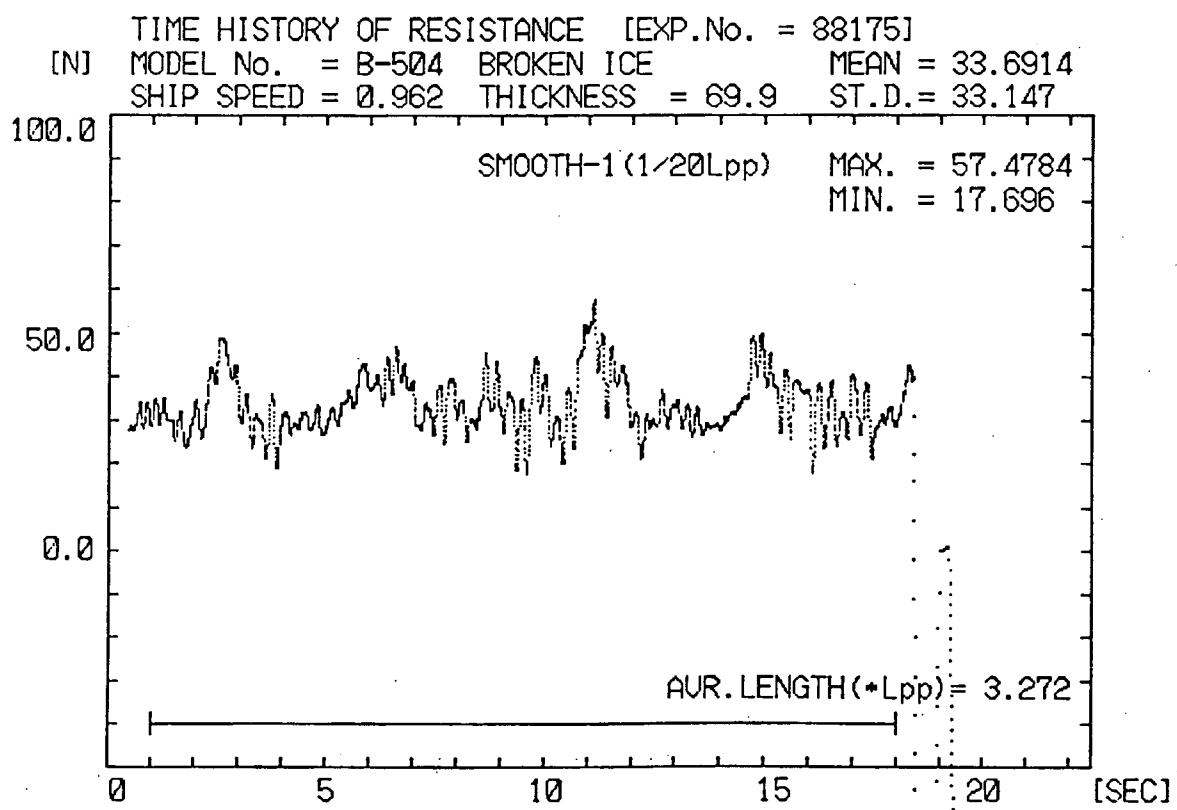


図 3.4.1 9 a 抵抗記録

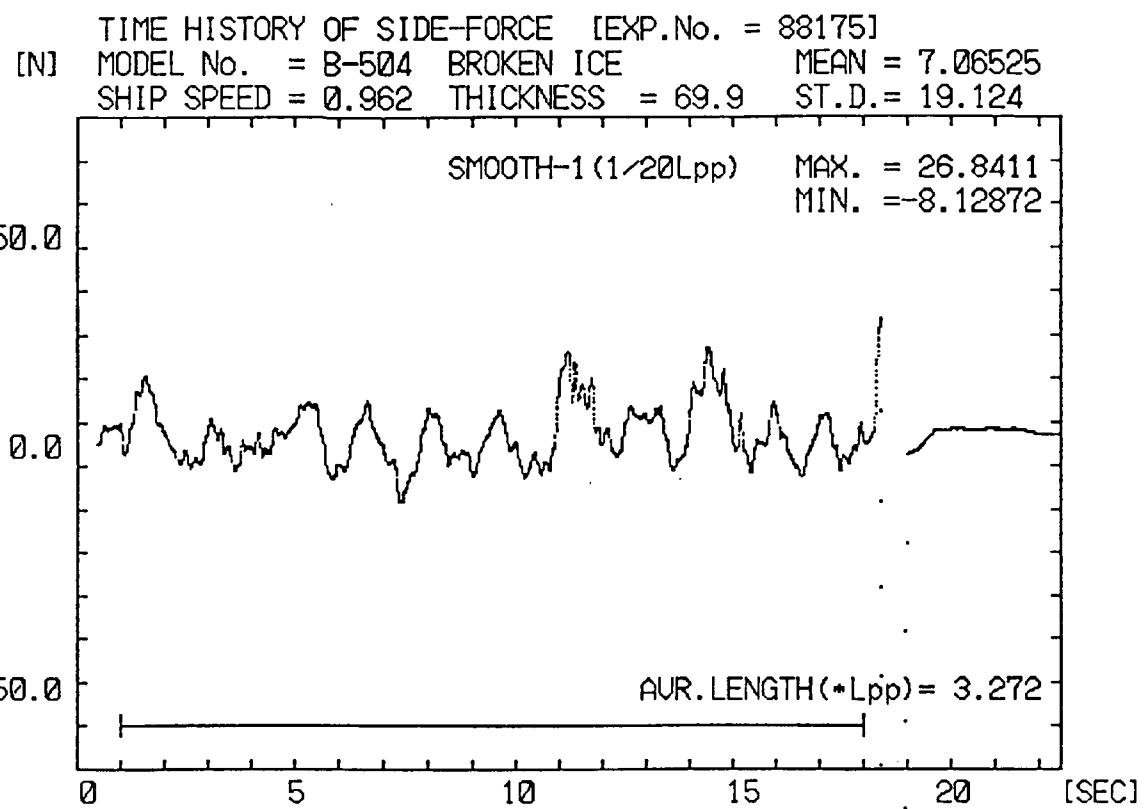


図 3.4.1 9 b 横力記録

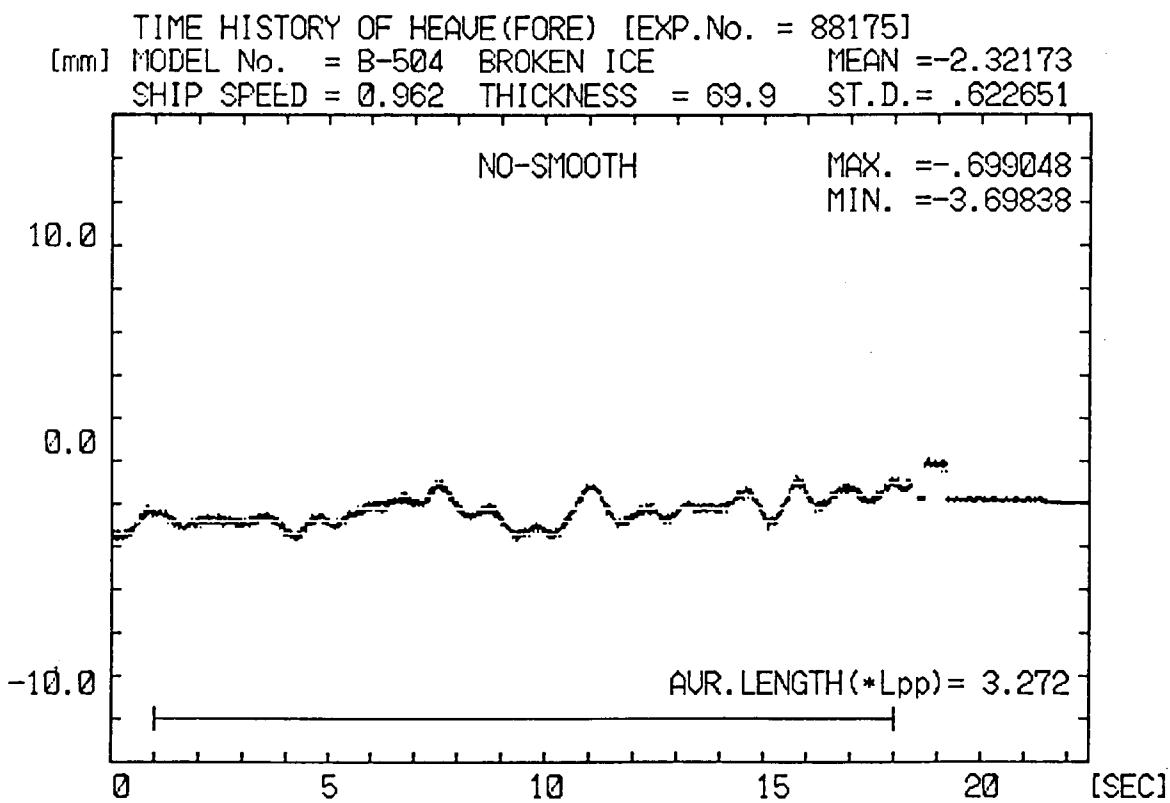


図 3.4.1 9 c 上下搖記録

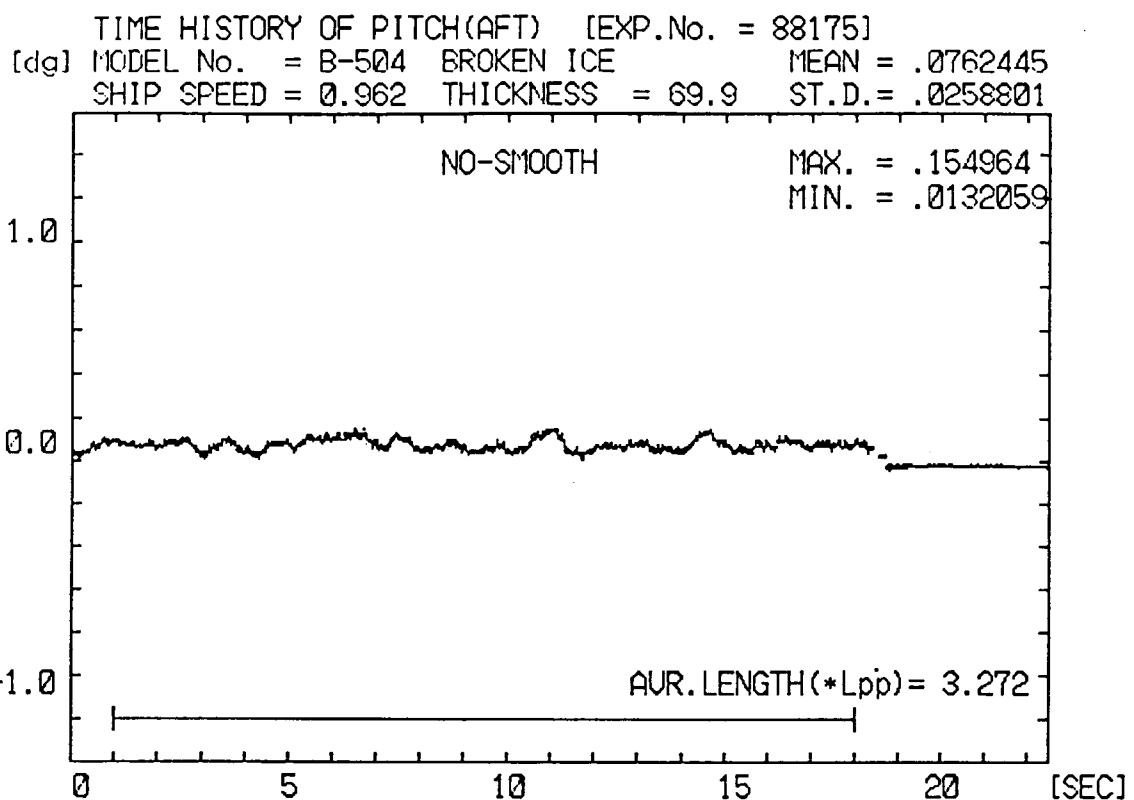


図 3.4.1 9 d 縦搖記録

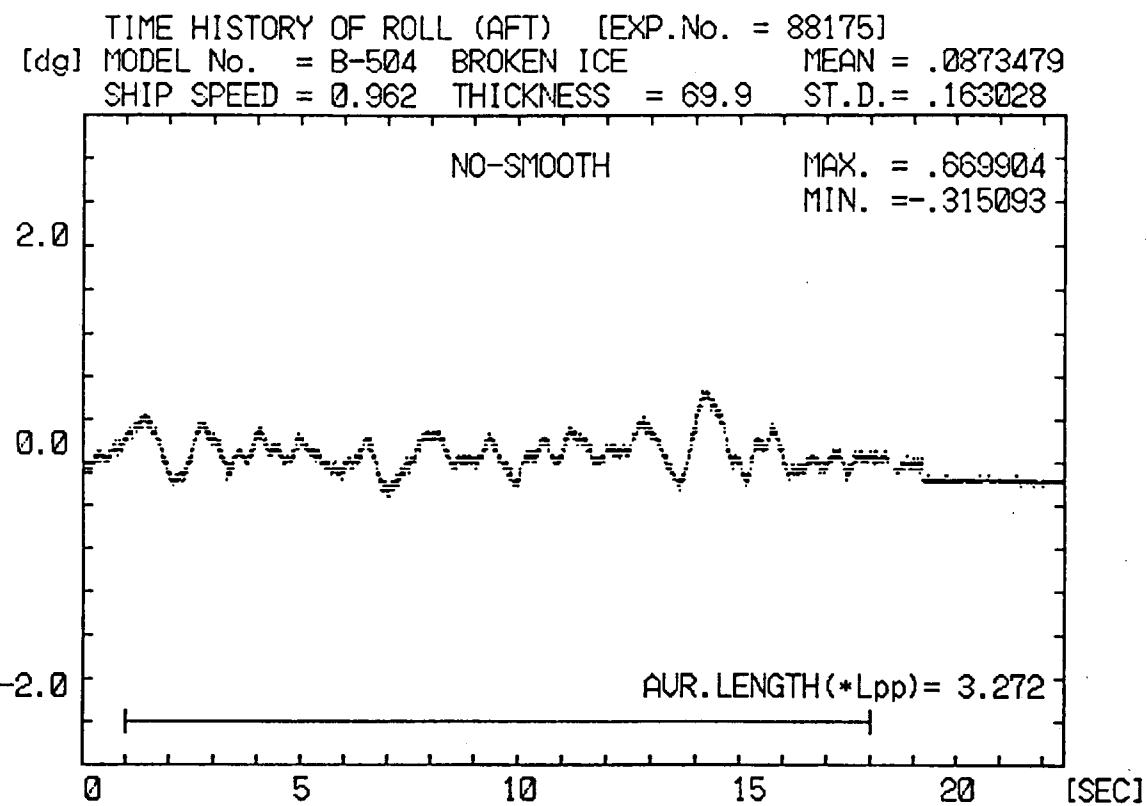


図 3.4.1 9 e 横搖記録

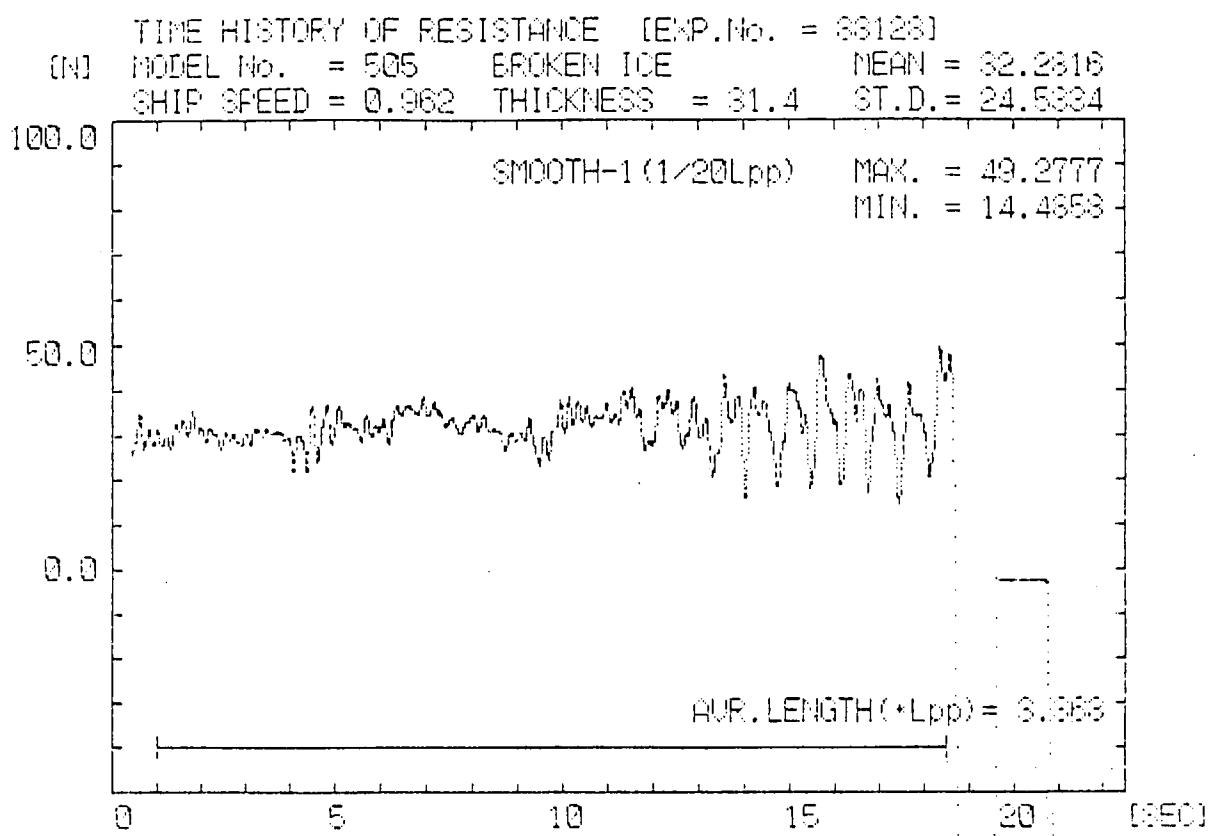


図 3.4.2 0 a 抵抗記録

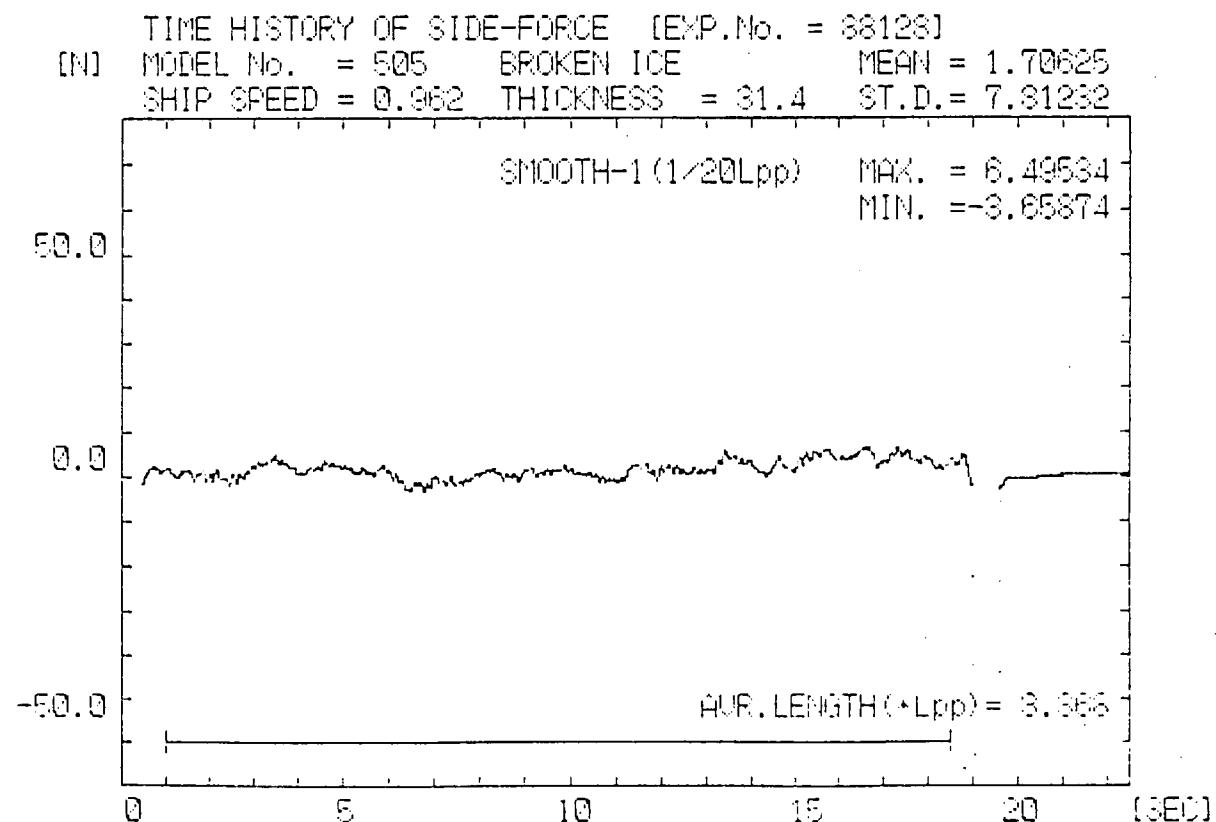


図 3.4.2 0 b 横力記録

TIME HISTORY OF HEAVE(FORE) [EXP.No. = 861260]  
 (cm) MODEL NO. = 505 BROKEN ICE MEAN = -1.02914  
 SHIP SPEED = 0.962 THICKNESS = 31.4 ST.D. = .46279

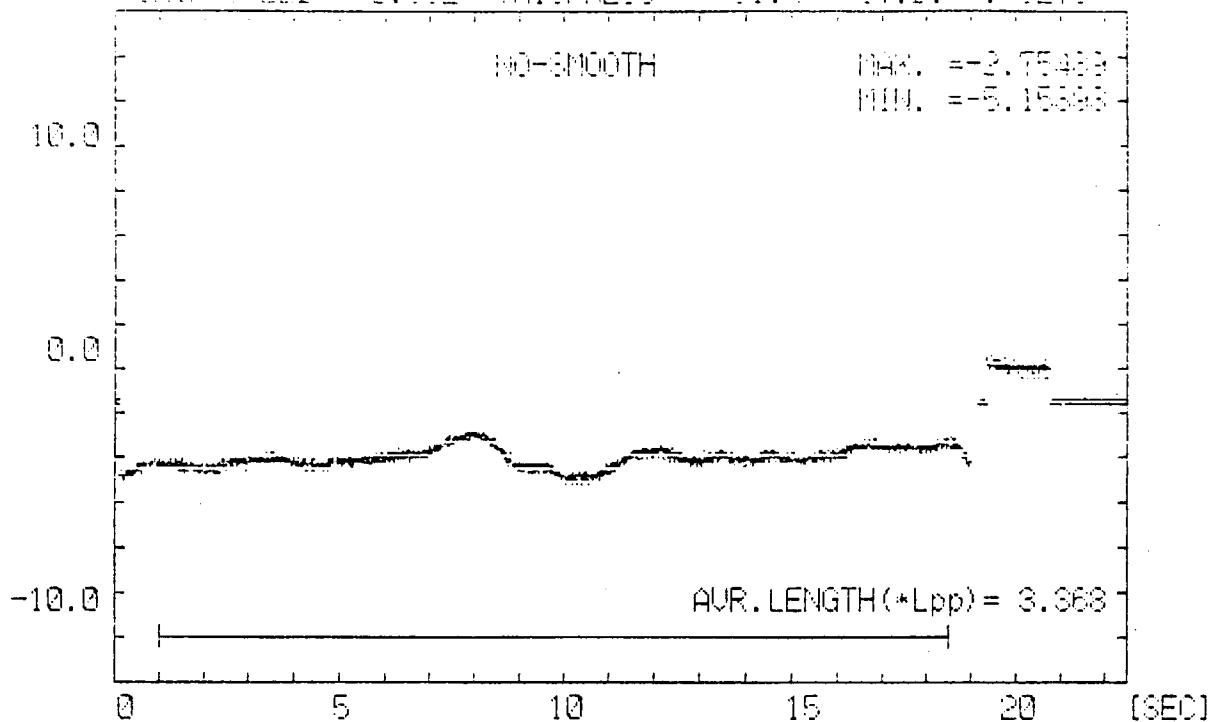


図 3.4.2 0 c 上下搖記録

TIME HISTORY OF PITCH(AFT) [EXP.No. = 861260]  
 (deg) MODEL NO. = 505 BROKEN ICE MEAN = .073435  
 SHIP SPEED = 0.962 THICKNESS = 31.4 ST.D. = .0126248

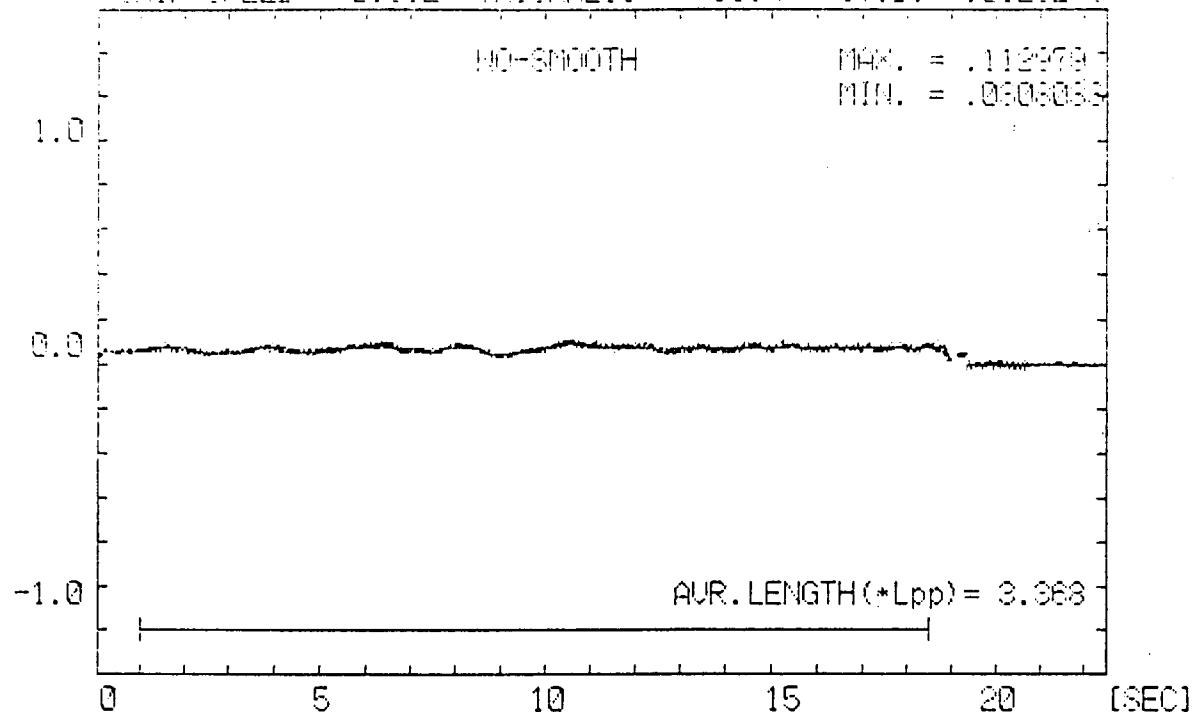


図 3.4.2 0 d 縦搖記録

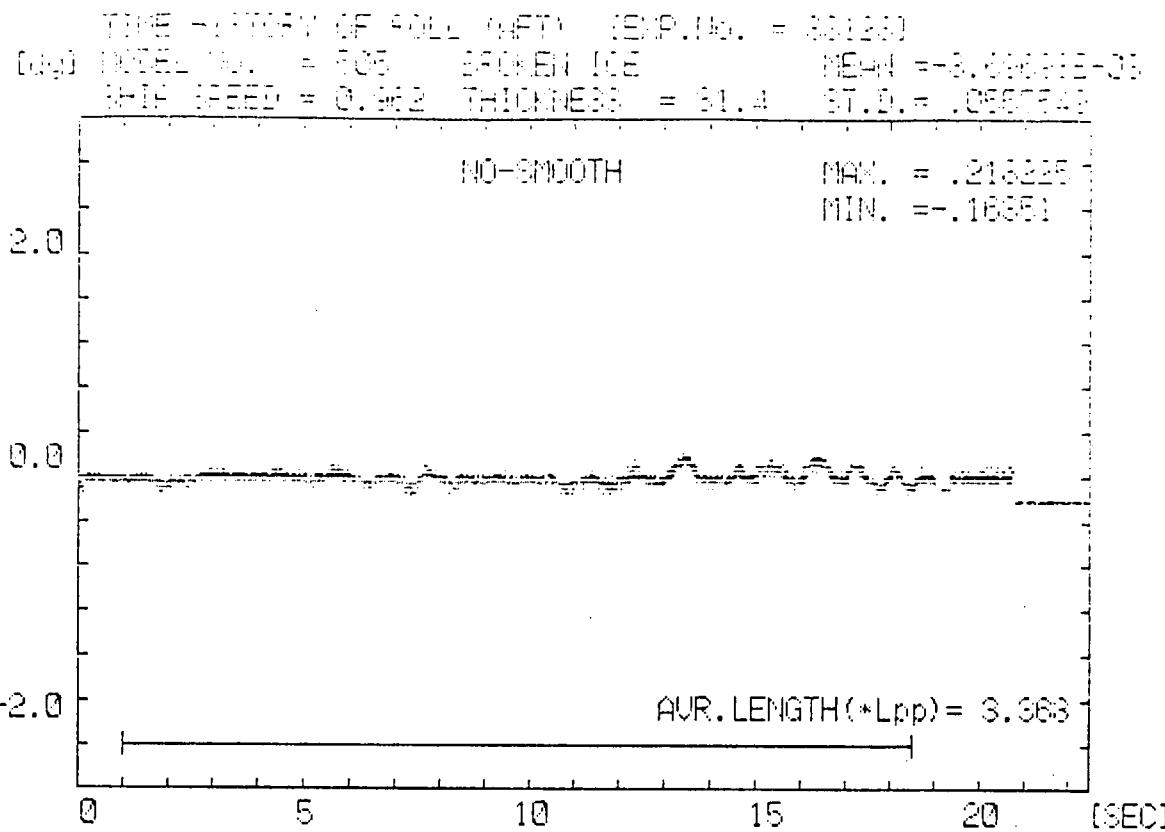


図 3.4.2 0 e 横搖記録

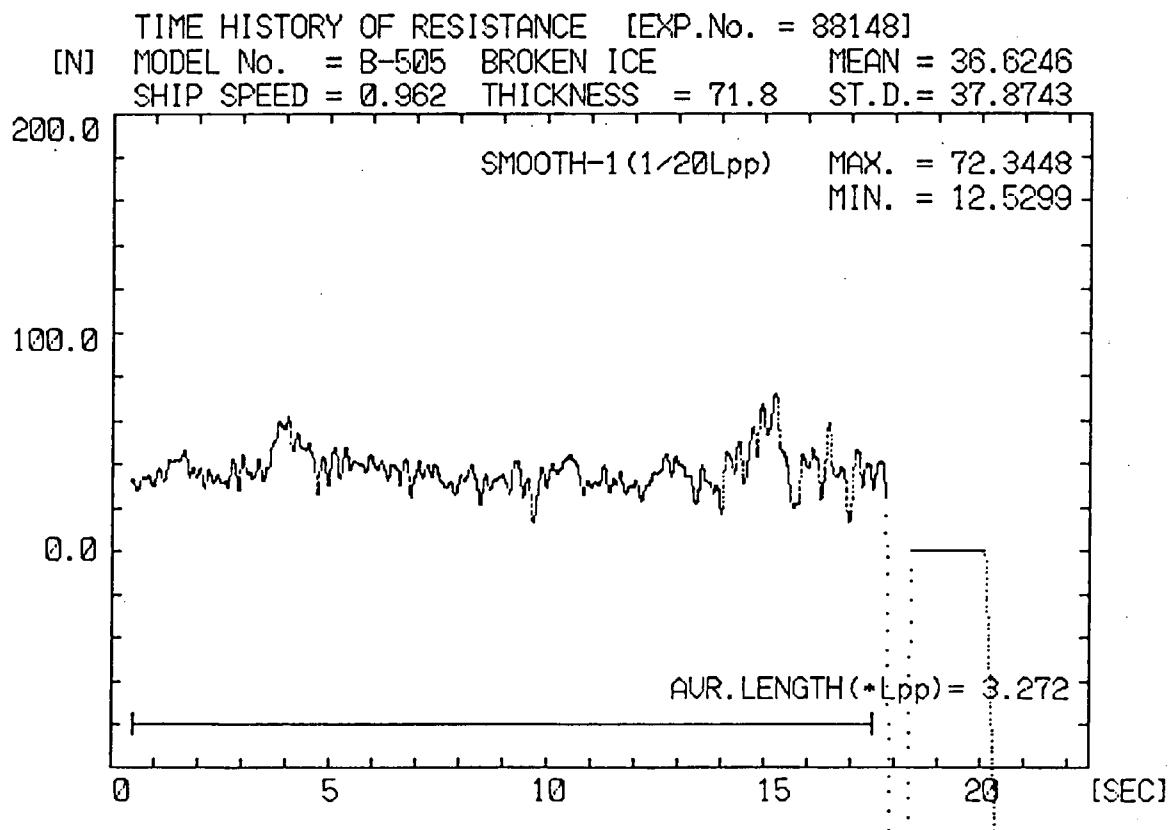


図 3.4.2 1 a 抵抗記録

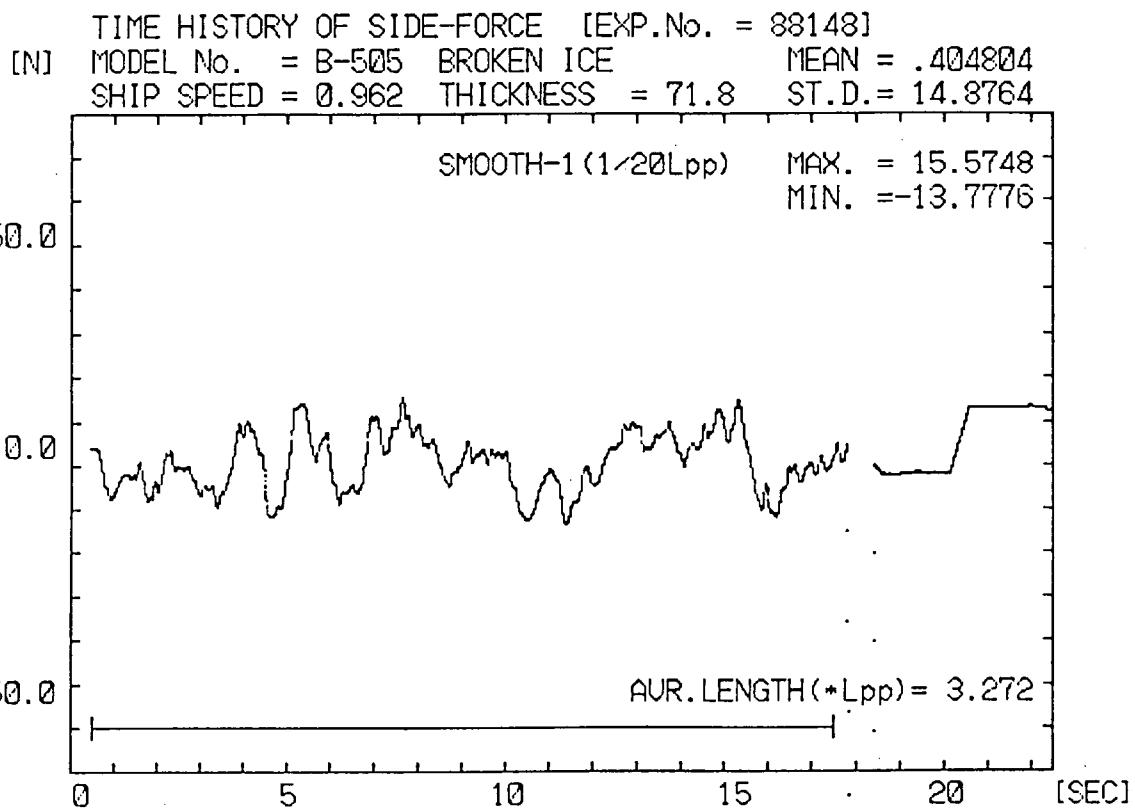


図 3.4.2 1 b 横力記録

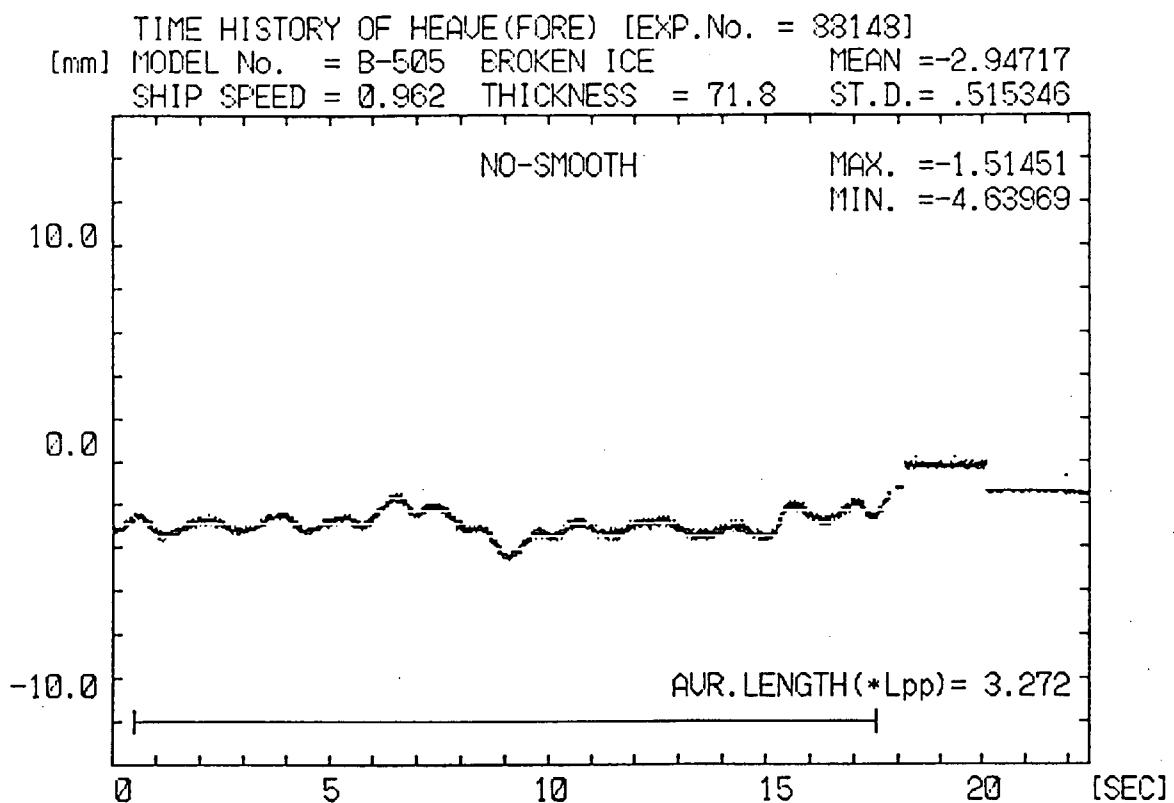


図 3.4.2 1 c 上下揺記録

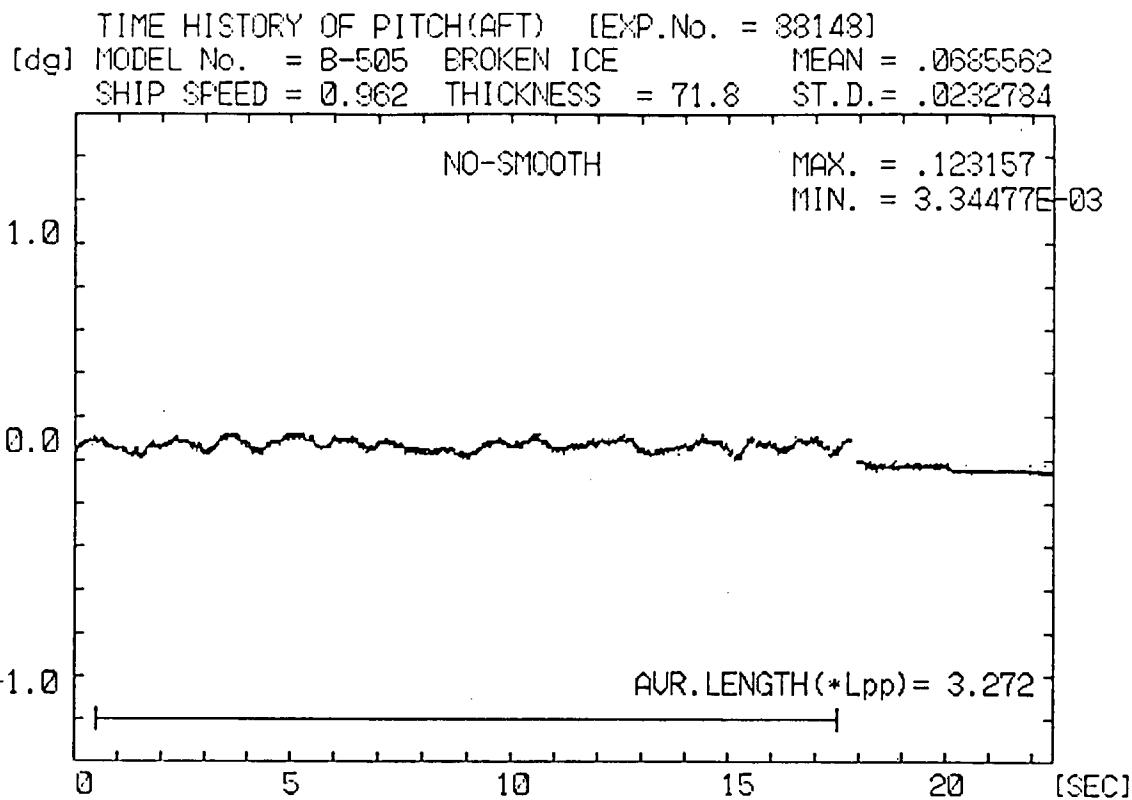


図 3.4.2 1 d 縦揺記録

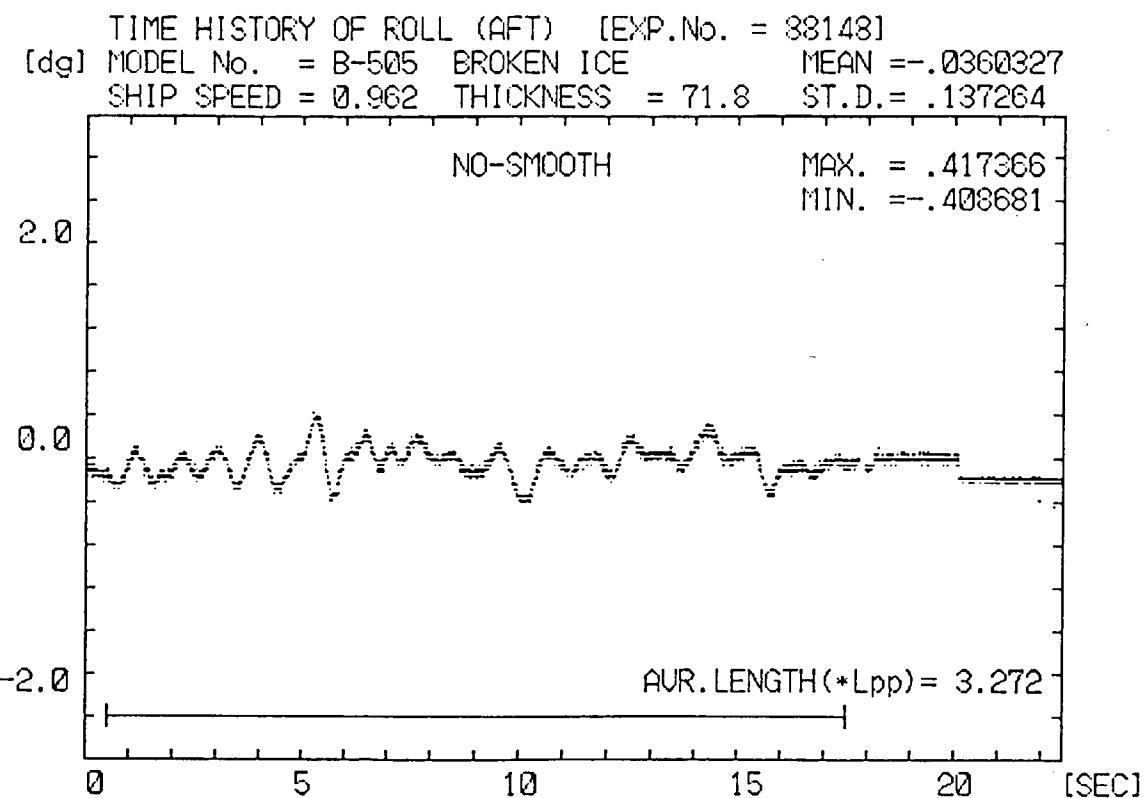


図 3.4.2 1 e 横揺記録

表 3.4.2 水中抵抗試験結果(流水中)

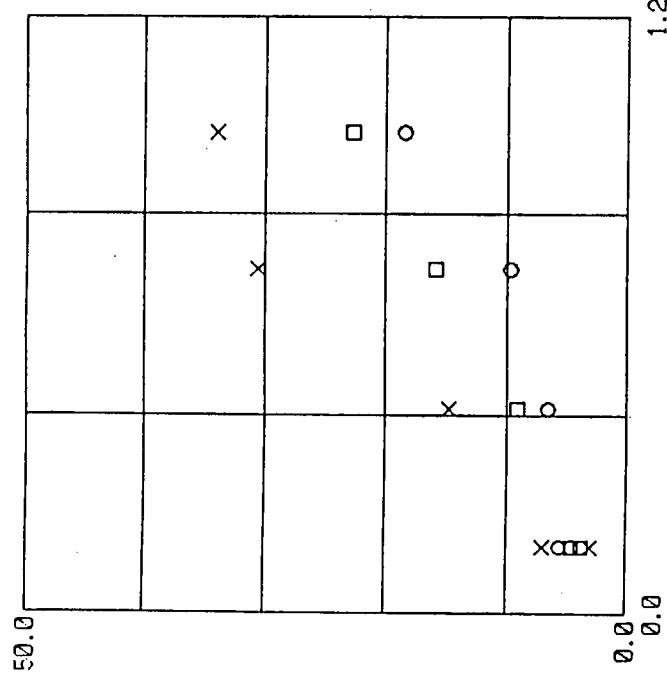
Broken Ice 中抵抗値 (単位: N)

Model No. 504

船速 (m/s) \ 氷厚 (mm)	32	43	71
0.138	5.5/4.5	4.5/3.7	3.0/7.0
0.412	6.6	9.1	14.8
0.687	9.7	15.9	30.6
0.962	18.5	22.7	33.9

Model No. 505

船速 (m/s) \ 氷厚 (mm)	32	43	71
0.138	11.9/14.0	18.5/9.8	13.2/15.9
0.412	12.8	17.1	16.5
0.687	21.4	28.5	32.7
0.962	31.7	27.1	37.2



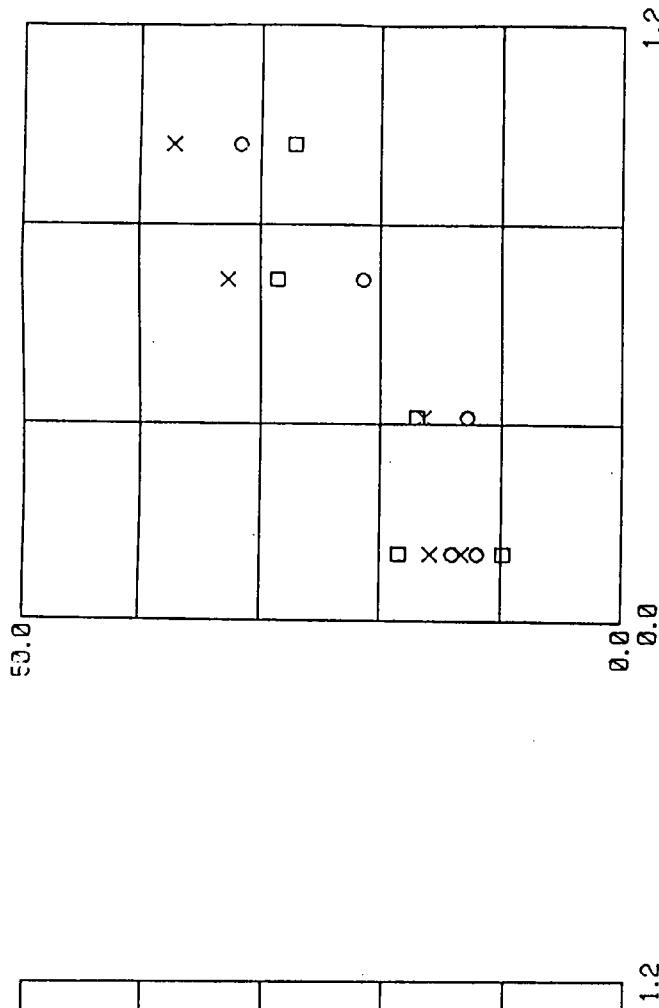
```

FILE NAME : SR204-3.DAT
TITLE OF DATA : SR204 (504/BROKEN ICE)
LABEL OF X-AXIS : SHIP SPEED (m/sec)
LABEL OF Y-AXIS : RESISTANCE (N)
SYMBOL-1 : ICE THICKNESS = 32 mm
SYMBOL-2 :
SYMBOL-3 : ICE THICKNESS = 43 mm
SYMBOL-4 :
SYMBOL-5 : ICE THICKNESS = 71 mm

REGRESSION LINE
--- Y = a X + b ---
a= 25.0243
b= .97032

```

图 3.4.2.2 水中抵抗(流水中)



```

FILE NAME : SR204-4.DAT
TITLE OF DATA : SR204 (505/BROKEN ICE)
LABEL OF X-AXIS : SHIP SPEED (m/sec)
LABEL OF Y-AXIS : RESISTANCE (N)
SYMBOL-1 : ICE THICKNESS = 32 mm
SYMBOL-2 :
SYMBOL-3 : ICE THICKNESS = 43 mm
SYMBOL-4 :
SYMBOL-5 : ICE THICKNESS = 71 mm

REGRESSION LINE
--- Y = a X + b ---
a= 23.1421
b= 9.7367

```

图 3.4.2.3 水中抵抗(流水中)

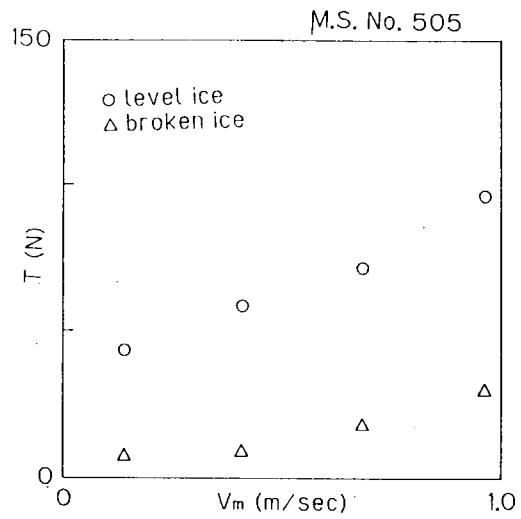


図 3.4.2.4 氷中のスラスト

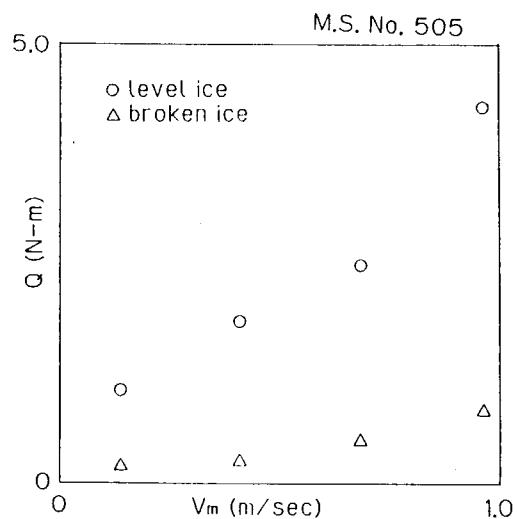


図 3.4.2.5 氷中トルク

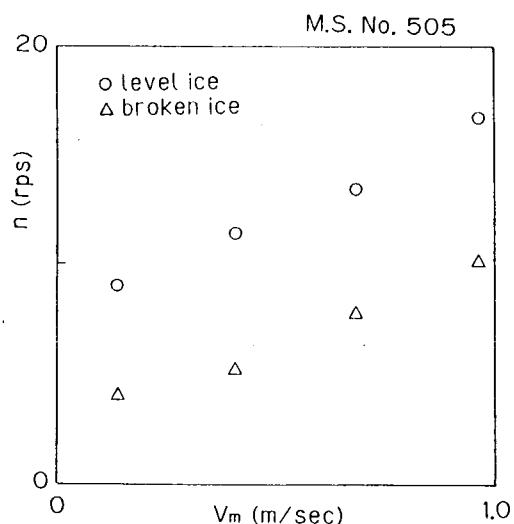


図 3.4.2.6 氷中のプロペラ回転数

#### 4. 中小型碎氷船の総合性能の検討

平水中の推進性能については、通常型船舶の性能に比較してますますの性能であり、当初計画の水準にある。船型改良によりさらに平水中の推進性能を向上させることは可能であるが、氷中性能との見合いからの制約もあり、また船尾形状の改良等により若干の性能向上も考えられようが、この点については、むしろ船尾振動等総合的な観点から性能向上を図るべきであろう。SKEG 及びその近傍の船型については、通常船舶についても、SKEG に関する研究は不十分であり、当面平水中性能の面からの SKEG 研究が重要である。

尚、STERN NOTCH 等救難曳船の機構を船尾に設ける場合には、船尾における有効乾舷を慎重に設定する必要があり、STERN NOTCH の構造も飛沫着氷対策をあらかじめ考慮しておくことが肝要である。

可変ピッチプロペラの採用については、この種の船舶の荷重度の広さからも、また氷海中の操船実態からも、推奨されるべきである。しかし、船尾付近でのプロペラ・氷干渉現象の解明には、なお多くの研究を要するし、ピッチ変更に伴う動的な問題は殆ど手付かずの現状にある。前後進時の可変ピッチプロペラの最適操作については、今後の研究に待たねばならない。

波浪中のグローバルな性能、即ち推進性能、運動性能については、特に問題とすべき事はない。ただし、波浪中のスラスト増加（抵抗増加）は、応答関数が通常船型とは異なる様態を示し、短波長域でのスラスト増加は高速域で漸減しないので不規則波中の所要馬力を検討する際には注意が必要である。

また、慣動半径の調整など多少検討すべき点がない訳ではないが、中小型船舶にあっては、実際に慣動半径を大幅に変化させることは至難であり、その影響を確認しておく必要はあるが、この点についての検討は実効が少ないかもしれません。

プロペラの没水深度は十分でプロペラ・レーシングを発生する危険は少ない反面、船尾から若干量の海水流入の可能性がある。船首部での SWELL-UP は穏やかであり、大量の海水打ち込みを生ずる危険はすくないが、かなりの SPRAY の発生があり、これが風の作用で着氷をもたらす。水線面上部の船首部のフレア、ナックル・ライン等の設計は、SPRAY 発生量の軽減と方向の制御、特に SPRAY HEIGHT の低下の観点から検討すべきであろうし、供試船については改良の余地がある。船首樓甲板の幅は、着氷の面からは必要以上大きくすることは得策ではない。

SPRAY の減少策、SPRAY の方向制御方法等については、研究が殆どなく、本格的な ABOVE-WATER 船型学の研究が待たれるところである。

波浪中における船首波浪衝撃圧については、今回の実験で検討することができなかつたが、 $L_{pp}/H_w \sim 33$  程の正面規則波中、目視観測及びビデオ記録から SWELL-UP 及び SPRAY を見る限り、STEM ANGLE  $23^\circ \sim 30^\circ$  で量的な差異は当然としても本質的な差異は認められず、 $25^\circ$  前後の STEM ANGLE の採用が、波浪衝撃圧の観点から重大な問題を惹起する恐れは少ないものと思われる。

FORE FOOT の効用については、議論の別れるところがある。平坦氷中の抵抗試験では、碎氷片の寸法が大きく、そのための影響が強いものと考えられるが、FORE FOOT が船首で碎氷された氷片の円滑な運動を阻害する場合があり、これが若干の抵抗増加となっているものと推測される。実船の場合でも、氷厚が増せば碎氷片は大きくなるから、氷厚の厚い氷盤中の航行では多少問題となろう。その反面、LARGE FORE FOOT は、碎氷片の船底周り込みを軽減する効果があり、理想的な位置に冷却水取り入れ孔を設けることの難しい中小型碎氷船では考慮に値するものと言えよう。一方、FORE FOOT なしでは、氷丘脈突入時に復原性の許容範囲を超えての乗り上げの懸念があり、FORE FOOT に変わるものが必要となろう。FORE FOOT については、研究余地が多く残されている。

模型氷氷質の問題、自航試験結果の評価に対する疑念など、平坦氷中の所要馬力の推定にはいささか資料不足であることは否めないが、抵抗試験結果等と従来資料を勘案して、概略の馬力推定を試みてみると、いずれの船型についても、氷厚1mの平坦氷中の航行にはDHPで最小6,000～6,500PSが必要となり、両船とも仕様条件を概略満たしているものと考えられる。小型碎氷船についても同様である。軽量型碎氷船については、高速作業艇を搭載することにより要求仕様を満足する設計が可能となった。

以上、最適設計にはなお多くの研究が必要となるが、氷海域、荒天海域、平穏海域の混在する氷縁海域を航行する中小型碎氷船について、設計・建造に関する指針を得ることができ、その実現化の可能性を確認することができた。

## 5. 結 言

中小型砕氷船の設計・建造技術の確立に資する資料を得ることを目的とし、前年度に実施した就役海域の気象・海象・氷況、港湾状況、及び運航状態の調査、対象船舶の仕様条件の検討等の成果を踏まえて、本年度においては、

- 1) 対象船舶の船型決定
- 2) 機関、一般配置等の検討
- 3) プロペラ設計並びに模型船及び模型プロペラの製作
- 4) 平水中の抵抗・自航試験
- 5) 規則波中の自航試験
- 6) 平坦氷中の抵抗試験
- 7) 流氷中の抵抗試験
- 8) 平坦氷及び流氷中の自航試験（参考）
- 9) 中小砕氷船の概念設計

を実施した。

通常型船舶については、我が国においても、積年の研究資料の蓄積があり、新規課題の検討解決に際しては、これらの情報が十分に活用され、新たに広範囲に亘る試験・研究を行わなずして所期の目的を達成することも困難ではない。しかし、中小型砕氷船あるいは砕氷型船舶については、我が国に研究資料の蓄積が殆どなく、いずれの研究課題に対しても、本来、系統的模型試験等様々な観点からの広範囲な試験検討が必要である。このためには、かつて通常型船舶が要したと同様の長年月と膨大な経費が必要となる。

このため本研究計画では、まず船舶の具備すべき仕様を決定し検討条件を限定した。外条件としては、極海の厳しい氷況は対象とせず、その氷縁海域を主対象海域として、比較的緩やかな氷況条件を設定した。さらに検討すべき砕氷船を、総トン数で 130 トン、500 トン、1,000 トンに区分し、これら特定の砕氷船について検討を行い、このような砕氷型船舶の大要を把握することに重点を置いて研究を実施し、所期の成果を得ることができた。

これら特定の砕氷型船舶についても、その性能等を詳細に検討し最適設計を可能とするためには、なお多くの試験・研究を必要とする。これらについては、ここで得られた成果を活用し、さらに充実させ有意義なものとする機会が得られれば幸である。

## 付録 1. 船首部フレアとナックルラインに関する資料

### Castleクラスの運用経験

#### 英海軍の新型Offshore Patrol Vessel (OPV) の耐航性能 (含, 南大西洋での運用経験)

英海軍のOPVはUK沖200マイル迄行動しなければならないが, このうちには世界でも最も海象の厳しい区域がある。こういう海象の中での小型船の激しい運動は経験豊富な水兵をも急激に疲労させ, その結果, 簡単な作業でも時間が長くかかり, またミスも発生する。

1977年にShip Departmentにおいて新OPVのための初期検討が行われたとき, 良好的な耐航性が第一の要求であることが明確であった。

Island級の研究により, このクラスの耐航性は満足すべきものであるが, 船長を54mに増したならば, もっとよくなっていたんだろうということが明らかになった。加えてIsland級の船の横揺れは, 比較的"安楽"であるが, 長期のパトロールにとっては過度であると考えられた。この特性は, このクラスの最後の2隻では(また最初の5隻も後日の改装により)フインスタビライザの装備により大いに改良されている。これらの船は概して, 船長と船型において, 戦時のFlower級コルベットと同じであった。これらの艦に勤務した人達は当時を思い出し, 荒天中での不快さと作業の非能率を絶えず強調している。戦時のCastleおよびRiver級は, もっと長い船であったが, これらのクラスは荒天中でも運用効率を保持していたといふのがいわれており, そのため新船型の水線長は70~80mとすべきことがはっきりした。また, Sea Kingヘリコプタを着艦させる要求も出て来たので, 長く, 障害物のない甲板が必要となった。

初期の船型はAMTE Haslarとの協議により, Ship Departmentで開発され, また, 長さを変えた場合のこの船型の挙動について計算機による研究が行なわれた。測候ステーションIndiaとFamitaから得られた二つのパラメータをもつ波のスペクトラが使われた。そして, 運動は, 主観的な運動値に転換された。これらの数値は年間を通じて平均され, 各Sea Stateの発生頻度に対して, 加重された。長い船は, 上下運動が短かい船に比較し小さいというだけでなく, 居住及び作業スペースをピッキングの上下成分の最も小さいMidship付近に集中的に配置出来るという点で二重の利点を持っている。

船長75mとすると, 船体運動が許容値内に入り, また, SECがかなりFullであるために, 横揺れ角が小さくなるので, この長さとすることに決まった。

船型は, その後, 設計スタッフが既存のOPVに乗船し体験航海したり, トロール船主および海軍とDiscussionしたあとに詳細に展開された。

船型諸元を表1に示す。

表 1

Length (W. I.) .....	75 m	
Beam .....	11.5 m	
Draught (mean) .....	3.47 m	
Freeboard at 2 ordinate (including bulwarks) .....	6.78 m	
Overall	Forebody	Afterbody
Cp .....	0.66	0.69
Cw .....	0.71	0.56
Cx .....	0.78	0.86

船首部の水面上の形状については正しいフレアの選択、あるいはナックルの価値に関する確たる証左が殆んど無いために、かなりの議論があった。

Fig. 2はOrdinate 4における断面図を示し、これは設計者がかなりのフレアとナックルをつけることに自信を持っていることを示している。

上部構造は、船体中央部のブリッジの運動を出来るだけ、少なくする一方で、大きなヘリコプタ甲板、将来の武装のために出来るだけ小さくなっている。このために巾と、風荷重を減らし復原性と操縦性を改善するための、重心の低下が可能となった。

向い波中のモデルテストが行われその結果は良好であった。非常に大きい、1m巾のビルジキールが設けられかつアンチ・ローリングフィンも取付けられることに決った。その後1/10模型でのテストも行った。

それからの設計は、第一船 HMS Leads Castle を1981年に完成したHall Russell社により行なわれた。その後まもなく、設計者および建造者の仕事は運用者が感謝するところとなった。

初代のコマンディング・オフィサー曰く「設計作業および初期段階から採り入れられたタンクテスト結果により本船は1981年9月20日の荒天の中で十分にその性能が立証された。風浪は前夜からはげしくなっており、9月20日の午前10時には強風が西から吹き付け、浪は15フィートの高さに達した。この条件下における船の操船性を評価するために、船は最初舵を用いずエンジンのみで風に立てられたが、急速に風下方向に向けられ、風に真横になった後、全速力で風下方向へ向い追いやられた。出力を3/4としエンジン一台を前進、一台を後進とし、舵を中心としたとき、船は急速に風の方向に向かい始めた。このように、エンジンのみを使って、停止することが可能であった。

追波中を航走するとき、普通、舵効きが最も悪くなるが真後からの追い波と斜め後ろ追い波のとき、10°の舵角を使い、針路からのそれを10°以内とすることが可能であった。本船は追い波中でも容易に全速力を保持出来、大波が来てもプローチングする傾向はなかった。

追い波中を出力一杯で航行しているときの印象は波の力を受けて美事を没水を開始し、やがて前述のフレヤとナックルが効果的に船首の降下運動を緩和しつゝ浮力が下向き運動量に打ち勝つと船は波に合せて上昇し始めるという感じであった。

出力一杯においてもスラミングあるいはパウンディングは経験されず、青波の打ち込みもなかった。しぶきのほとんどは、船から十分離れて飛び散り、船に降りかかったしぶきも、フリーイングボードから急速に排出された。

強風中に乗船していた人は皆、本船の荒天時操船性に感心した。船首部の方にいる人さえ、船酔いにかかった人は居なかつた。

大方において、船酔いと、乗員の作業能率低下は、この新OPVにおいては格段に減少し、北海においては強風下で通常作業と、日常生活が容易に可能であることが認められた。

1981年1月Leads CastleはSea Kingヘリコプタを2週間に300回着艦させる長期試運転を行つた。波高10 Fitの波に遭遇したが、着艦の際の視界はSea State 5まで確保された。

唯一の問題は、ヘリコプタのロータから撒き散らされるしぶきによるものであり、このしぶきはデッキを濡らしつつヘリのエンジンインレットにも入り込んだ、テストパイロットによるとCastle級は、航洋ヘリプラットフォームとして最も小型の船のことである。

この信頼は、まもなくLeadsとDumbartonのCastle級2隻がフォークリフト紛争支援のために出航したときに試された。そのとき本船はストア品と、バランスタンクを改造して積んだF.Oを積み設計排水量1350トンを超える2050トンの排水量となつた。設計における強度と復原性のマージンは十分であり、航続距離も十分であった。

紛争中 2 隻の船は主として、Despatch Vessel としてアスンション、サウスジョージア、とフォークランド島の間を、ほとんどあらゆる天候の中を全速力をキープして、航行した。航行中の船への着艦に未経験な空軍パイロットも含めて、1300 回のヘリコプターオペレーションが成功裡に遂行された。コマンディングオフィサー連は、熱狂的であった。Leads Castle の Lt - Commander ハミルトンは言う。「(この小さな船を誇りに思っているので)客観点になるのは難かしいが、荒天において、この船はフリゲートより快適であるというものが、私の意見である。

南進中は全時間を Full Power で航走し、たった一度だけ激しい波浪のために 13 ノットに減速を余儀なくされた。

荒天中の航海で最も印象的なことは冠水しにくいことである。大波の中に突込むとき船首は降下し波が上って来るが船体は波を良くさばく。飛沫だけが船上に降りかかるて来る。私がフリゲート艦で経験した場合には、船首は同じ位の大きさの波に浸って行き、次いで青波がフォックスルから流れ落ちた。私は技術的な知識はないが、この事実はナックルも高く、傾斜したバウに起因するものと思う。それ故私は、船首部船体の設計は特に成功したものであると確信している。

スラミングに関する限りでは、大波をたたくと明らかに減速が感じられるが、フリゲートで感ずるような衝撃も Whiplash は全くなかった。実際最もひどいスラミングは斜め波を受けたときに起つた。波の中に突っ込んで行くと損傷を受けるだらうと心配したことは全くなかった。たった一度だけ船首が波に突っ込んで Forecastle 上に水をすくい上げたことがあった。そのときでも水は後方に流れ去り、急速に排水された。

C O により提供された第一図は彼の所見を確証している。

Dumbarton Castle の Lt - Commander ウッドは彼の同僚の所見を裏付けて言っている。「私はナックルに最も強く感心した。それは Forecastle を dry に保つのみか船首が下降するのを減速する働きをする。ピッティングで船首が下降する 99 % の場合、ブルワークの排水孔が水に浸る前に下降運動は停止し、水の壁はナックルの効果によって、船体から、離れて押しのけられる。」

筆者にとって、興味ある点は、ナックルの価値である。ストリップ理論も、模型テストも、飛沫の挙動について有益な情報を与えることは出来ず、経験ある士官の主観的所見の価値ははかり知れない。ナックルの価値につき追加情報を寄せて頂ければ幸甚である。設計者が荒天において船を効率的かつ快適にするために腕をふるうのは、このような耐航性の非線形局面においてである。

D. K. Brown, Ship Department MoD, Bath

The Naval Architect SEPT. 1983 より

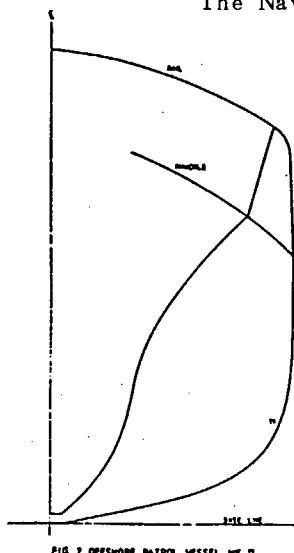


FIG 2 OFFSHORE PATROL VESSEL HULL

ナックルライナー Castle Class の耐航性

( D. K. Brown 氏の記事を読んだ読者からのコメント)

(1) 私は、 Naval Architect 誌 1983 年 9 月号に掲載された D. K. Brown 氏の Castle Class の耐航性に関する記事を興味深く読んだ。そして勿論その効果が非常に良いということを聞いて、 うれしく思う。

John I. Thornycroft は第二次大戦の初めに建造された HMS Brecon と Bressenden にナックルを採用したが、 これらの船がフリゲートでナックルを持った最初の船であるとされている。

私は何年か前にそれらの性能について Commanding officer の一人と議論したことがあり、 Brecon class と、 ナックルを持たない在来型の Hunt class が並行して航走していたとき、 Brecon class の甲板は大体において、 Dry だが、 向い波の中では Hunt class よりも低い Sea state で船速を下げる必要がおこることを知った。 Brecon class のナックルを調べてみると、 かなりの曲率を持っており、 しかも低いところにある。船速低下の理由はスラミングによるものと言われている。

Ref. 1 (A family of Warships, RINA Trans. 1982) は Brecon と Type 21 の比較を示している。私には、 ナックルの形状が前述の Commanding officer により表明された所見を十分説明していると思える。

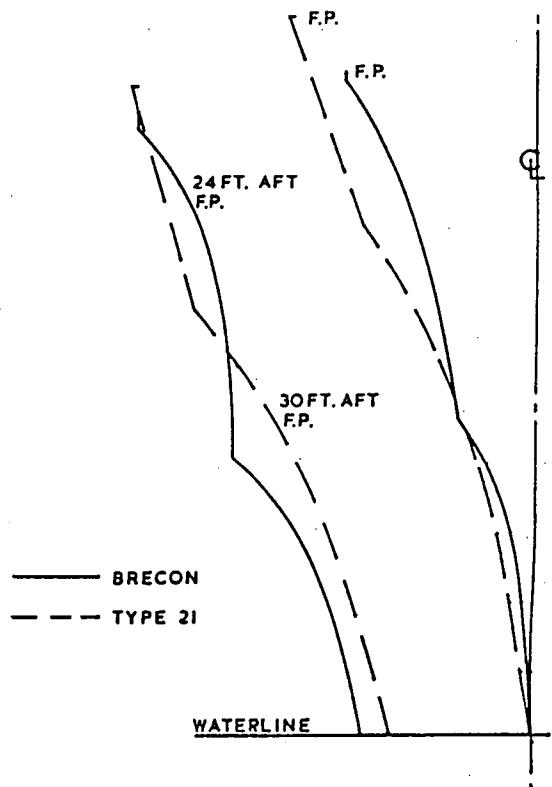
MK 5, MK 7, Type 21 および MK 10 フリゲートはすべてナックルつきの Design であり、 添付の写真はそれらの効果を劇的に示している。この写真は Type 21 の艦橋から撮ったものである。高い位置にあるナックルラインには利点があると言えるが、 建造の実際面と、 主船体内の利用可能スペースの最適化ということも思い起さねばならない。これらの理由から最大甲板面積を確保するために、 ナックルは第二甲板から少し下に設けるのが最も望ましい。

明らかに、 このような配置は第二甲板が外板と合理的に可能な状態で直角に近い角度で取り合えば有利である。

私は、 AEW Haslar で行なわれた研究に対し敬意を表したい。我々が我々の多くの船にナックルを採用した理由の一つはこの研究に依っているのである。この研究が海軍の設備で行なわれたのに、 この結果が必ずしも広く英海軍艦船に適用されなかつことは私にとっては一種の驚きであった。この研究を行いナックルの利点を推奨した、 Newton 氏は自身の研究結果が実際の運用者により証明され、 また英海軍艦船設計にも用いられていることに大きな満足を感じていることと私は確信する。

A. L. Dorey, Vosper Thornycroft (UK) LTD.

The Naval Architect Jan. 1984 より



Comparison between knuckles of 1936 HUNT class  
and Type 21.

(2) D. K. BROWN 氏による「Castle Class の運用経験」に関する記事に開連してであるが、設計面における注意深い考慮が運用面で成功したということは喜ぶべきことである。Brown 氏はナックルの価値に関するコメントを募集したので、与えられた船のナックルの評価に関する設計手法について若干の考査を加えたい。そしてこれを O P V における成功例と関連づけてみたい。

ナックルの目的はデッキエッジより下の点で断面のフレアを作成的に増すことであると考えられている。このナックルは、自然のフレアのみでは船の中心部の作業区域から十分遠くに水を押しやることが出来ない場合につけられる。

ナックルは、スプレイシートを形成する比較的少量の水を反射するのに価値がある。

しかしながら、船が波の全体的側面形状を変えるのは明白である。もしナックルがフリーボードとの関係で、波表面との相対的な船首運動にうまく調整されたならば、dryness に関しての有利さは明白であろう。しかし、ナックルが相対船首運動に対し低過ぎるならばそれは障害物に似た尖点を形成することになろう。そして、フレヤへのスラミングや飛沫の増加が予期される。後者の場合には、耐航性も悪化してしまうであろう。

二つの設問に対し回答が必要である。

(a) ナックルが有利であるための適当なフリーボードはどの位か

(b) ナックルでの必要なフレアの程度はどの位か

(a)の設問を扱うために次の手順を提案する。（次頁参照）

- 1) いろいろの sea state における向い波中の船の限界速力を次のような限界基準により求める。  
波浪中の抵抗増加による成り行きの船速低下、スラミング船首の水中への出没
- 2) 1)で得られ最大許容速力において、各 Sea state についての相対船首部運動を定める。
- 3) 相対船首部運動曲線から、ナックルを有効にさせようとする sea state の range を選ぶ。そして適当な設計値 (D) を選ぶ。
- 4) フリーボードを超えるケースを十分少なくするために適当な係数を D 曲線に乗ずる :  $F = \alpha(D)$   
OPV の実績の調査から次のような  $\alpha$  の値が得られる。

Stn 1	Stn 2	Stn 4	Stn 5
2.64	2.73	2.94	3.08

このことは  $\alpha$  として 2.5 から 3.0 の間の値が正しくオーダーの値であることがわかる。

1 サイクル当たりのフリーボード超過確立はそれぞれ  $1/23$  と  $1/90$  である。

このような方法を用いると設計者は直ちにナックルに対し十分なフリーボードが得られるかどうかを知ることが出来る。例えば、我々の概観的印象では、このような解析の方法によるときびしい海象の中を高速で航走しているフリゲートの 3-4 Station から船首側にナックルをつけることは得策とはならない。

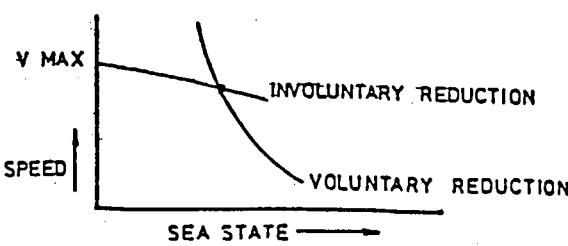
設計者がナックルの適当なフリーボードを確立し得ても、ナックルにより作為的につけられたフレヤが本当に自然のフレヤより良いのかということを決断しなければならない。この点については、証拠となるものは未だ非常に僅かである。

即ち、設計上のコンディションにおけるスプレイシートと過度の船首運動に起因する水のはげしい湧き上りを処理するための最適フレア度を設計者に与えるガイダンスはほとんどない。

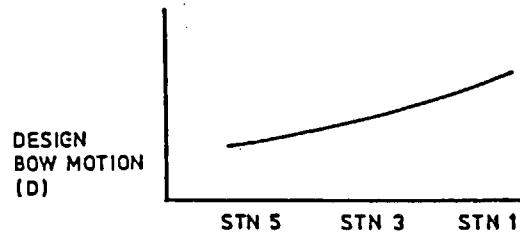
W. J. Vaw Griethuysem, M. Mac hail MoD, Bath

The Naval Architect Jam. 1984 より

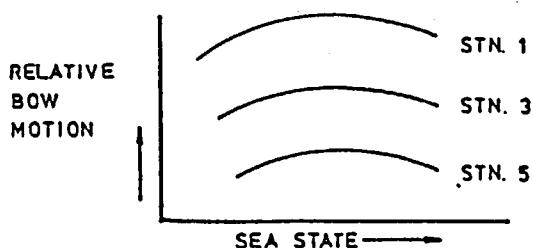
(1)



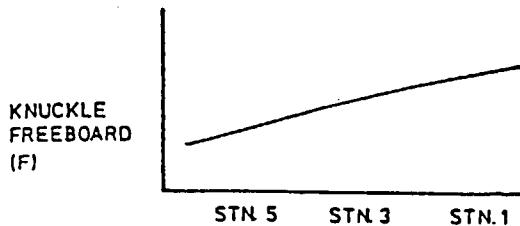
(3)



(2)



(4)



## 付録 2 エチレングリコール系模型氷の氷質試験

### 1. はじめに

氷水槽における模型試験において模型氷が重要な役割を持つことは改めて記すまでもない。模型氷の機械的特性及びそれらに依存する氷板の破壊様式は試験結果に大きな影響を与える。世界各国で本格的な氷水槽が建設され、模型試験が活発に行われるようになって以来、試験精度の向上を目指してより合理的な模型氷開発のため数々の試みがなされてきた。こういった試みの中にEG／AD／Sと呼ばれる模型氷がある。EG, AD及びSは水槽水への添加物質名であり、それぞれEthylene Glycol, Aliphatic Detergent及びSugar（またはSucrose）の略称である。

この模型氷は微細な結晶構造を持ち、その開発にあたっては強度だけではなく、これまで模型氷についてはあまり顧みられることのなかった破壊靭性値についても注目している。現在この模型氷は、カナダ IMD ( Institute for Marine Dynamics ) の氷水槽において使用されている。船研氷水槽においても模型氷をEG／AD／Sに変更すべく、その第一段階として本年9月より水槽水としてエチレングリコール水溶液を使用している。このエチレングリコールを添加した模型氷（以下EGIと略称する）についての氷質試験結果をここに報告する。模型氷の氷質として、実海水との比較のうえで検討すべき項目は数多いが、ここでは曲げ強度、弾性率及び破壊靭性値を取り扱った。

### 2. 実験

試験に用いる模型氷は、本水槽の横に設置した小型タンクを用いて作製した。小型タンクとしては、水面積70×70 cm, 水深75 cmの合成樹脂製市販容器の側面及び底部に断熱処理を施したもの用いた。製氷は、wet seeding, -20°Cにおける製氷および-2°Cにおけるtemperingという過程を行った。

三点曲げ試験、片持ち梁の曲げ試験及びplate deflection methodにより模型氷の曲げ強度及び弾性率を求めた。破壊靭性試験は氷板より切り出した、コンパクト引張試験片により行った。ブラインの逸脱による氷質変化を避けるため、三点曲げ試験及び破壊靭性試験は水溶液中において行った。同一条件下において数本の試料について試験を行い、その平均値を試験結果とした。

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1 曲げ強度

曲げ強度は複合強度であり、氷の機械的特性を評価する基本量としては理想的なものであるとは言い難い。しかしながら、試験法が簡便であり、また特に片持ち梁方法で測定した弾性率と曲げ強度との関係を図A-5に示す。図には比較のため尿素氷板についてplate deflection methodを用いて得られた結果も示す。尿素氷についてのデータ数が少なく、また一般に曲げ強度の低下と共にE/σ比が低下することを考慮しなければならないが、EGIのE/σ比は尿素氷に比較して高い。実海水についての計測結果では、この値は一般に2000から5000の範囲にあるとされる。低強度であることを要求される模型氷の場合には、この条件を満たすことが難しく、模型氷開発の歴史はある面においてはこの値の改善の努力の跡であるといつても過言ではない。しかしながら模型氷の場合、この比の計測結果には氷水槽及び模型氷特有の問題が含まれる。例えば氷板の特性長に対して載荷点から水槽側壁までの距離が十分に長くない場合、plate deflection methodは見掛け上大きな弾性率を与える。また前述のように

模型氷の曲げ強度の代表値として  $\sigma_{\text{bottom}}$  と  $\sigma_{\text{top}}$  のどちらを用いるかにより結果は大きく変化する。水槽間における氷質の比較といった場合、このような点に留意すべきである。

### 3.3 破壊靱性値

材料の破壊靱性を表す指標はいくつかあるが、最も基本的なものは線形破壊力学により与えられる応力拡大係数である。氷の破壊靱性についての過去の試験結果もほとんどこの係数を用いて整理されている。本試験においても応力拡大係数により氷の破壊靱性値を評価した。

図 A-6 に応力拡大係数の製氷方法による違いを示す。図より小型タンクにおいて製氷された試料は、本水槽よりも得られた試料よりも明らかに大きな破壊靱性をもつことが判る。この理由は氷の構造の違いに求めることができよう。両者の構造には明瞭な違いが認められた。本水槽内で成長した氷はその下部に整った鉛直の柱状構造を持つのに対し、小型タンクより得られた試料内の結晶の成長方向は乱れていた。これはタンク側面の断熱処理が充分ではなく、側面を通じてかなりの熱の貫流があったためと考えられる。今回の試験においては、鉛直面内の亀裂の進展を扱った。一般に海水や模型氷の場合、破壊は結晶界面に沿って起き易い。このため、結晶構造の鉛直性が乱れている場合には亀裂の進展方向とノッチ先端の氷構造の卓越方向が異なり、このため大きな破壊靱性値を与えたと考えることができる。試験後の破断面も、水槽より採取した試料の場合はノッチの延長上鉛直面内にあるのに対し、小型タンクより採取した試料の場合は不規則な方向性を見せた。本結果は破壊靱性値の結晶構造に対する鋭敏性を示した一例ということができようが、また同時に、小型タンクを使用する際の留意点を指摘する例ともなろう。

Timco は実海水を用いた破壊靱性試験結果より応力拡大計数の代表的な値を求め、これを模型スケールまで縮尺した結果と模型氷の破壊靱性値との比較を行った。これによると EG/A D/S の破壊靱性値は同じ曲げ強度の尿素氷と比較して、より実海水に対応した破壊靱性値を持つことが示される。本試験結果をこれと比較した場合、EG I の破壊靱性値は尿素氷と同程度の範囲にある。しかしながら、この場合両者の間に試験法の違いがあることに注意すべきである。即ち、Timco は三点曲げ方式の破壊靱性試験を採用しているのに対し、今回の試験においてはコンパクト試験片を用いている。IMDにおいて行われたコンパクト試験片を用いた試験結果と船研において得られた結果との比較を図 A-7 に示す。結果にかなりのばらつきはあるものの、両者の一致は良い。なお本試験結果の曲げ強度は図 A-3 より推定した。

実海氷の破壊靱性値は結晶粒径により影響を受けるが、これは試料内部に含まれる既存の欠陥の長さが結晶の大きさと同程度であると仮定して有効なノッチ長さを考えることにより説明される。模型氷の場合、結晶粒径の他にブラインセルといったミクロな構造、またフローというようなマクロな欠陥の存在が問題となり、ノッチ先端におけるこれらの分布状態により破壊靱性値が影響を受けると考えられる。EG 以外の二溶質の添加は、原理的には、結晶構造の微細化を促進し、結晶間に捕らえられるブライン量も増加する。しかしながらこれらの氷板の構造は seeding、結氷速度といった他の要因にも影響される。図 A-7 に関する限り IMD の EG/A D/S と船研の EG I との間に破壊靱性値の差はないと考えられるが、更に詳細な検討が必要であろう。また、試験法の違いが試験結果に与える影響についても更なる研究と標準試験法の確立が必要である。

## 4. おわりに

EG I の氷質について試験結果を報告した。今回は EG/A D/S の主添加物質であるエチレングリコールだけを用いた試験を行った。他の二溶質の添加については氷質の改善が期待される反面、いくつかの問題点も指摘さ

れている。今後このような点について予備試験を行い、良好な結果が得られた場合にはこれらを本水槽に再添加することとしたい。

## 参考文献

- C. W. Timco ( 1986 ). EG/AD/S : A new type of model ice for refrigerated towing tanks. Cold regions Science and Technology, 12
- E. Yamaguchi, et al ( 1986 ) The effect of ice-growth rate on the flexural properties of urea ice. proc. of OMAE, 1986

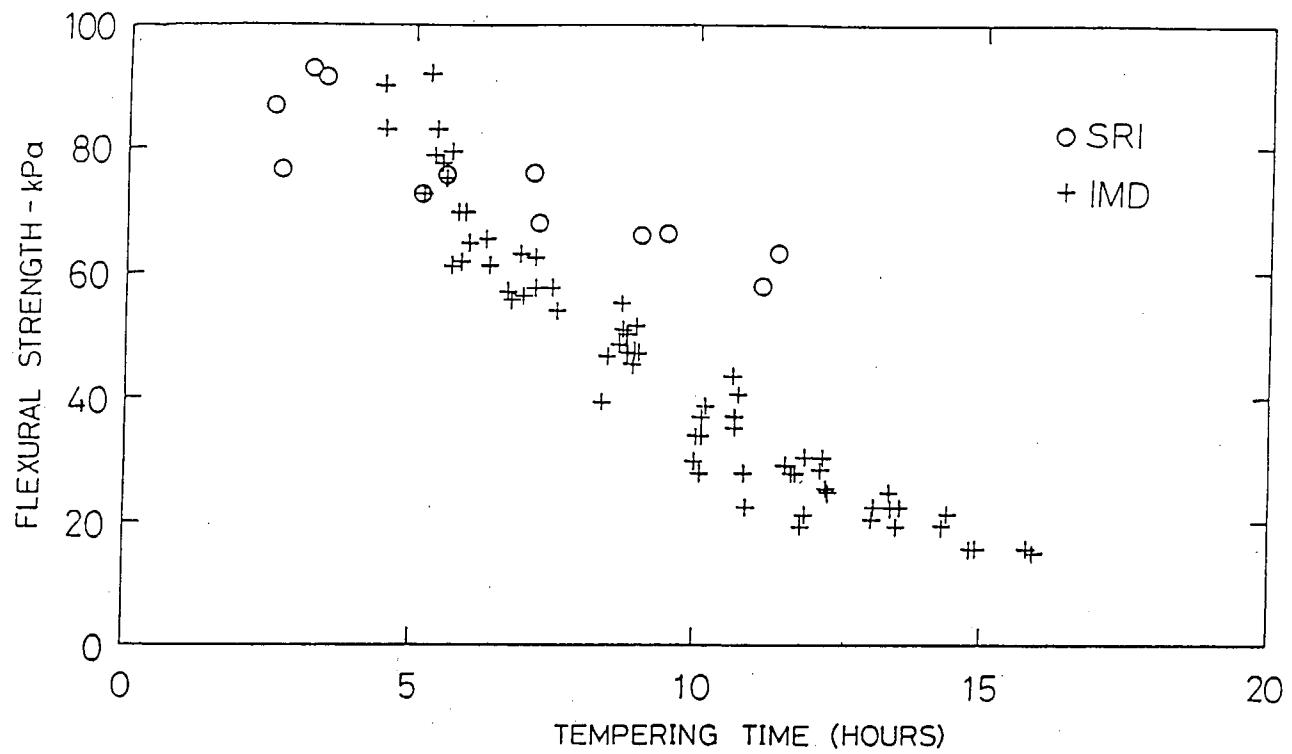


図 A. 2 tempering (°C) よる曲げ強度変化

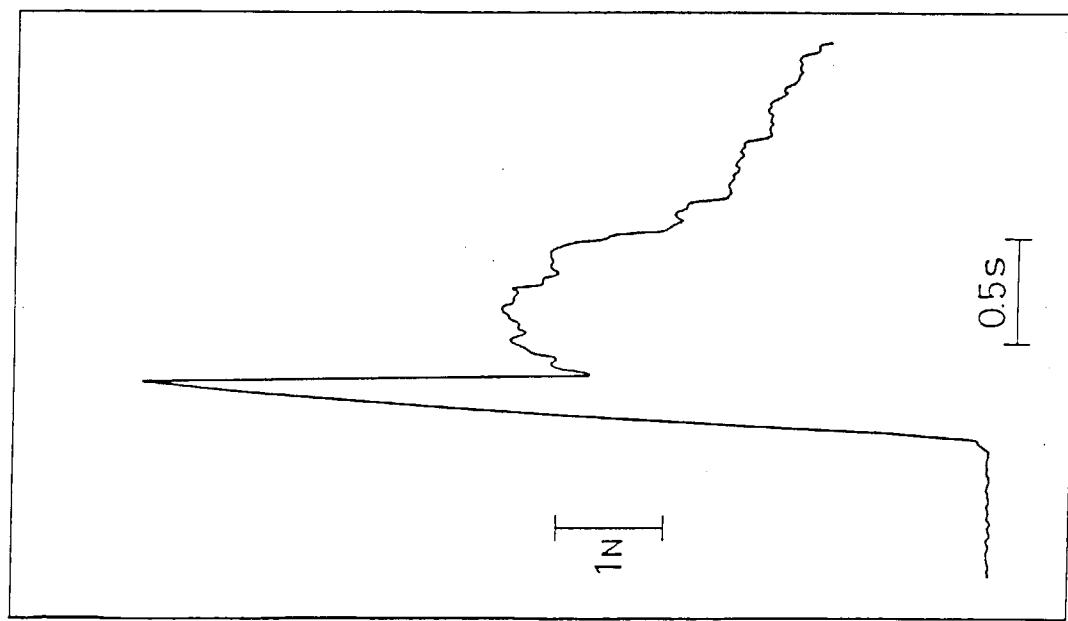


図 A. 1 片持ち梁試験の荷重 — 時間曲線

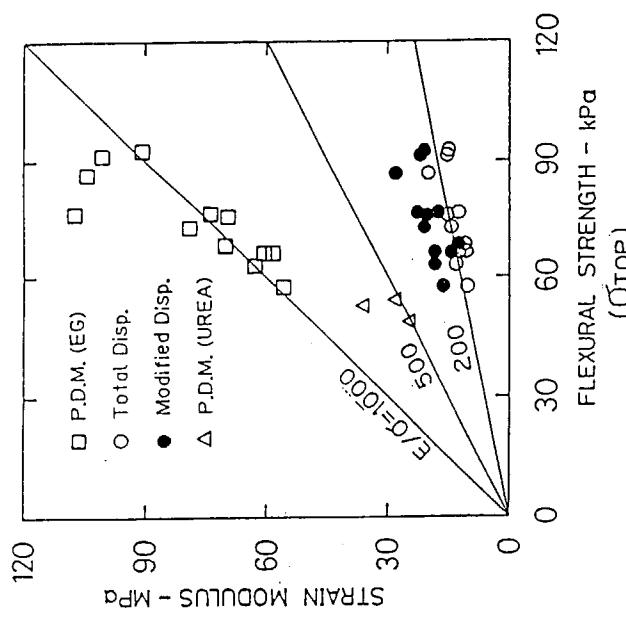


図 A. 3 曲げ強度に対する載荷方法の影響

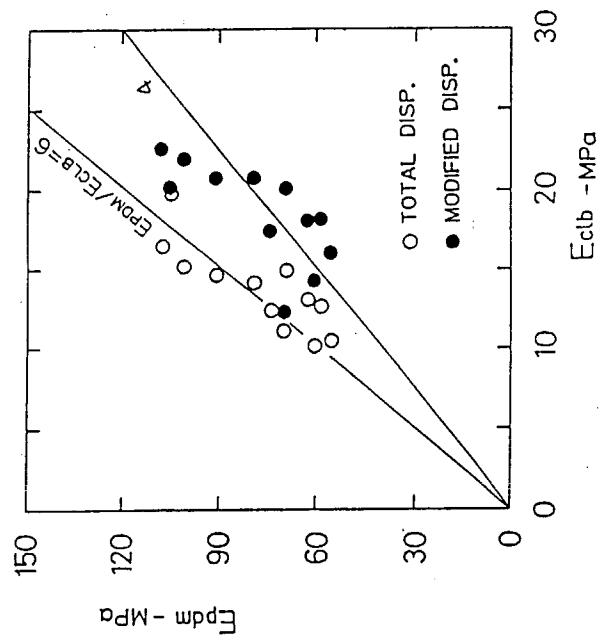


図 A. 4 各種推定法による弾性率

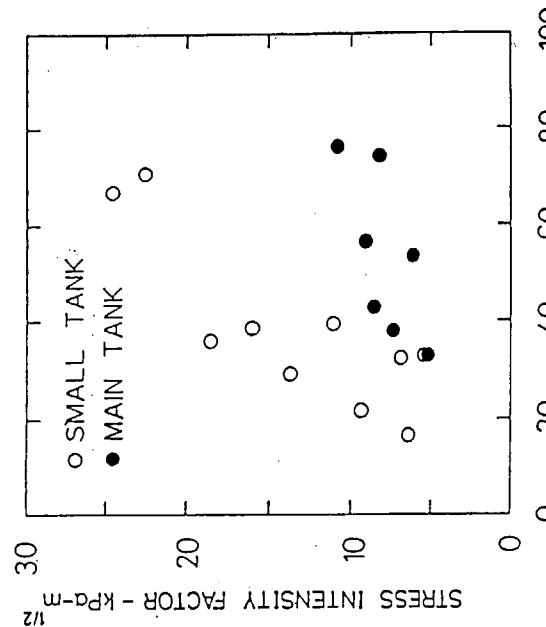


図 A. 5 弾性率と曲げ強度の関係

図 A. 6 破壊革性値に対する製冰方法の影響



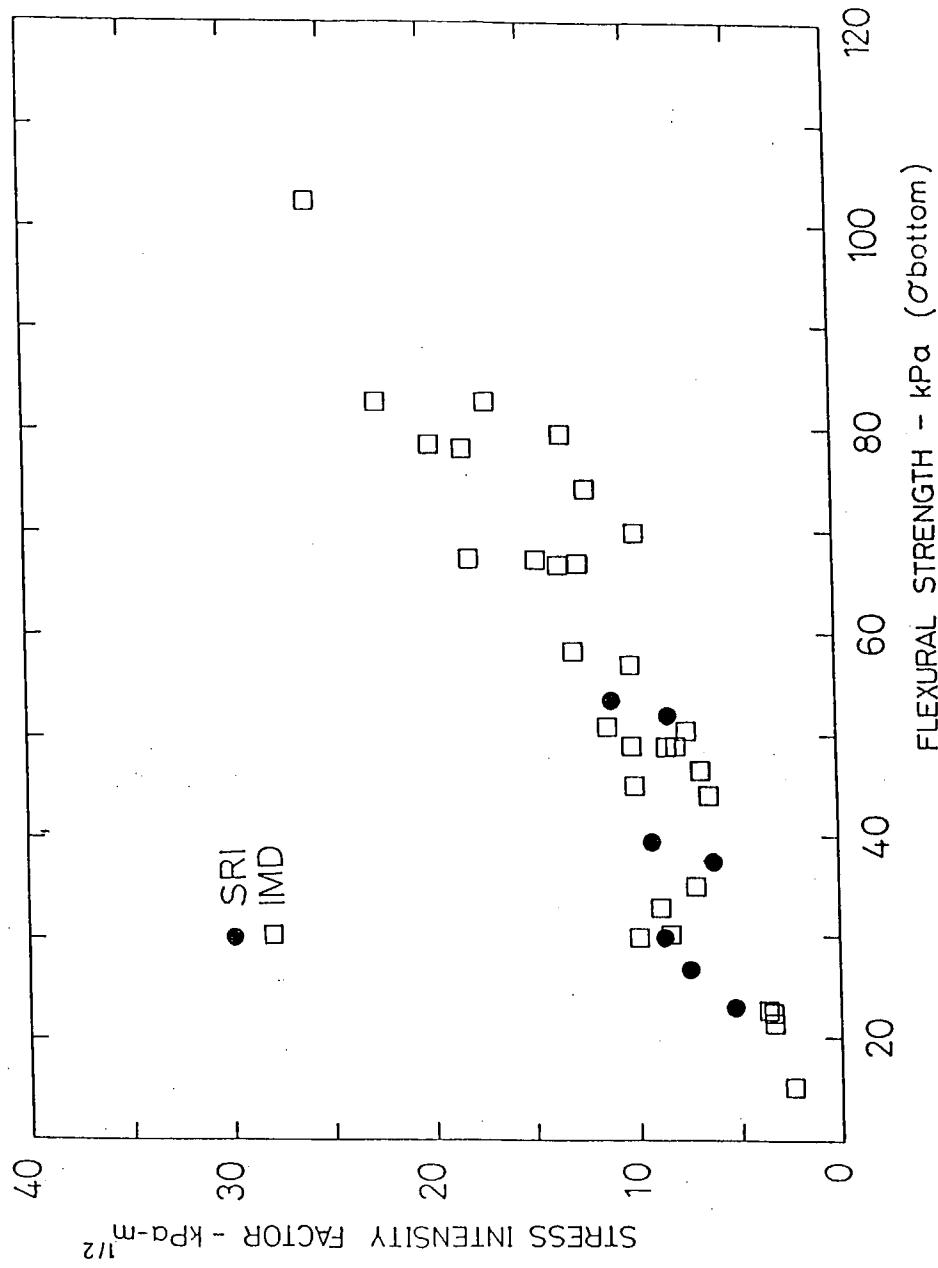


図 A. 7 曲げ強度と破壊靱性値