

(36) IoTと点流速センサを用いた流量観測システム

鶴岡 重信¹・Anu BANEPALI²・深沼 二葉³・松野 裕⁴

¹正会員 株式会社拓和 新技術開発センター 開発課 (〒302-0104 茨城県守谷市久保ヶ丘1-2-4)

E-mail:tsuruoka@takuwa.co.jp

²非会員 株式会社拓和 新技術開発センター 開発課 (〒302-0104 茨城県守谷市久保ヶ丘1-2-4)

³非会員 日本大学大学院理工学研究科博士前期情報科学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

⁴非会員 日本大学准教授 理工学部応用情報工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail:yutaka.matsuno@me.com

河川等の流量把握方法はこれまで多くの研究開発が為されてきていて国内外で実用化されているが、河川の低水から高水までを自動で連続観測できる方法はない。我々は新たな点流速センサ、小型無線機、ネットワーク及び独自のウェブサーバにより、河川流量を自動無人連続観測でき、かつリアルタイム配信可能なシステムを研究している。点流速センサはリードスイッチを用いた簡単な原理に基づいた、小型、安価、無電源であり、小型無線機との組み合わせに適し、河床下の大規模なケーブル埋設工事は基本的に不要であることから複数設置が容易である。本稿では、流量観測システムとしての考え方、点流速センサの原理やこれまで現地実験で判明した課題の解決手法等を説明し、システム全体の開発状況を示すものである。

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

1. はじめに

洪水時の人的被害は個人の判断に起因することが多く、一般市民に適切な判断を促す手法・ツールが必要である¹⁾ことから、水害情報提供ツールが提供する情報が、一般市民が理解でき興味を持って日頃から使いたいと思える河川水流の可視化の研究²⁾を行っている。これには多地点・多種・多量の河川系の観測情報は不可欠であるが、まずはプロトタイプとして本流量観測システム構築に着手している。

河川の流量観測は有人観測としての平水時の低水流量観測と洪水時の浮子やADCPによるものが基本で、無人観測としては超音波方式が一部で実用化されている³⁾。これらは低水から洪水まで安定した自動無人連続観測ができず、有人観測ではタイムリーな人員確保が難しく、また超音波方式では濁度等により洪水のピークが測れないことがある等課題が多く、知る限りにおいて有人・無人観測データの一般市民へのリアルタイム配信はない。

新たな流量観測システムの核となる点流速センサは、小型で安価なことから複数設置により、これらの課題を解決し、自動無人連続観測を実現することで、河川管理の高度化と減災に寄与することを目指すものである。一方、点流速センサの水路実験において目標精度10%FSの確認ができ、また国土交通省渡良瀬川河川事務所において最先端の無線技術を用いたセンサーネットワークの現

地実験をしていることを報告した⁴⁾。

本稿では現場への普及や今後の実務への展開を考慮し、流量観測システム、⁴⁾の補足説明、現地実験の現況、平滑化処理方法、くわえて砂鉄対策について報告する。

2. 従来からの流量把握手法との比較

連続観測可能とされている従来方式である超音波流速計やH-ADCPは超音波方式であり、上流域では設備が大きいことから設置が難しく、中流域ではゴミや気泡及び濁度で観測できない場合があり、また河口域では潮汐の影響による水温成層や塩水楔現象により音線が曲がり超音波が到達しなくなることがあり、実績は少ない。

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小型無線機との組み合わせに適し、設置が容易で、かつ前述の原因による欠測もなく、安価なことから複数設置することでこれらの課題を解決でき、自動無人連続観測が可能となり得る。

3. 流量観測システム

(1) 流量観測システムの概要

図-1に流量観測システム構成例を示した。点流速センサ(圧力センサ内蔵時は流量センサ)を水中に固定する。無線機は、例えばWi-SUNとし、500m程度伝送可

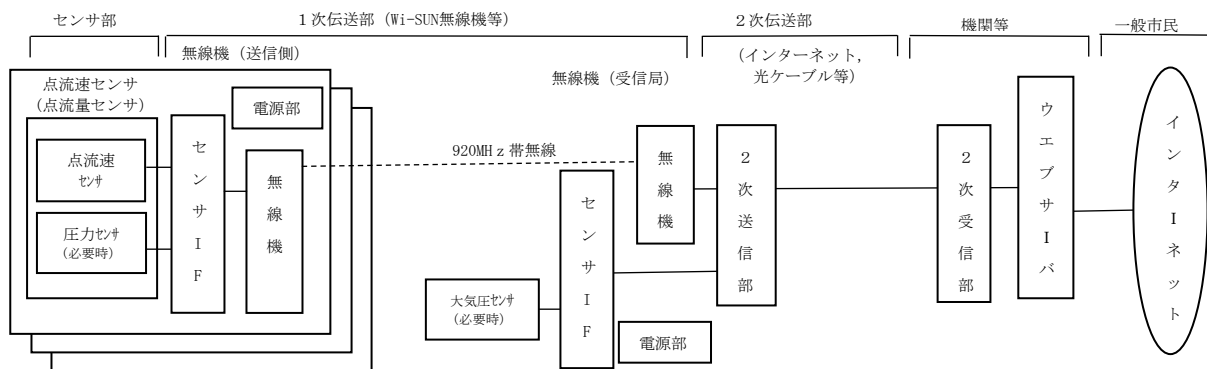


図-1 流量観測システム構成例

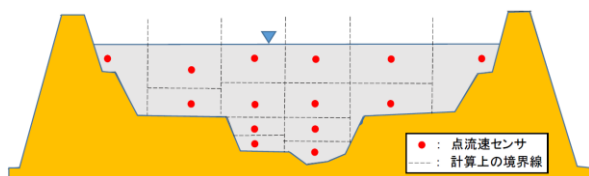


図-2 点流速センサの多地点設置イメージ

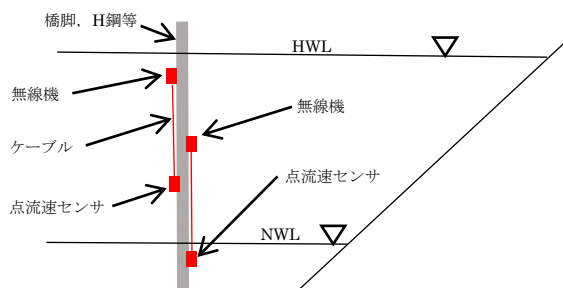


図-3 点流速センサと無線機の設置イメージ

能であり⁵⁾、マルチホップにより伝送障害の回避や伝送距離延長も可能である。

1次伝送部の無線機（送信側）はセンサIF、無線機及び電源部から構成される。電源部は小型太陽電池と単三型充電式電池から構成される。ここが水没時にはデータ伝送できないことからデータを記憶し事後の伝送可能時に伝送する。無線機（受信局）部は大気圧センサ（必要時のみ）、センサIF、無線機と電源部で構成される。

2次伝送部は現場毎に異なり、専用線として光ケーブルやVSAT、公衆回線としてインターネット等が有効である。ウェブサーバの一例として、河川水流の可視化のため検出値からの流速変換、平滑化処理および流量計算のソフト開発を行っている。なお、これらのソフトは一次伝送部を有線化する等利用形態が変わっても応用できるものである。

(2) 流量算出方法

図-2のとおり河川横断面内の河川構造物等に複数の点流速センサを設置し、その位置間の中央値を境界とした波線で囲まれた領域 A_i で、河川断面全体の流量計算を行う。河川では時間的・空間的に流速が大きく異なるため、式(1)のとおり各部分の E_i 、 V_i と A_i の積の総合計を流量 Q

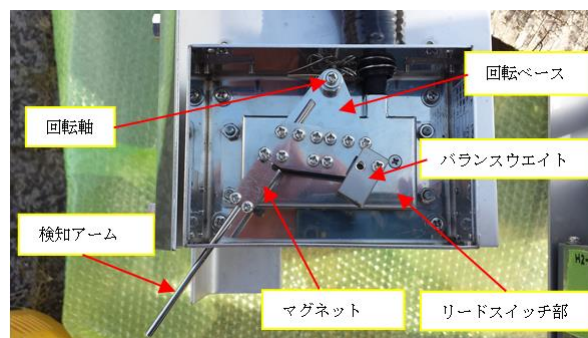


図-4 点流速センサの機構

(m^3/s) とする。 E_i は構造物、断面変曲点、植生や流況等を勘案し、水位の5次程度の近似式を想定する。

$$Q = \sum (E_i \cdot V_i \cdot A_i) \quad (1)$$

ここで、

E_i : 点流速係数 (-)

V_i : 平均点流速 (m/s) (平滑処理後)

A_i : 点流速センサの支配流水断面積 (m^2)

図-2の具体例として図-3に設置イメージを示した。また、河川砂防技術基準¹⁾には流速センサの精度は5%FS以内や A_i の計算方法が規定されているが、大型化やコストアップにならぬように $\pm 10\%FS$ 、 A_i の計算方法は基準に準拠することを目標とする。

(3) 点流速センサ

図-4は点流速センサ測定範囲0~5m/s (5m/s FSと記す)の機構を示し、回転軸を中心に検知アームが流水抗力に応じて回転移動することでマグネットとリードスイッチ部の位置関係から点流速が観測される。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、太さおよび位置により測定範囲が容易に変更可能である。図-5において、回転角 θ は回転する部分の水中における重力 P_1 と検知アームの流水部に作用する水流抗力 P_2 の回転軸からのモーメントのバランスで定まり、 θ 相当の検出値から流速値が換算できる。

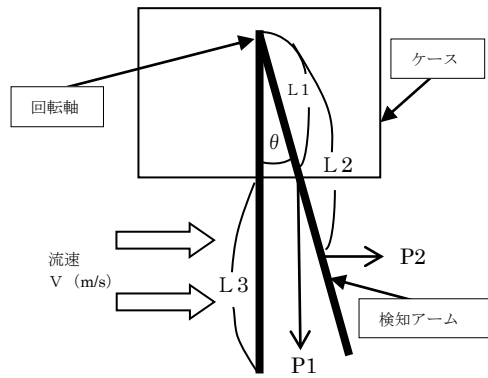


図-5 検知アームの水流抗カイメージ

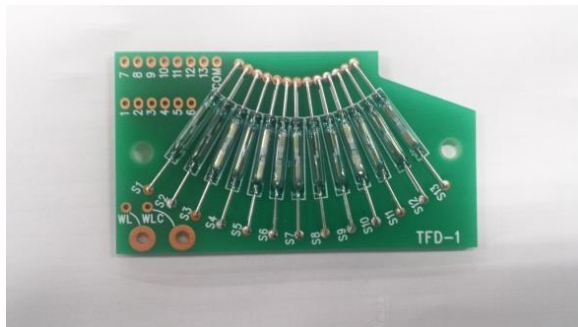


図-6 リードスイッチ基板

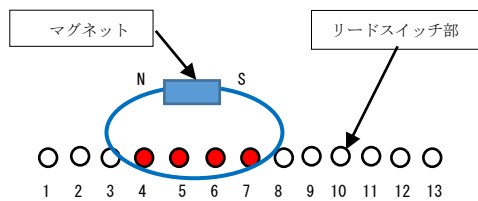


図-7 リードスイッチの複数 on イメージ

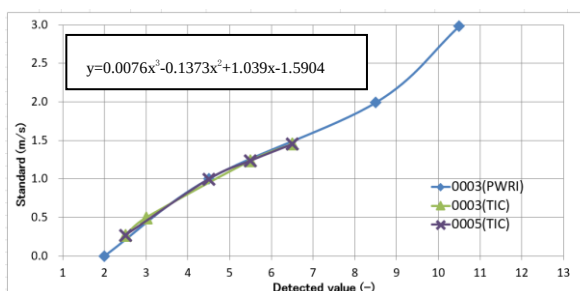


図-8 水路実験データ

リードスイッチ部の内部は図-6 のとおり 13 個のリードスイッチが 6 度ピッチで円周方向に配置され、図-7 のように可動側のマグネットは、磁力線の影響範囲のリード SW を 2~4 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、本例では検出値「5.5」（0.5 単位）と読む。

(4) 点流速センサの水路実験と近似式

図-8 は点流速センサ 5m/sFS の水路実験データであり、横軸は点流速センサの検出値、縦軸は基

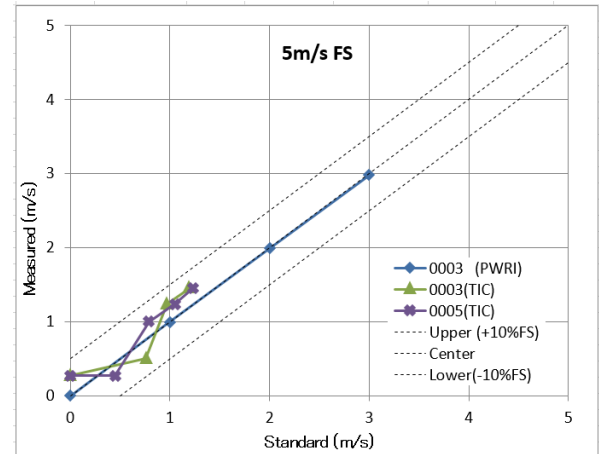


図-9 基準値と観測値の正誤図

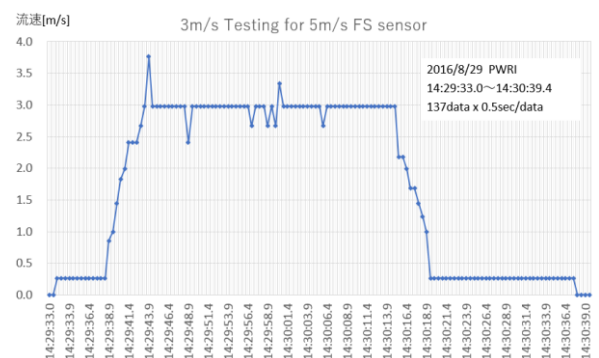


図-10 PWRI の 0.5 秒時系列データ

準流速が示され、ここから 3 次の近似式を求める。ここでは、国立研究法人土木研究所の流速検定台車（以下 PWRI といい、基準流速値として台車速度）と、拓和の流水試験設備（以下 TIC といい、基準流速値として可搬型電磁流速計）の計 3 回の水路実験データが示されている。

図-9 は基準値と近似式から得られた流速換算値の正誤図である。PWRI のラインは良く合った結果となったが、TIC のラインは電磁流速計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。なお、水路実験では全て ±10%FS 以下の精度が得られた。

図-10 は PWRI での図-8 の 3m/s 走行における約 0.5 秒毎の時系列データである。台車がスタートしてからストップするまで約 1 分間の連続値であり、中央部の一定速度値を基準値 3m/s として採用したものである。

4. 現地実験

(1) 現地実験概要

渡良瀬川河川事務所における現地実験状況を図-11 に示した。本実験に使用している機器は点流速センサ 3 地点 5 台、浸水センサ 2 地点 6 台である。1 分または 10 分毎の瞬時生データ観測とし、受信局以外は小型の太陽電池稼働である。



図-11 現地実験状況

(2) 現地実験観測データ

本実験で得られた H 鋼 2 の実観測生データ例を図-12 に示した。低水時の変化の少ないデータであるが、水位上昇時に流速も上昇していて相応のデータと考える。補正処理や平滑もされてない瞬時生データにも関わらず、ゴミの影響と思われる 4 データを除けば異常データは無く、超音波や電磁式手法でよく見られる異常に大きな瞬時値変動がなく、比較的安定した観測が行えている。

(3) 現地実験から導かれた平滑化処理と砂鉄対策

生データはゴミや乱流により瞬時に大きな変動があるため、前回の平均流速値 V_i に対し瞬時の生データ V_j が観測されその差 $V_j - V_i$ が設定値 V_n (FS の 5% 程度を想定) 以上であれば $V_i = V_i + V_n$, V_n 以下であれば $V_i = V_j$ とする異常値判定除去 (平滑化処理) を考案した。図-12 の四角部を拡大した図-13 はこの平滑化処理前の生データで 1.1m/s 程度の明らかな異常値が図-14 の処理後では 0.6m/s 程度に低減され、その効果が確認できた。また、11/22 00:00 付近では平滑化されていることもわかる。

その他、本実験で流水中の砂鉄がマグネットに付着し 3 ヶ月程度で観測できなくなったが、このためマグネットが常時水中に没しないようにエアールームを追加し対策する考案を行った。

5. まとめ

本稿においては、新たな点流速センサを用いた流量観測システムの考え方の一例を具体的に示すと共に、水路実験および現地実験状況、ゴミや乱流による瞬時異常値に対する平滑化処理の独自の考案とその効果および砂鉄対策について報告した。

IoT と点流速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、これまで流量観測は難しいという概念が、今後は容易に観測できるという可能性が見い出せた

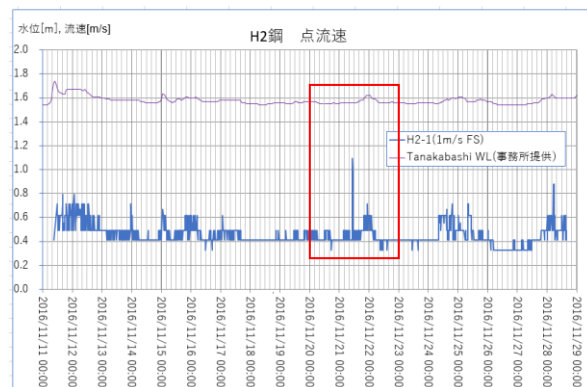


図-12 現地実験生データ(11/11~11/28)

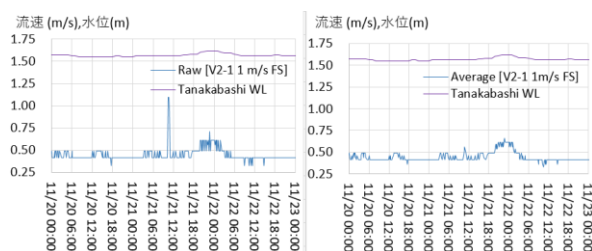


図-13 処理前(生データ)

図-14 処理後

と考える。しかしながら、まだ出水時の現地データが取得できていないことから、実験を継続した今後より多くの事例を経験することで、実用的でより高い技術向上に努め、これからの河川管理の高度化と減災に貢献できることを願うものである。

謝辞：「これからの河川管理システム検討会」(座長：佐藤直良 元国土交通省事務次官) 第一分科会(リーダー：山田正 中央大学教授)のご専門の方々、一般社団法人建設電気技術協会(専務理事：二階堂義則)の関係者、国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所(所長：牛腸宏)の関係者、ならびにこの現地実験のみのために通信系のハードおよびソフトを開発され無償貸与いただいた富士通(株)関係者に深く謝辞を申し上げます。

参考文献

- 1) 畑山満則：災害対応の事前(Before)、時中(During)、事後(After)、電気通信大学「システム安全学」ワークショップ、2017。
- 2) 松野裕、鶴岡重信、石垣陽、田中健次：河川水流の可視化による一般市民への防災情報提供へ向けた初期検討、減災情報システム第6回合同研究会、DRIS-2017-0321、2017。
- 3) 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、pp. 1-34、2014。
- 4) 鶴岡重信、Anu Banepali：IoTによる点流速センサの開発、第44回土木学会関東支部技術研究発表会、II-78、2017。
- 5) 山戸佐知男、鶴岡重信、Anu Banepali：センサーネットワークの現場実証実験について、平成 28 年度建設電気技術研究発表会、1-5、2016。