

推進機関におよぼす風浪影響について— I.*

末 信 明 宏

Running Performance of Diesel Propulsion Plant
in Relation to Sailing Conditions — I.

By

Akihiro SUENOBU

The introduction of the electric power system driven by the diesel propulsion engine has been recently started. For the ocean cruising ships, this system has many problems to be solved, especially on the torque rich and the frequency fluctuation. To find solution, it is needed to analyze the effect of the wind and waves on the running performance of the diesel propulsion plant. The navigation records of the ships shown in Table 1 have been analyzed in the present report for the purpose of finding out the effect of the wind velocity on the fuel consumption of the propulsion plant at the constant rotating screw. And the results obtained are as follows:

1. The fuel consumption (f kg/h) in relation to the wind velocity (v m/s) could be represented by the following equation with the constants shown in Table 4:

$$f = a v^b + c$$

where c denotes the fuel consumption under absolute calm ($v = 0$).

2. While sailing against the wind, the influence of the waves on the propulsion system became more serious than that of the wind. The ships of 1,000 ton class were greatly influenced by the waves at Beaufort scale more than 4. Those of 3,000 ton class were greatly influenced at Beaufort scale more than 5.

3. But there was little influence of the wind and waves on the propulsion plant while sailing either before the fair wind or in the quarter one.

*水産大学校研究業績 第755号, 1976年1月16日 受理.

Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 755.

Received Jan. 16, 1976.

1. ま え が き

船舶におけるパワープラントの合理化、省力化のため、軸発電方式が注目されてきた。周知の如く、軸発電方式は、特殊な周波数制御装置を装備しないかぎり、機関の定速運転が要求される。この定速運転にともない、周波数安定、トルクリッチ、トルク制御機構等種々な問題が提起されるが、これらを論ずる前提条件として、実船運航における状態の把握解析が必要となる。巡航時において、通常生ずる外乱は、風浪によるものである。外洋における季節風等の、うねりをともなう風波が、特に大きな外乱になると思われる。

トロール船2隻の、巡航時における、外洋航海記録から得た資料をもとに、プロペラ回転数一定の条件下において、風浪が推進機関の燃料消費量におよぼす影響について、解析を試みたので報告する。

2. 資 料

2・1 供資船

供資船として、水産大学校練習調査船耕洋丸と、水産庁調査船開洋丸を調査の対象とした。耕洋丸では、ジーゼル原動機とプロペラは直結されている。一方、開洋丸においては、ジーゼル原動機とプロペラは、電氣的に結合されており、原動機は、ほぼ、定速運転をしている。両者の軸系の形態は、いちじるしく相違する。しかし、風浪が燃料消費量におよぼす影響は、軸系の形態差にもとづく故の本質的な差はなく、単に軸系の結合方式の差であると考えられる。

両船の主要諸元を第1表に示す。

Table 1. Principal particulars of the ships.

	The Koyo-maru	The Kaiyo-maru
Gross tonnage	1215.33 t	2694.38 t
Length (L _{pp})	64.90 m	82.00 m
Breadth	11.20 m	15.00 m
Depth	5.60 m	9.20 m
Designed draft	4.50 m	5.50 m
Service speed	12.50 kt	14.00 kt
Out put	1800 ps 225 rpm	motor 1150 kw × 2 tandem diesel 950ps × 4 1400 rpm
Propeller	4 B 2850 mm D 2050 mm P	5 B 3400 mm D 2990 mm P
Propulsion system	2 cycle diesel direct cupple	diesel electric D. C. ward leonard
Type	side trawler	stern trawler

2・2 海域および時期

耕洋丸の資料は1970年10月から、1971年1月の間、および、1971年10月より、1972年1月の間、南支那海、インド洋東北部、西部および西南部太平洋海域で計測した値である。開洋丸の資料は、1973年10月より、1974年1月の間、北太平洋、西部大西洋海域における巡航時に計測された値を対象とした。又沿岸における風力

階級4以上については、波浪の発達成長が、外洋のそれと、いちじるしく様相を異にするとと思われるから、資料の対象から除外した。

2・3 資料の規準化と区分化

ビューフォート階級と、真風向で記録されている風向を整理し、船首尾線に対して、左右45度の範囲を対向風、左右45度から90度までを横対向風、左右90度から135度までを横追風、左右135度から180度までを追風の4区分とした。

資料の燃料消費量は、10リットル単位で表記されている4時間毎の積算流量計記録の差から得た値である。これらの値は、比重および、温度補正により、燃料消費量(kg/h)に統一した。又プロペラ回転数、排水量は資料毎に異っており、燃料消費量は、これらの影響を受けている。これらの影響を一定にするため、プロペラ回転数と、排水量一定のもとにおける燃料消費量 f_i (kg/h) に規準化した。

規準化のための補正は、出力がプロペラ回転数の3乗に比例し、排水量の2/3乗に比例するものとした。更に常用出力の周辺では、系の熱効率是一定であると仮定し、燃料消費量は出力に比例するとして補正した。

プロペラ回転数、および、排水量の規準値は、資料のほぼ平均値とし、耕洋丸1600トン、200rpm、開洋丸3400トン、145rpmとした。

資料採用の範囲は、耕洋丸について170rpmから215rpm、1430トンから1750トンまで、開洋丸では133rpmから158rpm、3150トンから3560トンまでとした。

以上の規準化した燃料消費量を風向、風力別に区分した値を第2表に示す。

みかけスリップ比は、風浪が船速に大きく影響をおよぼすことから、その風向、風力別の挙動をみることにより、風浪が推進機関におよぼす影響を考察するについて、重要な指針となる。資料の回転数と、測程器による航程から算出した、みかけスリップ比を風向、風力別に区分し第3表に示す。

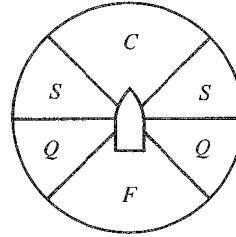


Fig. 1 Abbreviation of wind direction used in the present report.

C : contrary wind
S : side bow wind
Q : quarter wind
F : fair wind

Table 2. Relation between Beaufort scale(*B*) and fuel consumption (average..... \bar{f} kg/h; unbiased standard deviation.....*u*).

The Koyo-maru

<i>B</i>	contrary wind			side bow wind			quarter wind			fair wind		
	<i>n</i>	\bar{f}	<i>u</i>	<i>n</i>	\bar{f}	<i>u</i>	<i>n</i>	\bar{f}	<i>u</i>	<i>n</i>	\bar{f}	<i>u</i>
2	3	186	8.08	7	196	12.8	5	196	3.16	3	200	3.06
3	9	198	14.1	8	197	8.22	8	194	5.25	19	193	8.20
4	9	206	21.4	17	194	13.3	8	202	9.24	8	195	9.88
5	12	226	21.9	14	198	11.4	4	198	8.98	4	192	9.00
6	7	245	20.4	1	202	-	2	197	14.1	6	190	5.05
7	12	257	12.0	0	-	-	4	192	6.83	4	194	9.26
8	2	263	18.4	1	207	-	0	-	-	2	195	1.41

Table 2 . -- (Cont'd)

The Kaiyo-maru

B	contrary wind			side bow wind			quarter wind			fair wind		
	n	\bar{f}	u	n	\bar{f}	u	n	\bar{f}	u	n	\bar{f}	u
2	2	381	4.24	6	374	6.80	3	380	7.23	3	379	9.02
3	5	387	3.05	3	387	2.08	8	381	10.1	12	376	16.1
4	13	393	11.1	10	391	10.8	10	384	14.2	9	376	6.03
5	2	398	13.4	7	399	16.9	10	381	8.77	5	376	8.93
6	9	421	25.6	9	414	18.9	2	381	6.36	1	380	-
7	0	-	-	2	392	8.0	0	-	-	0	-	-

Table 3. Relation between Beaufort scale (B) and apparent slip ratio (average..... \bar{s} ; unbiased standard deviation..... u).

The Koyo-maru

B	contrary wind			side bow wind			quarter wind			fair wind		
	n	\bar{s}	u	n	\bar{s}	u	n	\bar{s}	u	n	\bar{s}	u
2	4	0.066	0.022	0	-	-	3	0.039	0.028	3	0.053	0.008
3	9	0.058	0.028	6	0.045	0.021	4	0.031	0.025	10	0.033	0.024
4	7	0.064	0.029	12	0.067	0.018	5	0.067	0.012	7	0.061	0.024
5	9	0.158	0.105	11	0.072	0.041	5	0.039	0.025	3	0.046	0.026
6	7	0.249	0.135	2	0.164	0.012	2	0.023	0.018	6	0.056	0.033
7	10	0.318	0.082	1	0.243	-	6	0.029	0.021	2	-0.011	0.020

The Kaiyo-maru

B	contrary wind			side bow wind			quarter wind			fair wind		
	n	\bar{s}	u	n	\bar{s}	u	n	\bar{s}	u	n	\bar{s}	u
1	0	-	-	1	0.051	-	1	0.064	-	0	-	-
2	2	0.071	0.031	4	0.059	0.035	3	0.053	0.041	8	0.056	0.087
3	5	0.106	0.064	4	0.052	0.065	8	0.067	0.012	9	0.033	0.051
4	9	0.110	0.042	9	0.086	0.075	8	0.054	0.043	8	0.056	0.019
5	4	0.118	0.046	9	0.131	0.077	8	0.065	0.038	5	0.069	0.015
6	7	0.182	0.054	6	0.136	0.079	1	0.095	-	1	0.068	-
7	0	-	-	2	0.185	0.109	0	-	-	0	-	-

3. 結果と考察

風力階級の中央値をとり、風速 v (m/s) に変換すれば、対向風、横対向風では、風力階級6までの範囲において、風速の増加にしたがい、燃料消費量 f は増加する。 f および、 v の差分表を作り検討すれば、両

船とも近似的に次式の形で表示できる。

$$f = a v^b + c$$

横追風では、両船いずれも燃料消費量は各風力階級において、ほぼ、一定の値であり、実用上、風浪影響はないといえる。

追風では、両船とも、風力階級の増大により燃料消費量は若干低下する。

追風、横追風では f は v に対し、ほぼ、直線的に変化し、近似的に次式で表示できる。

$$f = a v + c$$

c は無風状態における燃料消費量である。風向別に、係数 a 、 b は、それぞれ、最小2乗法により決定できる。しかし同一船では、一定値になるはずである c の値が、風向別で若干異った値となる。これは限られた資料数であることにもよるが、主として、次の二つの理由によるものと思われる。

イ) 船体および、プロペラの生物付着による汚れの影響が無視されており、かつ、微風域の資料は期間中に偏在していること。

ロ) 微風域では風向、風力ともに不安定な場合が多いこと。

以上の点を考慮し、風向と無関係に風力2以下について燃料消費量の平均値を c の値とした。

燃料消費量の測定誤差は約1.5%であり、風力階級を風速に換算した場合、風速誤差はかなり大きくなる可能性がある。(風力5で風速誤差最大15%)。これらのことから、係数 a 、 b の決定にあたり、 f の測定重みは v のその10倍として、デミング法¹⁾により決定した。第4表に係数の計算結果を示す。第2図は決定した係数にもとづき、あてはめた曲線を示す。

Table 4. The estimated coefficient of the fuel consumption (f kg/h) — wind velocity (v m/s) equation under respective directions of the wind.

	The Koyo-maru			The Kaiyo-maru		
	a	b	c	a	b	c
contrary wind	0.0435	2.72	195	0.219	2.15	377
side bow wind	0.0594	1.94		0.196	2.21	
quarter wind	0.234	1		0.693	1	
fair wind	-0.179			-0.094		

$$f = a v^b + c$$

第2表に示すように、各風向における燃料消費量の、ばらつきの程度は、風力階級の大きいところで、両船ともに、比較的大きい。耕洋丸の対向風では風力階級4、5、6で、ほぼ、同程度のばらつきを示しており、3以下の風力階級の値と明らかに差がみられる。第3図に示すように、みかけスリップ比の増加率は、耕洋丸の対向風では、風力階級4附近に急激な変化点が見られ、横対向風では風力階級5附近に変化点が見られる。開洋丸は風力7の資料数が少数であるため、スリップ比の変化点が判然としないが、風力5以下のスリップ比と、風力6のスリップ比の値から推測し、風力5附近に変化点があると思われる。風圧抵抗が相対風速の2乗に比例し²⁾、波長一定で波高を変化した場合、波高が大きくなる程、抵抗は増加し、普通の速度において、この増加率は、波高の増加に伴い、直線的に増加する³⁾。これらのことから、波長が船長に対し十分短かく、ピッチングを生じない程度であれば、みかけスリップ比の増加率に急激な変化はないはずである。横対向風では、対向風よりも風力の大きい方に、スリップ比の増加率の変化点がずれている。追風、横追風では、両船ともにスリップ比は風力と無関係に、ほぼ、一定の値である。したがって、対向風、横対

向風にみられるスリップ比増加率の急激な変化点は波浪との出会周期にもとづく、波浪影響の急激な増加と、プロペラ深度が自由表面の影響を受け始める点と思われる。これらのことから風力階級の大きいところでみられる燃料消費量の大きなばらつきは、同一風力でも波の発達状態に差があること、波浪と船体との出合周期が一様でないためと思われる。そして、これらの波浪影響は、耕洋丸においては、風力階級4以上、開洋丸では風力階級5以上でいちじるしく大きくなると推察される。

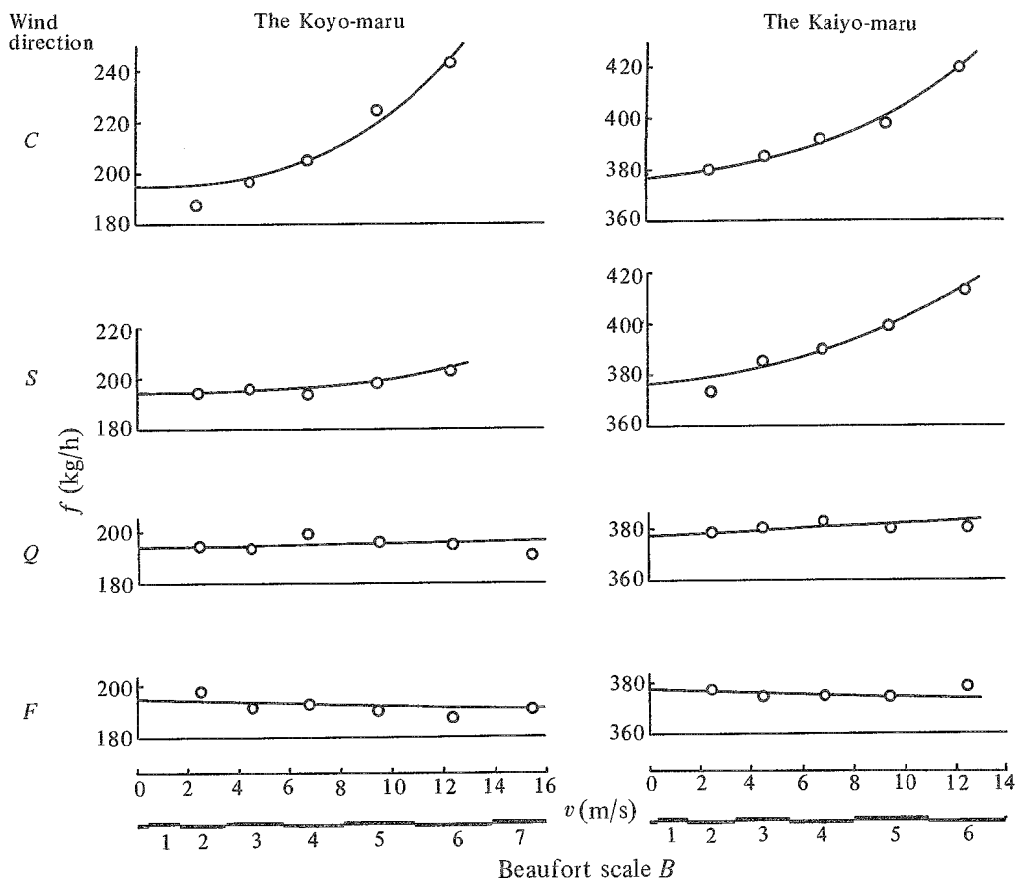


Fig. 2. Fuel consumption (f) and wind velocity (v).

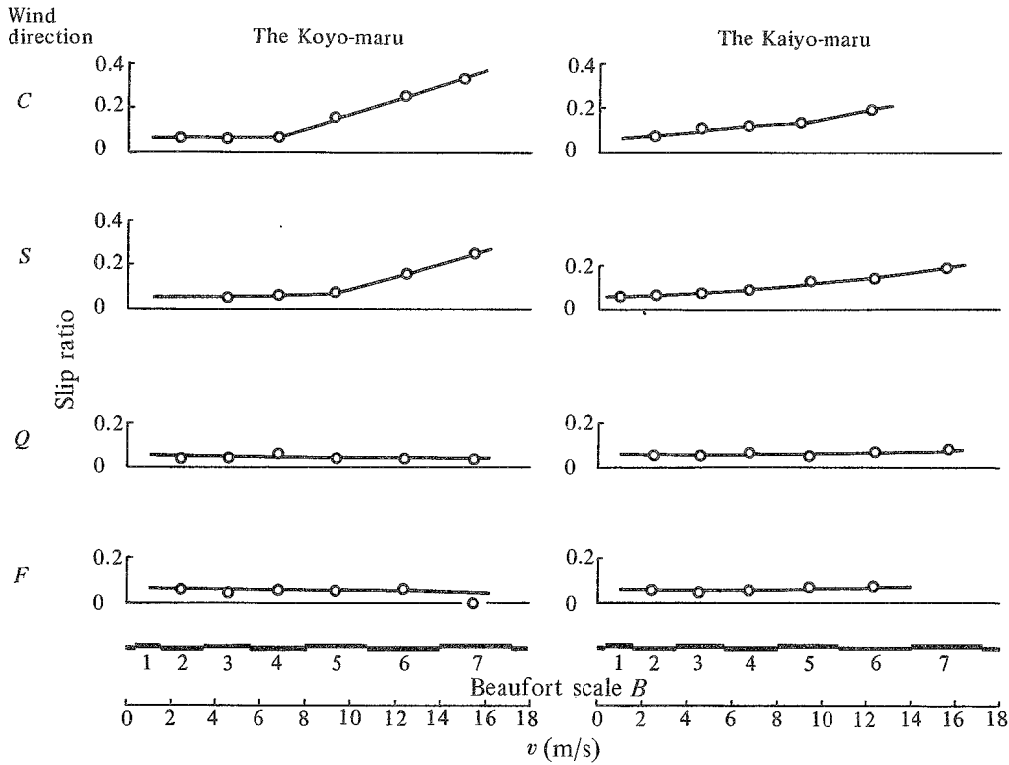


Fig. 3. Apparent slip ratio and wind velocity (v).

4. あとがき

回転数一定条件下における推進機関の燃料消費量は、対向風で大きく影響を受ける。冬季、外洋で常時みられる風力階級5⁴⁾においては無風状態に比し、耕洋丸で15%、開洋丸で8%の消費増加がある。両者の増加率の差は、多くの要因にもとづき、かなり大きい。波浪との出合周期にもとづく影響が大きいことから、船長が大きな要因の一つであると推定される。二隻だけの調査であり、一般論として言及できないが、1000トンから3000トン級の範囲において、燃料消費量におよぼす波浪影響は、船長の短い方が大きいといえる。

本報告では燃料消費量の面から波浪影響を統計的に考察したが、推進機関におよぼす波浪影響は波浪との出会い周期が大きな要因であると思われるから、それにもとづくトルクの変動に注目し、この点について、今後、調査検討しなければならない。

文 献

- 1) 本間 仁・春日屋伸昌, 1971: 応用数学講座, 第5巻, P. 225. コロナ社.
- 2) 関西造船協会編, 1965: 造船設計便覧, P. 339.
- 3) 関西造船協会編, 1965: 造船設計便覧, P. 400.
- 4) 福地 章・他, 1968: 冬季北太平洋の風浪について. 日本航海学会誌, 39, 63—75.