

地盤永久変位推定のための PE 管光ファイバセンサの開発 ～ 地盤不均一度の影響評価 ～

摂南大学都市環境工学科 正会員 ○片桐 信
摂南大学大学院 学生員 札幌 大太

1. はじめに

地震時において、ライフライン系の損傷箇所を早期に発見することは、極めて重要である。著者ら¹⁾は、図-1に示すような PE 管の上下左右に光ファイバを融着した「PE 管光ファイバセンサ」を使用し、地盤永久変位と埋設管路損傷箇所を推定する方法について検討を進めてきた。本法は、地盤永久変位による PE 管のひずみを光ファイバセンサにより検出し、これを積分して PE 管の変位分布を計算し、さらに得られた変位分布と地盤-管路間の応答解析から形成した影響係数行列を用い、地盤永久変位を逆推定するものである。ライフラインの損傷箇所は、逆推定した地盤永久変位を入力とする数値解析により推定する。

本研究では、特に地震時に管路の損傷が集中する不均一性の高い地盤領域を対象として、地盤ばね特性の不均一性が提案法の逆推定精度に及ぼす影響に関して、管路被害の多い管軸方向について検討を行った。

2. 影響係数行列

PE 管光ファイバセンサの任意節点(j) 位置だけに単位の地盤変位を作用させた時の、節点(i)における PE 管光ファイバセンサの応答変位を順次数値解析により求めることで、影響係数行列[M]が得られる。すなわち、 M_{ij} は地盤変位ベクトル{ d }のj行の値による PE 管光ファイバセンサの変位ベクトル{ δ }のi行の値への影響を表しており、正方マトリクスとなる。地盤-管路間の地盤ばね特性と PE 管の材料特性が線形であると仮定すると、逆解析の不適切性はなくなり(1)式のように{ δ }から{ d }を逆算することが出来る。

$$[M]^{-1} \cdot \{\delta\} = \{d\} \quad \dots \dots \dots (1)$$

3. 最大地盤拘束力と地盤ばね特性の設定

管軸方向の地盤拘束力 τ (N/cm²)は、管表面単位面積当たりの限界拘束力 τ_{cr} (N/cm²)と地盤ばね定数 k (N/cm³)を用いて、バイリニアで近似した。この時、限界拘束力 τ_{cr} の算定式として、中低圧ガス導管耐震設計指針を参考に、(2)式とした。地盤ばね定数は(3)式となる。

$$\tau_{cr} = \{-0.00205D + 0.000345H + 0.00105V + 0.00351N_d + 0.0103\ln(R) + 0.00328\} \cdot 9.8 \cdot \beta \quad (2)$$

$$k = \tau_{cr} / \delta_{cr} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 D : 管外径(cm), N_d : 土研式貫入試験値(回/10cm), H : 土被り(cm), R : 表面粗さ(μ), V : 引抜き速度(cm/s), δ_{cr} : 地盤ばねの滑り限界変位であり、高圧ガス導管耐震設計にもとづき 0.25cm とした。 β は、高圧ガス導管耐震設計指針での $H=180$ cm で $k=6.0$ N/cm³ の条件に(2)式を適合させるための補正係数である。

4. 地盤の不均一度係数

本研究では、最も単純化した不均一地盤として、 N 値の異なる地盤 i と地盤 j の 2 地盤が隣り合った状態を対象とし、(2)式よりそれぞれの地盤の τ_{cr} を求め、(4)式のように不均一度係数 α を定義した。

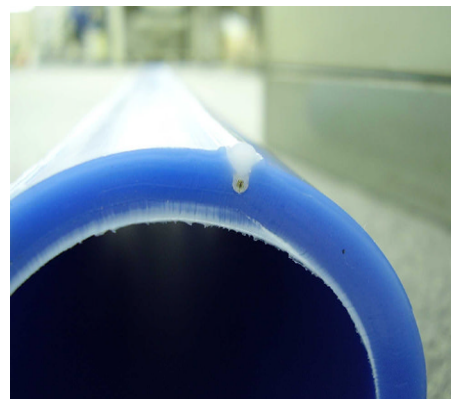


図-1 PE 管光ファイバセンサの構造

キーワード 地盤永久変位, ライフライン, 光ファイバセンサ, 管路損傷箇所検知

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17 番 8 号 摂南大学理工学部都市環境工学科 TEL 072-839-9118

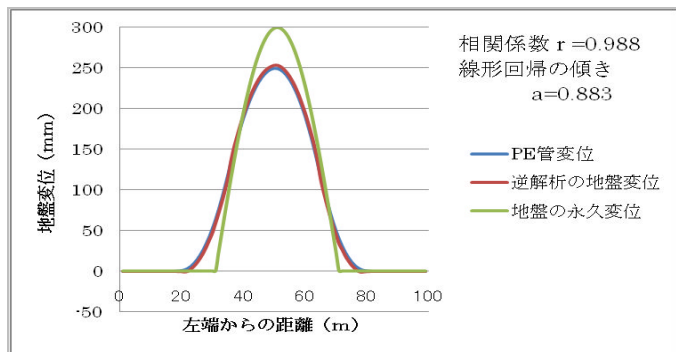


図-2 H=3m, 正弦波の解析結果

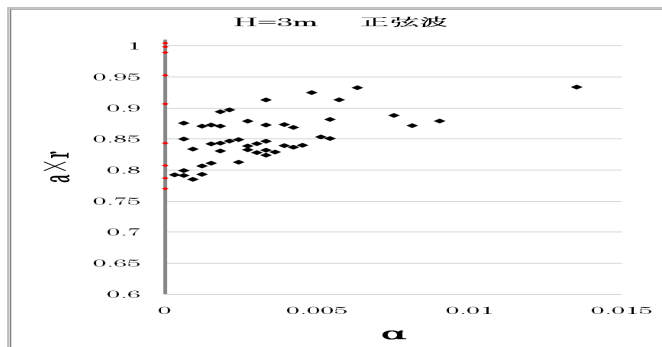
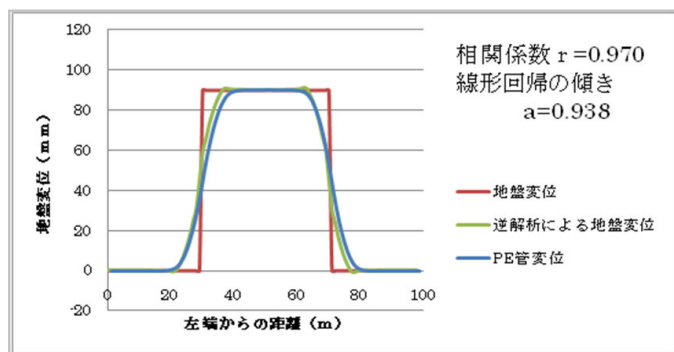
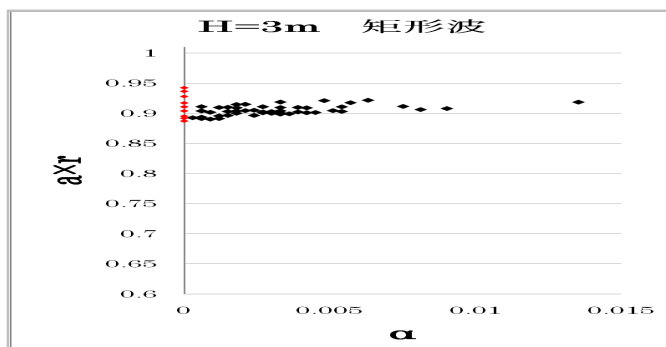
図-3 H=3m, 正弦波の α 影響評価

図-4 H=3m, 矩形波の解析結果

図-5 H=3m, 矩形波の α 影響評価

$$\alpha = \frac{|\tau_{jcr} - \tau_{icr}|}{k_0 \cdot \delta_0} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 k_0 : 基準地盤ばね定数 ($=6.0\text{N/cm}^3$), δ_0 : 基準すべり限界変位 ($=0.25\text{cm}$) である。

5. 地盤不均一度の影響評価

東京都と大阪市の代表的な地盤図をもとに、土被り $H=3\text{m}$, 5m の位置の N 値の異なる不均一地盤を想定した非線形地盤ばねを設定し、管軸方向への $1/2$ 正弦波状と矩形状地盤変位を与え、影響係数行列を用いて逆算した地盤変位と入力地盤変位の差に与える α の影響を評価した。 $H=3\text{m}$ の場合の結果を図-2～5 に示す。

1) $1/2$ 正弦波状地盤変位: 図-2 に示すように、入力地盤変位と逆解析で得られた地盤変位には若干の差異が認められるが、相関係数 $r=0.988$, 線形回帰直線の傾き $a=0.833$ となり、良好な精度であると考えられる。 図-3 の $\alpha=0$ 軸上のプロットは、均一な非線形地盤における N 値 $1\sim 50$ まで変化させた場合の結果である。 縦軸は精度($a \times r$)を示す。 提案法は不均一度 α の影響を受けず、 $a \times r$ が 0.8 以上の精度を有することが分かる。

2) 矩形波状地盤変位: 図-4 に示すように、矩形状変位の急変部で逆解析結果が不整合を生じているが、相関係数 $r=0.970$, 線形回帰直線の傾き $a=0.938$ となり、良好な精度である。 図-5 に示すように不均一度が高くなっても、 $a \times r$ に変化は見られず、不均一度の影響は無く良好な推定精度を保持している。

3) 土被り H の影響: 土被り H で比較すると、 $H=3\text{m}$ より $H=5\text{m}$ の場合が高い推定精度を示した。 これは、 H が深くなるほど平均 N 値が高くなり、本研究で影響係数行列を求めた際の基準地盤ばねの条件に近づくためであると考えられる。 H に応じて影響係数行列を変化させることで、さらに良い精度の逆解析が可能であると考えられる。

6. 今後の課題

今後は、曲線管路への本法の適用性について、数値解析により検討を進める。 また、モデル実験により提案法による地盤変位推定とライフライン挙動推定の実用性を検証する所存である。

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箇所の検知方法に関する研究, 2010 年度土木情報利用技術論文集, Vol.19, pp.1-10, 2010.10.