

掃流砂と浮遊砂を一体的に扱う洪水流・河床変動解析法の構築と 昭和56年8月石狩川洪水の河床変動への適用

中央大学大学院 学生会員 ○長谷部 夏希 中央大学研究開発機構 正会員 後藤 岳久
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 序論

石狩川河口部は潮位差が小さく、さらに河床材料が細かいことから、大洪水時には大きな無次元掃流力が作用し、浮遊砂の卓越した大規模な河床変動が生じる。また、河口部は複断面蛇行形状を有しており、複雑な三次元流れが形成され、それに伴い流砂運動の非平衡性も強くなる。従来の洪水流・河床変動解析は、掃流砂は芦田・道上式等の平衡流砂量式が使われ、浮遊砂は平衡濃度を底面の境界条件とした移流拡散方程式により計算され、底面付近の流砂運動の非平衡性が考慮されていない。著者らは、掃流砂と浮遊砂のそれぞれについて連続式と運動方程式を解くことで非平衡な流砂運動を考慮し、浮遊砂と掃流砂を一体的に扱うことができる準三次元洪水流・河床変動解析法を構築している。本研究では、この新しい考え方を石狩川河口部の昭和56年8月洪水に適用し、現地データと比較することで本解析法の妥当性を示す。

2. 解析方法

図-1 は本解析法における流速と乱れエネルギーの鉛直分布を示す。洪水流解析には水深積分した連続式と運動方程式に加え水面と底面の運動方程式を解くことで、流れの三次元性を解析できるQ3D-FEBS法¹⁾を用いた。また、水深平均と水面に加えて底面の乱れエネルギーの輸送方程式を解くことで乱れの三次元性や非平衡性を考慮した。図-2 は本解析における河床変動解析法の枠組みを示しており、流れ、掃流砂・浮遊砂の運動を、非定常、非平衡の運動方程式と連続式を計算することで評価する。まず、掃流砂については、掃流砂量 q_{bk} を掃流砂体積 V_{bk} と砂粒子の平均移動速度 u_{pk} との積で表し、掃流砂体積を河床からの離脱量 V_{pk} 、掃流砂から河床への堆積量 V_{dk} 、掃流砂から浮遊砂への遷移量 q_{suk} 、浮遊砂から掃流砂への遷移量 q_{sdk} を考慮した掃流砂の連続式により求める。砂粒子の平均移動速度は、粒子の跳躍運動に関する運動方程式より求める。河床からの離脱量と河床への堆積量は、修正長田・福岡モデル²⁾と同様に求める。掃流砂から浮遊砂への遷移量 q_{suk} は、流れの乱れ成分を考慮した粒子の運動方程式を用いて跳躍解析を試行回数分を行い、掃流砂の跳躍高さよりも粒径の1.0倍以上高い位置に浮上した個数割合を求めた。浮遊砂から掃流砂への遷移量 q_{sdk} は、粒子の沈降速度と浮遊砂領域の最下層の浮遊砂濃度との積で表す。浮遊砂の運動については、浮遊

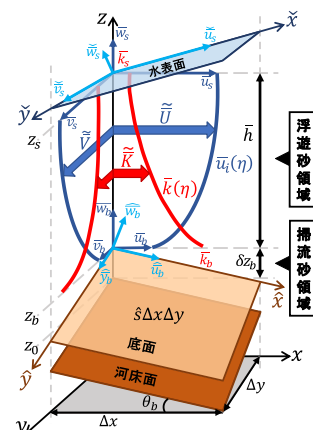


図-1 流速と乱れエネルギーの鉛直分布

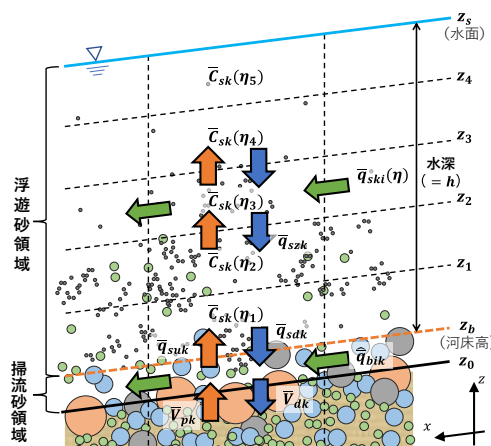


図-2 河床変動解析法の枠組み

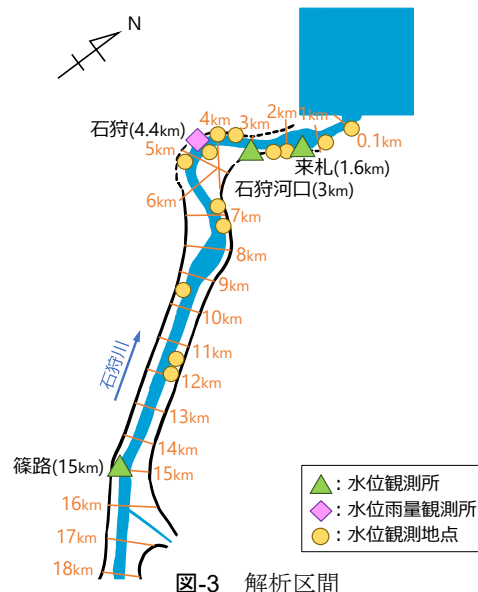


図-3 解析区間

キーワード 浮遊砂, 二次流, 複断面的蛇行流れ, 石狩川, 準三次元洪水流・河床変動解析法

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学研究開発機構 TEL : 03-3817-1615

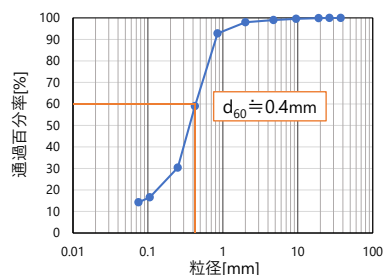


図-4 解析に用いた粒度分布

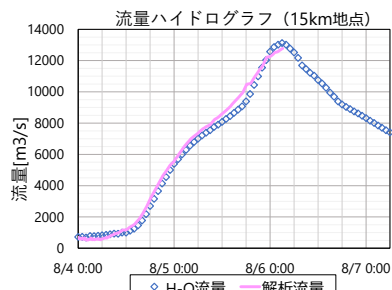


図-6 観測流量と解析流量の比較

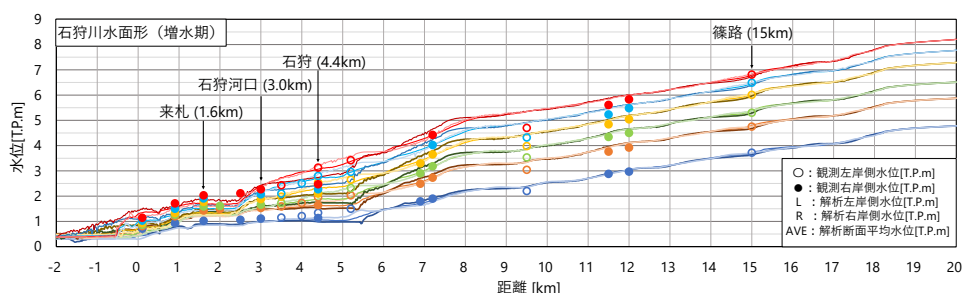


図-5 観測水面形と解析水面形の縦断分布の時間変化

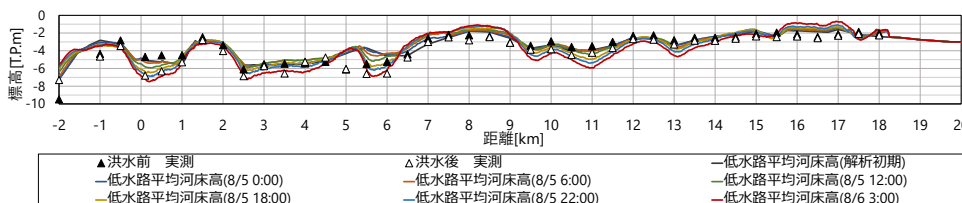


図-7 低水路平均河床高の縦断分布の時間変化

砂の三次元連続式により浮遊砂濃度 C_k を計算し、各高さの乱れを考慮した粒子の運動方程式により浮遊砂の粒子速度 u_{sk} を計算し、浮遊砂の輸送フラックス q_{sk} を求める。

3. 解析条件

図-3 は解析区間を示し、石狩川の 15km から河口沖-5 km を解析範囲とし、上流端には篠路水位観測所の観測水位ハイドログラフ、下流端には小樽港の潮位時系列データを与えた。図-4 は解析に用いた粒度分布を示す。

4. 解析結果と考察

図-5 は洪水増水期の観測水面形と解析水面形の比較を示し、図-6 は篠路水位観測所における観測流量と解析流量の比較を示す。図より、解析結果は 1.0~2.5km 付近で水位がやや低く計算されているものの、それより上流区間は観測水面形をほぼ説明している。図-8 は洪水ピーク時の水深平均流速コンター図と水深平均流速ベクトルを示し、図-9 は洪水ピーク時の 5.0km 地点の主流方向流速コンター図と二次流の解析結果を示す。図より蛇行部において最大主流速の位置が内岸側に寄り、主流が中水敷上を走っており、複断面的蛇行流れ³⁾の特徴が明確に表れている。これに伴い時計回りの二次流が生じ、内岸側の中水敷の洗掘と外岸側の堆積が進行している。図-10 は 5.0 km 地点の横断形状の実測値と解析値の比較を示す。図より、解析では中水敷の肩が洗掘されていることや内岸側に堆積が見られるなど実際の傾向をうまく捉えている。一方、実測では外岸側で洗掘が生じているが、ピーク流量時の解析では時計回りの二次流により外岸側で堆積が生じている。これについては、長い時間続く洪水の減水期には、外岸側に主流が集中して再び外岸側で洗掘が生じると考えられる。今後、洪水減水期を含む全継続時間での解析によって洪水時の河床変動の全体像を示していく。

参考文献

1) 竹村, 福岡: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水压準三次元解析 (Q3D-FEBS), 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019. 2) 竹村, 久保, 岡田, 福岡: 洪水流による物部川河口礫州の開口と変形機構に関する研究, 河川技術論文集, 26 巻, pp.669-674, 2020. 3) 福岡: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.

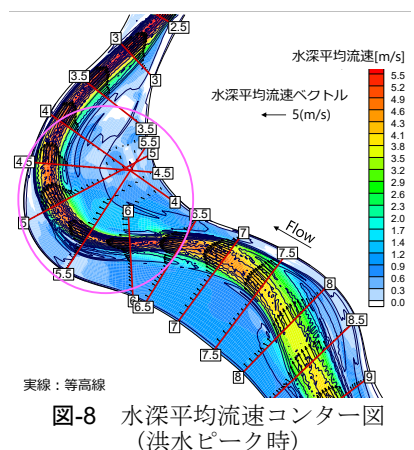


図-8 水深平均流速コンター図 (洪水ピーク時)

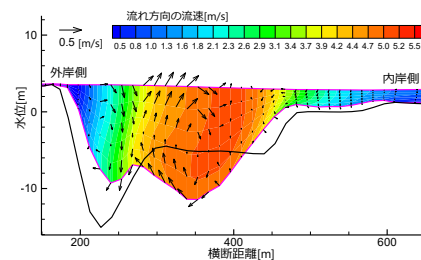


図-9 鉛直方向流速コンター図と二次流の解析結果(5.0km 横断)

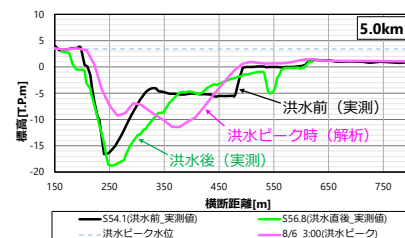


図-10 5.0km の横断面形状の実測値と解析値の比較