

平面網地の流水抵抗に関する基礎的研究—III

網地模型の流水抵抗特性

今 井 健 彦*

Basic Studies on the Plane Net set into the flowing Water-III Coefficient of Water Resistance on the Metallic Net Model

Takehiko IMAI*

Abstract

This experiment was made on the four kinds of metallic model nets equally composed of cylindrical brass-bars (dia.=4.015 mm, length of leg=80 mm) with nine meshes respectively.

But the hanging-in coefficient is varied as a hanging-angle $\varphi=45^\circ$; $\varphi=37^\circ$; $\varphi=30^\circ$; $\varphi=20^\circ$ in each net model.

The experimental methods are similar to those described on the previous report. The results obtained are as follows:

1) It is possible to denote drag-coefficient C_D , lift-coefficient C_L , and friction-coefficient C_F in the following equations:

$$C_D=0.943 \sin^{5/2} \theta$$

$$C_L=0.962 \sin^{5/2} \theta$$

Where θ is attack angle of net model.

$$C_F=K \sin^3 \theta' \cos^{5/2} \theta'$$

Where $\theta'=0.643 (\theta+50^\circ)$

$$K_{45}=2.44; K_{37}=1.74; K_{30}=1.55; K_{20}=1.21$$

2) The friction effect on the net model showed comparatively large value at the small attack angle respectively.

Accordingly it was ascertained that in case of the trawl net showing small attack angle, the elimination of the friction effect was not possible, and that in the respective case the friction-coefficient depended on the hanging angle as showed in Fig. 4.

無結節網地の最小構成単位である2脚の流水特性について前報(1977)¹⁾に報告した。この場合の平面網地模型は枠にとりつけられており、網地面と流れの成す角(迎角)が小さな場合、枠の後流の影響を受け、実験値に誤差が生じた。従って囊網類の場合のように、迎角が小さな場合についての網地模型の流水抵抗特性は明らかにできなかった。

本実験は、迎角が小さな場合を含めて、網地面微小部分の流水抵抗特性を明らかにするために、真鍮棒で試作した網地模型について前報と同種の実験を行ない解析したものである。

* 鹿児島大学水産学部漁具学研究室 (Laboratory of Fishing Gear, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Japan).

実験方法

網地模型はいずれも9目で、脚長 l は 80 mm、脚の直径 d は 4.015 mm であり、縮結角 ϕ を 45° (内割縮結: 2割9分3厘), 37° (2割1厘), 30° (1割3分), 20° (6分) の4種とした。従って網糸直径と目合長の比 $d/2l$ は 0.0251 であった。

これ等の網地模型について $0 \sim 90^\circ$ の範囲で 5° 毎に迎角を設定し、網地模型の抗力成分、揚力成分を同時に測定した。実験時の流速は 0.278 m/s で、レイノルズ数は 1.01×10^3 であった。

抗力成分、揚力成分の検出装置は、前報とほぼ同一であり、迎角設定板にとりつけた2軸自由のジンバルに網地模型支持棒の支点が固定されている。支持棒の上端にとりつけた2個のUゲージ(新興通信: UT-600-120)で流水抵抗の抗力成分、揚力成分を検出し、ストレンメーター(横河電機: 3126型)に入れ、ペンレコーダー(横河電機: 3052型)に記録させた。(Fig. 1 参照) 検出部の試作に当っては、入念に行ない、種々の調整を試みたが、迎角設定板の軸受部等に間隙があり、中心差等を除去できなかった。従って、流水抵抗の抗力成分 D_m 、揚力成分 L_m は次式に依って求めた。

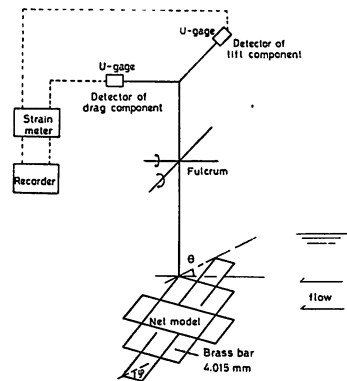


Fig. 1. Schematic drawing of the experimental equipments for measuring water-resistance of the net model.

$$D_m = (D_T - d_i) - (D_B - d_b) \quad (1.1)$$

$$L_m = (L_T - l_i) - (L_B - l_b) \quad (1.2)$$

但し

D_T (L_T): 全流水抵抗の抗力(揚力)成分

d_i (l_i): 全流水抵抗の止水時における中心差等に基づく抗力(揚力)成分

D_B (L_B): 支持棒の流水抵抗の抗力(揚力)成分

d_b (l_b): 支持棒の止水時における中心差等に基づく抗力(揚力)成分

結果及び考察

今回の実験では、微小部分の網地の流水抵抗特性を明らかにすることを目的とした。測得された網地模型面の抗力成分 D_m 、揚力成分 L_m は前報と同様な流水抵抗の解析を行ない、抗力

係数 C_D , 揚力係数 C_L , 摩擦係数 C_F を求めた。即ち各設定迎角の測得値 D_m, L_m を, 次式に従い無次元化して, それぞれの係数を求めた。

$$C_{Dm} = \frac{2D_m}{\rho S U^2} \quad (2.1)$$

$$C_{Lm} = \frac{2L_m}{\rho S U^2} \quad (2.2)$$

この場合 ρ は回流水槽の水の密度であり, $101.86 \text{ kg s}^2/\text{m}^4$, U は実験時の流速で, 0.278 m/s , S は網地模型の面積で結節部も脚の一部と看做し, 次式で求めた。

$$S_\varphi = 18 \cdot d \left(2l - \frac{d}{\sin 2\varphi} \right)$$

実験に供した網地模型の面積は, $S_{45} = 0.01127 \text{ m}^2$, $S_{37} = 0.01126 \text{ m}^2$, $S_{30} = 0.01122 \text{ m}^2$; $S_{20} = 0.01111 \text{ m}^2$ であった。

前報と同じ手法を用い, 次式により C_F, C_D, C_L を求めた。

$$C_F = C_{Dm} \cdot \cos \theta - C_{Lm} \sin \theta \quad (2.3)$$

$$C_D = C_{Dm} - C_F \cdot \cos \theta \quad (2.4)$$

Table Empirical value of C_D, C_L , and C_F at the respective attack-angle on each net model.

Attack angle (°)	C_D				C_L				C_F			
	$\varphi=45^\circ$	$\varphi=37^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=20^\circ$	$\varphi=45^\circ$	$\varphi=37^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=20^\circ$	$\varphi=45^\circ$	$\varphi=37^\circ$	$\varphi=30^\circ$	$\varphi=20^\circ$
0	.000	.000	.000	.000	-.010	-.021	-.030	-.015	.279	.206	.176	.123
5	.006	.003	.001	.001	.065	.030	-.013	.016	.302	.231	.181	.132
10	.023	.017	.007	.008	.132	.098	.057	.043	.332	.251	.204	.149
15	.050	.042	.029	.025	.187	.157	.107	.092	.361	.247	.218	.162
20	.095	.079	.056	.053	.270	.216	.154	.146	.368	.232	.221	.167
25	.147	.129	.102	.099	.315	.277	.220	.213	.316	.240	.220	.173
30	.208	.188	.157	.128	.360	.326	.272	.279	.310	.223	.218	.203
35	.279	.247	.230	.230	.399	.352	.277	.329	.305	.220	.209	.164
40	.360	.318	.311	.302	.428	.378	.370	.359	.278	.204	.196	.159
45	.433	.398	.378	.377	.433	.398	.378	.377	.252	.192	.183	.142
50	.519	.487	.462	.463	.435	.409	.388	.388	.254	.179	.152	.124
55	.600	.575	.625	.528	.420	.403	.385	.370	.226	.155	.115	.082
60	.683	.644	.692	.678	.395	.372	.377	.352	.181	.127	.077	.069
65	.762	.700	.745	.759	.395	.326	.348	.354	.153	.073	.041	.052
70	.816	.792	.801	.868	.279	.288	.291	.316	.112	.059	-.018	.009
75	.868	.839	.831	.924	.232	.225	.223	.248	.067	.036	-.052	.011
80	.897	.882	.834	.955	.158	.156	.158	.168	.036	.005	-.079	-.005
85	.930	.884	.901	.973	.097	.077	.078	.085	-.008	-.019	-.110	-.049
90	.948	.880	.897	1.003	.000	.000	.000	.000	-.046	-.034	-.129	-.100

C_D : drag-coefficient C_L : lift-coefficient C_F : friction-coefficient
 φ : half angle between two adjacent bars of mesh

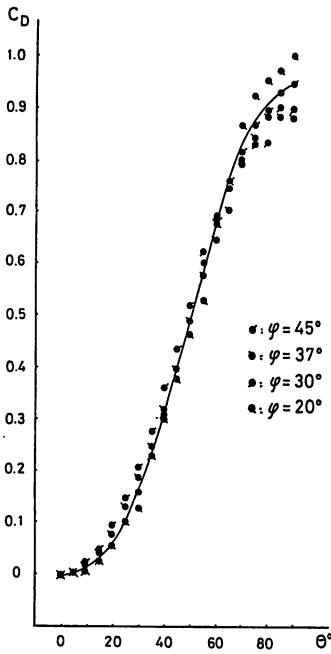


Fig. 2. Relationship between the drag-coefficient and the attack angle of the net model.

Dott denotes empirical value and continuous curve denotes empirical equation.

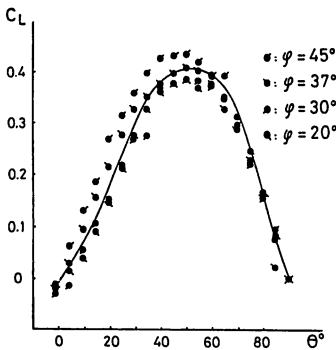


Fig. 3. Relationship between the lift-coefficient and the attack angle of the net model.

Dott denotes empirical value and continuous curve denotes empirical equation.

$$C_L = C_{Lm} + C_F \cdot \sin \theta \quad (2.5)$$

各設定迎角毎の各係数の計算結果を Table に示した. 尚, 迎角 θ と抗力係数 C_D の関係を Fig. 2 に, 迎角 θ と揚力係数 C_L の関係を Fig. 3 に, 迎角 θ と摩擦係数 C_F の関係を Fig. 4 に示した.

C_D の値は, 迎角 0° の場合は 0 で, 迎角の増加と共に増し, 迎角 90° 付近で最大値を示した. 今, C_D を $\sin \theta$ の関数として表わすことができるものとして, 最小自乗法を用い回帰曲線式を求め次の式を得た.

$$C_D = 0.936 \sin^{2.42} \theta$$

C_L の値は, 迎角の増加と共に増し, 50° 付近で最大値を示した後, 迎角 90° でその値は 0 となる. 今, C_L を $\sin \theta \cdot \cos \theta$ の関数で表わされるものとして回帰曲線式を求め, 次の式を得た.

$$C_L = 0.928 \sin^{1.42} \theta \cdot \cos^{0.99} \theta$$

これ等の結果から前報に習い, C_D は $\sin^{5/2} \theta$, C_L は $\sin^{3/2} \theta \cdot \cos \theta$ で表わされるものとして, 回帰曲線式の係数を求めると, 次の式が得られた.

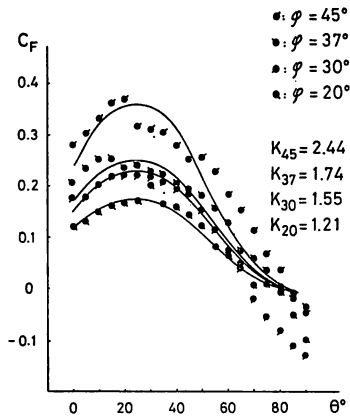


Fig. 4. Relationship between the friction-coefficient and attack angle of the net model.

Dott denotes empirical value and continuous curve denotes empirical equation.

$$C_D = 0.943 \sin^{5/2} \theta \tag{2.6}$$

$$C_L = 0.962 \sin^{3/2} \theta \cdot \cos \theta \tag{2.7}$$

Fig. 2, Fig. 3 に示した曲線はそれぞれ (2.6), (2.7) 式を示している。

一方摩擦係数は縮結によりその値に差違が有り、縮結角の減少と共に C_F の値は減少している。また迎角が小さな範囲の C_F の値は、いずれの縮結の場合でも C_D, C_L に比べ比較的大きな値を示している。(Fig. 4 参照) 即ち迎角 0° の場合の網地模型の流水抵抗は流体摩擦だけであり、迎角が増加すると C_D, C_L と共に C_F も増加する。 C_F の場合は迎角 20° 付近で最大値を示し、以後漸減する曲線を描く。実験値は迎角 90° 付近で負の値を示しているが、理論的に負の値は有り得ないので、実験誤差と考えた。

今、 C_F を迎角 20° で最大値を示し、 90° で 0 になるような角度 θ' の函数であると考え、 C_F を次式で表わされるものとした。

$$C_F = K_\phi \sin^m \theta' \cdot \cos^n \theta'$$

但し $\theta' = 0.643 (\theta + 50^\circ)$ である。 C_D, C_L の場合と同様な手法を用いて、それぞれの回帰曲線式を求めた結果、 m の値を 3, n の値を $5/2$ で表わされると考えられる。従って摩擦係数は、

$$C_F = K_\phi \sin^3 \theta' \cdot \cos^{5/2} \theta' \tag{2.8}$$

で表わされると仮定できる。それぞれの網地模型の K_ϕ の値を求め、 $K_{45} = 2.44, K_{37} = 1.74, K_{30} = 1.55, K_{20} = 1.21$ を得た。

即ち、Fig. 4 に示すように摩擦抵抗は、縮結の増加と共に増加することが明らかになった。

(2.6), (2.7), (2.8) 式を実証するために、各設定迎角の実験値より網地の抵抗係数 C_R を次式で計算し、Fig. 5. に点で示した。

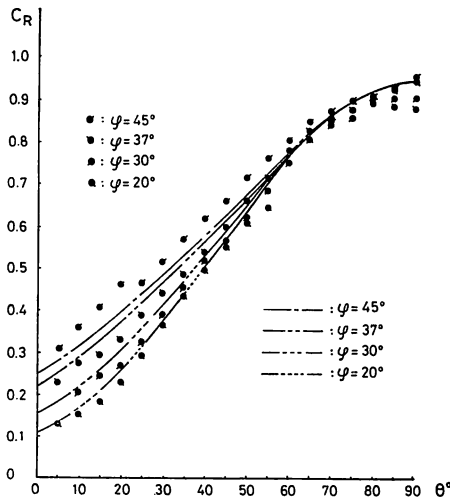


Fig. 5. Relationship between resistance-coefficient and the attack angle of the net model.

Dott denotes empirical value and curve denotes empirical equation.

$$C_R = \sqrt{C_{D_m}^2 + C_{L_m}^2} \quad (2.9)$$

一方 (2.6), (2.7), (2.8) 式から逆算して得た C_R を曲線で示した.

この曲線は迎角 0° の場合摩擦係数に等しく, 迎角 90° の場合抗力係数に等しくなる. 従って迎角の小さな範囲では, いずれも摩擦係数が利き縮結の影響が現われるが, 迎角が増加するに従い摩擦係数は小さくなり, 縮結の差が無くなることを示している. 即ち, 刺網等のように網地面と流れの成す角が大きな場合は縮結による影響は無視してよく, トロール網等迎角が小さな状態で操作される漁具では摩擦係数の影響は比較的大きく, 縮結による流水抵抗値には差が生じることが分かる.

宮崎等 (1964)²⁾ は平面網地について風洞実験を行ない, 流れに直角に置かれた網地の抗力は, 縮結の相違による影響はほとんど認められなかったと報告し, 一方小長谷 (1971)³⁾ は流れに平行に置かれた網地模型の抵抗は, 縮結の増加と共に増すことを示している. また谷口 (1969)⁴⁾ は各種の囊網の抵抗を測定し, 囊網の抵抗は縮結の増加と共に増大することを示している. 本実験結果はこれ等の報告と一致している.

然し, Fig. 5. を詳細に検討すれば, 導いた実験式は必ずしも実験値と一致していない. その理由は, 試作した検出部の中心差等を修正できなかったためと思われる. 結果として実験値がばらつき, 抗力係数, 揚力係数の実験式を導くにあたり, これ等の係数は縮結に無関係と仮定して資料処理せざるを得なかった.

摩擦係数の実験式を導くに当たっても, (2.8) 式の θ' の設定, 及び m, n の値の設定等に検討の余地が残されている.

要 約

1) 網地と流れの成す角を $0 \sim 90^\circ$ の範囲で, 5° 毎に変えて網地模型面の流水抵抗成分 D_m , 揚力成分 L_m を同時に測定した.

抗力係数 C_D , 揚力係数 C_L , 摩擦係数 C_F を求める実験式は,

$$\begin{aligned} C_D &= 0.94 \sin^{5/2} \theta \\ C_L &= 0.96 \sin^{3/2} \theta \cdot \cos \theta \\ C_F &= K_{45} \cdot \sin^3 \theta' \cdot \cos^{5/2} \theta' \end{aligned}$$

であった. 但し, $\theta' = 0.64 (\theta + 50^\circ)$, $K_{45} = 2.44$, $K_{37} = 1.74$, $K_{30} = 1.55$, $K_{20} = 1.21$ であり, 実験時の流速は 0.278 m/s で, レイノルズ数は 1.01×10^8 であった.

2) 網地と流れの成す角が大きな場合は流水摩擦による抵抗は無視できるが, トロール網や巾着網等の場合のように迎角が小さな場合は摩擦抵抗は比較的大きく, 迎角 0° の場合の流水抵抗は摩擦抵抗に等しい. 尚, 摩擦抵抗値は縮結により差違を生じ縮結角が大きい程大きな値を示すことが明らかとなった.

終りに本研究の御指導, 御校閲を賜った本研究室教授肥後伸夫博士, 並びに実験, 資料処理に多大の協力を下さった左近充浩一君に, 深甚の謝意を表する.

文 献

- 1) 今井健彦・平川栄一 (1977): 平面網地の流水抵抗に関する基礎的研究-Ⅱ. 鹿大水紀要. **26**, 164-171.
- 2) 宮崎芳夫・高橋 正 (1964): 網地の流体抵抗に関する基礎的研究-Ⅲ. Journ. Tokyo Univ. Fish. **50**(2), 95-102.
- 3) 小長谷庸夫 (1971): 巾着網の設計理論に関する基礎研究. 三重県大水紀要. **8**(3), 209-296.
- 4) 谷口武夫 (1969): 水中における各種囊網の抵抗について-VII. 日水誌. **35**(7), 641-643.