

## 7. 曳航式海洋観測システムの設計について\*

江村 富男、佐々木 建、宗山 敬、辻 義人、野本 昌夫

海洋観測を能率よく実施するために、鉛直な面内を昇降する曳航体による海洋観測システムを設計した。設計にさいして指摘された重要な課題は、①本システムをどのような観測に使用するのが適当であるかを検討すること、②曳航体の昇降振幅をなるべく大きくすること、③曳航体の昇降に要する時間を推定すること、などである。本研究においては、曳航体および曳航索の運動につき、定常状態と非定常状態にわけて具体的な計算を行い、また曳航体の模型試験によりその運動特性に関するデータを収集しそれにより前記計算の精度を高めることができた。これらの結果にもとづき、曳航体に要求される性能が実現可能であることをほぼ確認したうえで、曳航体の諸元および細部構造を決定し、設計を実施した。

### A Note on the Design of a Towed Undulating Vehicle for Oceanographic Measurement

Tomio EMURA<sup>\*3</sup>, Ken SASAKI<sup>\*3</sup>, Kei MUNAYAMA<sup>\*3</sup>, Yoshito TSUJI<sup>\*3</sup>,

Masao NOMOTO<sup>\*3</sup>

In the design of a towed vehicle measuring oceanographic data, we have to consider several requirements, some of which are as follows: (a) to point out the type of the observation in which a towed vehicle is expected to prove effective, (b) to make as large as possible the range of depth to be covered without changing the length of the towing cable, and (c) to estimate the period of the undulating motion with a given towing velocity and a given range of the vertical motion of the vehicle. The present note contains a short discussion on these points and a few others.

#### 1. ま え が き

本研究は、海中における各種物理量の空間的分布を迅速に測定する手段として、曳航式海洋観測システムの開発に必要な資料を得ることを目的としている。計測対象は、重要性および一般性を考慮して、第1次的には塩分、水温、深度とした。本研究の実施にあたり下記の方々より各方面にわたる貴重なご助言を頂いたので、ここに厚く感謝する

吉田 耕造 東京大学理学部教授

寺本 俊彦 東京大学海洋研究所教授

東 昭 東京大学宇宙航空研究所教授

井内 松三郎 同上 助手

本間 琢也 電子技術総合研究所室長

柏木 寛 同上

宇野木 早苗 理化学研究所主任研究員

#### 2. 研究の概要

海中で使用する曳航体の実例については、たとえばConti et al (1971) Katz and Nowak (1973) Dessureault (1976) などが発表している。

\*1 本研究は、科学技術庁研究調整局から委託を受けた「曳航式海洋観測システムの開発に関する試験研究」の一環として実施したものである。

\*2 海洋保全技術部

\*3 Marine Conservation Technology Department

我々は、海洋観測に使用する目的で、すぐれた安定性と昇降運動能力とを有する曳航体の開発に着手した。曳航体の設計にさいしては、各種形状の曳航体の海中における運動を予測する手法を段階的に整備することに力を注いだ。この目的にとって、曳航体と曳航索の力学に関する理論を応用し、曳航体モデルによる流体力学的特性試験のデータを利用して、計算機シミュレーションを実施するのが有効であることがわかった。その方法および結果については別に報告する。

一方、本曳航体に搭載する海洋観測用センサーの開発は、国立防災科学技術センター平塚支所が担当しており、同所の研究担当者とは設計に関する多くの事項につき緊密な協議を行った。

本研究所は昭和49年度より開始され初年度は下記の項目につき研究を実施した。

- (1) 全体システムの検討
- (2) 曳航体の運動解析
- (3) 模型試験
- (4) 制御系および曳航体の設計

なお上記(2)の一部、(3)のうち風洞試験、そして(4)の主要な部分は、三菱重工(株)長崎造船所に発注された。

### 3. システムに対する要求事項

一般的な要求としては、①運用が容易であること、②海洋観測能率の向上に寄与できること、③得られるデータの質がすぐれていること、④高価すぎないこと、⑤運用経費が少ないこと、などを重視する。

そして、より具体的には、⑥索長を変えずに、計測深度を迅速に変えられること、⑦長時間連続曳航が可能であること、⑧計測データなどをリアルタイムでモニターできること、⑨特殊なウインチを要しないこと、⑩操船はなるべく容易であること、⑪計測用センサーとしては使用条件によく適合するものを選定すること、などを要求した。

### 4. 曳航体の概略仕様

上記要求条件を考慮し、かつ諸外国で発表された曳航体の要目を参考にしつつ、研究の出発点として下記の仕様を設定した。なお本曳航体は、浅深度において水平スケールの小さい混合現象を調査できるように、昇降運動の波長として短かい目標を設定している。

- (1) 使用深度：0～200m

- (2) 曳航速度：4～10ノット
- (3) 曳航索：外径7.6mm、導線数7本、重量0.2kg/m
- (4) 運動性能
  - ①4ノットで曳航して、深度200mまで沈降できること。
  - ②曳航速度が10ノットであっても、索長等を適当に選べば安定に曳航でできること。
  - ③4ノットで曳航して、海面付近より深度30mまでを往復するのに要する曳航距離は180mであること。
  - ④4ノットで曳航して、深度170m～200m間を往復するのに要する曳航距離は1000m以下であること。
- (5) 使用条件：シーステイト2において数時間連続使用する。
- (6) 重量：空中で100kg以下、浮力数kg。
- (7) 寸法：全長2m以下、巾1.5m以下

### 5. システムの基本的構成

曳航索は、船上よりの電力伝送、船上よりの運動制御指令伝送、および曳航体内計測センサーよりのデータ伝送とに用いられる。運動中の曳航体の迎角は、水平尾翼につけた昇降舵により制御され、下向き揚力によって下降速度が与えられ、浮力によって上昇速度が与えられる。昇降舵の駆動は電動油圧源とサーボバルブにより行われ、昇降舵角は船上の操作盤において時間のステップ関数として指定される。計測データの処理機能については、ここでは触れない。

### 6. 曳行体の運動の特徴について

曳航体が海洋観測にとって意義を有するのは、曳航索の長さを一定として曳航体の揚力を調整するとにより深度を変更できるからである。曳航体の揚力と定常状態深度の関係を概算するには表1によるのが便利である。

表1の数値は、定常状態における曳航索曲線を支配する方程式(無次元化されたもの)

$$T \frac{d\varphi}{ds} = -C |\sin\varphi| \sin\varphi + \cos\varphi$$

$$\frac{dT}{ds} = \sin\varphi, \quad C = C_D d \rho V^2 / (2wg)$$

を数値的に解いて得たものである(ただし、表を簡単化するために、表皮摩擦の効果は無視した)、こ

ここで用いられる記号の定義は下記のとおりである。

- $\varphi$  : 索の傾斜角 (索の先端から見て水平方向をゼロとし、鉛直上向きを $\pi/2$ とする)
- T : 索の張力
- S : 索の先端よりの長さ
- $C_D$  : 索の抵抗係数
- d : 索の直径
- w : 単位長さの索の水中重量
- g : 重力の加速度 ( $9.8\text{m}/\text{S}^2$ )
- $\rho$  : 海水の密度 ( $1,024\text{kg}/\text{m}^3$ )
- U : 曳航速度

また表1における記号の定義は下記のとおりである。

- C :  $C_D d \rho U^2 / (2wg)$
- $d_1$  : 鉛直下向きの力による深度変化
- $d_2$  : 鉛直上向きの力による深度変化
- $\varphi_*$  : 1 《Sにおける $\varphi$ の漸近値》
- $S_1$  :  $\varphi = 1.05\varphi_*$ となるSの値
- $S_2$  :  $\varphi = 0.95\varphi_*$ となるSの値

たとえば本システムで使用する索については、 $C_D = 1.0$ 、 $d = 0.008\text{m}$ 、 $w = 0.15\text{kg}/\text{m}$ であるから、 $U = 2\text{m}/\text{S}$ とすれば $C = 11.1$ である。 $F = 45\text{kg}$ とすれば長さの単位 $F/W$ は $300\text{m}$ となり、表1より深度変化の概略値として $d_1 = 33\text{m}$  (下向き)、 $d_2 = 93\text{m}$  (上向きとする)を得る。

定常状態の曳航索曲線の計算により導かれた重要な結論は曳航体は上向き $\alpha$ の力により索を引き上げることが必要である、つまり曳航体と曳航索の結合

**表1 曳航索先端の深度変化**

Change of the towing depth due to the vertical force applied at the end of the towing cable

c	$d_1$	$d_2$	$\varphi_*$	$S_1$	$S_2$
4.0	0.19	-0.63	0.49	1.25	1.30
8.0	0.14	-0.43	0.35	0.80	0.95
12.0	0.11	-0.31	0.29	0.63	0.87
16.0	0.09	-0.25	0.25	0.50	0.75
24.0	0.074	-0.18	0.20	0.45	0.60
32.0	0.055	-0.19	0.18	0.35	0.55

注)  $d_1, d_2, s_1, s_2$ の単位は、 $F/W$ 、Fは索の先端における鉛直力の大きさであり、Fの単位はkgである。

d, d, s, s : unit in F/W

F : Magnitude of Vertical force at the end of towing wire in Kg.



**図1 曳航体の外観**

A View of the towed vehicle

にはブライドル (図1参照) を用いなければならないことである。その理由は、①ブライドルがないと曳航体は海面付近を昇降できないこと、および②ブライドルがあり、曳航体が上下両方向の力を出し得れば昇降可能深度範囲が著しく増大することである。

つぎに海面付近の観測においては、海況の水平的変化が大きい場合があり、曳航体は短周期で反復昇降し得ることが望ましいので、沿岸現象の水平スケールのオーダーを考慮して 4. (4) ③の条件を設定した。この条件が実現可能であることを確認し、曳航索や曳航体の置かれる条件を推定するために、それらの運動を計算機シミュレーションにより解析することが必要であった。シミュレーション実施には各種の準備と複雑な作業を要するため、昭和49年度には索と曳航体がひとつの鉛直面内を運動する場合についてのみ実施し、必要な情報を得た。その方法および結果については別の報告「曳航体および曳航学の力学について」に記載する。なお、曳航体のローリングやヨーイングを含むシミュレーションは今後に残された重要な研究課題である。

最後に曳航式海洋観測システムの長所を活かせると思われる利用法につき説明する。浅深度の海域 (およそ50m以浅) においては、船速を変えずに敏速にセンサーの深度を変え得る本システムは他の方法と比較して非常に有利である。深度200m前後の海域においては、観測の対象となる面積が広いので昇降運動の敏速さは必要とせず、むしろ昇降振幅の大きさが要求される。この場合本システムにとって不利な点は、定常曳航で到達可能な深度が索長よりはるかに少ないことである。したがって曳航体の揚力と曳航速度の変化とをあわせて利用することにより、なるべく短い索長で深度200m付近より海面まで一気に観測し得ることが望ましい。これは将来の目標

であるが、実験と改良の積み重ねにより実現し得るものと予想される。

なお、図1は49年度に設計され50年度に試作された曳航体の外観を示す。

#### 参 照 文 献

- 1) Conti, U. et al. "Towed Vehicle for Constant Depth and Bottom Contouring Operations" Offshore Technology Conference, Houston, 1971- 04, OTC, 2.P 385- 392.
- 2) Dessureault, J. G. "Batfish, A Depth Controllable Towed Body for Collecting Oceanographic Data", Ocean Eng, 3 (2), P 99- 111, (1976)
- 3) Katz, E. J. , Nowak, R. T. "A Towing System for a Sensing Package: Experiences and Plans" J. Mar. Res., 31 (1) , P 63- 76 , (1973)