

2019 年出水時の千曲川における流路変動解析 Numerical simulation of sand bar and channel evolution process of the Chikuma River caused by the 2019 flood

岩崎 理樹 (北大・工) 奥田 醇 (北大・工) 清水 康行 (北大・工)

Toshiki IWASAKI, Faculty of engineering, Hokkaido University
Jun OKUDA, Graduate school of engineering, Hokkaido University
Yasuyuki SHIMIZU, Faculty of engineering, Hokkaido University
FAX: 011-706-7164, E-mail: tiwasaki@eng.hokudai.ac.jp

In this paper, we perform a numerical simulation of sand bar and channel evolution processes of the Chikuma River caused by a huge flood event observed in 2019. The numerical results show that the huge flood causes a downstream migration of sand bars, which had been fixed for last decades, resulting in a significant change of channel pattern and bank erosion. The result is reasonably consistent with the observed river evolution.

1. はじめに

2019 年 10 月上旬に発生した台風 19 号は、勢力を発達させながら北上し、10 月 12 日に日本列島に上陸すると、広い範囲に非常に強い降雨をもたらすことで、各地で洪水、氾濫被害が発生し、深刻な被害をもたらした。長野県を流れる千曲川では、この降雨により大規模洪水が発生し、特に穂保地区で堤防が決壊し、大規模な浸水被害が発生した。これと同時に、河道内では大規模出水により流路が大きく変動し、上田市においては上田電鉄鉄道橋 (KP104 付近) が落橋するに至った。ここで、Fig.1 に Sentinel2 衛星¹⁾から得られる上田市近傍における洪水前後の正規化差植生指数 NDVI 画像を示す。千曲川上流は、長年の土砂採取等の影響により滞筋が固定化し、高水敷と低水路の比高差が大きくなる、いわゆる二極化状態にあり、Fig.1a に示すように固定化された砂州上には河畔林が密生した状態にあった²⁾。一方、本洪水により、Fig.1 に示すように交互砂州に起因した流路が大きく変動し、高水敷の植生が流出するなど、河道内の状態が大きく変化したことがわかる。

落橋が発生した地点は、出水前は砂州の堆積部に位置し、その対岸側が水衝部であったが、砂州や流路の変動によって水衝部の位置が変化し、落橋部分の堤防を侵食したと考えられる。このように長年固定化し、樹林化した砂州が出水時に変動、もしくは侵食され、河道内被災の原因となることは河川管理上大きな問題であり、河道変化と落橋要因について分析する必要がある。本研究では、本洪水イベントに誘発された河床・河道変化を数値計算モデルにより再現し、出水時の流路変動と落橋の関連性について明らかにすることを試みるものである。

2. 数値計算

流路変動解析には、河川解析ソフトウェア iRIC に同封されている Nays2DH³⁾を用いた。本モデルは、本研究で対象としているような砂州と流路変動、側岸侵食への適用例が多く、適切な計算条件、パラメータの設定の下、出水時に見られる流路変動を合理的に表現できる⁴⁾。本モデルでは、流れは一般座標変換された二次元非定常浅水方程式により計算される。抵抗則については、 Manning 則により与え、植生の影響については、別途植生密度を与えて、植生抵抗を考慮する。また、ここでは掃流砂による河床変動を扱い、浮遊砂の影響は無視する。掃流砂は、全流砂量を芦田・道上式により求め、横断方向流砂量については、渡邊の式を用いる。二次流の算定については、二次流強度の発達と減衰を考慮したモデルを用いている。また、河岸侵食を考

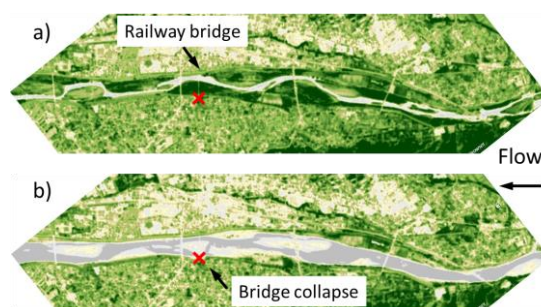


Fig. 1 NDVI data obtained from the Sentinel 2 satellite images a) before the flood (Oct. 10, 2019) and b) after the flood (Oct. 28, 2019).

慮するために、斜面崩壊角度を設定し、計算上ではこれを超えた角度を持つ斜面を崩落させるものとしている。なお、ここで対象としている現象では、植生の流失を考慮する必要がある。ここでは簡単のため、初期河床よりも、0.2 m 河床低下した場合に植生が流出するものとした。計算モデルの詳細については、文献等^{1,4)}を参照されたい。

計算範囲は、KP102.5-107.5 (およそ Fig.1 に示す区間) としている。初期地形については、砂州等の地上部を平成 25 年測量の LP データより与え、LP データで欠測している水面下については、平成 25 年測量の横断測量データにより与えている。上流端に与える流量については、本計算領域よりも下流に位置する杭瀬下地点における水位観測データを水位-流量曲線により変換した暫定ハイドログラフ (ピーク値 5869 m³/s) を用いる。粗度係数については、計画粗度を参考に 0.034 を計算領域全体に与えた。これは、河床・河道変動により低水路・高水敷の様相が計算中に大きく変化するためであるが、設定値により痕跡水位を概ね再現できることを確認している。河床材料は均一粒径とし、対象区間の 50% 粒径である 64 mm を与えた。なお、KP106 付近に見られる露岩部、並びに航空写真から判断できる護岸部については、固定床として扱っている。植生密度については、データがないため、ここでは航空写真から判断される領域について密度 0.01 m⁻¹ を試行的に与えた。

3. 結果と考察

Fig.2 に計算された河床・河道変動の時間変化を示す。図中の計算結果は、流量ハイドログラフに示す時間における河床変動量を意味しており、Fig.2a はピーク時、また Fig.2c は落橋したおよその時刻である 10 月 13 日午前 8 時時点での計算結果である。また、Fig.3 に計算終了時点における河

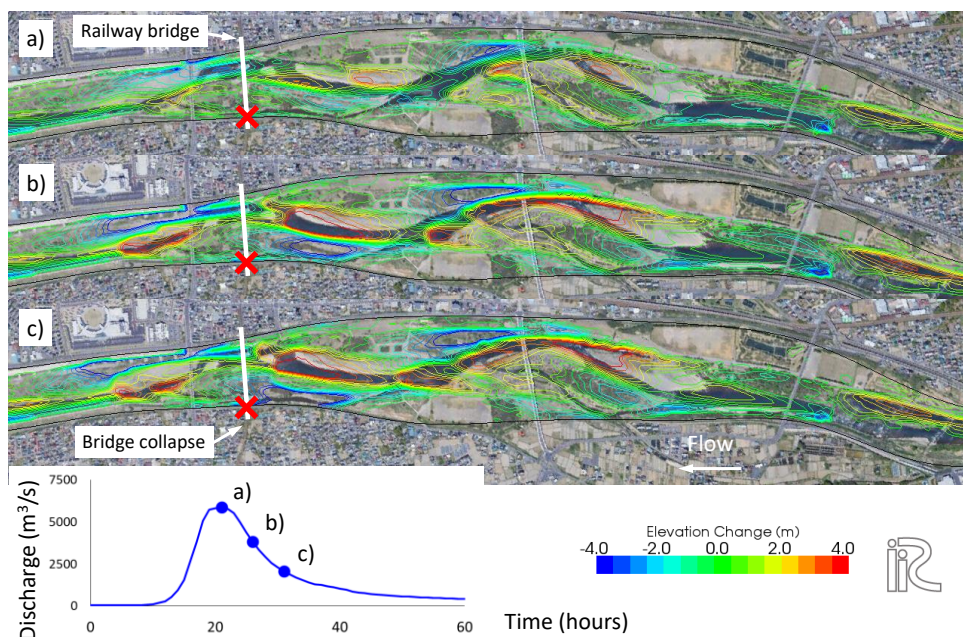


Fig. 2 Temporal change of simulated bed and channel shape. The red-cross represents the point where the bridge collapse took place and the collapse was found at the time of c).

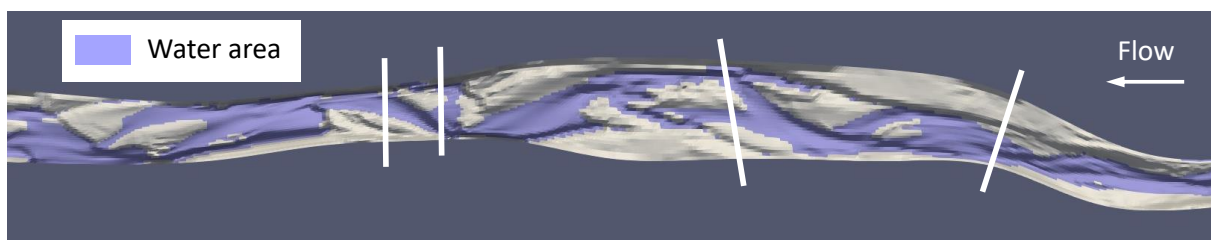


Fig. 3 Shaded-relief map of the simulated bathymetry at the end of calculation. The white-solid lines denote the bridges.

床形状の陰影図と水域部を示す。この図より、計算結果は、Fig.1b に示す砂州の形状変化や水衝部の変化を定性的に表現できていることがわかる。

次に計算結果について砂州と流れの時間変化から、落橋原因との関連を考察する。Fig.2 に示すように、従来交互に形成されていた砂州が、洪水流と土砂移動によってピーク流量時点で下流側に移動をしていく様子がわかる。Fig.2a に示すピーク流量時点においては、落橋した地点（図中×印）において河床変動は生じていないが、時間の経過に伴い右岸側から砂州が発達・前進し、左岸側で固定化されていた砂州を侵食し始める (Fig.2b)。これは、砂州の発達による流れの偏流と合わせて、流量低下に伴い流れの直進性が低下し、砂州により形成された深掘れ部に流れが集中しやすくなるためと考えられる⁴⁾。この砂州の前進とそれに伴う侵食によって、落橋地点に固定化されていた左岸側の砂州は消失し、落橋が確認された Fig.2c の時刻においては、水衝部へと変化していることがわかる。このような洪水流の変化に伴う砂州の変化、及びそれに誘発される固定化されていた比高差の大きい砂州の侵食によって、流路が大規模に変動し、堤防侵食と落橋につながったと考えられる。

4. まとめ

本研究では、2019年出水時に千曲川上田市付近においてみられた流路変動について二次元数値計算モデルによってその再現を行い、本洪水に起因する落橋との関連性について考察した。計算結果より、洪水流によって形成されてい

た砂州が発達、前進し、それにより水衝部が大きく変化することで、従来砂州の堆積側であった堤防が侵食を受け、落橋につながったと推測された。

計算結果は、定性的には現象を再現している一方、砂州の移動や流路の切り替わりを過小評価している傾向にある。これはデータ不足によるかもしれないが、現象の再現に決定的である河岸侵食モデルの精度による可能性もある。河岸侵食モデルの精度は、固定化された比高の高い砂州からの土砂供給量の推定精度にも影響する。河岸からの土砂供給はその下流における流路変動にも大きな影響をもつことから⁵⁾、これらの視点を踏まえて今後検討を行いたい。

参考文献

- 1) <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- 2) 西嶋貴彦・前田諭・阿部充・五十嵐武・竹内洋子：千曲川中流域の試験的河道掘削に関する研究，リバーフロント研究所報告，第25号，pp.3-12，2014。
- 3) <https://i-ric.org/>
- 4) Iwasaki, T., Shimizu, Y. and Kimura, I.: Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River, *Advances in Water Resources*, 93, 118-134, 2016.
- 5) 山口里実・久加朋子・清水康行・泉典洋・渡邊康玄・岩崎理樹：河道内の土砂動態と流路変動の関係，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.74, No.4, pp.L_1153-L_1158, 2018。