

N-13 ペーパーディスク型地下水流向流速計 における流速の評価方法に関する研究

○対馬 幸太郎^{1*}・山本 浩一¹・大石 正行²・関根 雅彦¹
今井 剛¹・樋口 隆哉¹・神野 有生¹

¹山口大学大学院 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

²大起理化工業株式会社 (〒365-0001 埼玉県鴻巣市赤城台212-8)

* E-mail: koutarot@civil.yamaguchi-u.ac.jp

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¹⁾あった。そこで、本研究室では、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²⁾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する。

2. 研究方法

(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、テーリングを用いて流向流速の推定を行った。

(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

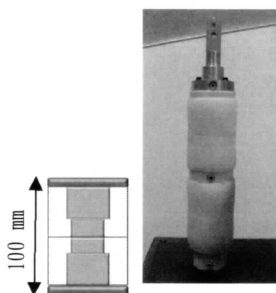


図-1 地下水流向流速計

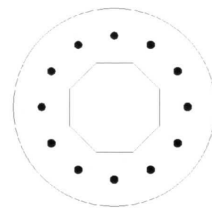


図-2 ペーパーディスク

る。中心径は2種類(29 mm, 41 mm)用い、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。

(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、中心径が41 mm時に浸漬時間を60, 90 (min), 29 mm時に浸漬時間60 (min)で行った。

(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。

採用した結果のテーリングの重心変化を図-3 に示す。

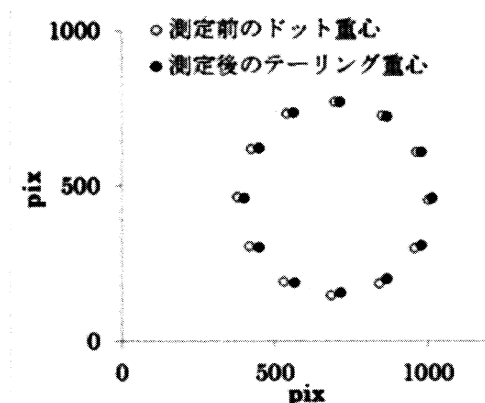


図-3 測定前後のテーリングの重心の移動パターン（中心パイプ径41mm、測定時間60分、流速0.02 cm/min）

(5) 地下水流動場での実証実験

平成25年9月19日に、山口県山口市秋穂町地先に位置する干潟で海岸から沖合方向に7 m間隔に地下水位計測用観測井を設置、また岸から5.6番目の地点にペーパーディスク型地下水流速計用観測井を設置した。干潮時の10:00 から18:30 までの、30分毎の地下水位の測定から得られる測定値と、ペーパーディスク型地下水流速計から算出された測定値を比較した。

また、ペーパーディスク型地下水流速計から算出する際に必要な土壌の透水係数を求めるために定水位透水試験を現場にて行った。

実証実験の現場図を、図-4 に示す。

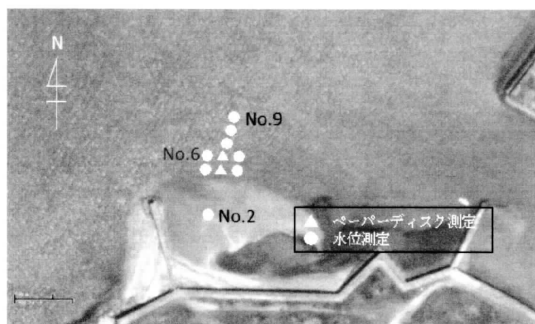


図-4 実証実験現場図

3. 実験結果

(1) 室内実験水槽を用いたインクの移動変化実験結果

a) 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) : 流向に對し±90° 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。

次に、中心径41mm、解析パターン (a) ドット群の下流半分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-5 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。

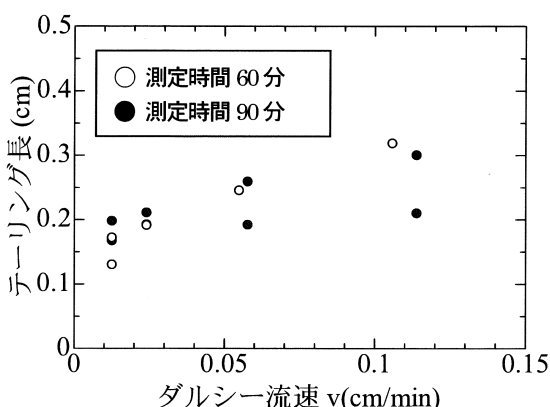


図-5 テーリング長とダルシー流速の関係（中心径：41 mm）

b) 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-6 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($\pm 22.5^\circ$)程度の方位精度は、概ね達成できたと考える。

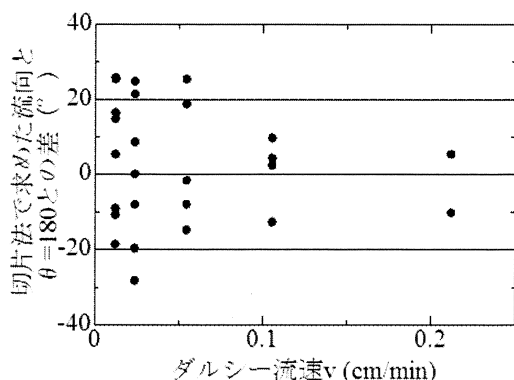


図-6 流向の偏差とダルシー流速の関係

(2) 地下水流動場における実証実験結果

a) 地下水流速実証実験結果

地下水流速実証実験結果を図-7 に示す。地下水位から得られる動水勾配と、現場での定水位透水試験から求めた流速と、ペーパーディスク型地下水流向流速計で求められた流速を比較すると概ね同じ傾向を示した。

また、中心径が太くなると流速が増加³⁾しテーリングが長くなるが本実験結果も同様の傾向を示した。このことから、テーリングが出にくい低流速域では中心径を太く、逆に高流速域においては中心径の細い流速計を使用することで、さらなる測定可能範囲の拡大化を図れるものとする。

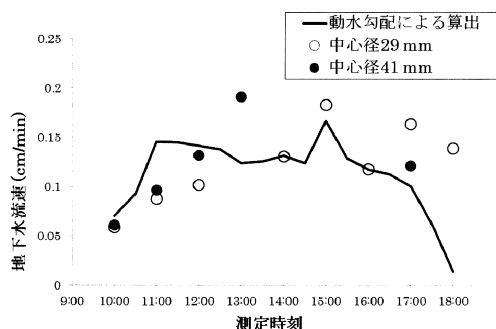


図-7 地下水流速実証実験結果
(測定時間30分、下部カートリッジ、
透水係数 $k = 0.136$ (cm/min))

4. まとめ

電源を使用せずに、地下水流の動き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を開発した。室内実験水槽を用いた実験を行い、解析方法に改良を加えることで、流速とテーリング長の決定係数値をおよそ0.73 まで引き上げることに成功した。また、実際の地下水流動場における実証実験でも地下水位から求めた流速とおおむね同じ傾向を示すことが出来た。

しかしながら、これまでは装置の基礎となる開発や流速推定方法についての研究が進められてきたが、現状の測定方法では非効率的部分がある可能性が大きいので本装置の利点である、より簡易的な測定方法を見出していく研究が必要になると考える。

謝辞

本研究は、大起理化学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) 奥山ら(1996) 地下水の水みちにおける流速測定、土壌の物理性、p.3-10
- 2) 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
- 3) 舂井ら(1989) ボーリング孔内の地下水流れに関する実験的研究、地下水学会誌、Vol 31, No 1 13-08