

摩擦損失係数を定数とした浅水流解析の再現性について

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○大泉 尚紀
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

最も簡便な水理解析の方法は、等流の流速公式を用いたものである。しかし、実河川の水理は、交互砂州をはじめとする波状曲面上の流れとなるため、水深と流速が空間で分布を持つ不等流となる。このため、不等流を対象とした水理解析では浅水流方程式が用いられる。ただし、同方程式中の摩擦損失項には等流流速公式が適用されるが、不等流における摩擦損失を等流流速公式に基づき記述できる保証はない。

著者らが知る限り、不等流における等流流速公式に基づく摩擦損失の記述の適用性を示した先行研究は存在しないようである。その背景として、模型実験と実河川の各々において水理解析と同程度の空間分解能を有する測定が困難であるため、水理解析の妥当性の検証がそもそもできなかったことが挙げられる。一方で、著者らの研究グループは、模型実験において水理解析と同程度の空間分解能を有する測定ができる Stream Tomography¹⁾(以後、ST)を開発し、水理解析の空間分解能と同等の測定を可能としている。STは、交互砂州上の流れに関して平面二次元的に高分解能にデータを取得できるため、交互砂州上の平面二次元的な流れ場における水理解析の妥当性の検証ができる。その結果として、不等流における等流流速公式に基づく摩擦損失の記述の適用性についても明らかにできる。

交互砂州上の平面二次元的な流れ場に対して一般に用いられる解析手法は、一次元一般断面解析と平面二次元解析である。前例がほとんどない水理解析の妥当性の検証の第一段階として、本研究では、一次元一般断面の水理解析の妥当性について調べ、不等流における等流流速公式に基づく摩擦損失の記述の適用性について明らかにする。

2 模型実験

本研究では、底面形状が横断で分布を持つ交互砂州上での流れ場が対象であるため、水理条件の設定には黒木ら²⁾の中規模河床形態の領域区分を参考に、交互砂州の発生領域内に当てはまるようにした。この時の流量は1.5(L/s)、水路勾配 I_0 は1/160、 $BI_0^{0.2}/h$ は13.5、無次元掃流力は0.06、等流水深は0.012mである。また、STを用いて水面位と底面位を計測した。STによる計測では流路長12mの

うち流路中央7.5mを測定対象とし、1分間隔で240分間計測を行なった。得られたデータは1cm×1cmの空間分解能で用いた。

図-1と図-2に通水120分における水面と底面のコンター図を示す。洗堀と堆積が交互に出現する交互砂州が明瞭に形成されていた。それに伴い、水面位も縦横断に空間分布を生じる結果となっている。よって今後の解析は、この時刻のデータを用いて行うものとする。

3 水頭勾配を用いた再現性の評価手法

3.1 評価手法

水理解析では一般に、与条件である底面勾配に応じて方程式中の各項の寄与度が変化する。そこで、本研究では基礎方程式の変数である流積、径深、水位に実測値を直接代入することで、式中の各項の大きさと対比しながら再現性を評価した。

まず、一般断面の形で表される不等流の式の各項の和を式(1)のように ΔI と表す。

$$\Delta I \equiv \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \right\} + \frac{dH}{dx} + \frac{n^2 Q |Q|}{R^{4/3} A^2} \quad (1)$$

Q は流量、 H は水位、 R は径深、 A は流積、 g は重力加速度、 n はManningの粗度係数である。そして、不等流の式の上では0となることが要求される ΔI の大きさにより再現性を評価し、各水頭と比較することにより ΔI がどの項に起因するものか考察する。以後、 ΔI は残差水頭勾配と表記する。式中の水位、流積、径深には実測値を、流量には上流端から供給されるものを代入することで残差水頭勾配を算出する。なお、入力値である流積、径深、一次元水位は、模型実験から得られた底面位と水面位の2次元データをもとに算出する。

3.2 残差水頭勾配の算定結果

図-3に、残差水頭勾配の算出結果を示す。算出された残差水頭勾配は、図中で黒の縦線部が示すように1m程度の周期で急峻する箇所が見られた。そして、その規模は水路勾配である1/160(≈ 0.006)を上回る規模であった。また、この急峻箇所は赤線で示した速度水頭勾配と強い相関があることが確認された。そして、損失水頭勾配が速度水

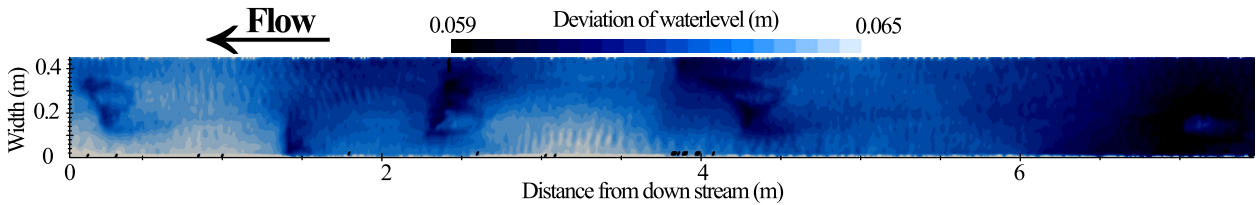


図-1: 通水 120 分における水面のコンター図

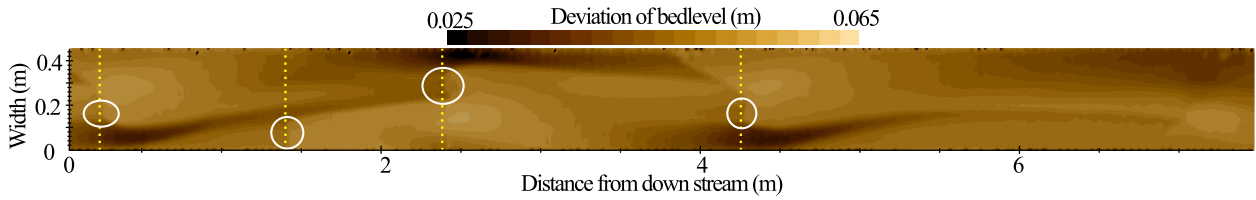


図-2: 通水 120 分における底面のコンター図

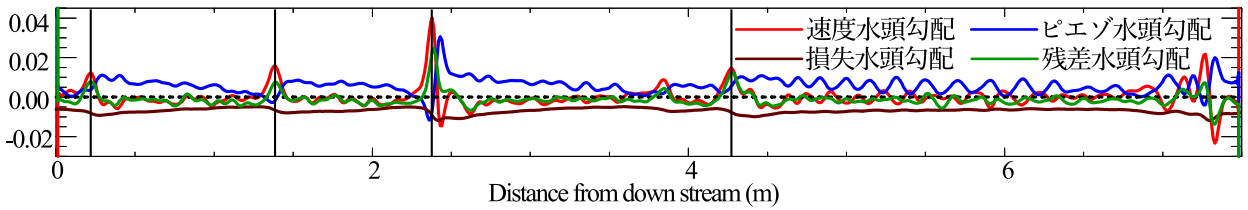


図-3: 残差水頭勾配の算定結果

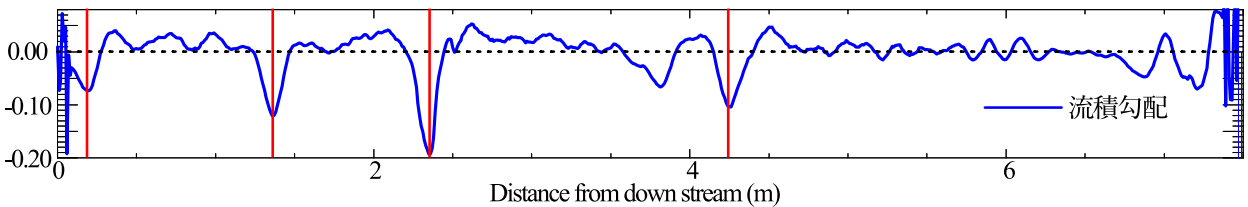


図-4: 流積勾配の算定結果

頭勾配やピエゾ水頭勾配と比較しても縦断で値の変化が少ないことがわかる。

3.3 残差水頭勾配増大箇所における考察

前章の速度水頭勾配が急峻し残差水頭勾配が増大した箇所では本研究で対象とする水理モデルが再現性を損なう地形要因が存在すると推察できる。このような地形要因を明らかにするため、底面形状を底面コンターにより確認し、残差水頭勾配の算定結果との相関を見る。

図-2を見ると、底面が急勾配となる砂州の縁が確認できるが、そのうち、白線で囲んだ箇所のように流下方向に直行する、いわゆる段落ちの箇所が黒の縦線と重なっていることがわかる。よって、この段落ち部分における速度水頭勾配が残差水頭勾配を増大させる要因であると推察できる。

次に、速度水頭勾配の支配量である流積勾配とともに考察を行う。図-4に流積勾配の縦断分布を示す。下流側を原点としているため、図の流積勾配が正の場合は縮小を示し、負の場合は拡大を示す。速度水頭勾配が急峻し、底面コンター図で段落ちとなっていた赤線部で示す箇所では、流積が急拡大していることが分かる。

以上より、残差水頭勾配の拡大の要因は次のように考えられる。まず、実現象では流下方向に対して段落ちとなる

箇所においては急拡大を要因として速度水頭勾配が急峻する。そして、流積勾配の効果を含まない摩擦損失のみではこれと釣り合うことができない。その結果、残差水頭勾配が増大する。この考察から、横断面の中に段落ち部分が含まれる場合、流積の急拡大に伴い一般断面解析における再現性を大きく損なう可能性が示唆される。

4 おわりに

本研究では、不等流における等流流速公式に基づく摩擦損失の記述の適用性について調べた。その結果、流下方向に対して段落ちとなる箇所において速度水頭勾配を要因とした残差水頭勾配が水路勾配を上回る規模で存在することがわかった。そして、そのような箇所ではいわゆる急拡大の状態となり、一般断面解析における再現性を大きく損なう可能性があり、その要因としては、等流流速公式を用いた摩擦損失の記述においては流積勾配の効果を無視していることが推測される。

参考文献

- 1) 星野剛, 安田浩保, 倉橋将幸: 交互砂州の形成機構の解明に向けた水面と底面の同時計測手法の開発, 土木学会論文集 A2(応用力学), 74 巻 1 号, pp.63-pp.74, 2018.
- 2) 黒木幹男, 岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第 342 号, pp.87-96, 1984.