

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06198

研究課題名(和文)PE管光ファイバセンサの実用化に関する研究

研究課題名(英文)A study on practical use of PE-pipe optical fiber sensor

研究代表者

片桐 信(katagiri, shin)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：10554412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、PE管外面の管軸方向に光ファイバセンサを実装したPE管光ファイバセンサの模型を製作した。そして、埋設状態を模擬するための鋼製ばねを介して変位を与える管軸直角水平方向変位試験機を製作し、模型管路に段差状の変位を与えた。光ファイバからの検出ひずみとひずみゲージからの測定ひずみを比較し、良好な精度でひずみ分布が計測されている事を確認した。さらに、ひずみ値を積分し、管軸直角水平方向変位を算出して、これとワイヤ式変位計による計測値を比較し精度検証を行った。最後に、変位ベクトルに影響係数マトリクスの逆マトリクスを乗じる事で、入力変位の逆推定を行ったところ、良好な精度での逆推定ができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, a model of PE-pipe optical fiber sensor on which surface longitudinal optical fibers are installed was produced. And lateral movement test device in which steel springs are installed to express buried condition was used to bent the PE-pipe sensor and strain distribution was obtained. The pipe strain gauged by the optical fiber and strain gauge showed correct agreement. Further, lateral pipe displacement obtained from the pipe strain agreed the displacement data by the wire displacement meter. Furthermore, back analyzed data of input displacement calculated by effect matrix showed good agreement with input displacement.

研究分野：ライフライン工学

キーワード：光ファイバセンサ PE管 地盤永久変位

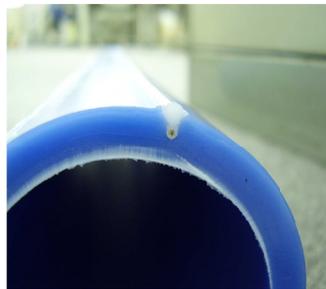
1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当初は、光ファイバをひずみ検知センサーとして利用するために、様々な構造物に直接的に接着剤でファイバを貼付して、ひずみの計測を行っていた。間接的な方法としては、硬質塩化ビニル管の管軸方向管表面に瞬間接着剤でファイバを貼付して「パイプひずみ計」として利用する方法があった。これを埋設して、地盤の変状を計測していたが、地盤変状量の定性的な分布をとらえる事は出来るものの、定量的な変状量把握が出来ないのが実情であった。

2. 研究の目的

本研究では上述の開発当初の問題点を解決し、地盤変状量分布の定量的な把握を行う事と目的としている。そのために、地盤変状への追従性の良いPE管に着目し、光ファイバを管軸方向外面に融着により強固に固着して「PE管光ファイバセンサ」、これを地表面と平行に埋設する事で、管に沿った地盤変状分布を連続的かつ正確に計測する技術を確立する事を目的としている。

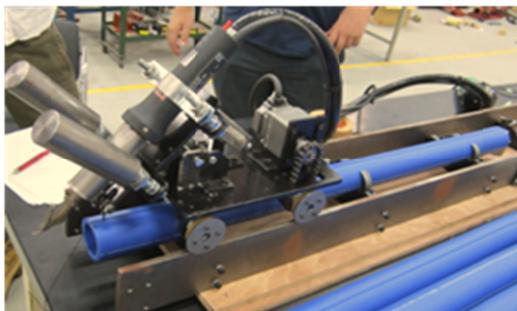
PE管光ファイバセンサの試作例を写真に示す。



PE管光ファイバセンサ

3. 研究の方法

(1) まず、光ファイバをPE管表面に強固に固着するための融着器を開発し、これにより樹脂が溶融しすぎず、かつ強固にファイバを埋め込むための融着条件を把握した。



融着器

(2) 次に、ファイバを融着した5mのPE管光ファイバセンサを作成し、これを埋設状態を模擬するために鋼製ばねを介して架台に接続した地盤変位入力装置を製作し、これを用いて段差状の地盤変位を模型管路に与える実験を行った。実験装置の全景を写真に示す。



段差変位入力実験装置

上記の実験では、光ファイバセンサの計測方式としてFBG方式を採用した。FBGの計測点は長手方向に20cm間隔で計測点が配置されているので、その計測値とひずみゲージから得られた計測値を比較した。

(3) さらに、計測ひずみを長手方向に順次中心差分の考え方をを用いて積分する事で、管軸直角水平方向への変位分布が得られる。このデータと、ワイヤ式変位計を用いた実測変位データを比較して、変位計測精度の検証を行った。

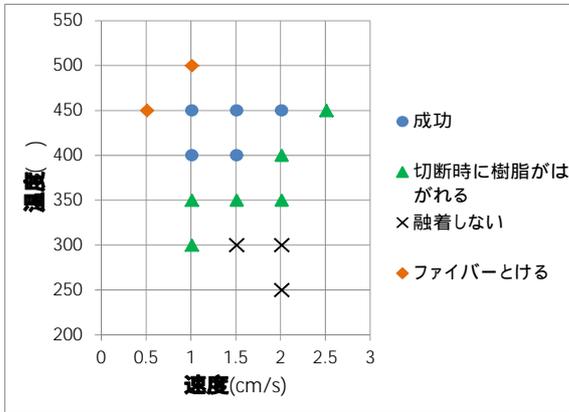
(4) また、管軸直角方向変位分布ベクトルに別途数値解析で求めておいた影響係数マトリクスの逆マトリクスを乗じる事で、入力である段差状変位の逆推定を試みた。

FBG方式は、一定間隔で光ファイバに回折格子を施す必要があり、この価格が非常に高額であり、実用化の障害となっている。

一方、BOTDR方式では、回折格子のようなファイバの加工を要さないためにファイバ価格を安価に抑えられる。また、近年開発されたBOTDR方式は、従来の弱点であった計測時間の長さの問題を解消しており、数秒でファイバ1本分のひずみ分布の計測が可能である。そこで、上記の研究を新しいBOTDR方式を用いて再度実施し、実問題への適用可能性を検証した。

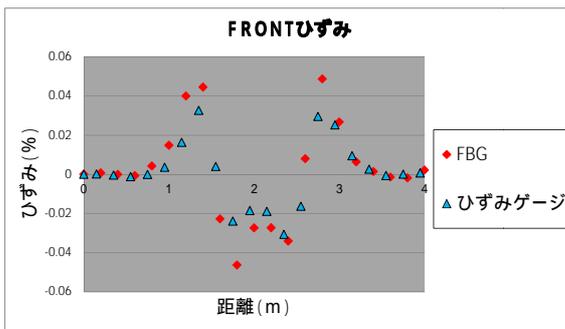
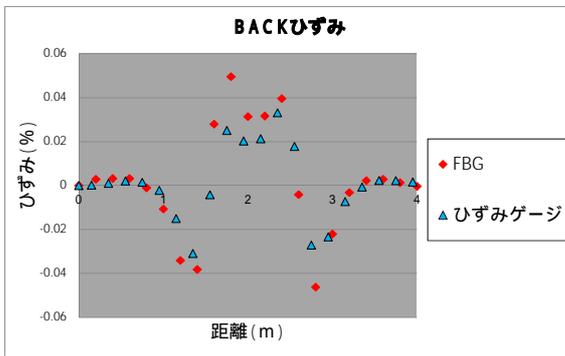
4. 研究成果

(1) 光ファイバセンサのPE管表面の融着条件については、下図に示すように融着器の走行速度と加熱機の設定温度を変化させて、最も安定的に融着できる条件を割り出した。その結果、速度1.5cm/s 温度400度が最も安定的に融着できる設定であることを見出した。



融着実験の結果

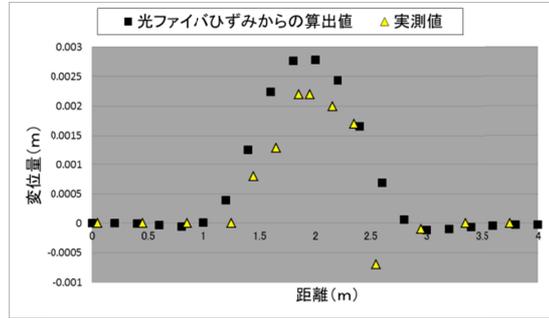
(2) 2mm段差変位実験の結果
 段差変位量 2mmの際、光ファイバからの計測ひずみとひずみゲージの計測ひずみを下記の図に比較する。



計測ひずみ比較 (段差変位 2mm)

小さな段差変位でも、FBG による計測ひずみはひずみゲージによる計測値に精度良く一致している。

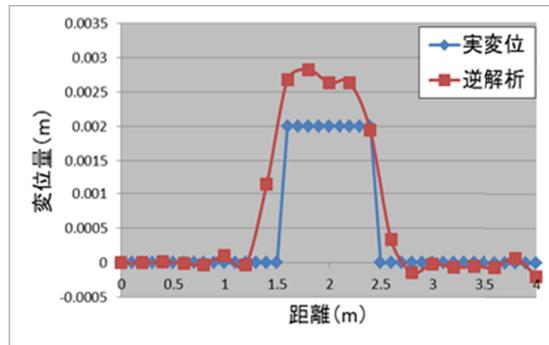
次に、計測ひずみを長手方向に中心差分の方法を利用して積分し、管軸直角水平方向への変位を算出した結果と、ワイヤー式変位計による実測値とを下記の図に比較する。若干位置していない箇所は見られるが、2mmという小さな変位量であっても十分な精度で管軸直角水平方向変位の分布を推定することが出来ている。



管軸直角水平方向への推定精度

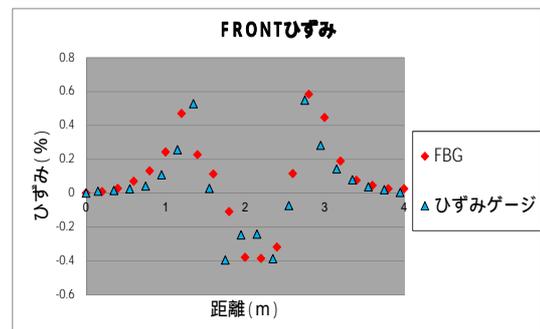
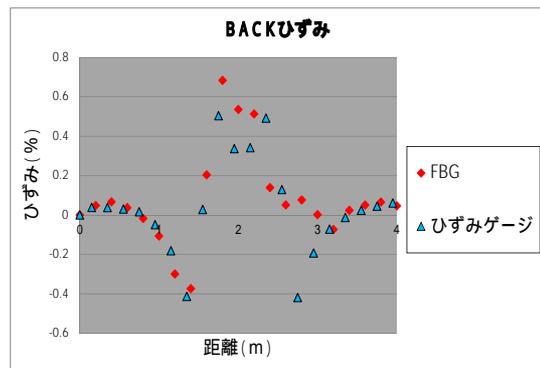
最後に、得られた管軸直角水平方向変位分布から影響係数マトリクス法を用いて、入力である段差変位の逆推定を試みた。

その結果、下図のように若干のばらつきはあるものの、概ね入力変位を精度良く逆推定することが出来た。



入力変位の逆推定 (段差変位 2mm)

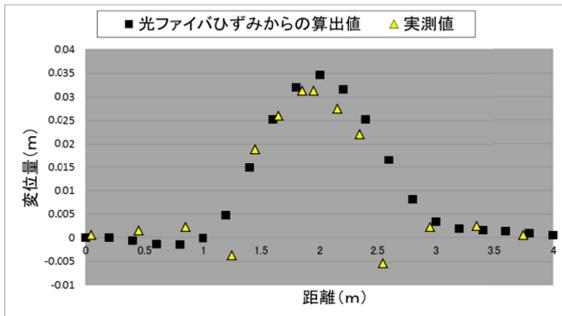
(3) 30mm段差変位実験の結果
 段差変位量 30mmの際、光ファイバからの計測ひずみとひずみゲージの計測ひずみを下記の図に比較する。



計測ひずみ比較 (段差変位 30mm)

30mm段差変位でも、FBG による計測ひずみはひずみゲージによる計測値に精度良く一致している。

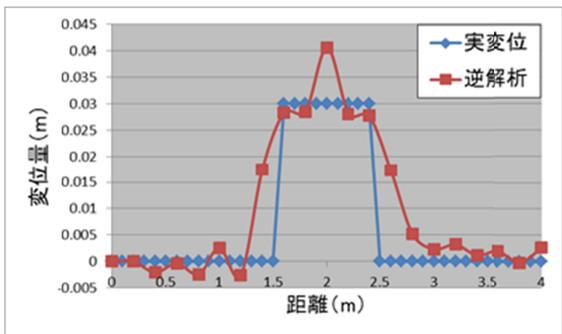
次に、計測ひずみを長手方向に中心差分の方法を利用して積分し、管軸直角水平方向への変位を算出した結果と、ワイヤー式変位計による実測値とを下図に比較する。若干位置していない箇所は見られるが、十分な精度で管軸直角水平方向変位の分布を推定することが出来ている。



管軸直角水平方向への推定精度

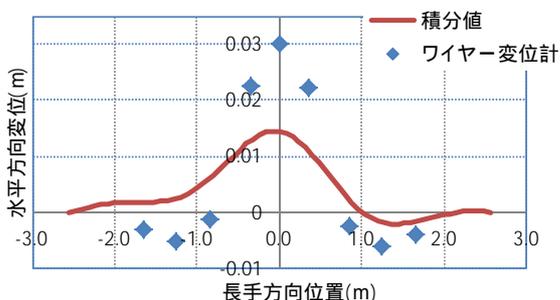
最後に、得られた管軸直角水平方向変位分布から影響係数マトリクス法を用いて、入力である段差変位の逆推定を試みた。

その結果、下図のように若干のばらつきはあるものの、概ね入力変位を精度良く逆推定することが出来た。



(4) BOTDR 方式を用いた場合

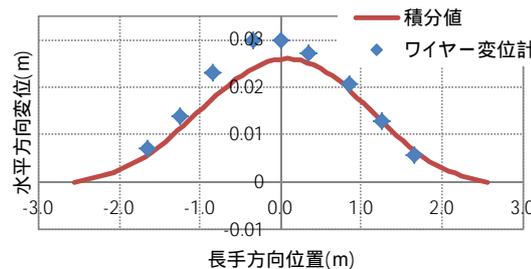
上述の実験装置を用いて、新型 BOTDR 方式でのひずみ計測を試みた。下図は、30mmの段差変位を与えた場合の管軸直角水平方向への変位分布を比較している。BOTDR 方式では、計測の分解能が低いために、積分値はワイヤー変位計による実測値の中間的な値を求めている。



現在の空間分解能は 1mであるので、このような結果となった。現在 0.5m分解能が開発されており、この点は改善されると考えている。

また、実際の地盤変状は急激な段差を生じる事はまれで、なだらかな変位分布となるものと予想している。

そこで、緩やかな変位分布を与えた場合の結果を比較したのが下図である。



これは、管路の両端を固定し、スパン中央に集中変位を与えた場合である。積分値は、ワイヤー変位計の計測値と精度良く一致していることが分かる。

・片桐 信、小原昇吾：地盤永久変位に伴う埋設管路損傷個所の検知方法に関する研究。土木情報利用技術論文集、Vol19、pp1-10

・ FBG 光ファイバセンシングの基本：
<http://www.ni.com/white-paper/11821/ja/#toc3>

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

片桐 信、山中広大、地盤永久変位を想定した PE 管光ファイバセンサの地上曲げ実験、摂南大学融合科学研究所論文集、第 1 巻、第 1 号、査読有り、2015、68-75

〔学会発表〕(計 2 件)

山中広大、片桐 信、地盤永久変位を想定した PE 管光ファイバセンサの埋設実験、2016 年土木学会関西支部年次学術講演会。2016 片桐 信、村井 仁、SDH-BOTDR 方式を用いた PE 管光ファイバセンサの地上曲げ実験、2018 土木学会全国大会年次学術講演会、2018

〔図書〕(計 1 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片桐 信 (KATAGIRI Shin)
摂南大学工学部教授
研究者番号：10554412

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

山中広大 (YAMANAKA Koudai)
村井 仁 (MURAI Hitoshi)