

斜面維持管理のための GPS 計測評価システム — 計測精度と誤差処理について —

GPS Monitoring System for slope maintenance
— accuracy and elimination of errors —

国際航業(株)	正会員	○岩崎智治
国際航業(株)	非会員	武智国加
国際航業(株)	非会員	及川典生
国際航業(株)	正会員	武石 朗
山口大学	正会員	清水則一

1. はじめに

斜面の維持管理では、多数の斜面に対して長期的に安定した計測およびその評価が求められるが、従来からの斜面計測の方法では計測結果の安定性、メンテナンス性、コスト等の面で問題が多い。そこで、我々は、斜面計測専用の GPS 計測機器とインターネットを用いた新しい斜面計測評価システムを開発した¹⁾²⁾。

本報告では、新しい GPS 計測評価システムの計測事例と計測精度、および誤差処理方法について検討する。

2. 計測事例とその計測精度

一般に GPS 計測（静的干渉測位）の公称精度は次式で表される。

水平成分 $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm} \times D$

鉛直成分 $\pm 10\text{mm} \pm 2\text{ppm} \times D$

ここで、 D は基線長(km)である。上式のように、GPS 計測の精度は基線長 D の関数であり、基線長 D を十分短く設定すれば精度が向上する。しかし、基線長 D を、例えば、0.20～0.50km 程度と短く設定できたとしても、上空視界やマルチパス等の様々な誤差要因のため計測値がバラつく。特に、斜面計測では周辺の稜線や樹木のために上空視界が遮られるのが普通であり、ともすれば基線長が十分に短いにもかかわらず計測精度が公称精度を下回ることも多い。

図-1、図-2 に GPS 計測の事例を示す。これらは、同一の斜面に近接して設置した GPS センサーの計測結果で、センサー間の距離は約 30m、基線長は共に約 0.30km と短基線である。

しかし、図-1 のセンサーは上空視界が良好なのに対し、図-2 のセンサー近傍には高木があり上空視界が一部遮られている。そのため、図-2 では衛星電波の受信状況が悪く計測精度が低下している。このように、山間部で実施される斜面計測では GPS センサーの設置位置ごとに上空視界の状況が異なり、計測精度に差異が生じるのが一般的である。

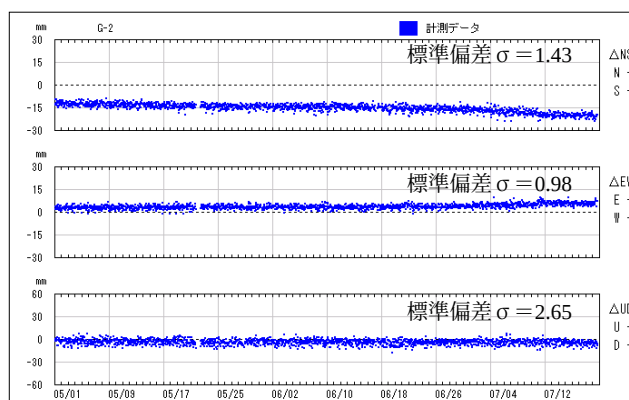


図-1 GPS 計測結果(1)
上空視界が良好な計測結果の一例

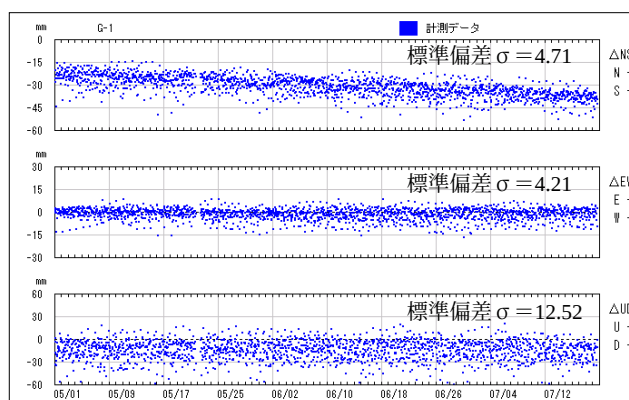


図-2 GPS 計測結果(2)
上空視界が劣悪な計測結果の一例

キーワード：斜面、維持管理、GPS、計測、監視、トレンドモデル

連絡先：〒102-0075 東京都千代田区三番町5番 国際航業(株)・shamen-net 事業推進部

TEL.03-3288-5719 FAX.03-5213-3252 <http://www.shamen-net.com/>

ここで特筆すべきは、**図-2**のような計測精度の低下は、斜面計測では頻繁に発生することである。したがって、斜面を対象とした GPS 計測では、劣悪な上空視界による精度低下、すなわち誤差の大きな計測結果に対して有効な誤差処理を行う必要がある。

3. トレンドモデルによる誤差処理

我々が開発した GPS 計測評価システムでは、清水ら(1998,2002)が提案している GPS 計測データの平滑化手法³⁾⁴⁾を導入し、通常の基線解析に加えてトレンドモデルによる平滑化処理を行っている。

トレンドモデルの基本方程式を次式に示す。

$$\begin{cases} y_n = u_n + w_n & (\text{観測方程式}) \dots\dots\dots (1) \\ \Delta^k u_n = v_n & (\text{トレンド成分モデル}) \dots\dots (2) \end{cases}$$

ここで、 y_n は計測値、 u_n は真の変位である。 v_n はシステムノイズ、 w_n は観測ノイズで、いずれも正規分布に従うものとする。また、 Δ は時間差分演算子で、 Δ^k は k 回差分を意味する。

式(1)のように、この手法では GPS 計測値に含まれる誤差成分を白色雑音と仮定し、真の変位 u_n と誤差成分 w_n を分離処理する。トレンドモデルによる誤差処理後の結果を**図-3**に示す。図中の実線のように、トレンドモデルによる誤差処理を行うと計測精度が向上する。例えば、NS 成分の標準偏差 σ は、誤差処理前の**図-2**で $\sigma=4.71$ に対して、誤差処理後の**図-3**の実線では $\sigma=0.35$ を示し、1/10 以下に改善されている。

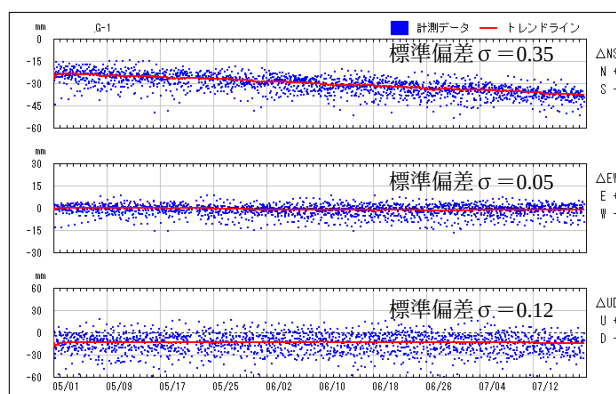


図-3 トレンドモデルによる誤差処理の一例

4. 周期性誤差の処理に関する試み

GPS 計測に含まれる誤差には、白色雑音の他に、24 時間周期や 12 時間周期の周期性誤差が含まれることがある。このような場合には、通常トレンドモデルでは必ずしも良好な誤差処理ができない。

そこで、式(1)、(2)のトレンドモデルに周期成分モデルを付加した次式のモデルを作成し試行した。その結果を**図-4**に示す。

$$\begin{cases} y_n = u_n + r_n + w_n & (\text{観測方程式}) \dots\dots\dots (3) \\ \Delta^k u_n = v_n & (\text{トレンド成分モデル}) \dots\dots (4) \\ \Delta^k r_n = \varepsilon_n & (\text{周期成分モデル}) \dots\dots (5) \end{cases}$$

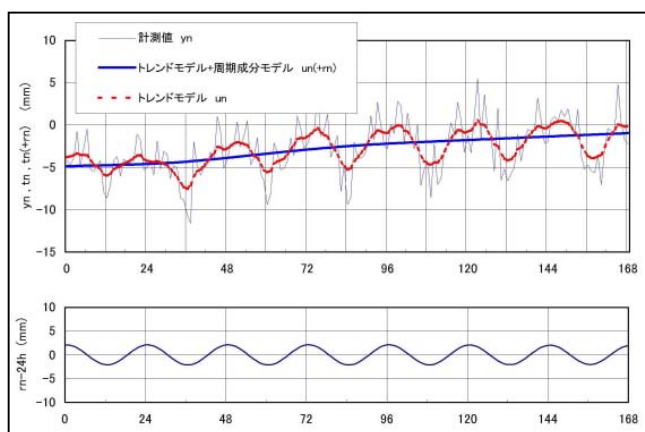


図-4 周期性誤差を含む計測事例と誤差処理の結果

上図) 計測値と誤差処理後の結果
下図) 誤差処理の過程で抽出した周期正誤差成分

図-4の計測値(**図-4 上図**の細実線)は24時間周期の誤差を含むため、通常トレンドモデル(同・太破線)では良好な誤差処理ができていない。そこで、周期性誤差を正弦波で近似した周期成分モデルを付加したところ**図-4 上図**の太実線のようになり、良好な誤差処理が実施された。このとき、分離された周期性誤差は**図-4 下図**のようである。ただし、今回のように周期性誤差を正弦波で近似できない場合もあり、今後とも周期成分モデルの構築には検討が必要である。

<参考文献>

- 1) 岩崎智治・武智国加・武石朗・清水則一：道路斜面の維持管理を目的とした計測評価システムの開発，土と基礎，Vol.50，No.6，Ser.No.533，pp25-27，2002
- 2) 岩崎智治・武智国加・武石朗・清水則一：インターネットを利用した斜面維持管理のための計測評価システム，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，pp221-222，2002
- 3) 清水則一・安立寛・小山修治：GPS 変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究，資源と素材，Vol.114，pp.397-402，1998.
- 4) 松田浩朗・安立 寛・西村好恵・清水則一：GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証，土木学会論文集，No.715/III-60，pp.333-343，2002.9.