

堰上げ背水と低下背水における流れの鉛直構造

新潟大学大学院 自然科学研究科 学生会員 ○塩谷 翼
新潟大学大学院 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

等流において実測と模型実験の対比から流速の鉛直分布を良好に記述するモデルとして対数分布則が知られている。一方で、著者の知る限り、不等流における鉛直方向の流れの構造についての実測や理論に基づいた研究は少なく、このために不等流における鉛直方向の流れの適正な扱いは難しい。著者ら¹⁾は砂州を再現した模型実験において流速の鉛直分布を測定し、砂州の起伏に起因する不等流では対数分布則とは異なる流速分布を持ち、特に低下背水でそれが顕著である可能性を示した。また、Vendittiら²⁾は実測から渓谷河川の川幅が広がる区間において底面付近で流速が大きくなることを報告している。本研究では、2つの不等流の条件の模型実験において流速の鉛直分布を得て、不等流における流速の鉛直分布について調べた。

2 模型実験概要

2.1 実験条件

本研究では、不等流の流速の鉛直分布を明らかにすることを目的に模型実験を行った。今回は底面形状の変化による不等流として水路横断物によって水深が縦断的に変化するような流れと、水路幅の変化によって水位が変化するような流れの二つの実験条件を設定した。水路横断物の再現のために図-1の茶色で示したような幅0.45m、高さ0.012m、奥行き0.1mの平板を設置した。また、水路幅の変化の再現のために図-2の茶色で示したような構造物を兩岸に一对で設置した。構造物は底辺が0.42m、高さが0.09mの二等辺三角形の形状のものを設置した。また通水条件は共に流量3L/s、勾配1/150とした。

2.2 測定方法

流速の測定にはレーザードップラー流速計(LDV)を用いた。測定箇所は水路横断物を再現した条件では、図-1の点で示したように平板の中央を中心として9つの測定点をx軸方向に5cmずつ変化させて設定した。また、水路幅変化のある条件では、図-2の点で示したように構造物によって最も幅が狭くなっている箇所を中心に9つの測定点をx軸方向に5cmずつ変化させて設定した。また、縦断流速の鉛直分布を得るために各測定点において測定箇所の鉛直座

標を1mmずつ変化させながら水面から底面にかけて測定を行った。十分な流速分布を得るために各測定箇所における流速のサンプル数は5000を超えるように測定を行った。

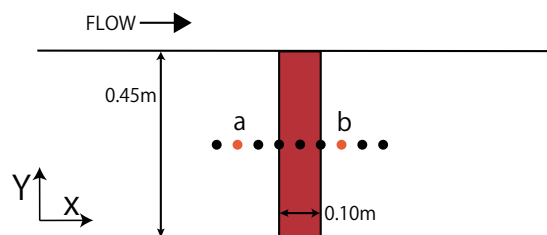


図-1: 水路横断物の条件での実験水路の座標系

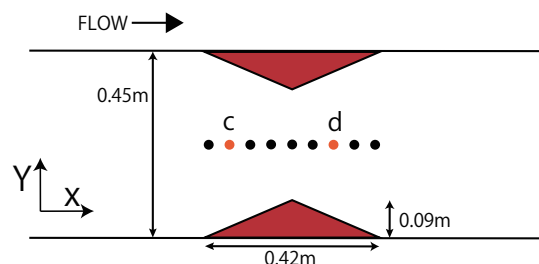


図-2: 水路幅変化の条件での実験水路の座標系

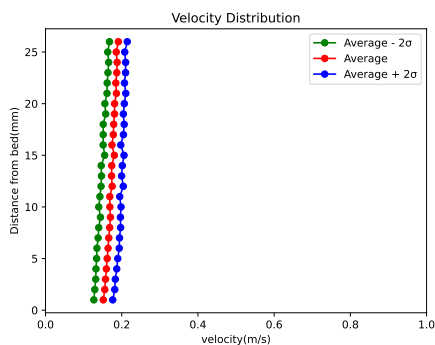
3 実験結果

各条件における縦断流速の鉛直分布の測定結果を図-3に示す。両条件ともに構造物の上流側では堰上げ背水が、下流側では低下背水が見られた。また、両条件ともに堰上げ背水と低下背水のそれぞれで同様の傾向を持つ流速の鉛直分布が得られたため、水路横断物による不等流の代表として図-1の上流側の橙色の点を堰上げ背水の測定点、下流側の点を低下背水の測定点に、水路幅変化による不等流の代表として図-2の上流側の橙色の点を堰上げ背水の測定点、下流側の点を低下背水の測定点として示している。

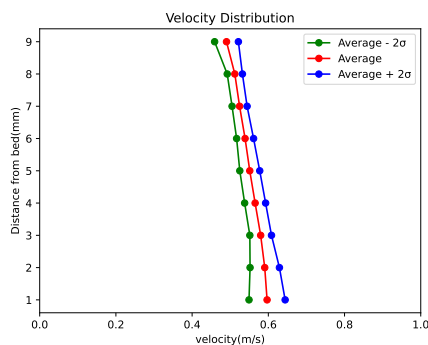
赤色の線は各水深における平均流速を結んだ線であり、青色の線と緑色の線はそれぞれ各水深における 2σ 区間の値を示している。

3.1 水路横断物に起因する不等流での測定結果

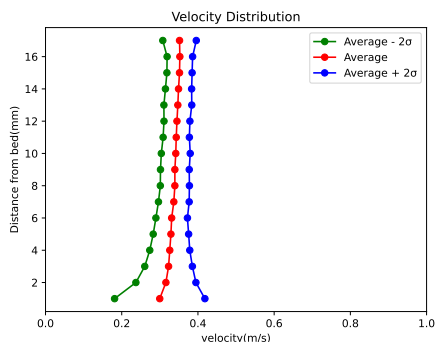
まず、図-3aの水路横断物による堰上げ背水における測定結果について述べる。水路横断物に起因する堰上げ背水においては縦断平均流速の鉛直分布は直線的な切り立った



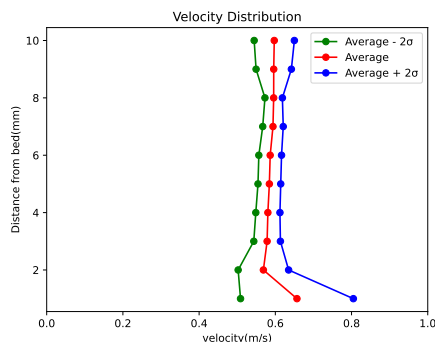
(a) 水路横断物に起因する堰上げ背水の流速分布



(b) 水路横断物に起因する低下背水の流速分布



(c) 水路幅変化に起因する堰上げ背水の流速分布



(d) 水路幅変化に起因する低下背水の流速分布

図-3: 各条件における縦断流速の鉛直分布の比較

形になっていることが確認できる。また、流速の時間的な変動について着目すると水深によらず同程度の変動幅を持つことが確認できる。

次に、図-3bの水路横断物に起因する低下背水における測定結果では、底面付近が流速のピークとなり水面に近づくにつれて流速が小さくなっているという特徴的な流速分布となることが確認できる。また、流速の時間的な変動は底面付近で最も大きくなっていることが確認できる。

3.2 水路幅変化に起因する不等流での測定結果

まず、図-3cの水路幅の変化に起因する堰上げ背水について述べる。水路幅の変化に起因する堰上げ背水では縦断平均流速の鉛直分布が水路横断物に起因する堰上げ背水と同様に直線的で切り立ったような形になることが確認できる。一方で、流速の時間的な変動は水路横断物に起因するときと異なり、底面付近で変動幅が最も大きく水面に近づくにつれて変動幅が小さくなっていくが、水面付近で再び変動幅が大きくなることが確認できる。

次に、図-3dの水路幅の変化に起因する低下背水では、縦断平均流速の鉛直分布が水路横断物に起因する時と同様に底面付近の流速がピークとなりその傾向は水路横断物に起因するものよりも大きくなることが確認された。また、流速の時間的な変動幅についても水路横断物起因するもの

と同様に底面付近で最も変動幅が大きく水面付近でも幅が大きくなることが確認できる。

4 まとめ

本研究では不等流の流速分布の知見を得るために模型実験を通じて不等流条件での流速の鉛直分布を測定した。不等流における流速の鉛直分布は、水面形によって異なる分布となり、堰上げ背水においては対数分布則に類似した分布となることが確認された。一方で、低下背水の区間では底面付近の流速が平均流速よりも大きい流れとなることが確認され、その傾向は水路横断物に起因する流れよりも水路幅変化に起因する流れにおいて顕著であった。このことは底面付近の流速の増加と時間的な変動は、流れの構造は鉛直2次元的なものではなく、3次元性を無視できない流れであることを示唆する。本研究を通し、不等流の鉛直方向の流れの構造は、堰上げ背水と低下背水では大きく異なり、対数分布則を容易に適用できないことを明らかにした。

参考文献

- 1) 塩谷翼, 茂木大知, 安田浩保: 不等流における表面流速と鉛直方向流速分布の対応関係, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会概要集, 2023.
- 2) Venditti, J. G., Rennie, C. D., Bomhof, J., Bradley, R. W., Little, M., and Church, M. (2014). Flow in bedrock canyons, *Nature*, 513(7519), 435 - 537.