無結節網地の投影面積^{*1}

今 井 健 彦

(1984 年 3 月 15 日受理)

Experimental Studies on the Projective Area of the Knotless Twisted Netting

Takehiko IMAI^{*2}

The purpose of this experiment is to obtain the experimental equation concerning the projective area of a twine portion on the knotless twisted netting, as the basic research for the study of the fluid dynamical coefficient at a certain attack angle θ , when the netting is set into a flow.

The netting samples used are seven kinds of knotless netting composed of varying twine diameter d and leg length l . And the respective netting is fixed on the $\square$ -shaped netting frame at hanging angle of 45° , by thin stainless steel wire, while among seven, one netting is fixed at the six stages of hanging angle ϕ .

The projective area of the twine portion is obtained from the enlarged photograph, concerning the area measured by a planimeter of one mesh which is made up of two knots and four legs forming two netting elements.

Results obtained are as follows:

(1) The projective area of a twine portion on the $(i \times j)$ mesh sample, at the range of attack angle $\theta < \theta \leq 90^\circ$ is calculated easily, using the following experimental equation.

$$S_{\theta'} = 4.4ijdl \sin \delta + (i+j-2.2ij) \frac{d^2}{\sin 2\epsilon} + 0.44d^2 \left(2.2ij - \frac{i+j}{2} \right) \sin 2\phi \sin \theta$$

(2) The projective area, of a twine portion on the $(i \times j)$ mesh netting, at the range of attack angle $0^\circ \leq \theta \leq \theta$ is derived in the following experimental equation.

$$S_{\theta'} = 0.84 \left[j \{ (2i-1)l^2 \sin 2\phi \sin \theta + 2dl \sin \delta \} + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \left\{ 1 + (i-1) \frac{\theta}{\theta} \right\} \right]$$

Where,

δ : Angle between the leg and the horizontal plane on the ABC plane

ϵ : Apparent hanging angle on a projected plane

θ : Attack angle

θ : Attack angle when the adjacent legs were touched on a projected plane

$S_{\theta'}$: Projective area of the twine portion of the knotless netting at attack angle $\theta < \theta \leq 90^\circ$.

S_{θ} : Upper described area of the knotless netting at attack angle $0^\circ \leq \theta \leq \theta$.

流体中を相対運動している物体が受ける流体抵抗は、ニュートンの流体抵抗則が成立するレイノルズ数の領域では、物体の代表面積、流体の密度および相対運動速度の2乗に比例することが明らかにされている。流体抵抗係数は、比較的簡単な形状の物体についてだけ明らかにされているが、これらの場合は、相対運動方向に垂直な面への投影面積を代表面積としている。

寺田¹⁾は、網糸が交差した投影面積を計算し、結節投影面積の増分を目算で加えて網糸の投影面積を求めている。三宅²⁾は、網地の見取り図から網糸投影面積を求め、田内³⁾は網目の孔を含む1目の投影面積を $l^2 \sin 2\phi$

で表している。宮本⁴⁾は、脚数と結節数の比率は2対1として、脚の投影面積を $d(l-ad)$ 、結節の投影面積を βd^2 で表している。これらの場合、 d は網糸直径、 l は脚長、 α は結節長さの係数、 β は結節面積の係数、 ϕ は縮結角である。宮崎⁵⁾は、網地の全投影面積 S と網糸投影面積 Ld の比率を媒介変数として網地の流体抵抗を解析している。この場合の L は目合であり、 d は網糸直径であることから、網糸の重なり部分の倍の面積を結節に相当する面積としている。また、H. STENGEL⁶⁾は、ポリアミド蛙又結節網地の結節投影面積を、直径が $3d$ の円で置きかえている。H. H. KORITZKY⁷⁾は、宮崎

^{*1} 網地の投影面積—I (Experimental Studies on the Projective Area of Netting-I)

昭和58年度秋期大会で発表した。

^{*2} 鹿児島大学水産学部 漁具学講座 (Laboratory of Fishing Gear, Faculty of Fisheries, Kagoshima University Shimoarata-4, Kagoshima City 890, Japan).

ら⁵⁾と同様網糸投影面積を Ld としている。

網地の構造は複雑であり、加えられた外力と釣合って自由にその形を変える特性を持つために、その投影面積の測定は複雑であることから、従来の網地抵抗の研究では、前述のように種々の面積が抵抗解析の代表面積として用いられてきた。本稿は、網地の投影面積の実測値に基いた網糸投影面積を求める汎用の実験式を導くことを目的とした。

円柱を組み合わせて作製した網地模型の任意の迎角 θ における網糸投影面積の理論式を導き、その理論式と網地模型の写真映像から求めた網糸投影面積の実測値と比較して理論式を実証し、更に無結節網地のそれぞれの迎角における網糸投影面積の実測値と比較して補正係数 λ' を導き、理論式と λ' の積を網糸投影面積を求める実験式とした。

本稿では、網地は長さ l の2本の網糸が、その中心で

Fig. 1. Explanation of a "netting-element", the smallest construction of netting, which is composed with two legs crossed on the hanging angle, concerning a netting model. Square mark shows a remainder of the knot-portion.

互いに交差している構造物（網素子）の集合と考えている。従って、横目数 i 、縦目数 j の供試網地は、Fig. 1 に示すように $\times$ 形状の $(2ij-i-j)$ 個の完全網素子と、 $\wedge$ 形状の $2(i+j)$ 個の不完全網素子から構成されており、不完全網素子2個の投影面積は、完全網素子1個と結節部1個の面積に相当することから、この網地は $2ij$ 個の網素子と、網地周辺の $(i+j)$ 個の結節部から構成されていると考えた。

なお、後述の理由から、投影面上に網目の孔が現れる迎角の範囲 $\theta < \theta \leq 90^\circ$ と、投影面上に網目の孔が現れない迎角の範囲 $0^\circ \leq \theta \leq \theta$ に分けて理論式を導き、検討を加えた。

実験方法

供試網地は、塩化ビニル円柱を組み合わせた網地模型1種と、網糸直径 d および目合 $2l$ の異なる7種の2子撚り式貫通型無結節網地である。縮結角 ϕ はいずれも 45° であり、網地模型には支持棒を取付け、無結節網地はコの字型網枠に細いステンレス線で張りつけた。なお、縮結角を変えた場合の網糸投影面積について検討するために、網地番号Ⅶの網地について6段階の縮結角を与えた実験も行った。設定迎角 θ は、 $0 \sim 90^\circ$ の範囲の 5° 毎の19段階である。供試網地の主要目を Table 1 に示した。

網地面の延長線上約10m隔たったところに望遠レンズ (Reflex Nikkor 500 mm) を装着した写真機 (Nikon F₃) を設置してこの場合を迎角 0° とし、網枠支持棒受金具に取りつけた分度器で 5° 毎に迎角を設定して、物指しおよび番号札と共に網地を撮影した。実験装置の模式図を Fig. 2 に示した。撮影したフィルムを、文献復

Table 1. Principal dimensions of the sampled knotless nettings and netting model

Netting	d (cm)	l (cm)	d/l	ϕ (deg.)	θ (deg.)	Materials
Model	2.10	6.00	0.350	45	13.90	PVC round bar
I	0.35	15.00	0.023	45	0.95	PVD filament
II	0.29	6.08	0.048	45	1.93	PES filament
III	0.31	5.84	0.053	45	2.15	PE filament
IV	0.39	6.11	0.064	45	2.58	PE filament
V	0.09	1.31	0.069	45	2.78	PE filament
VI	0.46	6.04	0.076	45	3.08	PE filament
VII	0.22	2.50	0.088	45	3.56	PE filament
VII	0.22	2.50	0.088	6.5	2.54	
VII	0.22	2.50	0.088	15	2.61	
VII	0.22	2.50	0.088	30	2.91	
VII	0.22	2.50	0.088	60	5.03	
VII	0.22	2.50	0.088	75	9.65	

ϕ : Hanging angle

θ : Attack angle when the adjacent legs were touched on a projected plane

PE : Polyethylene

PES : Polyester

PVC : Polyvinyl chloride

PVD : Polyvinylidene chloride

Fig. 2. Schematic drawing shows the experimental equipments.

C: Motor drive camera N: Number plate
F: Netting frame P: Protractor
L: 500 mm lens θ: Attack angle
M: Measure

写用のマイクロリーダープリンタ(富士ゼロックス)でB4判に拡大複写した。投影面上に網目の孔が現れる迎角の範囲では、レンズの歪誤差を少なくするために、物指し付近の網目を選び、4脚と2結節部の面積をプランイメータ(玉屋 Planix 7)で測定した。測定値の1/2を網素子の投影面積として資料処理した。一方、投影面上に網目の孔が現れない迎角の範囲では、供試網地全体の投影面積を測定した。

実験結果および考察

無結節網地模型の網糸投影面積の理論式と実験式 塩化ビニル製円柱を縮結角 ϕ で組み合わせた網地模型の網素子を任意の迎角 θ で設置した場合について検討する。

平行光源の光軸を x 軸、これに直交する軸を y 軸、 x - y 平面(水平面)に垂直で網素子の結節部中心を通る軸を z 軸とした。 z 軸は網素子の回転軸であり $\angle XOB$ は迎角 θ 、 $\angle ABO$ は縮結角 ϕ である。この場合の x 軸に垂直な y - z 面(投影面)上の網素子の網糸投影面積 s_θ を表す理論式を(1)式で表した。(Fig. 3 参照)

$$s_\theta = 2dl \sin \delta - \frac{d^2}{\sin 2\epsilon} \quad (1)$$

但し、 d は網糸直径、 l は脚長、 δ は網素子の脚および脚の投影を含む面上の網素子の脚と水平面の成す角

Fig. 3. Schematic drawing shows the projective area of a netting element (lower half).

d : Twine diameter
 l : Leg length (Half mesh size)
 δ : Angle between a leg and horizontal plane on the ABC plane
 ϵ : Apparent hanging angle on a projected plane
 ϕ : Hanging angle

$\angle ABC$ を表しており、(2)式で与えられる。 ϵ は投影面上の見かけの縮結角 $\angle ACO$ で(3)式で与えられる。

$$\delta = \cos^{-1}(\cos \phi \cos \theta) \quad (2)$$

$$\epsilon = \sin^{-1}(\sin \phi / \sin \delta) \quad (3)$$

(1)式の第1項は、2脚の網糸投影面積であり、第2項は2脚が重なり合った部分、即ち、結節部の投影面積である。但し、(1)式が成立するのは、投影面上の隣接する2脚が互いに接する迎角 θ より大きい範囲 $\theta < \theta \leq 90^\circ$ であり、迎角 θ は(4)式で与えられる。(Fig. 4 参照)

Fig. 4. Schematic drawing shows the attack angle θ , when the adjacent legs were touched on a projected plane.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{2l \cos \phi} \right) \quad (4)$$

網目数が $i \times j$ 目の網地の網素子数は、前述のように $2ij$ 個の網素子と、網地周辺の $i+j$ 個の結節から構成されているので、その網糸投影面積 S_θ は (5) 式となる。

$$S_\theta = 4ijdl \sin \delta + (i+j-2ij) \frac{d^2}{\sin 2\epsilon} \quad (5)$$

前述の方法で無結節網地模型の各迎角における網素子の網糸投影面積 $s_{\theta m}$ を測定し、供試網地模型に換算した網地の網糸投影面積の実測値 $S_{\theta m}$ と (5) 式で求めた同計算値 S_θ の関係を Fig. 5 に示した。両者の関係を表す回帰直線式を最小自乗法で求め (6) 式を得た。

$$S_{\theta m} = 1.025 S_\theta \approx S_\theta \quad (6)$$

Fig. 5. Relationship between the calculated projective area of a netting model, using the equation (5), and measured one at the range of attack angle $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Line shows the result of the calculation on a linear regression, and number shows attack angle.

導いた理論式は、実測値と良く一致した。

投影面上に網目の孔が現れない場合、即ち、迎角が $0^\circ \leq \theta \leq \theta$ の範囲について、網目数が $i \times j$ 目の無結節網地の網糸投影面積の理論式を (7) 式で表した。(Fig. 6. 参照)

$$\begin{aligned} S_{\theta t} = & \{2ij - i - j + 1\} 2l^2 \sin \phi \cos \phi \sin \theta \\ & + \left\{ 2j(dl \sin \delta) + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \right\} \\ & + \left\{ (i-1)(2l^2 \sin \phi \cos \phi \sin \theta) \right. \\ & \left. + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \frac{\theta}{\theta} \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

(7) 式の右辺第 1 項は、網地模型を平面と仮定した菱形の面積 (横縞)、第 2 項は、前足の脚の面積 (斜縞) であり、第 3 項は上下端の三角状の脚と、半楕円形状の前の結節部に隠れる結節部面積 (縦縞) を表している。この場合結節部の遮蔽率を θ/θ と仮定している。

Fig. 6. Schematic drawing shows projective area on the knotless netting model, at the attack angle $\theta = \theta$, $\theta < \theta$, and $\theta = 0^\circ$.

(7) 式を整理すると、(8) 式を得る。

$$\begin{aligned} S_{\theta t} = & j \{ (2i-1)l^2 \sin 2\phi \sin \theta + 2dl \sin \delta \} \\ & + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \left\{ 1 + (i-1) \frac{\theta}{\theta} \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

なお、 $\theta = 0^\circ$ の場合は、(8) 式は次式となる。

$$\begin{aligned} S_{(0)} = & 2jdl \sin \phi + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \\ \therefore \cos \delta = & \cos \phi \cos \theta \\ \theta = 0^\circ \rightarrow & \delta = \phi \end{aligned}$$

Fig. 7. Relationship between the calculated projective area of a netting model using the equation (8), and measured one at the range of attack angle $0^\circ \leq \theta \leq \theta$. Line shows the result of the calculation on a linear regression, and number shows the attack angle.

前述の方法で測定した網地模型の網糸投影面積の実測値 $S_{\theta m}$ と (8) 式で求めた同計算値 S_{θ} 関係を Fig. 7 に示した。両者の関係を表す回帰直線式を最小自乗法で求め、(9) 式を得た。

$$S_{\theta m} = 0.988 S_{\theta} \approx S_{\theta} \quad (9)$$

これらの結果、迎角が θ より小さな場合について導いた理論式 (8) 式は、実験値と良く一致した。即ち、(5) および (8) 式は種々の網地の網糸投影面積の実験式を導くための基礎方程式として用いることができることが明らかとなった。

無結節網地の網糸部投影面積を求める実験式 縮結角 ϕ が一定で、 d および l の異なる 7 種の網の各設定迎角が θ より大きい場合の網素子の網糸投影面積と、網地番号Ⅶの網地の縮結を 6 段階変えた場合の同投影面積をプランメータで測定した。

無結節網地の結節部は、円柱を組み合わせた網地模型の結節部と形状が異なっており、Fig. 8 に示すように若干広い投影面積を持っている。相対運動方向に垂直に設置された結節部 1 個の投影面積の増分 $\Delta s'k$ を (10) 式で表した。

$$\Delta s'k = 4\eta^2 \sin \phi \cos \phi = 2\eta^2 \sin 2\phi \quad (10)$$

$\phi = 45^\circ$, $\theta = 90^\circ$ の場合の結節部拡大写真映像の $2\eta \sin \phi$ の長さを各網地について測定して、網糸直径との関係を求め $0.66d$ を得た。即ち、 η は (11) 式で与えられる。

$$\eta = \frac{0.33d}{\sin 45^\circ} = 0.468d \quad (11)$$

$\Delta s'k$ は網素子の投影面積 s'_θ に比べ微少であることから、 θ の変化に対応する $\Delta s'k$ の面積の変化量を (12)

式で表すことができるものと仮定した。即ち、片子糸の太さを無視して、結節部の投影面積の増分は平面と仮定した。

$$\Delta s'k = 0.44d^2 \sin 2\phi \sin \theta \quad (12)$$

これらの結果から、無結節網素子の網糸部投影面積 $s'_{\theta c}$ を求める理論式は、(5) 式と (12) 式の和として (13) 式で与えられる。

$$s'_{\theta c} = 2dl \sin \delta - \frac{d^2}{\sin 2\epsilon} + 0.44d^2 \sin 2\phi \sin \theta \quad (13)$$

d , l が異なり、 $\phi = 45^\circ$ の 7 種の無結節網地の $\theta < \theta \leq 90^\circ$ の迎角の範囲について、網素子の網糸投影面積の実測値と (13) 式の同計算値を比較して、補正係数 $\lambda'_\theta = 1.099$ を得た。従って、この場合の網糸投影面積の実験式は (14) 式と λ'_θ の積となる。

$$s'_\theta = 1.1 \left\{ 2dl \sin \delta - \frac{d^2}{\sin 2\epsilon} + 0.44d^2 \sin 2\phi \sin \theta \right\} \quad (14)$$

一方、網地番号Ⅶの縮結角を変えた場合についても (14) 式は成立した。従って、迎角が θ より大きい場合の全ての資料について、網素子の網糸投影面積の実測値 $s'_{\theta m}$ と (15) 式の関係を調べ、Fig. 9 に示した。この場合補正係数は $\lambda'_\theta = 1.106$ であり、両者の相関係数は 0.983、自由度 107 における t 検定の結果、0.01 水準で有意であった。これらの結果から、網目数が $i \times j$ 目の供試網地の投影面積を求める実験式は (15) 式で与えられる。

$$S'_\theta = 4.4ijdl \sin \delta + (i+j-2.2ij) \frac{d^2}{\sin 2\epsilon} + 0.44d^2 \left(2.2ij - \frac{i+j}{2} \right) \sin 2\phi \sin \theta \quad (15)$$

Fig. 8. Schematic drawing shows a crossing portion on the diagonal through type knotless twisted netting.

η : Length of a ply along the crossing portion (knot) of an above mentioned netting.

Fig. 9. Relationship between the calculated projective area of the knotless netting element, using the equation (14), and the measured one at the range of attack angle $\theta < \theta \leq 90^\circ$.

Fig. 10. Relationship between the calculated projective area of knotless netting, using the equation (16), and the measured one at the range of attack angle $0^\circ < \theta \leq \theta$.

投影面上に網目の孔が現れない迎角の範囲 $0^\circ \leq \theta \leq \theta$ についても、ほぼ同様な方法で資料処理した。この場合結節部の増分 $ds'_{k\theta}$ は脚の投影と重なり合うので考慮する必要はない。従って、(8) 式と実測値を比較して、両者の関係を回帰直線式で求め、補正係数 $\lambda'_\theta = 0.837$ を得た。これらの結果から、迎角が θ より小さな範囲の無結節網地の網糸部投影面積を求める実験式は (8) 式と λ'_θ の積として (16) 式で与えられる。

$$S'_\theta = 0.84 \left[j \{ (2i-1)l^2 \sin 2\phi \sin \theta + 2dl \sin \theta \} + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \left\{ 1 + (i-1) \frac{\theta}{\theta} \right\} \right] \quad (16)$$

なお、 $\theta = 0^\circ$ の場合については次式となる。

$$S'_{(0)} = 0.84 \left(2jdl \sin \phi + \frac{\pi d^2}{4 \cos \phi} \right)$$

網糸投影面積の実測値 $S'_{\theta m}$ と、導いた (16) 式の計算値 S'_θ の関係を Fig. 10 に示した。両者の相関係数は 0.960 であり、自由度 66 において t 検定を行った結果 0.01 水準で有意であった。

導いた実験式 (15) および (16) 式は、いずれも実験値と良く一致した。これらの実験式をプログラムに組むことにより、任意の無結節網地の、任意の姿勢についての網糸投影面積を容易に得ることができ、ひいては網地が受ける流体抵抗の抵抗係数の精度を上げることができる。

この研究は、北海道大学水産学部教授佐藤修博士ならびに本講座教授肥後伸夫博士の御指導の下に、大学院生吉賀慎二君、学生住吉誠君の協力を得て行った。ここに記し、深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 寺田寅彦・関根磯吉・野崎知之：水講試報，10，1-23 (1915)。
- 2) 三宅 豊：水講試報，23，48-61 (1927)。
- 3) M. TAUTI: Bull. Japan. Soc. Sci. Fish, 3, 171-177 (1934)
- 4) 宮本秀明・野村正恒・下崎吉矩：日水誌，17，39-43 (1952)。
- 5) 宮崎芳夫・高橋 正：Jorn. Tokyo Univ. Fish., 50, 95-102 (1964)
- 6) H. STENGEL and A. FISCHER: Fischerei Forschung, 6, 45-59 (1963)
- 7) H. H. KORITZKY: Fischerei Forschung, 8, 41-46 (1970)