

浮体型曳航器の試作とテスト

TIRIAL PRODUCTION OF FLOAT TYPE TOWED VEHICLES

入江光輝¹・石川忠晴²

Mitsuteru IRIE, Tadaharu ISHIKAWA

¹正会員 博(工) CREST研究員 独立行政法人科学技術振興機構(〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

²フェロー 工博 教授 東京工業大学大学院総合理工学研究科(〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259)

Float type towed vehicle is required for the field measurement of surface water quality distribution, especially in bay, estuary and other shallow stratified water body. The authors developed a new float type towed vehicle with a fin for submerging the body while running. The submerged body makes few bubbles which disturbs optical measurement; turbidity, chlorophyll, etc.

This paper represents the specification of this vehicle, characteristics of submergence and the comparison with the existent sinking type vehicle. The settings of fin angle, towing angle, length of towing rope and towing velocity define the submerging depth. The relationship between the velocity and the depth in some cases are clarified. Suitable settings for the measurement in required depth can be defined from it. This towing vehicle is more stable in constant depth than the existent vehicle.

Key Words : Towed vehicle, Surface water quality distribution, stratified water body

1. はじめに

河川流入のある内湾や河川感潮域では、塩淡水混合過程において数十センチから数メートルの深さで密度成層が生じ、水理環境に影響を及ぼす。例えば内湾では、流入淡水が成層化したまま浮遊し、養殖漁業等に被害を与えることがある。工藤¹⁾らは船底に濁度計と塩分水温計を取り付けた船で湾内を走行して表層水質の広域観測を行い、衛星データと合わせて淡水塊の挙動の把握を試みている。このような成層化した水域での表層水の挙動を把握するためには、表層水質の広域観測を行うことが有効となる。

広域水質観測を行う場合、二通りの方法が考えられる。一つは工藤らが行ったように計測器を船体に取り付けて走行する方法である。ただしこの場合、船体やスクリーから発生する細かな気泡が、光学計測される水質項目(濁度、クロロフィル)などに誤差を与える可能性が高い。また、船の形状によっては取り付けに手間がかかったり、また、高波浪時には船の揺動によって計測深が不安定になるといった問題がある。

いまひとつは水質計測器を船体から離して曳航する方法である。中津川ら²⁾は曳航式水質計を使用して停滞水域のクロロフィル分布を計測している。また、斎藤ら³⁾は海上で市販の曳航型CTDの観測性能を評価している。

しかし、これらの曳航器は水中重量を有する潜水型であり、水質が全層一様に近い水域や大深度の外海域を観測対象としているので、超浅海域で何らかの理由で船を減速・停止すると測定器が水底に当たってしまう恐れがある。また、曳航中に牽引ロープやワイヤーが不意に切れた場合、曳航器は降下し、計測器を失うというリスクもある。

上記の問題を解決するには浮体型の曳航器が有利である。ただし、単に浮体を曳航しただけでは船体同様に浮体から細かな気泡が発生し、光学計測項目の誤差の原因となる。そこで、筆者らは浮体下部にフィンを取り付け、走行時にはフィンのもたらす下向き揚力により水面下に潜り込むようにし、表層近くで計測器を安定させて水質観測を行える浮体型曳航器を作成した。本研究ではこの浮体型曳航器の特性・性能を評価するとともに、既存の曳航式水質計との比較を行っている。

2. 曳航器の概要

図-1に浮体型曳航器の概略図を示す。浮体は市販されている漁業用のブイ(ビニコンA型; 気泡材研究所社製)をアルミ材で組んだ骨組みに細いロープで4つ結んであ

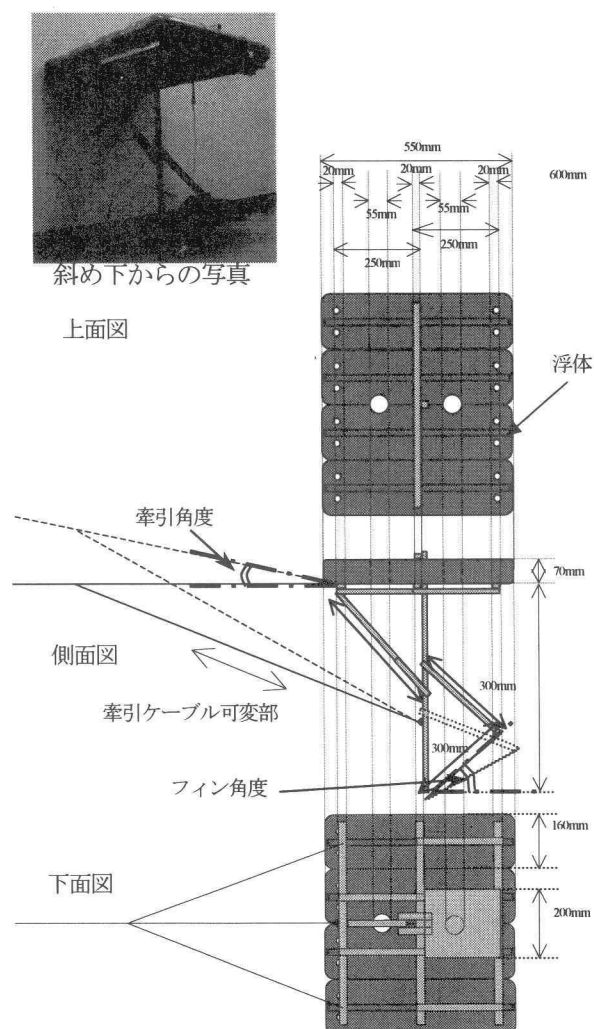


図-1 浮体型曳航器の概略図と写真

る。骨組みの下部に30cm×20cmのフィンがついており、フィンの角度は支脚の固定位置で調節できるようになっている。

牽引ケーブルと曳航器は浮体直下の左右と中央に3点、フィンを支える支柱に1点の計4点で結合している。上部のケーブル長は変えられないが、下部支柱につけられたケーブルは長さを変えられるようになっており、これらケーブル長のバランスで牽引時の曳航器の水中での角度を決められる。また、浮体の中央部には55mmの穴が2か所開けてあり、水質計測器を差し込んで取り付けることができる。

この曳航器を図-2に示すようにして取り付ける。牽引ロープ(もしくはワイヤー)の端は船首に結び、船の胴から張り出したバーにロープを引っ掛け、艫の横付近に浮体が来るようにロープ長を調節する。

曳航器の潜航深を調節するパラメーターは(i)フィン角度、(ii)牽引角度、(iii)支点(胴から出したバーの先)から曳航器までのロープ長、(iv)水面から支点までの高さ、(v)船速 となる。これらを適当に調節し、理想的には写真-1に示すような状態にする。

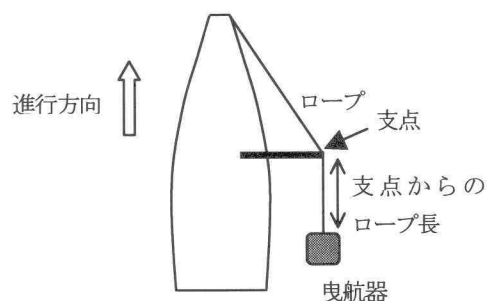


図-2 浮体型曳航器の船体への取り付け



写真-1 理想的な潜航状態

: 船首側から艫方向に曳航器を見た様子
浮体からは気泡は生じず、表層付近を走行しながらフィン及び浮体によって作られた水流で後方に波が立つ

3. 曳航実験

前述したように、本研究で紹介する浮体型曳航器はいくつかのパラメーターにより潜航深が決定される。ここでは水面から支点までの高さを40cmに固定し、他のパラメーターを変えて曳航実験を行った。

実験は熊本県白川河口域において2003年8月27日に行った。当日はほぼ無風の風であった。表-1に実験条件を示す。

曳航器には、水位計(COMPACT-WH:アレック電子社製)のほかにクロロフィル濁度計(COMPACT-CKU:アレック電子社製)を浮体に開けた穴から下向きに取り付け、各項目を1秒間隔で連続観測した。また、既存の測定器との比較のために、潜水型曳航式水質計(ACL2180-TPM:アレック電子社製)を同時に曳航した。ACL2180は円筒形の本体にウィングを着装して曳航時の安定性を高めた水質計で、潜航深度と濁度を1秒間隔で測定した。

船速は船長に依頼して段階的に低速⇒中速⇒高速⇒中速⇒低速と変えていった。船速はDGPS(Trimble社製)により計測した。

表-1 曳航実験の条件

	牽引角	フィン角度	支点からのロープ長
case1	0°	35°	3m
case2	0°	40°	3m
case3	0°	25°	3m
case4	30°	25°	3m
case5	30°	35°	3m
case6	30°	40°	3m
case7	-30°	40°	3m
case8	45°	40°	3m
case9	45°	40°	7m

4. 浮体型曳航器の潜航特性

(1) 曳航条件による曳航体の水中での姿勢

case 1～9の船速と潜航深度の時系列を図-4に示す。牽引角とフィン角度の定義は図-1に示したものに準じる。水面からの支点の高さはいずれも40cmある。また、図-5にcase 1～9の船速と潜航深の関係を示す。多くのcaseでは船速の増加とともにフィンによる下向き揚力が強くなり、潜航深は増加する。

case 1, 3, 7について、浮体は安定して潜航せず、船速が上がると浮体に取り付けられた水位計が水面上に出た。これらのcaseでは、曳航器が図-6の左下に示すように進行方向に対して上を向いてしまう(case 1～3は牽引角0°としているが、これは浮体に対する角度であり、実際に水中にある場合、牽引ロープをつないだ支点が水面より上にあるために浮体はやや上を向くことになる)ために上向きの揚力が働いて浮きやすくなる。したがって、実際の観測では牽引ケーブル可変部長を調節して水中で浮体が上向きにならないように注意する必要がある。Case 2では浮体はやや上向きであるが、フィン角度が大きいため下向き揚力が勝り、わずかに潜航している。

一方、その他のケースでは浮体はやや下を向くため、フィンに加えて浮体自身も下向き揚力を生んでいる。この下向き揚力と、浮体の浮力と牽引力の上向き成分がバランスするところで曳航器は安定することとなる。

case 6とcase 8を比較すると、フィン角度、ロープ長は同じだが、case 8では牽引角がより大きく、曳航器の水中での姿勢がより下向きになる。そのため、船速の増加に対する潜航深増加の傾きが若干大きくなる。

また、case 9は、case 8と牽引角・フィン角度は同じで、水中での曳航器の姿勢は同じになっているものと思われるが、ロープが長い分だけより深く潜航している。

case 4は浮体はやや下向きで、フィンの角度は比較的小さいので、船速が増加しても潜航深の増加は小さくなく、50cm以下を保っている。本曳航器は浅層で密度成層している水域を観測対象としているため、case 4のような潜航特性であることが望ましい。

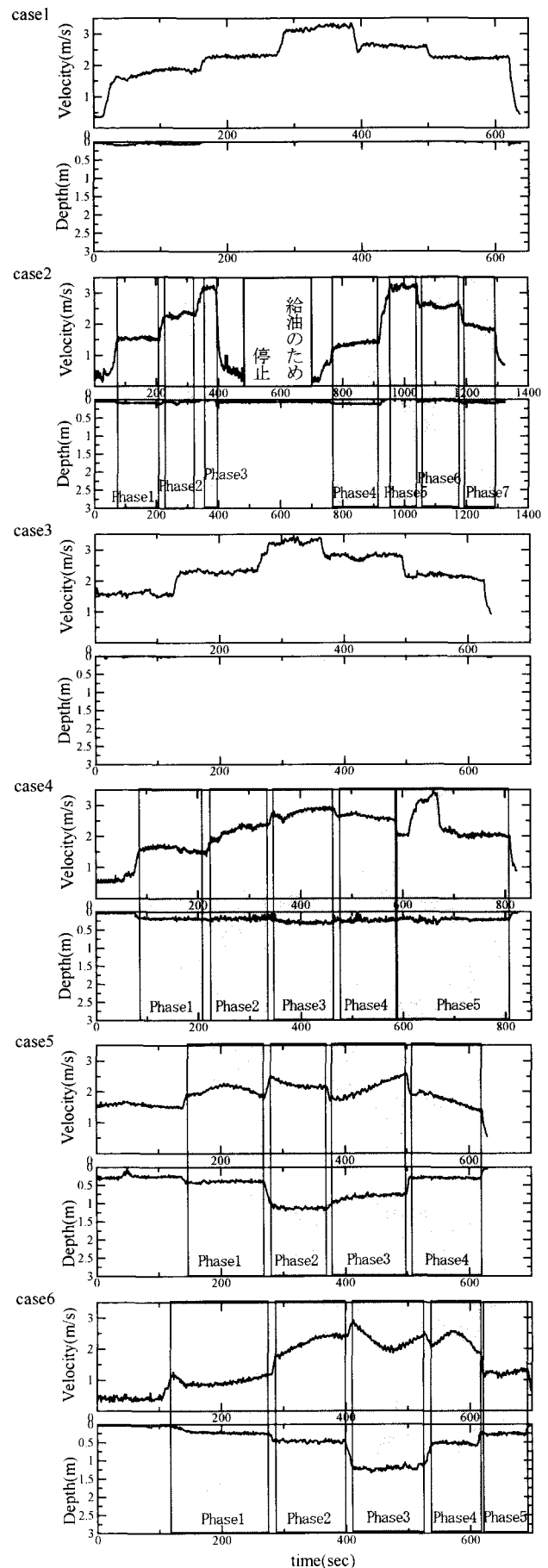


図-4-a 船速と潜航深の時系列case 1～6

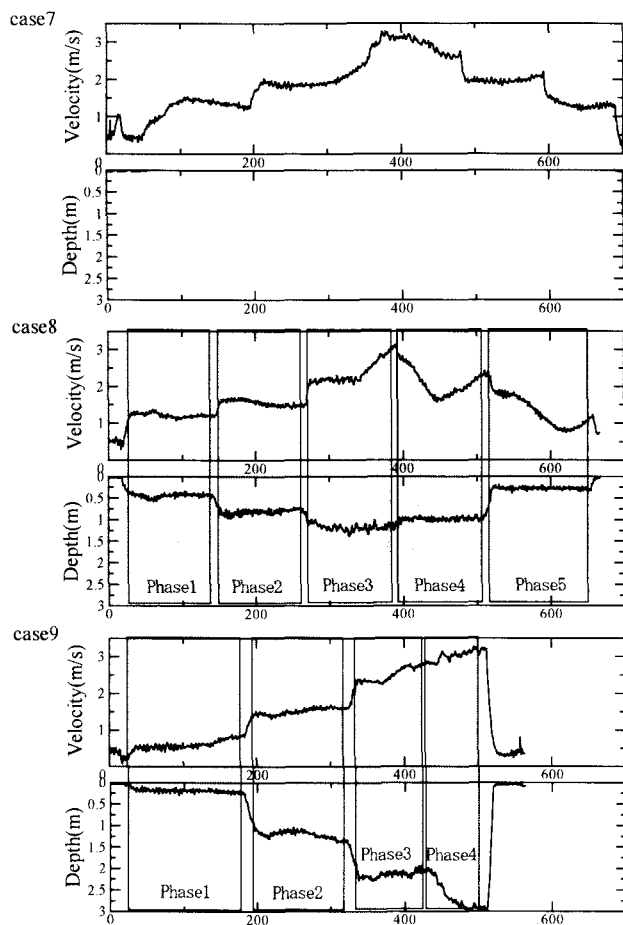


図-4-b 船速と潜航深の時系列case 7～9

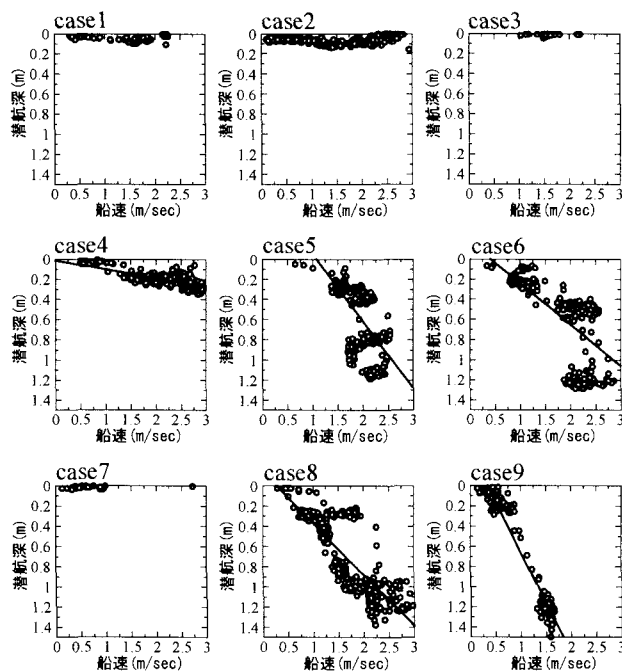


図-5 船速と潜航深の相関(case 1～9)

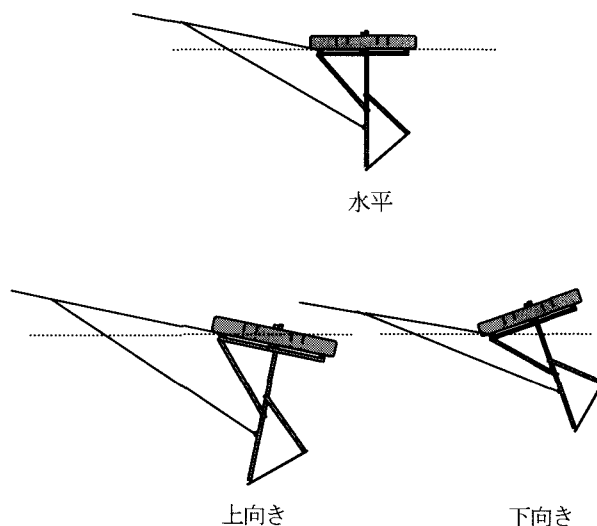


図-6 浮体の姿勢パターン

上段：水平 フィンによる下向き揚力のみ
下段左：仰角 浮体により上向き揚力が加わる
下段右：俯角 浮体による下向き揚力が加わる

(2) 曳航条件と潜航特性の関係について

前述したように、今回の実験では各caseごとに船速を意図的に3段階に変化させた。船速の時系列を見ると、そうした段階的な速度変化以外に、緩やかな速度変化が随所に見られる。これらは水上の障害物(海苔棚、生簀、大型観光船航路等)をよけるために緩やかに加減速したり、風向きの変化等で不意に速度変化したもので、実際の観測中にもしばしば起こりうることである。潜航深の時系列は段階的な速度変化に対しては鋭敏に反応しているが、その後、緩やかに船速が変化しても潜航深の変化はほとんどない。すなわち、浮体型曳航器のメリットの一つとして、観測前に曳航条件を設定し、初期基準船速を決定すれば、観測中に船速が緩やかに変化しても一定の潜航深を保つことが挙げられる。

また、観測時に希望の潜航深となるように曳航条件と基準船速を設定するためには、事前にこれらの関係を把握しておく必要がある。ここでは図-4に示すようにcase 2, 4, 5, 6, 8, 9について各船速段階でphase 1～5に分け、各phase毎に変化直後の船速と平均潜航深の関係を調べた。図-7にその結果を示す。このとき、加速時(フィン揚力による浮体降下過程)と減速時(浮体浮上過程)では潜航深の変化特性が異なると考えられたので、加速過程は黒塗り、減速過程は白抜きで区別して示している。実験ケース数が十分ではないので、確定的なことは言い難いが、加速過程と減速過程で潜航特性の異なっているcaseもある。

実際の観測では停船状態から加速して基準船速に達すると思われるので加速過程に注目し、図-6中黒塗りの点のみを抽出し、最小二乗法により基準船速と潜航深の関

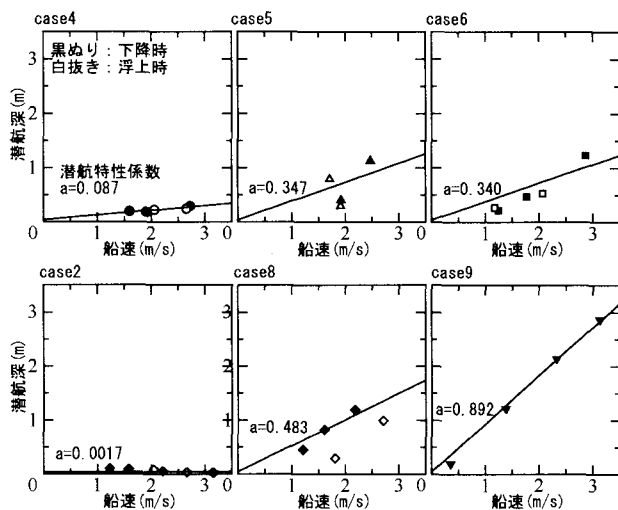


図-7 各phaseの基準船速と平均潜航深の関係
(潜航特性係数の同定)

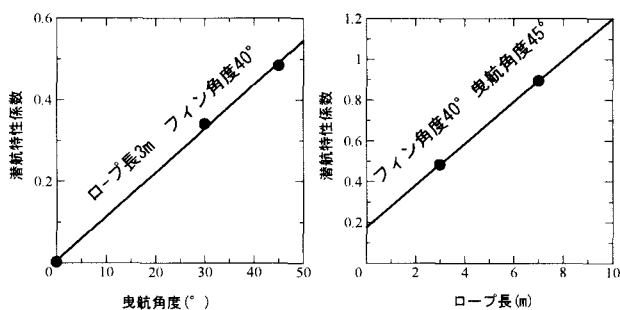
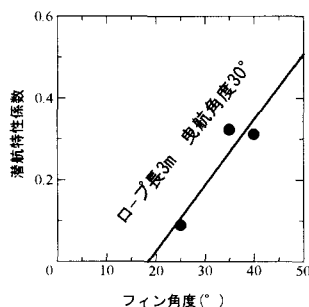


図-8 曳航条件と潜航特性係数の関係

上段 フィン角度による特性変化(case 4, 5, 6)

下段左 曳航角による特性変化(case 2, 6, 8)

下段右 ロープ長による特性変化(case 8, 9)

係を求めた。ここではその傾きを潜航特性係数と呼ぶこととする。図-8に各曳航条件と潜航特性係数の関係について示す。これらの図はフィン角度と曳航角とロープ長をそれぞれ横軸としており、それ以外の曳航条件が等しいcaseについてプロットしてある。

今回の実験では時間の関係で十分な実験ケース数が行えず、曳航条件項目を変数として特性係数を定式化するには至っていない。しかし、曳航条件を決める際におおよその目安はこれによって得ることができる。特に本曳航器は水深1m以内の浅層を測定対象として開発しているので、具体的には潜航特性係数が0.1程度となるよ

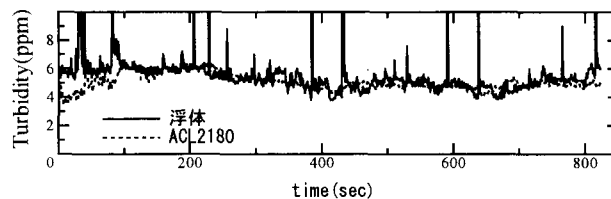


図-9 濁度観測結果の一例(case 4)

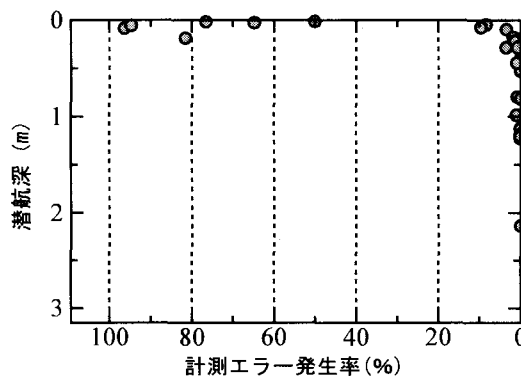


図-10 潜航深と濁度計測エラー発生率の関係

うに曳航条件を設定することはこれから十分可能である。

(3) 濁度計測のエラー発生率と潜航深度について

はじめに述べたように、曳航器による表層付近の水質観測の問題点の一つは、船体および曳航器自身から発生する気泡である。気泡が測定器感部に混入すると、特に光学測定する水質項目(濁度、クロロフィル等)の測定エラーが生じやすくなる。ここでは濁度の測定値について測定エラーの発生率を調べた。ただし、船体から発生する気泡の量は船体の大きさ、形状、船速等によって変わるので、ここでは本実験の曳航船条件(全長10m程度の平均的な漁船に図-2のような取り付け方で船速3m/s程度で走行した場合)での一例として示す。

図-9に濁度計測結果の一例としてcase 4の濁度時系列を示す。図中、実線で示したのが浮体型曳航器による計測結果、点線が潜水型曳航式水質計による計測結果である。潜水型水質計の方は水深2~4mを潜航しており、両者の計測深度は異なるが、実験水域は濁度に関して全層一様に近い状態で、浮体型曳航器による計測結果は浅水型水質計のものにほぼ等しい。ただし、時折、気泡混入によるものと思われる異常値ピークが見られる。

一方で船体回りの気泡は、水面に近いほど多く存在する。したがって、曳航器の潜航深が浅すぎると気泡の影響を受けやすくなる。そこで、図-4の各phaseごとに、平均潜航深と濁度計測のエラー発生率の関係を調べた。ただし、ここでは各phaseごとに濁度の平均値を出し、平均値から2ppm以上離れた場合をエラーとして取扱っている。

図-10にその関係を示す。潜航深が20cm以下の時には計測エラーの発生率が高いが、20cm以深に潜るとエラー発生率は2%以下となる。したがって、実際の観測では20cm以深を潜航するようにしたほうが良いと思われる。

4. 既存の曳航器との潜航安定性比較

実験時には既存の潜水型曳航式水質計ACL2180を同時に曳航した。ここではこれと浮体型曳航器との曳航時の水中での安定性を比較する。ACL2180の測定深度は基本的に吊り下げロープの長さで船速によって決められる。本研究では2ケースについて曳航試験を行った。表-2に表-1の実験ケースに対応させてACL2180の実験条件を示す。また、図-11には船速と潜航深の関係を図-11より、吊り下げロープの長さを変えれば潜航深を変えられることがわかる。しかし、ロープ長を短くしても図中の傾きはわずかに変化せず、図-5の浮体型の場合と比較すると(図-11は図-5と比較できる縦軸・横軸の比となっている)速度変化に対する潜航深の変化の傾きは依然として大きい。すなわち浮体型曳航器の方が潜水型よりも船速変化に対する潜航深度の安定性が高いといえる。

また、浮体型曳航器では緩やかに船速が変化した場合には潜航深はほとんど変化しないが、既存の潜水型水質計は船速変化に鋭敏に反応する。例えば水上の障害物をよけるために減速しただけで潜航深は大きく変動する。

このように、本研究で対象としている表層付近の水質を連続計測する上では、既存の潜水型曳航式水質計よりも浮体型曳航器による計測の方が適していると言える。

5. おわりに

本研究では河川流入のある内湾など、表層付近で密度成層している水域で表層水質分布を観測することを目的とした浮体型曳航器を開発した。この曳航器は下部に取り付けられたフィンにより表層付近で潜航し、浮体からの気泡発生を防ぐ。また、浮体型であるので、牽引ロープが切れた場合にも計測器を失うことがない。

潜航深はフィンの角度、牽引角、ロープ長、船速に依存し、初期にそれらをバランスよく設定すれば対象の水深域を安定して観測することができる。本研究では実験ケースが不十分であったため、それらのパラメータと潜航特性の関係について定式化するまでには至っていない。しかし、実用に際して適当な曳航条件を設定するためのある程度の目安は示すことができた。

今後は実験ケースを増やし、曳航条件パラメータと潜

航深の関係を定式化し、さらに、水質項目の測定精度に関する評価もより詳細に行いたいと考えている。

表-2 ACL2180の実験条件

	ロープ長(水面から船上 ロープ固定点まで0.4m)
case1	4.6m
case2	4.6m
case3	4.6m
case4	4.6m
case5	4.6m
case6	4.6m
case7	2.1m
case8	2.1m
case9	2.1m

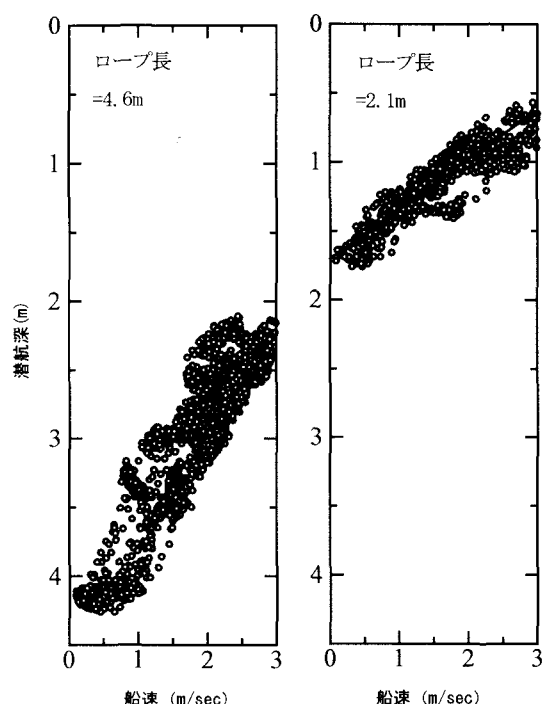


図-11 船速とACL2180の潜航深の関係

左：ロープ長4.6m

右：ロープ長2.1m

参考文献

- 1) 工藤健太郎, 高坂香那, 田中總太郎, 石川忠晴: 北上川融雪出水の追波湾における挙動について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.361-365, 2002.
- 2) 中津川誠: 長大な停滞水域における富栄養化状態について, 第9回世界湖沼会議発表論文集, Session3-1, pp305-408, 2001.
- 3) 斎藤誠一ら: 曳航型CTDによる北海道南海域における対馬暖流モニタリングI, 海洋学会秋季大会要項集, 2002.

(2003. 9. 30受付)