

空隙率変化を考慮した平面二次元河床変動モデルを用いた砂州の空隙率空間分布の算定

株式会社 建設技術研究所 正会員 ○岩見 収二
株式会社 建設技術研究所 正会員 細井 寛昭
京都大学防災研究所 正会員 藤田 正治

1. 目的

ダムからの排砂や置土等によって土砂供給条件が変化する場合、下流河川の空隙構造を含む河床の状況変化を空間的にとらえ、それに伴う生態系への影響の評価が重要となる。しかし、一般的に用いられている河床変動解析は、空隙率の変化を考慮していないため、空隙構造の変化を伴う河床変動を評価できない。

そこで本研究では、空隙率の変化を考慮した平面二次元河床変動計算モデルを構築し、河床変動、河床材料及び空隙率の空間分布特性の解析を行ったものである。

2. 河床変動モデルの概要

岩見ら¹⁾による空隙率変化を考慮した一次元河床変動計算モデルの計算方法を平面二次元河床変動モデルに応用し、実河川への適用の観点から以下の特徴を有する河床変動モデルを構築した。

- ①河床高と空隙率の解析は、陰的な解析を必要とするが、本モデルでは計算ステップ毎に交換層厚を補正する方法を導入し、陽的な解析方法とすることにより、計算負荷の軽減を考慮した実用的なモデルを構築
- ②粒度変化に起因した空隙率変化に着目し、河床材料の粒度より空隙率を算定

なお、河床材料の空隙率は締固め作用等によっても変化することが想定されるが、本研究では、河床材料の粒度組成と空隙率の関係に着目し、②の仮定を設けている。

基礎式は、一般座標系の流れの連続式、運動方程式と式(1)、(2)に示す空隙率時間変化を考慮した河床の連続式、粒径毎の連続式で構成される。なお、簡単のため式(1)、(2)はデカルト座標系で示している。

$$\text{河床の連続式: } \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^{z_b} (1-\lambda) dz + \frac{\partial}{\partial x} \sum_j q_{bxj} + \frac{\partial}{\partial y} \sum_j q_{byj} + \sum_j (C_{Bj} - C_{bej}) w_{0j} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{河床材料の連続式: } \frac{\partial}{\partial t} \int_{z_0}^{z_b} (1-\lambda) p_j dz + \frac{\partial q_{bxj}}{\partial x} + \frac{\partial q_{byj}}{\partial y} + (C_{Bj} - C_{bej}) w_{0j} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 t :時刻、 z_0 :河床基準面、 z_b :河床位、 λ :空隙率、 q_{bxj} , q_{byj} :粒径 j の掃流砂量の x , y 方向成分、 p_j :粒径 j の存在割合、 C_{Bj} :基準面における平衡浮遊砂濃度、 C_{bej} :基準面における浮遊砂濃度、 w_{0j} :沈降速度である。

流砂量式には、掃流砂量式として流下方向に芦田・道上式、横断方向に長谷川式を適用し、浮遊砂量は平衡基準面濃度に芦田・道上式を適用し、基準面濃度に指数分布を仮定した浮遊砂濃度の輸送方程式から求めた。また、空隙率は、藤田ら²⁾の算定方法を参考に河床材料の粒度分布形をすべて対数正規分布と仮定し、**図-1**に示す標準偏差と空隙率の関係(図中破線)より求めた。

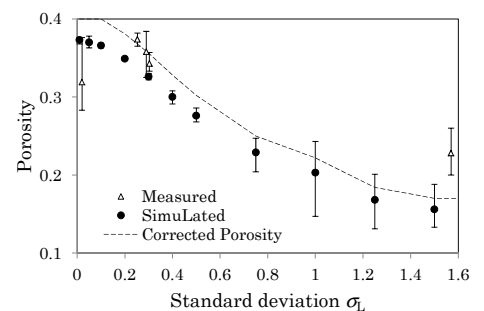


図-1 空隙率と標準偏差の関係

式(1)、(2)について岩見ら¹⁾のモデルを二次元に拡張して離散化を行った。式(1)、(2)は、本来は河床高と空隙率を陰的に解く必要があるが、本モデルでは、交換層厚を空隙率変化に応じて補正することにより、陽的に解けるようモデル化した。すなわち、まず、時刻 t の空隙率と土砂収支から河床変動高の第一近似値 $\Delta z_b'$ と交換層厚 a 内の河床材料の粒度構成 $p_{j,1}^{t+\Delta t}$ を求め、次に河床材料の粒度構成 $p_{j,1}^{t+\Delta t}$ から新たな空隙率 $\lambda^{t+\Delta t}$ を求め、最後に質量保存則から交換層厚を $a^{t+\Delta t} = a(1-\lambda)/(1-\lambda^{t+\Delta t})$ に修正することにより時刻 $t+\Delta t$ の河床高 $z_b^{t+\Delta t}$ を求める方法とした。計算の流れを**図-2**に示す。

キーワード 空隙率、平面二次元河床変動計算、砂州、空間分布

連絡先 〒460-0003 名古屋中区錦1-5-13 (株)建設技術研究所 TEL 052-218-3850

2. 数値水路への適用

淀川水系木津川 9.2k~11.0k 付近の湾曲内岸に形成された砂州上で、竹林ら³⁾によって空隙率の空間分布の詳細な調査が行われている。本研究では、この砂州を含む河道区間を単純化した数値水路を対象に、砂州上の空隙率の空間分布特性の解析に本モデルを適用した。数値水路の諸元は、対象区間の河道諸元を参考に、河床勾配 1/1150、川幅 400m、水路延長 5,000m の矩形水路とし、上流から 750m~1500m の区間に曲率半径 750m の湾曲区間を設けている。計算対象流量は当該区間の平均年最大流量 1,800m³/s を定常で与え、下流端水位は等流水深で与えた。河床材料は同区間の調査結果(2002)を、粗度係数は 0.020m^{-1/3}・s をそれぞれ全区間に与えた。

木津川における砂州形状と土砂供給状況を表現する観点から、以下の流れで解析を行っている。

- ①平坦河床から始めて十分発達し、安定した砂州を形成させる (1,000 時間後の河床)。この時、供給土砂量は、初期断面形状と河床材料から算定される平衡給砂量を与える。
- ②①で形成した河床を初期河床とし、当該区間上流に散在するダムや堰の影響により土砂供給量が減少していることを想定し、大胆な仮定として供給土砂量をゼロで与える

上記の手順で算定した 200 時間後の河床変動高、空隙率の空間分布を図-3 に示す。また、木津川における空隙率の空間分布の調査結果を図-4 に示す。空隙率の空間分布は、みお筋で大きく、砂州上では小さくなる傾向となった。湾曲下流内岸の砂州上の空隙率の空間分布に着目すると、みお筋沿いで空隙率が大きく、特に砂州前縁部でみお筋と同等に大きい空隙率を示している。砂州内部の空隙率は小さくなっているが、上流端部と下流端部付近では空隙率の大きい範囲が形成されている。これらの空隙率の空間分布の相対的な大小関係は木津川での調査結果から得られた空間分布特性をよく表現している。

以上より、本モデルは空隙率変化を伴う河床変動計算として有用であり、空隙構造の空間分布特性の評価への適用が期待される。ただし、空隙率の値そのものの再現性は不十分であり、今後の課題である。

参考文献

- 1)岩見, 細井, 藤田: 現地河川への適用を考慮した空隙率変化を反映した河床変動計算, 河川技術論文集, 2015.
- 2)藤田, SULAIMAN, IKHSAN, 堤: 河床材料の空隙率の変化を考慮した河床変動モデルとその適用, 河川技術論文集, 2008.
- 3)竹林, 藤田, 上戸, 佐本: 砂州における河床強度の空間分布特性と土砂の物理特性の関係, 河川技術論文集, 2012.

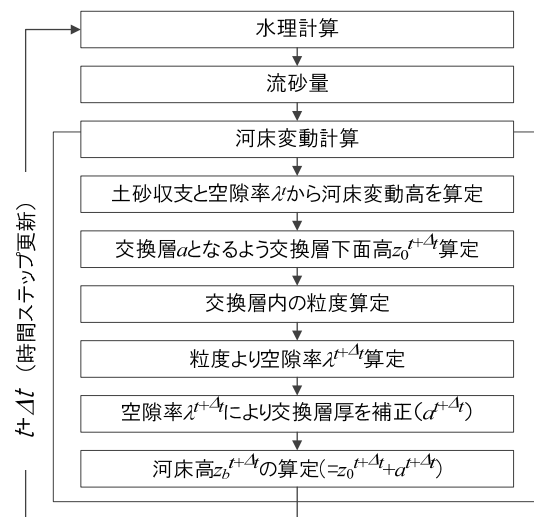


図-2 河床変動計算の流れ

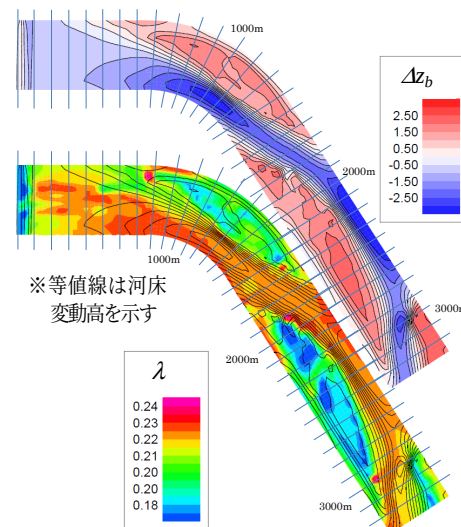


図-3 河床変動計算結果 (200 時間後)
(上段: 河床変動高, 下段: 空隙率)

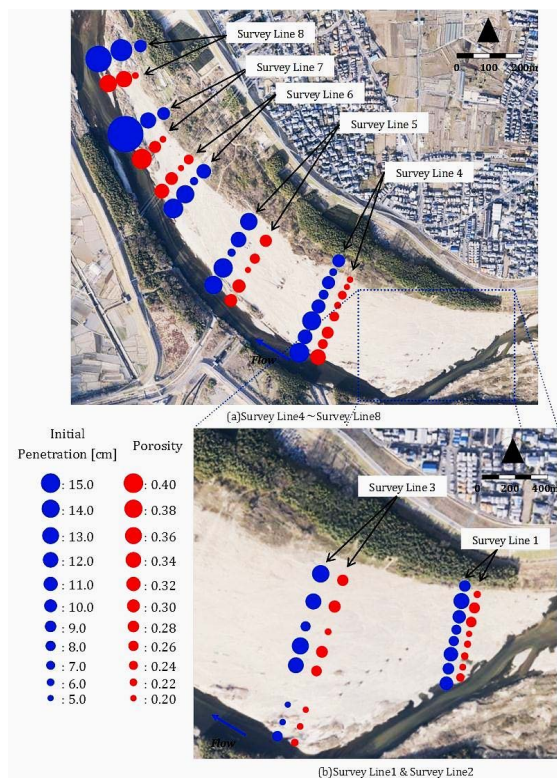


図-4 表層の空隙率の平面分布³⁾