

光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング ～センサ設置方法の改良とモニタリングデータの検証～

北海道電力(株) 正会員 ○池田圭甫 若松洋介 笠井秀男
鹿島建設(株) 正会員 今井道男

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。そこで、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⁾。本稿では、これまでに得られた知見をもとにした、センサ設置方法の改良、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) 改良の経緯

対象となる導水路トンネルでは、変状箇所横断面変形(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(14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けるモニタリングデータを蓄積してきた(一期)。しかし、設置から半年程度経過した融雪出水期において、一部センサで計測不能が発生した。その後、導水路トンネル断水時に目視確認したところ、接着固定した光ファイバセンサの剥離が確認された。接着固定箇所以外の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と推察された(写真-1)。そのため、設置方法を改良し、平成29年10月にセンサの再設置を行った(二期)。

(2) 設置方法の改良

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り、モニタリング用のセンサ設置期間も限られている。また、覆工コンクリートなどの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。そのため、アンカーなどによるトンネル壁面への固定は避け、ケーブル型の光ファイバセンサ(断面1.8×3.5mm)を壁面に接着固定する簡便な設置方法を採用することとした。

一期目では、光ファイバセンサを測定対象表面に直接接着剤で固定する方法をとったが、前述(1)のような不具合が発生した。

そこで二期目では、覆工表面に溝加工(幅5mm×深さ約10mm)を施し、溝内に光ファイバセンサを埋め込むこととした(図-1)。一期目よりも設置に手間がかかるが、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。これまでのところ、半年を経てもセンサ剥離のような事態は生じておらず、順調にモニタリングを継続している。横断面と打継目のセンサ設置直後の様子を写真-2～3に示す。



写真-1 漂流物の堆積

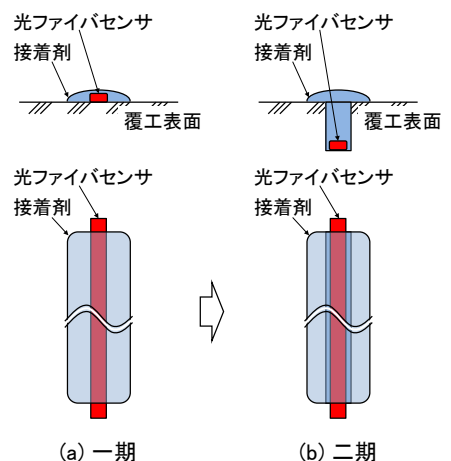


図-1 センサ設置方法の改良



写真-2 横断面用センサ



写真-3 打継目用センサ

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、変状箇所への覆工 1 断面と鋼柵 1 断面に設置した光ファイバセンサによるひずみ分布計測結果をもとに、図-2 に示すフローでそれぞれ変形を算出した。得られた計測結果は光ファイバセンサの座標系であるため、これを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。覆工や鋼柵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であるとし、時期的な変動は前述の拘束条件 2) でキャンセルされるものとした。

上記フローを用いて鋼柵部の断面変形を算出した結果を図-3 に示す。断面上下方向の縮小がもっとも大きく、やや左右方向に拡大している傾向であった。この傾向は、測量による内空変位結果とも同様であり、一定の妥当性があるものと考えられる。

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 14 箇所を設置した光ファイバセンサによるひずみ分布計測結果をもとに、図-4 に示すフローで変位量を算出した。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、継目の開口変位を算出した。ある継目の開口変位量の推移を、水温結果とともに図-5 に示す。水温の低下とともに、緩やかではあるが僅かながら開口変位が増加していることがわかる。コンクリートの温度変化による体積変化の影響や、開口部に設置しているためセンサが水压を受け引張ひずみを生じている可能性なども考えられる。計測を継続し、データの妥当性について検証していく必要がある。

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。今回、実証試験結果を通じ得られた知見をもとに、耐久性に優れたセンサ設置方法を確立した。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。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。特に、横断面の変形算出方法については、実断面の形状 (馬蹄形) や軸力を考慮していないことから、今後更なる検討が必要である。

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.

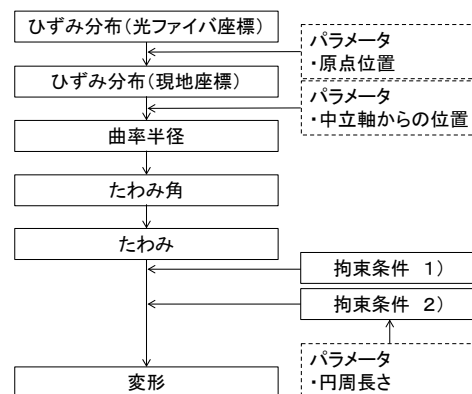


図-2 横断面変形算出フロー

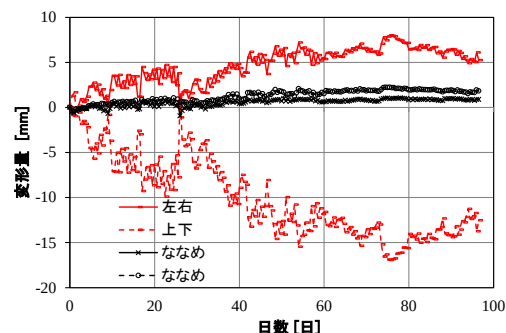


図-3 横断面変形の推移 (鋼柵部; 二期)

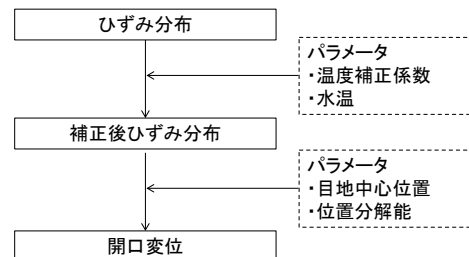


図-4 開口変位算出フロー

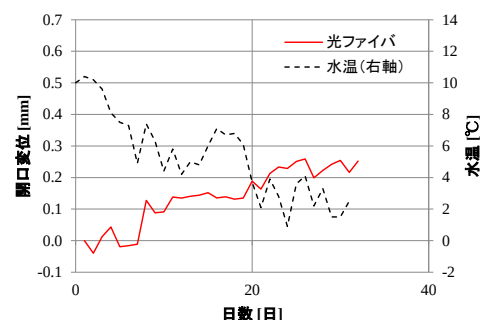


図-5 開口変位の推移 (一期)