

京都大学	学生員	○相澤 航
京都大学	正会員	山上路生
京都大学	学生員	加藤恭平
京都大学	学生員	吉永功希

1. はじめに

毎年各地で洪水被害が発生している日本では、河川における災害対策は重要な課題である。防災・減災のためには河川の正確な流量観測が求められるが、流量計測法として最も一般的な手法は浮子法である。浮子法では浮子を河川に投下し浮子の流下時間と流下距離から流速を算出する。これを川幅に応じた測線数実施し、求めた流速に川の断面積をかけることで流量を算出する。計測が簡便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、洪水時には計測に危険が伴う、計測に時間がかかる等の課題がある。そこで本研究ではこうしたデメリットを補完する GPS を搭載したドローン型浮子による新たな流量観測手法を開発した。

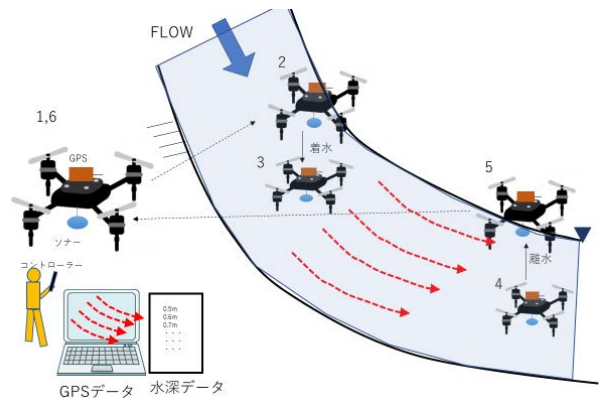


図-1 計測システムイメージ図



図-2 ドローン浮子

2. 計測原理

2.1 概要

基本の原理は通常の浮子法¹⁾と同様であるが、本研究では浮子に GPS を搭載することで GPS の位置座標データから浮子の軌跡を確認し、流下速度を算出する。このような手法を取ることで観測員の技能熟練度に依存しない信頼性のある計測が可能となる。また浮子に水深計測ソナーをとりつけることで流速計測と同時に水深計測を行い、河川断面積を導出可能とした。したがって、流速と水深の計測結果を組み合わせることで流量を算出することができる。さらに、浮子の回収・投下を安全かつ迅速に行うためにドローンを使用する手法をとる。ドローンに GPS、ソナー、浮き輪を取り付けて安全な川岸から飛行させる。そしてドローンごと浮子として河川に着水させ、一定時間流下させる。その後ドローン浮子を操縦し離水させ、次の測線で同様の手順を行う。すべての測線での計測が終了した後、ドローン浮子を空中移動させ川辺の観測員の元へ帰還させる。計測システムのイメージ図を図-1 に製作した。ドローン浮子を図-2 に示す。

2.2 流速・流量導出方法

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 秒間のドローン型浮子の流下速度 v を以下の式により求める。

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

(dN, dE : dt 秒間の変化緯度経度)

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、ドローン型浮子は水面上部の表面積が大き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。そこで抗力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．

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

(c :風速, $k_1 k_2$:係数)

こうして求まる河川流速 V は河川表面流速であるため、流量を求める際にはべき乗則近似式を利用して平均断面流速へと変換する．そして平均断面流速と分割した断面積を掛け合わせその和を取ることで流量を導出できる．なお分割区間の横断面の長さはGPSの座標データから、水深はソナーデータを利用して断面積を算出した．

3. 結果と考察

大阪府枚方市の淀川でドローン浮子を用いて流量観測を実施した．計測時のドローン浮子の軌跡を航空写真にプロットしたものを図-3に、流速を導出する1m区間のみの軌跡を取り出したものを図-4に示す．計測サイトの川幅は約250mであり、実務の浮子法では200~400mの川幅の河川において測線数を6としていることから本計測でも測線数を6としていることから本計測でも測線数を6本とした．また、ドローンを目視で確認し安全に操縦を行うことができる距離は150m程度であり左岸もしくは右岸からすべての測線を計測することが困難であったため、左岸からドローンを飛ばし3測線、右岸から3測線計測を行った．測線番号は左岸側から順に1,2,3,4,5,6とした．表-1に各測線の1m計測区間における流速、水深、各断面の流量・総流量を示す．なお、測線6では計測地点下流部で行われていた護岸工事の影響で流れが逆流していたため、分割区間6の流量は0とした．



図-3 ドローン浮子軌跡(全体)



図-4 ドローン浮子軌跡(計測区間抜粋)

表-1 計測結果

測線	表面流速 (m/s)	水深(m)	流量(m ³ /s)
1	0.83	1.3	28.7
2	0.87	1.5	41.7
3	0.72	1.5	74.3
4	0.28	1.6	25.1
5	0.38	1.1	11.2
6	-0.016	1.0	0
合計			181

流量計測結果は181m³/sとなり、淀川河川事務所が高浜地点の水位とH-Q曲線に基づき算出した流量136m³/sとの誤差は約33%となった．高浜地点と枚方地点の間には複数の支流があることを考慮すると実際の計測誤差はさらに小さくなると考えられ、良好な精度の計測を行うことができたといえる．一方で課題としてはドローン操縦の難しさがある．

ドローン浮子を操縦できる範囲は目視でドローンの向きや姿勢が確認できる観測者から150m程度が限界であった．そのため、淀川で計測を実施した際には左岸部と右岸部を分けて計測する必要があり計測に時間を要した．また、目視でドローン浮子の着水ポイントを決めたため測線間隔を完全に等しくすることは困難であった．したがって、今後はドローン浮子の自動操縦システムの構築を目指したい．

参考文献: 1) 二瓶・酒井, 実河川洪水流における浮子の更正係数, 土論 B, 66(2), 104-118, 2010.