

ペーパーディスク型地下水流向流速計による地下水流速評価に関する基礎的研究

山口大学大学院理工学研究科	学生会員	○大谷和矢
山口大学大学院理工学研究科	学生会員	野田敏雄
山口大学大学院理工学研究科	正会員	山本浩一
山口大学大学院理工学研究科	正会員	関根雅彦
山口大学大学院理工学研究科	正会員	今井 剛
山口大学大学院理工学研究科	正会員	樋口隆哉

1. 研究背景および目的

近年、地下水に関して、建設工事に伴う流動障害や、井戸枯れの問題の他、産業廃棄物などによる地下水・土壌汚染が深刻な社会問題となっている。これまで、複雑な挙動を示す地下水流動を観測するために数多くの地下水流向流速計が開発されてきた。しかし、従来の地下水流向流速の測定において、ヒーター¹⁾やビデオカメラ²⁾を用いるものでは、これらの装置を駆動、動作させるために電源を必要とし、装置としても高価なものになる。多地点での地下水流速の測定に関しては、測定器具のコストの関係から1ヶ所ずつ、数時間の測定となることが多く、全箇所を測定する場合、全体では膨大な時間を費やすことになる。そして、地点ごとの測定時刻のずれから同時性が確保しづらい。そこで本研究では、本研究室で開発中の安価で電源を使用せずに地下水流速・流向を測定することができるペーパーディスク型地下水流向流速計³⁾の流速・流向測定方法を確立することを目的とした。

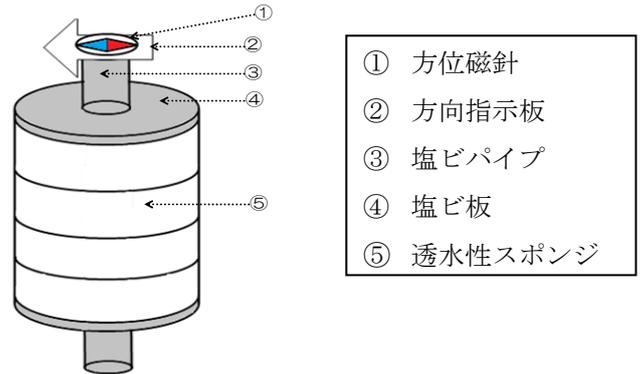


図-1 ペーパーディスク型地下水流向流速計

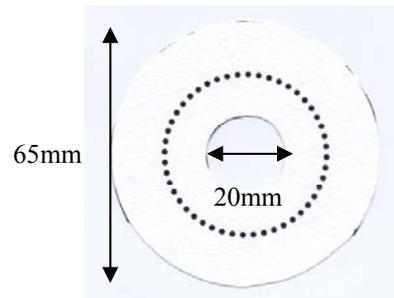


図-2 ペーパーディスク

2. 研究方法

2-1 測定原理

本研究室で開発中のペーパーディスク型地下水流向流速計（図-1）は、水とともに流れるインクの動きに着目したものであり、透水性スポンジにあらかじめ水性染料インクで円形パターンを印刷しておいた画用紙、ペーパーディスク（図-2）を挟み、地下水観測井のストレーナ付近に一定時間静置することでその染料の流れた方向を流向、静置した時間とインクが流れた長さから地下水流の流向流速を測定するものである。

2-2 測定方法

はじめに、実験装置の流入部の流量を測定した。次に透水性スポンジに水を満たしペーパーディスクをそれに挟んだ。そして流向流速計を水槽に流向と平行になるように挿入し、一定時間静置させた。測定終了後流向流速計からペーパーディスクを取り出し乾燥させ、乾燥後画像を解析した。

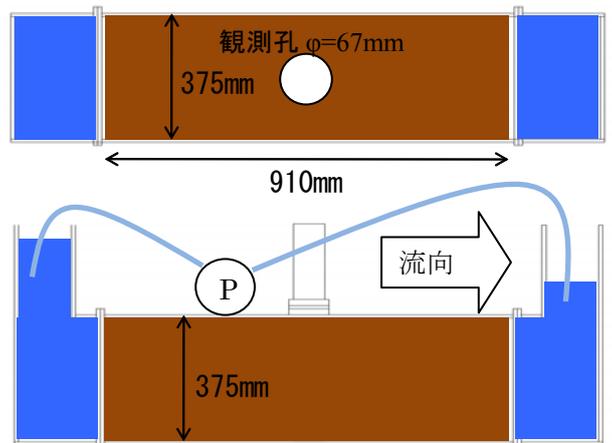


図-3 実験水槽の概要(上:上面図, 下:立面図)

2-3 画像解析方法

本実験では、実験終了後ペーパーディスクをスキャンして、画像解析ソフト(ImageJ)を利用し、解析を行った。スキャンは、解像度 300dpi のグレースケール画像で行った。

画像解析によってインク群の重心の位置を得た。次に二値化を行いインクの流れた範囲を塗りつぶし、その重心を得た。その後重心の移動距離をインクの流れた距離とし時間で除すことによりインクの移動速度を求めた。重心が移動した方向を計算して流向を求めることができる。

2-4 室内実験方法

地下水流を再現する実験水槽(図-3)を作製し、実験を行った。室内実験は、ペーパーディスク型地下水流向流速計で実際に測定を行い、同時にポンプの流量を測定して水槽の断面積で除することでダルシー流速を算出した。実験条件はダルシー流速 0.11 cm/分, 0.13 cm/分, 0.58 cm/分, 0.96 cm/分, 1.53 cm/分であり、それぞれ 30, 20, 10, 5, 2.5, 1.25 分の測定時間で各 3 回ずつ行った。

3. 研究結果および考察

Darcy 流速とインクの移動距離の関係の一例を図-4 に、Darcy 流速とインクの移動速度の関係の一例を図-5 に示す。測定時間が 10 分以上では比例関係が得られたが、5 分以下では明瞭な相関関係がみられなかった。よって、測定時間は最低でも 10 分必要であることがわかった。測定時間 30 分において Darcy 流速 1 cm/分以上で結果が頭打ちになっているが、これはインクがペーパーディスクをはみ出すことによって、測定限界を超えたことによる。

図-6 は測定時間 30 分における Darcy 流速と測定された流向の関係である。流向の推定については未だ精度は良くないが、概ね±30°の範囲に収まっていることが示された。

4. まとめ

開発中のペーパーディスク型地下水流向流速計について、自動的に流向・流速の推定が可能な解析画像解析の方法を考案し、適用した。

Darcy 流速とインクの移動速度の比較の結果、測定時間が 10 分以上においてインク移動速度が地下水流速と相関が現れた。測定時間 10 分以上でペーパーディスク上にインクの軌跡が残る流速範囲で測定可能であることが考えられる。しかしながら推定精度はまだ良いとは言えず、インクの移動による地下水流速の推定のためにはデータを充実させる必要がある。

流向については概ね±30°の範囲に収まっていることがわかったが、これについても精度をさらに向上するための改良が課題である。

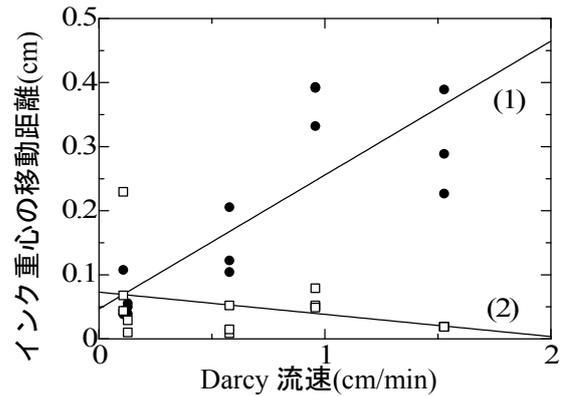


図-4 Darcy 流速とインクの移動距離の関係
 (□ : 測定時間 5 分, ● : 測定時間 30 分)
 近似式 (1) $y=0.209x+0.0468$, $R^2=0.681$
 (2) $y=-0.0346x+0.0616$, $R^2=0.116$

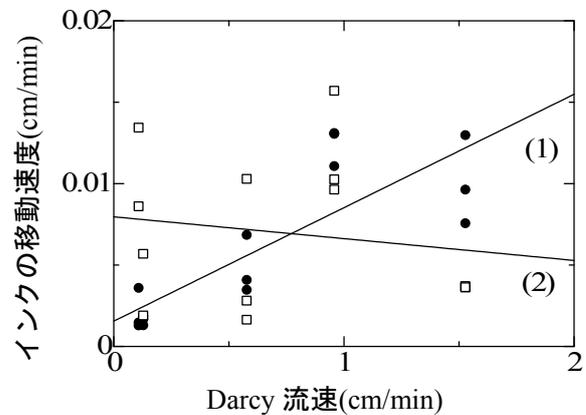


図-5 Darcy 流速とインクの移動速度の関係
 (□ : 測定時間 5 分, ● : 測定時間 30 分)
 近似式 (1) $y=0.00697x+0.00156$, $R^2=0.681$
 (2) $y=-0.00692x+0.0146$, $R^2=0.116$

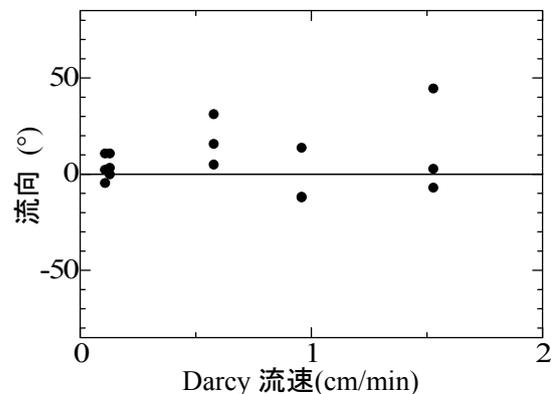


図-6 Darcy 流速と流向の関係 (測定時間 30 分)

参考文献：

- 1) 経澤正和:地下水の流向流速測定「熱量法」による「単孔式」地下水流向流速計 GFD3 による測定, 環境浄化技術, vol. 3, No. 9, 36-39, 2004.
- 2) CCD カメラを利用した単孔法による三次元流向流速測定に関する基礎的研究
地下水学会誌(2003)2月第45巻 第1号
- 3) 野田敏雄, 山本浩一(2010):ペーパーディスク型地下水流向流速計の開発に関する研究, 環境工学研究論文集, 47, 685-690