

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2）

(株)鴻池組 正会員 古川和義 ○飯間清司
NTT インフラネット(株) 正会員 奥野正富 鳥越寿彦

1.はじめに

光ファイバは、通信線として広く普及しているだけでなく、ケーブル自体がセンサとして利用できるため、計測と通信を兼ね備えた次世代の計測システムとしての利用が期待されている。筆者らは、長大な範囲をリアルタイムに遠隔監視できるという光ファイバセンサの特長に着目し、トンネル全体の変状をマクロに捉えることができるシステムを開発して、供用中の国道 112 号にある朝日第 1・第 2 トンネルへ適用した。本稿では、システムの開発に際して実施した屋内要素実験について報告する。

2.屋内要素実験

開発したシステムは、トンネルの二次覆工コンクリート表面の 2 点間に発生した平均ひずみを光ファイバセンサを用いて計測するもので、トンネルの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、横断方向の内空断面を計測する方法がある。縦断方向の計測には、1 本の光ファイバでトンネル延長方向の長距離を連続して計測することが必要とされたため、光ファイバに沿って発生しているひずみを 10km 程度まで連続して計測できる B-OTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer) を用いた。また、横断方向の計測には、トンネルに作用する外力の想定が困難で内空変位の微小変化を検知することが必要とされたため、 $\pm 4\mu$ までの精度で計測できる FBG (Fiber Bragg Grating) を使用した。さらに、供用中のトンネルに適用するために、耐久性があり環境条件に適応できる特殊なケーブルや固定治具を採用した。屋内要素実験では、システム全体のひずみ特性および精度の検証を目的として、実際のトンネルと同じ設置方法で B-OTDR と FBG の光ファイバセンサによる計測を行った。

2.1 縦断方向の計測 (B-OTDR)

要素実験に用いた実験装置の概要を図-1 に示す。計測治具は、H 型鋼の架台に 5.0m 間隔で固定治具を設置して B-OTDR ケーブルを初期張力を与えながら 2 スパン敷線するが、初期張力の設定についてはケーブルのひずみが 1000μ 、 3000μ 、 5000μ となる 3 段階とした。1 スパンは、一方の固定治具を固定して不動点とし、他端を可動式とすることにより、変位を強制的に与えるようにした。もう 1 スパンは両端固定で計測し、両者の差を求めることにより温度や器械的な誤差の影響をキャンセルするようにした。なお、変位計を可動部に 2 箇所設置して変位量の計測を行い、光ファイバによる計測値の検証に用いた。図-2 には今回用いた計測用のケーブルの構造、そして写真-1 には固定治具 (可動側) を示す。

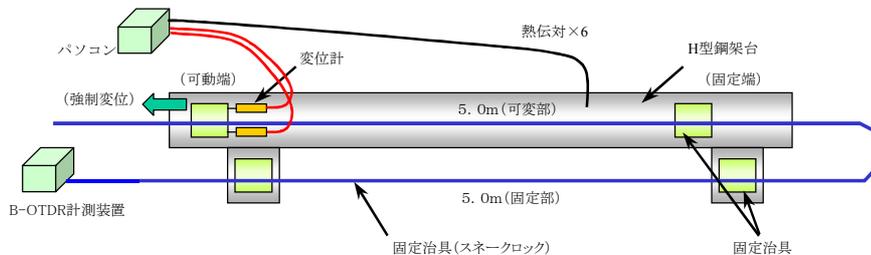


図-1 B-OTDR 実験システム

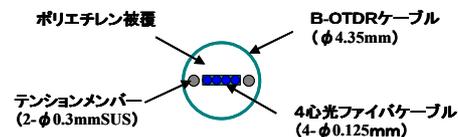


図-2 B-OTDR ケーブル構造



写真-1 固定治具（可動端）

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

2.2 横断方向の計測 (FBG)

横断方向については、トンネル断面を天井部と側壁部の3箇所に分けて、それぞれのスパンの伸縮を計測する。実験装置は、縦断方向の計測実験と同様に片側の固定治具を可動点とすることにより変位を強制的に与えるものである。図-3に示すように、実トンネルの内空形状を考慮して建築限界に支障が無いように架台上にポストと滑車を設置してケーブルをアーチ状に敷線し、FBG センサはケーブル中央部に接着固定して弦状に設置したケーブルのひずみを計測した。なお、ケーブルに接着しないフリーなFBG センサを1箇所設け、両者の差を求めることにより温度による影響をキャンセルするようにした。

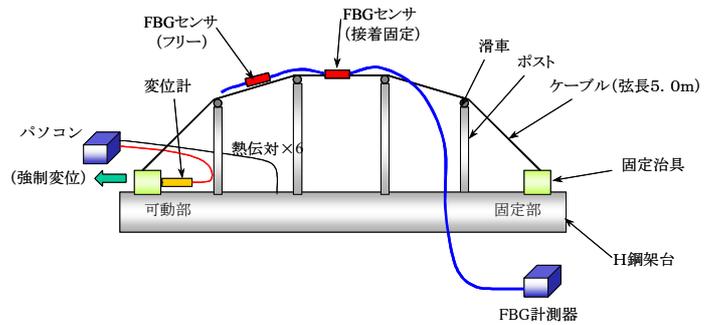


図-3 FBG 計測装置図

3.実験結果

縦断方向について、B-OTDR ケーブルのひずみとその測定位置を図-4 に示す。図中の左側の山が変位を与えていないケーブルのひずみ状態、右側の山が変位を与えたケーブルのひずみ状態を示している。変位を与えることによって生じたひずみは、両者の差で算出される。光ファイバセンサで求めたひずみと変位計の測定値から求めたひずみとの関係を図-5 に示す。両者の間には相関係数 $R=0.999$ と強い相関性があり、ばらつきも 100μ 以内であることが確認された。初期張力の設定については、ケーブルひずみが 1000μ の場合は低ひずみ領域でケーブル自重の影響を受けるため、 2000μ 以上のひずみになるような張力でケーブルを敷線すればその影響が少ないことが分かった。実工事では圧縮側も計測する必要があるので、現場におけるケーブルの初期ひずみは 3000μ 程度に設定した。

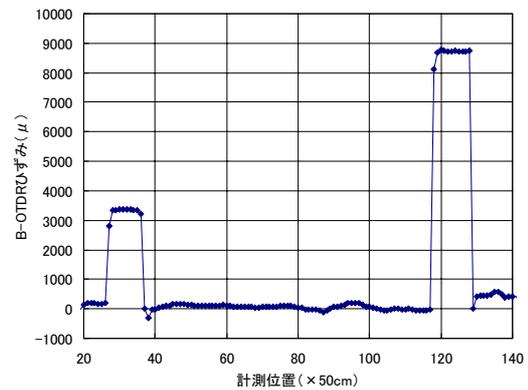


図-4 B-OTDR～計測位置関係

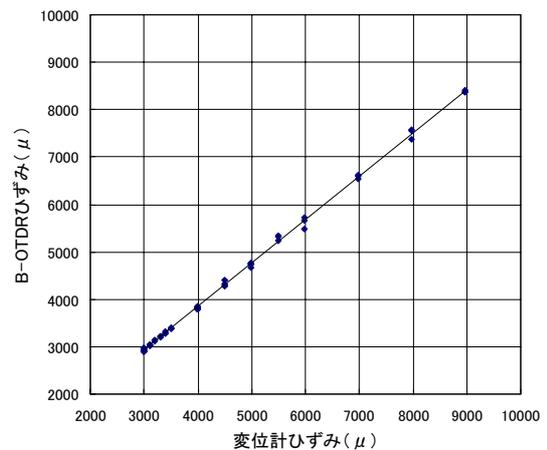


図-5 B-OTDR～変位計相関関係

横断方向について、FBG センサの計測ひずみと変位計の測定値から求めたひずみとの関係を図-6 に示す。この結果より両者の間には相関係数 $R=0.999$ と強い相関性があり、ばらつきも 10μ 以内であることが確認された。

3.おわりに

要素実験の結果より、B-OTDR によるトンネル縦断方向の計測およびFBGによるトンネル横断方向の計測について、屋内実験レベルであるが、開発したシステムとしてのひずみ特性や精度を求めることができた。今後は、実際に供用中のトンネルの計測を行うことでその有効性を検証するとともに、これまで計測できなかった長大な範囲の遠隔監視システムとして保全・防災分野への適用・展開が望まれる。

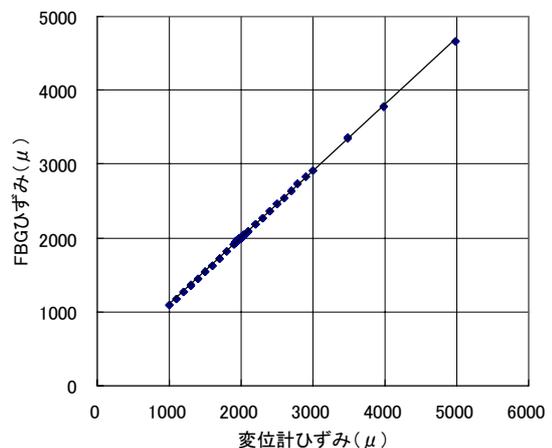


図-6 FBG～変位計相関関係