第 I 部門

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

株式会社キクチコンサルタント 正会員 〇山中 広大 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.著者らの提案する方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.



図-1 実験装置

図−2 融着機

## 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, 樹脂を溶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,段差状の変位を与え る埋設曲げ実験を行った.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.

$$\delta = M \cdot d \qquad \cdot \cdot \cdot (1)$$

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<sup>-1</sup>(影響係数マトリクスの逆行列)を乗じると式(2)となる.

$$M^{-1}\delta = d \qquad \cdot \cdot \cdot (2)$$

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(端部)のみに軸直角方向 ~ 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 n まで順次行うと n 列 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 n 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.

## 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. 今回は実験を 2回行った. 実験結果のうち, 1回目と 2回目の変位 30mm を与えた場合について例 示する.

Koudai YAMANAKA, and Shin KATAGIRI, shin-k@civ.setsunan.ac.jp

図-3に1回目の変位30mm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計測値から 算出された値が実測値よりも若干小さ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2回目の変位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.こちらも,FBG計 測値から算出された値が実測値よりも若干小さく見積られ 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.

#### 4.入力変位の逆推定

図-5に1回目の30mm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小さ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2回目の30mm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小さく推定される結果となり,変 位を与えていない範囲で乱れたデータを解析する結果とな ったが,おおむね入力変位を逆推定することができた.

### 5.まとめ

1回目の実験結果のほうが2回目の実験結果に比べて精 度よく測定できている.その理由として,1回目は,PE管 光ファイバセンサを設置する前に管底あたりまで土を入れ て締め固めていたが,2回目の実験では,管底付近まで掘 り返したのち静置し,その後PE管光ファイバセンサを 180°回転させてから埋め戻しを行ったため,管底部の締め 固めが部十分であった可能性が考えられる.

### 6. 今後の展開

今後の展開としては,現在のFBG 計測では光ファイバ1 本あたりに設けられる計測点の数および間隔に制限がある. そのため,長距離にわたって計測を試みる場合,計測点間 隔を広くとる必要がある.したがって,PE 管光ファイバセ ンサ同士を連結するためのジョイントを開発し,PE 管光フ ァイバセンサの長尺化の実現を目指す.



図-3 変位の比較(1回目 入力変位=30mm)



図-4 変位の比較(2回目 入力変位=30mm)



図-5 入力変位の比較

(1回目入力変位=30mm)



図-6 入力変位の比較 (2回目 入力変位=30mm)

また, 今回使用した光ファイバでは FBG 計測の制限によ

りひずみが計測できなかった箇所があった.現在,FBG 計測の制限が改善された光ファイバセンサが開発されているため,改善された光ファイバセンサを融着した PE 管光ファイバセンサを用いて,埋設実験を行う. 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