

(90) 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

神戸大学工学部 ○清水則一, 桜井春輔, 皿海章雄, 古谷茂也

Displacement Measurements of a High Cut Slope by Means of the Global Positioning System (GPS)

Norikazu SHIMIZU, Shunsuke SAKURAI,
Akio SARAGAI and Shigeya HURUTANI

Abstract

The Global Positioning System (GPS) is an innovative surveying system using artificial satellites. In regards to geotechnical engineering problems, GPS has the potential to measure ground displacements. In this paper, a practical application of GPS survey for monitoring displacements of a high cut slope are discussed.

The GPS surveying technique was applied to measure displacements while cutting a slope. The slope is composed of highly weathered sandstone and slate. It's height and width are about 120m and 200m, respectively. Two bench marks were set 600-700m away from the slope. Ten measuring points were set on the slope.

In order to verify the accuracy of the GPS displacement measurement, the total station (electronic tacheometer) surveying was also conducted. The differences of displacements obtained by both GPS and total station surveying were within about 10-20 mm in three dimensional coordinates. These results show that GPS is available for monitoring displacements of cut slopes.

1. はじめに

GPS (Global Positioning System)¹⁾⁻³⁾は, 人工衛星を用いる新しい高精度三次元測量手法であり, 測地測量学や地球物理学の分野では比較的早くから注目されている. 土木測量への応用に関しては, ASCEの Journal of Surveying Engineeringにおいて, すでに三度の特集が組まれており⁴⁾, わが国においても, 最近, 国土地理院が工事用GPS測量の作業要領を取りまとめるに至っている⁵⁾. 筆者らは, 広大な領域における岩盤(地盤)の変位計測にGPSの利用が有効ではないかと考えて, その精度や実用性について調査している⁶⁾⁻¹¹⁾. その結果, 人工衛星からの電波の受信を妨げるものがない理想的な観測環境のもとでは, GPS測量によって10mm程度の精度で変位を計測できることを実験的に明らかにしている. 本報告は, 次の研究段階として, GPS測量による変位計測の実用上の精度を調べるために, 工事中の長大斜面において実施した計測結果について取りまとめるものである.

2. 長大切取斜面の変位計測

(1) 計測方法

図一1に対象とする斜面の平面図と計測点(杭を打設)の位置を示す. 斜面の高さは約120m, 勾配は1:1~1.5である. 本研究ではGPS測量の相対測位法のうち, スタティック測量法を用いる. すなわち, 一組の計測点につき約60~180分間アンテナを固定して人工衛星からの電波を受信し, その後, 受信データを解析して計測点間の相対的な三次元座標を求める. 以下に変位計測の具体的な手順を示す.

- 1) 斜面から十分離れた不動と見なせる位置に基準点AおよびBを設ける。
- 2) 基準点AおよびBと斜面上の計測点にアンテナを据えて、各点において同時に人工衛星からの電波を受信する。本計測においては、5台の受信機を用いており、2台を基準点AおよびBにそれぞれ固定し、他の3台を斜面上の計測点に60～180分間据える。一組の計測点について観測終了後、斜面上の受信機を次々に他の計測点へ移動させて、全ての点について観測する。そして、各計測点を2～3度づつ観測する。
- 3) 受信データを解析して斜面上の計測点の座標を求める。得られる計測点の座標は、点AおよびBを基準とした相対座標である。
- 4) 基準点Aを座標原点とし、まず基準点Bの座標を求める。次に、計測点について両基準点からの相対座標の平均をとり、計測点の座標を確定する。
- 5) 工事の進行に従って、1)～4)の手順を繰り返して各時点における計測点の座標を確定し、経時的に座標の差をとり計測点の変位を求める。

計測に用いたGPS受信機の仕様を表-1に示す。また、受信データの解析には、TRIMVEC PLUS(Rev.D1)を用いた¹²⁾。

・1～10は斜面上の計測点

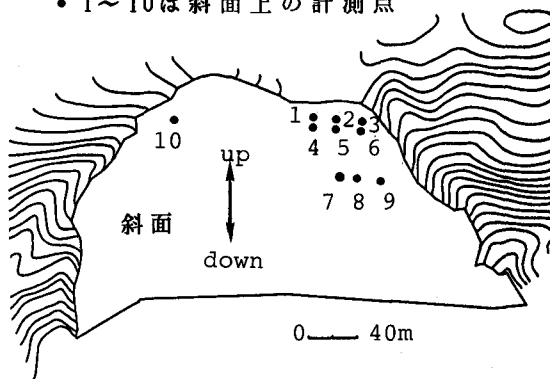


表-1 GPS受信機の仕様

名 称	Geodetic Surveyor I (4000SST)
メーカ	Trimble Navigation Ltd., US
受信波	L1 C/A コードおよび搬送波
精 度	1cm+2ppm×基線長(km) (水平方向) 2cm+2ppm×基線長(km) (鉛直方向)
寸 法	30cm(W)×35cm(D)×13cm(H)
重 量	7.2kg (本体)
アンテナ	Geodetic L1

図-1 斜面の平面図および計測点位置

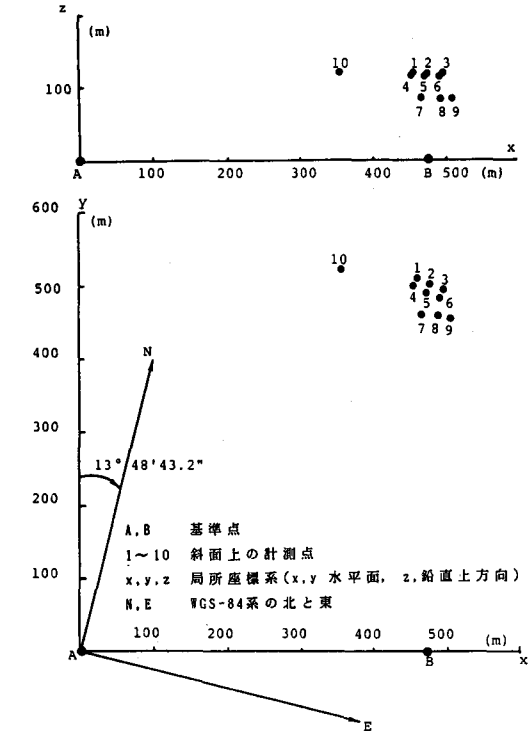
(2) 計測点座標の精度

GPS測量によって得た計測点の座標の精度を調べるために、トータルステーション(表-2:以下TSと略す)による測量を行い、両測量結果を比較する。なお、本研究で用いたTSは一級経緯儀であり、基線長1km程度の場合、数mmの精度で計測点の座標を求めることができる。

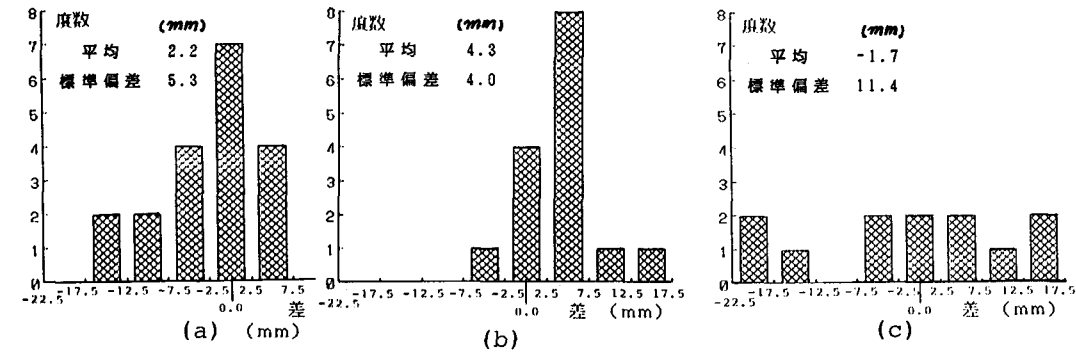
GPS測量によって得られる計測点の座標は、地球中心を原点としたWGS-84(図-2)と呼ばれる座標系に基づいている。一方、TSによる従来測量の結果は、平面直交座標系などの地上の局所座標系で表されるため、両測量の結果を直接比較することはできない。そこで、筆者らはGPS座標を現場において設定した任意の座標系に変換する方法を提案した^{9), 10)}。それは、三つの観測点に対するGPS測量による座標と、それらの点の比高(高低差)を用いて、WGS-84座標を地上の任意の直交座標に変換する座標変換マトリックスを求めるものである。ここではその方法を用いて、GPS測量結果とTS測量結果の比較を行う。

GPS測量は1～2カ月間隔で計4回行った。図-3に、一回目のGPS測量結果について、基準点A, Bおよび計測点2を用いて、先述の座標変換を行った結果を示す。図-3に示すTS測量の座標系xyzは、基準点のAからBに向かう方向をx軸に、鉛直上向き方向をz軸に取った直交座標系である。また、図中、EおよびNはWGS-84系における東および北方向を意味する。次に、座標変換したGPS測量結果とTS測量結果の差を求め、その分布を図-4に示す。図-4には、のべ19計測点の結果が含まれている。この図から、両測量結果の差は平面座標(x, y)については概ね10mm以下であり、鉛直座標zについては20mm以下となることがわかる。

したがって、実際の工事環境においてもGPS測量によって、TS測量と10～20mm以内の差で座標を求めることが示された。



図－３ 基準点および計測点の座標 (GPS測量結果)



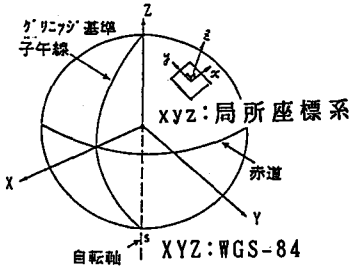
図－４ GPS測量結果とTS測量結果の差(x,y,z座標);(a)x座標 (b)y座標 (c)z座標

(3) 測定変位の精度

表－３に、２回目と１回目の測量結果から求めた計測点の変位について、GPSおよびTS測量の結果を比較して示す。この測量においては、両測量法の差は概ね10mm以内であることが分かる。３回目および４回目の測量についても同様の結果を得ている。図－５に計４回の測量から求めた変位について、GPS測量とTS測量の結果の差の分布を示す。両測量法による変位の差は、x,y方向については約10mm、鉛直方向については10～20mm程度である。一方、筆者らはTS測量による変位計測の精度は数mm以内であることを明らかにしている¹³⁾。以上の結果を総合するとGPS測量によって、地盤の変位を実際の工事環境においても10～

表－２ トータルステーションの仕様

名 称	ニコンDTM-1
測距精度	5mm+5ppm×基線長(km)
測距最小表示	1mm
測角最小表示	1"
平盤気泡管感度	30"/2mm



図－２ GPS座標系 (WGS-84) と局所座標系

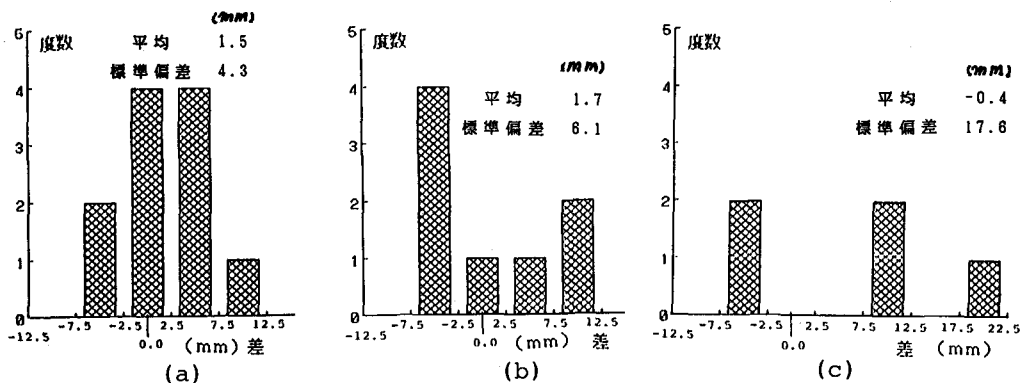


図-5 GPS測量結果とTS測量結果の差(変位の三次元成分);(a)x成分 (b)y成分 (c)z成分

表-3 GPS測量とTS測量による計測変位

(1~2回目の測量結果に基づく)

測点		GPS	TS	差(GPS-TS)
B	dx(m)	0.001	-0.001	0.002
	dy(m)	0.000	0.000	-
	dz(m)	0.004	0.004	-
	dL(m)	0.001	-0.001	0.002
2	dx(m)	-0.014	-0.014	0.000
	dy(m)	-0.027	-0.038	0.011
	dz(m)	-0.033	-0.033	-
	dL(m)	-0.034	-0.042	0.008
8	dx(m)	-0.026	-0.025	-0.001
	dy(m)	-0.162	-0.168	0.006
	dz(m)	-0.089	-0.085	-0.003
	dL(m)	-0.135	-0.138	0.003
10	dx(m)	0.006	0.005	0.001
	dy(m)	0.007	-0.003	0.010
	dz(m)	-0.002	-0.014	0.012
	dL(m)	0.009	-0.004	0.013

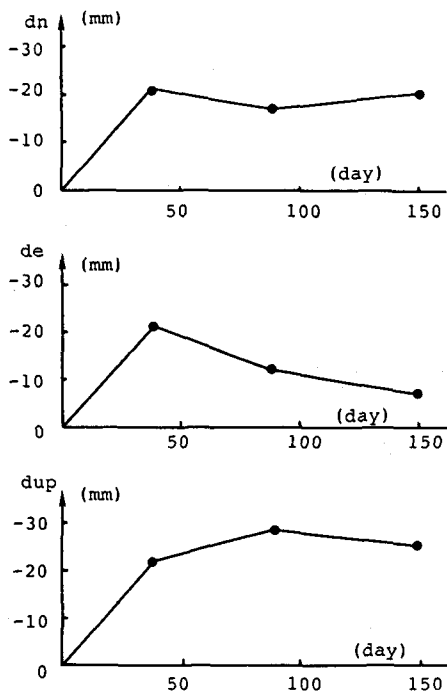


図-7 GPS測量による変位の推移
(計測点5)

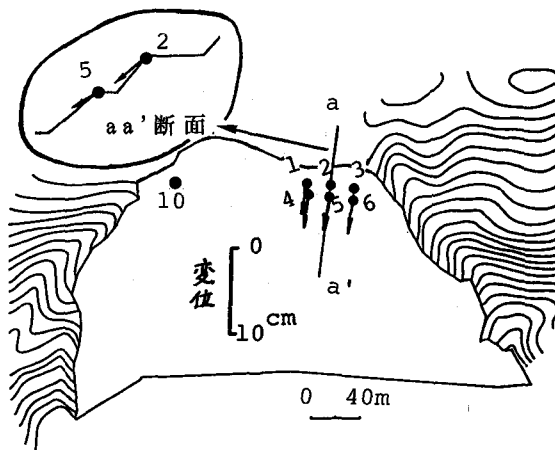


図-6 GPS測量による斜面の変位ベクトル
(1~2回目の測量結果に基づく)

20mm程度の精度で計測できると判断される。なお、参考のために、図一6に1～2回目のGPS測量によって得た計測点の変位ベクトルを、また、図一7には計測点5の変位（図中dn, de, dupはWGS-84系における北、東および楕円体高さ方向の変位を意味する）の推移を一例として示す。

3. むすび

本研究で得た知見をとりまとめる。

(1) 本研究では、実際の工事におけるGPS測量による変位計測の精度を調査する目的で、掘削中の斜面においてGPS測量を実施した。その結果、斜面上の計測点の変位はトータルステーション測量による結果と水平方向では10mm以内、鉛直方向では20mm以内の差で測定できることが分かった。

(2) したがって、長大斜面のように10mm程度の精度で計測することに意味のある場合、GPS測量による変位計測は実務でも十分に利用できることが明らかとなった。

謝辞

本研究に関し御援助頂いている（財）建設工学研究所に、また、GPS測量実施に御協力頂いた株式会社技術研究所および神戸大学大学院生川嶋幾夫君に感謝します。さらに、現場で御便宜を図って下さった関係者各位に感謝します。

参考文献

- 1) 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，1989.
- 2) Wells, D.(ed.): Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates, 1986.
- 3) A. Leick: GPS, Satellite Surveying, John Wiley & Sons, 1990.
- 4) Journal of Surveying Engineering, ASCE, Vol.114, No.4, 1988, Vol.115, No.1 & 2, 1989.
- 5) 建設省国土地理院：工事用GPS測量作業要領（案），平成3年3月。
- 6) 桜井春輔，清水則一：GPS（汎地球測位システム）の地盤変位計測への応用，土と基礎，38-4(387)，pp.65-72, 1990.
- 7) 桜井春輔，清水則一：人工衛星による精密測位システム（GPS）の岩盤変位測定への応用，第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.41-45, 1991.
- 8) 桜井春輔，清水則一：人工衛星を用いた精密測量システム（GPS）による三次元変位測定実験，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，IV-46, 1991.
- 9) 桜井春輔，清水則一：岩盤変位測定におけるGPS（人工衛星測量システム）の利用の可能性について，第12回西日本岩盤工学シンポジウム，pp.73-78, 1991.
- 10) 清水則一，桜井春輔，川嶋幾夫：GPSにおけるWGS-84の地上直交座標系への変換方法について，土木学会第46回年次学術講演会，IV部門，1991.
- 11) 桜井春輔，清水則一，皿海章雄，古谷茂也，川嶋幾夫：GPS測量による観測点座標および測定変位の精度について－短い基線に対する測量結果－，建設工学研究所報告，第33号（印刷中）。
- 12) TRIMVEC-PLUS GPS Survey Software User's Manual and Technical Reference Guide, Revision D1, Trimble Navigation Ltd., 1991.
- 13) 桜井春輔，岡野兼夫，清水則一，北村元：トータルステーションを用いた地盤変位計測手法の開発，建設工学研究所報告，第32号，pp.1-20, 1990