

GPSを用いた山体崩壊の監視システム

九州大学工学部 正会員 江崎哲郎
 九州大学工学部 正会員 相川 明
 九州大学工学部 ○学生会員 大久保洋介

1. はじめに

GPS(Global Positioning System:汎地球測位システム)は、人工衛星を用いた新しい電波測位システムであり、視通無しで、広域における多測点間の相対的位置や変位を、同時に三次元的で高精度に測定できる^{1)・2)}。このため従来の測量技術では困難であった、広域、高精度、長期、連続観測が可能となった。特に地盤や地殻を扱う分野において、地盤沈下、火山活動、地殻変動などの地盤の移動現象をとらえる手段としてGPSの活用が考えられる。本研究は、普賢岳火山活動に対する観測体制の一環として、断層の移動および山体崩壊の可能性を調査するため、GPSによる監視システムを構築することを目的とする。ここでは観測体制の整備および実際の計測よりえられた知見をもとに、GPSの概要、特徴についてまとめ、地盤変動監視の実施例について述べる。

2. 地盤環境監視システムへのGPSの利用可能性

GPSによる測定には、数十分から数時間の観測を行う静的測位方式[Static]と、1台を基準点として固定し、アンテナと受信機を各測点に順次移動して観測するキネマティック方式[Kinematic]がある。後者は測量作業の高能率化・高精度化に有望視されるが、地盤環境の監視という点では前者が適しているであろう。その特徴は、(1)極めて長い基線長(数百kmまで計測可能)を0.1~数ppm程度の精度で計測できる。(2)観測点の視通を必要とせず、夜間、霧などの場合にも問題がない。(3)多数の観測点の座標が三次元的に、同時に求められる。(4)長期間計測、連続観測が容易である。また、静的測位方式を用いたGPSは単なる測量機材であるばかりでなく、地盤の監視システムを構成する情報機器として位置づけられる。すなわちGPSでは、現場で測量値は得られず、コンピュータを用いてはじめて計測結果がわかるので、コンピュータは手作業に代わる自動化、高速化の手段ではなく、不可欠な構成要素である。また複数の観測点を通信回線で接続することにより、無人、連続、自動観測が可能となり、容易に集中監視システムが実現できる。反面、秒単位、分単位で変化する事象などの実時間計測や、山や高い構造物などの障害物で上空の視界が悪い場合の計測が困難であったり、水平方向に対して垂直方向の精度が劣るなどの問題点がある。しかし、従来の測量技術での労力や、地盤の移動は本来、比較的緩慢な現

象であることなどの条件を考えれば、GPSは最適な地盤環境の監視システムであるといえる。GPSには具体的に以下のような対象が考えられる。(1)地下の掘削などの地下開発にともなう地表の地盤移動監視。(2)海上、沿岸などの構造物、埋立地などの沈下移動。(3)ダム、橋梁などの大規模な構造物およびその基礎地盤の経年的・長期的挙動。(4)地すべりなどの斜面移動。

3. 山体崩壊の監視の実施例

3.1 普賢岳の火山活動および観測の目的

普賢岳は平成2年11月の噴火以来、活発な火山活動を続けている。この火山活動は、多数の断層群およびこれらを境界面とする地溝の活動と深く関連しており、これらの地盤の挙動を観測監視することは、今後の活動の推移を予測する上で極めて重要である³⁾。特に、普賢岳の東方約5kmに位置する溶岩堆積物からなる眉山は、200年前の噴火の際に、大崩落を生じており、今回の活動に関連して大規模な崩壊を懸念するむきもある。そこで、普賢岳周辺の千々石断層の挙動を把握し、同時に、眉山の斜面の地盤挙動を監視すること、また、万一に備えて具体的対策の検討のためのデータを継続収集しておくことを目的に、GPSを用いた観測体制を構築した。

3.2 地盤移動の監視システムの構築

観測点は、千々石断層の動きを追跡することを目的とした3つの固定点(F1,F2,F3)と、眉山の斜面移動の監視を目的とした6つの移動点(M1,M3,L1,N2,N3,N4)からなる。位置関係をFig.1、使用機器の概略および全体システムの構成図をFig.2に示す。固定点については、

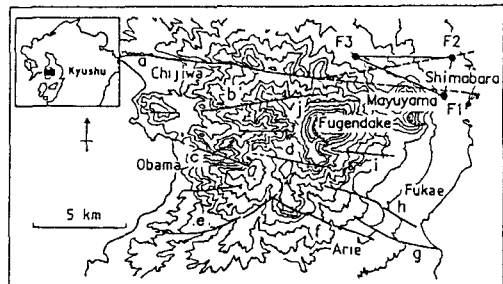


Figure 1. GPS Observation Net for Ground Movements on Unzen Volcano and Topographic Map.⁴⁾
 Baseline Length F1-F2: 2188.726m, F1-F3: 5314.159m
 F2-F3: 5325.599m.
 a: Chiijiwa Fault b: Kusenbu Fault c: Takadake Fault
 d: Oshidorinoike Fault e: Kanahama Fault
 f: Takaiwayama Fault g: Futsu Fault h: Fukae Fault
 i: Akamatsudani Fault j: Fugendake North Fault.

測線 F1-F2, F1-F3 が断層を横断しており、断層が変動した場合には測線の距離ベクトルに三次元的な動きが観測できるはずである。これらは受信機、アンテナ等を常設しており、毎日自動計測する。計測データは公衆回線により転送するため、管理や電源、電話線の確保できる地点を選点した (F1: 島原地震火山観測所, F2: 島原高校, F3: 国立大学研修センター)。移動点は、障害物が比較的少なく、局所的でない大規模な斜面移動

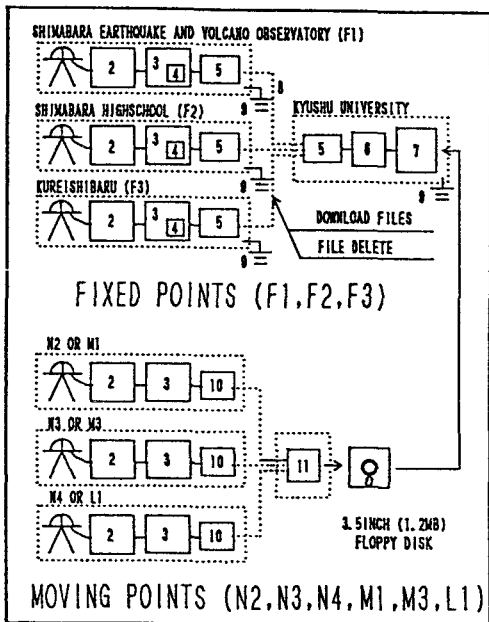


Figure 2. Observation System Specification for Ground Movements Using GPS Networks.
1: Microstrip Antenna 2: Dual Frequency GPS Receiver with 12 Independent Channels (TOPCON GP-R1D) 3: Calendar Timer and Switching Regulator 4: Public Power Source 5: 9600 bps Modem (OMRON MD96FS5V) 6: Computer for Downloading and Deleting Files (TOSHIBA J-3100SX021P) 7: Computer for Calculating (TOSHIBA J-3100ZX Model 171) 8: NTT and JAPAN TELECOM Public Telephone Lines 9: Earth 10: Battery 11: Computer for Downloading (=6).

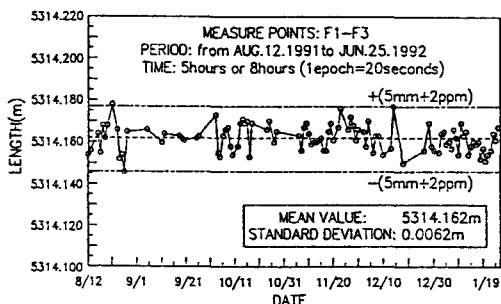


Figure 3. Daily Deviation of Baseline Length F1-F3 using GPS Static Surveying.
(Using S.V. No.2,6,11,14,15,19)

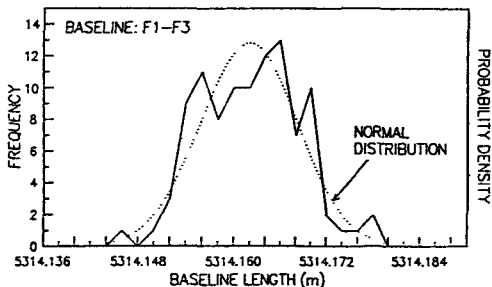


Figure 4. Histogram of Baseline Length.

を把握できる砂防ダム上に設けた。観測は一定期間毎に現地で行い、機材回収時に観測データをフロッピーディスクに保存する。なお、測点の設置には据付け誤差を防ぐため、その大部分は三脚を使わずにコンクリート柱 (直径 150mm, 高さ 300mm) を接着固定した。

4. 観測結果および考察

観測結果の例として、平成 3 年 8 月から平成 4 年 1 月までの固定点 F1-F3 間の距離の変動を Fig.3 に示す。観測は、1 日のなかで衛星が 5 個以上観測できる最も良い時間帯に、エポック間隔 20 秒で 5 時間連続観測 (但し、12/18以降は 8 時間観測) を行ったものである。図によると観測値は本 GPS の許容誤差 $5\text{mm} + 2\text{ppm}$ 内に収まっているが、観測値は常に一定値ではなく、 $\pm 15\text{mm}$ 程度の変動がある。Fig.4 は基線長変動の分布を示したものであり、 χ^2 検定を行ったところ、有意水準 5% で正規分布とみなすことができる。これらの変動の原因は気象条件などの観測条件の良否、衛星軌道の誤差などが考えられる。観測期間中、観測値が平均値近傍にあり、明かな一方への移行も認められないことから、断層の移動はなかったものと判断している。

6. まとめ

1. GPS を地盤環境監視システムという観点から検討し、その特徴、新しい計測手段としての可能性などの優位性および問題点について述べた。GPS が長期的な監視に適當であることが明らかになった。2. 実際の適用例として、普賢岳周辺の断層および山体崩壊の長期観測体制を確立した。現地での災害予知および対策のため観測を継続している。

なお、本研究は九大島原地震火山観測所の協力のもとに行われたことを付記する。

<参考文献>

- 1) Wells, D. (1986): Guide to GPS positioning, Canadian GPS Associates.
- 2) Leick, A. (1990): GPS, Satellite Surveying, Jhon Wiley & Sons.
- 3) 太田一也 (1998): 雲仙火山, 長崎県, pp.26-32.
- 4) 田中雅人, 中田節也 (1988): 九州大学理学部島原地震火山観測所研究報告, Vol.14, No.14, pp.1-11.