

### PE 管光ファイバセンサを用いた既設ライフライン損傷個所検知方法に関する研究

摂南大学大学院 学生会員 ○山中 広大  
近畿建設協会 大西 正洋  
摂南大学都市環境工学科 正会員 片桐 信

#### 1. はじめに

都市の水供給処理・エネルギー供給を担うライフラインは、面的に広がるネットワークとなっており、地震により被害を受けた場合の社会的影響が極めて大きく、地震防災対策として迅速な回復が重要である。また、地震被害のすべてのメカニズムを究明し、ハード面のみでそれらに備えることには限界がある。ライフラインの機能障害を最低限に抑えるためには、地震後の早期に物理的被害を正確に推定する技術が必要となる。本法で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」<sup>1)</sup>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、その結果をもとに地震後の早期に既設ライフラインの損傷個所を推定することを試みる。

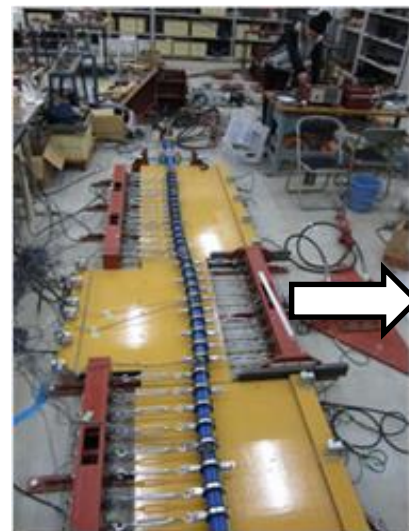


図-1 実験装置

#### 2. 研究の概要

今回は、光ファイバを PE 管に融着するための装置を開発し、樹脂を熔融するための温度と融着速度の最適条件を実験により求めた。また、得られた条件で PE 管に FRP 外皮を有する光ファイバを融着し、図-1 に示す実験装置を用いて、地盤ばねと等価なバネを介して段差状の変位を与える地上曲げ実験を行った。図-2 に融着機を示す。また、変位算出値を逆推定<sup>1)</sup>することにより入力変位の推定を行った。逆推定の方法は(1)式を用いた。

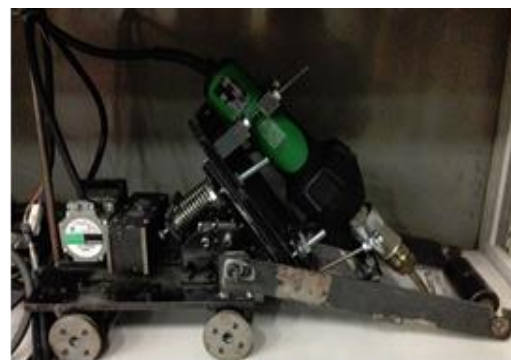


図-2 融着機

$$\delta = M \cdot d \quad \dots (1)$$

ここで、 $\delta$  : PE 管の変位,  $M$  : 影響係数マトリクス  
 $d$  : 入力変位である。(1)式の両辺に  $M^{-1}$  (影響係数マトリクスの逆行列) を乗じると式(2)となる。

$$M^{-1}\delta = d \quad \dots (2)$$

つまり、PE 管の変位に影響係数マトリクスの逆行列を左から乗じると、未知量である入力変位を得ることができる。これは、PE 管のヤング率と地盤ばねに非線形性がないことを前提としている。

影響係数マトリクスの作成には、ERAUL という解析ソフトを用い、例えば節点 1 に(端部)のみに軸直角方向へ 1mm の地盤変位を入力し解析すると、PE 管の変位が得られる。次に 2 番目の節点(スパン端点から 1m)だけに軸直角方向 1mm の地盤変位を入力し、計算する。この作業を節点 1 から節点 21 まで順次行くと 21 のデータが集まる。このデータの軸方向左側管体変位のみを取り出し、1 から 21 まで節点番号順に並べていくと 1 つの正方マトリクスが出来上がる。これが逆解析に必要な影響係数マトリクスである。

今回の実験では、PE 管の全長 4m、要素長(ばねの間隔) 20cm で行ったので、21 行 21 列の影響係数マトリクスとなる。

キーワード PE 管, 光ファイバセンサ, FRP

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 TEL 072-839-9118

### 3. 実験結果 (FBG 方式)

計測には FBG 方式を用いた。PE 管に与える変位は 2mm ずつ変位を増加させ、最大 30mm の矩形状変位を与えた。実験結果のうち、変位 2mm と変位 30mm を与えた場合について例示する。

図-3 に変位 2mm の計測変位と光ファイバひずみからの変位算出値の比較を示している。FBG 計測値より算出された値が実測値よりも若干大きく見積られる結果となったが、グラフ形状・変位量ともおおむね一致しており、光ファイバセンサにより精度よく算出することができた。

図-4 に変位 30mm での計測変位と光ファイバひずみからの変位算出値との比較を示す。この変位量においてもほとんど誤差がみられず、PE 管の変位が最大になる装置の中心での誤差が 1.8mm であり、非常に精度良く計測が可能であるという結果が得られた。

### 4. 入力変位の逆推定

図-5 に 2mm の変位を与えた場合の入力変位の逆推定値と実入力変位の比較を示す。変位を与えた範囲で逆推定値が入力変位より大きく推定される結果となったが、おおむね入力変位を逆推定することができた。

図-6 に 30mm での結果を示す。変位が大きくなると変位を与えた範囲の中心で逆推定値が不安定になり誤差が生じたが、おおむね矩形の入力変位を逆推定することが出来ている。

### 5. まとめ

今回の実験により光ファイバセンサからの算出変位量と計測変位量に若干の誤差が生じる結果となったが、提案法による変位計測の妥当性を確認することができた。

FBG 方式では、変位量が大きくなることによる精度の低下がみられない。PE 管に融着することを考慮すると FRP 外皮を有する光ファイバが PE 管光ファイバセンサに有効であると考えられる。

### 6. 今後の展開

(1)光ファイバセンシング技術の FBG 方式を用いて模型地盤に埋設した状態での、地盤段差変位実験を行い、実埋設状態に近い環境での検証を行う。

(2)逆推定により得られた地盤変位を入力とした既設管路の応答についても、実埋設実験で求め、数値解析による計算値と比較して、その精度を検証する。

(3)PE 管光ファイバセンサの長尺化を実現するために、センサ同士の継手（接続部品）の開発を進める。

(4)実現場に試験適用し、一連の計測解析方法の有効性を確認する。

### 謝辞

FBG 計測については、NTT-AT 社、河辺 司 様の技術協力を得た。ここに記して誠意を表す。

### 参考文献

- 1) 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, 2010

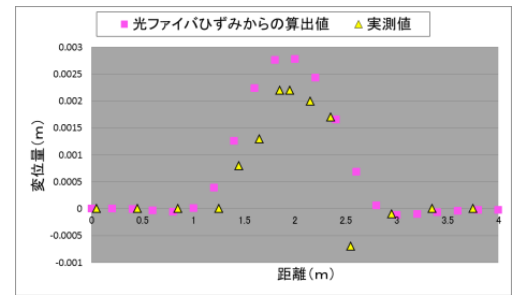


図-3 変位=2mm 実測値と算出値

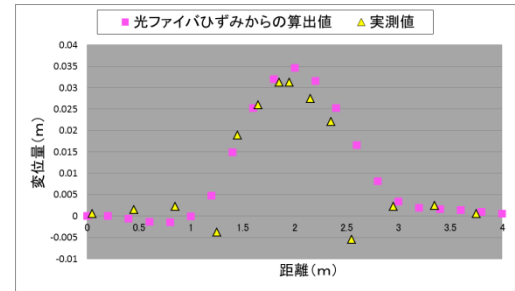


図-4 変位=30mm 実測値と算出値

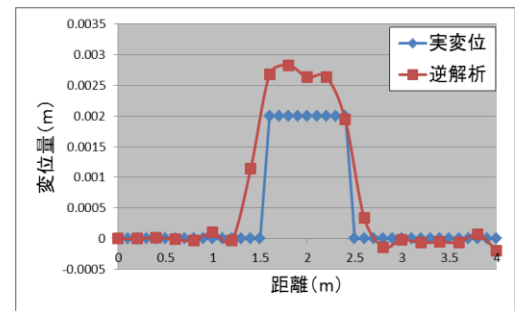


図-5 変位=2mm 実変位と逆解析値

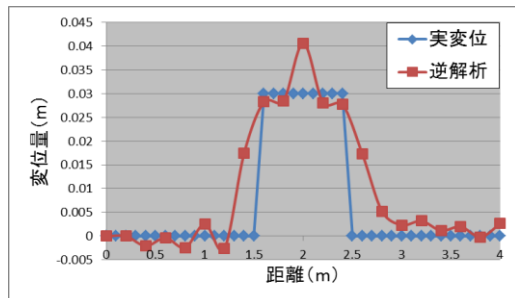


図-6 変位=30mm 実変位と逆解析値