HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	底曳網の形状に関する基礎的研究－1：単純化した袋網模型を2点で支えた時の断面形状について
Author(s)	李, 珠熙
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 34(4), 323-333
Issue Date	1983-12
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23836
Type	bulletin (article)
File Information	34(4)_P323-333.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
34(4), 323–333. 1983.

底曳網の形状に関する基礎的研究 -1
単純化した袋網模型を2点で支えた時の断面形状について*

李　　珠　熙**

Fundamental Studies on the Net-Shape of the Drag Net-I
On the section shape of the simplified model of bag net in two-point suspension*

Juhee LEE

Abstract

As a primary step in studying the relationship between the arrangement of net webbing and the section shape of the bag net in the drag net, the author analyzed the mechanism for controlling the section shape of the bag net dynamically for the simplified model. In this theoretical analysis, the simplified model of the conic bag made of vinyl film in place of net webbing was used, under the condition that the bag was filled up with water and suspended with two suspending threads from the ceiling to two symmetrical points on the bag mouth in the air.

The experiments were also performed with conic bags in the air, and in addition in the current water, and the results compared with the theoretical analysis. In the experiments, (a) the shape of the conic bag was photographed from three different angles and the weight of the bag was measured with a spring balance for the various spreads of the two suspending points on the ceiling, (b) the bag mouth was photographed from the front with an underwater camera, and the tensions on the suspending threads were measured with two load-cells for the various spreads of the tips of the suspending threads and for five different current speeds from 0.2–0.7 m/sec, when the conic bag was placed horizontally in the current water.

The results obtained are as follows:

1) According to the theoretical analysis, the section shape of the bag mouth was approximated by two symmetrical circular arcs of the same curvature radius with different centers.

2) The section shape of the bag mouth observed from the experiments in the air and in the current water agreed closely with the circular arcs obtained theoretically. Especially for the experiment in the air, the lateral width of the bag mouth could be expressed by a linear equation of cos α, where α means the angle between the suspending thread and the horizontal section of the bag mouth.

3) It was presumed that the bag mouth had a certain section shape along with setting condition in the current water but no connection with the velocity of the current water, from the relationship between the resistance of the conic bag and the velocity of the current water.

---

* 本報の大要は昭和58年4月，日本水産学会春季大会で発表した。

** 北海道大学水産学部漁具設計学講座
(*Laboratory of Fishing Gear Engineering, Faculty of Fisheries, Hokkaido University.*)

緒　　言

曳網中の底曳網の形状は底曳網の漁獲効率を左右する一つの要因とされており[1-4]，漁獲対象魚種によって適合した漁具形状を具現し得る底曳網の設計は漁獲性能の向上を計る上で重要な課題となっている。特に網口の断面形状は曳網速度と合わせ漁具の性能を判断する重要な尺度として扱われており[5]，一般には曳網中の網口の断面積の増大が漁獲の増加に繋がると考えられている。そのため，底曳網漁具においては，古くから，局部的には浮子の浮力の増加による網口断面の鉛直方向への拡大を計る一方，網地の構成も2枚網から4枚網，6枚網が導入され，力学的な見地からの改良が行なわれて来た。しかし，浮子による浮力の増大は曳網速度の増加にともなって抗力が大きく作用し，浮力の増大がかならずしも網口断面の拡大に結び付かない[6]。また，網地の構成と網口の形状との関係についてはまだ十分解明されておらず，現在用いられている網の相互間についての比較研究[4,5,7,8]に留まっている現状である。

本研究では，底曳網の漁具構成の違いが曳網中の漁具の形状に及ぼす影響を解明する目的で，底曳網の構成上もっとも基本と考えられる袋網について注目し，ここでは単純化した袋網の模型として円錐形の袋網を用い，2点で吊った時の吊り糸の間隔をいろいろ変化させ，網口の形状について理論的に解析するとともに，水中と空中で測定を行ない検討を試み，網地の配置方法と袋網の断面形状との関係を解明するための基礎的資料を得た。本論に入るに先だって終始御指導を賜わった北海道大学水産学部佐藤　修教授，梨本勝昭助教授，山本勝太郎助手に深く感謝する。

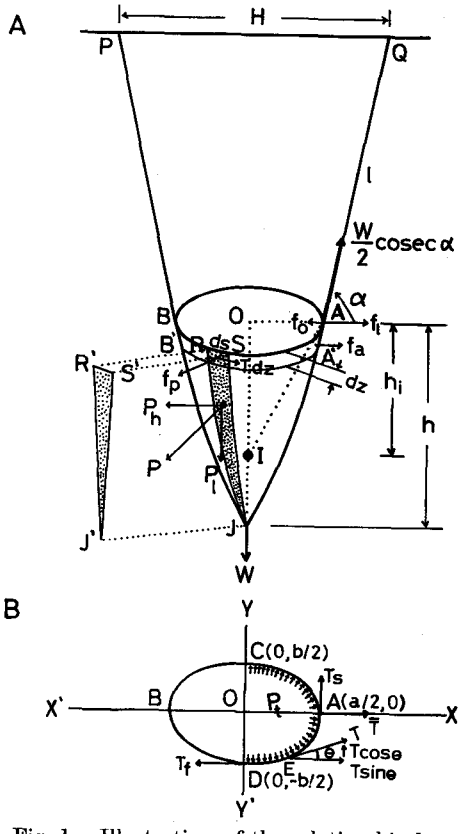

Fig. 1. Illustration of the relationship between the water pressure to the bag wall and the tension on the suspending threads when the conic bag was suspended with two suspending threads in the air and balanced statically.

2点吊りよる袋網の断面形状に関する理論的考察

吊り点に作用する水平力　流れの中に置かれた袋網を水中で2点で支えた時と，袋の中に液体を入れ空中において2点で支えた時とは力学的な相似が成立するものとして考え，ここでは観察の容易さから主に空中についての解析を進めた。空中において模型の袋網の中に水を満して2点で吊り，天井から支えた時の力学的諸関係を模式的に示したのが，Fig. 1である。水を入れた深さ h の円錐形の袋の袋口での断面周長を $2s$ とし，袋口での対称点A，Bに一定長さ l の吊り糸を結び天井での支点P，Qから吊すと，袋口の断面形状は天井支点P，Qの間隔Hによって変わる。この場合吊り点Aでは，吊り糸に作用する張力の水平分力 f_i と袋の壁面AJBを通して袋の重量が吊り点A，Bを内側に引き寄

せるよう働くための水平分力 f_0 との合力 f_a が水平力として作用しており，袋口の断面形状はこの f_a と袋の壁面に作用している面圧との釣り合いから決まるであろう。ここで壁面 AJB を通して作用する袋の重量を OJ 線上の I 点における点荷重とみなし，仮想の線 AI を通して袋の重量がAを内側へ引き寄せる時の水平分力 f_a は，

$$f_a = f_l + f_0 = \frac{W}{2}\left(\cot\alpha - k_0\frac{a}{2h}\right) \tag{1}$$

$$\left(\text{但し } k_0 = \frac{h}{h_I}\right)$$

とおける。

面圧による水平力 Fig. 1 の A で示した袋口での微小長さ ds の壁面 RSJ に作用する面圧の水平分力 P_h は，壁面 RSJ の水平方向への鉛直投影面 R′S′J′ を三角形とみなすと，

$$P_h = \frac{1}{6}\rho g h^2 ds \tag{2}$$

となる。袋口での断面周 ds にはこの P_h に比例した力が法線方向に作用すると仮定すれば，袋口の断面周には単位長さ当り

$$f_p = k_1\left(\frac{1}{6}\rho g h^2\right) \tag{3}$$

(但し k_1 は係数)

の面圧による水平力が作用することになる。

断面形状 袋口の水面から鉛直下方へ微小幅 dz の帯状の袋の壁面 ABB′A′ を考え (Fig. 1 の A)，この帯状の壁面では断面周の接線方向に均等な力がかかると仮定し，支点 A, B の付近 AA′, BB′ では

$$\bar{T} = f_a/dz \tag{4}$$

の水平力が均等に働くとする。同じく壁面の法線方向には

$$P_t = f_p/dz \tag{5}$$

の一様な力が作用することにする。これら $\bar{T}$, P_t に釣り合って壁面の接線方向に張力 T がかかっていると考えてよい。これらの釣り合いを表わす関係式を簡単化するため，

$$dz = 1$$

とおき，Fig. 1 の B よう袋口の断面を x, y 平面上で示すと，DA 間では

$$T_f = \frac{1}{2}\bar{T} + \frac{b}{2}P_t \tag{6}$$

$$T_s = \frac{a}{2}P_t \tag{7}$$

$\widehat{DA}$ 上の任意の点 E(x, y) で

$$T\sin\theta = x P_t \tag{8}$$

$$T\cos\theta + \left(\frac{b}{2} + y\right)P_t = T_f \tag{9}$$

が成り立つ。(9) 式に (6) 式を代入すると

$$T\cos\theta = \frac{1}{2}\overline{T} - yP_t \tag{10}$$

となり，(8) ÷(10) から，

$$\tan\theta = \frac{dy}{dx} = \frac{x\,P_t}{\frac{1}{2}\overline{T} - yP_t}$$

$$P_t\,x\,dx = \left(\frac{1}{2}\overline{T} - P_t y\right)dy \tag{11}$$

両辺を積分し整理すると，

$$x^2 + \left(y - \frac{\overline{T}}{2P_t}\right)^2 = \left(\frac{\overline{T}}{2P_t}\right)^2 + C \tag{12}$$

(C は積分常数)

となる。すなわち，2点吊りにおける袋口の断面形状は曲率半径が $\sqrt{(\overline{T}/2P_t)^2+C}$，中心点の座標が $(0,\ \pm\overline{T}/2P_t)$ の中心位置が異なる同一曲率の2つの円周の一部として表わされることになる。(12) 式に A$(a/2,\ 0)$，D$(0,\ -b/2)$ の座標を代入し積分常数 C と $\overline{T}/P_t$ の項を消去すると (12) 式は，

$$x^2 + \left(y - \frac{a^2-b^2}{4b}\right)^2 = \left(\frac{a^2+b^2}{4b}\right)^2 \tag{13}$$

となる。ここで袋口での断面周長 $2s$，2点吊りによって袋口の断面で得られる円周の曲率半径 r，その中心角を θ とすれば Fig. 2 から，

$$r = s/\theta \tag{14}$$

$$a = 2r\sin\frac{\theta}{2} = 2\frac{s}{\theta}\sin\frac{\theta}{2} \tag{15}$$

$$b = 2r\left(1-\cos\frac{\theta}{2}\right) = 2\frac{s}{\theta}\sin\left(1-\cos\frac{\theta}{2}\right) \tag{16}$$

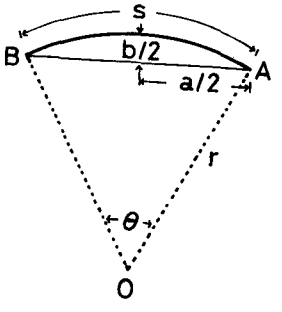

Fig. 2. Illustration of relationship between a and b.

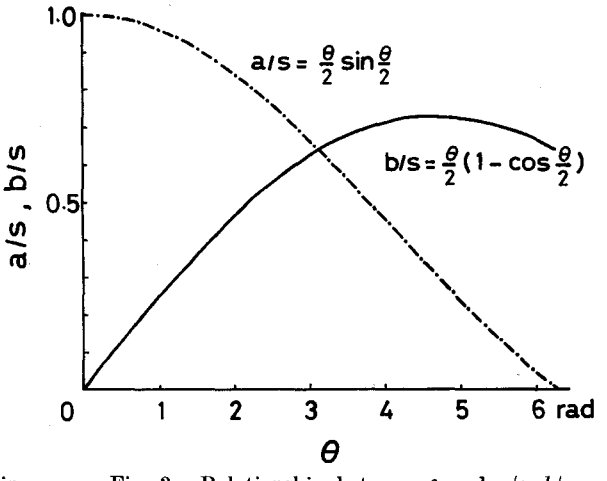

Fig. 3. Relationship between θ and a/s, b/s.

となるので，これらの関係を (13) 式に代入し整理すると，

$$x^2+\left(y-\frac{s}{\theta}\cos\frac{\theta}{2}\right)^2=\left(\frac{s}{\theta}\right)^2 \tag{17}$$

となる。この式で s は袋の仕立てによって一定とみてよいので，θ が決まれば袋口の断面円周は決まることになる。なお，a 或いは b のどちらかが分かると (15)，(16) 式から θ が決まるので，2 点吊りでの断面形状が求まる。a と b から θ が簡単に求められるので，(15)，(16) 式を用いて θ と a/s, b/s との関係を理論的に求め描いたのが Fig. 3 である。

実験材料と方法

単純化した袋網模型 流水中に置かれた網地では網目は絶えず変形が起るため網地の配置方法のみによる袋網の形状の変化を解明するためには，網目の変形による影響を予め押えておく必要がある。しかし，これらの要因が複雑に影響してくるので，本実験では網地のように変形が生じない単純化した袋網の模型を考えた。ここでは材料として厚さ 0.15mm のビニール膜を使って円錐形の袋を作製し実験に使用した。なお，袋網の模型の大きさは網口の長さを 50cm，56cm，71cm とし，実験に用いた袋網の模型の種類，大きさの概要を Table 1 に示す。

方法 模型の袋網を 2 点で支え流水中に設置した時の様子を模式的に示したのが Fig. 4 の A であ

Table 1. Conic bags used for the experiments

No.	Thickness of vinyl-film (mm)	1/2 circumference at bag mouth (s) (cm)	1/2 vertical angle at vertex (φ) (degree)	Experiment
1	0.15	25.0	17.7	in the air
2	0.15	30.5	17.7	in the air
3	0.15	28.0	17.7	in the air and the current water
4	0.15	28.0	23.0	in the air and the current water
5	0.15	28.0	14.3	in the air and the current water

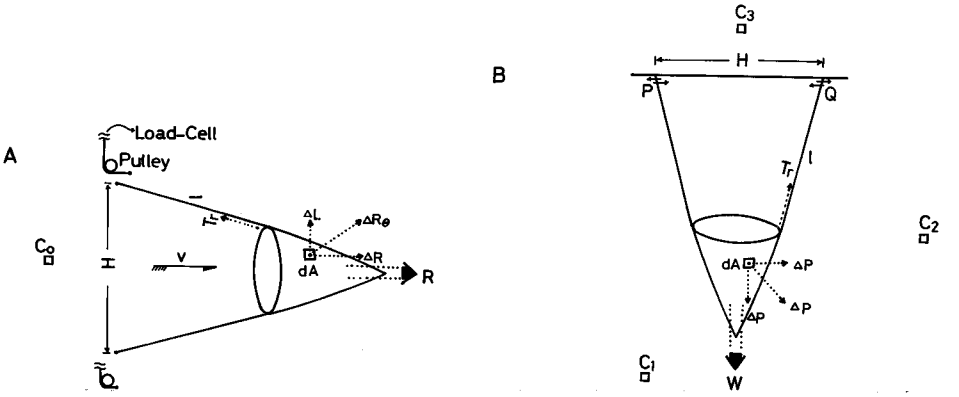

Fig. 4. Setting conditions of simplified models.
A: Experiment in the current water. B: Experiment in the air.
C_0, C_1, C_2, C_3: Cameras.

る。袋網の形状は微小膜面 dA の流水抵抗 $\Delta R\theta$ と，全抵抗 R を支えている吊り糸に生じる張力 T_R との関数として決まるのであろう。基本的には水中で観察測定するのが望ましいが，流水の中では形状の観察に制約が生ずるので，ここでは水中と空中とでは力学的に相似が成立するものとして，主に空中での実験に置き換えて行ない，水中での実験を若干補塡することにした。空中において袋網の中に水を満して袋網を2点で吊り天井から支えた時の状態を模式的に示したのが Fig. 4 の B である。この場合，水中での微小膜面 dA の流水抵抗 $\Delta R\theta$ は水圧 ΔP に，また全抵抗 R は袋の全重量 W にそれぞれ対応することになる。空中実験では，吊り糸の長さ l と天井吊り点間隔 H をパラメーターとして測定を行い，袋の前面，側面，上方からそれぞれの写真撮影と袋の重量の計測を行なった。また，水中実験では，空中実験と同じパラメーターで，さらに流速を 0.2～0.7 m/sec まで5段階に変え袋口の正面から水中撮影をするとともに，吊り糸の両端の延長線上に張力計を設置し，抵抗測定を行なった。

結果と考察

2点吊りによる空中実験および水中実験での袋口の断面形状を写真測定した結果例を Fig. 5 に示す。また，写真測定から得られた空中での袋口の形状曲線を Fig. 6 に，水中については Fig. 7 にそれぞれ示した。また断面を円周曲線になるものとして理論的に求めた袋口の形状曲線をも同時に掲げた。これらの図から明らかなように a/s が 0.5 以上の範囲では理論的に求めた袋口の円周曲線と実測した曲線とではよい一致を示している。また，特に水中実験の結果では曲率の面でより高い一致性を示すものと判断された。a/s の 0.5 以下では空中実験の場合，理論と実測の間にずれが大きくなる。しかし，空中実験で両吊り糸が平行になる時の a/s が約 0.4 であること (Fig. 9) を考慮すれば，実際の袋網を想定した場合には a/s の 0.4 以下は現実的に起らないとみてよいので，a/s の小さい所でのずれはそれほど大きな問題にはならない。Fig. 8 には空中と水中での測定から得られた袋口の断面の横幅 a と縦の高さ b との関係を示した。この図でも空中と水中とも同じ傾向を示し，断面の横幅 a に対し縦の高さ b は理論値よりやや高く，a/s の小さい所で約 5% のずれが生ずる。

2点吊りでの袋口の断面形状は袋の仕立てが同じであれば，天井吊り点の間隔 H と吊り糸の長さ l とによって変わることが予想されるが，これらの関係を解析的に直接解くのは甚だ困難である。そこ

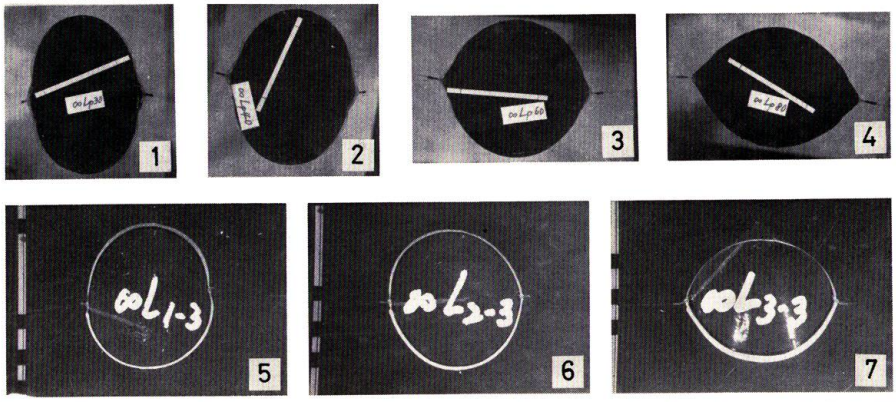

Fig. 5. Examples of photographs of the shape of bag mouth, when the conic bag was suspended with two suspending threads.
1–4 are taken from experiments in the air.
5–7 are taken from experiments in the current water.

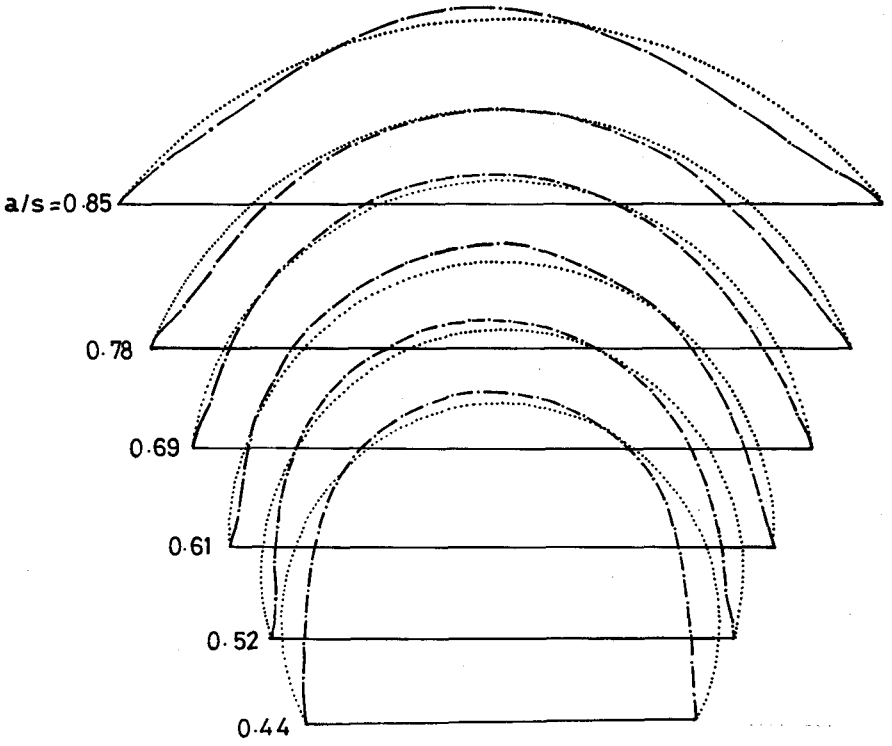

Fig. 6. Illustrations of comparison between the measured curves and the calculated curves obtained theoretically using the experimental values of a on the shape of the bag mouth when the conic bag was suspended with two suspending threads in the air.
-·- : The measured curve. ···· : The calculated curve.

で，ここでは天井吊り点間隔 H と吊り糸の長さ l による無次元パラメーターとして $\cos\alpha$ を用い，実験結果から袋口の横幅 a を無次元化した a/s と $\cos\alpha$ との関係を求めた。空中実験と水中実験との測定値を整理し，両者の関係について求めたのが Fig. 9 である。この図からみると袋の大きさが異なっても仕立て時の円錐頂角 φ が同じであれば，a/s は $\cos\alpha$ の一次式として示され，φ の大きさによって y 軸の切片が変わってくることが観察された。そこで，袋の仕立てによるパラメーターとしては $\tan\varphi$ を用いて，a/s と $\cos\alpha$, $\tan\varphi$ との関係を実験式として，

$$a/s = C_1 \cos\alpha + C_2\ (1-\tan\varphi) \tag{18}$$

と表わし，Fig. 9 で示した空中実験による測定値から最小自乗法を使い C_1, C_2 の係数を求めた結果を Table 2 に示す。ここで求めた C_1, C_2 の値はそれぞれ 0.72, 0.57 の一定値と判断してよい。そこで，(18) で示した実験式は

$$a/s = 0.72 \cos\alpha + 0.57\ (1-\tan\varphi) \tag{19}$$

となる。また，$\cos\alpha$ は幾何学的に，

$$\cos\alpha = \left(\frac{H}{2} - \frac{a}{2}\right) \Big/ l \tag{20}$$

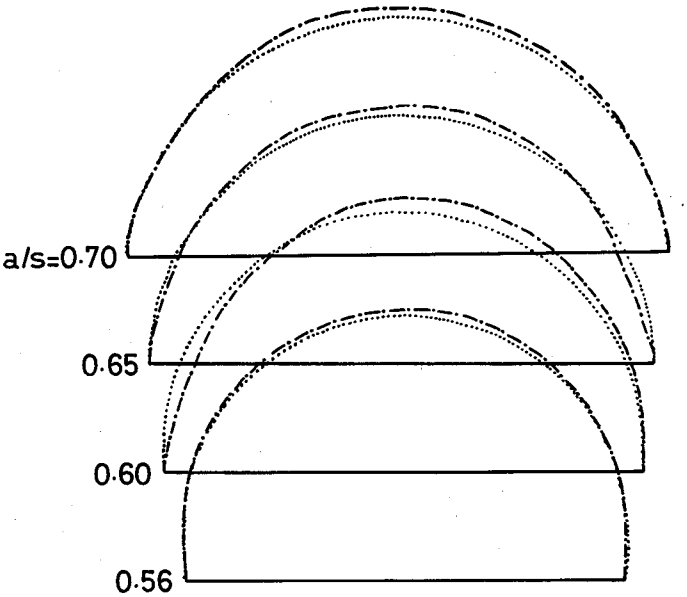

Fig. 7. Illustrations of comparison between the measured curves and the calculated curves obtained theoretically using the experimental values of a on the shape of the bag mouth when the conic bag was placed horizontally with two suspending threads in the current water.
-·-, ···· are the same as in Fig. 7.

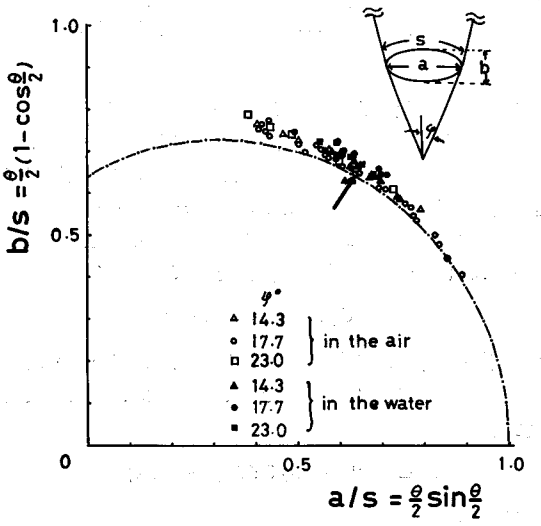

Fig. 8. Relationship between a/s and b/s for various values of φ.
-·- curve shows the theoretical relationship between them.
↓ indicates the point where a/s equals to b/s.

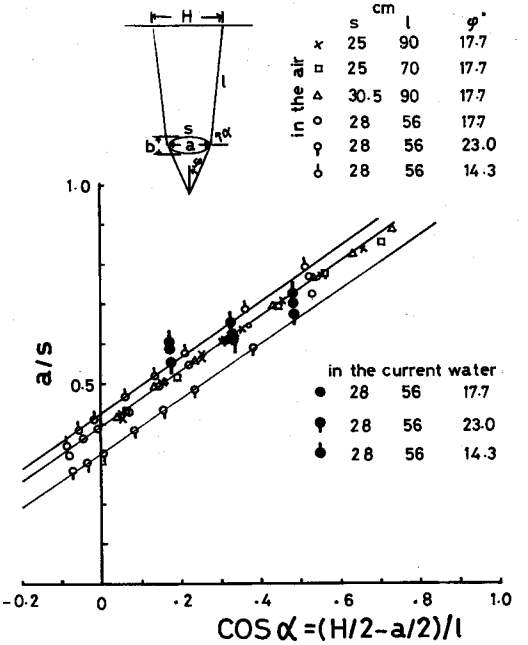

Fig. 9. Relationship between cos α and a/s when the conic bags were suspended with two threads in the air and in the current water.

Table 2. Values of C_1 and C_2 in the equation* which shows the relationship among a, α and φ

φ	C_1	C_2
14.3	0.72	0.56
17.7	0.71	0.57
23.0	0.72	0.57

* $a/s=C_1 \cos \alpha+C_2 (1-\tan \varphi)$

として表わされるので，(19)，(20) の両式から a は，

$$a=\left\{0.36\frac{H}{l}+0.57\ (1-\tan\varphi)\right\}\Big/\left(\frac{1}{s}+\frac{0.36}{l}\right) \tag{21}$$

となる。したがって，空中実験での2点吊りにおける袋口の断面形状は (21)，(15)，(16) 式から a と b をそれぞれ求めることによって定まることになる。また，水中実験では，流水中の袋の定位が非常に不安定な場合が多かったため，実験式を導くほどの資料が得られなかったが，Fig. 9 でみる限り，φ の大きさ別に a/s は $\cos\alpha$ の一次式として成り立つことが予想されるので，水中実験の測定結果にも (18) 式が実験式として十分適用できるものと判断される。

空中における2点吊りについての理論的考察では，袋口の断面形状が (12) 式で示したように，$\overline{T}/P_t$ の値によって左右され，その曲率半径と曲率中心が変わることになる。この $\overline{T}/P_t$ は，

$$\overline{T}/P_t=\frac{f_a/dz}{f_p/dz}=\frac{\frac{W}{2}\left(\cot\alpha-k_0\frac{a}{2h}\right)}{k_0\left(\frac{1}{6}\rho g h^2\right)}=\frac{\frac{V}{2}\left(\cot\alpha-k_0\frac{a}{2h}\right)}{\frac{1}{6}k_1h^2} \tag{22}$$

(但し $W=\rho g V$)

として表わされるので，袋の中に満した水の比重には直接関係しないことが分かる。したがって，空中実験においては袋の仕立てと吊し方が同じであれば袋の中に入れる物（液体）の比重には関係なく一定の形状が得られることが推定される。また水中実験では，空中実験での重力が流水抵抗に対応するので，水中での袋口の断面形状は流速には関係せず一定になることが予想された。しかし，水中実験では前述の通り流水中の袋の定位が非常に不安定な場合が多く見られたため，得られた形状の写真から直接確めるまでには到らなかった。そのため，ここでは間接的な手段として水中実験で得られた流速と抵抗との関係を調べてみることにした。Fig. 10 に，三種の模型網に対しそれぞれ吊り点間隔 H 別に流速と抵抗との関係を両対数グラフで示した。また，それぞれのグラフ上に描いた直線は，抵抗が流速の二乗に比例し，しかも袋口の断面積が一定と仮定した時の回帰直線である。これらの図の回帰直線に対する実験点の分布から判断すると，袋口の断面積が一定とみて差し支えない。したがっ

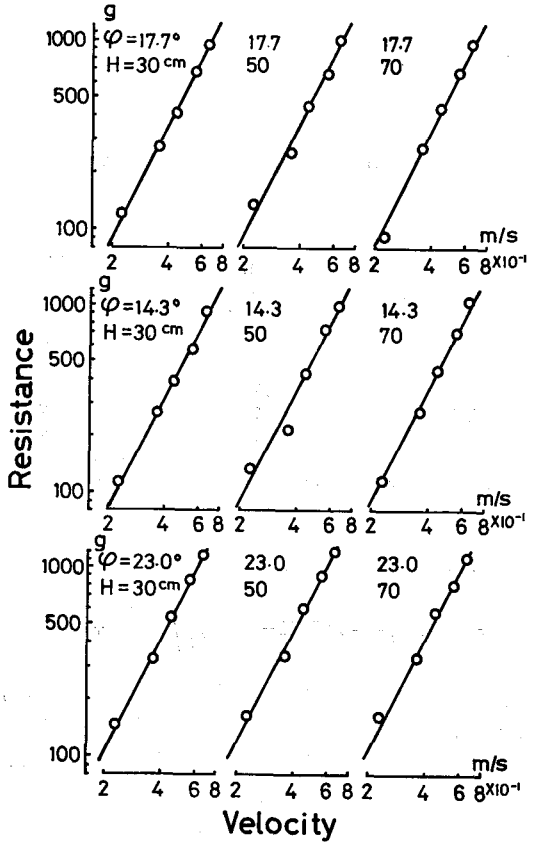

Fig. 10. Relationship between the resistance and the velocity of the current water when the conic bags were placed horizontally in the current water.

て水中実験での袋口の断面形状は流速には関係せずに一定形状を示すものと推定された。

要　　約

底曳網の構成上基本となる袋網について，網地の配置と網口の断面形状との関係を解明するための基礎的研究として，単純化した袋網の模型としてビニール膜で作製した円錐形の袋網を用い，空中および水中での実験を行なった。実験では，(a) 空中において，中に水を満した袋を，袋口の左右対称の2点を天井の2点から吊り糸で吊し，天井吊り点の間隔を変えながら袋口の断面形状と吊り糸の張力を測定した。(b) 同じ模型網を回流水槽の流水中に設置し，袋口の水中形状と流水抵抗を測定し，空中での実験と比較した。その結果，

1) 空中において袋口の2点を天井から吊った場合の袋口の断面形状は，理論的に解析したところ中心の異なる二つの円周の一部として近似でき，実験の結果ともよい一致が得られた。また，この場合の袋の断面横幅は天井吊り点の間隔によって変化し，この変化の割合は吊り糸と袋口の断面とのなす角度の余弦値に比例している。

2) 水槽実験での袋口の断面形状は空中実験とほぼ一致し，流水速度には直接影響されず，一定形状を持つことが推定された。しかし，流水中では袋の定位が不安定な場合が多く見られたため，形状そのものを十分解析するまでには到らなかった。

文　　献

1) 宮崎千博 (1957). 小型機船底曳網の研究. 三重大水産紀要 **2**, 98–200.
2) 葉室親正 (1959). トロール網漁業と二艘曳機船底曳網漁業の網成りによる漁獲性能の考察. 日水誌 **25**, 103–110.
3) 肥後伸夫 (1966). 機船底曳網の漁具と漁獲性能に関する研究–I. ベーリング海漁場における機船底曳網の比較について. 同誌 **32**, 130–136.
4) 李 珠熙・神田献二・佐藤 修 (1983). 銚子沖合底曳網漁業における漁具と漁獲性能との関係. 同誌 **49**, 859–866.
5) 肥後伸夫 (1971). 底曳網の漁獲性能に関する基礎的研究. 鹿児島大水産紀要 **20**, 1–127.
6) Phillips, J. (1959). The mouth of the trawl. Mod. Fish. Gear of the World **1**, 200–204.
7) 葉室親正 (1959). 漁具測定論. 350 p. 槇書店, 東京.
8) 肥後伸夫・徳永喜郎・田中健悟 (1973). 底曳網の研究–II. 切りかえ網の効果について. 鹿児島大水産紀要 **22**, 147–155.