

## 光ファイバセンサを用いた廃棄物埋立地の遮水工の温度分布および漏水モニタリングに関する基礎的研究

九州大学 学生会員 ○浜田梨央、フェロー会員 島岡隆行、正会員 小宮哲平

## 1. はじめに

廃止に至るまでの長期間に及ぶモニタリングが求められる廃棄物埋立地において、IoT センサの導入はモニタリングの大幅な効率化や詳細なモニタリングを可能にすることが期待される。現在の廃棄物埋立地においては、埋立廃棄物と自然環境（基礎地盤）との境界に設けられている遮水工に関する情報取得は困難である。氣的方式による漏水検知システムは既に実用化されているが、損傷の大きさと漏水量の把握が困難、長期安定性に欠けるなどの課題がある。光ファイバセンサは光の反射や散乱を利用することで、温度、歪み、圧力等の物理量が計測可能なものである<sup>1)</sup>。著者ら<sup>2)</sup>はこれまでにブリルアン散乱光またはラマン散乱光を用いた光ファイバセンサにより遮水シートの面的温度分布の推定が可能であること、ブリルアン散乱光を用いた光ファイバセンサによる漏水検知の可能性を示した。しかし、ブリルアン散乱光の計測器は高価であることや、ラマン散乱光の計測器の温度測定精度が低かったことが課題として挙げられた。本研究では、遮水シートの温度分布推定および漏水検知におけるラマン散乱光を用いた光ファイバセンサの適用可能性を明らかにすることを目的に、ラマン散乱光の最新の計測器を用いてモックアップ試験を行った。

## 2. 実験内容

## 2.1 光ファイバおよび計測装置

シングルモードの光ファイバを樹脂で被膜した光ファイバケーブル (0.9GI(PE-A1G)-NH, 住友電気工業 (株), 外径 0.9 mm) を用いた。光ファイバをラマン散乱光の計測器 (OPTHERMO FTS3500, 住友電気工業 (株), 空間分解能 150cm, 測定間隔 25cm) に接続し、光ファイバの全長にわたる温度分布の計測が可能となる光ファイバセンサを形成した。ここで、測定間隔とは温度測定点の間隔であり、空間分解能とは温度が温度測定点を中心とする長さ何 m の温度の平均値であるのかを指す。温度測定精度はカタログでは $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内とされている<sup>3)</sup>、本研究の実験系では $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ であった。

## 2.2 実験設備

コンクリートパネルからなる 2 種類の遮水シート敷設架台を用意した。1つ目は勾配 1:2 の法面架台 (W 272 cm × D 300 cm × H 150 cm) である。法面に遮水シート 2 枚、不織布 2 枚を交互に敷設し、光ファイバは上部不織布表面に格子状になるように配置した。部不織布には熱源としてラバーヒータ、また熱伝導向上のためのアルミ板を養生テープで敷設した。図 1 に法面架台に敷設した光ファイバの位置を示す。2つ目は平板架台 (W90cm × D90cm × H100cm) である。遮水シート 2 枚、不織布 2 枚を交互に敷設し、光ファイバは上部不織布に 150cm 間隔となるように格子状に配置した。平板架台に敷設した光ファイバの位置を図 2 に示す。上部遮水シートの中心部に穿孔してホースニップルを設置し、定量ポンプを用いた注水を可能にした。

## 2.3 実験方法

本研究では法面架台を用いた遮水シートの温度分布計測実験と平板架台を用いた漏水検知実験の 2 つの実験を行った。温度分布計測実験ではラバーヒータにより遮水シートを加熱し、光ファイバを用いて、適切

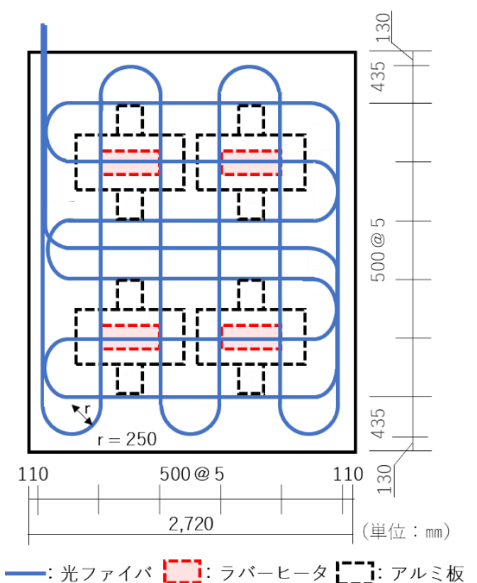


図 1 法面架台の光ファイバの敷設位置

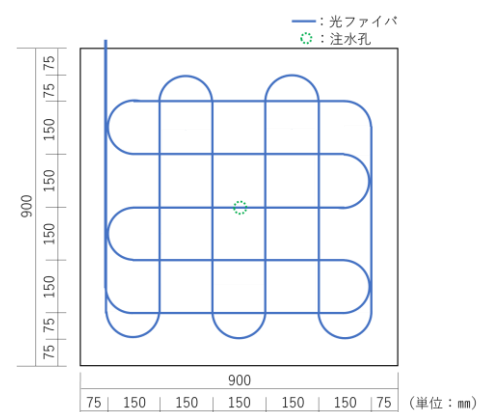


図 2 平板架台の光ファイバの敷設位置

に温度分布の把握が可能であるかを確認するものである。漏水検知実験では遮水シートの破損により漏水したことを想定し、上部不織布の注水孔から気温より1度高い純水 (28.8°C) を注水し続け、光ファイバを漏水検知システムとして活用できるか確認した。なお、両実験において上部遮水シート表面温度を熱赤外線カメラにより撮影し、光ファイバ計測結果と比較することとした。

#### 2.4 実験結果

温度分布計測実験について、光ファイバによる温度計測の結果をもとに作成した二次元温度分布図を図3に示す。本図は架台法面を熱赤外線カメラによって撮影した画像と光ファイバセンサによる測定結果から作成した二次元温度分布図である。光ファイバによる温度計測によって法面架台に熱源があることを認識できた。しかしながら、正確な熱源の数および位置特定までには至らなかった。これは使用したラマン計測器の空間分解能の値が要因として考えられる。計測器の空間分解能は150cmであり、この区間での平均温度が計測器では算出される。よって150cmより小さな区間における温度変化では計測精度が低下する。

漏水検知実験について、図4に熱赤外線画像および光ファイバによる温度計測結果から作成した二次元温度分布図を示す。本図は計測開始時と計測開始から30分後の様子である。光ファイバでは注水により温度が上昇したことを確認することができた。ただし、注水孔がある中心部だけでなく、二次元温度分布図の下部においても温度が高く表示されている。これはラマン計測器の温度測定精度が1.0°Cであることが関係している。1.0°C以下の誤差は生じるため、二次元温度分布の下部は高温と認識されているが、これは誤差の範囲内といえる。よって、測定誤差は生じるものの、漏水が発生し温度上昇がある状況で連続計測を行えば、漏水位置では比較的高温と認識されるはずであり、本研究で使用したラマン計測器は常温+1.0°Cの漏水を検知できる可能性があるといえる。

#### 3. まとめ

ラマン散乱光を用いた光ファイバセンサに関して、得られた知見を以下に示す。

- 1) 遮水シートの温度分布を推定するために有効な温度計測が可能である。
- 2) 光ファイバの敷設間隔が狭い場合であれば、遮水シート破損に伴い発生する常温+1.0°Cの微量な漏水を検知することができる。

今後の課題として、実際の埋立地において二次元温度分布を再現するために必要な光ファイバ計測器の空間分解能の検討が挙げられる。また、漏水検知における光ファイバ計測器の温度測定精度の把握、さらに、廃棄物の埋立処分に伴う、衝撃、載荷重、繰返し荷重に対する耐久性及び長期にわたる化学的耐久性の検討が必要である。

#### 【参考文献】

- 1) 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会: 光ファイバセンサ入門, p.288, 2012
- 2) 小宮哲平ら: 廃棄物埋立地の遮水シートの温度分布推定および漏水検知における光ファイバセンサの適用可能性, ジオシンセティックス論文集, Vol.37, pp.113-118, 2022
- 3) 住友電気工業(株): 光ファイバ温度分布計測装置 OPTHERMO, [https://www.japantappi.org/wp-content/uploads/2022/11/SKC\\_catalog1.pdf](https://www.japantappi.org/wp-content/uploads/2022/11/SKC_catalog1.pdf) (2023年1月10日閲覧)

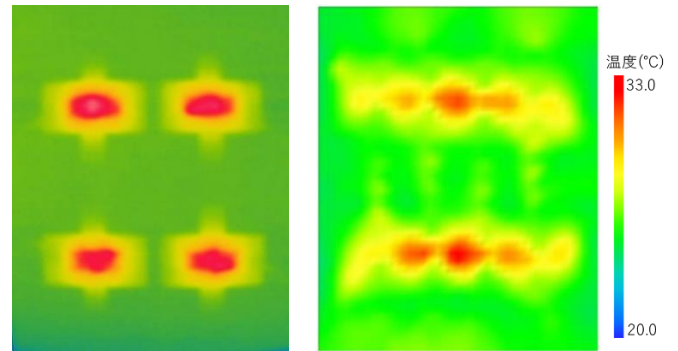


図3 熱赤外線画像(左)と光ファイバによる二次元温度分布(右)

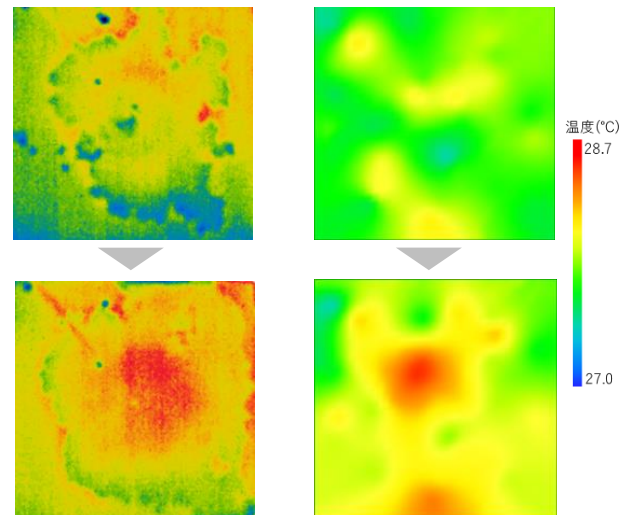


図4 熱赤外線画像(左)および光ファイバによる二次元温度分布(右)の注水に伴う温度変化