

京都大学 学生員 ○藤村直樹
 京都大学 正会員 山上路生
 京都大学 学生員 相澤航

1. はじめに

自然河川は降雨や融雪により常に流況が変化するため、河川の流速を計測することは、適切な治水事業・河川整備を行う上で極めて重要である。現在、河川の流速計測手法としては、浮子を河川上で一定区間流下させた際に要する時間から流速を算出する浮子法¹⁾が一般的に用いられている。この方法は、計測が簡易かつコストが抑えられる一方で、計測精度が観測員の技能に依存すること、洪水時の計測には危険が伴うこと、計測に多大な時間を要することなどの課題がある。そこで本研究ではこれらの課題を補うため、マイコンによって自律制御を行うボート型のロボット浮子を開発し、新たな流速計測システムを構築した。

2. 計測原理

(1) 概要

基本的な原理は通常の浮子法¹⁾と同様であるが、本計測では浮子にGPSを搭載し、得られる位置座標のデータをもとに流速を算出する。なお、浮子は水流への追従性を考えると棒浮子のような円筒形状が有利であるが、移動時の自律制御が難しいためボート型を採用する。計測開始後、ロボット浮子は流速計測ポイントまで自律移動し、目標点到達後に一定距離自由流下するが、この際の位置座標データから軌跡を求め、浮子の流下速度を算出する。流下後は次の計測ポイントまで再び自律移動して自由流下を行う。この手順を横断方向に繰り返し、すべての測線での計測が終了した後、予め設定した地点へ帰還する。観測者は河岸から計測ポイントと帰還ポイントを設定するだけで良く、またボート型ロボットを使用することで浮子の投入が難しいポイントでも計測することが可能である。計測システムのイメージを図-1に示す。

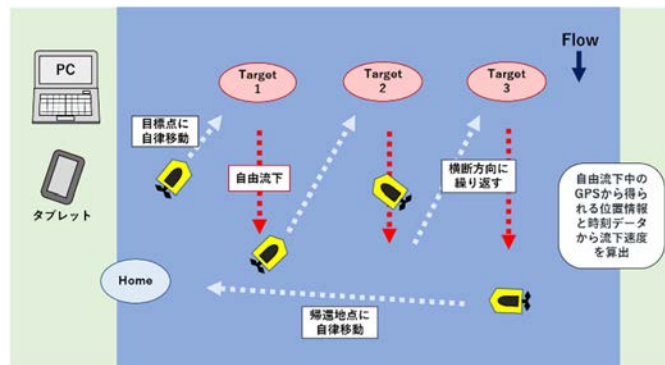


図-1 計測システムのイメージ図

(2) 流速の評価方法

まずGPSから得られる緯度経度座標データから緯度経度1秒あたりの実距離がそれぞれ30.906m, 25.321mであることを利用し、各測線における dt 秒間のボート型浮子の流下速度 v を以下の式により求める。

$$v = \{(dN \times 3600 \times 30.906)^2 + (dE \times 3600 \times 25.321)^2\}^{0.5} / dt \quad (1)$$

ここで、 dN , dE は dt 秒間に变化する緯度経度である。通常の浮子法では浮子の流下速度を河川流速とみなすが、ボート型浮子は水面上部の表面積が大きいいため流下時に空気抵抗を受けやすく、浮子流下速度と河川流速が一致しない。そこで流下中の浮子の運動方程式から導出した以下の補正式を使用し、浮子流下速度 v を河川流速 V へと変換する。

$$V = \left(1 + \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}\right) v - \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} c \quad (2)$$

ここで、 c は風速であり、 k_1 , k_2 は浮子の質量や抗力係数、流体の密度などにより決定される係数である。本研究では、この係数の値を室内水路および実河川において実施した流下試験の結果をもとに算出し、補正式を導出した。以下の式(3)~(5)に、①室内水路での試験結果、②実河川での試験結果、③その両方の結果を用いて導出した補正式をそれぞれ示す。

$$V = 1.0659v - 0.0301c \quad (3)$$

$$V = 1.0394v - 0.0394c \quad (4)$$

$$V = 1.0408v - 0.0408c \quad (5)$$

実河川における自動観測試験ではそれぞれの補正式を用いて予測流速を算出し、実流速との比較を行った。

3. 浮子の試作と自律制御

試作したロボット浮子は船体に市販のラジコンボートを使用し、全長約 64.0cm、横幅約 16.5cm、高さ約 14cm で、重さ約 1.7kg、静水時の吃水は約 7cm である。外観を図-2 に示す。ロボットの自律制御には、マイコンボードの Arduino およびオープンソースソフトウェアの Processing を用いた。Processing は浮子に搭載したスティック型 PC によって起動し、観測者がリモートデスクトップソフトウェアである AnyDesk を介して河岸から遠隔操作することで、ロボットの位置情報の確認や計測・帰還地点の設定などを行った。また、自律制御中は、ロボットに搭載した GPS およびコンパスセンサーからロボットの位置情報とヨー角を取得し、それを元に適当なメインモーターの出力およびラダー角度を算出した。



図-2 自律移動型浮子の外観

4. 実河川における自動観測試験

京都府亀岡市の桂川において、自律移動型浮子の試作機を用いた自律制御による自動観測試験を実施した。なお、計測時の河岸は風速 1m/s 以下の無風に近い状態であった。自動計測中のロボットの軌跡を図-3 に示す。従来の浮子法を参考にし、計測目標地点を河川横断方向に等間隔になるように 3 点設定し、左岸側からロボットの自動計測を開始した。

帰還地点はリリース地点とほぼ同じ地点に設定した。自動計測開始からロボットの帰還までに要した合計時間はおよそ 3 分半であった。

また、それぞれの測線におけるロボットの流下速度、流下速度を補正式①～③に代入してそれぞれ表面流速へと変換した予測流速、電磁流速計で計測した計測点の流速をまとめたものを表-1 に示す。測線番号は左岸側から順に 1～3 とした。予測流速と電磁流速計で計測した計測点の流速との相対誤差は、測線 1 においては 18.9～21.9%とやや大きくなったが、測線 2 と測線 3 ではともに相対誤差が 0.67～7.03%と良好な結果となった。

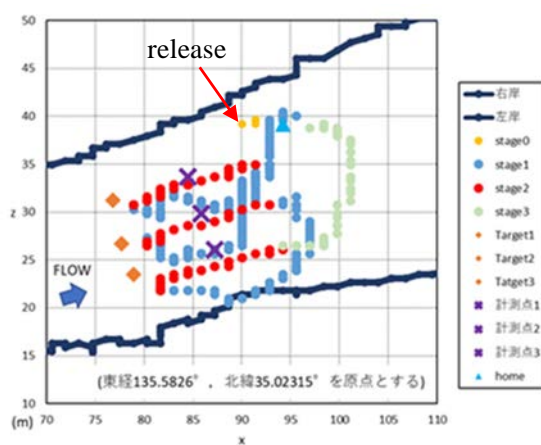


図-3 計測中の浮子の軌跡

表-1 実河川における横断面計測の結果

測線	流下速度 (m/s)	予測流速(m/s)			計測点流速 (m/s)	誤差(%)		
		①	②	③		①	②	③
1	0.946	1.008	0.983	0.985	0.827	21.94	18.91	19.07
2	1.115	1.189	1.159	1.161	1.247	4.66	7.03	6.90
3	1.093	1.165	1.136	1.138	1.173	0.67	3.14	3.01

5. おわりに

本研究における流速計測システムでは、安全性の確保や計測時間の短縮に加え、少人数かつ観測者の主観によらない信頼性の高い流速計測が期待でき、試験では一部で良好な計測結果を得ることができた。その一方で、自律制御システムや風速計測等に関する課題も残っており、今後の継続的な開発研究によって課題をひとつずつ解決していきたい。

参考文献

- 1) 土木研究所：平成 14 年度版水文観測，https://www.pwri.go.jp/team/hydro_eng/pdf/h14_suimon_kansoku/06.pdf, 2001.