

反応移流拡散方程式を用いた河床波モデリングに関する検討

福島大学共生システム理工学類 学生会員 ○荒木英介
福島大学共生システム理工学類 正会員 横尾善之

1. 背景・目的

河床波や風紋のように、自然界には波の形状をした模様が多く存在する。例えば、魚類や哺乳類の表皮には類似の縞模様がよく出現する。これと類似したものとして、斑模様も存在する。これらの自然界で確認できる縞模様や斑模様は、非平衡開放系の熱力学の現象として説明でき、これらの模様の発生機構に焦点を当てた研究は1950年頃から発展した。これらの研究によると、反応拡散方程式を用いるとある特定の条件の下で縞模様や斑模様が発生することが確認されている。その先駆的研究である Turing (1952) によると、空間的に安定な平衡状態が不安定化し、活性-抑制因子の拡散速度の差により自発的に空間パターンを自己組織化に至る可能性があることを示している。その後、この特異的に模様が発生する現象は「Turing 不安定性」と呼ばれている。また、Kondo and Asai (1995) は熱帯魚の体表に発現する縞模様の発生メカニズムを反応拡散現象として説明できることを示している。反応拡散方程式を利用して縞模様や斑模様の発生機構について研究した事例は多いものの、河床波の発生機構を説明しようとした研究はない。

そこで本研究は、河床波の発生機構を反応移流拡散現象として捉え直し、河床波の発生機構を再解釈できる可能性を明らかにすることを目的とする。従来の研究では、反応拡散方程式を用いる例が多かったが、河床波については移流を考慮する必要があるため、反応拡散方程式に移流項を加えた反応移流拡散方程式を用いることにした。本研究は、研究の初段階として、小規模河床波の発生・発達モデリングの可能性について検討した。

2. 方法

本研究は、著名な反応拡散モデルである FitzHugh-

Nagumo モデルを河床波モデルの参考とし、これに移流項を追加した。なお、流下方向に伝播する河床波のモデリングを本研究は行うため、拡散項には異方性を与えた。

河床波モデリングの比較対象として、星野・安田ら (2016) の幅 0.30 m、長さ 0.80 m の水路実験の結果を利用とした。星野・安田ら (2016) の実験データのうち数値として記載されていなかったものは、グラフから読み取って利用した。具体的には、実験開始から 1080 秒後および 1200 秒後の河床波の波高および波長の最大値と最小値の間の値を読み取った。

3. 結果

図 1 は反応移流拡散モデルを用いて計算した水路中央における流下方向の河床形状である。乱数で与えた初期形状から、120 秒後反応移流拡散モデルによって河床波が形成される様子が確認できる。

図 2 から図 5 は、初期形状から 120 秒後までの実験水路全体の河床地形の計算結果である。反応拡散方程式によって再現される特徴的な縞模様が形成されていることが分かる。

以上の数値実験結果を星野ら (2016) の水理実験結果と比較したものの、現段階では本研究で用いた反応移流拡散モデルはまだ水理実験結果を再現できていないことが分かる。具体的には、星野ら (2016) の水路実験では 1200 秒間の通水し、振幅は 0.008 m、波長は 1080 秒後に 0.11~0.14 m、1200 秒後に 0.11~0.16 m であるが、本研究の再現計算では 120 秒間に河床の振幅は 0.75 m、波長は 0.11 m となった。波長は概ね再現できているものの、振幅が大きく異なる。また、水理実験では 1200 秒間の通水を経て河床波が安定的に形成されているが、再現計算では 1200 秒後には河床波が消失した。このため今後、反応移流拡散モデルの大幅な変更が必要と考えられる。

キーワード 反応拡散, 反応移流拡散, 河床波, MEP 原理

連絡先 〒960-1296 福島市金谷川 1 番地 電話番号 024-548-8296

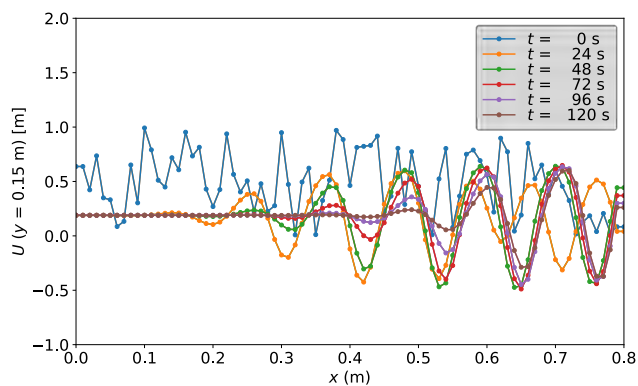


図1 河床の振幅の推移

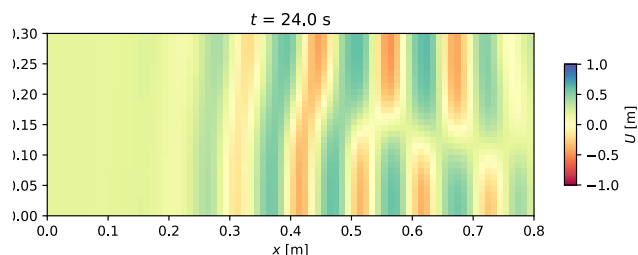


図2 24秒後の河床形状

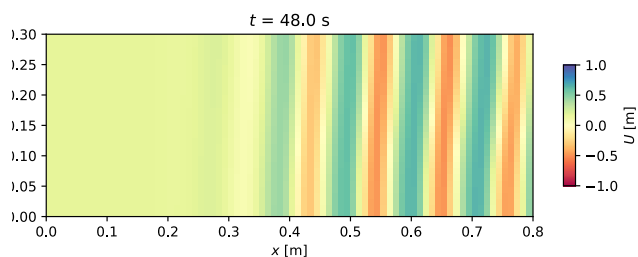


図3 48秒後の河床形状

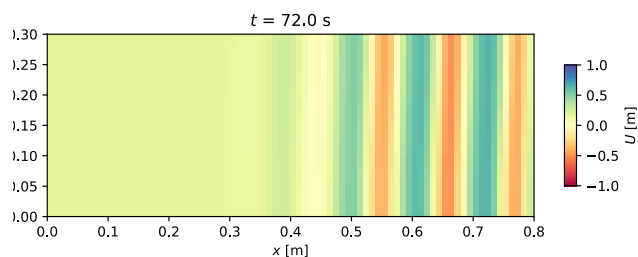


図4 72秒後の河床形状

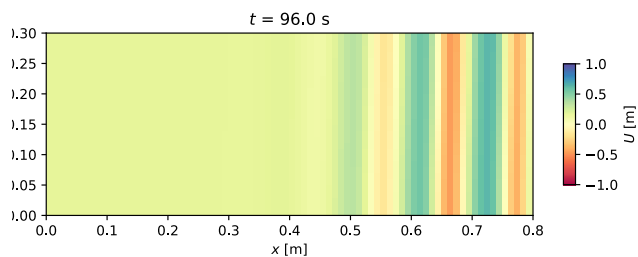


図5 96秒後の河床形状

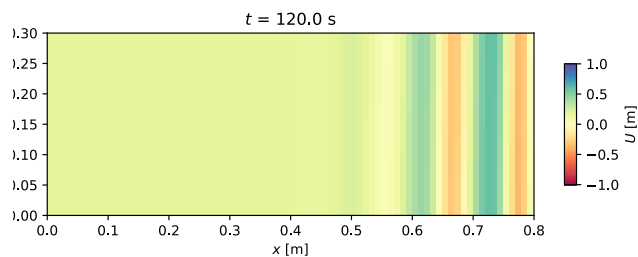


図6 120秒後の河床形状

謝辞

本研究はJSPS 科研費 (21K18740) の成果を受けた。

参考文献

Turing, A. M. 1952. The Chemical Basis of Morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B.* **237**: 37-72.

Kondo, S., Asai, R. 1995. A reaction-diffusion wave on the skin of the marine angelfish *Pomacanthus*. *Nature* **376**: 765-768.

星野剛, 安田浩保, 利根川明弘. 2016. 動的光切断法を用いた河床波形成過程における水面・水底面の幾何学形状の計測. *土木学会論文集 B1 (水工学)* **72**: I_883-I_888.