

II-66

水位変動の大きな洪水における水理構造の変化について

北海道開発局 開発土木研究所 ○正員 喜澤 一史  
 北海道開発局 開発土木研究所 正員 馬場 仁志  
 北海道開発局 開発土木研究所 川邊 和人  
 北海道大学大学院 正員 長谷川 和義

1. はじめに

洪水時の水理構造についてはまだよくわかっていない。しかしながら近年、観測機器の技術進歩や手法の開発、観測結果に基づく詳細な分析の結果、一部の水理現象が説明され得る状況となってきた。筆者は平成9年8月鶴川洪水で洪水初期の流速分布を観測し、河床粗度とエネルギー勾配が密接に関係していること、そしてこれらの時間変化と流速分布形状の変化が時間的に一致していることを確認した。このことは実際の河川では河床波の変動による非定常因子が水理構造に影響していることを示している。本論は平成10年4月、8月の同鶴川の洪水観測結果を紹介するとともに、大規模洪水におけるピーク前後の水理構造とその変化について考察を行なう。

2. 洪水観測

2-1. 対象洪水の概要と観測期間

平成10年4月13~14日洪水(以下 春洪水)は、流域平均日雨量47mmと気温上昇による融雪を伴う洪水で、観測地点近傍穂別観測所の最高水位・流量は  $H=55.22m, Q=534.7m^3/sec$  ( $H.W.L.=57.70m, Q_{max}=3,000m^3/sec$  図-2)、観測期間はピーク直前からピーク後7時間である。融雪洪水の特徴は水位低減が非常に遅く、本洪水では約3日間を要した。同年8月28~29日洪水(以下 夏洪水)は、前線の影響により、時間最大38mm、日雨量196mmの洪水で、同地点の最高水位・流量は  $H=56.77m, Q=1,407.6m^3/sec$  (図-3)、平成9年8月の洪水( $H=56.47m, Q=1,300m^3/sec$ )を上回る規模となった。観測では、水位が最大83cm/hと急上昇したため、上昇期を逃したもののピーク及び水位変化の大きい下降期の貴重なデータを得ることができた。同洪水の水理諸元及び洪水の特徴などについては、高橋ら<sup>1)</sup>がとりまとめている。



図-1 観測位置図

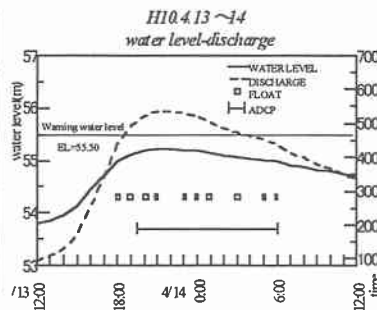


図-2 春洪水ハイドロと観測期間

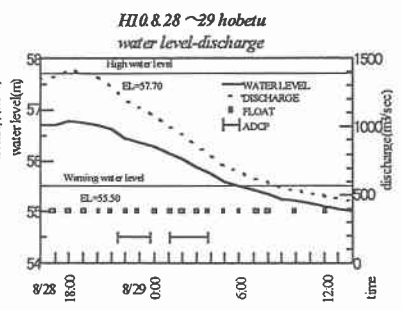


図-3 夏洪水ハイドロと観測期間

2-2. 流速観測

洪水時の河道横断流速分布には流量観測時の浮子観測値を利用した。また鉛直流速分布は ADCP を用いて

Change of hydraulic structure in flood at large fluctuation of water level  
 by Kazufumi KIZAWA, Hitoshi BABA, Kazuhito KAWABE, Kazuyoshi HASEGAWA

観測を行なった。ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers - 超音波ドップラー流速計) は、表水面から層別3次元流速と河床高を測定できる。昨年はFRP製の小型舟に固定して観測したが、波浪や流木等の大型浮遊物が障害となり観測を途中断念せざる得なかったため、今回は新たにインフレーター・カタラフトに替え、さらにロープワークを駆使してピーク観測に成功した(図-4)。しかしながら両洪水ともADCPのbottom trackが得られなかったため、water trackのbeam反射率から水深を求めることにした。

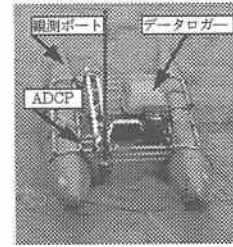


図-4 ADCP観測

### 3. 春洪水における水理構造と其の変化

#### 3-1. 浮子による横断流速分布

浮子観測は図-5に示す横断面を分割した測線中心点で行ない、浮子流速から測線毎の平均流速が求められる。その平均流速を縦軸に、測線を横軸にとると図-6の横断流速分布が得られる。観測期間の流速は2.0~3.0m/secで、ピーク直後の4/14 1:00は河道センター(第4測線)が最大となっているほかは4/13 23:00の水位ピークを含めて左岸よりに早くなっている。これは観測点の河道が左岸方向に弯曲している影響と考えられる。横断流速分布形状に時間変化が見られないのは、春洪水がほぼ河道平面形に沿った流れであったことを示している。

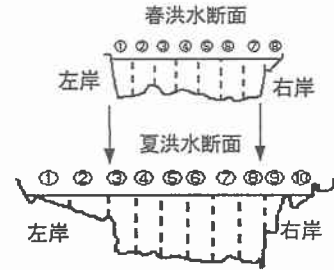


図-5 浮子観測測線図

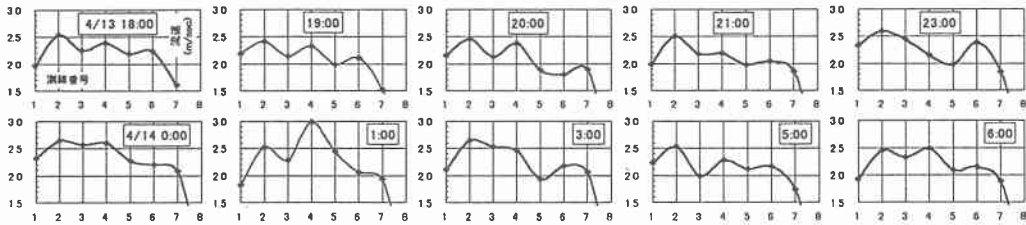


図-6 春洪水の横断流速分布

#### 3-2. 横断流速の時間変化

測線流速の時間変動を図-7に示す。第1, 4, 5, 6測線に周期変動が見られ、その周期は約3~5時間である。本洪水のピーク時刻は、水位で13日 23:00、流量は14日 0:00と1時間ずれており(図-2)、流速の時間変動を見ると、ピークと必ずしも一致していない。変動頂点の時刻に着目すると、第6測線は13日 23:00に、第2・3・7測線は14日 0:00に、第4・5測線は1:00になっている。時系列に見るとその頂点がセンター~両岸~センターと移動しており、交互砂州の通過による現象と推察できる。

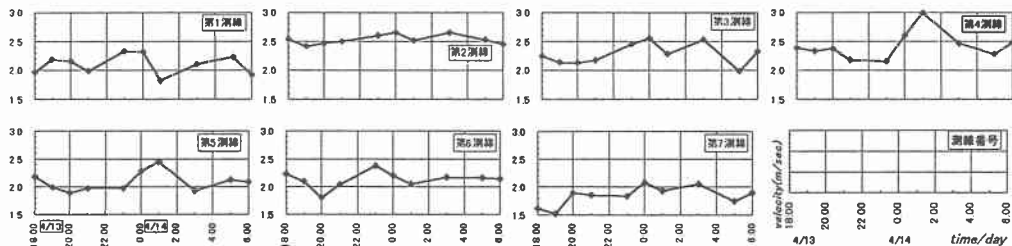


図-7 春洪水の各測線の流速時間変化

### 3-3. ADCPによる鉛直流速分布

縦軸に無次元水深、横軸に流速をとり、30分おきに流速分布を示したのが図-8である。13日 20:00,22:00、及び14日 0:30,1:00を除いたすべての時間で、0.3~0.4水深付近に分布の中折れが見られる。これは平成9年8月の鶴川観測で、洪水初期後半に一時的に見られた現象<sup>2)</sup>と同じある。現象は、砂堆のクレスト下流で見られる分布に類似していることから、河床波の影響によるものと推察できる。

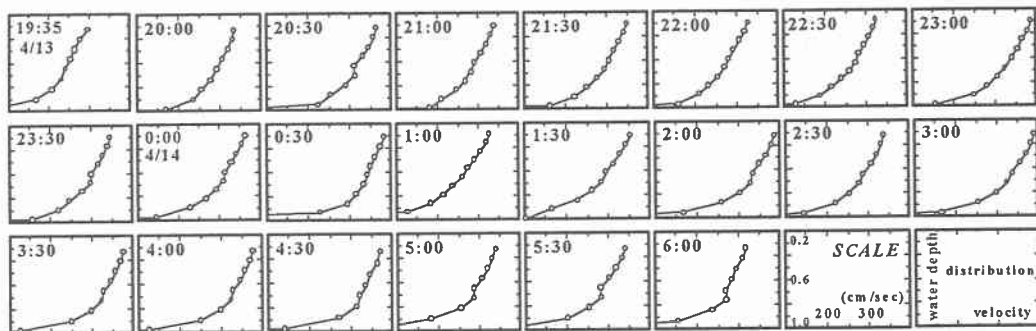


図-8 春洪水の流速鉛直分布 (ADCP)

### 4. 夏洪水における水理構造とその変化

#### 4-1. 横断流速分布と時間変化

ADCPの測定箇所は第8測線に位置する(図-1)。図-10によると、第8測線は28日18:00~21:00に流速が早く、22:00を境に落ち込んでいる。流速の落ちるタイミングは第7測線で29日1:00、第6測線で3:00と、いずれも第8測線より遅れている。いずれも砂堆や砂州のクレストが通過したと仮定すると、その後は河床勾配が緩くなって徐々に流速が落ち込むと解釈できる。また落ち込み周期はいずれも6時間で、春洪水より若干長かった。

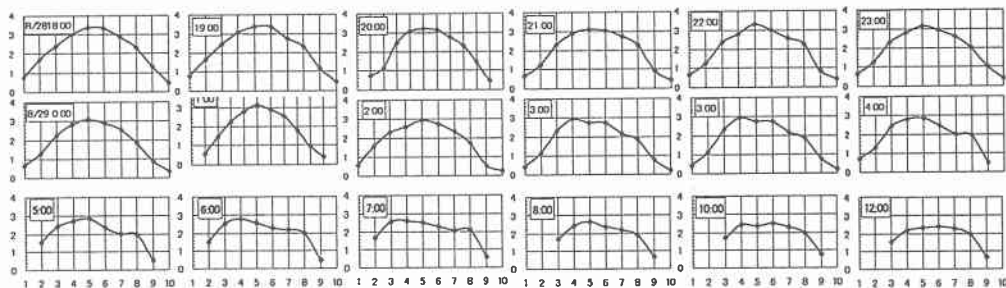


図-9 夏洪水の横断流速分布

〔縦軸：流速 (m/sec)、横軸：測線番号〕

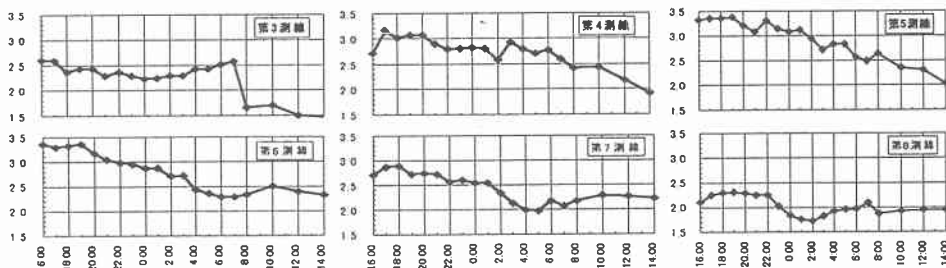


図-10 夏洪水の各測線の流速時間変化

〔縦軸：流速 (m/sec)、横軸：時刻〕

#### 4-2. ADCPによる鉛直流速分布

図-11に鉛直流速分布を示す。これによると春洪水で中折れ現象が見られたのとは異なり、夏洪水では中膨らみもしくは直立分布が見られる。分布の変形は28日22:00に始まり、23:00及び29日1:40頃には変形が極端となり、29日2:00以降は変形がおさまって徐々に対数分布に近づいている。図-14-Aに示すADCPのbeam反射率の水深変化図を時系列で重ねて見ると、28日22:00~23:00及び29日1:40頃に砂州または砂堆のクレストの通過により流速分布が変形し、その後は砂州または砂堆が通過していったことで徐々に変形がおさまっていったと考えることができる。

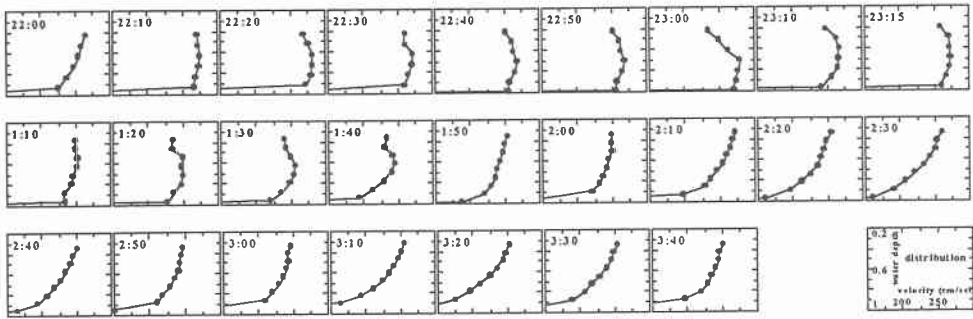


図-11 夏洪水の鉛直流速分布 (ADCP)

#### 4-3. V方向流速分布と時間変化

図-12は、図-13に示す実測のV方向流速について、河道弯曲の影響を受ける場合の分布(鉛直下方に見てS字型分布)を正方向に、その逆(鉛直下方に見て逆S字型分布)を逆方向として正負で区分し、さらにV流速の絶対値の平均をとって大きさを示したものである。28日22:00、29日2:17~2:37は負領域にあり、表層で河道弯曲の外側から内側に向かう流れが発生している。これは砂州の通過による影響が河道弯曲の影響より大きく現れた結果であると考えられる。

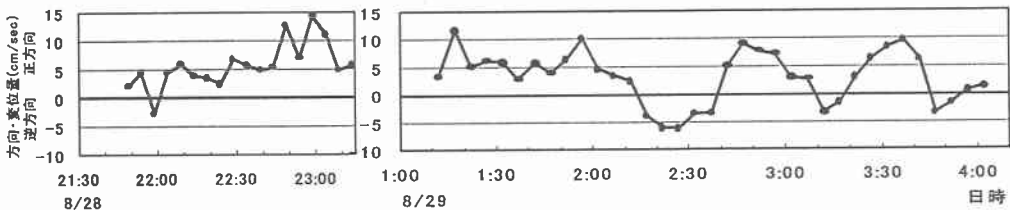


図-12 V方向流速の分布方向と鉛直平均値(絶対値)

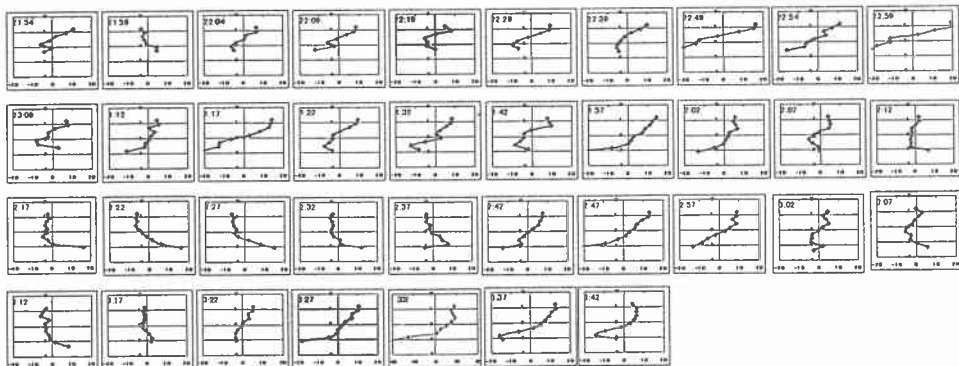


図-13 夏洪水の二次流分布 (ADCP)

#### 4-4. ADCPのbeam 反射率が示す水深と発生現象

ADCPの流速観測値は、beam 反射率でその信頼度が判断できる。通常は下層に行くにつれて反射率は少なくなり、河床付近もしくはそれ以下の流速値は異常値を示すようになる。つまりこの反射率から河床高の概略値や、河床変動などの現象の存在を知ることができる。図-14-Aによると、反射率70%水深が28日22:00から、29日1:20から各々振動し始め、前者は約1時間15分、後者は約40分で元的水深に戻っている。一方、29日1:45以降は反射率が示す水深に振動は見られないが、水位が低下しているにもかかわらず水深は増えている。またADCP観測が中断した28日23:15~29日1:10もその端点の差は同様である。このように水深が一時的に浅くなりその後深くなる現象は、砂州もしくは砂堆のクレスト通過時に浅くなり、通過後は深くなることで説明がつく。

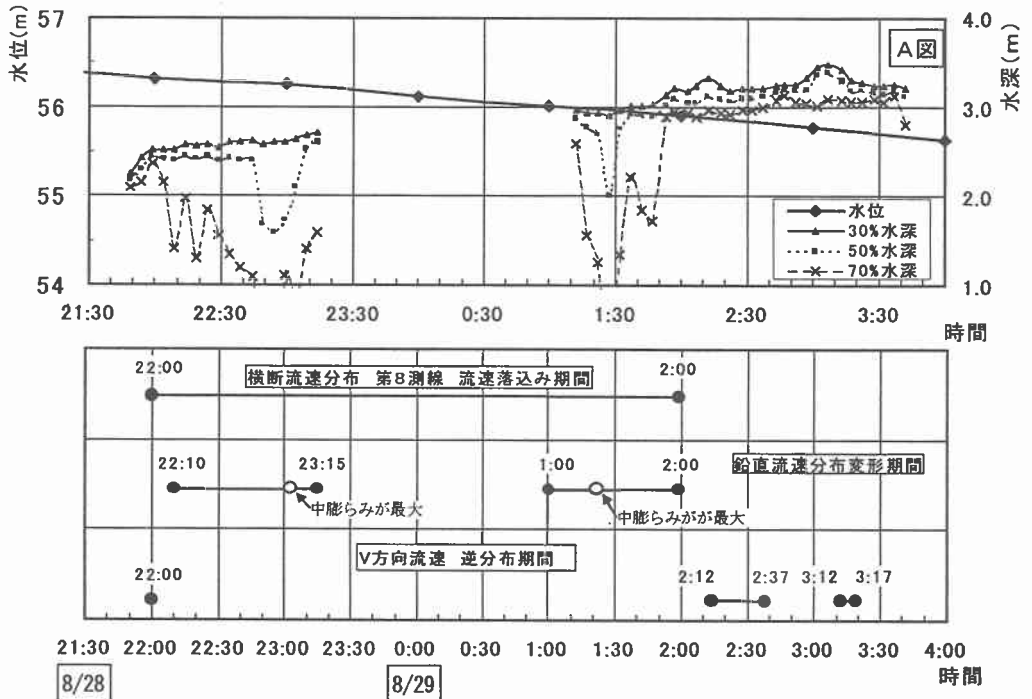


図-14 ADCPのbeam 反射率水深と各現象の出現時刻

図-14-Bは、これまでに述べた現象をタイムテーブルに乗せ整理したもので、横断分布はADCPを設置した測線の現象を示してある。すべての現象が一致しているのは28日22:00付近で、この時間は河床に異変があったのは確実と見られ、砂州か砂堆の通過があったことになる。29日1:00~2:00付近は、28日23:15~29日1:10が不明となっているため、2つ目の砂州か砂堆の通過なのか1つ目の連続した現象なのか明らかにはならない。

#### 5. 河道弯曲に起因するV方向成分の解析

二次流の平均的な特徴を見るために、ADCP実測値の1時間平均とEngelund<sup>3)</sup>による弯曲二次流式の比較を試みた。Engelund式は主流速分布に放物線形分布を仮定するとともに、渦動粘性係数を次のようにとり、式(1)を導いている。

$$\varepsilon = 0.0077U_*h$$

$$v(\xi) = 13\varphi_0 \frac{U_s h}{r} \left[ \frac{1}{2}(\alpha-1)\xi^2 + \frac{1}{6}\beta\xi^4 - \frac{1}{30}\beta^2\xi^6 + k \right] \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1-\beta + \frac{3}{5}\beta^2 - \frac{1}{7}\beta^3}{1-\frac{1}{3}\beta}, \quad \beta = \frac{6.5}{\varphi_0}, \quad \varphi_0 = \frac{U_0}{U_{*0}} = \text{河道中心部における流速係数,}$$

$$k = \frac{1}{6}(1-\alpha) - \frac{1}{30}\beta + \frac{1}{210}\beta^2, \quad \text{ここに } \xi = \text{無次元水深、 } v(\xi) = \xi \text{ 水深の横断面流速、}$$

$U_s = \text{表面の主方向流速、 } h = \text{水深、 } r = \text{主流線の曲率半径}$

図-15は、標記時刻の前後30分ずつを平均した実測Vと、式(1)から求めた理論値を重ねた分布図である。rには低水路中心線の曲率半径=540mを用いた。両者に大きな差が見られないことは、主流速分布が複雑であったにもかかわらず、ある程度長い時間で見た平均二次流は、河道弯曲の影響だったことを示している。

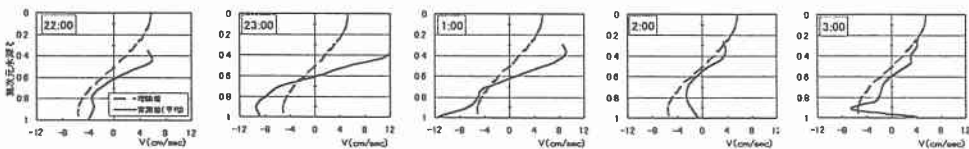


図-15 ADCP観測による実測平均VとEngelund式の分布対比

## 6. まとめ

融雪と降雨という異なる特徴を持った洪水で、ピーク前後の水理現象の特徴をまとめると。

- ①流速横断分布には一様な周期変動があり、その波長は約6時間だった。
- ②大きな洪水のピーク付近では、鉛直流速分布の非定常変形が極端となり、中折れ・中膨らみ・直立現象などが起こる。
- ③長時間平均の二次流は、河道弯曲による遠心力が作用して生じている。洪水中には砂州や砂堆の影響によりその量の変動したり、逆向きの二次流が発生する場合がある。

洪水時の水理構造や変化については因子が複雑に絡み合うため、現象を理路整然と説明するには至らないが、上記の現象はすべて、砂州や砂堆の通過による影響と考えれば概ね説明がつく。もし洪水中に河床が変化しないとすれば、横断流速分布や鉛直流速分布に起こる様々な変動やその周期性の要因が見つからないからである。洪水流の水理構造を解明しようとする、結局河床データが必要となる。今後は是非洪水時の河床波観測を行ない、河床データからすべての現象を解析していきたい。

## 参考文献

- 1) 高橋真聡、長谷川和義、馬場仁志、喜澤一史；1998年鶴川洪水における春・夏洪水の観測結果について、土木学会北海道支部 論文報告投稿中、1999年2月
- 2) 喜澤一史、山下彰司、鳥谷部寿人、長谷川和義；洪水時における水理構造の変化について、土木学会北海道支部 論文報告集、第54号、1998年2月
- 3) Engelund, F; Flow and Bed Topography in Channel Bends, Journal of Hydraulic Division, ASCE, HY - 11, pp.1631 - 1648, 1974