

II-32

石狩川における浚渫後の河床形状変化

北海道大学工学部 学生員 須藤哲寛

北海道大学工学部 フェロー会員 黒木幹男

北海道大学工学部 フェロー会員 板倉忠興

1.はじめに

石狩川は、古くは明治31年 9月より洪水の記録が始まり、今日に至るまで多大な被害を受け、そして様々な改修工事を行ってきた。現在石狩川では低水路幅を広げ洪水の流下に必要な河道断面積を得ることを目的として掘削・浚渫が行われている。平成3年に28.0kp~30.5kpにおいて浚渫工事が行われたが、平成8年の河床横断形でそこにおいて河床形状の変化が見られる。本研究では、数値計算を主な方法としてその河床形状の変化の理由についての考察を行う。

2.河道の位置について

この付近では緩やかな蛇行が繰り返され、また、夕張川・千歳川が合流しており、流れが複雑に変化し、流量も増加する。本研究の対象としている浚渫工事は28.0kpから30.5kpまでの地点で行われ、この浚渫における浚渫土量は、推定で約2,000,000m³で、図-1のように低水路が拡幅された。

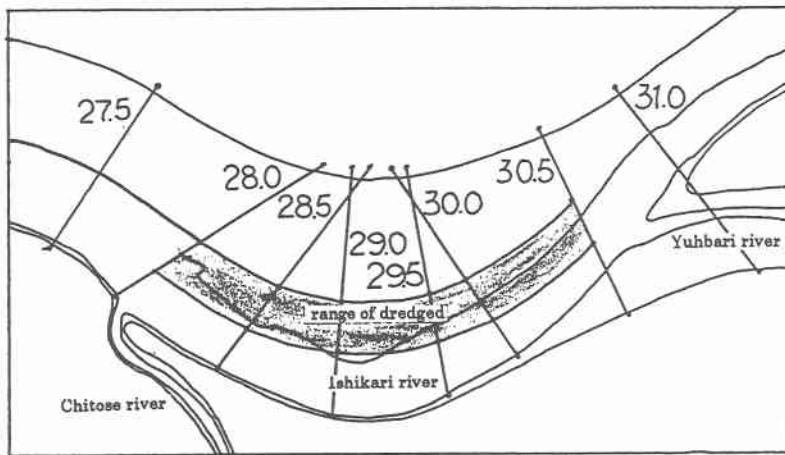


図-1 28.0kp~30.5kpの拡大図 (図-1の枠の範囲)

3.浚渫後の堆積について

28.0kp~30.5kpまで500mごとの河床横断形においては、浚渫されたところで少なからず土砂の堆積が確認される。この土砂量は、平成8年までの約5年間の間に約1,200,000m³が堆積したと推定できる。これは浚渫土量に対して約6割の量である。しかし横断形が500mおきにしかないので、各kp間の河床形が分からず、また浚渫後の横断形は平成8年のものしかないので、平成3年から平成8年までの間にどのような変化があったのか分からない。したがって、堆積がまだ続いているか、安定しているかは分からない。もし堆積がこのまま進めば、3,4年の間に浚渫した河道が埋まってしまうことも考えられる。

Study on river bed channel in the Ishikari River after dredged
by Norikiro SUDO, Mikio KUROKI and Tadaoki ITAKURA

4.河床形の計算

(1)基礎方程式

河動の流れの解析法には、岩佐らの数値解析法を使用し、流れの広がりおよび伝搬を表す数学モデルとして次式が成立する。

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\text{x方向運動方程式: } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho}$$

$$\text{y方向運動方程式: } \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho}$$

ただし、 h :水深、 $M=uh$: x方向の流量フラックス、 $N=vh$: y方向の流量フラックス
 u, v : x, y方向の深さ方向に平均された流速

これらを以下のように差分化して、 h, M, N を求める。

$$\text{連続式: } \frac{hf_{i,j} - h_{i,j}}{2\Delta t} + \frac{M_{i+1,j} - M_{i,j}}{\Delta x} + \frac{N_{i,j+1} - N_{i,j}}{\Delta y} = 0$$

x方向運動方程式:

$$\begin{aligned} & \frac{Mf_{i,j} - M_{i,j}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{M_{i+1,j} + M_{i,j}}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{M_{i,j} + M_{i-1,j}}{2} \right)^2 \right\} + \frac{1}{\Delta y} \left\{ \left(\frac{M_{i,j+1} + M_{i,j}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j+1} + N_{i,j}}{2} \right) - \left(\frac{M_{i,j-1} + M_{i,j}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j-1} + N_{i,j}}{2} \right) \right\} \\ & = -g \frac{1}{2} \frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2} \frac{(h_{i,j} + Z_{i,j}) - (h_{i-1,j} + Z_{i-1,j})}{2} - g \bar{u}_{i,j+\frac{1}{2}}^2 \frac{\sqrt{(u_{i,j+\frac{1}{2}})^2 + (v_{i,j+\frac{1}{2}})^2}}{\sqrt{\frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2}}} \end{aligned}$$

y方向運動方程式:

$$\begin{aligned} & \frac{Nf_{i,j} - N_{i,j}}{2\Delta t} + \frac{1}{\Delta x} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{N_{i,j} + N_{i,j+1}}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{N_{i,j} + N_{i,j-1}}{2} \right)^2 \right\} + \frac{1}{\Delta y} \left\{ \left(\frac{M_{i+1,j} + M_{i,j+1}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j} + N_{i,j+1}}{2} \right) - \left(\frac{M_{i+1,j} + M_{i,j-1}}{2} \right) \left(\frac{N_{i,j} + N_{i,j-1}}{2} \right) \right\} \\ & = -g \frac{1}{2} \frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2} \frac{(h_{i,j} + Z_{i,j}) - (h_{i-1,j} + Z_{i-1,j})}{2} - g \bar{v}_{i,j+\frac{1}{2}}^2 \frac{\sqrt{(u_{i,j+\frac{1}{2}})^2 + (v_{i,j+\frac{1}{2}})^2}}{\sqrt{\frac{h_{i,j} + h_{i-1,j}}{2}}} \end{aligned}$$

$$\bar{u}_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{Mf_{i,j} + M_{i,j}}{h_{i,j} + h_{i-1,j}}, \quad \bar{v}_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{Nf_{i,j} + N_{i,j}}{h_{i,j} + h_{i-1,j}}, \quad u_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot M_{i,j}}{h_{i,j} + h_{i-1,j}}, \quad v_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot N_{i,j}}{h_{i,j} + h_{i-1,j}}$$

$$u_{i+1/2,j} = \frac{M_{i+1,j} + M_{i,j} + M_{i+1,j-1} + M_{i,j-1}}{4} \cdot \frac{2}{h_{i,j} + h_{i,j-1}}, \quad v_{i,j+1/2} = \frac{N_{i,j+1} + N_{i-1,j+1} + N_{i,j} + N_{i-1,j}}{4} \cdot \frac{2}{h_{i,j} + h_{i-1,j}}$$

またMeyer Peter-Müllerの流砂量式: $q_B = 8\sqrt{sgd^3}(\tau_* - 0.05)^{1.5}$

より、x,y方向の流砂量フラックス q_{Bx}, q_{By} ; $q_{Bx} = 8\sqrt{sgd^3}(\tau_{*x} - 0.05)^{1.5}$, $q_{By} = 8\sqrt{sgd^3}(\tau_{*y} - 0.05)^{1.5}$

を求め、

$$\text{流砂の連続式: } \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0$$

を以下のように差分化して河床高Zを求める。

$$\frac{Z_{i,j}^f - Z_{i,j}}{2\Delta t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{q_{Bx,i+1,j} - q_{Bx,i,j}}{\Delta x} + \frac{q_{By,i,j+1} - q_{By,i,j}}{\Delta y} \right) = 0$$

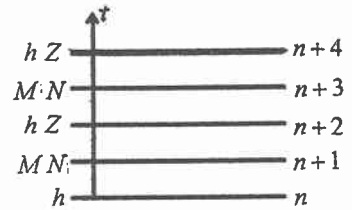


図-2 時間軸とh, M, N, Zとの関係

ただし、

$$\tau_{*x} = \frac{\tau_{xb}}{\rho} \cdot \frac{1}{sgd}, \quad \tau_{*y} = \frac{\tau_{yb}}{\rho} \cdot \frac{1}{sgd} \quad \tau_{*x}, \tau_{*y}: x, y \text{ 方向の無次元せん断力}$$

λ : 砂礫の空隙率

(2) 差分計算の方法

時間軸とh, M, N, Zとの関係は図-2のようになり、計算手順としては

- ① h, M, N, Zを初期値として与える。
- ② まず最初にhを求める。
- ③ dt秒後の M, N, q_{Bx}, q_{By} を求める。
- ④ dt秒後のZを求め、②に戻る。

以上を繰り返し計算して行く。

(3) 計算に使用した条件

図-3のように川幅を上流側200m、下流側400mで15kmの区間を図-4のように600×16のメッシュ分割(dx=25m, dy=25m)して計算をした。このときの条件としてdt=0.1秒、河床勾配1/7410、流量Q=3000m³/s、マニングの粗度係数n=0.025、平均粒径d=1.45mm、上、下流端の水深を等流水深として与える。

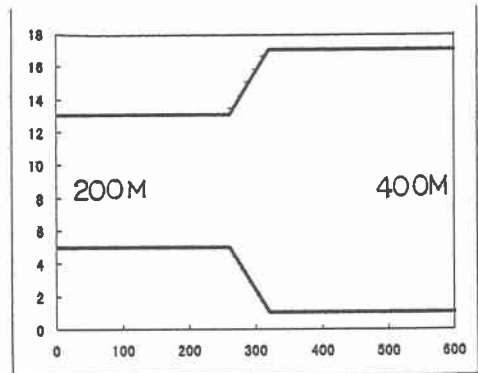


図-3 計算条件の川幅

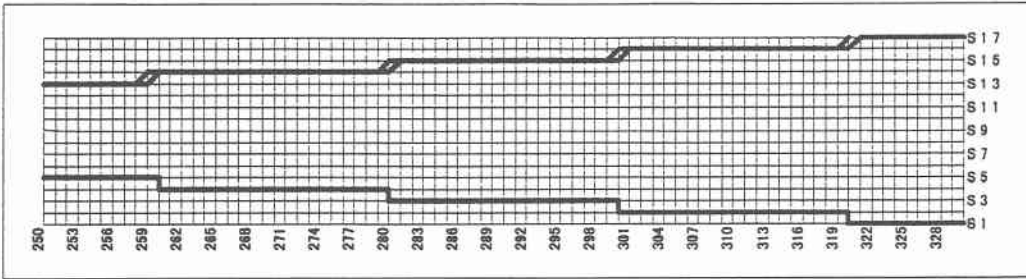


図-4 断面250～320のメッシュ分割図 (dx=25m, dy=25m)

5. 計算結果

500秒後の断面241～340の河床形を図-5に示す。与える条件をさらに実際の河床横断形などのデータなどを用いて計算するのを今後の課題とする。

