

光の屈折率の違いを利用した光ファイバーセンシング手法に関する基礎的研究

神戸大学 学生会員 村越 堅

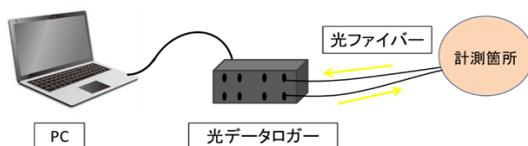
神戸大学 正会員 芥川 真一

1.研究の背景と目的

地下水によって引き起こされる被害や問題が多くある。例えば、土砂災害、地層処分における地下水流入などがあげられる。しかし、現在なされている防災、減災の対策は多くの費用と時間を要するため、数多く存在する危険箇所すべてに対処できていない。そのため地下水位の変化を簡易かつ低コストで観測する必要がある。本研究では光の屈折率に注目した光ファイバーを用いたセンサーの製作を行った。この光ファイバーセンサーに類似した研究は他分野（例えば、容器内の液面位置確認¹⁾）での適用が報告されてはいるが、地盤工学分野への適用はほとんどないのが現状である。本稿は、その有用性に着目し、土砂災害対策推進や地層処分などの地中の水分移動が重要となる分野にも将来的に適用が可能となるか否かを検討した²⁾ので、その成果を報告する。

2.計測方法

本研究はLS³/digital(Light State Sensor System/digital)に用いる光ファイバーセンサーを考案し、適用可能性を検討した。まず、LS³/digitalとは光データロガーと光ファイバーを用いた計測システム³⁾である。計測方法は、光データロガーの光源から出る光を一本目の光ファイバーを通じて測定対象箇所まで運び、測定対象箇所からの反射光を二本目のファイバーを通じて、光データロガーまで戻し、その光の量をセンサーで電圧に変換し、データロガーでそのデータを記録し、PCで表示するというものである。計測対象箇所の変状や水などが通過した時に、光強度の変化があらわれ、その様子をモニタリングすることができる。

図1 LS³/digitalの構成

3.光ファイバーセンサー

光ファイバーセンサーは、光ファイバーを二本合わせて、先端部分を接着し、その先端部分をそれぞれ45度にカットし、先端を尖らせたものである。

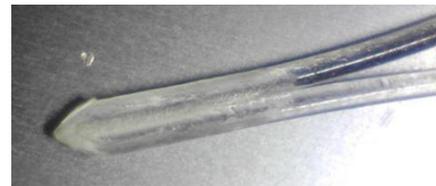


写真1 光ファイバーセンサーの写真

この光ファイバーセンサーの原理は、光源から出た光が一本目の光ファイバーの先端まで到達すると、切断面に反射し、二本目のファイバーに移り、二本目のファイバーの切断面に反射し、二本目の光ファイバーを通じてセンサーまで運ばれるというものである。光ファイバーの先端周辺に存在する物質の屈折率により、反射光と透過光の量が変わる。光ファイバーの先端周辺に存在する物質の屈折率と光ファイバーのコアの屈折率との差が小さいほど、透過光が多くなり、反射光が少なくなる。逆に光ファイバーの先端周辺にある物質の屈折率と光ファイバーのコアの屈折率との差が大きくなるほど反射光が多くなり、透過光が少なくなる。この屈折率の差による反射光の増減で、光ファイバーの先端の状態をモニタリングするセンサーである。



図2.9 光ファイバーセンサー原理（断面図）

4.実

①ビーカーに水を入れ、光ファイバーセンサーの先端を水面から2cmほどの所に置き、約10秒間水中に2cmほど入れ、再び元の位置に戻した。これを三度繰り返した。その時の光強度の変化を図4に示す。

キーワード OSV LS³/digital 光ファイバー 屈折率 光強度 地下水

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 Tel 078-803-6015

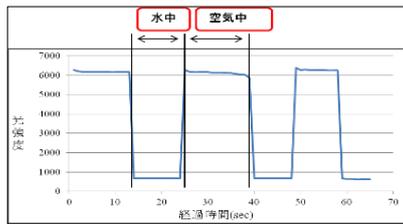


図4 センサーを水中に出し入れした結果

②光ファイバーセンサーを机に対して 60° 程度の角度で固定した。スポイトで水を吸い、光ファイバーセンサーの先端に一滴水をゆっくり垂らした。その後、自然乾燥するまでしばらく放置した。その過程での光強度の変化を図5に示す。

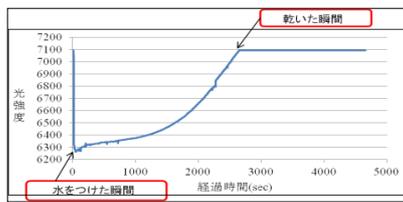


図5 センサーに水一滴垂らし乾燥させた結果

③排水口の方のチューブに栓をした状態で、砂を底から8cmの地点まで入れ、軽く押し固めた。光ファイバーセンサーをプラスチック容器の印をつけた面に沿うように、先端が底から0.5, 2.5, 6.5cmの地点にくるように三つ挿入し、固定した。さらに、4つ目の光ファイバーセンサーをプラスチック容器の中央に、先端が底から2.5cmにくるように一つ挿入し、固定した。砂の入ったプラスチック容器をホットプレートに乗せ、チューブを通して水を底から注入し、水が底から8cmの地点まで来た時点で注入するのを終了した。この水位上昇実験での光ファイバーセンサーにおける光強度の変化を1秒ごとに測定した。その後、排水口のチューブの栓を外し、ホットプレートを50度に加熱しながら、約一日、砂を乾燥させた。この乾燥実験での光ファイバーセンサーにおける光強度の変化を30秒ごとに測定した。この間の結果を図6,7に示す。

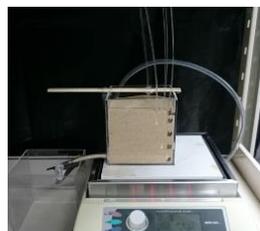


写真2 実験用器具配置

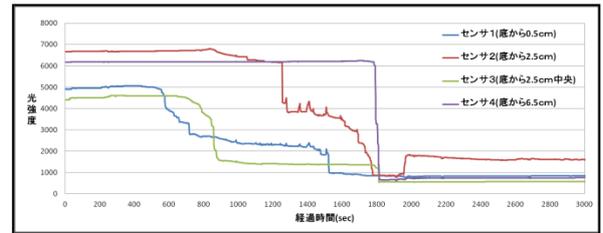


図6 水位上昇実験結果

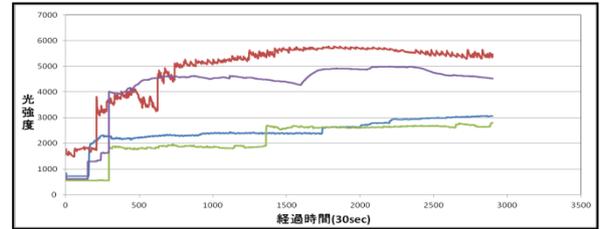


図7 乾燥実験結果

5.結論

現状、LS³/digital で用いられている光ファイバーセンサーは、土粒子の移動や浸透水などの変化を読み取ることはできるが、その時の光強度の変化が上昇するか減少するかなどバラつきがあり、その光強度の変化も大きいわけではない。それに対し、本研究で説明した光ファイバーセンサーは、水が到達すると光強度が減少し、また光ファイバーセンサーについている水の量で光強度が変化するため、今までの光ファイバーセンサーより正確に水の到達を読み取ることができることが明らかになった。さらに、水が到達したときの光強度の変化が今までの光ファイバーセンサーよりも大きく、光データロガーを通すことなく、目で変化をはっきりと読み取ることができることも確認した。つまり、光源と光ファイバーセンサーのみがあれば、変状を読み取れるということになり、より低コストでモニタリングをすることができることになる。

参考文献

- 1) 株式会社槌屋.反射体を用いた光ファイバ液面計測センサー.特開 昭 62-49221
- 2) 村越堅：光の屈折率の違いを利用した光ファイバーセンシング手法に関する基礎的研究，卒業論文，神戸大学工学部市民工学科，2017
- 3) Akutagawa, S., A. Nishio and Y. Matsumoto, A. Takahashi and Y. Machijima. 2014b. A new method for reading local deformation of granular material by using light, Proceedings of the 48th US Rock mechanics and Geotechnical Engineering Symposium, ARMA 14-7723, Minneapolis.