

<h2>学 位 論 文 要 旨</h2> <p>(Summary of the Doctoral Dissertation)</p>	
学位論文題目 (Dissertation Title)	地下水流向流速の簡易計測装置の開発に関する研究 (Development of a simple measurement device for groundwater flow velocity)
氏 名 (Name)	小野 文也 (Fumiya Ono)
<p>既存の計測装置として単孔式の地下水流向流速計が開発されているが非常に高価である。複数の観測井で測定を行う場合に地下水流向流速計を複数運用することが難しく、全ての観測井を計測するのに膨大な時間が掛かることや計測の同時性を確保するのが困難である。そこで地下水流向流速に簡易計測装置の開発を目的として計測に電源を使用しない簡易な計測方法としてペーパーディスク型地下水流向流速計 (PDV) の開発を行った。従来のリング式 PDV では流線への影響、スポンジ内への空気の貯留などが問題とされていたが本研究では単ドット式 PDV を開発したことでこれらを解決した。</p> <p>PDV は画用紙にインクジェットプリンタで直径 3 mm のドットを印刷したペーパーディスクの上下を透水性スポンジで挟んだものをセンサとして地下水流動場に設置する。ペーパーディスクが地下水に浸漬することでドットから染料インクが溶出する。室内実験の結果、溶出した染料インクが地下水によって溶出したインク濃度の高い水塊が下流に輸送され、インクの残留したスポンジと紙面が接している箇所インクが吸着されることでテーリングが発生することが確認された。水質が変化してインクの溶出量が増えた場合、テーリングが長くなることが考えられたがテーリングに変化はないことが確認された。</p> <p>従来では流向流速を求めるにはペーパーディスクを電子化し画像解析する必要があるため現地で計測結果が得られなかった。そこで目視によりテーリングの測定を行う手法を開発した。ペーパーディスク型地下水流向流速計は測定結果を得るためには計測後にペーパーディスクを電子化し画像解析する必要がある。そのため現地計測の際にすぐに計測結果がわからないと言う問題点があった。目視測定による個人差を小さくするために基準紙を作成し、テーリングを流速に変換出来る流速スケールを用いて読み取る方法で官能試験を行なった。流速は測定時間 5 分で 0.4~1.0 cm/min で設定流速との測定誤差 40%、測定時間 30 分では 0.04~0.12 cm/min で測定誤差 30%。測定時間 60 分では 0.03~0.7 cm/min で測定誤差 30%という結果となった。</p> <p>ペーパーディスクのドット部、テーリング部、バックグラウンドの輝度をサンプル 233 枚から採取し、その RGB 各チャンネルの輝度の関係を明らかにした。その結果、単一チャンネルではなく B, R の複数のチャンネルの組み合わせの閾値で 2 値化処理を行うことでペーパーディスクに付着した泥炭汚れを取り除くことに成功した。計測時間 5 分では影響が大きく決定係数 R2 は 0.6 程度と最も低くなった。一方で計測時間 15 分以上であれば複数チャンネルで 2 値化した場合でも決定係数 R2 は 0.8 以上となるため流速の推定は問題ないと考えられる。流向に関しては測定時間が短い 5 分、15 分では流向誤差は 16 方位以上の分解能で計測可能であることが確認できた。</p> <p>現地計測を北海道の高層湿原で行なった PDV のテーリングの発生は良好であり目視測定も画像解析の結果は概ね一致した。また、熱量式流向流速計との流速の比較結果、流速は 1 : 1 でほぼ一致した。</p> <p>今後の展望として、今後の課題として pH が塩基性域となった場合、テーリング長が短くなることが確認された。本装置は現在、市販の染料インクを使用しているがインクが変わった場合にと溶出特性も大きく変化していくことが考えられる。そこで使用する染料を変えた場合でも同様な測定が可能か、確認が必要である。さらに、今後とも装置の検定や官能試験、現地適用試験を引き続きさらなる測定精度の向上を行い一般に PDV を普及させていくことが課題である。</p>	

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	小野 文也
審査委員	主 査：山本 浩一
	副 査：関根 雅彦
	副 査：今井 剛
	副 査：鈴木 素之
	副 査：赤松 良久
論文題目	地下水流向流速の簡易計測装置の開発に関する研究 (Development of a simple measurement device for groundwater flow velocity)

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

本研究では染料インクをトレーサとし、紙の上に印刷したドットの流跡から地下水流向流速を簡易に計測する計測装置である単ドット式ペーパーディスク型地下水流向流速計(単ドット式 PDV)を開発している。従来のリング式ペーパーディスク型流速計(リング式 PDV)センサの問題点であった中央部の支柱による流向の歪みがかご型センサの考案により解消され、センサ中央部における流向及び流速を計測することを可能にした。

第 2 章ではセンサー流速をダルシー流速へ変換するための係数について数値計算をもとにした補正係数を導入している。補正係数は透水係数の一次関数で表現することが可能であり、任意の透水係数による流速の校正を可能にした。

第 3 章では PDV の計測原理が明らかにされた。ペーパーディスク上のインクが紙から溶出し、透水性スポンジ内を移動していることを明らかにしている。その後インクが画用紙に染着することでテーリングが発生していることを明らかにした。インクの移動速度と地下水の流速は比例しており、地下水の流速をテーリング長で計測することが妥当であることが示されている。

第 4 章では PDV による流速測定への水温と pH の影響について検討している。水温と pH が染料インクの溶出に影響があることを確認したが、実際に室内実験によって pH のみがテーリング長に影響をもたらすことを明らかにし、pH 変化に対する補正式を提案している。

第 5 章ではペーパーディスクに付着した汚れによる計測上の障害を低減するための、赤、青の複数チャンネルを用いる画像解析手法が提案された。これにより着色や懸濁した地下水での計測において解析不能になる場合が緑の単一チャンネルを用いる場合よりも減少し、現地調査の際は単一チャンネルより頑健な手法であることを示した。特に泥炭由来の赤褐色の汚れが付着したデータについてはノイズの除去が効果的に行われた。室内砂層実験に

(様式 9 号)

より流速、流向を検定しており、流速についてはダルシー流速との相関係数は 0.9 以上となり高い相関が得られている。流向の精度については計測時間とテーリング長に依存し、0.05cm/min 以上では 16 方位以下の精度が得られている。

第 6 章では現地で PDV と熱量式流向流速計(GFD3)とを比較している。現地測定においては第 2 章の透水係数補正、第 4 章の pH 補正が採用されている。北海道天塩郡サロベツ湿原における GFD3 との比較では、流速の相関係数は 0.89 と高い相関を示した。透水係数、pH の補正を行わない状態でも GFD3 に対して PDV の流速は 1.05 倍、補正を行った状態では 1.1 倍となり、PDV の流速は GFD3 の流速の誤差範囲となり、ほぼ一致する結果を得た。逆に、透水係数と pH の補正を行わなくても実用上は問題がないことが示された。また、水位コンター図から生成した流向と PDV による一斉計測時の PDV による流向を比較しているが、水位コンター図の中央部では PDV とコンター図の流向誤差が 20° 以内であり、良く一致する結果を得ている。PDV で計測された流速は動水勾配と透水係数から計算した流速のおよそ 10 倍となり、一致しなかった。これについては現地における透水係数の推定誤差が大きいことが原因であるとしている。

第 7 章では流跡の目視による計測方法を提案している。現地で大まかな流向と流速を得ることを目的に、テーリングを専用定規で測定し、流向・流速の数値を得るものである。テーリングの終端の色をもとにした専用定規を開発し、流速の誤差を専用定規なしの場合の 50%から 30%程度に低減している。

本研究で得られた成果により、ペーパーディスク型地下水流向流速計は従来の地下水流向流速計と遜色ない流向流速測定が可能なが示され、実用化の段階に至った。

公聴会における主な質問内容は 1) インクがどのように紙面に定着・脱着しながら輸送されるのか。2) 現地で熱量式流向流速計と流向が整合しない原因は何か。3) 透水係数を測定するのが困難であるのにあえて補正係数を導入する必然性はあるのか。4) 内部での流速の変動が大きいのにあえて 4 本ロッド構造を選択している理由は何か。5) どの程度の深度まで測定可能かというものであった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。(関連論文 計 3 編、参考論文計 0 編)

- 1) 小野文也・山本浩一・対馬幸太郎・大石正行・神野有生・関根雅彦, ペーパーディスク型地下水流向流速計を用いた海岸砂州地下水の挙動の観測, 土木学会論文集 G(環境), Vol.70, No.7, III_355-III_363, 2014 年 11 月発行
- 2) 山本浩一・小野文也・神野有生・関根雅彦, 単ドット式ペーパーディスク型地下水流向流速計の開発, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4, I_907-I_912, 2016 年 3 月発行
- 3) 小野文也・山本浩一・明石卓也・神野有生・関根雅彦, 電源不要かつ迅速な地下水流向流速計測方法の開発, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.72, No.4, 377-384, 2016 年 12 月発行