

## 光ファイバセンサケーブルによる地質環境モニタリングに向けた2重鋼管構造の変形検証実験

鹿島建設(株) 正会員 ○青鹿弘行 今井道男 平 陽兵 小嶋進太郎 フェロー会員 瀬尾昭治  
原子力発電環境整備機構 國丸貴紀

## 1. 背景および目的

岩盤変形などを把握する深部の地質環境モニタリング技術の一つとして、ひずみを計測する光ファイバセンサケーブル(以下、光ファイバ)を固定したケーシングパイプをボーリング坑内に設置して、パイプのひずみから岩盤変形などの影響を計測評価する方法<sup>1)</sup>が考えられる(図-1)。本稿では、ケーシングパイプの長軸方向に直線状に光ファイバを設置して、パイプの微小な変形の計測性能を、室内での3点曲げ試験により評価した結果を報告する。

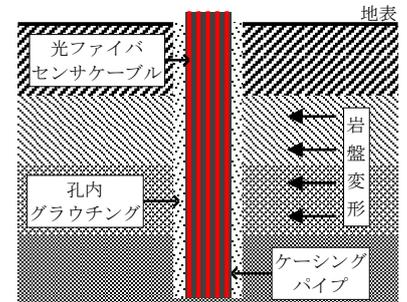


図-1 岩盤変形の計測イメージ

## 2. 試験概要

試験体の概要を図-2に示す。光ファイバを配置した内管を外管に挿入し、その隙間にグラウトを充填した2重鋼管構造の試験体に対して、5000kN圧縮試験機を用いて単調荷重による3点曲げ試験を行った。図-1のケーシングパイプを内管とし、外管に作用する岩盤変形による外力を3点曲げ荷重として与えた。試験機の荷重点と支点は回転および軸方向の変形を拘束しないようテフロン支承とした。内管の外周にエンボス加工された光ファイバを長軸方向に45度刻みで8本配置し、写真-1に示すように4か所をビニールテープとインシュロックによって固定した。また、荷重点直下となる内管中央断面の最上下面の長軸方向にひずみゲージを、外管中央断面の最下面に変位計を設置した。この試験体に対して、レイリー散乱光を用いた光ファイバひずみ分布計測(以下、TW-COTDR<sup>2)</sup>)を行った。荷重荷重ごとに試験体断面形状から計算した変位とひずみを表-1、荷重状況を写真-2に示す。

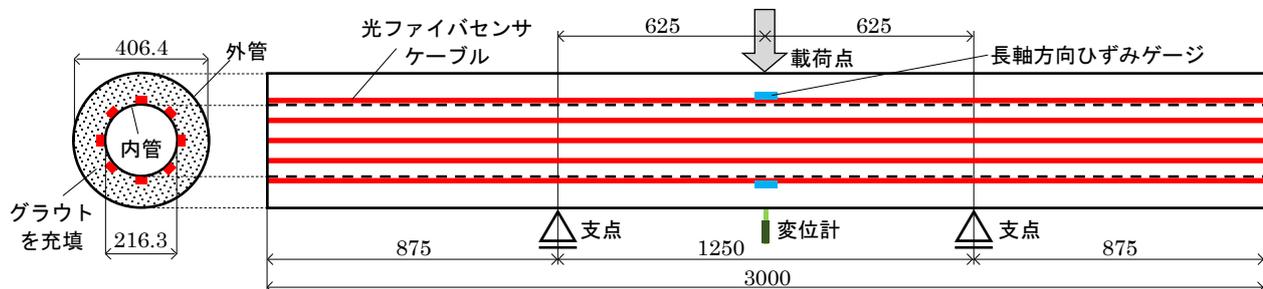


図-2 試験体概要

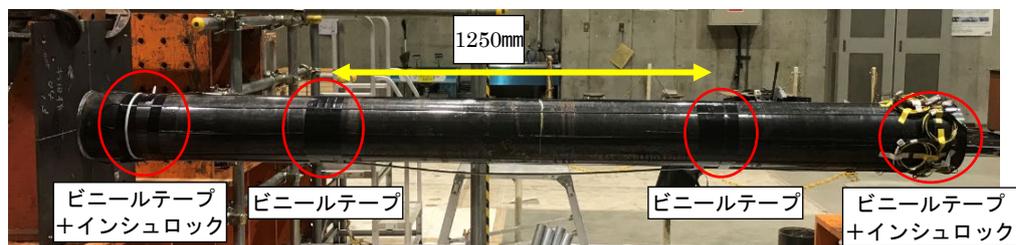


写真-1 光ファイバの設置状況

表-1 荷重荷重ごとの変位とひずみの計算値

荷重荷重	計算値		
	外管中央変位	内管下面ひずみ	外管下面ひずみ
25kN	18 $\mu$ m	15 $\mu$	28 $\mu$
50kN	36 $\mu$ m	30 $\mu$	57 $\mu$
75kN	54 $\mu$ m	45 $\mu$	85 $\mu$



写真-2 荷重状況

キーワード 光ファイバセンサ, ボーリング調査, モニタリング, 地質調査

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6250

### 3. 試験結果

#### 3.1 ひずみ分布

8本ある光ファイバのうち、ひずみと载荷の相関が比較しやすい最上面と最下面の光ファイバのひずみ分布計測結果をそれぞれ図-3、図-4とし、それぞれ载荷荷重ごとのひずみゲージの値とともに示す。水平方向距離の原点は図-2における試験体の左端とした。縦軸のひずみは引張を正、圧縮を負として表した。25kN~75kNにかけて発生したひずみはわずか数10 $\mu$ 程度であるが、载荷の増加に合わせてひずみが段階的に増加する挙動を捉えることができた。

光ファイバによるひずみ分布計測結果は、载荷点直下に貼付したひずみゲージとよく一致していた。最上面は、载荷点を極値とする圧縮ひずみが生じると考えていたが、光ファイバの結果の一部は引張ひずみを示した。鋼管のひずみだけではなく、グラウトと光ファイバ間の局所的な挙動の影響などを受けている可能性がある。最下面の载荷点直下では20~50 $\mu$ 程度の引張ひずみが発生した。光ファイバによる結果は、ひずみゲージと良く一致しており、TW-COTDRの高い精度を確認できた。

#### 3.2 変位分布

内管最上下面のひずみ分布の差分から弾性曲線方程式により計算した内管の変位分布と、外管の変位計の値の比較を図-5に示す。境界条件として両支点上での曲げモーメントおよび変位を0とするとともに、たわみ角が同一となるようにした。発生した変位はわずか数10 $\mu$ m程度であるが、载荷の増加に合わせて変位が段階的に増加する挙動を捉えることができた。

光ファイバは内管を計測しているが変位計は外管を計測している違いがあるものの、両者には図に示すような差が生じた。この理由としては、変位計算の条件の成否や、グラウトと光ファイバ間の局所的な挙動の影響に変位が吸収されている可能性などが考えられる。

### 4. まとめ

2重鋼管構造の試験体の3点曲げ試験を通じて、パイプに生じた微小なひずみが光ファイバによって捉えられることを確認した。変位計算方法に改善の余地はあるものの、数10 $\mu$ mレベルの微小なパイプの変形を把握する手段として有効であることがわかった。本稿では、向かい合う上下面の光ファイバを用いて検証を行ったが、位置の異なる全8本の光ファイバを用いてひずみ分布の差分を取る組合せを変えることで、外力の方向についても捉えることができると考えられる。引き続き、光ファイバによる地質環境モニタリング技術の確立を目指して研究開発を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 瀬尾ら：地層環境モニタリングのための光ファイバケーブル自動巻付け装置の開発，土木学会第75回年次学術講演会，CS12-09，2020
- 2) 岸田ら：SMFにおけるひずみと温度が識別できるハイブリッド分布測定システムの開発，電子情報通信学会技術研究報告，信学技報，OFT2012-59，pp.37-42，2013

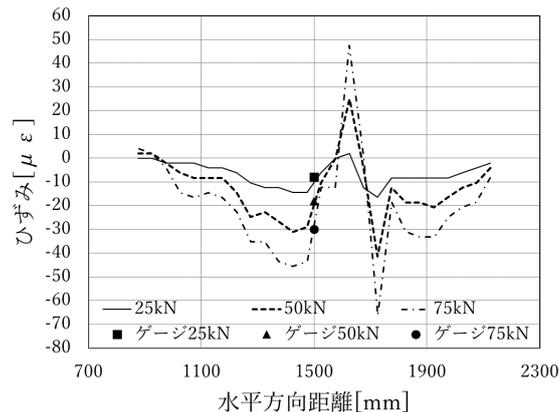


図-3 内管最上面のひずみ分布

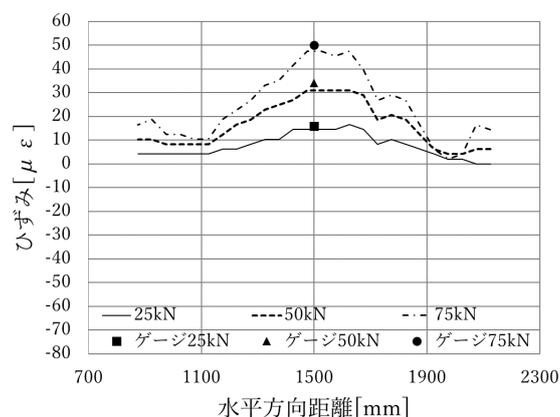


図-4 内管最下面のひずみ分布

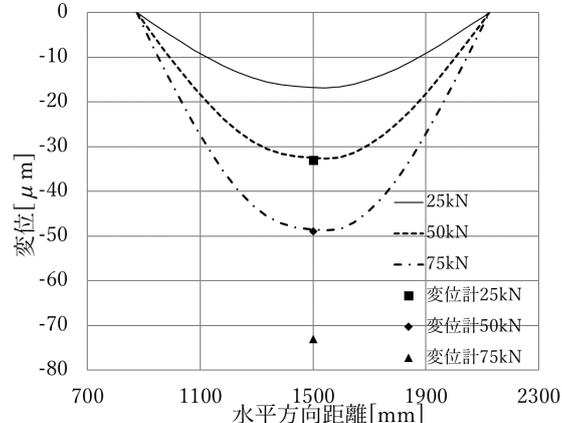


図-5 内管変位分布と外管変位量