

光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング

北海道電力(株) 正会員 ○池田圭甫
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変状としては、ひび割れ、はく離・はく落、洗掘などがあるが、中でも覆工の変位・変形は、構造物の安定性を評価する上で重要な指標である。変位・変形の発生後、短時間で破壊に至る可能性もあり、変状の早期発見に努める必要がある。ひび割れは、応力伝達を阻害し構造物の安定性に影響を与えるほか、ひび割れからの漏水によって地山の泥濘化による外力の増加も懸念される。

これまで、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、より高頻度なモニタリングが望まれる。しかし、発電所運転中のトンネル内は水没することから、電気式センサの適用は困難であった(写真-1)。そこで、補修を行った水路トンネルモニタリングへの光ファイバセンサの現場適用を試み、着手したので報告する。



写真-1 導水路トンネル坑口(3月)

表-1 使用接着剤

番号	接着剤タイプ	
1	エポキシ系	一液タイプ
2	エポキシ系	二液タイプ
3	エポキシ系	水中用補修剤
4	エポキシ系	二液タイプ

2. センサ設置方法の検討

現場適用に先立ち、水路トンネル内に光ファイバセンサを設置する方法を検討した。水流に対して流されることがなく設置するためには、アンカーなどによるトンネル壁面への固定が望ましい。しかし、この場合、設置のためのコストと手間がかかることから、今回接着剤を用いた簡便な設置方法を採用することとした。

水路トンネル内の覆工コンクリート表面に、表-1に示す接着剤を用いて光ファイバセンサ(1.8×3.5mm²のポリエチレン被覆加工済み)を設置し、現地で曝露することとした(写真-2)。光ファイバセンサは縦坑を通じて地表まで延伸し、発電所運転期間中、損失測定器(OTDR)を用いて水路トンネル内の光ファイバセンサの損失変化を定期的に計測した。



写真-2 曝露試験準備状況

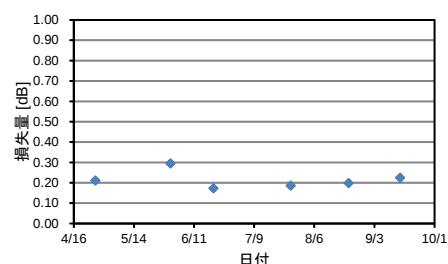


図-1 光の損失量変化

約6ヶ月間における損失量の変化を図-1に示す。異常を示すような損失量の変化は見られなかったため、接着剤の剥がれに起因する光ファイバセンサの極端な曲げ、損傷が生じるような事態は発生しなかった。約6ヶ月後の光ファイバセンサの設置状況を写真-3に示す。目視確認の結果、使用したすべての接着剤について、水流の影響による剥がれなどは見られず、接着状況は極めて良好であった。簡便な設置方法による実現性を確認することができた。

本曝露試験結果とともに、接着剤の練り混ぜ、塗布などの作業のし易さや、壁面が湿潤状態における施工性を考慮して、現場適用に用いる接着剤を選定することとした(表-1の2, 3)。



写真-3 曝露試験後の状況

キーワード 光ファイバセンサ, 水路トンネル, ひずみ計測, ひび割れ, 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) 企画本部 総合研究所 TEL 011-385-6324

3. 水路トンネルへの適用開始

対象となる水路トンネルのモニタリング項目は、①補修区間の覆工変形（2断面、計約40m長）、②ブロック間継目部の開閉（14箇所、計約160m長）、に大別される。これらは、曝露試験で選定した接着剤を用いてそれぞれ光ファイバセンサを固定し、坑口近傍にある建屋まで配線した（約600m長）。計測区間以外は、サドルによって光ファイバセンサを固定した。簡便な設置方法を採用した結果、電工作業員4名×3日間で資機材搬入、位置出し、センサ設置（写真－4～5）、配線、計測確認まですべての作業を終えることができた。

光ファイバセンサの計測方法として、今回比較的高い位置分解能が求められる①についてはBOCDA方式¹⁾を、そうでない②についてはBOTDR方式を用いることとした。発電所運転開始後のひずみ計測結果の例を図－2～3に示す。これらの結果は、ともに温度変化による影響も含んでいるものである。

光ファイバセンサによって得られるひずみ計測結果をもとに、覆工変形と継目部開閉を算出することが目的である。そのため、①についてはひずみから曲げ変形を積分して変形の形状を、②については位置分解能でひずみを除して継目部の開口変位量を、それぞれ算出する必要がある。これらの算出にあたっては、温度補正とともに、①では補修区間の覆工の圆心位置、②ではひずみの積分方法など、いくつか検討すべきパラメータがある。また、算出結果の妥当性を確認するためには、参照データとの比較が必要である。そのため、今回、設置作業と並行して三次元スキャナにより補修区間の断面形状を把握した。次回の発電所停止期間においても同様に断面形状を把握し、その差分から変形形状を算出する予定である。また、温度変化を参照データとして、光ファイバセンサによる変形算出結果を検討する（図－4～5）。②の継目部についても同様に、次回の発電所停止期間に手動計測する継目部開閉量を参照データとし、妥当性を確認する。

4. おわりに

今回、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に着手した。コストや手間を低減可能な、簡便なセンサ設置方法の実用性について現場適用を通じて確認した。引き続きデータの蓄積を進めて有意なモニタリング結果を得られる処理方法を検討するとともに、その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

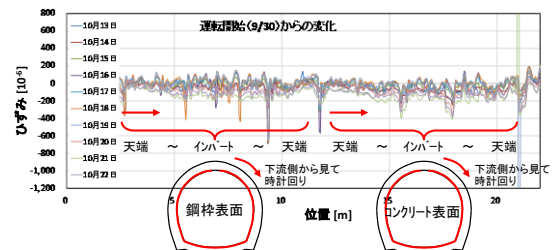
- 1) 今井道男, 五十嵐由一, 水野秀太郎, 三浦悟: 光ファイバセンサによるアスファルト構造物のひずみモニタリング手法に関する研究, 土木学会論文集, Vol.68, No.3, pp.696-706, 2012.



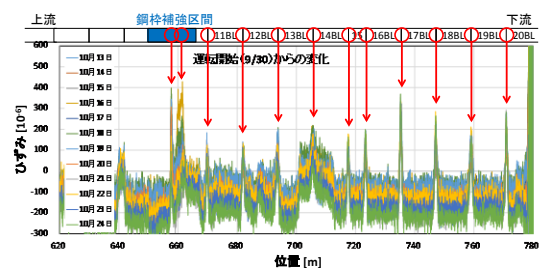
写真－4 補修区間へのセンサ設置



写真－5 継目部へのセンサ設置



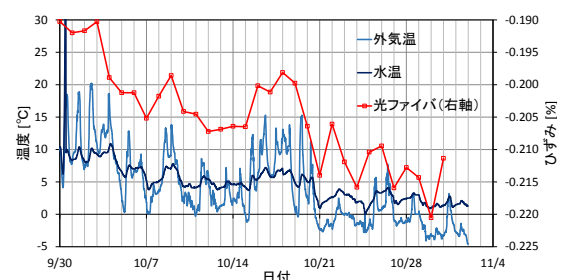
図－2 補修区間ひずみ分布（横断）



図－3 継目部ひずみ分布（縦断）



図－4 三次元スキャナの結果



図－5 温度変化とひずみの関係