

## シールドマシン面板計測への光ファイバセンサ適用検討

鹿島建設(株) 正会員 今井道男 坂根英之 佐川恭一 川野健一 永谷英基 吉村雄一 青鹿弘行 川端享一 ○露木健一郎  
リテックエンジニアリング(株) 小柳津悠 庄野 隼

### 1. はじめに

シールドマシンの面板は、地山の掘削状況などに応じて様々な影響を受け、外力による損傷や高温による融解などが報告されている(写真-1)。施工に伴う面板全体のひずみや温度の変化を網羅的に把握することができれば、シールド掘削施工の安全性や品質の向上が期待できる。しかし、面的な情報を得る必要があること、計測対象が回転体であること、計測器の設置環境が劣悪なことなどシールドマシン面板のセンシングには課題が多い。そこで、面板計測への分布型光ファイバセンサの適用を検討することとした。本稿では、実機的面板に光ファイバを設置し、掘削中のひずみや温度の変化を計測することに成功したので紹介する。

### 2. 長ゲージ FBG によるひずみ分布計測

分布型光ファイバセンサは、光ファイバ全長に沿って物理量変化を得られる計測技術で、特長が異なるいくつかの技術がある。今回、対象となるシールドマシン(外径約 2.1m)は測定範囲が限られていること、マシン回転中の計測に数 Hz 程度のサンプリング周波数が求められることから、数 10m 程度の光ファイバに沿って FBG (Fiber Bragg Grating) 加工を施した長ゲージ FBG を利用した OFDR 方式(図-1)によるひずみ分布計測を行った。

OFDR 方式では、ひずみや温度による FBG からの反射光の波長変化を高精度にとらえ、光源を波長掃引することによって高い空間分解能を実現している。短時間での計測が可能なおよび、FBG からの反射波長の絶対値を用いることができるため、高い繰り返し計測の再現性や大ひずみ変化などへの追随性を両立している。

### 3. 適用試験

#### 3.1 光ファイバセンサの設置

泥水式シールドマシン面板の機械側に、図-2 に示すように一筆書きで光ファイバを配置した。2 箇所(規制板)には、扇状に光ファイバを設置し、鉄板で保護した(写真-2)。また、中心蓋周囲には、2 周分光ファイバを、鉄板で保護した。さらに、チャンバー内の泥水状態の把握を目的に、攪拌翼部分に光ファイバを設置した(写真-3)。規制板と中心蓋では、ひずみ分布計測用に光ファイバを全面接着するとともに、温度計測用に光ファイバを鋼管内に挿通して併設した。これらはすべて 1 本の光ファイバで構成され、その片端は後続台車方向へ延伸するため、光ロータリージョイントに接続した。

キーワード 光ファイバセンサ, 歪分布, シールド工法

連絡先 〒182-036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6238



写真-1 到達時の泥水式シールドマシン面板例

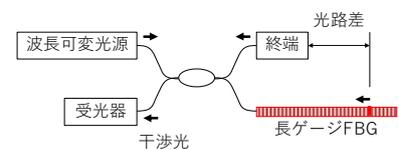


図-1 長ゲージ FBG 利用の OFDR 方式の構成

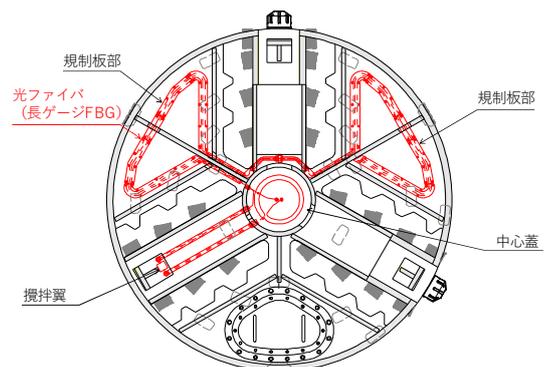


図-2 光ファイバの配置



写真-2 規制板部の光ファイバ固定作業

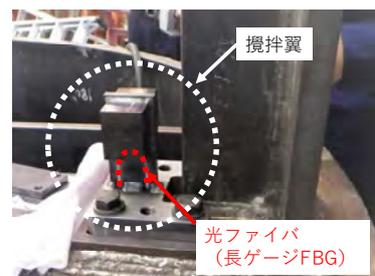


写真-3 光ファイバ付攪拌翼の設置

### 3.2 掘削時の計測

今回、適用性の検討が主目的であることから、計測器を常設することはせず、掘削進捗に応じて現場に計測器を持ち込んで計測した。具体的には、発進時点と約 200m 掘進した時点で計測を行った。計測毎に光ロータリージョイントに延伸ケーブルを接続し、発進立坑部の計測器に接続した（図-3、写真-4）。

### 3.3 計測結果

分布型光ファイバセンサによって、掘削中のシールドマシン面板のひずみ・温度計測を試みた。その結果、光ファイバにとって非常に劣悪な環境のなか、ロータリージョイントを経由して回転体の分布計測ができた。OFDR 方式では、干渉計を構成して光を検波するため、振動や延伸による影響が計測結果にノイズを与えることが心配された。しかし、掘削振動下で 200m 以上延伸した状態でも問題なく分布計測を行うことができた（写真-5）。

発進時における温度分布の計測結果例を図-4 に示す。中心蓋部まわりに 2 周分配置された光ファイバのうち、内側（直径 240mm）の温度用光ケーブルに沿った計測開始時点からの温度変化を示す。特に高温を示す場所や傾向はみられなかったことから、中心蓋は全体的に均一な温度分布で、順調に掘削が推移していると推察できる。

発進時におけるひずみ分布の計測結果例を図-5 に示す。規制板のうちのひとつに併設したひずみ用光ケーブルに沿った計測開始時点からのひずみ変化を温度補償したうえで示す。800mm 位置付近などに局所的な引張りひずみがみられるが、光ファイバと面板背面のリブが交差する位置に相当することから、妥当な変化を捉えていると考えられる。また、その変化量は弾性ひずみの範囲にあることから、面板に加わる外力に異状がないことが推察できる。

掘進中における攪拌翼のひずみの経時変化例を図-6 に示す。計測中の地山状態には大きな変化がなく、ひずみの定量評価には至らなかったが、面板の回転数（約 2.4rpm）に応じたひずみ変化を確認できた。

## 4. おわりに

シールドマシン面板の網羅的な状態把握のために、分布型光ファイバセンサの適用性について、実機を用いて現場検証を行った。その結果、掘削中においてもひずみ分布や温度分布のデータがリアルタイムに取得可能であることを確認した。こうした試みはこれまでなされていなかったことから、シールドマシンの高度化に有用と考えられる。今後は、泥土圧式シールドなど面板への負荷が高いシールドマシンへの適用、攪拌翼も活用した掘削状況の多面的な評価、面板の構造モデルを併用した定量的なデータ評価などを通じて、安全且つ高品質な施工に資する掘削管理技術の開発を進める予定である。

### 参考文献

- 1) 井川寛隆ら：OFDR を用いた長ゲージ FBG による分布計測の研究，日本機械学会論文集（A 編），72(724)，pp.102-110，2006。

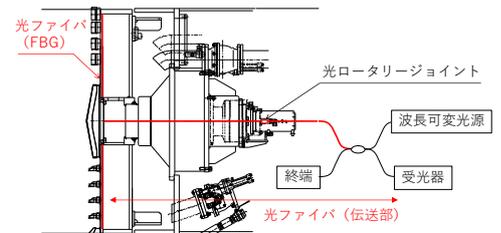


図-3 光ファイバの配置

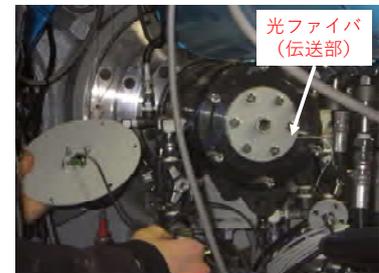


写真-4 光ロータリージョイント部の配線



写真-5 現場での計測状況

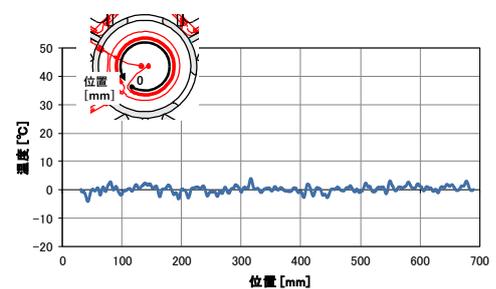


図-4 中心蓋部の温度分布結果例

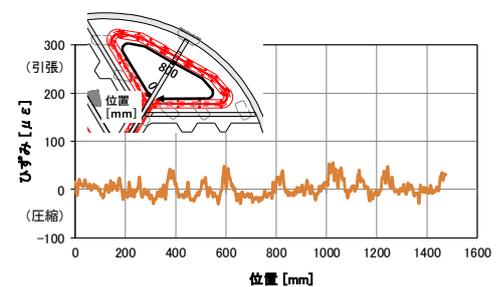


図-5 規制板部のひずみ分布結果例

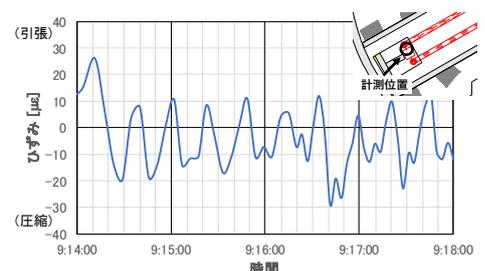


図-6 攪拌翼のひずみ経時変化例