

低流速帯におけるペーパーディスク型流向流速計の適用について

興亜開発株式会社 今野 淳

1. はじめに

近年、地下水の流動調査に関しては、地下水・土壤汚染問題、建設工事に伴う流動阻害や井戸枯れ問題など、地下水の流向流速の掌握が重要視されている。原位置において地下水の流向流速を測定する手法としては、多孔法と単孔法がある。経済的な理由と、時間が比較的短いという理由から単孔法で流向流速を把握したい需要が存在している。

単孔法の測定で使用されていた熱量法式流向流速計（以下熱量式装置）だが、既に生産を終了しており日本で稼働している機械も希少になり確保が難しくなっている現状がある。

代替となる流向流速計を探す中で、熱量式装置との関連情報があつた大起理化工業製の「ペーパーディスク型簡易地下水流向流速計（以下ペーパー式装置）」の検討を行うこととした。

今回検討を行う中で、過去の案件で既存井戸での流向流速測定が多く、また井戸洗浄を行っても流速が非常に遅い条件などがあつたため、低流速でも測定が可能かを目的に実験を行った。

2. 調査方法

今回の検討において、熱量式装置を使用した測定と、ペーパー式装置を使用した測定を行い、その相関を求めた。それぞれの原理と測定方法について述べる。

(1) 熱量式装置

測定器に内蔵したヒータにより地下水を温め、測定器の円周上に設置された温度センサにて地下水の温度を観測し、各温度センサの経時変化から流向と流速を求めるものである¹⁾。

図-1 に熱量法による測定器のプロープモード断面図を示す。

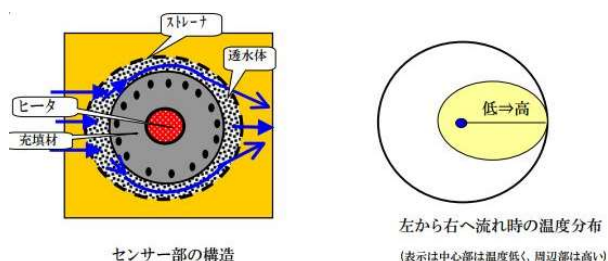


図-1 熱量法による測定器のプロープモード断面図

地下水の流れがない時に中心ヒータに電圧を加えると、発生した熱は周囲に均等に拡散して中心部から外側へ同心円状に温度分布が形成される。流れがある場合、発生

熱は地下水の流れに乗って下流方向に移流する。そのため、下流方向に配置されたセンサは、上流側に配置された温度計よりも高い温度を示すことになる。

ヒータ周辺に配置された温度計の加電前と加電後の温度の差は、地下水流速が遅いほど大きく、速いほど小さくなる。よって温度差の大小で流速を求めることができる。以上より、ヒータの周囲とその周りに配置された温度計の数値を測定し、その温度の違いを知ることで地下水の流動方向と流速値に関する情報を得ることが可能となる。

(2) ペーパー式装置

本装置の基礎原理は紙上に印刷されたドットから溶出した染料インクが透水体内を移動する水によって輸送されることを利用したものである。インクの軌跡（テーリング）を画像解析して地下水流向流速を求める。²⁾ 図-2 に単ドット式ペーパーディスクモード図を示す。

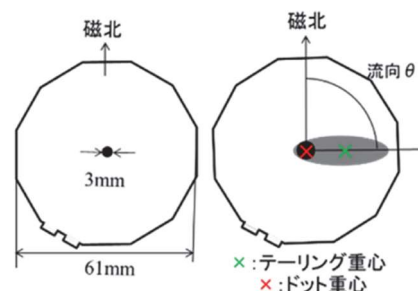


図-2 単ドット式ペーパーディスクモード図

流向流速の解析は目視による解析と、画像解析ソフトを用いた解析の二種類がある。目視による解析は現地ですぐに結果が求められるという利点があるが、流速が0.3cm/min以下になると測定誤差が50%を超えるという報告があり³⁾今回は目視による解析と、ソフトを用いた解析でそれぞれの相関比較をすることとした。

測定したペーパーディスクを乾燥後、スキャナを用いて電子化をする。スキャナの種類はメーカーにより指定されておりヒストグラム調整などが必要となる。今回は画像ソフトを使い同様の状況を再現した。

電子化した画像はメーカーにより指定されているオープンソースの画像解析ソフトImage J及び専用マクロを用いて処理を行う。図-3 にテーリングの画像処理過程を、図-4 に解析項目のイメージ図を示す。

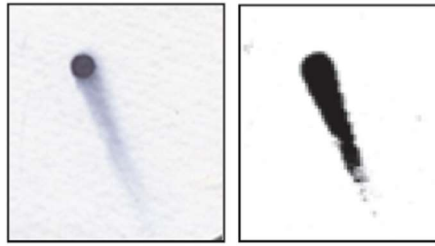


図-3 画像処理過程（左：処理前 右：処理後）

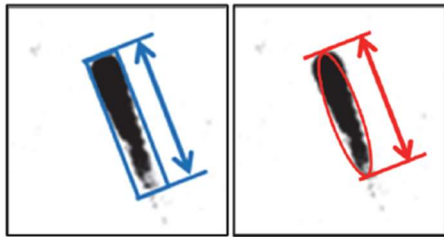


図-4 解析項目のイメージ図（左：フェレ径（方向解析） 右：楕円体近似長径（流速解析））

3.調査結果

今回の調査は、井戸洗浄済みの観測井を利用し、熱量式装置とペーパー式装置で結果を求める事とした。

対象とした井戸のストレーナ層には砂層とシルト混じりの砂層があり、深度により透水係数に差があった。それぞれの深度での相関性を求めた。

砂層における熱量式装置を用いた結果を図-5 に、ペーパー式装置を用いた結果を図-6 に示す。



図-5 熱量法式測定結果(シルト混じり砂層)

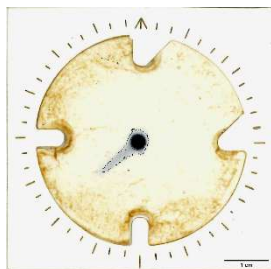


図-6 ペーパー式測定結果(シルト混じり砂層)

ペーパー式装置の結果のうち目視による計算はノギスにより長さを求め、ソフトを使用した解析、熱量式装置の結果をまとめたものを表-1 に示す。

表-1 結果比較一覧

	流速(cm/min)	流向 (°)
ペーパー式目視換算	0.052	120
ペーパー式画像解析	0.024	106.2
熱量法解析	0.025	138.5

	流速(cm/min)	流向 (°)
ペーパー式目視換算	0.36	170
ペーパー式画像解析	0.020	177.8
熱量法解析	0.019	175.1

	流速(cm/min)	流向 (°)
ペーパー式目視換算	0.038	230
ペーパー式画像解析	0.023	224.6
熱量法解析	0.026	204.6

熱量法の結果とペーパー式の結果を比較すると、画像解析を行った結果と熱量法式の結果では相関がとれていた。しかし目視による長さの測定からの換算では差が見られる地点もあった。このことから目視による現地での測定には課題があっても、ソフトを使用した画像解析を行うことにより相関性のある結果が求められることができた。

4. まとめ

今回の実験は、ペーパー式装置と熱量法式装置の相関を求めることを目的とした。

結果によると低速の流速において目視での測定に問題があった地点も、ソフトウェアを使用した画像解析を用いた結果では熱量式の結果と相関性が見られた。そのため流速の遅い地点でも画像解析ソフトを用いて相関を求めることが可能であるという結果が得られた。

課題として深い深度 (GL-8m 以深) での測定を行うと、組み立てながら装置を差し込む都合上、インクが滲む、逆方向にもインクが示すなどが起こった。深い深度の測定では課題が残った。

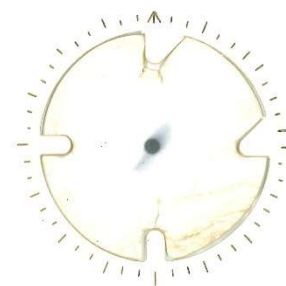


図-7 ペーパー式測定結果(失敗例)

《引用・参考文献》

- 1) 単一調査孔を用いた地下水流動計測プローブの開発 P195 武田 浩 (2007 年)
- 2) 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 山本浩一 (2015年)
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 3) 電源不要かつ迅速な地下水流向流速計測方法の開発 山本浩一 (2016年)