曳航索の近似算法について—IV.

三次元問題の計算法

宮崎 芳夫

(1972 年 6 月 17 日受理)

Studies on Approximate Formulas for Tension and
Configuration of the Towing Rope—IV.
Method of Calculation of Three Dimensional Problems

Yoshio MIYAZAKI*

The approximate calculation process of the three dimensional problem described in part III is too complex to be of any practical use. In this paper, the author has simplified this calculation process by using the ABC Table which was derived from the loop functions of the basic catenary σ' , ξ' , η' as shown by

$$\pm A = \pm \sigma', \quad B = \sqrt{(\xi')^2 + (\eta')^2}, \quad \pm C = \cos^{-1} \left(\frac{\eta'}{B} \right)$$

where σ' , ξ' and η' are given by

$$\sigma' = \cot \theta, \quad \pm \xi' = \ln \left| \cot \frac{\theta}{2} \right|, \quad \eta' = |\operatorname{cosec} \theta| - 1.$$

By this method these approximated values agreed well with the previous experimental values of the mid-water trawlers and the stern trawlers.

一様な流れの中で任意の釣合の状態を保っている Rope, たとえば二艘曳網の曳索の形状や張力などを計算するには, 二次元の場合¹⁻³⁾に用いた近似法を三次元の場合にも拡張できるものと仮定して, Catenary curve の Loop functions σ' , ξ' , η' の函数表を用意すれば十分であることを第Ⅲ報⁴⁾ (16)~(20) 式によって説明したが, これを実際の計算に適用するに当つては, このままではまだかなり煩雑で実用的ではない。本報においては, 前記の (16)~(20) 式より導かれる無次元の函数 A, B, C が二次元の場合に採用した ABC 函数と全く同一であることを着目し, 文献 3) に詳細に発表した ABC Table を用いてその計算過程を簡略にするとともに, これによる計算値と実測値との比較を試みた。

計 算 法

Fig. 1 に示すように, x 軸の正の方向から負の方向に向う一様な流れの中に鉛直上方を正とする y 軸, 流れに直角, 水平の方向に z 軸を持つ右手系の直交座標 $O-xyz$, ($O-\xi\eta\zeta$) を設け, これを $+z$ 軸の回りに時計回りに回転角 ω だけ回転したときの y 軸を新座標の y' 軸とし, この y' 軸の回りに平面角 γ (時計回りのときを正) だけ回転した新座標 $O-x'y'z'$ ($O-\xi'\eta'\zeta'$) を考える。

この流れの中で三次元的釣合の状態を保っている Rope の描く曲線 (Loop と呼ぶ) は第Ⅲ報で述べたように, 常に $+y'$ 軸を軸とする $x'y'$ 平面上の Catenary curve のいずれかの部分によつて表現されるものと仮定すると, この Loop の形状と張力を与える無次元の函数 (Loop functions) は第Ⅲ報の (16)~(20) 式にしたがつて,

* 東京水産大学 (Tokyo Univ. Fisheries, Minato-ku, Tokyo Japan)

Fig. 1. Relationship between basic catenary on Plane γ and function ABC.

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \cot \theta = \sigma' \\ \xi &= \xi' \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \eta' \cdot \sin \omega \\ \eta &= -\xi' \cdot \cos \gamma \cdot \sin \omega + \eta' \cdot \cos \omega \\ \zeta &= \xi' \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\tau = 1 + \lambda \cdot \sin \theta_0 \cdot \xi + \mu \cdot \sin \theta_0 \cdot \eta \quad (2)$$

となる。(1)式に含まれている σ' , ξ' , η' は二次元の場合¹⁻³⁾ と同一の Catenary curve の Loop functions にはかからないから、

$$\left. \begin{aligned} \pm \sigma' &= \cot \theta = \sinh \xi' \\ \pm \xi' &= \ln \left| \cot \frac{\theta}{2} \right| \\ \eta' &= |\operatorname{cosec} \theta| - 1 = \cosh \xi' - 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

と与えられる。したがってこれらの関係より導かれる無次元の函数、

$$\left. \begin{aligned} \pm A &= \pm \sigma' = \pm \sigma \\ B &= \sqrt{\xi'^2 + \eta'^2 + \zeta'^2} = \sqrt{(\xi')^2 + (\eta')^2} \\ \pm C &= \cos^{-1} \left(\frac{\eta'}{B} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

も二次元の場合と全く同一の ABC 函数となるから、文献 3) に発表した ABC Table を用いてこの近似計算をおこなうには、次に述べる順序および仮定に

したがうものとする。ここで、 θ は $0^\circ \leq |\theta| \leq 90^\circ$ の範囲にある Catenary curve の任意の部分の傾角で、Fig. 1 に示すように $+y'$ 軸とその部分の接線との交角を $+z'$ の側より見て時計回りに測るときを正とし、 σ' , ξ' , A および C の正、負はいずれもこの θ の符号にしたがうものとする。また、B は常に正とする。なお、この近似計算の精度に重要な影響をもっている単位長さの Rope の流体中における重量 w 、流れに直角に置かれた単位長さの Rope の抗力 D_0 、および Current parameter $\mu = w/D_0$ 、Critical angle θ_0 、Loop constant $\kappa = (t_0/D_0) \cdot \sin \theta_0$ などの定め方は二次元の場合と全く同一であるから詳細な説明は省略する。

1. 初めの条件として、Rope の長さ S 、Rope 上の一定点 P (二次元の場合と同様、下流側の被曳航点を P_1 、上流側の曳航点を P_2 とする) における接線と x , y , z 軸の正軸との交角 (傾角) θ_x , θ_y , θ_z およびその点における張力 t が与えられているものとする。 S の正、負は Fig. 1 に示されているように $+z'$ 側より見て反時計回りに増加する方向を正とし、常に下流側の P_1 点から上流側の P_2 点に向つて測定するものと定める。また、 P 点における接線の方法余弦 l_t , m_t , n_t の正、負は $\cos \theta_x$, $\cos \theta_y$, $\cos \theta_z$ の正、負にしたがうものとする。したがって、ここでは S の正負による接線の向きは考慮しなくてよい。

2. 回転角 ω は第 III 報で説明した“回転の規則”にしたがい曳航状態に応じて次のように定める (Fig. 2)。

(i) ω_I —曳航状態 [I] の場合の回転角。 ($-S_\infty$ から $\theta_y = 90^\circ$ まで)

$$\omega_I = \theta_0 + (\omega_0 - \theta_0) \cdot |\cos \varepsilon|,$$

(ii) ω_{II} —曳航状態 [II] の場合の回転角。 ($\theta_y = 90^\circ$ から $+S_\infty$ まで)

$$\omega_{II} = \theta_0 - (\omega_0 - \theta_0) \cdot |\cos \varepsilon|,$$

(iii) ω_{III} —曳航状態 [III] の場合の回転角。 ($\theta_y = 0^\circ$ から $+S_\infty$, または全域)

$$\omega_{III} = 1/2 \times (\omega_I + \omega_{II}) = \theta_0.$$

ここで、 $|\cos \varepsilon|$ は次式によって定められる補正量である。

$$\cot \varepsilon = \frac{l_t \cdot \cos \theta_0 - m_t \cdot \sin \theta_0}{n_t}$$

また, θ_c はこの Rope が無限に長くなつたときの y 軸となす極限の傾角 (Critical angle), ω_a は第 I, II 報^{1,2)} で説明した揚力の全く作用しない仮想材料 (a) の Critical angle で, これらは $\mu=w/D_0=\cot \omega_a$, および第 II 報または文献 3) の $\mu \sim \theta_c$ 曲線を用いて決定する。

3. 平面角 γ と $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ に対応する Catenary curve の傾角 θ を求めるには第 III 報 (19) 式にしたがい,

$$\cot \gamma = \frac{l_t \cdot \cos \omega - m_t \cdot \sin \omega}{n_t}$$

$$\sin \theta = \frac{l_t \cdot \cos \omega - m_t \cdot \sin \omega}{\cos \gamma}$$

を用いる。これらの計算式によつて決定される γ および θ の正, 負はいずれも初めのとりきめを満足している。

4. θ に対応する函数 A, B, C の数値を求めるには, 文献 3) に発表した ABC Table を用いる。ここで A, C の正負は二次元の場合と同様, θ の符号にしたがうものとし, B は常に正である。この A, B, C から Rope の形を与える Loop functions σ, ξ, η, ζ を求めるには, Fig. 2 に示すように $\overline{OP} = B$ の方向余弦を,

$$l = \sin C \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos C \cdot \sin \omega$$

$$m = -\sin C \cdot \cos \gamma \cdot \sin \omega + \cos C \cdot \cos \omega$$

$$n = \sin C \cdot \sin \gamma$$

と表わすと, $\pm \sigma = \pm A$, $\xi = B \cdot l$, $\eta = B \cdot m$, $\zeta = B \cdot n$ によつて計算される。

5. Rope の実際の長さ S , 形状 x, y, z と Loop functions σ, ξ, η, ζ との間には Loop constant κ を二次元の場合と同様,

$$\kappa = \frac{t_0}{D_0} \cdot \sin \theta_c$$

とすると, $S = \kappa \cdot \sigma$, $x = \kappa \cdot \xi$, $y = \kappa \cdot \eta$, $z = \kappa \cdot \zeta$ の関係がある。ここで, t_0 は Loop の原点 ($|\theta| = 90^\circ$) における張力である。

6. 張力 t を計算するには (2) 式で与えられる Loop functions

$$\tau = \frac{t}{t_0} = 1 + \lambda \cdot \sin \theta_c \cdot \xi + \mu \cdot \sin \theta_c \cdot \eta$$

の関係を用いる。ここで, λ および $\mu = w/D_0$ は二次元の場合と全く同一の摩擦係数と Current parameter で, 第 II 報 Table 3 に示したように Wire rope の場合は $\lambda = 0.03$, Fiber rope の場合は $\lambda = 0.04$ 程度を用いる。以上の順序および仮定にしたがって計算した実例を次に示す。

計 算 例

1. 直径 $d = 6.6$ mm, 長さ $S = 200$ m の Wire rope の先端 P_1 に直径 250 mm, 重さ 62.5 kg (水中重量 $W_1 = 53.0$ kg) の鉄球をとりつけ 3 m/sec の速さで曳航している船が, 左舷正横の方向より風をうけ 1 m/sec の速さで横流れしたときの鉄球の位置 x, y, z と船尾の曳航点 P_2 における張力 t_2 を計算する。(Fig. 3 参照)

Fig. 2. Relationship between rotative angle ω of basic catenary and three dimensional towing states [I], [II] and [III].

- [I]: $(-\infty \sim \theta_y = 90^\circ)$,
 [II]: $(\theta_y = 90^\circ \sim +\infty)$,
 [III]: $(\theta_y = 0^\circ \sim +\infty)$.

まず、船の進行と風による横流れによつて鉄球および曳索が受ける実際の流れの速度（対水速度） U その方向 ν を求め、鉄球に作用する抗力 D_1 と P_1 点における張力 t_1 、および y 軸との傾角 θ_{y1} を決定する。

$$U = \sqrt{(\text{船の速度})^2 + (\text{横流れ速度})^2} = 3.16 \text{ m/sec}$$

$$\nu^* = \cot^{-1} \frac{(\text{船の速度})}{(\text{横流れ速度})} = +18.4^\circ,$$

(+y より見て時計回りを正とする)

$$D_1 = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot U^2 \times \frac{1}{9.8} = 12.5 \text{ kg},$$

(球の抗力係数 $C_D = 0.5$, 水の密度 $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$, 投影面積 $A = \pi r^2$),

$$t_1 = \sqrt{D_1^2 + W_1^2} = 54.5 \text{ kg},$$

$$\theta_{y1}^* = \cot^{-1} \frac{W_1}{D_1} = 13.3^\circ, \quad (P_1 \text{ 点における接線と } +y \text{ 軸との交角をあらわす})$$

この ν と θ_{y1} を用いて P_1 点における接線の方余弦 l_{t1} , m_{t1} , n_{t1} を求めると,

$$l_{t1} = \cos \theta_{z1} = \sin \theta_{y1} \cdot \cos \nu = 0.2182,$$

$$m_{t1} = \cos \theta_{y1} = 0.9731,$$

$$n_{t1} = \cos \theta_{z1} = \sin \theta_{y1} \cdot \sin \nu = 0.0726,$$

となる。この場合の Rope の Reynolds 数は $Re \approx 2.1 \times 10^4$ 程度であるから、第 II 報または文献 3), 5) に発表した $C_{D0} \sim Re$ 曲線などを用いてその抗力係数を $C_{D0} = 1.2$ と定めると、長さ 1 m のこの Rope が流れに直角に置かれたときの抗力,

$$D_0 = \frac{1}{2} C_{D0} \cdot \rho \cdot A \cdot U^2 \times \frac{1}{9.8} = \frac{1}{2} C_{D0} \cdot \rho \cdot d \cdot U^2 \times \frac{1}{9.8} = 4.04 \text{ kg/m}$$

が得られるから、これと Wire rope の水中重量、(第 II 報 Table 1 参照)

$$w = d^2 \times 0.0036 \times 0.7818 = 0.123 \text{ kg/m},$$

との比である Current parameter $\mu = w/D_0 = 0.0304$ と第 II 報または文献 3) に示した $\mu \sim \theta_c$ 曲線から Critical angle $\theta_c = 80^\circ$ 、および $\omega_a = \cot^{-1} \mu = 88.25^\circ$ が求められる。したがつて、

$$\cot \varepsilon = \frac{l_{t1} \cdot \cos \theta_c - m_{t1} \cdot \sin \theta_c}{n_{t1}} = -12.6777$$

から補正量は $|\cos \varepsilon| \approx 0.9969^{**}$ となるから、曳航状態 [I] に所属する場合の回転角は、

$$\omega_1 = \theta_c + (\omega_a - \theta_c) \cdot |\cos \varepsilon| = 88.2^\circ, \quad \text{平面角 } \gamma \text{ は, } \cot \gamma = \frac{l_{t1} \cdot \cos \omega_1 - m_{t1} \cdot \sin \omega_1}{n_{t1}} = -13.3017, \quad \gamma \div -4.30^{**},$$

と決定される。以上の結果を用いて鉄球の取り付け位置 P_1 における Catenary curve の傾角 θ_1 を求め、ABC Table よりこれに対応する A_1 , B_1 , C_1 を定めると、

$$\sin \theta_1 = \frac{l_{t1} \cdot \cos \omega_1 - m_{t1} \cdot \sin \omega_1}{\cos \gamma} = -0.9685, \quad \theta_1 = -75.60^\circ,$$

$$A_1 = -0.2567, \quad B_1 = 0.2560, \quad C_1 = -82.72^\circ$$

ここで B_1 の方余弦 l_1 , m_1 , n_1 は、

$$l_1 = \sin C_1 \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega_1 + \cos C_1 \cdot \sin \omega_1 = 0.0959,$$

$$m_1 = -\sin C_1 \cdot \cos \gamma \cdot \sin \omega_1 + \cos C_1 \cdot \cos \omega_1 = 0.9924,$$

$$n_1 = \sin C_1 \cdot \sin \gamma = 0.0743.$$

Fig. 3. Sketch of Example 1.

* ν , θ_{y1} などを求めるには、文献 3) の ABC Table, A(cot) 欄を利用する。

** ABC Table を田いる場合は、内挿値を取る必要はない。

与えられるから, P_1 点における Loop functions は, $\sigma_1 = A_1 = -0.2567$, $\xi = B_1 \cdot l_1 = 0.0246$, $\eta_1 = B_1 \cdot m_1 = 0.2541$, $\zeta_1 = B_1 \cdot n_1 = 0.0190$, および $\tau_1 = 1 + \lambda \cdot \sin \theta_c \cdot \xi_1 + \mu \cdot \sin \theta_c \cdot \eta_1 = 1.008$ (ただし, $\lambda = 0.03$ とする), この点における張力は $t_1 = 54.5 \text{ kg}$ と計算されているから, Loop の原点 ($|\theta| = 90^\circ$) における張力は $t_0 = t_1/\tau_1 = 54.1 \text{ kg}$ となる。よつて Loop constant は $\kappa = (t_0/D_0) \cdot \sin \theta_c = 13.2 \text{ m}$ である。

被曳航点 P_1 より曳航点 P_2 までの曳航索の長さは $S = -200 \text{ m}$ と与えられているから, $S/\kappa = (\sigma_2 - \sigma_1) = -15.1515$, $\sigma_2 = -15.4082$, これに対応する Catenary curve の傾角 $\theta_2 \div -3.70^\circ$ より $A_2 = -15.4638$, $B_2 = 14.8970$, $C_2 = -13.32^\circ$, $l_2 = 0.9654$, $m_2 = 0.2598$, $n_2 = 0.0172$ が定まる。よつて, $\sigma_2 = A_2 = -15.4638$, $\xi_2 = B_2 \cdot l_2 = 14.3816$, $\eta_2 = B_2 \cdot m_2 = 3.8702$, $\zeta_2 = B_2 \cdot n_2 = 0.2562$, $\tau_2 = 1 + \lambda \cdot \sin \theta_c \cdot \xi_2 + \mu \cdot \sin \theta_c \cdot \eta_2 = 1.538$ となる。したがつて求める位置と張力は, $S = \kappa \cdot (\sigma_2 - \sigma_1) = -200.7 \text{ m}$ (検算のため求める), $x = \kappa \cdot (\xi_2 - \xi_1) = 189.5 \text{ m}$, $y = \kappa \cdot (\eta_2 - \eta_1) = 47.7 \text{ m}$, $z = \kappa \cdot (\zeta_2 - \zeta_1) = 3.1 \text{ m}$, $t_2 = t_0 \times \tau_2 = 83.2 \text{ kg}$ と計算される。

2. 次のような中層曳網 (Midwater trawl) の操業記録⁷⁾がある。これを用いて曳網深度, 二枚のオッタボードの間隔, オッタボードの結止点における張力とその方向などを算出する。(Fig. 4 参照)

曳網速度 4.7 knot , (2.42 m/sec), Warp の長さ 650 m , Warp の直径 32 mm , 船尾における一本の Warp の張力 15.0 ton , 二本の Warp の挟角 8° , 一本の Warp の y 軸との傾角 66° 。

以上の記録から, $w = 2.88 \text{ kg/m}$, $D_0 = 11.47 \text{ kg/m}$, $\mu = 0.251$, $\omega_a = 75.9^\circ$, $\theta_c = 61.8^\circ$ が求められる。つぎに, 二本の Warp の挟角 $2\delta = 8^\circ$, y 軸

に対する傾角 $\theta_y = 66^\circ$ を用いて, 船尾の P_2 点における Warp の接線の方法余弦を求めると, $l_{t2} = \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \theta_y} = 0.9108$, $m_{t2} = \cos \theta_y = 0.4067$, $n_{t2} = \sin \delta = 0.0697$ となるから $|\cos \epsilon| = 0.7187$ である。また, この曳航状態は [II] に所属しているから, $\omega_{II} = \theta_c - (\omega_a - \theta_c) \cdot |\cos \epsilon| = 51.7^\circ$, したがつて $\gamma = 15.85^\circ$, $\theta_2 = 14.80^\circ$ となる。これから, $A_2 = 3.7848$, $B_2 = 3.5583$, $C_2 = 35.00^\circ$, $l_2 = 0.9846$, $m_2 = 0.0747$, $n_2 = 0.1566$, $\sigma_2 = 3.7848$, $\xi_2 = 3.5035$, $\eta_2 = 0.2658$, $\zeta_2 = 0.5572$, $\tau_2 = 1.152$, $t_0 = 13020 \text{ kg}$, $\kappa = 1000 \text{ m}$, $S/\kappa = 0.6500$, $\sigma_1 \div 3.1348$ が決るから, オッタボードの結止点 P_1 に対応する, $\theta_1 = 17.70^\circ$ から $A_1 = 3.1334$, $B_1 = 2.9494$, $C_1 = 39.09^\circ$, $l_1 = 0.9848$, $m_1 = 0.0049$, $n_1 = 0.1722$, $\sigma_1 = 3.1334$, $\xi_1 = 2.9046$, $\eta_1 = 0.0145$, $\zeta_1 = 0.5079$, $\tau_1 = 1.080$ が得られる。よつて, $S = 651 \text{ m}$ (検算), $x = 599 \text{ m}$, $y = 251 \text{ m}$, $z = 49 \text{ m}$, $t_1 = 14062 \text{ kg}$, この点における Warp の接線の方法余弦は,

$$l_{t1} = \cos \theta_{x1} = \sin \theta_1 \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega_{II} + \cos \theta_1 \cdot \sin \omega_{II} = 0.9287,$$

$$m_{t1} = \cos \theta_{y1} = -\sin \theta_1 \cdot \cos \gamma \cdot \sin \omega_{II} + \cos \theta_1 \cdot \cos \omega_{II} = 0.3608,$$

$$n_{t1} = \cos \theta_{z1} = \sin \theta_1 \cdot \sin \gamma = 0.0830.$$

となる。以上の結果から

曳網水深 $y = 251 \text{ m}$, オッタボードの間隔 $2z_1 = 98 \text{ m}$ (実際にはこれにトップローラの間隔を加算する必要がある), オッタボードを含めた全漁具の抵抗 $2t_1 \times \cot \theta_{x1} = 26.1 \text{ ton}$, オッタボード結止点 P_1 における Warp の各軸に対する傾角 $\theta_{x1} = 21.8^\circ$, $\theta_{y1} = 68.9^\circ$, $\theta_{z1} = 85.3^\circ$,

などを知ることができる。なお, このときの中層曳網のヘッドロブ中央の深さ (曳網水深) の実測値は $y = 247 \text{ m}$ であった。

Fig. 4. Sketch of Example 2.

考 察

1. 以上の2個の計算例と, 文献 3) に発表した二次元の場合の9個の計算例のうちのいずれかを応用すれば, 実際の場合に起るほとんどすべての曳航状態に関する計算値が得られるものと思われる。

Fig. 5. Comparison of depths between experimental values y_e and calculated values y_c of mid-water trawlers and stern trawlers.

- : mid-water trawlers
(data of KOYAMA's exp.⁷⁾),
- : mid-water trawlers
(data of HAMURO's exp.^{4,10)}),
- : stern trawlers
(data of KOYAMA's exp.⁸),
- : stern trawlers
(data of HAMURO's exp.⁹).

することもかなり困難であるが、将来、機会をみて二次元の場合を含めた精密な比較実験を計画したい。

終りに、この一連の研究に対し、御指導、御校閲をたまわつた京都大学農学部教授川上太左英博士に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 宮崎芳夫: 本誌, 36(1) 48-57 (1970).
- 2) 宮崎芳夫: 同誌, 36(1) 58-67 (1970).
- 3) 宮崎芳夫: *J. Tokyo Univ. Fish.*, 56 (1-2) 49-117 (1970).
- 4) 宮崎芳夫: 本誌, 38 (11) 2015-2022 (1972).
- 5) 宮崎芳夫: *J. Tokyo Univ. Fish.*, 50(2), 105-110 (1964).
- 6) 小山武夫: 東海区水研報, 43, 13-19 (1965).
- 7) 小山武夫: 同誌, 52, 37-42 (1967).
- 8) 葉室親正・石井 謙治: 漁研技報, 14, 57-206 (1960).
- 9) 葉室親正: 同誌, 18(8), 1-32 (1964).
- 10) 葉室親正・石井謙治: 同誌, Scientific report 3, 1-13 (1961).

訂 正

第II報 (Vol. 36, No. 1, (1970), P. 60, 5-6 行目)

流体の動粘性係数, 水 $\div 0.001 \text{ m}^2/\text{sec}$, 空気 $\div 0.015 \text{ m}^2/\text{sec}$ の誤りを,

水 $\div 0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$, 空気 $\div 0.15 \text{ cm}^2/\text{sec}$ と訂正する。

2. 実際の三次元の曳航状態が, [I], [II], [III] のいずれの場合に所属しているかを判断するには, その状態を二次元の場合にあてはめて考えれば比較的容易に決定することができる。

3. 二次元の場合と異なり, 三次元の場合については実験を計画することもかなり困難であるし, 実測された例も余り見当たらないが, 前記の計算例 2. に所属する中層曳網と底曳網についてはかなりの操業記録が発表されているので, これらの実測された曳網水深 78 例と, この近似算法による計算水深との比較を試みたのが次に示す Fig. 5 である。図の縦軸 y_e は実測水深を, 横軸 y_c は計算水深をそれぞれ対数目盛で示したもので, 図中の●, ○および●, ○印は小山^{6,7)}, および葉室⁸⁻¹⁰⁾ のデータを使用している。記録は $y_e = y_c$ を示す直線の周囲に大体均等に分布しているが, あらかじめこの図に見られる程度の誤差を許容するならば, 中層曳網やトロール漁業の漁具, 漁法の計画, 設計, 解析などにこの近似算法応用しても差支えないであろう。

4. [II] の曳航状態に所属する 前記のような中層曳網, トロールなどの操業記録をのぞいては, 他の [I], [III] などの曳航状態に所属する三次元の場合の実測例はほとんど見当たらないし, 実験を実施