

# 洪水流の縦断水面形変化と準三次元流解析法を用いた石狩川河口部の洪水時の河床変動解析

中央大学大学院 正会員 ○岡村 誠司  
国土交通省北海道局 岡部 和憲  
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

## 1. 目的

河口部における洪水の縦断水面形は河床変動および潮位変動の影響を受けて時間的空間的に複雑に変化する。福岡らは洪水時の河床変動や河床抵抗の影響は水面形の時間変化に表れるという考えに基づき、河口部において観測縦断水面形を用いて非定常洪水流解析と河床変動解析を一体的に行うことで、洪水流と河床変動が相互に影響を及ぼし合う複雑な現象をかなりの程度説明できることを示した<sup>1)2)</sup>。本研究では、河口部で大きな河床洗掘が生じ、その影響が縦断水面形の変化に顕著に表れた石狩川昭和56年8月洪水を対象として、観測縦断水面形を解とする非定常洪水流・河床変動解析を行い、洪水時の河床変動を含む洪水現象を説明する。

## 2. 石狩川昭和56年8月洪水に関する既往研究

昭和56年8月石狩川洪水は当時の計画を超える規模の洪水であり、北海道開発局は、河口から15kmの区間において洪水流の水位縦断形の時間変化の観測、流量観測、縦断河床形状調査、洪水直前・直後の河道横断測量等の大規模な観測を行い、貴重なデータを得た<sup>3)</sup>。この洪水に対し、清水ら<sup>4)</sup>は鉛直分布を仮定した浮遊砂濃度の連続式と河床抵抗の変化を考慮した先駆的な一次元河床変動計算を行い、浮遊砂が卓越する石狩川洪水の河床変動の説明を試みた。さらに、井上ら<sup>5)</sup>は上記の解析を発展させ、二次流による浮遊砂の移流が蛇行流路の河床変動に与える影響を考慮し、鉛直分布を仮定した浮遊砂濃度および水平方向流速から浮遊砂濃度フラックスを算定する準三次元河床変動解析を提案した。しかし、これらの先駆的・精力的な研究にあっても、準定常解析のために、洪水流の非定常性が浮遊砂の河床変動に与える影響を十分に考慮できない。また、浮遊砂濃度の鉛直分布を仮定し、二次流による浮遊砂の輸送を水深積分した形で考慮しているために、底面付近の流れによる底面付近の高濃度の浮遊砂の輸送を十分に表現できない。

本研究では、観測された縦断水面形の時間変化を解とする非定常洪水流・河床変動の一体解析を行い、石狩川河口部の洪水流と河床変動を再現する。また、非平衡性の強い流水中での浮遊砂輸送を解析するため、浮遊砂濃度の鉛直分布を仮定する方法を用いず、準三次元流解析から得られる流速分布を用いて浮遊砂濃度の三次元移流拡散方程式を解く。

## 3. 観測縦断水面形を解とする非定常洪水流河床変動一体解析法

図-1には、解析フローを示す。蛇行流路における洪水流と河床変動を解析するため、流れの解析には一般座標系における渦度方程式を用いた準三次元非定常流解析法<sup>2)</sup>を用いる。掃流砂量は芦田・道上式を用いて計算する。浮遊砂濃度は、準三次元流解析より得られる流速の鉛直分布を用いて式(1)に示す浮遊砂濃度の三次元移流拡散方程式を解く。

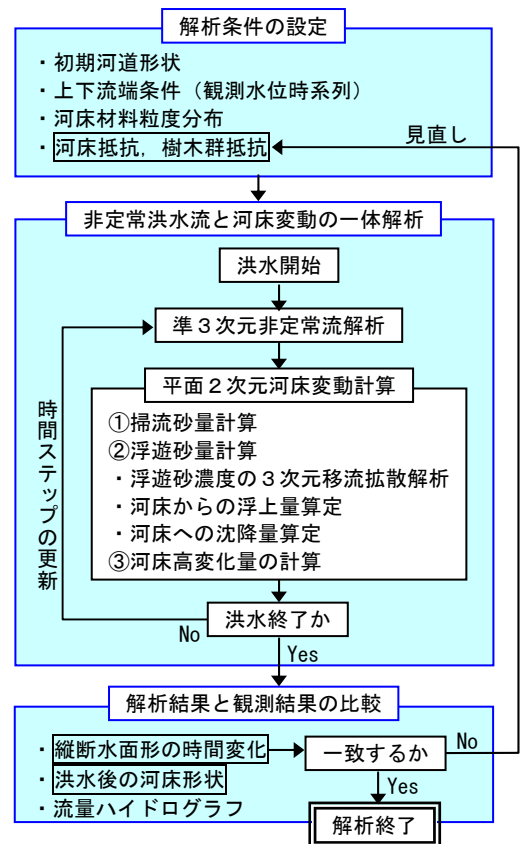


図-1 縦断水面形の時間変化を解とする非定常洪水流・河床変動の一体解析法

キーワード 石狩川, 河口, 洪水縦断水面形, 準三次元流解析, 河床変動, 浮遊砂

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1611

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + \frac{1}{J} \left( \frac{\partial \Delta \eta \cdot \tilde{u} c_k}{\partial \xi} + \frac{\partial \Delta \xi \cdot \tilde{v} c_k}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial c_k (\tilde{w} - \tilde{\sigma}_i - w_{0k})}{\partial \sigma} \tag{1}$$

$$= \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \varepsilon_s \cdot \frac{\partial c_k}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \varepsilon_s \cdot \frac{\partial c_k}{\partial \eta} \right) + \cos \theta^{\eta \xi} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \varepsilon_s \cdot \frac{\partial c_k}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \varepsilon_s \cdot \frac{\partial c_k}{\partial \xi} \right) \right\} + \frac{\varepsilon_s}{\tilde{J}} \left\{ \frac{\partial c_k}{\partial \xi} \frac{\partial \theta^{\xi}}{\partial \eta} + \frac{\partial c_k}{\partial \eta} \frac{\partial \theta^{\eta}}{\partial \xi} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \varepsilon_s \cdot \frac{\partial c_k}{\partial z} \right) + q_{suk}(z=z_b)$$

ここに、 $c_k$  : 粒径階  $k$  の浮遊砂濃度、 $J$  : ヤコビアン(計算格子面積)、 $\Delta \xi, \Delta \eta$  :  $\xi, \eta$  方向の計算格子間隔、 $\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w}$  : 反変  $\xi, \eta, \sigma$  方向流速の物理成分、 $\tilde{\sigma}_i$  : 反変  $\sigma$  方向の格子移動速度、 $\varepsilon_s$  : 浮遊砂濃度の乱流拡散係数である。また、 $w_{0k}$  は粒径階  $k$  の粒子の沈降速度。 $q_{suk}$  は粒径階  $k$  の粒子の河床からの浮上量で板倉・岸の式より計算する。

4. 解析結果

図-2 より、縦断水面形の時間変化は左右岸ともに解析結果と観測結果が良く一致している。図-3 より、4.0k 付近で洪水後の最深河床高の解析値が実測値に比べて低いものの、8.0k 下流全体の平均河床高の低下を再現できている。また、洪水時の河床は、ほとんどの場所で洪水前河床と洪水後河床の間にあり、洪水時の河床変動は一方向に進行している。図-4 より 3.0k~7.0k 区間の蛇行流路における洗掘位置の位相や河口沖での土砂堆積を概ね再現できている。

5.0k 地点の平均河床高(図-3)と横断河床形状(図-5)に着目すると、洪水ピーク時には堆積し、洪水後半で洗掘される。これは、洪水前半に低水路幅の狭い 5.5k 付近で洗掘が進み、下流の 5.0k 付近に一時的に土砂が堆積したものと考えられる。このように洪水前と洪水後の河床形状だけではわからない洪水時の河床変動を、観測縦断水面形の時間変化を用いて非定常洪水流解析と河床変動解析を一体的に行うことで推定できる。

5. 結論

本研究では、河口部で大きな河床洗掘が生じた石狩川昭和 56 年 8 月洪水を対象に、観測された縦断水面形の時間変化を解として、浮遊砂濃度の三次元移流拡散方程式を解き、準三次元非定常洪水流・河床変動の一体解析を行うことで、洪水時の河床変動を含む洪水現象を説明できることを示した。これは、観測することが難しい洪水時の河床変動を比較的観測が容易な水面形変化から推定する工学的に有用な方法である。

参考文献

- 1)福岡捷二：巻頭言河川整備基本方針の策定を終えて、河川 No.749, pp.3-6, 2008.
- 2)例えば、岡村誠司、福岡捷二、竹本隆之：利根川河口部の河床形状と洪水時の河床変動、水工学論文集 Vol.54, 2010.
- 3)高木譲治ほか：石狩川下流部における洪水流と河床変動の観測、水理講演会論文集 Vol.26, pp.57-62, 1982.
- 4)清水康行ほか：昭和 56 年 8 月洪水における石狩川下流部の河床変動について、水理講演会論文集 Vol.30, pp.487-492, 1986.
- 5)井上卓也ほか：準 3 次元河床変動モデルによる石狩川河口付近の昭和 56 年 8 月洪水再現計算、河川技術論文集 Vol.10, 2004.

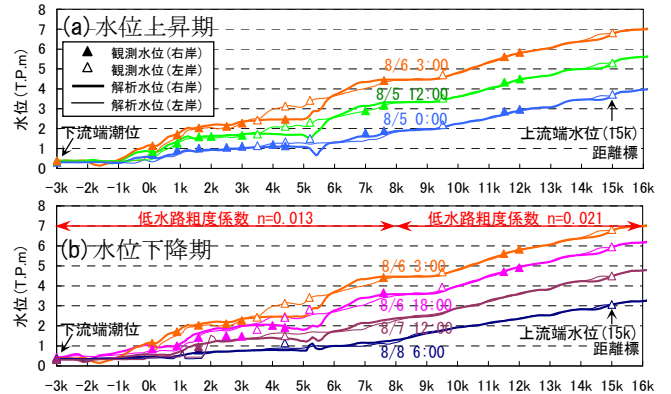


図-2 縦断水面形の時間変化の解析値と実測値の比較

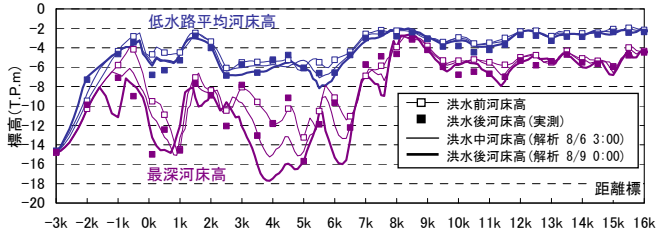


図-3 低水路平均河床高・最深河床高縦断形の解析値と実測値の比較

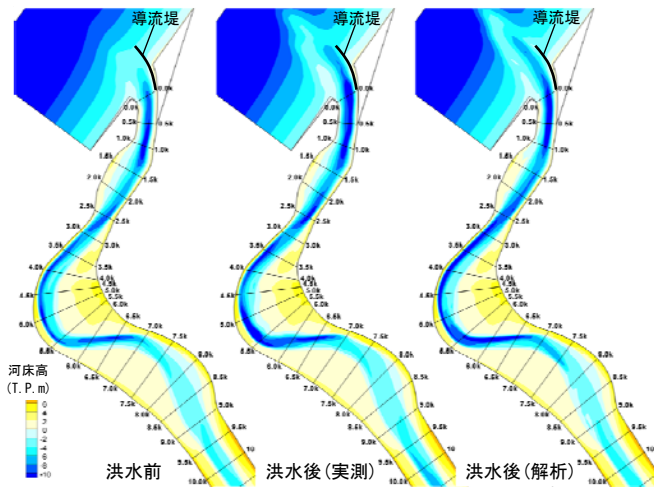


図-4 洪水前後の河床高コンターの解析値と実測値の比較(10k 下流区間)

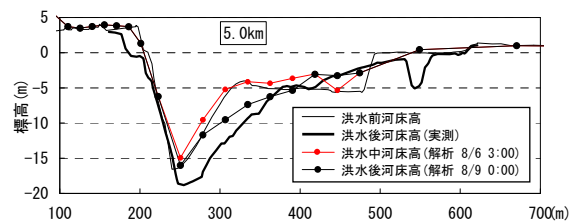


図-5 横断河床形状の時間変化(5.0k 断面)