

POF センサーを用いた地下鉄構造物のモニタリングに関する研究

神戸大学大学院工学研究科 学生会員 ○増本 智紀

神戸大学大学院工学研究科 正会員 芥川 真一

東京地下鉄株式会社 正会員 伊藤聡, 小西真治

東京地下鉄株式会社 非会員 今泉直也, 榎谷祐輝, 田中大介

地域地盤環境研究所 正会員 水原勝由

株式会社レーザック 正会員 町島祐一

東京の地下鉄トンネルにおいて漏水検知の為に光ファイバーセンサーを用いたモニタリングを行った研究は¹⁾, 有用な結果を示した. しかしながら, 1 年半にわたる計測の中で計測データの長期的な変動が見られ, 漏水検知で取得されたデータに影響を及ぼしていることが分かった. そのため本研究では長期間のデータの変動の要因について調査することとした.

1. 背景

東京メトロは計 195km の都市の鉄道網を運営しており, そのうち 167km は地下に存在している. 地下において, 老朽化したトンネル内のひび割れから発生する漏水は適切な処置が行われない場合, コンクリートの損傷や鉄筋コンクリート内の鉄筋の発錆につながる可能性がある. したがって, 定期的な手作業による調査とメンテナンス作業を適切に計画し実行するために, 漏水の挙動を時間の経過とともに適切に把握することが重要であると考えられる. そのための有用な手段も先行研究によって提案されているが, 長期間の計測により計測データの変動理由が明確でない部分が生じており, 精度高く計測を行えなくなる危険もある. そのため, 本研究ではその要因を分析することにした.

2. 使用したセンサーと計測結果

漏水を検知する方法として, 光ファイバーを用いたセンサーによるものがある. その際, 図 1 のように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 RR (Reflection & Refraction) センサー²⁾を用いる. この RR センサーの中を光は図 1 のような経路で光源から受光部に届く. このセンサーは切断面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の量が変化することで, 先端の物質の屈折率変化をモニタリングすることができ, 漏水の検知が可能となっている. このセンサーを東京メトロのトンネル内に図 2 のように壁面に沿って設置し, 2018 年 8 月から 2 つの測点で漏水の検知を実施した. 結果は図 3 のようになった. 青いグラフが光強度を表しており, グラフ上で急激な数値減少がみられる点で漏水を検知したものと考えられる.

3. ダミーファイバーの設置

2018 年 8 月の設置後のデータを分析したところ, 計測データの長期的な変動が見られたこと, 2019 年 7 月以降の計測値が非常に小さくなっていることが見て取れる. 本研究ではこの長期的変動 (特に光強度が徐々に小さくなっている現象) の原因が温度変化による光ファイバーの屈折率変化に影響されている可能性があると判断し, ダミーファイバーを用いてその原因を特定するために計測の方法を部分的に変更することにした.

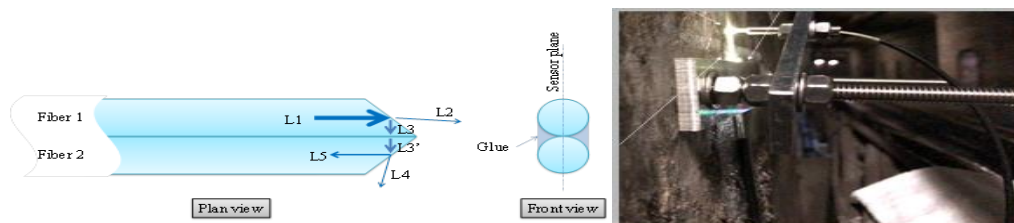


図 1 RR センサーの模式図

図 2 センサー設置の外観

キーワード 光ファイバー, 維持管理, センシング, 温度環境

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 078-803-6015

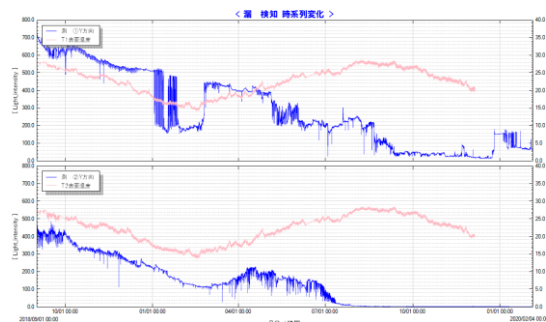


図3 2018年9月から2020年2月までの計測結果

ダミーファイバーは、図4（下の図）のように2本のファイバーを接着させ外からの光を遮断し、RRセンサーと同じ経路に設置することで先端のセンシングはせず途中ルートのPOFそのものの温度変化（通常のRRセンサーのPOFが感じているのと同じ温度変化であるとの前提）だけを感じる状態にする。これを用いて漏水計測の際の光データ伝送に使われているPOFの部分（約20m）の温度変化によるデータの変動を捉えることとした。また、2019年7月以降の計測不備の原因については実地調査を行った。

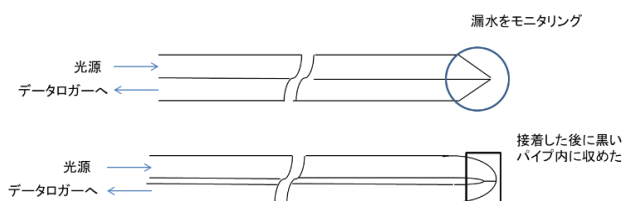


図4 通常のRRセンサー（上）と比較したダミーファイバーの違い

4. 結果と考察

2019年7月19日から2020年2月4日までにダミーファイバーセンサーが記録した結果が図5、6である。気温（図3のピンクの線）の変化に対してダミーファイバーの光強度の値の変化はほとんど現れなかった。特定の時刻における光強度の低下の原因は今後の検討課題である。ここから、計測データの変動の主な原因は計測経路（約20m）の温度変化ではないことが予想される。また、2019年7月以降の計測データ減少傾向の原因を探るため、2020年2月末に実地調査を行った。測点1ではセンサー上部のクラックからの析出物が漏水の移動を阻害する形で計測データに影響が出たと考えられる。測点2ではセンサー先端の接着部分の破損が認められ、これらの事象が2019年7月以降の計測に影響を及ぼしていた可能性が高いと思われる。そのため今後は計測経路の温度変化以外の影響を与える要因について検討すること、センサーの破損要因を究明して長期間利用できるセンサーへの改良について検討したい。

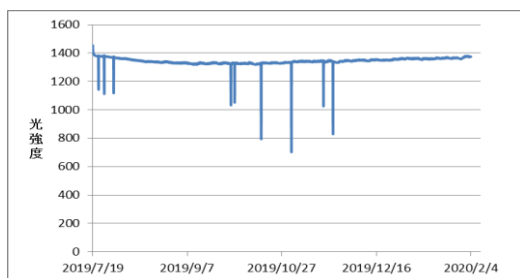


図5 測点1のダミーファイバーの計測結果

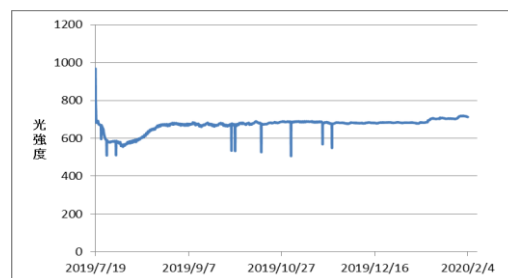


図6 測点2のダミーファイバーの計測結果

参考文献

- 1) 伊藤聡, 小西真治, 今泉直也, 榎谷祐輝, 田中大介, 水原勝由, 町島祐一, 芥川真一, 増本 智紀
プラスチックファイバーセンサーを利用した地下鉄トンネルの漏水検知事例, 土木学会第29回トンネル工学研究発表会, 報告 III-3, 2019.11.
- 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.