

Ⅲ - A 246

GPS 変位モニタリングシステムによる長大斜面の変位計測結果の平滑化

山口大学大学院 学 安立 寛

山口大学工学部 正 清水則一

1. はじめに

大規模斜面のモニタリングシステムとして、筆者らはGPSを用いた変位モニタリングシステムを開発している¹⁾³⁾。これまでに、現場実験を通してその適用の可能性を調査し²⁾、さらに計測結果に含まれる偏差、および、誤測データに基づく大きな変動を除去するための処理方法を提案した³⁾。その結果、処理後の計測結果はおおむね不規則ノイズのみを含んだデータとなり、少なくとも水平方向に対して5mm、高さ方向に対して10mmを単位として変位を計測できることが明らかとなった。本研究では、不規則ノイズを含んだ計測データからさらに高精度に真の変位挙動を推定することを目的として、確率構造を持った時系列解析モデルを用い、計測変位の推移の平滑化を行うことを検討する。

2. 平滑化モデル

これまでの研究から、筆者らの提案するデータ処理法を適用すれば、 $\Delta^t u_n = v_n$ （システム方程式）(1)
GPS変位モニタリングシステムの計測結果は、真の変位挙動に不規則ノイズが加わった一つの時系列データとして得られることが示された。そこで本研究では、平滑化のモデルとして、トレンドモデルに着目する。トレンドモデルとは、式(1)および式(2)に示すような多項式回帰モデルに確立構造を導入させたシステム方程式と観測方程式から真の挙動を推定するものであり、平滑化のモデルと真の変位挙動の間に確率的な誤差（平均値0、標準偏差 τ の正規分布）を設定したものである⁴⁾。

3. 実測データに基づく平滑化シミュレーション

本研究では長期にわたり掘削される斜面を対象に、変位として、(a)静止状態、(b)ステップ変位、(c)等速度変位、(d)収束クリープ変位、(e)加速クリープ変位、の5つ変位モードを想定する（図1参照）。実際の変位はこのような単純なモードではなく、複雑な挙動を示すこともあるが、これらのモードの組み合わせによっておおよその変位挙動は表されるものと考え。本報告では、これら5つの変位モードの内、ステップ変位、等速度変位、定常安定クリープ変位、の3つのモードについて、トレンドモデルにより平滑化した結果を示す。なお、ここでは、露天掘鉱山において、GPS変位モニタリングシステムによって、1時間周期で計測された実測値を用いる。

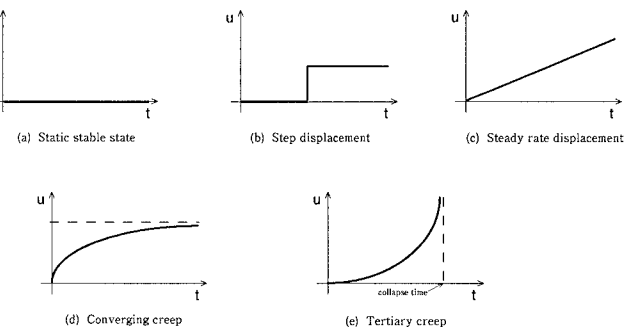


図1 岩盤斜面の変位モード

3.1 ステップ変位

真の変位を2mmの階段状の変位とし、これに前節の静止点の計測データを観測ノイズとして加えた模擬計測変位を用いて、トレンドモデルによる平滑化を行う。図2に緯度、高さについての結果を示す。この例では、2日目に2mmの変位が生じたとしている。これまでのGPSによる計測値から直接、変位を評価する場合、ステップ変位に対して、緯度および経度方向は5mm、また、高さ方向は10mm程度が検知できる一つの限界であった³⁾。しかしながら、図2からトレンドモデルを用いることにより、いずれの成分も2mmの変位をほぼ検出できていることがわかる。

キーワード：長大斜面、変位モニタリングシステム、GPS、平滑化

〒755-8611 山口県宇部市常盤台2557 TEL(0836)35-9440 FAX(0836)35-9429

3.2 等速度変位

変位が速度一定で増加する場合を考える。図3に、1日に0.5mmの一定速度で変位が増加する例を取り上げ、トレンドモデルを適用した結果を示す。いずれの成分においても、この程度の速度を持つ変位に対しておおむね妥当な平滑化がなされていることがわかる。

3.3 定常安定クリープ変位

次に、徐々に変位が増加し最終的に一定値に達するようなクリープ変位についてトレンドモデルを適用する。真の変位としては、 $u = u_{\infty}(1 - e^{-t/T})$ (u_{∞} :最終変位, T :遅延日数)とし、 $u_{\infty} = 10.0\text{mm}$ および $T = 5$ 日を仮定した。この変位は、初期変位速度が2mm/日で、約20日後にはほぼ最終変位10mmに達するものである。図4に高さ方向の平滑化の結果を示す。初期において真の変位と幾分の差が見られるが、時間の経過とともによい一致を示していることがわかる。

4. まとめ

本研究では、筆者らが開発したGPS変位モニタリングシステムによる斜面の変位計測をより高精度にするために、計測結果の平滑化を行った。実測誤差を用いて前述の変位モードに対してトレンドモデルを適用した結果、いずれのモードに対しても真の変位に精度良く適合することが示された。

トレンドモデルによって平滑化を行うことで、緯度、経度、高さのいずれの成分も2mmのステップ変位、また、速度が0.5mm/日の変位をも検出できることが示された。一般的なGPSではこのような精度で変位を計測することは困難であり、また、この結果は筆者らのこれまでの研究³⁾で得られた検出精度、すなわち、緯度および経度方向は5mm、高さ方向は10mmをも凌ぐものである。なお加速クリープ変位についても、良好な結果を得ている⁵⁾。

謝辞；モニタリングシステムの開発および現場

計測に関し、それぞれ、古野電気(株)および秋芳鉱業(株)の協力を得た。関係者各位に感謝の意を表する。なお、本研究は石灰石鉱業協会の研究奨励金の援助を受けたことを記し謝意を表する。

参考文献；1) 近藤, Cannon, 清水, 中川：土木学会論文集, No.546/VI-32, p.157-168, (1996)

2) 清水, 小野, 近藤, 水田：資源素材学会誌, Vol. 112, No. 5, p. 283-288, (1996).

3) 清水, 小山, 小野, 宮下, 近藤, 水田：資源素材学会誌, Vol. 113, No. 7, p. 549-554, (1997).

4) 北村源四郎：時系列解析プログラミング, 岩波書店, (1993).

5) 清水, 安立, 小山：資源素材学会誌 (掲載予定) (1998)

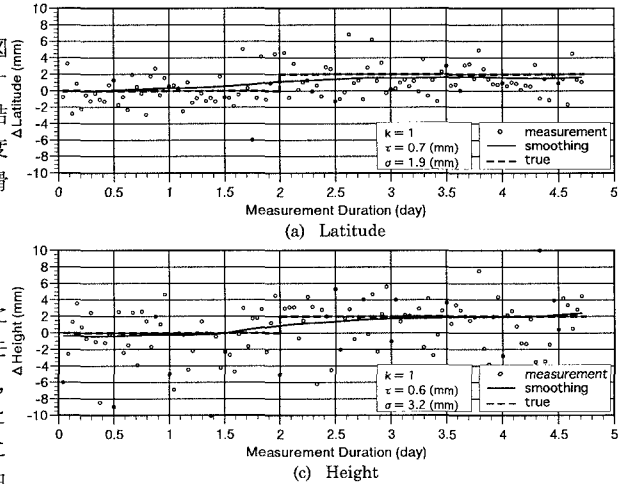


図2 ステップ変位に対する平滑化結果

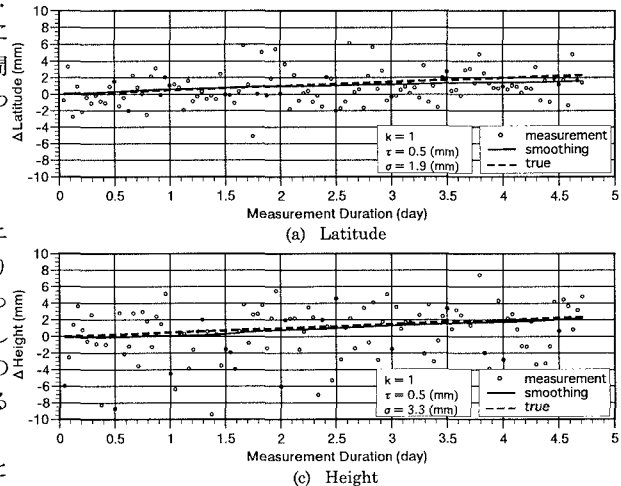


図3 等速度変位に対する平滑化結果

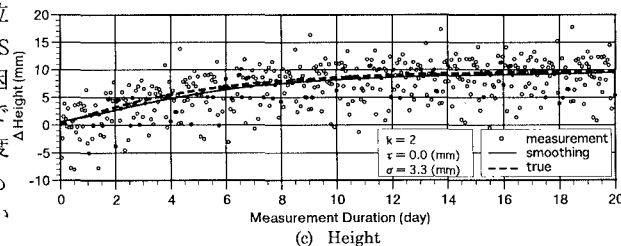


図4 定常安定クリープに対する平滑化結果