

人工衛星を用いた精密測位システム (GPS) による三次元変位測定実験

神戸大学工学部 正 桜井春輔 正〇清水則一

1. はじめに

GPS - Global Positioning System - は、人工衛星を用いる長基線高精度三次元電波測量システムである。このシステムを用いて地表面、斜面、構造物などの観測点位置を連続的に測定すれば、大規模工事における地盤あるいは巨大構造物の変位挙動が三次元的に測定でき、施工管理や安全性の評価に利用できると考えられる。筆者らはそのようなGPSの応用の可能性に注目している^{1), 2)}。ところが、わが国においては、上述のような土木工学上の問題に対して、GPSを利用する研究例はほとんどなく、実際にどの程度の精度で測定ができるかは十分に明らかにされていない。一方、GPSで用いる座標系は地球を中心とした直交座標系 (図-1 参照) あるいはWGS-84 (準拠楕円体) 系であり、実用上は通常の工事等で用いる現場の局所座標系に変換する必要がある。しかしながら、筆者の知る限りではそのような変換方法は提案されていないようである。そこで本報告では、GPS座標を現場の局所座標系に変換する方法を概説し、GPSによる変位測定実験結果にその変換方法を適用し、測定変位の三次元成分を求める。

2. GPS座標系から局所座標系への変換方法

土木工事の現場で用いられる通常の座標系は、各現場の水平面を基準とした直交座標系である。したがって、GPS座標系を現場の局所座標系に変換しなければ、GPS測量の成果を直接利用することは難しい。筆者は、3点の観測点のGPS座標と観測各点のレベル測量による比高を用いて、GPS座標を局所座標に変換する方法を考案した。その基本的な考え方は、観測点 (A0, A1, A2) の一点A0に原点を平行移動したGPS座標系のX0-Y0面 (図-2) と観測点 A0, A1, A2をレベル測量して得た一つの水平面 (A0を含む面でここでは基準面と呼ぶ、図-3) と一致させることである。そのとき、観測点の任意の2点を結んだ直線 (例えば A0-A1) の基準面上の正射影を x軸に、基準面の垂直上向き方向を z軸に選び、x, z軸と右手直交系をつくる方向に y軸をとる (図-3 参照)。このようにして得られたx, y, z座標系において、x軸の方位角が与えられれば、現場の座標系に変換される。なお、具体的な手順は紙面の都合上割愛し、詳細は当日発表する。

3. GPS測量による変位測定実験

3.1 実験概要 図-4に示す観測網に対して、ストップ・アンド・ゴー方式のキネマティック測量³⁾を行い、同時にトータルステーション (Nikon DTM-1 最小読み: 測距 1mm、測角 1") を用いた三次元測量を実施した。さらに、基線1-3において変位の測定実験を行った。すなわち、点1を基準点とし点3に据えたアンテナを、微小移動装置によって移動させて、その変位をGPS (キネマティック) 測量によって測定した。なお、使用した受信機は、TRIMBLE NAVIGATION社の4000STであり、受信データの解析にはTRIMVEC V.89.120を用いた。

3.2 座標変換の実際 基準点1を原点とし、それと観測点2および3を用いて2. おいて述べた座標変換を行う (x軸は1-3方向を基準面に正射影した方向、図-4)。その結果を表-1に示す。この変換によって、局所座標系において、GPS測量の結果と地上測量の結果の三次元座標成分を比較することができる。表-1から、GPS測量によって各座標成分は、トータルステーション測量に対して数mm〜約10mm程度の差で測定されたことがわかる。

3.3 変位の三次元測定結果 アンテナを1cmきざみに移動させ測定を行った結果、GPSによって変位を $1.15 \pm 0.23 \text{ cm}$ で測定することができた²⁾。このことから、GPSによって変位を1cmより良い精度で測定できる可能性が示された。次に、局所座標系の変位の各成分を求める。変位の各成分については正確値が分からないために、直接的に精度を言及できない。しかし、アンテナは移動装置の台に沿って、ある

Shunsuke SAKURAI and Norikazu SHIMIZU

一つの平面上を移動することに注目すると、座標の軌跡は直線になり、軌跡の直線性によって測定精度を評価することが可能とある。図-5にアンテナの移動軌跡を示す。今回の測定では、水平面内の変位は、全体としてはほぼ直線的に移動しているが、個々の測定値には数mm程度のばらつきがある。また、鉛直成分は水平成分に比べて精度が劣るようである。

4. むすび

本報告では、GPS測量結果を現場の局所座標系に変換して測定変位の三次元成分を求めた。測定精度の詳細を述べるにはまだ実験回数が少ないので、今後実験を重ねて明らかにしていく予定である。

謝辞 本実験は神戸市開発局、(株)アカサカテックおよび(株)トリプルナビゲーション（ジャパン）に御協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1)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 2)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、pp.41-45, 1991 3)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

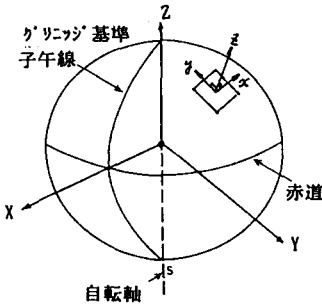


図-1 GPS座標系²⁾

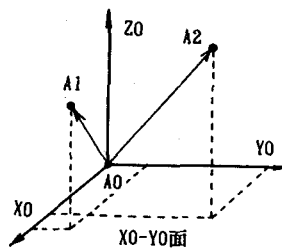


図-2 観測点と平行移動したGPS座標系

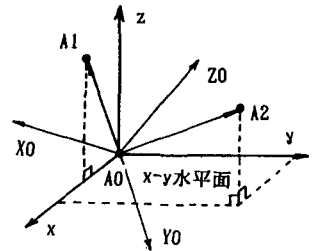


図-3 水平面を基準とした局所座標系

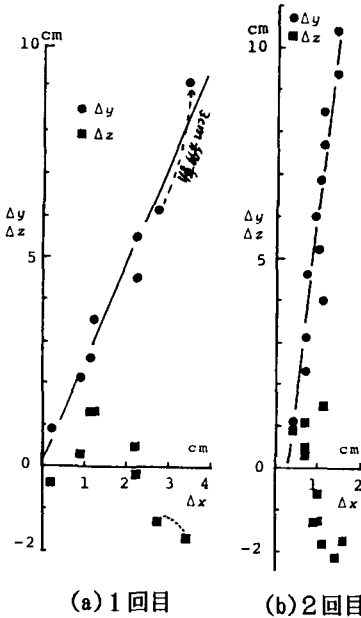


図-5 測定変位の三次元成分

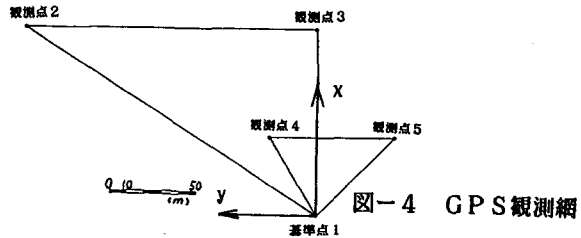


図-4 GPS観測網

表-1 観測点の三次元座標
(観測点1を原点とした座標、単位 m)

観測点		X	Y	z
2	GPS	106.905	169.170	-0.047
	測量	106.915	169.170	-0.047
	差	0.010	0.000	-
3	GPS	106.890	0.000	0.460
	測量	106.887	0.000	0.460
	差	0.003	-	-
4	GPS	44.929	27.351	0.718
	測量	44.940	27.348	0.713
	差	0.011	0.003	0.005
5	GPS	44.968	-44.960	-0.272
	測量	44.960	-44.959	-0.289
	差	0.008	0.001	0.017