

光ファイバによるトンネル変状計測システムの開発（その1）

国土交通省 東北地方整備局 酒田工事事務所 大野康雄
 (株)鴻池組 正会員 ○古川和義 飯間清司

1.はじめに

光ファイバは、IT 革命の核となる通信ケーブルとして多くの道路・鉄道や埋設管路に沿って敷設されてきているが、光ファイバ自体がひずみや温度のセンサとして使用できることから、遠隔監視に適した次世代の計測システムとして注目されている。朝日第1・第2トンネルは、国道112号の一区間が月山ダムの完成に伴って水没するために、その付替道路として11年前に施工された。これらのトンネルは、大部分の路面高がダム貯水位あるいは地下水位以下となることに加え、施工中にも変状が発生した地滑り部が存在することから、国道交通を供用しながらダムの湛水試験を実施するにあたり、安全確保を目的としてトンネル全体の変状を遠隔監視することが要求された。そこで、光ファイバセンサの特長を生かした新しい計測システムを開発し、供用中のこれらのトンネルへ適用したので、その概要について報告する。

2.システムの概要

開発したシステムは、トンネル全線に布設した光ファイバと、トンネル坑口の電気室内に設置した測定器およびデータ収集・演算用のPC機器から構成される。その原理は、光ファイバに入射したレーザ光の反射光の周波数や波長を測定して光ファイバ自体に発生したひずみを計測するものである。具体的には、トンネル水平方向の変状を検知するために縦断方向の伸縮を計測する方法と、トンネル横断方向の内空変位を計測する方法を適用した。また、ここで計測したデータはトンネル挙動監視用PCに表示するとともに、酒田工事事務所の防災LANを通じて関係各工事事務所における直接監視を可能としている（図-1参照）。

2-1.縦断方向の計測

縦断方向の計測には、光ファイバに沿って連続して長大な範囲のひずみを計測できるB-OTDR（Brillouin Optical Time Domain Reflectometer）の計測手法を用いた。図-2に示すようにトンネル全線にわたって縦断方向に、光ファイバのケーブルを5.0mスパンで一定の初期張力を与えながら固定し、各スパンでの0.5mm（ひずみ100 μ ）以上の伸縮量を検知する。図-3はこのケーブルの断面で、長期耐久性と10000 μ までの引張り伸びに対応できる強度を備えた構造である。また写真-1は固定治具であるが、ケーブル自体に局部的な集中荷重を与えずに摩擦力でケーブルを固定するとともに、各スパンの初期張力を調整できるように前後にスライドする機能を持つ。実際の施工では、アンカーボルトで固定治具を覆工コンクリートに設置した後にケーブルを敷設し、固定治具をスライドさせて所定の張力になるように調整した。トンネル延長は朝日第1トンネルが881m、第2トンネルが757mで、ケーブルはスプリングラインより15°上方の各トン

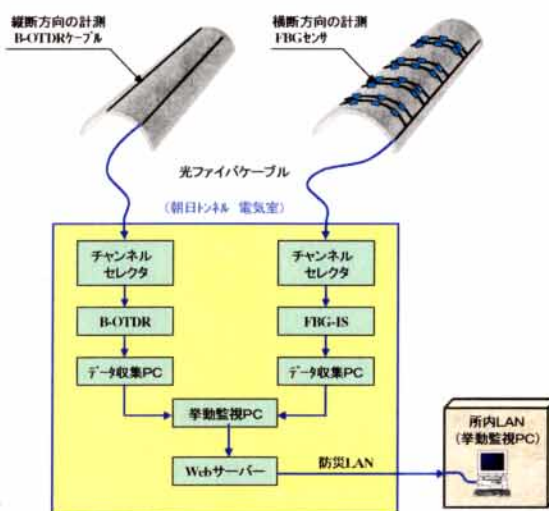


図-1 全体システム図

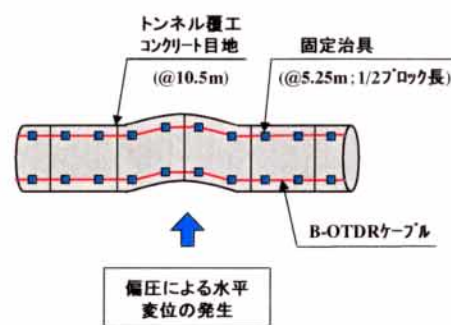


図-2 縦断方向計測概要図

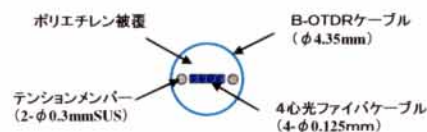


図-3 B-OTDR ケーブル構造

キーワード：光ファイバ、B-OTDR、FBG、トンネル、ひずみ、計測

連絡先：〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1 TEL06-6244-3674 FAX06-6244-3676

ネル肩口に2ラインずつ設置した。固定治具は、トンネル二次覆工の1ブロック長の1/2である5.25m間隔で設置し、1スパンおきに二次覆工の打継部をまたぐようにした。

2-2.横断方向の計測

横断方向の計測は、変状発生の可能性が高いと予想される各トンネル4箇所2断面ずつの合計16断面において実施した。ここでは、ファイバにブラッグ格子を設けた位置の点的なひずみを±4μまでの精度で計測できるFBG (Fiber Bragg Grating) の測定手法を用いた。トンネル覆工に沿って3スパンに分割して計測用のケーブルを固定治具と滑車で固定し、その中央部にFBGを接着固定している。(図-4参照) また、各断面に1ヶ所ずつ接着固定しないFBGを設置し、温度補正に使用している。ケーブル1スパンが約5.0mであることから、±0.05mm (10μ精度の場合) 以上の伸縮量を検知することが可能で、断面変形形状やコンクリートの応力状態を把握できる。なお、これらの断面では電気式のひずみゲージや亀裂計でコンクリートの応力やクラックの目開き量も計測されている。



写真-1 B-OTDR ケーブル固定治具

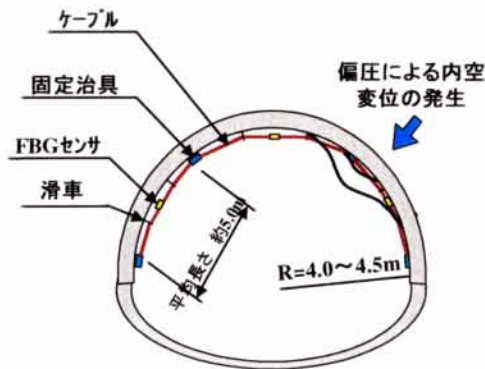


図-4 FBG 設置概要図

3.計測結果

本システムによる計測は、月山ダムの湛水を開始した平成12年10月初めより開始している。

縦断方向の計測結果を図-5に示す。第1トンネルの全長84スパン分の平均ひずみを二次覆工の打継部の有無に区分して表示したものである。グラフではトンネル全線にわたり打継部を有するスパンのひずみの方が打継部の無いスパンに比べて大きい傾向にある。

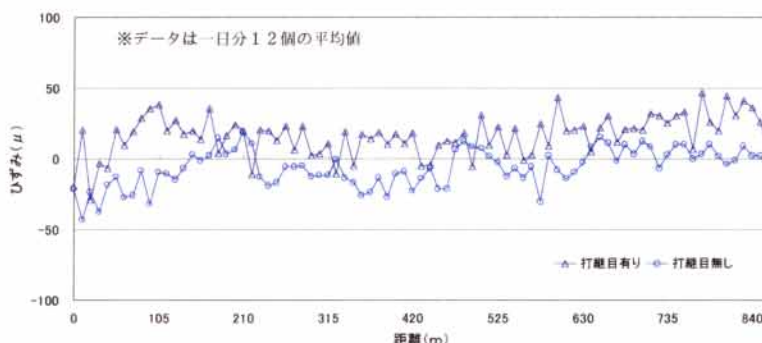


図-5 縦断方向の計測結果 (H13.1.1)

横断方向の計測結果を図-6に示す。グラフは第1トンネルの一断面における計測開始時から約2ヶ月間の計測値を示す。なお、近傍で計測しているコンクリート表面温度のデータも同時に表示している。グラフでは、3スパンの平均ひずみとも計測開始時に比べて-100μ程度まで徐々に小さくなっている。

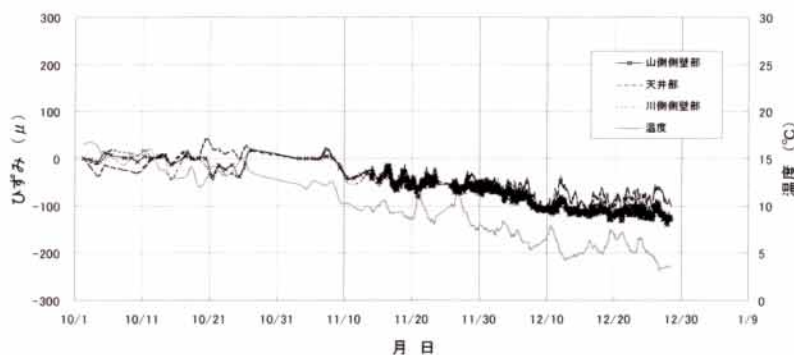


図-6 横断方向の計測結果

これらのデータは、トンネルの変状が発生していない時点であることから、縦断・横断方向共に覆工コンクリートの温度収縮の影響を受けているものと推定される。

4.おわりに

光ファイバを利用することによって過去に例の無いトンネル全体の変状計測が可能なシステムを開発し、供用中のトンネルに適用して計測を開始した。今後は、年間を通して計測を続けることによってトンネル挙動の経時的特性を把握するとともに、既設の電気式ひずみゲージとの比較も行い、システムの有効性の検証に努めていく。