

GPSによる地盤変位の自動多点観測システムの開発

松村真一郎¹・桜井春輔²・西垣好彦³・川嶋幾夫⁴

¹正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 岩盤工学センター
(〒636 奈良県生駒郡三郷町立野南3-12-21)

²正会員 工博, Ph. D. 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)

³正会員 理博 基礎地盤コンサルタンツ株式会社 岩盤工学センター所長
(1に同じ)

⁴正会員 工博 陸上自衛隊施設学校研究部 (〒312 茨城県ひたちなか市勝倉3433)

GPS(Global Positioning System)を用いて測点間の3次元相対座標を求める場合、それぞれの測点にアンテナと受信機を設置する必要があった。一方、地盤構造物の施工管理における変位測定では、地盤の地質・風化程度・亀裂の密集度等の局所性から、測定域全体をカバーするように測点を設置する必要がある。そこで、それぞれの測点に据えたアンテナを順次切り替えながら1台の受信機で受信できる自動多点観測システムを開発した。このシステムは電話回線を介した遠隔操作により、アンテナ切り替え、測定の実行およびデータの回収ができる。

Key Words : *global positioning system, static positioning, multi-point positioning*

1. はじめに

近年、大規模な地盤構造物が建設されるようになり、工事対象となる地盤エリアが拡大している。施工時や完成後の地盤挙動の把握は変位測定が一般的であるが、工事規模が大きいほど、広範囲な測定をしなければならない。しかし、一般に地盤の地質、風化程度、亀裂の密集度合いは測定域で一様ではなく、局所的に異なるのが普通である。ところが、従来の地中変位計、傾斜計あるいは伸縮計を用いた計測は局所的な地盤変動は把握できるが、地盤全体の挙動の把握には不十分であることは否めない。さらに、立ち入りが困難な現場、あるいは常時観測が必要な現場においては、測定の自動化が必要である。

最近、土工工事での出来形や地盤変位の測定にトータルステーション^{1),2)}やGPS(Global Positioning System)^{3),4),5)}が用いられるようになってきた。これらは従来の変位測定法に比べ広範囲な測定が可能であること、測点の設置が容易であるため迅速に測定できる等の利点がある。ところで、これらの測定機器を用いた自動測定となると、たとえば川崎ら⁶⁾は測点ターゲットを自動追尾するトータルステーションを用いて測定の自動化を実現している。GPSでは、タイマー測定機能のある受信機を用いれば自動測定は可能

であるが、測点ごとにアンテナと受信機を設置しなければならない、実用性は乏しかった。

GPSの受信システムで受信機がアンテナに比べてはるかに高価であるため、1台の受信機で複数の測点の測定ができれば、安価なシステムが構築できる。本研究では、複数の測点に設置したアンテナを順次切り替えて1台の受信機に接続する装置『アンテナ切替器』を開発した。次にこの装置を使い、測定域内の複数の測点と測定域外の基準点との間の3次元相対座標を、2台の受信機で測定するシステムを開発した。さらに、電話回線を介した遠隔操作により、測定、データ回収および測点の切り替えを行う常時観測システムを開発した。

2. 従来の自動測定の方法

従来のGPSの受信システムは、図-1のように基準点と各測点にアンテナと受信機を1組づつ設置した構成である。測定方式は、搬送波(人工衛星から送られてくる電波)の位相を利用して相対座標を高精度で求める干渉測位法のうち、精度の高いスタティック測量方式である。この方式で測定する場合、測点ごとに搬送波を60~90分以上連続受信し、その受信データを用いてパソコン等で基線解析を行い、基準点に対

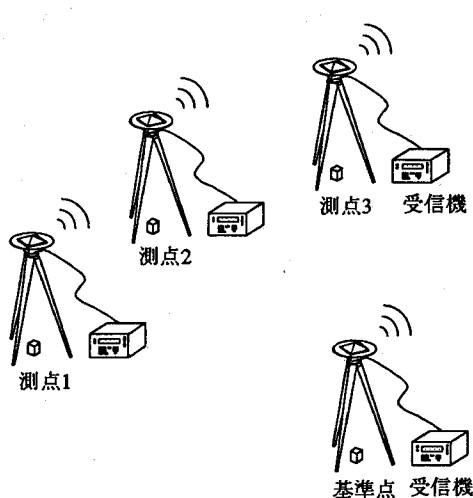


図-1 従来の受信システムの構成

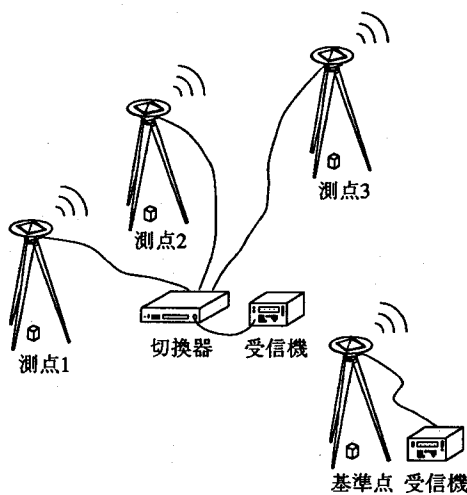


図-3 新しい受信システムの構成

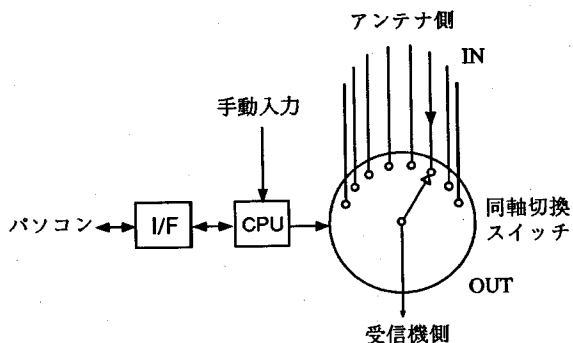


図-2 アンテナ切替器のブロック図

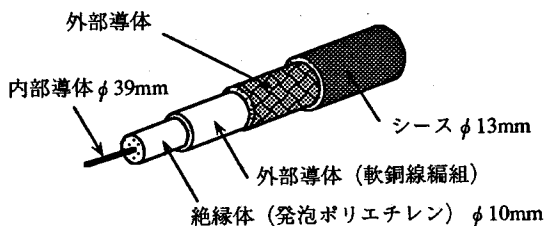


図-4 超低損失ケーブル

する相対座標を求める。このとき、受信機に内蔵されているタイマーを用いれば自動測定は可能であるが、常時観測では高価な受信機を測点ごとに設置しなければならず、測定システムが高価になる。

3. アンテナ切替器の開発

GPSの受信システムのうち、受信機がアンテナに比べ高価であるため、受信機を効率的に利用すれば経済的なシステムが構築できる。すなわち、測点にあらかじめアンテナのみを設置し、それに接続したケーブルを順次切り替えて受信機に接続することができれば、1台の受信機で複数の測点の測定が可能になる。

そこで、各測点に設置したアンテナを順次切り替えて1台の受信機に接続するアンテナ切替器（以下、切替器と略す）を開発した（特許出願中）。図-2にブ

ロック図を示す。切替器はDC~18GHz帯の搬送波の切り替えを行う同軸切替スイッチを中核とし、これを制御するCPU、切替信号の入出力を行うRS232Cインターフェース(I/F)、および電源部からなる。本装置は各チャンネルごとに接続時間(10, 20, 30, 60, 90, 120分)の設定と変更を手動入力できる他、同じ操作をパソコン(PC)から制御できるようにしている。

図-3は切替器を含めた新しい受信システムの構成である。切替器は受信機1台に対し最大8台までアンテナを接続できる仕様としたが、それ以上のアンテナの接続は切替器を増設し、これらをRS232Cインターフェースで連結する。また、アンテナ~切替器間のケーブルは伝送距離が長くなるため、図-4に示す減衰の小さい超低損失ケーブルを用いた。ケーブルの減衰特性は図-5に示すように、標準ケーブル(10D-2V)に比較し、約3倍程度減衰が小さい。

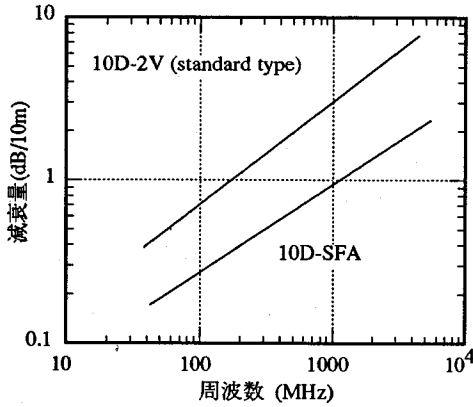


図-5 ケーブルの減衰特性⁷⁾

4. 検証

本システムではアンテナと受信機の間切替器を組み込むため、搬送波の切り替え時の損失、およびアンテナから切替器まで伝送距離が伸びることによる搬送波の減衰を検証しておく必要がある。

そこで、搬送波の減衰をS/N比(ノイズ振幅に対する信号振幅の比)をもとに比較するため、図-6に示す2つのシステムで実験した。TYPE-1は受信機とアンテナを標準ケーブル(0.2m)で接続した従来の受信システムであり、TYPE-2はそれに切替器を組み込んだシステムである。実験は受信時のS/N比に及ぼすケーブル長の影響を調べるため、TYPE-1では通常の受信を、TYPE-2ではアンテナ~切替器間の超低損失ケーブル(1, 10, 30, 60, 100, 150m)を順次付け替えて受信した。なお、S/N比は衛星の移動による受信仰角の変化によっても変動する。そのため、ケーブルの付け替えをできるだけ迅速に行い、かつ、全ケーブルの付け替え前後でS/N比が変わらないことを、並行して測定しているTYPE-1でのS/N比で確認した。したがって、衛星移動によるS/N比の変化は無視できると考えてよい。

図-7はS/N比とケーブル長との関係である。図より、ケーブル長30mまではS/N比の低下は小さい。また、TYPE-1(0.2m)とTYPE-2(1.2m)を比較すると、S/N比に差がないことがわかる。これは、切替器を組み込んだことによる減衰は無視できることを意味している。ケーブルの延伸によるS/N比の低下は、ケーブル長100mまでは7割程度、150mでは4割程度となる。

図-8はケーブル長をパラメータとしたときの受信仰角とS/N比の関係である。図より、受信仰角が

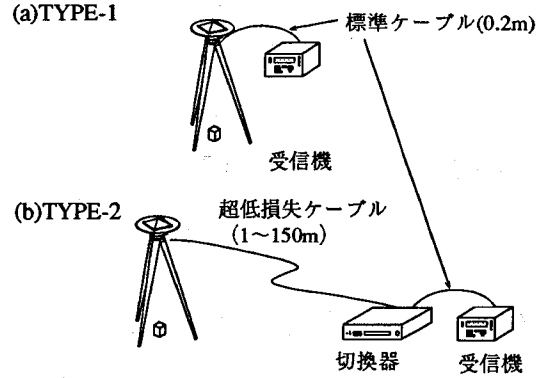


図-6 実験ケース

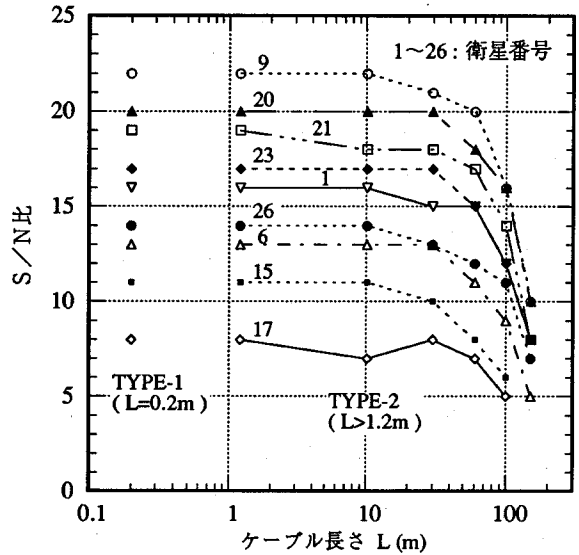


図-7 ケーブル延伸によるS/N比の低下

小さくなるに従い、S/N比は徐々に低下する。たとえば受信仰角 80° から 30° の変化では、S/N比はケーブル長に関係なくTYPE-1を含め55%~60%低下する。すなわち、S/N比の低下割合は受信仰角のみによって決まり、ケーブル長に無関係である。一方、ケーブル150mで受信可能な仰角は図-8より 25° 以上であるのに対し、100mでは 15° 以上である。受信機メーカーが推奨している良好な測定を行うための受信仰角は 15° 以上であることを考えると、実用的には、ケーブルは100m以内のものを用いればよいであろう。

次に切替器を用いた多点測定を行い、従来の測定法

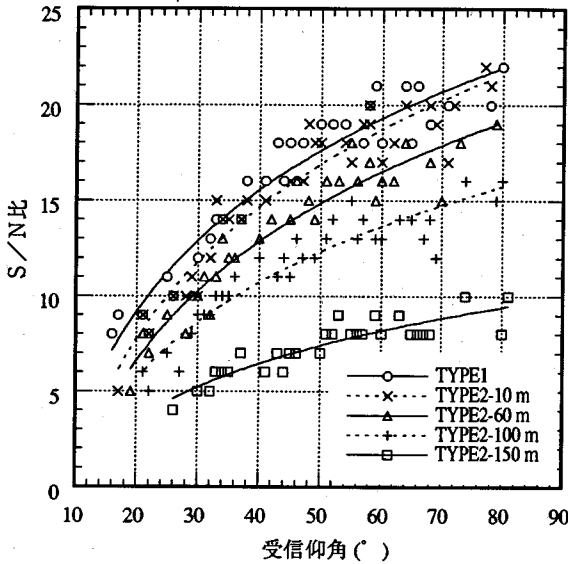


図-8 受信仰角とS/N比の関係

と比較した。図-9に示す平地部(神戸大学工学部屋上1994年11月測定)に7台のアンテナを設置し、基準点では1台の受信機で連続測定を行い、測点No.1~6のアンテナはそれぞれ切替器に接続し、アンテナを自動切替しながら1台の受信機で受信した。受信時間はそれぞれ120分とし、座標基準点に対する各測点の相対座標をスタティック測量方式で求めた。また多点測定の翌日に、基準点側はそのまま、測点側は1組のアンテナと受信機を各測点に移動しながら測定する従来測定を実施した。受信時間は多点測定と同じ120分とした。表-1に測定結果を示す。表より、従来測定と多点測定の差はいずれも5mm以内であり、また標準偏差も同程度であることから、切替器を用いた測定は従来測定と同等の結果を与えることがわかる。

5. 自動多点観測システム

開発した切替器と2台の受信機で構成される多点計測システムを遠隔操作でコントロールできれば、常時観測が可能になる。そこで、図-3のシステム構成に電話モデムと電話回線切替器を追加し、図-10に示す自動多点観測システムを開発した。表-2にシステムの仕様を示す。

測定方法はスタティック測量方式であり、測点側のアンテナを切り替えながら、既知点A(固定点)に対

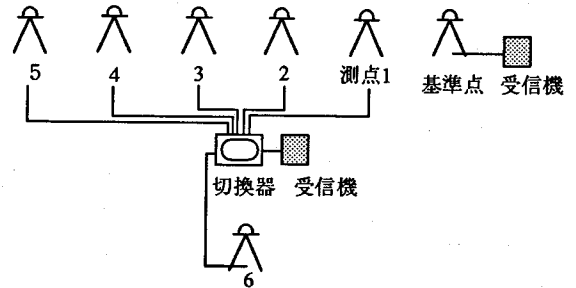


図-9 測定実験

表-1 測定結果

測定方法	測点	観測時間帯	基準点との斜距離(m)	標準偏差(m)	従来測定との差(m)
従来測定	1	9:00-11:00	9.261	0.00006	-
	2	11:10-13:10	18.498	0.00006	-
	3	13:20-15:20	27.717	0.00009	-
	4	15:30-17:30	36.930	0.00011	-
	5	17:40-19:40	46.137	0.00006	-
	6	19:50-21:50	24.491	0.00010	-
多点測定	1	8:00-10:00	9.266	0.00007	0.005
	2	10:00-12:00	18.501	0.00009	0.003
	3	12:00-14:00	27.719	0.00009	0.002
	4	14:00-16:00	36.930	0.00009	0
	5	16:00-18:00	46.139	0.00007	0.002
	6	18:00-20:00	24.494	0.00013	0.003

表-2 システム仕様

構成	諸元
GPS受信機	トリプルナビゲーション 1周波型2台
GPSアンテナ	トリプルナビゲーション コンパクトL1/L2アンテナ
超低損失ケーブル	10D-SFA, 50Ω
アンテナ切替器	DC~18GHz 同軸切替 特許出願中
電話回線切替器	1:2自動切替
電話モデム	自動着信4台
パソコン	IBM PC/AT 互換機
信号ケーブル	RS232C ケーブル
アンテナ切替ソフト	常時観測用
基線解析ソフト	トリプルナビゲーション GPSurvey

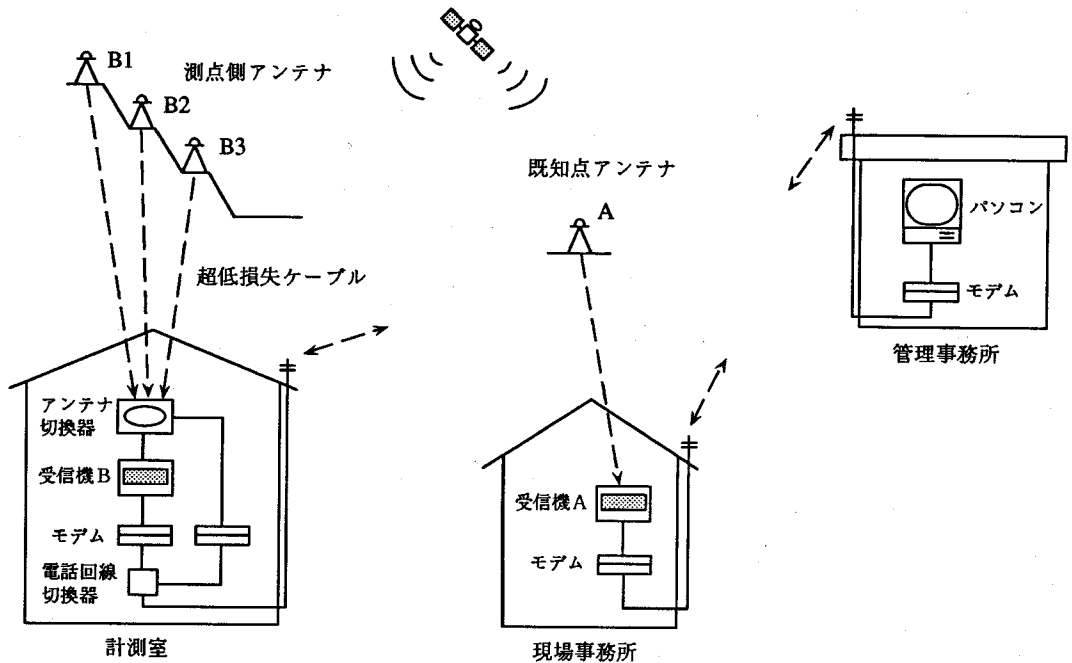


図-10 自動多点観測システム

する各測点 B_1 , B_2 , B_3 ...の相対座標を順次測定する。切替器へのアンテナ接続時間の送信、受信機への測定開始と終了、およびデータダウンロードは、電話回線を通じて遠隔の管理事務所に設置した1台のパソコンで制御できるようにした。なお、本システムでカバーできる測定域はケーブル長を最大100m延伸すると、平地部で約30000 m^2 程度である。

6. まとめ

地盤変位測定にGPSを用いる場合、高価な受信機を各測点ごとに1台設置する常時観測は実務上不可能であった。そこで、今回受信機2台（基準点側1台と測点側1台）で自動多点観測が可能なシステムを開発した。開発したシステムは次のような特徴がある。

- (1) 多点観測が受信機2台で済むため、測点の数だけアンテナが必要であるが、全体の経費は数分の1になる。
- (2) 遠隔操作による本格的な常時観測が可能である。
- (3) 超低損失ケーブルを用いればアンテナ～受信機間は100m程度の延伸が可能であり、本システムにおける測定域は平地部であれば30000 m^2 程度は確保できる。
- (4) GPS連続観測点⁸⁾を既知点とすれば、本システムは受信機1台で多点観測が可能になる。

くに貴重な助言を頂いた。また、測定においては神戸大学工学部岩盤工学研究室の学生諸氏の協力を得た。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 西尾宗雄他: トンネル坑口部における地すべり挙動解析に関する研究(第1報), 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集VI, pp. 260-261, 1992.
- 2) 日本測量協会編著: 新三次元トンネル・地表面計測システム, 測量, vol. 42, No. 6, pp. 40-47, 1992.
- 3) 佐田達典: 建設工事におけるGPS測量の課題と改善測量, vol. 42, No. 5, pp. 60-63, 1992.
- 4) 藤岡晃, 菊田勝之, 清水則一, 桜井春輔: GPS測量を用いた土工事の出来形測定システムの開発, 土木学会論文集, No. 468/VI-19, pp. 31-38, 1993.
- 5) 桜井春輔, 清水則一, 血海章雄, 古谷茂也: GPSによる切り斜面の変位測定, 土木学会論文集, No. 475/III-24, pp. 137-142, 1993.
- 6) 川崎廣貴, 和田孝史, 久保正顕: 斜面崩壊予知システム, (SLOFFシステム), 測量, vol. 45, No. 10, pp. 32-35, 1995.
- 7) 日本測地学会編著: 新訂版GPS-人工衛星による精密測位システム, (社)日本測量協会, p. 114, 1989.
- 8) 鎌田高造: 国土地理院の全国GPS連続観測システム, 測量, vol. 44, No. 9, pp. 62-66, 1994.

謝辞: 切替器の製作にあたっては(株)アカサカテツ

(1995. 11. 27 受付)

DEVELOPMENT OF A MULTI-SURVEYING SYSTEM USING GPS FOR THE MEASUREMENT OF GROUND DISPLACEMENTS

Shin-ichiro MATSUMURA , Syunsuke SAKURAI ,
Yoshihiko NISHIGAKI and Ikuo KAWASHIMA

The Global Positioning System(GPS), which recently has taken rapid strides, is able to identify the position of a measuring point in 3-dimensional coordinates very accurately, and can be applied to displacement measurements in various types of geotechnical engineering projects, such as landslides, high cut slopes and subsidence due to underground excavation. However, in practice, it is hard to build an on-line surveying network system with many measurement points, because GPS receivers must be used at each measurement point, and as a result, the total cost to build the system becomes very high. In this paper, a new on-line surveying system is introduced. The system has been developed in such a way that several GPS antennas are connected with a GPS receiver through a switch box, and the application of a new surveying system including this apparatus is discussed.