

時系列解析による岩盤斜面の地すべり挙動に関する研究

宇都宮大学 学生会員 ○今泉 聡英
宇都宮大学 学生会員 新田 勝紀
宇都宮大学 正会員 清木 隆文

表-1 現位置計測項目

地区		計測装置
ダム湖周辺	対策工実施斜面	垂直伸縮計
		鉄筋計
		盤圧計
	対策工実施予定の斜面	地下水位計
		孔内傾斜計
		間隙水圧計
大規模斜面		孔内伸縮計
		地下水位計

1. はじめに

近年岩盤斜面の崩壊事故が発生しており、岩盤崩壊の災害発生を事前に予知・予測し、対策をとることが社会的に求められている。岩盤崩壊は事前予測が難しく、岩盤斜面に対する対策としては、危険箇所の把握、安定度診断、計測による崩壊予測などがあるが、ハード的な対策には経済的・時間的な限界もあり、予測技術の確立が急務である。しかしながら、岩盤崩壊の計測事例は極めて少なく、岩盤の挙動把握のための有効な計測手法は確立されていないのが現状である¹⁾。本研究では、小規模な範囲と大規模な範囲とにおいて岩盤斜面から得られた時系列データをもとに多変量解析を行うことで岩盤斜面の地すべり機構を探ることを目的とする。

2. 現場計測データ

本研究では、ダム湖周辺岩盤斜面と山岳地大規模地すべり地帯から得られたデータを用いて解析を行った。表-1に解析に用いた計測装置の種類、図-2にはそのデータをグラフ化したものを示す。各現場のデータとも斜面で十分安全な範囲内で、時間経過とともに推移しているものである。

3. 時系列解析手法

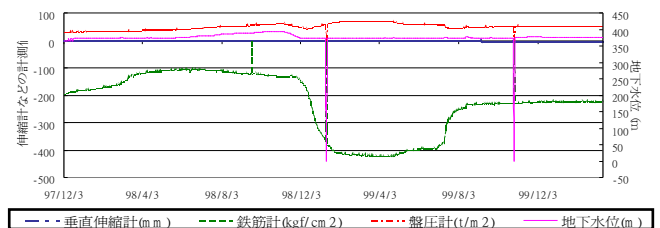
本研究では計測データを用いて、時系列 x_n の現在の値を過去の値 x_{n-m} と白色ノイズで表現する多変量自己回帰モデル(Multivariate Auto Regressive model, あるいはMAR model) ((1)式)

$$x_n = \sum_{m=1}^M A_m x_{n-m} + v_n \quad \cdots (1)$$

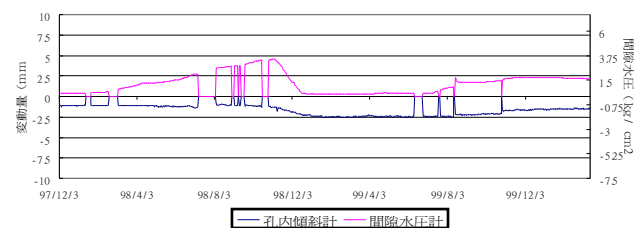
A_m : 自己回帰係数行列 v_n : 白色ノイズ

M : 自己回帰係数の数

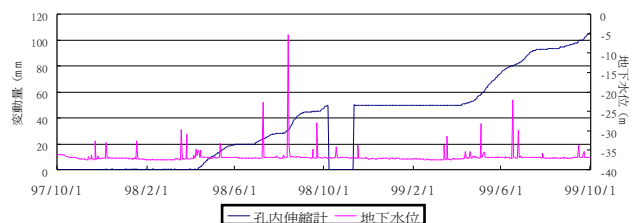
を推定する。ただし、 A_m は $a_m(i, j)$ を (i, j) 成分とする $\ell \times \ell$ の行列で、 v_n は ℓ 個の成分を持つ。多変量自己回帰モデルは時間遅れを伴う他の関数の影響を考慮し、自己の成分も含んだ関数で表現する。本モデルは地下水位を誘因とし、それに引きずられておこる岩盤斜面内の応力分布や斜面の動きなどを表す各時系列データをもとにユールウォーカー法を用いてモデル化



(a)対策工実施斜面



(b)対策工予定の斜面



(c)大規模斜面

図 2.観測データ

する。

モデル推定から得られた自己回帰係数行列 A_m によってスペクトル解析を行うと、パワースペクトル((2)式)やノイズ寄与率((3)式)が得られる。これらの計算結果をもとに、岩盤斜面の挙動に影響する程度の変化を探る。パワースペクトルは、時系列の変動において周波数ごとのノイズ源の影響の大きさを示したものであり、ノイズ寄与率は、特定の変数の変動に対する他の変数の寄与の割合を示す^{2), 4)}。

$$p_{ij}(f) = \sum_{j=1}^{\ell} |A_{ij}(f)|^{-1} \sigma_j^2 \quad \cdots (2)$$

$$r_{ij}(f) = \frac{|A_{ij}(f)|^{-1} \sigma_j^2}{p_{ij}(f)} \quad \cdots (3)$$

A_{ij} : 自己回帰係数行列 σ_j : 分散

3.1 時系列データ抽出区間について

岩盤斜面が変形するのは、地下水位の変動を誘因とする。ダム湖周辺の斜面では、地下水位、または間隙水圧の上昇、下降に着目してデータを抽出する。山岳部の大規模斜面では、地下水位の変動が局所的なために全データではその特性を抽出できないので、2年間の観測値を追うことにする。抽出するデータの長さについては、個々の自己相関関数によると2ヶ月分のデータ数では20日間前後、1ヶ月間での計算では相関がほとんど見られなくなったので、2ヶ月間のデータを全計測データから適当に抜き出して解析を行う。解析に用いる時系列データの抽出間隔は1日である。

3.2 ノイズ寄与率による解析

本研究では、岩盤の動きや岩盤内の応力状況を示す伸縮計や鉄筋計などの観測値が地下水位にどのように寄与しているか調べるためにノイズ寄与率((3)式)を求めて図示し、検討する。その際、時系列データにおいて、各計測項目がお互いにどの程度の寄与を示すのかなどに着目し、事象を捉える。ノイズ寄与率は、縦軸に割合、横軸に周波数をとって自己成分のノイズ寄与率と他からのノイズ寄与率との累積図で示す。この際用いる周波数は、(4)式

$$f_j = \frac{j}{2} L \quad (j=0 \sim L) \quad \cdots (4)$$

で算出されたもので、今回はLは、二か月分のデータ数ということで62(一ヶ月は31日とする)と設定した。一般的に言われる周期は解析時間間隔を f_j で除して求められる^{3), 4)}。

4. 解析結果および考察

4.1 ダム湖周辺斜面について

地下水位下降後、その変化が落ち着くと、岩盤斜面の動きを直接表現する対策工実施斜面の垂直伸縮計、対策工実施予定の斜面の孔内傾斜計は、自己成分のノイズ寄与率が高くなる(図-4(a))。このとき、対策工実施斜面の鉄筋計、盤圧計は地下水位によるノイズ寄与率が高く(図-4(b))、この区間における鉄筋計、盤圧計の測定値を見ると二つとも地下水位上昇前の観測値に近づいているように変化している。ここで伸縮計、傾斜計の値の変化を直接引き起こしているのが岩盤斜面内の動きそのものであると考えられる。垂直伸縮計の岩盤内の応力によるノイズの寄与を検討するために、垂直伸縮計と盤圧計の観測データを用いて垂直伸縮計に対する盤圧計のノイズ寄与率を示す(図-4(c))。この結果は、地下水位下降後の地下水位の変化がほぼ一定の区間で垂直伸縮計と盤圧計のデータ抽出した垂直伸縮計に対する寄与の割合を示すものである。このことから伸縮計のような斜面の動きは、地下水位よりも地下水位によって変化する岩盤内の応力状態に強く

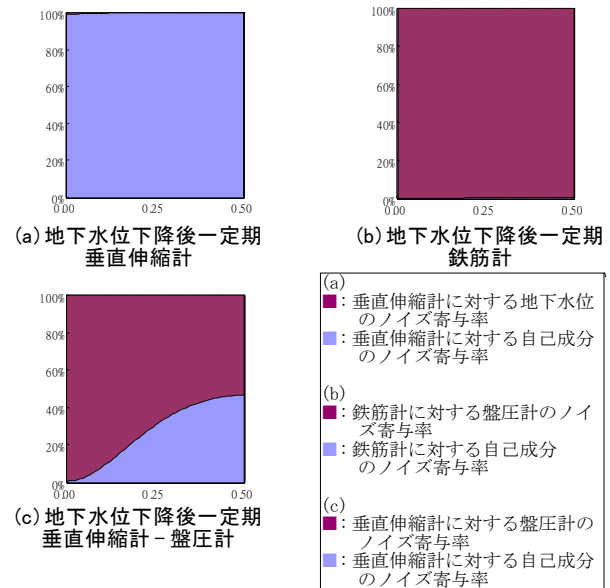


図-4.ノイズ寄与率の例

影響されると推測できる。以上のことから、盤圧計のような岩盤内の応力状態を表すデータと地下水位の計測データで地下水位が昇降した後ノイズ寄与率を算出し、高い自己成分の寄与が続く場合は、岩盤斜面の大きな動きを捉える可能性がある。

4.2 大規模斜面について

山岳部の大規模斜面では、孔内伸縮に対する地下水位と自己成分のノイズ寄与率を2年間の時系列データをもとに解析した結果、寄与率の現れ方には規則性があることが分かった。すなわち、地下水位が急激に上昇する区間において、ノイズ寄与率が全周波数領域で大きく変動する傾向が見られた。また、その前の区間では必ず伸縮計に対する自己成分のノイズ寄与率が高くなり、低周波数領域では、パワースペクトルが大きく現れる傾向が見られた。

5. 今後の課題

大規模斜面について、ノイズ寄与率が示す規則性と斜面の挙動との関連について考察を深める。また、地下水位が上昇する場合、ノイズ寄与率が大きく変化する理由についても検討する。

参考文献

- 1) 土木学会：岩盤斜面の調査と対策, 1999
- 2) 尾崎統, 北川源四郎：時系列解析の方法, 朝倉書店, 1998, p 107-128
- 3) 本多眞：地質工学における時間及び空間系挙動の確率・統計学的予測に関する研究, 京都大学博士論文, 2002.
- 4) 北川源四郎：FORTRAN77 時系列解析プログラミング, 岩波書店, 1993

