

単一孔による3次元地下水流向流速測定に関する室内基礎実験

飛島建設 技術研究所 正会員 小林 薫 正会員 近久博志
正会員 松元和伸 正会員 中原博隆
正会員 筒井雅行 正会員 熊谷幸樹

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分や都市部を中心とした大深度地下利用など地下空間利用が注目を浴びている。これら各種構造物の建設にあたっては、立地選定や事前の影響予測等において、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の1つである。このため、各種地下水調査技術に関する研究・開発が進められており、近年では経済性の高い単一ボーリング孔（以下、単一孔と記す）を用いた原位置調査法^[1]が注目されている。しかし、現状の単一孔を用いた地下水流向流速計による調査では、2次元（平面的）な評価しかできないため、実際の3次元な地下水挙動を正確に把握できない。

本報告は、空間内の3次元座標を求める精密写真測量手法を用いて、単一孔で3次元な地下水挙動を把握できるCCDカメラを用いた流向流速計の開発を目的に行った室内基礎実験の結果について述べる。

2. 実験概要

室内基礎実験の概要を図-1に示す。ここでは、ある一定時間にトレーサー等が水中を3次元的に移動する状態を想定した。まず、相対的な3次元座標が既知である標点（標点固定台φ55mm）を水中（水温21℃）に設置する。静置した後、CCDカメラ（31万画素）と標点間に鏡（4枚使用）を配置する。そして、水中にある標点群を鏡を利用して視点の異なる（図-1の①と②方向）2方向画像を1画像として撮影し、CCDカメラに接続しているパソコンに取り込んだ^[2]。なお、水中に標点を配置した場合には、屈折の影響が考えられ、比較検討のため気中で同様の画像を取得した。また、気中における取得画像は、鏡の配置方向に対する流向（標点固定台の傾斜方向）の影響を検討するため、鏡に対して標点固定台の傾斜方向を変化させた3画像を取得した（写真-1）。写真-1の中の数字は、画像解析時に用いた標点番号（1～8）を示す。

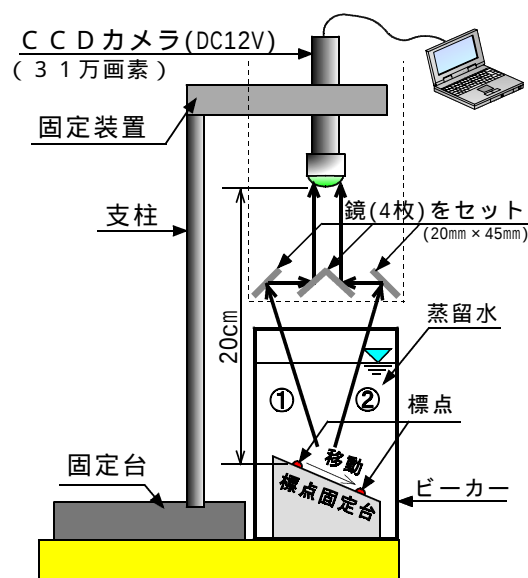


図-1 実験概要(90°画像撮影時)

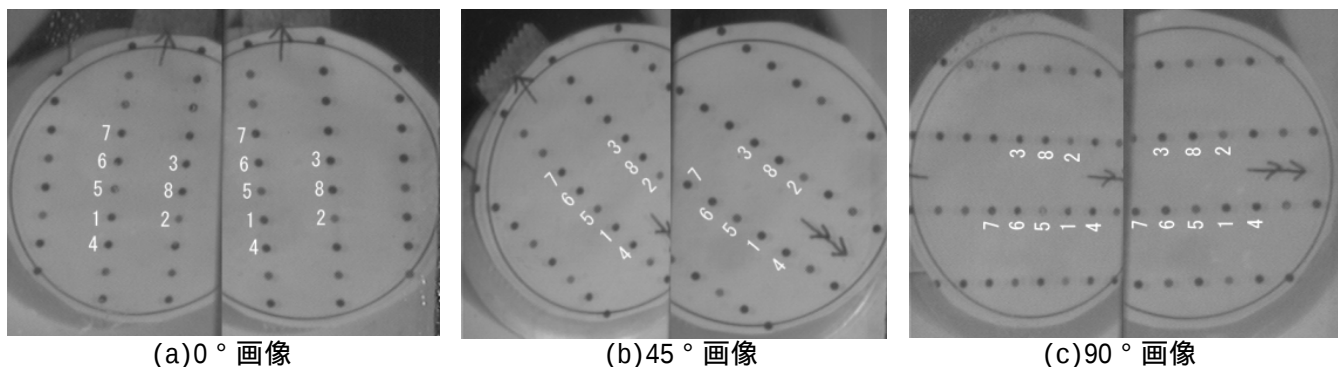


写真-1 解析に用いたデジタル画像（傾斜方向を変化させたデジタル画像）

キーワード；地下水調査、流向流速、単孔式、精密写真測量、デジタル画像、CCDカメラ

〒270-0222 千葉県東葛飾郡閼宿町木間ヶ瀬5-4-7-2 TEL 0471-98-7572 FAX 0471-98-7586

3. 解析ケースと標点の画像座標の取得

左右2枚に分割したデジタル画像を Self Calibration 法（解析理論は文献[3]を参照）を導入し、撮影時に画像情報として既知長さ（基準長）を与えることから各標点の3次元座標を求め、標点間の相対水平及び相対鉛直距離を算出した。この算出結果を当初の設定距離と比較し解析精度の検証を行った。

表 - 1 解析ケース

ケース名	画像枚数 (枚)	傾斜方向 (流れの方向)	基準点数 (点)	基準長さ (本)	標点配置場所 (空中or水中)
case1	2	0度	2	2	空中
case2	2	45度	2	2	空中
case3	2	90度	2	2	空中
case4	2	45度	2	2	水中

※基準点の標点番号は、1と2で、基準長は1-2と2-3の区間長を与えた。

Self Calibration 法による解析は、表 - 1 に示す4ケースの条件の基で実施した。なお、解析精度に及ぼす流向などの影響検討については、解析条件を合わせるため全画像に共通した8つの標点(1~8)を用いた。また、取り込んだ画像における各標点の中心座標の取得については、各標点が複数の画素で表されているため、写った標点の色の濃さ(黒:0~白:255)から色の濃さの重み付き重心座標を自動的に算出させている^[2]。

4. 解析結果

前述の解析条件の基で算出した各ケースごとの2点間の相対水平及び相対鉛直距離の算出結果を表 - 2 に示すと共に、当初の設定距離との誤差(%)を算出結果の下に示す。なお、case4においては、水中にある標点を上部より見た(撮影した)場合、図 - 2 に示すように見かけの深さ(AZ')は屈折率の関係から実際の深さ(AZ)の3/4倍に見える^[4]ため、算出された相対鉛直距離については4/3倍して実鉛直距離にした。

表 - 2 のcase1~3の算出結果を比較した場合、両相対距離とも case3 > case2 > case1 の順で誤差が小さくなる傾向を示したが、全体的には傾斜方向(流向)による解析精度への影響は大差ないものと考えられる。また、相対鉛直距離の誤差は、相対水平距離の誤差に比較して大きいものの最大で7%程度(case3)であった。

次に、標点の配置場所(case2の空中とcase4の水中)の違いによる解析精度への影響は、水中の方が空中に比較して両相対距離とも若干誤差が大きくなっている。しかしながら、水中における最大誤差は相対水平距離で3%程度、相対鉛直距離で9%程度であり、実務的には十分な解析精度であると考えられる。以上より、本測定方法は、これまで困難であったトレーサー等の鉛直方向の移動距離についても比較的正確に算出できることから、従来より地下水流向流速測定の精度向上を図れるものと言える。

表 - 2 各標点間の相対距離の算出結果と誤差

ケース 標点区間	case 1		case 2		case 3		case 4		当初設定距離 上段:水平距離mm 下段:鉛直距離mm
	水平距離(mm) 誤差(%)	鉛直距離(mm) 誤差(%)	水平距離(mm) 誤差(%)	鉛直距離(mm) 誤差(%)	水平距離(mm) 誤差(%)	鉛直距離(mm) 誤差(%)	水平距離(mm) 誤差(%)	鉛直距離(mm) 誤差(%)	
4-5	10.282 0.17	2.650 1.92	10.405 1.02	2.447 5.88	10.173 1.23	2.456 5.54	10.637 3.27	2.851 9.64	10.302 2.60
4-6	15.443 0.11	3.951 1.31	15.543 0.54	3.784 2.97	15.253 1.34	4.141 6.18	15.756 1.91	4.143 6.22	15.453 3.90
4-7	20.609 0.04	5.234 0.65	20.621 0.10	5.303 1.98	20.336 1.28	4.811 7.48	20.900 1.46	5.411 4.05	20.604 5.20
4-8	16.349 0.15	2.639 1.50	16.444 0.43	2.588 0.46	16.339 0.22	2.462 5.31	16.585 1.29	2.628 1.07	16.374 2.60

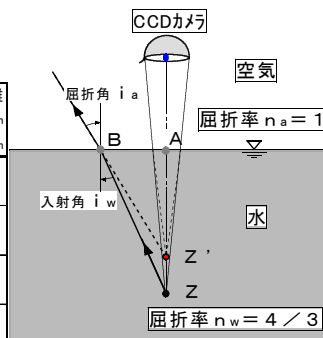


図 - 2 見掛けの深さ

5. まとめ

今回、CCDカメラを用いた単一孔による3次元地下水流向流速計の開発を目的に行った室内基礎実験の結果について示した。精密写真測量手法を用いて水中に配置した仮想トレーサー(標点)の3次元座標を求め、2点間の相対距離を算出した結果、実務的に十分な精度で3次元流向流速を測定可能であることがわかった。今後は、測定精度向上とトレーサー等の検討を加え、試作中の地下水流向流速計の実用化を図って行きたい。

参考文献

- [1]西垣誠：技術手帳 地下水の流向・流速、土と基礎、No.403、pp.56-58、1991.
- [2]松元和伸、近久博志、小林薫、中原博隆、筒井雅行：CCDカメラを用いた地盤傾斜計の開発、土木学会第54回年次学術講演会、-A375、pp.750-751、1999.
- [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]三宅和夫著：幾何光学、共立出版、pp.16-17、1991.