

## 地下水観測孔の仕上げ方が与える流向流速測定結果への影響

日本物理探鑛(株) ○都築孝之

自然地下水研究所 竹内篤雄

芙蓉地質(株) 宮崎基浩, 原澤剛史

キタイ設計(株) 岩瀬信行, 五十嵐慎久

### 1. はじめに

ボーリング孔のように単一の観測孔を利用した地下水の流向流速を調べる方法としては、固体粒子追跡型と溶液濃度追跡型の二つに大別される<sup>1)</sup>。例として、前者は地下水中に浮遊する微細粒子の移動をテレビカメラなどで追跡する「テレビ法」が、後者にはヒーターによって加熱された地下水をトレーサーに温度センサを用いてその移動を検出する「熱量法」がそれぞれ挙げられる。いずれの方法も観測孔内を流れる地下水の速さを求めるもので、地盤内を流れている地下水の流速とは異なる。このため、各方法においてダルシー流速または真の流速への変換が行われており、その変換方法は測定装置によって異なっている<sup>1)</sup>。

筆者らが扱う単孔式加熱型流向流速計<sup>2)</sup>(以降、「竹内式測定器」と呼ぶ)は、大型水槽を使った実験により開口率1%, 5%, 8%, 10%, 13%, 20%に対してダルシー流速に変換する回帰式が得られている。なお、実験に使用したストレーナーの形状はφ5~φ6の丸穴である。

竹内式測定器は、ヒーター周囲に複数の測温体を配置し、ヒーター加熱前後の測温体の温度差から流速を、温度差分布図から流向を求めている<sup>2)</sup>。その原理を図-1に示す。地下水の流れがない場合、センサ中心部のヒーターを加熱すると発生した熱は周囲に均等に拡散し中心部から外側へ同心円状に温度分布が形成される(図-1左)。地下水の流れがある場合、発生した熱は地下水の流れに乗って下流方向に移流する(図-1右)。そのために上流側は低温域を、下流側は高温域をそれぞれ示すことになり、この温度分布から流向を推定することが可能となる。ま

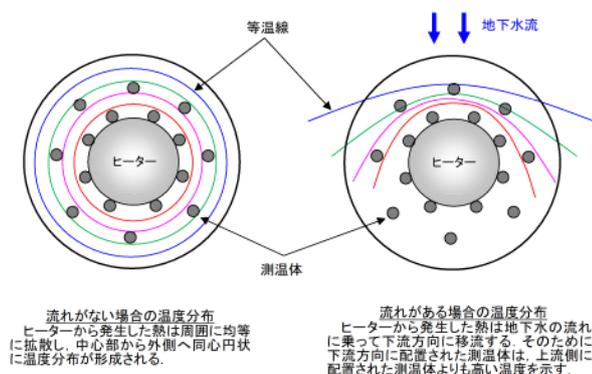


図-1 竹内式測定器の流向判定の原理

た、ヒーター周囲に配置された測温体の加熱前の温度と加熱後の温度との差は、地下水の流速が遅いほど大きく、速いほど小さくなる。これらのことから、ヒーター周囲

に配置した各測温体の温度差を求め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。

近年、横スリットタイプのストレーナーを用いた流向流速測定で、複数の箇所これまでとは異なる温度差分布図が得られたことをきっかけに、観測孔の状態やストレーナーの違いによる観測孔内の水の流れを調べる目的で、小型水槽による実験を行った<sup>3)</sup>。

### 2. 小型水槽による地下水流動の可視化実験

実験用水槽はアクリル樹脂を使い、長さ1.0m、幅0.13m、深さ0.1mの箱型に作製した。そこに地盤材として目地材(φ5)を詰め、水槽の中央に観測孔として20#のステンレス網で作成した円筒(φ95)を設置し、その中にストレーナー管(VP50)を入れた。ストレーナー管は、比較のために開口率10%および13%の丸穴タイプと開口率12.06%の横スリットタイプ(スリット幅0.5mm)の3種を用意した。また、間詰材(地盤材と同じ材質)については、入れた場合と入れない場合とで行った。

実験は、水槽の上流側から水を入れ、下流側でその排水量と水深から水槽(地盤に相当)内を流れる水の流速(ダルシー流速)を求めた(図-2)。水の流れは蛍光試薬(Fluorescein Sodium)で可視化した(図-3)。



図-2 小型水槽による実験風景

この実験の結果、以下のことがわかった。

- (1) 間詰材を入れない場合は、管の抵抗により水は管の外周をまわって下流へ流れるため、管内には水はほとんど入ってこないことが確認された(図-3左)。
- (2) 間詰材を入れた場合は、管内に水が速やかに浸入し下流へと流れることが確認された(図-3右)。また、管内を流れる水の速さは、丸穴タイプに比べて横スリットタイプでは1/2前後遅いことが確認された。

(1)の結果から、間詰材を入れない観測孔では正確な地下水流動が計測されないことが推測される。

(2)の結果から、横スリットタイプのストレーナーを観測孔として使用した場合、丸穴タイプのストレーナーで回帰式を得ている竹内式測定器では流速の算出値に誤

差が生じる可能性が高いことが予想され、これを確認するために、大型水槽による実験を行った。



図-3 可視化した観測孔内の水の流れ

(左:間詰材無し, 右:間詰材あり, いずれも写真上が上流)

### 3. 大型水槽による横スリットストレーナー実験

実験水槽は長さ1.5m, 幅0.6m, 深さ0.6mの箱型で, 上下流側に受水槽と排水槽が設置されている(図-4)。受水量は流量計または定量器で, 排水量は定量器でそれぞれ測り, ストレーナー管位置で水深を測ることで水槽内の水の流速(ダルシー流速)を算出した。与えたダルシー流速は $3.787 \times 10^{-6} \text{m/s} \sim 1.800 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 間の19種(各2~3回測定)で, 地盤材と間詰材には $\phi 2 \sim 5$ の豆砂利を使用した。



図-4 大型水槽による実験風景

図-5に実験結果を示す。実験の結果, 以下のことが明らかになった。

- ①温度差 $4.15^\circ\text{C}$ 以下は, 流速と温度差に明瞭な相関がある。
- ②その傾向は温度差 $4.86^\circ\text{C}$ まで最大速度値として得ることができる。
- ③ただし,  $4.36^\circ\text{C}$ 以上になると, 温度差に対して流速にばらつきが生じる。換言すると, 同じ流速に対して複数の異なる温度差が得られる。

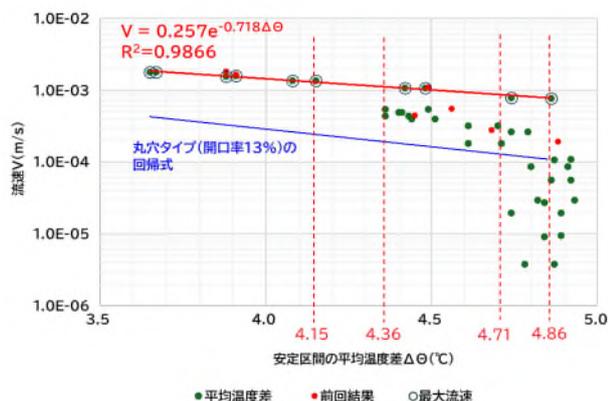


図-5 実験の結果得られた平均温度差と流速との関係

- ④さらに $4.71^\circ\text{C}$ 以上になるとそのばらつきの幅が2オーダー以上に広がる。
- ⑤回帰式は類似開口率の丸穴タイプと比べて0.5~1オーダー近い差がある。

これらのことから, 竹内式測定器をはじめとする熱量法では, 同じ開口率でもストレーナーの形状によって異なる回帰式が得られることが判明した。

### 4. 間詰材の必要性

地下水観測孔の仕上げにおいて, 施工上などの理由で観測孔の残置ができず, 回収に手間がかかるために間詰材を入れないケースが少なくない。2章で述べたように, 間詰材が無いケースでは観測孔内に地下水はほとんど入ってこない。この状態で地下水が孔内に入るの, ストレーナー管がボーリング孔の上流側の孔壁に接触している場合のみであることも小型水槽実験で確認できている。実際は孔壁崩壊により間詰材を入れた時と同じ状況になっているケースも少なくはないであろうが, このようなケースを除けば, 間詰材の入っていない観測孔での測定で得られたデータの精度はあまり期待できないであろう。

### 5. まとめ

いろいろなシーンで使われている流向流速測定装置の多くは, 開口率についての条件はあるものの, 間詰材の有無やストレーナーの形状(丸穴, 横スリット, 縦スリットなど)についてはあまり触れていないのが現状である。今回実施した小型水槽および大型水槽による実験結果は, 間詰材の重要性を示すとともに, 実験水槽に与えたダルシー流速と観測孔内を流れる水の速さとの相関から流向流速を求める方法では, 開口率だけでなくストレーナーの形状に応じた回帰式を得る必要があることを示すものである。

なお, 観測孔の仕上げ方については, 全地連のホームページに資料<sup>4)</sup>が掲載されているので, それを参考に精度の高い流向流速測定を行うことが望まれる。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 地盤調査の方法と解説 (2013) : 公益社団法人地盤工学会, pp. 629-633.
- 2) 竹内篤雄 (1996) : 温度測定による流動地下水調査法, p. 480, 古今書院
- 3) 都築孝之, 竹内篤雄, 山西正朗, 宮崎基浩, 五十嵐慎久 (2023) : 地下水観測孔内部の流動状況の可視化実験報告(その1), 日本応用地質学会, 令和5年度 研究発表会講演論文集, 論文 No. 67.
- 4) 全地連ホームページ内資料「地下水調査のための観測孔の仕上げ方マニュアル(案)」, (最終閲覧日2025年4月17日) .

<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/>