

千代田実験水路での各種観測を踏まえた 実河川への適用の可能性について

帯広開発建設部 帯広河川事務所 ○ 大串 正紀
東海 秀義
川井 淳一

洪水時における水位・流量等のデータや破堤などの災害発生時における各種観測データは、今後の河川管理を行っていく上で非常に重要な情報となる。しかしながら、これら観測の手法や体制などについては十分に確立されていないのが現状である。そこで、本論文では洪水時における状況を把握するにあたり、それらの観測方法について、現在、実施している千代田実験水路での各種観測実績を踏まえ、実河川での適用の可能性について考察するものである。

キーワード 千代田実験水路、現地観測、観測技術、実河川への適用

1. はじめに

近年、情報通信技術など科学技術の飛躍的な発達に伴い、水理・水文分野において新たな調査観測機器が開発されている。特に洪水時における水理・水文データは、治水事業計画を立案するために非常に重要であると考えられる。そのため、洪水時における複雑な現象を解明し、水位・流量等の基礎的データをより高い精度で観測していくには、新技術による観測手法の導入が望まれる。しかしながら、新技術による観測手法についてはその観測精度や観測体制などに関する検証事例が少ないことから、その実用性については不明な点が多い。これを背景に北海道十勝地方に位置する千代田実験水路では、これまで新技術による観測手法の特性の把握を目的として各種観測機器を用いた実験を行い、数々の有用なデータを得てきた。

そこで本論文では、実験水路において用いた各種観測機器を周知する目的も含め、その計測原理や長所・短所などに関する基本的事項について紹介し、それら機器を用いた観測結果について概要を紹介する。また、実河川では任意地点での観測も求められる場合もありうることから、実験水路での実績を踏まえ、各種観測機器を実河川に適用する場合に望ましい立地条件や設置時間、また設置コストなどの条件について把握し、現地作業計画策定の一助となりうる資料の提案を目的とする。

2. 千代田実験水路における各種観測事例

(1) 千代田実験水路の概要

千代田実験水路は、千代田分流堰の一部として2006年度末に完成し、最大170m³/sの流量を通水させ人工洪水を発生させることが可能な実物大河川研究施設である(図1)。同水路は全長1310m・水路幅30m・河床勾配1/500であり、中小河川規模のスケールを有している。



図1 千代田実験水路概観

(2) 実験水路における観測事例

これまで実験水路では2007年度から2008年度前半にかけて水路の基本的な水理特性及び各種観測機器の機能特性の確認を目的とした予備実験を行ってきた¹⁾⁴⁾。また、2008年度から2009年度にかけては、今後実施を予定している破堤実験に向けた観測手法確認のための予備実験を行ってきた⁵⁾。表1に各実験時の観測項目を抜粋示した。

表1 実験水路に用いた観測機器の一覧 (一部抜粋)

観測項目	観測機器	2007年	2008年		2009年
		(H19年)	予備実験	予備実験	破堤予備実験
水位観測	量水標	●	●	●	●
	電波式水位計	●	●	●	●
	ダイバー式水位計	●	●	●	●
	クレーン電波水位計観測	×	×	●	●
ADCP観測	間隙水圧・水温観測	×	×	●	●
	ADCP観測(杭ワイヤー式)	●	●	×	×
	ADCP観測(ラジコンボート式)	●	●	×	×
	PIV観測	●	●	●	●
流量観測	高水流量観測(浮子)	●	●	●	●
	低水流量観測(回転式流速計)	×	×	●	×
	接触式流量観測(超音波流量計)	●	●	●	●
	非接触式流量観測(電波式流速計)	●	●	●	●
流況撮影	熱気球撮影	×	×	●	×
	バルーン撮影	×	×	●	●
	ラジコンヘリ撮影	●	×	●	●
	クレーン撮影	×	×	●	●
	高所作業車撮影	×	×	●	●

3. 各観測機器の特性

実験水路では、実験の目的に応じて様々な観測を行ってきたが、本論文では、水位観測・ADCP観測・流量観測・流速観測・流況撮影について着目し、各種観測機器

に関する機能特性について説明する。






(1) 水位観測・ADCP観測・流量観測・流速観測機器

実験に用いた観測機器として電波式水位計・ダイバー式水位計（以上水位観測時）、杭ワイヤーADCP観測・RC

表2 千代田実験水路に用いた観測機器の特性

観測項目	計測機器	計測原理	流量算出方法	適用範囲			特徴
				流速範囲	川幅	水深	
水位	電波式水位計観測 	マイクロ波を水面に放射し、反射して帰ってくる時間により、水面までの距離を計測する。	水位を計測する。	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 非接触なので高水時でも安全である。 微弱電波使用のため電波管理法で規定される使用制限が一切なく、河川、市街地などのオープンエリアでも安心である。 マイクロ波による計測のため、雨、雪、霧の中でも影響を受けずに非接触での計測が可能である。 高価である。
	ダイバー式水位計観測 	水圧を感圧素子（水晶、半導体、シリコン）で直接検出して電気信号に変換し計測する。	水位を計測する。	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 手のひらサイズのコンパクト水圧式水位計である。 傾斜や水平に設置した場合は、圧力センサのゼロ点位置が変わってしまうため規定の精度が保てない場合がある。 比較的、安価である。
ADCP	杭ワイヤーADCP観測 	ドップラー効果を利用した流向流速計である。ADCPから発信された音波パルスが、水中の懸濁体（プランクトンやちりなどの浮遊懸濁物）で反射し、ADCPに戻る。散乱体がADCPに対して移動していると、戻ってくる音の周波数に変化（ドップラーシフト）が生じ、ドップラーシフトは流速に比例するため流速を多角的に求めることができる。	鉛直流速および水深を計測する。ADCPにより観測された断面（測深器を搭載している場合は測深器により計測された断面）に計測流速を乗じ算定する。また付属ソフトを用いればリアルタイムに流量を算定することができる。	-20m/s ~ 20m/s	-	24m(ただし、測深器併用の場合、測深器計測可能範囲)	<ul style="list-style-type: none"> 定点観測を行うことができる。 移動観測を行うことができる。 観測断面内の3次元流速分布を計測できる。 水深や流速や流向などの水の流れの状況、流量観測値をリアルタイムに得ることができる。 流速が速いと、操作が安定しない場合がある。 夜間観測はできない。 杭ワイヤーによる観測は、流下物に対する機動性が低い。 高価である。
	RCボートADCP観測 	上と同じ	上と同じ	上と同じ	上と同じ	上と同じ	<ul style="list-style-type: none"> 定点観測を行うことができる。 移動観測を行うことができる。 観測断面内の3次元流速分布を計測できる。 水深や流速や流向などの水の流れの状況、流量観測値をリアルタイムに得ることができる。 流速が速いと、操作が安定しない場合がある。 夜間観測はできない。 RCボートによる観測は、流下物に対する機動性が高い。 RCボートは通信可能距離を超える場合、操作不能になる。 高価である。
流量	高水流量観測（浮子） 	浮子を用いた高水流量観測では、投下した浮子が、一定区間の距離（見通し間距離）を流下するために要した時間を観測する。その時間と見通し間距離から流速を算定し、その流速と河川の断面積を乗ずることにより流量を得る観測方法である。浮子は計測時の水深に応じて、表面30cm、50cm、1m、2m、4mの吃水長を備え付ける。高水流量観測の基本である。	断面平均流速を計測する。浮子の種類により更正係数を乗じ区分断面の平均流速を求める。この平均流速に区分断面積を乗じることにより流量を算定することができる。	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 高水流量観測の基本であり、観測値に基づき、各種河道設計や維持管理が行われている。
	低水流量観測（回転式流速計） 	回転式流速計を用いた流量観測では、回転部に付けられたフロベロ型の羽根の回転数を測って流速を算定し、その流速と河川の断面積を乗ずることにより流量を得る観測方法である。低水流量観測の基本である。	断面平均流速を計測する。この種類の回転式流速計は各種断面に設置し、その平均流速に断面積を乗じることにより流量を算定することができる。	0.2~ 2.5m/s	-	回転式流速計が安定する水深	<ul style="list-style-type: none"> 低水流量観測の基本であり、観測値に基づき、各種河道設計や維持管理が行われている。
	接触式流量観測（超音波流量計） 	超音波の伝播速度が流体の移動速度と水深に依存する特性を利用して、河川往復の伝播時間差から横断上の平均流速を算出する方法。流量は得られた平均流速と断面積を基に係数や数値解析を用いて間接的に算出する。	横断方向の平均流速を計測する。測線の平均流速に各種補正を加え、各断面積に乘じて流量を算出する。	0.01m/s ~ 10m/s	0.5m以上	1500m以下	<ul style="list-style-type: none"> 連続観測によりリアルタイムに流量を把握することができる。 広幅河川での観測が可能である。 流下物に対して注意が必要がある。 高度の影響を受け、高濁度での出水では観測値に影響がでる。 設置に際しては断面形状の制約を受ける。深部は計測出来ない。 高価である。
	非接触式流量観測（電波式流速計） 	発射された電波が、水面飛沫などの移動体に当たり反射されると、移動体の速度に応じて反射波の振動数に変化（ドップラー効果）が生じる。この物理特性を利用して、水面上からある角度で水面に向けて電波を放射し、その反射波の振動数の変化から表面流速を測定する方法。	表面流速を計測する。更正係数を乗じ平均流速を求める。この平均流速に断面積を乗じることにより流量を算出する。断面積は事前の測量結果を用いる。	0.5m/s ~ 10m/s	照射範囲内の表層代表流速 (橋脚設置時数3m ~5mの範囲)	-	<ul style="list-style-type: none"> 高度の影響を受けず、出水に強い。 非接触測定のため、出水時も安全に流速を計測することが可能である。 マイクロ波を用いるため、気温や降雨の影響を受けにくい。 流速が小さく鏡のような水面では測定できない。 流量観測等よりあらかじめ求めておく鉛直方向平均流速の換算係数の精度が流量に影響する。 表面流速計のため風の影響を強く受ける。 流向を計測できない。 橋脚や護岸構造物が利用できない場合は適応困難である。 高価である。
流速	PIV流速観測 	PIVとはParticle Image Velocimetry（粒子画像流速測定法）の略であり、ビデオカメラの映像から物体の動きを分析し、移動量を算出する手法である。河川におけるPIVは、主に水面を撮影した動画から流向・流速を得ることを目的としている。出水時の河川においては水面濁流物や水しぶき、水面の乱立といった要素がトラッカーの役割を果たすことができる。	表面流速を計測する。	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ビデオ撮影による解析により表面流速の計測を行うことができる。 画像があれば、後解析によっても表面流速を計測できるので、突発的な事態にも対応できる。 画像は垂直に撮影したほうが、計測精度が向上する。
	加速度センサー 	加速度を測定し、適切な信号処理を行うことによって、傾きや動き、振動や衝撃といったさまざまな情報を得ることができる。	加速度を計測する。	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> 加速度を計測することができる。 小型軽量のため設置しやすい。 比較的、安価である。 小型軽量のため、計測のために埋没すると、回収時に探るのが困難である。
その他	水面形状3D解析 	トレーサーを流下させ、水面を包括するように2地点からのステレオ撮影（同時写真）を行い、得られた画像を用いて3D解析を行い水面形状を測定する方法。	水面形状を計測する。	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ステレオ撮影による3D解析により水面形状の計測を行うことができる。 画像があれば、後解析によっても水面形状を計測できるので、突発的な事態にも対応できる。

表3 千代田実験水路の流況撮影に用いた撮影方法の特性

項目	熱気球	バルーン	ラジコンヘリ	クレーン	高所作業車
外観					
撮影方法	直接操作	遠隔操作	遠隔操作	遠隔操作	直接操作
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・人員が搭乗して直接かつ操作するため、ビデオカメラなどの遠隔操作が必要ない。 ・ビデオテープやバッテリーの途中交換が可能のため、長時間連続撮影が可能。 ・定点係留を必要とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・地上を移動できる範囲では、自由に地点移動しての撮影が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・自由に撮影高度や撮影位置を短時間に変更出来る。 ・一定位置にホバリングして、留まることも可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・クレーンアームの先端に撮影用ビデオを固定して撮影することで無人撮影が可能。改造の方法によっては、1車両で2台同時装着によるステレオ撮影も可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・人員が搭乗して直接かつ操作するため、ビデオカメラなどの遠隔操作が必要ない。 ・ビデオテープやバッテリーの途中交換が可能のため、長時間連続撮影が可能。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・飛行できる風速に限界がある(風速3m/s程度)。 ・プレによりビデオ画像はPIV観測には使用できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・風の影響があると安定しない。そのため、同一部分を連続してビデオ撮影し続けることが難しい。 ・ビデオテープやバッテリーの途中交換が不可能なため、長時間連続撮影が不可能。 ・プレによりビデオ画像はPIV観測には使用できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・雨天や強風の場合は、フライトが困難になる。 ・連続飛行時間が燃料の関係で30分程度が限界である。 ・プレにより、ビデオ画像はPIV観測には使用できない。 ・ビデオテープやバッテリーの途中交換が不可能なため、長時間連続撮影が不可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔撮影用ビデオ機材と装着用アタッチメントの作成が必要。 ・ビデオテープやバッテリーの途中交換が不可能なため、長時間連続撮影が不可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブームの長さに限界があり、それを超えての撮影が出来ない
気象条件	風速3m/s以下でなければ不可能	無風状態が望ましく、弱風でも不可能	強風時はフライト不可能	多少風が強くても可能	多少風が強くても可能
撮影可能高度	高度50m程度まで	高度100m程度まで	高度100m程度まで	60t級クレーンの場合 ブーム長58m/高さ50m/奥行30m	高度25m程度まで
長時間撮影 解析用画像としての利用	可 不可	不可 不可	不可 不可	不可 可	可 可

ボートADCP観測（以上ADCP観測時）、高水流量観測（浮子観測）・低水流量観測（回転式流速計）・非接触式流量観測（電波式流速計）・接触式流量観測（超音波式流量計）（以上流量観測時）、PIV流速観測・加速度センサー観測（以上流速観測時）、その他水面形状3D解析に関する機器諸元を各種機器カタログや関係資料⁶⁾を用いて表2に示した。

(2) 流況観測

実験時における流況撮影は熱気球・バルーン・ラジコンヘリ・クレーン・高所作業車を用いて行い、各撮影諸元について表3に示した。

今回、取り上げた観測機器は新技術による観測手法として浸透しつつあると思われる。しかしながら、近年の科学技術の進歩に伴い、今後、観測技術が次々と登場し、その測定原理はより複雑化・高度化するとともに観測技術の細分化が進むことも予想される。そのため、河川管理者や河川技術者は各観測機器の特徴を十分に理解し、観測の目的に応じて、最適な機器を選定していく必要があると考えられる。

4. 各種観測機器による実験結果

上記各種観測機器を用いた実験結果として水位観測・ADCP観測・流量観測・PIV流速観測は2008年前半予備実験を、また、加速度センサー・水面形状3D解析は2008年後半での破堤予備実験を代表して説明する。

a) 水位観測

量水標による目視観測ならび、電波式水位計・ダイバー水位計による観測を行った。水位観測結果を図2(a)に比較した。

その結果、観測地点によって若干のばらつきはあるが、

電波式水位計は量水標よりも1~3cm水位が高くなる傾向が見られた。また、ダイバー水位計は1~5cm水位が低くなる傾向が見られた。

b) ADCP観測

杭ワイヤーADCP観測、RCボートADCP観測を行った。両者ともに音響測深器およびGPSを搭載し、鉛直流速分布および水深の観測データから流量値を算定した。また流量の算定は観測できなかった左右岸分を加え、ボトムトラック法およびGPS法により補正した。観測結果を表4に整理した。計測された鉛直流速、水深により算定された流量については次に記述した。

c) 流量観測

①高水流量観測（浮子）②低水流量観測（回転式流速計）③接触式流量観測（超音波流量計）④非接触式流量観測（電波式流速計）を行った。①は定常状態と想定される時間帯において1時間に1程度の観測とした。②は2点法および精密法による観測とした。③は28kHzと200kHzを用いたが28kHzについてはノイズ障害により観測できなかった。④は計測値を5分間移動平均とし更正係数 $f=0.85$ を用いて流量算定した。現時点では洪水時における流量観測は浮子法による観測手法が主流である。そのため、浮子による高水流量観測を基準に各種観測手法による流量観測結果を図2(b)に比較した。なお、図中に示した各値は平均値とした。

その結果、高水流量観測と低水流量観測については+4%程度の誤差、また、非接触式流量観測、杭ワイヤー式ADCP流量観測（GPS補正）、RC式ADCP流量観測（GPS補正）については-5%~10%程度の誤差を示した。RCボートADCP流量観測（ボトムトラック補正）につい

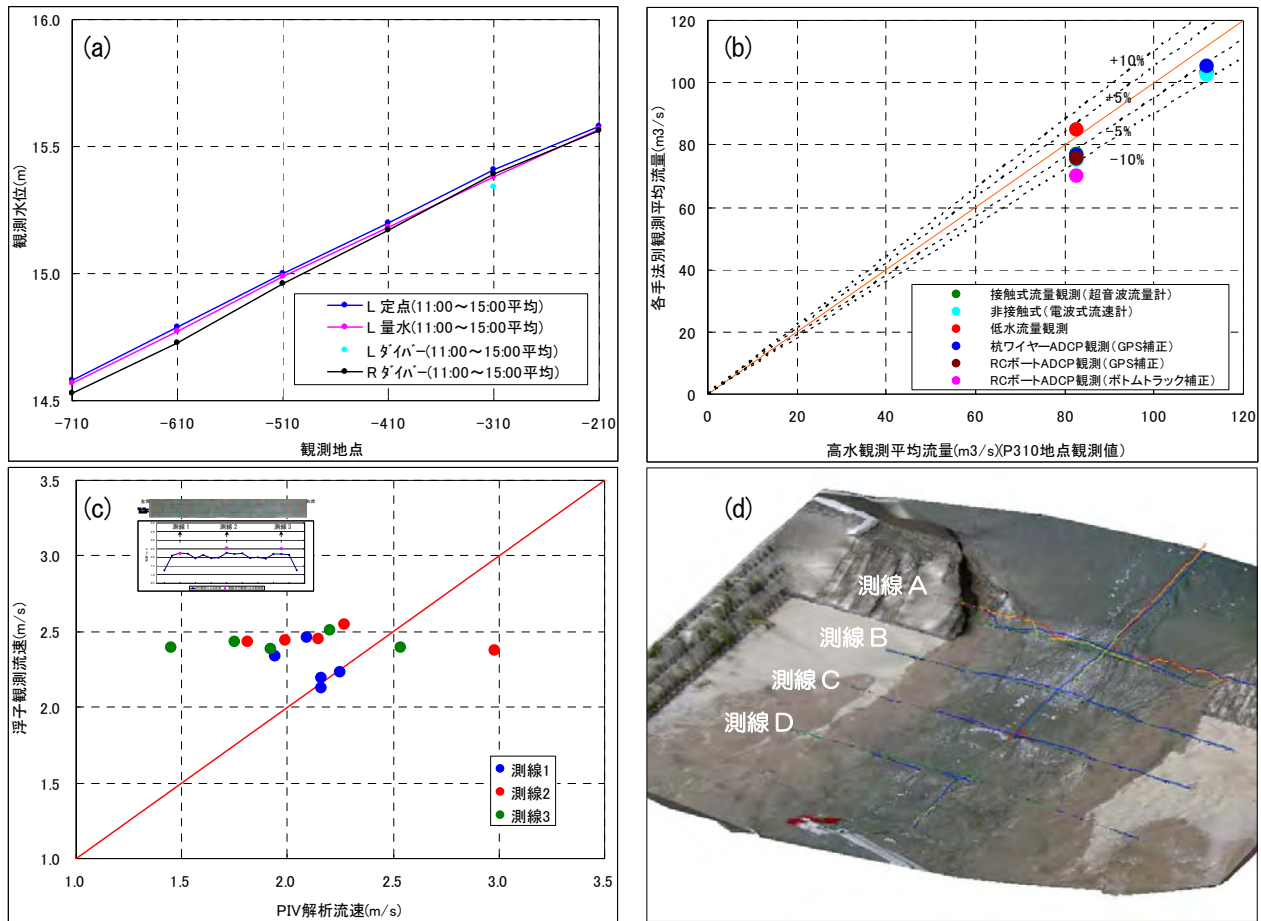


図2 各観測機器による実験結果 (a) 水位観測 (b) 流量観測 (c) PIV観測 (d) 水面形状3D解析

表4 ADCP観測結果

項目	杭ワイヤーADCP	RC ボート ADCP
流速分布	GPS 付 ADCP 観測ではボトムトラック法で補正するのが一般的であるが、通水中河床が動いている状況下では、GPS による補正の方が有利であることが確認できた。	杭ワイヤーADCP と同様、流速補正方法による比較すると、河床が動いている状況下ではボトムトラックより GPS による補正が有利であることが確認できた。
水深	係留船の横断方向の移動の影響で、水際付近の測深に異常値が示された。また、河床波の存在が確認された。	河床変動により測深器のデータ部分が欠測した。
観測方法	流速 2m/s 程度での流況下では杭ワイヤー（電動リール）の操作が困難であった。	流速 2m/s 程度での流況下では RC ボートの操作が困難であった。

ては-15%程度と他の計測手法と比較すると誤差が大きい。これは、本実験では河床変動が確認されており、河床変動下ではボトムトラック補正はGPS補正よりも精度が低下するためと考えられた。なお、本実験におけるADCP観測による観測誤差は市原・島田・渡邊らがこれまで発表してきた値¹⁾と異なるが、これは本論文では左右岸分の値を加えて評価したためと考えられる。

d) 流速観測

PIV 流速観測はトレーサーを流下させ左岸から高所作業車によるビデオ撮影を行い、3 測線の表面流速を解析した。また、加速度センサーは堤防中に埋め込み、破堤侵食状況を時系列に計測し、横断堤の破堤プロセスを把握した。図 2(c)に PIV 解析結果と浮子観測流速を比較した。

その結果、撮影箇所の近傍に位置する測線 1 では PIV 流速と浮子流速は概ね一致する傾向があるが、測線 2, 3 ではほとんど一致していない。この要因としては、撮影は左岸上空から行っており斜め写真から垂直写真への変換に伴う画像幾何補正の影響などが考えられた。また、加速度センサーは 5~10 秒程度の精度で破堤速度の時刻を捉えることで、破堤プロセスの一部を把握できた。

e) 水面形状 3D 解析

トレーサーを流下させ堤体直上空から水面を包括するように 2 地点からのステレオ撮影（同時撮影）を行い、横断堤を越流する水面形状を 3D 解析により解析した。解析は写真測量に必要なコントロールポイントを設置し、測量結果座標値からそれぞれの立体写真の左右カメラの位置・方向の計算後、左右写真の同一点を選び、

視差から水面形状を算定した。図 2(d)に水面形状 3D 解析結果を示した。

その結果、3 次元での水面形状変化を捉えることができた。

以上より、各種観測機器による観測結果について把握することができた。しかしながらこれまでの結果は流量など条件が制約されたもとで実施されており、各種観測機器の特性をより詳細に把握し実河川へ適用していくには、様々な条件でのトライアルを繰り返し実施し、基礎的なデータを継続して蓄積していく必要があると考えられる。

5. 各種観測手法の実河川への適用

実河川において特に過去に観測実績のない任意地点で観測を行う場合は、河道特性や立地条件を十分に把握し観測目的に応じた観測機器を選定する必要がある。また、現地観測に向けた事前準備や所要時間、設置コスト、観測時における人数や時間などを考慮した有効的な作業計画を策定すべきである(図3(a)(b)(c))。しかしながら、そのような観測体制に関する情報は必ずしも多くはないのが現状である。そこで、各種観測機器を実河川に適用する際に現地作業計画策定の一助となりうる資料の提案を目的とし、実験水路における実績として以下に示す項

表5 千代田実験水路における観測体制の実績

観測項目	計測機器	事前準備		現地観測		工事費用		観測立地条件		観測機器作業効率に関する事項		
		主な内容	所要時間	主な必要機材	設置時間	観測必要人数	観測時間	主な機器概算費	主な工事概算費	有効点	問題点・課題点	
水位	電波式水位観測計	機器を水面上に設置するための施設設置	現地にあわせた加工が必要。作成に1ヶ月以上	水位計セナ/記録部/配線/商用電源 (AC100V)	取付工事に2~3日	自記記録により人員必要なし	計測間隔: 最小単位1分	・電波式水位計: 200万程度 (買取価格)	20万程度	・空中に設置するため、橋梁や設置施設を必要とする。	・非接触方式での計測のため、洪水時に発生する流下物等の影響を受けなくて済む。 ・無人で長時間の計測が可能である。	・取り付けに比較的時間を要する。 ・観測精度検証のため、量水標との比較が必要である。
	ダイバー式水位観測計	既設構造物 (護岸や橋脚) を利用して量水標を構造物にポルト止め	1時間程度	水位計/固定金具	1時間程度	自記記録により人員必要なし	計測間隔: 最小単位1分	・水位計: 12万円程度 (1セット2本必要) (買取価格)	0.5万円程度	・護岸や橋脚への構造物、または円筒を必要とする。	・小型軽量のため、設置が比較的容易に出来る。 ・無人で長時間の計測が可能である。	・観測精度検証のため、量水標との比較が必要である。
ADCP	核ワイヤーADCP観測	①係留施設の設置 ②機器準備 ③固定局 (GPS) の座標・標高の測量	1日程度	ADCP/GPS (固定局・移動局)/測深器/係留船/係留施設/ウィンチ/電動リール	3時間	4人	川幅30mで往復10分程度	ADCP: 300万程度/GPS: 300万程度/測深器: 50万程度/係留船: 600万程度/電動リール: 20万程度 (買取価格)	係留施設: 20万 ウィンチ: 20万	・係留施設が左右岸に設置可能である。 ・係留施設を設置するのにクレーンもしくはユニック等を使用するため、それらの作業スペースが確保されている。 ・GPS観測が可能地点を必要とする。	・電動リールの操作による、安全な観測を行えることができる。 ・観測精度検証のため、浮子との比較が必要である。	・係留施設の設置が比較的大掛かりである。 ・流量規模によっては電動リールの巻上げに支障が発生する。 ・観測精度検証のため、浮子との比較が必要である。
	RCポートADCP観測	機器準備	2時間	RCポート/ADCP/GPS/測深機	2.5時間	4人	川幅30mで往復10分程度	RCポート: 500万程度/ADCP: 300万程度/GPS: 300万程度/測深機: 50万程度 (買取価格)	-	・RCポートを設置するためのスペースを必要とする。 ・GPS観測可能な地点を必要とする。	・ポートを遠隔操作で移動でき、安全な観測を行えることができる。 ・GPS観測可能な地点を必要とする。	・流速に合致RCポートの走行限界が発生する可能性がある (流速約2m/s) ^{*)} ・河床移動時 (高流速時) の水深データが欠測する可能性がある ^{*)} ・観測精度検証のため、浮子との比較が必要である。
流量	高流量観測 (浮子投下施設のない場合)	浮子投下施設の設置、見通し断面設置	1時間程度	浮子/ストップウォッチ/レベル/浮子投下施設	0時間 (事前)	1班4~5人	20分程度	・浮子: 1万円程度 (買取価格)	浮子投下施設: 30万程度	・橋などの投下施設がない場合は投下施設を設置するためのスペースを必要とする。	・流量観測の基本手法である。	・橋などの浮子投下施設がない場合は投下施設を設置する必要がある。 ・人が直接観測を行うので、危険箇所の場合は、観測が不可能となる。
	低流量観測 (回転式流速計)	係留観測7台-施設の設置	0.5日程度	回転式流速計/ストップウォッチ/舟/ワイヤー/ロープ	半日程度	1班3~4人	1時間程度	・回転式流速計: 35万円程度 (買取価格)	-	・係留ワイヤーの設置が可能であるスペースを必要とする。 ・舟を置くスペースを必要とする。	・流量観測の基本手法である。	・流量規模によっては舟が安定しない場合があり、作業が危険である ^{*)} 。
	接触式流量観測 (超音波流速計)	既設構造物 (護岸や橋脚) を利用したセンサーのポルト止め	1日程度	水位計セナ/記録部/配線/商用電源 (AC100V)	取付工事に2~3日	自記記録により人員必要なし	計測間隔: 最小単位1分	・超音波流速計: 1200万程度 (1セット2台必要) (買取価格)	70万程度	・水中観測可能な護岸などの安定した場所を必要とする。	・無人で長時間の計測が可能である。	・取り付けに比較的時間を要する。 ・観測精度検証のため、浮子との比較が必要である。
	非接触式流量観測 (電波式流速計)	計測位置の確保	1時間程度	ボート/電波流速計	10分	1人	計測間隔: 最小単位1分	・電波流速計: 100万円程度 (買取価格)	-	・橋梁など水上の安定した場所を必要とする。	・非接触方式で計測することから、洪水時に発生する流下物等の影響を受けなくて済む。 ・設置が比較的容易に出来る。 ・無人で長時間の計測が可能である。	・観測精度検証のため、浮子との比較が必要である。
流速	P1V流速観測	評定点の設置 撮影範囲の確認	4時間	ビデオカメラ レーザー 標定 高所作業車	30分	2人	流速撮影必要時間に応じる	・高所作業車: 15万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・高所作業車の設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・撮影すれば解像画像が得られるので作業は比較的容易である。	・標定点を包括するような撮影位置の選定に困難を有する可能性がある。 ・観測精度検証のため、浮子との比較が必要である。
	加速度センサー	想定される日時にタイマーをセットし、埋設する	ボーリング時間 (約1時間)	加速度センサー	0時間 (事前)	2人	計測間隔: 最小単位1秒	・加速度センサー: 1万3千円程度 (買取価格)	-	・加速度センサーを埋めることができることが望ましい。	・小型軽量のため、設置が比較的容易に出来る。 ・無人で長時間の計測が可能である。	・測定後のセンサー回収が必要であり、小型軽量のため、探すのに困難を有する可能性がある。
その他	水面形状3D解析	評定点の設置 撮影範囲の確認	4時間	ビデオカメラ レーザー 標定 高所作業車2台	30分	4人	流速撮影必要時間に応じる	・高所作業車: 30万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・高所作業車の設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・撮影すれば解像画像が得られるので作業は比較的容易である。	・標定点を包括するような撮影位置の選定に困難を有する可能性がある。
	熱気球ビデオ撮影	離陸場所確認、撮影範囲確認	1時間	熱気球 ビデオカメラ	1時間	2人	流速撮影必要時間に応じる	・熱気球: 30万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・熱気球の設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・事前準備や設置作業が比較的容易に行える。 ・設置作業後は自動的に撮影が可能となる。	・熱気球の操作に専門的な技術を要する。
流速撮影	バルーンビデオ撮影	設置位置確認	1時間	バルーン ビデオカメラ	2時間	4人	流速撮影必要時間に応じる	・バルーンビデオ: 50万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・バルーンを設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・事前準備や設置作業が比較的容易に行える。 ・設置作業後は自動的に撮影が可能となる。	・バルーン操作に専門的な技術を要する。
	ラジコンヘリビデオ撮影	離陸場所確認、撮影範囲確認	1時間	ラジコンヘリ ビデオカメラ	30分	2人	流速撮影必要時間に応じる	・ラジコンヘリ: 30万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・ラジコンヘリの設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・事前準備や設置作業が比較的容易に行える。 ・設置作業後は自動的に撮影が可能となる。	・ラジコンヘリ操作に専門的な技術を要する。
	クレーンビデオ撮影	クレーン設置位置、撮影範囲確認	4時間	クレーン ビデオカメラ	30分	3人	流速撮影必要時間に応じる	・クレーン: 100万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・クレーン車の設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・設置作業後は自動的に撮影が可能となる。	・観測作業に比較的時間を要する。 ・クレーン操作に専門的な技術を要する。
	高所作業車ビデオ撮影	撮影範囲の確認	2時間	高所作業車 ビデオカメラ	30分	2人	流速撮影必要時間に応じる	・高所作業車: 15万円程度 (レンタル・リース価格) ・ビデオカメラ: 15万円程度 (買取価格)	-	・高所作業車の設置スペースが可能なエリアを必要とする。平坦であることが望ましい。	・事前準備や設置作業が比較的容易に行える。 ・設置作業後は自動的に撮影が可能となる。	・高所作業車の操作に専門的な技術を要する。

*1) 特殊操作を必要とするためレンタル・リース費を表示
*2) 実験中に判明した観測機器問題点

目について表5に整理した。

1. 事前準備に関する項目（主な準備内容・準備に要する時間・主な必要な機材）
2. 各種観測に関する項目（機器設置時間・観測必要人数・観測時間）
3. 各種観測機器費用（主な機器概算費・主な工事概算費）
4. 各観測機器の設置立地条件

また、表中には参考として、各種観測機器を用いることで生じる作業効率の有効性および問題点・課題点、またこれまでの実験で判明した観測機器の問題点について整理した。

ここで留意すべき点は、表に示した各項目の内容は実験水路と同様の条件を持つ中小河川では各観測機器を適用する際の一指標となると考えられるが、大河川で適用する場合や、同じ中小河川であっても河道内樹木が繁茂したり砂州が発達している場合などその他様々な条件下での適用についてはこれまでの実験結果からでは不明な点が多いことである。また、各観測機器を実河川に適用する場合は、観測体制に加え観測精度も考慮する必要があるが、各観測機器の精度については現在検証中であり観測機器の良否の判断は出来ないのが現状である。そのため、今後、様々な条件下でのトライアルが必要である。

よって、各観測機器の実河川へ適用については、これまでの実験から見出された結果を活用しながら、より幅広く論じていくには、実験水路だけではなく実河川においても基礎的データを集積し、得られたデータを複合的に組み合わせ、河道特性と各種観測機器との関係について把握すべきである。

6. まとめ

本論文では千代田実験水路における各観測機器の実河川への適用について考察した。

今回、紹介した各種観測機器はその特徴を十分に理解し、観測の目的に応じて最適な機器を選定していくべきと考えられる。

また、各種観測機器の実河川での適用については、現地作業計画策定の一助となりうる資料の提案を目的として実河川に適用する場合に望ましい立地条件や設置時間、また設置コストなどに関する観測体制について実験水路での実績をもとに整理した。しかしながら、観測体制を含め観測精度についても、実験水路という比較的限られた条件下での結果であり、実河川を対象にした様々な条件下でのデータを蓄積し各種観測機器の適正について詳細に検証していくことが今後の課題の一つと考えられる。

参考文献

1) 市原哲也, 島田友典, 渡邊康玄, 辻珠希: 十勝川千代田実験水路の水利特性及び河床形態, 河川技術論文集第15巻, pp243-248, 2009.

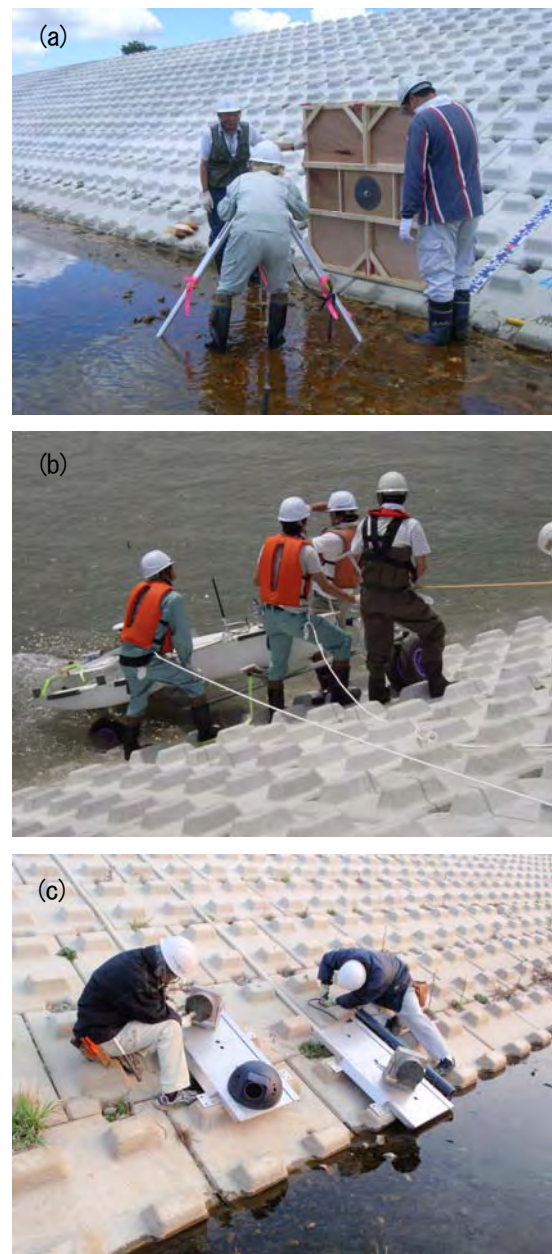


図3 作業計画の下行われた現地作業の様子
(例えば(a) 電波式水位計設置の様子 (b) 杭ワイヤーADCP設置の様子
(c) 超音波流量計設置の様子)

- 2) 市原哲也, 島田友典, 横山洋: 千代田実験水路の基礎的な水利特性—千代田実験水路の河床形態と土砂移動について—, 第52回北海道技術研究発表会, 技-05, 2008.
- 3) 島田友典, 渡邊康玄, 横山洋, 石川伸, 吉柳岳志, 武田敦史, 大島省吾, 江藤泰山: 十勝川千代田実験水路の基礎的な水利特性, 寒地土木研究所月報第658号, 2007.
- 4) 島田友典, 渡邊康玄, 横山洋: 十勝川千代田実験水路の基礎的な水利特性, 第52回北海道技術研究発表会, 技-44, 2007.
- 5) 島田友典, 渡邊康玄, 横山洋, 辻珠希: 十勝川千代田実験水路における横断堤を用いた正面越流破堤実験, 寒地土木研究所月報第670号, 2008.
- 6) 例えば寒地土木研究所: 測定機器資料整理報告書, pp39, 2007