

# i-Constructionによる新たな流量観測手法 (ドローン流観)

大場 憲<sup>1</sup>・南竹 知己<sup>1</sup>・吉成 壽紀<sup>1</sup>・大河原 幸治<sup>2</sup>・松本 将能<sup>3</sup>・村川 裕章<sup>4</sup>

<sup>1</sup>関東地方整備局 荒川下流河川事務所 河川情報課 (〒115-0042東京都北区志茂5-41-1)

<sup>2</sup>関東地方整備局 荒川下流河川事務所 調査課 (〒115-0042東京都北区志茂5-41-1)

<sup>3</sup>関東地方整備局 京浜河川事務所 工務課 (〒230-0051 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央2-18-1)

<sup>4</sup>関東地方整備局 東京国道事務所 防災情報課 (〒102-8340 東京都千代田区九段南1-2-1)

洪水時に実施される流量観測(高水流量観測)は、治水計画の検討等を行う際の重要な基礎データを得るものであり、河川管理上非常に重要な業務である。

一方、高水流量観測は洪水時に長時間、複数の人数を確保して実施しなければならず、作業中の安全管理や流量算出までの時間短縮等が課題となっている。

これらの課題に対して、「i-Construction」の一部である小型無人航空機(ドローン)の「アクティブトラック」機能を用いて従来の手法を改良し、安全かつ迅速に流量観測を実施する手法を提案するものである。

キーワード 流量観測、安全管理、ドローン、業務効率化、i-Construction

## 1. 背景

### (1) 流量観測の重要性と課題

近年、全国各地で洪水による被害が頻発化しており、直近では「平成27年9月関東・東北豪雨」や「平成30年7月豪雨」、「令和元年度東日本台風」等の出水により迅速な被害が発生している。これらの洪水時に実施される高水流量観測は、治水計画の検討を行う際の基礎データを得るものとして、河川管理上重要な業務となっている。

一方、高水流量観測は、その性質上、河川水位が最も高い状態、つまり、災害対応の真っ最中に実施する必要がある業務であり、悪天候の中、複数の人員を確保して実施しなければならず、場合によっては作業員の安全優先のために観測の中断を判断せざるを得ない場合もある。さらには専門性が高く作業内容を熟知した要員の確保が難しいこと、流量算出に必要なデータ取得・分析までの作業時間の短縮等、課題が多い業務でもある。

### (2) i-Constructionによる生産性向上とドローンの導入

国土交通省では、建設現場にICT(情報通信技術)を活用した「i-Construction」に取り組んでおり、令和7年度までに建設現場の生産性2割向上を目指している。これに基づき、関東地方整備局においては多くの事務所に小型無人航空機(ドローン)を導入しており、事務所によっては雨天時でも航行可能な全天候型ドローンやレーザー測量が可能なドローンが配備されている。これらのド

ローンは主に災害時における状況把握やインフラ管理に活用されており、令和元年度の台風19号においても、堤防決壊箇所において被災状況の把握に活用され、重要な役割を果たしている。

### (3) 事務所保有のドローンに装備されている機能

事務所で導入されているドローンの多くは、4K動画撮影が可能な市販の機種が導入されており、それらは主に、映像の撮影に特化した様々な機能や、衝突を防止するための安全装備が実装されている。これらの機能を活用して、災害時のTEC-FORCE活動時には、映像撮影に加えてSfM(Structure from Motion)による測量を実施して



写真-1 事務所導入の汎用機体(DJI MAVIC2)の例



写真2 アクティブトラック（自動追尾）設定画面

いる地方整備局もある。これらの機種には、空撮支援機能として、スポーツ撮影等で対象物を自動追尾しながら撮影する「アクティブトラック」機能や位置が常に移動する船舶等への自動帰還を実現する「フォローミー」モード等が標準機能として実装されている。

## 2. 目的

河川の流量観測は、一般的に、ある時点の流速と断面積を測り両者の積として求められる。流量の測定方法は、流速計による方法と、浮子による方法に大別される。可搬式流速計は低水流量観測に専ら用いられており、直轄管理河川の高水流量観測では、浮子を投下して一定区間の通過時間を計測し、流速と測定した河川の断面積を乗じて流量を算出する「浮子法」が用いられることが多い。「浮子法」による観測の手順は概ね以下のとおりである。

- ① 橋梁等からの浮子投下
- ② 浮子・第一見通し通過（計測開始）
- ③ 浮子・第二見通し通過（計測終了）
- ④ データ解析・編集
- ⑤ 河川深淺測量
- ⑥ 流量算出

今回提案する手法は、出水時に最も危険が伴い実施が困難な②③について、人に代わってドローンが実施し、④についてもドローンで取得したデータを抽出することにより、流量観測の安全性向上及びデータ解析・編集の迅速化、併せて⑤の河川深淺測量を流量観測とほぼ同時に実施することによる、高水流量観測時の河川断面形状を取得することで精度向上を図ることを目的としている。

## 3. 課題の整理

「浮子法」での観測では流量観測業務積算基準（案）によると1班当たり

測量技師補：1名、測量助手：1名、測量補助員：3名（本線1観測所20測線の場合）

の人員が必要とされている。

観測終了後、データ解析、編集が必要であり、測量技師補：1名、測量助手：1名（1測線あたり）を要する。さらに洪水後、流量を算出するのに必要な河川断面を把握するために深淺測量を実施するが、

測量技師：1名、測量技師補：1名、測量助手：1名  
測量補助員：1名、測量船操縦士：1名、内業で、  
測量主任技師：1名、測量技師1名、測量技師補1名  
測量助手：1名

の人員が必要とされている。また、浮子による流量観測では、流速測定と水深測定を同時に実施することは困難であるため、出水後なるべく早い時期に横断測量を行って断面積を求めることとされている<sup>1</sup>。断面計測については、洪水後にシングルビーム測深機等のソナーを用いて河川断面を測量しており、洪水後の水位が低下した時期に横断測量を実施している。

このように「浮子法」は従来から確立されている手法で、実績がありデータの信頼性も評価されているものの、

- ① 多くの人員を洪水時において危険が予想されるエリアに長期間配置する必要がある
- ② 洪水時、流量観測を実施している際の河川断面と構図以後に横断測量を実施した際の河川断面が異なっている可能性がある。

等が課題となっている。これらの課題に対して、浮子法に代わる様々な観測手法が考案されているが、これらは大まかに次の3つに分類することができる。

- ① GPSロガー付浮子等によって改良した方法
  - ② H-ADCPを用いて断面流速を直接計測する方法
  - ③ 電波流速計や画像処理で表面流速を計測する方法
- それぞれの方式について一長一短があり、各部局や企業において改良が進められているが、今回は、従来から手法が確立されており、過去からのデータ取得方法の継続性が保たれている「浮子法」の改良に着目し、「浮子法」における課題である次の4項目について解決を図ることとした。

- (1) 観測時の人員削減・省力化
- (2) 観測時の安全性向上
- (3) データ解析の迅速化
- (4) 高水時の断面計測の実現

	表面流速	断面流速	天候対応	機器費	人件費	安全管理	算出時間	過去データとの相関
浮子法	○	○	△	○	△	△	△	○
GPS浮子法	○	○	△	△	△	○	△	○
H-ADCP法	○	◎	○	×(高)	○	○	○	△
画像・電波流速法	○	×	○	×(高)	○	○	○	△
改良浮子法(今回)	○	○	△(全天候型)	○	○	○	○	○

表-1 各流量観測法の比較

## 4. 解決方法

「浮子法」は従来から用いられてきた方法で、実績があり信頼性もある。前項の課題さえ解決すれば、引き続き有効な方法であると考えられる。そのため、すでに改良に取り組んでいる部局も多く、現在試行されているものの代表例としては、浮子にGPSロガーやRFIDタグ等を装着し、移動速度を計測する方法が試行されている。一方、この方法では以下のような課題が明らかになっている。

- ① 浮子の確実な回収方法が未確立
- ② GPSロガーやICタグ等による浮子の高価格化



③ バッテリーやICタグを使い捨てとした場合の  
環境への影響

そこで、回収不要で価格が安く、環境負荷が少ない従来の浮子（紙製）を使用し、浮子の移動速度をストップウォッチによる計測やGPSロガーやICタグに代えて、ドローンによる自動追尾機能を用いて計測する方法を考案した。

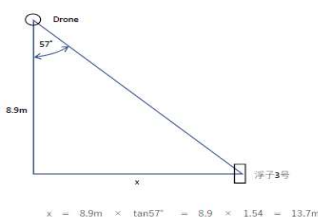
(1) ドローンによる浮子の自動追尾

浮子の移動速度をドローンで把握する方法として、機体の位置情報から浮子の位置を推定する方法がある。これは、従来から国土交通省が災害対策用ヘリコプターで被災地の位置を把握するのに用いている手法であり、ドローンにも応用可能である。事務所保有のドローンは、位置情報を操縦補助に用いるタブレットへ送信しており、1/100秒毎に記録している。同時に対地高度やカメラの仰角情報（ジンバル角）も記録されており、三角関数を用いて浮子位置の算定が可能である（数式-1）。

従来、これを実施するためには、浮子を常時、機体のカメラで捉え続ける非常に高度な操縦技術が必要であり、移動速度が速い場合は、熟練のパイロットでもかなり困難なオペレーションであった。ところが近年、スポーツ撮影等で被写体となるスノーボーダーやサイクリストを自動追尾するための「アクティブトラック機能」が開発され、汎用のドローンにも標準で実装されるようになったことから、この機能を利用して浮子の自動追尾が誰でも容易に実現出来ることとなった。

(2) ドローンによる深淺測量

浮子法での流量計測では、河道の断面積計測も必要である。従来は、洪水後にソナー等を用いて計測していたが、高水時と洪水後の断面が異なっている可能性について懸念がもたれていた。これに対する解決手法として、グリーンレーザー等を用いる手法もあるが、洪水時の濁水ではレーザーが水底まで届かず計測が出来ない、高水時の船舶による測量は困難であり、やむを得ず洪水後の測量となっていた。一方、測深に用いるソナーは、業務用で高額な機器であったが、近年、魚釣りで使用される投げ込み型のソナーが開発されて普及し、安価に入手できるようになった。さらには、ソナー本体にGPSロガーが内蔵され、位置情報と水深が関連付けて測定できる製品が開発され、レジャー用として普及するに至っている。この投げ込み型ソナーは、釣り竿を使って遠方にキャストし、リールでソナーを巻き戻す過程で、魚の位置や水深を把握するために用いているが、ドローンを使ってソナーを曳航することにより、高水時の安全な河川断面計測に実施するのに応用することが可能である（写真-3）。



数式-1 ドローン位置情報から浮子位置の補正計算（例）

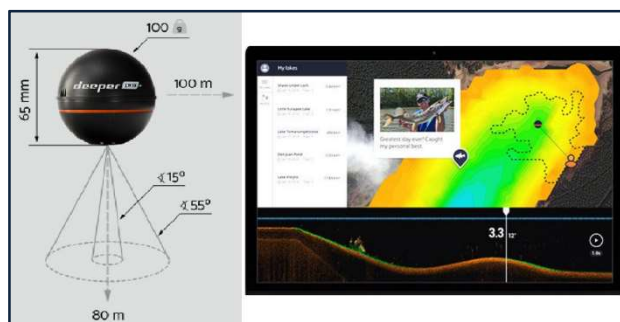


写真-3 投げ込み型ソナー（Deeper PRO+）の製品例

5. 実証実験

有効性を実証するため、荒川下流管内岩淵水位観測所付近を試験フィールドとして、令和元年12月13日と令和2年2月13日の2回にわたり実証実験を実施した。

(1) 1回目実験概要 令和元年12月13日

1回目は、概念の実証が可能かという基礎的な内容として実施し、以下の点について検証した。

- ① 投下した浮子の自動追尾
- ② ドローンのフライトデータの抽出可否
- ③ 浮子目印（旗）が自動追尾精度に与える影響

(2) 1回目実験結果

結果は良好であり、パイロット、ナビゲータ、機体監視（ワッチ）の3人体制で実施し、観測終了後30分程度で浮子の流速が算出され、以下の知見が得られた。

- ・旗の向き、形状、色によって追尾精度が変わる。
  - ・浮子の認識率が低い状態で追尾を始めると、ゴミ等の浮遊物が接近した場合に、自動追尾が外れる。
  - ・水面からの高度10m以上では、自動追尾が外れやすくなり、超音波対地（対水面）高度計のデータが取得できなくなるため、10m以下での飛行が望ましい。
  - ・1/100秒毎の情報は細かすぎて、データ量が莫大となるため、表計算ソフトで自動計算するのが望ましい。
- これらの状況を踏まえて、第2回実験では、あらかじめ以下の準備を実施して実験に臨むこととした。
- ・改良した浮子用対空標識を複数用意（写真-6）
  - ・観測データから流速を計算する表計算ツールを作成

(3) 2回目の実験概要 令和2年2月13日

2回目については、確実にデータを取得するための飛行方法を確立することを目的とし、次の項目を実施した。

- ① ドローンで自動追尾しやすい浮子用対空標識選定
- ② 波浪を受けた場合の浮子の自動追尾の精度検証
- ③ 浮子に対するドローンの追尾位置、高度の検証

(4) 2回目実験結果

1回目の実験では、追尾が外れる場合があったため、今回は浮子に取り付ける標識を改良して実験に臨んだ。結果、水面との輝度差がある標識が有効と判明した。改良した浮子では、船舶が発生させた波浪により、浮子が一瞬沈下しても、自動追尾を継続することが出来た。

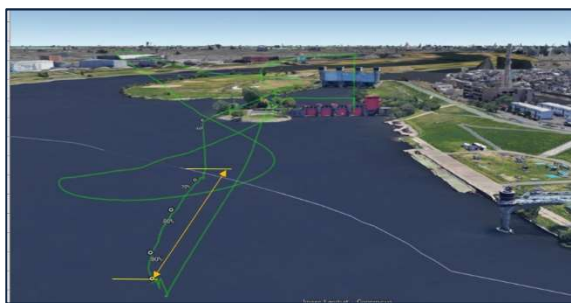


写真4 ドローンの飛行軌跡 (矢印間が浮子の軌跡)

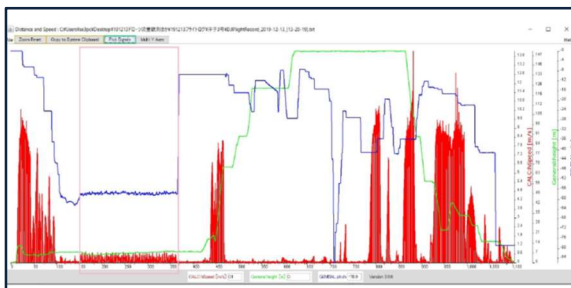


写真5 ドローンのテレメトリデータ (赤囲みが浮子追尾中)



写真6 改良した浮子標識

また、実用化に重要となるドローンの追尾位置、高度について以下のアプローチで検証を実施した。

- ・浮子位置補正の計算が不要な浮子直上での自動追尾
- ・浮子位置補正が容易なジンバル角  $4.5^\circ$  での追尾
- ・その他の角度での追尾

なお、いずれの場合も対地高度計が機能する水面高度 5m で実験を実施した。結果を以下に示す。

#### 【浮子直上での追尾】

自動追尾が外れることが多く、追跡に適さない。

#### 【ジンバル角 $4.5^\circ$ での追尾】

良好に追尾することが出来た。パイロットから  $4.5^\circ$  より浅い角度のほうが、遠方が視認可能で距離感が掴みやすく不意の事態に対処しやすいという意見があった。

#### 【ジンバル角 $3.0^\circ$ 未満での追尾】

追尾が外れやすい。浮子と機体の距離をステレオカメラで測定しており、距離が離れるため測定不可となる。



写真7 改良した浮子を自動追尾中のドローン映像

### (3) 延期となった3回目以降の実験

さらなる実証実験を4月中までに予定していたが、新型コロナウイルス感染防止の影響により延期としている。予定していた実験内容は以下のとおりである。

- 3回目予定・・・流速が速い場所での流量観測実験
- 4回目予定・・・投げ込み型ソナーを用いた断面計測
- 5回目予定・・・夜間における流量観測実験  
(夜間飛行の航空局包括承認取得について完了)

## 6. まとめと今後の課題

実施出来た実証実験の結果から、ドローンの自動追尾機能(アクティブトラック)を用いた改良浮子法による流量観測の概念実証と基礎的な手法構築を行った。本手法を用いると、洪水時に安全なエリアから少人数で迅速に流量観測を実施することが可能である。

今回検証出来た具体的な内容は以下のとおり。

- ・観測に必要な人員の減少(1班5名→3名)
- ・洪水時の危険エリアに立ち入ることなく観測が可能
- ・迅速な流速データの提出(観測終了後30分以内)

一方、本番の流量観測は悪天候の中で行われることが多く、ドローンがフライト出来ない場合もあることから、流量観測が可能な条件に限られるという欠点もある。

現状のドローンで観測できる環境条件は以下に限られる。

- ・風速:  $10\text{ m/s}$  未満(全天候型を除く)
- ・追尾流速:  $50\text{ km/h}$  未満
- ・降雨が無いこと(全天候型を除く)
- ・GNSS(衛星測位)が受信できる環境であること
- ・操縦位置から見通し距離で概ね  $2\sim 3\text{ km}$  の範囲

これらの環境条件については、機体性能の向上によって、将来的に拡大出来るものとする。

今回は多くの事務所が所有している汎用機体での実験であり、制約がある中での実験となったが、今後、浮子が運搬可能な、可搬重量が大きいドローンを用いることが出来れば、ドローンからの浮子の投下も含めた流量観測の完全自動化が将来的には可能となると考えられ、その場合は、以下のようなメリット、応用例が考えられる。

- ・浮子軌跡のリアルタイム監視による不良測線の排除
- ・見通し区間でない任意の場所での流量観測
- ・水衝部などでの流向の可視化及び流速の測定
- ・海岸や港湾などでの流況(離岸流)の把握

今後、地球温暖化に伴う降雨量の変化が考えられる中で、河川流量観測の重要性はますます高まると考える。併せて、ドローンを取り巻く情勢と技術の進展は日々進展しており、機体の全天候化、搭載ペイロードの増大、滞空時間延伸やそれに対応した法令改正、携帯電話サービス(5G、LTE実用化試験局)及び新技術等を踏まえ、安全かつ迅速な流量観測手法の確立に向けた検討を引き続き進めていく予定である。

### 1 参考文献

「平成14年度版水文観測(第4章流量観測)」