

## II-27

## 石狩川直線部で観測された小洪水時の浮遊砂濃度分布の特徴

|          |     |         |
|----------|-----|---------|
| 北海道大学工学部 | 正 員 | 長谷川 和 義 |
| 北海道大学工学部 | 正 員 | 道 口 敏 幸 |
| 北海道大学大学院 | 学生員 | 大 串 弘 哉 |
| 北海道開発局   | 正 員 | 渡 邊 康 玄 |

## 1. はじめに

著者ら(1990)は、1990年より石狩川において流れと流砂の同時計測を始め、1990年9月4～6日洪水の石狩河口橋(河口から5.48km)での計測において次のような現象を見いだした。(1)浮遊物濃度の値は水位より早くピークを迎え、水面勾配から求めた摩擦速度に対応して変化する。(2)浮遊物濃度の水深方向分布が河床近くに張り出しを生じ、やがてそれが消滅する。この現象も摩擦速度の変化に対応している。(3)流速分布が長時間に渡って中膨らみの形状を示す。これは、計測点付近の川の湾曲による水面の逆勾配が原因になっている。以上のように洪水期間中の流速や浮遊物濃度の分布形は、水面勾配のような不等流の効果を強く受けて生じているものと考えられる。

1991年以降は、開発土木研究所との共同計測とし、計測場所も、逆勾配が起こらない直線部の札幌大橋(14.5km)に変更した。

本報告は、札幌大橋における主な観測について計測結果を示し、上述の(1)～(2)に関して考察を加えるものである。

## 2. 計測の概要

計測の方法などの詳細については前報に述べてあるので、ここでは概略のみとする。計測は、電磁流速計による流速測定と採水による浮遊物濃度の測定を、水深方向に数点で行うというものであり、その主な日時

表-1 観測一覧

| 年 月 日        | 測定 場所 | 測定項目        | 測 定 機 器                             | 備考                                                     |
|--------------|-------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 9/4～6        | 石狩河口橋 | 流速<br>浮遊砂濃度 | 横河パナテック社製<br>電磁流速計EMC107<br>簡易採水器B型 | 2350 tの小洪水。計測実施。潮位の影響を受け複雑な水位変化。                       |
| 4/25～26      | 札幌大橋  | 流速<br>浮遊砂濃度 | 電磁流速計EMC107<br>簡易採水器B型              | 計測実施。明確な洪水波発生しない。                                      |
| 5/1          | 札幌大橋  | 流速<br>浮遊砂濃度 | 電磁流速計EMC107<br>簡易採水器B型              | 融雪小洪水に対し計測実施。水位ピーク時期微小な水位変化を計測。<br>橋の上流側からの測定のため計測が困難。 |
| 6/20～21      | 札幌大橋  | 流速          | 電磁流速計EMC107                         | 計測実施。明確な洪水波発生しない。<br>流向計測用内部コンパスのON OFFで比べる            |
| 10/18～<br>19 | 札幌大橋  | 流速<br>浮遊砂濃度 | 電磁流速計EMC107<br>MTS式採水器              | 計測実施。余り水位は上がらなかった。                                     |
| 5/8～9        | 札幌大橋  | 流速<br>浮遊砂濃度 | ALEC社製<br>電磁流速計ACM300<br>MTS式採水器    | 計測実施。余り水位は上がらなかった。                                     |
| 8/10         | 札幌大橋  | 浮遊砂濃度       | MTS式採水器                             | 2650tの小洪水。計測実施。<br>流れが早くて流速計を設置できなかった。                 |
| 9/1          | 札幌大橋  | 流速<br>浮遊砂濃度 | 電磁流速計ACM300<br>MTS式採水器              | 小洪水。計測実施。                                              |

Characteristics of the sediment distribution in a small flood at a straight channel of the Ishikari River by K.HASEGAWA, T.MITIGUTI, H.OGUSHI and Y.WATANABE

を表-1に示す。

3. 水深平均濃度の時間変動

水深方向の数点の浮遊物濃度、流速をそれぞれ一つのシリーズとし、シリーズ毎に水深平均したもの、すなわち水深平均浮遊物濃度、水深平均流速を時系列で表す。以後の図中の粗粒分濃度、全粒分濃度とは、それぞれ、74 $\mu$ mフルイで便宜的に分けた粗粒径のものと、細粒径分も合わせたものの濃度を示す。また、水面勾配とは、同時刻の二つの水位観測点の水位差をその距離で除したものである。

図-1は、1. で述べた1990年9月4～6日の石狩河口橋での計測結果であり、「篠路」(15km)水位、「河口」(3.1km)水位、「石狩大橋」(26.6km)-「篠路」間水面勾配、「篠路」-「河口」間水面勾配、水深平均流速、水深平均浮遊砂濃度の粗粒分と全粒分を合わせて示したものである。なお、図中の目盛りに対して全粒分濃度は10倍の値を有しており、全浮遊物の95%は細粒分で占められる。これを見ると、粗粒分濃度のピークが水面勾配のピークと一致しており、全粒分濃度も大局的には水面勾配と対応している。しかし、三つ山を呈する原因は分からない。

ここで、浮遊物の粗粒分すなわち浮遊砂は河床構成材料と関連するものであり、細粒分すなわちウォッシュ

ュロードは上流で生産され、河床とはコンタクトのないものであることを考えると、粗粒分濃度の変化は測定点付近の流れに、細粒分濃度の変化は上流の流れに規定され则认为することができる。ただし、ここでは粗粒分と細粒分の区別の仕方が便宜的なものであるため、細粒分が浮遊砂的な挙動を併せ持っている。図-2に、石狩川の主要な支川である雨竜川(実線)、空知川(破線)、豊平川(点線)の三河川下流部の水面勾配の時間変動を示した。ただし、同じ図中に収めるために水位や勾配の値はシフトしてある。水面勾配が大きくなることによ

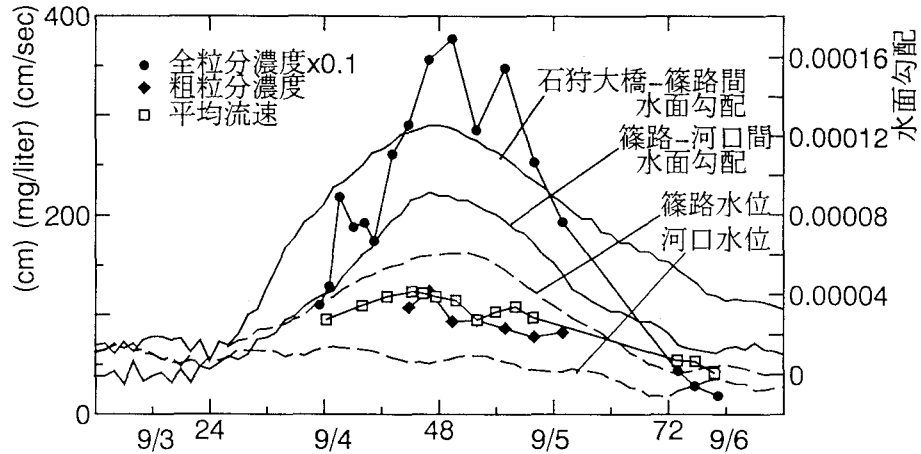


図-1 1990年9月3～6日洪水 石狩河口橋観測

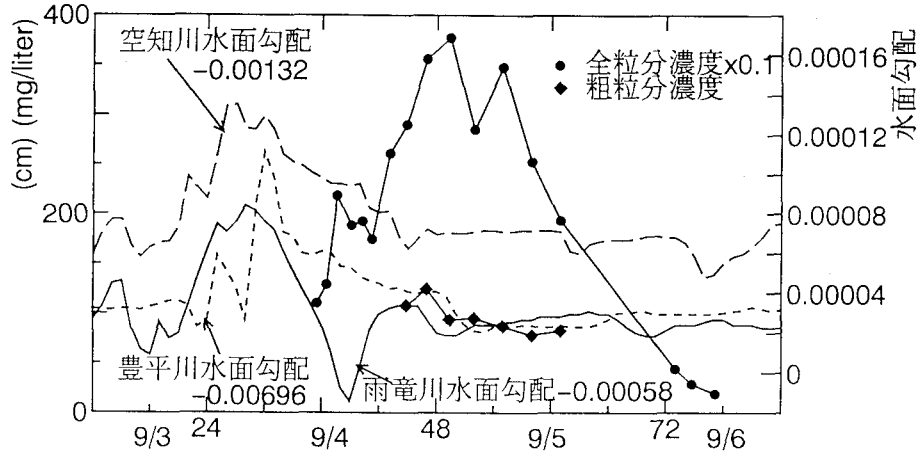


図-2 1990年9月3～6日洪水 浮遊砂濃度と支川水面勾配の関係

て支川で生産された細かい浮遊物が、平均流速で下流へ運ばれるものとすれば、平均流速を1(m/sec)と仮定して、雨竜川下流部(河口から111~118km)から流れてくる浮遊物は $115(\text{km}) \div \{1(\text{m/sec}) \times 3600(\text{m})\} = \text{約}32\text{時間}$ で、空知川下流部(93~107km)からの浮遊物は $100(\text{km}) \div \{1(\text{m/sec}) \times 3600(\text{m})\} = \text{約}28\text{時間}$ で、また、本川の「篠路」付近の浮遊物は $9.5(\text{km}) \div \{1(\text{m/sec}) \times 3600(\text{m})\} = \text{約}2.6\text{時間}$ でそれぞれ河口橋に達することになる。この予想をもって図-2を見ると、濃度分布の二番目の最大頂点は「篠路」-「河口」間水面勾配の2.5時間後、三番目の頂点は雨竜川、空知川の水面勾配ピークのそれぞれ27、28時間後にあたり、その影響を受けているものと考えられる。また、一番目の小さな頂点は、豊平川の急激な水面勾配の上昇の約7.5時間後であり、これにも時間的な一致がみられる。

同様にして他の計測結果を見たのが、図-3~7である。1991年4月25~26日の札幌大橋計測では、明確な洪水波は得られなかったにも関わらず、濃度変化は洪水時のように山形を呈した。一方、この濃度ピークの約35時間前に空知川下流部で水面勾配がピークを迎えている(図-3)。空知川下流部から札幌大橋までの距離は78~92kmであり、平均流速を0.7m/secとすると31~36.5時間で浮遊物が到達することになり、札幌大橋での濃度の高まりが理解できる。

1992年8月10日の札幌大橋計測(図-4)は、流速が大きく、流速計の設置ができずに濃度のみの計測となった。「石狩大橋」-「篠路」間水面勾配は長時間にわたって一定であったが、粗粒分濃度はその一定水面勾配の間に上昇し下降している。石狩大橋より上流の水面勾配から考えて、「石狩大橋」-「篠路」間での水面勾配ピークが粗粒分濃度ピークと同時期に出現するのが妥当と考えるが、水位データにはそれは現れていない。全粒分濃度は一つ山を描いてから更に上昇し、計測時間後ピークが現れた可能性が高い。図-5に見られるように、空知川下流部では8月9日23時

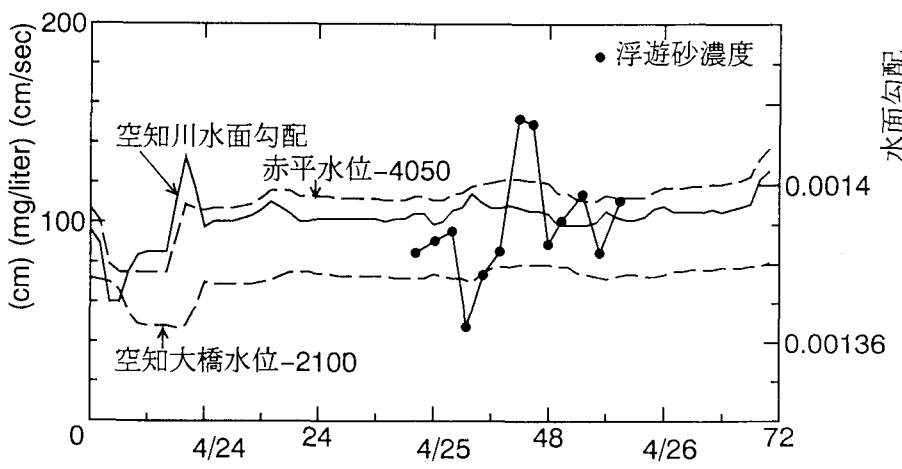


図-3 91年4月24~26日洪水 浮遊砂濃度と支川水面勾配の関係

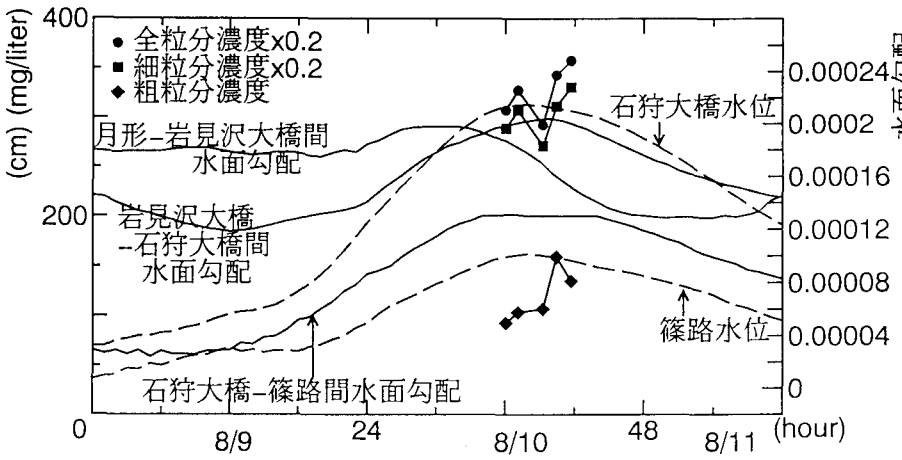


図-4 1992年8月9~11日洪水 札幌大橋観測

に水面勾配のピークがあり、平均流速を1.4m/sec（開発土木研究所の浮子による計測）とすると、その流れは15～19時間後に札幌大橋に到達する。10日の18時以降に生じたと想定される濃度ピークはこれによる影響であろう。

1992年9月1日の札幌大橋計測（図-6）

においても、「石狩大橋」-「篠路」間水面勾配が長時間にわたって一定値を示すが、やはりその期間に粗粒分濃度が増減している。洪水ピーク時に水面勾配が一定になるのはこの区間での特徴なのであろうか。一方、図-7で夕張川下流部の水面勾配ピークが1日14～15時と21時に二回起こっており、その流れが観測点に到達するのは6～9時間後であって、22時の全粒分濃度ピークとの関連がつく。

このように、浮遊砂は洪水波とともに下流へと伝わり、ウォッシュロードは上流から流れの速さで伝わるという仮説は、観測したいくつかの洪水から見て妥当な

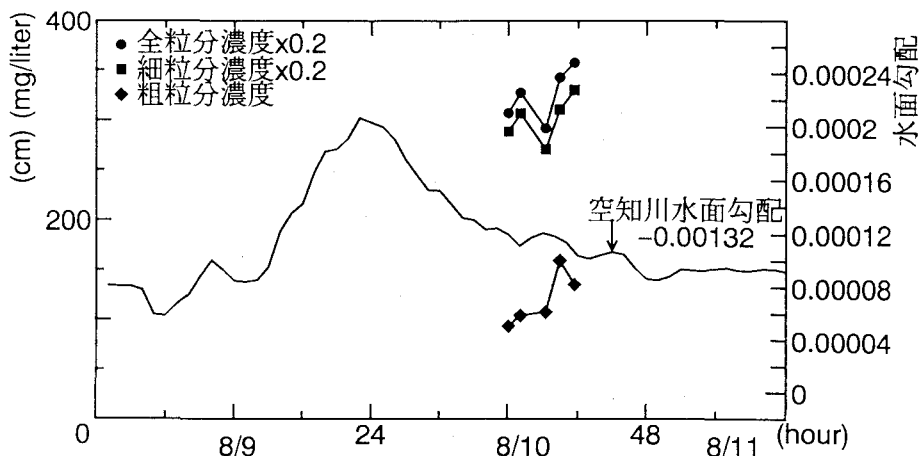


図-5 1992年8月9～11日洪水 浮遊砂濃度と支川水面勾配の関係

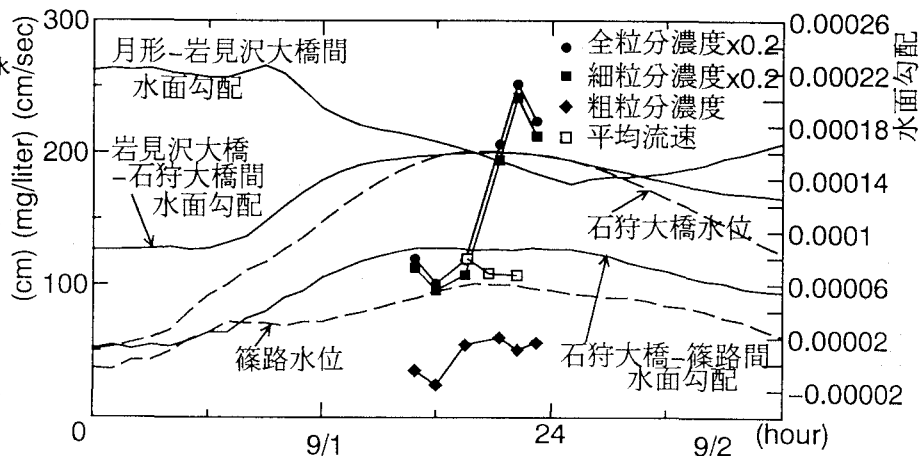


図-6 1992年9月1～2日洪水 札幌大橋観測

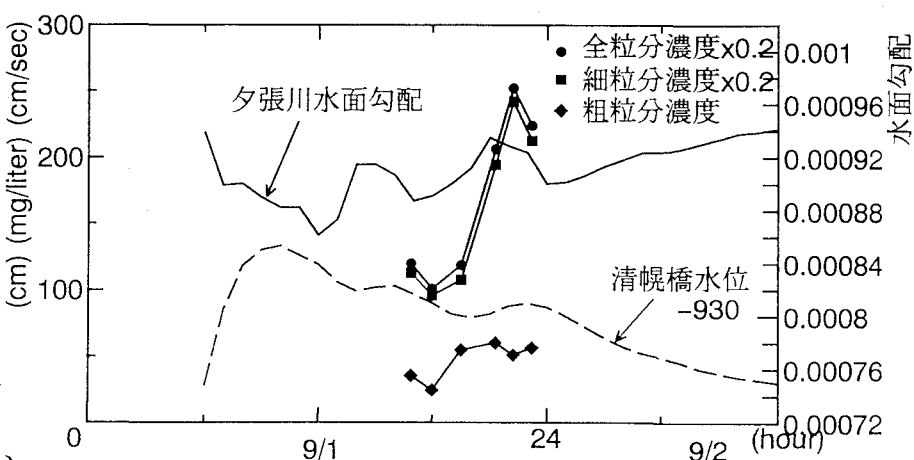


図-7 1992年9月1～2日洪水 浮遊砂濃度と支川水面勾配の関係

ものと言えそうである。

#### 4. 水深方向濃度分布の特徴

1990年9月4～6日観測の浮遊物濃度の水深方向分布は前報(1992)にも示したが、データを移動平均して表すと3で述べた仮説と合わせてよく説明がつく。図-8は、洪水前半の濃度分布を3シリーズずつ移動平均して表したものである。

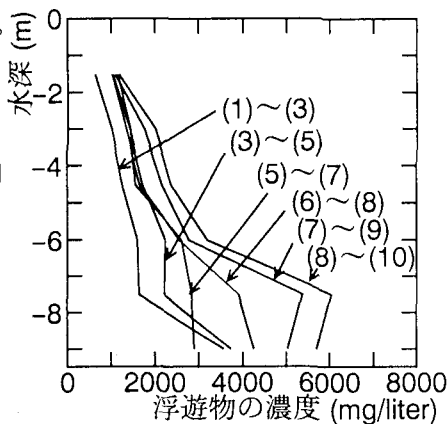


図-8 1990.9.4.洪水  
浮遊物濃度の移動平均値の変化

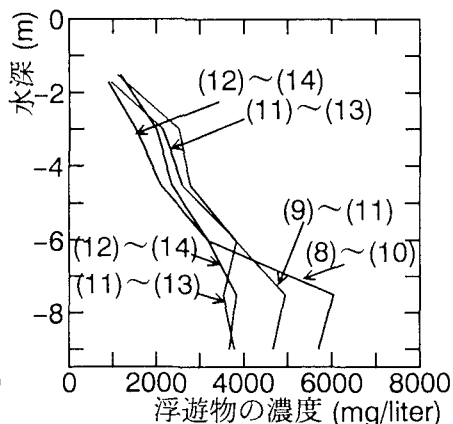


図-9 1990.9.4.洪水  
浮遊物濃度の移動平均値の変化

測点付近の水面勾配の増加とともに全体の濃度が上昇するが、河床近傍での上昇が際だっている。このことから、河床からの巻き上げが起きていることが判り、図-1での粗粒分濃度の増加が理解できる。図-9は洪水後半の、移動平均した濃度分布で、測点付近の水面勾配がピークを過ぎたシリーズ(10)の時点(図-9中では(9)~(11)に対応)からは、河床近傍の分布の膨らみが小さくなって行き、粗粒分水深平均濃度の減少(図-1)と一致する。これに対して、上層部の濃度はシリーズ(10)を過ぎてからも上昇し、河床近傍濃度より遅れて減少へと向かう。このことは、細粒分が上流の支川から洪水波より遅れて到達していることをうまく説明している。

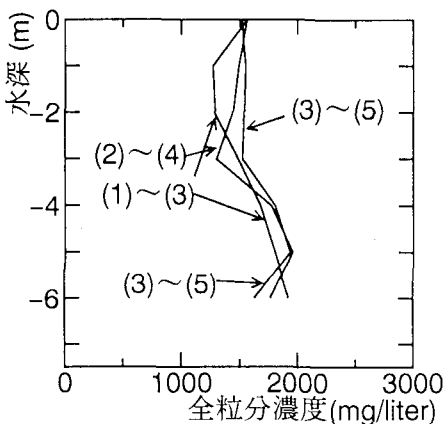


図-10 1992.8.10.洪水  
全粒分濃度の移動平均値の変化

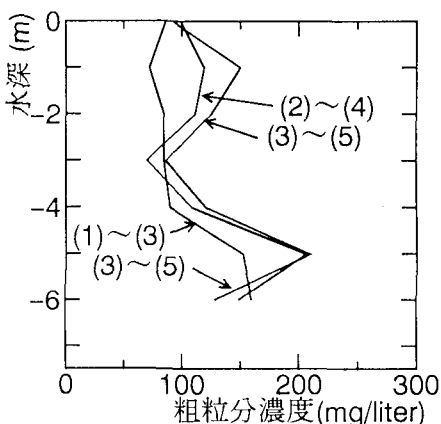


図-11 1992.8.10.洪水  
粗粒分濃度の移動平均値の変化

図-12は、1992年9月1日観測の、それぞれ全粒分、粗粒分の移動平均濃度分布を表している。全粒分、粗粒分とも増加傾向にあるが、河床近くの増加が止まり洪水が下降に入ろうとしているのを示している。図

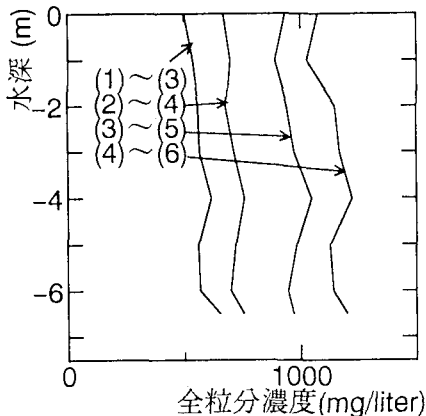


図-12 1992.9.1.洪水  
全粒分濃度の移動平均値の変化

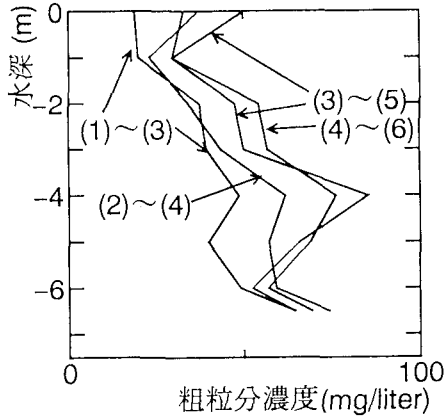


図-13 1992.9.1.洪水  
粗粒分濃度の移動平均値の変化

-12, 13は同じように、それぞれ1992年9月1日観測の全粒分と粗粒分の移動平均濃度分布である。細粒分はほぼ直立した分布形で大きく増加を続けているが、粗粒分はやはり河床付近の増加が止まっている。

以上から次のようなことが推測される。水面勾配の上昇期は浮遊砂が巻き上げられ、河床近くの、特に粗粒分濃度が増加する。水面勾配がピークを過ぎると、河床せん断力の減少とともに粗粒分の下層での膨らみが消え始めるが、洪水波に遅れて上流からのウォッシュロードが到着するため、全体の濃度は増加を続ける。そのため、粗粒分と細粒分の濃度ピークに位相差が生まれるのであろう。ところで前にも触れたが、全粒分に占める粗粒分の割合は5～10%程度であるのに、全粒分濃度分布が河床近くで膨らむのは、細粒分としているものの中かなりの割合で浮遊砂を含んでいるためと考えられる。

## 5. 流速分布形の比較

1990年の石狩河口橋での計測で得られた流速分布は、最大流速が河床から3 m程に現れる「中膨らみ形状」を呈している(図-14)。これについては前報で、湾曲の手前で起こる水面の逆勾配がその原因であるとの推察をした(1992)。直線部札幌大橋での計測は、順勾配の状態で「中膨らみ」のような分布形が現れるのかという課題をもっていた。

数回の小洪水を含む流速計測では、「中膨らみ」のような現象は起こらなかった(図-15)。しかし、流速の最大値が水深の中程にあるケースや、最大値ではなくとも河床近くの流速が速いケースなどもあった(図-16)。したがって、今後の計測方法の充実を考えたい。

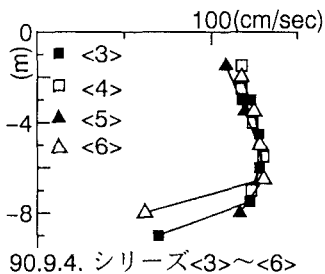


図-14 「中膨らみ形状」の流速分布

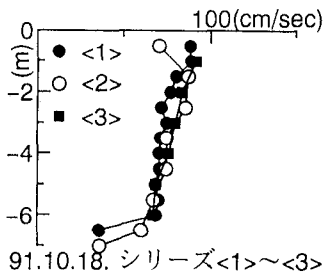


図-15 通常見られる流速分布

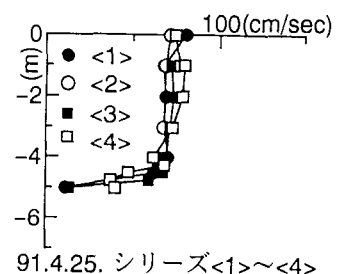


図-16 水深中程に速い流速がある例

## 6. まとめ

(1)底面せん断力に規定される浮遊砂は洪水波とともに移動し、河床材料に見いだされない細粒径のウォッシュロードは上流から平均流速で流下する。

(2)そのため粗粒分濃度と細粒分濃度には、ピーク出現時刻にズレが生じる。また、水深方向の浮遊物濃度分布においても、河床付近の濃度(=主に浮遊砂による)と上層の濃度(=主にウォッシュロードによる)の増加減少には、時間差が生じる。

今回の報告では、全編にわたり定性的な議論に終始した。流速分布の定量的解析は今後の課題にしたい。

## 参考文献

- 1)長谷川和義・大串弘哉・竹本成行・渡邊康玄(1992):石狩川小洪水に見られる特異な流速分布の発生因に関する考察、土木学会北海道支部論文報告集第48号、385-390
- 2)長谷川和義(1992):石狩川における流速と浮遊砂濃度の同時計測、種々のスケールにおける流れと流砂運動の同時計測による土砂輸送・河床変動機構の解明、45-55