

# 平面網地の流水抵抗に関する基礎的研究—I

## 網地素材の比較実験

今井健彦\*・平川栄一\*\*

### Basic Studies on the Plane Net set into the flowing Water—I

#### Comparative Experiments on the Netting Materials

Takehiko IMAI\* and Eiichi HIRAKAWA\*\*

#### Abstract

Although various deformations may be noted on netting, when it is set into the flowing water, it is not impossible to regard a small portion of the netting as a plane. It is proper for us to make clear the fluid dynamic properties of the netting, by using a simplified net-models.

For the purpose of this, it was planned to make the knotless plane net-models, using vinyl-chloride cylindrical-bar instead of netting twine.

In this paper, some descriptions were made comparative experiments on netting materials consisting of the vinyl-chloride cylindrical-bar, and the cremona netting twine.

The measurements were carried out with the hand-made equipment, which was capable of measuring simultaneously both the dragging component and the lifting component to be derived from the netting material, when they were set into the flowing water.

The drag-coefficient  $C_D$ , the lift-coefficient  $C_L$ , and friction-coefficient  $C_F$  are to be calculated from the measured values of  $C_{Dm}$  and  $C_{Lm}$  as in the following formulae:—

$$C_D = C_{Dm} - C_F \cos \alpha$$

$$C_L = C_{Lm} + C_F \sin \alpha$$

$$C_F = C_{Dm} \cos \alpha - C_{Lm} \sin \alpha$$

The values of  $C_D$  and  $C_L$  obtained concerning the vinyl-chloride cylindrical-bar showed figures about 20% less than those observable in the netting twine, while the values of  $C_F$ , showed figures about 50% less than those.

平面網地の流水抵抗の研究は、寺田等<sup>1)</sup>に端を発し、田内等<sup>2)</sup>、三宅<sup>3)</sup>、田内<sup>4)</sup>、藤田等<sup>5)</sup>、宮本等<sup>6)</sup>、及び宮崎<sup>7)</sup>により研究されて来た。

網地は流れによって種々の網成りを形成するが、網地の微小部分は平面と看做することができるので、平面網地模型について基礎的知見を得るために水槽実験を計画した。

先ず網地模型素材の流水抵抗特性を解明するために、網糸（直径 4mm：クレモナ、20番

\* 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

\*\* 長崎県水産改良普及員 Fisheries officer of Nagasaki Prefecture, Japan

手, 26本,  $3 \times 3$ ) と円柱形状の塩化ビニール溶接棒 (同径) について比較実験した。

### 実験方法

網地模型素材の面が流れと成す角  $\alpha$  が任意に設定でき, 流れに平行な抵抗成分  $D_m$  と, 流れに直角な抵抗成分  $L_m$  が同時に測定できる構造の抵抗測定装置を試作した。(Fig. 1. 参照)

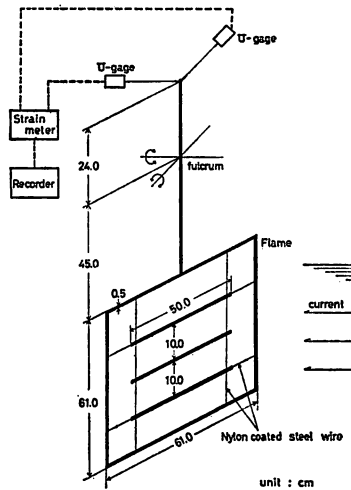


Fig. 1. Schematic drawing of experimental equipments for measuring water resistance of the netting materials.

網地素材取付枠支持棒の支点は, 2軸自由のジンバルとし, 軸受部にはボールベアリングを用いた。ジンバルは角度設定板の上に取付けてあるので, 素材は流れの中に任意の角度で設定できる。流れに平行な方向と, 流れに直角な方向に U ゲージ (新興通信: UT-2K-120) を取りつけ, 枠の支持棒の頂点に取付けたリングと U ゲージの受感部を真鍮棒で接続した。U ゲージはストレンメーター (横河電機: 3126 型) に接続され, それぞれの流水抵抗をフラットベッドレコーダー (横河電機: 3052 型) に記録した。(Plate 1, 2 参照)

角度設定の範囲は  $0 \sim 90^\circ$  であり, 設定角度は,  $0^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$  の16段階であった。

素材の長さを 500mm とし, 取付枠 (直径 5mm,  $610 \times 610$ mm) に Fig. 1. のように固定した。素材相互の干渉を考慮し, 且つ枠と素材の流水抵抗を勘案して, 素材の数を 3 本にした。素材の流水抵抗値は全抵抗値より枠の抵抗値を差引き, モーメント計算し, 素材 1 本の  $D_m, L_m$  を得た。資料処理に当たって, 軸受部の摩擦抵抗は無視できるものとした。

実験は本学部回流水槽にて行ない, 水槽の水深は 80cm, 水温  $10.6^\circ\text{C}$ , 流速  $28\text{cm/sec}$  で, レイノルズ数は  $1.009 \times 10^8$  であった。

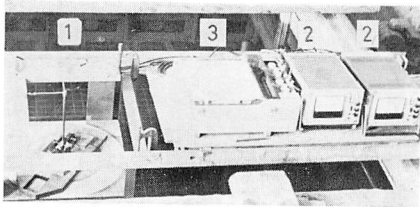


Plate 1. Total system of measuring equipments.

1. Detecting device
2. Strain-meter  
(Yokogawa, Type 3126)
3. Pen-recorder  
(Yokogawa, Type 3052)

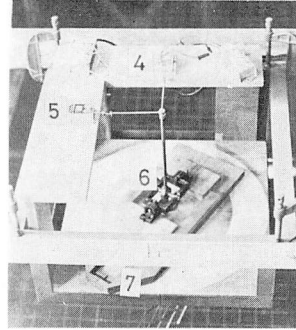


Plate 2. The detecting device of the flowing water resistance.

4. Sensor of dragging-component  
(U-gauge)
5. Sensor of lifting-component  
(U-gauge)
6. Gimbal ring
7. Setting plate for fixing the attack angle.

### 流水抵抗の解折

網地を構成する脚が独立に流水抵抗を受け相互の干渉が無いと仮定すると、脚は単純な円柱形状の物体と考えることができる。

物体の受ける流水抵抗はレイノルズ数の小さな場合はストークスの抵抗法則に従い速度  $U$  に比例し、レイノルズ数の大きな場合は、ニュートンの抵抗法則に従い速度の 2 乗に比例する。円柱の受ける流水抵抗が、ストークスの抵抗法則からニュートンの抵抗法則に遷移するのは、レイノルズ数が  $1 \times 10^2 \sim 5 \times 10^2$  の範囲であることを S. Goldstein 等<sup>8)</sup> が示している。

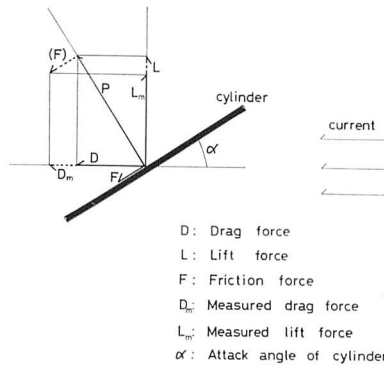


Fig. 2. Force ( $D$ ,  $L$ ,  $F$ ,  $D_m$ ,  $L_m$ ) and attack angle ( $\alpha^\circ$ ), observable on cylindrical-bar in the flowing water.

一方藤田等<sup>5)</sup>は漁網で実験を行ない、この遷移域に対するレイノルズ数は、 $4.5 \times 10^2 \sim 7.5 \times 10^2$ であることを報告している。本実験のレイノルズ数は、トロール網の曳網状態に合せ  $1 \times 10^3$  としたので、ニュートンの抵抗法則に従うと考えた。

1本の網地素材が受ける流水抵抗  $R$  を法線方向分力  $P$  と接線方向分力  $F$  に分けると、 $P$  は圧力抵抗、 $F$  は摩擦抵抗である。 $P$  は更に流れに平行な抵抗成分  $D$  (抗力) と、流れに直角な抵抗成分  $L$  (揚力) に分解できる。(Fig. 2. 参照)

$$R = P + F = D + L + F \quad (2.1)$$

素材の流水抵抗は流れに平行な抵抗成分  $D_m$  と、流れに直角な抵抗成分  $L_m$  として測得される。 $D_m, L_m$  と  $D, L, F$  の間には、

$$D_m = D + F \cos \alpha \quad (2.2)$$

$$L_m = L - F \sin \alpha \quad (2.3)$$

の関係がある。但し  $\alpha$  は設定角度 ( $^\circ$ ) である。 $D, L, F, D_m, L_m$  を無次元化した  $C_D$  (抗力係数)、 $C_L$  (揚力係数)、 $C_F$  (摩擦係数)、 $C_{Dm}, C_{Lm}$  を求めると、

$$C_{Dm} = C_D + C_F \cos \alpha \quad (2.4)$$

$$C_{Lm} = C_L - C_F \sin \alpha \quad (2.5)$$

(2.4), (2.5) 式より、

$$C_D = C_{Dm} - C_F \cos \alpha \quad (2.6)$$

$$C_L = C_{Lm} + C_F \sin \alpha \quad (2.7)$$

尚  $D = P \sin \alpha$ ,  $L = P \cos \alpha$  であるから、

$$\frac{C_D}{\sin \alpha} = \frac{C_L}{\cos \alpha} \quad (2.8)$$

(2.6), (2.7), (2.8) 式より、

$$C_F = C_{Dm} \cos \alpha - C_{Lm} \sin \alpha \quad (2.9)$$

が導かれる。

このようにして測得値  $D_m, L_m$  より、 $C_D, C_L, C_F$  を求めることができる。

### 結果及び考察

前述の実験方法で網地模型素材の抗力成分  $D_m$  と揚力成分  $L_m$  を測定した。測定値は乱れや剥離渦等のために可成りの幅があった。塩化ビニル棒の場合の  $C_{Dm}$  の値を Fig. 3. に、同  $C_{Lm}$  の値を Fig. 4. に示した。黒丸印は、いずれも平均値  $\overline{C_{Dm}}, \overline{C_{Lm}}$  の値を表わしている。クレモナ網糸の場合も同様にして  $\overline{C_{Dm}}, \overline{C_{Lm}}$  を求め、(2.6), (2.7), (2.9) 式を用いて各設定角度別の  $C_D, C_L, C_F$  を計算した。塩化ビニル棒素材の結果を Table 1. に、クレモナ網糸

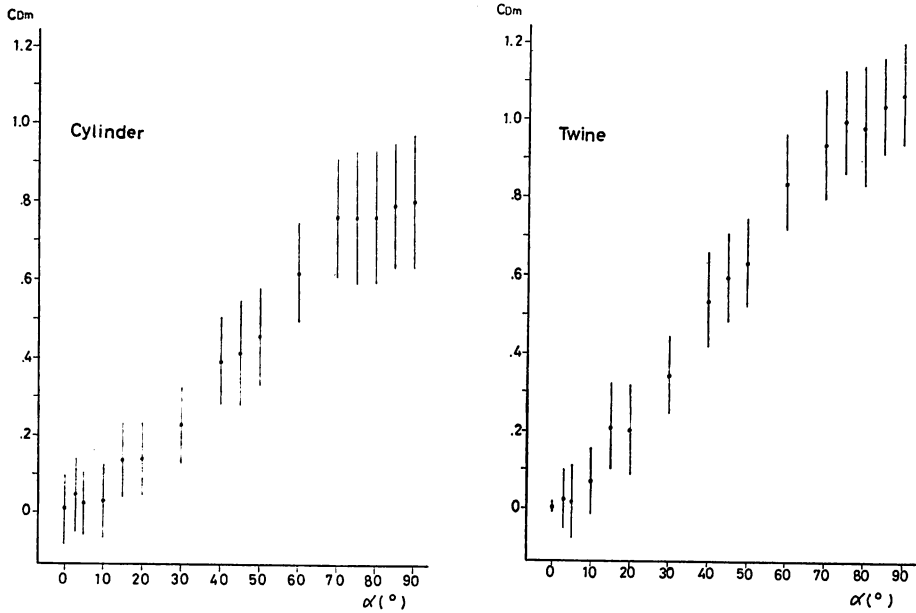


Fig. 3. Relationship between the measured drag-coefficient ( $C_{Dm}$ ) and the attack angle ( $\alpha^\circ$ ).

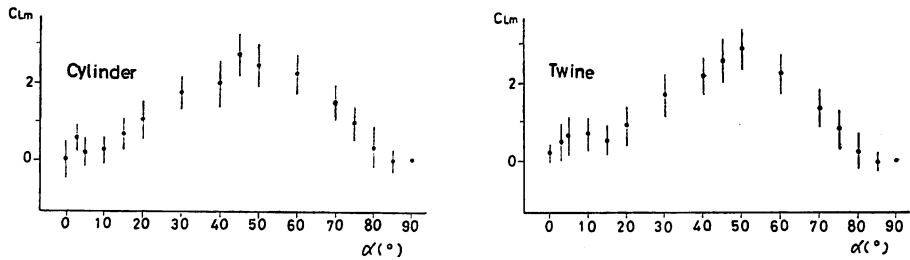


Fig. 4. Relationship between the measured lift-coefficient ( $C_{Lm}$ ) and the attack angle ( $\alpha^\circ$ ).

素材の結果を Table 2. に示した. 縦軸に  $C_D, C_L, C_F$  をとり, 横軸に設定角度  $\alpha$  をとって, 前者の計算値を Fig. 5. に, 後者の計算値を Fig. 6. に示した.

田内等<sup>2)</sup> は網糸の流水抵抗について, 接線方向分力  $F$  が法線方向分力  $P$  に比べて小さく無視できると考え, 圧力抵抗  $P$  を,

$$P = R_{\perp} \sin \alpha \tag{3.1}$$

で表わした. この場合  $R_{\perp}$  は, 流れと成す角が直角の場合の流水抵抗値である.

Landweber 等<sup>9)</sup> は円柱について実験し,

$$P = R_{\perp} \sin^2 \alpha \tag{3.2}$$

を得ている. 先達に習い圧力抵抗  $P$  を  $\sin \alpha$  の関数を考えると,

Table 1. Value of  $\overline{C_{Dm}}$ ,  $\overline{C_{Lm}}$ ,  $C_F$ ,  $C_D$  and  $C_L$  at the various attack angle ( $\alpha^\circ$ ) on cylinder.

$\alpha^\circ$	$\overline{C_{Dm}}$	$\overline{C_{Lm}}$	$C_F$	$C_D$	$C_L$
0	0.006	0			
3	0.044	0.056	0.014	0.030	0.057
5	0.019	0.019	0.018	0.002	0.019
10	0.028	0.024	0.024	0.005	0.028
15	0.133	0.066	0.112	0.022	0.094
20	0.137	0.103	0.093	0.049	0.134
30	0.224	0.173	0.107	0.131	0.226
40	0.389	0.196	0.172	0.279	0.307
45	0.410	0.270	0.099	0.340	0.340
50	0.454	0.244	0.105	0.373	0.324
60	0.617	0.222	0.116	0.516	0.322
70	0.757	0.147	0.120	0.716	0.260
75	0.759	0.094	0.106	0.731	0.196
80	0.759	0.033	0.099	0.742	0.131
85	0.787	0	0.072	0.781	0.068
90	8.005	0			

Table 2. Value of  $\overline{C_{Dm}}$ ,  $\overline{C_{Lm}}$ ,  $C_F$ ,  $C_D$  and  $C_L$  at the various attack angle ( $\alpha^\circ$ ) on twine.

$\alpha^\circ$	$\overline{C_{Dm}}$	$\overline{C_{Lm}}$	$C_F$	$C_D$	$C_L$
0	0.002	0			
3	0.023	0.046	0.020	0.002	0.047
5	0.016	0.062	0.010	0.005	0.063
10	0.066	0.067	0.054	0.013	0.076
15	0.211	0.053	0.190	0.027	0.102
20	0.203	0.089	0.160	0.052	0.144
30	0.344	0.169	0.213	0.159	0.276
40	0.533	0.216	0.269	0.327	0.389
45	0.594	0.255	0.239	0.425	0.425
50	0.632	0.286	0.187	0.512	0.429
60	0.838	0.223	0.226	0.725	0.419
70	0.937	0.134	0.195	0.871	0.317
75	0.996	0.080	0.181	0.950	0.254
80	0.983	0.021	0.150	0.957	0.169
85	1.036	0	0.085	1.029	0.090
90	1.067	0			

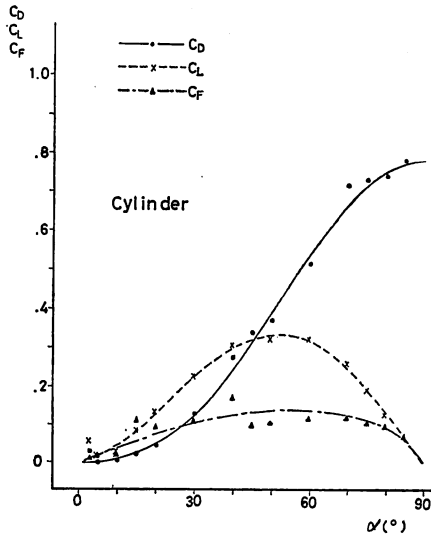


Fig. 5. The relationships of drag-coefficient ( $C_D$ ), lift-coefficient ( $C_L$ ) and friction-coefficient ( $C_F$ ) of the vinyl-chloride cylindrical-bar to the attack angle ( $\alpha^\circ$ ).

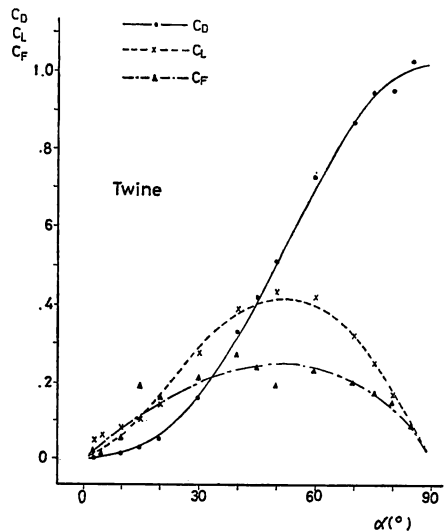


Fig. 6. The relationships of drag-coefficient ( $C_D$ ), lift-coefficient ( $C_L$ ) and friction-coefficient ( $C_F$ ) of the cremona netting twine to the attack angle ( $\alpha^\circ$ ).

$$C_D = f(\sin \alpha) \quad (3.3)$$

$$C_L = g(\sin \alpha \cdot \cos \alpha) \quad (3.4)$$

となる。\$C\_F\$ は表面粗度や迎角等の函数と想定され、実験値から次の式で表わされると考えた。

$$C_F = h(\sin \alpha \cdot \cos \alpha) \quad (3.5)$$

Table 1., Table 2. の実験値について、最小自乗法により曲線式を求めた。

塩化ビニル素材の場合

$$C_D = 0.78 \sin^{2.6} \alpha$$

$$C_L = 0.81 \sin^{1.6} \alpha \cdot \cos^{1.0} \alpha$$

$$C_F = 0.22 \sin^{1.0} \alpha \cdot \cos^{0.5} \alpha$$

クレモナ網糸素材の場合

$$C_D = 1.02 \sin^{2.6} \alpha$$

$$C_L = 0.97 \sin^{1.6} \alpha \cdot \cos^{1.0} \alpha$$

$$C_F = 0.43 \sin^{1.0} \alpha \cdot \cos^{0.7} \alpha$$

前述の実験式を一般式に直すと、

$$C_D = a \sin^{2.6} \alpha \quad (3.6)$$

$$C_L = b \sin^{1.6} \alpha \cdot \cos \alpha \quad (3.7)$$

$$C_F = c \sin \alpha \cdot \cos^{0.6} \alpha \quad (3.8)$$

が得られ、求めた曲線式は実験値と良く一致した。

係数 \$a, b\$ の値は、後者に比べ前者は約 20% 小さく、係数 \$c\$ の値は約 50% 小さな値を示した。即ち、表面の滑かな塩化ビニル棒素材は、クレモナ燃糸に比べ圧力抵抗で約 20%、摩擦抵抗で約 50% 小さいことを示している。

要 約

1) 網地素材の抗力成分 \$D\_m\$ と揚力成分 \$L\_m\$ を測定し、\$\overline{C\_{Dm}}, \overline{C\_{Lm}}\$ を求め、次式により素材の抗力係数 \$C\_D\$、揚力係数 \$C\_L\$、摩擦係数 \$C\_F\$ を求めることができる。

$$C_D = C_{Dm} - C_F \cos \alpha$$

$$C_L = C_{Lm} + C_F \sin \alpha$$

$$C_F = C_{Dm} \cos \alpha - C_{Lm} \sin \alpha$$

2) 網地素材として表面の滑らかな円柱形の塩化ビニル棒を用いれば, クレモナ撚糸を素材とした場合に比べ圧力抵抗は約20%, 摩擦抵抗は約50%減少する.

## 文 献

- 1) 寺田寅彦・関根磯吉・野崎知之 (1915): 網に対する水の抵抗試験 水講試報 10 (5), 1~23
- 2) 田内森三郎・三浦定之助・杉井一美 (1925): 網地の水中に於ける抵抗に就て 水講試報 21 (2), 25~35
- 3) 三宅 豊 (1927): 網地の研究 (一) 水中に於ける網地の抵抗 (第1報) 水講試報 23 (2), 48~61
- 4) Morisaburo TAUTI (1934): The Force acting on the Plane Net in Motion through the water. B. J. S. S. F. 3 (1), 1~4
- 5) 藤田 博・横田敏之 (1950): 網地のうける水中抵抗に就て—I 平面網地の場合の研究 応用物理 20 (2), 59~63
- 6) 宮本秀明・野村正恒・下崎吉矩 (1952): 水中を動く網地が受ける水の抵抗—I 日水誌 17 (8・9), 39~44
- 7) 宮崎芳夫 (1964): 網地の流体抵抗に関する基礎的研究 I~XII J. T. U. F. 50 (2), 79~189
- 8) S. Goldstein: "Modern Development in Fluid Dynamics." Vol. II 425