

浮遊砂を伴う非定常流下での砂州形成に関する研究

(株)北開水工コンサルタント

正会員 大山史晃

独立行政法人 北海道開発土木研究所

正会員 渡邊康玄

1 はじめに

洪水時の河川流、とくに下流部においては浮遊砂が卓越しており、砂州の形成に浮遊砂の影響を考慮しなくてはならないケースも存在する。洪水時浮遊砂が多量に発生する河川を例にあげ、浮遊砂の発生が洪水時の砂州の形成にどのような影響を及ぼすのかを非定常流下の線形安定解析の手法¹⁾を用いて把握することにした。

2 検討対象洪水の概要

検討に使用した洪水は、昭和56年8月に石狩川で発生した降雨出水である。この洪水は、石狩川の既往最大流量を記録した洪水であり、河口から上流26kmに位置する石狩大橋観測所でピーク流量が11,300m³/sであった。図-1は石狩川の河口から上流kp9～kp15における河道図を示している²⁾。図中の赤線で示したものが、洪水ピーク時間付近で撮影された航空写真をもとにして判断された流向である。洪水流が明確な蛇行を示し流下している。また、同図には洪水後に調査した河道の等深線図を色分けして表しているが、交互砂州の形状が明瞭に示されている。また、図-2に示す掃流砂と浮遊砂の発生境界判定図において図-1で示した河道区間の平均河床材料粒径と洪水ピーク時間における水理量を用いると、掃流砂と浮遊砂の混在する流れの条件にプロットされる。そこで洪水時、河床に形成される砂州の挙動を、掃流砂と浮遊砂を考慮した線形安定解析を実施し、検討することにした。

3 浮遊砂・非定常流を考慮した線形安定解析の概要

川幅(2B^{*})が一定の直線水路における、掃流砂と浮遊砂の発生を対象とした流砂連続式について式(1)で表す。

$$\frac{\partial \eta^*}{\partial t^*} + \frac{1}{1-p} \left[\frac{\partial (Q_{bx}^* + Q_{sx}^*)}{\partial x^*} + \frac{\partial (Q_{by}^* + Q_{sy}^*)}{\partial y^*} \right] = 0 \quad (1)$$

ここで、 t^* ：時間、 x^*, y^* ：縦横断面方向座標軸、 η^* ：河床高、 Q_{bx}^*, Q_{by}^* ： x^*, y^* 軸方向掃流砂量、 Q_{sx}^*, Q_{sy}^* ： x^*, y^* 軸方向の浮遊砂量、 p ：河床の空隙率を表す。

浮遊砂については、浮遊砂濃度の連続式を3次元表示である式(2)で与える。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t^*} + U^* \frac{\partial C}{\partial x^*} + V^* \frac{\partial C}{\partial y^*} - w_f^* \frac{\partial C}{\partial z^*} \\ = \psi^* \frac{\partial^2 C}{\partial x^{*2}} + \psi^* \frac{\partial^2 C}{\partial y^{*2}} + \psi^* \frac{\partial^2 C}{\partial z^{*2}} \end{aligned} \quad (2)$$

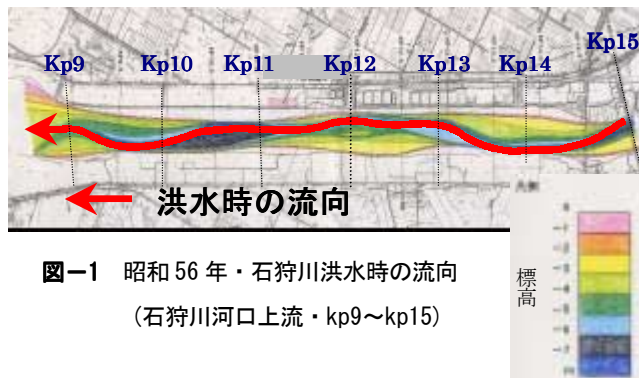


図-1 昭和56年・石狩川洪水時の流向
(石狩川河口上流・kp9～kp15)

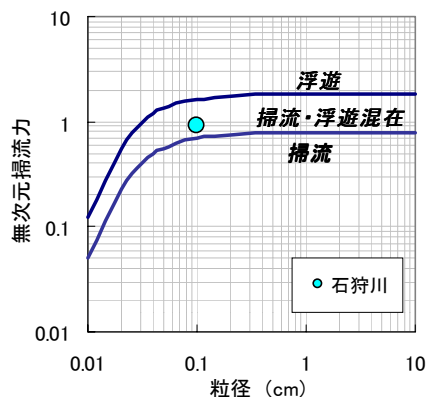


図-2 掃流・浮遊境界判定図

ここで、 C ：浮遊砂濃度、 U^*, V^*, x^*, y^* 軸方向の流速、 w_f^* ：砂粒子の沈降速度、 ψ^* ：拡散係数、 z^* ：基準面からの高さである。

次に各諸量について無次元化を行い、また洪水波によって決定される基準量と砂州形成に伴う摂動量に分け線形安定解析を行うと、河床の変化に伴う水深の微小攪乱 $\hat{D}_1$ は式(3)で表される。

$$\hat{D}_1 = \alpha \exp \left[- \int_{t_0}^t G dt' \right] \quad (3)$$

ここで α ：積分定数、 t_0 ：洪水開始時刻、 t ； t^* を $B^*/\bar{U}_0^*$ で無次元化した値であり、 $\bar{U}_0^*$ ：基底流の流速である。また、 G は、各時刻における瞬間の線形増幅率を表している。非定常流の場合、微小攪乱の発達は線形増幅率の時間積分で表され、非定常流における砂州の発達が流れの履歴効果を受けることを示している。

4 解析結果

図-3は、流れを定常流として扱った場合の砂州増幅率 Ω_s の時間変化について、流砂を掃流砂のみとした場合と浮遊

キーワード：浮遊砂、非定常流、交互砂州、線形安定解析

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目 TEL 011-841-1114 FAX 011-820-4246 e-mail y-watanb@ceri.go.jp

砂を考慮した場合との違いを示したものである。増幅率の値が0以上ならば砂州は発生し、0以下であれば発生しない。また、無次元水深 D_0 の時間変化も併記しているが、 $\tau=0.2$ において水位のピークがおとずれる条件である。なお時間 τ は洪水継続時間で無次元化したものである。流砂が掃流砂のみの場合も浮遊砂を考慮した場合もともに水位の上昇に伴い増幅率の減少が見られるが、掃流砂のみとした解析においては、 $\tau=0.1\sim0.4$ で砂州が発生しないものと判断される結果となっている。

図-4は流れを非定常流として扱った場合の砂州増幅率 Ωu の時間変化を示したものである。掃流砂のみを考えた場合、水位の上昇に伴い増幅率が減少するが、洪水ピーク以降の $\tau=0.4$ 付近で増幅率は上昇に転じ、 $\tau=0.7$ で砂州発生領域に入っている。一方、浮遊砂を考慮した場合、増幅率の値が常に上昇しており、砂州の発生が継続する結果となった。すなわち、掃流砂のみを考慮した条件では砂州の形成が見られないと判断される時間においても、浮遊砂の影響により砂州の形成が継続することになる。

次に、波数 λ の時間変化を図-5に示した。砂州が発生すると判断された時間を実線で、発生しない場合は、その時刻において最も増幅率が大きくなる時の λ の値を便宜上プロットし、破線で示した。非定常流とした解析において、掃流砂のみを扱った場合と、浮遊砂を考慮した場合の λ を比較すると、洪水の極初期において両者の値に差は無いが、掃流砂のみの場合には、 λ が時間とともに増加する傾向を示すのに対し、浮遊砂を考慮した場合には λ が大きく変化せず $\lambda=0.25\sim0.35$ の差が生じている。同様に、掃流砂と浮遊砂の発生を考慮した解析において、流れを非定常、定常とした場合の λ 変化を比較すると、洪水ピーク前までの両者の λ に大きな変化は見られないが、ピーク後からの λ の変化が非定常流とした場合の方が小さく、ほぼ一定値で推移している。このように、流れを定常流と、非定常流として扱った場合の比較においても、 λ の時間変化について違いが見られた。また、洪水ピーク時間付近での流れの蛇行と洪水後の交互砂州形状の実測された λ の値をグラフにプロットすると、流れを非定常流とし、かつ浮遊砂の影響を考慮した解析結果と、ほぼ一致するという結果が得られた。

5 おわりに

石狩川における洪水の際に、洪水ピーク時間付近において洪水流の蛇行が確認され、交互砂州が形成されていたと判断された。線形安定解析を行い洪水時の砂州の挙動を把握しようと試みた結果、掃流砂のみを考慮した解析条件

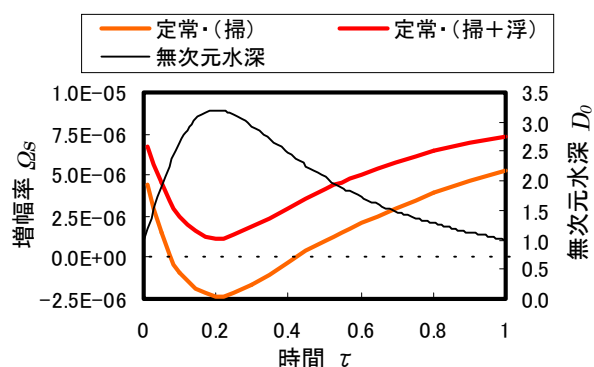


図-3 増幅率の時間変化（定常流）

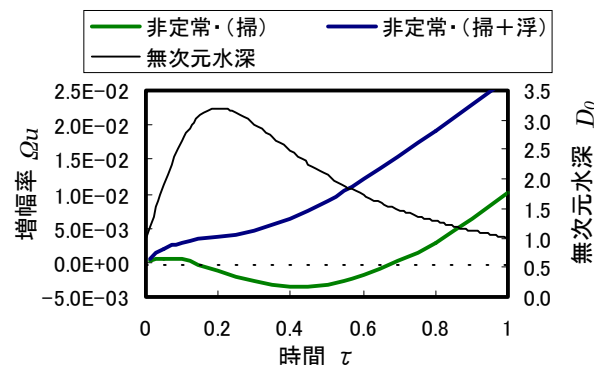


図-4 増幅率の時間変化（非定常流）

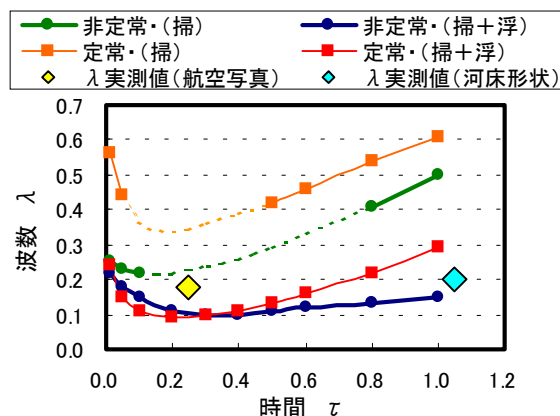


図-5 λの時間変化

では洪水期間中に砂州の発生が認められない時間が長期間存在する結果となるのに対し、浮遊砂の影響を考慮することにより、長い波長を持った砂州の発生が、洪水中継続して生じていることを確認し、現地と同様の結果を得ることができた。洪水時浮遊砂が卓越する河川においては、その影響を考慮する必要性が示唆された。

参考文献

- 1) 渡邊康玄、大山史晃：洪水時に発生した高水敷の洗掘原因、第7回河川技術に関するシンポジウム論文集、2001
- 2) 北海道開発局石狩開発建設部・札幌河川事務所：平成13年度石狩川下流河岸検討業務報告書、2001