

II-43

洪水時の現地観測における簡易的方法の開発

北海道開発局 正員 金高 州吾
正員 竹本 成行
正員 橋本 識秀

まえがき

河川事業を行う場合、流況や河床変動あるいは河岸浸食等の現況把握や予測を行い、洪水流が安全に流下するように計画を立案している。このための必要性から、従来より流れや河道変化の検討が実験室レベルにおいて行われ、かなりの程度まで河道内に生起するであろう現象を予測することができるようになった。しかしながら、実験室レベルで確認されている現象が実際の河道内で起きているかどうかを確認することが必要である。

木下ら¹⁾は、従来より現地観測により数々の現象を確認するだけでなく、実験室では観測されなかった現象についても観測し、現地調査の重要性を示してきた。また、開発土木研究所においても竹本ら²⁾を中心として、石狩川としては既往最大の洪水である昭和56年8月洪水において数々の現地観測を行い、その後の河道計画立案に対して貴重なデータを提供している。

このように現地観測は河川事業の礎としての役割を担っているにもかかわらず、その観測手法は旧態然としているのが実状である。また、洪水発生時には、対応しなければならない事が数多くあり、ある特定の観測に関して力を集中して注ぐことはできない。洪水時の流れや河道形状のデータ収集は非常に有益なものとなるにもかかわらず、従来の方法では、機動性、費用の面から制約を受け、現地での詳細な観測を行うことは困難であった。

これらのことから、特に少人数で機動性に富み、費用もそれほど多くかけないで、現地観測を行う方法を開発することを念頭において現地河川で流速、及び、河床波の観測を行い、その手法及び問題点等の検討を行った。

1 現地の状況

観測は、石狩川河口から約14.5km上流に位置している札幌大橋付近で行った。図-1に現地の状況を示す。この付近はほぼ直線となっており、得られるデータが解析しやすく、また各種観測に適当な区間であるという理由から観測場所に選定した。札幌大橋の歩道は橋の上流側のみにとりつけられているため、高水流観での浮子投下や河床波の計測の作業は下流側車道の一部を交通規制を行い実施した。なお、札幌大橋付近の河道諸元の概略は表-1のとおりである。

表-1 札幌大橋付近の河道諸元の概略

河床材料の平均粒径	1 mm
計画高水流量	15000 m ³ /s
計画河床勾配	1/7300
年最大流量	3700 m ³ /s
平均年最大流量時水位	3.0 m
平均河床高	-3.1 m
最深河床高	-7.0 m
低水路幅	約340 m

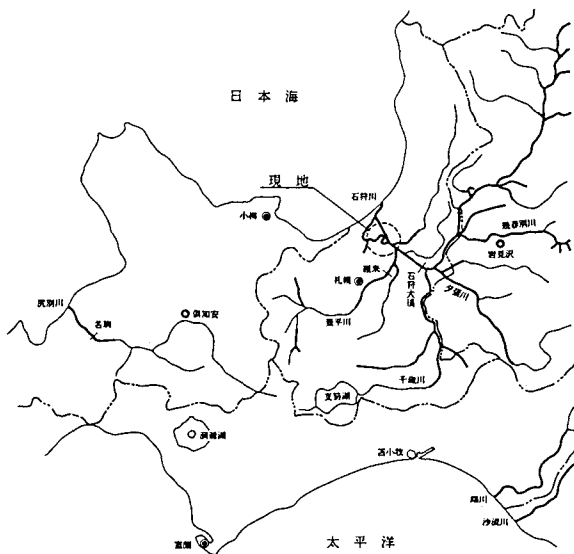


図-1 現地選定場所

2 表面流速の観測

2.1 観測方法

表面流速の観測には、回転式流速計、浮子などによる直接法、電磁波、写真などによる間接法があり、目的、状況に応じて適用されている。特に洪水時表面流速の面的分布の測定には、航空写真による方法が用いられている。この方法は、広い範囲における同時刻の流況を得るには非常に有効な方法であるが、天候、時刻等の影響を受け、かつ、事

Development of Simplified Field Experiment during Flood

by Syugo KANETAKA, Masayuki TAKEMOTO, Norihide HASIMOTO

前の準備が必要であることから、必ずしも洪水のピーク時の観測は容易ではなかった。このことから、緊急時に迅速、容易、かつ安価でできる観測方法として現場写真を用いて行うことを考えた。

観測場所として、図-2に示すように札幌大橋と篠路鉄道橋の間にかかなり以前につくられた木杭水制近傍を選んだ。カメラの設置は、写真上で奥行距離を明確に算定するため、ある程度水面からの高さが必要である。しかし、今回の調査箇所は、堤防からかなり離れていたため高水敷内に荷台のついたワゴン車を搬入し、その上に固定することとした。なお、中小河川では堤防の高さで十分であると思われる。

目標物には表面浮子を用いることとした。なお、表面浮子の旗を色分け（白、黄、オレンジ、赤）し、同時に流す表面浮子の識別が可能となるようにした。観測にあったては、木杭水制近傍にそれらの表面浮子を15m間隔程度に船で投下した。なお、図-3のようにカメラ及び標識の位置を設定した。

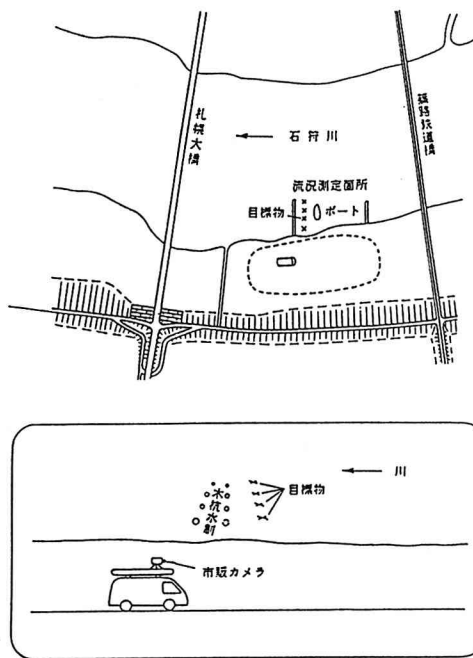


図-2 表面流観測状況

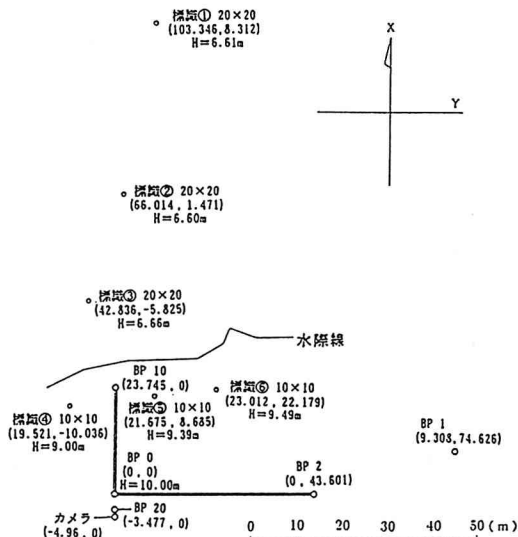


図-3 座標位置図

2.2 解析方法

撮影した写真の解析方法は、石川ら³⁾がビデオカメラを用いて行った方法を連続写真に適用して用いることとした。解析方法は、まず、写真-1のような写真の焦点を中心に、十字にx軸、y軸を引いた透明板を載せ、透明板に写真上の表面浮子の位置をとり画面座標(x, y)を求める。カメラの姿勢を固定すれば、撮影された物体の存在する方向と画面上の位置とは、一対一に対応することを利用し、カメラの姿勢を表しているレンズ軸線の水平方向角; γ ; レンズ軸線の俯角; ω ; レンズ軸線まわりの画面方向角; α が既知であるので、画面座標(x, y)から平面座標への投影を行うことが可能となる。

写真データとしては、カメラの姿勢を固定し焦点を同一に合わせたものが複数必要であり、写真から表面浮子の確認ができるように四つ切りの大きさまで拡大した写真により解析を行った。解析の際の計算諸元は表-2のとおりである。

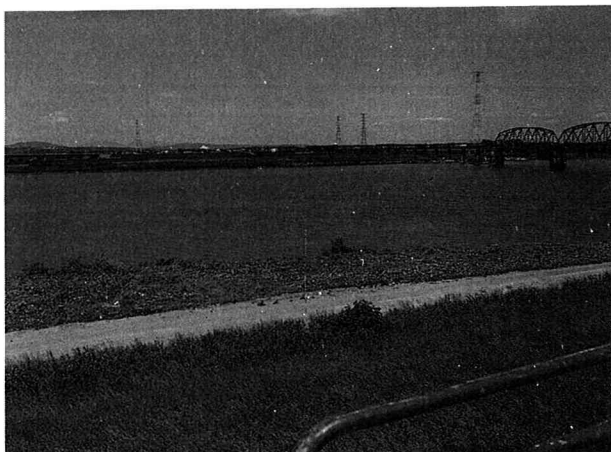


写真-1 解析用写真

表-2 計算諸元

(平成3年11月5日)

使用カメラ	ニコン F3 (ラジオコントロールセット使用)
使用レンズ	ニコン Nikkor 28mm f/2.8
使用フィルム	コニカ Super DD100 (35mmコア巻き)
写真サイズ	四つ切りサイズ
仮想焦点距離 f (写真画面スケールに対する焦点距離)	303.1mm
y_h	38mm
水面からレンズ中心までの高さ	6.4m
レンズ軸線の俯角	$\omega = 7.1^\circ$
レンズ軸線の水平方向角	$\gamma = 0.7^\circ$
レンズ軸線まわりの画面回転角	$\alpha = 0^\circ$

2.3 解析結果と課題

データ解析の結果、図-4に示す流下軌跡図が得られた。図-4の表面浮子流下軌跡図において河岸から80mの木杭水制の先端より河心よりの浮子の軌跡は不連続な動きをしている。これは、写真自体の歪み、写真上の座標を読みとる際の誤差が起因しており精度上の問題が表れてきている。そこで、カメラの設置位置からの適用可能距離を調べるため、木杭水制上に固定した標識に着目し、写真判読による任意の再現性を検討することとした。

図-5は解析に用いた写真のなかの任意の5枚について、本来不動であるはずの標識を写真から再現し示したものである。5枚の写真の誤差を平均したものを平均誤差、誤差が最大のものを最大誤差とここでは呼ぶこととする。平均誤差について、カメラの設置位置から標識までの距離が71.4mの標識2までは0.9mと少ないが、カメラ設置位置から標識までの距離が109mの標識3では平均誤差が2.3mと急増しているのが分かる。また、最大誤差についても同様のことがいえる。さらに、図-4の表面浮子流下軌跡図もあわせて見ることで、カメラ設置位置からの距離が100mを越える場合には得られたデータの確実性にやや欠けるという見解が持てる。

このため市販カメラによる表面流速の観測は解像度等の問題もあり、河幅が約100m程度の範囲で用いるのが限界であるように思われた。

事前の観測において、通常の表面浮子ではコントラストが弱く、写真上での浮子の位置の特定が困難であったことから、今回の観測では表面浮子の旗の色分けを行った。このため、今回は、表面浮子の座標の読みとりが比較的容易であった。

今回の観測は船による表面浮子の投下を行う方法をとったが、実際の洪水時に船での浮子投下に危険性が伴う場合においては、直接、手で投げ込むという方法もとれる。また、目標物となる表面浮子の代用として身近にあるものや流下ゴミ等を目標物として観測できる。

地上写真による観測は機動性に富んでおり、特に今回の方法は、カメラ、三脚、焦点を合わせるための標識等の設置で緊急時には、すばやく観測に対処できる、また、標点となる目標物をうまく写し込めば洪水時の局所の情報を得る手段として有効に活用することが可能であると考えられる。

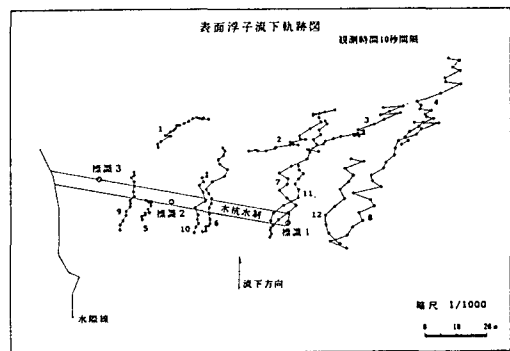


図-4 流下軌跡図

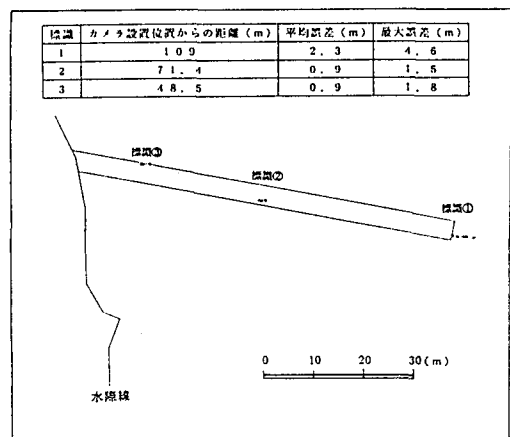


図-5 カメラの設置位置からの距離

3 河床波の観測

3.1 観測方法

図-6は十勝川支川の札内川の流量観測所南帯橋の昭和63年8月21日～9月20日までの出水時における河床高の変化を示したものである。昭和63年9月12日の出水では出水前の河床高は74.60m、出水中は74.45m、出水後は74.55mと変化していることから、横断面形状が洪水時と洪水後ではかなり異なっているものといえる。このため、洪水時における流量観測方法の浮子法により得られたデータの精度は洪水時以外に測量された断面を用いていることから、信頼性に欠けるものであると思われる。従って、流量の精度を向上するためには洪水時に河床形状を観測するということが必要となってくる。しかし、船による深淺測量等、洪水時に河床形状を観測する現在の方法は危険性が伴

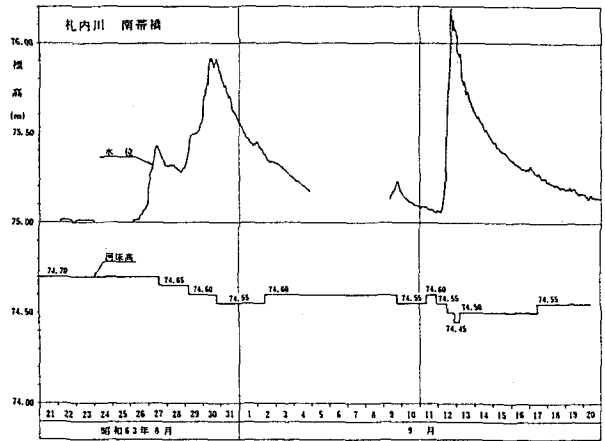


図-6 水位・河床高変化図

うため確立はされていない。以上の理由から、洪水時に危険を伴わなく、しかも、容易で迅速にできる方法を検討することとした。

河床形状を観測するために、木下らの研究を参考にして図-7に示すイカダを作成した。イカダの下部に音響測深器の計測部をとりつけ、計測部からケーブルを通して得られたデータを橋上のレコーダーで打ち出し水深を測定する。イカダの操作にはトローリング用の釣糸及び竿を用い、この竿を角材とゴムチューブを用いて橋の欄干に固定して行うこととした。なお、図-7に示すイカダの形状は、塩ビ管を十字に組み合わせ、その端部には水が入らないように塩ビ管のキャップをかぶせている。十字に組み合わさっている塩ビ管の下部に、音響測深器の計測部を取り付けている。塩ビ管の上部にはベニヤ板を載せ、さらにその中央には角材を立てている。

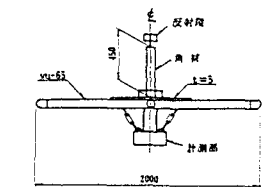
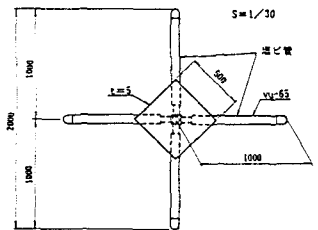


図-7 イカダの形状図

また、イカダには中央の角材の上部末端に位置計測用の反射鏡を取り付けている。さらにイカダの下部に固定した音響測深器の計測部と橋上のレコーダーをつなぐケーブルには、ケーブルが沈まないように、5～10m程度の間隔に発砲スチロール等の浮きを取りつけた。

イカダの水面への設置は、当初は、まずイカダを河岸から静かに着水させ、釣糸で引くことによりイカダを所定の位置まで移動させることとしていたが。ケーブルと釣糸の両方による支持が可能であったことから橋上から直接、イカダを水面へ設置させる方法をとった。水面への設置が終わったら、釣糸を張り、イカダを上流側に寄せ、スタートの合図で釣糸をゆるめ、音響測深器、位置測定装置をスタートさせる。イカダが観測範囲まで流れたらストップの合図で音響測深器、位置測定装置を止め、釣糸をリールで、イカダが流された分だけ巻き取る。川の横断方向に釣竿を5m程度移動させて以上の操作を繰り返した。なお、河床波測定方法の概略は図-8に示すとおりである。

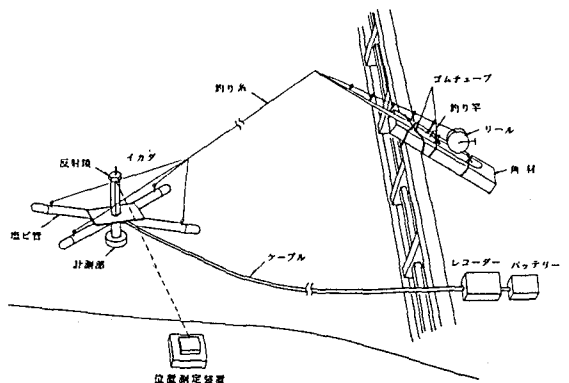


図-8 河床波観測略図

河床形状の観測は6月20日と10月18日に試みており、6月20日の観測では、イカダの位置の計測に3次元追尾装置(北海道開発局建設機械工作所)

4)を用いた。3次元追尾装置はx、y、z座標のデータを1秒毎に得ることができるという高性能な位置測定装置である。しかし、その反面、一般的な測定装置ではないので緊急時に即、対処させることが本来の目

的である本観測にはそぐわないものであった。また、イカダの位置測定に3次元追尾装置を使うほどの精度が必要ないと思われたため、10月18日の観測では、機動性を重視した結果、3次元追尾装置より手軽に扱えるイカダの位置の計測器として、2台のトランシットを用いてのイカダの位置の計測を試みることにした。

また、角度と距離が同時計測可能な光波測距儀による位置計測も試みている。

3. 2 観測結果

音響測深器により観測を行った位置を図-9の斜線範囲で示す。6月20日及び10月18日に10秒毎の測点をもとに描いた河床コンター図がそれぞれ、図-10、図-11のように得られた。

同時に観測していた低水流観の6月20日のデータをもとに求めた河床せん断力： $\tau_b = 0.019$ となり、限界掃流力： $\tau_{bc} = 0.034$ 以下であるので観測時には河床変動が起っていない。

図-10、図-11のコンター図の河床は融雪時、洪水時に発生したものであり、10月18日の出水時では河床せん断力： $\tau_b = 0.409$ となっておりこの水理量を図-12に当てはめてみると単列砂州の形態に属していた。この領域のみからではどの部類の河床形態の一部であるかは断言できないが、図-10、図-11の河床は単列砂州の一部と思われる。

このように次項で述べるように問題点等は残ったものの、洪水時に危険性を伴うことなく、河床形状を測定可能であることが示された。

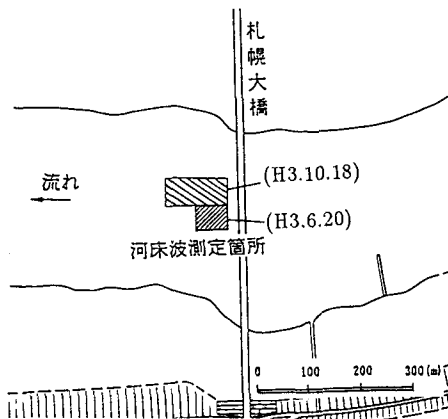


図-9 観測範囲

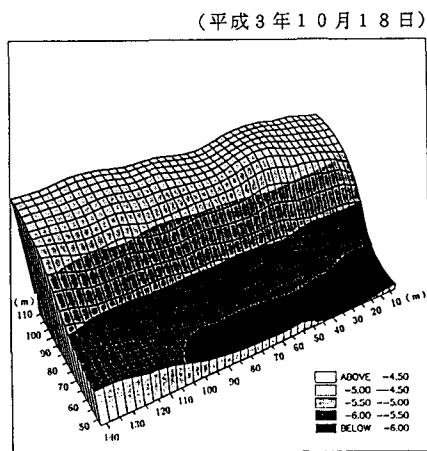


図-11 河床コンター図

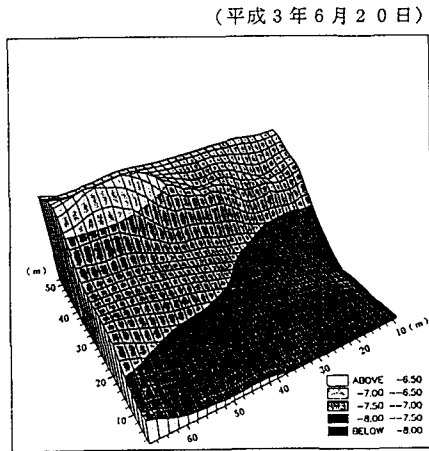


図-10 河床コンター図

3. 3 洪水時への適応性

イカダを使った河床波測定は、河川研究室では初めての試みであった。それだけに本観測での観測手法等に多くの問題を残した。それらの問題点等を以下に述べる。

イカダを引き戻す作業について、6月20日の観測では14号の糸を用いたが、電動リールによる巻き上げを行った結果、急激な強い力が働いたためイカダと釣竿とを結んでいる釣糸が切断してしまった。このためイカダの引き戻し作業は、手でリールによる釣糸の巻き上げを行ったことから予想以上に時間がかかるものとなってしまった。これに関する対策として、単に釣糸の強度を上げるという方法がある。実際に10月18日の出水時の観測では16号の糸を使用したことにより糸の切断はなかった。

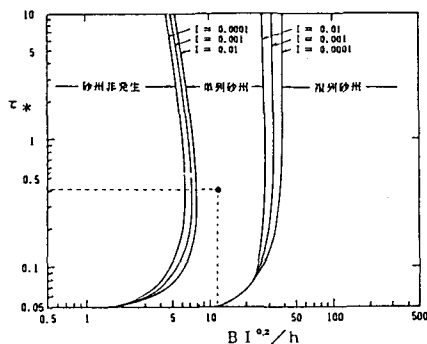


図-12 日本の中規模河床形態の分類図

また、データ転送用ケーブルをそのまま流すと沈んでしまい、その重さでイカダも沈む可能性があったため、データ転送用ケーブルに浮きを取り付けたが、6月20日の観測では、その浮きが足りず、観測水域が流下方向に約50mと限定されてしまった。加えて、現地に選定したのが河幅300m以上と非常に広い河幅を持つ石狩川下流部であったため、コンター図が全体のほんの一部分のものでしかなく、必ずしも河床波の一部を観測したものであると言いきれないのが非常に残念であった。

そこで、実際に平成3年10月18、19日の出水時にもう一度イカダ式音響測深器による河床形状の観測を試みた。データ転送用ケーブルを約120m程度流し、5m間隔で5測線について観測を行った。この時の計測器付近の水深2割の流速は80cm/s程度であった。計測部の付いたイカダは流下の際にはさほど問題はなくデータを得ることができた。しかし、やはりイカダを引き戻す作業は抵抗が増し煩雑となる等の問題が生じつつあった。ましてや、洪水時にはデータ転送用ケーブルに流下ゴミが引っかかる可能性もある。従って、実際の洪水時に、河床波等の広範囲にわたる観測をする場合には、データ転送を無線化する等の検討が必要である。しかし、このままの装置でも中小河川では適用可能であると思われる。

また、川の流れに対してイカダを引き戻す作業が少ないこと等の理由から橋脚等の構造物周辺の深掘れ観測への適用、さらに、さきほども述べたような横断面形状計測には、今回のイカダ式河床形状計測方法を横断方向に応用し、浮子法による高水流観と同時に行うことで、流速と河床形状の同時計測の適応性等を今後は検討していく考えである。

あとがき

今回、簡便な観測手法として河床波計測、及び、表面流速観測について、それぞれ、イカダ式、連続斜め写真を用いた方法について行い、その有効性及び、問題点等を抽出することができたと考えている。これらについて、以下にまとめて列挙する。

《連続斜め写真》

(有効性)

- ・中小河川や、水制工等の局部での流況を把握する手段として適している。
- ・カラーフィルムで撮影し、目標物となる表面浮子を色分けしたことにより、目標物の判読が容易となった。

(問題点)

- ・カメラの設置位置から100mを越える場合においてデータの確実性に欠ける。

《イカダ式河床形状計測》

(有効性)

- ・中小河川で適用可能。
- ・イカダの位置計測器には角度と距離が同時計測可能な光波測距儀が適している。
- ・局部の河床形状においては出水時でも危険性を伴うことなく計測することができる。
- ・イカダを引き戻す作業が少ない横断方向へ応用し、流速と河床形状の同時計測を検討する。

(問題点)

- ・イカダを引き戻す作業に抵抗がかかるため抵抗の少ないイカダの形状の考案が必要。
- ・広範囲にわたる作業にはデータ転送用ケーブルの処理が煩雑となるため無線によるデータ転送が必要である。

今回の観測方法は、従来の方法に比べ、手軽で、機動性に富み、すばやく緊急時の観測に対処できるものであるように思われた。現地での詳細なデータ収集ができるように、上記の有効性に基き、問題点を解決していく考えである。

(参考文献)

- 1) 木下良作, 志村一夫, 山崎文明; 洪水時河床音響調査へのホバークラフトの利用, 水工学論文集, 第35巻, 1991, 2
- 2) 竹本成行, 高木譲治, 牧野成雄, 森田康志; 石狩川下流部における洪水観測について(第2報), 北海道開発局土木試験所報告書, 1982, 3
- 3) 石川忠晴; ビデオ画像による洪水流表面流速解析の試み, 土木技術資料, 第二十五巻, 1983
- 4) 北海道開発局建設機械工作所