

河川模型実験における浸透流の可視化と河川流の非接触型流速計測

長岡技術科学大学 学生会員

柴田堅太

長岡技術科学大学 正会員 楊宏選・細山田得三・熊倉俊郎・陸旻皎

河川構造物に対して同時に河川流と浸透流を VOF モデルで計算する数値モデルは国総研模型実験で検証・提案されているが、浸透流の実験データがなく検証は不十分である。本研究は浸透流の可視化と河川流の非接触型流速計測(PIV)を行い、数値モデルの検証に使われる高精度データを提供する。

1. 背景

流体計算技術の発展により、河川での水理模型実験による現象の解明・検討が多く行われ、絶大な信頼を置かれている。河川では重力流れを駆動する支配的な要素なので、慣性力と重力の比を表すフルード数で合わせるフルード相似則が水理模型実験で使われている。

VOF モデルに Darcy-Forchheimer 抵抗項を導入して浸透流と河川流を同時に計算する数値モデル¹⁾が提案され、国総研のいくつかの模型実験に良く一致する結果が得られている。しかし、これらは浸透流の計測をせず、間隙水圧を複数個所で計測するだけで、浸透流における数値モデルの結果への検証はまだ不十分である。この数値モデルは実物の数値計算を直接に行うので相似則は不要ではあるが、浸透流の部分は高精度に扱えるのが前提条件である。一方、浸透流は地下にあり、目に見えない。河川の模型実験において浸透流の可視化や流速計測は著者の知る限りほとんどないようである。

本研究は、浸透流の可視化と流速測定に挑戦し、数値モデルの浸透流検証にデータ提供することを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、図 1 にある長岡技術科学大学の大型実験棟にある大きさ $10\text{m}\times 0.6\text{m}\times 0.37\text{m}$ のアクリル水路を使い実際に浸透流が流れていく様子を観察する実験を行った。図 2 にあるような堰が水路途中にあり、堰落差 4cm 、水たつき長さ 17cm 、止水矢板を上流側に 10cm 、下流側に 5cm として設置した。地盤材は、透水係数 0.726cm/s の東北硅砂 5 号を敷き詰めた。堰下流には、護床工ブロックの代わりに穴の開いたコンパネを敷いた。

浸透流可視化には、堰前側にアルミパイプを差し込んで染料を注入し、出てきた染料の流脈を撮影する方法を施行した。図 2 にその断面図を記載する。アルミパイプは 2 種類あり、

1 か所に穴を開けたものと、 2cm 毎に穴を 6 か所開けたものである。インクを注入するタイミングは、水路の水を流して流れ場が安定してきた際に行う。河川流の非接触型流速計測はレーザーシート照射装置、トレーサ粒子、PIV 解析ソフトを用いて浸透流可視化の後に行う予定であるが、まだその段階にこぎつけていない。そもそもそれが副次的目的である。

3. 結果と考察

まず、流線、流脈、流跡を説明する。ある瞬間における流速ベクトルを線で結んだものは流線、ある一点から通過した流体を描いた線は流脈、ある粒子が時間と共に動きその通った跡は流跡である。非定常流ではこの三者は異なるが、定常流では一致する。浸透流の場合、流れが遅く上下流側の水頭差で駆動されるので、定常流で考えても問題ない。今後、計算結果の流速ベクトルから読み取れる流線と実験で観察される流脈を同様に扱う。



図 1 実験に用いた水路(矢印は水が流れる方向)



図 2 アルミパイプを差し込んだ水路断面図

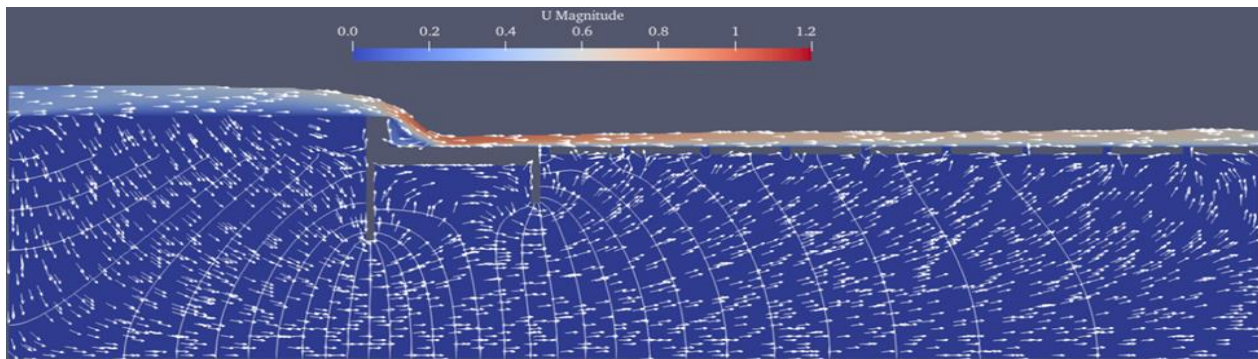


図3 数値モデルによる計算結果

数値モデルで計算した図3の結果と、浸透流をインク注入で観察した流脈を比較した。実験で観察された流脈を、以下の図に示す。図4は、複数穴の開いたパイプを用いて実験した際の浸透流の動きである。数値モデルの結果と比較すると、止水矢板より深い地点にある流脈3本が解析結果と同じ動きをしているのが読み取れる。そのうち上を流れる2本は、下流方向の止水矢板を超えると河床方向へ上昇しようとする動きも見受けられる。これも図3のシミュレーション結果と同じである。この実験で最も着目する点は、止水矢板2枚に囲まれた場所での浸透流の動きである。しかし、インクが潰れてしまったため、図3と同様の結果を得ることができなかった。図5は、別日に同様の実験を行った結果である。数値モデルの結果から、止水矢板の内側ではw型の流脈が見られるのが理想的である。しかし図5の実験では、インクの量が少なかったため止水矢板内側がすべて染まってしまう、図3のような流脈がはっきり見えなかった。一方で、深いところにおける浸透流の流脈は図4と同様な流れを観察するこ

とができた。

いずれの実験結果も、深い所を流れる流脈は解析結果と同様な流脈を観察することができた。その一方で、水止矢板内側における流脈は解析と異なるものであった。結果が異なる理由としては、次の事が考えられる。解析では、地盤は均一状態で計算しているのに対して、模型実験では構造物と地盤の間に隙間ができる。そこに浸透流が流れていると思われる。そのため実験では、水叩き直下の浸透流は解析と異なる。他にも、水路に敷き詰めた地盤材が水路を流れる水を吸収して沈下し、構造物と地盤の間に隙間ができる。その隙間は他の場所に比べて抵抗が少なく水が通りやすいため、浸透流はそちらを通過して下流方向に流れたのではないかと考える。

水が実験準備時に構造物下の砂を形成する際、地盤材は表乾状態なので、解析時のような理想状態とならないことがある。実験室でもこれを改善するのは困難であるため、実際の現場ではより理想状態にするのは難しいと思われる。

4. 今後の予定

- 1)w型流脈の観察を目指す。実際の現場では構造物と地盤の間に隙間がある可能性が高く、違う流脈と思われる。それを念頭に安全性を評価するべきと推察する。
- 2)実験時に撮影した動画から、浸透流の流速を測定。
- 3)PIVによって河川流の流速を測定する。

謝辞:本研究はJSPS 科研費 21K04270 の助成を受けた。

参考文献

- 1) 楊宏選, 福元豊, 細山田得三, 大塚悟: 水・地盤連成解析手法による落差工周辺の河床構造物の安定性評価, 土木学会論文集B1(水工学), 第74巻, 5号, L_655-L_660, 2018.



図4 実験で観察されたインクの画像1



図5 実験で観察されたインクの画像