

1. 研究背景・目的

地下水流向流速計は、一般的に高コストであり、多点観測を行う場合、膨大な時間を必要とし、同時性の確保が困難であった。そこで、本研究では、電源を使用せずに、地下水流向流速を測定することが出来る低コストの装置、ペーパーディスク型地下水流向流速計の開発を2009年度から開始している。既往の研究¹⁾により、流向の測定精度は実用的なレベルに達したが、流速の決定方法に任意性がありかつ流向・流速の測定限界を明らかにすることが課題であった。

本研究は、ペーパーディスク型地下水流向流速計による流向流速測定方法を確立することを目的とし、解析方法の客観化と測定精度の評価を行うことを目的とした。

2. 研究方法

2-1 測定原理

本研究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、水に溶解して輸送されるインクの動きに着目したものであり、あらかじめ水性染料インクでドットを印刷しておいたペーパーディスクを透水性スポンジに挟み、地下水観測井に一定時間静止することで測定するものである。この、透水性スポンジで挟んだペーパーディスクを流速のある水中におくと、ペーパーディスク上のドットから、染料が溶出し、ペーパー上にテーリングが出現する。この、ペーパーに付着したテーリングを用いて流向流速の推定を行った。

2-2 使用器具

本研究で用いるペーパーディスクを図-2に示した。中心部分は正八角形であり紙の回転を防ぐ構造になっている。中心パイプ径は2種類(29 mm, 41 mm)使い、それぞれの流速レンジについて検討した。ペーパーディスクにはインクジェットプリンタによってパターンを印刷した。インクは黒色染料インクであり、印刷はグレースケールに設定して行った。ペーパーディスクの直径は65 mm, 個々のドットは直径3.0 mmの円であり、これをペーパーディスクの中心から半径

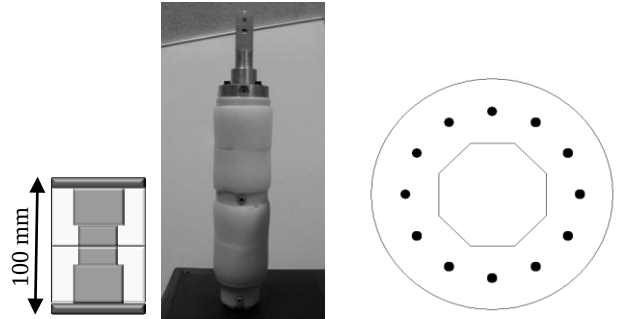


図-1 地下水流向流速計

図-2 ペーパーディスク

23.5, 26.5 mm の円周上に等間隔に12個(中心角 30°)となるように配した。素材は水に対する耐久性、インクの移動の適性から画用紙を用い、また透水性スポンジはメラミンフォームを円筒状に加工したものをを用いた。

2-3 室内実験水槽を用いたインクの移動変化実験

ペーパーディスク上で、インクのテーリング長と地下水流速がどのような対応関係にあるかを調べるため、地下水流動場を再現した実験水槽を用いて、実験を行った。実験ケースは、ダルシー流速が0.01~2.0(cm/min)で8段階、中心パイプ径が41mm時に浸漬時間を60, 90(min), 29mm時に浸漬時間60(min)で行った。

2-4 画像処理によるインクの数値化処理

測定後のペーパーディスクをスキャナにより電子化した後、画像処理ソフト Image J によって測定前と測定後のペーパーディスクの画像それぞれに2値化処理を施し、重心の座標等の数値データを得た後、測定前のドットと測定後のテーリングの重心位置図を作成し実験結果の採用の判定を行った。採用の基準は、測定後の状態における重心の数がドットの個数(12個)と同じ、ペーパーディスク上に測定後の座標が残っている、2つのドット間に3個以上プロットがないこととした。その結果、採用された割合が50%以上に達する流速では「測定可能」、50%未満を「測定不可能」として流速の測定レンジを判定した。

採用した結果のテーリングの重心変化を図-3に示す。

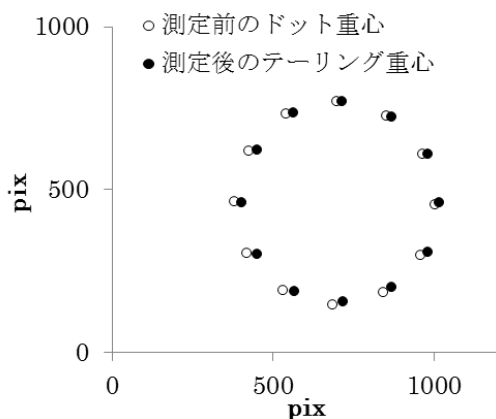


図-3 測定前後のテーリングの重心の移動パターン
(中心パイプ径 41 mm, 測定時間 60 分, 流速 0.02 cm/min)

3. 実験結果

3-1 測定可能範囲の検討

2-4 の判別処理を用いた結果, 中心パイプ径が 29 mm 時最大 0.16 cm/min まで, 41 mm 時は最大 0.07 cm/min までが測定可能範囲と判定された。

3-2 流速の推定

測定前と測定後の重心の移動距離をとみなしてペーパーのテーリング長を算出した。そして, 各ドット採用パターン別の一定時間, 一定パイプ径, 部位におけるテーリング長と流速の決定係数の平均値の結果を表-1 に示す。各パターンは (a) : ドット群の下流半分, (b) : 最下流側のドット, (c) : すべてのドット, (d) : 流向に対し $\pm 90^\circ$ にもっとも近いドットである。

表-1 流速とテーリング長の決定係数

	平均値
パターン(a)	0.728
パターン(b)	0.556
パターン(c)	0.681
パターン(d)	0.624

表-1 が示すとおり, パターン(a)が最も高い相関を示した。すなわち, 検討したものの中では下流半分のドット群のテーリングの解析により流速を求めることが最適であった。

3-3 浸漬時間変化によるテーリング長の変化

中心パイプ径 41mm, 解析パターン(a)におけるテーリング長とダルシー流速の関係を示したグラフを図-4 に示す。測定時間が 60 分の方が, 90 分よりも近

似曲線の傾きが急であることがわかる。これは, 特に高流速域において計測時間が長くなるにつれてテーリング長が過小評価されたことが要因として考えられる。

3-4 流向の推定

流向の測定結果の実際の方角からの偏差を図-5に示す。ダルシー流速が大きくなるほど流向の精度は高くなった。16方位角($\pm 22.5^\circ$)程度の方角精度は, 概ね達成できたと考える。

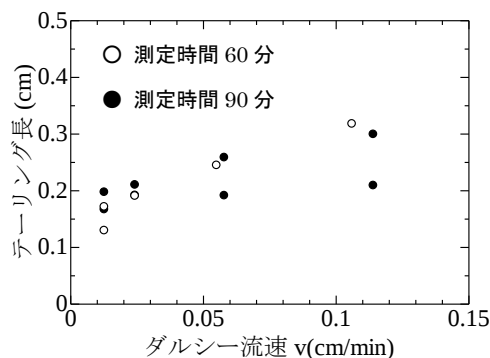


図-4 テーリング長とダルシー流速の関係 (中心パイプ径 : 41 mm)

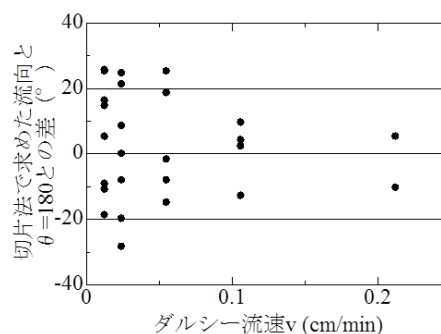


図-5 流向の偏差とダルシー流速の関係

4. 結論

任意性があった測定成否の判断を, 客観的に行い, 解析方法に工夫を加えることで, 流速測定レンジおよび精度が従来よりも改善された。

謝辞: 本研究は, 大起理化工業株式会社との共同研究“「ペーパーディスク流向流速計」の開発”の研究成果である。

参考文献

- 1) 野田敏雄(2012) ペーパーディスクと染料インクを用いた地下水流向流速測定手法の開発に関する研究, 山口大学大学院修士論文