

IoT による点流速センサの開発

株式会社 拓和 正会員 ○鶴岡 重信¹
株式会社 拓和 Anu Banepali²

1. はじめに

急発展している IoT を支えるセンサネットワークを河川管理に応用するため有効なセンサの一つとして点流速センサにより流速を検出し、システム全体で河川の流速を観測する方法を紹介する。

河川の流速把握方法はこれまで多くの研究開発が試されてきており、国内では砂防技術基準等¹⁾により実用化されている。しかしながら連続観測可能とされている従来の水中固定型による流速計測は精度的な課題や自動での無人連続計測が不可など、適応できない場所や条件が多く、くわえて大規模な河床への信号ケーブルの埋設工事が必要なことやシステムの信頼性の確認方法、さらにはコスト高等の課題が多いのが現実となっている。

本稿で紹介する方法は水中固定型に分類されるもので、1台でこれらの課題をすべて解決できるものではないが複数台設置することで、従来手法の課題解決の一助になると考えるものである。

センサとしてはいつでもどこでも自動で無人連続計測が可能なので、かつ小型で安価を目標とした。

本稿では、2項で従来からの流速把握手法との比較、3項で点流速センサの基礎を含む流速観測システム、4項で現地実証実験について報告するもので、今回は河川を対象として記述した。

2. 従来からの流速把握手法との比較

従来方式である超音波流速計測法や H-ADCP 法では、上流域への設置の場合、設備が大きいことから設置が難しく、中流域では洪水時にはゴミや気泡及び濁度で観測できないことがあり、また河口域では潮汐の影響による水温成層や塩水くさび現象により音線が曲げられ超音波が到達せずに、いずれも観測できない条件となることがある。

一方、点流速センサは計測開始の水深は 20cm 程度で良く、小型で低消費電力のためケーブル工事が不要な場合もあることから、設置が容易で前述の水温成層や塩水くさび現象による欠測もなく、安価なことから、例えば図-2 のように複数設置することでこれらの課題を解決でき、自動無人連続観測も可能である。

3. 流速システム

(1) 流速システム概要

a) システム構成

図-1 に流速を観測するための基本的なシステム構成図を示した。

センサ部は点流速センサとして水中に固定する。無線部は IEEE で規格化された例えば Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network) とする。500m 程度の伝送が可能であり、マルチホップにより伝送障害の回避や伝送距離の延長も可能である。

1 次伝送部の無線機（送信側）はセンサインターフェース部（以下センサ IF）、無線部及び電源部から構成され、一体化のうえ水密構造とする。センサ IF はデジタル入力、データの記憶機能等が実装される。電源部は小型の太陽電池と単三型充電式電池から構成される。

1 次伝送部の無線機（親局側）はセンサ IF、無線部と電源部で構成される。

2 次伝送部にはデータをリアルタイムで事務所等に設置された処理部に搬送するため、光ケーブル・VSAT 等の既存技術回線を利用することが可能。

事務所等の処理部は入力されたセンサデータを演算処理、グラフィック表示、無線機の設定・状況確認機能を有する。

上位システムは演算処理された各種情報をデータベース化、メール伝送、インターネット配信等の各種システムである。

b) 点流速センサと無線機の配置

図-3 に示すとおり下部に点流速センサ、その上部に無線機の構成を 1 セットとするが、1 センサで低流速から高流速までを高精度観測できないため、低流速と高流速の 2 種以上を設置することが望ましい。

(2) 点流速センサ

a) 点流速センサの原理

図-4 は点流速センサ 0~5m/sFS の機構を示し、図-5 のリードスイッチ基板のとおり 13 個のリードスイッチを 6 度ピッチで円周方向に、回転側にマグネット

Key Words : IoT, sensor network, point current sensor, small size and low cost, automatically no-human continuously observation

¹ 〒302-0104 茨城県守谷市久保ヶ丘 1 丁目 2 番 4 号 株式会社 拓和 新技術開発センター TEL.0297-48-8002

E-mail: tsuruoka@takuwa.co.jp

² 〒302-0104 茨城県守谷市久保ヶ丘 1 丁目 2 番 4 号 株式会社 拓和 新技術開発センター TEL.0297-48-8002

E-mail: anu@takuwa.co.jp

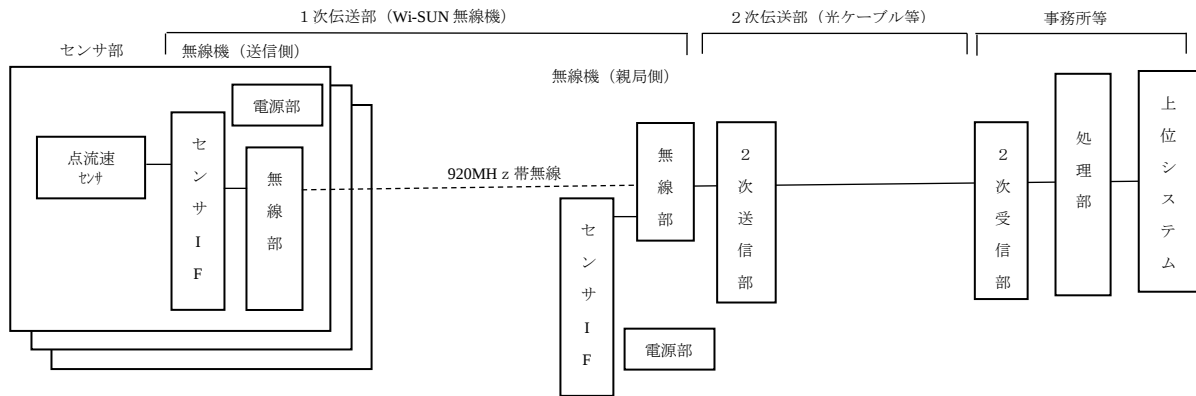


図-1 流速システム構成図

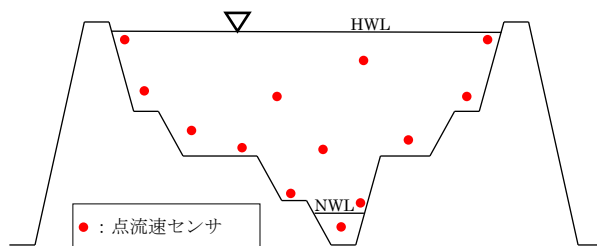


図-2 点流速センサの多地点設置イメージ

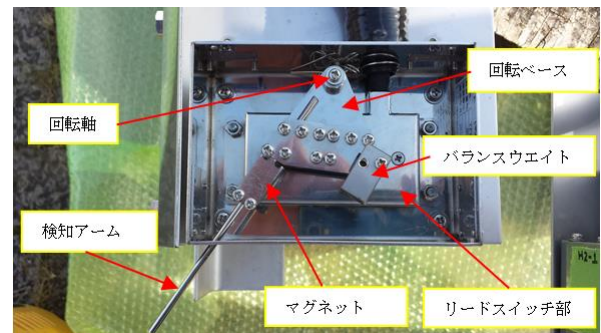


図-4 点流速センサの機構

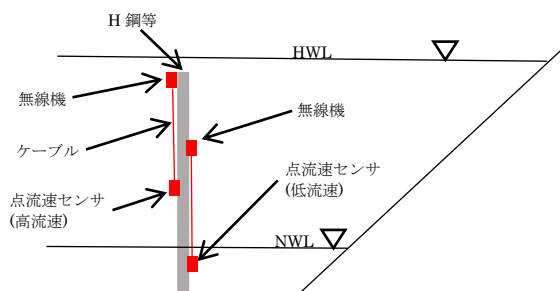


図-3 点流速センサと無線機の配置

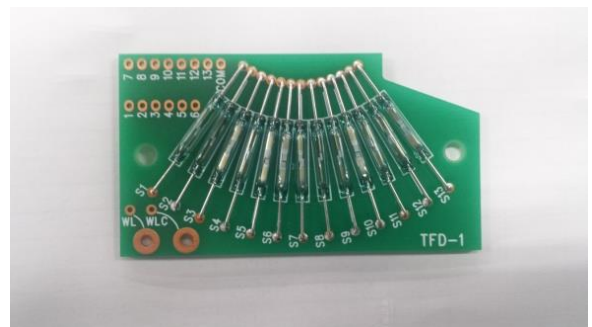


図-5 リードスイッチ基板

を配置し、回転軸を中心に検知アームが流水抗力に応じて回転することで点流速を観測する。バランスウエイトの重さによりゼロ点調整、検知アームの長さや太さにより測定範囲が容易に変更できる。また、検知アームの配置位置により順流、順逆流又は逆流の各測定用センサに変更可能である。

b) 点流速センサのデータ検出処理

図-6 のように可動側のマグネットはある範囲のリードSWを3～5個onさせ、この接点をデジタル信号として検出するもので、ここでは検出値5.5と読み、onの中央値を0.5単位で表現する。

c) 流速を計算する簡素化式

図-7 に点流速センサの検知アームの抗力イメージを示す。回転角 θ は、回転する部分の水の中における重力 P_1 (N) と検知アームの流水部に作用す

る水流抗力 P_2 (N) の回転軸からのモーメントのバランスで定まり、式(1)から式(3)となる。

$$P_2 = 1/2 \times V^2 \times C_w \times A \quad (1)$$

$$L_2 \times P_2 = L_1 \times P_1 \times \tan \theta \quad (2)$$

$$A = L_3 \times W \times \cos \theta \quad (3)$$

ここで、

P_1 : 回転する部分の水の中における重力 (N)

P_2 : 検知アームの水流抗力 (N)

θ : 回転角度 (度)

V : 流速 (m/s)

C_w : 抗力係数 (円柱 1.2 程度が一般値²⁾)

A : 検知アームの流水面積 (m²)

L_1 : 回転軸から回転部の重心距離 (m)

L_2 : 軸から検知アーム流水部の中心距離 (m)

L_3 : 検知アームの鉛直時の流水部の長さ (m)

W : 検知アームの流水部の幅 (m)

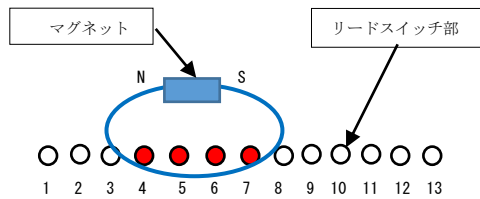


図-6 リードスイッチの複数 on イメージ

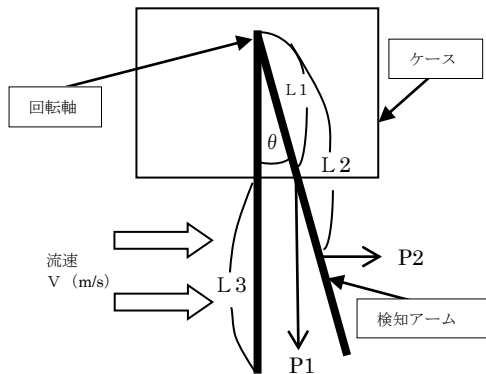


図-7 検知アームの抗力イメージ

d) 水路実験データと近似式

図-8 は点流速センサ（検知アームφ3mm、L3=6cm）の測定範囲0～5m/s（5m/sFSと記す）の水路実験データであり、横軸は検出値、縦軸は基準流速であり、実測データはマーカで示した。ここでは、弊社の流水試験設備（TIC）と国立研究開発法人土木研究所の流速検定台車（PWRI）の計3回の実測データが示されている。

図-8 の（PWRI）のデータから式(4)の近似式が求まり、例えば式(4)に $x=5.5$ を適用すると流速 $y=1.24\text{m/s}$ が算出される。

$$y=0.0076x^3-0.1373x^2+1.039x-1.5904 \quad (4)$$

ここで、

y : 流速 (m/s)

x : 点流速センサでの検出値(-)

e) 計測値の評価

図-9 は基準値と計測値の正誤図であり、縦軸は図-8 の検出値を式(4)で計算した計測値である。図-9 の（PWRI）のラインは台車速度が基準値であり良く合った結果となったが、（TIC）のラインは電磁流速計の指示値を基準値としていることから、バラツキは大きい結果となった。ここでは、全てがFSの±10%以下の精度に収まった。

f) 分解能

点流速センサは13個のリードスイッチであるに

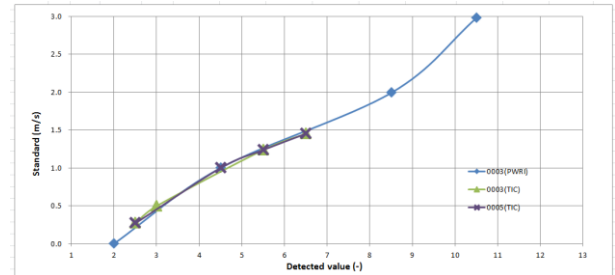


図-8 水路実験データ

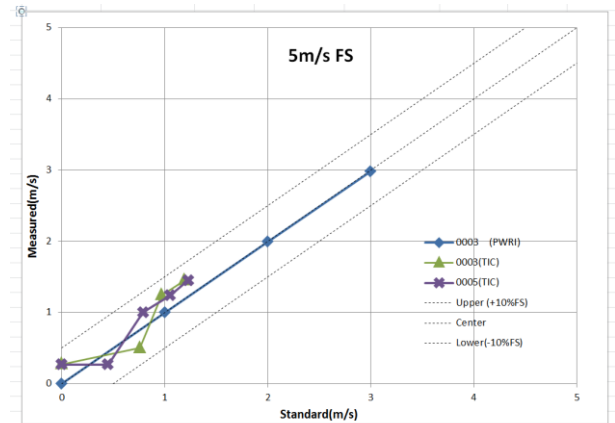


図-9 水路実験における基準値と計測値の正誤図

もかかわらず複数個 on し、その on 数も変化することからおおむね倍の分解能が得られ、5m/sFS センサでは 0.2m/s (4%FS) の分解能が期待できる。

4. 現地実証実験

渡良瀬川河川事務所 で 2016 年 3 月 23 日より点流速センサを Wi-SUN 端末に接続した長期の実証実験を開始した。

(1) 現地実証実験の主な試験条件

計測は1回/分の生データの瞬時値観測とし、親局以外は小型の太陽電池による稼働である。

(2) 現地実証実験の使用機器

本実験に使用している機器は図-10 に示した点流速センサ、浸水センサ及び無線機である。

(3) 現地実証実験機器構成

本実験の実験イメージ図を図-11 に、施工後の写真を図-12 に示した。

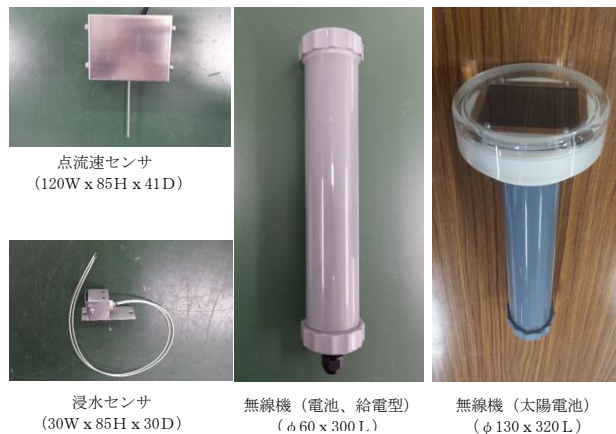


図-10 使用機器（寸法は代表値）

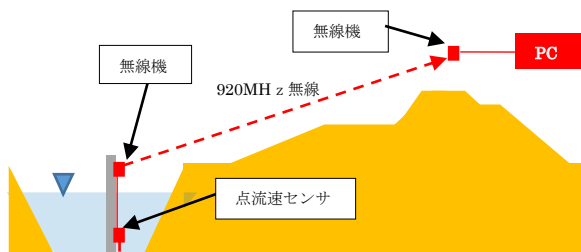


図-11 現地実証実験イメージ図

(4) 現地実証観測データ

本実験で得られた現地実証観測データの3月23日から4月13日分を図-13に示した。点流速センサは低水時であったが全期間にわたり異常のない結果が得られた。

(5) 現地実証実験の考察

点流速センサは期間中、低水時の変化の少ないデータであったが、4月7日は17cmの水位上昇に応じ0.3m/sから0.6m/sへの流速の上昇も観測できた。図-14で示した観測データは一切の補正処理がされてない生データにも関わらず明らかな異常データは皆無であった。これは、超音波や電磁式手法でよく見られる大きく異常な瞬時値変動がなく、安定した観測が行えているものと考えられる。

5. まとめ

社内での水路試験により目標精度10%FSの確認が行えたことと、リードスイッチによる検出でおおむね倍の分解能が得られることが発見されたこと、併せて現地実証実験では低水位の短期間ではあるが、相応のデータが得られ、安定した自動無人連続観測の可能性が確認できた。

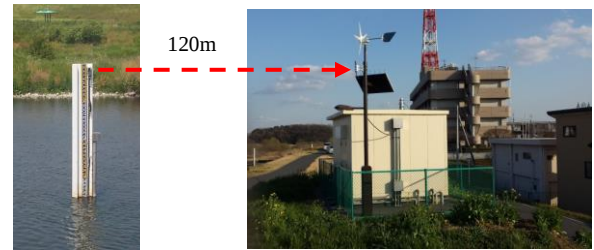


図-12 施工後の写真

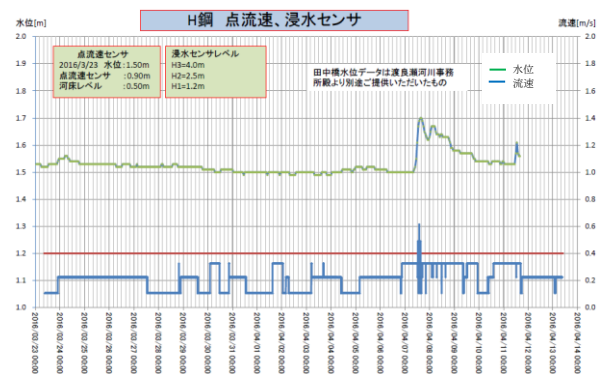


図-13 現地実証観測データ(3/23～4/13)

IoT技術と簡単なセンサを組み合わせることで「低水から洪水まで自動無人連続観測できる可能性を有する」というこれまでにない新しい技術が生まれ、これまで流速観測は難しいという概念から今後は比較的容易に把握できる可能性を有することから、従来の流速観測の一助になると考える。今後は、多くの事例を参考に、より実用的で、さらなる技術向上に努め、これからの河川管理の高度化に貢献できることを願うものである。

謝辞：本開発は「これからの河川管理システム検討会 第一分科会:画像処理・センサー技術」(座長:佐藤直良 元国土交通省事務次官)にて検討されたセンサーネットワークのうちの一例であり、これまでアイデアレベルで止まっていた考案が検討会の趣旨と最先端のIoT技術・無線技術により試行できている。

貴重なご意見や勇気を与えてくださった分科会のご専門の方々と建設電気技術協会の二階堂専務理事他、国土交通省関東地方整備局渡良瀬河川事務所の関係者ならびにNICT関係者に深く謝辞を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 河川砂防技術基準 調査編 第2章 第4節 流量観測
- 2) 抗力係数
http://skomo.o.oo7.jp/f28/hp28_63.htm