

交互砂州が誘発する 洪水時の危険箇所及びその危険度の推定

新潟大学大学院自然科学研究科
新潟大学大学院自然科学研究科
新潟大学災害・復興科学研究所

学生会員○黛 由季
学生会員 茂木 大知
正会員 安田 浩保

1. はじめに

扇状地から自然堤防帯にかけての河床材料を砂礫とする河川の底面には、交互砂州あるいは複列砂州が自発的に形成される。このような砂州を骨格とした河川においては、洪水時に流路変動による河岸や堤防の侵食とそれに伴う氾濫などの被害が生じやすい。現在のところ、このような交互砂州を有する河川における危険箇所やその危険度を把握する手法は未確立である。

交互砂州が発達した河川において、その水面は底面の幾何学形状に対応することが解明されつつある¹⁾。また、山本は、直線的な河道の洪水後痕跡水位に基づき、河床勾配が急峻となるほどに左右岸の水位差が大きくなり、その要因は河道内に存在する砂州であることを指摘している²⁾。ただし、同研究は河床勾配ごとの洪水時の左右岸の水位差を示したのみで、これらの河川における水理量や河床の形状については言及していない。つまり、洪水時の偏流の要因としては、河道内の砂州が流れに影響を及ぼしていることが推測されるが、そのような影響を定量化した研究は著者らの知る限りない。

本研究では、交互砂州の幾何学形状に起因する流れへの影響の度合いを明らかにするため、模型実験による実測と実河川を対象とした数値解析を行った。その後、流れと底面の幾何学的な特徴量を統計的に整理し、交互砂州が誘発する洪水時の危険箇所及び危険度の推定手法を提案した。

2. 模型実験及び実河川水理解析の概要

(1) 模型実験の条件と計測方法

模型実験に用いた水路は、全長12 m、流路幅0.45 m、水路勾配可変の直線単矩形断面水路である。底面材料は平均粒径0.76 mmの珪砂を使用し、初期底面として一様に5 cmの厚さで敷設した。水理条件は、交互砂州が発生・発達することを狙い、黒木・岸⁴⁾の領域区分図を参考に、表-1に示す6ケースの水理条件を与えた実験を行った。通水中は一定の時間間隔で給砂を行い、Stream Tomography(ST)³⁾を用いて10分間隔で計測した。

(2) 実河川水理解析の概要

実河川を対象とした平面二次元水理解析では、対象河川として底面に交互砂州を有し、かつ、近年河岸侵食などの流路変動が生じた能生川と魚野川、千曲川の3つの河川とした。

表-1 模型実験の条件

Case	流量 [L/s]	流路幅 [m]	水路勾配	$BI_0^{0.2}/h_0$
1	0.86	0.17	1/80	5.8
2	2.6	0.45	1/200	9.0
3	0.86	0.23	1/80	9.5
4	2.0	0.45	1/160	11.8
5	1.7	0.45	1/120	15.0
6	0.86	0.45	1/80	27.7

表-2 実河川の計算条件

河川名	流量 [m ³ /s]	川幅 [m]	河床勾配	$BI_0^{0.2}/h_0$
能生川	250	80	1/80	36.4
魚野川	1200	100	1/100	19.0
千曲川	7000	300	1/200	26.3

a) 対象河川の被災概要および対象区間

能生川は平成29年7月の豪雨で10 km程度の区間において8箇所も堤防が侵食を受けた。能生川の解析対象区間は、侵食延長が最も長い箇所を含む河口から1.5 kmから5 kmの3.5 kmとした。

魚野川では、2019年に発生した台風19号により、信濃川との合流点より26 km付近に位置する姥島橋下流において、大規模な河岸欠損が左右岸の3箇所が生じた。魚野川の解析対象区間は、河岸欠損箇所を含む前島橋下流から姥島橋上流までの7 kmとした。

千曲川では、2019年10月に発生した台風19号に伴う洪水により、上田市諏訪形では104 km付近の左岸堤防に300 mに渡る河岸欠損が発生し、鉄道橋梁が落橋した。千曲川の解析対象区間は、河岸欠損が生じた箇所を含む小牧橋上流側から上田大橋下流までの約6 kmとした。

b) 水理解析モデルと計算条件

交互砂州の地形とその上の平面的な流況を把握するため、iRIC⁵⁾の移動床数値解析ソルバーであるNays2Dにより平面2次元の水理解析を行った。水理解析に必要な地形情報は、国土地理院の電子国土webとして一般公開されているDEMデータを用いた。使用したDEMデータは、全ての河川で被災前の平成28年に測量されたデータを使用した。解析における格子間隔は、魚野川で2 m×2 m、能生川で4 m×3 m、千曲川で6 m×5 mとした(全て縦断×横断)。対象区間の粗度係数は、国交省が公表している河床材料を参考にし、Manning-Strickler式から算出した。実河川の水理条件の諸元は表-2に示す。

Key Words: 交互砂州, 波高水深比, 左右岸水位差, 危険箇所推定
〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050 TEL 025-262-7053

3. 交互砂州が誘発する危険度の推定

前章において得られたデータを統計的に整理するため、水面と底面のそれぞれにおける幾何学的特徴量を算定した後、比較を行った。幾何学的特徴量は、底面の砂州の発達規模を示す波高水深比と、砂州の流れへの影響規模を示す左右の水位差とした。波高水深比は、各横断面内の最大底面高から最小底面高の偏差を平均水深で無次元化した。水位差は、左岸水位と右岸水位の偏差を平均水深で無次元化した。水位差のデータは各時刻の全ての横断面から得たため、模型実験と水理解析から得られるデータの総データ数は3万以上である。

(1) 波高水深比と左右岸水位差の縦断分布

図-1に、模型実験 Cace5 の通水後 30 分と 90 分時点における、a) 底面高と b) 波高水深比、c) 水位差の縦断分布を示す。まず、a) 底面高の結果からは、流下方向に洗堀と堆積を左右交互に繰り返す周期的な幾何学形状が形成され、時間経過に伴い交互砂州が発達したことが確認できる。次に図-1に示す b) 波高水深比は、両時刻ともに交互砂州の周期に対応する縦断分布が現れており、その規模は交互砂州の発達に伴って増大している。図-1に示す c) 水位差においても、交互砂州の発達に伴って規模が増大しており、通水後 30 分では最大でも 20%、90 分には 40% 近くの水位差が発生した。他の実験結果においても、上述のような波高水深比と水位差の交互砂州の発達に伴う規模の増大が確認された。

(2) 交互砂州が流れに及ぼす影響の統計的整理

本節では、前節において示唆された交互砂州の発達合いと流れの偏心の度合いの定量化のため、交互砂州の発達規模毎に水位差の存在の範囲を整理した。この整理にあたり、交互砂州の発達規模として、実験や水理解析の任意区間における波高水深比の最大値を用いた。図-2は、0.25 毎に切り上げた波高水深比における水位差の分布である。同図は、データ数が十分である場合、波高水深比毎の水位差が取り得る確率分布として解釈可能であり、それぞれの分布に付記した数字で集計データ数を示した。なお、魚野川については、交互砂州が発達した区間のうち、上流 2.5 km 区間は 3 箇所での侵食が発生した一方、下流 1.5 km 区間は被災なしだったため、前者を赤色、後者を青色で区別して示した。

図-2のとおり、波高水深比が 1.5 以下では水位差は水深に対して最大で 30% 程度であり、その分布の重心は 10% を下回る。一方で、1.5 を超えると、水位差の最大値は 60% を超え、分布の重心も 30% を上回った。つまり、1.5 を閾値として水位差の規模が不連続に異なることが分かった。

また、実河川の水理解析では、河岸侵食が発生していない魚野川下流は波高水深比が 1.5 未満であったのに対し、侵食が発生した魚野川上流と能生川では 1.5 を超え、分布も模型実験と対応する結果となった。以上から、任意区間における波高水深比を指標とすることで、交互砂州が誘発する危険度を推定できることが実証された。

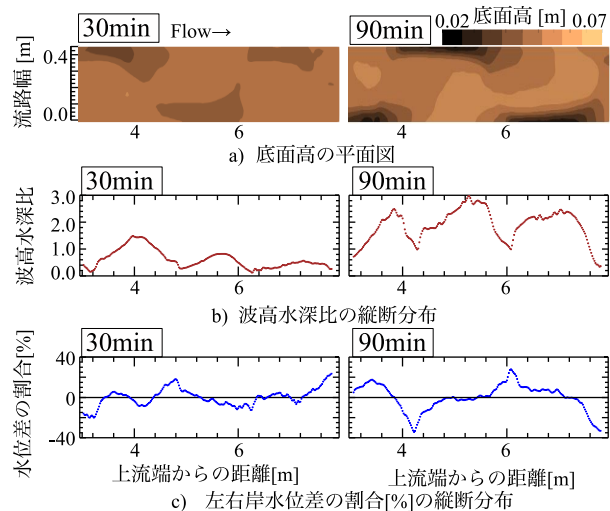


図-1 発達した交互砂州の底面高、波高水深比、左右岸水位差 (左から通水 30 分後、90 分後の模型実験結果)

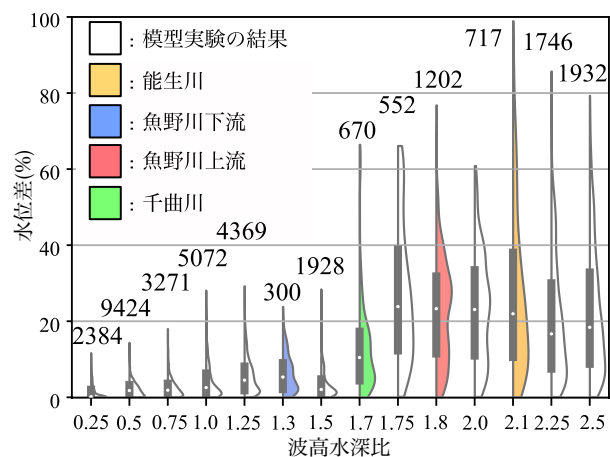


図-2 波高水深比と左右岸水位差の関係

4. おわりに

本研究では、模型実験における実測の水面と底面の幾何学形状から、交互砂州の発達規模と流れへの影響を定量化し、統計的に整理した。その結果、実河川を対象とした水理解析から、侵食被災の有無との関連が確認でき、波高水深比を指標とした実河川の危険度評価が可能であることを実証した。

参考文献

- 1) 小関 博司, 安田 浩保, 水深波長比を用いた河床波の統一的区分とその支配水理量, 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学), 76 巻 2 号, pp.L489-L498, 2021.
- 2) 山本晃一, 高橋晃: 扇状地河川の河道特性と河道管理, 土木技術資料第 3159 号, pp.114-144, 1993.
- 3) Moteki D. et al.: Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, *Phys. Fluids*, 34, 034117, 2022.
- 4) 黒木幹男, 岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, No. 342, pp.87-96, 1984.
- 5) 北海道河川財団, <http://i-ric.org>.