

送水管の更新工事に伴う予防保全型維持管理法の確立 (1)光ファイバ設置計画

神戸大学 正会員 ○ 鍛田 泰子, 正会員 秦 李科
阪神水道企業団 非会員 古林 祐正, 非会員 高原 大知
ニューブレクス 非会員 岡林 泰広, 正会員 岸田 欣増

1. 研究の目的

埼玉県八潮市で発生した下水道管路の劣化に起因する道路陥没事例を契機として、地中インフラ施設のメンテナンスに対する関心が高まっている。しかし、水道や下水道などの地中管路は、供用開始後に内部状態を直接点検することが困難であり、多くの場合、時間計画保全に留まっているのが現状である。

本研究では、阪神水道企業団が実施する送水トンネルの更新工事において、パイプイントンネル工法により構築されるトンネルと新管の間のグラウト充填部に光センサケーブル（以下、光ファイバ）を新たに敷設し、グラウト充填時の施工管理から更新後の送水管の長期変形までを一貫してモニタリングできる体制を確立する。これにより、地中管路であっても予防保全が可能となる維持管理技術の開発を目的とする。本報では、神戸大学、阪神水道企業団、ニューブレクスの三者による共同研究の成果を報告する。

光ファイバセンシング技術は、光ファイバ端末にパルス光を入射し、ひずみや温度変化に伴って生じる後方散乱光を解析することで、任意地点のひずみや温度を計測する技術である。近年のセンシング技術の発展により、ゲージ長の短縮と計測データの高精度化が進み、静的なひずみ計測であれば数 cm 程度の空間解像度での計測が可能となっている。また、光ファイバ自体は低コストかつ高耐久性を有するため、数十 km に及ぶ線状土木構造物にも適用可能であり、ファイバ端部に接続する計測器のみで全線の情報を長期的かつ随時取得できる点から、供用開始後の構造物状態把握に極めて有望な技術である。

土木分野では、既設の通信用光ファイバケーブルの空き芯線を利用した計測事例が多い。今後、更新時期を迎える既設地中構造物に対しては、更新工事に合わせて構造物内部にセンシング用の光ファイバを先行的に敷設し、長期的な状態監視体制を確立することで、これまで時間計画保全しか実施できなかった維持管理から、予防保全型への転換が可能となる。

2. 阪神水道企業団の既存送水トンネルと更新事業

阪神水道企業団は、琵琶湖・淀川水系を水源とし、兵庫県阪神間の神戸市・西宮市・尼崎市など 6 市に浄水を供給している。1995 年の兵庫県南部地震後、西宮市から神戸市までの市街地直下に新たな大容量送水管が約 20 年をかけて建設され、これが完成したことで、建設から約 60 年を経過した 3 期芦部谷送水トンネルの送水停止が可能となった。これに伴い、同トンネルでは更新工事が進められている。

本研究では、西宮市の芦部谷接合井から芦屋市の芦屋川管理坑までの、一部更新済み区間を除く約 4 km の送水トンネル（図-1 参照）を対象として、将来的な維持管理技術の高度化を目的として、更新工事と同時に光ファイバをトンネル内に埋設する計画を立案した。3 期芦部谷送水トンネルは六甲山を縦断する山岳トンネルであり、兵庫県南部地震に代表される六甲・淡路断層帯の断層とも横断している。既設トンネル内に新たな管路を構築する更新工事であるた

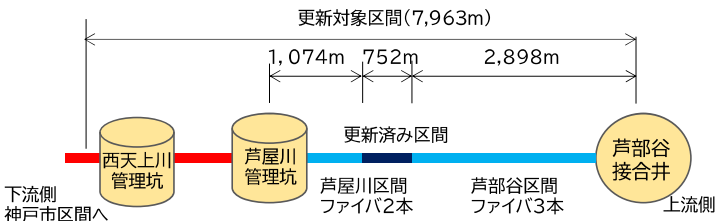


図-1 3 期芦部谷送水トンネルの更新箇所の概要図

キーワード 光ファイバ, 送水トンネル, 更新, 予防保全型維持管理

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 kuwata@kobe-u.ac.jp

め、地震時の断層変位リスクは依然として残る。さらに、管理坑の間隔が数 km と長く、土被りも最大で約 100 m に達することから、更新工事後に送水を再開すると、送水停止を伴う維持点検は容易ではない。このように、長期にわたり地中構造物の状態を把握できる仕組みが求められていたため、高い耐久性を有し、長距離にわたって任意地点の状態を高精度に計測できる光ファイバの導入を検討した。

3. 光ファイバの配線計画と配線工程

光ファイバセンシングでは、光ファイバに沿った任意位置周辺のひずみを空間分解能に対応した区間で平均された値として分布的に計測できる。しかし、一本の光ファイバから得られる伸縮情報のみでは、そのひずみがどのような変形モードによって生じたものかを判断することは難しい。

そこで本研究では、馬蹄形トンネル断面において、図-2 および図-3 に示すように、高さや水平位置の異なる 2 本または 3 本の光ファイバケーブルを設置することとした。これにより、断面内の三次元的なひずみ分布を把握することが可能となり、同一区間を断層が横断して微小な変形が生じる場合にも、その変形モードを判別できる。また、後述する温度検証による施工管理を行うため、接合井から約 100 m の区間については、10 本のアーチを一筆書きで描くように配線した。

送水トンネルの長期的な状態監視を見据え、芯線がガラス材料で構成される光ファイバを採用した。通常の通信ケーブルは施工中の外的環境により断線しやすく、また光ファイバは材料特性上、引張には強いもののせん断に弱い。そこで本研究では、光ファイバをエンボス材に埋め込んで保護した維持管理専用ケーブルを使用した。このエンボス材には 2 本の鋼線も内蔵されており、圧縮に対する耐性も確保している。施工に際しては、既設トンネルのコンクリート外面にリードケーブルを先行配置し、そのリードケーブルに沿うように光ファイバを敷設した。両者は数 m 間隔に固定した。

送水トンネルの更新工事では、直径 2.1 m、長さ 9 m の鋼管を芦部谷接合井から片肩押しにより順次挿入していく。鋼管同士の接合には、管端部にリングガイドを設置し、これらが溶接される。本現場では、溶接熱により管路背後に敷設した光ファイバが損傷する可能性があるため、溶接部をコルゲート管で覆い、熱影響を低減する対策を講じた。実施工では、コルゲート管による熱遮蔽効果を確認しながら作業を進めた。これらの光ファイバケーブルの敷設は 2024 年 12 月から開始され、新管の挿入・溶接と合わせて 2025 年 8 月までに敷設を完了した。今回採用した光ファイバは 2 芯構造であったので、予め終端部での折返し処理と、両端部でのコネクタ接続を施した。管路挿入、溶接期間中においては、トンネル入り口で光ファイバ端部に予め接続したコネクタから

可視光を投入し、もう一方の光ファイバで結線されているのかを定期的に確認しながら、施工をすすめた。

謝辞：本研究は、令和 7 年度土木学会技術推進機構の新技术の地域実装に向けた研究助成の支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

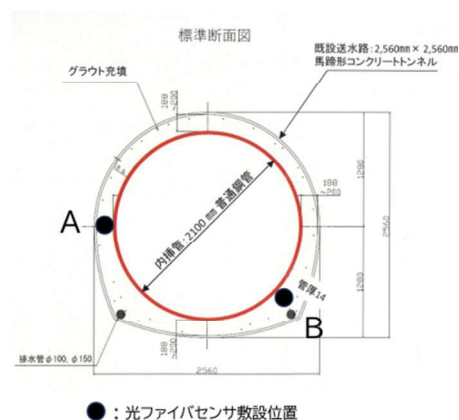


図-2 芦屋川区間のファイバ配線（下流側より）

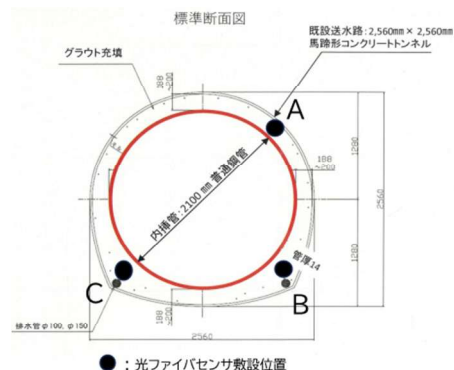


図-3 芦部谷区間のファイバ配線（下流側より）

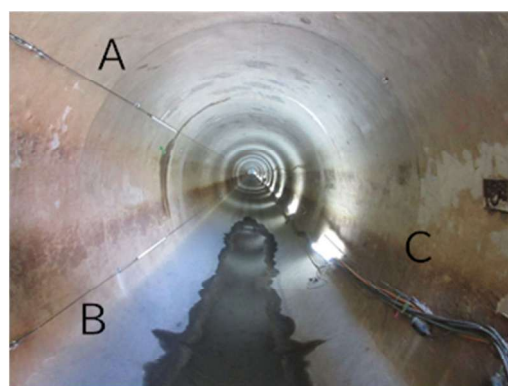


図-4 芦部谷区間の配線（上流側より）