

超音波式流砂計による河川流送物質の観測 (第2報)

—クラウド端末センサーによるモニタリング—

SUSPENDED SOLIDS MEASUREMENT BY SUPER-SONIC WAVE,
INTRODUCTION OF SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF VELOCITY, AND
SIGNAL (SSI) PROPORTIONAL TO SUSPENDED SOLIDS(SECOND REPORT).

岩熊眞起¹・河嶋ちか子²・丸茂義典³・斎藤秀晴⁴・山口高志⁵

Maki IWAKUMA, Chikako KAWASHIMA, Yoshinori MARUMO,
Hideharu SAITHO, Takayuki YAMAGUCHI

- 1 正会員 東京建設コンサルタント環境分析センター (〒330-0841埼玉県さいたま市大宮区東町1-36-1)
- 2 東京建設コンサルタント環境分析センター (〒330-0841埼玉県さいたま市大宮区東町1-36-1)
- 3 正会員 工修 東建エンジニアリング 本社事業部 (〒330-0841埼玉県さいたま市大宮区東町1-36-1)
- 4 正会員 Ph.D 東建エンジニアリング RDセンター (〒330-0841埼玉県さいたま市大宮区東町1-36-1)
- 5 名誉会員 工博 山口高志 (〒277-0863千葉県柏市豊四季645-14)

A signal, named SSI, is found to be proportional to suspended solids, which is introduced from signal reflected by super-sonic wave velocity meter. As the result, simultaneous velocity and suspended solids measurement will be realized in the fields. We improved this measurement device to the power saving of, created the cloud terminal sensor by adding a communication device. Several results of experiments are introduced and a few technical problems are discussed.

Key Words : *Super-Sonic Wave, SSI, suspended solid, continuous observation method, cloud terminal sensor, maintenance-free*

1. はじめに

自然環境のモニタリングとして、連続観測による時系列データベースを作成し、関連付加データとの統合を行い、現象の解明、傾向の把握、新しい情報の創造、状態の監視等に役立てる手法がある。自然が卓越している河川空間においても、基本的要素である水位、流速、流量(水量輸送)の連続観測がなされ、情報加工高度化や迅速化が進められている。

筆者らの主題は、流送物質(質量輸送)の連続観測手法の開発である。流送物質の観測は、目的に応じて、調査期間を限定して実施されていることが多く、基礎的要素としての長期的な変化を把握する観測事例は少ない。流送物質を水位、流速と同じようなレベルで連続観測が出来るようにすることを目指すとともに、WEBベースモニタリングシステムへの連結を進めている。流送物質の流下を連続的に頼る解析は困難で難しく、より多くの地点の観測が必要であり。サーバーと通信回線網の利用、長期間メンテナンスフリー化等による低コスト化も重要な課題である。

本報告は、昨年度の第一報「河川流量観測新時代, 第4巻: 超音波流砂計による河川流送物資の観測」の続報である。第二報は、前報で紹介した超音波式流砂量計をクラウド端末センサーに改良して、長期間ノンメンテナンスで作動させるモニタリングを行った報告である。

使用した超音波式流砂計の基本機能・性能は、第一報での記載と同様である。省電源化への改良と通信器を付加して、クラウド端末センサーとしたセンシング装置である。当然であるがクラウド端末センサーはクラウド(サーバー)に通信回線網を介してつながっている。

クラウド端末センサーは、観測クラウド(サーバー)の子局で、通信回線網と常時接続の通信器を搭載したセンシング装置である。計測通信の制御、データベース作成、蓄積データの解析等の同時的処理を行う観測モニタリングシステムの構築を行っている。ここでモニタリングとは、「安全性の保持、状態の劣化度、施設の強度、水質濃度等が、施策目標として設定した範囲や基準を維持達成しているかを観察、観測、監視すること」ともいわれている。筆者らはモニタリングをそのようにも捉えて、河川モニタリングとしている。

河川モニタリングを進める場合に、センシング装置の機能、性能、精度等も重要であるが、それに加えて、以下の要件を満足することも必要である。その要件は、観測データはリアルタイムで入手可能、太陽電池等の独立電源作動、長期間メンテナンスフリー、小型軽量化、耐候性の保持等である。なるべく多くの地点の観測データがあることが、連続的に頼らない現象の解明、流出予測モデル等との連結利用が出来るレベルのものになると考えている。

2. クラウド端末センサー

(1) 観測（サーバー）とクラウド端末センサー

観測クラウド（サーバー）の基本構成は図-1に示すものである。端末センサーとは常時接続の通信回線網で接続されている。降雨データ等は関連付加情報である。

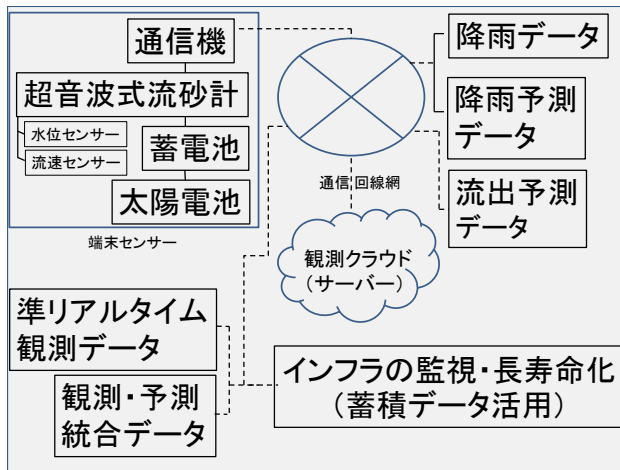


図-1 観測クラウド(サーバー)の構成(例)

(2) センシング機器の概要

端末センサーは第一報でも紹介したが、以下に要訳を再掲する。

a) 超音波式流砂計（水位・流速・SSI計）

本機器は水位、流速と合わせてSSI（懸濁物質指数：Suspended Solid Index）の出力を持つ。超音波式の流速センサー（耐水深100mの水没式センサー）、圧力式の水圧センサー及び計測通信器より構成される。

計測通信器は最少インターバル1分で作動する。水位、流速、反射信号強度および3種のSSIの合計6項目が出力される。小型蓄電池と太陽電池からなる独立電源器で長期間作動する。30～60秒遅れの準リアルタイムでWEBサイトで閲覧が可能である。

b) 機器の出力内容

観測により得られるのは6項目のデータである。水位（H：m）、流速（V：m/sec）とあわせてドップラー反射信号強度（S：mV）が出力される。センサーが河床への土砂堆積等で土中にある状態の場合Sは10mV以下となり、堆積土砂の湿潤密度に反比例の関係で変動する。セ

ンサーが空中に出てしまった場合は、Sは0mVになる。

あわせて水中の乾燥密度に概ね比例的に変化するSSIが3項目出力される。このSSI（無次元相対値出力）を流送物質量算定に必要な濃度への変換には、観測地点毎のキャリブレーションの作成が必要である。SSIは流速の影響を除去した出力値であり、基本的には濃度の観測である。流送物質量の算定には次式（2a）のqbの算定が必要である。

$$qb = [V] \cdot [C] \cdot [h] \quad (2a)$$

但し [qb]：単位幅当たり流送物質量 (g/m²・sec)

[V]：流速 (m/sec)

[C]：流送物質濃度(g/m³) C = f (SSI)

[h]：流砂層の厚さ (m)

c) SSI値の精度と流送物質の濃度との相関

SSIがどの程度の信頼性、再現性および精度で、採取試料を分析して得られる乾燥密度、懸濁物濃度との比例関係が保持されているかは重要な課題である。74～2000μmの砂を用いた流速1m/secの水路及び沈降筒試験では5000～9000g/m³程度までの濃度で再現性のある比例的関係は確認できている。流送物質の特性は当該地点の地形毎に、そして流下形態とその物質特性により大きく異なり、比例関係の式形も異なる。当該現場での採水・採砂を行い、乾燥密度（C：g/m³）との関係図の作成が必要である。



図-2 超音波式流速センサー（左）
計測通信器（右）

3. 観測期間と地点

河川モニタリングは、一年間ノンメンテナンスで作動させることによる適用性検討を目的に、一般的な都市域小河川において以下の内容で行った。

(1) 期間及び地点

観測の期間 2013年秋設置、開始

内報告期間 2013年12月1日～2014年11月30日

観測の河川 都市域小河川（兩岸堤防はRC護岸）

内報告地点 2地点（HAL地点 NIL地点）

(2) センサーの設置水深

センサーの保持は、RC護岸に単管パイプを取り付けて、その先端部に水位センサーと流速センサーを取り付けた。センサーの設置地点の水深は約0.3mであり、平水時水深の底（河床）から1/3の約0.1mの位置で観測した。

(3) 観測間隔

端末センサーの時計はクラウド(サーバー)から、計測毎に修正して正確なものとし、10分毎(40秒間計測平均値)の観測間隔の正確性を保持した。

(4) データベース作成項目

水位(H : m), 流速(V : m/sec), 信号強度(S : mV), SSI1, SSI2, SSI3(無次元), 電源器蓄電池電圧(E : mV)を端末センサー観測値として時系列データベースを作成した。雨量は近接域の気象庁データを付加した。

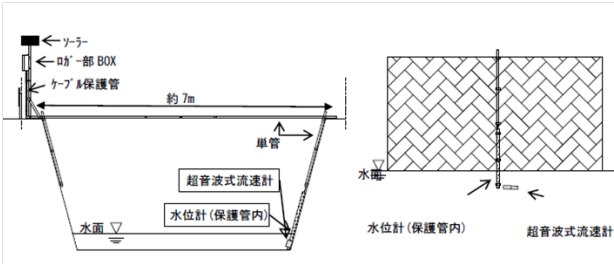


図-3 超音波流速センサー取り付け方法図

(5) 観測データベースの加工、解析

観測データベースからは多様な情報が得られる。準リアルタイムでの取り扱いとなる観測データとクラウドに収録される蓄積データに分けられる。蓄積データの活用は経月、経年変化の傾向の把握、特異な変化の出現探知、瞬間的な目視監視では見えない事柄の精密監視等が可能となる。表-1は河川管理に関連した利活用方途の例である。

表-1 観測・蓄積データ利活用のフレーム

データ・情報の利活用区分	考えられる利活用例
準リアルタイム情報の活用	<ul style="list-style-type: none"> * 水位・流速の常時リアルタイム把握 * 流送土砂量の常時リアルタイム把握 * 流出予測モデルのチェック、モデルの実用化 * H-V関係変化からの出水特性の監視
蓄積情報の活用	<ul style="list-style-type: none"> * 河床高変動(堆積・洗掘)のモニタリング * 流出特性、流域変化のモニタリング * 流域自然(降雨等)変化のモニタリング * 土砂動態変化のモニタリング * 汚濁負荷堆積、流出のモニタリング * 河川管理施設損傷等のモニタリング(漏水等)

4. 観測データベースの紹介

(1) 一年間の連続観測結果

2013年12月1日から2014年11月30日までの一年間の全データ経時変化図が図-4である。細かくて判別が難しいが、上段が12月1日から5月31日の期間、下段が6月1日から11月30日までの期間のデータである。データベースは、任意の項目、期間のデータ抽出および自在の加工、編集あるいは自動解析が可能である。以下にその事例を示す。いずれも自動解析、準リアルタイムでの表示が可能であ

る。蓄積データの解析による事象の診断等は別の機会に報告する。

(2) 降雨による出水時の観測

流域の降雨による出水の観測結果が図-5である。上段から雨量、水位、流速、信号強度、SSIである。流域が小さいため、降雨による出水(水位、流速の増加)の時間遅れは小さい。降雨パターンにより出水規模が異なる。流域からのウオッシュロードや汚濁負荷の流入及び河床材料の移動等による流送物質濃度(SSI)の変動も見えてくる。

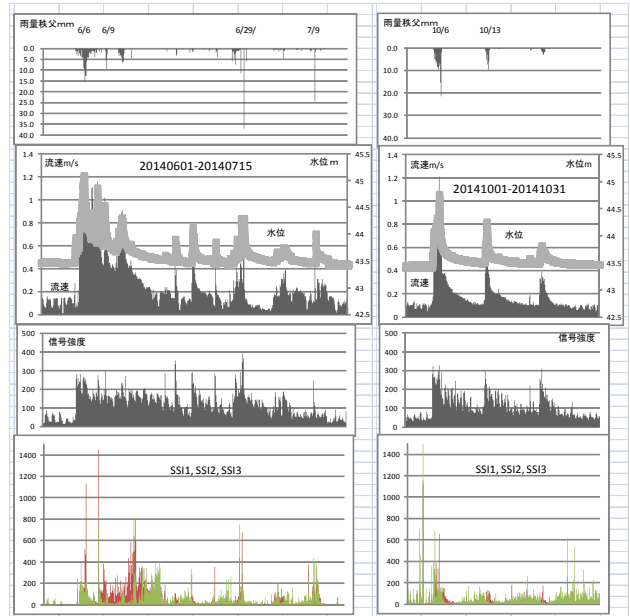


図-5 降雨による出水のデータ

左図 梅雨時期 (6/1~7/14)

右図 台風時期 (10/1~10/31)

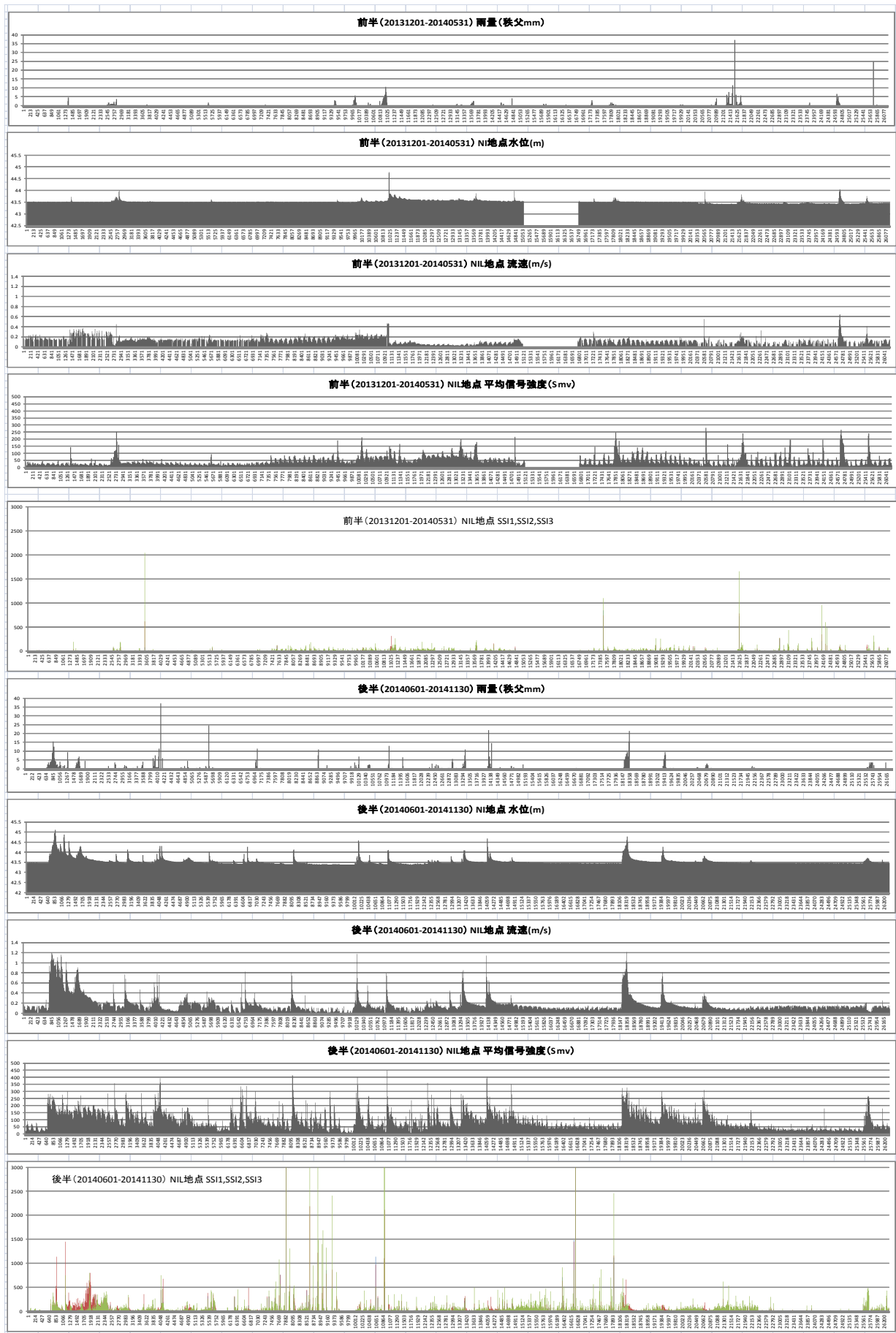


図-4 年間経時変化

(3) 出水時の水位 (H) と流速 (V) の関係

6月から10月の期間の5回の出水時の水位と流速の関係を示したものが図-6,図-7である。図は同じ出水を左側が水位上昇期, 右側が水位下降期として示してある。水位と流速の関係が乱れない出水と, 6/6~6/7の事例のように水位と流速の関係がバラつく出水があることも見えてくる。前項もそうであるが, 準リアルタイムでの状態の見える化は進歩である。

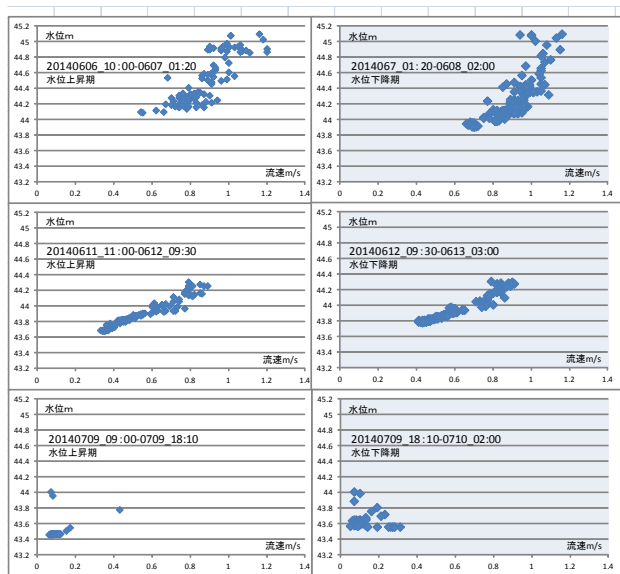


図-6 水位-流速関係図 (6/1~7/14期間の3出水)

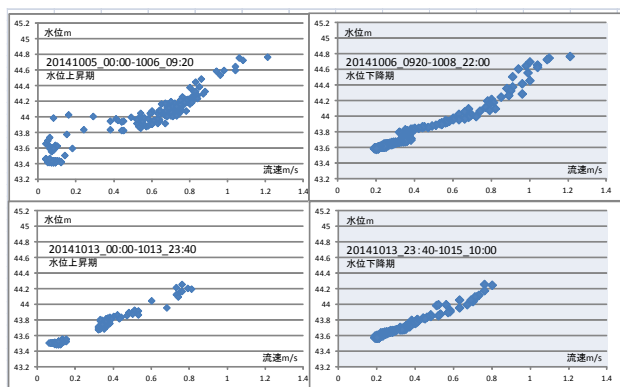


図-7 水位-流速関係図 (10/1~10/31期間の2出水)

(4) 水位の変動

図-8は一年間の水位の変動である, グラフのひげ状の変化は出水による水位の上昇である。それ以外の時期は無降雨時の平水時の流況であり水深は20~30cmである。

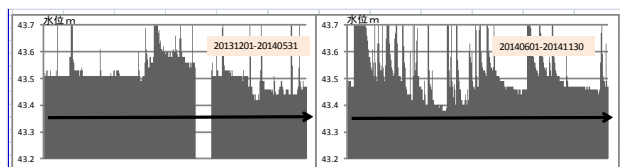


図-8 一年間の水位変動

図の太線は設置時の河床高である。右図の一部の期間

は流水部水深が数cm以下になってしまい, この期間は河床低下で水位が下がっている (左図空白は欠測)。

(5) センサーの埋没による信号変化

信号強度Sが8~10mV以下になる場合が出現した (センサーが空中に露出した時は0mVになる)。Sが連続して10mV前後以下となる場合は, 河床土砂の移動, 堆積によりセンサーが土中埋まってしまった場合である。

Sが10mV以下の反射信号Sの低下は, 湿潤密度 (Pc) に反比例して低下する。図-9は信号強度が10mv以下の状態が続いた期間 (9月8日~11月30日) の推定湿潤密度の経時変化図である。

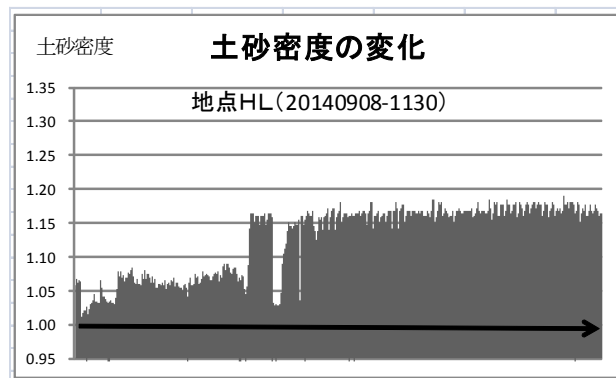


図-9 埋没時の反射信号強度からの土砂密度の推定図

(6) 流送物質濃度の推定

流送物質濃度変化が信号強度Sを変化させる。信号強度Sは流送物質濃度以外の要因により変動する。センサーの汚れに起因する影響も大きく, 長期間ノンメンテナンスで動作させるには不利な与条件となる。超音波反射信号の信号強度と流送物質濃度との比例関係は, 比較的低濃度の場合を除き実用的なキャリブレーションの作成は困難である場合が多い。筆者らは, そうした点をふまえて, 一定時間 (40秒) の信号強度のばらつき特性を解析して算定するSSIを出力している。観測場所, 期間によっては, 信号強度SとSSIに一定の関係がみられる場合もある。今回の観測場所では図-10に示すように漠然とした関係しか得られなかった。

SとSSIに良好の相関がみられる場合は, 次式 (3a) で計測濃度換算式を作成する事となる。SとSSIの相関性が低い場合は, nを0として取り扱い, SSIのみで計測濃度を換算算定する。

$$[CK] = (SSI)^m \cdot (S)^n \quad (3a)$$

但し, $m > n$, $m, n < 1$

CK : 流送物質の計測濃度 (-)

計測濃度 (CK) は, 当該現場ごとに採取して分析して得られる乾燥密度 (C) とのキャリブレーション作成を行って流送物質濃度に換算することが必要である。

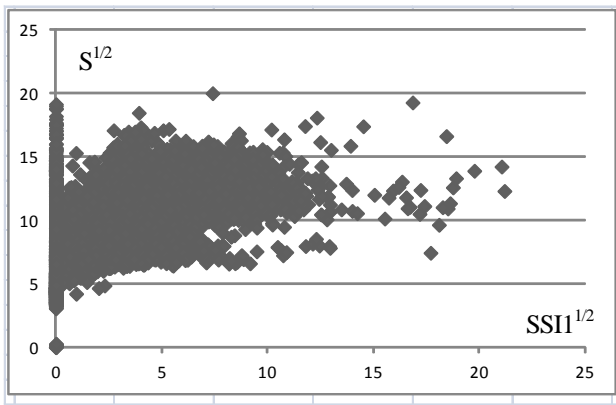


図-10 信号強度(S)とSSI1との相関図
(6/1~7/14全データ)

(7) 流送物質量の推定

図-11は、流速と流送物質の濃度を表すSSIの関係を示したものである。流速が大きくなることによる掃流力の増加が流送物質を増加させることがわかる。

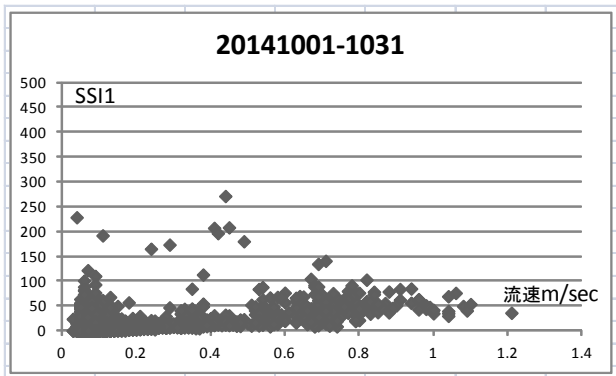


図-11 流速の増加によるSSI1の増加
台風時期 (10/1~10/31)

図-12は、SSIと採取した土砂の乾燥密度(C)との関係について別河川でのキャリブレーション作成事例を示したものである。この図は、端末センサーを取り付けた地

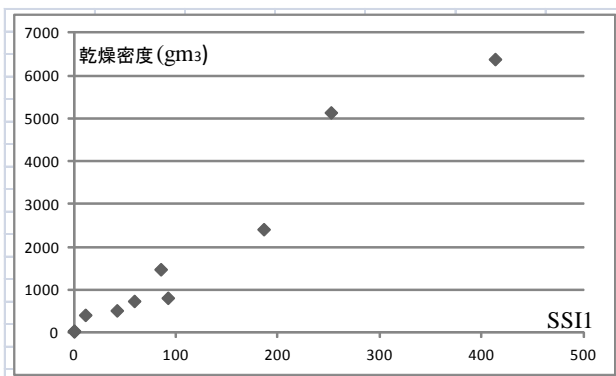


図-12 SSI1と採取資料の乾燥密度関係図(例)
(別途河川調査資料)

点ごとに必要な非常に重要なデータである。この図における土砂濃度は、砂分のみを対象としており、74 μ を除いた砂分の乾燥密度(C:g/m³)を分析している。

この相関図をもとにして、計測濃度から水中の乾燥密度に換算をして流送物質の濃度を求め、その値に流速(V)と流送物質がながれている水深(h)を乗じて流送物質量を算定することとなる。式(2a)のとおり。

5. まとめと今後の課題

クラウド端末装置としての、水位、流速、SSIを連続観測するセンシング装置を開発製作した。この装置を用いて河川のモニタリングの観測データベースの作成を行ない以下の知見を得た。

- ・一年間ノンメンテナンスで作動させる事が出来た。超音波センサーに泥などが付着したが正常に作動した。通信回線ノイズに起因すると考えられ停止が難敵である。
- ・10分毎に観測されたデータは、すべて30~60秒以内の準リアルタイムでWEB閲覧可能な状態ができた。
- ・小型の独立電源(13Wの太陽電池とDC12V・12AHの蓄電池)で、電力不足の出現は皆無であった。
- ・端末センサーは、長期間のノンメンテナンスに加えて廉価であることも必要である。通信回線料、機器損料の低コスト化は目処がたった。但し、土砂濃度を実測してのキャリブレーション作成は、調査、分析費用等が必要である。
- ・水位(水深)と流速は実用的精度で観測データが得られる。この観測値から流量(全幅流量)の推定は、過年度流観野帳の解析等で出来るものと考えられる。
- ・降雨の流出予測モデルのチェック、検証等に使用可能な実用的精度の観測データも得られる。
- ・出水毎のH-V関係図が、出水規模の判別等に実用性のあるレベルでの出力として得られた。
- ・同様に流送物質と流速の関係図も得られた。流送物質の変動を観測できることより、河床土砂挙動の見える化に一步前進であると考えている。
- ・今後の取り組んでゆく課題としては、センサーを横断方向、水深方向に多点取り付けての観測にむけて、近接域に設置したセンサーの干渉の排除、キャリブレーション作成実験手法の確立等の開発が必要である。具体的利用として、流心部H鋼等にセンサーを取り付けての観測も必要であると考えている。

謝辞：この度の試行的な河川モニタリングの実施に当たっては、多くの方のご協力をいただきました。誌上をお借りいたしましてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会編：浮流砂の濃度分布、水理公式集(平成11年度)、第2編河川編、4.1.5,1999

(2015.2.10受付)