

設計図面から各種2艘曳並びにトロール網の抵抗および網口高さを求める近似式について

谷口 武夫

On the Hydrodynamic Resistance and the Gape Height of Pair and Otter Trawl Nets Estimated by Approximate Equations

By
Takeo TANIGUCHI

Usually the hydrodynamic resistance and the gape-height at net mouth of a trawl net are empirically determined on the basis of either model or field experiments. However, it would be certainly helpful for a net-designer, if a formula is made available for estimating the resistance or the gape-height of various trawl nets from a construction plan of the net.

By simplifying TAUTI's theory on the plane net in motion through the water, the hydrodynamic resistance, R_n (kg), of a trawl net may be expressed as

$$R_n = k(D/L)_m S^* \rho V^{2 \cdot m} \dots\dots\dots(2)$$

And, with the similar consideration to the above, the gape-height, H_n (m), of a trawl net is indicated as

$$H_n = h (D/L)_m H^* V^n \dots\dots\dots(3)$$

In both above equations, k and h are the coefficient of proportion, ρ the density of sea-water ($105 \text{ kg sec}^2/\text{m}^4$) and V the towing speed (m/s). $(D/L)_m$ signifies the average ratio of the diameter of net twine to the length of each mesh-bar, which is computed by

$$(D/L)_m = \frac{\sum_{i=1}^n (D/L)_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots\dots n) \dots\dots(4)$$

in which $(D/L)_i$ and A_i show (D/L) of i -th panel of the net and its stretched area (m^2), respectively. And, S^* and H^* indicate the projected area (m^2) of the net on the direction of motion and its height (m) in the ideal condition, which are approximately given by the following each equation

$$S^* = \sin \beta \{ 2L_b H^* + L_w (B_w + H^*) \} \dots\dots\dots(5)$$

and $H^* = 1/2(B_s + 2B_{ws} - 2L_b \sin \beta), \dots\dots\dots(6)$

here β is the angle between the wing and the direction of motion, L and B with suffix sign the length and the breadth of the parts of the net arranged on a construction plan (Fig. 1).

* 水産大学校研究業績 第1002号1983年10月5日受理。
Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1002. Received Oct. 5, 1983.

From model and field experiments of various pair and otter trawl nets and gear shown in Tables 1 and 2 or in Fig. 2-a and -b, the relation between the resistance, R_n , and the towing speed, V , is as in Fig. 3 and can be approximately expressed as $R_n \propto V^{1.5}$, viz. $m = -0.5$, irrespective of type or size. And coefficient of proportion, k , vary with types and is computed as about 3.7 for both a fish and a shrimp nets in pair trawl but as 1.3 for a combined use net, and as about 2.7 for each seam type otter trawl with the exception of 1.9 for two-seam type net (Table 3). The other hand, the relation between the gape-height, H_n , and the towing speed, V , is as in Fig. 4 and can be approximately expressed as $H_n \propto V^{-0.8}$, and the coefficient of proportion, h , is about 11.0 for all new type nets in pair trawl but as 5.6 for a old type fish net, and about 16.7 for a usual otter trawl net consisted of four or six seam except for 7.6 of a specific two-seam type net (Table 4).

1. 結 言

設計図面から各種底曳網の抵抗あるいは網口高さなどが推定できれば、網具設計上極めて有意義である。

これについては既に、田内¹⁾、小山^{2,3)} および川上・中才^{4,5)}等の報告があるが、同種のもでも網具の構造、操作条件等が多岐にわたるため、それらは普遍性を欠き網具設計者用としては不十分である。

ここではその不備を補う便法として、まず底曳網の設計図を“緊張網丈および網幅”で描く在来法から“各部の網地にそれぞれの縮結を与え、仕立上った長さと幅を縮尺で表わす”図法に改変した。この図面を基に、曳網速度、両袖端間隔等設計上必要な諸要因を加味した網の抵抗および網口高さを得る近似式を求めて、既往の各種2艘曳ならびにトロール網の実測結果について検討した。

2. 理論的考察

田内⁶⁾によると、平面網地が流れから受ける抵抗 R は

$$R = a(D/L) \frac{1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \theta}{\sin \varphi \cos \varphi} A \rho V^2 \quad (1)$$

と表わされる。ここで a は比例常数、 D は網糸の直径、 L は網目の1脚長、 2φ は両脚の展開角、 θ は網面が流れとなす角度、 A は網地の面積を、 ρ および V は流体の密度および速度を示す。

底曳網は、この平面網の複合体と考えられ、上式の θ , φ および A によって網成り、すなわち網具の流れに対する投影面積 S が決まる。この S の値は普通の底曳網では曳網速度 V によって変化する、 $S = f(V/V_0)$ ので、所定の袖端間隔および曳網速度で各網面が平面をなすと仮定した理想時

の投影面積 (正確には換算有効面積) を S^* とすると、実用の速度範囲 (0.5~2.5m/s) では、近似的に $S \propto S^* V^m$ とみることができる。この場合理想時の曳網速度、 $V_0 = 1.0$ m/s, ととる。また D/L は網各部分で異なるので、これを平均的な値 $(D/L)_m$ で代表する。したがって、その流水抵抗 R_n は、

$$R_n = k(D/L)_m S^* \rho V^{2+m} \quad (2)$$

と表わすことができる。ただし k は比例常数である。

(註、田内¹⁾ は上述の投影面積 S に対し沈子網の長さの自乗、 λ^2 , また小山^{2,3)} は囊口を構成する全緊張網幅の自乗、 a^2 , あるいはこの緊張網幅と袖先から囊尻に至る全緊張網丈の積、 $a \times b$, を採用した)

次に底曳網の網口の高さ H_n は、同様に理想時の網口高さ (正確には換算有効高さ) を H^* とすると、近似的に $H^* V^n$ に、また $(D/L)_m H^* V^n$ に比例して減少するとみられる (後述の実測結果では後者が前者に較べより良い比例関係が成立した) ので、比例常数を h とすると、

$$H_n = h(D/L)_m H^* V^n \quad (3)$$

なる関係式で表わすことができる。

実際の2艘曳およびトロール網の計算では上述の各式の $(D/L)_m$ は加重平均的な値

$$(D/L)_m = \frac{\sum_{i=1}^n (D/L)_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

で求める。ただし、 $(D/L)_i$ および A_i はそれぞれ各網面の D/L およびその緊張網面積とする。

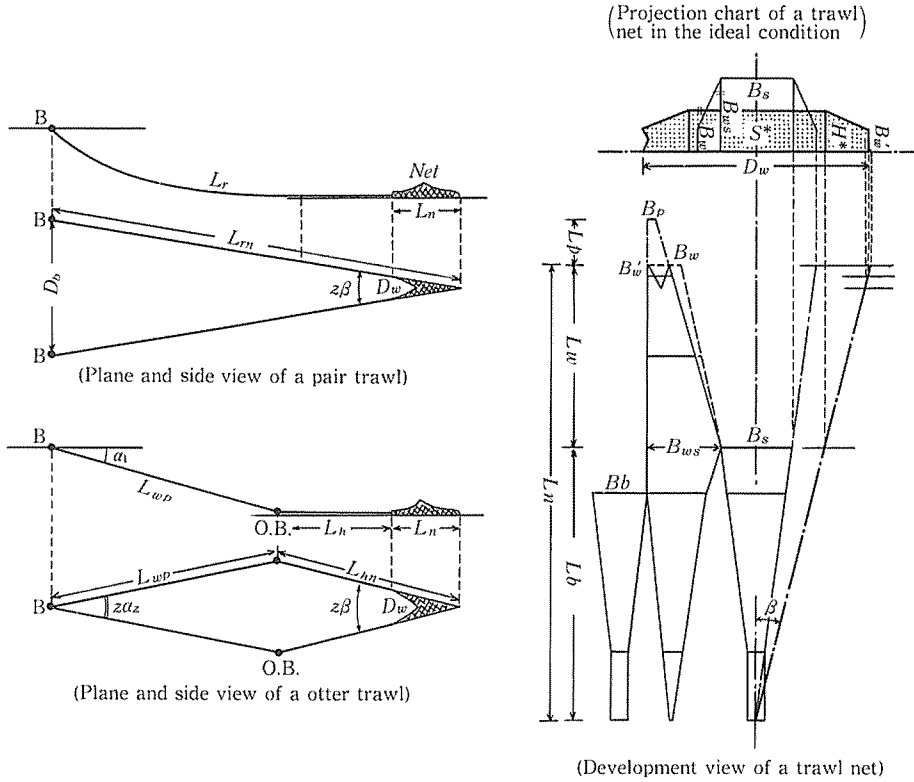


Fig. 1. Schematic representation of the towing rope and the net in trawling. Abbreviation, L, B and D with suffix sign indicate the length, the breadth and the distance of parts of the towing rope and the net, respectively. α and β are the angle between each towing rope and the direction of motion. And, S^* and H^* show the projected area on the direction of motion and its height in the ideal condition.

また、Fig. 1 に示した如く、曳網中の曳索はトロール網では直線状^{7, 8)}、2 艘曳では PODE の曲線⁹⁾となるが、手網あるいは擦網の形状は便宜上オッターあるいは両 2 艘曳船と各身網の囊尻後端中央とを結んだ直線で表わされ、かつ両袖端はこれらの線上にあるとみなすと、理想時の投影面積 S^* および網口高さ H^* は新方式による網図面から近似的に次式で求めることができる。

$$S^* \approx \sin \beta \{2L_b \cdot H^* + L_w(B_w' + H^*)\} \quad (5)$$

$$H^* \approx \frac{1}{2}(B_s + 2B_{ws} - 2L_b \sin \beta) \quad (6)$$

式中、 L_w および L_b は袖および囊部の長さを、 B_w 、 B_{ws} および B_s は袖先、口脇および天井前縁の仕立上りの網幅を、 2β は両袖の展開角を示す。また、 B_w' は手木の長さ B_p およびペンネット長 L_p を加味した B_w の修正値(袖先の網地に切込みのあるものでは、その切込みの 1/2 長を L_w から減

じ修正袖長 L_w' としその部位の網幅を B_w' とする)で、袖部の縮結はグランドローブを基準とした平均値を採用する。

なお、上式の $\sin \beta$ は両袖端間隔を D_w 、網の全長を L_n とすると、

$$\sin \beta = D_w / 2L_n \quad (7)$$

で示される。さらに 2 艘曳網の両船間隔を D_b 、曳網および網の長さの総和を L_{rn} 、またトロール網の曳索長を L_{wp} 、その交角を $2\alpha_2$ 、手網の先端から網の後端までの長さを L_{nn} とすると、それぞれ

$$\sin \beta = D_b / 2L_{rn} \quad (2 \text{ 艘曳}) \quad (8)$$

$$\sin \beta = L_{wp} \cdot \sin \alpha_2 / L_{nn} \quad (\text{トロール}) \quad (9)$$

なる関係が成立し、必要により網側、船元何れの値からでも S^* および H^* を求めることができる。

3. 実験ならびに結果の検討

戦後本邦で操業された2艘曳およびトロール網は、Fig. 2-a, b に示した如く、前者には在来、改良型の両魚網の外、エビ・魚兼用型およびエビ網の4通り、後者でも2枚、4枚、6枚および8枚仕立網の4通りがあり、併せて8種類の網型に大別することができる。

ここでは、Table 1-a, b に示した、以西あるいは北洋漁場などで操業された上述の各種2艘曳およびトロール網の実験資料、すなわち先に葉室^{10,11)} 小山¹²⁾ および谷口⁹⁾ 等が実測した10統の網に新たに著者等の15統（5種の模倣実験を含む）の実測値を加えた計25通りの結果を基に、それぞれ抵抗および網口高さを整理し、前述の理論式について検討を加えた。

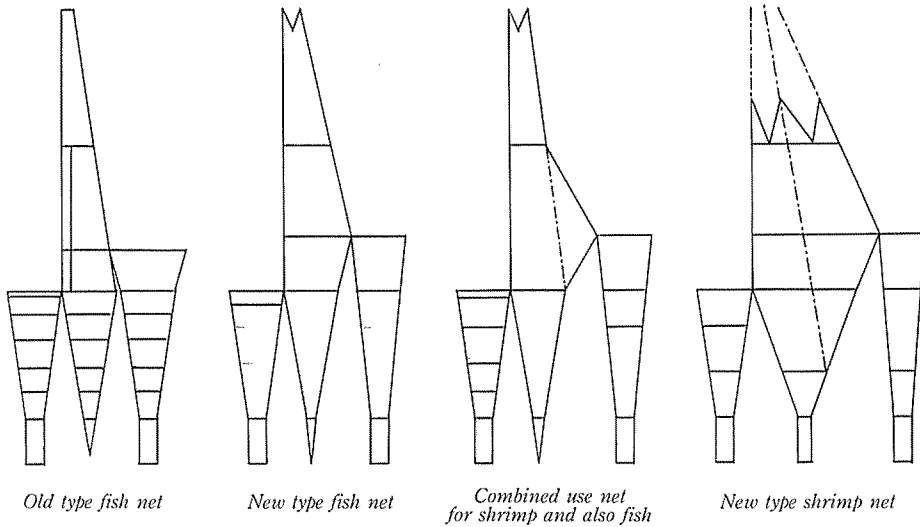


Fig. 2-a Various types of pair trawl net used in the experiment. (Note, The chain line in a line drawing show the special man rope.)

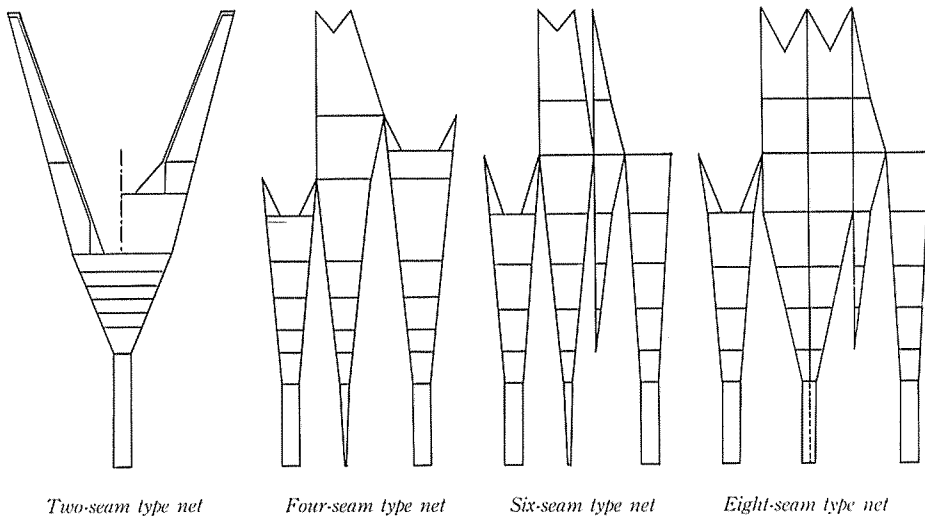


Fig. 2-b Various types of otter trawl net used in the experiment.

Table 1-a Detail of characteristic and dimension of various pair trawl nets used in the experiment.

Mark of net	Type of net	Material of webbing	Average ratio of twine-diameter to half-mesh (D/L_m)	Length of net pendant (L_p)	Length of wing (L_{we})	Length of net body (L_b)	Breadth at fore end of wing (B_w)	Breadth at part of wing (B_{ws})	Breadth at fore end of square (B_s)	Breadth at fore end of belly (B_b)	Reference	
A _p	Old type fish net	Manila twine	0.0626	—	29.0 m	24.3 m	1.68 m (1.00)	7.84 m	9.60 m	6.60 m	1/50 Model Net (for 90 G. Ts. class trawler) YAGAMI (TAGAMI)-MARU (134GT, 340HP), Wp.: 18φm/m Wire R. 485m, Sweep L.: 42φm/m Compound R. 300m	
B _p		//	0.0655	—	31.8	//	1.47 (0.95)	9.03	8.40	//		
C _p	New type fish net	Poly-ethylene twine	0.0853	—	31.5	26.4	2.01 (0.95)	9.20	10.5	6.30	No. 26(27)GENKAI-MARU (134GT, 340HP), Wp.: 18φm/m W. R. 600m, Sp. L.: 45φm/m Cp. R. 400m	
D _p		//	0.0775	14.0 (14.7)	27.5 (26.8)	30.1	2.55 (3.95)	9.70	11.7	6.95		No. 66(67)GENKAI-MARU (123GT, 420HP), Wp.: 18φm/m W. R. 550m
E _p		//	0.0776	—	58.5	44.1	2.01 (0.95)	12.1	13.7	7.50		Sp. L.: 45φm/m Cp. R. 400m
F _p		//	0.0642	13.1 (14.6)	42.5 (40.9)	43.5	6.18 (4.43)	14.1	12.0	//	No. 56(58) TOKUHIRO-MARU (145GT, 700HP), Wp.: 22φm/m W. R. 600m, Sp. L.: 48φm/m Cp. R. 460m	
G _p	Combined use net for shrimp and also fish	Vinylon twine	0.0777	—	35.6	26.0	1.68 (1.00)	12.4	5.80	6.79	1/30 Model Net (for 90 G. Ts. class trawler) No. 11(12)NITTO-MARU (126GT, 420HP), Wp.: 18φm/m W. R. 450m, Sp. L.: 48~52φm/m Cp. R. 350m	
H _p		Poly-ethylene twine	0.0744	12.0	34.0	37.0	4.41 (—)	17.5	6.30	6.30		No. 35(36)NITTO-MARU (175GT, 850HP), Wp.: 22φm/m W. R. 500m, Sp. L.: 45φm/m Cp. R. 500m
I _p		//	0.0711	25.0	53.0	52.8	4.10 (—)	24.4	11.0	7.60		No. 63(65)GENKAI-MARU (123GT, 340HP), Wp.: 18φm/m W. R. 150~450m, Sp. L.: 45φm/m Cp. R. 355~360m
J _p	New type shrimp net	Poly-ethylene twine	0.0690	15.3	23.9	30.6	10.4 (8.51)	20.3	10.5	6.40	No. 21(22)GENKAI-MARU (90GT, 340HP), Wp.: 18φm/m W. R. 48m, Sp. L.: 45φm/m Cp. R. 375m	
K _p		//	0.0598	13.6 (17.5)	24.0 (20.1)	27.3	7.23 (8.53)	17.2	//	6.90	No. 28(31)GENKAI-MARU (99GT, 340HP), Wp.: 18φm/m W. R. 250m	
L _p		//	0.0592	16.0 (19.0)	23.0 (20.0)	30.5	12.6 (10.4)	19.1	//	6.30	Sp. L.: 45φm/m Cp. R. 290m	

Note: Numerical values in parentheses show the revised ones based on the V-cut of the wing net or the size of pendant swivel.

Table 1-b Detail of characteristic and dimension of various otter trawl nets used in the experiment.

Mark of net	Type of net	Material of webbing	Average ratio of diameter to half-mesh (D/L_m)	Length of net pendant (L_p)	Length of wing (L_w)	Length of net body (L_b)	Breadth at fore end of wing (B_w)	Breadth at after part of wing (B_{ws})	Breadth at fore end of square (B_s)	Breadth at fore end of belly (B_w)	Reference
A ₀		Manila twine	0.0636	9.0	17.9 ^m	25.2 ^m	1.69 ^m	8.88 ^m	3.0 ^m	4.5 ^m	1/30 Model Net (for 200~300 G.T.s.class trawler) AMAKUSA-MARU(273GT,480HP),Warp:25φm/m W.R. 240m, Hand R.:22φm/m W.R. 90m, Otter B.:1.35m×2.4m Rectangular flat AKASHI-MARU(345GT,800HP), Wp.:25φm/m W.R. 180~230m, Hd.R.:22φm/m Y-MARU(90m, O.B.:1.35m×2.4m R.F. Y-MARU(280GT,3150HP), Wp.:26φm/m W.R. 400m, Hd.R.:24φm/m W.R. 7m, O.B.:3.8m×2.5m Rectangular cambered
B ₀	Two-seam type net	"	0.0690	"	17.8	25.1	1.73	9.07	2.4	4.8	
C ₀		"	"	"	17.9	25.4	1.69	8.80	3.0	4.5	
D ₀		Poly-ethylene twine	0.0554	147	31.5	49.0	3.27	16.1	8.0	8.4	
E ₀		"	0.0518	15.0 (17.3)	12.1 (9.82)	37.1	6.86 (5.93)	9.06	10.3	10.1	1/30 Model Net (for KOYO-MARU)
F ₀	Four-seam type net	"	"	"	"	"	"	"	"	"	KOYO-MARU(1215GT,1800HP), Wp.:28φm/m W.R. 150~300m, Hd.R.:22φm/m W.R. 100m, O.B.:2.8m×1.5m R.C.
G ₀		"	0.0494	15.0~0 (16.9~1.9)	28.5 (26.6)	49.0	5.82 (4.19~2.36)	10.2	13.8	10.2	AKEBONO-MARU(1425GT,2000HP), Wp.:26φm/m W.R. 300~360m, Hd.R.:22~18φm/m CBR W. 100~116m×2, O.B.:1.9m×4.0m R.F.
H ₀		"	0.0651	95.0 (113.5)	27.0 (8.5)	59.7	12.1 (16.7)	18.0	9.2	11.5	1/50 Model Net (for ORYENT-MARU)
I ₀		"	"	"	"	"	"	"	"	"	ORYENT-MARU(2200GT,3500HP), Wp.:30φm/m W.R. 760~880m, Hd.R.:30φm/m W.R. 65m, O.B.:4.4m×2.8m R.C.
J ₀	Six-seam type net	"	0.0483	140~50 (150~53)	27.0 (24.2)	54.4	10.7 (13.4~10.9)	15.8	6.9	6.7	Y-MARU(2800GT,3150HP), Wp.:26φm/m W.R. 400~350m, Hd.R.:24φm/m W.R. 7~98m, O.B.:3.8m×2.5m R.C.
K ₀		"	0.0488	147 (150)	26.0 (22.8)	50.8	8.94 (12.9)	14.9	6.8	7.2	"
L ₀		"	0.0570	70.0 (71.6)	29.0 (27.4)	67.6	7.22 (10.2)	15.7	6.9	7.5	No.3 ZUIYO-MARU(3858GT,4400HP),Wp.:32φm/m W.R. 250~260m, Hd.R.:32φm/m W.R. 106m, O.B.:3.96m×2.55m R.C.
M ₀	Eight-seam type net	"	0.0440	109 (112)	22.0 (23.9)	53.8 (53.7)	18.5 (22.4)	28.7	10.0	7.0	Z-MARU(3000GT,3500HP),Wp.:28φm/m W.R. 1650~1800m, Hd.R.:24φm/m W.R. 9m, O.B.:3.9m×2.65m R.C.

Note:Numerical values in parentheses are the same as Table 1-a.

3.1 網具の抵抗計算値について

検討に先立ち、問題となるのは身網部の抵抗値である。本実験では、模型値を除き実測は総て曳索船元にかかる張力（スプリング式、油圧式あるいは電気抵抗線歪式張力計で測定）であるので、これから各曳網、オッターボードおよびペンネット等の流水抵抗を下記により差し引き、間接的に求めた。したがって、網具各部と海底との摩擦抵抗は総てこれに含まれている。

すなわち、2艘曳では前述の如く曳索（Wire R.）の形状を PODE の曲線に近似するとし、曳索船元にかかる張力 T (kg) から、

$$T/T_0 = \tau(\theta), L_{r1}/h = \sigma(\theta)/\eta(\theta), \quad (10), (11)$$

の2式とその図表^{3,13)}を用いて、接地点における張力 T_0 (kg) を求める。式中、 L_{r1} および h は曳索の船元から接地点までの長さ (m) および水深 (m) を、また $\tau(\theta)$ 、 $\sigma(\theta)$ および $\eta(\theta)$ は曳索の船元における傾きを、接地点に向く方向から反時計回りに曳行方向まで測った角度 θ の超越函数を示す。擦網（接地点以降は Sweep L. すなわち Compound R. とみる）およびペンネット（Wire R. 2本）は便宜上直線とみなし（実際の曳網の水平的形状は彎度2~3%の曲線となる）、それらの抵抗 R_{r2} (kg) および R_p (kg) を、

$$R_{r2} \text{ (or } R_p) = 7.5 dlV^2 \sin\beta \quad (12)$$

から求める。ここで d および l は網の直径 (m) およびその長さ (m) を、 V は速度 (m/s)、 β は流れに対する網の傾角を表わす。このようにして求めた T_0 、 R_{r2} および R_p

は網の抵抗 R_n との間に、

$$R_n/2 = T_0 \cos\beta - (R_{r2} + R_p) \quad (13)$$

なる関係式が成立し、これから近似的に網部だけの抵抗を求め得る。

トロール網では各曳網（Wire R.）の形状は操業中ほぼ直線状をなすとみることができるので、ワーブおよびハンドロープ（オッターおよびネットペンネットを含む）の抵抗を R_{wp} (kg) および R_n (kg) とすると、何れも

$$R_{wp} \text{ (or } R_n) = \frac{C_d}{2} \rho d l V^2 \quad (14)$$

なる式から、またオッターボードの抵抗 R_{ob} (kg) は、

$$R_{ob} = \frac{C_d'}{2} \rho A' V^2 \quad (15)$$

からそれぞれ求められる。ただし、両式中の C_d および C_d' はワイヤー¹¹⁾ およびオッター¹³⁾（仰角は何れも最大有効角にセットされているものとみる）の抗力係数、 ρ は流体の密度 ($105 \text{ kg} \cdot \text{sec}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)、 A' はオッターボードの面積 (m^2) とする。したがって、2艘曳の場合と同様これら各力の間の釣合は、

$$R_n/2 = T \cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2 - (R_{wp} \cdot \cos\alpha_2 + R_n + R_{ob}) \quad (16)$$

と表わされ ($\alpha_1, 2\alpha_2$ は曳索の船元における伏角、展開角)、これから網部の抵抗 R_n (kg) を求めることができる。

このようにして求めた各網の抵抗 R_n 、曳索船元にかかる張力 T と網口高さ H_n ならびに網図面から計算した理想時の投影面積 S^* 、網口高さ H^* 等の結果を Table 2-a, b に示した。

Table 2-a Results of model and field trial on various pair trawl nets.

Mark of net	Towing Speed	Distance between Two Boats $D_b(m)$	Total Length of Towing Rope included Net $L_m(m)$	Depth $h(m)$	Tension of Warp by Observation $T(kg)$	Resistance of Net by Calculation $R_n(kg)$	Projected Area of Net by Calculation $S^*(m^2)$	$\frac{R_n}{(D/L)_n S^* \rho}$	Gape-Height of Net-Mouth by Observation $H_n(m)$	Gape-Height of Net-Mouth by Calculation $H^*(m)$	$\frac{H_n}{(D/L)_n H^*}$	Reference
	$V(m/s)$											
A _p	0.76	Distance between both ends of wings: $D_w = 33.2m$	Total length of net: $L_r = 33.3m$	—	—	1630	131.6	1.88	3.08	5.07	9.66	Horizontal spread-angle between both wings: $2\beta = 36^\circ$ (Model experiment)
	1.00			—	—	2710	—	3.13	2.64	—	8.30	
	1.27			—	—	3450	—	3.99	2.42	—	7.67	
	1.54			—	—	4630	—	5.35	2.68	—	8.40	
	1.73			—	—	5910	—	6.83	2.46	—	7.77	
	—			—	—	—	—	—	—	—	—	
B _p	0.89	500	848.6	54	1670	3031.3	152.8	2.86	2.56	6.08	6.41	$2\beta = 34.3^\circ$
	1.00	—	—	—	—	—	—	—	2.60	—	6.51	
	0.92	400	—	—	1650	3048.0	149.3	2.95	2.67	7.51	5.46	
	1.00	—	—	—	—	—	—	—	2.72	—	5.57	
	0.98	350	—	—	1640	3043.9	142.3	3.11	2.95	8.22	5.46	
	0.94	300	—	—	—	3083.7	132.5	3.36	—	—	—	
	0.95	285	—	—	1730	3260.1	128.6	3.66	3.10	9.15	5.15	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Table 2-a Continued.

Mark of net	Towing Speed	Distance between Two Boats	Total Length of Towing Rope included Net	Depth	Tension of Warp by Observation	Resistance of Net by Calculation	Projected Area of Net by Calculation	$\frac{R_n}{(D/L)_m S^* \rho}$	Gape-Height of Net-Mouth by Observation	Gape-Height of Net-Mouth by Calculation	$\frac{H_n}{(D/L)_m H^*}$	Reference	
	V(m/s)	$D_b(m)$	$L_m(m)$	$h(m)$	T(kg)	$R_n(kg)$	$S^*(m^2)$		$H_n(m)$	$H^*(m)$			
C_p	0.9	500	1062.9	—	—	—	—	—	4.5	8.24	6.30	$2\beta = 27.2^\circ$	
	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.2	—	6.09		
	1.3	—	—	—	—	—	—	—	4.0	—	5.78		
	0.9	400	—	—	—	—	—	—	4.8	9.48	6.30		
	1.0	—	—	—	—	—	—	—	4.8	—	6.09		
	0.75	450	—	93	3300	6225.0	164.4	4.32	—	—	—		
	0.9	—	—	—	—	3475	6569.1	4.56	—	—	—		
	1.03	—	—	—	—	3750	7074.2	4.91	—	—	—		
	1.0	460	—	95	4250	8054.7	165.9	5.54	—	—	—		
	1.12	—	—	—	—	4300	8173.7	5.62	—	—	—		
	1.15	—	—	—	—	4850	9219.4	6.34	—	—	—		
D_p	1.2	550	1024.6	95	3600	6663.6	202.6	4.04	—	—	—	$2\beta = 31.1^\circ$	
	1.3	—	—	—	3800	7057.3	—	4.28	—	—	—		
	1.1	600	—	—	3500	6398.0	202.5	3.88	—	—	—		
	1.2	—	—	—	3650	6705.6	—	4.07	—	—	—		
E_p	0.85	500	1168.6	90	3850	7243.8	310.1	2.87	} Mean } 6.0	} 9.50	} 8.19	$2\beta = 27.4^\circ$	
	1.0	—	—	—	4250	7980.0	—	3.16					
	1.1	—	—	—	4600	8665.6	—	3.43					
	1.2	—	—	—	5500	10361.1	—	4.10					
	1.6	—	—	—	6900	12985.2	—	5.14					
F_p	0.72	525	1103.5	65	4700	8889.5	336.8	3.90	8.0	9.65	12.92	$2\beta = 27.5^\circ$	
	0.97	—	—	—	5350	10123.2	—	4.45	9.0	—	14.49		
	1.06	—	—	—	5500	10401.9	—	4.57	8.5	—	13.65		
	1.15	—	—	—	5050	9477.9	—	4.16	9.0	—	14.49		
	1.2	—	—	—	—	—	—	—	8.5	—	13.65		
	1.3	—	—	—	—	—	—	—	8.3	—	13.34		
	1.4	—	—	—	5500	10339.3	336.8	4.54	8.0	—	12.92		
G_p	0.75	$D_b = 33.0m$	$L_m = 60.04m$	—	—	4170	207.0	2.47	6.84	8.20	10.71	$2\beta = 31.9^\circ$	
	—			—	5910	—	3.50	—	—	—	—		
	—			—	—	—	—	—	—	6.24	8.20		9.77
	—			—	—	—	8900	207.0	5.27	—	—		—
	—			—	—	—	9800	—	5.80	5.07	8.20		7.98
	—			—	—	—	11700	—	6.93	—	—		—
	—			—	—	—	—	—	—	4.89	8.20		7.67
	—			—	—	—	15350	207.0	9.09	—	—		—
1.81	—	—	—	—	16700	—	9.89	3.96	8.20	6.20	(Model experiment)		
H_p	1.1	380	888.0	75	1900	3478.7	326.0	1.36	8.5	12.7	9.03	$2\beta = 24.7^\circ$	
	1.2	—	—	—	2100	3885.7	—	1.53	8.0	—	8.51		
	1.3	—	—	—	2250	4172.5	—	1.64	9.0	—	9.56		
	1.35	—	—	—	2450	4543.6	—	1.78	—	—	—		
I_p	1.05	470	1133.3	88	} Mean } 5000	9383.5	666.9	1.89	19.0	18.91	14.18	$2\beta = 23.9^\circ$	
	1.03	440	—	86		9465.9	645.9	1.96	16.0	19.61	11.45		
	1.15	430	—	88		9423.7	638.4	1.98	18.0	19.85	12.81		
	1.30	400	—	82		9501.1	613.2	2.08	17.0	20.54	11.66		
	1.25	370	—	86		9527.8	585.3	2.18	—	21.24	11.24		
J_p	1.19	480	684.8	72	2930	5293.9	512.4	1.43	10.0	14.80	9.87	$2\beta = 41.0^\circ$	
	1.17	400	—	—	2820	5203.2	471.3	1.52	10.8	16.59	9.45		
	1.20	—	579.8	54	2950	5392.7	509.2	1.46	10.0	14.97	9.66		
	1.33	350	—	—	3050	5695.8	479.5	1.64	9.8	16.29	8.72		
	1.25	300	—	—	2920	5451.0	439.9	1.71	10.2	17.61	8.40		
	1.37	250	—	—	2900	5524.4	390.9	1.95	11.5	18.93	8.82		
K_p	0.8	400	492.9	82	2900	5220.6	415.4	2.00	10.0	11.41	14.70	$2\beta = 47.9^\circ$	
	1.0	200	—	—	2800	5390.2	291.8	2.94	10.0	16.95	10.50		
	1.2	—	—	—	3500	6751.1	—	3.69	8.5	—	8.40		
	1.3	—	—	—	4100	7942.8	—	4.34	8.0	—	7.88		
L_p	1.1	150	614.5	72	3600	6972.6	253.0	4.44	10.8	20.65	88.82	$2\beta = 14.0^\circ$	
	0.95	200	—	—	3000	5760.4	289.7	3.20	12.5	19.41	10.92		
	1.0	—	—	—	3500	6789.2	—	3.77	12.0	—	10.50		
	1.05	—	—	—	3800	7371.1	—	4.09	—	—	—		
1.1	—	—	—	73	4300	8341.0	—	4.63	11.0	—	9.56		

底曳網の抵抗および網口高さの近似式

Table 2-b Results of model and field trial on various otter trawl nets.

Mark of Net	Towing Speed V(m/s)	Length of Warp (one hand) L _w (m)	Length of Hand K. included Net (one hand) L _h (m)	Depth h(m)	Angle of Warp		Tension of Warp by Observation T(kg)	Resistance of Net by Calculation R _n (kg)	Projected Area of net by Calculation S*(m ²)	$\frac{R_n}{(D/L)_m S^* \rho}$	Gape-Height of Net-Mouth by Observation H _n (m)	Gape-Height of Net-Mouth by Calculation H*(m)	$\frac{H_n}{(D/L)_m H^*}$	Reference		
					Declination α ₁	Crossing Angle 2α ₂										
A _o	0.74	Distance between both ends of wing: (D _w) = 21.34m	Length of net: (L _n) = 43.11m	—	—	—	—	860	77.4	1.67	3.69	4.13	14.07	Horizontal spread-angle between both wings: 2β = 28.7° (Model experiment)		
	0.90			—	—	—	—	941	—	1.82	3.15	—	11.97			
	1.21			—	—	—	—	1930	—	3.74	2.55	—	9.66			
	1.48			—	—	—	—	2620	—	5.07	2.28	—	8.72			
	1.72			—	—	—	—	2800	—	5.42	2.19	—	8.30			
	1.94			—	—	—	—	3100	—	6.00	1.92	—	7.35			
	2.12			—	—	—	—	3490	—	6.76	1.95	—	7.46			
	2.21			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	
B _o	1.39	240	148.7	84	20.3	14	1430	2127.0	77.4	3.80	2.6	5.33	7.04	Drag coefficient of otter board: C _d = 0.6 (From HAMURO's exp ⁽¹⁰⁾)		
	1.40	—	—	—	—	—	1460	2175.1	—	3.88	—	—	—			
	1.84	—	—	—	—	—	1600	2081.3	—	3.71	1.9	—	5.15			
	1.85	—	—	—	—	—	1840	2528.1	—	4.51	2.0	—	5.46			
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
C _o	1.5	180	149.0	22	23.3	14	—	—	—	—	2.1	6.65	4.62	2β = 16.9° C _d = 0.6 (From HAMURO's exp ⁽¹⁰⁾)		
	1.45	—	—	69	22.1	15	—	—	—	—	1.95	6.38	4.41			
	—	227	—	85	21.7	13	—	—	—	—	—	6.01	4.73			
	1.48	205	—	83	23.5	13.5	—	—	—	—	1.9	6.28	4.41			
D _o	2.15	400	243.7	110	15.7	15	5750	9614.8	287.8	5.74	—	—	—	2β = 24.7° C _d = 0.2 (From KOYAMA's exp ⁽¹²⁾)		
	2.25	—	—	—	—	—	6250	10419.5	—	6.23	—	—	—			
	2.3	—	—	—	—	18	7000	11734.7	275.7	7.32	—	—	—			
E _o	0.68	D _w = 17.54m	L _n = 46.93m	—	—	—	—	1451	125.4	2.13	—	—	—	2β = 21.5° (Model exp.)		
	0.71			—	—	—	—	1821	—	2.66	6.0	7.28	15.96			
	0.88			—	—	—	—	2450	—	3.59	—	—	—			
	1.02			—	—	—	—	—	—	—	—	4.5	7.28		11.97	
	1.15			—	—	—	—	—	3500	125.4	5.13	—	—		—	
	1.22			—	—	—	—	—	—	—	—	3.5	7.28		9.23	
	1.53			—	—	—	—	—	—	—	—	2.6	—		6.93	
	1.60			—	—	—	—	—	5248	125.4	7.70	—	1.9		7.28	5.04
	2.06			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	5.04
	2.45			—	—	—	—	—	10711	125.4	15.71	1.7	—		—	4.52
F _o	1.76	150	173.1	80	31.6	16.8	3290	4948.2	108.3	8.40	5.6	9.54	11.34	2β = 14.5° C _d = 0.2 (From TANIGUCHI and etc's exp ⁽⁸⁾)		
	1.88	—	—	—	—	17.2	3010	4389.8	109.7	7.36	5.2	9.43	10.71			
	2.01	—	—	—	—	16.8	3070	4396.1	108.3	7.46	4.6	9.54	9.35			
	2.29	—	—	78	30.7	18.8	3530	4994.4	114.7	8.01	4.2	8.99	9.03			
	1.68	—	—	—	—	15.6	3350	5175.7	104.4	9.11	5.8	9.84	11.34			
	1.52	250	—	76	17.4	12.6	3140	5598.8	120.2	8.57	4.2	8.36	9.77			
	2.04	—	—	—	—	14.2	3300	5597.9	124.3	8.28	3.8	7.62	9.66			
	2.09	—	—	—	—	13.8	3310	5587.0	123.5	8.32	3.5	7.80	8.72			
	2.38	300	—	85	16.2	11.8	3880	6490.3	124.3	9.60	—	—	—			
	2.24	—	—	—	—	12.4	3730	6305.3	125.3	9.25	—	—	—			
	2.09	—	—	82	15.6	13.2	3580	6147.9	126.0	8.97	—	—	—			
	1.96	—	—	81	15.4	12.6	3520	6141.4	125.5	9.00	—	—	—			
	1.61	—	—	82	15.6	13.6	3230	5760.7	125.8	8.42	—	—	—			
	G _o	1.55	300	201.8	102	19.7	16.0	2950	4122.6	201.4	3.95	—	—		—	2β = 23.9° C _d = 0.6 (From HAMURO's exp ⁽¹¹⁾)
1.80		—	—	99	19.1	18.0	3900	5441.2	187.9	5.53	—	—	—			
2.15		—	—	95	19.3	17.0	4300	5491.5	196.5	5.39	—	—	—			
2.43		—	—	100	—	15.0	5200	6400.6	204.2	6.04	—	—	—			
1.95		310	196.9	110	20.6	17.0	6280	9400.7	178.6	10.15	—	—	—			
2.05		—	—	120	22.6	12.0	7060	10476.1	194.9	10.37	—	—	—			
1.90		360	—	126	20.3	10.0	4350	5987.2	193.5	5.98	—	—	—			
2.17		—	—	124	20.0	—	5200	6947.1	193.5	6.92	—	—	—			
2.20		—	—	126	20.3	11.6	5900	8131.4	195.9	8.00	—	—	—			
2.27		—	—	125	20.2	9.0	6650	9405.7	188.1	9.64	—	—	—			
H _o	0.75	D _w = 37.54m	L _n = 68.22m	—	—	—	—	3923.0	255.9	2.24	12.5	6.16	31.19	2β = 31.9° (Model exp.)		
	1.00			—	—	—	—	6547.8	—	3.74	9.17	—	22.89			
	1.25			—	—	—	—	9557.8	—	5.46	7.37	—	18.38			
	1.50			—	—	—	—	—	—	—	7.01	6.43	—		16.07	
	1.75			—	—	—	—	—	13552.0	—	7.75	5.40	—		13.44	
	2.00			—	—	—	—	—	17831.6	—	10.19	5.17	—		12.92	

Table 2-b Continued.

Mark of Net	Towing Speed V(m/s)	Length of Warp (one hand) L _{wp} (m)	Length of Hand R. included Net (one hand) L _{hn} (m)	Depth h(m)	Angle of Warp		Tension of Warp by Observation T(kg)	Resistance of Net by Calculation R _n (kg)	Projected Area of net by Calculation S*(m ²)	$\frac{R_n}{(D/L)_m S^* \rho}$	Gape-Height of Net-Mouth by Observation H _n (m)	Gape-Height of Net-Mouth by Calculation H*(m)	$\frac{H_n}{(D/L)_m H^*}$	Reference
					Declination α ₁	Crossing Angle 2α ₂								
I _o	1.7	815	264.4	432	31.8	10	—	—	—	—	9.9	6.53	23.31	2β=31.2°
	1.68	860	—	438	30.5	9.6	—	—	—	—	8.9	6.32	21.63	31.6
	1.8	760	—	424	33.7	10.6	—	—	—	—	10.6	6.72	24.15	30.8
	2.06	840	—	470	33.7	10.8	—	—	—	—	8.4	4.72	27.30	34.8
	1.32	—	—	428	30.5	9.6	—	—	—	—	8.6	6.70	19.74	30.8
	0.93	880	—	430	29.1	10.6	—	—	—	—	8.4	4.21	30.66	35.8
	1.81	790	—	418	31.8	8.3	—	—	—	—	10.4	9.20	17.33	25.9
	2.03	840	—	432	30.8	9.2	—	—	—	—	8.8	7.37	18.38	29.5
	1.98	800	—	400	29.8	10.0	—	—	—	—	8.4	6.83	18.90	30.6
J _o	1.75	400	244.6	110	15.7	11.0	5850	10282.2	274.8	7.38	—	—	—	2β=18.0°
	1.95	—	—	—	—	—	6500	11303.2	—	8.11	—	—	—	—
	2.00	—	—	—	—	—	6750	11722.3	—	8.41	—	—	—	—
	2.05	—	—	—	—	13.0	7000	12099.0	286.6	8.32	—	—	—	21.3
	2.15	350	238.6	76	12.2	—	8500	15264.4	269.8	11.16	—	—	—	19.1
K _o	1.95	400	240.0	106	15.5	15.0	5750	9849.4	257.9	7.45	—	—	—	2β=25.1°
	2.10	—	—	—	—	13.0	6500	11161.9	258.4	8.43	—	—	—	21.8
	2.25	—	—	—	—	—	7500	12886.8	—	9.73	—	—	—	—
	2.35	—	—	—	—	16.0	8250	14075.2	254.0	10.82	—	—	—	26.8
L _o	1.75	713	290.1	298	24.5	6.5	—	—	—	—	5.9	9.77	10.61	2β=16.0°
	—	759	—	358	28.0	5.8	—	—	—	—	5.8	10.51	9.66	14.7
	1.4	735	—	288	22.9	8.0	—	—	—	—	5.3	7.21	12.92	20.4
	1.6	772	—	301	22.8	7.0	—	—	—	—	—	8.22	11.34	18.7
	1.55	656	—	256	—	7.8	—	—	—	—	—	8.76	10.82	17.7
	1.65	712	—	286	23.5	6.8	—	—	—	—	5.4	9.30	11.19	16.7
	2.15	720	—	277	22.5	7.2	—	—	—	—	—	8.62	11.03	17.9
M _o	1.7	1650	210.2	590	20.9	2.5	8500	13777.7	642.2	4.64	—	—	—	2β=19.7°
	1.85	—	—	575	20.3	1.5	9000	14421.3	436.1	7.16	—	—	—	11.8
	2.0	—	—	565	20.0	2.0	10600	17040.5	547.3	6.74	—	—	—	15.7
	2.2	—	—	560	19.8	3.5	10500	16187.1	784.7	4.47	—	—	—	27.7
	1.8	1800	—	690	22.5	3.0	8500	13012.7	728.3	3.87	—	—	—	25.9
	1.95	—	—	685	22.3	2.5	9000	13515.2	681.1	4.30	—	—	—	21.5
	2.1	—	—	680	22.1	5.0	10400	15701.4	173.9	19.55	—	—	—	4.3
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

なお、ここでいう網口の高さとは天井網前縁中央から腹網前縁中央に至る垂直的網立ちをそれぞれ漁研式網高計、ネットゾンデあるいはネットレコーダー等で直接観測された値であり、曳網速度は主として電流流速計（一部流木試験を実施）による表層での対水速度である。

3.2 抵抗および網口高さの近似式について

さて、前述した抵抗理論式における速度指数(2+m)および比例常数kの値についてであるが、Table 2-a, bから $R_n/(D/L)_m \cdot S^* \rho$ とVとの関係を各網型別に図示するとFig. 3-a, bが得られた。図中の×印は模型実験値、各丸印はそれぞれ現場で実測された網のそれらを表す。なお、各網記号の括弧内数値は計測中の両袖網展開角2β°の推定値である。

図から、現場資料の速度範囲が極めて狭くかつ抵抗値のばらつきも大きいので、これから直接速度指数(2+m)の値を求めることは困難である。したがって、ここでは便宜上模型実験の結果を参考に各実測網のそれらを推定することにした。

従来行われた2艘曳およびトロール網の数多くの模型実験¹⁶⁻²³⁾によれば、この(2+m)は網の種類で多少異なり1.3~1.9となっている。本実験では何れの場合もほとんど変わらず1.49~1.52(平均1.5)と得られた。図中の破線は何れも模型網の抵抗を速度の1.5乗に比例するとして画いたものであり、近似的にはこの値がそのまま実測網のそれらに移行できるものとして、得られた結果をそれぞれ実線で示した。

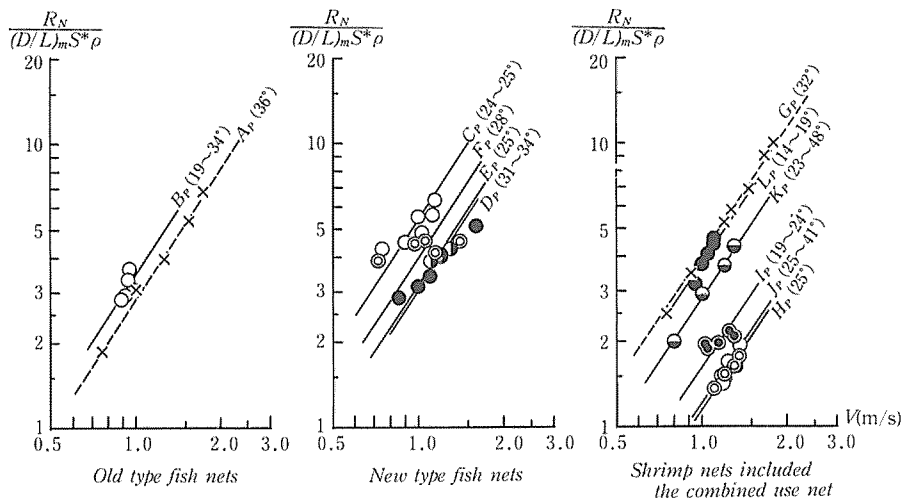


Fig. 3-a Relationship between the resistance, $R_N/(D/L)_m S^* \rho$, and towing speed, V , for various pair trawl nets showed in Table 1-a. Symbols, cross and various circles represent model and field experimental values, respectively. Numerical values in parentheses show the horizontal angle between both wings (2β).

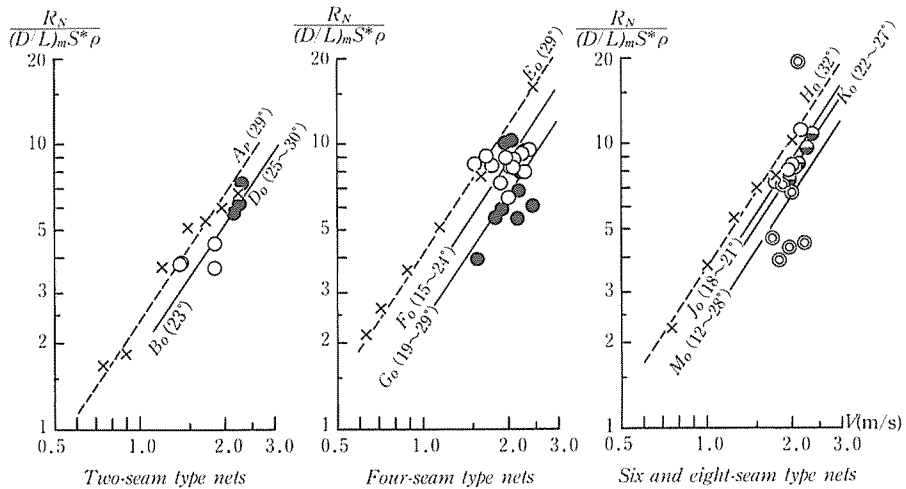


Fig. 3-b Relationship between the resistance, $R_N/(D/L)_m S^* \rho$, and towing speed, V , for various otter trawl nets showed in Table 1-b. Symbols are the same as Fig. 3-a.

これから、各網の比例常数 k の値を求めると Table 3 に示した通りで、模型網では在来魚網の2.9および2枚仕立トロール網の2.4を除き他の網型では何れもほぼ4となる。これに対し、実測網では各網毎にそれぞれ多少の違いはみら

れるものの、魚・エビ兼用網の値が1.3とやや小さい外は一般の2艘曳魚網およびエビ網共大差なく3~5(平均3.7)、また2枚仕立網の1.9を除き他の網型のトロールでは何れも2~3(平均2.7)と得られた。

Table 3 The coefficient of proportion of the resistance on various pair and otter trawl nets.

Pair Trawl Nets				Otter Trawl Nets				
Type of Net		Coefficient of Proportion		Type of net		Coefficient of Proportion		
		k	\bar{k}			k	\bar{k}	
Old type fish nets	A_p	(2.85)	3.5	Two-seam type nets	A_o	(2.4)	1.9	
	B_p	3.5			B_o	1.9		
New type fish nets	C_p	5.4			D_o	1.9		
	D_p	3.1		Four-seam type nets	E_o	(4.1)		2.5
	E_p	3.2			F_o	3.1		
F_p	4.0	G_o			2.4			
Combined use nets for shrimp and also fish	G_p	(4.1)	1.3*	Six-seam type nets	H_o	(3.7)	2.7	
	H_p	1.15			J_o	3.1		
	I_p	1.6			K_o	2.8		
New type shrimp nets	J_p	1.2	3.3	Eight-seam type net	M_o	2.3		
	K_p	2.85						
	L_p	3.8						

Note: Towing speed index of net resistance: $(2+m) = 1.49 \sim 1.52$ (Mean 1.5)
 (Values of the coefficient of proportion, k , parenthesized indicate ones of the model experiment.)

次に、網口高さを表わす理論式の数値指数 n および比例定数 h の値を知るため、Table 2-a, b から $H_n/(D/L)_m H^*$ と V との関係をもそれぞれ網型別に求め、Fig. 4-a, b に図示した (図中の記号は Fig. 3-a, b に同じ)。

ここでも前と同様 n の値を模型実験値から推定すると、2艘曳では $-0.5 \sim -0.6$ 、トロール網では $-0.6 \sim -1.1$ と

変化率は前者よりやや大きくなっている。図中の破線は何れもこれらの平均値、すなわち $n \approx -0.8$ とした場合のものであり、同様に実線は近似的にこの値がそのまま実測網にも適用できるものとしてそれぞれ画いたものであるが、この程度の偏差なれば網の種類によらず一様としても実用上さほど問題はないと考えられる。これから h の値を推定すると

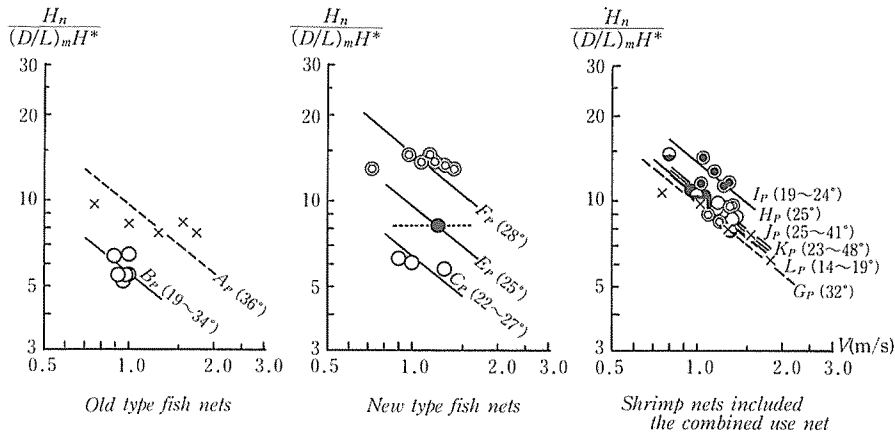


Fig. 4-a Relationship between the gape-height of net mouth, $H_n/(D/L)_m H^*$, and towing speed, V , for various pair trawl nets in the same manner as Fig. 3-a.

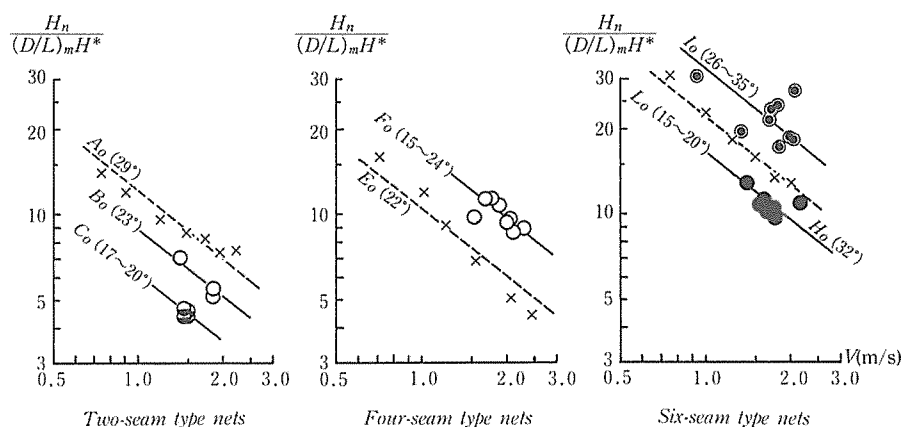


Fig. 4-b Relationship between the gape-height of net mouth, $H_n/(D/L)_m H^*$, and towing speed, V , for various otter trawl nets in the same way as Fig. 3-b.

Table 4 The coefficient of proportion of the net-height on various pair and otter trawl nets.

Pair Trawl Nets				Otter Trawl Nets			
Type of net		Coefficient of Proportion		Type of Nef		Coefficient of Proportion	
		h	\bar{h}			h	\bar{h}
Old type fish nets	A_p	(9.7)	10.2	Two-seam type nets	A_o	(12.1)	16.7 (except for 32.8*)
	B_p	5.6			B_o	8.8	
New type fish nets	C_p	6.4			C_o	6.2	
	E_p	9.6		Four-seam type nets	E_o	(10.5)	
	F_p	14.7			F_o	16.8	
Combined use nets for shrimp and also fish	G_p	(9.8)		12.4	Six-seam type nets	H_o	
	H_p	11.1	I_o			32.8*	
	I_p	13.7	L_o			16.6	
New type shrimp nets	J_p	10.8	10.6	* H_o viz. I_o : special wingless net.			
	K_p	10.5					
	L_p	10.4					

Note : Towing speed index of net-height : $n = -0.5 \sim -1.1$ (Mean -0.8)
 (Values of the coefficient of proportion, h , parenthesized indicate ones of the model experiment.)

Table 4 に示した如くで、模型網では9.7~12.1 (平均10.5) であるのに対し、実測網では在来の2艘曳魚網が5.6とやや小さい外は新型の魚およびエビ網共大差なく10.2~12.4、また2枚仕立トロール網の平均7.5を除き他の網型では何れもほぼ16.7と得られた (註, H_o すなわち I_o 網の h が模

型、実測共一般北洋型4~6枚網の2倍近い値を取るが、これは袖網をほとんど欠いた特異な南方型トロール網の場合である。

以上の結果を総括すると、旧式の2艘曳網および2枚仕立トロール網等特殊な網型を除いて、現在最も普遍的な2

艘曳魚網, エビ網および4~6枚仕立トロール網の抵抗近似式は, それぞれ

$$R_n = 3 \sim 4 (D/L)_m S^* \rho V^{1.5} \quad (2 \text{ 艘曳網}) \quad (17)$$

$$R_n = 2 \sim 3 (D/L)_m S^* \rho V^{1.5} \quad (\text{トロール網}) \quad (18)$$

と表わされ, またこれらの網口高さの近似式としては,

$$H_n = 10 \sim 12 (D/L)_m H^* V^{-0.8} \quad (2 \text{ 艘曳網}) \quad (19)$$

$$H_n = 16 \sim 17 (D/L)_m H^* V^{-0.8} \quad (\text{トロール網}) \quad (20)$$

と示すことができる。

4. 要 約

設計図面から底曳網の抵抗および網口の高さを推定する近似式として, それぞれ(2)および(3)式を求め, 既往の各種2艘曳ならびにトロール網の模型および現場の実測資料 (Table 1 および 2) を基に, これら各式の速度指数および比例常数について検討し, 次の結果を得た。

(1) 抵抗 R_n は, 網の種類によらずほぼ曳網速度 V の1.5乗に比例する。この場合の比例常数 h の値は各網で幾分異なり, 2艘曳では新旧両魚網およびエビ網共大差なくほぼ3.7と表わされるが, 魚・エビ兼用型では1.3とやや小さい。また, 2枚仕立トロール網の1.9を除き, 他の4~8枚仕立網では何れも平均2.7となる (Fig. 3 および Table 3)。

(2) 網口高さ H_n は速度 V の0.8乗に逆比例し, その比例常数 h の値は, 2艘曳では在来魚網が5.6とやや小さい外は現行の魚, エビおよび兼用網共大差なくほぼ11.0と, またトロールでは2枚仕立網が7.5と異なる外は何れもほぼ16.7と得られた (Fig. 4 および Table 4)。

文 献

- 1) 田内森三郎: 演習漁業物理学, 恒星社厚生閣 (1963).
- 2) 小山武夫: 東海水研報, 34, 75~81 (1962).
- 3) 小山武夫: 日水誌, 33(2), 74~88 (1962).
- 4) KAWAKAMI, T. and K. NAKASAI: *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 28(7), 664~670 (1962).
- 5) 川上太左英: 日水誌, 30(10), 858~871 (1964).
- 6) M. TAUTI: *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, 3(1), 1~4 (1934).
- 7) 谷口武夫・南四郎・隅川芳雄: 日水誌, 34(10), 889~894 (1968).
- 8) 谷口武夫・陣野鉄朗・大村千之・橋田近雄: 水産大研報, 17(3), 21~36 (1969).
- 9) PODE, L.: Tables for computing the equilibrium configuration of a flexible cable in a uniform stream, *T.M.B.Rep.* 687 (1951).
- 10) 葉室親正: 漁具測定論, 榎書店 (1959).
- 11) 葉室親正: 漁船研技報, 16(1), 1~39 (1962).
- 12) 小山武夫: 東海水研報, 43, 17~71 (1965).
- 13) 川上太左英: ていち, 日本定置漁業協会, No. 16 (1958).
- 14) DIEL: ENGINEERING AERO DYNAMICS, 280 (1928).
- 15) 和田光太: 実用トロール漁法, 成山堂 (1973).
- 16) 野村正恒: 日水誌, 16(8), 19~21 (1951).
- 17) 野村正恒・安井達夫: 日水誌, 18(2), 69~75 (1953).
- 18) 本田勝司: 日水誌, 23(10), 608~611 (1958).
- 19) 高山重領・小山武夫・武富 一: 東海水研報, 24, 7~19 (1959).
- 20) 谷口武夫: 水産大研報, 10(3), 355~370 (1961).
- 21) 谷口武夫: 水産大研報, 12(2), 305~331 (1961).
- 22) 谷口武夫: 水産大研報, 15(1), 27~39 (1966).
- 23) 谷口武夫: 水産大研報, 16(2,3), 31~43 (1968).