

水中温度計測に用いる水中曳航体について

Underwater Towed Vehicle Applied to the Measurement of Water Temperature at a Specified Water Depth.

鈴木 文博*・前田 久明*
Fumihiro SUZUKI and Hisaaki MAEDA

1. はじめに

一定船速で航行中の船より、既定長の曳航索を用いて所定深度の水温を計測する為の水中曳航体（ディプレッサー）の簡易な設計法を開発したので報告する。

まず流れの中での曳航索のカテナリー形状並びに索張力を求める式を設定した。次いで流体力特性を大まかに推定して設計した曳航体のプロトタイプモデルを製作し実海域試験を行い、船速、曳航体深度、索張力の計測値を得た。これらの計測値並びに当該曳航体模型による回流水槽流体力実験結果より、不確かさを含んだ曳航索の設計用の抗力係数を導出した。更に実用化を想定した曳航体の模型を製作し、実験により流体力特性を求め、これら設計用曳航索の抗力係数と曳航体の流体力特性を用いて、この曳航体の静安定性を考慮した索取り付け点、付加重量を導出した。又、当該曳航体の小型模型を製作し、索付自由運動実験により動安定性を考慮した索取り付け点の取り得る範囲を決定した。これらの結果を用いて、2種類の試作機の曳航体の形状について、船速、曳航索長、曳航体深度を与えて、曳航体の寸法、索張力を求める設計資料を作成した。

2. 曳航体を取り付けた曳航索の形状と索張力の計算法

Fig. 1 のような曳航体に作用する揚力と曳航体の深度、

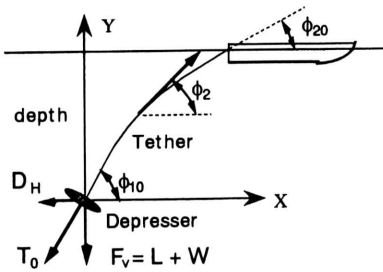


Fig. 1 Towing system

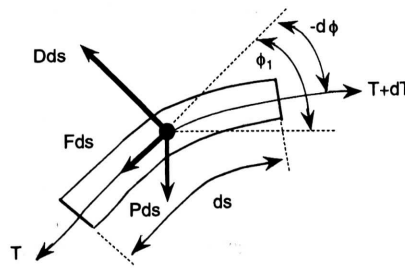


Fig. 2 Force diagram

曳航索の形状と索張力を以下の様に求めた。

仮定：① 曳航索は中立浮力とする。

② 曳航索軸方向の摩擦力は無視する。

静的釣り合い方程式

$$(T + dT) \cos(-d\phi) = T + Pds \cdot \sin\phi = Fds \quad (1)$$

$$(T + dT) \sin(-d\phi) + Pds \cdot \cos\phi = Dds \quad (2)$$

仮定により $P \doteq 0, F \ll D$ (3)

ディプレッサーに作用する揚力と抗力

$$F_L = \frac{1}{2} \rho v^2 s \cdot C_L \quad (4)$$

$$C_L \doteq 2 \pi \alpha \quad (\alpha: \text{迎角}) \quad (5)$$

$$F_v = F_L + W \quad (6)$$

$$D_H \doteq F_L / 5 \quad (\text{想定}) \quad (7)$$

$$T_0 = \sqrt{F_v^2 + D_H^2} \quad (8)$$

$$\phi_{10} = \tan^{-1}(F_v / D_H) \quad (9)$$

$$R = \frac{1}{2} \rho v^2 C_{DN} \quad (10)$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \left[\frac{1}{\frac{1}{\tan\phi_{10}} + \frac{s \cdot R}{T_0}} \right] \quad (11)$$

$$X = \frac{T_0}{R} \left\{ \frac{1}{\sin\phi_2} - \frac{1}{\sin\phi_{10}} \right\} \quad (12)$$

$$Y = \frac{T_0}{R} \left\{ \log_e \left(\tan \frac{\phi_2}{2} \right) - \log_e \left(\tan \frac{\phi_{10}}{2} \right) \right\} \quad (13)$$

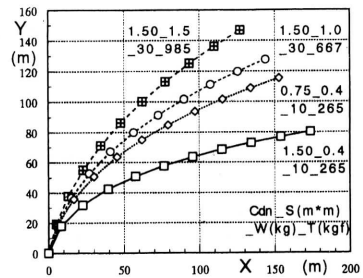


Fig. 3 Cable configuration

*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

変数名:

T, T ₀	索張力
P	索の水中重量 (単位長さ当たり)
F	索に作用する軸方向摩擦力
D	索に作用する抗力
φ	索の傾斜角
s	索長
d	索の直径
C _{DN}	索の抗力係数
v	流速 (船速)
F _V	曳航体に作用する下向の力
F _L	曳航体の翼に作用する揚力
W	曳航体重量 (水中)
D _H	曳航体に作用する抗力
C _L	揚力係数 (2次元)
S	曳航体の翼面積

3. 当初の推定結果

パラメータを変化させた当初の推定を Fig. 3 に示す.

- C_{DN} = 1.50, 0.75 (フェアリング付) (索抗力係数)
- W = 10, 30 (kg) (曳航体水中重量)
- S = 0.4, 1.0, 1.5 (m²) (曳航体翼面積)
- ρ = 102 (kg/m³) (流体密度)
- v = 3.5 (m/sec) (船速 7 kt)
- C_L = 1.0 (α = 10° 想定)
- d = 0.008 (m) (曳航索の索径)
- s = 200 (m) (曳航索の索長)

図中の原点が曳航体位置となっている。横軸が水平距離、縦軸がディプレッサーの深度である。各曲線は C_{DN}, W, S を変化させた物に対応。各点の間隔は索長で20m に対応している。索の全長は200m としている。この範囲であれば索張力 T₀ は全て破断荷重2900kg を下回っている。

船速 7 kt で曳航体深度100m を達成することは可能であろうと推定された。しかし2次元翼形状とは異なる水中風状の曳航体にあつてはその流体力特性も不明である。曳航

索の水中重量が存在するし、さらに曳航索の軸方向の摩擦力も存在するなど多くの不確かさが存在する。実用化を図るためには、静安定性、動安定性の検討が必要である。そこで、曳航体の流体力特性試験を行い、曳航索の実海域試験を行つて曳航索にまつわる不確かさを曳航索の抗力係数に集約し、曳航体の小型模型による安定性試験を行つた。

4. 曳航体模型の流体力特性試験

回流水槽に於いて曳航体の模型を検力計を介して PMM 装置に取り付け、流れに対する迎角を 0° から 90° 迄変化させて流れから受ける水平方向力、垂直方向力、モーメントを計測した。水槽検査部は幅 1.8m, 水深 0.95m である。適用流速は 0.7, 1.0m/s の 2 種類を用いた。使用した検力計は、各容量 30kg, 10kgm の六分力計である。水面上に設置した PMM 装置の下部の回転機構部にこの六分力計を取り付け、水面直上に配した。Fig. 4 に示す。

供試モデルは次の 2 種類で、形状を Fig. 5, 6 に示す。

- 1) 星野 1 型 長さ(L) 0.5m, 射影面積(S₀) 0.0942 m²
- 2) コンコルド型 0.6m, 射影面積(S₀) 0.0948 m²

1) は昨年度実海域試験で用いられた曳航体の模型である。流水中での揚力抗力特性を計測して実海域試験結果の検証を行つた。2) は三角型の変化形で、平板を折り曲げて製作する場合調整モーメントのレバーを大きくとれる様に先端部を長くしてみた曳航体の模型である。計測された結果を射影面積と長さで無次元化した。モーメントは曳航体中央 (中心) 回りの値である。Fig. 7, 8 に示す

抗力	Ch = D _H / (1/2 * ρ * v * v * S ₀)
揚力	Cv = F _L / (1/2 * ρ * v * v * S ₀)
揚抗比	F _L / D _H = Cv / Ch
モーメント	Cm = Mt / (1/2 * ρ * v * v * S ₀ * L/2)

モーメントが 0 となる着力点を流心として表示する。曳航体のこの流心を曳航体長さ L で無次元化した、

流心 C_{Pf} = P_f / L

を Fig. 9 に示す。Fig. 6 に示す様に前縁が 0, 後縁が 1.

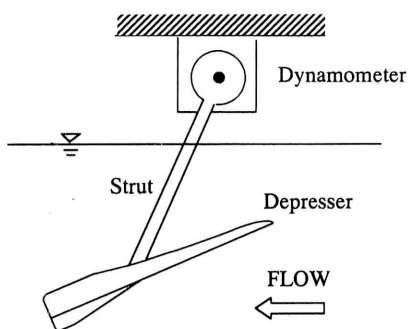


Fig. 4 Hoshino type no.1 model

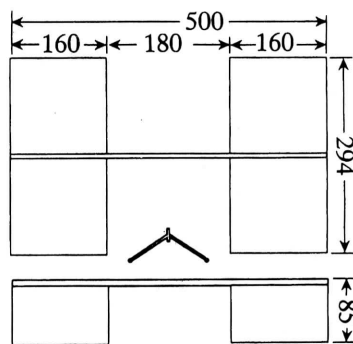


Fig. 5 Concorde type model

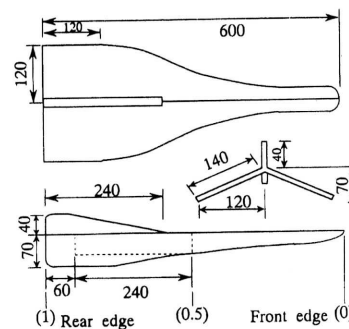


Fig. 6 Experimental system

5. 実海域試験用曳航索の断面抗力係数 C_{DN} の推定

回流水槽試験で得られた各仰角に対する曳航体の揚力抗力特性を曳航体をつけた索のカテナリー仮定式に適用して、シミュレートした索先端の曳航体の深度が実海域試験記録の保持深度になる場合の C_{DN} を求めてみた。

実海域試験は1994年6月11日に行われた。曳航体は星野1型で、長さ1.36 m、射影面積0.697 m²、本体重量35 kg、調整用バランサー20kg、曳航索索長250 m、索径0.008 mであった。曳航速度が平均7.2kt (3.6m/s) で、索張力は平均408 kgf、計測深度は平均60 mであった。深度の記録を Fig. 10 に示す。仰角は採られていない。

この供試曳航体、曳航索のデータと実海域試験第3回航走のデータを用いて曳航体と曳航索の挙動をシミュレートした。実海域試験では仰角の採録はできなかったので、推定では各仰角をとったと仮定した場合の C_{DN} を求めてみた。Fig. 11 に示す。その仰角での索張力 T_0 を Fig. 12 に示す。実海域試験の記録では索張力 T_0 は408 kgf であった。シミュレートした結果から索張力がこの値をとるのは仰角が20° の場合で、これより曳航索の断面抗力係数 C_{DN} は3.47と推定した。

6. 曳航体の動安定性試験

星野1型とコンコルド型の曳航体の小型モデルを製作しこれに索を付けて回流水槽で動安定性実験を行った。

a) 星野1型 : 長さ0.3 m, 射影面積0.0339 m²

鉄製, 本体重量0.530 kg, バランサー0.087 kg

b) コンコルド型: 長さ0.3 m, 射影面積0.0216 m²

アクリル製, 重量0.092 kg, バランサー0.022 kg

両者とも仰角約20°位で安定して揚力を発生した。

吹き流し状態や、ピッチング運動、水汲み運動を防ぎ安定的に揚力を発生する姿勢を保持する為には、索取付点を適切に決めなければならない。曳航体の調整用重量(バラ

ンサー)も曳航体重量の約20%位を、索取付点で曳航体を吊ったとき前縁が下向きに約15°傾く、曳航体前縁よりL/10以内の位置に取り付けると曳航時の姿勢が安定する。調整用重量は曳航体の裏側に曳航体周りの流れを阻害しないように取り付ける必要がある。その他、曳航体の動安定性を得る為には射影面積の1/15位の面積を持つ垂直尾翼を取り付け、上反角も20°から30°つけると良い事が分った。

7. 曳航体の深度と大きさを決める手順

- 1) 使用するダイプレッサーの型式を決める。
- 2) 回流水槽での曳航体模型による流体力特性試験により、揚力抗力特性並びに着力点(流心)を求める。
- 3) 流体力特性より揚抗比最大点から最大揚力発生点迄の範囲の迎角で、流心移動が姿勢の保持に安定側の復元モーメントとしてはたらく点を選んで迎角を決める。この迎角から揚力、抗力が定まる。
- 4) 曳航速度、索長、索径、索の断面抵抗係数を定める。これらと、揚力、抗力の合成長を変化させたもので反復計算し、目標深度になる揚力を求める。
- 5) 実際の速度を考慮して曳航体面積(寸法)を決める。寸法から重量、調整用重錘、重心等を決める。
- 6) 重量分を加えたデータで目標深度になるか計算する。索長で調整可能か検討する。望ましい結果が得られなければ4)に戻る。
- 7) 流心、重量配分、調整用重量より静安定性を考慮して、索取付点を定める。
- 8) 回流水槽で索を付けた小モデルの実験を行い動安定性を確認する。

形状が定められ特性の分かっている曳航体の大きさを決める簡便な方法の為に、上記設計法に基づいた計算結果から、設計資料となる図を作成した。索として径0.008 m、索断面抵抗係数 C_{dn} 3.47を用い大きさを0.4~3.0 m 迄変化させた時の深度と張力の様子を、索長300 m、曳航速度

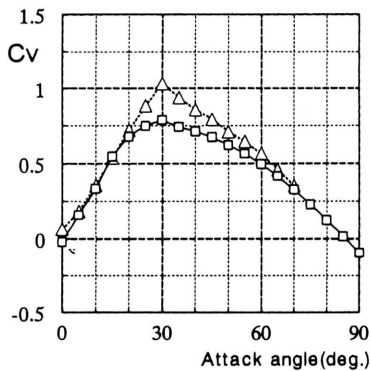


Fig. 7 Lift coefficient

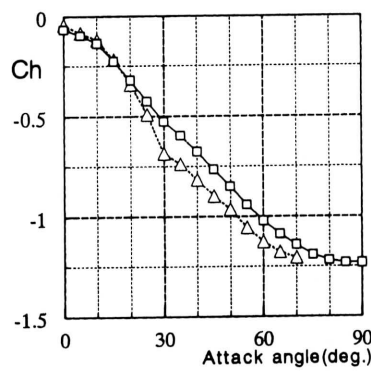


Fig. 8 Drag coefficient

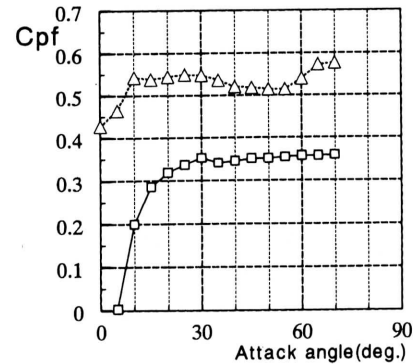


Fig. 9 Applied point coefficient

研究速報

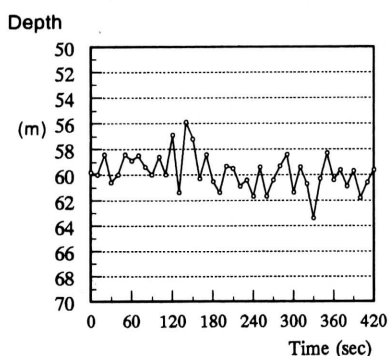


Fig. 10 Depth of kite (full scale)

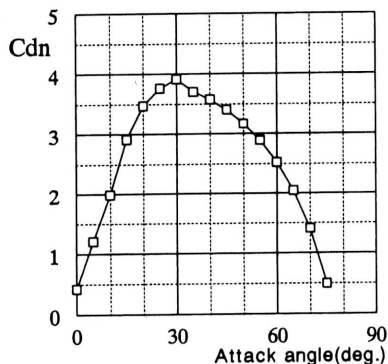


Fig. 11 Estimated Cdn vs attack angle

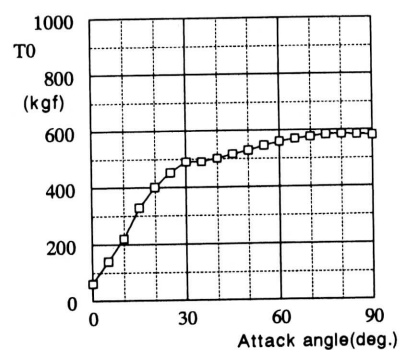


Fig. 12 Tension vs estimated attack angle

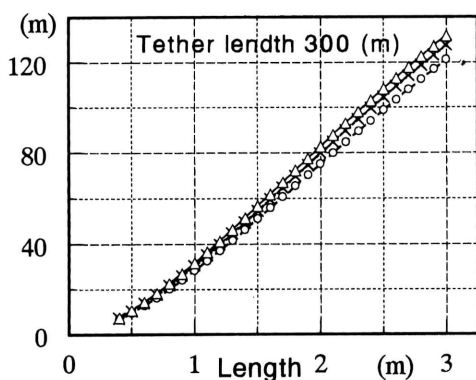


Fig. 13 Depth (Concorde type)

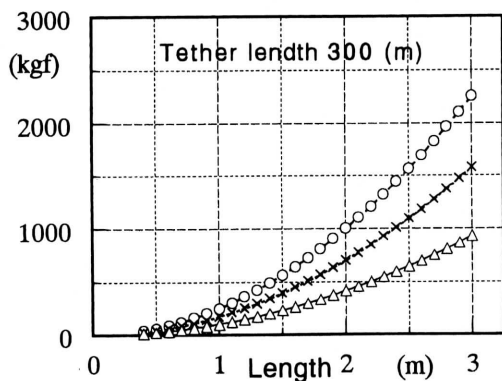


Fig. 14 Tension (Concorde type)

6, 8, 10 kt の場合についてシミュレートした. 例として昨年度の実海域試験の記録と比較してみた. 実機は星野型で長さ1.36 m. 索長差, 速度差を補間すると7.2 kt では深度は59.8 m. 索張力は速度比で案分すると440 kgf となり良く一致した. コンコルド型の結果を Fig. 13, 14に示す.

本年度の実海域試験用としてコンコルド型曳航体を試作した. 曳航索は既存の索径0.008 m の物を用い, 索長300

m, 曳航速度 8 kt で曳航体深度70 m を目標にした. 資料より機体長は1.8 m, 機体幅0.75 m, 重量は31 kg, 予想曳航索張力は650 kgf となった. 曳航索の破断強度は2.9 ton であるので, 安全率は4.5となる. 曳航体の動安定性を考慮した曳航索の取付点は前縁より0.6 L の点になった. 調整用重量は 6 kg. 垂直尾翼の面積は0.055 m² とした.

実海域試験は1995年6月に行われ, 曳航速度7.2 kt, 平均深度67 m, 平均索張力610 kgf という結果を得た.

8. ま と め

一定船速で航行中の船より, 既定長の曳航索を用いて所定深度の水温を計測する為の水中曳航体の簡易な設計法を以下の様にして開発する事ができた.

曳航体を曳航した時の曳航索の形状と索張力を求める計算式を導き, 曳航体試作機について回流水槽における流体力特性試験, 安定性試験と実海域試験を行い, 曳航索に関わる不確かさを集約した曳航索の抗力係数, 索取付点を求めた. 以上の資料から設計用チャートを作成し, これに基づいて更に試作機を製作し実海域試験を行い本設計法が有効な事を検証した.

本研究の動機付けと貴重な実海域試験データを提供された海洋システム (株) 星野久雄氏と (株) 鶴見精機の関本道夫氏に謝意を表します. (1995年9月7日受理)

参 考 文 献

- 1) Berteaux, H.O.: Buoy Engineering, J. Wiley & Sons, 1976.
- 2) 加藤寛一郎, 大屋昭男, 柄沢研治: 航空機力学入門, 東京大学出版会, 1985.
- 3) 伊藤利朗, 小村宏次: 風の科学, 小学館創造選書, 1980.
- 4) 伊藤利朗, 小村宏次: 風の力学, 数理科学, 204, 205, 206, 207, 1980.