

## 光ファイバを用いたトンネル横断面内変形挙動のモニタリング手法の検討

日本道路公団試験研究所 正会員 伊藤哲男 大嶋健二  
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 安田亨  
 NTTインフラネット(株) 正会員 川野勝 藤橋一彦 青木俊朗

## 1. はじめに

道路トンネルなどの公共施設の維持管理に対する重要性は、ますます増大してきている。供用トンネルの安全性（健全度）を的確に判断し、補修の必要性や時期、補修方法を決定するためには、トンネル覆工の内空変位量・変位速度等の情報が必要不可欠と考えられる。トンネルの内空変位測定には光波式測定器が主に使用されているが、断面全体の挙動を把握するためには、測定点を密にとった測定が必要である。このような計測手法は、トンネル内を走行車両が行き交うことによる測距の弊害など供用トンネルにおける手法としては非効率であり、特に長期にわたる計測への適用性には課題がある。そこで、計測手法の一つとして、近年開発が進められている光ファイバを利用したトンネル内空変位計測について検討を行うこととした。

本報文では、トンネル覆工模型を用いた室内実験を通じて、光ファイバ計測手法のトンネル内空変位計測への適用性について検討した結果について報告する。

## 2. 光ファイバ計測の方式と特徴

光ファイバ計測には種々の方式があり、本実験では、光ファイバの歪を測定できる、FBGおよびB-OTDR方式の2種類の測定方式を用いた。それぞれの測定方式の特徴は以下の通りである。

FBG方式：光ファイバの一部に特殊加工を施し、その加工部の歪を捉えることができる。測定精度は $\pm 4 \mu$ 程度で通常の電気式ひずみゲージと同様な取り扱いができる。

B-OTDR方式：通常の光ファイバセンサを用いて、指定した区間長（1m～5m）の平均歪を連続的に測定することができる。測定精度は $\pm 100 \mu$ 程度である。

## 3. 1/3覆工模型による室内実験の概要

実験は図1に示すように、半径1.66mのアーチ状に加工した鋼板（厚さ9mm）をトンネル覆工に模擬して行った。载荷は壁面直交内空側へ強制変位を与えるかたちで、3パターン（载荷パターンP1：水平方向強制変位 $u_1$ ，パターンP2：斜め45°方向強制変位 $u_2$ ，パターンP3：上下方向強制変位 $u_3$ ）を行った。

光ファイバの設置は、供用中のトンネルにおいて、交通の支障となることがないように、壁面に沿わせた多角形状にファイバ線を固定し、光ファイバ線固定間の歪を測定した。FBG用センサはトンネルセンタ



写真1 光ファイバセンサ設置状況

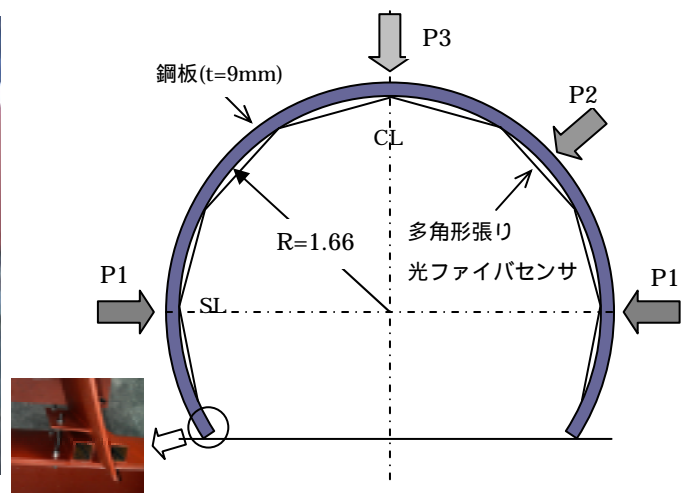


図1 1/3覆工模型実験概要図

キーワード：光ファイバ、トンネル計測、模型実験、維持管理

連絡先：NTTインフラネット(株) 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1

振り分けで左右5測線の計10測線を設置した。B-OTDR用センサはトンネルセンタに1測線、左右2測線ずつの計5測線を設置した。なお、B-OTDR用センサの設置においては、写真1のように光ファイバ線固定間（約1.2m）の間に滑車を3つ設けた。

#### 4. 実験結果と考察

FBGセンサおよびB-OTDRセンサで測定された各測線の歪分布を図2に示す。同図には、覆工脚部を固定あるいはヒンジ条件としてフレーム解析により算定した解析解を併せて示した。FBGセンサ、B-OTDRセンサとも、実測と2つの解析解の歪分布モードは脚部付近を除いてほぼ一致している。したがって、歪分布モードから戴荷パターンを概略推定できると考えられる。なお、脚部付近の歪分布の不一致は、脚部の固定機構が図1に示すようになっていないため、脚部の変位状態により固定条件が異なってくることから生じたものと考えられる。

歪量に関しては、B-OTDRセンサはFBGセンサに比べ、解析解との差が大きい結果となった。これはセンサの測定精度の差によるもののほか、固定区間長を1m以上確保しかつ一様歪にするために設けた滑車が影響しているものと推測される。ちなみに、FBGセンサに関して、3つの戴荷パターンの解析解をもとに測定歪に関する観測方程式をたて、戴荷パターンごとに実測歪から戴荷状態（強制変位状態）を逆解析した結果を示すと表1の通りである。概略、戴荷状態を表現できていると判断される。

また、戴荷パターンと歪量を既知として、強制変位量を算定するブラインドテストを行った結果、両センサともその精度は2mm以下であることが確認された。すなわち、戴荷パターン（荷重状態）と歪量および変位量の関係が求められていれば、歪量から概略の内空変位を求めることが可能となると考えられる。なお、歪量と変位の関係は、弾性状態ならば通常有限要素法やフレーム解析を利用して、理論的に求める方法が考えられる。

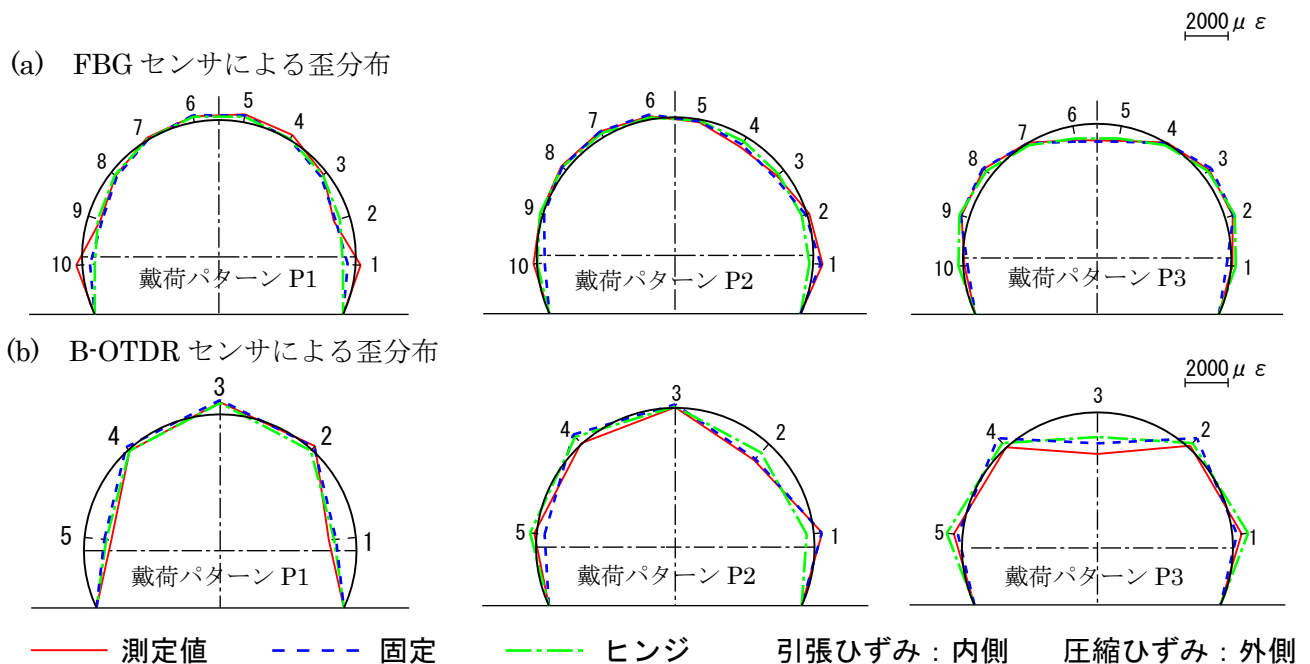


図2 実測歪分布と解析による理論歪分布の比較（強制変位 20mm の場合）

表1 戴荷状態の逆解析結果

| 載荷パターン | 逆解析値/真の強制変位 |       |       |
|--------|-------------|-------|-------|
|        | u1          | u2    | u3    |
| P1     | 0.96        | -0.37 | -0.02 |
| P2     | -0.20       | 0.94  | -0.10 |
| P3     | 0.32        | -0.52 | 1.28  |

#### 5. おわりに

トンネル覆工模型を用いた室内実験を通じて、光ファイバ計測手法のトンネル内空変位計測への適用性について検討した。その結果、光ファイバセンサを壁面に沿わせて多角形に張って歪を測定することで、戴荷状態や内空変位を概略把握することが可能と判断された。ただし、その精度は現状では満足のいくものとは言えず、歪の測定方法や解析手法について今後さらなる技術開発を進める所存である。