

円錐網の周りの流速分布

洪 性完, 今井健彦

Distribution of Flow Velocity Around Conical Nets*¹

Seong Wan Hong*² and Takehiko Imai*³

Keywords : Conical net, Flow distribution, Midwater trawl, Open area ratio, Hanging angle

Abstract

This paper deals with the velocity around the conical net in the flume tank at the Faculty of Fisheries, Kagoshima University. Eight types of conical nets were used for the experiment; out of which four kinds were the same netting with different hanging angles, and the other four were the same hanging ratio with different nettings. The mouth of each net was attached to a circular shaped frame of the same dimension, and the test speed was 80 cm/s at a steady flow. The flow velocity in the test sections were measured with a hot film flow meter. The following results were obtained :

- 1) The velocity around the nets can be classified into 3 fields, inside net, in the boundary layer in which the flow is passed through a mesh hall and outside net. As the open area ratio (β) became smaller, the velocity of inside net increased but the velocity of boundary layer decreased.
- 2) The shape of conical net in a flow field depended on the mesh number rather than to the open area ratio of mesh.
- 3) The theoretical analysis was carried out on the continuity equation to derive an empirical equation for the average flow velocity on the cone type nets.

中層トロール網等袋網の網成りは網地の水中重量、網面が受ける流体抵抗に基づく脚に働く力の釣合いにより形成される。中層トロール網等袋形状の網は一種の半濾水物体であることから、網内と網外では流速分布が異なり、与えられた流速により一定の網成りを形成することが明らかにされている。Hamilton¹⁾は、円錐型の網内の流れについて調べ、網内の流速は垂直面の断面積が大きい網口から断面積が小さい後部へ行くほど速くなることを示し、Fridman²⁾は、トロール網の抵抗は網地の開孔比が小さくなるにつれ、抵抗は大きくなることを示した。なお、Kenney et al.³⁾は、網地パネルを変えられるように製作したトロール網を用いて、網地の開孔比

と流速の関係について海上実験を行った結果、網目を通過する流速は開孔比に反比例することが明らかにし、網地を部分的に変えることにより、小型魚と大型魚を選択的に漁獲できることを示した。これらの結果から、網内外の流速分布の違いは網口形状を含む網成りのみならず、網に作用する流体力や入網する魚群にも影響を及ぼしていると考えられる。

中層トロール網の設計は従来、網口高さと曳網抵抗を主な設計要因として検討してきた。流速を設計上の要因とした研究に Ziembo⁴⁾, Scheel and Rehme⁵⁾ および肥後⁶⁾ がある。しかしこれらはいずれも着底トロール網を研究対象にしたものである。

*¹ この論文の概要は平成5年度日本水産学会秋季大会（長崎）で発表した。

*² 鹿児島大学大学院連合農学研究科（The United Graduate School of Agricultural Science, Kagoshima University, 21-24 Korimoto 1, Kagoshima, 890 Japan）

*³ 鹿児島大学水産学部漁具学講座（Laboratory of Fishing Gear Science, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan）

本研究は、袋網の周りの流速分布を測定し中層トロールの基本設計に必要な基礎資料を得ることを目的としている。その第一歩として袋網を単純化した円錐網を定常流の中に設置し網内外の流速を測定し、流速分布と網成りについて検討した。さらに、網目を抜ける流れの速度を推定するために流量の連続式を用いて実験式を導いた。その実験式は中層トロール網の場合などの円錐形を形成

する袋網に成立することを明らかにした。

材料および方法

実験に用いた網地は、すべてポリプロピレン製二子撚り式無結節網地であり、脚長 (ℓ) が一定で網糸直径 (d) が異なる 5 種類の網地を用いた。実験に用いた円

Table 1. Details of conical nets used in the experiment

Net type	d (mm)	ℓ (mm)	d/ℓ	Number of Mesh Base \times Height		ϕ	β	Material*
I	1.44	10.14	0.142	48	51	15	0.472	2 \times 24
II	1.44	10.14	0.142	32	57	30	0.695	2 \times 24
III	1.44	10.14	0.142	17	70	45	0.736	2 \times 24
IV	1.44	10.14	0.142	14	99	60	0.695	2 \times 24
V	0.77	10.14	0.076	17	70	45	0.854	2 \times 8
VI	0.98	10.14	0.097	17	70	45	0.816	2 \times 12
VII	1.20	10.14	0.118	17	70	45	0.777	2 \times 16
VIII	1.68	10.14	0.166	17	70	45	0.696	2 \times 36

* : Polypropylene 170 denier

ℓ : Leg length

ϕ : Hanging angle (deg.)

d : Diameter of twine

β : Open area ratio

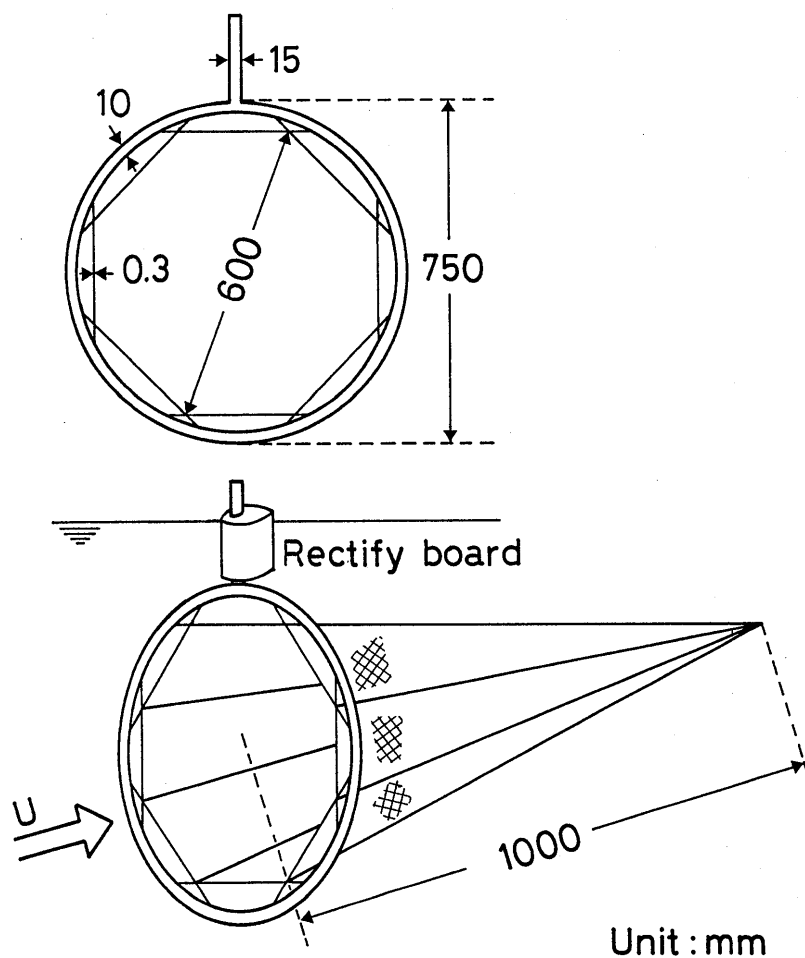


Fig. 1. A frame used to fix the eight types of conical nets which were made from five kinds of knotless netting shown in Table 1. Upper shows a front view of a net frame, and lower shows a sketch view of a conical net.

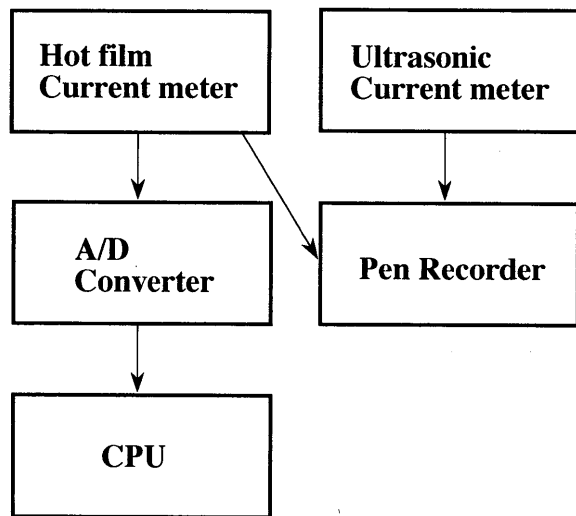


Fig. 2. Block diagram shows the experimental set up for measuring velocity of the conical nets.

錐網は同じ網地を用い、縮結角 (ϕ) を変えた I, II, III および IV 型網と縮結角を一定とし網糸直径を変えた V, VI, VII および VIII 型網である。これらの主要目を Table 1 に示した。Table 1 に示す開孔比 (β)⁷⁾ は、網地の全面積 (網目の結節部の中心を結ぶ 4 本の線で囲まれた面積) に対する網目の孔の面積の比率である。実験に用いたこれらの網は、Fig. 1 に示すように同一形状の 8 枚の二等辺三角形の平面網地を縫合したもので、八角錐の底の対角線の長さが 60cm、高さが 100cm になるように設計した。この網を直径 75cm の円形網枠に正八角形に張った直径 0.3mm のステンレス線に取り付けて流れを与えた。その場合の形状は、円錐で近似できる形状となることから、この研究では円錐網として解析した。また流速が速くなると網枠の支持棒の後部に剥離渦が発生したので、流線型の板を取り付けて整流した。

実験は、鹿児島大学共同利用研究施設垂直循環式回流水槽で行い、熱薄膜流速計 (KANOMAX: 7114) を用いて流速測定を行った。流速測定は水深 50cm の網の中心軸を含む XY 面上について行った。この場合、流れ方向 (X) に 140cm、流れに直交する方向 (Y) に 50cm の水平面を測定範囲とし、網の中心軸上の Y 軸に平行な 14 本の測線上に、網口半径の 0.3 倍刻みに測定点を 21 点設けて、それぞれの測定点について流れ方向成分の流速を測定した。網内の流速は、水用の横窓型プローブ (KANOMAX: 1269W) をセンサーとして用いた。Fig. 2 に測定装置のブロックダイヤグラムを示した。熱薄膜流速計で検出した流速は 1/100 秒のサンプリング間隔、30 秒のデータ長で A/D 変換器 (GRAPHTEC: WR7700) で数値化して、それぞれの平均値を求め測定点の実測値としてパー

ソナルコンピュータのフロッピーディスクに収録した。また回流水槽の流速は観測水路部の水深 50cm、壁面から 30cm に取り付けられている超音波流速計 (電子工業: DS101) で設定し、流れが安定した状態をペンレコーダ (横河電機: 3061) で確認した後、流速を測定し記録した。予備実験の結果、設定流速が 80cm/s を超えると、網枠の傾きや流速計のセンサーの振動が現われたので、いずれの場合も設定流速は 80cm/s にした。なお、網糸直径を代表長さとするレイノルズ数は 5.1×10^2 から 1.1×10^3 の範囲であった。

結果および考察

円錐網の周りの流速分布 開孔比 (β) が最も小さい I 型網 (縮結角 15°) 及び β が最も大きい V 型網 (縮結角 45°) について、網の周りの測定点における流れ方向成分の流速 (u) と設定流速 (U) の比で表した流速比 (u/U) の分布を Fig. 3 に示した。Fig. 3 の横軸は円錐網の中心軸上の長さ (X) を底の半径 (r) で除した無次元量 (X/r) であり、縦軸は各測定線上の長さ (Y) と網口半径 (r) の比率 (Y/r) である。Y 軸に平行な 14 本の測定線の上に設けたそれぞれ 21 点の測定点における流速比を黒点で示した。なお、実線は網成りを、点線は境界層を示している。この場合、Yang⁸⁾ に従い設定流速 U の 99% より小さい流速の領域を境界層とした。これらの図から円錐網の周りの流速分布は、網内部、境界層の内側および境界層にある網の外側一様流の 3 領域に区別できる。Fig. 3 に示したように各網ごとの境界層内側の流速分布の変化を見ると、I 型網 ($\beta = 0.472$) の場合には、その変化は大きく、V 型網 ($\beta = 0.854$) の場合には変化は小さいことがわかった。また網内の流速分布は、I 型網の場合、網内部の後方で減速しており、網面では明らかに遅くなっている。しかし V 型網の場合は、後方へ向かって増速し、網面でも流速は減速していないことから、開孔比が大きくなると、流れは網面でさえぎられないと考えられる。Table 1 に示すように、同じ仕立て上がり寸法になるように設計、製作したこれらの円錐網に流れを与えると、ほとんどの網が V 型網のような円錐形を示した (以後コーン型と称す) が、縮結角が 15° の I 型網はふくらみが大きくなった (バルーン型と称す)。Fig. 4 に開孔比がほぼ等しく縮結角が異なる II 型網、IV 型網および VIII 型網 (Table 1 参照) の実験結果を示した。縮結角が 45° の VIII 型網および縮結角が 60° の IV 型網の形状はコーン型を示したにもかかわらず縮結角が 30° の II 型網はバルーン型を示した。このことは網目を形成する

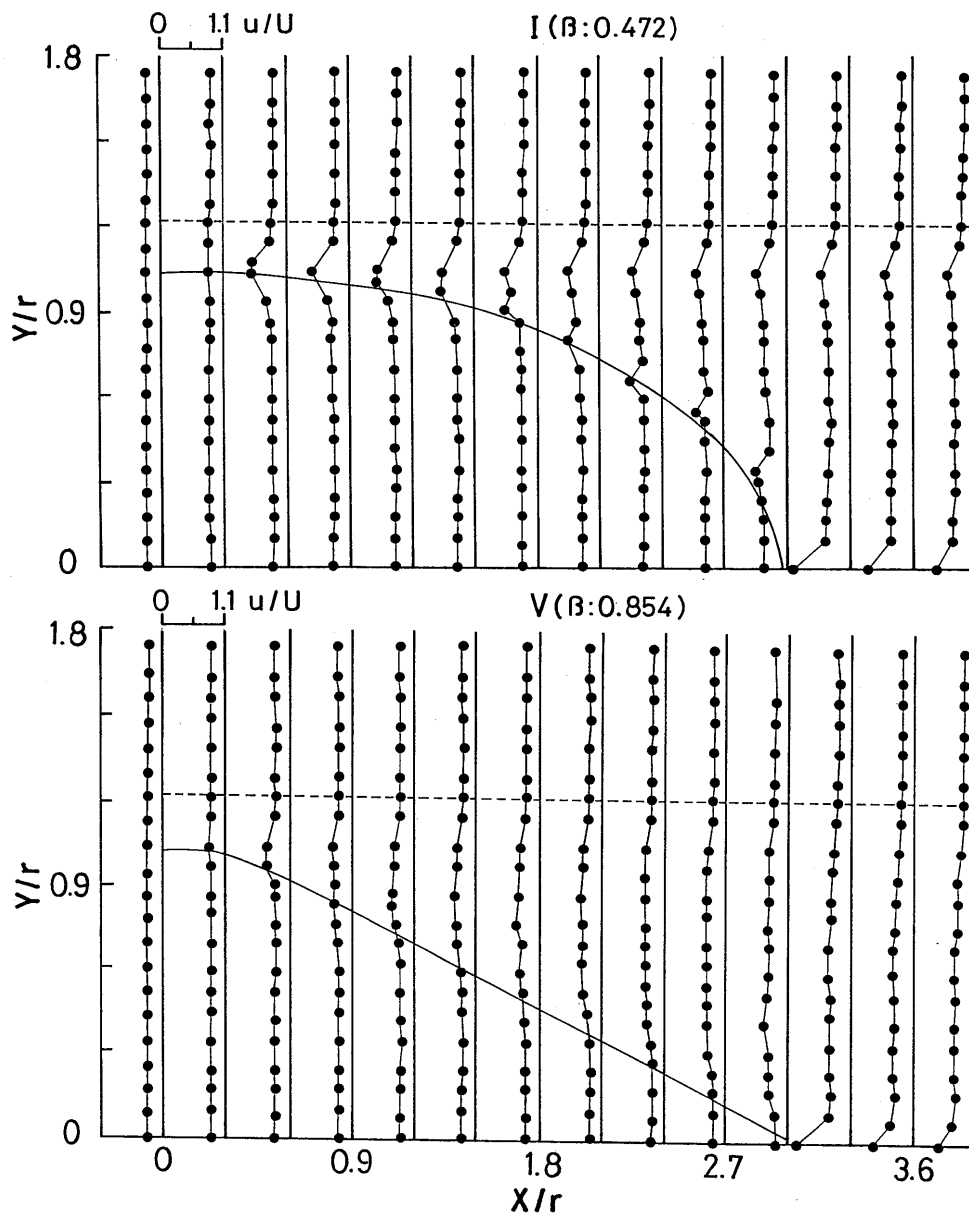


Fig. 3. Velocity distribution around net type I ($\beta=0.472$) and net type V ($\beta=0.854$). The broken line shows a boundary layer and thick line shows a net shape.

X/r: The radius of a net mouth for the distance in X-direction from the center of the net

Y/r: The radius of a net mouth for the distance in Y-direction from the center of the net

脚に働く流体力は縮結によって異なり、袋網の網成りは開孔比には依存せず、むしろ袋網を構成する網地の量に依存すると言える。

境界層内側の流速分布 網の中心軸上にとった網口半径 (r) の0.3倍刻みの14本の測定線のうち、代表的なものとして X/r が0.9, 1.5, 2.1および2.7の4本を選び、開孔比 (β) と流速変化率 (u_b/U) の関係を Fig. 5に示した。ここでの流速 (u_b) は各測線上の境界層内の平均流速である。境界層内ではいずれの開孔比でも設定流速より減速しているが、その割合は開孔比が大きくなる

と小さくなる傾向があった。 u_b/U と β との関係はいずれの測定線でも指数関数として表わされ、図中に直線で示している。すなわち、境界層内の流速の支配的なパラメータは開孔比であることが明らかとなった。しかし開孔比が等しいが縮結角が異なるⅡ型網とⅣ型網は他の網とは異なる値を示した。このことは、開孔比が同じでも袋網を構成する網地量の差が現われたものと考えられる。

円錐網内の流速分布 ここで水槽壁面や底面の境界層を考慮して、網口半径の1.7倍の流管を考えた。この流管の中に、円錐網を設置した場合の模式図を Fig. 6に示

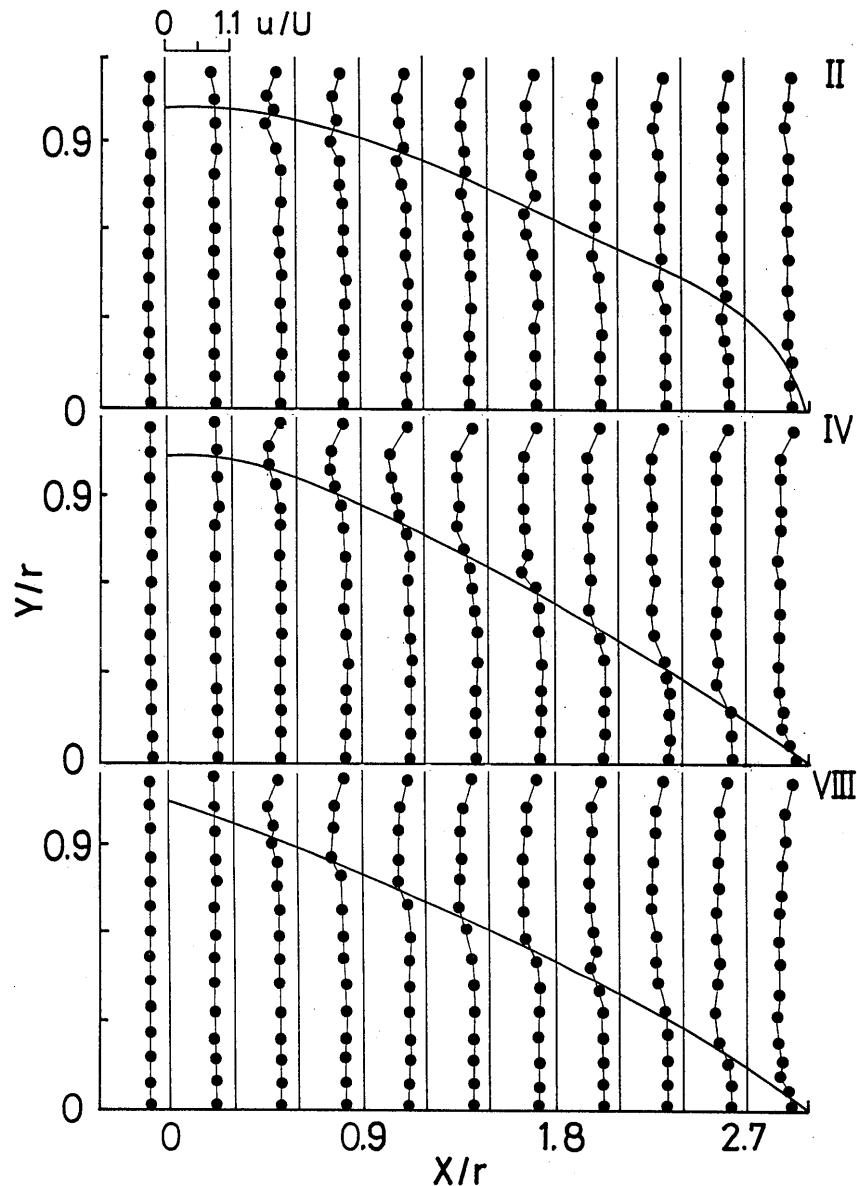


Fig. 4. Net shapes of 3 types of conical nets at similar open area ratios (β) with different hanging angles. Top: Net type II, hanging angle 30° ($\beta=0.695$). Middle: Net type IV, hanging angle 60° ($\beta=0.695$). Bottom: Net type VIII, hanging angle 45° ($\beta=0.696$).

した。この管内に設けた各垂直断面を通過する流量は等しいことから、それぞれの断面上の網内流量と網外流量の和はいずれの断面においても等しい。そこで流れ方向に等間隔に設けた10断面について、円錐網内の断面積を $A'_0 \sim A'_9$ 、円錐網外の断面積を $A''_0 \sim A''_9$ で表し、各断面を通過する円錐網内の平均流速を $u'_0 \sim u'_9$ 、円錐網外の流速を $u''_0 \sim u''_9$ で表した。断面を通過する流れが連続的な状態を保つ場合、質量保存則が成立する⁹⁾と考えられる。

水は非圧縮性流体であり、密度 ρ は均一であることから、網口の断面における流量は次式で表すことができる。

$$u'_0(A'_0 + A''_0) = A'_i u'_i + A''_i u''_i \quad (1)$$

ただし、 A'_i : 網内の任意の断面の面積

A''_i : 網外の任意の断面の面積

u'_i : 網内の任意の断面の平均流速

u''_i : 網外の任意の断面の平均流速

しかし実験では Fig. 6 に示すように網面を通過して網外に流出する流量があるので、任意断面における網内の平均流速はその流量だけ(1)式に示す理論的な流速より減速される。すなわち、(1)式は測定値に対して成立しない。従って各断面における網内の流量は(1)式の流速より減速

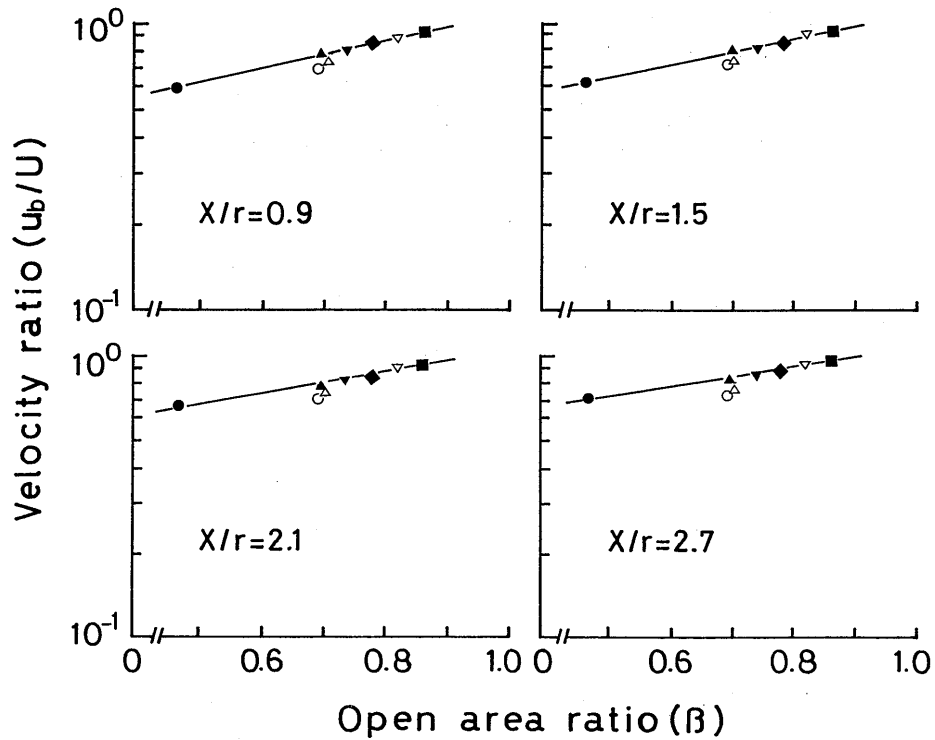


Fig. 5. Relationship between open area ratio (β) and velocity ratio (u_b/U) in the boundary layer on the 4 representative sections.

●, Type I ○, Type II ▼, Type III △, Type IV
■, Type V ▽, Type VI ◆, Type VII ▲, Type VIII.

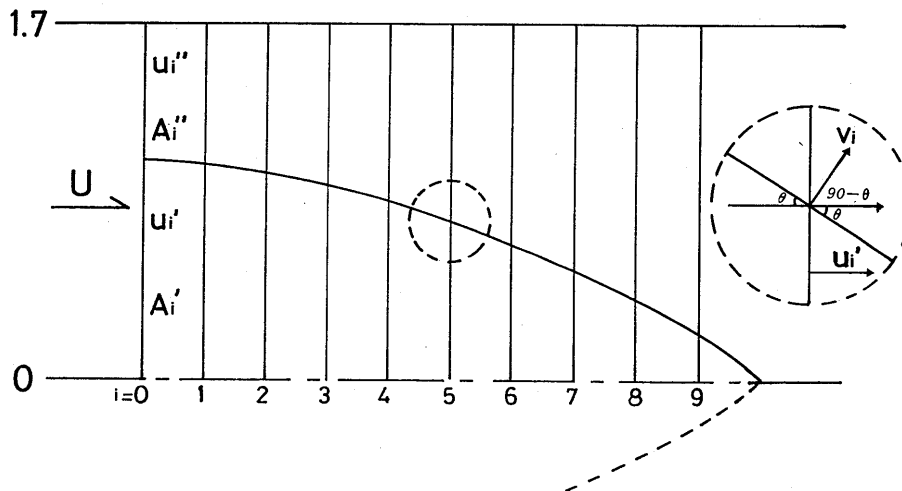


Fig. 6. The conical net set in a steady flow field. The enclosed circle shows the direction of flow.

A_i : Cross sectional area at inside net on the "i" section
 A_i'' : Cross sectional area at outside net on the "i" section
 U : Representative velocity (mean velocity in channel)
 u_i : Average velocity at inside net on the "i" section
 u_i'' : Average velocity at outside net on the "i" section
 v_i : Vertical velocity to the net surface
 θ : Attack angle to the net surface

された速度 (u_i) の流量と, Fig. 6に示すような網目を通過した速度 (v_i) による流量の和と考えられる。各断面において網地面から垂直に流出する流れを考え, その速度は断面での円錐網内流速の関数として表れされると

考えた。そこで, それぞれの断面における流量の連続式は次式のようなになる。

$$u_0'(A_0' + A_0'') = (u_i A_i' + u_i'' A_i'') + v_i S_{Ai} \sin \theta_i \quad (2)$$

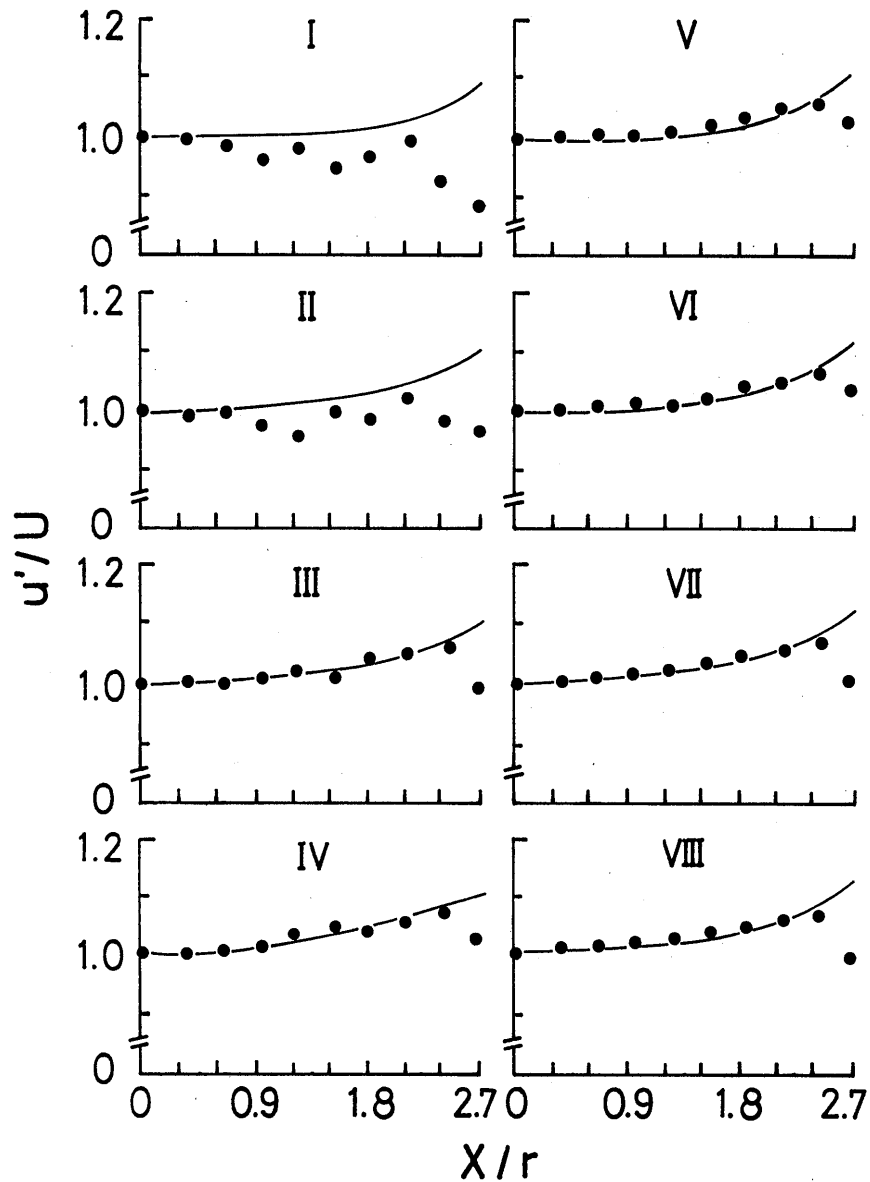


Fig. 7. Relationship between the velocity ratio (u'/U) and non dimensional value X/r on the 8 types of conical nets. Dots the show measured values of the ratio (u'/U) and lines value calculated by deduced empirical formula (5) on the mean velocity of inside net on every representative sections.

S_{Ai} : 任意の断面上の網目の孔の単位面積

v_i : 任意の断面における網地面と流れのなす角に垂直な流速

θ_i : 任意の断面の網地面と流れのなす角 (迎角)

従って(2)式中の $v_i S_{Ai} \sin \theta_i$ は任意断面の網地面からの通過流量を表わすことになる。任意断面での網内と網外との流速を測定したところ、両者は異なっていることから、(2)式は次式で表した。

$$A_0(u_0 - \sum_{i=0}^9 u_i) = \sum_{i=0}^9 \{A_i(u_i - u_i') + v_i S_{Ai} \sin \theta_i\} \quad (3)$$

(3)式を任意の断面における網内の平均流速 u_i について

整理して次式を得た。

$$\sum_{i=0}^9 u_i = \sum_{i=0}^9 \left\{ A_0 u_0 - (A_0 - A_i) u_i' - \frac{v_i S_{Ai} \sin \theta_i}{A_i} \right\} \quad (4)$$

網内の流速を設定流速 (U) との比率で表した。

$$\frac{\sum_{i=0}^9 u_i}{U} = \frac{\sum_{i=0}^9 \left\{ A_0 u_0 - (A_0 - A_i) u_i' - \frac{v_i S_{Ai} \sin \theta_i}{A_i} \right\}}{U} \quad (5)$$

Fig. 7には各断面 (X/r) における流速を設定流速 (U) に対する比 (u'/U) として整理し、実験に使用した網型ごとに示した。図中の実線は(5)式によって得られた値である。これらの図から、バルーン型を形成するI型網

とⅡ型網を除いた場合、導いた(5)式からの計算値と測定値は良く一致することがわかった。しかし、いずれの場合も X/r が2.7の断面(網後端部領域)における流速は低い値を示した。その理由は、これらの網後端部での測定点の直後は袋網後端部の結び目となっていることから、網目の展開が著しく不良であり流れが網目を通過することが困難であったと考えられる。

本研究の結果では、網の形状がコーン型の場合、導いた実験式による計算値と測定値は良く一致しているが、バルーン型の形状の場合は一致しなかった。谷口¹⁰⁻¹⁶⁾は放物柱型、くさび型、箱型、多角推型および円錐型などの流体抵抗を測定した結果、網口形状(縦横比)の差が著しく変わらない限り、網型の相違による流体抵抗の差は生じないことを明らかにしている。また、今井¹⁷⁾は種々の形状の袋網の流体抵抗を測定し、迎角が小さい場合を除き、抗力の測定値と計算値がほぼ一致した結果を得た。これらの流体抵抗は網中の流れの変化による作用するものであることが明らかになった。一方、網地面と流れのなす角が大きいコーン型の網内部の流速は網口の流速より早くなるが、迎角が小さいバルーン型では遅くなった。これらの結果は、網地面と流れのなす角が小さいため、網地面のせき止めによるものと推察される。本研究で導いた(6)式は曳網時の網口形状の縦横比が小さい中層トロール網の設計に適用できるものと考えられる。

本研究を行うにあたり、有益な助言をいただいた漁具学講座、不破 茂博士、本研究にご協力下さった漁具学講座、石崎宗周氏、および丸儀雅孝技官に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) G. Hamilton (1970): Flow into wedges and cones with porous walls. *University of Toronto, Toronto, ont., Doctorate Dissertation*, 86, 1-11.
- 2) A. L. Fridman (1986): Calculations for fishing gear designs. pp. 241-249, FAO/Fishing News Books, UK.
- 3) J. Kenney, A. Blott and J. T. DeAlteris (1991): Shrimp separator trawl experiments in the Gulf of Maine shrimp fishery. pp.6-11, Proceedings of the Fisheries Conservation Engineering Workshop, Rhode Island, Sea Grant.
- 4) Z. Ziembo (1987): Correlation among velocities of water flow through the trawl. *Bull. Sea Fish. Inst.*, 5, 14-19.
- 5) D. Scheel and W. Rehme (1988): Experimentelle untersuchungen zur form und belastung geschleppter netzkegel-steert-modelle. *Seewirtschaft*, 20, 406-409.
- 6) 肥後伸夫 (1971): 底曳網の漁獲性能に関する基礎的研究. 鹿児島大学水産学部紀要, 20, 1-137.
- 7) 大坂英雄, 山田英巳, 羽野茂浩, 影山芳郎 (1984): 平織り金網を通過する流れとその抵抗特性. 日本機械学会論文集, 50, 312-317.
- 8) W. J. Yang (1989): Handbook of Visualization. pp. 13-16, Hemisphere Publishing Corporation, New York, Washington, Philadelphia, London.
- 9) 松永成徳, 西 道弘, 塚本 寛 (1991): 流れ学. pp. 7-9 (朝倉書店, 東京).
- 10) 谷口武夫 (1955): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—I. 日水誌, 21, 291-295.
- 11) 谷口武夫 (1956): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—II. 日水誌, 21, 969-972.
- 12) 谷口武夫 (1956): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—III. 日水誌, 21, 110-1109.
- 13) 谷口武夫 (1957): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—IV. 日水誌, 22, 727-729.
- 14) 谷口武夫 (1968): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—V. 日水誌, 34, 295-299.
- 15) 谷口武夫 (1968): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—VI. 日水誌, 34, 979-982.
- 16) 谷口武夫 (1969): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—VII. 日水誌, 35, 641-643.
- 17) 今井健彦, 中村昌弘, 不破 茂, 日高正康, 石崎宗周 (1992): 袋網の流体抵抗. 日水誌, 58, 871-876.