

II-64

濁度関数の支配因子に関する研究

北海学園大学 ○学生員 渡辺 浩司  
正員 山口 甲

1. 研究目的

洪水時に河川に発生する濁り(濁度)は、容易に観測でき流れが移送する浮遊物質の輸送量を表す指標として便利である。その濁度は融雪出水(春水)と降雨出水(夏水)、河川流量の大小、洪水の増水期と減水期等で異なった値を示すことが明らかにされている。ここで、水質自動監視装置で実測されている時間濁度(河岸で採水)を流量 Hydrograph を主体現象とした時の従属現象と考える濁度関数を検討し、濁度Dを流量Qと時間変動量 $\Delta Q/\Delta t$ で表し<sup>1)</sup>、本研究ではその関数で用いた定数の支配因子について考察したものである。また三田村氏の研究によって河岸の含砂量から断面平均含砂量に換算する式も検討された<sup>2)</sup>。すなわち過去に起きた洪水で流量Qのデータがあれば、濁度関数により濁度Dを予測しそれを含砂量・断面平均含砂量に換算することによって洪水によって輸送された土砂量を計算することが可能となる。

2. 研究の方法

石狩川では水質自動監視装置が伊納大橋、奈井江大橋、石狩大橋の3ヶ所に設置されて通年1時間毎に採水しその濁度が自動計測されている。図-1は流量Qと濁度Dの関係を春水と夏水に分けて示したものである。この図から春水と夏水では異なった値を示すことが明らかであり、春水と夏水に分けて検討する必要がある。図-2は洪水時の1時間毎の観測値で濁度D、流量Q、流量変動量 $\Delta Q/\Delta t$ ( $\Delta t$ :1時間)の1例を示す。濁度Dは流量Qが大きくなると大きな値を示すものの、最大流量が起こる時刻の前に最大値が起きている。また、減水期の濁度は増水期の同一流量で発生した濁度よりも小さい値となる。また濁度Dと $\Delta Q/\Delta t$ の関係においては、濁度Dの最大値が生ずる時刻に $\Delta Q/\Delta t$ が最大となる、このことから濁度Dは $\Delta Q/\Delta t$ で表されることが考えられる。

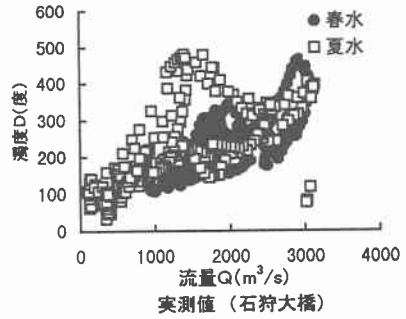


図-1 春水と夏水の濁度の関係

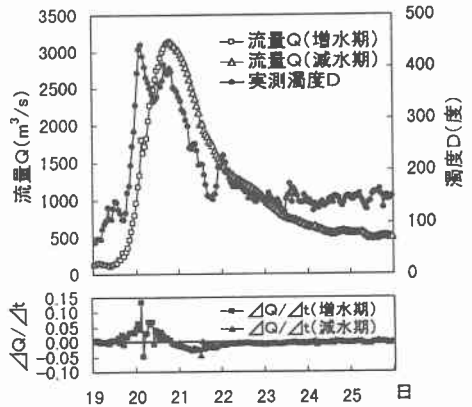


図-2 流量Q、濁度D、 $\Delta Q/\Delta t$ ~t図

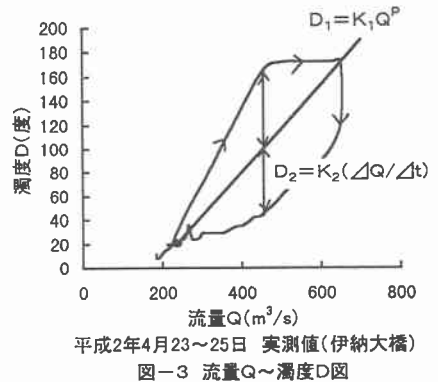


図-3 流量Q~濁度D図

Study on The Turbidity Function in Stormflow  
by Kouji WATANABE and Hajime YAMAGUCHI

また、その関係を明らかにするため図-3に流量Qと濁度Dのヒステリシスを示す。石狩川の3地点共に時計回りのループを描いており、濁度Dは流量Qの2価関数で表される。

ループを描くヒステリシスは濁度Dが流量Qの2価関数となることを表しており次式を考える。

$$D = D_1 + D_2 \quad (1)$$

$$D_1 = K_1 Q^{P_1}$$

$$D_2 = K_2 (\Delta Q / \Delta t) \quad (2)$$

ゆえに

$$D = K_1 Q^{P_1} + K_2 (\Delta Q / \Delta t) \quad (3)$$

ここで Q : 流量 (m<sup>3</sup>/s)、 D : 濁度 (度)、  $\Delta Q / \Delta t$  : 時間に対応する流量変動量 (m<sup>3</sup>/s)

K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、P<sub>1</sub> : 定数

2例の解析対象洪水について検討すると定数K<sub>1</sub>、P<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>共に洪水事例によって固有値を示す。本研究で洪水事例によって異なった値を示す定数K<sub>1</sub>、P<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>は何に支配されているかについて検討した結果、図-4に示すようにK<sub>1</sub>はP<sub>1</sub>と関係があり、図-5に示すようにP<sub>1</sub>は流域平均雨量(R)又は図-6に示すように最大流量(Q<sub>p</sub>)を支配因子と考えることができる。しかし、K<sub>2</sub>については未だ支配因子を解明されていない。解析によって得られた結果を次式で表す。

$$K_1 = 115.07e^{-6.7471P_1} \quad (4)$$

$$P_1 = 1.1551R^{0.1010} \quad (\text{春水}) \quad (5)$$

$$P_1 = 0.3858R^{0.2208} \quad (\text{夏水}) \quad (6)$$

$$P_1 = 31.3796Q_p^{-0.4548} \quad (7)$$

ここで R : 流域平均雨量 (mm)、 Q<sub>p</sub> : 最大流量 (m<sup>3</sup>/s)

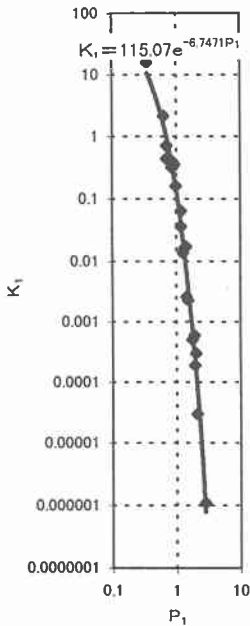


図-4 P<sub>1</sub>とK<sub>1</sub>の関係

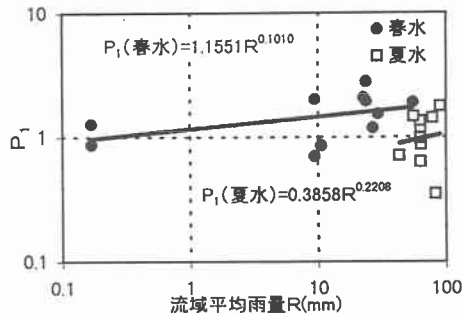


図-5 流域平均雨量(R)とP<sub>1</sub>の関係

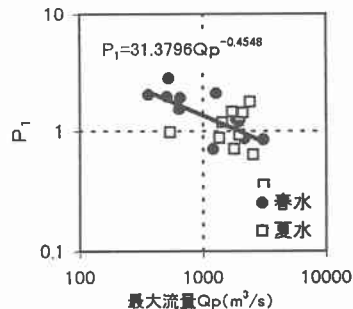


図-6 最大流量(Q<sub>p</sub>)とP<sub>1</sub>の関係

### 3. 濁度の再現

濁度のシミュレーションを2つの方法で行う。

R予測法(1) : 式(4)、(5)または(6)を用いて予測する方法。

Q<sub>p</sub>予測法(2) : 式(4)、(7)を用いて予測する方法。

なお、K<sub>2</sub>は春水と夏水共に平均値を用いている。

K<sub>2</sub>(春水) = 1772.54、K<sub>2</sub>(夏水) = 1273.93

シミュレーションの結果を夏水について図-7に示すが、いずれの方法も精度よく再現できた。

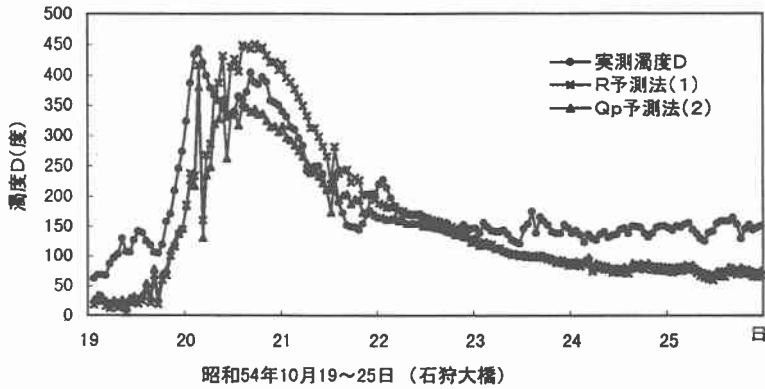


図-7 濁度予測

### 4. 土砂輸送量への応用計算

濁度と含砂量には一定の関係がある。また石狩大橋において三田村氏の研究によって河岸の含砂量から断面平均含砂量に換算する関係式が検討されている。すなわち1時間毎の流量のデータがあれば、それから濁度を予測し含砂量・断面平均含砂量に換算することによって洪水によって輸送された浮遊砂量を計算することが可能となる。また、三田村氏が検討した流量から掃流土砂量を予測する式<sup>2)</sup>を用いて浮遊砂量に加えることにより総輸送土砂量を計算することができる。その検討結果を次に示す。

$$C = 1.19D \quad (8)$$

$$\bar{C} = 1.314C_L \quad (9)$$

$$Q_{ST} = 0.5903 \times 10^6 (K_1 Q^{P_1+1} + K_2 Q (\Delta Q / \Delta t)) \quad (10)$$

$$Q_B = 2 \times 10^{10} Q^2 \quad (\text{石狩大橋実験式}) \quad (11)$$

$$Q_T = Q_{ST} + Q_B \quad (12)$$

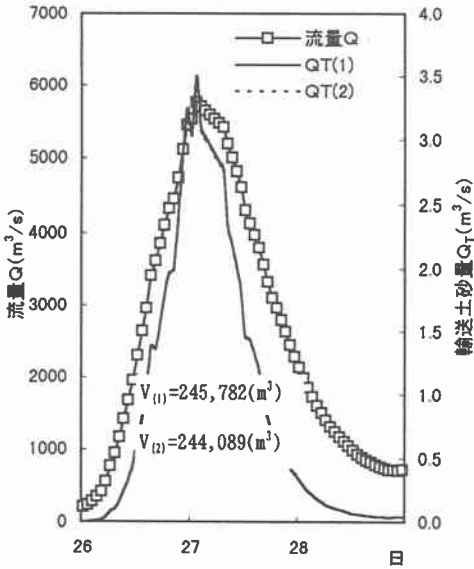
$$V = \int_0^t Q_T dt \quad (13)$$

ここで C : 含砂量 (mg/l)、D : 河岸濁度 (度)、 $\bar{C}$  : 断面平均含砂量 (mg/l)

C<sub>L</sub> : 河岸含砂量 (mg/l)、Q<sub>ST</sub> : 総浮遊砂量 (m<sup>3</sup>/s)、Q<sub>B</sub> : 掃流土砂量 (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>T</sub> : 輸送土砂量 (m<sup>3</sup>/s)、V : 1洪水当たりの輸送土砂量 (m<sup>3</sup>)

本研究では、過去に石狩川で起きた夏期洪水で最大流量 1500~11000 m<sup>3</sup>/s の 6 つの洪水事例を対象に土砂量の予測を試みた。その予測計算方法は R 予測法 (1)、Q<sub>p</sub> 予測法 (2) である。Q<sub>p</sub> 予測法は洪水規模が大きいかも計算対象とすることから、今回は P<sub>1</sub> の夏水の平均値 (1.0981) を用いる、また K<sub>2</sub> はいずれも夏水の平均値 1273.93 を用いる。計算結果は図-8 の例のように最大流量 6000m<sup>3</sup>/s までは両予測値が同じ値を示した、また 1 洪水当たりの輸送土砂量を最大流量 Q<sub>p</sub> との関係で図-9 に示す。それによれば解析対象とした洪水規模までは 2 つの方法とも実測値を精度よく再現している。また 8000 m<sup>3</sup>/s 以上では平均値 P<sub>1</sub> を用いた Q<sub>p</sub> 予測法が小さく計算されている。



昭和63年8月26~28日 (石狩大橋)  
 図-8 流量Q、R予測法(1)、Q<sub>p</sub>予測法(2)による輸送土砂量

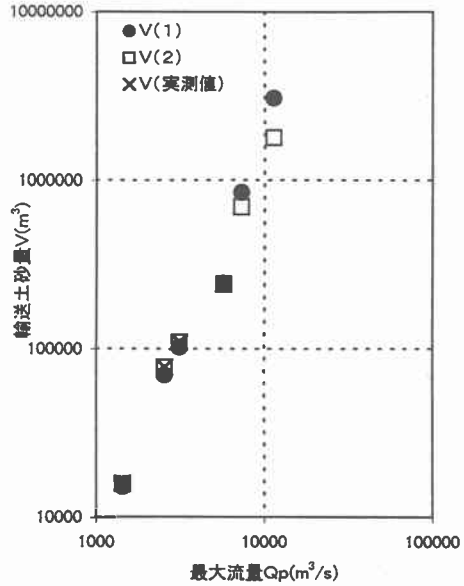


図-9 最大流量と輸送土砂量の関係

## 5. まとめ

定数 K<sub>1</sub>、P<sub>1</sub> については支配因子が明らかになったが、その K<sub>1</sub>、P<sub>1</sub> の値は春水・夏水についてもさることながら洪水規模に応じて変化しているとも考えられる。また K<sub>2</sub> についてはデータが少なくその支配因子の検討は今後の研究課題としたい。

### 【参考文献】

- 1) 口澤 寿、山口 甲：石狩川の濁度解析 土木学会北海道支部 論文報告集 第54号 (B) (1998.2)
- 2) 三田村 一弘、山口 甲：Wash Load の観測方法 (中間報告) 平成10年11月