

|      |     |         |
|------|-----|---------|
| 京都大学 | 学生員 | ○長坂豪士   |
| 京都大学 | 正会員 | 山上路生    |
| 京都大学 | 学生員 | 金子泰洗ポール |
| 京都大学 | 正会員 | 戸田圭一    |
| 京都市  | 正会員 | 今井貴大    |

### 1. はじめに

河川の定期的な流量観測は高度な河川整備計画や治水事業を進めるにあたって必要不可欠である。昨今異常気象によって日本各地で大型の洪水や都市内での洪水などが数多く発生しており、それらの被害を最小限に留めるために正確なダム操作が求められる。したがって河川流量の状況をリアルタイムで観測することは極めて重要である。川幅が狭く急勾配河川が多い我が国では水位や流量の増減が短時間で発生するため、流量観測は迅速に行われなければならない。

実河川の流速観測においては浮子法が最も普及しているが、浮子が必ずしも主流に追随しないことや計測の主観性が排除できないという課題がある。一方、近年注目されている流量観測の手法として、ADCPを曳航式浮体に取り付けて水深方向の流速プロファイルを得るもの、ビデオ撮影によるPIVで表面流速を得るもの、水面に電波を発射してその散乱から表面流速を得る電波流速計によるものなどがある。これらは浮子法に代わる可能性をもつ手法であるが、それぞれ欠点も有する。例えば、ADCPは橋脚に曳航船体を繋ぎとめるため、観測可能場所が橋脚周りに制限される。PIV法と電波流速計による方法は、計測するのが表面流速のため風波の影響を受ける。

ところで、水中で自律移動するロボットはAUV(Autonomous Underwater Vehicle)と呼ばれ、海底の鉱石分布の探査やダム湖の管理に活躍している。例えば東京大学生産研究所のTri-TONは、海底に置かれたステーションとの相互位置の測定や海底のモザイク写真の作成により、自己の位置を把握して自律行動をすることが出来る。このTri-TONは2012年に鹿児島の大噴出孔の海底を調査し、200平方メートルの地形情報を取得している。

このような背景をもとに、著者ら<sup>1)</sup>は洪水時の流量観測を目的とした自律制御ロボットを開発している。本研究はさらなる高速流に対応すべく機体形状を改良した。

### 2. 浮体ロボット概要

ロボットを用いた流速計測の原理はシンプルである。浮体ロボットは水流において静止するような制御プログラムが組み込まれる。静止状態をキープするために必要な推進力から流速を評価できる。あらかじめ実験室内でロボットのスクリュー回転数と流速との関係(校正曲線)を得ておけば、スクリュー回転数から流速を算出することが可能である。計測手順は以下の通りである。

- 1) 計測ポイントの座標を入力。
- 2) あらかじめ設置した基準位置からの測位により、ロボットが位置情報を取得。
- 3) 計測ポイントに向かって自律移動。
- 4) 計測ポイントに到着したら、一定時間静止するよう自動制御。
- 5) 静止時のスクリュー回転数から平均流速算出。

### 3. 浮体ロボット概観

写真-1は試作機(タイプRX-02)の概観である。制御系とシャーシ及び各種センサーはレゴ社製のマインドストームEV3のパーツで組み上げた。

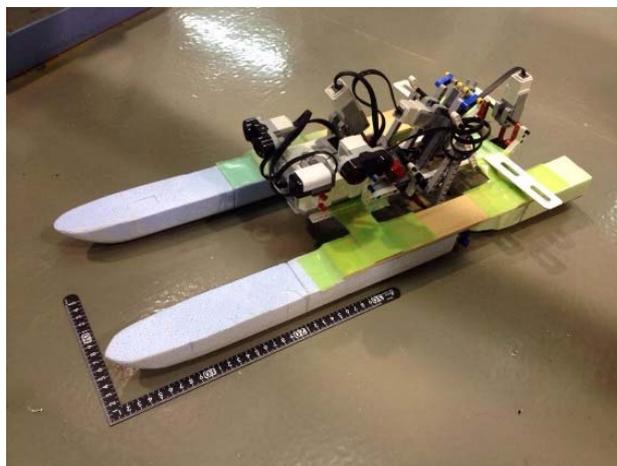


写真-1 浮体ロボット概観 (タイプRX-02)

本実験では位置情報の取得手段として超音波センサーを用いた。実験水路に基準面となる平板を設置し、これに超音波を発信することで2次元的に位置座標を得ることが出来る。

#### 4. 制御アルゴリズム

駆動モータのフィードバック制御としてPID法(Proportional / Integral / Derivative Control)を用いた。これは目標値と出力値の偏差に対応して入力値を決定する比例操作、出力値のオフセットを修正する積分操作及び外乱発生時に速やかに出力値を目標値に近づける微分操作から構成される。超音波センサーによる時々刻々の位置座標 $X_n$ をフィードバックさせて、 $n$ 時刻における入力値 $P_n$ 次のように与えた。

$$e_n = X_n - X_{tp} \quad (1)$$

$$P_n = P_{n-1} + \Delta P_n \quad (2)$$

$$\Delta P_n = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d((e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2})) \quad (3)$$

ここで $K_p$ ,  $K_i$ 及び $K_d$ はそれぞれ比例, 積分, 微分のパラメータであり, 今回は系統変化させて選定した。また添え字  $tp$  は目標値を意味する。

ラダーについてはコンパスセンサーにより読み取ったヨー角に比例させて1度単位で動作させ、機体が主流と平行になるように姿勢制御する。

#### 5. スクリュー回転速度による流速評価

実験には幅40cm, 長さ10mの可変勾配水路を用い, 流速は13.8cm/sから26.1cm/sまでの6通り変えた。初期位置と目標位置は反射板からそれぞれ150cmと100cmとした。

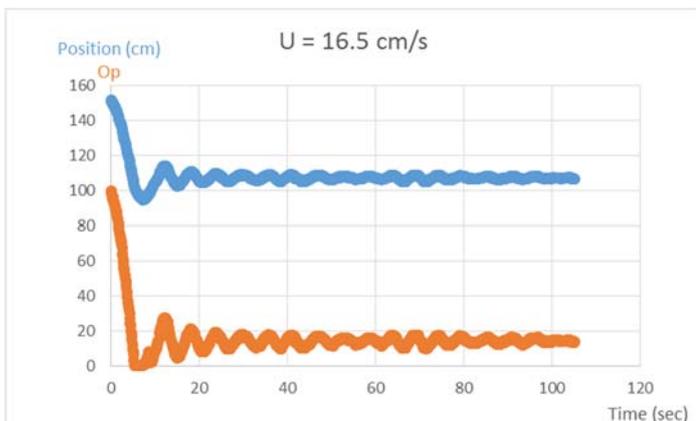


図-1 ロボットの主流方向位置と Op 値の時間変化

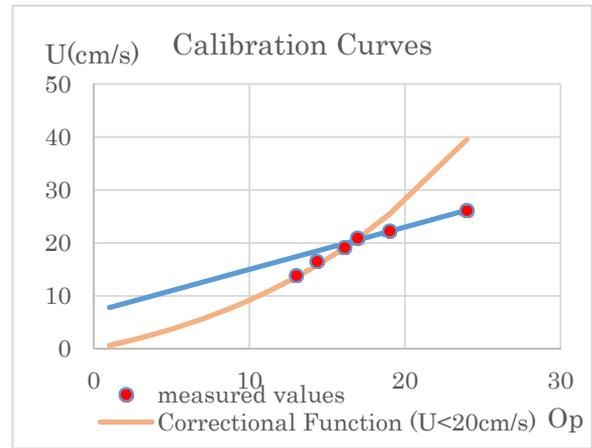


図-2 実流速と Op 値の校正曲線

図-1 は時間平均流速 16.5cm/s 時のロボットの主流方向の挙動とその時のモータ出力値を示す無次元量 Op 値の時間変化を表す。ロボットは目標位置付近で静止し出力値が一定値に収束し, 適切にPID制御されている。

スクリーンの回転速度から水面の時間平均主流速を評価するために電磁流速計による水理試験と検定を行った。図-2 に電磁流速計で実測した主流速  $U$  および計測点にて機体を静止させたときの Op 値の関係を示す。  $U > 20\text{cm/s}$  では式の線形関係が成立するがこれより低速側では線形関係からのずれが認められる。これは摩擦抵抗の影響が抵抗力に対して相対的に大きくなるためと考えられる。低流速側も評価するために補正関数を導入して下記の校正式を提案する。図-2 に示すように実測値に良好にフィットすることがわかる。

$$U = \overline{O_p} \exp^{-0.5(1-\overline{O_p}/12)} \quad (U < 20(\text{cm/s})) \quad (4)$$

$$U = 0.8\overline{O_p} + 7 \quad (U > 20(\text{cm/s})) \quad (5)$$

今回, 計測できる最大流速は 25cm/s 程度であり, これ以上は機体の下流側に流されるが, 既往<sup>1)</sup>の1号機(最大流速 15cm/s 程度)と比べるとより高速流に対応できるようになった。

#### 6. おわりに

本研究では自律移動し, 水流に対して静止して流速計測を行うボート型ロボットを試作した。ペットボトル浮体を用いた試作1号機(RX01型)<sup>1)</sup>と比べて, より高速の流れ場に対応できた。

#### 参考文献

1)山上ら: 河川流速の自動計測を目標とする自律移動浮体ロボットの試作開発, 水工学論文集 VOL.59,2015. (印刷中)