

光の屈折率に着目した物質相変化モニタリングに関する基礎的研究

神戸大学 学生会員 ○田中良明
神戸大学 正会員 芥川真一

1. 研究の目的

本研究グループでは、光の屈折率変化を観測できるセンサーを開発した。このセンサーは光の反射(Reflect)と屈折(Refract)を利用するので RR センサーと呼んでいる。RR センサーは既往研究では地盤などの物質中の水の到達を観測するセンサーとして用いられてきた。¹⁾本研究では、RR センサーを用いて物質の状態変化を観測できるか否かを調べた。

2. 観測の原理

本研究ではLS³ (Light State Sensor System の略称) という観測機器を用いた。図 1 に示すように LS³は着脱式の光ファイバ、データロガー、アプリをインストールした PC で構成される。直径 1mm の光ファイバの先端から入る光がデータロガーの受光部に届き、データロガーが届いた光を分析、PC が分析結果を表示・記録する仕組みである。また データロガーには光源が内蔵されており、光源部に光ファイバを取り付けることで任意の地点に光を送ることができる。データロガーで分析された光は PC 上で RGB の光の強さ、光強度、明度、彩度などに分けられて表示される。本研究では RGB の光の強さの総和である光強度の変化に注目する。また光強度は無単位として扱う。その理由は、RR センサーは手作業によって作成されているので、センサー毎に精度が異なるからである

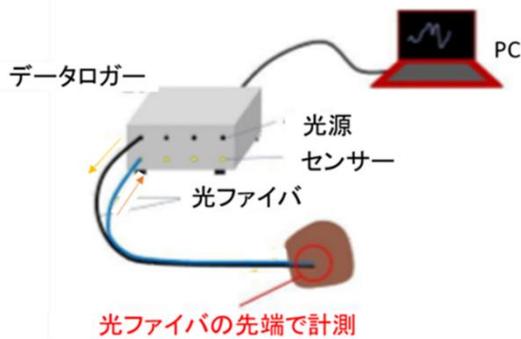


図 1 LS³模式図

3. RR センサーでの観測

RR センサーは図 2 のような構造である。光源からの光が RR センサー先端の切断面に到達すると、切断面で光の反射と屈折が発生する。屈折した光は透過光としてセンサー外部に漏れだし、反射光はセンサー内部を進行しデータロガーに届く。この反射と屈折の比率は光ファイバのコアと RR センサー周囲の物質の絶対屈折率の差によって決定する。以

下では絶対屈折率を屈折率と表現する。RR センサー周囲の物質の屈折率が変化すると反射と屈折の比率が変化し、それに伴いデータロガーに届く光の大きさが変化するので光強度の変化として観測することができる。

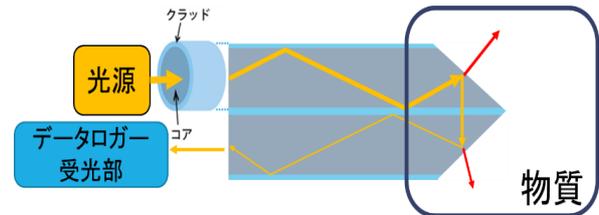


図 2 RR センサー模式図

光ファイバのコアの屈折率は 1.49 であり、その他の代表的な物質の屈折率は表 1 のようである。

表 1 様々な物質の絶対屈折率

光ファイバのコア		1.49
気体 0°C 1atm	空気	1.000293
	酸素	1.000271
	水素	1.000138
	水蒸気	1.000249-259
液体 20°C	水	1.333
	メチルアルコール	1.329
	エチルアルコール	1.359
固体	氷	1.309-1.313
	塩化ナトリウム	1.544

4. 水の凍結を捉える実験

本実験ではプラスチックカップに 100cc の水を入れ、その中に RR センサーを設置した状態で冷凍フリーザー内に入れ、光強度を観測した。実験時のフリーザー内の温度は-37 度であった。

結果は図 3 のようになった。観測初期の光強度は 40~50 だったが、95 分経過後に光強度が 815 にまで増加した。この光強度の変化によって、RR センサー周囲の水が凍結したと考えられる。水の屈折率は氷の屈折率より大きく光ファイバのコアの屈折率に近い。屈折率の大小関係を考えると RR センサー周囲の物質が水の時の方が透過光は大きくなるため、光強度は小さくなる。時間経過に伴ってセンサー周囲の水が凍結すると、屈折率が光ファイバのコアの屈折率と離れるので透過光が減少し光強度は

大きくなる.本実験では理論通りの結果が得られたので,RR センサーで水の凍結は観測できると結論付けることができる.

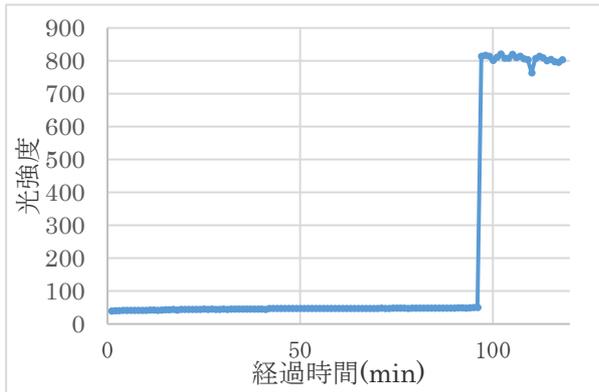


図3 水の冷却

5. 砂中の水の凍結を捉える実験

本実験では砂の中にある水が凍結する時に RR センサーで凍結を捉えられるかどうかを調べた.ビーカー内に水を含んだ砂の層を作成し,RR センサーを設置した状態で冷凍フリーザに入れ,光強度を観測した.

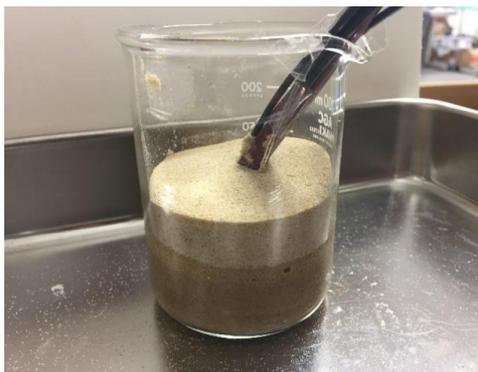


写真1 冷却前の様子

結果は図4のようになった.初期の光強度は40~42であったが,時間経過に伴って光強度は増加した.80分経過後,光強度は定常状態になったことから,RR センサー周囲の水が凍結したと考えられる.本実験では,不純物のない水の凍結の実験とは異なり光強度の段階的な変化が発生している.これは砂の中の水が外側から凍結されるにしたがって,RR センサーとセンサー周囲の砂粒の距離関係が変化したからだと考えている.

6. セメントの硬化を捉える実験

本実験ではセメントペーストが室温で硬化していく過程を RR センサーで捉えられるかどうかを調べた.

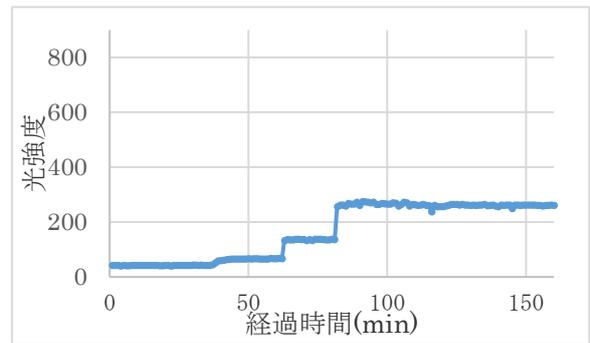


図4 砂中の水の冷却

超速乾セメントに水を入れ,攪拌した後に RR センサーを設置し光強度を観測した.本実験では供試体を二つ作成し,観測結果を比較した.

実験の結果は図5のようになった.供試体1,2のどちらも計測開始10分程で光強度が急激に増加し,その後は,なだらかな増加傾向を示した.供試体2の初期の増加が供試体1と比較して,大きいのはセンサー自体の精度の差であると考えられる.

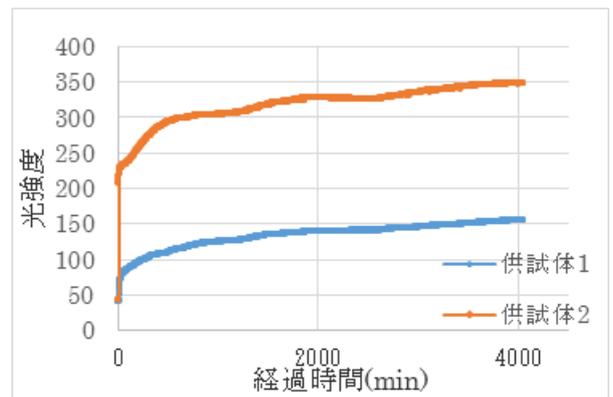


図5 セメントペーストの硬化

7. 結論

実験の結果,RR センサーを用いて物質の状態変化を捉えることができた.本研究グループでは今後も,様々な物質や条件で実験を行い,土木材料の状態変化や化学反応の進行度判定を目指して RR センサーの適用可能性を探る予定である.

参考文献

1) Akutagawa, S., Machijima, Y., Sato, T. and Takahashi, A. : 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, Paper No. ARMA 17-313, San Francisco, California, USA, 25-28 June, 2017.