

プラスチック光ファイバーセンサを利用した地下鉄トンネルの漏水計測

東京地下鉄（株） 正会員 ○伊藤 聡

東京地下鉄（株） 正会員 小西 真治

東京地下鉄（株） 非会員 今泉 直也

東京地下鉄（株） 非会員 榎谷 祐輝

東京地下鉄（株） 非会員 田中 大介

（株）地域地盤環境研究所 正会員 水原 勝由

神戸大学 学生会員 村越 堅

神戸大学 正会員 芥川 真一

1. 目的

東京メトロは 195km の都市鉄道網を運行しており、そのうち 167km は地下構造である。地下鉄駅構内およびトンネル部には、ひび割れや漏水などの変状が見られる。漏水箇所は適宜、止水による補修を行っているが、その補修時期の判断については、個々の漏水状況を、目視で確認し、適宜判断している。しかし、個々の漏水箇所状況は、年間を通じて漏水状況が変化するため、補修範囲や補修時期の見極めが非常に困難である。そのため、年間を通じて漏水箇所の状況を把握することは、合理的な漏水補修を行う上で重要な情報となる。本報ではプラスチック光ファイバーセンサにより、地下トンネル部のコンクリート壁にあるひび割れの漏水状況を計測した結果について紹介する。



写真-1 地下鉄構内漏水箇所の例

2. プラスチック光ファイバーセンサの原理

ここで使用したセンサはプラスチック光ファイバー（直径 1mm）二本を接着し、その先端部分をそれぞれ 45 度にカットしたものである¹⁾。図-1 に示すように、光源から出た光が一本目の光ファイバーの先端まで到達すると、その一部は屈折光 L2 として切断面を透過するが、残りは反射して L3 として、二本目のファイバーに向かう。二本目のファイバーに侵入を果たした光は、すぐに切断面に到達し屈折&透過光（L4）と反射光（L5）に分かれ、最終的に光用データロガーには L5 が記録されることになる。それぞれの光ファイバーの切断面で透過、反射のプロセス2回ずつを経て記録される L5 の大きさは光ファイバーの屈折率（1.49）と周辺物質の屈折率（空気の場合は 1.0003、水の場合 1.33）の差に影響されて変動するため、L5 の変化を追うことで光ファイバー先端周辺に存在する物質が空気か、水かの判別をすることが可能になる。このように、光の屈折（Refraction）と反射（Reflection）の特性に基づいたセンシングを可能とすることから、このセンサを RR センサと呼ぶこととする。

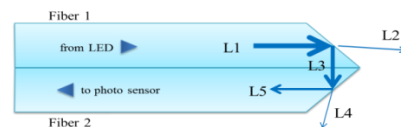


図-1 プラスチック光ファイバーセンサの原理

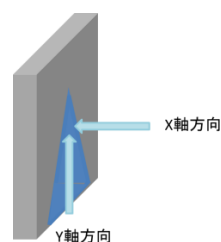


図-2 設置方向



写真-2 センサ設置方法

3. 簡易実験によるセンシング機能の確認

漏水を想定してコンクリート板の裏側から貫通した穴を通じて、水を 2 度、約 30 秒間流した。

キーワード トンネル、ひび割れ、漏水、光ファイバー、モニタリング

連絡先 〒657-8501 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 TEL078-803-6615

すると、RR センサーの先端部に水が接触することで L5 の光強度が低下し、漏水を的確に検知できることが確認された(図 3)。

4. 現地計測

現地計測位置は、東京メトロが保有する営業線の開削トンネルの側壁(測点 1, 測点 2)の 2 地点とした。観測箇所 2 地点のそれぞれに X 方向と Y 方向に RR センサーを設置した。温度計は、測点 1・測点 2・構内温度・収納庫内温度の 4 地点に設置し、外部からデータを収集できるようモバイルルーターを設置し、リアルタイムで観測することが出来るシステムを構築した。

最初の 1 週間に得られた漏水状況の計測結果を図-4 に示す。光強度は 1 秒毎にデータを観測している。X2 は RR センサ設置時の不都合により、機能していないことが判明した。測点 1 と比較し、測点 2 の方が 1 日における光強度の変動が多く確認された。この挙動の発生する時間帯より、光強度の変化は電車の通過の影響を受けている可能性が指摘された。

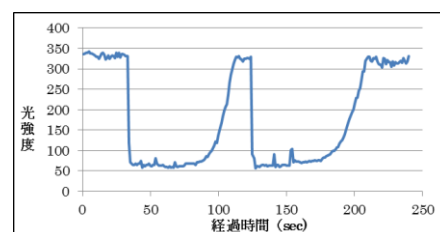
そこで、計測データの変動状況と電車通過時の影響(電車から発せられる光や熱の影響)の関係を明確にするために、X 軸方向(壁に直角の方向)を撤去し、Y 軸方向(壁に沿う方向)のみで計測を継続することにした。また電車の影響を軽減するため、ボックスカバーとコンクリート壁の間をパテで埋め、遮光性を高めた。改良前と同様に、光強度データは 1 秒毎の観測を行なった。図-5 にその後に得られた計測データを示す。測点 1 の Y 軸方向、測点 2 の Y 軸方向共に正常に観測できていることが確認できる。改良前に確認された測点 2 の Y 軸方向における光強度の 1 日の多数の変動は確認できなくなり、電車の光の影響を排除することができたと考えられる。また、改良前と同様に、測点 1 では漏水の兆候があまり見られない。測点 2 の Y 軸方向で記録された光強度には、急激な光強度の低下を示すスパイクが多数確認できているが、このスパイクが「センサ先端が漏水の影響で濡れた証拠」を表している。漏水イベントが電車の運行していない時間帯を含む複数のタイミングで発生していることが確認できる。

5. おわりに

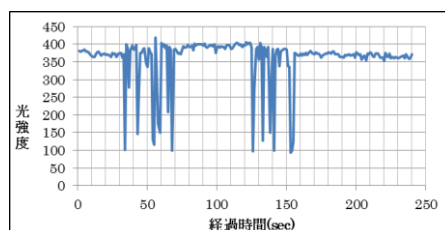
プラスチック光ファイバーセンサを利用した漏水モニタリングシステムを構築するため、RR センサを開発し、室内試験による基本機能の確認と、現地計測によるセンサの適用性を検討した。その結果、本モニタリングシステムで、漏水を敏感に検知することが可能であることが確認できた。今後は年間を通じた漏水状況の変動を確認することで、東京メトロの維持管理業務の効率化に資するデータを蓄積する予定である

参考文献

- 1) 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.



(a)X 軸方向光強度変化



(b)Y 軸方向光強度変化

図-3 実験結果

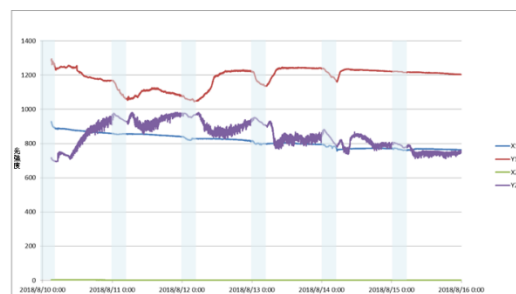


図-4 実地試験光強度結果 (計測期間 : 2018.8.10~8.16)

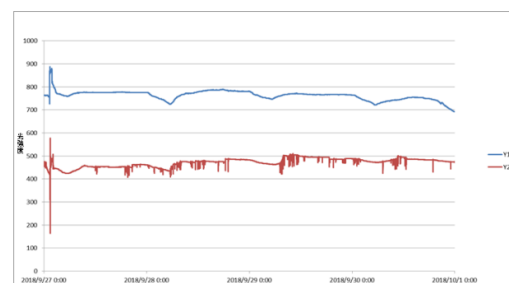


図-5 壁に沿う方向だけで計測を継続した結果の例 (計測期間 : 2018.9.27~9.30)