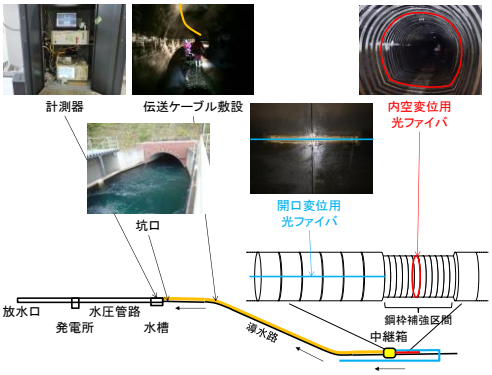
光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング
～長期的な連続モニタリングデータの検証（その２）～

北海道電力(株)　正会員　○水野秀太郎
鹿島建設(株)　正会員　今井道男，小泉悠
ﾘﾃｯｸｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ(株)　小柳津悠

１．はじめに

水力発電所水路トンネルの点検は，主に発電所停止期間中に目視によって行われている．しかし，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．そこで筆者らは，通水中でも適用が可能な光ファイバセンサによる水路トンネルモニタリング技術を開発している[1]．本稿では，同技術を実際の導水路トンネルに適用し，これまで得られたモニタリングデータを検証した結果について報告する．



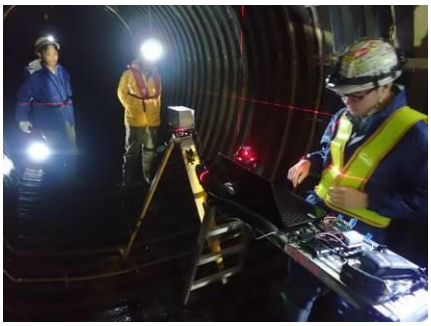
図－1 光ファイバセンサの配置

２．水路トンネルでの検証の概要

(1) 光ファイバセンサの設置

対象となる導水路トンネルでは，内空変位ならびに覆工コンクリート打継目やひび割れ箇所の開口変位を対象にモニタリングを実施している．モニタリング箇所には，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）を固定し，中継箱を通じて坑口まで延伸した（**図－1**）．2016 年 9 月の開始以来， 2018 年 6 月の補強工事に伴う中断を経て，通水状態において遠隔から常時モニタリングを行ってきた．これまでに，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によるセンサ断線が発生したため，設置方法を改良してから再設置することを何度か繰り返した[2]．このような経緯を経て，短期間でセンサ設置作業が完了し，流水中での耐久性を有するセンサの設置方法を確立した．現在は，補強工事の後に設置（**写真－1**）した光ファイバセンサによるモニタリングデータを蓄積している[3]．

写真－1 センサ設置状況



写真－2 横断面測量の様子

写真－3 開口変位計測の様子

(2) モニタリングデータの検証

モニタリングデータは，通水状態においても水槽に設置している計測器によって，光ファイバ全長にわたるひずみ分布を数時間間隔で定期的に記録，保存する．これらの結果は，後述する方法によって必要な評価量（内空変位，開口変位）に換算されるが，検証にあたっては，比較するデータが必要である．そのため，年間 1～2 回程度の定期点検のための発電所停止期間に坑内に入り，モニタリング箇所において，レーザによる横断面測量（**写真－2**）と，打継目をはさんで設置されたピン間距離のノギス計測（**写真－3**）を実施した．得られた結果から，内空変位量と開口変位量を算出し，検証用データとした．

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㈱　総合研究所　TEL 011-385-6324

© Japan Society of Civil Engineers

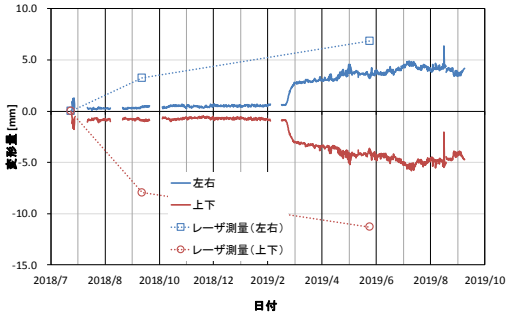
3．連続モニタリングデータの検証結果

(1) 内空変位モニタリング

光ファイバセンサによるひずみ分布計測結果をもとに，以下に示す手順で内空変位を算出した．軸ひずみは無視し，鋼枠（H-125）断面の中立軸からセンサまでの位置と，ひずみ結果からたわみ角を算出，円周に沿ってたわみを積分することで全周に沿った曲げ変形量を算出した．このとき，①積分開始点と終了点は変形量が一致すること，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．温度の影響については，断面全体では偏りなく温度一定とし，時期的な温度変化は前述の拘束条件②に反映されるものとした．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が一致することを条件として加えた．

上記手順を用いて補強鋼枠断面の内空変位を算出した結果を，レーザ測量の結果とともに**図－2～図－3** に示す．前者は 2018 年 6 月に実施した補強工事前の結果，後者はその後にセンサ再設置をした後の結果である．停電などによるデータ欠損期間があるが，両者とも開始直後から僅かに上下方向に短縮，左右方向に伸張する変形モードを示した．また，両者とも変形量が増大する時期（2018 年 2 月頃，2019 年 3 月頃）がある．この時期は，発電所下流側のダム水位が低い時期にあたり，発電所地表面の動態観測結果と同様な傾向であった．

図－2 内空変位の推移１（鋼枠部）

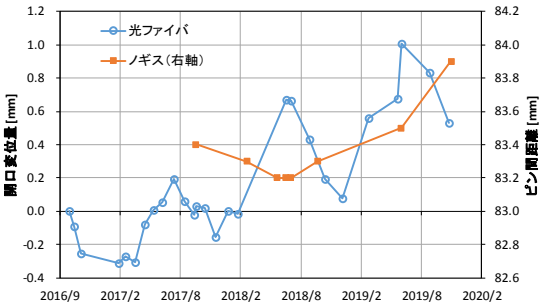


図－3 内空変位の推移２（鋼枠部）

(2) 開口変位モニタリング

光ファイバセンサのひずみ分布計測結果のうち，継目（ひび割れ）の中央部のひずみ変化を計測器の空間分解能（ここでは 1m）で除すことで，開口変位量を算出した．2016 年 9 月以降，連続してモニタリングしているひび割れ部（**写真－4**）の開口変位量の推移をノギスによるピン間距離とともに**図－4** に示す．光ファイバによる開口変位量は季節変化による温度影響を受けながら徐々に増大する傾向を示しており，これはノギス計測と同様の傾向である．

写真－4 ひび割れ部の様子



図－4 開口変位の推移

4．おわりに

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りデータ蓄積を進めている．これまでの成果を以下にまとめる．

- 短期間で設置作業が完了し，流水を阻害せず，かつ耐久性を有する光ファイバセンサの設置方法を確立できた．
- センサで得られたひずみ分布から内空変位や開口変位を算出し，mm オーダーの変形を捉えることができた．

今後は，モニタリングシステム運用の実用化に向けて，定量的な健全性判断に必要な実応力への換算方法や，計測器廉価化などについて検討を進めていく予定である．

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.
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 73 回年次学術講演会，VI-408，pp.815-816，2018.
3) 笠井秀男，若松洋介，今井道男，早坂洋太：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 74 回年次学術講演会，CS9-16，2019.

© Japan Society of Civil Engineers