八角錐網の抗力係数におよぼすレイノルズ数の影響^{*1}今井 健彦, 中村 毅, 金 碩 鍾,
不 破 茂, 肥 後 伸 夫

(1990 年 3 月 19 日受付)

Fluid Dynamical Drag Coefficient on the Octagonal-Pyramid-Net
Relative to Reynolds NumberTakehiko Imai,^{*2} Tsuyoshi Nakamura,^{*3} Suk Jong Kim,^{*2}
Shigeru Fuwa,^{*2} and Nobio Higo^{*2}

This study deals with the fluid dynamical drag coefficient on the octagonal-pyramid-net with six kinds of Weaver's knot nettings, fixed inside of five types of net-frames hanged at 29.3% of hang-in ratio. Half values of the vertical angle (attack angle) of octagonal-pyramid-frames were 15°, 30°, 45°, 60° and 75°.

The nets were set into a flume tank normal to the flow direction, and the flow was set at seven stepped velocities, namely 5, 10, 25, 50, 75, 100 and 125 cm/s. The velocities were monitored by a super-sonic digital current-meter which is installed in the flume tank of Kagoshima University. The range of the Reynolds number were from 1.7×10^4 to 1.8×10^5 .

The results obtained were as follows:

- 1) A Reynolds number of 2×10^4 was determined to be the critical value for transition of drag coefficient.
- 2) For Reynolds number greater than 2×10^4 , the drag coefficients were determined to be 0.70, 0.80, 0.98, and 1.10 for the octagonal-pyramid-nets with half value of vertical angles of 30°, 45°, 60° and 75° respectively.
- 3) For Reynolds number less than 2×10^4 the drag coefficients were proportional to $Re^{-0.5}$, except for the net with the half value of vertical angle of 15°.

種々の条件下で使用される網漁具の網地面は曲面を形成しているが、その微小部分は、平面と見なすことができることから、平面網地の流体抵抗特性の研究を行ってきた。

この研究は平面網地を組み合わすことにより形成される角錐の流体抵抗特性を、明らかにすることを目的とした。囊網（袋網）の流体抵抗について谷口^(*)は、一連の研究を行い、種々の知見を述べている。その中に四角錐形や八角錐形、円錐形ならびにくさび形などの袋網がある。

流れの中で袋網の網地面を平面に保つには、角錐を形成する稜の数が多いほど容易である。一方、稜の数が増えたと網地の抵抗に比べ網枠の抵抗が大きくなってしまう。袋網の流体抵抗は、網枠に網を張った場合の抵抗から網枠の抵抗を差し引いて求めるため、網枠の抵抗はできるだけ小さいことが望ましい。このように相反する問

題と、現在使用されている曳網の網地構成数を勘案して八角錐網を袋網の単純模型として採用した。

この研究で使用するレイノルズ数の代表長さは、特別ことわらないかぎり、網糸直径である。

材料および方法

実験に用いた網地はすべてポリアミド（ナイロン）210 デニール 3, 9, 15, 24, 36 および 42 本の網糸で、脚長さが 11.9 mm から 13.9 mm に編まれた蛙又結節網地である。これらは今井および中村^(*) が用いた網地と同じもので、網糸直径 d と脚長 l の比率 d/l の順に A から F 網地と呼ぶことにした。これらの網地の主要目を Table 1 に示した。

直径 10 mm のステンレス丸棒を曲げて直径 732 mm の円形を作り網枠の口金とし、口金の周長を 8 等分した位置に孔をあけ、それぞれの孔に直径 2 mm のステンレ

^{*1} 平成元年度日本水産学会春季大会で要点を発表した。

^{*2} 鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Shimoarata, Kagoshima 890, Japan).

^{*3} 日東製網株式会社 (Nitto Seimo Co. Ltd, Shinbashi, Minato, Tokyo 105, Japan).

Table 1. Weaver's knot nettings used

Netting	d(mm)	l(mm)	d/l	Materials
A	0.44	11.93	0.037	PA 210 ^d × 3
B	0.73	11.96	0.061	PA 210 ^d × 9
C	0.99	12.51	0.079	PA 210 ^d × 15
D	1.26	12.45	0.096	PA 210 ^d × 24
E	1.64	13.94	0.119	PA 210 ^d × 42
F	1.50	12.09	0.124	PA 210 ^d × 36

d: Diameter of twine

l: Leg length

PA 210^d: Polyamide 210 denier

Fig. 1. Schematic drawing shows the octagonal-pyramid-net frames.

ス丸棒を差し込んで、八角錐を形作り網枠とした。八角錐の頂角の半角（平面網地の迎角に相当）が 15° のものを網型 I, 30° のものを網型 II, 45° のものを網型 III, 60° のものを網型 IV および 75° のものを網型 V と呼ぶことにした。網地は Fig. 1 に示す網枠の内側に内割縮結 0.293（縮結角 45°）となるように取付けた。

八角錐網を形成する二等辺三角形の網地の底辺は、いずれの網型の場合も 13 目であった。なお、使用した網地の脚長が異なるため、それぞれの脚長に合わせて、Fig. 2 の網枠上に点線で示した位置に釣り糸（ト印）を瞬間接着剤で取付け、八角錐網の網口枠とした。脚長により差はあるが網枠の円形口金と八角錐網の網口枠の間に隙間を作り、口金の後流の影響を受けにくくした。

Fig. 2. Schematic drawing shows the equipment of system for measuring hydraulic drag force of a octagonal-pyramid-net.

Table 2. Number of knots and legs of octagonal-pyramid-net

Net type	Knots	Legs
I	7072	13152
II	3608	6656
III	2536	4640
IV	2224	4067
V	1856	3360

三角形網地の高さ方向の網目数は、網型 I で 55 目、網型 II で 28 目、網型 III で 20 目、網型 IV で 17 目および網型 V で 15 目であった。袋を形成する三角網地 8 枚分の結節数と脚数を Table 2 に示した。

この研究は、鹿児島大学共同利用施設回流水槽装置で行った。観測水路（長さ 6 m, 幅 2 m, 水深 1 m）に設置した三分力計（LMC-3502-10: 日章電機）に、Fig. 2 に示す要領で網枠を取付け、5, 10, 25, 50, 75, 100 および 125 cm/s の 7 段階の流速を与えて、網地が受ける流体抵抗の X 軸（流軸）方向成分（抗力）を測定した。流速の設定には、流れの上流の側壁に設置された、超音波流速計（DS-101: 電子工業）をデジタル表示に模様替

えしたものをうい、その指示器の数値が安定するのを待って測定記録した。

三分力計で検出した抗力を、動歪増幅器 (DSA-100: 日章電機) で増幅し、ペンレコーダ (YEW-3061: 横河電機) に約 1 分間記録した。これらの装置は十分ウォーミングアップした後 0 点調節を行い、備え付けの二次校正器 (CAL-110: 日章電機) で校正して実験に供した。

網枠の口金が、流れに対して厳密に直交することを水槽底の観測窓に張った糸で確かめた。流速が遅いときは問題ないが、流速が早くなると円形口金と支持棒の溶接部が曲がり八角錐の中心線は流軸と一致しなくなった。これらの理由から、今井および中村⁶⁾ の報告と同様設定流域は 125 cm/s までとした。すなわち、この実験の場合もレイノルズ数の範囲は 1.7×10^1 から 1.8×10^3 であった。

結果および考察

各網型について、それぞれ 6 種の網地を用いて八角錐網を作り、1 つの網について 7 段階の流れを与えて抗力測定した。それぞれの場合の測定値について (1) 式を用いて抗力係数 $C_{D\theta}$ を計算した。

$$C_{D\theta} = \frac{2D_\theta}{\rho S_\theta U^2} \quad (1)$$

ただし、 D_θ : 角錐の頂角の半角が θ の場合の抗力

S_θ : θ における網糸投影面積

U : 実験時の流速

ρ : 水の密度

θ : 角錐の頂角の半角 (網地面と流れのなす角)

である。なお網糸投影面積 S_θ は、今井および中村⁶⁾ が導いた式に Table 2 に示す結節数と脚数を代入して求めた。

抗力係数とレイノルズ数の関係を両対数グラフに各網型別に記入し Fig. 3 に示した。これらの図から網糸投影面積を代表面積として抗力係数を求めると、網糸直径や脚長に依存しない抗力係数が得られることがわかる。ただし、 $\theta=15^\circ$ の場合は後述の理由から別に扱った。袋網の抗力係数がレイノルズ数の影響を受けなくなるレイノルズ数の値 Re^* を明らかにするため、 8×10^2 以上の抗力係数の平均値を求め、次いで 7×10^2 以上の平均値と言うように徐々に計算して、それぞれの平均値の差が有意であるかを検定した結果、平面網地について実験した今井および中村⁶⁾ と等しい値 (2×10^2) を得た。この結果からレイノルズ数が Re^* より小さい領域と大きい領域の資料について、仕分けして資料処理した。

それぞれの網型のそれぞれの領域について、抗力係数とレイノルズ数の関係を最小二乗法で求め、Table 3 に示した。レイノルズ数が Re^* より大きい領域では、抗力係数はレイノルズ数に依存せず、それぞれの迎角別に一定の値を示した。一方 Re^* より小さい領域では抗力係

Fig. 3. Relationship between the Reynolds number based on a twine diameter and the drag coefficient of the octagonal-pyramid-net type II-V.

Table 3. Results of regression analysis relative to drag coefficient and Reynolds number on the octagonal-pyramid-net

Net type	$\theta(^{\circ})$	Drag coefficient	
		$Re < Re^*$	$Re > Re^*$
I	15	$1.77 Re^{-0.20}$	$0.90 Re^{-0.10}$
II	30	$9.14 Re^{-0.52}$	$0.81 Re^{-0.02}$
III	45	$12.83 Re^{-0.55}$	$0.63 Re^{0.03}$
IV	60	$14.72 Re^{-0.52}$	$1.35 Re^{-0.05}$
V	75	$13.82 Re^{-0.48}$	$1.97 Re^{-0.08}$

Re^* : Critical value for transition of drag coefficient, in this case 2×10^2

θ : Half value of vertical angle (attack angle)

数はレイノルズ数に依存し、網型 I ($\theta=15^\circ$) を除いて Re の平方根の逆数にはほぼ比例することがわかった。すなわち、前者は Re^0 、後者は $Re^{-0.5}$ に比例するものとして、それぞれの係数を求め直し、Table 4 に示した。

$Re > Re^*$ の場合の係数と迎角の関係を、Fig. 4 に示した。なお、迎角 θ と抗力係数 $C_{D\theta}$ の関係を (2) 式で表した。

$$C_{D\theta} = \alpha \sin^2 \theta + C_{D0} \quad (2)$$

Table 4. Results of regression analysis relative to drag coefficient and Reynolds number on the octagonal-pyramid-net

Net type	$\theta(^{\circ})$	Drag coefficient	
		$Re < Re^*$	$Re > Re^*$
II	30	$8.69 Re^{-0.5}$	$0.70 Re^0$
III	45	$10.75 Re^{-0.5}$	$0.80 Re^0$
IV	60	$13.71 Re^{-0.5}$	$0.98 Re^0$
V	75	$16.59 Re^{-0.5}$	$1.10 Re^0$

Re^* : Critical value for transition of drag coefficient, in this case 2×10^2

θ : Half value of vertical angle (attack angle)

Fig. 4. Relationship between half value of the vertical angle (attack angle θ) of octagonal-pyramid-frames and drag coefficient concerning $Re > Re^*$.

まず, C_{D0} を 0.5 から 0.7 までの範囲で 0.01 刻みに与えて計算した値と, Table 4 に示した網型 II, III, IV および V との実測値の差が最も小さくなる値を求めた。その結果, C_{D0} が 0.63 であることが明らかになった。次に, (2) 式に 0.63 を与え, 再び α と β を求めた。その結果, (2) 式の係数 α は 0.51, 指数 β は 2.92 となった。なお, $\sin^{2.92} \theta$ は $\sin^3 \theta$ で近似できることから, $\beta=3$ と置き再び C_{D0} を求め直した所, 前と同じ値 0.63 を得た。

このような資料処理を行った結果, $Re > Re^*$ の領域における八角錐網の抵抗係数を表す実験式を (3) 式として表すことができた。

$$C_{D\theta} = 0.52 \sin^3 \theta + 0.63 \quad (3)$$

ただし $Re > 2 \times 10^2$ である。なお, 導いた (3) 式を Fig. 4 に示した。ただし, 図中の点は Table 4 の $Re > Re^*$ に示す値である。なお, (3) 式は網型 I には適用できないことがわかった。

網型 I について得たすべての実験値について最小二乗

Fig. 5. Relationship between Reynolds number based on a twine diameter and the drag coefficient of the octagonal-pyramid-net type I.

Fig. 6. Relationship between half value of the vertical angle (attack angle θ) of octagonal-pyramid-frames and drag coefficient concerning $Re < Re^*$.

法を用いて資料処理し, 次の回帰式 (4) を導いた。

$$C_{D(15)} = 1.66 Re^{-0.2} \quad (4)$$

ただし, $1.7 \times 10^2 < Re < 1.8 \times 10^3$ である。

網型 I が他の網と違った特性を示したのは, 網地を構成する網糸相互の干渉のためと推察している (Fig. 5 参照)。

Re 数が Re^* より小さい場合の網型 II, III, IV および V について,

$$C_{D\theta} = C_{D\theta}' Re^{-0.5} \quad (5)$$

と置いてそれぞれの網型の $C_{D\theta}'$ を求め直し、 θ と $C_{D\theta}'$ ($=C_{D\theta}/Re^{-0.5}$) の関係を Fig. 6 に示した。

$C_{D\theta}'$ について、 $Re > Re^*$ の場合と同様 (2) 式を適用して、同じ方法で資料処理した結果 (6) 式を得た。

$$C_{D\theta}' = 10.34 \sin^3 \theta + 7.26 \quad (6)$$

導いた (6) 式を Fig. 6 に示した。(5) 式に (6) 式を代入して (7) 式を導いた。

$$C_{D\theta} = (10.34 \sin^3 \theta + 7.26) Re^{-0.5} \quad (7)$$

ただし、 $Re < Re^*$ 、 $\theta > 30^\circ$ である。これらの結果から、レイノルズ数が Re^* より大きい場合は (3) 式を、 Re^* より小さい場合は、(7) 式を適用することにより八角錐網が受ける抗力を計算することができる。

袋網の抗力係数とレイノルズ数の関係については、34 種のポリアミド製 cod-end をネス湖で曳航した Ferro and Stewart⁷⁾ の研究がある。ただし、抗力係数とレイノルズ数の関係については、1 種の cod-end について実験した結果を図示するに止まっている。この研究では、代表面積に網糸の正射影面積を用いて抗力係数を求め、レイノルズ数の代表長さに網糸直径を用いている。その結果、cod-end の抗力係数に影響を及ぼさなくなるレイノルズ数 Re^* は、 2×10^8 付近にあることを明らかにしている。

一方、本研究では抗力係数に影響を及ぼさなくなるレイノルズ数 Re^* は一桁小さく、 2×10^7 となった。この

ような差が生じた理由は cod-end の場合は、網口と袋尻以外の網目は流れとほぼ平行に展張するため、流れがほとんど通過しないのに対し、八角錐網ではすべての網目を流れが通るためと網内部の流速が変化するためと推察している。すなわち、網型 II ($\theta = 15^\circ$) 以外の八角錐網では網目を構成する網糸相互の干渉を受けることなく、流れは自由に網目を通過するのに対し、cod-end の場合は網口と袋尻以外のほとんどの網目は、網糸相互の干渉を受けかつ網地面に沿った流れによる抵抗を受ける。このような物理的条件の差が、Ferro and Stewart⁷⁾ の結果と異なった原因と考えている。

この研究は、網地面と相対運動方向のなす角 (θ) が 15° 以上 (流れはすべての網目を通過する) の場合について行ったものであり、網地面が流れとほぼ平行な cod-end など袋網にそのまま応用できるものでない。

文 献

- 1) 谷口武夫: 日本誌, **21**, 291-296 (1955).
- 2) 谷口武夫: 日本誌, **21**, 969-972 (1956).
- 3) 谷口武夫: 日本誌, **22**, 727-729 (1957).
- 4) 谷口武夫: 日本誌, **34**, 259-299 (1968).
- 5) 谷口武夫: 日本誌, **34**, 979-983 (1968).
- 6) 今井健彦, 中村 毅: 日本誌, **55**, 1753-1757 (1989).
- 7) R. S. T. Ferro and P. A. M. Stewart: *Fisheries Research*, **5**, 331-347 (1987).