

画像解析技術を用いた連続式流向流速計の低流速域測定レベルの検証

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

1. はじめに

沿岸域などの地下水流動は、潮汐、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～中・長期的に随時変化している。一方、従来の各種測定機器では、間隙水圧、電気伝導度および水温などの経時変化を連続データとして測定できるものの、地下水流向流速の測定については極めて困難である。このことから、これまで不可能であった地下水流向流速の経時変化を連続データとして他の連続データと共に把握できれば、前記の各種外的要因を考慮した正確な地下水位変動や地下水汚染領域の予測など、各種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。

本論文では、図-1 に示すような沿岸域などの複雑かつ常に変動している地下水流動の流向と流速を連続データとして測定するために開発した連続式流向流速計¹⁾の低流速域における測定レベルの検証を目的に、浮きセンサの仕様(径と長さ)を変えた場合の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

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。

写真-1 の①～⑦に対応した主要装置の概要を以下に示す。

- 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込んだ連続式流向流速計の本体 (標準長 1,200mm, 直径 50mm, ステンレス製)
- ②電力および画像伝送ケーブル (オレンジ色のケーブル)
- ③大容量 HDD 内蔵の取得画像の保存・表示装置
- ④長時間の連続動画の取得・保存用 HDD ビデオカメラ
- ⑤AC/DC コンバーター等を組み込んだ各種ケーブル類接続および測定装置の保管・搬送用ボックス
- ⑥連続式流向流速計の本体に装着するゴムパッカー
- ⑦連続式流向流速計の本体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

地下水流動の流向流速測定時や長時間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 内蔵の保存装置に保存すると共に、HDD ビデオカメラにも測定および長時間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、数多くの非定常流体シミュレーション結果を基に、地下水流に対して常に安定した挙動を示した円形断面を最終的に採用している²⁾。

3. 地下水流速の測定原理

写真-2 は、静水中および流水中の浮きセンサ頭部を内蔵テレビカメラにより撮影した各画像例を示す。写真-2 (a) に示すように、静水中では浮きセンサは鉛直に立っており、浮きセンサ頭部は取得画像の中心に位置する。一方、流水中では、浮きセンサは地下水流の下流側に傾斜し、浮きセンサ頭部が画像中心から下流側に移動する(写真-2 (b) 参照)。この下流側への移動量が大きいほど地下水流速が速いことにな

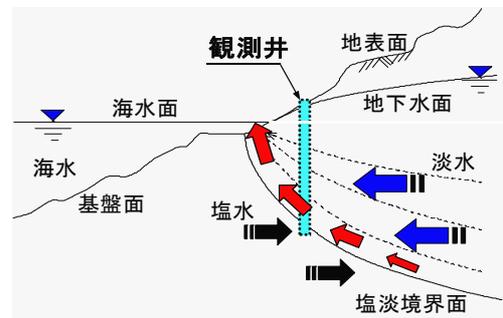


図-1 沿岸域の塩淡水境界面付近の地下水流動

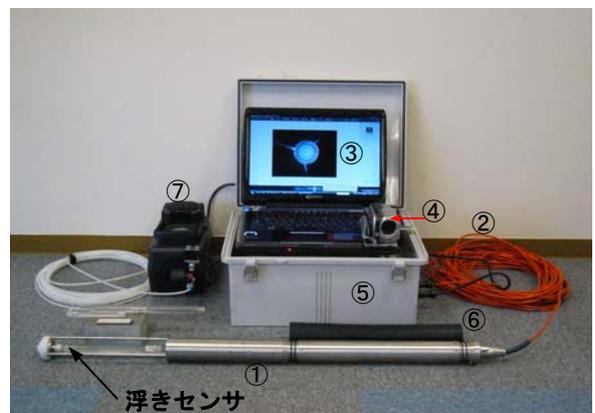
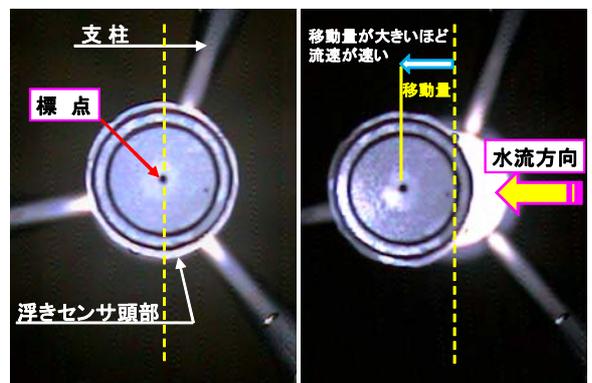


写真-1 連続式流向流速測定システムの全体構成



(a)静水中 (b)流水中
写真-2 浮きセンサ頭部の取得画像例

キーワード ; 地下水調査, 地下水流動, 流向流速計, 画像
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

る。なお、テレビカメラで取得したデジタル画像を用いた浮きセンサ頭部の中心位置の移動量(ピクセル数)を画像解析により算定する場合、個人誤差や写真座標の読み取り誤差が測定精度に影響を及ぼす。このことから、浮きセンサ頭部の中心位置に小さな黒い丸点(以下、標点と記す。写真-2 参照)を配置し、標点の明度(黒:0~白:255)の256階調による重み付き重心の値を写真座標として取得することで、読み取り精度の向上を図っている。

4. 室内実験の概要とその結果

室内実験で使用した実験水槽(幅2m×高さ1m×奥行き1m)を写真-3に示す。また、長さの異なる浮きセンサ例を写真-4に示すと共に、表-1には今回実施した実験ケースを示す。なお、実験は、均一な地下水流動場を室内で再現することが難しいことから、連続式流向流速計の本体を低速度で水中移動させる方法により実施した¹⁾。実験手順としては、水槽に水深が0.90mになるまで水道水を入れると共に、固定治具で連続式流向流速計の本体を移動速度を制御するリニアアクチュエータに固定する(写真-3の右参照)。その後、リニアアクチュエータに固定した本体をパソコン(PC)で正確に制御(1×10^{-6} m/s 単位の移動速度を制御可能)しながら、 $3 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-2}$ m/s の範囲内の任意速度下で浮きセンサ頭部の移動量を順次測定した。

図-2に任意流速(移動速度)下での各種浮きセンサの頭部移動量の測定結果と共に、各近似曲線の相関係数(R)も示す。図より、浮きセンサの径が太く、長さが長くなるほど低流速域の地下水流速を測定できることがわかる。例えば、ケースB-15-290では、 3×10^{-5} m/s 程度までの低流速域まで測定可能である。ここで、ボーリング孔内に流向流速計を設置して地下水流速を測定した場合、周辺地盤内の地下水流速に比べ、孔内の地下水流速は10倍程度大きな値が得られる³⁾。このことから、本室内実験で測定した $3 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-2}$ m/s の流速は、周辺地盤内の地下水流速に換算した場合、 $3 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$ m/s 程度に相当する。

以上より、浮きセンサの径15mmの場合、長さを290mm以上にすれば、従来の地下水流向流速計と同等^{4),5)}の 10^{-6} m/s レベルの地下水流速まで測定できることがわかった。

5. おわりに

最後に、21世紀は「水の世紀」と言われている中、貴重な水資源として活用されている地下水の実態把握については十分に解明されていない。このことから、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の「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、室内実験に関するアドバイスについては電力中央研究所 宮川公雄氏に、実験データの取得・整理については長岡技術科学大学 環境・建設系 中村良平君にご協力を頂きました。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:地下水流動場の連続的な流向流速測定技術の確立に向けた流体シミュレーション,地下水学会誌,第51巻,第4号, pp.349-360, 2009. 3) 安藤義久, 田村孝廣, 齊藤秀晴, 野沢篤志: CCDカメラを利用した地下水流向流速計の適用性, 水文・水資源学会 1990年研究発表会要旨集, pp.196-199, 1990. 4) 安藤義久, 齊藤秀晴, 長塚正樹: テレビカメラを応用した地下水流向流速計の開発とその適用性, 土木学会第42回年次学術講演会, pp.200-201, 1987. 5) <http://www.taiseikiso.co.jp/tec/pdf/ryusoku.pdf>, 2010.

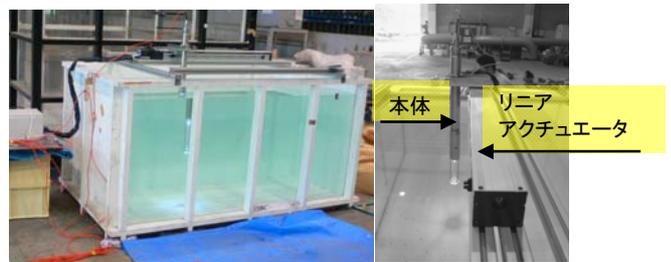


写真-3 実験水槽(左)とリニアアクチュエータ(右)

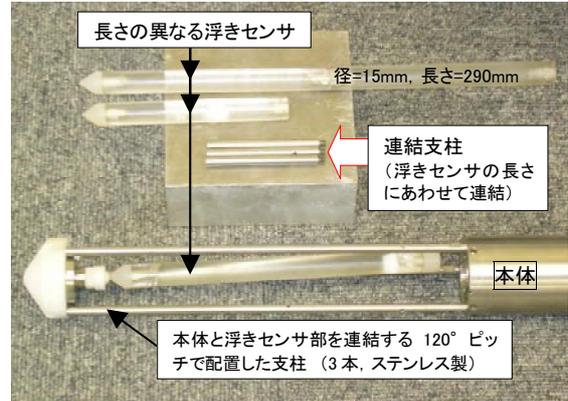


写真-4 長さの異なる浮きセンサと連結支柱

表-1 実験ケース一覧

ケース名	浮きセンサ			移動速度 (m/s)
	断面形状	径 (mm)	長さ (mm)	
A-10-140	円形	10	140	3×10^{-5} ~ 1×10^{-2}
A-10-210		10	210	
B-15-210		15	210	
B-15-290		15	290	

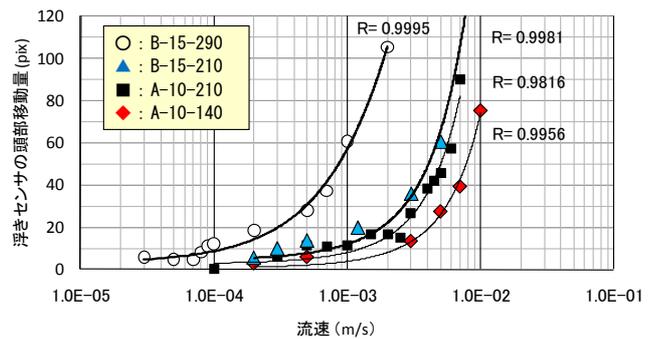


図-2 各浮きセンサの流速と頭部移動量の関係