青函連絡船の船底汚損が推進馬力 におよぼす影響について*

曾 襴 正 夫**

Influence of the Fouled Ship Bottom on the Propulsion Horsepower
of the Seikan Ferry-boats

By Masao Sone

To find out an optimum cycle of the ship bottom sweeping from the standpoint of service economics, an accurate increase in delivered horsepower due to the ship's bottom fouling was grasped and a statistical analysis was made referring to the deck logbook and the engineer's logbook in parallel with speed tests with actual vessels.

Some findings are as follows: (1) Values measured in speed tests before and after docking under conditions of 6200 tonne dwt and a given speed revealed that the annual increase in delivered horsepower due to the ship bottom fouling would be about 1000PS. (2) Variations in a decade, taking the initial service as the original point, both in delivered horsepower and in fuel consumption was at between about 10 and 15% increase.

1. ま え が き

常時、海水に接している連絡船の船底部は、船底掃除のためのドックを出てからの日数の経過につれて、フジツボ、アオノリなどの海洋生成物の付着が多くなってゆく。このように、船底部に海洋生成物の付着が増すと、船底部は滑らかな状態ではなくなり、航走するときの摩擦抵抗が増加して、同じ速力で航走するためには、推進馬力は増加する。

船底部には、以前から有機砒素系の毒物を含んだ防汚効果の高い船底防汚塗料を塗装して、海洋生成物の付着を極力少なくするように努めてきた。約10年ほど前から、この塗料の使用が禁止されたので、現在は、トリフェニル錫化合物と亜酸化銅を含んだ塗料を使用している。しかしながら、この有機系の毒物を含まない塗料は、有機砒素系の毒物を含んだ塗料に比べると、防汚効果の面で劣っているのが実情である。

このような船底部の汚れによる推進馬力の増加のため、燃料消費量も増加する。これに加えて、昭和48年秋に起きた石油ショックで、燃料費の単価は一躍3倍以上に高騰し、青函連絡船の動力費は大幅に増加した。

一方において、「津軽丸」型青函連絡船も、多機関マルチプル方式による自動化船として、津軽海峡に就航し

てから、早や14年ないで16年を経過しており、経年による推進馬力の増加量も十分考えられる。従って、この推進馬力の増加量が、さきの船底防汚塗料の防汚効果の低下による推進馬力の増加分に加味される。このように、連絡船はドックを出てから、約1年間、走り続けて、次のドックに入る時期が近くなると、船底部の汚れによる推進馬力の増加量は相当なものとなり、推進機関の出力の余裕は少なくなって、時と場合によっては、定時運航が苦しくなることも十分考えられる。

このような現状にかんがみ、青函連絡船の船底部の汚れによる推進馬力の増加量を正確には握して、運航経済上、最も有利な船底掃除・船底塗装の時期をみいだすことになり、昭和50年6月から調査に着手した。

本研究では、実船による計測ならびに、ログ・ブックなどを使用しての統計解析から、船底汚損対策として、6か月船底掃除およびサンド・ブラスト工事を試行し、船底部の汚れが推進性能に与える影響を明らかにした。

2. 調査の方法、計測項目および計測要領

2.1 調査の方法

2.1.1 調査船 調査はかつて旧海軍が、軍港または要港で、長時間にわたって行った浸漬試験のデータから、「出きょ後の経過日数と汚損量(海洋生成物の付着量)との関係は、出きょの時期により相違する」という理論を主体とした。そのため、今回の調査においては、春・夏・秋・冬の各季節に、船底掃除のためドック入りする

* 原稿受付 昭和55年10月1日

昭和54年春季学術講演(昭和54年5月23日)

** 正会員 鉄道技術研究所(国分寺市光町2-8-38)

同型船(“津軽丸”型客貨船)4隻を調査船とした。

具体的には、春季調査船(4月上旬出きょ船):A丸,夏季調査船(6月上旬出きょ船):B丸,秋季調査船(9月下旬出きょ船):C丸ならびに、冬季調査船(1月下旬出きょ船):D丸である。

今回の調査における調査マップを図1に、調査船の要目を表1に示す。

2.1.2 調査船による実船計測 実船による計測は次のとおりである。

(1) 調査船乗組の方々の協力をえて、ドックに入る直前[船底部が汚損された状態]および、ドックを出た直後[船底部が清浄な状態]の標柱間における速力試験ならびに、それ以降、約1週間おきに航路上(陸奥湾内)の一定区間における速力試験の計測。

図1 調査マップ

表1 調査船の要目

主要寸法	全長(m)	132.00
	垂線間長(m)	123.00
	型幅(m)	17.90
	型深さ(m)	7.20
	計画満載喫水(m)	5.20
	同上排水量(t)	6,367
総トン数(t)		5,380
航海速力(kt)		18.2
主機機械		四サイクル・ディーゼル機関
同上定格出力×台数		1,600 PS×8
発電機出力×台数		ディーゼル駆動交流700 KVA×3
プロペラ型式×個数		4翼可変ピッチ×2
パワースラスト型式×台数		4翼可変ピッチ×1
旅客定員(人)		1,286
車両有効長(m)		389(ワム換算48両)
初就航		昭39.5~昭41.11

解析に当っては、推進馬力・可変ピッチ・プロペラの送油管兼制御弁駆動管の動き(以下、プロペラ翼角値という名称を用いる)一船の速力の三者の相互関係を求め、これをもとにして、同一の排水量、同一の船の速力のもとで、航走する連絡船の出きょしてから経過日数に伴う推進馬力の増加量の関係をは握する。

(2) 調査船が船底掃除のため、入きょした直後の船側外板面(喫水線下)に付着した海洋生成物の観察ならびに、出きょする直前の船底防汚塗料の塗膜の厚さの計測。

調査は喫水線下の船側外板面に付着した海洋生成物の汚損状況と粗度をは握する。

2.1.3 ログ・ブックによる調査 調査船の初就航から現在までのログ・ブックに記載されている推進馬力に関連する運航諸元をデータ(航路上の一定区間を、速力17.0ノット以上で航走し、且つ、風力10m/s以下の航海状態)として、船底部が清浄な状態における推進馬力の経年の変化量をは握する。

2.1.4 燃料油消費量月報による調査 調査船の初就航から現在までの、燃料油消費量月報に記載されている青函航路1航海あたりの燃料消費量(月平均)をデータとして、船底部が清浄な状態のときの燃料消費量の経年の変化量をは握する。

2.2 計測項目と計測要領

2.2.1 実船による速力試験

調査船による速力試験の際の計測項目・計測要領は次のとおりである。

(1) 両舷推進軸の軸トルクの計測 両舷推進軸の軸トルクの計測は、推進軸に接着した抵抗線ひずみ計を使用し、FMテレメータを介して計測を行った。

測を行った。

(2) 両舷推進軸の回転数の計測 両舷推進軸の回転数の計測は、電磁誘導型のピック・アップを船体側に取り付け、推進軸の1回転ごとのパルスを検出して計測を行った。

(3) 両舷プロペラ翼角値の計測 実際の可変ピッチ・プロペラ翼角制御機構を、船内で検出することが不可能なため、送油管兼制御弁駆動管の動き、すなわち、補助サーボ・モータのピストン・ロッドの偏位量を、両舷のプロペラ翼角値として計測した。

(4) 速力値の計測 今回の調査における速力値の計測は、すべて対地速力とした。これは調査船が入きょする直前と、出きょした直後の速力試験において、地上に設備されている標柱間を使用している関係からである。また、ドックを出てから約1週間おきに施行した航路上の一定区間における速力試験においても、航路上の二地点を使用している関係から、対地速力値をとっている。

そのため、同一の試験状態で一往復の試験を行い、潮流や風力の影響を相殺している。

2.2.2 喫水線下の船側外面の調査 調査船が船底掃除のため、ドックに入った際の計測項目および計測要領は次のとおりである。

(1) 船側外面(喫水線下)に付着した海洋生成物の観察 調査船が船底掃除のため、ドックに入った直後に、喫水線下の船側外面に付着している海洋生成物を観察・調査した。

(2) 船側外面(喫水線下)に塗装した船底防汚塗料の塗膜の厚さの計測 調査船が船底掃除・船底塗装完了後、ドックを出る直前に、膜厚計を使用して、船底防汚塗料の塗膜の厚さを計測した。計測位置はキール上部4.7mの両舷5か所(Fr.No.55, 72, 89, 107および125)で、その位置を中心に垂直および水平方向、おのおの5mm間隔とし、40点ずつについて計測を行った。

3. 調査結果の解析

3.1 調査船による実船計測結果の解析

3.1.1 調査船の速力試験の成績 今回の調査において、調査船がドックに入る直前および、ドックを出た直後に行った速力試験の成績と、新造時の海上試運転の際の速力試験の成績との対比から、下記のことが判明した。

ここに一例として、C丸の成績を図2.1に示す。

(1) 調査船の船底部が清浄な状態のときの、経年による速力試験の成績の対比 調査船がドックを出た直後の、船底部が清浄な状態のときの速力試験の成績と、新造時の海上試運転の際の速力試験における成績とを比較する。

例えば、C丸では図2.1から、排水量6200トン、速力18ノットで航走するとき、新造時の海上試運転の際の速力試験の成績(鎖線)よりも、今回の出きよした直後の速力試験の成績(実線)の方が、推進馬力で約400PSの馬力増加がみられている。また、プロペラ翼角値を25度としてみると、約0.2ノットの速力の低下がみられている。

この二つの変動量は、いずれも新造後、約16年を経過したC丸の経年による影響量とみることが出来る。

(2) 調査船の船底部が清浄な状態のときの速力試験の成績と、汚損された状態のときの速力試験の成績との対比 調査船が出きよした直後の、船底部が清浄な状態のときの速力試験の成績と、約1年間走り続けたのちの入きよする直前の船底部が汚損された状態のときの速力試験の成績とを比較する。

例えば、C丸では図2.1から、排水量6200トン、速力18ノットで航走するとき、初年度の入きよする直前の速力試験の成績(破線)と、出きよした直後の速力試験の成績(実線)とを比較すると、推進馬力の増加量は約1500PSが知られる。

注1. 排水量6,200t

2. —×— 出きよ直後の成績
 ---△--- 入きよ直前の成績(初年度)
 ---▲--- 入きよ直前の成績(次年度)
 (プロペラ取替後)
 ---○--- 新造時の成績
 ■ サンド・プラスト施行直前の成績
 □ サンド・プラスト施行直後の成績

図2.1 速力試験の成績(C丸)

また、上記の出きよした直後の速力試験の成績(実線)と、出きよしてから、約1年間走り続けたのちの、翌年度の入きよする直前の速力試験の成績(小さな破線)とを比較する。図2.1から馬力増加量は約900PSが知られる。

実は、初年度のドック工事において、両舷推進器用プロペラ全翼の新替えを行ったため、次年度の成績をとおして前者の推進馬力の増加量約1500PSをみると、プロペラ全翼の取り替えによる影響量と、船底部の汚れによる増加量が加算された値とみることが出来る。また、後者の推進馬力の増加量約900PSは、船底部の汚れのみによる増加量とみることが出来る。このことから、C丸では船底部の汚れのみによる影響量は約900PSとみることが出来る。

また、プロペラ翼角値を25度で航走するとき、前記のように分析すると、船底部の汚れのみによる影響量は約0.40ノットとみることが出来る。

なお、通常の運航状態の際の推進馬力は約7,000PS、船の速力はほぼ17.5ノットである。

(3) 調査船のプロペラ全翼を新替えしたことによる影響量 連絡船の推進器用プロペラ翼表面の汚損度は想像以上に進んでおり、調査船A丸およびC丸は、新造時から使用していたプロペラ翼が、翼重量で約5%、肉厚

で約18%の衰耗が見られた。そのため、前項に記したように、検査工事の際に、プロペラ全翼(4翼×2軸)の新替えを行った。

例えば、C丸について、排水量6200トン、速力18ノットで航走するとき、前項で記したように、プロペラ全翼を新替えしたことにより、推進馬力で約600PS、速力で約0.25ノットの増加がみられた。

このことから、プロペラ全翼を新替えしたことによる推進馬力および速力への影響は無視することは出来ない。

調査船に使用している可変ピッチ・プロペラの要目を表2に示す。

表2 調査船に使用している可変ピッチ・プロペラ要目

型 式	KaMeWa 102/4型
プロペラ直径	3,250mm
ボ ス 直 径	1,020mm
ピ ッ チ 比 (0.7 Rにおける)	0.984
翼 数	4
1 翼 重 量 (フランジ部を除く)	約 630 kg
枚 質	BC 2
定格回転数	217.5 rpm

3.1.2 燃料消費量の変動 調査船の船底掃除のため、ドックに入る直前と、ドックを出た直後におこなった速力試験の際に、燃料消費量もあわせて計測した。

ここに一例として、C丸の成績を図2.2に示す。

(1) 調査船の船底部が清浄な状態のときの速力試験の成績と、汚損された状態のときの速力試験の成績とを対比する。

例えば、C丸では図2.2から、排水量6200トン、速力18ノットで航走するとき、初年度の入きよ直前と、

注1. 排水量6,200t

2. —×— 出きよ直後の成績
 - - - - 入きよ直前の成績(初年度)
 入きよ直前の成績(次年度)
 (プロペラ取替後)
 ▼ サンド・ブラスト施行直前の成績
 ▼ サンド・ブラスト施行直後の成績

図2.2 速力試験の成績(C丸)

出きよ直後の速力試験の成績を比較すると、船底部の汚れによる燃料消費量の増加量は約350 l/hである。

(2) 調査船のプロペラ全翼を新替えしたことによる影響をみる。

例えば、C丸では図2.2から、排水量6200トン、速力18ノットで航走するとき、プロペラ全翼を新替えしたことにより、約150 l/hの燃料消費量の減少がみられた。

3.1.3 経過日数に伴う推進馬力の変化 連絡船はドックで船底掃除・船底塗装を施行したのち、次のドックに入るまで約1年間航走するが、その間に推進馬力がどのような増加量の傾向を示すかを、さきの図1による調査をふまえてみる。

調査は、調査船のドックを出た直後の速力試験の成績を零ベースとして、出きよ後の日数の経過に伴う推進馬力の増加量の変化を図3に示す(標準状態*1に換算)。

なお、調査船4船の成績は、実際には時系列になっているが、ここではドック出きよ時を起点としてあわせた。図3から、下記のことが判明した。

(1) 調査船の推進馬力の増加量の変化についてみる。

(a) B丸(夏季調査船:破線) 6月下旬にドックを出たあと、約200日(12月中旬)を過ぎるころまで、なだらかに増加する。のち、約250日(翌年2月中旬)ころから、増加量は急速にふえる傾向である。

(b) C丸(秋季調査船:鎖線) 9月下旬にドックを出たあと、約100日(12月下旬)ころまで、急速に増加がみられる。以後は、ほぼ、なだらかに増える傾向である。

(c) D丸(冬季調査船:小さな破線) 1月下旬にドックを出たあと、約100日(4月上旬)ころまで急速に増加する。その後はほぼ一定である。

また、D丸の推進馬力の増加量の変化は、上記のC丸の増加量の変化と、ほぼ、同様の増加傾向を示している。しかし、出きよしてから、約1年後の入きよする直前の

図3 推進馬力の増加量と出きよ後の経過日数

*1 本稿では、D丸の航海実績から、排水量6200トン、速力17.6ノット、推進軸の定格回転数217.5 rpmの3要素を、今回の調査における標準状態とした。

推進馬力の増加量を、C丸と比較すると、約 600 PS 程度、D丸の方が低い数値を示している。

(d) A丸(春季調査船：実線)

4 月下旬にドックを出たあと、約 150 日(9 月上旬)ころまで、やや急速に増加する。のち、落ちついたかにみえたが、約 250 日(12 月中旬)ころから、増加量は急激にふえる傾向がみられる。

また、A丸の推進馬力の増加量の変化は、上記のB丸の増加量の変化と、ほぼ、同様の増加傾向を示している。しかし、出きょしてから約 1 年後の入きよする直前の推進馬力の増加量を、B丸と比較すると、約 400 PS 程度、A丸の方が高い数値を示している。

このように、調査船 4 船の調査を通じて、出きょ後の日数の経過に伴う推進馬力の増加量の変化は、出きょの時期により相違していることが知られる。

(2) 調査船が出きょしてから、約 1 年間、走り続けたのち、翌年度の入きよするまでの推進馬力の増加割合をみると、約 15~25% の増加割合を示している。

3.1.4 船側外板面(喫水線下)の汚損状況

(1) 船側外板面(喫水線下)に付着した海洋生成物の付着状況 調査船の喫水線下の船側外板面に付着した海洋生成物の付着状況を、調査船がドックに入った直後に目視により観察をおこなった。

観察の結果を下記に示す。

(a) いずれの調査船においても、海洋生成物の船側外板面への付着状況は、船首側・中央部側・船尾側と大別して観察を行ったが、両舷とも、あまり大きな差はみられない。

(b) いずれの調査船においても、海洋生成物の付着は、喫水線約 3m 以下の浸水部にはあまりみられていない。

この原因は太陽光線による影響ではないと思われる。

なお、調査船以外の乗組員の方々、ならびに造船所関係者からも、連絡船の喫水線下の船側外板面に付着する海洋生成物の付着状況について取材したが、いずれも上述の状況と大差ない。

(2) 喫水線下の船側外板面に塗装した船底防汚塗料の塗膜の厚さの調査 連絡船の喫水線下の船側外板面は新造の際、一様に船底防汚塗装を施したのち、毎年行われる船底掃除のためのドックにおいて、船底防汚塗料の塗り重ねにより、船側外板面には船底防汚塗料がたい積する。そのため、調査船について、初就航後、14 年ないし 16 年を経過した船側外板面の塗膜の厚さを、船底

図 4 船側外板(喫水線下)の塗膜の厚さ(C丸)

防汚塗装の完了後、ドックを出きよする直前に測定を行った。

調査結果から下記のことが判明した。

ここに一例として、C丸の成績を図 4 (左側)に示す。

(a) 垂直方向では下方に下がるにつれて、塗膜の厚さはやや薄くなってゆく傾向を示している。また、水平方向では凹凸がはげしくみられている。

(b) 調査船 4 船の計測点における水平の塗膜の厚さは約 500 ミクロンで、最大値は約 1mm にも達している。

このように、初就航後、14 年ないし 16 年を経過した調査船の喫水線下の船側外板面は、船底掃除後の船底防汚塗料の塗り重ねにより、粗度は非常に増加していることが知られた。

3.2 ログ・ブックおよび燃料油消費量月報による統計解析

3.2.1 ログ・ブックによる推進馬力の解析

調査船の初就航から現在まで使用しているログ・ブックをとおして、航路上(陸奥湾内)の一定区間における推進馬力の経年変化をみる。

ここで一番問題となるのは、推進馬力の推定である。

今回の解析に当っては、“津軽丸”型青函連絡船 7 隻の新造時の海上試運転の際の速力試験(標柱間使用)の成績から、プロペラ翼角値一推進馬力の関係をみると、図 5 に示すとおりである。

いま、図 5 から通常の運航状態において使用しているプロペラ翼角値(22 度から 27 度まで)一推進馬力の関係をみると、二次式として推定出来る。そのため、個々の調査船においても、今回の航路上の一定区間で航走した際の推進馬力に関連する回帰方程式を算出するとともに、ログ・ブックのなかから、プロペラ翼角値、推進軸の回転数、速力値および排水量の四つの変動量から対応する

図5 新造時の推進馬力とプロペラ翼角

推進馬力(換算値)を推定した。

なお、調査船の初就航からの経年による推進馬力の増加割合は次式により算定した。

$$\Delta P = \frac{P_a - P_s}{P_s} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここに、

ΔP ：調査船の新造時の海上試運転の際の速力試験の成績を零ベースとしたときの推進馬力の増加割合(%)。

P_a ：調査船のログ・ブ

ックから採取したプロペラ翼角値を、新造時の海上試運転における速力試験の成績値に換算した推進馬力(PS)。

$$= P \left(\frac{d_s}{d} \right)^p \cdot \left(\frac{V_s}{V} \right)^q \cdot \left(\frac{R}{R_s} \right)^r \quad (2)$$

P ：調査船のログ・ブックから採取した機側プロペラ翼角値に対応する推進馬力(PS)。

d_s ：調査船の新造時の海上試運転の速力試験の際の排水量(トン)。

d ：調査船のログ・ブ

ックから採取した排水量(トン)。

V_s ：調査船の新造時の海上試運転の速力試験の際の速力(ノット)。

V ：調査船のログ・ブックから採取した船の速力(ノット)。

R ：調査船のログ・ブックから採取した推進軸の回転数(rpm)。

R_s ：調査船の推進軸の定格回転数(rpm)。
= 217.5 (rpm)。

P_s ：調査船の新造時の海上試運転の速力試験の際の推進馬力(PS)。

$p \cdot q \cdot r$ ：係数(新造時の海上試運転の速力試験における成績、および今回の調査の際の行き直前と、行き直後におこなわれた速力試験の成績から算出した数値)。

今回の解析では、上式により調査船の1運航便ごとの増加割合を算出し、これを月ごとにまとめて、その月の馬力増加割合とした。

ここに一例として、C丸の上り便の算定値を図6に示す。図6から下記のことを判明した。

(a) 算定値を風力が5m/s以下(実線)と、6~10m/s(破線)の2段階に分割して、風力による面から馬力増加変動をみたが、この段階では差は読みとれなかった。

(b) 算定値を初就航後、今日まで調査船に使用している船底防汚塗料の種別による面からみたが、差ははっきりとは読みとれなかった。しかしながら、傾向として有機砒素系の毒物を含んだ防汚効果の高い船底防汚塗料(商品名：アルガA/F)を使用していた時期(C丸では昭和42年8月より昭和45年8月まで使用)よりも、有機系の毒物を含まない塗料(商品名：エクセルA/F)を使

図6 推進馬力の変化(C丸)

用していた時期(C丸では昭和45年8月以降)の方が、当然のことながら、推進馬力の増加の傾向が高いように感じられた。

(c) いずれの調査船でも、ドックを出た直後に船底部は清浄な状態にかえると考えると、毎回のドックを出た直後の算定値のみを対象として、初就航を原点として回帰線(A線と仮称する)を引くと、横軸に対して斜線(鎖線)のように図示できる。このとき、A線から横軸に垂線をおろすと、この値が経年による推進軸の推進馬力の増加割合を表わしているとみることが出来る。なお、調査船4船の初就航後、10年を経過した推進馬力の増加割合をみると、約10~15%の増加割合を示している。

3.2.2 燃料油消費量月報による燃料消費量の解析

調査船の初就航から現在までの燃料油消費量月報をとおして、1航海当りの燃料消費量(月平均)の経年変化をみる。

ここに一例として、C丸の経年による1航海当りの燃料消費量(月平均)の変化を図7に示す。図7から下記のことことが判明した。

(a) 調査船の1航海当りの燃料消費量(月平均)の増加傾向を、初就航後、今日まで使用している船底防汚塗料の種別による面からみだが、差ははっきりとは読みとれなかった。さきの推進馬力の増加量の傾向と同様に、燃料消費量も有機砒素系の毒物を含んだ防汚効果の高い船底防汚塗料を使用していた時期よりも、有機砒素系の毒物を含まない塗料を使用していた時期の方が、当然のことながら、増加の傾向が高いように感じられた。

(b) さきの図6と同様に、船底掃除のためのドックを出た直後の1航海当りの燃料消費量(月平均)の値のみを対象として、初就航を原点として回帰線(A線と仮称する)を引くと、横軸に対して斜線(鎖線)のように図示で

きる。なお、A線から調査船4船の初就航後、10年を経過した燃料消費量の増加割合をみると、約10~16%の増加割合を示している。この値は、さきの推進馬力の経年にとまなう増加の傾向によく類似している。

(c) 図6に示した経年による推進馬力の増加割合と、図7に示した経年による1航海当りの燃料消費量(月平均)の関係をみると、いずれの調査船においても相関している。

3.3 船底汚損対策としての施策

3.3.1 6か月船底掃除 調査船の約1年間にわたる実船試験の結果、今後の船底掃除・船底塗装時期を選択する一手段として、ドックを出てから、次のドックに入るまでのほぼ中間の時期に、船底部の掃除および塗装のみを施行する6か月船底掃除(以下、甲種中間工事という名称を用いる)を試験的におこない、工事日数を2日間とした。

掃除区域は、ミドロ類・アオノリ類などが多量に付着する船体浸水部の喫水線下から、ビルジキールまでの船側外板面で、圧力水(約75 kg/cm²)を使用して、海洋生成物を吹き飛ばしたのち、船底防汚塗料(施工面積1,450 m²)を再塗布するという極めて簡単な作業で、試験的に調査船A丸、C丸およびD丸について行った。

甲種中間工事を試行した際の実船試験および燃料油消費量月報を使用しての調査結果から、下記のことことが判明した。

ここに一例として、C丸の甲種中間工事を試行した前後の推進馬力の馬力増加量の変化および、1航海当りの燃料消費量(月平均)の成績を図8に示す。

図8から、下記のことことが判明した。

(a) C丸の甲種中間工事(試行)は、さきの船底掃除のためのドックを出てから208日目である。

(b) 甲種中間工事(試行)を実施した直後の1航海当りの燃料消費量は、実施直前と比べて、約630 lの減少がみられた。

なお、通常の運航状態における1航海当りの主機械燃料消費量は約6,000 lである。

(c) 甲種中間工事(試行)を実施していない前年度の1航海当りの燃料消費量と、施行後の成績とを比較する。

50年度の検査工事後の成績(鎖線)と、51年度の甲種中間工事(試行)の成績(実線)との間のほぼ三角形に類似した面積

図7 燃料消費量の変化(C丸)

図8 中間工事ともなう変化(C丸)

が年間における燃料消費量の節約量とみることが出来る。また、50年度の回帰曲線の延長上に、51年度の成績がもどるのに、C丸では約140日を要している。

(d) 今回はC丸のほか、A丸およびD丸についても、甲種中間工事を試行したが、甲種中間工事を実施する時期により、推進馬力および燃料消費量に相違がみられた。このことは、さきの出きよの時期により、海洋生成物の付着量に相違がみられることと同一である。

(e) 甲種中間工事(試行)の直前と直後に、標柱間を使用して速力試験を実施したが、推進馬力の計測値は、前回のドックを出た直後の零ベースの状態にかえており、甲種中間工事(試行)を実施することにより、船底部は清浄な状態にもどっているとみることが出来る。

3.3.2 船底部のサンド・ブラスト工事*2 喫水線下の船側外板面にたい積した船底防汚塗膜の凹凸面を、新造時のような金属肌を出すまで平滑に回復させ、船体抵抗および機関出力をも軽減し、燃料消費量をも合わせて節減しようというもくろみで、昭和53年8月、C丸の中間検査工事の際に、サンド・ブラスト工事を試験的に実施した。

サンド・ブラスト工事の実施に当っては、昭和42年から45年にかけて、防汚効果の高い船底防汚塗料(商品名: アルガA/F)を使用していた関係から、その防汚主剤である有機砒素系の毒物が旧塗膜に残っており、環境公害の恐れが十分考えられた。そのため、昭和53年3月、旧塗膜について化学分析を行い、有機砒素系の毒物の検出がみられなかったことから、実施に踏み切った。

今回のサンド・ブラスト工事における施行区域は、船

*2 サンド・ブラスト工事: 金属表面に付着したさび・スケール・塗膜などに、砂(今回は細かく粉碎した鉱さいを使用した)を5ないし7kg/cm²の圧縮空気で噴射して清掃する工法である。

体浸水部の喫水線下とし、施行面積2,680m²で、工事日数は約6日間である。

サンド・ブラスト工事を施行したC丸の実船調査結果は次のとおりである。

(1) ドックを出きよする直前に、再度、船底防汚塗料の塗膜の厚さを計測した。

C丸のサンド・ブラスト工事施行後の計測値を図4(右側)に示す。平均の塗膜の厚さは約250ミクロン(限度210ミクロン以上)で、凹凸面はみられず、ほぼ、一様に塗られているのが知られた。

(2) 入きよ直前および、出きよ直後に行った速力試験の成績をみる。

(a) 図2.1にサンド・ブラスト工事施行直前・直後(■印, □印)の速力試験の際の成績値を記載した。施行直後には、いずれの原因からか、想像していた程、新造時の状態にはもどっていない。

(b) 図2.2に、上記速力試験の際の燃料消費量の計測値(▼印, ▽印)もあわせて記載した。

排水量6,200トン、速力18ノットで航走するとき、サンド・ブラスト工事を施行することにより、約200l/hの燃料消費量の減少がみられた。

3.3.3 船底汚損対策の施策の効果 調査船を使用して、船底汚損対策として推進器用プロペラ全翼の新替え、甲種中間工事および船底部のサンド・ブラスト工事を試行したので、ここにC丸をととして、その効果をみる。

(1) 燃料消費量の変化 昭和49年9月の中間検査工事施行以降の燃料油消費量月報を使用して、C丸の燃料消費量の変化を図9に示す。

図9から下記のことが知られる。

(a) 通常の運航状態における1航海当りの主機械の燃料消費量(昭和50年9月、中間検査工事まで)は約6,000lである。

(b) 推進器用プロペラ全翼の新替え(昭和50年9月、

図9 1航海当りの主機械の燃料消費量(年平均)の変化(C丸)

中間検査工事)により、1航海当り約350*l*(節減割合5.9%)の減少がみられた。

(c) 初めての甲種中間工事を昭和52年4月に施行した。昭和50年度の検査工事後の昭和50年9月から、昭和51年9月までの燃料消費量と、昭和51年および52年度の検査工事後の昭和51年9月から昭和53年9月までの燃料消費量とを比較すると、1航海当り約35*l*(節減割合0.6%)の減少がみられている。

(d) サンド・ブラスト工事を昭和53年9月(中間検査工事)に施行した。

(i) 昭和49年度の検査工事後の昭和49年9月から昭和50年9月までの燃料消費量と、昭和53年度の検査工事後の昭和53年9月から昭和54年9月までの燃料消費量とを比較すると、1航海当り約930*l*(節減割合15.4%)の減少がみられている。

(ii) 前項の節減割合15.4%を分析する。上記、節減割合15.4%の中には、推進器用プロペラ全翼の新替えおよび甲種中間工事による影響量も含まれていることから分担割合をみる。昭和49年度ないし53年度の成績から考察すると、両舷の推進器用プロペラ全翼の新替えによる影響量は5.9%、甲種中間工事による影響量は0.6%、サンド・ブラスト工事のみによる影響量は8.9%となる。

(2) 主機械か動台数の変化 青函連絡船の主機械は常用負荷85%を限度として、通常の出力量に対して、8台保有している主機械のうちから、か動台数の変動により対処している。そのため、推進器用プロペラ全翼の新替え、甲種中間工事および船底部のサンド・ブラスト工事による出力減は、1運航当りの主機械か動台数の減少となって表われる。

船底汚損には直接、関係はないが、C丸の主機械か動台数の変化を図10に示す。

図10から下記のことが知られる。

サンド・ブラスト工事施行前の、昭和49年度の検査工事後の昭和49年9月から昭和50年9月までの成績と、施行後の昭和53年度の検査工事後の昭和53年9月から昭和54年9月までの成績とを対比すると、サンド・ブラスト施行後には主機械か動台数は0.9台分減少がみられる。

図10 1航海当りの主機械か動台数の変化(C丸)

4. む す び

今回の実船調査、ログ・ブックなどを使用しての統計解析ならびに、船底汚損対策としての諸工事により下記のことと判明した。

4.1 実船による推進馬力の増加量

(1) 船底汚損による年間の推進馬力の増加量は、排水量6,200トンとして、同一速力において、調査船の検査工事の直前と直後の速力試験の計測値からみると、約900~1,000 PSである。

なお、通常の運航状態の際の推進馬力は約7,000 PSである。

(2) 調査船のプロペラ全翼を新替えしたことによる影響量は、同一速力において、約500~600 PSである。

(3) 出きょ後の経過日数に伴う推進軸の推進馬力の増加量は、出きょ時を零ベースとすると、調査船の出きょの時期により、増加傾向が相違している。

(4) 初就航後、10年以上を経過した調査船の喫水線下の船側外板面に塗装した船底防汚塗料の塗膜の厚さは、船底掃除後の船底防汚塗料の塗り重ねにより、平均値で約500ミクロン、最大値は約1mmにも達しており、粗度は非常に増加している。

4.2 ログ・ブックおよび燃料消費量月報による経年変化

(1) 調査船の経年による推進馬力および燃料消費量の変化を、初就航後、今日まで使用している船底防汚塗料の種別による面からみたが、いずれも差ははっきりとは読みとれなかった。

(2) 調査船の船底掃除完了直後の、船底部が清浄な状態のときの推進馬力および燃料消費量の変化を、初就航を原点としてみると、10年間で約10~15%の増加割合を示していた。

4.3 船底汚損対策としての施策

4.3.1 甲種中間工事 今後の船底掃除・船底塗装時期を選択する一手段として、ドックを出てから、次のドックに入るまでのほぼ中間の時期に、甲種中間工事を試験的にに行った。

(1) 甲種中間工事を実施した直後の、1航海当りの燃料消費量は、実施直前に比べて、約600*l*の差がみられた。なお、通常の運航状態における1航海当りの主機械の燃料消費量は約6,000*l*である。

(2) 甲種中間工事(試行)を施行する時期により、推進馬力および燃料消費量の成績値が大分、相違していることが知られた。これは、さきの船底汚損における出きょの時期により、増加傾向が相違していることと同一と思われる。

4.3.2 船底部のサンド・ブラスト工事 喫水線下の船側外板面にたい積した船底防汚塗膜の凹凸面を平滑にするため、サンド・ブラスト工事を試験的に実施した。

(1) サンド・ブラスト工事施行後の平均の塗膜の厚さ

は約 250 ミクロンで、凹凸面はみられず、ほぼ一様に塗られているのが知られた。

(2) C丸において、今回の調査を開始する直前の、昭和 49 年度の検査工事後の昭和 49 年 9 月から昭和 50 年 9 月までの燃料消費量と、サンド・ブラスト工事施行後の昭和 53 年度の検査工事後の昭和 53 年 9 月から昭和 54 年 9 月までの燃料消費量を比較すると、サンド・ブラスト工事施行後には、1 航海当り約 930 l (節減割合 15.4%) の減少がみられた。

(3) 前項の節減割合 15.4% を分析する。C丸は、昭和 49 年度から昭和 53 年度までの間に、推進器用プロペラ全翼の新替え、甲種中間工事(3 回)およびサンド・ブラスト工事を施行したので、成績値から考察するとプロペラ全翼の新替えによる影響量は 5.9%、甲種中間工事による影響量は 0.6%、サンド・ブラスト工事による影響量は 8.9% となる。

(4) 青函連絡船の主機械か動台数は、8 台保有している主機械のうち出力変化により変動する。C丸における昭和 49 年度検査工事以降の主機械か動台数をみると、昭和 55 年 3 月には 0.9 台分減少しているのがみられる。

5. あとがき

今回の調査をとおして、船底部の汚れが推進性能に与える影響の大きいことを今更ながら知らされた。

実船による測定では、一般の商船でもまだ類例のない検査工事直前の標柱間を使用しての速力試験をとおして、

前述のような成果をうることが出来た。

また、推進軸のプロペラ全翼の新替え、試験的に施行した船底掃除・船底塗装のみを主体とする甲種中間工事および船底部のサンド・ブラスト工事は、前記のように所期の目的を達することができ、昭和 54 年度には客貨船全船(7 隻)に実施した。

上記の施策により、昭和 54 年度末には、昭和 49 年度に比して青函連絡船全船で年間 7,000 kl という膨大な燃料消費量の節減に成功するとともに、出力負荷の軽減により、主機械か動台数・故障件数も減少し、乗組員の作業条件の緩和、ならびに修繕費の減少にもつながったことは、見逃せない大きな効果であった。

文 献

- 1) 山県昌夫, 船型学(抵抗篇), 昭 16.
- 2) 出淵 巽, 船底の汚れによる船体抵抗の増加, 造船協会会報第 55 号, 昭 9・12.
- 3) 伊藤一男, 実用船舶推進論, 船の科学, 29 巻 1 号~32 巻 2 号, 昭 51・11~昭 54・2.
- 4) 隈元 士, 船用プロペラと軸系.
- 5) 宮内・曾瀬, 津軽丸型連絡船のシーマージンに関する統計的調査, 鉄研報告 No.909, 昭和 49・8.
- 6) 曾瀬他 4 名, 青函連絡船の船底汚損が推進馬力におよぼす影響について(第 1 報), 鉄研速報 No.78-6, 昭 53・1.
- 7) 岸 良彬, 国鉄連絡船における燃料節減対策, マリン・エンジニア, No.391, 昭 54・10.