

盤をラミング砕氷により突破可能である。

以下に続く章において、試験結果の詳細を報告する。

第3.3章においては実船試験海域の氷況について報告する [14]。試験中に遭遇した氷況の分類を行うとともに、氷厚分布、海水曲げ強度について検討する。

第3.4章においては水中航行性能について報告する [12] [9]。実船試験を行った6つの試験項目について報告する。また、模型実験による実船馬力の推定、実船抵抗の推定について検討する。

第3.5章においてはプロペラと氷の干渉について報告する [13] [10]。プロペラと氷片の干渉計測結果をまとめるとともに、軸馬力の計測方法について述べる。干渉頻度及び軸トルク変動成分については、模型実験の結果と比較する。

3.3 巡視船「てしお」によるオホーツク海水況観測 [14]

オホーツク海実船試験時に下記の氷況観測を行った。(1)氷厚、(2)氷盤密接度、(3)積雪厚(以上、VTR及び目視)、(4)計測時船位(GPS)(5)氷温度、(6)氷塩分濃度(以上、氷塊採取後厚さ方向に5~10cm間隔で計測)(7)氷塊採取位置(GPS)。本論では、試験中に遭遇した氷況の分類を行うとともに氷厚分布の特性について考察した。また、海水の機械的特性として、曲げ強度の推定を行った。

3.3.1 計測方法

氷厚及び氷密接度の計測手法は当所が過去の実験で用いたものと同様である(3.1.1節参照)。船上に設置したビデオカメラにより針路方向及び鉛直下向きの画像を撮影し、氷密接度及び氷厚をそれぞれ解析した。また、これと同時に船上からの目視観測を連続的に実施した。目視による氷厚観測では誤差を小さくするため、舷側より突き出したスケールを用いるとともに(写真3-3-3)、停船時に氷厚の直接計測を行うことによって、随時校正を行った。氷密接度は実質的に10/10であったので以下の記述では割愛する。

海水の曲げ強度は温度及び塩分濃度を計測し、以下の方法によって推定した。海水の温度並びに塩分濃度は、その鉛直断面内で一定でなく、一般に何らかの分布を示す。このため船上に引き上げた水サンプルの鉛直断面内に5あるいは10cm間隔で氷温度の計測を行った。この後、サンプルを同じく5あるいは10cm間隔の小サンプルに分割し、これらを融解させて氷の塩分濃度を計測した。このようにして得られた氷温度と塩分濃度よりそれぞれの位置における氷曲げ強度をTimco及びFrankenstein提案の式により推定し、これらの平均値をもって曲げ強度値の代表値とした。

3.3.2 計測結果及び考察

3.3.2.1 試験海域及び氷況の分類

試験海域及び2月25日の流水状況図を図3-3-1に示す。

試験期間中に当該海域の流水勢力は今冬でほぼ最大に達した。計測海域の氷況は大氷盤、巨氷盤と呼ばれる径500m以上、及び径数km以上の氷盤が中心であったが、厚さ、機械的特性の様な大氷盤の存在は希であり、各種の海水が混在するが多かった。実船試験中に観察された海水は、次の4種類に大別できる。

Type A

氷盤間の開水面が凍結して間もない成長の初期段階にある薄い板状軟氷。黒ずんだ外見を示し、代表的厚さは10から15cm程度。Type Aの氷の例を写真3-3-1に示す。

Type B

直径2から3mの大きさのはす葉氷状の小氷板。この小氷板が凍結し合い大氷盤を形成している例が見られた(写真3-3-2)。この大氷盤を上空から観察すると、表面には鱗状のパターンが見られる。小氷板同士の凍結は完全ではなく、砕氷航行時には氷板間の破壊が卓越する場合もある。

Type C

平坦な板状の氷。表面の凹凸は少なく、氷厚は25から45cm程度。断面の透明度は高く、断面内に2、3層の層状

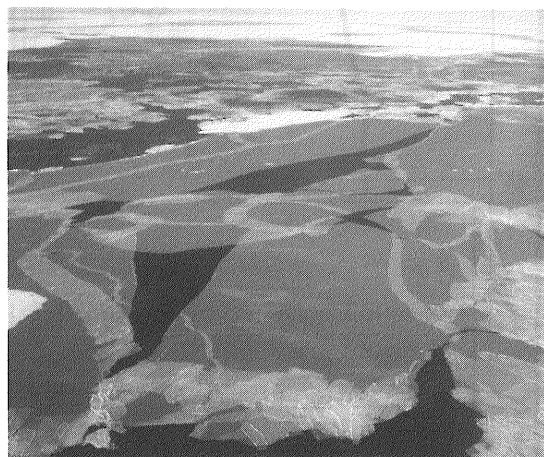


写真3-3-1 Type Aの氷の例

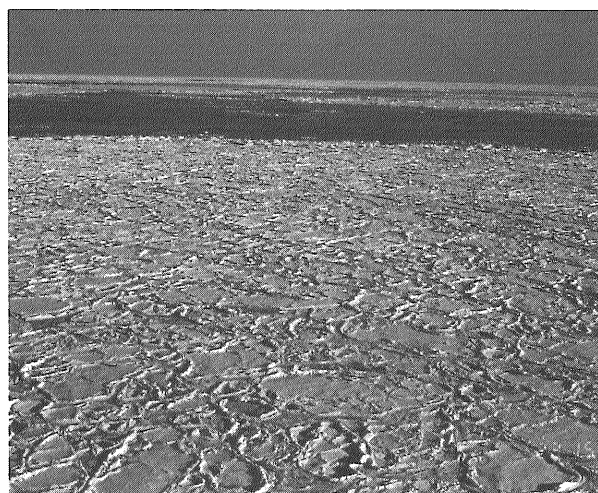


写真3-3-2 Type Bの氷により形成される氷盤

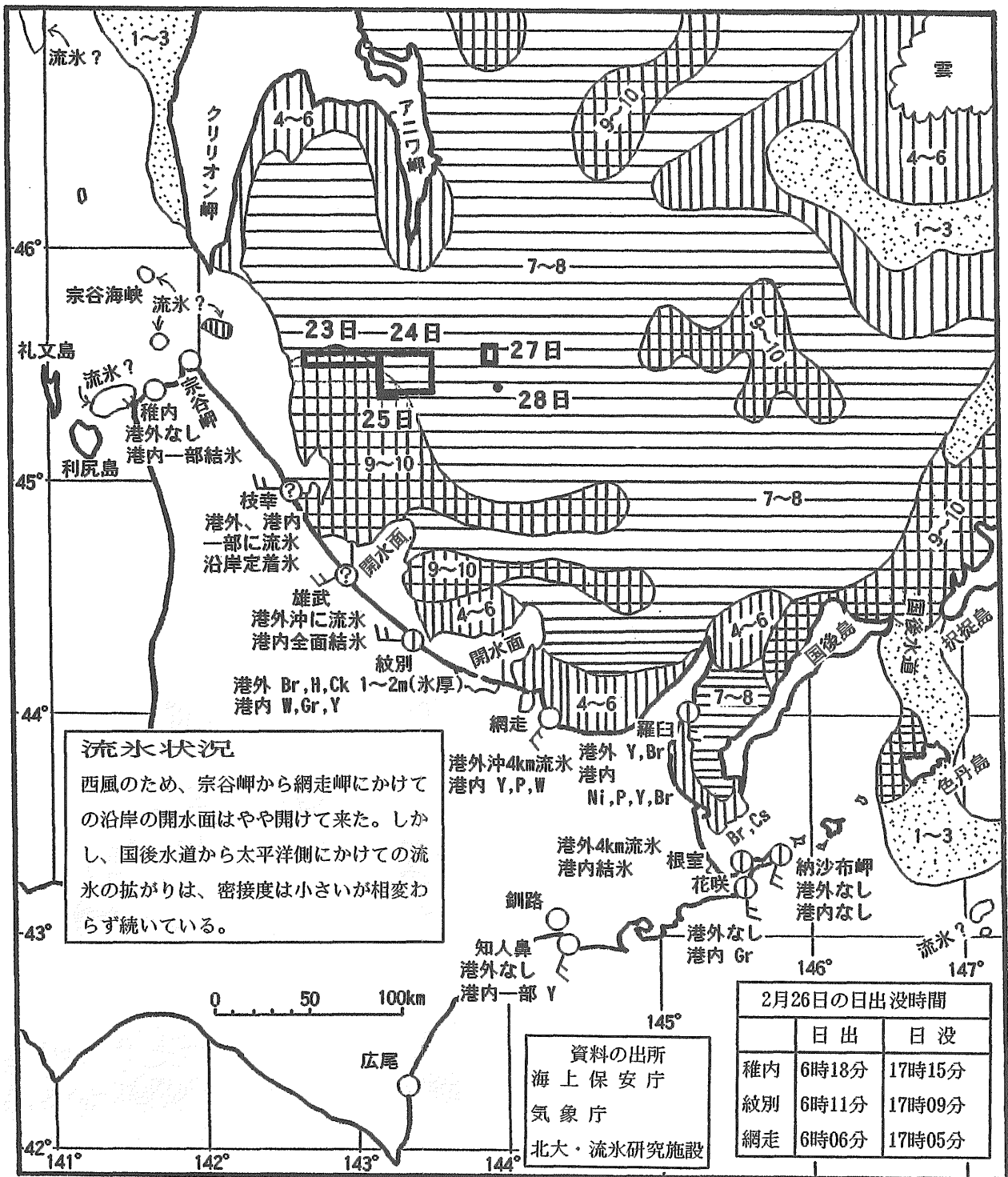


図3-3-1 流水状況図 (2月25日)
 (第一管区海上保安本部流水情報センター提供)

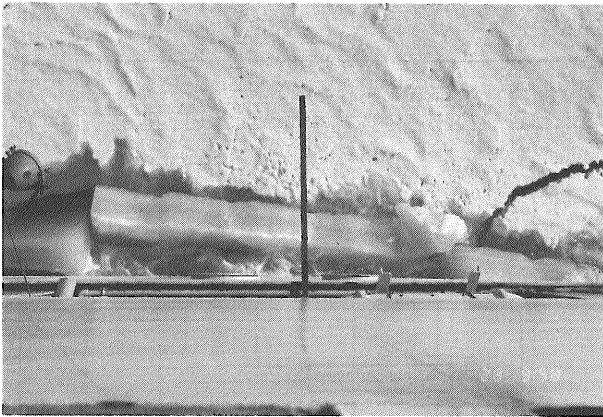


写真3-3-3 TypeCの氷の破断面



写真3-3-5 氷丘脈の例



写真3-3-4 Type Dの氷の例

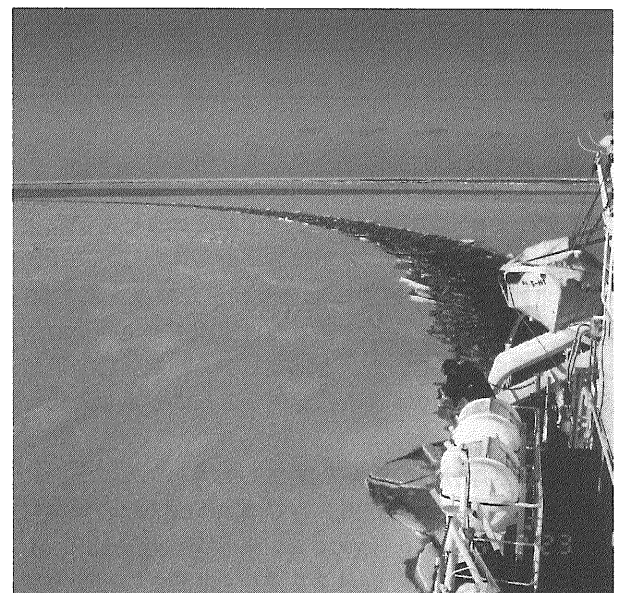


写真3-3-6 旋回試験航跡 (Type C)

構造が観察される場合もある。Type Cの氷の破断面の例を写真3-3-3に示す。

Type D

乱水域あるいは氷丘脈を船が通過する時に観察される、厚く、青白い断面を有する氷。氷厚はこの海域に存在する氷としては非常に厚く、時には1mを越えるものも見られる。多くの場合その底部あるいは断面内に、藻類 (ice algae) が付着し茶色に変色した部分が観察される。Type Dの氷の例を写真3-3-4に示す。

上記4種類の氷のうち、Type CはType Aの氷板が、波浪等により破壊されることなく成長した結果と考えられる。成長の過程で外部からの擾乱により破壊が発生すると氷板は破壊され、小氷板を形成する。小氷板同士がぶつかりあうことにより氷板周辺が盛り上がり、はす葉状のType Bの氷盤が形成される。Type Dの水はType Cの水がさらに成長したもの、あるいは2枚以上の氷盤が重なり合って再凍結し一体化した水であり、北方の海域で発生・成長した氷が南下したのものも含まれると考えられる。

今回の実船試験において遭遇した氷況は、試験日及び海域により大きく変化した。2月23～25日の試験前半の氷況は、一般に氷厚も薄く穏やかであった。これに対し、2月27、28日の試験後半には、Type Dの「てしお」によって厳しい氷況が多く見受けられた。

3.3.2.2 実験海域の氷厚

3.3.2.2.1 計測結果及び計測手法の比較

実船試験において氷厚は重要な評価パラメーターであるが、大量のデータを効率よく、且つ精度よく計測することは困難である。そこで本実験ではビデオ及び目視観測の二種類の計測を行った。

ビデオ観測による氷厚分布計測は大量のデータを比較的精度良く計測できるという利点がある。従って氷厚の空間的な変動を捉えることが可能である。図3-3-2に平坦水中直進航行試験時の氷厚の時系列分布の一例を示す。供試氷盤は前述したType Cであり、局所的に存在するハンモック帯を通過したことがわかる。

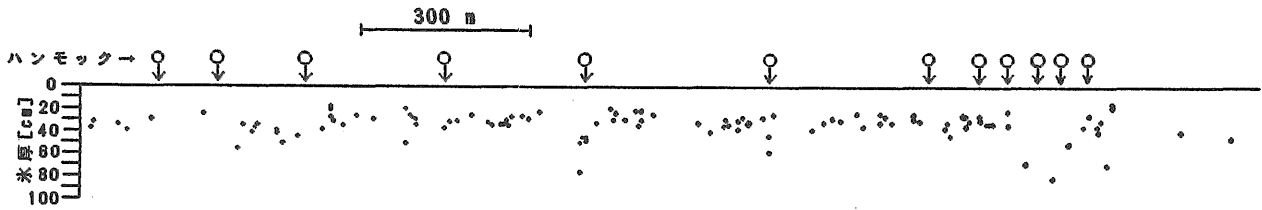


図3-3-2 直進航行試験時の氷厚時系列分布例

表3-3-1 採取海水の推定曲げ強度

採取日	時間	採取位置	氷厚[cm]	曲げ強度[kPa]	氷のタイプ
2月23日	12:25	45° 31' N, 142° 44' E	17	187	Type B
2月24日	10:15	45° 26' N, 143° 11' E	30	352	Type C
2月24日	16:58	45° 22' N, 143° 10' E	29	303	Type C
2月25日	10:15	45° 22' N, 143° 10' E	17	195	Type B
2月27日	10:20	45° 30' N, 144° 02' E	58	331	Type D
2月27日	17:40	45° 31' N, 142° 21' E	32	249	Type C
2月28日	08:20	45° 31' N, 142° 20' E	30	226	Type B

一方、目視による観測はデータ数は限られるものの準リアルタイムで結果が得られる利点があり、頻繁に校正を行うことによってビデオ計測に比べて精度の良い計測結果を得ることも可能である。各実験毎に得られた氷厚の平均値をビデオ観測と目視観測結果で比較した結果を図3-3-3に示す。両者はほぼ一致しているが目視観測の方が全般的に大きな氷厚を与えている。これはビデオ観測による計測が原理上、実際の氷厚を過小に評価する傾向があるためであろう[6]。

3.3.2.2 氷厚分布の確率密度

氷厚分布に関する研究例としては北極海の氷丘脈を対象とした研究が数多く行われている。Wadhamset.al.はBeaufort海の氷丘脈のkeel深さ及びsail高さの確率密度が次式の指数分布に従うことを示した[24]。

$$p(h) \Delta h = \alpha \exp(-\beta h) \Delta h$$

今回の実験で得られた全ての氷厚データから求めた離散的確率密度分布を図3-3-4に示す。氷厚40cm以上の領域で近似的に上式の指数分布で与えられることがわかる。この範囲の氷況は前述の分類によればType Dであり、乱水域あるいは氷丘脈等の氷丘化した氷盤に相当する。結論は今後の検討を待つ必要があるが、北極海で発現する氷丘脈とは程度の差こそあれ、氷丘化した氷盤の氷厚分布が同様の傾向を示すことは極めて興味深い。

3.3.2.3 実験海域の海水曲げ強度

表3-3-1に氷サンプルの温度並びに塩分濃度の計測結果から推定された曲げ強度値を示す。今回の計測では、氷厚計測を優先させて計測を行ったため、氷サンプルの採取、計測は合計7回にとどまった。しかしながら、Type Aを除く氷についてそれぞれ曲げ強度の推定を行っているため、今回の実船試験の対象海域における氷の特性の概要を知ることができよう。

当所では、従来の「そうや」実船実験の機会に三点曲げ

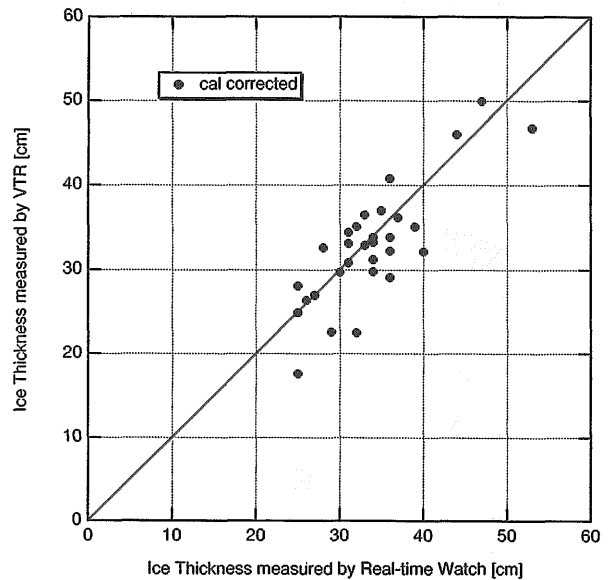


図3-3-3 目視観測とビデオ観測との比較

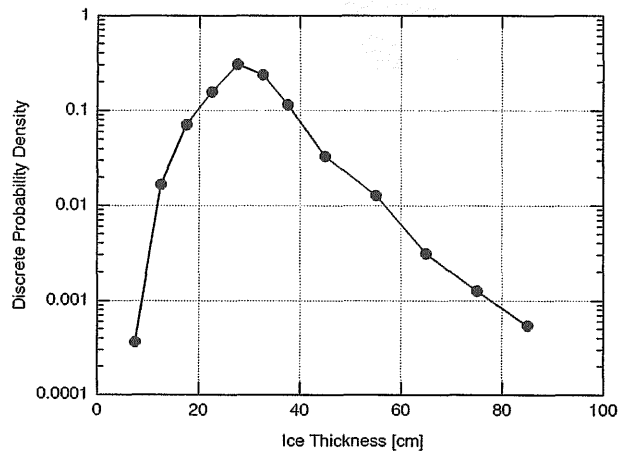


図3-3-4 氷厚の確率密度分布

試験による海水の曲げ強度計測を多数行っているが、これらの結果は今回推定した曲げ強度値と良く一致している(図3-3-5)。

3.3.3 結言

今回の実船試験は、これまでの「そうや」実船実験では得られなかった大きな氷盤、比較的一様な氷厚、機械的

性をもった恵まれた氷況で実施でき、砕氷船の基本的な水中性能を把握するためのベースデータとなった。

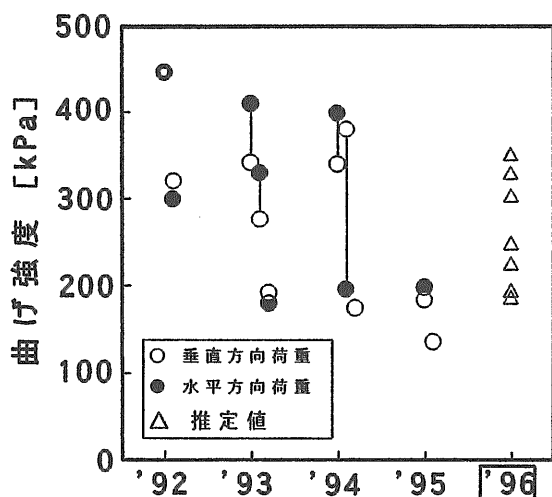


図3-3-5 5年間の海水曲げ強度

表3-4-1 「てしお」の主要目

Principal Dimensions		Ship	Model
Length on water line	m	49.0	4.500
Breadth mld.	m	10.6	0.973
Depth mld.	m	5.0	0.459
Draft	m	3.3	0.306
Gross tonnage	ton	550	
Output	PS	1800×2	
Propeller diameter	m	1.95	0.179
Number of blades		4	

3.4 砕氷型巡視船「てしお」の水中航行性能 [12]

本章においては砕氷型巡視船「てしお」の水中航行性能について実船試験を行った6つの試験項目について報告する。また、模型実験による実船馬力の推定、実船抵抗の推定について考察を加えた。砕氷型巡視船「てしお」の要目を表3-4-1に示す。そのプロフィールは図3-2-1に示されている。

3.4.1 実船実験結果

3.4.1.1 概要

北海道沿岸付近の流水は比較的小さな氷盤によって構成される場合が多いが、本実験期間中は径500m以上の大氷盤が中心で均質性が比較的高く、平坦氷板を用いた模型実験との比較検討の上で良質のデータとなった。実験海域の氷況及び氷質計測結果は第3.3章に記述された通りである。

本実船実験で行われた試験項目は以下の通りである。抵抗推進性能関係では平坦水中直進航行試験、平坦水中停止惰力試験及びラミング性能試験を、操縦性能関係の項目で

は平坦水中旋回試験及びZ操舵試験を、また運航関係の項目として協調砕氷航行試験を実施した。

3.4.1.2 平坦水中直進航行試験

目標氷厚55cmの大氷盤中を約500m直進し、主機出力を最大出力(MCO)の1/4、2/4、3/4及び4/4の4段階に設定して速力、主機馬力の計測を実施した。出力の設定は4/4を除いて軸回転数を一定とし、CPPの翼角を調整して行われた。速力は投板とGPSによる計測を併用したが、本解析では投板による対氷速力を用いた。また主機馬力は燃料消費量を計測し平均所要馬力に換算する手法と、プロペラ軸に歪みゲージを貼り付けて軸トルクの計測を行い、これから馬力を求める手法の2種類を実施した。後者による計測結果は第3.5章に詳しい。本解析では前者による馬力推定値を用いたが、両手法による平均所要馬力は良い一致を示した。

計測結果から得られた「てしお」の連続砕氷性能を図3-4-1に示す。図の横軸は氷盤の平均氷厚を、また縦軸は平均船速をそれぞれ表し、実線は1/4、1/2MCOと常用出力(NSO = 85%MCO)における性能近似曲線である。これから「てしお」は建造仕様により求められた連続砕氷性能を満足していること、すなわち氷厚55cmの氷盤を3knotで連続砕氷航行できることがわかる。

3.4.1.3 平坦水中停止惰力試験

平坦水中直進航行試験終了後、船体停止翼角を発令し、停船に至るまでの距離及び船速等を計測した。ただし停船距離は投板によって計測した。

停船距離と停止翼角発令時の船速の関係を図3-4-2に示す。ただし図中の数字は平均氷厚を表す。水中では水力による反回頭モーメントが卓越するため、通常海域での停止惰力試験結果とは異なり停止翼角発令後の針路はほぼ一定であった。実験結果から氷中での停船距離は氷厚が一定とすると初期船速の二次式で近似できることがわかった。

3.4.1.4 ラミング性能試験

約2船長の助走距離を4段階の出力で直進した後に目標氷厚75cmの氷盤に衝突させ、船体停止までの進出距離、

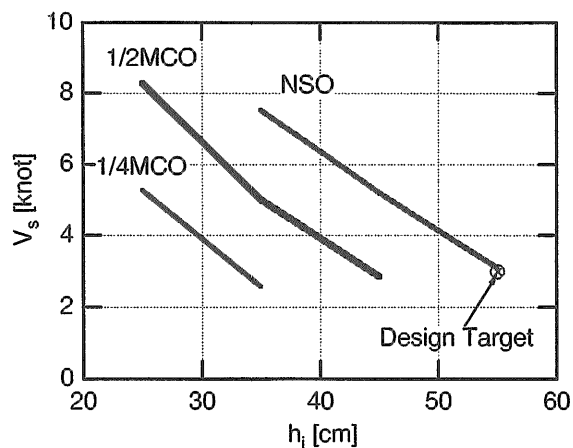


図3-4-1 連続砕氷性能

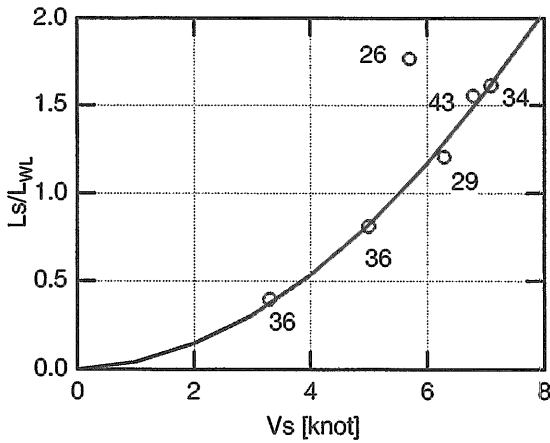


図3-4-2 平坦水中停船性能

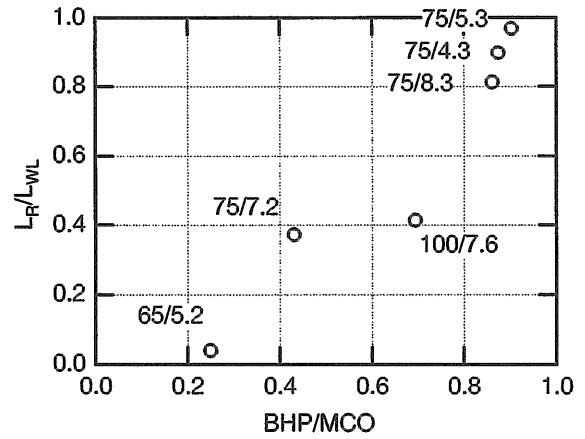


図3-4-3 ラミング性能

船速及び衝突前の馬力等を計測した。供試氷盤はほぼ一様な厚さと強度を有する平坦氷ではなく、小さな氷塊が重なり合ってハンモック化した起伏の大きい氷盤が大氷盤の中に局所的に存在した。

ラミングによる進出距離と氷盤衝突時の馬力の関係を図3-4-3に示す。ただし図中の数字は平均氷厚 (cm) 及び突入時船速 (knot) を表す。突入時の船速は4～8knotの範囲であった。図より本船がハンモック化した平均氷厚75cmの氷盤に主機最大出力で突入すると約一船長進出できることがわかった。

3.4.1.5 平坦水中旋回試験

大氷盤中を主機出力及び舵角一定で回頭運動させ、旋回航跡及び船速等を計測した。旋回航跡はGPSによって計測した。氷海中では舵の損傷を防ぐために緊急時を除いて大舵角操舵は行わない。そこで設定舵角は1ケースを除き両舷15度とした。

計測結果の一覧を表3-4-2に示す。氷厚が23～38cmの大氷盤中で舵角が15度の時にアドバンスは船長の約7倍、旋回圏は船長の約13倍となった。今回の計測結果からは旋回性能の氷厚依存性は顕著には認められなかった。この値を通常海域での実験結果と比較するとアドバンスが約1.4倍、旋回圏が約1.6倍になる。

3.4.1.6 平坦水中Z操舵試験

大氷盤中を主機出力一定でZigZag操舵させ、方位角、舵角及び船速等を計測した。ただし方位角及び舵角の計測は本船装備機器によって行った。舵角は1ケースを除き10度とし、いずれも面舵側から操舵した。

計測結果の一覧を表3-4-3に示す。10度Z試験で得られた操縦性指数K'は平均で0.69であり、通常海域での実験結果に比べて30%程度低下した。オーバーシュート角はいずれのケースでも比較的小さい。水中Z操舵試験は通常海域に比べて低船速域で行われるため船体の慣性力が氷力に較べて小さいことによると思われる。

3.4.1.7 協調砕氷航行試験

氷海域で比較的大型の船舶の誘導するために幅広の水路

啓開を行う場合に2隻の砕氷船を斜め前後に配置したオペレーションが行われることがある。図3-4-4に示すように「てしお」を「そうや」の斜め後方に配置し両船の位置関係を保持したまま直進砕氷航行を行い、2船の後方にできる開水路の状況及び「てしお」の馬力低減量を計測した。2船の相対位置はレーダーによって求めた。

試験結果をもとに氷厚46cmの大氷盤中に換算した主機馬力と船間距離の関係を求めると、船間距離を30mとした場合、同一船速で単独航した場合に比べて所要馬力は1/2以下となった[20]。しかしながら2船の後方に啓開された開水路は比較的大きな氷盤で覆われており、誘導用の航路啓開という観点からは2船の位置をさらに近づける必

表3-4-2 平坦水中旋回試験結果

Rudder [deg]	Ice Thick. [cm]	Advance /LWL	Tactical Dia./LWL
15S	32	6.5	12.9
15P	23	6.6	13.0
15S	27	8.7	12.0
15P	26	6.8	13.2
15S	31	7.1	13.2
15P	38	7.0	14.4
35S	30	6.2	9.7

表3-4-3 Z操舵試験結果

Rudder [deg]	Ice Thick. [cm]	K'	Overshoot Angle		
			1st	2nd	3rd
10S	33	0.65	3.0	0.5	N.A.
10S	33	0.68	0.5	1.0	1.0
10S	31	0.75	1.5	1.0	1.0
20S	31	0.76	5.5	2.0	5.5

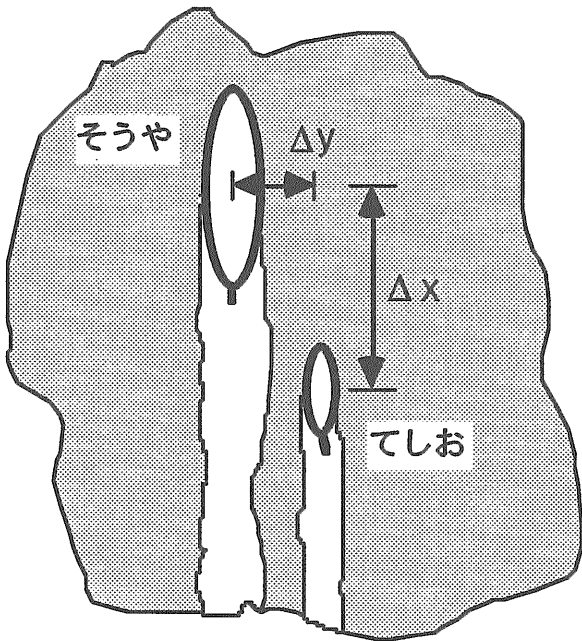


図3-4-4 協調砕氷航行試験

要がある。実際の流氷海難救助に対する本オペレーションの有効性を検証するためには今後実験データの蓄積が必要であると思われる。

3.4.2 模型実験による実船馬力の推定

3.4.2.1 推進係数

平坦水中を一定船速で直進航行する場合の推進係数 (h) を平坦水中抵抗自航試験、平水中過負荷試験及びプロペラ単独性能試験結果を用いて以下のように記述する。

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{EHP}{DHP} = \frac{R_i V_i}{2\pi m Q_i} \\ &= \frac{T_o V_o}{2\pi m Q_o} \left(\frac{Q_o}{Q_{OL}} \frac{T_{OL}}{T_o} \right) \left(\frac{Q_{OL}}{Q_i} \frac{T_i}{T_{OL}} \frac{V_i}{V_{OL}} \right) (1-t_h) \\ &= \eta_o \frac{\eta_{R(OL/O)}}{(1-w)_{(OL/O)}} \frac{\eta_{R(i/OL)}}{(1-w)_{(i/OL)}} (1-t_h) \\ &= \eta_o \left[\frac{\eta_{R(OL/O)}}{(1-w)_{(OL/O)}} \right] \left[\frac{\eta_{R(i/OL)}}{(1-w)_{(i/OL)}} (1-t_h) \right] \dots (3.1) \end{aligned}$$

ただし、

$$R_i = (1-t_h) T_i \dots (3.2)$$

また添字 i、OL 及び O はそれぞれ水中試験、平水中過負荷試験及びプロペラ単独試験によって得られることを、また OL/O 等の表記は 2 種類の試験結果の比較参照によって定められることを意味する。

(3.1) 式右辺第 1 因子はプロペラ単独効率を、また第 2 因子は推進係数へのプロペラ荷重度の影響を表す。第 3 因子は平坦水中自航試験と平水中過負荷試験の差を表し、主として氷とプロペラ/ノズルの干渉の影響を表す。(3.1) 式をさらに変形すると、

$$\eta = \eta_o \left[\frac{\eta_{R(OL/O)}}{(1-w)_{(OL/O)}} (1-t)_{OL} \right] \left[\frac{\eta_{R(i/OL)}}{(1-w)_{(i/OL)}} \right]$$

$$\equiv \eta_{OL} \eta_{i/OL} \dots (3.3)$$

となる。ただし模型実験結果をもとに (3.1) 式中の自航要素を次式で与えた[9]。

$$(1-t)_i = (1-t)_{OL} = 0.888 \dots (3.4)$$

$$\begin{cases} 1-w_{OL/O} = 0.817 + 0.247 J_o \\ 1-w_{i/OL} = 1.149 + 5.925 \exp(-4.755 F_h) \end{cases} \dots (3.5)$$

$$\begin{cases} \eta_{ROL/O} = 1.000 \\ \eta_{Ri/OL} = 0.866 \end{cases} \dots (3.6)$$

(3.3) 式は水中航行時の推進係数はプロペラ荷重度の影響のみを含む推進係数 (hOL) に、推進器と氷の干渉による修正 (hi/OL) を行えばよいことを示している。

一般に水中模型実験では模型氷と実海水の氷質、特に浮力の差により氷とプロペラ/ノズルの干渉の影響を過大評価する傾向がある[13]。実船の推進係数は水中模型実験結果から得られた hi/OL 値を用いる場合と、hi/OL=1 の中間にあるので、hi/OL は推進係数に対する尺度影響を含んだ氷干渉パラメータと見なすことができる。通常海域における推進係数の尺度影響はプロペラ単独効率及び伴流係数に含まれて扱われることが多い。ただし本問題では模型と実船の縮尺比が比較的小さいため、これらを無視した。

本章における実船馬力推定計算には本節の方法を用いた。本節の方法には、研究進捗時期の関係から、まだ、第 2.3 章の新解析法は使われていない。

3.4.2.2 有効馬力

平坦水中抵抗試験結果を用いて以下の回帰式を作成し、実船の抵抗 (有効馬力) を推定した。ただし実験結果の詳細は第 2.2 章に詳しい。

$$\begin{aligned} \frac{R_i}{\rho_w g B h_i^2} &= a_0 + a_1 F_h + a_2 C_n \\ F_h &= \frac{V_m}{\sqrt{g h_i}}, \quad C_n = \frac{\sigma_f}{\rho_w g h_i} \end{aligned} \dots (3.7)$$

ただし ρ_w は水の密度、g は重力加速度、B は船幅をそれぞれ表す。得られた回帰係数は $a_0 = 6.3618$, $a_1 = 2.5172$, $a_2 = -0.0153$ である。氷板の曲げ強度の影響を表す右辺第 3 項の係数 a_2 が負になっているのは、母集団の曲げ強度値分布範囲が設定値 (実船換算 392kPa) 近傍に集中しているためである。

(3.7) 式に実船相当値を代入することによって実船抵抗推定値を求め、有効馬力を推定した。ただし氷盤曲げ強度は 392KPa とした。

3.4.2.3 実船馬力の推定

推進係数 $\eta_{i/OL}$ を水中自航試験結果から求めた場合と、 $\eta_{i/OL} = 1$ とした場合の 2 種類を仮定し、平坦水中を連続で直進航行する際の所要馬力の推定を行った。なお軸系の機械効率 η_T は 0.95 とした。

図 3-4-5 は主機出力 1/2MCO における連続砕氷航行時の船速と氷厚の関係を示す。この図から $\eta_{i/OL}$ を考慮した推

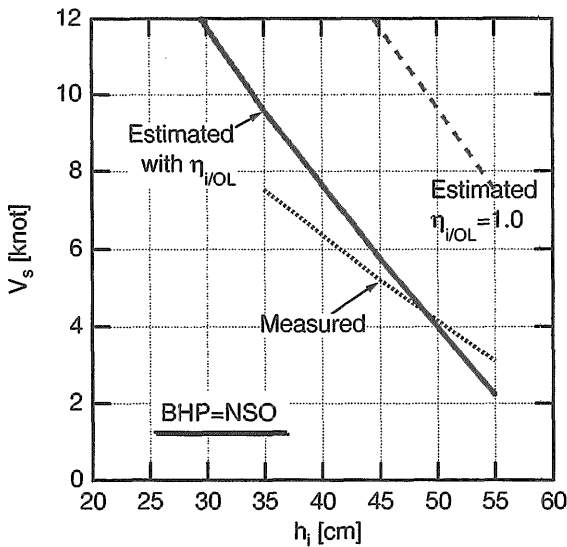


図3-4-5 模型実験による実船馬力推定

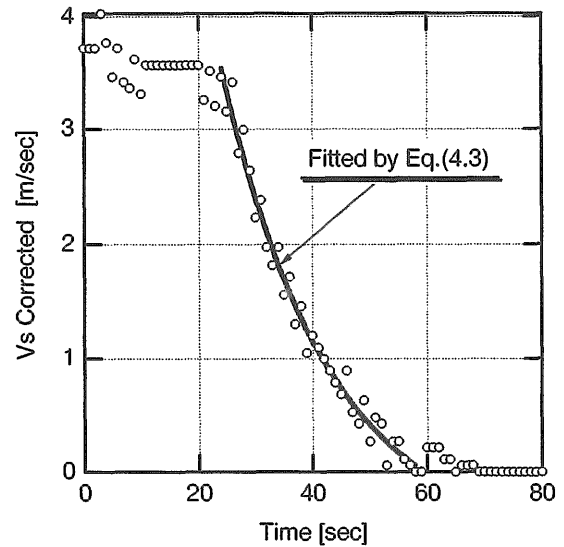


図3-4-6 船速減衰曲線

進係数を用いると実船の所要馬力を比較的良い精度で推定できることがわかる。一方 $\eta_{i/OL} = 1$ とした場合には同一船速で砕氷航行できる氷厚値を大幅に過大推定することが示されている。ただし船速の氷厚に対する傾きは推定結果の方が大きい。これは模型実験による抵抗値の船速に対する依存性が低いことを反映している。

3.4.3 実船抵抗の推定

3.4.3.1 実船実験による抵抗の推定法

前節では推進係数に対する尺度影響について考察したが、有効馬力、すなわち水中抵抗の尺度影響も重要な研究課題である。現状の模型実験技術では実船状態に完全に対応した氷質や船体と氷の摩擦等の複雑な現象をシミュレートすることは極めて困難である。従って模型実験による実船の水中抵抗の推定精度を向上するためには、模型及び実船の水中抵抗計測を行い両者の相関を明らかにすることが重要である。

実船抵抗計測は水中曳航試験による直接計測や、軸スラスト計測による推定が行われているが計測機会や精度面に課題がある。そこで平坦水中停止惰力試験結果を利用して実船抵抗の推定を試みた。

模型実験結果を回帰した (3.7) 式からの類推によって実船水中抵抗は船速の一次式で与えられると仮定する。この時停止惰力試験における針路方向の運動方程式は次式で与えられる。

$$(m + m_x) \frac{dv}{dt} + (R_0 + R_1 v) = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} + A_0 + A_1 v = 0 \\ A_0 = -\frac{R_0}{m + m_x}, \quad A_1 = \frac{R_1}{m + m_x} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

(4.2) 式を解くと船速は次式で与えられる。

(284)

$$v = (v_0 + \frac{A_0}{A_1}) \exp(-A_1 t) - \frac{A_0}{A_1} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

停止惰力試験時に GPS によって計測した船速減衰曲線を図3-4-6に示す。供試氷盤の平均氷厚は34cmである。ただし今回用いたGPS装置の出力には平滑化フィルターが施されているので逆変換を行った。計測値にばらつきが見られるが、固定点での計測結果によれば本実験で用いたGPS装置の計測誤差のrms値は0.2m/sec程度である。

GPSによる船速は対地速力であり、供試氷盤の漂流速度が含まれる。当該海域の氷盤の漂流速度は風速に依存するが、過去の計測結果によれば平均で0.1m/sec、最大で0.3m/sec程度と報告された例がある[28]。そこで船体停止後に記録されたGPS船速と針路を用いて氷盤の漂流速度の修正を施した。修正された船速値は投板によって同時に計測された船速と良い一致を示した。

船速減衰曲線を (4.3) 式で回帰分析を行い、係数A0及びA1を求め、実船抵抗推定を算出した。ただし付加質量 (mx) は船体質量の10%とし、回帰範囲は船体停止翼角発令時から船体停止時までとした。回帰結果を図3-4-6に示す。

3.4.3.2 実船抵抗の推定精度

平均氷厚34cmから39cmの3種類の氷盤に対する実船抵抗推定値 (Rss) を模型実験からの推定値 (Rsm) と比較した。結果を図3-4-7及び図3-4-8に示す。

図3-4-7より停止惰力試験結果から推定した抵抗値の速度依存性が模型実験からの推定値に比べて大きいことがわかる。氷抵抗の速度依存性は主として砕氷時の氷塊の回転及び沈下に起因する。実験中に観察される砕氷塊の大きさは模型実験の方が大きい。模型実験では破壊直前の氷盤上面に冠水が見られるのに対し、実船では観察されない。従っていわゆる Ventilation による速度依存性は実船状態の

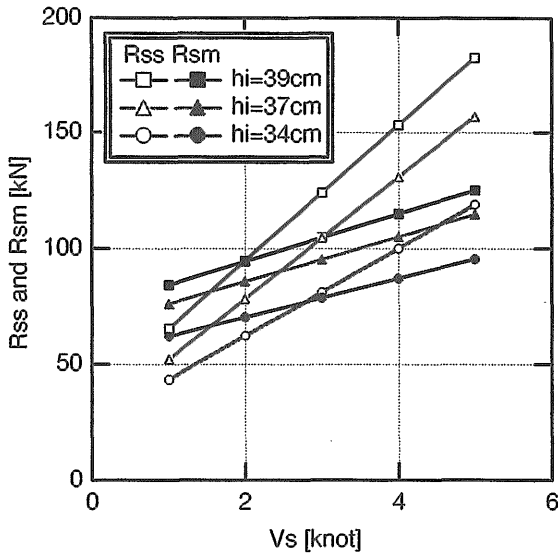


図3-4-7 実船抵抗推定値の比較-1

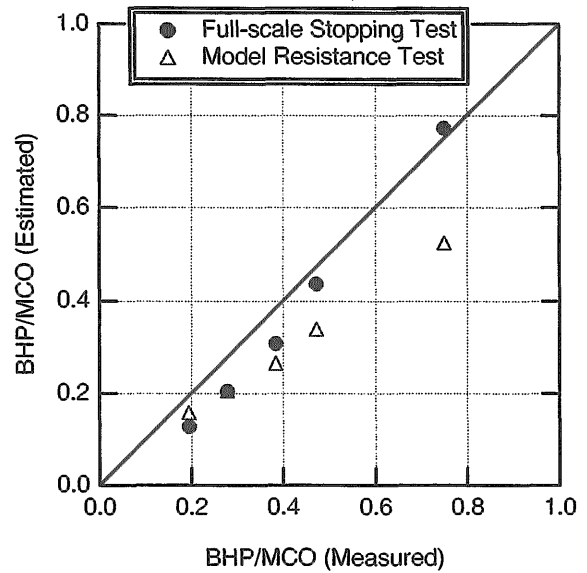


図3-4-9 2種類の抵抗推定値を用いた馬力推定結果の比較

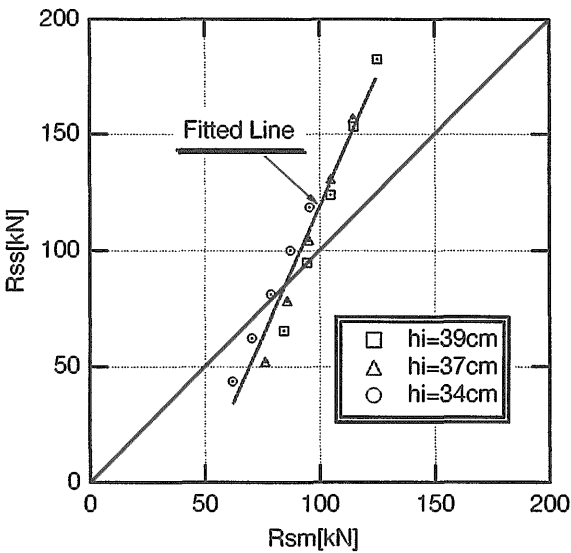


図3-4-8 実船抵抗推定値の比較-2

方が大きくなると予想される。

次に3.4.2章で記述した実船馬力推定スキームを使って停止惰力試験結果から求めた実船抵抗推定値の精度の検証を行った。氷厚35cmの氷盤に対して2種類の実船抵抗値を用いて馬力を推定した結果を比較した(図3-4-9)。ただし推進係数は同一とし、 $\eta_{i/OL}$ を考慮した値を用いた。停止惰力試験結果から求めた実船抵抗推定値を用いた馬力推定結果は模型実験を用いた推定値に比べて実船実験結果と良く一致した。これは本手法による抵抗推定の有効性を示唆していると思われる。

しかしながら本手法による実船抵抗推定には精度面での課題は多い。例えば回帰範囲や氷盤の漂流速度の修正法の選択によって回帰係数の変動が大きく、抵抗推定値に大きな影響を与える。またGPS装置の計測誤差による影響も

無視できない誤差要因の一つである。本手法による抵抗推定精度を検証するためにはこれらの影響について定量的に考察するとともに、Differential GPSの利用を含めた計測の高精度化が必要であると思われる。

3.5 砕氷型巡視船「てしお」におけるプロペラと氷の干渉[13]

氷海域を航行する船舶では、船首部で砕氷した氷片がプロペラに衝突する現象は頻繁に発生し、効率の低下のほか、時としてプロペラ翼の破損や機関への障害などを引き起こす。氷片とプロペラの干渉は、水中抵抗と並んで、水中推進性能の中でも特に重要な問題となっているが、実船での干渉データは、公開されたものが非常に少ない。また、氷海用プロペラとしてノズルプロペラが採用される機会が多くなっているが、氷片によるノズル閉塞や氷との干渉についての研究が、オーブンプロペラに比べてさらに少なく、多くの課題が残されている。

海上保安庁の砕氷型巡視船「てしお」の氷海中実船試験時に、砕氷船用のプロペラ、軸系、エンジンキャパシティ等の設計のための基礎資料を集めることを目的の一つとして、ノズルプロペラと氷片との干渉計測を行うことができた。ここではその解析結果を示すと同時に、一部については、氷海水槽での模型実験結果との比較を示す。

3.5.1 実船試験概要

「てしお」でのノズルプロペラと氷の干渉データの収集は、平坦水中直進航行試験(Continuous Test)、平坦水中旋回試験(Turning Test)、協調砕氷航行試験(Dual Line Ice Breaking Test)の3種類の試験項目において行われた。各試験の概要、「てしお」の主要目、一般配置図等については第3.2,3.4章を参照されたい。

表3-5-1 プロペラ主要目表

Propeller	
Type	CPP (2-shaft)
Diameter	1950.00 (mm)
Boss Diameter	680.00 (mm)
Number of Blades	4
Tip Thickness	19.00 (mm)
Angle of Rake	0°
Nozzle	
Inside Diameter	1980.00 (mm)
Outside Diameter	2411.30 (mm)
Tip Clearance	15.00 (mm)

表3-5-2 試験条件一覧

Exp. No.	Test Species	Ship Speed (knot)	Blade Angle (deg)	Engine Rev. (rpm)	Thick. (cm)
2402	2/4 Continuous	6.7	25	710	28
2404	3/4 Continuous	6.7	29	710	34
2406	4/4 Continuous	8.1	30	750	35
2408	1/4 Continuous	3.4	18	710	34
2409	3/4 Continuous	9.7	29	710	25
2501	1/4 S.S. Turning	-	18	710	31
2502	1/4 P.S. Turning	-	18	710	38
2503	1/4 Continuous	1.9	18	710	36
2504	2/4 Continuous	5.7	25	710	36
2505	3/4 Continuous	6.9	29	710	40
2701	2/4 Continuous	5.7	25	710	36
2702	2/4 Dual Line-IB	6.5	25	710	37
2703	2/4 Dual Line-IB	6.0	25	710	47
2704	3/4 Continuous	3.8	29	710	46
2706	2/4 S.S. Turning	-	25	710	30
2707	4/4 Continuous	4.3	30	750	53

表3-5-1に「てしお」のプロペラ・ノズル主要目表を示す。推進器は4翼の可変ピッチプロペラであり、翼荷重が大きいため、ボス比と翼厚が通常のプロペラに比べてやや大きい。

表3-5-2は、試験条件の一覧で、計測は全部で16ケース、試験項目の分数は実験時出力の主機最大出力（1軸で1800PS）に対する割合を示す。4/4出力以外では平水中でのパワーカーブに従って翼角を変えて出力調整をしており、主機回転数は710rpmであった。4/4出力では、翼角を30度とするとともに、回転数を750rpmとしている。試験中、翼角、回転数は左右で常に同一となるよう調整された。すべての試験は氷密接度10/10、つまり海面が氷で全て覆われた状態で行った。

3.5.2 計測方法

図3-5-1に軸トルク・スラスト・回転数の計測に使用し

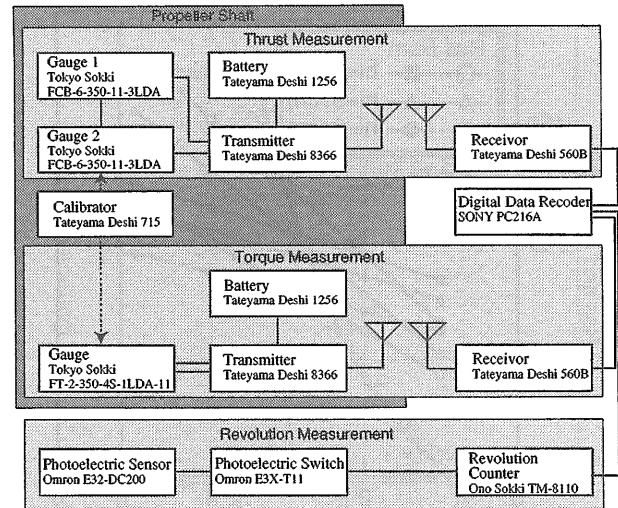


図3-5-1 計測システム図

た機器のシステム図を示す。軸トルク・スラストの計測は応答性と信頼性からプロペラ軸に歪ゲージを貼り、その出力をテレメータで取り出す方法を採用した。空間的な条件から計測は左舷軸のみであり、計測用の歪ゲージ及び軸回転数計測機器は、応力集中がなく平行部が長い左舷軸の給油軸表面に取り付けた。

3.5.2.1 軸トルク及びプロペラスラスト計測方法

歪ゲージはトルク計測用として4ゲージタイプを1枚、スラスト計測用として2ゲージタイプを互いに180度離して2枚使用した。実船における歪ゲージを用いたスラスト計測については、鈴木らが8ゲージとダミープレートを用いたHylarides型を使用して精度の高い計測を行っているが[29]、今回の計測では予備実験として、従来型の計測方法を採用した。歪ゲージからの信号は、テレメータのトランスミッターで変換されて軸回りに張られたアンテナ線から送信される。トランスミッター、バッテリー及びアンテナ支柱は、すべてユニバーサルバンドを用いて軸に固定されており、軸とともに回転する。受信側アンテナは送信側のアンテナの横に配置し、レーザーで電圧信号に変換した後、DAT型のデータレコーダで信号を記録した。毎日、計測開始時と終了時に歪ゲージのキャリブレーションを用いた調整、左右方向への軸のターニングによるゼロ点計測、軸温度の計測を行った。軸温度の変動は非常に小さく、各計測日とも開始時と終了時の差は0.2℃以内であった。氷海域という低温環境のため、機関、摩擦等による発熱と外部への放熱が釣り合っていたものと思われる。

歪からトルクへの変換では、給油軸の断面形状が軸対称でないため、極断面係数Zpを中実と中空との中間として計算した。給油軸の材質は炭素鋼鍛鋼のSF60であったため、E = 2.06x10¹¹Pa (21000kgf/mm²)、ν = 0.3とした。歪からスラストへの変換での断面形状は実際のものを、縦弾性係数及びポアソン比の値はトルクと同じものを使用した。ノズルプロペラのスラストは、ノズルスラスト成分と