

光ファイバセンサを用いた廃棄物埋立地の漏水モニタリングに関する基礎的研究

九州大学大学院工学府 学生会員 ○浜田 梨央
九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡 隆行
〃 正会員 小宮 哲平

1. はじめに

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省力化につながると期待される。現在の廃棄物埋立地においては、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。電気的方式による漏水検知システムは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であり、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、温度等の物理量が計測可能なものである¹⁾。廃棄物埋立地の保有水は、生物化学反応に伴う熱により埋立地周辺の基礎地盤よりも年間を通して高いと考えられ、光ファイバセンサの温度計測による漏水検知が考えられる。著者ら²⁾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額であること、ラマン散乱光の計測器の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実験を行った。

2. 実験方法

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 $\Phi 0.9$ 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), 測定間隔 25 cm, 空間分解能 150 cm) 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な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測定点を中心とする計測長さであり、その計測長さの平均温度が得られる。温度測定精度はカタログでは $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内³⁾とされているが、本研究の実験系で実測により確認した温度測定精度は $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ であった。

2.2 モックアップ

水平なコンクリートパネルからなる遮水シート敷設架台 (W90 cm×D90 cm×H100 cm) を設置した。二重遮水シート構造を模擬し、遮水シート 2 枚、不織布 2 枚を交互に敷設した。上部不織布の上に光ファイバケーブルを格子状に配線した。配線間隔は 25 cm、15 cm の 2 通りとした。図 1 に光ファイバケーブルの配線図を示す。

2.3 遮水シートの破損による漏水を想定した注水実験

上部遮水シートの中心を穿孔してホースニップルを設置し、定量ポンプによる注水を可能にした。上部遮水シートの注水孔から気温より 1°C 高い純水を流量 14.0 ml/min で注水した。注入した純水の温度は、配線間隔 25 cm の実験では 28.6°C 、配線間隔 15 cm の実験では 28.8°C であった。また上部遮

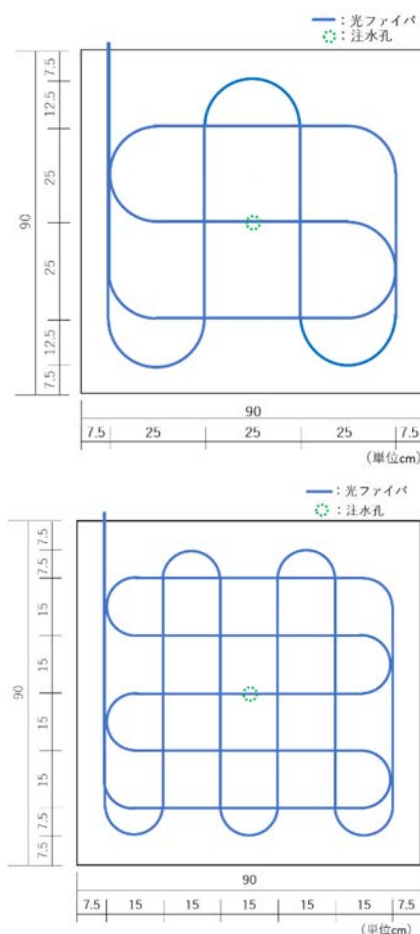


図 1 光ファイバケーブル配線図
(上：配線間隔 25 cm、下：同 15 cm)

キーワード 廃棄物埋立地, 遮水シート, 光ファイバセンサ, 温度分布, 漏水検知

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 九州大学大学院工学研究院環境社会部門
TEL: 092-802-3431

水シートの表面温度分布を熱赤外線カメラにより撮影した。

3. 結果および考察

図2に配線間隔 25 cm の実験における注水開始時および注水開始から 30 分後の熱赤外線画像および光ファイバによる温度計測データから作成した二次元温度分布図を示す。注水開始から 30 分後の温度分布を見ると、熱赤外線画像では注水点を中心とする直径約 40 cm 円状の高温部が見られた。一方、光ファイバによる温度分布では左上部を除く全体で温度が高く表示された。これは計測器の空間分解能が 150 cm であることに起因すると考えられる。左上部を除く全体が高温となっているのは注水部付近に広がった温水の影響を受けたものと考えられる。なお、左上部の温度が低いのは、計測器と遮水シート間の外気に露出している光ファイバケーブルの温度（気温）の影響を受けたものと考えられる。

図3に配線間隔 15 cm の実験における注水開始時および注水開始から 30 分後の温度分布を示す。注水開始から 30 分後の温度分布を見ると、熱赤外線画像では注水点を中心とする直径約 40 cm の円状の高温部が見られ、光ファイバによる温度分布においても同様の温度上昇を捉えることができた。ただし、光ファイバによる温度分布においては、下端の中央部にも高温箇所が見られた。これは温度測定点の位置と空間分解能に起因すると考えられる。高温を示している下端の中央部に光ファイバが敷設されており、その点を中心とする光ファイバの計測長さの大部分が温度上昇した部分を通っているため、計測長さの平均温度である計測温度は注水に伴う温度上昇の影響を強く受け、高温を示したと考えられる。使用した計測器の空間分解能が 150 cm に対して架台一边が 90 cm の小型モックアップでは、注水地点から少し離れた点（距離は空間分解能の 1/2 程度）にも高温箇所が現れたが、実際の埋立地の規模は空間分解能に対して十分に大きいため、このような現象は起こらないと考えられる。

4. まとめ

遮水シートの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検討した。その結果、本研究の実験条件においては、光ファイバの配線間隔が 25 cm、15 cm の両ケースにおいて、気温よりも温度が 1℃ 高い水の注水を検知することができた。さらに配線間隔が 15 cm と狭い場合、一定の精度で注水地点の推定も可能と考えられた。今後の課題として、実際の埋立地における漏水に伴い形成される温度分布の想定や、その検知のための光ファイバの配線間隔の検討が必要である。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（2023 年 3 月 31 日閲覧）

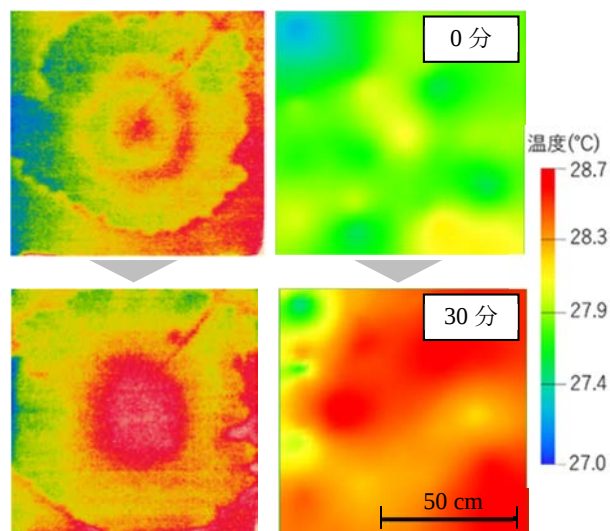


図2 配線間隔 25 cm の実験における注水に伴う温度分布の変化（左列：熱赤外線画像、右列：光ファイバ）

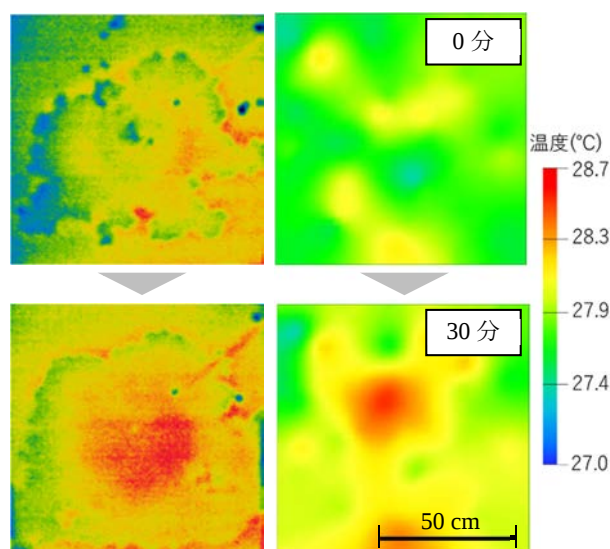


図3 配線間隔 15 cm の実験における注水に伴う温度分布の変化（左列：熱赤外線画像、右列：光ファイバ）