

(83) 岩盤変位測定のための リアルタイム GPS 計測システムについて

古野電気 (株) システム機器事業部

The University of Calgary

山口大学 工学部 社会建設工学科 正会員

山口大学 工学部 社会建設工学科 正会員

○ 近藤仁志

M. Elizabeth CANNON

清水則一

中川浩二

Real-time Monitoring System using GPS for measurements of Rock Displacement
by

Hitoshi KONDO,

Furuno Electric Co., Ltd.

M. Elizabeth CANNON, The University of Calgary

Norikazu SHIMIZU, Yamaguchi University

Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

GPS is a surveying system using artificial satellites. It provides the user's position with three-dimensional coordinates by receiving the signal transmitted from GPS satellites. GPS can be applied to displacement measurements in various types of rock engineering projects, such as high cut slopes, large open pit mines, ground slides and subsidence due to underground excavations.

The authors are developing a real-time monitoring system using GPS for rock displacement measurements. This paper describes the outline of the system and the result of the field experiments to prove the applicability of the system to displacement measurements.

1 はじめに

長大斜面や長大残壁があらわれる大規模掘削工事などにおいて、岩盤の変位挙動を三次元的に計測することは、きわめて重要である。十分な監視のためには、数多くの点についての計測を頻繁に実施しなければならないが、膨大な費用と時間がかかるという問題点がある。

一方、GPS (Global Positioning System) を利用した測量¹⁾が実用化され、地盤変位計測においても従来の測量技術に比べ、遜色ない精度を得られることが知られている^{2),3)}。GPS を用いた測量は、現場でのアンテナの設置の他はすべてコンピュータにより自動的に処理を行なうことができるという特長がある。しかし、従来の GPS 測量は、スタティック方式、キネマティック方式とも、データをオフラインで処理する必要があり、観測結果を得るまでに時間と作業を要する問題がある。また、近年開発されたリアルタイムキネマティック方式⁴⁾では、観測点においてリアルタイムに自分の位置を得られるが、同時刻に複数の地点の変位を連続して観測することは容易ではない。

本研究は、長大斜面や大規模掘削工事などの岩盤の変位挙動の計測に GPS を応用し、その三次元的な変位をリアルタイムかつ自動的に、24 時間連続して計測可能な「GPS 岩盤 (地盤) 変位モニタリングシステム」の構築を目的としている。

本論文では、その実験システムの概要とそれを用いて行なった基礎実験の結果について述べる。

2 GPS による岩盤 (地盤) 変位モニタリングシステムの概要

「GPS 岩盤 (地盤) 変位モニタリングシステム (以下、本システムという)」は、図 1 に示すように、変位の監視を必要とする地域に設置された複数の GPS 受信機 (計測点) と、不動と考えられる基準点に設置され

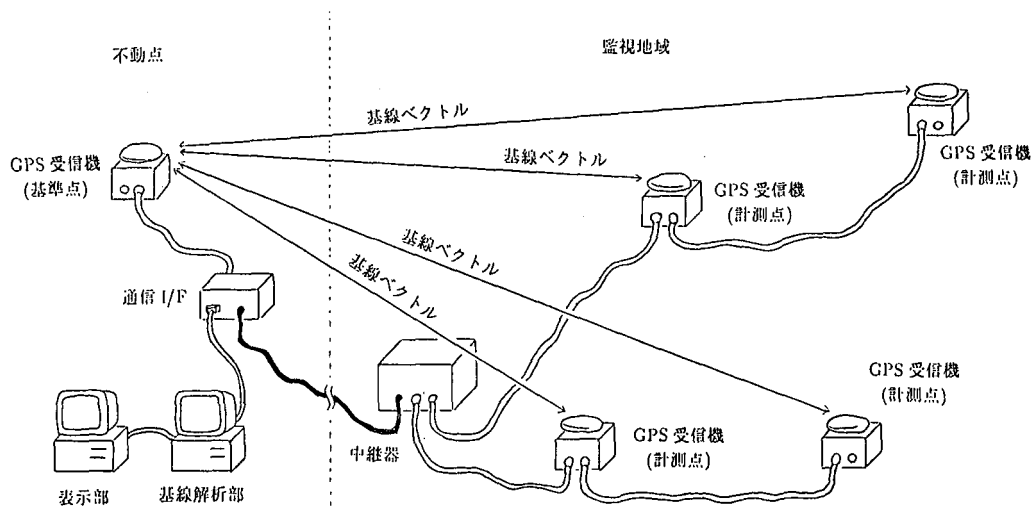


図 1: GPS 岩盤 (地盤) 変位モニタリングシステム

た 1 台の GPS 受信機 (基準点) からの観測データを、ネットワークを通して計算機に集めることにより、各計測点と基準点との間の相対的な三次元座標 (基線ベクトル) をリアルタイムに求め、表示するシステムである。位置の測量法は、相対測位方式¹⁾による。

2. 1 システムの構成

本システムは、図 2 に示すとおり、a) 受信部、b) 通信部、c) 処理部からなる。

a) 受信部 GPS 衛星からの電波 L1 を受信する 1 周波型の 8 チャンネル GPS 受信機ならびにアンテナからなる。各計測点に使用するものと、基準点に使用するものはまったく同一である。

各 GPS 受信機は、各 GPS 衛星毎の搬送波位相の積算値 (キャリアフェーズ) ならびに軌道情報 (航法メッセージ) のデータを出力する。

一般に基線長が 10 km を超えるようなときには、L1 に加え、L2 の電波も受信する 2 周波型の受信機を使用するほうが精度が良いことが知られているが、岩盤変位測定においては、基線長が 10 km を超えるようなことはほとんどないと考えられるため、ここではコストのより低い 1 周波型の受信機を使用した。

b) 通信部 中継器、通信 I/F、ならびにケーブルからなり、受信部からの観測データを処理部へ送る通信を行なう。

通信においては、無線の利用も考えられるが、今回製作した実験機ではつぎの 2 つの理由により、多芯ケーブルを用いた有線の通信を採用した。

1) 24 時間継続して計測を行なうためには、各 GPS 受信機が連続して動作するための電源を確保しなければならない。そのために、本システムでは、各 GPS 受信機の電源を中継器あるいは通信 I/F よりケーブルを通して供給することとしたため。

2) 特定小電力あるいは微弱といった無線通信では、その到達距離に不安があり、また、出力の大きい無線通信は電波法により簡便には利用できないため。

c) 処理部 各計測点間の基線ベクトルを求める計算機と、表示を行なう計算機から構成される。基線ベクトルを求める計算は、速度を要求されるため、CPU が 486/25MHz の PC を使用した。また、表示には Microsoft 社の WindowsTM を利用した。

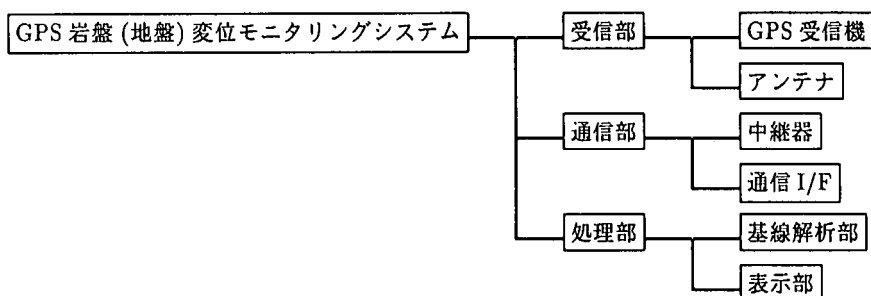


図 2: システム構成

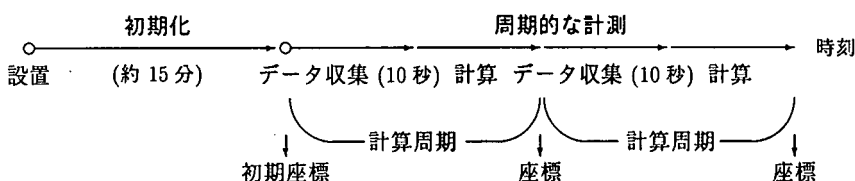


図 3: 動作概要

2. 2 動作説明

本システムの動作は、図 3 に示すとおり、大きく「初期化」と「周期的な計測」の 2 つのフェーズに分けられる。

初期化 比較的長時間の観測により、整数値バイアス (ambiguity)¹⁾ を決定し、各計測点の座標を求める。ここで求められた各計測点の座標を初期座標という。初期化にかかる時間はおよそ 15 分間である。

周期的な計測 短時間の観測データの収集と、各計測点の座標を求める計算を繰り返し実行する。これにより、適当な計算周期で各計測点の座標が得られる。これらの座標の変化を捉えることにより、斜面などの変位を監視することができる。

各計測点の座標を求める周期は、データ収集に必要な時間と、座標を求める計算時間により決定される。本システムでは、データ収集の時間は 10 秒としている。また、計測点の座標を一つ求める計算にかかる時間はおよそ 2 秒となった。

このように、観測点の座標を得るには、10～20 秒を要すが、これは精度を確保するため、データ収集にある程度の時間をかけているためである。しかし、この程度の所要時間は、地盤計測にとってはリアルタイムと呼んでよいと思われる。

3 基礎実験

3. 1 実験の目的と場所

基本的な動作ならびに精度の確認のために行なったいくつかの実験のうち、2 つの基礎実験の結果を示す。一つは、アンテナを静止させた状態で計測を行ない、測定値のばらつきを確認したもの (実験 1)、もう一つは、計測中にアンテナを移動させ、それに対する測定値の変化を確認したもの (実験 2) である。

実験 1 は 1994 年 5 月 31 日 9:45～11:30 JST (日本標準時) に、実験 2 は 1994 年 6 月 21 日 10:00～11:40 JST に、とも同じ場所 (兵庫県三木市内の上空の開けた平地) で行なった。

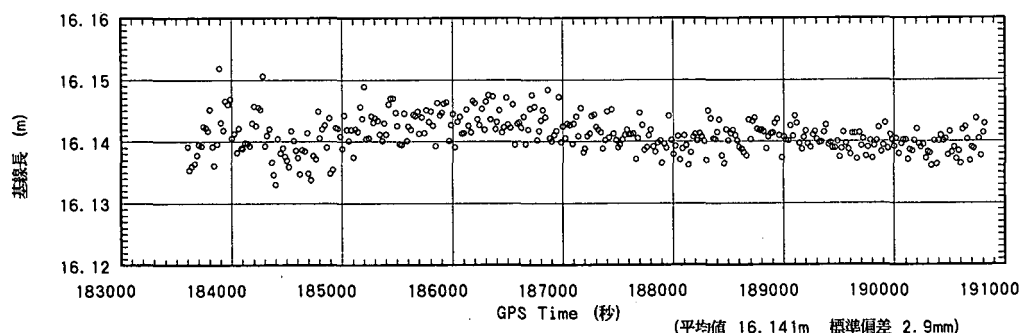


図 4: 基線長の測定結果 (実験 1)

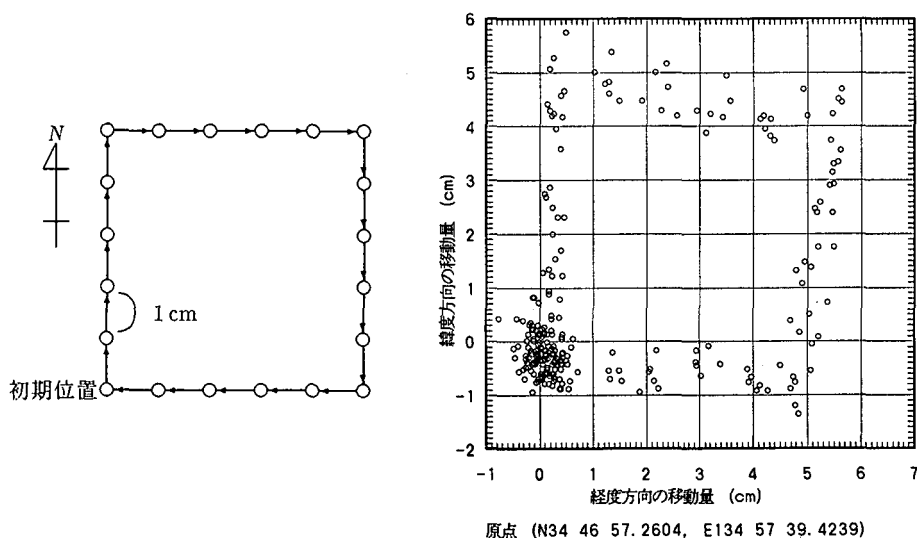


図 5: アンテナの軌跡と測定結果 (実験 2)

3. 2 実験項目と手順

実験 1: アンテナを静止させた状態での計測 2 台の GPS 受信機をおよそ 16.14 m の距離をおいて置き、一つを基準点、他方を計測点とした。双方のアンテナは固定したまま計測を行なった。基線長を 20 秒毎に求めた結果を図 4 に示す。

実験 2: アンテナを移動させての計測 2 台の GPS 受信機をおよそ 23.08 m の距離をおいて置き、一つを基準点、他方を計測点とした。計測点のアンテナを、水平面上を一边 5 cm の正方形を描くように移動させながら測定を行なった。移動は、2 分間の静止の後、1 cm 移動させることを繰り返した。アンテナの移動のようすと、その座標を 20 秒毎に求めた結果を図 5 に示す。

また、アンテナを 1 cm 移動させる前後において、求められた座標の間の距離の度数分布を図 6 に示す。

3. 3 実験結果

実験 1 では、およそ 2 時間で 360 点の測定値が得られ、それらの標準偏差は、基線長 (基準点と計測点間の距離) に対して 2.9 mm、緯度に対して 2.9 mm、経度に対して 1.7 mm、および高さに対して 5.0 mm であった。

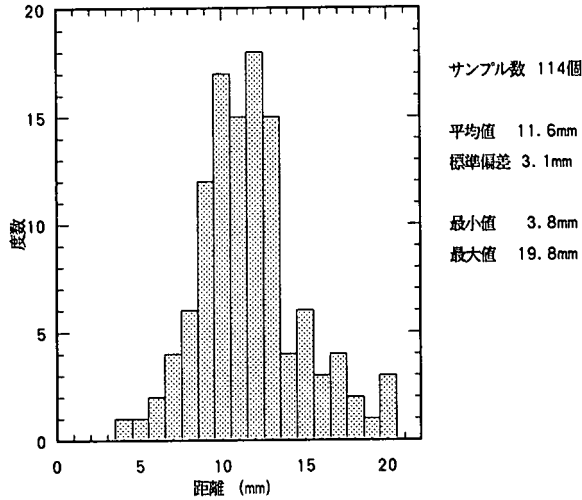


図 6: アンテナを 1cm 移動させる前後の座標の間の距離の度数分布

実験 2 では、アンテナの動きをよく再現した測定結果が得られた。また、おおむね 1cm を越えるアンテナの動きは十分に捉えられることがわかった。この精度は、従来のスタティックおよびキネマティック方式で得た結果³⁾と同等である。

4 むすび

本研究により、複数の GPS 受信機と計算機をネットワークにより接続することで、1cm 程度の精度で変位をリアルタイム (約 20 秒周期) に測定できる可能性が示された。また、システムを一度設置すれば、その後は自動で計測を行なうことができるので、長大斜面や長大残壁などの岩盤の変位挙動の監視に使用できるものと思われる。

今後の課題としては、実際に応用される場合に想定される数 100m をこえるの基線長での精度の確認、現在有線で行なっている通信の無線化、および、網平均による各測定点の位置の処理、などが挙げられる。

参考文献

- 1) 土屋淳, 今給黎哲郎, “GPS 測量と基線解析の手引”, (社) 日本測量協会, 1992.
- 2) 清水則一, 桜井春輔, 皿海章雄, 古谷茂也, “GPS (人工衛星測量システム) による長大斜面の変位モニタリング”, 第 24 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 440-444, 1992.
- 3) 桜井春輔, 清水則一, 古谷茂也, 皿海章雄, “GPS による切取斜面の変位測定”, 土木学会論文集, No.475/III-24:137-142, 1993.
- 4) Peter Griffioen, Timo Allison, Scott Dreier, “Real Time Kinematic: The Next Surveying Tool”, Proceedings of the 1993 ION Technical Meeting, 1993.1.