

摂南大学都市環境工学科 学生員 ○大西 正洋 (株) 日本ピーエス 非会員 札幌 大太  
 クボタシーアイ (株) 非会員 氏家 光晴 摂南大学都市環境工学科 正会員 片桐 信

1. はじめに

水道管やガス管などのライフラインの損傷ならびに復旧の遅延は、管路の先にある病院や避難場所などにおける人命や市民生活に多大な影響を及ぼす。そこで、著者らは、現在までに技術開発が行われてきた「光ファイバセンサ」を用いた埋設ライフラインの損傷箇所検知技術に関して研究を進めてきた。本法は、重要度の高い既設埋設ライフラインに沿って平行に PE 管（ポリエチレン管）光ファイバセンサを設置し、地震後にそのひずみ分布を検出することで、地盤永久変位の分布を逆推定し、その推定結果を入力とした既存ライフラインの応答解析から損傷箇所を推定するものである。今回は、地上における曲げ実験を行い、管軸直角方向変位量と実験での実測変位量との比較を行った。

2. PE 管光ファイバセンサ概要

PE 管光ファイバセンサは、写真-1 に示すように、高密度 PE 管の表面に溝加工を施し、その中にポリエチレン被服を有する光ファイバを設置した後に、光ファイバの表面と管表面とを溶融したポリエチレン樹脂により融着した構造となっている。

一方、光ファイバセンシング技術には種々の方式がある。本研究では、表-1 に示す光ファイバ中に光パルスを入射し、入射端側に帰ってくるブリルアン散乱光の周波数特性が光ファイバのひずみに比例して変化することを利用した、BOTDR 方式もしくは BOCDA 方式に着目した。これらの方式であれば、PE 管被服を有するファイバを用いることができる。とくに、BOCDA 方式は、光源の発振周波数を変調すると任意の位置で誘導ブリルアン散乱を局所的に発生することができるため、その位置のひずみを選択的に計測することができる。今回の実験では、BOTDR 方式・BOCDA 方式の両方を用いて計測を行った。



写真-1 PE 管光ファイバセンサ構造

表-1 計測方式

	BOTDR方式	BOCDA方式
散乱光	ブリルアン散乱光	
計測方法	連続的な計測(分布型ひずみ計測)	
伝達距離	~20km	~10km
空間分解能	1m	10cm

3. 実験概要

地上に設置した PE 管光ファイバセンサに管軸直交方向の変位を与える。ひずみゲージおよびワイヤー変位計によって計測したひずみ・変位量の実測値と BOTDR 方式・BOCDA 方式による計測ひずみおよび曲げひずみから差分法により算出した変位量を比較した。図-1 に示すように、実験 1~実験 3 の 3 種類の変形を与えた。BOTDR 方式では、50, 100, 150, 200mm の変位量を与え、BOCDA 方式では 25, 50, 100mm の変位量を与えた。図-2 に示すように、FRONT~BACK の位置に光ファイバセンサが設置されている。

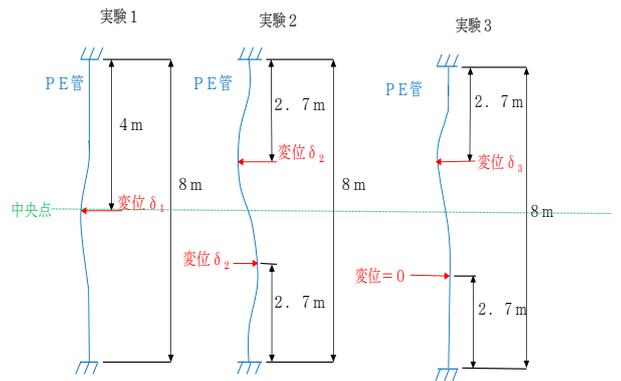


図-1 曲げパターン

#### 4. 実験結果

実験結果のうち、BOTDR 方式・BOCDA 方式で計測した実験 2 の変位量  $\delta=50\text{mm}$  の結果について以下に例示する。

図-3 に示すように、BOTDR 方式では細かなひずみ分布の変化を計測できないため、BOTDR 計測値とひずみゲージの値が一致しないところがある。曲げひずみ  $\epsilon_b$  から変位を算出する方法は、計測曲げひずみ  $\epsilon_b$  をもとに、中心差分の考え方をういて長手方向に逐次積分し、変位量に変換する。光ファイバひずみからの算出値は、計測値の乱れから積分による基線傾斜が生じる。そこで、地震波の加速度波形から速度波形を求める際の基線補正法を参考に、基線傾斜量を線形関数で補正している。図-4 は実験 2 の計測変位と光ファイバひずみからの変位算出値を比較している。図-4 に示したように、BOTDR 計測値が低くなっているため、BOTDR ひずみからの変位算出値は、実測値よりも低い。図-5 に示すように、BOCDA 方式で計測すると、BOTDR 方式で計測したものに比べて細かなひずみ分布の変化まで計測することができるため、BOCDA 計測値とひずみゲージの値が概ね一致している。図-6 は、実験 2 の計測変位と光ファイバひずみからの変位算出値を比較している。図-6 に示したように、BOCDA 計測値とひずみゲージの値は概ね一致しているが、BOCDA ひずみからの変位算出値は、実測値よりも低く、BOTDR 方式による計測に対する大幅な精度向上は見られなかった。

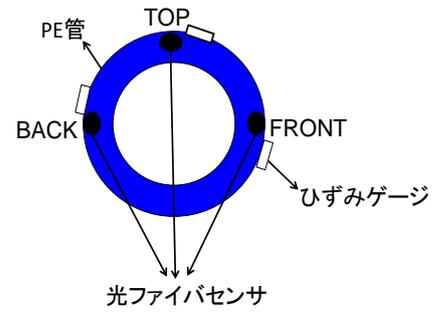


図-2 PE 管光ファイバセンサ断面図

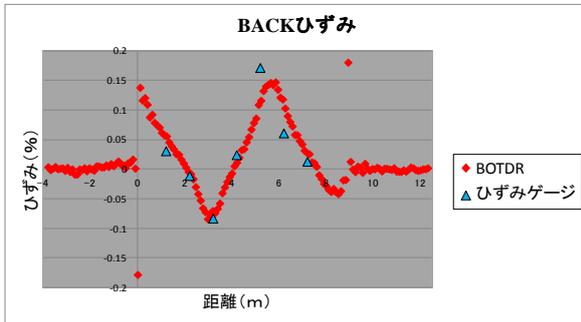


図-3 BACK 軸方向ひずみ  
(BOTDR 方式 実験 2 変位量  $\delta=50\text{mm}$ )

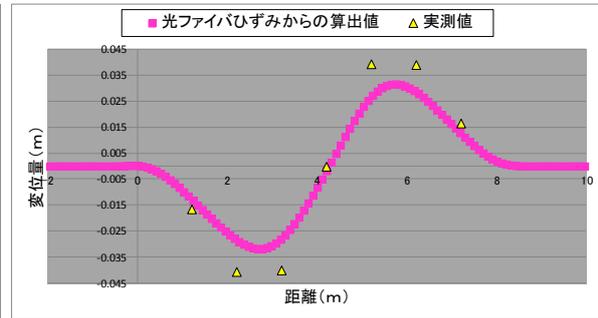


図-4 曲げひずみから求めた変位と実測値の比較  
(BOTDR 方式 実験 2 変位量  $\delta=50\text{mm}$ )

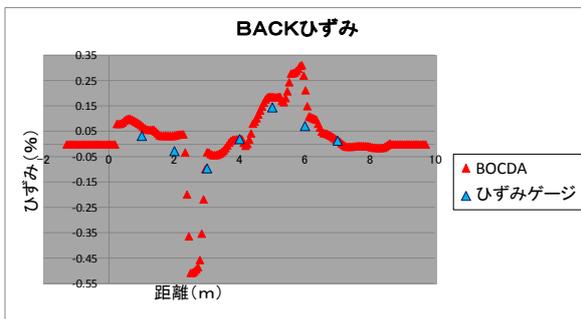


図-5 BACK 軸方向ひずみ  
(BOCDA 方式 実験 2 変位量  $\delta=50\text{mm}$ )

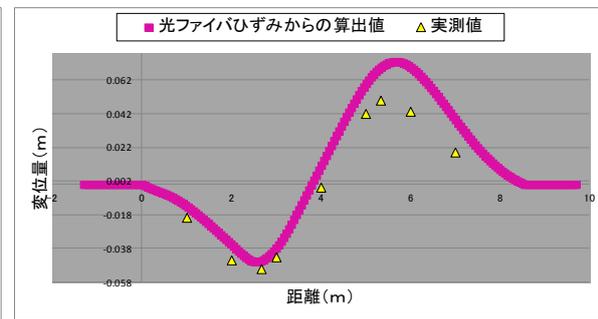


図-6 曲げひずみから求めた変位と実測値の比較  
(BOCDA 方式 実験 2 変位量  $\delta=50\text{mm}$ )

#### 5. まとめと今後の展開

地上曲げ実験では、逆算変位量と計測変位量に若干の差が生じているが、提案法による変位計測は概ね妥当であることが明らかとなった。また、10cm 間隔のひずみデータを得ることが出来る BOCDA 方式での計測では、BOCDA ひずみからの変位算出値と実測値が一致するものと考えられていたが、BOTDR 方式による計測に対する大幅な精度向上は見られなかった。

今後は、地中に埋設したことを想定した地盤ばねを用いた地上曲げ実験を行い、一連の提案法の検証を進める所存である。