

河床波の発生の起源を発見

－ 壊れにくい河道の設計法の開発に期待 －

新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程2年の関 翔平、博士後期課程3年の茂木 大知（日本学術振興会特別研究員）、同大学災害・復興科学研究所／研究統括機構の安田 浩保研究教授の研究グループは、洪水時における河道の損壊の要因と推測される河床波¹⁾という河床（河川の底面）に自発的に形成される周期的な起伏形状の発生の起源を世界で初めて発見しました。本研究の成果は、一定規模以上の洪水時に河道が変形を開始する要因の一つの発見と言えるものです。今後、本成果を基盤として洪水が流下しても壊れにくい河道の設計法を実現できる可能性があります。本研究成果は、2023年10月20日、国際科学誌「Physics of Fluids」のオンライン版に掲載されました。

本研究成果のポイント

- 河床波の発生の起源は河川の底面にあると考えてきた定説とは対照的に、本研究は、模型実験における水面と底面の細密な測定により、水面において自発的に発生する波列が河床波の起源となることを明らかにした。
- 河床波は洪水時に河道が変形を開始する要因の一つと推測され、本成果を基盤として洪水が流下しても壊れにくい河道の設計法を実現できる可能性が考えられる。
- 蛇行の発生の起源は河床波と密接に関係すると言われ、今後、蛇行の発生の起源を解明できる可能性が高い。

1. 研究の背景

日本の国土は構造的に水害が頻発しやすく、水害による物的な被害の総額は毎年数千億円規模に達します。洪水時の河道では、水の他に大量の土砂が輸送され、これが河床と河道自体を大きく変形させます。河道はこのような変形が発端として損壊します。しかし、洪水が流下しても壊れにくい河道の設計法は未確立です。

本研究グループでは、洪水による人の被害をゼロとすることを目指し、洪水時の河道における水と土砂輸送の相互作用的な物理の解明を進めています。このような相互作用的な物理には不明なことが多く残されていることから、従来は測定が困難とされた水と土砂輸送が相互作用する物理を細密に測定する手法である Stream Tomography²⁾: ST を確立しました。今回の研究では、ST を測定手法として用い、洪水時における河道の損壊の発端となる河道の不安定化の要因の特定に挑戦しました。

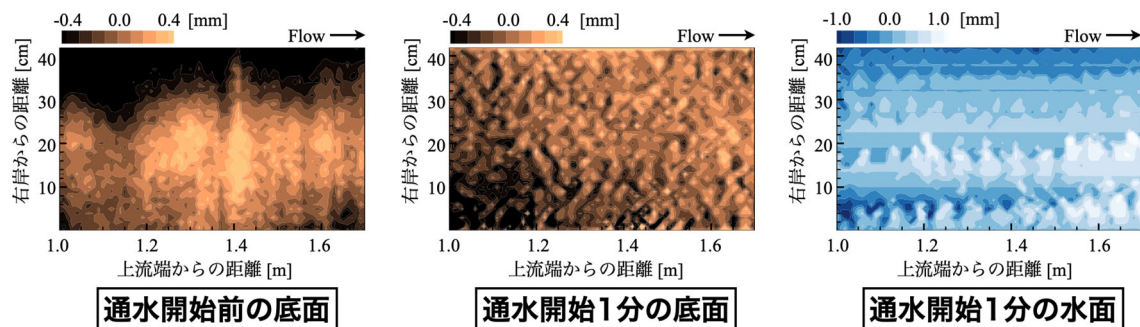


図 1 Stream Tomography による水面と底面の測定結果

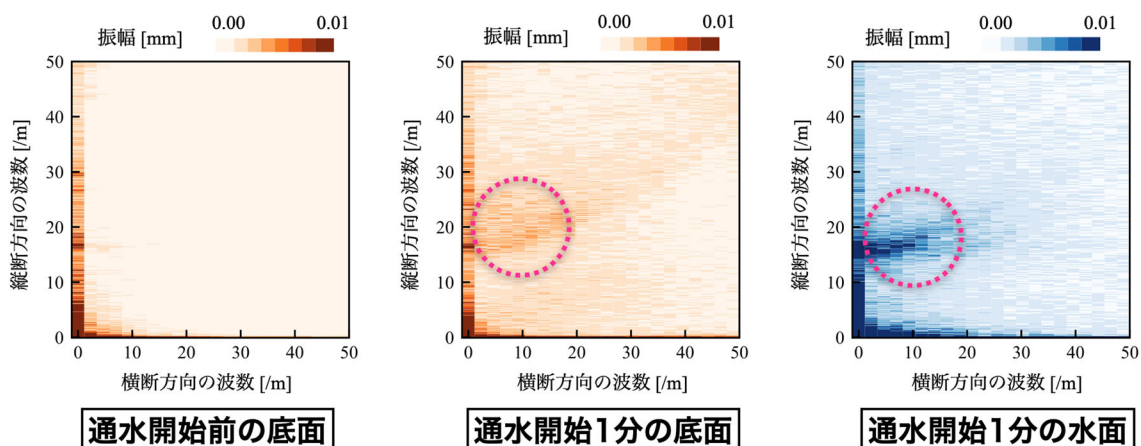


図 2 Stream Tomography で測定した水面と底面の波数と振幅

II. 研究の概要・成果

地形が急峻な上、前線性の降雨や台風により多雨な気候帯の日本では、この 100 年ほどの間に、洪水を安全に流下させるための直線的な河道を整備してきました。直線的な河道では平坦な河床からやがて大小様々なスケールの河床波と呼ばれる周期的な起伏形状が河床に自発的に形成されます。今回の研究では、川幅の数倍の長さを持つ河床波の中で最もスケールが大きな砂州の形成の起源は、水面に自発的に発生する波列であることを突き止めました。

図 1 は、洪水時の河川を模擬した流水により底面の土砂が輸送される模型実験の開始直後における水面と底面の各々の起伏形状を測定したものです。この模型実験では、実験の開始前に底面に敷き詰めた細砂を平坦に均した後に通水しています。しかし、この図の通り、水面と底面の両方に綺麗な周期的な起伏が形成されていることがわかります。図 2 は、図 1 の水面と底面の起伏形状の波数を読み取ったもので、水面と底面の波数が一致している上、水面の方が振幅が大きいことが分かりました。また、本研究グループでは、ST の測定結果に基づき水面の動きに比べて底面の変形や移動は 10^{-3} ほど遅いことを 2022 年に公表³⁾しています。つまり、底面に起伏形状が形成される以前に水面に起伏形状が存在していることが推測できます。

そこで、ガラス繊維で被覆された十分に滑らかな底面と側壁を持つ矩形断面の直線水路において、水面の起伏形状を測定しました。その結果、図 2 と同じ波数が存在していることが分かりました (図 3)。

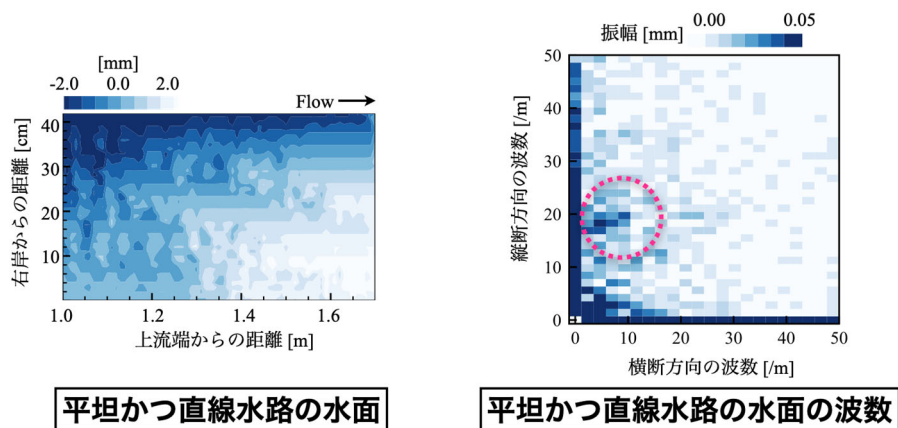


図 3 平坦かつ直線水路の水面およびその波数と振幅

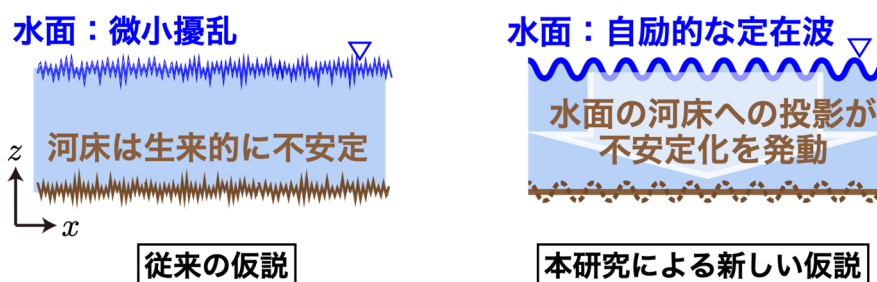


図 4 河床波の発生の従来の仮説と新しい仮説

以上の結果から、細砂を平坦に均した水路に通水すると、まず、その通水直後から水面に波列が自励的に発生することが分かりました。これを引き金とし、水面における波列が細砂で構成された底面に投影されるために、平坦な底面に周期的な起伏形状である河床波の形成が始まることが明らかになりました。1960年代以降、河川などの底面は様々な粒径の砂礫で構成されるために河床には生来的な不安定性が存在し、この不安定性が河床波の形成の要因と考えられてきました。今回の研究は定説とは対照的に、模型実験における水面と底面の細密な測定結果に基づき、河床波の形成の要因の一つは水面の波列であることを特定しました。

III. 今後の展開

近年の記録的な豪雨により、人口居住地近傍の河川の破損が相次いでいます。本研究グループでは、模型実験および実河川の流れと形状を細密に測定できる独自の手法を開発してきました。その上で、河川において自然に形成された河道形状はコンクリートブロックなどの重量物をほとんど使用しなくても洪水時に壊れにくい性質があることなどを解明してきました。今後は、本研究のような科学的な根拠に基づき、壊れにくい河道の設計法を確立するための研究を続けます。また、地球物理学の謎の一つとされる河川の蛇行は、河床波と密接に関係すると言われています。今後は、蛇行の起源の解明に十分な細密な実測データを得て、このデータに基づき蛇行の起源の解明に取り組みます。

IV. 研究成果の公表

本研究成果は、2023年10月20日、国際科学誌「Physics of Fluids」のオンライン版に掲載されました。

- 論文タイトル: Novel Hypothesis on the Occurrence of Sandbars
- 著者: Seki S, Moteki D, Yasuda H
- doi: 10.1063/5.0171731

V. 謝辞

本研究は、日本学術振興会の特別研究員研究費および科学研究費助成事業（00399354、20K20543）の助成を受けて行われました。なお、本研究で使用した ST は、シマト工業株式会社（新潟県三条市）と有限会社アイエスマック（新潟県長岡市）による多大な貢献により完成したものです。

【用語解説】

- 1) 河床波：河床と呼ばれる河川の水底において、流れと河道を構成する土砂の移動の相互作用により形成されると考えられている周期的な起伏形状。
- 2) Stream Tomography：本研究グループが独自に開発した水面と底面を同時かつ細密に計測できる計測システム。詳しくは Capture method for digital twin of formation processes of sand bars (doi.org/10.1063/5.0085574) を参照のこと。
- 3) 河床波の移動速度：詳しくは On the Migrating Speed of Free Alternate Bars (doi.org/10.1029/2021jf006485) を参照のこと。

本件に関するお問い合わせ先

新潟大学災害・復興科学研究所／研究統括機構
研究教授 安田 浩保（やすだ ひろやす）
E-mail：hiro@gs.niigata-u.ac.jp