

## GPSを用いた長大斜面の微小移動の監視に関する研究

九州大学工学部 正員 江崎哲郎 齊藤玄敏  
九州大学工学部 学生員 松本信也 ○村瀬一隆  
西日本技術開発(株) 正員 森 二郎 安藤康伸

## 1. はじめに

GPS (Global Positioning System) は、GPS 衛星から送られる電波を受信し、受信点の位置を三次元的に高精度に受信できる新しい測量システムである。このシステムは測地学の分野をはじめ、地盤や地殻を扱う分野等において広範な活用が考えられている。地盤環境の立場からは、自然災害、開発に起因する災害の予知や地盤移動現象を観測、評価するために、GPSを監視システムとしての利用が考えられる。しかし、このようなGPSの利用は未だ十分に確立されているとは言い難く、実際の現場に適用しつつ、観測目的、観測条件、要求精度に応じたGPSの利用方法を確立する必要がある。

本研究では、地形や地質的に測定条件の厳しい山間部における斜面の微小移動の監視にGPSを適用することを考え、光波測距計測との比較を行い、GPSの計測法、測点の設定、測定精度、微小変位検出能力などについて検討する。

## 2. 計測地の概要

計測地点は、宮崎県耳川中流域の東向き開析斜面である。河床より約180m上方まで40°前後の急傾斜が続き、その上方で20°前後の緩傾斜が形成されている。河床より20mレベルまでは河刻を受けた軟岩の岩崖、それより上は徐々に風化、劣化の進んだ軟質岩となっており、計測点を設けた200m~280mの地層は主として黒色粘板岩から構成され、風化が進み岩質的にも軟化したものが多く、構造的に著しく乱れ崖錐堆積物状の岩相を示している。

## 3. 計測方法

GPS計測は、1994年6月から11月まで月1回行い、これと同時に光波測距も実施している。

計測点は5ヶ所の固定点と6ヶ所の斜面上の観測点からなる(以後、斜面上の観測点を移動点と呼ぶ)。移動点は斜面上の光波測距の測点近くを選び、固定点は観測斜面を取り囲むように配置した。また、各測点においては周囲の上空が開けていること、PDOPが6以下であること、電波を4衛星以上から受信できることを確認している。

受信機には、4000SSE-GSS/U (Trimble Navigation 社製) 8台を使用し、1回の計測で3ヶ所の移動点と5ヶ所の固定点を同時に観測する。計測法は、スタティック法を採用し、1セッションにつき8時間の計測を行っている。許容誤差は、 $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm} \times \text{基線長}$ が確認されている。

斜面の微小移動の監視にはmmオーダーの精度が要求される。そのため、アンテナの据え付け誤差が抑えられるように、三脚の脚をコンクリートで地面に固定し、アンテナ据え付けネジを三脚の頭部に接着して、アンテナをねじ込むだけで初めに設置した状態が再現できるようにした。

## 4. 解析結果

## 4. 2 固定点の解析結果

5カ所の固定点相互で測距精度を求め、固定点が不動であることを確認した。

Fig.1に固定点間の測距精度を示す。図より、水平方向は、基線500mに対して誤差(標準偏差)5mm以内、基線2500mと長い測点間においても7mm以内と全てGPS許容誤差内に収まっていることがわかる。垂直方向の誤差もGPS許容誤差内に収まっている。

各固定点から見た変位の方向には相関が見られなかった

ことから、固定点として選定した測点は、移動点変位検出の基準点として使用することが可能である。

## 4. 2 移動点の解析結果

5カ所の固定点から見た移動点km-18の変位は、GPS許容誤差よりも大きく、変位の方向は同じであった。他の移動点の変位は、GPS許容誤差内に収まっており、その方向には相関は見られなかった。

GPSで観測されたkm-18の変位と斜面の動きとの関連性を調べるために現地踏査を行った。周囲には斜面の動きを示す亀裂などは認められなかったが、三脚を設置した地盤の局部的な不等沈下によりアンテナが、GPSで観測された変位と同じ方向に移動していることが判明した。Fig.2にGPSで観測されたkm-18の変位とアンテナの変位を示す。GPSで観測されたkm-18の変位からアンテナの変位を差し引くと、補正後の変位は許容誤差内に収まるため、斜面の動きはないものと考えられる。

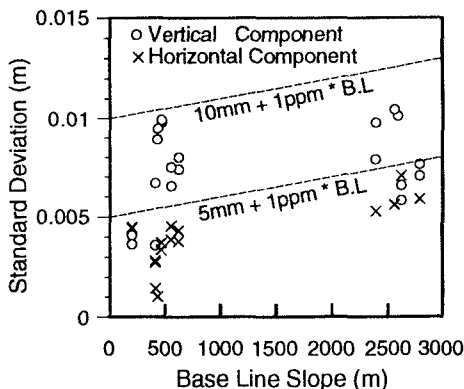


Fig.1 Relationship between STD and BL Slope.

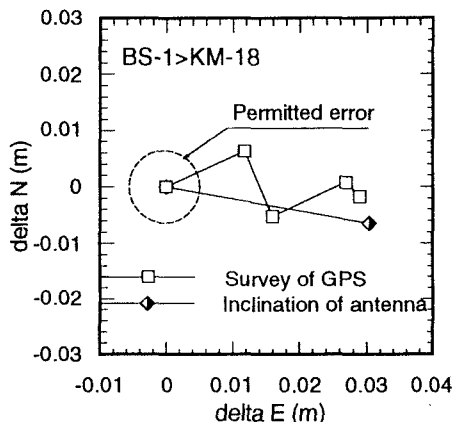


Fig.2 Horizontal movements of observation points on the slope(km-18).

## 5 斜面におけるGPS計測の特徴

### 5.1 光波測距との精度比較

GPS計測のほか、2点を基準点として光波測距による移動点の監視を行っている。

Fig.3は移動点km-24においてGPSと光波測距で得られた変位の水平成分と誤差の関係を示したものである。移動点km-24においては、GPSの許容誤差半径は約5mmである。一方、光波測距は2つの基準点の midpoint から移動点を結ぶ線分の方向に6mm、それに直交する方向に32mm誤差が許容される。すなわち、光波測距の誤差には、斜面と基準点の幾何学的配置に依存する方向性がある。

実際に観測されたデータ変位の最大値を比較すると、光波測距の2つの基準点の midpoint から移動点を結ぶ線分の方向ではGPSと光波測距ではほぼ等しいが、それに直交する方向では光波測距の変位はGPSの2倍程度になっている。

### 5.2 平地におけるGPS計測との比較

地形、植生等による視空の制限がGPSの計測結果に及ぼす影響を視空が完全に開けている平地での観測結果との比較から検討を行う。

解析には、斜面により仰角 $40^\circ$ 以下の視空に制限を受けているデータ(RDOP=0.26, RMS=0.009)と視空に制限がない平地での観測データ(RDOP=0.25, RMS=0.008)を用いた。これらのデータは、基線長がほぼ等しく、変位のない測点のデータである。使用衛星数は、スタティック測量に最低必要な4個に固定している。

Fig.4に観測時間長に対する水平方向と垂直方向の誤差の関係を示す。水平方向の誤差は、視空に制限がない場合、60分以上の観測時間で基線長の1ppm前後に収束している。視空に制限がある場合は、観測時間が60分以上になると誤差は収束するが、視空に制限がない場合に対して2倍程度になっている。

垂直方向の誤差は、水平方向に比べて収束が遅く、視空に制限がない場合は90分以上の観測時間をとれば1ppm前後に収束する。すなわち、観測時間を十分にとれば水平方向と同程度の精度が得られる。一方、視空に制限がある場合は、収束の度合いが小さく、6ppm程度の誤差を生じている。従って、視空の制限は、垂直方向の精度に大きく影響すると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、GPSを斜面の微小移動検出に適用し、光波測距との比較から、GPSの斜面の微小移動検出能力、精度の検討を行った結果、次の知見を得た。

- (1) 本測定における、GPSの精度は、基線長500mに対して水平方向の誤差は5mm程度であり、5mm以上の変位を検出することが可能である。また、固定点を複数設けることによって変位検出の確度をあげることができる。
- (2) GPSは、水平方向において誤差に方向性はなく、光波測距で最も精度が良い方向の精度と同程度の精度で計測することができる。すなわち、GPSは光波測距に対して斜面と基準点の幾何学的配置に影響を受けないという優位性がある。
- (3) 遮へい物によってうける視空の制限には、良好な衛星配置での観測を妨げ、垂直方向の精度に大きく影響を及ぼす。

今後の課題として、網平均解析を行うとともに、最適な解析パラメータの検討を行っていく所存である。

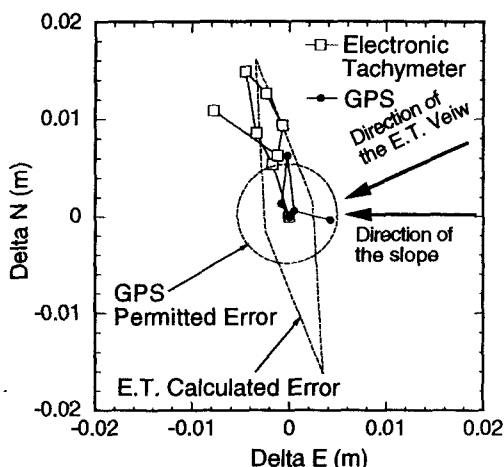


Fig.3 Horizontal movements of observation points on the slope (km-24).

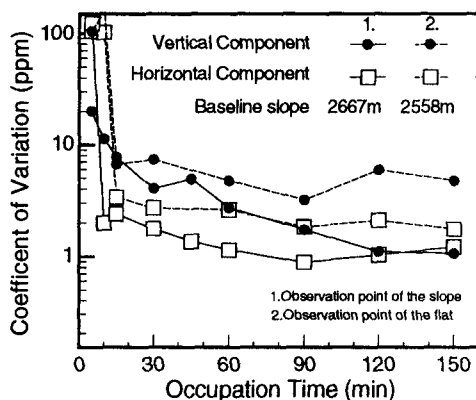


Fig.4 Relationship between coefficient of variation and occupation time.

## 参考文献

1. Wells, D.(1986): Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates.
2. Leick, A.(1990): GPS Satellite Surveying, p.351, John Wiley & Sons.
3. 江崎哲郎他(1992): GPSを用いた地盤環境の監視(統報) 第25回岩盤力学に関するシンポジウム.