

河床構造物下部地盤内の浸透流に関する研究

水圏防災研究室 前川原 和也
指導教員 細山田 得三

1. はじめに

従来、河床低下や局所洗掘を防ぐために床止めや根固め工等の河床構造物が造られてきた。しかし、従来設置されてきた河床構造物のなかには、河床維持の図れない事例や局所洗掘等により河床構造物自体の構造の安全性を保てず破損変形した事例が見られる。これは、地盤内部の浸透流と地盤上部の水面変動を同時に考慮した河床構造物に対する河床変化の予測方法が不明確であったためだと考えられる。このような背景を受けて、河床構造物下部地盤部浸透流の動態に着目し、そのメカニズムを解明することによって新たな河床変化予測を可能にすることを目的とし本研究を行うこととした。

河床変動に至るプロセスを理解するためには、作用外力を生じさせる現象を特定する必要がある。本研究では、水工学の分野では、これまであまり着目されることが多くなかった浸透流及び地盤内の圧力について構造物の形状と関連した検討を行う。

2. 数値解析

(1) 解析モデル

本研究では実験層水路を想定し浸透流シュミレーションの作成を行った。浸透流シュミレーションで使用する2次元モデルを図1に示す。図1の縦の高さは100[cm]、横の長さを300[cm]と設定した。パラメーターとして重力加速度を980cm/s²、円周率を3.14、非線形ダルシー則で用いる付加質量係数を5.0、無次元乱流抵抗係数を0.1、粘性係数を0.01(cm²/s)と設定した。図1の黒い部分は河床構造物、灰色は水部、白は地盤部を表している。河床構造物は三基設置し、水部は左から右へ水が流れる。

(2) 解析のパターン

図1を基本のモデルとし、河床構造物の形状、流入流速、透水係数、空隙率のパラメーターを変化させて河床構造物下部地盤内の浸透流解析を行うこととした。河床構造物の形状は、左河床構造物の左下に矢板を設けて、矢板の長さを9cm、15cm、21cmと設定した。流入流速を5(cm/s)、10(cm/s)、18(cm/s)、透水係数を 4.5×10^{-4} (cm/s)、 3.5×10^{-3} (cm/s)、 1.5×10^{-2} (cm/s)、空隙率を0.40、0.45、0.50と設定しそれぞれのパラメーターについて解析を行う。

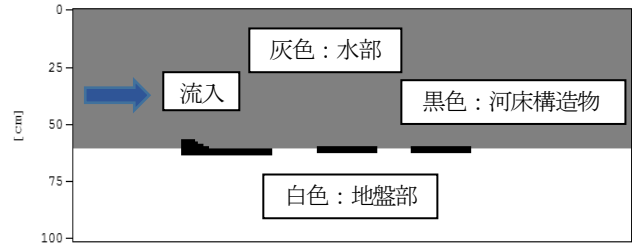


図-1 解析モデル

(3) 解析手法

水部は非圧縮性NS方程式と連続式を用いて流速を計算した。地盤部はダルシー則又は非線形ダルシー則を用いて浸透流速を計算した。非圧縮性の連続式には圧力の時間発展項が含まれておらず圧力を決定する力を持っていない。その問題を解消するため静水圧近似を用いる方法がこれまで一般的であり、水工学における大部分の計算がこの方法をとっている。しかし、今回の計算では静水圧近似を用いず、非圧縮性連続式を満足するように圧力場を調整していく方法の1つであるSOLA方を用いて計算を行った。また、本研究ではスタガード格子を用いて解析を行った。

3. 解析結果と考察

(1) シミュレーション結果、考察

可視化シミュレーションの作成例を図2に示す。シュミレーション結果から分かることを以下に示す。矢板形状が変化すると波の波長が変化していることが分かる。しかし、浸透流速や圧力の変化は大きく見られなかった。流入流速を大きくすると浸透流速及び圧力差が大きくなっている。透水係数を大きくすると、浸透流速は大きくなり圧力差は小さくなった。空隙率を変化させた場合、大きな変化が見られなかった。これは変化量が少ないためだと考えられる。矢板形状及び空隙率の変化は小さく整合性を確認できなかった。しかし流入流速及び透水係数については整合性を確認することができた。またシミュレーションの挙動は不自然やミスが見あたらないため解析手法や解析コードは整合性があると考えられる。

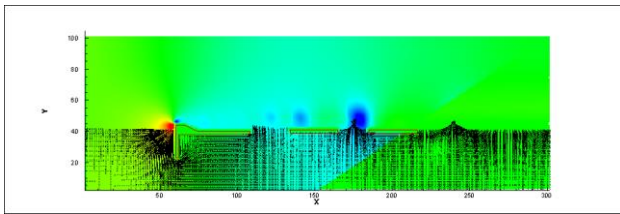


図-2 シミュレーション作成例

(2) 定性的評価

浸透流速と圧力の時間変化をグラフで示し評価を行う。対象地点を図3に示す。また、グラフの作成例を図4に示す。各パラメーターが浸透流に与える影響について、定性的評価から分かることを以下に示す。

左の河床構造物下部に矢板を設け、長さを9cm、15cm、21cmと変化させていくと矢板後方の浸透流速は下がり、流れも穏やかになる。しかし、浸透流速が上がる地点も確認された。このことより、矢板を設けても、必ずしもその後方の浸透流速が下がることはないことが分かった。

流入流速が大きくなると浸透流速が大きくなるだけでなく浸透流の動きが激しくなることが分かる。また、流入流速がある程度大きくなると河床構造物の形状にかかわらず、地表面で最大浸透流速がほぼ同じ値を示すことが分かった。

透水係数がある程度より小さい場合、平均浸透流速は大きくならないと考えられる。また、透水係数がある程度まで大きくなると、それ以降は透水係数が大きく変化しても、平均浸透流速は大きく変化しないと考えられる。また透水係数を変化させた場合のグラフの比較は他のパラメーターを変化させた場合よりも大きく変化がみられた。そのため透水係数の値は浸透流に大きく影響を与えると考えられる。

空隙率、0.40、0.45、0.50、それぞれの平均浸透流速は0.305(cm/s)、0.306(cm/s)、0.307(cm/s)となっている。このことより空隙率が大きくなることによって、浸透流速が大きくなっていることが分かる。しかし、平均浸透流速の変化は微量である。このことから、空隙率が浸透流に与える影響は他のパラメーターに比べ小さいことが分かる。

各パラメーターが浸透流に与える影響は整合性がとれていることが確認できた。

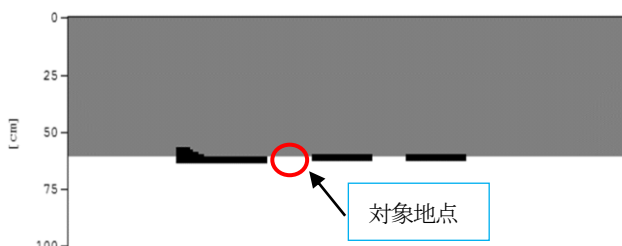


図-3 グラフの対象地点

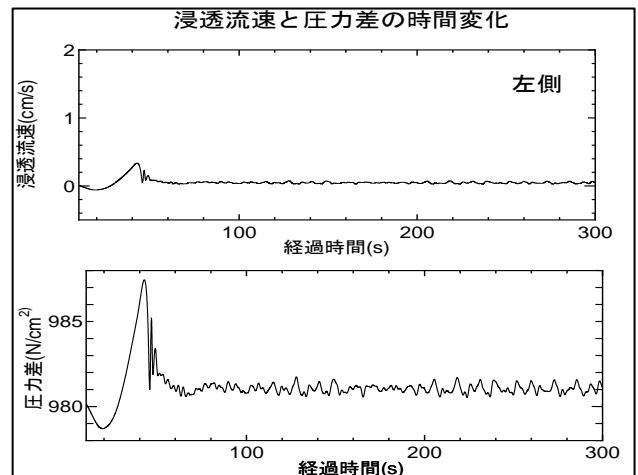


図-4 浸透流速と圧力の時間変化

(2) ダルシー則と非線形ダルシー則の比較

ダルシー則は浸透流速が大きくなりすぎる際に適用できないとされている¹⁾。そのため、浸透流が大きい場合でも本解析モデルが適用できるように非線形ダルシー則の検討を行う。

ダルシー則と非線形ダルシー則について定性的評価を行った。非線形ダルシー則はダルシー則に比べ、浸透流速の振幅が小さくなっている。また、波の波長は長くなっていることがグラフから読み取ることができた。これは非線形ダルシー則の付加質量係数と無次元乱流抵抗係数が浸透流に効いているためだと考えられる。比較結果は整合性が取れているため、本解析モデルで非線形ダルシー則が適用可能であると考えられる。

4. 結論

(1) まとめ

シミュレーション及び定性的評価より整合性のある解析モデルを構築することができたと考えられる。また、各パラメーターが浸透流に及ぼす影響についても理解を深めることができた。本研究では妥当性の評価を行っていないが、今後、妥当性の評価をしていく予定である。

(2) 今後の課題

自由水面変動及び構造物変形を考慮した解析モデルの構築を今後行う必要がある。まとめでも記述しており、妥当性の確認を行っていないため実験を行う必要がある。

参考文献

- 1) 出口一郎、榎木亨、白谷宏司 透水層上の波浪変形に対する非線形非定常ダルシー則の適用性について pp. 487-491
- 2) 国土技術研究センター 床止めの構造設計手引き
- 3) 諏訪義雄、福島雅紀、山本陽子、柳川一博 河川の水面下に潜む構造物の破壊を察知する新技術開発 pp.53

