

昭和56年8月石狩川洪水の掃流砂と浮遊砂を一体的に扱う洪水流・河床変動解析

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、河床材料も細かいため、大洪水時には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することで三次元的な流れ場が生じ、それに伴い流砂運動の非平衡性も強くなる。しかし、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用いられ、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が適用されており、この解析では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的な流砂運動を考慮し、掃流砂と浮遊砂を一体的に扱うことの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砂河川の石狩川河口部の昭和56年8月洪水に適用し、実測データと比較することで掃流砂と浮遊砂を一体的に扱う洪水流・河床変動解析法の妥当性を検討する。

2. 解析方法と解析条件

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、流れの三次元性を解析できる Q3D-FEBS 法¹⁾を用い、これに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、掃流砂・浮遊砂のそれぞれの運動を、非定常、非平衡の運動方程式と連続式を用いて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と掃流砂体積との積で表す。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。浮遊砂の三次元運動については、浮遊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} を計算する。そしてこれらの積より浮遊砂の輸送フラックス q_{sk} を求める。

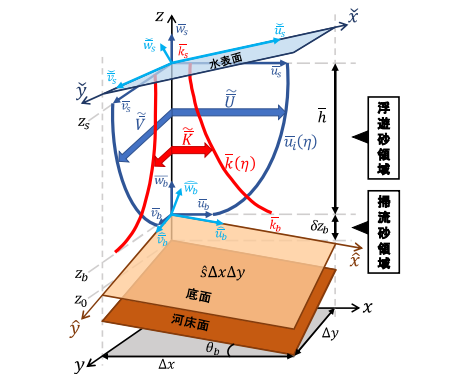


図-1 流速と乱れエネルギーの鉛直分布

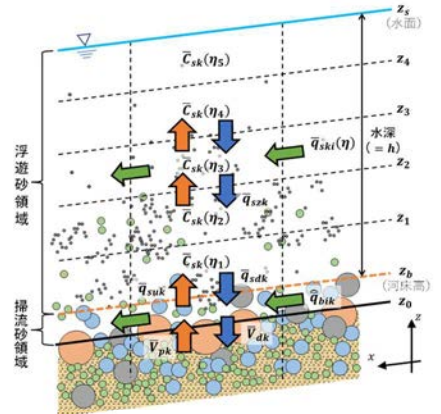


図-2 河床変動解析法の枠組み

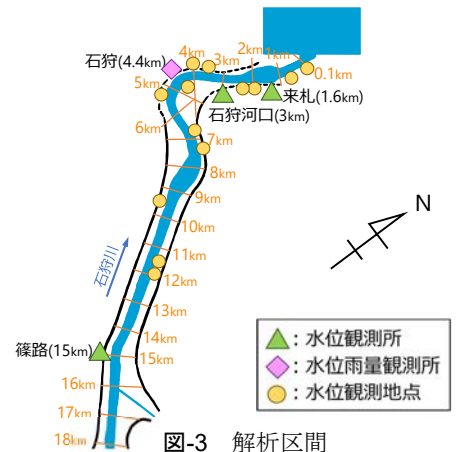


図-3 解析区間

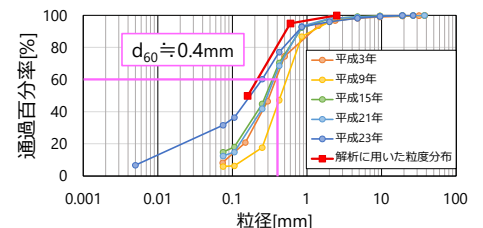


図-4 0km~18km の区間の実測粒度分布の平均値と解析に用いた評価点

図-3 は解析区間を示し、石狩川の 15km から河口沖5km を解析範囲と

キーワード 浮遊砂, 砂河川, 石狩川, 複断面的蛇行流れ, 二次流

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

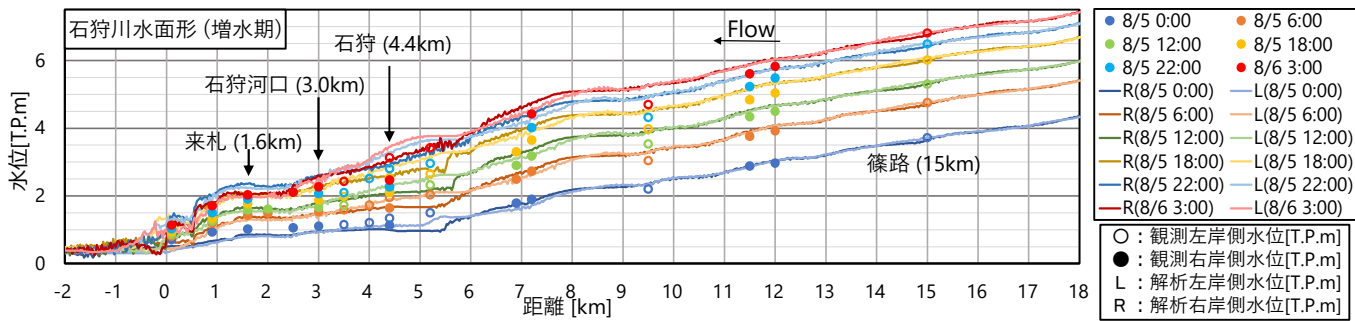


図-5 観測水面形と解析水面形の縦断分布の時間変化

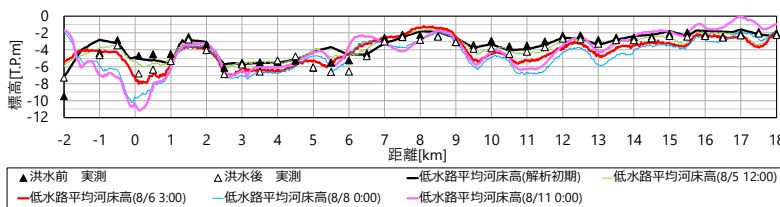


図-6 低水路平均河床高の縦断分布の時間変化

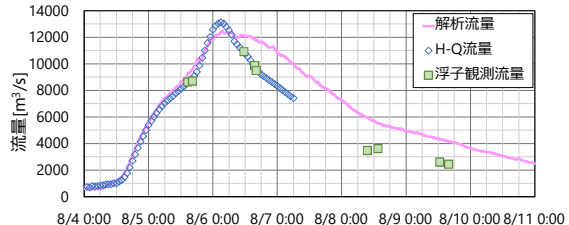


図-7 篠路における観測流量と解析流量の比較

した。上流端境界条件には篠路水位観測所(15km)の観測水位ハイドログラフを与え、欠測時のデータは太美排水機場(15.3km)の観測水位を用いて補完した。また、下流端境界条件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し、平均粒径は0.4mm程度の砂河川である。

3. 解析結果と考察

図-5は洪水増水期の観測と解析の水面形の比較を示し、図-6は低水路平均河床高の縦断分布を示す。水面形の解析結果は、5km付近より上流で実測を比較的再現しているが、3kmより下流については、解析の河床変動が激しく、過剰な洗掘とそれに伴う堆積が生じており、水位が実測より高めに解析されている。また、解析の低水路平均河床高は、全体的に洗掘傾向である。図-7は篠路水位観測所における観測と解析の流量ハイドログラフの比較を示す。解析では、洪水増水期は実測流量を説明しているが、河床が全体的に洗掘傾向であるため河積が増加し、洪水減水期は実測値より大きく計算されている。解析が全体的に洗掘傾向にあることと、河口付近で過剰な洗掘が生じている要因については、浮遊砂から掃流砂への遷移量の評価に課題があること、また、本解析法では立山ら³⁾と同様に河床勾配の影響を取り込んでいるが、河口付近では水面形が急で流れが激しく計算が不安定となっており、一旦、深い滞筋が形成されると河床勾配の影響が大きく計算され、その取り扱いに課題がある。

次に、比較的水面形の実測を説明している洪水増水期の4~8km付近について考察する。図-8は洪水ピーク時の水深平均流速のコンター図とベクトルを示し、図-9は洪水ピーク時の4.5km地点の主流速コンター図と二次流の解析結果を示す。解析結果より、洪水ピーク付近では低水路と高水敷との相対水深 Dr は0.45付近になっている。そのため、最大主流速の位置が内岸側に寄り、主流が中水敷上を走る複断面的蛇行流れ⁴⁾の特徴が明確に表れている。図-10は4.5km地点の実測と解析の横断形状の比較を示す。図より、洪水ピーク時には主流が中水敷上を走るため中水敷の肩が洗掘されている。また、洪水減水期には洗掘位置が外岸側に戻る傾向が見られるが、減水期についてはその妥当性の確認が出来ておらず今後検討が必要である。

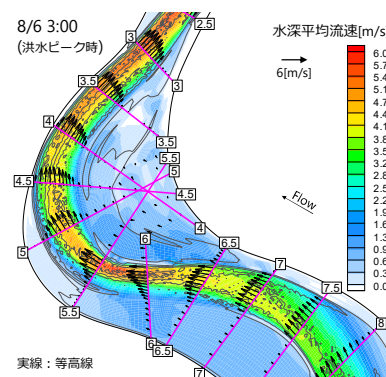


図-8 水深平均流速コンター図(洪水ピーク時)

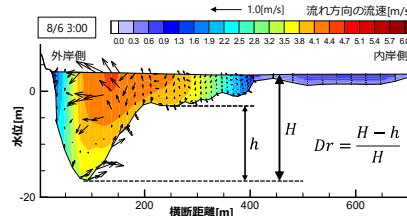


図-9 主流速コンター図と二次流の解析結果(4.5km地点)

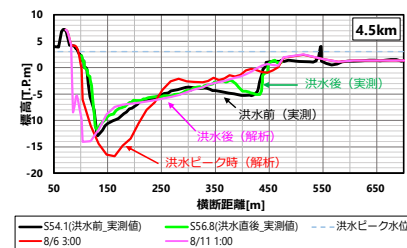


図-10 4.5kmの横断面形状の実測結果と解析結果の比較

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圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集 B1(水工学), 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, 2020. 3)立山, 福岡, 石川: 大規模洪水による河口砂州の開口機構に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), 2018. 4)福岡: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.