

新しい流速計の検定方法について

Discussion about Calibration Examination of New Current Meter

萬矢敦啓¹・橘田隆史²・墳原学³・菅野順一⁴・岩見洋一⁵
Atsuhiko YOROZUYA, Takashi KITSUTA, Manabu TSUKAHARA,
Jyunichi KANNO and Yoichi IWAMI

¹Ph.D. 土研水災害リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

²修士(農学) 株式会社ハイドロシステム開発 (〒550-0022 大阪市西区本田3丁目2-18)

³学士(工学) 横河電子機器株式会社 (〒257-8502 神奈川県秦野市曾屋500)

⁴学士(工学) 株式会社セレス流速計試験所 (〒201-0004 東京都狛江市岩戸北2-11-1)

⁵修士(工学) 土研水災害リスクマネジメント国際センター (〒305-8516 つくば市南原1-6)

Calibration of the velocity measurement devices have been conducted in Japan since 1933. Price type current meters and others of these kinds have contributed to measure the low flow discharge, and have been subjected for the calibration. The calibration facilities were well designed to examine the current meters with a water tank, which can maintain still water, and a tow cart, which can control and monitor the speed. On the other hand, the measurement devices for the high flow discharge have, recently, developed with different principles, such as acoustic, Radar, and video-images. It is necessary to check and calibrate the devices for maintaining accuracy as well. However it is not simple to prepare the calibration facilities for examining the new devices, because of the different principals. For example, the acoustic type instrumentations require back-scatters with an appropriate signal-to-noise ratio in contaminated water, while Radio and video-images require water surface ripples. With applying the existing calibration facilities, this paper discusses the method to verify the accuracy of the recently-developed measurement devices, such as the acoustic, Radar, and video-images.

Key Words : Calibration, flow measurement, Acoustic Doppler Current Profiler, Rader, Video images

1. はじめに

日本国内における低水流量観測は、すべての流量観測地点において一年間に36回計測することを義務づけられている¹⁾。ここで計測される河川流量は河川管理者が治水、利水及び環境計画・管理を行う上で基礎的な資料であることから、高い精度の計測を継続する必要がある。現況で使用頻度の高いプライス式や、三栄式に代表される流速計は検定式の定数の経年変化が認められる。このため流速計の精度を保証するために、一年に一度の流速計の検定を義務づけている。このような背景から、独立行政法人土木研究所(以下土研)は昭和8年頃より流速計検定を実施してきた。現在日本国内における流速計の検定機関は、著者らが所属する土研と株式会社セレス流速計試験所(以下セレス)だけである。

洪水流量観測に関して、日本国内では浮子流量観測手法を採用してきた。この観測手法は大雑把に言えば、浮子を河川水に投げ込み観測所に応じた基準断面間を通過

する時間を計測し流速値を算出するものである²⁾。浮子観測はオイラー的な観測ではなく、ラグランジュ的な観測であること、また得られる流速は観測地点の河道形状、河道線形等に依存することから、計測器としての事前のキャリブレーションができない。

一方、近年、画像解析³⁾や超音波⁴⁾、電波技術⁶⁾等を用いた新しい流速計が開発され、実用に資する技術として河川砂防技術基準¹⁾や、論文等でも紹介されている。例えば、acoustic Doppler current profiler (aDcp)⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾、電波式流速計¹²⁾¹³⁾、画像解析手法の一つであるSpace-Time Image Velocimetry (STIV)¹⁴⁾¹⁵⁾があげられる。本報では商品としてのADCPと区別するため、一般名としての超音波流速計をaDcpと表記する。また国外に目を向けると、ドイツ国のOTT社のAcoustic Digital Current Meter (ADC)や米国SonTek社のFlow Trackerなど、音響系の計測機器が普及してきた。これらはプライス等の点計測に変わる新しい技術として注目されている。またISO/TC113(国際標準の開水路における流量測定に関する分科会)のSC1(流速断面積法)では電波式流速計や画像解析を含

めた非接触型流速計を用いた流量観測手法に関して、国際基準として登録すべく議論を再開させた。今後はこのように新しい観測手法による計測手法が認知され、それぞれの計測結果が水文統計値として登録され始めることが想定される。それ故に計測手法の精度を保証するための計測機器の検定が必要となる。

本報告では、後述するAcoustic Workshopでの議論の内容と、新しい流速計の検定方法に関する実証実験について報告し、現在まで理解していること、今後の流速計検定方法のあり方に関して議論を進める。

2. 既往の流速計検定

プライス式や三栄式に代表されるような流速計の検定方法は、勾配ゼロの直線水路に水を満たし、静水を用意する。移動速度を操作及び管理できる台車に検定対象である流速計を吊るし、水路内の静水につけ、台車を特定の移動速度で動かす。台車の移動速度とこのときの流速計の計測速度が正しいことを確認することで、検定とする。一般的には流速計の持つ計測範囲を15段階にわけ、各段階の台車速度と流速値のずれを比較するものである。このような検定施設は、台車の移動速度の精度が無視できるほど小さいこと、水路内の静水がゼロの流速であることが検定に必要な環境である。

また日本国内の流速計の検定機関は土研とセレスの二者である。両検定施設の諸元は表-1を参照されたい。土研の検定水路は屋外にあること、セレスの検定水路は屋内にあることが特徴である。またセレスの水路は年に一度清掃を実施しているのに対して土研ではそのような作業は実施していない。

3. Acoustic Workshop

(1) 概説

Acoustic WorkshopはUSGS(United States Geological

表-1 検定施設諸元

		セレス	土研
水槽の諸元	幅, m	2.0	2.0
	深さ(有効水深), m	2.0 (1.8)	1.6(1.4)
	全長, m	155	220
	材質	コンクリート	
台車の諸元	長さ, m	3.5	4.0
	幅, m	2.5	3.0
	高さ, m	1.8	3.1
速度範囲		0.01~6.0m/s	
速度制御装置方法		ロータリーエンコーダー(分解能0.1mm)	
速度精度(対設定速度)		0.5%以下	1.0%以下

Survey) の研究者で、Mississippi州のStennis Space CenterのHydrologic Instrumentation Facilityに所属している、Janice Fulford及びKirk Thibodeauxが始めたWorkshopである。2013年3月のStennis Space Centerにおける会議では、米国のUSGS、カナダのEnvironmental Canada、ニュージーランドのNIWA(National Institute of Water and Atmospheric Research)、オランダのDELTARES、スイスのMETAS(Federal Institute of Metrology)、オーストラリア・クイーンズランド州のDNMR(Department of Natural Resources and Mines)、日本の土研から、それぞれの国及び地域で流速計の検定を担当している技術者が参加した。また計測器のメーカーとして、ドイツのOTT社、米国のTeledyne RDI社(以下TRDI社)、日本の(株)ハイドロシステム開発社の技術者が参加した。その他にも二ヶ月に一回程度の電話会議を実施している。本報告の著者の一人である萬矢はISOの国際会議で同席したKirk氏に声をかけられ、参加することになった。多かれ少なかれこのようにして参加者が増えているように見受けられる。これまでは一年に一回程度の打合せと二ヶ月に一回程度の電話会議を実施してきた。ここでは、音響系の計測機器に必要な検定水路の環境設定とaDcpの検定手法であるDistance Make Good testing (DMG)に関して議論した。対象となる計測機器はポイント型音響技術を用いたOTT社のADC、SonTek社のFlow Trackerと、多層型音響技術を用いたTRDI社及びSonTek社のaDcpである。これらの議論内容を各国で試行することが各国の代表者の宿題となっているが、日本はポイント型の計測機器が普及していないので、DMGに関してのみ関わることにしている。

(2) 音響系流速計の検定水路の環境設定

音響系の流速計は、対象とする水に音波を照射し、送・受信波から得られるドップラー効果を用いて流速値を得るもので、これらの流速計の検定を実施するためには、特に質の良い受信波を得るための環境を作る必要がある。ここでは検定に用いる水路内の水質に関して適切な環境に維持する必要がある。多くの場合はカオリン等の懸濁物質を散布し、あえて水質を汚くすることでS/N比を高くする。しかしながら、散布する懸濁物質の種類、濃度に関して未だコンセンサスが得られていない。またOTT社の報告によると検定水路のS/N比が均質でない場合、計測結果が不安定になることも報告された。このように流速値がS/N比に依存するような流速計を検定することは、これまでの検定方法が水路内の静水を用意すればよいのと比較すると、水路内の水質を適切に設定するという観点からかなり困難であることがわかる。このように水路の環境に依存する流速計の検定を実施することは非常に難しいといえる。

(3) Distance Made Good Testing (DMG)

DMGはUSGSのaDcpに関する検定手法である。USGS

では検定台車を動かし、そのときのボトムトラックが計測する距離と実際に動いた距離を比較することで精度検証としている。検定条件は計測距離が22.8m、加速度が0.02m/s²、最大速度を0.4m/sとしている。検定では最初にビーム1を検定水路の進行方向に向け、それぞれ進行方向に2回、逆方向に2回の計測する。その後45度トランスデューサを回転させ、その角度において同様に4回計測する。このように45度角度を変えて合計4回の計測を1セットとして、合計8方向の向きで実施する。なおこのような検討の際にはカオリンを用いた懸濁物質を使用している。TRDI社におけるaDcpの品質検査においてもこのような手法がとられている。

4. 新しい流速計の検定方法

(1) 検定対象となる流速計の計測原理

a) aDcp

aDcpは超音波ドップラー多層型流向・流速計で、3又は4つのビームからビーム方向の流速を計測し、三次元の流向・流速を算出するものである。洪水流量観測に頻繁に使用される種類のaDcpはボート等に搭載し、水面から河床を照射し、曳航しながら流速値を得るものである。それ故に、本体の計測性能の他に、ボートの移動速度、ピッチロールセンサーを用いた舟艇の傾き、方位磁石を用いた舟艇の向きなどが計測する流速値に効いてくる。これらのセンサーがすべて同期する条件でのみ正しい流速値が得られる。

上記全てのセンサーの同期状況を確認するためには、例えば実河川又は湖沼においては、ボートに搭載し流速値を得ることも一つのアイデアではあるが、対象となる水域の流速値がわからないため検定に使うことはできない。一方でUSGSはこのような方法で河床移動がないという前提でボトムトラックのフィールドによる検定方法を提案している。

b) 電波式流速計

電波式流速計は橋梁等からある俯角でセンサーを傾けて、流れに対して電波を照射し、その送受信波から算出されるドップラーシフトから水面の流速を算出するものである。解析するのに十分な受信波を得るために、流れの表面に凸凹が発生している必要がある。

c) 画像解析、STIV法

画像解析を用いる手法は映像又は写真を撮影するためのカメラを河岸等に設置し撮影をする。そのとき画角内に精度よく測量された6点以上の評定点を設置し、それを用いてあたかも上空から撮影したかのように幾何変換を実施する。幾何変換後の画像内に存在する移動物質を追跡することで流速値を得る。ここで画像内における座標値、画像の時間間隔から流速値を算出することになる。

物質の移動を検出する方法は複数あり、それぞれの違いにより手法が異なる。画像解析の一つであるSTIVは、設定した検査線上を動く物体がSpace and Time Imageの中で傾きを持って検出され、その傾き角度を流速として算出するものである。

(2) 検定方法の検討

aDcpに関しては3. で議論したように、検定方法が確立されていない。電波式流速計に関しては、実際の観測においても河川水の表面に凹凸がある場合の条件で計測が可能となる。実験水路の表面に波を起し、その凹凸を利用して検定を実施するような試みが以前にはあったようであるが、検定時に発生すべき波の特徴である波高、波長、周期のあり方など、未知数が多い。たとえそのような基準があったとしても、基準通りの波を発生させることは容易ではない。これも3. で記述したS/N比と同様にタンクの環境に依存するものである。画像解析手法に関しては実河川の計測で波紋から流速を得る技術であるために、タンク内に波紋を発生させる必要があることから、これもまた同様に困難である。

これらの流速計の検定手法を議論する上で、前節の計測原理を考慮すると、三つの要素に分けると考えやすい。それらは① センサーの配置状況、② 計測手法、③ 流速値の算出方法であり、個別の流速計に対する検討項目を表-2にまとめた。以下それぞれの項目に関して議論を進める。

a) センサーの配置状況

aDcpに関して、超音波を発生するトランスデューサの設置角度がこれに該当し、DMGも同じ観点から考えられた手法である。例えばTRDI社のWH-ADCPは4つのトランスデューサを持ち、それぞれが鉛直方向から20度の角度を持つように配置されている。この角度が少しでもずれることがあれば、流速値の算出に大きな誤差が発生することになる。

電波式流速計に関して、同様に本体内部の角度センサーと実際のセンサーの照射方向である。電波式流速計に関してはaDcpのDMGに相当するものは存在しないが、このようなセンサーの設置角度の検討は必要となる。

画像解析に関して、幾何変換の精度がそれに当たる。評定点の設定、その測量結果、レンズのひずみなどが、影響するものと考えられるが、その最終的な結果が幾何変換の品質となる。

表-2 新しい流速計の検定方法

	aDcp及び電波式流速計	STIV
センサーの設置状況	センサーの設置角度	幾何変換の品質
計測方法	送受信波の品質	ビデオカメラの性能
流量値の算出方法	理論を含めた流量値の算出アルゴリズム	解析ソフトの性能

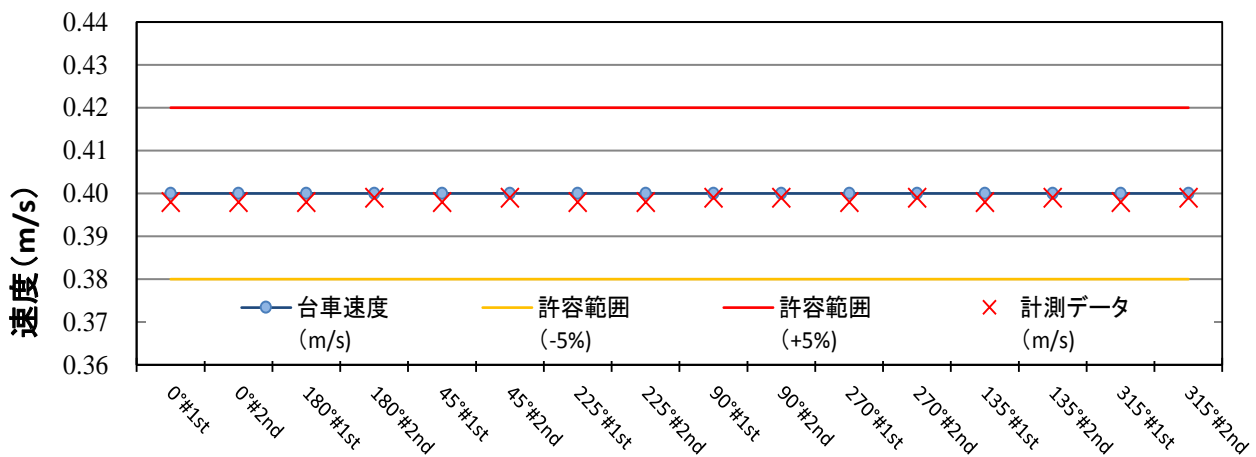


図-1 セレスにおけるRRのDMGテスト結果の一例

b) 計測方法

aDcpや電波式流速計のように超音波又は電波を発射する技術であれば、送受信した波の特性を検査する必要がある。現に、河川砂防技術基準¹⁾や流量観測高度化マニュアル¹⁶⁾ではそれを検定としている。

画像解析に関しては、使用するビデオカメラの性能調査が基本となる。例えば一般的な家庭用ビデオカメラは一秒に29.97枚の画像を取得している。画像技術は基本的にはこの数字を時間間隔、認識した動きを移動距離として流速を算出するために、フレームレートが不安定なカメラは、計測に使用することはできない。

c) 流速値の算出方法

aDcpや電波式流速計に関して、理論も含めた流速値のアルゴリズムがこれに該当する。これに関して要素の分離が難しいものがあるとすれば、aDcpの場合、ボトムトラックとウォータートラックは速度算出アルゴリズムが共通であるため、DMGがよければ流速に対する結果も正しいということもできるようである。また画像解析に関して、例えばソフトの性能がこれに該当する。

d) まとめ

以上、新しい流速計の検定方法を議論した。ここでは河川砂防技術基準やUSGSの手法等に基づき現況でできる手法とその考え方をまとめた。これらは各計測の要素を分解し、それぞれの項目において検定方法を検討したものである。しかしながら実際の観測においては流速値を算出するにあたって、これらの項目がすべて同期することで正しい計測を実施することになる。それを確認するための最も簡単な作業は、単純にセンサーを直接検定することに他ならない。それを実証するために次節ではこれまで著者らが実施した検討内容に関して記述する。

(2) aDcpの検定方法に関する検討

著者らは土研、セレスの検定施設を用いてaDcpの検定を試みた。ここでは前述のDMGを参考にし、若干改良をしながら以下の手法を検討した。① DMG, ②15段階ス

これは国内の標準的な手法を参考にした。また使用したaDcpはいずれもTRDI社のものであり、Workhorse ADCP (WH), RiverRay ADCP (RR), Stream Pro ADCP (SP)である。機器の詳細はメーカーのURLを参考にされたい。以下それぞれの手法の概略と結果を概説する。

a) Distance Made Good testing (DMG)

この手法は両検定施設共に、台車の流速計の速度管理はしているが距離の管理はしていない。そのためにここでは、USGSの手法とは異なるが、台車の速度を0.4m/sの一定の速度とし、60秒程度の計測時間からボトムトラックが算出する移動速度が設定速度と等しければそれがDMGの検査を満たしているものとした。実際の検定の際には、台車が指定速度である0.4m/sになってから記録を開始し、60秒で計測を終了とした。

セレスの実験施設においてRRの検定結果の一例を図-1に示す。ここで横軸はトランスデューサ1を検定水路に向けた角度を0度としたときのそれぞれの回転角度、その角度に応じた検定番号を示す。また縦軸は流速を示す。ここでは台車の移動速度、±5%を基本とした許容範囲の上下限值、計測データを示す。これも含めたDMGの結果の概要を表-3に示す。

表-3 DMGの結果

(WH: Workhorse, RR: RiverRay, SP: StreamPro)

		セレス	土研
WH	計測平均, cm/s	40.1	40.1
	最大誤差, %	1.0	1.0
	平均誤差, %	0.3	0.3
	標準偏差, cm/s	0.18	0.17
RR	計測平均, cm/s	39.8	39.9
	最大誤差, %	-0.5	-0.5
	平均誤差, %	-0.5	-0.3
	標準偏差, cm/s	0.05	0.05
SP	計測平均, cm/s	40.2	40.2
	最大誤差, %	0.8	0.8
	平均誤差, %	0.5	0.5
	標準偏差, cm/s	0.07	0.07

表-3が示すように、DMGの結果、セレス、土研の両方の結果は十分に精度を満たしていることから、両方の実験水路はDMGの検査が可能であることが確認できた。

b) 15段階ステップ検定 (ウォータートラック)

ここでは台車速度を0.05m/s～2.5m/sの間で15段階に割り振り、検定を行った。一般的には、検定対象とする計測器の上限値を検定範囲とする。しかしaDcpの検定では台車速度が高速になると気泡の混入でデータ取得が困難になるため、本体を深く取り付ける必要があり、浅い検定水層ではそれが難しいため、台車速度の上限は2.5m/sとした。ただしaDcpはそれ以上の流速域においても原理的には線形性が成り立つとされており、流速2.5m/sまでの検量線の傾きが誤差範囲に収まっていれば、流速5m/sであっても精度は担保できる、という考えを前提にしている。

ここでは、トランスデューサ1を台車の進行方向に向け、センサーの吃水深度は40cm以上とした。またこのときの各機種の設定コマンドは表-4に示す通りである。ここでは、WHに関しては実観測同様に、台車速度が低速域の1m/s未満ではMode11 (ハイレゾリューションモード)、高速域の1m/s以上ではMode12 (ハイレートピンギングモード)を採用した。発信回数に関してはTRDI社製ソフトウェア「PlanADCP Ver. 2.06」を使用して、ターゲット速度の5%以内に標準偏差が入る発信回数を設定した。これによるとWHは低速域で10アンサンブル (約30秒)、高速域では10アンサンブル (約20秒)であった。またRRは低速域では100アンサンブル (約70秒)、高速域では60アンサンブル (約35秒)であった。またストリームプロは、各ステップに最低必要なアンサンブル数をあらかじめ設定しておき、そのアンサンブル数を越えるまでデータ取得させた。さらに平均流速の算出には水面や水路床の影響を受けない有効層のデータを用いた。ここでは設定層厚を10cm、10層以上として3～6層のデータを採用した。さらに検定結果の指標は現況の指標に準じて、速度に応じた相対誤差が5%以内に入る事とした。

図-2に土研検定施設を用いたWHの検定結果を示す。図は横軸が試験速度、縦軸が計測結果である。計測データは×で、許容範囲を±5%としてそれぞれ赤、黄色の直線で示してある。図が示すように、1.0m/s以下の流速においては、計測結果は大きく下回る。それ以上では5%以内の範囲内に入っている。これが示すものは、Mode11は完全に不合格であり、Mode12は合格という点である。なお、Mode11は低濁度環境においてS/N比が相対的に低下するというメーカー所見が得られている。また表-5はセレス、土研の他の結果を示す。これによると、相対誤差が5%を超える場合が多く、ウォータートラックに関しては全ての計測器が使用不可という結果となる。しかしながらこれは計測器の問題ではなくて、検定水路の水質の問題であり、これらの実験水路はウォータートラックの検定のための準備ができていない事を示している。

表-4 ADCPの設定コマンド

WH		SP	RR
Mode11	Mode12		
CR1	CR1	CR1	CR1
CF111110	CF111110	WN15	
BM5	BM5	WS10	
BP15	BP3		
BX24	BX24		
EA0	EA0		
EB0	EB0		
ED0	ED0		
ES0	ES0		
EX01111	EX01111		
EZ1111101	EZ1111101		
WA50	WA50		
WB0	WB0		
WD111100000	WD111100000		
WF10	WF10		
WM11	WM12		
WN15	WN15		
WP15	WP3		
WS10	WS10		
WZ5	WO20.0		
TE00:00:00.00	WV175		
TP00:00.00	TE00:00:00.00		
	TP00:00.00		

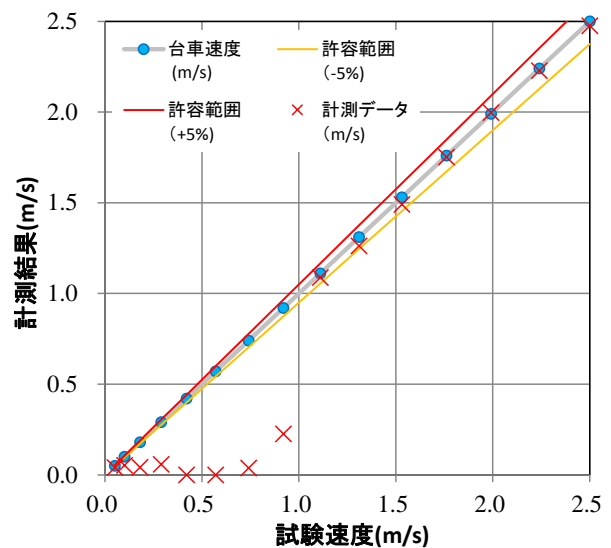


図-2 土研検定施設を用いたWHの15段階ステップ検定結果 (ウォータートラック)

表-5 15段階ステップ検定 (ウォータートラック)

	セレス		土研	
	相対誤差	可否	相対誤差	可否
WH	ほぼ全域で5%以上	×	半分以上で5%以上	×
RR	ほぼ全域で5%以上	×	半分以上で5%以上	×
SP	全域で5%以上	×	ほぼ全域で5%以上	×

c) 15段階ステップ検定 (ボトムトラック)

ここではウォータートラックと同様の計測を実施し、そのときに計測したボトムトラックの値を用いて、その速度の検定をした。図-3はセレス検定施設を用いたWHの15段階ステップ検定結果である。これが示すように、ボトムトラック速度は検査域全域にかけて5%以内の範

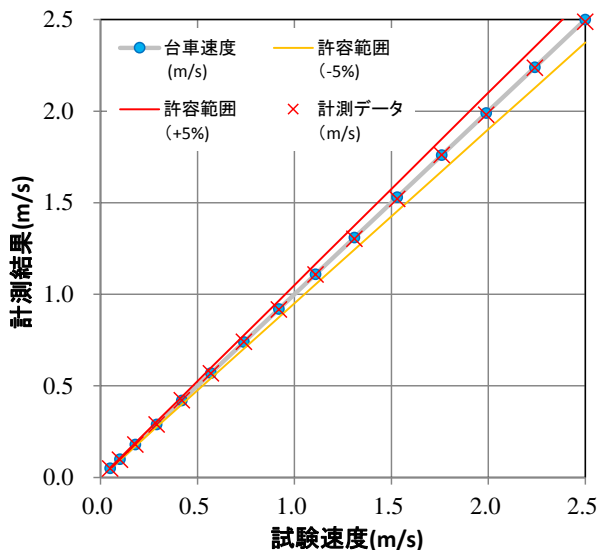


図-3 セレス検定施設を用いたWHの15段階ステップ検定結果 (ボトムトラック)

表-6 15段階ステップ検定 (ボトムトラック)

	セレス		土研	
	相対誤差	可否	相対誤差	可否
WH	全域で5%以内	○	全域で5%以内	○
RR	全域で5%以内	○	全域で5%以内	○
SP	全域で5%以内	△	全域で5%以内	△

圏内に入る結果となった。同様に他の結果を表-6に示す。ここでは全ての結果に対して相対誤差が5%以内に入った。なおSPに関してはボトムトラックが1.5m/s以上の範囲では値を算出しなかったが、これは単純にメーカーが設定したSPのボトムトラックの測定限界である。

(3) 電波式流速計の検定

著者らはセレスの検定施設を用いて横河電子機器の電波式流速計 (RYUKAN) の環境に依存しない検定方法の実験を試みた。水面に波を起こさずに実験を実施する場合、水面からの受信波が少ないことが起因して、有意なデータを取得することが困難となる。これは実際の観測でも同じことが言える。また例えば微弱ながら受信波を取得して流速値を得たとしても、マルチパスの影響から、水面の外から反射したものを検出する可能性がある。現に、事前検討においては、検定施設の屋根から反射して受信した電波を元に、値を算出した例があった。

このような課題を克服するために本検討では次の二点に関して注意を払った。それらは水面からの反射波の増強とマルチパスを遮断することである。前者に関して、検定水路の一部にアルミシートを、また後者に関しては電波吸収体を用いた。図-4は実験時の装置の設定状況を、図-5が実際に用いたアルミシートを、また図-6が電波吸収体を示す。これは2250mm×600mm×750mmの型枠の底面以外に電波吸収材を取り付け、その内部に入れた流速計を完全に囲うものである。

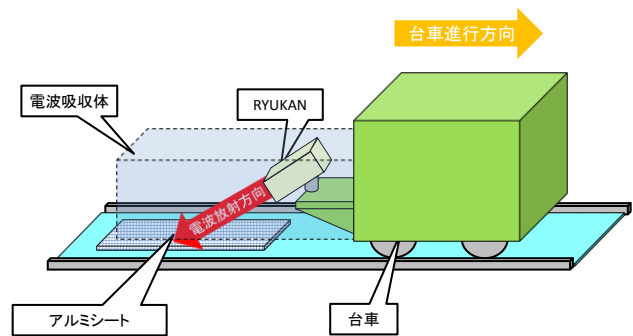


図-4 電波式流速計検定状況



図-5 実験に用いたアルミシート

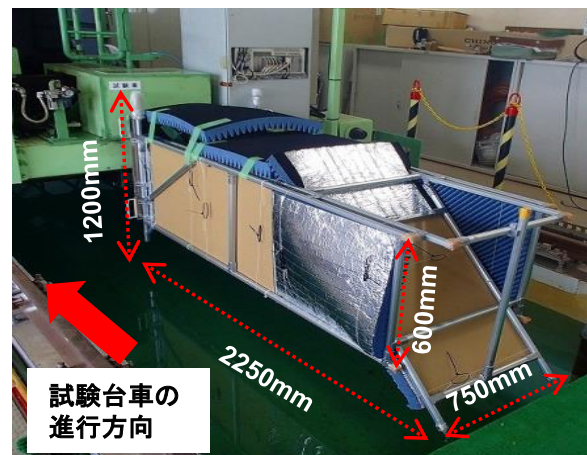


図-6 電波吸収体

図-7に計測結果の一例を示す。図が示すように、横軸は経過時刻、縦軸は受信波の周波数、コンターはそのときの反射強度である。このとき台車は3m/sで動かしている。またコンター図の下には、その経過時間毎のアルミシートの配置状況をポンチ絵で示す。RYUKANは本来、流速値を出力する計測器であるが、本計測のため反射データを出力するように改造した。図-7はそのときの反射データを、汎用解析ソフトを用い解析した結果である。この図で特に特徴的なのは、①5.5~13.5秒の間に台車の移動速度相当の周波数で高い反射強度を持つ観測結果が得られていること、②5.5, 9.5, 13.5秒付近に不連続

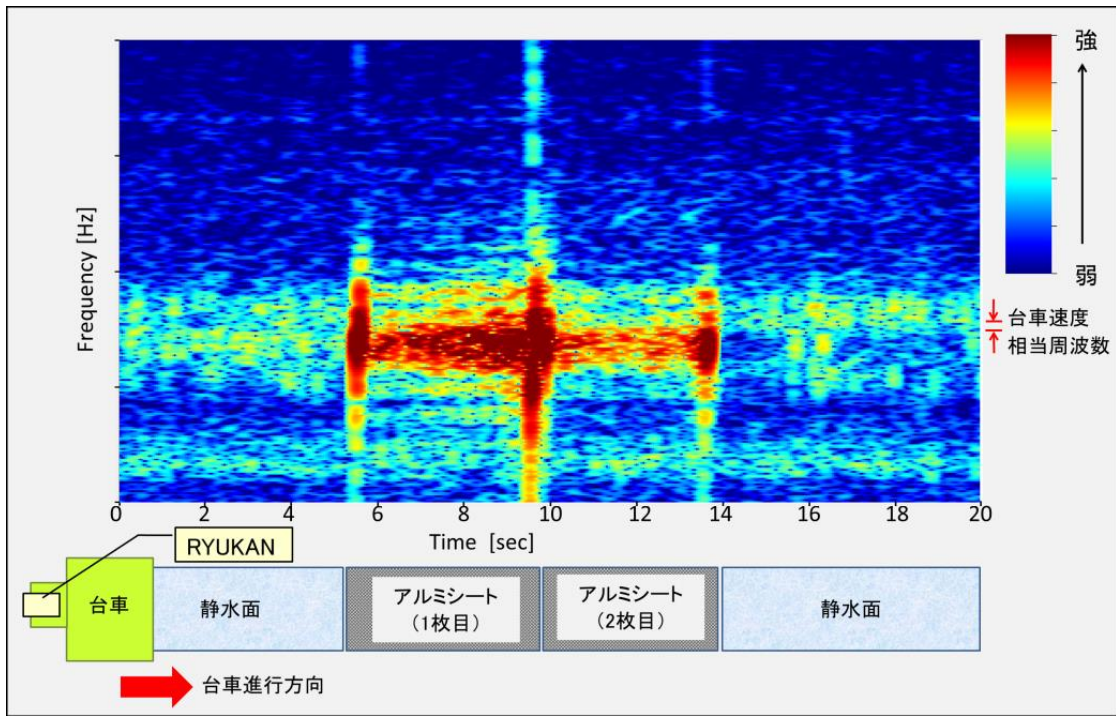


図-7 電波式流速計の計測状況

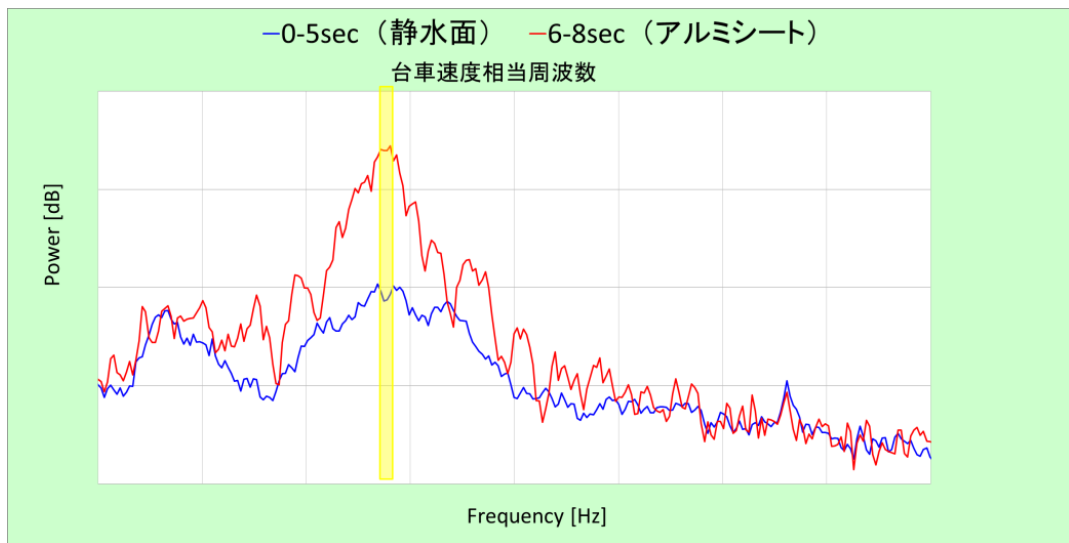


図-8 周波数と反射強度の関係

に強い反射強度を示す縦のラインが出ること、③0～5.5秒、13.5～20秒の間にはこのような強い反射強度を示す値が検出されていないことである。コンター図とポンチ絵を比較すると①に関して、この間に台車がアルミシートを通過したこと、また③の計測時はアルミシートが存在しなかったことがわかる。また②に関してはアルミシートの継目となる位置と対応している。これは継目の局所的な形状が影響しているようである。

図-8は周波数と反射強度の関係を示す。図-7で示した0～5秒における平均値を青で、6～8秒における平均値を赤で示した。赤は台車の移動速度相当の周波数に最大値

があることがわかる。一方、青は二つの最大値を持つこと、反射強度が流速値を検出するために十分大きくないことがあげられる。これらの結果から、アルミシートは検定用反射体として適切であることが理解できる。

(4) 画像解析の検定

著者らは画像解析の一つであるSTIVに関して検定手法を試行している。著者らは観測台車のレール上に検査線を設定し、そのラインの角度が算出する流速値と台車の移動速度が正しいことを想定して、試験的な検定を実施した。レールは強い明確な検査線を示したことから、か

なり有力な考え方であると思われたが、測量結果の精度があまりよくなく、幾何変換が正しく実施されなかったようで、優位な結果が得られなかった。今後も検討していく予定である。

5. 検定方法

4. の知見を受け、新しい流速計の検定方法のあり方として、それぞれの計測機器に対して以下のような手法が考えられる。

(1) aDcpに関して

4. で示したように、現段階で実用に資する検定方法は、①現況の砂防技術基準にあるような送受信電波の性能確認、②DMG、③15段階ステップ検定（ボトムトラック）である。②及び③に関しては計測機器の形状に依存するものであるため、物理的変化が伴わない限りは繰り返し実施する必要性は低い。前述のように、電波や音波式流速計に関しては、ある計測範囲の流速値が正しい場合は、他の流速も正しいとする線形性が担保されている。そのことを考慮すると①に関しては一年に一回の検定、②に関しては3～5年に一回の検定、③に関しては必須ではないがユーザの希望に応じて実施することが現実的である。なお、4. (1a)で述べたフィールドテストに関しては、最適な場所、船の曳航方法も含めて今後も議論を進める必要がある。

(2) 電波式流速計に関して

4. (3)で示した実験結果は、既往の検定手法と同様の手法で実施可能であることを示している。残っている議論は、①アルミシートを配置するか、それとも流速計のターゲットをレールやコンクリート面にするか、②流速計の設置角度をDMGにならない複数変化させる必要があるかである。

(3) 画像解析に関して

STIVに関しては、検定方法の方向が定まっている程度で、実際の手法は今後検討していかなくてはならない。

謝辞：本報告で議論した内容は、土木学会水工学委員会流量観測高度化研究小委員会の研究発表会において著者により話題提供をさせていただき、参加者から意見を頂いた内容が基礎となっている。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川砂防技術基準 調査編，2014年改定
- 2) 国土交通河川局省監修，土研編著，水文観測，全日本建設技術協会，2002年
- 3) 例えば藤田一郎・河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流速計測の試み，水工学論文集，第38巻，pp.733-738，1994.
- 4) 金木誠・寺川陽・吉谷純一・松浦達郎：超音波ドップラー流速プロファイラーの河川流量観測への応用に関する研究報告書，土研資料，3719号，2000.3.
- 5) 木下良作：河川下流部における洪水流量観測法に関する一提案，水文・水資源学会誌，Vol.11，No.5，pp.460-471，1998.
- 6) 山口高志・新里邦生：電波流速計による洪水流量観測，土木学会論文集，No.497/II-28，pp.41-50，1994.
- 7) 岡田将治，森彰彦，海野修司，昆敏之，山田正：鶴見川感潮域におけるH-ADCP を用いた流量観測，河川技術論文集，Vol.11，pp.243-248，2005.
- 8) 二瓶泰雄，木水啓：H-ADCP 観測と河川流計算を融合した新しい河川流量モニタリング，土木学会論文集B，Vol.64，No.4，pp.295-310，2007.
- 9) 岡田将治，橋田隆史，森本精郎，増田稔：ADCP搭載無人ボートを用いた四万十川具同地点における洪水流観測，水工学論文集，第52巻，2008.
- 10) 萬矢敦啓・岡田将治・橋田隆史・菅野裕也・深見和彦：高速流におけるADCP観測のための橋上操作艇に関する提案，土木学会河川技術論文集，第16巻，pp.59-64，2010.
- 11) 萬矢敦啓，菅野裕也，深見和彦：河川実務者の観点から見たADCPによる流量観測技術開発の論点，河川流量観測の新時代，pp.46-55，2010
- 12) 深見和彦ら：ドップラー式非接触型流速計（電波・超音波）を用いた洪水流量の連続観測手法の現地検証～浮子測法との比較～，河川技術論文集，Vol.14，pp.307-312，2008.
- 13) 萬矢敦啓・大平一典・菅野裕也・深見和彦：非接触型電波式流速計を用いた洪水流量自動観測手法の一考察，土木学会河川技術論文集，第16巻，pp.53-58，2010
- 14) 藤田一郎・安藤敬済・堤 志帆・岡部健士：STIV による劣悪な撮影条件での河川洪水流計測，水工学論文集，53 巻，pp.1003-1008，2009.
- 15) 藤田一郎・原浩気・萬矢敦啓，河川モニタリング動画を用いた非接触型流量計測法の精度検証と準リアルタイム計測システムの構築，水工学論文集，第55巻，pp.1177-1182，2011.
- 16) ICHARM，流量観測高度化マニュアル，http://www.icharm.pwri.go.jp/ryukan/manual_1.0.pdf

(2015. 2. 13受付)