

船底汚損が船速に与える影響について

横井 幸治*

On the Influence of Ship's Bottom Fouling upon Speed Performance

Koji YOKOI

Abstract

In this paper the ship's speed performance deterioration caused by aging is mentioned. Ship's speed performance decreases generally according to the increase of the frictional resistance caused by ship's bottom fouling. In order to examine the relation between the performance and the fouling, it is necessary to analyze the data recorded over the long period. However, there are few cases that the data have been analyzed quantitatively.

It is very important for ship's navigators to estimate the aging-rate. Therefore, the author discussed the results of the analysis of the speed trial data obtained on the T.S. Wakashio-maru during the past eight years.

1. はじめに

船舶の操船において、速力が重要な要素となることはいままでもない。操船者は、操船指針⁽¹⁾や海上公試運転成績⁽²⁾等を基準として操船を行うのであるが、本校練習船若潮丸（以下、本船とする）では、常用の機関回転数や翼角と離れた翼角17.6度での機関回転数制御及び機関回転数388rpmでの翼角制御の試験成績しか持たず苦慮している。また、当然ながら船底汚損の状態により外乱条件が同一としても速力は変化する。そして、その速力変化を操船者として推測しておくことは重要であると考え、その資料は少ない。燃料消費量は8ktの速力でドック出し後半年すると14%、1年すると60%増加、摩擦抵抗は1年で2倍に増加するといわれる⁽³⁾。

本船は、平成7年9月に新造船として受け取って以来、毎年9月下旬～10月上旬の入渠により底洗いを実施し船底汚損による影響を最小限に防いでいるつもりである。しかしながら経験として、入渠が近づくと船底汚損に起因すると思われる速力低下が顕著に現れる。そこで、その速力の変化を調査する目的で年間に3回の速力試験を計画し実施してきた。

今回は、新造以来8年が経過し、速力試験のデータがある程度蓄積されたので、それを解析し速力低下の状態を調査するとともに、船底汚損と速力低下との関係について若干の考察を加え、速力低下や燃料消費量等の予測を加えて報告する。

2. 若潮丸要目及び試験

2. 1 船体部要目

全長	53.59m
水線間長	46.00m
幅	10.00m
深さ	5.40m
計画喫水	3.20m
総トン数	231トン
純トン数	219トン
航海速力	12.50ノット
シリング舵	3.63m ²
建造年月日	平成7年9月14日
航海海域	富山湾周辺海域
船底塗料	セルフポリッシュA/Fペイント 船側部2回塗装

*練習船若潮丸

18 船底汚損が船速に与える影響について

船底部 1 回塗装

平成9年度より平成15年度の7年間平均
 年間航海日数 63日
 年間航走距離 2033浬
 年間航走時間 245時間
 平均速力 8.33ノット

2. 2 機関部要目

主機 新潟鉄工 6M28BET
 M C R 1,300PS 390rpm
 C S R 1,105PS 369rpm
 推進器 かもめプロペラCPC-53AF
 4翼CPP
 直径 1950mm
 ピッチ 1170mm
 傾斜角 25度
 プロペラ塗料 バイオクリン1回塗布
 使用燃料 軽油(比重0.824)

2. 3 速力試験の方法

速力試験は、速力試験標柱間を一往復航走し、その平均速力を求めた。使用標柱は、富山県滑川市高塚海岸標柱で、標柱間距離は1852m、基準針路は063度～243度である。

本船での、速力試験は、平成8年3月を最初に平成15年10月までに22回実施できたが、今回は試験方法及び計測内容が定着した平成9年3月より平成15年10月までに実施できた20回の速力試験の中から、条件がほ

ぼ同一となった76データ(往復で1カウント)を解析することとした。特にその中で、平成11年3月と平成15年10月の試験は時間的制約によりGPS測位による定点間の往復として実施したが、GPSの精度が非常に良く、標柱間による計測と同等な信頼性のあるデータとして扱った。

年間3回の試験実施時期は、船底汚損が最大となる入渠直前(概ね9月、以下入渠前とする)と、船底汚損が最小となり、セルフポリッシュの船底塗料を使用しているために⁽⁴⁾公試運転成績と等しくなるであろう出渠直後(概ね10月、以下出渠後とする)及びその中間の出渠後半年(3月、以下出渠半年とする)を基準として実施した。

試験時の船体コンディションの平均は、排水量697トン、喫水F:2.66m、A:3.19m、トリム53cmであった。コンディションは、一定とすることが望ましいが、航海目的や燃料搭載の都合によりやむをえず完全に一定には出来なかった。排水量は、平成9年9月入渠前の659.23トンが最小、平成11年10月出渠後の729.46トンが最大となり、トリムは平成11年3月出渠半年の15

表1 速力試験時期別船体コンディション

	F	A	平均喫水	trim	disp
入渠前	2.60	3.21	2.92	0.61	688.95
出渠半年	2.70	3.20	2.96	0.50	703.15
出渠後	2.70	3.17	2.94	0.47	699.69
平均	2.66	3.19	2.94	0.53	697.14

表2 速力試験計測記録表

速力試験計測記録表															練習船若潮丸						
平成12年3月																					
主機負荷	航走針路及び平均	入標時刻	標柱間所要時間	潮の順逆	真風向(度)	真風速(m/sec)	風の順逆	海面状態	対地速力			主機毎分回転数	ピッチ角(度)	軸馬力(S.H.P.(PS))	相対			当て舵舵角		横揺れ(度)	燃料消費量(L/h)
									vs	D.LOG.	G.P.S.				風向θ(度)	風速Vw(m/sec)	風速vw(kt)	P.S.	周期(sec)		
SLOW	063	1032	11 55.34		256	2.6	順	1	5.033	4.3	5.1	319	5.3	250	P55	1.9		Pf S0	-	-	41.28
	243	1053	12 50.02		269	2.4	逆	1	4.675	4.6	4.6	318.8	5.3	249	S10	3.8		2 0	8.5	P3 S3	41.62
	平均		12 22.68						4.847	4.45	4.85	318.9	5.3	249.5							41.45
HALF	063	1118	6 56.55		252	1.6	順	1	8.642	8.5	8.6	321.5	10.5	375	P3	3.4		1 0	-	-	59.57
	243	1133	7 36.21		284	1.8	逆	1	7.891	8.3	8.4	321.6	10.5	373	S8	4.7		1 0	8	2.5 2.0	59.13
	平均		7 16.38						8.25	8.4	8.5	321.55	10.5	374							59.35
FULL	063	1147	5 37.88		324	1.6	順	1	10.655	11	10.6	319.8	14	539	P29	5.2		1 0	-	-	79.93
	243	1202	5 57.42		329	3.3	逆	1	10.072	9.8	10.2	319.6	14	541	S33	6.5		1 0	7.5	2.5 1.5	80.4
	平均		5 47.65						10.355	10.4	10.4	319.7	14	540							80.165
NAV FULL ①	063	1223	4 49.04		355	3.3	逆	1	12.455	12.6	12.5	368.4	15	933	P27	7.5		0.5 0	6	1.2 1.5	136.93
	243	1240	5 5.52		333	3.7	-	1	11.783	11.9	11.9	368	15	937	S32	7.5		0 1	8	3.0 2.3	137.65
	平均		4 57.28						12.11	12.25	12.2	368.2	15	935							137.29
NAV FULL ②	063	1255	4 43.31		245	2.5	逆	1	12.707	12.8	12.5	366.8	16	1016	P17	7		1 0	6	2.2 2.4	149.68
	243	1306	4 56.45		303	2.6	逆	1	12.144	12	12.1	366.8	16	1019	S14	7.3		0 1	9	3.5 2.8	150.91
	平均		4 49.88						12.419	12.4	12.3	366.8	16	1017.5							150.295
実施年月日:平成12年3月22日							喫水			SG:		1.0175									
出渠後?日: 168							F: 2.78 P: 3.05			Trim: 0.44											
実施海面:滑川市沖速力試験柱間							A: 3.22 S: 2.97			Disp: 718.36		平成11年10月6日出渠									
速力試験柱間(m):1852m																					

cmが最小、平成13年3月出渠半年の77cmが最大となった。試験時の船体コンディションの各時期毎の平均値を表1に示す。若干入渠前の条件が良くなっているが、考慮するほど大きな影響はないと考える。計測項目については、表2に計測表の一例を示す。

3. 速力試験結果

今回は計測データの中から、計算による対地速力、本船の中間軸に取り付けた検出リングでねじりモーメントを検出し算出する軸馬力計による軸馬力SHP(PS)、及びサービスタンク出口のフローメーター読み取りによる燃料消費量(L/h)に着目し解析した。

風圧による影響は、出来る限り海上平穏の日を選んで実施したが、風速の目立つところで平成15年3月出渠半年の真風速9.3m/s 1データ、平成12年9月入渠前の8.2m/s 1データ、平成9年10月出渠後の7.6~11.8m/s 3データ、及び平成9年9月入渠前の8.5~12.0m/s 3データの合計8データがやや強風の中での試験となったが全データ数76の内の10%程度であり、その他は概ね6m/s以下で実施出来た。その影響がどの程度か、NAV.FULL②、FULL、SLOWの各区分で最も真風速の高かった時を抽出して計算してみた。

伝達馬力DHPを軸馬力SHPよりプロペラ計算書⁽⁵⁾に用いられている伝達効率 $\eta_t=0.97$ により求める。
 $DHP = \eta_t \cdot SHP$ (1)

トルク係数qを求める。

$$q = \frac{Q}{\rho D^5 n^2} = \frac{26470 \cdot (DHP)}{D \cdot N^3}$$
 (2)

Q: 測定トルク (kg-m), n: 毎秒回転数,

ρ : 海水密度=1.025×101.96=104.51 (kg-s²/m⁴),

D: プロペラの直径=1.95m, N: 毎分回転数

ここで順風にw, 逆風にaをつける。

トルク係数を無風状態に修正する。

順風の場合

$$q = q_w + (q_a - q_w) \cdot \frac{V_s^2 - k_w w^2}{k_a V_w a^2 - k_w V_{ww}^2}$$
 (3)

逆風の場合

$$q = q_a - (q_a - q_w) \cdot \frac{k_a V_w a^2 - V_s^2}{k_a V_w a^2 - k_w V_{ww}^2}$$
 (4)

V_w: 相対風速 (kt), V_s: 船速 (kt)

風向影響係数kは、計測した相対風向からグラフ⁽⁶⁾より読み取る。

順風及び逆風より換算したqの平均曲線から同一N値における値をq₂とし、qの変化 Δq を求める。

$$\Delta q = q_0 - q$$
 (5)

プロペラ前進速度の変化 ΔV_0 を求め、船の前進速度の変化 ΔV_{sw} を求める。

$$\Delta V_0 = \alpha DN \cdot \Delta q$$
 (6)

$$\Delta V_{sw} = \frac{\Delta V_0}{1-w} = \frac{\alpha \cdot D}{1-w} \cdot N \cdot \Delta q$$
 (7)

ここで、プロペラ計算書より比例常数 $\alpha^{(7)}$ と伴流係数wを求める。

$$\alpha = J / (30.867 \cdot kq)$$
 (8)

伴流係数wは、qに対応する前進係数Jの値を読み、
 $V_0(kt) = 1.944v_0 = 1.944J \cdot (Dn)$ (9)

$$w = (V_s - V_0) / V_s$$
 (10)

試算による速度変化 ΔV_{sw} は、FULLの0.011ktが最大であり、他は0.01ktにもならなかったので考慮する程の値とはならなかった。

また、潮流の影響は黒部川河口付近では、上げ潮流は北東方、下げ潮流は南西方へ流れるようであるが、流速は0.5kt以下である⁽⁸⁾。流向は、基準針路と同じであるが、ある程度は往復で相殺され、計測時にもほとんど潮流を感じることはなかった。

したがって、風潮流による影響を計算により除去する方法は紹介されているが、今回はその影響がごくわずかであるために、実測値を修正せずに集計し比較することとした。

3. 1 速力区分ごとの比較

本船の機関オーダーテーブルは表3に示す通りである。速力試験は、出来る限りその速力区分に従いSLOWから実施し、主機回転数はFULLまでは320rpm、NAV.FULL①②は360~370rpmとし、翼角はSLOWからFULLはテーブルに従い、NAV.FULL①で15度、②で16度を基準とした。しかしながら、若干の差が現れたので主機回転数と翼角の実測値の平均を表4に示す。

まず、速力区分に対する計測値の比較をするために、全データを、出渠後、出渠半年、及び入渠前で分けて、それぞれの速力区分ごとに平均値を求めて、グラフにした。

速力区分に対する速力を、出渠後、出渠半年、入渠

表3 ENGINE ORDER/RPM/BLAD ANGLE/SPEED TABLE

分画	翼角 (度)	推定船速	M/E回転数
SLOW	5.1	5	320
HALF	10.2	8	
FULL	14.2	10	
NAV' FULL	14.2-17.1	10.0-13.1	320-370

前で比較したもの、出渠後の速力からの速力の減少量を比較したもの、及び出渠後の速力を100%として速力を百分率で比較したものを図1に示す。同じく速力区分に対する軸馬力を比較したもの、出渠後の軸馬力からの軸馬力の増加量を比較したもの、及び出渠後の軸馬力を100%として軸馬力を百分率で比較したものを図2に、同じく、燃料消費量の比較を図3に示す。

表4 翼角及び主機回転数の実測値

翼角	出渠後	出渠半年	入渠前	平均
SLOW	5.00	5.04	5.04	5.03
HALF	10.14	10.11	10.07	10.11
FULL	14.09	14.03	14.10	14.07
NAV. FULL①	15.07	14.99	15.04	15.04
NAV. FULL②	16.18	16.22	16.10	16.19

主機回転数	出渠後	出渠半年	入渠前	平均
SLOW	319.2	318.9	318.5	318.9
HALF	319.1	321.8	319.6	320.2
FULL	319.6	320.5	320.7	320.3
NAV. FULL①	359.4	370.1	361.9	363.3
NAV. FULL②	366.8	369.1	367.0	368.1

速力は、出渠半年での減少量は、速力の小さい区分程大きい傾向で、0.4~0.2kt程の減少である。しかし、入渠前になると、同じ傾向が顕著に現れるようになる。HALFでは、0.9ktも減少したことが解る。比率で見ると、速力が小さい程、減少率は大きくなり、SLOWでは、出渠半年で10%、入渠前では15%も減少している。速力が大きいと減少率も少なくなり、FULL以上では、入渠前でも5%程度である。

先代若潮丸⁽⁹⁾では、低速域で10%全速域で6~7%の速力低下したとあるが、この数値は本船でもほぼ一致する。

軸馬力は、速力とは逆の傾向で、出渠半年での増加量は、速力の大きい区分程若干大きい傾向で、30~80PS程であった。入渠前には、100~170PSの増加が見られる。比率で見ると、出渠半年ではほぼ同一で、10%弱の増加、入渠前では、速力が小さい程増加率は大きくなり、SLOWでは40%も増加しているが、FULL以上では15~20%程度の増加である。

燃料消費量は、当然ながら軸馬力と同様の傾向を示し、出渠半年での増加量は、速力の大きい区分程大きい傾向で、5~10L/h程であった。入渠前になると、15~25L/hの増加が見られる。比率で見ると、出渠半年では、全体に10%程度の増加、入渠前では、速力が小さい程増加率は大きくなり、SLOWでは35%も増

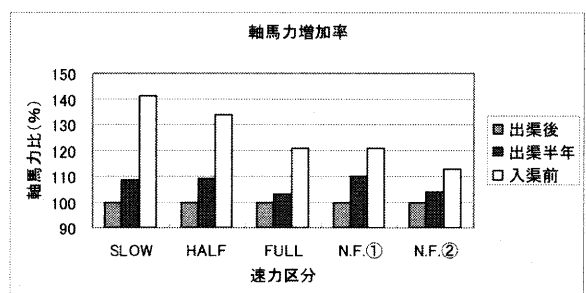
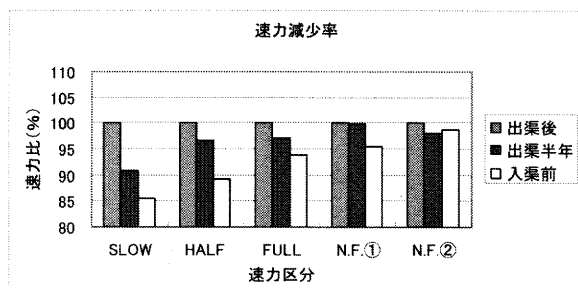
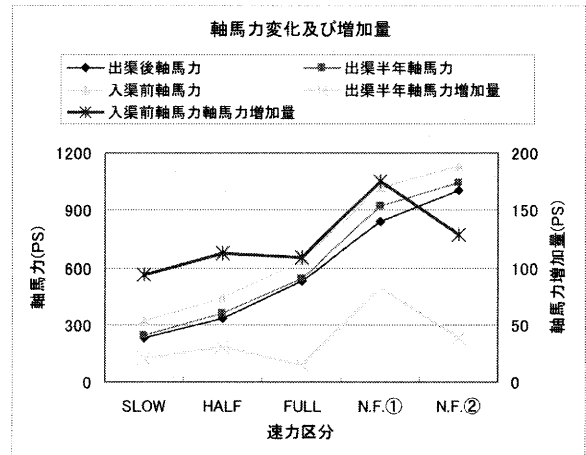
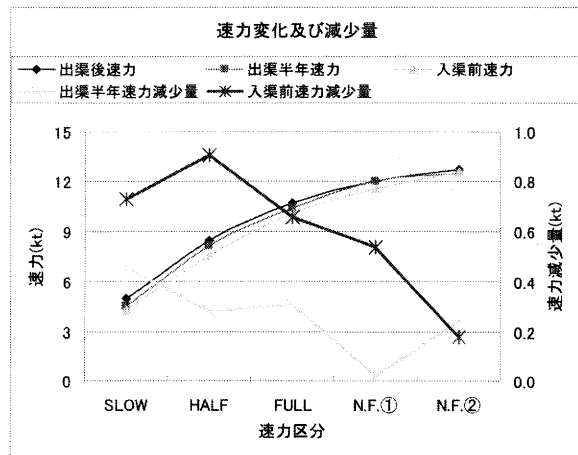


図1 速力区分に対する速力比較

図2 速力区分に対する軸馬力比較

加しているが、HALF以上では10~25%程度の増加である。8 ktにあたるHALFでは25%程度であるので、冒頭の1年で60%増加にはとても及ばないといえる。

3. 2 出渠後の経過日数による比較

つぎに、出渠後の経過日数に対する計測値の比較をするために、全データを、速力区分のSLOW, HALF, FULL, NAV.FULL①, 及びNAV.FULL②で分けて、出渠後の経過日数を平均化し出渠後(4日), 出渠後半年(161日), 及び入渠前(345日)とし各計測値の平均を求めて、グラフにした。

出渠後経過日数に対する速力を、速力区分SLOW, HALF, FULL, NAV.FULL①, NAV.FULL②と比較したもの、及び出渠後の速力を100%として速力を百分率で比較したものを図4に示す。同じく出渠後の経過日数に対する軸馬力を比較したものと、及び出渠後の軸馬力を基準として軸馬力の増加率を比較したものを図5に、同じく、燃料消費量の比較をしたものを図6に示す。

速力は、速力区分には関係なく同様に緩やかに減少することが解る。比率では、速力が小さい程減少率は大きく、SLOWでは1年後には15%減少する。軸馬力と燃料消費量は緩やかに増加し、増加率では速力が小さい程大きく増加し、SLOWでは40%増加する。

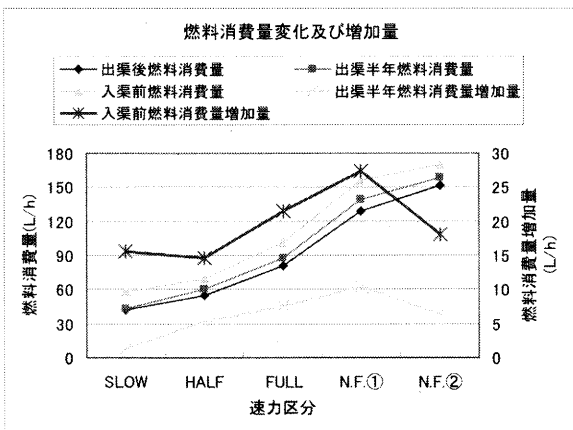
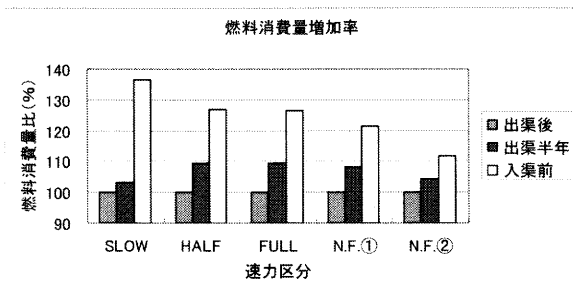


図3 速力区分に対する燃料消費量比較



3. 3 機関性能曲線との比較

今回の計測データと機関性能曲線とを比較するために馬力に対する燃料消費量 (kg/h) に近似直線を加えたもの、馬力に対する燃料消費率 (g/PSh) 及び馬力に対する航走距離あたりの燃料消費率 (L/Mile) に近似曲線を加えたものを図7に示す。

燃料消費量は、試験時期に関係なく理論通りの右上がりの直線となり、燃料消費率は、3/4~4/4 負荷近くで最低となる下丸みの曲線⁽¹⁰⁾となり、ほぼ計測値が信用できることが解る。しかし、傾きは似通っては

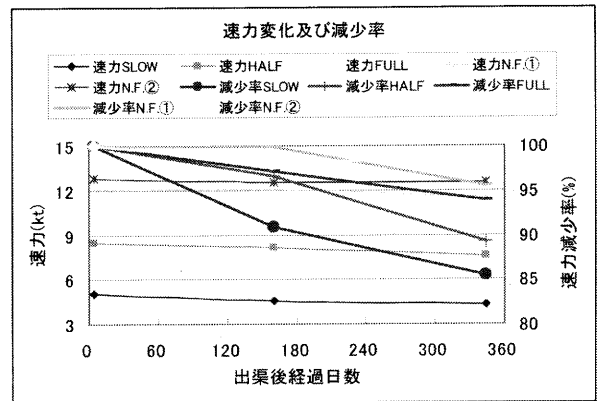


図4 経過日数に対する速力比較

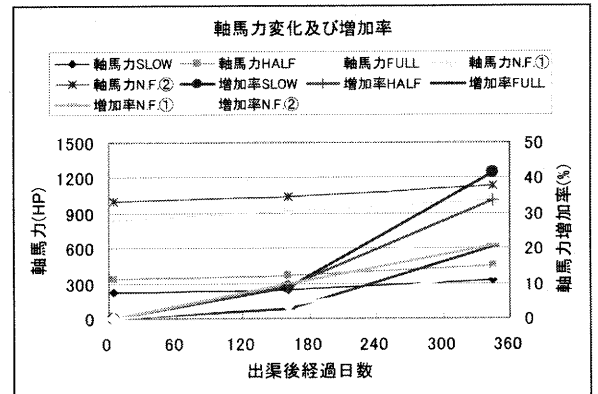


図5 経過日数に対する軸馬力比較

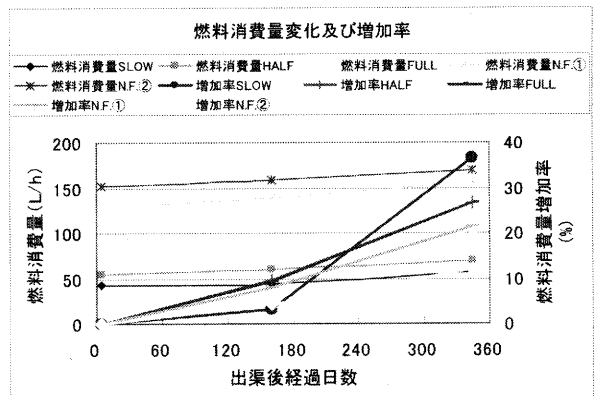


図6 経過日数に対する燃料消費量比較

いるが若干傾きが大きく、燃料消費量は性能曲線よりも各馬力で10~20kg/hほど少なめの値となっている。

また燃料消費率は、1000PSで概ね3/4負荷であるが、800~900PSで最低となり、全体に性能曲線と比べ20g/PSh少なくなっている。燃料消費率が少ないということは機関性能が良いということで歓迎することであるが、今回の減少の原因は、測定軸馬力が実際よりも大きめに現れている可能性が高いと考えられ、馬力に対する燃料消費量直線と比較すると、その量は軸馬力計の数値で700PSまでは100PS程度、そこから徐々に差は大きくなり、1000PS以上では150PS程度大きくなっている。

航走距離あたりの燃料消費率では、出渠後の時間経過とともに大きくなるが、900PS以上ではその差があ

まり現れないが、それ以下の馬力では小さくなる程その差が大きくなっている。300PSになると、入渠前には5L/Mileも大きくなり70%の増加となる。

次に、速力に対する軸馬力(PS)及び燃料消費量(L/h)に近似曲線を加えたものを図8に、速力に対する航走距離あたりの燃料消費率(L/Mile)に近似曲線を加えたものを図9に示す。

軸馬力及び燃料消費量は、同じ傾向で8kt以上になると速力の3乗に比例する⁽¹¹⁾ことがよくわかる。またそのあたりから出渠後経過時間による増加量も大きくなっている。同じ速力を得るためには、軸馬力では5ktでは1年で100PSの増加が必要で、航海速力の12.5ktでは280PSの増加が必要となり、およそ1.5倍の軸馬力が必要になる。また燃料消費量では5ktでは1年で18L/hの増加が必要で、航海速力の12.5ktでは42L/hの増加が必要となり、およそ1.4倍の燃料が必要となる。

航走距離あたりの燃料消費率によれば、最経済速力に当たる最少点は時期には関係なく、約8ktとなり、通常は3/4負荷あたりになるはずであるが、本船では、1/2負荷以下となりかなり少なめになっている。そのときの燃料消費率は出渠後で6.2L/Mile、入渠前で9.2L/Mileとなり、重要な数値であるが1年間で約50%増加することとなり、この数値は冒頭の1年で60%増加に近い数字となる。航海速力の12.5ktでは、11L/Mileから1年で15L/Mileとなり、約40%の増加となる。

4. 解析結果

本船は、セルフポリッシュの船底塗料を使用しているために、エポキシ系の船底塗料を使用していた先代若潮丸と比べて船底汚損は減少していると考えられる。しかし、通常の船舶と比較し、停泊時間が長いために汚損は多めになり、本船では航海日数率が17%となるために、航海日数率が100%の船と比べ3倍となり、50%の船と比較しても1.3倍となる。また船底汚損となる付着物は、入渠時期からして半年までは、冬季間ということで汚損は少なく、その後入渠前に、夏季間を経過し多くなるといえる⁽¹²⁾。したがって、試験データの出渠半年までよりも、その後の入渠前までの半年間に、船底汚損の影響は多く現れるはずである。しかし本船では、入渠時に確認している船底は、意外にも汚れは少なく感じている。汚損時の船底の様子を写真1, 2, 3に示す。

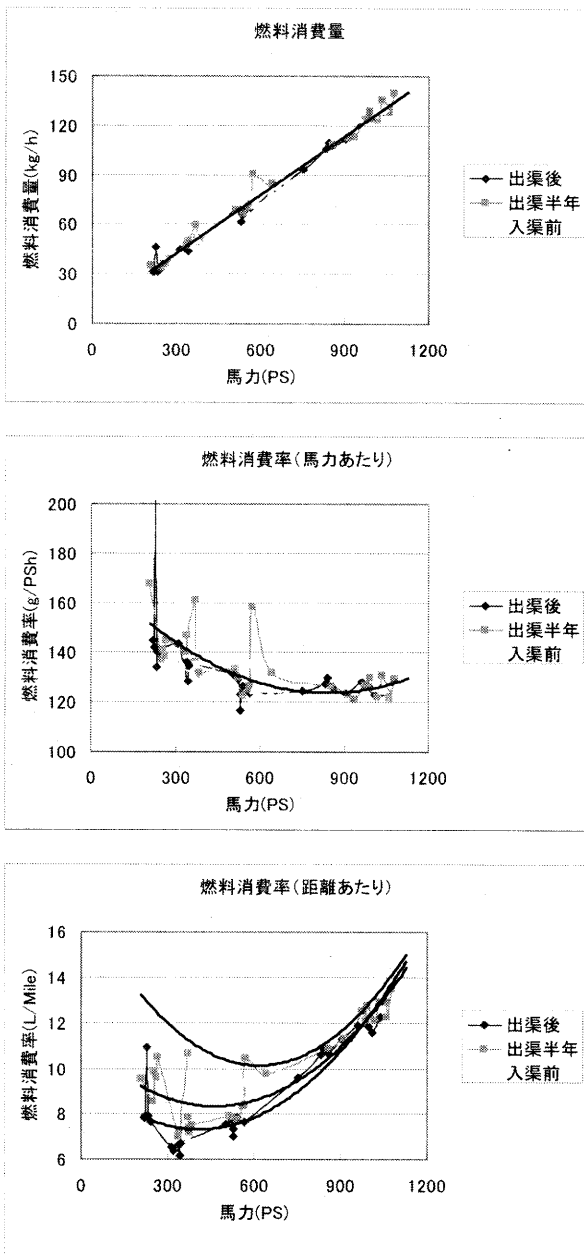


図7 馬力に対する燃料消費量及び燃料消費率

4. 1 船底部汚損の影響

商船の普通の速度の範囲では摩擦抵抗は水から受ける全抵抗の70~80%を占め、空気抵抗は、水抵抗の1~3%程度に過ぎない⁽¹³⁾。そこで今回は、水による摩擦抵抗に限定して算出してみた。計測値のばらつきを減少させるために、各速力区分ごとに、出渠後、出渠半年、入渠前での各計測値の平均値により算出し比較した。

船底清浄時の船底の摩擦抵抗 R_F (kg) は、フルードの実験式⁽¹⁴⁾より求める。

$$R_F = \rho \lambda S V^{1.825} \quad (11)$$

ρ : 海水の比重, λ : 摩擦抵抗係数

$$\lambda = 0.1392 + 0.258 / (2.68 + L) \quad (12)$$

L : 船の長さ (m), S : 浸水面積 (m^2) デニーの式より

$$S = 1.7L \cdot d + W/d \quad (13)$$

d : 喫水 (m), W : 排水容積 (m^3), V : 船速 (m/s)

次に船底が汚れた場合の摩擦抵抗 R_f (kg)⁽¹⁵⁾を求める。

$$R_f = f' S V^{2.1} \quad (14)$$

f' : 船体汚損時の摩擦抵抗係数はグラフ⁽¹⁶⁾より
半年では0.03, 1年では0.05とした。

S : 浸水面積, V : 速力 (kt),

次に船体抵抗, 全抵抗 R (kg) を求める。

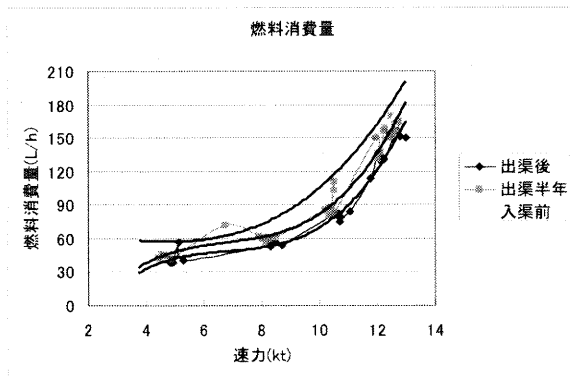
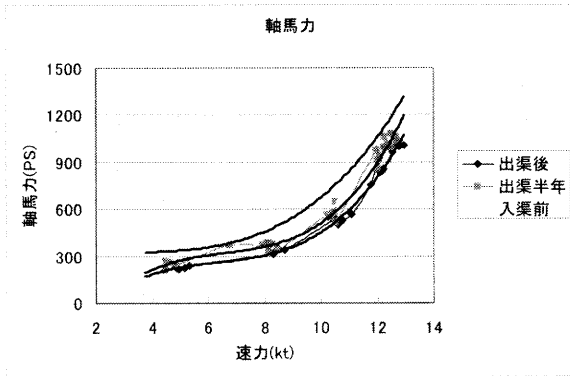


図8 速力に対する軸馬力及び燃料消費量

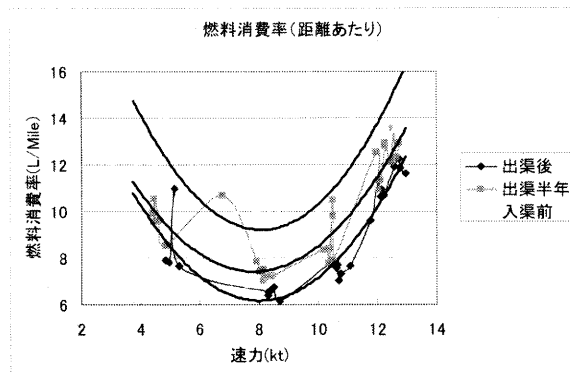


図9 速力に対する燃料消費率

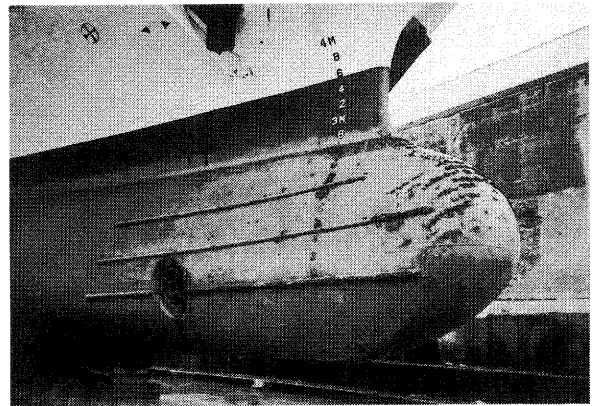


写真1 船首付近

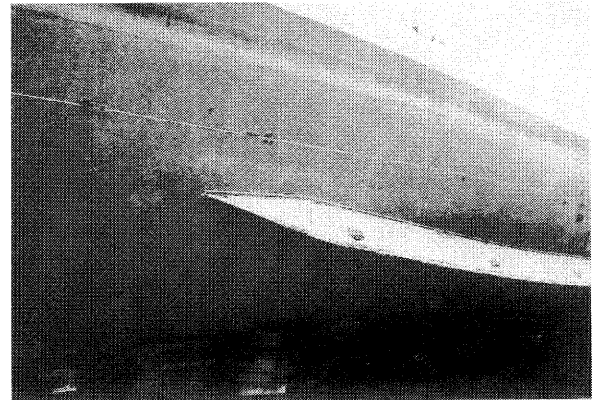


写真2 船体中央部付近

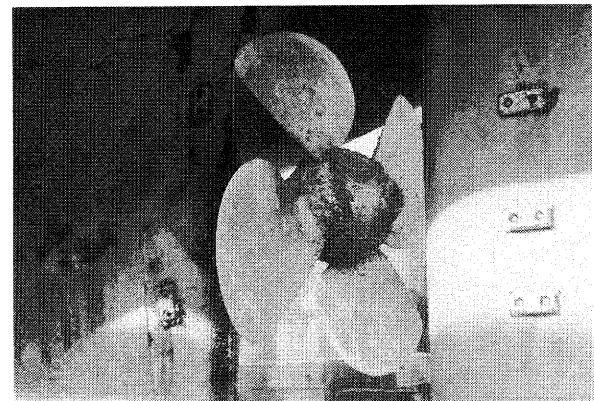


写真3 船尾付近

$$R = EHP \cdot 75 / V \quad (15)$$

V : 船速 (m/s) ,

$$EHP = \eta h \cdot THP \quad (16)$$

船体効率 $\eta h = 1.13$ (入渠前) ~ 1.1 (出渠半年)

トルク係数 q を式(1), 式(2)より求め, q に対するプロペラ効率 $\eta q^{(17)}$ をプロペラ計算書より読み取り,
 $THP = \eta p \cdot DHP = J / 2\pi \times kt / kq \times DHP \quad (17)$

速力区分ごとの摩擦抵抗と全抵抗を図10に示す。全抵抗中の摩擦抵抗の比率を図11に示す。抵抗の増加率を図12に示す。

船底摩擦抵抗は速力区分が大きくなる程, 時間経過による船底汚損の影響が大きくなることが解る。逆にいえば, 低速での影響は少ないことになる。

摩擦抵抗比率は, 入渠前になると疑問のある値となるが, 出渠後, 出渠半年では全抵抗の50%前後であることが解る。船底汚損により, 船底の摩擦抵抗の割合

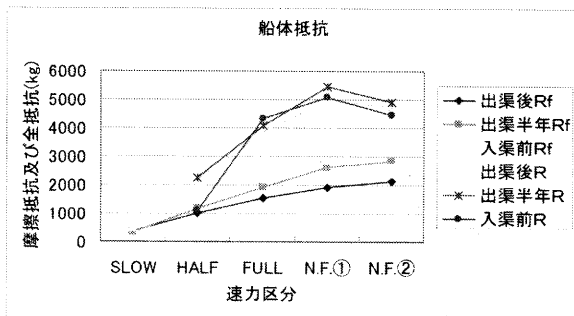


図10 船底摩擦抵抗及び全抵抗

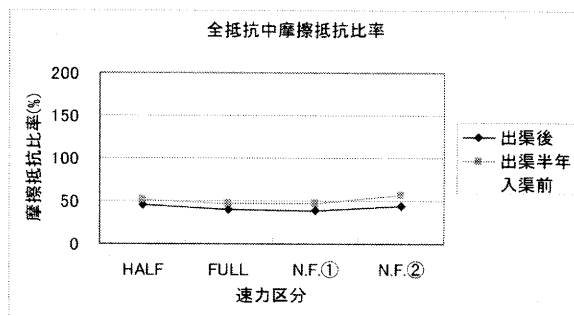


図11 全抵抗中の摩擦抵抗比率

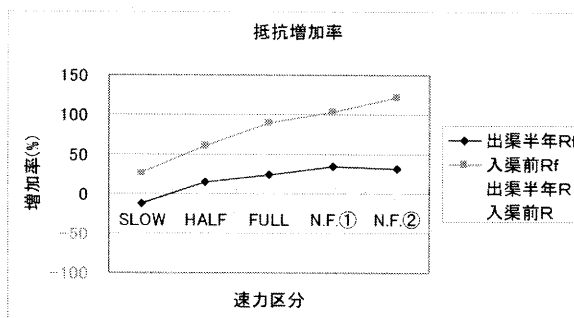


図12 船底摩擦抵抗及び全抵抗増加率

が大きくなることも解る。

抵抗増加率では, 一部で減少する部分があり, 計算方法が本船には適さないのかといった疑いが考えられる。全般的な傾向としては, 速力が大きい程抵抗値の増加も顕著に現れている。

先代若潮丸⁽¹⁸⁾では, 8.5ktと10.3ktでの資料で本船ではHALFとFULLに該当するが, 双方の清浄時の摩擦抵抗を基準とすると, 本船の汚損時の摩擦抵抗はやや大きくなり, 清浄時の全抵抗は妥当な数値であるが, 汚損時の全抵抗が極端に小さな値となっている。先代若潮丸では船底汚損比率は平均50%以下であったが, 本船では同様な数値が現れていない。さらに, 1年間で全抵抗は10%増加, 摩擦抵抗は15~20%増加となっているが, 本船では摩擦抵抗で60~90%の増加となった。そこで船体効率を1.13としていたが, 少なく評価しすぎたのではとしてあるが, 本船でも同じことがいえる。

これらの計算値の異常は, 必要な数値をプロペラ計算書より読み取る場合に, 実際のプロペラピッチと差がある表を用いたことが一つの原因と考える。計算書によると, 15度, 10度, 5度と5度刻みであるために, FULLとNAV.FULL②で1度程異なるが, 計算書の15度の値を使用したために, FULLでは実際よりも大きなプロペラ効率となり, 実際全抵抗は計算値よりも少なくなり, NAV.FULL②では小さなプロペラ効率となるために実際全抵抗は計算値よりも大きくなるといえる。特にSLOWでは枠外となり, 計算書よりプロペラ効率を読み取ることが出来なかった。これは, 軸馬力から算出するトルク係数が過大に表示されたために, 実際のプロペラ能力よりも大きい推力が発生していることになるからと考える。またこのことから, 全ての実際全抵抗は計算値よりも大きくなる。しかし逆に, プロペラの汚損によりプロペラ効率は悪くなり, 出渠後の経過日数とともに全抵抗は少なくなるということもいえる。

弓削丸の調査では清浄時トルク係数は0.0201汚損時は0.0354または0.0342と70%増加する⁽¹⁹⁾とされているが, 本船ではHALFからNAV.FULL②の各速力平均で, 0.0138から0.0164と約1/2の数値となり16%の増加でしかなかった。一概に比較は出来ないが, このことから, トルク係数算出の元となる軸馬力に疑問があるといえる。

今回の抵抗計算では, 各係数は標準的な値を用いたが, 計算式が問題なく本船にも適用できるとすれば, 全抵抗における増加量が, 妥当な数値として現れなかったために, やや摩擦抵抗が大きく算出されたとか

える。

4. 2 速力低下等の予測

次に、本船での定期検査は5年ごとで、一種中間検査はその中間ということとなり、2年または3年として入渠インターバルを考え、毎年の船底底洗いを延長した場合の影響を探るために、船底の汚損が時間経過に比例して増加することと仮定し、図4～図6の入渠前までのデータを基準として出渠後の経過日数を経過月数に変換し、経過月数をx軸とし、経過月数に対する速力の減少率、軸馬力の増加率及び燃料消費量の増加率を36月まで比例的に予測し推定した。

$$y = a + bx \tag{18}$$

$$a = \bar{Y} + b\bar{X} \tag{19}$$

$$b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \tag{20}$$

速力の減少率、軸馬力の増加率、及び燃料消費量の増加率予測を併せて図13に示す。

速力はSLOWでは2年で30%、3年で45%低下、FULLでも2年で10%、3年で20%低下することとなる。

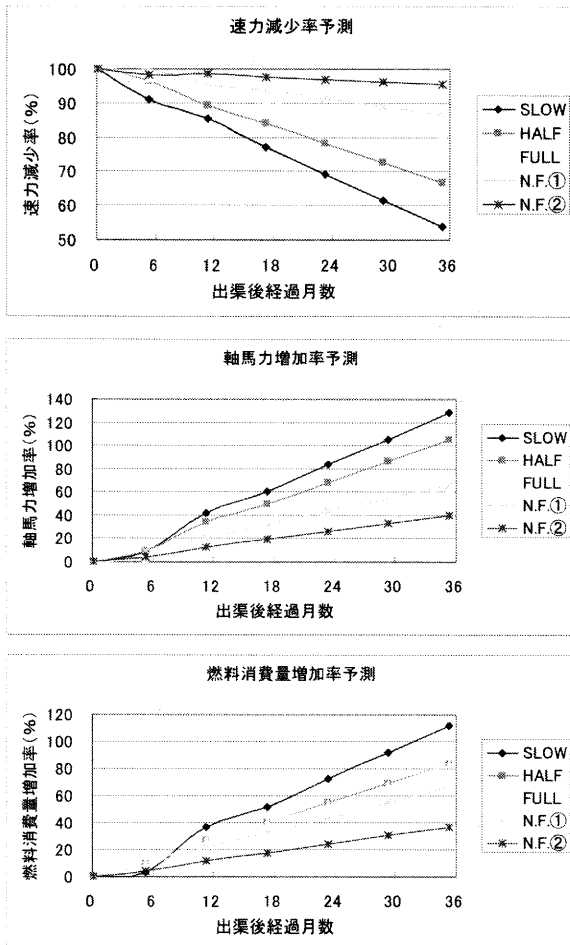


図13 経過月数に対する速力他の変化予測

軸馬力はSLOWでは2年で30%、3年で130%増加、FULLでも2年で40%、3年で60%増加することとなる。つまり、同じ速力を得るためには、それだけの機関出力の増加が必要になる。

燃料消費量は軸馬力と比例するが、SLOWでは2年で70%、3年で120%増加、FULLでも2年で40%、3年で70%増加することとなる。これも、同じ速力を得るためには、常用航海速力に近いFULLでは速力の減少分を加味すると、2年では1.5倍、3年では2倍の燃料消費が必要になるということである。

5. まとめ

操船への影響は、出渠後1年経過でSLOW及びHALFでは0.7~0.9kt減少することを念頭に入れておかなければならず、離着岸操船時の速力制御においてSLOWが5ktから4ktに減少し、HALFでは8ktから7ktに減少している状態での操船が必要となる。言い換えれば、入渠の船底整備により入渠前と出渠後の操船感覚は大きく変わり、出渠後は予想以上の速力が出るように感じることに注意が必要であるということである。また、その速力低下の原因が船底の摩擦抵抗増加にあるとして、同じく後進の推力も減少するということになる。つまり、発動惰力、停止惰力及び反転惰力に大きな影響を及ぼしていることとなる。発動惰力は長くなり停止惰力は短くなるといえ、反転惰力については、船底の摩擦増加は短くする働きがあり、プロペラの逆転による効果はプロペラ効率が減少するというで悪くなるといえる。旋回性能に関しては、船底の摩擦増加がどのような影響を及ぼすかは、一概にはいえず今後の課題となる。また、本船では、離着岸操船では、バウスラスト及びスターンラストを併用しているが、船底汚損により速力が減少し、同等速力を得るためには、馬力の増加が必要ということは、スラストの能力にも影響を及ぼしているといえる。本船のスラスト推力試験⁽²⁰⁾は4月に実施しているために出渠半年と入渠前の数値と比較すると、前進において必要な馬力は、低速時には300PSから340PSへと40PSの増加があり、約13%必要馬力は増加する。スラストに当てはめると、バウスラストでは計測値の推力1184kgが約1050kgに、スターンラストでは875kgが約770kgとなり、有効限界風速の8.1m/sがさらに減少することとなる。したがって、スラストのみでの離着岸操船を行う場合には、このスラスト能力の減少をも考慮する必要があるといえる。いい換えれば、船底の摩擦抵抗の増加は、操船においての船体運動の制

御能力に制限を加えることとなるということである。

次に経済性から見ると、低速域では、同等速力を得るためには、馬力の増加が必要であり機関への負担が増えるといえる。また、1年間で燃料消費量がFULLで30%増加するという事は、燃焼効率について詳細に考慮しなければ、機関運転による排気ガスの放出量も増加することとなり、海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律等の一部を改正する法律案でも取り上げられる程に、地球温暖化の原因として、ディーゼル機関からの排出ガスによる大気汚染が大きな問題として取り上げられている昨今では、注視する必要がある。さらに、燃料消費量は、2年で50%、3年では100%も増加することが推測された。現在は毎年の入渠により、1年間までの数値で収まっているが、今後、入渠インターバルの延長を考慮する場合には、この燃料消費量の増加や、速力の低下を考慮して検討する必要がある。逆にいえば、燃料消費量の増加や速力の低下から、毎年の入渠の重要性が判断できる。

先代若潮丸では1年で機関負荷は50%増加が、本船では20~35%、燃料消費量は50~80%の増加が本船では25%の増加となった。比較すれば、本船では船底汚損の影響が減少しているといえる。これは、航海日数などは、それほど変化していないために、違いといえれば、本船の船底塗料が好条件を及ぼしていると考えられる。

しかし、プロペラ効率は30%低下していて、船底汚損による速力低下は、3~5%に過ぎず、摩擦抵抗の増加は17%でしかなく、回転が上昇しない原因は推進器にある⁽²¹⁾とか、別の時期に馬力は13~16%の増加を示している反面、速力の低下は3~6%に過ぎず、プロペラの汚損が負荷増大の主因を成している⁽²²⁾など、プロペラの汚損の影響についても種々取り上げている。また深江丸では、入渠前と出渠後の比較で船底のみの洗浄では船速は低速では1.5%、高速では4.1%の増加、プロペラの洗浄を加えると低速で13.8%高速で1.1%の増加が見られ、船速が高いとプロペラよりも船底の影響が大きく3.5%燃費が良くなる⁽²³⁾としている。非常に気に懸かる報告であり、今回は敢えて取り上げなかったプロペラの影響についての解析も重要であると感じる。

また、推進効率 $\eta = \text{EHP}/\text{BHP} = \text{EHP}/\text{SHP}$ は中小型船では約50%となるようである⁽²⁴⁾が、本船の計測値で算出してみたところ、HALFでは35%、FULLとNAV.FULL①では50%、NAV.FULL②では40%となり、入渠前には5~10%減少する。本船の推進効率が実際に劣るのかも検証が必要である。

今回は、出来る限り一般に利用されている計算式を用い、データについても多くを使用することしたために、やや疑問のある計測値でも取り入れて集計した。それに起因するのかどうかは解らないが、一部で不満足な解析結果に終わってしまった部分がある。今後機会があれば、より厳密な計測方法で、目的に見合った計測時期を選ぶ必要を感じた。例えば、疑問のあるデータを間引くことや、単年度で連続して計測を行うこと等により、より正確な傾向が探れると考える。しかし、今回の解析により大まかな傾向はつかめたので、現在のデータでも使用する計算式を工夫することにより、より有益な情報をつかめる見込みがある。

6. おわりに

本稿では、速力試験の結果報告を目的としたが、資料を調べていくにつれ、様々な疑問点や問題点が増えていき、最終的にまとめ上げることが出来るのか不安に駆られたときもあった。しかし、不十分な点が多いまでも、この発表にこぎ着けることが出来た。

今回気付いた今後の課題としては、軸馬力計の補正、試運転成績との比較方法、経年による変化、プロペラの汚損による影響の程度、外乱による影響の程度などの多数の問題が考えられた。今後、解明していきたいと思う。

最後に、今まで8年間に渡る試験に際しては、若潮丸乗組員の惜しみない協力を得て有益な計測データが収集でき、本論をまとめる上では、機関部関係については佐々木正機関長並びに篠島司郎一等機関士に、船体部関係では藤重良二船長に、的確な助言を頂き完成させることが出来ました。ここに、紙面を借りて謝意を表する次第です。

<参考文献>

- (1) 若潮丸完成図書, Maneuvering Information, 1995
- (2) 若潮丸完成図書, Result of Sea Trials, 1995
- (3) 本田啓之輔: 基本運用術第8版, 海文堂, 1988, pp.86
- (4) 池西憲治: 概説軸系とプロペラ, 海文堂, 1985, pp.105-110
- (5) かもめプロペラ株式会社: 若潮丸完成図書, プロペラ計算書, 1995
- (6) 大串雅信: 理論船舶工学(下巻)第9版, 海文堂, 1981, pp.209-220
- (7) 久住吉雄: 若潮丸速力試験解析報告, 富山商船

- 高等専門学校研究集録, 第14号, 1981年10月,
pp1-12
- (8) 海上保安庁水路部: 本州北西岸水路誌, 日本水路協会, 2002, pp.105-108
- (9) 久住吉雄, 藤重良二: 船底塗料の試験塗装結果について その2, 富山商船高等専門学校研究集録, 第7号, 1974年3月, pp38-45
- (10) 長谷川静音: 船用ディーゼル機関教範, 成山堂, 1985, pp.90-92
- (11) 川瀬好郎: 船用機関概論第8版, 海文堂, 1987, pp.2-3
- (12) 航海便覧編集委員会: 航海便覧第2版, 海文堂, 1979, pp.383-384, 576-578
- (13) 岩井 聰: 新訂操船論第3版, 海文堂, 1980, pp.54-61
- (14) 明渡範次: 基本航海力学, 海文堂, 1983, pp.226-233
- (15) 前掲(12), pp.383-384
- (16) 前掲(6), pp.71-106
- (17) 前掲(4), pp.76-88
- (18) 前掲(7), pp.1-12
- (19) 石黒 隆: 本校練習船の推進性能について, 商船高等専門学校紀要, 第4号1類, 1972年3月, pp.101-108
- (20) 藤重良二, 横井幸治, 川端一人, 佐々木正: 若潮丸IVのサイドスラスト実船実験について, 日本航海学会誌 NAVIGATION, 第132号, 1997年6月, pp.51-58
- (21) 前掲(7), pp.1-12
- (22) 久住吉雄: サンドブラスト施工後の若潮丸の速力について, 富山商船高等専門学校研究集録, 第15号, 1982年9月, pp.77-85
- (23) 鈴木三郎, 中井 昇: 海洋生物付着による船底汚損の影響について, 日本航海学会論文集, 第68号, 1983年1月, pp.55-64
- (24) 前掲(4), pp.5-7