

画像解析手法を用いた地下水流向流速計による連続的な流向測定精度

飛島建設 技術研究所 正 ○小林 薫 正 熊谷 幸樹
 飛島建設 技術研究所 正 松田 浩朗 正 松元 和伸
 山口大学 イノベーション推進機構 フェロー 近久 博志

1. はじめに

沿岸域などを含め地下水流動は、潮汐、気圧変動、降水、海水準変動および隆起・浸食などの外的要因の影響により、短期から長期的に逐次変化している。従来の各種測定機器は、地下水位（間隙水圧）や水温などは連続的に測定できるものの、地下水流の流向流速測定はきわめて困難である。このことから、これまで不可能であった地下水流向流速測定を連続的に把握することができれば、前述の外的要因を考慮した地下水流動の将来予測や影響評価の信頼性を格段に向上させることが可能であると考えられる。小林ら¹⁾は、地下水流向流速を簡易かつ連続的に測定することができる連続式流向流速測定システムの実用化を目指した研究開発を実施している。

本論文は、図-1に示す沿岸域などの複雑に変化する地下水流向流速を連続的に測定できる機器（以下、連続式流向流速計と記す）の開発を目的に、低流速域での連続的な流向測定精度に関する室内実験結果について述べる。

2. 連続式流向流速計の概要

電力・画像伝送ケーブル等の各種接続ケーブル類を含めた連続式流向流速測定システムの全体構成を写真-1に示す。本体部先端の浮きセンサは、今回新たに改良し製作した写真-2に示す球体を用いたヒンジ構造を有する接続治具で本体部と接続している。浮きセンサは、低流速域の地下水流に対し敏感に反応することが必要である。このことから、浮きセンサの材質は、浮力や沈力が極力発生しない水とほぼ等しい密度（ $\rho_a \approx 1.002 \text{ kN/m}^3$ ）の材料を選定した。しかし、このままでは静水中において浮きセンサが直立静止しないなど、挙動が安定しないことから、水の密度より軽いポリプロピレン（ $\rho_b \approx 0.90 \sim 0.91 \text{ kN/m}^3$ ）で作製した浮きセンサ頭部を上端部に接合している¹⁾。以下には、写真-1の①～⑦に対応した主要装置の概要について各々示す。

①浮きセンサ、テレビカメラおよび内蔵方位計などを組み合わせた連続式流向流速計の本体（全長約 1,000mm、直径 50mm、ステンレス製）、②電力および画像伝送ケーブル、③大容量 HDD 内蔵の取得画像保存・表示装置、④長期間の連続動画の取得・保存用ビデオカメラ（大容量 HDD）、⑤AC/DC コンバーター等を内蔵した各種ケーブル類接続および測定装置保管・搬送用ボックス、⑥本体に装着するゴムパッカー、⑦本体部をボーリング孔内の所定深度に固定するゴムパッカー用コンプレッサーとホースである。

現地における流向流速測定時やモニタリング時の取得画像は画像伝送ケーブルと接続している大容量 HDD 内蔵の取得画像保存装置に保存すると共に、デジタルビデオカメラにも測定・モニタリング時の動画を同時に保存できる。

なお、浮きセンサの断面形状は、数多くの流体シミュレーション結果を基に円形を採用している²⁾。

3. 室内実験概要

本実験では、まず実験水槽（幅 2m×高さ 1m×奥行き 1m）

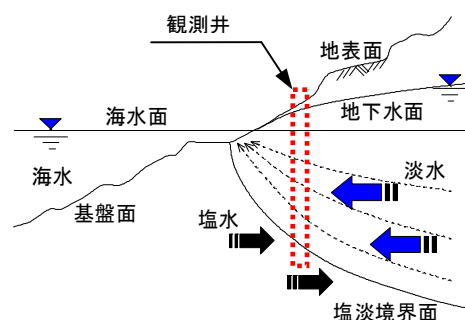


図-1 沿岸域の塩淡水境界面付近の地下水流動

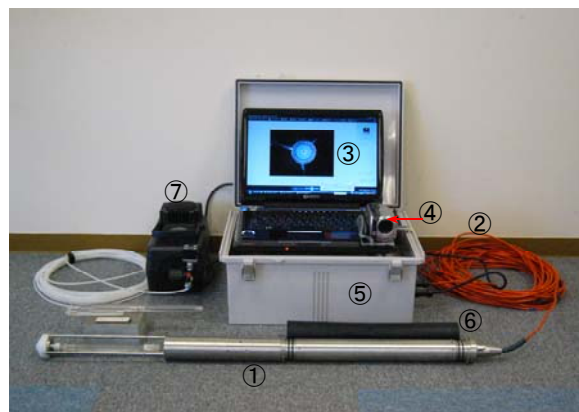


写真-1 連続式流向流速測定システムの全体構成



写真-2 新たな接続治具

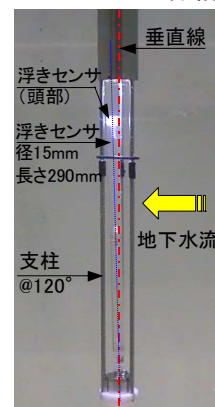


写真-3 傾斜状況

キーワード；地下水流動，海底湧水，地下水流向流速計，地下水調査，画像解析

連絡先；〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社 技術研究所 TEL 04-7198-1365

(写真-3) に水深が 0.90m になるまで水道水を入れ、写真-4 に示す順次回転させながら固定できる治具で連続式流向流速計本体をリニアアクチュエータ (1×10^{-6} m/s 単位の精度で移動速度を制御可能な装置) に設置する。回転固定できる治具は、連続式流向流速計の方向を 22.5° 毎に正確に固定することが可能である。その後、リニアアクチュエータにより連続式流向流速計の移動速度を PC で制御しながら、移動速度一定の基で実験を行った。

連続式流向流速計の流向測定精度の検証実験は、図-2 に示すように地盤内では 360° 任意方向からの地下水流が想定されるため、浮きセンサが下端部ヒンジ構造(写真-2)を介して、正確な方向に傾斜挙動を示すことを確認する。ここで、実験時の浮きセンサの傾斜方向は、リニアアクチュエータによる連続式流向流速計の移動方向と 180° 逆方向に傾斜(浮きセンサ頭部が移動)することを検証する。

実験条件としては、以下に示すとおりである。

- ① 連続式流向流速計の設置角度：基本は、順次 22.5° または 45° ずつ回転させながら 360° まで実施
- ② 実験時の流速(移動速度)： 5×10^{-5} m/s $\sim$ 1×10^{-2} m/s

4. 室内実験結果

図-3 に実験時の固定方向の角度と測定値の関係(代表的な流速として 1×10^{-3} と 3×10^{-3} m/s)を示す。両流速の結果とも、設定した角度に浮きセンサがほぼ正確に傾斜していることがわかる。今回の室内実験では、設定した角度と測定値の最大誤差は約 19° で、平均誤差は 8° 程度で 10° 未満の結果が得られ、従来の流向流速計における測定精度³⁾と同等以上であり、実用的な測定精度まで向上できたものと考えられる。

また、図-4 には、 3×10^{-3} m/s の流速一定の基で、角度ごとの浮きセンサ頭部の移動量(ピクセル数)を示す。同図には、赤実線で移動量の平均値を示した。同一速度での実験であり、理想的には各方向の移動量が同じになる。

今回の実験では、浮きセンサ頭部移動量は、固定角度によって多少バラツキはあるものの標準偏差 $\sigma = 5.5$ であった。今回の 5.5 ピクセルを基に、参考文献 1) の浮きセンサ頭部移動量と流速の関係図から得られる流速値の差は非常に小さく、実験時の流速レベルではほとんど影響がないことがわかった。また、流速 1×10^{-3} m/s においても同様の傾向であった。

5. おわりに

最後に、21 世紀は「水の世紀」とも言われており、安全・安心を与える地下水資源の有効活用や環境保全上健全な水循環を図るため、「地下水の動き」を把握する原位置調査技術の更なる高度化に取り組んで行く所存である。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C) 課題番号：19560506)の助成を受けて行ったものである。また、室内実験については、電中研 宮川公雄氏、長岡技大 田崎健祐君にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 小林ら：画像解析手法を用いた地下水流動場の連続的な流向流速モニタリング，地盤工学ジャーナル，Vol. 4, No. 1, pp. 117-124, 2009. 2) 小林ら：連続式流向流速計の開発に向けた流体シミュレーション，2007 年秋季講演会講演要旨、日本地下水学会、pp. 194-199, 2007. 3) 例えば，<http://www.taiseikiso.co.jp/tec/pdf/ryusoku.pdf>.

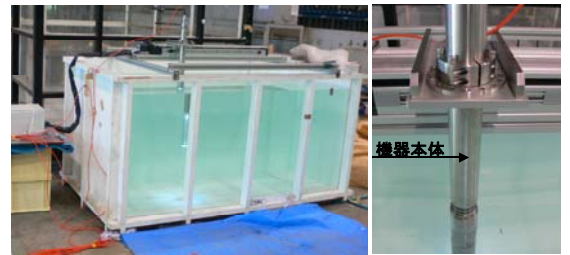
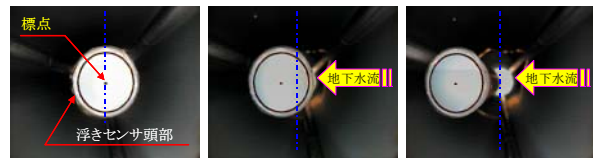


写真-3 実験水槽の外観

写真-4 固定治具



(1) 静水中 (2) 流れが遅い (3) 流れが速い
写真-5 静水中および流水中の取得画像例

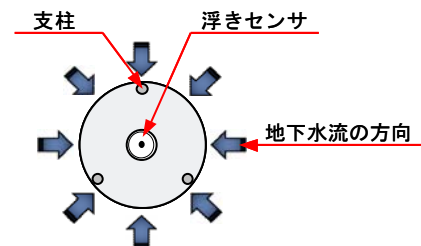


図-2 浮きセンサへの地下水流の平面的作用イメージ

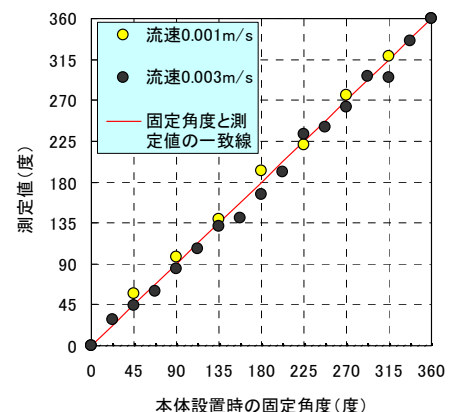


図-3 実験時の固定方向の角度と測定値の関係

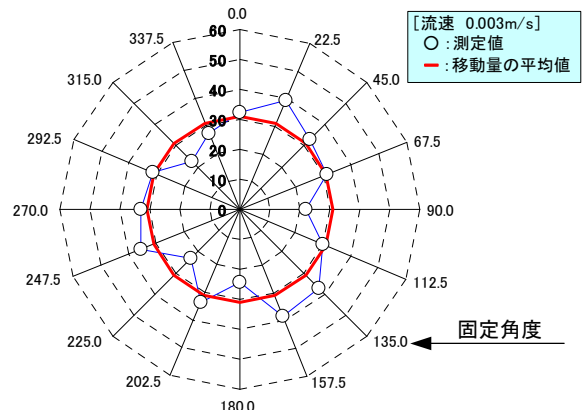


図-4 浮きセンサ頭部の移動量(ピクセル数)の比較