

洪水時河床音響調査へのホバークラフトの利用

Hovercraft Utilization for the River Bed Sound

Investigation at the Time of Flood

木下良作*・志村一夫**・山崎文明***

By Ryosaku KINOSHITA, Kazuo SHIMURA and Fumiaki YAMAZAKI

We have stated about the outline of river bed observation on a flood caused recently, and also stated about a study that has been started concerning this year's concave bank's water basin. Another statement that we presented here is observation on river bed elevation for wide area or at deep area along concave bank which becomes possible by using a hovercraft.

Keywords: field observation, flood flow, sand bar, sand dune, river meandering

1. はじめに

洪水時の河床状態はどうなっているか、長い間問題にされながら、近年までほとんど明らかにされるところがなかった。1981年8月、石狩川大洪水の際、北海道開発局により、減水期約6000 m^3/s と4000 m^3/s の時点に、河心に定めた直線の縦断測線上を、漁舟に積載した音響測深機により観測がなされた。¹⁾それは大きな流木を避けながら何度も進路を反らされ、やり直しを繰返して得られた、いわば決死的作業によるものであった。その結果を洪水前後に測られた同測線の縦断面と比較して、多くの発見がなされた。その一つは6000 m^3/s 、4000 m^3/s の水位下降期の、これまで見ることも出来なかった大きな砂堆の発生であり、また数100m波長規模の、砂洲状の河床波の共存であった。

次いで1986年より天塩川において、新しい方法による洪水時河床の観測が開始された。²⁾それは同じく音響測深機を用いるものであるが、簡便な魚群探知機のその記録部を橋上におき、センサーとケーブルを工夫された浮体に取りつけ、それを自然にある距離流下させ、その流跡を測定しながら、その流跡下の河床縦断

面を得るという方法である。これを横断方向に適当間隔に並べると、こまかい河床波はともかく、河床の平坦性が強い場合、あるいは波高：水深比の大きい顕著な砂堆が形成された場合には、かなりの確度でその3次元形態まで把握することが出来る。この方法はセンサー付浮体をロープで引戻すとき以外、すなわち計測時には流下する「ゴミ」の影響を全く

* 正会員 工博

(〒166 東京都杉並区阿佐谷北5-30-11)

** シン航空写真測深部次長

(〒062 札幌市豊平区平岸1条13丁目)

*** 正会員 同上 調査設計部 課長

避けることが出来るので、一般に多量のゴミが流下する、洪水の水位上昇期にも観測が可能などところに最大の特長がある。そして1987年春の警戒水位に達した天塩川洪水と、1988年夏の約5000 m^3/s に達した石狩川洪水において、その立ち上がりからピークに達し平水位に復する洪水1サイクル中の河床変形が、多数回の観測により明らかにされた。³⁾それは洪水時の巨大な砂堆は水位下降期に特にその発達が見られ、水位上昇期には概して平坦化しているという事実であった。(より大流量段階の状態は未観測)そしてマンニングの粗度係数の n 値は、河床波高の増減とともに、水位変化を横軸にとりて反時計廻りのループを描いた。

一方、洪水時の濁度あるいは浮遊土砂量は、水位変動に応じて時計廻りのループを描くことで知られている。^{4) 5)}この相反するループのもつ意味を探るため、1989年夏、同じく石狩川(河口橋)約1200 m^3/s と2500 m^3/s の小出水に際し、鉛直方向の濁度分布が併せて観測された。⁶⁾その結果、水位上昇期は濁度もその変動範囲も大きく、また表面から河底に向っての増加率も大きいのに反し、水位下降期はその何れもが小さいという顕著な対比が得られた。すなわち水位下降期の流れの穏やかさは流れの表面のみでなく、流れのほとんど河底にまで至り、そういう状態で巨大な砂堆が静かに発達していたのであった。

2. 横断方向の観測

以上述べた観測とその進展は、河岸効果からは離れた、河道中央部流況に関するものであった。1990年、著者らはその観測を、河岸領域にまで拡大した。河岸流況にはいろいろな観点がある。河心部で見られた洪水流量非定常効果は、果して如何なる形で存在するのか；河岸渦の実態とその変動は；湾曲外岸の深掘れの分布や洪水時の河床変動は；湾曲内岸の堆積の進行とスクロールバーのコアー形成は；等々。そしてそれらは大局的流況すなわち河道の蛇行性や、砂洲の形成状況とその水流の蛇行性等と関係するのみならず、河岸の局地的形状や人工工作物、護岸・水制など局所構造物との関係、すなわち局所流的な視点もまた極めて重要な課題となる。

はじめに述べた天塩川以降の新しい洪水時河床音響調査の進展は、流れのみならず、それに伴う洪水時特有の夥しい流下物に出来るだけ逆らわないという「自然流下方式」を守ることによって得られた。これは流下方向に波打つ2次元性の強い河床波にたいしては有効ではあっても、河岸に沿って切り込むように深掘れがつづく水域では適切ではない。そこでは流跡は渦によって曲がりやすく、運速変動も大きくなる。また岸から若干離れたところに収斂線が形成されやすく、投下浮子はその線上に捉えられて自由な位置の測定は困難になる。したがって河岸水域の音響調査は、多少流れに逆らっても、どうしても横断方向に計測せざるを得なくなる。

著者の一人、木下は、センサー付浮体を横断方向に動かす手段として、風の原理の応用を考えた。写真一

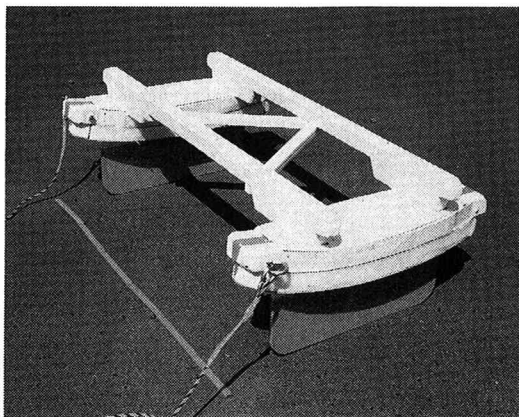


写真-1 最初に試作された双胴浮体の一例

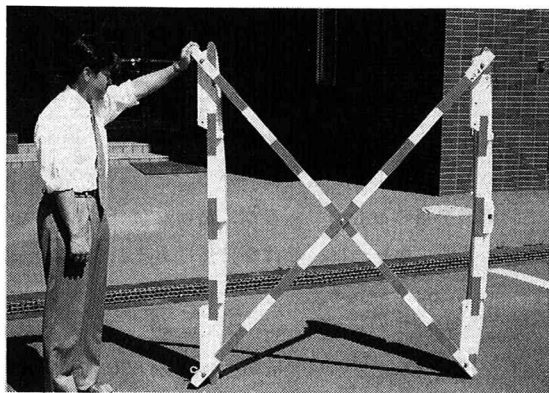


写真-2 改良された双胴浮体、間隔可変、向って左の浮体の両端にロープ、右浮体中央にセンサー

1のような双胴浮体を作り、2本のロープをとりつけ、流れの中で右ロープを張れば、流速により浮体に横方向の流体力が働いて左方向に移動する。左ロープを張れば右方向に動き、その最大移動角は流向に対し、左右 70° 、計 140° にも達した。（予備実験により、浮体の吃水深：浮体長：浮体間隔が1：2：3前後のときに最大の流体力が得られることを知り、 140° の値を得た）けれどもそれでは横方向の流体力が働きすぎて浮体が暴れ馬のように跳ねるので、写真-2・3のように安定して走行する形に改め、センサーを取りつけた。ロープはからまぬ

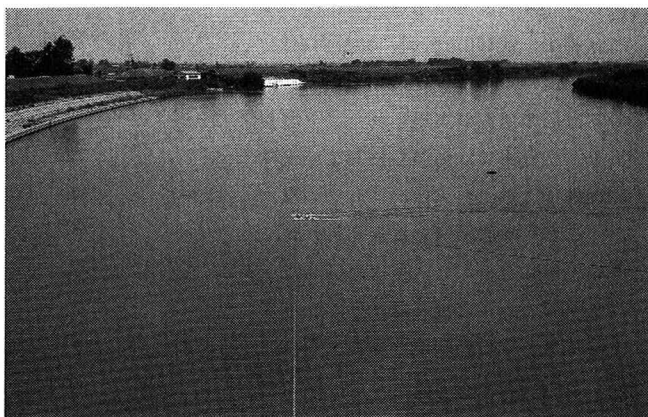


写真-3 平水時、改良浮体の横断走行テストの一例

よう片側の浮体の両端にとりつけ、また流速の変化に応じて引張力が過大にならぬよう、浮体間隔の調節を可能にした。浮体にはわずかな反りをつけることにより、操作が著しく容易になることも経験により見出された。テストでは橋上から150m位までの同心円状の円弧測線を得ることは容易であった。



写真-4 大きな柳がかかった一例

問題はケーブルを橋上または河岸の操作点まで引くことにあった。浮きをつけたケーブルの抵抗により、操作性は著しく損われた。ケーブルを廃し、バッテリーも記録器も双胴浮体に取付ければ浮体は大きくなり、引張力が過大になって操作の危険性が増す。それで写真-1タイプの“暴れ馬”にさらに数mのロープをつけて“十字浮体”³⁾を曳かせることにより、ケーブルの抵抗にも打克って操作が可能になった。

本番の観測は1990年、ある河川の出水で到来した。当初は順調であった。同心円の半径すなわちロープ長は次第に伸ばされた。引き戻さずの連続操作で次第に草のゴミや小枝がからみ出した。ロープ長100m前後で突如、引張力が非常な重さになった。水面にはあまり見えないが（写真-4）4m余の枝つきの太い柳であった。作業員全員集まり、引戻し、引揚げるのに一時間余——。徒費徒労であった。

流跡による測定法では引き戻す際、ゴミをかかわすことも出来る。またからんだらその都度引揚げて、取り除くことも出来る。しかしこの横断測定法は全時間ゴミに曝らされ、測定中避けようもない。むしろ河岸に沿うゴミ収斂線を横断しながら、ゴミを累積・収拾する作業に似ている。「この小出水程度で…」と、横断方向操作の僅かの夢と期待は、これで完全に打ち砕かれた。

3. ホバークラフトを用いた縦横断深淺測量

1990年、洪水時河床音響調査は北海道、尻別川でも開始された。尻別川下流部は図-1に見られるように、低水路、堤防法線ともに強い蛇行、鋭い屈曲を示す箇所が多い。護岸問題は重要なテーマであり、洪水時の横断計測の難関は避けて通れなくなった。これが打開されたのは著者の一人、志村によるホバークラフト使用の着想である。シン航空写真(例)では先に十勝川の洪水において、航空写真を撮影するための水面標識紙を、ホバークラフトにより河心に出て撒布した経験があった。それを生かして河床音響調査にも利用しようとした。使用艇はツインエンジン（計62馬力）2～3人乗り、操縦は同製作者(有)水上商会水上による。

1990年4月融雪出水に際し、図-1 御成橋上下流800m区間、横断測線21本の6回、および3本の縦断測線において数回の観測が実施された。(写真-5)位置出しは見通し杭および光学測距儀による。結果は湾曲外岸の洪水中の深掘れ形状が明確に捉えられた。そして驚くべきことに、それは全断面、洪水中その最深部標高はほとんど不変であった。夏の渇水期再測で、最深部は一様に数10cmの上昇を見た。原因は洪水中基盤(シルトと砂の互層)が露呈したものと推測された。しかしその基盤は護岸施工後約3~5年間で最大2m低下しており、しかも乱積ブロック護岸の前面のみならず、その底面まで洗掘を受け、ブロックの沈下を招来しているのである。ホバークラフトによる深淺測量は、1990年9月石狩川河口大湾曲部でも行われた。この河岸最深部の洪水中の挙動はやや複雑であり、小出水ながら最大変動高は1mを超えた。これらの詳細な報告および考察は今後なされるであろう。

洪水中の危険なプロペラ船の使用、あるいは橋上からの限定された観測水域から、ホバークラフトにより一挙に観測可能時期と水域が拡大した。ホバークラフトは別名エアークッション

ビークルと呼ばれるように、艇の下方に吹き出したエアが布製のスカートでかこわれることにより浮上し、⁷⁾洪水観測上の最大の難敵である流下ゴミをクリアしやすい点に最大の長所がある。反面摩擦抵抗が少ないために風の影響を受けやすく正確な進路をとる上に難がある。艇にも多様な仕様があり、将来洪水観測に最も適した艇の製作に進むであろうが、現在はむしろその特性に見合い、その能力の限界内で巧みに使用法、観測法を編み出すことが先決であろう。そして何よりも安全第一を心がけることは言うまでもない。また無線による無人操作も実現し得るであろう。問題はこれからであるが、萌芽的な一つのトピックとしてここに報告する次第である。

参考文献

- 1) 石狩川開発建設部：昭和56年石狩川洪水調査資料，1981
- 2) 木下良作：洪水流の河底境界面の可視化，流れの可視化，vol.7，1987
- 3) 同：洪水時の砂床形態の変化，第33回水理講演会講演集，1989
- 4) 吉川秀夫：洪水時の河川浮遊流砂量の変化について，建設省土木研究所報告，No.87，1954
- 5) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題，土木学会論文集，No.345，1984
- 6) 同：石狩川下流部における洪水時の濁度鉛直分布と流れの構造について，第34回水講，1990
- 7) 三野正洋：ホバークラフトトータルガイド，パワー社，1990

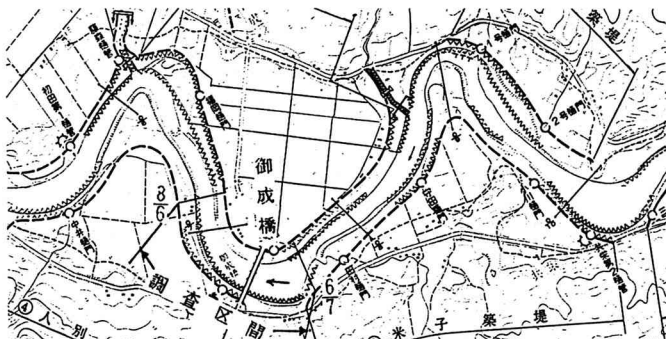


図-1 尻別川、御成橋をはさんだ6.8km~7.6kmが1990年の調査区間



写真-5 尻別川、出水ピーク時のホバークラフトによる横断深淺測量，1990年4月23日 17:42