

Ⅲ - B 58

光ファイバー歪センサを用いたトンネル変状検知に関する実験

（財）鉄道総合技術研究所 ○高橋 徹 朝倉俊弘 小島 芳之
三菱重工業（株） 紀 博徳

1. はじめに

現在、供用中のトンネルの変状や近接施工の影響に対する監視計測には、内空変位測定をはじめ、ひび割れ計測や、歪ゲージ等による部分的な覆工の歪測定などが行われている。しかし、覆工の歪分布を把握するために、連続的に歪測定を行うことは非常に煩雑で多大な労力を必要としている。一方、光ファイバを用いた歪計測技術は、近年の光ファイバセンシング技術の進歩により、数キロオーダーの距離にわたる連続的な歪分布を精度良く測定できるようになってきた。そこで、トンネル変状事前検知システムの確立を目的として、トンネル覆工の変状に対する光ファイバ計測の有効性及び精度を確認するため、トンネル覆工の歪計測実験を行った。

2. 測定原理

光ファイバーの片端からレーザーパルス光を入射すると、内部にブリルアン散乱光が発生し、距離に応じた時間後に後方散乱光が計測器に戻ってくる。この時に光ファイバに歪が生じているとブリルアン散乱光の周波数（波長）が変化する。この散乱光の周波数シフトを計測することにより、光ファイバ長手方向の各位置における歪を計測することが可能となる。光ファイバの測定精度は、現在、測定分解能 1.0m 最小感度 0.01% である。

3. 実験概要

図2に示すトンネルを模擬した無筋の覆工模型を製作し、覆工の内外面に光ファイバの設置方法及び GL（ゲージレグス）を変えた3つの方式の光ファイバセンサを用いて、トンネル鉛直方向から荷重を行った。

1) 実験装置及び供試体

実験は、内空寸法 $H=2.4\text{m}$ 、 $W=3.0\text{m}$ 、 $B=1.0\text{m}$ 、 $t=0.22\text{m}$ のトンネル覆工（ $\sigma_{ck}=21\text{KN/mm}^2$ の無筋コンクリート）供試体を用いて、図2に示すように幅 125mm の載荷板により鉛直荷重を行ったものである。

2) 実験材料

光ファイバは直径 0.25mm（コア径 0.125mm 樹脂被覆）、ファイバの接着剤には一般的なエポキシ系接着剤を用いた。

また、歪計測装置（B-OTDR）は、GL が 1m まで計測できる機械を使用した。

3) 光ファイバセンサの配置

光ファイバは、図4に示すように、覆工内面及び外面の周方向に設置し、以下に示す3種類の方式にて設置した。

- ① シースに挿入した光ファイバを GL 1m ごとに覆工に接着する定点接着方式
- ② 光ファイバを直接覆工接着する全面接着方式
- ③ GL を短くするため、光ファイバを 1 回折り返して見かけ上の GL を 33cm にするループ方式

4) 他の測定機器

- 光ファイバの測定する歪と比較するため、①通常の歪ゲージ、②ループ式光ファイバとの比較のため自作した π 型変位計（GL350mm）、③ π ゲージによるクラック開口幅、以上3点の測定を行った。

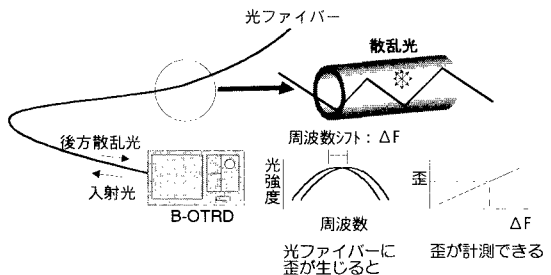


図1 光ファイバ歪み測定原理

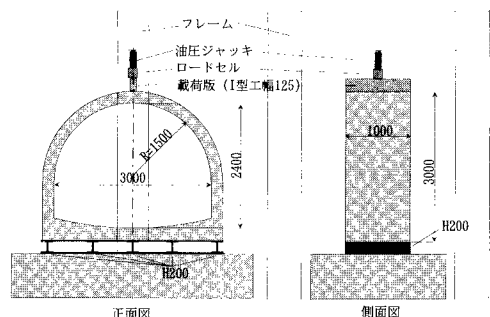


図2 実験装置

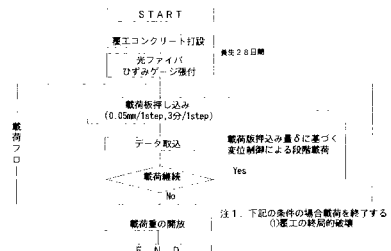


図3 実験フロー

キーワード トンネル、光ファイバ、歪分布測定、ひび割れ検知

* 〒185-8540 国分寺市光町2-8-38 TEL042-573-7266 FAX042-573-7248

** 〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1 TEL095-834-2121 FAX095-834-2185

5)実験方法

載荷は、載荷板の押し込み量 δ に基づく変位制御方式にて行い、載荷板を手動油圧ジャッキにて 1step0.05mm 強制的に押し込むことにより、覆工に荷重を与えた。また、載荷 step は、載荷後、3分間変位を保持する（光ファイバーの測定に3分間必要なため）step 載荷にて行った。なお、歪ゲージからのデータの取り込みは、連続的に行った。

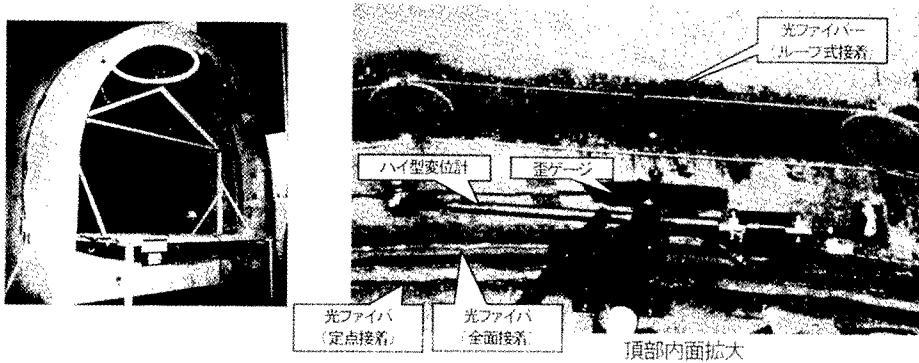


図4 光ファイバ歪ゲージの配置

4. 実験結果

実験においては、荷重変位の増加に伴い4カ所（頂部、左右肩部、底部）にひび割れが発生した。全面接着方式による光ファイバ計測においても図5に示すようにひび割れ箇所における歪値の増加が確認され、光ファイバにより損傷位置の特定が可能であることが実証された。

図6は、覆工天端内面付近における各方式による歪値の分布を示したものである。全面接着方式と定点接着方式とを比較すると、測定感度は、定点接着方式が格段に優れているのが分かる。また、GLを 1/3 にしたループ方式とすれば、更に測定感度を飛躍的に上げることが確認できた。

なお、図7に示すループ式光ファイバによる歪値とバイ型変位計による歪値を比較すると光ファイバの歪の感度は約75%であった。また、図6より、歪のピーク値は20cmの範囲で読みとることができる。このことから、歪分布を分析することにより、ひび割れ位置の特定が可能であると考えられる。

5. まとめ

- ①光ファイバによる計測手法は、トンネル内面の損傷を検知するための有効な手段である。
 - ②計測の感度は、光ファイバの接着方法（全面、定点、ループ式）により大きく異なる。
 - ③歪み分布を分析することにより、ひび割れの発生位置を特定する場合、約 20cm の精度で位置を推定することが可能である。
- 今後は、光ファイバ設置の方法や、最適な設置パターンなどの検討を行う予定である。

参考文献

- 1)倉峰、堀口、立田：ブリルアン散乱を応用した分光型光ファイバセンサ、信号論（C-II）、j-74-c-II、No.5(1991)

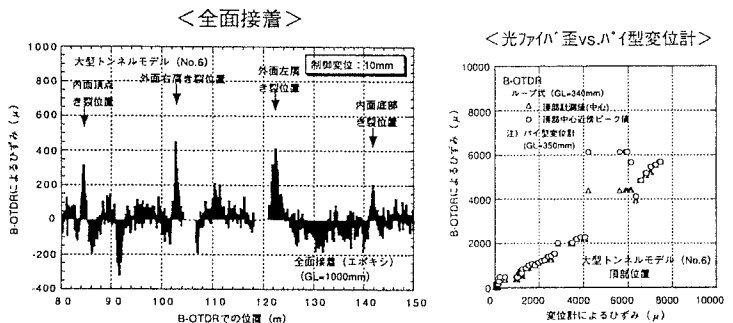


図5 全面接着における歪分布

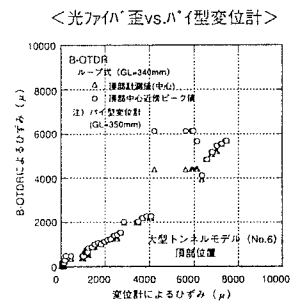


図7 光ファイバによる歪計測結果

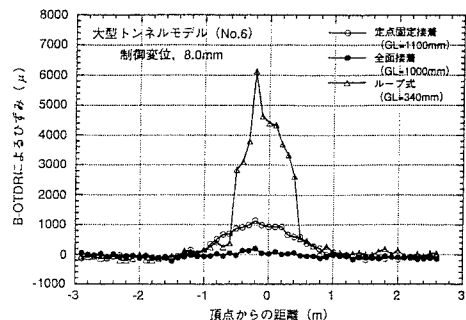


図6 各方式による歪み分布