停止せる推進器進航の抵抗

協同員 船長 荒 木 勤

Abstract.

Resistance of Stopped Propellers Proceeding through Water.

By T. Araki, Master Mariner of Nippon Yusen Kaisha, *Associate Member*.

When an ordinary Merchant ship, afloat on deep still water under no wind condition, is proceeding ahead by her own inertia only, her propellers having been completely stopped and her speed length ratio $\frac{K}{\sqrt{L}}$ (where K is speed in knots and L is L. P. P. in feet) is less than 0.4, resistances acting upon the ship are principally skin resistance and the resistance of stopped propellers dragging through the water, as the wave making resistance is practically negligible. The present paper deals with the above mentioned dragging resistance of stopped propellers of a ship longer than 400 feet, proceeding at a speed from 8 to 3 knots.

The loss of kinetic energy in ft. tons of a ship of W tons displacement, in the course of an interval between the instant when her velocity was v_1 ft. per sec. and the instant when her velocity became v_2 ft. per sec., can be calculated as follow:—

$$\text{Loss of K. E. in ft. tons} = \frac{1}{2} \frac{Wv_1^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{Wv_2^2}{g},$$

Where g is acceleration by gravity in ft. per sec. per sec. (32.2 ft.). If we denote the distance in feet, travelled by the ship in the said interval by S at a mean velocity $\frac{v_1 + v_2}{2}$ ft. per sec.,

$$\text{Total Resistance in tons} = \left(\frac{1}{2} \frac{Wv_1^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{Wv_2^2}{g} \right) \div S.$$

From this quantity, deduct the calculated skin resistance at the same mean velocity, then we obtain the dragging resistance (in tons) of stopped propellers at the said mean velocity.

In order to find the propeller dragging resistance, by means of the above theorem, the author made two actual experiments, when he was in command of S. S. "Tajima Maru" and "Katori Maru", 15 and 8 years ago respectively, the summaries of the results of experiments being given in Tables I and II. Successive velocities were obtained by throwing short wooden logs overboard, one after another, from the forward end of a measured fore and aft distance on board ship, having watched the thrown wooden logs

right abeam of the after end of the measured distance, and noting intervals in seconds: care was taken for the procedure that when the 1st log bore right beam of the after end of the measured distance, the 2nd log was to be thrown overboard without delay from the forward end of the same, and so on.

In Tables I and II, T , t , and v are instants at which logs were thrown over-board in H. M. S., intervals in seconds, and velocities in ft. per sec., respectively. All v 's are converted into K , which represents corresponding speed in knots. Total resistances (R in tons), skin resistances (R_f in tons), and propeller dragging resistances (R_p in tons), are calculated at successive mean speeds (K mean). In case of Table I relating to the "Tajima Maru", $R(\text{tons}) - R_f(\text{tons}) = R_p(\text{tons})$, while in case of Table II for the "Katori Maru" some corrections were made as will be seen from remarks at top lines of the tables, and also in Table III. N. B. All the tables and remarks for the same, are written in English, for convenience of foreign readers. Graphical curves, showing relations between speeds and the dragging resistances of two stopped propellers of the two ships, are as shown in the figure, the irregularity of actual results being faired. Examining the graphs and adopting some guess work, the author compiled his own formula as follow:—

$$R_p(\text{tons}) = \frac{0.01 \times 90 nd^2 K^{1.9}}{2,240},$$

where, $R_p(\text{tons})$...dragging resistance in tons of stopped propellers,

nnumber of propellers,

ddiameter of each propeller, in feet,

KSpeed in knots.

Keeping notations W , g , k , $R(\text{tons})$, $R_f(\text{tons})$, $R_p(\text{tons})$, n , and d , the same as before, let S , here after, represent the area of wetted surface in sq. ft., or the area multiplied by such numbers as 1.1, 1.2, 1.3,, in accordance with the foulness of the wetted surface itself, and let us also assume

$$R_f(\text{tons}) = \frac{0.01 SK^{1.9}}{2,240}.$$

Then we have

$$R(\text{tons}) = R_f(\text{tons}) + R_p(\text{tons}) = \frac{0.01 (S + 90 nd^2) K^{1.9}}{2,240},$$

Substituting ⑤ for $S + 90 nd^2$,

$$R(\text{tons}) = \textcircled{5} \times \frac{0.01 K^{1.9}}{2,240}$$

As one knot corresponds 1.688 ft. per sec., the loss of kinetic energy in ft. tons, of the ship, in an interval while her speed drops by $\frac{1}{2}$ knot from K knots to $(K - \frac{1}{2})$ knots, is

$$\frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 K^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 (K - \frac{1}{2})^2}{g}$$

and mean total resistance in tons in the same interval is

$\textcircled{S} \times \frac{0.01 \left(K - \frac{1}{4}\right)^{1.9}}{2,240}$. Therefore, if D be the distance in feet of the ship's travel in the said interval,

$$D = \frac{\frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 K^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 \left(K - \frac{1}{2}\right)^2}{g}}{\textcircled{S} \times \frac{0.01 \left(K - \frac{1}{4}\right)^{1.9}}{2,240}},$$

$$D = \frac{W}{\textcircled{S}} \times \frac{\frac{1}{2} \frac{1.688^2 K^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{1.688^2 \left(K - \frac{1}{2}\right)^2}{g}}{\frac{0.01 \left(K - \frac{1}{4}\right)^{1.9}}{2,240}}$$

Let the numerator and denominator of the 2nd factor on the right hand side of the last equation be represented by A and B , then

$$D = \frac{W}{\textcircled{S}} \times \frac{A}{B}.$$

A , B , and $\frac{A}{B}$ were calculated by the author, for half-knot drops of speed and are tabulated in Table IV, and integrations of $\frac{A}{B}$ for various drops of speed are shown in Table V.

Example. A twin screw ship is driven by reciprocating engines: dia. of each propeller 18 feet, draft 24 ft. mean, displacement 16,000 tons, area of wetted surface 45,000 sq. ft., assuming the skin resistance to be 1.2 times that of clean bottom. When the ship proceeds ahead only by her inertia, with all propellers stopped, how many feet (D) will she travel in an interval while her speed drops from 7 knots to 3 knots?

$$\textcircled{S} = 45,000 \times 1.2 + 90 \times 2 \times 18^2 = 111,320$$

$$\frac{W}{\textcircled{S}} = \frac{16,000}{111,320} = 0.143, \text{ Sum of } \frac{A}{B} \text{ from 7 knots to 3 knots} = 19,814.$$

$$D = 0.143 \times 19,814 = 2,742 \text{ feet.}$$

Since the author compiled Table V, he had an opportunity of testing the reliability of the table, by actual experiment, in February, 1935, when he was in command of M. V. "Heian Maru," the results being shown in Table VI with remarks.

At present, the author is not in a position of announcing that his formula $R_p(\text{tons}) = \frac{0.01 \times 90 n d^2 K^{1.9}}{2,240}$ and Table V derived from that formula are absolutely correct, as the number of actual experiments was very few, and the effects of wake water etc. were neglected, and further the formula itself involved some guess work. If this paper, however, encourages further research on the problem and a better formula is turned out, it will become helpful to captains of ships.

無風平靜なる深き水上を、普通の航洋商船が相當の吃水で、其推進器を停止したる儘、惰性にて前進、speed length-ratio $\frac{K}{\sqrt{L}}$ [但し、 K は船の時速(節)、 L は船の長さ(呎)] が 0.4 よりも小なる場合には、wave making resistance を無視し得べく、船に働く抵抗は、skin resistance と停止せる

又 $\frac{T_2+T_3}{2}$ 時刻、船の速度/秒は約 v_2 呎、kinetic energy は

$$\frac{1}{2} \frac{W v_2^2}{g} \text{ 呎・噸。}$$

$\frac{T_1+T_2}{2}$ と $\frac{T_2+T_3}{2}$ の兩時刻間に、船が惰性前進をなせる距離は S 呎、平均速度/秒は $\frac{v_1+v_2}{2}$ 呎にして、兩時刻間に船が失ひたる kinetic energy [計算表の Loss of K. E.] は

$$\left(\frac{1}{2} \frac{W v_1^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{W v_2^2}{g} \right) \text{ 呎・噸}$$

なる故、空氣抵抗と、船體追従水の影響を無視し、船の惰性速度/秒が $\frac{v_1+v_2}{2}$ 呎なる場合、船が受くる全抵抗 [計算表の $R(\text{tons})$] は

$$\left\{ \left(\frac{1}{2} \frac{W v_1^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{W v_2^2}{g} \right) \div s \right\} \text{ 噸}$$

である。此内から速度/秒 $\frac{v_1+v_2}{2}$ 呎に對する skin resistance [計算表の $R_f(\text{tons})$] を差引きたる残りは、同速度に對する propeller dragging resistance [計算表の $R_p(\text{tons})$] である。是等抵抗各の單位は勿論噸である。

上記の方法に依る汽船但馬丸及び香取丸の實驗計算を Table I 及 Table II に掲げる。是等實驗表にありては、速度/秒を時速節 [表の K] に換算し、平均時速節 [表の K_{mean}] に對し、skin resistance の計算を行ひ、且つ propeller dragging resistance も亦時速節に對するものにした。尙實驗の遂行に當り、木片投下の迅速或は稍緩漫、及び其正横觀測多少の遲速に基き、相次ぐ時間間隔秒數 [t] の漸増稍不規則なりし部分は、附屬表の如く之を fair にし、尙又相次ぐ速度呎/秒 [v] 及 kinetic energy の損失 [Loss of K. E.] をも其 1st & 2nd differences を用ひて修正を施し、全抵抗 [$R(\text{tons})$] を計算した。但香取丸の場合には、此の修正用計算表の記載を省略する。

Experiment in S. S. "Tajima Maru".

Tonnages: 6,995 gross, 4,283 nett.

L. P. P. 445 ft. about, B. M. 58 ft., D. M. 34 ft.

Cargo Liner, ordinary full sea speed 10 $\frac{3}{4}$ knots, driven by 2 sets of triple expansion reciprocating steam engines.

Diameter and pitch of each propeller: 16 ft. and 18 ft. 9 in.

Date and place of experiment: Jan. 29th, 1920 (178 days after last dry docking), in Malacca Strait 17-22 fathoms deep, calm sea and beam wind of force 1 [Beaufort Scale].

At the time of experiment: Mean draft 23'4", displacement 12,970 tons, both propeller being well immersed under water, area of wetted surface 38,500 sq. ft.

Fore and aft distance from the spot where logs were thrown over board to the point where the said logs were observed abeam 328 ft.

Taking into consideration, the number of days after drydocking and adopting Dr. Hiraga's new formula, the skin-resistances were computed as follows:—

$$R_f(\text{tons}) = \frac{0.011 \times 38,500 \times K_{\text{mean}}^{1.9}}{2,240}.$$

Table I. Experiment in S. S. "Tajima Maru"

Instants logs thrown over- board.	Intervals in second faired.	Velocities ft./sec. faired.	Corres- ponding speeds in knots.	Kinetic energy in ft. tons.	Loss of kinetic energy in ft. tons. faired.	Total resistance in tons	Mean speed in knots.	Skin resistance in tons	Propeller dragging resistance in tons.
<i>T</i>	<i>t</i>	<i>v</i>	<i>K</i>	K.E.	Loss of K. E.	<i>R</i> (tons)	<i>K</i> _{mean}	<i>R_f</i> (tons)	<i>R_p</i> (tons)
H M S									
2-40-01	23	14.26	8.44	41,209	6,474	19.73	8.09	10.01	9.72
2-40-25	25	13.09	7.75	34,725	5,590	17.04	7.42	8.51	8.53
40-50	27	11.99	7.09	29,134					
41-18½	30	10.96	6.48	24,343	4,801	14.63	6.78	7.18	7.45
41-48	33	10.00	5.92	20,267	4,100	12.50	6.20	6.05	6.45
42-22	36	9.11	5.39	16,819	3,480	10.60	5.65	5.07	5.53
42-58	40	8.28	4.90	13,894	2,935	8.94	5.14	4.24	4.70
43-38	44	7.52	4.45	11,460	2,459	7.49	4.67	3.39	4.10
44-24	49	6.82	4.03	9,426	2,046	6.23	4.24	2.94	3.29
45-11	54	6.18	3.65	7,740	1,690	5.15	3.84	2.43	2.72
46-03	59	5.60	3.31	6,355	1,385	4.22	3.48	2.02	2.20
47-01	65	5.08	3.00	5,230	1,125	3.42	3.15	1.67	1.75
48-06	70	4.62	2.73	4,326	904	2.75	2.86	1.39	1.36
49-49									

Table showing Adjustments of *v* and Loss of K. E.

$\frac{328}{t}$	1st diff.	2nd diff.	2nd diff. faired.	1st diff. faired.	Faired <i>v</i>	K. E.	Loss of K.E. as cal- culated.	1st diff.	2nd diff.	2nd diff. faired.	1st diff. faired.	Faired loss of K. E.
14.26	1.14			1.17	14.26	41,209	6,484					
13.12	0.97	-.17	-.07	1.10	13.09	34,725	5,591	893			886	6,474
12.15	1.22	+.25	-.07	1.10	11.99	29,134	5,591	800	93	95	789	5,590
10.93	0.99	-.23	-.07	1.03	10.96	24,343	4,791	715	85	88	701	4,801
9.94	0.83	-.16	-.07	0.96	10.00	20,267	4,076	628	87	81	620	4,100
9.11	0.83	+.08	-.07	0.89	9.11	16,819	3,448	523	105	75	545	3,480
8.20	0.91	-.16	-.07	0.83	8.28	13,894	2,925	491	32	69	476	2,935
7.45	0.75	+.01	-.06	0.76	7.52	11,460	2,434	400	91	63	413	2,459
6.69	0.76	-.14	-.06	0.70	6.82	9,426	2,034	348	52	57	356	2,046
6.07	0.62	-.11	-.06	0.64	6.18	7,740	1,686	301	47	51	305	1,690
5.56	0.51	+.01	-.06	0.58	5.60	6,355	1,385	260	41	45	260	1,385
5.04	0.52	-.10	-.06	0.52	5.08	5,230	1,125	221	39	39	221	1,125
4.62	0.42			0.46	4.62	4,326	904					904

Experiment in S. S. "Katori Maru".

Tonnages: 9,849 gross, 6,128 nett.

L. P. P. 490 ft. about, B. M. 61 ft. D. M. 36½ ft.

Regular passenger and cargo liner [Yokohama-Europe], ordinary full sea speed $13\frac{3}{4}$ knots, driven by 2 sets of triple expansion reciprocating steam engines of about 2,500 registered H. P. each, and one low pressure exhaust steam turbine of about 1,500 registered H. P., directly connected to its propeller shaft.

Dia. and pitch of each propeller connected to reciprocating engines: 16'-6" and 19'-0" respectively.

Dia. and pitch of propeller of turbine propeller: 11'-0" and 9'-0".

Date and place of experiment: Oct. 30th, 1928, 110 days after dry docking, 220 miles west of port of Colombo, sea calm, wind of variable direction and force 1, very deep sea.

At the time of Experiment: Mean draft 27'-8", dispt. 18,500 tons, all propellers well immersed under water, area of wetted surface 48,500 sq. ft.

Fore and aft distance from the spot where logs were thrown over board to the spot where the said logs were observed abeam 203 ft

$$R_f(\text{tons}) = \frac{0.01 \times 48,500 \times K_{\text{mean}}^{1.9}}{2,240}.$$

In case of this triple screw ship, $[R(\text{tons}) - R_f(\text{tons})]$ of Table II does not represent "Dragging resistance of two stopped propellers" $[R_p(\text{tons})]$ connected to reciprocating engines, as the turbine propeller continued its revolution for a considerable time after stopping supply of steam, owing to inertia of its 40 ton heavy rotor. As for amount of thrust given by turbine propeller, please refer Table III.

Table II. Experiment per S. S. "Katori Maru".

[illegible]

香取丸の場合、實驗直前時速 $13\frac{1}{2}$ 節前進中に 3 推進器が船に與へて居りし thrust は約 35 噸許りにして、半速を命じたる 6 分後に汽機蒸氣の送入を絶ち、往復動式連結兩推進器の回轉を停止したるのであるが、直徑約 11 呎重量 40 噸の turbine rotor に直結の中央推進器は、rotor 等の惰性に依り、尙回轉を續け、實驗表の〔T〕4-16-02 の一分後に自然停止した。又本實驗中、表の〔T〕4-13-47 頃から、舵夫が steady course を守らんとする習性に依り、命令なく偏舵を始めたことを發見した。往復動式機關停止、船が惰性前進をなせる間、turbine 機惰性回轉中の初期にありては、之に直結の推進器は船に推進力を與へ、假令之が回轉し居るも、自然停止に近づける後期にありては、船に其 propeller dragging resistance を與へ、偏舵も亦、船の前進に對し、餘分の resistance を生じたるものである。

從つて、實驗表には、 $R(\text{tons}) = \text{Loss of K.E.} \div S$ として計算して置いたけれども、本船惰性前進中、停止せる往復動式機關連結兩推進器の dragging resistance は表の $R(\text{tons}) - R_f(\text{tons})$ に、惰性回轉 turbine 機直結推進器の推進力 (thrust) を加算したるもの、又は $R(\text{tons}) - R(\text{tons})$ から turbine 推進器 dragging resistance 及偏舵に依る抵抗を差引いたものである。即ち本實驗表に依り、往復動式機關兩暗車の dragging resistance を的確に求むることは困難である。

今、表の〔T〕4-10-40 即ち船の惰性時速が 7.85 節の頃、惰性回轉 turbine 推進器の船に與ふる thrust が約 2 噸 $\left[35 \text{ tons} \times \frac{1,500}{2,500 \times 2 + 1,500} \times \frac{1}{4} = 2.02 \text{ tons} \right]$ なるものと推定し、之が漸減し表の〔T〕4-13-02 時速 5.58 節頃、零となりたるものと假定し、夫れ以前の各平均時速に對する往復動式機關兩推進器 dragging resistance $[R_p(\text{tons})]$ を計算し、其値を Table III に掲げる。蓋し當該時刻までは、表の t 漸増具合が比較的規則正しかりしを以て、上記の如く假定したのである。

Table III. S. S. "Katori Maru", *Dragging Resistance of Two Propellers connected to Reciprocating Engines.			
K_{mean}	$R(\text{tons}) - R_f(\text{tons})$	Thrust of Turbine Propeller.	* $R_p(\text{tons})$
7.85	8.65	2.00	10.85
7.55	8.23	1.70	9.93
7.25	7.85	1.40	9.25
6.96	7.47	1.10	8.57
6.67	7.10	0.80	7.90
6.39	6.75	0.60	7.35
6.12	6.38	0.40	6.78
5.84	6.05	0.20	6.25
5.58	5.74	0.00	5.74

尙、香取丸の上表の範囲内、及び但馬丸全実験計算表の平均時速〔 K_{mean} 〕を横軸上に、各時速に對する propeller dragging resistance 〔 R_p (tons)〕を縦軸上に取り、畫きたる curves を圖面に示す。兩船の実験計算に、船に追従する水の影響を無視せるのみならず、香取丸の場合、惰性回轉をなせる

turbine 機推進器の推進力に推定値を用ひたる故、是等の實驗を基礎として、船體惰性時速と停止せる推進器 dragging resistance との關係を定むる式を得んと欲する事は妥當でない憾がある。勿論、推進器の形狀、其直徑と螺距の比等の異なるに應じ、若干の差はあるが、15% 内外の誤差を認容し、且つ R_p (tons) が各推進器直徑の平方と、惰性前進速度の 1.9 冪に正比例するものとし、 R_p (tons) は次の式で求められるものと著者が見當を付けて居るのである。

$$R_p(\text{tons}) = \frac{0.01 \times 90 \, n d^2 K^{1.9}}{2,240} \dots\dots\dots (1)$$

但し、 $R_p(\text{tons})$ …… propeller dragging resistance を噸で測る數値、

n …… 停止せる推進器の箇數、

d …… 停止せる推進器直徑の呎數、

K …… 船の惰性前進時速の節數。

(1) 式の意味は、 $R_p(\text{tons})$ が、推進器直徑を一邊とする正方形 90 倍面積の skin resistance に等しからうと謂ふ事である。

次に推進器の回轉を停止し、惰性前進をなせる船が、或時速から、夫れよりも低き時速となるまでに、進航する距離の算式を述べる。但し本問題にありては、船は全く turbine 機を有せざるものとす。

$W, g, K, R(\text{tons}), R_f(\text{tons}), n, d, R_p(\text{tons})$ の諸記號の意味は是迄通りとし、平方呎にて測る所の wetted surface 面積、或は船底汚損狀態に應じ、當該面積に 1.1, 1.2, 1.3 等の推定數を乗じたるものを S にて表し、且つ

$$R_f(\text{tons}) = \frac{0.0100 S K^{1.9}}{2,240} \dots\dots\dots (2)$$

なるものと定む。然るときは (1) 式と綜合し、

$$R(\text{tons}) = R_f(\text{tons}) + R_p(\text{tons}) = \frac{0.01 S K^{1.9}}{2,240} + \frac{0.01 \times 90 n d^2 K^{1.9}}{2,240},$$

$$R(\text{tons}) = \frac{0.01 (S + 90 n d^2) K^{1.9}}{2,240} \dots\dots\dots (3)$$

今、 $S + 90 n d^2 = \textcircled{5}$ と置けば、

$$R(\text{tons}) = \textcircled{5} \times \frac{0.01 K^{1.9}}{2,240} \dots\dots\dots (4)$$

時速 K 節は速度/秒の 1.688 K 呎、又時速 $(K-1/2)$ 節は速度/秒の 1.688 $(K-1/2)$ 呎に該當する故、船の惰性時速が K 節から $(K-1/2)$ 節に遞下するまでの kinetic energy の損失高は、

$$\left\{ \frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 K^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 (K-1/2)^2}{g} \right\} \text{呎} \cdot \text{噸}$$

にして、又此間の平均全抵抗は (4) 式から導き

$$\textcircled{5} \times \frac{0.01 (K-1/4)^{1.9}}{2,240} \text{噸}$$

なるを以て、惰性時速が K 節から $(K-1/2)$ 節に遞下するまでの船前進距離呎數を D にて表せば

$$D = \frac{\frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 K^2}{g} - \frac{1}{2} \frac{W \times 1.688^2 (K-1/2)^2}{g}}{\textcircled{5} \times \frac{0.01 (K-1/4)^{1.9}}{2,240}} \text{呎},$$

$$D = \frac{W}{\textcircled{S}} \times \frac{\frac{1}{2g} 1.688^2 K^2 - \frac{1}{2g} \times 1.688^2 (K - 1/2)^2}{\frac{0.01 (K - 1/4)^{1.9}}{2,240}} \quad \text{呎} \dots \dots \dots (5)$$

(5) 式右邊第 2 因數分子を A にて、及同因數分母を B にて表せば

$$D = \frac{W}{\textcircled{S}} \times \frac{A}{B} \dots \dots \dots (6)$$

時速 8 節から 3 節まで毎 1/2 節置きの K に対する、(6) 式の A , B , 及 $\frac{A}{B}$ を計算したるものを Table IV に掲げて置く。

Table IV. Values $\frac{A}{B}$ for Speed Drops of $\frac{1}{2}$ Knot.

Speeds in knots of ship by inertia	$\frac{1}{2g} 1.688^2 K^2$ where $g = 32.2 \text{ ft.}$ per sec. per sec.	$\frac{1}{2g} 1.688^2 K^2 -$ $\frac{1}{2g} 1.688^2 (K - \frac{1}{2})^2$	Mean speeds in knots.	$\frac{0.01 \times (K - \frac{1}{4})^{1.9}}{2,240}$	$\frac{A}{B}$
K		A	$K - \frac{1}{4}$	B	
8	2.8316	0.3428	$7\frac{3}{4}$	0.0002185	1,569
$7\frac{1}{2}$	2.4888	0.3208	$7\frac{1}{4}$	0.0001924	1,667
7	2.1680	0.2986	$6\frac{3}{4}$	0.0001680	1,777
$6\frac{1}{2}$	1.8694	0.2766	$6\frac{1}{4}$	0.0001542	1,905
6	1.5928	0.2544	$5\frac{3}{4}$	0.0001239	2,053
$5\frac{1}{2}$	1.3384	0.2323	$5\frac{1}{4}$	0.0001042	2,228
5	1.1061	0.2102	$4\frac{3}{4}$	0.0000862	2,439
$4\frac{1}{2}$	0.8959	0.1880	$4\frac{1}{4}$	0.0000698	2,695
4	0.7079	0.1659	$3\frac{3}{4}$	0.0000550	3,016
$3\frac{1}{2}$	0.5420	0.1438	$3\frac{1}{4}$	0.0000419	3,431
3	0.3982				

〔例 1〕 各直徑 18 呎の雙暗車を有する汽船、吃水 24 呎にして、排水量 16,000 噸、wetted surface 面積 45,000 平方呎なりとす。船底塗替直後、推進器回轉停止の儘、惰性前進中、時速が 7

節から $6\frac{1}{2}$ 節に遞下する間に、船の進航する距離呎數〔 D 〕如何。

$$W=16,000, \quad \textcircled{S}=45,000+90\times 2\times 18^2=103,320.$$

$$\frac{W}{\textcircled{S}}=\frac{16,000}{103,320}=0.155.$$

時速 7 節から $6\frac{1}{2}$ 節までの $\frac{A}{B}$ は Table IV に依り、1,777、

即ち (6) 式に依り

$$D=0.155\times 1,777=265 \text{ 呎}$$

〔例 2〕 上記の船が、推進器停止惰性前進中、時速が 7 節から 5 節になるまでの進航距離呎數〔之を D とす〕如何。

$$D=0.155\times 1,777+0.155\times 1,905+0.155\times 2,053$$

$$+0.155\times 2,228$$

$$=0.155\times (1,777+1,905+2,053+2,228)$$

$$=0.155\times 7,963=1,234 \text{ 呎}$$

此例に示す如く、7 節から $6\frac{1}{2}$ 節まで、 $6\frac{1}{2}$ 節から 6 節まで、6 節から $5\frac{1}{2}$ 節まで、及び $5\frac{1}{2}$ 節から 5 節までの各 $\frac{A}{B}$ の和を、 $\frac{W}{\textcircled{S}}$ に乗じたる積は、時速が 7 節から 5 節に遞下する間に船が前進する距離の呎數である。Table V には、8 節と 3 節の範囲内に、種々組合せの兩時速間に於ける $\frac{A}{B}$ の和を掲げる。

Table V.

Sums of $\frac{A}{B}$ for Various Combinations
of Speeds.

8 knots											
1,569	$7\frac{1}{2}$ knots										
3,236	1,667	7 knots									
5,013	3,444	1,777	$6\frac{1}{2}$ knots								
6,918	5,347	3,682	1,905	6 knots							
8,971	7,402	5,735	3,958	2,053	$5\frac{1}{2}$ knots						
11,199	9,630	7,963	6,186	4,281	2,228	5 knots					
13,638	12,069	10,402	8,625	6,720	4,667	2,439	$4\frac{1}{2}$ knots				
16,603	15,034	13,367	11,590	9,685	7,632	5,404	2,965	4 knots			
19,619	18,050	16,383	14,606	12,701	10,648	8,420	5,981	3,016	$3\frac{1}{2}$ knots		
23,050	21,481	19,814	18,037	16,132	14,079	11,851	9,412	6,447	3,431	3 knots	

〔例 3〕 前 2 例の汽船入渠船底塗替後、7 箇月を経過せる故、其 skin resistance が塗替直後よりも其 2 割だけ大なるものとす。前例と同じ吃水にて推進器停止、惰性前進中、時速が 7 節から 3 節に遞下するまでの進航距離(呎)〔 D 〕如何。

$$W=16,000, \quad \textcircled{S}=45,000 \times 1.2 + 90 \times 2 \times 18^2 = 111,320.$$

$\frac{W}{\textcircled{S}} = 0.143$. 時速 7 節から 3 節までの $\frac{A}{B}$ の和は Table V に依り、19,814 である。故に問題の答は

$$D = 0.143 \times 19,814 = 2,742 \text{ 呎}$$

本論文内容の研究を終り、平安丸〔總噸數 11,615、純噸數 6,834、L.P.P. 約 511 呎、B.M. 66 呎、D.M. 41 呎、内燃機關にて推進する雙螺旋貨客船〕乗船中、著者は本年 2 月 13, 14 日各々刻、北米 Seattle 及 Vancouver 附近深海を進航中、機關停止、舵を中央に保ちたる儘、兩回に互り木片 24 箇の投下に依り、惰性前進中時速遞下の實驗を行つた。木片投入場所と其正横觀測場所との前後距離を 1.688 の 100 倍 169 呎と定め、相次ぐ木片投入時刻の間隔秒數を求め、夫れに依り計算したる時速を ordinates, 又進航距離を abscissae として curve を畫き、此 curve も若干 fair up を施し、之を利用し、時速 1 節宛遞下に對する進航距離(呎)を求めたるに、Table VI に示す通りの實績を得た。

M. V. "Heian Maru."

Dia. and pitch of each of twin screw: 16'-6" and 17'-5".

Draughts in experiment 28'-2" mean, displacement 18,600 tons, corresponding area of wetted surface 48,750 square feet, bottom very clean, one month after dry docking.

$$\textcircled{S} = 48,750 + 90 \times 2 \times 16.5^2 = 97,755,$$

$$\frac{W}{\textcircled{S}} = \frac{18,600}{97,755} = 0.19.$$

Table VI. M. V. "Heian Maru": Engines Stopped.

*Distances (in feet) travelled, while Her Speed dropped successively by One Knot.

Speed in knots.	9	8	7	6	5	4	3		From 8 knots to 3 knots
*By experiment.	520	560	630	720	880	1,200			3,990
$0.19 \times \text{sum of } \frac{A}{B}$		615	699	813	1,026	1,235			4,388
Calculation Experiment		1.09	1.11	1.13	1.16	1.03			1.10

$$R_r(\text{tons}) = \frac{0.01SK^{1.9}}{2,240} \text{ なる (2) 式と、著者自製の}$$

$R_p(\text{tons}) = \frac{0.01 \times 90nd^2K^{1.9}}{2,240}$ なる (1) 式とを基礎として、作成せる Table V を用ひて計算した結果は、平安丸に於ける實驗結果よりも、其 0.03~0.16 平約 0.10 だけ大であつた。唯 1 回の test を経たのみで、確言すべき限りではないが、(6) 式と Table V に依る計算は、實際のものと其 2 割以上の差を伴はざるべく、操船上の目安として、必ずしも無價値であるまいと考へる。又著者自製 (1) 式の如きは、尙多大の實驗的理論的検討を経べきものにして、著者此論文の發表が、船舶工學専門家竝に海技者の本問題研究の端緒となり、將來的確なる方式算法が出來上るならば、著者望外の幸たるのみならず、一般船長の操船運用上、裨益する所大なりと考へる次第である。

討 論

○會長代理(平賀讓君) 御質問又は御討論は御座いませんか。

○出淵異君 (1) 式は使はれる場合覚え易い爲めに作られたものと思ひますが、mean curve を正直に取ると index は 1.38~1.37 になります。1.9 からは大分離れて居りますが。

○荒木勤君 1.9 としました。skin resistance を 1.9 とする關係上、propeller の方も 1.9 としたのです。8 節以下ならば之位でよいと思ひます。

○出淵異君 實は吾々が斯る場合に見當をつけるのに、

$$R_p = \frac{3.23}{\sqrt{1+0.52p^2}} \times A \times \left(\frac{v}{100} \right)^2$$

R_p = dragging resistance in lbs., p = face pitch ratio,

A = developed area in ft², v = speed of the ship in ft. per min.

なる式を使用致して居りますが、此の出所は多分甘利造機中佐か、若くは八代博士かと思ひますが、某艦に就き荒木さんと同じ實驗をして此式で計算したのと比較しましたが、實艦でも割合によく合ふ様です。之と比較出來れば結構と思ひます。

○荒木勤君 斯う云ふ式があれば、非常に結構だと思ひます。

○平賀讓君 出淵君、 v の square になると今のよりももつと遠くなりはしませんか。

○出淵異君 え、そうです。

○荒木勤君 平安丸を造つた大阪鐵工所の實驗に依ると、5 節以上では私の作つたものより 12% 多く、5 節以下になると 20% 少くなる様です。此時も恐らく舵取が舵を取つてたのではないかと思ひます。

○會長代理(平賀讓君) 他に御座いませんか。

○湊一磨君 此論文は船舶操縦者にとり大變有益な資料に違ひないと考へ、荒木船長の御努力に對し多大の敬意を表します。偕て、一つ慇な事を申しますと、實際に供せられた船は、推進器 2 箇のものと 3 箇のもの、而かも 3 箇の場合の中心線の軸はタービン直結で、推進器は空回轉をしてゐたとの御話であります。而して (1) 式では、 n が推進器箇數となつて居まして、單螺旋の場合にも此のまゝ當て嵌る形になつて居ますが、此頃大分出來ました様な大型の單螺旋の場合には、推進器附近の wake の様子が雙螺旋の場合に比し餘程變つて來ると思ひますから、之れに對しては別箇の考慮を要するであらうと思ひます。一寸御參考迄に申し上げます。

○荒木勤君 私の實驗は data が少く平安丸の propeller の diameter は 16 呎で斯うなつたと云ふに過ぎません。實は twin screw と書きたかつたのですが、どうもそうも行かぬので一般的に書いたので勿論多少誤差はある譯です。

○會長代理(平賀讓君) 他に御座いませんか。……なければ荒木君の實驗から持つて來て理論を加へて有益な empirical formula を御作りになつた事に對して、拍手を以て皆様と共に御禮申し上げます。(一同拍手)