大形タンカーにおける船体抵抗増加が船速と燃料消費量に及ぼす影響についての一考察*

尾崎 松彦**

Study on Influence of "Increase of Hull Body's Resistance"
on Vessel Speed and Rate of Fuel Consumption in V.L.C.C.

By Matsuhiko Ozaki

In general, it is widely recognized that the rate of fuel consumption of the vessel (output of main engine) is proportional with the "cube" of vessel speed (revolutions per minute of screw). However, the vessel speed against a certain rate of fuel consumption is lowered little by little because of deterioration of hull's body, that is inevitable according to the passage of period of time, and soil, which occurs on hull's body.

Therefore, was researched the relationship related with the individual stages on days after inauguration between the vessel speed (R.P.M. of screw) and rate of fuel consumption, while considering the vessel speed and rate of fuel consumption at the official trial operation on the sea, which was made immediately after her inauguration.

On such a research, it was found that the amount of cube shown as the index of speed above is lowered in accordance as the time after inauguration is increased.

So, presuming that such index of speed is "x" and also, presuming the primary function of 'days of passage' (t), the relative formulas shown below between rate of fuel consumption and speed (R.P.M. of screw) were obtained for the individual vessels on research, "A-Marun", "B-Marun" and "C-Marun" and by acquiring the amount "x" respectively on these vessels.

$$\text{"A-Marun"} \text{ ----- } F_{tA} = 153 \times \left(\frac{r_t}{90}\right)^{2.841 - 0.001153t}$$

$$\text{"B-Marun"} \text{ ----- } F_{tB} = 150 \times \left(\frac{r_t}{90}\right)^{2.799 - 0.000533t}$$

$$\text{"C-Marun"} \text{ ----- } F_{tC} = 148 \times \left(\frac{r_t}{90}\right)^{2.742 - 0.00104t}$$

By use of these formulas, the rate of fuel consumption (F_{tA} , F_{tB} and F_{tC}) against the revolutions per minute of screw required at any optional time (t) after inauguration could be obtained.

Although some problems still exist on the range of application by such revolutions per minute, the tendency of soils on hull's bottom area influenced by the vessel's age, voyage route, etc. can be supposed with these formulas.

1. ま え が き

原油価格急騰を契機として、世界景気および海上荷物運賃率の低迷のために、船舶の減速航海が数多くの船で実施されることとなった。

元来、商船は港間を安全確実に荷物を定められた日時に輸送することが任務であり、その業務を通じて利益を得るものである以上、その採算の要素として、時間管理をベースとした燃料費の増減も重要な項目であり、近年その比重が倍加されてきたといえよう。すなわち入港日

時、およびそこに到達する間の船速の合理的決定である。後者すなわち船速の合理的決定による燃料費の節減について若干の考察を行うこととした。

一般に船舶の燃料消費量(主機出力)は船速(推進器毎分回転数)の3乗に比例するといわれているが、海象、気象の変化や船舶の経年劣化および船体汚損の実態を定量化して考えることが出来ないで、両者の関係の実態を予測することは極めて困難である。

近年、水槽実験などによる造波抵抗の研究が進んだので、船形改善が進み船舶の総合抵抗が減少し、同じ大きさの船で同じ速力を得るための所要馬力が減少した効率の良い船舶となった。反面、粘性抵抗に大きな改善が無

* 原稿受付 昭和52年8月31日

** 正会員 ジャパンライン(株)(東京都千代田区丸の内3-1-1)

いたために船舶の総合抵抗中に占める粘性抵抗の比率が増大している。

このことは、船体汚損の増加が船速あるいは燃料消費量に与える影響度が増大することであり、昔の船に比べて近代の船は船令が古くなったり、船体汚損が増大すると船速の低下率が大きくなったり、主機関のトルクリッチ状態になりやすいデリケートな船であるということが出来る。

そこで、新造時の海上公試運転時の船速や燃料消費量をベースとして、出きよ後の経過日数に対する船速と燃料消費量の関係の調査を行って見た。

2. 調査方法

2.1 対象船の選択 対象船を選ぶに当って、比較検討の容易さを考慮して、船形、機関形式、機関出力等の同じことを基準にして比較的長期間安定航海を行っているタンカーを選び、また、船速と燃料消費量の関係を調査するのを目的として連続減速航海実施船を対象とした。

しかし、結果的に推進器形式の異なるものが混入し、ダクト付プロペラのもの2隻、在来プロペラのもの1隻となった。

2.2 対象船の概略仕様 調査対象船の概略仕様を表1に示す。

2.3 計算の手法 船速と燃料消費量の関係の基本式は次の通りである。

$$F_2 = F_1 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^3 = F_1 \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^3 \quad (1)$$

ただし、 F_2 : V_2 速力時の単位時間当りの燃料消費量 (MT/day)

F_1 : V_1 速力時の単位時間当りの燃料消費量 (MT/day)

r_1 : V_1 速力時の推進器の毎分回転数 (R/M)

r_2 : V_2 速力時の推進器の毎分回転数 (R/M)

ここで V_1 および F_1 を新造または改造後の海上試運転におけるデータとし、(1)式におけるべき数3を α とする。

なお、 α は時間の経過とともに変化するであろうことを予測して一次式とした。すなわち、

$$\alpha = \alpha + \beta t \quad (2)$$

そこで(1)式は次のごとくなる。

$$F_t = F_{MCR} \left(\frac{V_t}{V_{MCR}} \right)^{\alpha} = F_{MCR} \left(\frac{V_t}{V_{MCR}} \right)^{\alpha + \beta t} = F_{MCR} \left(\frac{r_t}{r_{MCR}} \right)^{\alpha + \beta t} \quad (3)$$

ただし、 F_t : 新造または出きよ後 t 日目の単位時間当りの燃料消費量 (MT/day)

F_{MCR} : 新造または改造後の海上試運転船速 V_{MCR} 時の単位時間当りの燃料消費量 (MT/day)

V_{MCR} : 新造または改造後の海上試運転船速 (knt)

V_t : 新造または出きよ後 t 日目の平均船速 (knt)

r_{MCR} : 新造または改造後の海上試運転船速 V_{MCR} 時の推進器の毎分回転数 (R/M)

r_t : 新造または出きよ後 t 日目船速 V_t 時の推進器の毎分回転数 (R/M)

α : 定数

β : 定数

t : 新造または出きよ後の経過日数 (日)

具体的な計算手法としては、その船についての運航実績より F_t および V_t または r_t を相当数抽出し、(3)式によってそれぞれ α の値を用いる。

次にそれぞれの α の値から最小二乗法によって α と β の値を定める。

2.4 抽出データ選択の経緯 抽出データは各船(3隻)の機関要日誌より、復航(Full load)の減速航海中における出来る限り海象、気象の安定した時期のものを選んだ。

そして、それぞれのデータは瞬間的のものでなく、1~5日間の1日当りの平均値を採用することとした。出きよ後の経過日数の計算は次の手法によることとした。

(1) 前日の正午より当日の正午までの1日分の平均記録値を採用した場合……(出きよ後その当日までの経過日数)

(2) 2日前の正午より当日の正午までの2日分の平均記録値を採用した場合……(出きよ後その当日までの経過日数)

(3) 3日前の正午より当日の正午までの3日分の平均記録値を採用した場合……(出きよ後その当日までの経過日数-1)

表1 対象船の概略仕様

船名	連続最大出力 (PS)	同速力 (knot)	同 (R/M)	燃料消費量 (MT/day)	重量吨 (MT)	垂線長さ (m)	プロペラピッチ (m)	プロペラダイヤ (m)	しゅん工年月日	第1回入きよ	第2回入きよ
A丸	36,000	18.01	90	178	233,656	305	ダクト付 7.970	8.150	1975 4/3		
B丸	"	17.08	"	175	233,163	305	ダクト付 7.767	8.150	1974 3/5	1975 8/11	
C丸	"	16.35	"	173	237,750	310	5.700	8.600	1972 7/26	1974 2/6	1975 12/8

(4) 4日前の正午より当日の正午までの4日分の平均記録値を採用した場合……(出きょ後その当日までの経過日数-1)

(5) 5日前の正午より当日の正午までの5日分の平均記録値を採用した場合……(出きょ後その当日までの経過日数-2)

その船全体としての燃料消費量は容易につかみ得るけれども、主機、補機およびその他として明確に区分して求める事は船舶の実態から極めて困難であるので、計画された heat balance diagramや航海、停泊の実績より、はなはだ冒険的ではあるが、(その船の全体の1日当りの燃料消費量MT-25MT)をその船の直接推進用1日当りの燃料消費量(主機燃料消費量)とした。なお、燃料油の発熱量も補油ごとに異なるものではあるが、おおむね同じグレードのものが使用されているので同一と仮定した。

もちろん、ここでいう船全体の燃料消費量とは、タービン船であるので主汽缶にて消費されるものすなわち、主機関および蒸気駆動補機類の燃料消費の合計量であって、ディーゼル発電機など蒸気以外の系統による燃料消費量は含んでいない。

各船の調査対象期間について若干補足すれば次の通りである。

A丸はしゅん工後3か月間停船し、船底清掃せずに就航、以後1年8か月間、日本〜ベルシャ8航海のうち、1航海を除く7航海、およびベルシャ〜欧州3航海の計10航海の減速航海であった期間を対象とした。

B丸はしゅん工後約1年5か月して入きょ、船底清掃塗料塗り替え後約1年6か月間ベルシャ〜欧州7航海の減速航海であった期間を対象とした。

C丸はしゅん工後約1年6か月して第1回の入きょ、その後約1年10か月して第2回目の出きょ以後の約1年3か月間ベルシャ〜日本10航海中の2航海を除いた減速航海期間を対象とした。

3. 調査結果

2.3および2.4に従ってそれぞれA丸、B丸およびC丸の実績データと計算結果を表2、表3および表4と図1、図2および図3に示す。

数式 $x = \alpha + \beta t$ で示せば次のごとくなる。

A丸($x \rightarrow x_A$ とする)

$$x_A = 2.841 - 0.001153t \quad (4)$$

B丸($x \rightarrow x_B$ とする)

$$x_B = 2.799 - 0.000533t \quad (5)$$

C丸($x \rightarrow x_C$ とする)

$$x_C = 2.742 - 0.00104t \quad (6)$$

よって、各船の海上公試の連続最大出力時(MCR)の1日当りの主機燃料消費量と推進器の毎分回転数をベースにした出きょ後の経過日数 t 日目における推進器毎分回転数 r_t に対する1日当りの主機燃料消費量は次式で示すことが出来る。

A丸($F_t \rightarrow F_{tA}$ とする)

$$F_{tA} = 153 \times \left(\frac{r_t}{90} \right)^{2.841 - 0.001153t} \quad (7)$$

B丸($F_t \rightarrow F_{tB}$ とする)

$$F_{tB} = 150 \times \left(\frac{r_t}{90} \right)^{2.799 - 0.000533t} \quad (8)$$

C丸($F_t \rightarrow F_{tC}$ とする)

$$F_{tC} = 148 \times \left(\frac{r_t}{90} \right)^{2.742 - 0.00104t} \quad (9)$$

表2 A丸実績データと計算結果

記録 番号	主 機 回転数 R/M	速 力 knt	スリップ %	燃 料 消費量 MT/day	主機燃料 消費量 MT/day	x_A	経過日数 days	次航 番号	備 考
1	79.0	15.01	26.3	130.5	105.5	2.852	26	1	
2	68.7	13.04	26.5	96.5	71.5	2.819	73	2	
3	74.8	14.30	25.9	116.3	91.3	2.791	125	3	
4	61.5	10.10	36.4	82.5	57.5	2.570	191	4	
5	66.0	12.20	28.4	93.6	68.6	2.586	223	5	
6	60.5	11.16	30.1	79.4	54.4	2.488	240	5	
7	64.7	11.59	30.6	90.9	65.9	2.552	248	5	
8	73.6	13.24	30.3	120.8	95.8	2.327	316	6	
9	73.3	13.09	30.9	118.6	93.6	2.394	407	8	
10	75.8	13.55	30.7	128.3	103.3	2.288	421	8	
11	75.9	13.51	31.1	130.2	105.2	2.198	486	9	
12	72.5	12.80	31.6	119.4	94.4	2.233	528	10	
13	75.3	13.25	31.8	127.9	102.9	2.226	535	10	
14	62.1	11.03	31.2	88.7	63.7	2.361	543	10	
15	72.2	12.04	35.5	119.0	94.0	2.211	602	11	

表3 B丸実績データと計算結果

記録 番号	主 機 回転数 R/M	速 力 knt	スリップ %	燃 料 消費量 MT/day	主機燃料 消 費 量 MT/day	x_B	経過日数 days	次航 番号	備 考
1	68.4	12.21	29.1	95.9	70.9	2.731	44	3	
2	68.8	12.51	27.7	95.4	70.4	2.816	64	3	
3	68.1	12.43	27.5	93.2	68.2	2.827	135	4	
4	68.1	12.19	28.9	97.1	72.1	2.627	227	5	
5	67.8	11.60	32.1	97.9	72.9	2.547	236	5	
6	85.4	15.02	30.1	154.6	129.6	2.785	310	6	
7	68.0	11.68	31.7	100.4	75.4	2.454	368	7	
8	67.7	11.88	30.4	97.6	72.6	2.550	450	8	
9	72.5	11.74	35.7	110.9	85.9	2.578	480	8	
10	72.5	12.59	32.3	111.5	86.5	2.546	544	9	

表4 C丸実績データと計算結果

記録 番号	主 機 回転数 R/M	速 力 knt	スリップ %	燃 料 消費量 MT/day	主機燃料 消 費 量 MT/day	x_C	経過日数 days	次航 番号	備 考
1	75.4	13.41	3.7	115.3	90.3	2.791	32	20	
2	66.6	11.80	4.0	92.5	67.5	2.607	83	21	
3	72.9	13.01	3.3	112.4	87.4	2.500	87	21	
4	61.5	11.37	-0.3	79.8	54.8	2.609	148	23	
5	60.2	10.65	4.1	78.7	53.7	2.521	213	24	
6	79.0	14.36	1.4	132.0	107.0	2.489	269	25	
7	60.5	10.55	5.6	83.6	58.6	2.411	318	26	
8	67.0	11.44	7.5	99.4	74.4	2.330	382	28	
9	57.4	9.68	8.6	78.4	53.4	2.266	417	29

図1 A丸

図3 C丸

図2 B丸

4. 調査結果の考察

4.1 実績値と計算値の比較 (7), (8), (9)式の実用精度を確かめるために、各船について採取データ以外の日における推進器毎分回転数(r_t)と出きよ後の経過日数に基づき、各船の1日当りの主機燃料消費量(F_t)を上式から求めた計算値と実績値を比較したところ、次のことが判明した。

A丸については、56~75 R/Mの範囲ではその差異が $\pm 4\%$ 以内に収まったが、53 R/M以下および82 R/M

以上ではその差異が5%以上となった。

B丸については、68~73 R/Mの範囲ではその差異は±3.5%以内であったが、68~73 R/M以外の実績がほとんどで無いので差異の大小の判定は出来なかったが、おそらく、68~73 R/Mの時の差異値より大きいものになるであろう。

C丸については、62~80 R/Mの範囲でその差異は±2.4%と非常に良いけれども、60~80 R/Mの範囲外では数%になるものが多かった。

この様に誤差の少ない範囲が狭くなった理由としては以下のことが考えられる。

- (1) 計算基準を常にMCR海上公試成績においたこと。
- (2) 採用データが回転数において60~80 R/Mの間にあったこと。
- (3) 本来、船体抵抗は時間と共に増加するものの、ある時間後は飽和して増加しなくなることが想定されるが、指数 x を直線近似としたこと。

4.2 出きょ直後の船速性能 $x = \alpha + \beta t$ の式で、 $t = 0$ すなわち出きょ直後の α の値を各船別に比較して見ると

A丸……………2.841

B丸……………2.799

C丸……………2.742

となり、A丸は新造後ではあるが、3か月間の停泊があったので、その数値が若干低いと思われる。B丸は第1回の入きょ後である。それぞれの差はおよそ0.05位である。このことは、入きょを重ねるごとに船速性能が元に回復せず、若干ずつ下がって行くことを示している。しかし、ある回数(年数)を経るとほとんど飽和することも明白であり、その点の調査が出来なかった事は残念であった。

4.3 船速低下率 $x = \alpha + \beta t$ の式の β の値について各船別に比較してみると

A丸……………0.001153

B丸……………0.000533

C丸……………0.00104

となり、A丸が最も大きく入きょ回転(年数)が少ないほど、すなわち船令が少ないほど、入きょ~入きょにおけ

る船速低下率が大きいといえよう。

また、A丸とC丸はほぼ同航路就航であったので、船底汚損の進行が同傾向同程度であったといえよう。

B丸はA丸およびC丸とは航路が異なり船底汚損が少なかった事が顕著である。

5. 結 論

以上VLCCを対象に船体抵抗増加が船速や燃料消費量に及ぼす影響について、一考察を試みたが、データが少なく、結果の正確度については相当の疑問が残るけれども、傾向としては次の事が判然とした。

- (1) 船令が古くなるほど、入きょを行っても船速性能は下がって行くが、その低下率は少なくなり、ある期間(今回の調査では明確に出来なかったが一般に4~5年といわれる)を過ぎると飽和する程度に僅少となる。
- (2) 入きょ~入きょ間の船速低下は就航航路や時期その他の諸条件によりその都度大きな差が生ずる。
- (3) 従って、本調査結果を一般式として他船に適用することは出来ないが、式(7)、(8)、(9)を用いて、それぞれA丸、B丸およびC丸について入きょ時期をも考慮して今後の減速時の燃料消費量を予測計算することは可能であろう。

6. あとがき

従来、船体抵抗に関する研究結果の利用度は設計、製造分野に大きく、運航管理部門では低調であったように見受けられる。

運送企業においてはその時その時の運送用具の状態に応じた最も効率の良い運送や修繕手段を選定する事が最善の方策であることを念頭に置いて対処するよう心掛ける必要がある。

また、メーカ側にとっても最も好条件下での性能の優劣をうんぬんするばかりでなく、経年劣化を含めて好効率を維持し得る船舶の建造に留意していただきたいものである。

そのために、船体抵抗と速力および燃料消費量についての実用性ある関連式の検討、研究を希求してあえて拙文を呈した次第であります。