

京都大学大学院工学研究科 正会員 小野紘一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦邦征
 京都大学大学院工学研究科 学生員 ○ 大島義信

1. はじめに

既設構造物の老朽化や、減ることのない土砂災害の懸念から、斜面を含めた広域構造物に対するモニタリングの重要性が高まっている。しかし現在、こういった広域の構造物に対する有力なモニタリング技術が存在せず、その開発が急がれている。一方、現在開発中である光ファイバーセンサーを利用した変位計 FODD¹⁾を用いることで、斜面に対するリアルタイムの変位計測が可能となる。よって本研究の目的は、光ファイバーセンサーや光ファイバー変位計によって実現される常時モニタリングに対し、最適な計測システムを構築することである。特に掘削現場の逆解析管理において、光ファイバー変位計では連続的に観測値が計測されるという点に着目し、観測値の連続量を処理できるカルマンフィルターの適用性を検討した。また、簡単なモデルに対して逆解析のオンライン化実験を行った。

2. 連続観測量に対するカルマンフィルターの適用性の検討

光ファイバー変位計の開発に関する研究¹⁾から、光ファイバーによって測定される変位量は、ある程度誤差を含んだものであることが分かっている。よって本節では、誤差の含まれた連続的な観測値を用いることを念頭に、カルマンフィルターの適用性を検討する。解析のためのモデルを Fig.-1 に示す。地盤の弾性係数およびポアソン比は全領域で同じ $E=1,000 \text{ tf/m}^2$, $\nu=0.25$ とし、掘削底面から上側の領域に関しては水平方向のせん断剛性が低減しているものとして低減率 $m=0.5$ を設定した。観測値はこの値に対する計算値に仮想誤差を与えて連続性を表現する。ただし、本検討におけるモデルおよび観測値は、逆解析手法の適用性を検討する目的から作成したものであり、実際の逆解析による物性値推定とは、「モデル化」における誤差がないという点が異なっている。

(1) ガウス性誤差を含んだ観測値を利用した場合

光ファイバーセンサーによるひずみ計測において、計測される数値にガウス性の誤差が含まれることが分かっている¹⁾。ただしガウス性誤差とは、時系列としての誤差の振幅分布がガウス分布(正規分布)であることを意味する。よって本検討では、計算値に対しある誤差率を設定し、その誤差を乱数により変動させ計算値に足しあわせることで、ガウス性の誤差を含んだ観測値を定義する。Fig.-2に、誤差率を0%, 10%, 50%に設定した逆解析結果を示す。初期値は $E=5,000 \text{ tf/m}^2$, $m=0.5$, 分散値の対角項はそれぞれ $P_E=10^8$, $P_m=10^2$ とした。この場合、推定値もほぼ同じ結果になり、収束の推移にも大きな差が生じていない。そもそもカルマンフィルターは、ガウス性の誤差をフィルタリングするアルゴリズムであるので、良好な推定結果が得られたものと思われる。よって、光ファイバーセンサーによって観測されるひずみに対してガウス性の誤差が含まれる場合は、逆解析において遜色なく物性値推定可能であるといえる。

(2) 非ガウス性誤差を含んだ観測値を利用した場合

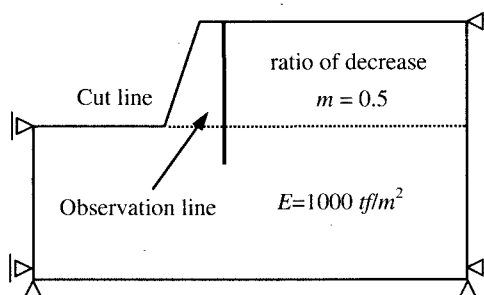


Fig.-1 back analysis model

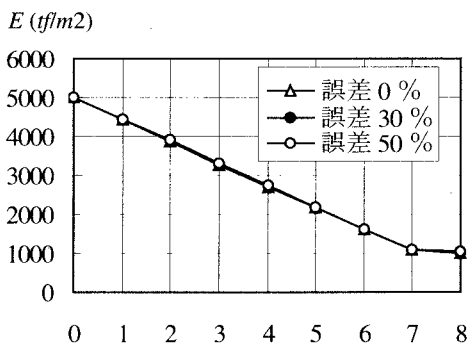


Fig.-2 ガウス性誤差の場合

光ファイバー変位計による変位観測では、ひずみから変位を算出する際に離散点での積分を行うため、変位を過小評価する可能性がある。よって本検討では、計算値に対して誤差率を設定し、一律に誤差分を差し引くことで過小評価された観測値を定義した。また、光ファイバー変位計による変位算出誤差が最大 5%程度であることが分かっているので¹⁾、本検討の誤差率を 0%, 5%, 10%と設定した。初期値は、 $P_m=10^{-2}$ である以外検討(1)と同じである。逆解析の結果を Table 1 に示す。また収束の推移を Fig-3 に示す。この場合、収束推移の状況や推定結果に、多少の差が生じている。しかし、逆解析の目的が推定物性値そのものよりも状態推定を利用したひずみ管理であること、また管理基準となるひずみ量自体のオーダーが大きいことなどを考慮すれば、この場合の差異は無視しうるものであると考えられる。よって、光ファイバー変位計による観測値が実際の変位を一律に過小評価していた場合でも、カルマンフィルターを利用した逆解析による推定は、管理上適用可能であるといえる。しかし今後、誤差の特性をより正確に把握し、フィルターアルゴリズムの中でその誤差を陽に処理する方法を考案すべきであることを示唆しておく。

3. カルマンフィルターによる逆解析のオンライン化

光ファイバーセンサーから得られた観測情報を、TCP/IP を利用して伝送し、オンラインの状態での逆解析を行う。実験供試体として 2m の塩化ビニール管を用い、($E=2.95 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$) 緑端部に光ファイバーセンサーを貼付し 40cm 間隔で測点を設定する。载荷方法は中央点での一点载荷とし、得られたひずみ量から弾性係数を推定する。供試体を含めたシステムの構成を Fig.4 に示す。また逆解析結果を Table2 に示す。その結果、分散の初期値などに注意を払えば、オンラインの状態での逆解析が可能であることが示せた。

4. まとめ

本研究において光ファイバーセンサーによる遠隔計測システムについて検討した結果、以下の結論が得られた。

- (1) カルマンフィルターを利用すれば、ガウス性の誤差を含んだ連続的な観測値による逆解析が可能である。
- (2) 非ガウス性の誤差を含んだ観測値を用いた場合でも、FODD によって生じる程度の誤差のオーダーであれば、施工管理上その影響は無視しうる。
- (3) インターネットを介して光ファイバーセンサーでの遠隔計測が行える上、逆解析のオンライン化が可能であることを示した。

参考文献

- 1) 小野紘一, 大島義信, 森田真幸ら: 光ファイバーによるひずみと変位の計測, 最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集, 地盤工学会関西支部, pp.45-48, 1999.12.
- 2) 片山徹: 応用カルマンフィルタ, 朝倉書店, 1,5,6,8 章, 1992.9.

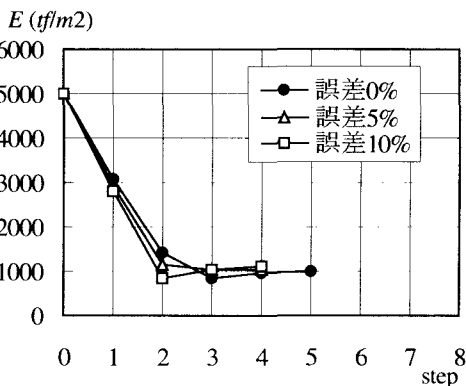


Fig-3 非ガウス性誤差の場合

Table 1 逆解析結果

	弾性係数の 推定値 (tf/m ²)	低減率の 推定値	最大発生 せん断ひずみ
誤差 0%	1000.818	0.49855	2.8289×10^{-2}
誤差 5%	1055.059	0.50108	2.6763×10^{-2}
誤差 10%	1108.094	0.50470	2.5386×10^{-2}

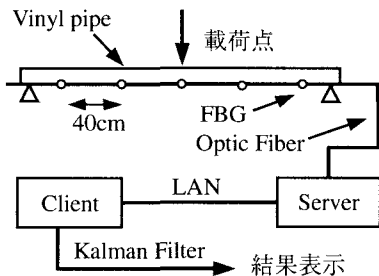


Fig. 4 観測システム

Table2 オンライン化逆解析結果

初期弾性係数	40000 kgf/cm ²
推定誤差分散	1.0
観測誤差分散	0.01
観測回数	92
収束値	$3.01 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$