

光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング ～長期的な連続モニタリングデータの検証～

北海道電力(株)

鹿島建設(株)

リテックエンジニアリング(株)

正会員 ○笠井秀男 若松洋介

正会員 今井道男

正会員 早坂洋太

1. はじめに

水力発電所水路トンネルの点検は、発電所停止期間中に目視による確認が行われていたが、変状の進行が懸念される設備に対しては、より高頻度なモニタリングが望まれる。筆者らは、通水中の水路トンネルにおいて、光ファイバセンサによるモニタリングに着手した¹⁾²⁾。本稿では、これまでの取り組みの概要とともに、横断面変形ならびに打継目開口変位のモニタリングデータ検証結果について報告する。

2. センサ設置方法の改良

(1) これまでの経緯

対象となる導水路トンネルでは、変状箇所の横断面変形(2断面、約40m)ならびに覆工コンクリート打継目の開口変位(12箇所、約160m)を対象にモニタリングを実施している。平成28年9月にセンサ設置をして以来、坑口まで光ファイバを延伸して、遠隔から通水状態において常時モニタリングを行ってきた。しかし、設置から半年程度経過した融雪出水期において、光ファイバセンサと壁面の隙間に漂流物(塵芥など)が堆積したことが原因で、センサ断線が発生した。そのため、設置方法を改良のうえ、平成29年10月にセンサの再設置を行い、耐久性向上効果を確認するとともに、モニタリングデータを蓄積してきた。その後、変状箇所のトンネル補強工事に先立ち、平成30年3月に一部のセンサを撤去した。

(2) 補強工事後の再設置

補強工事後、平成30年6月に横断面と打継目の一部のセンサを再設置した。発電所水路トンネルでは、点検などに伴う発電所の停止期間は出来るだけ短くする必要があるため、モニタリング用のセンサ設置期間も限られている。また、トンネル設備に極力損傷を与えないように、さらに水流を阻害することがないように、センサを設置する必要がある。そこで、これまでの知見を活かして、覆工表面に溝加工(幅5mm×深さ約10mm)を施し、接着剤を用いてケーブル型の光ファイバセンサ(断面1.8×3.5mm)を溝内に埋め込むこととした(図-1、写真-1～2)。合わせて、水流などで剥がされない様に、ビス固定のプレートで上から抑えた。複数の作業班での並行作業とすることで、延べ二日間で作業を完了した。横断面と打継目のセンサ設置直後の様子を写真-3に示す。これまでのところ、通水開始後8カ月を経て、センサ断線のような不具合は生じておらず、常設した計測器によって、順調にモニタリングを継続している。

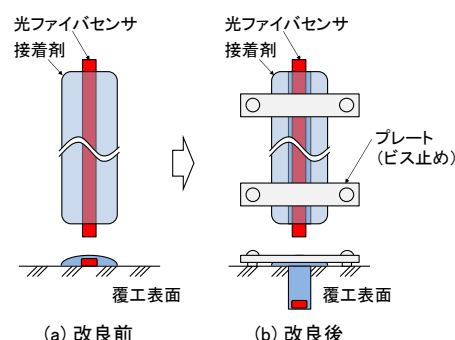


図-1 センサ設置方法の改良



写真-1 横断面用センサの設置



写真-2 打継目用センサの設置



写真-3 センサ設置後の状況

キーワード 光ファイバセンサ、水路トンネル、ひずみ計測、変位・変形

連絡先 〒067-0033 北海道江別市対雁 2-1 北海道電力(株) 総合研究所 TEL 011-385-6324

3. 横断面変形モニタリング

横断面変形モニタリングには、図-2に示すように設置した光ファイバセンサのひずみ分布計測結果をもとに、以下に示すフローで変形を算出した。まず、計測結果を光ファイバセンサの座標系から現地座標系に変換する。設置したセンサのみでは、軸ひずみと曲げひずみの分離ができないため、ここでは軸ひずみを無視し、曲げひずみでのみ変形が生じたものと仮定した。鋼枠（125×125）断面の中立軸からセンサまでの位置と、ひずみ結果をもとにたわみ角を算出、円周に沿ってたわみを積分することで円周に沿った変形を算出した。このとき、①積分開始点と終了点は同一であること、②円周の長さは常に一定であること、を拘束条件として加えた。また、光ファイバセンサに影響を与える水温については、断面全体で偏りなく一定とし、時期的な温度影響は前述の拘束条件②でキャンセルされるものとした。さらに、これまでの知見を踏まえ、③積分開始点と終了点でたわみ角は同一であることを加えた。

上記フローを用いて鋼枠部の断面変形を算出した結果を図-3に示す。停電などによって一部データ欠損期間がある。通水後、一時的にやや大きい変形を示すものの、以降は安定している。変形モードとしては、断面上下方向に縮小、左右方向に拡大を示しており、測量による内空変位結果と同様の傾向であった。

4. 打継目開口変位モニタリング

打継目の開口変位モニタリングには、合わせて12箇所の施工打継目に設置した光ファイバセンサのひずみ分布計測結果をもとに、以下に示すフローで変位量を算出した。まず、温度補正係数（ $21 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；変形していない箇所の計測結果から算出）と水温（取水口での水温データを利用）でひずみ分布の温度補正を行い、該当箇所の結果を位置分解能（ここでは1m）で除して、打継目の開口変位を算出した。平成28年9月以降、連続してモニタリングしている打継目（写真-4）の開口変位量の推移を図-4に示す。季節変化がみられ、冬季に開口変位が増える傾向があることを示している。

5. おわりに

錆びずに長寿命、長距離伝送が容易、センサ部に給電が不要などの光ファイバセンサの特長を活かした水路トンネルモニタリング技術を開発し、導水路トンネルでの実証試験によるデータ蓄積を進めている。これまでの知見をもとに、センサ設置方法を確立し、耐久性に優れていることを一定程度検証した。また、計測データを用いた変形算出方法を提案、実測データとの比較により検証を行った。実応力への換算などへは課題が多いが、通水中もその挙動の傾向を把握できる点では有益であると言える。引き続きデータの蓄積を進めるとともに、耐久性についても検証を続け、有益な水路トンネルモニタリング方法の確立を目指したい。

参考文献

- 1) 池田圭甫, 今井道男: 光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング, 土木学会第72回年次学術講演会, VI-949, pp.1897-1898, 2017.
- 2) 池田圭甫, 若松洋介, 笠井秀男, 今井道男: 光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング, 土木学会第72回年次学術講演会, VI-408, pp.815-816, 2018.

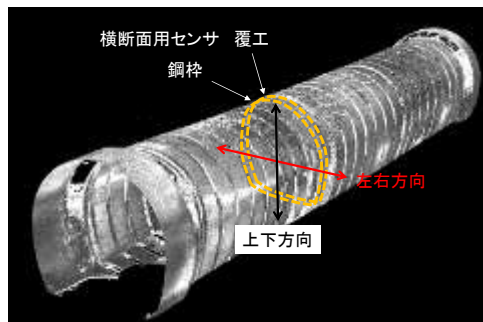


図-2 横断変形のモニタリング位置

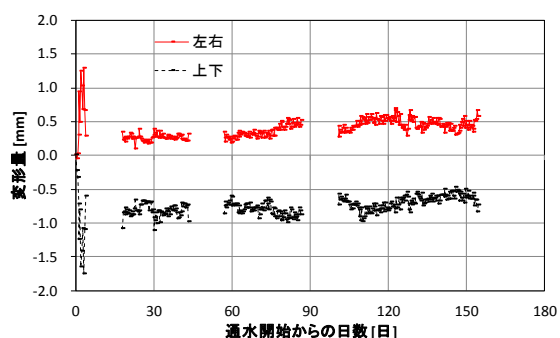


図-3 横断変形の推移（鋼枠部）

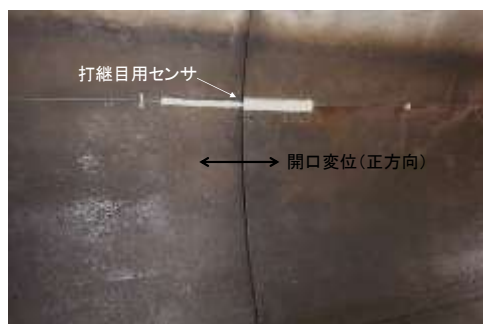


写真-4 打継部の状況例

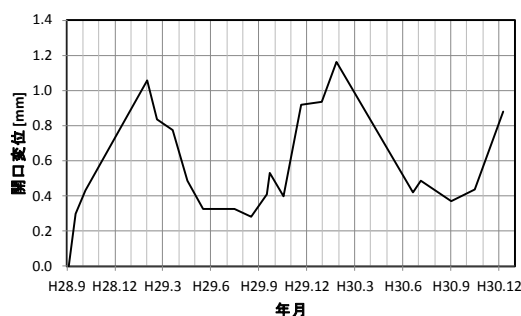


図-4 打継部の開口変位の推移