底曳網の模型實驗

野村正恒・安井達夫

(東海区水産研究所・東北海区水産研究所)

Model Experiments on Trawl Nets of Various Types

Masatsune NOMURA and Tatsuo YASUI

To obtain relationship between the resistance and towing speed of trawl-nets and to observe the deformation of the nets under towing, tank experiments were carried out on the following five types of trawl-nets:— 1) Ordinary otter trawl, 2) Danish seine which is commonly used in the north-eastern area of Japanese waters, 3) Two-boats type trawl generally operated in the East China Sea by Japanese fishermen, 4) Japanese type small sized trawl operated by manual power, 5) Japanese type small otter trawl.

Each model was so constructed as to satisfy Tauti's law of comparison for fishing nets (1934). The experimental arrangement is shown in Fig. 1; the resistance of nets is recorded on a dynamometer. To examine the deformation of the net under towing, plan and side views of the nets were photographed. Some of the photographs thus taken are illustrated in Fig. 2. Each model was tested at different distances between the spreaders as given in Table 1.

When a net is towed, it tends to take a form of the minimum resistance under the towing condition. Consequently the front of the ceiling net (square) or head rope gets lowered to nearly a constant height when the towing speed is increased over a certain velocity. On the other hand, the lifting force on the ceiling net pulls up the ground rope, which, therefore, leaves the sea bed when towed at a certain speed. The height of the head rope, as well as the ground rope, from the sea bed depends on the towing speed. The relationship between the heights of these ropes and the towing speed was obtained by the model experiment. The results are shown in Fig. 3. in which the values of height and speed correspond to actual nets. (Fig. 3)

For efficient fishing of breams, cods or sharks, it is essential to keep the front of the ceiling net as high as possible. The following investigation was worked out in this connection:— The angle θ and the height h in Fig. 4. were measured on the photographs of the side-view of the net and the relationship between $(\theta_0 - \theta)/\theta_0$ and $(h_0 - h)/h_0$ was plotted on Fig. 5, where θ_0 and h_0 are the values of θ and h at $v=0$ respectively. It may be noted on the figure that the relation can be expressed by $(\theta_0 - \theta)/\theta_0 = c(h_0 - h)/h_0$ and that, if we put $g =$ the length of the spreader, the larger the value of g/h_0 , the larger the value of c .

Resistance of the nets against towing is shown in Fig. 6. and 7. In the figures curves of broken line represent the total resistance including the frictional resistance of the nets on the

sea bed. Deducting the frictional resistance on the sea bed, pure hydraulic resistance r is represented by curves of full line. The hydraulic resistance r can be expressed by $r \propto v^n$, where n is smaller than 2 owing to the deformation of net or due to the decrease in the height of the headrope as the net is towed. Thus if we put $r = k_i v^2$, k_i is a function of h . The relation between k_i , or r/v^2 , and h is given in Table 4. and Fig. 8. It is revealed in the figure that r has nearly a linear relation with h .

§ 1. 東北海区水産研究所, 猿田・安井・渡辺・三河¹⁾は, さきに146呎のトロール網, 東北海区で使用される1艘曳, 以西海区で使用される2艘曳, 手繰網及び板曳網の5種類の模型網²⁾を使つて曳行速度と網成りとの関係を実験しているが, それらの模型網を使つて, 今回はそれより稍と詳細な実験を行つた。実物網及び模型網の構造並びに寸法は東北海区水産研究所報告第1号に記載されているので此処では之を省略する。

§ 2. 実験は東海区水産研究所の実験水槽で行つた。曳網装置は第1図に示す様にトラックに曳かれる案内台A車があつて, この上の3個のプーレー R_1, R_2, R_3 を通して図のように曳網がとりつけられ, その先端は抵抗自記測定器の桿の先端に水平にすすびつけられている。かくして模型網を曳行する時は, 自記的に曳網にかゝつた模型網の全抵抗と曳行速度が記録される。プーレーを通る曳網には1号綿糸を用い, 曳網自身の抵抗をなるべく少くした。 R_1 と P_2 との間の距離は任意に変え得られるから之れを変えることにより,

Fig. 1. 曳網の抵抗実験装置
Apparatus used for the experiment.

A: 案内台車 Spreader-guide for keeping the spreaders at a constant distance.

R_1, R_2, R_3 : プーレー Pulley.

第1表に示す様に手木間隔を色々に変えて実験を行つた。かくして種々の流速における曳網にかかる抵抗を

Table 1. Kind of nets and the distance between spreaders under experiment.

網の種類と手木の間隔			
Kind of Nets 網の種類	Scale of model to actual net Scale の比	Distance between spreaders 手木間隔	
Otter trawl トロール網	1/20	23meters (A)	36meters (A')
Danish seine 1艘曳網	"	24 " (B)	39 " (E')
Two boats type trawl 2艘曳網	"	27 " (C)	41 " (C')
Japanese type hand operated small trawl 手繰網	1/20	13 " (D)	19 " (D')
Japanese type small otter trawl 板曳網	"	7.5 " (E)	

測定すると同時に第2図に示す様に網の形を真上及び真横から写真撮影を行つた。

§ 3. 第1表に示した9通りの実験に於ける実測及び写真撮影の結果から曳行速度と天井網の高さとの関係, 流速が次第に速くなつて, 遂に網が浮上をはじめる時の流速及びそれ以後のグランドロー

* 模型網は全て田内博士の漁網の比較法則に基づいて, 東北水研の渡辺光男・三河正男・橋本良平・神林喬三・安井達夫の諸氏の製作になるものである。

Fig. 2 の 1. 模型網の真横からの写真撮影
Side view of the nets (photo. by authors)

Two-boat type trawl

Dist. of spreaders 27 m

Dist. of spreaders 41 m

Japanese type hand operated small trawl

Dist. of spreaders 13 m

Dist. of spreaders 19 m

Japanese type small otter trawl

Dist. of spreaders 7.5 m

Fig. 2 の 2. 模型網の真横からの写真撮影
Side view of the nets (photo. by authors)

ブの浮上の高さを総て実物網の寸法に引き直して第3図に、又天井網が一定の高さに近づく時の流速及びその時の天井網の高さを同図から読みとつて第2表に示した。こゝで天井網の高さとは中心線上に於けるヘッドロープとグランドロープとの間の垂直距離、浮上の高さとは水底と網口に於けるグランドロープとの間の垂直距離を云う。

Fig. 3. 曳行速度と高さとの関係
Relationship between height of head rope and towing speed.

Table 2. 浮上の流速と網の最低の高さ
Effect of towing speed on ground rope and height of head rope.

Type of net 網の種類	Dist. between spreaders 手木間隔	Towing speed when the ground rope leaves the bottom 網の浮上を始める流速	Minimum height of head rope depressed by towing speed 天井網の高さがほぼ一定になる速度 及びその高さ Speed Height
otter trawl トロール網	36meters	1 mile/hour	3.0 mile/hour 0.8meter
	23	1.8	3.0 1.4
Danish seine 1艘曳網	39	1.5	4.0 1.0
	24	2.1	4.0 1.0
Two boats type trawl 2艘曳網	41	1.8	4.0 1.2
	27	3.1	4.0 1.6
Japanese type hard operated small trawl 手繰網	19	浮上セズ*	2.0 0.3
	13	浮上セズ*	2.0 0.4
Japanese type small otter trawl 板曳網	7.6	1.6	2.6 0.5

* Not left the bottom

曳網は一般に流速が速くなつてその抵抗が増加してくるとなるべく少い抵抗を受ける様にその形を変化する様に見える。即ち袖網等にかかる抵抗の為天井網は低下させられるが、一方天井網等にかかる揚力が作用

して網全体を持ち上げようとする力が働き、これらの力のバランスで網はその形をとっている。従つて網が浮き上るか沈むか、天井網の低下が甚だしいか甚だしくないか等は網の仕立特に袖及び囊の長さ、天井網の広さ、網目の大小等に依ることが大きい。

図に見る様にトロール、1艘曳、2艘曳の天井網の高さは曳行速度が2~3 哩/時までは速度の増加と共に急激に低下して行くが、2~3 哩/時前後からその低下は次第に少くなり、或る一定の高さに落ち付いて来るようである。手繰は1 哩/時位までに急激な高さの低下が起つている。然るに板曳だけは他の網に見られるような天井網の急激な低下は見られない。各網の静止の時の天井網の高さと、漁場で実際に操網中の普通の曳行速度、即ちトロール 3~4 哩/時、1艘曳 0.7~1 哩/時、2艘曳 2~3 哩/時、手繰 0.5~1 哩/時、板曳 1.5~2 哩/時における天井網の高さとをこの実験から推定して比較すると、トロールでは 4.5m と 1~1.5m、1艘曳では 6.3m と 2.5m、2艘曳では 6m と 1.7~2.5m、手繰では 1.8m と 1m、板曳では 1m と 0.8m となり、板曳を除いた他の網はかなりの違いがある。従つて曳網中の網の高さを高めようとして網の構造を考えると、いたずらに静止の時の天井網の高さを高めても意味のないことが分る。

實際上曳網の効率を水平的な幅と垂直的な高さとの二要素からなり、漁獲魚種の生態の相違によつて之等二要素の重みを異にする。タイ、タラ、サメなどの類は海底から幾分の高さを以て棲息すると考えられるので、之等を目的とする底曳網の効率をよくするためには、網口の高さを高く保つことが望ましい。そこで網が受ける流れの抵抗の分力を有効に働かせて、網が十分に上方へ展開するような設計を見出す一つの目安として次のような試みを行つた。即ち第4図に示すように、網が十分拡がつて且つ曳行されない静止の場合の天井網の高さを h_0 、曳行速度 v におけるそれを h とし、速度 v における天井網の高さの減少率を $(h_0-h)/h_0$ とする。又網を側面から投影した場合の浮子網の線と天井網の頂点を通る水平線との間の静止の場合の角を θ_0 、曳行速度 v のときのそれを θ とし、 θ の減少率 $(\theta_0-\theta)/\theta_0$ を求める。前の9通りの実験について $(h_0-h)/h_0$ と $(\theta_0-\theta)/\theta_0$ を plot して第5図を得た。

Fig. 4. 曳網の側面図

Diagram of a net from side-view.

h : 天井網高さ Height of head rope
 g : 手木の長さ Length of spreader

Fig. 5. $(h_0-h)/h_0$ と $(\theta_0-\theta)/\theta_0$ との関係

Relationship between $(h_0-h)/h_0$ and $(\theta_0-\theta)/\theta_0$.

板曳は θ の減少率に対して h の減少率が一番小さく、トロール、手繰、1艘曳が之に次ぎ2艘曳が一番大きい。今手木の高さを g として、 g/h_0 の値を計算すると板曳、トロール、手繰、1艘曳、2艘曳の順に 0.4, 0.23, 0.21, 0.14, 0.103 となり、この値の大きい程 h の減少率は小さくなつていく。即ち手木の長い程網の高さは高く保たれることになる。

Henry wood 等が 112ft のトロール網の形状を echosounder で測定した結果によると²⁾、曳航速度や抵

	Net	Dist. bet. spreaders	g/h_0
×	E	7.5meters	0.4
●	A	36	0.23
○	A'	23	"
▲	D	19	0.21
△	D'	13	"
⊗	B	39	0.14
※	B'	24	"
▼	C	41	0.103
▽	C'	27	"

抗板の開きの実際の記録はないが、曳航中の網の最高の高さは 5~6 ft であつたと述べている。今曳行速度を 2~3 哩/時として、我々の行つた 146 ft のトロールの模型実験について見ると第 3 図より手木間隔 23m 流速 2 哩での天井網の高さは 6.5 ft, 2.5 哩で 5.3 ft であつた。

同じ網では、天井の高さは手木間隔の広い方が狭い方に較べて常に低い。又網が浮上し始めるときの曳行速度は手木間隔の広い方が狭い方より小さい。1 艘曳と手繰では手木間隔の違いによる天井網の高さの違いはトロール、2 艘曳に較べあまりない。この事は網の浮上の曲線を見てもうなづける。

次に記録された 9 通りの曳網の抵抗を整理し、総て実物網の値に換算して、曳行速度 v 哩/時、抵抗 r 砵との関係を第 6 図及び第 7 図に示す。

Fig. 6. 流速 v と抵抗 R との関係
Relationship between towing speed v and the resistance R .

Fig. 7. 流速 v と抵抗 R の対数グラフ
Relationship between $\log R$ and $\log v$.

対数グラフに書いた第7図を見ると、手繰を除いては網がはじめて浮上をはじめる速さより流速の速いところでは今までの底曳網の模型実験と同じように両者の関係は直線を示すが、それより以前の流速の遅いところでは曲線を示している。即ち網が未だ浮上しない間では、曳網にかかる網の全抵抗には網のみの抵抗の外に網と底面との摩擦抵抗とが含まれる為と考えられる。今第7図にあつて直線の部分を延長して縦軸と交る点の読みを摩擦抵抗を除いた曳網のみの抵抗値と考え、第6図にはその値を曲線(実線)で示してある。これは $v=0$, $r=0$ の原点を通る。第6図には同時に実際に曳網にかゝつた全抵抗を曲線(点線)で示した。手繰のみは摩擦抵抗 $c=6\text{kg}$ (手木間隔 13m), $c=8\text{kg}$ (手木間隔 19m) を差し引いた値を以て曳網のみの抵抗とした。第7図に於ける直線部分では

$$r = kv^n$$

なる式が成り立つから、この v にかかる指数 n の値を第3表に示した。

Table 3. n の値

Value of n .

Type of net 網の種類	Dist. between spreaders 手木間隔	Value of n n の値
Otter trawl トロール網	36	1.35
	23	1.4
Danish seine 1艘曳網	39	1.58
	24	1.85
Two boats type trawl 2艘曳網	41	1.75
	27	1.85
Japanese type hand operated small trawl 手繰網	19	1.55
	13	1.99
Japanese type small otter trawl 板曳網	7.6	1.86

3.5 哩/時における r の値、之より計算した k_i の値及び天井網の高さ h を第4表及び第8図に示した。

第8図で分る様に $k_i \left(= \frac{R}{v^2} \right)$ と h とはほぼ直線関係を示すようである。

前にも述べたようにある曳行速度に於ける曳網は天井網を低下させようとする力と網全体を持ち上げようとする力及びその他の之等に関係ない力等とのバランスに於て安定を保ち、その時の天井網の高さを維持しているので、網の抵抗 k_i は高さ h の或る函数であることは想像に難くない。而してこの関係がほぼ直線関係を示すこと及び手木間隔の広い方が狭い方に比して h 軸に対する傾斜が大きいことなどの点については今後尙よく検討したいと思う。

今網のみの抵抗 r を

$$r = k_i v^2$$

とおく。網の形が流速によつて全然変らなければ k_i の値はほぼ一定を示すが、曳網にあつては k_i は v が増加すれば当然減少する。第7図及び第3図から $v=0.8, 1, 1.5, 2, 2.5, 3$,

Fig. 8. k_i と h との関係
Relationship between k_i and h .

Table 4. Values of k_i and h .

Type of net	Otter trawl トロール網						Danish seine 1艘曳網					
Dist. between spreaders 手木間隔	23meters			36			24			39		
Towing speed 曳行速度 v	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	k_i	(m) h
0.8 mile/hr.	—	—	—	—	—	—	110	172	3.3	180	282	2.7
1.0 "	460	460	3.6	460	460	2.8	165	165	2.8	255	255	2.4
1.5 "	800	355	2.8	800	355	2.0	350	155	2.25	480	214	2.0
2.0 "	1220	305	2.05	1220	305	1.4	610	152	1.9	750	187	1.7
2.5 "	—	—	—	—	—	—	940	150	1.6	1100	176	1.45
3.0 "	2130	236	1.3	2100	233	0.9	1350	150	1.4	1490	166	1.3
3.5 "	—	—	—	—	—	—	1800	147	—	1900	155	1.2
4.0 "	3200	200	1.2	3120	195	0.8	—	—	—	—	—	—

Type of net	Two boats type trawl 2艘曳網						Japanese type hand operated small trawl 手繰網						Japanese type small otter trawl 板曳網	
Dist. between spreaders 手木間隔	27			41			13			19			7.6	
Towing speed 曳行速度 v	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	k_i	(m) h	(kg) r	(m) h
0.8 mile/hr.	185	289	4.8	300	470	3.9	18	28	0.9	42	66	0.8	21	32.8
1.0 "	275	275	4.3	420	420	3.3	24	24	0.78	57	57	0.68	31	31
1.5 "	590	262	3.25	800	356	2.6	52	23	0.58	102	45	0.48	63	28
2.0 "	1050	260	2.65	1270	318	2.0	90	22	0.48	168	42	0.38	107	26.8
2.5 "	1600	256	2.25	1800	288	1.6	136	21.6	0.4	224	36	0.30	160	25.6
3.0 "	2250	250	2.0	2420	268	1.3	194	21.5	0.38	304	33.5	0.30	220	24.4
3.5 "	3000	244	1.78	3100	253	1.1	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0 "	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

終りに臨み、終始熱心に御指導を賜った東海区水研の宮本秀明先生、貴重な御忠言と御指導を賜った源生一太郎所長、原積の御校閲を賜った高山重嶺部長並びに論文発表に際し御配慮を賜った東北水研 田達雄技官の諸氏に対し深甚の謝意を表する。

文 献

- 1) 猿田達雄・安井達夫・渡辺光男・三河正男：東北海区水産研究所研究報告，1（1952）
- 2) H. Wood and B. B. PARRISH: "Echo-Sounding Experiments on Fising Gear in Action", Journ. du Conseil, XVII, 1, 25-36.