

プラスチック製光ファイバーによるトンネル覆工背面空洞の充填検知システム

鹿島建設(株)

正会員 ○山本 拓治

伊達 健介

小泉 悠

(株) ケー・エフ・シー

正会員 井本 厚

道上 剛幸

神戸大学

正会員 芥川 真一

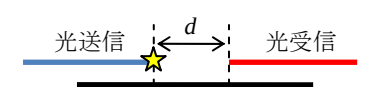
西尾 彰宣

1. はじめに

矢板工法により施工されたトンネルは、覆工背面と地山との間に空洞が残りがやすく、そのようなトンネルではしばしば変状が発生する。そこで、変状対策として、覆工背面への注入(裏込め注入)が計画的に実施されている。裏込め注入を管理する上で、第一に、空隙を残さないことが重要である。さらに、ひび割れが発生している覆工や巻厚不足の覆工においては、覆工に過大な注入圧力が作用しないよう管理することが求められる。従来の充填管理方法では、隣接する注入管からのリークや注入圧力の上昇により、注入完了(充填)と判断していた。しかし、このような管理方法では、空隙を残す可能性が高く、より確実な方法が求められてきた。近年、覆工コンクリートの打設管理に、振動センサーや電気伝導度の変化を検知する充填検知装置の適用が増加しているが、センサー、計測システムとも高価であり、多点での計測管理は困難といえる。そこで、安価で多点計測可能な充填検知システムの構築を目指し、プラスチック製光ファイバーによる充填検知システムの適用性検証試験を実施した。また、本研究では、一般にトンネルの裏込め注入に用いられる注入材料(セメント系またはウレタン系)に対する充填検知の精度を確認することとした。



写真-1 使用したシステム (LAZOC 社製 LS³)



(a) 対面型センサー



(b) 反射型センサー

図-1 使用したセンサーの模式図

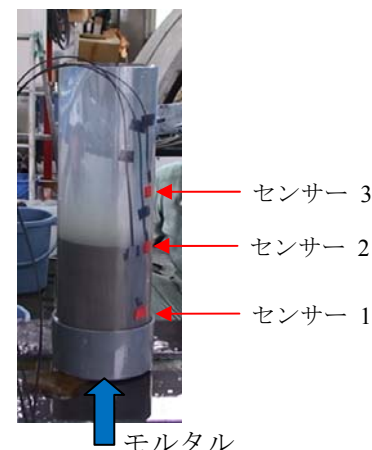


写真-2 モルタル充填状況 (センサー2の光強度が0となった瞬間)

2. システムの概要

本実験で用いた光ファイバーは、高速大量通信回線や計測で用いられるガラスファイバー製の光ファイバーではない。光を送受信する安価で曲げに強いプラスチック製の光ファイバーであり、ファイバー先端での光の強度と色のみを利用する¹⁾。システムは、光源、光を送信するファイバー、光を受信するファイバー、受信ファイバー先端部の光の強度と色を表示及び記録するパソコンで構成される(写真-1)。また、光送信ファイバーと受信ファイバーの先端部を加工し、対面型センサー・反射型センサーの2種類のセンサーを使用した(図-1)。同図中の光の送信・受信ファイバーの先端間が注入材料で充填されることで、光が遮断されて光強度が0となり、充填検知できると考えた。

3. セメント系材料の充填検知試験

塩ビ管(φ150mm)の内面側部に対面型センサー・反射型センサーを取り付け、水で満たした塩ビ管の底部からモルタルを注入した(写真-2)。光の送信・受信ファイバー先端間の離れ(以下、送受信離れ d とする)を、センサー1は1mm、センサー2は4mm、センサー3は7mmとし、比較検討することとした。光強度と経過時間の関係を図-2に示す。モルタル注入による濁度の変化に伴って光強度は低下し、モルタルがセンサー取り付け箇所到達することで光強度が0へと急減する

キーワード 覆工背面空洞, 裏込め注入, 充填検知, 光強度, 送受信離れ

連絡先

〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 岩盤・地下水 Gr. TEL042-489-6569

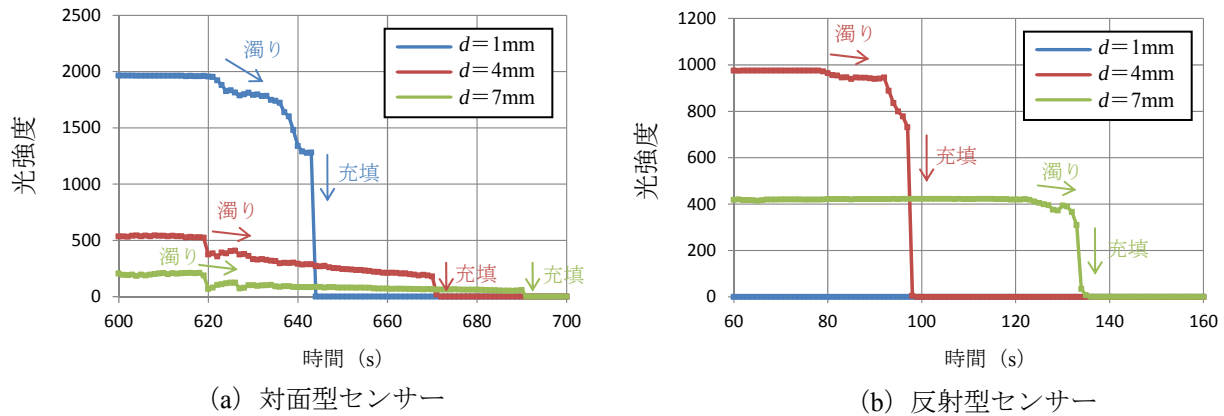


図-2 モルタル充填試験での光強度と経過時間の関係

傾向が、反射型センサー1を除くセンサーで認められた。反射型センサー1は、送受信離れが小さすぎ、光強度を正しく計測できなかった。その他のセンサーでは、送受信離れを短くするほど、充填前と後での光強度の差（コントラスト）が大きくなり、濁り～充填までの状況をよく把握できた。従って、セメント系材料を対象とする場合、対面型は送受信離れ1mm、反射型は送受信離れ4mmが適当と考えられる。

4. ウレタン系材料の充填検知試験

模擬空洞（鋼製型枠＋透明アクリル板 1,000mm×1,000mm×300mm）に対面型センサーを取り付け、発泡性ウレタン（2液性の40倍発泡ウレタン）を底部から注入した（写真-3）。セメント系材料の試験と同様、送受信離れをセンサー1は1mm、センサー2は4mm、センサー3は7mmとした。光強度と経過時間の関係を図-3に示す。センサー1は、充填前より光強度が不規則に変化し、充填により一旦0となった後、光強度が再上昇する傾向が見られた。これは、黒色で溶液状のウレタンが送受信間を充填し、光を一旦遮断したものの、その後の発泡による体積膨張に伴って密度が低下し、光が再び透過し始めたものと考えられる。センサー2は、送受信離れが比較的大きいため、光は透過しなかったと考えられる。以上、ウレタン系を対象とする場合、対面型センサーの送受信離れは4mm程度が良いものと考えられる。

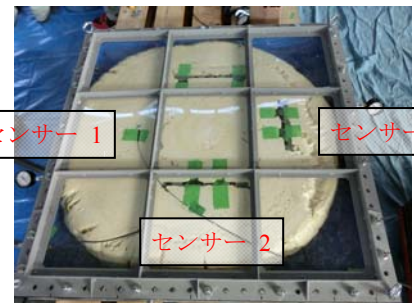


写真-3 ウレタン充填状況

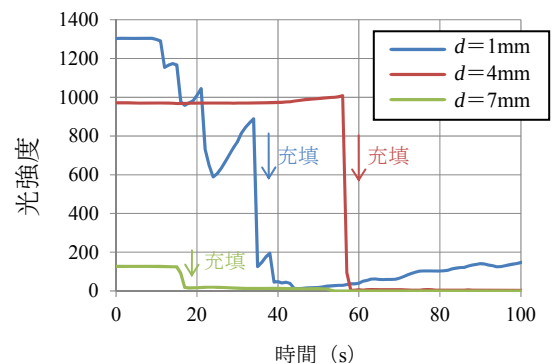


図-3 ウレタン充填試験での光強度と時間経過（対面型）

5. まとめ

プラスチック製光ファイバーによる充填検知システムの適用性検証試験を実施し、次のことが確認できた。①裏込め注入材（モルタル・ウレタン）がセンサーに到達した際、光強度は0へと急減した。②対面型センサー・反射型センサーともに、送受信離れを1mmとした場合、光が強すぎたり、不規則な値を示すことから、4mm程度が適当と考えられた。

以上の実験結果より、本システムがトンネルの裏込め注入の充填検知に有効であることが確認できた。本システムは、裏込め注入以外にも、覆工コンクリートの打設、廃鉱山坑道の充填、薬液注入等の現場でも適用可能と考えられる。プラスチック製の光ファイバーは他のセンサーに比べ、価格のみならず、耐薬品性・曲げへの柔軟性にも優れているため、厳しい現場環境でも計測が可能であり、従来技術よりも経済的な多点計測を実現できると考えられる。今後は、実現場での実証実験により本システムの有効性を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 西尾彰宣, 松本優平, 高橋厚志, 町島祐一, 芥川真一: 光ファイバを用いた低コストモニタリング手法に関する基礎的研究, 第13回岩の力学国内シンポジウム予稿集, pp.33～37, 2013.