

トレンド解析による岩盤計測データの処理について

北海道開発局開発土木研究所 正会員 池田 憲二、中井 健司、佐藤 京
北海道開発コンサルタント株式会社 正会員 川北 稔 ○齋藤 誠治
株式会社 地層科学研究所 正会員 里 優

1. 概 要

岩盤斜面の計測で得られたデータは、相互に相関がある場合が大半である。例えば、岩盤変形は間隙水圧、降雨量、日射、温度、重力潮汐等の影響を受けていると考えられ、また、計測器または計測システム自体もこれらの影響により変動している可能性がある。これら環境因子による影響を排除した岩盤の「真の変形」を求めることが本研究におけるトレンド解析の目的である。この「真の変形」(トレンド)は、適切な時系列モデルを仮定し、岩盤変形に及ぼす温度の影響度合いを表す係数の逆同定を行うことで、算定可能である。

本論文では、トレンド解析の手法について説明するとともに、実測データを用いた解析例を示す。

2.トレンド解析の手法

まず、トレンド解析を行う際に特に注意すべき点は、解析する観測データセットに、センサーやシステム等の異常による変動が含まれないことである。このようなデータは、環境因子との相関がなく、トレンド解析では排除不可能なため、解析する前に除去作業が必要である。

本手法では、観測値が真の値(トレンド)と他の影響による変動の重ね合わせであるとする。

$$Y_i = t_i + \sum_{R=1}^K \left(\sum_{j=0}^{M_k} a_j^k X_{i-j}^{k1} \right) \quad (i = M+1 \sim N) \quad (1)$$
$$M = \max_k M_k$$

ここに、 Y_i : 変位測定値 ($i = 1 \sim N$) t_i : 変位真値 (トレンド)
 X_i^k : 水位、気圧、地球潮汐等の環境因子 M_k : ラグ数

であり、未知数はトレンド t_i と、影響係数 a_j^k である。

さらに、石黒ら¹⁾の方法に習い、トレンドの形に特定の関数を仮定することなく、単に「トレンドは時間的に滑らかに変化する」という仮定を置き、以下の様な拘束条件を与える。

$$v(t_{i-1} - 2t_i + t_{i+1}) = 0 \quad (i = 2 \sim N-1) \quad (2)$$

v は、この拘束条件をどの程度強くするかを定める超パラメータである。

各未知数の推定値は、次式の J を最小化する値として最小 2 乗計算によって求める。

$$J = \sum_{i=M+1}^N (Y_i - t_i - \sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{M_k} a_j^k X_{i-j}^{k1})^2 + v^2 \sum_{i=2}^{N-1} (t_{i-1} - 2t_i + t_{i+1})^2 \quad (3)$$

(1),(2)式の解は、 v の設定により変化するが、 v を工学的に決定するのは困難である。ここでは、赤池-ベイズの情報量規準 (以下 ABIC と呼ぶ)²⁾ を最小にするように v を定める。

$$ABIC = N \log 2p + N \log s^2 + N \log \frac{1+6n^2}{n^2} + N + 2(\text{パラメータ数}) \quad (4)$$

ここに、 N : データ数 $s^2 = J/N$ である。

トレンドを求めるためのアルゴリズムは、以下のとおりである。

- (0) $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 、 a を仮定する (例えば、 $v_{\min} = 10^{-4}$ 、 $v_{\max} = 10^2$ 、 $a = \sqrt{2}$)。
- (1) $v = v_{\min}$ とおく。
- (2) 方程式(1),(2)を解く。
- (3) $ABIC$ を計算する。
- (4) $v < v_{\max}$ なら、 $v = v \cdot a$ として (2) へ戻る。
- (5) $v \geq v_{\max}$ なら、 $ABIC$ を最小にする v に対する t_i 、 a_j^k を解とする。
- (6) $\tilde{X}_i^k = \sum_{j=0}^{Mk} a_j^k x_{i-j}$ を計算し、 t_i 、 $\tilde{X}_i^h$ を出力する

このように、 $ABIC$ を手掛かりとして v の最適値を求め、このときのトレンドの値をもって解とする。

解くべき方程式は、長期間のデータを取り扱うことになるため巨大な連立方程式となる。そこで、本研究では、最小自乗共役勾配法を使用し、メモリ使用量および計算速度の改善を図った。

3. データの分析例

実際に計測されたデータを用いて、本手法の実用性について検討した。図-1は使用したサンプリング間隔1時間の1ヶ月間の計測データである。変位の計測値のトレンドを解析し、温度や間隙水圧がどの程度影響しているかを調べた。ラグ数は10とした。

解析結果を図-2に示す。図には、温度や間隙水圧の値に、求められた影響係数を乗じて、変位相当量として書き加えてある。

図を見ると、変位計で計測された温度の影響係数が大きく、変位計測値の増減が温度の影響を最も受けていることがわかる。この影響を取り去ることで、変位の真値は小さな変動幅に収まるが、わずかに変動が残り、ここで取り上げた計測値以外の影響を受けている可能性があることを示唆している。

4. まとめ

本研究では、岩盤斜面の計測により得られたデータより、環境因子の影響を除去し岩盤の真の変形(トレンド)を知る方法について検討した。解析では、大量のデータを高速に演算するため、最小自乗共役勾配法を採用し、実用性の向上を図った。実計測データを用いた解析では、温度の影響を取り除くことができることを確認した。

今後は、潮汐などより多くの環境因子を考慮することや、アメダスデータとの連携を計る方法などの検討を進め、岩盤崩落検知などに有効な手法へと高めるべく努力する所存である。

参考文献

- 1) 石黒他、潮汐データ解析 - プログラム BAYTAP の紹介 -、統計数理研究所彙報、vol.32、1984。
- 2) 北川他、時系列解析の実際 II、統計科学選書、1995。

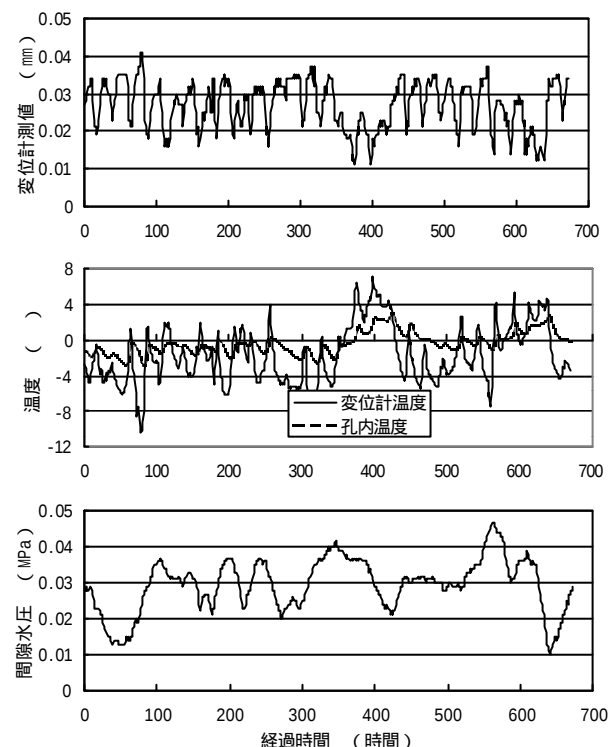


図-1 解析に用いた計測結果一覧

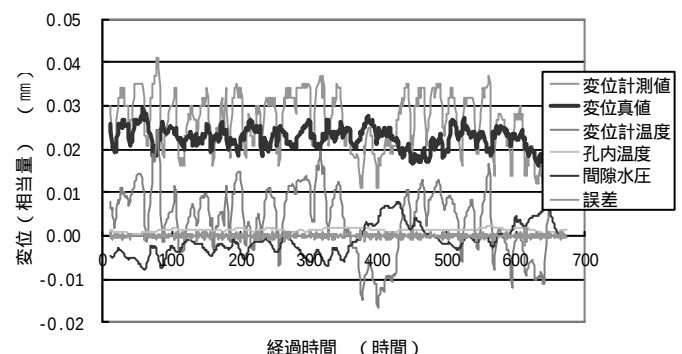


図-2 トrend解析の結果