

光の屈折率変化を利用した光ファイバー計測の影響要因に関する研究

神戸大学大学院工学研究科 正会員 芥川 真一
神戸大学大学院工学研究科 学生会員 ○増本 智紀

プラスチック光ファイバー（Plastic Optic Fiber, 略称 POF）を利用して製作されるセンサーを用いたモニタリングは、安価で設置可能であり、物体の状態変化やセンサー付近の環境変化を敏感に捉えることが出来る。また、水の到達を始めとして多様な分野に応用可能なセンサーである。しかし、POF 計測を行う際の外部要因により計測データが影響を受けている可能性があることも指摘されている。本研究では POF センサーを利用した計測時データが熱環境にどのような影響を受けるかについて検討したのでその概要を報告する¹⁾。

1. POF センサーについて

POF センサーにはいくつかの種類があるが、本研究では光ファイバー端面での光の屈折（Refraction）と反射（Reflection）の原理を応用した RR センサー²⁾というものを使用することとする。

RR センサーは、二本のファイバーの先端を接着し、その先端部分をそれぞれ 45 度に切断したものである。光は RR センサーの

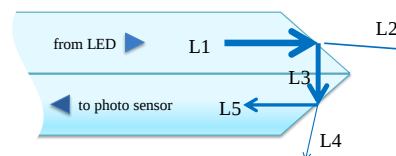


図1 RR センサーの構造

中を図1のような経路で伝搬してから受光部に届く。この時、切断面周辺に存在する物質の屈折率と光ファイバーの屈折率の差によって受光部に届く光（L5）の量が変化する。この光の強さを光強度 L とすると、それはセンサーが捉えた光の3原色の基本強度 $R(\text{red})$, $G(\text{green})$, $B(\text{blue})$ から以下のように定義される。

$$L = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2}$$

RR センサーはこのような仕組みでセンサー先端の物質の屈折率変化をモニタリングすることで、そこで生じている現象に関する情報を得るためのセンサーである。このセンサーを用いて熱による計測誤差の評価を行う。

2. 熱の影響を評価するための基礎実験(1)

熱環境が測定に及ぼす影響を評価するための基礎実験(1)として、図2のように粘土（総体積約 100cm^3 ）の内部に表面からの距離 5mm の位置に熱電対温度計と RR センサーをそれぞれ設置し、ホットプレートで熱を与えた時の光強度の変化と温度変化の関係を調べた。この時、光ファイバーの全体の長さは約 100cm で、その内、先端の 3cm 程度が粘土の中に埋め込まれた状態であったので、その部分の温度はホットプレートで加熱された粘土の温度と同程度になっていたと考えられる。一方で、残りの 97cm 程度は空気中の温度（約 20 度）と同程度になっていた想定である。この時、計測結果は図3のようになった。温度が上がれば上がるほど光強度の上昇が見られた。ここから、熱を与えることで、光ファイバーの先端部が接していた粘土の温度上昇と、先端部 3cm 程度の光ファイバーの温度上昇の両方を同時に反映した形で、光強度の増加が認められたと考えられる。



図2 実験(1)の外観

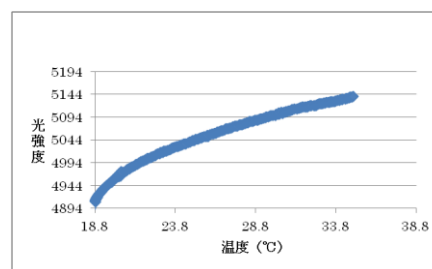


図3 実験(1)の結果

キーワード 光ファイバー, 維持管理, センシング, 熱環境

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL 078-803-6484

3. 熱の影響を評価するための基礎実験(2)

熱環境が測定に及ぼす影響を評価するための基礎実験(2)として、十分に硬化したセメントペースト内部の光強度を計測している RR センサーを構成する光ファイバー（全体の長さは約 100cm）の一部 40cm 程度を水に入れ、その水を 30 分程度加熱した時の影響を調べた。実験計測は最初の 30 分間の加熱プロセスの後、熱源を切ってからさらに 120 分間に渡って計測を続けた。その際の光強度の変化を図 4 に示す。30 分の加熱が行われていた時間帯（図 4 では計測回数 1800 までの区間）に対応して計測された光強度が増大し、その後の温度低下とともに緩やかに減少しており、光ファイバーが部分的に温められた影響が明確に出ていることがわかる。

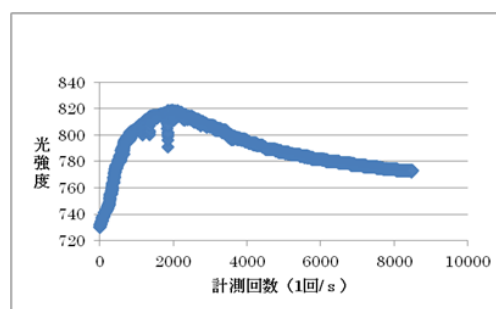


図 4 実験(2)の結果

4. ダミーファイバーによる温度影響の補正

RR センサーを利用した計測における熱の影響を排除する為、ダミーファイバーを用いた補正を検討した。ダミーファイバーとは 1 本の光ファイバーの先端と末端を光源と光専用データロガーの受光部につなげたもので、その長さの 1/2 が RR センサーの長さと同しくなるようにし、計測を実施する際に、その RR センサーと同じ場所に置くことで、同じ温度影響を受けるようにしたものである。これを用いて実験(2)の熱による影響を排除する事を検討した。具体的には、RR センサーで計測されたデータを初期値が 1 になるように無次元化したものを無次元データ O(=Original), 同様にダミーファイバーで計測されたデータも、その初期値が 1 になるように無次元化してそれを無次元データ D(Dummy)とし、その差 (O-D) を修正無次元データ M(Modified)とした。RR センサーによる計測においては初期値からの変動が重要な意味を持つため、ここで試行した修正方法によって得た図 7 は主目的である計測において温度の影響を除外したものとして扱うことができると考えられる。

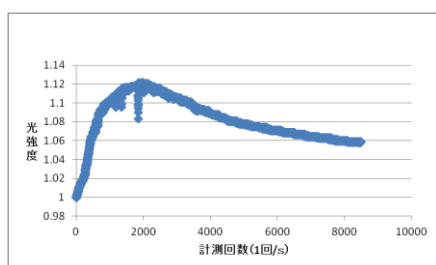


図 5 無次元データ O

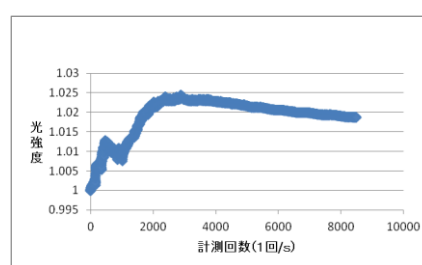


図 6 無次元データ D

5. 結論

ここで試行したデータの修正方法によって、POF を使用したセンシングにおける温度影響の除去方法の一案を確認することができた。今後も、様々な状況を想定した基礎実験を重ね、本来の計測データを純粋に評価できるように、検討を進めてゆきたい。

参考文献

1) 増本智紀：光の屈折率変化を利用した光ファイバー計測の影響要因に関する基礎的研究，神戸大学工学部市民工学科，卒業論文，2019.2.

2) Akutagawa, S., Machijima, Y., Sato, T. and Takahashi, A. 2017.

Experimental characterization of movement of water and air in granular material by using optic fiber sensor with an emphasis on refractive index of light, Proceedings of the 51st US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, ARMA 17-313, San Francisco..

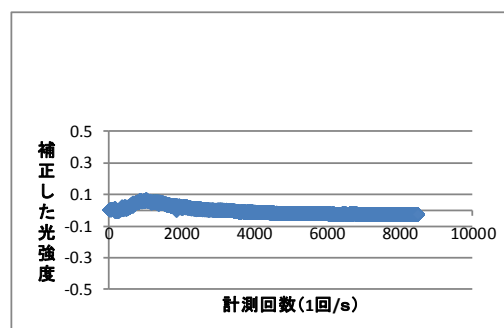


図 11 修正無次元データ M