

光ファイバ技術を用いた廃棄物埋立地のモニタリングに関する研究

九州大学工学部 学生会員 ○浜田 梨央

九州大学大学院 フェロー会員 島岡 隆行 正会員 小宮 哲平

鹿島建設株式会社 正会員 今井 道男 正会員 小澤 一喜

1. はじめに

近年の急速な科学技術の発達に伴い、IoT、AI、ビッグデータといった新たなテクノロジーが多種多様な業界で注目を集めている。長期間に及ぶモニタリングが必要な廃棄物埋立処分場においては、IoT センサ導入は大幅な効率化や省力化につながると期待される。光ファイバセンサもそのような技術の一つと考えられる。光ファイバは光の反射や散乱を利用することで、温度、歪み、圧力、電流等の物理量が計測可能であり、近年モニタリング技術としても利用されている¹⁾。

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。しかしながら、高度かつ合理的に管理する上で、遮水工の温度や破損の有無などの把握は不可欠である。本研究では、光ファイバ技術によって、遮水工及びその周辺環境のモニタリングの可能性を明らかにすることを目的に、モックアップ試験を行った。

2. 実験内容

2.1 光ファイバ及び計測装置

本研究では 2 種類の光ファイバセンサを使用し、ラマン計測器 (OPTHERMO FTR3000X)、ブリルアン計測器 (BOCDA 横河電機特注品) を用いて計測を行った。使用した光ファイバケーブルはエンボスケーブル (ニュープレクス製、2 芯)、シングルモード光ファイバ (住友電気工業製、1 芯、 $\Phi 0.9$ mm) の 2 種類である。なお、使用した光ファイバセンサは、光ファイバ全長にわたり計測部として作用させることができる分布型である。また、ラマン散乱光では温度、ブリルアン散乱光では温度及び歪みの測定が可能である。

2.2 実験設備

勾配 1:2 のコンクリートパネルからなる遮水シート敷設架台(W 272 cm×D 300 cm×H 150 cm) を用いて、法面に遮水シート 2 枚、不織布 2 枚を交互に敷設した。また、最上層の遮水シートには 5 cm 幅の接合部 (ダブルシーム) を設けた。図 1 に架台の法面断面の概略を示す。下部遮水シート表面には、熱電対を横 40cm、縦 70cm

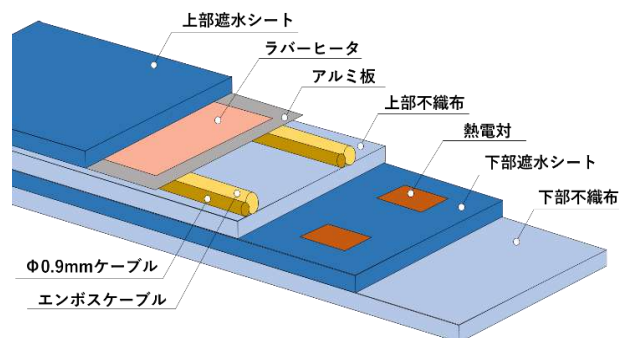


図1 法面断面図

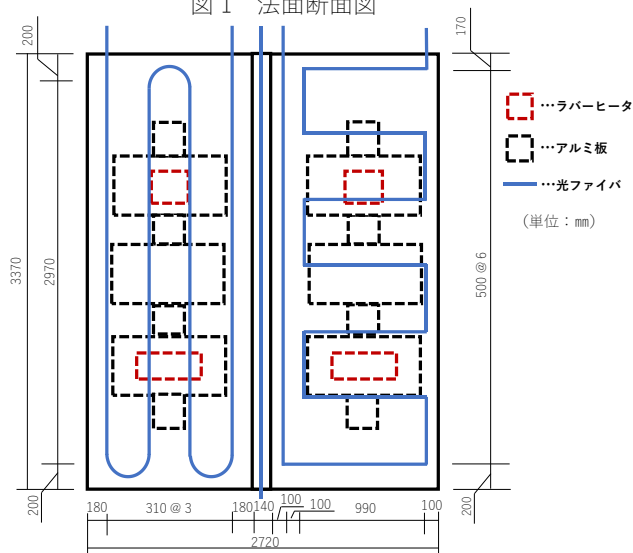


図2 光ファイバ敷設位置

間隔で 35 か所設置した。上部不織布表面には、エンボスケーブル及び $\Phi 0.9$ mm ケーブルを並列に配置し、養生テープにより固定した。光ファイバケーブルは架台の左右で異なるように配置し (図 2)、遮水シートの融着部のダブルシーム内にも光ファイバケーブルを挿入した。敷設したケーブルの総延長は 33.45m となった。上部不織布表面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。ラバーヒータの上に敷かれた上部遮水シートの表面温度を熱赤外線カメラより撮影することとした。

2.3 実験方法

光ファイバ、熱赤外線カメラ及び熱電対によって遮水シートを計測するモックアップ試験を 3 段階に分けて実施した。実験 1 では遮水シートの温度分布計測を行った。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。実験 2 では漏水検知の実験を行った。遮水シートの破損により漏水したことを想定し、上部不織布の左右から常温水(21.0℃)を注水し、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。実験 3 ではダブルシーム内における異変検知の実験を行った。まず、ダブルシーム内に少量ずつ通水をしながら計測し、次にダブルシームの上下端を密閉した後に加圧をしながら計測を行った。ここでは、通水及び圧力変化の検知の可否を確認することを目的とした。なお、実験 2 及び実験 3 では実験中遮水シートの加熱は維持した状態で行った。

2.4 実験結果

実験 1 の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ブリルアン計測器による測定結果から作成した二次元温度分布図である。光ファイバでは右下に位置する熱源を認識することができていないが、これは、右下に設置したラバーヒータ及びアルミ板の真下には光ファイバケーブルが敷設されていなかったためと推測される。

実験 2 について、左下ラバーヒータ設置位置における光ファイバの温度計測の経時変化を図 4 に示す。不織布へ注水を行った数分後から温度低下が見られた。時間経過とともに不織布に水分が浸潤し、周辺雰囲気よりも温度が低下したためと考えられる。ここから、漏水に伴い温度変化が生じることにより、漏水を検知可能であるといえる。

ダブルシーム内の通水実験では漏水実験と同様、光ファイバによって温度低下が確認された。また、圧力を変化させた実験においては、ブリルアン計測器によって変化(歪み)を検知した。ダブルシーム内加圧 (0.10 MPa)状態と加圧前の状態との歪差を図 5 に示す。加圧

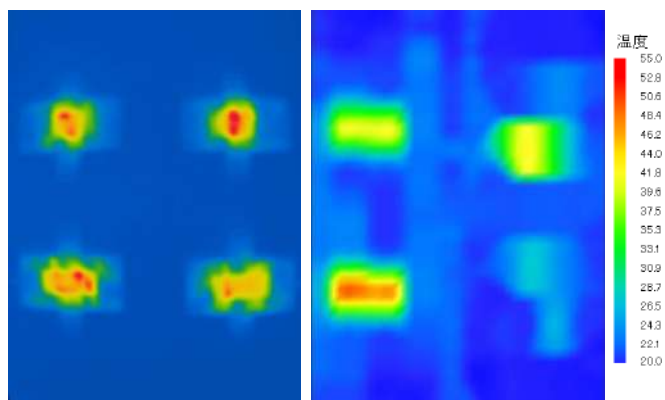


図 3 熱赤外線画像(左)とブリルアン散乱光測定(右)による二次元温度分布

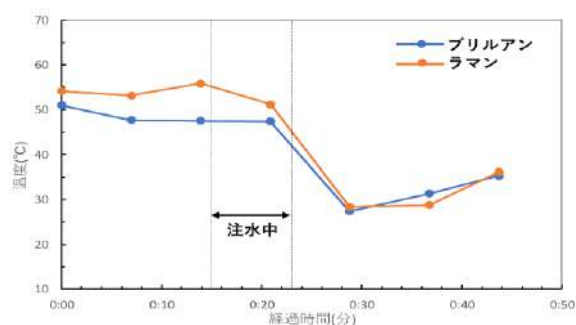


図 4 漏水による温度変化

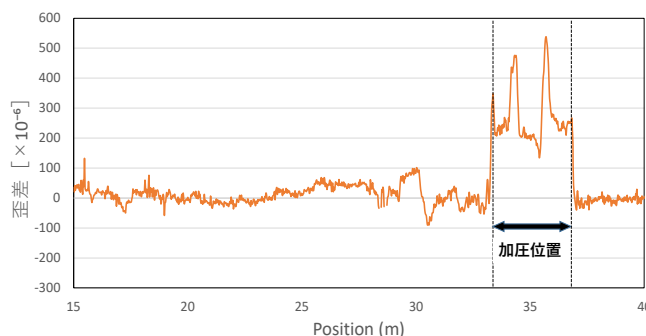


図 5 加圧による歪差

位置において、明白な歪差が生じている。このことから遮水シートのダブルシーム内の圧力変化をブリルアン計測器で検知可能であるといえる。

3. 結論

本研究では、光ファイバによる廃棄物埋立地遮水工のモニタリングを実現するためにモックアップ試験を行った。その結果、光ファイバセンサ技術について以下の知見を得た。

- 1) 遮水シートの二次元温度分布を求めることができる。
- 2) 温度変化の検知により遮水シートの漏水を検知することができる。
- 3) ダブルシーム内に生じた流水、圧力変化を検知することができる。

今後の課題として、光ファイバを遮水工へ固定する方法の確立が挙げられる。また、実際の埋立地において二次元温度分布を再現するための光ファイバケーブルの適切な敷設位置及び敷設間隔の検討、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。

【謝辞】本研究を遂行するにあたり、三ツ星ベルト(株)、東洋紡(株)には材料を提供いただき、また光ファイバケーブルの敷設作業には多大なるご協力をいただきました。ここに記して、謝意を表します。

【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, 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会, p.288, 2012