浮遊砂と掃流砂の非平衡運動・相互作用を考慮した河口砂州フラッシュと 河口テラス形成・発達の解析

国土交通省

## 1. 研究背景·目的

洪水時には,河口砂州はその上流の水位を堰上げるため,洪水時における河口砂州開口部の拡大過程を適切に 予測可能な河床変動解析法が必要である.

立山らは、図-1に示す阿賀野川河口砂州の急勾配斜面 地形の影響を考慮した準三次元洪水流・河床変動解析法 を構築し、河口砂州開口幅の拡大過程を説明している<sup>1)</sup>. しかし、砂州上で洗掘された土砂が十分下流まで輸送され ずにパッチ状に堆積している課題があった.細砂で構成さ れた河口砂州の挙動には、浮遊砂運動が支配的であるこ とから、本論文では、底面付近の流れと浮遊砂・掃流砂の 非平衡性運動とその相互作用を考慮した準三次元洪水 流・河床変動解析法を構築する.そして、観測史上最大の 平成 23 年 7 月阿賀野川洪水における河口砂州開口部の 拡幅と河口テラスの形成・発達を明らかにする.

## 2. 解析方法·解析条件

図-2 は本解析法の枠組みを示す.本解析では,流れの解析法に準三次元解析法(Q3D-FEBS法,竹村・福岡)<sup>2)</sup>を適用し,さらに,底面での浮遊砂の浮上量を評価するために新たに底面付近の乱れの非平衡性を考慮し,底面での乱れエネルギーの輸送方程式を付加した.

河床変動解析における掃流砂の非平衡運動について は、長田・福岡の方法<sup>3</sup>に倣い、砂粒子の運動方程式を 用いた跳躍解析から砂粒子の水平方向の平均移動速度  $u_{pjk}$ を求めた.そして、単位面積当たりの掃流砂体積  $V_{mk}$ は、式(1)の掃流砂の連続式から計算した.

$$\frac{\partial V_{mk}}{\partial t} + \frac{\partial q_{bkj}}{\partial x_j} = V_{bpk} - V_{bdk} - V_{suk} + V_{sdk}, \ q_{bkj} = V_{mk} u_{pjk}$$
(1)

本研究では、式(1)の長田・福岡の掃流砂の連続式に、単 位時間・単位面積当たりに掃流砂から浮遊砂に遷移す る体積V<sub>suk</sub>、浮遊砂から掃流砂に遷移する体積V<sub>sdk</sub>を考 慮し、浮遊砂と掃流砂の相互作用を計算した.掃流砂の 単位時間当たりの堆積量V<sub>bdk</sub>、浮遊砂から掃流砂に遷移 する体積V<sub>sdk</sub>は、粒子の沈降速度w<sub>pk</sub>と掃流砂濃度C<sub>Bk</sub>、 最下層格子の浮遊砂濃度C<sub>sk</sub>との積で表現されるとした. 河床からの離脱量V<sub>bpk</sub>は、長田・福岡<sup>3)</sup>の式を用いた.

単位時間・単位面積当たりの掃流砂から浮遊砂への

中央大学研究開発機構	正会員	後藤	系 岳久
中央大学研究開発機構	フェロー	福岡	] 捷二
北陸地方整備局阿賀野川河。	川事務所	小野	伊佐緒



図-3 平成 23 年 7 月洪水の観測体制

遷移体積 $V_{suk}$ は,底面での鉛直方向粒子速度 $w_{pk}$ と流砂 濃度 $C_{Bk}$ (= $V_{mk}/3d_k$ )との積から求め,鉛直方向粒子速度  $w_{pk}$ は,鉛直方向の流体力の乱れ成分 $F'_z$ を考慮した粒 子の鉛直方向運動方程式(式(2))から求める.ここで,流 速の乱れ成分 $u_{bi}$ 'は等方性と正規分布に従うとした.

$$\left(\frac{\rho_s}{\rho} + C_M\right) \frac{dw_{pk}}{dt} = \frac{A_2 C_D}{2A_3 d_k} (w_b + w_b' - w_{pk}) |\boldsymbol{u}_b + \boldsymbol{u}_b' - \boldsymbol{u}_{pk}| - \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right) g_z$$
(2)

浮遊砂の運動は、これを底面境界条件とした 3 次元 移流拡散方程式によって計算する.河床高の時間変化 は、式(3)の河床の連続式から求める.

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\sum_{k=1}^{kmax} \frac{A_2}{A_3} (V_{bpk} - V_{bdk})$$
(3)

キーワード 阿賀野川,河口砂州,河口テラス,非平衡流砂モデル,浮遊砂,準三次元解析 連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 31214 号室 TEL03-3817-1615



図−7 横断形状の本解析結果と実測結果および平衡流砂モデルによる解析結果

図−3 は洪水観測体制と観測水面形時系列を再現する ように決定した粗度係数を示す.解析の上流端境界条 件は, 横越観測所の水位時系列, 下流端境界条件には新 潟西港の観測潮位時系列を用いた. 解析の河床材料粒 度分布は、低水路には粒径 0.7mm, 0.4km より下流の砂 州には粒径 0.4mm を一様に与えた.

## 3. 解析結果

図−4 は観測と解析の横越観測所における流量ハイドロ グラフを示し, 図-5 は洪水増水期における観測と解析の水 面形時系列を示す. 解析結果は 3 つの流量ピークを含む 時間帯において,観測水面形時系列及び流量ハイドログラ フを再現している. 図-6 は河口砂州付近の解析河床高の コンターを時間的に示し,図-7は河口砂州上の0.2kmとそ の下流の-0.45km の洪水前後の実測横断形状と解析横断 形状の時間変化を示す.大規模な砂州の越流は,3 つめ のピーク(7/30 8:00)付近で生じており、これにより、0.2kmの 河口砂州は大規模に洗掘を受けている.この洗掘された土 砂は河口砂州の下流に輸送され,縦断的に堆積し,河口 テラスを発達させている.また,図-5 および図-7 には比較 のため,平衡流砂量式(芦田・道上式)と平衡状態の浮遊砂 の浮上量式(板倉・岸)を用いた解析結果を示しており,用 いた粗度係数や河床材料は2章に示した通りである. 平衡 流砂モデルで解析した結果では,流れの集中する開口部 中央(0.2km)で底面せん断力が増加するため,洗掘深が大 きくなり、水面形が実測値より低く計算されている、そして、 洗掘された土砂は、下流側(-0.45km)に大きく堆積している.

図-8は、7/2915:00と7/308:00(流量ピーク時)の掃流 砂量と浮遊砂量の縦断分布を示す(両者の縦軸が異なるこ とに注意). 解析結果より, 洪水時の阿賀野川河口付近で は、流砂の多くは浮遊砂として輸送されていることが分かる. 本解析法では掃流砂と浮遊砂の運動の相互作用を考慮し ているため、0.2km の河口砂州上では、越流が生じた洪水 ピーク時(7/30 8:00)において, 掃流砂量が縦断的にやや 減少しているものの浮遊砂量が縦断的に増加しており,掃 流砂から浮遊砂への浮上が大きく生じている.この浮上し た土砂が下流に輸送され河ロテラスを形成・発達している.

## 4. 結論

本論文では、掃流砂と浮遊砂の非平衡運動と相互 作用を考慮した準三次元洪水流・河床変動解析法を 構築し, 平成23年阿賀野川洪水による河口砂州の大 規模な開口とそれによる河口テラスへの土砂堆積の 過程を明らかにした.

参考文献:1)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), 2018.2) 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. 3)長田, 福岡: 石礫河川の河床変動機構と表層石礫の凹凸分布 に着目した二次元河床変動解析法,土木学会論文集 B1, 2012.