水中に於ける各種囊網の抵抗について—I.

谷 口 武 夫

(農林省水産講習所)

On the Resistance of Various Cod Ends fixed in a Stream—I.

Takeo TANIGUCHI

The writer reduced some theoretical formulae representing the hydro-dynamic resistance of cod ends fixed in a stream for four types of cod ends, such as the parabolic cylinder type (Fig. 1, Eq. 10), the sphenic (Fig. 3, Eq. 13), the pyramid type (Fig. 4, Eq. 14) and the box-type (see Fig. 5, Eq. 15). The drag-coefficients of netting cord obtained from a series of model experiments were almost coincide with these of infinite circular cylinder (Fig. 7). The shape of each cod ends in a current almost conformed to that expected by the theory (compare Figs. 1, 3, 4, and 5 with Figs. 8-I, -II, -III and IV, respectively.).

If the size and shape at the opening of cod ends, the total area of webbings, the kind of the netting cord, the angle between the adjacent arms of net are equal, the resistance of each type of cod ends is about the same each other both from the results of the theory and the experiments (see Fig. 9).

緒 言

曳網類の主要部をなす各種の囊網が流れを受けた時の形状及び抵抗を理論的に求めることは、網が水中で複雑な形状をとるので甚だ困難である。それで従来この種の問題は専ら田内の比較法則¹⁾にもとづいた模型試験によつて研究されて来た。著者はこれを計算によつて知る方法として、先ず比較的解析し易いように構成された拋物柱型囊網について考察し、更に實際上よく使用される楔型、四角錐型及び箱型囊網等についても抵抗を示す近似式を求め、これら4種の囊網の間の関係並びに近似式の實用性について水槽実験による結果を比較検討した。

理論的考察

1) 網糸の直径 D , 脚の長さ L の網地に、その2脚のなす角が 2α , 網丈が $2S$, 網巾が h になるように縮結を入れた帯状網を、巾 $2y$, 高さ h の矩形の枠に取付けたものを流水中に固定した時に、網地の上下縁及び下縁が形成する形に平面網地を裁断して、上下面に縫い合わせて出来る拋物柱型囊網 (Fig. 1) の抵抗

Fig. 1. The theoretical configuration of the parabolic cylinder type cod end.

Fig. 2. The vertical view of the belt-netting surrounding the side of the theoretical parabolic cylinder type cod end that is fixed against a stream.

は、この網が側部曲面網と上下両平面網とが独立にある場合の各網地にかかる抵抗の総和と考えられる。川上²⁾によれば、流水中に張られた帯状網の受ける抵抗は、田内の法則³⁾に従い、水の流れによる抵抗に比べ、重力は浮力と共に無視出来る、結節の抵抗は脚の抵抗に比較して無視出来る

場合には Fig. 2 に示すように、曲面網の網端にかかる張力を T 、中心部における張力を T_0 、網端において網と流れの方向とのなす角を θ 、囊の長さを x 、側面網で囲まれる面積を $2A$ とすると

$$\frac{T}{T_0} = (\sin \theta)^{-\sin^2 \varphi} \equiv \tau(\theta) \quad (1)$$

$$\frac{Kh}{T_0} S = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} (\sin \theta)^{-(1+\sin^2 \varphi)} d\theta \equiv \sigma(\theta) \quad (2)$$

$$\frac{Kh}{T_0} x = [\tau(\theta) - 1] \operatorname{cosec}^2 \varphi \equiv \xi(\theta) \quad (3)$$

$$\frac{Kh}{T_0} y = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} \tau(\theta) d\theta \equiv \eta(\theta) \quad (4)$$

$$\left(\frac{Kh}{T_0}\right)^2 A = [\xi(\theta) \eta(\theta)] \frac{\theta}{0} - \operatorname{cosec}^2 \varphi \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} (\tau(\theta) - 1) \tau(\theta) d\theta \equiv \alpha(\theta) \quad (5)$$

の関係が得られる。ここに K は単単位積の網地が流れに垂直に支えられた時、法線方向に働く抵抗で

$$K = \frac{C_D}{2} \rho U^2 D / l \sec \varphi \operatorname{cosec} \varphi \quad (6)$$

で与えられ、 C_D 、 ρ 、 U は夫々網系の抗力係数、流体の密度、流速を表わす。従つて任意の与えられた網について (2)、(3)、(4) 式を計算すれば⁴⁾ 網成りが求められ、又その抵抗を R_{2sh} とすると (1) 及び (2) 式から

$$R_{2sh} = 2T \cos(\pi - \theta) = 2T_0 \tau(\theta) \cos(\pi - \theta) = \frac{2KhS \tau(\theta) \cos(\pi - \theta)}{\sigma(\theta)} \quad (7)$$

となる。次に田内の理論³⁾によれば、網地と流れの方向とのなす角が θ であるような平面網地の単位面積当りに流れの方向に働く抵抗 K_θ は

$$K_\theta = K(1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \theta) \quad (8)$$

である。そこで流れに平行な上下両平面網にかかる抵抗の和を R_{4A} とすると

$$R_{4A} = 4K_0 A = \frac{4K(1 - \cos^2 \varphi) \alpha(\theta)}{(Kh/T_0)^2} \quad (9)$$

但し、ここに K_0 は $\theta = 0$ の時平面網地にかかる抵抗、となり囊網全体にかかる総抵抗 R_I は (7) と (9) との和

$$R_I = 2K \frac{S}{\sigma(\theta)} \left\{ h \tau(\theta) \cos(\pi - \theta) + \frac{2\alpha(\theta) S (1 - \cos^2 \varphi)}{\sigma(\theta)} \right\} \quad (10)$$

Fig. 3. The theoretical configuration of the sphenic cod end.

Fig. 4. The theoretical configuration of the pyramid type cod end.

Fig. 5. The theoretical configuration of the box-type cod end.

形状をなすものと仮定し、これら各囊網は近似的には図の B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 、 D_1 、 D_2 、 D_3 等 4 乃至 5 枚の平面網地から構成され、各網面と流れとのなす角を図の如く θ 、 θ_1 、 θ_2 とする。先ず楔型囊網の抵抗については、その上面 B_1 、側面 B_2 網面にかかる抵抗をそれぞれ R_{B1} 、 R_{B2} とし (8) 式を適用すると

$$R_{B1} = K(1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \theta) B_1 \quad (11)$$

$$R_{B2} = K(1 - \cos^2 \varphi) B_2 \quad (12)$$

の関係が得られる。但し B_1 、 B_2 はそれぞれ面 B_1 、 B_2 の面積である。

従つて楔型囊網全体にかかる抵抗 R_{II} は (11), (12) 式の和の 2 倍

$$R_{II} = 2K \left\{ (1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \theta_1) B_1 + (1 - \cos^2 \varphi) B_2 \right\} \quad (13)$$

となる。又四角錐型及び箱型囊網にかかる抵抗をそれぞれ R_{III} 及び R_{IV} とすると同様に

$$R_{III} = 2K \left\{ (1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \theta_1) C_1 + (1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \theta_2) C_2 \right\} \quad (14)$$

$$R_{IV} = 2K \left\{ (1 - \cos^2 \varphi) (D_1 + D_2) + \frac{D_3}{2} \right\} \quad (15)$$

が得られる。

3) 以上拋物柱型, 楔型, 四角錐型及び箱型の 4 種の型に仕立てられた囊網の抵抗を求める近似式としてそれぞれ (10), (13), (14) 及び (15) 式が求められたのであるが, 囊の型の相違によつてどの程度抵抗が変化するかについて, 形状の相違以外の抵抗に関する諸要因を一定にした場合の各囊網の抵抗 R と単位面積の網地が流れに垂直に支えられた時に, 流水から受ける抵抗 K との比を求め, 比較検討してみた。さて Fig. 1 において $h=14.0$ cm, $2y=8.0$ cm, $S=30.8$ cm とし, 其の時の網地の 2 脚のなす角 2φ が $\pi/2$ であつたとすると, (2) 及び (4) 式から $S/y = \alpha(\theta)/\eta(\theta)$ となり, $S/y=2.2$ であるから $\alpha(\theta)/\eta(\theta)$ が 2.2 になるような θ の値を川上の変数表⁴⁾から読み取ると 172° となる。そこで θ が 172° の時の各変数の値をこの表より読み取ると, $\alpha(172^\circ)=4.146$, $\eta(172^\circ)=4.729$, $\tau(172^\circ)=2.681$ が得られる。従つてこれらの各値を (10) 式に代入し, 拋物柱型囊網 (I) の R_I/K を計算すると

$$I \quad R_I/K = 1080$$

が得られる。又この囊網に使用されている総網地の面積は, 上下両平面網の面積 (4A) と側面網の面積 (2Sh) の和で, (2), (4), (5) 式より得られる A の値と, S, h の値より 1910 cm² と得られる。次に Fig. 3 において, $2yx_1 + xh/2 = 1910/2$ 及び $x^2_1 = x^2 + (h/2)^2$ の 2 式を満足させる x 及び x_1 の値はそれぞれ 26.6 cm 及び 27.4 cm となり, 従つて $\cos^2 \theta$ は x^2/x_1^2 であるから, 0.943 と, 網面 B_1 の面積 ($2yx_1$) は 767 cm², B_2 の面積 ($\frac{xh}{2}$) は 186 cm² と計算される。かくして求められたそれぞれの値を (13) 式に代入して計算された楔型囊網 (II) の R_{II}/K の値は

$$II \quad R_{II}/K = 1010$$

となる。以下同様にして四角錐型囊網 (III, Fig. 4) の $C_1, C_2, \cos^2 \theta_1, \cos^2 \theta_2$ 及び箱型囊網 (IV, Fig. 5) の D_1, D_2, D_3 等を求め, それぞれ (14) 及び (15) 式に代入し R/K を計算すると

$$III \quad R_{III}/K = 1010$$

$$IV \quad R_{IV}/K = 1160$$

が得られる。これらの値を比較すると, II 及び III 型は共に等しく I 型との差の I 型に対する割合は -0.0548 , IV 型と I 型とのそれは $+0.0740$ で I 型を基準にして僅か 7% 前後の変動を示す。従つて, 型の相違による抵抗の変化は極く僅かで無視できると考えられる。

実 験

前述の I, II, III, IV の四つの型の囊網について各網の比較の都合上, 同一の網地で使用総網地面積を等しくしたものを同一の枠 (竹製の直径 0.25 cm) に取り付けたものについて実験した。この場合, 網地は横目に使えば縦目の場合よりも形状が理論から期待される形に近づくので, 横目に構成した。尚使用した網地の種類, 糸の太さ, 目合, 囊の寸法等の詳細は第 1 表に示した。

理論並びに実験結果の比較検討

囊網が受ける抵抗 R と流れの速度 U との間には, 本実験の結果では各網を通じて, Fig. 6 に示したように, U が小さい範囲では R は U の 1 乃至 2 乗の間に比例するが, U が 10 cm/sec 附近を越える頃から 60.0 cm/sec 附近迄の間では R は U の自乗に比例することがみられた。

1) 先に近似的に求めた (10), (13), (14), (15) 式がそれぞれ I, II, III, IV の各囊網の抵抗を求める式と

Table 1. Detail of cod ends used in the experiments.

Mark number of cod ends	Type of cod end	Size of cod end				Angle between two adjacent arms (2ρ)	Angle between net & current (θ°)	Total area of netting (cm^2)
		Height at the opening (h cm)	Width at the opening (2y cm)	Depth at the central part (x cm)	(cm)			
I	The parabolic cylinder type cod end	14.0	28.0	25.0	S=30.8	$\pi/2$	172	1910
II	The sphenic cod end	"	"	26.6	$X_1=27.4$	"	—	"
III	The pyramid type cod end	"	"	14.4	$X_1=45.0$ $X_2=46.6$	"	—	"
IV	The box-type cod end	"	"	18.1	"	"	—	"

Material and size of netting: Cotton(20's, 4 yarns)Diameter (D=0.06 cm.), Mesh (L=0.85 cm.).

Fig. 6. The relations between the resistance (R) of cod end and the current velocity (U) of water, plotted for four types of cod ends, the parabolic cylinder type cod end (Fig. 6-I), the sphenic one (-II), the pyramid type one (-III) and the box-type one (-IV).

して実際成立つかどうかを知るために実験値より網糸の抗力係数 $[C_D]$ と Reynold's 数 $[R_e]$ との相関を求め、無限円柱に対する値と比較したものを Fig. 7-I, II, III, IV に示す。図中実線は無限円柱に対する値⁵⁾であり、II, III, IV図の破線は実験値の平均値である。これによれば Reynold's 数が 40 乃至 400 の間では無限円柱に対する値と実験値とが各網を通じて大体一致しているとみなすことが出来るが特に I 型がよく一致し、II, III 型は共に実験値が少々大きく Reynold's 数が 100 附近では無限円柱に対する値が下側に彎曲するのに上側に彎曲し、又 IV は比較的両者が一致するが、Reynold's 数の 100 附近を境に実験値が無限円柱に対する値の上下一方に偏在する傾向がみられる。そこで II, III, IV 型の囊網では抗力係数と Reynold's 数との関係を破線で示したように直線と考えれば、より簡単に而も近似度が高まるものと思われるが、実線及び破線何れにしても実験値との偏差は極くわずか (II 及び III 型で実験値と無限円柱に対する値及び破線との最大偏差はそれぞれ 20 及び 10%前後)であり、実用上この程度の誤差であれば、殆んど問題にならないであらう。

2) 前述した各型の囊網の水中における形状を撮影したものを Fig. 8-I, II, III, IV に示した。図は流速 23.5 cm/sec

Fig. 7. The drag coefficient (C_D) of the netting cord is plotted against the Reynolds number (Re) for four types of cod ends.

Fig. 8. The practical shapes of four types of cod ends fixed in the current speeds 23.5 cm./sec..

の時のもので、図中の破線は各網面の縫合部を表わし、×印は理論上の囊の末端部がこの図と比較された時、位置する点である。これによれば、前に示した Fig. 1, Fig. 3, Fig. 4 及び Fig. 5 と比較してみると外形的には大体よく一致するが、囊口より囊の丈の2乃至3割程度後部から実際の網では上下面及び側面の網面が外側に少々膨むため、 $2p$ の値は理論より期待されるものより少々小さくなり、従つて囊の長さ及び巾の寸法等の上でも理論から期待されたものと水中で模型網が実際にとるものとの間には多少のずれが起

Fig. 9. The ratio of the total resistance R acting on the cod end to the resistance K acting on a unit area of plane net placed at right angle to the stream.

きるのは当然である。これらの諸傾向は速度が増加するにつれ、著しくなるようであるが、実際の操業上の諸問題には何ら影響はなく、全く無視できる程度のものである。

3) 先に I, II, III, IV の4型の囊網について、囊口の形、面積、総使用網地量、 D/L 、縮結、網糸の種類等各諸要因が一定であれば、各囊網の構成法の相違による抵抗の差異は殆んどなく、I型を基準に7%内外の偏差が各囊網について認められるだけであることを予測したが、実際に調査した結果を、

Fig. 9 に示す。図中実線は各網の R/K を理論的に求めた値を結んだものであり、破線は速度を種々変化した場合の各実験値の平均値を結んだものである。これによると、I型では理論値(1080)と平均実験値

(1090) が極めてよく一致し、Ⅱ、Ⅲ型では実験値 (Ⅱ: 1120, Ⅲ: 1070) が理論値 (Ⅱ, Ⅲ共に 1010) より何れも僅かに大きく、Ⅳ型では逆に少々小さく (理論値: 1160, 実験値: 1120), 先に予想した値より互に近接し合い、Ⅰ型を中心に約 ± 0.03 の変化を示すに過ぎない。この事から囊網の抵抗を決定する要因は、使用総網地量、囊口の大きさ、面積、 D/L , 縮結等其の他の諸要因に比較し、構成法の相違は左程重要でない、換言すると、前記諸要因が等しければ囊網の型が多少異つても抵抗はほとんど変らないものと考えられる。

又斯る同一条件のもとでは、種々の囊網にかゝる抵抗は (10) 式によつて相当高度の近似値が推定できるものと思考される。

終りに本実験並びに本文を草するに当り、御懇切な指導を賜つた京都大学、川上太左英博士に深甚の謝意を表する。

引用文献

- 1) TAUTI, M. A relation between experiments on model and on full scale of fishing net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **3** (4), 2 (1934).
- 2) KAWAKAMI, T. Mechanical action of the otter board of the trawl net. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **19** (4), 8 (1953).
- 3) TAUTI, M. The force acting on the plane net in motion through the water. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **3** (1), 1 (1934).
- 4) KAWAKAMI, T. The equilibrium configuration of a rectangular strip of net subjected to a uniform current. Mem. of Coll. of Agr. Kyoto Univ., No. **72** (1955).
- 5) PRANDTL, L. Applied hydro- and aeromechanics., (1934).