

CCDカメラを用いた光学式流向流速計開発に関する基礎的実験

飛島建設	技術研究所	正会員 ○ 小林 薫	正会員	近久 博志
同上		正会員 松元 和伸	正会員	熊谷 幸樹
同上		正会員 筒井 雅行	正会員	阿保 寿朗

1. はじめに

近年、各種環境問題がクローズアップされ、その1つとして建設工事に関わる地下水汚染、地下水流動阻害、井戸枯れなども深刻な社会問題になっており¹⁾、事前に地下水に関する精度の高い情報を得ることがきわめて重要な課題になっている。最近では、地下水調査において経済性の高い単一ボーリング孔（以下、単一孔と記す）によるCCDカメラ（Charge Coupled Device Camera）などを用いた流向流速計²⁾が注目されている。しかし、現状の流向流速計は、機能的に鉛直方向成分の流向流速を同時に評価することができないため、現地における実際の3次元的な地下水挙動を正確に把握することがきわめて難しい。こうした背景に対して、本論文では単一孔で3次元的（特に、鉛直方向）な地下水挙動を正確に把握することが可能なCCDカメラを用いた光学式流向流速計の開発を目的に行った室内基礎実験の結果とその適用性について言及する。

2. 室内基礎実験

2.1 実験概要

室内基礎実験の概要を図-1に示す。実験手順は、まず液体を入れた容器を静置し、その上部にプリズムとCCDカメラ(640×480ピクセル)を設置する。その後、粒子を液体上部より静かに入れて液体中を沈降させる。この粒子の沈降状況（写真-1の↑印）は、経過時間とともにプリズムを通して2方向から見た画像として、CCDカメラに接続したパソコンに順次取り込んだ（写真-1）。粒子の沈降速度は、取り込んだ画像を用いて精密写真測量³⁾による解析を行い算出した。なお、解析時に必要となる長さ情報（既知長さ）は、事前に液体底面に配置しておいた標点（写真-1の○印）間の距離を与えている。

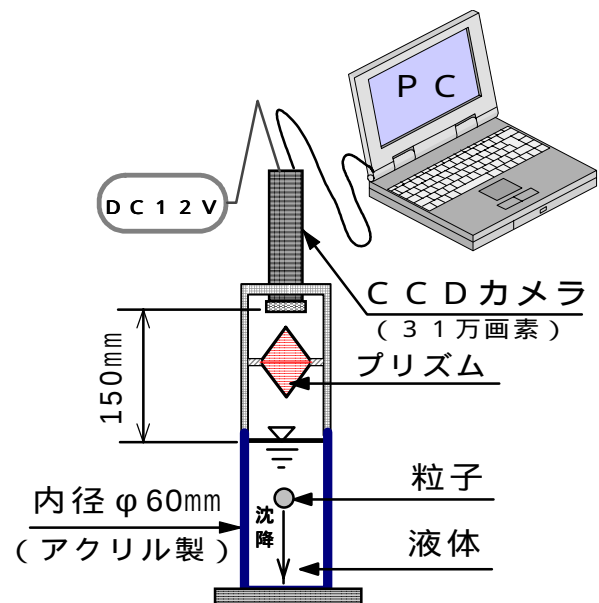


図-1 室内基礎実験の概要図

解析により得られた沈降速度は、ストークス（Stokes）が理論的に導いた式（1）～（3）⁴⁾より求まる沈降速度（終末沈降速度）と比較し、測定精度の検証とその適用性について検討した。

$$v_t = \left(\frac{4gd(\rho' - \rho)}{3\rho C_D} \right)^{1/2} \quad (1) \quad , \quad Re = \frac{v_t d \rho}{\mu} \quad (2)$$

$$C_D = 24 / Re \quad (Re < 1) \quad (3)$$

ここで、 v_t : 粒子の沈降速度、 ρ' : 粒子の密度、 ρ : 液体の密度、 g : 重力の加速度、 μ : 流体の粘性係数
 C_D : 粒子の抵抗係数、 d : 粒子の直径、 Re : Reynolds数

キーワード : 地下水, 単孔式, 流向流速, 3次元調査, CCDカメラ

〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬5472 TEL: 04-7198-7572 FAX: 04-7198-7586

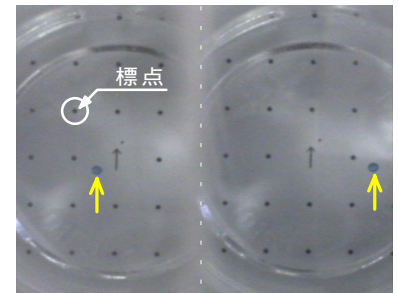
2.2 実験条件

室内実験に用いた粒子は、ガラスビーズ（直径 $d=1.02\text{mm}$ 、密度 ρ' 2.4t/m^3 ）とポリエチレン粒子（直径 $d=0.88\text{mm}$ 、密度 ρ' 1.03t/m^3 ）の2種類である。また、液体は、シリコンオイル（信越化学工業製、粘性係数 $\mu=1.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ （20℃）、密度 $\rho=0.974\text{t/m}^3$ （20℃）⁵⁾を用いた。

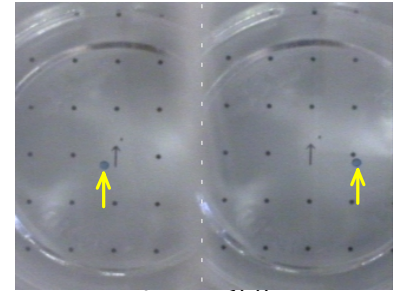
3 解析結果と考察

取得した画像を左右2枚に分割した後、Self Calibration法を用いて解析を行う。解析時における標点の写真座標の読み取り誤差は、測定精度に影響を与える。このことから、標点の写真座標を精度良く読み取るために、標点の明度による重み付き重心の値を写真座標として取得した⁶⁾。

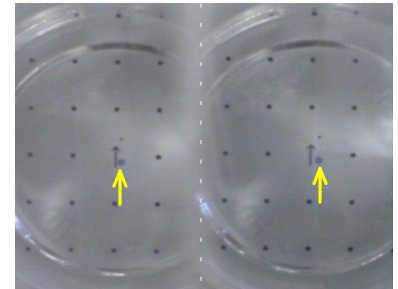
図-2および図-3に精密写真測量で得られた液体中を沈降する各粒子の経過時間と沈降距離の関係を示す。ガラスビーズを用いた解析値は、理論式から求まる沈降速度（以下、理論値と記す）に比較していくぶん遅い傾向にあるが、ポリエチレン粒子は理論値と比較的良く一致していることがわかる。図-4および図-5には、測定区間ごとに算出した各粒子の沈降速度を示す。また、表-1は、解析により得られた平均沈降速度と理論値の比較を示す。今回実施した2種類の粒子を用いた沈降速度の測定実験では、使用した粒子の密度や液体の粘性係数の厳密性を考慮した場合、理論値と良く一致しているものと考えられ、地下水流動の鉛直方向成分を実務的には十分な精度で測定可能であることがわかった。



(a) 16 秒後



(b) 34 秒後



(c) 100 秒後

写真-1 取得画像例(ガラスビーズ)

4 おわりに

今回、室内基礎実験を基に精密写真測量手法を用いて液体中の粒子の沈降速度を算出した。その結果、本手法は実務的に十分な測定精度で鉛直方向成分の地下水挙動を把握するための調査法として適用可能である。今後は、測定精度の向上とトレーサー等の検討を加え、光学式流向流速計の早期実用化を図って行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 小林薫：掘削工事と被圧地下水、平成11年秋季講習会テキスト、(社)地下水技術協会、pp.67-85、1999.、
- 2) 西垣誠：技術手帳 地下水の流向・流速、土と基礎、Vol.39、No.8、pp.56-58、1991.、
- 3) A.Okamoto:The Model Construction Problem Using the Collinearity Condition,Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,Vol.50,No.6,pp.705-711,1984.、
- 4) 信越化学工業：技術資料 シリコンオイルKF96、性能試験結果、1999.、
- 5) 土木学会：水理公式集-昭和60年版-、pp76-77、pp.416-417、1985.、
- 6) 近久、中原、筒井、大西、岡本：岩盤空洞の不連続面分布調査に対する精密写真測量の適用性、第1回岩盤工学シンポジウム講演論文集、pp.45-46、1996.

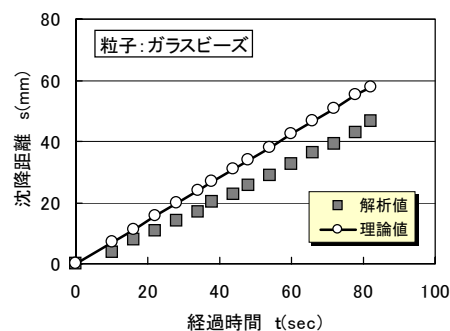


図-2 経過時間と沈降距離の関係

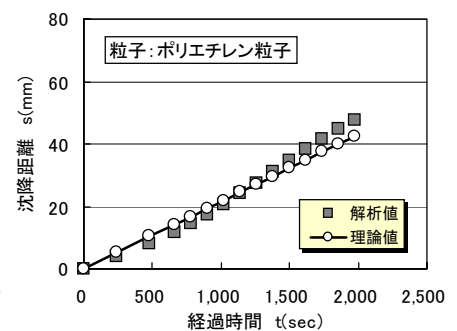


図-3 経過時間と沈降距離の関係

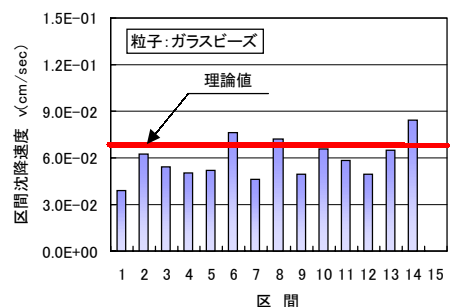


図-4 区間沈降速度の算出

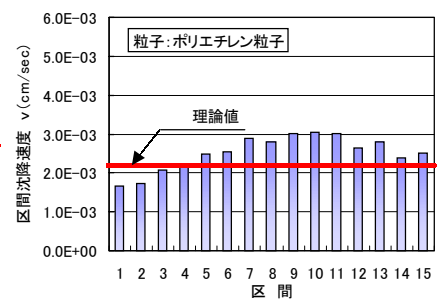


図-5 区間沈降速度の算出

表-1 解析値と理論値との比較

	沈 降 速 度 (cm/sec)		比率①/② (%)
	①解析値(実験結果)	②理 論 値	
ガラスビーズ	0.059	0.070	84.3
ポリエチレン粒子	0.0024	0.0022	109.8