

# 砂州の波形形状が流れの鉛直分布に及ぼす影響

新潟大学院自然科学研究科 学生会員 ○田所 祐輝  
新潟大学院自然科学研究科 学生会員 茂木 大知  
新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保

## 1 はじめに

河道が砂礫で構成される河川の河床には河床波と呼ばれる波長と波高が異なる周期的な起伏形状が自発的に形成される。これらの河床波はそれぞれの波長に基づき、大きい順に砂州、砂堆、砂漣に区分される。河床波の既往の研究では、これらの河床波は3つの種別ごとに研究され、それぞれを支配する物理量は種別ごとに異なることが解明されている。

著者らの研究グループでは、水深波長比を用いると、これらの3つの河床波の種別を統一的に識別できることを明らかにしている<sup>1)</sup>。水深波長比は、微小振幅波理論の解である分散関係式から得られるもので、ある水面波を起因とした水粒子の運動が水面から水底までの全体に波及するか否かを推定できる。この推定により、ある水面波により水粒子が水面から水底まで全体で運動するならばその波は浅水波、水面波の運動が水底に到達しなければ深水波であることを判定できる。一般に微小振幅波理論は水面を対象とするが、著者らの研究グループでは、河床波上の流れの種別の推定にも水深波長比を適用し、図-1のように、波長が異なる3つの河床波上の流れの種別を識別できることを明らかにしている。この図に従うと、河床波の中で最も波長が長い砂州上の流れは、浅水流に該当することになる。

これまでの砂州の物理的な性質の解明を目的とした研究のうち、数理的な手法を研究の手法とした研究では、砂州上の流れは浅水流であると仮定し、浅水流モデルに基づいた研究が実施されてきた。しかし、砂州の形成や発達の過程における流れの状態を浅水流の仮定に基づきどれほど適正に説明できるかはほとんど研究されていない。また、最近、砂州の形成や発達の過程における底面と水面を同時かつ細密な測定が可能<sup>2)</sup>となり、少なくとも砂州の形成のごく初期の段階の流れの状態には浅水流の仮定が適用できない可能性が高いことが判明してきている<sup>3)4)</sup>。

本研究は、波高の異なる砂州上における流れに対してどれほど浅水流の仮定を適用できるかについて検証するために、水深方向の流速分布を把握できる鉛直2次元の水理解析を用い、砂州の波高の大小が砂州上の流れにどのような影響を及ぼすかを調べた。

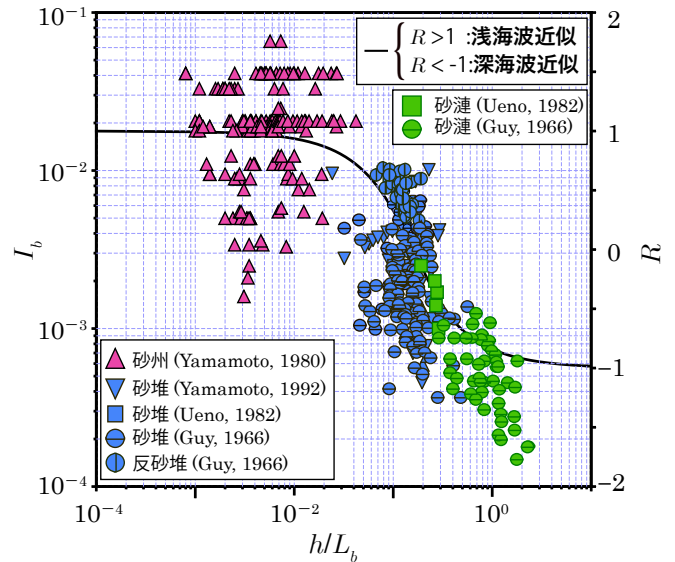


図-1: 水深波長比に基づく統一的な河床波の区分

## 2 解析手法

本研究で用いた流れ解析手法は、ナビエ・ストークス方程式を支配方程式とした鉛直2次元流れの解析手法である。鉛直2次元流れの解析における水面形状の扱いの方法にはいくつかあるが、本研究では底面の形状に対応した水面形状をもっとも明瞭に得られる境界適合座標を用いた<sup>5)</sup>。

設定した計算条件は以下の通りである。本研究では、全長6mの実験水路における開水路流れの計算ができるように、計算領域の上下流端の水面から底面の $u$ に0.1 m/sの流速を与えた。また、初期条件として全ての計算点に境界条件と同じく $u$ に0.1 m/sを、水深は0.02 mを与えた。格子分割数は、縦断方向は一波長を600分割、鉛直方向は水深を50分割する大きさに設定した。

底面には砂州を $\sin^2$ の波形で模擬した起伏形状を設定した。この起伏形状の波長は一定とし、初期の水深に対して10%、20%、40%となる砂州の波高を設定した。10%の波高の砂州形状は発達過程の砂州、20%の波高の砂州形状はある河道での最大規模の洪水時における砂州、40%の波高の砂州形状は砂州が形成されると推測されている中規模の洪水時における砂州に対応する。

以上の条件で、流れの変化が定常となる時点まで数値解析を実施した。

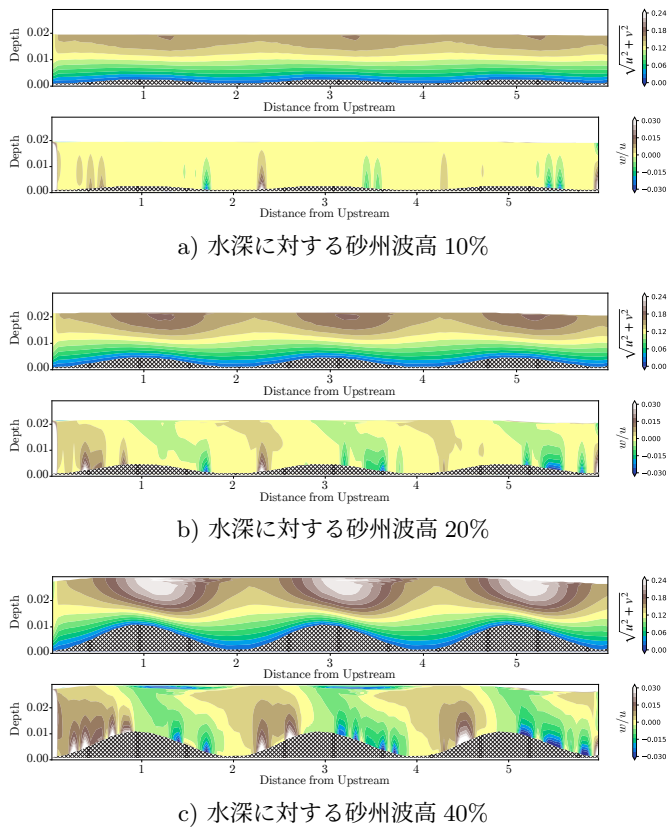


図-2: (上図) 合成流速  $\sqrt{u^2 + v^2}$  の分布 (下図) 鉛直方向の流速  $v$  と流下方向の流速  $u$  の比の分布

### 3 結果と考察

#### 3.1 結果

数値解析の結果を図-2と図-3に示す。それぞれa)からc)は水深に対する異なる砂州波高を有するケースの数値解析結果を示している。図-2の上図は流下方向と鉛直方向の合成流速の分布を示しており、下図は流下方向の流速と鉛直方向の流速の比の分布を示す。図-3は流線の分布を濃い青色で示している。水深に対する砂州波高が10%でも流線の曲がり水面付近まで及ぶ。ただし、鉛直方向の流速は流下方向の流速に対して最大でも2%程度で小さい。水深に対する砂州波高が20%では、流線の曲がり流下方向の合成流速の変化が水面まで及ぶ。鉛直方向の流速は流下方向の流速に対して最大でも2%程度で同様に小さい。水深に対する砂州波高が40%では、流線の曲がり流下方向の合成流速の変化が水面まで及び、他のケースに対してその影響度合いは最大である。ただし、鉛直方向の流速は流下方向の流速に対して最大でも3%程度で小さい。

#### 3.2 考察

砂州河川の流れは浅水流の仮定に基づき流れ解析が頻用される。一般に浅水流を仮定できる流れは、鉛直方向の流れが流下方向に比べて無視できるほどに小さく鉛直方向の

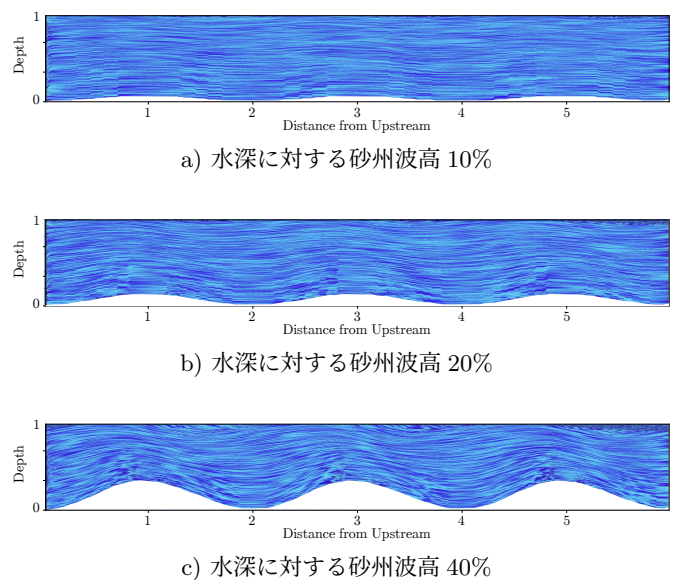


図-3: 流線の分布

流れの分布が一様となり、静水圧を近似できるものである。鉛直二次元流れ解析に基づく流速分布では、鉛直方向の流れが流下方向に比べて最大でも2%程度で小さいものの、流速の鉛直分布は縦断的に変化することが示された。浅水流を近似した流れ自体の算定はできるが、それがどれほど砂州上の流れやそれを駆動源とした土砂輸送を正確に記述できるかは依然として不明である。加えて、浅水流を近似したモデルにより砂州よりも波形曲率が大きな砂堆上の流れの記述は困難である。今後の課題として、河床波上の流れの細密な観測事実の蓄積と、これに基づく河床波の種別を区別せずに統一的に解析できる解析法の構築が挙げられる。

### 4 おわりに

本研究では水理解析を用いて砂州の波高の大小が砂州上の流れにどのような影響を及ぼすかを調べた。その結果、鉛直方向の流速は流下方向の流速に対して最大でも2オーダー程度で小さいが、水深に対して砂州波高が10%でも流線の曲がり水面付近まで到達することが示唆された。

#### 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物理量, 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学) 特集号 2021.
- 2) D. Moteki et al.: Capture method for digital twin of formation processes of sand bars, *Phys. Fluids*, 34, 034117, 2022.
- 3) 茂木大知, 安田浩保, 早坂圭司, 村松正吾, 浅水流を仮定した数値解析における砂州の発生・発達物理機構の記述の適正性, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会, 2023.
- 4) S. Seki, D. Moteki, H. Yasuda: Novel hypothesis on the occurrence of sandbars, *Phys. Fluids*, 35, 2023.
- 5) S. Sarraf, R. Kahawita, R. Camarero, Three-dimensional surface water modelling using a mesh adaptive technique, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 7, 5, 465-488, 1987.